

研究レポート

線量10mGyの放射線が正常ヒト細胞の蛋白発現に影響 HiCEPを使った共同研究で明らかに

現代は、医療をはじめさまざまな分野での放射線の利用がすすみ、業務従事者でなくても、多くの人々が放射線に被ばくする機会が増大している。我が国では医療用CTの使用頻度が顕著に高いことが海外の有名専門誌によって指摘されたのはまだ記憶に新しい(文献1)。航空機の利用に伴う宇宙放射線への被ばくや密閉度の高い家屋でのラドンによる被ばくなどの自然放射線源による被ばくの増大も懸念されている。たとえ、このレベルの放射線の影響が無視できるとしても、さまざまな産業や技術の発達にともなって発生する新しい生活環境と複合的に影響する可能性について評価する必要が生じるであろう。そのためには、これまで十分に研究されていなかった1-10mGyレベルの低線量放射線が生体にもたらす変化を正確に把握しなければならない。これを目標に、放射線安全研究センターの8人の研究者が共同研究を進めていたが、このたび、これまでの低線量(100 mGy程度)といわれてきた放射線のレベルをはるかに下回る10 mGy(注1)環境下での生体変化を、特定の蛋白の発現変化としてとらえることに成功した(文献2)。

■ 研究目標の解析手法

これまで低線量放射線の生体影響メカニズムの研究を難しくしていた最大の原因の一つは、このレベルの放射線に対する生物応答の検出が実験的に難しいことにあった。研究チームは、まず10 mGyの放射線に対して、ヒトの正常に近い培養細胞がなんらかの遺伝子の発現誘導を示すかどうか明らかにすることを目標にした。この条件では、遺伝子発現の変動は既知のものでもせいぜい数倍程度しか期待できない。また、ゲノムデータベースに登録がない未知の転写産物が応答する可能性がある。この解析には、放医研の安倍(放医研、先端遺伝子発現研究センター長)らが開発した高精度網羅的遺伝子発現解析技術(HiCEP法)の使用が最適であると考えられた(文献3、4)。同技術によって同じ条件のサンプルから得られる発現プロフィールの再現性は極めて良好なものであり、発現が変化した遺伝子は、図のように、異なるサンプルの発現プロフィールの重ね合わせによって見つけ出すことができる(図-1)。

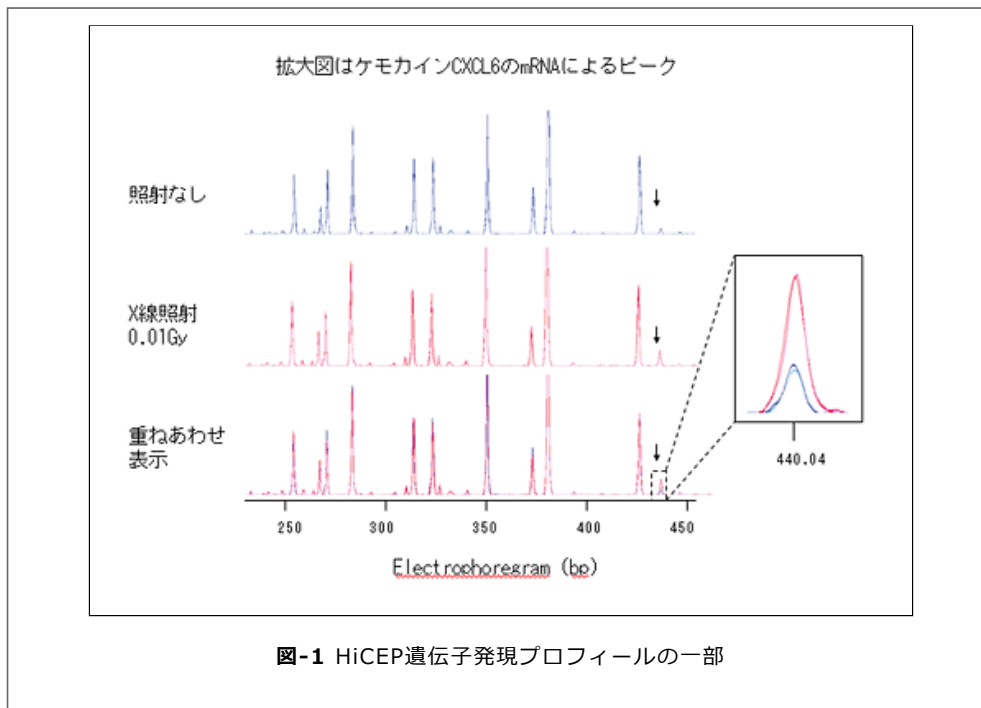


図-1 HiCEP遺伝子発現プロフィールの一部

■ 実験の結果と応用への期待

さて、同研究チームが人体への影響を推測するための正常モデル細胞として採用したのは、ヒト胎児肺繊維芽細胞の初期培養系(HFL III)である。染色体の数は正常の46本で、高い線量のX線(2Gy)に対しては、DNA切断に対する生体応答として知られるCDKN1A(P21)遺伝子の発現増加が確認される。また、培養皿一杯に培養すると増殖をとめる正常細胞の性質を保持している。今回の実験は、細胞が培養皿一杯になった状態で、10mGy (線量率60mGy/min)のX線を照射して、1時間と2時間経過した時点でmRNAを抽出し、それぞれの遺伝子発現プロフィールを作成した。同プロフィールの作成には、メッセンジャースケープ(株)のMSプロファイリング受託解析を利用した。照射したサンプルと照射しなかったサンプルの間で遺伝子発現プロフィールを比較し、被ばくによって発現量が少なくとも2倍増加する遺伝子に着目した(図-2)参照。

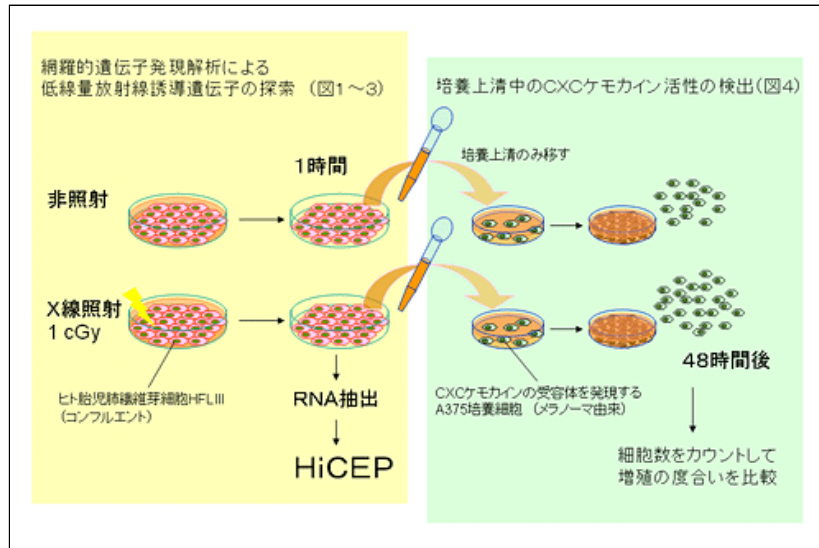


図-2 放射線安全研究センター共同研究の実験手順

照射サンプルと非照射サンプルとの間で、約23,000種類の遺伝子についてそれぞれの発現量を比較したところ、照射後1時間と2時間の両方で発現増加を示す10個の遺伝子が見つかった(図-3)。

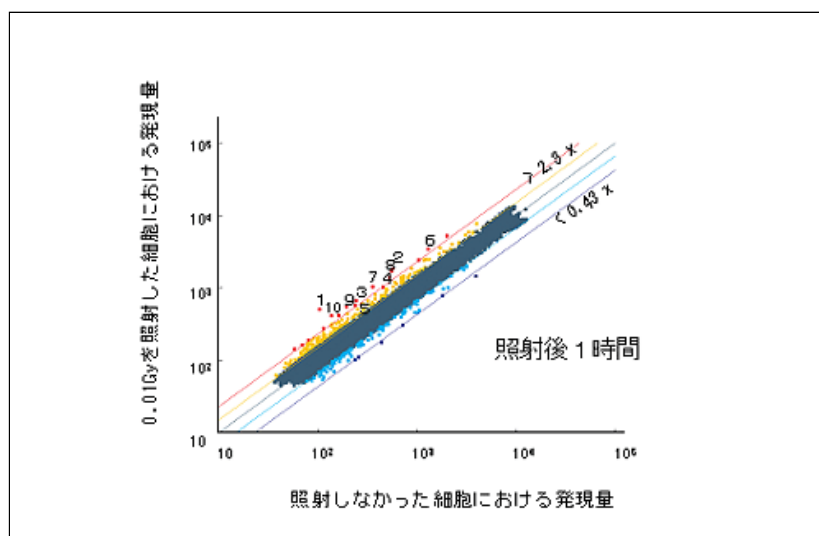


図-3 23,000遺伝子の発現量を照射・非照射のサンプル間で比較図において、一つの点は同一の遺伝子に対するサンプルの解析結果をあらわしている。それぞれの遺伝子について、照射しなかったサンプルでの発現量(横軸)に対して、照射されたサンプルでの発現量(縦軸)をプロットした。対角線上に乗るほとんど全ての点は発現量に差が見られなかった遺伝子。今回同定されたのは、照射によって発現が顕著に増加した10個の遺伝子(赤色の点)

これらのcDNAの一部を単離して塩基配列を決定したところ、ほぼ全てが、外界の刺激に応じて細胞が分泌する蛋白質のmRNAに由来するものであった。とくに、共通の受容体(CXCR2)を介して細胞増殖や血管新生を促進する生理活性をもつ蛋白質(C-X-Cケモカイン)が3つも含まれた(図-4)。

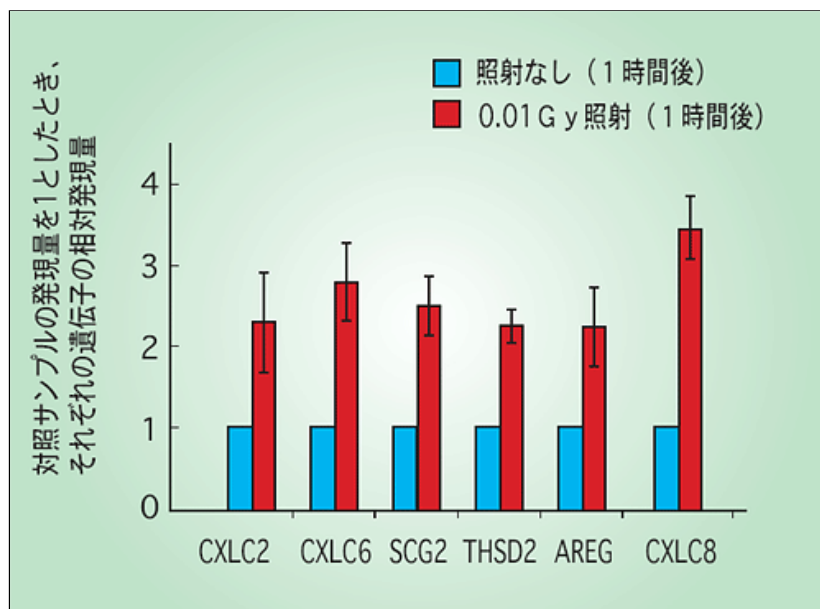


図-4 10mGyのX線照射で2倍以上の発現増加を示した遺伝子の例

これらケモカインの遺伝子はX線を照射しなかった細胞でも発現していたが、10 mGyのX線照射によって、照射後1時間以内にその発現レベルを2-3倍まで増加することが明らかになった。これに伴い、同mRNAがコードする蛋白質から予想された機能の発現(別の細胞への増殖促進効果)も確認された(図-1、図-5)。

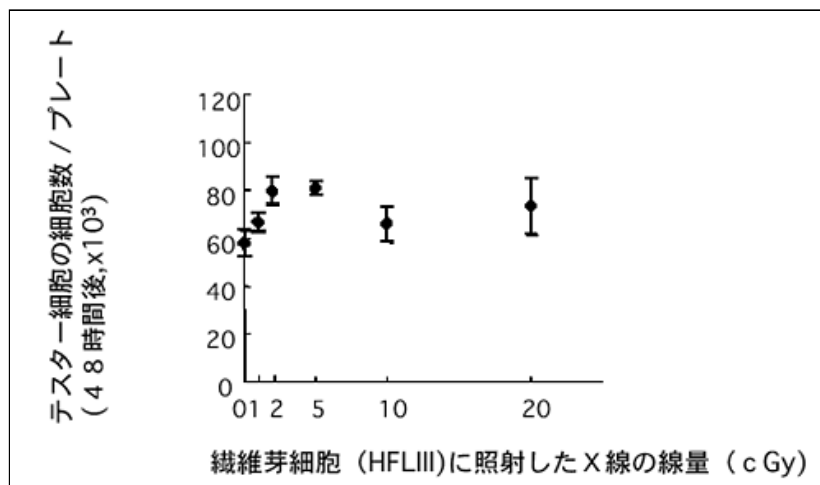


図-5 低線量X線 (10~50mGy)に被ばくしたHFL III繊維芽細胞の培養上清は、CXCケモカインに特異な受容体をもつテスター細胞 (A375)の増殖を亢進させた。

この小さな線量(10mGy)の放射線によるCDKN1A(p21)遺伝子の発現増加は検出できなかったが、一方、CDKN1A(p21)遺伝子の発現増加が検出される線量のX線(2Gy)によって、CXCケモカイン遺伝子の発現増加は観察されなかった。これらの結果は、これまで具体的な根拠に乏しかったが、「電離放射線の線量や線量率の違いによって、関与する細胞の分子機構が異なる」ことを示した。このように、本共同研究で用いられたストラテジーは、今後、生体効果が互いに異なることが知られている電離放射線の種類・線量、照射方法の間で、関与する分子機構の違いを明らかにするための有力な手がかりを与えてくれるに違いない。また、関連する生体分子は、新たな分子標的として、画像診断や放射線治療の分野での応用が期待できるであろう。低線量の人体影響に関して、今回の研究で観察

された現象がもつ意味を知るためには、さらに、多くの組織や個体のレベルでの研究が必要である。長期的/継続的な極低線量放射線被ばくの発がんへの影響や、実験に用いたレベルの低線量放射線に関して昔から知られていた放射線の「ホルミシス」効果(低線量放射線被ばくによる、より高い線量の放射線に対する適応や免疫賦活効果など)など、解明しなければならない問題は多い。

(藤森 亮 研究員、比較環境影響研究G、放射線安全研究センター)

(注1) 10-50m Gyの放射線は、トータルの被ばく線量として、太平洋上空高度10,000メートルを旅客機で1往復するときに受ける自然の放射線に比べて数百倍高く、がん治療に用いられるX線(がん細胞を殺す線量)に比べて数千倍低い。法律では、公衆の一年間の被ばく線量限度を10m Gyのおよそ10分の1に相当する1mSv(ミリシーベルト)に定め、放射線を業務として扱う区域(医療施設も含む)では20mSv/年と定めている。今回の実験の場合、細胞は後者の半分の線量を僅か10秒間で受けたことに相当する。

<参考文献>

1. Berrington de Gonzalez, A. & Darby, S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet* 363: 345-351 (2004)
2. Fujimori, A., Okayasu, R., Ishihara, H., Yoshida, S., Eguchi-Kasai, K., Nojima, K., Ebisawa, S. and Takahashi, S. Extremely Low-Dose Ionizing Radiation Upregulates CXC Chemokines in Normal Human Fibroblasts. *Cancer Res.* 65: 10159-10163, 2005.
3. Fukumura, R., Takahashi, H., Saito, T., Tsutsumi, Y., Fujimori, A., Sato, S., Tatsumi, K., Araki, R., and Abe, M. A sensitive transcriptome analysis method that can detect unknown transcripts. *Nucleic Acids Res.* 31: e94, 2003.
4. 安倍 真澄、福村 龍太郎、高橋 宏和、中原 真希、斉藤 俊行、藤森 亮、荒木 良子「次世代遺伝子発現プロファイル解析法」蛋白質核酸酵素48(共立出版): 1443-1449, 2004.

リン鉱石を原料とするリン酸肥料施用により 農耕地土壌中に添加されるウラン濃度を推定する試み

■ はじめに

ウランとトリウムはもともと自然界に広く分布しており、それぞれの濃度は地球の大陸地殻上部で、2.5~2.8 mg/kg、10.3~10.7 mg/kgと推定されています。これらの元素の壊変系列が大地放射線に寄与することから、土壌中のウランとトリウムの濃度分布状況を把握しておくことが重要です。また、今後は原子力発電で使用されたウラン燃料の再処理に伴って、ウラン廃棄物が埋設処分されることも考えられます。将来の人類の安全・安心のためにも、廃棄物に含まれるウラン並びにその子孫核種が環境に放出されたとき、どのように人体にまで移行するかその経路について明らかにし、またそれらによる影響を事前に評価する必要があります。そのための評価モデルはすでに提案されていますが、このモデルで用いられる環境移行パラメータ(放射性核種の土壌中での動き易さの程度や、植物・畜産物への移行割合などを示す数値)は、我が国の気候風土にあったものを用いるべきでしょう。

そこで、廃棄物技術開発事業推進室では、土壌-農作物-人体の移行経路に着目し、ウランを含む種々の元素が土壌中からどの程度農作物へ移行するかについてデータを取得することを目的に、現在調査・研究を進めています。これまでに、農耕地土壌と農作物の分析を行い、多量から微量まで約60元素の濃度についてデータを収集し、環境パラメータを蓄積してきました。しかし、ここではパラメータではなく、本調査・研究で得られた農耕地土壌中のウランのデータを用いて、リン酸肥料施用により添加されたウランの量がどのくらいであるのか、その推定法について報告します。

■ 農耕地土壌中のウラン、トリウム濃度

環境試料中のウランの定量は、放射能測定法で長時間測定する方法がこれまで用いられてきました。しかし、近年では、より高感度かつ短時間測定が可能な誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS法)が広く用いられるようになり、これにより、日本の土壌、堆積物、河川水中のウラン及びトリウム濃度に関する多くのデータが報告され、日本全国の濃度分布状況が把握されつつあります¹⁻⁵⁾。我々もこれまでに全国から集めた水田37試料、畑土壌45試料中のウラン及びトリウム濃度をICP-MS法で測定しました。

これまでの報告値と本調査・研究で得られた結果をまとめたものを表1に示します。水田、畑で得られたウラン平均濃度は2.75、2.43mg/kg、トリウム平均濃度は、5.56、5.17 mg/kgと、両元素濃度とも、これまで報告されてきた濃度¹⁻⁴⁾の範囲内でした。しかし、これらの元素の濃度比(以下、U / Th比と表す)を計算すると、明らかに農耕地土壌では森林土や非農耕地土壌に比べて高いことがわかります。つまり、ウランが農耕地土壌に蓄積されている、と考えられるわけです。これについては、農耕地土壌にはリン鉱石を原料とするリン酸肥料が施用されることが大きな原因であろうとの報告がすでにあります。原料のリン鉱石にはウランを高濃度に含む物が多く、ウランを取り除く工程がないため、その産物であるリン酸肥料にもウランが含まれてしまうわけです。しかし、人為的に農耕地に添加されたウランの割合がどの程度であるかについては報告がありません。そこで、我々はその推定を試みました。

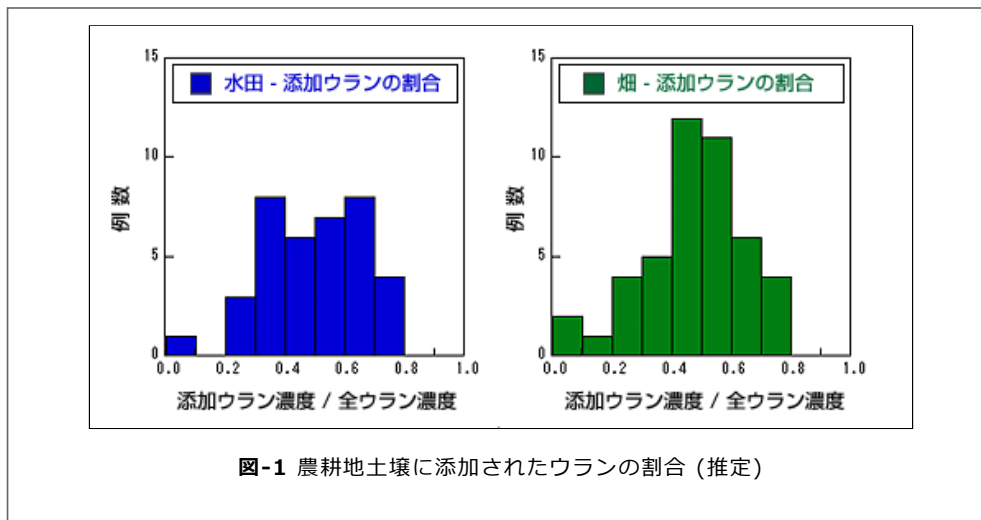
表1. わが国の各種環境試料中のウラン、トリウム濃度とその濃度比

試料名	U, mg/kg かつこ内は範囲	Th, mg/kg かつこ内は範囲	U/Th濃度比
地殻 ¹⁾	2.32	8.3	0.28
高速道路近傍 ²⁾	1.3 (0.26-2.89)	5.6 (3.0-9.3)	0.23
森林土 ³⁾	1.68 (0.24-4.41)	7.93 (1.55-21.7)	0.21
表層土 ⁴⁾	1.9ア1.3	9.0ア7.3	0.21
非農耕地土壌 ⁴⁾	1.4ア1.3	(not shown)	0.25
河川堆積物 ¹⁾	1.2 (0.12-86.2)	6.1 (0.43-363)	0.20
水田土壌 (本研究)	2.75 (1.57-4.67)	5.56 (2.25-11.3)	0.49 (0.25-1.09)
畑土壌 (本研究)	2.43 (1.03-4.21)	5.17 (1.56-11.9)	0.47 (0.24-0.91)
河川水 ⁵⁾	0.014 (0.0012-0.077)	0.0045 (0.0013≒0.036)	3.0

■ 農耕地に添加されたウラン量の推定

ここで着目したのはU / Th比です。(ちなみに、リン酸肥料に含まれるウランの同位体比($^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$)は天然のものと同じなので、これからは添加量を推定することは困難です。)一般の土壌・岩石中のウランとトリウムの濃度間には高い正の相関があることがわかっており、それは産総研から報告されている、全国の三千地点を越える河川堆積物の元素濃度データからもよくわかります。つまり日本全国で見ると、ほぼU / Th比は同じような値になるといえるわけです。精度の高い分析のためには、農耕地土壌がもともと持っているU / Th比を測る方がいいのですが、非農耕地土壌、森林地、高速道路周辺のような表層土では、U / Th比がほぼ0.21~0.25(平均0.24)になるので、この比を利用しました。これを用いると、トリウムの濃度からもともと土壌に含まれるウラン濃度を大まかに推定できます。ただし、農耕地土壌中のトリウム濃度はリン酸肥料添加により増加しないことが前提になります。一般に、リン酸肥料のウラン濃度は高いのですが、トリウム濃度は土壌中濃度またはそれ以下であることが多いので、U / Th比が土壌中のそれよりも著しく高いことがわかっています。

農耕地土壌中の全ウラン濃度から、もともと含まれていたウラン濃度を上記の方法で計算し差し引くと、添加されたウラン量を推定することができます。図-1に全ウラン濃度に対する添加されたウラン濃度の割合を示しました。上記仮定の下に推定しますと大体、水田土壌では平均50%(4~78%)が、畑土壌では平均48%(4~74%)が、恐らくはリン酸肥料施用により土壌に添加されたウランの割合であることが分かりました。工業的に製造されたリン鉱石を原料としたリン酸肥料に含まれるウランは、岩石の結晶に含まれるウランに比べて溶解しやすいと考えられます。河川水中のU / Th比が高い(表1)のは、このような理由に因って考えられています。しかし、施肥されたウランは一部が農業排水と共に除去されるものの、そのほとんどは土壌へ吸着されるでしょう。一方でウランは植物には吸収されにくいので、リン酸肥料の施用により添加されたウランのほとんどが日本の農耕地土壌に残存している可能性があります。ヒトの健康に影響を与えないレベルです。



(廃棄物技術開発事業推進室 田上 恵子、内田 滋夫* (*現 企画室))

<引用文献>

1. 産業技術総合研究所地質調査総合センター日本の地球化学図, pp.209(2004).
2. Yamagata, N. and Iwashima, K., Health Phys. 13 (1967) 1145.
3. Yoshida, S. et al., Environ. Int. 24 (1998) 275.
4. Takeda, A. et al., Geoderma 119 (2004) 291.
5. Uchida, S. et al., J. Alloy. Compd. 408-412 (2006) 525.

紹介コーナー

緊急被ばく医療研究センターの研究・業務

- ▼ 12月12日(月)～16日(金) 線量評価研究部の3名が日本原子力研究開発機構でバイオアッセイに係る試料の前処理技術に関する訓練を受けた。
- ▼ 12月13日(火) 平成17年度地域緊急被ばく医療連携協議会(青森県)を開催。
- ▼ 12月14日(水)原子力安全研究協会主催の緊急被ばく医療初期初動対応検討委員会に委員として出席。
- ▼ 12月14日(火)～15日(水) 青森県で原子力安全技術センターが主催した第24回救護所活動実務講座に講師として参加。
- ▼ 12月15日(水) 原子力安全研究協会が主催の平成17年度「緊急被ばく医療関係者実務研修事業」緊急被ばく医療「拡大連絡会」に出席。
- ▼ 12月15日(水) 第10回公開講座「放医研の国際活動と重粒子線がん治療」において、緊急被ばく医療における放医研の役割について講演。
- ▼ 12月19日(月) 原子力安全技術センター主催の平成17年度原子力防災研修事業 第2回救護所活動講座テキスト検討サブグループに委員として出席。
- ▼ 12月20日(火) 文部科学省主催の第3回原子力防災検討会に委員として出席。
- ▼ 12月20日(火) 原子力安全技術センター主催の第2回原子力防災総合調査検討委員会に委員として出席。
- ▼ 12月20日(火) 平成17年度緊急被ばく医療ネットワーク会議を開催。
- ▼ 12月21日(水) 文部科学省原子力防災訓練事前講習会に参加
- ▼ 12月22日(木) 原子力安全技術センター主催の平成17年度原子力防災研修事業 第2回教材作成ワーキンググループに委員として出席。
- ▼ 12月26日(月) 厚生労働科学特別研究「NBC災害・テロ対応のシミュレーションと標準的対応」に関する班会議に出席。
- ▼ 1月6日(金) 日本原子力研究開発機構で行われた内部被ばく線量測定事例に基づく線量解析調査の打ち合わせに出席。
- ▼ 1月10日(火) 千葉県主催の千葉県原子爆弾 被爆者健康管理手当等認定委員会に委員として出席。

(緊急被ばく医療研究センター 調整管理室)

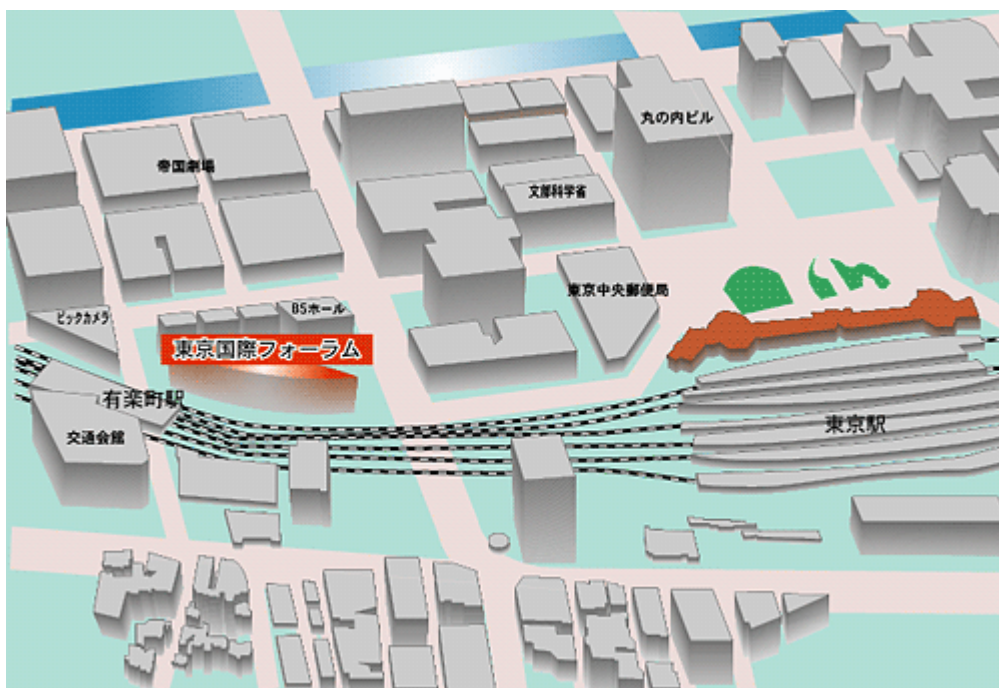
お知らせ

(独)放射線医学総合研究所 第1期中期計画成果発表会 放射線利用の未来と安全

平成13年4月1日、それまで文部科学省の直轄研究機関であった放射線医学総合研究所は独立行政法人として新たな研究体制を構築し、5年間の研究計画である中期計画にしたがって研究を開始しました。第1期中期計画期間中には重粒子線治療による治療患者数が2,500名を超えるなど、様々な成果が得られ個別には報告してきました。このたび、第1期中期計画終了に際し、期間中の研究成果を報告するとともに、第2期中期計画以降の研究展望を表明する場として、第1期中期計画成果発表会「放射線利用の未来と安全」を下記により開催します。

- 名称： 独立行政法人 放射線医学総合研究所 第1期中期計画成果発表会
- タイトル： 放射線利用の未来と安全
- 日時： 平成18年3月17日 (金) 9:00～17:00
- 会場： 東京国際フォーラム B5ホール
〒100-0005 東京都千代田区丸の内3-5-1
- アクセス： JR地下鉄有楽町駅より徒歩1分、JR東京駅より徒歩5分
- 主催： 独立行政法人 放射線医学総合研究所
- 後援： 文部科学省、日本放射線影響学会、日本保健物理学会
- 参加対象者 午前の部： 主に関連分野の研究者
午後の部： 一般
合計で300名程度

アクセス



JR線 有楽町駅より徒歩1分
東京駅より徒歩5分(京葉線東京駅とB1F地下コンコースにて連絡)

プログラム

● 口頭発表

9:30～9:40	開会挨拶	
9:40～9:55	放射線発がんリスクを左右するもの	島田 義也
9:55～10:10	宇宙放射線防護プロジェクトのユニークな成果	岡安 隆一
10:10～10:25	放射線感受性と遺伝子	今井 高志
10:25～10:40	高精度遺伝子発現解析法の開発	安倍 真澄
10:40～11:00	ブレイクタイム	
11:00～11:15	全放射能早期検出システムの開発	鈴木 敏和
11:15～11:30	重粒子線治療普及のための装置小型化研究	山田 聡
11:30～11:45	重粒子線治療-難治がんへの挑戦とその成果-	鎌田 正
11:45～12:00	分子イメージングで見た精神疾患の病態と治療	須原 哲也

● 一般講演会

14:00～14:20	挨拶と第1期中期計画の総括	理事長
14:20～14:45	低線量放射線の健康リスク	早田 勇
14:45～15:10	放射線の身体への影響	明石 真言
15:10～15:30	ブレイクタイム	
15:30～16:25	【特別講演】 「がん治療の新たな展望」	垣添 忠生 先生 (国立がんセンター総長)
16:25～16:50	ここまできた重粒子線治療	辻井 博彦
16:50～17:00	閉会挨拶	

● ポスター発表

9:30～12:00まで (B5ホール周辺ロビーにて開催)

お知らせ

放医研は長崎大学と 『教育・研究及び診療等の協力に関する協定』を締結

(独)放射線医学総合研究所は、国立大学法人長崎大学と、教育、研究及び診療活動の一層の充実を図るとともに、相互の教育研究協力を推進し、その成果を我が国の放射線分野の発展・継承に寄与することを目的として、教育・研究及び診療等の協力に関する協定を平成18年1月24日に締結しました。

■ 研究協力の範囲と活動の形態

今回の協定は、放射線影響に関すること、被ばく医療に関すること、及びがん治療に関することを主な協力分野とし、具体的には下記の3点の共同研究・事業等を推進することになります。

1. 教育、研究及び診療に関すること。
2. 教職員、学生及び研究生の交流に関すること。
3. 研究資料、刊行物及び研究情報の交換等に関すること。

これらの交流の具体的なテーマとしては、緊急被ばく医療(国内)、特に将来のアジアにおける原子力エネルギーの増大を見据えた国際的緊急被ばく医療の教育ネットワーク構築の共同開発を検討しています。このたびの調印によって、両放射線研究機関が、幅広い分野で研究開発力を強化しつつ、研究成果を上げて社会に還元する態勢が整うものと期待されています。

■ 有効期間：締結日より平成22年3月31日

お知らせ

海外からの来所者

平成17年10月～19年10月

来所期間/用務	所属	国籍
●「胎児こどもの放射線研究影響ワークショップ」参加。英国健康保護局HPAにおける放射線防護業務について講演		
10月31日～ 11月3日	英国健康保護局	英国
●「胎児こどもの放射線研究影響ワークショップ」参加		
10月31日～ 11月3日	米国国立がん研究所	米国
● HIMAC見学		
11月21日	韓国サムスン病院 (4名) 日本サムスン株式会社(2名)	韓国
● がんのイメージングを可能とするPETを中心とした可視化技術について研究協力に関する調査研究		
11月10日～ 19日	中国 浙江大学医学PETセンター	中国
● マイクロビーム粒子線を用いた単一細胞単一粒子照射による放射線効果と、派生するバイスタンダー効果についての研究成果		
11月13日～ 20日	中国 復旦大学	中国
● マウスの学習障害および脳酸化ストレスに対する抗酸化剤の役割		
11月1日～ H19年10月31日	インド ラジャスタン大学	インド
● 遺伝子発現の解析により放射線損傷、修復関係のメカニズムを図る第1回アジア放射線研究会議(広島)に出席		
11月13日～ 19日	台湾大学	台湾
● 小型リングにおける電子ビーム冷却装置に関する研究		
11月7日～ 12月3日	ロシア原子核研究機構	ロシア
● 理事長調整費による「胎児こどもの放射線研究影響ワークショップ」参加		
11月1日～ 3日	英国核燃料研究所	英国

● 国際原子力安全セミナー (放射線利用コース)		
11月15日	バングラデシュ原子力委員会 (2名) インドネシア原子力規制庁 インドネシア原子力庁 マレーシア マラヤ大学 マレーシア原子力庁 フィリピン原子力研究所 スリランカ原子力庁 スリランカココナッツ研究所 スリランカ 園芸作物研究開発研究所 タイ原子力庁 ベトナム 原子力科学技術研究所	バングラデシュ インドネシア インドネシア マレーシア マレーシア フィリピン スリランカ スリランカ スリランカ タイ ベトナム
● 第1回アジア放射線会議(広島)出席、講演		
11月15日～ 18日	イラン原子力機構 インド チルウァナンサプラム地区がんセンター 韓国原子力医学院	イラン インド 韓国
● 米国の大腸癌放射線治療の最新の治療結果の紹介		
11月15日	米国 メイヨークリニック	米国
● 放医研各部門の現況についての質疑応答		
11月18日	韓国原子力医学院 (11名) (KIRAMS)	韓国
● 放射線安全研究に関する共同研究の打合せおよび被ばく事故対応体制の情報交換		
11月14日～ 22日	中国疾病予防控制中心輻射防護与核安全医学所(23名)	中国
● 放射線照射後のテロメア生物学において共同研究に向けて協議する。第1回アジア放射線研究会議(広島)に出席		
11月13日～ 18日	シンガポール大学	シンガポール

大阪・サイエンスサテライトで 『放射線医学総合研究所』特別展を開催

大阪のサイエンスサテライトの展示場で、平成18年1月14日から25日まで催した『放射線医学総合研究所』の特別展では、放医研が行っているさまざまな放射線の研究活動や、高度先進医療となった重粒子線がん治療について、模型やビデオ、パネルなどで紹介しました。

また、1月14(土)～15日(日)の2日間、来場者からの重粒子線がん治療についての質問コーナーと子供向けにオリジナル缶バッジ製作教室を併設しました。質問コーナーには12名、缶バッジ工作教室には398名が訪れました。特別展の開催期間中の来館者数は6,687名で、期間中ご協力いただいた(財)大阪科学技術センター・サイエンスサテライトの関係各位に感謝いたします。



展示物の内容紹介



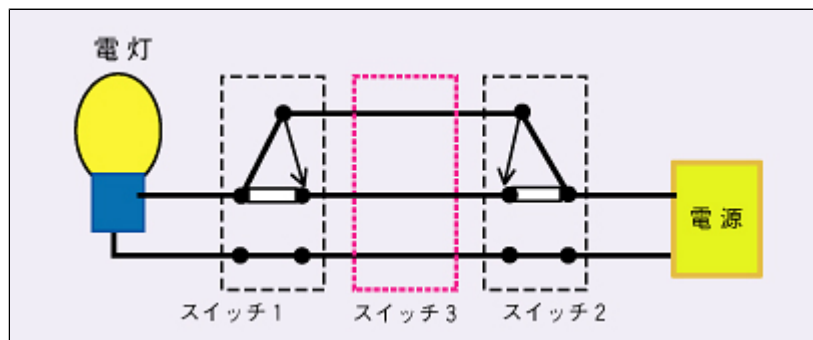
缶バッジの制作

頭の体操

スイッチ

下の図のように電源と電灯は、二つのスイッチにより電線で接続されています。この配線を見ると、スイッチ1及び2のどちらでも電灯をon/offできることが判ります。すなわち両方のスイッチが黒い線の側、また両方のスイッチが白い線の側にあるときonになります。また、一方のスイッチが黒(白)線の側にあり、他方が白(黒)線側にあるとoffになります。そして、一方のスイッチがどちら側にあっても、他方のスイッチでon、offすることができます。

さてここで二つのスイッチの間に第3のスイッチをいれて、3カ所で電灯をon、offする事ができる方法(スイッチ)はあるでしょうか。スイッチはどのような方式でも良く、配線はどんなに複雑でもかまいません。



(加速器物理工学部 藤澤 高志) (答えは[最終ページ](#))

RIの製造など幅広い分野で利用の 大型サイクロトロン加速高周波系を更新

放医研の大型サイクロトロン(AVF-930型)は、1974年にフランスのトムソン社によって建設されて以来約30年が経過しています。この間に、中性子線(14 MeV)を用いたがん治療の臨床試行、陽子線(70 MeV)による眼の悪性腫瘍メラノーマの治療、及びポジトロン核種(RI)を利用したPET診断の研究開発等に使われてきました。最近では、PET診断用のRI核種の製造開発を中心に、低線量生体影響の研究(中性子線10 MeV)、宇宙空間における粒子検出器の開発、重粒子線治療に関わる生物物理の基礎研究等に加え、外部研究機関や一部民間企業のユーザーに対する有料ビームの提供など幅広い分野で利用されています。

建設以来、サイクロトロンは、これまで部分的な改修を行いながら稼働してきました。このサイクロトロンの中でも重要な部分である加速高周波系は、複雑な制御用電子回路及び精密な機械的要素で構成されており、全体的な改修が行われることも無く、約30年間稼働し続けてきました。老朽化が進みDee電極の経年変化による位置的な歪みや垂れ下がり、また、共振器を構成する駆動装置の機械的摩擦等により、ビームの安定性の低下や運転上のトラブルに繋がる事例が多く生じてきました。そのため、平成17年度内に、加速高周波系の全体的な更新工事を行うことになりました。

サイクロトロンにおける加速高周波系の構成は、大きく分けると次の3つに分けることが出来ます。

1. 高周波信号を作り増幅器に送る『発信器』
2. 発信器で作った高周波信号を電力増幅し、共振器に送る増幅器』
3. 加速粒子にエネルギーを与えるDee電極に高電圧を発生させる『共振器』

発信器は、サイクロトロンの磁場と最外周の半径、加速する粒子とエネルギーなどに対応した高周波信号を作る装置です。Dee電極への出力電圧や、周波数、位相といったビームに対する影響のあるパラメータはこの発信器部で調整されます。増幅器は、発信器からの高周波信号を電力増幅し、共振器に送ります。この増幅器は、大電力であるため、大きな四極真空管が使われています。共振器は、ラジオのチューナーと同じ原理で、周波数のチューニングを取るために用います。その共振器には、Dee電極が取り付けられており、このDee電極に発生させた電圧によって、粒子は加速されていきます。放医研のサイクロトロンでは、2つのDee電極が電磁石の両側にあり、それぞれのDee電極に増幅器と共振器が備え付けられています。(図-1に既設共振器設置時のサイクロトロンの内部構造図を示す。)

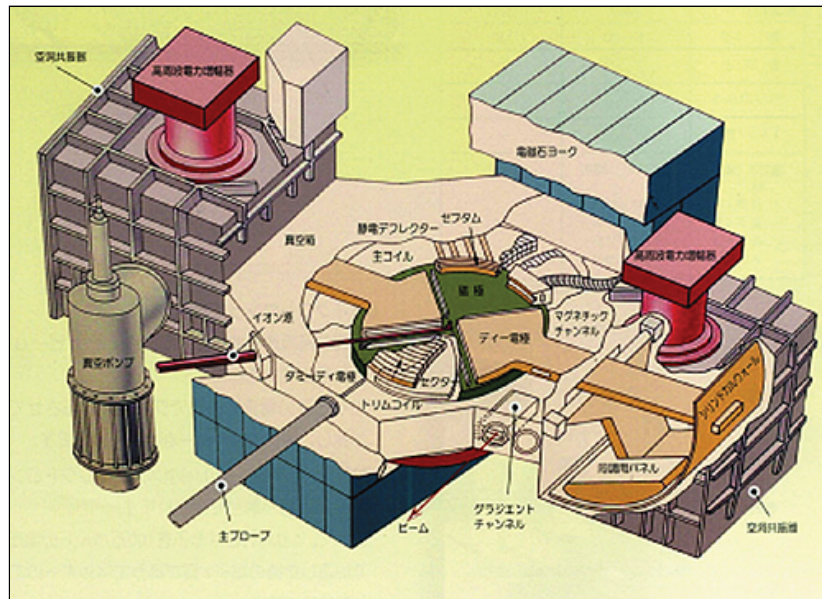


図-1 既設共振器設置時のサイクロトンの内部構造図

サイクロトロン共振器は、空洞共振器と言われるもので、より高い電圧を発生させるために、非常に大きな空間領域(磁気エネルギーを貯える)をもっています。そのため、共振器は大きく、搬出するために、コンクリート壁に大きな穴を開けなければならないほどです。搬出された既設の共振器(図-2)は、所内の管理区域内に保管廃棄されることになります。

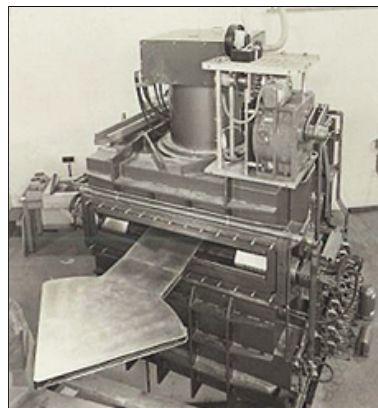


図-2 撤去予定の既設共振器

既設の共振器と新設される共振器とは、形が大きく異なります。既設の共振器は、ムービングパネル方式で、同調用パネルといわれる羽を四角い函の中で動かして、周波数のチューニングを取ります。新設される共振器(図-3)には、より高性能の特性を持つムービングショート方式を採用しました。

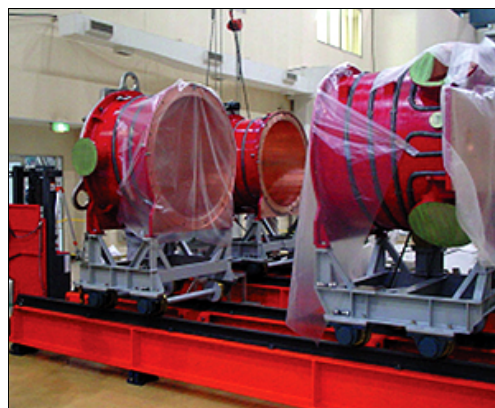


図-3 新設共振器 (制作中)

この方式は、住友重機械工業により開発されたもので、大阪大学、東北大学、理化学研究所、原研高崎といった、放医研と同程度のサイクロトロンへ採用されている方式です。ムービングパネル方式では、四角い函のなかで羽を動かしてチューニングしていたのに対し、ムービングショート方式では、大きな円筒の長さを、周波数の波長に合わせて円筒内の円盤を動かして、チューニングを取ります。共振器の形は、四角い函型から円筒型へと大きく変わり、それによりサイクロトロン装置本体の外観も大きく様変わりすることになります。

様変わりするのは、サイクロトロン本体の外観だけではありません。共振器や、増幅器の制御操作を行う操作装置も大きく変わります。既設の操作装置は、押しボタンや、メーター、ランプ、ダイヤルなどによって、操作を行っていましたが、新設される制御装置では、タッチパネルにより一括で操作が行われます。これにより、制御室の一角の雰囲気が大きく変わります。また、シーケンスロジックなどは、多くの電子基盤や、マグネットリレーなどによるものでしたが、今回の更新により、主にシーケンサ(PLC)によるものになります。共振器や、増幅器は原理的・構造的にあまり小さくはなりません、制御装置としては、かなりコンパクトに纏めることができます。

今回の改修工事により、Dee電極に生じる電圧が安定なものとなり、さらに最大電圧を引き上げることにより、安定で且つ高質なビームの提供が可能となります。また、サイクロトロンは、時間的に連続なビームを提供でき、そのビーム強度を粒子数で1秒間に $10^2 \sim 10^{13}$ 個という広範囲の幅を持たせることが可能です。このような特徴を生かし、今後も更なる安定化や、ビーム調整を行うことにより多種多様なビームの提供、及び照射コースと実験装置の整備などととも改良開発を行っていく必要があります。

(重粒子医科学センター 加速器物理工学部 サイクロトロン運転室 北條 悟)

エッセイ・ばるす NO.50 「社会人2年生」

「自分のことを必要以上に考えてはなりません」(ローマ12章3節)これは聖書の言葉です。私はこの言葉に助けられて社会人2年目を過ごして行くことができた、と感じています。

小学生の頃のことはよく覚えていませんが、中学や高専の2年目はとても楽しかった記憶があります。それに比べて社会人2年目というのは、正直なところ1年目よりも精神的にかなりきつかったです。誰でも必ず「社会人2年生」を経験していると思いますが、読者のみなさまはどうでしたか?

自分で言うのも何ですが、私は繊細な性格です(笑)。悪く言えば神経質なところがあって、周りの人の自分に対する評価や思いがとても気になってしまいます。しかもすぐに後ろ向きの思考パターンになるため、何か大きな失敗をしたと感じたり、他の人に迷惑をかけてしまったと気づいた時には、自分には価値がないと感じて余計に物事がうまくいかなくなることがあります。尊敬している人に褒められたり、友達と話したり、(かっこいいお兄さんと話したり(笑))するだけで元気になる時もありますが、一時期落ち込むことばかりになり、自分で自分の感情のバランスをとれるようにならなければ、と思うようになりました。

「何事も闘争心や自己本位の気持ちからするのではなく、むしろ、他の人が自分より上であると考えてへりくだった思いを持ち…なさい」(フィリピ2章3,4節)

この聖書の言葉と、冒頭に書いた言葉から、“自分自身”に関してもう少し謙遜な考え方をした方が良いことに気づきました。何かうまくいかないときに過度に消極的な考え方をしてしまうのは、自分で自分に必要以上に大きなことを要求しているからではないか、つまり自分に対する理想が高いのかもしれない、ということに気づきました。そこで、自分に対して平衡の取れた見方をするように努めました。自分ができているところはできている、足りないものは足りない、と認めて受け入れるようにしました。そのように長所や短所を考慮に入れて自分をみると、大分気が楽になります。また気持ちが落ち着いていると、余裕を持って今までよりも少しだけ視野の広い見方ができるようになり、積極的な気持ちで努力できるようになりました。

そんな感じで過ごしてきた社会人2年目は、振り返ってみると割と充実していたかな、と思えます。また自分に必要な助言や励ましが、必要なタイミングでいろいろなところから与えられていたことにも気づきます。もうすぐ社会人3年生になろうとしていますが、これからも心に「謙遜さ」を置いて努力し続けていきたいと思っていますのでよろしくお願いします。



(情報業務室 吉川 碧)

◆答え◆

説明：スイッチが、黒線側3個（白線側0個）、黒線側1個（白線側2個）の時onであり、黒線側2（白線1）、黒線側0（白線3）の時offである。そして他のスイッチに関係なくどこからでもon、offできる。

出典：私が中学生のころ村上信雄先生と言う、すばらしい理科の先生の、モーター制作実験の授業で、類似の問題を出されました。

応用：4個目、5個目…のスイッチを間に入れて同様の機能を持たせる方法はあるでしょうか？

