



Photo Kironori Kirano

Index

福島第一原子力発電所事故と その後の9年間に放射線安全科学が学んだこと …私達が得た3大特筆知見… 岩田 修一、出澤 正人、岩崎 信、香川 達雄、佐々木康人、 下 道國、加藤 和明……………	1
社会における経済合理性と受容性 ー放射線防護におけるEBPMを目指してー ……	高嶋 隆太 7
〔コラム〕18th Column 【ALPS処理水について】……………	中川 恵一 12
〔施設訪問記④〕 ー公益社団法人日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所の巻ー ……	13
眼の水晶体の線量限度引き下げに関わる 関連法令の改正が公布されました……………	18
日本保健物理学会 第53回研究発表会 web開催のご案内 ……	18
〔サービス部門からのお願い〕 ガラスバッジの装着について……………	19

福島第一原子力発電所事故と その後の 9 年間に放射線安全科学が学んだこと …私達が得た 3 大特筆知見…

岩田 修一、出澤 正人、岩崎 信、香川 達雄、佐々木康人、下 道國、加藤 和明

— まえがき (加藤 和明) —

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に被災した東京電力の福島第一原子力発電所が、原子力安全の専門家が過酷事故と呼ぶ、当時は安全対策上“想定外”とされていた“大事故”を誘発してから、9年の年月が経過した。

人は、「辛い経験は思い起こしたくない」とか「嫌な思い出は早く忘れたい」と無意識のうちに願うものである。「喉元過ぎれば熱さを忘れる」のである。それは「いつまでも引きずっているのでは“生命の維持”に“利”を齎さない」ということを、DNAに組み込まれた我々の祖先の経験が、右脳の指令、即ち、感性の命じる形となって表に出るものであると解釈でき、その限りでは“理”のあることでもある。

しかし、一方で左脳（理性）の方からは、「嫌な経験、辛い体験であっても、リスク管理の方策の品質向上に資するよう、よく事象を解き明かし、新たな知見の抽出に努め、学習効果として教訓を得るべし」と激を飛ばされる。こちらも誠に“理”のあることである。

後者の仕事は、それに当たる個人や組織の能力に強く関わることであるが、その時分の世の中の背景が色濃く反映されるものでもある。「(書かれる)歴史(というもの)は須らく“現代史”である」と言われる所以である。

「賢者は歴史に学び、愚者は経験に学ぶ」とも言われる。しかし、自分を含め、多くの者は、そのレベルにも中々及ばないのではないだろうか。そこで、“三人寄れば文殊の智慧”の教えを思い出し、“放射線安全科学”の分野で幸運により知遇を得ている賢人たちに『1 F 事故とそれからの9年間に私が学んだ三大知見』を書き残すことを提案したところ、上記の方々から“お応え”を戴くことができた。文殊の知恵として読者の皆様のお役に立つことを願っている。

(2020年03月08日)

I. 私が取得したremarkableな三大知見

岩田 修一
事業構想大学院大学 副学長 教授 72歳

「核」から派生する放射線、安全、科学についての学術的課題は広汎かつ深い。9年間の反省、課題認識と行動提案を以下に要約する。

- (1) 経験知を基にした安全について他分野の知見を学び、活用するための方法論が未熟であったこと、経験知を補完する論理的、理論的あるいは数理的方法論は更に未熟であったこと：歴史的には論理を軸にしたAristotle哲学とFrancis Baconを起点にする経験論、敢えて要約すれば演繹と帰納に依拠した方法論を超えるための新たな挑戦が必要であること。Big Data、AIなどなどの近年の試行錯誤の先に展望がある。
- (2) 多様性、格差、差異性、非対称性に関する理解が不足していたこと：利己と利他の本質的な理解に基づく行動規範の提示が必要である。「核」というPublic Goods/Public Badsと向き合うための哲学—Commonsの哲学についての徹底的な議論の先に

展望がある。

- (3) 上記の困難な課題を克服するための未来ビジョンを提示し、賛同者を増やすことができていないこと：上記(1)、(2)の活動を基にしたICT社会型エコロジー創出にこそ放射線、安全、科学を超えた学術の確立が期待できる。

(2020年02月29日)

II. 1 F 事故から私が得た三大知見

出澤 正人
元 新潟大学院 教授 など

文明は、人類による自然界の解明と応用を社会システムへ適用することの積み重ねによって構築されてきた。積み重ねの過程において、失敗と克服による成熟は不完全な人類の為せる技にとって不可避なことであった。この「災い転じて福となす」という持続的發展こそが現代文明を築いてきた原動力であり、1 F 事故に対しても例外ではなく、次代へ繋げなければならないと思う。

1 F 事故から私が得た知見は、失敗と克服に関する次のようなものである。

津波襲来予測と原子力発電所の電源系水没懸念への対策との両者における技術上の失敗と事故後の処理における適切な社会システム対応上の失敗についてである。技術上の失敗は新基準の適用によって克服しようとしている。しかし、科学的合理的なリスク論による安全目標が存在しないため異なる司法判断の余地を残し社会的混乱の要因にもなっている。

社会システム対応上の失敗を述べる前に、1 F 事故は、当初の立地審査指針における最大仮想事故時の被曝線量評価基準内であった（UNSCEAR報告書）ことを認識しておかなければならない。すなわち1 F 事故は設置許可申請における最大仮想事故シナリオとは異なっていたが重要なことは、仮想的な過酷事故でも敷地境界の一般人にリスク（死亡）を与えないという考え方で設置許可がなされており、その意味において安全性に対する保守的な洞察は正しかったといえる。それにもかかわらず事故後に様々な混乱の中でこのことを指摘されることはない。その理由は、全ての人にとって想定外であった水素爆発（轟）による精神的衝撃と一般社会にとって恐怖の対象である放射性物質の放出があり、これらの現実直面した動揺に対して、適切な社会システム（権威と説得力ある安全性説明の）がない状況下ではこのような説明は無効でありかつ不謹慎、不可能であった。その結果、社会的損失（避難、除染、風評被害に関わる負の部分、全原子力発電所の停止による代替電源コスト）が膨大となった。この根底には、低線量、低線量率の健康影響に関する学問的知見の不足の故に過度に保守的な社会常識が定着していたことがある。原子力利用、宇宙開発を文明の持続的発展の先に置くならば、半世紀以上の間にノーベル賞の受賞対象にもなった分子生物学知見（DNAの発見、放射線によるDNA損傷の修復メカニズムの発見、免疫効果、ミトコンドリアの機能の発見など）や疫学的調査研究結果、自然放射線環境と生命の進化に関する様々な知見などを反映し、科学的合理的なリスク論に基づく新たな社会常識（例えば、10万年災害（自然外力）、放射線の健康影響は保守的に100mSv以上を前提にして施設の敷地境界における被ばく線量100mSvを超える事故発生確率を10-5/年以下）を構築し直し、冷静な社会情勢の中で着実に普及してゆく必要があると思われる。（2020年01月19日）

Ⅲ. 無理が通り道理が引込む・放射線被曝恐怖亡霊の根源・死と病は気から

岩崎 信

元 東北大学大学院 教育情報学研究部 教育部 75歳

（1）無理を通して道理が引込んだ

1 F 事故は国際原子力事象評価尺度で最高クラス7と保安院が評価（4月12日暫定）したが、急性被曝症

状発症者も死者もない。国などの諸措置の根拠：原子力災害対策特別措置法の第一条『この法律は、原子力災害の特殊性にかんがみ、……災害対策基本法、その他原子力災害の防止に関する法律と相まって、原子力災害に対する対策の強化を図り、もって…国民の生命、身体および財産を保護することを目的』である。その避難指示の結果、東日本大震災における震災関連死の死者数（都道府県・年齢別）（令和元年9月30日現在）：岩手県 469、宮城県 928、福島県 2,286、他 全国計 3,739で、福島県避難者が主要被災三県中最大で全国の6割を占めている¹⁾。準備不足のまま避難指示された双葉病院の悲劇的事例も同様である。無理が通って道理が引込んだ。

災害対策基本法の「災害」とは、“暴風、竜巻、洪水、崖崩れ、等”で、そのまま居たら死に至る危険性が極めて高い事象を意味し、2019年にも大小発生した。「原子力災害の特殊性…」とは、放射線被曝を意識したのであろうが、現代科学時代に不似合いで、昔の亡霊概念に近い。

そして『…放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法』の特別措置：除染と全町避難指示などで福島県の核心地域の住・地域・つながり・文化・教育・産業などなどの貴重な環境と財産が完全に破壊された。これら法の根拠はICRP防護原則：LNTとALARAである²⁾。「LNT：どんなに小さい被曝線量だとしても線量に比例してリスクが存在すると捉える方が防護上より安全」で、ALARAの意味は「合理的に達成可能な限り被ばくを低減」だが、何ができるのか筆者には不明である。これらの措置が原因で、それが解除されても帰れない帰りたい人が多い。

なぜ亡霊概念と呼ぶか。気象研の報告³⁾に見るように、1950～60年頃、膨大な数の核実験で放射性物質が日本全国に大量に降り注いだ。内部被曝など全く知らずに飲み食いして青少年時代を過ごした人達が日本を世界一の長寿国にした。「民家前の道路で最大3.35 $\mu\text{Sv/h}$ 、民家敷地内で8.4（同）、壁面で18.6（同）の高線量が検出」と週刊ポストが報じた「世田谷放射能騒動」〔補足：50年間の推定生涯総被曝線量は3.7Sv～8.2Sv〕というのがあったが、主人公である92歳の女性は健康だった…。以上は、まさに「知らぬが仏」(?)であった。

（2）放射線被曝亡霊の根源はABCC調査

ICRPの防護原則は、ABCC/RERFの広島・長崎の原爆被爆者のLSS疫学調査結果に大きく依存している。そのABCCの関心が遺伝的影響調査で、その非人道的なやり方とLSS（生涯調査）が亡霊の主因と筆者は推定する。非人道性は中沢啓治「はだしのゲン」で批判され、後継組織RERF理事長が2012年に被爆者に謝罪し、米国側トップも同様に明確である⁴⁾。

1 F 事故をはさんで開催された厚労省「原爆体験者

等健康意識調査報告書等に関する検討会」で示された広島市の報告書⁵⁾によれば、被爆者共通の意識は2点：「放射線の影響で病気になることの不安；他人からの差別や偏見などを強く感じた」であり、世間に伝播した。ABCCに虐められこの不安のストレスは、近親者の死や被爆後の過酷な惨状目撃以上に、過度で長期に亘り、各人の免疫力に大きなダメージを与えたと推定でき、免疫力が下がれば癌になるのは現代医学の知見である。しかも、RERFの被曝線量体系DS86・DS02共に「初期放射線（直接放射線）」のみ考慮し、残留放射能被曝は初期放射線量の推定誤差の範囲として除外し、結果リスクを高く見積もるので安全側だ、としている⁶⁾。結果は先の通り「過ぎたるは猶及ばざるが如し」であった。

(3) 防護専門家は心理と免疫を無視

NHK広島局の発想で始まった原爆残留放射線量調査⁷⁾の対象が、救援で7日入市し13日まで作業をした賀北部隊工月中隊99名で、32名が急性症状を申告したが、被爆後42年間の死亡率や癌発症率は日本全国の年平均死亡率とほとんど変わらないようだ。線量評価者（RERF）は染色体異常率から最大100mSv〔通常の>1Svと矛盾〕と推定。筆者は、隊員はABCCの対象ではなく、染色体異常は修復されたとみる。なお、中隊の作業は膨大な数の死体を焼く処理で過酷で、上記評価者は強烈なストレスで脱毛などの症状を示す可能性にも言及していた⁷⁾。しかし、殆どの防護研究者の関心は、原因：高放射線量被曝⇒結果：急性症状・癌発症するという単純関係である。

澤田昭二はABCCの調査結果の脱毛・紫斑および下痢の発症率から、広島原爆の初期放射線による被曝線量と放射性降下物による被曝線量を逆推定し、後者のそれが外部被曝の1Gy相当の結果を得、「内部被曝問題研究会」などで解説⁸⁾している。澤田の関心は、外部よりも内部被曝線源がβ線で危険性が高いことの根拠であった。しかし、結果をみれば、広島被爆者全員にほぼ1Svが共通に追加され、RERFが示す右上がりのリスク直線が右に1Sv平行移動し安全側になる。この方が真相に近いのでは？β線内部被曝だが、カリウムは人体の必須元素で、人は常時K-40の1.46MeVγ線と最大1.33MeVβ線（放出比γ：1対β：9）の強い内部被曝（平均4,000Bq）を受けている。京都府京丹後の長寿者はKが豊富な昆布や海藻などを多く食べているという⁹⁾。最近改めて東洋医学が注目されている。その一例が、大阪大学¹⁰⁾の『（貝原益軒の）「病は気から」の根拠を実験的に証明 交感神経による免疫制御のメカニズムの一端を明らかに』である。

以上から、筆者は原子力発電所事故対応から改めて「死そして病は気から」を学んだと感じている。

（2020年02月22日）

— 参考文献 —

- 1) 復興庁調査, <https://www.reconstruction.go.jp/topics/post-68.html>
- 2) 佐々木康人, https://www.kantei.go.jp/saigai/senmonka_g36.html
- 3) 気象研究所, <https://www.mri-jma.go.jp/Dep/ap/ap4lab/recent/>
- 4) 中国新聞2017/7/10, <http://www.hiroshimapecacemedia.jp/?p=73571>
- 5) 広島市報告書, <http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1271828954409/files/1.pdf>
- 6) 放射線影響研究所, https://www.rerf.or.jp/uploads/2017/08/residualrad_ps.pdf
- 7) NHK広島局・原爆プロジェクトチーム、ヒロシマ・残留放射線の四十二年、日本放送出版協会（1988年7月）。
- 8) 沢田昭二, <http://hibakutokenkou.net/uploads/report20160318235423.pdf>
- 9) NHKためしてガッテン, http://www9.nhk.or.jp/gatten/pdf/program/P20191120_1.pdf
- 10) 大阪大学, <http://www.ifrec.osaka-u.ac.jp/jpn/research/20141125-0920.htm>

Ⅳ. 1F事故から私が取得した三大知見

香川 達雄

元 東芝原子力技術研究所 主幹／元 女子栄養大学 理事長 85歳

1Fの事故が起こった時、私は既に東芝を離れて23年半位経っていたが、元々炉心熱流動が専門であったことから、直ぐにかつての東芝の部下に電話で連絡し、事故の状況を聞き、炉心の冷却についていろいろの指示や提案をしたことを覚えている。当然1Fの事故については、放射線安全以外の分野で多くの知見を得られたが、ここでは、放射線安全科学に関して得られた知見や、それに付随する重大な二つの知見の感想を述べたいと思う。

私自身は20年以上、BWRの高温高压沸騰水内で発熱している燃料チャネル内の蒸気ボイドパターンをX線ビームや医療用CTで測定する実験を続けており、専門は伝熱流動ではあるが放射線とは極めて関係の深い仕事をしていた。

1F事故で放射線安全に特定して、私が得た知見は、第一には放射線安全に関係する純粋に学問的、或いは科学的な知見、第二にはこうした事故時の一般大衆の動きとマスコミの対応、そして第三には国や政治家の考えや行動である。そして、第二、第三の知見こそ、日本が将来技術大国として発展して行くための最も大きな障害となるものであると思う。

第一の学問的或いは科学的な知見を列挙すると

1. 1Fの事故の後、かなり早い時期に、長崎大学の山下俊一教授が、年間の被曝量が100msv以下の地域は避難の必要は無いと勧告した。山下教授は被爆2世であり、広島、長崎の被爆者の健康状態に詳しく、しかもチェルノブイリには100回以上足を運ん

で放射線被曝については最高の権威者である。被爆者の御母堂は当時88歳でご健在であった。

2. 宇宙飛行士は宇宙船の中で、1日約1 msv被曝する。しかも帰還するまで何百日も宇宙船の中で過ごす、アポロ計画が始まって以来300人以上の宇宙飛行士が地球に帰還しているが放射線障害で死亡した例は無い。
3. 最近の分子生物学の進歩により、放射線の被曝により癌が発生する原因は細胞内のDNAが被曝により破壊され、その修復が正しく行われなかった場合ということが解ってきたが、被曝量が少ないときにはDNAの修復は殆ど完全に行われることが解ってきた。
4. このDNAの修復機構については、英国のT.Lindal、米国のP.Modrich、トルコのScancarの3研究者により解明され、2015年のノーベル化学賞が授与されている。

以上4項の事実から、ICRPが未だに固執している、LNTと言う仮説は誤りであるということが証明された。従って、極僅かな被曝でも癌の危険があるということとは誤りである。

私が理事長をしていた女子栄養大学がJAXA（宇宙航空開発機構）から委託されて行った宇宙食の研究では、葉酸、ビタミンB6、B12、E、C、カロテンなどにより、損傷したDNAの修復速度は大幅に上昇することが明らかになっている。これは2011年の10月に結果が出ている。要するに除染や避難などしなくても、野菜を十分に食べれば放射線障害を大幅に減少できるということであり、これが第一に挙げる知見である。人間は誰でもその体重に比例して体内に放射能を持っており、成人ならば5,000～8,000ベクレル程度は持っている。従って少々の放射能を持った食品を食べても内部被曝は誤差範囲内であり、特別に高い放射能を持っている食品以外は問題ない。

第2の知見は、1Fの被災者は勿論、一般人の多くが、放射線被曝に対して、異常なまでに恐れることと、マスコミが放射線被曝を絶対に危険なものとして報道することである。

日本人は確かに、原爆の被災国民ではあるが、日常的に胸部レントゲンやCTによる検査は誰でも経験していることであり、これ程までに恐怖心を持つとは意外であった。更にマスコミは原子力反対の立場をとる場合が多いので、住民の恐れを殊更煽るような記事が多く、低レベルの被曝が問題ないというような記事は絶対載せないし、宇宙飛行士の報道はしても彼らがどの程度被曝をしているかは全く報道したことがない。特に朝日新聞は、イデオロギーとして原子力反対であり、私が2011年の秋に社長の秋山氏に、前述した大学の研究結果を研究報告のレジメをもって説明し、更に

次の年にも同じ時期に木村社長に私の兄の著書を贈呈して同じ説明をし、是非重要なことだから、大学に取材に来て記事にしてほしいとお願いしたが、両社長とも個人的には非常に興味を持ってくれたのはいいが、決して記事にはしてくれなかった。

兎に角マスコミは国民が恐れをなして、騒いでいる状況を更に拍車をかけるように煽り、とんでもない風評被害を国内は勿論、海外にまで広めた罪は極めて大きいと思う。

第3の知見は、国の対応のだらしなさである。1Fの事故の後、多くの問題の解決のためには前述したような長崎大学などの素晴らしい専門家の意見を採用すべきだったと思う。

内閣府は勿論、厚生労働省、経済産業省、環境省、勿論原子力規制庁などの担当官はいったい何をやってたのかと思う。何故、広島、長崎が原爆被災後、除染も居住禁止地区の指定もしないで、短期間に立派な大都市に復活しているという事実を考えなかったのか、何故、何十万という人々の死によって得られた貴重な実験結果を活用しなかったのか、何故、事故当時、原爆の被曝後、66年後においても、100ミリシーベルト以下の被曝者は殆ど癌などになっていないことを調べなかったのか。

おそらく政治家も役人も自分たちの責任回避をまず考え、被災者の恐怖と怒りを兎に角鎮めることしか考えなかったのではないと思う。私は、避難も除染も居住禁止地区の指定も殆ど必要なかったと思っている。そうすれば、家や田畑、家畜、故郷を失う人もなく、しかも誰も今後被曝が原因で癌などの病気になる人もいないと思う。

そして、日本国民は何10兆円と言う莫大な損失をしないで済んだと思う。 (2020年01月18日)

V. 1F事故から私が得た3大知見

佐々木康人

湘南鎌倉総合病院臨床研究センター
放射線影響協会理事長／元 放医研 理事長／元 東大 教授 など

はじめに

2011年3月11日14時46分の東日本大震災を私（当時社団法人日本アイソトープ協会常務理事73歳男性）は東京の新宿三井ビル54階で経験した。長く続いた超高層ビルの揺れが長周期地震動と呼ばれることを後日知った。私はICRP主委員会前委員（在任2001年7月～2009年6月）として、丹羽大貫現（当時）委員と二人で、ICRP2007年勧告の放射線影響の考え方と防護体系を新聞社とテレビ局に説明して歩いた。報道の影響の大きさを予想し、適切な記事を求めて行動したのだが、成果は微々たるものであったと思う。懸命に務めた情報伝達の活動も成果は限定的で、今思い返すと

虚しさだけが大きい。その過程で私が学んだことを3点取り上げるとすれば、1. 教育（教養、リテラシー）の必要性、2. 防護線量の説明の難しさ、3. 子どもの防護の重要性であろうか。

1. 放射線リテラシーの向上へ向けて

1999年9月30日に起きたウラン加工工場（JCO）での臨界事故の後、不安が募る住民へ説明に赴いた放医研研究者は、「事故が起こった後では、科学的に正しい説明をしても誰も信じてくれない。普段から知識を共有しておかなければならない」と異口同音に嘆いた。

2001年4月独立行政法人となり、毎年2-3回は一般向けの講演会を各地で開催して、事業の説明と共に、放射線とその影響・防護の解説を行った。

1F事故直後から「放射線の人体影響と防護、一般の人々への説明（国際放射線防護委員会の考えからにもとづいて）福島原子力発電所での放射能漏洩に対応して」という文書とパワーポイント資料を携えて丹羽先生と新聞社やテレビ局を訪問した。説明を聞いた記者の何人かが、優れた解説記事を書いてくれた。

2011年3月27日-30日に日米医療専門家タスクフォース会議が外務省で開催された。米国大使館と外務省が企画した支援活動で、米国からNIH、CDC、FDA、DOE、NRCおよび米国大使館所属の専門家12人が参加した。日本からは関係省庁の代表と推薦された専門家約40名が集まった。1. 環境放射線モニタリング、2. ヨウ化カリウム、3. リスクコミュニケーションの3テーマが選ばれ、グループ討議を経てそれぞれ報告書を作成した。私はテーマ3の討議に参加した。米国の専門家が、「専門性+公開性=信頼性」という等式を示してリスクの重要性を強調した。私は後日、専門性をわかり易く説明する、いわば「語り部」の存在が、リスクの成功には不可欠であると考えたようになった。

日本学術会議連携会員として、臨床医学委員会の「放射線防護とリスクコミュニケーション分科会」分科会長を務めた。「大学の医学教育における放射線健康リスク科学教育の必修化」と題する提言をまとめ、2014年9月に学術会議が公開した。提言は、医学生全員に、「放射線健康影響と防護管理」（講義と実習）のコースを必修化することを求めた。加えて、「放射線健康リスク科学教育プログラム（修士課程）」の創設を提言した。その修了者は、この分野のリスク専門家やプロの解説者として、小中高、大学、自治体、企業や、メディアなどで活躍し、社会全体の放射線に関する常識、リテラシーの向上に貢献することが期待される。

2. 放射線防護線量

天皇后陛下（現上皇皇后陛下）が初めて福島を慰問されたのは2011年5月9日であった。子どもの健康を大変気遣っておられることと、「線量単位が分かりにくいですね」と言われたことを知り心に沁みた。

ICRPは確率的影響のリスク指標となる実効線量

（Effective Dose）を導入して、防護・管理の中核をなす防護線量と位置付けた。防護線量シーベルトは、西洋人（Caucasian）の標準男性（身長176センチメートル、体重73キログラム）と標準女性（163センチメートル、60キログラム）の解剖学的人体模型と消化管、呼吸器モデルなどの生理学的人体動態モデルを用いて、計算で得られる線量で実測はできない。日常の放射線管理を実施し易くする目的で、外部被ばくに対して、国際放射線単位と測定委員会（International Commission on Radiation Units and Measurements：ICRU）は実測可能な実用量を提案した。防護・管理用の計測器の目盛に表示されているマイクロシーベルト毎時（ $\mu\text{Sv/h}$ ）である。標準人が1時間に受ける実効線量の推定値で、大き目（安全側）の近似値である。あくまでも、防護計画の目安として定める基準値（線量限度、拘束値、参考レベルなど）として用いる。また、防護活動の成果や基準の順守を検証するための指標でもある。

1F事故以降誰もが知ることになった放射線の単位「マイクロシーベルト毎時」であるが、その意味が十分理解されていないように思う。事故を現地調査したICRPの作業グループ（TG84）の報告書は「実効線量、等価線量という防護量は、専門家の中で極めて有効に使用されてきたが、一般の人々とのコミュニケーションには向かない」と説明が難しいことを認めている。ICRUとICRP第2委員会は合同で実用量の改訂作業を行っている。

3. 子どもの放射線防護

事故後9年を経て未だに帰還が進まない理由の一つが子どもの健康影響への不安である。将来を担う子どもの健康を気遣うのは当然であるが、放射線の影響に関する極端に異なる見解の存在が不安を増幅している。

日本学術会議は「報告 子どもの放射線被ばくの影響と今後の課題-現在の科学的知見を福島で生かすために-」を2017年9月に公表した。上記分科会が原案を作成した。予想はしていたが、学術会議の内部でも異論があり、幹事会での査読で多くの意見が出て、原案の修正を求められた。現在わかっている知見、未知の事柄などを異論と共に記述した。UNSCEAR、ICRP、WHOが子どもの放射線影響と防護に関する報告書を公表するなかで、この報告をベースとして共有した上で、適切な「提言」に発展することを願っている。

おわりに

神戸大震災から25年、東日本大震災から9年が経った。東日本大震災からの復興は神戸の時より遅れている。原子力発電所事故の続発は遅れの大きな要因である。様々な反省を込めて、何が今できるのか、何をすべきなのか、それぞれの立場で再考する時期なのであろう。

（2020年02月21日）

VI. 私が取得したremarkableな三大知見

下 道國

藤田医科大学 客員教授 76歳

1. 専門家と言えども、少し離れた分野の知識は一般人と変わらない。

原子力は総合科学分野と言われる。その中の1分野である保健物理（放射線防護）分野でも、放射線管理、生物影響、環境放射能と専門性が大きく異なる。これに法令・規制が加わる。世間では、保物屋はこの4分野に精通していると思っているが、多くの者が必ずしもそうでないことを福島事故が露わにした。更に、保物屋以外の原子炉工学者、物理学者や化学者らが、放射線の生物影響や環境放射線などでも意見を述べていたが、全体に精通していなくて「保物」という分野をよく理解していないこともわかった。もちろん、全般によく精通している者もないわけではないが、ごく少数であり、保物屋も含めて、多くの者が少し離れた分野の理解に疎いことを改めて認識させられた。

2. 一度思い込んだ思いが変わらないのは、誰も同じ。

人間だれしも、自分が持っている知識・知見は、間違っていないと漫然と思っている。特に、幼少の頃に受け入れた知識は容易には抜けがたく、それが誤っていたとして正しい知見を提示されても、なかなか修正ができない。更に、歳を取ればとるほど、経験や知識が重なって自己の既存の考えはより強固なものとなっていく。科学的な真実、歴史上の事実であっても、初めに正しく記憶されなかったことを是正することは極めて難しい。更には、それに価値観・歴史観が伴うとほぼ絶望的である。それだけに、幼少期に正しい知識を身に着けさせる教育とそれを補完する啓蒙活動が極めて大事である。このことは、福島事故後の一部の頑なな放射線偏向理解でよくわかった。

3. 一般公衆の放射線に関する知識があまりにも低い。

放射線は、空気や水と同じように、身の回りの環境に常に存在している。空気や水は体験的によくわかるし、また知識も教育されている。一方、放射線に関しては、五感に感じないことから自らわかることはできないのに、教育は殆どなされず、そのために知識が低い。その所為か、正しく理解しようとする意識も低いようである。身近な自然放射線に対してこうである。これは、これまでの学校教育とメディアによる啓蒙の怠慢によることは間違いないが、自己啓発もおろそかである。イデオロギーとか趣味的感覚には関係なく、身の回りの放射線に関する基礎事項とその人への影響について、柔軟に真摯に正しく理解することは、社会に生きる者として基本中の基本行為であり、風評をなくすためにも欠かせないと、痛感させられた。

(2020年02月25日)

VII. 1FND(とその後の9年)から私が得た三大教訓

加藤 和明

放射線物理 放射線計量論 放射線管理システム設計論

KEK 名誉教授 / IPU 名誉教授

放射線安全フォーラム 最高顧問 84歳

放射線防護に係る制度も一つのシステムである。1FND生起時、我が国の放射線防護に係る制度、即ちシステムは、このような放射線源の出現を想定の対象外としていた。加えてリスク管理に係る哲学の構築が確立されておらず、それは、今も大して変わっていないといえるが、また、各種用語の概念規定が帰納的に与えられることが多いことから、更には影響学と管理学の切り分けが人々の意識の上で行われることが少ないため、自称・他称・詐称の様々な“専門家”が出現し、災害の収収に難渋が続いた、というのが私の総括である。実感する三大教訓は次の通りである。

1. 放射線の影響を解明する学問（影響論）と管理の方策を構築する学問（管理論）は別物との認識が社会に浸透しないこと

COVID-19に係るリスク管理の現実をみると、これは放射線安全管理に限ったことではないことを知る。

計量論と影響論と管理論は、放射線安全科学を支える重要な3本柱であるが、互いに密接な関係であるとはいえず学問としては別物である、との認識が共有されていない。計量は影響学にも管理学にも不可欠であるが、使われるべき線量は同一とならない。

2. 安全管理に係る制度（や申し合わせ）には“賞味期限”が存在すること

制度の性能は、前提に依存する。前提に経時変化が不可避であることから性能の経年劣化は避けられないものとなる。

制度とはシステムであり、その性能は設計と運用のそれぞれから成るのであり、システムには、その性能を常時監視するフィードバック機能を備えたサブシステムを埋蔵させることが必要である。

3. システムにとって想定外の事態発生への備えを事前に持つことの重要性

管理対象の想定外の状態への変化や、想定外の事態発生に伴う、システムの機能喪失に備え、（予め決められている）然るべき“人”（担当者）が、可及的速やかに緊急事態（発生）の宣言を行い、平時対象の管理システムの稼働を停止し、非常時のシステムに切り替える必要がある。Radiation Safety Managerの役を担う放射線取扱主任者には“職務を誠実に務めること”が態々法に明記され、それは“決められた管理基準”を順守すること”を意味するからである。国としては、憲法に「非常事態宣言」の条項を織り込む必要性と重要性を強く認識した。

(2020年02月29日)

一方、日本では、2018年12月に閣議決定された2019年度予算編成の基本方針において、「各府省は、全ての歳出分野において行政事業レビューを徹底的に実施するとともに、EBPMを推進し、予算の質の向上と効果の検証に取り組む。」ということが示されている。これを受け、2019年1月に決定した内閣府本府におけるEBPMの取組については、『各部局は、合理的根拠政策立案推進室の協力を得て、政策の目的の達成までに至る因果関係の仮説を示す「ロジックモデル」を作成する。』『各部局は、「ロジックモデル」の作成に当たり、活動の実績がもたらす状況の変化、人の行動変容、その他成果をアウトカムとして設定し、併せて、何をもってアウトカムを定量的に測るのかを記載する。』などがあげられる¹。ここでは、費用便益に関する評価を行うことは明示されていないが、どのような「資源(インプット)」を活用し、「活動する(アクティビティ)」ことで、どのように社会に必要なモノを「生み出し(アウトプット)」し「社会的な

[illegible]

欧米においては以前から、政策や規制の意思決定に関して、「エビデンスに基づく政策立案・決定 (Evidence-Based Policymaking: EBPM)」の考えが以前から適用されてきた。米国において、初めてEBPMとしての経済性評価(費用便益分析)が適用

* Ryuta TAKASHIMA 東京理科大学理工学部 教授

効果をもたらす(アウトカム)」かといった、これまでに以上にデータに基づいた科学的な検証を行い、政策や規制の意思決定を行う必要性が示されている。

それでは、放射線、原子力に係るEBPMについてはどうであろうか。様々な国や機関において、放射線被ばくのリスクとその防護、リスクの認知等を考慮し、政策、規制の意思決定を実施してきたことは当然のことではあるが、ここで注目すべきは、EBPM実現のため、国際放射線防護委員会(International Commission on Radiological Protection: ICRP)や米国原子力規制委員会(Nuclear Regulatory Commission: NRC)では、費用便益分析を実践してきたということである。特に、この両機関には、評価モデルが存在する。そこで本稿では、これらの機関の評価モデルを紹介するとともに、モデルを用いた分析、評価方法、便益に係るデータの更新について言及したい。

2. 費用便益分析

費用便益分析は、上で述べたような個人が何かを購入するときの思考とほとんど変わらない。評価対象の政策や規制を採用したときのその対象地域における個人の満足度(効用)の総和を便益とし(詳細については後述)、その便益を採用時の費用から差し引いた値を下記の式のとおり、正味の便益とする。

$$\text{正味の便益} = \text{粗便益} - \text{費用} \quad (1)$$

様々なデータや統計的手法により粗便益、費用を推定し、(1)式を用いて、複数の条件で正味の便益の値を算出することで、対象の政策や規制が採用可能である範囲を明らかにするなどの一連の作業が費用便益分析である。Boardman et al.⁴⁾によれば、新規の採用を考える政策や規制の場合は、正味の便益が正であれば、その政策、規制は採用されると判断し、複数の代替案があるときは、それぞれの案に対し、正味の便益を計算し、最大の値となる政策、規制を採用すると判断するものとしている。

3. ICRPモデル

ICRPの1977年の勧告⁵⁾において、放射線防護の最適化のため、費用便益分析を採用することが示されており、報告書(Publication 37)⁶⁾において、そのモデルの詳細が示されている。この報告書で

は、放射線を取り扱う施設の設置や技術を導入するときの意思決定に、費用便益の概念を適用する場合、“an option is selected if the resulting net benefit exceeds that of the next best alternative and not otherwise.”と述べられている。これは、代替案が複数あるとき、それぞれの案に対し正味の便益を計算し、それらを比較することで、最も便益の大きい案を選ぶことが合理的であるということの意味しており、上述のBoardman et al.⁴⁾の考え方も整合的である。ICRPのモデルでは、集団線量 S を変数として、正味の便益 B は、以下の式で算出されるものとしている。

$$B = V - (P + X + Y) \quad (2)$$

ここで、 V は施設や技術の導入に係る粗便益、 P は導入するものの生産費用、 X は任意の集団線量における防護費用、 Y は任意の集団線量における健康被害費用である。(2)式における粗便益 V と生産費用 P は、集団線量 S に依存しないと仮定すると、正味の便益が最大、もしくは、費用が最小となるような一階の条件²⁾は、

$$\frac{dB}{dS} = -\frac{dX}{dS} - \frac{dY}{dS} = 0 \quad (3)$$

となる。(3)式を満たす集団線量 S が、費用最小化となる最適集団線量 S^* となる³⁾。これについて図示したものが図1である。防護費用 X は集団線量 S に対して減少関数である一方、生産費用 P と健康被害費用 Y は増加関数である(ここでは主に、 Y の影響)。そのため全費用は、それぞれの費用の影響により、 S が減少するにしたがい、また、増加するにしたがい、大きくなるようなU字型の関数となる。報告書では、このモデルにおいて、全費用の関数の特徴から図1のとおり、費用が最小となる集団線量 S^* が得られることが示されている。しかしながら、ここで重要なことは、粗便益も含めた正味の便益での評価であると考ええる。

全費用の関数の値より、粗便益 V が小さい状況であれば、正味の便益は、 S の全範囲において負の値となる。一方、図1のように、粗便益 V が、集団線量 S^* のときの全費用の値より大きい状況であれば、 $S_l \leq S \leq S_u$ の範囲において、正味の便益が正となることがわかる。すなわち、Boardman et al.⁴⁾の考え方に基づく場合、この範囲における集団線量を基準値とする政策や規制は、採用されるということになる。特に、この範囲で自由に線量の値を決定できるのであれば、正味の便益 B が最大とな

2 正味の便益 B ((2)式)を集団線量 S について一階微分し、それを0とした式を表している。

3 本モデルでは、最適値を得ることが保証されており、さらに、変数である集団線量 S に上下限等の制約がない場合は、(3)式で最適値が得られる。しかしながら、変数や制約(変数の上下限等)が複数あるような複雑な問題においては、最小値や最大値といった最適解を見つけることが困難になるときがある。このような問題に対して、目的関数が凸関数(最適値を有する関数)であることを証明することや数値的に最適化を探索するアルゴリズムを構築する必要がある。例えば、福島⁷⁾を参照されたい。

る S^* が採用されることになる。それでは、規制の対象地域において、その地域社会が受容可能な上限値 S_s が存在した場合は、どうであろうか。例えば、 $S_s \geq S^*$ の場合、 S_s 以下の範囲では、

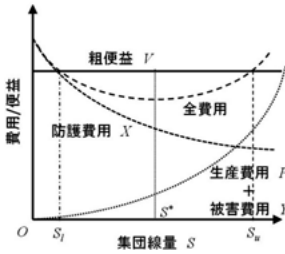


図1 ICPRモデルによる最適化

社会的に受容可能であることから、社会的受容性と経済性の観点から、このときの集団線量は S^* と決定される。一方、 $S_s < S^*$ の場合は2つの領域があり、 $S_l \leq S_s < S^*$ では、正味の便益 B が正の値の領域であることから、経済合理性のある状況であり、この領域で便益が最も大きい S_s が選択される。 $0 \leq S_s < S_l$ の領域においても S_s が選択されることには変わりはないが、 $S_l \leq S_s < S^*$ のときと状況は異なり、図1のとおり、粗便益 V より全費用の方が大きくなり正味の便益 B は負の値である状況の中で、 S_s が選択される。

上記と類似の考察は、1990年の勧告⁸⁾において言及されている。最適な集団線量 S^* と合わせて、合理的な根拠に基づいても被ばくを受け入れることができない「容認不可 (unacceptable)」、受け入れることはできない (社会的に受容できない) が合理的に耐えうる「耐用可 (tolerable)」、さらに、上記のような最適化の有無それぞれにおける「容認可 (acceptable)」の3つの制約を考えることが有用であると述べられている。このように、経済合理性のみならず、社会的受容性等も考慮しながら政策、もしくは、規制の変数である線量を決定することが重要であり、その意思決定プロセスにおいて、経済性は一つの道具にもなり得るのである⁴。

4. NRCモデル

NRCでは、新規に提案される規制措置やその代替案について、価値 (新たな措置が社会に与える正の価値) と影響 (新たな措置が社会に与える負の影響) を抽出し、金銭価値に換算して総計を比較する価値影響分析 (value-impact analysis) が用いられている^{10, 11)}。ここで、価値は便益、影響は費用に相当する。価値には、「公衆被ばく及び職業被ばくの低減」、「健康、安全、自然環境の向上」、「施設内外の資産への正の影響」等があり、影響に

表1 評価例の価値と影響の項目

価値 (便益)	影響 (費用)
公衆衛生 (事故時)	事業者 (規制実施時)
公衆衛生 (通常時)	事業者 (規制実施後)
労働衛生 (事故時)	NRC (規制実施時)
労働衛生 (通常時)	NRC (規制実施後時)
施設外の資産	
施設内の資産	

は「被認可者の費用」、「NRCの費用」、「州、地方、政府の費用」等がある。

2002年の報告書¹²⁾において、上記の評価モデルを用いて、全ての加圧水型軽水炉に対して、静的触媒式水素処理装置 (Passive Autocatalytic Recombiner : PAR) の設置を要求したときの費用便益分析による評価例が示されている。表1に、そのときの便益と費用のそれぞれの評価項目を示す。便益の合計値が50万ドル/炉である一方、費用の合計値は167.3万ドル/炉となる。すなわち、正味の便益は、-117.3万ドル/炉となり、経済性の観点からPARの導入は効果的ではないと結論付けている。また、便益や費用を見積もる際、様々な不確実性が存在することにも言及しており、割引率⁵を7%から3%にした場合、正味の便益は、-86.9万ドル/炉に増加する。

上述したように、直接的な金銭価値 (機関が被る費用等) とはならない社会的な影響等は、他の項目と比較するため、金銭価値に変換する必要がある。上記のNRCの評価例でも便益 (NRCモデルでは、「価値」) においては変換が施されている。この変換において必要な値が、統計的生命価値 (value of a statistical life: VSL)⁶ というものである。次節では、このVSLも含め便益について言及する。

5. 便益とはなにか

再度、冒頭の購入の意思決定の例に戻りたい。購入するモノにもよるが、何かを購入するとき、「この価格であれば購入してもよい」といった考えをもつことは少なくない。例えば、大根1本を通常100円で購入しているとする。時期により価格は推移し、90円になったとき、「安い」と感じながら購入する。一方、110円になったとき、「いつもより高い」と感じて購入をあきらめるかもしれない。これは、購入してもよいと考える最大の価格が100円ということの意味している。この100円を支払意思額 (willingness-to-pay : WTP)⁷ という。WTPに

4 2007年の勧告⁹⁾では、社会経済的要因を考慮しながら「合理的に達成できる限り低く (as low as reasonably achievable: ALARA)」といった最適化の原理が示されているが、費用便益分析による決定については、ほとんど述べられていない。

5 紙幅の制約により本稿では、割引率について詳述しないが、将来の便益や費用を評価するときに重要な値となる。割引率については、また、政策評価に用いるときの留意事項については、前田¹³⁾を参照されたい。

6 「確率的生命価値」や「確率的生命の価値」と訳されるときもある。

7 「支払意思額」と訳されるときもある。

は、個人差があることは当然であり、そのときの状況により変化する。上の例では、大根を使用する料理を必ず作る必要があるといった状況のときは、このWTPは上昇する可能性はある。

政策や規制の便益にWTPが使用される場合がある。政策や規制は、購入する商品、または利用する遊園地・テーマパークのように価格付けされているものではないが、健康に係るリスクを削減させる規制の場合、このリスク削減については、購入したいと考える可能性はある。この考えを用いて、政策や規制の便益が算出される。すなわち、リスクが削減される政策や規制のWTPの平均値が推定されたとき、その評価対象の便益⁸は、

便益=対象人数×リスク削減WTP (4)
となる。ここで、対象人数とは、評価対象の政策や規制に係る領域内の人口である。

一方、NRCモデルにおいて金銭価値換算に用いられたVSLについては、Viscusi, Harrington Jr., and Vernon¹⁴⁾において、

$$VSL = \frac{\text{リスク削減WTP}}{\text{リスク削減分}} \quad (5)$$

と定義されている。すなわち、単位リスク削減分のWTPであることがわかる。例えば、ある地域で死亡リスク(確率)⁹を10万分の1(1.0×10^{-5})分削減することのWTPが1,000円であるとき、この地域のVSLは、

$$VSL = \frac{1,000\text{円}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1 \text{ 億円}$$

となる。(4)式と(5)式を用いると、便益は、以下のようにVSLで表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{便益} &= \text{対象人数} \times \text{リスク削減分} \\ &\quad \times \frac{\text{リスク削減WTP}}{\text{リスク削減分}} \quad (6) \\ &= \text{期待救命人数} \times VSL \end{aligned}$$

上記の例と同じ地域において、住人100万人の死亡確率が 5.0×10^{-5} 分減少する政策が実行されたとき、この政策の便益は、期待救命人数は、

$$100\text{万人} \times (5.0 \times 10^{-5}) = 50\text{人}$$

となることから、(6)式より、便益は50億円と求まる。VSLと政策実施のときのリスク削減分に関するデータがあれば、(4)式にあるように、直接的に、対象の政策のWTPを測定する必要はない¹⁰。VSLの推定については、これまで多くの研究、データが存在しているが、Kniesner and Viscusi¹⁸⁾でも述べられているように、VSLには、地域、国、性別、年齢等による不均一性(heterogeneity)があるた

め、精度の高い評価を求める場合は、精緻なVSLの推定が必要となる。

NRCモデルの評価、2002年の報告書¹²⁾の内容に戻りたい。この報告書で用いられている変換因子の数値は、20万ドル/人・Svである。この数値は、ICRPの1990年の勧告⁸⁾に記載されている名目リスク係数の 7.3×10^{-2} /人・Svと行政管理予算局(Office of Management and Budget)が用いていたVSLの300万ドルを乗じた値21.9万ドル/人・Svを20万ドル/人・Svとして使用していた。NRCの2015年報告書¹⁹⁾では、ICRPの2007年の勧告⁹⁾に記載されている名目リスク係数の 5.7×10^{-2} /人・Sv、運輸省(Department of Transportation)と環境保護庁(Environmental Protection Agency)それぞれのVSLのデータから推定した900万ドル(2014年)を乗じたおよそその値である51万ドル/人・Svに更新されている。2015年以降については、各年の消費者物価指数 P_t と平均所得 E_t 、所得弾力性 a (2015年報告書¹⁶⁾では0.5を使用)を用いて、下記の式よりVSLは更新可能としている。

$$V_t = V_0 \times \left(\frac{P_t}{P_0} \right) \times \left(\frac{E_t}{E_0} \right)^a \quad (7)$$

ここで、 V_0 、 P_0 、 E_0 はそれぞれ、基準年のVSL、消費者物価指数、平均所得を表している。2014年を基準年として、各年の米国の消費者物価指数²⁰⁾、平均所得²¹⁾の各データを用いて、VSL、変換因子を2019年まで更新したものを表2に示す。2014年に使用されていたVSLより100ドル以上増加していることがわかる。特に、Viscusi²²⁾によれば、2016年、2017年のVSLは950万から1,000万ドルほどの値であることが示されており、表2の値は、これらの値と整合的であることがわかる。また、変換因子は、2019年で60万ドル/人・Svほどになっており、今後、放射線防護に係る政策、規制の費用便益を実施する場合は、このような変換因子の更新が必要であることを示唆している。

表2 VSL、変換因子の更新

年	P_t	E_t	V_t (ドル)	変換因子 (ドル/人・Sv)
2014	236.7	791	900万	51万
2015	237.0	802	907万	52万
2016	240.0	823	931万	53万
2017	245.1	855	969万	55万
2018	251.1	873	1003万	57万
2019	255.7	898	1036万	59万

8 この便益は(1)式の粗便益を表している。

9 岡¹⁵⁾では、死亡確率の代わりに損失余命(loss of life expectancy: LLE)の値を用いて、化学物質の健康リスクに関する費用便益分析を行っている。また、岡¹⁶⁾では、LLEを用いて食品中放射性物質規制の費用便益分析を試みている。

10 WTPやVSLの測定法には、統計的手法、経済データによる解析、アンケートやヒアリングによる調査等、様々な方法が存在する。詳細については、栗山・馬奈木¹⁷⁾を参照されたい。

6. おわりに

本稿では、放射線防護に係る費用便益分析、特に、ICRPやNRCの評価モデルを紹介するとともに、社会的な受容性との関係や、便益に係るデータの更新を試みた。本稿で紹介したモデルや分析手法を用いることにより、政策や規制の経済合理性について評価することが可能であり、政策決定の一助になり得るものとする。しかしながら、これは単に、一助の一つにしか過ぎず、導入予定の技術や施設の社会的な受容性、リスクの認知等とともに議論することが重要であり、経済合理性はそのときの議論の材料の一つである。すなわち、本稿では述べてはいないが、経済合理性と社会的受容性との関係を明らかにするような意思決定プロセスが必要であると考えている。“benefit”(便益)の語源は、ラテン語の“benefactum”である。その意味は“good deed”、すなわち「善行」である。語源のとおり、社会的なbenefitの意味を十分吟味する、“goods”(財)のみならず“good”(善)を考えるとといった倫理学等の他の分野の枠組みを活用し、定量的、定性的それぞれにより分析可能な領域を探ることも重要である。

また、本稿では「将来の不確実性」については言及してはいないが、放射線防護に係る政策や規制は中長期的な期間を考える場合が少なくない。そのため、将来の社会経済に係る不確実性を考慮した評価、または評価をするための手法の開発が必要である。田中・高嶋・鳥海²³⁾にもあるような、不確実性下の経済性評価手法であるリアルオプションや数理最適化手法の一つである確率計画法等を用いた評価の可能性を探る必要があると考えている。

ICRPでは、放射線防護の「最適化(optimisation)」という言葉を使用している。その一方、数理最適化を専門としたオペレーションズ・リサーチの米国の学会INFORMSでは以前、“science of better”という言葉掲げたキャンペーンを行っていたことがある。最適化、最善策の探求の科学でありながら、その先には、「改善」するための科学となることを意味していると考えている。最適解を得ることは評価対象の姿を浮き彫りにするために必要な作業ではあるが、それよりも、改善策を見つけることの方が重要である。その意味で、「最適化」という言葉の意味を社会で考える必要がある。より良い社会を構築するためのEBPM、さらにそれを支える政策科学が発展することに期待したい。

参考文献

- 1) Fuchs, E.P., Anderson, J.E. The Institutionalization of Cost-Benefit Analysis. Public Productivity Review 42, 25-33, 1987.
- 2) Commission on Evidence-based Policymaking/CEP. The

Promise of Evidence-based Policymaking. Washington, DC, 2017.

- 3) HM Treasury. The Green Book: Central Government Guidance on Appraisal and evaluation, HM Treasury, British Government, London, 2018.
- 4) Boardman, A.E., Greenberg, D.H., Vining, A.R., Weimer, D.L. Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2001.
- 5) International Commission on Radiological Protection/ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Annals of the ICRP 1 (3), 1977.
- 6) International Commission on Radiological Protection/ICRP. Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection. ICRP Publication 37, Annals of the ICRP 10 (2/3) 1983.
- 7) 福島雅夫. 新版数理計画入門. 朝倉書店, 2011.
- 8) International Commission on Radiological Protection/ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Annals of the ICRP 21 (1-3), 1990.
- 9) International Commission on Radiological Protection/ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Annals of the ICRP 37 (2-4), 2007.
- 10) Nuclear Regulatory Commission/NRC. Regulatory Analysis Guidelines of the U.S. NRC. NUREG/BR-0058, Washington DC, 1997.
- 11) Nuclear Regulatory Commission/NRC. Regulatory Analysis Technical Evaluation Handbook. NUREG/BR-0184, Washington DC, 1997.
- 12) Nuclear Regulatory Commission/NRC. Proposed Rulemaking-Risk-Informed 10 CFR 50.44, “Combustible Gas Control in Containment”, attachment7, SECY-02-0080, 2002.
- 13) 前田章. セミナール環境経済学入門. 日本経済新聞出版社, 2010.
- 14) Viscusi, W.K., Harrington Jr., J.E., Vernon, J.M. Economics of Regulation and Antitrust, 4th edn. Cambridge, MA: The MIT Press, 2005.
- 15) 岡敏弘. 環境経済学. 岩波書店, 2006.
- 16) 岡敏弘. 食品中放射性物質規制への費用便益分析の適用. 保健物理 47, 181-188, 2012.
- 17) 栗山浩一. 馬奈木俊介. 環境経済学をつかむ第3版. 有斐閣, 2016.
- 18) Kniesner, T.J., Viscusi, W.K. The Value of a Statistical Life. Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance, forthcoming.
- 19) Nuclear Regulatory Commission/NRC. Reassessment of NRC's Dollar Per Person-Rem Conversion Factor Policy. NUREG-1530, Rev. 1, Washington DC, 2015.
- 20) Bureau of Labor Statistics. Consumer Price Index Archived News Releases.
<https://www.bls.gov/bls/news-release/cpi.htm>
- 21) Bureau of Labor Statistics. Usual Weekly Earnings of Wage and Salary Workers Archived News Releases.
<https://www.bls.gov/bls/news-release/cpi.htm>
- 22) Viscusi, W.K. Identifying the Legitimate Role of the Value of a Statistical Life in Legal Contexts. Journal of Legal Economics 25, 5-28, 2019.
- 23) 田中誠, 高嶋隆太, 鳥海重喜. エネルギー・リスクマネジメントの数理モデル. 朝倉書店, 2018.

著者プロフィール

1976年東京都生まれ。2005年東京大学大学院工学系研究科博士課程中途退学、2007年博士(工学)学位取得。東京大学大学院工学系研究科助教、千葉工業大学社会システム科学部准教授、電力中央研究所協力研究員・東京大学大学院工学系研究科特任研究員を兼務、東京理科大学理工学部准教授を経て2020年4月より現職。専門は、エネルギー経済学、経済性工学。日本原子力学会、エネルギー・資源学会、日本オペレーションズ・リサーチ学会(研究部会主査)、日本リアルオプション学会(副会長)、IAEE、INFORMS等に所属。「原子力に関する世論調査」委員会の委員として、調査結果の統計分析を担当している。エネルギー技術のイノベーション、社会的受容性、経済合理性をキーワードに、国内外の共同研究者とともに教育、研究を行っている。

ALPS処理水について

東京電力福島第一原子力発電所では、多核種除去設備等処理水（いわゆる「処理水」）が、今年3月現在でタンクにて約千基、約119万 m^3 貯留されており、約860兆Bqのトリチウムを含むと推定されています。先ごろこの水の処分方法に関する国の委員会が検討結果に関する取りまとめ案について、最後の議論が行われました。

処理水処分の必要性は、リスク低減と貯留タンク用地確保の2点で説明されます。

福島第一の廃炉現場では、廃炉の進展自体がリスク低減活動であり、その過程で発生する汚染水や廃棄物等によるリスクを適切な管理により低減していく必要があります。

一方、現在も日量約170 m^3 増え続ける処理水を将来も貯留し続けるには、新たなタンク用地が必要となり、東京電力は、今年末までにタンク容量を約137万 m^3 まで増強する計画ですが、処分が行われなければ2022年夏頃にはこれらも満水になってしまいます。現在のタンク用地にも今後の廃炉作業に必要な施設へ転用すべきものがあり、このままでは廃炉の進展に大きな影響を与えかねません。

処理水の保管継続では、保管期間中のトリチウムの減衰が期待できますが、同時に不慮の事故による敷地外流出のリスクを抱え続けることになります。よって、管理された状態での早期かつ安全な処分が好ましく、IAEAなど海外の専門家からも繰り返しその必要性が指摘されているところです。

国の委員会では、保管継続のため敷地内外でのタンク用地確保に関しても議論され、敷地外については、廃炉作業は既存の敷地内で進めるのが大前提であることや、廃棄物持ち出しや敷地の拡大はリスク存在地点の拡大であり、かつ規制上の手続きに時間を要するな

ど課題が多いこと、敷地内も将来廃炉作業に必要な施設用地を確保する必要があり、タンク増設余地は限定的であるとされました。

こうした議論の中、東京電力は貯留中の処理水の約8割が処分時に適用される告示濃度限度を超過していると発表しています。これは、汚染水中のトリチウムを除く核種を除去可能な多核種除去設備の初期トラブルや、当時タンクに貯蔵していた高濃度汚染水の影響による敷地境界線量の低減を優先した運用のためであり、それら処理水については処分前に告示比総和1未満まで二次処理を行うとしています。

こうした議論の後、今年2月10日に国の委員会にて、海洋放出や水蒸気放出の2つを現実的な処分方法とする報告書が示されました。海洋放出と水蒸気放出について国が被ばくの試算を行った結果、どちらも自然放射線による影響（2.1 mSv/年 ）よりはるかに小さい値となっています。これら被ばく評価やコスト、実績などからは、海洋放出は水蒸気放出に比して優位であるとも言えますが、このいずれも科学的には妥当と言えます。

一方で、同時に国の委員会の報告書では、処分の際には風評被害対策の拡充・強化が必要とされています。つまり、この問題の論点は、本質的には処分方法の科学的妥当性ではなく、風評被害の防止なのです。この国の委員会を立ち上げ、風評被害など社会的な観点も含め総合的な議論を約3年半も行ってきたのも、このためです。

風評被害とは、科学的に問題のないある事象をきっかけに、我々消費者の消費行動の買い控えなどへ変化することにより発生します。情報の提供者であり、当事者である東京電力が誠実であることが大前提にはなりますが、我々消費者の冷静な対応がこの問題の解決につながることも、肝に銘じるべきです。



－ 公益社団法人日本アイソトープ協会
茅記念滝沢研究所の巻 －



記録的な暖冬の影響で、寒さ、積雪、降雪の穏やかな2月のある日、編集委員一行は公益社団法人日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所（以下、滝沢研究所）を訪問させていただきました。

滝沢研究所は岩手県盛岡市盛岡駅より車で約30分の場所、滝沢市に位置しております。滝沢市は、宮沢賢治の作品の源泉となった自然景観である「イーハトーブの風景地」として国指定名勝に指定されている鞍掛山、伝統の衣装を身にまとった馬・引き手・乗り手が^{うまっこ}行進するチャグチャグ馬コなどが有名です。(出典：滝沢市ホームページ)

車で滝沢研究所へ向かう際に、車窓から美しい稜線に、真っ白な雪化粧をまとった、日

本百名山の一つである岩手山も望むことができました。後に調べたところ、岩手山は富士山同様、「表」「裏」と表現される呼称があり、編集委員一行が目にした岩手山は、滝沢市側からの「表岩手」でとても美しい眺望でした。

滝沢研究所では、滝沢研究所管理部長の阿部修様と管理課課長の齊藤義弘様にお話をお聞きし、研究所内を案内していただきました。

日本アイソトープ協会 茅記念滝沢研究所

正式名称の「茅記念滝沢研究所」は日本アイソトープ協会初代会長の茅誠司氏を記念して命名されました。研究所の事務管理棟の正面玄関に入ってすぐのところに茅誠司氏のレリーフが飾られていました。

滝沢研究所の建物は“事務管理棟”、廃棄物の処理を行う“環境整備棟”、処理前および処理後の廃棄物が収められたドラム缶が保管されている“貯蔵庫”の3棟からなります。すべての棟を見学させていただきました。

実際に作業を行う環境整備棟、貯蔵庫には管理区域が設定されており、定期的に放射線量率・表面汚染密度の測定が行われています。

貯蔵庫は、非常に大きな内部空間であり、入り口に防寒着が備えられておりました。空



写真 1 取材の様子

調はなく、ほぼ外気温と同じ温度とのことでした。冬は、寒さをダイレクトに感じますが、夏は、思いのほか涼しそうです。貯蔵庫内での作業に従事される方のご苦勞を垣間見られる見學でした。

表 1 RI廃棄物にかかわる法律

主な事業所	法 律
教育機関	放射性同位元素等の規制に関する法律
研究機関	
民間企業	
病院、診療所	医療法
衛生検査所	臨床検査技師等に関する法律
放射性医薬品製造業者	医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律(薬機法)

⁹⁰Y、⁹⁹Mo-^{99m}Tc、¹¹¹In、¹²³I、¹²⁵I、¹³¹I、¹³³Xe、¹⁹⁷Hg、¹⁹⁸Au、²⁰¹Tl、²⁰³Hgを含むもののみが対象となります。滝沢研究所の設立当初は扱うことのできる核種は19種のみでしたが、新薬の開発などに合わせて関係各署、各自治体と調整を行い、扱える核種が増加しております。

滝沢研究所は、わが国における医療アイソトープの需要が極めて高くなった背景から、医療アイソトープ廃棄物処理体制を確立し、より一層の発展に寄与するために1987年に建設され運用を開始いたしました。

33年前の開設当初はそれまでに回収され貯蔵されていた廃棄物进行处理するため、1日3交代制で勤務を行っていたそうです。貯蔵されていた廃棄物の処理が進み、また最近はRIを用いない検査法への置き換えが進み、回収されるRI廃棄物の量も減少を続けているため、現在では日勤のみとのことです。

表2 日本アイソトープ協会の沿革
(滝沢研究所にかかわる部分のみ抜粋)

1951年	「日本放射線同位元素協会」創立 アイソトープの輸入・頒布開始
1959年	アイソトープ廃棄物の集荷開始
1960年	アイソトープ医薬品の頒布開始
1986年	アイソトープ廃棄物の集荷の一時停止
1987年	茅記念滝沢研究所開設
1989年	武見記念館開設
1990年	仁科記念サイクロترونセンター開設
2018年	仁科記念サイクロترونセンター全国 共同利用終了

廃棄物の流れ

14

表3 主要な医療用RI
の半減期

核 種	半減期
⁹⁹ Tc	6.0時間
²⁰¹ Tl	72.9時間
¹²³ I	13.2時間
⁶⁷ Ga	3.3日
¹⁸ F	109.8分

表4 主なRI廃棄物の分類

種 類	例
可燃物	紙類(ペーパータオル・ろ紙など)、木片、布類
難燃物	プラスチック類(試験管・ポリバイアル・ゴム手袋・ポリシートなど)
不燃物	ガラス類(ガラスバイアル・ガラス器具)、注射針、塩化ビニル製品、シリコン製品
非圧縮性不燃物	土砂、コンクリート片、鉄骨
焼却型フィルタ	
通常型フィルタ	



写真3 処理前のドラム缶保管の様子

運ばれた廃棄物は、集荷用のドラム缶に入った状態で貯蔵室に保管されます。その後、原則として集荷年月日が古いものから減容処理が行われます。可燃・難燃廃棄物は焼却、不燃物は圧縮処理されます。

焼却処理前には放射能測定が行われ、基準値以上だった場合は再度貯蔵し減衰を待ちます。ただし、医療用に用いられるRIは半減期が短いものがほとんどであることもあり、放射能を測定しても高い線量が出ることはほとんどないとのことでした。

集荷量に占める割合が高く、減容率も高い可燃物・難燃物が主に処理されています。処理後の残渣は200ℓドラム缶（保管廃棄用）に入れられ保管廃棄室に保管されます。

尚、廃棄物を取り出した後のドラム缶は外



写真4 200ℓドラム缶保管の様子

観検査・汚染検査の実施後に再塗装され、集荷に再利用されます。

現在保管廃棄されている廃棄物については、将来的には減容・安定化された後に日本原子力研究開発機構に引き渡され、埋設処分される予定です。ただし医療RI廃棄物に関しては処分に向けた法制度の整備がまだ整っていません。無限に貯蔵することはできないため、法制度の整備が求められます。

滝沢研究所での廃棄物処理量

近年は1年間に200ℓドラム缶換算で約2,500本分の医療RI廃棄物が滝沢研究所に持ち込まれ、処理されています。焼却処理を行うことで、ドラム缶10～20本分まで減容されます。

現在、滝沢研究所には、未処理の廃棄物がドラム缶約7,000本分、処理済の廃棄物がドラム缶約8,200本分あるそうです。

可燃・難燃廃棄物の処理

可燃・難燃廃棄物は焼却処理されます。訪問させていただいた際にも焼却炉が稼働中であり、処理の様子を見学させていただきました。

廃棄物はドラム缶の上部のフタを開けた状態で放射能レベルを測定し、基準値を超えないことを確認してから中身の廃棄物が出されます。



写真5 放射能測定レーン

ちなみに廃棄物を取り出す際はドラム缶転倒装置を使用し、取り出しは手作業とのこと。時おり、ガラスや注射針がドラム缶内にそのまま入っていることがあり、取り出しの際に危ない思いをすることがあるそうです。集荷用ドラム缶の貸し出しを申し込む際に合わせて申し込むことができる“内容器”を是非ご使用いただければとおっしゃられていました。

また、ドラム缶内にあまりに多くの廃棄物が詰められていると、ドラム缶をひっくり返してもなかなか取り出せず、なんとか引っ張り出しているそうです。

ドラム缶から取り出された廃棄物はベル



写真6 ベルトコンベアで運ばれる廃棄物



写真7 焼却炉

トコンベアで高さ
5m、底の内径
1.5mの焼却炉に
投入され約800℃
で焼却されます。

プラスチックや
ゴム、ポリエチ
レン、布など様々
な廃棄物を焼却す
るため、燃え方に
は差が生じますが、
温度・時間・酸素

濃度をモニタし、燃焼状態を管理しているそうです。また、炉頂にカメラがついており、制御室から炉の中を常に確認しています。



写真8 制御室
普段は1名で作業されています。

プラスチックは焼却後ほとんど残渣が残らない、フィルタは残渣が残りやすいなど廃棄物の種類によって残渣の量は変わりますが、1日燃やすとおおよそ両手一杯分になるとのことです。

焼却後の排ガスはセラミックフィルタおよび高性能フィルタを通して高さ約25mの排気塔から排気されます。排気中の放射能濃度は排ガスモニタで連続的に監視されています。

不燃廃棄物の処理

燃やすことのできない注射針や金属・塩ビ製品、ガラス製品などの不燃廃棄物はプレス機で圧縮処理が行われます。訪問させていただいた際には処理を行っておらず、残念ながら見学はできませんでした。

不燃廃棄物が廃棄物全体を占める割合が小さいことおよび、不燃廃棄物の減容率は1/3～1/4程で可燃・難燃廃棄物の減容率 約1/150と比べて小さいことから可燃・難燃廃棄物を優先して処理を行っているため、不燃廃棄物の処理数は少ないそうです。

地域との関係

放射線を取り扱う施設や廃棄物の処理場はNIMBY（Not In My Back Yard=我が家の家の裏にはお断りだ）と思われることが多く、地域の方々との関係性や地域の方々のご理解が重要になります。

滝沢研究所では設立前、設立直後は反対運動がありましたが、毎年の施設一般公開（一昨年までで一旦終了）を重ねていらっしゃいます。何より稼働から今まで事故を起こしていないことから良い関係を築いていらっしゃるようです。

研究所所在地である滝沢市とは公害防止に関する協定書を締結しており、モニタリングポストの設置や定期的なサンプリング調査が行われています。また、排気中および排水中のRI濃度は法令で定められた許容濃度より厳しい基準が定められています。

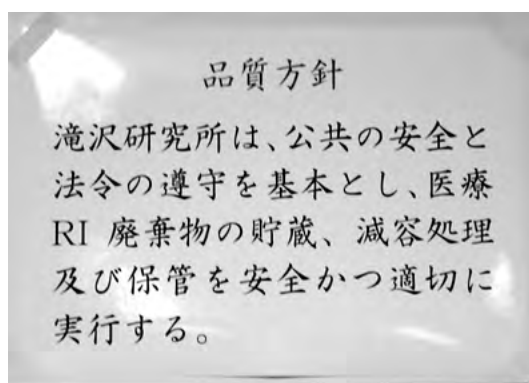


写真9 滝沢研究所の品質方針
あらゆる場所に品質方針が貼られていました

滝沢研究所の敷地内には、今回見学させていただいた建物以外にも、アイソトープや現代医学に関する展示施設である「武見記念館」や、2018年度まで医用小型サイクロトロンを用いた研究が行われていた「仁科記念サイクロトロンセンター」があります。取材の趣旨から外れるため、(そして何より、見学が盛り上がり時間が足りなくなってしまったため)残念ながら見学はできませんでした。

今回はFBNews編集委員の金子、廣田、澤井
および弊社仙台営業所の遠藤がお伺いさせて
いただきました。お忙しい中、取材に応じて
くださった阿部修様と齊藤義弘様および取材
の調整でお世話になりました新藤元司様、関
係者の方々に深くお礼を申し上げます。貴重
なお時間をいただき誠にありがとうございます。

(文責：澤井 千秋)

眼の水晶体の線量限度引き下げに関わる関連法令の改正が公布されました

国際放射線防護委員会（ICRP）は、平成23年（2011年）4月に組織反応に関する声明を発表し、計画被ばく状況における眼の水晶体に対する線量限度を改正しました。わが国でも、放射線審議会を中心に関係省庁が眼の水晶体に対する線量限度改正を法令へ取入れするための検討を進め、平成31年1月24日までに、放射線審議会より関係省庁からの法令改正案の諮問に対する答申が発出されました。

ただし、厚生労働省が所管する医療法施行規則及び電離放射線障害防止規則の改正後の運用について次の付帯事項が示されました。

1. 医療機関の放射線業務従事者の線量管理を徹底するため、必要な措置を講じること。
2. 眼の水晶体の等価線量限度に係る経過措置期間中の被ばくの状況等を把握し、当審議会に報告すること。

改正内容は、「眼の水晶体に対する等価線量限度」及び「測定する線量当量」についてであり、法令により若干、表記は異なりますが、現行の「4月1日を始期とする1年間に付き150mSv」から次のように改正されました。

1. 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5年ごとに100mSv、かつ、4月1日を始期とする1年間に50mSvとする。
2. 眼の水晶体に対する線量の測定は、1cm線量当量、3mm線量当量及び70μm線量当量のうち、算定するために適切と認めたものとする。

令和2年3月及び4月に公布された主な関連法令を表に示します。

表 主な関係法令の公布及び施行年月日

令和2年4月13日現在

所管省庁等	法令名称	公布年月日	施行(適用)年月日
原子力規制委員会	放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則及び告示	令和2年3月18日	令和3年4月1日
厚生労働省	医療法施行規則*	令和2年4月1日	令和3年4月1日
	電離放射線障害防止規則*及び同告示	令和2年4月1日	令和3年4月1日

※附則には、経過措置として線量限度を一定期間緩和する措置があることを示す。

以上

日本保健物理学会 第53回研究発表会 開催のご案内

大会長 山西 弘城（近畿大学原子力研究所）

～Web開催に変更～

第53回研究発表会は、大阪にて開催すべく準備を進めておりましたが、昨今の新型コロナウイルスの影響を考慮し、オンサイト会議を取りやめWebにおいて大会を開催とすることで準備を進めております。奮ってご参加くださいますようお願い申し上げます。

- ◆開催期間：令和2年6月29日～6月30日（シンポジウムライブ講演・討論）
- ◆参加費：未定（学会員に限り、聴講・閲覧のみの参加は無料の予定）
- ◆お問い合わせ：

日本保健物理学会第53回研究発表会 事務局
近畿大学原子力研究所 内 e-mail：jhps53@jhps.or.jp

詳しくはホームページをご覧ください <http://www.jhps.or.jp/jhps53/index.html>

サービス部門からのお願い

ガラスバッジの装着について

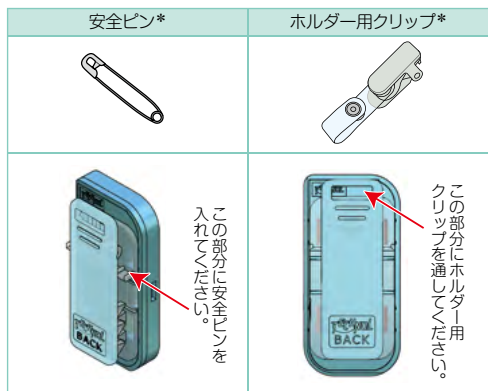
平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださいます。誠にありがとうございます。
ガラスバッジには市販品の安全ピンやホルダー用クリップを取り付けることができます。
お客様のご利用形態に合わせて取り付け、衣服のポケットの内側などに装着ください。

ガラスバッジのご返却時には、安全ピンやホルダー用クリップは取り外してお手元に保管してください。

なお、ガラスバッジは、本体とクリップが一体型となっていますが、万が一、クリップが本体から外れてしまった場合は、状況によりガラスバッジの交換等の対応をさせていただきますので、最寄りの営業所までご連絡をお願いいたします。

皆様のご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。

【装着方法】



(*市販品)

編集後記

- 巻頭は、「福島第一原子力発電所事故とその後の9年間に放射線安全科学が学んだこと…私達が得た3大特筆知見…」と題して、弊社アドバイザーで高エネルギー加速器研究機構名誉教授の加藤和明先生の呼びかけで、事業構想大学院大学 副学長 岩田修一先生、元 新潟大学院 教授 出澤正人先生、元 東北大学大学院教育情報学研究部 岩崎信先生、元 女子栄養大学 理事長 香川達雄先生、放射線影響協会 理事長 佐々木康人先生、藤田医科大学 客員教授 下道國先生、加藤和明先生の7名の方々に事故より学んだことを先生方の視点で寄稿をいただきました。
- 「社会における経済合理性と受容性－放射線防護におけるEBPMを目指して－」と題して東京理科大学理工学部 教授 高嶋隆太先生に寄稿をいただきました。政策や規制の決定・立案で使用される定量評価の項目である経済合理性について、国際放射線防護委員会 (ICRP)、米国原子力規制委員会 (NRC) で実践された費用便益分析の評価モデルの紹介および分析、評価方法、便益に係るデータ更新等について紹介いただきました。
- 東京大学医学部附属病院 中川恵一先生のコラム18回目は、東京電力(株)福島第一原子力発電所の多核種除去設備等処理水に関する議論と論点について寄稿をいただきました。
- 公益社団法人日本アイソトープ協会芽記念滝沢研究所へ施設訪問をさせていただきました。芽記念滝沢研究所へ運ばれてくる廃棄物の管理・保管状況や処理状況を中心に見学させていただきました。
- 新型コロナウイルス感染症に罹患された皆様、感染拡大防止により影響を受けられた皆様に謹んでお見舞いを申し上げます。今回の編集後記は東京オリンピックへの期待感満載の内容を記載するつもりでございました。オリンピックの1年延期が決定され、この編集後記を記載する前週に史上初となる「緊急事態宣言」が7都府県に発出されました。目にする情報は、国内外の感染者数の増加。亡くなられた方の増加。感染拡大防止の外出自粛要請等の注意喚起が中心となり、未曾有の状況が続いております。本誌が皆様のお手元に到着する頃までに終息していることを願うばかりです。(H.T.)

FBNews No.522

発行日/2020年6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 河村弘

谷口和史 岩井淳 高橋英典 中本由季 廣田盛一 四方田章裕

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/03-3816-5210 FAX/03-5803-4890

http://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)