



「原子カワンポイント」

あなたに伝えたい放射線の話（6）

農業分野における放射線利用－品種改良・害虫の駆除・食品照射－

ここが
ポイント!



- 放射線照射で誘導される遺伝子突然変異を利用すれば品種改良できます。ガンマ線を照射することによって黒斑病に強い「ゴールド二十世紀梨」が誕生しました。
- 害虫駆除の技術の一つに、放射線を当て不妊化したオスの害虫を野外に放して害虫の数を減らすユニークな方法があります。日本では、奄美諸島のウリミバエの根絶に成功しました。
- 食品に放射線を照射すると、発芽防止、殺菌、殺虫等の効果が得られ、保存期間を延長できます。しかし、わが国で認められているのは、唯一、ジャガイモの発芽防止だけです。



「二十世紀梨」



「ゴールド二十世紀梨」

放射線育種によって作られた耐黒斑病の
性質をもつ「ゴールド二十世紀梨」(右)

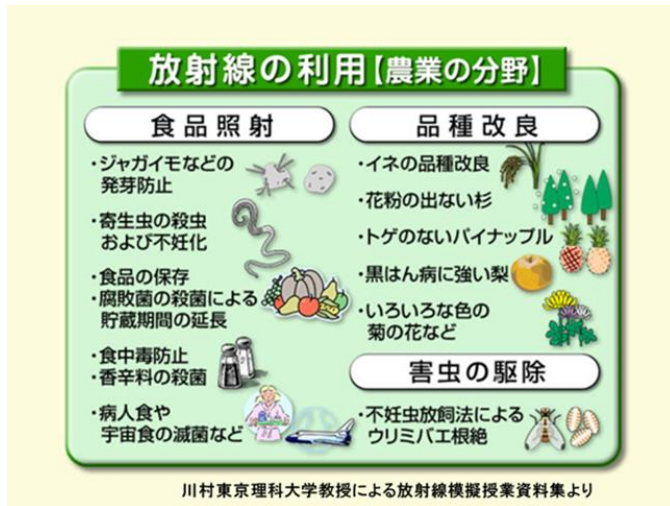
【出典】 放射線育種場 テクニカルニュース、No. 29 (1986)



リケジョさん：農業の分野で放射線はどのように利用されているのですか？



放射線博士：次の図を見てください。農業の分野で放射線は、農作物や家畜の生産性向上のための品種改良（黒斑病に強い梨等）、害虫の駆除（ウリミバエ等）、食品照射（ジャガイモの発芽防止等）などに利用されています。



リケジョさん：たくさんの利用方法があるんですね。それではまず、「品種改良」についてもう少し詳しく教えてください。



放射線博士：「私達が日常的に食べている作物は“遺伝子突然変異”したもの」というと、意外に思う人もいるかもしれません。実は、農業は昔から自然に生じた遺伝子変異というものを利用し、発展してきた営みなのです。なぜなら、野生の植物は、成熟するに伴って「穂」から自然に離れる性質があり、実った種が落下してしまうため、収穫できる割合が少なくなります。そのため人々は昔から、自然界で生じる突然変異によって、「実っても落ち難くなった種」を選抜することによって、品種改良を試みてきました。それが今では放射線を利用して、自然に生じる遺伝子変異よりもさらに変異の頻度を高め、効率的に優れた品種を開発して育成する新しい道を切り開いてきたのです。



リケジョさん：放射線による品種改良を行った例に、どんなものがあるのでしょうか？



放射線博士：先ず最初に紹介するのは、1 ページ目の写真「ゴールド二十世紀梨」の作出です。下の図を見てください。茨城県常陸大宮市にある農業環境技術研究所のガンマ線照射場（ガンマフィールド）の全体図です。半径 100m のガンマフィールドの中央に設置された塔に、 ^{60}Co （コバルト 60）線源ⁱを装備し、ここからガンマ線が「二十世紀梨」へ照射されます



ガンマフィールドの全体図
 (参考: 農水省農業生物資源研究所ホームページ)

ⁱ ^{60}Co （コバルト 60）はコバルトの同位体の一つで、ガンマ線を放出する。このコバルト 60 を放射線源として使用するものをコバルト 60 線源という。なおガンマ線は放射線の一種で、波長の短い電磁波である。

「二十世紀梨」は、非常に良い品質を持ち、青梨（皮が青色系の梨）の主要品種として栽培されてきましたが、梨黒斑病という病気にかかりやすく、それを防ぐために、ガンマ線の照射により突然変異を得る実験が行われたのです。

ガンマフィールドは1962年から照射試験開始、1981年に黒斑病に全くかかっていない一本の枝が発見され、1990年に耐黒斑病の性質を持つ「ゴールド二十世紀梨」が誕生しました。

一方で、放射線として上述のガンマ線ではなく、イオンビームⁱⁱを使って品種改良する技術（以降「イオンビーム育種」という）の開発が、純国産技術として1987年から始まりました（イオンビーム育種の詳細については後段の「解説」を参照ください）。

その一環として、日本原子力研究所高崎研究所（現・量研機構高崎量子応用研究所）は、世界最初の材料・バイオ研究のための専用施設として設置されたイオン照射研究施設“TIARA”を活用し、世界に先駆けてイオンビーム育種技術を確立すると同時に数多くの花卉（かき）ⁱⁱⁱを作出してきました。

下の写真は、愛知県農業総合試験場と共同して創作した華麗な花びらを持つ「かがり弁ギク」です。この品種は、改良前の親ギクに炭素イオンビームを照射して突然変異を誘導して作られ、花卉の先端に複数の突起を生じさせ、花の色も白、赤紫、黄色の3色を発現させた珍しいタイプの花弁となることで注目されました。特に花弁が白の「かがり弁白」は、2018-2019年のジャパンフラワーセレクションで「ベストフラワー（優秀賞）」を受賞しました。

「かがり弁」を持った菊の新品種



左上：「かがり弁黄」 右上：「かがり弁白」
下：「かがり弁赤紫」

（参考：愛知県農業総合試験場資料）



リケジョさん：身近な農産物に放射線が利用されているのですね。それでは次に、「害虫の駆除」についてももう少し詳しく教えてください。



放射線博士： 先ずは一般論ですが、人工的に飼育した害虫のオスの「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、正常なメスの成虫と交尾することはできますが、受精

ⁱⁱイオンビームは電離放射線の一種である。炭素やヘリウムなどのイオンを、サイクロトロンなどの加速器を使って加速した流れである。

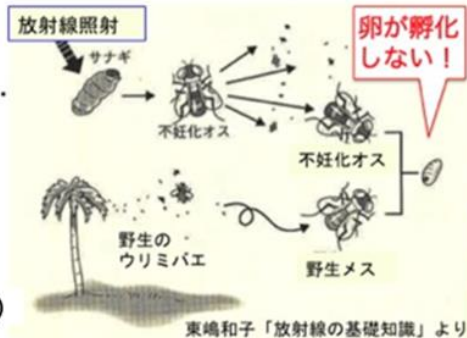
ⁱⁱⁱ 観賞用になるような美しい花をつける植物の総称。

させることができなくなります。このようなオスの成虫を、自然界の害虫集団に継続的に大量に放し飼いとすると、メスが受精能力のあるオスと交尾する機会が少なくなり、受精卵を生む割合が減り、やがて害虫集団の絶滅が期待されます。このような害虫防除方法を「不妊虫放飼法」と呼んでいます（下記の図を参照下さい）。

不妊虫放飼法による沖縄県のウリミバエの根絶

沖縄県本土復帰の前年の1971年、沖縄と奄美で事業開始
ゴーヤ（ニガウリ）などの野菜の本土への出荷が可能に

- ・害虫ウリミバエを大量に飼育し、ガンマ線を照射。
- ・不妊化した蛹を防除対象地域の野外に大量に放ち、
- ・野生のウリミバエ同士の交尾機会を減らし、
- ・野生の個体数を減らし、
- ・島ごとに数年かけて……
1993年、ついに根絶！
- ・新たな侵入に備えて、
今も「放飼」を継続中。



(引用:北陸原子力懇談会資料)



リケジョさん：害虫を直接殺虫するのではなく、交尾を利用するという発想に驚きました。日本で実施した例はあるのでしょうか？



放射線博士：わが国では、上記の図で説明した「不妊虫放飼法」により沖縄県と奄美群島に生息する「ウリミバエ」にコバルト 60 ガンマ線を照射して根絶する事業が、1972 年から行われています。次の図を見てください。

沖縄・奄美のウリミバエ根絶計画



(参考:沖縄県病害虫防除技術センターHP)

1993年にこれらの地域からウリミバエが根絶されたことにより、ゴーヤなど、ウリミバエが寄生する果菜類の移動規制が解除され、県外への出荷ができるようになりました。しかし、沖縄県は常に南方の国々からウリミバエが侵入する危険にさらされているため、現在でも、不妊虫放飼法を用いてウリミバエの侵入・定着の防止を図っています。

海外では、農作物に影響する害虫に限らず、人の健康に関係する害虫についても放射線を利用した除去法が用いられています。IAEA(国際原子力機関)は「ジカ熱」の感染拡大が認められる中南米諸国などに対して、「ジカウイルス」を媒介とする蚊の不妊虫放飼法に関する技術を提供する取り組みを実施しています。



リケジョさん：「害虫駆除」についてもよくわかりました。それでは最後に、「食品照射」についてももう少し詳しく教えて下さい。



放射線博士：殺菌や殺虫、発芽防止のために、食品・農作物への放射線照射を行うことを「食品照射」といい、放射線で処理された食品を「照射食品」と呼びます。食品照射のメリットとして、①温度がほとんど上がらないため、生鮮食品や冷凍食品の処理が可能で、色や香り、栄養素が高品質に保たれる、②薬剤の使用による残留毒性や環境汚染の問題がない、③食品を内部まで均一に処理することが可能で、効果の信頼性が高い、④密封包装後の処理が可能で、微生物や害虫による再汚染を防ぐことができる、ことを挙げることができます。

一方、デメリットとして、①コストが高い。実用化されるのは商品価値が高くメリットが大きい場合や、他に有効な手段がない場合に限られる、②許認可手続きの負担が大きい、③食品によって向き不向きがある。食材や照射条件によっては、風味や加工適性が変わることがある、④放射線は、怖いイメージが持たれやすく、誤解・敬遠される恐れがある、ことを挙げることができます。



リケジョさん：どのような食品に対して、放射線照射が行われているのですか？

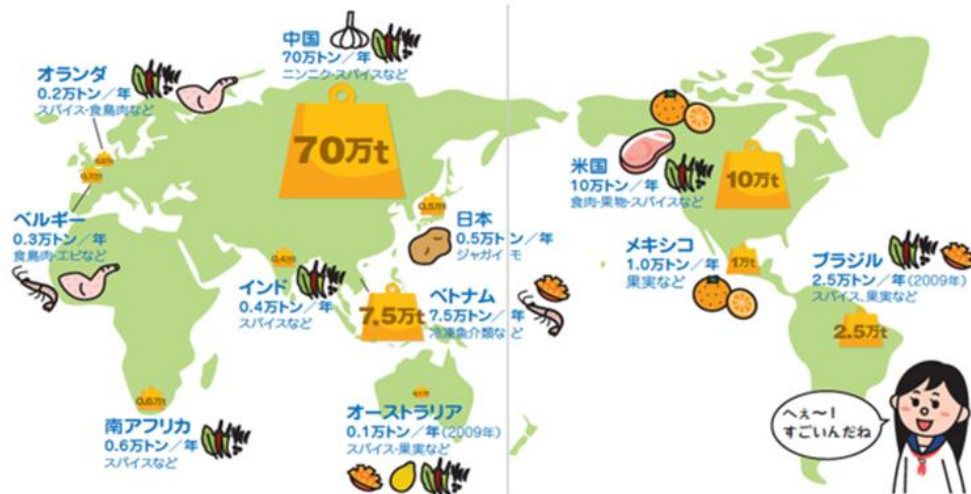


放射線博士：「食品照射」という言葉を聞いて、私は、今から約10年前の2010年、山崎直子宇宙飛行士が宇宙ステーションで、放射線を照射した「スモークターキー」をおいしそうに食べていたのを思い出しました。これも「食品照射」の一例です。宇宙では長期間保存ができないと宇宙食としては使えません。宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、常温で長期間(1年半以上)保留できるようにするために、放射線照射で滅菌処理した食品を用意したのです。

さて、世界における食品照射の情報状況は、国連食糧農業機関(FAO)/国際原子力機関(IAEA)がデータベースにしています。下記の図を見てください。2013年の、世界における食品照射の処理量を整理したものです。約40の国・地域で、合計約100万トンに及ぶ様々な種類の食品照射が行われています。今世界で、最も多くの量の食品照射を実施している国は中国です。

世界で利用されている放射線への食品照射（2013年）

* 2013年の世界における食品照射の処理量は約100万トンと推定されています。



参考:放射線が“食品の衛生や保存の役に立つ”って知ってる？
(日本原子力産業協会 2016年3月)

下記の図を見てください。食品や農作物に使われる線量範囲は、滅菌（すべての有害な微生物を死滅、または除去すること）を必要とする宇宙食や病人食のような特別な場合を除いて、0.15 キログレイ (kGy) ~ 10 キログレイ (kGy) ^{iv} の範囲にあります。

加熱や薬剤と比べた放射線照射のメリット

- 非加熱処理のため、色や香り、栄養素が高品質に保たれる
- 薬剤を使わないので、残留毒性や環境汚染の心配が無い
- 透過力が強く、包装後に内部まで均一に処理できる

食品照射の実用例と必要な線量

1. 芽止め（保存中の発芽防止） ジャガイモ、タマネギ、ニンニク	~0.15kGy
2. 病害虫・寄生虫の殺虫 穀類、熱帯果物、食肉・魚介類、切り花	0.1~1 kGy
3. 病原菌・腐敗菌の殺菌 スパイス・ハーブ類、食肉・魚介類、果実、生薬	~10 kGy
4. 無菌化（滅菌） 宇宙食、病人食、食品容器、無菌動物用飼料	20~50 kGy

(注) 緑色の品目は食品ではないが参考として併記

(引用: 北陸原子力懇談会資料)

ところで、日本で現在、放射線照射が認められているのは、唯一、ジャガイモの芽止めだけです。ジャガイモは、時間が経過すると発芽して食べられなくなってしまいますが、ジャガイモの芽にコバルト 60 ガンマ線を当てることによって発芽を抑えることができますので、ジャガイモを長く保存することが可能となるのです。

^{iv} グレイとは、放射線によって人体をはじめとした物体に与えられたエネルギーを表す単位。子どもが胸部 CT 検査を 1 回受けると、肺の被ばく線量は約 0.25 グレイと言われている。



リケジョさん：ガンマ線を当てると、なぜ、ジャガイモの発芽を抑えることができるのですか？



放射線博士：ガンマ線をジャガイモに照射すると、芽のもとになる細胞（発芽細胞という）の遺伝子を傷つけて芽が出るのを抑えることができます。ガンマ線はジャガイモを透過してしまうので、ジャガイモの中には残りません。ジャガイモは収穫後2~3か月の休眠期間が過ぎると発芽してしまうため、通常は低温貯蔵（2℃前後）しています。しかし、気温が高くなっていく春先はスーパーの店頭などでどうしても発芽してしまうため、ガンマ線を当てて芽が出ないようにしています。芽が出たジャガイモは、ソラニンという有害物質が増えて、食中毒を起こすことがあります。

少し細かい話になりますが、1972年に厚生省（当時）がジャガイモの放射線照射を許可しました。そして、1973年の収穫期から北海道の士幌町にあるコバルト60ガンマ線照射施設で「商業照射」が始まりました。しかし、ガンマ線を照射したジャガイモの近年の出荷量は減少傾向にあるようです。ジャガイモの照射許可の後にわが国では、大規模なボイコット運動が起きましたが、その時に提唱された「放射線は怖い」という言葉の影響が残っているのかもわかりません。その後、国際機関の安全性評価の結論[▽]が出されても、ジャガイモだけではなく、それ以外の照射食品の安全性についても議論が進まず、今日に至っています。

そのような時に次のような記事を目にしました。北海道足寄町（あしよろちょう）教育委員会給食センターから発信された情報（2021年5月26日（水）の給食）です。すなわち、「じゃがいもといえは、十勝では士幌町が有名です。こちらではガンマ線照射で芽止めがされております。発芽を抑えることで長期間栄養を損なわないで保存ができ、品薄になる時期でも鮮度をたもって使用できるのが利点です。『放射線を当てるので心配な声もありますが、放射線は食物には残らないとされております。』そんな士幌産じゃがいもを使用して、今日は辻栄養教諭自慢の給食が提供されました。」

考えさせられますね。



リケジョさん：放射線が農業の分野でも有効に利用されていることがよくわかりました。でも食品照射の実用化については、日本が世界から取り残されているような印象が残ります。消費者理解が難しいと最初からあきらめず、まずは、科学的に安全性をはっきりと確かめて、そのうえで社会的な合意形成をはかる道を探ることも大事なことでないでしょうか。博士、ありがとうございました！

（原産協会 人材育成部）

「解説：イオンビーム育種の特徴」

イオンビームは、TIARA等の大型加速器を用いて、原子核（イオン）を光に近い高速度で加速し、正に電荷したビームを取り出す仕組みです。このビームの透過性は、ガンマ線に比べて低いものの、植物の種子や培養体に照射することにより、突然変異を起こすなどの局所的に大きなエネルギーを与え、また透過深度も調整できるという特徴があります。

[▽] 世界保健機構（WHO）は1980年に「定められた方法で放射線を使用すれば、新たに生成される化学物質による悪影響も、栄養成分の増減も、従来の加工方法と差はない」と結論した。具体的には、「10kGy以下の総平均線量でいかなる食品を照射しても、毒性学的な危害を生じることはない」という結論が出された。

植物への応用では、たとえば、種子に照射して、ある遺伝子のみ突然変異を起こすことが可能であり、従来利用されてきたガンマ線とはひと味違った品種改良の可能性を秘めています。下記の表と図を見てください。キクの品種改良の一例です。

イオンビームとガンマ線におけるキク花色変異スペクトルの比較

変異原	変異体の発生頻度(%)					
	白	薄桃	濃桃	橙	黄	複色/条斑
非照射	0	0.3	0	0	0	0
ガンマ線	0	27.7	2.1	0	0	0
イオンビーム	0.3	4.6	0.3	0.3	0.2	10.2



[出典] S.Nagatomi et al. : JAERI-Review 96-017, 50-52(1997)

日本原子力研究所（現在は量子科学技術研究開発機構）はイオンビームを用いて 1998 年 6 月に、従来のガンマ線の照射では得られなかった「複色」や「斑条（まだらな縞模様）」の新種（かがり弁ギク）を作り出すことに成功しました。ガンマ線では、ほとんどの変異体では淡桃か濃桃への花色変異を示し、しかも大部分が単色でしたが、イオンビーム照射では白、黄、赤紫などに種類が広がり、また同時に一つの花に二色以上が混ざる複色や、花卉にストライプのはいる縞模様タイプの変異体が誘発されることが発見されました。