



Photo Wakana Fujisaki

Index

「被ばく医療における細胞遺伝学的線量評価」 三浦 富智／藤嶋 洋平／アンダーソン ドノヴァン 阿部 悠／中山 亮	1
日本における馬のシンチグラフィーの現状と 将来に向けた提案	山田 一孝 6
〔コラム〕 75th Column 【教訓を反映した原子力発電所再稼働を】	中川 恵一 11
〔コラム〕 第1回 【医療の変遷断想】	佐々木康人 12
放射線教育フォーラム30年の歩み	吉澤 幸夫 17
〔サービス部門からのお願い〕 ご使用者の変更連絡はお早めに	19

「被ばく医療における細胞遺伝学的線量評価」

三浦 富智*1／藤嶋 洋平*2／アンダーソン ドノヴァン*3
阿部 悠*4／中山 亮*5

緊急被ばく医療では、放射線に被ばくした患者の個人線量を医師に提供するために線量評価が行われる。生物学的線量評価(バイオドシメトリー)は、被ばくした患者の生体内反応を直接解析し、急性期の全身被ばくを正確に推定することから、被ばく医療において重要な役割を果たしている。細胞遺伝学的線量評価において生物学的線量計として使用されるエンドポイントは(1)特異性、(2)安定性、(3)線量依存性の3つの要件を満たすことが必要となる。二動原体染色体(dicentric chromosome, Dic)法(dicentric chromosome assay, DCA)は、生物学的線量計の3つの要件をすべて満たす優れたエンドポイントであることから、バイオドシメトリーにおけるゴールドスタンダードとして認知されている。細胞遺伝学的線量評価には、DCAのほかに、早期染色体凝縮(premature chromosome condensation, PCC)法、細胞質分裂阻害微小核(cytokinesis-block micronucleus, CBMN)法、染色体転座法が用いられる。

本稿では、被ばく医療におけるバイオドシメトリー、中でも染色体異常をエンドポイントとする細胞遺伝学的線量評価を概説するとともに、2024年9月に弘前大学で開催された国際会議「EPRBioDose2024」について報告する。

1. 緊急被ばく医療におけるバイオドシメトリーの役割

細胞分裂が活発な組織は、放射線被ばくに対して非常に感受性が高いことは一般的に知られている¹⁾。造血組織である骨髄は、造血幹細胞が常に細胞分裂を繰り返しているため、放射線の影響を非常に

受けやすい。また、配偶子を産生する生殖腺や、ターンオーバーの早い腸も放射線感受性の高い組織・器官である²⁾。一方、筋肉や神経系はターンオーバーや細胞分裂の頻度が低いため、放射線感受性は低い。したがって、特定の組織・器官がもつ線量のしきい値を超えると、さまざまな組織反応(確定的影響)や晩発影響が起こる可能性がある。

線量評価は、医師が被ばくした患者の治療計画を立てるために、個々の被ばく線量を提供するために実施される。細胞遺伝学的線量評価は、被ばくした患者の生体内反応を直接解析し、全身被ばく線量を正確に推定することから、被ばく医療において重要な役割を果たしている。線量評価を通じて、被ばくした患者やその家族の病状や治療に対する理解を深めることができる。また、線量評価によって、患者やその家族が健康被害を受けなかったことを知らされることで、不必要な不安を減らすことができることにも留意すべきである。

2. 細胞遺伝学的線量評価法の比較と選択

細胞遺伝学的線量評価法としては、DCAのほか、CBMN法、PCC法、染色体転座法などがある(図1)。各アッセイ法は、解析するエンドポイント、適用線量範囲、部分被ばくの推定に適しているかどうかなどの要素が異なるため、被ばくシナリオに応じて慎重に選択する必要がある。さらに、DCAやCBMN法では、重症度により治療の優先順位をつけるトライアージが迅速に行われるよう、解析細胞数を減らしてスコアリングし、予備的な線量推定値を報告することが国際的なガイドラインで推奨されている^{3, 4)}。著者らは、適切な細胞遺伝学的

*1 Tomisato MIURA 弘前大学被ばく医療総合研究所
*2 Yohei FUJISHIMA 同上
*3 Donovan ANDERSON 同上

*4 Yu ABE 長崎大学原爆後障害医療研究所
*5 Ryo NAKAYAMA 福島県立医科大学医学部

線量評価法を選択する際に、(1)放射線被ばくから血液採取までの期間、(2)前駆症状から予想される被ばく線量、(3)細胞遺伝学的線量評価を必要とする被ばく者数を基準としている。

DCAを実施する場合、Dicは不安定な染色体異常であるため、事故後28日以内に血液を採取する必要がある。事故後時間が経過すると、Dic陽性細胞の数が減少し、被ばく線量が過小評価される可能性が高い⁵⁻⁷⁾。したがって、事故後1ヶ月以上経過してから採血した場合には、適及的線量推定が可能な染色体転座法のみが適用できる唯一の方法である。一方、高線量被ばく者では、末梢血リンパ球数が直ちに減少するため、速やかに採血する必要がある⁸⁾。また、血液培養期間中の細胞分裂は分裂(M)期前の間期(G₂期)で停止する傾向があり、通常染色体を解析する分裂期中期にあたるメタフェーズ細胞を得ることは困難である⁹⁾。そこで、高線量放射線被ばく患者では、間期細胞の細胞核内にあるDNAとタンパク質の複合体であるクロマチン(染色質)を人為的に凝縮させるPCC法が用いられる¹⁰⁻¹²⁾。

バイオシメトリーのゴールドスタンダードであるDCAの欠点は、個々の細胞の染色体分析に時間

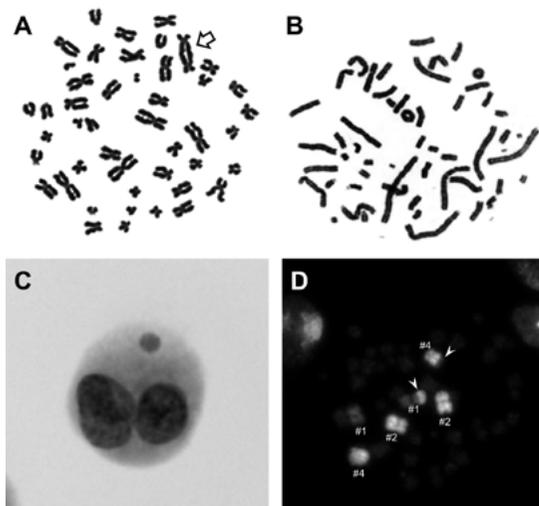


図1 細胞遺伝学的線量評価で観察される染色体異常陽性細胞

A: DCAにおけるDic陽性分裂中期細胞、B: 化学誘導PCC法におけるPCC-ring陽性G₂/M-PCC細胞、C: CBMN法における微小核陽性二核細胞、D: 染色体転座法における染色体転座陽性分裂中期細胞(矢頭の部分で1番と4番染色体の相互転座が生じている)。

を要することである⁵⁾。大規模な放射線被ばく事故が発生した場合、分析が容易で自動スコアリングが可能なCBMN法の方が効果的であると考えられる¹³⁾。

各エンドポイントの自然発生頻度や放射線被ばく以外の要因の影響により、適用可能な下限被ばく線量は異なる。Dicの自然発生頻度はメタフェーズ1,000個当たり1個以下と極めて低く、放射線に対する特異性が極めて高いことから、年齢、性別、喫煙の影響は少ないとされている¹⁴⁾。一方、CBMN法と染色体転座法の適用下限被ばく線量は、微小核と染色体転座が年齢、性別、喫煙の影響を受けるため、DCAよりも高い^{5, 15)}。

推定被ばく線量は、全身が均質に被ばくしていると仮定しているが、ほとんどの被ばく事例では線量分布は一様ではない。極端に偏った被ばく(部分被ばく)では、DCA^{16, 17)}やPCC法¹⁸⁾を用いて部分被ばくに適した線量計算が可能である。しかし、CBMN法では部分被ばくを正確に推定できない。

細胞遺伝学的線量評価では、増殖が休止しているG₀期にある末梢血リンパ球(T細胞)を分裂刺激剤であるフィトヘマグルチニン(PHA)で刺激して培養し、染色体分析を行う。細胞融合PCC(fusion-PCC)法を除き¹⁹⁻²¹⁾、48~72時間の血液培養が必要である。その結果、推定線量を報告するには、通常、採血後3~5日を要する。

近年、セントロメア特異的蛍光標識DNAプローブを用いた蛍光*in situ*ハイブリダイゼーション(fluorescence *in situ* hybridization: FISH)で染色体体の結合部位である動原体のセントロメア配列を標識できるようになり、Dicの検出精度を向上させることが可能になってきた²²⁾。しかし、トリアージでDicを迅速にスコアリングし、医師に予備的な推定線量を提供するためには³⁾、迅速な標本作製が可能なギムザ染色標本でのスコアリングが望ましく、正確なスコアリングのためには常日頃のトレーニングが不可欠である。

3. 細胞遺伝学的線量評価の国際的動向

細胞遺伝学的線量評価では、血液培養に48~72時間を要することに加え、染色体異常解析に時間を要することが線量評価のボトルネックとなっている。この国際的課題をブレークスルーするため、近年急速に発展している人工知能を利用した自動

染色体異常解析法の開発が精力的に行われている^{23, 24)}。さらに、細胞ごとの形態情報および標識蛍光強度情報を抽出するイメージングフローサイトメトリーを用いることにより、高速に染色体異常を定量する手法の開発が進められている^{25, 26)}。

本邦ではJCO臨界事故を経験後に被ばく医療体制および染色体ネットワークが整備された。しかし、東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所（以下、東電福島第一原発）事故では、既存の被ばく医療体制および染色体ネットワークにおける課題が明らかとなり、2015年に新たな被ばく医療体制が再構築された。細胞遺伝学的線量評価では、必要器材の老朽化や人材不足が深刻な課題となっている。さらに、大規模原子力災害等で多数の傷病者が発生した際のバイオドシメトリーについての議論が進んでいないのが現状である。

先行する海外のバイオドシメトリーラボに立ち遅れることなく、強固な日本の細胞遺伝学線量評価体制を構築し、原子力災害時のバイオドシメトリーを担っていく必要がある。

4. EPRBioDose2024報告

国際生物線量評価学会（International Association of Biological and EPR Radiation Dosimetry, IABERD）が開催するEPRBioDoseは、電子スピン共鳴（Electron Paramagnetic Resonance, EPR）および細胞遺伝学的手法を用いた放射線の生物学的線量評価に携わる世界各国の研究者が一堂に会する国際学会として、1998年から25年近くにわたり本分野の中心的な国際会議として位置づけられてきた。本会の目的は、EPRを用いた放射線の生物学的線量評価や年代測定、細胞遺伝学的線量評価領域における国内外の一線級の研究者を交え、大規模な放射線被ばく事故等の緊急時対応や、迅速なトリアージのためのバイオマーカー探索に関する最新の知見、医療における放射線の生物学的線量評価の役割、線量評価における精度管理や国際的な施設間のネットワーク形成に関して議論・情報交換することにより、放射線生物学的線量評価の進歩と発展を図ることにある。この度、令和6年9月25日(水)～28日(土)の期間、弘前大学創立50周年記念会館（弘前市）を会場とし、IABERDと弘前大学が共催でEPRBioDose2024を開催した²⁷⁾。本大

会は「Dosimetry Harmony: Orchestrating Unity in Techniques（線量測定ハーモニー：技術の調和に向けて）」をテーマとし、(1)放射線被ばくバイオマーカー、(2)医療における生物学的線量評価、(3)緊急被ばく医療における生物学的線量評価、(4)疫学研究における生物学的線量評価、(5)生物線量評価ネットワークおよび精度管理、(6)電子スピン共鳴法の発展、(7)電子スピン共鳴法による年代測定とその応用と、多岐に渡るトピックスについて、20カ国91名（オンライン2名含む、**図2**）が参加し、28題の口頭発表および、54題のポスター発表がなされ、研究発表や意見交換が行われた。

以下に、本大会における特徴的な取組について述べる。



図2 EPRBioDose2024会期中に撮影した集合写真

4-1 トレーニングコース

本大会では、EPRBioDose初の取組として、大会開催前（令和6年9月23日(月)）にEPRによる線量評価と細胞遺伝学的線量評価に関するトレーニングコースが開催された。

EPRトレーニングコースでは、第一線の研究者による講義、EPRスペクトルシミュレーションソフトウェアを用いたハンズオン講義、および実機を用いた線量評価の実際について、12名の若手研究者が学んだ。

細胞遺伝学的線量評価トレーニングコースにおいては、遡及的な線量評価が可能なFISH法を用いた染色体転座法や、高線量被ばくの線量評価が可能なPCC法（特に化学誘導PCC法）などについて実習形式で5名の若手研究者が参加した(**図3**)。



図3 細胞遺伝学的線量評価トレーニングコース

4-2 Round Table Session

会期1日目に開かれた Round Table Sessionと呼ばれるパネルディスカッション式のセッションでは、“When and how should we use biodosimetry for an unplanned radiation exposure in the short and long term? (短期的または長期的に、計画外の放射線被ばくに対して生物学的線量評価をいつ、どのように使用すべきか)” の内容で専門家4名および若手研究者の2名で議論を行った(図4)。討論においては、線量測定技術の進歩やハーモナイズ、運用の規模拡大を見据えた際の課題、緊急時対応における生物学的線量評価の将来などが議論された。また、フロアの参加者に対して、匿名で意見の投稿が可能なオンラインフォームも準備することで、より切り込んだ内容で活発な質疑応答がなされた。



図4 本大会で初めて企画されたRound Table Session

4-3 Post-conference Fukushima tour

会期終了後、海外研究者の要望に応じ、福島県浜通り地区へのエクスカージョンを、観光庁「国際会議の開催効果拡大実証事業」の支援を受け実施した。「被災地の未来志向を理解する」をテーマに、

複合災害に理解を深めるとともに、被災地復興・再生への取組や、処理水の海洋放出、メルトダウンした炉心の廃炉に向け英知を結集した挑戦について理解するために、①東日本大震災・原子力災害伝承館の見学、②福島イノベーション・コースト構想の紹介、③浪江町の教育再生に関する講話、④東電福島第一原発の視察(図5)⑤福島県産食品の理解の、5つのプログラムからなるツアーを企画した。



図5 EPRBioDose2024 post-conference Fukushima tourで東京電力福島第一原子力発電所を視察

参加者の意見を以下に紹介する。「このツアーは、東京電力福島第一原子力発電所事故の被災地に対する私の認識を一変させた。当初は災害と喪失に焦点を当てていたが、今では地域社会の回復力と現在進行中の復興努力を認識している。このツアーは、課題だけでなく、福島の復興に向けた希望と進歩も浮き彫りにしてくれた」。

震災から13年もの月日が経過したが、放射線の遺伝的影響や福島県産食材に対する誤解を払拭することは難しく^{28, 29)}、国内においても未だ風評被害が継続している。さらに外国人は、福島県の現状についてマスメディアやSNSを介して情報を入手する機会が多く、必ずしも正しい情報が共有されているとは言い難い。より多くの方々に対して、自らの体験を通して学ぶ機会を提供することが重要であると考えている。福島の復興は道半ばであり、多くの人々の関心が継続され必要があるとともに、復興を支援する国家的取組を国内外に認知していただくことが重要であろう。今回の福島エクスカージョンがその一助となることを願う。

参考文献

- 1) Haber AH, Rothstein BE. Radiosensitivity and rate of cell division: "law of Bergonié and Tribondeau". *Science*. 1969;163 (3873) : 1338–9.
- 2) International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP*. 2012;41 (1-2) : 1-322.
- 3) International Organization for Standardization. ISO21243:2022. Radiation protection — Performance criteria for laboratories performing initial cytogenetic dose assessment of mass casualties in radiological or nuclear emergencies — General principles and application to dicentric assay. Geneva: ISO.
- 4) International Organization for Standardization. ISO 17099:2014. Radiological protection — Performance criteria for laboratories using the cytokinesis block micronucleus (CBMN) assay in peripheral blood lymphocytes for biological dosimetry. Geneva: ISO.
- 5) International Atomic Energy Agency (IAEA). Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies. Emergency Preparedness and Response (EPR-Biodosimetry). Vienna: IAEA; 2011.
- 6) Lindholm C, Romm H, Stephan G, Schmid E, Moquet J, Edwards A. Intercomparison of translocation and dicentric frequencies between laboratories in a follow-up of the radiological accident in Estonia. *Int J Radiat Biol*. 2002;78 (10) : 883–90.
- 7) Cho MS, Lee JK, Bae KS, Han EA, Jang SJ, Ha WH, Lee SS, Barquinero JF, Kim WT. Retrospective biodosimetry using translocation frequency in a stable cell of occupationally exposed to ionizing radiation. *J Radiat Res*. 2015;56 (4) : 709–16.
- 8) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources, effects and risks of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988 report to the General Assembly, with annexes. New York: UNSCEAR; 1988.
- 9) Rodríguez P, Barquinero JF, Duran A, Caballín MR, Ribas M, Barrios L. Cells bearing chromosome aberrations lacking one telomere are selectively blocked at the G2/M checkpoint. *Mutat Res*. 2009;670 (1-2) : 53–8.
- 10) Gotoh E, Asakawa Y, Kosaka H. Inhibition of protein serine/threonine phosphatases directly induces premature chromosome condensation in mammalian somatic cells. *Biomed Res*. 1995;16 (1) : 63–8.
- 11) Kanda R, Hayata I, Lloyd DC. Easy biodosimetry for high-dose radiation exposures using drug-induced, prematurely condensed chromosomes. *Int J Radiat Biol*. 1999; 75 (4) : 441–6.
- 12) Miura T, Blakely WF. Optimization of calyculin A-induced premature chromosome condensation assay for chromosome aberration studies. *Cytometry A*. 2011; 79 (12) : 1016–22.
- 13) Rossnerova A, Spatova M, Schunck C, Sram RJ. Automated scoring of lymphocyte micronuclei by the MetaSystems Metafer image cytometry system and its application in studies of human mutagen sensitivity and biodosimetry of genotoxin exposure. *Mutagenesis*. 2011;26 (1) : 169–75.
- 14) Bochkov NP, Chebotarev AN, Katosova LD, Platonova VI. The database for analysis of quantitative characteristics of chromosome aberration frequencies in the culture of human peripheral blood lymphocytes. *Russian J Genet*. 2001;37:440–7.
- 15) Sigurdson AJ, Ha M, Hauptmann M, Bhatti P, Sram RJ, Beskid O, et al. International study of factors affecting human chromosome translocations. *Mutat Res*. 2008;652 (2) : 112–21.
- 16) Lloyd DC, Purrott RJ, Dolphin GW. Chromosome aberration dosimetry using human lymphocytes in simulated partial body irradiation. *irradiation*. *Phys Med Biol*. 1973;18 (3) : 421–31
- 17) Sasaki MS, Miyata H. Biological dosimetry in atomic bomb survivors. *Nature*. 1968;220 (5173) : 1189–93.
- 18) Blakely WF, Prasanna PG, Kolanko CJ, Pyle MD, Mosbrook DM, Loats AS, Rippeon TL, Loats H. Application of the premature chromosome condensation assay in simulated partial-body radiation exposures: evaluation of the use of an automated metaphase-finder. *Stem Cells*. 1995;13 (S1) : 223–30.
- 19) Johnson RT, Rao PN. Mammalian cell fusion: induction of premature chromosome condensation in interphase nuclei. *Nature*. 1970;226 (5247) : 717–22.
- 20) Pantelias GE, Maillie HD. A simple method for premature chromosome condensation induction in primary human and rodent cells using polyethylene glycol. *Somatic Cell Genet*. 1983;9 (5) : 533–47.
- 21) Okayasu R, Cheong N, Iliakis G. Technical note: comparison of yields and repair kinetics of interphase chromosome breaks visualized by Sendai-virus or PEG-mediated cell fusion in irradiated CHO cells. *Int J Radiat Biol*. 1993;64 (6) : 689–94.
- 22) M'kacher R, Maalouf EE, Ricoul M, Heidingsfelder L, Laplagne E, Cuceu C, et al. New tool for biological dosimetry: reevaluation and automation of the gold standard method following telomere and centromere staining. *Mutat Res*. 2014;770:45–53.
- 23) Jang S, Shin SG, Lee MJ, Han S, Choi CH, Kim S, et al. Feasibility study on automatic interpretation of radiation dose using deep learning technique for dicentric chromosome assay. *Radiat Res*. 2021;195 (2) : 163–72.
- 24) Shen X, Ma T, Li C, Wen Z, Zheng J, Zhou Z. High-precision automatic identification method for dicentric chromosome images using two-stage convolutional neural network. *Sci Rep*. 2023;13 (1) : 2124.
- 25) Rodrigues MA, Probst CE, Beaton-Green LA, Wilkins RC. Optimized automated data analysis for the cytokinesis-block micronucleus assay using imaging flow cytometry for high throughput radiation biodosimetry. *Cytometry A*. 2016;89 (7) : 653–62.
- 26) Rodrigues MA, Probst CE, Zayats A, Davidson B, Riedel M, Li Y, et al. The in vitro micronucleus assay using imaging flow cytometry and deep learning. *npj Syst Biol Appl*. 2021;7 (1) : 20.
- 27) IABERD, EPRBioDose2024 | Hirosaki, Japan, <https://eprbi dose2024.org/> (2024-12-16閲覧)
- 28) 三菱総合研究所. 震災・復興についての東京都民と福島県民の意識の比較 第6回調査結果の報告 (2023年実施) <https://www.mri.co.jp/knowledge/column/20240306.html>, (2024-12-16閲覧)
- 29) 環境省, つむぐ, つなぐ, つたわる。ぐるぐるプロジェクト, <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/portal/communicate/> (2024-12-16閲覧)

日本における馬のシンチグラフィーの現状と 将来に向けた提案

山田 一孝*

1. 馬のシンチグラフィーとは

2024年11月24日に東京競馬場でジャパンカップが開催され、武豊騎手が騎乗したドウデュースが勝利しました。賞金はなんと5億円で、2分25秒のレースの売り上げは243億円でした。わずか2分半の間に多くの競馬ファンが熱狂したことがわかります。もしも国民全員がジャパンカップの馬券を購入していたとすると、国民一人が200円ずつ出資していたことになります。この日本人に愛されている競馬を支えている主人公が競走馬で、競走馬の健康を影で支えているのが獣医療です。

アスリートである馬は整形外科疾患が多く発生します。獣医療が進んだ現代ではまずありませんが、昔は骨折が原因で死ぬことがありました。骨折すると痛くて足に体重をかけることができなくなります。そうすると足を踏み換えることができなくなります。すると、体重をかけたままの足先は血流が悪くなり、運が悪いと感染を起こして死ぬことがあります。では、骨折した馬の命を助けてあげれば、オーナーは喜んでくれるのでしょうか。ペットであれば、命が助かれば当然喜ばれるでしょう。しかし、馬は骨折が治っても速く走ることができなければ、レースに出ることができません。馬の場合、治療の目標は、速く走れるまで治すことが求められます。この点は、ヒトの医療よりもシビアな世界です。

競走馬は速く走るために、日々トレーニングをしています。トレーニングで負荷がかかると、疲労骨折という小さな小さなヒビが入ります。この時点でトレーニングを中断して、馬を休養させることが大事です。ヒビが入った骨に強い力がかかると、骨が折れてしまいます。もしも、レース中に骨が折れると時速60kmで走っている馬は急停止します。シートベルトをつけていない騎手は、空中に飛び、走路に落ちてしまいます。馬のヒビを早期に発見して、骨折を未然に防ぐことは、馬の命を救うだけではなく、ヒトの命を救うことにもつながります。オーストラリアでは、レース前に歩き方の検査に加えて画像診断検査が義務化されました。

馬の整形外科疾患の診断に重要な役割を担っているのが、画像診断です。ヒトの整形外科と同様に、馬にもX線検査、超音波検査、CT検査、MRI検査が行われています。検査をするにあたり、どこを調べるのかを決めること、つまり異常部位の特定がとても大事です。ヒトは、お医者さんに「ここが痛い」と指を指して説明することができます。しかし、馬は痛い場所を示すことができません。そこで獣医師は、歩き方を診て、走り方を診て、触って、どこが痛いのかを判断します。これを跛行検査といいます。日本人の獣医師は、海外の獣医師が舌を巻くほど、跛行検査が得意といわれています。どうしてでしょうか？それは、日本ではシンチグラフィーが実施されていな

* Kazutaka YAMADA 麻布大学獣医学部 教授

かったためという皮肉な理由があります。

獣医療での骨シンチグラフィーは1977年に初めて発表されました。そして、海外では、異常部位の特定に、馬の骨シンチグラフィーが盛んに行われています。ドイツの馬の専門病院Pferdeklinik Bargtheideでは、1年間に500件のシンチグラフィーが実施されています(図1)。骨にヒビが入ると骨芽細胞の活動が活発になります。その部位に集積した放射性同位元素から出る γ 線を γ カメラで捉えて画像化する検査が骨シンチグラフィーです。原因がわからない、なぜかヒトが騎乗することを嫌がる馬に骨シンチグラフィーを実施しました。馬の使役はヒトを乗せて走ることなの

で、騎乗を拒否する馬は、本来の使役を果たさず、大飯食いのペットでしかなくなります。シンチグラフィーの画像では、第4頸椎に放射性同位元素の集積が認められました(図2)。集積部位から馬が痛がっている場所を第4頸椎と特定して、続いて同部位のX線検査を実施したところ、頸椎の骨折が確認されました。

放射性同位元素が投与された馬は、放射能が減衰するまで管理区域に指定された入院室で隔離されます(図3)。海外では、検査後に一晩入院室で隔離され、馬の表面線量率が基準以下に下がっていることを確認してから退院します。(日本の法令では、表面線量率にかかわらず、48時間収容の義務があり



図1 馬のシンチグラフィー風景 (Pferdeklinik Bargtheide) γ カメラを操作する筆者

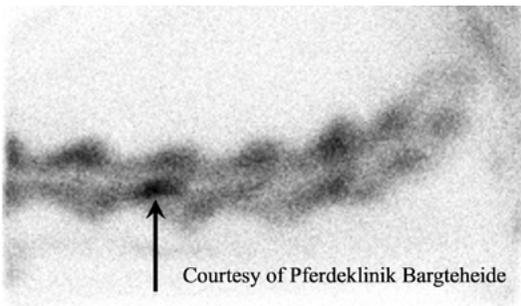


図2 馬の骨シンチグラム

第4頸椎に放射性同位元素の集積が認められ、続いて実施したX線検査で骨折が確認された (Pferdeklinik Bargtheide)



図3 放射性同位元素を投与された馬は管理区域に指定された入院室に収容される (Pferdeklinik Bargtheide)



図4 被検馬が退室した翌日の入院室の空間線量率はバックグラウンドまで下がっていた

ます。) 実際、入院室の空間線量率を測定してみました。シンチグラフィが実施された馬が入院室に入っているときの空間線量率は高かったですが、退室した翌日の入院室の空間線量率はバックグラウンドに戻っていました(図4)。つまり、退室翌日に入院室に入っても、その場所で生活していたとしても、ヒトに健康被害が生じることはありません。

2. 日本における馬のシンチグラフィの現状

この役に立つ検査が日本では2025年ようやく日本中央競馬会的美浦トレーニング・センターで稼働します。しかし、シンチグラフィが実現に至るまでには、涙ぐましいドラマがありました。

馬の骨シンチグラフィでは半減期6時間の放射性同位元素 ^{99m}Tc が使用されます。標準的な投与量5 GBqの ^{99m}Tc は33半減期の198時間で1 Bq未満になります。 ^{99m}Tc が壊変して生じた ^{99}Tc は理論上21万年の半減期で放射線を出しますが、これは理論上の話で、実際には ^{99}Tc の放射能は測定することはできず、ICP-MSという特殊な方法でしか検出することができません。

日本の法令では、獣医療で生じた液体状の放射性汚染物は減衰を確認してから排水することができます。しかし、検査後の馬の尿が染みこんだ敷料は検出限界未満になっても、

固体状の廃棄物として管理区域内で焼却または保管廃棄と定められています。管理区域内で大量の敷料を焼却することも、大量の敷料を未来永劫に保管廃棄室で保管廃棄することも、とても現実的ではありません。

それでは敷料を使わなければよいでしょうか。人間の住居は、フローリングが流行りですが、スリッパを履かない馬にはカーペットの床、つまり敷料が必須です。アスリートである競走馬には入院室の中でストレスを感じることがなく、快適に暮らして欲しいものです。そこで、敷料を廃棄できるように、藁の代わりに水で溶ける紙の敷料を作って、床に敷く方法を考案しました。紙の敷料は、王子グループと千代田テクノル、日本中央競馬会、筆者で共同開発しました。この敷料を液体状にすれば法令に則った廃棄ができます。実際に紙の敷料を敷き詰めた入院室で馬を48時間(法令で規程されている収容時間)拘束してみました(図5、実験なので、放射性同位元素は投与していません。)馬が紙の敷料に驚くこともなく、体調を崩すこともなく、食べてしまうこともなく、安全に使用できることがわかりました。実験室での*in vitro*実験では、紙の敷料が48時間後には透明になるまで溶けることも確認できました(図6)。

この研究で、法令に則ったシンチグラフィ検査ができるようになりました。競馬という国民的娯楽のための放射線の利用は、まさに放射線の平和利用の象徴といえましょう。来年



図5 水に溶ける紙で作られた敷料を敷き詰めた入院室(左)、收容中(中)、退室後の入院室
Journal of Equine Scienceの許可を得て転載(Yamada, et al. Experience of using water-dispersed paper bedding for equine scintigraphy. J Equine Sci 29: 105-109, 2018.)

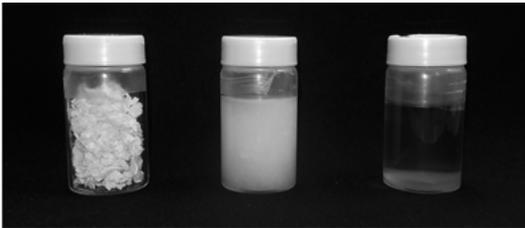


図6 敷料(左)、水に溶解した敷料(中)、加水分解して溶けた敷料(右)
Journal of Equine Scienceの許可を得て転載(Yamada, et al. Experience of using water-dispersed paper bedding for equine scintigraphy. J Equine Sci 29: 105-109, 2018.)

から日本ではじまる馬のシンチグラフィーが楽しみでなりません。

3. 将来に向けた筆者からの提案

^{99m}Tcと⁹⁹Tcの下限数量は、いずれも1×10⁷Bqで、減衰した後の敷料は法令上の放射性同位元素ではありません。それでは、なぜ下限数量以下の敷料に対して、「わざわざ水で溶かして液体状にして廃棄」という面倒なことをしなければならないのでしょうか。法令では放射性同位元素ではないものを、法令で放射性汚染物として管理することに、いったいどんな意味があるのでしょうか。

海外では、馬の敷料は放射能の減衰後に一般ゴミとして廃棄されています。海外でできることが、どうして日本ではできないのでしょうか。海外の獣医師に、日本の法令では

シンチグラフィー後の敷料を廃棄できないことをお話すると、「理解できない」「放射能が検出できなくなっても捨てられないのか?」「ナンセンス」と言われます。

「敷料を食べると内部被曝するので、食べることを禁止します」という議論であれば理解できます。例えば、シンチグラフィーを実施した馬の馬肉が市場に流通しないための規制であれば、納得がいきます。ここでは敷料をゴミとして捨ててもよいかという議論です。敷料は、ヒトが食べるものではないし、誤ってヒトの口に入るものでもありません。

中国が処理水の海洋放出を理由に日本の海産物の輸入を禁止した際に、岸田前総理大臣は「科学的根拠に基づかない規制は認めることはできない」と断じました。一方で、獣医療での放射性汚染物は「科学的根拠に基づかない規制」がまかり通っているのです。

私は法律の専門家ではありません。科学者の立場から提案です。

法令遵守は大事ですが、法令とは社会の秩序を維持するもので、国民を守るための手段だと理解しています。しかし、固体状の放射性汚染物の廃棄については、法令が目的になってはいないのでしょうか。放射能が減衰した敷料を廃棄したとして、現実的に何か問題が生じることはなく、文言だけの問題です。法令に科学的な齟齬がある場合には、文言の修正が必要です。

獣医療法施行規則に「動物の保定は保定具または医薬品により行う」と示されています。ただし、規則には但し書きがあり「ただし、必要な防護措置を講じたときはこの限りではない」と記載されています。同様に、馬の敷料についても、獣医療法施行規則の「固体状の汚染物は保管設備で保管」に続けて「ただし、放射能が減衰した敷料についてはこの限りではない」の文言を追加できないでしょうか。

もう一つ提案をします。原子炉から発生した放射性廃棄物はクリアランス基準を満たせば再利用できます（原子炉等規制法）。一方、獣医療で発生した放射性廃棄物にはクリアランス基準がありません。原子力発電所から出た瓦礫にはクリアランス基準があって、どうして獣医療から出た廃棄物はクリアランス基準が適用できないのでしょうか。原子力発電所から出たゴミは安全で、獣医療から出た放射性廃棄物は危険ということはありません。獣医療で発生した廃棄物は、原子炉等規制法に定めがないからクリアランス基準が使えないことも、先述した但し書きと同じく文言だけの問題です。私は、「馬のシンチグラフィーで発生した（検出限界未満の）放射性廃棄物の地層処分を認めてください」とか、たいそうな提案をしているわけではありません。獣医療で出た放射性廃棄物にもクリアランス基準の導入を検討していただきたいと思います。

このままでは、日本の獣医学は世界の後塵を拝することにならないか心配です。損失回避の法則で、何もしなければ現状は維持できます。日本の獣医療が今より後退することはなくても世界の獣医療は進歩しているので、韓国に抜かれ、タイにも抜かれ、やがて中国にも抜かれるかもしれません。アジアから日本の獣医療を学びに来ていた留学生は来なくなり、日本人がアジアに学びに行く時代がくるかもしれません。今できることは今解決しないと、失われた30年が、40年、50年となってしまいます。このまま敷料を捨てられない

っていると、日本の獣医学は海外から取り残されるばかりではなく、国民が競馬を通して得られる魅力を100%享受できない可能性があります。過剰な規制のせいで、日本国民は世界水準の競馬や乗馬を楽しむ機会を奪われているのではないのでしょうか。

筆者の予言です。50年後にはシンチグラフィーの敷料は必ず廃棄できるようになっています。50年後の大学の獣医放射線学の講義です。（教授）「令和の時代にはシンチグラフィーの敷料は捨てられませんでした」

（学生）「どうしてですか？」

（教授）「当時の法令では、一度放射能で汚染されたものは減衰して放射能がなくなっても放射性汚染物として扱われていました」

（学生）「えっ？」

（教授）「いやいや、平成の時代には、飛行機の中でタバコが吸えたんだよ」

（学生）「まさか（笑）」

今の私達は、未来の日本人に笑われてしまうかもしれません。笑われないようにするためには、行政の協力が必要です。

紙で敷料を作るコスト、使用後の敷料を水に溶かす労力を考えると、馬のシンチグラフィーの普及には高いハードルがあります。将来、日本に2台目、3台目のシンチグラフィーが設置され、競走馬以外のお馬さんたちがシンチグラフィーの恩恵を得るためには、日本国民が世界水準の馬の魅力を楽しむためには、科学的根拠に基づかない岩盤規制を撤廃することが必要です。

著者プロフィール

平成2年帯広畜産大学獣医学科卒業。平成9年岐阜大学大学院連合獣医学研究科博士課程修了。平成12-13年文部科学省在外研究員（カリフォルニア大学デイビス校）。平成20年帯広畜産大学教授。平成28年麻布大学教授 現在に至る。専門は獣医放射線学、産業動物の画像診断。農水省獣医事審議会委員。第1種放射線取扱主任者。



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

教訓を反映した原子力発電所再稼働を

東北電力の女川原子力発電所2号機が14年ぶりに再稼働しました。震災後に、高さ約29m、長さ800mにもなる防潮堤を設置するなど、事故を起こした東京電力福島第一原子力発電所の教訓を生かし、安全性を向上させています。女川原子力発電所は福島第一原子力発電所と同じ沸騰水型の原子炉で、同型炉では震災後初めての再稼働となります。

女川原子力発電所は三陸海岸南端の宮城県牡鹿半島に位置します。東日本大震災では、震源に一番近かった原子力発電所で、ビルの4階高さに相当する13mもの高さの津波が到達しましたが大きな被害を免れています。国際原子力機関IAEAも2013年の報告書で、女川原子力発電所の構造物、系統および機器は地震や津波により大きな損傷を受けず機能を発揮した、と評価しています。

1984年に1号機が営業運転を開始した女川原子力発電所は安定的に電気の供給を続けてきました。当時の若林社長は建設時に、女川原子力発電所を「安全」で地域とともに「共存共栄」する発電所にすると言ったそうです。貞観津波(869年)や慶長津波(1611年)などを考慮し、当時約3mと予想された津波高さを大きく上回る海拔14.8mの高さに主要な設備を建てるなど、裕度を持たせました。一方、事故を起こした

福島第一原子力発電所では、建設時の想定津波高さは約3mと女川原子力発電所と同等でしたが、主要設備を海拔10mに設置していました。この違いが東日本大震災で決定的な違いを生んでいます。女川原子力発電所では地震と津波にしっかり耐え、家を流された地域の方など最大で364名が構内で安全に避難生活を送りましたが、福島第一原子力発電所では津波により電源喪失となり冷却不能となってしまいました。

東北電力は女川原子力発電所再稼働の一つの節目として電気料金の一時的な値下げ(1月2月使用分で低圧モデル料金において6%程度の割引)を表明しました。また、2025年度の火力発電の燃料費が約600億円削減できるとしています。いち早く稼働した加圧水型軽水炉を有する関西電力などの電力会社では電気料金が安く設定されています。東北電力は、追加する安全対策や運転年数等総合的に判断し、今回稼働した2号機よりも旧型の1号機は廃炉にすることを決定しています。震災事故後、廃炉が決定された原子力発電所は福島第一の6基を除いても15基にも上ります。このように電力会社では原子力発電所事故の教訓を取り入れ、安全に運転できる原子力発電所を見極め、耐震補強工事や防潮堤かさ上げなど各種対策を行っています。12基再稼働を果たしている加圧水型に続き、沸騰水型の原子力発電所でも、安全を確保した上で、早期の再稼働をし、低廉で安定した電気の供給を進めてほしいと思います。



(東北電力から提供)



Column
佐々木康人

第1回

医療の変遷断想

1 連載に当たって

編集委員会から連載を許可され光栄に存じます。私は内科医としての修練を受け、核医学を専門とし、放射線科医に転身しました。医師免許を得てから60年間に医療の在り方の変化を経験してきました。本号では、思いつくままに歴史をたどりつつ、自らの体験を含めて医療の変遷を綴ります。

2013年4月に医療法人徳洲会湘南鎌倉総合病院に採用され、本年2月末に退職するまで、連携大学院協定に基づき当院で働く、横浜市大大学院生（放射線医学）のお世話をしてきました。放射線診療に従事しながら、研究に挑戦する若手の医師や技術者を対象に院内イントラネットを活用して「週報」を書きました。患者さんを対象とする医療と臨床研究の倫理的側面の周知を目的としました。この週報を下敷きとして利用します。

過去12年間に70数報になりますので、実際は「隔月報」ですが、「週報」の名称にこだわりのあります。17世紀のフランスが舞台の戯曲「シラノ・ド・ベルジュラック」（エドモン・ロスタン作）は、「言葉」を持たない絶世の美男騎士クリスチャンと「言葉」を持つ、豊かな感受性と表現力に恵まれた侏男シラノ（1619-1655年）の物語です（塩野七生「人々のかたち」新潮文庫）。若くして戦死した美男クリスチャンを思い修道女となっているロクサーヌを従兄で剣客の近衛連隊騎士、作家、哲学者、理学者でもある大きな鼻の侏男シラノが、毎週金曜日に訪れて、俗界の出来事を面白く、辛辣に報告して慰めます。第5幕「シラノ週報の場」で、暴漢に襲われて負傷し、死に瀕したシラノが独白するセリフ

が大好きで、文学座の舞台も何度か観ました。「落ち葉か！美しく散っていくなあ。木の枝から土までの短い旅だが末期の美しさを失わないのが実にいい。地に落ちて朽ちる恐れも何かは、散りゆく命に飛翔の栄えあれという心だなあ！」（辰野隆、鈴木信太郎訳、岩波文庫昭和36年1月第16刷）。

2 2000年までにすべての人に健康を

世界保健機構（World Health Organization: WHO）は1978年9月に旧ソ連邦カザフスタン共和国の首都アルマ・アータで開催された国際会議で、先進工業国、発展途上国を包含する世界共通の目標として「Health for all by the year 2000」という目標を示した。プライマリヘルスケア（PHC）が目標達成の戦略として採用され、その推進が世界に求められた。健康とは、身体的、心理的、社会的全てが良好な状態と定義された。日本では当時の厚生省の主導で作られた「国民健康づくり運動」に基づき保健所中心の公衆衛生体制が整備された。

筆者は、1973-1985年の間、外務省所管の財団法人日本国際医療団の専門員を非常勤で務めた。愛知揆一外務大臣が唱道した東南アジア医療保健機構（South East Asia Medical and Health Organization: SEAMHO）設立計画の先駆けとして、東南アジア医療情報センター（South East Asia Medical Information Center: SEAMIC）の活動が日本の外務省補助金事業として開始されていた。その事業の一環として“health for all”目標達成の支援をした。発展途上国では、住民の相談相手となる医師、保健師、看護師など医療専門職が2キロメートル以内にいることが“health for all”

の達成目標とされた。マレーシアやインドネシアの僻地では、村の呪術師 (witch doctors) に西洋医学の基本を教えて、目標を達成する計画を立てた。古来、医療は呪術師の手で行われ、現在でも様々な形で続いている。神の罰として病を得た人々を精霊や祈祷の力で癒し、救済するのが祈祷師の役割であった。

3 ヒポクラテスの誓い

古代ギリシャにおいて、病気を神の罰ではなく自然現象と見做して、自然界にある原因を確かめ、人体の治癒能力を活用しつつ、合理的な養生法を探る医療が行われた。それを体系化して記述し、教えたのがヒポクラテス (Hippocrates, BC460年頃 - BC370年頃) で、西洋医学の父、医聖と呼ばれている。エーゲ海のコス島に生まれ、父、祖父らから医療を学び、各地を遍歴して修行を積み名医の評判を得た。血液、粘液、黄胆汁、黒胆汁の四体液のバランスの乱れが病気を起こすという四体液説を唱え、その調整を治療法とした。観察を重んじ、患者の症状や経過を克明に記録した。後に出版されたヒポクラテス集典の中で特に有名なものが「ヒポクラテスの誓い」(Hippocratic Oath) である。

「医神アポローン、アスクレービオス、ヒュギエイア、パナケイア及びすべての男神と女神の名において、我が能力と判断に従い、この誓いと契約を守ります」で始まり、医師の心得を書いている。患者に危害を加えず、頼まれても致死薬、墮胎薬を与えない、患者情報の守秘義務、性的な誘惑の禁止など、高い倫理観をもって生涯を送り、治療に全力を尽くすことを誓約する。一方、患者の医学的利益に資するためであれば、真実を隠し、善意に基づいて情報を操作することが医師には許されると教えた。

欧米の医学教育のなかで医学生が宣誓する儀式がもたれている。筆者自身は宣誓の儀式は経験していないが、医師として、この誓い

をしていると自覚して行動してきた。今日の医療で重視される患者自らの判断、自律尊重原則が欠けていると批判された。医師の絶対的決定権の尊重はパターンリズムと呼ばれ、20世紀後半には通用しないと評された。

4 古代ローマの医師ペルガモンのガレン

古代ローマのガレーノス (Galenos, 130年頃 - 200年頃、ペルガモンのガレンとして知られる) はヒポクラテスの臨床医学の忠実な踏襲者であると共に最初の基礎医学者として見做されている。アレキサンドリアで高度の医学を学び、生地ペルガモンに帰郷したガレーノスはグラディエーター (剣闘士) の医師に任命された。傷ついた多数の剣闘士に治療を施し、外科医の腕を磨くとともに人体解剖を習得した。外傷は「内部構造を見る窓である」と言った。後にローマに出て成功し、多くの貴族達の主治医を務め有名になった。観察と実証を重んじる姿勢は伝統に従順な同時代の医師達としばしば激しく対立し、命を狙われることもあった。過剰な程の自信と自己顕示欲が災いしたとも伝えられている。

当時のローマ帝国では人体解剖が禁じられていたので、猿や豚の解剖をして解剖学の創始者となったため、人体解剖としての多くの誤りが後に指摘された。観察と実験を重視した生理学の創始者でもある。

ヒポクラテスの時代からのブネウマ理論と四体液説に基づいた体内循環を提唱した。前者は、呼吸で体外から摂取する精気と腸管から吸収した栄養分から肝臓で作られる血液が心臓で生成されるエネルギーと混合して脈打ちながら循環するという理論である。後者はヒポクラテス全集のなかの「人間の自然について」に由来し、血液、粘液、黄胆汁、黒胆汁という4種の体液が体内を循環し、そのバランスが人の気質の違いを作ると言う考えである。四体液と外界の環境要因とのバランスの乱れが病気の原因と考えられた。

5 近代医学の創始者ベサリウスとハーベイ

古代ローマ時代から中世ヨーロッパを通じて、ガレーノスの古典的医学が千数百年にわたり踏襲された後に近代西洋医学が創始された。文芸復興・ルネサンス活動の一環といえる。近代解剖学の祖と言われるベサリウス（Andreas Vesalius, 1514–1564年）は、ハプスブルグ家の宮廷に仕える医師の家系に生れた。生地ブリュッセル近くのルバン大学、パリ大学を経てイタリアのパドヴァ大学で学び、解剖学と外科学の教授を務めた。

子供の頃から動物の解剖をしていたベサリウスは当時医学の先進地であったパドヴァで人体解剖を多数行い、ガレーノスの古典的解剖学の誤りを多数発見し、その成果を「人体の構造について」(De humani corporis fabrica) 通称「ファブリカ」と題する書物として1543年に出版した。観察したことをすべて網羅的に透視図法で書いたファブリカは現代の解剖図譜の鑑となった。図譜を描いたのは、ルネサンスの代表的画家チチアンの弟子カルカル（Jan Stephan von Calcar）と伝えられている。

ハーベイ（William Harvey, 1578–1657年）は英国ケント州で生まれ、ケンブリッジのカレッジを経てパドヴァ大学で医学を学び、学位を得て帰国した。1574年に静脈弁を発見したファブリチウス教授に師事し、静脈弁の研究をする過程で血液循環を発見した。近代生理学の祖である。130種に達する多種多数の動物を用いた実験に基づいて、1628年に「動物の心臓ならびに血液の運動に関する解剖学的研究」(Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus, 略してMotu Cordis)と題する著書を発表した。左心室から大量の血液が心筋の収縮により拍出され、動脈を通過して全身に運ばれ、静脈を通過して右心室に還流することを証明した。食物の養分が腸から吸収され、肝臓で血液に変換されるとするガレーノス説の否定であった。この後、多く

の新たな科学的知見が積み重ねられて近代西洋医学が成立していった。

6 疾病スペクトルの変化

日中戦争勃発の年（1937年）に生まれ、太平洋戦争（1941–45年）末期に小学生となった筆者は成長期に戦時、敗戦直後の食料難を経験した。1960年代の経済成長期を経て、都会の日本人の生活様式は急速に西欧化した。食生活の影響が最も大きいと思われるが、疾病スペクトラムが著しく変化した。筆者が医師教育を受けた内科病棟には循環器疾患患者が多く入院した。1960年代後半多かったリュウマチ性弁膜症、先天性心疾患、高血圧性疾患を心筋梗塞や狭心症などの冠動脈疾患が次第に数で凌駕するようになった。1950年代以降死因第1位であった脳卒中は1960年代に漸減しつつ主役が脳出血から欧米型の脳梗塞に変化した。1981年には悪性新生物（がん）が死因第1位となり、以後急速に増加した。がんの種類も日本独特の胃がんが減り、欧米で多い大腸がん、乳がん、前立腺がんが増え、現在では男性では肺がん、女性では大腸がんががん死亡原因の第1位となっている。米国では死因第1位を維持している虚血性心疾患が日本でも増え、1985年には脳血管障害を超えたが、死因第2位にとどまっている。ストレプトマイシンを始めとする抗結核薬の普及により結核による死亡率が急速に下がり、赤痢、腸チフス、猩紅熱などの感染症が急速に減少した。数年後に内科医局の感染症グループの先輩達が次々と専門分野を変えるのを見た。その結果1980年代のエイズに対処する感染症専門家が不足した。

7 がん告知

半世紀前の日本では、がんは早期に発見されることは極めて稀で、大部分が不治の病であった。特に内科ではがんは患者に知らせて

はならない病で、病名の告知には男性家族を選び女性は極力避けた。態度表情から患者に気付かれるのを防ぐためであった。

筆者は1985年から1990年まで、群馬大学に在籍し、核医学講座の開設に当たった。旧知の岐阜県立病院循環器部長が、将来を嘱望している医局員のSY君に研究活動を経験させたいと言って大学院生として預けてくれた。内科医としての臨床経験を生かしながら、コンピュータを駆使する画像解析の優れた論文を書いた。明朗闊達で礼儀正しい人柄は、技師、看護師、事務員の厚い信頼を得た。優しい目と素直な性格が魅力的で、筆者は若い弟を得た気持ちで、将来を嘱望した。上腹部の痛みを訴え、関連病院で胃透視検査を受けてくると挨拶にきたのは1988年5月であった。「バリウム造影で一見してわかる胃スキルス（硬がん）が見つかったがどうしようか？」という予想外の電話を受け、すぐに病院に駆けつけ対策を相談した。手遅れかもしれないが、手術をしなければ成功する機会を失うとの結論に達した。手術に同意して貰うには早期胃がんであると言ひ繕う必要があった。そのためのデータ入手に様々な準備工作进行了上で手術を勧めた。進行がんなら手術するつもりはないので、本当のことを言って欲しいとの要望に対して、専門家の判断を仰いでいるので早期胃がんには間違いはないと言う筆者の説得に応じた。本人の希望で郷里のがん専門病院で手術が行われたが、既に後腹膜に転移しており、切除不能のまま手術を終えるという最悪の結果であった。この時点で真実を告げたいと、経緯を知った上で治療に当たって頂いた外科部長と放射線科部長に相談した。真実を知れば闘病意欲を失い死期を早めると説得され、果たせなかった。激しい疼痛に耐えながら次第に衰弱していく姿を見るのはつらかった。一時退院もできずに30歳の誕生日直後に他界した。後日石原慎太郎著「弟」を読んで筆者が書いた文章がある。弟の信頼を

裏切った忸怩たる思いを込めた。

「俳優石原裕次郎は1987年7月17日の朝死去した。この訃報を私はSY君の運転する車の中で聞いた。大ファンであったわけではないが同世代のヒーローの余りに若い死に私は思わず嘆息した。」「若いSY君には人気俳優の死に動揺する指導教官の様子が、おかしかったのであろうか、いつもの優しい眼差しが微笑を堪えているように思えた」「1987年当時進行がんの告知はしないのが大勢であった。」「その結果、善意のだまし合いと、真実をほぼ認知した患者との間で、親しさ故の、優しさ故の気遣いのドラマが展開する。迫りくる死をしりつつ、それを言葉にしない患者と肉親との交流。患者の心の動きの記述は推測とはいえ、仲の良い兄であり、文章のプロである著者にしかできない、死者の手記の代筆とも言える。臨終に立ち会う最後の病室の場面は、私達医療従事者は経験していながら筆にするのは躊躇する情景の活写である。肝臓がんとの闘病を描いた最後の70頁は、医師の目から見て白眉である。」「(「弟」とがん告知, Pharma Medica 23:5-6, 2005)。

20世紀末に向かってがん告知率は次第に高くなった。がん診療が進歩し、毎年がんと新たに診断されるおよそ90万人の患者の半数以上が生還し、職場に復帰する今日、病名の告知は当たり前となった。選択すべき治療法も複数ある場合が多く、説明を受けた後に患者が選択するようになった。患者の知る権利と自己決定権が行使されるようになったのである。

8 がん難民

2006年4月から「がんよろず相談外来」を始めた。友人が開発したがん免疫細胞治療を実践する自由診療クリニックで週1回対応した。「セカンドオピニオン外来」が普及する前で、自己決定権を行使するのに迷う患者さんの相談窓口が必要だと思った。

90歳の母親の代理で相談に来た女性がいた。母は肺がん末期で治療手段はないと言われていたが、胸水がたまり苦しそうに呼吸するのを見ていられないと言った。「針を刺して胸水を抜けば、一時的にせよ呼吸は楽になるし、胸水の検査でがんによるものか他の原因によるかもわかる筈ですが」と言うと、「それをしてくれる医者がないのです。私達はがん難民なのです。」と訴えた。若い医者から「まだ生きたいのですか?」とまで言われたと憤慨した。持参したCT、MRIの画像を見ながら、「お母様はご高齢だが、記憶も判断もとてもしっかりしておられるのでしょうか」と言うと「その通りなのです。だからもったいないでしょう。何故そんなことがわかるのですか?」「頭部のMRI画像では脳の萎縮は全く見られないので」と説明した。呼吸器専門の同級生が院長をしている病院が住まいの近くにあることがわかり紹介した。胸水を抜いて検査したが、がん細胞は見られず、呼吸苦は喘息のためであろうという報告を受けた。

9 医療の不確実性

60年前内科医として修練を受け始めて最初に学んだのは「待つこと」であった。患者の様態の変化を診て何とかしなければと焦る初年兵に、指導医は「もう少し様子を見よう」と制するのが常であった。当時の内科学では診断手段は多々あっても、治療法はまだ限られており、患者の自然治癒力に頼る面が多かった。先輩の高名な内科医が退官記念のテレホンカードに記した「時に癒し、しばしば支え、常に慰む」に共感した。自分の力で患者を治したと実感する症例は極めて僅かであった。入局2年目に研修した関連病院に屈強な農家の若者が呼吸困難で横臥できない状態（起坐呼吸）で緊急搬送された。心電図で発作性心房細動と診断し、ラナトサイドC（静脈注射用ジギタリス剤）をゆっくり注射して

いる間に正常脈拍に戻り、青年は突然楽になって、神様に出会ったような目で医師に感謝した。今でもよく覚えているのは滅多にない経験だからである。切れ味の鋭い葉ができ、予防にも注力し、未病にも対峙する現在では、「時に防ぎ、しばしば癒し、常に支える」時代になっているとは思いますが、自然治癒力が頼りであることは変わらない。一方、全力を尽くしていても予期せぬ思いがけないことが起こりうる。医療は不確実性を伴う行為である。論理的に正しい対応をしたかどうか問われる。「Gedankengang（思考過程）が大切だ」と繰り返し教えられた。

医学知識は確実に進歩し、新たな診断技術や治療技術が開発され、救われる患者が増え、平均寿命が延びたが、医療の課題は未だ多い。COVID-19への対応を通して、従来の医療体制や公衆衛生・保健所制度の不備が明らかとなった。医師の働き方改革が進み、チーム医療を担う看護師、技師へのワークシフトが実施されている。地域・専門分野の医師偏在を是正し、必要人材を確保するための対応を国は迫られている。明幽境界を超える手助けを心から信頼できる医療者に託す幸運に恵まれることを願うこの頃である。

著者プロフィール

佐々木康人

東大医学部1963年卒、同大学院第一臨床医学専門課程修了、医学博士。ジョンスホプキンス大学校医学部門研究員（1969年1月-1971年8月）を経て第二内科助手復職。聖マリアンナ医大第三内科助教授（1973年10月）、東邦大放射線科教授（1981年10月）、群大核医学教授（1985年4月）、東大放射線科教授（1990年4月）を歴任。1997年科学技術庁放射線医学総合研究所長、省庁再編（2001年）を経て、（独法）放医研理事長を2006年退任。国際医療福祉大教授、日本アイソトープ協会常務理事を経て2013年4月より2025年2月まで湘南鎌倉総合病院に勤務し、横浜市大との連携大学院を担当した。この間ICRP委員、UNSCEAR日本代表、文科省放射線審議会会長、厚労省原子爆弾被爆者医療分科会長、内閣官房政策調査員原子力災害専門家グループの一員を務めた。

放射線教育フォーラム30年の歩み



吉澤 幸夫*

放射線教育フォーラムは今年設立30周年を迎えました。11月17日にKKRホテル東京において設立30周年記念式典・祝賀会を開催しました。柴田誠一理事長が式辞で「説得するのではなく、相手の話を良く聞いて話し合い納得してもらおう」と述べたのが印象的でした。来賓祝辞は中西友子東京大学名誉教授がフォーラムとの関わりとご自身の研究者生活について話され、台湾中原大学の黄 郁慈准教授からは「偉大な30年間おめでとうございます。日台の交流および放射線教育国際シンポジウムの開催に力を尽くされていることに感謝します。」とのメッセージが寄せられました。次いで団体会員への感謝状の贈呈があり、盛大な拍手が送られました。式典の後は記念撮影が行われました(図1)。



図1 設立30周年記念式典・祝賀会

祝賀会は下道國 藤田保健衛生大学客員教授の祝辞から始まり、工藤博司東北大学名誉教授の音頭で乾杯しました。窓から大手町のビル群を一望し、遠くには東京スカイツリーが望める会場での祝宴は、久しぶりに会う者、初めて会う者、皆で楽しく語り合い、あっという間の2時間でした。

1. 「放射線教育フォーラム」のなりたちと目的

1980年頃、大学において放射線関係の講座が減

少する傾向がありました。義務教育でも放射線に関する授業はありませんでした。そこで松浦辰男立教大学名誉教授が中心となって、ボランティア活動として青少年を対象とした放射線教育を行う拠点を設立することになりました。1994年4月1日に「放射線教育フォーラム」が発足し、初代会長は有馬朗人、代表総務幹事に松浦辰男が就任しました。

当初の放射線教育フォーラムの目的は、中立的なボランティアとして理科と社会科教育における放射線教育を改善し、国民が正しく総合的な知識を身につけるようにすることでした。

2. 放射線教育フォーラムの歩み

1994年10月に第1回勉強会を開催しました。12月には「ニュースレター」の発行も始まり、以降年3回の発行を続けています。1997年から「放射線教育」誌を年1回発行しています。これらの刊行物のバックナンバーは直近の2年分を除きフォーラムのホームページ (<https://www.ref.or.jp>) で公開されています。



フォーラム設立当時、中学校理科学習指導要領に「放射線」に関する記述はありませんでした。1970年代までは放射線に関する記述がありましたが、1981年4月施行の学習指導要領から「放射線」がなくなりました。学習指導要領の改善を求め、1995年に「放射線教育の改善に関する要望書」を文部大臣に提出し、日本の青少年の放射線・放射能および原子力関係の知識が欧米の青少年に比べて低い理由が、学校教育で放射線の基礎的知識や応用に関する教育が十分に行われていないことによると指摘しました。次いで1996年にも要望書を文部大臣と科学技術庁長官へ提出しました。2005年に「エネルギー・環境教育充実のための学

* Yukio YOSHIKAWA NPO法人放射線教育フォーラム 事務局長

習指導要領の改善について」を文部科学大臣に提出し、2008年改訂学習指導要領で中学校の理科授業に放射線が30年ぶりに復活しました。この間、2000年にフォーラムはNPO法人となっています。

2012年4月から中学校理科において放射線学習が始まりました。その1年前の2011年3月に東京電力福島第一原子力発電所事故が発生しましたが、国民にとって最も身近な知識人である中学校の理科教員に放射線の知識がなく、新聞・テレビの科学記者も放射線に関して正確な報道を行うことができず、事故に関わる放射線情報が混迷を極めました。教育現場は混乱し、放射線授業はまともには始められない事態でした。事故の広がり収まって事故報道が落ち着いていく中、放射線が30年間義務教育で扱われてこなかった実態が反省され、放射線授業が学校現場で受け入れられて行きました。この時期に我々が実感したのは科学者が「正確な科学情報を分かりやすく伝える」だけでは理解してもらえないと言うことでした。相手の話を聞き、話し合い、相互理解を図る重要性に気づかれました。

学習指導要領の改善と平行して力を入れたのは、放射線学習指導手引きの作成と教科書記述内容調査、勉強会や公開シンポジウムの開催でした。これらの中で、「放射線教育国際シンポジウム (ISRE)」は1998年に葉山町で第1回が開催され、その後、2002年にハンガリー、2004年に長崎、2008年に台湾で開催されました。2016年には原子力発電所事故を踏まえて福島県郡山市で開催され、福島の学校教員や一般市民も交えて放射線教育の重要性を再認識する機会となりました。2021年は台湾で開催され、日本からはオンラインで10名が参加し、内8名が発表しました。ISREの論文集はフォーラムのホームページからダウンロード可能です。

2018年に放射線教育用DVD教材「Rの正体」を製作し、文科省選定教材として全国の中学校10,204校に無償配布しました。この教材は2021年にYouTubeで、その後Teacher's Net (<https://www.teachers-net.com>) で公開されています。



3. 放射線教育フォーラムの現在

勉強会を対面で年1回、オンラインで年2回実施しています。COVID-19の流行により実施したオンライン勉強会は、首都圏外に在住の方から歓迎される一方、十分な質疑応答が行えたかは気に

なる所です。ALPS処理水の放出に当たり風評被害が問題となりました。問題の理解への一助になればと2023年12月に「トリチウム学会」を開催しました。これらの勉強会・学習会はフォーラムの会員でなくとも無料で参加できます。過去の勉強会の記録や参加方法はフォーラムのホームページに記載されています。

放射線教育に関心のある団体との協同の一例として全国中学校理科教育研究会大会に参加した様子を図2に示します。写真奥では放射線により架橋された生分解性形状記憶樹脂を60度に加熱すると元の形に戻る実演をしています。手前はクルックス管から出たX線が電離を起こして生じた電子線をベルチェ式霧箱で観察しています。アイソトープ協会主催のアイソトープ・放射線研究発表会でのパネル討論への提案、日本科学技術振興財団主催の放射線教育発表会での放射線教育フォーラム特別賞の提供なども行っています。



図2 全国中学校理科教育研究会大会 (甲府、2024)

今後は、より専門性を高めると同時に地域密着型組織としての活動も考えています。例として、今年2月に事務所のある台東区の地域活動団体パネル展に出展する予定です。

著者プロフィール

1973年埼玉県立春日部高校卒。小学生の時にT4ファージの電子顕微鏡写真を見てファージの研究をしたいと思ったが、進学先が分からず東京都立大学理学部化学科に入学する。サークルの先輩に放射線取扱主任者の資格があると生活に困らないと言われ、卒研は核・放射化学講座にする。慈恵医大で設立100周年記念事業としてアイソトープ施設を作るので、担当理事のいた細菌学教室へ面接に行くと、国産電子顕微鏡の第2号機が納入された歴史あるファージ研究をやっている講座であった。細菌学教室の助手となり、「ファージDNA組換えの電子顕微鏡による観察」で博士号をとり、ポスドクとしてアメリカに行く。帰国後アイソトープ施設の管理をし、2019年に退職する。2014年よりNPO法人放射線教育フォーラム理事、2022年より同事務局長。

サービス部門からのお願い

ご使用者の変更連絡はお早めに

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。年度替わりは、他の時期に比べて、ガラスバッジご使用者の変更手続きを多く受付けております。そのため、手続き完了までにお時間をいただく場合がございます。ガラスバッジご使用者に変更がございましたら、下記いずれかの方法にてお早めにご連絡くださいますようお願い申し上げます。

- ・ガラスバッジWebサービス <https://www.c-technol.co.jp/>
- ・ご使用者変更連絡票 測定センターFAX：0120-995-204 (無料)

「ガラスバッジWebサービス」の入力操作に関するお問合せは、弊社 線量計測事業本部 (☐ gbweb-toiawase@c-technol.co.jp) までお願いいたします。

※ご契約状況によりWebサービスのご提供ができない場合がございます。

記事に関するご意見や掲載希望の記事案については、こちらまでお送りください ctc-fbnews@c-technol.co.jp

編集後記

- 世界では、政府と議会での勢力逆転や無数に近い個人要求を求めての実力行使など安定した社会生活を営めない要因が増えている。我が国では、外国人客の氾濫が顕著で、新たな秩序創出のために何をなすべきかよくよく議論して、一つ一つ着実に実施する必要がある。
- 今月号では、三浦富智先生らの電子スピン共鳴(ESR)を用いた生物学的線量評価、即ち放射線被ばくにより増加する生体分子のラジカルをESRで計測して、被ばく線量を把握する取組を紹介しています。基礎物理学が生物学に適用される好例でしょう。山田一孝先生による競走馬の骨シンチグラフィと床に敷く敷料を廃棄する際の扱いは、制度上の意外な盲点です。競馬関係者の総力を挙げて競走馬の福祉に取り組んでもらいたいものです。佐々木康人先生のこれまでのご経験に基づく随想の第1回では、「Gedankengang (思考

過程) が大切だ)」との教を示されています。物理学量である放射線の利用にあたり考えなければならない、或いは解決しなければならない課題を、常に意識して事に当たるよう論されています。中川恵一先生による原子力発電所のコラムでは、地元が再稼働に賛成できる、安全施設拡充を含む災害対策を的確に紹介され、森に惑わされずに木を見ることができます。

- 放射線、原子力の利用は、そのエネルギーの大きさ故に、安全かつ安心できるものでなくてはなりません。科学の手で取りだした放射線、原子力の利用をどのような環境でも科学の手で制御しきることでしょう。冒頭の世界情勢、社会環境では過大な費用、負荷に耐えられなくなることは自明です。まずは安全かつ安心できる社会環境を大前提とできるよう、日々の目配りと手配を怠らずに、業務に取り組むことでしょうか。(青山 伸)

FBNews No.579

発行日/2025年3月1日

発行人/井上任

編集委員/小山重成 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 古田悦子 青山伸 福田達也 藤森昭彦 篠崎和佳子 高橋英典 田谷玲子 東元周平 堀口亜由美 松本和樹 丸山百合子 村山賢太郎

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/03-3518-5665 FAX/03-3518-5026

<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)