



Photo Kiranori Kirano

Index

固体線量計を用いた放射線計測……………小平 聡	1
ガラスバッジサービスの法改正への対応について……………	6
公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ……………	10
〔コラム〕 28th Column 【家康と信玄の胃がん】……………中川 恵一	11
福島第一原子力発電所事故と米……………田野井慶太郎	12
放射線安全技術講習会 第64回放射線取扱主任者試験受験対策セミナー・開催のお知らせ…	17
「2021国際医用画像総合展出展」のご案内……………	18
〔サービス部門からのお願い〕 4月1日はガラスバッジ、ガラスリングの交換日です。 ……	19

固体線量計を用いた放射線計測



小平 聡*

1. はじめに

固体線量計は、普段我々が放射線を取り扱う管理区域内での作業時に義務付けられている、個人被ばく線量測定に用いられるごく身近なものである。放射線が通った飛跡を記録するプラスチック飛跡検出器 (CR-39) と放射線量に応じた蛍光を呈するルミネッセンス線量計 (熱蛍光TL、光刺激ルミネッセンスOSL、ラジオフォトルミネッセンスRPLを基本原理) を組み合わせた個人線量計が一般的に用いられている。近年、放射線が通った跡を蛍光飛跡として記録する蛍光飛跡検出器 (FNTD: Fluorescent Nuclear Track Detector)¹ の開発研究が進んでいる。FNTDは化学処理を要さず光学測定のみで、あらゆる種類の放射線の線量評価が可能である。これは現在のCR-39とルミネッセンス線量計の組み合わせ手法に置き換わるものと期待されている。FNTDは、法令上の個人被ばく線量測定だけでなく、放射線治療場や宇宙環境などの複雑な放射線混成場での活用や、生物学・医学に資する応用研究に広がっている。本稿では固体線量計の中でも比較的新しいFNTDについて紹介する。

2. FNTDについて

FNTDに放射線が入射すると、電離作用により生成した電子が材料中に含まれる欠陥や不純物等に捕獲され、安定的な蛍光中心を形成する。蛍光中心を特定の波長の光源で励起し、元のエネルギー準位に戻る際に呈する蛍光 (RPL) 強度が放射線のエネルギー付与量に応じて大きくなることを利用する。共焦点顕微鏡を用いて、対物レンズを介した励起光で二次元あるいは三次元走査することによって、放射線飛跡に沿ったRPLが精細にイメージされる。FNTD素子材料としては、酸化アルミニウム単結晶 ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C,Mg}$)¹、フッ化リチウム単結晶 (LiF)²、そして銀活性リン酸塩ガラス³がFNTDとして動作することが知られている。FNTDに入射したさまざまな荷電粒子は図1のような蛍光飛跡としてイメージされる。材料内でベータ線やガンマ線の相互作用で発生した電子はクーロン散乱されやすいため煙状に観測される。アルファ線や炭素線などの重い粒子線はほぼまっすぐ進み、それぞれの蛍光飛跡は明瞭に区別される。線量評価の方法としては、ベータ線やガンマ線の場合は、校正線源により照射した吸収線量に対する素子全体からの蛍光量の応答関数を求めておき、蛍光量から線量評価

* Satoshi KODAIRA 量子科学技術研究開発機構 計測・線量評価部放射線計測グループ研究統括

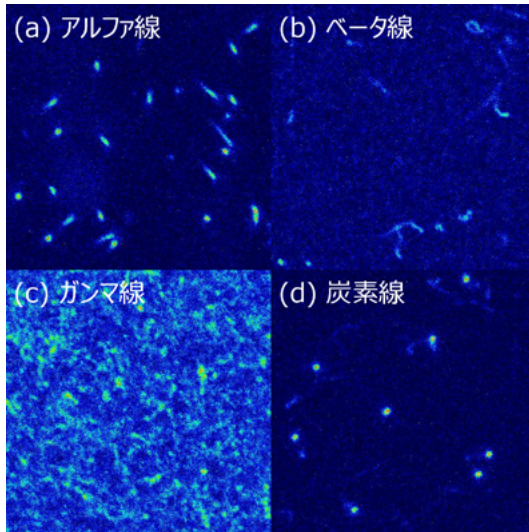


図1 FNTD ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C,Mg}$)で観測した各種放射線の蛍光飛跡イメージ(画像サイズは1辺が $21.3\mu\text{m}$)。(a) ^{241}Am 線源から放出されたアルファ線、(b) ^{14}C 線源からのベータ線、(c) ^{60}Co 線源からのガンマ線、(d) 重粒子線がん治療装置HIMACからの炭素線。

する⁴。中性子線の場合は、従来のCR-39と同様に、中性子線との弾性散乱で反跳陽子が放出されやすいポリエチレンや捕獲反応でアルファ線を放出しやすい窒化ホウ素などの変換材をFNTDに接着し、中性子線との相互作用で変換された荷電粒子を蛍光飛跡として検出する⁵。粒子線の場合は、蛍光トラックの蛍光強度を検出器応答とし、さまざまな粒子線の線エネルギー付与(LET: Linear Energy Transfer)に対して蛍光強度を校正することにより、LETスペクトル評価を行う。LETに応じて人に対する影響をあらわす線質係数が異なるので⁶、さまざまなLETが混在する宇宙放射線場やマルチオンビーム(例えばヘリウム、炭素、酸素、ネオンのミックスビーム)を用いた量子メス⁷においては、各々の粒子のLETを考慮した線量評価が必要となる。

3. 宇宙放射線計測

宇宙における有人活動の場は、現在の国際宇宙ステーション(ISS)から月へと展開しつつあり、深宇宙探査が国際的に本格化している。年単位で地球への帰還ができない状況において解決すべき課題の一つは、個人被ばく線量の「その場」計測である。ISSでは、CR-39とルミネッセンス線量計を組み合わせた線量計測の運用がなされている⁸。この方法は一見、地上の個人被ばく線量測定と同じであるように思われるが、実はかなり違っている。宇宙放射線は、高エネルギーの陽子線やヘリウムから鉄までのさまざまな粒子線で構成される(LETレンジは $0.1\sim 1,000\text{keV}/\mu\text{m}$ 程度)。線量当量を求めるためには、LETを関数とした線質係数を考慮する必要があるため⁶、LETスペクトルの実測が不可欠である。CR-39は閾値型の検出器であり、概ね $5\text{keV}/\mu\text{m}$ 以上の粒子線を飛跡として計測し、LETスペクトルを得る⁹。逆を言えば、 $5\text{keV}/\mu\text{m}$ 未満の粒子線は飛跡として観測できない。一方、ルミネッセンス線量計は、基本的にどのような放射線であろうとその蛍光量が吸収線量に対応するが、LETの大きい粒子線になると、発光効率が低下することが知られている¹⁰。また、個々の粒子線のLET識別はできない。そこで考えられたのが、CR-39とルミネッセンス線量計を組み合わせる方法で、次のような手順を踏む。(1) $5\text{keV}/\mu\text{m}$ 以上の高LET粒子による吸収線量と線質係数から換算した線量当量を、CR-39を用いて計測したLETスペクトルを考慮して求める。(2) ルミネッセンス線量計で求めた吸収線量から、CR-39で求めた高LET粒子による吸収線量を差し引くことで、 $5\text{keV}/\mu\text{m}$ 未満の低LET粒子の吸収線量を求める。(3) 両者を足すことでLET

レンジを補間し、LET全体の吸収線量・線量当量とする。一方で、この方法で用いるCR-39は化学処理工程が必須であるため地球上に回収しなければならないことや、年単位の長期間曝露は積算される飛跡の重なりが解析を困難にするため、深宇宙探査に対応できない。FNTDは計測に関わる全ての工程が光学系で閉じるため、個人被ばく線量計測がその場で可能になると期待される。銀活性リン酸塩ガラスはFNTDとして5 keV/μm以上の高LET粒子にのみ感度をもつので³、高LET粒子が選択的に計測される。蛍光飛跡計測と従来のバルクなRPL計測を組み合わせれば、上述の線量評価の手順が踏襲される。銀活性リン酸塩ガラスのチップ型素子と携行用超小型リーダーから構成されるその場個人被ばく線量計測システムは、持続的な深宇宙有人探査に貢献できると期待される。

4. 生物学・医学応用

4.1. 放射線生物学

放射線照射に対する細胞の生存率を評価す

るうえで、吸収線量はその横軸を決める重要な物理量である。細胞に均一に照射されるエクス線やガンマ線とは異なり、粒子線は離散的に照射されるので、細胞に当たったり当たらなかったりする。吸収線量は粒子フルエンスとLETの積に比例するので¹¹、同じ吸収線量でもLETの違いによってフルエンスが異なる。LETが大きい粒子になればなるほど、同じ吸収線量を照射する限り、細胞に当たる確率が小さくなるが、平均的に細胞に当たっているものと仮定して生物影響が評価されているのが現状である。適切に生物影響をスケールリングするためには、従来の吸収線量の概念とは異なる新たな指標が必要であろう。一つのアイデアとして、粒子線が通過した位置とそのLETが得られるFNTDと培養細胞を組み合わせ、飛跡情報と個々の細胞の生物応答を対応付けることが考えられる。図2のように、ヒト線維肉腫細胞 (HT1080) をFNTD (Al₂O₃:C,Mg) 上に培養し一体化した試料に粒子線を照射する系を組むと、粒子線の通過した蛍光飛跡とDNA二重鎖切断が起こった位置の両方を蛍光信号として観測

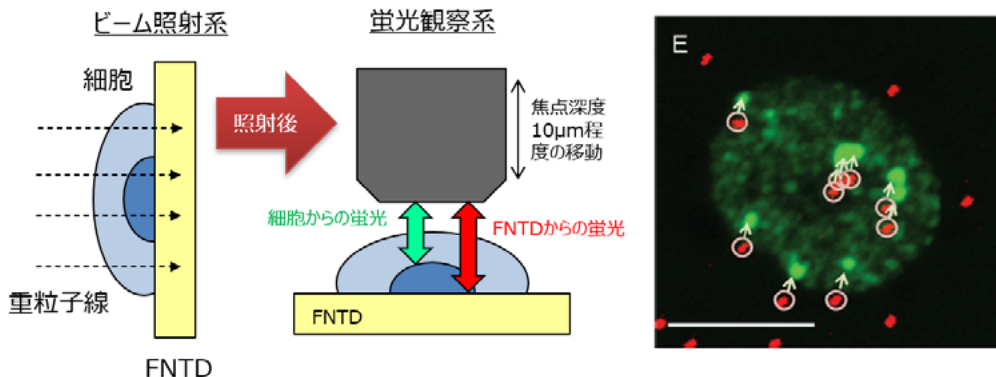


図2 FNTD (Al₂O₃:C,Mg) の上に細胞を培養した試料に粒子線 (ネオン) を照射し、直ちに共焦点顕微鏡を用いて、粒子線の通過した蛍光飛跡と、細胞核内の蛍光信号を、焦点深度を10μm程度変えることでそれぞれ観測した。細胞核内のDNA二重鎖切断が起こった位置 (矢印が指している緑のスポット) とFNTDで観測した粒子線の通過位置 (丸枠の赤のスポット) が一対一で対応していることが分かる (文献12の一部抜粋)。スケールバーは50μm。

される¹²。これにより、飛跡情報と生物応答の的一对一対応が可能になり、細胞に当たる確率がLETに依存する問題が解決されるであろう。タイムラプス撮像でライブセルイメージングすれば、マルチオン照射のように異なるLETの粒子線を同一細胞に照射したときの細胞死・修復過程を明らかにする強力なツールになると期待される。

4.2. 標的アイソトープ治療

がんの特異的に集積する薬剤に放射性同位元素 (RI: Radioisotope) を標識し、壊変によって放出される放射線を用いて治療する標的アイソトープ治療 (TRT: Targeted Radionuclide Therapy) は、根治が難しい転移がんや播種がんの治療法として期待されている。特に²¹¹Atや²²⁵Ac等から放出されるアルファ線や⁶⁴Cuや¹¹¹In等から放出されるオージェ電子は、高いLETをもつために優れた

がん殺傷能力があるだけでなく、細胞内での飛程が短いために周辺正常細胞への副作用が少ない利点がある。現状のTRTでは、粒子線治療のように照射線量を制御できないため、静脈注射する薬剤の放射能だけで治療効果を評価するにとどまっている。粒子線治療のような外照射と同等に体系的に治療計画を策定するためには、がん細胞へのRIの集積率やその分布に基づくマイクロドシメトリに関する知見が重要になる^{13, 14}。上述のFNTDと細胞との組み合わせ手法を発展させれば、RI局所集積によるがん殺傷効果の直接的なエビデンスが得られると同時に、副作用の原因となる正常細胞への被ばくに関するリスク評価も可能になると期待される。ところで、RIから放出される異なる放射線を活用し、診断と治療の一体化(いわゆるセラノスティクス)が期待できる点もTRTの特徴である。⁶⁴Cuの

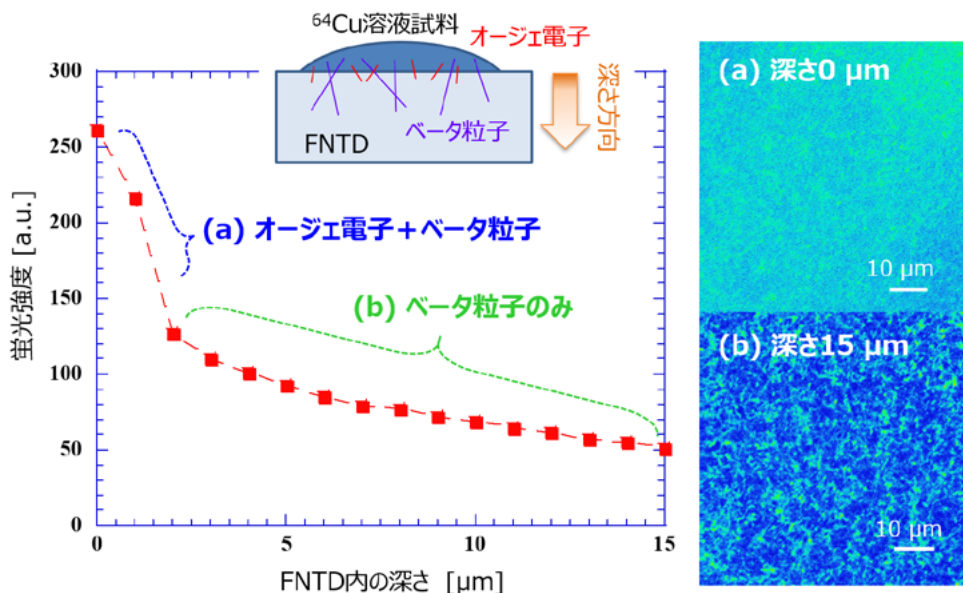


図3 FNTD ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C,Mg}$) 上の⁶⁴Cu溶媒試料から放出される放射線(オージェ電子とベータ粒子)による、FNTD中の深さ方向に対する蛍光強度の変化(文献14一部改変)。オージェ電子の飛程は数100nm程度であるため、(a) FNTD表面付近にのみオージェ電子の寄与が含まれ、(b) 概ね1 μmより深い位置での蛍光は全てベータ粒子によるものである。カラースケールは明るい色ほど蛍光強度が高い。

場合、放出された陽電子と細胞周囲の電子との対生成で放出されるガンマ線をPET（陽電子放出断層撮影法）イメージングすると共に、同時に放出されるオージェ電子により治療することが考えられる¹⁵。線量評価の観点では、オージェ電子の飛程は数100nm程度と短いことや、同時にベータ粒子（電子と陽電子の両方）が放出されることから、吸収線量の定量評価は難しいとされる。FNTDを用いれば、飛程の長いベータ線の蛍光飛跡を図1(b)のように観測できるが、飛程が短いオージェ電子は「点」でしか観察できないであろう。そこで、深さ方向に断層撮像が可能な共焦点顕微鏡の性質を利用すれば、図3のようにFNTD (Al₂O₃:C,Mg) の上に載せた⁶⁴Cu溶媒試料からの放射線のFNTD内での減衰変化を深さ方向の蛍光強度変化として観測される¹⁶。飛程の違いを利用してオージェ電子とベータ粒子を区別することにより、細胞一個分における吸収線量の寄与率は同程度であることが分かってきた。FNTDを用いた手法は実験的にオージェ電子の線量を定量評価できるツールとして期待される。

5. まとめ

蛍光飛跡検出器（FNTD）はあらゆる放射線を蛍光飛跡として可視化する、次世代の個人被ばく線量計素子として期待されており、多様な放射線場での線量計測へ活用が進んでいる。この素子は生体試料との親和性も高いことから、シングルセルレベルでの線量分布イメージングが可能であり、生物学や医学への応用が進められている。FNTD素子材料の高感度化・多機能化や蛍光顕微鏡系の小型化・高速化によりその応用領域は更に広がっていくものと期待される。

参考文献

1. M. Akselrod, J. Kouwenberg, Radiat. Meas., 117, 35 (2018).
2. P. Bilski et al., J. Lumin., 213, 82 (2019).
3. S. Kodaira et al., Radiat. Meas., 132, 106252 (2020).
4. G.J. Sykora, M.S. Akselrod, Radiat. Meas., 45, 594 (2010).
5. G.J. Sykora et al., Radiat. Meas., 43, 1017 (2008).
6. ICRP, The 1990 Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, 21, Pergamon Press, New York, (1991).
7. 量子メス研究プロジェクト <https://www.qst.go.jp/site/qst-kakushin/39695.html>
8. T. Doke et al., Radiat. Meas., 24, 75 (1995).
9. S. Kodaira et al., Nucl. Instr. Meth., B383, 129 (2016).
10. E.G. Yukihiro, S.W.S. Mckeever, "Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and Applications", A John Wiley and Sons, Ltd, Publication, New York, 2011.
11. G. Klimpki et al., Phys. Med. Biol., 61, 1021 (2016).
12. S. Kodaira et al., J. Radiat. Res., 56, 360 (2015).
13. S. Kodaira et al., PLoS One, 12, e0178472 (2017).
14. S. Kodaira et al., J. Nucl. Med., 60, 497 (2019).
15. Y. Yoshii et al., Sci. Rep., 10, 4143 (2020).
16. T. Kusumoto et al., Radiat. Meas., 132, 106256 (2020).

著者プロフィール

2003年早稲田大学理工学部応用物理学科卒。07年同大学院理工学研究科物理学及応用物理学専攻修了。博士(理学)。06年より同大助手、放射線医学総合研究所博士研究員、日本学術振興会特別研究員、量子科学技術研究開発機構主任・主幹研究員を経て、19年より計測・線量評価部放射線計測グループ研究統括(QST未来ラボ宇宙量子環境研究グループリーダー兼任)。固体線量計の開発研究とそれらを用いた様々な放射線場での計測・線量評価研究に従事。治療用放射線の二次粒子の線量計測や標的アイソトープ治療に資する局所線量分布イメージング、国際宇宙ステーション軌道上の宇宙放射線計測など、放射線物理学研究を進めている。最近では放射線化学研究に興味をもち、ラジカル収率定量測定によるフラッシュ(超高線量率放射線治療)の作用機序の解明に取り組んでいる。

ガラスバッジサービスの法改正への対応について

線量計測技術課

2021年4月1日より、眼の水晶体の線量限度引き下げに関わる関係法令の改正が施行されます。この施行に伴い、ガラスバッジサービスの報告書の名称および様式を変更させていただきます。

変更内容についてご紹介いたします。

法令の主な改正内容

線量限度	新	眼の水晶体に対する等価線量限度は、令和3年4月1日を始期とする <u>5年ごと</u> に <u>100mSv</u> 、かつ、4月1日を始期とする <u>1年間に50mSv</u> とする*
	旧	眼の水晶体に対する線量限度は、1年間につき150mSvとする
測定値	新	眼の水晶体に対する線量の測定は、1cm線量当量、 <u>3mm線量当量</u> 及び70 μ m線量当量のうち、算定するために適切と認められたものとする
	旧	眼の水晶体に対する線量の測定は、1cm線量当量及び70 μ m線量当量のうち、算定するために適切と認められたものとする
測定方法	新	眼の水晶体に対する線量の測定は、体幹部（頭頸部および胸・腹部）に線量計を装着して行うほか、眼の近傍で3mm線量当量を測定することにより行うことができる
	旧	規定なし

※電離則および医療法施行規則では経過措置として、一定の医師について線量限度を以下の通り緩和することができます。

- ・令和3年4月1日から令和5年3月31日まで：1年間に50mSv
- ・令和5年4月1日から令和8年3月31日まで：3年間につき60mSvかつ1年間につき50mSv

■ 報告書様式の一部変更

変更時期

- 2021年3月以前ご使用分（2020年度ご使用分）報告書
 - ・ 2021年4月20日までに弊社測定センターに到着した線量計（ガラスバッジ・ガラスリング）は従来の報告書様式で報告いたします。
 - ・ 2021年4月21日以降に弊社測定センターに到着した線量計は新様式の報告書様式で報告いたします。
 - ※新様式の報告書で保管されても、法令上問題はございません。
 - ・ DOSIRISは従来の報告書様式で報告いたします。
- 2021年4月以降ご使用分報告書
 - ・ 新様式でご報告いたします。
- 放射線管理レポート（速報リスト、ケア線量連絡リスト、アラーム線量連絡リスト、緊急報告リスト）
 - ※弊社規定の基準線量、もしくはお客様が指定された線量を超えた被ばくがあった際にFAXもしくはメールで報告書に先行してお知らせするサービス
 - ・ 2021年4月1日出力分より新書式に変更いたします。

■ 変更点

- ・ ブロック5年間の累積線量に等価線量（水晶体）の項目を追加しました。（個人線量算定値管理票）
- ・ 3mm線量当量の項目を追加しました。（個人線量測定値報告書・個人線量測定値管理票）
- ・ 記載している“個人線量の限度値”を改正後の値に変更しました。（個人線量算定値報告書）
- ・ 記載内容をより明確にするために、報告書の名称を変更しました
 - 個人線量算定報告書 ⇒ 個人線量算定値報告書
 - 個人線量測定報告書 ⇒ 個人線量測定値報告書
 - 個人線量算定管理票 ⇒ 個人線量算定値管理票
 - 個人線量測定管理票 ⇒ 個人線量測定値管理票
 - ※個人用報告書は名称変更していません。
- ・ 個人用報告書を使用期間・四半期計・年度計に分けるミシン目を廃止しました

お客様における報告書・管理票の取り扱いについては、今までと変更ございません。

変更後の様式

個人線量算定値報告書

お届け先
113-8681
東京都文京区湯島
1-7-12 千代田御茶の水ビル

千代田テクノル病院
放射線科
千代田 太郎 様
13-123-4567-890 放射線科
12345678901 Z K S I 12 140

個人線量の算定結果を次のとおりご報告いたします。

千代田テクノル病院 線
お客様コード：123-4567-890 グループ名：放射線科
算定日：2022/04/15 個人線量の集積方法：個人コード単位で集計しております。
使用期間：2022/03/01 ~ 2022/03/31

発行日 頁No 2022年04月15日 1
受付管理番号 22040581-12345678901
千代田テクノル
株式会社千代田テクノル
放射線科
ラディエーションモニタリングセンター センター長(算定係)

個人コード 管理番号	ご使用者名 職員コード	性別	年齢 測定 種類 測定 コード	個人線量 (mSv)				個人線量の要積値 (mSv)						備考	
				実効 線量	水晶体 線量	皮膚 線量	女子線量	実効線量 0.5年計(女子)	実効線量 年度計	プロク5年間の 実効線量	等価線量 水晶体年度計	プロク5年間の 等価線量(水晶体)	等価線量 皮膚年度計		等価線量 女子等価線量
12345678 001	千代田 太郎 123456789	男	I	X	0.1	0.7		0.0	12.0	12.0	11.0	11.0	11.0	11	
23456789 002	千代田 花子 234567890	女	FS	X	X	X		0.0	3.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12	
34567890 003	千代田 愛子 345678901	女	NS	X	X	X	X	****	0.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	6
以下 余 白															

ご報告人数 3人
実効線量の合計値 0.00mSv
水晶体の等価線量の合計値 0.10mSv
皮膚の等価線量の合計値 0.70mSv

実効線量の平均値 0.00mSv
水晶体の等価線量の平均値 0.03mSv
皮膚の等価線量の平均値 0.23mSv

5mSv:3月 50mSv:年 100mSv:5年 50mSv:年 100mSv:5年 500mSv:年 2mSv:妊娠期間
法令で規定されている個人線量の限度値

00001 12345678901 A B C D E F
1 1 1 2 3 5 0 1-M010-20220415-00001

個人線量測定値報告書

お届け先
113-8681
東京都文京区湯島
1-7-12 千代田御茶の水ビル

千代田テクノル病院
放射線科
千代田 太郎 様
13-123-4567-890 放射線科
12345678901 Z K S I 12 140

個人線量計の測定結果を次のとおりご報告いたします。

千代田テクノル病院 線
お客様コード：123-4567-890 グループ名：放射線科
算定日：2022/04/15
使用期間：2022/03/01 ~ 2022/03/31

発行日 頁No 2022年04月15日 1
受付管理番号 22040581-12345678901
千代田テクノル
株式会社千代田テクノル
放射線科
ラディエーションモニタリングセンター センター長(算定係)

個人コード 管理番号	ご使用者名 職員コード	性別	年齢 測定 種類 測定 コード	測定 日	1 cm 線量当量				70 μm 線量当量			3mm線量当量 合計	修正 係数	備考
					X-γ線 (mSv)	X線 成分比	X線 エネルギー (keV)	中性子 (mSv)	合計 (mSv)	X-γ線 (mSv)	β線 (mSv)			
12345678 001	千代田 太郎 123456789	男	頭	2022/04/14	0.2 (0.22)	A	32		0.2	0.2 (0.22)	X	0.2		
12345678 001	千代田 太郎 123456789	男	胸	2022/04/14	X (X)			X	X	X (X)	X	X		
12345678 001	千代田 太郎 123456789	男	手1	2022/04/14						0.5		0.5		
12345678 001	千代田 太郎 123456789	男	眼1	2022/04/14								0.1		
34567890 003	千代田 愛子 345678901	女	腹	2022/04/14	X			X	X	X	X	X		
以下 余 白														

報告件数 4件

00001 12345678901 A B C D E F
1 1 1 2 3 5 0 1-M010-20220415-00001

個人線量算定値管理票

お届け先
113-8881
東京都文京区湯島
1-7-12 千代田御茶の水ビル
千代田テクノル病院
放射線科
千代田 太郎 様
13-123-4567-890 放射線科
1234567890 2 X 5 1 12 140

個人線量算定値管理票

事業所名 : 千代田テクノル病院
お客様コード: 123-4567-890 グループ名: 放射線科
個人コード: 12345678 職種: 医師
ご使用名: 千代田 太郎 性別: 男 生年月日: 1970/01/01
測定方法: 放射線測定器使用(個人線量計)
個人線量の算定方法: 個人コード単位で集計しております。

発行日 頁No 2022年04月15日 1

株式会社 千代田テクノル
放射線計測事業本部 ラディエーションモニタリングセンター(東京支店)

2001年3月31日以前の累積線量
期間: 1995/04/01~2001/03/31
線量: 0.0 mSv 72 X

2001年4月1日以降の累積線量
期間: 2001/04/01~2022/03/31
線量: 0.0 mSv 252 X

使用期間	測定日	測定方式	測定場所	実効線量 (mSv)				等価線量 (mSv)				備考
				1ヵ月計	四半期計	水晶体	1ヵ月計	四半期計	皮膚	1ヵ月計	四半期計	
2021/05/01 - 2021/05/31	2021/06/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
2021/06/01 - 2021/06/30	2021/07/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
第1・四半期計(1ヵ月計)				0.0	2	0.0	2	0.0	2	0.0	2	
第1・四半期計(3ヵ月計)				0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	A
2021/07/01 - 2021/07/31	2021/08/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
2021/08/01 - 2021/08/31	2021/09/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
2021/09/01 - 2021/09/30	2021/10/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
第2・四半期計				0.0	3	0.0	3	0.0	3	0.0	3	
2021/10/01 - 2021/10/31	2021/11/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
2021/11/01 - 2021/11/30	2021/12/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
2021/12/01 - 2021/12/31	2022/01/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
第3・四半期計				0.0	3	0.0	3	0.0	3	0.0	3	
2022/01/01 - 2022/01/31	2022/02/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
2022/02/01 - 2022/02/28	2022/03/15	I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	001
2022/03/01 - 2022/03/31	2022/04/15	I	X	X	X	0.1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	001
第4・四半期計				0.0	3	0.1	2	0.7	2	0.7	2	
2021年度年度計				0.0	12	0.1	11	0.7	11	0.7	11	A

以下余白

ブロック5年度の累積線量

年度	2021	2020	合計
実効線量 (mSv) [X付数]	0.0	12	0.0
等価線量 (mSv) [X付数]	0.1	11	0.1

00001 12345678901 1-M0010-20220415-00001

測定印

個人線量測定値管理票

お届け先
113-8881
東京都文京区湯島
1-7-12 千代田御茶の水ビル
千代田テクノル病院
放射線科
千代田 太郎 様
13-123-4567-890 放射線科
1234567890 2 X 5 1 12 140

個人線量測定値管理票

事業所名 : 千代田テクノル病院 殿
お客様コード: 123-4567-890 グループ名: 放射線科
個人コード: 12345678 職種: 医師
ご使用名: 千代田 太郎 性別: 男 生年月日: 1970/01/01
管理番号: 001 装着部位: 胸 線量計の種類と型式: ガラスバック型
測定方法: 放射線測定器使用(個人線量計)

発行日 頁No 2022年04月15日 2

株式会社 千代田テクノル
放射線計測事業本部 ラディエーションモニタリングセンター(東京支店)

法定管理帳票

使用期間	測定日	測定方式	1 cm 線量当量					20 μm 線量当量			3 mm 線量当量			備考
			X-γ線 (mSv)	X線 (mSv)	X線 (mSv)	中性子 (mSv)	合計 (mSv)	X-γ線 (mSv)	合計 (mSv)	合計 (mSv)	X-γ線 (mSv)	合計 (mSv)		
2021/05/01 - 2021/05/31	2021/06/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2021/06/01 - 2021/06/30	2021/07/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
第1・四半期計								0.0	2		0.0	2		
2021/07/01 - 2021/07/31	2021/08/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2021/08/01 - 2021/08/31	2021/09/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2021/09/01 - 2021/09/30	2021/10/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
第2・四半期計								0.0	3		0.0	3		
2021/10/01 - 2021/10/31	2021/11/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2021/11/01 - 2021/11/30	2021/12/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2021/12/01 - 2021/12/31	2022/01/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
第3・四半期計								0.0	3		0.0	3		
2022/01/01 - 2022/01/31	2022/02/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2022/02/01 - 2022/02/28	2022/03/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2022/03/01 - 2022/03/31	2022/04/14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
第4・四半期計								0.0	3		0.0	3		
2021年度年度計								0.0	11		0.0	11		

以下余白

00001 12345678901 1-M0010-20220415-00001

1 147
A B C D E F
1 1 2 3 5 0

測定印

個人用報告書

個人用報告書 発行日 2022年04月15日 発行管理番号 220415-123456789										個人用報告書 発行日 2022年04月15日 発行管理番号 220415-123456789										個人用報告書 発行日 2022年04月15日 発行管理番号 220415-123456789									
職員コード 123456789 ご使用地名 千代田 太郎 様 お客種コード 123-4567-890 グループ名 放射線科 測定方法 放射線測定器使用 個人用報告書作成日 2022年03月31日 累計終了年月日 2022年03月31日			個人コード 12345678 製造番号 001 測定日 2022年04月15日 個人用報告書作成日 2022年03月31日 累計終了年月日 2022年03月31日			職員コード 234567890 ご使用地名 千代田 花子 様 お客種コード 123-4567-890 グループ名 放射線科 測定方法 放射線測定器使用 個人用報告書作成日 2022年03月31日 累計終了年月日 2022年03月31日			個人コード 23456789 製造番号 002 測定日 2022年04月15日 個人用報告書作成日 2022年03月31日 累計終了年月日 2022年03月31日			職員コード 345678901 ご使用地名 千代田 美子 様 お客種コード 123-4567-890 グループ名 放射線科 測定方法 放射線測定器使用 個人用報告書作成日 2022年03月31日 累計終了年月日 2022年03月31日			個人コード 34567890 製造番号 003 測定日 2022年04月15日 個人用報告書作成日 2022年03月31日 累計終了年月日 2022年03月31日														
測定項目	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値									
実効線量	X	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12								
線量	水晶体	0.1	0.1	2	0.1	11	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12							
	皮膚	0.7	0.7	2	0.7	11	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12							
線量	肺	0.2	0.2	2	0.2	11	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12	0.0	3	0.0	12							
測定日	22年04月14日						測定日	22年04月14日							測定日	22年04月14日													
測定項目	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値	測定値	許容値									
手1	腕	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	腕	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	腕	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型	ガラスバッチ型										
測定日	22年04月14日						測定日	22年04月14日						測定日	22年04月14日														
手J	腕	ガラスリング型	ガラスリング型	ガラスリング型	ガラスリング型	ガラスリング型	手J	腕	ガラスリング型	ガラスリング型	ガラスリング型	ガラスリング型	手J	腕	ガラスリング型	ガラスリング型	ガラスリング型	ガラスリング型	ガラスリング型										
測定日	22年04月14日						測定日	22年04月14日						測定日	22年04月14日														
線1	腕	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	線1	腕	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	線1	腕	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型	DOSIRIS LA型										
測定日	22年04月14日						測定日	22年04月14日						測定日	22年04月14日														
調整・備考																													
2021年度	実効線量(mSv)	X	0.0	12	0.0	11	2021年度	実効線量(mSv)	X	0.0	12	0.0	12	2021年度	実効線量(mSv)	X	0.0	12	0.0	12									
2022年度	0.0						2022年度	0.0						2022年度	0.0														
2023年度							2023年度							2023年度															
2024年度							2024年度							2024年度															
2025年度							2025年度							2025年度															
合計	0.0					11	合計	0.0					12	合計	0.0					12									
株式会社 千代田テクノル 〒123-4567 千代田市千代田1-1-1 放射線モニタリングセンター							株式会社 千代田テクノル 〒123-4567 千代田市千代田1-1-1 放射線モニタリングセンター							株式会社 千代田テクノル 〒123-4567 千代田市千代田1-1-1 放射線モニタリングセンター															
# 00001	A	B	C	D	E	F	12345678901	A	B	C	D	E	F	12345678901	A	B	C	D	E	F	12345678901								
1	1	1	2	3	5	0		1	1	2	3	5	0		1	1	2	3	5	0									

公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ

★講習会について★ (令和3年1月25日現在) ※○印は計画中。最新の情報についてはHPをご覧ください。

講習名/月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
特定放射性同位元素防護管理者 定期講習 (eラーニング) 注1					○2-11	
放射線取扱主任者定期講習 (eラーニング) 注2		○	○	○		
第1種・第2種・第3種 放射線取扱主任者講習	○第1種 (京都) ○第3種 (東京)	○第2種 (東京) ○第3種 (大阪)	○第1種 (京都) ○第2種 (京都)	○第1種 (京都)		

注1) eラーニングによる講習を年度内2回(8月及び3月)に実施予定です。

注2) eラーニング講習を中心に実施いたします。下半期は、新型コロナウイルスの状況を確認しつつ実施予定です。

※開催については、新型コロナウイルス感染症の拡大状況に伴い国から示されている屋内イベントの開催の在り方を踏まえると共に行政等の指示に従うものとします。

★講習・出版物のお申込み等最新情報については、公益財団法人原子力安全技術センターのホームページをご参照ください。
URL : <https://www.nustec.or.jp/> メールアドレス : kosyu@nustec.or.jp 電話 : 03-3814-5746



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

家康と信玄の胃がん

がんは岩のように硬い塊です。がん細胞は、分裂速度が非常に速い（といっても、1センチ大にまで成長するには20年という年月がかかります）ため、細胞の密度が高くなるからです。

がんを英語で、蟹（かに）や蟹座を意味するCancer（キャンサー）と呼ぶのがんが硬いからです。医学の父と呼ばれる、古代ギリシャの名医ヒポクラテスが、進行した乳がんがカニの甲羅のように硬いことから、「カルキノス（カニ）」と名付けたことに由来します。

江戸時代には「乳がん」を「乳岩」と書くこともありましたが、四谷怪談の「お岩さん」も、頬の奥にできる上顎がんだったと思われます。診断法も治療手段もなかったため頬の皮膚にまで岩のようながんが顔を出してしまったのでしょう。

1895年、レントゲン博士がエックス線を発見し、身体の内部を観察できるようになりました。それまでは、肺がんや胃がんといった病名は存在せず、がんといえば、洋の東西を問わず、見て触れることができる乳がんを指していました。

がんは一種の老化ですから、人間50年といわれていた昔は、がんで亡くなる人は、今よりはるかに少なかったはずですが、それでも、がんで亡くなったと思われる歴史上の人物は少なくありません。たとえば、武田信玄は三方原の戦いで、徳川家康を圧倒し、天下は目の前でした。しかし、この時すでに末期の胃がんによって侵されていたといわれ、翌年に世を去っています。

一方の徳川家康は、大坂夏の陣で豊臣家を滅亡させ、天下統一を成し遂げた翌年、亡くなりました。死因は、信玄と同様、胃がんだったと思われます。

健康ブームの日本ですが、家康は、元祖「健康オタク」でした。伝来したばかりのたばこは、当時、頭痛などに効くクスリとしても人気がありました。しかし、家康は決してたばこを吸おうとしないばかりか、禁煙令を出したくらいです。直感的にたばこの害に気付いていたのかもしれませんが。

今川義元の人質だった家康は、義元が美食と運動不足で肥満になり、馬にも乗れない姿を見て育ちました。反面教師として、粗食と運動を心がけたといわれます。たしかに、運動を心がけ、若い頃の体形を維持すれば、確実にがんのリスクを減らせます。

1616年1月21日、鷹狩りの後、鯛の天ぷらを食べた家康は、翌朝から激しい腹痛と嘔吐に襲われました。天ぷらは、当時京で流行しており、側近が天下人の食欲がないのを案じてすすめたようです。腹痛や嘔吐は胃がんの進行が原因だったと考えてよいでしょう。

その前から徐々にやせてきていたこと、侍医の触診で腹部にしこりがあったことなどから、胃がんの可能性が高いと考えられています。1600年の関ヶ原の戦いの頃には、家康のがんは胃の粘膜を侵し始めていたはずですが。

私たちの体内には、毎日、多数のがん細胞が発生していますが、免疫細胞が水際で殺しています。しかし、免疫細胞が殺し損ねたたった一つのがん細胞が増殖を繰り返して大きくなるため、多くのがんでは、症状を出すまでに20年以上もの長い年月がかかるのです。

天は、胃がんを抱えながらも天下を統一するだけの時間を家康に与えました。一方、三方原の戦いで家康を圧倒した信玄は、天下を目前にして胃がんによって亡くなりました。信玄の胃がんの進行がもう少し遅ければ、あるいは、家康がもっと若い頃に胃がんによって罹患していたら、その後の歴史は大きく変わっていたでしょう。

福島第一原子力発電所事故と米



田野井慶太郎*

1. 日本人の主食である米

2011年3月11日の東日本大震災から10年が経過する。本稿では、東京電力福島第一原子力発電所事故による環境汚染で打撃を受けた農業について、特に日本人の主食である米に焦点をあて、福島第一原子力発電所事故からの10年を振り返りながら現状について紹介したい。

米は日本人の主食であるが、戦後から年々米の消費量は減少している。日本人の米の消費量は昭和37年の120kg/年を最大としてその後は減少を続け、福島第一原子力発電所事故のあった平成23年はピーク時の半分の60kg/年であった。その後も減り続け、現在では55kg/年を下回っている(図1)。それでも米は、日本人が生きていく上で必要な熱量(およそ2,440kcal/日)のうちおよそ530kcal/日と最も多くの熱量を供給している品目である⁽¹⁾。

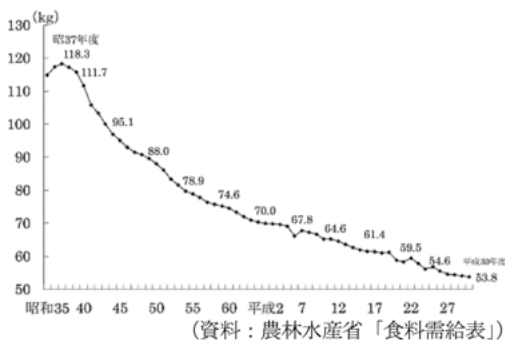


図1

国民1人当たりの米消費量の推移。福島県農林水産業の現状(令和2年7月：福島県農林水産部⁽¹⁾より引用)。

米の生産に目を向けると、米の自給率は97%⁽¹⁾と、そのほとんどが国産でまかなわれている重要な食料である。米は、ほんの一部は陸稲として生産されるものもあるものの、ほとんどは水田の稲作により生産される。水田で行う稲作は肥料効率がよい。肥料成分で最も重要な窒素について、水を張っている水田では土壌は次第に還元状態となり窒素はアンモニウムイオンとして存在する。アンモニウムイオンは陽イオンであるので、マイナス電荷を帯びる土壌に可逆的に吸着することができる。さらに、雨による増水等で水が流れ出すことがあっても、アンモニウムイオンは陽イオンであるため、マイナス電荷を帯びる土壌に残ることができる。一方で、水田以外の農業は畑で行われるが、畑土壌は空気としての酸素が豊富にあることから施肥した窒素は硝酸イオンとして存在する。この時雨が降ると、硝酸イオンは、マイナス電荷を帯びる土壌に吸着しないので、雨水とともに流れ出してしまう。このため、畑作では肥料効率が悪くなるとともに、周囲の水系(沼や湖、海)へと硝酸を流出させることとなり、湖沼の富栄養化をもたらす環境悪化の要因となる。

上記のように、米は海外からの輸入の多いコムギ(自給率12%⁽¹⁾)など他の穀類と比較して流通に費やすエネルギーが少ないことに加え、環境負荷も比較的少なく生産することができる。米を中心とした食生活を送ることは、生態系を守ることに繋がり、ひいて

* Keitaro TANOI 東京大学大学院農学生命科学研究科 教授

は我々の社会をなるべく長い期間持続させることにつながる。加えて、みなさんも日頃お気づきと思うが、最近のお米の食味はどんどん向上している。是非とも米を中心とした食事を推進していただきたいと思う。

2. 福島第一原子力発電所事故による放射性セシウム汚染と米

福島第一原子力発電所事故により大量の放射性物質が環境中に放出され、それが大地や海洋に降下したのは3月中旬であった。3月はまだ寒い時期であり農地ではまだ本格的な栽培が行われる前の季節である。水田は、稲はまだ移植（田植え）される前であり、水田表面は、土壌や雑草、稲わら等が存在していた。そこへ放射性物質が降下した後、水田は耕され水が張られて、しらかきがなされる。田植えをするのは4月後半から5月前半と、放射性物質の大量降下から2ヶ月前後経過した頃である。このように、イネの植物体や穂が直接的に降下物で汚染されなかったことは、不幸の中でも大変な幸いであった。さらに運のよいことに、現地土壌の多くは、風化雲母に代表されるセシウムイオンを「固定」することができる粘土鉱物を多く含むものであったので、水田を耕すという放射性セシウムが土壌とかきまざる作業は、放射性セシウムを粘土鉱物と出会う機会を増やすことになり、放射性セシウムがイネの植物体へと移行することを抑制する効果があった。もとより日本の多くの土壌では、土壌中の放射性セシウムが植物へ移行する割合（移行係数）が低いタイプであることがわかっていた。その割合は、幾何平均値として0.0047、つまり、土壌が1,000Bq/kgの水田で作付けされたイネからは、5Bq/kg程度の玄米が収穫される、という割合である⁽²⁾。なお、世界の土壌（n=466）での調査では、イネへの移行係数は0.00013から0.61までと大きな差があり、平均値（mean）は0.0083である⁽³⁾。このことから、日本の土壌は、イネへ放射性セシウムが行きにくい土壌であると言える。このような玄米へと放射性セシウムが移行しにくい土壌の性質に加えて、事

故から数年間は、¹³⁴Csの2年の半減期に従った減少が顕著であった。こうしたいくつもの要因があり、福島県で算出される米のほとんどは、通常通りの稲作を実施しても、収穫物である米の放射性セシウム濃度を気にするレベルでない状況となった。

具体的な米の放射性セシウム汚染状況とその対応を振り返りたい。事故当年の玄米の流通規制は、暫定規制値である500Bq/kgでなされており、その後2012年からは100Bq/kgの基準値が導入された。ここでは議論をわかりやすくするために、100Bq/kgを目安として玄米の汚染状況を振り返る。2011年に生産された玄米のうち、100Bq/kgを超えたものは、0.7%に過ぎなかった⁽⁴⁾。0.7%は大変に低い割合であると言えるが、主食である米にはなお一層の配慮が必要との考え方から、2012年度の稲作について、国は、放射性セシウムの降下量が多かった地域や、放射性セシウムの降下量はそれほど多くはなくても2011年に100Bq/kgを超える玄米の作出が多かった地域において、作付制限を行った。作付制限とは、水田でイネを育ててはいけない、というものである。さらに、100Bq/kgを超える玄米の作出が散見された地域では、作付けを許可する条件として、作付け前に放射性セシウム低減の予防策としてカリウム施肥（理由は後述）を義務付けるなどの栽培管理をすることを要求した。はたして2012年の玄米の汚染状況はどうであっただろうか。福島県は独自の検査体制として、2012年産の米はすべて測定することにした。これは全量全袋検査と呼ばれ、この検査のために開発された測定器をおよそ200台導入し、収穫後の30kg玄米袋およそ1,000万袋を、収穫後から年末年始にかけて一気に測定する事業を実施した。その検査を実施した結果、2012年度に100Bq/kgを超える玄米袋は71袋みつかった。0.0007%が基準値を超過したことになる。この玄米袋は流通されずに処分されたので、流通する米はすべてが基準値以下となった。なお、この全量全袋検査は2013年からは国のモニタリング方法として認められ継続的に実施されることとなった。100Bq/kgを超える玄米袋は、2013

年は28袋、2014年は2袋、2015年以降は2019年まで0袋である⁽⁵⁾。こうした状況を鑑み、全量全袋検査は2019年度を最後とし、2020年度からは測定する産地の範囲を少しずつ狭めていくことになっている。

イネが放射性セシウムを吸収してしまう理由はこの10年で明確にわかってきた。植物が成長するのにカリウムは不可欠なミネラルである。カリウムイオンが土壤中で少なくなってくると、植物の根は、少ないカリウムイオンをなるべく多く取り込もうと、カリウムが満ち足りているときには使わない膜タンパク質を根の表面に作りだす。この膜タンパク質は、実に効率よくカリウムイオンを吸収できるのであるが、カリウムイオンと化学的に似ているセシウムイオンを見分けることが不得意で、間違っただけで吸収してしまう。よって、玄米中の放射性セシウムを低減させるためにはこの膜タンパク質が作り出せない状況を生み出せばよいことになる。方法としては2つある。1つは、ゲノム編集等でこの膜タンパク質の設計図である遺伝子を壊したイネを作ることである。イネとシロイヌナズナにおいてこの遺伝子破壊した植物を調べたところ、セシウムイオンの吸収が驚く程減少した(図2)^(6, 7)。この方法は一見すばらしいように見えるが、一方で、カリウムを吸収する能力が下がるので、カリウムが欠乏した土壤では生産量が落ちる。2つ目の方法は、土壤中のカリウムを常に満ち足りた状態にしておく、すなわち、カリウムを肥料として散布しておくことである。こうすれば、件の膜タンパク質が根の表面に作り出されることはなく、放射性セシウムがイネに吸収されることはほとんどなくなる。カリウムの散布量としても、それほど膨大な量ではなく、普段の農業で実施しても違和感のない範囲の散布量で済む。イネにカリウムを十分に与えることにはもう一つの利点もある。カリウムを散布することでイネがセシウムイオンを吸収しにくい状態になるとはいえ、少量は植物の中に入ってきてしまう。このセシウムイオンはカリウムが満ち足りているとワラの部分に、逆にカリウムが欠乏した植物では穂の部分に蓄積しがちであることが明

らかとなっている⁽⁸⁾。カリウムを十分に与えることは、放射性セシウムを穂へ移行させずに葉でとどめておく効果もある。ホウレンソウなどの葉物野菜ではこのメカニズムがあろうがなかろうが関係ないが、イネのような実を食べる作物では、このメカニズムがあることでさらに放射性セシウム低減がなされている。以上のような科学的根拠に裏付けされた対策として、放射性セシウムの降下量が多かった地域や玄米中に放射性セシウムが蓄積しがちな地域では、玄米中の放射性セシウム低減対策としてカリウム施肥が行われてきた⁽⁹⁾。

なお、特段の対策を要求しなかった2011年の稲作でも、100Bq/kgを超えたものは極一部(0.7%)であったことは、福島県内の多くの水田では、特段何の対策もせずに、基準値以内の玄米を収穫することができることを意味している。ほんの一部の水田において、セシウムイオンを固定する粘土鉱物が少ないことや放射性セシウム濃度が高いことなどから、潜在的に放射性セシウムが高濃度に作物に行きがちなるケースがある。カリウム肥料はやや高価な部類の肥料である。上記のようなリスクの高い水田においてのみカリウム肥料の散布がなされるべきであるし、実際にもそのような指針で対策がなされてきた。

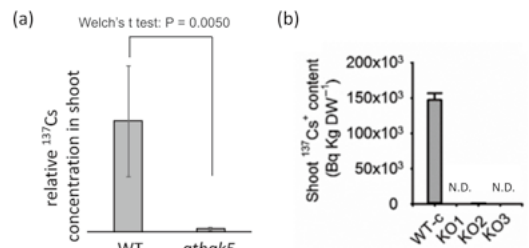


図2

カリウムを輸送する膜タンパク質群の1つをノックアウトした植物における放射性セシウムの吸収量。植物を放射性セシウムで汚染された土壤で栽培した後、植物の地上部(shoot)の放射性セシウムを測定した結果。(a) Tanoi et al. 2019⁽⁶⁾より一部改変。WT: 野生型株、athak5: 膜タンパク質AtHAK5を欠損させた変異体。(b) Nieves - Cordones et al 2017⁽⁷⁾より一部改変。WT-c: 野生型株、KO1, KO2, KO3: それぞれ、OshAK1を欠損させた変異体。欠損のなされ方がことなる3つの植物体を使用した。N.D.: 検出限界以下。なお、この時の土壤中の放射性セシウム濃度は、2.1MBq/kgであった。

以上のように、放射性セシウム低減に関するさまざまな科学的知見とそれに基づく栽培方法、加えて米の徹底的な検査体制により、福島県産の米の安全性が保たれてきた。このように安全性がこれ以上ない程に保たれてきた米であるが、産業としての稲作はどのような影響を受けてきたのか、次節で解説していきたい。

3. 福島第一原子力発電所事故が福島県の稲作に与えた影響

福島県は農林水産業が盛んな県である。福島県の農業産出額で最も多いのは米であり、農業産出額全体のおよそ3分の1を占める(798億円、37.8%、平成30年⁽¹⁾)。福島県で生産される米の食味は大変に優れている。食味の検定において最高位の特Aを4つの銘柄が獲得(平成30年)するなど、福島県は日本の中でも最もおいしい米を生産できる地域であると言える(図3)。

このような米が有名な県において、福島第一原子力発電所事故はどのような影響を及ぼしたのであろうか。図4は、福島県で算出される米の生産量の年次推移を示している⁽¹⁰⁾。福島第一原子力発電所事故により、生産量がおおよそ20%減少している。その後も回復することなく、15~20%減の状態が平成30年まで続いている。また、冒頭に述べたように、全国的に米消費量が減少している状況下において、主食用の米ではない、その他の米の生産が目立って来ている(図4の棒グラフの灰色の部分)。

続いて米の価格について、福島県を縦に3つの地域に分けた統計に着目したい⁽¹⁰⁾。最も太平洋に面した地域を浜通り、中央部分を中通り、最も西にあたる部分を会津とわけ、それぞれの地域で算出されたコシヒカリに価格を、全国の銘柄の平均価格で割り算した結果を図5に示す。福島第一原子力発電所事故がおきる前は、浜通りと中通りのコシ

ヒカリの価格は全国平均で、会津地方は高い値段で取り引きされていた。福島第一原子力発電所事故後に浜通りや中通りのコシヒカリの価格は最大で2割程度下落したが、ここ数年はおおよそ事故前の水準に戻りつつある。一方で、会津産のコシヒカリの価格は全国平均とほぼ同額となっており、事故前の水準まで戻っていない。

このように生産量が減少していてもなお売れ残りが問題となっている。すべての米が基準値以下であることが確認され食味も大変に良いにもかかわらず、価格が下落気味でかつ売れ残りが出る要因は、いわゆる「風評被害」



図3

米食味ランキングにおいて、福島県産米が「特A」の獲得銘柄数で日本一になったことを宣伝するWebsite。

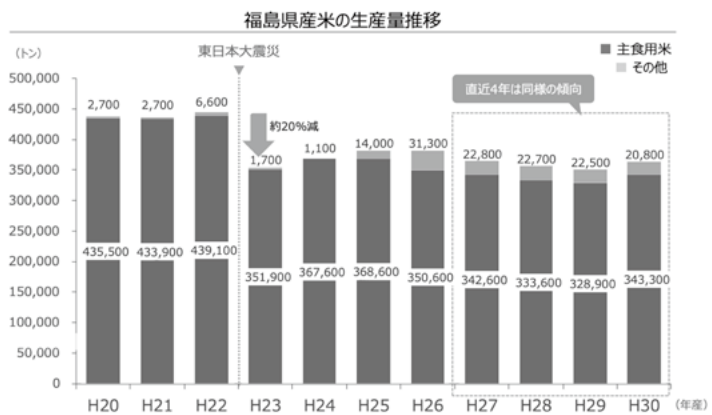


図4

福島県産米の生産量に与えた福島第一原子力発電所事故の影響(「令和元年度福島県産農産物等流通実態調査」報告書概要 令和2年3月農林水産省)⁽¹⁰⁾。「その他」とは、飼料米(家畜のエサ)や加工米(せんべいなどの原料)などに用いられる米を示している。

であると言える。その風評被害の具体的な原因を探るために、流過程に着目して、米を納入している業者や納入先の事業者の認識を知るための調査研究が行われた。その結果、福島県産を避ける傾向は、加工業者や小売業者・外食業者よりも、それらの業界へ米を納入する卸売業者や仲卸業者（納入業者）が強いことが判明した⁽¹⁰⁾。これは、卸売業者は、小売業者は福島県産を扱うのに後ろ向きであろうとやや過剰に考え過ぎていることを示している。そこで、この認識のギャップを埋めるための啓蒙活動（「取引先は、あなたが考えるほど福島県産をいやがっていないかもしれませんよ」というポスターなど）を行っている（図6）。風評被害のメカニズムを解明しポイントを絞った対策を実行することで被害を減らす努力がなされている。

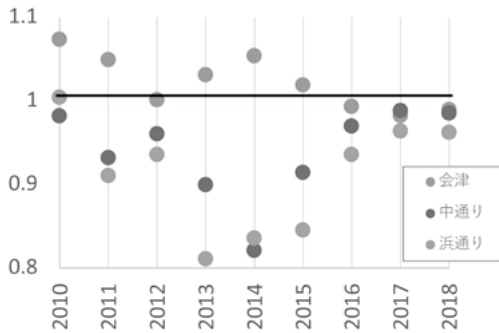


図5

全国平均価格(全銘柄)に対する福島県産コシヒカリの価格の比。会津、中通り、浜通りそれぞれの地域で収穫されたコシヒカリの価格⁽¹⁰⁾を全国平均価格で除算した値を示している。全国平均価格(比率=1)を黒線で示した。



図6

福島県産の農産物が売れない構造と、卸業者への啓蒙活動(流通実態調査⁽¹⁰⁾より引用)

4. まとめ

福島第一原子力発電所事故が農業に与えた影響について振り返ってきた。関係者の努力といくつかの幸運により、玄米中の放射性セシウム汚染は最小限に収まったと言える。風評被害については少しずつ改善に向けた努力がなされている。事故から10年が経過した現在、次の10年では事故そのものの記憶がない世代が社会人として世に羽ばたいていく。こうした世代に、事故による影響について、科学的根拠とともに実態を伝えることが健全な社会を育む上で重要である。農業分野への影響についても、伝える地道な努力がなされていくべきであろう。

参考文献

- (1) 福島県農林水産部, 福島県 農林水産業の現状(令和2年7月) <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/397015.pdf> (2021年2月3日アクセス)
- (2) 駒村美佐子, 津村昭人, 山口紀子, 藤原英司, 木方展治, 小平潔, わが国の米, 小麦および土壌における⁹⁰Srと¹³⁷Cs濃度の長期モニタリングと変動解析, 農業環境技術研究所報告24号p. 1-21
- (3) IAEA Technical Reports series no. 472 P79 Table 22
- (4) 二瓶直登, 福島県農業の現状と課題, Isotope News 2021年2月号 No.773 in press
- (5) ふくしまの恵み安全対策協議会, 放射性物質検査情報, 玄米, https://fukumegu.org/ok/contentsV2/kome_summary.html (2021年2月3日アクセス)
- (6) Tanoi K. et al. (2019) Cesium Translocation in Rice. In: Nakanishi T., O'Brien M., Tanoi K. (eds) Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident (III). Springer, Singapore.
- (7) Nieves - Cordones, M., Mohamed, S., Tanoi, K., Kobayashi, N. I., Takagi, K., Vernet, A., Guiderdoni, E., Périn, C., Sentenac, H., & Véry, A. (2017). Production of low - Cs⁺ rice plants by inactivation of the K⁺ transporter OsHAK1 with the CRISPR - Cas system. *The Plant Journal*, 92(1), 43-56.
- (8) Nobori, T., Kobayashi, N. I., Tanoi, K. and Nakanishi, T. M. 2014. Effects of potassium in reducing the radiocesium translocation to grain in rice. *Soil Sci. Plant Nutr.* 60: 772-781.
- (9) Kato, N., Kihou, N., Fujimura, S., Ikeba, M., Miyazaki, N., Saito, Y., Eguchi, T. and Itoh, S. 2015. Potassium fertilizer and other materials as countermeasures to reduce radiocesium levels in rice: Results of urgent experiments in 2011 responding to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Soil Sci. Plant Nutr.* 61: 170-190.
- (10) 農林水産省, 「令和元年度福島県産農産物等流通実態調査」報告書概要 (令和2年3月) <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/ryutu/R1kekka.html> (2021-02-03アクセス)

著者プロフィール

1976年栃木県生まれ。東京大学農学部、東京大学大学院農学生命科学研究科、農学博士。2003年東京大学生物生産工学研究センター助手(後に助教)、2012年東京大学大学院農学生命科学研究科准教授、2018年同教授、現在に至る。2003年から東京大学農学部 放射線取扱主任者に選任。放射性トレーサーを用いた植物体内物質動態研究の他、2011年以降は福島第一原子力発電所事故による森林・農地環境汚染調査研究を実施している。

放射線安全技術講習会 **－ 受験対策の決定版！ 優れた講師陣！！－**

第64回放射線取扱主任者試験受験対策セミナー・開催のお知らせ

1. 期 日 第二種コース 2021年6月15日(火)～6月18日(金)の4日間
 第一種コース 2021年6月21日(月)～6月25日(金)の5日間
2. 会 場 東京都文京区湯島2-31-15 和光湯島ビル4階
 公益社団法人日本保安用品協会
3. 受講対象者 第二種又は第一種放射線取扱主任者の国家試験受験を予定している方

4. 定員及び
 受講料

定 員	受講料 (消費税別)
第二種コース 20名	45,000円
第一種コース 20名	55,000円

5. 申込締め切り 各コースともに定員になり次第締め切りとさせていただきます。但し、コロナウイルスの感染拡大状況により、講習会を中止とすることもございますので、ご了承ください。
6. 講習会主催者 公益社団法人日本保安用品協会
 及び問い合わせ先 放射線取扱主任者試験受験対策セミナー事務局
 〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-15 和光湯島ビル5階
 TEL 03-5804-3125 担当 澄川
 e-mail : r-seminar@jsaa.or.jp URL : <http://www.jsaa.or.jp>
7. 申込方法 申込は主催者ホームページの申込画面より行なってください。
8. 受講料の
 お支払い方法 受講料のお支払いは当協会の指定する銀行口座へのお振込みとなります。

「2021国際医用画像総合展出展」のご案内

画像診断学・放射線腫瘍学・核医学を問わず放射線医学の全ての分野における、国内最大級のイベント、日本放射線技術学会・日本医学物理学会・日本医学放射線学会の学術大会が横浜で開催されます。弊社は今年も併設する「国際医用画像総合展（ITEM2021）」に出展いたします。お馴染みの製品をはじめ、感染症対策商品のご紹介もいたします。

日頃ご愛顧を賜っているお客様にお会いできることをスタッフ一同、心待ちにしております。お客様のお役に立てる製品の展示をいたしますので、学会へお出かけの際はぜひお立ち寄りください。

* 展示予定商品 *

- ①高線量率密封小線源治療装置用
「アプリケーションタ」
- ②放射線治療計画装置
「Oncentra Brachy」
- ③定位放射線治療用加速器システム
「ZAP-Xラジオサージェリーシステム」
- ④ウイルス抑制・除菌用紫外線照射装置
「Care222™ i シリーズ」
- ⑤放射線治療装置用QA/QC製品
- ⑥ガラス線量計小型素子システム
「Dose Ace」
- ⑦個人線量測定モニタリングサービス
「ガラスバッジ」
- ⑧眼の水晶体の線量測定用線量計
「DOSIRIS」
- ⑨放射線業務従事者個人管理システム
「ACEGEAR NEO」

展示品内容は変更する場合がございます。

* 開催日時 *

2021年4月16日(金) 10:00~17:00
2021年4月17日(土) 9:30~17:00
2021年4月18日(日) 9:30~15:00

* 会場 *

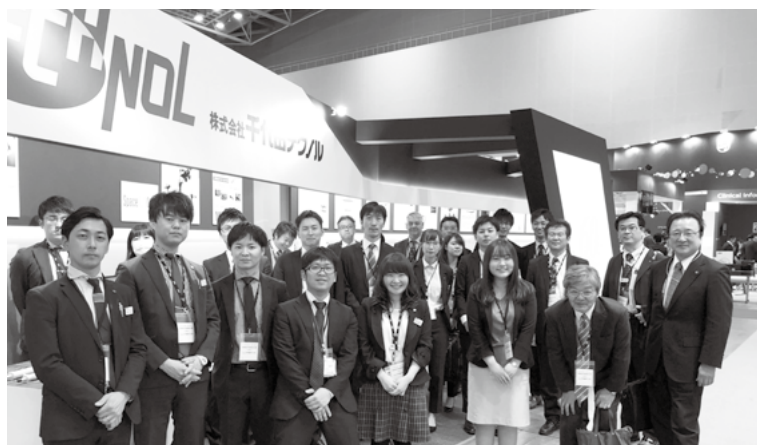
パシフィコ横浜展示ホール：ブースNo.B2-06

* Web展示開催日時 *

2021年5月12日(水)正午~6月3日(木)正午

* 学術大会 *

会期：2021年4月15日(木)~18日(日)
第80回日本医学放射線学会総会
第77回日本放射線技術学会総会学術大会
第121回日本医学物理学会学術大会



(担当：営業統括本部 高橋 萌)

サービス部門からのお願い

4月1日はガラスバッジ、ガラスリングの交換日です。

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。

4月1日はガラスバッジ、ガラスリングの交換日です。

ご使用期間が3月31日までのガラスバッジ・ガラスリングは、ご使用期間終了後、速やかに弊社測定センターまでご返送くださいますようお願いいたします。

2020年度の個人線量の集計は、2020年4月1日から2021年3月31日までのご使用分が対象です。ご使用になったガラスバッジをすべてご返却ください。

法定管理帳票として「個人線量管理票」を出力いたします。関係法令で定められた線量限度を超えていないことをご確認ください。



編集後記

- 皆様の周りでは、COVID-19のワクチン接種は始まったでしょうか。厄介な感染症で悲しいお知らせを耳にすることも間々ではありません。ポストコロナなどと幻想を抱かずに、賢く付き合っていくことでしょう。
- 今月の巻頭は、量子科学技術研究開発機構の小平聡研究総括に、あらゆる放射線を蛍光飛跡として可視化する、次世代の個人被ばく線量計素子として期待されている蛍光飛跡検出器（FNTD）について紹介いただきました。離散的な粒子線が細胞に及ぼす影響を精確かつ迅速に測定する可能性を拓くものであり、新たな線量指標への結実はもとより、宇宙飛行、個別医療といった分野をはじめ実利用が急速に進むことでしょう。
- 東京大学 田野井慶太郎教授による「福島第一原子力発電所事故と米」についてのお話は、混乱と不安・不信に満ちてきた話題に精緻かつ正確な見解を示されています。根深い風評被害への対策を考えるうえでも貴重な

資料となっています。改めて東日本大震災と福島第一原子力発電所事故の復興・復旧を考えるきっかけを与えていただきました。

- 中川恵一先生のコラムでは、がんは固い塊の意で、武田信玄と徳川家康が、胃がんで亡くなったことが紹介されています。致死性のがんに進展するには20年ほどかかるとのこと、今では早期発見、早期治療で快癒する例が多くなっています。
- 眼の水晶体の線量限度を引き下げる関係法令の改正を機に、当社のガラスバッジサービスでも報告書の名称および様式を変更しました。皆様のご意見は最良の師です。サービス利用時に気づかれたことなど忌憚なく、ご意見をお寄せいただきたくお願い申し上げます。
- 新たな年度の始まり。新しい日常が皆様の本位でありますようお願いしつつ。

(S.A.)

FBNews No.532

発行日/2021年4月1日

発行人/細田敏和

編集委員/新田浩 小口靖弘 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 原明

五十嵐仁 藤森昭彦 高橋英典 中本由季 廣田盛一

発行所/株式会社千代田テクノ

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3252-2390 FAX/03-5297-3887

<https://www.c-technol.co.jp/>

印刷/株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体364円)