

電力経済研究

特集「温暖化対策はどうあるべきか

—国内政策・国際枠組み・長期戦略の体系的検討—

No.65 (2018.4)



R 電力中央研究所
社会経済研究所

「電力経済研究」

「電力経済研究」は電気事業、電力産業に関わる社会経済・制度問題を対象分野とし、課題指向型、問題解決型に関連した研究成果等を掲載し、学術の振興に寄与することを目的とした雑誌です。一時休刊ののち、2015年3月にリニューアル復刊しました。当面の間は、広く一般に投稿論文を募ることは致しません。

原稿の種類と内容

電力経済研究の原稿には次のようなカテゴリーがあります（下記のカテゴリーは当面のものであり、今後、編集委員会での議論を経て追加・変更になる場合があります）。

(1) 総説

特集を全体的に俯瞰して、その目的や意義、内容などについて総合的に展望・解説したものの。

(2) 論文

主題、内容、手法等の新規性を有し、当該分野の発展に貢献すると思われる研究成果を報告したもの。また、特定の主題に関する一連の事象を、実態調査を通して、あるいは特定の主題に関する一連の研究及びその周辺領域の発展を、著者の見解にしたがって総括的かつ系統的に報告したもの。

(3) 研究ノート

総合的な報告までには至らないが、その研究途上で得られた有用な分析手法に関して記録にとどめておく価値があると認められたもの。特に、テクニカルな分析手法を特徴とするもの。また、特集の目的に沿って、他の媒体で報告した内容について、本誌向けに要約したもの。

(4) 研究トピックス紹介

経済、経営、エネルギー・電力、環境等に関連する国内外の新たな研究動向を紹介するもの。

一般財団法人 電力中央研究所

社会経済研究所

「電力経済研究」編集委員会

E-mail : src-henshu-ml@criepi.denken.or.jp

電力経済研究 No. 65 (2018. 4) 目次

特集「温暖化対策はどうあるべきかー国内政策・国際枠組み・長期戦略の体系的検討」

総説

温暖化対策はどうあるべきかー本特集号の概要と政策課題への示唆ー 上野 貴弘 … 1

第1部 国内政策ーカーボンプライシングを巡って

論文

東京都の排出量取引制度の評価ー事業所インタビュー調査に基づく効果の検証ー
若林 雅代 木村 宰 …17

論文

国の温暖化対策関連経費の推移と費用対効果ー温暖化対策税収は有効に使われているのかー
木村 宰 …32

論文

経済成長と環境負荷のデカップリングの解釈をめぐる課題
西尾 健一郎 向井 登志広 永井 雄宇 大藤 建太 …45

研究トピックス紹介

炭素税と三重の配当論 若林 雅代 木村 宰 …55

第2部 国際枠組みーパリ協定の行方

論文

トランプ大統領のパリ協定脱退表明をどう捉えるか 上野 貴弘 …67

論文

パリ協定における国別目標の進捗捕捉の試みー中国を事例とする分析と協定実施指針への示唆ー
上野 貴弘 …82

第3部 長期低排出発展戦略ーゼロ排出の将来に向けて

論文

2°C目標と統合的な長期の排出削減についてーIPCCシナリオデータベースを用いた検討ー
筒井 純一 …101

論文

CO₂の長期大規模削減と電化ー排出制約下における電化の促進と電力需要の関係性ー
坂本 将吾 …121

研究ノート

CO₂の長期大規模削減とロックイン問題ー家庭用給湯器の事例にもとづく考察ー
西尾 健一郎 大藤 建太 …136

研究ノート

長期低排出発展戦略の項目・構成の比較 坂本 将吾 上野 貴弘 …145

特集

「温暖化対策はどうあるべきか

－国内政策・国際枠組み・長期戦略の体系的検討」

パリ協定が2015年12月に採択され、世界の温暖化対策は新たなフェーズに入った。米国のトランプ大統領は2017年6月1日に協定からの脱退意向を表明したものの、他の多くの国は2030年、さらには2050年に向けた取組みを強化しつつある。日本においても、2030年目標（2013年比で26%削減）の達成に向けた施策や、2050年に向けた長期低排出発展戦略が議論されている。たとえば、資源エネルギー庁が2017年8月に設置した「エネルギー情勢懇談会」は、2018年4月に「エネルギー転換へのイニシアティブ」と題する提言を取りまとめ、再生可能エネルギー、水素・炭素回収貯留、原子力などの多様な技術選択肢に基づく野心的なシナリオを複線的に想定した上で、世界のエネルギー情勢と技術革新の進展度合いを見極め、選択肢間の重要度合いを柔軟に修正するための科学的レビューメカニズムを設けるとの考え方を示した。環境省が2017年6月に設置した「カーボンプライシングのあり方に関する検討会」は、2018年3月に取りまとめを公表し、今後の制度検討の方向性として、①炭素税、②排出量取引と炭素税の組み合わせ、③直接規制（①または②との併用を含む）という3案を提示した。今後、長期戦略の提出や、2020年に控える2030年目標の再提出に向けて、長期的に目指すべき姿や短中期的に必要な政策の議論が加速していくものと見られる。

本特集号は、電力中央研究所で実施している温暖化対策に関する政策研究の成果を所収し、温暖化対策を巡る政策課題に対して知見を提供することを狙いとしている。論文7篇、研究ノート2篇、研究トピックス紹介1篇に加えて、これら10篇を総括し、国内政策、国際枠組み、長期低排出発展戦略という3つの政策課題を総合的に論じた総説を冒頭に掲載した。それぞれの文献は独立しており、別個に読むこともできるが、最初に総説を一読された後に、そこで展開された議論を支える10篇の文献をご覧いただくと、本特集号の全体像を把握しやすいかと思う。

温暖化対策は「国内と国際」や「短期と長期」など、空間と時間の両面において広がりがあるため、全体を見渡すことが難しい。他方で、個々の論点は非常に入り組んでおり、単純には切り取れないところがある。読者の皆様にとって、本特集号が温暖化対策の全体像を把握し、同時に個々の政策上の論点についての理解を深める一助となれば幸いである。

2018年4月

編集責任者 電力中央研究所 社会経済研究所 上野貴弘

温暖化対策はどうあるべきか —本特集号の概要と政策課題への示唆—

Current Topics on Climate Change Policy

Outline of This Special Issue and its Policy Implications

キーワード：温暖化対策、カーボンプライシング、パリ協定、長期低排出発展戦略

上 野 貴 弘

本特集号は、電力中央研究所で実施している温暖化対策に関する政策研究の成果を所収し、温暖化対策を巡る政策課題に対して知見を提供することを狙いとしている。この総説では、本特集号に所収した文献やその執筆者の関連研究などに基づいて、国内政策、国際枠組み、長期低排出発展戦略という3つの政策課題に対する示唆を検討した。国内政策については、明示的カーボンプライシングであれ、暗示的カーボンプライシングであれ、政策を効率的に動員すべきであること、国際枠組みについては、米国のパリ協定脱退表明の悪影響は、現時点では、ある程度抑制されている一方、協定の実効性を担保するためにはその実施指針の設計が重要であること、長期低排出発展戦略については、今世紀後半の超長期的なゼロ排出化の実現に向けて、需要側の電化促進と、供給側の多様な技術の組み合わせが重要な役割を担うことと、科学的知見の進歩や目指すべき姿に向けた進捗度合いに応じて、戦略を逐次更新すべきことを論じた。

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. はじめに | 3.2 所収論文の概要 |
| 2. 国内政策—カーボンプライシングを巡って | 3.3 政策課題への示唆 |
| 2.1 政策課題の社会的背景 | 4. 長期低排出発展戦略—ゼロ排出の将来に向けて |
| 2.2 所収論文の概要 | 4.1 政策課題の社会的背景 |
| 2.3 政策課題への示唆 | 4.2 所収論文の概要 |
| 3. 国際枠組み—パリ協定の行方 | 4.3 政策課題への示唆 |
| 3.1 政策課題の社会的背景 | 5. おわりに—温暖化対策はどうあるべきか |

1. はじめに

パリ協定が2015年12月に採択され、世界の温暖化対策は新たなフェーズに入った。米国のトランプ大統領が2017年6月1日に協定からの脱退意向を表明したものの、他の多くの国は2030年、さらには2050年に向けた取組みを強化しつつある。日本においても、2030年目標（2013年比で26%削減）の達成に向けた施策や、2050年に向けた長期低排出発展戦略が検討されている。

本特集号は、電力中央研究所で実施している

温暖化対策に関する政策研究の成果を所収し、温暖化対策を巡る政策課題に対して、有益な知見を提供することを狙いとしている。当所では、社会科学を扱う社会経済研究所と、環境に関する自然科学を扱う環境科学研究所が連携して、温暖化対策に関する政策研究を遂行しており¹、両研究所の研究者が本特集号の論文を執筆した。著者の専門分野は、環境経済学、技術政策、気候科学、エネルギーシステム分析、統合評価モデル、国際関係論と多様であり、その結果として、本特集号は温暖化対策を多角的に捉えたものとなっている。

¹ 対策技術の検討・開発や温暖化影響の評価を含めた当所の関連研究の全体像については、電力中央研究所（2015）を参照。

この総説では、「国内政策」、「国際枠組み」、「長期低排出発展戦略」という3つの政策課題について、本特集号に所収した論文・研究ノート・研究トピックス紹介²、特集号著者による他の研究、その他の関連研究から示唆されることを整理し、特集号の全体像を提示する。以下、2章～4章において、それぞれの政策課題について、①社会的背景、②所収論文の概要、③政策課題への示唆を述べ、最後に、5章において、「温暖化対策はどうあるべきか」という本特集号の主題に対する見解を簡潔に述べる。

2. 国内政策—カーボンプライシングを巡って

2.1 政策課題の社会的背景

温室効果ガスの排出は、人口の減少やエネルギー利用の効率化などによって自然に抑制される部分があるが、2030年目標や2050年目標（条件付き・基準年なしで80%減³）の達成のためには、政策による介入が不可欠である。そして、長年にわたって、望ましい政策のあり方が議論されてきたが、日本における最近の中心的な論点は、政府での議論に表れているように、カーボンプライシング（炭素価格付け）の是非である。

たとえば、環境省が設置した長期低炭素ビジョン小委員会は、2017年3月に「長期低炭素ビジョン」を取りまとめ、炭素税や排出量取

引といった明示的なカーボンプライシング（炭素排出量と比例的にコストを課す政策手段）には、気候変動、経済成長、地方創生、エネルギー安全保障といった諸課題の同時解決に重要な役割を果たす可能性があり、早期の検討が必要であると提言した（中央環境審議会地球環境部会, 2017）。環境省は、同年6月にカーボンプライシングのあり方に関する検討会を設置し、2018年3月に取りまとめを公表した。その中で、GDPをCO₂排出量で割った値として定義される「炭素生産性」が、日本よりも実行炭素価格⁴が高い国において向上し、日本を上回ったと指摘しつつ⁵、制度検討の方向性として、①炭素税、②排出量取引と炭素税の組み合わせ、③直接規制（①または②との併用を含む）という3案を提示した（カーボンプライシングのあり方に関する検討会, 2018）。

他方、経済産業省が設置した長期地球温暖化対策プラットフォームは、2017年4月に報告書を取りまとめ、カーボンプライシングに関しては、エネルギー本体価格やエネルギー諸税、その他の施策による暗示的カーボンプライシングという形で、既に大きな負担が発生しており、この時点では追加的なカーボンプライシング施策は必要ではないとした（経済産業省長期地球温暖化対策プラットフォーム, 2017）。また、電力部門については、2030年目標の土台となったエネルギーミックス

² 本特集号には、「論文」、「研究ノート」、「研究トピックス紹介」という3つのカテゴリーの文献が掲載されているが、本稿では、便宜上、これらの総称を「所収論文」とする。

³ 日本政府の地球温暖化対策計画には以下の記載がある。「パリ協定を踏まえ、全ての主要国が参加する公平かつ実効性ある国際枠組みの下、主要排出国がその能力に応じた排出削減に取り組むよう国際社会を主導し、地球温暖化対策と経済成長を両立させながら、長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す。このような大幅な排出削減は、従来の取組の延長では実現が困難である。したがって、抜本的排出削減を可能とする革新的技術の

開発・普及などイノベーションによる解決を最大限に追求するとともに、国内投資を促し、国際競争力を高め、国民に広く知恵を求めつつ、長期的、戦略的な取組の中で大幅な排出削減を目指し、また、世界全体での削減にも貢献していくこととする」（日本政府, 2016）。

⁴ 炭素税率、排出量取引の価格及びエネルギー課税をCO₂排出量あたりの値に換算したものの合計値。

⁵ ただし、その因果関係については留保している。

の達成に向けて、資源エネルギー庁が非化石価値取引の制度設計や省エネルギー法の下での火力判断基準の共同達成方法などを検討している。

従来、日本においても、諸外国においても、炭素税や排出量取引の導入を主張してきたのは、主としていわゆる環境派と呼ばれる人たちであったが、最近では、そうではない団体や識者から、カーボンプライシング（特に炭素税）の導入を提唱する意見が出てきている。その象徴的な事例が、米国共和党の重鎮による大型炭素税導入提案である。2017年2月に、ベーカー元国務長官、シュルツ元国務長官、ポールソン元財務長官といった過去の共和党政権における有力閣僚が炭素税導入を提言した。その内容は、オバマ前政権が導入した火力発電部門へのCO₂排出基準（Clean Power Plan）⁶や自動車への燃費基準といった規制措置の撤廃と引き換えに、排出1トンあたり40ドル⁷の炭素税を導入し、その税率を徐々に引き上げつつ、税収を米国民に等しく還元し、輸出入に対して炭素含有量に基づく国境税調整を行うというものであった⁸。保守派の多くは炭素税に反対であり、トランプ政権下の米国でこの提案が成立する可能性は極めて低いが、今後も米国の中で炭素税を巡る議論は続くものと考えられ、注視が必要である⁹。

2.2 所収論文の概要

本特集号の第1部は、国内政策とその理論的背景に関する論文4篇を所収し、このうち

の2篇では国内政策の事後検証を行い（若林・木村, 2018a及び木村, 2018）、残りの2篇ではカーボンプライシングの効果に関連する論点を扱う（若林・木村, 2018b及び西尾ほか, 2018）。

木村・若林（2018a）は、東京都による排出量取引制度を、規制対象となる事業所へのインタビュー調査に基づいて分析し、標準的な対策を促す一定の効果があったと考えられる一方、排出量取引を活用した費用効果的な削減という点については、現時点では十分な効果を上げていないことを確認した。

木村（2018）は、政府の温暖化対策関連経費の推移と費用対効果を分析し、温暖化対策税の導入前と比べて、経費が1,000～2,000億円程度増加している一方、効果の事後検証が不十分であることを明らかにした。

西尾ほか（2018）は、環境負荷が経済成長から切り離される「デカップリング」を指摘した既往文献をレビューし、国や地域の固有事情とデータの定義・算出方法に依存する面があることや、政策効果の寄与は必ずしも明確ではないことを指摘した。なお、「炭素生産性」の向上は、CO₂排出量とGDPのデカップリングと同じ意味であり、ここでの議論は、炭素生産性という概念にも当てはまる。

若林・木村（2018b）は、炭素税には、排出削減を促す環境改善効果（第一の配当）以外に、税収を活用した歪みのある既存税の軽減（第二の配当）や、低炭素技術の普及とエネルギー効率の改善に必要な投資の促進（第三の配当）という効果も期待できるとする議論（三重の配当論）¹⁰について、関連文献をレビ

⁶ Clean Power Plan については、若林・上野（2016）を参照。

⁷ オバマ前政権が採用した炭素の社会的費用（social cost of carbon）に基づく。

⁸ Climate Leadership Council（2017）を参照。

⁹ 米国では、かなり以前より、民主党の政治家がカーボンプライシングを支持し、共和党の政治家が反対するという意見の対立が根底にありつつも、共和党の一部は条件付きで支

持していたが（例えば、2007年頃の状況を分析したものとして、上野（2007）を参照）、2010年に連邦議会上院で排出量取引法案が廃案になってからは、共和党における支持層が目立たない状況が続いていた。共和党重鎮の提案はこうした状況を変えるものであった。

¹⁰ 環境省の「長期低炭素ビジョン」においても、この議論が参照されている。

ユーし、普遍的に成立する強固な仮説ではなく、成立は条件次第であるとの示唆を導いた。

2.3 政策課題への示唆

以下では、所収論文を踏まえつつ、カーボンプライシングに関する政策課題を考察し、示唆を述べる。

(1) 明示的カーボンプライシングと暗示的カーボンプライシング

環境省の長期低炭素ビジョンでは、カーボンプライシング、特に明示的な炭素価格付けが、様々な社会的課題の同時解決に資することが可能な政策と位置付けられていたが、当然のことながら、そのような万能な政策ツールは存在しない。諸課題の間にトレードオフが存在する場合、同時解決が困難になるためである。若林・木村(2018b)が整理したように、二重の配当、あるいは三重の配当は無条件に成立するものではなく、排出削減と他の課題の間にシナジーが存在する場合、例えば二重の配当であれば既存税に相当の歪みがあり、炭素税収でその歪みを取り除くことができる場合などに成立する。他方、トレードオフが存在する場合には、他の課題を悪化させることになる。例えば、カーボンプライシングによってエネルギーコストが上昇すれば、経済に悪影響を及ぼす可能性がある。もちろん、諸課題の同時解決は目指すべき理想であり、制度設計によってシナジーを高める、あるいはトレードオフの間でバランスをとると言った工夫も可能ではあるが、単一の施策に広範な社会的課題に対する同時解決への寄与を望むのは、現実には難しいだろう。

また、明示的カーボンプライシングの本来の目的である排出削減への効果も、慎重に見

極める必要がある。理論的には、CO₂排出に価格が付けば、排出量は価格に対する弾力性に応じて抑制されるが、現実の世界において、そうした効果の検出は容易ではない。エネルギー消費・CO₂排出と経済成長の間に存在していた正の相関が切れるデカップリングが観察されるようになっているが、西尾ほか(2018)が論じたように、デカップリングに寄与する要因は様々である上に、指標定義や分析手法の課題が大きく¹¹、個別要因の効果(例えば、カーボンプライシングによる効果)を確定的に論じることは困難であるためである。

加えて、個別制度のケーススタディにおいても、排出削減効果の見極めは難しい。例えば、東京都の排出量取引制度では、若林・木村(2018a)が分析したように、東日本大震災後の節電努力やLED照明の普及による削減効果が大きく、取引制度による価格付けの役割は限定的であったと推定される。諸外国の排出量取引制度においても、取引価格が低迷し、その削減効果が限られる一方、そうした国・地域では、排出量取引以外の施策の併用によって、低炭素投資が促されている(若林・上野,2017)。また、温暖化対策税収は政府事業の財源となるが、木村(2018)が分析したように、その費用対効果の検証は不十分である。

他方、排出量取引や炭素税と対置される暗示的カーボンプライシングにも課題がある。まず、暗示的価格も排出量取引や炭素税と同様にエネルギーコストの上昇をもたらす。その典型例の1つが、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)による賦課金であり、2030年には年間3.6兆円に達すると見込まれ

¹¹ 貿易に体化したCO₂排出量の扱いは、そのような課題の1つである(星野ほか,2010)。

ている（朝野, 2017）¹²。他分野の暗示的価格施策も同様にコストを発生させる。英国では、オックスフォード大学のHelm教授が、同国政府の依頼で、エネルギーコストに関する報告書を2017年に執筆したが、その中で、明示的・暗示的なカーボンプライシングが分野別に複雑に並立した結果、エネルギーコストが不必要に高まっている恐れがあり、部門間で共通な価格となるように、様々な炭素価格間の調和化を図るべきと提言した（Helm, 2017）。また、暗示的価格が注目された契機の1つは、温暖化対策の努力水準を定量化する際に、排出量取引や炭素税以外の施策によるコストも反映することであったが、その定量化はテクニカルな面で容易ではなく、また推計された指標の解釈も注意を要するものであった（木村・上野・若林, 2017）。

(2) 今後の政策論議で考慮すべき論点

このように、明示的であれ、暗示的であれ、カーボンプライシング施策には大きな課題があるが、温室効果ガスの排出削減のためには何らかの政策介入が不可欠であり、今後も望ましい政策を巡る議論や試行錯誤が必要であろう。以下では、その際に考慮すべき3つの論点を指摘する。

第1に、暗示的カーボンプライシングが先行する中で、明示的カーボンプライシングを追加すべきかどうかである。2030年の削減目標の土台となったエネルギーミックスの達成に向けて、再エネFIT、エネルギー供給構造高度化法の下での非化石価値取引、省エネルギー法の下での火力判断基準、産業界の自主的取組み、エネルギー需要側での省エネルギー対策などの施策が同時並行的に追求されているが、これらの施策が想定通りの効果を上げれば、2030年目標が達成されることにな

り、明示的カーボンプライシングを追加する必要はなくなる。他方、これらの施策の実効性が不十分であるならば、追加施策が必要になる。また、米国のベーカー元国務長官らの提言のように、多数の政策措置の重畳を非効率のと捉え、規制的措置を撤廃して炭素税に一本化すべきとする考え方もあり、この視点に立てば、暗示的プライシングが先行する中で明示的プライシングを導入する際には、先行措置を全面的に見直すべきと言える。

第2に、エンドユースのエネルギー（電力、ガス、石油）間の競争を歪めないことである。エネルギーミックスの達成に向けた諸施策は、実際のところは電力ミックスの達成を目的としており、結果として、電力部門に政策が集中している。本特集号の第3部で取り上げるように、2050年に向けた長期の大規模削減には、エンドユースの電化促進が重要な役割を果たすが、エネルギーコストの中で電気料金だけが高騰すれば、電気利用の比率が大きい需要家に負担が傾斜し、電化促進への障壁となりうる。明示的カーボンプライシングであれ、暗示的カーボンプライシングであれ、公平な競争条件の下で大規模削減を進めていくためには、エンドユースのエネルギー間で排出コストを揃えるべきである。

第3に、政策によって生じるコストである。暗示的カーボンプライシングは、概して、分野別に政策を使い分けるものであり、それらの政策間で炭素価格が不均一になる。このことは排出削減という単一の目的だけに照らせば、非効率性が存在することを意味するが、エネルギー政策の3つのE（経済成長、エネルギー安全保障、環境保全）のバランス達成という観点からは必要なコストとも言えよう。ただし、暗示的なものであっても、炭素価格が政策間であまりにも

¹² FIT 賦課金の低減を目的の1つとする非化石価値取引市場

にも課題がある（朝野・野口, 2017）。

大きく乖離する状況は好ましくない。木村・上野・若林（2017）が論じたように、暗示的炭素価格の定量的把握にはテクニカルな困難が伴うが、対策コストを適正な水準に保ち、政策を効率化するためにも、コスト把握の努力を続けることが不可欠である。また、政策だけではなく、政府が税収を投じて実施する事業の費用対効果の把握も、同様に重要である（木村, 2016; 木村, 2018）。

3. 国際枠組み—パリ協定の行方

3.1 政策課題の社会的背景

温暖化対策はグローバルな課題であり、一国だけで排出削減を進めても効果に乏しいため、世界全体での協調が必要とされる。2015年に開催された気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）では、2020年以降の国際枠組みであるパリ協定が採択され、翌2016年11月4日に発効した。

パリ協定は、国別の排出目標である「自国で定める貢献（nationally determined contribution, NDC）」を、2020年から5年毎にタイミングを揃えて提出することを各国に義務付けた。ただし、NDCの達成は義務ではない。また、2018年から5年毎に、締約国間で世界全体での取り組み状況の総括（stocktake）を行い、各国はその結果を踏まえて、NDCを検討して提出することになった。NDCの実施段階においては、全ての国¹³に対して、排出量と吸収量の実績を示すインベントリと、NDCの実施・達成状況に関する情報を、隔年で報告することを義務付けた。さらに、隔年報告に対して、専門家レビューと締約国間での検討が行われることになった。事前段階での総括や実施段階での報告・レビューを通じて、

各国に対する透明性を高めるこの方式は、2020年までのカンクン合意におけるボトムアップアプローチと京都議定書第1約束期間におけるトップダウンアプローチを組み合わせた「ハイブリッドアプローチ」と特徴付けられる（上野, 2016）。

しかし、2017年に米国でトランプ政権が発足すると、同年6月1日に、トランプ大統領が協定からの脱退意向を表明した。協定の規定上、脱退の正式通告が可能になるのは、協定発効から3年後の2019年11月4日であり、通告から脱退までには、さらに1年の時間を要する。そのため、米国は現在でもパリ協定の締約国であり、トランプ大統領自身も、2017年6月1日の脱退表明時に、条件次第では残留（大統領の言葉では再加入）する可能性に言及した。

パリ協定を巡る第1の政策課題は、トランプ政権にとっては、パリ協定を正式に脱退するかどうか、残留のための条件は何かを検討することであり、日本を含む他国にとっては米国による脱退意向表明の影響を最小化し、世界全体での取り組みを進めていくことである。

もう1つの政策課題に、協定実施指針の国際交渉がある。5年毎のNDC提出サイクルや隔年での報告といった協定の骨格は、COP21で明確に定められたが、協定実施方法の詳細を定める指針（以下、実施指針）については、2018年12月に開催されるCOP24（及び協定第1回締約国会合第3部（CMA1-3））を合意期限として、国際交渉が行われている。米国も「米国の利益を守り、将来の政策オプションを閉ざさない」ようにするため、トランプ大統領の脱退表明後も、実施指針の交渉に残っている。

¹³ ただし、後発開発途上国と小島嶼国を除く。

2017年11月に開催されたCOP23では、指針交渉の土台を作ることが目指され、議題別に非公式の文書が作成された。その内容はあらゆる提案をとりあえず文書化したといったもので、COP21でも合意できなかった案が一部途上国から再提示されて掲載されるなど、COP21以前の状況に戻ってしまったような分野もあった。ただし、合意期限の前年に混沌とした状況に陥るのは毎回のことであり、このことだけをもって、COP24の帰結を予断するのは、時期尚早である。

3.2 所収論文の概要

本特集号の第2部は、パリ協定に関連する以下の論文2篇からなる。

上野 (2018a) は、トランプ大統領のパリ協定脱退表明を分析し、米国が正式に協定を脱退するかどうかは不透明であることや、協定残留のためにはオバマ前政権による削減目標 (2025年に2005年比で26~28%削減) の撤回が最低限必要であることなどを論じた。

上野 (2018b) は、中国を事例として国別目標の進捗捕捉を試行し、パリ協定の実施指針への示唆として、温室効果ガスのインベントリと目標の進捗捕捉に必要な他の情報が高頻度かつ短いタイムラグで提出されることが望ましいことなどを指摘した。

3.3 政策課題への示唆

(1) 米国の協定脱退意向表明の影響

これまで、温暖化対策の国際協調を難しくしているのは、ただ乗りの誘因であると考えられてきた (Keohane and Victor, 2016)。すなわち、ある国の削減努力による温暖化防止の効果は世界全体で享受されることから、他国の努力にただ乗りする誘因が働きやすく、ゲーム理論の用語を用いれば、「囚人のジレンマ」や「共有地の悲劇」といった問題構造に

あると言われてきた。

トランプ政権の脱退意向表明は、ただ乗りの典型例とも考えられ、従来の理解に沿って考えれば、他国もこれに追随し、努力水準を引き下げたり、協定からの脱退を検討したりするかもしれなかった。それゆえ、脱退表明の悪影響を最小化することは、重要な政策課題となる可能性があった。

しかし、現在までのところ、米国の脱退意向は、そうした負の連鎖を引き起こしていない。上野 (2018a) が詳しく論じたように、トランプ政権が本当に正式脱退に踏み切るのかは未だ不透明であり、そのような状況では連鎖が起こりにくい。また、パリ協定が目標を自国で決める (nationally determine) という仕組みをとっていることから、他国 (この場合は米国) を理由に自らの取り組みの後退を正当化することは、論理的に困難であるとも考えらえる。

さらに、こうした側面に加えて、ただ乗りの誘因が国際協調を阻害するという構造自体が変わりつつある可能性にも注意を払うべきかもしれない。2009年にノーベル経済学賞を受賞したエリノア・オストロムは、共有資源管理に関する長年の研究成果を踏まえつつ、気候変動対策においても、ローカル、リージョナル、ナショナルといった多層のステークホルダーが相互の取り組みを積極的に監視することを通じて、ただ乗りの誘因が抑制されうると主張し、この考え方のことを多中心的アプローチ (a polycentric approach) と呼んだ (Ostrom, 2010)。

多中心的アプローチによって問題構造が変わってきているのか否かは、学術的にはまだ研究途上であるが (Dorsch and Flachsland, 2017)、トランプ大統領の脱退表明後に、その兆候が目立つようになった。例えば、上野 (2018a) でも取り上げたように、米国の一部

の州、都市、企業等は、We ARE Still Inや America's Pledgeといったネットワーク組織を形成して、パリ協定を支持し、国際社会とともに温暖化対策を進めていくという姿勢を示した。また、2017年に開催されたCOP23では、交渉そのものよりも、様々な主体による取り組みのアピールに関心が集まった。近年のCOPでは、議長国の主導の下、テーマ別のイベントをシリーズ化して、中央政府、地方政府、民間団体など多様な主体の間での議論を促し、経験の共有を進めている。COP23では、こうした場から発せられるメッセージが、トランプ政権による脱退表明後もパリ協定の下での世界的な流れが止まらないことを示すものとして、メディアなどで頻繁に取り上げられた。

ただし、多中心的アプローチは、トランプ政権による温暖化対策の後退の悪影響を完全に穴埋めするものではない。オバマ政権が掲げた2025年目標(2005年比で26%削減)は、もともと達成が困難であったが、トランプ政権下での施策後退の影響で、その達成は一層困難となった(Larsen et al., 2017; Belenky, 2017)。もちろん、米国の州政府や都市・企業レベルの取り組みによる穴埋めを期待できるが、排出量が多い州の多くは、オバマ政権期から火力発電所への排出規制等に反対してきており、これらの州における排出削減を加速させるためには、連邦政府による政策が不可欠である。しかし、トランプ政権下ではそうした政策を期待できない(上野, 2018a)。

また、米国以外の国がトランプ政権による後退を穴埋めすることも容易ではない。たとえば、トランプ大統領は脱退表明時に、オバマ政権によるNDCの停止に加えて、途上国支援のための緑の気候基金への拠出停止も宣言したが、他国が米国の拠出分を穴埋めするのは困難である。さらに、上野(2018a)が指

摘したように、長期間にわたって米国が支援を行わなくなれば、一部途上国は取り組みを強化しなくなるだろう。

以上のように、米国の脱退意向表明の悪影響は、多中心的アプローチの台頭によって一部は軽減されても、完全には穴埋めされない。悪影響をこれ以上拡大させないためには、米国に正式脱退を思いとどまらせることが重要である。トランプ政権は残留の条件を明らかにしておらず、さらに残留支持の有力者が2018年2月以降に続々と政権を去るなど、日本を含む他国によるアプローチが難しい状況が続いているが、2018年11月の中間選挙で共和党が敗北する場合、米国の政治状況が変わって、残留へと判断を変える契機となりうる。また、米国が議長国を務める2020年のG7サミットも残留表明の機会になるかもしれない。米国の政治情勢を予測することは困難であるが、2019年11月4日には脱退の正式通告が可能となるため、その頃から翌年のG7サミットまでの時期が、米国のパリ協定残留に向けて重要なタイミングとなる(上野, 2018a)。

(2) パリ協定の実施指針

こうした努力によってパリ協定が求心力を維持する場合、その実施指針は、協定の実効性を高める上で重要な役割を果たす。パリ協定は目標達成を義務としない一方、NDCの策定と実施に対する社会的圧力を強めることで、締約国による取り組みの強化を促そうとしている。実施指針は、締約国が晒される透明性の強度を左右するものであり、協定の実効性に影響する。

例えば、新興国・途上国は、パリ協定の下で、GDPあたり排出量の削減率、レファレンスシナリオ比の排出削減率、一次エネルギーや電力における非化石比率といった指標に基づく目標をNDCとして掲げているが、こう

したNDCの進捗状況を捕捉するには、排出インベントリで報告される排出量だけでは不十分であり、GDP、レファレンス排出量、エネルギーに関する統計といった情報が追加的に必要となる。

しかし、上野（2018b）が中国の事例分析を通じて明らかにしたように、そうした情報を国際的に正確に把握することは容易ではない。協定実施指針を通じて、NDCの進捗捕捉に必要な情報ができる限り正確に締約国から提出されるようにすべきと言える。

協定の実実施指針は、NDC実施に対する透明性確保だけではなく、5年毎の世界全体での取り組み総括の方法や削減クレジットの国際移転のルールなど、多岐にわたる内容を扱う。指針はパリ協定の実効性を高めるために不可欠な要素であり、COP24で合意を得た後も、運用を通じて得られた経験をもとに、随時改善を加えていくべきである。

4. 長期低排出発展戦略—ゼロ排出の将来に向けて

4.1 政策課題の社会的背景

気候変動対策は、グローバルな課題であると同時に、長期的な課題でもある。パリ協定は、全球の平均気温の上昇を産業革命以前と比べて2°C未満（well below 2°C）に抑えつつ、1.5°C以内に抑えるように努力を追求するとの温度目標を定めた（2条1（a））。また、この温度目標を達成するために、温室効果ガス的人為的排出と吸収源による除去の均衡（a balance）を今世紀後半に達成すべく、急速な削減を実行するとの目標を定めた（4条1）。

これらは世界全体での長期目標であるが、各

国に対しては、協定4条19とCOP21決定（Decision 1/CP.21）を通じて、今世紀中頃に向けた長期低排出発展戦略（以下、長期戦略）を、2020年までに提出するように招請した。パリ協定は、長期戦略に含めるべき項目を具体的には示していないが、留意すべき点として、長期目標と原則¹⁴を定めた協定2条を挙げた（4条19）。

COP21における合意を踏まえ、日本では、2016年5月に閣議決定された地球温暖化対策計画の中で、全ての主要国の公平な参加や経済成長との両立を前提としつつ、2050年までに温室効果ガスの排出を80%削減するという目標を掲げ、その実現に際しては、イノベーションによる解決を最大限追求するとした（日本政府、2016）。

そして、既に述べたように、経済産業省が長期地球温暖化対策プラットフォームの報告書を、環境省が長期低炭素ビジョンを2017年春に取りまとめた。

経済産業省の長期地球温暖化対策プラットフォームの報告書は、2050年の80%削減は従来の取り組みの延長では実現が難しいことに言及しつつ、国際貢献、グローバルバリューチェーンでの削減、イノベーションという3本の矢によるカーボンニュートラル化を提唱した（経済産業省長期地球温暖化対策プラットフォーム、2017）。

環境省の長期低炭素ビジョンは、気候変動対策を契機として日本が直面する経済・社会的諸課題を同時解決するとの理念を謳いつつ、2050年80%削減の方向性として、エネルギー消費量の削減（需要の削減と効率改善）、エネルギーの低炭素化（再エネ等の拡大）、利用エネルギーの転換（熱から電気への転換）を提示し、その実現に向けた施策の総動員を提唱した（中央

national circumstances）」の原則を指す。

¹⁴ 協定2条2に記載されている「異なる国別事情に照らした、共通だが差異ある責任と個別の能力（common but differentiated responsibilities and respective capabilities, in light of different

環境審議会地球環境部会, 2017)。また、環境省は、2018年3月に「長期大幅削減に向けた基本的考え方」を公表し、2040年頃までに、大幅削減の基礎を確立するとの考え方を示した(環境省, 2018)。

資源エネルギー庁が2017年8月に設置したエネルギー情勢懇談会(経済産業大臣主催)は、2050年の長期目標を視野に海外情勢等を議論し、2018年4月には、「エネルギー転換へのイニシアティブ」と題する提言を取りまとめた。再エネ、水素・炭素回収貯留(CCS)、原子力などの多様な技術選択肢に基づく野心的なシナリオを複線的に想定した上で、世界のエネルギー情勢と技術革新の進展度合いを見極め、選択肢間の重要度合いを柔軟に修正するための科学的レビューメカニズムを設けることを提言した(エネルギー情勢懇談会, 2018)。

2017年11月に中川環境大臣は、2018年度の早い段階から政府全体での長期戦略の検討を開始できるように調整を進めると表明しており、今後、検討の本格化が見込まれる。

諸外国では、米国¹⁵、ドイツ、フランス、カナダ、メキシコ等が現時点までに長期戦略を提出済みであり、2020年に向けて、様々な国からの提出が相次ぐものと見込まれる。

4.2 所収論文の概要

本特集号の第3部は、長期戦略や長期の大規模削減に関連する以下の4篇からなる。

筒井(2018)は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書(AR5)で示された累積CO₂排出量と温度上昇の比例関係を解説しつつ、2°C未満などの温度目標と長期の排出削減の関係を考察した。

坂本(2018)は、排出制約下における電化促

進と電力需要について、AR5で用いられたシナリオデータベース等を用いて、世界全体を対象に分析し、排出制約が強いシナリオでは、電化率が高まることを示した。

西尾・大藤(2018)は、導入された技術が長期にわたって固定化する「ロックイン」という概念に注目した既往文献をレビューした上で、日本の家庭用給湯器の技術選択を考察し、エンドユースの電化を阻害する技術・組織・行動面の課題が存在することや、集合住宅で利用される給湯器において、CO₂の直接排出を伴う技術がロックインされる傾向があることを明らかにした。

坂本・上野(2018)は、既提出国の長期戦略の構成面を比較し、共通に盛り込まれている項目として、①IPCC評価報告書・パリ協定の解釈、②温室効果ガスの排出・吸収の実績、③2050年の削減水準・目標、④部門横断的な対策、⑤部門別の対策、⑥既存計画との関係、⑦気候変動緩和の便益、⑧国際的な文脈(経緯、国際協調の考え方、国際貢献)があることを、一部の国の戦略に盛り込まれた準共通項目として、⑨2020年目標と2030年目標、⑩定量的なシナリオ分析の説明、⑪作成プロセス、⑫進捗のモニタリングと戦略の更新、⑬既存のシナリオ分析の整理があることを明らかにした。

4.3 政策課題への示唆

(1) 協定の温度目標と長期削減の関係

長期戦略を考える際にまず考慮すべきことは、協定4条19にも書かれているように、長期目標、特に協定2条に盛り込まれた温度目標である。

科学的知見の進歩に伴い、2°C未満など温度目標に関する理解が日々、深まっている。その

¹⁵ オバマ前政権が提出したものであるが、本稿執筆時点において、トランプ政権は撤回していない。

中でも最も重要であったのは、IPCCのAR5で示された累積CO₂排出量と温度上昇の比例関係である¹⁶。

この関係を踏まえると、温度上昇を止めるためには、上昇値が何°Cであれ、累積CO₂排出量の増加を止める、つまり究極的には全世界での排出を正味ゼロにする必要がある。パリ協定4条1には「温室効果ガスの人為的排出と吸収源による除去の均衡を今世紀後半に達成」と書かれており、2050年頃をターゲットとする長期戦略の肝は、今世紀後半の超長期的なゼロ排出化に向けて、2050年時点での到達点を描くことであると云える。

ただし、筒井(2018)が分析しているように、温度目標を満たす累積CO₂排出量の上限は、固定的な数値ではなく、目標の達成確率とCO₂以外の温室効果ガスの要因に左右される。そして、確率を左右する科学的知見は観測データの蓄積とともに徐々に高まるものであり、その進歩に応じて、温度目標の下で許容される排出量は、増える方向にも、減る方向にも変わりうる¹⁷。

2050年やその先の将来に向けた長期戦略は、現時点で一度だけ作るものではなく、大規模削減の実現に向けて繰り返し更新すべきものであり、長期戦略を提出済の国の中には、戦略の随時見直しに言及している国もある(坂本・上野, 2018)。協定4条1には「入手可能な最善の科学(best available science¹⁸)」に従って、急速な削減を実行すると書かれており、戦略更新の際には、温度目標に関する科学的知見の進歩を、その都度、確認していくことが望ましい。

(2) 大規模削減と電化促進

低排出、そしてその延長線上で超長期的にゼ

ロ排出を実現するためには、需要部門において、化石燃料の燃焼を止め、電化を促進することが重要と言われてきた(Sugiyama, 2012; 杉山昌・今中, 2011; 西尾・長野, 2008; 杉山大・今中, 2007)。既提出国の長期戦略でも、電化の重要性が提起され(例えば、米国やカナダ)、日本では、環境省の長期低炭素ビジョンが電化による削減に言及した(中央環境審議会地球環境部会, 2017)。

電化促進には、「電化率(最終エネルギーに占める電力の比率)の向上」と「電力需要の増加」という相互に関連するが別個の2つの側面がある。坂本(2018)が分析したように、既存の長期シナリオ¹⁹では、排出制約が強くなるほど電化率が高まる一方、電力需要については、中央値では増加ペースが鈍化するものの、シナリオ間のばらつきが大きく、約半数のシナリオにおいて、排出制約が強い場合の方が、電力需要増加のペースが速くなっていた。

これらのシナリオ分析は、最近の電気自動車シフトが起きる前に提示されたものであり、運輸部門の電化率が低いシナリオが多く含まれている。今後、運輸部門の電化が排出制約の強化に伴って進展するシナリオが増えれば、電力需要の伸びは、より高いものと想定されるだろう。

他方、燃焼機器から電気利用機器への転換は簡単には進まない。西尾・大藤(2018)は、家庭用給湯器を事例に、一度導入された燃焼機器が、技術的要因と組織的要因が絡まりあうことで長期間(集合住宅の場合、数十年間²⁰)にわたってロックインされ、電化や高効率化が阻害されるおそれがあると論じた。この分野での電

¹⁶ この関係を解説したものとして、筒井(2014)を参照。

¹⁷ 詳細については、筒井(2018)を参照。

¹⁸ 本稿では、'best available science'を各時点での科学の到達点という意味合いで捉えているが、政策における'best available science'のあり方やその使い方については、様々な議論や論争がある。例えば、Ryder et al. (2010) や Malakoff (2017)

を参照。

¹⁹ IPCC AR5 のシナリオデータベースに所収されているもの。

²⁰ 貯湯タンクや配管などの制約から、集合住宅では、給湯機の寿命での技術代替を期待しにくく、住宅の寿命に至るまで同じ技術が使われる可能性がある(西尾・大藤, 2018)。

化促進対策を速やかに進めなければ、数十年単位で長期固定化する燃焼機器のストックが日々積みあがっていくことになる。

また、電化促進によるゼロ排出化を実現するためには、坂本(2018)も指摘しているように、電力供給のゼロ排出化を電化の進展に合わせて進めていくことが、当然のことながら不可欠である。供給のゼロ排出化には、再生可能エネルギー、原子力発電、炭素回収利用貯留(CCUS)など多様な技術オプションが存在しており、これらの技術を進歩させつつ、将来的にどのような組み合わせでいくかがカギである。例えば、米国(オバマ前政権)の長期戦略は、再生可能エネルギー(特に風力と太陽光)、原子力発電、CCUSを組み合わせた発電電力量構成を4通り例示した²¹。その上で、どの技術が将来にわたり進歩するのかを現時点で知ることができないことから、多様な発電技術のポートフォリオを支援することによって、長期的な脱炭素化のコストを下げることが望ましいとした。また、カナダの長期戦略は、水力発電と原子力発電を大幅拡大する複数のシナリオを提示した。

(3) 長期戦略の構成要素

パリ協定は長期戦略のフォーマットを規定していないが、坂本・上野(2018)が整理したように、既提出国の長期戦略には、全ての戦略に盛り込まれている共通項目や一部の国の戦略に盛り込まれた準共通項目があり、各国に独自の項目も存在している。

日本の長期戦略の検討は、2018年度から本格化するものと見込まれるが、提出済みの長期戦略における共通項目や日本としての独自要素を、日本の状況や目指すべき姿を踏まえて盛り

込んでいくことがポイントになる。

経済産業省の長期地球温暖化対策プラットフォーム報告書と環境省の長期低炭素ビジョンに通底する考え方の1つに、低炭素技術の国際競争力を高め、その海外展開によって、世界全体での低炭素化に寄与するという国際貢献の視点がある。この背景には、日本企業の活動がグローバルなサプライチェーンやバリューチェーンに組み込まれていく中で、低炭素製品・サービスへの需要が温暖化対策の世界的な強化によって拡大すれば、日本企業の役割も広がるとの期待がある。他方、この分野は、既存技術の普及であれ、新たな製品・サービスの導入であれ、欧米企業や中国をはじめとする新興国企業との競争が激しく、市場獲得は容易ではない。また、CO₂排出の増加が見込まれる新興国・途上国での普及が、世界全体への貢献という点では重要であるが、そのためには、導入市場にあわせた低価格化やイノベーション、現地企業との協業などが必要となる(上野・本部, 2013)。

2050年という長期を視野に入れた政府の戦略の中に、もっと短い時間軸で動く企業の役割を組み込むことは、もともとチャレンジングである上に、期待される役割には国際貢献が含まれており、空間的な広がりもある。さらに、日本企業がこの市場で直面する競争環境は、既に厳しい。しかし、長期の世界全体での大規模削減に向けて企業に期待される役割は、イノベーションとその普及の両面において本質的であり、この難題に挑むことは日本の長期戦略の際立った特徴となりうる²²。

²¹ うち1つはCCUSを用いないもの。

²² 最近、企業に対しても、パリ協定の長期目標に沿ったシナリオ分析を通じて、機会とリスクを特定するように求める動きが活発になっている。主要国の金融当局と中央銀行からなる金融安定化理事会(Financial Stability Board)によって設

立された気候関連財務情報開示タスクフォース(Task Force on Climate-related Financial Disclosures, TCFD)がその代表例である。こうした取り組みが広がる中で、政府と企業の長期戦略がいずれ交差するのかもしれない。

(4) 長期戦略という文書を作る意義

最後に、長期戦略という文書を作ることに、いかなる意義があるのかを論じる。長期戦略は、協定の長期目標に留意して、2050年など今世紀中頃の姿を示すものであるが、著者は、長期戦略の策定には、2つの意義があると考ええる。

第1に、協定の温度目標を取り巻く不確実性にどのように向き合うのかを、各国において検討することである。筒井(2018)が論じたように、温度目標に関連する科学的知見は観測データの蓄積とともに徐々に高まるが、現時点では不確実性が依然として大きいことも事実である。不確実性が完全に消えることはありえず、また不確実性の幅が狭まるまで政策判断を待った場合、不可逆的な気候変動影響が生じてしまうおそれがあり、不確実性が残る中での政策判断が求められる。

一般的に、科学的な不確実性下での政策決定については、「予防原則(precautionary principle)」と「後悔しない政策(no regret policy)」という2種類の大きな考え方がある。前者は悪影響のリスクを重視して予防的な対応を行う考え方、後者は結果的にリスクが現実化しなかった場合でも実施しておくべき対応のみをとるという考え方であり、どちらを選択するかは「社会の政策選択の問題」である(城山,2007)。そして、環境省の長期低炭素ビジョンは「予防的な取組方法」を環境政策の原則として掲げ、経済産業省の長期地球温暖化対策プラットフォーム報告書は「後悔しようのない必須アクション」を実施しつつ、「将来を見据えた戦略的オプション」を追求すべきとしている(中央環境審議会地球環境部会,2017; 経済産業省長期地球温

暖化対策プラットフォーム,2017)。

「予防原則」と「後悔しない政策」は考え方の両極であり、実際には、将来のオプションの拡充やリスク管理戦略の追求など、様々な中間的考え方が存在するが、それぞれの考え方に伴うリスクと便益を、気候変動対策を含む社会の諸課題の間のトレードオフとシナジーを考慮して多面的に検討し、取るべき態度を判断することが求められる²³。

第2に、今世紀後半の超長期的なゼロ排出化への円滑な移行(transition)に向けた進捗管理ツールとして活用することである。ゼロ排出の実現には、エネルギー供給技術と需要側の利用技術の両面において、大規模な技術の入れ替えが必要であり、またエネルギーを含む資源利用の劇的な効率化が求められるが、その状態への移行には長い時間を要する。この長期プロセスを、将来の目指すべき姿から逆算して、事前に設計するのは容易ではない。目指すべき姿への道筋は1通りとは限らず、様々な分野におけるイノベーションの可能性が多岐にわたることを踏まえれば、そもそも、目指すべき姿を1つに絞ることも難しい。他方で、無計画に急激な変化を起こせば、社会に対して混乱をきたす。長期戦略に期待すべき役割は、長期的に目指すべき姿や方向性をいくつか示した上で、それへの移行に向けた課題を整理し、その解決に向けて現時点でとるべき対応策²⁴を洗い出すことである。また、戦略を逐次更新する際には、目指すべき姿に向けた進捗をモニタリングし、対応策の変更や追加を検討すべきである。坂本・上野(2018)が整理したように、欧州主要国(ドイツ、フランス、英国²⁵)の長期戦略に

²³ 城山(2007)は規制や政策によるリスク管理に際して考慮すべきこととして、リスクと便益の明示化、リスクと便益の多面性、トレードオフ判断を挙げているが、その多面的な検討における選択肢を提示することは研究セクターの使命であり、本特集号もその一環である。

²⁴ 予防原則をとるか、後悔しない政策をとるか、現時点でとるべき手段は変わりうる。

²⁵ 本稿執筆時点で英国は長期戦略を未提出であるが、2017年10月に長期戦略の基礎と見なせるクリーン成長戦略(Clean Growth Strategy)を公表している。

は、進捗をモニタリングし、戦略を適宜更新すると記載されている。

5. おわりにー温暖化対策はどうあるべきか

この総説では、本特集号に所収した論文やその執筆者の関連研究などに基づいて、国内政策、国際枠組み、長期戦略という3つの政策課題に対する示唆を論じた。

手短かに要約すれば、国内政策については、明示的カーボンプライシングであれ、暗示的カーボンプライシングであれ、政策を効率的に動員すべきであること、国際枠組みについては、米国の脱退意向表明の悪影響はある程度、抑制されている一方、パリ協定の実効性を担保するためには、実施指針の設計が重要であること、長期戦略については、今世紀後半の超長期的なゼロ排出化の実現に向けて、需要側の電化促進と、供給側の多様な技術オプションの組み合わせが重要な役割を担うことと、科学的知見の進歩や目指すべき姿に向けた進捗度合いに応じて戦略を逐次更新すべきことを論じた。

温暖化対策のあるべき姿は、公平な国際協調の下、効率的な政策動員と逐次の戦略更新を通じて、超長期的なゼロ排出化に円滑に移行していくことである。その実現のために、当所では引き続き、関連する政策研究を深めていく所存である。

【参考文献】

- 朝野賢司 (2017) 固定価格買取制度 (FIT) による買取総額・賦課金総額の見通し (2017年版), 電力中央研究所研究資料Y16507.
- 朝野賢司・野口厚子 (2017) 非化石価値取引市場によってFITと自由化の整合性は図れるのか?ー需要家の視点に基づく論点整理ー, 電力経済研究No.64, 35-47.
- 上野貴弘 (2007) 米国の国内排出権取引制度をめぐる政治動向の分析, 電力中央研究所報告Y07007.
- 上野貴弘 (2016) COP21パリ協定の概要と分析・評価, 電力中央研究所報告Y15017.
- 上野貴弘 (2018a) トランプ大統領のパリ協定脱退表明をどう捉えるか, 電力経済研究No.65, 67-81.
- 上野貴弘 (2018b) パリ協定における国別目標の進捗捕捉の試みー中国を事例とする分析と協定実施指針への示唆ー, 電力経済研究No.65, 82-99.
- 上野貴弘・本部和彦編著 (2013) 狙われる日本の環境技術ー競争力強化と温暖化交渉への処方箋, エネルギーフォーラム.
- エネルギー情勢懇談会 (2018) エネルギー情勢懇談会提言ー エネルギー転換へのイニシアティブー http://www.enecho.meti.go.jp/committee/study-group/ene_situation/pdf/report.pdf (アクセス日:2018.4.13) .
- カーボンプライシングのあり方に関する検討会 (2018) 「カーボンプライシングのあり方に関する検討会」取りまとめー脱炭素社会への円滑な移行と経済・社会的課題との同時解決に向けてー https://www.env.go.jp/earth/cp_report.pdf (アクセス日:2018.4.10) .
- 環境省 (2018) 長期大幅削減に向けた基本的考え方 https://www.env.go.jp/council/06earth/y0618-22b/mat01_1.pdf (アクセス日:2018.4.10) .
- 木村幸 (2016) 国の温暖化対策関連事業の現状と課題ー公会計資料と行政事業レビューシートに基づく分析ー, 電力中央研究所報告Y15018.
- 木村幸・上野貴弘・若林雅代 (2017) 暗示的炭素価格とは何かー明示的炭素価格より優れた指標になり得るかー, 電力中央研究所報告Y16002.
- 木村幸 (2018) 国の温暖化対策関連経費の推移と費用対効果ー温暖化対策税収は有効に使われているのかー, 電力経済研究No.65, 32-44.
- 経済産業省長期地球温暖化対策プラットフォーム (2017) 長期地球温暖化対策プラットフォーム報告書ー我が国の地球温暖化対策の進むべき方向 <http://www.meti.go.jp/press/2017/04/20170414006/20170414006-1.pdf> (アクセス日:2018.1.19) .
- 坂本将吾 (2018) CO₂の長期大規模削減と電化ー排出制約下における電化の促進と電力需要の関係性ー, 電力経済研究No.65, 121-135.
- 坂本将吾・上野貴弘 (2018) 長期低排出発展戦略の項目・構成の比較, 電力経済研究No.65, 145-162.
- 城山英明 (2007) 科学技術ガバナンスの機能と組織, 未来を拓く人文・社会科学1 科学技術ガバナンス, 東信堂.
- 杉山大志・今中健雄 (2007) 21世紀日本のエネルギーシステムシナリオー電化の進行と温暖化対策ー, 電力中央研究所報告Y06018.
- 杉山昌広・今中健雄 (2011) 世界のCO₂排出大幅削減に向けた高効率電化技術の役割ー積上げ式世界エネルギー・システム・モデルの改良と試算ー, 電力中央研究所報告Y10009.

- 中央環境審議会地球環境部会 (2017) 長期低炭素ビジョン
<http://www.env.go.jp/press/103822/105478.pdf> (アクセス日:2018.1.19) .
- 筒井純一 (2014) IPCC第1作業部会の第5次評価報告書の要点と地球温暖化対策への示唆, 電力中央研究所報告V13013.
- 筒井純一 (2018) 2°C目標と整合的な長期の排出削減について—IPCCシナリオデータベースを用いた検討—, 電力経済研究No.65, 101-120.
- 電力中央研究所 (2015) 地球温暖化の科学的知見と対策技術, 電中研レビューNo.56.
- 西尾健一郎・大藤建太 (2018) CO₂の長期大規模削減とロックイン問題—家庭用給湯器の事例にもとづく考察—, 電力経済研究No.65, 136-144.
- 西尾健一郎・長野浩司 (2008) CO₂大幅削減に向けた需要側対策に関する考察, 電力中央研究所報告Y08001.
- 西尾健一郎・向井登志広・永井雄宇・大藤建太 (2018) 経済成長と環境負荷のデカップリングの解釈をめぐる課題, 電力経済研究No.65, 45-54.
- 日本政府 (2016) 「地球温暖化対策計画 (閣議決定)」
<https://www.env.go.jp/press/102512.html> (アクセス日:2018.1.19) .
- 星野優子・杉山大志・上野貴弘 (2010) 貿易に体化したCO₂排出量の国際比較, エネルギー・資源Vol.31No.4, 8-14頁.
- 若林雅代・上野貴弘 (2016) 米国の火力発電所CO₂排出規制Clean Power Planの事前評価, 電力中央研究所報告Y15005.
- 若林雅代・上野貴弘 (2017) 排出量取引制度の設計と現状の評価, 電力中央研究所報告Y16001.
- 若林雅代・木村幸 (2018a) 東京都の排出量取引制度の評価—事業所インタビュー調査に基づく効果の検証—, 電力経済研究No.65, 17-31.
- 若林雅代・木村幸 (2018b) 炭素税と三重の配当論, 電力経済研究No.65, 55-66.
- Belenky, Maria (2017), Measuring the “Trump Effect” on U.S. GHG Emissions,
<https://www.climateadvisers.com/measuring-the-trump-effect-on-u-s-ghg-emissions/> (アクセス日:2018.1.19) .
- Climate Leadership Council (2017) The Conservative Case for Carbon Dividends - How a new climate strategy can strengthen our economy, reduce regulation, help working-class Americans, shrink government & promote national security,
<https://www.clcouncil.org/wp-content/uploads/2017/02/TheConservativeCaseforCarbonDividends.pdf> (アクセス日:2018.1.19) .
- Dorsch, Marcel J. and Christian Flachsland (2017) A Polycentric Approach to Global Climate Governance, *Global Environmental Politics*, 17:2, pp.45-63
- Helm, Dieter (2017) Cost of Energy Review,
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/654902/Cost_of_Energy_Review.pdf (アクセス日:2018.1.19) .
- Keohane, Robert O. and David G. Victor (2016) Cooperation and Discord in Global Climate Policy, *Nature Climate Change*, 6, 570-575.
- Larsen, Kate, John Larsen, Whitney Herndon, Shashank Mohan and Trevor Houser (2017), Taking Stock 2017: Adjusting Expectations for US GHG Emissions,
http://rhg.com/wp-content/uploads/2017/05/RHG_ENR_Taking_Stock_24May2017.pdf (アクセス日:2018.1.19) .
- Malakoff, David (2017) A Battle over the ‘Best Science’, *Science*, 355:1108-1109,
- Ostrom, Elinor (2010) Polycentric Systems for Coping with Collective Action and Global Environmental Change, *Global Environmental Change* 20: 550–557.
- Ryder, Darren S., Moya Tomlinson, Ben Gawne and Gene E. Likens (2010) Defining and Using ‘Best Available Science’: a Policy Conundrum for the Management of Aquatic Ecosystems, *Marine and Freshwater Research*, 61(7): 821-828.
- Sugiyama, Masahiro (2012) Climate change mitigation and electrification, *Energy Policy*, 44: 464–468.

上野貴弘 (うえのたかひろ)

電力中央研究所 社会経済研究所

第1部

国内政策－カーボンプライシングを巡って

東京都の排出量取引制度の評価 —事業所インタビュー調査に基づく効果の検証—

Evaluation of the Tokyo ETS based on in-depth interviews

キーワード：温暖化対策、排出量取引制度、炭素価格、省エネルギー、インタビュー調査

若林 雅代 木村 宰

2010年4月に東京都が開始した「総量削減義務と排出量取引制度」(都制度)は、排出削減を費用効果的に達成する手段として諸外国で導入が進む排出量取引を日本で初めて導入したことで、国内外からの注目を集めた。一般的な排出量取引制度は排出源を規制対象とするが、都制度は業務部門の間接排出も規制対象に含めており、その効果に関心が高まっている。しかしながら、制度対象事業所の排出量変化には、2011年の東日本大震災後の節電行動をはじめとする様々な要因の影響が重なっており、制度単独の効果は明らかではない。本稿では、事業者へのインタビュー調査を通じ、都制度が事業者の意思決定にどのように影響し、CO₂の排出削減に寄与したのかを定性的に検証した。その結果、都制度は、少なくとも業務部門の事業所に対し、毎年の報告や効果的な対策に関する具体的情報の提供等を通じて標準的な対策を促す一定の効果があったと考えられる一方、排出量取引を活用した費用効果的な削減という点では、現時点では十分な効果を上げていないことを確認した。

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. 排出量取引制度の目的 3. 都制度対象事業所の排出量の変化と排出量取引の活用状況 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 都制度対象事業所の排出量変化 3.2 都外事業所との比較 3.3 排出量取引が果たした役割 4. インタビュー調査に基づく都制度の効果の定性的検証 | <ol style="list-style-type: none"> 4.1 調査概要 4.2 計画書の策定と提出 4.3 体制整備・対策実施への影響 4.4 クレジットの発行・取引 4.5 トップレベル事業所認定 5. おわりに <ol style="list-style-type: none"> 補. 都内・外事業所間でのCO₂排出量比較：2014年までのデータ延伸および東京電力・東北電力を区別した推計結果 |
|---|--|

1. はじめに

国内排出量の5%、オーストリアやギリシャ一国に匹敵する温室効果ガスを排出する自治体の責務として、東京都は、都内のエネルギー消費量を2030年までに2000年比で3割削減するという目標を掲げ、温暖化対策・省エネルギー対策を進めている。2010年4月に開始した「総量削減義務と排出量取引制度」(以下、都制度)は、その中で最もよく知られた施策の1つであ

る。本制度は、年間エネルギー使用量が原油換算で1,500kl以上の、都内およそ1,300の事業所(オフィス・商業施設等が1,100、工場が200)を対象とし、都内の業務・産業部門の排出量の約4割をカバーする。対象事業所に対し、区分ごとに一律の総量削減義務を課した上で、削減義務達成の手段の1つとして、市場で取引可能な排出量クレジットの活用(排出量取引)を認めている¹。

一般的な排出量取引制度は、産業部門におけ

¹ 削減義務率は、オフィスビル等(区分I事業所)と工場等(区分II事業所)の区別により、それぞれ第1計画期間(2010～14年)が8%と6%、第2計画期間(2015～19年)が17%

と15%である。都制度の概要は若林・上野(2017)、および若林・木村・西尾(2011)を参照。

る燃料消費による直接排出を規制対象とするが、都制度では、業務部門における電気の使用に伴う間接排出も対象に含む。これは、都内の最終エネルギー消費構成において、燃料種別には電力、部門別には業務部門の占める割合が、最も大きいためである。実際、都内では、産業部門のエネルギー消費が減少する中、業務部門のエネルギー消費は1990年以降も増加傾向で推移し、都内の最終エネルギー消費の36%を占めるまでになっている。

エネルギー費用を削減できる省エネルギーは、様々な温暖化対策の中でも費用対効果に優れた対策の1つとされる。しかし、費用効果的な省エネルギー対策でも、情報不足や人手不足などの様々な阻害要因（省エネルギーバリア）があるために、実施されない場合が多いことも知られている（若林・木村，2009など）。中でも業務部門では、エネルギーコストの占める割合が小さく、他の様々な経営課題に比べて省エネルギー対策の優先度が低いために、効果的な省エネルギー対策の推進が政策上の大きな課題となってきた。

排出量取引は、近年、様々な国や地域で温暖化対策として広く適用され、注目されているが、省エネルギーバリアの影響が大きい業務部門において、排出量取引制度が有効に機能するかどうかは議論が分かれる。筆者らは、既報（Wakabayashi and Kimura, 2018）において、都制度に関する詳細なデータ分析や対象事業所へのインタビュー調査を行い、制度の対象事業所における排出削減が、都制度のみによって実現したものではないこと、中でも、2011年の東日本大震災を契機とする節電の影響が大きかったことを示した。本稿では、既報を踏まえつつ、追加実施したインタビュー調査の結果を中心に取り上げ、制度対象企業の行動と制度の関係について検証する。

本稿の構成は以下の通りである。まず、排出

量取引制度とは何を目的とするものかを確認し、本稿における評価の考え方を述べる（2章）。次に、都制度の対象事業所における排出削減と制度との関係、排出量取引の実態を紹介する（3章）。続いて、インタビュー調査の結果を活用して、都制度が事業所の行動に与えた影響を検討する（4章）。最後に、これらに基づき、業務部門の温暖化対策促進に、排出量取引制度を活用することの意義を考察する（5章）。

2. 排出量取引制度の目的

排出量取引制度の第1の目的は、言うまでもなく、排出量の削減である。制度の下で対象部門に許容される排出総量に上限（キャップ）を設定し、それと同量の取引可能なクレジットを発行することで排出枠に市場価値を持たせ、排出を費用として意識づけることにより、環境汚染物質の排出を抑制できると考えられている。

ただし、実際に排出が削減されるかどうかは、キャップの厳しさに依存する。キャップが十分に厳しく設定されれば、排出量を抑える必要が生じ、削減のための費用が発生する。そして、市場では削減費用に等しい価格でクレジットが取引される。しかし、キャップが緩ければ、追加的な費用は発生せず、制度導入前と何ら変わらない結果となる。したがって、排出量取引制度の導入によって排出量が削減されたかどうかを確かめるには、キャップの遵守だけではなく、制度が実際に事業者の排出抑制を促したかどうかを確認する必要がある。

また、排出量取引制度には、単に排出を削減するのではなく、費用効果的な削減を可能にする役割もあるとされる。費用効果的な削減とは、社会全体でみたときに、最小費用でキャップを実現するという意味である。排出枠（クレジット）を取引する市場がある場合、市場価格がシグナルになり、削減費用が市場価格よりも高い

事業者は、自らは削減せずに排出枠を購入し、市場価格よりも安い事業者は、より多く排出を抑制して余った排出枠を市場で売却する。このように、市場取引を介することで、制度全体の削減費用が市場価格に均衡し、費用効果的な削減を実現できる（短期の価格シグナル）。

さらに、排出枠に一定水準以上の安定した価値がつく状態が継続すれば、長期的な企業意思決定の中で、排出を費用として認識させることができ、排出削減のための投資や技術開発が進むと期待されている（長期の価格シグナル）。温暖化問題の解決には、大幅な排出削減が求められ、技術開発などの長期的な取り組みが不可欠である。このため、温暖化対策においては、制度導入の目的の1つに低排出技術への投資や研究開発の促進が掲げられることが多い。

このように、排出量取引制度の導入目的には、1) 事業者の排出削減を促す、2) 費用効果的な削減を実現する、3) 長期的な排出削減を促す、という3つが考えられる。これらは政策全体で達成すべきもので、必ずしも単独の施策で実現する必要はないが、個別の政策導入の効果検証も重要であるため、以下では都制度がこの3つの目的の実現にどの程度貢献したのかを議論する²。

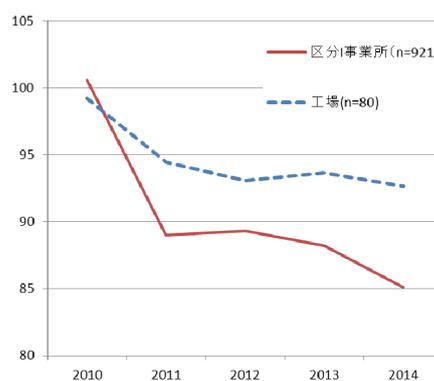
3. 都制度対象事業所の排出量の変化と排出量取引の活用状況

3.1 都制度対象事業所の排出量変化

東京都環境局（2017a）は、都制度対象事業所の排出量に関し、いずれも基準排出量比で、第1計画期間の最終年度である2014年度には25%、第2計画期間の初年度である2015年度には26%

の排出削減があったとしている。ただし、この基準排出量とは、事業所の削減義務の算定基準となる過去の排出量であり、2002～07年度の連続する3カ年を、事業者自らが基準年として選択できる仕組みになっている。通常、事業者は、削減義務が小さくなるように過去の排出量が最大の年を基準年に選ぶことから、基準排出量比で算出する削減率は、過大評価となりやすい³。そこで、計画書に記載されている2009年の実排出量からの削減率をみると、オフィスビル等の区分I事業所では15%、工場では7.3%、全体では14%の削減であったことが確認できる（図1）。

図1からは、業務部門の事務所・工場ともに、2011年に排出量が大きく減少したことも確認できる。これは、2011年3月に発生した東日本大震災に伴う電力需給逼迫に対応するため、東日本を中心に節電に取り組んだ結果と推察できる。特に、工場では、2012年以降の排出がほぼ横ばいとなっており、震災が制度対象事業所の排出削減に大きく寄与した可能性が高い。



出典：Wakabayashi and Kimura (2018)

図1 制度対象事業所のCO₂排出量（電気の排出係数固定、2009年を100とする指数）

² 都では本稿で取り上げる制度以外にも様々な施策を組み合わせ、温暖化対策を進めている。したがって、以下の議論は、都の政策全体を評価するものではない。

³ 加えて、都制度には成長産業に配慮した基準排出量の変更

規定があり、実際には排出量が増えていても、基準排出量比では減少と評価される事業所が存在する（詳細は若林ほか（2011）を参照）。これも基準排出量比削減率の過大評価につながっている可能性がある。

3.2 都外事業所との比較

基準年比の25%には及ばないものの、2009年比14%も2桁の大きな削減である。ただし、都制度がこの削減にどの程度寄与していたのかは、明らかではない。実際の排出量の増減には、前述した震災を契機とした節電行動のほか、設備更新のタイミング、気候や経済活動などの様々な要因が影響する。このうち、都制度がCO₂の削減にどの程度寄与したのかを知ることは、一般的には困難である。

「地球温暖化対策の推進に関する法律」（「温対法」）は、年間のエネルギー使用量が原油換算1,500kl以上の事業所に対し、エネルギーの使用に伴うCO₂排出量の報告を求めている。温対法の報告対象となっている都内事業所の多くは、都制度の対象でもある⁴。このため、温対法に基づき公開されている、事業所ごとの排出量データを用いて、都内・外の事業所のエネルギー起源CO₂排出量を比較し、都制度の影響を確認した。推定結果は補論に示す通りだが、以下では、都制度の影響を中心に概要を紹介する⁵。

分析の結果、業務部門の中心である非製造業では、都内・外の事業所間で、統計的に有意な違いが確認できなかった。他方、製造業の都内事業所の排出量は、全国あるいは同じ東電管内の他県の事業所と比べ、2011年以降、統計的に有意に小さい傾向にあることが確認できた。ただし、都制度開始年の2010年については、東電

管内の他県の事業所と比べて統計的に有意な違いは検出されなかった。

このことから、非製造業では都制度の影響は確認できなかったが、製造業では、2011年以降の排出量に都制度が何らかの影響を及ぼした可能性が残る。ただし、回帰分析は変数間の相関関係を計測するものであり、非製造業・製造業いずれの場合に関しても、この結果だけでは都制度との因果関係を明らかにすることはできない。都制度以外の、東京都固有の要因が影響している可能性もある⁶。

3.3 排出量取引が果たした役割

都制度において、排出量取引がどの程度活用されていたのかを、Wakabayashi and Kimura (2018) で整理したデータを用いて確認する。

都制度では、制度開始から1年後に確定した排出量が当該年のキャップを下回った場合に、その差分と同量の「超過削減クレジット」が発行される⁷。第1計画期間における超過削減クレジットの申請期間は、初年度の排出量が確定した後、整理期間である2015年度末までとされ、この間に約900万t-CO₂の超過削減クレジットが発行された（表1）。

超過削減クレジットの発行量は、第1計画期間における超過削減量のおよそ95%に相当し、残り5%はクレジット化されなかった。第1計画期間には、超過削減クレジットは事業者の申請

⁴ 都制度は建物単位、温対法は事業所単位でエネルギーの管理を行うことから、両者の把握するエネルギーの範囲は、正確には異なる。また、複数の事業者が入るオフィスビルなどは、都制度では対象となるが、温対法ではビル単位での報告義務はなく、個別事業者の消費するエネルギー量が少ない場合、対象とはならない。これらの事業所は、事業所全体でのエネルギー使用量が年間1,500klを超える場合に、事業者単位での報告が義務付けられている。

⁵ Wakabayashi and Kimura (2018) でも同様の分析を行っているが、第1計画期間の最終年である2014年のデータを含んでいなかったこと、2011年の東日本大震災後の節電要請による影響を計測する地域ダミーとして、東電管内と東北電力管内を区別せずに推定を行っていたことから、本稿では

推定期間を1年延長し、都制度の第1計画期間に相当する2010～2014年とした上で、東電管内と東北電力管内を分けて東日本大震災後の影響を捉えるために、それぞれ別の地域ダミーを用いて推定を行った。

⁶ 後に述べるように、インタビュー調査では、東京都内は様々な環境規制が厳しいために、製造業の生産活動はもともと縮小傾向にあったことが指摘されている（4.3を参照）。

⁷ 他方、一般的なキャップ&トレード型の排出量取引制度では、制度開始の当初に排出上限（キャップ）に相当する排出枠（Allowances）が発行される。

に基づいて発行されることになっており⁸、申請されなかった超過削減量は、そのまま失効した。これは、事業者が申請の労力を惜しんだか、そもそも申請が必要であったことを知らなかったかのいずれかが原因と考えられる。後述するインタビュー調査では、目標を超過達成した事業者の多くは、とりあえずの措置として、クレジットの発行手続きを取っていた。そして、それにはさほど労力がかからなかったことが確認されている。他方で、制度に対する認知不足から、発行手続きを取らなかった事業者の存在も確認できた。

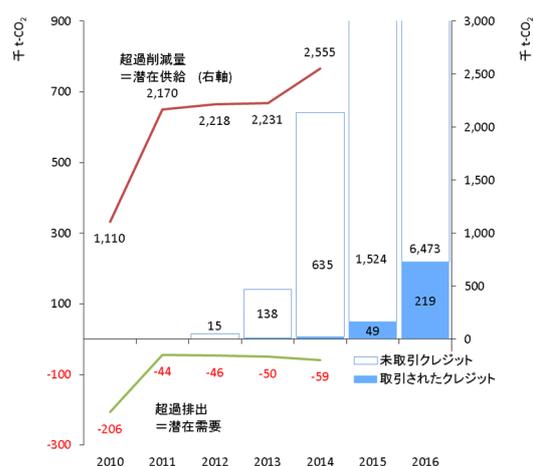
表1 クレジット発行量と取引量 (千t-CO₂)

(2011-2016)	発行量 (A)	取引量 (B)	シェア (B/A)
超過削減クレジット ^{*1}	9,063	278	3.1%
再エネクレジット ^{*2}	290	78	27.0%
他オフセットクレジット ^{*3}	154	38	24.6%
合計	9,507	394	4.1%

*1~3 いずれも都制度の総量目標達成に利用できる。
 *2 既存制度により認証された環境価値（都制度の下で新たな検証は不要）、および都が定める方法で環境価値を算定し、登録検証機関による検証を受けたクレジット。
 *3 都内の中小規模の事業所での省エネルギー対策による排出削減量（都内中小クレジット）、都外にある事業所での省エネルギー対策による削減量（都外クレジット）、埼玉県類似制度によって創出されたクレジット（埼玉連携クレジット）。オフセット (Offset) とは制度対象外の排出削減をクレジット化して規制の遵守に用いる仕組みのこと。

出典：Wakabayashi and Kimura (2018)

年ごとの超過削減クレジットの発行・取引の状況を見ると（図2）、2015～16年の整理期間に発行および取引が集中していた。また、事業者間で取引されたクレジットは全体の3%程度で、市場の流動性は低かった。取引量



出典：Wakabayashi and Kimura (2018)

図2 超過削減クレジットの発行量推移

が低調であった第1の理由は、多くの事業所が自力で目標を達成したためである。東京都環境局（2017b）によると、全体の9割以上の事業所が、自らの対策によって削減義務を履行し、残りの1割弱の事業所のうち、約55%が、同一法人・グループ内での無償取引、すなわち社内ないしグループ内での融通によって義務を履行した。有償の排出量取引で義務を履行した事業所は、全体の4%に過ぎなかった。

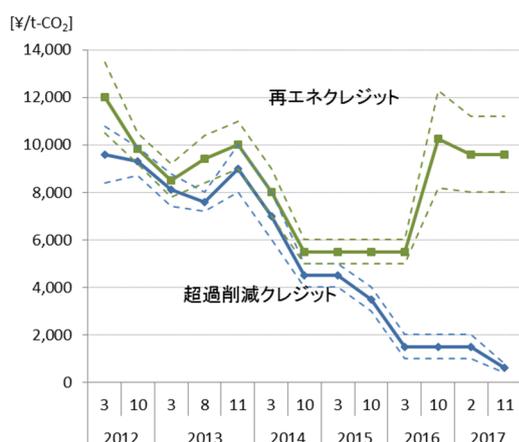
制度開始直後には、クレジット価格の相場は10,000～15,000円とみられていた（若林ほか、2011）。図3にみるように、超過削減クレジットの査定価格⁹は、2013年頃までは10,000円を超えていたが、多くの事業所で超過削減傾向が顕著となった結果、2017年11月には1,000円以下の水準まで低下している。

東京都環境局（2017b）によると、約1,210万t-CO₂の超過削減クレジットが、第1計画期間からバンキング¹⁰された。これに対し、第2計画期

⁸ 制度改正により、第2計画期間以降は、事業者の申請がなくても自動的に超過削減量に応じたクレジットが事業者口座に発行されるようになった。

⁹ 都の排出量取引は、市場ではなく仲介業者を通じて相対で取引される。このため、都が専門業者に委託し、市場参加者の聞き取り調査に基づいて導出した査定価格が公開されている。

¹⁰ 都制度では義務履行に用いなかったクレジットを次期の目標達成に利用することが認められている。このような前期からのクレジットの持ち越しをBanking（バンキング）と呼ぶ。バンキングは長期間の設備更新計画の中で費用効果的な削減義務の履行を可能にする柔軟性措置の1つである。



出典：Wakabayashi and Kimura (2018)

図3 クレジット価格の推移
(都の査定価格)

間に見込まれるクレジットの潜在的需要量は、超過削減クレジットの社内融通¹¹が約25万t-CO₂、市場からの購入予想量が70~75万t-CO₂に過ぎず、他方で第2計画期間中に新たに945万t-CO₂の超過削減クレジットの発生が見込まれている。結果として、少なくとも1,110~1,115万t-CO₂の第1計画期間の超過削減クレジットが、義務履行に活用されずに無効化されることとなる¹²。このため、第1計画期間から繰り越された超過削減クレジットに関しては、現在、ほとんど値がついていない状態と推察される¹³。

排出量取引制度の下では、理論上はすべての事業者の限界削減費用が市場の排出量価格に均衡することにより、排出枠の初期配分に関係なく、費用効果的な排出削減を実現する。しかし、都制度では排出量取引の活用は限定的で、

多くの事業者が自らの削減で義務を達成したため、限界費用の均等化は生じていない。

諸外国における排出量取引制度の多くの事例がそうであったように、東京都の制度でも、クレジット価格の大幅な低下を経験した¹⁴。このことは、事業者の規制遵守費用の軽減につながったという意味で評価できる一方、事業者に排出削減を促す価格インセンティブとしては機能しなかったと考えられる。

4. インタビュー調査に基づく都制度の効果の定性的検証

都制度の対象事業所は、全体としては目標を大幅に超過達成している。一方、統計分析では、都制度の主たる規制対象である非製造業においては、制度対象外の事業所との間に排出量の有意な差が見られなかったが、製造業の事業所では、都制度開始2年目の2011年以降において、制度対象事業所の排出量が統計的に有意に低いという結果が得られた。また、排出量取引の活用状況をみると、多くの事業所が自ら排出を削減する中、取引の活用は限定的であり、取引価格は低迷していた。このように、全体的な傾向からは、都制度の影響を十分には確認できなかったことから、制度対象事業所への個別インタビュー調査を実施し、CO₂排出削減への都制度の寄与を定性的に検証した。

¹¹ 都制度では、削減義務は事業所ごとに設定されるが、同一会社が複数の規制対象事業所を所有する場合、削減義務の超過達成事業所から未達事業所への超過削減クレジットの社内融通によっても目標達成が可能になる。

¹² 超過削減クレジットの有効期間は翌計画期間までとされ、二期以上のバンキングは認められていない。また、削減義務の充当には自らの排出削減を優先させるため、超過削減事業所は、前期の超過削減クレジットを保有する場合でもこれを削減義務の充当に用いることができない。このため、他の排出超過事業所に譲渡（売却）しない限り、前期に獲得し

た超過削減クレジットは当期末に無効化される。

¹³ なお、再エネクレジットの価格は、2014年以降、超過削減クレジットが値崩れする中でも一定水準で推移している。これは、再エネクレジットは発行コストを考えると5,000~6,000円程度が下限値であり、それ以下の価格では供給されないこと、一部の買手が超過削減クレジットより再エネクレジットを好んだことが理由とみられている（若林・上野（2017）参照）。

¹⁴ 諸外国の排出量取引制度の経験については、若林・上野（2017）を参照。

4.1 調査概要

調査対象は、業種および事業所の種類の多様性に配慮し、かつ、対策の推進において特に優れた事業所として都から認定され、削減義務率の軽減措置を講じられているトップレベル事業所ないし準トップレベル事業所¹⁵をカバーすることを念頭に選定した。そして、地球温暖化対策計画書に記載された連絡先部署にインタビューを依頼し、協力を得られた製造業の7事業所と非製造業の13事業所の、合計20事業所が調査対象となった¹⁶。対象事業所の内訳と、インタビュー実施日を表2に示す。

ほとんどの場合、報告書作成担当者もしくはエネルギー管理担当者がインタビューに応じた。そして、1～2時間程度の半構造化インタビュー¹⁷により、(1) 計画書の策定・提出等、制度の履行に必要な社内資源とその効果、(2) 社内体制の整備や具体的な対策の選定・実施における都制度の影響、(3) 排出量取引制度の活用の有無、(4) トップレベル事業所認定制度による対策実施の動機づけ等を尋ねた。以下の各節では、これらの項目ごとに、インタビュー調査から示唆される都制度の影響を考察する。

4.2 計画書の策定と提出

都制度の大きな特徴は、排出削減だけでなく、温暖化対策計画書の策定と毎年の排出量の報告を義務付けている点である。制度の対象事業所は、温暖化対策に関する基本方針と温室効果ガスの削減目標を定め、推進体制を作り、削減のための具体的な計画をリストアップした上で、毎年、個々の対策の実施状況と実際の排出量を都に報告するよう求められている。この仕

表2 インタビュー対象事業所

事業所	実施日	部門	事業所の種類
A	2017/7/4	非製造	オフィス
B	2017/7/10	非製造	オフィス
C	2017/7/11	製造業	工場
D	2017/7/18	非製造	輸送
E	2017/7/21	製造業	工場
F	2017/7/24	非製造	宿泊施設
G	2017/7/28	非製造	オフィス
H	2017/8/29	製造業	工場
I	2017/8/30	非製造	医療施設
J	2017/9/1	非製造	情報通信
K	2017/9/1	非製造	熱供給
L	2017/9/4	非製造	教育施設
M	2017/9/6	非製造	情報通信
N	2017/9/8	非製造	商業施設
O	2017/9/14	製造業	工場
P	2017/9/15	製造業	工場
Q	2017/10/3	製造業	工場
R	2017/11/24	非製造	オフィス
S	2017/11/27	製造業	工場
T	2017/12/21	非製造	商業施設

組みは、総量削減義務と排出量取引制度導入前に実施されていた「地球温暖化対策計画書制度」（以下、前制度）から続けられ、事業者の削減目標をより高い水準へ誘導するため、都が具体的な対策の指導・助言を行うことにより、特に対策の遅れている事業者において、省エネルギー余地の掘り起こしに効果があったとされている（木村ほか、2011）。

現行の制度では、前制度のような詳細な計画書の精査や、計画見直しの要請、対策に関する具体的な指導・助言は行われていないものの、都は、前制度で培われた知見に基づく効果的な対策のリストを「点検表」として提供している。これは、毎年の報告の際、所有する設備ごとに、

¹⁵ トップレベル事業所、準トップレベル事業所の認定基準および削減義務率の軽減措置は4.5を参照。

¹⁶ Wakabayashi and Kimura (2018) では8事業所のインタビューを踏まえた考察をしているものの、詳しい分析は行っていない。本稿では、追加実施した事業所を含めた全20事業

所のインタビュー調査の結果を踏まえ、検討を深める。

¹⁷ インタビュー技法の1つ。予め決めておいた大まかな質問事項に沿って調査を進め、回答者の応答をみながらさらに詳細な情報を採取する。

具体的な取り組みの実施状況を記入することにより、事業者の省エネルギー余地の確認につながる効果を期待しての措置と考えられる。

そこで、インタビュー調査では、計画書の策定・提出に係る労力の程度と、それが現場での対策に役立っているかを確認した。まず、労力に関しては、初めの年は負担が大きかったが、何年も担当するうちに次第に慣れ、現在は定型業務としてこなしているとする事業所が多かった (C, E, F, H, J, K)。

他方、実際の対策への影響に関しては、高く評価する事業所 (B, C, K) がある一方、手間がかかる割に実際の取り組みに生かせていないと指摘する事業所 (N, O, Q) もあり、評価が分かれた。全体的な傾向として、製造業では多くが否定的な見解であったが、非製造業の中には高く評価する事業所もあった。

「非常に細かい点検項目があり、これを埋めればやるべきこと、他と比べて遅れている部分がある」 (K, 非製造業)

「正直なところ、埋めるのが大変という印象。細かく書いてあるが、何が自分たちに該当するのかわからない」 (N, 非製造業)

「非常に手間がかかる。省エネ法対象の工場であれば、それぞれの形で管理しているはずで、それを都制度の報告のために書き直している」 (O, 製造業)

「点検表はどちらかというとビル一棟の管理をイメージしているのではないか。工場のように複数の建屋がある場合には記入しづらい」 (Q, 製造業)

計画書の策定と毎年の排出量の報告、さらには点検表による具体的な対策の実施状況の自己点検は、都制度独自の仕組みである。制度の開始直後には、こうした仕組みは事業所の負担となり、戸惑いも大きかった (若林ほか, 2011)

が、制度が継続する中で、負担感は徐々に軽減されている印象があった。他方、こうした仕組みが省エネルギー対策の推進につながっているかどうかは、業種や事業所の規模等によって異なり、製造業よりも非製造業において、高く評価されている場合が多かった。その理由として、非製造業では一般的に設備や対策を標準化しやすいことから、都が提示したマニュアルに沿った管理が製造業より有効であったと考えられる。

4.3 体制整備・対策実施への影響

社内体制の整備に都制度の影響があったとした事業所は、非製造業の2事業所のみであった。このうち1つはオフィス (B) で、都制度をきっかけとして、特定テナントとの間で推進連絡会を設け、主に省エネルギーやCO₂削減の取り組みに関する説明を行っていた。こうした取り組みは、テナントにおける省エネ意識の啓発になっているとのことであった。もう1つは輸送事業者の配送拠点 (D) で、コスト削減の観点から、省エネルギーに取り組む部署は以前から存在していたが、計画書でその位置づけがより明確になり、全社を挙げて省エネルギーに取り組む気運が生まれたとのことであった。

それ以外の事業所では、計画書に記載された推進体制はもともと存在していた。多くの場合、ISO14001の取り組みが基盤となり、それにあわせて都制度が要請する社内体制を整備していた (C, M, O, P, Q)。中には、トップダウンで都制度の要請を上まわる高いレベルの省エネルギー・CO₂削減目標を掲げ、取り組んでいる事業所もあった (A, L, Q, T)。

製造業、非製造業のそれぞれ1事業所で、対策の実施に都制度の影響を認める見解が示された。このうち、製造業の事業所 (E, 工場) では、削減目標を実現するために運用部分の対策を強化したとのことだったが、設備更新に関し

ては、計画の前倒し等は行っていなかった。

「対策の積み上げでは削減目標に不足があったため、冷凍機の冬季停止など細かい対策を追加した。他方、例えばボイラの更新などは、当初から計画に入っていた」(E, 製造業)

また、非製造業の事業所(G, オフィス)は、トップレベル事業所の認定を受けるために、加要素となる対策を取り入れたと回答した。

それ以外の事業所は、対策の実施における都制度の影響には否定的な回答であった。ある事業所の担当者は、大幅なエネルギー削減の背景として、2011年の東日本大震災を契機とするトップの決断を指摘した。この企業では、震災後に下された経営トップの決断で、2015年までにエネルギーの使用量を3割削減するという高い目標を掲げ、その実現のために大型投資を行ったことが、結果として都の削減目標の達成につながったとのことだった。

「震災の年に、この機に大幅に排出を減らすべきとの社長発言があり、2015年度までに2010年度比30%削減という高い全社目標を掲げた。結果的にこの目標は達成できなかったが、目標達成のために様々な努力をした結果、都の削減目標を達成できた」(Q, 製造業)

このように、多くの事業所が、震災を契機に省エネルギーへの取り組みを加速させた結果、排出削減が進んだことを指摘した。

震災影響と並び、省エネルギーへの寄与の指摘があった対策は、照明の置き換えであった(A, D, F, N, P, R, S, T)。照明は省エネルギー効果がわかりやすい対策であったこと

に加え、この4～5年でLED照明の価格が低下し、経済合理的な対策と捉えられるようになったことが、普及の原動力となったようである。

「LED照明はここ数年で価格が安くなり、経済合理性から取り替えが進んでいる」(A, 非製造業)

加えて、特に製造業では、温暖化を含む様々な環境規制によって、都内での生産活動の維持が困難になっているとの指摘があった。このため、環境負荷の高い生産工程の多くが都外に移転されているとのことだった¹⁸。

「近隣でも、撤退したり、生産を地方に移したりする工場が増えている。CO₂規制のほかにも排水規制などがあり、工場の経営が難しくなっている」(H, 製造業)

「東京は「顔」なので、事業所が東京を離れることはないが、事業の内容は大きく変わっている。主要な製造工程の多くは都外に移され、都内では顧客に直結するサービスや研究開発業務が中心になっている」(P, 製造業)

以上のように、事業所における温暖化対策の実施にあたり、都制度の影響は限定的であったとみられる。計画書に記載された対策の多くは、老朽化した設備の更新や日々の運用面の工夫であり、都制度による追加的な取り組みを示唆するものは少ない。むしろ、大幅な排出削減を可能にした大規模な投資の多くは、都制度とは直接関係しない理由で、トップダウンによって進められていた。中でも、震災を契機とする省エネルギーの取り組みや、LEDの普及をCO₂の削減要因に挙げる事業所が多く、これらによっ

¹⁸ この指摘は、環境規制によってCO₂排出や他の環境負荷が他地域にリークしている可能性を示唆している。より詳しい検証が必要であるが、こうした傾向が存在している

ことが、統計分析において東京都の製造業事業所のCO₂排出量が他地域よりも有意に小さいとの結果が得られた一因かもしれない。

て都制度の目標達成が結果的に容易になったことが確認できた。また、製造業では、CO₂を含む様々な環境規制のために、都内での生産活動の維持が困難になってきていることが示唆された。

4.4 クレジットの発行・取引

インタビュー対象事業所の中でも、他社との間でクレジットの取引を行った事業所は少数だった。排出超過した6事業所のうち、社外からのクレジットの調達で目標を達成した事業所は半分の3事業所（F, H, M）で、残る3事業所（D, E, L）は、社内でのクレジットの融通で目標を達成した。他方、目標を超過達成した14事業所では、社内の排出超過事業所にクレジットを融通した2社（J, O）以外は、超過削減クレジットをそのまま第2計画期間に持ち越していた（表3）。また、自らの超過削減クレジットに加え、他社から無償で譲り受けたクレジットを第2計画期間に持ち越した事業所もあった（K）。事業者のこうした行動は、3.3で確認したクレジットの取引状況とも整合する。

インタビューで超過削減クレジットの発行時期を確認できた事業所は、すべて整理期間にクレジットの発行を申請していた。積極的にクレジットを取引する意図がないため、中間年に申請手続きを行う必要はなかったとみられる。

クレジットを外部から調達した事業所でも、多くは整理期間に必要な量を購入していた。インタビュー対象事業所の中では、3事業所が社外から有償でクレジットを調達した。これらの事業所は、自社による目標達成は難しく、当初から不足分は外部からクレジットを調達するほかないと考えていたようである。ただし、このうち義務履行期間の途中でクレジットを購入した事業所は1事業所（H）だけで、残る2事業所（F, M）は、不足分確定後の整理期間に購入していた。

表3 調査対象事業所の排出量取引経験

	売手	買手	合計
社外取引	0	3	3
社内融通	2	3	5
譲渡	1	0	1
取引なし	10	0	10
未確認	1	0	1
合計	14	6	20

クレジットの売手で他社への売却意思の有無を確認できた10事業所のうち、半数にあたる5事業所が売却を検討していた。しかしながら、東京都の排出量取引は相対取引が原則であるため、クレジットを売買する事業者は、民間の仲介業者を介して取引先を見つけ、価格交渉をする必要がある。現状では、都の調査による査定価格のみが公開され、取引に関する情報が限られているために、具体的な手続きがわからないとする事業者もあった（B, R, S）。

これらの事業所は、はじめからクレジットの売却を見込んで積極的な設備更新を行っていたわけではなかった。多くの場合、排出削減に取り組んだ結果として、余った排出枠をクレジット化したのが、必要以上のクレジットを手にしたため、有効活用を考えていた。

他方、残りの5事業所では、他社への売却を全く検討していなかった。クレジットの売買まで手が回らず、今後も社外取引の予定はない（O）、制度の先行きがわからないため、すべてバンキングする（Q）など、取引には総じて消極的であった。

中には、排出量取引の仕組みを認識しておらず、超過削減クレジットの発行手続きを取らなかった事業所もあった（N）。この事業所では、実際のエネルギーの管理と計画書の記載、提出を現場のテナント事業者が担っていた。しかし、クレジットの発行手続きはオーナーが行う必要があり、その連携が不十分であったために、第1計画期間の超過削減クレジットを取得して

いなかったことが確認できた。

都制度の実施にあたっては、ほとんどの場合、現場のエネルギー管理部署が中心となって省エネルギーに取り組み、毎年の報告を行っている。他方、排出量取引に関する意思決定は、本社やビルオーナー、親会社など、現場のエネルギー管理主体とは別組織で行われる場合がある。インタビュー調査でも、クレジットの発行や取引に関し、現場が主体的に判断する事業所もあれば (H, M, Q)、本社で一括管理する事業所 (C, E, J)、ビルオーナーや親会社の判断を仰ぐ事業所 (I, F, N) など、様々であることが確認できた。

現場がクレジット取引に主体的に関与しない場合、現場では専ら省エネルギー活動に努め、削減義務との過不足を事後的にクレジットで調整することになりがちである。そして、組織が大きくなるほど、エネルギー管理と設備計画、超過削減クレジットの管理・取引を別の部署で担う傾向があり、それぞれが別々に意思決定を行うために、部署間の連携が不十分であると、社内対策とクレジット調達の間が費用効果的かといった総合的な判断は難しくなる。

「クレジットの (工場間での) やり取りは本社が一括して行っているのだからわからない。本社では外部購入も検討していたかもしれないが、工場レベルでは何とか削減目標を達成するよう言われていた」 (E, 製造業)

「実は、設備投資を考える時点ではクレジットのことはあまり考慮していない。クレジットは省エネを頑張った努力が結果的についてきただけと捉えている」 (P, 製造業)

「クレジットの管理は、本社が統括して行っている」 (N, 非製造業)

このように、インタビューした事業所の多くが、削減義務の履行手段として、まずは自社内での排出削減を優先し、クレジットは社内対策の結果、副次的に生じるものとみなしていた。つまり、現場ではCO₂の市場価格が考慮されず、社内対策と排出量取引を個別に捉えて判断していたと言える。このような状況では、排出量取引の短期的な価格シグナルとしての機能は、十分には発揮されなかったと考えられる。

4.5 トップレベル事業所認定

対策の推進において、特に優れた事業所として都の認定を受けたトップレベル、準トップレベルの事業所は、対策の推進の程度に応じ、削減義務率をそれぞれ1/2ないし3/4に軽減する措置を受けられる。東京都は、事業所の区分ごとに、トップレベル事業所の認定基準や認定ガイドライン、評価ツールを公表している¹⁹。

例えば、区分Iの事業所に関する最新の認定ガイドライン (第2計画期間版、2016年4月改定) は300頁にも及び、制度の手続き等の規定のほか、評価項目ごとに詳細な判断基準が記述されている。認定を受けようとする事業所は、このガイドラインを読み込み、所有するすべての設備について、評価ツールを用いて対策の実施状況を自己評価し、第三者機関の検証を受けた上で、都に申請する。これには多くの労力を要する。厳密な定量化は難しいが、ある事業所では、資料作成のために特別チームを編成し、別の事業所では、複数の担当者が数ヶ月を割いて準備

¹⁹ 具体的には、事業所の区分に従い設定されている一般的な管理項目、建物および設備の性能に関する項目、事務所および設備の運用に関する項目に関し、対策の実施を必須とする対策 (必須項目)、一般的な対策 (一般項目)、加点となる対策 (加点項目) として掲げる計 200~300 程度の対策の

実施状況を採点し、必須項目をすべて実施した上で、必須項目・一般項目・加点項目の合計ポイントが 100 点満点中 80 点以上となる事業所をトップレベル事業所、必須項目で未実施のものが 4 以内であり、かつ合計ポイントが 70 点以上の事業所を準トップレベル事業所として認定する。

作業にあたるなど、それぞれ相当の労力をかけたことが、インタビュー調査でも示されている。

このように大変な労力を要するにもかかわらず、トップレベル認定を受ける動機は、主に3つある。1つは削減義務率の緩和が受けられることで、インタビュー調査でもこれを第1の動機に挙げる事業所が多かった。制度開始直後には6～8%、さらにはその先の第2計画期間の15～17%の削減目標の達成を困難と捉えていた事業所が多く、トップレベル認定を受けなければ、外部からのクレジット調達が必要と感じていた事業所も存在した。

「省エネ対策も限られているので、目標の達成を考えると削減義務率の緩和には魅力があった」(G, トップレベル事業所)

第2の動機は、排出量取引で期待できる利益である。すでに目標達成の見込みがあっても、削減義務率が緩和され、その分多くの超過削減クレジットを受け取ることができれば、クレジットの売却によって利益を得られる。制度開始直後には、クレジットの単価は10,000～15,000円とも伝えられ、経済的なメリットが大きいと考えられていた。

「余剰クレジットの売却益として、トンあたり15,000円ほどの価値があるとオーナーに説明していた。実際にはクレジット価格が下落しているので、その部分は全く消えてしまったが」(B, トップレベル事業所)

第3の動機は、認定取得のネームバリューである。自らを環境先進企業と自負する多くの企業にとって、都制度におけるトップレベル認定は、その価値を社外にアピールする格好の機会と捉えられたようである。インタビュー調査でも、トップレベル事業所認定が、ビルオーナー

の満足度上昇につながったと指摘する事業所があった。

「有名なビルと並んで都からトップレベルと評価されたことで、オーナーがとても喜んでくれた」(B, トップレベル事業所)

他方、トップレベル事業所の認知が、期待ほど広まっていないと指摘した事業所もあった。ネームバリューを直接の動機としてトップレベル認定を取得するには、取得に要する作業量の負担が大きすぎるとのことだった。

「トップレベル事業所は、認定取得に必要な費用対効果の観点から、世間から十分に認知されていない」(A, 非トップレベル事業所)

これら3つの動機のうち、第1、第2の動機は、現在は働いていない公算が大きい。トップレベル認定を受ける事業所の多くは、第1計画期間から持ち越した超過削減クレジットを所有しており、削減義務率の軽減措置がなくても、第2計画期間の目標達成は、射程距離にある。また、3.3でみた通り、現状では、クレジット価格は1,000円に満たない。インタビュー調査でも、第2計画期間にトップレベル事業所認定を受けた、あるいは受ける予定と回答した事業所は、第3の動機であるネームバリューを認定取得の理由に挙げていた。

また、トップレベル事業所認定制度に関しては、詳細なガイドラインの存在が、対策の実施に役だったとの指摘もあった。

「ガイドラインを読み込むことでやるべき内容が具体化され、実際の省エネルギーにつながった」(B, トップレベル事業所)

「優れた技術や対策が詳細に、網羅的にまとめられ、認定取得を目指さない事業所にとって

も参考になる。」(C, 非トップレベル事業所)

大量の超過削減クレジットが持ち越されている現状では、トップレベル事業所の認定を受けるメリットは限られ、事業者にとって認定取得の魅力はそれほど大きくない。認定ガイドラインの資料的価値を指摘する声はあるものの、肯定的な意見は一部にすぎず、他方では評価基準が微に入りすぎ、手続きが煩雑であることや、理解が難しいなどの批判もある。本制度が、効率水準の高い事業所に対する単なる削減義務の軽減手段にとどまらず、事業所の優れた取り組みを認め、推奨することを目的とするのであれば²⁰、より多くの事業所から高い評価を得られるように、さらなる工夫が必要と考えられる。具体的には、申請手続きの簡素化や知名度の向上、ガイドラインへの理解を広める活動などに、工夫の余地があるだろう。

5. おわりに

本稿では、都制度の導入が、1) 事業者の排出削減、2) 費用効果的な削減の実現(短期的価格シグナル)、3) 長期的な排出の削減(長期的価格シグナル)、という3つの目的の実現に、どの程度の効果があったのかを、様々なデータやインタビュー調査により検証した。

第1に、排出削減効果に関しては、制度対象事業所は2014年までに2009年比14%の大幅な削減を実現したことが確認できた。ただし、これは都制度単独の効果というより、他の様々な要因によってもたらされたと考えられる。排出削減が進んだ要因として、インタビュー調査では、2011年の東日本大震災を契機とする省エネルギーの取り組みや、LED照明の普及などの指摘

があった。これらの取り組みの中には、都制度が排出削減を義務化したことで後押しされた部分があったかもしれない。その影響の程度の定量的な把握は困難だが、少なくとも非製造業のCO₂排出量においては、統計的に有意な影響は確認できなかった。また、インタビュー調査からも、都制度の目標達成を直接の目的として投資計画を前倒しするなどの事例は確認できなかった。

他方、都制度は、単なる排出削減ではなく、事業所に温暖化計画の策定と毎年の排出量の報告を義務付け、さらには点検表によって対策の実施状況を自己点検させる仕組みを取り入れている。こうした仕組みは、やるべき対策や費用効果的な対策への気づきにつながり、省エネルギー余地の掘り起こしの効果が期待される。実際、非製造業の中には、これを高く評価し、省エネルギー対策の推進に役立っているところもあった。ただし、製造業では、都の制度対象となる規模の事業所であれば、それぞれ独自の方法でエネルギーを管理しているため、都が提供する様々な省エネツールを有用と捉える事業所は少なかった。

第2に、短期的価格シグナルの効果に関しては、これまでのところ、制度対象事業者間での取引自体が活発ではないため、制度全体で費用効果的な排出削減が実現したとは言いがたい。ただし、同一企業・グループ内の事業所間ではクレジットの取引が行われていたことが確認でき、これらの事業所の費用の平準化にはつながったと考えられる。

都制度には排出量を取引する市場が存在せず、相対もしくは仲介業者を通じた取引となっていることに加え、制度の主な対象が業務部門であるために、エネルギー管理や排出量取引の

²⁰ 東京都はホームページにおける認定事業所の一覧公開のほか、認証ロゴマークを作成し、対象事業所の認知度向上に努めている。都のこうした取り組みは、後者の目的を意図して

のものと考えられる

(http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/large_scale/cat10645.html 参照。アクセス日 2018/1/10)。

重要性は本業との比較において決して大きくなく、これらに人員を確保する合理的な理由を見つけにくいこと、業務部門では全体的に排出量規模の小さな事業所が多く、取引費用の負担が相対的に大きいことなどから、活発な取引が行われにくいといった取引阻害要因があったと考えられる。このため、仮に取引市場を整備したとしても、排出量の大きな産業部門を取引主体とする制度と比べると、都制度では取引が起りにくく、短期的な価格シグナルが有効に機能しない可能性がある。

第3に、価格シグナルによる低炭素化への投資促進の効果に関しては、大量の超過削減クレジットが繰り越され、市場価格が1,000円未満となっている現状では、低炭素技術への投資を促すインセンティブは不十分と考えられる。

もちろん、超過削減クレジットに今より高い価格がつけば、これを商機と捉えて排出削減を加速させる事業者が出現するかもしれない。制度の開始直後には、第2計画期間の削減率（15～17%）は厳しい目標と受け止められ、今後は大幅な排出削減が必須との認識が、事業者の間に広まった（若林・木村・西尾，2011）。このような政策のアナウンスメント効果が、事業者の行動変化を促した可能性はある。

しかし、特に2011年以降、事業者の排出削減が予想以上に進んだ結果、現時点では追加対策がなくても第2計画期間までの目標達成は可能と考えられており、都制度によって低炭素技術への投資を誘導することは、当面は困難だろう²¹。

謝辞

本研究の実施にあたり、インタビュー調査に応じてくださった事業所の方々に、改めて深謝

申し上げる。なお、本稿の記述はインタビュー調査から得た著者の理解に基づくものであり、あり得べき過誤はすべて著者の責任である。

補. 都内・外事業所間でのCO₂排出量比較：2014年までのデータ延伸および東京電力・東北電力を区別した推計結果

温対法に基づき公開されている事業所ごとの排出量のデータを用いて、都内・外の事業所のCO₂排出量を比較し、都制度の影響を検証する。具体的には、2010～14年のエネルギー起源CO₂排出量（自然対数変換値）を、都内ダミー、東電管内ダミー、東北電力管内ダミー、2011～14年ダミー、およびこれらの交互作用項（積）で回帰した。なお、分析目的である都内ダミーの係数測定が時間を通じて不変なため、固定効果は採用できない。このため、誤差にはランダム効果を仮定している。

推定結果を表に示す。2011年の排出量は、基準年（2010年）に比べ、非製造業は5.4%、製造業は1.3%ほど小さい。東電管内および東北電力管内の事業所は、全国平均より減少率が大きく、全国との差は非製造業では両地域とも14%程度、製造業では東電管内で4%、東北電力管内で11%程度である。2012年以降は、電力原単位の悪化を反映して排出量が増加に転じるが、東電管内と東北電力管内の事業所では有意に負の係数が得られ、全国平均に比べると排出量は抑制傾向にあったことが確認できる。特に非製造業では、東電管内は全国の係数と絶対値で同程度もしくは絶対値で大きい負の値が得られ、当地域で実現し

²¹ このような排出量取引制度の限界を補正する目的で、政府による積極的な市場介入や、予め制度の中に需給調整機能を組み入れる工夫がなされている。多くの排出量取引制度

において取り入れられている、価格安定化機能（下限価格や需給調整リザーブなど）もその1つである。詳細は若林・上野（2017）を参照。

た省エネルギーが、電力原単位悪化の影響を相殺したことがわかる。

都内事業所の排出量に関しては、非製造業では、東電管内の他県の事業所と統計的に有意な差が認められない。他方、製造業では、2011年以降、統計的に有意に負の係数が得られ、全国平均より排出量が12～13%程度小さい（表の網かけ部分。全国平均との差は東京都ダミーおよび東電管内ダミーの係数の和）。同じ東電管内の他県の事業所における排出量の減少率は、2011年が最も大きく、2012～14年には全国との差が縮小する。そうした中、都内事業所のみが、2012年以降も全国より一定程度排出の少ない状態を維持していることがうかがえる。

【参考文献】

木村幸・野田冬彦・西尾健一郎・若林雅代 (2011) 地球温暖化対策としての情報提供的な規制手法の有効性—東京都温暖化対策計画書制度の事例分析—, 電力中央研究所研究報告 (Y10027).

東京都環境局 (2017a) 東京都キャップ&トレード制度 第二計画期間初年度の実績, 2017/3/3 報道資料。

東京都環境局 (2017b) 排出量取引実績等の解説, 東京都排出量取引セミナー&マッチングフェア 2017 (2017/5/26), 資料2.

http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/cliente/large_scale/meeting/201729526.html, アクセス日 2017/12/21.

若林雅代・上野貴弘 (2017) 排出量取引制度の設計と現状の評価, 電力中央研究所研究報告 (Y16001).

若林雅代・木村幸・西尾健一郎 (2011) 東京都排出量取引制度の実効性について—欧米の経験を通じた考察—, 電力中央研究所研究報告 (Y10023).

Wakabayashi, M. and O. Kimura (2018) The impact of the Tokyo Metropolitan Emissions Trading Scheme on reducing greenhouse gas emissions: findings from a facility-based study. Climate Policy, DOI: 10.1080/14693062.2018.1437018.

若林雅代 (わかばやしまさよ)

木村幸 (きむらおさむ)

電力中央研究所 社会経済研究所

(1) 非製造業

	係数	頑健標準誤差	
東京都	0.0486	0.0255	
東電管内	0.0845	0.0213	***
東北管内	0.0284	0.0281	
2011年	-0.0541	0.0042	***
2011年・東京都	0.0120	0.0128	
2011年・東電管内	-0.1429	0.0104	***
2011年・東北管内	-0.1458	0.0206	***
2012年	0.0609	0.0052	***
2012年・東京都	-0.0018	0.0130	
2012年・東電管内	-0.1147	0.0103	***
2012年・東北管内	-0.0419	0.0147	**
2013年	0.1333	0.0059	***
2013年・東京都	-0.0024	0.0140	
2013年・東電管内	-0.1142	0.0110	***
2013年・東北管内	-0.0578	0.0149	***
2014年	0.0949	0.0063	***
2014年・東京都	0.0076	0.0153	
2014年・東電管内	-0.1066	0.0128	***
2014年・東北管内	-0.0856	0.0151	***

(2) 製造業

	係数	頑健標準誤差	
東京都	-0.1011	0.0584	
東電管内	-0.0809	0.0216	***
東北管内	-0.0313	0.0288	
2011年	-0.0127	0.0029	***
2011年・東京都	-0.0873	0.0202	***
2011年・東電管内	-0.0413	0.0052	***
2011年・東北管内	-0.1081	0.0100	***
2012年	0.0753	0.0038	***
2012年・東京都	-0.0835	0.0195	***
2012年・東電管内	-0.0360	0.0066	***
2012年・東北管内	-0.0391	0.0096	***
2013年	0.1375	0.0046	***
2013年・東京都	-0.1060	0.0249	***
2013年・東電管内	-0.0257	0.0079	**
2013年・東北管内	-0.0397	0.0106	***
2014年	0.1179	0.0048	***
2014年・東京都	-0.1017	0.0245	***
2014年・東電管内	-0.0206	0.0085	*
2014年・東北管内	-0.0387	0.0109	***

*, **, ***はそれぞれ5%, 1%, 0.1%で統計的に有意なことを示す。

国の温暖化対策関連経費の推移と費用対効果 — 温暖化対策税収は有効に使われているのか —

Public Spending for Climate Change Mitigation and its Cost-Effectiveness

— How is the revenue of the Tax for Global Warming Mitigation spent? —

キーワード：温暖化対策税、温暖化対策事業、費用対効果、行政事業レビューシート

木 村 幸

本稿では、国の決算書と行政事業レビューシートから得たデータを用いて、温暖化対策税の導入に伴う温暖化対策経費の変化を分析するとともに、行政事業レビューにおける温暖化対策事業に対する評価状況、および得られている評価結果を分析した。温暖化対策税収は、段階的導入が完了した2016年で約2,400億円と推定される。財源増を背景に、エネルギー対策特別会計からの温暖化対策経費は税導入前と比べて1,000～2,000億円程度増加しており、特に省エネ分野の設備導入補助金が大きく増額されている。温暖化対策事業の評価は定着しつつあり、2015年度以降に実施された設備導入補助を伴う事業では半数程度がCO₂削減単価を報告している。しかしながら、評価の手法・カバレッジともに大きな課題があり、「温暖化対策経費が有効に使われているか」という問いに答えるには不十分である。評価体制の大幅な強化が必要である。

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. 温暖化対策税収の推移 3. 国の温暖化対策事業経費の推移 <ul style="list-style-type: none"> 3.1 エネルギー対策特別会計の予算・決算 3.2 一般会計も含めた温暖化対策事業の経費 3.3 エネルギー対策特別会計の温暖化対策経費の増加内訳 | <ul style="list-style-type: none"> 4. 温暖化対策事業は適切に評価されているか 5. まとめ 付録1. 行政事業レビューシートを用いた温暖化対策事業の抽出・分類方法 付録2. 主な温暖化対策事業と 2009 年度以降の執行額 |
|--|--|

1. はじめに

補助金や委託費を通じた温暖化対策事業の推進は、規制や炭素価格付け、自主的取り組みと並ぶ重要な国内対策の柱の一つである。2016年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」には、省エネや再エネ等の技術開発や設備導入に関する施策・対策が多数掲げられているが、その多くは補助・委託事業としての推進を想定したものと考えられる。

温暖化対策としての補助・委託事業のあり方に関する議論は、規制や炭素価格付け等に関する議論と比べて低調である。その大きな理由として、国の温暖化対策事業が多岐にわたり、全

体像の把握が難しいことがあげられる。各省庁は毎年、概算要求資料や予算概要説明資料を公開しているが、必ずしも包括的なものではなく、取り上げる範囲も資料により異なる場合が多い。環境省は毎年、地球温暖化対策関係予算を取りまとめているが（環境省、2017）、集計されているのが当初予算のみであること、治山事業や地下鉄整備等の温暖化対策事業とは捉えにくい事業も含まれること、年度により対象範囲が一貫しないこと等の問題がある。

そこで筆者は、既報（木村、2016a, 2016b）において、政府の決算書と行政事業レビューシートを用いて、2014年度までの温暖化対策関連事業に関する包括的な集計と課題分析を行っ

た。本稿では、2015年度以降のデータを用いて既報データベースをアップデートするとともに、次の2点を明らかにする。

第1は、段階的導入が2016年度に完了した「地球温暖化対策のための税」（以下、温暖化対策税）に伴う変化である。本稿では、同税の導入によりエネルギー対策特別会計の財源がどの程度増えたのか、またそれに応じて温暖化対策事業の経費がどのように変化したのかを明らかにする。

第2は、行政事業レビューの実施要領が2016年6月に改正され、温暖化対策関連事業についてはCO₂削減単価という共通指標での成果の記載が求められるようになったことの影響である。既報（木村，2016a, 2016b）では、温暖化対策として実施された設備導入事業の行政事業レビューシートにおいて、CO₂削減実績の評価がなされていない、または記載データから評価不可能な事業が半数程度に上ることを明らかにした。本稿では、2016年度以降の行政事業レビューにおいて削減効果の評価が改善されたのか、どのような評価結果が得られているかを明らかにする。

本稿の目的は、これら2つの分析を通じて、温暖化対策税収が有効に使われているのかを検討することである。以下では、まず温暖化対策税収の推移を確認した上で（2章）、国の決算書および行政事業レビューシートを用いて温暖化対策予算の推移を分析する（3章）。次に、行政事業レビューシートにおける温暖化対策事業の評価の状況を述べ（4章）、最後に考察を行う。

なお、本稿での「温暖化対策」とは温室効果

ガスの排出抑制対策を指し、気候変動の観測やそれへの適応対策は含めない。また、原子力関連施策や温室効果ガスの吸収源対策（森林整備等）も対象に含めない。

2. 温暖化対策税収の推移

温暖化対策税は、石油石炭税への「地球温暖化対策のための課税の特例」として、2012年に導入された。原油・石油製品、天然ガス・LPG、石炭に課される石油石炭税率に対して、CO₂排出量に応じた税率を上乗せするものである。2012年10月、2014年4月、および2016年4月の3回で段階的に施行された¹。環境省は、温暖化対策税による税収増を2012年度391億円、2016年度以降2,623億円/年と見積っており、税収を「再生可能エネルギー大幅導入、省エネ対策の抜本的強化等に用いる」としている（環境省，2012a）。

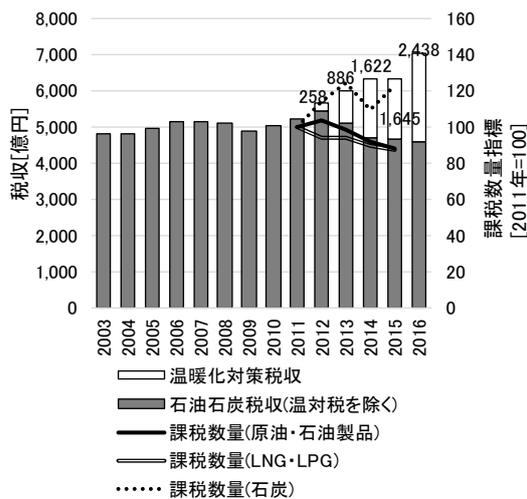
石油石炭税の税収（決算額）は国税庁により公表されているが、その内訳である温暖化対策税の税収実績は公表されていない。そこで、石油石炭税の税収実績と課税対象数量等のデータから温暖化対策税収分を推定したのが図1である²。図1の灰色部分が石油石炭税の本則税率による税収であり、エネルギー需要の減少を背景に税収も減少傾向にある。その一方で、温暖化対策税収（図1の白抜き部分）は2012年度の約260億円から2014・2015年度は約1,600億円、2016年度は約2,400億円へと段階的施行に伴って大きく増加してきた。

このように、温暖化対策税は導入時の見積りに近い税収を上げているが、それがそのままエネルギー対策特別会計の財源となって温暖化

¹ 例えば石炭への課税（引き上げ前は700円）は、3回の各引き上げにおいてそれぞれ920円、1,140円、1,370円へと段階的に引き上げられた（いずれも石炭1t当たり税額）。

² 温暖化対策税収は、国税庁「統計年報」が示す燃種別の課税対象数量・課税単価から各年度における温暖化対策税収割

合を推計し、それを石油石炭税収実績に乗じることで推計した。ただし、2016年度は燃種別の課税対象数量が未公開のため、各課税対象の構成比が2015年と同じと仮定して推計した。



注：棒グラフの総額は石油石炭税収実績（決済額）、白抜き部分が温暖化対策税収（推計額）。数値は温暖化対策税収額を示す。推計方法については本文および脚注参照。
 出典：財務省「租税及び印紙収入決算額調」および国税庁「統計年報」各年版より作成

図1 石油石炭税・温暖化対策税の税収推移

対策事業に用いられるわけではない。石油石炭税はエネルギー対策特別会計エネルギー需給勘定の特定財源だが、その税収はまず一般会計に計上され、必要と査定された額のみが特別会計に繰り入れられるためである（財務省、2016）。

そこで次章では、温暖化対策経費が実際に増加しているのか、その場合どのような事業が増額されているのかを見ていく。

3. 国の温暖化対策事業経費の推移

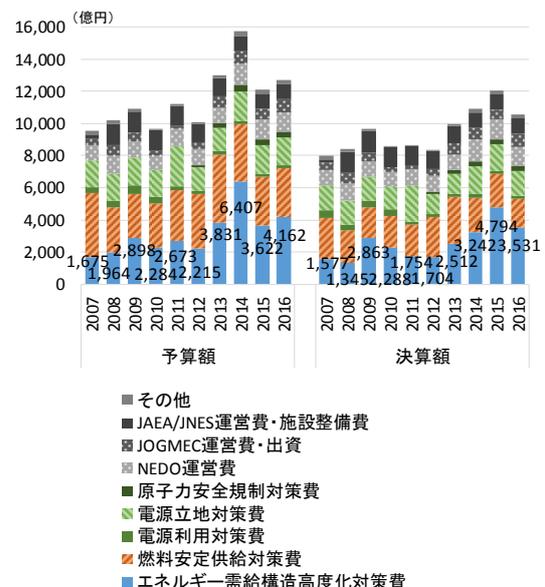
3.1 エネルギー対策特別会計の予算・決算

本章では、まず国の包括的な会計資料である決算書を用いて、エネルギー対策特別会計の予算・決算額の推移を分析する。

エネルギー対策特別会計は、エネルギー需給勘定、電源開発促進勘定、原子力損害賠償・廃炉支援勘定の3勘定から構成される。エネルギー需給勘定には一般会計を経由して石油石炭税が、電源開発促進勘定には同様に電源開発促進税が用いられる。原子力損害賠償支援勘定

（原賠勘定）には温暖化対策事業への支出がなく、石油石炭税も用いられないことから本稿では触れない。

エネルギー対策特別会計の前2勘定のうち、会計間の授受を除いた歳出純計額を図2に示す。予算額は1兆～1兆6,000億円程度、決算額は8,000億～1兆2,000億円程度であり、2013年度以降はそれ以前と比べて2,000億円ほど増加している。図2に示した2勘定の内訳のうち、温暖化対策の経費が含まれる主な項目は、「エネルギー需給勘定から支出される「エネルギー需給構造高度化対策費」である。その2016年度決算額は3,531億円であり、主な内訳としては「エネルギー源の多様化に必要な経費」（同1,140億円；非化石エネルギー等の導入促進対策）、「省エネルギーの推進に必要な費用」（同1,242億円）、および「温暖化対策に必要な費用」（同1,013億円）の3つである。エネルギー需給構造高度化対策費の総額は2012年度までは2,000億円前後だが、2013年度以降は3,000～4,000億円程度に増加している。



注：図中の数字はエネルギー需給構造高度化対策費の額を示す。
 出典：「特別会計決算参照書」各年度版より作成

図2 エネルギー対策特別会計の歳出純計額の推移（原賠勘定を除く）

また、前2勘定から支出されるNEDO運営費が例年1,000億円程度あるが、ここにはNEDOが実施する温暖化対策関連のさまざまな研究開発・実証事業の費用が含まれる。また、電源開発促進勘定の「電源利用対策費」にも、温暖化対策事業とみなせる事業が一部含まれている。しかし、決算書における項目分類はそういった温暖化対策事業を同定できるほど細かいものになっていない。そこで、次に個々の事業レベルで温暖化対策経費を把握できる行政事業レビューシートを用いて集計する。

3.2 一般会計も含めた温暖化対策事業の経費

行政事業レビューシートとは、事業の目的や概要、予算額・執行額、成果目標・実績、経費使途等を記載したチェックシートであり、原則として全ての政府事業（約5,000件）を対象として、毎年担当部局が作成・公表する。主なレビュー対象は前年度に実施された事業である。行政事業レビューは民主党政権の下で2010年から開始されたことから、その前年度である2009年度以降の事業については全て同シートが公表されている。

本稿では、既報（木村，2016a）にて構築したデータベースを基に、対象期間を2009～2016年度の8年間に、対象省庁を主要4省庁（経済産業省、環境省、国土交通省および農林水産省。以下対象4省庁と呼ぶ）にそれぞれ拡張して分析に用いる。上記の期間における4省庁の行政事業レビューシートの単純合計は約12,000件であり、そこから温暖化対策事業を抽出し、2年以上にわたって実施される継続事業の紐付けを行うとともに、対策技術分野や活動類型に応じて分類した。以下ではこうして得られた2,311事業（表1）を分析対象とする。温暖化対策事業

の抽出や分類の方法については付録1を、また抽出された主な事業については付録2を参照されたい。

表1 本稿で対象とする温暖化対策事業数

年度	経産省	環境省	国交省	農水省	合計
2009	166	76	33	14	289
2010	175	71	37	25	308
2011	179	69	34	20	302
2012	169	78	29	23	299
2013	166	80	26	16	288
2014	166	89	20	12	287
2015	155	84	24	11	274
2016	137	98	21	8	264
総計					2,311

出典：行政事業レビューシートの集計より作成

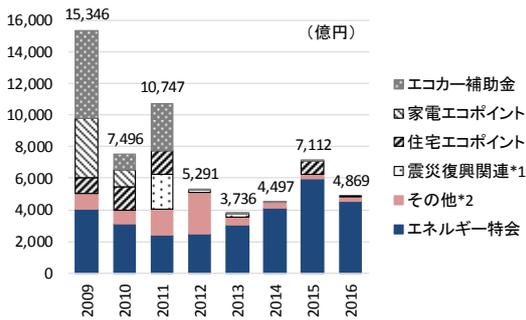
温暖化対策事業を財源により分類すると、エネルギー対策特別会計の事業が1,520件、一般会計の事業が710件、残る81件が両会計または他の特別会計³を財源とするものであった。そこで、対象事業をエネルギー対策特別会計とそれ以外に分けた上で、後者のうち特に事業規模の大きいエコカー・エコポイント事業⁴および震災復興関連事業を分けて示したものが図3である。温暖化対策事業の年間の経費総額は、エコカー・エコポイント事業が実施されていた2009～2011年度には7,500億～1兆5,000億に及び、それらの事業が終了した2012年度以降は4,000億～7,000億円程度であった。

図3から、過去8年間の温暖化対策事業経費の中でエコカー補助金・家電エコポイント・住宅エコポイント事業が占める割合が非常に大きいことがわかる。これら3事業だけで経費累計は約1兆9,200億円、集計対象総額（約5兆9,100億円）の32%に及ぶ。一般会計も含めた温暖化対策事業の規模は、これら少数の巨額事業の有無

³ 自動車安全特別会計の2事業、財政投融资特定国有財産特別会計の1事業を含む。

⁴ 環境対応車普及促進事業・低公害車普及促進事業（エコカー

補助金）、グリーン家電普及促進事業（家電エコポイント）、環境対応住宅普及促進事業（住宅エコポイント）



注：*1 定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費等。
 *2 エコカー・エコポイント事業以外の一般会計の温暖化対策事業。ただし、一部他の特別会計の温暖化対策事業を含む（脚注参照）。
 出典：行政事業レビューシートの集計より作成

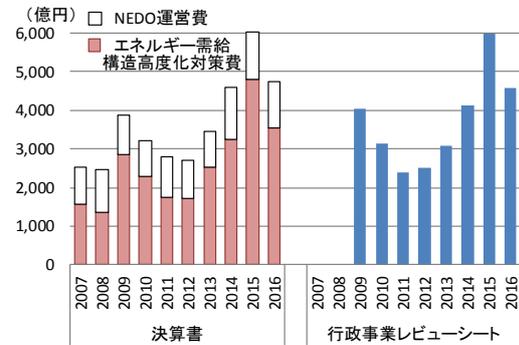
図3 行政事業レビューシートに基づく温暖化対策事業の決算額推移

によって大きく変動する面がある。また、集計対象総額のうち、経費規模が上位の20事業で59%、50事業で75%を占める（付録2参照）。一部の大規模事業に予算配分が集中していることがわかる。

エコカー・エコポイント・震災復興関連事業以外の一般会計事業は、2011～2012年度に年間1,500億～2,500億円程度に増えた後、300億円程度にまで減少している。これは、2011～12年度に大規模な事業の創設や増額があり、それらが2012年度以降は終了したりエネルギー対策特別会計に財源変更したことによる。具体的には、「地域グリーンニューディール基金」⁵、「次世代自動車充電インフラ整備促進対策費補助金」⁶、「民生用燃料電池導入緊急対策事業」⁷などである⁸。

変動の大きい一般会計予算と異なり、エネルギー対策特別会計の温暖化対策経費は比較的安定的であるが、2009年度の年間約4,000億円

から2011・2012年度に2,000億円程度まで減少し、2013年度以降は再び4,500億～6,000億円程度に増加している。このような行政事業レビューシートの集計値と、3.1節で見た決算書データとを比較すると、エネルギー対策特別会計のエネルギー需給構造高度化対策費とNEDO運営費の合計が温暖化対策経費とすれば、両者は概ね一致する（図4）。したがって、エネルギー特別会計の温暖化対策経費は、年により変動するものの過去10年ほどの間に約2倍に増加しており、特に2013年度以降の増加が大きいことが行政事業レビューシートデータからも確認できる。



注：行政事業レビューシートのデータは図3に、決算書のデータは図2にそれぞれ同じ。
 出典：行政事業レビューシートの集計より作成

図4 2つのデータソースから抽出したエネルギー特別会計の温暖化対策経費の比較

3.3 エネルギー対策特別会計の温暖化対策経費の増加内訳

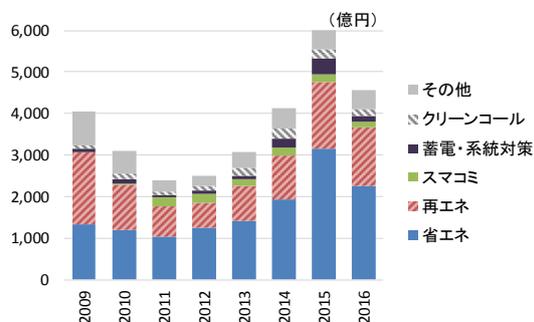
近年のエネルギー対策特別会計の温暖化対策経費の増加は、どのような事業の増加や増額によるのだろうか。技術分野別に見ると（図5）、省エネ・再エネ分野の事業経費が全体の約80%を占めていること、省エネ経費は2012年度から

⁵ 2011年度に一般会計840億円で開始、2012年度以降はエネルギー対策特別会計で実施。
⁶ 2012年度に一般会計1,005億円で単年度実施、2015年度からエネルギー対策特別会計にて再開。
⁷ 2012年度に一般会計294億円で単年度実施。ただし、別事業「民生用燃料電池導入支援補助金」はエネルギー対策特別

会計で実施。
⁸ 他には、耐震・環境不動産形成促進事業（2012年度のみ、執行額300億円）、変電所における大型蓄電システム緊急実証事業（同296億円）、次世代型熱利用設備導入緊急対策事業（同155億円）、スマートマンション導入加速化推進事業（同131億円）等。

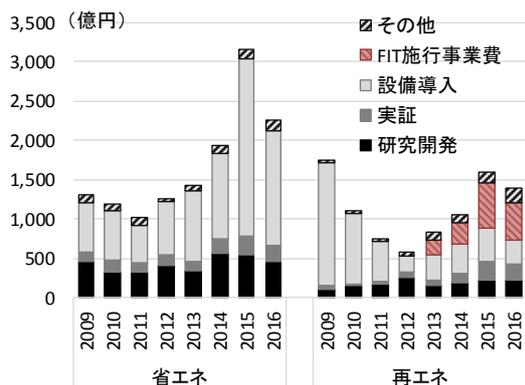
大きく増加していること、そして再エネ経費は2009年度から減少した後に同水準まで再び増えていることがわかる。

省エネ・再エネ分野についてさらに活動類型別の内訳を見ると、まず省エネの設備導入補助金の増加が顕著であり、特に2015年度の経費が大きい(図6左)。主な増額事業としては⁹⁾、業務・産業部門の省エネ補助金として約30年にわたり実施されている「エネルギー使用合理化事業者支援補助金」(2016年度484億円)、ゼロ・エネルギー・ビルディング(ZEB)への補助金であ



出典：行政事業レビューシートを集計より作成

図5 エネルギー特別会計の温暖化対策事業の技術分野別内訳



注：FIT 施行事業費は「再生可能エネルギー固定価格買取制度施行事業」の経費を示す。

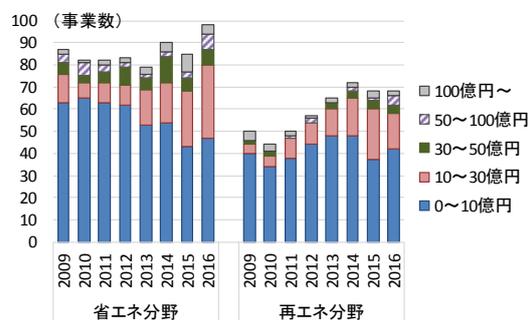
出典：行政事業レビューシートを集計より作成

図6 エネルギー特別会計の省エネ・再エネ分野経費の活動累計別内訳

る「住宅・建築物のネット・ゼロ・エネルギー化推進事業費補助金」(同113億円)のほか、中小企業の省エネ投資への補助金である「中小企業等の省エネ・生産性革命投資促進事業費補助金」(同250億円)、「地域工場・中小企業等の省エネルギー設備導入補助金」(2015年度単年度885億円)、「クリーンエネルギー自動車等導入促進対策費補助金」(同211億円)がある。

再エネ分野では、2009年度から2012年度にかけて導入補助金が大きく減少している(図6右)。これは、太陽光発電余剰電力買取制度(2009年)や固定価格買取制度(FIT)の導入(2012年)といった再エネ支援策の充実を受けて、太陽光発電等の導入補助金が廃止されていったためと考えられる。その一方で、2013年度からはエネルギー多消費産業へのFIT賦課金免除分を補填する「再生可能エネルギー固定価格買取制度施行事業」が大きな割合を占めるようになってい

る。このように近年のエネルギー対策特別会計の温暖化対策経費の増加には、年間執行額が数100億円に及ぶような少数の大規模事業の新設や既存事業経費の大幅な増額が寄与しているが、もう1つの要因として全体的に規模が拡大していることが指摘できる。図7は省エネ・再



出典：行政事業レビューシートを集計より作成

図7 エネルギー特別会計の温暖化対策事業の技術分野別内訳

⁹⁾ 主要事業の経費詳細については付録2を参照されたい。

エネ分野別に温暖化対策事業数を規模別に積み上げたものである。2012～2013年度以降は事業数が若干増加したのに加えて、年間執行額が10～30億円程度の中規模事業の数が増加し、10億円未満の事業数が減少していることがわかる。

4. 温暖化対策事業は適切に評価されているか

行政事業レビューでは、2010年の開始時より事業成果（アウトカム、アウトプット）の目標・実績・達成率を重要な評価項目としてきたが、過去のレビューシートでは事業ごとに成果指標を選択できるようになっていたため、同一指標で事業を評価・比較することができなかった。この点が2015年度の公開レビューにおいて指摘されたことから、行政改革推進会議は行政事業レビュー実施要領を一部改正し、2016年度のレビューから「温暖化対策事業に係る横断的な指標」を設定し、「レビューシートに「1t当たりのCO₂削減コスト」を成果指標として記載するとともに、その試算方法を明記する」とした（行政改革推進会議，2016）。つまり、2015年度以降に実施された温暖化対策事業に対してはCO₂削減単価の記載が求められるようになった。本章では、このような改正後の事業成果の評価状況を分析する。その際、温暖化対策事業には研究開発事業や調査事業など直接的なCO₂削減効果が想定できないものも含まれるため、直接的なCO₂削減効果が推定しやすかつ主目的である場合が多い設備導入事業、すなわち活動類型が「設備導入」に該当する事業に着目する。

まず、2014年度までの設備導入事業197件について、従来から求められてきた事業ごとの指標を用いた成果実績に関する評価の状況を表2に示す。設備導入事業197件のうち146件（74%）の事業で何らかの成果実績の記載があった。し

かし、CO₂削減効果やそれが換算可能な省エネ効果または再エネ導入効果のデータを記載していた事業は53件（27%）に過ぎなかった。

次に、2015年度以降の温暖化対策事業に求められるようになったCO₂削減単価指標を用いた成果実績の記載状況を表3に示す。温暖化対策事業全体での削減単価記載率は低い（20%程度）ものの、設備導入事業については2015年度事業では52%、2016年度事業では57%の事業で削減単価が記載されていた。これは表2で示した27%と比べて大きく向上しており、CO₂削減効果に基づく事業評価がある程度定着しつつあることがうかがえる。ただし、設備導入を伴う事業であっても40～50%程度の事業はこのような評価を行っていない。

表2 2014年度以前の事業における成果実績の記載率（対象は活動類型が「設備導入」に該当する197事業）

成果実績の指標	事業数	(割合)
成果実績の記載あり	146	(74%)
実施件数、導入台数	103	(52%)
導入容量(kW)	15	(8%)
CO ₂ 削減効果、省エネ効果、または再エネ導入量	53	(27%)
成果実績の記載なし	51	(26%)

注：（割合）は該当事業197件に対する%を示す。

出典：行政事業レビューシートの集計より作成

表3 温暖化対策事業に関する横断的な指標（CO₂削減単価）による成果実績の記載率

	2015年度実績		2016年度実績	
	全事業数	削減単価記載あり	全事業数	削減単価記載あり
温暖化対策事業	274	56 (20%)	264	62 (23%)
うち設備導入事業	75	39 (52%)	87	50 (57%)
省エネ分野	44	22 (50%)	54	32 (59%)
再エネ分野	31	17 (55%)	33	18 (55%)

注：年度ごとに集計。「設備導入事業」とは活動類型分類が「設備導入」に該当する事業を指す。「省エネ分野」「再エネ分野」は設備導入事業の内数。

出典：行政事業レビューシートの集計より作成

2015・2016年度に実施された設備導入に該当する温暖化対策事業のうち、CO₂削減単価が記載されていた事業66件の事業名とCO₂削減単価の一覧を表4に示す。記載されたCO₂削減単価は、数100円/tCO₂から数100万円/tCO₂まで大きな幅があり、中央値は25,895円/tCO₂であった。

表4にあげた個々の推定値の妥当性や事業の費用効率性を評価することは本稿の範疇を大きく超えるが、いくつかの事業の推計方法を確認した観点から、表4の推定値を見る際の留意点を指摘しておく。まず、評価の範囲として、直接的な削減効果のみとするものと、事業終了後に間接的に発現しうる「波及効果」まで含めるものが混在している。設備導入に該当する事業であっても、技術実証を目的とする事業や、初期市場形成による認知向上や価格低減を狙う事業も多い。そのような場合、直接的なCO₂削減効果だけで評価することは必ずしも適切ではないが、他方で「波及効果」にはそもそも明確な定義がなく、その推定にはさまざまな仮定を要するため、不確実性が高まる。

また、直接的なCO₂削減効果の算定に関しても、事業による「追加性」を考慮していない¹⁰。例えば、省エネ対策は光熱費削減につながることから、補助金がなくとも実施される場合がある。省エネ補助金による効果算定の際には、このような成り行き効果を控除し、事業の追加的な効果のみを算定する必要があるが、このような考慮がなされたものは見当たらなかった。例えば省エネ設備導入等に対する利子補給事業は、投資総額に比して補助金（利子分）が小さいことから、CO₂削減単価が最も低い部類の事業となっているが（表4参照）、そのような補助金が事業者の省エネ投資を追加的に促した効果はより小さいものと考えられる¹¹。

仮に追加性の問題がなくとも、方法論が必ずしも統一されておらず、比較できない事業が含まれていることにも注意が必要である。例えば、多くの事業は導入した設備のライフサイクルでのCO₂削減量を用いているが、当概年度の削減量のみによる推定値も含まれている。また、設備稼働率のような重要な変数について、実績によるものもあれば仮定に基づくものもある。

このような点を踏まえると、表4の削減単価のみに基づいて各事業の効果や費用効率性を評価することはできず、あくまで参考値として捉えるべきである。

5. まとめ

本稿では、温暖化対策税の段階的導入の完了に伴って税収がどの程度増えたのか、また温暖化対策事業の経費がどのように変化したのかを、国の決算書と行政事業レビューシートを用いて分析した。

2012年度から段階的に導入された温暖化対策税の税収は、導入が完了した2016年度で約2,400億円と推定される。これにより、石油石炭税収は温暖化対策税導入前と比べて2,000億円ほど増加している。

このような財源増を背景に、エネルギー対策特別会計からの温暖化対策経費は2013年度以降増加している。石油石炭税収の増加分がそのまま用いられているわけではないものの、税導入前と比べて1,000～2,000億円程度増加している。特に増額されたのは省エネ分野の設備導入補助金であり、工場やビルを対象とする現行事業の強化のほか、中小企業の省エネ投資を支援する大規模な補助事業が新設されている。また、全体的に小規模な事業が減り、年間10～30億円

¹⁰ 追加性の概念については木村・大藤（2014）を参照。

¹¹ 筆者らによる過去の省エネ補助金対象者への調査では、仮

に補助金がなくとも省エネ投資をしていたと答えた対象者は半数程度存在した（木村・大藤，2014）。

表4 行政事業レビューシートに記載されたCO₂削減単価一覧

対象年度	事業名	CO ₂ 削減単価 [円/tCO ₂]	執行額 累計 [億円]	所管省庁	シート 番号
2016	バイオ燃料利用体制確立促進事業	8,600.017	23.6	環境省	H29-36
2016	上下水道システムにおける省CO ₂ 化推進事業	2,100.000	5.3	環境省	H29-62
2016	再生エネ等を活用した水素社会推進事業	772.000	34.1	環境省	H29-54
2016	アジア地域におけるコベネフィット型環境汚染対策推進事業	720.000	32.8	環境省	H29-92
2016	地方公共団体カーボン・マネジメント強化事業	606.423	10.3	環境省	H29-59
2016	離島の低炭素地域づくり推進事業	599.000	30.1	環境省	H29-38
2016	地下水水質汚濁対策に資する地域循環型バイオガスシステム構築モデル事業	426.686	5.9	環境省	H29-12
2016	業務用施設等における省CO ₂ 促進事業	426.097	11.1	環境省	H29-66
2016	再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業	408.001	22.0	環境省	H29-58
2016	次世代省CO ₂ 型データセンター確立・普及促進事業	299.664	0.9	環境省	H29-64
2016	食品廃棄物・家畜排泄物等活用地域循環型バイオガスシステム構築モデル事業	281.566	7.1	環境省	H29-13
2016	省エネルギー性能の優れた建設機械の導入事業費補助金	242.248	48.1	経産省	H29-245
2015	洋上風力発電実証事業	207.555	90.8	環境省	H28-29
2016	先進環境対応トラック・バス導入加速事業	183.636	1.1	環境省	H29-76
2015	地熱・地中熱等の利用による低炭素社会推進事業	179.803	24.7	環境省	H28-50
2015	次世代エネルギー技術実証事業費補助金	164.487	36.6	経産省	H28-327
2016	モーダルシフト・輸送効率化による低炭素型静脈物流促進事業	163.000	8.9	環境省	H29-7
2016	自立・分散型低炭素エネルギー社会構築推進事業	149.919	10.0	環境省	H29-35
2016	賃貸住宅における省CO ₂ 促進モデル事業	138.153	13.2	環境省	H29-65
2016	省CO ₂ 型社会の構築に向けた社会ストック対策支援事業	124.348	33.4	環境省	H29-60
2016	設備の高効率化改修支援モデル事業	97.656	7.6	環境省	H29-50
2016	先進技術を利用した省エネ型自然冷媒機器普及促進事業	87.545	180.7	環境省	H29-40
2016	輸送機器の実使用時燃費改善事業費補助金	70.629	39.6	経産省	H29-332
2016	低炭素化に向けた公共交通利用転換事業	68.000	18.1	環境省	H29-43
2016	木質バイオマスエネルギーを活用したモデル地域づくり推進事業	66.100	51.3	環境省	H29-29
2015	地域での地球温暖化防止活動基盤形成事業	59.304	52.0	環境省	H28-23
2016	エネルギー使用合理化等事業者支援補助金(民間団体等分・LPガス分)	46.804	28.2	経産省	H29-308
2015	省エネルギー型ロジスティクス等推進事業費補助金	43.000	109.3	経産省	H28-346
2015	省CO ₂ 型リサイクル高度化設備導入促進事業	40.300	16.8	環境省	H28-55
2016	エネルギー使用合理化等事業者支援補助金(民間団体分・天然ガス分)	37.500	215.6	経産省	H29-311
2016	物流分野におけるCO ₂ 削減対策促進事業	36.017	22.9	環境省	H29-69
2016	先導的「低炭素・循環・自然共生」地域創出事業	26.280	90.2	環境省	H29-8
2015	小水力発電導入促進モデル事業費補助金	26.000	10.8	経産省	H28-328
2016	バーチャルパワープラント構築実証事業費補助金	25.789	16.0	経産省	H29-330
2016	LED照明導入促進事業	19.800	9.1	環境省	H29-63
2016	地域経済と連携した省CO ₂ 促進モデル事業	17.091	6.3	環境省	H29-49
2016	低炭素ライフスタイル構築に向けた診断促進事業	16.403	4.2	環境省	H29-41
2016	地域の特性を活かしたエネルギーの地産地消促進事業費補助金	16.000	45.8	経産省	H29-268
2016	燃料電池の利用拡大に向けたエネファーム等導入支援事業費補助金	14.196	704.9	経産省	H29-260
2016	低炭素型廃棄物処理支援事業	13.277	9.9	環境省	H29-57
2016	住宅・ビルの革新的省エネルギー技術導入促進事業費補助金	12.532	460.0	経産省	H29-275
2016	エコリース促進事業	9.783	91.0	環境省	H29-9
2016	地域交通のグリーン化を通じた電気自動車の加速普及促進事業	8.767	10.4	国交省	H29-43
2015	低炭素価値向上に向けた社会システム構築支援事業	7.232	217.3	環境省	H28-33
2016	エコチューニングビジネスモデル確立事業	6.859	4.8	環境省	H29-39
2016	CO ₂ 削減ポテンシャル診断推進事業	5.920	49.1	環境省	H29-25
2016	二国間クレジット制度(JCM)資金支援事業(ADB拠出金)	5.690	48.0	環境省	H29-86
2015	二国間クレジット制度(JCM)基盤整備事業(制度構築・案件形成支援)	5.360	161.0	環境省	H28-72
2016	廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入促進事業	5.187	4.4	環境省	H29-6
2015	環境対応車普及促進対策	4.923	951.5	国交省	H28-43
2016	モーダルシフト等推進事業	4.712	2.8	国交省	H29-66
2016	自立・分散型エネルギー設備等導入推進事業	4.158	0.9	環境省	H29-79
2016	二国間クレジット制度(JCM)に係る地球温暖化対策技術の普及等推進事業	3.778	97.2	経産省	H29-397
2016	水力発電の導入促進のための事業費補助金	3.296	5.4	経産省	H29-336
2016	エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業	3.083	785.1	経産省	H29-286
2016	環境金融の拡大に向けた利子補給事業	2.711	40.0	環境省	H29-15
2016	廃棄物焼却施設の余熱等を利用した地域低炭素化モデル事業	2.456	0.6	環境省	H29-56
2016	二国間クレジット制度(JCM)資金支援事業(プロジェクト補助)	2.441	142.1	環境省	H29-85
2016	中小トラック運送業者における低炭素化推進事業	2.427	84.4	環境省	H29-44
2016	水力発電新技術活用促進事業費補助金	1.940	2.7	経産省	H29-337
2016	省エネルギー投資促進に向けた支援補助金	1.598	2,489.7	経産省	H29-274
2015	地球温暖化対策技術普及等推進事業委託費	1.498	22.9	経産省	H28-444
2016	電気・熱エネルギー高度利用支援事業費補助金	1.290	11.7	経産省	H29-331
2016	中小水力・地熱発電開発費等補助金	1.048	70.4	経産省	H29-313
2016	エネルギー使用合理化特定設備等資金利子補給金	632	14.5	経産省	H29-277
2016	省エネルギー設備投資に係る利子補給金助成事業費補助金	111	90.2	経産省	H29-278

注：2016年度および2017年度行政事業レビューシートの「横断的な施策に係る成果目標および成果実績」欄に記載された2015年度実績または2016年度実績(明らかな単位記入上の間違いは修正した)。事業名は一部省略したことがある。執行額合計は2010年度以降の当該事業の執行額合計。シート番号は行政事業レビュー年度-事業番号。

程度の中規模事業が増えている。

これら温暖化対策事業が適切に評価されているかを見ても、行政事業レビューのプロセス強化を受けて、温暖化対策事業に関しても設備導入を伴う事業の50%以上で削減単価が報告されるなど、評価がある程度定着しつつある。ただし、依然評価をしていない事業も40%以上残っており、また評価している場合も、その評価範囲や手法が統一されていない、追加性が考慮されていないといった課題がある。このため、行政事業レビューシートに記載された削減単価は、事業によって数100円/tCO₂から数100万円/tCO₂まで大きな幅があるが、これに基づいて事業の費用対効果进行评估することはできない。削減単価が低く算定されているのは追加性が低いためかも知れないし、逆に高い算定値であるのは評価範囲が狭いためかも知れないからである。

ここで、当初の「温暖化対策税収は有効に使われているか」という問いに立ち返ると、以上で明らかにしたように、少なくとも行政事業レビューシートに基づけば、評価が適切になされていないため、基本的には「わからない」という答えにならざるを得ない。このような状況は、パリ協定の下で国内外の温暖化対策が一層強化され、国の対策経費も大幅に増額されている中で、決して望ましいものではない。

上記の問いに答えるためには、まず温暖化対策事業による直接的なCO₂削減効果について事業の追加性を考慮した方法で評価すること、また、事業の「波及効果」についても説得力ある評価手法で評価することが必要である。このためには、追加的な削減効果や波及効果に関する評価手法の構築がまず必要である。環境省は「地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック」

(環境省, 2012b) を定めているが、基本的な考え方と事項しか示しておらず、追加性の考え方が欠落している。より詳細な事業評価のための方法論の整備が必要であろう。

また、予算配分が少数の大規模事業に大きく偏っていることを踏まえると、数多くある予算規模の小さい事業に適切な評価を求めるよりも、特に予算規模の大きい少数の事業に対して詳細な評価を行うほうが重要かつ現実的である。既報(木村, 2016a)で指摘したとおり、例えばエコカー・エコポイント事業は、執行額類型が数千億円に及ぶ巨額事業であるにも関わらず、極めて不十分な評価しかなされていない。比較的詳細な評価がなされている事業も多数存在するが¹²、それらの場合であっても、採用されている削減効果推計手法は、国際標準的な手法¹³から見れば不十分・不透明と言わざるを得ない。事業評価に投じるリソースの拡大とともに、小規模事業は簡易に、大規模な事業は詳細に評価するといったメリハリをつけた評価体制が必要と思われる。

¹² 例えば、「エネルギー使用合理化事業者支援補助金」については環境共創イニシアチブ(2017a)、住宅・ビルの革新的省エネルギー技術導入促進事業については環境共創イニシ

アチブ(2017b)等。

¹³ 例えばIPMVP(2002)、NREL(2017)。

付録1. 行政事業レビューシートを用いた温暖化対策事業の抽出・分類方法

本稿では4省庁（経済産業省、環境省、国土交通省、農林水産省）の2010～2017年度における全ての事業（前年度実施）を対象とした。温暖化対策事業の抽出は、各事業の事業名・目的・概要および上位政策・施策に「温暖化」「エネルギー」等の関連キーワードを含む事業を抽出し、温暖化対策を主目的の1つとする事業かどうかを1件ずつ判定することで行った。

抽出した温暖化対策事業は、次の2つの視点から分類した。

- ① 技術分野による分類： 事業が支援対象とする温暖化対策の技術分野による分類。具体的には、「省エネ」「再エネ」「クリーンコール（CCS、IGCC、IGFC等）」「スマートコミュニティ」「蓄電」「燃料転換」「非エネルギー起源温室効果ガス対策」「その他」。特定の技術を想定しない事業については「温暖化対策全般」に分類した。
- ② 活動類型による分類： 事業が支援対象とする活動の種類による分類。事業の多くは温暖化対策技術の開発・導入に関するものであり、開発フェーズによって「研究開発」「実証」「導入」といった分類ができる。また、例えば民間事業者や自治体による対策の計画立案や導入検討を支援する事業は「導入計画や事業可能性の検討」と区分した。本稿では「研究開発」「技術実証」「設備導入」「事業化」「普及啓発・教育・人材育成等」「調査・制度検討等」「クレジット取得」「その他」の分類を用いた。

なお、実際の事業には複数の内容を有するものも多い。それらは複数の分類に該当するものとし、分類別に執行額を集計する際には、執行額を該当する全ての分類に均等に按分した。

付録2 主な温暖化対策事業と2009年度以降の執行額（億円）

事業名	執行額 累計*	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	所管省庁	財源
1 環境対応車普及促進事業	8,657	4,939	937	2,781	0	0	0	0	0	経産省	一般
2 エネルギー使用合理化事業者支援補助金	2,490	314	227	127	224	281	474	358	484	経産省	特会
3 エコポイントの活用によるグリーン家電普及促進事業	2,426	1,892	534	0	0	0	0	0	0	経産省	一般
4 エコポイントの活用によるグリーン家電普及促進事業	2,426	1,892	534	0	0	0	0	0	0	環境省	一般
5 環境対応住宅普及促進対策費補助金	2,381	333	481	723	0	0	0	837	7.3	国交省	一般
6 地域グリーンニューデール基金	2,364	607	4.4	840	121	245	220	180	147	環境省	一般/特会
7 再生可能エネルギー固定価格買取制度施行事業	1,571	0	0	71	1.0	184	267	565	483	経産省	一般
8 エコポイントの活用による環境対応住宅普及促進事業	1,537	333	481	723	0	0	0	0	0	環境省	一般
9 次世代自動車充電インフラ整備促進対策費補助金	1,300	0	0	0	1,005	0	0	232	64	経産省	一般
10 住宅用太陽光発電導入支援対策費補助金	1,217	497	367	350	3.9	0	0	0	0	経産省	特会
11 住宅・建築物市場環境整備促進事業	984	77	214	103	90	177	124	129	69	国交省	一般
12 クリーンエネルギー自動車等導入促進対策費補助金	976	37	43	117	212	205	152	211	0	経産省	特会
13 新エネルギー等導入加速化支援対策費補助金	956	503	325	109	19	0	0	0	0	経産省	特会
14 低公害車普及促進事業（環境対応車普及促進対策）	951	614	46	253	23	8.2	3.9	4.0	0	国交省	一般
15 地域工場・中小企業等の省エネルギー設備導入補助金	885	0	0	0	0	0	0	885	0	経産省	特会
16 住宅用太陽光発電導入支援復興対策基金造成事業費補助金	870	0	0	870	0	0	0	0	0	経産省	一般
17 環境対応住宅普及促進対策費補助金	814	333	481	0	0	0	0	0	0	経産省	一般
18 国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業	785	0	0	114	126	100	125	183	138	経産省	特会
19 京都メカニズムクレジット取得事業	761	370	252	55	40	45	0	0	0	環境省	一般/特会
20 民生用燃料電池導入支援補助金（特別会計）	705	37	97	95	95	21	143	138	80	経産省	特会
21 省エネルギー革新技术開発事業	642	71	67	75	87	83	67	105	87	経産省	特会
22 認証排出削減等取得委託費（特別会計）	619	281	219	44	35	39	0.3	0.3	0.3	経産省	特会
23 再生可能エネルギーの接続保留への緊急対応	508	0	0	0	0	0	92	350	66	経産省	特会
24 二酸化炭素削減技術実証試験委託費	466	14	68	21	28	70	127	91	47	経産省	特会
25 住宅・建築物のネット・ゼロ・エネルギー化推進事業費補助金	460	0	0	0	33	71	101	143	113	経産省	特会
26 定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費	399	0	0	210	0	0	73	116	0	経産省	一般
27 住宅用太陽光発電導入支援対策基金造成事業費補助金	365	220	145	0	0	0	0	0	0	経産省	特会
28 再生可能エネルギー発電設備等導入促進支援復興対策事業	326	0	0	326	0	0	0	0	0	経産省	一般
29 住宅用太陽光発電高度普及促進復興対策基金造成事業	324	0	0	324	0	0	0	0	0	経産省	一般
30 エネルギー管理システム導入促進事業費補助金	300	0	0	300	0	0	0	0	0	経産省	一般
31 耐震・環境不動産形成促進事業	300	0	0	0	300	0	0	0	0	国交省	一般
32 変電所における大型蓄電システム緊急実証事業	296	0	0	0	296	0	0	0	0	経産省	一般
33 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発	287	0	44	63	82	47	51	0	0	経産省	特会
34 次世代エネルギー・社会システム実証事業補助金	271	0	0	85	92	56	38	0	0	経産省	特会
35 民生用燃料電池導入緊急対策事業	251	0	0	0	251	0	0	0	0	経産省	一般
36 環境調和型製鉄プロセス技術開発	251	22	27	20	32	12	65	52	21	経産省	特会
37 分散型電源導入促進事業費補助金	250	0	0	0	0	250	0	0	0	経産省	特会
38 中小企業等の省エネ・生産性革命投資促進事業費補助金	250	0	0	0	0	0	0	0	250	経産省	特会
39 地球温暖化対策技術開発事業（競争的資金）等	245	38	41	51	52	39	21	2.7	0	環境省	特会
40 洋上風力発電等技術研究開発	241	2.5	6.4	14	91	15	15	42	56	経産省	特会
41 革新型蓄電池先端科学基礎研究事業	235	29	32	29	39	30	38	36	0	経産省	特会
42 低炭素価値向上に向けた社会システム構築支援基金	217	0	0	0	0	76	94	47	0.2	環境省	特会
43 エネルギー使用合理化事業者支援補助金（民間等・天然ガス分）	216	0	26	39	39	32	32	31	17	経産省	特会
44 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業費補助金	204	0	0	0	14	70	62	58	0	経産省	特会
45 住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業	197	70	72	53	1.3	0	0	0	0	経産省	特会
46 水素供給設備整備事業費補助金	194	0	0	0	0	0.7	38	118	37	経産省	特会
47 固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発	192	0	48	40	41	32	31	0	0	経産省	特会
48 先進空力設計等研究開発	190	19	34	41	26	40	20	9.5	0	経産省	一般
49 高効率給湯器導入促進事業費補助金	190	131	59	0	0	0	0	0	0	経産省	特会
50 革新的新構造材料等技術開発	185	0	0	0	0	39	48	60	38	経産省	特会
51 グリーンITプロジェクト	184	59	46	43	36	0	0	0	0	経産省	特会
52 先進技術を利用した省エネ型自然冷媒機器普及促進事業	181	0	0	0	0	0	46	61	74	環境省	特会
53 地域低炭素投資促進ファンド創設事業	173	0	0	0	0	21	46	46	60	環境省	特会
54 CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業	165	0	0	0	0	26	42	51	46	環境省	特会
55 電力系統出力変動対応技術研究開発事業	164	0	0	0	0	0	31	57	75	経産省	特会
56 新たな国際排出削減・吸収クレジットメカニズムの構築等事業	161	0	7.8	28	31	23	35	24	12	環境省	一般/特会
57 次世代型熱利用設備導入緊急対策事業	155	0	0	0	155	0	0	0	0	経産省	一般
58 高効率ガスタービン実用化技術開発	153	15	4.8	39	17	19	29	29	0	経産省	特会
59 建築物節電改修支援事業費補助金	150	0	0	150	0	0	0	0	0	経産省	一般
60 石炭生産・利用技術振興 クリーンコール技術開発	150	31	13	12	37	17	12	19	8.6	経産省	特会
61 水素利用技術研究開発事業	146	0	0	0	0	18	37	47	44	経産省	特会
62 地熱資源開発調査事業費補助金	144	0	0	0	0.8	40	8.4	32	64	経産省	特会
63 バイオマス地域利活用総合対策	143	0	69	74	0	0	0	0	0	農水省	一般
64 “一足飛び”型発展の実現に向けた資金支援事業	142	0	0	0	0	0	45	21	76	環境省	特会
65 スマートマンション導入加速化推進事業	131	0	0	0	131	0	0	0	0	経産省	一般
66 再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策費補助金	128	0	0	16	20	30	34	28	0	経産省	特会
67 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発	126	0	0	0	18	30	30	26	23	経産省	特会
68 浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業	123	0	0	0	0	123	0	0	0	経産省	一般
69 地域型住宅グリーン化事業	123	0	0	0	0	0	0	2.8	120	国交省	一般
70 革新型太陽電池国際研究拠点整備事業	120	18	29	20	22	17	13	0	0	経産省	特会

注：行政事業レビューシートから抽出した温暖化対策事業のうち、執行額累計*が大きい順に70件を掲載。*2009～2016年度の執行額累計（億円）。財源は一般会計かエネルギー対策特別会計を示す。

【参考文献】

- 環境共創イニシアチブ (2017a) 平成 29 年度エネルギー使用合理化等事業者支援事業成果報
https://sii.or.jp/cutback29/conference_report.html (アクセス日：2018.1.31)
- 環境共創イニシアチブ (2017b) ネット・ゼロ・エネルギー・ビル実証事業 調査発表会 2017 資料
<https://sii.or.jp/zeb29/conference.html> (アクセス日：2018.1.31)
- 環境省 (2012a) 地球温暖化対策のための税の導入
<http://www.env.go.jp/policy/tax/about.html> (アクセス日：2018.1.31)
- 環境省 (2012b) 地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック初版, 2012 年 7 月.
- 環境省 (2017) 平成 29 年度地球温暖化対策関係予算案について
<http://www.env.go.jp/press/103717.html> (アクセス日：2018.1.31)
- 木村宰 (2016a) 国の温暖化対策事業の現状と課題—公会計資料と行政事業レビューシートに基づく分析—, 電力中央研究所研究報告 Y15018.
- 木村宰 (2016b) 行政事業レビューシートを用いた温暖化対策事業の評価と今後の評価体制に関する提言, 内閣官房行政改革推進本部事務局.
http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gyoukaku/H27_review/hyosyo/honbun.pdf (アクセス日：2018.1.31)
- 木村宰, 大藤建太 (2014) 省エネ補助金の追加性と費用対効果の評価—NEDO 補助事業の事例分析—, 電力中央研究所研究報告 Y13028.
- 行政改革推進会議 (2016) 平成 27 年秋の年次公開検証, 秋のレビュー等の指摘事項に対する各府省の対応状況 (平成 28 年 6 月 28 日時点), 行政改革推進会議資料, 2016 年 6 月 28 日.
- 財務省 (2016) 平成 28 年版特別会計ガイドブック, 財務省主計局.
- IPMVP (2002) International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume I.
<https://evo-world.org/en/products-services-main-menu-en/protocols/ipmvp> (アクセス日：2018.1.31)
- NREL (2017) Uniform Methods Project: Determining Energy Efficiency Savings for Specific Measures. National Renewable Energy Laboratory, US Department of Energy. <https://www.energy.gov/eere/about-us/ump-protocols> (アクセス日：2018.1.31)

木村宰 (きむらおさむ)

電力中央研究所 社会経済研究所

経済成長と環境負荷のデカップリングの 解釈をめぐる課題

Interpretive Issues on Decoupling between Economic Growth and Environmental Burden

キーワード：デカップリング、温暖化、経済成長、電力需要、排出削減

西尾 健一郎 向井 登志広 永井 雄 宇 大藤 建太

環境負荷が経済成長から切り離される「デカップリング」という概念への関心が高まっている。デカップリングは目指すべき姿であり、その実現をもたらす誘因について理解を深め、今後講じるべき対策を検討していくことは有益である。そこで、本稿では、デカップリングの解釈をめぐる課題を整理した。近年、諸外国においてデカップリングの兆候を指摘する例が増えているが、既往文献をレビューしたところ、指標定義にはじまり、分析手法や結果理解、さらには政策検討をする上での留意点が課題として浮かび上がった。デカップリングの兆候は国や地域の固有事情、あるいはデータの扱い方に依存する一面を有するため、マクロレベルの分析や解釈に終始するならば、問題解決に向けた本質的議論がなおざりになる副作用が懸念される。デカップリングを適切に解釈するためには、マクロレベルの観察に加えて、テーマを絞った事例分析や、対象を絞った実態分析を試みる必要がある。

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. デカップリング傾向の指摘例 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 国外 2.2 国内 3. デカップリングを解釈する上での基本前提 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 茅恒等式 3.2 単純なデカップリング分析 3.3 背景要因 3.4 相対的デカップリングと絶対的デカップリング 4. 指標定義の課題 <ol style="list-style-type: none"> 4.1 経済活動データ 4.2 環境負荷データ 4.3 時間軸 | <ol style="list-style-type: none"> 5. 分析手法の課題 <ol style="list-style-type: none"> 5.1 構造変化と原単位改善の分離 5.2 分析手法のトレードオフ 6. 結果理解の課題 <ol style="list-style-type: none"> 6.1 生産ベースと消費ベース 6.2 経済成長ステージ 6.3 結果の頑健性 7. 政策検討の課題 <ol style="list-style-type: none"> 7.1 政策要因とその他要因 7.2 電化 8. おわりに <ol style="list-style-type: none"> 8.1 主な結果 8.2 考察 |
|---|--|

1. はじめに

温室効果ガス排出やエネルギー消費等の環境負荷が経済成長から切り離される「デカップリング」(decoupling, 分離)という概念に対して、関心が高まっている。エネルギー・温暖化問題関連の政府資料上でも、取り上げられるようになってきた。関連して、「炭素生産性」という指標で現状解釈を試みる例(環境省, 2018)もある。

デカップリングは、いずれ目指すべき姿である。その実現に向けて、デカップリングをもたらす誘因について理解を深め、今後講じるべき対策を検討していくことは有益である。他方で、特定の期間や地域のCO₂やエネルギー消費をもってデカップリング局面に移行した、していないという表層的な議論にとどまるとすれば、あまり生産的でない。

そこで、本稿では、政策決定者等、主にはデカップリング概念を参照したり解釈したりす

る立場にある読者を想定して、デカップリングにかかる議論の基本的整理をする¹。独自のデータ分析を行うのではなく、文献調査により既往知見を俯瞰することを目指す。

2章ではデカップリング傾向の指摘例を紹介する。その上で、3章においてデカップリングを解釈する上での基本前提を確認する。4～7章では、解釈上の諸課題や留意点を述べる。8章はまとめである。なお、本稿で取り上げる文献の中には、デカップリングという表現を直接用いないものもあるが、CO₂やエネルギーを対象²として関心領域が重なる文献は取り上げることにした。

2. デカップリング傾向の指摘例

導入部として、デカップリング傾向を指摘する国内外の主要文献を紹介する。それらの解釈にあたり、慎重さが求められることは次章以降で述べることにして、本章においてはひとまずの概要確認をする。

2.1 国外

国際エネルギー機関 (IEA, 2017a) によれば、2014年以降の3年間において、世界全体で経済成長を続けながらCO₂排出量がフラットにとどまったことが、デカップリング傾向を示唆するものとされている。2016年実績の背景として、主要排出国の米国においてシェールガスや再生可能エネルギー（再エネ）が増加したこと、世界規模で電力消費量増の半分以上を再エネ（半分は水力）が供給したこと、原子力発電容量の増加が1993年以降の最高水準だったことなどを挙げている。

同機関の省エネ市場報告書 (IEA, 2017b) で

は、2000～16年の間に、OECD全体としてGDPは32%成長しながら一次エネルギー（一次エネ）供給量の規模は維持（1%減）され、非OECD全体でもGDPはプラス150%の成長をしながら一次エネ供給量の増加は80%にとどまったことを受け、両者ともデカップリング傾向が観察されたとしている。また、同期間中のIEA加盟国の最終エネルギー消費量変化を活動量・構造・効率要因に分解し、活動量の23%増を効率向上がオフセットしてきたと評する。

Aden (2016) は、2000～14年の間に実質GDP増と温室効果ガス排出減が見られた約20ヶ国を例示するとともに、背景となる唯一の公式や政策はないが、それら国の大半で産業部門のシェアが減少していることを指摘している。

米国では、2008～15年の間にGDPが10%増加する一方で、エネルギー起源CO₂は9%以上減少し、こうした傾向が持続した期間は米国史上初である (The White House, 2016)。この傾向の背景としてObama (2017) は、燃費や家電・建物省エネ基準の規制強化を通じて投資やイノベーションを促したこと、ガスや再エネの価格低下といった市場ダイナミクスにより電力セクターの変革が進んだことなどを主張している。Kotchen et al. (2016) の定量分析によると、2007～13年におけるCO₂排出抑制は、当初はリーマン・ショックを受けた景気低迷の影響が大きく、その後は、燃料構成のガスシフト、GDPあたりエネルギー原単位の低減、生産・消費構造の変化が重なり合っていた。

2.2 国内

中央環境審議会 地球環境部会 (2017) は、我が国の実質GDPとエネルギー起源CO₂の推移を比較した上で、2015年度を含む直近3ヶ年程

¹ 本稿は、第36回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集に収録の西尾ほか (2017) に、一部修正・加筆をしたものである。

² 環境負荷の指標として、CO₂やエネルギー以外でデカップリング問題を扱う文献として、SO₂に関する研究 (升本, 2015) などもある。

度はデカップリング傾向が顕著になりつつあると指摘している。

東京都（2016）は、2001～13年度の間に都内総生産は増えたが、最終エネルギー消費量は減少し、デカップリングが進んでいるとしている。

3. デカップリングを解釈する上での基本前提

前章では、デカップリング傾向の指摘例を確認したが、観察指標や方法は様々である。本章では、デカップリングを解釈する上での基本前提を確認する。

3.1 茅恒等式

茅恒等式（Kaya identity）は、CO₂排出量の要因分解アプローチとして有名である。下式のように、第1項の炭素強度ないし炭素含有率（carbon intensity）、第2項のエネルギー強度ないしエネルギー原単位（energy intensity）、第3項の1人あたりGDP、第4項の人口に分解することで、どの要因が支配的か考察しやすくなる。なお、炭素生産性（carbon productivity）と呼ばれる指標は、第1項と第2項の積の逆数に相当し、以降では説明の重複を避けるため特に言及しないが、デカップリングをめぐる課題との共通点が多い³。

$$\text{CO}_2 = (\text{CO}_2/\text{エネルギー}) \times (\text{エネルギー}/\text{GDP}) \times (\text{GDP}/\text{人口}) \times \text{人口}$$

³ デカップリングについて、指標の取り方が様々である点は4章で後述するが、多くの場合は第1項や第2項を考察範囲とするからである。炭素生産性指標は環境省（2018）などで

3.2 単純なデカップリング分析

単純なデカップリング分析は、茅恒等式の考え方をベースとして、①CO₂排出量やエネルギーの推移とGDPの推移をグラフに併記して比較する、あるいは、②GDPあたりのCO₂排出量やエネルギー、いわゆる原単位の推移をグラフ化するなどして評価することが多い。

こうした分析の特徴として、指標の簡便さや明快さ、データ入手可能性の高さ、地域比較の容易さが挙げられる。他方で、GDPあたりのCO₂排出原単位といったマクロ指標の単純観察に終始すると、背景要因の読み解き（この場合は茅恒等式第1項・第2項への分解）への意識が希薄になる。

3.3 背景要因

背景要因については、茅恒等式以外にも、関心に応じて様々な捉え方が用いられる。

エネルギー量推移の定量分析で多用される枠組みとして、活動量（生産量）・構造変化・原単位要因への分解がある（日本エネルギー経済研究所, 2017）。このうちデカップリングを進めていく上で本質的に重要なのは、技術進歩が原単位低下をもたらすことに成功するかである。

International Resource Panel（IRP）（2014）の定性的考察では、デカップリング現象を3つに区別することを提案している。1つ目は、取引による責任転嫁（burden shifting）である。資源や製品の輸入比率が上昇することで国内の発生負荷は減るが、海外では増える。2つ目は、成熟（maturation）である。インフラ構築などで環境負荷が増大しがちな成長初期段階を過ぎれば、資源生産性は見かけとして向上する。しかし、これはごく自然の現象であり、さらなる効率化を保証するものではない。3つ目は、意図的な

取り上げられ、その解釈をめぐる課題は有馬（2017）が詳しい。

資源生産性向上 (intentional resource productivity increase) で、これこそがデカップリングの本来の姿であり、イノベーション、効率的なインフラや暮らし方、適切な意識・行動様式が求められる。

CO₂排出原単位に関しては、Peters et al. (2017) が茅恒等式の拡張分析を行っている。具体的には、通常の「CO₂排出量/一次エネルギー供給量」の項を「CO₂排出量/化石燃料による一次エネルギー供給量」(fossil intensity) と「化石燃料による一次エネルギー供給量/一次エネルギー供給量」(fossil share) に細分化し、主要地域のCO₂排出増減要因を掘り下げて捕捉している。そうすることで、ガスシフトや、再エネ・原子力など非化石資源の増加による効果を概観できる。

3.4 相対的デカップリングと絶対的デカップリング

環境負荷の変化率がプラスでありながら経済指標の変化よりも小さければ、相対的デカップリング (relative decoupling) と呼ばれ、ゼロまたはマイナスなら絶対的デカップリング (absolute decoupling) と呼ばれることがある (IRP, 2014)⁴。相対的デカップリングはそこまで珍しい現象ではなく、絶対的デカップリングに移行することが重要だと言える。

4. 指標定義の課題

単純なデカップリング分析であっても、指標の取り方は様々であり、結果の印象が異なる可能性がある。

4.1 経済活動データ

デカップリング分析の経済活動データとし

ては、GDPを用いることが多い。GDPに何をを用いるかという点で、為替換算の方法やGDPデフレータの考慮は基本的なことだが、これらを完全に公平化して比較することは意外に難しい。末広 (2007) は為替レート (FX) 換算では先進国の経済規模が過大評価 (原単位は過良評価) されがちで、購買力平価 (PPP) 換算ではその反対の傾向になることをふまえ、FXとPPPの中間的な手法として生産・消費部門別に異なるレートを使用する手法を試みると、原単位の国間格差が縮小できることを示している。このほか、FX換算の場合、いつの時点のレートを用いるかで結果が変化することはいうまでもない。

時にはGDP以外の指標も用いられる。Ang (2006) の整理によれば、主として金額ベースと物理量ベースの指標がある。金額指標は社会全体を集約したままの分析に適し、代表例はGDPで、産業部門の付加価値額も該当する。物理量指標は、より細かな部門・業種や最終用途を対象とする分解能を高めた分析で候補となり、例えば、鉄鋼業の生産重量、運輸業の旅客距離、家庭の床面積などである。

4.2 環境負荷データ

環境負荷データとしては、CO₂排出量、一次エネ供給量、最終エネルギー (最終エネ) 消費量、電力消費量などがあり、何を観察指標とするかによって見た目の印象は変わる。

一次エネか最終エネかという点では、転換部門の扱いや生産原料としてのエネルギーの取り扱いをどうするかの方によるし、いずれかが公正というわけではない。例えば、再エネや原子力のシェア変動が大きい状況においては、それらの一次エネ変換係数の定義則に連動して指標が振れやすく、慎重な解釈が求められる

⁴ 文献によっては、前者を weak decoupling、後者を strong decoupling と記述することもある。

る(永井, 2017)。柳澤(2011)はこうした問題を回避するために最終エネを採用し、最終需要部門別に要因分解した例を提示している。

CO₂の場合は、エネルギー量の変化だけでなく、エネルギーCO₂原単位の変化も、結果に含まれることになる。

4.3 時間軸

基準年をいつとするか、対象期間を何年までとするか、単年のまま示すか複数年で平滑化するかにより、指標やグラフの印象が異なることがある。これらはシンプルなことであるが、基準年や期間設定の取り方には客観的な正解がない。単年データは偶然も含めて変動するのが常であり、特異事象の影響やその残存あるいはリバウンド、数年単位で起こる生産動向のゆらぎなどもある。我が国においても直近10年間において、2008年のリーマン・ショック、2011年の震災と以降の節電や電源構成変化、2014年の消費税増税、各年の寒暖差などがある。言うまでもなく、デカップリングは長期トレンドで論じるべきものなので、短期の観察結果から結論を急ぐべきではない。

5. 分析手法の課題

同じ国・地域・期間の指標であっても、分析手法によって、結果の印象が異なる可能性がある。手法全般にわたる考察は大藤ほか(2017)に譲り、本稿では、効率化による貢献分の見極めを例題として、分析の意義と課題を述べる。

5.1 構造変化と原単位改善の分離

先進国や都市部においては、重工業から軽工業、モノからサービスへのシフトが進む。並行して域外の負荷増を誘発しがちな点(6.1で後述)に留意するとして、構造変化は経済発展の一樣態であり、それ自体が問題ではない。しか

し、本来の関心事は効率向上による原単位低減であり、構造変化の寄与と分離しておくことには意義がある。

表1は、この問題を極端な形で示す仮想例である。マクロレベルの観察に限れば、経済成長と環境負荷減が同時進行しているように見える。一方、業種レベルで観察すると、各業種の原単位は悪化していて、経済活動が低原単位業種へと構造変化したことが見かけ上のデカップリングをもたらしているに過ぎない。

表1 構造変化による見かけ上の改善(仮想例)

	前			後		
	経済活動	原単位	環境負荷	経済活動	原単位	環境負荷
業種A	5	1	5	8	2↑	16
業種B	5	9	45	3	10↑	30
全体(マクロ)	10	5	50	11↑	4.2↓	46↓

具体例として、野村(2017)の分析によれば、ドイツが2000~14年に達成したかに見えるエネルギー生産性改善のうち、2/3以上は産業構造変化によるもので説明され、同様にイギリスについても、マクロレベルの改善の2/3以上が生産構造に起因している。

このように要因分解の意義は明らかであるが、付言すると、同じ国や地域であっても、分析手法によって結果のニュアンスが変わりうるという潜在的課題がある。構造を細分化するほど、原単位改善分ではなく構造変化で説明される部分が増える傾向にある(Weber, 2009)。したがって、前述の野村(2017)は産業の細分化数を慎重に扱っているが、この点が不明瞭な文献も少なくない。Croner and Frankovic(2016)は、分析方法によって構造変化要因が過大、原単位改善要因が過小評価になってしまう例として、日本とトルコを挙げている。

星野(2009)は、IEAのマクロ分析では日本

の原単位改善が観察されにくいものに対して、製造業のデータを業種別に読み解くと、改善傾向にあることや、国際的水準からも依然として原単位が低い水準にあることなどがわかると指摘している。

5.2 分析手法のトレードオフ

デカップリング傾向の確認にあたりもっぱら重視されるのは、データの利用可能性や透明性、比較可能性であり、観察対象を社会全体の集約指標にとどめることが多い。その反面、表層的な結果の確認にとどまりがちである。

過去には集約指標による分析が一般的だったが、需要関連データの利用可能性が向上したこともあり、効率向上実態をより正確に映し出すボトムアップ分析が増えてきている (Ang, 2006)。分析解像度を高めることで実態把握は進む。しかし、複雑化しすぎると全体像が掴みづらくなる。

6. 結果理解の課題

デカップリング指標はそのわかりやすさから比較等に用いられることが多い。それらの解釈上の留意点を述べる。

6.1 生産ベースと消費ベース

通常の集計では統計データにもとづき「生産ベースCO₂」を捕捉するが、国際分業が進む中、輸入先での間接排出を含む「消費ベースCO₂」という概念が知られている。貿易体化CO₂、カーボンフットプリント、バーチャルカーボン、カーボンリーケージといったキーワードで言及されることもある。CO₂や資源利用はグローバルな問題であるから、その実態把握には意義がある。

例えば、英国のCO₂排出原単位を貿易体化値から評価したBaicocchi and Minx (2010) は、1992

～2004年の英国のCO₂直接排出量は確かに減少したが、貿易体化値では反対に増加したため、正味では排出増だったとしている。Davis and Caldeira (2010) も、スイス、スウェーデン、オーストリア、英国、フランスでは貿易体化値で見た場合のCO₂の3割以上は輸入に由来していた(2004年)と評価している。Deloitte Access Economics (2015) は、フランスや英国のカーボンフットプリントの半分以上は海外で発生しており(日本は約4割)、特に英国では、1992～2011年の間に生産ベースCO₂は21%減少したが、消費ベースCO₂は1%の増加にあり、その要因としてエネルギー供給の低炭素化、サービス経済への移行、貿易赤字の拡大を指摘している。このように、サービス化の進んだ地域のCO₂排出削減の実績は、貿易体化値で見ることによって、見かけより小さくなることに注意が必要である。

消費ベースCO₂は、データ整備や分析に一定の手間を要するが、近年ではOECDが推計値を公開している。これによればOECD加盟国では、オランダ・韓国などの一部例外を除いて消費ベースCO₂が生産ベースCO₂を上回っており、最終需要に体化される国外排出量のシェアは上昇傾向にある。オランダのようにシェアが低下した国や、日本のようにシェアが微増にとどまる国もあるが、スウェーデンやドイツ、デンマーク、英国などはシェアの増加が大きい (Wiebe and Yamano, 2016)。

6.2 経済成長ステージ

徳重ほか (2015) によれば、エネルギー原単位の改善率は、経済成長によって高くなる一面もあり、既に効率化が進んだ国では改善余地が小さくなりやすい。この問題は、2014年に米・ACEEEが公表した国別省エネランキングのバックデータにも垣間見られ、国際比較の難しさの一要因になる (RITE, 2014)。2007年に世界

銀行がまとめたCO₂削減効果指標においても、成長過程にある国ほど数字の見栄えがよくなる定義が採用され、さらには、統計データを変えると順位も大きく動いてしまうといった批判がある (RITE, 2008)。

Csereklyei and Stern (2015) は、デカップリング効果とされるものから、もともと消費が大きい国が平均レベルに収束する現象を切り分けようとした。

なお、デカップリング論とあわせて言及されることがある概念として、環境クズネツ曲線がある。成長過程にある国では、エネルギーに依存する社会へと移行することで原単位は増加局面にある一方で、成熟した国では原単位低減に向かうことが期待される。両者の概念に親和性があるということは、長所や短所にも共通性が見られるように思われる。すなわち、指標や結果はわかりやすいが、原因説明や示唆獲得の手段としては不足する。

6.3 結果の頑健性

経済成長とエネルギー消費の間の因果関係を掘り下げる研究は多いが、それら結果は必ずしも一様でない。Kalimeris et al (2014) は158の既往研究のメタ分析を通じて、因果の有無は明確でなかったとした。Hajko (2017) も、104件の既往研究のレビューにより、両者の関係性について確証は得られず、分析結果は採用した方法論の影響を受けやすいことを批判している。

ここまで確認してきたように、デカップリング指標の定義や分析手法は多数あるので、見解を予断することなく、俯瞰的に観察を続けることが肝要である。

7. 政策検討の課題

政策はデカップリングの誘因になりうるが、全てでもない。政策の効果や必要性を説明する

ためには、別途それを目的とする検討を要する。

7.1 政策要因とその他要因

Stavins (2016) は、CO₂減少要因として、エネルギー費用削減をドライバとする技術革新、シェールガス革命のような技術革新がもたらすエネルギーシフト、高所得国における重工業から軽工業・サービス業への構造変化、および、公共政策の効果を挙げた上で、要因の組み合わせは多様であり、政策効果のみがデカップリングをもたらすわけではないことを強調している。

米国には、省エネ分野の先駆者の名を冠した "Rosenfeld curve" と呼ばれるグラフがある。一人あたり電力消費量の推移を比較するこのグラフからは、全米大の増加基調とは対照的に、カリフォルニア州のそれは、1970年以降ほぼ同水準に抑えられてきたことが読み取れる。省エネの成功を象徴するものとして引用されることが多いが、価格や気候、人口動態も考慮すれば、家庭部門で生じた差のうち政策効果は約3割にとどまる点に留意すべきだという指摘もある (Sudarshan, 2013)。

7.2 電化

我が国の電力消費がここ数年、震災前の水準以下に抑えられていることを受けて、電力デカップリングも容易であるかのように捉えられることがある。しかし、世界的に見てGDPと電力消費の間には未だ強い正の相関がある (秋元, 2017)。加えて、将来に目を移すと、国内外のCO₂大幅削減シナリオでは熱需要分野をはじめとする相当程度の電化に期待が寄せられ、これと整合するには燃焼式からヒートポンプ式技術への代替といった需要側対策を、従前以上に推進していく必要がある。デカップリングという規範を共有することは意義深いですが、電力もCO₂と同じ歩調で減らせるというイメージの

まま樂觀視していると温暖化対策の道幅を狭めてしまうおそれがある点に留意すべきである。

8. おわりに

8.1 主な結果

本稿では、経済成長と環境負荷のデカップリングに注目し、その指摘例を確認した上で、解釈をめぐる課題を明らかにした。

第1に、指標定義は様々であり、結果の印象が異なる可能性がある。第2に、同じ国・地域・期間の指標であっても、分析手法によって、結果の印象が異なる可能性がある。第3に、産業などの構造変化や経済成長ステージによる違いにも意識を向け、結果を注意深く理解する必要がある。第4に、政策はデカップリングの誘因になりうるものの、政策の効果や必要性については別途それを目的とする検討を要する。

8.2 考察

デカップリングは望ましい姿である。ある断面やドイツ、米国・カリフォルニア州の関連指標グラフなど、デカップリング兆候を見出すことはさほど難しくない。しかし、国や地域の固有事情、あるいはデータの定義や算出方法に依存する一面を有するし、もし表層的な分析や解釈に終始するならば、問題解決に向けた本質的議論がなおざりになる副作用も懸念される。

Smil (2003) は、エネルギー原単位はわかりやすい指標だが、注意深く扱わないと誤解を招くおそれがあり、指標にとらわれ過ぎないようにすることで、実態にかかる洞察の獲得や、単純化された非生産的な結論からの脱却ができること述べている。この示唆は、炭素生産性指標についても当てはまるだろう。Sorrell (2015) は、需要削減は一般に想像するほど容易でないという認識のもと、市場や政策の現実的課題に向

き合い、積極的な取り組みによりそれらを克服していくことの意義を主張する。

解釈の適正化に向けては、マクロレベルの観察にとどまることなく、テーマを絞って事例分析していくことや、あるいは、時には扱いつらいデータも取り込みながら実態に接近していく試みが求められる。例えば、世界のCO₂排出がここ数年フラットである背景について、RITE (2017) は鉄鉄・セメント生産減といった中国の特殊事情を含む幾つかの要因を試算している。我が国の家庭部門について、中野・西尾 (2017) は震災後の電力需要減少要因を概算し、家電等の高効率化を含む様々な要因が節電意識の緩和を補っていることや、給湯分野の電化進展スピードが震災後に停滞したことの影響等もあるので、今後も動向を注視していく必要があることを指摘している。向井・西尾 (2017) は、1990年以降の家庭部門給湯・暖房用最終エネの減少要因として、エネルギー源転換や機器高効率化、断熱水準向上等の寄与度を分解している。これらも例外ではないが、実態把握の手法にはバリエーションがあり、それぞれ得手不得手がある。分析手法に着目した文献調査結果は大藤ほか (2017) が詳しい。本稿とあわせて、デカップリング傾向を見極めていく上での参考となれば幸いである。

【参考文献】

- 秋元圭吾 (2017) パリ協定約束草案の排出削減努力の評価, ALPS 国際シンポジウム。
- 有馬純 (2017) カーボンプライシングに関する諸論点, 21世紀政策研究所 研究プロジェクト報告書。
- 大藤建太, 向井登志広, 永井雄宇, 西尾健一郎 (2017) 経済成長と環境負荷のデカップリングに関する文献調査—その2 分析面から—, 第36回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集。
- 環境省 (2018) 我が国の温室効果ガス排出量及び炭素・エネルギー生産性の現状等, カーボンプライシングのあり方に関する検討会 第8回検討会資料。
- 末広茂 (2007) 省エネルギー指標としての GDP 原単位—GDP 原単位における国際比較の問題点と部門別ア

- アプローチによる推計—IEEJ, 6, 1–15.
- 東京都 (2016) 東京都環境基本計画.
- 徳重功子, 秋元圭吾, 小田潤一郎, 本間隆嗣 (2015) 2020年以降の各国 CO₂ 排出削減目標誓約のレビューに向けた分析, 第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集.
- 中央環境審議会地球環境部会 (2017) 長期低炭素ビジョン.
- 中野一慶, 西尾健一郎 (2017) 我が国の家庭用販売電力量の変化要因に関する基礎的分析—2010～2015年の変化を対象として—, 第36回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集.
- 日本エネルギー経済研究所 (2017) 改訂4版 図解エネルギー・経済データの読み方 入門, 省エネルギーセンター.
- 永井雄宇 (2017) 経済成長と電力消費量のデカップリングに関する一考察, 第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集.
- 西尾健一郎, 向井登志広, 永井雄宇, 大藤建太 (2017) 経済成長と環境負荷のデカップリングに関する文献調査—その1 解釈面から—, 第36回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集.
- 野村浩二 (2017) 英独におけるエネルギー生産性の改善は持続可能か, DBJ Research Center on Global Warming Discussion Paper Series, 60.
- 星野優子 (2009) エネルギー消費原単位の国際比較—日本、中国の製造業を中心に—, 社会経済研究所ディスカッション・ペーパー, SERC09032.
- 升本潔 (2015) 経済成長と二酸化硫黄 (SO₂) 排出量のデカップリング—エコロジー的近代化の視点から, 環境情報科学論文集, 29, 279–284.
- 向井登志広, 西尾健一郎 (2017) 家庭部門における用途別エネルギー消費量の変化要因分析, 第36回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集.
- 柳澤明 (2011) 二酸化炭素原単位の要因分解, Energy Trend Topics, 3, 1–9.
- RITE (2017) 経済と CO₂ 排出のデカップリングに関する分析・評価.
- RITE (2014) 世界主要国のエネルギー効率ランキング報告の検証—ACEEE 報告の解釈について—.
- RITE (2008) World Bank レポートにおける温暖化対策に関する各国ランキング, 指標について.
- Aden, N. (2016) The Roads to Decoupling 21 Countries Are Reducing Carbon Emissions While Growing GDP, World Resources Institute Blog
<http://www.wri.org/blog/2016/04/roads-decoupling-21-countries-are-reducing-carbon-emissions-while-growing-gdp> (アクセス日 2018.2.19)
- Ang, B. W. (2006) Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From energy-GDP ratio to composite efficiency index, Energy Policy, 34 (5): 574–582.
- Baiocchi, G. and J. C. Minx (2010) Understanding changes in the UK's CO₂ emissions: a global perspective, Environmental Science & Technology, 44 (4): 1177–1184.
- Csereklyei, Z. and D. I. Stern (2015) Global energy use: Decoupling or convergence? Energy Economics, 51: 633–641.
- Croner, D. and I. Frankovic (2016) A structural decomposition analysis of global and national energy intensity trends, Vienna University of Technology Working Papers in Economic Theory and Policy, 08/2016.
- Davis, S. J. and K. Caldeira (2010) Consumption-based accounting of CO₂ emissions, PNAS, 107 (12): 5687–5692.
- Deloitte Access Economics (2015) Consumption-based carbon emissions.
- Hajko, V. (2017) The failure of Energy-Economy Nexus: A meta-analysis of 104 studies, Energy, 125 (15): 771–787.
- International Energy Agency (2017a) IEA finds CO₂ emissions flat for third straight year even as global economy grew in 2016
<https://www.iea.org/newsroom/news/2017/march/iea-finds-CO2-emissions-flat-for-third-straight-year-even-as-global-economy-grew.html> (アクセス日 2018.2.19).
- International Energy Agency (2017b) Energy Efficiency Market Report 2017.
- International Resource Panel (2014) Decoupling 2: technologies, opportunities and policy options.
- Kalimeris, P., C. Richardson and K. Bithas (2014) A meta-analysis investigation of the direction of the energy-GDP causal relationship: implications for the growth-degrowth dialogue, Journal of Cleaner Production, 67: 1–13.
- Kotchen, M. J., E. T. Mansur, K. Feng, S. J. Davis, L. Sun and K. Hubacek (2016) Drivers of the US CO₂ emissions 1997–2013, Nature Communications, 6 (7714).
- Obama, B. (2017) The irreversible momentum of clean energy, Science, 355 (6321): 126–129.
- Peters, G. P., R. M. Andrew, J. G. Canadell, S. Fuss, R. B. Jackson, J. I. Korsbakken, C. L. Quéré and N. Nakicenovic (2017) Key indicators to track current progress and future ambition of the Paris Agreement. Nature Climate Change, 7 (2): 118–122.
- Sorrell, S. (2015) Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47: 74–82.
- Smil, V. (2003) Energy at the Crossroads MIT Press.
- Stavins, R. N. (2016) Misleading Talk about Decoupling CO₂ Emissions and Economic Growth
<http://www.robertstavinsblog.org/2016/05/02/misleading-talk-about-decoupling-CO2-emissions-and-economic-growth/> (アクセス日 2017.4.13).
- Sudarshan, A. (2013) Deconstructing the Rosenfeld curve: Making sense of California's low electricity intensity, Energy Economics, 39: 197–207.

- The White House (2016) United States Mid-Century Strategy FOR DEEP DECARBONIZATION.
- Weber, C. L. (2009) Measuring structural change and energy use - Decomposition of the US economy from 1997 to 2002, *Energy Policy*, 37: 1561–1570.
- Wiebe, K. S. and N. Yamano (2016) Estimating CO₂ emissions embodied in final demand and trade using the OECD ICIO 2015: Methodology and results, OECD Science, Technology and Industry Working Papers.

西尾健一郎 (にしおけんいちろう)

向井登志広 (むかいとしひろ)

永井雄宇 (ながいゆう)

電力中央研究所 社会経済研究所

大藤建太 (おおふじけんた)

会津大学

炭素税と三重の配当論

A Carbon Tax and the Triple Dividend

キーワード：炭素税、二重の配当、ポーター仮説

若林雅代 木村宰

炭素税には、排出削減を促す環境改善効果(第1の配当)に加えて、税収を活用した既存税の軽減による社会的余剰の損失回避(第2の配当)や、低炭素技術の普及とエネルギー効率の改善に必要な投資の促進(第3の配当)という効果も期待できるとする議論(三重の配当論)がある。この論拠には、「二重の配当仮説」と「ポーター仮説」という、それぞれ独立した学説があり、これまでに多くの研究者によって議論と検討が深められている。本稿では、関連文献のレビューに基づき、三重の配当の成立可能性や政策論上の示唆について考察する。

1. はじめに
2. 二重の配当仮説
 - 2.1 炭素税の第1、第2の配当
 - 2.2 第2の配当に対し投げかけられた疑問
 - 2.3 二重の配当の定義
 - 2.4 強い二重の配当仮説に関する研究事例
 - 2.5 二重の配当仮説のまとめ
3. ポーター仮説
 - 3.1 「弱い」ポーター仮説
 - 3.2 「強い」ポーター仮説
 - 3.3 ポーター仮説のまとめ
4. まとめ

1. はじめに

炭素税は、CO₂の排出に応じて一定の負担を求め、CO₂の排出を費用として認識させることを通じて排出削減を促す。中央環境審議会(2017)やCPLC(2016)にみられる論説では、炭素税には、排出削減(第1の配当)に加え、税収を既存税の軽減に充てることにより、既存税がもたらす社会的余剰の減少を緩和(第2の配当)、低炭素技術の普及とエネルギー効率の改善に必要な投資の促進(第3の配当)という3つの効果が期待できるとしている。これらは「三重の配当」(triple dividend)と呼ばれている(CPLC, 2016)。しかし、三重の配当の成立は先験的に明らかとなっているわけではない。そこで、本稿では、関連する文献をレビューし、論拠を明らかにするとともに、三重の配当の成立可能性や政策論上の示唆について考察する。

炭素税の三重の配当のうち、第1、第2の配当が同時に成立するか否かは、「二重の配当仮説」と呼ばれ、多くの研究者によって議論されてきた。本稿では2.でこれをレビューする。

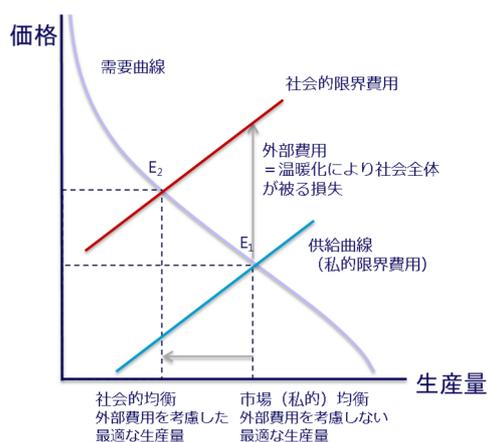
また、第3の配当は、炭素価格付け(カーボンプライシング)が低炭素技術への投資やイノベーション、ひいては企業や国の競争力強化をもたらすというものであるが、炭素価格に限らず、広く環境政策がそのような効果を持ち得ることは、「ポーター仮説」として議論されてきた。3.ではこのポーター仮説についてレビューする。

2. 二重の配当仮説

2.1 炭素税の第1、第2の配当

環境汚染や公害のように、市場を介さない経済活動が、他者や社会に何らかの不利益をもた

らすことを外部不経済という。温暖化の問題も同様に捉えることができ、理論的には、温暖化によって社会全体が被る損失（外部費用）を、炭素税として排出者の費用に内部化すれば、排出量を最適な水準へと誘導できる（図1）。このようにして排出を抑える効果を、炭素税の第1の配当と呼ぶ。



外部不経済が存在すると私的な利潤を最大化する市場均衡点 (E_1) では排出量が過剰となり、社会的余剰の損失が発生する。これに対し、外部費用に等しい炭素税を課すと、新たな市場均衡点 (E_2) では社会的余剰が最大となり、最適な排出量を誘導できる。

図1 炭素税の第1の配当

しかし、現実の問題はそれほど単純ではなく、第1の配当の実現には、主に3つの課題が指摘されている。

第1に、温暖化による損失、すなわち炭素の排出の外部費用の定量化の課題がある。排出量の変化が温度上昇や気候変動に与える影響、さらには気候変動影響の経済価値評価には、様々な不確実性を伴う（秋元・佐野，2017）。このため、図1に示す最適な税率を設定することは困難であり、現実にはいくつかの前提を置いた上で、大きな幅を持つ定量化とならざるを得ない¹。

第2に、エネルギー需要の価格に対する反応を鈍らせる様々な要因の存在がある。エネルギー需要の中には、費用効果的な設備や技術の選択に制約がある場合や、そもそも費用への関心が薄い場合など、合理的な行動を阻む様々な障壁がある（若林・木村，2009）。IPCC（2014）は、これらの障壁によって、エネルギー需要の価格に対する反応は、短期的には非弾力的（弾性値 $-0.1\sim-0.25$ ）だが、長い期間では弾力的（弾性値は $-0.6\sim-0.8$ 程度）としている²。

第3に、排出量に応じた税率を経済全体に等しく課すことが、現実には困難という課題がある。図1の社会的均衡は、社会全体で、排出量に比例する炭素税が課されることを前提とするが、現実には、部門ごとに税率が設定され、また、様々な減免措置が講じられるために、排出量1単位あたりの炭素税率は、均一とはならない（IPCC，2014）。特に、エネルギー多消費産業ほど、影響緩和措置を受ける傾向にあるため、相対的に高い税率を課される部門は、上述したように、価格変化に非弾力的である場合が多い。

以上の課題により、現実社会においては、第1の配当は限定的にしか期待できない。このような中、炭素税の税収効果に着目し、既存税との相殺効果によって、労働市場や財市場における社会的余剰の損失を減少させることができると説いたのが、Pearce（1991）である。Pearce（1991）の考えは「二重の配当仮説（double dividend hypothesis）」と呼ばれて注目を集めた。この仮説によって、環境税の社会的受容性が高まり、欧州を中心に、炭素税収を財源として、労働所得税の大幅減税を実現するグリーン税制改革が広まった（表1）。

¹ 例えばオバマ政権下の米国は、2020年の炭素の社会的費用を平均値では42ドル、95%タイル値では123ドルと推定した（割引率3.0%、 $t\text{-CO}_2$ あたり2007年固定価格）。USIWG（2015）参照。

² ただし、この数値は様々な研究サーベイの平均値で、個別の研究での推計値は国や地域、推定方法や期間によって大きなばらつきがある（IPCC，2014）。

表1 欧州におけるグリーン税制改革

国	導入年	税収の用途
フィンランド	1990	所属税、雇用税の軽減
スウェーデン	1991	法人税、所得税の軽減
デンマーク	1992	政府支出拡大
スイス	2008	企業の雇用税軽減に2/3、建築物改修・技術補助に1/3
フランス	2014	雇用税の軽減

出典：環境省（2017）に基づき作成

2.2 第2の配当に対し投げかけられた疑問

しかしその後、炭素税自体も社会的余剰の損失を増幅させる効果を持つために、既存税との相殺による社会的余剰損失の増減は予見できないとして、二重の配当仮説に対する懐疑的な見解が呈され、次第に広まっていった。

Bovenberg and de Mooij (1994) は、こうした指摘の先駆的存在で、炭素税により物価水準が上昇すれば、実質賃金率が低下し、労働供給が減少するため、社会的余剰の損失が拡大する可能性があることを示した。そして、炭素税のような課税ベースの狭い税で広範な課税ベースを持つ税を置き換えれば、実質賃金率は常に低下し、税収の効果を考慮しても社会的余剰の損失を埋め合わせることができないため、二重の配当は生じないと論じた。

Bovenberg and de Mooij (1994) が最初に示したモデルでは、労働以外の所得が存在せず、また、余暇や環境の質と他の財の消費とが弱い意味で分離可能な消費選好³を想定するなど、単純化のために様々な仮定を置いており、これらの仮定が結論に影響している可能性もある⁴。しかしその後、Bovenberg 自身や他の多くの研究者が、より複雑かつ現実に近い仮定を置いて、

炭素税が労働などの要素市場の効率性を損なう可能性を示し、二重の配当は一般に生じないと論じている (Bovenberg and Goulder, 1996 ; Parry, 1995 ; Goulder, Parry and Burtraw, 1997 等)。

これらの既往研究は、前提とするモデル、置き換え対象とする既存税の設定等によって結論が異なるものの、既存税による資源配分の非効率性が、炭素税によってさらに拡大し、相対的に大きな負の効果を被り得るという点で、共通の見解が得られている。そして、これらの研究を契機として、二重の配当仮説をめぐる研究が盛んになり、2.3 で述べるように、理論的検討が深まっていった。

2.3 二重の配当の定義

二重の配当には主に2つの定義がある。Goulder (1995) の整理によると、第1の定義は、炭素税の税収を、社会的余剰の損失をもたらしている既存税の軽減に活用することにより、納税者に対し一律に還元するよりも多くの社会的余剰が得られることを指す。これを「弱い二重の配当」と呼ぶ。一般に、税負担が増える場合、課税により資源配分を歪めている税⁵を定額の一括税に置き換えれば、社会的な余剰は高まるが、弱い二重の配当は、これを税の軽減に置き換えたもので、原理的には同じである。このため、弱い二重の配当は、ほとんど異論なく広く支持されている。Goulder (1995) は、これを税収還流効果 (RR 効果 : revenue-recycling effect) と呼んでいる。

第2の定義は、税収中立型の炭素税導入により、導入前よりも多くの社会的余剰が得られる

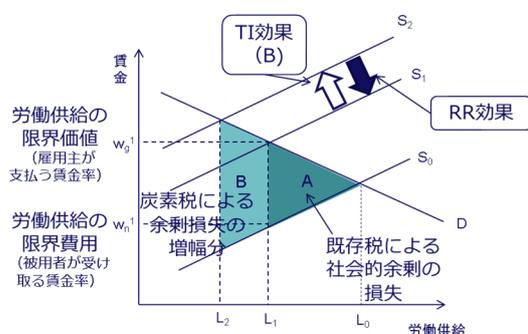
³ 「余暇や環境の質が他の財の消費と弱分離可能」とは、他の財に対する消費行動が、余暇時間や環境の質による影響を受けないことを意味する。

⁴ 例えば、非労働所得を考慮することで雇用税の課税ベースが狭められたり、ガソリンのように余暇(ドライブ)と補完的な関係にある財に課される炭素税では、雇用に正の効果

が得られたりする場合がある。24 参照。

⁵ 例えば雇用税の場合、雇用者が受け取る労働報酬は雇用主が支払う賃金より税負担分だけ低くなるため、税がない場合と比べて勤労意欲が阻害される。図2を参照。

ことを指す。これを「強い二重の配当」と呼ぶ。弱い二重の配当と異なり、強い二重の配当は、炭素税自体が持つ負の効果がRR効果よりも小さくなければ実現しない。Goulder (1995) は、この概念をさらに2つに分け、一般的な条件の下で典型的な既存税との置き換えで強い二重の配当が実現することを「強い概念 (Strong Form)」、既存税の中でも資源配分の歪みが特に大きい税との置き換え等、少なくとも1つの例で強い二重の配当が実現することを「中間概念 (Intermediate Form)」と定義した⁶。



※既存税によって被用者が受け取れる実質的な賃金率が減少するため、労働供給曲線は左方へシフトする ($S_0 \rightarrow S_1$)。その結果、市場均衡での労働供給 (L_1) は、最適な労働供給量 (L_0) より小さくなり、社会的余剰の損失 (A) が生じる。TI効果は、労働供給曲線をさらに左方へシフトさせ ($S_1 \rightarrow S_2$)、社会的余剰の損失を増幅する (B)。他方、RR効果は、労働供給曲線を右方へシフトさせる (A+Bの減少)。強い二重の配当仮説は、TI効果 < RR効果の場合に成立する。

出典：Goulder (2013) に基づき著者作成

図2 RR効果とTI効果

Goulder (1995) は、炭素税が既存税による社会的余剰の損失を拡大させる効果を租税間の相互作用効果 (TI効果：tax-interaction effect) と呼び、強い二重の配当は先験的には存在せず、RR効果とTI効果の大小関係で存否が決まるとした (図2)。

2.4 強い二重の配当仮説に関する研究事例

強い二重の配当仮説が先験的には成立しないと理解されるようになったことから、多くの研究者によって、強い二重の配当仮説がどのような条件で成立し、またその成立条件が現実的なものといえるかが議論されてきた。本節では、数多くの既往研究のいくつかを (1) 理論的検討を行った文献、(2) 数値モデル (シミュレーション分析) により検討を行った文献、(3) 実証分析により検討を行った文献として整理する。

(1) 理論的検討

Goodstein (2002) は、理論モデルに非労働所得や他の世帯構成員 (議論の簡略化のため、以下では配偶者のみ想定) の所得を取り入れることで、二重の配当が生まれる可能性が高まることを示した。炭素税による一般物価の上昇は、本人の実質賃金率だけではなく、配偶者の賃金率や非労働所得にも影響し、世帯全体の所得を減少させる。そして、実質賃金率の低下は、労働供給を減少させる一方、所得効果による余暇の減少や、配偶者の労働供給を増やす方向にも働く⁷。Goodstein は、後者の効果が十分に大きく、一般物価の上昇は労働供給を増やし得る、すなわち強い二重の配当が発生すると指摘した。

小林 (2005) は、理論モデルに非労働所得を加え、二重の配当の存在条件とその経済的意味を整理し、所得の一部しか課税できない労働所得税を炭素税に置き換えると、強い二重の配当仮説が成立しやすくなることを示した。他方、物価水準連動型の社会保障給付制度など、物価水準にかかわらず、非労働所得の実質価値が一定となる場合や、炭素税収を用いた減税対象と

⁶ Goulder (1995) による定義のほか、主に欧州を中心に、雇用拡大効果に着目した二重の配当の概念も議論されている (Carraro et al., 1996 等を参照)。

⁷ これまで自発的に労働供給を抑えていた配偶者が、世帯収入の減少を補う目的で労働市場に参加すると考えられるため。

して、一般消費税のように、労働以外の要素所得にも同率で課税する税を選定した場合には、強い二重の配当仮説が成立しないことも示した。

(2) 数値モデルによる検討

Parry and Bento (2000) は、課税減免措置の有無で消費財を区別した静学的応用一般均衡モデルを用いて、消費税に減免措置が講じられている場合に、強い二重の配当仮説が成立し得ることを示した。具体的には、住宅取得や医療等の支出に課税減免措置を講じることで、(労働市場だけでなく) 財の市場で生じている非効率性が改善され、強い二重の配当仮説が成立するとした。

Bento and Jacobsen (2007) は、労働以外の固定生産要素を導入した静学的な検討により、環境汚染物質の生産段階で、固定生産要素に超過利潤が生じている場合に、強い二重の配当仮説が成立し得ることを示した。彼らは、労働から固定生産要素への税のシフトにより、雇用における TI 効果を弱めることができるとしている。

日本国内を対象としたモデル分析では、Park (2004) が、応用一般均衡モデル(資本ストックを外生化した静学モデル)を用いて、高水準の非自発的失業が存在している状況で、税収を社会保障費の削減すなわち労働コストの引き下げに活用した場合に、強い二重の配当が生じることを示した。他方で、政府支出の拡大や所得税減税、所得に比例しない一律での再分配などの還流方法では、強い二重の配当仮説が成立しないことも示した。

武田 (2007) は、同じく日本を対象にした応用一般均衡モデルによる動学的な検討を行い、強い二重の配当仮説は、労働課税や消費税の置き換えでは成立しないが、資本課税の置き換えでは成立することを示した。この結果について、武田は「既存の資本課税が経済にもたらしている歪みが、労働課税、消費税と比較するとかな

り大きいと、それを軽減することによる効率性の改善度が高くなるということが要因」としている。

(3) 実証的検討

West and Williams (2004) は、炭素税が課される財が余暇と補完的な関係にある場合に、強い二重の配当が生じる可能性を実証的に示した。具体的には、実証分析によって、余暇需要のガソリン価格に対する交差価格弾力性を計測し、ガソリン価格が上昇すると労働供給が増え、社会的余剰が増大することを示した。通常、TI 効果は負の効果として捉えられるが、炭素税の課税対象となる財が余暇と補完的な関係にある場合には、TI 効果は正となり、強い二重の配当が得られる。この場合は、ガソリン消費の外部費用よりも高い炭素税率を課した方が、社会的余剰は大きくなる。

Yamazaki (2017) は、2008 年に導入されたカナダのブリティッシュ・コロンビア州の炭素税の雇用・賃金への影響を計量分析により評価し、TI 効果によって一部の炭素集約的な貿易産業の雇用は減少するが、州全体では、RR 効果により雇用が増加することを確認した。また、賃金はむしろ低下しており、労働供給の増加が確認できたとしている。州全体での雇用が増える理由として、Yamazaki は雇用への負の影響が、就業者の比較的少ない炭素集約産業に集中している点を挙げている。これが正しければ、TI 効果と RR 効果の相対的な大きさは地域の産業構造に依存するため、エネルギー集約的な貿易産業の集積が進む地域では、地域全体で TI 効果が RR 効果を上まわり、雇用が減少する可能性がある。

2.5 二重の配当仮説のまとめ

二重の配当は、炭素税の社会的受容性を高める目的で注目され、広く知られるようになった。炭素税の社会的受容性を高めるには、導入前と

比べて社会的利点があるという、強い二重の配当仮説の成立が求められる。

既往研究が示してきた強い二重の配当仮説の成立条件は、①資源配分への歪みの少ない理想的な炭素税を想定しているために TI 効果が小さく、かつ、歪みのある既存税との置き換えによって大きな RR 効果が想定される場合、②余暇と補完的な財の消費に炭素税を課すことで正の TI 効果が期待される場合、③TI 効果が当該地域の主要産業ではない一部の産業に集中する場合などである。このように、特定の条件の下で成立する二重の配当は、Goulder(1995)が示した中間的な概念として整理でき、より一般的な条件の下で普遍的に存在する強い二重の配当仮説は、先験的には成立しないと考えられる。

したがって、二重の配当を得るには、TI 効果、RR 効果に配慮した税の設計や、税収の活用方法の検討が必要となる。

3. ポーター仮説

ポーター仮説とは、マイケル・ポーターにより 1991 年に提唱された仮説で、「適切に設計された環境規制はイノベーションを促し、競争力を向上させる」というものである (Porter, 1991; Porter and van der Linde, 1995)。環境規制は、規制対象企業に環境対策の費用を生じさせるため、競争力に悪影響を与えるとの考えが一般的であった中で、著名な経営学者によるこの主張は大きな注目を集めるようになり、以来 20 年以上にわたってその妥当性が議論されてきた。

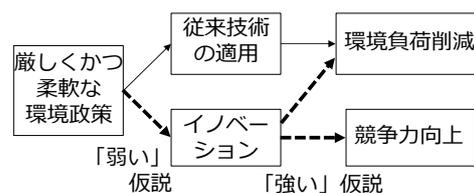
ポーターの主張には、次の 3 つの仮説が含まれているとされる (Jaffe and Palmer, 1997)。

1) 環境規制によるイノベーション誘発：環境規制は企業に規制対応の費用を生じさせるだけでなく、より環境負荷の低い技術や

プロセス・製品の開発を促す。ポーター仮説の「弱い」バージョンとされる。

- 2) 環境規制による競争力の向上：環境規制が刺激となり、見過ごされていた生産性向上余地が掘り起こされることで、競争力強化につながる。環境規制がイノベーションをもたらす (弱い仮説) だけでなく、さらに競争力の向上までつながるという仮説であるため (図 3)、「強い」バージョンと呼ばれる。
- 3) 柔軟な環境規制の重要性：環境規制が上述のような効果をあげるには、硬直的な直接規制ではなく、企業の創意工夫を促すような柔軟な政策 (例えば経済的手法) でなければならない。これは「狭い」バージョンと呼ばれる。

本章の関心は炭素価格付けがイノベーションをもたらすかという点であるため、以下では「狭い」バージョンについては触れず、「弱い」バージョンと「強い」バージョンに関する既往研究の知見を整理する。特に、炭素価格付けに関する実証研究を重点的に取り上げる。



出典：Ambec et al. (2013)を基に筆者作成

図 3 ポーター仮説の「弱い」バージョンと「強い」バージョン

3.1 「弱い」ポーター仮説

(1) 環境規制の影響

ポーター仮説の成否については未だ議論が分かれている部分が多いが、「弱い」バージョンに関しては成立することを多数の実証研究が支持している。例えば Jaffe and Palmer (1997) は、1970～80 年代の米国製造業を対象として、環境規制遵守費用（規制の厳しさの代替指標）が研究開発投資を促すことを示した。また、Popp (2006) は、日米独の SO_x・NO_x 規制が各国の排出削減技術の特許を増加させたことを示した。他にも、Brunnermeier and Cohen (2003)、Arimura et al. (2007) など多くの実証研究が、環境規制による研究開発投資や特許取得といった形でのイノベーションの促進効果があることを示してきた。

(2) エネルギー価格上昇の影響

エネルギー価格上昇がイノベーションに与える影響は、エネルギー税や炭素税によるイノベーションへの影響に読み替えることができることから、重要な論点である。このため、既に多くの研究がなされている。例えば Popp (2002) は、1970～90 年代の米国におけるエネルギー価格と知識ストック⁸、特許数の関係を分析し、エネルギー価格と知識ストックがエネルギー分野の特許取得を促すことを示した。Verdolini and Galeotti (2011) も、Popp (2002) と近いモデルを用いて、先進国 17 カ国のエネルギー関連技術の特許データから同様の結論を得ている。

また、Aghion et al. (2016) は、世界の自動車産業約 3,400 企業の 1960～2000 年代の特許データを分析し、エネルギー価格の上昇が、クリーン自動車⁹に関する特許取得を促進する一方、

既存技術である内燃機関に関する特許取得は抑制されることを示した。そして、税込み燃料価格が 10% 高いと、クリーン自動車関連特許が 10% 程度増えると推定した。

(3) 欧州排出量取引制度 (EU-ETS) の影響

EU-ETS が設備投資やイノベーションに与えた影響についても、多数の研究がなされている。これまでのところ、データ制約のため、企業経営者へのインタビューやアンケートにより、投資や研究開発活動に与えた影響を分析したものが多く、例えば、Martin et al. (2011) は、欧州 6 カ国の製造業約 800 社へのインタビュー調査を行い、70% が自社プロセスでの排出削減や省エネへの研究開発に取り組んだこと、また 40% が省 CO₂ 型製品開発に取り組んだこと等を明らかにしている。

他方、Rogge et al. (2010) は、EU-ETS 導入後の 2008～09 年にドイツの電気事業者やそのサプライヤー等 19 社に対する事例分析を行い、EU-ETS はキャップが緩く将来も見通しにくいことから、イノベーションへの影響はほとんどなかったと結論した。ただし、一部の企業では、炭素回収貯留技術の研究開発や発電効率向上、石炭火力の修繕などを促したことも指摘した。

これらの調査結果をレビューした Grubb et al. (2012) は、EU-ETS によって温暖化対策が企業経営者の関心事項となったことは確かだが、緩いキャップや無償割当の存在、投資判断における他のより重要な要因の存在等により、EU-ETS は設備投資やイノベーションに対して大きな影響を与えていないと結論づけている。

統計データを用いた実証研究はまだほとんど実施されていないが、貴重な例として Calel and Dechezleprêtre (2016) がある。Calel and

⁸ 蓄積された知識資本。研究開発投資や論文数、特許数等を用いて推定されることが多い。Popp (2002) でも当該技術分野の特許数をベースに知識ストックを算出している。

⁹ ここでは電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車。

Dechezleprêtre は、EU-ETS の導入前後における規制対象企業とそうでない企業の特許数をマッチング手法を用いて分析し、EU-ETS は対象企業の低炭素技術特許数を 40% 近く増加させたと推定した。ただし、欧州全体における低炭素技術の特許数への影響という観点からすると、EU-ETS 対象企業による特許数自体が小さいことから、EU-ETS による特許数増加は 1% に満たないものであった。

3.2 「強い」ポーター仮説

(1) 企業レベルの競争力への影響

企業は市場競争の中で常に利潤最大化を図っているのだから、規制により生産性や競争力が向上するような余地があるなら既に実施しているはずとする考えがある（例えば Palmer et al., 1995）。その一方で、不完全情報、限定合理性、現在志向バイアス¹⁰、組織内の情報非対称性といった市場や行動の失敗が存在する場合には、政府介入による利潤最大化の余地がありうることも指摘されている（Ambec et al., 2013 ; Ambec and Barla, 2002）。

これらのどちらが成り立つかは、実証的な問題である。そのため、環境規制が生産費用や生産性に与える影響について、多数の実証研究がなされてきたが、依然議論は分かれている。例えば、米国の大気汚染物質の排出規制の影響について、Greenstone et al. (2012) は、規制が厳しい地域では全要素生産性（TFP）が減少したとの推計結果を得ている一方で、Berman and Bui (2001) は、ロサンゼルス周辺の製油産業では規制強化により短期的に TFP が低下したものの、長期的にはむしろ向上したとしている。また、Lanoie et al. (2011) は、先進 7 カ国の企業約 4,200 社から得たアンケート調査データ

（そのほとんどは主観的回答データ）を用いて、「弱い」バージョンから「強い」バージョンに至る一連の因果関係の成否を検証した。その結果、環境規制により、企業の研究開発投資は誘発され、それが企業の競争力を向上させるが、規制に対する遵守費用を埋め合わせるほどではないとの結果を得た。言いかえると、環境規制は費用を生じさせるものの、イノベーションを通じた生産性向上により軽減されるということである。

(2) EU-ETS 等の影響

EU-ETS 等の炭素価格付けが企業の競争力に与える影響に関する実証研究はまだ少ない。Commins et al. (2011) は、1996～2007 年の欧州企業約 16 万件のデータを用いた分析から、エネルギー税が生産性や雇用に与える影響は業種により大きく異なるものの、生産性については正の影響（生産性向上）、雇用については負の影響（雇用減少）のある業種がそれぞれほとんどであったとした。また、Chan et al. (2013) は、EU-ETS がエネルギー多消費型である電力・セメント・鉄鋼の各産業の生産費用や利益に与えた影響を分析し、電力産業では生産費用と利益に対して負の影響が確認されたが、セメントや鉄鋼では無償割当が大きかったこともあり、有意な影響は検出されなかったとした。

(3) 国レベルの競争力への影響

国の競争力に関しても様々な議論がなされている。国の競争力という概念自体が明確なものではないが、純輸出や海外直接投資をその指標とした場合、Copeland and Taylor (2004) や Brunnermeier and Levinson (2004) によるレビューによれば、支持しない研究が多いが、そもそも環境規制がそれほど強くないため、国際的な投資の流れに影響を与えるほど大きなもの

¹⁰ 長期的に得られる便益より短期的な便益を過大に評価してしまうこと。

ではないという。

(4) レビュー論文における総括

ポーター仮説については膨大な実証研究がなされており、それらを包括的にレビューして総括することは本稿の範疇を超える。そこで、ここでは代表的なレビュー論文による総括に触れておく。

環境規制が米国産業の競争力に与える影響について初期的なレビューを行った Jaffe et al. (1995) は、多くの実証研究で環境規制は生産性に負の影響があるとされるが、その程度は非常に小さいか、統計的に有意でないほどでしかないと論じた。またその理由として、環境規制の厳しさを測定する技術的な問題、生産費用に占める環境対策費用シェアが小さいこと、先進国間の規制に差がないこと、仮に差があっても多国籍企業は同様の対策を実施するが多いこと等をあげた。Dechezlepretre and Sato (2014, 2016) は、Jaffe et al. (1995) 以降に発表された数多くの実証研究をレビューした上で、1995 年以降より大規模なデータや洗練された手法を用いた実証研究が多数積み上げられたが、Jaffe らの結論は今も成り立つとした。

同様に、近年の実証研究を幅広くレビューした Kozluk and Zipperer (2013) は、環境規制が生産性に与える影響は規制の文脈に依存する部分が大きく、一般に「強い」ポーター仮説が成り立つかどうかは結論できないとした。

3.3 ポーター仮説のまとめ

ポーター仮説については、過去 20 年以上にわたって膨大な研究がなされてきた。その中で、環境規制がイノベーションを誘発するという「弱い」仮説については、既往研究は概ね成立するとの結論を出している。エネルギー価格の上昇がイノベーションを促すとの実証研究も多数ある。また、環境規制がイノベーションを促すだけでなく競争力まで向上させるという

「強い」仮説については、支持する研究と支持しない研究があり議論が分かれているが、いずれの場合も競争力への大きな影響は報告されていない。

EU-ETS やエネルギー税によるイノベーションや競争力への影響については、いくつかの実証研究が存在するが、「弱い」仮説、「強い」仮説のどちらについても明確な結論は出ていない。EU-ETS の場合、排出枠の無償割当などの影響緩和措置が取られていたこと、またキャップ自体が結果的に厳しいものではなかったことから、イノベーションや競争力への影響があったとしても小さかったためと考えられる (Dechezlepretre and Sato, 2014, 2016)。これは同時に、これまでにない厳しい規制 (例えば EU-ETS よりずっと高い水準の炭素価格付け) がなされた場合、より大きな影響が生じる可能性を意味する (Dechezlepretre and Sato, 2014, p.19)。

ポーター仮説が成り立つかどうかは、対象となる地域や時期、技術フェーズ、制度設計等に依存することから、一般的な成否を議論することよりも、どのような場合に成立するかを明らかにすることが重要である。このような成立条件は既往研究では十分整理されておらず、一層の研究蓄積が求められる。

また、ポーター仮説は環境規制が環境技術の市場を創出 (market-pull) することによるイノベーション促進の側面に注目するが、イノベーションを促進する上では基礎研究や技術開発の推進による技術機会の提供 (technology-push) も他方で重要である (Mowery, 1995)。イノベーションの促進という観点からは、むしろそういった技術政策とのポリシー・ミックスが重要と考えられる。

4. まとめ

炭素税の導入に期待される三重の配当は、「二重の配当仮説」や「ポーター仮説」として長く研究者の間で議論され、理解が深められてきた。このうち、二重の配当については、いくつかの条件の下で、税金を既存税の軽減に充てることにより、既存税によりもたらされる労働市場や財市場における資源配分の歪みを緩和し得ることが先行研究によって示されている。また、ポーター仮説についても、環境規制がイノベーションや競争力向上をもたらす場合があることが示されている。したがって、一定の条件の下で、三重の配当が得られる可能性はあると考えられる。

ただし、本稿で紹介した先行研究の結果は、対象となる産業や制度設計、評価の範囲や期間等にも依存する。すなわち、三重の配当は、一般的な条件で普遍的に成立する強固な仮説ではなく、むしろ、対象とする部門の特性にあわせて、適切に設計された制度が、想定通りに機能した場合に成立すると考えられる。

このため、三重の配当を得るためにはどのような条件が必要なのか、先行研究に基づいて慎重に検討した上で、経済構造や対象部門の特性にあわせた制度設計の議論が求められる。また、導入した制度が、期待通りの効果を上げているかどうか、事後検証によって確かめていくことも重要になってくる。このような政策議論のために、三重の配当の仕組みを理解しておくことは有意義だろう。

【参考文献】

- 秋元圭吾・佐野史典 (2017) パリ協定 2°C目標から見た我が国の2050年排出削減目標に関する分析, *Journal of Japan Society of Energy and Resources*, 38 (1): 1-9.
- 環境省 (2017) 諸外国における炭素税等の導入状況, 2017年7月。
http://www.env.go.jp/policy/tax/misc_jokyo/attach/intro_situation.pdf, アクセス日 2018/1/16
- 小林航 (2005) 環境税の二重配当仮説と非労働所得, *経済政策ジャーナル* 3(1): 59-74.
- 武田史郎 (2007) 二酸化炭素の排出規制における二重の配当の可能性: 動学的応用一般均衡分析による評価, mimeo
<http://shirokakeda.org/ja/research-ja/dd-carbon-ja.html>, アクセス日 2018/1/18
- 中央環境審議会 (2017) 「長期低炭素ビジョン」, 2017年3月。
- 若林雅代・木村幸 (2009) 省エネルギー政策理論のレビュー —省エネルギーの「ギャップ」と「バリア」—, 電力中央研究所研究報告 Y08046.
- Aghion, P., A. Dechezleprêtre, D. Hémous, R. Martin, and J. van Reenen (2016) Carbon taxes, path dependency, and directed technical change: Evidence from the auto industry. *Journal of Political Economy*, 124 (1): 1-51.
- Ambec, S. and P. Barla (2002) A theoretical foundation of the Porter Hypothesis. *Economics Letters*, 75 (3): 355-60.
- Ambec, S., M. A. Cohen, S. Elgie, and P. Lanoie (2013) The Porter Hypothesis at 20: Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness? *Review of Environment Economics and Policy*, 7 (1): 1-22.
- Arimura, T., A. Hibiki, and N. Johnstone (2007) An Empirical Study of Environmental R&D: What Encourages Facilities to Be Environmentally-Innovative?, in N. Johnstone, ed., *Corporate Behaviour and Environmental Policy*, Cheltenham, U.K.: Edward Elgar in association with OECD, 142-173.
- Bento, A. M. and M. Jacobsen (2007) Ricardian Rents, Environmental Policy and the 'Double-dividend' Hypothesis, *Journal of Environmental Economics and Management*, 53: 17-31.
- Berman, E. and L. T. M. Bui (2001) Environmental Regulation and Productivity: Evidence from Oil Refineries, *The Review of Economics and Statistics*, 83(3): 498-510.
- Bovenberg A. L. and R. A. de Mooij (1994) Environmental Levies and Distortionary Taxation, *American Economic Review*, 84: 1085-89.
- Bovenberg A. L. and L. H. Goulder (1996) Optimal Environmental Taxation in the Presence of Other Taxes: General-Equilibrium Analyses, *The American Economic Review*, 86: 985-1000.

- Brunnermeier, S. B. and M. A. Cohen (2003) Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries. *Journal of Environmental Economics and Management* 45: 278–93.
- Brunnermeier, S. B. and A. Levinson (2004) Examining the evidence on environmental regulations and industry location. *The Journal of Environment & Development*, 13(1): 6–41.
- Calel, R. and A. Dechezleprêtre (2016) Environmental policy and directed technological change: Evidence from the European carbon market. *Review of Economics and Statistics* 98(1): 173–191.
- Carraro, C., M. Galeotti and M. Gallo (1996) Environmental Taxation and Unemployment: Some Evidence on the ‘Double Dividend Hypothesis’ in Europe, *Journal of Public Economics*, 62: 141–181. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(96\)01577-0](https://doi.org/10.1016/0047-2727(96)01577-0).
- Chan, H. S., S. Li and F. Zhang (2013) Firm competitiveness and the European Union emissions trading scheme. *Energy Policy* 63: I 056–64.
- CPLC [Carbon Pricing Leadership Coalition] (2016) Official Launch Event and Work Plan. Available at: <http://www.worldbank.org/en/topic/climate-finance/brief/carbon-pricing-leadership-coalition-release-of-official-workplan>, accessed on 2018/1/16
- Commins, N., S. Lyons, M. Schiffbauer and R.S.J Tol (2011) Climate policy & corporate behavior, *Energy Journal* 32(4): 51–68.
- Copeland, B.R. and M. S. Taylor (2004) Trade, Growth, and the Environment. *Journal of Economic Literature*, 42(1): 7–71.
- Dechezlepretre, A. and M. Sato (2014) The impacts of environmental regulations on competitiveness, Policy brief, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science, November 2014.
- Dechezlepretre, A. and M. Sato (2016) The impacts of environmental regulations on competitiveness, *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(2): 183–206.
- Goodstein E. (2002) Labor Supply and the Double-dividend. *Ecological Economics*, 42 (2002): 101–106.
- Goulder, L. H. (1995) Environmental Taxation and the Double Dividend: A Reader’s Guide, *International Tax and Public Finance*, 2: 157–183. <https://doi.org/10.1007/BF00877495>.
- Goulder, L. H. (2013) Climate Change Policy’s Interactions with the Tax System, *Energy Economics*, 40: s3–s11.
- Goulder, L. H., I. W. Parry and D. Burtraw (1997) Revenue-Raising versus Other Approaches to Environmental Protection: The Critical Significance of Preexisting Tax Distortions, *RAND Journal of Economics*, 28: 708–731.
- Greenstone, M., J.A. List and C. Syverson (2012) The Effects of Environmental Regulation on the Competitiveness of U.S. Manufacturing, NBER Working Paper No. 18392.
- Grubb M., T. Laing, M. Sato and C. Comberti (2012) Analyses of the effectiveness of trading in EU ETS, *Climate Strategies Working Paper*, February 2012.
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jaffè, A. B., S. R. Peterson, P. R. Portney and R. N. Stavins (1995) Environmental regulation and the competitiveness of US manufacturing: What does the evidence tell us? *Journal of Economic Literature* 33(1): 132–63.
- Jaffè, A. and K. Palmer (1997) Environmental regulation and innovation: a panel data study, *Review of Economics and Statistics*, 79: 610–619.
- Kozluk, T. and V. Zipperer (2013) Environmental policies and productivity growth – a critical review of empirical findings. Working Paper No.1096, OECD.
- Lanoie, P., J. Laurent-Lucchetti, N. Johnstone and S. Ambec (2011) Environmental policy, innovation and performance: New insights on the Porter hypothesis. *Journal of Economics and Management Strategy*, 20(3): 803–842.
- Martin, R., M. Muuls and U. Wagner (2011) *Climate Change, Investment and Carbon Markets and Prices – Evidence from Manager Interviews*, Climate Policy Initiative and Climate Strategies.
- Mowery, D. (1995) The Practice of Technology Policy. In Stoneman, P. (ed.), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*. Blackwell: 513–557.
- Palmer, K., W. E. Oates and P. R. Portney. (1995) Tightening environmental standards: The benefit-cost or the no-cost paradigm? *Journal of Economic Perspectives* 9 (4): 119–32.
- Park, S. J. (2004) The Double Dividend of an Environmental Tax Reform in Japan — a CGE Analysis Based on the 1995 Input-Output Table — 京都産業大学論集,社会科学系列第21号.
- Parry, I. W. (1995) Pollution Taxes and Revenue Recycling, *Journal of Environmental Economics and Management*, 29: s64–s77.
- Parry, I. W. and A. M. Bento (2000) Tax Deductions, Environmental Policy, and the “Double Dividend” Hypothesis, *Journal of Environmental Economics and Management*, 39: 67–96.
- Pearce, D. (1991) The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming. *The Economic Journal*, 101(407): 938–948.
- Popp, D. (2002) Induced innovation and energy prices, *American Economic Review*, 92(1): 160–180.
- Popp, D. (2006) International innovation and diffusion of air pollution control technologies: The effects of NO_x and SO₂ regulation in the US, Japan, and Germany, *Journal of*

- Environmental Economics and Management, 51(1): 46-71.
- Porter, M. (1991) America's green strategy, Scientific American, 264(4): 168.
- Porter, M., C. van der Linde (1995) Toward a new conception of the environment competitiveness relationship, Journal of Economic Perspective, 9 (4): 97-118.
- Rogge, K., M. Schneider and V. H. Hoffman (2010) The innovation impact of the EU emission trading scheme: Findings of company case studies in the German Power Sector, Ecological Economics, 70 (3): 513-523.
- USIWG (2015) Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis—Under Executive Order 12866—
- Verdolini E. and M. Galeotti (2011) At home and abroad: An empirical analysis of innovation and diffusion in energy technologies, Journal of Environmental Economics and Management, 61 (2): 119-134.
- West, S. E. and R. C. Williams (2004) Empirical Estimates for Environmental Policy Making in a Second-Best Setting, NBER Working Paper No. w10330. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=515763>.
- Yamazaki, A. (2017) Jobs and Climate Policy: Evidence from British Columbia's Revenue-neutral Carbon Tax, Journal of Environmental Economics and Management, 83: 197–216.

若林雅代 (わかばやしまさよ)

木村宰 (きむらおさむ)

電力中央研究所 社会経済研究所

第2部

国際枠組み－パリ協定の行方

トランプ大統領のパリ協定脱退表明をどう捉えるか

On President Trump's Announcement of Intended Withdrawal from the Paris Agreement

キーワード：パリ協定、トランプ政権

上野 貴弘

トランプ大統領は、2017年6月1日にパリ協定から脱退する意向を表明したが、協定の規定上、2019年11月4日までは脱退を正式通告できず、米国は2018年3月末時点で未だ協定の締約国である。また、トランプ大統領は、条件次第では協定に残留する可能性を示唆している。本稿では、トランプ大統領による脱退表明演説とヘイリー国連大使による脱退意向の通告を分析した上で、今後に残された論点を検討し、①大統領が示した脱退理由は協定に残留していても対応可能なものであったこと、②米国が正式に協定を脱退するかどうかは未だ不透明であるが、2018年2月から3月にかけて残留支持の政権有力者が相次いで退任し、残留への道筋が一層見えにくくなったこと、③協定残留のための条件が明らかにされていないが、オバマ前政権による削減目標（2025年に2005年比で26～28%削減）の撤回は最低限必要であることなどを論じた。また、脱退表明による影響についても考察し、現時点では正式脱退していないことや、州・都市・企業の取組みへの関心が高まったことで、悪影響は限定的なものに留まっているが、今後の展開次第では、悪影響が拡大する可能性もあれば、逆に打ち消される可能性（例えば2020年の大統領選挙で政権交代する場合）もあることを指摘した。日本を含む他国にとっては、脱退の正式通告が可能になる2019年11月頃から米国が議長国となる2020年のG7サミットまでの時期が、米国にパリ協定残留を働きかける重要なタイミングとなる。

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. 脱退表明演説までの経緯と演説の概要 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 脱退表明演説までの経緯 2.2 脱退表明演説の概要 3. トランプ大統領の脱退表明演説で示された主張・論点の分析 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 パリ協定残留時における NDC の変更と GCF への拠出停止の可否 3.2 再加入交渉発言の真意 3.3 脱退方法の選択肢 3.4 パリ協定実施停止宣言の意味 3.5 憲法上の問題 | <ol style="list-style-type: none"> 3.6 法的責任の問題 3.7 小括 4. ヘイリー国連大使の通告とその内容に関する考察 <ol style="list-style-type: none"> 4.1 通告の概要 4.2 通告内容に関する考察 5. 今後に残された論点 <ol style="list-style-type: none"> 5.1 脱退方法と脱退通告時期 5.2 パリ協定残留の条件 5.3 将来のパリ協定復帰の可能性 5.4 脱退表明演説の影響 6. 結論と示唆 |
|--|---|

1. はじめに

2017年6月1日、トランプ大統領は大統領府で演説し、パリ協定からの脱退を表明した（以下、この演説を「脱退表明演説」と呼ぶ）。その後、8月4日に、米国のヘイリー国連大使はパリ協定の寄託者である国連事務総長に脱退の意向を通告した。他方、2018年3月末時点において、米

国はパリ協定を正式脱退しておらず、依然としてその締約国であり続けている。

本稿では、大統領の脱退表明演説と国連大使の通告の内容を整理し、その意味合いを読み解きつつ、今後の論点を整理する¹。

以下、2章では、脱退表明演説までの経緯を振り返った上で、その演説の概要を整理する。3章では、脱退表明演説で示された主要な主張

¹ 本稿は、著者が2017年に発表した論文や論考（上野, 2017a, b, c, d）に基づきつつ、2018年2月末時点での情報を踏まえ

て、新たな考察を加えたものである。

や論点について分析する。4章では、ヘイリー国連大使による通告について考察を加える。5章では、今後に残された論点を議論する。最後に、結論と示唆を6章で述べる。

2. 脱退表明演説までの経緯と演説の概要

2.1 脱退表明演説までの経緯

トランプ大統領は、大統領選挙中の2016年5月にノースダコタ州で演説を行い、「パリ協定をキャンセルして、国連の温暖化プログラムへの全拠出を止める」と発言した。「キャンセル」が意味するところは不明ではあったものの、パリ協定脱退を公約したものと受け止められた。

他方、当選後は、パリ協定の参加継続について明言を避けるようになった。2016年11月22日のNew York Times紙とのインタビューでは、パリ協定を脱退するかどうかについて、「これから見てみるつもりだ (I'm going to look at it)」と発言した²。また、12月11日のFox Newsとのインタビューでは、協定脱退について、「いま検討しているところだ。これを言うとおきたい。協定が他国との競争上の不利にならないようにしたい。協定には様々な時間、時間制限がある。そういったものが、中国や他の署名国に、我々に対する優位性を与えないようにしたい」と発言し、パリ協定を国際競争力への悪影響という観点から捉えていることを示唆した³。

2017年1月20日に発足したトランプ政権は、3月28日の大統領令を契機として、オバマ前政権が定めた国内のエネルギー環境規制の見直し

に着手したが、パリ協定の扱いについては、トランプ大統領は明言を避けていた⁴。

政権内部では、残留派と脱退派の間で対立があったようだ。イヴァンカ・トランプ大統領補佐官、クシュナー大統領上級顧問、コーン国家経済会議委員長 (2018年3月6日に辞任の意向を発表)、ティラーソン国務長官 (2018年3月31日に退任) といった政権幹部はパリ協定残留を支持していたが、無条件の残留ではなく、オバマ前政権が提出した2025年目標 (2005年比で26~28%削減) を撤回した上で、可能であれば、他国から何かの譲歩 (化石燃料・石炭関連) を引き出すことを求めている⁵。残留派は、2017年4月中旬までに、石油・ガス業界と石炭業界の一部から、この考え方に沿った協定残留への支持を取り付けていた⁶。

しかし、4月27日に関係閣僚等 (ティラーソン国務長官、プルイット環境保護庁 (EPA) 長官、イヴァンカ・トランプ補佐官、クシュナー上級顧問、バノン首席戦略官 (当時) ら) の会合が開催され、その直後の5月1日に大統領府と関係省庁の法律家の会合が開かれると、状況は一変した。脱退派であるバノン氏とプルイット長官が、パリ協定のもとでは目標を引き下げられず、協定に残っていると、前政権による規制 (発電部門の排出規制であるClean Power Plan等) の見直しに際して、環境団体等からパリ協定違反として訴えられるという法律論を提起し、大統領府顧問 (White House Counsel) のマクガーン氏がこの懸念に理解を示したことから、脱退派が急速に勢いをもち始めた⁷。

² 下記リンクを参照。

<https://www.nytimes.com/2016/11/23/us/politics/trump-new-york-times-interview-transcript.html> (アクセス日: 2018.4.9)。

³ 下記リンクを参照。

<http://www.foxnews.com/transcript/2016/12/11/exclusive-donald-trump-on-cabinet-picks-transition-process.html> (アクセス日: 2018.4.9)。

⁴ 選挙戦中から大統領就任直後までの動きの詳細については、上野 (2017a) を参照。

⁵ ただし、具体的にどのような譲歩を求めているのかは不明である。その経緯に関する報道記事として、Chemnick (2017a, b) を参照。

⁶ 当時の経緯に関する報道記事として、Restuccia (2017)、Valdmanis (2017)、Egan (2017) を参照。

⁷ この経緯に関する報道記事として、Restuccia and Wolff (2017) 及び Chemnick and Holden (2017) を参照。

こうして5月上旬以降、米国のパリ協定脱退の観測が広まる中、トランプ大統領はG7サミット直後の5月27日に「来週、パリ協定についての最終決定を行う」とTwitterに投稿し、実際に、6月1日に脱退表明演説を行った。

2.2 脱退表明演説の概要

トランプ大統領は、大統領府のRose Gardenにて演説を行い、「パリ協定を脱退し、米国・米国企業・米国労働者・米国民・米国の納税者にとって公平な条件で、パリ協定または全く新しい取り決めに再加入 (reenter) するための交渉を開始する」と表明した⁸。また、6月1日をもって、前政権が掲げた国別目標 (nationally determined contribution, NDC) と途上国支援のための緑の気候基金 (Green Climate Fund, GCF) への拠出停止を含む、パリ協定の全ての実施を停止すると宣言した⁹。

その上で、パリ協定の問題点として、雇用が損なわれること、製造業が悪影響を受けること、化石燃料の使用が妨げられること、米国に不利であること、米国の主権が弱まること、許容できない法的リスクが生じることなどを繰り返し述べたが、これらの主張を整理すれば、脱退理由は、①目標が中国・インド等に比べて不公平であること、②GCFに拠出していない国が多いこと、③憲法上及び法的責任の問題があることの3点に集約できる。

3章でこれらの理由を分析する前に、以下では、脱退表明演説の中で強調されたポイントを

いくつか例示することで、トランプ大統領のパリ協定観を示す¹⁰。

・雇用を強調

脱退表明演説全般にわたって、‘job’ という単語を17回使用した。また、National Economic Research Associate (NERA) による試算を引用し、パリ協定によって270万人の雇用が損なわれ、そのうち44万人が産業部門における雇用であると指摘した。

・米国が多く の面 で不公平に扱われているとの確信

パリ協定は、気候変動に関するものというよりは、他国が米国に対して金融面での優位を得るためのものであると発言した。トランプ大統領によれば、「パリ協定は米国経済を不利な状況に追い込み、そうすることで外国の首都やグローバルな活動家の賞賛を得た。彼らは米国を犠牲にして富を得ようとしている。(中略) 協定に残るように求めてくる国々は、貿易の慣行や、多くの場合、重要な軍事同盟への弱い貢献によって、米国に全体で何兆ドルものコストを生じさせている国である」とのことである。

・化石燃料、特に石炭を重視する姿勢

パリ協定を化石燃料開発の阻害要因と捉え、「協定はアメリカのクリーンコール開発を阻害する。中国は何百もの石炭プラントの建設が許されている。インドは2020年までの石炭生産の

⁸ 脱退表明演説の全文は下記リンクを参照。

<https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/statement-president-trump-paris-climate-agreement/> (アクセス日: 2018.4.9) .

この部分の原文は以下。

“[T]he United States will withdraw from the Paris Climate Accord — (applause) — thank you, thank you — but begin negotiations to reenter either the Paris Accord or a really entirely new transaction on terms that are fair to the United States, its businesses, its workers, its people, its taxpayers”

⁹ この部分の原文は以下。

“[A]s of today, the United States will cease all implementation of the non-binding Paris Accord and the draconian financial and economic burdens the agreement imposes on our country. This includes ending the implementation of the nationally determined contribution and, very importantly, the Green Climate Fund which is costing the United States a vast fortune.”

¹⁰ 大統領の協定観を示すことを目的として、トランプ大統領の発言内容をそのまま紹介するが、発言の中には誤解、曲解、誇張が多分に含まれているものと思われる。メディアによるファクトチェックとして、香取 (2017) を参照。

倍増が許されている。(中略) 欧州でさえ石炭プラントの建設継続が許されている。協定は石炭雇用を奪い、米国の雇用を外国に移すだけだ、「協定の下では、エネルギー資源を効果的に閉じ込めることになり、我が国の偉大な財産を手放すことになる」、「1%成長ならば、再生可能エネルギー資源は国内需要の一部を満たせるが、私が予期する3~4%成長ならば、利用可能なアメリカの全エネルギー源が必要になる」と発言した。

・パリ協定は温暖化をほぼ止めないとの主張

脱退表明演説の中で「パリ協定が全ての国の遵守で完全に実施されたとしても、2100年の全球気温は0.2℃しか減らない」と指摘した。ただし、このことは人為的な気候変動の存在を認めているとも見ることもできるかもしれない。

3. トランプ大統領の脱退表明演説で示された主張・論点の分析

このようにトランプ大統領は、パリ協定脱退の意向をいくつかの理由に基づいて説明したが、以下では、脱退表明演説で示された主張・論点について検討を加える。

3.1 パリ協定残留時におけるNDCの変更とGCFへの拠出停止の可否

トランプ大統領は、国別目標(NDC)の不公平性とGCFへの拠出を脱退の理由としたが、これらの懸念への対応はパリ協定に残ったままでも可能であった。

パリ協定は、各国がNDCを自ら決める仕組み

をとっている。NDCを不公平と考えるのであれば、(あまり奨励されるべきことではないが)自ら目標を緩めることは可能である。途上国への資金支援についても、支援提供の一般的義務はあるものの、具体的な金額や拠出先を義務付けてはいない。このため、協定に残ったまま、自国の拠出を減らすことは可能である。

なお、報道によれば、政権内部の脱退派は、パリ協定の下ではNDCの引き下げが禁じられていると主張していた。その根拠は明らかではないが、パリ協定4条11には、協定の締約国会合が採択したガイダンスに従い、野心レベルの強化を目指して、いつでも既存NDCを調整できるとの規定¹¹があり、このことを指しているのかもしれない。

しかし、この条文をよく読むと、野心レベル(≒目標水準)の「強化(enhancing)を目指して」と記載されているが、引き下げを禁じるとは書かれていない。COP21でのパリ協定採択に至るまでの交渉過程では、後退禁止(no backsliding)を義務化すべきとの主張があったが、採用されずにこの文言になった。こうした経緯からも、奨励されるべきことではないが、引き下げが禁じられているとまでは言い難い¹²。

3.2 再加入交渉発言の真意

トランプ大統領は「米国にとって公平な条件で、パリ協定、または全く新しい取り決めに再加入すべく交渉を開始する」と宣言したが、その交渉によって何を得たいのかを全く示さなかった。また、3.1で述べたように、提示された懸念はパリ協定に残留しても対応できるものであり、再加入交渉で何を得たいのかが不明で

¹¹ 原文は以下。

“A Party may at any time adjust its existing nationally determined contribution with a view to enhancing its level of ambition, in accordance with guidance adopted by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Agreement.”

¹² パリ協定の法的側面に詳しい Biniaz and Bodansky (2017)

も同様の見解を示している。他方、トランプ政権は2017年5月のG7の際に、目標引き下げが可能であることを他国に認めさせたいとの意向を持っていたと報じられている(Shear and Davenport, 2017)。

ある。トランプ大統領は、脱退表明演説の中で、「公平な合意を出来るかを見ていく。できるならば、素晴らしい。できないのなら、それでも構わない (that's fine)」¹³とも述べており、真剣に合意を目指す意図があるのかについても疑問が残る。

なお、政権内部の協定残留派は、他国から化石燃料・石炭関連の何らかの譲歩を引き出すことを求めているが、トランプ大統領は再加入交渉でこうした譲歩を得ようとしているのかもしれない。

3.3 脱退方法の選択肢

パリ協定は、28条に脱退規定を設けている。それによれば、協定発効時から3年後（2019年11月4日）以降に脱退を通告でき（28条1）、その1年後に正式に脱退となる（28条2）。ただし、パリ協定の親条約である気候変動枠組条約（UNFCCC）を脱退すれば、パリ協定からも脱退したものと見なされる（28条3）。UNFCCCはいつでも脱退を通告可能であり、通告から1年後に脱退が完了する。

トランプ大統領は脱退表明演説の中でどの方法で脱退するのかについて言及しなかったが、脱退派の急先鋒であったプルーイトEPA長官は、2017年6月2日に行われた大統領府での記者会見において、「我々はUNFCCCの一員であり（中略）今後も関与を続け、合意に取り組み、米国の利益を第一とする成果を達成するように努める」と発言し¹⁴、UNFCCC脱退は選択肢に含まれていないことを示唆した。とは言え、この発言だけでUNFCCC脱退という選択肢が完全に排除されたとは言い切れない。

3.4 パリ協定実施停止宣言の意味

トランプ大統領は、正式脱退を待たずに、6月1日限りで、NDCの実施終了とGCFへの拠出停止を含むパリ協定の全ての実施を停止すると宣言した。

脱退手続きが正式に終了するまでは、米国はパリ協定の締約国であり、（現時点で実施すべきことはほぼ何もないが）協定で定められた義務を負う。一方的な宣言だけで義務は解消されない。

ただし、NDCの実施やGCFへの拠出は義務ではない。パリ協定4条2は、NDCの準備、提出、保持と、NDCの目的の達成を目指して国内措置を追求（pursue）することを締約国の義務としたが、NDCそのものの実施や達成を義務付けてはいない。また、9条1は、先進国がUNFCCCの下での資金提供義務を継続することを定めたが、GCFへの個別拠出は義務付けていない。

正式脱退までには時間を要するであろうことを踏まえれば、手続き完了を待たずに、これらの停止を宣言することは、米国にとって意味があったと言える。他方、3.1で述べたように、この宣言で懸念が解消されるのであれば、ことさら「脱退」を表明するまでの必要はなかった。

3.5 憲法上の問題

トランプ大統領は、脱退表明演説の中で、「深刻な法的問題と憲法上の問題もある。欧州、アジア、世界の首脳は、米国市民やその選ばれた代表以上に米国経済について発言権を持つべきではない。協定からの脱退は米国の主権の回復だ」と発言した。この主張は、オバマ前大統領が議会に諮らずにパリ協定を締結したこと

¹³ 原文は以下。

“[W]e will start to negotiate, and we will see if we can make a deal that's fair. And if we can, that's great. And if we can't, that's fine.”

¹⁴ 会見の全文は下記リンクを参照。

<https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/daily-press-briefing-press-secretary-sean-spicer-epa-administrator-scott-pruitt-060217/>（アクセス日：2018.4.9）。

と関連している。

合衆国憲法は、「大統領は、上院の助言と承認を得て、条約を締結する権限を有する。但し、この場合には、上院の出席議員の3分の2の賛成を要する¹⁵⁾」(第2条第2節2項)と定めているが、オバマ前政権は、パリ協定は上院送付という手続きが不要な「行政協定 (executive agreement)」であるとして、上院に諮ることなく、2016年9月3日に締結した。オバマ前政権は行政協定とみなせる理由を詳細には明かさなかったが、一部の法学者らは、パリ協定の義務は憲法や既存法の下で大統領や行政府に与えられた権限で実施可能であることなどを、その理由として挙げていた¹⁶⁾。

他方、パリ協定からの脱退運動を主導した保守系団体 (Heritage FoundationやCompetitive Enterprise Institute) の関係者は、協定の「上院送付」という方法を提案していた。これらの団体の関係者は、オバマ前大統領が締結する前の段階でも¹⁷⁾、トランプ大統領の就任後も¹⁸⁾、そしてトランプ大統領の脱退表明演説後も¹⁹⁾、パリ協定を上院に送付し、パリ協定締結承認の可否を採決に付すことを主張してきた。

トランプ大統領自身は上院に提出すべきであったとまでは言及しなかったが、プルーイトEPA長官は6月2日の記者会見で、「批准のために上院に提出されるべきであった」と発言しており、憲法上の問題とは、オバマ前政権による締結手続きを念頭においたものと考えられる。

他方、行政府のトップであるトランプ大統領が既に脱退の意向を表明している中で、改めて、パリ協定を上院に送付する可能性は高くはない。なぜならば、大統領による脱退という判断を上院に再度判断してもらうことを意味し、上院に決定権を渡してしまうことになるためである。なお、本稿執筆時点において、パリ協定を上院に送付する動きはない²⁰⁾。

3.6 法的責任の問題

トランプ大統領は、脱退表明演説の中で、「協定脱退によって、米国の主権に対する将来的な侵害と巨大な将来の法的責任 (legal liability) を回避できる。協定に残ると、巨大な法的責任を負う」と主張した。

法的責任という言葉で何を指しているのかは不明であるが、この主張の直前には「米国の豊富なエネルギー源への制約を取り除くプロセスを強力に始めたところだが、協定に残ると深刻な障害になる」とも述べており、国内政策の自由度が奪われることを指している可能性がある。既に述べたように、協定脱退派は、パリ協定に残ると、前政権が定めた規制の見直しに際して、環境団体等からパリ協定違反として訴えられると主張しており、トランプ大統領の発言は脱退派の論理とも符合する。

しかし、協定残留が国内政策の見直しを阻むのかは疑問である。パリ協定4条2は、締約国に対して、「貢献の目的の達成を目指して、国内

¹⁵⁾ 和訳の出典は、アメリカンセンターJapan のウェブサイト。
<https://americancenterjapan.com/aboutusa/laws/2566/> (アクセス日: 2018.4.9)。

¹⁶⁾ 例えば、Bodansky and Spiro (2016)。また、オバマ前政権で国務省のリーガルアドバイザーであったイェール大学のコー教授は2017年1月に発表した論考の中で、大統領は憲法と既存法の下で協定実施に十分な権限を与えられており、行政協定として扱うことは「議会が当該問題に対して憲法上の権限を強く主張したとしても、議会の承認は高いと言えるため、合憲 (constitutional) である」との見解を提示した (Koh, 2017)。他方、オバマ前政権はパリ協定だけではなく他分野についても大統領の権限を拡大してきたと評価され

ており (例えば、Goldsmith, 2016)、また、そのことが議会 (特に共和党議員) の強い反発を招いてきた。

¹⁷⁾ 例えば、Groves (2016)。

¹⁸⁾ 例えば、Homer and Lewis (2017)。

¹⁹⁾ 協定脱退運動で主導的な役割を果たした Competitive Enterprise Institute の Ebell 氏はトランプ大統領の脱退表明後に、将来の復帰を防ぐために協定を上院に送付すべしと主張している (Competitive Enterprise Institute, 2017)。

²⁰⁾ 仮に上院に送付された場合の論点については、上野 (2017c) を参照。

削減措置を追求しなければならない²¹」との義務を課したが、貢献の目的（＝削減目標）を緩めれば、Clean Power Plan等の既存政策の見直しは、この義務の違反には当たらないものと思われる。また、気候変動分野に精通した一部の法学者は、パリ協定には国内法としての法的効力はなく²²、訴訟において規制見直しの反対理由に用いるのは、かなり無理がある主張ではないかと指摘している（Biniaz and Bodansky, 2017）²³。

他方、パリ協定残留は、将来の規制の呼び水になりうる。オバマ前政権は大気汚染対策の法律であるClean Air Actを用いて各種の規制を制定してきたが、同法の115条には「国際的な大気汚染」の規定があり、一定の条件²⁴を満たす場合に、EPAがかなりの裁量をもって当該物質の排出を規制できる。

パリ協定脱退を主張する上院議員22名（全員共和党）による大統領宛てのレター（5月25日付け）は、脱退すべき理由として「環境派は、協定が定める透明性枠組み（13条）で115条適用の要件が満たされると主張するだろう」と指摘した²⁵。実際、2016年の大統領選挙戦でクリントン陣営のエネルギー環境政策を担当した関係者が、115条を用いる可能性に言及した内部ペーパーを執筆し²⁶、また、環境系の法学者も115条の可能性についての論考を2016年に発表している（Burger et al., 2016）。こうしたことを踏まえると、レターの指摘は環境団体等の意図

については妥当な主張とも言える。しかし、115条の実際の適用はハードルがかなり高く、パリ協定の存在だけで適用するのは容易ではない。

3.7 小括

このように、パリ協定脱退という結論も、それを正当化するロジックも、基本的には政権内部の脱退派の主張に沿ったものであったが、UNFCCC脱退という極端な選択を採用していない点や、真意は不明だが「再加入交渉」を持ち出した点に、残留派への微妙な配慮も見える。

4. ヘイリー国連大使の通告とその内容に関する考察

2017年8月4日に、米国のヘイリー国連大使は、パリ協定の寄託者である国連事務総長に対し、協定脱退の「意思」を通告した。これは脱退の正式通告ではなく、その意思を持つことの通告である。

4.1 通告の概要

通告の内容は、米国にはパリ協定脱退の権利を行使する意図があり、再関与の適切な条件を特定できない限り、パリ協定28条1に沿って、脱退通告が可能になり次第、正式な書面で通告するというものであった²⁷。

また、同日に国務省がこの通告についてのリリースを行い、通告内容に加えて、「米国の利

²¹ 原文は、“Parties shall pursue domestic mitigation measures, with the aim of achieving the objectives of such contributions”である。

²² 自動执行的ではない（non self-executing）という。

²³ 主著者の Biniaz は長年、国務省で気候変動分野の法的問題を扱ってきた専門家である。

²⁴ 115 条には、“This section shall apply only to a foreign country which the Administrator determines has given the United States essentially the same rights with respect to the prevention or control of air pollution occurring in that country as is given that country by this section”という規定があり、他国が米国に同等の権限を与える場合に適用可能となる。

²⁵ レターの全文については、下記リンクを参照。

https://www.epw.senate.gov/public/_cache/files/fe7835f9-4774-43ee-98aa-e4c9bd2802dd/05.25.17-paris-letter-to-trump.pdf（アクセス日：2018.4.9）。

²⁶ Holden, Hess and Lehmann（2016）を参照。

²⁷ 既に述べたように、28 条 1 は協定発効時から 3 年後（2019 年 11 月 4 日）以降に脱退を通告できるという規定である。通告の全文については、下記リンクを参照。

<https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2017/CN.464.2017-Eng.pdf>（アクセス日：2018.4.9）。

益を守り、将来の政策オプションを閉ざさないようにすべく、COP23を含む気候変動交渉に継続参加する」と表明した²⁸。

4.2 通告内容に関する考察

この通告からは、大統領の脱退表明演説からの微妙なニュアンスの変化を読みとれる。

第1に、脱退方法である。パリ協定28条1に従うことを明確に示しつつ、同28条3に規定されたUNFCCC脱退には触れなかった。UNFCCC脱退が選択肢として完全に排除されたとはまでは言えないが、その可能性は大きく下がったと見ることはできる。

第2に、残留の方法である。トランプ大統領は、脱退表明演説の中で、パリ協定または全く新しい取り決めに「再加入 (reenter)」するための交渉を開始すると述べたが、再加入は「いったん抜ける」ことを前提とした言葉である。他方、ヘイリー大使は「再関与 (reengagement)」という言葉を用いたが、再加入と比べると、「いったん抜ける」というニュアンスが弱く、また「残留しつつ別の条件での関与」という可能性を読みとりやすい。

第3に、再交渉についてである。トランプ大統領の脱退表明演説では、再加入条件を他国と「交渉」することが明確に謳われたが、ヘイリー大使の通告では、米国自身が条件を特定できるかが脱退を通告するか否かの条件となった。依然として、何が条件であるのかは明らかにされていないが、協定残留派はオバマ政権が掲げたNDCの引き下げを残留の条件としており、またNDCの変更は締約国が一方的に行えること

から、目標緩和は「適切な条件」の一部をなすものと考えられる。

以上のように、脱退という結論は変わらないが、

- ・パリ協定28条1に明確に言及し、UNFCCC脱退の可能性に触れなかった点
 - ・「再加入」ではなく「再関与」という言葉を用いた点
 - ・「交渉」ではなく「米国自身による条件の特定」に表現を変えた点
- に残留派の論理が強まったことを読みとれる。

5. 今後に残された論点

トランプ大統領は、2017年6月1日にパリ協定からの脱退意向を表明した。さらに、最近では、2018年2月23日に開催された保守政治行動会議における演説で「パリ協定を倒した」、「(他国は) 石炭を使うなど言ってくる」、「(協定は) 他国に対する競争力を弱めるものだ」、「2030年まで中国は合意したことを始めない」、「インドなど他の大国に我々はお金を払わねばならなかった」などと発言し、トランプ大統領のパリ協定に対する見方が基本的には変わっていないことが明らかになった²⁹。

他方、協定の規定上、現時点では脱退を正式通告できず、2018年3月末時点では未だ協定の締約国である。また、トランプ大統領も、ヘイリー一國連大使も、条件次第でパリ協定に残留する可能性を示唆している。このように、米国が正式に脱退するかどうかは依然として不透明である。

²⁸ リリースの全文について、下記リンクを参照。

<https://www.state.gov/t/pa/prs/ps/2017/08/273050.htm> (アクセス日: 2018.4.9) .

また、このリリースには「イノベーションと技術ブレークスルーを通じて国内温室効果ガス排出を削減し、他国がよりクリーンかつ効率的に化石燃料にアクセスし、利用できるように、また再エネや他のクリーンエネルギー源を活用で

きるように支援する」との言及があるが、これは後述する2017年のG20共同声明に記載された米国のポジションと同一内容である。

²⁹ 演説の全文については、下記リンクを参照。

<https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/remarks-president-trump-conservative-political-action-conference-2/> (アクセス日: 2018.4.9) .

以下では、今後を占う上で考えるべき論点を整理する。

5.1 脱退方法と脱退通告時期

ヘイリー大使の通告を踏まえれば、正式に脱退する場合、パリ協定28条1に従って、2019年11月4日以降に脱退通告する方法をとるものと思われる。

もちろん、トランプ政権は28条1以外の方法を明確に完全否定した訳ではないが、他の方法をとる可能性は低い。28条1以外の方法には、①UNFCCC脱退と②協定の上院送付があるが、①については、脱退派の急先鋒であったプリーツEPA長官でさえ、UNFCCCへの関与を続けるとしており、政権内でこの方法を主張する声が見当たらない³⁰。②についても、既に述べたように、保守系の団体が強く主張し続けているが、大統領が判断したことを再度議会に委ねることを意味するため、行政府としては躊躇するであろうことに加え、仮に上院に送付され、批准が否決されたとしても、条約法に関するウィーン条約の規定上、オバマ前政権の締結を取り消すのは事実上不可能である³¹。

ただし、将来の政権による協定復帰を難しくするために、これらの方法が模索される可能性は残る。5.3でも述べるように、2020年の選挙で民主党が政権を奪取すれば、オバマ前政権と同様に行政協定という形式でパリ協定に再加入する可能性が高いが、この方法による復帰のハードルを上げるために、上院送付して否決した後には28条1に従って脱退するという方法や、

UNFCCC脱退という方法が模索されるかもしれない。

28条1に従って正式脱退する場合、いつ通告するかが論点となる。2019年11月4日以降に脱退通告が可能となり、通告から1年後に脱退が完了するため、最速でも脱退完了は2020年11月4日となる。奇しくもこの日は次の大統領選挙の翌日である。

2020年の選挙で政権が交代する場合、それまでに脱退手続きが完了していなければ、次期大統領は脱退通告を撤回できる。また、仮に脱退手続きを完了しても、民主党政権に交代すれば、協定に復帰する可能性が高い。つまり、脱退をどのタイミングで正式通告するにせよ、脱退という状態が継続するかどうかは、2020年の大統領選挙の結果次第であると言える。

そのため、トランプ政権は、脱退の意思を固めた場合、第1期のうちに手続きを完了させるという観点ではなく、2020年の選挙対策の観点から、通告のタイミングを検討するのではないかと考えられる。また、脱退を通告すると、残留という選択肢が無くなり、選挙戦におけるカードを失うことにもなるので、脱退の可否自体を選挙対策の視点で判断する可能性もある。

5.2 パリ協定残留の条件

トランプ大統領はパリ協定への再加入(reenter)を、ヘイリー国連大使は再関与(reengagement)を示唆したが、ともにそのための具体的な条件を明らかにしていない。

しかし、これまでに明らかになっている情報

³⁰ 万が一、トランプ政権がUNFCCCを脱退すると決意した場合、上院に諮らずに脱退することが可能かどうか論点となる。UNFCCCは1992年に上院の大多数の賛成で承認された(ただし、賛成議員・反対議員の記録を残さない形で投票が行われたため、賛成議員数の公式記録は存在せず)、当時のブッシュ政権が批准した。外交法のリステイトメント(法学者や法曹実務家がまとめた文書)には、UNFCCCに限らず、上院が承認した国際条約全般について「大統領の権限で停止可能」と書かれているが、実際には論争がある。議会調査

局が上院外交委員会に対して作成した報告書(2001年)によると、これまでの条約脱退では、議会・上院の事前同意あり、議会・上院の事後同意あり、事前同意も事後同意もないといった類型があり、どれを選ぶかについては、重要性や大統領の考えによってきたとのことである。

³¹ この点の詳しい議論は、上野(2017c)を参照。

から、ある程度の推測は可能である。

まず、パリ協定そのものの再交渉を求める可能性はほぼない。トランプ大統領の脱退表明演説当日に、UNFCCC事務局が「単一の国の要請だけで再交渉することはありえない」との声明を発表した³²ように、そもそも他国が再交渉に応じない。また、ヘイリー国連大使の通告と同時に発出された国務省の公電がメディアにリークされたが、それによれば、「協定自体の再交渉や新合意の交渉を求める計画はない」とのことであった³³。

次に、前政権による削減目標（NDC）の撤回と目標引き下げは、残留の必須条件と考えられる。2017年春の時点で、協定残留派は、オバマ前政権が提出した2025年目標の撤回を残留の条件の1つとしており、またトランプ大統領も、脱退表明演説の中で、NDCの実施中止を明言した。他方、パリ協定4条2は、締約国に対して、NDCの保持（maintain）を義務付けており、前政権のNDCを撤回する場合、別のものと置き換える必要がある。トランプ政権がNDCを再提出する場合、その目標は相当に緩いものになるだろう³⁴。また、現時点において、パリ協定は、NDCの目標年を5年刻みとするか10年刻みとするかを統一しておらず、2030年目標を掲げている国も多い。そのため、前政権の2025年目標を、2030年目標に置き換えるかもしれない。

最後に、化石燃料の利用促進に関する何らかの成果である。トランプ政権は、2017年7月のG20以降、「他国がよりクリーンかつ効率的に化石燃料にアクセスし、利用できるように、ま

た再生可能エネルギーや他のクリーンエネルギー源を活用できるように支援する」と主張している。また、2017年11月に開催されたUNFCCCの第23回締約国会議（COP23）では、高効率化石燃料と原子力発電の役割に関するイベントを開催し、大統領府のバンクス特別補佐官（当時）³⁵が講演した。こうした主張への支持は今のところあまり広がっておらず、また、この取組みの成否とパリ協定への残留可否の関係ははっきりしないが、何らかの成果を求めていることは明らかである。

しかし、協定残留派の有力者であったティラーソン国務長官とコーン国家経済会議委員長が、2018年3月に相次いで辞任し、後任にはそれぞれパリ協定に否定的なポンペオ氏とクドロー氏が指名された。政権内に残留支持の有力者がいなくなったことで、そもそも、こうした残留条件が深く議論されない可能性が高く、残留への道筋はますます見えにくくなったと言える。

他方、こうした状況は、政治情勢次第で変わる可能性もある。例えば、ブッシュ政権は、2006年の議会中間選挙における共和党の惨敗後、温暖化対策への姿勢を変え、積極性を見せるようになったが、2018年の中間選挙で共和党が惨敗すれば、トランプ政権は、気候変動対策への態度を変えるかもしれない。また、司法省に任命されたモラー特別検察官が、2016年大統領選挙におけるロシア政府とトランプ陣営のかかわり等について捜査しているが、この捜査の行方も政治情勢に大きな影響を与えうる。

³² 表明の全文については、下記リンクを参照。
<http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/unfccc-statement-on-the-us-decision-to-withdraw-from-paris-agreement/>（アクセス日：2018.4.9）。

³³ リークされた公電の全文については、下記リンクを参照。
http://live.reuters.com/Event/Live_US_Politics/1051797571（アクセス日：2018.4.9）。

³⁴ 後述するバンクス氏は大統領特別補佐官を辞任した直後に、新たなNDCを先に議会で立法化してから、それを大統領が

発表することを提案した。その意図は保守派が抱くパリ協定への懸念に対処することである（Chemnick and Colman, 2018）。

³⁵ 大統領府で国際的なエネルギー環境対策を担当していたが、2018年2月に辞任した。在任中には、Clean Coal Allianceの立ち上げを検討していると報道された（Colman, 2017）。

次の大統領選挙が行われる2020年に、米国はG7サミットの議長国となる。バンクス氏は、2018年2月に特別補佐官を辞任した直後に、トランプ大統領が残留を表明するならば、選挙対策を意識するG7のタイミングではないかと指摘した³⁶。

5.3 将来のパリ協定復帰の可能性

仮にトランプ大統領がパリ協定を正式脱退したとしても、将来の大統領が協定復帰の意思を持つ可能性は相当に高い。

ただし、5.1でも述べたように、復帰のハードルは脱退の仕方次第である。28条1の脱退手続きに沿って脱退する場合、将来の大統領は、オバマ大統領と同様、パリ協定を行政協定と見なして再加入する可能性が高い。他方、その可能性は低い、パリ協定が議会上院に送付され、否決された場合、将来の大統領がその権限で再加入できるかは不明である。少なくとも、上院の否決という事実があることで、政治的ハードルは上がる。

協定実施指針の交渉の帰結も、将来の復帰に影響を与える。米国は、大統領の脱退表明演説後も引き続き、2018年のCOP24を合意期限とするパリ協定の実施指針交渉に参加しているが、COP24で合意がまとまらず、2019年の脱退通告後に、他国が米国抜きで指針に合意した場合、その合意内容が米国にとって党派を問わず

賛成できないものになれば、将来の復帰が困難になる³⁷。

5.4 脱退表明演説の影響

最後に、脱退意向表明演説がこれまでにもたらした影響と、今後起こりうる影響を考察する。

(1) これまでの影響

温暖化対策では、ある国の削減努力による効果が世界全体で享受されることから、他国の努力にただ乗りする誘因が働きやすいとされてきた。トランプ政権の脱退意向表明演説はただ乗りの典型例とも考えられ、この理解に沿って考えれば、他国も追随し、努力水準を引き下げたり、パリ協定からの脱退を検討したりするおそれがあった。

しかし、現在までのところ、米国の脱退意向は、そうした負の連鎖をほとんど引き起こしていない³⁸。米国の脱退表明演説の直後には、日本を含む多くの国々がパリ協定への支持を表明した³⁹。また、2017年7月に開催されたG20サミットの首脳宣言では、米国の脱退意向を示すパラグラフと、他の19か国によるパリ協定支持のパラグラフを書き分けることで、米国以外の国々の結束を際立たせた⁴⁰。

さらに、大統領の脱退表明演説に対する米国内からの反作用として、一部の州、都市、企業等が、United States Climate Alliance⁴¹やWe ARE

³⁶ Chemnik and Colman (2018) を参照。

³⁷ たとえば、交渉の中で、中国やインドなどの一部途上国は、NDC 実施に対する透明性確保の枠組みを、先進国と途上国で別個のものとするべきと主張しているが、仮にそのようなものになった場合、民主党が政権奪取した際でも復帰のハードルは高くなるだろう。

³⁸ ただし、トルコのエルドアン大統領は2017年7月に、米国の脱退意向を理由の1つとして、パリ協定を批准しない可能性を示唆しつつ、パリ協定下で資金支援を受けることができないのであれば、パリ協定は議会で承認されないと発言した(Reuters Staff, 2017a)。同国は本稿執筆時点(2018年2月)において協定を批准していない。

³⁹ 日本政府のステートメントは下記リンクを参照。

http://www.mofa.go.jp/mofaj/press/release/press4_004682.html (アクセス日: 2018.4.9)。

⁴⁰ G20 首脳宣言の全文は下記リンク。
https://www.g20.org/profiles/g20/modules/custom/g20_beverly/img/timeline/Germany/G20-leaders-declaration.pdf (アクセス日: 2018.4.9)。

⁴¹ 超党派の州知事が設立した連合体。本稿執筆時点(2018年2月13日)で15州の知事とプエルトリコ知事が参加している。United States Climate Alliance のウェブサイトは下記リンク。
<https://www.usclimatealliance.org/> (アクセス日: 2018.4.9)。

Still In⁴²といったネットワーク組織を形成して、パリ協定への支持を表明し、国際社会とともに温暖化対策を進めていくという姿勢を示した。カリフォルニア州のブラウン知事は、Global Climate Action Summitをサンフランシスコで2018年9月に開催すると表明し、世界中の地方政府、企業、市民のリーダーに参加を呼び掛けており、存在感を高めている⁴³。また、ブラウン知事とブルームバーグ氏は州、都市、企業などの非国家主体による取組みを集計・定量化することを目的として、America's Pledgeという取組みを立ち上げた⁴⁴。

2001年にブッシュ元大統領が京都議定書からの離脱を表明した後も、カリフォルニアや北東部など一部州の取組みが注目されたが、他国にとっての主たる関心事項は、ブッシュ政権をいかにして国際的なプロセスに関与させるかであった。米国の巻き込みを図る国々は、G8やUNFCCCの下での対話など、様々な場を活用し、ブッシュ政権自身もアジア太平洋パートナーシップという取組みを立ち上げた⁴⁵。

しかし、今回は、トランプ政権の関与よりも、一部の州、都市、企業のイニシアティブに関心が集まっている。COP23の会場では、America's Pledgeの特別パビリオンがブルームバーグ氏の資金提供によって設置され、同氏に加えて、ゴア元副大統領、カリフォルニア州のブラウン知事、COP23議長のBainimarama フィジー首相らが登壇し、メディア報道で大きく取り上げられた⁴⁶。他方で、トランプ政権を巻き込もうとい

う動きは広がっていない。フランスのマクロン大統領は、2017年12月にOne Planet Summitを開催したが、トランプ大統領を招待せず⁴⁷、カリフォルニア州のブラウン知事が参加した。2017年のG20サミットの首脳宣言で、米国と他の19か国でパラグラフを書き分けたことは、既に述べた通りである。トランプ政権は引き続きパリ協定の実施指針交渉に参加しているが、他国が米国を巻き込もうとする動きは現在までのところ弱い⁴⁸。

(2) 今後起こりうる影響

このように、現時点ではまだ正式脱退していないことや、州・都市・企業の取組みへの関心が高まったことで、脱退表明演説の悪影響は限定的なものに留まっているが、後の段階になって顕在化しうる悪影響もある。

第1に、途上国支援の縮小とそれが引き起こす負の連鎖である⁴⁹。トランプ大統領は脱退表明演説で、GCFへの拠出を停止すると宣言したが、多くの途上国は、先進国などからの支援を前提とする目標を掲げている。長い期間にわたって米国からの支援が得られなくなれば、それを理由に対策を見直す可能性がある。

第2に、2020年に行われるNDC提出への影響である。パリ協定の下では、全ての締約国が2030年のNDCを2020年の1~3月までに(再)提出することになっているが、米国がこの時点までに脱退を通告済みであれば、対策強化の機運が削がれるだろう⁵⁰。ただし、この時期には、2020年の大統領選挙の予備選挙が始まってい

⁴² パリ協定支持を表明する We Are Still In 宣言に署名した都市、州、企業、大学等のリーダーのネットワーク。これらの主体による具体的取組みを発信している。We Are Still In のウェブサイトは下記リンク。

<https://www.wearestillin.com/> (アクセス日: 2018.4.9)。

⁴³ サミットのウェブサイトは下記リンク。

<https://globalclimateactionsummit.org/> (アクセス日: 2018.4.9)。

⁴⁴ America's Pledge のウェブサイトは下記リンク。

<https://www.americaspledgeonclimate.com/> (アクセス日: 2018.4.9)。

⁴⁵ 当時の経緯については、上野 (2006) を参照。

⁴⁶ そのような報道の例として、Friedman (2017) を参照。

⁴⁷ Reuters Staff (2017b) による。

⁴⁸ 様々な理由が考えられるが、トランプ政権が残留の条件を具体的に示していないことは理由の1つと思われる。

⁴⁹ Urpelainen and Van de Graaf (2017 online) も同様の点を指摘した。

⁵⁰ Bordoff (2017) も同様の懸念を示している。

る。温暖化対策が早い段階から選挙戦の争点になり、民主党候補が野心的な2030年目標⁵¹を掲げるなど積極姿勢を示し、それに対する支持が高まれば、悪影響が弱まる可能性もある。

第3に、トランプ政権が正式脱退し、2020年の選挙で共和党候補が勝利する場合、脱退が長期化するおそれがある。この場合には、パリ協定の求心力が大きく損なわれるだろう。他方で、民主党候補が勝利する場合には、新大統領は野心的な2030年目標を掲げてパリ協定に復帰することを目指す可能性が高く、トランプ政権による悪影響が相殺されるだろう。

なお、温室効果ガス排出量については、今回の脱退表明演説よりも、進行中の国内対策の見直しに強く影響を受ける。トランプ政権はオバマ前政権による国内排出規制の撤廃を目指しているが、撤廃が完了する場合、2025年や2030年の排出量は2005年比で17%減程度となると見通されている（Belenky, 2017; Larsen et al., 2017）。この水準は、現在の排出量に対しては微減であり、前政権の目標（26%減）には遠く及ばないものである。もちろん、州政府や都市・企業レベルの取組みによる穴埋めを期待できるが、排出量が大きい州の多くは、オバマ政権期から火力発電所への排出規制等に反対してきており、これらの州における排出削減を加速させるためには、連邦政府による政策が不可欠である⁵²。しかし、トランプ政権下ではそうした政策を期待できない。

6. 結論と示唆

トランプ大統領はパリ協定から脱退する意

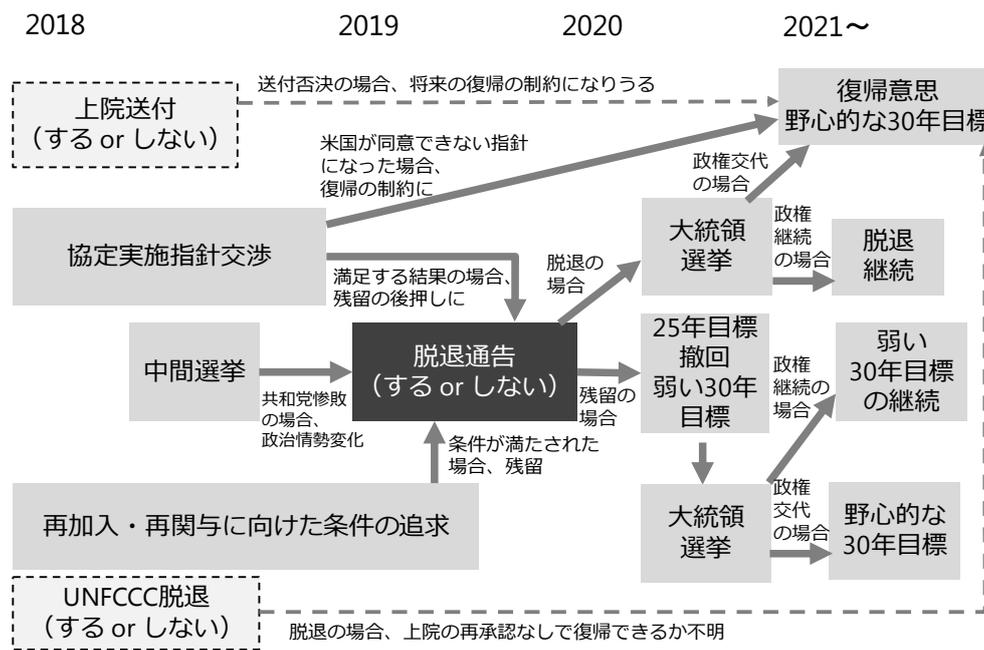
⁵¹ オバマ前政権は2025年に2005年比で26～28%削減、2050年に同80%以上削減という目標を掲げたが、この2つの目標を直線で結ぶと、2030年には36.8%～38.4%以上削減となる。

⁵² America's Pledge はCOP23においてレポートを発表し、パリ協定支持を表明した州・都市が米国の全人口に対して占め

向を表明したが、条件次第では残留する可能性にも言及しており、本当に脱退するのかどうかは未だ不透明である。図は、本稿の議論に基づき、脱退を正式通告するかどうかの判断に影響を与える要因と、判断後の展開を整理したものである。パリ協定の規定上、2019年11月4日から脱退通告が可能となるが、判断を取り巻く要因の不確実性は大きく、また判断後の展開の幅も大きい。現時点では脱退表明演説による悪影響は限定的であるが、今後の展開次第では、そうした影響が拡大することもあれば、逆に打ち消されることもある。

悪影響拡大の可能性を抑えるためには、米国に正式脱退を思いとどまらせることが重要である。トランプ政権は残留の条件を明らかにしておらず、日本を含む他国によるアプローチが難しい状況が続いているが、2018年11月の中間選挙で共和党が敗北する場合、米国の政治状況が変わって、残留へと判断を変える契機となりうる。また、米国が議長国を務める2020年のG7サミットも、残留表明の機会になるかもしれない。米国の政治情勢を予測することは困難であるが、2019年11月4日には脱退の正式通告が可能となるため、その頃から翌年のG7サミットまでの時期が、米国のパリ協定残留に向けて重要なタイミングとなる。

る割合は49%、GDPでは54%、温室効果ガス排出量では35%という集計結果を示した（Bloomberg Philanthropies 2017）。このことから、パリ協定を支持する地方政府は、もともと一人当たり排出量やGDP当たりの排出量が小さいことが分かる。



出典：著者作成

図 脱退通告の可否判断に影響を与える要因と判断後の展開

【参考文献】

上野貴弘 (2006) 複数制度化する温暖化防止の国際枠組み—京都議定書, G8サミット, アジア太平洋パートナーシップの並存状況の分析—, 電力中央研究所報告(Y05004)

上野貴弘 (2017a) トランプ新政権と温暖化対策, 環境管理Vol.53 No.5, 11-19頁。

上野貴弘 (2017b) トランプ大統領のパリ協定脱退表明について (1), 電力中央研究所社会経済研究所コラム (2017年6月2日) <http://criepi.denken.or.jp/jp/serc/column/column14.html> (アクセス日: 2018.4.9) .

上野貴弘 (2017c) トランプ大統領のパリ協定脱退表明について (2), 電力中央研究所社会経済研究所コラム (2017年6月7日) <http://criepi.denken.or.jp/jp/serc/column/column15.html> (アクセス日: 2018.4.9) .

上野貴弘 (2017d) パリ協定脱退を巡る動向—国連大使が”意向” 通告一転して残留可能性も—, 電力中央研究所社会経済研究所コラム (2017年9月6日) <http://criepi.denken.or.jp/jp/serc/column/column20.html> (アクセス日: 2018.4.9) .

香取啓介 (2017) 「トランプ氏, 協定めぐる発言は事実?ファクトチェック」朝日新聞デジタル <https://www.asahi.com/articles/ASK6261TPK62UHBI02G.html> (アクセス日: 2018.4.9) .

Belenky, M. (2017) Measuring the Trump Effect, on U.S. GHG Emissions <https://www.climateadvisers.com/measuring-the-trump-effect-on-u-s-ghg-emissions/> (アクセス日: 2018.4.9) .

Biniarz, S. and D. Bodansky (2017) Legal Issues Related to the Paris Agreement, Center for Climate and Energy Solutions.

Bloomberg Philanthropies (2017) America's Pledge Phase 1 Report - States, Cities, and Business in the United States Are Stepping Up on Climate Action <https://www.bbhub.io/dotorg/sites/28/2017/11/Americas-PledgePhaseOneReportWeb.pdf> (アクセス日: 2018.4.9) .

Bodansky, D. (2016) Legal Note: Could a Future President Reverse U.S. Approval of the Paris Agreement?, Center for Climate and Energy Solutions.

Bodansky, D. and P. Spiro (2016) Executive Agreements+, Vanderbilt Journal of Transnational Law,49 (4) pp.885-929.

Bordoff, J. (2017) Withdrawing from the Paris Climate Agreement Hurts the US, Nature Energy, 2:1-3.

Burger, M. et al. (2016) Legal Pathways to Reducing Greenhouse Gas Emissions under Section 115 of the Clean Air Act, http://web.law.columbia.edu/sites/default/files/microsites/climate-change/legal_pathways_to_reducing_ghg_emissions_under_section_115_of_the_caa.pdf (アクセス日: 2018.4.9) .

Chemnick, J. (2017a) GOP Movement to Stay in Paris Accelerates, Climatewire, March 24th, 2017.

Chemnick, J. (2017b) Exxon Asks White House to Stay In, Greenwire, March 28th, 2017.

- Chemnick, J. and Z. Colman (2018) David Banks Had a Plan to Re-enter Climate Pact, Climatewire, February 20th, 2018.
- Chemnick, J. and E. Holden (2017) Inside the DirtydeFight to Leave the Paris Deal, Climatewire, July 7th, 2017.
- Colman, Z. (2017) Trump Admin to Launch 'Clean Coal' Effort, E&E News PM, December 11th, 2017.
- Competitive Enterprise Institute (2017) CEI Commends President Trump's Decision to Cancel Paris Climate Agreement <https://cei.org/content/cei-commends-president-trumps-decision-cancel-paris-climate-agreement> (アクセス日 : 2018.4.9) .
- Egan, M. (2017) Why Big Oil Wants Trump to Stay in Paris Climate Deal, CNN Money, April 18th, 2017.
- Friedman, L. (2017) A Shadow Delegation Stalks the Official U.S. Team at Climate Talks, New York Times, November 11th, 2017.
- Goldsmith J. (2016) The Contributions of the Obama Administration to the Practice and Theory of International Law, Harvard International Law Journal, 57:455-473.
- Groves, S. (2016) The Paris Agreement Is a Treaty and Should Be Submitted to the Senate, The Heritage Foundation Backgrounder, No. 3103.
- Holden, Hess and Lehmann (2016) The Carbon Tax that Clinton Decided Not To Use: \$42, Climatewire, October 21st, 2016.
- Homer, C. and M. Lewis (2017) The Legal and Economic Case Against the Paris Climate Treaty Canceling U.S. Participation Protects Competitiveness and the Constitution,, Competitive Enterprise Institute, Issue Analysis 2017 No.6.
- Koh, H. (2017) Triptych's End: A Better Framework To Evaluate 21st Century International Lawmaking, Yale Law Journal, 126:338-368.
- Larsen, K., J. Larsen, W. Herndon, S. Mohan and T. Houser (2017) Taking Stock 2017: Adjusting Expectations for US GHG Emission http://rhg.com/wp-content/uploads/2017/05/RHG_ENR_Taking_Stock_24May2017.pdf (アクセス日 : 2018.4.9) .
- Mulligan, S.P. (2017) Withdrawal from International Agreements: Legal Framework, the Paris Agreement, and the Iran Nuclear Agreement, Congressional Research Service, 7-5700.
- Restuccia, A. (2017) Trump advisers want concessions for coal if U.S. stays in climate pact, Politico, March 17th, 2017.
- Restuccia, A. and E. Wolff (2017) Trump's lawyer raises concerns about remaining in Paris climate accord, sources say,, Politico, May 2nd, 2017.
- Reuters Staff (2017a) Erdogan says U.S. stance stalls Turkish ratification of Paris climate deal <https://www.reuters.com/article/us-g20-climatechange-turkey/erdogan-says-u-s-stance-stalls-turkish-ratification-of-paris-climate-deal-idUSKBN19T11R> (アクセス日 : 2018.4.9) .
- Reuters Staff (2017b) Trump Not Invited to Paris December Climate Change Summit for Now, Says France <https://www.reuters.com/article/us-climatechange-accord-trump-paris/trump-not-invited-to-paris-december-climate-change-summit-for-now-says-france-idUSKBN1D71U0> (アクセス日 : 2018.4.9) .
- Shear, M. and C. Davenport (2017) World Leaders Increase Pressure on Trump to Stay in the Paris Accord,, New York Times, May 26, 2017.
- Urpelainen, J. and T. Van de Graaf (2017) United States Non-cooperation and the Paris Agreement, Climate Policy, online.
- Valdmanis, R. (2017) Coal miner Cloud Peak urges Trump to stay in Paris climate deal, Reuters, April 6th, 2017.

上野貴弘 (うえのたかひろ)

電力中央研究所 社会経済研究所

パリ協定における国別目標の進捗捕捉の試み — 中国を事例とする分析と協定実施指針への示唆 —

Tracking Progress of National Targets under the Paris Agreement

— Case Study on China's Targets and its Implications for Transparency Rules —

キーワード：パリ協定、透明性枠組み、中国、エネルギー統計

上野 貴弘

パリ協定は各国に対して、国別目標を5年毎に提出し、その進捗状況の捕捉に必要な情報を隔年で報告することを義務付けた。本稿では、中国を事例として国別目標の進捗捕捉を試行し、2018年のCOP24での合意に向けて交渉が行われている協定の実施指針への示唆を検討した。中国を事例とする分析からは、2014～15年のエネルギー統計の改訂に合わせて、基準年排出量が大幅に上方修正されたことや、非化石比率の定義が変更された可能性があることが明らかになった。中国に限らず、全ての国について、国別目標の進捗捕捉を正確かつ透明性の高い形で行うためには、協定実施指針を通じて、温室効果ガスのインベントリ(排出と吸収の目録)と進捗捕捉に必要な他の情報(例えばCO₂排出原単位目標であれば、その分母となるGDP)が高頻度かつ短いタイムラグで提出され、適切なアカウンティング(例えば目標提出時とその実施時で指標定義を変更しないなど)が適用されるようにする必要がある。

1. はじめに
2. 中国に関する背景情報と分析の視点
 - 2.1 中国政府が掲げる NDC
 - 2.2 エネルギー統計と CO₂ 排出量推定の不確かさに関する先行研究
 - 2.3 本稿の分析視点
3. CO₂ 排出原単位の進捗捕捉
 - 3.1 公式統計に基づく原単位改善率の計算
 - 3.2 エネルギー統計の改訂が基準年排出量に与えた影響
 - 3.3 小括
4. 一次エネルギーにおける非化石比率の進捗捕捉
 - 4.1 政府文書・政府統計における非化石比率の実績値
 - 4.2 エネルギー統計の改訂が非化石比率に与えた影響
 - 4.3 小括
5. パリ協定の実実施指針への示唆
 - 5.1 インベントリの提出
 - 5.2 進捗捕捉に必要な情報
 - 5.3 アカウンティング
 - 5.4 レビューのあり方
 - 5.5 協定外の取組の役割

1. はじめに

パリ協定は各国に対して、国別目標(nationally determined contribution、以下NDC)を5年毎に提出し(4条9)、その進捗状況の捕捉に必要な情報(information necessary to track progress)を隔年で報告することを義務付けた(13条7(b)及びCOP21決定1の90項)。また、NDCに対するアカウンティング¹も課した(4条13)。

さらに、隔年の報告に対しては、専門家によるレビューと締約国間での検討が行われることになっている(13条11)。他方、協定はNDCの達成を義務付けていない。法的拘束力ではなく、締約国からの報告や、報告に対するレビューを通じた透明性の向上により、実効性を担保しようとしている。

現在、2018年12月に開催される気候変動枠組条約(UNFCCC)の第24回締約国会議(COP24)

¹ 協定はアカウンティングの意味を明確には定義していない

が、本稿では適切な勘定管理という意味でこの語を用いる。

での採択を目指して、協定の実施指針に関する交渉が行われており、パリ協定特別作業部会の下で、4条13のアカウントティングに関するガイダンスや、13条の透明性枠組み（an enhanced transparency framework）に関する共通の様式・手続き・指針（common modalities, procedures and guidelines）などが議題となっている。この中で、NDCの進捗捕捉に必要な情報やアカウントティング方法、提出された情報に対するレビューのあり方などが検討されている。

透明性の強化は、パリ協定の実効性向上に不可欠であり、2015年12月の協定採択からまだ2年しか経過していないにもかかわらず、既にいくつかの重要な先行研究が存在している。例えば、Aldy et al. (2016) や Jacoby et al. (2017) は、透明性を高める上で、経済モデルを使った各国のNDCの評価とその国際比較が重要であると指摘し、限界削減費用や経済影響などの分析例を示した。また、Iyer et al. (2017) は、2025年や2030年といった目標年に向けたNDCの進捗評価だけではなく、長期大規模削減に向けた基盤（技術、インフラストラクチャー、組織など）の形成状況も評価対象とすべきと提唱した。Peters et al. (2017) は、透明性枠組みではなく、協定14条で規定されているグローバルストックテイク（5年毎に行う世界全体での進捗評価）において有用な指標として、①世界全体の排出量（全体進捗の捕捉に必要な情報）、②国家単位での排出変化の要因分解（トレンドの捕捉に有用な情報）、③技術普及（将来の削減を示唆する情報）を指摘した。Winkler et al. (2017) は、透明性に関する協定の規定や関連する過去の経緯を解説した。

このように、先行研究では、透明性強化のために、国際比較や長期の大規模削減への寄与といった分析的な視点から、経済モデルの使用や多様な指標の活用が提案されているが、国際交渉に目を転じると、このような議論はほとんどなされていない。2017年に開催されたCOP23では、実施指針の土台を作ることが目指され、各国の提案を非公式ノート²に集約する作業が行われたが、経済モデルの使用や国際比較指標の活用、大規模削減への寄与の評価といった視点は見当たらない。

その理由の1つは、現在は基礎的なルールを整備している段階であり、分析的な側面を議論するには時期尚早なことである。さらに、パリ協定の透明性枠組みは、各国のNDCに照らして、その国の進捗状況を評価するものであり、努力水準の国際比較という視点が含まれていないため、国家間比較は論点になりにくい。

COP24における協定実施指針の採択に向けて、NDCの進捗を適切に把握するために必要なルールを考えることが現時点では重要であることを踏まえ、本稿では、中国を事例として、NDCの進捗捕捉を試行し、その結果に基づいて、協定の実施指針、特にNDCの進捗捕捉に必要な情報とアカウントティングへの示唆を検討する。中国を取り上げるのは、世界最大の排出国であることに加え、パリ協定の下では、GDPあたりのCO₂排出量（CO₂排出原単位）や一次エネルギーに占める非化石比率といった指標に基づく目標を掲げており、総量削減目標を掲げる先進国よりも、NDCの進捗捕捉に必要な情報が多くなるためである³。

以下、2章では、分析事例として取り上げる

² 原文は下記リンクの文書。
http://unfccc.int/files/meetings/bonn_nov_2017/application/pdf/apa_5_informal_note_final_version.pdf（アクセス日：2018.1.20）。

³ 総量目標の場合、海外からの削減移転を行わないとすれば、

基準年と目標年の排出量によって目標達成を概ね捕捉できるが、原単位目標の場合、さらにGDPについての情報が必要となる。また、非化石比率についてはエネルギー統計の情報が必要になる。

表1 中国が国際枠組みの下で掲げる目標

	2020年目標	2030年目標
発表時期	2009年11月	2015年6月
位置付け	カンクン合意の下での自主的取組み	パリ協定の下でのNDC
排出ピーク時期	言及なし	2030年頃。前倒しの努力
GDPあたりのCO ₂ 排出量	2005年比40～45%削減	2005年比で60～65%削減
一次エネルギー消費に占める非化石燃料の比率	15%程度	20%程度
森林被覆・ストック	被覆を2005年比で4000万ha拡大。ストックを2005年比で13億m ³ 拡大	ストックを2005年比で45億m ³ 程度拡大

出典：著者作成

中国についての背景情報を整理し、分析の視点を提示した上で、3章において、CO₂排出原単位の進捗捕捉を、そして4章において、非化石比率の進捗捕捉を試みる。その上で、5章において、協定実施指針への示唆を論じる。

2. 中国に関する背景情報と分析の視点

2.1 中国政府が掲げるNDC

中国政府は、2015年6月に、2030年までの取組みとして、①2030年頃にCO₂排出のピークを実現し、その時期を早めるべく努力、②GDPあたりのCO₂排出量を2005年比で60～65%削減、③一次エネルギー消費に占める非化石燃料のシェアを20%程度、④森林ストック量を2005年比で45億立方メートル拡大という目標をUNFCCC事務局に提出し⁴、現在は、これらの目標を、パリ協定におけるNDCと位

置付けている。また、2020年目標については、2009年11月に、国務院常務会議の決定という形式で、①GDPあたりのCO₂排出量を2005年比で40～45%削減、②一次エネルギー消費に占める非化石燃料のシェアを15%程度、③2005年比で森林被覆を4000万ヘクタール拡大かつ森林ストック量を13億立方メートル拡大という目標を発表し、その後、2010年のCOP16で採択されたカンクン合意⁵における中国の自主的取組みとして、これらの目標が位置付けられている⁶（表1）。

2017年1月に、中国政府は、カンクン合意の下での報告として、第1回隔年更新報告（biennial update report, BUR）をUNFCCC事務局に提出した。その中で、2015年時点で、CO₂排出原単位は2005年比で38.6%減、エネルギー消費に占める非化石比率は12%との実績を示した⁷。

⁴ 原文は下記リンクの文書。
<http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/China/1/China's%20INDC%20-%20on%2030%20June%202015.pdf>（アクセス日：2018.1.20）。

⁵ 形式としては、UNFCCCのCOP決定。

⁶ 原文は下記リンクの文書。

http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/copenhagen_accord/application/pdf/chinacphaccord_app2.pdf（アクセス日：2018.1.20）。

⁷ 報告は下記リンクより入手可能である。なお、UNFCCCのウェブサイトでは2017年1月12日が提出日とされているが、中国政府が提出した文書における日付は2016年12月となっている。

2.2 エネルギー統計とCO₂排出量推定の不確かさに関する先行研究

このように、中国政府は、2015年時点での目標達成に向けた進捗を報告しているが、中国のエネルギー統計やCO₂排出量推定を扱う多くの先行研究は、統計や推定の不確かさや特殊性を指摘している。

例えば、Guan et al. (2012) は、中国政府が刊行するエネルギー統計年鑑と気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の方法論を用いて、1997年から2010年までのCO₂排出量を推定したところ、省別統計を積み上げた推定量は、全国統計に基づく推定量よりも、2010年時点で14億トン大きいことを明らかにした。この点に関連して、Ma and Zheng (2016) は、省別のエネルギー消費統計が上振れするのは、省エネルギーの省別目標を達成するために、基準年のエネルギー消費量がかさ上げされたためであると分析した。Hong et al. (2017) も、同様の傾向を確認しつつ、2013年に実施された第3次経済センサス後に、両者の乖離が縮小していることを明らかにした。また、Korsbakken et al. (2016) も、第3次経済センサス後に全国統計と州別統計積算値の乖離が縮小したことを統計に基づき確認しつつ、石炭消費量やCO₂排出量を取り巻く不確かさが依然として大きいことを定量的に論じた。

他方、Liu et al. (2015) は、石炭消費量をCO₂排出量に換算する際の係数について、従来使われてきたIPCCによるデフォルト値が、中国で使用されている石炭の実態と乖離しており、結果的に、排出量が2013年時点で25億トン程度、過大評価されてきたと分析した。しかし、Teng (2015) は、Liu et al. (2015) が用いたIPCCのデフォルト値は原料炭 (coking coal) のもので

あり、分析に欠陥があると批判した。

また、非化石電源による発電量を熱量換算する際に、中国では当該年における石炭火力の平均効率に基づいて換算する「発電石炭消費計算法 (coal equivalent calculation)」という方法が用いられているが、Lewis et al. (2015) は、中国政府は石炭火力の平均効率の計算方法を明示しておらず、他国の非化石比率との比較が困難になっていると論じた。

2.3 本稿の分析視点

これらの研究が存在する中で、本稿で注目するのは、2014年から2015年にかけて行われたエネルギー統計の改訂が、NDCの進捗捕捉に与える影響である。

中国政府は、2013年に実施した第3次経済センサスの結果を踏まえて、2015年から順次、各種統計書におけるエネルギー関連の統計を改訂し、石炭消費量の実績値を、過去に遡って大幅に上方修正した。増加幅が最も大きい年では、17%増となった (堀井, 2016)。改訂が必要になった背景要因として、堀井 (2015) は、政策目標達成のために石炭消費量が過小報告され続けた結果、石炭生産量・純輸入量の統計との辻褄が合わなくなる統計上の誤差脱漏が巨大な規模で生じていたことを指摘している。

石炭消費量が上振れすると、基準年や実績年におけるCO₂排出量も上振れし、その結果、CO₂排出原単位の基準年比での減少率も変化する。また、非化石エネルギーの使用量が大きく変化していないとすれば、一次エネルギーに占める非化石比率は低下するものと考えられる。分母の一次エネルギーが、石炭消費量の上振れに応じて増えるためである。

そこで、以下の3章と4章では、エネルギー統

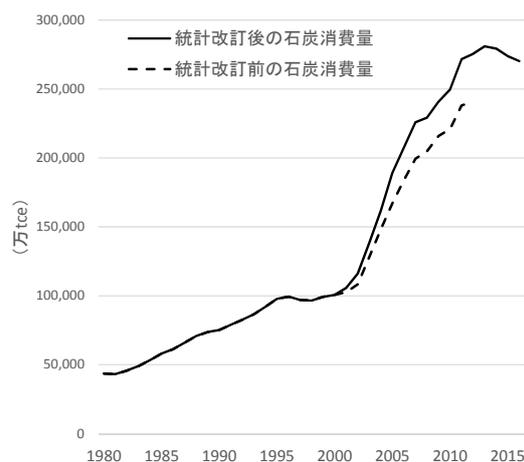
http://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_parties/biennial_update_reports/application/pdf/pr_china_bur-chinese+en.pdf
(アクセス日: 2018.1.20) .

計の改訂がNDCで使われている指標（具体的にはCO₂排出原単位と非化石比率）に与える影響の捕捉を試みる。その際、本稿の目的はNDCの進捗捕捉への示唆を得ることであるので、中国政府が公表している統計を用いる。パリ協定の透明性枠組みでは、各国政府から提出された報告に基づいて、NDCの進捗を評価するためである。

なお、世界資源研究所（World Resources Institute）の中国支部は、公表データやそれを用いた計算によって、中国の目標の進捗捕捉を行い、目標指標が順調に改善していることを示したが（Xi et al., 2017）、本稿が注目するエネルギー統計改訂による影響は分析していない。また、2.2で取り上げた先行研究においても、石炭消費量やCO₂排出量に対する統計改訂の影響は分析されているが、目標の進捗捕捉への影響という観点での検討はなされていない。

分析に入る前に、中国のエネルギー統計と温室効果ガスのインベントリについて、簡単に説明する。

中国では毎年、エネルギーに関する包括的な統計である「エネルギー統計年鑑（中国能源統計年鑑）」が国家統計局から刊行されている。刊行時期は、例年12月であり、前年までの統計が掲載される。また、エネルギー統計年鑑の一部は、中国の経済社会全般の統計を扱う「中国統計年鑑」に先行して掲載される。先行するのは、中国統計年鑑が毎年9月に刊行されるためである⁸。ただし、経済センサスを踏まえた改訂が行われる際は、エネルギー統計年鑑に先に反映される。2013年に行われた第3次経済センサスの場合、エネルギー統計年鑑では、2015年8月刊行の2014年版に改訂が反映され、中国統計年鑑では、2015年9月刊行の2015年版に反映さ



（縦軸の単位は万ton of coal equivalent（万tce））

出典：Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2013, 2017) をもとに著者作成

図1 石炭消費量（熱量）の経年変化とエネルギー統計改訂による変更（1980-2016年）

れた。

以下、本稿では、これら2つの統計書に掲載されているエネルギー関連の統計のことを、「エネルギー統計」と呼び、2013年の第3回経済センサスを踏まえて2015年に反映された見直しのことを、「エネルギー統計の改訂」と呼ぶ。石炭消費量について、旧統計であるエネルギー統計の2013年版と新統計である同2017年版（※本稿の分析を行った時点で最新のもの）を比較すると、過去に遡って大幅に上方修正されたことが分かる（図1）。特に2005年以降については、10%以上、上方修正された。

エネルギー統計年鑑には、CO₂排出量は記載されていないが、中国政府は、UNFCCCの下で過去に3度、温室効果ガスのインベントリ（排出と吸収の目録）を提出しており、2004年に1994年のインベントリを、2012年に2005年のインベントリを、2017年に2012年のインベントリを提出した⁹。なお、2017年に2012年インベント

⁸ 基本的には両者には同じ値が記載されているが、ごくまれにズレが生じる。

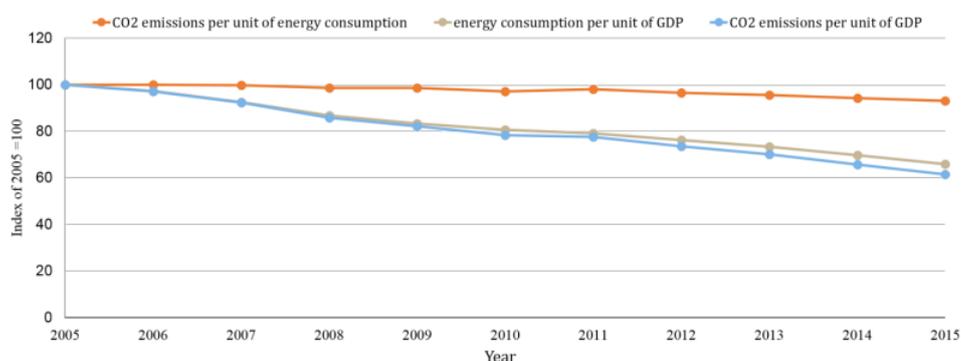
⁹ 1994年インベントリは第1回国別報告書（national communication）の一部として、2005年インベントリは第2回国別報

告書の一部として、2012年インベントリは第1回BURの一部として提出された。それぞれ、下記のリンクで入手可能である。

表2 エネルギー統計の改訂時期と温室効果ガスインベントリの公表時期

	エネルギー統計の改訂	温室効果ガスインベントリの公表
2004年	—	1994年インベントリを公表
2012年	—	2005年インベントリを公表
2015年	第3回経済センサスを踏まえ 過去に遡って改訂	—
2017年	—	第1回隔年更新報告（BUR）の中で 2012年インベントリを公表 （エネルギー統計の改訂を踏まえて、 2005年インベントリを 見直し中であることも表明）

出典：著者作成



出典：China（2017）

図2 CO₂排出原単位、エネルギー消費原単位、エネルギー消費あたりのCO₂排出量の経年変化
(2005年を100とする際の値)

りを提出した際には、エネルギー統計の改訂に合わせて、2005年インベントリを見直し中であると表明した（表2）。

以下の分析では、これらの統計を用いる。

3. CO₂排出原単位の進捗捕捉

中国政府は、2.1で述べたように、第1回BURの中で、2015年のCO₂排出原単位は2005年比で

38.6%減であったと報告し、さらに、CO₂排出原単位、エネルギー消費原単位、エネルギー消費あたりのCO₂排出量について、2005年を100とした経年変化のグラフを示した（図2）。

中国政府は2015年の温室効果ガスインベントリを提出していないため（表2）、同年の実績値である38.6%減を、中国政府が示した統計のみで再現することはできない。

他方、基準年（2005年）と2012年のCO₂排出

<http://unfccc.int/resource/docs/natc/chnnc1e.pdf>
<http://unfccc.int/resource/docs/natc/chnnc2e.pdf>

http://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_parties/biennial_update_reports/application/pdf/pr_china-_bur-chinese+en.pdf
 (アクセス日：2018.1.20) .

表3 温室効果ガスインベントリにおける
中国のCO₂排出量（単位は億トン）

		2005年*	2012年
土地利用変化と林業を 含まない排出量		59.76	98.93
土地利用変化と林業を 含む排出量		55.54	93.17
上記集計 に含まれ ない排出 量	国際航空	0.1	0.17
	国際航海	0.11	0.27
	バイオマ ス燃焼	—	8.13

*2005年のインベントリはエネルギー消費統計の改訂に合わせて、現在見直し中

出典：China (2017) をもとに著者作成

量は提示されている。2012年のCO₂排出原単位は、図2から2005年比で約25～30%減程度であると読み取れる。

2.3で指摘したように、2005年のインベントリは、現在、見直し中であるが、以下では、まず、3.1において、提出済みのインベントリに基づいて原単位を計算してから、3.2において、エネルギー統計改訂の影響、特に見直し中の基準年排出量への影響を考察する。

3.1 公式統計に基づく原単位改善率の計算

CO₂排出原単位を計算するには、分母のGDPと分子のCO₂排出量が必要である。

分母について、中国政府は不変価格GDP（実質GDP）を用いていると考えられる。中国政府は、第1回BURの中で、国内で設定している省エネルギー目標（GDPあたりのエネルギー消費量の目標）の進捗を示したが、その際に不変価格GDPを用いたことを明記しており、CO₂排出

原単位目標でも、同じ数字を用いていると考えるのが自然である。そして、その数値は中国統計年鑑に記載されている¹⁰（National Bureau of Statistics, 2017）。他方、CO₂排出量については、インベントリの値を用いることができる（表3）。

これらを用いて、CO₂排出原単位の2005年から2012年にかけての減少率を計算すると、

- (1) 土地利用変化と林業を含まない排出量を用いる場合、18.0%減少
- (2) 土地利用変化と林業を含む排出量を用いる場合、16.9%減少
- (3) 上記 (1) に国際航空と国際航海を含める場合、17.9%減少
- (4) 上記 (2) に国際航空と国際航海を含める場合、16.8%減少

というように、いずれも18%以下の値となる。

図2に示された水準（目分量で25～30%の間）と乖離するのは、基準年である2005年のCO₂排出量が、エネルギー統計の改訂に伴い、大幅に上方修正されたことによるものと考えられる。

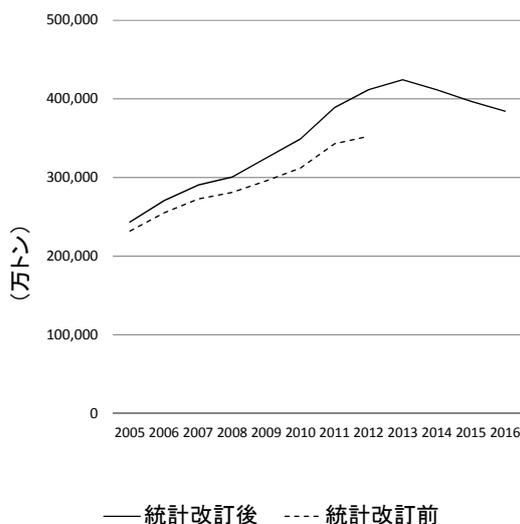
3.2 エネルギー統計の改訂が基準年排出量に与えた影響

CO₂排出量は燃料消費量に比例するため¹¹、以下では、エネルギー統計の改訂による石炭消費量の変化を詳しく見てみる。中国エネルギー統計年鑑には、全国大での石炭消費量の実績値として、重量表示のデータと熱量表示のデータが示されている。熱量表示の単位は、標準炭で換算されたトン数（ton coal equivalent）である。石炭の場合、炭種や品質によって、重量当たりの熱量が異なるため、両者の間に単純な比例関係は成り立たず、炭

¹⁰ 中国統計年鑑には、1978年を100とする不変価格GDPの指標が記載されており、2005年は1213.1、2012年は2449.2であった。

¹¹ CO₂排出量は各燃料の消費量に燃料別の排出係数を乗じることで計算される。この計算は燃料供給側と利用側の両方

から行うことができるが、IPCCでは前者の方法をレファレンスアプローチ、後者の方法をセクトラルアプローチと呼んでいる。中国政府はインベントリにおいて、エネルギー起源のCO₂排出量を、セクトラルアプローチを用いて算出している（China, 2017）。



出典：Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2013, 2017) をもとに著者作成

図3 石炭消費量（重量）の経年変化とエネルギー統計の改訂による変更（2005-16年）

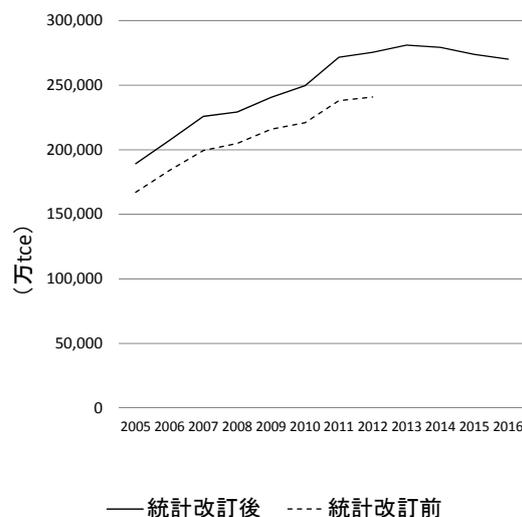
種・品質の内訳次第で変化する。

そこで、重量表示と熱量表示の両方について、エネルギー統計の改訂前後での変化を確認すると、重量では2005年以降、徐々に差異が拡大する一方、熱量では両者の差が期間を通じて大きくは変わっていないことが分かる（図3、図4）。

基本的に、CO₂排出量は熱量表示の消費量に比例する。基準年（2005年）における重量ベースの消費量は5%しか増加していないが、熱量ベースの消費量は13%以上も上方修正されたため、基準年排出量もそれに伴って増大することになる。基準年排出量が大きくなれば、その分だけ、削減目標の達成は容易になる。

ここで論点となるのは、重量では微増であるにもかかわらず、熱量では大幅増加した理由である。前述のように、重量での消費量と

¹² 中国エネルギー統計年鑑には、重量表示の消費量についてのみ、部門別のデータが掲載されている。熱量表示消費量の部門別内訳は掲載されていない。



出典：Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2013, 2017) をもとに著者作成

図4 石炭消費量（熱量）の経年変化とエネルギー統計の改訂による変更（2005-16年）

熱量での消費量の関係は、炭種・品質の内訳によって規定される。炭種・品質は部門間で異なることから、2005年における重量ベースの消費量の部門別内訳¹²がエネルギー統計の改訂前後でどのように変化したかを見てみると、消費総量に対する比率が、炭鉱・洗炭（mining and washing of coal）では1.44ポイント減、発電・熱供給（production and supply of electric power and power heat）では2.69ポイント減となっているのに対して、化学部門（manufacture of raw chemical materials and chemical products）では1.55ポイント増、非金属鉱物部門（manufacture of non-metallic mineral products）では1.15ポイント増となっている（表4）¹³。つまり、重量での消費総量はほぼ変わっていないが、部門間の消費比率が変わったことによって、熱量での消費量が大幅に上昇修正されたことが示唆される¹⁴。た

¹³ 他部門はこれらの部門ほどには大きくは変化していない。

¹⁴ そして、この仮説が正しいとすれば、炭鉱・洗炭や発電・熱

表4 エネルギー統計の改訂前後における部門別石炭消費量（重量）のシェアの変化
 ((a) 2005年及び (b) 2012年) (消費量の単位は万トン)

(a) 2005年

	旧統計		新統計		シェアの変化
	消費量	シェア	消費量	シェア	
総量	231,851	—	243,375	—	—
炭鉱・洗炭	14,536	6.27%	11,748	4.83%	1.44 ポイント減
発電・熱供給	106,287	45.84%	105,016	43.15%	2.69 ポイント減
化学	12,915	5.57%	17,337	7.12%	1.55 ポイント増
非金属鉱物	20,036	8.64%	23,834	9.79%	1.15 ポイント増

(b) 2012年

	旧統計		新統計		シェアの変化
	消費量	シェア	消費量	シェア	
総量	352,647	—	411,727	—	—
炭鉱・洗炭	26,163	7.42%	40,786	9.91%	2.49 ポイント増
発電・熱供給	174,273	49.42%	181,090	43.98%	5.44 ポイント減
化学	17,777	5.04%	25,843	6.28%	1.24 ポイント増
非金属鉱物	24,814	7.04%	32,205	7.82%	0.78 ポイント増

出典：Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2013, 2016) をもとに著者作成

だし、部門別の消費量が変更された理由は、エネルギー統計年鑑には示されていない。

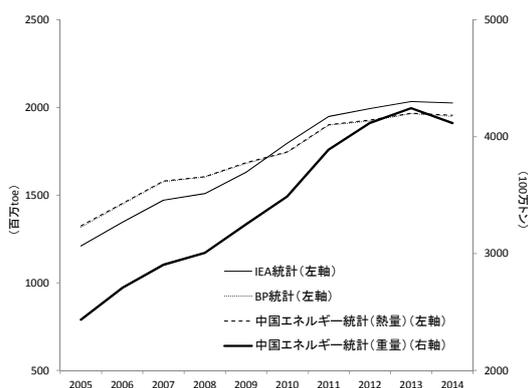
熱量での消費量が、重量での消費量よりも大幅に増加したもう1つの理由として、重量を熱量に換算する際の係数が変更された可能性も考えられる。毎年の中国エネルギー統計年鑑には、燃料種別の換算係数が掲載されているが、炭種別の数値は掲載されていない。また、エネルギー統計の改訂前後で、燃料種別の換算係数は変更されていない。実際の統計の作成においては、実測に基づいて計算されている模様であるが¹⁵、中国政府が公表している資料からは捕捉できない。

供給で使われた石炭は、化学部門や非金属鉱物部門で使われた石炭よりも重量あたりの熱量が小さいことになるが、この点を検証するデータは中国エネルギー統計年鑑等には記載されていない。

なお、2012年についても、部門別石炭消費量（重量）のデータを確認すると、消費総量に占める比率が、発電・熱供給が5.44ポイント減となっているのに対し、炭鉱・洗炭が2.49ポイント増¹⁶、化学部門が1.24ポイント増、非金属鉱物部門が0.78ポイント増となっている（表4）。2005年と比べると、炭鉱・洗炭の符号が反転し、発電・熱供給の減少幅が大幅に拡大した。つまり、2012年については、重量ベースの総量が上方修正されつつ、部門別の内訳も変わった。その結果として、熱量ベースの消費量も上方修正されたのだが、それぞれの寄与度は不明である。

¹⁵ 国家统计局（2018）による。

¹⁶ 改訂前後で1億4000万トン以上（約56%）の増加であり、他部門と比べて、増え方が顕著である。



注) 中国エネルギー統計(熱量、破線)とBP統計(点線)はほぼ重なっており、一点鎖線のように見えている

出典：Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2017)、IEA統計(2017年1月にOECDライブラリより入手)、BP(2016)をもとに著者作成

図5 中国のエネルギー統計と国際エネルギー統計における中国の石炭消費量の経年変化(2005-14年)

ここで、国際的なエネルギー統計と比較してみると、BP統計の石炭消費量(熱量)は、中国エネルギー統計年鑑の「熱量」ベース消費量と完全に一致している。他方、国際エネルギー機関(IEA)の統計における石炭供給量(熱量)は、中国エネルギー統計年鑑の「重量」ベース消費量に似た動きとなっている(図5)。

IEAは中国の国家統計局と協力関係にあり、同局から情報提供を受けているが、中国側は原炭(raw coal)と水洗炭(washed coal)の内訳しかIEAに示しておらず、炭種別(無煙炭、原料炭、他の瀝青炭、亜瀝青炭、褐炭)のデータを提供していない。そのため、IEA事務局は、提供された原炭と水洗炭の消費量データを、原料炭と他の瀝青炭に振り分けており(IEA, 2017)、両者の統計が乖離する原因になっている。このことから、炭種の内訳変更が、熱量での消費量変化に大きく寄与しているであろうことが示唆される。

3.3 小括

基準年排出量は、目標達成の難易度に直接的に影響するため、NDCの進捗捕捉に向けて、丁寧に検証する必要がある。中国政府は、現在、基準年のインベントリを見直し中であるが、これまでの分析からも明らかなように、エネルギー統計の改訂による影響は大きいと予想される。

そのため、変更理由が十分に説明されることが望ましく、パリ協定の実施指針を通じて、そうした透明性を確保していく必要がある。

4. 一次エネルギーにおける非化石比率の進捗捕捉

4.1 政府文書・政府統計における非化石比率の実績値

2.1で述べたように、中国は一次エネルギーにおける非化石比率について、2020年と2030年の目標を設定しているが、中国政府は政府文書等を通じて、毎年の実績値を示してきた(表5)。2013年以降は、毎年3月に発表される経済社会发展計画報告の中で数字が提示されている。

他方、中国エネルギー統計年鑑には、「非化石」の比率は直接的には掲載されていないが、非化石に近い意味のものとして、エネルギー統計改訂前の2013年版までは、「水力・原子力・その他発電」の比率が掲載されていた。しかし、改訂後の2014年版以降は、この項目がなくなり、代わりに、「一次電力とその他エネルギー」の比率が掲載されるようになった。また、中国統計年鑑には、改訂前の2014年版までは、「水力・原子力・風力」の比率が、改訂後の2015年版以降は、「一次電力とその他エネルギー」の比率が掲載されている(表6)。なお、一次電力とは、一次エネルギーとして計上される電力、つまり化石燃料発電以外の電力を指す。

表5 中国の政府文書等で示された
一次エネルギーに占める非化石比率の実績値
(2010-16年)

年	実績値	出典
2010	8.6%	国家能源局 (2012)
2011	8%	国务院新闻办公室 (2012)
2012	9.1%	解振华 (2013)
2013	9.8%	NDRC (2014)
2014	11.2%	NDRC (2015)
2015	12%	NDRC (2016)
2016	13.3%	NDRC (2017)

出典：表中に記載した文献をもとに著者作成

表6 統計書における非化石エネルギーの分類

	エネルギー 統計の改訂前	エネルギー 統計の改訂後
エネルギー 統計年鑑	水力・原子力・ その他発電	一次電力とその 他エネルギー
中国統計 年鑑	水力・原子力・ 風力	一次電力とその 他エネルギー

出典：著者作成

そして、中国政府が毎年提示してきた実績値は、2つの統計書におけるこれらの比率とはほぼ一致している。具体的には、2010年、2011年、2013年の実績値は、エネルギー統計年鑑の水力・原子力・その他発電の比率及び中国統計年鑑の水力・原子力・風力の比率と同じである。2014年以降の実績値については、両方の統計における「一次電力とその他エネルギー」の比率と一致している。ただし、2012年の実績値は、両方の統計書の値（改訂前は9.4%、改訂後は9.7%）と一致しない（表5及び表7）。

2012年の不一致はあるが、他の年では数字が一致していることを踏まえると、中国政府は非化石比率を、エネルギー統計の改訂前は「水力・原子力・その他発電（または風力）」の比率とし

表7 エネルギー統計の改訂前後における
非化石比率[※]の比較（2010-16年）

年	改訂前の比率 [※]	改訂後の比率 [※]
2010	8.6%	9.4%
2011	8.0%	8.4%
2012	9.4%	9.7%
2013	9.8%	10.2%
2014	—	11.2%
2015	—	12.1%
2016	—	13.3%

[※]中国統計年鑑に基づく。改訂前は「水力・原子力・風力」、改訂後は「一次電力とその他エネルギー」

出典：National Bureau of Statistics（2014, 2017）をもとに著者作成

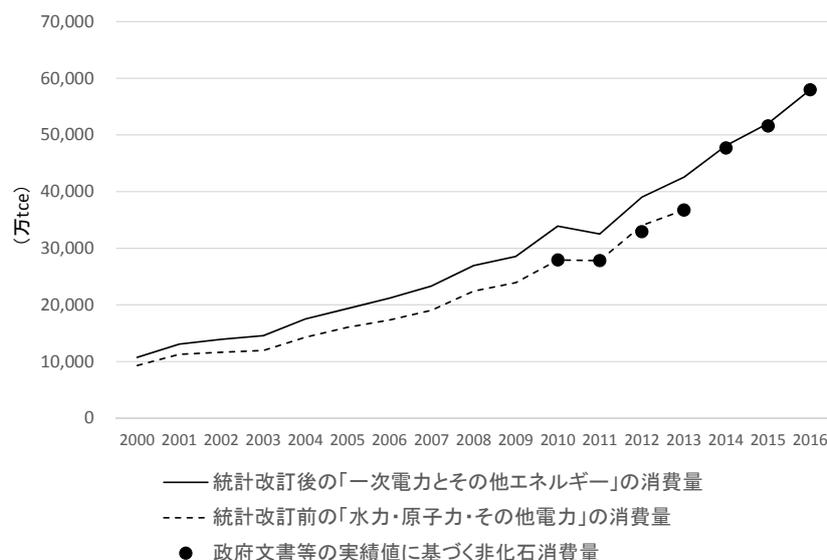
て、改訂後は「一次電力とその他エネルギー」の比率として捉えているものと推測される。

4.2 エネルギー統計の改訂が非化石比率に与えた影響

エネルギー統計の改訂に伴って、石炭消費量が上方修正されたが、仮に非化石エネルギーの消費量が改訂前後で不変とすれば、非化石比率は改訂に伴って、下方修正されるはずである。そこで、改訂前後の比率を比較してみると、むしろ上方修正されたことが分かる（表7）。また、非化石比率に全消費量を乗じると非化石エネルギーの消費量が計算されるが、絶対量でみても、2000年以降、大幅に上方修正されている（図6）。つまり、非化石エネルギーも、石炭消費と同様に、統計が大幅に見直されたことになる。

この見直しは、非化石比率目標の進捗捕捉に大きな影響を与えるため、さらに詳しくみていこう。

エネルギー統計年鑑には、エネルギー統計の改訂前から、非化石相当の統計分類の内数として、水力と原子力の比率が掲載されてきた。そこで、どの非化石エネルギーが上方修正された



出典：Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2013, 2017)、NDRC (2014, 2015, 2016, 2017)、国家能源局 (2012)、国务院新闻办公室 (2012)、解振华 (2013) をもとに著者作成

図6 統計改訂前後における非化石エネルギー量（標準炭換算）（2000-16年）と政府文書等における実績値（2010-16年）の比較

のかを探るために、水力、原子力、その他（＝非化石全体から水力と原子力を引いたもの）について、統計改訂前後での消費量の変化を見てみると、水力と原子力については、ほぼ不変だが、その他は大幅に上方修正されたことが分かる（図7）。上方修正の原因は、水力と原子力以外の非化石エネルギーにあると言える。

ここで、エネルギー統計年鑑における分類の名称を再び見てみよう。エネルギー統計の改訂前は、「水力・原子力・その他発電」であったが、「その他発電」は文字通りに捉えれば、水力と原子力以外の非化石発電であり、主に風力発電等を指すものと予想される。他方、改訂後は、「一次電力とその他エネルギー」となったが、「一次電力」の通常の意味は、一次エネルギーとして計上される電力、つまり化石燃料発電以外の電力のことであり、旧統計における「水力・原子力・その他発電」に相当する。そして、「その他エネルギー」は、電力以外の非化石エネルギー

、例えば太陽熱温水器や発電以外のバイオマス利用を指すものと考えられる。この見立てが正しいとすれば、エネルギー統計の改訂に伴い、発電以外の非化石エネルギーが、「その他エネルギー」として新たに追加され、図7（c）に示されているように、水力と原子力以外の非化石エネルギーが上方修正されたのではないかと推測できる。

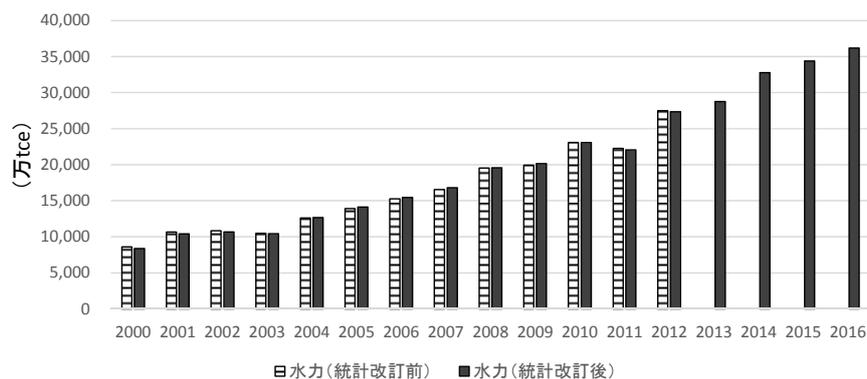
この推測を検証するには、「その他エネルギー」の内訳が必要であるが、エネルギー統計年鑑には記載されていない。他方、国家エネルギー局傘下の国家再生可能エネルギーセンター等が2015年7月に発表した「再生可能エネルギーデータブック2015」には、再生可能エネルギーの消費量が、電力以外のものも含めて、種類別に掲載されている¹⁷。

そこで、エネルギー統計年鑑における水力・原子力以外の非化石エネルギー（エネルギー統計の改訂前及び改訂後）と再エネデータブック

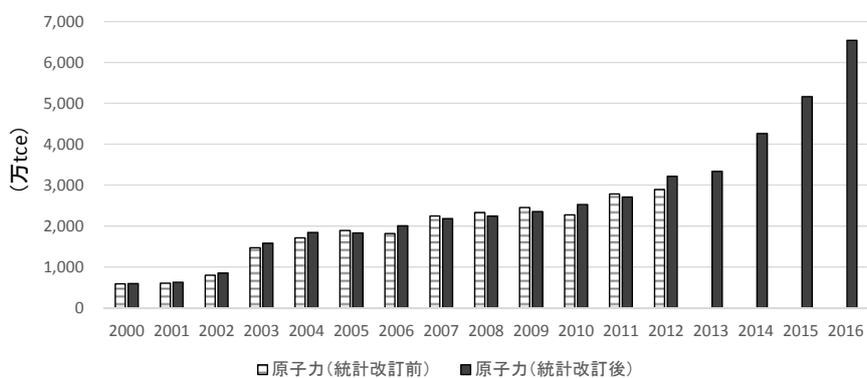
¹⁷ 国家再生可能エネルギーセンター等は毎年、データブックを作成しているが、公表されているのは著者が確認できた

限りでは2015年版だけである。

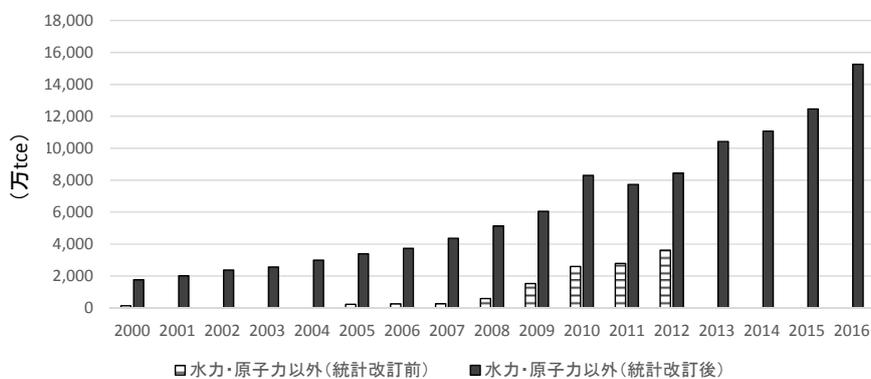
(a) 水力発電



(b) 原子力発電



(c) 水力・原子力以外



出典：Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2013, 2017) をもとに著者作成

図7 統計改訂前後における非化石エネルギー量

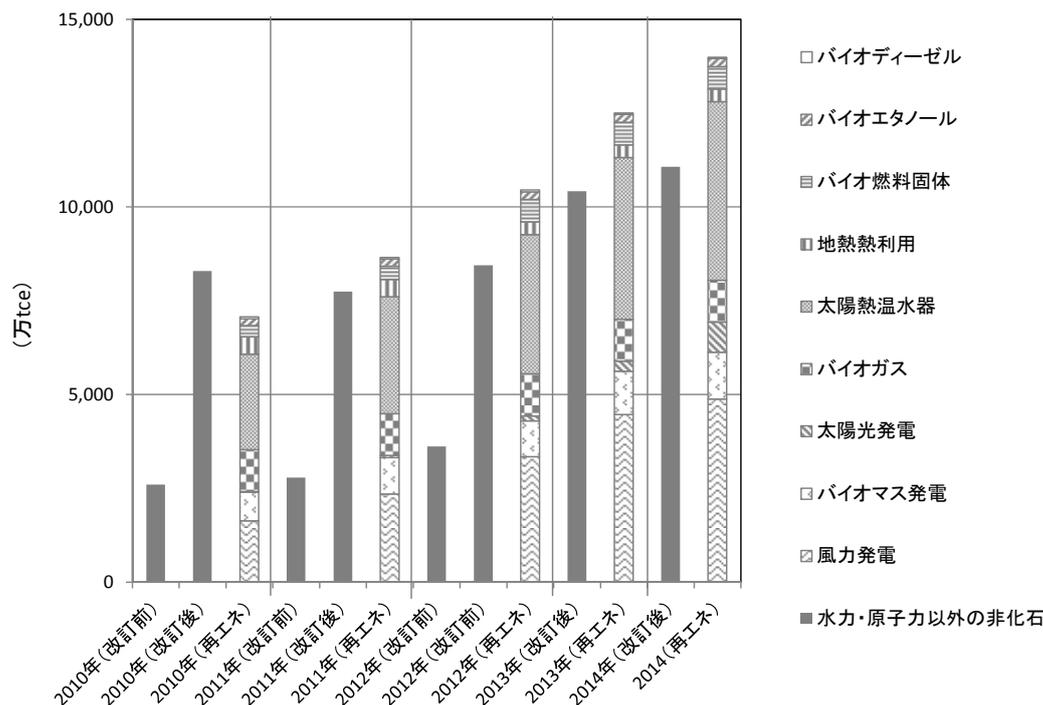
((a) 水力、(b) 原子力、(c) 水力・原子力以外) (標準炭換算) の比較 (2000-16年)

における水力以外の再エネを比べてみると、図8になる。エネルギー統計改訂前の値は、再エネデータブックの風力発電・バイオマス発電・

太陽光発電の合計に近く、改訂後の値は、全ての合計に近い。両者の値には多少の乖離があるため¹⁸、断定はできないが、エネルギー統計の

¹⁸ 実は再エネデータブックには、水力発電と原子力発電の実績値も掲載されており、エネルギー統計年鑑の掲載値と数%

から1割程度ずれている。つまり、両者はもともとすり合わせられていないと言える。



出典：Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2013, 2017) 及び国家可再生能源中心 (2015) をもとに著作作成

図8 水力・原子力以外の非化石エネルギー量（標準炭換算）の比較
（エネルギー統計改訂前、改訂後、再生可能エネルギーデータブック2015）

改訂を機に、発電以外の非化石エネルギーが付け加えられた可能性が高いと言えよう。

なお、Lewis (2015) が指摘したように、中国では、非化石の発電量を石炭換算トンに換算する際に、石炭火力の平均熱効率を用いることから、エネルギー統計の改訂によって、この値が見直され、比率上昇につながったとも考えられるかもしれない。しかし、そうであるならば、水力や原子力の値も上方修正されるべきだが、図7に示したように、改訂前後でほぼ不変である。そのため、この可能性は考えにくいと言える。

4.3 小括

非化石比率は、指標の定義次第で、異なる意味をもつ。中国政府は、一次エネルギーにおける非化石エネルギーの割合に対して、目標を設定しているが、本稿の分析からは、エネルギー

統計の改訂を機に、非化石の範囲を広げて、電力以外の非化石エネルギーを含めるようになったであろうことが推測された。非化石エネルギー全体をより正確に捕捉するという観点からは、望ましい変更ではあるが、指標の定義、目標達成が容易になるように途中で変更したことも意味する。

エネルギー統計の改訂は、2013年に実施された経済センサスを踏まえて、2015年8月に発表されたエネルギー統計年鑑（2014年版）と同年9月に発表された中国統計年鑑（2015年版）に反映された。中国政府は2015年3月に、2014年の非化石比率の実績値を提示し（表5）、その値が2015年8月と9月に発表された改訂後の統計書にも掲載されたことから、2015年6月の2030年目標提出時点では、既に改訂後の統計を用いていたと考えられる。その意味では、2030年目標については、途中での定義変更とは言えない

のかもしれない。

しかし、2009年に発表した2020年目標については、途中での定義変更であった可能性が高く、また、同じ指標を用いて2030年目標を設定しているにもかかわらず、定義変更したことが説明されなかった。さらに言えば、中国政府は、2020年目標及び2030年目標を提示した文書の中で、「非化石」の定義を示していない。

指標の定義やその変更は、目標の意味合いや難易度に影響するため、定義が事前に提示され、変更する場合には、その理由が明確に説明されることが望ましい。

5. パリ協定の実施指針への示唆

パリ協定は、NDCの達成を義務付けない代わりに、その実施状況に対する透明性を強化することで、実効性を高めようとしている。各国のNDCの進捗捕捉は、透明性強化のカギであり、2018年12月のCOP24での合意に向けて、進捗捕捉に必要な情報や各国からの報告に対するレビューのあり方などが交渉されている。

本稿では、中国を事例に、政府が公表した統計に基づいて、NDCの進捗捕捉を試行したところ、エネルギー統計の改訂に合わせて、基準年排出量が大幅に上方修正されたことや、非化石比率の定義が変更されて、比率が上方修正された可能性があることなどが明らかになった。図2と図6に示されているように、中国は、エネルギー統計の改訂とは関係なく、CO₂排出原単位を改善し、非化石比率を高めてきた。他方で、中国政府が国内外で公表している統計だけでは、そのことを正確に捕捉することは難しい。

また、本稿では、世界最大の排出国である中国を事例として取り上げたが、他の発展途上国についても、NDCの進捗捕捉に際して、

中国と同程度、あるいはさらに大きな困難があるものと考えられる。特に、参照シナリオ比での削減率を目標とする国の場合、参照シナリオという反実仮想状況における排出量を、透明性が高い形で推定することは相当に難しい。進捗捕捉の難しさは、中国だけではなく、他国にも当てはまる一般的な課題である。

以下では、こうした困難を踏まえて、協定実施指針への示唆を論じ、本稿を締めくくる。

5.1 インベントリの提出

協定13条7(a)は各国に対して、温室効果ガスのインベントリを提出することを義務付けた。インベントリの提出は、UNFCCCの下でも義務であったが、途上国に対しては、頻度や要件が緩い。先進国は原則、毎年提出してきたが、中国はこれまで1994年のインベントリを10年後の2004年に、2005年のインベントリを7年後の2012年に、2012年のインベントリを5年後の2017年に提出しただけであった。つまり、提出頻度が低く、タイムラグがあり、一部の年の実績しか示されていない。

したがって、NDCの進捗をタイムリーに捕捉するためには、実施指針を通じて、提出頻度を高め、タイムラグを短縮し、単年実績だけではなく時系列データが報告されるようにすべきである。提出頻度については、COP21決定1の90項で、隔年以上の頻度とすることを全ての国（ただし、後発開発途上国と小島嶼国を除く）に義務付けたが、タイムラグと時系列データについては、現在も交渉中である。

また、中国は、エネルギー統計の改訂に伴って、基準年である2005年のインベントリを改訂する見込みだが、基準年や目標年といった重要なタイミングにおけるインベントリを大幅に変更する場合には、その理由を明確

に説明するように求めることも、NDCに対する透明性を高める上で重要である。

5.2 進捗捕捉に必要な情報

協定13条7 (b) は、NDCの進捗捕捉に必要な情報を提出することを各国の義務としたが、総量目標以外のNDCの場合、インベントリだけでは、進捗を捕捉できない。指標に応じて、追加的な情報が必要となる。CO₂排出原単位目標であれば、GDPの情報が必要であり、非化石比率目標であれば、関連するエネルギー統計が必要となる。

現在、進捗捕捉に必要な情報とは何かを巡る交渉が行われているが、目標の種類（原単位、非化石比率、参照シナリオ比など）はある程度、限られており、代表的なものについては、必要な情報を実施指針の中で特定すべきである。また、指針を通じた事前特定が難しい場合には、締約国が自ら、必要な情報を特定し、報告することも一案であろう。

また、この情報についても、インベントリと同様に、短いタイムラグで、時系列データが提出されるようにすべきである。報告頻度については、COP21決定において、隔年以上とすることが既に決まっている。

5.3 アカウンティング

COP21決定1の31項は、協定4条13で定められたアカウンティングの一部として、「NDCの提出時と実施時の間で方法論上の一貫性を保つこと」を締約国に求めた。中国政府は、非化石比率目標における「非化石」の定義を、2020年目標や2030年目標の提出時（2009年及び2015年）に示しておらず、また本稿の分析からは、エネルギー統計の改訂時に定義を拡大したことが推測された。

非化石比率に限らず、指標を用いたNDCの場合、「方法論上の一貫性」を保つためには、

目標を構成する指標の定義とその測定方法を事前に明確化し、実施期間中は事前に示した方法に沿って実績値を測ることが望ましい。協定4条8は、NDCの明確化・透明性・理解 (clarity, transparency and understanding) に必要な情報を、NDCとともに提出することを各国に義務付けており、COP24での合意に向けて、具体的な情報の項目が交渉されているが、その一部として、指標の明確な定義と実施期間中の測定方法が含まれるべきである。

他方、事後的に指標定義や計測方法を変える必要がある場合には、変更内容とその理由を明確に示した上で、新たな定義の下で、過去に遡って実績値を修正するように、実施指針を通じて求めるべきである。

5.4 レビューのあり方

透明性枠組みの下では、各国が提出した報告情報に対する専門家レビューと、NDCの実施状況に関する多国間の検討が行われる（13条11）。専門家レビューでは、必要な情報が実施指針に沿って適切に提出されたかを確認することになっているが（13条12）、この機能は、インベントリ、進捗捕捉に必要な情報及びアカウンティングに関する実施指針の実行を担保する上で重要である。

他方、多国間検討は、13条11において、促進的 (facilitative) な性質のものと規定されており、この精神に沿った運用が望まれる。本稿で取り上げた中国の事例では、基準年排出量や非化石の定義が、NDCの進捗捕捉に影響を与えていたが、中国がCO₂排出原単位や非化石比率を改善し続けていることは事実であり、多国間検討では、その努力が前向きに評価されるようにすべきであろう。また、そのような運用とすることで、締約国がより積極的に情報を提示することも期待できる。

5.5 協定外の取組の役割

このように、協定実施指針は、NDCの透明性を高める上で重要な役割を果たすが、COP23で取りまとめられた非公式ノートには、相反する多数のアイデアが掲載されており、締約国間の意見の相違が大きいことが窺える。また、1.で述べたように、透明性枠組みには、国際比較の視点がないといった限界もある。

他方で、近年、気候変動分野では、非政府団体（NGO、研究機関、他の民間団体等）が認証や分析・評価といった機能を担うことで公的制度を補完しつつあり、国際政治学の研究では、こうした組織が「私的権威（private authority）」や「私的越境規制機関（private transnational regulatory organizations）」と呼ばれるようになってきている（Green, 2014；Abbott et al., 2016）。

NDCの進捗に対する透明性向上についても、協定の透明性枠組みだけではなく、協定外の取組が一定の役割を持つ可能性があり、Jacoby et al. (2017) は、Green (2014) やAbbott et al. (2016) を参照しつつ、非政府主体による分析によって、透明性枠組みを補完することが重要であると論じた。中国については、既に指摘したように、世界資源研究所の中国支部が、NDCの進捗を評価し始めており、本稿も、エネルギー統計の改訂という視点から、進捗捕捉を試みた。中国だけではなく、他国についても、同様の分析が行われるようになれば、協定の透明性枠組みが効果的に補完されるだろう。

【参考文献】

堀井伸浩 (2015) 中国のCO₂排出ピークは従来想定よりその頂点は高く、ピークアウト前倒しの議論は時期尚早、国際環境経済研究所
<http://ieei.or.jp/2015/03/opinion150331/>（アクセス日：2018.1.20）。

堀井伸浩 (2016) 中国の石炭・エネルギー問題と気候変動対応、アジ研ワールド・トレンドNo.246, 12-15頁。

Abbott, K.W., J.F. Green, and R.O. Keohane (2016) Organizational Ecology and Institutional Change in Global Governance, *International Organization*, 70:247-277.

Aldy, J., W. Pizer, M. Tavoni, L.A. Reis, K. Akimoto, G. Blandford, C. Carraro, L.E. Clarke, J. Edmonds, G.C. Iyer, H.C. McJeon, R. Richels, S. Rose and F. Sano (2016) Economic Tools to Promote Transparency and Comparability in the Paris Agreement, *Nature Climate Change*, 6:1000-1004.

BP (2016) BP Statistical Review of World Energy June 2016
<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>（アクセス日：2018.1.20）。

China (2017) The People's Republic of China First Biennial Update Report on Climate Change
http://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_parties/biennial_update_reports/application/pdf/pr_china_bur_chinese+en.pdf（アクセス日：2018.1.20）。

Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2013) China Energy Statistical Yearbook 2013, Beijing, China: China Statistics Press.

Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics (2017) China Energy Statistical Yearbook 2017, Beijing, China: China Statistics Press.

Green, J. F. (2014) Rethinking Private Authority – Agents and Entrepreneurs in Global Environmental Governance, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Guan, D., Z. Liu, Y. Geng, S. Lindner & K. Hubacek (2012) The Gigatonne Gap in China's Carbon Dioxide Inventories, *Nature Climate Change*, 2:672-675.

Hong, C., Q. Zhang, K. He, D. Guan, M. Li, F. Liu, and B. Zheng (2017) Variations of China's Emission Estimates: Response to Uncertainties in Energy Statistics, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17:1227-1239.

International Energy Agency (IEA) (2017) Coal Information, Paris: IEA.

Iyer, G., C. Ledna, L. Clarke, J. Edmonds, H. McJeon, P. Kyle & J.H. Williams (2017) Measuring Progress from Nationally Determined Contributions to Mid-Century Strategies, *Nature Climate Change*, 7:871-874.

Jacoby, H.D., Y.-H.H. Chen & B.P. Flannery (2017) Informing Transparency in the Paris Agreement: the Role of Economic Models, *Climate Policy*, 17:873-890.

Korsbakken, J.I., G.P. Peters & R.M. Andrew (2016) Uncertainties around Reductions in China's Coal Use and CO₂ Emissions, *Nature Climate Change*, 6:687-690.

Lewis, J.I., D.G. Fridley, L.K. Price, H. Lu, J.P. Romankiewicz (2015) Understanding China's Non-fossil Energy Targets, *Science*, 350:1034-1036.

Liu, Z., D. Guan, W. Wei, S.J. Davis, P. Ciais, J. Bai, S. Peng,

- Q. Zhang, K. Hubacek, G. Marland, R.J. Andres, D. Crawford-Brown, J. Lin, H. Zhao, C. Hong, T.A. Boden, K. Feng, G.P. Peters, F. Xi, J. Liu, Y. Li, Y. Zhao, N. Zeng & K. He (2015) Reduced Carbon Emission Estimates from Fossil Fuel Combustion and Cement Production in China, *Nature*, 524: 335–338.
- Ma, B. and X. Zheng (2016) Biased Data Revisions: Unintended Consequences of China's Energy-saving Mandates, *China Economic Review*, In Press.
- National Bureau of Statistics (2014) *China Statistical Yearbook 2014*, Beijing, China: China Statistics Press.
- National Bureau of Statistics (2017) *China Statistical Yearbook 2017*, Beijing, China: China Statistics Press.
- National Development and Reform Commission (2014) Report on China's economic, social development plan http://www.npc.gov.cn/englishnpc/Speeches/2014-03/18/content_1856701.htm (アクセス日 : 2018.1.20) .
- National Development and Reform Commission (2015) Report on China's economic, social development plan http://www.npc.gov.cn/englishnpc/Special_12_3/2015-03/19/content_1930758.htm (アクセス日 : 2018.1.20) .
- National Development and Reform Commission (2016) Report on China's economic, social development plan http://www.npc.gov.cn/englishnpc/Special_12_3/2015-03/19/content_1930758.htm (アクセス日 : 2018.1.20) .
- National Development and Reform Commission (2016) Report on China's economic, social development plan http://english.gov.cn/news/top_news/2016/03/19/content_281475310332486.htm (アクセス日 : 2018.1.20) .
- National Development and Reform Commission (2017) Report on China's economic, social development plan http://www.china.org.cn/chinese/2017-03/20/content_40475053.htm (アクセス日 : 2018.1.20) .
- Peters, G.P., R.M. Andrew, J.G. Canadell, S. Fuss, R.B. Jackson, J.I. Korsbakken, C. Le Quéré & N. Nakicenovic (2017) Key Indicators to Track Current Progress and Future Ambition of the Paris Agreement, *Nature Climate Change*, 7:118–122.
- Teng, F. (2015) Carbon: Resolve Ambiguities in China's Emissions, *Nature*, 525:455.
- Winkler, H., B. Mantlana & T. Letete (2017) Transparency of Action and Support in the Paris Agreement, *Climate Policy*, 17:853-872.
- Xi, W., X. Jiang, and W.K. Fong (2017) Performance Tracking of China's Climate Actions, Technical Note, World Resources Institute, Beijing. <http://www.wri.org.cn/en/tracking-china-climate-actions-EN> (アクセス日 : 2018.1.20) .
- 国家可再生能源中心, 中国可再生能源学会风能专委会, 中国循环经济协会可再生能源专委会 (2015) 可再生能源数据手册2015 <http://www.cnrec.org.cn/go/AttachmentDownload.aspx?id={5ddc3bb4-dcd5-4e92-a96e-af81f95978b1}> (アクセス日 : 2018.1.20) .
- 国家统计局 (2018) 七, 能源统计 (21) http://www.stats.gov.cn/tjsz/cjwtd/201311/t20131105_455940.html (アクセス日 : 2018. 1. 20) .
- 国家能源局 (2012) 十一五, 时期我国能源发展概况 http://www.gov.cn/test/2012-06/26/content_2169887_2.htm (アクセス日 : 2018.1.20) .
- 国务院新闻办公室(2012) 中国的能源政策(2012) http://www.gov.cn/jrzq/2012-10/24/content_2250377.htm (アクセス日 : 2018.1.20) .
- 解振华 (2013) 在, 中国应对气候变化的政策与行动2013年度报告, 新闻发布会上的开场白 http://www.china.com.cn/zhibo/zhuanli/ch-xinwen/2013-11/05/content_30500980.htm (アクセス日 : 2018.1.20) .

上野貴弘 (うえのたかひろ)

電力中央研究所 社会経済研究所

第3部

長期低排出発展戦略－ゼロ排出の将来に向けて

2°C目標と統合的な長期の排出削減について —IPCCシナリオデータベースを用いた検討—

Analysis of long-term emissions reduction consistent with the 2°C goal
— Investigation with the scenario database of IPCC AR5—

キーワード：2°C目標、累積CO₂排出量、気候感度、排出シナリオ、簡易気候モデル

筒 井 純 一

長期的視野で地球温暖化対策を考える際に、世界平均の温度上昇と累積CO₂排出量の近似的な比例関係が前提とされるようになった。本稿では、この比例関係についてIPCC第5次評価報告書の知見を踏まえた解説をしつつ、同報告書のシナリオデータベース(AR5DB)に基づいて、パリ協定で定められた2°C未満という温度目標と整合する長期的な排出削減水準を検討した。AR5DBに含まれる多数のシナリオから、2°C未満の確率と温度上昇の予測幅における中央値との関係が見出される。確率が「66%程度」のシナリオでは、温度上昇の中央値が1.8°C程度であった。温度上昇への寄与はCO₂要因と非CO₂要因に分解でき、累積CO₂排出量は400 GtCO₂当たり、非CO₂放射強制力は0.3 W/m²当たり、ともに中央値で0.17~0.18°C程度の寄与であった。これらの関係性を踏まえると、温度目標の達成に統合的なCO₂の長期削減量は、累積CO₂排出量が目安となるものの、確率と非CO₂放射強制力の前提に依存すると言える。

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. 温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 比例関係の仕組みと不確実性 2.2 CO₂バジレットの評価 3. IPCC AR5 シナリオデータベースにおける気候関連データの分析 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 累積CO₂排出量と温度上昇の関係 3.2 2°C目標の達成確率の違いが排出量におよぼす影響 3.3 各確率区分における温度上昇の分布 4. CO₂要因と非CO₂要因の分解 | <ol style="list-style-type: none"> 5. UNFCCC事務局と国際エネルギー機関(IEA)によるシナリオとの比較 <ol style="list-style-type: none"> 5.1 UNFCCCレポートの費用最小2°Cシナリオとの比較 5.2 IEAによる450シナリオとの比較 5.3 両シナリオの比較-特にオーバーシュートについて 6. 結論 <ol style="list-style-type: none"> 6.1 温度目標と統合的な長期削減 6.2 政策への示唆 <p>付録 温度上昇の要因分解について</p> |
|---|--|

1. はじめに

地球温暖化対策は世紀単位の超長期的課題であり、近年、長期的視野に立って、対策を考えることが求められるようになってきた。例えば、パリ協定には、世界平均の温度目標とその達成に向けた長期の排出削減策の目標が、それぞれ次のように記載されている。

- ・温度目標：産業革命前(18世紀中頃)を基準とする世界平均の温度上昇を2°Cより十分低

く抑え(well below 2°C)、1.5°C未満に抑える努力を追及する¹(2条1(a))

- ・排出削減目標：世界の温室効果ガス(greenhouse gas: GHG)排出量を出来る限り早期に減少に転じ、今世紀後半にGHGの人為的な排出と吸収のバランスを達成すべく、最善の科学にしたがって急速に削減する(4条1)

これらの目標を踏まえ、各国はパリ協定の下で、今世紀中頃(mid-century)に向けた長期低排出

¹ 本稿では、特に断りのない限り、温度に関する数値は、産業

革命前比の世界平均気温の上昇量を指すものとする。

発展戦略を、2020年までに提出するよう求められている。

地球温暖化の科学基盤にも進展があり、長期的視野で対策を考える際に、最近では温度上昇と累積CO₂排出量の近似的な比例関係が前提とされるようになった。両者が比例するという事は、温度上昇を止めるためには、累積CO₂排出量の増加を止める、すなわち正味ゼロ排出にする必要があることを意味する。この知見はシンプルで分かりやすく、気候政策に重要な示唆を与えるが、それだけに、その科学的根拠を正しく認識しておくことが求められる。

本稿の目的は、この比例関係の仕組みを解説しつつ、パリ協定で定められた2°C未満という温度目標と整合する長期的な排出削減水準を論じることである。

その際に主に依拠するのは、気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）の第5次評価報告書（Fifth Assessment Report: AR5）である。IPCCは3つの作業部会からなり、温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係については、科学基盤を扱う第1作業部会（Working Group I: WG1）と排出削減を扱う第3作業部会（Working Group III: WG3）が関係する。AR5は2013年から順次公表され、WG1については2013年に、WG3については2014年に報告書が取りまとめられた。

こうした科学的知見は往々にして非常に複雑であり、本稿の記述もかなり専門的なものとなる。そこで、結論部に相当する6章において、「2°C未満という温度目標と整合する長期的な排出削減水準」という主題について、本稿で論じたことの総括を本文中の該当箇所を参照しながら提示した。したがって、最初から6章に進み、必要に応じて本論部分である2章～5章の

該当箇所に遡るといった読み方も可能である。

以下では、まず2章において、AR5で示された温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係の仕組みを解説し、この知見が得られたことを契機として頻繁に用いられるようになった、CO₂バジェットという概念について整理する。この部分は主として、IPCCのWG1の知見に關係する。

続いて3章では、WG3に関連する知見として、AR5時点の排出削減シナリオを取り上げ、温度などの気候データとの関係を分析する。AR5時点のシナリオが集約されたAR5シナリオデータベース（Krey et al., 2014）（以下、AR5DBと略記）を分析対象として、シナリオにおける温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係を確認しつつ、2°Cの達成確率とシナリオの特徴（特に化石燃料起源排出量と土地利用起源排出量の内訳およびCO₂以外の温室効果ガス等の影響）の関係を整理する²。

これらを踏まえて、4章では温度上昇への寄与をCO₂要因と非CO₂要因に分解し、それぞれを指標化した数値から、任意の排出シナリオに対して温度上昇を定量化できることを示す。この要因分解に着目するのは、温度上昇との比例関係や、パリ協定の温度目標との整合性を論じる際に、非CO₂要因を切り分けることで見通しが良くなるためである。

5章では、科学的知見が国際機関でどのように活用されているのかを見るために、気候変動枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC）事務局および国際エネルギー機関（International Energy Agency: IEA）による2°Cシナリオ分析を取り上げる。UNFCCC事務局は、各国がパリ協定の下で提出した目標（nationally determined contribution）の積み上げ効果を、2°Cや1.5°Cといった協定の温

² 本稿執筆時点（2018年2月）では、IPCC第6次評価報告書（AR6）に向けた新しいシナリオや気候モデル研究（Eyring et al., 2015; O'Neill et al., 2016; Riahi et al., 2017）が進む一方で、2018年9月に発表されるIPCCによる1.5°Cの地球温暖化

に関する特別報告書に向けた研究は、AR5時点の気候モデルやシナリオ情報に基づいている。そこで、本稿もAR5時点のシナリオを用いる。

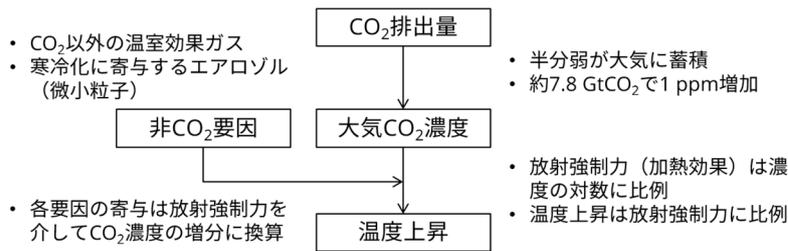


図1 CO₂排出とCO₂以外の要因による温度上昇の考え方

度目標と比較した (UNFCCC, 2016)。IEAは毎年公表している見通し (World Energy Outlook) で提示されたシナリオの中から、パリ協定後に、2°C目標に相当するシナリオを再定義した。ここでは3章と4章における分析を用いながら、両機関のシナリオの特徴を整理する。

最後に6章において、2章から5章までの分析を踏まえて、温度目標と長期削減の関係を整理した上で、長期的な温暖化対策を検討する際に考慮すべき点を論じる。

2. 温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係

人間活動に伴う地球温暖化は、大気、海洋、陸域生態系、雪氷域などで構成される地球システム全体におよぶ。関連する個々のプロセスは非常に複雑であるが、人間活動がシステム全体におよぼす作用とそれによる応答は、図1のように集約される。海洋も含めた地球システムの温度上昇は、放射強制力と呼ばれる加熱作用によって生じる³。以下では複雑な科学基盤をこの図1のように集約された形で捉えた上で、AR5で示された温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係の

背後にある仕組みを考察する⁴。

2.1 比例関係の仕組みと不確実性

温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係は、IPCC WG1の分野で、多くの複雑な気候モデル計算から確認されている (Collins et al., 2013)。この比例関係は比較的新しい知見であり、2007年の第4次評価報告書 (AR4) 以降の学術論文で言及され始め (Allen et al., 2009; Matthews et al., 2009; Meinshausen et al., 2009)、AR5で明記されるに到った。

温度上昇には様々な複雑なプロセスが関与しており、比例関係は複数の非線形要因が相殺された結果、近似的に成立すると考えられている (Matthews et al., 2009)。この仕組みは、累積CO₂排出量との関係を模式的に示した図2において、「①排出が続く状態」と「②排出が止まった状態」に分けて考えることができる。

「①排出が続く状態」では、上に凸の曲線 (図2a) と下に凸の曲線 (図2b) の相殺関係が存在する。前者はCO₂の放射強制力が濃度の対数に比例すること、後者は排出とともに温暖化が進んで、大気中に留まるCO₂の割合 (airborne

³ この放射強制力は、大気中のCO₂濃度の増加が主因であり、その他に、CO₂以外の温室効果ガスや、寒冷化の効果をもつ大気中の微小粒子 (エアロゾルと呼ばれる) の寄与もある。CO₂濃度や非CO₂要因の変化は、CO₂やその他の原因物質の排出で生じ、CO₂排出を伴う人間活動は、化石燃料の燃焼、セメント製造などの工業プロセスおよび土地利用の改変に大別される。

⁴ 複雑な気候モデルは、図1の中でCO₂等の濃度から温度上昇を求めるところの開発が先行し、排出量から濃度を求め

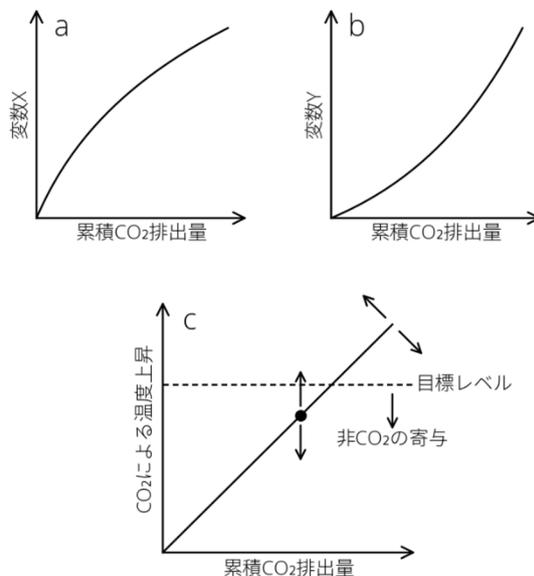
る部分は比較的新しい。全体を統一的に扱うモデルは地球システムモデルと呼ばれ、AR4の頃から徐々に利用され始め、AR5で本格的な評価対象になった。このため、温度上昇の定量的な評価において、従来は大気中のCO₂濃度 (もしくはGHG濃度) との関係が注目されるようになっていった。AR5以降は温度上昇が直接CO₂排出量と結びつけられるようになったわけだが、これには地球システムモデルの利用の本格化が背景にある。

fraction, 以下AF)が増加することが対応する。両者のかけ算となる温度上昇は、結果的に直線に近くなる(図2c)。累積CO₂排出量の増加とともにAFが増加する要因には、海水のCO₂溶解度の低下、海洋の成層化(対流が弱まる)、土壌有機物の分解加速などがあり、いずれも温度上昇に起因し、AFと温度は相乗的に増加する⁵。

「②排出が止まった状態」は、図2cの直線上の1点で横軸の値が固定された状態に対応する。そこでは縦軸に示す温度上昇を助長する要因と、逆に抑制する要因がはたらき、この場合も結果的にはほぼ同じ状態に留まる。両要因とも海洋のはたらきが関係し、助長要因は海洋の熱慣性、抑制要因は長期間におよぶ海洋のCO₂吸収による。海洋の熱容量や潜在的なCO₂吸収量は非常に大きく、また海洋深部の循環は非常にゆっくりしたものであるため、海洋の作用は数千年規模で続く。

図2cの直線の傾きを表す比例定数には大きな不確実性が残されている。関係する要因は、AFを決める「自然のCO₂吸収」と、放射強制力に対する温度上昇の大きさを表す「気候感度」に大別される。

「気候感度」はCO₂濃度倍増による約3.7 W/m²の放射強制力に対する温度上昇と定義され、濃度2倍で平衡に達する状態と、年率1%で増加して2倍に達する70年目の状態が指標に使われる。それぞれは平衡気候感度(equilibrium



出典: Matthews et al. (2009)を基に作成

図2 温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係の概念

climate sensitivity: ECS) および過渡気候応答(transient climate response: TCR) と呼ばれる。

ECSは従来から約3°Cと認識され、AR5では1.5~4.5°Cの可能性が高いと評価された。TCRには海洋のはたらきによる温度上昇の遅れが反映され、ECSの6割程度が目安となる。ただし海洋の熱吸収の度合いに定まった評価はなく、ECSに対するTCRの比率は、AR5時点の複雑な気候モデルで0.5~0.7の幅がある(Tsutsui, 2017)。AR5ではTCRの値は1~2.5°Cの可能性が高いと評価され、多数の複雑な気候モデルもこの幅に収まる^{6,7}。

⁵ 温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係は、あくまでも近似的なもので、排出が増え続けると比例関係からのずれが大きくなる。WG1AR5では、近似的な比例関係が成立するのは、産業革命前からの累積CO₂排出量が約7,300 GtCO₂(2,000 GtC)に達するまでと評価している。WG1AR5で示された気候モデル計算の傾向では、比例関係からのずれが上に凸の形状、すなわち、AF増加の効果と比べて放射強制力が対数的にしか増えない効果が上回ることが伺える。比例関係の成立条件は、2011年以降では約5,300 GtCO₂までとなり、AR5DBの大半のシナリオはこの範囲に含まれる。したがって、少なくとも2°C目標のような低排出のシナリオについては、比例関係を前提とする考え方は妥当である。

⁶ 気候感度については、これまでに多くの研究が蓄積されている(Knutti et al., 2017)。ただし、研究は着実に進んでいる

ものの、気候感度の不確実幅は過去30年でほとんど変わっていない。

⁷ 温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係が成立する度合いは、気候感度の大きさとはあまり関係しない。気候感度が大きいと、同じ排出量に対して温度上昇がより大きくなる。この場合AFが増加して図2bの非線形性が増すが、濃度増加が対数的に効くために図2aの非線形性も増す。両者は完全に相殺されるわけではないが、直線的な関係は維持される形となる。このように、温度上昇と累積CO₂排出量の関係は、定量的な不確実性があるが、比例関係という点では頑健性がある。

2.2 CO₂バジェットの評価

累積CO₂排出量は、最近では、温度目標と関係づける文脈で、バジェット (budget) と言及されるようになった (Knutti and Rogelj, 2015など)。これは財務的な意味ではなく、従来から地球物理学の分野でエネルギーや水の収支を意味する用語に使われてきた、一般的な「ストック」の概念に通じる。すなわち、大気、海洋、陸域生態系といった地球システムの構成要素に、様々な形態で炭素がストックされており、要素間の炭素の出入りを考慮した炭素ストックの増減をバジェットと言い表すということである。

AR5では、累積炭素排出量に対する過渡的気候応答 (transient climate response to cumulative carbon emissions: TCRE) と呼ぶ指標を3,670 GtCO₂ (1,000 GtC⁸) 当たりの温度上昇と定義し、この値の可能性が高い (>66%) 範囲を0.8~2.5°Cと評価した⁹。TCREを用いると、所定の温度目標に整合的な累積CO₂排出量の上限 (以下CO₂バジェット) が直ちに算定される。例えば、TCREの中央値を (0.8~2.5°Cの中間の) 1.65°Cと見れば、確率>50%で1.65°C未満に抑える場合のCO₂バジェットは3,670 GtCO₂となる¹⁰。

TCREに基づくCO₂バジェットは、CO₂のみに起因する温度上昇が対象であり、非CO₂要因を

含む現実的な条件には適用できない。これは、CO₂とその他のGHGでは大気中の寿命が異なるため、温度上昇とGHG排出量では比例関係が成立しないことによる。メタンや一酸化二窒素などの排出量をCO₂相当量に換算する地球温暖化係数は、特定の条件¹¹でCO₂と等価となるよう調整された変換係数に過ぎない。

非CO₂要因は時間とともに変化し¹²、その変化に対する温度の応答も一律ではないが、非CO₂要因が加わると、図2cの直線状の温度上昇の分布が全体的に底上げされる形となる。このため、2°Cなどの目標とする温度レベルに対し、CO₂のみによる温度上昇の目標は、より低く抑えられる。

この「非CO₂要因による目減り」を考慮したCO₂バジェットは、AR5の統合報告書の中で、WG1とWG3のそれぞれの手法で評価された結果が一覧されている (IPCC, 2014 Table 2.2)¹³。評価結果の中で、例えば確率>66%で2°C未満の場合は、1870年以降¹⁴のCO₂バジェットが、WG1の手法では2,900 GtCO₂、WG3の手法では2,550~3,150 GtCO₂とされる。WG3の評価が幅で示されるのは、非CO₂の放射強制力として多様なシナリオが考慮されることによる。これに対しWG1の手法では、高めの放射強制力となる特定のシナリオ¹⁵が使われている (Collins et al.,

⁸ GtC は炭素のみで10億トンを表す単位で、CO₂全体ではその3.67倍に換算される。

⁹ TCREには気候感度と「自然のCO₂吸収」の不確実性が反映される。2種類の気候感度のうち、TCREに関係するのはTCRの方である。

¹⁰ TCREの確率分布として、0.8~2.5°Cの範囲が±1倍の標準偏差となる正規分布を仮定すると、3,670 GtCO₂は確率>66%で2°C未満に抑える場合のCO₂バジェットであることを確認できる(筒井, 2017)。この正規分布を仮定する方法はWGIARSで示されたもので、任意の確率と温度目標の組み合わせに適用できる。

¹¹ 排出後100年間の平均的な放射強制力に関して等しくなる条件。

¹² エアロゾルも含めた非CO₂要因を合計した放射強制力は、不確実幅が大きいものの、現状で0.3 W/m²程度と推定され

る。今世紀前半は、非CO₂のGHGの増加および寒冷化に寄与するエアロゾルの減少により、増加傾向となる。

¹³ WG1では、代表的な排出シナリオに対する複数の地球システムモデルによる計算、WG3では、複数の統合評価モデルと前提条件の組み合わせで作成された多数の排出シナリオに、簡易気候モデル (MAGICC) の確率論的評価を適用した結果、すなわちAR5DBに基づく。

¹⁴ 産業革命前 (18世紀半ば) ではなく19世紀後半が起点となるのは、WG1分野の複雑な気候モデル計算では、通常19世紀後半を起点に過去の気候再現とそれに続く将来の気候予測が計算されることによる。

¹⁵ 代表濃度パス (Representative Concentration Pathway: RCP) (Moss et al., 2010)と呼ばれる気候モデル計算に使われた4種類のシナリオのうち、最も温暖化が進むRCP8.5が使われた。

2013)。評価結果には2011年以降のCO₂バジェットも併記されており、確率>66%で2°C未満の場合は、WG1の手法では1,000 GtCO₂、WG3の手法では750~1,400 GtCO₂とされる。このうち1,000 GtCO₂の方は、1兆トンのCO₂として、政府の文書でも言及されるようになった¹⁶。

CO₂バジェットは、概念自体がまだ新しく、様々な方法論が提案されている研究段階にある。WG1とWG3の手法の違いについては、関連するCO₂バジェットの定義の違いも含めて、AR5の情報を補足する論文 (Rogelj et al., 2016) が発表されている¹⁷。手法にはそれぞれ一長一短があり、評価手法によって異なるバジェットが評価される。

3. IPCC AR5シナリオデータベースにおける気候関連データの分析

IPCC WG3の報告書では、2100年までの排出削減や関連技術の見通しが、統合評価モデルで計算された多数のシナリオを分析する形で示されている。統合評価モデルとは、排出量に関わるエネルギーと経済の相互依存を定式化したもので、モデルで出力される各種の社会経済変数の時間展開がシナリオとなる¹⁸。

AR5DBはこの種のモデル計算の結果を収録したもので、AR5に向けて実施された国際的な

モデル比較研究の成果が反映されている。計算結果は、モデルの前提条件の他に、モデル自体の定式化の違いにも依存する。このため、最近の研究では、複数の研究機関や研究グループがそれぞれモデルを持ち寄り、条件を揃えて計算した結果を相互に比較する方式で実施されることが多い。

以下では、公開されているデータ¹⁹から、CO₂排出量、放射強制力 (CO₂のみの寄与と非CO₂要因も含めた合計) および温度上昇について、2100年までのデータが完備しているものを抽出し、これらの要素の関係を調査する。この条件に合致するシナリオは523本である²⁰。表1と表2にシナリオ計算に使われたモデルおよび関係する研究プロジェクトを示す²¹。

AR5における排出削減シナリオの評価 (Clarke et al., 2014) は、2007年の第4次評価報告書 (AR4) における評価 (Fisher et al., 2007) と比べて、気候関連の情報が格段に充実している。AR4では濃度レベルと対応づけられる平衡状態の温度上昇が参照されるだけであったが、AR5ではMAGICC²²と呼ばれる簡易気候モデル (Meinshausen et al., 2011) によって、2100年までの温度上昇が確率論的に評価された。この評価では、一つのシナリオにつき、気候計算のパラメータを600通りに設定した計算が実行されている²³。本研究で抽出したシナリオは、実質

¹⁶ 環境省 長期低炭素ビジョン http://www.env.go.jp/earth/ondanka/lc_vision.html (アクセス日: 2018年2月1日)

¹⁷ 同論文には、直近の排出量を反映した2015年以降のCO₂バジェットも示されている。直近の排出量は年間で40 GtCO₂程度であり、上記の2011年以降の数値から160 GtCO₂を引くと2015年以降の数値になる。

¹⁸ この場合のシナリオは、人口や経済成長などの基本的な前提と、資源、技術、政策等の制約の下で、所定の目的関数を最大・最小化する最適化計算で得られる解である。

¹⁹ 2015年6月29日作成のバージョン1.0.2。
<https://tntcat.iiasa.ac.at/AR5DB/>から入手

²⁰ AR5DBには、31のモデル(バージョンの違いを区別すると56のモデル)で作成された延べ1,184本のシナリオが含まれている。抽出条件に合致しないシナリオは半数を超えるが、それらのほぼ全てが温度のデータを含んでいない。

AR5DBには、日本の統合評価モデルで作成されたシナリオも全体の1割程度を占めるが、いずれも温度のデータが含まれていない。

²¹ モデルはいずれも欧米の研究機関で開発されてきたもので、当該分野では長い実績がある。研究プロジェクトは一部を除き、欧米の研究機関が主導したモデル比較研究であり、ここでの抽出条件に合致しないものも含め、AR5DBに含まれるシナリオの大半を提供している。

²² Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Changeの頭文字をつなげた名称。IPCCの初期の評価報告書の頃から開発・改良が続けられており、統合評価モデルの研究分野では、事実上の標準手法となっている。

²³ MAGICCの確率論的な温度上昇の評価には、WG1分野の複雑な気候モデルの平均やばらつきが反映されている

表1 調査対象のシナリオの作成に使われた統合評価モデル

モデル名	バージョン	主研究機関
GCAM	2.0, 3.0, 3.1	米国 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), University of Maryland
IMAGE	2.4	オランダ PBL Netherlands Environmental Assessment Agency
MERGE	ETL_2011, AME, EMF27	米国 Stanford University, Electric Power Research Institute (EPRI)
MESSAGE	V.2, V.3, V.4	オーストリア International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)
REMIND	1.4, 1.5	ドイツ Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)

表2 調査対象のシナリオが作成されたモデル比較研究

略称	名称	主管機関	代表論文	シナリオ数(**)
AME	Asian Modeling Exercise	米国 PNNL	Calvin et al. (2012)	23 (83)
AMPERE2	Assessment of Climate Change Mitigation Pathways and Evaluation of the Robustness of Mitigation Cost Estimates Phase 2	ドイツ PIK	Riahi et al. (2015)	159 (248)
AMPERE3	同Phase 3	ドイツ PIK	Kriegler et al. (2015)	63 (130)
EMF27	Energy Modeling Forum Program 27	米国 Stanford University	Kriegler et al. (2014)	122 (362)
GEA	Global Energy Assessment	オーストリア IIASA	Riahi et al. (2012)	42 (42)
LIMITS	Low Climate Impact Scenarios and the Implications of required tight emissions control strategies	イタリア Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM)	Kriegler et al. (2013a)	48 (84)
RCP	Representative Concentration Pathways	IAMC(*)	Moss et al. (2010)	4 (4)
RoSE	Roadmaps towards Sustainable Energy futures	ドイツ PIK	Kriegler et al. (2013b)	62 (105)

(*) Integrated Assessment Modeling Consortium: 統合評価モデリングに関する研究者コミュニティ
 (**) 括弧内の数値は抽出条件に合致しないものも含めた総数

AME (Calvin et al., 2012), AMPERE2 (Riahi et al., 2015), AMPERE3 (Kriegler et al., 2015), EMF27 (Kriegler et al., 2014), GEA (Riahi et al., 2012), LIMITS (Kriegler et al., 2013b), RCP (Moss et al., 2010), RoSE (Kriegler et al., 2013a)

的に、この600通りの気候計算が実行されたものに相当する。

3.1 累積CO₂排出量と温度上昇の関係

抽出されたシナリオについて、2011~2100年の累積CO₂排出量を基に特徴を整理した結果を図3に示す²⁴。シナリオの多くは温度上昇(600通りの計算の中央値)が2°Cを下回るところに集中し、全体的に温度上昇と累積CO₂排出量が直線関係にあることを確認できる(図3b)。

WG3のAR5では、2100年のGHG濃度²⁵を指標にシナリオが分類されている(図3a)。シナリオ

が集中するところは、GHG濃度レベルでは450~550 ppm-eqに当たる。450 ppm-eqは従来から2°C目標の目安とされ、550 ppm-eqは産業革命前の濃度の約2倍である。450~550 ppm-eqは、これまでのモデル比較研究で共通の前提条件とされることが多く、表2に挙げた研究でも同様の条件が多く採用されている。

図3cには、2100年の放射強制力と累積CO₂排出量の関係を示している。温度上昇は放射強制力によって生じるため、CO₂と非CO₂要因を合わせた全放射強制力(図中の四角印)は、図3bの温度上昇の分布形状と良く対応する。これら

(Meinshausen et al., 2009; Rogelj et al., 2012; Schaeffer et al., 2015)。したがって、AR5DBの各シナリオにおける排出量と温度上昇の関係は、基本的に、WG1の科学基盤と整合的と見なせる。

²⁴ シナリオのデータは、大半が10年間隔のモデル出力値であるため、累積値は、2010~2100年の10年間隔の値に、5, 10, ..., 10, 5年の重みをつけて積算している。

²⁵ CO₂とCO₂以外の要因の放射強制力を合計して、それをCO₂のみの濃度増加の寄与として換算される濃度。単位は、CO₂濃度のppmと区別して、ppm-eqのように表記される。エアロゾルはGHG(温室効果ガス)ではないが、エアロゾルの放射強制力を含む場合もGHG濃度とされる。

の分布では、一部に直線関係からのずれが見られ、全放射強制力の内訳では、非CO₂要因（図中三角印）がそのずれに関係することを確認できる。CO₂のみの放射強制力（図中丸印）が累積CO₂排出量とともに直線的に増加するのは、2.1で述べた相殺関係による²⁶。

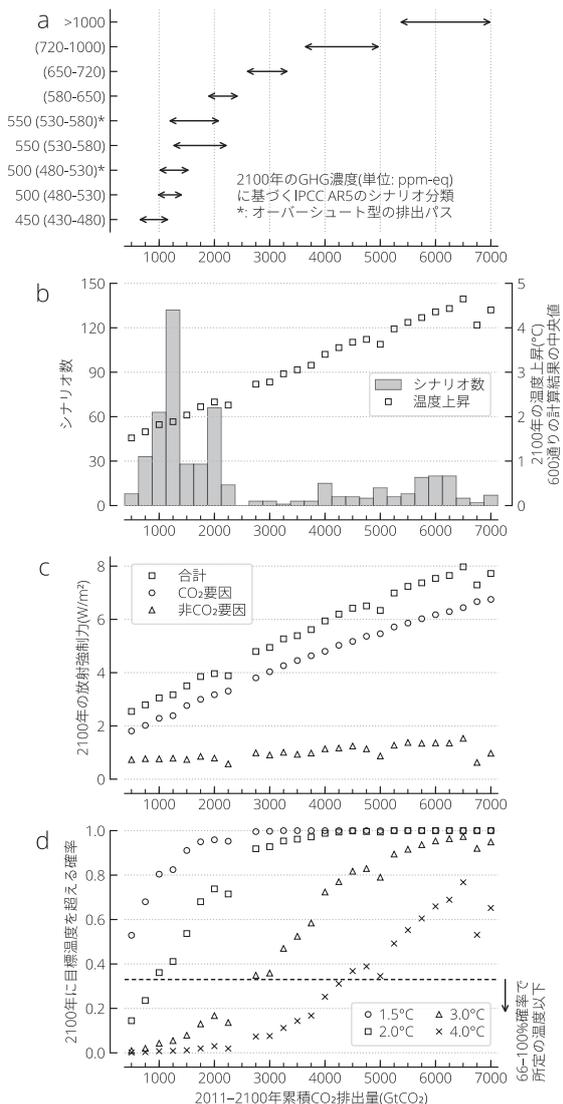
MAGICCによる600通りの気候計算には、気候感度に代表される温度上昇と放射強制力間の不確実性が考慮され、計算結果の分布から所定の温度レベルを超える確率が評価される。AR5DBには、図3bに示した中央値の他に、上位・下位5%の値や1.5、2.0、3.0、4.0°Cを超える確率の情報が含まれる。図3dには、この超過確率が累積CO₂排出量とともに増加する様子を示している。

IPCCの評価報告書では、可能性の度合いを表す用語が確率で定義づけされる。例えば、「可能性が高い (*likely*)」は66%より大、「可能性が低い (*unlikely*)」は33%より小とされる。この定義にしたがうと、2100年時点で所定の温度レベル未達となる可能性が高い累積CO₂排出量は、図で超過確率0.33を示す破線より下に位置するマーカが該当する。非CO₂要因による増減があるが、2°Cの場合は概ね1,000 GtCO₂がその上限に位置しており、2.2で述べたCO₂バジェットに関する既往の知見と合致する。

3.2 2°C目標の達成確率の違いが排出量におよぼす影響

2°C目標の達成確率が変われば、許容されるCO₂排出量も変わる。そこでIPCCの可能性表記にしたがって、66~100% (>66%)、50~66% (>50%) および33~50% (>33%) という3種類の達成確率幅を設定し、21世紀を通じて温度上昇が2°C未満となる確率がそれぞれの範囲に収

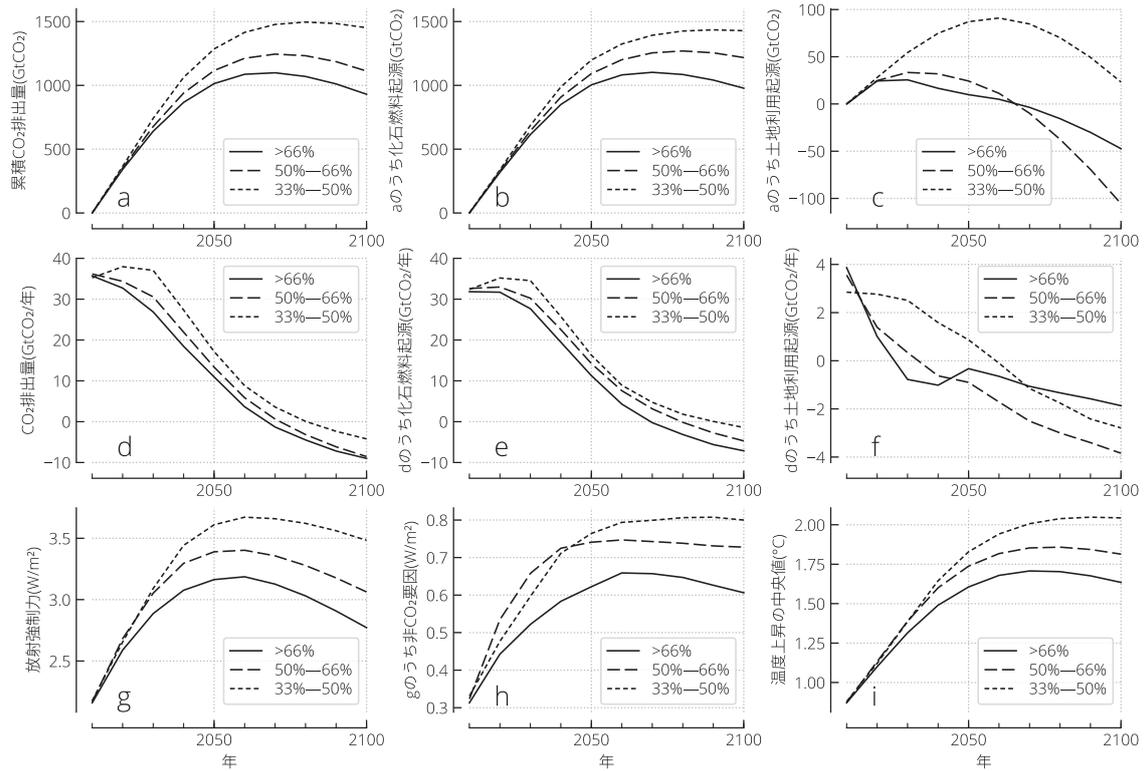
²⁶ CO₂の放射強制力は、CO₂濃度に対して対数的にしか増加しないが、累積排出量とともにAF（排出されたCO₂のうち大気中に残存する割合）が増加するため、結果的に直線に近づく（図2aとbの相殺関係）。AFの値は、排出量が少ない方



a: 2100年のGHG濃度で分類されたWG3AR5のシナリオカテゴリとの対応。b: シナリオ数のヒストグラムおよび2100年の温度上昇の分布。温度上昇は簡易気候モデルMAGICCによる600通りの計算結果の中央値。c: 2100年の放射強制力（各要因の合計およびCO₂要因とそれ以外の内訳）。d: 所定の温度水準を超える確率の分布。点線は33%確率のラインで、その下側が66%を超える確率で所定の温度以下となることを示す。b~dの各マーカは、250 GtCO₂の幅で区切られたヒストグラムの各ビンに含まれるシナリオの平均を示す。

図3 2011~2100年の累積CO₂排出量を基に整理したAR5DBの特徴

の左端点で0.34、多い方の右端点で0.61である。前者の場合は、図2cに示される海洋の熱慣性とCO₂吸収との相殺関係もはたらく。



a: 2011 年以降の累積 CO₂ 排出量。b, c: a の内訳で、b が化石燃料起源 c が土地利用起源。d~f: a~c に対応する年別の CO₂ 排出量。g: 全放射強制力。h: g に占める非 CO₂ 要因の放射強制力。i: 温度上昇の中央値。

図 4 21 世紀を通じて 2°C 未満となる確率が 66~100% (>66%)、50~66% (>50%) および 33~50% (>33%) の範囲に収まるシナリオの平均的な変化傾向

まるシナリオを抽出して比較する。シナリオ数はそれぞれ76、109、91本である。図4にこれらのシナリオにおけるCO₂排出量、放射強制力、および温度上昇の平均的な変化傾向を示す。排出量は、化石燃料起源と土地利用起源の内訳をつけ、合計と内訳のそれぞれで2011年以降の累積値と年別の値を示している。

年別の排出量は、確率の大きさによらずゼロ排出に向かうが、大幅削減が本格化する時期は確率が低いほど遅れる(図4d)。この結果、累積排出量は確率が低いほど上積みされる形となる。いずれも今世紀末の排出量は負となり、累積値はそれ以前の今世紀後半にピークがくる²⁷。66~100%と50~66%の場合は、33~50%と比べ

て負排出に達する時点が早く(2070~80年)、2100年の排出量は、化石燃料起源と土地利用起源を合わせて、マイナス9 GtCO₂に達している(図4d)。これは2010年の排出量の約1/4に相当する。

内訳では、土地起源のCO₂排出量について、66~100%と50~66%の間で特徴的な違いがある(図4f)。66~100%では今世紀前半に急速に負排出となり、2050年に一旦ゼロ付近に戻った後、今世紀後半は再び減少する。これに対し50~66%では、期間を通じてほぼ同じスピードで減少し、今世紀後半は確率66~100%の場合より負排出の度合いが大きくなっている。このような土地起源の排出量のやや一貫性を欠く傾

²⁷ なお、負排出、すなわち世界全体の CO₂ 排出量を正味で負にする技術については、バイオエネルギー(bioenergy)と CO₂ 回収・貯留(carbon dioxide capture and storage: CCS)を組み合わせる BECCS などが想定されるが、実証されたものではな

く、実現可能性については議論がある(Fuss et al., 2014; Smith et al., 2016)。

向は、モデル毎の特徴が顕在化した結果と見られる²⁸。

図4aと図4iの比較から確認されるように、温度の変化傾向は、CO₂の累積排出量の変化傾向と類似する。今世紀後半の負排出によって、66～100%や50～66%のシナリオでは、温度上昇が2100年以前にピークとなり、2100年時点では低下傾向となる。このように、21世紀中に2100年の値を超過する「オーバーシュート」も、累積CO₂排出量と温度上昇で同様に見られる。

温度変化の直接の原因となる放射強制力は、図4gと図4hに示されるように、全量および非CO₂要因とも2060年まで増加し、その後は減少もしくはほぼ一定で推移する。増加の割合は非CO₂要因の方が相対的に大きく、全体に占める非CO₂要因の割合は、初期時点の15%程度から22～24%程度まで増加する。この増加のスピードは、確率区分50～66%で他より早い傾向が見られる。図4iとの比較から、世紀末にかけての全放射強制力の減少は、必ずしもそれに見合う温度低下をもたらさないことを確認できる。これは2.1で言及した海洋の熱慣性による。

3.3 各確率区分における温度上昇の分布

前項では66～100% (>66%)、50～66% (>50%)、および33～50% (>33%) という3通りの確率区分に沿って、2°C未満となるシナリオの平均的な傾向を比較した。以下では各区分に含まれるシナリオがどのあたりの確率に集中している

のかを分析する。

図5に、2°C未満の確率と温度上昇（600通りの計算の中央値）の関係を個々のシナリオで見た散布図を示す。21世紀の全期間を通じて確率66～100%、50～66%および33～50%で2°C未満となるシナリオは、図5aに示すように、ピーク時の温度上昇が約1.8°Cと2°Cを境に区分されている（これらの温度を境に、凡例に示した記号が変わっている）。50%を境とする区切り（凡例に示した○と×の境目）が2°Cに当たるのは定義によるが、1.8°Cの方は確率が一意に定まっていない。この温度付近にはシナリオが集中しており、1.8°C程度に対応する確率は10%程度の幅にわたって分布している²⁹。

2°C未満となる確率の区分別の中央値は、確率区分の高い方から順に75、62、41%である。中央値の周りの分布状況は、図5aの凡例に示した記号の分布と、それを集約した図右側のボックスプロットから把握できる。IPCCの評価報告書などでは、確率は>66%や>50%のように区分の下端で表記されるが、確率の表記が同じでもサンプルの取り方でシナリオの仕様は変わり得る。AR5DBでは、区分内の分布は必ずしも均等ではなく、特に50～66%では中央値が高い方に偏り、その中央値付近に分布が集中する傾向が見られる。また、33～50%の区分との境界は、分布が疎らになっている。

2°C未満の確率と温度上昇の中央値を2100年時点で見ると（図5b）、負排出による温度低下

²⁸ 図には示していないが、2100年の排出量は、特定のモデル（MESSAGE）で大きな負の値を示し、50～66%のシナリオでは、そのモデルの占める割合が突出している。また、世紀前半の排出量は、別の特定のモデル（GCAM）で極端に大きな負の値を示している。このモデルは50～60%のシナリオが少なく、66～100%の場合のみにその傾向が現れる。土地部門のCO₂は、森林伐採や植林によって比較的大きな排出や吸収が生じる。大規模な植林は負排出の技術にも位置づけられる（Smith et al., 2016）。このような森林の扱いは現状ではモデル間の違いが大きく、シナリオの選び方によって比較的大きな差異が生じる。

²⁹ 確率66～100%のシナリオは、温度上昇が世紀後半の早い時

期にピークとなるものが大半である。図には示していないが、中央値1.8°Cのあたりで2°C未満となる確率が比較的低いシナリオは、温度上昇のピーク後の減少幅が大きいことを確認できる。これは、世紀前半の排出削減を遅らせて、世紀末にかけて大規模な負排出を導入する、オーバーシュートの割合が強いシナリオである。負排出技術の実現性はともかくとして、ピーク気温の時期が短ければ、同じ気温が続く場合と比べて、2°C未満の確率は小さくなる。これは、気候の不確実性の中に、放射強制力に対する応答の遅れに関する要素があり、ピークに近い気温の持続性が確率に影響すると解釈できる。

を反映して、確率が全体的に高くなる。区分別の中央値は、確率区分の高い方から順に81、65、45%であり、図5aの21世紀を通して2°C未満となる確率より3~6ポイント大きい。50~66%の区分は、2100年時点では約半数が66%を超える確率で2°C未満となり、一部は>66%の区分と重なっている。

4. CO₂要因と非CO₂要因の分解

2章と3章で言及したように、温度目標と排出削減の整合性には非CO₂要因が少なからず影響する。ここでは、温度上昇をCO₂要因と非CO₂要因に分解して、シナリオ間のばらつきを分析する。要因別の温度上昇は、AR5DBに含まれる放射強制力の情報を基に、著者が開発した簡易気候モデル (Tsutsumi, 2017) で推計した (付録を参照)。

図5に示したシナリオに対し、温度上昇とその要因を分析した結果を図6に示す。

元の温度上昇と累積CO₂排出量の分布範囲を見てみると、比例関係から外れるシナリオが目立つ (図6a)。特に累積排出量が1,200 GtCO₂のあたりにはシナリオが集中し、温度上昇が広い範囲におよんでいる。これに対し、CO₂起因の温度上昇は累積CO₂排出量との比例関係に近づき (図6d)、非CO₂起因の温度上昇は非CO₂の放射強制力にほぼ比例することを確認できる (図6c)。したがって、1,200 GtCO₂付近のばらつきも含め、累積CO₂排出量に関する比例関係からのずれは、大部分が、累積CO₂排出量とは必ずしも直接関係しない非CO₂要因のばらつきに起因すると見られる³⁰。

³⁰ エアロゾルに関係する大気汚染物質の排出は、CO₂の排出と連動する部分があるが、硫酸エアロゾルが寒冷化、黒色炭素 (煤) が温暖化に寄与するなど、放射強制力についてのCO₂との関係は一律ではない。主に農業部門から排出されるメタンや一酸化二窒素は、土地改変に伴うCO₂排出と連動する部分があるが、エネルギー起源のCO₂排出とは直接関係しない。

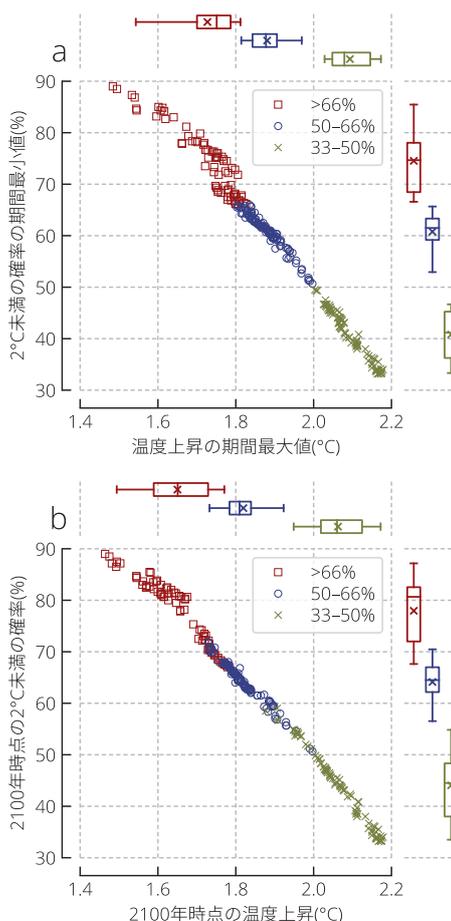


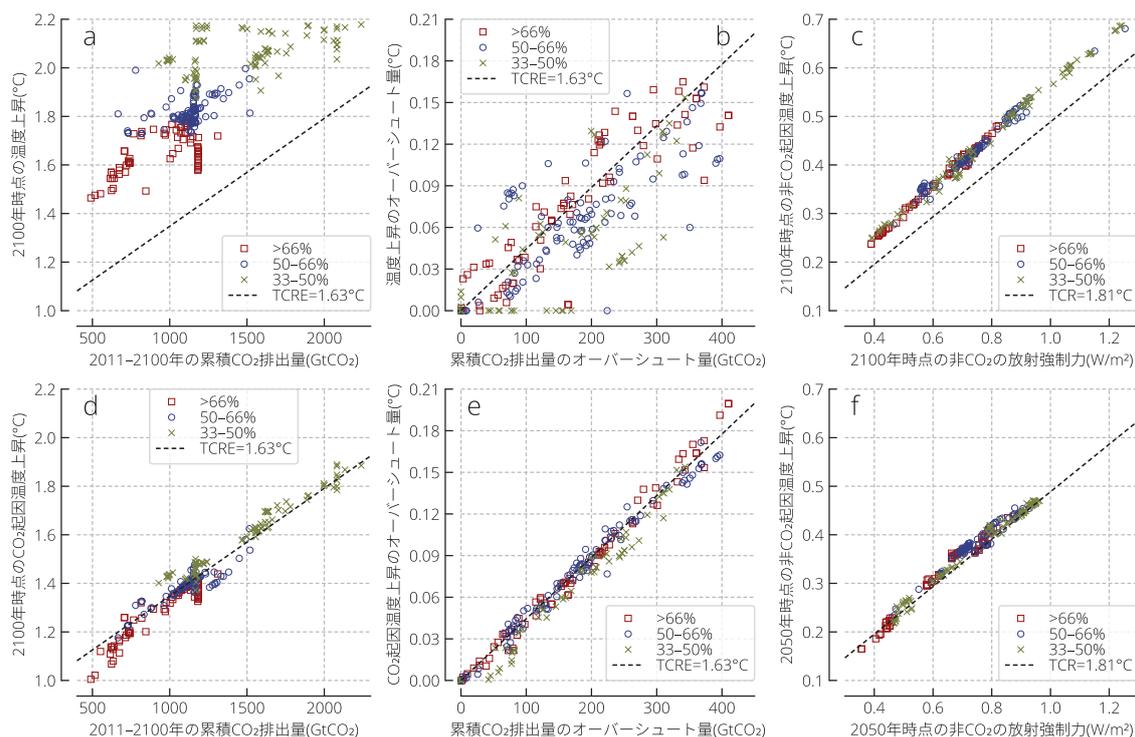
図5 2°C未満の確率と温度上昇 (中央値) の関係

散布図の上側と右側のボックスプロットは、対応する軸の値について、凡例に示す三つのシナリオ区分での5、25、50、75、95%の分位点と平均 (×印) を示す。a: 21世紀を通しての確率 (期間最小値) とピーク時の温度上昇 (期間最大値) の関係。b: 2100年時点の確率と温度上昇の関係。大半のシナリオは2100年より前に温度のピークがくる (オーバーシュートする) ため、bの方が全体的に温度上昇の中央値が低くなり、2°C未満の確率が高くなる。

要因別の温度上昇は以下のように定量的に評価できる。

CO₂要因の温度上昇については、図6dの中で黒の点線で示す回帰直線³¹が得られ、その傾き

³¹ 横軸の値に2011年までの累積CO₂排出量として約2,000 GtCO₂を加え、原点を通る直線の条件で回帰係数を算出した。約2,000 GtCO₂は1750~2011年の累積排出量で、WG1 AR5の評価値に基づく。WG1 AR5では、気候モデル計算の結果の分析で、1870~2011年の約1,900 GtCO₂が参照されるが、ここでは産業革命前の1750年を起点とした。



a, d: 2100年時点の温度上昇と2011~2100年の累積CO₂排出量の関係。b, e: 温度上昇のオーバーシュート量と累積CO₂排出量のオーバーシュート量の関係。dとeの温度上昇は、独自の簡易気候モデルを用いてCO₂起因部分を切り分けた推定値。オーバーシュート量は2100年時点の値を21世紀中に上回る量を表す。c, f: 2100, 2050年時点の非CO₂起因の温度上昇と非CO₂の放射強制力との関係。a, b, d, eの黒の点線は、TCREに基づく温度上昇。TCREの値(1.63°C)は、dのデータ分布を直線回帰した結果。c, fの黒の点線は、TCRに基づく温度上昇。TCRの値(1.81°C)は、要因切り分けに用いた簡易気候モデルの設定値(AR5DBで使われたMAGICCの設定と同様)。

図6 確率33~100%で2°C未満となるシナリオに対し、
温度上昇(中央値)とその要因を分析した結果

からTCREが1.63°Cと推計される³²。2.1で述べたように、TCREは3,670 GtCO₂当たりの温度上昇であり、各シナリオの累積CO₂排出量に対し、CO₂要因の温度上昇が比例式から求まる。例えば、現在の世界の年間排出量が10年続くと400 GtCO₂程度になり(脚注17)、それによる温度上昇は約0.18°Cに相当する。

TCREによる推計は、負排出によって温度が低下する場合にも適用できる。最終時点の2100年の値をそれ以前に上回る量をオーバーシュ

ート量とし、温度上昇と累積CO₂排出量の関係をオーバーシュート量について見ると、この場合も、元の温度からCO₂要因を切り分けることで、TCREとの比例関係が良く成立するようになる(図6e)³³。

一方、非CO₂要因の温度上昇は、世紀後半の非CO₂の放射強制力との比例関係(図6c, f)から定量的に評価できる。比例定数としては、過渡状態の温度上昇の指標となるTCRが目安になる。ただしTCRに基づく温度上昇は、2050年

³² この値はAR5で評価されたTCREの不確実幅(0.8~2.5°C、2.2参照)のほぼ中央に当たる。したがって、AR5DBの温度上昇は中央値ベースでTCREの評価と整合することを確認できる。

³³ 元の温度は、TCREに基づく推定値の上下に分布している(図6b)。このうち上側の分布は、非CO₂要因もピーク後

に大幅に減少することを意味する。このようなシナリオは、確率66~100%の区分に多く見られ、この区分の平均的な傾向(図4h)を反映している。

時点では良い近似になるものの(図6f)、2100年時点では過小評価となる(図6c)。これは、非CO₂の放射強制力が今世紀前半に増加し、後半はほぼ一定で推移もしくは減少する傾向(図4h)にあることが関係する³⁴。

平衡時の温度上昇の指標となるECSに対し、TCRは6割程度の大きさである。したがって、TCRによる近似が良い2050年時点では、その放射強制力で安定した場合に想定される温度上昇の6割程度が顕在化する勘定となる。2100年時点は、近似値とのずれから、この割合が7割程度に増加していると見られる。この場合、非CO₂の寄与は0.3 W/m²当たり0.17°C程度となる。0.3 W/m²はAR5DBの2010年値(図4h)であり、現在の目安となる。

5. UNFCCC事務局と国際エネルギー機関(IEA)によるシナリオとの比較

UNFCCC事務局や国際エネルギー機関(International Energy Agency: IEA)による2°C目標シナリオもAR5DBのシナリオを参照している(UNFCCC, 2016; IEA, 2016a)。ここでは化石燃料起源のCO₂排出量に注目して、代表的な排出削減シナリオとして、UNFCCC事務局が用いた費用最小2°Cシナリオ(Least-cost 2°C scenarios)とIEAによる450シナリオを取り上げ、AR5DBと比較する。

5.1 UNFCCCレポートの費用最小2°Cシナリオとの比較

費用最小2°Cシナリオは、AR5DBの確率66~100%で2°C未満の区分に含まれる20本のシナリオからなる(UNFCCC, 2016 Technical Annex Table 4)。費用最小は排出削減の期間を通しての最小化を意味し、20本のうち14本は2010年以

降、残りの6本は2020年以降がその期間に該当する。元のAR5DBで同区分に含まれるシナリオは76本である(3.2節)。20本の抽出基準は必ずしも明確ではないが、表1に挙げたMESSAGEを除く4つのモデルがほぼ均等に選択され、表2に挙げたモデル研究のうち、AMPERE2とLIMITSの成果が比較的多く採用されている。

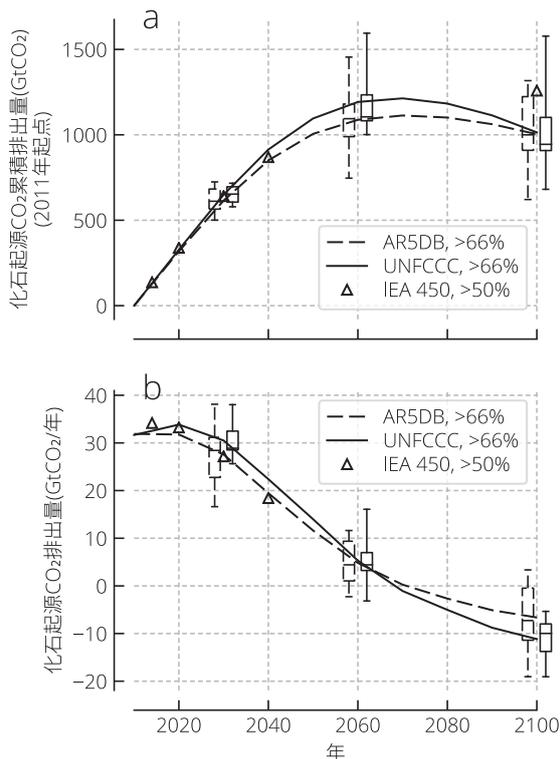
2011年以降の累積排出量と年別の排出量について、抽出された20本と元の76本の傾向を図7で比較する。それぞれの平均は、2011~2100年の累積量についてはほぼ等しいが、抽出された20本の方が、オーバーシュートの度合いが大きい(図7a)。このため20本平均の年別の排出量は、全体平均と比べて、最初のうちは排出量が多く、2060年を境に逆転し、世紀末にかけてより大幅な負排出となる(図7b)。

抽出された20本の平均は、2020年をピークに減少に向かうが、2030年は2010年を僅かに(約4%)下回るほどである。ただしこの傾向は、土地起源を加えた総CO₂排出量や、他のGHGのCO₂相当量を加えたGHG排出量では様相が異なる。この違いは、20本の抽出シナリオだけではなく、全体平均の場合にも当てはまり、図4fに示したように、土地起源のCO₂排出量が2010~30年に大きく減少することが関係する。減少の度合いは、2°C未満の確率区分の中で66~100%の場合が特に顕著で、図には示していないが、抽出された20本はさらにその傾向が強い。

UNFCCCレポートで示されるのはGHG排出量のみで、そこで言及される各国の目標を積み上げた排出見通しについても、GHG排出量での比較に留まっている。3.2で述べたように、土地起源のCO₂排出は、モデル間のばらつきが大きいところであり、シナリオの選定によって、特定のモデルの傾向が強調されやすい面がある。

³⁴ TCRに基づく温度上昇は、その定義により、放射強制力が増加する期間では良い近似となるが、増加が鈍り安定期に

入ると、徐々に平衡温度に近づくためにずれが生じる。



a: 化石燃料起源の累積CO₂排出量。b: その年別の排出量。AR5DBとUNFCCCのシナリオは、それぞれの平均の時系列と、シナリオ間のばらつき(5, 25, 50, 75, 95%の分位点)を表すボックスプロット(2030, 2060, 2100年のみ)を示す。IEAのシナリオは2040年までだが、2100年の想定される累積排出量も示している。

図7 確率66~100%で2°C未満となるAR5DBのシナリオ、UNFCCCレポートで費用最小2°Cシナリオとして抽出されたシナリオおよびIEA 450シナリオの比較

UNFCCCレポートはこうしたシナリオと各国の目標の積上げを、GHG排出量という一つの数値だけで比較しているが、内訳も含めて比較するなど、より多面的な分析が望ましい。

5.2 IEAによる450シナリオとの比較

IEAのシナリオは2040年までの期間が対象であるが、長期の気候目標を想定するシナリオでは、2100年までの排出量の見通しが考慮されている。450シナリオの場合は、元々GHG濃度450 ppm-eqを目指す前提であったが、パリ協定採択後の2016年のレポート(IEA, 2016a)で、確率>50%で21世紀中に2°Cを超えないシナリオと再定義された。根拠となるのはCO₂バジェットの水準で、2015~2100年の累積CO₂排出量が1,140 GtCO₂と想定されている。この値は、同じ仕様に対してAR5DBから見出される1,150~1,400 GtCO₂(IPCC, 2014 Table 2.2)や、それを2015~2100年に換算した990~1,240 GtCO₂(Rogelj et al., 2016)の間に位置するとされる³⁵。

図7には、レポートに掲載されている2014、2020、2030、2040年のデータおよび2100年の累積値を示した³⁶。2040年までの450シナリオの傾向は、AR5DBの確率66~100%で2°C未満となるシナリオとほぼ一致する。両者は2°C未満の確率が異なるが、これは2100年の累積CO₂排出量の違いによる。IEAでは負排出技術について慎重な立場をとっており、他の野心的な排出削減シナリオも含めて、オーバーシュートが想定されない。つまり年別の排出量は、2040年以降、自然な形で正味ゼロに向かう経路が想定されている³⁷。

またIEAレポートでは、非CO₂要因の排出の多くが農業や廃棄物などの非エネルギー部門によること、さらにその変動がCO₂バジェットの下でのエネルギー起源のCO₂の排出量に影

³⁵ なおIEAの2017年のレポート(IEA, 2017)では、450シナリオに相当するものとして、新しくSustainable Development Scenario (SDS)が提示された。SDSでは、長期の気候目標に加えて、国連の持続開発目標のうち、2030年までの電気の利用普及ならびに大気汚染の改善という短期目標との同時達成が前提とされている。SDSの世界合計のCO₂排出量は450シナリオとほぼ同じで、確率>50%で2°C未満という仕様も変わらない。

³⁶ 掲載データはエネルギー起源の排出量であるため、ここでは、レポートの記載内容に基づいて、各時点の工業プロセス

起源の排出量を2,2,2,0 GtCO₂と仮定し、これを合算して化石燃料起源の総排出量とした。累積量は台形則にしたがって積分し、2100年は、上記の2015~2100年の数値に、2014年の4倍を2011~14年の累積量として加算している。

³⁷ ただし負排出技術の可能性についての言及もあり、BECCSなどを相当規模利用できるとすれば、450シナリオはより厳しい気候目標達成の可能性を提供する、という認識を述べている。

響することなどから、非CO₂要因の想定に注意を払っている。そこではAR5DBを参照して、少なくとも50%の確率で2°C未満となるシナリオの8割以上は、2100年の非CO₂起因の温度上昇が0.4~0.7°Cの範囲にあると分析し、450シナリオの非CO₂の寄与を約0.55°Cと設定している(IEA, 2016b)³⁸。

IEAの2100年時点の考え方は、現在の科学基盤に合致するが、そこで分析された非CO₂起因の温度上昇は、本研究で独自の簡易気候モデルを用いて推定した結果(図6c)と比べると過大である。実際、0.4~0.7°Cの範囲には33~50%の確率区分のシナリオも多く含まれ、少なくとも50%という条件に当てはまらない³⁹。

いずれにしろ、1.5~2°Cの水準になると、非CO₂要因の寄与が相対的に大きくなる。その結果、非CO₂の放射強制力の僅かな違いが、目標達成の確率やCO₂バジェットを左右することになる⁴⁰。

5.3 両シナリオの比較—特にオーバーシュートについて

ここでUNFCCCレポートにおけるシナリオとIEAの450シナリオについて、オーバーシュートの観点から簡単に比較しておく⁴¹。5.1で述べたように、UNFCCCの費用最小2°Cシナリオはオーバーシュートの度合いが大きく、一方5.2で述べたように、IEAの450シナリオはオーバーシュートが想定されない。その結果、前者の方

が世紀前半で化石燃料起源のCO₂排出量が多いにもかかわらず最終的に2°C未満の確率が高い、という一見矛盾する違いが生じる。両者の違いは今世紀の前後半での排出量の割当の違いが本質であるが、温度のピークが尖鋭であるほど、同じピーク値であっても目標達成の確率が高くなることも関係する。

6. 結論

本稿では、パリ協定に記載された温度目標と長期の排出削減について、AR5の知見を基にAR5DBの気候関連データを精査し、代表的な2°Cシナリオの事例も含めて多面的に考察してきた。以下では、6.1で温度目標と整合的な長期削減についての本稿の考察を整理した上で、6.2で2050年や2100年に向けた長期の政策・戦略への示唆を述べる。

6.1 温度目標と整合的な長期削減

温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係は直感的には理解しやすいが、温度上昇の要因を細かく整理して考えると実は自明ではない。両者の間の比例関係は原理的に成立するというより、様々な要因が重なり合った結果として、いわば偶然に成立するものである(2.1、特に図2)。また、CO₂以外の温室効果ガス等をCO₂と同様に扱うことはできない(2.2)。

この比例関係および非CO₂要因でもたらさ

方であるが、その意味するところを十分に認識する必要がある。

³⁸ ただし、大幅なCO₂削減を目指すシナリオでどこまで非CO₂要因を削減できるかは、情報がほとんどなくAR5DBに依拠するしかない、という状況にも言及している。

³⁹ 詳細は不明だが、仮に、2100年の放射強制力に対する平衡時の温度上昇が想定されているとすれば、数値の上では整合的となる。つまり、実際のシナリオデータは、4章で見たように、平衡時の7割程度であり、0.4~0.7°Cから3割程度を過大分として差し引くと、図6cに示される傾向と整合する。

⁴⁰ 非CO₂要因を平衡時の温度上昇と想定することは、2100年の放射強制力が、それ以降も一定のまま推移することを前提に、数百年後の遠い将来の温度上昇を見越して、今世紀のCO₂バジェットを決めることを意味する。これも一つの考え

⁴¹ 本研究の分析では対象としなかったが、統合評価モデルの最適化計算では、初期時点の近傍の制約が、オーバーシュートの傾向に影響する面がある。初期時点では、通常、実際の排出量が制約条件となる。このため、例えば、計算を2000年から開始する場合と2010年から開始する場合とでは、後者の方が現実の排出増加が反映されて、オーバーシュートの傾向になりやすい。今後IPCCの1.5°Cに関する特別報告書やその後のAR6に向けて、AR5DBを拡充・代替する新しいシナリオデータベースが作成されると見込まれる。その際は初期時点の扱いの違いにも留意する必要がある。

れる温度上昇の特徴を考慮すれば、現在から将来に至るまでの世界全体での排出量の推移（＝排出シナリオ）が2100年時点において温度目標に整合するかどうかは、その時点での累積CO₂排出量と非CO₂要因の加熱効果（放射強制力）でほぼ決定される（2.2および4）。

ただし気候の見通しに幅があるため、その整合性には確率の情報が付随する。ある排出削減シナリオの下での温度上昇の見通しで、幅の中央が2°Cであれば2°C未満の確率は50%となる。この確率を高めて目標達成をより確実するには、排出量をさらに減らす必要がある（3.1、特に図3）。

どの程度減らすかは、「目指すべき達成確率」と「温度の見通しの幅」に依存する。「目指すべき達成確率」は政策的な判断により、確率を高くすると、大幅削減の本格化する時期が早まる（3.2、特に図4）。一方、「温度の見通しの幅」は科学的な知見に基づいて評価される。現行の科学基盤では、温度上昇の中央値が1.8°C程度のシナリオで、2°C未満の確率が66%程度になる（3.3、特に図5）。

2100年の温度上昇の中央値は、その時点での累積CO₂排出量と非CO₂放射強制力から概算できる。累積CO₂排出量は400 GtCO₂当たり、非CO₂放射強制力は0.3 W/m²当たり⁴²、ともに中央値で見て、0.17～0.18°C程度の温度上昇に対応する。400 GtCO₂は、化石燃料起源（エネルギー利用と工業プロセス）と土地起源を合わせた、現在の排出量の10年分に相当する（4、特に図6）。本稿では2°C目標に注目したが、これらの定量的な関係から、1.5°Cなどの目標に整合する数値も割出せる。

累積CO₂排出量と非CO₂放射強制力の今世紀中の時間変化には、現実社会の様々な要因が反映される。この仕組みは、統合評価モデルによって定式化され、費用最小などの制約条件の下

で、CO₂排出量等のシナリオが計算される。モデルの定式化には様々な方式があるため、シナリオ計算は国際的なモデル比較研究の形で実施される。AR5DBはAR5の時点のモデル比較研究の成果を集めたシナリオデータベースである。近年、2°C目標の重要性が認識されるなかで、UNFCCC事務局やIEAといったエネルギー・環境を扱う国際機関が2°Cシナリオ分析を積極的に行うようになっているが、その際には、このデータベースが参照されている（5、特に図7）。

6.2 政策への示唆

本稿で扱ったのは温度目標と長期削減の関係であり、それだけをもって長期的な政策や戦略のあり方を論じることはできない。一方で、そうした政策・戦略を考えるにあたって、温度目標と長期削減の関係を無視することもできない。以下では、長期的な削減に向けた政策や戦略を考える際に、温度目標との関係について留意すべきことを3点指摘する。

①CO₂バジェット

パリ協定4条1で言及される、GHGの人為的な排出と吸収のバランスは、温度目標との関係を科学的に考慮すると、CO₂に関しては、累積的な排出量のある限度に抑える、すなわちゼロ排出を目指すことに相当する。基盤となる温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係は、ある程度の頑健性があり、従来のGHG濃度に基づく考え方より、直接的で分かりやすい。

ただし、2°Cなどの温度目標に整合的な排出量は、6.1で整理したように、目標達成の確率と非CO₂要因の想定に左右され、非CO₂要因の排出量をCO₂と同様の比例関係の枠組みで考えることはできない。したがって、長期戦略などでCO₂バジェットに言及する場合、確率と非

放射強制力の合計の目安である（4章および脚注12参照）。

⁴² 0.3 W/m²は、CO₂を除くGHGとエアロゾルを含めた現在の

CO₂放射強制力の想定も明示しておくのが適切である。

②科学的知見の更新可能性

TCRやTCREといった指標で定量化される気候の見通しの幅は依然として大きい(2.1, 2.2)。上記の中央値1.8°Cで2°C未満の確率66%という評価は、あくまでも現行の見通し幅の場合である。

数百年後に到達する平衡時の温度上昇を特定するのは難しいが、今世紀中に生じる温度上昇は、観測データの蓄積とともに徐々に幅が狭まり、TCRとTCREの確度も高まる。

そうすると、確率66%で2°C未満とする際の中央値が2°Cにより近くなり、CO₂バジェットは増加する。温度上昇の見通しは、幅が縮まるだけでなく、幅自体が上下に振れる可能性もある。観測情報と気候モデルを組み合わせる気候感度の幅を特定する最近の研究では、上振れと下振れの両方の可能性が示唆されている(Brown and Caldeira, 2017; Cox et al., 2018; Goodwin et al., 2018)。上振れする場合にはCO₂バジェットは減少し、下振れする場合には増加する。

長期的な政策・戦略を考える際には、科学的知見の更新によって、CO₂バジェットなど、政策上の変数も変わりうることに留意すべきである⁴³。

③シナリオデータベース使用時の注意点

具体的な長期の排出削減の戦略において、AR5DBなどのシナリオデータベースは重要な役割を担う。ただし、データベースからリファレンスとなるシナリオを選択する際の基準には任意性があり、さらにデータベースの構成自

体も、研究機関がモデル比較研究に参加するかどうかという機会の有無に依存する。

本稿で見てきたように、66%を超える確率で2°C未満といっても66~100%の幅があり、AR5DBでは中央をとると75%である。50%を超える場合の50~66%の区分では、上位側への偏りが見られる。また、モデル間のばらつきが大きい土地起源のCO₂排出は、特定のモデルのくせが表れやすいところである。このため、確率区分をその下限値だけで言及することや、特定の要素のみに注目してシナリオを評価することは、誤った認識につながる恐れがある。シナリオを参照する際は、その選択に注意を払うとともに、確率の値やシナリオの要素を多面的に見る必要がある。

謝辞

本研究で用いた簡易気候モデルのパラメータ調整および温度上昇と累積CO₂排出量の比例関係の説明は、それぞれ文部科学省の「気候変動リスク情報創生プログラム」(2012~16年度)および「統合的気候モデル高度化研究プログラム」(2017~21年度)の支援の下に実施した。

付録 温度上昇の要因分解について

温度上昇の要因をCO₂とそれ以外に分解する方法には、放射強制力の変化から温度上昇を簡易的に計算する数値モデルを用いた。この種の簡易計算では、熱容量の大きい海洋内部の熱輸送過程を記述する熱収支モデルが一般に使われる。本研究で用いたモデルは、鉛直3層の1次元熱収支モデルである(Tsutsui, 2017)。一方AR5DBのシナリオの気候計算に使われた

⁴³ 気候感度の幅を特定する研究は、様々なアプローチで実施されているが、現状では、AR5 時点の気候モデルや放射強制力の情報に依拠している。並行して、新しい気候モデルの開発も進められており、2021~22年に発表予定のIPCC第6

次評価報告書に向けて、新しい気候予測情報が実施される見通しである。ECS、TCR、TCREといった温度上昇を定量化する指標が、AR6でどのように評価されるか注目される。

MAGICCでは、海洋が南北半球別に多層に区切られ、陸域部分との熱交換も考慮されている (Meinshausen et al., 2011)。

両モデルは構造上の違いはあるが、計算結果を左右するのは、熱容量や熱交換などのパラメータの調整である。本研究のモデルでは、AR5時点の多数の複雑な気候モデルの平均的な振舞いを模擬するよう調整している。一方AR5DBの600通りの気候計算に使われたMAGICCのパラメータは、AR4時点の複雑な気候モデルに基づいて調整されている (Meinshausen et al., 2009; Rogelj et al., 2012; Schaeffer et al., 2015)。基になる複雑な気候モデルは本研究の方が新しいが、気候モデルのばらつきについてはAR5時点とAR4時点ではほぼ同等である (Flato et al., 2013)。したがって、本研究で対象とする全球平均の温度については、本研究の手法とMAGICCの中央値で大きな違いはない。2100年の温度上昇の二乗平均平方根誤差は、523本の全シナリオで 0.08°C 、本研究で注目した確率 $>33\%$ で 2°C 未満となる276本のシナリオで 0.1°C である。

本研究で独自モデルを用いるのは、パラメータ設定の詳細も含めて、著者自身はその仕組みを完全に理解していることによる。MAGICCはソースコードが公開されていないため、ブラックボックス的な使い方に限定される面がある。

なお、AR5DBの温度データや、ここで用いた非 CO_2 要因の切り分けが、簡易気候モデルベースであることに注意を要する。実際には、要因切り分けの前提となる加法性、すなわち放射強制力に対する温度応答の重ね合わせは、必ずしも成立しない。また、温度が上昇する状態と下降する状態で、海洋の熱吸収などの特性が変わる可能性がある。これらは、簡易気候モデルの前提(放射強制力に対する線形性)を逸脱する。 2°C 程度の2100年までの気候の推移では、非線形性はそれほど大きくないと見られるが、簡易

気候モデルの限界は常に意識しておく必要がある。

【参考文献】

- 筒井純一(2017) 長期緩和シナリオの温度目標適合性を評価する新しい方法論, 環境情報科学, 46(3):30–34.
- Allen, M.R., D.J. Frame, C. Huntingford, C.D. Jones, J.A. Lowe, M. Meinshausen and N. Meinshausen (2009) Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne, *Nature*, 458 (7242):1163–1166.
- Brown, P.T. and K. Caldeira (2017) Greater future global warming inferred from Earth’s recent energy budget, *Nature*, 552: 45–50.
- Calvin, K., L. Clarke, V. Krey, G. Blanford, K. Jiang, M. Kainuma, E. Kriegler, et al. (2012) The role of Asia in mitigating climate change: Results from the Asia modeling exercise, *Energy Economics*, 34:S251–S260.
- Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, et al. (2013) Carbon and other biogeochemical cycles, in Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 465–570.
- Clarke, L., K. Jiang, K. Akimoto, M. Babiker, G. Blanford, K. Fisher-Vanden, J.-C. Hourcade, et al. (2014) Assessing transformation pathways, in Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, et al. (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 413–510.
- Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, et al. (2013) Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility, in Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1029–1136.
- Eyring, V., S. Bony, G.A. Meehl, C. Senior, B. Stevens, R.J. Stouffer and K.E. Taylor (2015) Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organisation, *Geoscientific Model Development Discussions*,

- 8(12):10539–10583.
- Fisher, B.S., N. Nakicenovic, K. Alfsen, J. Corfee Morlot, F. de la Chesnaye, J.-C. Hourcade, K. Jiang, et al. (2007) Issues related to mitigation in the long term context, in Metz, B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave and L.A. Meyer (Eds.), *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 169–250.
- Flato, G., J. Marotzke, B. Abiodun, P. Braconnot, S.C. Chou, W. Collins, P. Cox, et al. (2013) Evaluation of climate models, in Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 741–866.
- Fuss, S., J.G. Canadell, G.P. Peters, M. Tavoni, R.M. Andrew, P. Ciais, R.B. Jackson, et al. (2014) Betting on negative emissions, *Nature Climate Change*, 4(10): 850–853.
- Goodwin, P., A. Katavouta, V.M. Roussenov, G.L. Foster, E.J. Rohling and R.G. Williams (2018) Pathways to 1.5 °C and 2 °C warming based on observational and geological constraints, *Nature Geoscience*, 11:102–107.
- IEA (2016a) *World Energy Outlook 2016*, International Energy Agency.
- IEA (2016b) *World Energy Model Documentation 2016 Version*, available at: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weoweb-site/2016/WEM_Documentation_WEO2016.pdf (accessed 1 February 2018).
- IEA (2017) *World Energy Outlook 2017*, International Energy Agency.
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by Core Writing Team, IPCC, Geneva, Switzerland.
- Knutti, R. and J. Rogelj (2015) The legacy of our CO₂ emissions: a clash of scientific facts, politics and ethics, *Climatic Change*, 133(3):361–373.
- Knutti, R., M.A.A. Rugenstein and G.C. Hegerl (2017) Beyond equilibrium climate sensitivity, *Nature Geoscience*, 10:727–736.
- Krey, V., O. Masera, G. Blanford, T. Bruckner, R. Cooke, K. Fisher-Vanden, H. Haberl, et al. (2014) Annex II: Metrics & Methodology, in Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, et al. (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1281–1328.
- Kriegler, E., I. Mouratiadou, G. Luderer, N. Bauer, K. Calvin, E. DeCian, R. Brecha, et al. (2013a) *Roadmaps Towards Sustainable Energy Futures and Climate Protection: A Synthesis of Results from the RoSE Project (1st Edition)*, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam.
- Kriegler, E., K. Riahi, N. Bauer, V.J. Schwanitz, N. Petermann, V. Bosetti, A. Marcucci, et al. (2015) Making or breaking climate targets: The AMPERE study on staged accession scenarios for climate policy, *Technological Forecasting and Social Change*, 90:24–44.
- Kriegler, E., M. Tavoni, T. Aboumahboub, G. Luderer, K. Calvin, G. Demaere, V. Krey, et al. (2013b) What does the 2°C target imply for a global climate agreement in 2020? The LIMITS study on Durban Platform scenarios, *Climate Change Economics*, 04(04):1340008.
- Kriegler, E., J. Weyant, G. Blanford, V. Krey, L. Clarke, J. Edmonds, A. Fawcett, et al. (2014) The role of technology for achieving climate policy objectives: overview of the EMF 27 study on global technology and climate policy strategies, *Climatic Change*, 123(3-4):353–367.
- Matthews, H.D., N.P. Gillett, P.A. Stott and K. Zickfeld (2009) The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions, *Nature*, 459(7248), 829–832.
- Meinshausen, M., N. Meinshausen, W. Hare, S.C.B. Raper, K. Frieler, R. Knutti, D.J. Frame, et al. (2009) Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C, *Nature*, 458(7242):1158–1162.
- Meinshausen, M., S.C.B. Raper and T.M.L. Wigley (2011) Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, *MAGICC6 – Part 1: Model description and calibration*, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(4):1417–1456.
- Moss, R.H., J.A. Edmonds, K.A. Hibbard, M.R. Manning, S.K. Rose, D.P. van Vuuren, T.R. Carter, et al. (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, 463(7282):747–56.
- Myhre, G., E.J. Highwood, K.P. Shine and F. Stordal (1998) New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases, *Geophysical Research Letters*, 25(14):2715–2718.
- O’Neill, B.C., C. Tebaldi, D. van Vuuren, V. Eyring, P. Friedlingstein, G. Hurtt, R. Knutti, et al. (2016) The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6, *Geoscientific Model Development*,

9:3461–3482.

- Prather, M.J., C.D. Holmes and J. Hsu (2012) Reactive greenhouse gas scenarios: Systematic exploration of uncertainties and the role of atmospheric chemistry, *Geophysical Research Letters*, 39(9), 10.1029/2012gl051440.
- Riahi, K., F. Dentener, D. Gielen, A. Grubler, J. Jewell, Z. Klimont, V. Krey, et al. (2012) Chapter 17 - Energy Pathways for Sustainable Development, in *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, pp. 1203–1306.
- Riahi, K., E. Kriegler, N. Johnson, C. Bertram, M. den Elzen, J. Eom, M. Schaeffer, et al. (2015) Locked into Copenhagen pledges — Implications of short-term emission targets for the cost and feasibility of long-term climate goals, *Technological Forecasting and Social Change*, 90(Part A): 8–23.
- Riahi, K., D.P. van Vuuren, E. Kriegler, J. Edmonds, B.C. O’Neill, S. Fujimori, N. Bauer, et al. (2017) The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environmental Change*, 42:153–168.
- Rogelj, J., M. Meinshausen and R. Knutti (2012) Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates, *Nature Climate Change*, 2(4):248–253.
- Rogelj, J., M. Schaeffer, P. Friedlingstein, N.P. Gillett, D.P. van Vuuren, K. Riahi, M. Allen, et al. (2016) Differences between carbon budget estimates unravelled, *Nature Climate Change*, 6(3):245–252.
- Schaeffer, M., L. Gohar, E. Kriegler, J. Lowe, K. Riahi and D. van Vuuren (2015) Mid- and long-term climate projections for fragmented and delayed-action scenarios, *Technological Forecasting and Social Change*, 90(Part A):257–268.
- Smith, P., S.J. Davis, F. Creutzig, S. Fuss, J. Minx, B. Gabrielle, E. Kato, et al. (2016) Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions, *Nature Climate Change*, 6:42–50.
- Tsutsui, J. (2017) Quantification of temperature response to CO₂ forcing in atmosphere–ocean general circulation models, *Climatic Change*, 140:287–305.
- UNFCCC Secretariat. (2016) *Synthesis Report on the Aggregate Effect of Intended Nationally Determined Contributions*, available at: http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/9240.php (accessed 1 February 2018).

筒井純一 (つついじゅんいち)

電力中央研究所 環境科学研究所

CO₂の長期大規模削減と電化

—排出制約下における電化の促進と電力需要の関係性—

Long-Term Deep CO₂ Emissions Reduction and Electrification

キーワード：電化、電力需要、シナリオデータベース

坂 本 将 吾

CO₂の長期大規模削減には電化の促進が必要と考えられているが、「電化率」という最終エネルギー消費に占める電力の比率が増加する場合でも、電力需要の「総量」の変化には増加・一定・減少のすべての可能性がある。本稿では、IPCCの第5次評価報告書(AR5)で用いられたシナリオデータベースと、温暖化研究における共通の社会経済シナリオとして近年提案されている共有社会経済パス(SSP)のシナリオデータベースを用いて、排出制約下における電化促進と電力需要の関係を、世界全体を対象に分析した。シナリオ間の平均的な傾向として、排出制約が弱い場合には、電力需要と最終エネルギー消費の両方が増加する形で電化率が高まる。他方、排出制約が強い場合は、電力需要の増加ペースは排出制約が弱い場合よりも緩くなるが、他の最終エネルギー消費はそれ以上に増加が緩まるため、結果的に電化率が一層高まる。ただし、シナリオ間の分布をみると、排出制約が強い場合の方が電力需要の増加ペースが速くなるシナリオが約半数を占める。つまり、排出制約が強い場合に電化率が高まるのは共通した傾向だが、電力需要の増加ペースの変化については、ばらつきが大きい。GDPあたりの電力需要は、排出制約の強弱によらず2100年にかけて減少するが、他の最終エネルギー消費と比較して減少率は小さく、排出制約間でも差は小さい。排出制約が強いシナリオでは、需要部門の電化進展にあわせて、電力供給が低炭素化する。

1. はじめに
 - 1.1 CO₂排出削減のための電化
 - 1.2 電化と電力需要
 - 1.3 研究の目的
2. 電化率・電化パターン
 - 2.1 電力需要・最終エネルギー消費・電化率の関係
 - 2.2 電化パターンの定義と分析視点
 - 2.3 電力需要/GDP・最終エネルギー消費/GDP・電化率の関係
3. 排出制約と電化・電力需要
 - 3.1 使用するシナリオデータ
 - 3.2 世界全体における電化
 - 3.3 電力需要/GDP・最終エネルギー消費/GDPと電化率の関係
 - 3.4 地域別の電化
 - 3.5 需要部門別の電化
 - 3.6 運輸部門における電化
 - 3.7 供給部門の低炭素化と需要部門の電化
4. おわりに

1. はじめに

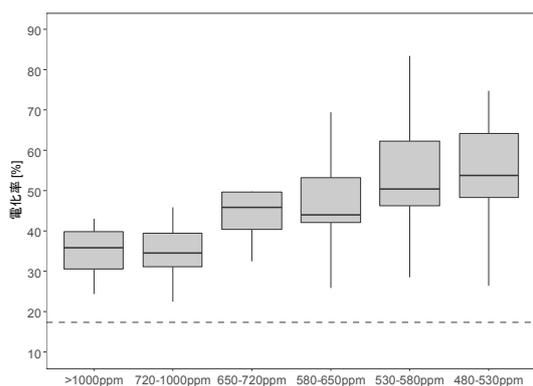
1.1 CO₂排出削減のための電化

CO₂の大規模削減のためには、エネルギー利用の効率化や省エネルギー、電力供給の低炭素化に加えて、エンドユースの低炭素化（電力、水素、バイオエネルギーへの転換）が必要であると指摘されている（Deep Decarbonization Pathway Project（以下、DDPP），2015）。

エンドユースの低炭素化においては、給湯や

暖房、自動車に多く利用されている直接燃焼から、より効率的でエネルギーサービスを多様な方法で供給可能なエネルギーキャリアである電力への転換が、有力な選択肢とされている。

Sugiyama（2012）は、排出制約が厳しくなるほど最終エネルギー消費に占める電力の割合（電化率）が高くなる傾向（電化）が、さまざまな機関（国際エネルギー機関（IEA）、Eurelectric、世界自然保護基金（WWF）、電力中央研究所）の研究において共通していることを



出典：AR5シナリオデータベースを用いて著者作成（技術制約は区別せずデータを抽出）。横軸は、2100年におけるCO₂濃度であり、ppmが小さいほど排出制約が厳しいことを意味する。横点線は2010年の電化率（約17%）。

図1 排出制約と電化率
(世界全体・2100年)

整理している¹。

また、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次評価報告書 (以下、AR5) では、図1のように、シナリオ間の傾向として、CO₂の排出量制約が強くなるにつれて、電化が進む傾向が示されている (IPCC, 2014)。

国単位での電化の分析として、DDPP (2015) は、16カ国の大規模削減達成を測る指標のひとつとして、最終エネルギー消費量に占める電力の割合 (電化率) を挙げており、すべての対象国において、2050年の電化率の増加が必要であるとしている²。都市単位での電化の分析として、カリフォルニア (Williams, 2012; Yang et al., 2015) やカナダの諸都市 (Canadian Energy Research Institute, 2017) を対象に、排出制約下における電化の必要性が示されている³。

¹ 2007年の世界全体の電化率が約20%に対して、大規模削減シナリオ (CO₂濃度485ppm以下) においては2050年に世界全体の電化率が約30~55%となることを整理している。

² 対象国 (数値が明記されていない米国以外の15カ国) の2010年における電化率の中央値は19%、大規模削減シナリオにおける2050年の電化率の中央値は36%である。

³ カリフォルニアについては、Williams (2012) では1990年の電化率が19%、80%削減シナリオでの2050年の電化率は55%に、Yang et al. (2015) では民生部門で2010年の電化率が49%、80%削減シナリオで2050年に電化率は64%になる

各国政府の長期戦略においても、複数の国で、需要部門の電化が対策のひとつの方向性として位置づけられるようになっている。例えば、英国のClean Growth Strategyでは、2032年から2050年までの主要なシナリオとして、電化、水素、炭素除去技術のそれぞれを軸とした場合の3つのパスが示され、電化が大規模削減の選択肢とされている。米国の長期戦略においては、80%削減が達成可能な3つのシナリオのすべてで、2005年から2050年にかけて全需要部門の電化率が増加している⁴。カナダの長期戦略では、DDPPの大規模削減シナリオにおける電化率が増加するという結果⁵を、需要部門に関する章の冒頭で示した上で、各部門の対策を電化を中心に記載している。

1.2 電化と電力需要

従来、大規模削減シナリオにおける電化の検討では、最終エネルギー消費の合計に占める電力需要の割合で定義される「電化率」が、指標として用いられてきた。CO₂の長期大規模削減のために電化が必要という知見は、この電化率がCO₂排出量制約下で増加することが根拠とされている。

電化率の変化は、最終エネルギー消費と電力需要の変化量の大小関係から決まる。そのため、電化率が増加している場合でも、(電力以外の) 最終エネルギー消費の変化の仕方次第で、電力需要の変化には、増加・一定・減少のすべての可能性がある。つまり、電化率が増加するとい

としている。

⁴ アメリカにおける2005年の部門別の電化率は、産業部門で22%、民生部門で49%、運輸部門で0%であるのに対して、80%削減可能なシナリオでは、2050年の部門別の電化率は産業部門で54~72%、民生部門で74~79%、運輸部門で24~29%となっている。

⁵ Pathways to deep decarbonization in Canada では2050年でベースラインでは電化率が25%にとどまるが、大規模削減シナリオでは電化率が43%になるとしている。

う意味で電化が進むというだけでは、必ずしも電力需要が増加しているとは限らない。

CO₂の長期大規模削減においては、電力供給の低炭素化も必要とされる。電力供給の低炭素化を進めつつ、安定供給の維持を長期間にわたって検討するには、排出制約下における需要側の電化促進により、電力需要が増加するか、減少するかの見通しを得る必要がある。したがって、電化率が増加する際に、電力需要が増加・一定・減少の場合を区別し、電化に伴う電力需要の規模についての見通しも合わせて持つ必要がある。既存研究の電化の議論では、電力需要の変化も検討されてきたが、電化の促進という点では、わかりやすい電化率を指標とした議論に偏りがちであり、こうした区別はなされてこなかった。Sugiyama (2012) は、CO₂排出量制約の強化に伴って、電力需要が増加・減少するシナリオがそれぞれあることを示しているが、その時点では分析対象に含めることができないシナリオの数が限られていた。

1.3 研究の目的

本稿では、CO₂の大規模削減に必要とされる電化の度合いを整理しつつ、電化率の増減に加えて、電化による電力需要の変化にも注目しながら、排出制約と電化の関係についての知見を得ることを目的とする。なお、本稿においても従来と同様、最終エネルギー消費の合計に占める電力の割合を「電化率」と定義し、電化率が増加することを「電化」と呼ぶ。

本稿の構成は以下のとおりである。2章では、電力需要・最終エネルギー消費・電化率の関係性を整理した上で、電化パターンを設定する。3章では、分析に使用するIPCCのAR5とShared Socioeconomic Pathway (以下、SSP) のシナリオデータベースを説明した上で、排出制約と電化の関係の分析結果を示す。ここでは電力供給部

門と需要部門の電化の関係についても考察を行う。最後に、4章でまとめを述べる。

2. 電化率・電化パターン

2.1 電力需要・最終エネルギー消費・電化率の関係

電力需要をE、最終エネルギー消費をDとすると、電化率RはE/Dで定義される。この定義より、横軸をD、縦軸をEとした場合、原点を通る直線の傾きがRとなる(図2)。同一直線上では、すべての電力需要と最終エネルギー消費の組み合わせで同じ電化率となる。

2.2 電化パターンの定義と分析視点

任意の電力需要E、最終エネルギー消費D、電化率R (=a) の組み合わせから、別の組み合わせへと変化することによる電化の仕方には、3つのパターン(以下、電化パターンと呼ぶ)がある(電力需要の変化量をΔE、最終エネルギー消費量の変化量をΔDとする)。

1つ目は、電力需要は増加する(ΔE>0)が、最終エネルギー消費は減少する場合(ΔD<0)である。これを電化(強)と呼ぶ。2つ目は、電

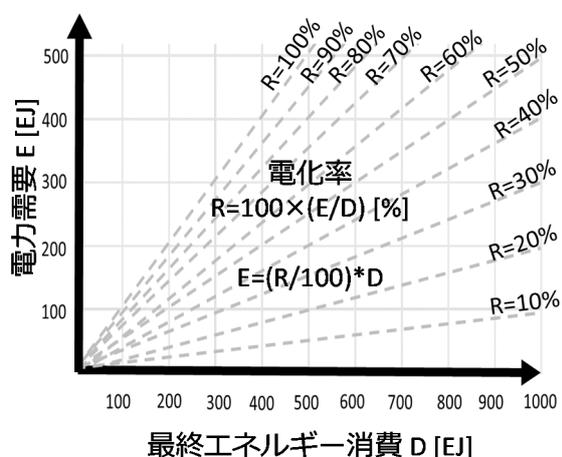


図2 電力需要・最終エネルギー消費・電化率

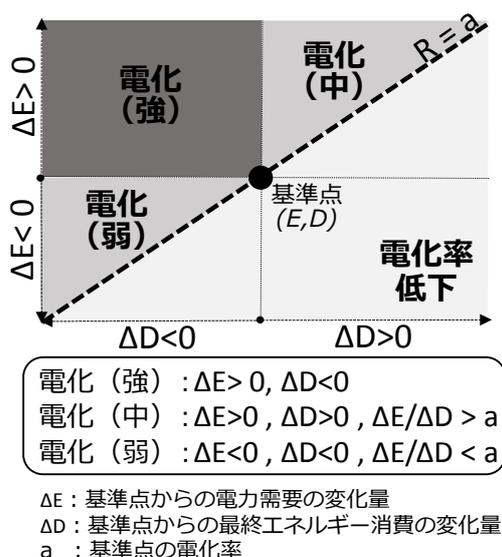


図3 電化パターン

力需要と最終エネルギー消費がともに増加する ($\Delta E > 0, \Delta D > 0$) が、電力需要の増加と最終エネルギー消費の増加の比率が元の電化率よりも大きい場合 ($\Delta E/\Delta D > a$) である。これを電化(中)と呼ぶ。3つ目は、電力需要と最終エネルギー消費がともに減少する ($\Delta E < 0, \Delta D < 0$) が、電力需要の増加と最終エネルギー消費の増加の比率が元の電化率よりも小さい場合 ($\Delta E/\Delta D < a$) である。これを電化(弱)と呼ぶ。

図3に、図2における任意の電力需要と最終エネルギー消費、電化率の組み合わせを示す点(図中●印、以下「基準点」と呼ぶ)を基準とした場合の電化パターンを示す。基準点を原点とした場合に、比較対象がどの象限にあるかによって、電化パターンは区別される。

電化が進む場合に電力需要が増加するのは、電化(強)と電化(中)である。電化(強)では、電力以外の最終エネルギー消費が減少する一方で、電力需要が増加するため、電力がより中心的な役割を担う方向ではあるが、電力需要の増加自体は小さくても電化率は増加する。電化(中)では、最終エネルギー消費も増加しているため、電化率は上がりにくい、仮に同じ

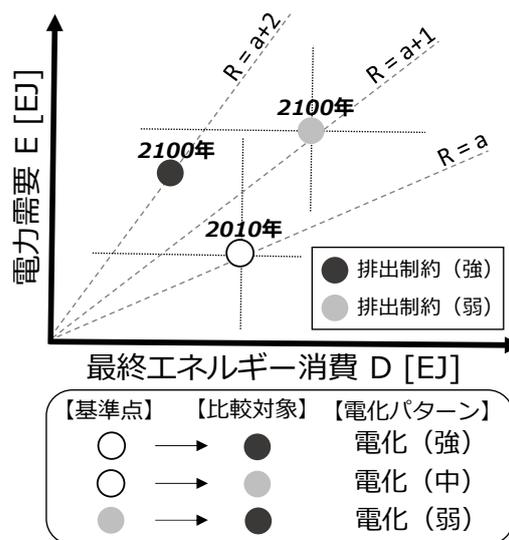


図4 基準点・比較対象・電化パターンの例

だけ電化率が増加した場合には、電化(強)よりも電力需要は大きくなる。つまり、電化率の増加分が同じ場合でも、電化パターンが異なれば電力需要も異なる。本研究では、電化パターンを分けた上で電化と電力需要の関係を整理する。

なお、基準点は任意であり、選択した基準点と比較対象の組み合わせごとに電化パターンが決まる(図4に例を示す)。このように電化パターンを定義した上で、以下の分析では、①2010年を基準点とした場合に、将来年に電化パターンがどのように変化するか、そして、②同じ時点において排出制約が弱いシナリオを基準点とした時に、排出制約が強いシナリオで電化パターンがどう変化するかを考察する。

①について、世界全体で見れば、今後も経済成長は続くため、排出制約がなければ、最終エネルギー消費・電力需要ともに増加傾向が続くと予想される。そのため、2010年を基準点として、2050年や2100年など将来時点と比較対象とする場合には、基本的には電化(中)が続いていくと予想され、このような中で、排出制約を強化すると、電化パターンがどう変化するか

に着目する。

②について、排出制約の異なるシナリオの同一時点間で、排出制約が弱いシナリオを基準点とした場合に、強いシナリオにおける電力需要の方が大きいかどうかは、一概には判断できない（図4ではあくまでも例として減少する場合を示している）。CO₂大規模削減における電化と電力需要を捉えるという観点では、②の比較がより重要であると考えられる。

2.3 電力需要/GDP・最終エネルギー消費/GDP・電化率の関係

本稿では、電力需要・最終エネルギー消費の総量だけではなく、GDP（Y）あたりの電力需要（E/Y）とGDPあたりの最終エネルギー消費（D/Y）についても、同様の分析を行う。図2～図4は、横軸と縦軸にE/YとD/Yとした場合でも同じ整理が可能となる。

これにより、時点間や地域間の経済規模の違いを基準化した経済活動あたりの電力需要・最終エネルギー消費から、電化パターンを分析することができる。特に先進国（OECD）と途上国（Non-OECD）の間で、電化の促進や経済活動あたりの電力需要が長期的にどのように異なるかを分析する。

3. 排出制約と電化・電力需要

3.1 使用するシナリオデータ

本稿の分析では、既存のシナリオ分析の結果を用いる。これにより、さまざまな機関の分析における共通した傾向を把握できる。具体的には、AR5とSSPのシナリオデータベースを使用する。AR5シナリオデータベースは、IPCCがAR5に掲載している結果の元となるデータを

公表しているものである。SSPは、気候変動対策の評価における共通の社会経済シナリオとして用いられており、気候変動の緩和（排出削減）と適応の困難度に応じた5種類（SSP1～SSP5）が用意されている。

AR5とSSPは、それぞれ以下のような特徴がある。

AR5では、シナリオ数は1000程度あり、結果を提出しているモデル数も多く、需要部門別の電化を分析できる。ただし、AR5発行前の2009～13年の分析結果であり、また、参加しているモデルは必ずしも実績の多いモデルだけではない。その上、地域別の電力需要の計算結果が公表されておらず、このデータベースだけでは、地域間の相違を検討できない。

一方、SSPのシナリオデータベースでは、統合評価モデルの研究コミュニティで中心的な役割を果たしているモデルがシナリオ分析結果を提供しており、さらに、地域別に電力需要が公表されている。しかし、シナリオは、5種類の社会経済シナリオと代表濃度経路（RCP⁶）4区分の組み合わせのうち、解が得られるシナリオに限られており、モデル数も少なく、需要部門別には電力需要が公表されていない。

本稿では、AR5とSSPで共通して把握可能な世界全体の電化については、両者をあわせて分析する。公表年が新しいSSPの結果のほうが、最新の情報をモデル分析に取り入れているため、AR5の結果よりも妥当性が高くなっていると考えられることもできる。しかしながら、SSPでは、モデル数が少なく、データベースの作成を国際的なモデルチームが協調して進めた経緯があり、AR5と比べて結果の多様性が損なわれている可能性も否定できない。このように一長一短であるため、本研究では、可能な限り、両

つのCO₂排出量のパスのこと。

⁶ 代表濃度経路（RCP）とはシナリオ分析における共通の排出パスとして用いられるものであり、2100年における放射強制力（8.5 W/m²、6.0 W/m²、4.5 W/m²、2.6 W/m²）に応じた4

者を合わせて分析することとした。

なお、AR5には、削減技術の利用を制限するシナリオも含まれるが、本稿では、排出制約と電化の關係に着目するため、削減技術の利用の制限がないシナリオ⁷のみを使用する。また、AR5で使用する削減技術の利用の制限がないシナリオでは、社会経済シナリオはトレンドのまま推移するとみなせるが、SSPでは、5種類のシナリオのうち、中道シナリオであるSSP2のみが、社会経済シナリオとしてはトレンドで推移している。本稿では、AR5とあわせて用いるために整合性を考慮して、SSP2のみを使用する⁸。

また、シナリオデータの入手の制限があるため、地域別の分析にはSSP2のみ、需要部門別の分析にはAR5のみを使用する。AR5とSSP2をあわせた世界全体の結果と、AR5、SSP2のみを用いる地域別と需要部門別の結果との対応關係を把握できるよう、世界全体の結果についてはAR5とSSP2を分けた結果もあわせて示す。

CO₂排出制約は、2100年におけるCO₂濃度の制約を>720ppm、530~720ppm、430~530ppmと区

表1 分析に用いるシナリオ数

	>720ppm	530~720ppm	430~530ppm	使用データベース
全部門	156	189	86	AR5、SSP2
世 産業部門	10	28	20	AR5
界 民生部門	8	23	15	AR5
運輸部門	32	35	7	AR5
地 OECD	10	8	6	SSP2
域 Non-OECD	24	32	40	SSP2

⁷ AR5 シナリオデータベースでは複数のモデル比較プロジェクトを整合させるカテゴリーがある。削減技術の制約の有無は「TECHNOLOGY」カテゴリー（T0-T3）であり、本稿ではT0（ネガティブエミッションあり、技術制約なし）とT3（ネガティブエミッションなし、技術制約なし）を使用。

⁸ SSP では、SSP1~SSP5 それぞれ代表したモデルが作成したマーカーシナリオがあるが、それ以外のモデルもそれぞれのSSPシナリオの結果を提出している。本稿では提出されているすべてのシナリオを分析に使用する。

分して設定した⁹。使用するシナリオ数を表1に示す¹⁰。各CO₂排出制約に対して複数のモデルの結果があり、それらのばらつきは大きい。本稿では、シナリオ群でばらつきがある中で、中央値がシナリオ群の傾向を示す指標であると考へ、すべて中央値で考察する。なお、共通した傾向は中央値で考察するが、個別のモデルの結果のばらつきも適宜整理することで、中央値が示す傾向の代表性についても確認する。

3.2 世界全体における電化

図5に、2010年から2100年における世界の全部門合計の電力需要、最終エネルギー消費、電化率の關係を、CO₂排出制約別に示す（図はそれぞれAR5+SSP2、AR5のみ、SSP2のみ）。表2に、基準点と比較対象ごとに、電化パターン、電力需要の変化（ΔE）、最終エネルギー消費の変化（ΔD）、電化率の変化（ΔR）を整理した。

はじめに、2010年を基準点とし、比較対象を2050年及び2100年とすると、電化率は、CO₂排出制約の強さに関わらず、2050年及び2100年にかけて増加¹¹しており、継続的に電化が進んでいる。電化が進む際、電力需要と最終エネルギー消費はともに、CO₂排出制約によらず2100年まで増加していることから、電化パターンは、排出制約間で共通して、電化（中）である。

ただし、CO₂排出制約が最も弱い場合（>720ppm）に対して、強い場合（530~720ppm、430~530ppm）では、電力需要、最終エネルギー消費の増加がともに緩やかになる。最終エネ

⁹ SSP シナリオデータベースではRCPで報告されているが、AR5と整合させるためCO₂濃度に換算した。

¹⁰ 部門別は電力以外の最終エネルギー消費もすべて報告されているシナリオを使用しているが、全部門についてすべての種類の最終エネルギー消費を報告しているシナリオはなく、部門ごとに抽出したため使用シナリオ数が異なる。

¹¹ 2010年に対して、>720ppmでは2050年に9%、2100年に17%増加、530~720ppmは2050年に11%、2100年に23%増加、430~530ppmは2050年に16%、2100年に33%増加。

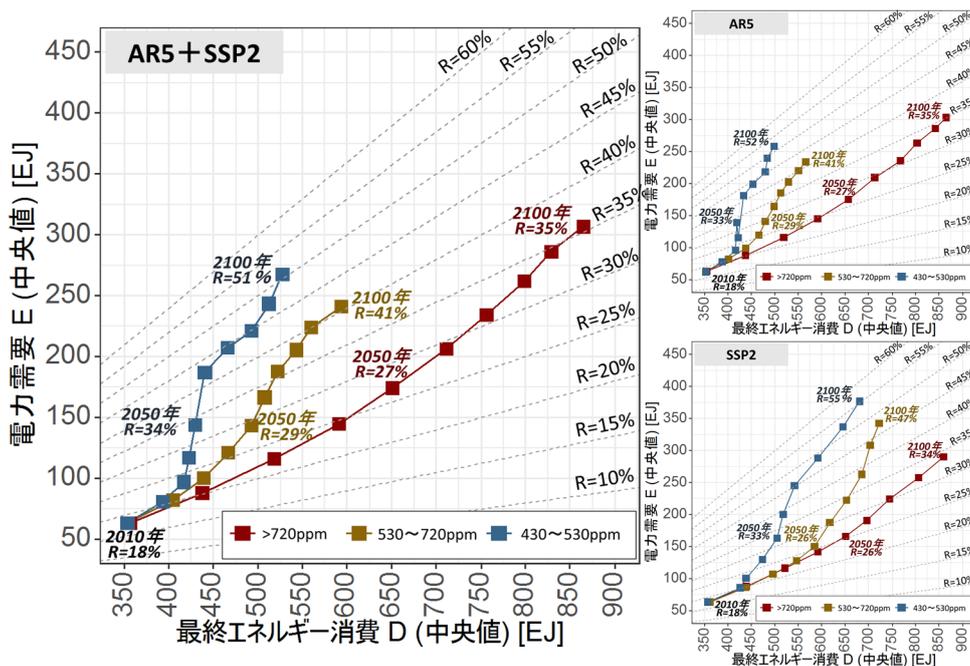


図5 排出制約と電力需要・最終エネルギー消費・電化率の関係（世界・全部門）

表2 排出制約間の電力需要・最終エネルギー消費・電化率の差
(AR5+SSP2) (世界・全部門)

基準点	比較対象	電化 パターン	ΔE [EJ]	ΔD [EJ]	ΔR [%]
2010年	2050年 (>720ppm)	中	111	294	9
	2050年 (530~720ppm)	中	80	139	11
	2050年 (430~530ppm)	中	81	76	16
2010年	2100年 (>720ppm)	中	243	508	18
	2100年 (530~720ppm)	中	178	241	23
	2100年 (430~530ppm)	中	204	174	33
2050年 (>720ppm)	2050年 (530~720ppm)	弱	-31	-158	2
	2050年 (430~530ppm)	弱	-30	-221	7
2100年 (>720ppm)	2100年 (530~720ppm)	弱	-66	-271	6
	2100年 (430~530ppm)	弱	-39	-337	16

※ ΔE 、 ΔD 、 ΔR ：それぞれ基準点と比較対象の電力需要、最終エネルギー消費、電化率の差

ギー消費の増加が緩やかになる程度¹²と比較して、電力需要が緩やかになる程度¹³は小さい¹⁴。

次に、>720ppmの2050年、2100年を基準点として、比較対象を、同じ時点のCO₂排出制約が強い場合(530~720ppm、430~530ppm)とすると、制約が強い場合の方が、電力需要も最終エネルギー消費も小さい電化(弱)のパターンで電化

率が高い¹⁵。

つまり、CO₂排出制約が強い場合の方が電力需要は低い、電力以外のエネルギー消費はそれ以上に落差があるので、電化が一層進むことになる。

ただし、中央値だけではなく、2100年における排出制約間 (>720ppmと530~720ppm、

¹² 最終エネルギー消費の差は、2010年と比較して、2050年に>720ppmは294[EJ]、430~530ppmは76[EJ]増加、2100年に>720ppmでは508[EJ]、430~530ppmでは174[EJ]増加。

¹³ 電力需要の差 ΔE は、2010年と比較して、2050年に>720ppmは111[EJ]、430~530ppmは81[EJ]増加、2100年に>720ppmでは243[EJ]、430~530ppmでは204[EJ]増加。

¹⁴ 2100年の>720ppmと430~530ppmの差の比率をとると、 Δ

Dは34%(174/508)、 ΔE は84%(204/243)であり、 ΔE のほうが排出制約間の増加量の差が小さい。

¹⁵ >720ppmの電化率に対して、530~720ppmは2050年で2%、2100年で6%、430~530ppmは、2050年で7%、2100年で16%高い。

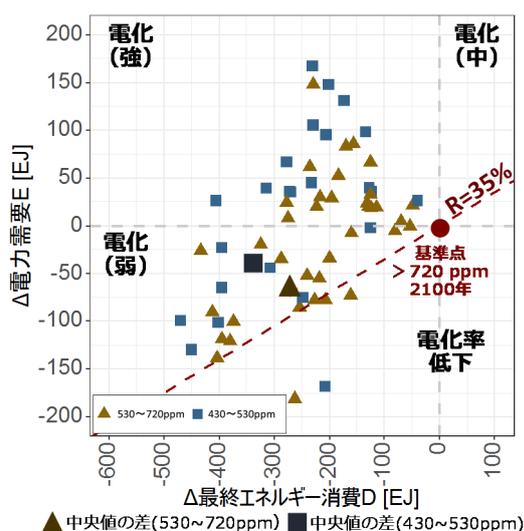


図6 2100年における排出制約間の電力需要、最終エネルギー消費の差

>720ppmと430~530ppm)の電力需要の差¹⁶をみると(図6)、CO₂排出制約が強い場合における電力需要のばらつきが大きい。最終エネルギー消費は、CO₂排出制約が強い場合の方がすべて小さいのに対して、電力需要は、CO₂排出制約が強い場合の方が大きい場合もあることがわかる。

したがって、中央値でみると、CO₂排出制約が弱い場合の電力需要が一番大きく、CO₂排出制約が強い場合に電力需要の増加は鈍化する傾向にあるが、シナリオ間のばらつきは大きい。2100年といった長期にわたる電力需要の変化の想定には、まだ共通した傾向は示されておらず、議論の余地が残されていると考える。この

点については、3.5において、CO₂排出制約による電力需要の変化を部門別に見ることで、再度考察する。

3.3 電力需要/GDP・最終エネルギー消費/GDPと電化率の関係

2010年から2100年における世界の全部門合計のGDPあたり電力需要(ΔE/Y)、GDPあたり最終エネルギー消費(ΔD/Y)、電化率の関係を、CO₂排出制約別に図7に示す(図はそれぞれAR5+SSP2、AR5のみ、SSP2のみ)。表3に、基準点と比較対象の組み合わせごとに、電化パターン、GDPあたり電力需要の変化(ΔE/Y)、GDPあたり最終エネルギー消費の変化(ΔD/Y)、電化率の変化(ΔR)を整理した。

GDPあたり電力需要、GDPあたり最終エネルギー消費は、2010年を基準点とした場合に、2050年と2100年のどちらにおいても減少している¹⁷が、GDPあたり電力需要の方が減少率は小さい¹⁸。

>720ppmにおける2050年及び2100年を基準点として、比較対象を同じ時点のCO₂排出制約が強い場合(530~720ppm、430~530ppm)とすると、GDPあたり最終エネルギー消費よりも、GDPあたり電力需要の方が、CO₂排出制約間での差が小さい¹⁹。つまり、GDPあたり電力需要は、他のエネルギー消費と比較してCO₂排出制約の強化に影響されにくい。

¹⁶ 排出制約ごとの各モデルの電力需要、最終エネルギー消費の平均を算出し、排出制約間の電力需要、最終エネルギー消費の平均の差を算出した。

¹⁷ GDPあたり電力需要は、2010年と比較して、2050年に>720ppmでは0.21[MJ/US\$]、530~720ppmでは0.38[MJ/US\$]、430~530ppmでは0.34[MJ/US\$]減少、2100年に>720ppmでは0.49[MJ/US\$]、530~720ppmでは0.60[MJ/US\$]、430~530ppmでは0.47[MJ/US\$]減少。GDPあたり最終エネルギー消費は、2010年と比較して、2050年に>720ppmでは3.24[MJ/US\$]、530~720ppmでは3.98[MJ/US\$]、430~530ppmでは4.30[MJ/US\$]減少、2100年に>720ppmでは4.97[MJ/US\$]、530~720ppmでは5.46[MJ/US\$]、430~530ppmでは

5.49[MJ/US\$]減少(ドルはすべて2005年換算)。

¹⁸ GDPあたり最終エネルギー消費は2010年に対して、2100年では70~78%の減少率であるが、GDPあたりの電力需要は38~48%の減少率である。

¹⁹ GDPあたり最終エネルギー消費は、>720ppmに対して、2050年では、530~720ppmは22%、430~530ppmは31%小さい。2100年では530~720ppmは28%、430~530ppmは30%小さい。GDPあたりの電力需要は、>720ppmに対して、2050年では、530~720ppmは16%、430~530ppmは13%小さい。2100年では530~720ppmは14%小さく、430~530ppmは3%大きい。

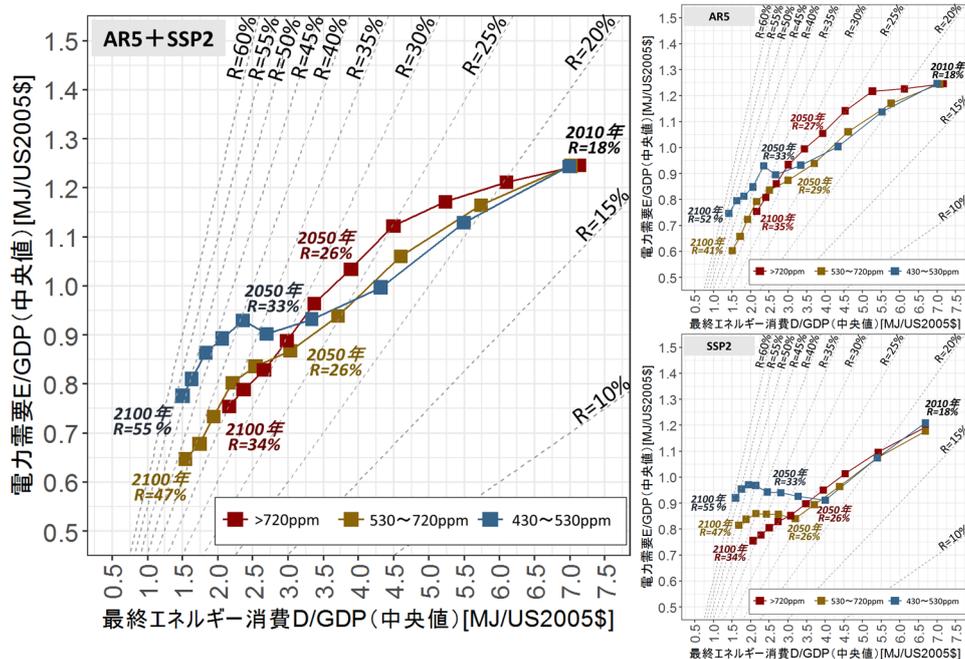


図7 電力需要/GDP・最終エネルギー消費/GDP・電化率の関係（世界・全部門）

表3 電力需要/GDP・最終エネルギー消費/GDP・電化率の関係
(AR5+SSP2) (世界・全部門)

基準点	比較対象	電化 パターン	$\Delta E/Y$ [MJ/\$]	$\Delta D/Y$ [MJ/\$]	ΔR [%]
2010年	2050年 (>720ppm)	弱	-0.21	-3.24	9
	2050年 (530~720ppm)	弱	-0.38	-3.98	11
	2050年 (430~530ppm)	弱	-0.34	-4.30	16
2010年	2100年 (>720ppm)	弱	-0.49	-4.97	18
	2100年 (530~720ppm)	弱	-0.60	-5.46	23
	2100年 (430~530ppm)	弱	-0.47	-5.49	33
2050年 (>720ppm)	2050年 (530~720ppm)	弱	-0.17	-0.86	2
	2050年 (430~530ppm)	弱	-0.13	-1.20	7
2100年 (>720ppm)	2100年 (530~720ppm)	弱	-0.11	-0.62	6
	2100年 (430~530ppm)	弱	0.02	-0.66	16

※ $\Delta E/Y$ 、 $\Delta D/Y$ 、 ΔR ：それぞれ基準点と比較対象の電力需要/GDP、最終エネルギー消費/GDP、電化率の差

3.4 地域別の電化

SSP2シナリオデータのみを用いて、先進国 (OECD) と途上国 (Non-OECD) における排出制約と電化の関係を分析する (図8、図9)。また、表4と表5には、基準点と比較対象の組み合わせごとの電化パターン、電力需要の変化 (ΔE)、最終エネルギー消費の変化 (ΔD)、GDPあたり電力需要の変化 ($\Delta E/Y$)、GDPあたり最終エネルギー消費の変化 ($\Delta D/Y$)、電化率の変化 (ΔR) を地域別に整理した。

なお、図5で示したとおり、SSP2のみの場合

では、AR5+SSP2の場合とは異なり、中央値で見ても、CO₂排出制約が強い場合に電力需要が増加する電化 (強) となっている点に留意する必要がある。

はじめに、図8に示した地域別の電力需要・最終エネルギー消費・電化率の関係について考察する。OECD、Non-OECDともに、2010年から2050年及び2100年にかけて、CO₂排出制約によらず、電力需要、最終エネルギー消費ともに増加している。

OECDでは、2010年から2050年及び2100年に

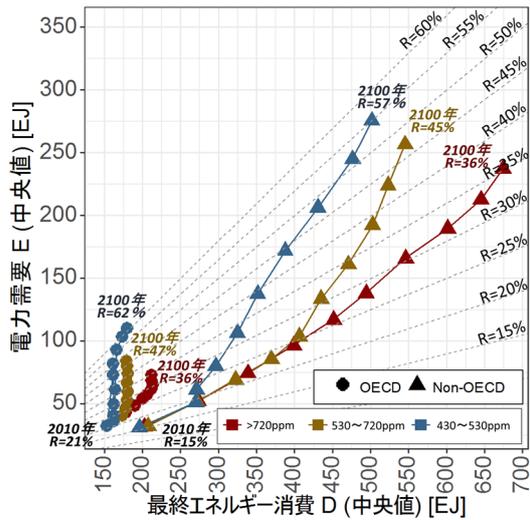


図8 地域別電力需要・最終エネルギー消費・電化率の関係 (SSP2のみ)

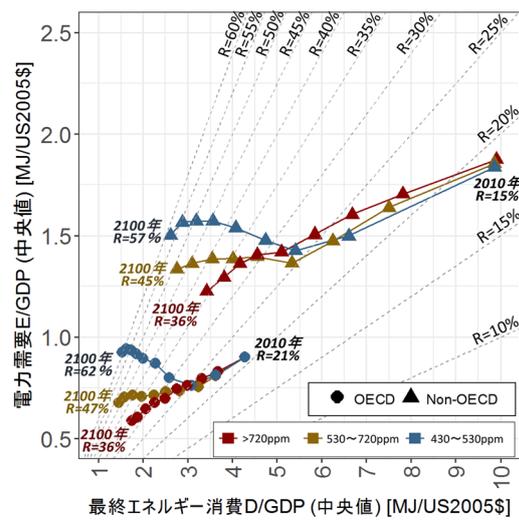


図9 地域別電力需要/GDP・最終エネルギー消費/GDP・電化率の関係 (SSP2のみ)

表4 地域別の電力需要・最終エネルギー消費・電化率の関係 (SSP2のみ)

地域	基準点	比較対象	電化パターン	ΔE [EJ]	ΔD [EJ]	ΔR [%]
OECD	2100年 (>720ppm)	2100年 (530~720ppm)	強	+11	-34	+11
		2100年 (430~530ppm)	強	+37	-32	+26
Non-OECD	2100年 (>720ppm)	2100年 (530~720ppm)	強	+19	-129	+9
		2100年 (430~530ppm)	強	+38	-173	+21

※ ΔE 、 ΔD 、 ΔR ：それぞれ基準点と比較対象の電力需要、最終エネルギー消費、電化率の差

表5 地域別の電力需要/GDP・最終エネルギー消費/GDP・電化率の関係 (SSP2のみ)

地域	基準点	比較対象	電化パターン	$\Delta E/Y$ [MJ/\$]	$\Delta D/Y$ [MJ/\$]	ΔR [%]
OECD	2100年 (>720ppm)	2100年 (530~720ppm)	強	+0.09	-0.30	+11
		2100年 (430~530ppm)	強	+0.33	-0.21	+27
Non-OECD	2100年 (>720ppm)	2100年 (530~720ppm)	強	+0.11	-0.67	+9
		2100年 (430~530ppm)	強	+0.28	-0.82	+21

※ $\Delta E/Y$ 、 $\Delta D/Y$ 、 ΔR ：それぞれ基準点と比較対象の電力需要/GDP、最終エネルギー消費/GDP、電化率の差

かけての電力需要の増加は、CO₂排出制約が強いほど大きいですが、最終エネルギー消費はある時点からほぼ増加しなくなり、その結果、電化が一層進んでいる。最終エネルギー消費の増加が止まる時期は、CO₂排出制約が強い場合ほど早い。他方、Non-OECDでは、2100年まで最終エネルギー消費の増加が続く点が、OECDとは異なっているが、CO₂排出制約が強い場合に増加が緩やかになり、電化率が高くなっている点は共通している。

次に、図9に示した地域別のGDPあたり電力需要・GDPあたり最終エネルギー消費・電化率の関係について考察する。GDPあたり最終エネルギー消費とGDPあたり電力需要は、2010年から2100年まで、CO₂排出制約によらず、Non-OECDの方がOECDよりも大きい。OECD、Non-OECDともに、GDPあたり最終エネルギー消費は2010年から2100年にかけて減少しているが、GDPあたり電力需要は逆に増加し、CO₂排出制約が強い場合の方が大きい。

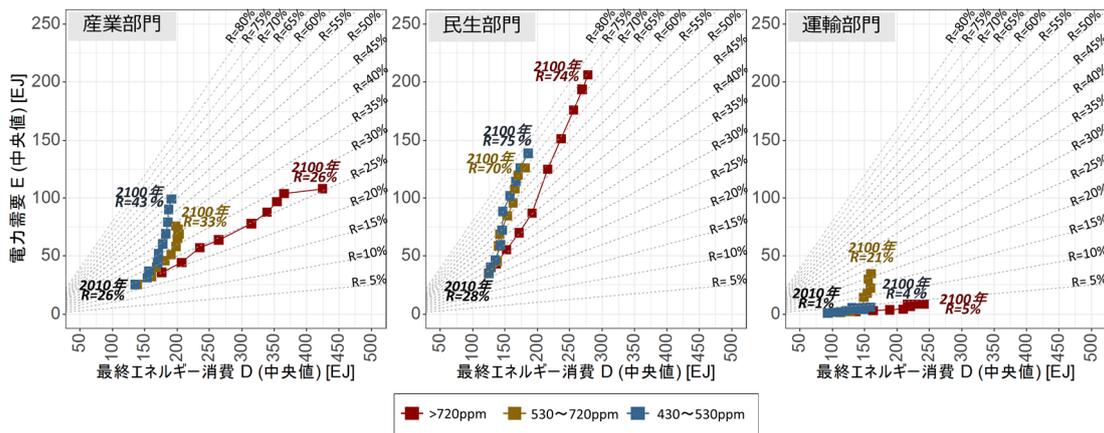


図10 部門別の電力需要・最終エネルギー消費・電化率の関係 (AR5のみ)

表6 部門別の電力需要・最終エネルギー消費・電化率の関係 (AR5のみ)

部門	基準点	比較対象	電化 パターン	ΔE [EJ]	ΔD [EJ]	ΔR [%]
産業	2100年 (>720ppm)	2100年 (530~720ppm)	弱	-32	-226	+7
		2100年 (430~530ppm)	弱	-9	-233	+17
民生	2100年 (>720ppm)	2100年 (530~720ppm)	—	-80	-97	-4
		2100年 (430~530ppm)	弱	-68	-93	+1
運輸	2100年 (>720ppm)	2100年 (530~720ppm)	強	+26	-82	+16
		2100年 (430~530ppm)	—	-3	-83	-1

※ ΔE 、 ΔD 、 ΔR ：それぞれ基準点と比較対象の電力需要、最終エネルギー消費、電化率の差

3.5 需要部門別の電化

既に電化率が高い民生部門と、現時点では電化率が極めて低い運輸部門では、CO₂排出制約の強弱の違いによる電化の進み方や電力需要の大きさには違いがあると考えられる。図10、表6に、各部門における電力需要、最終エネルギー消費、電化率の関係を、CO₂排出制約別に示す。

全部門の合計の場合と同じく、部門別に見ても、CO₂排出制約によらず、すべての部門で、2010年から2100年にかけて電化率は増加するが、CO₂排出制約が強い場合には、最終エネルギー消費の増加が緩やかになる。

ただし、緩やかになる程度は部門間で差が大きく、産業部門と運輸部門では、CO₂排出制約が強い場合における2100年の最終エネルギー消費は弱い場合の半分程度となっているが、民生部門では、7割程度に留まっている。

電力需要については、傾向は複雑である。産

業部門と民生部門について、3通りの強度のCO₂排出制約を比較すると、中程度の制約の場合に、電力需要が最も小さくなる。特に、産業部門では、制約が弱い場合と強い場合の電力需要が、ほぼ同水準となる。運輸部門では、中程度の制約の場合に、電力需要が最も大きくなる。

電化以外の技術オプションも、部門ごとに異なる。民生部門では、電力と天然ガスにほぼ限定されるが、産業部門ではさまざまな生産プロセスでそれぞれに必要なエネルギーキャリアが異なる。運輸部門では、電気自動車、バイオ燃料、水素自動車という低炭素技術があるが、いずれもまだ十分普及しておらず、将来の普及の見通しは不確実である。競合する技術オプションがある場合には、将来に電化技術が主流となる可能性の見積もりが難しく、その結果、電力需要の想定も不確実になる。

こうした技術オプションの違いをみるために、図11に、2100年における各部門の最終エネ

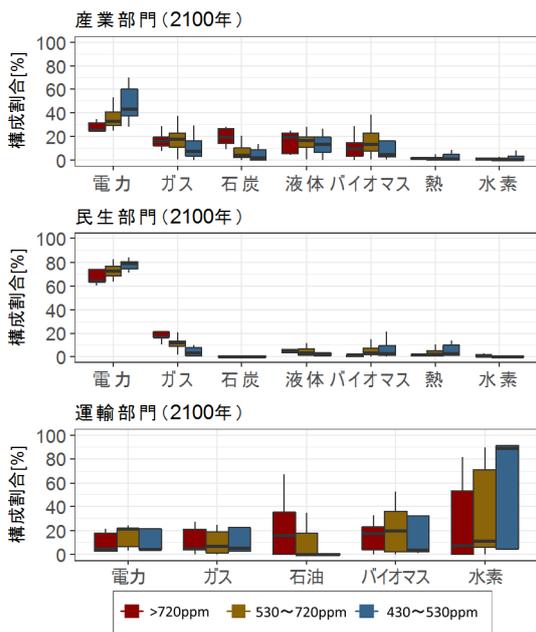


図11 世界の部門別の最終エネルギー消費の構成 (AR5のみ)

エネルギー消費の構成を示す。産業部門では、CO₂排出制約の強い場合に、電力の構成比が大きくなる一方、石炭の構成比が特に小さくなり、天然ガスと液体燃料も、同様に小さくなる。民生部門では、CO₂排出制約が強い場合に電力の構成比が大きくなり、天然ガスの構成比が小さくなる。運輸部門では、CO₂排出制約の強化に伴う電化が他部門ほど明確ではなく、電力以外のエネルギーキャリアのばらつきが非常に大きい。特に、水素のばらつきが大きく、水素が大部分を占めるシナリオから、1割程度に留まるとするシナリオもある。

産業部門では、CO₂排出制約が強い場合における電化率のばらつきが大きく、したがって電力需要のばらつきも大きい。中央値ではなく、個別のシナリオ別に、2100年におけるCO₂排出制約間 (>720ppmと530~720ppm、>720ppmと430~530ppm)の電力需要の差をみると、CO₂排出制約が強い場合に電力が大きいシナリオもあれば、そうではないシナリオもある。一方、

民生部門では、すべてのシナリオで、排出制約が強い場合に電力需要が小さい。運輸部門では、排出制約と電力需要の相関が弱い。

以上より、CO₂排出制約が強い場合の全電力需要が、弱い場合よりも大きくなるかどうかは、産業部門の電力需要の想定次第であると考えられる。

3.6 運輸部門における電化

既に述べたように、運輸部門では、低炭素化の技術オプションが多様である。そこで、運輸部門について、電化が進んでいるシナリオと進んでいないシナリオで、水素やバイオ燃料がどの程度想定されているかを分析する。

2100年における運輸部門の最終エネルギー消費の構成をモデル別に確認すると、約半数のモデルでガソリンが使われ続けると想定されており、その中で、ガソリンの割合が小さいモデルでは、ガソリン以外に電力とバイオマスが使われている。2100年時点でガソリンが使用されない残りの半数のモデルでは、水素が主流になるとするシナリオと、電力・バイオマス・天然ガスが同じ程度の割合になるとするシナリオの2つのグループがある。

運輸部門では、排出制約の違いによる電化率の違いがほとんど確認されなかったが、これは、電化が進む度合いよりも、他のエネルギーキャリアの構成比がシナリオ間でばらついているためである。最近、英国やフランスなど、複数の国が相次いで将来的なガソリン車の販売停止を表明するなど、運輸部門のEVシフトのペースが、これまでの想定よりも速くなる可能性がある。世界全体の議論と各国単位での議論では事情が異なってくるが、例えば、英国のClean Growth Strategyにおける2032年以降の3つのシナリオのうち、電化パスでは、2050年にEVのシェアが100%になっているなど、EV普及の見込みも更新されつつある。AR5時点でのEVの普

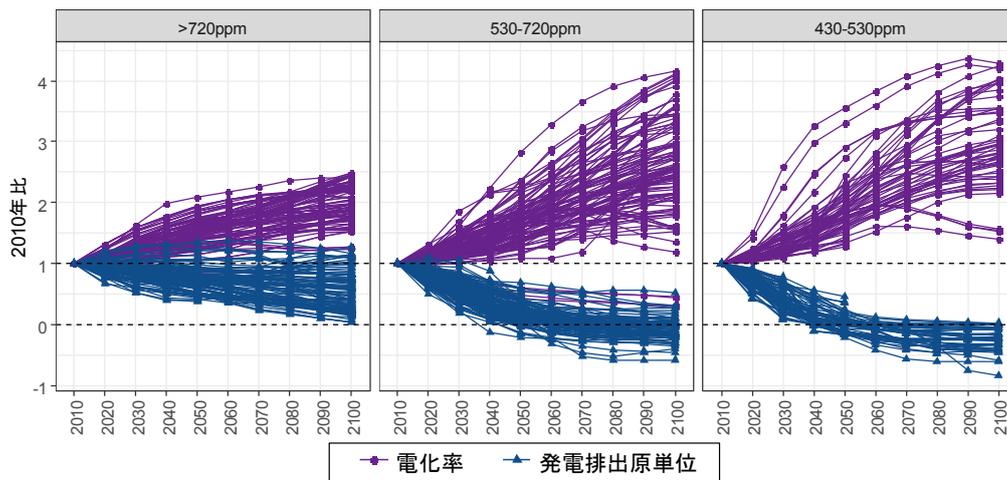


図12 発電排出原単位と需要部門の電化率の推移（2010年比）

及の想定と、近年の動向を踏まえた想定で、運輸部門の電化の進み方がどの程度変わってくるのかについて、随時シナリオ分析を更新することが重要である。

3.7 供給部門の低炭素化と需要部門の電化

大規模削減のためには、供給サイドの脱炭素化も必要であり、供給サイドの低炭素化の進み方が需要サイドの電化の進み方に影響を与える側面がある。需要部門の電化とあわせて増加した電力需要に対して、電力供給が低炭素化していなければ、CO₂排出削減への寄与が小さくなるためである。西尾・星野（2010）では、電力供給のCO₂排出原単位が異なる国の間での、電化技術（ヒートポンプ、電気自動車）の導入によるCO₂削減効果が異なることが示されている。

図12に、電力供給の低炭素化と需要部門の電化率の増加について、2010年を基準年とする変化率を示す。電力供給の低炭素化の指標は、発電量あたりのCO₂排出量（発電排出原単位）とした。この図より、需要部門の電化の進展とあわせて電力供給が低炭素化していることがわかる。また、排出制約が強いシナリオにおいて、2100年時点でほぼすべての発電排出原単位が

ゼロかマイナスとなっている。このように需要部門の電化と供給部門の低炭素化は並行して進めていく必要がある。

4. おわりに

CO₂の長期大規模削減において、電化の促進が重要とされてきたが、電化率（最終エネルギー消費に占める電力需要の割合）が増加する際に、電力需要も増加する場合もあれば、逆に減少する場合もある。本稿では、既存のシナリオデータベース（AR5、SSP）を用いて、世界全体でCO₂を大規模に削減するシナリオにおける電化率と電力需要の関係を、3つの電化パターンを設定して分析した。

排出制約が弱い場合には、2050年や2100年に向けて、電力需要も最終エネルギー消費も増加する形で、電化が進む。他方、排出制約が強い場合、電力需要は制約が弱い場合より小さくなるが、他のエネルギー消費はそれ以上に抑制されるため、電化率が一層高まる。

また、GDPあたりの電力需要は、排出制約間で差が小さいが、電力以外の最終エネルギー消費のGDPあたり消費は、排出制約が強いほど小さくなった。

部門別の電力需要は、複雑な傾向を示した。産業部門と民生部門について、3通りの強度の排出制約を比較すると、中程度の制約の時に、電力需要が最も小さくなった。特に産業部門では、制約が最も弱い場合と最も強い場合の電力需要が、ほぼ同水準となった。運輸部門では、電力だけでなく、水素やバイオ燃料など多様な将来像がシナリオ分析において想定されており、排出制約の強化に伴う電化率増加の傾向が、明確には確認されなかった。

将来時点における電力需要は、制約の強弱に関わらず増加するが、制約が強い場合の電力需要は、弱い場合よりも小さい。ただし、他の最終エネルギー消費はさらに小さくなることから、電化率は一層高まる。

しかし、シナリオを個別に見ると、約半数のシナリオで、排出制約が強い場合における電力需要が弱い場合の需要よりも大きくなる。排出制約が強い場合に電化率が大きくなることは、共通する知見と言えるが、排出制約の強弱と電力需要の大小の関係については、モデルの想定などに左右される要素が多く、安定した結果が得られていないと言える。

さらに、部門別に見てみると、産業部門では、排出制約が強い場合に電力需要が大きいシナリオもあれば、逆のシナリオもある。一方、民生部門ではすべてのシナリオで電力需要が将来にわたって増加するが、制約が強い場合の方が、弱い場合よりも小さい。運輸部門は電力需要がもともと小さいため、電化率の増加がすべて電力需要の増加となっていた。

つまり、CO₂排出制約が強い場合の全電力需要が弱い場合よりも大きくなるかどうかは、産業部門の電力需要の想定次第であると考えられる。

また、AR5シナリオデータベースに所収されたシナリオでは、近年のEVシフトの流れが考慮されておらず、今後、排出制約が強い場合に

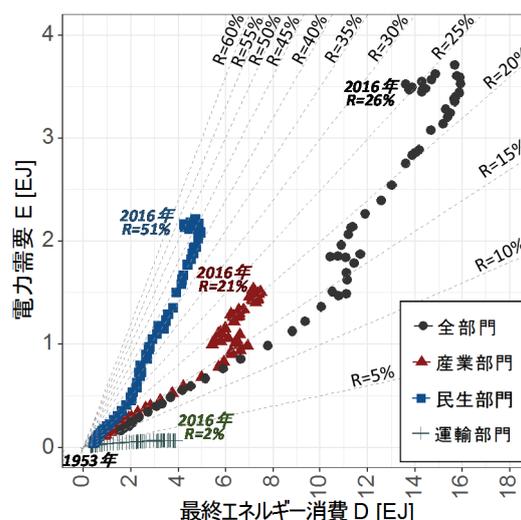


図13 日本の電力需要・最終エネルギー消費・電化率の推移（1953年～2016年）

EV化が一層進むシナリオが増えていけば、電力需要が高まる方向になるが、水素やバイオ燃料との競合がどのように進むかは、いまだ見極めが難しく、今後も継続的にシナリオ分析結果を見極めていく必要がある。

最後に、日本の電化率の推移をみると、1953年から2016年までで、全部門では10%から26%（産業部門は13%から21%、民生部門は10%から51%、運輸部門は4%から2%）まで、年率0.3%（産業は年率0.1%、民生部門は年率0.7%、運輸部門は年率-0.02%）増加してきた（図13）。

これまでは、比較的電化がしやすい民生部門により電化が進んできたが、本稿におけるシナリオデータの分析を日本にも当てはめて考えると、排出制約を満たすためには、民生部門においてもさらなる電化が必要となると考えられる。また、電化が民生部門ほど進んでいない産業部門・運輸部門の電化をどう進めていくかを検討する必要がある。

【参考文献】

西尾健一郎・星野優子 (2010) 主要7カ国の電気利用技術による CO₂ 削減ポテンシャル—家庭用ヒートポンプと電気自動車のケース分析—, 電力中央研究所報告 (Y09019)

AR5 Scenario Database;

<https://tntcat.iiasa.ac.at/AR5DB/dsd?Action=htmlpage&page=about> (アクセス日: 2017.10.1)

Canadian Energy Research Institute (2017) Greenhouse gas emissions reductions in Canada through electrification of energy services.

Deep Decarbonization Pathways Project (2015) Pathways to deep Decarbonization 2015 report.

Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2017) the Clean Growth Strategy. Leading the way to a low carbon future.

IPCC (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Williams, J.H. et al. (2012) The technology path to deep greenhouse gas emissions cuts by 2050: Pivotal role of Electricity, *Science*, 335: 53-59.

Sugiyama, M. (2012) Climate change mitigation and electrification, *Energy Policy*, 44: 464-468.

Yang, C. et al. (2015) Achieving California's 80% greenhouse gas reduction target in 2050: Technology, policy and scenario analysis using CA-TIMES energy economic systems model, *Energy Policy*, 77: 118-130.

坂本将吾 (さかもとしょうご)

電力中央研究所 環境科学研究所

CO₂の長期大規模削減とロックイン問題 —家庭用給湯器の事例にもとづく考察—

Long-Term Deep CO₂ Emissions Reduction and Lock-in Issues

—A Case Study of the Residential Water Heaters—

キーワード：ロックイン、ヒートポンプ給湯、電化、CO₂排出、温暖化問題

西尾 健一郎 大藤 建太

製品やサービスが何らかのきっかけも手伝ってひとたび市場優位性を獲得すると、その優位性が長期にわたって固定化することがあり、ロックイン現象と呼ばれる。CO₂大規模削減を実現する上では、需要端において直接CO₂排出を伴う技術を極力用いず、電化を進めていくことが有効とされる一方で、その実現に立ちはだかるロックイン問題への危機感は十分に共有されていない。既往研究では、ロックインは技術的問題として片付けることができない複雑な問題であり、技術や社会が変化に抵抗する性質を持つことを十分織り込んで温暖化政策を立案すべきとの指摘がある。事例として我が国の家庭用給湯器の技術選択について考察したところ、技術・組織・行動面でロックインを誘発する課題が存在することや、特に集合住宅で利用される給湯器でロックインの傾向が強い実態が明らかとなった。CO₂大規模削減のビジョンやシナリオにおいて需要側技術の大規模代替を前提とする際には、ロックインの実態を踏まえ、対策実現に向けた課題を認識しておく必要がある。

1. まえがき
2. エネルギー技術のロックインとはどのようなものか？
 - 2.1 IPCC 報告書における問題意識
 - 2.2 ロックイン解釈の代表的枠組み
 - 2.3 本稿における分析枠組み
3. 家庭用給湯器のロックイン問題
 - 3.1 将来検討における給湯分野の描写
 - 3.2 家庭用給湯器ロックインの定量的考察
 - 3.3 家庭用給湯器ロックインの定性的考察
4. おわりに

1. まえがき

温暖化問題の解決に向けては、従来型技術から低炭素技術への移行が不可欠だが、現実社会では技術代替に時間を要することも少なくない。

製品やサービスが、何らかのきっかけも手伝ってひとたび市場優位性を獲得すると、その後も利用され続けることがある。こうした現象を「ロックイン」(lock-in)と呼ぶ。よく紹介される例としては、1882年発売のタイプライターに採用されたQWERTY配列が、デファクトスタンダードとして今日のPCキーボードに受け継がれていることが挙げられる。

国内のエネルギー分野では、奥村(2007)らがロックインの概念や懸念点を指摘している。杉山(2017)は供給側対策に着目して、ロックイン問題があてはまるかは個別事例によることを指摘している。需要側に目を移すと、2030年や2050年の将来像において省エネ技術の最大限活用への期待が示されることが多い一方で、その経路に立ちはだかるロックイン問題への危機感は十分に共有されていない印象を受ける。家庭用給湯器もその例外ではない。筆者らは既往研究(西尾ほか,2013)において、既築住宅の給湯器交換の実態を取り上げ、設置費用の高さや故障後の急ぎの交換が多いことなど、利用者サイドから見える側面を明らかにして

きたが、これら課題だけでは長期の技術選択をめぐる現状認識として十分でない。

そこで本稿では、CO₂大規模削減に関する戦略検討やデータ分析をする上での、現状理解のインプット情報となることを目指し、エネルギー技術のロックイン問題を取り上げる¹。前半では、既往知見にもとづき、ロックインの概念や関連議論を概説する。後半では、ロックインの観点から、家庭用給湯器の更新を進めていく上での課題を考察する。

2. エネルギー技術のロックインとはどのようなものか？

2.1 IPCC報告書における問題意識

国連気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次評価報告書 (IPCC, 2014) では、「ロックイン」の語として100箇所以上の言及があり、その対象範囲はエネルギー供給インフラから民生、運輸、農林業まで多岐にわたる。一例をあげると、耐用年数が長く投資額が大きいインフラは、その後のエネルギー消費や土地利用、人々の行動や経済活動のパターンを長年にわたり決定づけてしまうこと、さらには、一度成立するとその固定化された現状を維持し、変化にあらがう (他の技術を強力にロックアウトすること) などである。それゆえ、これからインフラ構築を行い、かつエネルギー需要の伸び著しい新興国において、効率の悪いインフラ形成を避けるとともに、先進国では、既存インフラの積極的改修を行って、ロックインを極力抑制すべきとしている。需要サイドでも、建物の構造設計、エネルギー運用設計、エネルギー利用機器においてロックインが懸念されるとしている。

2.2 ロックイン解釈の代表的枠組み

Unruh (2000) は、ロックインを技術的 (technological) な側面、組織的 (institutional) な側面、そしてそれらが相互に絡みつき渾然一体となったTechno-Institutional Complex (TIC) という概念で眺めると、見通しがよくなることを主張している。本項では同文献の内容紹介を中心として、ロックイン現象を眺める代表的枠組みを確認する。

(1) 技術的側面

Unruhの例をそのまま借りれば、自動車産業において、車両技術であればエンジン・ドライブトレン等の各構成技術があり、さらにエンジンは要素技術 (燃焼機構、点火機構、排気機構等) に細分化されるが、これらが単体ではなく、1台の完成品としての自動車を構成するよう相互に緊密にコーディネートされ、互いの仕様を決定づけていくことは、技術の成熟過程で自然のこととして観察される。

こうした過程は、イノベーション論の分野でいわゆる「ドミナント・デザイン形成」 (Abernathy and Utterback, 1978) として知られている現象に相当する。初期の市場淘汰を勝ち残ったスタンダードモデルが、その後の効率的生産追求の過程で、関連技術を互いに最適な形で仕様形成していくことを指す (プロセスイノベーション、漸進的イノベーション等とも呼ばれる)。

その一方で、新しい技術や、仕様と相容れない選択肢を積極的に排除していく。それは効率的生産のために不可欠な合理的選択でありながら、結果的にその技術体系を自己強化し、改良を重ねながらも逆にそこから抜け出せないパラドックス—「技術のロックイン」—に陥っていく。

¹ 本稿は、第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集に収録の西尾・大藤 (2018) に、一部修正・

加筆をしたものである。

実際、米国の電力産業の歴史研究をもとにそのロックイン過程を検証したCarley (2011)は、大規模発電技術が水力から化石燃料に変わり、燃焼効率や規模の拡大を通してその経済性を営々と強化する中で、ドミナント・デザインが形成されていった、としている。

(2) 組織的側面

こうした技術ロックインを助長する重要なアクターとして、ヒト（企業組織、規制組織）や資金（投資行動、投資意思決定）がある。

例えば組織としては、上述の自動車生産の例なら、要素技術ごとに専門化・細分化された技術集団が形成され、それぞれの中で高度なノウハウを蓄積していく。組織文化の面でも、効率的生産を至上命題とした管理様式が強化され、業容の大規模化とともに官僚的統治機構の成熟を経験する。また、専従的問題解決機関としての研究開発組織を形成し、教育機関にも「自動車工学」などの学問や権威を生み、知識獲得を効率化し、体系を確立しようとする。生産企業の外でも、各種の業界団体などが形成され、利害を統一して発言力や交渉力を強化しようとする。これらすべては、経営活動の一部としての生産・学習等様々な行為を包括したプロセスイノベーションに他ならない。

消費者サイドでも、自動車が生活に溶け込んでくることで、家庭生活から教育、労働、レジャー、そしてエネルギー使用の習慣も様変わりする。生産者サイドでもこうした消費者ニーズを取り込んだ製品を効率的に市場に送り出すようになる。こうして、消費者サイドと生産者サイドの相補的・共進化的な関係が出来上がっていく。米国の車社会と道路網の発展がそうであるように、技術が社会における依存度を高め、行動様式を形作るようになる、いわば、「技術システムの社会化」が起こる。

以上はヒトの面の組織的ロックインの例だが、資金もまた冒険をしなくなる。ドミナント・

デザインに向けて技術仕様が統一・標準化されていく中で、大規模・長寿命な投資であるほど、利益を生むことが確立した成熟技術のインフラに資金が振り向けられるようになり、それが既存技術の優位をさらに拡充していく。

(3) 技術的側面と組織的側面が絡み合った“TIC”

こうして、技術的・組織的側面がそれぞれロックインを深めていきながら、同時に市場を介して相互に絡み合い、社会システム全体として渾然一体となったロックイン様相を呈していくさま、またそのようになる必然性を、Unruhは「技術・組織の複合体」(Techno-Institutional Complex, TIC)と名付けた。

CO₂排出経路が固定化されてしまう状態をカーボン・ロックインと形容し憂慮するように、温暖化問題の文脈では否定的側面が目立つが、ロックイン自体は効率的生産を迫及する結果でもあり、自己保存本能とでもいうべきメカニズムに従っているうちに形成される、なりゆきの姿とも言える。Marechal and Lazaric (2010)は、ロックインというと旧技術の慣性(inertia)、つまり、純粋に「技術」に由来した課題のような印象があるが、そもそも人や社会が技術の担い手である以上、技術はそれ単体で存在するものでなく「社会的な存在」であること、また、政策担当者は技術や社会がこのように変化に抵抗する性質(change-resisting nature)を持つのを十分織り込んで、温暖化政策を立案すべきと指摘している。

2.3 本稿における分析枠組み

本節では、既往研究を参照しながら、次章における家庭用給湯器のロックイン問題の分析枠組みを提示する。

(1) 定量的考察

需要側におけるロックイン影響を意識した定量的分析としては、次の例がある。Erickson et

al. (2015) は、需給給両面の技術別に耐用年数、排出量、技術代替のためのCO₂限界削減費用を評価している。Urge-Vorsatz et al. (2012) は、省エネ性能の優れた技術を段階適用した場合に比べ、法定基準のみのなりゆきシナリオでは2050年において2005年時点の建物最終エネの約8割がロックインされると分析している。Eyre and Baruah (2015) は、ガス普及率が高いイギリスにおいては、政策介入がないと、それを利用する暖房システムにロックインされてしまうことを分析している。

次章では、これら文献のような詳細分析までは行わないが、まずはアンケートデータにより、ロックイン問題が存在することを定量的に考察する。

(2) 定性的考察

IPCC報告書の統括執筆責任者の1人であるSetoは、Unruhらとともに、エネルギー分野のロックイン問題に関するレビューを行っている (Seto et al., 2016)。

同文献ではロックインを、インフラと技術、組織、行動の3タイプに分類した上で、相互に絡み合い、CO₂削減の停滞を招きうることを再確認している (表1)。インフラ・技術ロックインの打破は、技術的・経済的な実行可能性、システムの存続期間、システムから脱却するための費用、代替オプションに依存し、組織的ロックインからの脱却は、その柔軟性の増加や変化の誘発、あるいは新たな脱炭素経路へのロックインをもたらすことができるかに依存し、行動ロックインへの対処としては、個々の習慣や嗜好、社会的に構築された慣習の克服が求められることを指摘している。

この分析枠組みは、Unruh (2000) の整理に行動的側面を追加したものと理解でき、枠組みの強化により、需要側におけるロックイン問題の構造理解も進むことが期待される。そこで次章後半の定性的考察においては、この枠組みを援

用して、家庭用給湯器のロックイン構造を分析する。

表1 ロックインの特徴

タイプ	主な特徴
インフラ や技術	<ul style="list-style-type: none"> ● 技術・経済要因が慣性をもたらす ● リードタイムの長さ、投資の大きさ、埋没費用、寿命の長さが影響 ● 初期選択は私的なもので、社会的な費用便益は考慮されない ● 意図的でないランダムな事象が最終結果に影響する (例: QWERTY キーボード)
組織	<ul style="list-style-type: none"> ● 有力な経済的・社会的・政治的主体が利益をもたらす現状の維持を図る ● 組織は安定やロックインをするようにデザインされている ● ある主体にとって好都合で意図した結果 ● ランダムではない意図的な選択 (例: ドイツの再エネ支援)
行動	<ul style="list-style-type: none"> ● 個人の意思決定によるロックイン (例: 心理的プロセス) ● 1つの計算された選択が計算のない自己強化的習慣の長期連続になる ● 社会構造を通じたロックイン (例: 規範や社会的プロセス) ● 遮断的習慣は困難だが可能 (例: 家族規模や空調温度設定)

出典: Seto et al., 2016より作成

3. 家庭用給湯器のロックイン問題

本稿の前半部では、既往文献にもとづきロックイン現象の一般的理解を確認してきたが、これより後半部では、より具体的な議論として、我が国の家庭用給湯器のロックイン問題を取り上げる。

3.1 将来検討における給湯分野の描写

「長期低炭素ビジョン」(中央環境審議会地球環境部会, 2017) は、2050年に温室効果ガス80%削減を実現する社会像を描くものである。その柱として「あらゆる分野で電化・低炭素燃料への利用転換が進み、最終エネルギー消費の多くは電力によってまかなわれ、化石燃料は一部の産業や運輸等で使用されている」ことが強調され、給湯についても電気ヒートポンプ式へ転換していくことの重要性が示されている。

このように低炭素社会において需要端の電化やエネルギー効率向上が必要であることは、技術評価の見地からはよく言われることである。最近では、竹内ら（2017）による2050年のエネルギー産業の論考でも取り上げられている。坂本・永井（2018）による主要機関エネルギーシナリオのメタ分析によれば、民生部門の電化率上昇によるCO₂削減は国際的にも期待を集めている。

各々の省エネ給湯器の特徴や課題については、矢田部（2016）などが詳しいことから本稿では割愛し、以降においては、2050年の給湯全電化を到達点とする場合に、克服が求められるロックイン問題がどのようなものであるかについて考察する。

3.2 家庭用給湯器ロックインの定量的考察

筆者らは、給湯器の採用実態を明らかにするため、2010年に新築された住宅の居住者、および、同年に既築住宅で交換を経験した居住者へのWebアンケート調査を実施してきた（西尾・大藤, 2012；西尾ほか, 2013）。本項では、規模は縮小したが調査設計は踏襲している2015年の結果を加えて、省エネ給湯比率とヒートポンプ給湯比率を確認する。ここで省エネ給湯とは、電気を利用するものはヒートポンプ給湯機、ガス・灯油利用であれば潜熱回収型給湯器もしくはコージェネレーション（燃料電池等）と定義し、省エネ給湯比率はそれらの合計である。アンケート調査のため市場シェアを表すものではない点に留意すべきだが、相対的な傾向把握はできる。セグメント表記の補足をすると、新築戸建では注文と建売の区別をするが、既築戸建は回答者も判別できないことがあるため一括りにし、また、新築集合は分譲と賃貸、既築集合は持家と賃貸に分類している。

新築住宅における設置・採用状況の集計結果（図1）によると、全体の省エネ給湯比率は2010

年の47%から2015年は61%に上昇した。既にその比率が高かった戸建注文に大きな変化はないが、戸建建売や集合分譲で進展が見られる。集合賃貸の水準は依然として低い。ヒートポンプ給湯比率を見ると、戸建注文や集合分譲での採用率停滞が影響し、新築全体としては28%から25%に微減している。

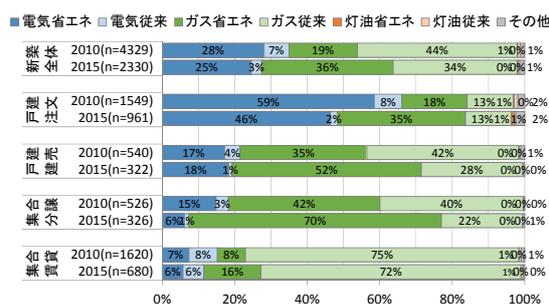


図1 新築住宅で採用された給湯器の比率

次に、既築住宅における交換状況の集計結果（図2）によれば、省エネ給湯比率は2010年の31%から2015年の34%への微増にとどまり、セグメント別には戸建と比べて集合持家、さらには集合賃貸での採用率の低さが際立つ。ヒートポンプ給湯機への交換比率は、2015年については停滞が見られる。特に集合住宅では僅少であり、2001年に上市されたヒートポンプ給湯機の更新需要が本格化するのはいえ、他の給湯器からの代替がこれまでのところ限定的である点も指摘しておく必要がある。

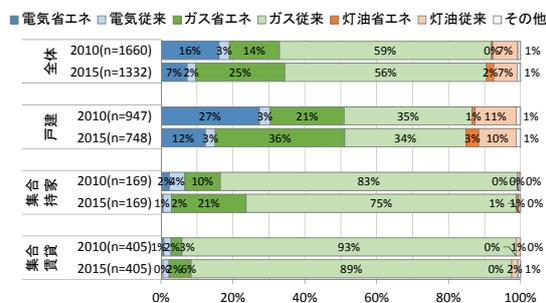


図2 既築住宅における交換後の給湯器の比率

既築住宅についてはさらに、交換前が従来型給湯の場合について、交換後の給湯器を比較しておく。図3からは、いずれも同じエネルギーを用いる省エネ型への更新は徐々に進展している。灯油従来型についてはヒートポンプ給湯機へのシフトも存在感があるが、ガス従来型からのシフトはまだ本格化していない。

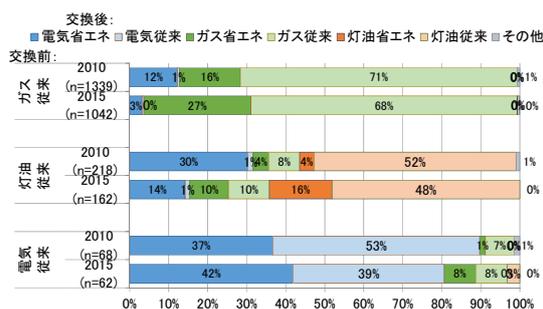


図3 既築住宅における交換前後の給湯器比率例

以上の結果全般を通じて留意すべき点として、給湯電化の停滞については、東日本大震災後の電気に対する不安、料金の上昇、電化営業の自粛などが影響しているものと考えられる。日本冷凍空調工業会の出荷統計によれば2008～16年の間で2010年は最多、2015年は最少の年にあたり、上述の事情も勘案すれば一時的な後退をとらえていると理解するべきであろう。それでもなお、このままではロックイン現象にとらわれ、将来ビジョンの実現に向けては相当なシェア拡大に向けた取り組みが求められることは明白である。

3.3 家庭用給湯器ロックインの定性的考察

量的にもロックインの兆候が示唆されたが、前節の枠組みを援用して、その複雑さについて質的理解を試みる。

(1) 技術的側面

給湯器のロックイン構造は特に集合住宅において強固であり、燃焼式であれば従来型から

潜熱回収型へ、電気式であれば電気温水器からヒートポンプ給湯機へのアップグレードが起きにくく、さらには燃焼式から電気式へのエネルギー転換も進みにくい。背景には、貯湯タンクの設置スペースや重量、給水やドレンの配管、電源容量確保など種々の課題が存在する。そのため、技術代替を進めていく上で、給湯器寿命の十余年ごとに訪れる機会に多くを期待することはできず、建物寿命の数十年のサイクルを要すると考えるほうが、見方としては現実的である。

平成25年住宅・土地統計調査によれば、我が国の住宅ストックの27.2%は、1980年以前に建築されている。1980年と2013年、2018年と2050年の間隔はほぼ同じであることを踏まえ、このデータを単純に将来にあてはめれば、今日の既築住宅は2050年断面の住宅ストックの3割程度を占めることになる。同調査によれば、集合住宅比率は一貫して上昇を続け、42.4%に達している。大幅削減シナリオは需要サイドにおける直接CO₂排出をほぼゼロに近づけることを掲げることが多いが、技術ロックインを直視するならば、削減ポテンシャルは既に制約を受けつつあることや、新築住宅への対策を先送りするほど状況は年々厳しくなることが示唆される。

(2) 組織的側面

各々のエネルギー事業者や工務店等サブユーザーが推奨する給湯器ラインナップには特色がある。主に取り扱うエネルギーを用いる給湯器を推奨することは、事業戦略として当然である。これまでの競争市場において、単なる給湯にとどまらず、浴室周りの付加機能、便利で快適な厨房や暖房も絡めたパッケージ提案が進化を遂げ、それに呼応するようにライフスタイルも変容してきた。こうした囲い込み戦略の成功は、裏を返せば構造の固定化をもたらす。電力やガスの小売完全自由化を経て、両者を扱う企業が増え、トータルエネルギーの概念が広ま

っていくことが期待できるが、培ってきた経験や効率的に築き上げられてきた販路がゆえに変化には時間を要するというのもまた、ロックイン議論の一般的示唆である。

なお、既に述べたように、ロックインやその背後関係を否定的文脈で一方的に解釈するのは適切とはいえない。例えば、我が国の特徴でもある電力とガスの競合関係は、互いの商材の技術開発を加速させ、販売戦略はしのぎを削り、省エネ給湯器のシェアを引き上げる誘因として作用してきたと考えられる。

次に、政策に目を移すと、市場・業界構造への配慮がなされた現行枠組みを維持することは、漸進的改善をもたらす一方で、ロックインをもたらすおそれがある²。例えば、機器のトップランナー基準のような効率規制では、燃焼式とヒートポンプ式とでそれぞれの技術特性を踏まえた制度運用が続けられてきた。あるいは、「高効率給湯」「省エネ給湯」といった括りの補助金運用や要求仕様では、各種技術をある程度平等に扱うことが多い。これらが対策の着実な進展に有効であることは言うまでもないが、CO₂大幅削減を射程とするのであれば、こうした枠組みの固定化は必ずしもプラスにならないおそれがあることも認識しておく必要がある³。

(3) 行動的側面

消費者サイドから見れば、給湯というサービスは差別化要素に乏しく、日常的に意識が向くものではない。それゆえに、故障や不具合がでてから給湯器交換を思い立ち、保有給湯器の関連業者に接触し、他の選択肢について十分な検討をしないまま、マイナーチェンジに陥りがち

である。新築時においても、省エネ給湯器は初期コストの高さを敬遠され、内装などに費用は振り向けられる。

また、住宅供給者については、販売価格や家賃を抑制するために、設置費用が大きい省エネ型は敬遠されがちである。こうした動機の分断（split incentive）問題により、同じ新築戸建であっても建売は注文よりも省エネ給湯率が低く、新築集合でいえば賃貸は分譲よりも低い。

4. おわりに

本稿では、既往文献をベースにロックイン現象の発生メカニズムや関連議論を概説するとともに、事例として家庭用給湯器のロックインの実態を明らかにした。

CO₂大幅削減を実現する上では、需要端において直接CO₂排出を伴う技術は極力用いず、電化を進めていくことが有効である。政府資料においても、燃焼式やヒーター式の給湯・暖房機器をヒートポンプ式技術で代替していくことには高い期待が寄せられている。しかし、例えば集合住宅で利用される給湯器は、機器単体ではなく住宅自体のライフサイクルでロックインされる可能性もある。技術や組織、社会が依存する混沌とした状態にあるとすれば、他の技術の歴史が教えるように、たとえ2050年であっても技術選択結果を楽観視することはできない。

温暖化防止戦略を検討する上では、ロックインの現状を丁寧に把握するとともに、ロックインが多かれ少なかれ残る「なりゆき」の将来と、それを捨象した「望ましい」将来とのギャップ

² Seto et al. (2016) による整理 (表1) でも、同様の組織的側面が指摘されている。

³ 機器トップランナー基準の例で言えば、燃焼式の場合は効率改善余地の限界を踏まえて規制強化取り組みが頭打ちになるのに対して、ヒートポンプ式ではハードルが継続的に

厳しくなる。各技術特性を踏まえるという点では実用的な管理方法だが、全体最適の視点からは、ヒートポンプ式のコスト上昇や燃焼式よりも効率的な機種淘汰につながるおそれも指摘できる。

を理解しておく必要がある。その上で、ロックイン問題が想像よりも手強いという認識に至るならば、温暖化対策が遅きに失することがないよう、追加的支援策の要否等の検討に早めに着手すべきである。

ロックイン問題の深刻さは、その技術の置かれた状況に依存する。LED照明へのシフトのように技術進歩や交換のしやすさから順調に技術代替が進んでいると思われるものもあれば、英仏政府が2040年までに内燃機関車の新車販売を禁止し、電気自動車へシフトする方針を発表した例にも垣間見られるように、長期的視点での議論が求められる対象もある。具体的手法については別途慎重な検討が必要だが、もしCO₂の大規模削減に向けて需要側対策を前提とするビジョンやシナリオを掲げるのであれば、前提と実態のギャップを埋めていくとともに、ロックイン問題の解消のために追加的コストが生じることを予め認識しておく必要がある。

最後に、エネルギーシステム分析としてのロックイン研究の有用性や限界について、今後の研究課題を述べる。ロックインがあてはまるかは技術次第だが、それが普及バリアになることが予想されるにもかかわらず、将来検討などで関心が払われていないようであれば、ギャップの存在や深刻さを問題提起すること自体も有益と思われる。例えば、普及量や費用対効果の分析において、ロックインを描写するような制約や抜け出すためのスイッチング費用を考慮に入れることで、早期対策の有効性を検証することもできよう。他方、ロックインを指摘すること自体は解決策を処方してくれないし、定量分析においても部分的な精度向上にとどまるおそれがある。どの政策が実行可能で効果的かは、対象技術やそれを取り巻く環境によっても左右されるので、解決策については別途検討する必要がある。

【参考文献】

- 奥村憲博 (2007) 経路依存, ロック・インとグローバル・エネルギー戦略, 第23回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集.
- 坂本将吾, 永井雄宇 (2018) CO₂の長期大規模削減と電化-AR5 シナリオデータベースを用いた基礎的分析-1, 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集.
- 杉山大志(2017)「化石燃料へのロックイン」は本当に起きるのか? <http://ieei.or.jp/2017/08/sugiyama170824/> (アクセス日: 2017.11.30)
- 竹内純子, 伊藤剛, 岡本浩, 戸田直樹 (2017) エネルギー産業の2050年 Utility3.0へのゲームチェンジ, 日本経済新聞出版社.
- 中央環境審議会地球環境部会 (2017) 長期低炭素ビジョン. https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lc_vision.html (アクセス日: 2018.4.9)
- 西尾健一郎, 大藤建太 (2018) CO₂ 大幅削減とロックイン問題: 家庭用給湯器の事例にもとづく一考察, 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集.
- 西尾健一郎, 大藤建太 (2012) 新築住宅市場における省エネルギー・断熱技術の採用率や満足度, 電力中央研究所研究報告, Y11015.
- 西尾健一郎, 大藤建太, 元アンナ (2013) 既築住宅における給湯器交換の傾向分析: 2010年に交換を経験した居住者へのアンケート調査から, 日本建築学会環境系論文集 78, 691, 711-718.
- 矢田部隆志 (2016) 家庭の給湯の省エネルギー: ヒートポンプ給湯器 500万台突破の背景, OHM, 103, 8, 57-61.
- Abernathy, W. and J. Utterback (1978) Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, 80: 3-9.
- Erickson, P., S. Kartha, M. Lazarus and K. Tempest (2015) Assessing carbon lock-in, *Environmental Research Letters*, 10, 084023.
- Eyre, N. and P. Baruah (2015) Uncertainties in future energy demand in UK residential heating, *Energy Policy*, 87: 641-653.
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Marechal, K. and N. Lazaric (2010) Overcoming inertia: insights from evolutionary economics into improved energy and climate policy, *Climate Policy*, Taylor & Francis, 10: 103-119.
- Seto, K.C., S.J. Davis, R.B. Mitchell, E.C. Stokes, G. Unruh and D. Urge-Vorsatz (2016) Carbon lock-in: types, causes,

and policy implications, *The Annual Review of Environmental Resources*, 41:425-452.

Unruh, G.C. (2000) Understanding carbon lock-in, *Energy Policy*, 28: 817-830.

Urge-Vorsatz, D., N.Eyre, P. Graham, D. Harvey, E. Hertwich, Y. Jiang, C. Kornevall, M. Majumdar, J.E. McMahon, S. Mirasgedis, S. Murakami and A. Novikova (2012) Chapter 10: Energy End-Use: Buildings. In: *Global Energy Assessment-Towards a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, Laxenburg, Austria: 649-760.

西尾健一郎 (にしおけんいちろう)

電力中央研究所 社会経済研究所

大藤建太 (おおふじけんた)

会津大学

長期低排出発展戦略の項目・構成の比較

Comparison of Structural Aspects of Long-Term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies

キーワード：長期低排出発展戦略、パリ協定、温暖化対策、長期目標

坂本将吾 上野貴弘

各国はパリ協定・COP21決定の下で長期低排出発展戦略(長期戦略)の提出を求められているが、協定は長期戦略のフォーマットを定めていない。他方、既提出国の長期戦略を見ると、その構成は多様であるが、共通する項目も多い。今後、日本も長期戦略を策定する際に、その項目や分量・順番を検討していくことになるが、既提出国の長期戦略は有用な参考情報になると考えられる。そこで本稿では、日本の長期戦略策定に資することを目的に、既提出国の長期戦略の項目を、取り上げられる程度に応じて共通項目・準共通項目・独自項目に区分して抽出し、各項目の有無や分量、順番など構成面から長期戦略を比較した。その結果、共通項目として、(1)IPCC評価報告書・パリ協定の解釈、(2)温室効果ガスの排出・吸収の実績、(3)2050年の削減水準・目標、(4)部門横断的な対策、(5)部門別の対策、(6)既存計画との関係、(7)気候変動緩和の便益、(8)国際的な文脈(経緯、国際協調の考え方、国際貢献)があることを、一部の国の戦略に盛り込まれた準共通項目として、(9)2020～30年の削減水準・目標、(10)定量的なシナリオ分析の説明、(11)作成プロセス、(12)進捗のモニタリングと戦略の更新があることを明らかにした。また、日本の「地球温暖化対策計画(温対計画)」と各項目の対応関係を整理し、既提出国の共通項目は温対計画にもすべて含まれていることを確認した。あくまでも構成面からではあるが、温対計画は長期戦略策定の出発点の1つと位置付けられる。

- | | |
|--------------------------|--------------|
| 1. はじめに | 2.2 準共通項目の抽出 |
| 1.1 パリ協定・COP21に基づく長期戦略提出 | 2.3 独自項目の抽出 |
| 1.2 比較の視点 | 3. 長期戦略の構成比較 |
| 1.3 COP23 終了時点の提出状況と分析対象 | 3.1 各項目の有無 |
| 1.4 形式的要素の比較 | 3.2 全体構成の比較 |
| 2. 共通・準共通・独自項目の抽出 | 4. おわりに |
| 2.1 共通項目の抽出 | 補.各項目の内容 |

1. はじめに

1.1 パリ協定・COP21に基づく長期戦略提出

日本政府は、COP21決定及び伊勢志摩サミットの首脳宣言を踏まえて、2020年までの十分に早い時期 (well ahead of the 2020 deadline) に「長期低排出発展戦略 (long-term low greenhouse gas emission development strategy; 以下、長期戦略)」を提出することになっている。

2017年11月18日 (COP23終了) 時点で6ヶ国 (その後、2018年1月15日にチェコが提出し7ヶ国) が長期戦略をUNFCCCに提出しているが、日本は未提出である。

パリ協定・COP21決定は長期戦略の仕様・フォーマットを一切定めておらず、各国が自由に内容を決めることができる。

しかしながら、既提出国の長期戦略をみると、「気候変動対策のための長期戦略」という目的に基づいて作成されているため、GHG排出量の実績の整理や、「"mid-century" (今世紀半ば)」の姿を記載しているなど、共通する項目がいくつか存在する。その上で、各国の考え方に従って、これら共通する項目の取り上げ方や分量、順番が決められていることに加え、各国独自の項目が盛り込まれる形で作成されている。

日本では、2016年5月に「地球温暖化対策計画（以下、温対計画）」が閣議決定された。温対計画は2030年目標（2013年比で26%削減）とパリ協定採択を踏まえて策定されたもので、主たる内容は2030年目標の達成に向けた施策であるが、より長期的な視点も取り入れられている。温対計画に盛り込まれている項目が、他国の長期戦略の項目と比較してどのような特徴があるかを整理することで、温対計画の独自項目が明確になり、さらに追加したほうがよい項目など、今後の長期戦略の策定に対して有用な参考情報が得られるものと期待できる。

以上より、本稿は、既提出国の長期戦略を構成面に注目して整理することで、日本の長期戦略作成に資することを目的とする。なお、提出済みの長期戦略の整理としては、環境省（2017）と資源エネルギー庁（2018）があるが、これらは内容面の比較が中心であり、項目立てとその構成及び分量などに注目する本稿とは問題意識が異なっている。

なお、本稿では「構成」を「項目の記載の有無・分量・順番」という意味で用いており、同じ項目に分類されていても、国によってその項目に記載している具体的な「内容」が異なることはある。本稿の段階では、構成面の比較に留めるが、最終的には構成・内容の両面から各国の長期戦略の特徴を類型化することを目指す。ただし、本稿においても、同一項目内の内容の違いについては補論で整理し、具体的な内容にも触れるが、あくまでも構成面の比較に重点を置いている。

1.2 比較の視点

仕様・フォーマットが定められていないにも関わらず、既提出国の長期戦略において共通して取り上げられている項目は、後述するように少なからずあり、長期戦略の骨格を成す項目とみなせる¹。本稿では、分析対象のすべての長期戦略で取り上げられている項目を「共通項目」と呼ぶ。また、共通項目ではないものの、既提出国の大部分が共通して取り上げている項目もある。これを「準共通項目」と呼ぶ。一方で、少数の国のみが独自の考えに基づいて取り上げている項目もある。これを「独自項目」と呼ぶ。

本稿では、これら共通項目、準共通項目、独自項目について、記載の有無や取り扱う分量、項目の順番を整理することで、長期戦略の基本的な構成を比較する。そして、日本の温対計画についても、既提出国の長期戦略における共通項目・準共通項目・独自項目との対応関係を整理し、構成の違いや、温対計画に独自に盛り込まれている項目、盛り込まれていない項目について考察する。

1.3 COP23終了時点の提出状況と分析対象

2017年11月18日（COP23終了）時点で6ヶ国が長期戦略を提出している。米国はオバマ前政権が提出したものであるが、トランプ政権は本稿執筆時点（2018年2月）において撤回していない。英国はUNFCCCへは未提出であるが、長期戦略のベースとみなせる“Clean Growth Strategy”を2017年10月に公表しており、これも分析対象とする²。

¹ 本稿の整理は、分析時点（2018年2月）における既提出国の傾向を捉えているのみであり、今後、本稿で取り上げる共通項目を含めない、異なる項目立てを選択する国が出てくる可能性はある。

² 同文書は UNFCCC 事務局には未提出であるが、文書中に“The Agreement puts pressure on all countries to bring forward

long-term emissions reduction strategies by 2020. The Clean Growth Strategy, as the UK’s long-term emissions reduction strategy, shows the UK is leading the world in response to this important step”との記述があり、英国政府は同文書を長期戦略と見なしていることが分かる。

表1 分析対象の長期戦略

国	提出日	名称
米 (米国)	2016/11/16	Mid-Century Strategy for Deep Decarbonization
墨 (メキシコ)	2016/11/16	Mexico's Climate Change Mid-Century Strategy
加 (カナダ)	2016/11/17	Canada's Mid-Century Long-Term Strategy
仏 (フランス)	2017/04/18 (再提出)	National Low Carbon Strategy
独 (ドイツ)	2017/08/01 (再提出)	Climate Action Plan 2050
英 (英国)	2017/10/12 (公表日)	Clean Growth Strategy

表2 既提出国の長期戦略における形式的要素の比較

国	章数	節数	ページ数	図数	表数	コラムの数	参考文献の数	サマリーの有無	付録の有無	写真の有無
米	7	27	111	48	4	16	225	○	○	○
墨	8	27	106	42	5	—	68	○	—	○
加	11	44	91	15	1	23	116	○	○	○
仏	7	12	220	59	42	2	26	○	○	—
独	6	13	89	0	1	—	—	—	—	—
英	5	18	165	31	3	35	—	○	○	○

分析対象の長期戦略の提出日（英国は公表日）と名称を表1に示す。名称をみると、ドイツのみ“Plan”であり、そのほかの国は“Strategy”としている。名称に国名をいれているのはカナダとメキシコである。

1.4 形式的要素の比較

構成面についての比較に先立ち、形式的要素として、章・節の数³、ページ数、図表の数、コラムの数、参考文献の数、サマリーの有無、付録の有無、写真の有無を取り上げ、比較した(表2)。

章・節の数、ページ数は、平均7章、24節、130ページであり、1章あたりでは2～3節、8～33ページとなっている。カナダは部門を各々独立の章で扱っており、章数は多いがページ数は比較的少なく、細かく区分した構成となっている。フランスはページ数が多いが、後半の5～7章は付録の位置付けである。

図を多用している国は多く、特に米国とメキシコの長期戦略には平均して2.5ページに1つの図が記載されている。一方で、ドイツは

図を1つも記載していない。表は大部分の国であり使用されていないが、フランスのみ、付録の位置付けの章で多数の表を用いて数値情報を示している。

コラムを本文中に記載する国も多く、用語の説明などに当てられている。コラムの数は英国が最も多く(35箇所)、用語の説明だけでなく、過去の計画・法律の説明や、他国の取り組みの紹介にもコラムを使用している。カナダの長期戦略では、各章のキーメッセージが整理されている。

長期戦略作成にあたっては、統計情報だけでなく、各国についての既存の長期シナリオ分析など査読つき論文も多く引用されており、既存研究の知見が長期戦略の作成に役立てられていることがわかる。引用された文献のリストが、記述内容の根拠として記載されている国は4ヶ国である。記載されている文献の数は米国が最も多く(225編)、引用された章ごとに整理されている。カナダは、レポート、ウェブサイト、ニュース記事、査読つき論文、法律など、文献の種類ごとに分けて

³ 章・節の番号が振られていない場合は、分析の便宜上、サマ

リー部分以降の本文部分の記載順に番号を振った。

記載している。

サマリーを冒頭に記載している国は多い。大部分の国が“Executive summary”としているのに対して、フランスは“the summary for decision-makers”としており、政策決定者向けを意識したサマリーとなっている。英国は“Executive summary”に加え、“Key Policies and Proposals in the Strategy”という章を設けており、全体的な要約だけでなく、長期戦略上の重要な政策のリストも記載している。

付録を記載している国の大部分は、長期戦略作成上の分析手法の諸設定を記載している。特に米国は別冊(“Documentation and output”)も提出している。この別冊だけでも78ページ⁴にわたり、使用したGCAM-USAモデルの諸設定値が詳しく記載されている。

写真を使用している国もあり、最も多いのは英国である。米国とカナダの大部分は、章の表紙やページに挿絵として、本文の内容とは直接には関係しない写真を使用しているのみだが、カナダの一部と英国では、本文中で記述されている車両・機器・施設・会社などの写真を掲載している。メキシコは、本文中で紹介されている取り組み事例(環境教育、ワークショップ)に関する写真を掲載している。

日本の温対計画は、4章、17節、71ページであり、分量としては一番少ないが、これは2030年までの計画が中心で、その後の2050年までについてはほぼ対象としていないためであると考えられる。図は1つであり、ほとんど用いられておらず、表は平均的な数(4つ)である。サマリー、付録、コラム、参考文献リスト、写真は記載されていない。

2. 共通・準共通・独自項目の抽出

2.1 共通項目の抽出

分析対象の長期戦略を検討した結果、共通項目として以下の8項目(項目(1)～項目(8))を抽出した。

各国政府は、IPCC評価報告書の知見やパリ協定の長期目標を解釈した上で(項目(1)「IPCC評価報告書・パリ協定の解釈」、これまでのGHG排出量の実績(項目(2)「GHG排出実績」)に照らして、今世紀半ば(mid-century)にむけた削減水準・目標(項目(3)「2050年の削減水準・目標」)を提示している。そして、その削減水準の達成のために、部門横断的な対策(項目(4)「部門横断的な対策」)と部門別の対策(項目(5)「部門別の対策」)を提示している。部門は産業、民生、運輸、エネルギー転換に加え、農業、森林、土地利用、廃棄物等に区分されている。長期戦略は、既存の温暖化対策やそのほかの環境対策などとの関係にも配慮して作成されている(項目(6)「既存計画との関係」)。また、気候変動対策をとらないことで生じるリスクだけではなく、気候変動が緩和された場合に生じる便益を強調し、成長の機会と捉えた上で、長期戦略を作成している(項目(7)「気候変動緩和の便益」)。気候変動対策は国を越えた協調が必要となるため、自国の対策についてだけでなく、長期戦略の策定に至った国際的経緯や国際協調の考え方、国際貢献を長期戦略に記載している(項目(8)「国際的な文脈」)。

2.2 準共通項目の抽出

分析対象の長期戦略のうち、3ヶ国以上で記載のある項目を準共通項目として、以下の5項目(項目(9)～項目(13))を抽出した。

⁴ 本稿では、別冊のページ数は全体のページ数にはカウントしていない。

2050年までの道筋を描くために、途中段階である2020～30年ごろの具体的な削減水準・目標を記載している国は多い⁵(項目(9)「2020～30年の削減水準・目標」)。また、長期戦略の策定に際して、統合評価モデルを用いた大規模削減シナリオを複数分析した上で、長期の脱炭素化パスを描いている国も多く、その分析の設定などが長期戦略の中で説明されている(項目(10)「定量的シナリオ分析の説明」)。いくつかの国は長期戦略を作成したプロセスを説明しており(項目(11)「作成プロセス」)、米国、カナダ、メキシコは並行して長期戦略を作成した経緯を記載している。パリ協定におけるグローバルストックテイク⁶を踏まえて、長期戦略を随時見直すとしている国も多く、その見直しに関する記載がいくつかの国で共通してみられる(項目(12)「モニタリングと更新」)。長期戦略を作成するにあたり、各国の長期削減に関する既存シナリオ分析を詳しく紹介し、長期戦略作成に役立っている国もある(項目(13)「既存のシナリオ分析」)。

2.3 独自項目の抽出

一部の国(2ヶ国以下)の長期戦略にのみ記載されている項目を、独自項目として、以下の7項目(項目(14)～項目(20))を抽出した。

モニタリング指標(項目(14))は、フランスと英国の長期戦略において示されている。特にフランスでは、国・部門横断・部門別に具体的かつ詳細に定義され、一覧が示されている。米国の長期戦略には、「部門別のイノベーション機会」(項目(15))が詳細に記載されている。適応策(項目(16))についてはメキ

シコのみが1章を割いて詳細に記載している。ドイツの長期戦略は、さまざまな目標値を記載する際に、その目標値と対応する国連の「持続可能な開発目標」(以下、SDGs)(項目(17))に言及している。英国の長期戦略には、2017年から2032年までの意思決定の道筋(項目(18))が部門別に詳細に記載されている。カーボンフットプリントについてはフランスが詳しく記載している(項目(19))。フランスはカーボンフットプリントの考え方が部門横断的に重要であるとしている。英国は、2015年から2021年における部門ごとのクリーン成長技術への政府の投資額を具体的に示している(項目(20))。

3. 長期戦略の構成比較

3.1 各項目の有無

以上に挙げた共通項目・準共通項目・独自項目(項目(1)～(20))について、各国の長期戦略における記載の有無を、表3に整理した。

20項目すべてを記載している国はなく、カナダ、ドイツは11項目、米国、メキシコ、フランス、英国は14項目を記載している。準共通項目のなかでは、「作成プロセス」(項目(11))、「既存のシナリオ分析」(項目(13))を記載している国が比較的少ない。独自項目は、英国の長期戦略で最も多く(3項目)記載されている。

日本の温対計画では、既提出国の長期戦略の20項目のうち、すべての共通項目を含む、11項目が記載されている。記載されていない準共通項目は、「シナリオ分析」(項目(10))、「既存のシナリオ分析」(項目(13))、「作成プロセス」(項目(11))である。一方で、温対計

⁵ カナダは冒頭の Executive Summary で、2030年に2005年比で30%削減するための政府計画の動向に触れているが、本論部分には触れられていないので、本稿では記載なしとした。

⁶ グローバルストックテイクとは、国際社会全体の温暖化対策の進み具合を5年ごとに評価する仕組みのこと。

表3 既提出国の長期戦略における共通・準共通・独自項目の有無

区分	項目	米	墨	加	仏	独	英
共通	(1) IPCC評価報告書・パリ協定の解釈	○	○	○	○	○	○
	(2) GHG排出実績	○	○	○	○	○	○
	(3) 2050年の削減水準・目標	○	○	○	○	○	○
	(4) 部門横断的な対策	○	○	○	○	○	○
	(5) 部門別の対策	○	○	○	○	○	○
	(6) 既存計画との関係	○	○	○	○	○	○
	(7) 気候変動緩和の便益	○	○	○	○	○	○
	(8) 国際的な文脈	○	○	○	○	○	○
準共通	(9) 2020～30年の削減水準・目標	○	○	—	○	○	○
	(10) 定量的シナリオ分析の説明	○	○	○	○	—	○
	(11) 作成プロセス	○	○	○	—	—	—
	(12) モニタリングと更新	○	○	—	○	○	○
	(13) 既存のシナリオ分析	○	○	○	○	—	—
独自	(14) モニタリング指標	—	—	—	○	—	○
	(15) 部門別のイノベーション機会	○	—	—	—	—	—
	(16) 適応策	—	○	—	—	—	—
	(17) 各目標値とSDGsとの対応	—	—	—	—	○	—
	(18) 2032年までの意思決定の道筋	—	—	—	—	—	○
	(19) カーボンフットプリント	—	—	—	○	—	—
	(20) クリーン技術への政府の投資額	—	—	—	—	—	○

画の独自項目としては、個別の対策とは別に、「国・地方・事業者・国民の役割」を区別して記載している点が挙げられる。

3.2 全体構成の比較

各国の長期戦略の章構成に、共通・準共通・独自項目を当てはめ、各章の頁数とあわせて整理した(表4)⁷。項目(8)の国際的な文脈については、「国際的経緯」、「国際協調の考え方」、「国際貢献」に分けている。なお、本稿で設定した項目以外にも多くの事項が各国の長期戦略には記載されているが、煩雑さを避けるため省略した。

まず分量については、既提出国の長期戦略の構成における共通点として、部門横断的な対策と部門別の対策に多くのページが割か

れていることが挙げられる。該当する章を合計すると平均60ページ(全体の55%)が対策に関する記述となっている⁸。

シナリオ分析の説明を記載している国は、この項目にも多くのページを割いて説明している。フランスは、付録に相当する章(5～7章)に95ページ(全体の43%)を割いて、長期戦略作成にあたっての定量的な分析について説明している。米国は、付録で詳説していることに加え、本文中でも比較的多くのページをシナリオの説明に割いている。

メキシコは部門横断的対策と適応策について独立した章を立てており、他の国と比較して部門横断的対策の分量が多い。

カナダは各部門の対策をすべて別個の章で取り上げており、対策以外の項目について

⁷ 表4にはサマリー部分は含めていない。「冒頭部」には、フランスは「Introduction」、英国は「Key Policies Proposals in the Strategy」が該当する。

⁸ 1ページあたりの行数は5ページずつランダムにカウント

すると、米は43～46行、墨は35～41行、加は48～54行、仏は44～46行、独は39～40行、英は41～43行であり、厳密にはページあたりの情報量には差があるが、全体に占める割合が一番多い点は共通している。

表4 既提出国の長期戦略の構成比較

章	米国		メキシコ		カナダ		フランス		ドイツ		英国	
	章名	頁数	章名	頁数	章名	頁数	章名	頁数	章名	頁数	章名	頁数
	項目		項目		項目		項目		項目		項目	
冒頭部							IPCC・パリ協定 既存計画 モニタリング	3			クリーン技術への投資額 部門横断対策 部門別対策	8
1章	イントロダクション	2	イントロダクション	1	背景	5	これまでの経緯と 将来展望	6	イントロダクション	5	UKのリーダーシップと 経緯	9
	IPCC・パリ協定 緩和の便益 作成プロセス		IPCC・パリ協定 作成プロセス		IPCC・パリ協定 2050年削減水準 緩和の便益 作成プロセス 国際貢献 既存計画		GHG実績 既存シナリオ		IPCC・パリ協定 SDGsとの対応 国際的経緯 モニタリング 既存計画		GHG実績 緩和の便益 IPCC・パリ協定 国際貢献	
2章	GHG排出トレンド	3	背景	12	既存シナリオ	5	フランスにおける計画	9	経済現代化の戦略 としての気候計画	3	機会と課題	15
	GHG実績 既存計画 2020-30削減水準		IPCC・パリ協定 作成プロセス 既存計画		既存シナリオ		2020-30年削減水準 2050年削減水準 国際協調の考え方 緩和の便益 シナリオ分析		緩和の便益 国際協調の考え方 部門別対策		緩和の便益 GHG実績 2020-30年削減水準 部門横断対策 (EU)	
3章	2050ビジョン	11	目的	3	発電部門	15	公共政策への提言	69	国際的文脈	6	クリーン成長戦略	13
	シナリオ分析 既存シナリオ 2050年削減水準 緩和の便益		作成プロセス		部門別対策 既存シナリオ シナリオ分析		部門横断対策 (国際貢献含む) カーボンフットプリント 部門別対策 モニタリング指標		国際的経緯 国際貢献 SDGsとの対応		部門横断対策 クリーン技術への投資額 2020-30年削減水準 2050年削減水準 シナリオ分析 モニタリング指標	
4章	エネルギーシステムの 脱炭素化	27	長期ビジョン	3	エンドユース部門	18	戦略実施の モニタリング	15	GHG中立化パス	8	部門	59
	GHG実績 部門横断対策 部門別対策 イノベーション機会		シナリオ分析		部門別対策 既存シナリオ シナリオ分析		2020-30年削減水準 モニタリング モニタリング指標		2050年削減水準 既存計画 部門別対策 SDGsとの対応		GHG実績 2020-30年削減水準 2050年削減水準 部門別対策 既存計画 クリーン技術への投資額	
5章	土地による炭素貯留と 排出削減	18	部門横断的政策	14	Non-CO2	6	付随レポート	33	目標と対策	55	次のステップ	2
	GHG実績 部門別対策		部門横断対策 国際貢献		GHG実績 既存シナリオ 緩和の便益 部門別対策		既存計画 シナリオ分析 GHG実績		GHG実績 2020-30年削減水準 部門別対策 部門横断対策 SDGsとの対応		モニタリング	
6章	Non-CO2削減	5	適応	19	森林	5	方法論の付録	40	実施と更新	2		
	GHG実績 部門別対策		適応策		部門別対策		シナリオ分析 GHG実績		モニタリング			
7章	国際的文脈	5	緩和	38	農業	4	LULUCFに関する付録	22				
	国際協調 作成プロセス モニタリング		緩和の便益 GHG実績 既存シナリオ シナリオ分析 国際貢献 2020-30年削減水準 2050年削減水準 部門別対策		部門別対策		GHG実績 シナリオ分析 既存計画 モニタリング指標					
8章			評価と更新	1	廃棄物	4						
			モニタリング		部門別対策 緩和の便益							
9章					クリーン技術	4						
					部門横断対策 緩和の便益							
10章					インフラ投資	1						
					部門横断対策							
11章					結論	1						
付録1	シナリオ分析	78			GHG実績 シナリオ分析	5					2032意思決定	6
付録2											2032意思決定	6
付録3											IPCC・パリ協定	4
付録4											モニタリング指標	1
付録5											シナリオ分析	21

共通項目 準共通項目 独自項目

は、冒頭の背景の章で比較的短く記述するにとどめている。緩和による便益についても、背景の章だけでなく部門別にも記載してい

るが、分量としては短い。

モニタリング・更新について独立した章を設けている国は、4ヶ国(メキシコ、フランス、

ドイツ、英国) であるが、特にフランスはこの項目に多くの頁を割いており、モニタリングの指標を具体的に提示している。メキシコ、ドイツ、英国は、章は設けているが、新しい知見や目標や指標の達成状況に応じて、またはNDC提出のタイミングで更新することなどに分量としては短く触れている。独立した章を設けていない米国は、末尾で、長期戦略はその都度の知見に基づいて作成されるものであり、知見の追加があれば長期戦略も更新する必要がある、ということと比較的短く触れているのみである。

英国は気候変動緩和の便益として、グリーン成長について多くの頁を割いている。また付録が細かく分かれている。

次に、項目の順番のおおよその傾向としては、IPCC評価報告書・パリ協定、緩和の便益、既存計画、既存シナリオ、作成プロセスは前半部分に記載され、その後にGHG実績、2020～30年削減水準、2050年の削減水準が記載されていることが多い。シナリオ分析を記載している国の中には、詳細なシナリオ分析を本文中に示す国もあれば、付録として示す国もある。目標の記載の仕方は、すべての部門について先に示す国（米国、メキシコ、フランス）と、部門別の対策を記載する前にそのつど記載する国（カナダ、ドイツ、英国）に分けられる。対策については、大部分の国が部門横断的な対策を先に示した上で、部門別の対策を記載している。部門の分け方は国ごとに異なっており（補参照）、さらに部門ごとに章を設けるかどうか、国ごとの構成の違いとなっている。

日本の温対計画では、冒頭部に既存計画、IPCC・パリ協定、1章に2020～30年削減水準・目標、2050年削減水準・目標、緩和の便益、2章にGHG実績、2020～30年削減水準・目標、3章に国・地方・事業者・国民の役割、部門別

対策、部門横断的対策、国際的文脈、4章にモニタリング、モニタリング指標が記載されている。温対計画においても、既提出国の長期戦略と同様、対策・施策の章に最も多くのページ（53ページ）が割かれている。項目の順番は既提出国の長期戦略と概ね共通している。

4. おわりに

本稿では、既提出国の長期戦略で取り上げられている項目を、取り上げている国数に応じて、共通項目・準共通項目・独自項目に区分した上で抽出し、各項目の有無や分量、順番などから長期戦略の構成面を比較した。また、形式的要素（章、頁、図表の数など）の点でも国による違いがあることを確認した。

共通項目は8項目、準共通項目は5項目であり、既提出国の長期戦略はこれらの13項目のうち10～12項目を取り上げている。これらに加えて、少数の国のみが取り上げている独自項目（7項目）もあり、こうした項目が各国の長期戦略を特徴付ける要素となっている。

項目の記載順序については、IPCC・パリ協定の解釈、気候変動緩和の便益、既存計画との関係、既存シナリオ、作成プロセスが前半部分に、GHG実績、2020～30年の削減水準・目標、2050年の削減水準・目標、部門横断的対策、部門別対策が後半部分に記載されていた。シナリオ分析については、本文と付録のどちらに（あるいは両方に）記載するかにより、構成が異なっていた。また、部門横断的な対策と部門別の対策に最も多くのページが割かれている点は共通しているが、目標をすべての部門について先に示すか、部門ごとの対策の記載の前にその都度、記載するか、また、部門ごとに章を設けるかどうか、国による構成の違いとなっていた。

日本の温対計画と各項目の対応関係も整理した結果、既提出国の共通項目は温対計画にもすべて含まれており、項目の記載される順番も既提出国の長期戦略の傾向と概ね共通している。そのため、あくまでも構成面からではあるが、温対計画は長期戦略策定の出発点の1つと位置付けられると考えられる。温対計画の独自の項目としては「国・地方・事業者・国民の役割」があり、盛り込まれていない項目としては「シナリオ分析」、「作成プロセス」がある。シナリオ分析は、既提出国の長期戦略において多くのページを割かれている項目である。そのため、日本の長期戦略を作成する際に、シナリオ分析を盛り込むかどうかは論点となると考えられる。

なお、本稿の分析の段階では、構成面のみの整理に留まったが、今後は、構成・内容の両面からみた各国の長期戦略の特徴を整理し、類型化を行う。内容面も合わせて整理することで、各国が長期戦略全体をどのようなロジックで構成しており、そのロジックには国によってどのような違いがあるのかも考察できる。さらには、長期戦略の策定方法と実際のGHG排出削減の動向や政策の実効性との関係を考察することで、気候変動対策における長期戦略の意義について理解を深めていく。

補. 各項目の内容

補.1 共通項目の内容

項目(1) IPCC評価報告書・パリ協定の解釈

項目(1)は「IPCC評価報告書・パリ協定の解釈」である。各国は、長期戦略の冒頭部で、IPCCの評価報告書の知見や、パリ協定の目標やNDCについて記載している(英国は付録で記載)。

パリ協定の中に、温度上昇を2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力をすることが掲げられている点はすべての既提出国が触れている(ただし、フランスの長期戦略にはパリ協定という言葉は記載されていない)。排出量については、米国、ドイツ、英国は、パリ協定において、GHG排出量の増加をなるべく早くに止め、今世紀後半のうちに世界全体のGHG排出量を中立化(排出と吸収をバランス)させることが合意された点を紹介している。メキシコは1.5℃目標のためには2050年までに、2℃目標のためには2050年から2070年の間に、世界全体のCO₂排出量をゼロにする必要があることを記載している。カナダは、1.5℃以内(50%以上の達成確率)のためには、2050年までに世界全体のGHG排出量を2010年比で70~95%削減する必要があるという点を、IPCC評価報告書の知見として紹介している。フランスは、排出量についてはIPCCやパリ協定を引用していない。

項目(2) GHG排出実績

項目(2)は「GHG排出実績」であり、長期戦略作成時点までの各国におけるGHG排出量の実績が整理されている。ただし、GHG排出量の実績を記載している点は共通しているが、最新年の置き方、推移の示し方、GDPの推移との比較、基準年からの削減率の強調、他国との推移の比較の有無、ピーク年の記載

など、取り上げ方は国によって異なる。

全ての既提出国は、最新年の部門別のGHG排出実績値を記載している⁹。部門別GHG排出の1990年から最新年までの推移も、記載している年数は異なるがすべての国がグラフか表で示している。1990年から最新年までの推移を1年単位ですべて示しているのはメキシコとフランス、英国である。米国は1990年、2005年、2014年の3時点をグラフで、カナダ¹⁰は1990年、2005年を表で、ドイツは1990年と2014年を表で示している。英国は1990年と2015年の2時点を表で示すのに加えて、部門別に1990年から最新年までの推移をグラフでも示している。

米国は2007年がGHG排出量のピークであった点と、2014年に2005年比で9%減であった点を強調している。英国は1990年比のGHG排出量とGDPの推移をグラフで示し、G7全体よりもGDP成長率とGHG排出削減率が高いことを強調している。メキシコは最新年についてはエネルギーフロー図も記載している。フランスは各部門のより細かな内訳についても示している。

項目(3) 2050年の削減水準・目標

項目(3)は「2050年の削減水準・目標」であり、既提出国のすべてが記載している。基準年と削減率については国による違いが見られる。基準年を1990年としている国はフランス、ドイツ、英国、2000年としている国はメキシコ、2005年としている国は米国、カナダである。削減率は80%としている国はカナダと英国であり、米国は80%またはそれ以上とした。また、メキシコは40~70%、フランスは75%である。ドイツはEUの目標である80~95%を掲げつつ、パリ協定の長期目標を踏

まえて、2050年までにはほぼGHG中立 (largely greenhouse gas neutral) とすることを政策の原則と位置付けた。

フランスと英国は、毎年の平均的な必要削減量についても記載している (フランスは年平均9~10Mt、英国は1990年から毎年一人当たり2tの削減が必要としている)。

2050年の部門別の削減量については、すべての国が記載しているわけではない。カナダと英国は部門別の削減量を記載している。米国は部門別にはエネルギー消費量の削減水準のみ記載している。フランスは部門別に目指すべき社会像を定性的に記述している。ドイツは2030年の部門別目標は示しているが、2050年については定量的な削減量を示していない。

米国は冒頭のExecutive Summaryの中で、2009年のG8サミットで合意された「世界全体で2050年までに排出量を半減」、「半減目標の一部として、先進国全体で2050年までに80%、またはそれ以上の排出を削減」という削減水準に触れつつ、パリ協定の下で掲げた2025年目標がこの長期削減に向けた直線上に乗ることに言及した上で、長期戦略が目指すものは、2005年比で80%またはそれ以上に削減することであるとした。つまり、80%以上削減を目標とは明示的には位置付けず、過去の経緯を踏まえた削減水準として提示したが、本文中には目標 (goal) として捉えている記載もある。カナダは、パリ協定の温度目標、IPCCの評価報告書、他の先進国の数字に言及した上で、長期戦略を2050年に2005年比で80%削減する経路を検討するものと位置付けた。他方、ドイツ、フランス、英国は明確に目標と位置付けている。

メキシコは目標の記述に際して、先進国と

⁹ 最新年は、米国：2014年、メキシコ：2013年、カナダ：2005年、フランス：2013年、ドイツ：2014年、英国：2015年

¹⁰ カナダは部門別のエネルギー消費量については2014年の実績を本文中に示している。

途上国の限界削減費用の違いに関する研究結果を示しつつも、途上国ではあるが先進国と同等の水準の削減目標を掲げている点を強調している。

項目(4) 部門横断的な対策

項目(4)は「部門横断的な対策」である¹¹。対策として挙げられているものは、①R&Dとイノベーションの支援、②ファイナンスのグリーン化、③教育、訓練、雇用、④市場的な手段、⑤都市計画であった。

「①R&Dとイノベーションの支援」は分析対象国すべてが部門横断的な対策として記載している。米国は、政府だけでなく、政府以外の組織によるクリーン技術への研究開発にも同様の支援を行い、民間部門で投資が不足しているクリーン技術の普及を促し、投資家がクリーン技術への長期間の投資を行うようなインセンティブを与えている。メキシコは気候変動関連の研究が比較的最近開始されたとして、研究機関、民間部門、社会の各レベルにおける知識の蓄積と意識の向上を図るとしている。カナダは外部性が内部化されていないことがクリーン技術への投資が不足している原因であるとして、カーボンプライスを導入してクリーン技術のイノベーションを促進するとしている。フランスは社会的なイノベーション(ライフスタイル変化など)と技術的なイノベーション(再エネのグリッドへの接続、ガスと電気のネットワークの統合、エネルギー効率の向上、低炭素技術の価格競争力の向上)を分けた上で、政府による支援のあり方を記述している。ドイツは環境負荷削減と企業の競争力強化の両立のために、クリーン技術への投資や企業の研究開発を支援すると記載している。

「②ファイナンスのグリーン化」は、米国以外の全ての国が気候変動対策をファイナンスの側面から捉える記述を含めている。カナダは気候変動に伴う金融リスクへの対応の重要性に言及し、そのような取り組みの1つとして、金融安定化理事会のTask Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD)が取り組んでいる情報開示を指摘した。ドイツもTCFDの重要性に言及している。フランスは「ファイナンスの優先事項と指導的な投資(financial priorities and guiding investment)」に関する項目を設けて、取り組みや今後の方向性を包括的に記述している。フランスは2015年に成立したエネルギー移行・グリーン成長法(Energy Transition and Green Growth Act)の173条の下で、機関投資家に対し、気候変動対策を含めたエネルギー移行に向けた取り組みを報告するように求めているが、この点について繰り返し記載している。英国は金融界と政府の代表からなるグリーンファイナンスタスクフォースを設置するとした。メキシコも随所でファイナンスの重要性に言及している。

「③教育、訓練、雇用」は4ヶ国(メキシコ・フランス・ドイツ・英国)が記載している。メキシコでは「Climate culture」を育むために初等教育から持続可能性や気候変動に関する教育を行っていることを記載している。フランスでは学校教育や意識向上や参加の後押し、消費者への情報と責任を挙げている。雇用やスキル、訓練としては、エネルギー転換やグリーン成長に関連した雇用や訓練のための戦略立案や、訓練方法の改善などが示されている。

「④市場的な手段」には全ての既提出国が言及している。内容はカーボンプライスが中

¹¹ カナダは部門横断的な対策としては項目立てしていないが、9章のクリーン技術セクター、10章のインフラセクターが、

内容としては他国の部門横断的な対策と対応しているため、これらの章をこの項目として扱った。

心である。米国は、州・地方の政策や部門別の排出規制を続けつつ、徐々に経済全体にわたるカーボンプライシングに移行させるとしている。カナダは、2016年3月の連邦・州首相会議において、多様な国内措置（カーボンプライシングのメカニズムを含む）によって排出削減を進めることを宣言したことに触れつつ、カーボンプライシングがクリーン技術の促進に役立つとした。メキシコは炭素税とキャップ・アンド・トレードを検討中であるとした。ドイツは、欧州連合の排出量取引制度(EU ETS)を強化する必要があるとした。フランスもEU ETSの強化に言及しつつ、2015年のエネルギー移行・グリーン成長法が炭素価格を2015年価格で2020年に56ユーロ、2030年に100ユーロとする目標を掲げたことにも触れた。英国はカーボンプライシングを排出削減のツールとして引き続き用いることに触れつつ、EU脱退後もEU ETSに残ることを検討していることに言及した。

「⑤都市計画」では、フランスは、都市のスプロール化への対策による低炭素化の実現を、分野横断的な対策の1つとしている。

項目(5) 部門別の対策

項目(5)は「部門別の対策」である。対策を部門別に掲げている点ではすべての国で共通しているが、部門の分け方は各国で多少の相違が見られる。

米国は、発電、運輸、建物、産業、森林、耕作地・放牧地、都市、湿地、Non-CO₂に区分している。メキシコは、発電、都市（都市開発、建物、モビリティ、廃棄物）、農業・森林、Non-CO₂に区分している。カナダは、発電、エンドユース（運輸、建物、産業）、Non-CO₂、森林、農業、廃棄物に区分している¹²。フラン

スは、運輸、家庭、農業、森林、産業、エネルギー生産、廃棄物管理に区分している。ドイツは、エネルギー、建物、モビリティ、産業・業務、土地利用と森林に区分している。英国は、業務・産業、家庭、運輸、発電、自然資源、公的部門に区分している。

ここでは発電部門について各国の記載を整理する。

米国は、大規模削減のためには、電源構成において、太陽光と風力の合計が46～53%、原子力が17～20%、CCUS付きの化石燃料・バイオエネルギーが22～24%となる必要があり、特に、太陽光と風力はこれまで以上に普及ペースを上げる必要があるとしている。CCUSが利用できないと想定した場合には、太陽光と風力の合計が59%、原子力は26%、火力発電は天然ガスが8%となるとしている。その上で、どの技術が将来にわたり進歩するのかを現時点で知ることができないことから、多様な発電技術のポートフォリオを支援することによって、長期的な脱炭素化のコストを下げることが望ましいとした。

メキシコは、シナリオ分析結果からは、再生可能エネルギーと、天然ガスを用いたコージェネレーションが重要な役割とした上で、クリーン技術とより効率的な技術の導入のための規制・制度のフレームワークの強化、再生可能エネルギーと効率的なコージェネレーションを行う民間事業者の参入支援など、14個の対策を挙げている。

カナダは、現状でもGHGを排出しない電源（水力、風力、太陽光、原子力）が大部分であるが、他部門の電化を進めるため、さらに低炭素化に取り組むとしている。電力需要の想定は、シナリオやモデルによるばらつきは大きい。化石燃料から、水力、原子力、風

¹² カナダの長期戦略では、クリーン技術についても「部門（sector）」として位置付けられているが、本稿では部門横

断に分類した。

力、太陽光に置き換わる点は共通している。水力発電は2050年に2013年比で1.2～1.7倍となる。生態系への影響の懸念から、ダムを新設だけでなく、タービンの効率向上による出力増強も検討する。原子力は2050年において、現状程度とするシナリオもあるが、大部分のシナリオで大幅に増加しており、最大で現状比で約8倍程度となる。原子力が拡大するシナリオに必要なインフラを整えるには、資本コスト、建設期間などの課題が多い一方で、ゼロ排出、信頼性の高いベースロード電源といった利点もあり、新しい原子力技術は、2050年までGHG排出制約下において、有力な選択肢となりえるとしている。

フランスは2050年までにエネルギー生産からの排出量を1990年比で96%に削減し、そのうちの発電部門も脱炭素化としている。ただし、大規模削減の野心的な目標は、2050年にCCSが広く利用される仮定に基づいており、これが実現しない場合には、エネルギー生産の脱炭素化は、他の資源によって実現する必要があるとした。化石燃料発電への新規投資を禁止しつつ、2050年まで運転する可能性のある火力発電所に対するCCS導入を検討する必要があるとした。

ドイツは再エネ拡大の目標達成にむけて、再エネを電力供給システムへ統合するためのグリッドの開発が重要としつつ、再生可能電力の生産者が受け取る支払いのレベルを、入札プロセスに基づいて決定するなど、政府が価格を決定しない仕組みづくりを進めるとした。セクターカップリングは、電力市場に柔軟性をもたらし、熱や運輸部門によって需要を調整可能であれば、風力や太陽光発電のバランスが可能になるため、再エネ電力の競争条件の改善には、熱と運輸部門が重要とした。

英国は発電部門の排出量を2032年までに、

現状比で80%減とするには、再エネや原子力などの低炭素電源が、電源構成のうち80%以上、さらに2050年までには99%とする必要がある、石炭火力は使用されないとした。発電部門に対して2015～21年において約900百万ポンドの政府投資を予定しており、特に、原子力に約460百万ポンド、再エネに約177百万ポンドを投資するとしている。また、よりスマートで柔軟性のあるシステムの確立、電力貯蔵、デマンドレスポンスが必要であり、また、再エネと原子力のコストダウンの取り組みとともに、2030年代の間に、CCUSの十分なコストダウンも実現する必要があるとした。

項目(6) 既存計画との関係

項目(6)は「既存計画との関係」である。

米国は、これまでに実施された対策や、州における発電部門への再生可能エネルギー導入の動きや原子力発電を含むゼロ排出の発電技術の普及を進めている現状を紹介している。また、連邦政府による研究開発・導入の促進策により、近年、再エネのコストが下がってきていることを示している。メキシコはMexico's General Climate Change Law (GLCC)に基づいて気候変動政策が進められてきた経緯と、National Climate Change Systemにより政府内の連携がなされてきていることを紹介している。カナダは地方政府や先住民と共同して気候変動対策に取り組んできた経緯を紹介している。フランスはエネルギー移行・グリーン成長法や、国際的なコミットメントの内容を紹介している。ドイツはエネルギーシフトを目指すいわゆるEnergiewendeの取り組みの効果を紹介している。英国は気候変動法 (Climate Change Act) により定められたカーボンバジェットを紹介している。

項目(7) 気候変動緩和の便益

項目(7)は「気候変動緩和の便益」である。気候変動の緩和による便益や成長の機会が長期戦略において記載されている。便益としては、GHG排出量の削減に伴う大気汚染の改善によって健康被害が緩和されること(米国、メキシコ)、エネルギーコストや燃料の節約(カナダ、フランス)とそれによる石油市場による混乱の回避(米国)、クリーン技術開発による経済的な機会(米国)、教育や医療の改善(メキシコ)、廃棄物の減少(メキシコ)、金融、技術、規制、社会的なバリアの緩和(メキシコ)が挙げられている。成長の機会としては、フランスは厚生改善として低炭素経済下でもGDPが成長する見通しであること、ドイツは気候変動対策を経済の現代化の過程と捉えていること、英国はグリーン成長の機会であることをそれぞれ強調している。

項目(8) 国際的な文脈

項目(8)は「国際的な文脈」である。国際的な文脈は、①国際的な経緯、②国際協調の考え方、③国際貢献に分けることができる。

「①国際的な経緯」について、ドイツは長期戦略の第3章で包括的に記述している。他国も、ドイツほどではないが、これまでの経緯に言及しており、英国は、EU脱退によって独自の機会(unique opportunity)があることを指摘した。

「②国際協調の考え方」について、米国はクリーン技術の普及促進と、排出リーケージの回避の点で協調が重要であると指摘した。ドイツも同様に、排出のリーケージを避けるための対策を取りつつ、政策措置の国際的な協調を確保するとした。フランスは責任に比例した対策をとるべきとの原則を踏まえ、自国が気候変動対策への責任を取ることに加えて、他国に対しても歴史的責任を考慮して相応の負担を負うこ

とを求めた。メキシコはシナリオ分析に関する記述の中で、公平な負担分担が問題であることに言及しつつ、パリ協定では、各国が公平性と自国の事情を踏まえて、自国の貢献を提示することになったと指摘した。

「③国際貢献」について、カナダは排出削減における国際協力の重要性に触れた後に、協定6条に定められた削減効果の国際移転を、短中期的に国内削減を補完するものと位置付けた。ドイツは世界全体の気候中立的(climate-neutral)な発展へのファイナンスと、気候と開発の分野における協力に対して包括的に貢献しており、パリ協定で掲げられた「全ての資金フローを低排出かつ気候強靱的な発展経路と整合させる」という目的に向けて、追加措置が必要とした。また、途上国と新興国におけるモメンタムを高めるために、グローバルパートナーシップを2016年に立ち上げたことにも言及した。フランスは開発援助とフランス企業の海外展開支援は優先事項であり、2015年の国連総会において2020年までに気候関連プロジェクトへの拠出を20億ユーロに拡大し、その後、年間拠出額を30～50億ユーロに引き上げていくと表明したことに触れた。英国は海外での削減取り組みについてのコラムを盛り込み、途上国への気候資金の拠出、森林伐採防止の国際的な取り組みへの寄与、低炭素技術に関する投資誘致と輸出支援について詳しく説明した。メキシコはラテンアメリカ・カリブ海諸国の中で主導的な役割を果たすことを掲げた。

なお、メキシコは国際的な文脈という節を立てているが、アメリカとカナダと共同で長期戦略を作成した経緯が書かれており、米国とカナダの同様の記述と合わせて、項目(11)「作成プロセス」に分類した。

補.2 準共通項目の内容

項目(9) 2020～30年の削減水準・目標

項目(9)「2020～30年の削減水準・目標」は、カナダ¹³以外の国で記載されている。

米国はGHG排出量を2020年に2005年比17%減、2025年に2005年比26～28%減としている。メキシコはベースラインに対して、2030年までに22%減のシナリオと36%減のシナリオを分析している。フランスは2020年までに2005年比で14%減、2030年までに1990年比で40%減としている。ドイツは2030年までに1990年比で55%減としている。英国は2028～32年の期間に、1990年比で平均57%減としている。

項目(10) 定量的シナリオ分析の説明

項目(10)「定量的シナリオ分析の説明」は、ドイツ以外の国で記載されている。

米国は80%削減可能な3つのシナリオ(ベンチマーク、CO₂回収技術なし、吸収制限)を基本として分析している(そのほかのシナリオとして、CCUS無、スマートグロース、低バイオマスも分析)。さらに、野心的シナリオとして、80%以上減も分析している。メキシコはベースラインシナリオに加えて、2030年における削減率の異なる「NDC政策シナリオ」と「NDCより野心的なシナリオ」を分析している。目標としては40～70%であるが、モデルのシナリオ分析においては2000年比50%削減を評価している。カナダは2つのモデルを用いて、目標値である80%減シナリオだけでなく、65%シナリオも評価し、その場合の残りの15%については削減成果の国際移転(internationally transferred mitigation outcome)や土地部門クレジットでまかなうとしている。また、既存のシナリオ分析の結果も合わ

せて考察に使用している。フランスはトレンドで推移するシナリオとレファレンスシナリオを、経済的な影響や社会的な影響の点から評価している。レファレンスシナリオでは、マクロ経済や部門別の諸要素について中長期に関する想定がされている。英国は、2050年までのパスとして、①電化、②水素、③排出除去の3つを設定している。

項目(11) 作成プロセス

項目(11)「作成プロセス」は、米国、カナダ、メキシコが記載しており、North American Climate, Clean Energy, and Environmental Partnershipに基づいて、モデル分析の結果や知見を共有しながら、長期戦略を作成した経緯を記載している。米国とメキシコは、他の2ヶ国の長期戦略の要約もあわせて記載している。

項目(12) モニタリングと更新

項目(12)「モニタリングと更新」は、米国、メキシコ、フランス、ドイツ、英国で記載されている。

米国は長期戦略の末尾で、長期戦略作成に用いた知見はその時点での暫定的なものであり、NDCの5年サイクルの見直しについて触れつつ、長期戦略も見直しをしていく必要があることを述べている。

メキシコは緩和策については最低でも10年おき、適応策については6年おきに見直すとしている。また、新しい科学的な知見や他分野における状況を踏まえて、必要に応じてシナリオを見直していくとし、長期戦略の再提出も行うとしている。

フランスは2015～28年までを3期に分けてカーボンバジェットを示している。このカーボンバジェットは部門別に割り当てられて

分には触れられていないので、本稿では記載なしとした。

¹³ カナダは冒頭の Executive Summary で2030年に2005年比で30%削減するための政府計画の動向に触れているが、本論部

いる。各期のカーボンバジェットを年単位にも割り振っている。各期末に、欧州委員会や国連に提出した最新の実績を参照として評価するとしている。なお、フランスの長期戦略はオランダ前政権の下で作成されたが、マクロン政権のユロ環境大臣は2017年7月5日に気候計画を発表し、この中で前政権による長期戦略を書き直す可能性を示唆した。

ドイツはパリ協定におけるNDCの5年サイクルに合わせて長期戦略を見直すとしている。1回目の見直しは、新しいNDCを提出する2019年末か遅くとも2020年の初旬に行うとしている。中間的な目標は技術動向や社会経済状況、最新の科学的知見に基づいて絶えず見直していくとしている。対策の定量的な効果評価の実施や専門家のプラットフォームを構築することも記載されている。また、ドイツ政府は長期戦略の実施状況に関するレポートを毎年作成するとしている。

英国は、有効な対策や社会経済・技術・イノベーションの動向を踏まえながら、長期戦略の各項目を見直すとしている。2018年からは、排出強度比（Emission Intensity Ratio）を毎年報告し、長期戦略の主要な要素を気候変動委員会のレポートを踏まえながら見直していくとしている。

項目(13) 既存のシナリオ分析

項目(13)「既存のシナリオ分析」は、米国、メキシコ、カナダ、フランスの長期戦略で記載されている。特にカナダは、既存のシナリオ分析の紹介に1章を割り当て、5ページにわたり、9つの既存研究を取り上げ、知見を整理し、既存の技術で目標の削減量は達成可能である点を述べている。米国は、シナリオ分析の説明の冒頭で、米国の脱炭素シナリオに関する先行研究として、Energy Modeling Forum 24（EMF24）とDeep Decarbonization Pathway Project（DDPP）

における知見をコラムに記載している。フランスは、National Debate on the Energy Transition（DNTE）の議論を基に作成された4つのシナリオ（DNTE Trajectories）を紹介している。

補.3 独自項目の内容

項目(14) モニタリング指標

項目(14)「モニタリング指標（国・部門横断・部門別）」は、フランスと英国の長期戦略に記載されている。

フランスは、モニタリング指標を大きく3つに分けて、年に1～2回、指標を確認するとした。1つ目はサマリー指標であり、さらに全体指標（15指標）、競争力とコスト（3指標）、雇用（2指標）、大気（1指標）、資源（1指標）の5つに区分される。2つ目は分野横断的な指標であり、カーボンフットプリント（1指標）、投資の方向転換（推奨事項6つ、指標3つ）、持続可能な土地管理（推奨事項3つ、指標2つ）、地方プロジェクト実施の支援（推奨事項3つ、指標3つ）、研究とイノベーション（推奨事項2つ、指標2つ）、教育（推奨事項3つ、指標1つ）、訓練（推奨事項2つ）の7つに区分されている。3つ目は部門別に関する指標である。運輸（推奨事項8つ、指標6つ）、家庭・業務（推奨事項7つ、指標5つ）、農業（推奨事項6つ、指標5つ）、森林・バイオマス（推奨事項2つ、指標3つ）、産業（推奨事項8つ、指標8つ）、エネルギー生産（推奨事項6つ、指標6つ）、廃棄物管理（推奨事項5つ、指標3つ）に区分されている。

項目(15) 部門別のイノベーション機会

項目(15)「部門別のイノベーション機会」は、米国のみが発電部門、運輸部門、建物部門、産業部門）について記載している。

発電部門では、低炭素発電、グリッドの近代化（grid modernization）、蓄電の3つが挙げられている。低炭素発電では、CCUS付き化石燃

料発電、原子力発電、風力発電、太陽光発電、集中型太陽光発電、バイオエネルギー、地熱発電、海洋・潮汐発電、熱源供給システムが、電力網の近代化では潮流制御装置の低コスト化など6項目が、蓄電では、揚水発電、バッテリーなどのエネルギー貯蔵が取り上げられている。運輸部門では、バッテリー式電気自動車（BEV）、燃料自動車（FCV）、バイオ燃料、燃費の改善、航空機、モーダルシフトが取り上げられている。建物部門では、冷暖房・給湯システム、その他の建物が取り上げられている。産業部門では、燃料転換と代替的な原材料、エネルギー効率化、先進的なプロセス、先進的な材料、産業用CCUS、産業におけるCHPが取り上げられている。

項目(16) 適応策

項目(16)「適応策」は、メキシコのみが記載しており“Climate change adaptation”の章で扱われている。この章では、脆弱性評価、メキシコにおける適応プロセス、適応策（climate change adaptation measures）の特徴、適応の目的と戦略、適応行動分野（adaptation action areas）が取り上げられている。

項目(17) 各目標値とSDGsとの対応

項目(17)「各目標値とSDGsとの対応」はドイツのみが全般にわたり記載している。

1章のイントロダクションではパリ協定と並んで国連の掲げるSDGsも気候変動対策において重要であるとして、長期戦略においてSDGsを考慮したうえで3つの持続可能性（環境的、経済的、社会的）をカバーする必要があるとしている。3章では、気候変動に対して具体的な対策を実施することを目指すSDG13と、海洋や生態系の保護の項目であるSDG14と15が、気候変動対策を通じて達成される点を述べている。4章では、SDGsの達成

を踏まえると、エネルギー効率の向上によるGHG削減に焦点を当てるべきであり（4.2節）、さらに、4.3では、気候変動対策の社会的な意義に触れ、ジェンダー間の平等（SDG5）、不平等の緩和（SDG10）、効果的かつ包括的な公共機関（SDG16）を参照している。5章では、部門別の取り組みとSDGsとの関係も述べている。建物部門では、気候中立的な街・都市（climate-neutral towns and cities）の実現が、SDG11（住み続けられるまちづくり）と対応していること（5.2節）、産業・業務部門（5.4節）では、生産と消費の関係を考慮した持続可能性の実現が、SDG12（持続可能な消費と生産の実現）と対応すること、農業部門（5.5節）では、食糧安全保障と持続可能な農業の実現が、SDG2（飢餓の撲滅）と対応していることがそれぞれ述べられている。バイオエネルギーとその他土地利用との競合関係では、SDG2に加え、SDG15の生態多様性とも関係するとしている。5.7節の包括的な目標と対策では、気候変動対策に資する投資や効率的な金融市場の重要性を述べ、この点はSDG9（インフラと技術革新への継続的な投資）と対応しているとしている。教育と訓練は、SDG4（包摂的かつ公平で質の高い教育）との対応だけでなく、すべてのSDGsの実現に重要であるとしている。

項目(18) 2032年までの意思決定の道筋

項目(18)「2032年までの意思決定の道筋」は、英国のみ記載している。2017年から2032年までの業務・産業、家庭、運輸、発電、天然資源、公共の各部門における政策の意思決定の道筋が表形式で示されている。

業務・産業部門では、すべての業務部門における効率性の向上、商業ビルの改善、製造業・重工業の転換の3区分について整理されている。家庭部門では、人々の住宅における

質と価値の改善、住宅におけるランニングコストの改善の容易化、より環境により熱システムの促進、よりよい市場サービスと価値ある雇用の創出の4区分について整理されている。運輸部門では、超低排出自動車の普及促進、英国自動車産業のゼロエミッション技術開発の主導への支援、効率的で低炭素な貨物システムの促進、低炭素な自動車以外での移動の促進、航空・海上輸送部門の近代化、横断的取り組みの6区分で整理されている。発電部門では、発電の低炭素化とよりスマートで効率的なエネルギー供給の2区分で整理されている。天然資源では、クリーン成長による農家と郊外部事業への便益、土地の炭素貯留の機能の確認と自然資本の促進、ゼロ廃棄物、代替フロン等3ガスの4区分で整理されている。公共部門では、政府によるGHG削減目標と公共部門の目標の2区分で整理されている。

項目(19) カーボンフットプリント

項目(19)「カーボンフットプリント」は、フランスのみが部門横断的対策として記載している。生産ベースと消費ベースでの排出量の考え方の違いを示した上で、グローバルなカーボンフットプリントを削減するための政策の考え方や、個人レベルでの財の消費や移動、住宅、食料などにおける直接・間接排出の捉え方を記載している。

項目(20) クリーン技術への政府の投資額

項目(20)「クリーン技術への政府の投資額」は、英国のみが記載している。7つの部門ごとに、基礎と応用研究、技術開発、技術デモンストラーションに対する2015年から2021年にかけての具体的な投資額が記載されている。

【参考文献】

環境省 (2017) 各国の長期戦略の概要について、長期低炭素ビジョン小委員会 (第20回) 議事次第・配布資料

<http://www.env.go.jp/council/06earth/y0618-20.html>

(アクセス日: 2018.3.1)

資源エネルギー庁 (2018) 地球温暖化について、エネルギー情勢懇談会 (第7回) 資料9

http://www.enecho.meti.go.jp/committee/study-group/ene_situation/007/pdf/007_013.pdf (アクセス日: 2018.3.1)

分析に使用した長期戦略は以下のとおりである。

米国 (2016) Mid-Century Strategy for Deep Decarbonization

http://unfccc.int/files/focus/long-term_strategies/application/pdf/mid_century_strategy_report-final_red.pdf (アクセス日: 2018.3.1)

メキシコ (2016) Mexico's Climate Change Mid-Century Strategy

http://unfccc.int/files/focus/long-term_strategies/application/pdf/mexico_mcs_final_cop22nov16_red.pdf (アクセス日: 2018.3.1日)

カナダ (2016) Canada's Mid-Century Long-Term Strategy

http://unfccc.int/files/focus/long-term_strategies/application/pdf/can_low-ghg_strategy_red.pdf (アクセス日: 2018.3.1)

フランス (2017) National Low Carbon Strategy

http://unfccc.int/files/focus/long-term_strategies/application/pdf/national_low_carbon_strategy_en.pdf (アクセス日: 2018.3.1日)

ドイツ (2017) Climate Action Plan 2050

http://unfccc.int/files/focus/application/pdf/161114_climate_action_plan_2050.pdf (アクセス日: 2018.3.1)

英国 (2017) The Clean Growth Strategy Leading the way to a low carbon future

<https://www.gov.uk/government/publications/clean-growth-strategy> (アクセス日: 2018.3.1)

坂本将吾 (さかもとしょうご)

電力中央研究所 環境科学研究所

上野貴弘 (うえのたかひろ)

電力中央研究所 社会経済研究所

本号の特集「温暖化対策はどうあるべきか—国内政策・国際枠組み・長期戦略の体系的検討」に関連する主要な研究報告書をご紹介します。弊所 Web サイトから PDF 版をご利用ください（無料）。

電力中央研究所 社会経済研究所

<https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/index.html>

■電力中央研究所 研究報告書（報告書番号：発行年月）

○日本を含む各国の国内政策に関するもの

暗示的炭素価格とは何か—明示的炭素価格より優れた指標になり得るか—(Y16002：2017.03)

排出量取引制度の設計と現状の評価（Y16001：2017.03）

国の温暖化対策関連事業の現状と課題—公会計資料と行政事業レビューシートに基づく分析—(Y15018：2016.05)

米国火力発電所 CO₂ 排出規制 Clean Power Plan の事前評価（Y15005：2016.03）

米国における火力発電所 CO₂ 排出規制の動向と今後の展開—連邦環境保護庁の規制『Clean Power Plan』提案を巡って—(Y14005：2015.02)

省エネ補助金の追加性と費用対効果の評価—NEDO 補助事業の事例分析—(Y13028：2014.05)

地球温暖化対策としての情報提供的な規制手法の有効性—東京都温暖化対策計画書制度の事例分析—(Y10027：2011.06)

東京都排出量取引制度の実効性について—欧米の経験を通じた考察—(Y10023：2011.04)

○国際枠組みに関するもの

COP21パリ協定の概要と分析・評価（Y15017：2016.05）

ハイブリッドアプローチに基づく2020年以降の温暖化対策の国際枠組み—2013年の交渉動向と2015年の合意期限に向けた課題—(Y13020：2014.05)

文献調査に基づく REDD（森林減少・劣化からの温室効果ガス排出削減）クレジット化の有効性の検討（Y10039：2011.08）

ボトムアップアプローチによるポスト京都議定書の国際枠組み（Y09007：2010.04）

温暖化防止技術の国際技術移転—中国への技術移転の事例分析を通じて—(Y08023：2009.06)

○長期的な側面に関するもの

IPCC 第5次評価報告書のアンバーダイアグラムによるリスク評価について（V14012：2015.04）

長期の地球温暖化対策における二酸化炭素除去技術の役割（Y13015：2014.04）

IPCC 第1作業部会の第5次評価報告書の要点と地球温暖化対策への示唆（V13013：2014.03）

エンドユース技術を組み込んだ世界統合評価モデル（BET モデル）の開発（Y11005：2012.03）

世界の CO₂ 排出大幅削減に向けた高効率電化技術の役割—積上げ式世界エネルギー・システム・モデルの改良と試算—(Y10009：2011.05)

気候工学（ジオエンジニアリング）に関する文献調査（Y09003：2010.02）

* 原稿の採用、雑誌の編集等については、「電力経済研究」編集委員会がその責任を負います。本誌に掲載されたすべての論文を含む本誌の著作権は、電力中央研究所に帰属します。複製や他の出版物等に転載を希望する場合は、「電力経済研究」編集委員会を通じて電力中央研究所の承諾を得てください。

電力経済研究 No.65 2018年4月

発行：一般財団法人 電力中央研究所 社会経済研究所
〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1
E-mail: src-henshu-ml@criepi.denken.or.jp

特集「温暖化対策はどうあるべきか

－国内政策・国際枠組み・長期戦略の体系的検討－

総説

温暖化対策はどうあるべきか－本特集号の概要と政策課題への示唆－
 上野 貴弘 ... 1

第1部 国内政策－カーボンプライシングを巡って

論文

東京都の排出量取引制度の評価
 －事業所インタビュー調査に基づく効果の検証－
 若林 雅代 木村 宰 ...17

論文

国の温暖化対策関連経費の推移と費用対効果
 －温暖化対策税収は有効に使われているのか－
 木村 宰 ...32

論文

経済成長と環境負荷のデカップリングの解釈をめぐる課題
 西尾 健一郎 向井 登志広 永井 雄宇 大藤 建太 ...45

研究トピックス紹介

炭素税と三重の配当論
 若林 雅代 木村 宰 ...55

第2部 国際枠組み－パリ協定の行方

論文

トランプ大統領のパリ協定脱退表明をどう捉えるか
 上野 貴弘 ...67

論文

パリ協定における国別目標の進捗捕捉の試み
 －中国を事例とする分析と協定実施指針への示唆－
 上野 貴弘 ...82

第3部 長期低排出発展戦略－ゼロ排出の将来に向けて

論文

2℃目標と統合的な長期の排出削減について
 －IPCC シナリオデータベースを用いた検討－
 筒井 純一 ...101

論文

CO₂の長期大規模削減と電化
 －排出制約下における電化の促進と電力需要の関係性－
 坂本 将吾 ...121

研究ノート

CO₂の長期大規模削減とロックイン問題
 －家庭用給湯器の事例にもとづく考察－
 西尾 健一郎 大藤 建太 ...136

研究ノート

長期低排出発展戦略の項目・構成の比較
 坂本 将吾 上野 貴弘 ...145