



NIRS-M-264

ダイアログセミナー

放射線医療の将来展望と基盤

開催報告書

平成 25 年 12 月 17 日

独立行政法人 放射線医学総合研究所



NIRS-M-264

ダイアログセミナー

放射線医療の将来展望と基盤

開催報告書

平成 25 年 12 月 17 日

独立行政法人 放射線医学総合研究所

ダイアログセミナー 放射線医療の将来展望と基盤 プログラム

2013 年 9 月 14 日(土曜日) 13:30~17:00 開催場所: 京都大学東京オフィス

共同主催: 独立行政法人 放射線医学総合研究所

日本学術会議

放射線防護・リスクマネジメント分科会／放射線・臨床検査分科会／

放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会

医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)

13:30~ 開会あいさつ 春日 文子(日本学術会議)

放射線医科学コンソーシアムの基本コンセプトについて
米倉 義晴(日本学術会議会員、放射線医学総合研究所)

13:45~ 第一部 放射線医療の将来展望 座長 遠藤 啓吾(日本学術会議連携会員)

放射線診断: 形態診断と機能診断の融合、Integrated Diagnostics
栗林 幸夫(日本医学放射線学会)

放射線治療: 需要拡大と新たな治療法
西村 恭昌(日本放射線腫瘍学会)

核医学: Theranostics、RI 内用療法と分子イメージング
井上 登美夫(日本学術会議連携会員、日本核医学会)

14:35~ 第二部 放射線医療イノベーションを支える基盤 座長: 柴田 徳思(日本学術会議連携会員)

物理工学系基盤: 画像技術を用いた放射線治療の高度化
(4 次元治療と Adaptive Therapy)
遠藤 真広(日本医学物理学会)

生物実験系基盤: メカニズム研究から分かること
宮川 清(日本学術会議連携会員、日本放射線影響学会)

社会医学系基盤: 社会基盤との連携が抱える課題
米倉 義晴(日本学術会議会員、医療被ばく研究情報ネットワーク)

15:30~ 第三部 パネルディスカッション これからの 5 年のできること
ファシリテータ: 佐々木 康人(日本学術会議連携会員)

- ① 放射線治療・画像診断情報の集約について
- ② 様々な分野間連携について(基礎・臨床・疫学、医工連携など)
話題提供 梅垣 菊男(北海道大学大学院)
- ③ 社会的ニーズに基づく放射線医科学の推進について
話題提供 栗林 幸夫(日本医学放射線学会)

17:00 閉会あいさつ 米倉 義晴(日本学術会議会員、放射線医学総合研究所)

はじめに

独立行政法人 放射線医学総合研究所

理事長 米倉義晴

我が国における放射線の医学的利用研究は、国際競争力の高い医療技術分野であると同時に、近い将来、国民の2人に1人が罹患すると推定されるがんや、その発症が生命を脅かす心筋梗塞や脳梗塞などの血管障害、近年患者数が増加している精神・神経疾患など多くの病気についての有用な治療・診断技術として、その発展がますます期待される分野です。また、放射線が生体を与える影響については、医学利用の進展の観点からも、現在我が国が直面している状況からもさらなる知見が求められています。こうして放射線医科学の振興という視点で俯瞰すると、これまで独自に細分化された分野で研究が進められてきた放射線の影響(リスク)と医学利用(便益)の研究領域を広く統合し、ベクトルをそろえて研究を推進することが必要となっていると思います。

そこで去る9月14日に、放射線医科学分野における日本を代表する研究者が一堂に集まり、今後の放射線医療の将来展望と共通して抱えている課題の整理と解決に向けた取り組みについて話し合うためのセミナーを開催いたしました。セミナーの第1部と第2部では、関連学会の代表者から、将来展望や研究推進の具体的アプローチについて最初に“ボール”を投げてください、第3部では、これを大学や研究機関がキャッチし“ボール”を投げ返しなが、オールジャパン全体が連携して何ができるか考えました。学術コミュニティ内の対話が中心となりましたが、一般の方やジャーナリストの立ち会いのもとに議論がなされたこと、行政の方からも国や社会のニーズといった面からコメントを頂いたことなども大変有意義であったと思います。

セミナーでは、放射線医科学分野の統合・融合の重要性を共通認識として確認した上で、中核機関(学会、大学および研究所)と医・工・薬・生物・情報科学等の研究者が結集する“放射線医科学コンソーシアム”を立ち上げることが決定いたしました。セミナーでのご意見を集約すると、このコンソーシアムは以下の5つの役割を担うことになります。

放射線医科学コンソーシアムの担う役割

1. 放射線医科学コンソーシアム(以下、コンソーシアム)は、放射線治療、診断、疫学、生物、被ばく医療、内用療法の研究分野に関連する学協会や大学・研究機関等の緩やかな連合体であり、国民の健康増進と安全な社会構築への貢献を目的とする。
2. コンソーシアムでは、放射線医科学に関する研究開発、人材育成、国際対応、社会基盤整備などの問題について、情報を共有する。
3. コンソーシアムは、単独の学協会や大学・研究機関では解決できない問題を顕在化し、その解決に向けて、関係機関によるネットワーク形成やネットワーク間の調整の場として機能する。
4. 特に分野横断型の共同研究や共同利用施設の建設・活用、あるいは情報を集約するためのプラットフォームとしての機能を担う。
5. コンソーシアムは、放射線医科学に関する社会からのニーズに対し、当該分野の代表的学術コミュニティとして、放射線利用によるQOL向上と安全性の担保のバランスを考慮する形で向き合う。

今回のセミナーは、日本学術会議の放射線医科学に関連する3つの分科会が共同主催者となって初めて開催が可能となったものです。セミナーの開催にあたり、日本学術会議副会長春日文子先生、同会議の放射線防護・リスクマネジメント分科会委員長佐々木康人先生、放射線・臨床検査分科会委員長遠藤啓吾先生、放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会委員長柴田徳思先生には大変ご尽力をいただきました。この場をお借りして、深く感謝申し上げます。

本報告書は、セミナーでの講演および議論の内容を速記録からまとめたものです。発言内容等
はご本人の確認を得た上で、記名とさせて頂いておりますが、文責は放医研にあります。また講演
資料は資料を作成した講演者の知的財産であることをご留意頂いた上で、報告書をご活用頂き、
オールジャパン体制による放射線医科学の推進や国民生活の健康・安全の向上を考える際の
一助となれば幸いに存じます。

平成 25 年 12 月

目 次

主催者からのメッセージ

日本学術会議の活動について 春日 文子	1
放射線医科学コンソーシアムの基本コンセプトについて 米倉 義晴	3

第一部 放射線医療の将来展望

放射線診断：形態診断と機能診断の融合、Integrated Diagnostics 栗林 幸夫	8
放射線治療：需要拡大と新たな治療法 西村 恭昌	16
核医学：Theranostics、RI 内用療法と分子イメージング 井上 登美夫	26

第二部 放射線医療イノベーションを支える基盤

物理工学系基盤：画像技術を用いた放射線治療の高度化 （4次元治療と Adaptive Therapy） 遠藤 真広	32
生物実験系基盤：メカニズム研究から分かること 宮川 清	38
社会医学系基盤：社会基盤との連携が抱える課題 米倉 義晴	44

第三部 パネルディスカッション これからの5年でできること

パート①医工連携や産学連携について 話題提供：持続的発展を見据えた「分子追跡放射線治療装置」の開発 梅垣 菊男	49
パート②社会的ニーズに対応して 話題提供：放射線医療資源の適正配置に向けたネットワーク 栗林 幸夫	61
パート③行政の目からのコメント	71

セミナー閉会にあたり

まとめにかえて 米倉 義晴	74
------------------	----

参考資料

本セミナーの概要	75
日本学術会議 学術大型研究計画への提案要旨	79

主催者からのメッセージ

日本学術会議の活動について

春日 文子

【春日】 日本学術会議の副会長をしております春日文子と申します。開会に先立ちまして、日本学術会議について短くご紹介させていただきたいと思っています。

日本学術会議は、日本に 80 万人、あるいは 80 数万人いるという日本の研究者を代表する、国のアカデミーと位置付けられています。210 人の会員と約 2000 人の連携会員が、学問の様々な領域ごとに、社会に対して学問の立場から提言などを行っています。私は副会長の中でも国際担当として、日本を代表して国際的なアカデミーの連合体や様々な国との科学技術の交流をしています。



日本学術会議の使命としては、こうした対外的なことだけでなく、科学の視点から社会の様々な問題に対し、助言・提言をすることが大きな柱になります。科学者が自分の問題意識として「これは社会に対して物を言うべきだ」と考えての助言・提言がほとんどですが、最近しばしば政府や外部から諮問や審議依頼を受けることがあります。例えば「高レベル放射能廃棄物の扱い」について、あるいは現在米倉先生も関わっていらっしゃる「リニアコライダーの誘致の問題」についてなど、社会的に注目を集めるような話題についても議論しています。特に東日本大震災、そして福島原発事故以降、日本の科学者は全体として「自分が自分の専門の上で社会に何をすべきか」について真剣に見つめ直すようになりました。そこで日本学術会議においても、震災からの復興や原子力発電所事故に伴う様々な問題に関する議論が深まっているところです。

日本学術会議には様々な組織がありますが、分野を横断するような幹事会附置の委員会として「東日本大震災復興支援委員会」や「原子力利用の将来像の在り方についての検討委員会」があります。また原子力発電所そのものの将来像を議論することに加えて、原子力学の将来像を議論している分科会もあります。

また、人文社会学、生命科学、理学・工学といった学問分野ごとに幾つもの分科会があります。それぞれの分科会では、本日のテーマのように「専門分野の立場からどう社会に貢献できるか」といった議論も行われていますが、同時に科学者・研究者として、学問そのものを発展させるといった大きな責務も負っています。こうした活動に基づいて、社会への貢献も成り立っていくのだと思います。

本日は、独立行政法人放射線医学総合研究所、医療被ばく研究情報ネットワークに加えて、日本学術会議の 3 つの分科会、すなわち放射線防護・リスクマネジメント分科会、放射線・臨床検査

分科会、そして、放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会、この5つの組織が協力してダイアログセミナーを開催いたします。ここでの議論により、日本学術会議等主催団体とそれ以外の参加者の皆様との活発な意見交換が行われ、この分野に関わる先生方同士の間での議論を深めていただくことで、科学者としての社会への貢献に役立つ助けになればと、大いに期待しています。

主催の労をお取りいただきました米倉先生、神田先生はじめ、関係の皆様には御礼を申し上げるとともに、本日の会が実り多いものになることをお祈りして、開会のご挨拶とさせていただきます。

主催者からのメッセージ

放射線医科学コンソーシアムの基本コンセプトについて

米倉 義晴

【米倉】春日先生から話がありましたように、日本学術会議の3つの分科会が中心となりまして、本日のダイアログセミナーを開催いたします。その趣旨について私から簡単に説明をします。

タイトルにあります放射線医科学コンソーシアムとは、本年3月末に、今日ご出席の各学会や大学等の方々と相談をして、日本学術会議の大型研究計画に提案した組織です。大型研究計画については、現在審議中ということで結果を待つ状況ですが、提案した側としては、これをぜひ具体的な連携に結び付けて、次のステップに向けて進んでいきたいと考えています。



そこで、まずは放射線医科学の研究推進に係る最近の動向について2つ紹介します。1つは、既にお話をしたことですが、今年3月に日本学術会議の「学術の大型研究計画」に、「放射線医科学イノベーション創出に向けた統合コンソーシアムの形成」を提案しました。提案に際しご協力いただいた学会と大学の先生方に、この場をお借りしましてお礼を申し上げます。もう1つは省庁側の動きとして、文部科学省科学技術・学術審議会では、ライフサイエンス委員会の下部組織として、放射線医科学戦略検討作業部会を設置しました。これは、今後の放射線医科学に関する研究の在り方について検討する委員会で、今年の8月に中間報告書を発表しています。この2つについてご説明します。

まずは1つ目の日本学術会議の大型研究計画についてです。大型研究計画のプロジェクトは、日本学術会議の放射線医科学関連の3つの分科会の先生方と学術会議会員の3名が相談して準備しました。

日本学術会議は会員210名、連携会員約2000名を擁する団体で、第一部、第二部、第三部の3部構成になっています。このうち第二部の生命科学領域の中に臨床医学委員会が設置されており、樋口輝彦先生を委員長として18名の会員で構成されています。放射線の関係者としては、第21期から22期の会員として富樫かおり先生が、今期の第22期から23期にかけて山下俊一先生と私が参加しています。臨床の放射線分野から、臨床医学委員会に3名もの会員が参加したことはこれまでなかったと思います。

現在、放射線医科学関連の分科会として、第二部の放射線・臨床検査分科会（遠藤啓吾委員長）、放射線防護・リスクマネジメント分科会（佐々木康人委員長）、第二部・第三部合同の放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会（柴田徳思委員長）の3つが存在いたします。

こうした分科会が中心となって行った日本学術会議関連の活動としては、「放射線健康リスク福島国際学術会議」の開催や先日遠藤啓吾先生が開催したシンポジウム「医療被ばくを考える」などがあります。

また日本学術会議分科会からの提言という形で、現在準備されているものを簡単に紹介します。現在放射線・臨床検査分科会では「緊急被ばく医療に対応できるラジオアイソトープ内用療法拠点の設置と広域連携に向けて」という提言を準備していますが、もう1つ、医療被ばくについての提言もぜひ出したいと考えています。放射線防護・リスクマネジメント分科会では、「医学教育における放射線健康リスク教育の必修化」という提言をまとめる作業が進められています。放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会では、「研究用原子炉の在り方について」の報告書が取りまとめられていると聞いています。

さて、学術の大型研究計画ですが、今期は平成25年3月末を締め切りとして公募が行われました。締め切り後は大型研究計画の策定、その中でも特に重点を置くべき重点大型研究計画の策定というプロセスを経て、最終的に来年の4月に総会へ報告され、正式決定となります。

われわれが出した提案書は、基本的には日本学術会議の会員と連携会員が中心となって作成しました。日本学術会議は、科学コミュニティで合意された内容の提案を希望しておりましたので、本日お集まりの学会にお願いして必要性や緊急性の高い課題について非常に短い時間でご意見を伺いまとめました。そのために、不十分な点がたくさんあります。ぜひこの点については、今後相談をして、ほぼ3年ごとに回ってくる次期の機会に向けて、準備を進めていきたいと考えています。

この大型研究計画「放射線医科学イノベーション創出に向けた統合コンソーシアムの形成」では、放射線の医学利用が抱えているさまざまな課題を取り上げ分野横断的に解決する、あるいは分野別に所有している情報を統合的にデータベース化し互いに利用する、といった様々な局面での連携を進めることで、新しい放射線医科学を作ること狙っています。

具体的には、放射線治療、診断、疫学、生物学、被ばく医療、あるいは内用療法といった研究分野ごとに研究拠点を設け、これらを中心としたオールジャパンの研究推進体制を作ること提案しています。こうした連携により、例えば動物実験の成果を人に外挿する「橋渡し」が可能になる、また医療被ばくのような低線量の被ばくから治療によって起こるさまざまな高線量の被ばくによる影響が評価できるようになる、あるいは放射線治療における障害の治療法の開発に結び付くことが期待できます。

また、線量影響関係が解明されれば、放射線診療によるリスクが定量化されますので、放射線診療をリスクと便益の両方から評価する、ひいては最少のリスクで最大の効果を上げる診療計画を作ることが可能になります。

最近の動向のもう一つの事例、文部科学省の放射線医科学戦略検討作業部会の中間報告書については、結論だけをご紹介します。今後取り組むべき事項として、①放射線の医学利用研究と生体影響研究の連携、相互のフィードバック、②先端的な診断・治療機器の開発や分野融合型研究を推進した統合的な研究拠点の整備、③人材育成の問題や研究成果を医療の現場で実用化していくための省庁連携、④研究開発成果を普及・発信するための産官学連携や国際連携などが上げられています。

本日のセミナーでは、放射線医科学コンソーシアムの土台作りをイメージして様々な分野の専門の方にご参加いただきました。そこで、本日はそれぞれの専門分野を縦軸に、工学（ハード）、生物実験（ウエット）、社会を横軸にして連携することでどのような問題が解決可能かということについてご議論いただき、具体的には、分野横断型の共同研究や、共同利用施設の活用、あるいは情報を集約するようなプラットフォームの形成につなげたいと思っています。これから約3時間強になりますが、よろしくお願いいたします。

放射線医科学コンソーシアムの 基本コンセプトについて

米倉 義晴

日本学術会議会員

(独)放射線医学総合研究所理事長

放射線医科学の研究推進に係る 最近の動向

◆日本学術会議

・学術の大型研究計画(平成25年3月提案)

放射線医科学イノベーション創出に向けた統合コンソーシアムの形成

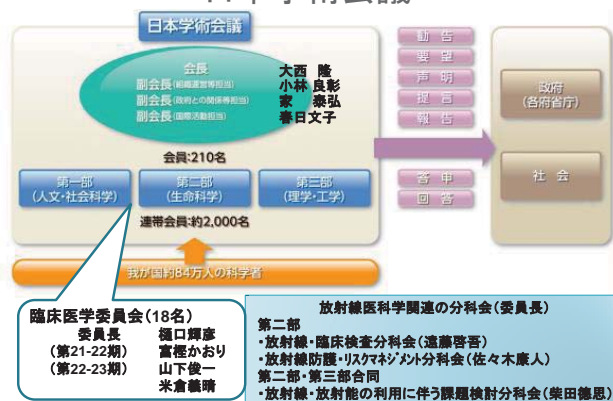
◆文科省科学技術・学術審議会ライフサイエンス委員会

放射線医科学戦略検討作業部会

平成24年11月に設置

平成25年8月に中間報告書

日本学術会議



日本学術会議共同主催の学術会合(最近の例)



日本学術会議分科会の提言(今期作成予定)

- ◆緊急被ばく医療に対応できるラジオ・アイソトープ内用療法拠点の設置と広域連携に向けて(放射線・臨床検査分科会)
- ◆医療被ばくについての提言(放射線・臨床検査分科会)
- ◆医学教育における放射線健康リスク教育の必修化(放射線防護・リスクマネジメント分科会)
- ◆研究用原子炉のあり方について(放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会)



学術の大型研究計画(平成25年3月提案)

- ・策定のプロセス
報告「第22期学術の大型施設計画・大規模研究計画に関するマスタープラン策定の方針」より

スケジュール

- ・2013年1月 学術研究領域の制定
- ・2013年2月 学術大型研究計画の公募開始
- ・2013年3月 学術大型研究計画の公募締め切り
- ・2013年6月 学術大型研究計画の策定
- ・2013年12月 重点大型研究計画の策定
- ・2014年2月 科学者委員会・幹事会の審議
(必要があればパブコメ)
- ・2014年4月 総会へ報告

提案書作成の経緯

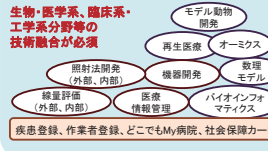
- 提案書は日本学術会議会員、連携会員が中心となって作成
(材料)
 - ・関連学会等が必要性、緊急性の高い課題として抽出した内容
 - ・文科省放射線医科学戦略作業部会における委員の意見・コメント
- 提案書案に、関連機関のコンタクトパーソンや学会の長等からの意見を反映

大型研究計画提案の概要 放射線医科学イノベーション創出に向けた 統合コンソーシアムの形成 (1/2)

放射線の医学利用が抱える課題

- 放射線治療の患者の増加: 集学的診断や治療歴を考慮した患者ごとの放射線治療法の最適化が必要
- 放射線の健康影響の解明: 疫学と実験のデータから低線量放射線影響を定量的に解明することが必要
- 放射線の健康影響への患者の懸念: 科学的根拠に基づく説明(インフォームドコンセント)の必要性
- 動物実験の結果のヒトへの橋渡し: さまざまな研究分野の知見・技術の融合が必要

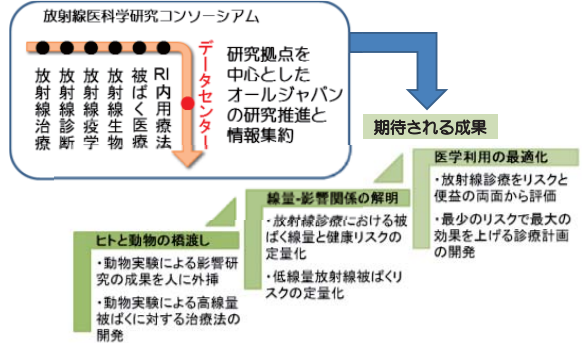
新知見創出のための技術・社会基盤



分野横断的に統合すべき情報



大型研究計画提案の概要 放射線医科学イノベーション創出に向けた 統合コンソーシアムの形成 (2/2)



文科省・放射線医科学戦略検討作業部会



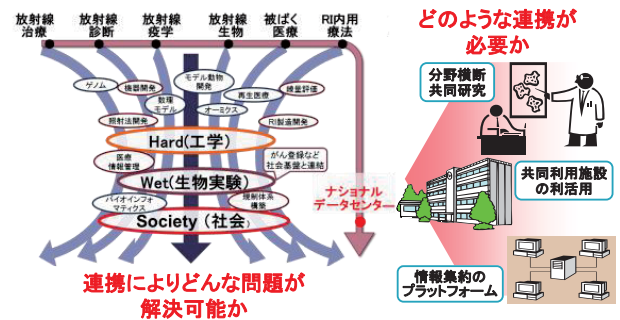
- 平成24年11月
審議開始
- 平成25年8月
中間報告書を発表

今後取り組むべき事項

- 放射線の医学利用研究と生体影響研究連携、相互フィードバック
- 先端的な診断・治療機器の開発
- 分野融合型研究を推進した統合的な研究拠点の整備
- 放射線医科学に関わる人材育成・確保
- 研究の成果を医療等の現場で実用化していくための省庁連携
- 研究開発成果の普及・発信、産官学連携や国際連携による技術の普及展開等

放射線医科学のコンソーシアム

～放射線医科学分野が縦軸、重要な3基盤が横軸～



第一部：放射線医療の将来展望

放射線診断：形態診断と機能診断の融合，Integrated Diagnostics

栗林 幸夫

【遠藤座長】 第一部「放射線医療の将来展望」では、放射線診断、放射線治療、核医学の3つの講演をお願いしています。今日は日本医学放射線学会、日本放射線腫瘍学会、日本核医学会の理事長にお越し頂いていますが、この3つの学会の理事長が同時に同じ場で講演されるのは初めてのことでないかと思います。日本の放射線医学関連がどのような現状になっているか、将来はどこへ向かうのか、本当のところがお分かり頂けると幸いです。



最初は「放射線診断 形態診断と機能診断の融合」で、日本医学放射線学会理事長の慶應大学教授の栗林先生による講演です。質問のほうは第三部で行いますので、よろしくお願いします。

【栗林】 「放射線医療の将来展望」について、放射線診断の立場からお話をさせていただきます。昨年4月の日本医学放射線学会の総会で、私は基調講演として「Design the Future of Radiology」として3つのコンセプトについて講演しました。サイエンティフィックな面からは「Beyond Morphology(形態診断を越えて)」、実臨床的な近未来としては「Integrated Diagnostics(統合診断学)」、それから学会の近未来の進むべき方向としては「Globalization(国際化)」を挙げました。今日はこの3つについて話をします。



まず「Beyond Morphology」についてですが、ご存じのとおり、画像診断あるいは放射線診断は非常に多岐にわたる分野です。その1つの近未来の方向性として、形態診断と機能診断の融合があります。従来、形態診断が主であったところに、いろいろな機能診断が入ってきました。既にPET/CT や SPECT/CT といった融合画像が、がんや心筋虚血の診断に使われています。今後はPET/MRIをはじめいろいろなモダリティを融合させて、それを上手に使って、より良い診断に結び付けていくということが大切になります。また最近循環器のCT関連で話題になっているのは、CTの解剖学的データから dynamic なデータを算出するというコンセプトです。これについて説明をします。

虚血性心疾患、心筋梗塞、狭心症では、冠動脈に動脈硬化性の狭窄ができていますので、その治療法としては PCI(冠動脈形成術)があります。これまでは血管造影の画像から狭窄度を目で見て判定して、intervention を加えて狭窄を広げ、ステントを入れるなどをしてきました。しかし最近ではFFR(fractional flow reserve)という概念が出てきました。これは、カテーテル検査においてプレッシャーワイヤーという細いワイヤーを病変に通過させ、アデノシンで hyperemic な状態を作った上で、

その狭窄の前後の圧を測って比を算出することで、病変特異的な region-specific な虚血の診断をすることができます。

『The New England Journal of Medicine』に発表された非常に有名な研究によると、単純に狭窄の形態的な診断をして PCI を行ったよりは、FFR をガイドにして PCI を行った方が、2 年で約 33% の予後の改善が得られるということが明らかになりました。そこで現在はこの FFR を指標として PCI を行うというのが主流になってきています。

さらに最近出てきた概念に CT-FFR があります。薬剤を使わない通常の冠動脈 CT のデータから得られる解剖学的情報（冠動脈の径や太さ、起始部から枝までの距離など）に加え、血圧や血液の粘度の情報、あるいは心筋重量から算出した冠動脈の血流情報などのパラメータを入力して、スーパーコンピュータで 6-7 時間計算をさせると、3 次元的な FFR のデータが得られます。この 3 次元的なデータでは、冠動脈の画像をクリックすれば、そのポイントの FFR がわかり、例えば FFR_{CT} で 0.72 であったとすると、0.8 以下なので虚血があると分かります。この計算は非常に複雑で、カリフォルニアのベンチャー会社が手法開発をしました。もともとのコンセプトはジェット機の翼に掛かる揚力といった空気力学の理論を応用したものと聞いています。質のいい 64 列 CT のデータ、血圧、心筋重量から得られる冠動脈の血流の情報、レジスタンス、あるいは流体的な粘度といったパラメータから計算します。

『Determination of Fractional Flow Reserve by Anatomic Computed Tomographic Angiography (DeFACTO) study』に掲載された画像を見ると、CT の画像では LAD の近位部位に狭窄があるのがわかりますが、CT-FFR のデータでは FFR が 0.62 というデータが得られて、狭窄が血行動態的に有意であることも分かります。実際にカテーテルの検査からブレッシャー割合で算出すると FFR が 0.65 ですので、CT-FFR の値はこれと非常によく一致しています。別の例では、形態的には冠動脈に強く狭窄が見える場合でも、末梢で測った FFR_{CT} が 0.87、実際のカテーテル検査でも FFR が 0.88 ということがわかると、血行動態的には有意ではないことがわかります。術前に CT-FFR が算出できますので、この手法が導入されれば noninvasive に PCI をやるかやらないかの判断ができ、医療費の節減にもつながりますし、患者の予後の向上にもつながってくると言えます。

それから CT の世界で形態を超える情報としては、二重エネルギーの CT、あるいは Spectral Imaging というようなコンセプトが最近注目されています。140kV と 80kV、2 つの異なるエネルギーを使って撮像すると、物質ごとに特有な減衰曲線を描くので、物質ごとの画像作成、つまりは material decomposition（物質分別）が可能になります。例えば、ヨードと石灰化との分別が可能になり、それから各物質の密度を反映させた画像の作成が可能になります。もう一つはバーチャルですが、単色 X 線、monochromatic な情報を、二重エネルギー CT で抽出することが可能です。この二重エネルギー CT のシステムについては現在、各社がしのぎを削って開発しているところす

が、今のところ3つのシステムが考えられています。一つ目は Rotate-rotate system で、最初の1回転で 80kV のデータを収集して、次の1回転で 140kV の画像を抽出するといったもの、2 つ目は Dual source system で、2 管球を用いて、140kV と 80kV のデータを取るタイプ、3 つ目は Fast kV switching system と言って、サブミリ秒で 80kV と 140kV を切り替えて、ほぼ同時にデータを収集するといった手法です。

実際に、我々の検討結果をご紹介しますと、通常の 120kV を使った画像では、冠動脈の中に造影剤が入っていますが、LAD に非常に強い石灰化があって、なかなか内腔の評価ができないということがあります。一方、Dual kV のデータから抽出したヨードのイメージを使って石灰化の情報を取り除くことによって、LAD に有意狭窄があることが分かります。

この Dual kV の概念を、近い将来は Photon Counting CT が引き継いで、より発展させてくれると期待しています。まだ実臨床には応用されていませんが、盛んに本邦でも研究が進んでいます。従来の CT はシンチレーターに X 線が入ってくると、それを光に変換させて、また電荷を撮るということをしてきましたが、Photon Counting では、入ってきた X 線の光子1つ1つを数えていく形で、これを電荷に変えていくということが可能になってきています。それによって、kV を幾つかに分けて情報を収集することが可能になりました。例えば、タングステンとガドリニウムの減衰曲線の違いを利用して、低中高と3つの Bin に分けてデータを収集することにより、より精密な物質分別というのが可能になると言われています。近い将来、実現する技術ではないかと期待しています。

実臨床では Integrated Diagnostics(統合診断)というキーワードを掲げました。近未来には各個人の遺伝子情報が非常に短時間かつ安価で、チップを用いて明らかになるのではないかと思います。そうした時代に画像診断をどう位置付けるかではありますが、gene の情報以外にも、いろいろな腫瘍特異的なバイオマーカーの情報、病理の情報、臨床情報あるいは臨床検査の情報がある中、これらと画像診断を統合的に考えて診断をしていくというのが、統合診断のコンセプトです。統合診断においても、画像診断、形態診断や機能診断、CT、MRI、US、RI、分子イメージングなどが必ずや中心的な存在として認識されてくるであろうと思います。またわれわれ放射線科が得意な IT 情報システム、PACS、あるいは診断支援、教育システムなどを統合しながら、最終的には患者1人1人の個別化医療に結び付く方向で進むべきであろうと考えています。

一方、実際の臨床の現場を見ていますと、これは 2005 年から 2010 年に至るまでの 5 年間の CT の設置台数をみると、急速な CT の浸透とともに、国内 CT の 2/3 以上が、MDCT となっており、2010 年の段階でもう既に全国で 8000 台の装置が導入されています。MR に関しては、2011 年で 6300 台の MR が全国で導入されていて、3テスラに限っても 300 台以上が導入され、右肩上がりに増えている状況です。CT、MR の機器の普及率を国際比較で見ますと、本邦は先進国の平均

の大体 4 倍ぐらいの台数が導入されています。また放射線科の医師1人当たりの検査件数も先進国と比べても日本は突出しており、約 4 倍から 5 倍の負荷が掛かっています。膨大な画像情報にレポートも付けなければいけません。画像診断管理加算 2 が導入され、診療日の翌日までに読影するのが条件になっているので、現場は非常に忙しいのが現実です。

こういった忙しい中多少のゆがみも生じてきています。去年の RSNA(北米放射線学会)では Patient First が主題になりました。放射線科医師はもっと患者さんのそばに寄り添って、診療に貢献しなければいけないということは当然ではありますが、現実にはモニターに1日向かって、患者さんの顔を見ないという若い先生方も増えてきています。

それで、これからの放射線診療のために、医師や技師等、機器の適正配置、被ばく線量の管理、ガイドラインをまとめて考えていく必要があると思います。平成 23 年から全国の国立大学法人の放射線部門会議が始めていたのですが、今年から日本医学放射線学会が主導して、総合修練機関あるいは修練機関の全国調査を始めます。近い将来には、修練機関以外の施設でも調査を進めていきたいと考えています。後程パネルディスカッションでもご説明します。

最後に、学会の進む方向性の1つとして、国際化にこの数年尽力してまいりましたので、紹介致します。医学以外の分野、経済、文化、産業、政治、外交とグローバル化が加速しています。これには情報通信の発達により、ボーダーレスの世界が形成されているという背景があります。共通言語として英語がありますが、日本人は、日本の文化の良さや日本語の良さをよく知っているのですが、多少の抵抗感が残ってしまうということで、TOEFL の成績だけを見ても、アジアの 30 カ国中で 27 位と厳しい結果が出ています。

われわれ医学放射線学会では、3 年計画で理事会が主導いたしまして、いろいろな国際化への取り組みを推進してきました。最初は、一般演題の口演のスライドだけを英語にすることから始めまして、来年の 4 月の総会では、口演と電子ポスタースライドの英語化、学会抄録の英語表記も導入していく予定です。またさまざまな国際学会や各国との国際連携も推進しています。米国放射線学会、北米放射線学会、ヨーロッパ放射線学会、あるいはフランス、ドイツ、イギリス、イタリア、ロシアといった各国の放射線学会と覚書を交わしながら国際連携を推進しています。アジアでも、アジア・オセアニア放射線学会、それから韓国・中国とも国際連携を進めており、覚書を交わしながら講師の相互派遣、あるいは電子ポスターを英語化して相互閲覧などを進めているところです。

以上 3 つの話題に関して、放射線診断の立場から放射線医療の将来展望に関してご説明しました。

【遠藤座長】 CT を中心とした放射線診断の将来、それからいいことばかりではなくて、いろいろと改善すべき課題もあるという発表内容でした。

第一部 放射線医療の将来展望

放射線診断：形態診断と機能診断の融合、 Integrated Diagnostics



日本医学放射線学会
慶應義塾大学医学部放射線科学教室
栗林 幸夫

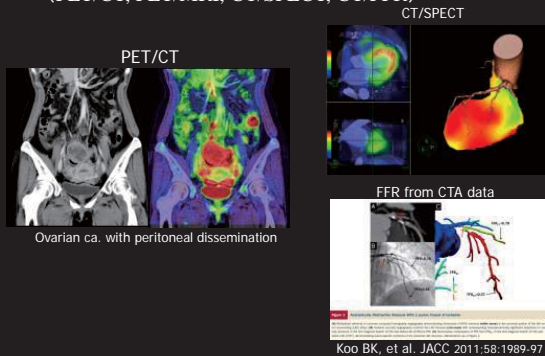
未来への先導

“Design the Future of Radiology”

- Beyond Morphology
- Integrated Diagnostics
- Globalization

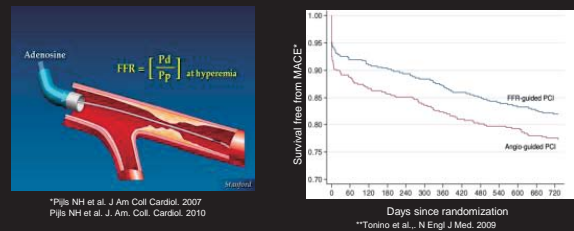
Beyond Morphology

- 形態診断と機能診断の融合、形態診断を超える動態情報 (PET/CT, PET/MRI, CT/SPECT, CT/FFR)



Physiologic Assessment of CAD

- **Fractional Flow Reserve (FFR)**
 - Defines the functional significance of coronary lesions*
 - Measured with pressure wire during coronary angiography
- Level I evidence: FAME study**
 - FFR guided therapy reduces the risk of death/MI by 33% over 2 years
 - Fewer stents, reduced costs, better outcomes



Fractional Flow Reserve by CT

Computational Model based on coronary CTA

3D quantitative, anatomic
model from coronary CTA



Physiologic models:
- Form-function relations for
coronary blood flow
- Effect of adenosine on
microcirculation

Blood Flow Solution

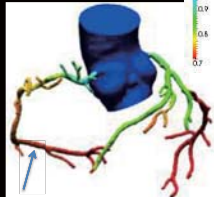
Blood flow equations
solved on supercomputer

$$\rho \mathbf{v}_t + \rho \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}$$
$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$$



Calculate FFR_{CT}

3D FFR_{CT} map
computed

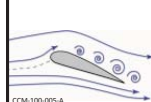


FFR_{CT} = 0.72
(can select any
point on model)

Computing FFR_{CT} from a Static CT

Flow over a Wing

- Input data:
 - **Geometry** – from design specs
 - **Boundary conditions**
 - Velocity of incoming air relative to wing
 - Atmospheric pressure, $P = P_{\text{atm}}$
 - **Fluid Properties** – viscosity and density of air
- Calculated data:
 - Velocity and pressure of air in front of, around, behind wing
 - Lift and drag

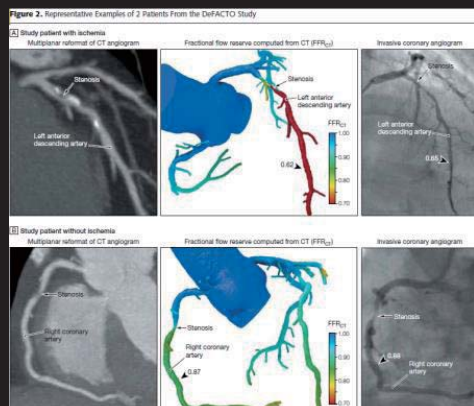


Flow through an Artery

- Input data:
 - **Geometry** – high quality 64 slice CT
 - **Boundary conditions**
 - Blood pressure
 - Resting coronary flow calculated from myocardial mass
 - Coronary microcirculatory resistance determined from size of feeding vessel
 - **Fluid properties** – viscosity (from hematocrit) and density of blood
- Calculated data:
 - Velocity and pressure of blood in coronary arteries
 - FFR_{CT}

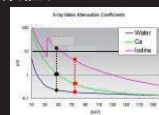


FFR-CT



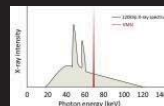
Dual energy CT - Spectral imaging

- 物質密度・弁別画像(Material Decomposition)
各物質ごとの画像作成が可能 ⇒ 弁別
各物質密度を反映させた画像作成や数値化
*** 単位: 密度値 (mg/ml)**



- 仮想単色X線CT画像(Monochromatic image)

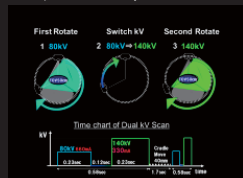
*** 単位: 実効X線エネルギー (keV)**



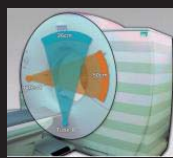
Three kinds of Dual Energy System

- Rotate-rotate system
- Dual-source CT system
- Fast kV switch technique

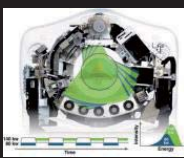
1) Rotate-rotate system



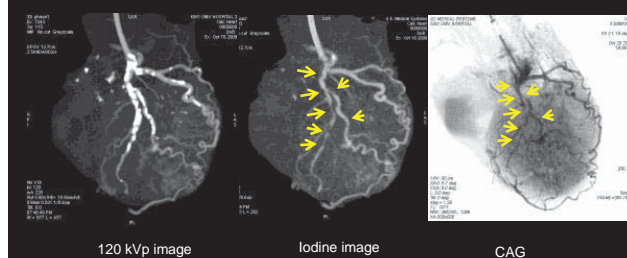
2) Dual-source CT system (Siemens Healthcare)



3) Fast kV switch technique (GE Healthcare)



Material decomposition



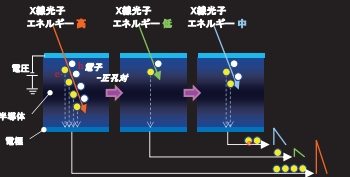
Yamada M, Jinzaki M, Kuribayashi S Evaluation of severely calcified coronary artery using fast-switching dual-kVp 64-slice computed tomography. Circ J. 2011;75(2):472-3.

フォトンカウンティングと2重エネルギーCTの違い

Photon Counting

X線 → 電荷

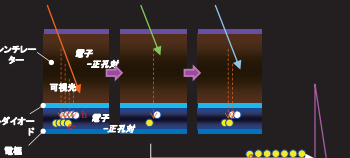
検出器: 入力X線光子一つのEnergy情報を収集する。



Conventional CT

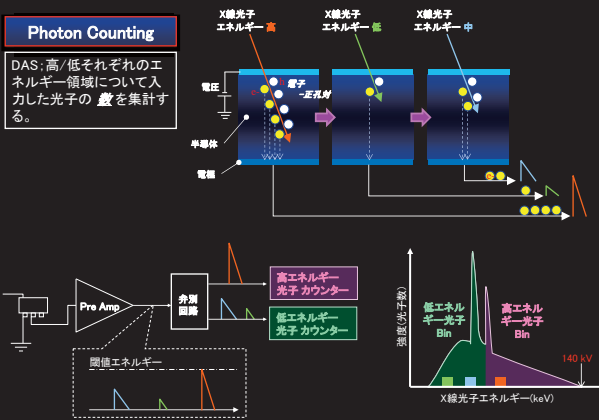
X線 → 可視光 → 電荷

検出器: ある時間の入力X線の情報が積分される。

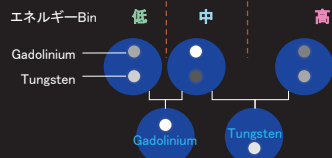
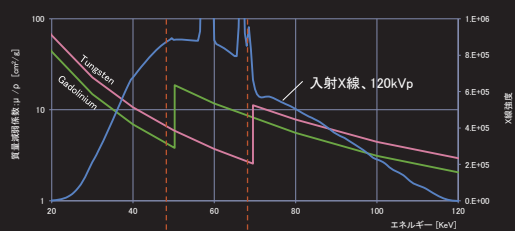


Photon Counting

DAS: 高/低それぞれのエネルギー領域について入力した光子の数を集計する。



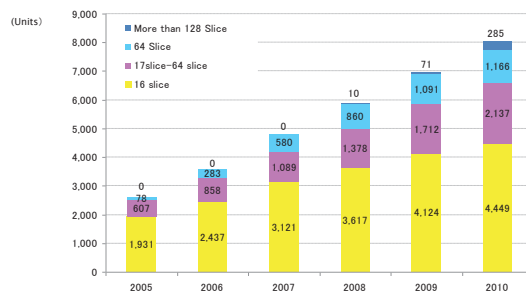
3種類のエネルギー弁別



低-中-高それぞれのエネルギーにおけるCT#の情報より、混在する2つの物質の弁別をより同時により正確できることが期待される。

Number of Multi-detector CTs in Japan

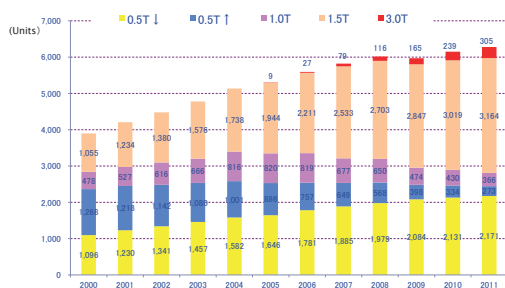
Number of Multi-detector CTs is around 8,000 in 2010



(新医療)

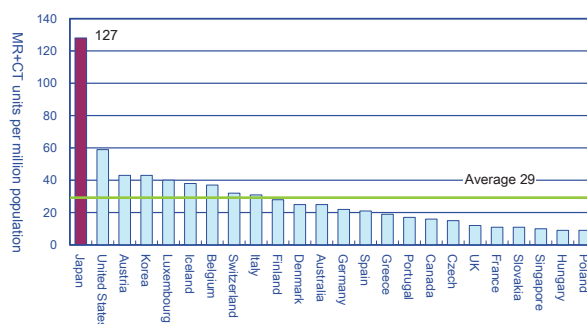
Number of MR units in Japan

Number of MR units is around 6,300 in 2011
More than 300 of 3T



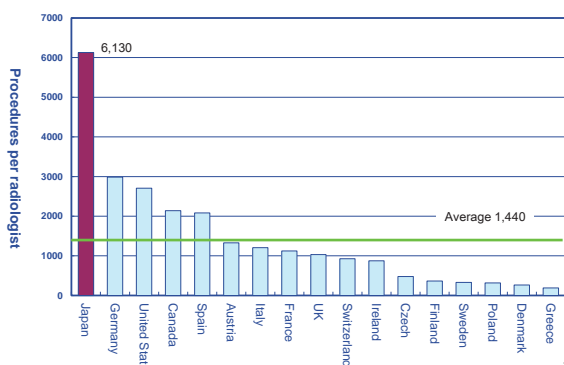
(新医療)

CT/MR 機器普及率の国際比較



16

放射線科医1人あたりの年間CT/MR検査件数

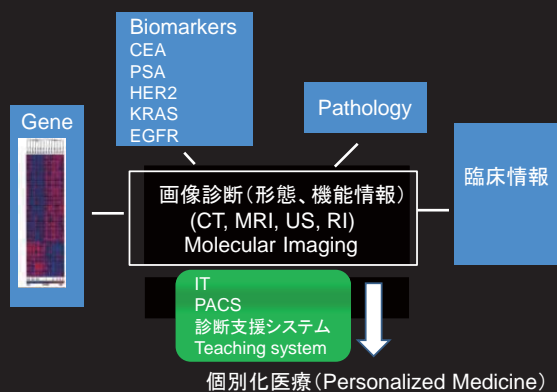


17

IT, PACSの活用と促進



Integrated Diagnostics



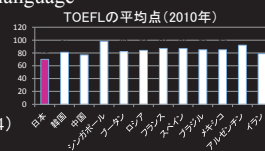
Globalization(国際化)

- Economy, Culture, Science, Industry, Politics, Diplomacy
→ Globalization加速

- IT technology (情報通信の発達)
→ Borderless communication around the Globe

- 世界の共通言語: 英語
“English is the most learned language”

- 日本の文化、日本語の良さ
TOEFLの成績: 27位
(アジア30国中)
(The Asahi Shimbun Globe 2012.3.4)



日本医学放射線学会—国際化への取組み

- 理事会主導の3年計画(2012年~2014年)
- 一般演題(口演、口演+CyPos)スライドの英語化
- 学会抄録の英語表記
- 国際連携の推進(MOUの下に講師の相互派遣、電子ポスターの相互閲覧等)

(欧米)

ARRS(American Roentgen Ray Society)

RSNA(Radiological Society of North America)

ESR(European Society of Radiology)

フランス放射線学会

ドイツ放射線学会

イギリス放射線学会

イタリア放射線学会

ロシア放射線学会

(アジア)

AOSR

韓国放射線学会(KSR)

中国放射線学会(CSR)



第一部：放射線医療の将来展望

放射線治療：需要拡大と新たな治療法

西村 恭昌

【遠藤座長】 次は「放射線治療 需要拡大と新たな治療」と題しまして、日本放射線腫瘍学会理事長で、近畿大学教授の西村先生のご発表です。

【西村】 日本放射線腫瘍学会の立場から、需要が拡大している放射線治療の現状と均霑化・センター化についてお話しします。実は、国策としては均霑化なのですが、放射線治療はむしろセンター化のほうが重要ではないかという点についてお話しして、それから人材育成、データベース、最近の新しい治療法としての粒子線治療についてについて話させていただきます。



最初に、どれぐらい放射線治療の需要、つまりは患者さんが増えているかを示します。JASTRO では 90 年代から構造調査を行っています。90 年には年間患者数が 6 万人ぐらいであったのが右肩上がりで伸びて、一番新しい 2010 年のデータでは 25 万人です。大体年に 1 万人ずつ増えているので、2015 年になると 30 万人になるという計算です。

均霑化とセンター化についてですが、国のがん対策基本法により、地域連携拠点病院という制度が 5-6 年ほど前に発足しました。都道府県拠点という県で一番大きい病院では、年間症例数が多いところで 500 人以上です。ところが、日本に今 320 ある地域連携拠点病院の約 3 分の 1 では、年間症例数が 200 人以下です。200 人というのは、放射線治療医が年間に担当するのに望ましい数と言われています。ということは、がん拠点病院と言いつつも、放射線治療の常勤医 1 人を必要としないような病院が 3 分の 1 ぐらいあるというのがわが国の 2009 年の状況です。実際には常勤医がいらないから症例数が少ないのかもしれませんが、その辺はデータだけでは分かりません。

高精度放射線治療の 1 つに IMRT という治療法があります。前立腺がんの場合、以前は四門照射という四角い線量分布を作っていましたが、この方法では直腸障害を避けるために前立腺に 70Gy 以上の照射はできませんでした。ところが IMRT では前立腺のソラマメのような形にフィットした線量分布を作ることができ、直腸への被ばくを減らすことができるので、前立腺に 78Gy まで照射ができるようになります。たった 8Gy ですが、ちょうど線量効果関係のシグモイドカーブが立ち上がるところなので、78Gy を照射すると、従来の 70Gy の時よりも随分成績が改善するということがエビデンスとして明らかになりました。

放射線治療として非常に大きな進歩で、米国では IMRT は普通の病院で普通にやっている普通の放射線治療となっています。しかし地域連携拠点病院では、がん拠点病院と言いながらもこれができる病院は 2009 年当時わずか 12%、都道府県拠点でも 50%ですので、日本の半分の県では 2009 年当時、IMRT がまだできなかったということになります。

この1つの理由は、保険の制約があります。放射線治療を担当する常勤の医師が 2 名以上いる病院でないと診療報酬を請求できません。ほかにも常勤の技師が配置されている、あるいは精度管理を専らとする医学物理士の方が配置されているといったいろいろな人的な制約があつて、日本ではまだまだ IMRT が一般化されていません。

このように、今のがん臨床拠点病院は問題をはらんでいるということで、昨年度、厚労省で在り方を検討するワーキンググループが答申を出しました。国は 2 次医療圏に1つずつ診療拠点病院を整備するという、まさに均霑化を目標にしてきましたが、未だに 107 の 2 次医療圏には拠点病院がない、つまりは均霑化できていません。またご説明したように、拠点病院であっても、放射線治療に関しては非常にプアな状況が広く残っている状態ですので、ワーキンググループでは、少しランクを落とした地域がん診療病院をつくらうという結論に至っています。

その代わりに、診療拠点病院には、名実ともに地域の本当の中核になってもらおうということで、従来よりも少し厳しいクライテリアが検討されています。まだ案の段階ですが、IMRT などの放射線治療がちゃんとできる病院であること、放射線治療に携わる医者はもちろん常勤で専従、病理診断医も常勤で専任、放射線診断医も専任かつ原則常勤、医学物理士などスタッフをそろえて、年間 200 人以上の放射線治療をするという要件が考えられています。このように、従来よりもさらにハードルを上げた診療拠点を病院ができて、その下にワンランク下がったがん診療病院を作ることが検討されています。

ここで、専門医制度についてお話させていただきたいと思います。これまで、日本医学放射線学会が認定する放射線科専門医は診断と治療両方について認定する専門医制度、一方 JASTRO の認定医は放射線治療を本で行っている医師を認定する制度と、2 つの制度がありました。これが世間の人から見ると非常に分かりにくいという指摘を、患者団体を含むいろいろなところから受けましたので、2008 年に放射線治療専門医は JASTRO が実質運営し、日本医学放射線学会と JASTRO とで共同認定とすることに両学会が合意いたしました。最初 3 年間は広く放射線科の研修をして、その後、後半の 2 年間で専門領域の研修を受けるという制度です。

それから 3 年後の 2012 年 8 月には新制度第 1 号の試験が 8 月に行われました。本来ですと、さらに 2 年たったところで新制度の研修を受けた人たちの試験が始まるはずですが、前倒ししたほ

うがいいだろうということで、2011 年から、従来のトレーニングを受けた人たちに対して試験を開始しました。最近では放射線治療専門医、放射線診断専門医と区別して認定しています。

この新制度に移行した時には治療の専門医は 877 人いて、その後、過去 3 回の試験で毎年大体 50 人ぐらいずつ合格していますので、今年ようやく 1000 人を上回りました。この 1000 人という人数はどうかというと、結論でいうと足りていません。先ほど申しましたように 2015 年には放射線治療の患者さんが約 30 万人になります。一方、放射線腫瘍医は 1 人当たり患者を年間 200 人診療するのが望ましいと言われています。そうすると、少なくとも 2015 年には 1500 人の放射線腫瘍医が必要ということになりますので、年間 50 人ずつぐらいの放射線腫瘍医の増加では、患者さんの伸びには追いついていかないという現状です。

そうこうしているうちに、日本中の専門医制度が大きく変わります。今までは学会が専門医を認定していたのですが、今後は中立的な第三者機関が専門医を認定するという方式になる予定です。この制度は、一応 2017 年の研修開始者から適用されるということで、放射線科だけでなく日本中の専門医制度がこの方向に動いています。放射線治療専門医は、放射線科という基本領域の中のサブスペシャリティー専門医として位置づけられています。

しかしご承知のように、放射線治療は医師だけではできません。これまで日本には医学物理士が少ないという問題点が指摘されてきました。後で遠藤真広先生が詳しくお話されると思いますが、山田章吾先生などが非常に尽力されて、2005 年ぐらいから受験資格を緩和するなどにより、今、医学物理士は 650 人ぐらいまで増えてきています。

もう1つ、いろんな医療事故があったがために、医学物理士とは別に品質管理士という資格が作られて、現在 850 人ぐらいいます。このように日本の放射線治療を技術的な面から支える専門の資格を持った人たちも着実に増えていきます。ただ、この医学物理士と品質管理士と 2 つ資格があるというのは少しわかりにくく、整理が必要のように思います。また医学物理士は増えてきていますが、78%の方が診療放射線技師免許を持っていて、バックグラウンドは米国の医学物理士とは異なります。これはいい・悪いといった問題ではなくて、日本では独自の医学物理士が育っているということです。

もう一方の品質管理士は、資格審査に当たり実際に品質管理業務に専従しているかどうかを厳しく見ているので、実際の管理能力に関しては保証されています。ただ、医学物理士と品質管理士の両方を持っている人がほとんどですので、両者は統合する方向に向かうべきだろうと、われわれは考えております。人材育成も放射線治療の大きな課題ですが、少しずつながら、今お話したように若い人も増えていきますし、治療の専門医も増えていきますので、チームでこの問題を乗り切ろうとしているということです。

続いて、データベースについての話をします。National Clinical Databaseという外科の症例登録のデータベースがあります。ホームページで見るとこのデータベースは3階建てになっていて、1階に外科の一般的な基本的な情報が13項目、2階には胸部外科学会あるいは消化器外科学会といったサブスペシャリティー学会が必要な情報が入って、3階部分に臨床研究で用いるデータの元になるような項目が入るといった構造になっています。

このデータベース作りは、外科系学会全部で集まって作っている一般社団法人 NCD が行っています。それぞれの学会は NCD の構成員になっています。2011 年度からスタートして、年間 120 万症例を登録するそうです。放射線治療は 30 万人ですが、外科の場合はがん治療だけではありませんので、症例数ははるかに多いです。それだけの症例数を入力する手間、時間などから、相応の抵抗があったと聞いていますが、データ登録しないと専門医が取れない、あるいは更新できないといった手段を採りつつ、外科学会のパワーで実行しています。費用は年間 7000 万円ぐらい掛かるということでしたが、この 7000 万円がどこから支出されているのかはわかりません。こうしたことはアメリカでも行われています。JASTRO では、先ほど申し上げたように構造調査を随分昔から行っていますが、今後は、外科の NCD を見習って個々の症例についてもデータベース化する方向で検討しています。

そして粒子線治療についてです。人口比あるいは国土の面積比でいうと、日本には世界と比べてたくさんの治療装置があります。今、日本には重粒子が4施設、陽子線が8施設で、1施設は両方持っています。では今、どれぐらいの患者さんが日本で粒子線治療を受けられているかというと、大体2千数百人です。この数字は全放射線治療の患者さんの1.2%に相当します。100人に1人は放射線治療を粒子線で受けているということですので、もう特別な方が特別な治療を受けているという時代ではなくなっています。

それでは粒子線治療はどんな方が対象かというと、炭素線はもうほとんど日本しかないので、陽子線が基準になりますが、MGH で多いのは眼のメラノーマ、次いで脳腫瘍ですが、ロマリンドが多いのは前立腺がんで、MD アンダーソンは前立腺が半分くらいで、肺がんが非常に多いのが特徴です。国内ではやっぱり前立腺が多くて、肝臓がんといった消化器系が多いのが特徴です。このように陽子線治療は、それぞれの施設ごとに適応に特徴がある点が非常に面白いと思います。

今日のお話のまとめですが、とにかく人が足りない、そして粒子線も含めて放射線治療にはセンター化が必要、さらに放射線治療のデータベースも作らなければいけない、というのが本日申し上げたかったことです。

最後に 2015 年の 5 月 25 日から 29 日に京都で ICRR(国際放射線研究会議)が開催されます。主催は日本放射線研究連合で、平岡先生が大会長です。テーマとしては福島原発事故と医療への展開を掲げていますので、今日のようなディスカッションが深く関係しています。皆様のご協力を、平岡先生になり代わりましてお願いいたします。

【遠藤座長】 がん患者の 3 分の 1 が放射線治療を受けており、治療方法も治療機器も随分進んでいることと、それに付随して起こる体制面での問題点などについてお話し頂きました。



放射線治療: 需要拡大と新たな治療法

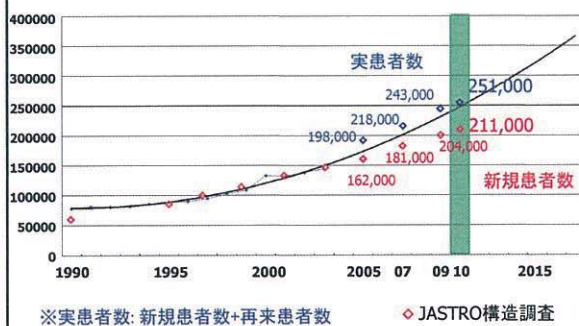
西村 恭昌

公益社団法人日本放射線腫瘍学会理事長

講演内容

- 放射線治療の需要拡大
- 放射線治療の均てん化とセンター化
- 放射線治療オンコロジーチームの人材育成
- データベースの構築
- 新しい治療法; 粒子線治療

放射線治療患者数の推移



放射線治療の均てん化とセンター化

JASTRO構造調査分類による年間外照射人数 (2009年)

都道府県拠点病院 (N=51)

地域拠点病院 (N=320*)

A (1-99)	0	A (1-99)	31	36%
B (100-199)	0	B (100-199)	84	
C (200-299)	5	C (200-299)	70	
D (300-399)	6	D (300-399)	49	
E (400-499)	8	E (400-499)	29	
F (500-)	32	F (500-)	57	

* リニアックなしの3病院と照射人数はそれぞれ1施設除く

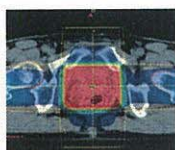
IMRTの実施率 (2009年): 65/372, 17%

都道府県拠点病院 (N=51)

地域拠点病院 (N=321)

■あり ■なし 51%

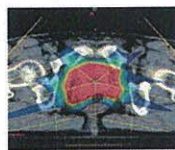
全施設 26 25



通常照射法
70Gy/35回

■あり ■なし 12%

全施設 39 283



IMRT: 強度変調放射線治療
78Gy/39回

IMRTに関する施設基準(抜粋) H20年3月

- (1) 放射線科を標榜している保険医療機関であること。
- (2) 放射線治療を専ら担当する常勤の医師が2名以上配置されており、このうち1名は放射線治療の経験を5年以上有する者であること。
- (3) 放射線治療を専ら担当する常勤の診療放射線技師(放射線治療の経験を5年以上有するものに限る。)が1名以上配置されていること。
- (4) 放射線治療における機器の精度管理、照射計画の検証、照射計画補助作業等を専ら担当する者(診療放射線技師その他の技術者等)が1名以上配置されていること。
- (5) 強度変調放射線治療(IMRT)を年間10例以上実施していること。
- (6) 当該治療を行うために必要な機器、施設を備えていること。
- (7) 当該保険医療機関において、強度変調放射線治療(IMRT)に関する機器の精度管理に関する指針が策定されており、実際の線量測定等の精度管理が当該指針に沿って行われていること。

がん診療提供体制に関するあり方に関するWG

がん診療連携拠点病院 397

原則2次医療圏に1つ整備する

しかし、いまだ107医療圏には、拠点病院がない

新たに、

A)地域がん診療病院

B)特定領域がん診療病院 をおく

地域がん診療連携拠点病院の主な要件(案)

- 月1回以上のカンサーボードに、放射線診断医、病理医の出席を求める。
- 提携先の地域がん診療病院との定期的な合同カンファレンス
- IMRTなどの高度な放射線治療を当該施設に紹介する体制の確保
- 放射線治療の出力測定第三者評価
- 放射線治療に携わる医師は専従(8割以上)とする
- 化学療法に携わる医師は常勤とする
- 病理診断医は常勤で専任(5割以上)とする
- 放射線診断に携わる医師は、専任かつ原則常勤とする
- 現在配置が求められている診療放射線技師、放射線治療機器の精度管理に当たる技術者などのメディカルスタッフの資格としては、放射線治療専門放射線技師、医学物理士、がん専門看護師、がん化学療法認定看護師、がん専門薬剤師などが望ましい旨を要件に記載すべき
- 放射線治療室に専任の常勤看護師の配置をもとめる
- 院内がん登録500件以上、がん薬物療法1000件以上、悪性腫瘍手術400件以上、放射線治療実数年間200件以上

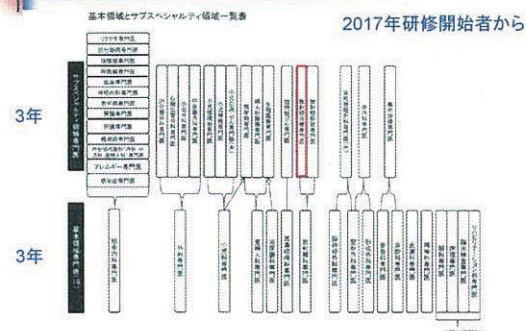
放射線科専門医制度：2008年合意

- 2年
- JRS 放射線診断専門医 JASTRO(+JRS) 放射線治療専門医
- 3年
- 日本医学放射線学会(JRS) 基盤学会 放射線科専門医
- 放射線治療専門医はJASTROが運営し、両学会の共同認定とする。
 - 2009年度「放射線科専門医」研修開始者から適応され、新制度対応の第1回「放射線治療専門医」試験は2011年8月に実施。
 - 第1回「放射線科専門医」試験は、2012年8月に実施

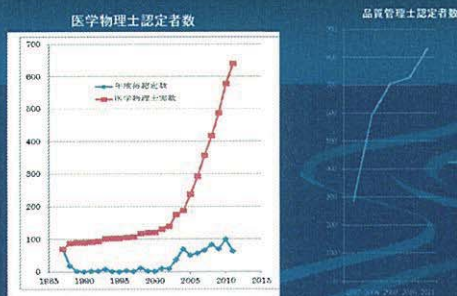
放射線治療専門医

- JASTRO認定医、およびJRS放射線科専門医からの申請で、877人が放射線治療専門医と認定された。
- 新制度での試験を2011年、2012年、2013年に行い、それぞれ51人、49人、44人合格した。
- 2013年現在、放射線治療専門医は合計1021人
- 2015年の放射線治療患者数は約30万人と予測、放射線腫瘍医1人当たりの適切な年間患者数は約200人、2015年には少なくとも1500人の放射線治療専門医が必要である。

新専門医制度(案)：中立的第三者機関認定



医学物理士、放射線治療品質管理士の資格保有者数および認定者数の年次推移



医学物理士、放射線治療品質管理士

- 医学物理士の78%が診療放射線技師免許を持っている
 - 医学物理士は、治療計画に参加、研究も重要な仕事
- 放射線治療品質管理士は、放射線治療の品質管理に専従する。
 - 更新期間は他の資格より短い3年間に設定
- 放射線治療施設の品質管理士在籍率は7割程度
 - 525施設に品質管理士在籍
- 医学物理士と放射線治療品質管理士の将来像を提示する必要がある。統合の方向へ
- 放射線治療の品質を担保するという観点から、「品質管理する部署」「委員会」が設置され、機能することが重要

放射線治療オンコロジーチームの人材育成

- 放射線腫瘍医の育成はJASTROが担っているもっとも大きな社会的使命。
- 基盤となる放射線腫瘍(治療)学講座の設置推進、あるいは医学生・研修医セミナーなどで放射線腫瘍医を目指す若い医師を増やす。
- 専門医制度の改革が行われようとしている今、サブスペシャリティとしての放射線治療専門医を育成する。
- 放射線腫瘍医のみならず医学物理士、放射線治療品質管理士、放射線治療専門放射線技師、がん放射線療法看護認定看護師なども不足しており、この放射線治療オンコロジーチームの人材育成に努力している。

National Clinical Database (NCD)

NCDは、3階建てのデータベース。1階部分が外科医療全体を把握するための項目(日本外科学会用:13項目)、2階部分が各サブスペシャリティ領域の学会の要望項目、3階部分が各種臨床研究で用いる項目



一般社団法人NCD。社員は外科系学会
2011年度からスタート、毎年約120万症例
システム費用などに年間約7000万円

National Clinical Database (NCD) の目指すもの

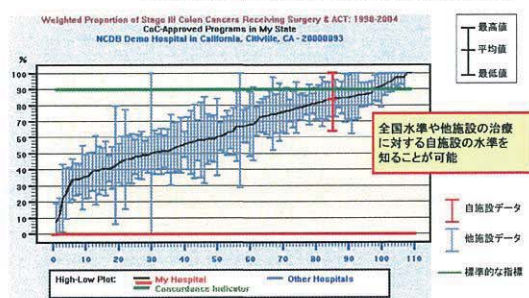
(HPから抜粋)

- 外科関連の専門医のあり方を考えるための共通基盤構築
 - 外科関連の専門医の適正配置には、現状把握が重要
- 医療水準の把握と改善に向けた取り組みの支援
 - NCDに参加することにより、各施設は、重症度補正等を行った医療水準を示す指標(真の実力)を把握
 - 術前因子で、合併症頻度などの予測
- 患者さんに最善の医療を提供するための政策提言
 - NCDのデータ解析により、望ましい施設環境や、促進すべき医療プロセスが明らかになる
- 領域の垣根を越えた学会間の連携

放射線治療患者のデータベース作成の必要性

データフィードバック例(米国NCDB)

(Stag III の大腸癌に対する手術と化学療法の併用の割合)



ROI brings radiation oncology registry stakeholders together for collaborative forum

BY NICOLE NAPOLI, COMMUNICATIONS MANAGER, NICOLENAPOLI.ORG

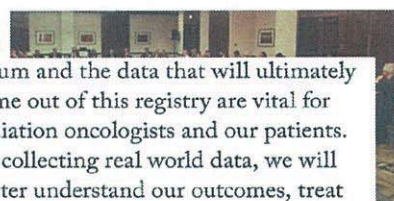
米国NROR

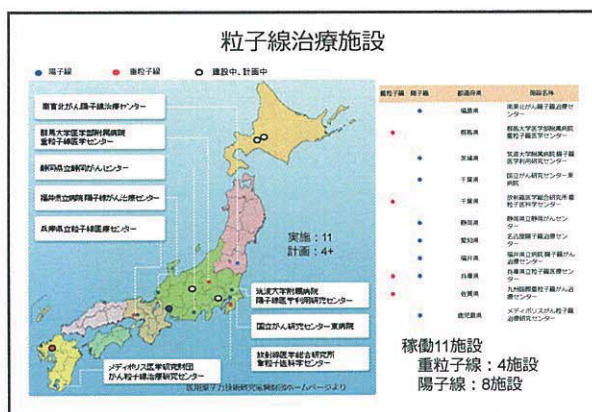
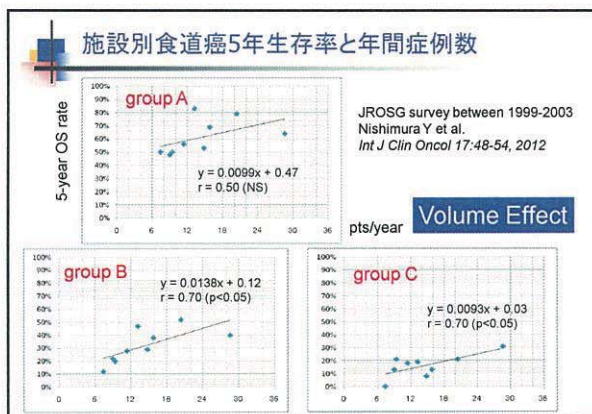
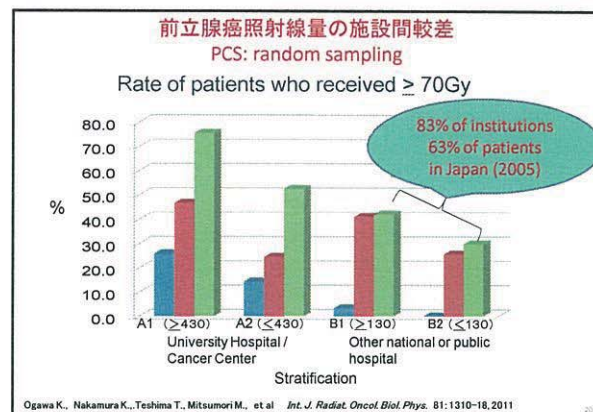
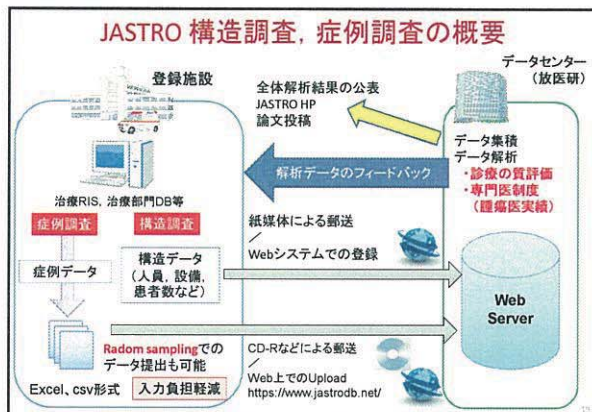
ASTRO Newsletter Summer 2012

THE RADIATION ONCOLOGY INSTITUTE (ROI) hosted a National Radiation Oncology Registry (NROR) stakeholder forum on April 19, 2012, in Arlington, Va., to bring together physicians, patient advocacy leaders, cancer survivors, health care so-

forum and the data that will ultimately come out of this registry are vital for radiation oncologists and our patients. By collecting real world data, we will better understand our outcomes, treat patients more effectively, improve quality and save health care dollars by more efficiently using our technologies."

leaders, industry leaders, government agency principals and private physicians to discuss the future of radiation oncology. "We're trying to create a collaborative dialog that is going to help move forward," Sean Tunia, M.D., president and CEO of the Center for Medical Technology Policy (CMT) and facilitator of the forum, said. "We're hoping to develop and working relationships that will be essential for the registry."





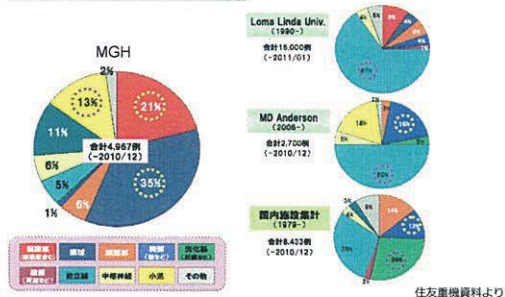
日本の粒子線治療状況

調査年	放射線治療施設数*	放射線治療新規患者数	粒子線治療施設数	粒子線治療新規患者数	粒子線治療割合 (%)
2003	726	149,793	6	657	0.44
2005	712	156,318	6	1,240	0.79
2007	721	170,229	6	1,643	0.97
2009	700	182,390	6	2,038	1.12
2010	705	190,322	7	2,332	1.23

※ 調査回答施設数 (粒子線治療施設は全施設回答)
実際の放射線治療施設数は以下の通り
2003: 726施設, 2005: 735施設, 2007: 765施設, 2009: 770施設, 2010: 780施設
出典) 日本放射線腫瘍学会 放射線治療施設実態調査

国内外の陽子線治療対象症例

治療対象疾患の内訳(2001-2010)

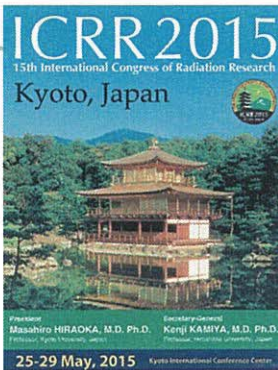


放射線治療の現状、課題、展望

- 放射線治療患者は、年間1万人以上増加している。2015年には30万人以上が治療を受けると予測。
- 現状年間約50人が放射線治療専門医となり、合計約1000人。2015年には少なくとも1500人は必要。
- 安全・安心な放射線治療のために**放射線治療オンコロジーチームの育成**。
- 放射線治療には地域・施設間較差が存在する。**粒子線治療を含む高精度放射線治療にはセンター化が必要**。
- 放射線治療患者**データベース**の必要性。治療成績、晩期合併症、2次発がん。がん治療政策提言の基になる。

ICRR 2015

- 平岡真寛会長、神谷研二事務局長
- 母体: 国際放射線研究連合 (International Association for Radiation Research: IARR)
- 福島事故の総括と、放射線医療への展開
- 主催: 日本放射線研究連合(JARR)
 - 日本放射線影響学会
 - 日本放射線腫瘍学会
 - 日本放射線化学学会
 - 日本保健物理学会
 - 日本医学物理学会
 - 日本放射線腫瘍学会、生物部会



第一部：放射線医療の将来展望

核医学：Theranostics, RI 内用療法と分子イメージング

井上 登美夫

【遠藤座長】「核医学、Theranostics、RI 内用療法と分子イメージング」と題して、日本核医学会理事長で、横浜市立大学放射線科教授の井上登美夫先生よりお話し頂きます。

【井上】 私は今、日本核医学会の理事長を兼務しておりますが、この席上に前理事長の北海道大学玉木先生がおられて、座長の遠藤先生はその前の理事長ですので、非常に話しづらい環境です(笑)。

放射線医科学の将来展望に絞って、核医学会としてどういう方向性に焦点を当てているかという視点でお話をさせていただきますので、前の2人の理事長の先生方とは少し趣の異なる話になるかと思います。



日本アイソトープ協会では、5 年ごとに全国の核医学会診療の実態調査を行っています。PET を除いた一般の核医学検査の全国の総数(年間)は、1997 年をピークにそれ以降は右肩下がりで減っています。それに対して、PET 検査は 2000 年代に入り急速にその件数を伸ばしているという特徴があります。

それから今日のもう1つのテーマである RI の内用療法も右肩上がりで増えています。これで良いとするというわけではありませんが、核医学領域での将来展望という点では、PET を中心とした分子イメージングと RI の内用療法の 2 つを戦略的にどのような形で発展させていくかということが、核医学会にとって大きな問題だろうと考えています。

こういった観点から、核医学会では理事長の直轄下に、RI の内用療法と分子イメージングに関する戦略会議をそれぞれ設けて、学会のいろいろな事業を集中的かつ戦略的に考えていくということを行っています。このベースになるのは、先ほどお示したような経年的な統計データです。

今日、Theranostics というキーワードを掲げました。ゲノミクス、プロテオミクス、メタボロミクスといったオーミクスの学問体系をベースに今行われている治療薬の開発や、それに伴った診断技術の開発などが一般的に言われている Theragnostics なのだろうと思います。ターゲットを絞った治療、その治療に伴う形での診断、この治療薬と診断を融合することによって、より進んだ個別化医療を行うということが Theragnostics の大きな目的になっているかと思います。そこで、放射線領域全般でも言えることですが、核医学の領域でも、分子イメージングと RI の内用療法を連携することで、核医学領域だけで完結する Theragnostics の展開も考えられるのではないかと考えています。

分子標的薬が、日常の診療の中でどんどん出てきていますが、それに伴い、治療の効果を判定する方法も変化してきている、もしくは変化することが要求されています。例えば、進行性の腎がんの肺の転移巣を分子標的薬で治療した様子を PET/CT の融合画像で経時的に見てみると、治療前には PET から FDG の集積数は 5.8 であるとか、CT 画像からどの程度の大きさの転移性病変があるかということがわかります。そして治療を開始して1カ月、4カ月、7カ月と経過を見ると、分子イメージングのデータからはブドウ糖の代謝から見て1カ月後には 4.2 になったので効果があったとか、その後残念ながら 6.8、7.0 と上がってきたので薬剤耐性が獲得された、ということが観察できます。一方、従来の形態での効果判定からは、4 か月後に最小になってまた大きくなっていると判定されます。このように、分子イメージングの使い方によっては、molecular target の薬剤の効果判定を形態学的な変化よりも早くとらえる、あるいは高い精度でとらえることができるのではないかとということで、現在、臨床研究がなされています。

画像をバイオマーカーとして使うことについては、何も PET に限ったことではなく、イメージング技術全体をそういう観点からとらえようとする国際的な動きがあります。北米放射線学会 (RSNA) の活動として、Quantitative Imaging Biomarkers Alliance (QIBA) と言われる連合体が形成されています。先ほどのような分子標的薬の治療効果判定などをする場合、画像診断の技術を使って定量的な測定値を算出するのですが、QIBA は、装置間、患者間、測定の手法の違いによるばらつきを改善して、定量的なイメージングバイオマーカーの測定値を改善する、あるいはそれを実用的にしていくことを目的としています。

また FDA、NIH、RSNA、北米核医学会、米国腫瘍学会などの学術団体、NIM-A などの物理的な学術団体がコンソーシアム的に作っている UPICT という組織では、PET だけではなく、ボリューム CT、ダイナミック MRI、ファンクショナル MRI、定量的超音波などを対象に、5 つぐらいの委員会に分かれて、バイオマーカーの測定値を standardization する活動が行っています。これを FDA に提示することによって、治療薬の効果判定の指標として、信頼できるデータを提言していくという動きがあります。

信頼保証は、折しも臨床データの改ざんなどで、今まさに問題になっている点ですが、これまで日本の分子イメージングの領域では薬剤を作る際の信頼保証はあまり意識されることなく、それぞれの施設がある緩い基準の中で PET 薬剤を作っていました。ところが現在国際的には、治験薬 GMP に近いようなレベルで、品質の信頼性を保証した薬剤を作るという動きが出てきています。

アメリカの核医学会では臨床試験ネットワークを作り、その活動の1つとして、薬剤合成の品質管理保証を米国内だけではなく国際的に進めています。数年前に北米核医学会の先生がまとめ

た情報では、その当時品質保証完了施設が日本には1施設もないということですので、これは、PETの世界でTPP参加を求められている印象があります。

そこで日本核医学会としては、PETの薬剤製造や撮像において、日本を国際的に信頼される状況にしていくために、現在分子イメージング戦略会議が努力しているところです。

Theranosticsという医療分野で一番成功したのが、いわゆる乳がんのハーセプチンの治療だと言われています。乳がん患者の組織を調べて、HER2の出現があることが確認されたらHER2の抗体であるハーセプチンを投与するという治療は、診断と治療の選択が結び付けて行われた成功例だと言われています。

核医学の領域内だけでTheranostics、つまり分子標的と治療を完結することも可能です。悪性神経内分泌腫瘍の場合、PETあるいはSPECTの検査が行われますが、PET/CTでDOTATATEの集積を確認したら、核種を変えてルテチウム177で標識したソマトスタチンのリセプターをRI内用療法の薬剤として投与すると、2-3クールで見事に治療効果が表れることがあります。分子イメージングでモニターをして効果を判定したり、線量を正確に計算したりといった具合に、診断の技術と治療の技術を結びつけた核医学の中だけで完結できるTheranosticsが存在しています。

こうしたエビデンスは、より精度の高い個別化医療を実現する方法が核医学の中にあることを示すものですが、残念ながら、わが国ではこの治療法ができません。私どもの大学でも臨床腫瘍学と放射線治療の先生方が非常に熱心にこの治療に関心を持ってくださって、私どもの大学からバーゼル大学に4人ぐらい患者さんを紹介して、その中の1人はルテチウムで見事に治療効果が確認されています。

最近話題になっているのがアルファ核種の内用療法で、ラジウム223による前立腺がんの骨の転移の治療では効果を上げています。骨に転移すると患者さんがとても痛がるので、疼痛緩和を目的で治療を行ったところ、痛みを取る効果だけではなく、治療効果も改善するというデータが得られています。例えば骨の転移のマーカーが非常に高い患者で生存率が改善されることが示されています。そこでFDAの迅速審査が行われ、通常の迅速審査というのは8カ月ぐらいかかるそうですが、これは5カ月で承認されています。

RI内用療法にこうした新たな方向性というのが見えてきていますし、日本の国内でRIの治療件数というのも年々年々増加してきています。ところが、残念ながら病院経営に寄与しないなどの理由から、RI内用療法を行う専用のベッド数は、2002年から2010年の間に約50ベッド(全国)も減ってしまっています。そのために、RI内用療法を待つ患者の平均待機時間が、現在5カ月ぐらいになっているという悲惨な現状があります。また日本にはRIの専用病床がない県が7県あります。正

確に言いますと、私のいる神奈川県も7県のうちの1つですが、この10月から神奈川県立がんセンターに2床だけ認められましたので、残るは6県ということになります。このような状況は、患者さんのニーズに対応できてないことを示すものであり、社会的背景に問題点を抱えているということでもあります。

そこで現在、私は日本学術会議の分科会でも委員として活動しておりますが、遠藤啓吾先生の分科会では、RI内用療法のベッドをもう少し増やすべきではないかという議論をしています。このRI内用療法用の施設と、福島以降問題になった被ばく医療の拠点を融合するような形で「RI 総合診療センター（仮称）」を作ることによって、社会が抱える問題を解決する道を、分科会として提言するための議論をしています。

わが国において緊急被ばく医療とRIの内用療法の接点を見つけるための手本になるだろうと言われているのが、ドイツの地域放射線防護拠点です。ドイツでは、幾つかの地域に分けて、地域ごとに被ばく医療の拠点を設けていますが、そこにRIの内用療法のベッド、あるいはPETの検診をするような施設を同居させて非採算性部門をうまくマネジメントする発想で、システムを動かしています。

核医学の未来ということで、個別化医療のための Theragnostics ということを紹介させていただきました。

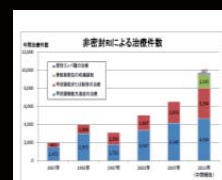
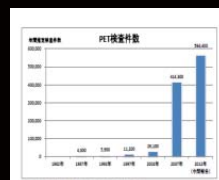
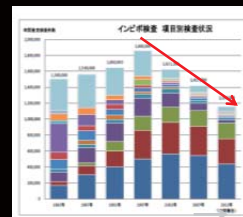
【遠藤座長】 日本の医療は進んでいると皆さんお思いでしょうけれど、一部の患者さんは日本の医療を受けられずに、外国での治療を受けているというのが本当に印象的でした。これで第一部を終わります。

核医学:Theranostics

RI内用療法と分子イメージング

横浜市立大学 医学研究科
放射線医学
井上 登美夫

1

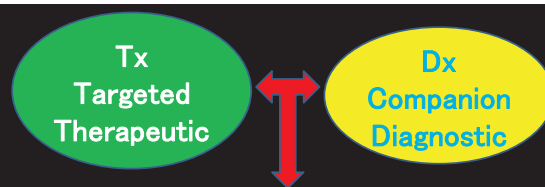


2

核医学診療の将来展望

日本核医学会の2つの戦略会議

- ①RI内用療法戦略会議
- ②分子イメージング戦略会議



Theranostics

The merging of drug therapy
And diagnostics to advance
Personalized medicine

核医学領域でのTheranosticsの展開

北米放射線学会 (RSNA) の活動

Quantitative Imaging Biomarkers Alliance (QIBA)

navigation

- Main Page
- Projects
- Committees
- Resource Catalog
- Process
- Recent Changes
- Help

search

Main Page

This Wiki is for collaborative creation of QIBA materials and ongoing activities.

Quantitative Imaging Biomarkers Alliance (QIBA)

QIBA Mission: Improve the value and practicality of quantitative biomarkers by reducing variability across devices, patients and time.

目的: 装置間・患者間・測定時点の違いによるバラツキを改善し、定量的バイオマーカの測定値と実用性を改善

●撮像認証機構 (UPICT) のスポンサー

●対象: FDG-PET、Volume CT、ダイナミック造影MRI、fMRI、定量的US

●FDAへの提示 (vol CT, FDG PET)

SNMのCTN(臨床試験ネットワーク)



Manufacturing Sites in the CTN Registry

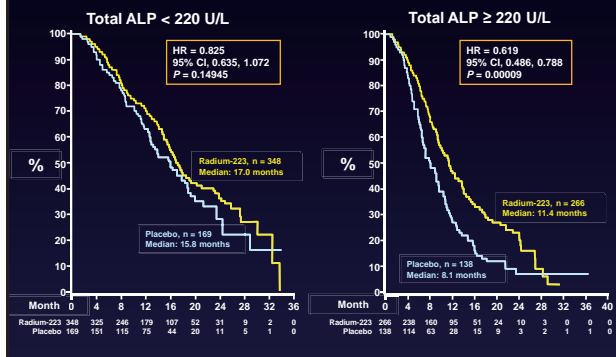
200以上が登録
品質保証完了施設数については未確認。
日本・韓国の参加が求められている。



You Need Change*!

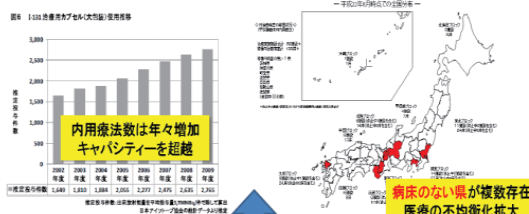
"PETの世界"のTPP参加??

**α線核種Ra-223の臨床試験結果：
—FDAの迅速審査による承認—**



**アイソトープ内用療法
グローバルスタンダード ↔ 国内ではアンメットメディカルニーズ**

新規内用療法製剤開発がグローバルに進行
現状のままでは、国内開発・導入は著しく困難

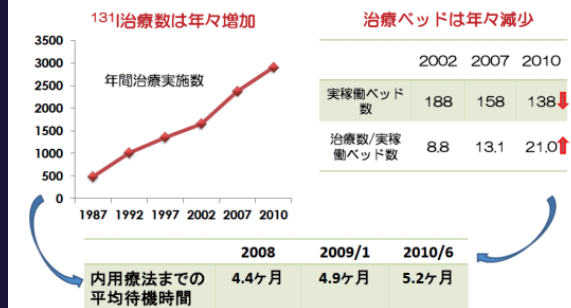


今改善を図らなければ、世界をリードすることはおろか、世界の孤児に

医療イノベーション5か年戦略

アンメットメディカルニーズに対応した医療サービス進化・医療システム改革、標準化、ユビタス化、技術開発インフラ整備

**¹³¹I 治療が必要と考えられる推定患者数
6,800例/年**



ドイツの地域放射線防護拠点

原子力関係雇用者損害賠償保険機構ネットワーク



緊急被ばく医療の病床を平常時はRI内用療法に利用している

第二部：放射線医療イノベーションを支える基盤

物理工学系基盤：画像技術を用いた放射線治療の高度化 (4次元治療と Adaptive Therapy)

遠藤 真広

【柴田座長】 第二部「放射線医療イノベーションを支える基盤」を始めたいと思います。まず初めに日本医学物理学会の遠藤真広先生に「物理工学系基盤：画像技術を用いた放射線治療の高度化 4次元治療と Adaptive therapy」ということでお話しいただきます。



【遠藤】 今日は学会の代表ということで、お話をさせていただきます。最初に頂いたテーマが「治療と画像の基盤について」でしたが、それを 15 分で話すのはとても無理ですので、ちょっとひねりまして「画像技術を用いた放射線治療の高度化」について話をし、この分野における基盤技術の一例をお示しできればと思います。



まず申し上げたいことは、最近、高精度放射線治療が非常に盛んになっていますが、これには線量集中技術と画像技術の進歩が大変貢献していることです。私は高精度放射線治療のクルマの両輪は、線量集中技術と画像技術だと考えています。

線量集中技術としては、粒子線治療や IMRT に代表されるいわゆるコンベンショナルX線治療があります。画像技術にはいろいろありますが、先ほど栗林先生が言われたように、こうした画像技術は治療にも役立っていると感じています。マルチモーダル・イメージングや 3・4 次元のイメージングの進歩により腫瘍の位置や拡がりを見ることができるようになりました。また、治療への応用では画像位置合わせの技術も重要です。

最初に、私が経験してきたことを少し話させていただきたいと思います。画像技術の利用は、まず粒子線治療に始まりました。その後、3次元原体照射や IMRT の導入によりX線治療にも広がりました。その分かりやすい例として、患者の位置合わせについてお話いたします。

粒子線治療では、患者を精度良く位置合わせすることが死活的な重要性を持っています。位置合わせの精度が悪いとマージンが大きくなり、粒子線の持つ線量集中性を生かし切れなくなります。今では X 線治療でも同じことが言えます。このため、粒子線治療では、治療が始められた時からX線写真を用いた位置合わせを行っています。1980 年代前半の MGH-HCL(陽子線の治療施設)では、患者さんを治療台に寝かせて X 線写真を撮って、技師さんはシャウカステンの上で物差しによ

り距離を測って、その測定値をもとに治療台を動かすということを行っていました。約 30 年前のことです。

放医研の HIMAC による重粒子線治療では、MGH-HCL や LBL の考えを引き継ぎ、より新しい技術を用いて患者の位置合わせを行いました。今では一般的なのですが、Digital Reconstruction Radiograph (DRR)を作って、その DRR の上にターゲット(病巣)やコリメータの輪郭を重畳表示します。また治療室にあるイメージインテンシファイアーを付けたX線テレビで患者さんの画像を撮って、X線画像と DRR を比べて治療台の移動量を決めます。つまり、シャウカステンと物差しが、X線テレビとコンピューターのディスプレイに変わったということです。

その後、私が放医研を退職してからの話ですが、放医研の新治療棟でも、同じようなことを実施しています。しかし画像はずっと良くなっています。これはヘリカルやマルチスライスといったX線 CT の発展によるもので、DRR の画像が全然違ってきています。またX線画像も、イメージインテンシファイアーを使ったX線テレビからフラットパネルディテクターを用いたものに発展して画質が向上しています。さらに自動位置合わせもできるようになりました。この位置合わせというのが治療における画像処理の肝なのですが、これでほぼ完全な形になりました。

それを追いかけるように、光子治療でも IMRT が出てきて画像が必要になり、IGRT という治療法へと大きく飛躍しました。リニアックにX線管とフラットパネルディテクターを搭載して、コーンビーム CT の撮影を行い、CT 画像同士の位置合わせを行っています。こういうことはX線治療では日常茶飯事ですが、粒子線治療ではルーチンでは行われておりません。このコーンビーム CT は後さらに役に立つことを示しますが、粒子線治療ではリニアックのように簡単にCTを撮影できないのです。残念ながら画像の利用という点では、粒子線治療はX線治療に抜かれてしまったのではないかと思います。

続いて本題の 4 次元治療についてお話しします。肝や肺の腫瘍の治療では、昔は呼吸で動く範囲全体を照射していましたが、今では、照射範囲を絞り、動きに合わせて照射することが行われるようになりました。これを 4 次元治療と言っておりますが、この 4 次元治療においても画像技術が非常に重要な役割を果たしています。

現在行われている呼吸同期照射では、呼吸に合わせて計画標的部分にだけ照射します。ではどうやって呼吸と同期させるかというと、体の上に発光ダイオードを付けてその動きを PSD (Position Sensitive Detector)で検出するという方法を放医研で開発し、今も行っています。PSD で見ると、動きの波形が捉えられるので、息を吐き出して安定になった時に照射します。この方法は呼吸同期に画像を使っていませんが、北大・京大が行っている方法では、金のマーカーを体内に埋め込み、2 方向のX線撮影をして、テンプレートマッチングという非常に簡単なパターン認識で金のマーカーを追いかけます。この場合は、呼吸同期というよりは、金のマーカーが決まった位置に入った時に照射するという狙撃照射的な方法を取ります。

もう1つの例ですが、先ほど説明したコーンビーム CT を搭載したリニアックというのは、非常にいろんな応用範囲がありまして、透視をしながら照射することができます。例えば透視画像上で横隔膜の動きを画像パターン認識で検出して、その動きから呼吸波形を得ることができますので、先ほどと同じような同期照射を行うことができます。

現在の呼吸同期の最前線は動体追尾という方法です。X線で透視しながら呼吸などの動きを予測して、動きを追いかけて照射するという治療法で、既に治療装置もできています。

呼吸同期のような治療の最中の動きもありますが、日々の変化もあります。特に照射によって腫瘍は縮小し、臓器も変形します。現在は、治療計画 CT を最初に撮って、その時から形が変わらないという想定で治療を行っているのが普通です。一方、こうした日々の変化に合わせて照射しようとするのが Adaptive Radiation Therapy (適応放射線治療) です。

IMRT を行う際に、最初の治療計画でずっと治療した場合と、2 週目に CT を撮り直して、それに合わせて治療計画を再度立てて治療した場合を比較すると、治療計画を立て直した方が、ターゲットへの線量は変わらないが、照射してはいけない正常臓器への線量が少なくなるということが示されています。また治療計画を1度変更した場合に比べ、2 回変更、3 回変更と、変更回数が増えるほど正常臓器に当たる線量が小さくなるということが示されています。

現在の最前線は、治療時に撮影するコーンビーム CT を利用する方法です。コーンビーム CT では検出器の性質上、CT 値を定量的に利用できないので、これで治療計画を立てることは難しいのです。しかし、いろいろな構造は見えるので、治療計画 CT 画像とコーンビーム CT 画像とを合わせることが可能です。それには変形位置合わせという手法を用います。そしてターゲットや重要臓器もコーンビーム CT 画像に合わせて変形することができます。この変形された画像とストラクチャーに対して IMRT などの即時最適化を行います。こうすると、毎回コーンビーム CT を撮ることによって、それに合わせて最適化した治療ができ、正常臓器への照射が低減できます。

こうした最前線の手法は、画像技術が進歩したということとコンピューターが高速化したことによって、実現可能なところまでできています。数年のうちにはそういう装置が、残念ながら他国のメーカーから出ると思います。変形位置合わせについては、最近ではフリーフォーマットデフォルメーションという方式が使われています。それぞれの点の動きを独立のベクトルとして考えるのですが、順方向の変形、逆方向の変形の位置合わせなどが非常に進歩しております。

ここまでのことをまとめますと、線量集中技術と画像技術は、高精度放射線治療を進歩させる車の両輪であり、今のように 4 次元治療においてはパターン認識、Adaptive Radiation Therapy においては変形位置合わせという技術が非常に役に立っています。非常に限られた範囲で説明しましたが、基盤技術はいろいろなところで治療を支えるために進歩しています。

画像技術を用いた放射線治療の高度化 (4次元治療とAdaptive Therapy)

遠藤真広(日本医学物理学会)



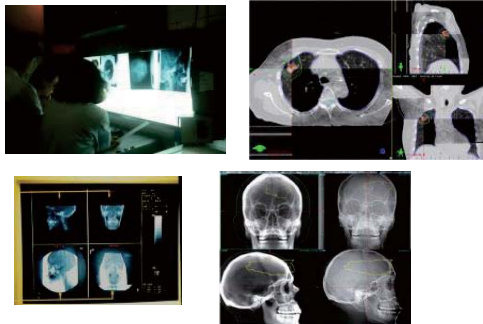
線量集中技術と画像技術は高精度放射線治療の「車の両輪」



粒子線、IMRTなど

マルチ・モーダル・イメージング
3/4次元イメージングと画像処理
画像位置合わせ

画像技術の利用は粒子線治療に始まり、3次元原体(3DCRT)やIMRTの導入により、X線治療に広がった。**患者位置合わせ**を例として示す。

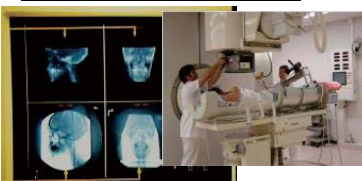


患者の位置合わせ



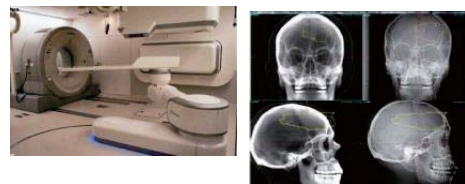
粒子線治療では、患者を精度良く位置合わせすることは死活的な重要性を持つ。位置合わせの精度が悪ければ、マージンが大きくなり、粒子線の持つ線量集中性を生かすことができないことになる。このためスタートからX線写真を用いた位置合わせが行われた。
(1980年代前半、MGH-HCL)

患者の位置合わせ



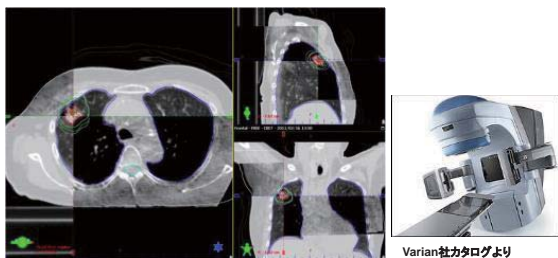
HIMAGの重粒子線治療では、MGH-HCLやLBLの考えを引き継ぎ、より新しい技術を用いて、それを実現した。
治療計画で用いた3次元CT画像からDigital Reconstruction Radiograph (DRR)を作成する。DRR上にはターゲット(病巣)やコリメータの輪郭を重量表示する。初回の治療照射に際してはデジタルX線画像を撮影、DRRと比較して治療台の移動量を定める。2回目以降はX線画像同士を比較する。(1994、放医研)

患者の位置合わせ



3次元イメージング装置としてのX線CTの発展(ヘリカルCT、マルチスライスCT)は、DRRの画質を飛躍的に向上させた。また、イメージングテンシファイアー(II)からFPDへの検出器の発展はX線画像の画質も向上させた。さらに自動位置合わせ法の導入などのため、動かない部位の画像による患者位置合わせは、ほぼ完成形態となっている(放医研、2011) 放射線科学2012.3

患者の位置合わせ

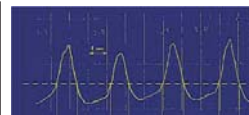


Varian社カタログより

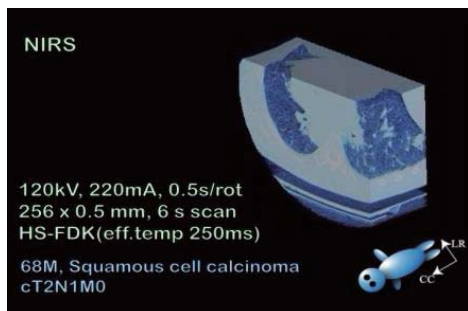
画像を用いる患者の位置合わせは、粒子線治療だけではなく線量集中技術の進歩に伴い光子治療でも行われるようになった。(Image Guided Radiation Therapy - IGRT) ここでは、リニアックのガントリにX線管と検出器(FPD)を搭載しコーンビームCTの撮影を行い、それを用いた位置合わせが行われている。CT画像同士の位置合わせは、粒子線治療ではルーテンとしては行われていない。

4次元治療

肺や肝の腫瘍の治療は、呼吸で動く範囲全体を照射することが行われていたが、現在は照射範囲を絞り、動きに合わせて照射することが行われるようになった。これを4次元治療ということがある。4次元治療においても画像技術が重要な役割を果たしている。

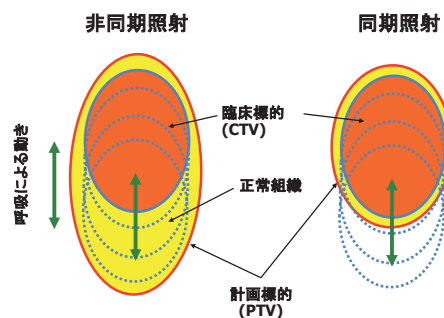


呼吸による臓器の動き



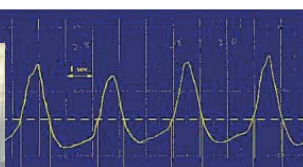
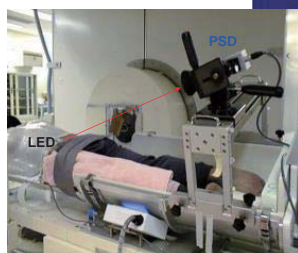
120kV, 220mA, 0.5s/rot
256 x 0.5 mm, 6 s scan
HS-FDK(eff. temp 250ms)
68M, Squamous cell carcinoma
cT2N1M0

呼吸同期照射



呼吸同期照射

呼吸波形の取得(体壁の動きを検出する):
皮ふ面にLEDを付け、その動きをPSDで検出する。
(NIRS-HIMAC)



波形に合わせて照射

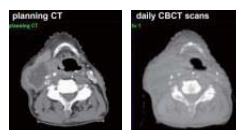
Infrared LED

Adaptive Radiation Therapy

腫瘍や周囲の臓器の形状は日々変化する。特に照射により腫瘍は縮小し、それに伴い周囲の臓器も変形する。現在は治療計画CT撮影時から変化しないとして照射している。これを腫瘍や臓器の変化に合わせて照射しようとするのが、Adaptive Radiation Therapy (適応放射線治療)である。

コーンビームCTの利用

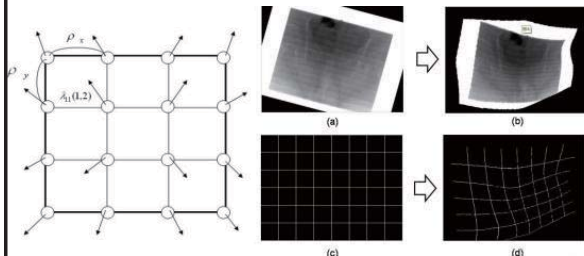
治療計画CTを繰り返し行う代わりに治療時に撮影するコーンビームCT(CBCT)の利用が試みられている。治療計画CT画像をCBCT画像に変形位置合わせする。そしてターゲットや重要臓器もそれに合わせて変形する。この変形された画像とストラクチャーに対してIMRTなどの即時最適化を行い、そのプランにより照射する。コンピュータの高速化と画像技術の進歩により、十分に実現可能な範囲となってきた。



Jan-Jakob Sonke: Adaptive Radiation Therapy

変形位置合わせ

代表的な変形位置合わせ法であるFFD (Free Form Deformation) では、格子点の移動を独立のベクトルとして表現する。そして、このベクトルを輪郭線の変形などから計算する。



有村秀幸: 医学物理, 第 30 巻, Sup. 4, pp.25-44, 2010

まとめ

線量集中技術と画像技術は、高精度放射線治療を進歩させる車の両輪である。その例として、4次元治療(同期照射)におけるパターン認識技術の利用とAdaptive Radiation Therapyにおける変形位置合わせの利用について紹介した。

第二部：放射線医療イノベーションを支える基盤

生物実験系基盤：メカニズム研究から分かること

宮川 清

【柴田座長】「生物実験系基盤メカニズム研究から分かること」ということで、日本放射線影響学会の宮川先生、よろしくお願いいたします。

【宮川】今日のテーマは放射線医科学のコンソーシアムであり、その議論のために必要な情報を提供するというにありますが、なぜ放射線医科学の中で生物実験が必要であるかということ、話を絞って紹介したいと思います。多くの方々は直接生物実験に携わっていないと思いますが、生物分野になじみのない方にもその重要性を理解していただく必要があるかと思うので、まずごく簡単な例を紹介させていただきたいと思います。



かなり昔から、放射線への感受性が非常に高い病態の存在が知られていました。その代表に血管拡張性失調症(Ataxia telangiectasia)があります。この原因遺伝子である ATM がクローニングされたのが 1990 年代の半ばです。そこからまだ 20 年たっておりませんが、この研究の成果がどれぐらい医学・生命科学にとって大きなインパクトを与えたかということは、後ほどのスライドで示します。

もう1つ、医学・生命科学にインパクトを与えた代表例に、これもかなり昔から知られていたことですが、がんにおける低酸素領域の放射線の抵抗性があります。これに深く関連している遺伝子 Hypoxia Inducible Factor(HIF)がクローニングされたのは、そう昔のことではありません。この遺伝子産物レベルが高いか低いかが放射線治療の効果に関係するということがわかり、特にイメージングという観点で、放射線医学に応用しようという動きが非常に活発化しています。

1つは放射線感受性、他方は放射線抵抗性という昔からよく知られている2つの現象が、遺伝子のクローニングとその後のメカニズム研究により、医学の中で重要な貢献を果たせる時代によってやってきました。

コンソーシアムの議論の材料の1つとして、放射線高感受性の疾患の原因遺伝子 ATM について少し詳しく紹介します。ATM がクローニングされてからのこの 20 年間に、メカニズム研究によって何が分かったかをご紹介します。放射線により DNA が切断されて本当に短時間にこの ATM という分子がリクルートされるということがわかり、放射線の損傷が生体に感受され情報伝達が発信される、そのかなり上流に ATM があって、一番中心的な分子であると言われるようになりました。

その下流には、p53 という、がん抑制遺伝子として一番代表的なものがあります。ヒトのがんでは約半数にこの変異がある、あるいは機能異常があるということが言われております。また変異のみならず発現レベルの低下まで含めると、この p53 の発がんへの寄与はこれまで知られている中では最大であると考えられています。この p53 にそれだけ大きな寄与があると言われていながら、現時点の医学では p53 を制御するという治療法が、現在のところまだ実用化されていません。それはなぜかと言うと、この p53 の周辺に極めて多様で複雑な制御機構が存在するからです。この制御機構解明の過程で、ATM が p53 の上流に存在して、p53 を制御していることが分かりました。ある意味、p53 を標的としたがん制御という点では最も重要な事実が初めてここで示されたと言っていいと思います。

放射線高感受性の疾患研究をきっかけとして、DNA 損傷応答という分子の情報伝達メカニズムが私たちの体の中に存在していることが概念的に明らかになったという点は大変重要です。また DNA 損傷後、細胞周期を制御するとか DNA を修復する、あるいは細胞死を誘導するといった、私たちの生体にとって重要な基本的な機能全てを、この1つの情報伝達系が非常にきちんと制御しているということが分かりました。

細胞周期の制御ということになりますと、12 年前(2001 年)に「Yeast and cancer」といった研究に対して、3 人の科学者がノーベル医学生理学賞を受賞しました。彼らの実質的な業績は、酵母において放射線高感受性の変異株を使って、最終的には細胞周期を制御するような分子の情報伝達の経路を初めて同定した点にあります。これが生命科学、医学生理学では非常に高く評価されました。

このように非常にレアな疾患の研究が、根幹的生命現象の制御との関連を明らかにするまで発展するには、多くの時間を費やしていますが、基本的に放射線感受性のある・なしを見極めることが、最初の研究段階で非常に重要だったことをご理解いただければと思います。

それでは DNA 損傷応答研究はこの先どのように応用されるかですが、2つの方向性があります。1 つ目は、いわゆる先ほどから話題に上っている分子標的薬です。ATM などの分子に対する阻害剤は当然のことながら、放射線がん治療の増感の1つの有力な候補となり得ますので、前臨床試験により盛んに検討されています。

もう1つは、ヒトにおけるゲノムの多様性から疾患リスクを評価する方向です。疾患になった方では2つの染色体両方に ATM の変異が起こっているのですが、片方のみの異常を持っている方も、日本人の場合大体1%近くいて、この方々はキャリアということになります。こうした人の細胞を取って、放射線感受性などを調べると、正常な方とは少し違うということも分かってきました。こうした方の健康リスク、あるいは放射線感受性も、今後重要な課題となると思います。

それから今、世の中で話題になっている遺伝性乳がんも、遺伝子 BRCA1、BRCA2 の変異が原因と考えられています。この遺伝子は18～19年前に臨床遺伝学分野で同定されましたが、その機能解析、つまりはこの遺伝子の情報伝達系での位置付けについては放射線生物学が主体となって解析を行いました。このような研究というのは、将来的には個人のゲノムの多様性と疾患予防、それから早期診断につながっていくと考えられます。

DNA 損傷応答の応用の1つ目である治療の増感についてもう少し説明します。通常がんは放射線をあてて DNA に傷を与えても、損傷応答系が働いてがん細胞を生存させる方向に働きます。そこでこの生体防衛機能をブロックして、放射線による傷を修復できないようにすると治療増感になる、というのが基本的な考え方です。

損傷応答の応用の2つ目は、ゲノム多様性の応用ということになります。現在は次世代シーケンサー等を使いまして、猛烈なスピードでゲノムが解析できるようになっているので、放射線と放射線以外の様々な原因によるゲノム変化のパターンの比較が重要な情報になってくると思います。その際、個々の遺伝子の変異ではなく、ゲノム全体がパターンとしてどういう異常を起こすかといった解析が重要です。現時点でまだ成功しておりませんが、こうした多様な刺激によるゲノム変化のパターンと、遺伝的なゲノム変化による生体応答の違いに関するデータを突き合わせて総合的に解釈することで、将来は、外的なストレスに対して私たちの体の応答・変化が何で起こったかが、ある程度同定できるようになると想定されます。

病的には同じ乳がんであっても、ゲノムの変化のパターンがいくつかのサブタイプに分かれることが、この数カ月の国際的な研究によって明らかになってきましたので、ゲノムの情報により疾患の原因(外因性、内因性)を明らかにするという方向性は自然の流れと言えます。

放射線高感受性のメカニズム研究が、どのようにして医学全体に貢献しているかを、簡単に振り返ってみます。ATのようなレアな疾患の解析から始まり、疾患発症のメカニズムを解析する過程で DNA 損傷応答の情報伝達系が解明されました。これは発がんに関する基本的な原理の1つと考えられています。そして発がんの機構解明以外にも、遺伝子の組換えが免疫の多様性を生み出しているということがわかりまして、免疫に関しての基本的な原理の研究につながっていることができます。それから ATM の情報伝達系が、発がんや DNA 損傷のみならず、ほかの外的ストレスや高栄養など環境要因の受け皿になっているということが分かってきましたので、代謝領域の重要なシグナルと認識されるようになっていきます。

もう1つはまだ研究の途上ですが、この機構研究が、早期に老化する病態や神経発達、変性の理解に貢献しているということがあります。この半世紀の放射線生物学の流れを見た場合、放射

線影響のメカニズム研究は放射線医科学ということにとどまらず、私たちの体の恒常性維持の理解に大きく貢献していると言えます。

また被ばく医療分野への応用としては、一番問題となる重症の急性障害の治療です。現在の再生医療の側からのアプローチもあると思いますが、この分子のメカニズムからのアプローチも可能になると思います。それからレイトエフェクト(後期影響)に対しては、現時点は影響の原因を同定することは非常に難しいのですが、将来的にはある程度原因を絞りこめる時代が来るのではないかと、また異常に応じた治療法の開発が可能になるのではないかと考えています。

医学における放射線影響メカニズム研究の位置づけをまとめますと、まずは放射線診療に關係するいろいろな健康に関する問題提起があって、これを解決するためのメカニズム研究というところに放射線生物学は位置しています。その際、一般の健康の問題も、常に視野に入れながら研究を進めていくことが重要だと思っています。こうした研究の結果として、成果の一部が今、診断・治療に応用されつつあるというのが現状です。

かつて、「放射線高感受性疾患がある」ということが問題提起となったように、今は「個々の症例における放射線診療(診断、治療)が、その後の一生の間に発症する疾患とどのような関係があるのか」という問題提起が成り立つと思います。これを解決するためのメカニズム研究としては、簡単に入手できると思われるゲノム蛋白質など分子情報と疾患情報をまとめてデータベース化すると、その中から問題を解決する重要な研究分野が生まれるのではないかと思います。

ダイアログセミナー
放射線医療の将来展望と基盤

生物実験系基盤
メカニズム研究からわかること

宮川 清
日本放射線影響学会 会長

放射線感受性のメカニズム研究のトピックス

放射線に感受性の高い疾患

毛細血管拡張性失調症 (Ataxia telangiectasia: AT)

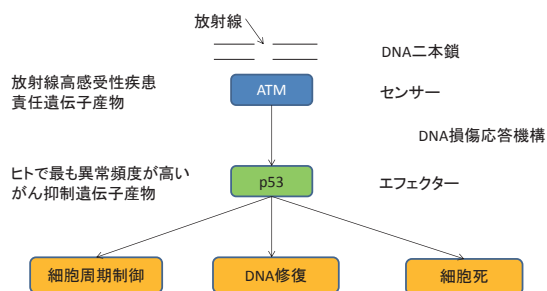
ATM (Ataxia telangiectasia mutated) がクローニングされ、その変異による機能欠損が原因であることが発見された

酸素の放射線感受性への効果

腫瘍における低酸素領域は放射線治療抵抗性

HIF (Hypoxia-inducible factor) がクローニングされ、そのレベル増加が関与することが解明された

ATMのはたらき



DNA損傷応答研究の医学応用

阻害剤によるがん治療増感

ATM阻害剤

Chk1阻害剤

Cdc25阻害剤

治療開発

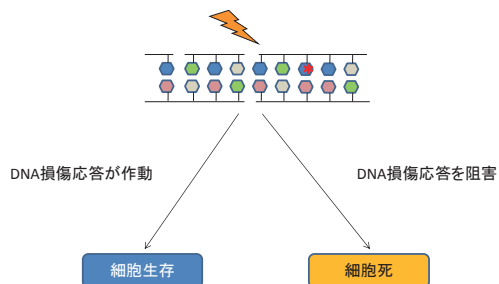
ゲノム情報による疾患リスク評価

ATM変異とがんリスク

BRCA1&BRCA2変異とがんリスク

疾患予防と早期診断

DNA損傷応答阻害による放射線治療増感



ゲノム情報を活用した放射線影響メカニズム研究

放射線と他の原因によるゲノム
変化パターンの比較

生体機能の変化によるゲノム
変化の理解

刺激の多様性

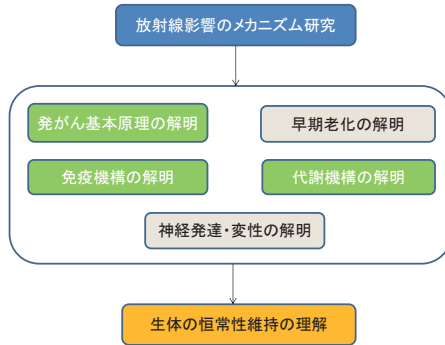
応答の多様性

ゲノム変化が生じた原因の同定

放射線
紫外線
化学物質
内因性

同じ疾患でも微細なゲノム変化パターンは異なる

健康問題全般の解決に貢献するメカニズム研究



メカニズム研究の被ばく医療への応用の可能性

早期影響

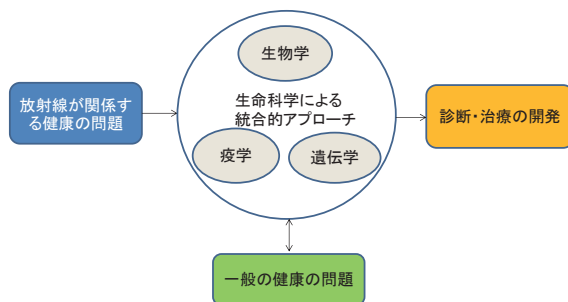
現在の医学では救命が難しい重症急性障害に対する治療法の開発

後期影響

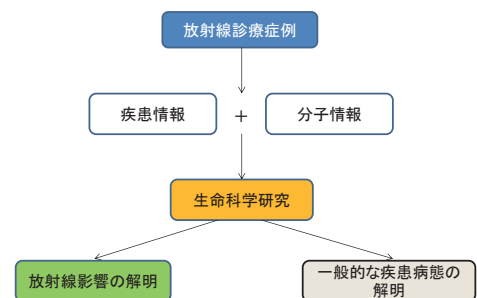
健康影響の原因を絞ることができる可能性

原因となった分子異常に応じた治療法の開発

医学における放射線影響メカニズム研究の位置づけ



疾患情報と分子情報に連結した放射線医科学



第二部：放射線医療イノベーションを支える基盤

社会医学系基盤：社会基盤との連携が抱える課題

米倉 義晴

【柴田座長】「社会医学系基盤、社会基盤との連携が抱える課題」ということで、米倉先生、よろしくお願いします。

【米倉】私は、医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)の代表として、社会医学系基盤としての医療被ばくの問題についてお話をしたいと思います。

医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)のメンバーは、学会、JIRA(日本画像医療システム工業会)などの民間や大学・研究所ですが、行政機関としての文科省、厚労省、内閣府をオブザーバーとして含む形で2010年3月に立ち上がりました。関連学協会等が持っているいろいろな情報、特に国際的な情報を1点に集約して共有することで、オールジャパンの体制を作りたいということから始まっています。現在はWHOあるいはIAEAといった国際機関からの情報共有を行っておりますが、いずれは国の放射線医療行政にいろいろな提案をしていきたいと考えています。

J-RIMEの活動としては、現在ワーキンググループ(WG)が4つあります。まず小児防護WGでは小児の診断参考レベルの設定に向けた様々な調査活動を行っています。またIAEAは2006年から各個人の被ばく線量を記録するSmart Card projectというプロジェクトを開始しましたが、このWGでは日本版のスマートカードシステムとして、どのようなものが考えられるのかを検討しています。今のところ実際にカードが存在するわけではありませんが、一つの案としては、SuicaやIcocaのようなICカードに近いような形のものを、患者個人が持つことによって、そのデータが1カ所に集約されるような仕組みが考えられています。それから実態調査として、国内医療被ばくの実態を把握するWGがあります。4つ目のWGでは広報としてホームページの立ち上げを努力しているところです。

この中で、J-RIMEの実態調査WGとSmart Card WGの活動について説明します。この活動の目標は、オールジャパンでの診断参考レベルを提案するということです。実際には、その診断の種類ごとによって線量がいろいろと異なっていますので、まずその情報を集約することが必要です。プロセスとしては、診断参考レベルの線量指標に関する検討・設定をしながら、既存のデータを整備し、そして利用できるデータや不足しているデータを仕分けて、データ収集方法を決めて、いろんなプラットフォームを形成していくということを考えています。

こうした実態調査については、学会あるいはさまざまな団体において、すでにいろいろな取り組みが実際になされています。日本医学放射線学会でも、CTの被ばく線量についての調査が行われ

ると聞いていますし、診療放射線技師会では、実際の調査データが存在するということです。こういういろいろなデータを集約するプラットフォームとして J-RIME のワーキンググループを使っていたことも考えています。また JASTRO (放射線腫瘍学会) から、放射線治療のデータベース構築に関するバックアップをお願いしたいという依頼がありました。この受け皿として、放医研がこういった協力ができるのかというのを、現在詰めているところです。

様々な放射線医療における被ばくに関するデータを集約する目的は、今後の放射線医療の最適化に役立てることにあります。そのためには、医療被ばくの個人線量を把握する必要がありますが、これには国際的なニーズがあります。UNSCEAR に関連して、第 65 回の国連総会の決議では、加盟各国に被ばく線量のデータ収集に関する協力を要請しています。つまり、IAEA や WHO などとの協力の下に、各国の医療被ばくのデータをデジタルデータとして取りたいので協力してほしいという要請です。どのようにこの要請に対応するかは、今検討しなければいけない緊急の課題となっています。

それから、現在福島原発事故による被ばくの影響を正確に評価するためには、特に福島県における医療被ばく線量を把握して、これを解析に含める必要が当然出てくるわけで、この対応は非常に重要な問題になるかと思われます。

社会的ニーズとしては、医療放射線への社会的な不安の増大があります。最終的には、医療被ばくのデータは非常に大きなビッグデータ、あるいはメガデータとしての疫学調査による低線量放射線の影響評価につながるものだと考えておりますが、実際に患者個人の情報を研究に使うためには、社会的なコンセンサスが当然必要となってきます。

現状はどうかというと、個人線量を把握するための研究開発が行われ、パーツはできつつあります。例えば CT 検査の被ばく線量を収集・分析するシステムに関しましては、現在放医研でも開発中でありまして、いろいろなデータ収集、それからデータベースを構築するための態勢を作っている状況にあります。

今後、社会的基盤の整備や利用が必要となるケースがいくつか考えられます。例えばある地域を限定して地域内の全患者の情報を集めるといった場合やさらに広範な疫学調査を行うといった場合です。マイナンバー制度が動きだしましたが、省庁横断的な行政の取り組みをうまく利用できれば、様々な情報の入手が可能になると思われます。こうした可能性を現実のものにするには、非常に長期にわたる疫学調査への資源投入、あるいは個人情報利用が行われますので、こういった事柄に対し社会の合意が必要であるということは、当然言うまでもありません。

今放射線医科学が抱えている問題は、例えば非常に大型の研究開発や広範な情報収集に関する問題など、どの分野でも関連の学協会あるいは大学や研究機関だけで対応できるものではありません。これらの課題解決のニーズを吸い上げて、顕在化させ、外へ発信していくというのが非常に重要なポイントであり、放射線医科学コンソーシアムの機能の一つとなります。

それから行政からも、広範な連携による課題解決が期待されています。コンソーシアムはそういう外からのニーズの受け皿になり得るのではないかと思います。そして、既に連携やネットワークが構築されているテーマもありますので、既存の枠組みをうまく利用して課題の受け皿を調整していく、それもコンソーシアムの役割かと思います。

先ほど来お話がありましたように、例えば日本医学放射線学会、あるいは放射線腫瘍学会、放射線影響学会、日本核医学会、こういう学会レベルでのいろんな協力関係とともに、日本学術会議という1つのプラットフォームが既に存在いたしますので、これをうまく利用することによって、今後必要なデータを集めたり、社会的なニーズあるいは行政からの要請に対応したりできるような仕組みというのを、この放射線医科学のコンソーシアムの中に作れないかということを考えて、日本学術会議の大型研究プロジェクトに提案いたしました。

すぐにでも連携などが必要なものとして、放射線治療患者のデータベース構築、放射性同位元素の内用療法、あるいは疾患療法とゲノム療法を連結したような放射線医科学研究といったテーマがすでに上げられています。こういうニーズにどのように応えていくかについて、第三部の中でいろいろご議論をいただければと思います。

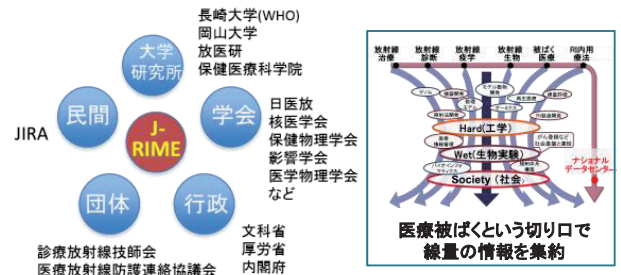
社会医学系基盤： 社会基盤との連携が抱える課題

米倉 義晴

日本学術会議会員

医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)代表

医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)



- ・ 関連学協会等のオールジャパンの組織
- ・ 各学会の医療被ばく防護のエビデンス収集・共有・集約
- ・ 国際機関(WHO、IAEA)と情報共有
- ・ 国の放射線医療行政に提案

J-RIMEの活動

現在設置されているWG

- ◆小児防護WG: 小児の診断参考レベルの設定
- ◆Smart Card WG: 日本版Smart Cardシステムの検討
- ◆実態調査 WG: 国内の医療被ばくの实態把握
- ◆広報WG: HPの立ち上げ

J-RIME広報誌 らいむらいと

Smart Card プロジェクト
IAEAが2006年より開始した患者個人の被ばく線量の記録を目的としたプロジェクトの名称。



J-RIME 実態調査・スマートカードWGの活動

(平成25年7月20日WG会合での議論)

目標1: オールジャパンとしての診断参考レベルの提案

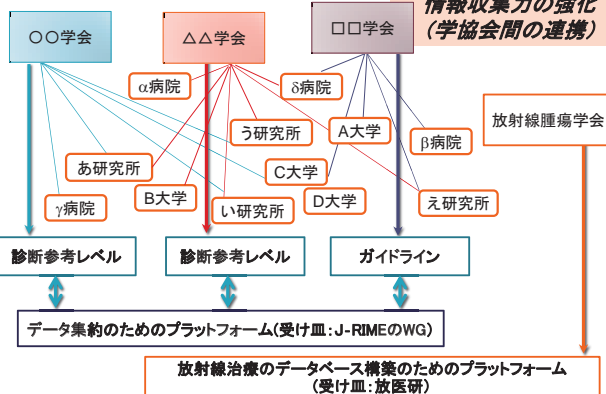
⇒ 手技ごとの線量に関する情報収集が必要

プロセス:

- ① 診断参考レベルの線量指標に関する検討・決定
- ② 既存のデータの整理
→ 利用できるデータ/不足しているデータの仕分け
- ③ データ収集方法の決定
- ④ データ収集のプラットフォーム形成

診断放射線の線量に関する各学会の取り組み

ネットワークの必要性① 情報収集力の強化 (学協会間の連携)



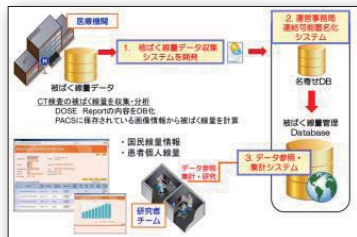
J-RIME 実態調査・スマートカードWGの活動

目標2: 医療被ばくの個人線量の把握

- ◆国際的ニーズ
 - ・ 第65回国連総会決議(UNSCEAR): 加盟国に被ばく線量データ収集に関する協力を要請、IAEA、WHOなどに協力を要請
 - ◆原発事故対応ニーズ
 - ・ 事故による被ばくの影響を正確に評価するためには、医療被ばく線量を把握して、解析に含める必要がある。
 - ◆社会的ニーズ
 - ・ 医療放射線への社会的不安の増大
 - ・ 疫学調査による低線量放射線の影響評価
- ⇒ 個人の状況に応じた、科学的知見ベースの説明の必要性

個人線量把握のための研究開発

- ◆CT検査の被ばく線量収集分析のシステムを開発中



- ◆継続的にデータ収集・DB構築できる体制

ネットワークの必要性② 永続的活動力の強化
(学会と大学・研究機関の連携)

社会的基盤の整備や利用が必要となるケース

- ◆対象地域の全患者の情報を集める場合
- ◆疫学調査を行う場合

社会的基盤の例

疾患登録、どこでもMy病院、社会保障カードなど
⇒省庁横断的な行政の取り組みが必要

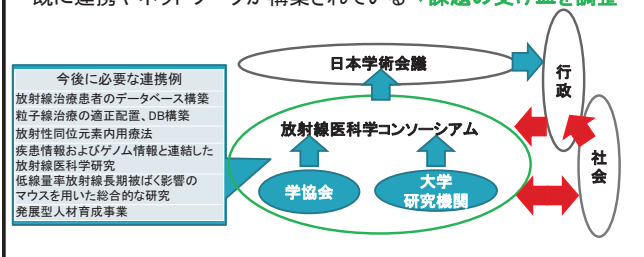
社会の理解

長期にわたる疫学調査への資源投入や個人情報の利用、国民総背番号制など、社会的合意が必要な要素を含んでいる。

ネットワークの必要性③
社会への発信力の強化

放射線医科学コンソーシアムの当面の機能

- ・どの分野にも、単独の学協会、大学・研究機関だけ対応できない大きな課題(研究開発、情報収集)がある。
⇒ニーズの吸い上げと“外”への発信
- ・行政からも広範な連携による課題解決が期待されている
⇒“外”からのニーズの受け皿
- ・既に連携やネットワークが構築されている⇒課題の受け皿を調整



第三部：パネルディスカッション これからの5年でできること

パート①：医工連携や産学連携について

ファシリテータ：佐々木 康人

1. イントロダクション

【佐々木】 第一部、第二部で6人の演者の方から、大変に貴重な中身の濃いお話を伺いました。遠藤(啓吾)先生からはパネルディスカッションで質問を受けると言われましたが、質問をお互いに行っているだけでも1時間半ぐらいかかってしまいますので、これからの議論の中で、ぜひここは聞きたいと思われたところを質問してください。



このパネルディスカッションは、放射線医科学コンソーシアムを実現するために、この5年間で何ができるかを議論する場であると理解しています。そのキーワードは「異分野の連携」だと思います。Trans-disciplinary な連携あるいは協力ということが言われるようになり長い時間が経っているように思いますが、実際にはなかなかうまくいっていないということがあると思います。この放射線医科学の分野それぞれのリーダーの方々がお集まりいただいて、こういうお話を聞く機会もそうあることではないのではないかと考えております。一番前の席には、演者をはじめ、それぞれの学会あるいは専門分野を代表されるの方々がお座りです。ぜひ積極的に発言いただきたいと思いますが、その外側の席の方にもご自由に発言をいただきたいと思います。特に行政の方々には、ご感想でもご意見でもどこかで伺えればと思っています。

ディスカッションに先立ち、議論の参考として用意した資料について説明してください。

【神田】 受付でお配りした資料には、講演や話題提供のスライドの後ろに、放射線医科学分野の連携に関する最近の状況についての資料を付けています。

1つ目は今年の3月に日本学術会議大型研究計画に提案された「放射線医科学イノベーション創出に向けた統合コンソーシアムの形成」の提案要旨です。本日のセミナー開催のきっかけにもなった提案ですので、セミナーの冒頭にも米倉理事長から内容の説明がありました(注：本報告書の巻末に収録)。

2つ目は今年8月に文部科学省の放射線医科学戦略検討作業部会がまとめた中間報告書です。既にホームページ上でも公開されていますので、ご存じの先生もいらっしゃると思いますし、本日作業部会の委員の先生方にもこの会場にお越しいただいています。この中間報告書の今後必要な取り組みには、「医学利用と生体影響の連携・一体化」「他の分野との横断的な取り組み」といった内容が書かれています。また放射線医科学の発展を支えるための活動の中でも、「省庁間連携」あるいは「産学官連携」や「国際連携」など、キーワードとして、連携、横断、融合、統合といった文字が並んでいます(注：http://www.lifescience.mext.go.jp/files/pdf/n1218_14.pdfに掲載)。

このように放射線医科学分野における連携、そして連携をうまく活用した課題解決というニーズがある中で、実際にはこの分野でどのぐらいの連携が行われているのかを、事前アンケートの形で調べたものが 3 つ目の資料です。これを見ると、テーマもいろいろ、連携の形態もさまざまです。機関間の連携もありますし、個人での参加による連携もあります。今後の連携の在り方を考える上で、参考にしていただければと思っています。また 4 つ目の資料は今後必要と思われる連携について、これも事前アンケートの回答をまとめたものです。このうちの幾つかはこれまでの講演で説明がありましたし、この後、パネルディスカッション内で説明されるものもあります。

【佐々木】 この異分野の連携をするために、一体何をしたらいいかというのが大きなテーマを考えるに当たり、①放射線治療、画像診断情報の集約について、②基礎・臨床・疫学、医工連携など、様々な分野間連携について、それから③社会的ニーズに基づく放射線医科学の推進について、といったことを頭に置いて、先ほどの演者の方々へのご質問も含めて、自由なご発言をいただきたいと思っています。ただこの 3 つのテーマはそれぞれに関連しておりますので、1つ1つテーマごとに議論をするのではなくて、全体を視野に入れながら議論をしていただけたらと思います。

2. 話題提供

【佐々木】 最初に北海道大学大学院の梅垣菊男先生に「持続的発展を見据えた「分子追跡放射線治療装置の開発」と題した話題提供をお願いしております。

【梅垣】 最先端研究開発支援プログラムという国家プロジェクトにどのように取り組んできたかということを紹介するというお題を頂きました。本来なら中心研究者の白土先生が話すのが一番いいのですが今海外に行っておりまして、私から説明させていただきます。



このプログラムでは、北海道大学医学研究科の白土先生と京都大学の平岡先生、この2人の放射線治療医の先生のもとで、私がプロジェクトマネージャーとして大型の装置を開発して、工学系・技術系との産学連携の部分を進めてきました。

この国家プロジェクトは2009年度に始まり、2013年度で終わります。つまり今年度が最終年度です。内閣府のホームページでも紹介されていますが、麻生政権の最後に、30 テーマを選んで、日本の起爆剤みたいな研究開発の投資をしようということでスタートをさせたプロジェクトです。30 のテーマを見ますと、生命科学のテーマが非常に多いのですが、そのほかでは、エネルギーとか、ロボットとか、少し変わったところでは村山先生という非常に有名な宇宙の先生による夢のあるテーマがあります。非常にありがたいことに、放射線医療で白土先生が中心となって提案した課題が採択されました。それから4年半にわたり私どもがこの事業を進めてきたことになります。

放射線治療の患者数ですが、先ほど西村先生から、2010年に25万、2015年に30万人というお話がありました。私どもの予測では36万人ぐらいと、もう少し右上がりにカーブが曲がることになっています。日本で放射線医療が受けられる人を増やすための起爆剤になるようなプロジェクトにしたいということで、課題として挙げたのは、癌細胞の放射線への感受性のばらつき、呼吸など体内の動きへの対応、サイズが大きい腫瘍への対応です。このうちメインは、体内の動きへの対応、ついでサイズの大きい腫瘍への対応で、いろいろな技術を使って、医工連携と産学連携によって、問題解決にチャレンジしてきました。

プロジェクトの体制は、白土先生(北大)と平岡先生(京大)といったリーダーがいて、北大の中にプロジェクトをトータルでまとめる支援室があり、私はプログラムの遂行に必要な装置や医学物理の技術の面からプロジェクトをまとめています。

産学連携は、北海道大学は日立製作所、京都大学は三菱重工と連携して、マンツーマンの形で装置開発を始めました。つまりこのプロジェクトには、①大学と大学とが同じ目的で連携をする、②医学系と工学系が連携する、③大学と産業界が連携する、という3つの連携があって、これがうまくマネージ出来るかというのが、本日のセミナーのテーマと関係する点です。今思えば、ある1つの目的に向かって補完し合うようにするようなやり方が一番うまくいくと思います。

このプロジェクトで一番大きなお金をかけたのは、急激に普及しつつある陽子線治療の装置開発で、北海道大学につくりました。ただ放射線治療の9割以上を占めているのはX線治療ですので、この両者を合わせて最先端治療を実現することをプロジェクト期間中ずっと意識してきました。

陽子線治療とX線治療では、それぞれ違う装置で治療するけれども、分子イメージング、あるいは診断の技術は全部共有しようということを考えまして、分子を追跡する、あるいはマーカーを置く技術は共有することで、最終的には4次元放射線治療の世界標準を一緒に作ることをめざしました。そうなれば産業界も大きなメリットを得ますので、企業にとっては大学と一緒に働く際のドライビングフォースになりました。

具体的には、北海道大学が持っていた動体追跡というX線で培われた技術と、日立製作所が臨床に応用した陽子線照射技術(MD アンダーソンで初めて実現)を融合するように設計しました。特徴的なのは、2つのフラットパネルとX線管球が対になっており、90度でクロッシングして、アイソセンターで透視をするようになっています。動体追跡の透視とともにスポットスキャンが出来るようになっています。薬事・FDA 橋渡し研究も一緒に行うことが非常に重要なポイントになってきました。

このプロジェクトを行うことで大きく進んだことの 하나가医学物理教育です。ほとんど人材が居なかったところにこれだけ大きな医学物理の研究室を作って人を集めることができました。今日、遠藤(真広)先生がいらっしゃいますが、医学物理学会で賞を頂いて、シンポジウムで発表してといっ

たことも後押ししたおかげで、若手研究者が「医学と病院にかかわって一緒に仕事することが非常に楽しく将来性もある」と思えたことは、限定期間でしたが、大きな進歩であると感じました。

国際的な点での効果で言うと、起爆剤みたいなプロジェクトを実施することで、メイヨーとセント・ジュードといった世界的な施設から訪問を受けています。日本の粒子線治療は世界に先んじていて、放医研の重粒子線治療は世界のトップですし、陽子線も頑張っているので、できれば日本が国際拠点となって世界に展開していくことが出来ないかと思っています。セント・ジュードとメイヨーは北海道大学と全く同じ加速器を導入しました。機関によってやりたいことは違うので照射部分は違うのですが、いろいろなことを共有する関係を築いています。

この4年半を通じて今後の発展に必要なだと考えていることをまとめてみます。

患者さんそして技術屋の立場から見ると、X線、陽子線、重粒子線というのを本当にシームレスに連携して、一番いい治療の形が受けられるようにすることを考える必要があると思います。また治療計画にほかの治療法も考慮する必要もあります。化学療法との連携や診断画像と治療の融合も絶対必要になるという話をしていますが、診断と治療両方を一緒にかなえられるような技術屋さんがいないとなかなか難しいです。

それから、医工連携や医学物理教育には「奥行き」が必要です。どういう意味かというと、医学物理を病院とか医学部だけで支えるのではなくて、その1けたぐらい多い人材を理工系の学部で提供して支える仕組みがないと簡単にはいかないと思っています。今、医学物理士が多くなってきたと言うものの、まだ数百人のオーダーでしょうから、理工系の中に医学物理教育のベースの部分を作ることが必要だと思いました。また産学連携に対しては、国際標準化のイニシアティブ等を通じて学术界や大学が引っ張っていく必要があると感じています。

一番今苦しいのが持続的な体制の構築です。ある期間、大きな起爆剤としてプロジェクトを実施させてはいただけるのですが、その後をどうしようというのが今最大の課題です。せっかくここまで頑張ったものを、これから維持していくためにどうしたらいいかという話をしているところです。

私はもともと長く企業にいたのですが、他の医療機器では相当に海外にイニシアティブを取られてしまいましたが、今後日本の強みとして放射線医療を展開していくためには、新しい治療機器で日本がイニシアティブを取れるようになったらいいと思いながらプロジェクトを進めてきました。今日のお話の中で、プロジェクトの進め方など、議論の参考になればと思ってご紹介いたしました。

最先端研究開発支援プログラムの紹介

持続的発展を見据えた 「分子追跡放射線治療装置」の開発

中心研究者
白土 博樹
北海道大学大学院医学研究科
病態情報学講座放射線医学分野 教授

共同提案者
平岡真寛
京都大学大学院医学研究科
放射線腫瘍学・画像応用治療学分野 教授

プロジェクトマネージャー
梅垣 菊男
北海道大学大学院工学研究院
量子ビーム応用工学分野 教授

大型国家PJ:最先端研究開発支援プログラム (2009-2013年度) 30テーマとその中心研究者

新たな知を創造する基礎研究から出口を見据えた研究開発まで、さまざまな分野及びステージを対象とした、3～5年で世界のトップを目指した先端的研究を推進することにより、産業、安全保障等の分野における我が国の中長期的な国際競争力、底力の強化を図るとともに、研究開発成果の国民及び社会への確かな還元を図ることを目的とした、「研究者最優先の研究支援制度として」最先端研究開発支援プログラム(FIRSTプログラム※)が創設された。

研究開発の背景と目的

- 1) 治癒できる局所癌治療
- 2) 患部の形態・機能を温存
- 3) 高齢者・種々の部位の癌にも適応

- ・世界の先進国:癌患者の60%
- ・日本:25%→急増中で40%へ

●: 日本放射線治療学会精選調査
□: 厚生労働省がん研究助成金(14.6)

放射線治療の課題

感受性のばらつき・体内の動き・腫瘍サイズ

世界をリードする日本の科学技術を集結

**医工連携/産学連携で課題を解決する
最先端放射線治療装置を開発**

最先端研究開発プログラム研究推進体制

最先端研究開発支援プログラム:「分子追跡放射線治療装置」の開発
中心研究者 白土博樹

サブテームリーダー 白土博樹
＜分子追跡陽子線治療装置の開発研究＞

サブテームリーダー 平岡真寛
＜分子追跡X線治療装置の開発＞

研究支援担当機関:北海道大学 最先端研究開発支援室
プロマネ/医学物理 梅垣菊男・プロジェクト推進/装置開発技術まとも
産学官連携(共同研究/知財管理)
サブプロマネ(北大2名、京大1名)
拠点体制整備(医学物理等)他

研究推進機関

北海道大学大学院医学研究科
北海道大学工学研究院
北海道大学保健科学研究所
北海道大学アイノープセンタ

北海道大学病院
筑波大学
新潟大学

研究推進機関

京都大学大学院医学研究科
京都大学医学部附属病院
〔附〕先端医療振興財団先端医療センター
近畿大学
三重県立大学

研究開発の目標

急激に普及しつつある陽子線治療と、放射線治療の9割を占めるX線治療との両者を連携して最先端放射線治療を実現する

サブテーマ1
北大十日立

分子追跡
陽子線治療装置

サブテーマ2
京大十三三菱重工

分子追跡
X線治療装置

次世代型「4次元放射線治療」の世界標準を樹立し、日本の医療機器研究開発・機器産業の持続的発展を促す

今後の発展のためのキーワード

- 放射線治療の連携: X線/陽子線/重粒子線
- 他の治療法との連携、診断と治療の融合
- 奥行きのある医工連携と医学物理教育
- 強力な産学連携と国際標準化のイニシアチブ
- 持続的な体制の構築
- 国際化と世界展開

3. 大型プロジェクトについて

【佐々木】 ありがとうございました。医工連携、産学共同の経験をお話いただきましたが、今の梅垣先生のお話を話題にして、何かご発言があればと思います。

【遠藤(啓吾)】 京都医療科学大学の遠藤です。僕はこのプロジェクトの審査員で二重丸をつけました。採択されて本当に喜んでおります。ただ心配していたのが、最初の予算は 100 億円だったのが 35 億円で減額された点です。それでもうまく進んでいるので、ある面では北海道大学がだいぶ負担しているのではないですか。

【梅垣】 北海道大学が治療施設の建屋の費用を全部負担してくれました。相澤審査委員長には、100 億円を投じて MD アンダーソン以上の超豪華な加速器を造りますと胸を張って話していたのですが、結局、費用が半分以下になってしまったので、加速器をものすごく小さくしました。実はそれが世の中のニーズからするといいことだったんです。メイヨーからは、小さくて病院にフィットする加速器が欲しかったと言われました。最後、審査委員長からは、「お金を削っていいことしただろう」と言われましたが(笑)、かなり身を削ったのも事実です。

【遠藤(啓吾)】 持続的な体制の構築も、北海道大学は大丈夫かと、皆が心配しています。日本の研究費は例えば 5 年だったら 5 年で終わってしまいますが、アメリカだったらこういうビックプロジェクトが立ち上がったなら何年も続くのですが。

【梅垣】 白土先生には、その苦しさを伝えてきてほしいと言われました(笑)。プロジェクトがよい起爆剤になったと認めて頂いたら、何とかして続ける方法を考えようと話しています。玉木先生を含め北海道大学としてはいろいろなアプローチを行っていますが、大学1つでできる話ではもうないので、こういう場で紹介できたことはすごくありがたいことです。起爆剤としてあるいは拠点として、ある時期、人が集まって目標に向かって頑張ったので、今後は全体の底上げにつながるよう上手に利用して欲しいと思っています。このまま体制が縮小してしまうのは、ちょっときついという感じはします。

【玉木】 大型プロジェクトをどう持続的するか、あるいはどのように次につなげるかは大事な問題だと思います。こういう大型プロジェクトがあると、波及効果があって、別の大型プロジェクトにつながっていく可能性があります。実はこの最先端研究プロジェクトの前には、10 年物の産学連携プロジェクト立ち上がっていましたので、プロジェクト同士が互いに助け合っていくことができました。

先ほど井上先生が話された診断から治療へのプラットフォームを例にあげて紹介させていただきます。FDG を使ってリアルタイムでモニタリングできないかと、白土教授から強く言われていますが、私は、「それは絶対無理です、感度は2けた足りないです」という話をしています。しかし産学連携の形で、企業が入ってくることによって、装置の感度を随分上げることができるかもしれないので、ひょっとしたら将来、FDG 等を使ってリアルタイムでモニタリングしながら、動体放射線治療ができるかもしれません。他方、放射線治療計画の観点で、低酸素イメージを応用しようというプロジェクトもどんどん進めています。

このように、常に放射線関係で大型プロジェクトが幾つかあり、お互いに連携しあう、あるいはその波及効果として、企業が絡んだり、理工学関係の人が参入したりと言った具合に、有機的に研究プロジェクトが進んでいくことを期待しているところです

4. 産学連携:標準化について

【佐々木】 産学連携の話というのが出ているので、企業の方おられますか。何かご感想でもいいので、発言いただけませんか。

【荒金】 三菱電機の荒金と申します。私どもの会社のほうで、粒子線治療装置の研究開発ならびに製造販売していますが、今回の白土先生のプロジェクトとは関係がなく、別途独自で開発しているということです。やはり技術的なところ、研究の新しいところは、どうしても企業単独ではできないところがあります。あらゆる分野で言えることですが、企業でできるところと、大学の新しいアイデアや知恵を拝借しながら進めるところは区別して、さまざまな分野で大学の先生方と連携をしているところです。放射線医療の分野に関しても、同様に進めていければと思っています。

【佐々木】 藤井さんも放射線の分野には長くかかわっておられるので、何かちょっとご発言いただけますか。

【藤井】 ご指名いただきました藤井です。昔シーメンスにいまして、一旦米国ベンチャー企業に移って、今は日本 GE 株式会社でロビー活動を行っています。産学連携に関してロビー活動で感じたことをいくつか申し上げますと、今 GE は日本でいろいろと生産して輸出をしているのですが、新しいことをしようとするとうとうとも外資系というイメージがついて回り、行政主導のプロジェクトに参画しにくいということが有りました。この点でグローバル企業として今後どのように参画出来るのか、あるいは経済産業省など行政にどの様にご理解いただくかという問題が有ります。またロビー活動をしていますと産学の要望が行政に届いてないということがよくあります。どこに声を届ければいいのかという問題もあるのかも知れませんが、聞いていないと言われることがかなり多いです。そこで産

学のどこかが声を一つに揃えて各所に発信していくことが重要で、今回のテーマは1つのいいチャンスだと思っています。

【梅垣】 一言だけ補足です。プロジェクトを進めてきた時、企業の方とも話をしたのですが、普通の製品の場合、「新しい製品を開発して、知的財産権を取って、それでマーケットに売りに出して頑張る」という比較的素直なプロセスをたどるのですが、医療機器は知財を取るだけでは駄目で、標準化のところが大事です。素晴らしい技術や製品を開発しても、標準化のところで遅れを取っているということがあります。

医薬品開発でも、薬事承認、FDA、最後に保険収載というプロセスを経て、企業としてリターンがあるかという問題があります。これには3つぐらいのゲートがあって一企業では越えられないので、先ほどのロビーと同様、産学官で一緒に取り組むとどんどんポジティブな雰囲気になるのですが、実際にはそこまでくるとしゅんとしぼむというのが、日本の今の雰囲気だと聞きました。ここを越えて行けるといいだろうと思います。

【佐々木】 今、医薬品の話が出ましたが、日本で医薬品の許認可をスピードアップしようという話はあるけれども、必ずしもうまくいっているとは言えないようですが、藤林先生、薬学の立場から何かご意見あれば。

【藤林】 井上先生から紹介頂くほうがいいかと思いますが、日本核医学会には理事長直轄の分子イメージング戦略会議が作られていて、学会の活動ですが厚生労働省やMDAからも一定の評価を頂いています。先ほど標準化の話がありましたが、PETの薬剤開発あるいは承認へ向けての道筋に関して、日本は他国に比べかなり変わっていますが、それに対応してポジティブな形で標準化が進んでいます。韓国などではアメリカ直輸入の標準化体制がうまく動いていないというわさを聞くと、意外と日本の医薬品許認可の流れは、うまく動きだしたのかなという感じを受けております。

5. 医工連携：医療倫理や価値観について

【佐々木】 医工連携や医薬連携にはいろいろな問題があるわけですが、医工連携が盛んになり始めた頃に言われていたことは、医学、工学、産業界それぞれに正しい倫理があるということです。それらはかなり違うものであって、なかなか簡単に理解し合えないし、一緒になれないという面があるということなのですが、梅垣先生、そういう面ではご苦労はなかったのでしょうか。

【梅垣】 そうした倫理の違いが分かった上で、一緒にやろうという人たちとは壁がないので、非常にいいのですが、大学という組織になるとそう簡単ではないと思います。先ほど奥行きのある医学物理教育という話をしましたが、医学物理士コースが出来て、ものすごいニーズもあって、やる気満々で高いモチベーションを持った人が来れば、今はがんがん出来るけれども、その人を持続的に育てるベースの部分についてはまだ完全ではないと感じています。しかし、どうやっていいのかよく分かりません。世の中のニーズと技術の編成替えに伴って、教育機関の中身も変わっていくよう、医学と工学のトップの方々が話をするとか、どこかの大学からそうなればいいとかはと思いますが。

【井上】 横浜市立大学の井上です。倫理の世界はサイエンスの領域によって違いまして、当然ですけど、医学研究の領域には医療倫理があります。私は通信の世界での医工連携の経験がありますが、臨床的な仕事を工学系の方たちと一緒にしようとした段階、つまりは病院に入ってきたり、患者さんのデータを使ったりといった段階で、工学系の方たちには医療倫理とか生命倫理の簡単な材料を作って、提供して、その上で研究に入ってもらわなければならないということを経験致しました。

梅垣先生がおっしゃるように、その段階で、医学研究に入ってくる人と入らなくなる方に分かれるみたいです。入ってくる方のモチベーションというのはものすごく高く、そういう方たちとの間での連携をどんどん深めていく必要があると思います。

もう1つ、世界標準を取りに行くというところの価値というのも、医工連携を行って初めて勉強しました。工学系の方たちが行政の方たちと一緒に、例えば IEEE のある規格の分を取りに行く、それによって製品になった時の強みが出てくるというのを、臨床系の私たちは知らなかったのですごく勉強になったという経験がありました。連携をするには、それぞれの領域の価値をお互いに知ることから始める必要があるだろうと思いました。

【梅垣】 おっしゃるとおりだと思います。今、X線治療装置も標準化の塊みたいになっていて、「こういう場合にはこうする」というスタンダードが出来ていますが、その点は医のほうでは頓着しにくいと思います。日本の企業は強いところは強くて、例えば MPEG や JPEG といった標準はどんどん取ってきていますが、医療の世界になってくると、極端に産業界が弱いというか、標準化に対する踏み出しがなかなかうまくいきません。それは、あまりに1人では越えられない壁があまりにたくさんということがあるので、いろいろ議論できれば本当はもっと強くなるという気はします。

【井上】 工学的な標準を取っても、さっきおっしゃったように次に薬事が通り、その後に保険収載されなければ企業として成功しないということがあります。

【梅垣】 そうです。最後にそれが製品にならなかったら、すべてが投資しただけで終わりになってしまいます。

6. 臨床医と医学物理士や技師との連携

【佐々木】今日の第一部は放射線医学、医療分野の3分野の方々のお話でした。その3分野の中の先端的なことは、お互いになかなか分かりにくいことがあるとは言え、どれも医者の世界の話でした。これについて直接医療に関わっていない方の中で、「これはちょっとおかしいのではないか」とか、「ここはよく分からないので、連携するに当たって医療側にぜひこういうところは言っておきたい、聞いておきたい」ということがありますでしょうか。遠藤先生は医学物理学会の理事長として、いろいろ医者を間近に見て、ご苦労もあるのではないかと思います。

【遠藤(真広)】私は医療の世界にずっとおりまして、むしろ発想法は医学の先生方と同じになっていて。逆に、私の言うことを工学関係、物理関係の人が分かってくれるか、ギャップがあるのではないかという気がします(笑)。研究開発は個々の人の発想によって行うべきものですが、その先にあるのはやはり医療ですから、患者さんに役に立たなければいけないし、役に立つためには常に先生方と対話して、先生方が何を困っているかということを把握しなければいけません。そのことを、私自身この世界に入って、ある時から分かったし、医学物理に入る若い人たちには、先生方とそういう観点で付き合ってくださいと常に申し上げます。

【小倉】私、日本放射線技術学会の小倉と申します。今日、代表の真田が海外出張で出られなかったものですから、副代表として出させていただきました。この大型プロジェクトに、われわれの学会が入ってないことは非常に残念に思っています。われわれの学会員の90%以上は診療放射線技師ですが、そのほかに放射線科医や薬剤師もいて、幅広く放射線技術に関してまとまっている学会です。専門分科会も、放射線治療から核医学、放射線防護、計測、医療情報と全てありますので、ぜひこのプロジェクトに参画させていただきたいと思っておりますし、サポートさせてもらいたいと思っています。

【佐々木】第二部は、宮川先生が基礎医学の立場から、遠藤真広先生が医学物理の立場からお話がありましたが、医療の現場から臨床以外の分野に対して言っておきたい、あるいは聞きたいということがありますでしょうか。

【山田】私は医学物理士認定機構の理事長としても、北大のこのプロジェクトに大変注目していました。研究助成が終了した後も、例えば陽子線治療装置で治療して患者さんから治療費が取れるようになれば、それで医学物理士の雇用もできるので、そういった方向へ発展するのではないかと期待を持っています。

今、医学物理士が一番困っているのは、国家資格ではないという点です。われわれも努力して施設基準の中に医学物理士の要件を入れる方向に動いているのですが、特に国公立病院での雇用が進んでいません。また、医学物理士の80%が診療放射線技師で、なかなか理工系の方が医学物理士の分野に入ってきてくれません。アメリカでは医学物理士が5000人以上いて、いい機械、技術を開発しています。そこで、工学系の方に聞きたいのは、医学物理士になるのをためらう何か特別な理由があるのか、どういった点に不安があるのかという点です。また、北大ではプログラム終了後、医学物理士の雇用をどうするのでしょうか。

【梅垣】 現実論の方からお答えします。白土先生は私が見る限り、本当に頑張っただけだと思います。病院に今の陽子線の運用計画を出していますが、何百人の患者さんに対して医学物理士がこれだけ必要だということを盛り込んで、病院の中にパーマメントで医学物理の人を雇用できるようにしています。最終的にそれを医学物理室にするという方向に、今動き始めています。病院は経済的にペイすれば、医学物理士を雇用しないわけではないので、北大病院は多分そういう方向に動くと思います。

ただ、これはあくまでも安定な職を得るという部分です。医学部の先生は医者としてそれぞれが診療科を持っています。医学物理の研究者も医学物理士として病院で働きながら、医学物理の研究をやるといったフィールドが必要です。そのフィールドに向かっていろんな理工系の学部から入ってくるような仕掛け作りを、今一生懸命考えています。

私が企業の研究所にいた頃、海外の方の名刺には必ず Department of Medical Physics (医学物理学部) と書かれていました。それに近いものを作り、幾つもコースを用意する—例えば企業に行ったら医療用加速器を造るとか、あるいは病院に行ったら医学物理をやるとかの選択肢が与えられるような大きな学術組織を作らないと、先ほど申した教育の奥行きができません。と思います。

病院でモチベーションがある方を何とか引き止めるということについては、今、最低限のことはできると思います。特に北大ではできていると思うのですが、教育の奥行きのところは、まだまだこれからです。医学部の先生が病院にいるがごとく、医学物理の先生が病院にいるというような状況を、どうやったら作れるのかというのが今、悩みの種です。

【遠藤(真広)】 医学物理の話に入ったので、多少発言させてください。今の梅垣先生の言葉には非常に勇気付けられました。全国的には、今、例のがんプロの中で、医学物理士養成コースというのができています。5年続いてさらに5年続いたので、ほっとしているところですが、そこに若い助教クラスの人が特任という形で採用されています。私から見ると、非常に優秀な人たちがたくさんいるのですが、5年後にはまたなくなってしまうのかなと思うと、非常に厳しいものがあります。ですから、

今、梅垣先生がおっしゃったように、何とか大学の中に、昔の言い方で言うと講座をいくつか作って、そこで研究もでき、そこから病院に行くような仕掛けができないかと思います。

追い風もあって、科研費で今年、医学物理学・放射線技術学というのが境界医学分科の細目として認められました。ですから、そういう中で何とか突破できないかなと思っておりますし、学会としても全面的に協力したいと思います。

【山田】 先ほど西村先生が言われていたように、日本の場合、医学物理士は診療放射線技師が多いです。今は診療放射線技師も大卒や学位取得をする時代で、非常に優秀な方が出てきているので、これからどうなるのか楽しみです。ただ、理工系から人材が育つのが本来の医学物理士の姿です。今、遠藤真広先生がおっしゃったように、うちの機構(医学物理士認定機構)でも医学物理士育成のコースを作っていますが、そのコースの母体は保健学科がメインで、理工系が中心となっているコースというのはほとんどありません。

こうしたコースは東北大でも工学部と連携して作っていますが、工学部に医学物理士コースの学生を集めたらどうですかと言ったら、うちは集める気はないという非常に冷たい返事でした。協力はするけれど、資格を取りたい人はむしろ保健学科のコースに行かせるという立場です。工学系の人々が医学物理、あるいは医学の領域に入っていこうとすると、今は保健学科のコースに入るしかない状況です。外国では普通に行われている医学と理工の橋渡しというか接点の部分が、日本ではこういう状況になっているのがどうしても不思議です。



第三部：パネルディスカッション これからの5年でできること

パート②：社会的ニーズに対応して

1. 情報提供

【佐々木】 ここで話題を変えまして、テーマの一つでもある「社会的ニーズに基づく放射線医科学の推進」に関連した話題提供をお願いしております。日本医学放射線学会の栗林先生で、タイトルは「放射線医療資源の適正配置に向けたネットワーク」です。

【栗林】 今後必要な連携あるいはネットワークについての事前アンケートがありましたので、医学放射線学会からは、放射線医療資源の適正配置に向けたネットワークを提案しました。これについて話題提供させていただきたいと思います。

放射線診断あるいは放射線治療のナショナルデータというのをまとめるためには、放射線医療に携わる学会が連携して、全国のデータの集積と標準化を行いたいというのが大きな目標です。これによって放射線医療の安全と質の担保、あるいは均霑化ができると思いますし、こういった放射線診療の実態の把握のための全国的なデータの集計、それによる医療資源の適正な稼働の基準等を作成して、効率的な配置、適正分布等を提言していきたいと思っています。

具体的な構想としては、医学放射線学会が中心となって、まず放射線診療のアンケート調査を行って、データの統計を始めたいと考えています。2 年ほど前から全国国立大学法人の放射線診療部門会議が、放射線診療部門の業務量の調査を行っていますので、そのノウハウを生かしながら、本年度から医学放射線学会が放射線科医の修練機関に対して全国調査を開始します。国立大学では九州大学の本田教授が主体となって作業を進めていますので、修練機関からのデータの解析もおそらく九州大学でしていただけるだろうと思っています。

最終的には、医学放射線学会と放射線腫瘍学会等が連携をして、放射線関連の機器を導入している全病院を対象を広げて、全データの集積を行いたいと思っています。こうしたナショナルデータは、解析の上、それに応じた適正人員なり適正な機器の配置等を報告書にまとめることは、医療の質の均霑化あるいはチーム医療の推進にもつながっていくと考えています。先ほど西村先生からお話がありました通り、放射線腫瘍学会では、既に放射線治療の実態調査を行っているのです、うまく連携をしてデータを集積していきたいと思っています。

被ばく線量管理については、先ほどから米倉先生の J-RIME のご紹介もありましたし、いろいろ話題になっています。医学放射線学会としても、この医療資源の適正配置に向けたネットワークと連動して、被ばくに関するデータも集積することが可能ではないかと思っていますが、これには産学官の協力が必要です。こういう被ばく管理は、放医研だけではなくていろいろな企業レベルやさ

さまざまなアイデアに関してさまざまな動きがありますが、統一したプラットフォームのような組織は、まだ十分ではないのではないかという印象を持っています。

先日、7月に遠藤啓吾先生の企画、学術会議と医学放射線学会の主催で、市民公開講座を開催しましたが、そこで診断参考レベルについての提案がありました。特に頭部CTについて、日本は諸外国に比べて線量が高いということがあるので、学会として診断参考レベルを策定したらどうかというご提案をいただいたので、早速、理事会に諮って動き始めているところです。

こういった実態調査をこれから徐々にやっていきたいと思っています。先ほど西村先生から、外科学会とか血管外科学会、あるいは循環器学会等で非常に綿密な実態調査を行っているという紹介がありました。確かにこういった実態調査をするには、修練施設の更新の認定基準にする、あるいは専門医の更新の基準にするといった制約を設けないと、データを集めるのが大変だと思いますので、多くの機関にご協力いただくに当たり、そうした工夫も必要だと考えています。

【佐々木】今の発表資料に女性医師の就業支援と書かれてありましたが、説明いただけますか。

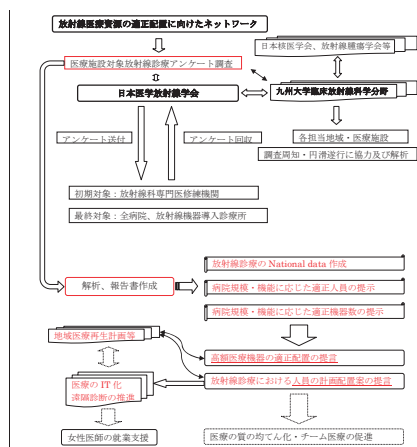
【栗林】医学部全体でも、学生の3-4割は女性の学生であるということもあって、放射線科に入ってくる女性医師が年々増えてきています。そこで、これから女性医師の力をどうやって生かしていくかということは、放射線科にとっても大きな課題です。女性医師の場合、家庭を持って子どもができると物理的に常勤での業務が難しくなるといった問題や制約がありまして、1つの可能性としては遠隔診断に女性の力を生かすことが考えられます。遠隔診断には良い面と悪い面もあるかと思いますが、非常勤あるいは自宅でIT化を利用した画像診断ができるということであれば、女性の力も十分に活用していけるのではないかと思います。

放射線医療資源の適正配置に向けたネットワーク

日本医学放射線学会 理事長
慶應義塾大学医学部 放射線科学教室
栗林幸夫

目 的

放射線医療の「安全と質の担保」、地域及び施設間の「均てん化」を目指し、「放射線診療実態把握のための National Data」と「放射線医療資源の適正稼働基準」を作成し、適正分布、計画的補填、効率的配置を提言する。



実施項目

- 全国国立大学法人放射線診療部門会議
 - 平成22年より放射線診療部門の業務量調査を実施し、調査報告書を作成
- 日本医学放射線学会
 - 平成25年より、放射線科医師の修練機関へ対し、全国調査を開始
- 日本放射線腫瘍学会
 - 以前より放射線治療施設への実態調査実施中

放射線診療における被曝線量管理のためのネットワーク

- 「放射線医療資源の適正配置に向けたネットワーク」と連動して実施する
- 産学官の協力が必要

2. 情報の集約に向けた臨床—基礎、疫学—生物の連携

【佐々木】 先ほど宮川先生が、臨床データベースは放射線影響研究や放射線生物研究にも役立つという趣旨で話されたと思いますが、宮川先生、何かご発言ありますか。

【宮川】 昔は、医療にかかわっていて、生物研究に関わるようになった人が比較的多かったと思いますが、今は、最初から生物研究に専念している人たちの割合が非常に多いと思います。そこで、以前は、メカニズム解明にも、医療におけるいろいろな放射線の課題がダイレクトに関わってくる状況にあったと思いますが、最近では、直接的にかかわるというよりは、間接的な情報の入手にとどまることが多いと思います。この傾向がますます強くなると、これだけ放射線が医療に使われている時代ですから、いろいろな問題が出てくると思います。

出てきたいろいろな細かい課題に関しては、それを説明するためのメカニズム研究をなるべくタイムリーに行うのが望ましいと思います。しかしこれだけ専門が細分化してしまうと、昔のように情報が入りにくくなっていますので、今日のような話し合いをきっかけに、生物研究をやっている人にも、医療の問題に関してある程度理解してもらって、連携することが大切だと思います。つまりメカニズムを解明するプロジェクトは今後より大きな形で行うべきだと思います。

具体的に申しますと、日本放射線影響学会と日本放射線腫瘍学会は、最近では大会自体を同時開催することもよくありますし、会員自体の重なりというのも結構ありますので、恐らく一番近い関係にあります。こうしたところから研究の連携を、もう少し強化する必要があると思います。

そういう点では、西村先生が先ほど治療のデータベースを作成するということをご紹介されましたが、その中に栗林先生がご紹介されていた構想、つまりは Integrated Diagnostics の中に放射線の情報のみならず、すべての情報をインテグレートするような構想が、放射線医療全体にあってもいいのではないかと思います。いろいろな情報をインテグレートするとなると、コンピューターや情報処理に強い人が必要になりますので、今の段階から、そういう人材をこの領域で広く育成していくということも重要だと思います。

【佐々木】 放射線影響研究所は、原爆被爆者の長年にわたる調査をされている中で、こういうデータベースや解析に多くの経験をお持ちです。児玉先生、今までの経験に基づいて、データのインテグレートにどういう意義があるかお話しいただけますか。

【児玉】 宮川先生のご説明やご提案に関連して、少し申し上げます。生物研究によるメカニズム解明には、その前の段階に疫学研究があります。疫学研究では、放射線被ばくするとこのくらいの生物影響があるということはわかっても、メカニズムは解明できませんので、どうしても疫学者と放射線生物学者が共同で、このリスクの解明に迫っていかなくてはいけないと思います。

発がんにしても、特に今問題になっている放射線被ばくに伴うがん以外の疾患にしても、どういうメカニズムで発症するかが、これからとても大切なことになると思います。放射線ががんや心臓病を引き起こすとなると、国民の 7-8 割が罹るような病気が放射線被ばくと関連しているかもしれないということになります。ただしメカニズムがよく分からない現状ですから、ぜひ疫学の人たちと生物学の人たちが連携して、そのリスクの解明に向かっていくべきだろうと私は思っています。

そういう意味で、もう1つ申し上げますが、放射線影響機関協議会では、放射線生物学を研究する方々のための疫学研修会を、数年前から始めています。最初の目的は、生物学をされる人に疫学データをどう読み解くかを研修するためにスタートしたのですが、時々逆に、疫学者のための生物学の研修という要素も取り入れています。このようにしてお互いに理解し合って、特に若い人に積極的に加わってもらって前へ進んでいこうという取り組みを今行っていますので、どこかの機会 で連携の1例として紹介できる機会があれば、と思います。

【黒木】 放射線の人体影響については、疫学からメカニズム解明への繋ぎにかなり注力する必要があるけれども、これまでのお話を聞いた感じでは、がんにしる何にしる、解明するのは思ったより手強いぞという状況なのだろうと思っています。そうした状況で最終的にはがんがなぜ放射線によってできるのかを理解する、もしくは定量的・定性的にリスクを把握できるところまで行くとすると、結構なリソースが要るような気がしています。日本の中のリソース、もしかしたら世界も含めたリソースなのかもしれませんが、これをどう使っていけばうまく対応できるのか、これは放医研の中だけに閉じてはできないことだと思いますので、こういうプラットフォームの中で進めていただければありがたいと思いました。

3. 放射線教育と教育を支える体制

【佐々木】 放射線を扱うということで、女性医師が放射線関係の仕事に就くことに、ご両親が非常に気にされるという話も時々聞きますが、富樫先生は女性医師の代表としていかがでしょうか。

【富樫】 科学的には絶対に問題のない被ばくのレベルでも、結婚後子どもが欲しいから核医学の注射はしたくないと希望されることが時々あります。科学的には大丈夫と理解できなくてはいけない医療者本人がいうこともあり、また本人は大丈夫であることを理解しているにもかかわらず家族や周りからいろいろ言われて致し方なく、というケースもあります。要するに、何が怖くて何が怖くないのかの教育がまず一番大事なのだろうと思います。これについては、医者だけではなくて、国民全体への教育が必要ということになります。

【佐々木】 今、教育の話が出ましたが、学術会議でも、福島原発事故の後、放射線の影響が問題になった時に、そもそも医者がそういう教育を十分受けていないのではないかという認識の基に、今、医学教育に関する提言を用意しています。續先生、お話いただけますか。

【續】 佐々木先生が委員長の分科会で提言をまとめる作業をしています。九州地区の放射線影響懇話会では、臨床からも基礎からもたくさんの先生が集まり、1年に1回シンポジウムをやるなどの交流をしています。しかし、今日、第一部で診断、治療、核医学と続けて、学会の理事長先生から密度の濃いお話を聞いて、やっぱりもっと勉強しなければいけないというのが、放射線医学を教えている立場の私の率直な感想です。

臨床系の先生に知っていただきたいのは、8月に文部科学省放射線医科学検討作業部会でもまとめているとおり、基礎医学系の放射線の講座がかなり先細りになっているということです。臨床の放射線医学系の講座がなくなることはないと思いますが、基礎系の講座はあと10年したら幾つ残るのか、おそらく国立大学の医学部の中には10も残らないだろうというのが、現状です。

人件費抑制策の中で、インパクトファクターの高い論文を書く人を、という教授選考が行われるのはやむを得ないかもしれませんが、医師にきちんと放射線の基礎を教える、医師は理解した上で放射線を臨床で使う、そういう教育人材あるいは研究人材の養成機関は、基礎系の放射線の講座しかないと思います。

もちろん放医研という独立した機関もありますし、京都大学の放射線生物研究センター、広島大学の原爆放射線医科学研究所や長崎大学の原爆後障害医療研究所などありますが、全国に少なくとも10ぐらいの基礎医学の講座で、研究をしながら教育ができる人材を確保する状況が必要だと思います。そのことを提言に書かせていただこうと思っていますし、そうしたことがきちんと担保されるためにも、今回の医科学のコンソーシアムの取り組みというのは非常に大事です。

人材育成というのは20年から50年ぐらいかかります。医学物理士については新しくつくりましょうというので、非常にポジティブで聞こえがいいのですが、基礎医学がある意味、ちょっとないがしろにされている部分もあるので、臨床系の先生には、基礎医学の大切さも理解していただいて、このコンソーシアムの中でのバックアップをよろしくお願いいたしますと思います。

【西村】 放射線腫瘍学会ですけど、われわれとしても radiation biologist の絶対数が間違いなく減っていると実感しています。講座の名前も大事で、幾つかの大学では名前が変わってしまって、その後消えていっていると思います。

また、私もそうですが、昔は、臨床医だけれど大学院の時の研究テーマは生物をやるという人が多かったのですが、今は臨床が忙し過ぎるという病院側の事情から、なかなか大学院生を丸々4年間バイオロジーのところに任せません。多くの大学、臨床の現場がそういう状況になっています。

こうした両方の理由により、臨床から生物研究に入っていく人も少ないし、基礎講座は減っていくという事態になっています。このコンソーシアムでは、この事態は非常に問題である、危機的な状況であるということを、声を大にして掲げていくということに、私もぜひ協力したいと思います。

【高田】 宮川先生、児玉先生、續先生がおっしゃったことで尽きているのですが、一言だけ付け加えさせていただきます。確かに医学部の放射線基礎医学の講座がどんどん減っているというような状況がありながら、一方では最先端科学としての放射線生物学あるいは分子生物学が非常に発展し続けていて、エキサイティングな状況にあります。この点は本当に残念に思っているところです。基礎科学と医療応用を結び付けるような研究者を、Physician-Scientist のような方々の育成が必要ではないか、本当は研究の現場で育成したい、と考えているところです。

4. グローバルスタンダードの放射線防護

【佐々木】 栗林先生のお話の中には、被ばく線量の話も出てきました。福島原発事故以降、現地での放射線の健康影響、あるいは線量との関係などでは、山下先生が大変に活躍をされ、またご苦労もされておられると思います。何かご発言いただけますか。

【山下】 診断、治療、核医学というレベルの量ではない福島の被ばく線量で、みんな心配をしているというこの国情を考えますと、私は何度も申し上げていますが、理科教育あるいは医学教育での放射線リスクや防護学教育の欠落というのは非常に大きな問題です。そして先ほど富樫先生がおっしゃったように医者自体が非常に放射線を怖がっているという状況は、恐らく世界のスタンダードに日本が達していないといったことだろうと思います。

1つご報告したいのですが、昨日まで WHO で医療被ばくのコンサルタント会議が行われていました。私と赤羽先生が日本から出席しましたが、世界はものすごく進んでいます。医療被ばくに対する警告やアクションプランに関して、今後、10 の課題についてこれをこうやろうという具体的なグループینگが、ヨーロッパでもアメリカでも FDA とかできているという中で、日本はどこもイニシアティブを取っていません。

日本学術会議で医療被ばくの提言ができればいいと思いますが、省庁の問題もあると思います。厚労省の責任が非常に大きいし、文科省の問題も非常に大きい。というのも、事故が起こる前、そして起こった時にすら、多くの方々は UNSCEAR とか)という言葉さえ知らなかったですし、今、IAEA の Basic Safety Standards(BSS)が改訂されているのに、日本の放射線防護に取り入れていません。この点、非常におかしいと専門家は思っていますが、国は全く動いていないという状況です。

放射線防護学という学問体系は、放医研のみならず、全国の医学教育の中でしっかりと教えていく必要があると思います。Radiation safety というのは実は非常にあいまいな言葉でして、正確に

は Radiation protection であるべきです。また放射線防護やしつかりとした規制科学という学問体系がないので、リスクの問題まで混乱していることが非常に危惧されます。

今日の議論は、今後5年間にこういうことをやるべきだという計画を出すのが1つの責務かなと思います。まずは J-RIME の活動は極めて重要で、放医研が主導で赤羽先生がプラットフォームを作っていますので、日本の医療被ばくに関するエビデンスをしっかりと出していかなくちゃいけないと思います。そして教育も重要です。さらに改訂版の BSS をきちんと日本の中で協議して、放射線審議会を動かして、グローバルスタンダードをドメスティックなスタンダードにするといったことをぜひ行うべきだと思います。

【佐々木】 放射線防護学はマンハッタン計画以来、放射線とか防護とかいう言葉を避けて、保健物理学という、聞いただけでは分かりにくい名称が、アメリカでも日本でも使われています。

【伴】 東京医療保健大学の伴と申します。専門は放射線防護ですので、今の山下先生のご発言を非常にありがたく拝聴しました。私は保健物理学会の会員ですが、保健物理学会はもともと原子力の放射線管理を専門とする人たちが中心になって始めたという事情もあって、分野的に偏りがあります。医療分野の方も会員にはいますが、この場に参加していないのは残念なことです。

医療被ばくについて一言言わせて頂くと、今、山下先生がおっしゃったように、欧米、特にヨーロッパは医療被ばくにセンシティブになっています。数年前に EC と IAEA が主催した放射線画像診断の正当化に関するワークショップに参加しましたが、その時に放射線防護だけを考えていたのでは駄目だと思いました。臨床の先生方にとって、患者さんの医療被ばくというのはマージナルな問題でしかありません。むしろ医療被ばくをコントロールすることへのモチベーションになるのは、医療費の抑制と EBM だと思いました。要は、無駄な放射線診療はしない、そして、やるからにはエビデンスに基づいて実施しなければならないという認識です。そのような観点から、ある症状を呈する患者に対して特定の検査を実施することに正当性があるのか (Referral guideline, Appropriateness Criteria など)、それによって予後の改善につながるエビデンスがあるのかが求められていたように思います。

放射線防護の立場からエビデンスということを考えた時、日本にはたくさんの CT 装置があって、こんなに CT を撮っているのに、なぜ CT の被ばくに対する疫学データが出てこないのか、海外の専門家は疑問に感じていると思います。

日本としてもエビデンスを出していかなければいけないと思いますが、その時にネックになるのが、全国規模のがん登録がないとか、あるいは被ばくその他のデータベースがないとか、そういった客観的なデータが社会資源として整備されていないことです。この非常に嘆かわしい状況を、ぜひこういうコンソーシアムを通して改善していただきたいと思います。

【遠藤(真広)】 医療被ばくのデータベースというのは非常に重要で、作るべきです。その時に、現場に根付いているのは技師会の方であり、詳しくやっているのは技術学会の特に被ばくの分科会だと思いますので、ぜひそういうところと連携して進めていただきたいと思います。

【佐々木】 放射線作業従事者の被ばく線量の一元化の話について少しお話いただけますか。

【柴田】 放射線業務従事者の被ばくについては、原子力発電所従事者には被ばくの登録センターがあって、一元管理ができていますが、それ以外の職種については一元管理できていないということがあって、日本学術会議では被ばく管理の一元化に関する提言を発表しましたが、なかなか日の目を見ません。公明党は議員立法で実現化しようとして、野党の時代に野党8党の同意は取っています。ですから、議員立法として提案できるし、成立もすると思いますが、今の彼らの懸念は、原子力規制委員会が本当にやる気があるかという点です。法律だけ出してその先が全く動かないとなるとまずいので、そこを何とかしようと思っています。

原発作業者については放射線影響協会の登録センターがあるわけですが、これまでは文科省所管の法人だったのが、今センターで行っている疫学調査なども予算は原子力規制委員会に移って文科省との関係は切れています。しかしセンターが文科省の影響を受けていて動けないのではないか、ということを公明党側が心配しています。

そこを何とか解決して、原子力規制委員会の中でこれをちゃんとやることにしないと思いますが、田中委員長自体は福島だけでなく、発電所関連も忙しいから、被ばく管理の一元化はちょっとプライオリティーが落ちると考えているようです。もうひと押しかふた押しが必要でしょうが、かなりのところまで行っている状況にあると思います。

5. 緊急被ばく医療における連携について

【佐々木】 これまであまり触れてなかったテーマとして、緊急被ばく医療のことは井上先生のお話の中に少しありただけだったのですが、明石先生、いかがですか。

【明石】 今日、皆さんお話されているのは、ほとんどが善玉放射線で、われわれが扱っているのは悪玉放射線で少し暗い部分でもあります。

今日の議論の中で、例えば医学物理の問題についていうと、ヨーロッパでは医学物理士が多だけでなく、被ばく医療にもかなり医学物理士が参加をしています。例えば、線量評価はほとんど医学物理士が中心に行います。IAEA も医学物理士の原子力災害や被ばく医療への参加を求めています。もちろん医学物理士は病院の線量評価もすると思いますが、医学物理士の仕事と

してそういう領域もあるということを理解していただくことで、われわれとの仕事との連携、それから今後の発展にもつながると思います。



第三部：パネルディスカッション これからの5年でできること

パート③：行政の目からのコメント

【佐々木】 今日、科学技術振興機構の理事の大竹さんが来てくださっています。大竹さんは科学技術庁へ入庁して、放医研の総務部長もされて、研究振興、宇宙開発、原子力関係では国際的に大変に活躍をされてこられた方なので、感想をお聞かせいただきたいと思います。

【大竹】 今日は個人の資格で来ていますが、神田さんからは、専門家の濃い意見交換の中に別の意見を言ってくださいと頼まれたので、素人が偏見に満ちたことを言わせて頂きます。

最初に、先ほど文科省が放射線影響協会の登録センターに影響を与えることを心配しているという話がありましたが、役所は金の切れ目が縁の切れ目なので、そういう影響は全くないと思います。むしろ規制委員会や規制庁が所管法人をしっかり見ているかという方が問題で、文科省から規制委員会へ機能が移った中で、これ以外にも問題が出てきていることを心配はしています。



まず大きな話を3つ、その後細かい話をします。

1つ目ですが、今日のネットワークでは、今まで集まることのなかった学会、そしていろいろな研究者が一堂に会しているということで、これはすごいことだと非常に感動しております。ただ、このネットワークのアクティビティの方向性については、先ほど来、いろいろな話題が出て局所的な話も展開していますが、研究なのか、社会に向かって何かをやっていくのかというところの意識合わせが必要のように思います。学術会議の名前が出ると、研究のための研究を志向しているように感じられますが、最初に春日先生が社会のことを言われたように、随分ディレクションが変革しています。20年前、学術会議は研究所を造れ造れという勧告ばかり出てきましたが、今は随分変わってきているので、このネットワークのディレクションは社会に向かって何をするか、それに必要なものは何か、というところで意思合わせをして頂けたらと思います。

2つ目は、生物の根本にかかわるようなメカニズムの問題から、明日にでもどうするかという臨床の話まで、フェーズとポジショニングも全く違う、分野も違う問題があると感じました。そこは明確に意識して、研究と事業あるいは業務の区別を意識したマッピングを共有して必要があります。

1例を挙げますと、3.11が起こった直後に、某政治家の先生が放医研を福島に持って行って全部やらせれば政治の仕事は終わりだと、全くとんちんかんなことを言いました。いわば保健所でやる仕事を研究所にやらせるというような議論が、全うな話として認められてしまう可能性があります。

これは金の卵を生むニワトリを水炊きに食べてしまうかのような話で、そういうことを言わないようにするためには、このフェーズは研究のフェーズです、ここから先は臨床をやります、次は均霑化します、保険はどうするといったマッピングやロードマップが必要です。

3 つ目ですが、医療物理士や分野間連携についてはイコール・パートナーシップにならないといけないと思います。悪い例をご紹介しますと、バイオインフォマティクスは日本では非常に立ち遅れています。そこで、JST がバイオインフォマティクスの新しい提案を若い人に求めたところ、13 件しか応募がなかったと言って問題になっています。いろいろな理由はあるのですが、もっとも大きな問題は、日本のバイオインフォ研究では、生物系の人がインフォマティシャンに「あなたはこれやりなさい、やったら成果は自分1人が取ります」という具合に、イコール・パートナーシップではありません。だから優秀なインフォメーション・サイエンティストは参加しません。

1 人の人間の病気を治すとなると、昔なら天才的な外科医がぱっと切れば治ったのですが、今の少子高齢化の社会ではもっとエビデンスベースの医療が必要というのであれば、いろいろな分野の人の動員が必要となります。ぜひイコール・パートナーシップでやって頂きたいと思います。

今、文科省も含めて政府が世の中からどう評価されているかというと、研究ばかりにお金を付けて何も成果が出ていないという強い批判がなされています。何も金が儲かればいいという問題ではないのですが、是非しっかりと見通しを立てて、こうした活動はしていただきたいと思っています。社会の活力を担保するものの1つは経済的インパクトですが、これはもうかる・もうからないという次元の話だけではありません。例えば医療費がここ数年で年間 30 兆円になりますが、それを今、公的支出をしているという状況にあります。そこで、〇〇をすればこの先それが減らせるといった議論、機会費用の削減のような議論を経済学者と十分して、いい論理を組み立てることが必要だということです。

あるいは、今労働できる人が例えば病気になって労働力が減少すると、少子高齢化社会には非常に打撃になります。外国製の医療機器を山ほど買って、外国にいっぱいお金を払っているという現状もあると聞いていますので、そういう状況を変えることで、日本の社会に明るさが出るという議論をして、あとはアウトカムをどう出すかということだと思います。

最先端研究開発支援プログラム(FIRST)については、30 人の研究者一人一人に 100 億渡して 5 年研究させれば日本の活力が増すという経団連のアイディアに、政府も政治家も乗ったので共同正犯ですし、自分自身も絡んでいて罪があることは認めます。しかし研究者側も 5 年で予算が切れることが分かっている、当時のプロポーザルにも 5 年で切れた後のバラ色の夢を書いているのに、5 年終わった段階でやっぱり駄目です、困っていますというのは、ちょっと虫のいい話です。そうであるならば、制度設計の時に一緒になって議論しなければいけないだろうという思いはあります。特

に地球環境の分野では、今後ステークホルダーを幅広く巻き込んでいろいろなものを作ろうと国際的に動き出しているというものもありますから、ぜひ人文社会の人や経済学者の知恵も入れて、5年で駄目なら10年なのか、10年やったら本当にいいのか、その後のビジョンをどうするかという議論をできるように、このネットワークを広げていただけたらと思います。

【佐々木】いつものとおり大変貴重なご意見を、ありがとうございます。菱山さんは文科省の大臣官房審議官で、研究振興を担当しておられます。放医研で企画課長をされ、その後、文科省ライフサイエンス課長、研究政策大学院大学の教授もされました。ご紹介の都合上官職を申し上げましたけども、個人のご意見として、自由なご感想を一言いただければと思います。

【菱山】放射線医学はもともと学際的なものと思っています。私が放医研にいた時に、医師もいれば生物学、工学の方など、いろいろな専門の方がいて、総合的に研究していたのをよく覚えていますので、PETとかCTの研究から産業化されたという意味では、産学連携のはしりだったのではないかと思います。

そういったことで、放射線医学はいろいろなものの先端を走ってきたはずだと思いますが、今日の話を書いたり、文科省で作った報告書を見たりすると、どうも衰退している部分もあるようで、もっと学際的な部分、産学連携の部分を強化していく必要があると思っています。

さっき最先端研究開発支援プログラム(FIRST)の話が出ましたが、この間、日立の方と話をしていたら、まさにMDアンダーソンの話やジュード病院のお話をされて自分たちの成果だと言っていました。しっかり産学連携でやっていたことが今日よく分かりまして、大変勉強になりました。

放射線防護や、放射線安全の分野については、人体影響への懸念に向き合うためにきちんと教育が必要なのだと思います。山下先生が、役所はUNSCEARもWHOもIAEAも知らないと言っていました。私は科技庁に入った時に、ICRP Publication 26の国内取入れを担当したことを覚えていて、そういった国際的な動向とのハーモナイズは、非常に重要な政策だと思っています。最近、そういうところが見えなくなっているということであれば、個人的にまた役人としても、しっかりやっていかなければいけないと改めて思いました。

【佐々木】課題の提示で終わってしまいましたが、第三部をこれで終わらせていただきたいと思います。



セミナーの閉会にあたり

まとめにかえて

米倉 義晴

【米倉】 本日はお忙しいところ、遅くまでお時間を頂き、ありがとうございました。今日、本当にいいお話をたくさんいただきました。こうしたお話を糧にして、次のステップに進んでいきたいと思います。今日日本学術会議に提案している大型研究計画については、来年の4月に公表されますが、この結果は別として、われわれとしては、せっかく始めたネットワークですので、具体的な行動に移していきたいと考えています。各学会の先生方に来ていただいていますので、学会を通じたネットワークをこれから具体化していきたいと思います。

それから先ほど日本放射線技術学会からコンソーシアム参加のお申し出がありましたが、大型研究計画提案時には、わずか 2,3 週間の間に各学会のトップにコンソーシアム参加の了解を得て、提案の締め切りに間に合わせたために、すべての学会を網羅できませんでした。ぜひ積極的に参加していただける方々はコンソーシアムに入っていただいて、具体的なネットワークを作りたいと思います。

大型研究そのものは、学術会議が研究の重要性を認めるというだけで、予算が付くようなものではありませんが、大型研究計画を取りまとめるという作業を通じて各学会の連携を得ることができれば、新しい次のステップに進んでいけると 생각합니다。この放射線医学に関連するいろんな分野をまとめる作業は放医研としても、できるだけのお手伝いをしたいと思っています。

今後の事務的なことに関しましては、私どものほうで具体的に作業を進めさせていただきますので、いろいろなネットワークを作るということにご協力いただければと思います。本日はどうもありがとうございました。

参考資料

本セミナーの概要

1) 開会挨拶

- 東日本大震災と福島原発事故以降、国内科学者の社会貢献への意識が高まっており、日本学術会議でも、専門性を生かした社会貢献と学問の発展を介した社会貢献双方に注力していることが説明された。

2) 放射線医科学コンソーシアムの基本コンセプトについて

- 放射線医科学領域の様々な連携に関する最近の動向として、以下が紹介された。
 - ・放射線医科学関連学会、大学、研究機関の賛同を得て、今年3月に日本学術会議大型研究計画に「放射線医科学イノベーション創出に向けた統合コンソーシアムの形成」が提案された。
 - ・科学技術・学術審議会ライフサイエンス委員会放射線医科学戦略検討作業部会が今年8月に文部科学省における放射線医科学に係る研究開発の推進方策について(中間まとめ)を発表し、医学利用と生物影響の連携・一体化や他分野との横断的取り組みがクローズアップされている。

3) 第一部 放射線医療の将来展望

- 放射線医科学関連分野が連携して今後向かうべき方向性について、放射線医学利用分野の学会の長が意見を述べた。
 - ・放射線診断:形態診断と機能診断の融合、画像診断とバイオマーカーや病理診断、遺伝子情報、臨床情報の統合による個別化医療の確立といった方向性、並びに国際化に向けた学会の取り組みが紹介された。
 - ・放射線治療:需要が拡大していることから、拠点病院の整備や治療チームを構成する人材の育成、治療患者のDB作成、さらには新たな治療法に向けた取り組みが紹介された。
 - ・核医学:今後RI内用療法と分子イメージングが重要であり、特に内用療法の需要が拡大しているが、治療ベッドは減少傾向にあるため、緊急被ばく医療の病床も兼ねる形で増やすといった案が示された。

4) 第二部 放射線医療イノベーションを支える基盤

- 今後の放射線医療が発展する上で抱えている課題について、放射線医療の基盤分野の学会の長が意見を述べた。
 - ・医学物理:放射線治療患者の位置合わせには画像技術が用いられているが、この技術の進歩が線量集中性に優れた呼吸同期照射やImage Guided Radiotherapyを可能にしたなど、治療法の発展を支えていることが例示された。

- ・生物影響：高放射線感受性患者が手掛かりとなった放射線影響解明や DNA 損傷応答阻害による放射線治療増感など、臨床と基礎研究の関係を例示し、今後は疾患情報と分子情報を連結させる考えが紹介された。
- ・医療被ばく：現在、我が国の診断参考レベルの設定や医療被ばくの個人線量の把握が必要とされているが、これには関係機関が連携し、情報収集力、永続的活動力、社会への発信力を強化する必要があることが示された。

5) 第三部 パネルディスカッション これからの 5 年でできること

- 現在行われている放射線医科学分野の連携の事例が紹介された。
- ・医工連携のモデルケースとして、分子追跡放射線治療装置の開発プログラム(北大+日立、京大+三菱重工)が紹介された。
- ・関連学会や大学が協力して、放射線医療資源の適正配置や診断参考レベルの策定に向けた取り組みが行われていることが紹介された。

- 放射線医科学の今後の連携について以下のディスカッションが行われた。

医工連携、医薬連携、産官連携での課題

- ・大型プロジェクトの場合、持続的なプラットフォームを維持することが難しいが、常に次のプロジェクトを進めるように努めることが必要(産学連携につなげるなど)
- ・医療機器は知財、標準化、薬事、保険収載といったゲートがある。これは機器開発担当だけでは無理で、産官学の連携が必要。
- ・医の価値観(医療倫理など)、工の価値観(標準化など)が互いに理解できることが医工連携の成功の鍵。
- ・理工系から医学物理士になるような働きかけが必要。いくつかの大学に講座を作ること効果的。科研費の細目(医学物理・放射線技術学)もできたが、今のところ保健学科からの人材が主流。

基礎・疫学・臨床の連携、人材育成の課題

- ・放射線医学利用増大に合わせて生じる問題解決のためのメカニズム研究をタイムリーに行うべき。この先、診断、治療に限らずいろいろな情報が統合された DB の構築やバイオインフォマティクス分野の人材育成も必要になるだろう。
- ・医学と生物研究者が連携して、非がんのメカニズム解明を行うべき。生物研究者のための統計学、疫学者のための生物学といった教育も必須。
- ・医師が放射線を正しく理解していないケースがある。放射線の基礎を教える必要があるが、10 年後には国立大学に放射線基礎講座が 10 は残らない。研究しながら基礎を教える人材が枯渇する。

- ・一方、臨床の現場も忙しすぎて、大学院生を生物系研究に送り込めず、放射線生物学の研究者が減る一方である。臨床と基礎を結びつける研究者の育成が急務。
- ・放射線防護学を教える必要がある。しかし我が国の放射線防護に関する認識は不十分で、グローバルスタンダードの取入れも遅れている。
- ・医療被ばくは EBM の観点からエビデンスを出していくべき。日本から医療被ばくの疫学データが出ないことは、国際的には考えにくいこと。現場の情報を社会資源として整備するための連携が必要。

行政からのコメント

- ・(研究のためではなく)社会のための議論で意識合わせをしたうえで、研究フェーズと臨床のフェーズは分けてマッピングをしてほしい。Equal-partnership を心がけ、制度設計には人文社会の知恵も入れた議論が望ましい。
- ・これまで科学の先端を走ってきたはずの放射線医学にも衰退している部分もあるので、さらに学際性や産学連携を強化する必要がある。放射線防護分野の国際動向とのハーモナイズは非常に重要な政策だと認識している。

6) 閉会挨拶

- 大型研究計画の採択結果(平成 26 年 4 月発表)とは別に、今後は、希望する学協会も参加する形でコンソーシアムを形成し、関連機関による連携を進めることになった。なお、事務局は放医研が行う。

参考資料

日本学術会議 学術大型研究計画への提案要旨

(平成 25 年 3 月提出)

計画タイトル

放射線医科学イノベーション創出に向けた統合コンソーシアムの形成

計画の概要

放射線医療は、疾病診断やがん治療等の中核を担い、分子イメージングや粒子線治療等の先端医療を先導してきたが、先般の原発事故以降放射線の人体影響への社会的関心が高まり、そのリスクと便益の科学的評価と安全の担保が求められている。

本計画では影響(リスク)と医学利用(便益)の研究領域を融合し研究を推進するため、当該分野の中核機関と医・工・薬・生物・情報科学等の研究者が結集するコンソーシアムを形成する。この仕組みを活用し、1)放射線診療の情報収集基盤整備、2)ヒトおよびモデル動物における線量と影響の情報を包括したデータベース(DB)構築、1)2)のための基礎基盤研究の推進を目標に、以下のテーマで拠点と全国関連機関がネットワークを構築し、共同研究や人材交流・育成を実施する。

A. 放射線治療:外部照射の治療効果と照射野外低線量被ばく領域での発がん影響に関する多数施設での情報収集、放射線治療の個人履歴記録の制度設計、革新的技術による治療法開発を行う。B. 放射線診断:被ばくの低減化と適正化、がんの集学的診断法の標準化に向けた研究と情報収集を行う。C. 放射線疫学:医療被ばく等の国民の被ばく実態を調査し、線量や健康影響情報を収集する。D. 放射線生物:幹細胞の変異誘発機構、分化細胞のがん幹細胞化等を研究し、動物とヒトのデータ連結に必要な情報を収集する。新たな拠点を整備し、治療の有効性向上や治療効果・有害事象予測のための治療生物研究を推進する。E. 被ばく医療:再生医療技術等を利用した治療法を開発する。F. RI 内用療法:新たな拠点を整備し、がん治療用 RI 製造や線量評価の技術開発を行う。

得られた線量、健康影響、医療効果等の情報は DB に加工し(ナショナルデータセンターの設立)、放射線影響の新たなエビデンス確立、放射線治療と防護の最適化に資することで新たなイノベーション創出に繋げる。

提案者： 米倉義晴

推薦者： 富樫かおり/佐々木康人/柴田徳思/井上登美夫/神谷研二/木南 凌/
宮川 清/神田玲子

賛同機関：日本医学放射線学会/日本放射線腫瘍学会/日本核医学会/日本医学物理学会/日本放射線影響学会/医療被ばく研究情報ネットワーク/北海道大学/環境科学技術研究所/福島県立医科大学/東京大学/放射線医学総合研究所/京都大学/放射線影響研究所/広島大学/九州大学/長崎大学

放射線の医学利用が抱える課題

放射線治療の患者の増加: 集学的診断や治療歴を考慮した患者ごとの放射線治療法の最適化が必要
 放射線の健康影響の解明: 疫学と実験のデータから低線量放射線影響を定量的に解明することが必要
 放射線の健康影響への患者の懸念: 科学的根拠に基づく説明(インフォームドコンセント)の必要性
 動物実験の結果のヒトへの橋渡し: さまざまな研究分野の知見・技術の融合が必要

新知見創出のための技術・社会基盤

生物・医学系、臨床系・
工学系分野等の
技術融合が必須



分野横断的に統合すべき情報



放射線医科学研究コンソーシアム



ヒトと動物の橋渡し

- ・動物実験による機構研究の成果を人に外挿
- ・動物実験による高線量被ばく治療法の開発

線量-影響関係の解明

- ・放射線診療による被ばく線量と健康リスクの定量化
- ・低線量放射線被ばくリスクの定量化

医学利用の最適化

- ・放射線診療をリスクと便益の両面から評価
- ・最少のリスクで最大の効果を上げる診療計画の開発

期待される成果

ダイアログセミナー放射線医療の将来展望と基盤
開催報告書

発行年月 2013 年 12 月
編集発行 独立行政法人 放射線医学総合研究所
郵便番号 263-8555
住所 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1
連絡先 放射線防護研究センター 規制科学研究プログラム
TEL : 043-206-3106 Fax : 043-251-6089
ホームページ <http://www.nirs.go.jp>

©2013 独立行政法人 放射線医学総合研究所

Printed in Japan
ISBN 978-4-938987-85-5
NIRS-M-264

ISBN 978-4-938987-85-5