

東京大学放射線取扱者再教育資料 No.33 (2015)

I. 放射線利用における安全文化醸成の大切さ

II. 生命科学研究における放射線利用例と安全取扱上の留意点

III. 放射線による人体影響

参考資料. 線量限度

I. 放射線利用における安全文化醸成の大切さ

原子力分野における「安全文化」の概念は、旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所事故がきっかけで生まれました。事故後、国際原子力機関（IAEA）の国際原子力安全諮問グループ（INSAG）が事故に関してとりまとめた「チェルノブイリ事故の事故後検討会議の概要報告書」（INSAG-1、1986）において「安全文化」の概念が取り上げられ、その後国際的な場で広く議論されるようになりました。

原子力利用においては、安全確保がその前提とならなければなりません。そのためには原子力利用に携わるすべての組織において、安全最優先の価値観が全体として共有され、その価値観に基づいて日々の業務が実行される「安全文化」が堅持されていなければなりません。安全文化の醸成は、原子力施設の安全確保のために極めて重要なものであり、事業者はもちろんのこと、規制当局も含め、原子力利用に携わるすべての組織が、あらゆるレベルで一体となって取り組む必要があります。

我が国においては、JCO臨界事故や東京電力不正問題等の反省を踏まえ、原子力施設における安全文化の醸成について議論が行われており、核原料物質、核燃料物質及び原子炉を規制する原子炉等規制法においては、安全文化を醸成するための体制（経営責任者の関与を含む。）に関することを定めることが義務付けられるなど、安全文化の醸成に対して具体的な活動がなされています。

大学等研究機関の放射線利用において、放射線障害防止法では安全文化の醸成について特段の規定はありませんが、「安全文化」に立脚した意識を持って研究が行われることが大前提です。しかし、近年、以下のように、安全文化の欠如と言わざるを得ないような事象が立て続けに発生しています。

昨年、大学において学生2名が管理区域内で放射性同位元素（RI）実験に用いたサンプルを管理区域外の研究室に持ち出し、使用しました。さらに使用後の放射性廃棄物は産業廃棄物として廃棄又は同研究室の流しから廃棄し、汚染させたという法令報告事象がありました。この事象に関しては、①本来管理区域内で行うべき RI 実験について、管理区域外へ放射性物質を持ち出すことが「やってはいけないこと」とわかりながらも、極微量で危険性が少ないとして「これくらいなら大丈夫であろう」と判断してしまうといったユーザーとしての意識の低さ、②同時に、学生を管理・監督する立場の指導教員が RI の実験計画に対する指導を十分に行わず、研究指導の立場にあったもう1名の学生にすべてを任せるといった指導教員としての職務認識及び指導力の欠如、の2点が大きな原因です。

一昨年には、大強度陽子加速器施設（J-PARC）において、管理区域外へ放射性物質を漏えいさせるといった法令報告事象がありました。大型の放射線発生装置の予期しない誤作動により放射化物が生成され、ハドロン実験ホール（管理区域内）に漏えいしました。その後、管理区域内の放射性物質の濃度を下げるために、フィルターのない排風ファンを使用して管理区域外にも放射性物質を放出させてしまいました。この事象により、管理区域内に立ち入っていた放射線業務従事者34人に被ばくが確認（内部及び外部被ばくの合算で0.1～1.7mSv）されました。放射線業務従事者の年間の被ばく線量限度である50mSvは下回っていますが、本来起こるはずのない内部被ばく（計画外被ばく）が起こりました。ハドロン実験ホールは放射性物質の漏えいを想定した管理区域ではないため、放射性物質の漏えいに対する避難基準が明文化されておらず、現場における放射性物質を取り扱う際の関係者の意識の低さが指摘されました。

上記2例は、いずれも、組織及び個人双方における安全最優先の価値観の欠落や、安全確保に係る組織・人・設備へのリソース配分の軽視であり、「安全文化の欠如」と言わざるを得ません。このような事象を起こさないためにも、放射線利用においても安全文化の醸成について、放射線利用に携わるすべての組織及び関係者が取り組むことが必要です。

原子力規制庁は、このような状況を目の当たりにし、大学等研究機関における放射線利用に関して、安全最優先の価

価値観が全体として共有され、その価値観に基づいて日々の研究が実施されているのか、非常に危機感を抱いています。

図は労働災害における経験則のひとつであるハインリッヒの法則を引用し、安全管理における留意点の一例を記したものです。この法則は、ひとつの重大事故の背後には29の軽微な事故があり、その背景にはもっと多くのヒヤリ・ハット等が存在すること、ヒヤリ・ハットや不安全行動・不安全活動を放置すると必ずトラブルや事故・災害に進展するが、その大半は予防可能であるという経験則です。

特に大学等研究機関においては、研究の進展・遂行に当たって多種多様な危険要因が潜在し、ヒヤリ・ハット等の可能性は必然的に高くなります。そして、ひとつのヒヤリ・ハットには、多くの原因（例えば、知識/経験の不足、時間的圧迫、実験計画の不備、使用慣れ等）が必ず潜んでいます。

一例として、ヒヤリ・ハットと思われる事象が発生した場合、事故に至らず「ああ、よかった」で終わらせてはいけません。一人で抱え込まず管理者にしっかり報告することやヒヤリ・ハットを同僚・管理者と共有し原因を皆で考え対策を講ずること等意思疎通を目指した忌憚のない「コミュニケーション」を図ること、「これはおかしい」という危険認知の感覚を身につけること等は放射線利用に限らず、極めて肝要なことであり、皆さんの今後の研究活動や社会活動に求められることです。

安全文化の構築に関しては、平成17年版原子力安全白書において、次のように記載されています。

- ① 第一線の現場の人間が誇りと責任感をもって仕事に取り組める組織文化が形成されていること。
- ② 各事業者のトップマネジメントのコミットメントが絶対的に必要であることが認識されること。
- ③ 現場とトップマネジメントを含めた管理層、ベテランと若手など、異なる組織またはグループ間で、意思疎通を目指した忌憚のない「対話」が重要。
- ④ 安全文化の劣化を防ぐためには、組織とそこに属する個人が「常に問いかける姿勢」を保持することが重要。

即ち、①研究の第一線で活躍されるユーザー自身の研究に

誇りと責任感をもって取り組める組織文化が形成

されていること、②組織の管理層が日頃の安全管理を他人に一任・丸投げせず積極的に関与していくこと、③ユーザーが同僚・先輩・後輩等と忌憚のない意思疎通を積極的に図ること、④管理者とユーザーの組織全員が日頃の放射線利用に係る安全に関して「常に問いかける姿勢」を持ち続けること、そして、これらを継続的な活動とすることは、放射線利用における安全文化の醸成に資するものです。

本資料が、これまでの研究機関での放射線利用における安全確保について

今一度振り返っていただき、今後の安全な取扱いや安全な研究活動に資することを期待します。



図：安全管理における留意点（ハインリッヒの法則を引用）

参考文献 平成17年版：原子力安全白書

原子力規制委員会 原子力規制庁
長官官房 放射線防護グループ
放射線対策・保障措置課 放射線規制室
【再教育項目：法令／安全取扱】

II. 生命科学研究における放射線利用例と安全取扱上の留意点

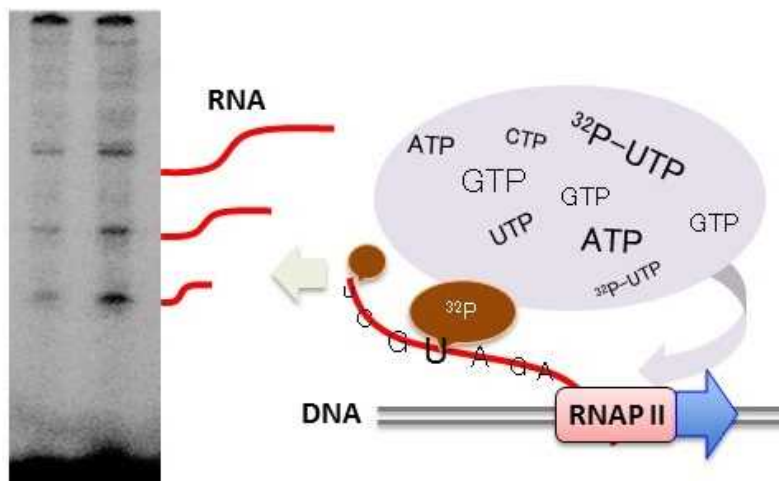
1. 生命科学研究における放射性物質の利用例

生命科学分野では、生物、細胞、分子レベルで起こる現象を研究するときに、放射性物質（以下 RI と呼びます）を用いることがあります。比較的簡単に高感度で、細胞や分子の動きを観察し、それぞれの分子の機能や活性について調べることができる点が特徴的です。生物や細胞は、主として H、C、N、P、S、O などの元素から構成されるタンパク質や核酸（DNA、RNA）から成っており、これらの分子の機能や動態を観察することが生命反応を理解する上で重要となります。そのためこの分野の研究では、生体構成元素である非密封の放射性物質 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 及び ^{125}I を中心とした標識化合物が使われてきました。近年 RI を使用しない手法や質量分析装置などの測定、分析機器の開発や進歩に伴い、RI の利用も限定されつつありますが、依然として有力な方法ですので、ここではその利用例をいくつかご紹介いたします。

我々の事業所、東京大学分子細胞生物学研究所では、 ^{32}P が RI として最も頻繁に使用されています。特に、転写や複製といったゲノムを扱った研究での利用です。 $[\alpha\text{-}^{32}\text{P}]\text{dCTP}$ や $[\alpha\text{-}^{32}\text{P}]\text{ATP}$ 、 $[\gamma\text{-}^{32}\text{P}]\text{ATP}$ を基質として、核酸を修飾する酵素や増幅する酵素を用いて、RI 標識された核酸プローブを簡単に作製することができます。特定の配列を持ったプローブを用いれば、細胞内のゲノムの構造（フットプリンティング、サザンハイブリダイゼーション）や核内での位置（*in situ* ハイブリダイゼーション）、また、タンパク質との結合活性（ゲルシフトアッセイ）、遺伝子の発現の状態や量（ノーザンハイブリダイゼーション）を観察することができます。 $[\alpha\text{-}^{32}\text{P}]\text{UTP}$ や $[\alpha\text{-}^{32}\text{P}]\text{CTP}$ の取り込みをモニターすることで、試験管内において遺伝子発現の状態や量を検出することができます。これは転写の研究では大変に有用な手法となっています。

また、細胞や生体内で働く様々なタンパク質の機能を調べるため、 $[\gamma\text{-}^{32}\text{P}]\text{ATP}$ や Acetyl ^{14}C -CoA といった標識された基質を使うことでタンパクの修飾状態を簡単に検出することもできます。さらに、 ^3H や ^{125}I を用いることでタンパク質を簡単に標識でき、この標識したタンパク質（リガンドなど）が、細胞表面にある受容体と結合する能力や量を簡単に大量に測定することが可能になります。細胞を、 ^{35}S メチオニンを含む培地で培養すると、その培養期間中に産生されたタンパク質を標識することが可能です。同様に、 ^3H チミジンを含む培地で培養すると、細胞のゲノムに DNA 合成反応に応じて取り込まれた放射能の量を計ることで細胞の増殖能を評価することができます。また、 ^{51}Cr ナトリウム塩を取り込ませた細胞を使うと、免疫細胞による殺傷や薬剤による毒性により細胞外に放出された ^{51}Cr の放射能を測定することで死んだ細胞の割合を簡単に算出できます。

RI により標識された生体物質を使う研究は、高感度に比較的簡便に、しかも他の手法に比べ安価に行なうことができるため、今後も有力な研究手法として引き続き利用されていくでしょう。



転写反応で合成されたRNA産物を大きさで分け、オートラジオグラフィーで検出する

2. 放射性物質 (RI) 利用時の安全管理上の主な留意点 緻密な実験計画を立て、余分な RI を購入するな

その RI を使用する実験のスケジュール、どのような使い方を
するかをできるだけ具体的に計画し、購入する量を最適化しまし
よう。RI 核種にはその各々に固有の半減期が存在します。さら
に物質の安定性などから、半減期が長い核種でも使用できる期間
が限定されることもあります。必要量を超える RI を購入すると、
将来に余分な放射性廃棄物をもつことにつながります。廃棄物を
減らす努力は利用者としての重要な心構えのひとつです。

使用等に関して確実に記帳せよ

使用した RI については、放射線障害予防規程やその他のルー
ルにしたがって、貯蔵、使用、廃棄等に関してその都度忘れず記
録(記帳)しましょう。実験後の RI で汚染された廃棄物は、適
切に分別、処理を行い、定められたルールにしたがって適切に扱
う必要があります。

実験台等の周辺の線量分布、汚染分布についてこまめ に気を配れ

実験中は RI からの距離を適切に保ち、必要に応じて適切な遮
へい物などを用いて、実験者本人や周囲のメンバーに余計な被ば
くをさせないような工夫が重要です。実験実施時には手元に適切
なサーベイメーターを置き、常に周辺環境の線量率や放射線の計
数率をモニタしながら、身のまわりの線量分布、汚染状況の有無
を意識して実験を行ないます。小さな汚染にも気を配ることで、
二次汚染(汚染の拡大)も避けられます。実験後はその都度、使
用した機器やその周辺の汚染チェックを入念に行い、汚染が検出
された場合はその範囲とレベルを特定し、拭き取り、洗浄、切り
取りなどにより汚染箇所とそうでない部分を分別し、廃棄できる
放射性の汚染物は放射性廃棄物として早期に適切に処分しまし
ょう。床や壁等の汚染がとり除けない場合は、その箇所を第三者
が視覚的に認知できるような工夫を施して(ペンによる囲い込
み、標識等)、その旨を放射線管理担当者に早期に通報ください。

実験や安全管理に関する分担を明確にせよ

RI の入手、使用、廃棄を通じ、実験にはさまざまなメンバ
ーが関わります。学生、研究生、教職員がさまざまな形で何らか
の関与をすることになるでしょう。その RI を入手し、廃棄される
までの一連の動きを、責任をもって追えるようにしておかなけれ
ばなりません。どの部分が自分の責任範囲なのか、どの部分から
その責任が別のメンバーに移転するのか、関係者がその方針と情
報を共有することも大切です。この機会に確認をお願いします。



Ⅲ：放射線による人体影響

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災以降、放射線の人体影響は一般の人の意識の中にも存在するようになりました。しかし、これに関して正しい知識を持っている人は多くありません。放射線を取り扱うみなさんには、放射線が人体にどのような影響を及ぼすかを正しく理解し、一般の人がこれらの影響を受けることがないよう、厳重に管理・監視することが必要です。ここでは、放射線の人体影響についての基礎知識を今一度振り返っていただくことを目的としました。

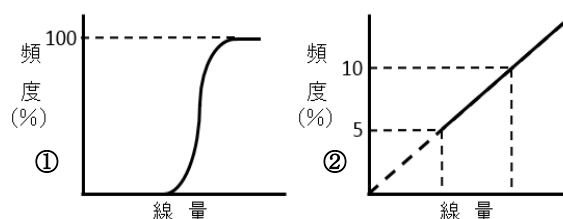
放射線が物体に照射されると、放射線の持つエネルギーが物体に加わり、変化が引き起こされます。照射対象が物体ではなく、人体でもこれは同様で、放射線を受けるとその量に応じて、様々な影響が起こります。これらの影響を整理すると下表のようになります。

表：放射線影響の分類（参考資料より）

放射線影響	【しきい値のある影響】 しきい値はかなり高いので、事故などの発生に伴い起きることが多い（そうでない場合に起こることは少ない） 確定的影響：組織反応ともいう	皮膚の紅斑、脱毛、白血球減少、不妊など	放射線を受けて間もなくあらわれる影響 急性影響	放射線を受けた本人に現れる影響 身体的影響
		白内障、胎児への影響など	放射線を受けたのち長い年月がたつてから現れる影響 晩発影響	
	【しきい値がないと仮定する影響】 しきい値がなく、低い線量でも起こる可能性があるとして仮定する 確率的影響：がんと遺伝的影響ともいう	白血病、がんなど	放射線を受けた人の子孫に現れる影響 遺伝的影響	
		代謝異常、軟骨異常など		

例えば、大量の放射線を受けると、血液中の白血球の数が減少することはよく知られています。一度に放射線を受けた場合でも、250mSv 以下では白血球の減少は起こりません。しかし、この値を超えると、人によっては白血球の減少が起こり始めます。このように、症状が現れる最低の限界線量（しきい値）があるような影響を確定的影響といい、脱毛や不妊、白内障などもこの影響に含まれます。

一方、放射線によるがんの発症には、低線量での発症頻度を確定することが困難であるため、しきい値がないと仮定し、受けた放射線の量が増えるにしたがって、がんの発生する可能性（確率）が高くなると考えます。国際放射線防護委員会（ICRP2007 年勧告）では、100mSv を全身に受けた人が 100 人いた場合に、それが原因で後年のがんができる人は、そのうちの 0.55 人くらいであるとしています。このようにどんな低線量でも小さい確率ではあるが発症すると考える影響を確率的影響といいます。白血病やがん発生などの身体的影響や遺伝的影響が確率的影響とされています。



グラフ：①確定的影響と②確率的影響

放射線は、量（線量）が同じであっても、放射線の種類や、放射線が当たった部位が異なると、現れる影響の程度に差が出てきます。放射線を全身に一樣に受けることを全身被ばくといい、体の一部分だけが放射線を受けることを局部被ばくといいます。局部被ばくでは、被ばくした部位に影響が起こりますが、全身被ばくでは、身体の中で放射線に対して感受性が高い（放射線に弱い）部位に起こる影響が問題となります。また、放射線を少しずつ長い期間にわたって受けた場合の影響は、同じ量の放射線を短い時間内に強く受けた場合の影響に比べると、ずっと小さくなる場合があります。これは、人体に備わっている様々な回復能力によるものです。放射線を取り扱う作業では、確定的影響のしきい値以上の被ばくは許容されておらず、合理的に、かつ適切に低く抑えるよう努めることが求められています。 これらを背景にして、放射線を取り扱う作業には、参考資料に示す線量限度が定められ、個人の被ばく量を測定することが法令で義務づけられています。

参考文献：社団法人 日本アイソトープ協会「改訂版 放射線の ABC」7～9 章

環境安全本部
環境安全課 結城康宏、関 祐介
放射線管理部長 三谷啓志
【再教育項目：人体影響】

参考資料：線量限度

線量限度とは、放射線被ばくの制限値としての個人に対する線量の限度で、国際放射線防護委員会（ICRP）の放射線防護体系のひとつの要件になっています。

線量限度は、確定的影響に対する線量に対してはしきい値以下で、がんなどの確率的影響に対してはしきい値がなく、そのリスクが線量に比例するという仮定の下に、容認可能な上限値として設定されています。ICRP によって、実効線量と等価線量の限度が、職業人と一般公衆の個人に対してそれぞれ勧告されており、我が国の「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(障防法)」をはじめ、各国の法令に採用されています。

区分		実効線量限度(全身)		等価線量限度(組織・臓器)	
		障防法による規定	ICRP2007 年勧告	障防法による規定	ICRP2007 年勧告
放射線業務従事者	平常時	100mSv/5 年 ^{※1}	100mSv/5 年	眼の水晶体:150mSv/年 ^{※2}	150mSv/年
		50mSv/年 ^{※2}	50mSv/年	皮膚:500mSv/年 ^{※2}	500mSv/年
		女子:5mSv/3 月間 ^{※3}	—	妊娠中の女子:2mSv (出産までの間の腹部表面)	妊娠の申告後残りの妊娠期間の胎児に対する等価線量が 1mSv を越えないようにする
		妊娠中の女子:1mSv (出産までの間の内部被ばく)	—		
	緊急時	100mSv/年	—	眼の水晶体:300mSv/年 皮膚:1Sv/年 ^{※4}	—
一般公衆	平常時	1mSv/年 ^{※2}	1mSv/年 ^{※5}	眼の水晶体:15mSv/年 ^{※2}	15mSv/年
				皮膚:50mSv/年 ^{※2}	50mSv/年

注：上記表の数値は、外部被ばくと内部被ばくの合計であり、自然放射線による被ばくと医療行為による被ばくは含まない。

※1 平成 13 年 4 月 1 日以後 5 年ごとに区分

※2 4 月 1 日を始期とする 1 年間

※3 4 月 1 日、7 月 1 日、10 月 1 日、1 月 1 日を始期とする各 3 月間

※4 1Sv(シーベルト)=1,000mSv(ミリシーベルト)=1,000,000 μ Sv(マイクロシーベルト)

※5 例外的に 5 年間の平均が年あたり 1mSv を超えない