

東京電力福島第一原子力発電所事故
—残された健康リスクのアセスメントとコントロール—

松田尚樹,^{*,a} 森田直子,^b 三浦美和^a

Assessment and Control of Health Risk Caused by the Radiological Accident
at the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

Naoki Matsuda,^{*,a} Naoko Morita,^b and Miwa Miura^a

^aDepartment of Radiation Biology and Protection, Center for Frontier Life Sciences, Nagasaki University;
and ^bAtomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University; 1-12-4 Sakamoto, Nagasaki 852-8523, Japan.

(Received August 27, 2013)

The accident at the Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi nuclear power plant on March 11, 2011, released a large amount of radioactive materials resulting in the radioactive contamination of a wide area of eastern Japan. Residents of the Fukushima prefecture experienced various unavoidable damages and fear of radiation effects on their health. A reliable communication of accurate risk assessment for residents is required as a countermeasure aimed at the reconstruction of Fukushima. Here, the current status of individual dose estimation and the issues relating to the radiation risk perception are discussed.

Key words—radiation health risk; risk assessment; risk control; dose evaluation; risk perception

1. はじめに

東日本大震災とそれに続く巨大津波によって外部、内部のすべての電源供給を喪失した東京電力福島第一原子力発電所では、脆くも4基の原子炉に破損、爆発、火災などの極めて重大な事象が発生し、その結果、初期の原子炉から放出された放射性プルームからの被ばくと、その後の広範囲にわたる環境放射能汚染による持続的な被ばくが生じることとなった。事故後2年以上が経過した現在の放射線環境は、国際放射線防護委員会 (International Committee of Radiological Protection; ICRP) の定義による住民の「現存被ばく状況」(Existing exposure situation) に該当し、¹⁾ 今後、正確な健康リスクアセスメントと極めて長期的なリスクコントロールが必要とされる。

被ばく線量の評価と健康リスクの概要は、その中間的な取りまとめが世界保健機構 (World Health Organization; WHO),^{2,3)} 及び国連科学委員会 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR) によって報告されている。⁴⁾ いずれも福島住民の被ばくによる健康リスクは健康に影響を及ぼすレベルではないと総括しているが、前者では高汚染地域における一定の発がんリスクを推定し、後者は更なる詳細な評価が必要としている。健康リスクを低減するためには、継続的な放射能除染と食品規制によるリスクコントロールが欠かせないが、放射能分布調査によれば、巨視的には物理的半減期により推定される以上のペースで放射能は減少しており、精神的に除染の行われている場所では、さらにその傾向が顕著である。⁵⁾ しかし、小さなホットスポットや外れ値的な線量を示す場所も含め、巨大な三次元面線源に囲まれているような生活環境の場をすべて現在の目標である0.23 μSv/h (年間換算1 mSv) まで除染することは容易ではない。一方、食品規制は事故1週間後より行われたことから、不要な放射能の摂取、特に初期の汚染食物を介した放射性ヨウ素の取込みが防止され、

The authors declare no conflict of interest.

^a長崎大学先端生命科学支援センター放射線生物・防護学分野、^b長崎大学原爆後障害医療研究所アイソトープ診断治療学研究分野 (〒852-8523 長崎市坂本1-12-4)

*e-mail: nuric@nagasaki-u.ac.jp

本総説は、日本薬学会第133年会シンポジウム S30-301 で発表した内容を中心に記述したものである。

その結果、チェルノブイリ原子力発電所事故後の放射性ヨウ素による内部被ばく線量レベルには至っていない。⁶⁾ 全体的にはリスクコントロールは着実に進んでいるようにも見えるが、チェルノブイリと同様に、個々人のレベルで心理的要因によりもたらされる健康リスクは計りしれない。⁷⁾

本稿では現在進行形の健康リスクアセスメントの最新状況と、リスクコントロール、特に心理的要因に係わるリスク認知について、筆者の関わっている内容を中心に整理する。

2. リスクアセスメント—被ばく線量評価

2-1. 被ばくの経路 今回の事故のように環境中に放射性物質が放出、拡散した場合の被ばくの経路としては、次の5つのパターンが考えられる。

外部被ばく；

1. 空気中に浮遊する放射性物質からの被ばく (Cloudshine)
2. 地面等に沈着した放射性物質からの被ばく (Groundshine)

内部被ばく；

3. 空気中に浮遊する放射性物質の吸入摂取 (Inhalation)
4. 地面等に沈着した放射性物質の巻上りの吸入摂取 (Resuspension)
5. 汚染飲食物の経口摂取 (Ingestion)

2011年3月12日の1号機ベント開放と、その後の水素爆発から環境への放射性物質の放出が始まったと考えられている。放射性物質は煙のように大気中に漂って移動し(放射性プルーム)、その方向は風向きによって影響されるため、当初は北方向への拡散が生じた。14日の3号機水素爆発を経て15日の2号機圧力抑制室の破損によって極めて多量の放出が生じ、これらは南のいわき市方向、午後からの風向きの変化により北西方向に拡散した。さらに午後遅くからの降雨、降雪によって、大気中の放射性物質が地表、建造物表面に沈着した。この状況では、5つのパターンのすべてについて可能性がある。特に1と3については、放射性プルームの通過時及びその直後に生じ、その後は時間の経過とともに可能性は低くなることから、個人の総被ばく線量の大部分には、初期における外部被ばくと内部被ばくが寄与しているものと考えられる。リスクアセスメントは外部、内部、初期、現在、の4つのセグメントに

分類して個々に評価することとなる。

2-2. 外部被ばく 初期の外部被ばく線量は、事故後の環境の空間線量率と住民の行動記録の情報に基づいた推計が福島県の健民健康管理調査のうち基本調査⁸⁾で実施されている。郵送アンケートによるこの調査は難航しており、2013年3月31日現在での回答率は23.4%に過ぎない。ここでの線量推計は、事故直後の2011年3月14日までの大気拡散シミュレーション (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information; SPEEDI) 及び3月15日以降のモニタリングによる空間線量率データを2 km×2 kmのメッシュに再構築し、そのメッシュ内の一日の平均空間線量率(環境線量)を一定の係数を用いて実効線量(被ばく線量)に変換し、さらに屋内外の滞在時間を案分して1日線量を求め、これを2013年7月11日まで積算することにより得られている。⁹⁾ その結果によれば、全回答者411922人(放射線作業者を含まない)の66%(271820人)が1 mSv以下、95%(390853人)が2 mSv以下である。⁸⁾ ただし地域による差は顕著にみられており、原子力発電所の存在する相双地区(浪江町、飯館村含む)では1 mSv以下の住民は77.8%と県平均よりもむしろ高く、これには3月11日夜の半径3 km圏内、12日未明の半径10 km圏内、同日夕の半径20 km圏内住民に対する避難が功を奏したのかもしれない。それに対して、原子力発電所から50 km以上離れた県中地区(郡山市周辺)では、1 mSv以下の住民は59.5%、また県北地区(福島市周辺)では32.2%に留まる。これは、3月15日午後北西の風に乗って拡散した放射性物質に対して、これらの地域は無防備であったことを示唆する。事実、筆者の測定でも3月15日午後5時前後に福島市内では急激に空間線量率が上昇したが、現場でその意味を知らせるものはなく、多くの地域住民は屋外で不要な被ばくを受けてもおかしくない状況にあった (Fig. 1)。¹⁰⁾ なお、外部被ばく線量の最高値は県北地区、県中地区、相双地区でそれぞれ11 mSv、5.9 mSv、25 mSvである。相双地区には5 mSv以上の被ばく線量の住民が他地区よりもかなり多く、これは後に計画的避難地域として指定されるまで留まり続けた住民の多かったことがその一因であろう。

現存被ばく状態における外部被ばく線量は、各市

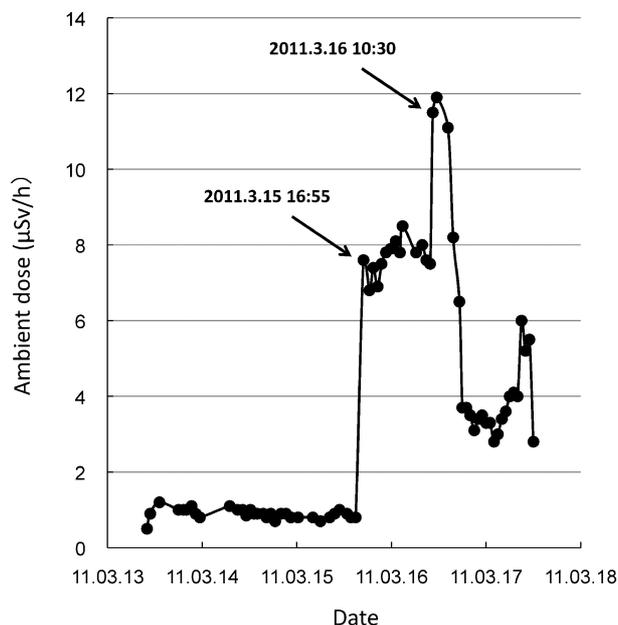


Fig. 1. Trend of Outdoor Ambient Dose Rate in Fukushima Medical University, Locating Approximately 60 km Northwest of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, from March 13 to 18, 2011

町村単位で個人被ばく線量計を用いて若年者を中心に測定されている。例えば郡山市が実施した小中学生約 25500 人、未就学児童約 15200 人を対象とした大規模な調査によれば、平成 23 年度の年間平均推計線量はそれぞれ 1.04 mSv, 1.15 mSv, 平成 24 年度は 0.65 mSv, 0.673 mSv と報告されている。¹¹⁾ 最新の測定結果による 1 mSv 以下の児童生徒等の率は、福島市 99% (検査総数 16223 人, 以下同様),¹²⁾ 郡山市 90% (22335 人),¹⁰⁾ 南相馬市 99% (3225 人),¹³⁾ 相馬市 86% (4010 人)¹⁴⁾ である。これらの個人被ばく線量計による現存被ばくの測定結果は、環境中の空間線量率から推計した年間線量よりも十分に低く、放射線防護体系上は健康影響を無視できるレベルにあると言えよう。しかしながら、筆者のように検出限界以下に慣れきっている教育研究機関の放射線管理区域内の被ばくを管理する立場のものから見れば、一般生活でバックグラウンド以上の線量が検出されること自体に戸惑いがあることは事実である。

2-3. 内部被ばく 内部被ばくは、体内から放出される放射線を体外で直接検出する体外測定法と、尿や唾液などの生体試料に含まれる放射性核種を分析するバイオアッセイ法に大別される。前者は γ 線放出核種しか測定できない欠点はあるが、数分

程度で測定可能で、多くの被験者の検査に適している。後者は基本的に核種の放出する放射線の種類は問わないが、多くの場合、検出、分析には長時間を要する。今回の事故で環境中に大量に放出された ^{131}I , ^{134}Cs 及び ^{137}Cs はいずれも γ 線放出核種であり、甲状腺に蓄積する ^{131}I は γ 線サーベイメーター (可搬型放射線測定器), ^{134}Cs と ^{137}Cs はホールボディカウンターを用いて、体外測定法で体内残留量を測定することができる。しかし、事故後の混乱、高バックグラウンド放射線環境、そして不慣れた放射線測定器を用いての福島県内各地における正確な体内放射能測定は不可能な状況にあった。また、 ^{131}I の物理学的半減期は約 8 日と短いため、測定時期が遅れるにしたがい、体内からの検出と初期摂取量の正確な推定が困難になる。そのため、事故初期の内部被ばく線量、特に ^{131}I による甲状腺被ばくについての情報は極めて限られている。2011 年 3 月末にいわき市、川俣町、飯舘村の児童 1080 人を対象にした NaI シンチレーションサーベイメーターによる甲状腺スクリーニング検査では、100 mSv を超える甲状腺線量が検出されることはなかった。¹⁵⁾ 4 月に浪江町で行われた NaI シンチレーションスペクトロメーターによる検査では、甲状腺線量の最大値として成人 33 mSv, 小児 23 mSv が記録されている。¹⁶⁾ 事故初期対応者と避難者を対象とした長崎大ホールボディカウンターによる測定結果では、甲状腺線量の最大値は 20 mSv であった (Table 1)。¹⁷⁾ 一方、日本原子力機構 (Japan Atomic Energy Agency; JAEA) が 2011 年 6 月より双葉町、大熊町、富岡町等の住民を対象に実施したホールボディカウンター検査では、 ^{131}I はもはや検出されることはないものの、 ^{137}Cs は一定の検出がみられている。¹⁸⁾ ^{131}I と ^{137}Cs の空气中放射能濃度比が分かれば、同じ空気の吸入による ^{131}I の摂取量も推定できる。このような考え方の下に再構築された初期の甲状腺線量は、成人 20 mSv 以下、1 歳児 30 mSv 以下と評価されている。¹⁹⁾ 原子力防災指針に基づく安定ヨウ素剤取扱いマニュアルによれば、放射性ヨウ素の摂取を低減するための安定化ヨウ素剤の服用は 100 mSv (小児の場合は 50 mSv) の甲状腺線量が見込まれる場合とされており、²⁰⁾ リアルタイムに正確な甲状腺線量が推定できなかった今回の事故後に、原子力安全委員会から服用が指示されたことはなかった。そ

Table 1. Detection Rate of Internal Radioactivity and Estimated Exposure Doses

Group	Period in Fukushima	Number of detections				Committed effective dose range (μSv)				Thyroid equivalent dose (mSv)
		<i>n</i>	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	Total	
1	3/11-3/18	45	21	24	22	7.6-1000.0	1.1-110.0	0.7-120.0	1.1-1039.0	<20.04
2	3/14-3/22	66	11	11	10	7.8-49.0	0.9-7.4	0.7-5.1	1.2-96.8	<1.79
3	3/18-3/31	31	14	12	10	3.1-55.0	0.9-2.6	0.6-1.8	1.2-57.8	<1.10
4	3/22-4/10	31	9	20	14	6.0-67.0	0.9-13.0	0.6-6.0	0.9-85.5	<1.36

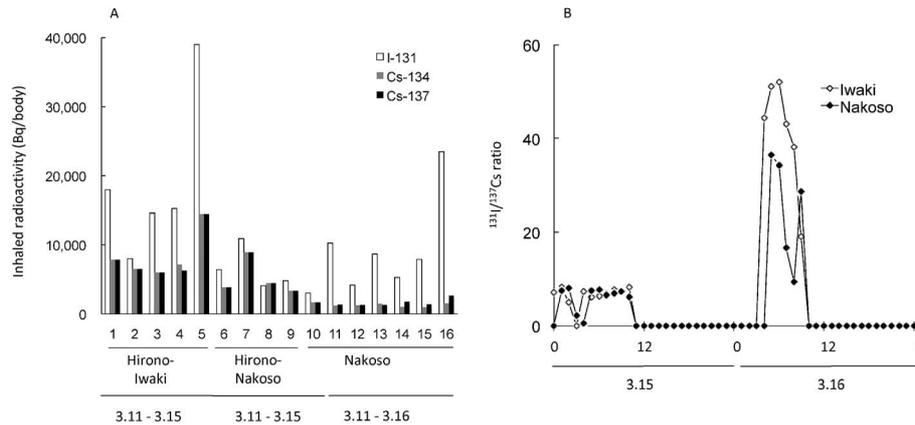


Fig. 2. Internal Radioactivity Measured by a Whole Body Counter (A) and Airborne Radioactivity Predicted by WSPEEDI-II (B)
 The relatively higher internal radioactivity was detected in subjects who stayed in northern places (Hirono and Iwaki, #1-5). The particular incorporation of I-131 in subjects #11-16 would be explained by an arrival of radioactive plume characterized by a high I-131/Cs-137 ratio.

して結果的には 100 mSv, あるいは 50 mSv を超えた甲状腺被ばくは実例, 推定いずれにおいても確認されていない, とは言え, 各個人レベルでの甲状腺線量には事故直後の移動, 行動パターンによって大きな個人差が生じていることが当然予想されるため, 初期の外部被ばく線量推定の場合と同様に, 環境の放射能濃度と各自の行動記録から内部被ばく線量を再構築する試みが進められている.¹⁹⁾ この試算には広域大気拡散シミュレーションモデルとなる WSPEEDI-II²¹⁾ が使用されており, その精度を高めるためには実測値との比較が欠かせない. 長崎大ホールボディカウンター被験者のうち, 原子力発電所南方で被災し, その後ほぼ同一時期に南方方向に移動, 避難した方々 16 名についてその体内放射能を詳細に検討したところ, 移動日が同じであれば避難場所が北に位置する方が体内放射能は高く, また避難場所が同じであれば, 2011 年 3 月 16 日に県外に移動した場合は, 3 月 15 日に移動した場合よりも体内放射能は増加した. これらの違いは, 3 月 15 日と 16 日に南方方向に飛来した放射線プルームの

WSPEEDI-II によるシミュレーション, すなわち空気中放射能濃度推定値の違いによってほぼ説明可能であった (Fig. 2).²²⁾ さらに, 16 名のうち最も体内放射能の高い行動パターンをとった 5 名について, 空気中放射能の吸入摂取による甲状腺線量は 2.0 mSv と算出されたが, これはホールボディカウンターによる実測値 1.2 mSv から 5.8 mSv の範囲に収まった. このように, 大気拡散シミュレーションモデルを利用した広域の内部被ばく線量推定は, 少なくとも浜通りから南方方向については実測値と大きくかけ離れているものではないようである. われわれの予備的な解析では, 3 月 12 日のベント解放直後の北方方向の近隣地域, 特に浪江, 南相馬方向, 及び原子力発電所から阿武隈山系を挟んで遠く離れた中通りのシミュレーションの精度の向上が必要なようである.

現在の内部被ばく検査は, 福島県内に設置されたホールボディカウンターにより継続的に行われている. その中でも比較的初期となる 2011 年 9 月から 2012 年 3 月に行われた南相馬市立総合病院におけ

る検査では、9498名の受診者のうち3286名(34.6%)から放射性セシウムが検出され、1名(1.07mSv)を除いて全員が預託実効線量(今後50年又は70歳までの全身の被ばく線量)は1mSv以下であった。²³⁾2011年10月から2012年11月までのひらた中央病院における検査では、¹³⁷Csの検出率は1%(小児は0.09)に留まり、当初検出された40名の小児について、時間経過とともに全員が検出限界(300Bq/body)以下に減少している。²⁴⁾全住民の帰村を目指す川内村住民を対象に2011年11月から2012年9月に行われた検査では、受診者384名のうち12.7%に¹³⁷Csが検出されているが、最大の預託実効線量は0.25mSvであった。特に2012年3月以降に検出された7名はいずれも60歳代以上で、多くの場合自家栽培品、山菜等の摂取が理由と考えられている。²⁵⁾長崎大での検査においても、住民、避難者、一時滞在者のいずれからも放射性セシウムが検出されることは今ではほぼ皆無であるが、例外として自家栽培食物の摂取を続けておられる高齢者の場合には検出されることがある。それにしたところで、現在の内部被ばくは、食品規制により摂取の可能性が限られている上に、¹³¹Iは存在しないことから、その総被ばく線量への寄与は初期の吸入摂取による内部被ばくと比較して十分に小さい。ちなみに、チェルノブイリ周辺からの訪問者や帰還者からは事故後27年の経過した今なお¹³⁷Csを検出することが稀ではないが、これは地元で採れるキノコ、果実類などの日常的な摂取によるものである。住民自身、一定の放射能が食品や体内から検出されても、基準レベルを超えないのであれば、放射能を理由に摂取を無理に控えることはないようである。

3. リスクコントロールーリスクの伝達から対話へ

人々のリスクの感じ方は、確率論と事象の重大さにより数学的に導き出されたリスクとは異なり、多分に心理的な要素によって左右される。同じ放射線であっても、診断X線のリスク認知は低く、原子力発電関連のリスク認知は時代のトレンドによることなく一定して高い。^{26,27)}放射線のリスクに関するコミュニケーションは、今回の事故前より原子力発電に係わる省庁、独立行政法人、事業受託社団法人等、電気事業者らによって主として原子力発電所立地県の理解促進活動として、また近年では環境・エ

ネルギー教育の一環として実施されてきた。事故を受けてリスクコミュニケーションはクライシスコミュニケーションに姿を変えたが、それが十分に機能せず、逆に混乱を招くこともあったことは記憶に新しい。それを反映したショッキングな事実がある。福島県県民健康管理調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」(平成23年度)²⁸⁾において、問1.現在の被ばくにより急性の健康障害(例えば1ヵ月以内の死亡)が生じる可能性、問2.現在の被ばくにより後年の健康障害(がんの発症など)が生じる可能性、問3.現在の被ばくにより次世代以降(将来生まれる子や孫)に健康影響が生じる可能性、の3つについて、その可能性の高さを4段階尺度法で質問したところ、約6万人の回答者のうち各問に対して「可能性は高い、非常に高い」と回答した率は、1.14.4%、2.48.1%、3.60.2%であり、半数近くの回答者が将来、あるいは次世代に健康影響が及ぶと答えている。さらに問3については実に34.9%(2万人超)が「可能性は非常に高い」との回答であった。平成23年度は個々の被ばく線量評価がまだ一部の先行調査対象地域に限られており、行政的な線引き線量としてICRPの考え方にしたがって20mSv/年を設定され、その是非についての議論²⁹⁾もまた混沌としていた。

コミュニケーションの場でファシリテーター、コミュニケーション、講師などを務め、マスコミにも登場するいわゆる「放射線専門家」であるが、この集団が専門とする領域は物理学、化学、生物学、工学、医学、など極めて多種多様であり、職種も技術者、科学者、教育者、医療関係者等の異種が混じり合い、規制科学と法令の理解についても恐らく均質ではなく、「放射線」というただ一点のつながりで一括りに「専門家」とされている。この雑多な集団が個人的な考え方やポリシーまで述べようとすれば、専門家による意見がかならずしも一致をみないことは当然とも言える。われわれが全国の放射線施設の放射線安全管理担当者を対象として、原子力発電所事故直前となる2010年12月に実施した「安全と考える年間実効線量(急性、外部被ばく)」に関するアンケート調査においても、回答者71名の自分に対する安全線量は1mSv/年以下から100mSv/年以上まで広範囲に分布し、その平均は放射線業務従事者の平均実効線量限度20mSv/年と単年度制限

線量 50 mSv/年の中間にあたる 35.6 mSv/年であった。³⁰⁾ 線量限度が健康リスクの判断のアンカーとなっているとすれば、放射線専門家であっても法規則による基準値が安心の拠りどころということになる。実験科学と疫学から得られた知見では健康影響が不確実と言わざるを得ない領域において、規制科学により社会的に導き出された線量限度が、専門家による科学的な判断基準のようなものに置き換わると、その判断基準を超えた状況において専門家の客観的な思考は停止し、主観的なポリシーが顕在化する。事故後初期の専門家の混乱には、このことが作用していたのかもしれない。一方、子どもに対する安全線量の平均は 8.5 mSv/年であったが、その回答分布の 50% タイル値は 1 mSv/年以下、90% タイル値は 20 mSv/年以下であった。事故前の放射線専門家の 50–90% にとっても、前述の 20 mSv/年は少なくとも子どもに対しては受容できないものであったことになろう (Fig. 3)。

このような状況下で続けられてきたコミュニケーションであるが、その目的も、「放射線とは何か」といった基礎知識的なものから、現在では個人の実際の被ばく線量や環境線量、さらに甲状腺検診結果等の所見に基づく、より具体的な説明、すなわち「リスク (知識) の伝達」から「対話」へと必要性は変化している。前掲の「こころの健康度・生活習

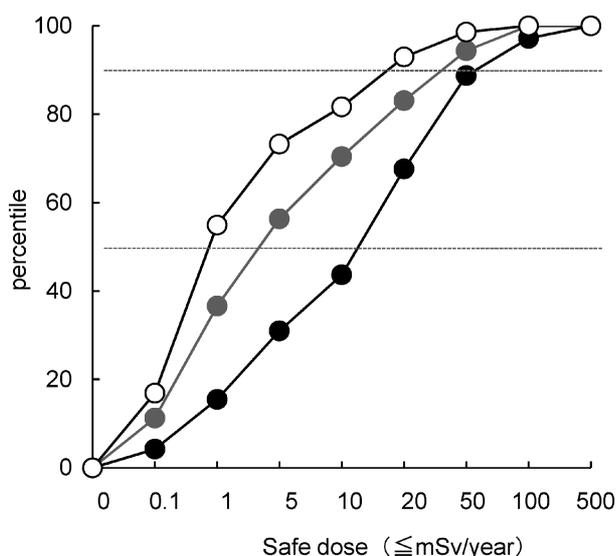


Fig. 3. Perception of Radiation Risk by 71 Radiation Professionals in Japan

The percentiles of their 'safe dose' for themselves (opened circle), for their husband/wife/lover (gray circle) and for their children (closed circle) are shown.

慣に関する調査」で 2 年前に多くの回答者が不安を感じていた将来の健康影響を説くことも必要であるが、それに関連させつつ現実をどう解釈するかという点についての説明が求められている。例えば、年間 1 mSv の外部被ばく線量を担保するための環境線量として 0.23 mSv/h が設定されているが、この値までの線量低減は場所によっては困難を伴う。三次元的な面状の線源に周囲を囲まれた環境では、一部方向の再除染だけでは空間線量は変化しない。われわれが福島県内の 29 ヲ所で計測した全方位の空間線量も、水平面に対する上方、下方の線量比はそれぞれ 1.06 ± 0.09 , 1.05 ± 0.12 であり、明確な方向依存性はみられていない。したがって、生活の場におけるきめ細かい測定と、その解釈、説明、問題に対する具体的解決策が伴って初めてコミュニケーションが成り立つことになる。最終的には地域におけるコミュニティの参画したものでなければ継続性、現実性に乏しく、そのための地域医療、地域教育関係者の育成が重要と筆者は考えてきたが、実はそのカバーする方向は健康管理から放射線の測定まで幅広く、容易に達成できるものではない。

4. おわりに

本稿執筆中の 2013 年 7 月に、福島県内の放射線環境、内部被ばく検査状況、及びコミュニケーションのフィールド調査を行った。ポケット型の CsI (TI) シンチレーション検出器は、2011 年 3 月 18 日に福島県立医大のキャンパスに降り積もった放射性降下物を多く含む雪上面で記録した以来のオーバースケールを、大熊町～双葉町の福島第一原発敷地周辺の空間線量として示した (Fig. 4)。その反面、富岡駅前や南相馬市小高区は放射線量はさほど高くないが、被災時から時が止まり、工事車両を除いて一時滞在者の気配もない。また、遠く離れた中通りであっても、単なる走行モニタリングで $1 \mu\text{Sv/h}$ を超える箇所は今なお多い。内部被ばく検査は精度も上昇し信頼性もさらに増しており、住民に受診を呼びかける積極的な広報に苦心しておられる。コミュニケーションは、今や数々の事情が渦巻き、コミュニケーター側の引き出しの数とそこに詰まった情報量の多さ、そしてその使い方が問われている。

長崎大学では、2013 年 6 月より福島県の事業の一環として九州各地に避難しておられる福島県民のホールボディカウンターによる内部被ばく検査を実

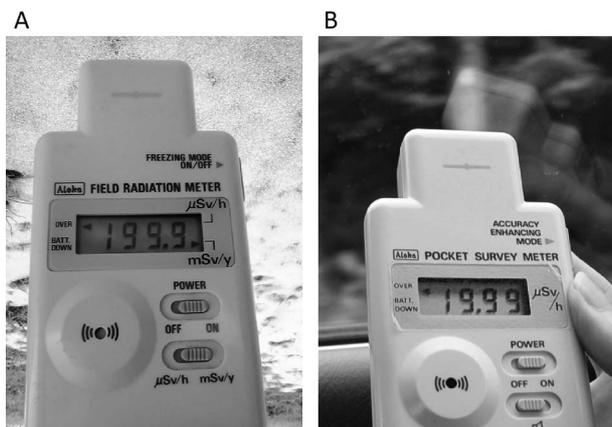


Fig. 4. Ambient Dose Rate to the Direction of Snowfall in Fukushima City on March 18, 2011 (A) and to the Outside from the Moving Vehicle in Okuma Town on July 18, 2013 (B)

Readings are shown in mSv/year unit (A) and $\mu\text{Sv/h}$ (B). The dose rate of $19.99 \mu\text{Sv/h}$ corresponds to 175.1 mSv/year .

施している。もはや体内から自然に存在する ^{40}K 以外の放射能が検出されることはないが、その結果を知り多くの住民の方は安堵しておられる。そして、あとは一種の悩みの相談室である。人生相談になることもある。そのときは、こちらと一緒に悩む。帰還しても大丈夫でしょうかという質問にも、答を断言したり、押しつけない。細かく聞かれば、帰還後の被ばくよりも初期の被ばくによる寄与の方がはるかに高く、初期と現在の合算線量であっても、それが直接健康影響につながるものとは、われわれの経験した限り、思えない。しかし、そんなことを気にしながら、そしてそれを少しでも低減するための工夫をしながら生活することが、お帰りになられたあとは現実になるでしょうね、と言う。これが事故後2年以上が過ぎた現在の状況である。

健康リスクの有無にかかわらず、原子力発電所事故は、ことほど左様に罪深い。

REFERENCES

- 1) International Commission on Radiological Protection, *Ann. ICRP*, **37**(2–4), 24 (2007).
- 2) World Health Organization. “Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami.”: (http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_dose_assessment/en/index.html), cited 29 July, 2013.
- 3) World Health Organization. “Health risk as-

essment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation.”: (http://www.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/fukushima_risk_assessment_2013/en/index.html), cited 29 July, 2013.

- 4) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. “No Immediate Health Risks from Fukushima Nuclear Accident Says UN Expert Science Panel.”: (<http://www.unis.unvienna.org/unis/en/pressrels/2013/unisinf475.htm>), cited 29 July, 2013.
- 5) Saito K. “Distribution and chronological changes of ambient dose rate and deposition of radio-cesium within 80 km area from the TEPCO Fukushima-Daiichi nuclear power plant.”: (<http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/tyouki-eikyuu/giji/05/pdf/5-1-1.pdf>), Japan Atomic Energy Agency Web, cited 29 July, 2013.
- 6) Cardis E., Kesminiene A., Ivanov V., Malakhova I., Shibata Y., Khrouch V., Drozdovitch V., Maceika E., Zvonova I., Vlassov O., Bouville A., Goulko G., Hoshi M., Abrosimov A., Anoshko J., Astakhova L., Chekin S., Demidchik E., Galanti R., Ito M., Korobova E., Lushnikov E., Maksioutov M., Masyakin V., Nerovnia A., Parshin V., Parshkov E., Pilip-tsevich N., Pinchera A., Polyakov S., Shabeka N., Suonio E., Tenet V., Tsyb A., Yamashita S., Williams D., *J. Natl. Cancer Inst.*, **97**, 724–732 (2005).
- 7) Bromet E. J., Havenaar J. M., Guey L. T., *Clin. Oncol.*, **23**, 297–305 (2011).
- 8) Fukushima Prefecture. “Current status of Fukushima health management basic survey. Document 1.”: (<http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/250625siryou1.pdf>), cited 29 July, 2013.
- 9) Akahane K., Yonai S., Fukuda S., Miyahara N., Yasuda H., Iwaoka K., Matsumoto M., Fukumura A., Akashi M., *Sci. Rep.*, **3**, 1670 (2013).
- 10) Matsuda N., Yoshida K., Nakashima K., Iwatake S., Morita N., Ohba T., Yusa T., Kumagai A., Ohtsuru A., *Rad. Meas.*, **55**, 22–25 (2013).
- 11) Kukuchi M. “Monitoring of individual dose in Koriyama City.”: (

- sai/1-5_kikuchi.pdf), Japanese Society of Radiation Safety Management Web, cited 29 July, 2013.
- 12) Fukushima city. “Result of individual dose monitoring in Fukushima city.”: <http://www.city.fukushima.fukushima.jp/soshiki/71/hkenkou-kanri13051601.html>, cited 29 July, 2013.
 - 13) Minami-soma city. “Result of individual dose monitoring in Minami-soma city.”: <http://www.city.minamisoma.lg.jp/index.cfm/20,7382,c,html/7382/0301-06.pdf>, cited 29 July, 2013.
 - 14) Soma city. “Result of individual dose monitoring in Soma city.”: http://www.city.soma.fukushima.jp/0311_jishin/glass/, cited 29 July, 2013.
 - 15) Nuclear Safety Commission of Japan. “Thyroid dose estimation in children of Fukushima.”: <http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/anken/shidai/genan2011/genan031/siryu4-3.pdf>, cited 29 July, 2013.
 - 16) Tokonami S., Hosoda M., Akiba S., Sorimachi A., Kashiwakura I., Balonov M., *Sci. Rep.*, **2**, 507 (2012).
 - 17) Matsuda N., Kumagai A., Ohtsuru A., Morita N., Miura M., Yoshida M., Kudo T., Takamura N., Yamashita S., *Radiat. Res.*, **179**, 663–668 (2013).
 - 18) Momose T., Takada C., Nakagawa T., Kanai, K., Kurihara O., Tsujimura N., Ohi Y., Murayama T., Suzuki T., Uezu Y., Furuta S., Proceeding of the 1st NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident, Chiba, July 2012, p. 67.
 - 19) Kurihara O., Kim E., Suh S., Fukutsu K., Matsumoto M., Rintsu Y., Uchiyama Y., Kawaguchi I., Abstracts of papers, the 2nd NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident, Tokyo, January 2013, p. 141.
 - 20) Nuclear Safety Research Association. “Handling manual for stable iodine in nuclear emergency.”: http://www.remnet.jp/lecture/b03_03/b03_03.pdf, REM net Web, cited 29 July, 2013.
 - 21) Katata G., Terada H., Nagai H., Chino M., *J. Environ. Radioact.*, **111**, 2–12 (2012).
 - 22) Morita N., Miura M., Yoshida M., Kumagai A., Ohtsuru A., Usa T., Kudo T., Takamura N., Yamashita S., Matsuda N., *Radiat. Res.*, **180**, 299–306 (2013).
 - 23) Tsubokura M., Gilmour S., Takahashi L., Oikawa T., Kanazawa Y., *JAMA*, **308**, 669–670 (2012).
 - 24) Hayano R. S., Tsubokura M., Miyazaki M., Satou H., Sato K., Masaki S., Sakuma Y., *Proc. Jpn. Acad., Ser. B*, **89**, 157–163 (2013).
 - 25) Kawauchi village. “Disclosure of internal dose estimation in residents of Kawauchi village.”: <http://www.kawauchimura.jp/info/268-151.pdf>, cited 29 July, 2013.
 - 26) Kleinhesselink R. R., Rosa E. A., *J. Cross-Cultural Psychol.*, **22**, 11–28 (1991).
 - 27) Miura M., Yoshida M., Takao H., Matsuda N., *Radiat. Safety Manag.*, **7**, 1–5 (2008).
 - 28) Fukushima Prefecture. “Current status of Fukushima health management survey for mental health and lifestyle. Document 4.”: <http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/250605siryu4.pdf>, cited 29 July, 2013.
 - 29) Normile D., *Science*, **332**, 908–910 (2011).
 - 30) Miura M., Hayashida R., Takao H., Ono K., Matsuda N., *Jpn. J. Radiat. Safety Manag.*, **12**, 46–53 (2013).