

第5節 国民生活に貢献する放射線利用

放射線は、取り扱いを誤れば健康に影響を及ぼす危険な道具であるが、管理しながら使うことで社会に多くの便益をもたらし、活力を与える。したがって、分かりやすい情報の提供と積極的な情報公開により国民の理解を得ながら、今後も、医療、工業、農業等の幅広い分野で活用できるように、研究開発を進めつつ放射線利用の普及を図っていくことが重要である。しかし、放射線の存在そのものを人間の五感で直接感じることができないことや、放射線や放射線の健康影響に関する知識に触れる機会が十分でないことにより、放射線に対して漠然とした「恐ろしさ」が形成されている。このため、国民に放射線や放射線利用についての正確な知識をもってもらうための努力が必要である。

また、放射線利用の普及に伴い、放射線や放射性物質を取り扱う施設や機会などが増加することから、その際発生する放射性廃棄物の処分を含めた適切な管理や、防護に関する教育訓練の充実等が重要である。

科学技術庁（当時）においては、日本における放射線利用の広がりを調べるために、平成11年度に、平成9年時点での放射線利用の経済規模の調査を行った。その結果、放射線利用の年間経済規模は工業利用分野で7兆3千億円、農業利用分野で1千200億円、医学・医療分野で1兆2千億円であり、合わせて8兆6千億円になると推計された。また、同調査においては、原子力発電等のエネルギー利用の年間経済規模の推計も行い、7兆3千億円という結果が得られ、このことから放射線利用がエネルギー利用とならば原子力利用の主要な分野である、と報告している。

1 国民生活への貢献

今後、少子高齢化が進む我が国において、放射線利用による効率的で負担の少ない医療の重要性が高まると予想される。また、世界的な人口増加に対応して、食料増産や食品保存のため放射線利用の必要性が高まると考えられる。さらに、社会のニーズにこたえる新素材や新しい製造プロセスの開発、利用等、産業の様々な場面で放射線利用の拡大が期待される。

(1) 医療分野

放射線の医療への利用は、1895年11月のX線発見とその2ヶ月後のガン治療への適用に始まり、近年、高エネルギー陽子線を利用した治療施設などが国内の数力所に設置され、身近な医療施設と成りつつある。さらに、中性子を利用したホウ素中性子捕捉療法（BN

CT) やがんの特異的に集積するRI標識化合物による治療など新たな試みも進められている。放射線が医療に応用されるようになって100年以上が経過した昨今、放射線診療は、患者の身体的負担の少ない診療を実現する手段の1つとして確固たる地位を確立している。

放射線は人体等の物質を透過する性質を持つので、これを利用して古くから人体内部を観察し、病気の診断を行うために使われてきた。写真フィルムを用いた古典的な画像診断はもちろん、人体を透過した放射線の計測データをコンピュータ処理して画像を作るX線CT*なども広く普及している。また、放射性同位元素を含んだ薬剤を投与し、その薬剤の人体内の動態や分布を画像化する技術(シンチグラフィ¹³やSPECT¹⁴、PET¹⁵など)も実用化されており、形態のみならず、人体の機能を画像化することも可能となっている。最近では、人体組織の機能や形態を高い空間分解能で画像化する、新しい技術による放射線診断技術の開発も進んでおり、ごく初期のがん病巣の発見、人体機能異常の解明、新しい治療薬の開発への貢献等につながる事が期待されている。

放射線は、その細胞殺傷能力を利用してがん等の治療にも応用されている。がんは我が国における死亡原因の第1位を占め、その克服は国民の悲願でもある。放射性ラジウムをがん組織に埋め込んで治療する方法は古くから行われており、最近では放射性イリジウムによるより良質な治療も普及してきた。また、放射性コバルトから放出される線や、放射線発生装置で作られるX線を体外から照射する方法も広く用いられ、外科手術に比べて患者の身体的負担が少ない治療法としてがん治療の一翼を担っている。最近では、陽子線や重粒子線などの粒子放射線によるがん治療の研究開発も進んでいる。独立行政法人放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置(HIMAC)が使用している炭素線は体内での線量集中性及び生物効果においてがん治療に適した性質を持つと期待される放射線であり、放射線医学総合研究所では平成6年6月より重粒子線がん治療の臨床試験を開始し、頭頸部、肺、肝臓、前立腺、骨・軟部等の腫瘍を中心に現在までに2,000例を超える臨床例を蓄積してきた。治療効果の有効性、安全性が実証されたため、平成15年11月より高度先進医療による治療も開始され、より難治がんへの適応疾患拡大等のための臨床試験と平行して実施されている。平成15年に文部科学大臣と厚生労働大臣により策定された第三次対がん十ヵ年総合戦略では、粒子線治療の臨床的有用性の確立及び治療装置の小型化等が重点研究課題として指定され、また、がん研究・治療の中核的拠点機能の強化等として、放射線医学総合研究所を中心に重粒子線治療など、放射線治療の研究開発を行うことが求められている。今後、放射線医学総合研究所では、重粒子線がん治療の普及をめざすこととしている。

また、放射線の医療への応用にあたり、より少ない被ばく量での診断、より少ない副作用での治療をめざすための研究も広範に行われており、放射線の国民医療への貢献を推進している。

13 シンチグラフィ：後述の用語解説(180ページ)を参照。

14 SPECT：後述の用語解説(180ページ)を参照。

15 PET：後述の用語解説(180ページ)を参照。

用語解説

CT: コンピュータ断層撮影

人体周囲横方向の種々な角度からX線を照射し、その投影像をコンピュータにより処理して人体内部の二次元的な断面像を取得し、さらに照射位置をずらしていくことにより、3次元像を合成する装置。がんや脳卒中などの診断に用いられる。

シンチグラフィ：核医学検査

人体にほとんど無害な少量のラジオアイソトープを含む標識化合物を血液中に注入することにより、それが組織に集積された様子を放出されるガンマ線を検出することで映像化するがん組織発見のための診断法。ラジオアイソトープの時間的な変動、取り込まれ方などで血流や、臓器の機能を推測することが可能。肝臓がんの発見に効果。

SPECT: シングルフォトンE C T (Single Photon Emission Computed Tomography)

体内に投与された放射性同位元素から発生するγ線を体軸の周囲から計測し、コンピュータを用いて体内放射能分布像を構成する方法。

PET : (Positron Emission Tomography, 陽電子放射断層法)

人体に投与された陽電子放出核種から発生する陽電子が対消滅して180度方向に二つ発生するγ線を同時に計測することにより核種の分布を断面像として描く核医学診断用装置。

重粒子加速器 (H I M A C : Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)

(ア) 研究の経緯

重粒子加速器 (H I M A C : Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba) は、昭和59年に始まった「対がん10カ年総合戦略」の一環として放射線医学総合研究所 (放医研) に建設され、医療を目的とした重粒子加速器としては世界初のものである。平成6年6月21日には、H I M A C から発生される炭素イオン線を用いてがん治療臨床試験が開始された。また、がん治療と同時に、国内外の生物・物理工学研究にも供される多目的共同利用施設として稼働してきた。

H I M A C は、稼働以来軽微な故障による数度の治療停止 (5日間) を除いてはビームを供給し続け、また、肺、肝臓等の治療のために呼吸同期したビーム取り出し技術や使用しなかった高エネルギービームの減速廃棄技術など、医療用独自の技術開発を積み重ね、臨床試験に貢献してきた。

H I M A C による重粒子線がん治療は平成16年で10年目を迎えることになったが、平成

15年10月1日には、それまでの臨床試験で示した抗腫瘍効果と安全性に基づき、厚生労働省より「固形がんに対する重粒子線治療」という名称で高度先進医療の承認を受け、平成15年11月1日より実施している。現在までに2,000例を超える臨床例を蓄積してきた。

(イ) 重粒子線がん治療の原理と装置の概要

炭素線は、従来の放射線よりも線量集中性に優れ、かつ高い生物効果を有しているため、各種粒子線の中では最もがん治療に適している。そのため、これまで放射線抵抗性が高いと言われてきた難治性がんに対しての有効性が強く期待されていた。また、その生物効果が細胞増殖周期によらないことから、従来の治療よりも治療期間を大幅に短縮できる可能性も期待されるようになりつつある。炭素線や陽子線などの荷電粒子線は、共通の性質として、体内でエネルギーが小さくなり止まる寸前で最大の電離を起こす。放射線治療においてはこの性質は非常に有利で、病巣の近くに重要器官があっても、比較的安全に高線量を照射出来ることになる。一方、電離放射線の生物作用はDNAに与える損傷によると考えられ、炭素線は光子線や陽子線より生物効果(RBE)は2~3倍大きく、がん治療上都合の良い生物学的特徴を有している。また、炭素線は、各種イオン線のなかでもヘリウムやネオンに比べてピーク部の生物学的効果が大きな値をとり、治療に適した粒子線といえる。

(ウ) 現在までの成績と治療体制

平成16年2月までに登録された患者総数は1,954名(2,027病巣)である。疾患別に見た炭素線治療成績をまとめると、表2-5-1のとおりである。

成績を一言でいうのは困難であるが、まとめてみると、炭素線治療は、部位としては、頭蓋底、頭頸部(眼を含む)、肺、肝臓、前立腺、骨軟部組織に対して、組織型では、特に光子線に抵抗性を示す腺癌系(腺癌、腺様嚢胞癌、肝細胞癌)や肉腫系(悪性黒色腫、骨・軟部肉腫など)に対して有効であり、さらに、生物学的線量分布の利点を生かすことにより、短期小分割照射法が有効であった。特に、肺や肝などでは1、2回で治療を終える超短期照射が実施可能で、また比較的照射回数の多い前立腺や子宮癌でも20回/5週照射、頭頸部や骨・軟部では16回/4週照射が可能であった。治療後の有害反応(副作用)についてみると、一部の患者に線量増加に伴い重篤な消化管潰瘍が見られ手術を要するものがいたが、原因が詳細に分析され、照射方法を改善することにより解決可能であった。

肺や肝がんなどでは、短期小分割放射法の有効性が示されたが、これも炭素線の物理生物学的特性を裏付けるものである。一方、頭頸部の、肺の進行がん、骨・軟部肉腫などでさらに生存率を向上させるためには、遠隔転移対策が重要で、炭素線に加えて抗がん剤との併用治療を開始あるいは計画中である。

放医研の重粒子線治療は、開始以来一貫して重粒子線治療ネットワーク会議を頂点とする体制で実施されてきた。各種委員会はいずれも所内外の専門家および学識経験者から構成されている。臨床試験プロトコル(研究計画書)は、疾患別分科会を経て計画部会で作成され、臨床医学研究倫理審査委員会および同放射線治療部会で倫理面の審査を受け、

最終的に重粒子線治療ネットワーク会議で承認されたものである。また、重粒子線治療の安全性（副作用）や抗腫瘍効果については、評価部会で評価を受けた後、重粒子線治療ネットワーク会議に報告されてきた。この倫理的、科学的な治療の実施体制は、国内でも稀有であり、国外からも高い評価を受けている。

（エ）まとめ

重粒子線治療は上記経過を経て一般医療の仲間入りを果たしたが、次の目標として、本治療法の普及が強く望まれている。第3次対がん10か年総合戦略においては、粒子線がん治療の臨床的有用性の確立及び治療装置の小型化等を重点的研究課題とすることとされ、放医研では、難治がんに対する臨床試験の継続と適応疾患の拡大を図るとともに、普及型装置の研究開発を推進している。また、より治療成績を上げるための呼吸同期可能な体幹部へのスポットスキミング照射法やガントリーなどの重粒子線治療装置の開発も計画している。さらに、近年、地方公共団体や大学等において施設建設の計画も高まりをみせており、普及に向けた情報提供や、治療関係者の人材育成への取組みも急がれている。

表2-5-1

放射線医学総合研究所における炭素イオン線治療結果
(治療期間：平成6年6月～平成15年8月)

プロトコール	相	対象	照射(回/週)	患者数	3年局所制御率	3年生存率
頭頸部-1	I/II	局所進行癌	18/6	15	86%	53%
頭頸部-2	I/II	局所進行癌	16/4	19	76%	42%
頭頸部-3	II	局所進行癌	16/4	182(+2)	78%	46%
頭頸部-5	II	悪性黒色腫	16/4	26	67%	-
肺-1	I/II	I期(肺野型)	18/6	47(+1)	65%	66%
肺-2	I/II	I期(肺野末梢型)	9/3	34	90%	56%
肺-3	I/II	I期(肺門型)	9/3	20	95%	50%
肺-4	II	I期(肺野末梢型)	9/3	49(+1)	98%	68%
肺-6	I/II	I期(肺野末梢型)	4/1	71(+1)	93%	73%
肝-1	I/II	T2～4 N0M0	15/5	24(+1)	77%	50%
肝-2	I/II	T2～4 N0M0	4～12/1～3	82(+4)	87%	48%
肝-3	II	T2～4 N0M0	4/1	44(+3)	90%	88%
前立腺-1	I/II	B2～C	C ion+Hormone	35	100%	94%
前立腺-2	I/II	A2～C	C ion+Hormone	61	100%	97%
前立腺-3	II	T1C～C	C ion+Hormone	151	100%	92%
子宮-1	I/II	III-Iva(扁平上皮癌)	24/6	30	49%	40%
子宮-2	I/II	IIb-Iva(扁平上皮癌)	24/6	14	79%	43%
子宮-3	I/II	IIb-Iva(扁平上皮癌)	20/5	15	58%	58%
子宮腺癌	I/II	II-IVa(腺癌)	20/5	22	55%	68%
骨・軟部-1	I/II	手術非適応	16/4	57(+7)	67%	47%
骨・軟部-2	II	手術非適応	16/4	98(+10)	88%	54%

(2) 農業分野

農業分野では、品種改良、害虫防除、食品照射などの分野において放射線が利用されている。

植物の品種改良では、線などを直接照射することによって140種を越える新品種が作り出されている。その中には、台風でも倒れにくいイネ、黒斑病に強いナシ（ゴールド20世紀）、冬でも枯れない高麗芝などがある。ゴールド20世紀は、農薬散布を大幅に減らせるため、農業者の健康面でも経済面でも大きな効果を生み出している。また、冬に枯れないが病害虫に弱い西洋芝に比べ、高麗芝は病害虫には強いが冬に枯れてしまうという欠点を持っていたが、線を利用することにより、その欠点は改良された。このように農薬使用量の少ない植物は、環境保全などに役立っている。

害虫防除では、不妊虫放飼法¹⁶によって沖縄県と奄美群島に生息するウリミバエを根絶する事業が昭和47年から行われてきたが、平成5年までにこれらの地域からの根絶が達成された。その結果、ウリミバエが寄生する果菜類の移動規制が解除され、県外等への出荷ができるようになった。

食品への放射線照射については、食品や農畜産物に線や電子線などを照射することによって、発芽防止、熟度遅延、殺菌、殺虫などの効果が得られ、食品の保存期間が延長される。特に収穫後の腐敗、害虫などによる食品の損耗にとって食品照射は重要な役割を果たし得ることから、平成5年(1993年)IAEA総会において「開発途上国における食品照射の実用化促進」決議案が採択され、世界では平成15年(2003年)4月現在、52ヶ国で農作物の損耗防止や食品衛生等のため食品照射が法的に許可されている。また、香辛料の放射線殺菌や鶏肉、魚介類などに付着している食中毒菌の放射線殺菌が欧米諸国で実用化されている。一方、オゾン層破壊原因物質の臭化メチル代替技術としても食品照射技術の活用が期待されている。

我が国では、昭和49年から北海道士幌町でジャガイモの発芽防止のための照射が行われている。

また、平成8年に全国的な食中毒の発生を引き起こした病原性大腸菌O-157に対して、放射線で効率的に殺菌できることが、日本原子力研究所において確認されている。

なお、全日本スパイス協会は、平成12年12月に、旧厚生省に対し、香辛料の放射線殺菌・殺虫処理の許可要請を行っている。

16 不妊虫放飼法：人工的に飼育した害虫の雄のさなぎに適量の放射線を照射すると、それから羽化した成虫は正常な雌成虫と交尾することはできるが、受精させることはできなくなる。このような雄の成虫を自然界の害虫集団に継続的に大量に放飼すると、雌が受精能力のある雄と交尾する機会が少なくなり、受精卵を生む割合が減っていくので、ついに害虫集団は絶滅する。これを不妊虫放飼法という。応用対象としては、ウリミバエのほか、IAEAがタンザニアで計画しているツエツエバエがある。

図2-5-1

ウリミバエの不妊化



(出典：日本原子力研究所のホームページ)

図2-5-2

ジャガイモへの照射



(出典：日本原子力研究所のホームページ)

表2-5-2 食品照射の実用国及び実用照射品目

食品名	国名																															合計	台湾	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
1 りんご APPLE																																	1	
2 豆類 BEANS																																	1	
3 穀類 CEREAL GRAIN																																	1	
4 穀類 CEREAL GRAINS																																	0	
5 穀類製品 CEREAL PRODUCTS																																	0	
6 鶏肉 CHICKEN																																	0	
7 鶏肉(脱骨) CHICKEN MEAT(MECHANICALLY RECOVERED)																																	0	
8 動物由来調味料(動物由来) CONDIMENTS OF ANIMAL ORIGIN																																	0	
9 キュウリ CUCUMBER																																	0	
10 食用種子 EDIBLE SEEDS																																	0	
11 粉末卵 EGG POWDER																																	0	
12 酵素 ENZYMES																																	1	
13 穀物、じゃがいも、挽割り、粗粉 FARINA																																	0	
14 魚(乾燥) FISH(DRIED)																																	1	
15 かえる脚(含む冷凍) FROG LEGS																																	2	
16 果実 FRUIT																																	2	
17 果実(乾燥) FRUIT(S)(DRIED)																																	4	
18 にんにく GARLIC																																	1	
19 しょうが GINGER																																	0	
20 アラビアガム GUM ARABIC																																	1	
21 ハーブ HERBS																																	6	
22 にら LEEK																																	0	
23 マンゴー MANGO																																	0	
24 肉類 MEAT																																	1	
25 肉製品 MEAT PRODUCTS																																	0	
26 アム(生発酵豚肉ソーセージ) NHAM(RAW, FERMENTED PORK SAUSAGE)																																	1	
27 玉ねぎ ONIONS																																	7	
28 じゃがいも POTATO																																	6	
29 家禽肉 POULTRY																																	2	
30 米 RICE																																	2	
31 ソーセージ(中国製) SAUSAGES(CHINESE)																																	1	
32 スズ(含む冷凍) SHRIMP																																	2	
33 スパイス SPICES																																	28	
34 しちご STRAWBERRY																																	0	
35 茶 TEA																																	0	
36 とまと TOMATO																																	1	
37 バニラ VANILLA																																	0	
38 野菜由来調味料(含む乾燥) VEGETABLE SEASONINGS																																	3	
39 野菜 VEGETABLES																																	0	
40 野菜(乾燥) VEGETABLES(DRIED)																																	3	
	2	3	2	7	1	3	8	1	2	1	2	7	1	2	3	2	1	1	1	1	2	7	1	1	2	2	4	2	4	1	1	1	20	

(2003年5月末現在、2003年5月許可一覧表に対応:IAEA資料等より)

- (注1) IAEAなどの資料にしたがい、アルファベット順に記載した。このため、じゃがいも、玉ねぎなどの具体的名称の食品類と生鮮野菜や水産物、肉類などの総称の名称の食品類が混在している。また、英語名は別でも日本語に訳すと同類名になる食品は一つにまとめた(例: BEANSとLEGUMES及び PULSES、 CEREAGRAINS とGRAINS、 CHICKEN MEAT (MECHANICALLY RECOVERED)とCHICKEN MEAT (MECHANICALLY SEPARATED)、 CORNとMAIZE、 EGG(DEHYDRATED)とEGG POWDER、 FROG LEGSとFROG LEGS(FRESH OR FROZEN)及びFROG LEGS FROZEN)、 POTATOとWHITEPOTATOS、 SEAFOODとSEAFOOD(FROZEN)、 SHELLFISHとSHELLFISH (FROZEN)、 ROOTSとROOTS AND TUBERS、 POULTRY (MECHANICALLY SEPARATED)とPOULTRY (MECHANICALLY RECOVERED)、 SHRIMPとSHRIMP(FROZEN)、 SOYA FLOURとSOYA POWDER)。さらに、日本語が不明で馴染みのない食品は削除した(TEA, ROOIBUS, WORS(DRIED))。なお、食品名左欄の一連の数字(番号)は、上記 ~ の如く日本語への整理方法によって異なり、特別に記載がない限りその増減には意味がない。
- (注2) 右端欄の台湾は、許認可品目は把握しているが実用照射についての情報が皆無であり、許認可品目全てを 示す同時に後半にまとめ表示した。前回(2004年3月現在)一覧表と比べ新たにスペインが増えた。なお、これまで通り、実用国リストに記載されていても許認可リストに記載されていない場合(国名及び食品名)は削除した。
- (注3) ベルギー、ブラジルの野菜由来調味料(乾燥)欄の印は、許可は乾燥野菜全般だが実用表では野菜由来調味料に限定。デンマークのハーブ欄での印は、許可はハーブ全般だが実用表では芳香性物に限定。フランスのハーブ欄の印は、許可は乾燥物に限定。韓国の乾燥野菜欄での印は、許可はニンニク又は乾燥野菜及び野菜由来調味料(含む乾燥)だが、実用表ではニンニク粉末に限定。オランダのエビ、カエル脚での許可は冷凍物も含む。新たに加わったスペインのハーブ欄の印は、許可はハーブ全般だが実用表は芳香性物に限定。タイの酵素欄の印は、許可は乾燥物に限定。英国のハーブ欄での印は、許可は乾燥物に限定。ベトナムのスパイス欄での印は、許可はバブリカ粉末に限定。
- (注4) 放射線照射の目的: 根茎菜類などは発芽抑制、生鮮野菜/果実などは害虫駆除や成長抑制、穀類や豆類などは害虫駆除、生肉や生魚などは寄生虫及び食中毒性微生物の防除、乾燥野菜や果実、スパイス及び肉類や魚介類の加工品などは害虫駆除及び食中毒性微生物の防除などである。また、許認可には無条件と条件付(ICGFI資料では条件の詳細は不明)がある。ICGFIの元資料は、許可国一覧と同じく、<http://www.iaea.or.at/icgfi/>で見ることができる。

(3) 工業分野

放射線の透過性を利用して、製紙業界などにおける厚さ、密度、水分含有量の精密な測定や鉄鋼、航空機業界などにおける非破壊検査に広く利用されている。平成16年3月現在、厚さ計が442事業所で2,590台、レベル計が171事業所で1,443台、非破壊検査装置が111事業所で903台である。

一方、放射線との相互作用を利用して、材料に放射線を照射し、強度、耐熱性、耐磨耗性の向上などを図る材料の改質が行われている。

放射線工業利用のうち、半導体加工については、半導体の微細加工は、露光、エッチング、不純物添加（ドーピング）、成膜等の要素技術で構成されており、それぞれに数多くの電磁波や粒子ビームが利用されている。それらのなかには電子線、X線、イオンビーム等の電離能力をもった電磁波や粒子が含まれている。露光の主要工程である一括露光に関しては、現在短波長のレーザービームが主役であるが、素子の微細化の進展によって近い将来短波長化が、さらに進んでX線が主役になると見込まれている。また、電子線を用いた放射線（高分子）加工分野では、自動車タイヤ、テレビに使われる耐熱電線・ケーブル、熱収縮チューブ・フィルム、発泡プラスチック、分解・硬化・グラフト（45億円）等を合で用いられている。特に、放射線橋かけをメカニズムとした自動車タイヤの加工に用いられており、ラジアルタイヤの製造では、使用ゴム量の削減と品質の安定化が電子線照射によって達成されている。

また、放射線による医療用具の滅菌は、化学殺菌のように残留有害物がないことなどから、注射針、注射筒、縫合糸など100種以上のものに実施されている。

(4) 環境保全分野

排煙、排水の処理など環境保全のためにも放射線が利用されている。酸性雨の原因になる排煙中の窒素酸化物や硫黄酸化物などは、電子線で排煙を照射することで除去できる。そのとき排煙にアンモニアを加えておくと、硝安や硫安などの肥料に変えることができる。日本原子力研究所が、平成5年度までの3年間、中部電力（株）新名古屋火力発電所構内で実施した石炭燃焼排煙処理のパイロット試験で、従来法に比べて設備コストや運転コスト及び敷地面積の少なさにおいて優れていることがわかっている。この排煙処理技術は国内を始め、東欧や中国などにおいて応用が進められている。また、電子線がゴミ燃焼排煙中ダイオキシンの分解に有効であることも明らかにされ、実用化への検討が進められている。

(5) 基礎研究分野

ライフサイエンス分野では、DNA塩基配列の決定、蛋白質などの構造解明や合成、物質代謝、免疫応答など高度な分析が必要な研究において放射性同位元素（RI）が利用されている。その他、植物に対する施肥効果、家畜の代謝の研究などにも利用されている。また、サケやマスの回遊状況を調べたり、植物の微量元素の吸収を調べるのには、放射化分析が利用されている。今後は、植物体内への複数元素の移行や分布の同時計測に

マルチトレーサー¹⁷を利用することが期待されている。

一方、試料に含まれるR Iの崩壊状況を測定することにより、その年代を知ることができるため、考古学の分野でも利用されている。また、植物体内の光合成産物やアミノ酸の移行を動的に観察するために陽電子放出核種を利用したPET技術の応用が進んでいる。

2 放射線の生体影響研究と放射線防護

低線量放射線の人体影響については、疫学研究、動物実験、細胞・遺伝子レベルの研究、解析等、様々な研究手法を用いて、より広い視野の下で関連機関の連携を図りつつ、基礎的な研究を総合的に推進することが必要である。また、高線量被ばくについては治療を中心に研究を推進する必要がある。さらに、これらの研究の成果を、放射線の健康リスクの評価、合理的な防護基準の設定などに取り入れていくべきである。さらに、放射性物質の環境中での移行、循環に関する研究、防護技術の開発にも積極的に取り組んでいくことが必要である。

原子力関連施設の事故や医療被ばくなど、放射線利用の増加に伴う放射線被ばくの影響について、国民が大きな不安と関心を持つところとなった。今後、低線量域での放射線の影響を解明すると同時に、原子力エネルギー利用や放射線の医学利用のみならず、宇宙空間を含めたすべての放射線環境からの放射線被ばくに伴う健康リスクの大きさを把握し、それを左右する要因を明らかにすることで、より適切な放射線防護基準を策定し、安全な放射線利用を進めるとともに、国民に対し、放射線被ばくによる人体影響及びリスクに対する正確な理解を促す必要がある。

原子力関連施設の事故等の災害に対しては、万が一の事態に備え、諸外国を含め、治療等の対応技術に関する情報交換、研究協力及び人的交流等を行い、外部の高度専門医療機関も交えた上で緊急時の被ばく医療のため、より効果的なネットワークを形成し、緊急時の医療体制・支援体制を確立しなければならない。

放射線医学総合研究所は緊急被ばく医療体制の中核機関として、政府から与えられた役割を適切に果たすため、原子力安全委員会における緊急被ばく医療体制に関する検討結果等を踏まえ、緊急時の医療体制・支援体制の確立をめざすとともに、放射線の生体影響に関する広範な研究や高線量被ばくの生体影響の検証を通じ、その放射線障害発生メカニズムについて研究し、急性放射線障害に対する新しい治療法の実験レベルでの確立や、効果的な体内除染剤の投与法や放射線障害低減化剤等の開発の基礎となる物質の同定等の研究開発を行っている。

17 マルチトレーサー：物質の中にRIを混合し、その放射線を測定器で追跡して、その物質の動向を調べることをトレーサー法と言い、これに用いられるRIをトレーサー(追跡子)という。加速器を利用すると、同時に複数のRIを生成し、溶液の中に取り出すことができる。これをマルチトレーサーという。マルチトレーサーを用いれば、多数の元素の挙動を同じ条件の下で同時に追跡することができる。

平成11年のJCO事故によって、中性子被ばくの生物影響研究の重要性が改めて認識された。中性子による重要な影響として発ガン及び白血病が挙げられるが、放射線医学総合研究所では、中性子被ばくと発ガンなどの関連性を解明するためマウスなどを用いた動物実験が行われており、一方、日本原子力研究所では、シミュレーション計算手法を用いてこの動物実験を物理学的観点から解析し、協力している。

日本原子力研究所では、科学的基盤に立脚したより合理的な放射線防護システムを確立するための研究を行うとともに、原子力利用の基盤を支えるエネルギーシステム研究や原子力施設の安全性研究等の研究開発における放射線安全を確保するため、放射線安全の技術規基盤に立脚した環境放射線管理、施設放射線管理及び線量管理を行っている。

特に、原子力施設の事故により大気中への放射性物質の放出が予想される場合や、放出が実際に起こった場合にそなえ、米国のスリーマイル島原子炉事故後の昭和55年から緊急時環境線量情報予測システム（SPEEDI）を開発した。開発終了後、文部科学省が「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム」として運営している。その後、大気拡散の予測精度を決定する最大の要因となる局地気象予報性能の向上を主目的として、大気力学モデルをSPEEDIに導入するなど、改良を行っている。また、国外の事故に対応するために、SPEEDIの世界版（WSPEEDI）も開発しており、現在、さまざまな環境汚染事故に対応できる新しい環境中物質循環予測システムSPEEDI-MP（Multi-model Package）を構築中である。

3 放射線利用環境の整備

放射線利用を支える技術者等の質と層の充実を図るため、関係機関が連携を取りつつ効果的な人材育成に取り組む必要がある。また、放射線利用を支える基礎的・基盤的な研究を充実するとともに、その成果については、技術移転システムの活用等により実用化を図っていくことが重要である。

（1）放射性同位元素及び放射線発生装置の利用状況

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（放射線障害防止法）に基づく放射性同位元素（RI）または放射線発生装置の使用事業所は、平成16年3月末現在、4,625事業所に達している。これを機関別に見ると、民間企業1,877、研究機関619、医療機関817、教育機関484、そのほかの機関828である。

また、密封放射性同位元素の使用事業所数は3,773である。コバルト60はレベル計に、ニッケル63はガスクロマトグラフ装置に、クリプトン85は厚さ計に、ストロンチウム90はたばこ量目制御装置に、セシウム137はレベル計、密度計等に、イリジウム192は非破壊検査装置に、アメリカシウム241は厚さ計、密度計などに主に使用されている。医療機関においては、コバルト60、ラジウム226などが密封小線源として利用されているほか、コバル

ト60及びセシウム137が遠隔照射治療装置の線源として利用されている。

放射線障害防止法に定める放射線発生装置は、平成16年3月末現在、1,214台に達している。放射線発生装置の71.4%は医療機関に設置され、がん治療などに利用されている。また、28.6%が教育機関、研究機関、民間企業などに設置され、様々な研究開発に利用されている。

なお、放射線障害防止法の規制対象とならない低エネルギー電子加速器、イオン注入装置等も民間企業などに多数設置され、幅広く利用されている。

(2) 関係機関における取組

文部科学省においては、地方の研究開発機関等の放射線利用に関わる人材育成の観点から、電源開発促進対策特別会計の委託事業を通じて、放射線利用技術に関するセミナーの開催、専門家の派遣、技術研修を実施している。

日本原子力研究所高崎研究所においては、大型照射施設や各種の加速器により、宇宙、核融合炉等の先端材料、機能材料の開発、バイオ技術、環境保全技術の開発など、放射線利用に関する研究開発を進めている。

社団法人日本アイソトープ協会においては、研究用、産業用、医療用の各種放射性同位元素の安定供給に努めるとともに、廃棄物の集荷・処理事業などを行い、放射性同位元素に関する供給から廃棄物処理までの一貫した体制を通して、放射性同位元素の利用者の負担の軽減を図り、放射性同位元素の利用の促進に寄与している。

財団法人放射線利用振興協会においては、放射線利用に関する普及啓発活動、日本原子力研究所の施設を利用した種々の試験照射等を実施している。

表2-5-3 おもな非密封アイソトープの供給量の推移（平成16年3月末現在）

（単位：MBq）

年度 核種	平成11年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年
³ H	637,298	790,134	788,760	736,208	471,123
¹⁴ C	247,069	338,516	388,553	299,729	298,153
²² Na	556	348	442	592	289
³² P	906,671	785,449	689,457	654,959	505,918
³³ P	33,194	41,214	43,005	41,946	39,063
³⁵ S	353,196	309,022	302,653	284,505	259,805
⁴⁵ Ca	6,142	5,291	6,858	6,327	3,737
⁴⁶ Sc	19	21	-	-	-
⁵¹ Cr	138,715	125,774	112,596	113,658	100,724
⁵⁴ Mn	370	307	122	226	189
⁵⁵ Fe	633	222	1,077	814	703
⁵⁷ Co	1,138	1,018	430	339	296
⁵⁹ Fe	13,168	12,964	12,455	10,166	13,376
⁶⁰ Co	390	136	124	196	341
⁶³ Ni	593,000	185,563	725,776	259,872	482,057
⁶⁴ Cu	37	259	37	-	-
⁶⁵ Zn	308	493	208	85	160

(単位：MBq)

年度 核種	平成11年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年
⁶⁷ Ga	592	666	666	999	925
⁶⁸ Ge	2,146	1,591	1,850	1,887	1,295
⁷⁵ Se	542	376	189	341	112
⁸⁵ Kr	174,265	152,831	190,919	201,658	333,740
⁸⁵ Sr	569	474	191	185	557
⁸⁶ Rb	2,414	2,812	5,032	8,732	5,550
^{95m} Tc	40	-	-	-	-
⁹⁹ Mo	108,228	120,363	216,820	101,972	142,450
^{99m} Tc	52,403	24,901	27,779	49,287	28,083
⁹⁹ Tc	1,112	4	2	2	104
¹⁰³ Ru	154	111	189	-	74
¹⁰⁹ Cd	185	593	48	899	267
¹¹¹ In	1,961	2,335	3,700	2,664	2,257
¹¹³ Sn	74	93	23	4	24
¹²³ I	1,443	444	5,772	5,852	7,670
¹²⁵ I	613,342	577,111	314,476	324,763	271,854
¹³¹ I	72,287	60,395	71,893	120,012	133,036
¹³³ Xe	2,800	2,800	4,050	3,600	2,000
¹³⁷ Cs	1,545	1,693	915	21	600
¹⁴¹ Ce	130	130	148	74	167
¹⁴⁷ Pm	3,142	2,220	2,960	6,660	-
²⁰¹ Tl	1,480	1,221	999	4,625	2,368
²⁰³ Hg	37	37	-	-	4
²⁰⁴ Tl	185	-	370	-	370

注) 100MBq以下の核種については省略した。

(出典：放射線利用統計 2004年)

表2-5-4 発生装置の使用許可台数(平成16年3月末現在)

装置の種類	機関	総数(構成比)	医療機関	教育機関	研究機関	民間企業	その他の機関
総数 (構成比%)		1,214 (100)	867 (71.4)	67 (5.5)	123 (10.1)	130 (10.7)	27 (2.2)
サイクロトロン		109 (9.0)	62	1	16	29	1
シンクロトロン		28 (2.3)	3	5	17	3	-
シンクロサイクロトロン		- (-)	-	-	-	-	-
直線加速装置		906 (74.3)	777	16	33	57	23
ベータトロン		0 (0.1)	1	-	-	-	-
ファン・デ・グラーフ 加速装置		40 (3.3)	-	16	23	-	1
コッククロフト・ワルトン 加速装置		81 (6.7)	-	24	23	32	2
変圧器型加速装置		17 (1.4)	-	1	9	7	-
マイクロトロン		31 (2.6)	24	4	1	2	-
プラズマ発生装置		1 (0.1)	-	-	1	-	-

(出典：放射線利用統計 2004年)