



鳥居 寛之
小豆川勝見
渡辺雄一郎
著

中川 恵一
執筆協力

科学的に
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

「放射線を科学的に理解する

— 基礎からわかる東大教養の講義 —

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著

中川恵一 執筆協力

丸善出版

本体 2500円+税

- 1章 放射線とは? 《放射線入門》
 - 2章 放射線の性質 《放射線物理学 I》
 - 3章 原子力発電で生み出される放射性物質
《原子核物理学・原子力工学》
 - 4章 放射線量の評価 《放射線物理学 II》
 - 5章 放射線の測り方 《放射線計測学》
 - 6章 環境中での放射性物質 《環境放射化学》
 - 7章 放射線の細胞への影響 《放射線生物学》
 - 8章 放射線の人体への影響 《放射線医学》
 - 9章 放射性物質と農業 《植物栄養学・土壤肥料学》
 - 10章 放射線の防護と安全 《放射線防護学》
 - 11章 役に立つ放射線 《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会は非常に少ないのが実情です。

本書は東京大学教養学部で行われた講義をもとに、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと願っています。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kn.html>

2013年度冬学期 主題科目テーマ講義

放射線

を

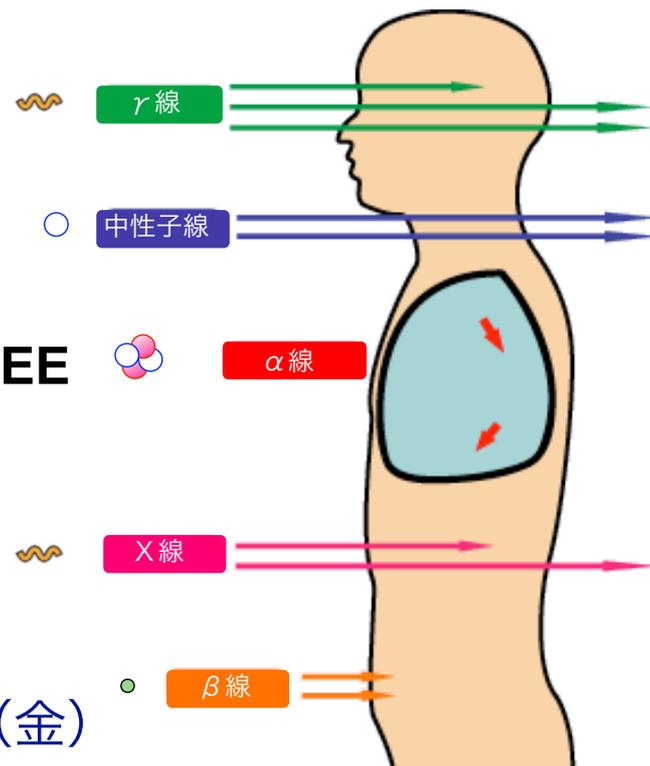
科学的に
理解する

金曜5限

@ 21 KOMCEE

K303教室

2014 / 1 / 24 (金)



第12回

放射線の利用

育種、滅菌、工学応用など

渡邊 雄一郎

東京大学 教養学部 / 大学院総合文化研究科

放射線を科学的に理解する

- 10/11 放射線入門 【鳥居】
- 10/18 放射線物理学 【鳥居】
- 10/25 放射線計測学 【小豆川】
- 11/ 1 放射線物理・化学 【鳥居】
- 11/ 8 放射線生物学 【渡邊】
- 11/15 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 11/29 原子核物理学・原子力工学 【鳥居】
- 12/ 6 環境放射化学 【小豆川】
- 12/13 環境放射化学 【小豆川】
- 12/20 放射線防護学 【飯本】
- 1/10 植物栄養・肥料学 【藤原】
- 1/24 放射線の利用 【渡邊】
- 1/27 加速器科学・まとめ 【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

坪倉 正治 《医科学研究所》

飯本 武志 《環境安全本部》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

2014年1月24日

放射線を科学的に理解する

放射線の利用

教養学部 統合自然科学科

総合文化研究科 生命環境科学系

渡邊雄一郎

番外編: **Cs**の生命科学での貢献

ただし(当然ですが) cold Cesium !

DNAの 半保存的複製

非放射性的の
Cs(セシウム)塩が用いられて
証明された

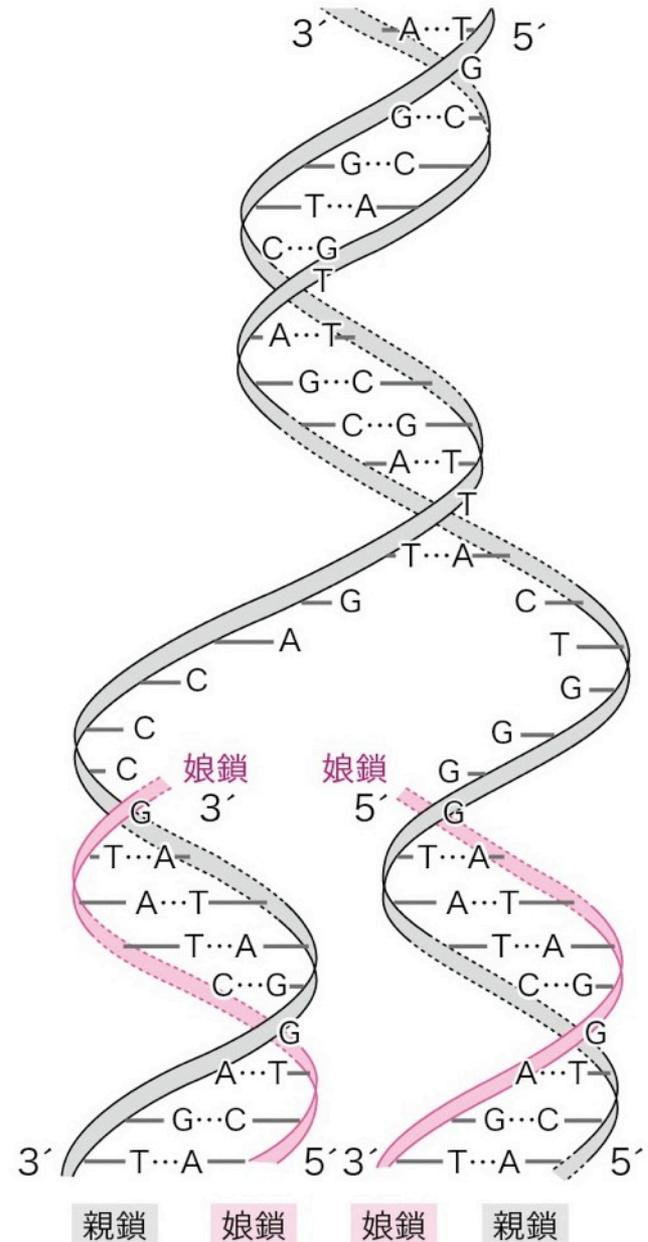
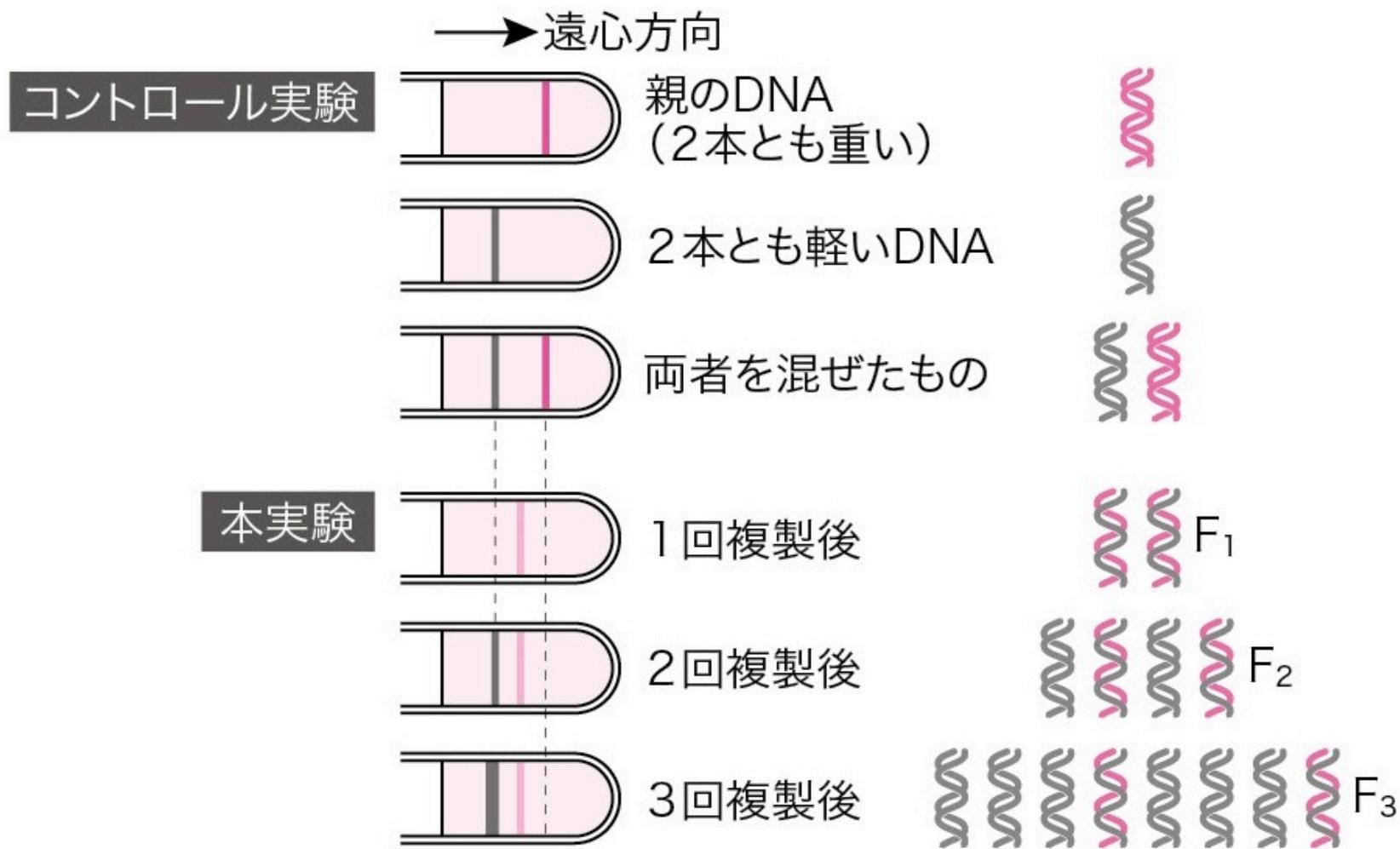
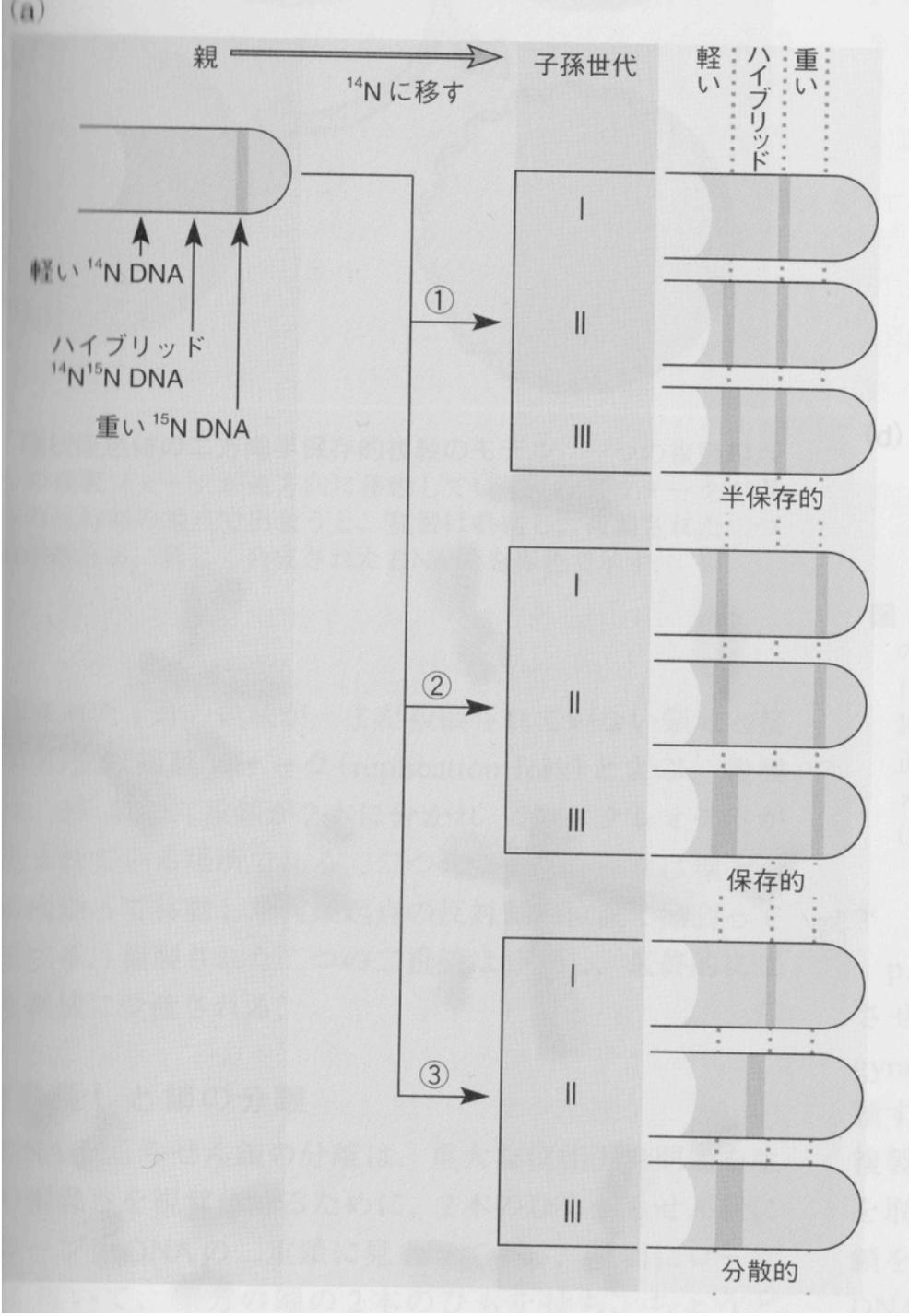


図5-5 鋳型を使った半保存的複製

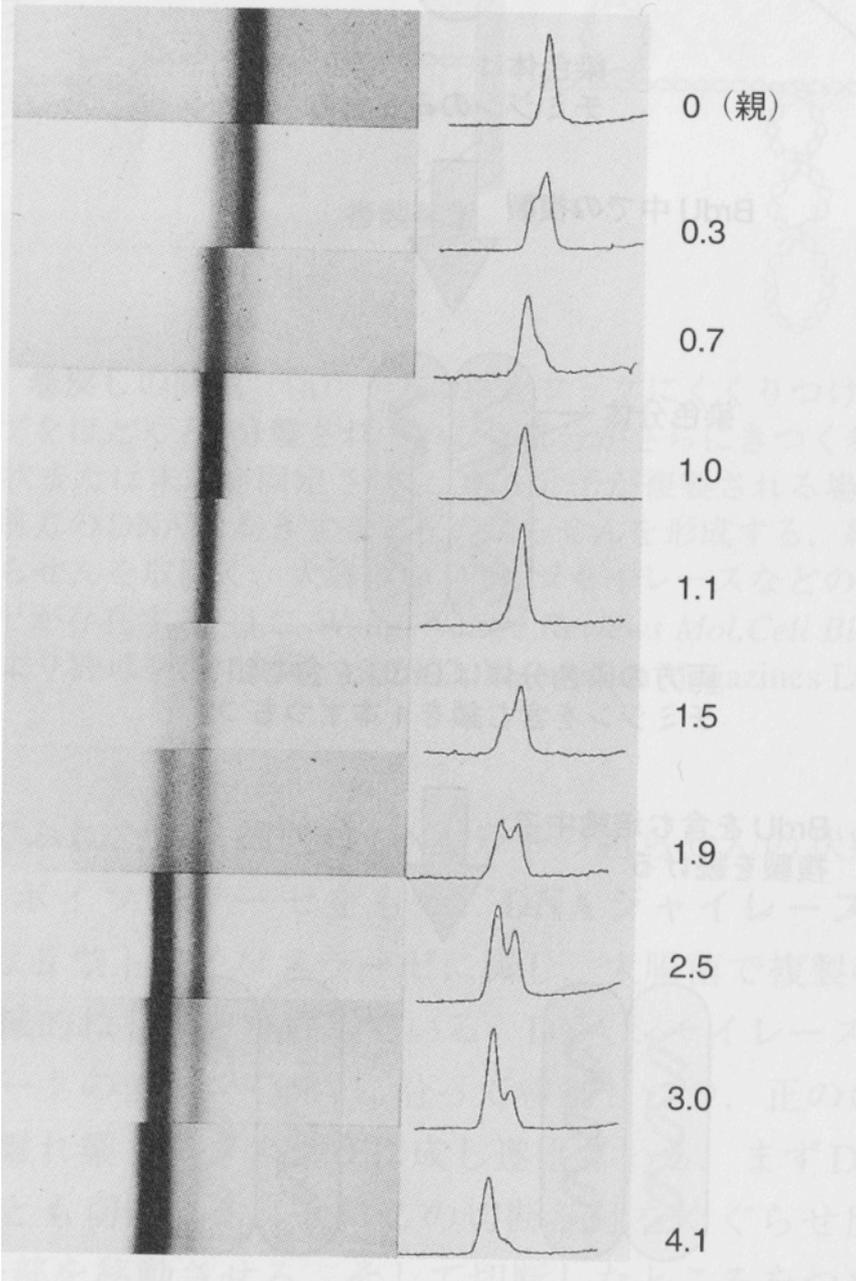


コラム図5-1 半保存的複製を証明したメセルソンとスタールの実験

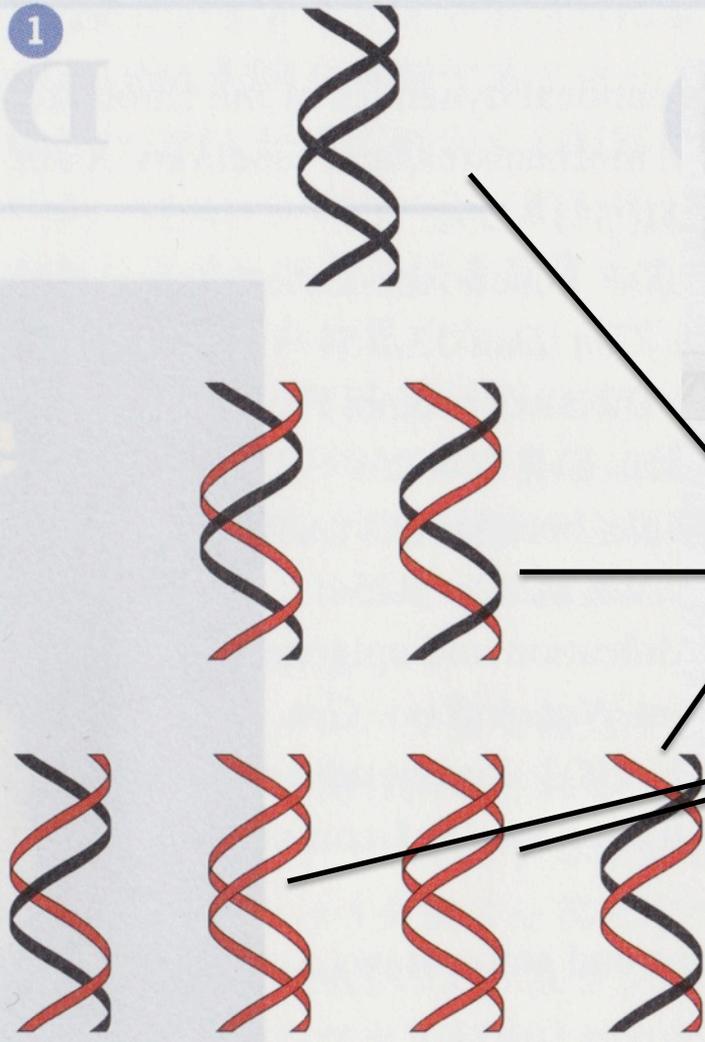


(b)

子孫世代

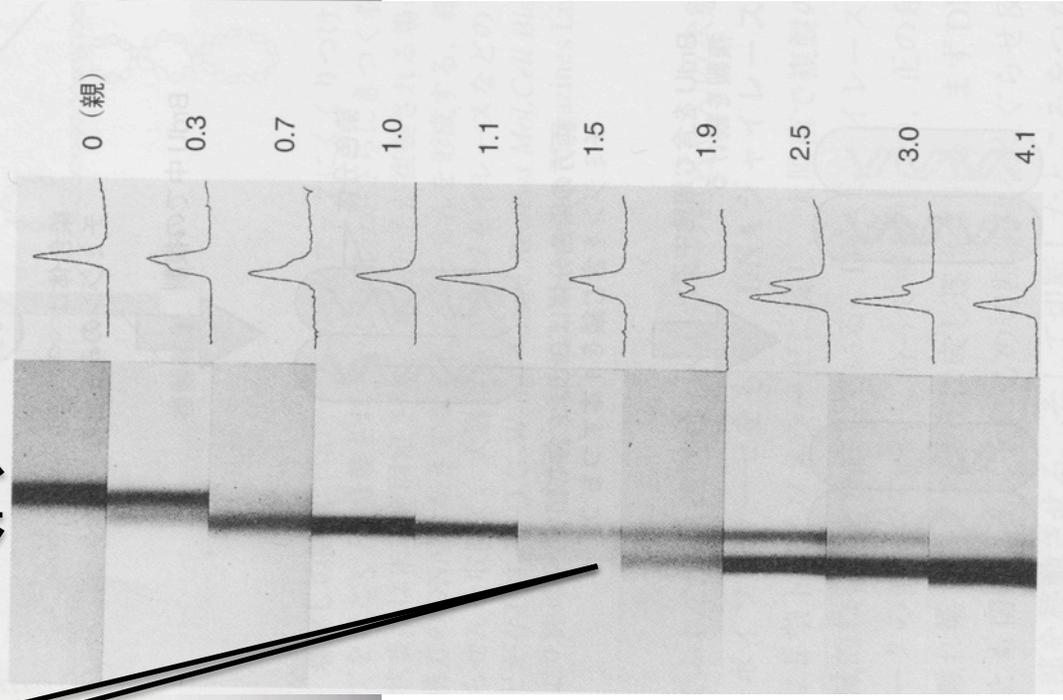


1



半保存的複製

子孫世代



(b)

2 世代め
子孫の DNA 分子

京都大学原子炉実験所

コバルト60ガンマ線照射装置

Co-60 Gamma-ray Irradiation Facility

[ガンマ線照射装置ホームページ](#) 

本装置は、地下の線源格納容器内に格納されたコバルト60ガンマ線源を遠隔操作で床上まで押し上げることによってガンマ線照射を行う、いわゆる押し上式のガンマ線照射装置である。2008年2月に線源の更新が行われ、本装置で使用できる最大放射能強度414 TBqのコバルト60線源が装填された。2010年4月1日現在、最高線量率27 kGy/hでの照射が可能となっており、効率的な照射実験を行うことができるようになった。照射室は30 m²程度の面積を有しており、広範な線量率で、多様な種類、大きさ、形状の対象物に対してガンマ線の照射を行うことができる。また、種々の寒剤を利用した低温での照射や、実験の目的に応じた装置を搬入した上での特殊な照射を行うことも可能である。

照射室に隣接して電子スピン共鳴測定装置及び自記分光光度計が設置された測定室が設けられており、照射直後の試料に対する各種の測定が可能となっている。また、照射室と測定室の間には湾曲した貫通孔があり、各種のケーブルを通すことで、実験データの収集や照射中の実験装置のコントロールが可能である。線源の遠隔操作を行う操作室と照射室の間には鉛ガラス製の窓が設けられており、照射の様子を目視で確認することができる。

本装置を利用して、物理学、化学、生物学、地学、工学、医学など幅広い分野における研究が行われており、純粋なガンマ線の照射を行う実験設備として他の実験設備を補完する役割を担っている。



コバルト60ガンマ線照射装置

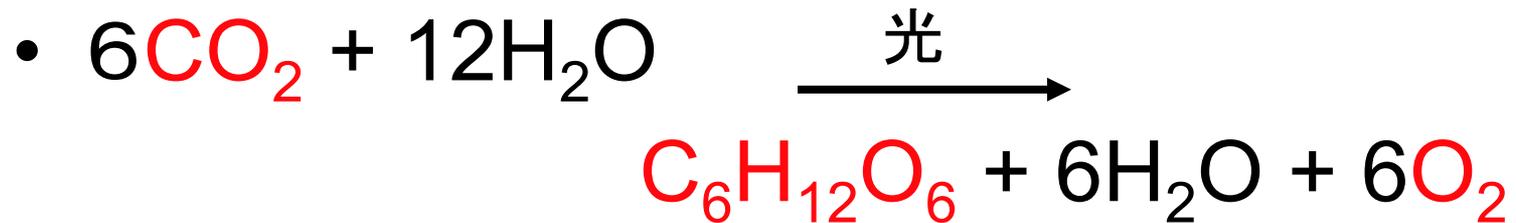
生命科学で頻用される放射性同位元素

同位体	半減期
^{32}P DNA, RNA	14 日
^{131}I チロキシン、タンパク質のチロシン残基	8.1 日
^{35}S タンパク質のメチオニン、システイン残基	87 日
^{14}C 有機化合物全般	5570 年 5730年
^{45}Ca 細胞内のシグナル伝達物質(イオン)	164 日

^3H 別名トリチウム(三重水素) 化合物全般

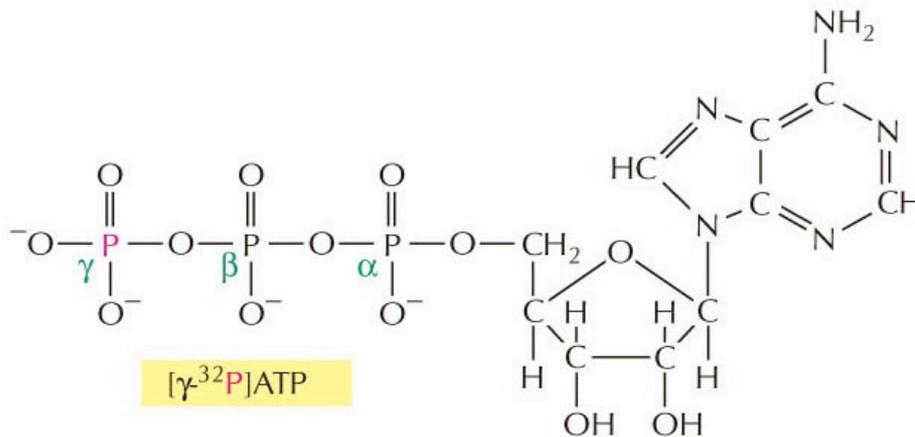
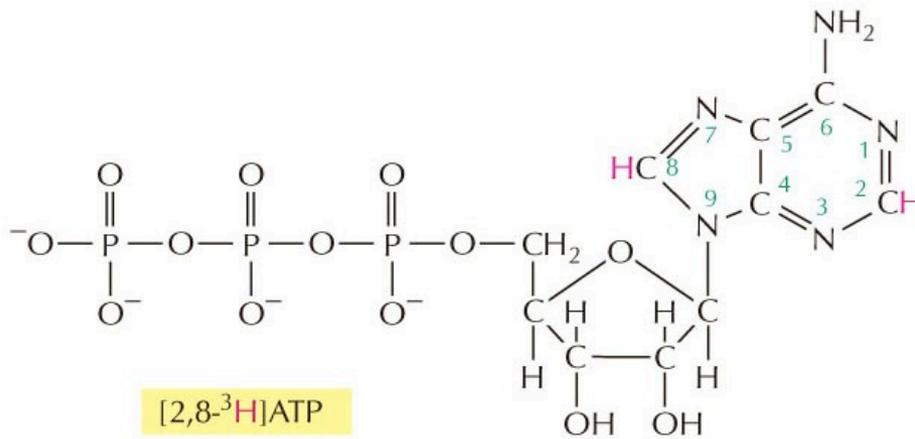
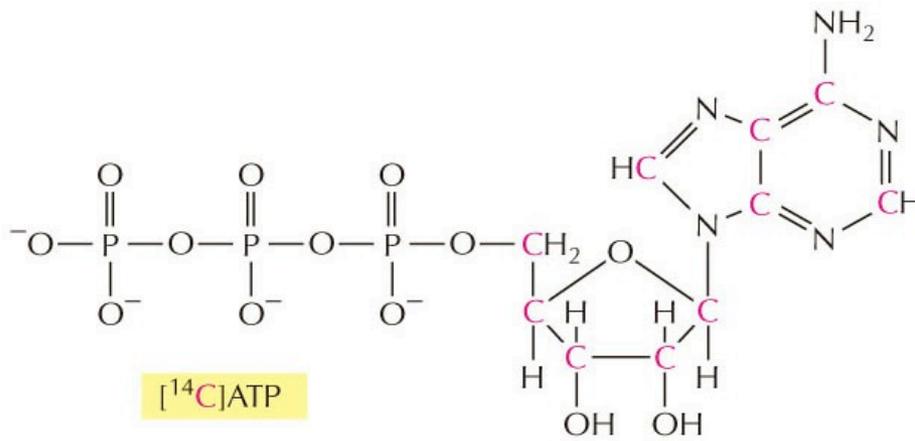
12.32年

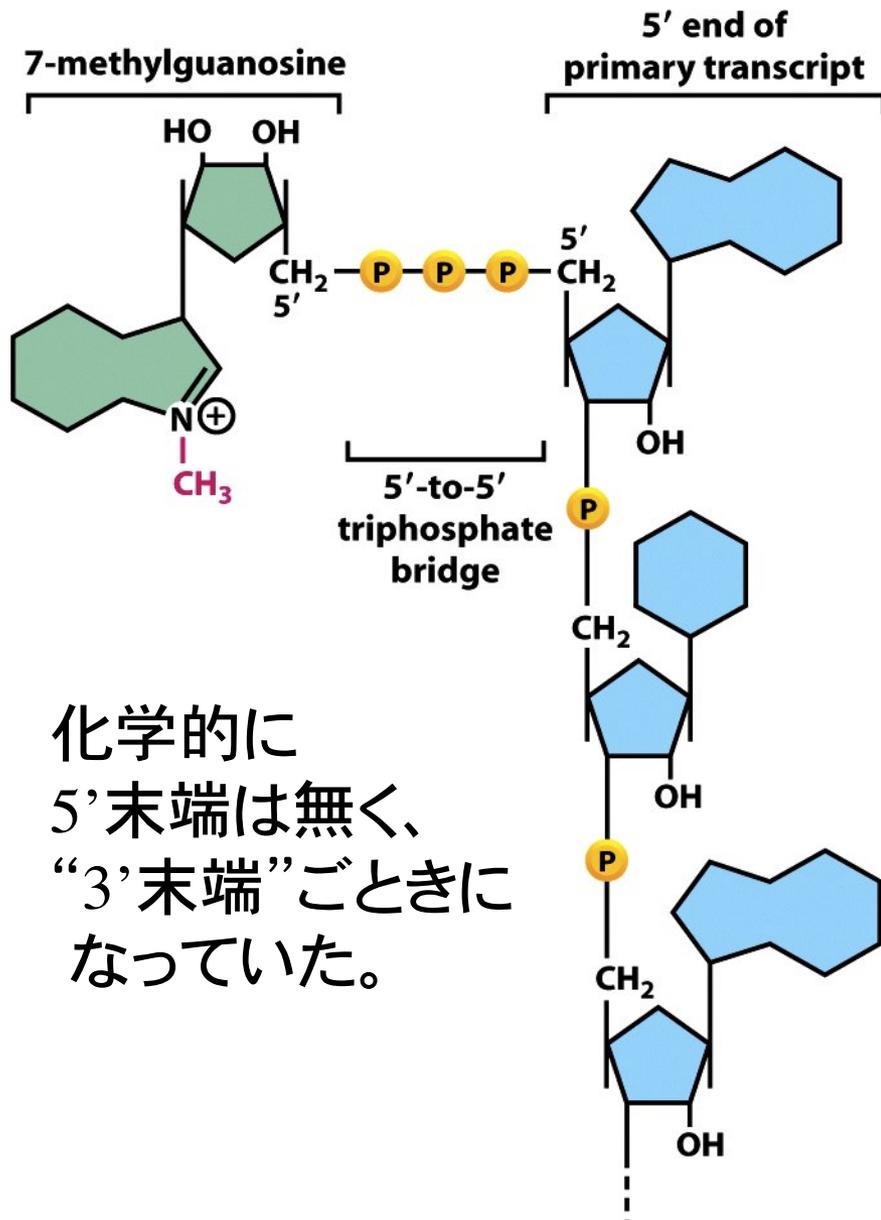
光合成の収支



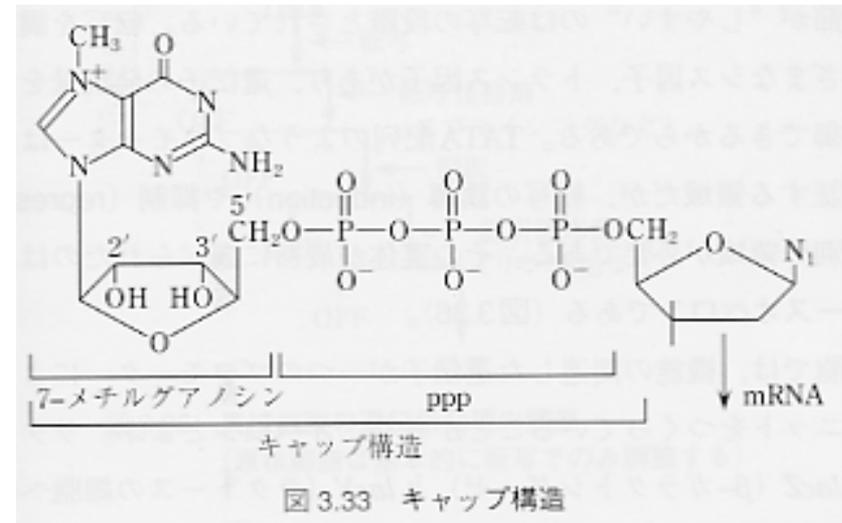
Calvin & Benson らの研究

RIのはいった 位置を 特定した表示





キャップ構造

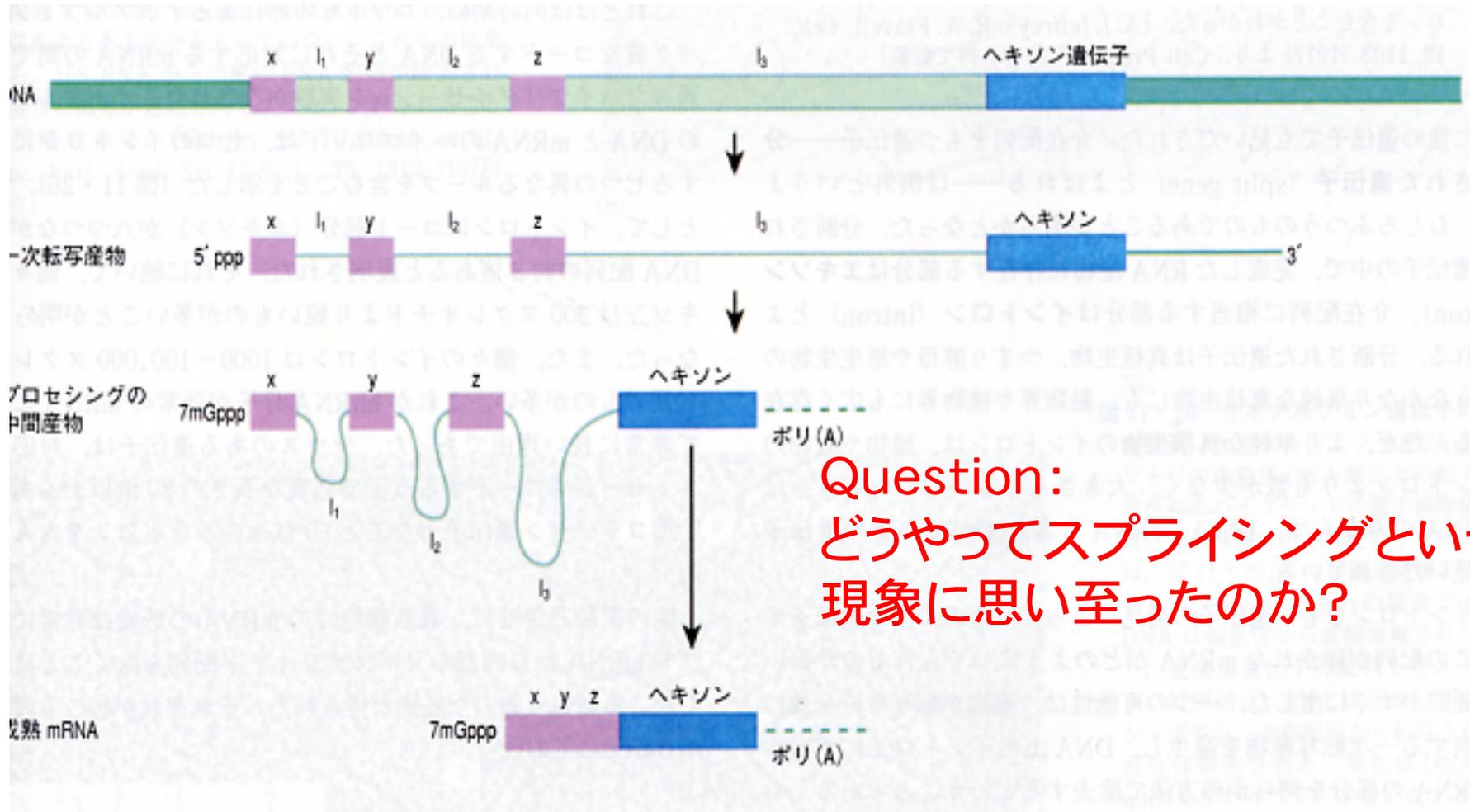


化学的に
5'末端は無く、
“3'末端”ごときに
なっていた。

Question: この構造もどのようにして
できたのだろう

古典的な 裸の5'末端の塩基を決定する試みは失敗した。

アデノウイルスRNAのスプライシング

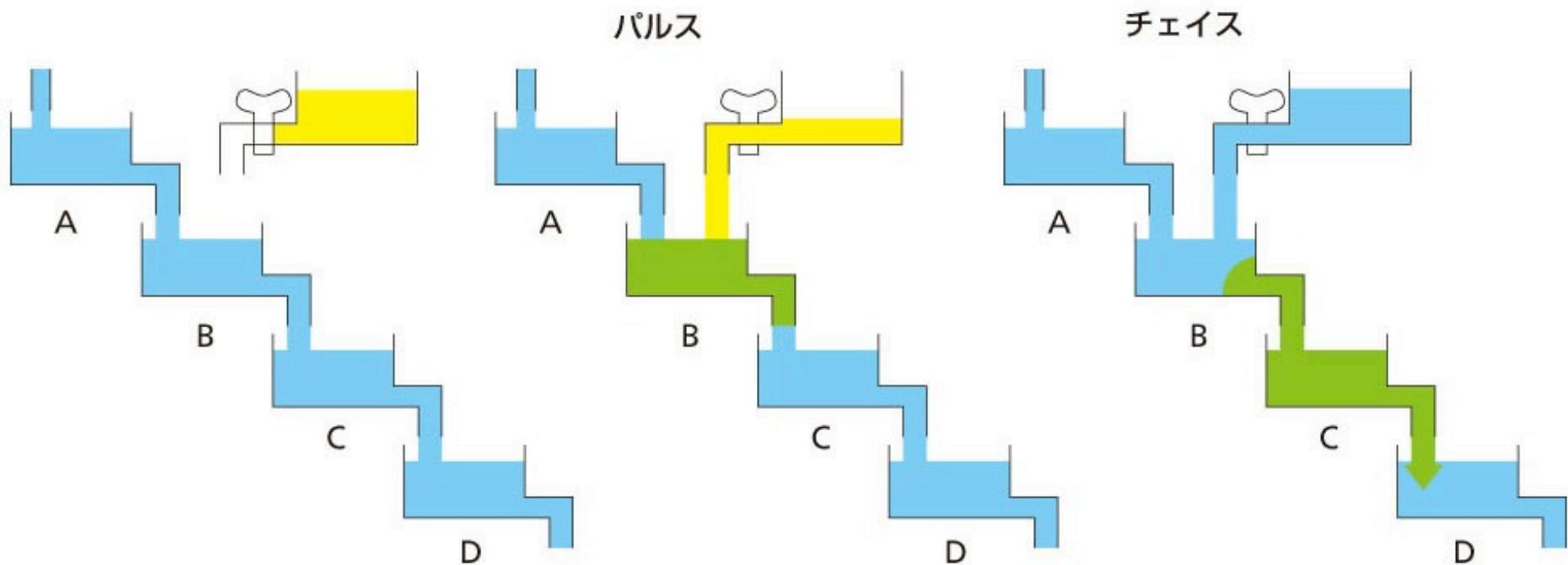


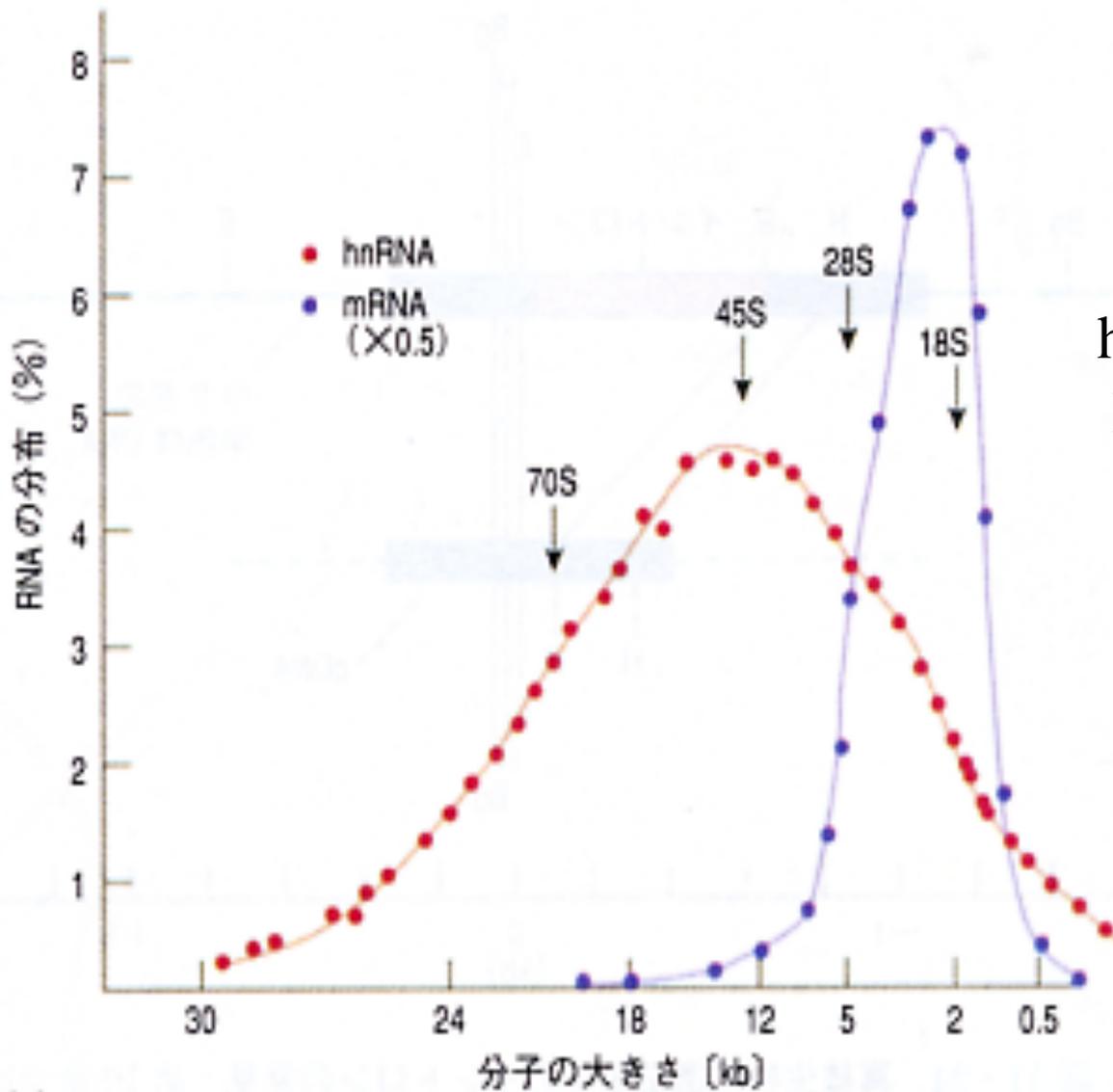
Question:
どうやってスプライシングという現象に思い至ったのか?

連続的な変化が起こっている現象から 素反応を知る

Molecular Biology of THE CELL 5th Edition

©2010 Newton Press / ©2008 Garland Science





hnRNA:
heterogeneous
nuclear RNA
ヘテロ核RNA

(c)

長い前駆体 → 成熟したmRNAは長い前駆体からできるらしい。

年代測定

写真8.10.1 測定試料として使われた弥生式土器



[出典] 日本原子力文化振興財団

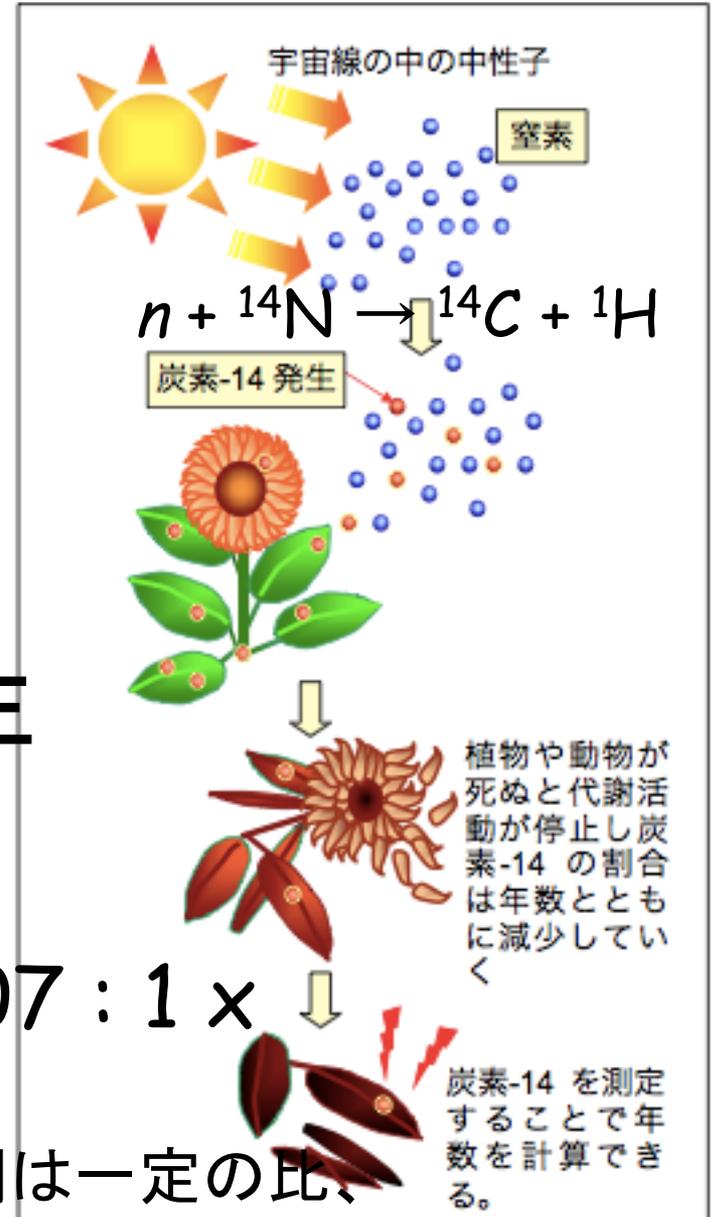
図8.10.1 放射線炭素年代測定法の原理

時間とともに減衰する性質を利用した年代測定

^{14}C 半減期5730年

$^{12}\text{C} : ^{13}\text{C} : ^{14}\text{C} = 0.983 : 0.0107 : 1 \times 10^{-12}$

これが生きている物質循環をしている間は一定の比、死んだときから ^{14}C の減衰が始まる。



放射線利用の事例集

平成18年3月11日
原子力委員会
市民参加懇談会

表 8.7.1 高分子材料の放射線による改良の産業化

製 品	原 料
耐熱電線	PE、ポリ塩化ビニル
熱収縮性チューブ	PE
自動車用タイヤ	天然ゴム、合成ゴム
電池用隔膜	PE-アクリル酸
発砲ポリエチレン	PE
自動車用プラスチック部品	ナイロン、ポリウレタン
表面塗装	各種プレポリマー
金属、セラミック複合材	炭化ケイ素繊維
創傷被覆材	ポリビニルアルコール
手袋、風船	天然ゴム

[出典] 著者作成

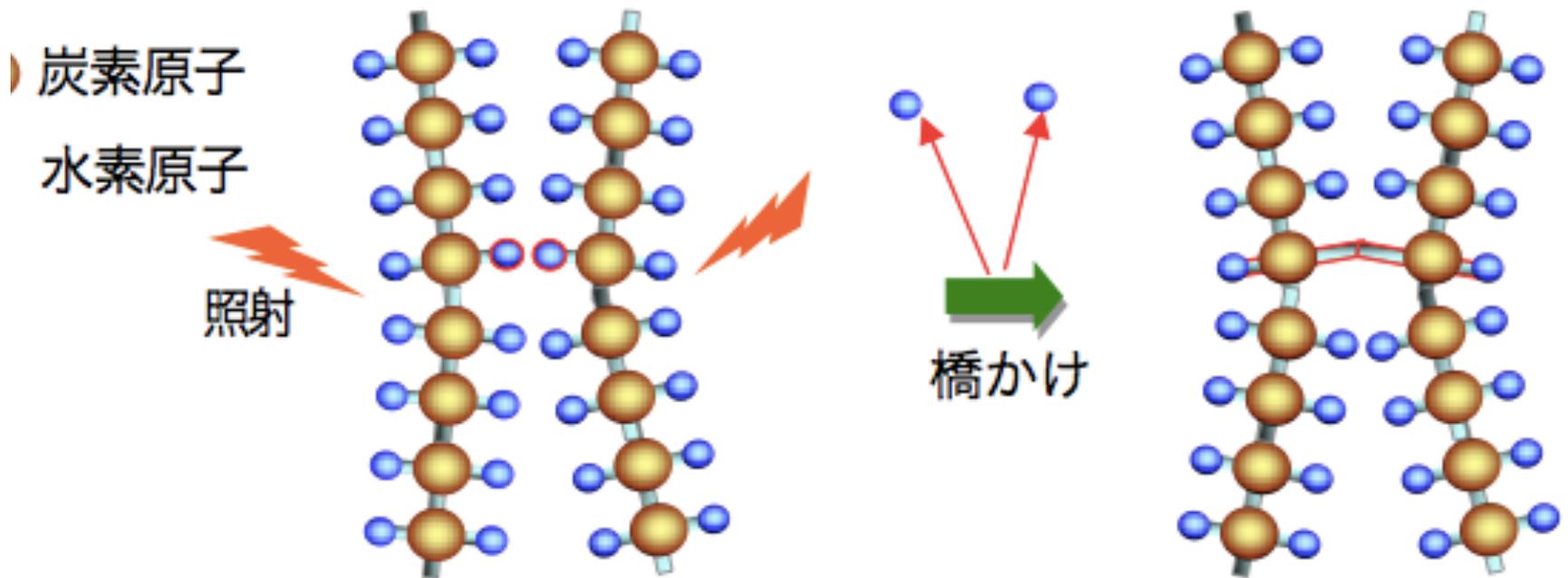
写真 8.7.2 ハロゲンフリー（燃えても有害なハロゲンガスが発生しない）絶縁体を使った高圧回路ケーブル



〔出典〕 IAEA

新素材の創成

図 8.7.1 放射線によるポリエチレン分子の橋かけの仕組み



日本自動車工業会HP

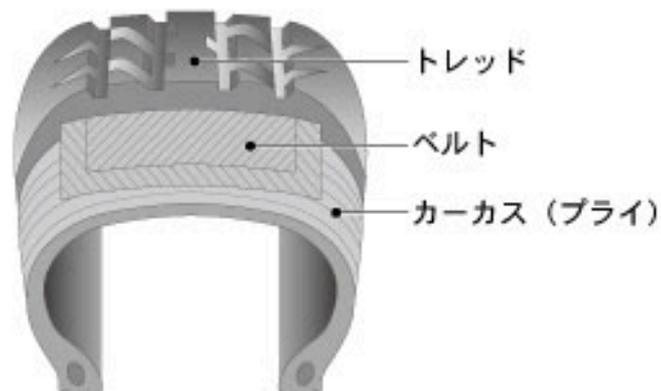
(1) ラジアルタイヤ

カーカスを構成するコードがトレッドの中心線に対し直角（放射状＝ラジアル）に配列され、またトレッドの部分を補強帯（ベルト）で締め付けているタイプのタイヤである（図1）。

ラジアルタイヤはバイアスタイヤに比べ次のような特徴がある。

1. 操縦性、安定性が優れている
2. 耐摩耗性がよい
3. 発熱が少ない
4. 転がり抵抗が少なく、燃料費が節約できる
5. スリップが少なく、けん引力が大きい
6. 低速、悪路走行には乗心地が劣るが、高速では良い
7. 低速時でのハンドルがやや重い

図1 ●ラジアルタイヤの構造図



○ガラスの着色

どんなに透明なガラスも微量の不純物を含んでいて、しかもその不純物はガラスの産出した地域によって異なります。そこでガラスに放射線を照射してやると、たとえばナトリウムを含むものは茶色に、コバルトを含むものは紫といった具合に、不純物によってさまざまな色に変色するのです。

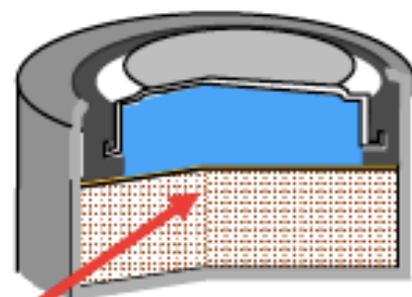


ガラス製品

○ボタン型アルカリ電池隔膜

カメラや電卓などで使われているボタン型アルカリ電池の+極と-極を隔離している薄い膜を電池用隔膜といいます。昔はこの膜にセロファン紙などが使われていたため、電池の保存中に劣化して放電が起こり寿命が短いという欠点がありました。ポリエチレンフィルムに電子線を照射することによって、電気を通す機能を付加し、長時間耐える高性能の隔膜が得られるようになり、寿命が大幅に長くなっております。

(市場規模:平成12年度100億円)



隔膜 厚さ25 μm

ボタン型アルカリ電池

○ラジアルタイヤ、耐熱電線

ラジアルタイヤは、有機繊維で補強されたゴムで高圧に耐えられる構造になっています。成形器で熱と圧力を加えてタイヤの形にしますが、この時、繊維補強ゴムは大きな変形を受け、補強繊維のずれやはみ出しがおきやすくなります。これを防ぐため、繊維補強ゴムに電子線を照射して強度を上げます。(市場規模:平成15年度1兆円)

また、電線の被覆に使われているゴムやプラスチックはそのまま熱を加えると溶けて流れ落ちます。電子線を照射すると熱を加えても溶けにくくなります。

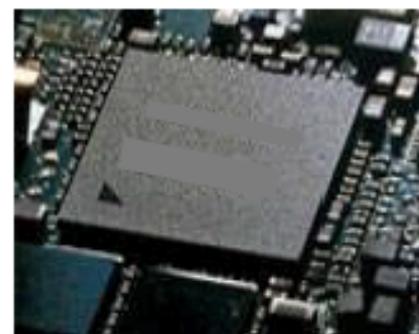


ラジアルタイヤ、耐熱電線

○半導体

IC(集積回路)の回路のパターンの線は髪の毛の太さの50~100分の1であり、その細工をするためにリソグラフィといった技術が使われる。リソグラフィは版画の技術のようなもので、半導体表面に光や放射線を当てると化学変化する感光剤を塗り、加工したい形状に切り抜いた板(マスク)をのせて放射線を当てて、マスクの型どおりに加工するもの。イオンビームや中性子ビームを利用した不純物導入等も行っています。

(市場規模:平成15年度6.3兆円)



半導体

○発泡材料(緩衝材料、断熱材料)

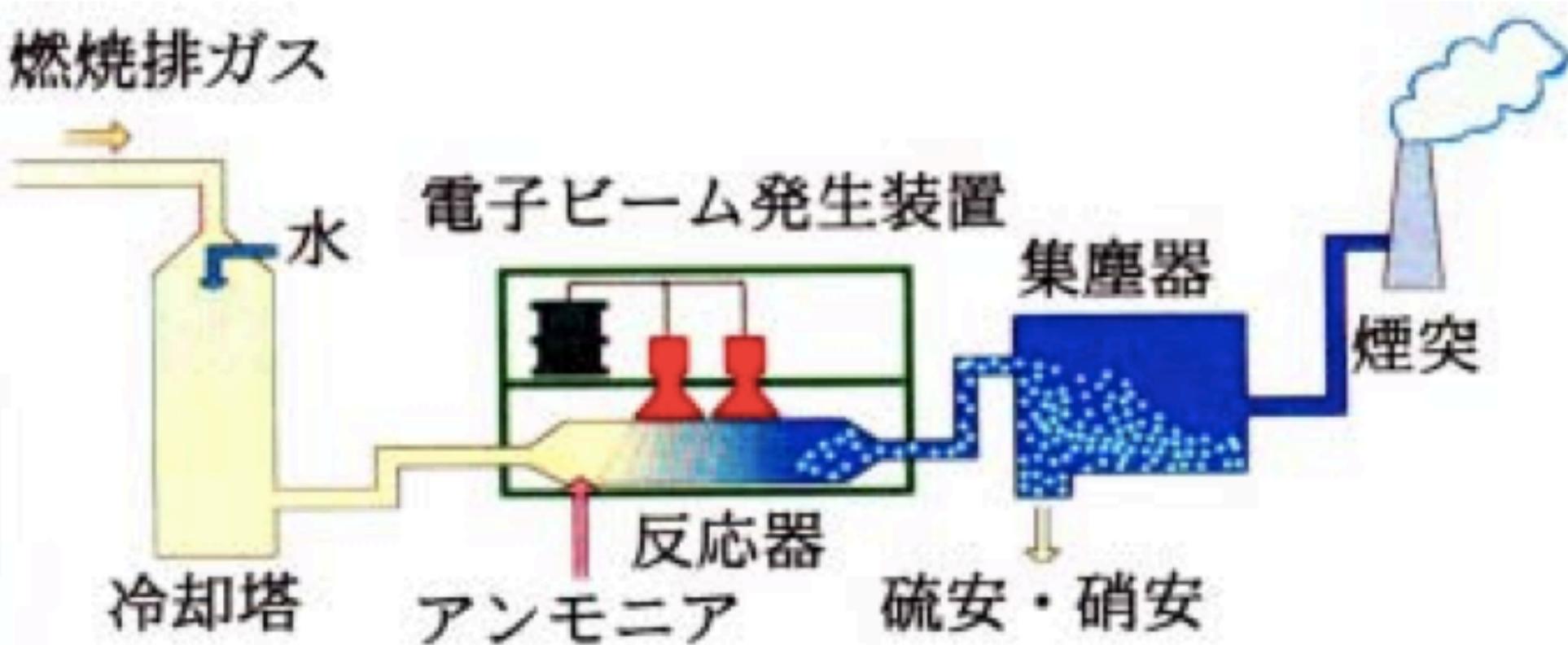
お風呂場で使うバスマット、あるいはプールで使うビート板に使用されている発泡ポリエチレンをご存じですか。あの防水性、浮力が高く、ほどよく硬い素材は、ポリエチレンに放射線を照射し、加熱することで内部に細かい気泡をつくりだしたもので、これもいまから20年以上も前に開発された素材です。



発泡ポリエチレン

環境浄化に

図 8.8.1 電子ビームによる石炭燃焼排ガスの処理の原理



[出典] IAEA



写真 8.8.3

ゴミ焼却炉排ガスから電
よってダイオキシン除去
子力研究所のパイロット
(除去率 95%)

[出典] 日本原子力研究所

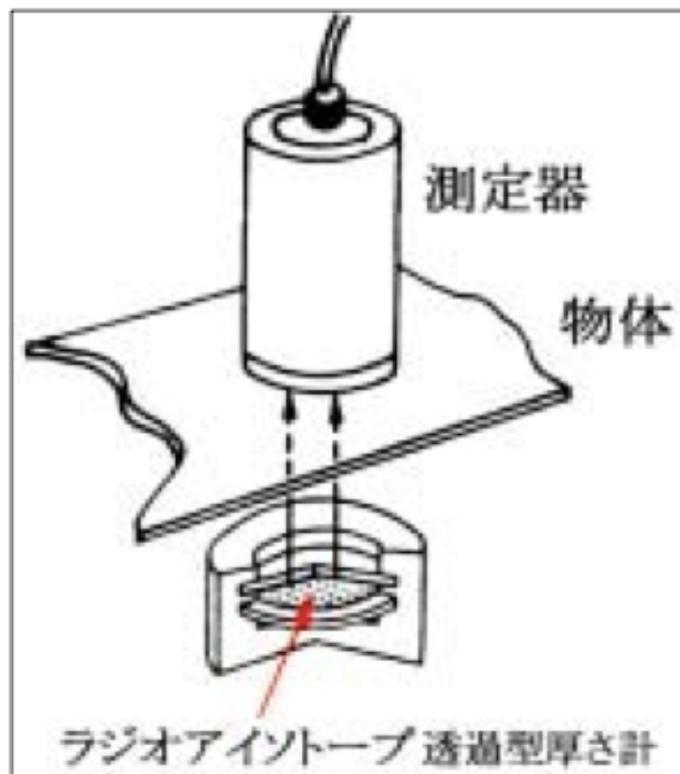
建物の壁、柱の中の検査、
金属板の均一な厚さで製造する品質管理
遺跡、遺産、美術品の内部の検査

放射線の透過作用の利用

物質内をとおると、減衰する
空洞があれば、減衰しにくい。
むらがあれば、減衰の度合いが異なる

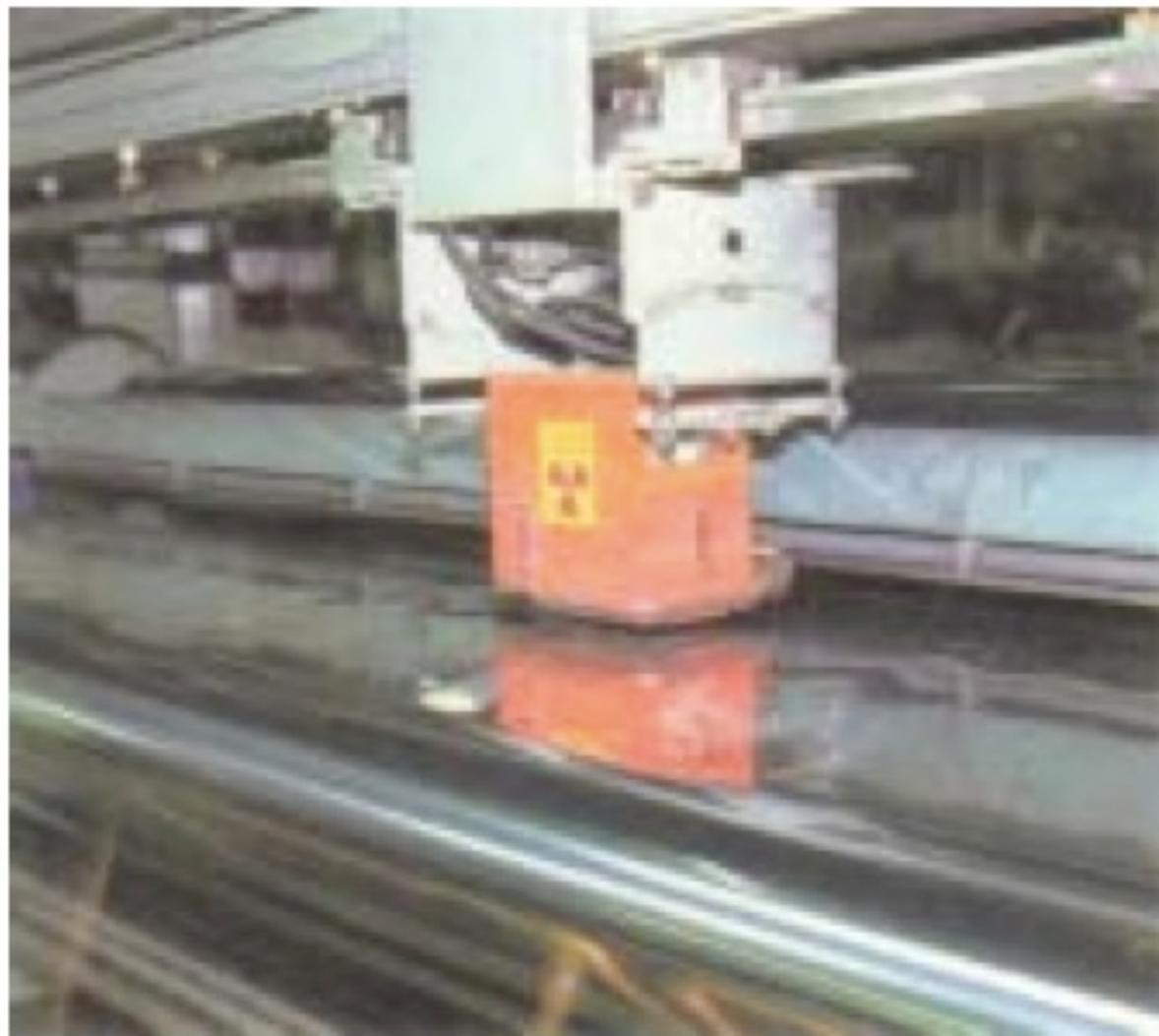
非破壊検査、厚み計

図 8.9.1 厚み計の原理



[出典] 日本原子力文化振興財団

写真 8.9.1 プラスチックフィルム製造工程
での厚みの連続測定装置



[出典] 日本原子力文化振興財団

写真 8.9.2 ジェット機エンジンの非破壊検査



[出典] 日本原子力文化振興財団

写真 8.9.3 煙探知機



[出典] 日本原子力文化振興財団

中央道・笹子トンネル崩落事故、死者9人に

2012年12月03日 10:11 発信地:大月/山梨  [ブログ](#)



最前線

防災

身近な技術・IT

山梨県の中央自動車道・笹子トンネルで起きた天井板崩落事故をきっかけに、高度経済成長期に大量に建設された橋やトンネルなどの老朽化に対する関心が高まっている。コンクリート構造物の劣化は、環境によっては予想以上に速く進む。効率的な点検で、早期に危険を発見する必要がある。

(大山博之)

震度6弱で崩落

茨城県の湖・北浦に架かる全長404mの鹿行大橋は昨年3月11日、東日本大震災で橋の中央付近が崩落し、通行中の男性が死亡した。観測された付近の震度は6弱。建設から40年以上たった橋は、震災前から架け替え工事が進められていた。同県道路維持課は老朽化と崩落の因果関係については「調査中」とするが、「一般的に、老朽化すれば耐震性能は落ちる」と話す。

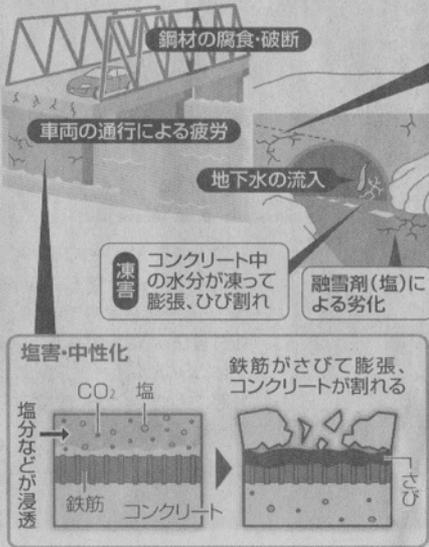
橋やトンネルなど、コンクリート構造物の一般的な耐用年数は50年とされ、条件が良ければ100年もつとも言われる。国土交通省によると、全国にある長さ15以上の道路橋約15万7000本のうち1割弱が建設から50年以上経過しており、20年後には5割を超える。損傷などが目つきかり、通行止めや車の重量制限などの措置が取られた橋は、2008年の801本から12年には1379本に増えた。約1万本の道路トンネルも、20年後には約半分が建設から50年を超えることになる。

環境、施工法で差

橋やトンネルの老朽化に

コンクリ 塩やCO₂で劣化

橋やトンネルが老朽化する主な原因



行による疲労など様々な原因があり、コンクリートの劣化もその一つだ。京都大学の宮川豊章教授(コンクリート工学)は「劣化の速度は環境や施工法によって大きく異なる」と指摘する。引張る力に弱いコンクリートには鉄筋が入られ

るが、それが劣化を引き起こす一因になっている。鉄筋はさびができてと体積が増え、周囲のコンクリートを圧迫する。そのため、コンクリートにひびが入る。さびができる原因の一つが塩分だ。日本海側では、海が荒れて橋などにひびが

橋やトンネル 50年の寿命縮

非破壊検査に中性子線

研究進む 厚さ50%超に対応

コンクリートや鉄骨などを壊さず内部を調べる非破壊検査では、表面に現れない劣化をとらえることができる。様々な装置が実用化されているが、厚いコンクリートは電磁波を通しにくいという問題があった。そのため、理化学研究所などでは、透過力が強い中性子線を使った非破壊検査の方法を研究している。

同研究所ものづくり高度計測技術開発チームの大竹淑恵・副チームリーダーによると、中性

早期発見と

鉄筋がさびやすくなるとして「中性化」おられる。コンクリートはアルカリ性だが、二酸化炭素(CO₂)によって中性化し、鉄をさびから保護して膜が壊れてしまう。独立行政法人・国土所の木村嘉富・上席は「『かぶり』と呼ばれるコンクリート表面までの距離を大きくし、鉄筋やコンクリート表面を塗装したり塩が、塩害や中性化対策」と話す。

「アルカリ骨材反

橋やトンネルの点検は現在、目視や打音検査が主流。これをいかに省力化し、老朽化の早期発見につなげていくかが課題となっている。

大手ゼネコンでは、トンネルなどのコンクリート壁を車載のデジタルカメラで撮影し、ひび割れだけを特定する画像解析技術を実用化している。0・1ミリのひびまで検出でき、長さや幅などから、修復が必要かどうかを判断する。

エックス線や電波を使い、コ

非破壊検査に中性子線

研究進む 厚さ50センチ超に対応

コンクリートや鉄骨などを壊さずに内部を調べる非破壊検査では、表面に現れない劣化をとらえることができる。様々な装置が実用化されているが、厚いコンクリートは電磁波を通しにくいという問題があった。そのため、理化学研究所などでは、透過力が強い中性子線を使った非破壊検査の方法を研究している。

同研究所ものづくり高度計測技術開発チームの大竹淑恵・副チームリーダーによると、中性

子線はエネルギーが高いため、50センチ以上の厚さのコンクリートにも対応できる。また、鉄筋コンクリートや金属の劣化を招く水分が集中した場所を特定できるほか、鮮明な画像が得られるなどの長所があるという。

装置を利用し、検査の効率化を進めても、膨大な橋やトンネルの対応には限界がある。宮川教授は「点検マニュアルを作って、市民に劣化した部分を見つけてもらうなど、工夫が必要だ」と話している。

(3) 医療分野

国は、放射線医学の研究開発成果に基づく患者の負担が少ない放射線治療についての情報が医療や医学教育の現場において広く共有・教育され、適正な放射線治療が普及していくよう、所要の措置を講じるべきである。放射線診断による患者の被ばくについては、関係団体において現場の医療関係者等と連携を図り、国際機関等から提示されている参考レベル等を参照して、国民に不必要な被ばくをさせないために、指針の策定を含め、被ばく線量の最適化に向けた方策の検討が行われることを期待する。

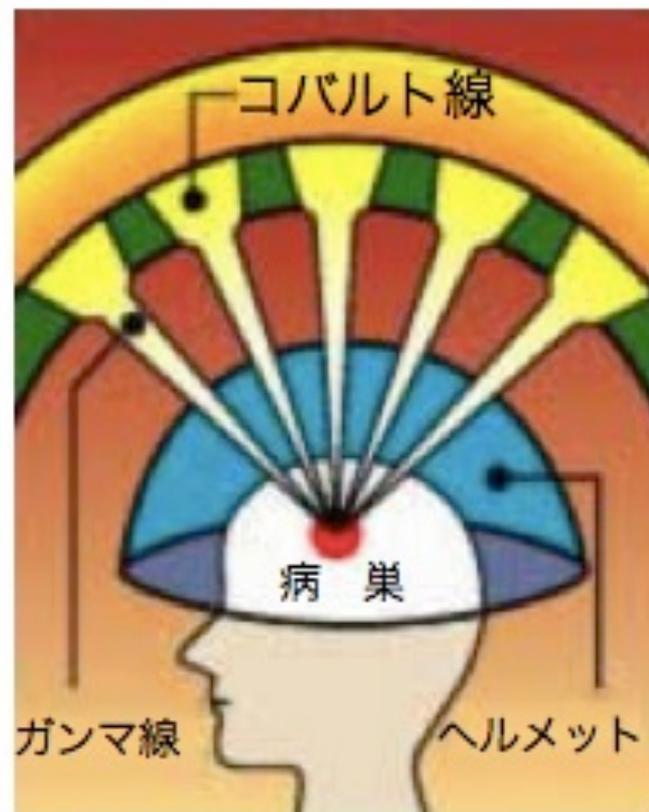
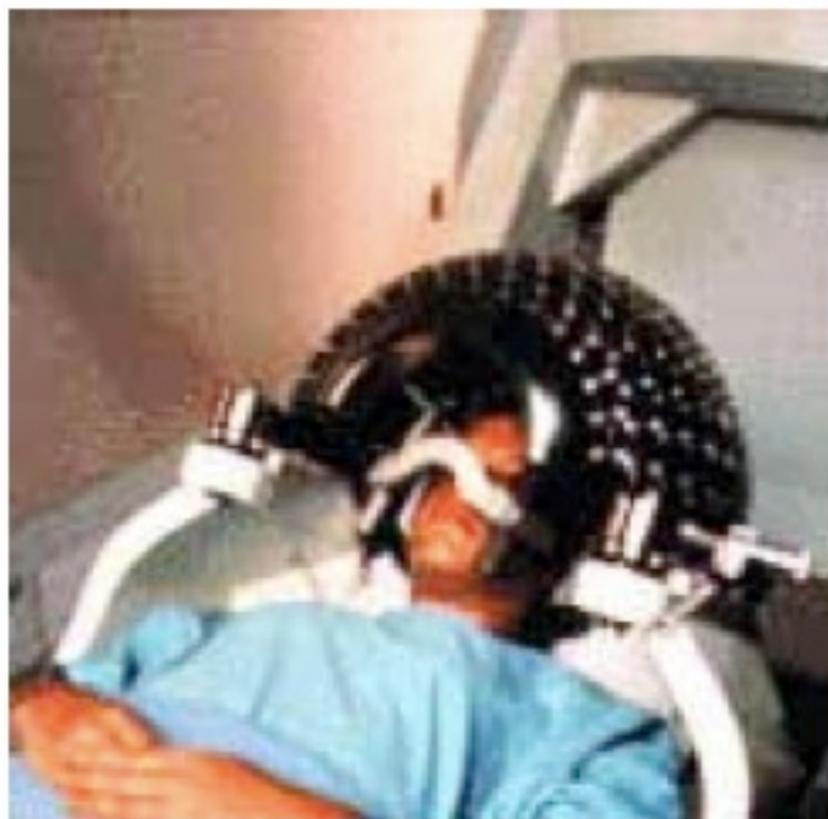
医療への応用・がんとの戦い

写真 8.5.1 がんの治療に使われるリニアック照射装置



【出典】（独）放射線医学総合研究所

写真 8.5.2

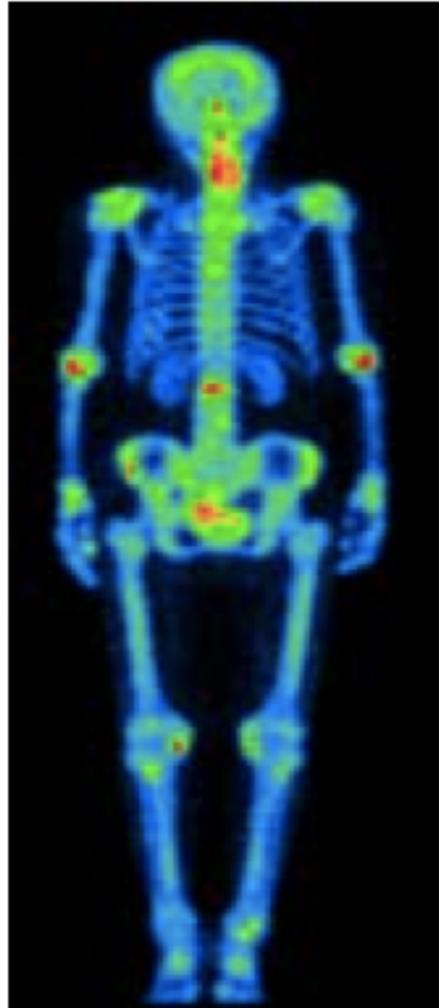


左：脳腫瘍などの治療に使われるガンマナイフを装着した様子

右：ガンマナイフの仕組み

〔出典〕 照射線医学総合研究所

写真 8.6.1 核医学診断による画像。写真の赤い部分にがんの骨転移がみられる。



[出典] 日本メジフィックス(株)

写真 8.6.2 体内のアイソトープからの放射線を計測するガンマカメラ



[出典] (株)島津製作所

かつては医療器具の多くは、金属とガラスでできていて、乾熱あるいは水蒸気滅菌をしていた。

次にエチレンオキシドガスによる滅菌

しかし、発がん性の問題

本日の参考サイト

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/sonota/study/aecall/book/pdf/8syoun.pdf>

病原微生物も遺伝子を持ち、

放射線感受性である

**高線量の放射線利用
殺菌作用の利用**

医療用品の滅菌処理



γ 線 照射

STERIS Isomedix Services
Committed to Customer Satisfaction

Locations

Turnkey Validation Services

GammaExpress® Expedited Processing

Radiation TechTeam® Services

Radiation Technology Center

Radiation Request Form

Gamma Engineering Runs

Technology Comparison

History of Gamma Irradiation

TechTeam Resources

Gamma Irradiation

The gamma sterilization process uses Cobalt 60 radiation to kill microorganisms on a variety of different products. Processing with gamma yields quick turnaround time, easily penetrating packaging and product, and is ideal for many types of materials.

How does gamma irradiation work?

High-energy photons are emitted from an isotope source (Cobalt 60) producing ionization (electron disruptions) throughout a product. In living cells, these disruptions result in damage to the DNA and other cellular structures. These photon-induced changes at the molecular level cause the death of the organism or render the organism incapable of reproduction. The gamma process does not create residuals or impart radioactivity in processed products.

What is gamma irradiation used for?

The gamma process can effectively sterilize a wide variety of products composed of different materials, with varying densities, configurations and orientations.

Learn More

Contact a STERIS Isomedix Services representative to learn more about our gamma irradiation services.

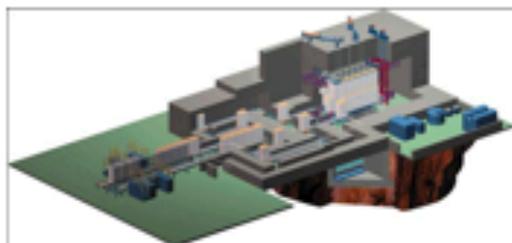
Contact Us

What is a typical gamma processing cycle?

- The product arrives on a truck and is unloaded at the processing facility
- The product is received by lot and product code that is entered into the STERIS Isomedix Operating Data Management System (ODMS) which provides for run generation, scheduling, processing, certification and release of product for shipment
- The product is loaded into the carrier/tote per established configurations, dosimeters are placed, and the product is exposed to the radiation field (Cobalt 60 source rack)
- Dosimeters are analyzed after irradiation of the product is complete, to confirm that the required dose has been delivered
- All documentation and processing history records are reviewed, and if they are acceptable and Customer specifications are met, the product is released and shipped for use or further distribution

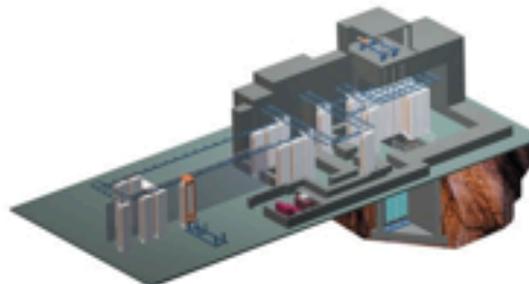
JS1000 Continuous
Gamma Irradiator

(click on image to enlarge)



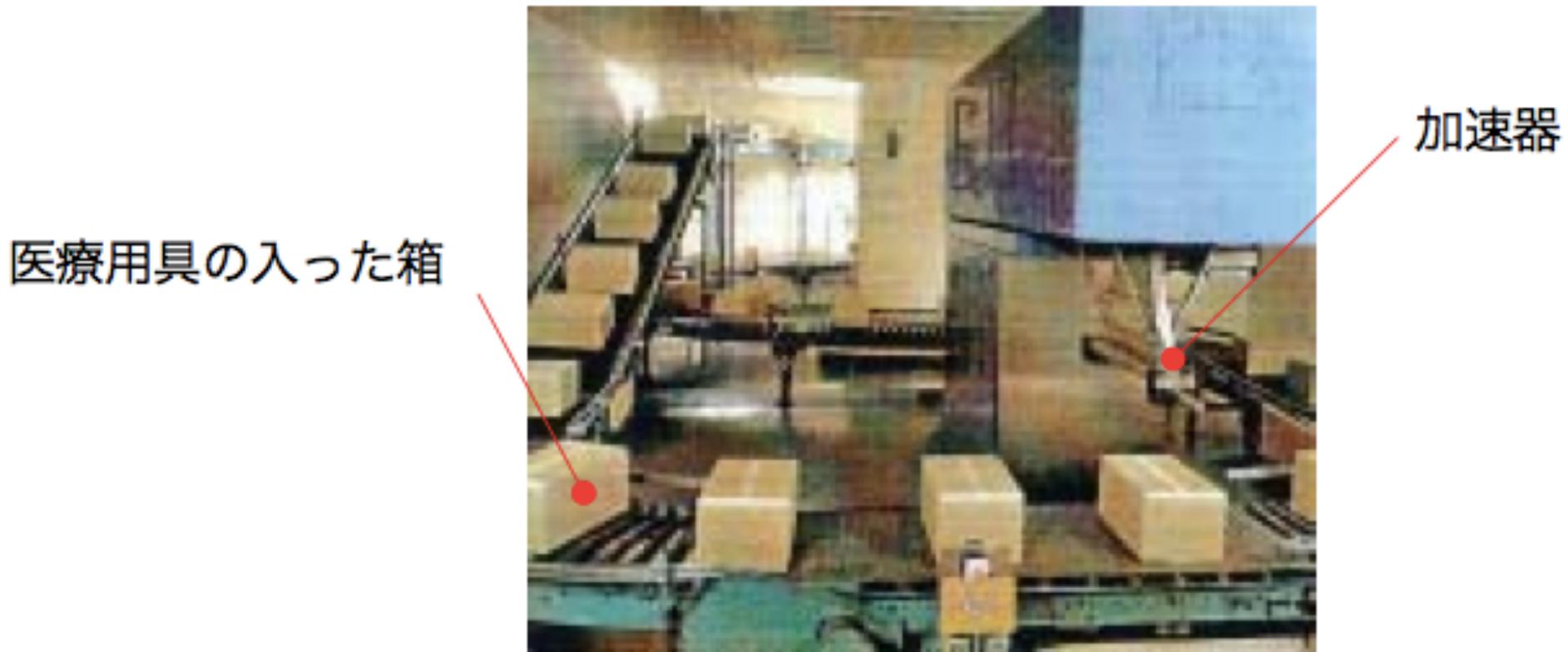
JS8900 Batch
Gamma Irradiator

(click on image to enlarge)



電子加速器による照射

写真 8.1.2 電子加速器で医療用具を照射する装置



[出典] カナダ原子力公社

(4) その他の分野

食品照射については、生産者、消費者等が科学的な根拠に基づき、具体的な取組の便益とリスクについて相互理解を深めていくことが必要である。また、多くの国で食品照射の実績がある食品については、関係者が科学的データ等により科学的合理性を評価し、それに基づく措置が講じられることが重要である。農業分野の利用活動のうち放射線育種については、国民生活の水準向上や産業振興に寄与できる品種の作出を目指し、不妊虫放飼法による害虫防除等については、害虫の根絶や侵入の防止を目指し技術開発及び事業を引き続き推進していくべきである。放射線を利用した環境浄化技術や有用金属捕集材の製造技術については、国は技術の高度化を進めるとともに、その実用化に取り組む者を適切に支援していくべきである。



United States Department of Agriculture
Agricultural Research Service

The in-house research arm of the U.S. Department of Agriculture



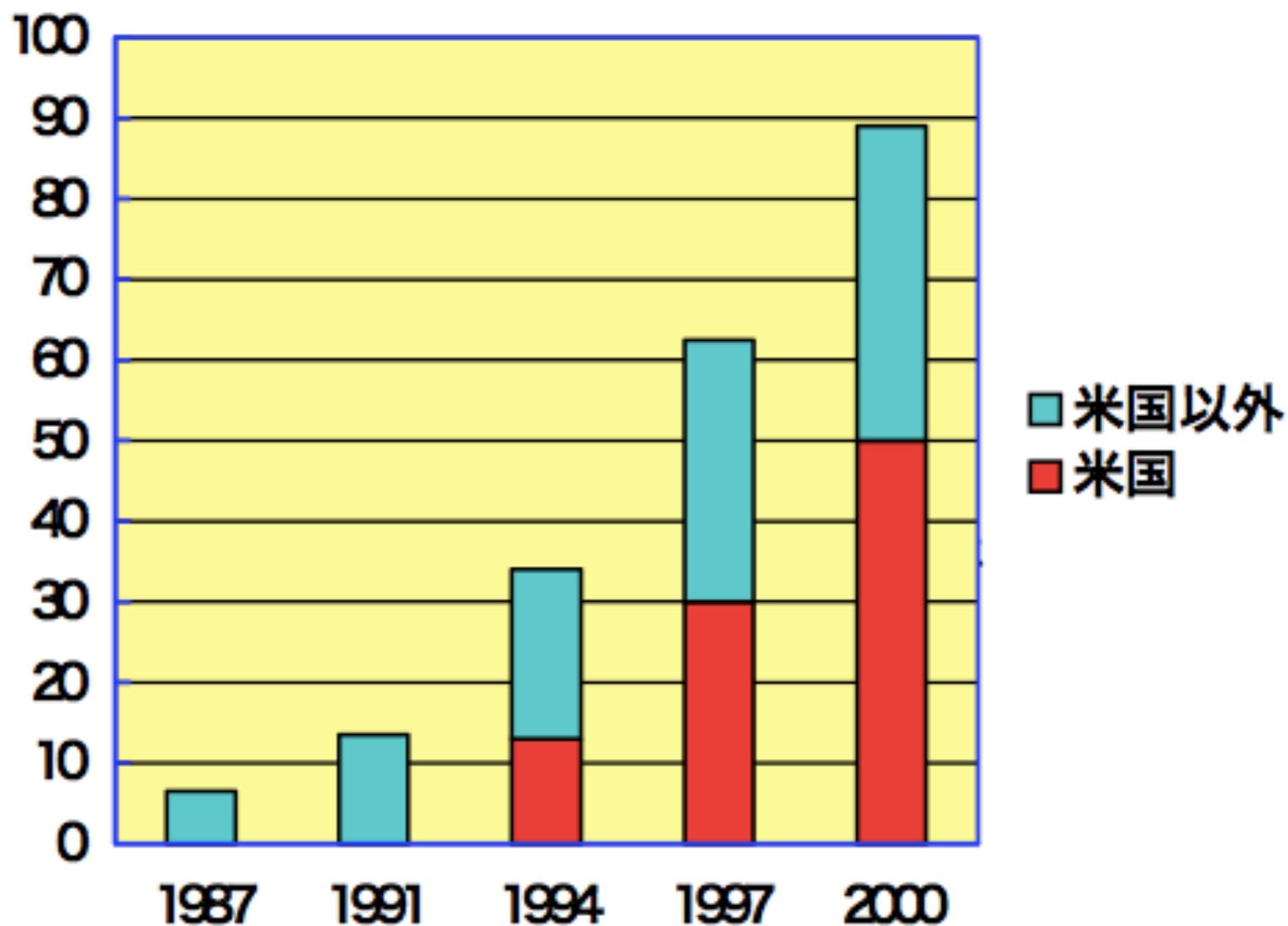
Image Number K10005-1

Irradiated ground beef from Omaha Steaks.

<http://www.storebrandsdecisions.com/news/2010/05/11/wegmans-unveils-irradiated-specialty-burgers-and-sliders>

図 8.4.1 世界の照射香辛料の生産量が増えている

千トン



[出典]IAEA

写真 8.4.2 北海道のじゃがいも照射施設。



中心部に見えている円筒状の
ものがコバルト-60 線源

[出典] 著者提供

写真 8.4.3 照射で「じゃがいも」の発芽を
遅らす



未照射のじゃがいも
(発芽している)

照射済みじゃがいも

厚生労働省は、生食用での提供を禁止した牛肝臓（レバー）について、放射線を使った殺菌方法を研究することを決めた。食品への放射線照射は原則的に禁止されており、ジャガイモの発芽防止で例外的に認められているが、生レバーでも有効性が実証されれば、提供禁止の解除を検討するという。



研究は、国立医薬品食品衛生研究所などが実施する。研究期間は当面、年度内とし、コバルト60などの放射性物質を使ってガンマ線を生レバーに照射。腸管出血性大腸菌などが死滅しているかを確認する。生レバーそのものが変質していないかも調べる。同省によると、海外では、肉などにも放射線を使って殺菌する手法があるという。

害虫駆除に

外来種の害虫などが、急に在来の作物をおかすことがある。

農薬を使った駆除の限界

絶やすには根絶に近い駆除が必要

さもなくば、すぐに個体数が増えてしまう

**中線量の放射線利用
不稔化、不妊化**

害虫被害の実態

写真8.3.2 地中海ミバエに害されたオレンジ



[出典] 著者提供

ミバエ対策、不妊化

写真 8.3.1

ウリミバエのサナギに対するガンマ線照射施設（沖縄）



[出典] 沖縄県ミバエ対策事業所

育種への応用

新たな有用な形質をもった品種をつくりたい

世界にある近縁種の探索、利用

(適応と進化の速度に依存)

現在の品種との交配によって導入

遺伝子資源が限られている

もっとほしい

**低線量の放射線利用
遺伝子配列の変化を誘導**

新品種開発の可能性を高める



写真 8.2.1 ガンマーフィールド

世界最大のガンマーフィールド。中央の塔から出た放射線が周りの植物に突然変異を発生させる。

この農園に「二十世紀」の若木を植え弱い放射線をあてる実験を続けて新品種を見出した。

〔出典〕 農業生物資源研究所



ゴールド二十世紀



黒斑病に侵された「二十世紀」梨の若い実（上）と放射線品種改良で得られた黒斑病に強い新品種の二十世紀梨ー「ゴールド二十世紀」（下）

〔出典〕 農業生物資源研究所

花卉の新品種開発



放射線品種改良でつくられた
カーネーションの新品種（左上角が原種）

〔出典〕 日本原子力研究所

参考文献 イオンビーム <http://wwwsoc.nii.ac.jp/ibbs/A.Tanaka2003.pdf>

放射線の利用

適切な安全管理のもとに
有用な場面での利用は
続けられるであろう