

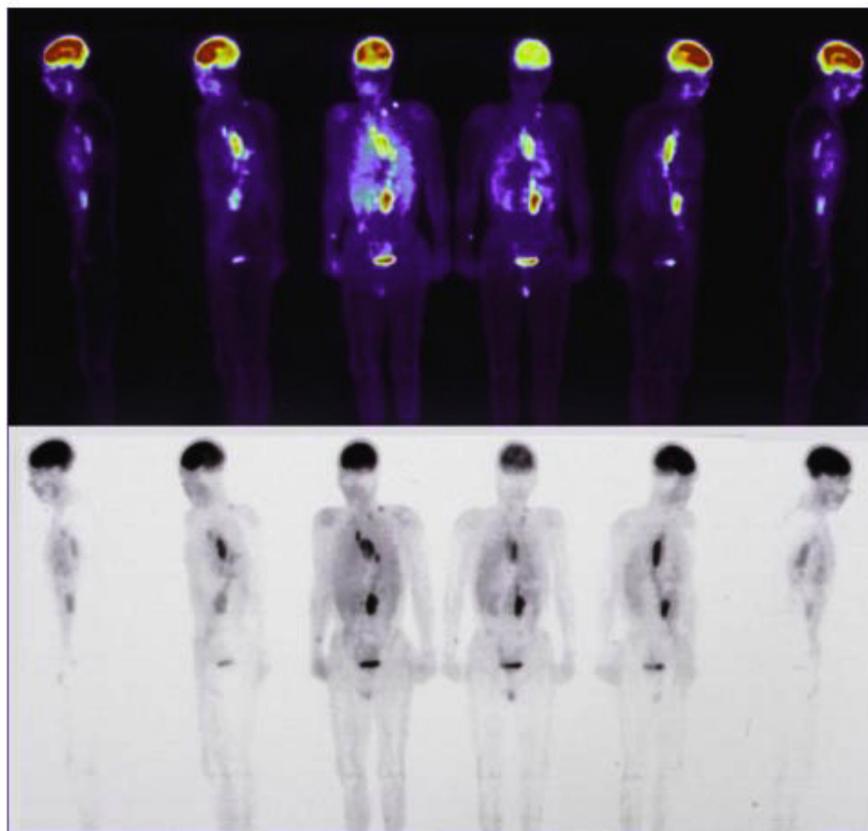
2. よりよい暮らしに役立ち社会に活力を与える放射線利用

(1) 国民の健康維持（医学利用）

意義

放射線は、がんをはじめ心臓病、脳血管疾患、痲ほうなど、様々な疾患の診断やがんなどの治療に使われています。放射線を用いた診断は、X線撮影を含め広く普及しており、放射線診断なくしては、臨床医学は成り立たないのが現状です。更に、R Iを用いた核医学検査やP E Tでは、組織や臓器の機能を観察でき、全身のがんの転移巣を検出するなどの診断が可能です。放射線によるがんの治療は手術や化学療法などに比べ、患者に与える苦痛が少なく（侵襲性が低く）、また治療後も治療前と余り変わらない生活ができるなどQ O Lを高めることのできる方法です。根治治療にも姑息（対症）療法にも用いられ、手術や化学療法などの

図12 FDG-PETの全身像



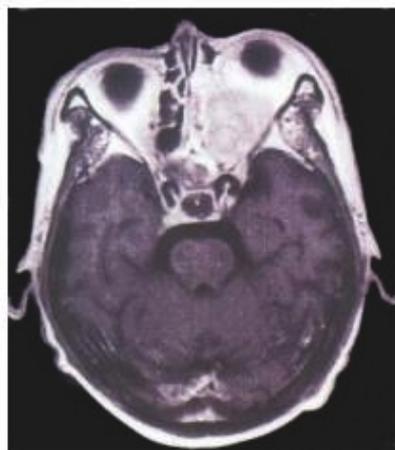
悪性リンパ腫症例で、頸部、縦隔部及び腹腔に強いFDG（フッ素18-フルオロデオキシグルコース）集積が描出されており、それが病巣の場所を示しています。脳と尿路系の集積は生理的集積です。

治療法が制限されている合併症患者や高齢者にも適応できる利点があります。また、放射性医薬品の内用療法が甲状腺がんの全身転移の治療や骨転移疼痛緩和に用いられ、後者の例では、鎮痛効果が長期間持続することにより、患者の療養状態を改善することができます。

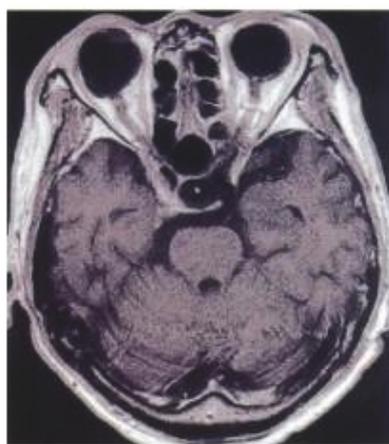
利用の現状

放射線診断や治療は技術革新が急速に進んでいる分野です。放射線診断は、CTなどの形態診断と、PETなどの機能診断に分けられますが、例えば、3次元CTの研究開発により、微小がんの検出や、内視鏡を用いない血管内部の診断が実現しつつあります。更に、診断技術を応用した治療であるIVR（インターベンショナルラジオグラフィ；画像診断的介入治療）は、がんや循環器疾患などに対し非侵襲的治療を可能にし、21世紀の非侵襲的な治療の一つと期待されています。治療では、従来の放射線治療を一層高度化した定位放射線照射など、がんを殺傷する力が強く、がんの集中性が高い粒子線治療などが開発されています。今後は、分子レベルの診断と治療など、分子生物学、物理工学、情報科学などの技術を学際的に導入することで、放射線医学の飛躍的な進歩が期待されています。

図13 炭素イオンを用いたがん治療の例



治療前



治療後

高速の炭素イオンを用いて頭頸部の腫瘍の治療を行った例を示します。上の2枚の写真は、治療前後の磁気共鳴映像法(MRI)による断層写真です。左の写真が治療前、右の写真が治療後6ヶ月経過したときの様子を示しています。治療前の右目後ろの腫瘍組織は、治療後の断層像では消失しているのがわかります。

我が国の放射線診療の現場には、放射線治療医、医学物理士や薬剤師などの従

事者が非常に少ないという現状があります。これは診断・治療技術や放射性医薬品の開発、基礎研究などの阻害要因の一つと考えられています。またR I供給の海外依存度が高いことや新規放射線医薬品の開発力が弱いなどのために、R Iを用いた診断・治療の技術開発は海外主要国から遅れつつあります。さらに、放射線治療機器の国内メーカーの開発力や国際競争力が弱体化しつつあるということも見過ごせません。

新しい放射性医薬品開発や診断技術、治療法の研究開発、臨床試験などは複雑な法体系の下で規制されており、これにより、現場では複雑な手続きが必要であり、一元化を求める声もあります。最近、科学技術庁と厚生省を中心に、医療現場の実態に即した合理的な法規制を目指した見直しが進められています。

放射線診断や治療において重要な役割をするR Iは放射性医薬品として使用されます。短寿命の炭素-11 ($C-11$; 半減期20分) やテクネチウム-99 ($Tc-99m$; 半減期6時間) がその代表例です。特に、 $Tc-99m$ は核医学検査の80%以上に用いられ、原料のモリブデンの多くはカナダから輸入しています。しかし、過去、出荷先の事情で供給停止に陥るなど、不安定な供給体制にあります。また、PET用の短寿命の医薬品は製造装置のある病院などで、主にサイクロトロンを用いて調製(院内調製)されますが、他施設への供給が法規制上できないため、PETを実施できる施設に限られています。このような一方通行的な供給体制から、供給体制の複線化や院内製剤の周辺施設への供給など、安定的、効率的供給を目指す必要があります。

一方、R Iを利用する場合、廃棄物処理処分の制約があります。短半減期R Iは短時間のうちに、事実上放射能は無視できるレベルまで下がるため、短半減期R Iに関する廃棄物の規制を検討することが必要です。

我が国では、放射線治療を実際に受けている患者は、全適応症例の15から20%で、これは欧米の約50%に比べかなり少ないという見方があります。この理由の一つには、放射線治療について医療従事者が患者に正しく説明していなかったり、患者も正しく評価していないことが考えられます。このような状況を改めるには、情報公開や医療従事者を含めた国民の教育、啓発が必要です。

今後の展開

最近、医療は、患者に苦痛を与えない診断・治療法の研究開発を重視しており、放射線治療や診断はその方向に合致します。放射線治療の適応範囲の拡大のためには、下記の事項が重要です。

- 1) 医療用電子線形加速器(リニアック)や医療用線源などの従来技術の次世代化
- 2) 特定組織に集中性の良い放射性医薬品の開発
- 3) 粒子線治療の普及のための大型加速器や原子炉の活用

4)放射光やレーザーなどの非電離放射線の利用によるより非侵襲的診断技術の開発

このような方向に向けて、放射線医学の研究基盤の強化や、生物学や物理・化学、情報科学などを含めた学際的な研究を集中的に行うことで、新たな診断・治療技術の効率的な研究開発を推進する必要があります。また、より多くの国民が、このような先端技術を利用した質の高い診断や治療を受けられるよう施設や設備、診療体制の整備が必要です。

(2) 食品衛生の確保と食料の損失防止(食品照射)

食品照射の意義

世界の食料の約4分の1が収穫後に失われており、衛生的で食中毒の心配のない食品を安定に供給することは我が国のみならず世界共通の願いです。食品の保存や衛生のために様々な殺菌技術や貯蔵技術が開発されてきました。代表的な殺菌方法には加熱やくん蒸、紫外線、食品添加物としての保存料、殺菌剤の使用などが、また、貯蔵方法には冷蔵・冷凍、凍結乾燥などがあります。しかし、加熱法は品質が変化したり、生鮮食料品や冷蔵・冷凍食品の処理には適さないなどの難点があります。くん蒸処理には臭化メチルガスが用いられていますが、臭化メチルはオゾン層破壊物質であるため、植物検疫処理を除いて2005年から使用禁止になります。

放射線は、照射線量を調節することにより殺菌や滅菌を行ったり、発芽を遅らせたりする能力を持っており、食品の腐敗防止や保存期間延長、安全で衛生的な食品流通の確保などに役立てることができます。食品照射は、温度上昇が極めて小さいため、食品の栄養成分や味・香りなどへの影響が少なく、生鮮食品や冷蔵・冷凍食品の処理にも利用できます。放射線は透過能力があるため、包装後の製品の状態でも殺菌が可能です。

国内外の食品照射の現状と照射食品の健全性

食品照射は、【表4】に示すように、香辛料、乾燥野菜、生肉などの殺菌、ジャガイモやタマネギなどの発芽防止をはじめとして、殺虫、熟度調整、貯蔵期間延長などのために既に32カ国で広く実用化されています。特に最近では、0157などの病原微生物による食中毒防止対策として、米国やフランスの一部の施設では食肉の殺菌にも利用しています。また、世界的に最も普及している食品照射は、殺菌を目的として香辛料をはじめとする乾燥食品原材料に対して、既に東南アジア諸国を含め20カ国以上の国々で実施されています。このような技術が

導入されるに当たっては、当然のことながら健全性（毒性、栄養学的適格性などを含む概念）が問題となります。

表4 世界の食品照射の現状(国別の照射食品の種類)

| 地域 | 国名 | 照 射 食 品 | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|----------------------------|--------|--------|---------------------------------|-----------------------|-------------|------------------|---|--------|------------------|-------------|
| | | ス パ イ ス | 乾 燥 食 材 ・ 食 品 | タ マ ネ ギ | ジャ ガ イ モ | 薬 味 ・ 調 味 料 | 野 菜 | 果 物 | 食 肉 ・ 冷 凍 食 肉 | 食 肉 加 工 品 | ハ ー ブ | ニ ン ニ ク | 米 | 酵 素 | 冷 凍 食 品 | その他 |
| アジア | 日本 | | | | ● | | | | | | | | | | | |
| | バングラディッシュ | | ● | ● | ● | | | | | | | | | | ● | 豆類 |
| | 中国 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | | | | 穀物、小麦粉 |
| | インド | ● | | ● | ● | | | | | | | | | | | |
| | インドネシア | ● | | | | | | | | | | | ● | | | |
| | イラン | ● | ● | | | | | | | | | | | | | ナッツ類 |
| | イスラエル | ● | ● | | | ● | | | | ● | | | | | | |
| | 大韓民国 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | ● | ● | ● | | ● | | 粟、エビパウダー |
| | マレーシア | ● | ● | | | | | | | ● | | | | | | |
| | タイ | ● | | ● | | | | | | ● | | | | ● | | |
| ベトナム | ● | | | | | | | | | ● | | | | | | |
| 西欧 | ベルギー | ● | ● | | | | | | | ● | | | | ● | エビ | |
| | デンマーク | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| | フィンランド | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| | フランス | ● | ● | | | ● | | ● | ● | | | | | ● | エビ | |
| | ドイツ | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| | ハンガリー | ● | ● | ● | | | | | | | | | | ● | ワインコルク | |
| | イタリア | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| | オランダ | ● | ● | | | | | ● | | | | | | | ● | 卵パウダー |
| | ノルウェー | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| | イギリス | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| 東欧 | クロアチア | ● | ● | | | ● | ● | | | ● | | | | | | |
| | チェコ連邦 | ● | ● | | | | | | | | | | | | | |
| | ポーランド | ● | ● | | | | | | | | | | | | | |
| | ユーゴスラビア | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| 北米 | カナダ | ● | | | | | | | | | | | | | | |
| | アメリカ | ● | | | | | ● | ● | ● | ● | | | | | | |
| 中米 | キューバ | | | ● | ● | | | | | | | | | | | 豆類 |
| | メキシコ | ● | ● | | | | | | | | | | | | | |
| 南米 | アルゼンチン | ● | ● | | | | ● | | | | ● | | | | | 卵製品など |
| | ブラジル | ● | ● | | | | ● | ● | | | | | | | | 穀類 |
| | チリ | ● | ● | ● | ● | ● | | | ● | | | | | | ● | |
| | ペルー | ● | | | | ● | | | | | | | | | | 食品添加剤、動物用飼料 |
| アフリカ | 南アフリカ | ● | ● | | | | ● | ● | | ● | ● | | ● | | 長期保存可能品など | |
| 食品照射実施国の数 | | 31 | 18 | 8 | 7 | 7 | 7 | 4 | 5 | 4 | 8 | 4 | 2 | 4 | 5 | |

出典 「国際食品照射諮問グループ(ICGFI)ホームページ 1999年10月18日現在」 および「ICGFI Workshop on Trade Opportunities for Irradiated Food, Kona, Hawaii, USA, 22-24 May 2000」

照射食品の健全性を確かめるためには、誘導放射能や毒性を持った有害物質の

生成、栄養価への影響、菌相の変化にともなう病原菌の増殖などについて十分に評価を行う必要があります。1960年代から照射食品の健全性を検討する国際的な共同作業が開始され、1980年に開催されたFAO（国連食糧農業機関）、IAEA（国際原子力機関）、WHO（世界保健機関）の合同専門家委員会で10kGy以下の照射食品の健全性が確認されました。1994年にはWHOが再評価を行って健全性を再確認し、1997年には10kGyを越える照射食品についても健全性を確認しました。

一方、我が国では、1967年に原子力委員会が食品照射を原子力特定総合研究の第1号に指定し、照射食品の健全性の検討を開始しました。1974年にはジャガイモへの食品照射が初めて実用化されました。それ以来、毎年1万5千トン程度の照射が北海道士幌農協で行われており、照射されたジャガイモは春先になっても発芽しないため、端境期の価格安定に重要な役割を果たしています。しかし、照射食品の健全性について一部の消費者に不安感があり、以後、国は食品照射の許可について慎重な対応を取っているのが現状です。また、食品照射については、世界的に見るとガンマ線と電子線の2種類が実用化されています。ただ、我が国においては、ジャガイモの照射に用いられているガンマ線源のみが実用化されているのが現状です。医療用具などの放射線滅菌については、品質保証のための管理技術が確立されており、その技術がそのまま食品照射へも適用できることが期待されます。

食品照射による生活への貢献

日本で流通している香辛料の99%は輸入されたものですが、生産国で栽培、収穫、天日乾燥される過程での菌やウイルスの付着は避けられません。香辛料に付着している菌を直接摂取することによる食中毒の可能性は低く、むしろ香辛料を用いた加工食品の製造・流通過程において菌が増殖し腐敗の原因となる可能性があります。

現在、食品衛生法では、加工された食肉製品の成分規格として芽胞菌の規格が定められており、この規格を満たすためには使用する香辛料の芽胞菌量を低減させる必要があります。現在は主に高圧蒸気処理により芽胞菌の低減を図っていますが、香辛料の香味が失われるなど品質上の問題が生じており、これを解決する方法として放射線照射による殺菌法が注目されています。また、付着したウイルスの増殖を抑える効果も期待されています。

また、大腸菌O157によって、米国において何人もの人が亡くなっています。食品を殺菌することができればこのような問題は解決しますが、従来の方法では生の食品の風味を損なうことなく殺菌することは困難です。米国では、1997年、食品医薬品局が科学的データの評価を行い、冷蔵・冷凍の生肉などやひき肉、

ハンバーガーなどの大腸菌O157やサルモネラなどの殺菌のために、健全性を損なうことなく放射線の照射を行うための基準を定めました。また、1999年には、食肉検査を担当する農務省の食品安全検査局が、上記の食肉類の殺菌のために放射線照射を行うことを許可し、これらの肉類に対しても放射線照射による殺菌ができるようになり、一部の施設で試験的に利用が開始されています。

このように世界で食品照射が利用される結果、照射食品の流通が増えることが予想されます。現在、食品衛生法で禁止されている照射食品の輸入を拒むためには、WTO（世界貿易機関）の取り決めによりその有害性を証明する必要があります。

④わかりやすい情報の提供

消費者のアンケートを取ってみると、食生活で安全性に関心を持つ人が多い反面、安定供給への関心は低いことがわかります。しかし、食品の衛生を確保し、食料の損失を防いで安定して供給することが重要なのはいうまでもありません。食品照射に対する様々な意見に共通するキーワードは「安全性」と「情報公開」です。

現在我が国では、照射食品の健全性を示すデータについて見解の相違があり、消費者に不安感を生じさせる原因になっています。また、食品照射が進んでいると見られる米国においても、なお不安感を持つ消費者がいるといわれています。このようなことから、健全性についての情報を提供する公的機関は、一般市民でも理解できるようにデータをわかりやすくかつ科学的に説明すべきです。

また、食品照射が社会に根づいていくためには、照射食品そのものの健全性はもとより食品照射システム全体の健全性に対する理解も必要です。国は、食品照射に対する理解を深めるために必要な啓発を行うとともに、社会ニーズの的確な把握に努めるべきです。その際、食品照射の必要性と便益、他の手法との比較における利点などについてわかりやすい解説と情報提供を行う環境作りが重要です。

今後の課題

国は、食品照射を食品衛生の確保と食料の損失防止の一つの有力な選択肢として位置づけ、今後とも消費者への適切な情報提供に努めるとともに、消費者の利益を確保することを前提として必要な研究開発や実用化のための試験を積極的に行っていく必要があります。とりわけ、食品は体内に直接取り入れられ、人間の健康管理や生活の本質にかかわる重要なものであることから、食品の安全性に関するリスク管理の考え方について、十分な理解がなされることが重要です。また、照射食品の流通の透明性を確保し、消費者による自由な選択を尊重するため、照射食品であることの表示を義務づける必要があります。さらに輸入食品について、

照射食品や照射原料を用いた加工食品を検知する技術の開発にも取り組む必要があります。

また、食品照射の実用化に向けて解決すべき課題の一つに、関係省庁の縦割りの認識の違いがあります。省庁間の連携を密にし、横断的な協調・協力関係を築くべきです。

(3) 食料の安定供給（農業への利用）

植物育種の必要性

21世紀にはアジア地域での大幅な人口増加と高い経済成長に伴う食生活の変化が穀物需要の地域的な不均衡の拡大をもたらすことが予想されます。また、先進国では生産調整、農地拡大の制約、環境問題の顕在化などが食糧の安定供給を制約する要因となることも懸念されています。一方、我が国では米の消費減少と輸入穀物の増加が食糧自給率の低下を招いており、麦や大豆などの国内生産を増大し、食料自給率の向上を図る必要があります。

安定した食料供給を確保するためには、植物の生育に適さない環境下でも高い生産性を維持できる作物、病気や害虫に強い作物や果樹などを安全性を確認しつつ育成する必要があります。

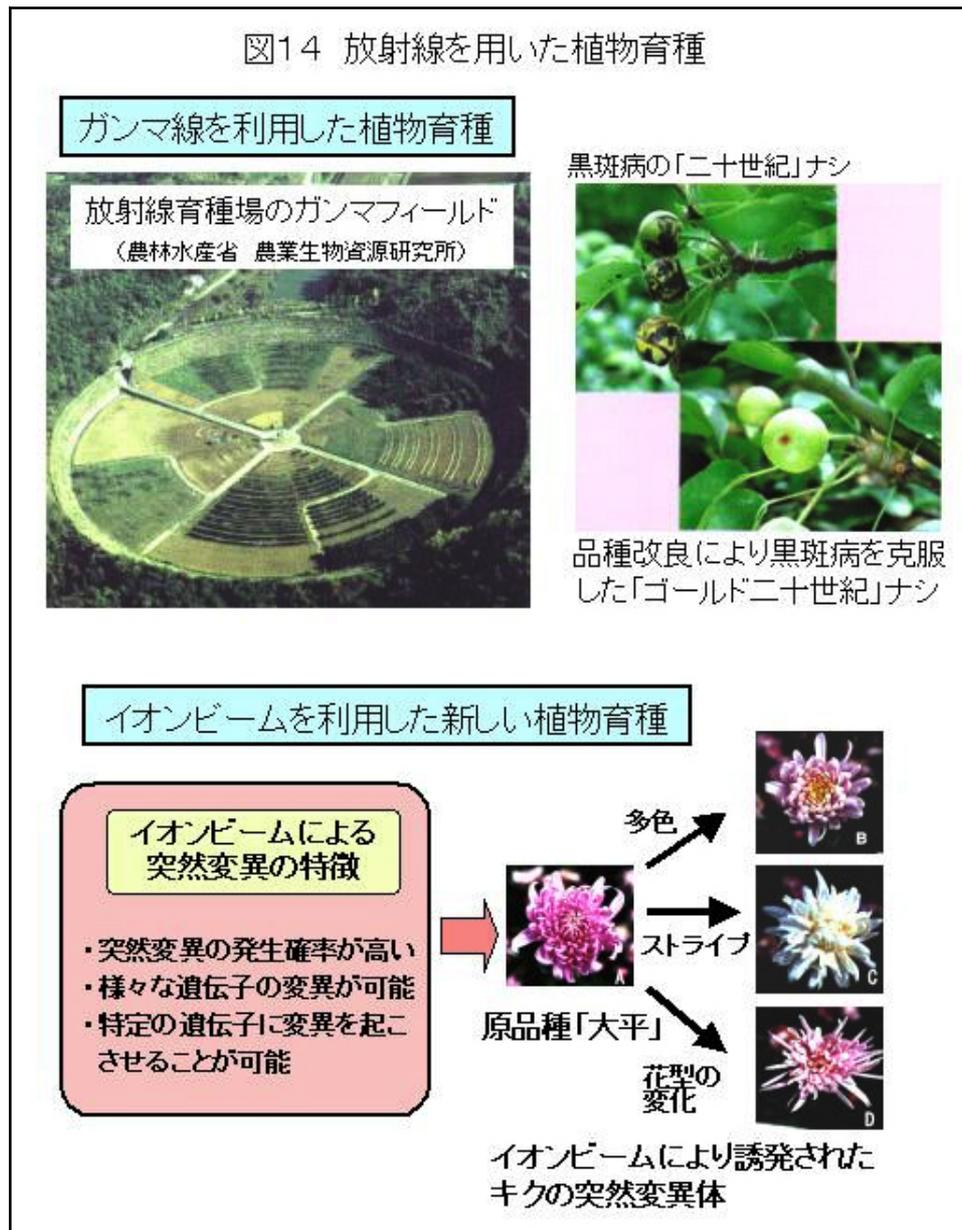
品種改良への放射線の応用

植物育種（品種改良）は、これまでに食料の増産・安定的生産のための改良、生活を豊かにするための観賞用植物の改良などに貢献してきました。植物育種は従来、いわゆるかけあわせと呼ばれる交配育種が中心で、現在までに多くの品種が育成されてきました。交配による植物育種法では、親品種が持つ形質の特性を組み合わせる新しい品種を育成することには適していますが、化学薬剤法や放射線育種法のような親品種が保有しない形質を付与することには不適當でした。化学薬剤を用いる方法は、薬剤自体に発がん性があるものもあり、最近では利用されなくなりました。放射線は、化学薬剤よりも多くの遺伝的変異を起こすことができることなどから、そのうち有用なものを選択し、品種改良の手段として普及してきました。

放射線育種は、作物に放射線を照射することによって、細胞レベルでの突然変異を起こさせ、その中で人類にとって有用なものを選別する方法です。茎が短く風に強く倒れにくいイネの突然変異種「レイメイ」のように付加価値の高い品種を生み出し、新品种として育てていくことが可能です。すでに世界中で1800近い品種が放射線を利用して育成されました。我が国でも、農業生物資源研究所放射線育種場が中心となってガンマ線を用いた品種改良を行っており、我が国の突然変異による品種はこれまでに110品種に達するなど、我が国の農業に大き

く貢献してきました。ナシの「ゴールド二十世紀」は、黒斑病に弱い「二十世紀」を耐病性品種にしたものです。品種改良により、農薬を約半分に減らすことができました。

一方、品種改良のほか、農業分野では放射線やR Iが作物のDNA解析や代謝機能の解明などの有効な手段として利用されています。放射線育種場では、細胞・組織培養とガンマ線照射を組み合わせることにより、キメラ（同一個体中に遺伝子型の異なる組織が共存するもの）から完全な変異個体を作り出す新しい技術



を開発し、栄養繁殖性作物の放射線育種が効率的に行われるようになりました。これにより、キク、エニシダ、トルコギキョウなど数多くの品種が育成されました。

今後の植物育種技術の発展に向けて

近年、我が国は、日本原子力研究所高崎研究所と放射線育種場の協力により世界に先駆けてイオンビームを植物育種に適用し、従来のガンマ線とは異なる形質の突然変異を誘発できることを見いだしました。イオンビームは、電子線やガンマ線に比べて、物質中で局所的に密度の高い励起やイオン化が可能であるため、突然変異を生ずる確率がガンマ線に比べて形質によっては10倍以上も高い場合があります。しかもガンマ線では得にくい突然変異遺伝子を生むことが期待できます。イオンビームを用いた育種により、従来のガンマ線法では作れなかった複色の花のキクや紫外線に強いシロイヌナズナ、病気に強いオオムギなどの新しい植物を育成することができます。

イオンビームは、イオンを打ち込む位置や深さ、ビームのサイズ、イオンの密度などを微細かつ精密に制御することができます。このため、様々な厚さを持つ大きな種子や植物組織、細胞塊への照射が可能となります。これにより、育種の対象は農作物だけでなく、環境汚染物質を浄化する環境浄化植物などの育成に大きく寄与することが期待できます。

今後の展望

我が国は、世界最大級のガンマ線照射場（ガンマフィールド）を所有するとともに、イオンビームによる新しい育種技術を誕生させました。この分野のフロントランナーとして世界をリードしていくためには、放射線の利用による作物のDNA解析や代謝機能の解明を推進し、ガンマ線とイオンビームのそれぞれの特長を活かした育種法の開発を図るべきです。これを通じ、環境保全型の植物資源の育種も視野に入れた幅広い研究の展開が望まれます。また、放射線育種を実施している関係機関の研究交流を深め、研究活動強化を図っていくための研究体制づくりを目指す必要があります。

なお、東南アジア、南米、アフリカなどの諸国では放射線育種を目指した新たなガンマ線照射施設の建設の動きがあり、これらの国々との育種技術開発協力を推進することで、世界的な食料難の解決に貢献することが期待されます。