

自然放射線像を見る ～野菜などからの自然放射線強度分布像の取得～

森 千鶴夫
名古屋大学



要約： イメージングプレートと呼ばれる日本で発明された高感度の放射線検出プレートを使って、野菜、果物、肉、岩石、あるいは身の回りの物品から放出されている放射線の強度分布を世界で初めて取得した。これらの像を見ることによって、一般の方々も、自然にも放射性物質が存在し、そこからいつも放射線が出ているのだ、ということを理解して頂くのに役立つと思われる。これらの自然放射線像の取得の経緯、手法などを含めて報告する。

1. はじめに

放射線は人間の五感で感じることはできない。当然、目には見えない。しかし、物質によっては放射線が当たると光を出す。また、分子や原子が励起される。このような現象を利用して、放射線を見たり測定したりすることは昔から行われていた。放電管にスイッチを入れると、蛍光物質から光が発生するのを見て、ドイツのレントゲンがX線を発見し、写真乾板が黒くなっているのを見て、フランスのベクレルが自然の放射線を発見した。また、英国のウィルソンは、霧箱を発明して放射線が空気中を飛行した跡を目に見えるようにした。いずれもノーベル賞を受賞している。

しかし、野菜や果物などに自然に含まれる放射性物質からの放射線の強度分布を目で見えるようにした研究はなかった。ところが日本において、イメージングプレートと呼ばれる超高感度の放射線検出プレートが発明された。筆者らはこのプレートを使って、世界で初めて野菜や果物などからの自然放射線を目で見えるようにした。

2. イメージングプレート

2.1 ノーベル賞級の超高感度X線フィルムの発明！

1981年に、富士写真フィルム（株）（現、富士フィルム（株））が、超高感度を持つ新しい原理のX線フィルムを世界に先駆けて開発した。ここに「新しい原理のX線フィルム」と書いたが、実際はX線フィルムとは原理が全く異なるので、「イメージングプレート； Imaging Plate」と名付けられた¹⁾。このプレート(IP)は、それまで医療用に用いられていた当時の高感度のX線フィルムに比べて百倍以上の感度を持ち、画像を電子的に読み取った後、その像を消去し、何百回もプレートを使用できるということであった。

この技術はその後、医療の分野におけるX線像の取得や人工の放射性同位体を使用した研究に多く使用されるようになり、X線回折や、他の分野にも使用されるようになってきた²⁾。1992年に東京で開催された原子力シンポジウムにおいて、「放射線位置検出器」に関するパネルディスカッションがあり、富士写真フィルム工業（株）の宮原諱二博士（その後、一橋大学教授、東京理科大学教授を経て、現在イノベーション・ファクタ

一研究会代表、多くの発明賞、特別賞などを受賞) が「イメージングプレートの開発」に関する報告をされ、図1の画像を示された。

このような像を短時間に撮れるとのことでの、その美しさに見惚れ、またこのプレートの性能に驚いた。このような像はマクロオートラジオグラフィーと呼ばれる。医療におけるX線像などは、外からX線を当て、試料(人体など)を透過してきたX線の強度分布をX線フィルムなどで撮影する(直接撮影と呼ばれる)。あるいは蛍光板を光らせて、その光をカメラで撮影する(間接撮影と呼ばれる)。これらはX線ラジオグラフィーと呼ばれ、いわゆるX線写真であり、白黒の画面である。

それに対して、試料自身が放射性物質を含み、試料から放出される放射線の強度分布を撮影する方法はオートラジオグラフィー(試料自身が出す放射線像)と呼ばれる。オートラジオグラフィーは、ミクロオートラジオグラフィーとマクロオートラジオグラフィーに分けられる。前者は写真乾板に得られた像を顕微鏡で観察する方法で、試料の結晶状態などを含む微細な構造を研究する手法である。それに比べて後者は、フィルムや写真乾板に得られた像を肉眼で直接見る方法で、試料に含まれる放射性物質の巨視的な分布を調べる方法である。

図1は、人工の放射性物質のリン-32(P-32)を普通のリン(P-31)に混ぜてリン酸肥料を作り、リン酸肥料が大豆の葉にどのように吸収されて行くかを示す像である。植物の肥料の三大要素の一つであるリン酸は、開花・結実を促すため、「実肥(みごえ)」といわれている。リン酸がリンの放射性同位体P-32で標識されているので、葉がリン酸を摂取するとP-32からベータ線が放出される。イメージングプレートの上に置くと数十分間で放射線分布像(マクロオートラジオグラフィー)を撮ることができる。P-32の放射能強度は自然の放射能に比べれば相当強い。イメージングプレートの上にこの葉を乗せて、数十分間置く(これを露出あるいは露光と呼ぶ; exposure)と、イメージングプレートの輝尽性発光体の分子が励起された状態になる。その分子に約700ナノメーターの波長のレーザー光を当てると約600ナノメーターの波長の光(輝尽性発光と呼ばれる)が放



図1 人工の放射性物質(P-32)を含むリン酸肥料が大豆に吸収されてゆく様子を示すオートラジオグラフィー。赤い部分は放射性物質を多く含み(放射能が強いとも言う)、緑の部分は少ない(放射能が弱いとも言う)。

宮原諄二博士提供

出される。その輝尽性発光の強度はイメージングプレートが受けた放射線の線量に比例する。レーザー光を直径 $50\text{ }\mu\text{m}$ 程度のビームにしてイメージングプレート上を走査し、それぞれの位置における輝尽性発光を光電子増倍管で電流値に変え、デジタル信号にすればイメージングプレートに照射された放射線の強度分布がデジタルの数値として得られる。その情報をパソコンに蓄積して画像として読み出せば放射線強度の分布像が得られる。このような方法は、デジタルマクロオートラジオグラフィーと呼ばれる。図 1 の手法はリン酸肥料のリンが、どの程度の時間で、どの場所に行き渡って行くかが明瞭に分かり、植物生理学や農学の分野では貴重な手法である。「放射性同位体のトレーサーとしての利用」と呼ばれる。赤い部分はリン酸をより多く摂取し、緑の部分は摂取が少ないことを示している。世界で初めての像である。マクロオートグラフィーで、しかも放射能強度が白黒ではなくカラーで示されているが、当時は放射線像のカラー表示はほとんどされていなかった。

2.2 イメージングプレートのすごい高感度からの発想

図 2 はこのイメージングプレートの感度を従来の高感度 X 線フィルムと比較したものであるが、横軸の放射線量を見ても、また、縦軸の検出感度を見ても、イメージングプレートは X 線フィルムよりも 2~3 衍ほど感度が高く、直線性もよい。図 1 は数十分間の露出で得られるが、このような像を X 線フィルムで得ようとなれば 1 週間以上の露出時間が必要である。

著者はこの感度特性を見て、イメージングプレートの感度がこれほど高ければ、人工の放射性物質が無くとも、野菜や木の葉などの物質に含まれる自然のごく微量の放射性物質からの放射線の像が得られるのではないか? とふと思った。今までそのような像を撮った人は誰もいない。その理由は、そのような有効な手段が見つからなかつたことのほかに、そのような像を撮ることの意義をそれほど感じていなかつたことによるかと思われる。この意義に関しては、筆者は今もそれほど感じているわけではない。

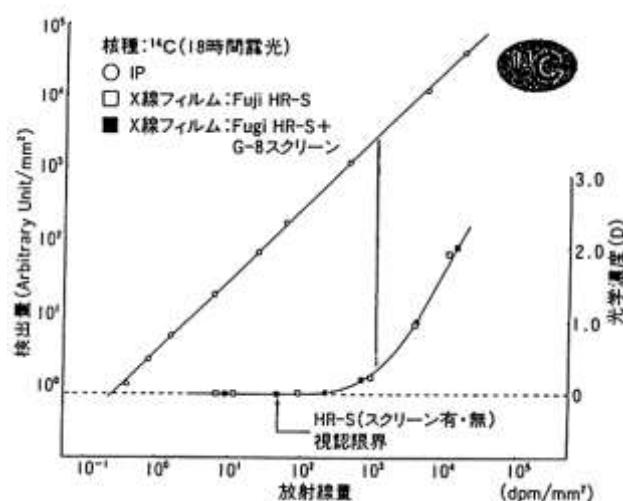


図 2 高感度 X 線フィルム HR-S とイメージングプレート (IP) の感度比較

富士写真フィルム (株) のパンフレット

野菜や木の葉などからの極微量の放射線の像ではなく、七宝焼きなどに使われている（正確には使われていた）釉薬からの放射線像をX線フィルムによって1週間暗室で露出して取得した報告はある³⁾。しかし、過去の釉薬はトリウムやウランを多く含み数百ベクレル/gの放射能があるが、野菜や肉などのように～0.1Bq/g程度の放射能しか含まない物品からの放射線像はX線フィルムでは撮れない。何故なら、このような弱い放射能強度の物質から放出される放射線の強度は、周辺の家の構造物や庭や宇宙からの放射線の強度と同等か、それ以下であるから、露出時間を長くしても周辺の放射線が写るからである。

2.3 もしや野菜などからの自然の放射線の分布像が撮れるのでは？

学術的に明瞭な言葉である放射性同位体に対して、放射性物質と言う言葉もよく用いられている。これは、“放射性同位体を含む物質”と言う意味である。この世の中の全ての物質には自然の放射性同位体が含まれているので、世の中の全ての物質は人体を含めて物理的には放射性物質であると言う事ができる。しかし、放射能の総量および単位体積（あるいは単位質量）に含まれる放射性同位体の量（濃度）が、法律で定める一定値以上でなければ、法的には放射性物質ではない。この濃度は核種によって異なる。この意味において、人体や身の回りのほとんどの物質は放射性物質ではない。

しかし、我々が食べている食物も、したがって私達の身体も例外なく極めて微量ではあるが自然の放射性同位体が含まれている。このことは、ベクレル博士によるウラン鉱石からの自然放射線の発見やキュリー夫妻のラジウムなどの発見に引き続いて、多くの研究者によって精力的に行われてきた研究で明らかになっている。従って野菜などにも自然の放射性同位体が含まれ、放射線を出していることが分っていた。しかし、何しろ極めて微量なので、そこから出ている放射線の分布像を撮ることは誰も試みていなかった。イメージングプレートの出現はそのことを可能にするのではないか？と言うのが、筆者が取り組んだきっかけである。しかし、富士写真フィルム工業（株）が開発したイメージングプレートの読み取り装置は、当初は極めて高価（2千万円ほど）で、私の周辺にはこの機器はなかった。しかしやがて名古屋大学医学部が1台購入した。さすがは医学部！と感心したものである。そこで上記の野菜などからの自然放射線分布像の取得に取り掛かった。1993年のことであった。

2.4 環境放射線を低減する性能の良い遮蔽箱が必要

イメージングプレートが高感度であるということは、私達の身の回りに飛び交っている自然の環境放射線に容易に感じてしまうことでもある。X線フィルムでも長期間放置しておけば、自然の環境放射線に感じて黒化してしまうことと同じである。イメージングプレートは感度が～100倍高いので数時間でも放置しておけば壁や床からの自然の放

射線や宇宙線を感じてしまう。開発されたイメージングプレートは、長時間放置したことによって蓄積された環境放射線などの影響を、使用前に“消去”と言う手段で消すことができる。しかし、野菜などに含まれているような極めて微量の自然放射性物質からの放射線を撮るには、長時間の露出が必要であり、どうしても周りからの環境放射線（野菜などからの自然放射線よりも強い）をカットしなければならない。

厚さ 10 センチメートルの鉛ブロックを組み合わせて、周辺からの環境放射線をさえぎる箱状の遮へい箱を作り、いろいろと試した。数週間の露出が必要であることは簡単な計算から分かっていた。実際に試してみると、先ず野菜などは数週間置くと腐敗したり、変形したりする。防腐剤を塗布したり、サランラップで包んだりして、どうやらこれらの問題は克服した。しかし、まだ周辺からの環境放射線（バックグラウンド放射線と呼ぶ）に感じて、試料からの放射線像のコントラストがあまり良くない。

実は、鉛ブロックには自然の放射性物質がかなり含まれている。鉛ブロックは鉛鉱石（白鉛鉱）から鉛を精製して作る。白鉛鉱にはウラン-238（半減期 45 億年）が 0.01%～2% 程度含まれている。ウラン-238 は、図 3 に示すように、アルファ壊変やベータ壊変を繰り返して、ラジウム-226（半減期 1600 年、キュリー夫人が発見した）などになり、鉛-210（半減期 22.3 年）を経て最後には安定な鉛-206 になる。

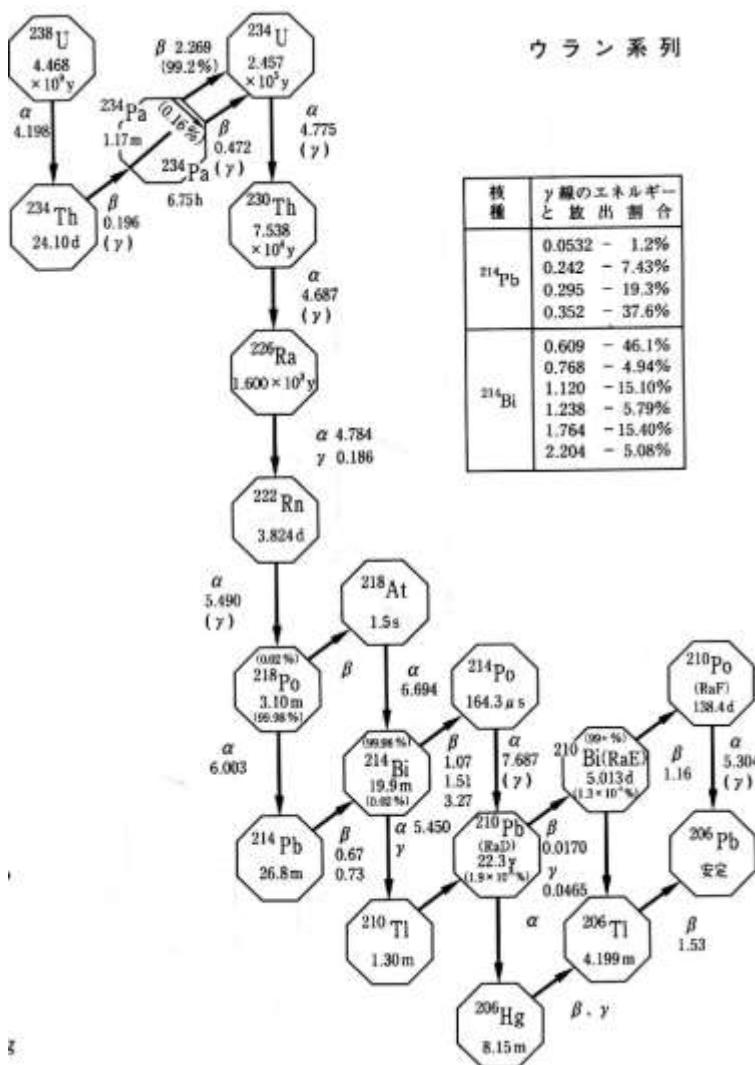


図 3 ウラン-238 の放射性壊変系列

日本アイソトープ協会編 アイソトープ手帳 10 版 p 10

ウラン-238 はこのように放射性壊変を続けているが、精製されていないウラン鉱石にはウラン-238 やウラン-235 が含まれている。これらは放射性壊変を続けて放射平衡が成り立っていて、壊変系列の中の各元素の割合はいつも一定に保たれている。しかし、ラドン (Rn) は気体で、一部は鉱石から空気中に散逸するので、ラドン以降の元素は必ずしも一定に保たれているわけではない。白鉛鉱から鉛を精製すれば、ウランは勿論のこと、壊変系列内のパラジウム、トリウム、ラジウム、ポロニウム、アスタチン、ビスマスなどは取り除かれる。しかし、鉛-210 (^{210}Pb) などの鉛の放射性同位体は同じ元素なので取り除けない。鉛の放射性同位体のうち、鉛-210 は半減期が 22.3 年とかなり長いので、鉛精製後すぐの鉛には、鉛-210 が含まれていて、年数が経つにつれて減少して行く。鉛-210 とその後の核種（娘核種と呼ばれる）はベータ線やガンマ線を出すので、よほど古い鉛でない限り、鉛からはかなり放射線が出ていると言うことになる。

従って、鉛の遮蔽箱は、環境放射線を減少させはするが、一方では鉛から放射線を出していることになる。これらの放射線を減少させるために、図 4 に示すように、厚さ 10cm の鉛の遮へい箱の内側に厚さ 1mm のカドミウム板を、その内側に厚さ 2mm の銅板を張り、さらにその内側に厚さ 1cm のアクリル樹脂を張った。こうして環境放射線の強度を 1/20 ～ 1/30 に減少させることができた。この程度になると、野菜などから放出されている放射線のほうが強くなり、放出像を撮ることが可能になる。

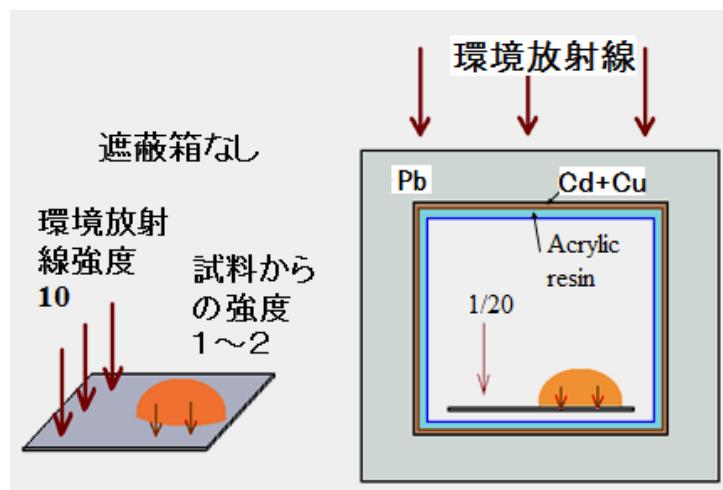


図 4 環境放射線の強度を少なくするための鉛遮へい箱

余談ではあるが； 鉛を多く含む鉱石である白鉛鉱を碎いて粉にし、若干加工してお化粧の材料や油絵の顔料として用いられてきた。鉛白と呼ばれるが、お化粧に使用すると鉛の化学的な毒性のためにいろんな障害が起き、江戸時代の大奥の女性や歌舞伎俳優などが鉛毒のために苦しんだ歴史がある。油絵の顔料としては現在も使用されているが、ラジウム-226 と鉛 210 の比率は、古い絵画の真贋を決める手段を提供している。半減期 22.3 年の鉛-210 の比率が大きいと言うことは、絵が描かれてから年数が経っていないことを意味し、偽物であると判定できる。

3. 世界で初めての野菜からの自然放射線像の取得

3.1 野菜などからの自然放射線像の取得

いろいろと模索した結果ではあるが、最終的には作製した遮蔽箱の中に野菜を約1ヶ月間露出して、いくつかの像を得た^{4, 5)}。図5の左に示すように、かなりきれいな像を

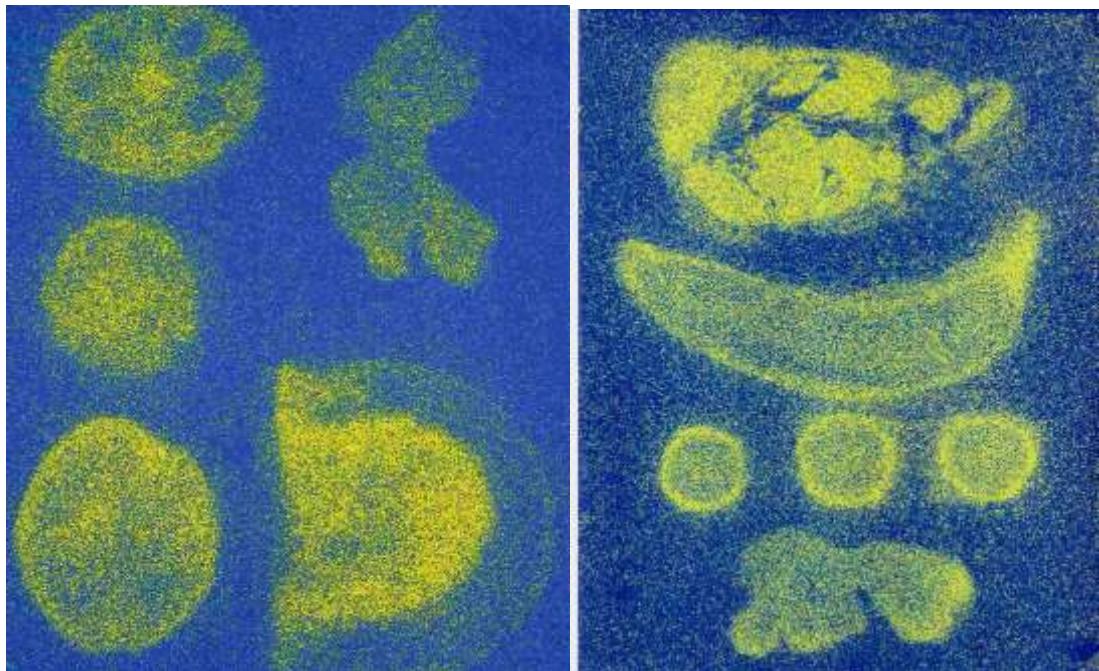


図5 左：野菜から出ている自然の放射線強度の分布像。上左から下へレンコン、サツマイモ、ジャガイモ、ショウガ、カボチャ。右：豚肉、バナナの縦切り、横切り、ショウガ。
いずれも特製の遮蔽箱内で1ヶ月間露出。左は、中部原子力懇談会出版のパンフレット「目で見る自然放射線」の表紙になった。

得ることができた⁶⁾。図5はパソコンで擬似カラー化したもので、本来はそれぞれの場所における放射線の強度が数値で得られているのみであり、言うならば白黒の情報にすぎない。しかし、放射線の強度をディジタルの数値として読み込まれていれば、カラー化したり、コントラストを強調したりすることが可能になる。

図5のような像の取得は世界で初めてなので、米国での研究会で発表した。すると、質問があつて、「私達米国人はジャガイモを多く食べるが、その際に周辺の放射性物質の含有率が多い部分を切り取って食べるのがよいのか?」との問い合わせがあった。このような質問自体が私には少々驚きであった。と言うのは、野菜や全ての食物に、従つてまた人体にも自然の放射性物質が含まれているのは当然のことと認識している者にとっては、このような質問は却つて奇異である。しかし、当時このような像をいきなり見せられた者にとっては、放射線関係の研究者といえどもかなり驚いたのだと思われる。私は「いやその必要は全くありません。と言うのは、私達の身体もこのような野菜と同等に、あ

るいはそれ以上に自然の放射性物質を含んでいるからです」と答えたのであるが、残念ながらその時には、私達の身体からの自然放射線像を撮っていなかった。

そこで帰国後に撮ろうかと考えたが遮蔽箱の中に1ヶ月間じっとしていなければならぬので、生きた人の手などを撮ることはできない。さりとて死人の手や足を使うことは一般には無理である。そこで肉屋で豚肉を買ってきてバナナなどと一緒に露出した。この場合も一度は防腐剤の使用が十分でなく、肉が腐敗してしまい悪臭に悩まされた経験がある。そのような経過を経て、図5の右の像を得た。この豚肉の像を見ると、放射線が多く出ているところと出でていないところがある。出でているところはたんぱく質のところであり、出でていないところは脂肪のところである。たんぱく質のところには神経があり、神経の信号伝達はカリウム-ナトリウムポンプと呼ばれる機能で行われているが、ここに後述するようにカリウム(K-39, K-40(放射性), K-41)が含まれる。

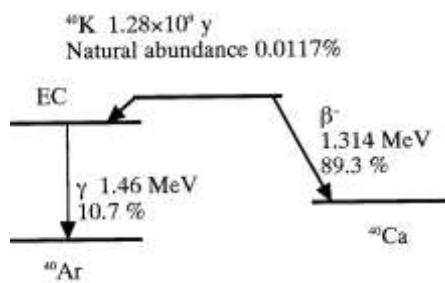
これらの像を放射線教育に関する国際会議で「自然放射能分布像の教育的な使用」という題名で報告⁷⁾したが、「微量放射線は無害だと強調し過ぎることに注意する必要がある」との指摘を受けた。もっともだと思った。

余談ではあるが； 図5の左の図を発表した米国の研究所(NIST)に二年後に訪れた時には、高価なイメージングプレート読取機が2台購入されていた。有用だと判断したのだと思われる。

3.2 野菜から出でている自然放射線は何？

野菜や肉などに含まれる放射性物質は、カリウムの放射性同位体のカリウム-40である。K-40は図6に示すように半減期が12億年なので、ウランやトリウムと同じように地球上からは容易になくならない。

自然の放射性核種にはいろんな生成起源があるが、カリウム-40やウラン、トリウムなどのように数億年以上の長い半減期を持っていて宇宙の形成時から現代まで生き残っている核種を一次天然放射性核種という。また、ウラン-238(図3)、ウラン-235、トリウム-232などの一次天然放射性核種の壊変によって生成された娘核種は放射能をもつていて二次天然放射性核種といわれる。またトリチウム(H-3、半減期12.33年)や炭素-14(C-14、半減期5,730年)のように、宇宙線によってできた主として中性子と空気の分子との核



核種	自然存在比	安定または放射性
K-39	93.08%	安定同位体
K-40	0.0119%	放射性同位体
K-41	6.91%	安定同位体

図6 カリウムの同位体と自然存在比
(下)、放射性同位体K-40の壊変図(上)

反応で生じている核種を誘導天然放射性核種といわれる。半減期は長くはないが、上空で常にほぼ一定の割合で生成されているので、地球上には常に存在する。

トリチウム（H-3）は酸素と化合して水になり人体に含まれることになる。炭素-14は炭酸ガスになり、光合成で植物に含まれ、植物を食べる動物にも含まれ、当然、人体にも含まれ脂肪の部分にもある。しかし、トリチウムや炭素-14から放出されるベータ線はエネルギーが低く、イメージングプレートではほとんど検出できない（潜像を作らない）。カリウムはナトリウムと共に、ナトリウムーカリウムポンプを形成し、細胞内外の電位差を作り、神経の信号伝達を行っており、動物には欠かせない元素である。このカリウムには図6の表に示すように、

放射性同位体であるK-40が0.0119%含まれている。これは、最大エネルギーが1.314 MeVのかなりエネルギーの高いベータ線を放出する。このベータ線はイメージングプレートに潜像を残す。図5の放射線像はこのベータ線によるものである。豚肉の放射線が出でていない脂肪の部分には神経が無くK-40は含まれていない。脂肪の部分には、H-3やC-14は含まれているが、含有率があまり高くないことと、前述のようにベータ線のエネルギーが低いためにイメージングプレートには写らない。

図7は鮭、豚肉、ミョウガ、アスパラガス、タケノコからの放射線像であるが、タケノコだけは写っていない。露出の際にタケノコを置き忘れたのかあるいは別の理由によるのかを、この記事の執筆をきっかけに遅まきながら現在検討中である。

3.3 必要な露出時間

野菜などのように放射能強度が非常に少ない場合には、どれほどの露出時間が必要になるのであろうか？ 野菜などに含まれるK-40の濃度（0.02～0.1）Bq/g、K-40からのベータ線の平均エネルギー440keVに対する飛程0.17g/cm²、表面からのベータ線の放出数（0.034～0.17）個/cm²s、イメージングプレートの放射線検出体である厚さ150μmの輝尽性発光体に対するエネルギー付与（0.26～1.3）keV/cm²s、図2におけるイメージ

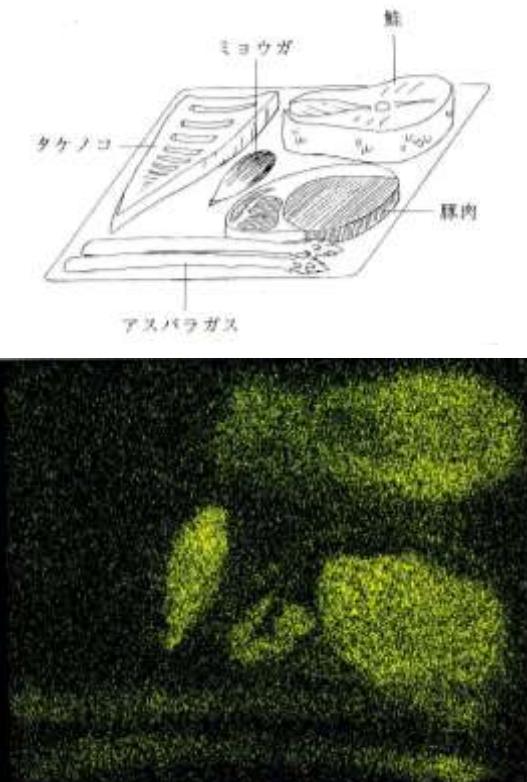


図7 鮭や豚肉、ミョウガ、アスパラガスなどは写っているが、タケノコは全く写っていない。

ングプレートの最小感度、などを考慮して、7.2日～36日程度の露出時間が必要であることが分った。

しかし、実際に試してみるとイメージングプレートに蓄えられた潜像は読み取りまでの時間が長いと写真フィルムと同じようにいわゆる退光する現象(フェーディング、退色)があり、蓄えられた放射線情報はどんどん減少していく。X線や強度の強い放射線を撮る場合には得られた潜像をすぐに読み取るので問題はないが、何しろ1ヶ月間にもわたって露出するので、露出の最初の時期にイメージングプレートに作った潜像は退光する。退光の程度によってはどの程度の露出時間が必要であるかが問題となる。

このことを明らかにするために、次のような検討をした。図8の左の図は、比較的強い放射能を持ち、異なるエネルギーを持つ2種のベータ線源(⁹⁰Sr-⁹⁰Y, ¹³⁷Cs)や低エネルギーのγ線源(²⁴¹Am)を短時間露光し、潜像を読み取るまでの時間(t_d)を変えて得た読み取り強度である。10日間も経てば強度は4割以下になっていて、退光はかなり大きい。しかし、退光の様子はベータ線やガンマ線のエネルギーにはあまり関係しない。この退行の曲線は式(1)に示すように2種の指数関数で近似できる⁴⁾。

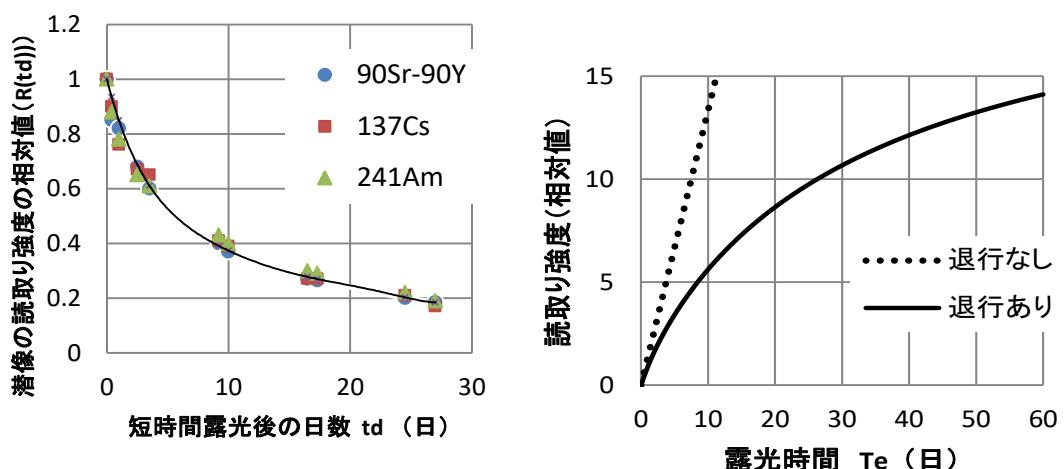


図8 露出（露光とも呼ばれる）時間に関する実験と計算
左図：短時間露出後に潜像を読み取るまでの日数と読み取り強度の関係、約5日で読み取り強度は半分に退光する。右図：長時間の連続した露出直後の読み取り強度、30日以上露出しても読み取り強度はあまり増加しない。

$$R(t_d) = 0.48 \exp(-0.32t_d) + 0.52 \exp(-0.0385t_d) \quad (1)$$

退光の様子が分かれれば、連続して T_e 時間にわたって露出をし続けてすぐに読み取った場合の強度は式(2)で表される。

$$F(T_e) = \int_0^{T_e} R(t_d) dt_d \quad (2)$$

その結果を、図8の右側に示す。露出時間を長くしても、読み取り強度は徐々に飽和して行き、30日以上の露出はあまり効果がないことが分る。このようにして、図5などの露

出時間を決めた。植物や食物などの場合にはほぼ1ヶ月間の露出でよいが、試料の放射能強度が強い場合、例えば花崗岩などの場合には数日～1週間程度でよい。

4. 身の回りの他のいろんな物品からの放射線放出像

4.1 木の葉とメガネ

図9の左は、シュロの葉である。子供達にこの像を見せて何の葉かを聞くとほとんど答えられない。皆さんはどうでしょうか？ 私は山村で育ったのでシュロの木などは周辺にいくらもあった。シュロの木は厚い毛状の皮で覆われているが、この毛は蓑（雨合羽）の極めて貴重な材料であった。

余談であるが； 蓑は、太田道灌の「みの一つだになき・・・」の歌で「実の」と「蓑」をかけた言葉としてよく知られているが、蓑はまさにミノムシの蓑である。農家育ちの筆者が子供の頃は、シュロの木の皮で作った蓑は最高で家長が身に着けることが多く、次は藁で作った蓑があり、子供は油紙のような1枚物を背負って雨の日の田植えなどをした記憶がある。シュロの木は、今は庭木としても見られるが育つのが早く、結構背が高くなってしまってい

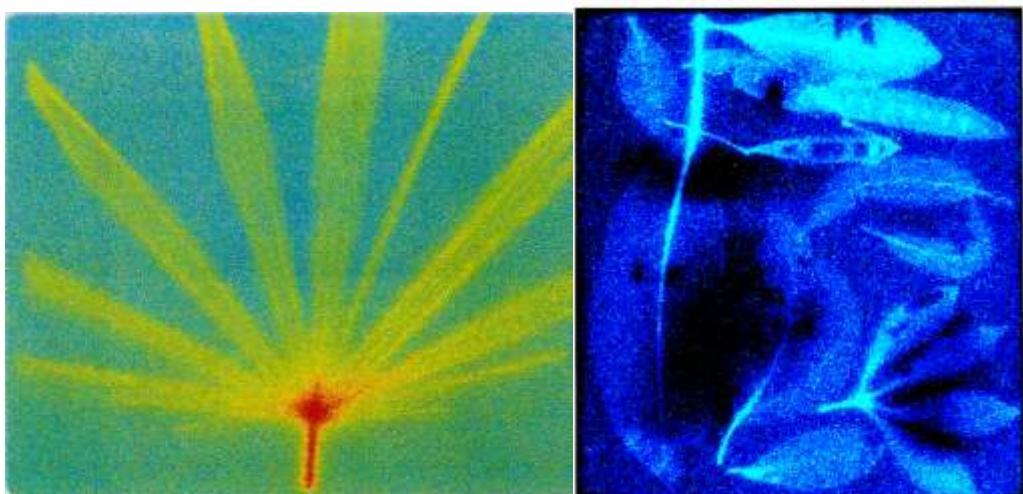


図9 左：シュロの葉の放射線放出像。右：マメ科の植物の放射線放出像、この像は強度をパソコンで反転させている。

るのが見られる。

図9の右は図中にも説明したように、マメ科の葉や実の放射線像を反転させて、やや幻想的？にしたものであるが、鞘を透過してきた豆からの放射線の像が見える。これは日本原子力研究所（現、日本原子力研究開発機構）の中庭にあった試料を頂いて来たものであるが、“ひょっとしたら放射能が高いかもしれない。いやそんなはずはない”などと思いながら露出したものである。もちろん普通の極めて少ない自然放射能である。

図 10 は、めがねからの放射線放出像で、実物写真と対比している。サングラスはプラスチックで、一般に石油から作られるプラスチック製品には放射性物質は極めて少ない。メガネ

やカメラのような光学ガラスは均質で屈折率が大きい必要があるため、ガラスの中に鉛やカリウムが多く含まれている。カリウム中のK-40からのベータ線がかなり出ていることが分る。老眼用は実は筆者のメガネであるが、コントラストを強くして表示しているとはいって、少々気になって、眼球がメガネからどの程度の放射線を浴びているのかをやや詳細に検討した。その結果、名古屋近辺でメガネをかけない時に眼が受ける自然放射線とほぼ同等の放射線をメガネから受けていることが分った。しかし、図11に示すように、岐阜の土岐地方の自然放射線は名古屋近辺の自然放射線の2倍程度の強度があるので、岐阜の土岐地方でメガネをかけないでいる人達が受ける自然の放射線と、メガネをかけた筆者の眼が名古屋で受ける放射線の量はほぼ同じであることが分る。結果は全く心配の要らない程度である。

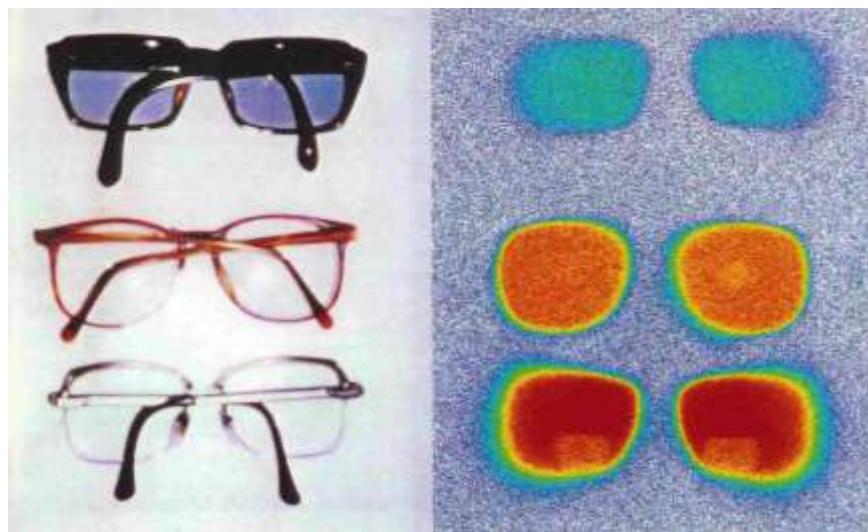


図 10 めがねのレンズからの放射線放出像。左：実物写真、上からサングラス（プラスチック）、近視眼用、老眼用

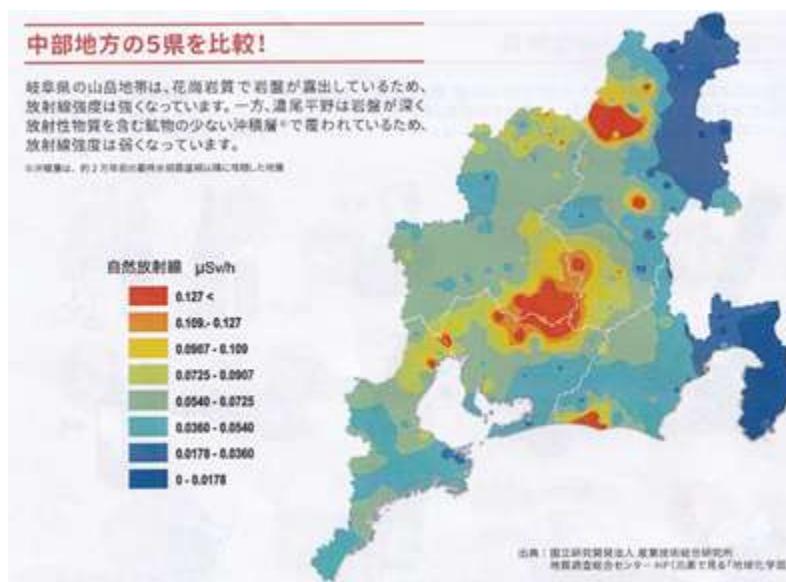


図 11 中部地方の5県の地表からの自然放射線強度

4.2 花崗岩（御影石）からの自然放射線

花崗岩は火成岩の一種で、石英、長石、白雲母、などを多く含んでいる。図 12 の左の図は花崗岩の切れ端の写真で、一面が磨かれて平らな石を石屋さんの石捨て場で拾って来た物である。平らな面がなければ、石はイメージングプレートに密着せず明瞭な像が得られないからである。図 12 の右の図は、約 1 週間の露出で得た放射線像である。写真

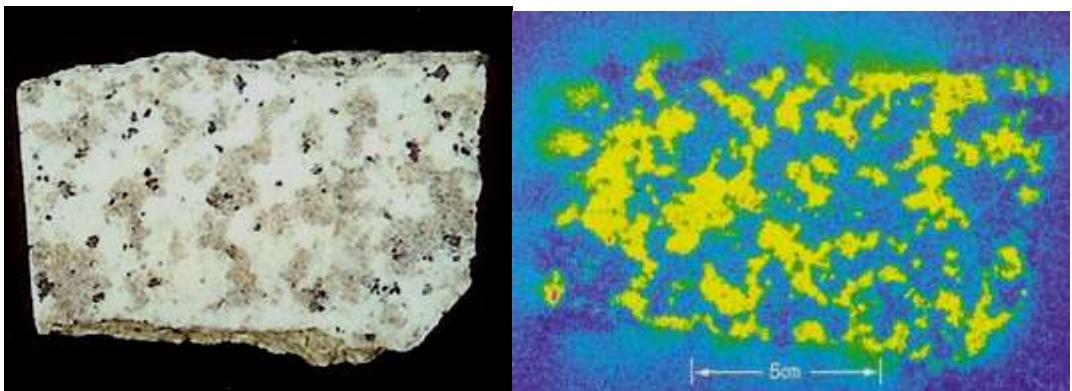


図 12 花崗岩からの放射線放出分布図 花崗岩の写真（左）、イメージングプレートで撮った放射線強度分布（右）

の白い部分が像の黄色の部分にほぼ対応していて、カリ長石からの K-40 のベータ線によるものである。像の中に、小さな赤い点が散らばっているが、これらは左の写真の中の黒雲母と呼ばれる黒い点にほぼ対応している。黒雲母の中には、ウランやトリウムが含まれていて、これらからおよび壊変系列の核種からのアルファ線によるものである。アルファ線の放出像は固体飛跡検出器 CR-39 を使えば、きわめて分解能の高い像が得られる。

4.3 身の回りの小物の放射線像

図 13 の左の図は、身の回りの小物であるが、左上から、ブローチ、数珠、ネクタイピン、顕微鏡のスライドガラス、ネックレス、箸置き、ウイスキーグラス、などである。七宝焼きのブローチ、スライドガラス、陶器の箸置きなどからは放射線がかなり出ていることが分かる。水晶からは放射線はほとんど放出されないので、写真のネックレスは水晶ではなくガラスであることが分かる。ガラスでもガラスの箸置きやウイスキーグラスからは放射線はほとんど出でていない。多分、カリガラスではなくナトリウムガラスであると思われる。

図 14 は七宝焼きの壁掛けの写真とその放射線像である。私的なことで恐縮であるが、この壁掛けは筆者の恩師の渡辺鑛教授の奥様が趣味で作製された壁掛けで、筆者の家内に下された逸品である。今も居間の壁に懸けてある。赤い梅の花よりは白い花の顔料に

トリウムなどが多く含まれていること、幹などの黒い顔料には放射性物質はほとんど含まれていないことが分かる。

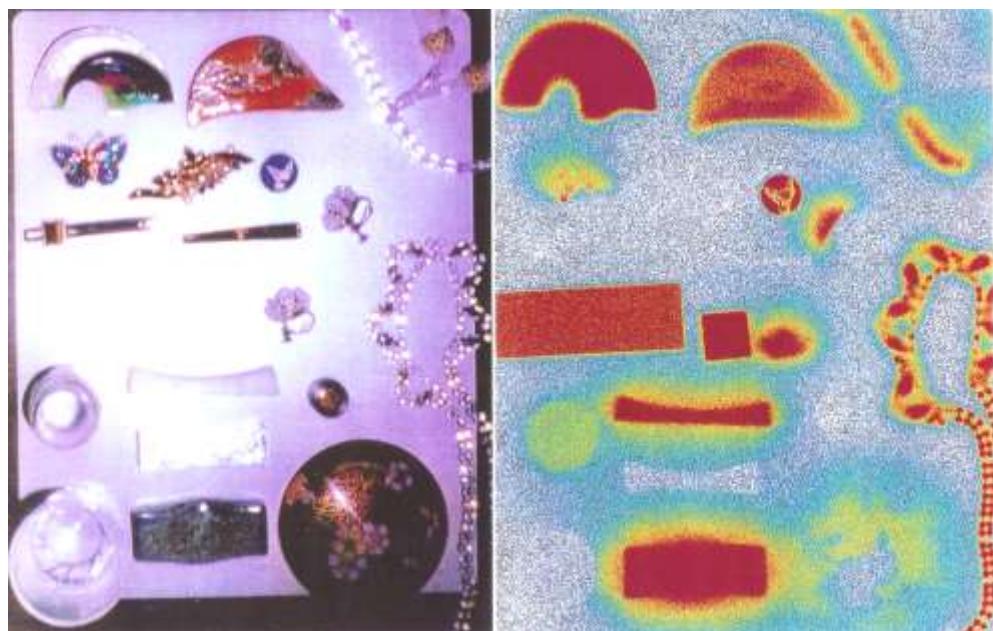


図 13 身の回りの小物の写真（左）、イメージングプレートで得られた放射線強度分布像（右）

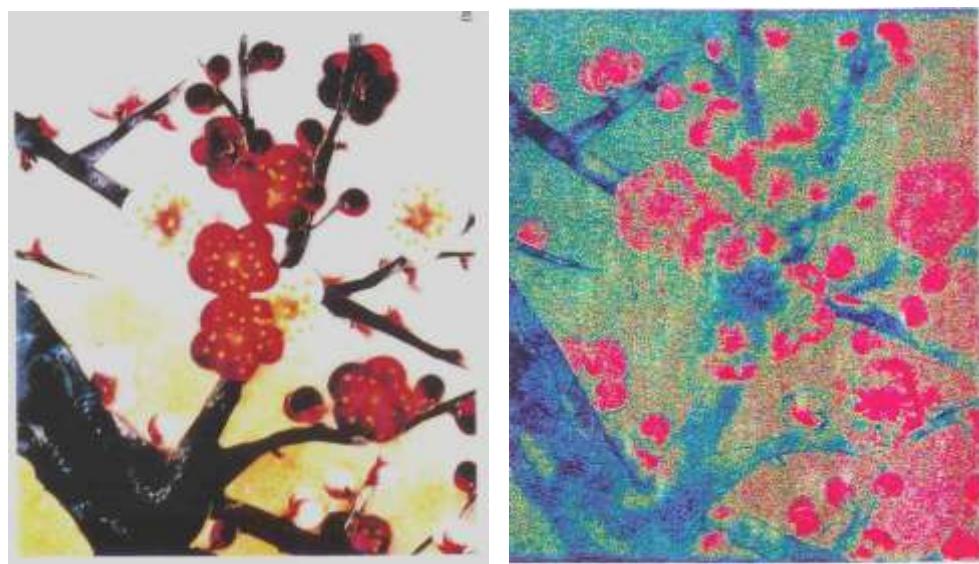


図 14 七宝焼きの壁掛けの写真（左）、その放射線強度分布像（右）

5. 自然の放射線像ではないが・・

今まででは、身の回りの物質に含まれる自然の放射線像について述べた。次の述べるのは、人工の放射性物質からの放射線像であるが、やや特異な像なのでここで紹介したい。

5.1 夜光時計

図 15 は学生が持っていた夜光時計からの放射線像である。針の動きを止めて、3 日間露出した。夜光時計の針や文字盤に昔はキュリー夫人が発見したラジウム (Ra-226) が使われていた。

余談ではあるが； ラジウムを含む夜光塗料をダイアルペインターと呼ばれる女子従業員達が筆で文字盤や針に塗布していたが、筆先を舐めて先端を整えていたためにラジウムを体内に取り込むことになった。ラジウムはカルシウムと同じアルカリ土類元素で化学的性質が似ているため、カルシウムが多い骨に沈着し、骨髄腫などの放射線障害を起こした。

夜光塗料に使用する放射性核種は表 1 のように、アルファ線放出核種からベータ線放出核種へと移って行った。しかもエネルギーがより低く半減期の短いトリチウム ($H-3$) やプロメチウム-147 ($Pm-147$) などが使われるようになった。図 15 の夜光時計に使用されている放射性核種はガラス越しに放射線が出ているので恐らくストロンチウム 90

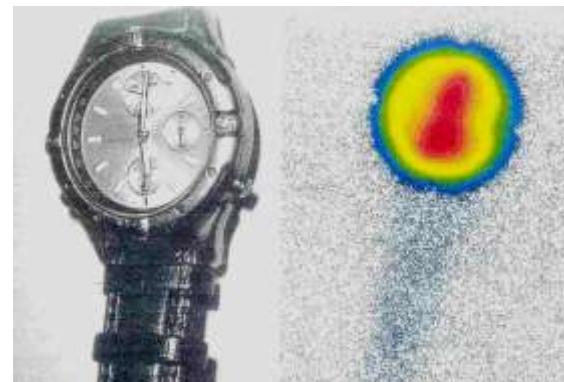


図 15 夜光腕時計の写真（左）、その放射線強度分布像（右）

表1 夜光塗料に使用される放射性核種

核種	放出放射線	半減期 (年)	エネルギー (MeV)
^{226}Ra	α	1,600	4.602 (5.6%) 4.784 (94.4%)
^{90}Sr	β^-	29.12	0.546 (100%)
3H	β^-	12.35	0.0186(100%)
^{147}Pm	β^-	2.62	0.224 (100%)

〔出典〕ICRP Publication 61, Annual Limits on Intake of Radionuclides by Workers Based on the 1990 Recommendation, Annals of ICRP, 27, No.4, 1990

(Y-90 が娘核種として存在する) であると思われる。現在では夜光塗料に放射性物質を含まない蓄光塗料が使われている。性能の良い蓄光塗料が日本で開発されている。

5.2 放射性同位元素実験室のスリッパ

図 16 は筆者が使用していた放射性同位体実験室のスリッパの裏面の放射線像である。このスリッパは放射性同位体実験室でのみ使用し、実験室を退出する時には必ず汚染検査をするが、この汚染検査では汚染と判定されない。何故なら、汚染の総量は極めて微少だからである。しかし、もしイメージングプレートで像を撮れば特定の位置の微少面積における放射線像が出るので、あるいは汚染が検出できるかもしれないと考えた。

実験室で使用している人工の放射性同位体の微量の放射能強度を測定し、スリッパと同質のプラスチックシート上に垂らして乾燥させた標準線源 (^{60}Co , ^{241}Am , ^{14}C , ^{137}Cs , ^{90}Sr - ^{90}Y , ^{137}Pm) をスリッパの裏面と同時に 24 時間露出した。イメージングプレートは 2 枚重ねて置き、その上にスリッパと標準線源を置いた。1 枚目（スリッパに近い側）の

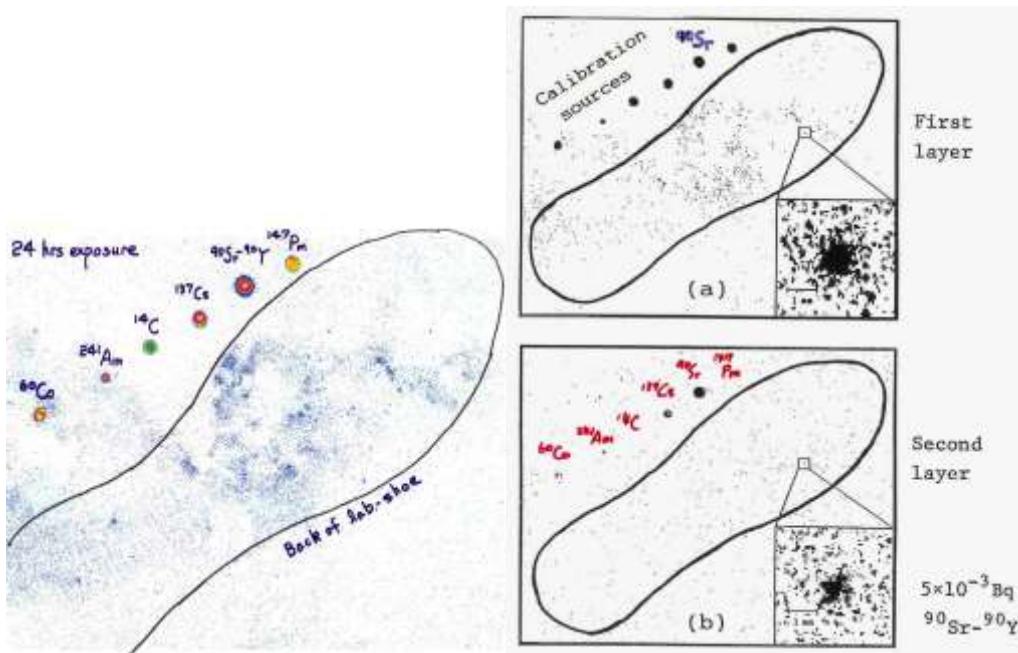


図 16 放射性同位体取扱施設内で使用されているスリッパの裏面の放射線強度分布像。左；スリッパの裏面に並べて放射能強度既知の各核種が置かれている。右上；イメージングプレートを 2 枚重ねて露出した 1 枚目の像、スリッパの放射性同位体による 1 点の汚染部分を拡大した像、右下； 2 枚目の像

イメージングプレートの結果を図 16 の左側に示す。右上の図は、左側の図の点状の汚染の拡大図とともに示す。右下の図は 2 枚目のイメージングプレートの像を示す。

図 17 の左の図は、いろいろな核種からの放射線を露出した直後から、そのイメージングプレートを何回も読み取り機で読みだした場合の輝光性発光の強度の相対値を示す。1 回読み出したイメージングプレートでも 2 回目には 1 回目の 1/3~1/5 程度の強度があり、

その割合は放射性核種によって異なることが分かる。図 17 の右の図は、イメージングプレートを 5 枚重ねて、いろいろな核種からの放射線を露出した結果を示す。放射線の種類やエネルギーによって、物質を透過する割合が異なるので、各枚数における読み取りの強度比は核種によって異なる。

図 18 の左側には図 16 の右上の像の汚染点を何回も読み取った強度を示す。太い線で示す汚染点の強度比は ^{90}Sr - ^{90}Y の強度比にほぼ一致する。また、図 18 の右側は重ねたイメージングプレートの強度比で、太い線で示す汚染点の強度比はやはり ^{90}Sr - ^{90}Y の強度比にほぼ一致する。このことから、汚染点の核種は ^{90}Sr - ^{90}Y で、その放射能強度は標準

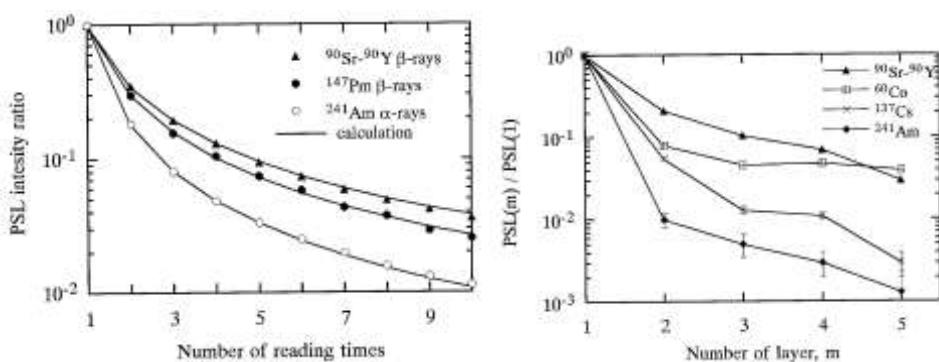


図 17 いろいろな人工の放射性同位体からの放射線に露出したイメージングプレートを何回も続けて読み出した場合の輝尽性発光強度（左）、何枚も重ねて露出した場合の各層のイメージングプレートからの発光強度（右）。

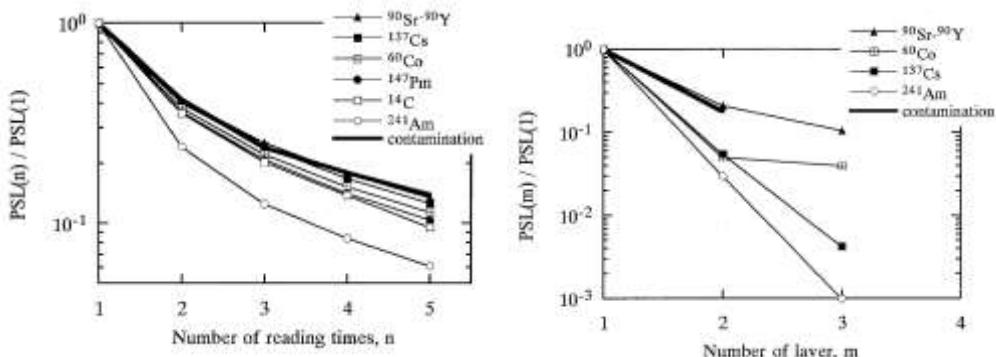


図 18 図 17 の結果に、図 16 の点状の汚染の場合を重ねて汚染点の核種と放射能を同定した。

線源の放射能強度との比較から、 $5 \times 10^{-3}\text{Bq}$ の極めて微量であることが分かった⁴⁾。このような点状の試料の核種の同定と放射能の決定手法は花崗岩の点状の試料に対しても適用した⁵⁾。

5.3 キュリー夫人の実験ノート

図 19 は、明星大学図書館が所蔵しているキュリー夫人の実験ノートの実物写真（左側）とその表紙の放射性同位体による汚染の様子をイメージングプレートで 68 時間の露出によって得た像（右側）である⁹⁾。

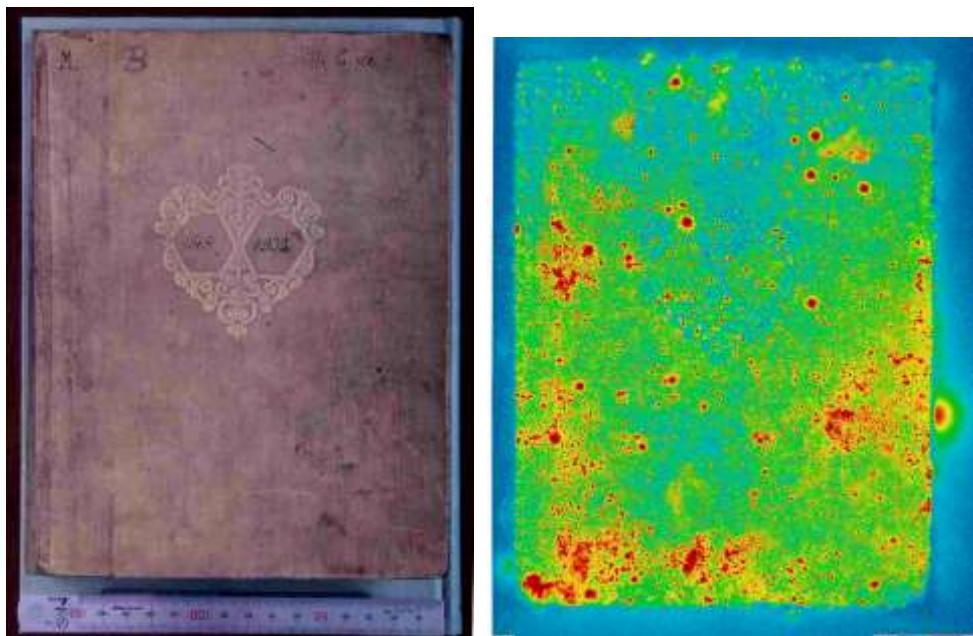


図 19 キュリー夫人の実験ノートの表紙の写真（左）と放射性同位体で汚染された表紙をイメージングプレートで撮った放射線強度分布像（68 時間露出）

図 20 は汚染核種の同定のために、窓なしのシリコンフォトダイオードで測定したアルファ線のエネルギースペクトルを示す。キュリー夫人が発見したラジウム-226 とその娘核種がほとんどであることを見ている。また、ガンマ線のエネルギースペクトルをゲルマニウム検出器で測定したが同じ結果が得られた。

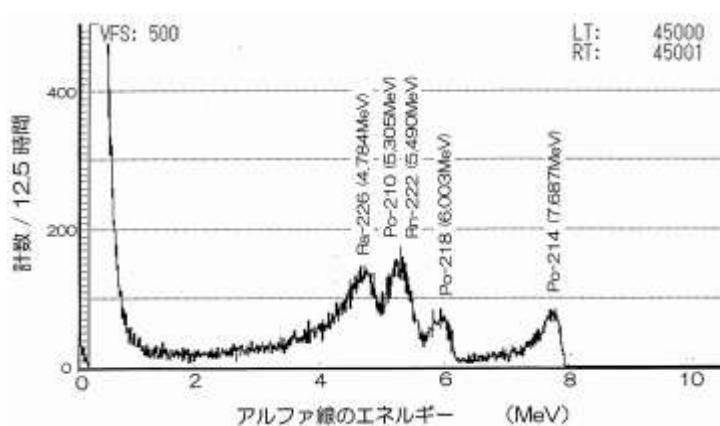


図 20 キュリー夫人の実験ノートから出ているアルファ線のエネルギースペクトルをシリコン検出器で測定

図 19 の右側の汚染の様子は、実験ノートの左下を左手で持って、右手でページをめくるキュリー夫人の動作が目に見えるようである。図 21 にノートの一部を示す。

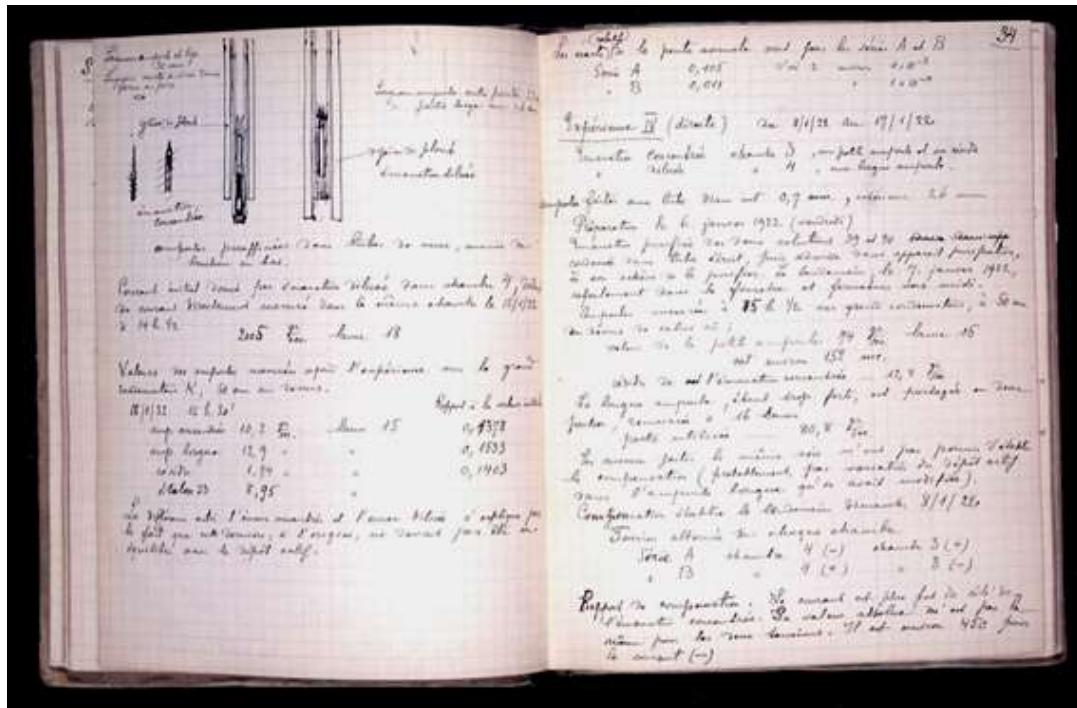


図 21 キュリー夫人の実験ノートの中の 2 ページ

余談ではあるが； キュリー夫人の娘イレーヌ・キュリーとその夫ジョリオ・キュリーが人工放射性元素を発見した時、ジョリオは次のように回想¹⁰⁾ している。「イレーヌと私が小さなガラス管の中の最初の人工放射性元素を見せた時、マリー・キュリーの顔は喜びに溢れた。その表情を私は決して忘れないことなどないだろう。彼女がもうすでに放射能が弱くなってしまったガラス管をラジウムに触まれた指で持っているところを今でも思い浮かべることができる。私たちが話したことを確かめるために、マリーはガラス管をガイガーカウンターに近づけた。するとカチカチという音が聞こえた。疑いもなく、彼女の人生で最後の大きな喜びであった」。これは 1934 年 1 月のことであるが、その年の 7 月に、ジョリオとイレーヌのノーベル化学賞受賞（翌年）を見ることなく 67 歳で死去した。夫人の手の状況は、図 19 の汚染の状況と符合するかと思われ、改めて偉人の動作を想像できるような気がする。

6. まとめ

わが国で発明されたイメージングプレートと呼ばれる高感度の放射線検出器を使って、世界で初めて野菜などから放出されている放射線の分布像を取得した経緯と得られたいくつかの像を示した。これらの像が、自然の放射線や自然の放射性同位体の理解と共に自然そのものの理解にも若干ともお役に立てば幸いと思っている。世界に無かつた新しい放射線検出プレートの開発の発想と、それを実現した先人達の努力に改めて感嘆し敬意を表する。イメージングプレートは現在も多方面で使用されているが、医療におけるX線撮影では、デジタルカメラの原理とほぼ同様の半導体を使ったパネルディテクターと称するより便利なX線検出パネルが用いられている。

イメージングプレートで像を取得したのは 20 年以上も前の仕事がほとんどではあるが、湊進先生からの執筆依頼を受けて回想的に記述させて頂いた。

文献

- 1) Sonoda M, Takano M, Miyahara and J, Kato H; Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence. *Radiology*. **148** (3), 833-838. (1983)
- 2) Y. Amemiya and J. Miyahara ; Imaging plate illuminates many fields, *Nature*, **336**, 89–90 (1988)
- 3) 古田悦子；放射性コンシューマプロダクトの一例 一ある七宝焼き釉薬ー、*RADIOISOTOPES*, **43**, 142-146 (1994)
- 4) Chizuo Mori, Ayumi Matsumura, Tomohiro Suzuki, et al.; Detection of extremely low level radioactivity with imaging plate, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A*, **A339**, 278-281 (1994)
- 5) Chizuo Mori, Tomohiro Suzuki, et al.; Measurement of the radioactivity distribution of material surfaces with an imaging plate, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A*, **A353**, 371-374 (1994)
- 6) C. Mori, S. Koido, et al.; Use of Natural Radioactivity Distribution Images of Vegetables at Public Meetings, *Proceedings of 10th Pacific Nuclear Conference, Kobe, Japan, 20-25 October*, (1996) 921-925
- 7) Chizuo Mori, Tetsuo Sumi, et al.; Natural Radioactivity Distribution Images and Their Educational Uses, *Proceedings of International Symposium on Radiation Education, Hayama, Japan, 11-14 December*, (1998) 271-274
- 8) 森 千鶴夫；イメージングプレートによる極微量放射能分布の測定、*RADIOISOTOPES*, **48**, (9), 589-599 (1999)
- 9) 森 千鶴夫、井上一正、宮原諱二、千種 潔； キュリー夫人の実験ノートの放射能、*RADIOISOTOPES*, **54**, (10), 437-448 (2005)
- 10) スザン・クイン著、田中京子（訳）、マリーキュリー(1),(2), みすず書房 (1999)