

低線量・低線量率放射線影響研究分野における
研究推進方策

平成 24 年 7 月 31 日

低線量放射線影響研究に関する検討会

目 次

| | |
|---|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 検討内容 | 3 |
| 2-1 福島原発事故により懸念されている人体影響と科学的に解決すべき研究対象 | 3 |
| 2-2 課題解決に向けた方策と重点研究課題 | 7 |
| 2-2-1 課題の早期解決に向けた方策1：既存の科学的知見やサンプルの活用 | 7 |
| 重点研究課題① 放射線健康影響調査等の包括的解析によるリスク予測 | 7 |
| 2-2-2 課題の早期解決に向けた方策2：最先端ライフサイエンス基盤技術との融合 | 8 |
| 重点研究課題② 次世代ゲノム・エピゲノム解析技術を利用したリスク評価 | 9 |
| 重点研究課題③ 生体イメージング技術を利用した線量・影響評価 | 9 |
| 重点研究課題④ 発生・再生科学技術を利用した影響機構解明 | 10 |
| 重点研究課題⑤ 計算科学技術を利用したリスクモデル構築 | 11 |
| 2-2-3 長期間を要する研究のための方策1：社会システム基盤整備 | 11 |
| 重点研究課題⑥ 社会制度や研究基盤整備と同調した低線量・低線量率影響疫学研究 | 12 |
| 2-2-4 長期間を要する研究のための方策2：重要な臨床課題を解決するための基礎研究の展開 | 12 |
| 重点研究課題⑦ リスク低減に関する動物実験からヒトへの応用研究 | 13 |
| 重点研究課題⑧ 放射線障害の診断や治療に関する技術開発 | 14 |
| 2-2-5 重点研究課題のロードマップ | 14 |
| 2-3 重点研究課題の推進体制 | 17 |
| 2-3-1 オールジャパンの研究推進体制 | 17 |
| 2-3-2 プラットフォームの当面の目標 | 17 |
| 2-3-3 人材育成 | 18 |
| 2-3-4 独立行政法人放射線医学総合研究所(放医研)の役割 | 21 |
| 3. おわりに | 22 |
| 参考 低線量放射線影響研究に関する検討会の構成員及び会議開催実績 | 24 |

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故（以下、福島原発事故）により、放射線による健康影響、特に低線量・低線量率被ばくの健康影響については、事故の被災者をはじめ、多くの住民が今も不安を抱いている。低線量・低線量率放射線の健康影響については未解明な部分が多く、相矛盾する多様な意見が併存していることもその原因の一つとして考えられる。そのため、国会事故調査委員会報告書など様々な報告書において、低線量・低線量率被ばく影響について記載され、また様々なマスメディアでも取り上げられるなど、国民の関心も非常に高い¹⁾。

これまでは、我が国の法規制が国際的な放射線防護体系を遵守していることから、放射線利用については一定の安全性が確保されていると、概して社会も受容してきたが、実際には、低線量率被ばくや内部被ばくのリスク推定の不確実性、あるいは放射線感受性の個人差など、解決すべき課題が多く残されている。1999年には日本学術会議の専門委員会が「低線量・低線量率放射線の人体影響の問題が21世紀における重大な関心事である」として、「その解明には放射線作用の基本原則と生物・生命原理を融合させた新しい研究戦略が要求される」ので、「国の基本方針を早急に策定し、重点的に研究をすること」という政策提言をまとめた²⁾が、科学技術基本計画等に放射線影響研究を明確に位置づけ、国が司令塔となって推進するといったことはあまりなされず、放射線規制に科学的エビデンスを提供する安全研究分野に特化して研究推進が図られてきた³⁾。福島原発事故以降もいまだ放射線による人体・生物への影響の解明を推進する明確な政策はなく、平成24年度科学技術重要施策アクションプランにおいても、放射性物質による健康への影響に対する住民不安を軽減するため「食品、水の放射性物質による影響の低減」を重点的取り組み対象として検討しているのみである⁴⁾。

しかし福島原発事故を契機に生じた懸念に応え社会への説明責任を果たす、あるいは放射線影響予防・低減化に資するためには、早急に放射線安全研究（防護研究、疫学研究、被ばく医療研究）のみならず、放射線の医学利用の基礎研究、放射線をツールとしたライフサイエンス研究等における成果の集約とポテンシャルの集中投入により、今まで以上に戦略的に低線量・低線量率放射線影響研究を推進して、これまで積み残してきた課題を解決すべきである。まずは既存の材料、技術の全てを有効に使って、直ちに被ばく線量評価とリスク予

測を行い、場合によっては疾患の予防や早期発見、治療に向けた対策を考える必要がある。また放射線への関心の高まりと共に、医療における放射線に対して不安を感じる国民が増加しており、今後その有用性と安全性をより高めるため、基礎から臨床に至る一連の研究に注力する必要がある。

有機的に多分野、多機関が連携して放射線影響研究を進めるにあたって、具体的な方策を講じる必要がある。これまでも低線量・低線量率被ばくの人体影響研究の推進については、「原子力の重点安全研究計画（第2期）」（平成21年8月 原子力安全委員会）³⁾に産学官の連携体制の構築の必要性が記載されてはいるものの、効果的に機能した事例は限られている。さらに放射線影響研究協議会などの国内連携機関の集まりはあるが、実質的にオールジャパンの具体化された取組みは疫学合同研修コースなどに限定されている。

そこで本検討会では、以下の観点から、福島原発事故を契機に生じた懸念に応え、国民の不安解消や放射線影響予防・低減化に資する重点研究課題を抽出した。また重点研究課題を遂行するために必要な枠組みについても提示した。

検討の視点

- 1) 福島原発事故により懸念されている人体影響に関して、科学的に解決すべき課題にはどのようなものがあるか。
- 2) 抽出された課題の早期解決に向けて、どのような方策があるか(重点研究課題の抽出)
- 3) 課題解決までに長期間を必要とする研究としてはどのようなものがあるか、またどのような点に留意すべきか(重点研究課題の抽出)
- 4) 2)～3)の重点研究課題を進めるためにどのような方策が必要か
 - ・ 重点研究課題を進めるに当たって、どのようなロードマップが適当か
 - ・ 他分野の研究者の低線量放射線影響研究への参画をどのように推進するか
 - ・ 重点研究課題の実施及び遂行において、(独)放射線医学総合研究所が果たすべき役割はどのようなものか

2. 検討内容

2-1 福島原発事故により懸念されている人体影響と科学的に明らかにすべき研究対象

福島原発事故以降社会的関心が高く、科学的な機構解明や線量効果関係の詳細検討をすべき研究対象として、(A) 低線量・低線量率被ばくのリスク、(B) 小児被ばくの影響、(C) 内部被ばくの影響、(D) リスクの蓄積性(長期被ばく)がある。また (E) 遺伝性影響に関しては、動物実験では観察されているものの、ヒト疫学からは報告例がほとんどなく、そのギャップの原因を科学的に解明する必要がある。社会的関心という観点からは (A) ~ (E) ほどではないが、(F) 非がん影響、(G) 放射線感受性の個人差、(H) 生体防御も、放射線によるリスク評価や障害予防を考える上で重要であることが国際的にも認識されている⁵⁾。上記の健康影響への懸念に端を発して、原子力利用はもとより、(I) 医療被ばくのリスクや防護についての関心も高まっている。医療被ばくは概して高線量率被ばくであり、放射線治療やIVRの有害事象(副作用)と緊急被ばく時の確定的影響には共通点が多い。なお (A) ~ (I) は、国会事故調査委員会報告書¹⁾をはじめ、参考資料5, 6, 7を参考に選択した(表1)。

こうした研究対象の因果関係や線量効果関係を明らかにするといった課題解決のためには、第一に被ばく線量の正確な推計評価が求められ、その上で疫学を含む実証研究、疫学研究を補完する動物実験、そして障害発生の機構解明のための分子細胞学的研究を有機的に連携させる必要がある。こうした研究の連携の観点から、(A) ~ (I) の研究対象ごとに、現在の状況と今後必要とされる研究の方向性について図1に示す。

こうした研究の流れをこれまで以上にスムーズにし、各方面での研究成果の創出と集約を迅速に行うには、ボトルネックとなっているいくつかの問題に対し、解決方策を講じる必要がある(表2)。例えば実証研究の成果創出には長期的な取組みを必要とするものも多いが、これまでに蓄積したデータやサンプルを活用することにより、早急に社会の懸念に応えられる可能性もある。すでに国際社会では国連科学委員会のように科学的エビデンスに基づく過去の論文評価などが行われているが、ヒトを対象とする疫学研究については、自然高バックグラウンドや職業被ばくなどに関する研究成果も合わせて活用される必要がある。また機構解明研究では、動物実験からヒトへの外挿や、DNA や細胞レベルの照射実験の各種条件下の結果から個体影響を予測するといった、長年にわたり未解決であった課題を解決する必要がある

あり、最先端ライフサイエンス基盤技術を導入することでブレークスルーをもたらすことができるであろう。一方で、福島原発事故に起因した低線量・低線量率の放射線被ばくが予想される住民の長期的健康影響調査等は、既に県民健康管理調査事業をプラットフォームにいち早く健診と検査が種々開始されているが、被ばく線量評価の課題や疾患登録、がん登録等精微なフォローアップ体制づくりが求められ、一定の成果を得るまでには長期間を要する課題もある。

表 1. 社会的関心が高く、科学的に機構解明するあるいは線量との関係を定量化すべき研究対象

(○は参考文献が重要な事項として取り上げていることを示す)

| 参考文献 | 国会事故調 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会報告書 ¹⁾ | 低線量被ばくのリスク管理に関するワーキンググループ報告書 ⁶⁾ | MELODI Multidisciplinary European Low Dose Initiative 2nd Draft of Strategic Research Agenda ⁵⁾ | 「平成 22 年度内閣府科学技術基礎調査等委託」による調査 ⁷⁾ |
|---------------------|---|--|--|--|
| 発表時期 | 2012 年 7 月 5 日 | 2011 年 12 月 22 日 | 2011 年 10 月 23 日 | 2011 年 3 月 |
| 文献の目的 | 福島発事故の原因を国民の視点から究明。健康被害については、国の政策等が適切な住民の避難や避難生活に資することが出来たかを検証。 | 福島原発事故による低線量被ばくのリスク管理の観点から、最新の科学的知見を踏まえ被災者が直面する課題を明確化。 | Multidisciplinary European Low dose Initiative (MELODI) の戦略的研究計画を提案(2 次ドラフト)。 | 放射線安全規制に必要な低線量・低線量率放射線影響分野の重点課題の整理と、緊急かつ重点的に推進すべき課題を抽出 |
| (A) 低線量・低線量率被ばくのリスク | ○ | ○ | ○ | ○ |
| (B) 小児被ばくの影響 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| (C) 内部被ばくの影響 | ○ | ○ | ○ | |
| (D) リスクの蓄積性(長期被ばく) | ○ | ○ | | ○ |
| (E) 遺伝性影響 | | ○ | | ○ |
| (F) 非がん影響 | ○ | | ○ | ○ |
| (G) 放射線感受性の個人差 | ○ | | ○ | |
| (H) 生体防御 | | ○ | | |
| (I) 医療被ばく | | | ○ | ○ |

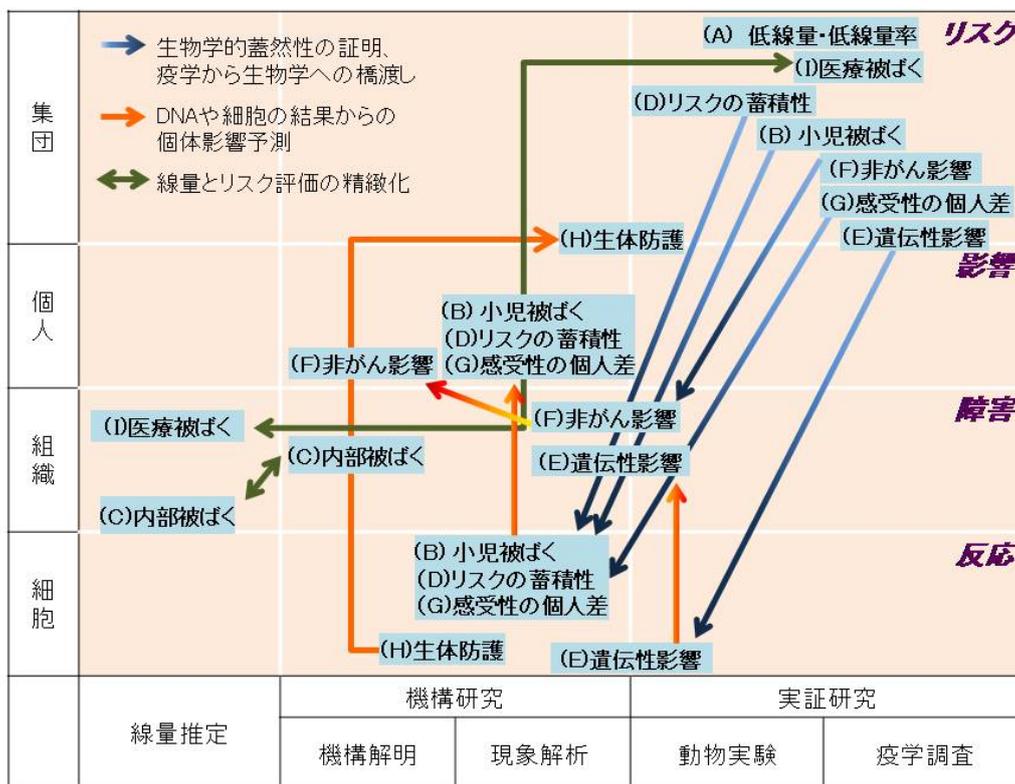


図1 低線量・低線量率放射線影響研究の研究対象と今後予想される研究の流れ

表2 低線量・低線量率放射線影響研究の流れが停滞する原因と解決案

| | ボトルネックの原因 | 研究対象 | 解決策 |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| 実証研究 (疫学研究) | 成果創出に時間がかかる | (A) (B) (D) (E) (F) (G) (I) | 既存の科学的知見やサンプルを活用(後述の2-2-1: 方策1に関連) |
| | 疾患登録制度の普及が不十分 | | 早急に必要な社会システム基盤を整備(2-2-3: 方策3に関連) |
| | 個人の線量評価の不確実性が大きい | (C) | 最先端ライフサイエンス基盤技術を導入(2-2-2: 方策2に関連) |
| 実証研究 (動物実験) | 動物実験からヒトへの外挿が難しい | (B) (C) (D) (E) (F) (H) | |
| 機構研究 (リスク評価) | DNA や細胞レベルのデータを個体影響につなげることが難しい | (B) (D) (G) (H) | |
| 機構研究 (予防・治療) | 適用可能な予防や治療法に関する情報が限られている | (F) (H) (I) | (放射線医学以外も含め) 重要な臨床課題を解決するために基礎研究に注力(2-2-4: 方策4に関連) |

2-2 課題解決に向けた方策と重点研究課題

2-1 で提示した研究対象に関して、早期にそして着実に成果を創出するには、研究の流れのボトルネック解消に向けた方策を講じた上で、科学的な放射線影響評価や低減化に資する実効的な研究を推進する必要がある。そこで、以下、方策と重点研究課題をパッケージとして提案する。

2-2-1 課題の早期解決に向けた方策 1：既存の科学的知見やサンプルの活用

[重点研究課題の背景]

福島原発事故の影響予測を行うのに、最も参考となるのは、チェルノブイリ事故や原爆被ばくで観察された実態である。福島原発事故の影響として多くの国民が小児への影響を懸念しており、これに応えるためには長期間追跡の疫学調査と機構解明の両方が必要である。チェルノブイリ事故のあったロシアでは小児がんのピークは過ぎたが、この間にロシアの小児がんセンターやオブニンスク医学放射線研究所には相当量の情報が集積されており、日本との共同研究を行う体制も整っている。また研究手法上の批判はあるものの、生活習慣病の発症が早まるといった傾向が一部に報告されている（非がん影響）。さらにチェルノブイリシンドロームと呼ばれる心理・精神的影響を介した障害も観察されている。当然、ベラルーシやウクライナの研究機関とも類似の共同研究を推進する必要がある。また既にチェルノブイリ関連の国際共同研究が推進されていることから、日本からの積極的な参画も望まれている。

原爆被ばくについて、信頼性の高い健康影響調査のデータが蓄積されていることは衆目の一致するところであり、放射線影響研究所においてサンプルのアーカイブ化が進められている。疫学研究を中心とする放射線影響研究所との共同研究は今後の課題でもある。

重点研究課題① 放射線健康影響調査等の包括的解析によるリスク予測(略称:疫学データ・サンプルアーカイブ)

チェルノブイリ事故や原爆被ばくの研究等で蓄積した有用なサンプルアーカイブや未発表データを含む疾患発生に関する情報の集約と有効活用を行う。また、低線量・低線量率放射線影響、特にリスク係数や線量・線量率効果係数（DDREF）に関する科学

的コンセンサス形成に向けて、様々な疫学調査についても国際共同研究等を実施し、情報収集と集約を行う。

具体的研究事例

- 線量情報の信頼性等の評価、あるいはチェルノブイリ事故や原爆被ばくによる影響評価及び比較検討を踏まえた上で、福島原発事故による小児がん発症の予測や遺伝性影響リスク評価を行う。
- チェルノブイリ事故関連での経験を活用し、福島原発事故に関連する低線量・低線量率放射線被ばく者(サイト作業員、福島県民等)の健康調査において体系的に情報とサンプルを収集・整理するための計画を策定する。得られたサンプルは最新のライフサイエンス技術を用いて解析し、原爆被ばくやチェルノブイリの結果と比較分析し、さまざまな影響(加齢、生活習慣病や心身症など)の予測を行う。
- 福島の現場における共同研究を支援する体制を構築し、特に県民健康管理調査事業に係る具体的かつ体系的な疫学調査を強化する。

2-2-2 課題の早期解決に向けた方策2：最先端ライフサイエンス基盤技術との融合

[重点研究課題の背景]

最も信頼性の高い疫学研究は、高線量率外部被ばくを受けた原爆被爆者のデータである。原爆被ばくで得られた発がんリスク値を、反復的、持続的または低線量・低線量率の外部被ばく、さらには内部被ばくに外挿するには、これを目的とした機構解明研究が必要である。また、循環器系、免疫系、脳神経系等疾患が疫学的に観察されることに対する機構面からの説明も必要である。

発生工学やゲノム解析技術など近年急速に発達した最先端ライフサイエンス基盤技術を機構解明研究に応用することで、低線量・低線量率放射線影響の機構解明やリスク評価の精緻化などの課題に対してブレークスルーをもたらすと期待出来る。

放射線発がんに関しては、米国エネルギー省(DOE)が1999年に低線量放射線研究プロジェクトを開始し、分子・細胞レベルでの先端的な知見を数多く得ている。また欧州でも、システム生物学や次世代シーケンスなどのライフサイエンスにおける最先端の技術や知見を用いた研究が推進されている。しかし欧米では動物実験が日本より

も制約されていることもあって、機構解明研究が合理的なリスクモデルの創出につながっていると積極的に評価することは困難であり⁷⁾、我が国が率先して研究を推進することが重要である。

最先端ライフサイエンスの技術の導入については、大学を中心に放射線影響研究のための新たな基盤技術の創出も重要であり、それぞれの分野で高い専門性を有する人材が放射線影響研究分野に参画する必要がある。この点については2-3で後述する。

重点研究課題② 次世代ゲノム・エピゲノム解析技術を利用したリスク評価（略称：オームクス技術応用）

遺伝性影響の検出あるいは放射線起因がんの識別、非がん疾患等の検出に有用なバイオマーカーをオームクス技術等の応用によって探索し、ヒトにおける遺伝性影響や放射線感受性の遺伝的原因を解明するとともに、低線量・低線量率放射線によるがんリスク評価の新しい理論とモデルを構築し、高精度化する。

具体的事例

- 放射線起因がんのゲノム等（エピゲノム、プロテオーム、メタボロームを含む）の特徴を解明する。あるいは放射線によるがん誘発に先立つゲノム等の高感度マーカーの同定及びこれを用いた低線量・低線量率影響評価を行う。
- ミュータジェネシス等の手法により、循環器、免疫、脳神経系等の疾病が放射線によって誘発される新規疾患モデルマウス・ラットを創出・選別し、原因遺伝子を特定する等、放射線非がん疾患影響評価体系を確立する。
- コモンマーモセット*等新たな実験動物を用いた実験系を導入し、数世代にわたる低線量・低線量率放射線の影響を確認するとともに、遺伝性影響の生物種による違いを明らかにする。

*コモンマーモセットは霊長類に属し、生後1-1.5年程度で繁殖可能になる。全ゲノムシーケンスが完了しており、1塩基レベルでの変化を検出することが出来る。

重点研究課題③ 生体イメージング技術を利用した線量・影響評価（略称：生体イメージング技術応用）

インビトロ研究で開発されたイメージング技術を応用し、動物あるいはヒトの被ば

く歴や影響を示す指標を探求する。具体的には放射線による DNA 損傷を受けた細胞のイメージングや、DNA 修復に関係するタンパク質のイメージングの開発を行い、反復的、持続的被ばくにおける放射線影響の蓄積性の解明やリスク評価に役立てる。またヒトへの応用も視野に入れつつ、体内に取り込まれた放射性核種の動態をモニタリングするイメージング技術を開発し、内部被ばく線量評価体系を精緻化する。

具体的研究事例

- 放射線により DNA 損傷を受けた細胞をイメージングできる解析用マウスを開発する。
- SPECT のイメージング技術や蛍光イメージング技法等を応用し、体内放射性核種の動態をリアルタイムにモニタリングする手法を開発する。
- ヒト幹細胞を用い、被ばくした細胞を CRE-LOX（部位特定の組換え）等の手法で標識し、1 細胞あるいは 1 分子の変化をイメージング技術で追跡する方法を開発する。

重点研究課題④ 発生・再生科学技術を利用した影響機構解明（略称：発生・再生科学技術応用）

iPS 細胞等の再生医療技術によるヒト組織モデルを用いて、放射線影響を評価する新たな手法を構築し、ヒト組織における放射線影響機構を解明する。またがんの標的細胞である組織幹（前駆）細胞に着目して長期被ばく影響の蓄積性を個体で解析するためのモデル系を開発し、反復的、持続的被ばくにおける放射線発がんリスクを評価する。

具体的研究事例

- iPS 細胞や組織幹（前駆）細胞等からのヒト臓器モデルやヒト化マウスを用いた放射線評価系を構築する。
- 放射線影響が組織幹（前駆）細胞に蓄積してがんを誘発するかを評価できる実験系を開発する。

重点研究課題⑤ 計算科学技術を利用したリスクモデル構築（略称：バイオインフォマティクス応用）

生物学と統計学、計算科学等の知見と技術を学際的に統合し、不確実性のある放射線影響・リスクを定量化する。機構研究の成果をヒトのリスク評価へ外挿するために、バイオインフォマティクスやシステム生物学、数理モデル等によって放射線の生物影響を高精度にシミュレーションする。

具体的事例

- 低線量・低線量率放射線影響の機構解明研究の成果を基に、定量的に発がんリスクを予測・検証する数理モデルを開発する。具体的には組織幹（前駆）細胞の低線量応答や体内動態、微小環境の変化などの計算に必要なパラメータ取得に関する研究を実施する。
- 実験動物の実証研究の成果をヒトでの影響に外挿する手法を開発する。

2-2-3 長期間を要する研究のための方策1：社会システム基盤整備

[重点研究課題の背景]

福島原発事故に関する健康影響調査や医療被ばく実態調査等、長期的に実施すべき課題を実施するにあたり、社会情勢の変化にも揺るぐことなく、研究資源の持続的な投入と関連研究機関の連携を得るには、その重要性について社会的合意を得る必要がある。特に、放射線リスクコミュニケーションの良否は国民的な課題である。また、疫学研究には、医療機関との密接な連携が求められる。

福島原発事故による放射線影響についても疫学調査が必要であることは言うまでもないが、現在地域がん登録の未整備、特に小児がんの登録が不十分で全数登録されていないため、現状では福島原発事故により小児がんが増えるかどうかの確認ができない。がんの罹患率の地域格差が大きいことにも鑑みると、疾患登録制度の整備を進めることが急務である。

また福島原発事故による放射線の人体影響を評価するためには、それ以外の被ばく、すなわち自然放射線被ばく、職業被ばく、医療被ばくによる線量の個人レベルでの把握が必要である。特に、医療被ばくは、国民の放射線被ばくの最も大きな割合を占め、

また個人によって受けている線量に大きな差があるため、個人の被ばく線量を把握するシステムを構築することが重要である。

重点研究課題⑥ 社会制度や研究基盤整備と同調した低線量・低線量率影響疫学研究 (略称：低線量影響疫学)

放射線発がんリスクの探求には、小児がんをはじめ、種々の疾患登録体制の整備を早急に進める必要がある。福島県県民健康管理調査や、子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）、東北メディカルメガバンク計画、どこでもマイ病院（マイカルテ制度、医療情報や健康情報を個人で管理する制度）、さらに国際的な流れとして進められている医療被ばくの個人被ばく記録（IAEA SmartCard プロジェクトなど）の国内普及など、様々な社会制度や研究基盤と有機的に連携させて、福島原発事故の健康調査結果について適切な解釈を可能にする。また福島県民の健康管理に役立てるため、福島県民の個人の被ばく量については、福島原発事故由来の外部・内部被ばくとその他の被ばくを統一的に把握する体制と管理システムを構築する。

具体的研究事例

- 地域がん登録制度等を利用し、福島原発事故の影響や開発された診断法や予防法によって、がん罹患率や死亡率がどう変化したのかについて正確な情報を得る。必要に応じて構造改革特別区域（いわゆる特区）等の活用も検討する。
- 健康影響調査の線量評価の精度向上に供するため、福島県県民健康管理調査対象者に対し、医療被ばくの個人線量把握を可能にするシステムを開発する。これらの実効性を確保する為の前向きコホート調査*の枠組みづくりを共同開発する。

*多数の健康人の集団（コホート）を対象に、疾病の原因となるかもしれない要因（喫煙・食生活・血液データなど）を調査し、次いでコホートを追跡調査して、疾病にかかる者を確認する。そうしたデータをもとに、疾病の原因を疑われる要因と疾病の発生との関連を分析する疫学的調査方法。

2-2-4 長期間を要する研究のための方策2：重要な臨床課題を解決するための基礎研究の展開

[重点研究課題の背景]

動物実験を用いた実証研究分野は、我が国の放射線影響研究の強みの一つであり、

これまでも成果が着実に蓄積している。例えばマウスの実験によると、カロリー制限は放射線誘発のがんリスクを低減し、寿命を延長する。また被ばく後のカロリー制限でも一定の効果があり、加齢による突然変異の蓄積を抑制していると考えられており、リスク低減に向けたヒトへの応用が期待される。このように低線量・低線量率放射線影響の中長期にわたる動物照射実験系の推進とその分子病態解明が、新たな臨床診断や治療への応用に繋がる可能性がある。また放射線による発がんの機序は他の原因による発がんの機序と重複する可能性があるが、その研究成果から得られるがん治療の新たな戦略は、難治がん全体の克服に大きく寄与することが期待される。

これまで放射線との関係が注目されていない疾患の中にも、活性酸素関連疾患の場合、低線量放射線が発症リスクを変化させる可能性がある。低線量長期被ばくにより糖尿病モデルマウスの糖尿病発症が遅れるという知見もあれば、他方原爆被爆者のように、急性被ばくにより糖尿病の発症リスクが若干増えるという知見もある。

さらに臨床医学全般の技術向上により、低線量被ばくの問題以外にも緊急被ばくによる障害及び放射線治療や IVR により生じる有害事象の予防や治療も大きく変わる可能性がある。例えば、難治性心不全や虚血性心疾患、あるいは交通事故などの外傷の治療に一定の成果を上げている間葉系幹細胞移植は、高線量被ばく障害や複合障害*の治療にも応用できる可能性が高い。

*放射性核種による汚染と他の外傷・熱傷などの合併症を伴った障害のこと。

重点研究課題⑦ リスク低減に関する動物実験からヒトへの応用研究(略称: リスク低減の実用化研究)

動物実験等から得られた放射線影響を変化させる因子に関する研究成果を応用し、被ばくに起因する障害の発生を抑制するような、安全で有効な放射線防護手法を開発する。また低線量・低線量率放射線が疾患の発症を変化させる可能性を調査し、(前)臨床試験の評価対象とすべきシーズを探索する。

具体的研究事例

- カロリー制限による突然変異の蓄積を抑制する分子メカニズムを解明し、同様の効果をもたらす薬剤等を開発する。

- 疾患発症モデルマウス等を利用して、発症メカニズムの観点から低線量・低線量率放射線が及ぼす影響を解明する（ミクログリアが発症に関係する痴呆など）。
- 公的機関等が保有する膨大なケミカルライブラリーから、上記の放射線影響を抑制する化合物をスクリーニングする。

重点研究課題⑧ 放射線障害の診断や治療に関する技術開発(略称：放射線障害 診断・治療開発)

臨床医学の最新技術を放射線障害の予防や治療に応用し、緊急被ばくによる障害及び放射線治療や IVR により生じる有害事象の予防法や治療法を開発する。また、外傷や熱傷との複合障害発生時における医療判断を的確に行うための迅速かつより正確な線量評価技術の開発を行う。

また、放射線影響研究の成果を活用し、難治がんや心血管病、代謝疾患などの機序解明、さらにはがんの予防、診断、治療に関する方法の開発を行うための研究を実施する。

具体的研究事例

- 皮膚、消化管、骨髄の複合障害に対する間葉系幹細胞移植の治療効果を動物実験で明らかにする。
- 福島原発の復旧、廃炉に向けた作業において燃料物質による創傷汚染、内部汚染が想定されることから、ストロンチウム、ウラン及び超ウラン元素等による内部被ばくの迅速かつより正確な線量評価法を開発する。
- 放射線が免疫機能や生体の活性酸素消去系に及ぼす影響について研究し、その予防法あるいは治療法を開発を行う。
- 放射線発がんの分子機序に基づくがんの予防、診断、治療法を開発を行う。
- 放射線の非がん影響の機構研究をベースに、心血管病、代謝疾患等の新たな発症機序を解明し、分子機序に基づく非がん疾患の予防、診断、治療法を開発を行う。

2-2-5 重点研究課題のロードマップ

2-2-1～2-2-4 では、8 課題を重点研究テーマとして抽出した。これらの課題は用い

る先端技術等研究推進に必要な方策別の分類となっているが、それぞれの課題解決に向けた位置付けについて図 2 に示す。また一定の成果を創出するまでに要すると思われる期間について表 3 にまとめた。

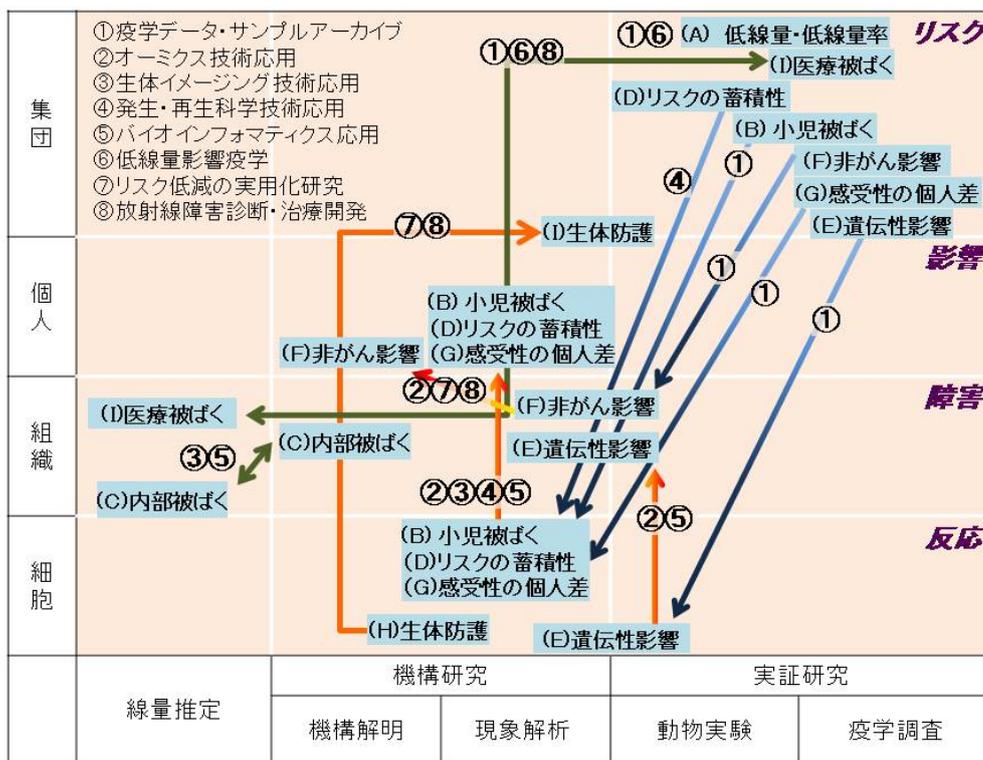


図 2 重点研究課題①～⑧の位置付けと関連性

表 3. 福島原発事故による健康影響リスクを予測・低減するためのロードマップ（表内の数字は図 2 と共通）

| 体制整備 | 線量評価 | 基盤技術の創出 | 影響評価 | リスク評価・予測 | リスク低減 |
|------|---------------------|--|---|---|-----------------------------------|
| | 医療被ばく個人線量把握システム開発⑥ | バイオマーカー開発 (がんの原因識別、 遺伝性影響等)②③ 動物モデル開発 (非がん、イメージン グ用、幹細胞)②③④ iPS 細胞などヒト組 織モデルによる影響 評価手法構築④ バイオインフォマテ イクスを用いたリス クモデル開発⑤ | 過去の知見から ・個人差の機構解明① ・非がんの機構解明① がん、非がん、遺伝性影響誘発 の機構解明②③⑧ 非がんリスク評価法確立② 生体応答防御機構解明⑦ リスクの蓄積性の定量化③④ 動物データからヒトへの外挿 ⑤ | ロシア等との連携協定① 疾患登録システムの整備⑥ 健康管理調査 チェルノブイリ事故や原爆 被ばくとのサンプル分析比較 ・小児がん等のリスク評価① ・遺伝性影響リスク評価① ・非がんの発症リスク評価① ・低線量・低線量率放射線の リスク係数や DDREF に 関する知見蓄積① | 放射線障害診断・治療法 の開発⑧ リスク低減方策開発⑦ |
| 5年 | 内部被ばく線量 評価体系開発③⑧ | | | | |
| 10年 | | | | 発がんリスク予測 非がんリスク予測 遺伝性影響リスク予測 | |
| 20年 | | | | | |
| 30年 | | | | | |

2-3 重点研究課題の推進体制

2-3-1 オールジャパンの研究推進体制

欧米で行われている低線量・低線量率放射線の健康影響研究の成果は、人種の異なるアジアではそのまま適用できるとは言えないだけでなく、必ずしも日本国民が期待する種々の課題の解決に貢献するとは限らない。そのため、放射線影響研究でアジアをリードする日本が、オールジャパン体制で低線量・低線量率放射線によるアジア人のリスク係数や DDREF 等、放射線影響の基礎研究課題を日本独自に明らかにすることには大きな意義がある。我が国が有する低線量率放射線照射施設や大規模な実験動物の長期飼育施設は、現在では世界的にも数少ないものとなっている。そこで、これらの研究施設・設備を有効に利用し、各研究機関のポテンシャル（表 4、図 3）を最大限に活用することにより、日本の低線量・低線量率放射線影響研究の独自性及び優位性を発揮することができ、重点研究課題の着実な進捗が可能になると考えられる。

これまでも、大学を中心に行われている機構解明研究に、研究機関が保有する施設、設備の特徴を最大限に生かすため、オールジャパンでの体制整備の重要性は認識されており、プラットフォーム構想などが提案されてきた⁷⁾。しかし福島原発事故に伴う住民などの健康への懸念に応えるためには、これまで考えられていた以上に広い分野、多くの機関の研究者が有機的に連携して、短期間での課題解決に努める必要がある。放射線影響プラットフォーム構想は、大学、研究法人、放射線規制当局、学協会、産業界等を含めた体制を想定し、その目的を放射線影響研究の推進と人材育成を図ることとするとともに、放射線影響研究課題や研究ロードマップの策定を行い、最新知見を踏まえた放射線規制のあり方を検討することとしている⁷⁾。今後、他分野の研究者の放射線影響研究の参画を進めるためには、プラットフォームが、関係省庁の理解と協力を得て、研究資金を確保し、大型の研究プロジェクトを企画することが現実的である。

2-3-2 プラットフォームの当面の目標

プラットフォームが当面行うべき活動としては、以下の 4 つに集約することが出

来る。

- ① 最先端ライフサイエンス基盤技術を放射線影響研究に導入するため、広範囲な研究者が参画できるプロジェクトを立ち上げる。がん研究については、国立がん研究センターと学習院大学を中心とした共同研究プロジェクトの準備が始まっており、日本では数少ないバイオインフォマティクスの専門家も参加している。こうしたプロジェクトを良好事例とし、例えば「生活習慣病と放射線」をテーマとするようなプロジェクトを立ち上げる。
- ② 前述のように、200万人の福島県県民健康管理調査の中長期にわたる継続を支援し、得られた結果の適切な解釈を可能にするためには、これまで分散して存在している疾患登録システムや医療・健康情報管理システムから有用な情報を引き出すとともに、今後の医療被ばく情報の記録に向け、標準化についての議論をまとめ、関係省庁に働きかける。
- ③ 被ばく者サンプルの次世代シーケンス技術による解析等、大規模な国際共同研究プロジェクトを企画し、推進する。
- ④ 国際動向を適切に把握し、国際機関との連携を強化するための施策の立案を行う。

2-3-3 人材育成

福島原発事故ならびに放射線診療の増加を契機に低線量・低線量率影響の問題は世界が注目しているにもかかわらず、低線量・低線量率影響を扱う大学の講座や研究者は全国的に減少傾向にある。研究分野の衰退傾向に歯止めをかけるために教育拠点の確保は大変重要である。例えば、大学での教育体制の整備に際しては、低線量・低線量率影響研究の重要性に鑑みた分野検討を行うことを学会等から要望する等、積極的な働きかけが必要である。同時に、放射線影響研究の魅力を伝える新たな取組みが不可欠であり、理科教育から一般教養教育に至るまで、幅広い放射線教育の改善が求められる。

また熱意ある研究者の継続的な育成はきわめて重要で、国による重点的な予算配分により、優秀な人材の確保と育成を図るべきである。研究成果の規制や政策立案

等への橋渡し、教育活動や広報活動、国際機関活動といった方面にも研究者ポストを確保するとともに、医学物理士や事業所における放射線安全管理者など学位取得者がキャリアアップできるオプションの幅を広げるシステムを整備すべきである。同時に、大学院生や若手研究者が自由に発想して研究が行える萌芽研究費の枠を広げたり、留学制度の導入が望まれる。これら一部の大学がリードしている取組みへの支援が不可欠である。

さらに、大学学部教育の強化も必要である。例えば医学教育モデル・コア・カリキュラムには、被ばく医療に係わる項目が追加されたところであり、被ばく医療分野を目指す医療関係者の裾野が広がることが期待される。この例にならい、低線量・低線量率放射線影響分野においても、放射線規制（放射線防護）のニーズに立脚したコアカリキュラムを検討し、医学教育モデル・コア・カリキュラムとともに、看護学部や薬学部などの医療系学部における放射線影響に係る学部教育強化の両輪として早急に教育体系を構築するといった方策も考えられる。⁷⁾

表 4. 国内研究機関のポテンシャルのまとめ

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • 低線量率放射線照射施設 <ul style="list-style-type: none"> – 環境研では、0.05 ~400 mGy /day の線量率で動物や培養細胞に照射可能 – 京大放生研の低線量・低線量率放射線照射システムでは、1 ~200 mGy/min の線量率照射が可能 – 放医研の低線量影響実験棟における低線量率放射線照射装置 – 電中研の低線量放射線長期照射設備 – 広島大原医研においても低線量率放射線照射実験が可能 • マイクロビーム照射装置 <ul style="list-style-type: none"> – 電中研、放医研、原子力機構高崎、高エネルギー機構 • 高 LET 放射線照射装置 <ul style="list-style-type: none"> – 中性子線照射装置は、広島大、京大、放医研 – 炭素イオン等重粒子線照射装置は、放医研、理研 • 放射性核種の内部被ばく <ul style="list-style-type: none"> – ヨウ素、トリチウムについては、広島大、産医大 – アクチノイド化合物については、放医研 • ヒトの疫学研究およびヒトの試料を用いた研究 <ul style="list-style-type: none"> – 放影研、長崎大原爆後障害医療研究施設、広島大 |
|---|

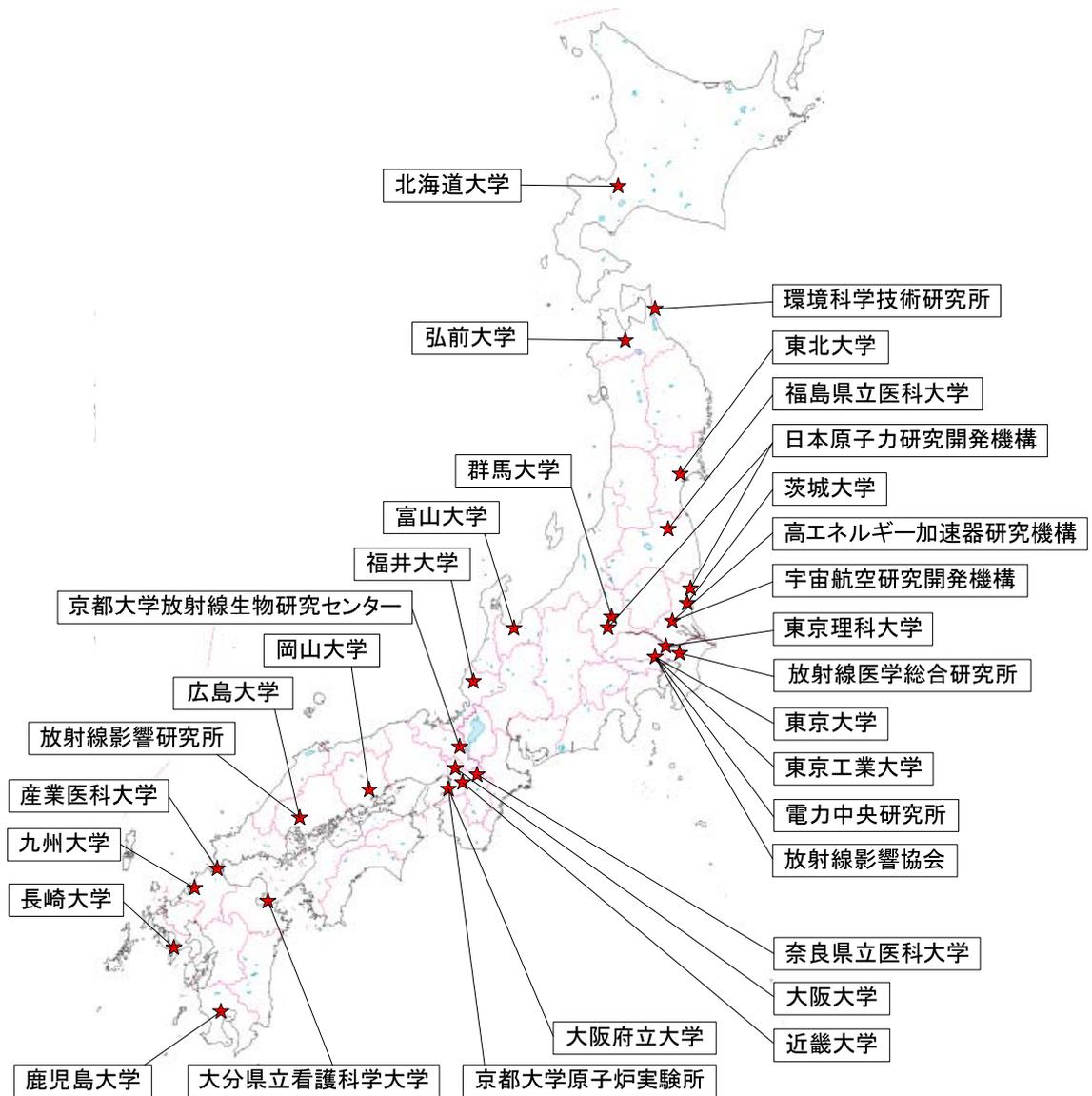


図3 国内で低線量・低線量率放射線影響研究を実施している主な機関
(平成24年7月時、放射線医学総合研究所調べ)

2-3-4 独立行政法人放射線医学総合研究所(放医研)の役割

放医研は、これまで、原子力安全委員会の放射線影響分野の技術支援機関として、①安全規制・安全基準策定に必要となる研究と重粒子線等の新しい放射線利用等に必要と見込まれる基礎的な研究等についての着実かつ先導的・先進的な実施、②被ばく医療共同研究施設、高速中性子線実験照射システム(NASBEE)、ラドン実験棟等の施設の利用・共用や共同研究等による研究基盤の維持・整備、③国際的活動に主体的・組織的に対応する国内拠点機能としての役割が期待されてきた³⁾。

また放医研の特徴の一つは研究病院を有している点である。放射線の医学利用研究には基礎研究の知見が必須であり、放射線影響研究の成果が貢献することは衆人の認めるところであるが、リスク評価研究にとっても病院の存在意義は大きい。被ばく線量が正確に評価できる医療被ばくに関して、人体影響と線量との関係を精度よく調べることができる。長年の放射線治療や診断研究を通じて蓄積したデータを十分活用し、細胞や動物実験と疫学研究の結果の統合的理解に向けた研究等など、他機関では実施が難しい研究を行ってきた。また放医研における安全研究には防護・影響研究に加え、緊急被ばく医療に関するものがある。

福島第一原発事故以降は、これらの機能をさらに強化しつつ、研究実施機関として重点研究課題への参画、重点研究課題の遂行に必要な環境整備への関与等を行い、重点研究課題の着実な遂行に積極的な責任を担うべきである。

また国内外研究機関と連携して、放射線影響研究の状況や成果等に係る情報を集約し、発信する機能を果たすことが期待される。例えば大学は研究グループの規模が小さく、限られた対象を深く掘り下げる研究が多いため、必ずしも低線量・低線量率リスクの解明に直接結びつかないかもしれない。そこで、放医研が、低線量・低線量率影響研究の柱となるライフサイエンス基盤技術や基本原理の探求が大学のどこで先導的に行われているのかを精査抽出し、これと連携体制を構築することによってプロジェクト化する仕組みが求められる。

さらに放医研は国連科学委員会や国際放射線防護委員会など海外関連組織・機関の日本側の窓口として機能するとともに、プラットフォームの立ち上げ、維持、運営に積極的に関わり、オールジャパンで低線量・低線量率放射線影響研究を推進す

る際の Scientific secretary 役を果たすべきである。

このような活動を通じて、放射線の健康影響に関する社会的懸念に対し、今後 20-30 年のスパンで、自然科学の領域から説明責任を果たすことが期待される。

3. おわりに

福島原発事故の社会的インパクトは大きく、様々な社会制度に影響を及ぼしている。当然、放射線影響研究の実施体制についても変革が求められている。

福島原発事故からの低線量・低線量率放射線被ばくによる影響については今後極めて長期間に及ぶ対応が必要であり、検討会は、国民が抱く不安に対し、科学的に明らかになっていることを判りやすく説明すると共に、未解明な部分を究明し、さらに放射線の影響を予防・低減化するための研究をこれまで以上に重点的・戦略的に推進する必要があると考える。その方策として、疫学調査研究の重要性を再認識し、放射線影響研究者が最先端ライフサイエンス技術を積極的に導入すると共に、革新的な技術を有する研究者が放射線影響研究に進出することを求める。また国に対しては、重点的な資源配分のみならず、成果創出に必要な国際共同研究(情報やアーカイブの共有)や住民の医療情報システムの構築が、福島原発事故対応における最優先事項であるという認識を促し、省庁横断的な対応や支援を求めるものとする。さらに放医研に対しては、こうした国レベルの方向性の中で、①研究病院や特殊照射施設を核とした多分野の研究の積集合、②科学的知見やサンプルを核とした国内外関連組織・機関のネットワークのハブ、③科学的情報の収集・分析と発信による社会と研究のインターフェイスとして、今後継続的に機能することを期待する。

参考文献

1. 国会事故調 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会報告書（平成 24 年 7 月 5 日 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会）
2. 「21 世紀に向けた原子放射線の総合研究体制と影響研究の推進について」（平成 11 年 9 月 20 日、日本学術会議核科学総合研究連絡委員会放射線科学専門委員会）

3. 「原子力の重点安全研究計画（第2期）」（平成21年8月 原子力安全委員会）
4. 平成24年度科学技術重要施策アクションプラン（平成23年7月21日 科学技術政策担当大臣 総合科学技術会議有識者議員）
5. MELODI -Multidisciplinary European Low Dose Initiative 2nd Draft of Strategic Research Agenda (SRA) 2011年10月23日、MELODI)
6. 低線量被ばくのリスク管理に関するワーキンググループ報告書（平成23年12月 低線量被ばくのリスク管理に関するワーキンググループ）
7. 「平成22年度内閣府科学技術基礎調査等委託」による調査（平成23年3月 独立行政法人放射線医学総合研究所）

低線量放射線影響研究に関する検討会の構成員及び会議開催実績

1. 低線量放射線影響研究に関する検討会の構成員

小野 哲也 環境科学技術研究所 理事

甲斐 倫明 大分県立看護科学大学 教授

中川原 章 千葉県がんセンター センター長

花岡 文雄 学習院大学理学部教授

◎宮川 清 東京大学大学院医学系研究科 教授

(◎会長)

アドバイザー

山下 俊一 福島県立医科大学 副学長

2. 低線量放射線影響研究に関する検討会の会議開催実績

低線量放射線影響研究に関する検討会準備会合（平成 24 年 6 月 7 日）

低線量放射線影響研究に関する検討会第 1 回会合（平成 24 年 7 月 20 日）

低線量・低線量率放射線影響研究分野における研究推進方策

平成24年7月31日 報告

| | |
|-----|--|
| 発行 | 独立行政法人放射線医学総合研究所 「低線量放射線影響研究に関する検討会」 |
| 事務局 | 独立行政法人放射線医学総合研究所 企画部 及び 放射線防護研究センター |
| 連絡先 | 〒263-8555 千葉県稲毛区穴川4-9-1 独立行政法人放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター運営企画ユニット TEL:043-206-6291 FAX:043-206-4134 |

※本報告書は、独立行政法人放射線医学総合研究所の諮問機関である、「低線量放射線影響研究に関する検討会」による報告書である。

増刷時に誤植等を修正しているため、刷数により表記が異なる場合があります。