

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を考え方によるし、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