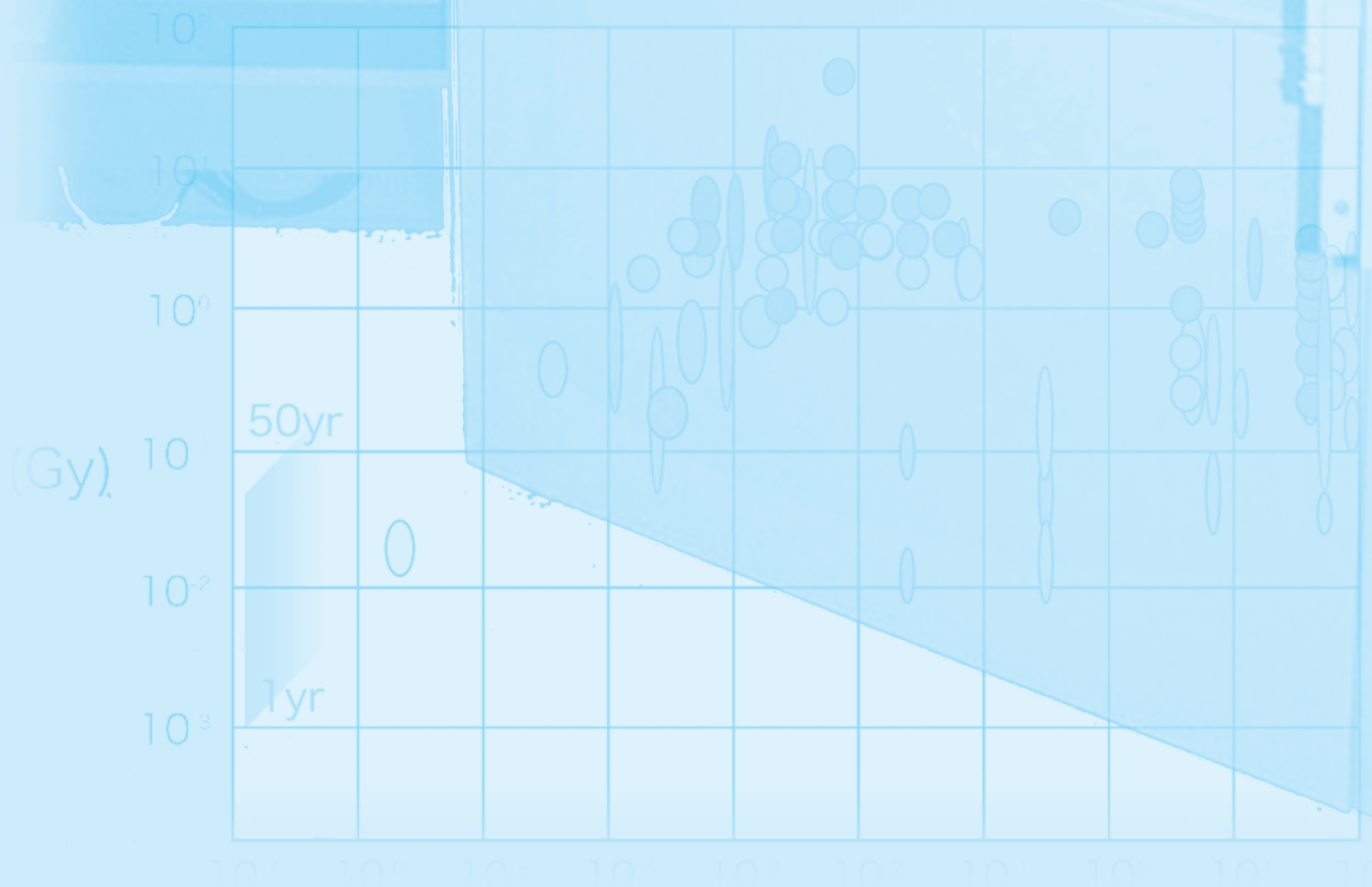


第

章

# 3

## 低線量研究の成果の 活用と今後の展開



### 第3章 低線量研究の成果と今後の展開 目次

原子力技術研究所 低線量放射線研究センター 副センター長 上席研究員 酒井 一夫  
原子力技術研究所 低線量放射線研究センター 上席 柳 宣芳  
原子力技術研究所 低線量放射線研究センター 主任研究員 野村 崇治

3 - 1 放射線防護への反映 .....	47
3 - 2 医学への適用 .....	49
3 - 3 情報発信活動 .....	51
3 - 4 今後の展開 .....	53

---

酒井 一夫（8ページに掲載）



柳 宣芳（2000年東京電力より派遣）  
低線量放射線の生物影響について、国内外の最新情報をWebサイトを使って発信するとともに、これらの科学的データをわかりやすく解説し、身近にある放射線の危険性や有益な面について、正しく理解していただくための広報・公聴活動に取り組んでいる。

野村 崇治（18ページに掲載）

第2章で見たように、低線量率放射線の生物作用は、高線量・高線量率放射線の場合と様相が大きく異なることが明らかとなった。この中でクローズアップされた生体防御機能の存在は、放射線のリスク評価に大きな影響を与える可能性がある。また、さらにこの生体防御機能が低線量の放射線によって増強される場合があるという事実は、放射線の医学利用の分野の新たな展開を期待させるものがある。

## 3 - 1 放射線防護への反映

### 3-1-1 LNT 仮説とその根拠

放射線防護の分野では放射線によるリスクを評価するにあたって「しきい値なし直線（Linear No-Threshold ; LNT）仮説」が採用されている。LNT 仮説（図3-1-1）は、高い線量域で得られている知見を低線量域にまで外挿して、低線量放射線のリスクを評価しようとする考え方であり、「どんなに微量であっても放射線は有害である」との主張の根拠ともなり、また一般の放射線に関する不安や懸念の一因となっている。

LNT 仮説の根拠とされるのが、発がんに関する単純なモデルと、高い線量で得られたDNA 損傷に関する知見である（図3-1-2）。20世紀の生物学の進展の中で、がんという病気が、身体を構成する細胞の突然変異が原因であるということ、突然変異は生物が持っている遺伝情報が変化してしまうことであり、遺伝子（DNA）の損傷が原因であることなどが明らかにされた。一方、放射線生物学の分野では、放射線の様々な生物作用の標的がDNA分子であり、DNA分子には線量に比例して損傷が誘起されることが明らかにされた。こうして、「DNA 損傷」と「突然変異」とを仲立ちとして、放射線とがんのリスクを直線的に結びつける考え方が成立するに至った。

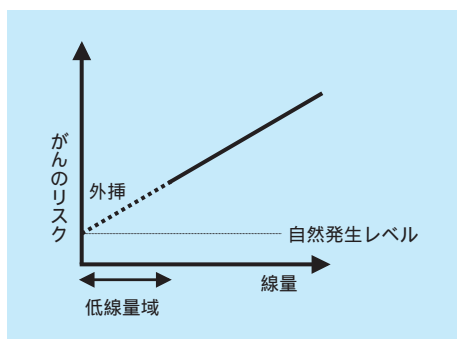


図3-1-1 しきい値なし直線仮説

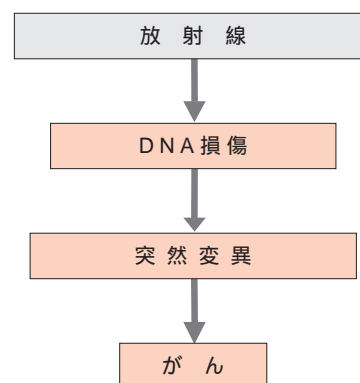


図3-1-2 LNT仮説の根拠である単純化された発がん機構

### 3-1-2 がんに至る多くのステップと生体防御機能

しかし、発がんの機構の詳細がわかり始めると、がんに至る過程には、多くのステップが存在することや、それぞれのステップにおいて、発がんへの過程を抑制するような「防御機能」が生体に備わっていることが明らかとなった（図3-1-3）。

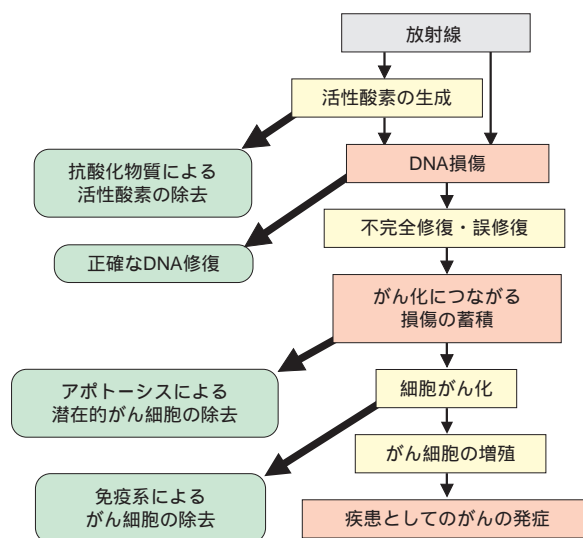


図3-1-3 発がんまでの多くのステップと生体防御機能

発がんの過程はDNA 損傷に始まる。放射線は直接 DNA に損傷を与える場合（直接作用）と、まずは細胞内の水分子にエネルギーを与えて化学的な変化を引き起こし、生じた活性酸素などが二次的に DNA 損傷を与える場合（間接作用）がある。活性酸素は、酸素分子を含む反応性の高い一群の分子のことを指すが、酸素呼吸の副産物として、体内で日常的に生じている。これに対して抗酸化物質と呼ばれる物質が存在し、活性酸素を除去する役割を果たしている（2-2-1 参照）。

細胞にはまた、損傷を受けた DNA を修復する仕組みがある（2-2-2 参照）。数十にも及ぶとされる「DNA 修復関連タンパク」が関与する複数の修復経路が知られている。DNA の損傷はそのほとんどが正しく修復されると考えられているが、ここで損傷を直しきれなかったり、修復の過程で誤りが起こったりすると、遺伝情報の変化につながり、突然変異が生じることになる。

がんの原因は突然変異であると述べたが、単一の変異でがんになるわけではなく、複数の変異が蓄積した結果として、正常の細胞が、増殖の制御を逸脱して増え続ける性質を獲得してしまう。これを細胞のがん化と言うが、これに対しては、修復しきれないほどの損傷を持った細胞を死に至らしめる巧妙な仕組みのあることが知られている。この仕組みはアポトーシスと呼ばれ、遺伝子に傷を持った細胞が生き残ってがん化することを抑える上で有効に機能している（2-2-3 参照）。

免疫機能は、外部からの異物を処理する仕組みだが、身体の中に生じた変異細胞の処理にも役立っている（2-2-4 参照）。

### 3-1-3 生体防御機能によるリスクの低減

以上のように、何重もの「防御機能」が発がん過程の中で抑制的にはたらいっている。それにもかかわらず個体に障害が現われるような場合は、この生体防御能力で対処しきれなかった分が影響を及ぼしたものと見える。このことを図3-1-4 に模式的に示す。高線量の放射線によって生体に起こりうる正味の障害は、生体防御能力を超えた黒塗りの部分であると考えられる。一方、放射線の量に関わらず生体防御能力は同じであるため、低線量の場合に起こりうる正味の障害は極めて低くなる。低線量の放射線による障害の現れ方は、単純に線量に比例したも

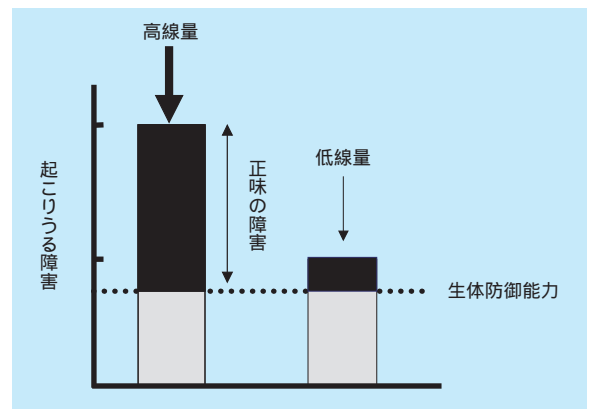


図3-1-4 生体防御機能による障害の軽減

のではないことがわかる。

### 3-1-4 線量率効果

同じ線量の放射線であっても、短期間のうちに与えられた場合と、長期間にわたってじわじわと与えられた場合とでは、生物作用の現れ方が異なり、一般に線量率が低くなると、作用が小さくなることが知られている。この現象を「線量率効果」と呼ぶ。線量率効果も生体防御能力によって説明することができる（図3-1-5）。すなわち、一挙に高線量を被ばくした場合には防御能力を越える損傷が与えられるので、正味の障害が大きくなる（図3-1-5 上段）。ところが、低線量率でじわじわと被ばくした場合には、その時点、その時点で生体防御能力によって対処されるため、実際に生じる障害は少なくなる（図3-1-5 下段）。線量率が極めて低くなれば、もはや障

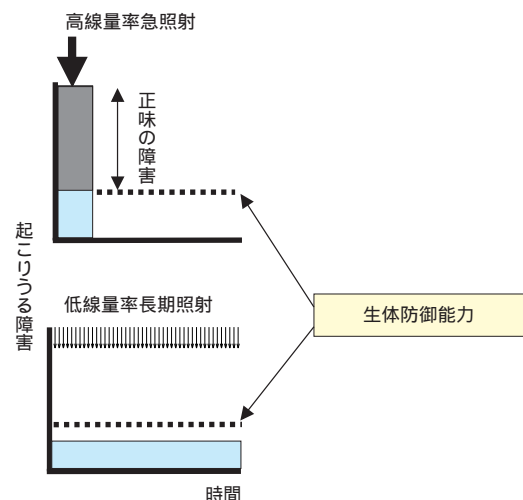


図3-1-5 生体防御機能と線量率効果

害は生じなくなるということも考えられる。

### 3-1-5 まとめ

低線量・低線量率放射線の生物影響に関してこれまでに得られている知見を「線量・線量率マップ」(2-4-1参

照)としてまとめたが、これからも明らかなように、LNT仮説から予想されるよりもリスクが小さいと考えるのが妥当と思われる。

より合理的な放射線防護体系を構築し、放射線管理のあり方を考える上では、これら、低線量・低線量率の放射線の生物影響の実態を考慮することが重要であろう。

## 3 - 2 医学への適用

医療の分野における放射線利用は大きく診断と治療に分類できる(表3-2-1)。診断は放射線の透過作用を利用したもので、初期のX線撮影に始まり、現在ではコンピュータ断層撮影(CT)やポジトロン放出断層撮影(PET)として幅広く利用されている。放射線診断による被ばく線量は、X線単純撮影の場合は0.05mGy、CTの場合に数mGyである。一方、治療目的のためには、高線量放射線の細胞致死効果が利用され、総線量で数十Gyに達する。

こうしてみると現状では、診断が低線量、治療が高線量と分類できる。第2章で見たように、低線量・低線量率放射線が生体防御機能の増強をもたらすとすると、現在の医療において空白となっている部分すなわち、低線量放射線を用いた治療という可能性が開けてくる。

表3-2-1 放射線の医学利用

	診断	治療
高線量		細胞致死効果
低線量	透過作用 写真作用	生体防御機能の増強 恒常性維持機能の増強

詳細な機構については今後の研究を待たなくてはならないが、低線量放射線を利用した医療として「ラドン療法」が知られている。電力中央研究所では、ラドン熱気浴に取り組んでいる岡山大学三朝医療センター(鳥取県・三朝温泉)と連携して、ラドン熱気浴の効果に関する基礎的な検討を進めてきた。

三朝医療センターでは、放射能泉を利用して呼吸器系疾患、関節リウマチ・神経痛などの疾患、消化器疾患、高血圧・動脈硬化・糖尿病などの疾患、老年医学領域の疾患などに対する治療を行っている。

温泉療法として、三朝温泉の重曹食塩放射能泉という泉質を利用し、1. 入浴療法、2. 温泉プールによる療法、3. 鉱泥湿布療法、4. 吸入療法、5. 飲泉療法、6. 熱気浴療法が行われている。症例数は統計学的に有意な値が得られるほどにはいたっていないが、入院病床稼働率が約90%、内科外来が1日平均100人を越す規模で治療が行われている。

治療対象のひとつ、変形性関節症は活性酸素関連疾患の一つと言われ、この疾患患者の血液中の抗酸化機能、活性酸素病関連指標、免疫機能などに着目してラドン高濃度熱気浴反復治療に伴う変化特性を調べた。20~70歳台の患者総計20名に対し当該浴室(ラドン濃度2,080 Bq/m<sup>3</sup>、室温42℃)において1日1回40分、高湿度下の治療を隔日に施した。1回目の治療前(対照)治療後、治療開始2、4、6週間目のそれぞれの治療後に採血し分析した。その結果、次に掲げるような、ラドン温泉浴の治療効果を示唆する結果が得られている。

1. 活性酸素を消去する抗酸化物質の一つであるSODの活性の有意な増強(図3-2-1a)および、活性酸素によってもたらされる酸化的損傷の指標である過酸化脂質は減少し(図3-2-1b)、活性酸素関連疾患による酸化的障害を軽減した。
2. ConA幼若化反応(図3-2-1c)が有意な増強を示し、免疫機能の亢進が示された。
3. 神経末端から分泌され痛覚の制御に関与する -E



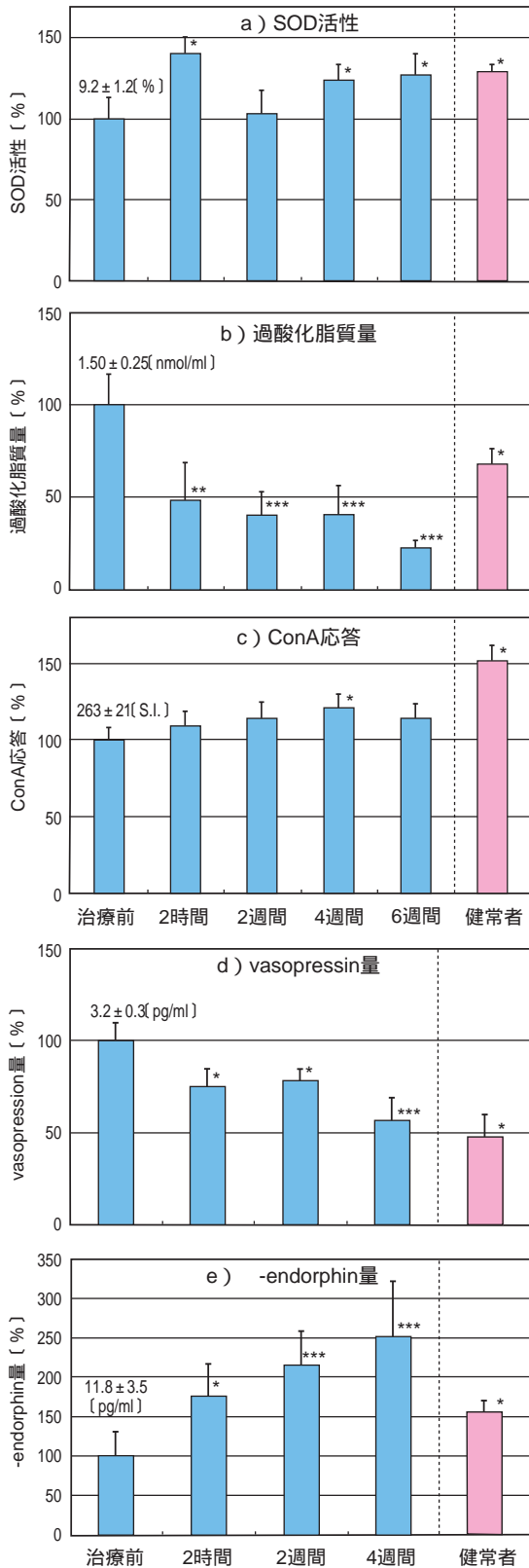


図3-2-1 三朝温泉の熱気浴反復治療による変形性関節疾患者の血液成分の変化

ンドルフィンの値が有意に増加した(図3-2-1d)、疼痛の寛解に参与していると考えられる。

4. 毛細血管・細動脈を収縮させ血圧上昇作用を示すバソプレッシンの値が有意に減少した(図3-2-1e)、組織血流の循環の促進の機構に参与するものと思われる。

ここに示した治療例は決して多数とは言えないが、ラドン温泉の治療効果を示している。高線量放射線の細胞致死効果を利用したがん治療とは異なる、低線量放射線の生体防御機能の増強を利用した新たな治療法の可能性を示すものと考えられる。

今後、このような基礎的な情報の積み重ねと、治療効果の機構、特にこの治療による線量との関係を明らかにすることにより、低線量放射線の生物作用を、医療に積極的に利用するという展望が開けるものと期待される。

### 3 - 3 情報発信活動

#### 3-3-1 低線量放射線影響情報ネットワークシステム

放射線の影響をわかりやすく紹介する広報戦略の一環として、低線量放射線が生物に及ぼす影響の正しい理解の促進に資することを目的として、平成13年度から「低線量放射線研究情報ネットワークシステム」(図3-3-1)を構築し、平成14年5月から運用を開始した。

本システムの特徴は低線量放射線の生物影響に関する国内外の研究論文を広い範囲にわたって収録するとともに、

当低線量放射線研究センターと共同で研究を進める外部機関(低線量放射線に応答する生体機能に関する研究のワーキンググループ)の活動状況も入力し、専門家を対象とした実効的な情報提供を行うとともに、一般人には放射線に対する不安を払拭出来るような情報として放射線豆知識・研究動向・イベント報告・質問や施設見学の依頼等を下記のホームページで紹介している。

<http://criepi.denken.or.jp/jp/ldrc/event/caravan/index.html>

[http://criepi.denken.or.jp/jp/ldrc/event/event\\_report.html](http://criepi.denken.or.jp/jp/ldrc/event/event_report.html)

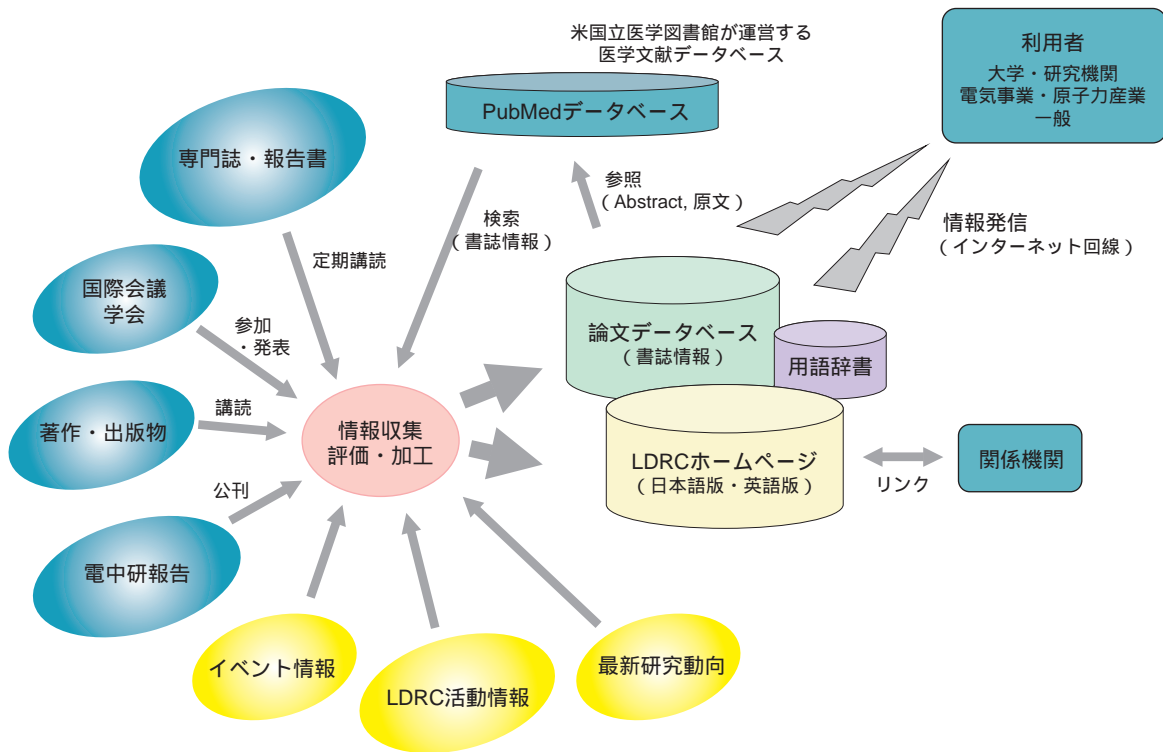


図3-3-1 低線量放射線情報ネットワークシステムの概要

低線量放射線ネットワークシステム(略称:LINS)には様々な情報源から収集した低線量放射線に関する情報を評価・加工して入力しています。低線量放射線に関連するキーワードにより、研究論文、論説等を日本語および英語で容易に検索することができます。

### 3-3-2 広報キャラバン活動

低線量放射線研究センターでは、低線量放射線研究の最新成果を紹介し、放射線の生物影響に対する正しい理解の促進を図るための研究紹介活動を行っている。

この研究紹介活動は、まず、全国の原子力にたずさわる電力・協力会社職員や地域医療関係者の方々を対象に「広報キャラバン」として実施し、平成13年2月以来すでに約20回実施しており、全国の原子力発電所立地点をほぼ一巡し、参加者は約1,200名に達している（図3-

3-2）。

最近、茨城県東海地区の女性住民を原子力技術研究所（狛江地区）に招いての交流会（講演・討論）や、中国電力のモニターを対象としたセミナーを実施するなど、対象を一般の方々に広げることに取り組んでいる。また所外の団体との協力も積極的に進めており、WIN（Women In Nuclear）JAPAN等を通じて、立地地域住民との交流会や、広報担当者のセミナー等に講師を派遣し、放射線の初歩から最新の研究成果まで幅広く紹介している。



原子力発電所での講演



病院での講演

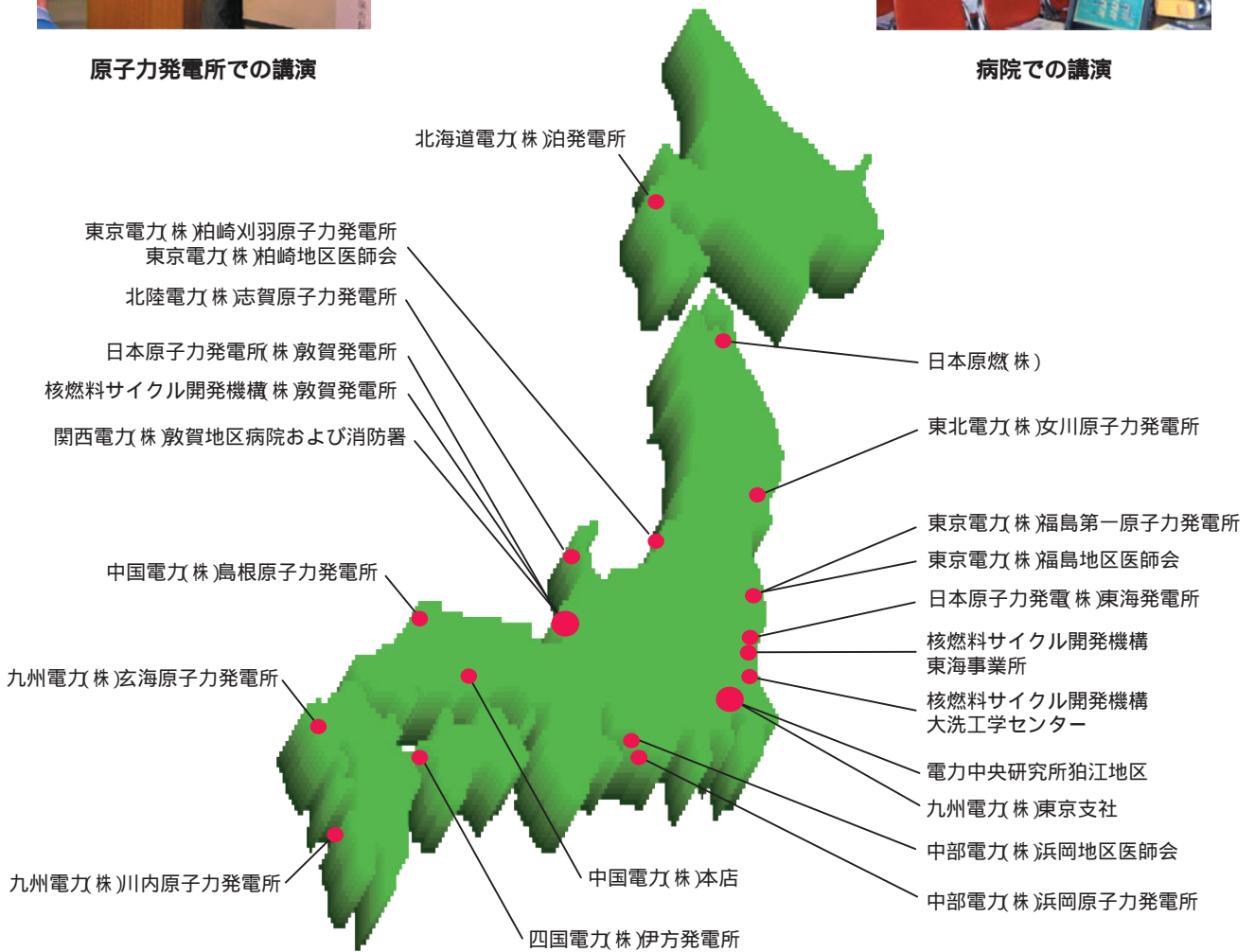


図3-3-2 平成18年1月現在の訪問地域



### 3 - 4 今後の展開

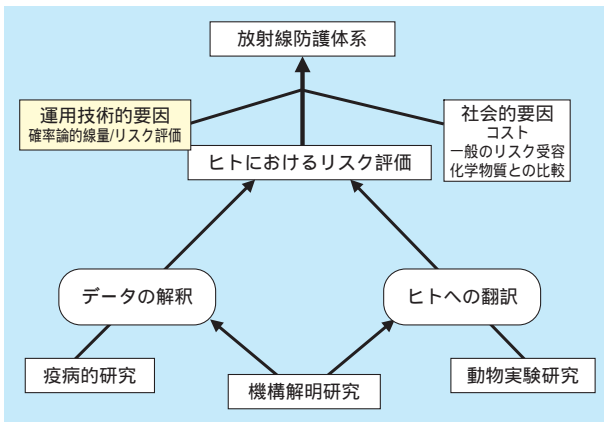
最近10年の研究の進展により、低線量・低線量率放射線の生物作用が、高線量・高線量率の場合とは大きく異なること、そしてその背景には生体防御機能のあることを生体応答ネットワークとしてまとめた。

また、放射線の生物作用が、線量だけでなく、線量率に大きく依存することを示し、線量率マップとして取りまとめた。

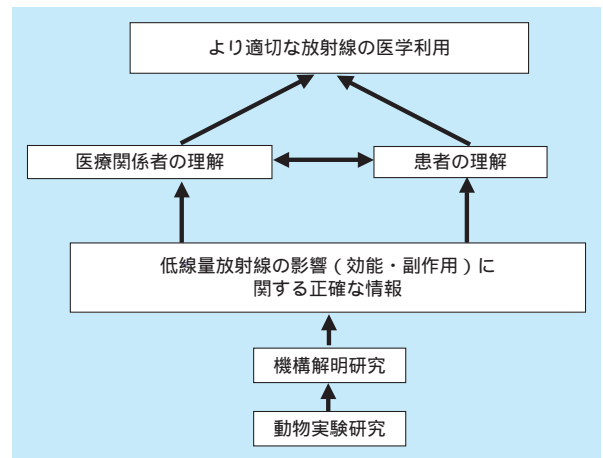
これらのとりまとめの結果、低線量・低線量率影響の研究成果は放射線防護や医療への適用の可能性を秘めた

ものであることが示された。

しかしながら、低線量影響の成果をこれらに実際に適用するためには、科学的なデータに基づいたそれぞれの分野の専門家の理解と、メリットとデメリットを踏まえた一般市民の社会的な合意が必要である。このためには、機構解明に基づく説得力のあるデータの蓄積や、その適切な情報発信が欠かせない。今後も放射線に関わる安全と安心のための貢献を目指したい。



より合理的な放射線防護体系の構築へ向けて



低線量放射線の医学利用へ向けて