



# 放射線

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>

## 放射線

を  
科学的に  
理解する

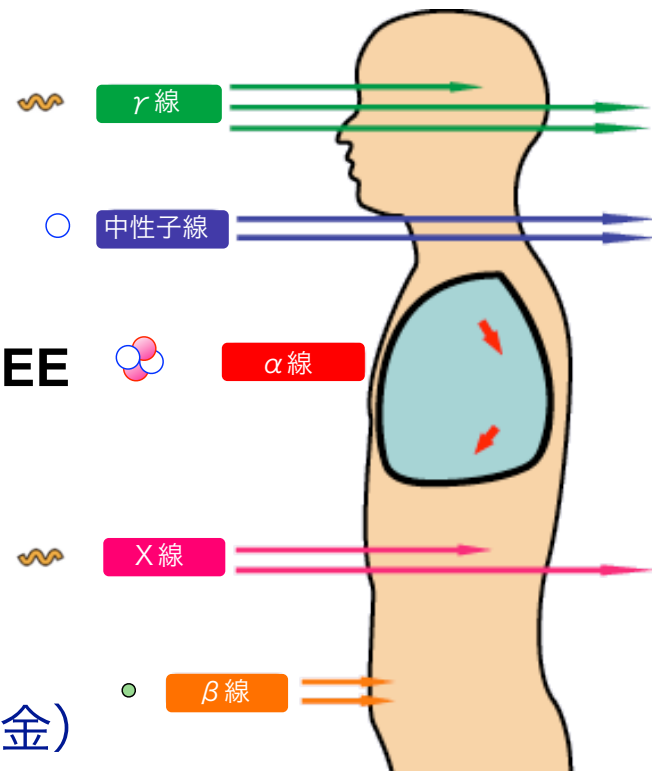
金曜 5 限

@ 21 KOMCEE  
(West)

K303教室

& @ Zoom

2022 / 1 / 7 (金)



第12回

## 放射線の利用

生命科学研究、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/ 8 放射線入門 【鳥居】
- 10/15 放射線物理学 【鳥居】
- 10/22 放射線計測学 【小豆川】
- 10/29 放射線物理・化学 【鳥居】
- 11/ 5 放射線生物学 【渡邊】
- 11/12 環境放射化学 【小豆川】
- 11/19 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 12/ 3 原子核物理学 【鳥居】
- 12/10 原子力工学と原子力事故 【鳥居】
- 12/17 環境放射化学 【小豆川】
- 12/24 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 1/ 7 放射線の利用 【渡邊】
- 1/18\* 加速器科学・放射線防護学  
・まとめ 【鳥居】

\* 印：火曜振替

鳥居 寛之 《理学部》

渡邊 雄一郎

小豆川 勝見

《教養学部》

坪倉 正治 《福島県立医大》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

2022年1月7日

# 放射線の利用

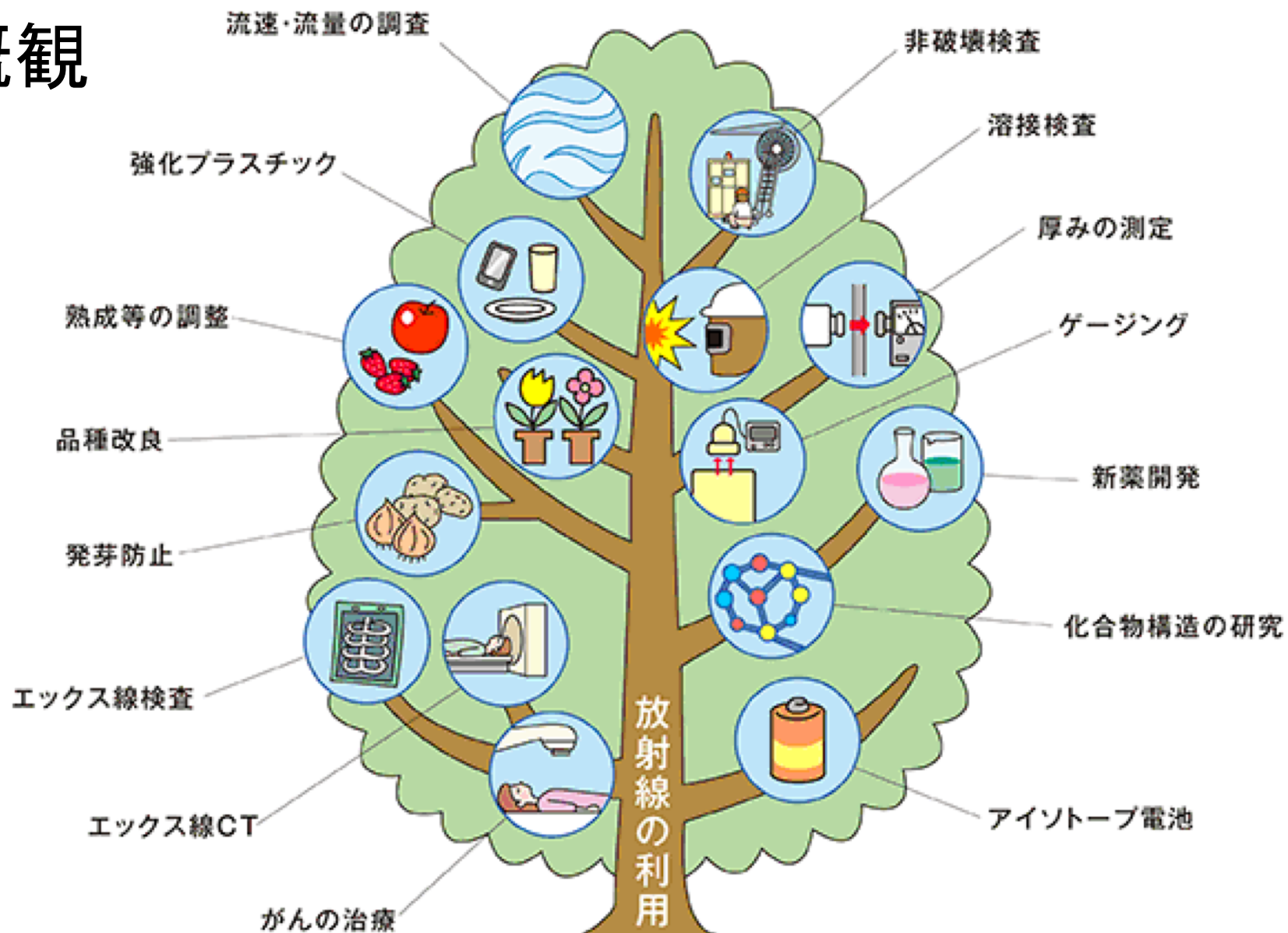
教養学部 統合自然科学科

総合文化研究科 生命環境科学系

渡邊雄一郎

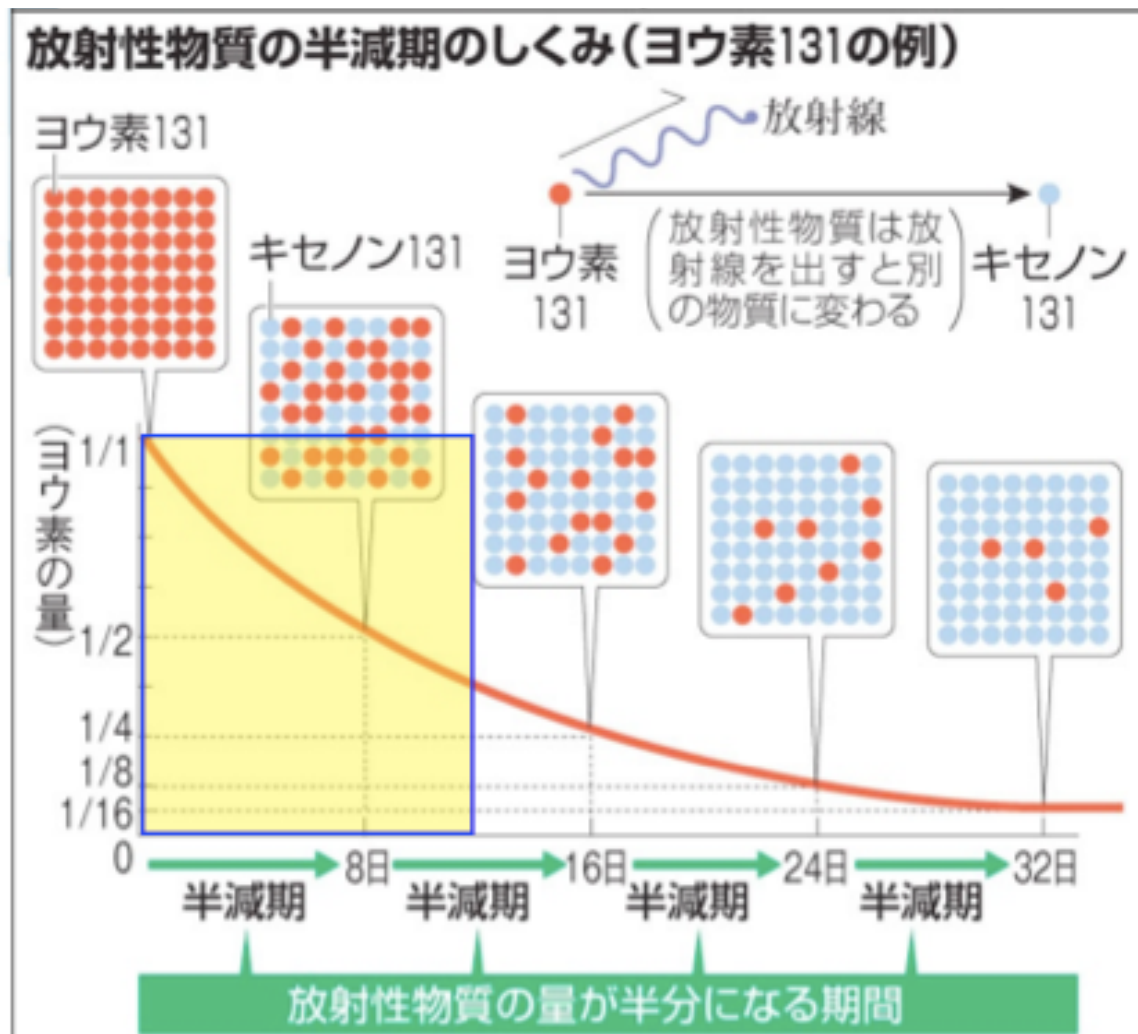


# 概観



出典：「原子力・エネルギー」図面集

# 崩壊の割合を逆算すると 経過時間を測る時計になる



注：ヨウ素等価換算は、環境や人への影響を勘案して係数を決めている。ヨウ素以外の核種の質量を計算するには適していない。ヨウ素131については、15万テラベクレルの放出と言われているので、その質量は上の問いに対する計算値の4分の1となる。また、半減期の長いセシウム137などでは、同じベクレル数でも、モル数も質量もヨウ素に比べてずっと大きくなる。

# 放射性炭素<sup>14</sup>Cによる年代測定

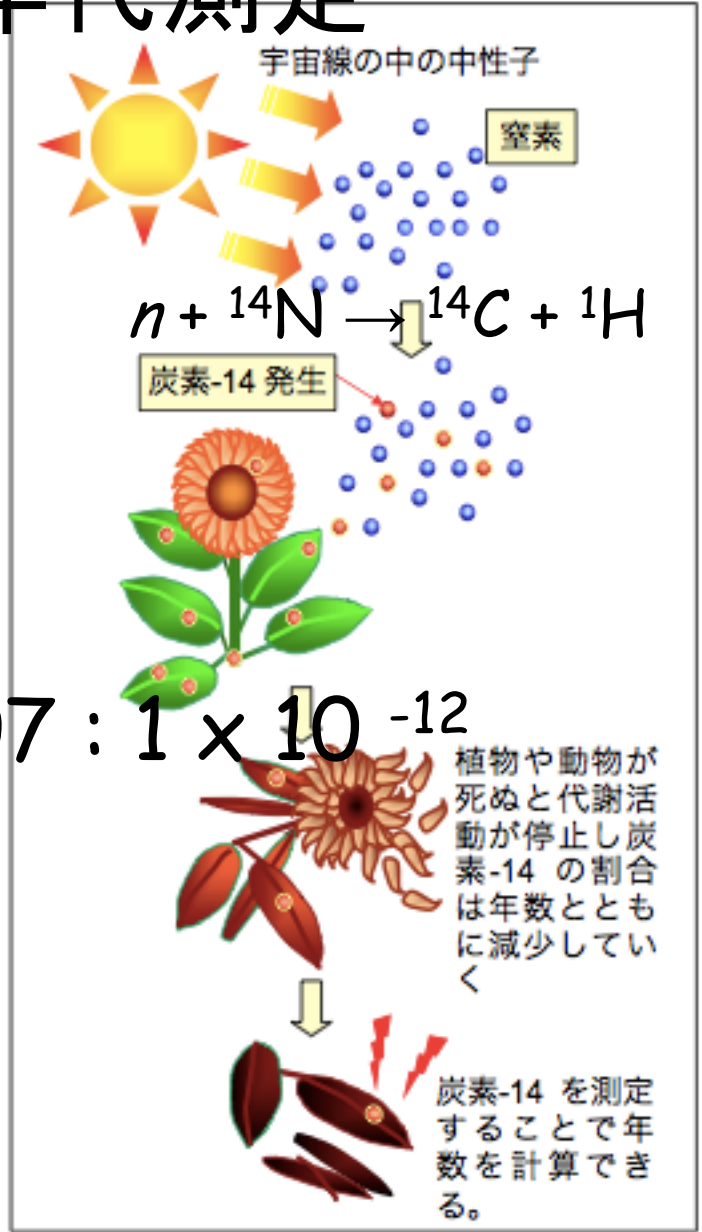
放射性炭素年代測定法の原理

時間とともに減衰する性質  
を利用した年代測定

<sup>14</sup>C 半減期5730年

<sup>12</sup>C : <sup>13</sup>C : <sup>14</sup>C = 0.983 : 0.0107 :  $1 \times 10^{-12}$

これが生きている間は物質循環があるので  
一定の比を維持する。  
死んだときから<sup>14</sup>Cのみ減衰が始まる。



# 鈴鹿で弥生後期「木樋」

2021/03/03 05:00  [読者会員限定]

 この記事をスクラップする   

## 大下遺跡 排水処理に利用か



蓋をかぶせ、パイプ状になった木樋

鈴鹿市稲生町の大下遺跡で出土した木製の導水管もくひ「木樋」が、弥生時代後期（1～2世紀）のものと判明した。環濠の排水処理に用いられたとみられ、全国でも他に例がないという。

木樋は古墳時代、水の祭祀に使われた。奈良県桜井市さいしの纏向遺跡（国史跡）など、全国で10件ほどの出土例があるが、最も古いもので3世紀の遺構という。大下遺跡の木樋を、鈴鹿市が放射性炭素を使って年代測定したところ、過去の出土例を100年以上遡ることがわかった。

読売新聞オンライン



## 当研究室の設備

### 分析装置

- 加速器質量分析計
  - Nuclear Electrostatics Corporation製 CAMS 500
- 気体用安定同位体比質量分析計
  - サーマフィッシャーサイエンティフィック社製 Delta V advantage
  - 前処理装置
    - Flash 2000：軽元素元素分析計（炭素・窒素用）
    - TC/EA：熱分解型元素分析計（酸素・水素用）
    - IsoLinkII：ガスクロマトグラフィーインターフェイス
  - ユニバーサル連続フローインターフェイス ConFloIV

このような機器を用いて測定している。



# トレーサー利用（微量で物質が検出可能）

例：生命科学で頻用される放射性同位元素

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

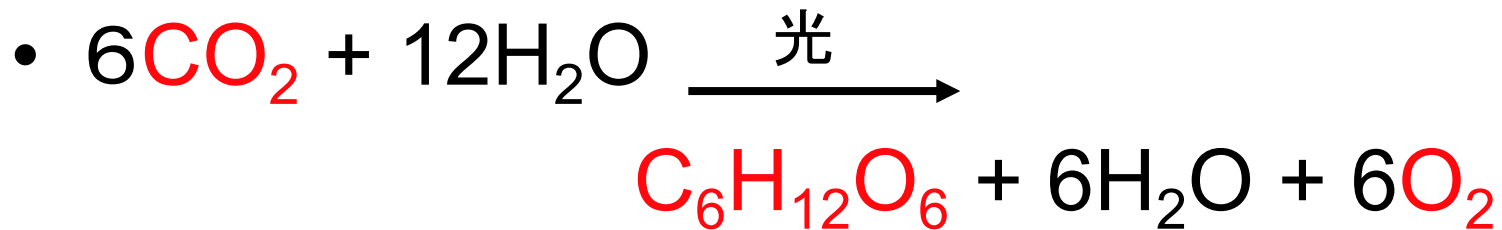
$^3\text{H}$  別名トリチウム（三重水素） 化合物全般

12.32年

# トレーサー実験の歴史的な例

Question :

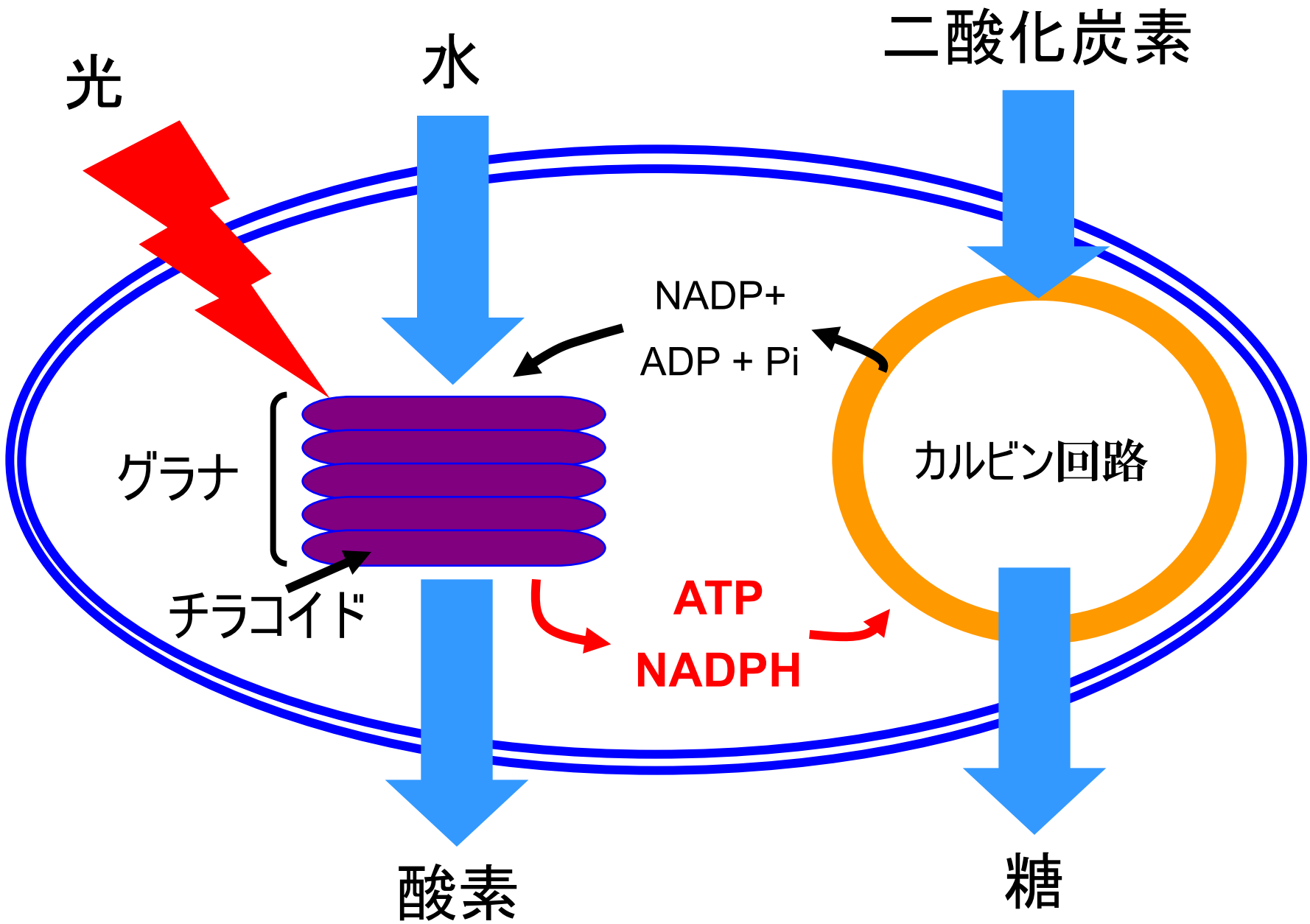
炭素1個の化合物が、いきなり炭素6個の化合物になるのか？



光合成の中での炭素化合物の移り変わりを知りたい > 微量な物質の検出、同時にさまざまな反応が動いている中で、今入っていった化合物の運命を追う !

Calvin & Benson らの研究

# 光合成の仕組みはどのようにして明らかとなったか





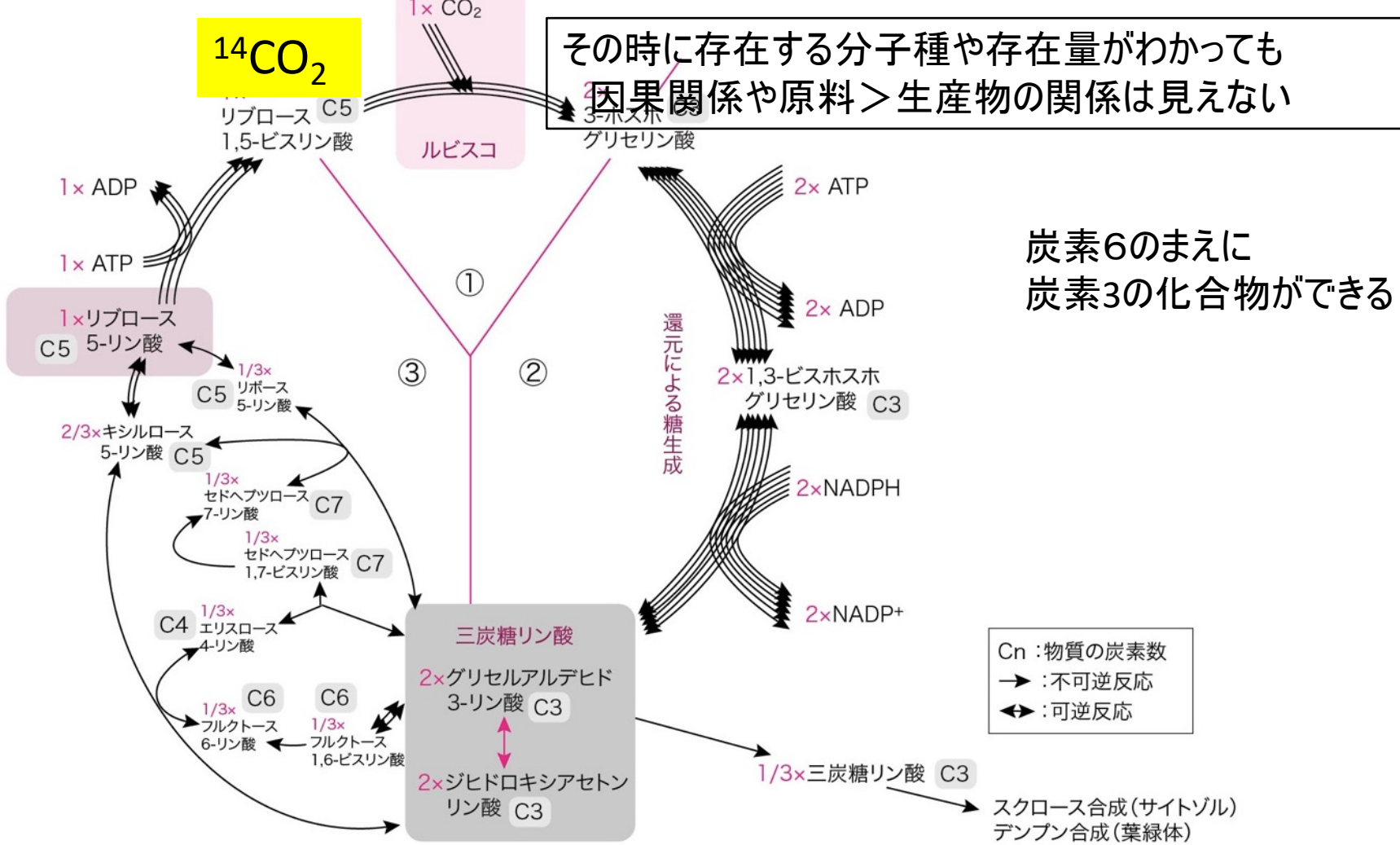
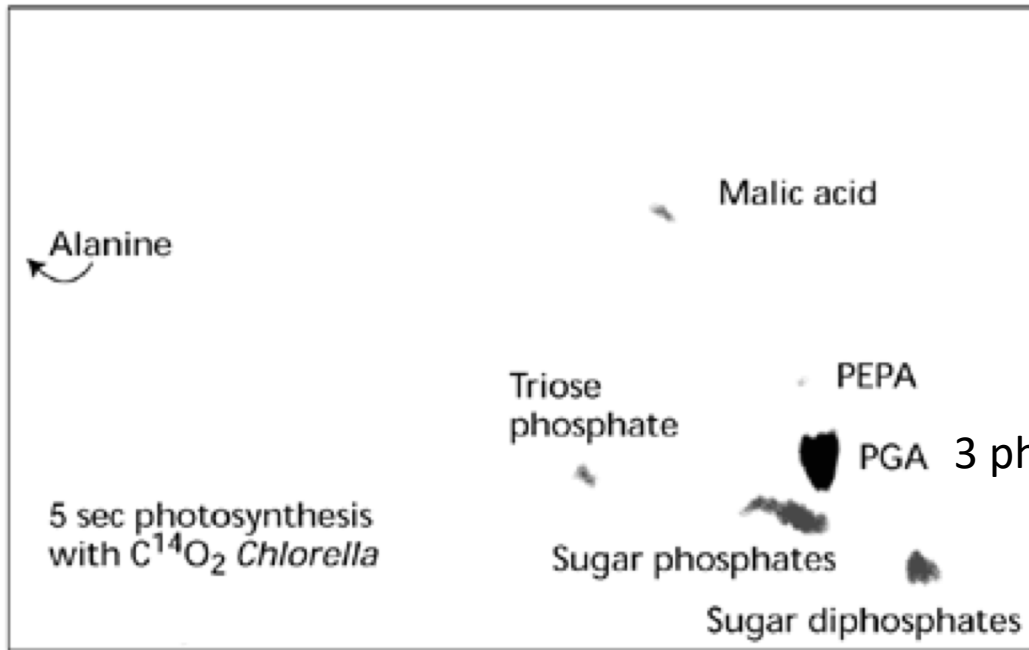
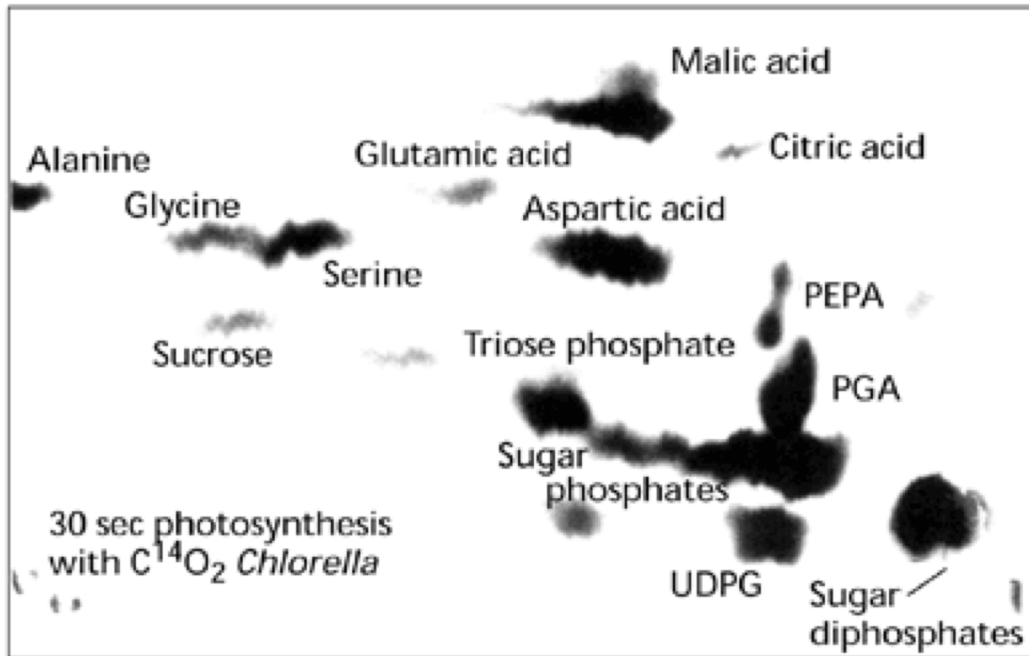


図11-6 カルビン・ベンソン回路

矢印の数は分子の数を表現しており、1本が1/3分子に相当する。五炭糖（ペントース）代謝に注目して還元的ペントースリン酸回路とも、C4植物のCO<sub>2</sub>濃縮経路（C4回路）と区別してC3回路ともいう。カルビン（Melvin Calvin）、ベンソン（Andrew Benson）らは、クロレラなどに放射性同位元素を含む<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>を与えて光合成させ、時間を追って細胞を固定し、<sup>14</sup>Cでラベルされた化合物の時間による推移を二次元ペーパークロマトグラフィーにより解析して、この回路を確定した



$^{14}CO_2$

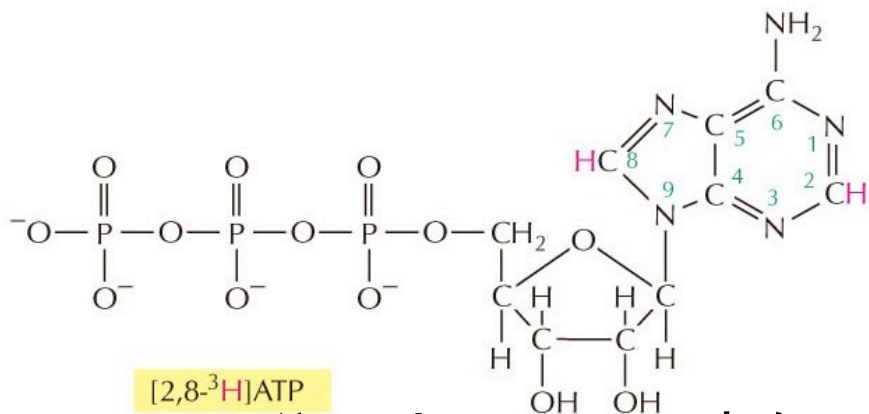
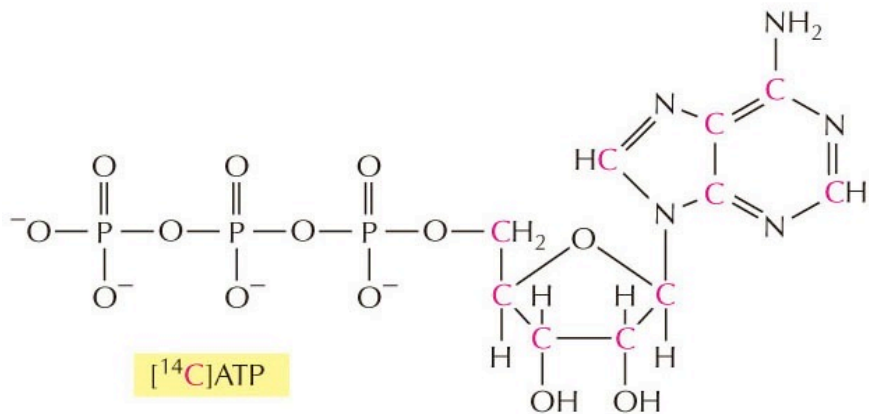


<http://5e.plantphys.net/article.php?id=77>

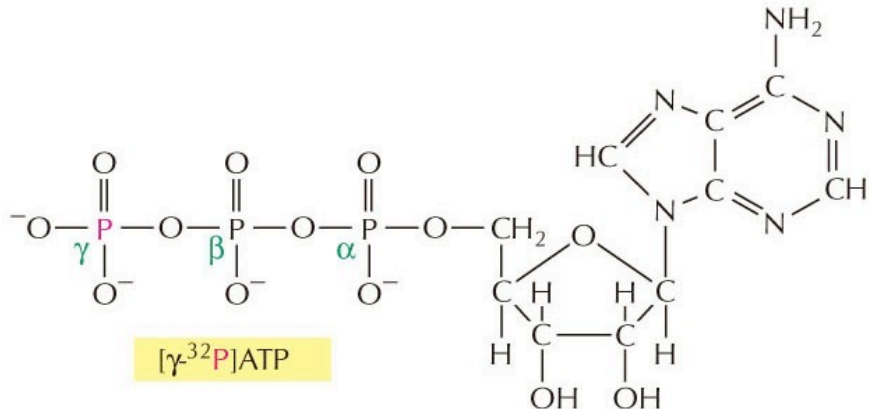
薄層クロマトグラフィーによる展開

# Univ. of Calif. Berkeley campus(こは)





分子内の同一元素を区別する

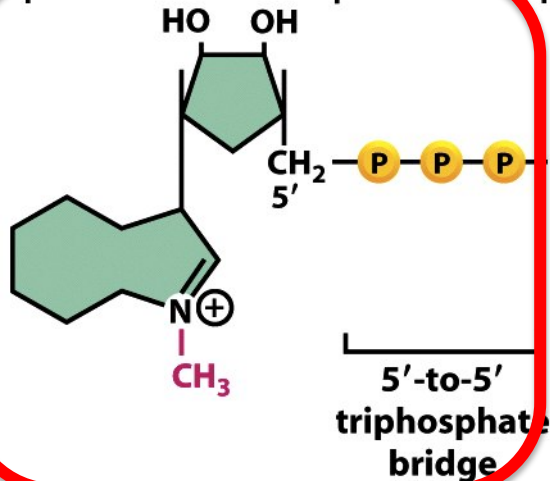


分子内の同一元素を区別する

分子内に複数の原子挿入位置がある場合、Rがはいた位置を特定する表示方法

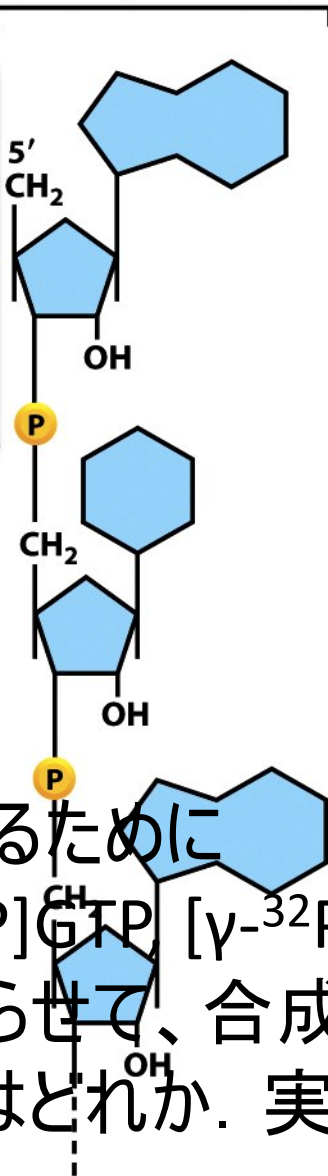
# 分子内の同一元素を区別する

7-methylguanosine



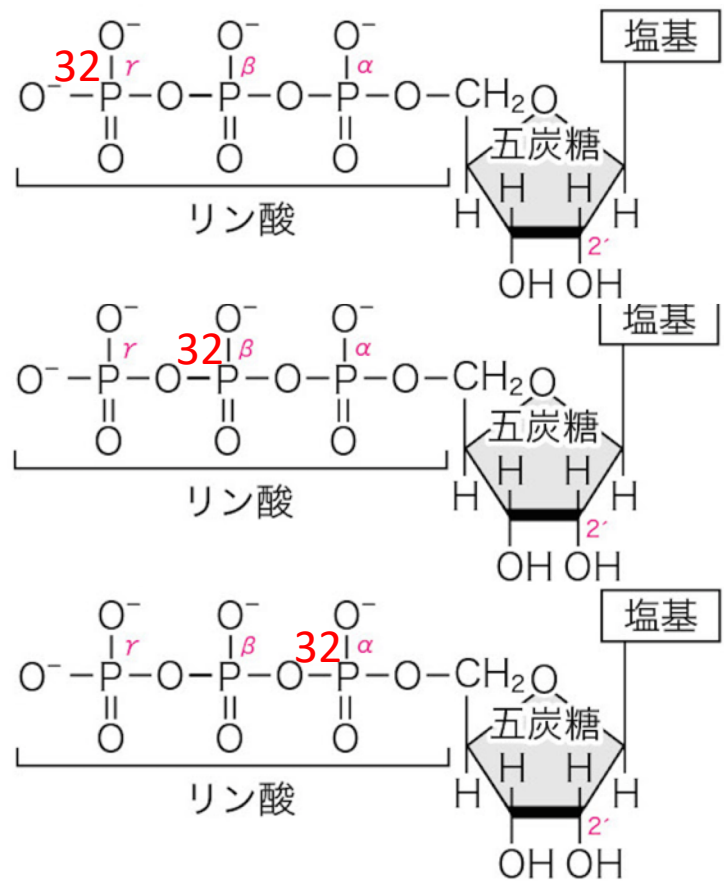
mRNAの頭にある  
キャップ構造

5' end of  
primary transcript



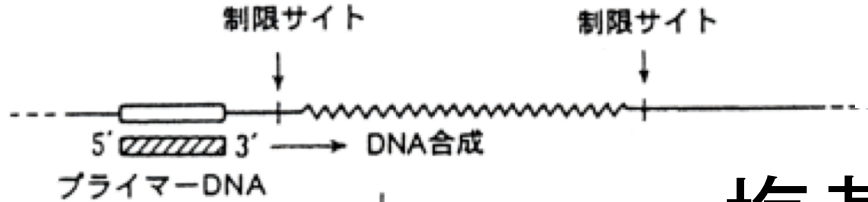
3つのPの由来を知るために

[ $\alpha$ - $^{32}\text{P}$ ]GTP, [ $\beta$ - $^{32}\text{P}$ ]GTP, [ $\gamma$ - $^{32}\text{P}$ ]GTPを使って  
キャップ構造を作らせて、合成されたmRNAに  
放射性が残るのはどれか。実験結果：[ $\alpha$ - $^{32}\text{P}$ ]GTPのみ



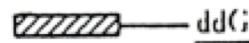
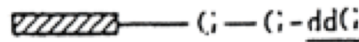
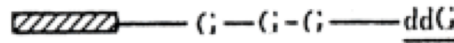


# 微量の物質 (DNA) を放射能で検出する



## 塩基配列の決定方法

クレノー断片 ↓ dXTP+ddGTP

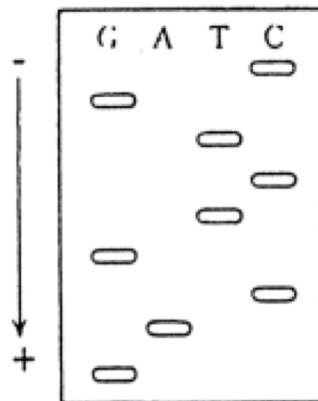


合成鎖

ddCTP、ddTTP、ddATPについても同様に行う

加熱処理

ポリアクリルアミド電気泳動



合成鎖の配列順序

鋳型鎖の配列順序

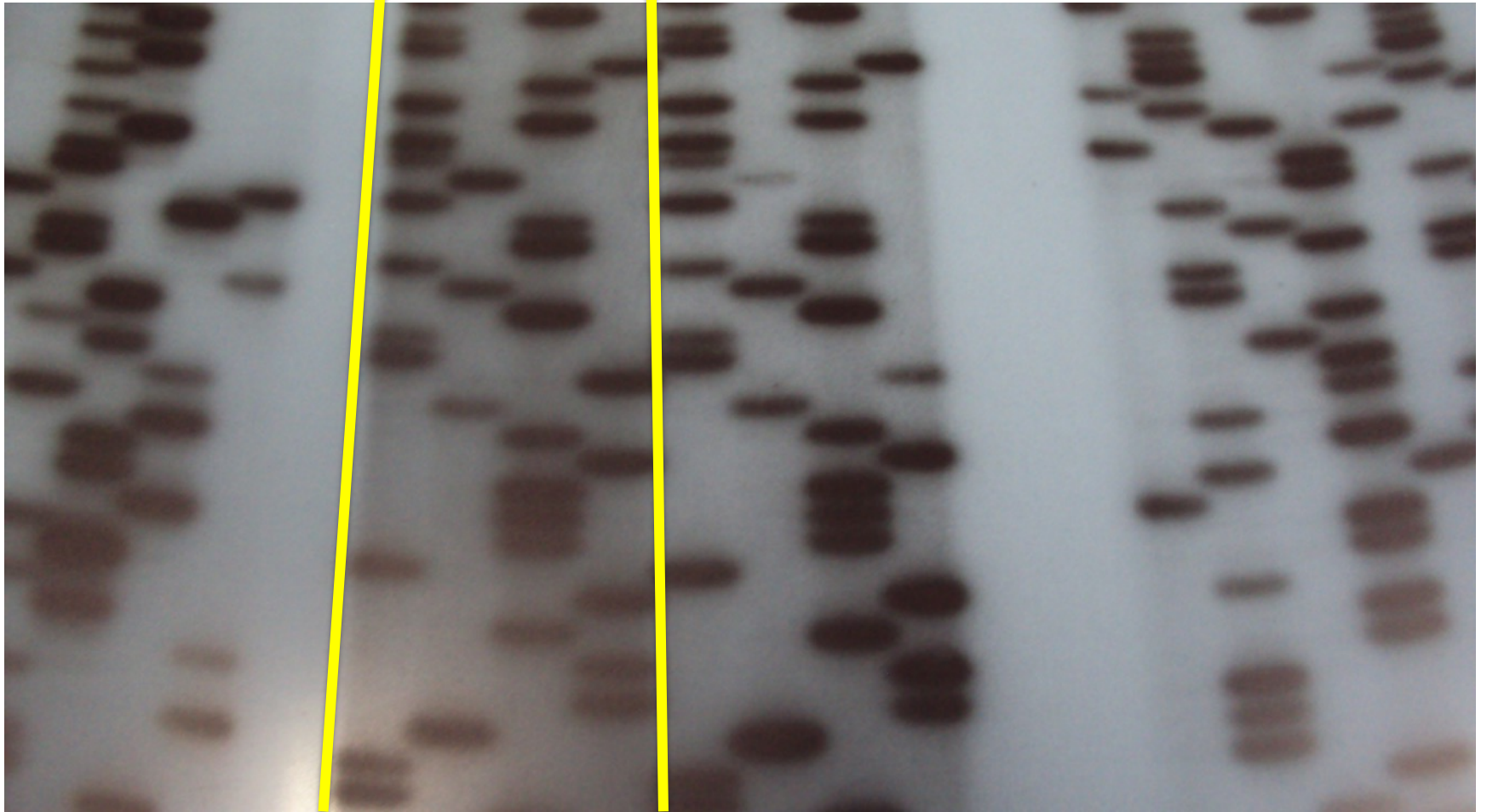
C G  
G C  
T A  
C G  
T A  
G C  
C G  
A T  
G C

少量のさまざまな端をもったDNA断片を可視化する

出典:「微生物-バイオテクノロジー入門」、(1992年)、太田次郎、石原勝敏、黒岩澄雄、清水碩、高橋景一、三浦謹一郎編、(株)朝倉書店発行、187頁 図3.24 ジデオキシ法による塩基配列決定

# 塩基配列決定 (Sanger法) の例

G A T C

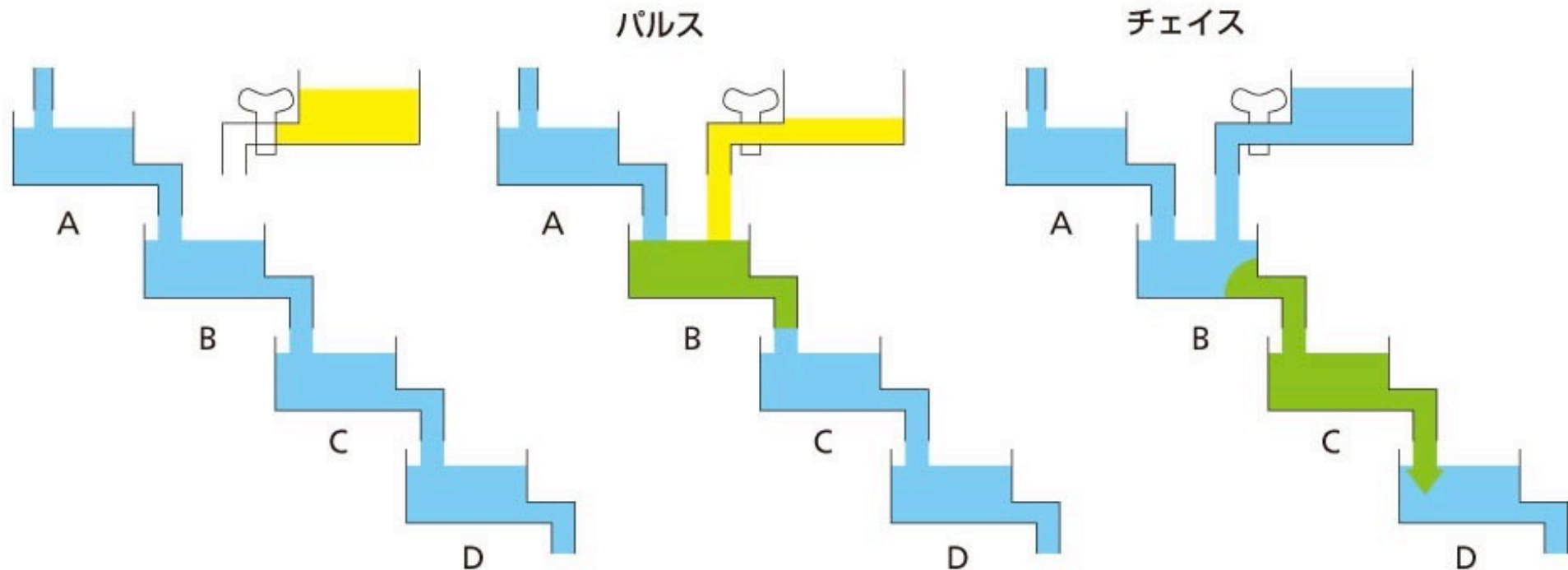


# パルスチェイス実験

同時進行している複数の反応のなかに埋もれている一つの素反応を知る

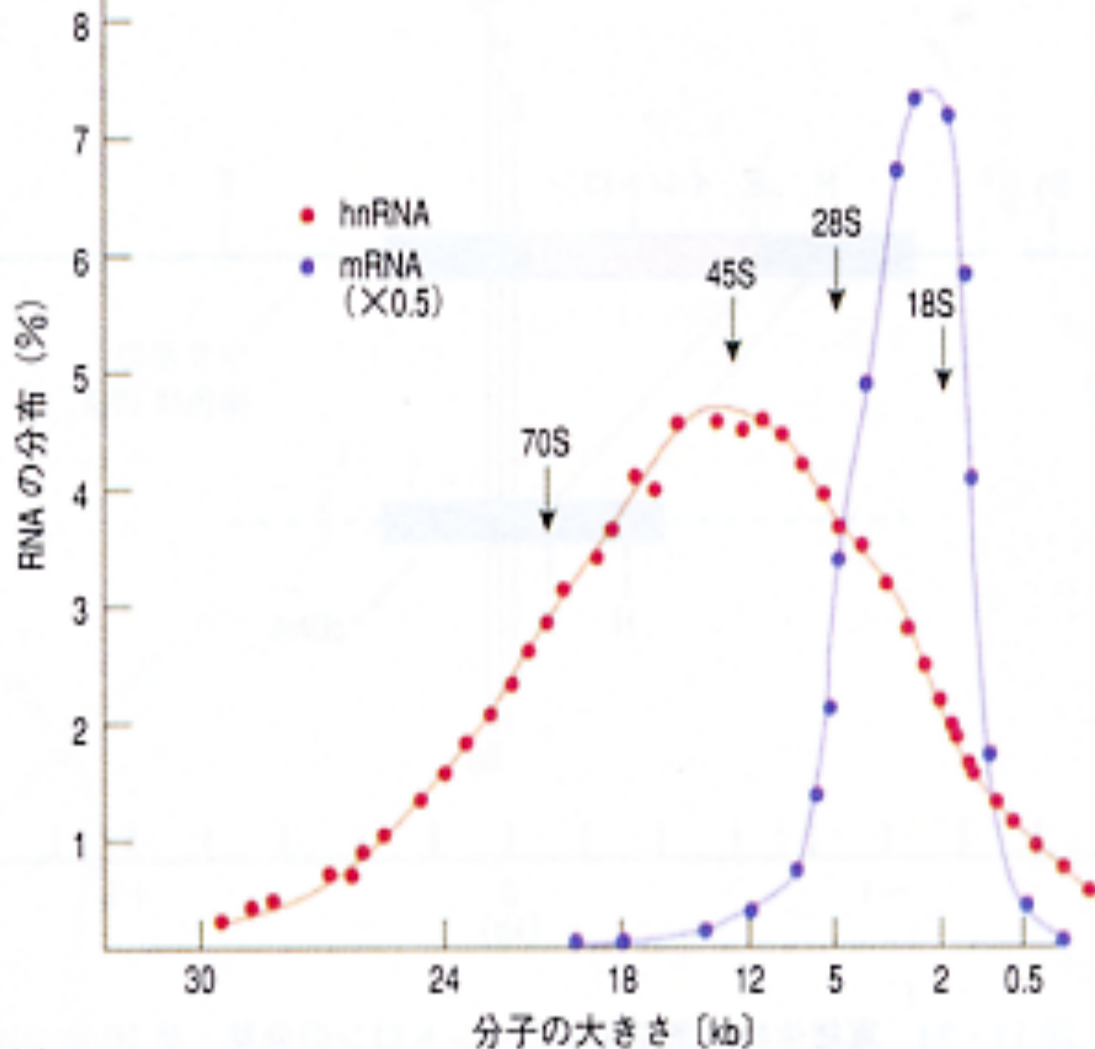
**Molecular Biology of THE CELL 5th Edition**

©2010 Newton Press / ©2008 Garland Science





# mRNAは 最初大きな前駆体RNAとして生まれる



hnRNA:  
heterogeneous  
nuclear RNA  
ヘテロ核RNA

長い前駆体 → 完成型のmRNA : mRNAは長い前駆体から

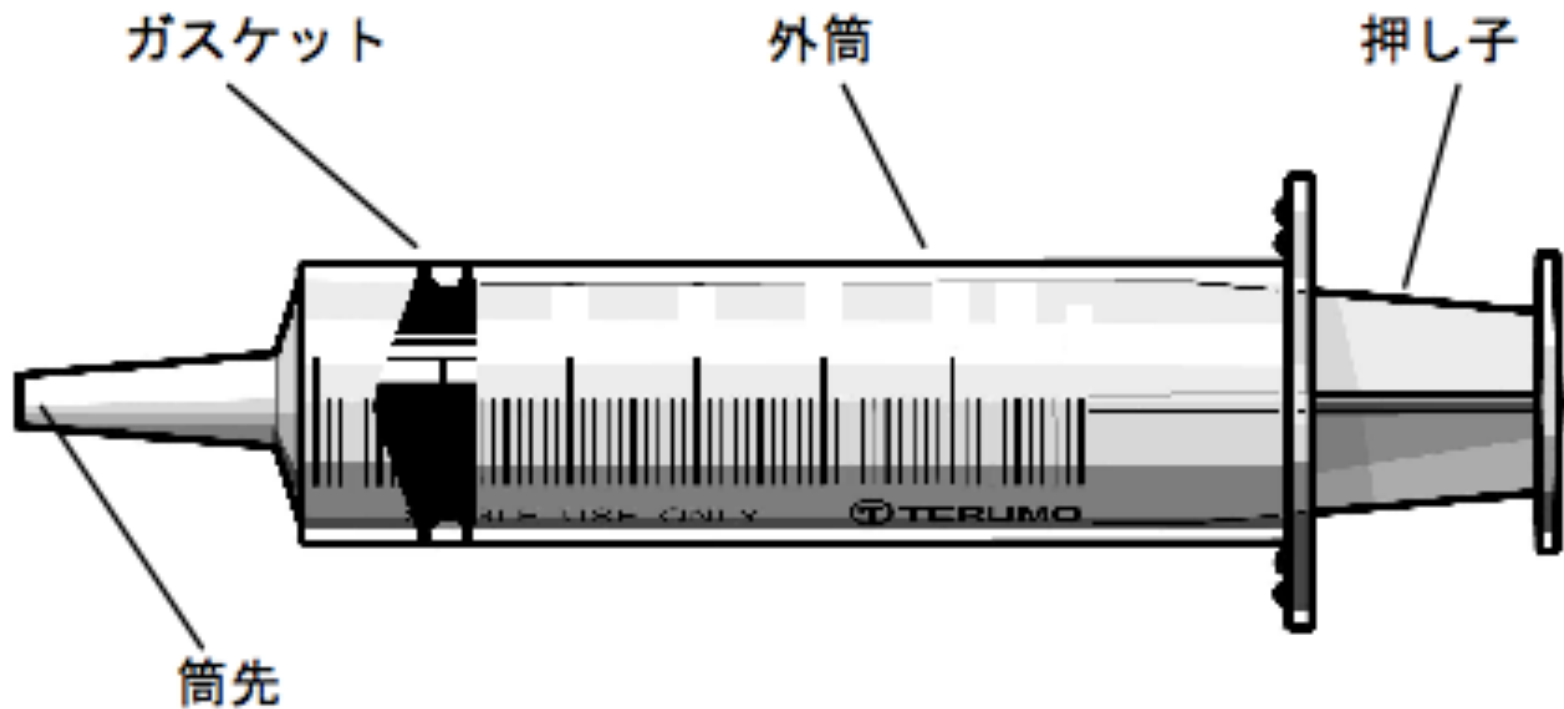


# 医療現場、治療への応用

## (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。

# じっくり見たことありますか





# 高線量の放射線利用 殺菌作用の利用

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

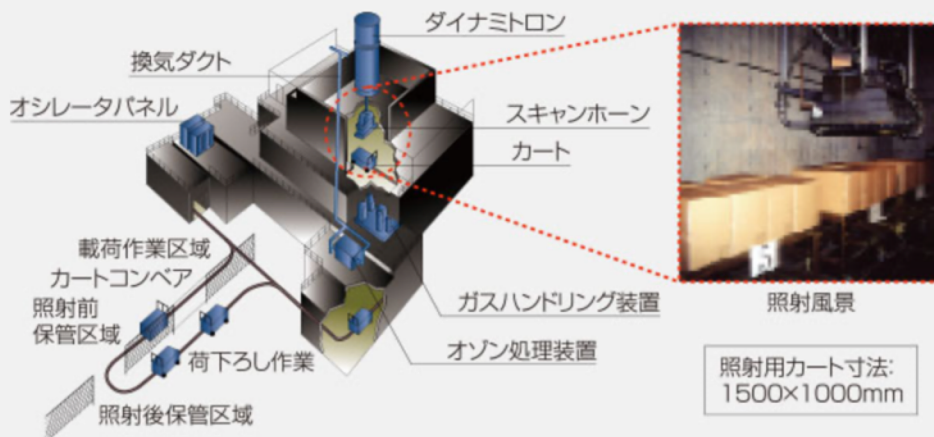
# 電子加速器による照射

## 電子線照射施設（ダイナミトロン）

建屋2階の加速器室に設置した電子加速器で電子線を発生させ、1階の照射室に向けて放出。照射室の電子線放出口直下にはカートコンベアラインを設けており、その上を被照射物が搬送されることで照射されていきます。

- 大きな加速エネルギー（最大5MeV）
- 抜群の処理効果・処理スピード
- 世界最大規模の処理能力

2拠点で最大出力約300kWの能力。1MCIガンマー施設20施設分に相当。電子線の最大の特長でもある高速処理、低価格、材質に優しいサービスを実現。



# 医療用品の滅菌処理

## 電子線滅菌の特長

- 物質を透過する能力があるため、最終梱包状態での滅菌が可能
- 照射線量で滅菌判定が可能（ドジメトリックリリース：無菌試験の省略が可能）
- 滅菌処理後の残留物の心配がない（残留物質の測定、保管場所並びに期間が不要）
- 滅菌処理時間が短く、連続大量処理が可能
- 温度上昇が少ない（対象品の比熱と照射線量による）
- 放射線滅菌でありながら、放射性物質を一切使用しない（安全かつクリーン）



# 食品照射

表-1 食品照射の効果と必要線量

照射目的	線量 (kGy)	対象品目
発芽防止	~0.15	馬鈴薯、タマネギ、ニンニク
殺虫	~1.0	穀類、果実、豚肉(寄生虫)
殺菌	~10	冷凍魚介類、肉類 香辛料、乾燥野菜





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>





## 放射線照射食品(概要)

### 1. 放射線照射食品とは

農作物の発芽抑制、熟度調整、食品の殺虫・殺菌などを目的として、放射線を食品に照射することを食品照射といい、照射された食品を放射線照射食品又は照射食品といいます。食品照射は加熱処理と同様に物理的な処理方法です。放射線により生成するフリーラジカル<sup>注1</sup>がDNAに対して作用することにより細胞死が起こることなどを利用して、食品の殺菌、殺虫、発芽防止などを行うものです。フリーラジカルは、一般の加熱処理の際にも食品の中で生成され、放射線照射と加熱処理のいずれにおいても、生成されるフリーラジカルの性質は基本的に同じで区別できず、短時間で消滅するとされています。食品照射に用いる放射線のエネルギーには、上限が設けられているため、放射線測定感度の高い測定装置で測定したとしても検知できるほどの誘導放射能<sup>注2</sup>は生成されません。

### 3.概要(用途等)

食品照射は、乾燥食品を殺菌して貯蔵損失を縮小したり、野菜や果物の害虫を防除して輸出の検疫要件を満たしたりすることができる。低線量の照射は、根菜類や塊茎作物の発芽による損傷損失を抑えることができる。肉や家きん肉(原著はpoultryと記載)、魚、水産物や香辛料における病原性微生物や病原性寄生虫の汚染による食品媒介性疾病は、増加傾向にある。このような固形食品への放射線照射は、病原性微生物の汚染を除去することができる。さらに放射線照射は、ココア豆やコーヒー豆のくん蒸<sup>\*</sup>処理に代えることができ、魚の干物やデーツ(なつめやし)、ドライフルーツ等の害虫防除ができる。食品の放射線照射の非常に重要な利点の一つは、処理産物の物理化学的な特性を大きく変化させることのない低温処理であるという点である。最終的なパッケージ後の食品に適用することも可能である。(1991)





[http://www.ies.or.jp/publicity\\_j/mini\\_hyakka/21/mini21.html](http://www.ies.or.jp/publicity_j/mini_hyakka/21/mini21.html)

じゃがいもの収穫期は本州で6月頃、北海道では9～10月頃ですが、3～5月頃までの端境期に高値をつけることができました。そこで、1967年に原子力委員会は、食品照射に関する大規模な研究を開始しました。放射線を照射する目的は、収穫後8ヶ月の室温貯蔵で発芽を防止することと設定されました。男爵、島原および農林1号の3品種が選ばれました。研究の結果、ガンマ線(X線の仲間の放射線)を70グレイ(後註参照)照射すると、前記の目的を達成することがわかりました。

表-3 世界における食品照射の現状

国名	年間処理量	処 理 品 目
中国	140,000トン	香辛料、ニンニク、穀類 など
米国	89,000トン	香辛料、牛挽肉&食鳥肉、果実 など
東南アジア	26,000トン	香辛料、冷凍魚介類、発酵ソーセージ など
欧州	20,000トン	香辛料、食鳥肉 など
日本	8,000トン	馬鈴薯
合 計	約30万トン	

放射線処理による効果は、  
加熱処理等の他の方法と同様の化学変化に基づくもの

放射線照射により食品の主要構成成分に化学変化が生じる

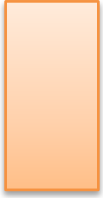
照射食品の健全性試験の実施

- ・1980年のFAO/IAEA/WHOの合同専門委員会で「総平均線量10kGy以下で照射された食品の毒性学的な危険性は全く認められない」と結論
- ・1983年のFAO/WHO合同のコーデックス以下の照射食品についての一般規
- ・2003年のコーデックス委員会で「技術10kGy以上の照射を認める」との規

図-1 照射食品の健全性について

表-4 食品照射専門部会の結論

- 食品照射は有用性がある。
  - ・食品衛生、損耗防止に寄与できる
  - ・世界各国で(とくに香辛料)が流通し、多くの実績がある
- 照射食品の健全性(安全性、栄養学的適格性)について見通しがある。  
国際機関(FAO, WHO, IAEA等)において安全性や栄養面から有意な影響はないと評価
- 照射施設の周辺環境への影響は小さい。



# 中線量の放射線利用 不稔化、不妊化

## 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

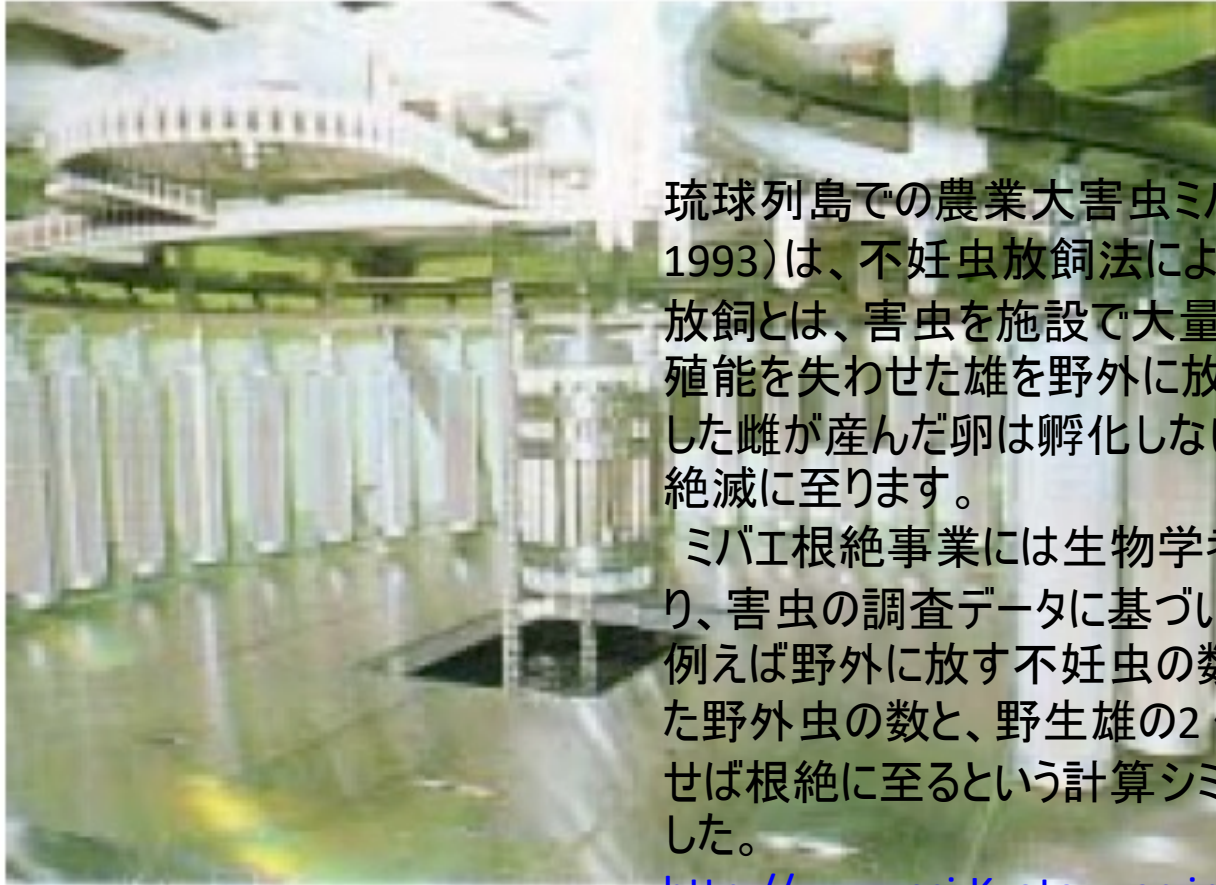
さもなくば、すぐに個体数が増えてしまう



# 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）



琉球列島での農業大害虫ミバエ類の根絶事業（1972-1993）は、不妊虫放飼法により成功を収めました。不妊虫放飼とは、害虫を施設で大量増殖させ、放射線を当て生殖能を失わせた雄を野外に放す方法です。不妊雄と交尾した雌が産んだ卵は孵化しないので、世代とともに虫は減り、絶滅に至ります。

ミバエ根絶事業には生物学者の伊藤嘉昭氏らが深く関わり、害虫の調査データに基づいた計画が効果をあげました。例えば野外に放す不妊虫の数は、誘引トラップによって調べた野外虫の数と、野生雄の2倍以上の不妊雄を毎世代放せば根絶に至るという計算シミュレーションにより決定されました。

<http://www.sci.Kyoto-u.ac.jp>

[出典] 沖縄県ミバエ対策事業所 [/ja/academics/programs/scicom/2015/201512/02.html](http://www.sci.Kyoto-u.ac.jp/ja/academics/programs/scicom/2015/201512/02.html)





# 低線量の放射線利用 遺伝子配列の変化を誘導

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

# 新品種開発の可能性を高める 進化を早める



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

# 花卉の新品種開発



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-「ゴールド二  
十世紀」(下)

【出典】 農業生物資源研究所



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>



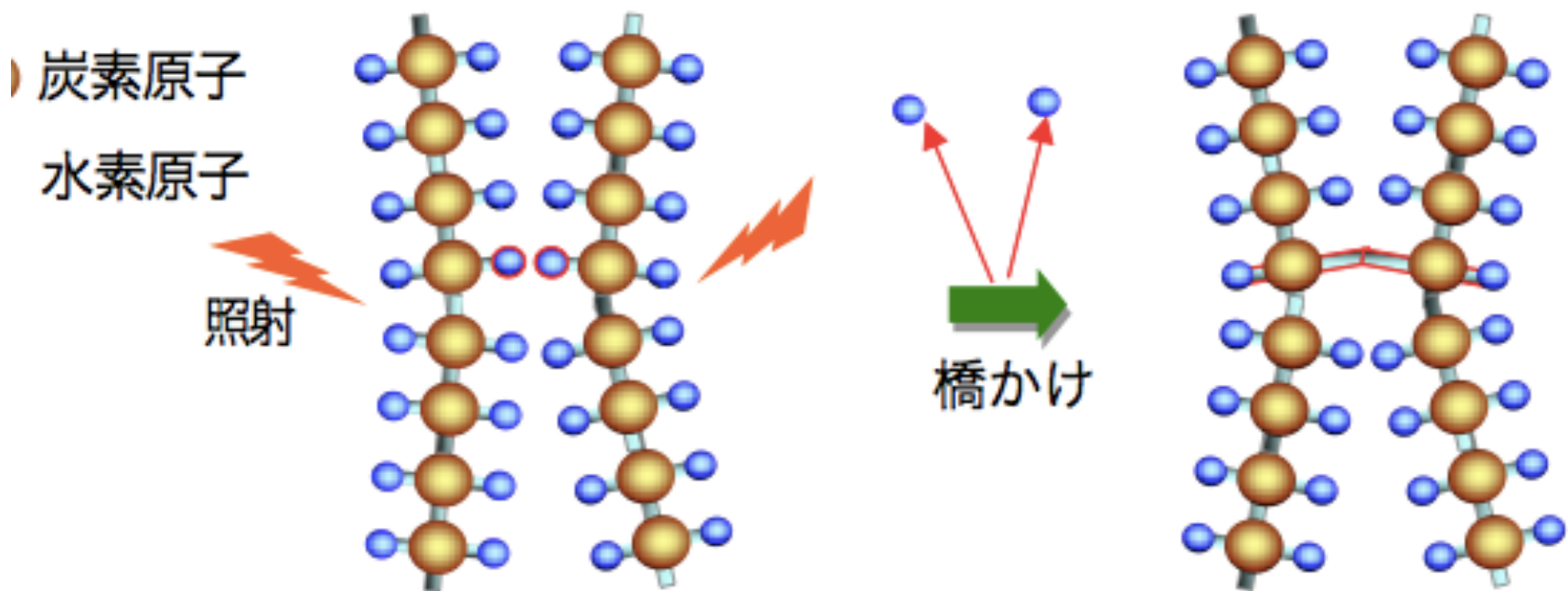
夜光時計は、全世界に広く普及している放射性日用品である。夜光時計には硫化亜鉛を主成分とする蛍光体に励起源として放射性同位元素を添加した夜光塗料が使用されている。20世紀の初めから世界各国で夜光時計に使用されてきた放射性同位元素は、当初は $^{226}\text{Ra}$ （ $\alpha$ 線放出の放射性核種）である。その後、1960年頃より放射線安全性の高い $^{147}\text{Pm}$ や $^3\text{H}$ （ $\beta$ 線放出の放射性核種）を用いた夜光塗料が開発され、現在でも世界中で利用されている。表1に示したように、夜光時計には国際規格（ISO-3157）が制定されており、世界の主要国がその規格に準拠している。一方、輸入される外国製の夜光時計の大半が $3.7\text{MBq}$ 以上の $^3\text{H}$ を含む夜光時計であり、実状に合わせて1998年（平成10年）3月26日付けで科学技術庁長官（現文部科学大臣）から諮問のあったトリチウムを用いた夜光時計の規制免除について、放射線審議会アイソトープ部会で審議を行った。審議の結果、諮問の内容は妥当であるとの結論に達し、国際標準機構の規格（ISO-3157）を満たす夜光時計に関する規制免除が認められた。1998年10月30日に放射線障害防止法の告示（放射線を放出する同位元素の数量等を定める件）の一部が改正され、ISO規格を満たす時計の完成品に用いられているトリチウムについての定義・数量が見直された。それによると、携帯時計に対しては $277\text{MBq}$ 、置掛時計に対しては $370\text{MBq}$ 、特殊目的のための時計に対しては $925\text{MBq}$ である。また、使用による年間実効被ばく線量は腕時計で $2.2\mu\text{Sv}$ 、置掛時計で $3.0\mu\text{Sv}$ であると評価されている（参考文献5）。

少し古い時代の記述です。



# 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



財団法人日本原子力文化振興財団

橋かけによってポリマーの軟化温度と熔融粘度が上昇し、耐熱性が向上する。



# 新素材をつくる

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
泡発 <sup>泡</sup> 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

自動車のゴムタイヤを硬くする

プラスチックの容器を熱に耐えられるようにする

テニスラケットのガットをボールがよく飛ぶように弾力を強くする

# 日本自動車工業会HP

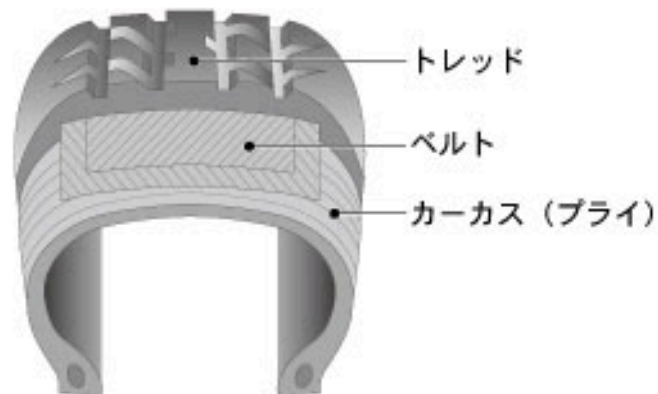
## (1) ラジアルタイヤ

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

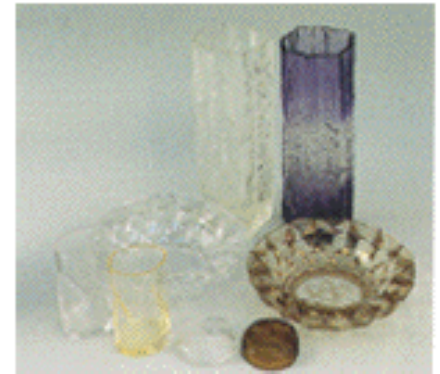
図1 ●ラジアルタイヤの構造図



# 他の例

## ○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。

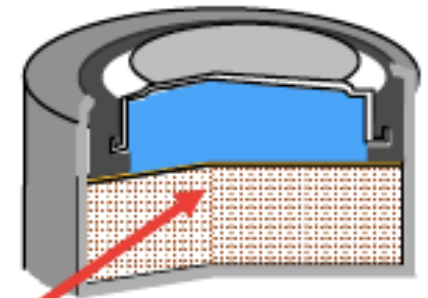


ガラス製品

## ○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 $\mu\text{m}$

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。

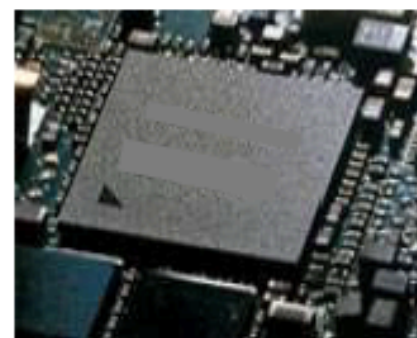


ラジアルタイヤ、耐熱電線

## ○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。

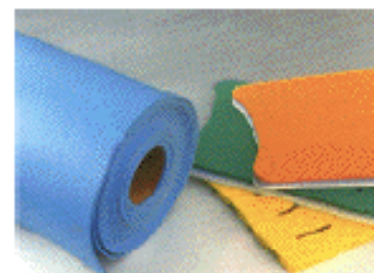
(市場規模:平成15年度6.3兆円)



半導体

## ○発泡材料(緩衝材料、断熱材料)

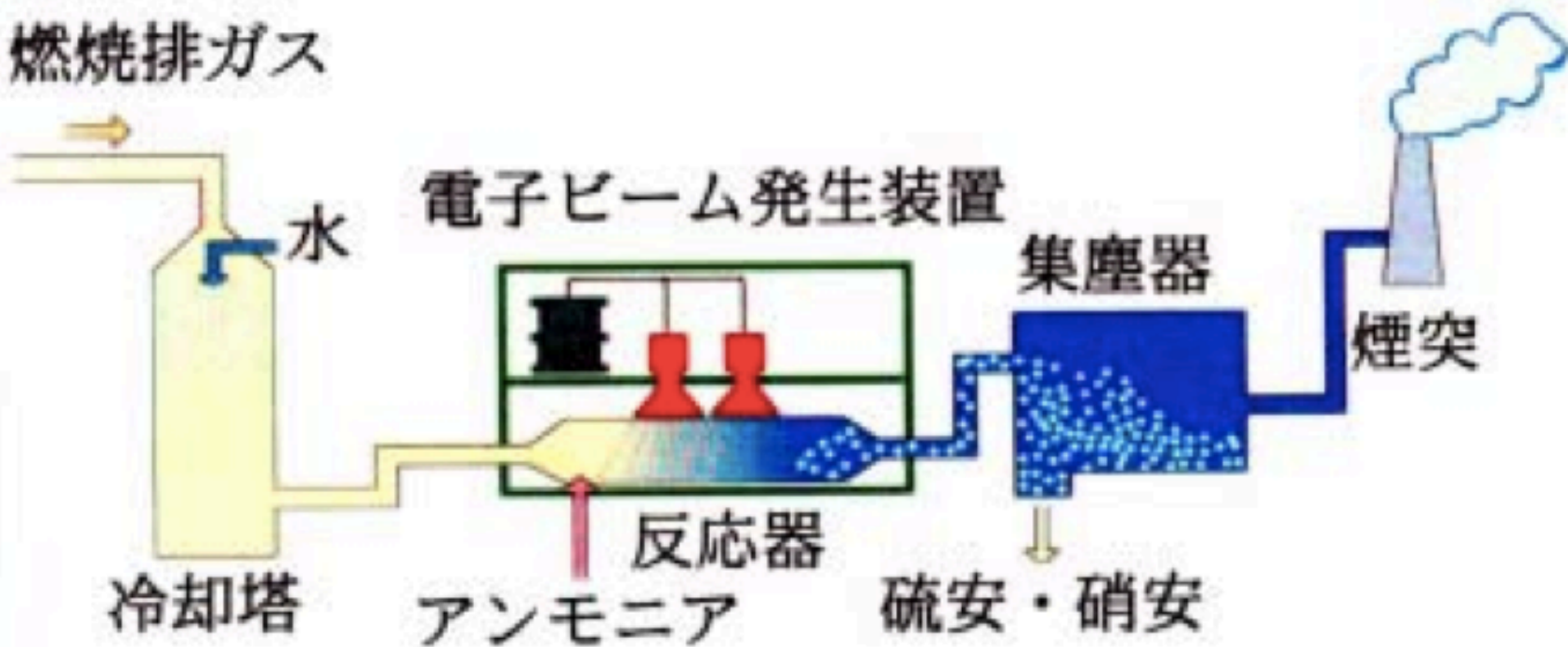
お風呂場で使うバスマット、あるいはプールで使うビート板に使用されている発泡ポリエチレンをご存じですか。あの防水性、浮力が高く、ほどよく硬い素材は、ポリエチレンに放射線を照射し、加熱することで内部に細かい気泡をつくりだしたもので、これもいまから20年以上も前に開発された素材です。



発泡ポリエチレン

# 環境浄化

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



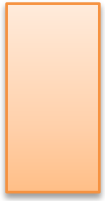
[出典] IAEA



# 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

図 8.9.1 厚み計の原理

厚み計



[出典] 日本原子力文化振興財団

# 胸部X線検査

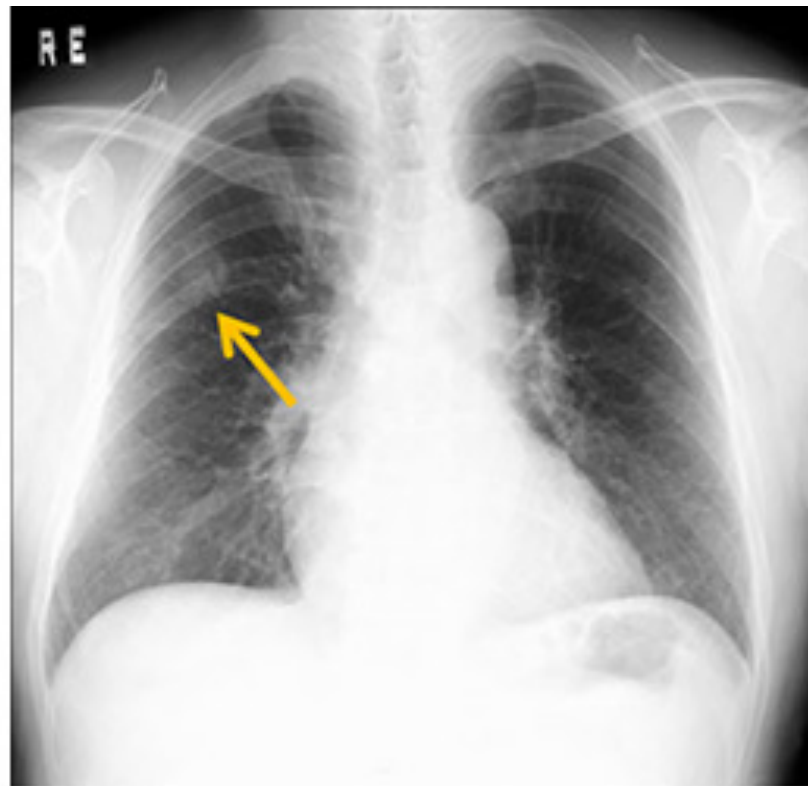


写真 8.9.3 煙探知機



[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

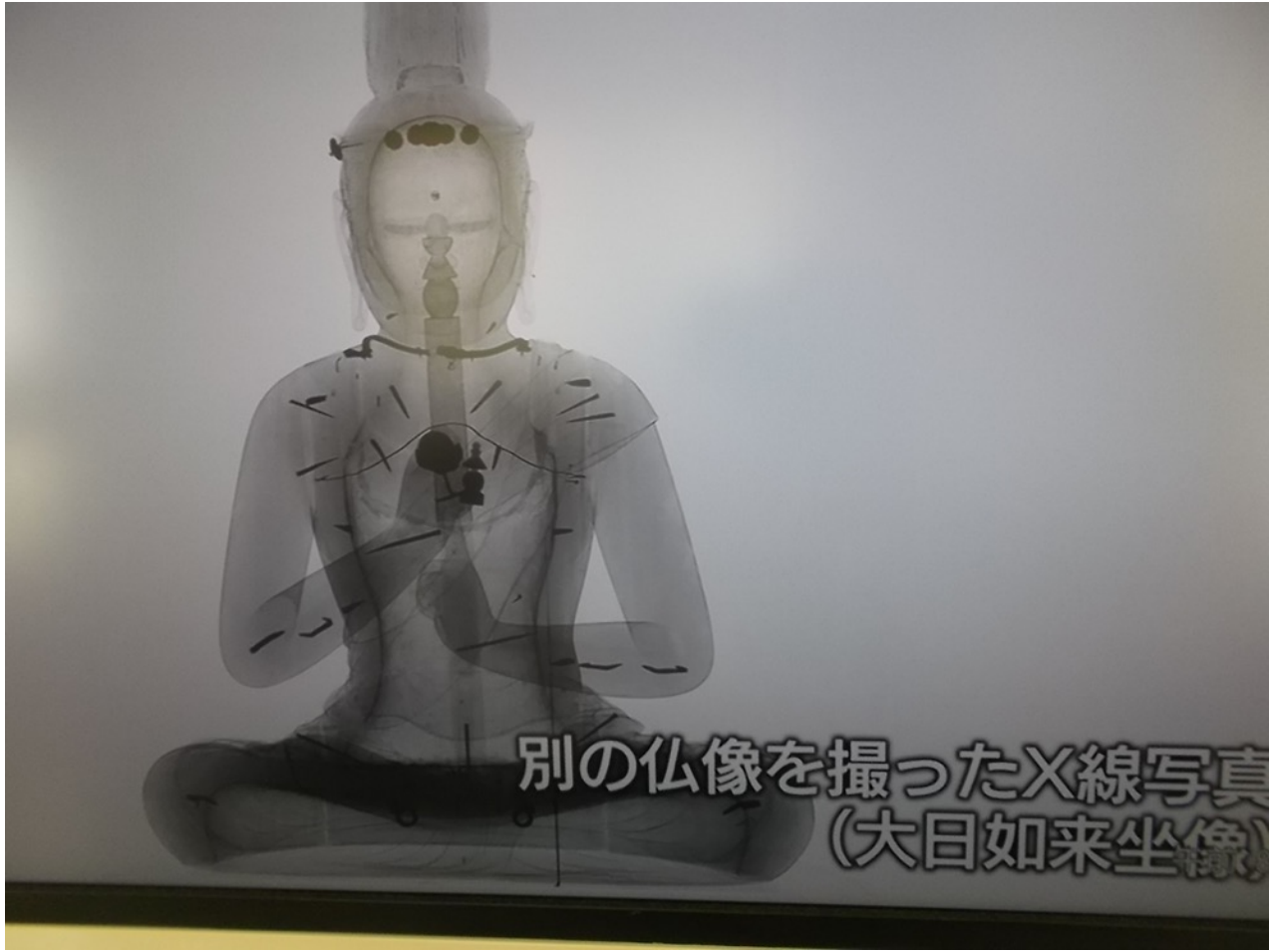


[出典] 日本原子力文化振興財団



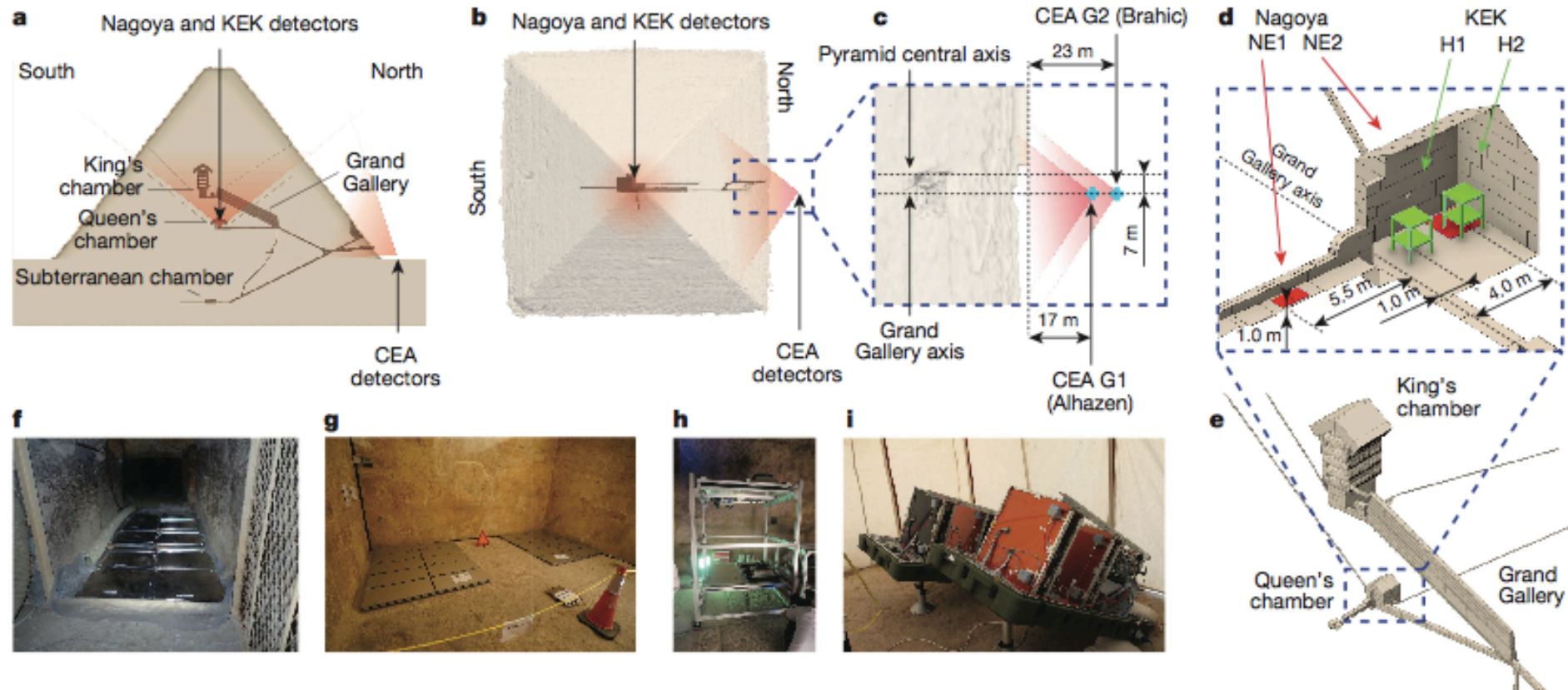
# 貴重な文化財産の内部を視る





別の仏像を撮ったX線写真  
(大日如来坐像)

# Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons



**Figure 1 | Muon detectors installed for Khufu's Pyramid.** **a**, Side view of the pyramid, with sensor positions and indicative field of view. **b**, Top view. **c**, Close view of the position of the gas detectors Brahic and Alhazen (CEA). **d**, Orthographic view of Queen's chamber with nuclear emulsion films (Nagoya University, red positions NE1 and NE2) and scintillator

hodoscopes (KEK, green positions H1 and H2). **e**, Orthographic view of the main known internal structures. **f**, Nuclear emulsion plates in position NE1 (Nagoya University). **g**, Nuclear emulsion plates in position NE2 (Nagoya University). **h**, Scintillator hodoscope setup for position H1 (KEK). **i**, Gas detectors (muon telescopes, CEA).