

## 参考資料 1

# 被ばく線量の評価関係について

### 1. 事故初期のヨウ素等短半減期核種内部被ばく関係

#### (1) 小児甲状腺スクリーニング検査について

参考 1-1 平成 24 年度原子力災害影響調査等事業「事故初期のヨウ素等短半減期核種による内部被ばく線量評価調査」成果報告書（平成 25 年 2 月、放射線医学総合研究所）

#### (2) その他の甲状腺線量実測データ

##### 1) 国内機関による実測

参考 1-2 C. Takada et al, Results of Whole Body Counting for JAEA Staff Members Engaged in the Emergency Radiological Monitoring for the Fukushima Nuclear Disaster. The 1<sup>st</sup> NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. (2012) (抜粋)  
[http://www.nirs.go.jp/publication/irregular/pdf/nirs\\_m\\_252.pdf](http://www.nirs.go.jp/publication/irregular/pdf/nirs_m_252.pdf)

##### (その他資料)

- S. Tokonami, et al., Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident. Scientific reports, 2 (2012)
- N. Matsuda, et al., Assessment of internal Exposure Doses in Fukushima by a Whole Body Counter Within One Month after the Nuclear Power Plant Accident. RADIATION RESEARCH, 179 (2013)
- 高田 純「福島 嘘と真実 東日本放射線衛生調査からの報告」医療科学社 (2011)

##### 2) 海外機関による実測

参考 1-3 Radiation Dose Assessments for Shore-Based Individuals in Operation Tomodachi. Defense Threat Reduction Agency, September (2012) (抜粋)  
[http://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0CDgQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.dtic.mil%2Fcgi-bin%2FGetTRDoc%3FAD%3DADA565169&ei=4P2yU5n0FZHakgWBx4D1Cw&usq=AFQjCNH94UOL2aYMyj5\\_hSHn1LacaPL9-A](http://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0CDgQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.dtic.mil%2Fcgi-bin%2FGetTRDoc%3FAD%3DADA565169&ei=4P2yU5n0FZHakgWBx4D1Cw&usq=AFQjCNH94UOL2aYMyj5_hSHn1LacaPL9-A)

参考 1-4 Fukushima, one year later Initial analyses of the accident and its consequences Report IRSN/DG2012-003 (2012) (抜粋)  
[http://www.irsn.fr/EN/publications/technical-publications/Documents/IRSN\\_Fukushima-1-year-later\\_2012-003.pdf](http://www.irsn.fr/EN/publications/technical-publications/Documents/IRSN_Fukushima-1-year-later_2012-003.pdf)

参考 1-5 S. Shinkarev et al., Thyroid measurements of the Russian

citizens living in Japan following the Fukushima accident.  
2-nd NIRS Symposium, (2013)

### (3) 大気拡散シミュレーション

参考 1-6 平成 24 年度受託事業「大気拡散シミュレーションによる時系列  
大気中放射性物質濃度マップの整備」成果報告書（平成 25 年 1  
月、日本原子力研究開発機構）

(注) 本報告書は、環境省委託事業「平成 24 年度原子力災害影響調査等事業（事  
故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばく線量評価調査）」の一部を、放  
射線医学総合研究所からの受託事業として日本原子力研究開発機構が実施  
した「大気拡散シミュレーションによる時系列大気中放射性物質濃度マッ  
プの整備」の成果を取りまとめたもの。

### (4) ホールボディカウンターで計測したセシウムからの推計

○M. Hosoda, et al. Estimation of internal exposure of the thyroid to  
131I on the basis of 134Cs accumulated in the body among evacuees of  
the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. Environmental  
International 61 (2013).

### (5) 環境モニタリング（土壌、大気等）

参考 1-7 福島第一原子力発電所事故に係る特別環境放射線モニタリング結  
果－中間報告（空間線量率、空気中放射性物質濃度、降下じん中  
放射性物質濃度）－（抜粋）（日本原子力研究開発機構東海研究開  
発センター核燃料サイクル工学研究所放射線管理部）  
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2011-035.pdf>

参考 1-8 福島第一原子力発電所事故に係る JAEA 大洗における環境放射線モ  
ニタリング－空間γ線線量率、大気中放射性物質、気象観測の結  
果－（抜粋）（日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター安  
全管理部）  
<http://www.jaea.go.jp/fukushima/pdf/JAEA-Data-Code-2013-006.pdf>

参考 1-9 Emergency Monitoring of Environmental Radiation and  
Atmospheric Radionuclides at Nuclear Science Research  
Institute, JAEA Following the Accident of Fukushima Daiichi  
Nuclear Power Plant（抜粋）（Department of Radiation  
Protection Nuclear Science Research Institute Tokai Research  
and Development Center, JAEA）（日本原子力研究開発機構東海研

究開発センター原子力科学研究所放射線管理部）

<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Data-Code-2012-010.pdf>

参考 1-10 つくば市で観測された空気中の放射性物質の種類と濃度の測定  
結果について(2)～(5)（高エネルギー加速器研究機構）

<http://www.kek.jp/ja/Research/ARL/RSC/Radmonitor/>

参考 1-11 つくばセンター放射線測定結果（放射性核種についての測定結  
果）（産業技術総合研究所）

<http://www.aist.go.jp/taisaku/ja/measurement/index.html>

参考 1-12 大気浮遊じん、降下物、水道水（放射能測定結果について）（日  
本分析センター）

<http://www.jcac.or.jp/uploaded/attachment/28.pdf>

参考 1-13 ダストサンプリングの測定結果（平成 23 年 3 月 18 日、19 日、25  
日採取）（原子力規制庁）

[http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/8000/7572/24/dust%20sampling%20\(A11%20Results%20for%20May%202011\)%20.pdf](http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/8000/7572/24/dust%20sampling%20(A11%20Results%20for%20May%202011)%20.pdf)

参考 1-14 福島第一原子力発電所の事故に係る陸土及び植物の放射性ストロ  
ンチウム分析結果（平成 23 年 3 月 16 日、17 日、19 日）（原子力  
規制庁）

[http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/4000/3707/24/1304935\\_0412\\_1.pdf](http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/4000/3707/24/1304935_0412_1.pdf)

参考 1-15 東京電力株式会社福島第一原子力発電所 20 km 以遠における福島  
県による環境試料の測定結果（原子力規制庁）

[http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4134/24/1306972\\_0607.pdf](http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4134/24/1306972_0607.pdf)

参考 1-16 東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性  
物質の分布状況等に関する調査研究結果（研究成果報告書（第 1  
編））（抜粋）（原子力規制庁）

[http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5235/25/5253\\_20120615\\_2\\_rev20130701.pdf](http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5235/25/5253_20120615_2_rev20130701.pdf)

参考 1-17 鳥居建男「事故後初期の航空機モニタリングから得られたヨウ素  
131I 沈着量の分布－日米共同で新しい航空機モニタリング解析手  
法を開発」（日本原子力学会 vol. 55(12), (2013)

参考 1-18 村松康行他「平成 24 年度放射能測定調査委託事業福島第一原子  
力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」成  
果報告書中、「4. 土壌濃度マップの精微化に向けた調査（4.1 ヨウ  
素 131I の土壌濃度マップの精緻化）」（抜粋）（日本原子力研究

開発機構)

<http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat03/pdf05/04-1.pdf>

2. 事故初期の外部被ばく関係（福島近隣県における健康影響に関する検討状況）
- 参考 1-19 福島周辺県等における検討状況  
[http://www.env.go.jp/chemi/rhm/conf/conf01-01/mat02\\_3.pdf](http://www.env.go.jp/chemi/rhm/conf/conf01-01/mat02_3.pdf)
- 参考 1-20 宮城県健康影響に関する有識者会議報告書  
<http://www.r-info-miyagi.jp/site/wp-content/uploads/2011/11/270f7bd6e6f6eda6fad991f9e202a402.pdf>
- 参考 1-21 栃木県における放射線による健康影響に関する報告書  
<http://www.pref.tochigi.lg.jp/e04/documents/documents/documents/report.pdf>
- 参考 1-22 放射線による健康への影響に関する有識者会議の結果（群馬県）  
<http://www.pref.gunma.jp/contents/000169308.pdf>
- 参考 1-23 放射線健康影響（内部被ばく線量）調査の評価等について（岩手県）  
<http://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=4&ved=0CDwQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.pref.iwate.jp%2Fdownload.rbz%3Fcmd%3D50%26cd%3D37569%26tg%3D13&ei=uvyzUtaID4fbkQW9ooDYBA&usg=AFQjCNHGewYM6tpLZDtVt190LwXUuROKHw>

平成 24 年度原子力災害影響調査等事業

「事故初期のヨウ素等短半期による内部被ばく線量評価調査」

成果報告書

平成 25 年 2 月

独立行政法人

放射線医学総合研究所

本報告書は、環境省からの平成 24 年度委託事業として独立行政法人放射線医学総合研究所が行った「事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばく線量評価調査」の成果を取りまとめたものです。従って、本報告書の著作権は環境省に帰属しており、本報告書の全部または一部の無断複製等の行為は、法律で認められたときを除き、著作権の侵害にあたるので、これらの行為を行うときは環境省の承認手続きが必要です。

## 要 約

東京電力福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性物質は東日本の広い範囲に拡散し、一般公衆への放射線被ばくをもたらすこととなった。事故発生から2年近くが経過し、福島県民の外部被ばく線量及び放射性セシウムからの内部被ばく線量の推計が進められ、現時点で過度な被ばくを受けた人の可能性が低いことが示唆された。残された課題は、放射性ヨウ素に代表される短半減期核種による事故初期における内部被ばく線量（特に、甲状腺等価線量）の推計であるが、この推計に必要な人や環境の実測データが圧倒的に不足している。したがって、事故初期に得られた実測データを可能な限り探索・集約するとともに、複数の手法を組み合わせることで初期内部被ばく線量の再構築を行うことが現時点で考えられる最善の手段である。今回の初期内部被ばく線量の再構築において用いた手法は、①個人計測値に基づく方法と、②大気拡散シミュレーションに基づく方法である。ただし、①の方法では、放射性ヨウ素による内部被ばく線量を直接評価できる甲状腺計測データは極めて限られていることから、ホールボディカウンタ（WBC）の測定から得られた実効線量の結果も活用することとした。WBCで検出される放射性核種は放射性セシウムに限られるが、放射性セシウムと放射性ヨウ素の摂取量比を適切に与えることにより、放射性ヨウ素による内部被ばく線量を間接的に推定できると考えられる。一方、②の方法では、大気拡散シミュレーションから得られた放射性核種の空気中濃度マップを用い、評価対象地点での濃度に滞在時間と呼吸率を乗じることで、吸入による摂取量を算出するものである。ただし、屋内滞在によって見込まれる摂取量の低減効果については、個人計測値との比較検証により別途考察する必要があるが、今回の調査では十分に検証できていない。そこで、実測データに基づく①の方法を基礎として、②の方法を補完的に適用することにより、福島県全域の住民に対する包括的な初期内部被ばく線量の推計を試みた。その結果、放射性物質の地表沈着が比較的高い地域の住民でも、甲状腺等価線量の90パーセンタイル値として、最も初期内部被ばく線量が高く評価される1歳児年齢層に対して約30 mSvという結論が暫定的に得られた。また、当該原発近隣の市町村の住民については、比較的多量の放射性物質の放出があったとされる3月15日までの避難により、内部被ばくが大幅に回避されたことが示唆された。ただし、今回の線量推計結果については不確かさ要因が多く残されており、精度向上のための調査を引き続き行う必要がある。

## 目次

第1章	はじめに	1
第2章	事業概要	2
2.1	事業の全体計画	3
2.2	事業内容	3
第3章	実測データの探索・検証	5
3.1	個人計測	5
3.1.1	甲状腺計測	5
3.1.2	全身計測	11
3.2	環境モニタリング	16
3.2.1	大気中ヨウ素の揮発成分/粒子成分	16
3.2.2	大気中濃度比 ( $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ )	19
3.2.3	地表沈着比 ( $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ )	20
3.2.4	$^{131}\text{I}$ 以外の短半減期核種	21
第4章	初期内部被ばく線量推計	26
4.1	個人計測データに基づく線量推計	27
4.1.1	甲状腺計測に基づく線量推計	27
4.1.2	全身計測に基づく線量推計	32
4.2	拡散シミュレーションに基づく線量推計	42
4.2.1	甲状腺積算線量マップ	42
4.2.2	個人計測から得られた線量との比較	46
4.3	福島県住民の初期内部被ばく線量推計結果	49
第5章	内部被ばく線量評価システムの開発及び検証	50
5.1	内部被ばく線量評価システムの開発	50
5.2	代表的行動パターンに対する線量評価	53
5.3	内部被ばく線量評価システムの検証	73
第6章	飲食物の経口摂取	79
6.1	経口摂取による内部被ばく線量の計算方法	79
6.2	水道水	81
6.3	原乳	82
6.4	野菜（葉菜）	82
6.5	まとめ	85

第7章 まとめと今後の課題.....	87
7.1 まとめ.....	87
7.2 今後の課題.....	87
付録.....	89
A. スライド集.....	89
A.1 第2回 NIRS 国際シンポジウム.....	89
A.2 KEK 環境放射能研究会.....	111
B. 専門委員会／検討委員会の会合記録.....	137
B.1 専門委員会の会合記録.....	137
B.2 検討委員会の会合記録.....	138
B.2 別添資料.....	143
C. 環境モニタリングデータ集.....	150
C.1 線量率データ.....	151
C.2 大気中放射性物質濃度データ.....	169
C.3 土壌中放射性物質濃度に関するデータ.....	179
C.4 飲料水データ.....	188

## 図目次

図 1 SPEEDI による小児甲状腺等価線量の予測値.....	5
図 2 スクリーニング検査の被検者の年齢分布.....	6
図 3 スクリーニング検査における NaI(Tl)サーベイメータの正味値.....	7
図 4 甲状腺測定方法.....	8
図 5 校正用ファントム.....	9
図 6 各被検者の $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の体内放射線量の分布 (成人のみ).....	12
図 7 放医研で住民測定に用いられた WBC.....	12
図 8 原子力機構で住民測定に用いられた WBC.....	13
図 9 WBC 検査に基づく被検者の実効線量の累積頻度分布.....	14
図 10 $^{131}\text{I}$ の物理化学的性状 (揮発成分/粒子成分).....	17
図 11 $^{131}\text{I}$ 濃度及び揮発成分割合の時系列.....	17
図 12 $^{131}\text{I}$ と $^{137}\text{Cs}$ の大気中濃度の比較.....	19
図 13 福島県内における $^{137}\text{Cs}$ と $^{131}\text{I}$ の地表面濃度の関係 (基準日:平成 23 年 6 月 14 日).....	20
図 14 地表沈着比 ( $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ ) マップ (基準日:平成 23 年 6 月 14 日).....	20
図 15 飯館, 川俣, いわきにおける地表沈着比 ( $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ ) (基準日:平成 23 年 6 月 14 日).....	21
図 16 2011 年 3 月 15 日の放射性ブルームの動き.....	22
図 17 初期内部被ばく線量の推計方法.....	26
図 18 福島県各地の周辺線量当量率の時間推移.....	27
図 19 摂取シナリオ.....	28
図 20 被検者の年齢による NaI(Tl) シンチレーションサーベイメータの校正定数の変化.....	29
図 21 小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査に基づく甲状腺線量分布.....	31
図 22 各自治体住民の実効線量分布.....	33
図 23 実効線量分布から 50 パーセンタイル値の導出.....	34
図 24 WBC 測定に基づく実効線量分布の解析値が得られた自治体.....	35
図 25 各自治体の住民の避難状況.....	36
図 26 実効線量から甲状腺線量の導出仮定.....	37
図 27 甲状腺線量から摂取量比 ( $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ ) の導出 (上段:飯館村, 下段:川俣町).....	38
図 28 放射性核種の空気中マップの領域.....	43
図 29 評価期間別甲状腺線量マップ (1 歳児).....	44
図 30 評価期間別甲状腺線量マップ (成人).....	45
図 31 甲状腺線量比較 (小児甲状腺被ばくスクリーニング検査/拡散シミュレーション).....	46
図 32 避難時の行動パターン (警戒区域).....	51
図 33 避難時の行動パターン (計画的避難区域).....	51
図 34 内部被ばく線量評価システム的设计概念.....	52
図 35 内部被ばく線量評価システム (PC 版) の GUI.....	53
図 36 行動パターン 1:各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	55

図 37	行動パターン 2: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	56
図 38	行動パターン 3: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	57
図 39	行動パターン 4: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	58
図 40	行動パターン 5: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	59
図 41	行動パターン 6: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	60
図 42	行動パターン 7: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	61
図 43	行動パターン 8: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	62
図 44	行動パターン 9: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	63
図 45	行動パターン 10: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	64
図 46	行動パターン 11: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	65
図 47	行動パターン 12: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	66
図 48	行動パターン 13: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	67
図 49	行動パターン 14: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	68
図 50	行動パターン 15: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	69
図 51	行動パターン 16: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	70
図 52	行動パターン 17: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	71
図 53	行動パターン 18: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列.....	72
図 54	実効線量比較 (WBC 測定/システム) .....	73
図 55	拡散シミュレーションにより得られた大熊町の積算空気中 <sup>131</sup> I 濃度 .....	76
図 56	拡散シミュレーションにより得られた東海村における日々の <sup>131</sup> I 空気中積算濃度.....	77
図 57	大気拡散シミュレーションに基づく東海村滞在者の甲状腺残留放射能の予測値.....	77
図 58	飲食物中の放射性核種の濃度プロファイル.....	79
図 59	福島県内で採取された原乳中の <sup>131</sup> I 濃度.....	82
図 60	ハウレンソウ中の濃度プロファイルの導出.....	83

表目次

表 1	小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査の実施日及び被検者数.....	6
表 2	NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータの校正定数等.....	8
表 3	被検者の年齢別の検査結果 (WBC のみ) .....	12
表 4	原子力機構の WBC の仕様.....	14
表 5	<sup>131</sup> I の吸入摂取に伴う甲状腺線量係数及び実効線量係数の物理化学的性状による違い.....	16
表 6	各モニタリング地点における揮発成分の割合 .....	18
表 7	<sup>131</sup> I 以外の放射性核種の線量寄与 (1) .....	22
表 8	<sup>131</sup> I 以外の放射性核種の線量寄与 (2) .....	23
表 9	NaI(Tl) シンチレーションサーベイメータの校正定数.....	29
表 10	<sup>131</sup> I の甲状腺線量及び甲状腺残留率.....	30
表 11	甲状腺線量 10 mSv に相当するサーベイメータの正味値など.....	32
表 12	各自治体住民の実効線量の 90 パーセンタイル値及び 50 パーセンタイル値.....	35
表 13	全身計測から評価された各自治体住民の甲状腺線量.....	39
表 14	緊急時モニタリングに従事した日本原子力研究開発機構職員の甲状腺線量等.....	40
表 15	東京電力福島第一原子力発電所事故における WSPEEDI-II の大気拡散解析の経緯.....	42
表 16	甲状腺線量の計算に用いたパラメータの数値.....	43
表 17	甲状腺線量比較 (小児甲状腺被ばくスクリーニング検査/拡散シミュレーション) .....	47
表 18	拡散シミュレーションによる甲状腺線量の計算値.....	47
表 19	福島県民の初期内部被ばく線量推計の暫定結果 (90 パーセンタイル値) .....	49
表 20	避難時の行動パターン (警戒区域) .....	50
表 21	避難時の行動パターン (計画的避難区域) .....	50
表 22	全 18 の行動パターンに対する <sup>131</sup> I による甲状腺線量.....	53
表 23	放射性セシウムの実効線量比較 (WBC 測定/システム) .....	74
表 24	日本原子力研究開発機構の緊急モニタリング対応等職員の個人計測データ.....	75
表 25	吸入摂取における建屋の線量低減効果.....	78
表 26	放射性ヨウ素に関連した飲食物カテゴリーと摂取量.....	80
表 27	野菜類の摂取量.....	80
表 28	福島県及び近隣県での水道水摂取制限.....	81
表 29	放射性ヨウ素の土壌中濃度 (平均値) の推定値及び実測値.....	84
表 30	非線形二乗法による適合関数中のパラメータの最適値.....	85
表 31	ハウレンソウ中放射性核種別濃度 (2011 年 3 月 15 日時点) .....	86

## 第1章 はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性核種は、東日本の広い範囲に拡散、沈着することとなり、一般公衆への放射線被ばくをもたらすこととなった。放射線による人の健康影響を定量的に判断する観点から個人被ばく線量評価は極めて重要であり、福島県では、県民に対して、事故初期における個人の行動調査に基づく外部被ばく線量推計及びホールボディカウンタ(WBC)を用いた体内放射性セシウムの検査を進めている。外部被ばく線量の推計は約36万人について終了しており(平成24年12月時点)、そのほとんどが実効線量で数mSv以下となっている<sup>1)</sup>。一方、WBCによる検査については約10万人(平成25年1月時点)が終了しており、放射性セシウムによる(預託)実効線量が1mSv以上の者は僅か26名であった<sup>2)</sup>。これらの結果から示されるように、今回の原子力事故によって一般公衆が受けた被ばく線量は、これまでのところ、低く抑えられたものと見られている。しかしながら、今まで十分に評価されてこなかった人の被ばく線量がある。それは、放射性ヨウ素等に代表される短寿命核種による事故初期段階で受けたの内部被ばく線量である。体内に取り込まれた放射性ヨウ素が甲状腺に集積し、特に小児において甲状腺がんなどの疾患をもたらすことがチェルノブイリ事故の経験から認識されている。そのため、人の甲状腺計測から得られる実測データは極めて重要であったが、今回の事故における国等の対応では、限られた地域の小児に対するスクリーニング検査が約千名足らずについて実施されたのみであった。一方、環境モニタリングについても、福島第一原子力発電所における相次ぐイベントや水素爆発等の影響により、大気中の放射性ヨウ素濃度が高かったと予想される事故発生初期(特に初めの1週間)の空気サンプリングや飲食物に関する実測データは僅かであり、初期内部被ばく線量の推計根拠としては不十分な情報であった。

こうした状況を鑑みると、まず為すべきことは、事故初期の内部被ばく線量の推計に活用できる可能性のある全ての実測データを探索、集約することである。今回の調査では、前述した小児甲状腺のスクリーニング検査の他、WBCによる検査結果や環境モニタリングの実測データなどについても可能な限り収集を行った。また、今回の事故では、チェルノブイリ事故とは異なり、経口よりも吸入が主たる放射性核種の体内摂取経路と考えられることから、大気拡散シミュレーションから得られた放射性ヨウ素の時系列大気中濃度マップを活用した吸入摂取量の算出も試みた。なお、本調査の今年度の目標については次のとおりである。

- 事故初期の内部被ばく線量(特に、放射性ヨウ素-131、<sup>131</sup>Iによる甲状腺等価線量)を推計するための有効な手法を検討し、その評価精度を検証すること。
- 上記線量について、福島県内各地域の住民に対する代表値を算定することであり、今年度の調査では個人毎の線量評価は行わない。

### 参考文献等

1. <http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/20121227kihontvousa.pdf>
2. [http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp\\_portal/PortalServlet?DISPLAY\\_ID=DIRECT&NEXT\\_DISPLAY\\_ID=U000004&CONTENTS\\_ID=26211](http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=26211)

## 第2章 事業概要

本事業は、環境省(事業公募時は経済産業省資源エネルギー庁)からの委託事業<sup>1)</sup>を独立行政法人・放射線医学総合研究所(以下、放医研)が受託し、実施したものである。当事業の仕様は、下記のとおりである。

### 仕様書

1. 事業名  
平成24年度原子力災害影響調査等事業(事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばくの線量評価調査)
2. 事業目的  
東京電力福島第一原子力発電所の事故時に放出された放射性物質による福島県等の住民の健康リスク評価を行うための基礎データとして、住民の被ばく線量の把握は重要である。  
福島県では、事故後の行動調査による外部被ばく線量推計を実施し、併せてWBC(ホールボディカウンタ)による内部被ばく線量測定等を実施している。しかし、ヨウ素等の半減期の短い核種による事故初期段階の内部被ばくについては、現在ではWBCの測定による評価は困難である。  
そこで、事故初期段階の内部被ばくについて、その推計に必要なデータ、情報を収集し、シミュレーション等の被ばく線量推計方法の検討を行うとともに、その検討に基づいて被ばく線量の評価を行うことを目的とする。
3. 事業内容  
東京電力福島第一原子力発電所原子炉からの放射性物質の放出量、ダストモニタリング、土壌のモニタリング結果等様々なデータをもとに、関係機関の協力を得ながら、半減期が短く現在では、ホールボディカウンタでは測定できない核種による被ばく線量を合的に推定できるよう検討を行うとともに、その検討に基づいた被ばく線量の評価について調査研究を行う。  
なお、年に2回程度、UNSCEARやICRP等の国際機関に所属する専門家に参加する国際シンポジウムを企画し、内部被ばくの線量評価について意見交換を行いながら事業を進める。
4. 報告書の作成  
事業内容に関する調査研究結果を踏まえ、報告書を作成する。報告書には、調査内容や成果についての要約を添付すること。なお、報告内容は、調査・検討結果について、体系的に整理・分析し、図表・イメージ図等を用いて分かりやすいものとするよう努めること。
5. 事業実施期間  
委託契約締結日から平成25年2月28日まで
6. 成果物  
電子媒体(CD-R)一式
7. 納入場所  
資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力立地・核燃料サイクル推進課

本事業を遂行にあたり、放医研では事業の全体計画と実施内容を次のとおり定めた。



## 2.1 事業の全体計画

東京電力福島第一原子力発電所原子炉からの放射性物質の放出量、ダストモニタリング、土壌のモニタリング結果等様々なデータをもとに、関係機関の協力を得ながら、半減期が短く現在ではホールボディカウンタでは測定できない核種による被ばく線量を総合的に推定できるよう検討を行うとともに、その検討に基づいた被ばく線量の評価について調査研究を行う。なお、年に2回程度、国内外の専門家が参加する国際シンポジウムを企画し、内部被ばく線量評価についての意見交換を行いつつ事業を進める。

## 2.2 事業内容

本事業で実施した項目を以下に記述する。【 】内には本報告書の該当部分を示した。

### (1) 実測データの探索・検証

個人及び環境に関する実測データを未公開のデータを含め探索する。探索したデータについて内部被ばく線量評価に活用する観点から信頼性、精度の検証を行う。【第3章 3-1 及び 3-2】

### (2) 拡散シミュレーション

吸入による内部被ばく線量評価に必要なデータ整備のひとつとして、事故初期の放射性物質の時系列空気中濃度マップを外機関の協力を得て整備する。複数の研究機関による検討結果を踏まえて、ソースタームや物理過程などの見直しによる精度向上を図る。【第4章 4-2 及び別添（再委託報告書）】

### (3) 住民の行動パターン化

内部被ばく線量評価に必要なデータの整備の一つとして、住民の行動パターン化を行う。パターン化にあたり、注目する指標は、事故初期における滞在場所、建物の換気率、マスク着用の有無、摂取した飲食物などとする。また、外部被ばく線量推計において用いた行動パターンを中心に、内部被ばく線量評価の観点から注視すべき行動パターンを追加することを検討する。【第5章 5-2】

### (4) 内部被ばく線量評価システムの整備

事故初期における放射性プルームによる吸入摂取量及びその内部被ばく線量を試算するために、内部被ばく線量評価システムを整備する。このシステムへの主なインプットは、(2)の拡散シミュレーションと(3)の住民の行動のパターンとなる。【第5章 5-1】

### (5) 内部被ばく線量評価システムの検証

(4)のシステムによって得られた内部被ばく線量の計算結果について、(1)で得られた個人に関する実測データ（ホールボディカウンタ計測値（ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ ）、甲状腺計測（ $^{131}\text{I}$ ）など）と比較検証するとともに、両者の差異の要因について行動調査や摂取条件等の情報から考察する。【第5章 5-3 及び 5-4】

### (6) 飲食物からの経口摂取

放射性プルームからの吸入摂取による内部被ばく線量評価の他、飲食物からの経口摂取による内部被ばく線量評価を実施する。【第6章】

### (7) 国際シンポジウムの開催

国内外の専門家を交えた国際シンポジウムを年2回開催する。第1回シンポジウムは7月開催を予定し、実測データ（環境、人、食品、飲料水等）、拡散シミュレーション（ソースタームや物理過程などの最適化）、内部被ばく線量評価手法等について未公開データの顕在化を含めて、専門家間の情報共有を主なねらいとする。第2回シンポジウムは11月～1月頃の開催予定とし、本事業で実施した総合的内部被ばく線量評価の詳細を国内外に情報発信することを主なねらいとする。【第1回国際シンポジウムの内容は、放医研不定期刊行物（NIRS-M-252）に含まれる】

## 参考文献等

1. 資源エネルギー庁、平成24年度原子力災害影響調査等事業（事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばくの線量評価調査）

<http://www.enecho.meti.go.jp/info/tender/tenddata/1204/120416a/120416a.htm>

第3章 実測データの探索・検証

3.1 個人計測

3.1.1 甲状腺計測

(1) 概要

甲状腺計測は、放射性ヨウ素が甲状腺に集積する性質を利用し、頭部付近に放射線検出器を配置して放射性ヨウ素からのγ線を計測するとともに、校正用ファントムとの相対測定に基づき、甲状腺中の放射性ヨウ素残留量を定量する方法である。甲状腺計測に空間線量測定用のNaI(Tl)サーベイメータを利用することは、原子力災害時におけるスクリーニング検査として従来から考えられてきたことである<sup>1)</sup>。今回の事故においても、小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査に同様なNaI(Tl)サーベイメータが用いられた<sup>2)</sup>。

小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査は、平成23年3月23日に公表された緊急時迅速放射能影響予測システム(SPEEDI)の結果を受け、原子力安全委員会(当時)からの依頼により、原子力災害現地対策本部が3月24日から30日にかけて、いわき市、川俣町、飯館村において、15歳以下の小児に対して実施された。以上の3市町村は、警戒区域(20km圏内)の外に位置していたが、SPEEDIによる小児甲状腺等価線量の予測値が100mSvを超える地域が含まれていたことから、スクリーニング検査の対象地域として選定された(図1)。ただし、この予測結果は屋外に滞在し続けた場合の試算結果であり、過大評価を見込んでいることに注意する必要がある。

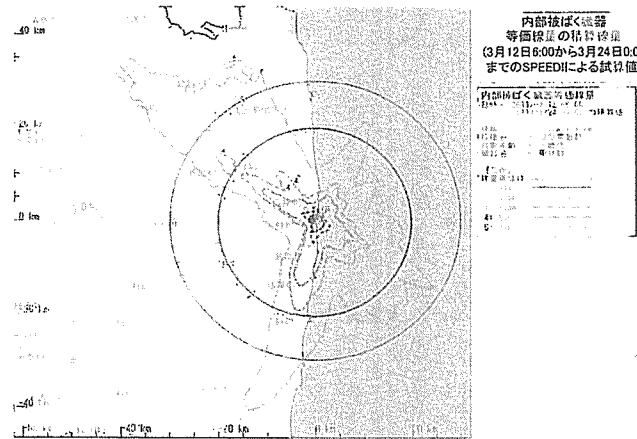


図1 SPEEDIによる小児甲状腺等価線量の予測値  
(1歳児が屋外に3月12日6時から3月24日0時まで滞在したときの試算)  
[http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/mext\\_speedi/0312-0324\\_in.pdf](http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/mext_speedi/0312-0324_in.pdf)

小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査の測定場所及び被検者数等は、表1に示すとおりである。スクリーニング検査の評価対象者数は、全被検者数の内、測定場所のバックグラウンド放射線レベルが高かったときに受検した者及び年齢不明の者を除いた1,080名であった。1,080名の年齢分布は図2に示すとおりである。スクリーニング検査の実施当時は、得られた正味値(=グロス値-バックグラウンド値)をスクリーニングレベルとした $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ と比較しただけに留まったが、本調査では、後述するように、摂取シナリオや校正定数の見直し等を検討し、個人毎の甲状腺等価線量を算出した。なお、スクリーニングレベルとした $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ は、1歳児の甲状腺等価線量が100mSvに相当する数値として、校正用ファントムを用いた実験により導出された。図3には、スクリーニング検査によって得られた評価対象者のNaI(Tl)サーベイメータの正味値の分布を示した。評価対象者でスクリーニングレベルを超えた者はおらず、全体の55%については正味値が $0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であった。

表1 小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査の実施日及び被検者数

実施日	実施場所	被検者数	内0~15歳
3/24	川俣町保健センター	18	(18) <sup>*1</sup>
	川俣町山木屋出張所	48	(48) <sup>*1</sup>
3/26~3/27	いわき市保健所	137	134 <sup>*2</sup>
3/28~3/30	川俣町中央公民館	631	631
3/29~3/30	飯館村役場	315	315
計		1,149	1,080

\*1 3/24検査分についてはバックグラウンドが高く、評価対象者から除外

\*2 年齢不詳の者3名を除外

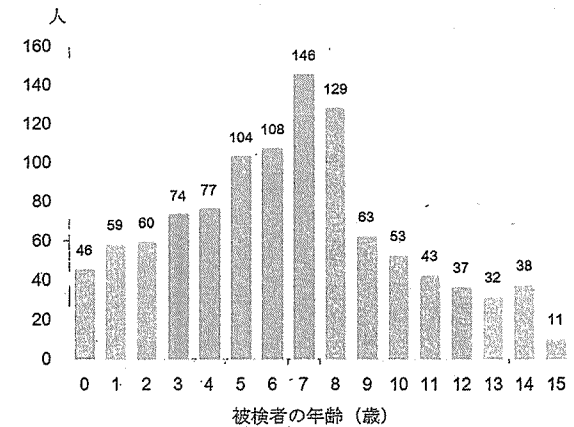


図2 スクリーニング検査の被検者の年齢分布

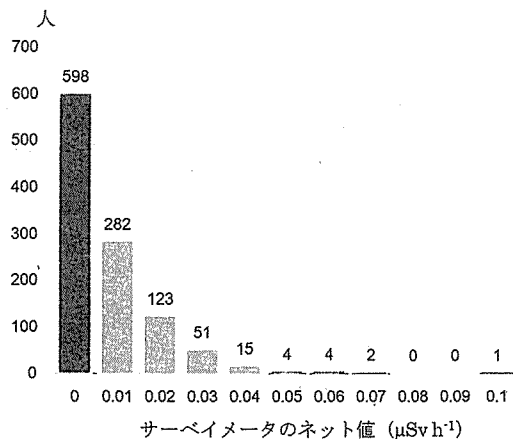


図3 スクリーニング検査におけるNaI(Tl)サーベイメータの正味値

なお、正味値を求める際に用いたバックグラウンドの測定方法については当時の資料<sup>4</sup>には具体的な記述が無かったが、スクリーニング検査に関与した関係者への聞き取りを行ったところ、被検者毎に体幹部位（甲状腺から約20 cm離れた肩口付近）を測定して得られた様であった<sup>5</sup>。すなわち、測定場所における周辺線量当量率ではない。

(2) 測定条件等<sup>4</sup>

小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査の測定条件等については下記のとおりである。

- ① 測定対象：1歳児から15歳児程度
- ② 使用可能な測定器：NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ、型式TCS-161, TCS-171, TCS-172（日立アロカメディカル社製、結晶サイズはいずれの型式も1インチφ×1インチ）
- ③ 測定条件
  - サウンド無モード
  - 時定数10秒
  - 測定単位：μSv h<sup>-1</sup>
  - 計測時間は30秒として、30秒後の指示値を3回読んでその平均値を記録
  - プローブをラップ等で養生（汚染防止のため）

④ バックグラウンド測定

測定場所のバックグラウンドを測定し、0.2 μSv h<sup>-1</sup>以下であることを確認する。個人の甲状腺検査の際のバックグラウンド測定の方法については上述したとおり。

⑤ 甲状腺測定

- 頸部を汚染のない濡れタオルで拭いて除染。ここで、水は未開封のペットボトルの水を用いると良い。

- プローブを頸部に密着して測定を開始。プローブを当てる位置は体軸中心で高さは首と鎖骨の交点付近とする（図4）。

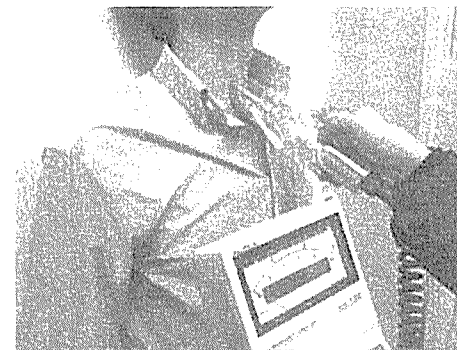


図4 甲状腺測定方法

- 指示値を記録して、バックグラウンドの値を差し引き、正味値を求める。
- 正味値が1.0 μSv h<sup>-1</sup>の時、甲状腺残留放射能は約22 kBq（ただし、は1歳児の場合）となる。

⑥ 校正用（頸部）ファントム

使用した校正ファントムの相当品については文献<sup>6</sup>に記載がある。ファントムの形状を図5に示す。同ファントム内にある甲状腺形状容器に、放射能が検定された<sup>133</sup>Ba溶液を封入して校正定数を求めた<sup>3</sup>。

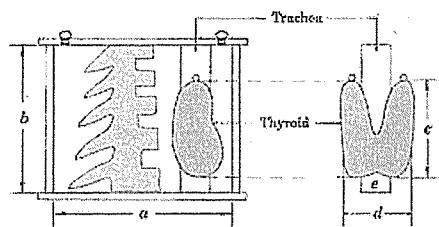
⑦ 校正定数

NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータの甲状腺計測における校正定数としては表2に示す結果となった。ただし、小児（1歳児、5歳児）に対する校正定数を求めるにあたり、本来であれば小児を適切に模擬した校正用ファントムが用いられるべきであったが、図5に示した成人用のファントムを用い、甲状腺容器内に年齢に応じた容量の<sup>133</sup>Ba溶液を封入して校正定数が得られた（表2）。

表2 NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータの校正定数等<sup>4</sup>

年齢	0.2 μSv h <sup>-1</sup> の正味値に相当する <sup>131</sup> I甲状腺残留放射能	12日間吸入摂取し、13日目に計測した実効線量	左記条件下の甲状腺等価線量
1歳児（1～3歳未満）	4,400 Bq	5.4 mSv	108 mSv
5歳児（3歳～8歳未満）	4,690 Bq	3.2 mSv	64 mSv
成人（18歳以上）	6,030 Bq	0.8 mSv	16 mSv

補足) <sup>131</sup>I甲状腺残留放射能から実効線量、甲状腺等価線量への計算条件は、公衆による吸入摂取、物理化学的性状として元素状ヨウ素としている。12日間の吸入摂取は、毎日一定量の12回の連続摂取である。表中以外の年齢についての校正定数（0.2 μSv h<sup>-1</sup>相当<sup>131</sup>I甲状腺残留放射能）は、0歳児：4,330 Bq、1歳児：4,400 Bq、5歳児：4,690 Bq、10歳児：5,360 Bq、15歳児：6,030 Bq、成人：6,030 Bqである。



a:100 mm, b:100 mm, c: 55 mm, d:45 mm, e:20 mm

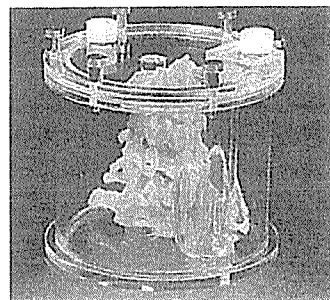


図 5 校正用ファントム

### (3) その他の計測

小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査以外の甲状腺計測データとして、弘前大学が行った浪江町住民の測定がある。測定場所は浪江町津島であり、2011年4月12日から16日にかけて延べ62名に対する甲状腺計測が行われた。甲状腺計測には、3インチ×3インチの結晶サイズを有するNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータが用いられた。62名の中の被検者の内、46名から有意値を検出し、最大の甲状腺線量は子供で23 mSv、成人で33 mSvであった。線量評価のための摂取時期の設定は、3月15日としている。

また、長崎大学においても、事故対応職員や県外避難者等の体外計測が行われている。ホールボディカウンタ(WBC)による測定により、放射性ヨウ素を検出している。その他、日本原子力研究開発機構では事故の初動対応職員のWBC測定を行い、体内の放射性ヨウ素が検出されている。

### 参考文献等

- 財団法人原子力安全研究協会、緊急被ばく医療の知識-避難所等における初期被ばく医療活動-平成15年3月、[http://www.remnet.jp/lecture/b03\\_01/b03\\_01.pdf](http://www.remnet.jp/lecture/b03_01/b03_01.pdf)
- 福島靖正、小児甲状腺簡易測定調査等の結果について、Jpn. J. Health Phys. 47, 17~19 (2012).
- E. Kim, O. Kurihara, T. Suzuki, M. Matsumoto, K. Fukutsu, Y. Yamada, N. Sugiura, M. Akashi. Screening survey on thyroid exposure for children after the Fukushima daiichi nuclear power station accident. NIRS-M-252 The 1<sup>st</sup> NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, 59-66, Chiba, Japan (2012).
- 原子力安全委員会 (現, 原子力規制庁)、小児甲状腺被ばく調査に関する経緯、平成24年9月13日、[https://www.nsr.go.jp/archive/nsr/info/20120913\\_2.pdf](https://www.nsr.go.jp/archive/nsr/info/20120913_2.pdf)
- Y. Hosokawa, M. Hosoda, A. Nakata, M. Kon, M. Urushizawa, M. A. Yoshida. Radiation Emergency Medicine, 2, 82-86 (2013).
- K. Nishizawa and H. Maekoshi. Thyroidal <sup>125</sup>I monitoring system using an NaI(Tl) survey meter, Health Phys., 58, 165-169 (1990).
- S. Tokonami, M. Hosoda, S. Akiba, A. Sorimachi, I. Kashiwakura, M. Balonov. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident, Scientific reports, 2, 507 (2012).
- N. Matsuda, A. Kumagai, A. Otsuru, N. Morita, M. Miura, M. Yoshida, T. Kudo, N. Takamura, S. Yamashita. Retrospective assessment of internal doses for short-term visitors to Fukushima within one-month after the nuclear power plant accident, NIRS-M-252 The 1<sup>st</sup> NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, 35-39, Chiba, Japan (2012).
- C. Takada, O. Kurihara, K. Kanai, T. Nakagawa, N. Tsujimura, T. Momose. Results of whole body counting for JAEA staff members engaged in the emergency radiological monitoring for the Fukushima nuclear disaster, NIRS-M-252 The 1<sup>st</sup> NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, 3-12, Chiba, Japan (2012).

### 3.1.2 全身計測

#### (1) 概要

全身計測とは、全身を測定視野とした放射線検出器を被検者の近傍に配置し、全身の体内放射能を計測、定量する方法のことである。この目的で利用される機器として、ホールボディカウンタ(WBC)がある。福島県では2011年6月下旬よりWBCによる県民の内部被ばく検査を開始し、これまでに約10万人の検査が終了している<sup>1</sup>。被検者のほぼ全員が(預託)実効線量が1mSv未満であったとの報告がなされているが、これは放射性セシウム(<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Cs)のみによる線量である。初期内部被ばく線量に最も寄与する<sup>131</sup>Iの物理半減期は約8日と短いことから、WBCでの検査が開始された時点では既に<sup>131</sup>Iの検出は困難であった。したがって、全身計測の実測データは初期内部被ばくに関する情報を与えるものではない。しかし、ヨウ素とセシウムの摂取量比を何らかの方法により決定すること出来れば、初期内部被ばくの線量推計の一助となると考えられる。この方法については第4章で後述する。

#### (2) 放医研による全身計測

放射線医学総合研究所(以下、放医研)では、福島県からの委託により、2011年6月27日から2011年7月16日にかけて、浪江町、飯館村、川俣町(山木屋地区)の住民122名の内部被ばく検査を実施した。この検査は、福島県が今日まで進めている県民健康管理調査事業の一環(先行調査)として行われた。上記122名の内、7月10日までに検査結果が得られた109名については、その実測データが一部公開されている<sup>2</sup>。本内部被ばく検査では、WBCによる体内セシウムの測定を主体として、バイオアッセイ(尿)を追加的に行った。以下は検査結果の概要である。

##### ① WBC測定

- <sup>134</sup>Csは109人中52名(48%)に検出され、最大値は3,100 Bq
- <sup>137</sup>Csは109人中32名(29%)に検出され、その内、最大値は3,800 Bq
- <sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csともに検出された者は、109人中26名(24%)

##### ② バイオアッセイ(尿)

- 尿中のセシウムについては、ほとんどが検出限界値未満であった。WBCによる線量評価結果との相関関係は認められなかった。ただし、採取した尿試料が少量であったため、バイオアッセイ(尿)に基づく線量評価には不確実性が大きかったと予想される。

##### ③ その他

- <sup>131</sup>Iは全被検者について未検出。
- <sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csを合計した内部被ばく線量(実効線量)は全員1mSvであった。この評価に用いた摂取シナリオは、3月12日における一回吸入摂取である。

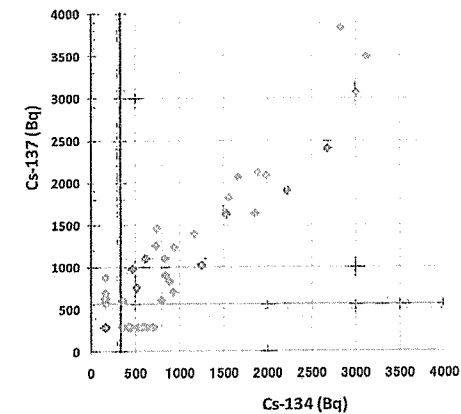
被検者の年齢別の検査結果(WBCのみ)については、表3に示すとおりである。図6には、WBCによって検出された各被検者の<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの体内放射能量の分布を示した。

表3 被検者の年齢別の検査結果(WBCのみ)

	4-7歳		8-12歳		13-17歳		18歳以上		計(人)	
	検出限界以上	人数	検出限界以上	人数	検出限界以上	人数	検出限界以上	人数	検出限界以上	人数
I-131	0	9	0	14	0	6	0	80	0	109
Cs-134	2		6		2		42			
Cs-137	0		0		0		32			
Cs-134/137	0		0		0		26			

(検出限界 I-131: 38 Bq、Cs-134: 320Bq、Cs-137: 570Bq)

(7月10日まで)



Cs-134: 検出限界320Bq(青線)未満は1608Bqとした  
Cs-137: 検出限界570Bq(赤線)未満は2858Bqとした

図6 各被検者の<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの体内放射能量の分布(成人のみ)

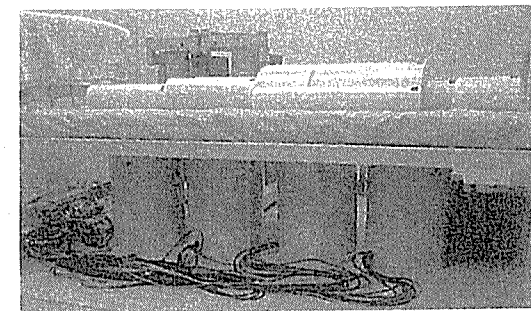


図7 放医研で住民測定に用いられたWBC

WBCの検出限界値は、 $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ について、それぞれ320 Bq, 570 Bq (測定時間: 3分間)であった。後述する日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)が所有するWBCの検出限界値と比較して高いのは、WBCの構造の差に起因していると考えられる。放医研で住民の測定に使用されたWBCの外観を図7に示す。同WBCは、被検者用ベッドの下にNaI(Tl)シンチレーション検出器(直径20 cm×厚さ10 cm)4式を備えており、各検出器は厚さ5 cmの筒状の鉛遮蔽体内に収められている。

WBCの検出限界値に相当する実効線量は約35  $\mu\text{Sv}$ となる。ただし、この数値は、3月12日に一括して放射性セシウムを吸入摂取し、120日後(2011年7月10日)に検出限界値と同量の $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ が体内に残留する場合である。

### (3) 原子力機構による全身計測

原子力機構においても、福島県の委託を受けて福島県民のWBC検査を実施している。原子力機構での被検者数は2011年7月11日から2012年1月末までで延べ9,927名であり、現在も継続されている。WBC検査は、主として原子力機構の東海研究開発センターの2研究所(原子力科学研究所と核燃料サイクル工学研究所)で行われており、それぞれの研究所で使用されているWBCの外観と仕様を、それぞれ図8と表4に与えた。

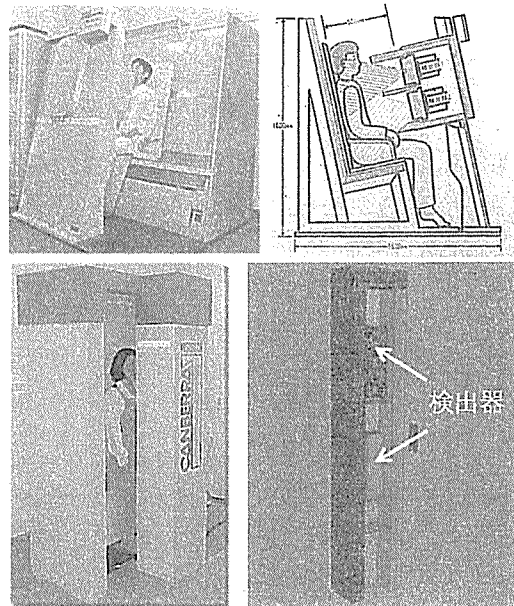


図8 原子力機構で住民測定に用いられたWBC<sup>3)</sup>

(左: 原子力科学研究所設置のチェア型WBC, 右: 核燃料サイクル工学研究所設置の立位型WBC)

表4 原子力機構のWBCの仕様<sup>3)</sup>

設置場所	機器設置数	製造メーカー	遮へい体	検出器	測定時間	検出限界値*
原子力科学研究所	1	日立アロカメ	.5 cm 鉛	NaIx2セット (8" diax4" th)	3分	$^{134}\text{Cs}$ : 340 Bq $^{137}\text{Cs}$ : 370 Bq
核燃料サイクル工学研究所	2	キャンベラ社 (米国)	低バックグラウンド 10 cm 鉄材	NaIx2セット (16" x 3" x 5")	2分	$^{134}\text{Cs}$ : 300 Bq $^{137}\text{Cs}$ : 300 Bq

\* 福島第一原子力事故発生前の $^{137}\text{Cs}$ の検出限界値はいずれも約200 Bq程度であった。

原子力機構におけるWBC検査でも被検者に対する線量評価を個別に行い、被検者本人ならびに福島県に報告をしている。内部被ばく線量評価のための摂取シナリオは、2011年7月11日から2012年1月末までのWBC検査分については3月12日(2011年)における一回吸入摂取(急性摂取)であり、2012年2月以降のWBC検査分については、3月12日(2011年)から測定日前日までの毎日に亘る均等連続経口摂取(慢性摂取)に変更された。前者の期間については、図9に示すような警戒区域または計画的避難区域に位置する主要な市町村の住民に対する実効線量分布が得られている。データが取得された全自治体の住民(成人)の実効線量は、95パーセンタイル値として約0.1 mSv, 50パーセンタイル値として約0.025 mSvであった。市町村別の解析結果については、第4章に後述する。

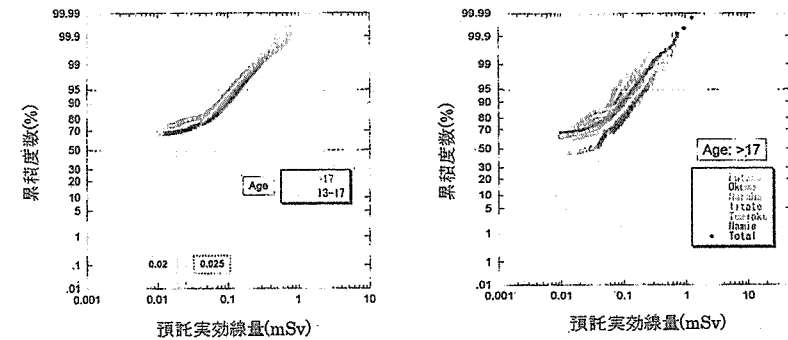


図9 WBC検査に基づく被検者の実効線量の累積頻度分布<sup>3)</sup>

### (4) その他

福島県住民や県外避難者に対するWBC検査は、現在は福島県以外でも行われている<sup>1)</sup>。また、福島県内においては、先行して独自にWBC検査を開始した市町村もある。南相馬市でのWBC検査の結果については参考文献<sup>4)</sup>に報告されている。

参考文献等

1. 福島県 : [http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp\\_portal/PortalServlet?DISPLAY\\_ID=DIRECT&NEXT\\_DISPLAY\\_ID=U000004&CONTENTS\\_ID=26211](http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=26211)
2. 福島県 : <http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/230724shiryou.pdf>
3. T. Momose, C. Takada, T. Nakagawa, K. Kanai, O. Kurihara, N. Tsujimura, Y. Ohi, T. Murayama, T. Suzuki, Y. Uezu, S. Furuta. Whole-body counting of Fukushima residents after the TEPCO Fukushima Daiicuh nuclear power station accident, NIRS-M-252 The 1<sup>st</sup> NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, 67-82, Chiba, Japan (2012).
4. M. Tsubokura, S. Gilmour, K. Takahashi, T. Oikawa, Y. Kanazawa. JMMA, 308, 669-670 (2012).

3.2 環境モニタリング

本セクションでは、東京電力福島第一原子力発電所事故後に実施された種々の環境モニタリングの内、初期内部被ばく線量、すなわち、甲状腺等価線量に最も寄与する放射性ヨウ素に関連するものを中心に上げ、物理化学的性状やヨウ素/セシウム比などに関する考察を行った。

3.2.1 大気中ヨウ素の揮発成分/粒子成分

吸入摂取の評価に必要となる大気中放射性物質濃度に関する実測データは極めて少ない。事故発生後、大気中放射性ヨウ素に対する継続的なモニタリングが実施されたのは福島第一、第二原子力発電所敷地内<sup>1</sup>を除き現存する実測データとしては福島県外のみである<sup>2,7</sup>。吸入摂取に伴う放射性ヨウ素の線量係数は、表5に示すようにヨウ素の物理化学的性状 (physicochemical form) によって大きく変化することから<sup>8</sup>、その把握は重要である。通常、空気中のヨウ素は空気サンプリング用紙と活性炭入りカートリッジを組み合わせて捕集される。前者には粒子成分が、後者には揮発成分であるヨウ化メチル又は蒸気状ヨウ素が捕集されることになる。図10には福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所、日本原子力研究機構 (核燃料サイクル工学研究所, 原子力科学研究所及び大洗研究開発センターの3事業所) の5か所の空気サンプリングから得られた<sup>131</sup>Iの粒子成分及び揮発成分の関係をプロットした。

図10に示されるように、<sup>131</sup>Iの粒子成分及び揮発成分の割合は大体1:1であり、<sup>131</sup>I濃度が低いときに揮発成分の割合が増加する傾向があるように見える。図11には、<sup>131</sup>Iの粒子成分及び揮発成分の割合について時系列で示した。同図から、ブルームの到来に伴い<sup>131</sup>I濃度が一時的に上昇した3月15日及び3月21日から22日にかけて揮発成分が相対的に減少する傾向がある一方、それ以外の期間では揮発成分が粒子成分に比べて卓越していることがわかる。データを解析した期間の各モニタリング地点における揮発成分の全体に占める割合を表6に示した。同割合は、福島第一、第二原子力発電所に比べて、日本原子力研究開発機構の3事業所の方がやや高い傾向がみられた。

表5 <sup>131</sup>Iの吸入摂取に伴う甲状腺線量係数及び実効線量係数の物理化学的性状による違い

物理化学的性状	甲状腺等価線量係数 (年齢別)					
	3か月	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
ヨウ化メチル CH <sub>3</sub> I	2.6E-06	2.5E-06	1.5E-06	7.4E-07	4.8E-07	3.1E-07
元素状ヨウ素 I <sub>2</sub> (Vapor)	3.3E-06	3.2E-06	1.9E-06	9.5E-07	6.2E-07	3.9E-07
粒子状ヨウ素	1.4E-06	1.4E-06	7.3E-07	3.7E-07	2.2E-07	1.5E-07
物理化学的性状	実効線量係数 (年齢別)					
	3か月	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
ヨウ化メチル CH <sub>3</sub> I	1.3E-07	1.3E-07	7.4E-08	3.7E-08	2.4E-08	1.5E-08
元素状ヨウ素 I <sub>2</sub> (Vapor)	1.7E-07	1.6E-07	9.4E-08	4.8E-08	3.1E-08	2.0E-08
粒子状ヨウ素	7.2E-08	7.2E-08	3.7E-08	1.9E-08	1.1E-08	7.4E-09

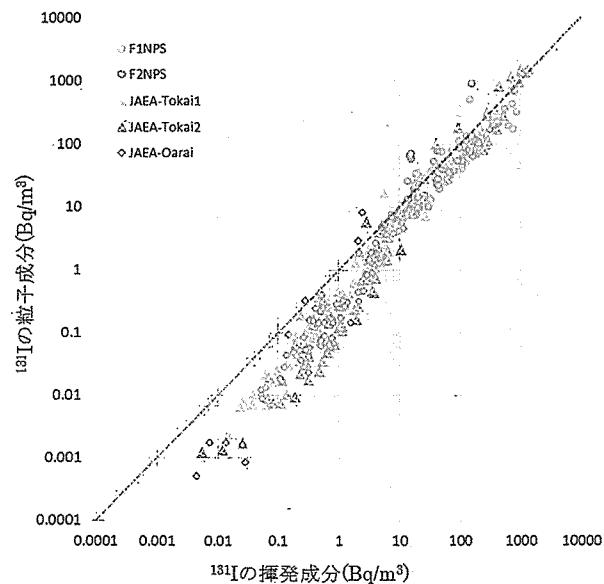


図 10 <sup>131</sup>I の物理化学的性状 (揮発成分/粒子成分)

(F1NPS: 福島第一原子力発電所, F2NPS: 福島第二原子力発電所, JAEA-Tokai1: JAEA 核燃料サイクル工学研究所, JAEA-Tokai2: JAEA 原子力科学研究所, JAEA-Oarai: JAEA 大洗研究開発センター)

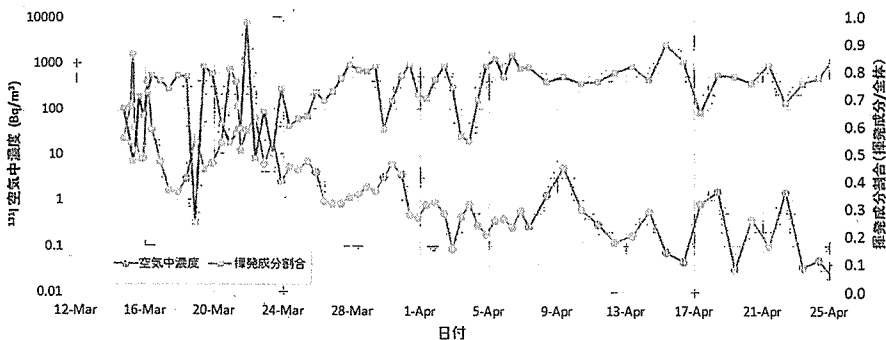


図 11 (1) <sup>131</sup>I 濃度及び揮発成分割合の時系列  
JAEA 核燃料サイクル工学研究所

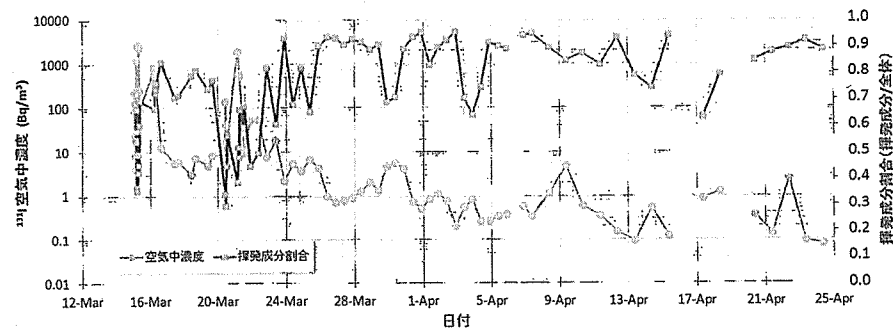


図 11(2) <sup>131</sup>I 濃度及び揮発成分割合の時系列  
JAERI 原子力科学研究所

表 6 各モニタリング地点における揮発成分の割合

モニタリング地点	データ解析期間	最大値	最小値	平均値	中央値
F1NPS	3/24-4/30	0.82	0.23	0.63	0.66
F2NPS	3/24-4/30	0.76	0.15	0.57	0.60
JAEA-Tokai1	3/14-4/25	0.90	0.25	0.71	0.76
JAEA-Tokai2	3/15-5/23	0.95	0.29	0.73	0.75
JAEA-Oarai	3/20-5/16	0.97	0.24	0.78	0.81

空气中濃度から吸入摂取による内部被ばく線量の評価を行うには、限られた実測データから、線量係数に影響を与えるヨウ素の性状割合を合理的に決定することが必要である。WHO では、蒸気状ヨウ素と粒子状ヨウ素の比を 50 : 50 とした場合、蒸気状ヨウ素を 100%とした場合について、それぞれ公衆の内部被ばく線量を算定している<sup>9</sup>。前者は後者に比べて、<sup>131</sup>I の線量係数が 3 割程度減少することになる。他方、大気中ヨウ素の揮発成分の大半は、ヨウ化メチルとして存在することが報告されている<sup>10</sup>。今回の初期内部被ばく線量の推計においては、前述した 5 地点の実測データを用いて、<sup>131</sup>I 濃度で加重した性状割合を用いた。すなわち、次式により性状割合を算出した。

$$\text{Ratio}(V) = \frac{\sum C_i \times r_i}{\sum C_i}$$

ここで、 $\text{Ratio}(V)$ は揮発成分割合 (揮発成分/(揮発成分+粒子成分)) の加重平均値、 $C_i$  と  $r_i$  は実測データ  $i$  における <sup>131</sup>I 濃度と揮発成分割合である。揮発成分は全て元素状ヨウ素とした。元素状ヨウ素はヨウ化メチルよりも線量係数が約 2 割度高いが、後述する <sup>131</sup>I 以外の核種による甲状腺等価線量寄与の不確かさと相殺されると考える。上式の計算の結果、 $\text{Ratio}(V)$  を 0.6 と決定した。

これまで、シビアアクシデントにおける核燃料破損に伴い環境中に放出されるヨウ素はヨウ化セシウム (CsI) が主とされてきたが、これが圧力抑制プールにある水に溶解すれば気相には移行しない想定に基づくものである。しかし、ヨウ素が反応によって化学形を変えることで、気相への移行



が実際には起こり得る<sup>11</sup>。今回の事故では、原子炉の安定化措置としてドライ/ウェットベント、海水注入などが何度も行われたが、CsIやI<sub>2</sub>が原子炉建屋に到る経路や移行時の性状や挙動などが未解明のままとなっている。今後の研究により、ヨウ素の環境中における物理化学的性状や動態が詳細に把握されることを期待したい。なお、放射性セシウムについては、サブミクロンの硫酸エアロゾルとして輸送されたことが示唆されている<sup>12,13</sup>。

### 3.2.2 大気中濃度比 (<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs)

図12には、日本原子力研究開発機構・核燃料サイクル工学研究所及び国立環境研究所で測定された<sup>131</sup>Iと<sup>137</sup>Csの大気中濃度を比較した<sup>14</sup>。3月15日及び3月21日前後のブルーム通過時(空間線量率の一時的上昇がある)において、大気中濃度比(<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs)は10程度にまで減少し、ブルーム通過後に同比が増加する傾向がみられる。大気中濃度が低くなってからの同比の増加は、地表からの再浮遊率が<sup>131</sup>Iの方が<sup>137</sup>Csよりも高いことを示唆している。また、3.1.2で述べたように、ブルーム通過後には<sup>131</sup>Iの揮発成分の割合が増加することから、同成分が<sup>131</sup>Iの再浮遊に寄与していると考えられる。

日本原子力研究開発機構・核燃料サイクル工学研究所で2011年3月13日から5月2日まで得られた空気サンプリングの実測データから、同期間の<sup>131</sup>Iと<sup>137</sup>Csの積算空気中濃度はそれぞれ $2.0 \times 10^4$  Bq m<sup>-3</sup> h、 $2.6 \times 10^3$  Bq m<sup>-3</sup> hであり、その比は7.8であった。

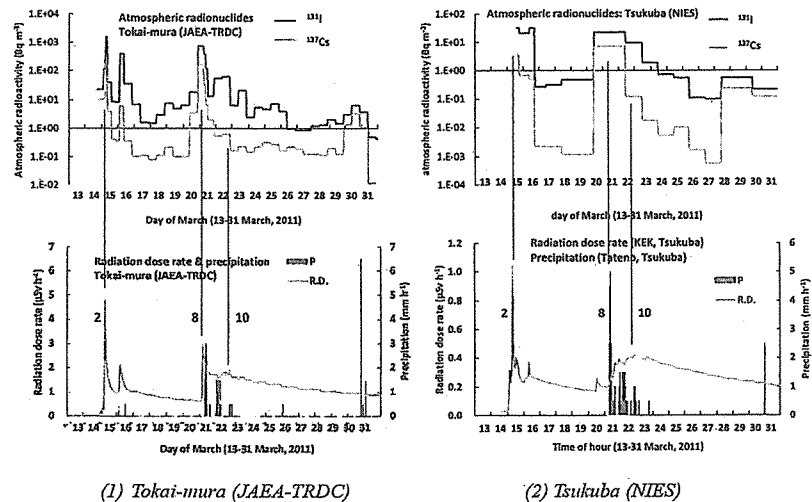


図12 <sup>131</sup>Iと<sup>137</sup>Csの大気中濃度の比較<sup>14</sup>

(上図：黒線は<sup>131</sup>I大気中濃度、赤線は<sup>137</sup>Cs大気中濃度、下図：Pは降水量、R.D. 空間線量率)

### 3.2.3 地表沈着比 (<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs)

フォールアウトにより地表沈着した放射性核種の地表濃度については、文部科学省によるモニタリングによって詳細に調べられている<sup>15</sup>。福島県内における<sup>137</sup>Csと<sup>131</sup>Iの地表濃度の関係は図13に示すとおりであり、<sup>137</sup>Cs濃度が増加すると<sup>131</sup>Iの濃度は相対的に減少する傾向がある。これは、セシウムとヨウ素の乾性/湿性沈着プロセスの違いに因ると考えられる<sup>16</sup>。地表沈着における<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs比は、図14に示すように、福島第一原子力発電所からの方角によって系統的な差が見られる。すなわち、北～北西方向については<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs比が小さく、南～南西方向については<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs比が大きい<sup>17</sup>。

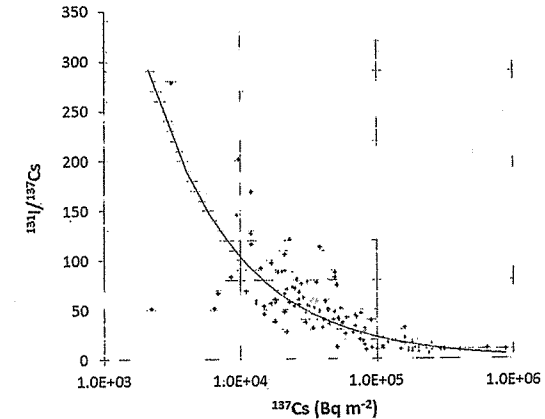


図13 福島県内における<sup>137</sup>Csと<sup>131</sup>Iの地表濃度の関係(基準日：平成23年6月14日)

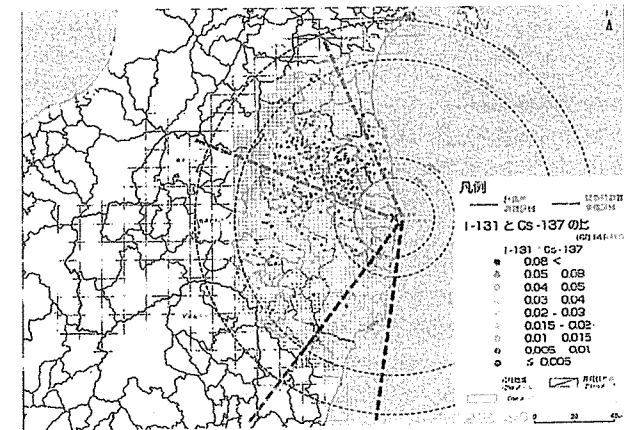


図14 地表沈着比(<sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs)マップ(基準日：平成23年6月14日)<sup>17</sup>

図 15 には、飯館村、川俣町、いわき市の  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{131}\text{I}$  の地表沈着量の関係をプロットした。地表沈着比 ( $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ ) としては、いわき市は飯館村や川俣町に比べて 5、6 倍高い。しかしその一方で、 $^{131}\text{I}$  の地表沈着量のレンジとしては、飯館村がいわき市と比較して 2 倍以上高い。拡散シミュレーションから再現された放射性プルームの動きを見ると、3 月 15 日の午前中に福島第一原子力発電所から南下した放射性プルームは、午後には時計回りに方向を変えて北西に流れている (図 16)。飯館村における放射性セシウムの高濃度の地表沈着は、その際の湿性沈着により生じたものと考えられている。

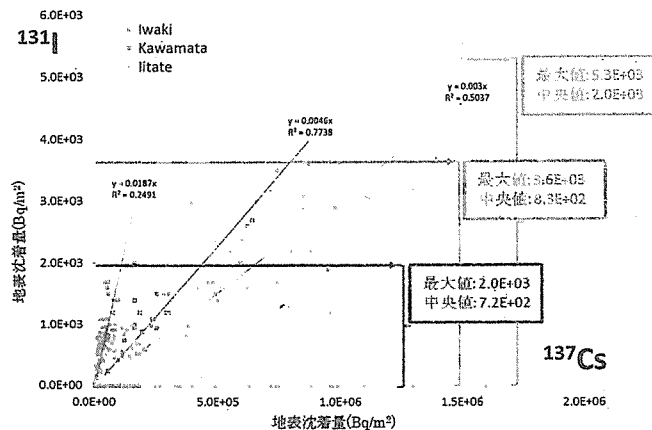


図 15 飯館、川俣、いわきにおける地表沈着比 ( $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ ) (基準日：平成 23 年 6 月 14 日)  
※回歸曲線は検出限界値未満のデータを省いて求めたもの

### 3.2.4 $^{131}\text{I}$ 以外の短半減期核種

$^{131}\text{I}$  以外の短半減期核種の実測データは限られていることから、それらの線量寄与率を概算して初期内部被ばく線量推計に含めることが現実的である。炉心解析により大気中への放射性物質の放出量の試算値が与えられている核種による線量寄与を概算すると、 $^{131}\text{I}$  が全体の約 80%、 $^{132}\text{Te}$  が約 10%、次いで  $^{133}\text{I}$  が約 5% となる<sup>18,19</sup>。ただし、 $^{132}\text{Te}$  の化学形を蒸気状とした場合であり、粒子状と見なした場合は  $^{132}\text{Te}$  の線量寄与は減少する。一方、空気サンプリングの実測データ<sup>4,20</sup> から、検出核種の線量寄与を算出すると、 $^{131}\text{I}$  の線量寄与は全体の 90% 以上となる。ただし、評価期間によって核種毎の線量寄与は変化することが考えられる。評価期間が短い場合には  $^{131}\text{I}$  以外の短半減期核種の線量寄与が増加することになるが、放射性ヨウ素の揮発成分については保守的な仮定、すなわち揮発成分の全てが線量係数の高い元素状ヨウ素と見なすことで、結果的にはマージされると考えられる。

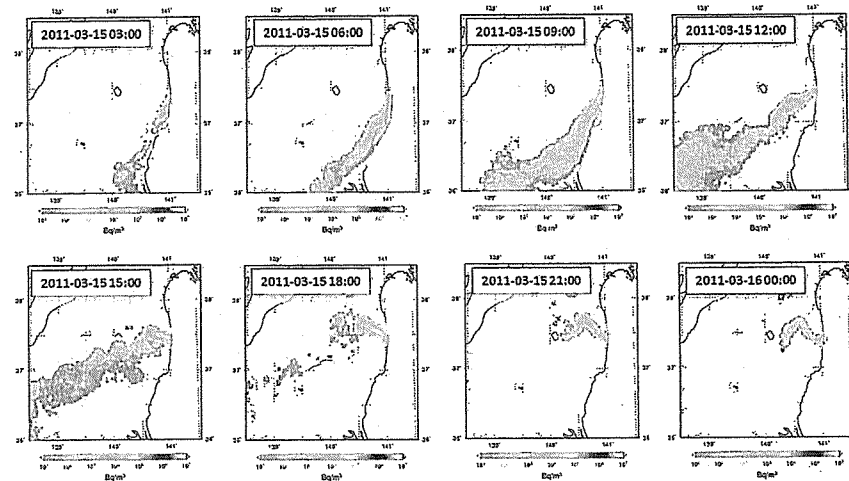


図 16 2011 年 3 月 15 日の放射性プルームの動き

表 7  $^{131}\text{I}$  以外の放射性核種の線量寄与 (1)<sup>4</sup>

核種	平均空気中濃度 ( $\text{Bq m}^{-3}$ ) <sup>1</sup>	成人 (mSv)		1 歳児 (mSv)	
		実効線量	甲状腺等価線量	実効線量	甲状腺等価線量
Te-129m	1.5	1.9E-02	3.1E-02	1.8E-02	7.7E-02
Te-132	3.7	3.0E-02	4.4E-01	6.1E-02	1.1
I-131	12.0	3.8E-01	7.4	7.0E-01	14
I-132 <sup>2</sup>	3.7	1.8E-03	2.1E-02	3.1E-03	5.1E-02
I-133	0.56	3.6E-03	6.8E-02	8.5E-03	1.7E-01
Cs-134	1.3	4.1E-02	1.3E-02	3.0E-02	7.6E-03
Cs-136	0.21	9.0E-04	3.2E-04	8.2E-04	2.9E-04
Cs-137	1.5	9.4E-02	1.1E-02	5.6E-02	6.1E-03
<b>Sum</b>		<b>0.57</b>	<b>7.9</b>	<b>0.88</b>	<b>15</b>

<sup>1</sup> 2011 年 3 月 13 日から 5 月 23 日までの平均大気中濃度

<sup>2</sup> Te-132 との放射平衡状態を仮定

表 8 <sup>131</sup>I 以外の放射性核種の線量寄与 (2) <sup>20</sup>

核種 (可溶性)	高崎 (Sv)	千葉 (Sv)	東京 (Sv)
I-131 (蒸気状)	1.0E-04	5.0E-05	6.1E-05
I-131 (粒子状タイプ F)	1.3E-05	6.2E-06	7.5E-06
I-132 (粒子状タイプ F)	8.8E-08	8.2E-08	1.3E-07
Te-132 (粒子状タイプ M)	1.9E-06	1.8E-06	2.8E-06
Cs-137 (粒子状タイプ M)	2.3E-06	3.5E-06	2.1E-06
Cs-134 (粒子状タイプ M)	2.2E-06	3.3E-06	2.0E-06
Cs-136 (粒子状タイプ M)	1.2E-07	1.7E-07	1.3E-07
Total	1.2E-04	6.5E-05	7.5E-05

参考文献等

1. 東京電力 HP. <http://www.tepco.co.jp/index-j.html>
2. 古田ら, 福島第一原子力発電所事故に係る特別環境放射線モニタリング結果 - 中間報告 (空間線量率, 空気中放射性物質濃度, 降下じん中放射性物質濃度). 日本原子力研究開発機構, JAEA-Review 2011-035 (2011).  
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2011-035.pdf#search=JAEAReview2011035>
3. T. Ohkura et al., Emergency monitoring of environmental radiation and atmospheric radionuclides at Nuclear Science Research Institute, JAEA following the accident of Fukushima Daiichi nuclear power plant, Japan Atomic Energy Agency, JAEA-Data/Code 2012-010 (2012).  
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2011-035.pdf#search=JAEAReview2011035>
4. M. Takeyasu, M. Nakano, H. Fujita, A. Nakada, H. Watanabe, S. Sumiya, S. Furuta: Results of environmental radiation monitoring at the nuclear fuel cycle engineering laboratories, JAEA, following the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, J. Nucl. Sci. Technol., 49, 281-286 (2012).
5. H. Amano, M. Akiyama, B. Chunlei, T. Kawamura, T. Kishimoto, T. Kuroda, T. Muroi, T. Odaira, Y. Ohta, K. Takeda, Y. Watanabe, T. Morimoto. Radiation measurements in the Chiba metropolitan area and radiological aspects of fallout from the Fukushima Daiichi nuclear power plants accident, J. Environ. Radioact., 111, 42-52 (2012).
6. 高エネルギー加速器研究機構 (KEK). つくば市で観測された空気中放射性物質の種類と濃度の測定結果について, <http://legacy.kek.jp/quake/radmonitor/GeMonitor3.html>
7. 永川栄泰, 鈴木隆司, 金城康人, 宮崎則幸, 関口正之, 櫻井昇, 伊瀬洋昭. 福島第一原子力発電所事故による放射性物質漏えいに係る都内環境放射能測定及び被ばく線量測定. Radioisotopes, 60, 467-472 (2011).
8. ICRP. The ICRP database of dose coefficients: workers and members of the public, Elsevier Science (2001).
9. World Health Organization. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, WHO (2012).
10. Defense threat reduction agency US. Radiation dose assessments for shore-based individuals in operation tomodachi, DTRA-TR-12-001 (2012).
11. 石川淳, 森山清史. BWR4/Mark-1 プラントのヨウ素化学挙動を考慮した格納容器ソースターム評価に係る検討. JAEA-Research 2010-051(2011).
12. N. Kanehara, H. Ohashi, F. Suzuki, T. Okuda, F. Ikemori. Sulfate aerosol as a potential median of radiocesium from the Fukushima nuclear accident, Environ. Sci. Technol., 46, 5720-5726 (2012).
13. 大原利眞, 森野悠, 田中敦. 福島第一原子力発電所から放出された放射性物質の大気中の挙動, 保健医療科学, 60, 292-299 (2011).

14. H. Tsuruta, M. Takigawa, T. Nakajima. Summary of atmospheric measurements and transport pathways of radioactive materials released by the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, NIRS-M-252 The 1<sup>st</sup> NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, 101-111, Chiba, Japan (2012).
15. 文部科学省, 放射性物質の分布状況等調査データベース, <http://radb.jaea.go.jp/mapdb/>
16. K. Kotenko, S. Shinkarev, Y. Abramov, E. Granovskaya, V. Yatsenko, Y. Gavrilin, T. Imanaka, M. Hoshi. Comparative analysis of the radionuclide composition in fallout after the Chernobyl and the Fukushima accidents, IRPA-13 (2012).
17. 文部科学省, 文部科学省による放射線線量等分布マップ(ヨウ素 131 の土壌濃度マップ)の作成について, 平成 23 年 9 月 21 日 [http://radioactivity.mext.go.jp/ia/contents/6000/5047/24/5600\\_0921.pdf](http://radioactivity.mext.go.jp/ia/contents/6000/5047/24/5600_0921.pdf)
18. 原子力安全・保安院, 第 77 回原子力安全委員会資料第 1 号, 平成 23 年度 6 月 6 日付「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に係る 1 号機, 2 号機及び 3 号機の炉心の状態に関する評価」(訂正版) <http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/anzen/shidai/genan2011/genan077/siryo1.pdf>
19. 原子力規制委員会, 東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に関する技術ワークショップ, MELCORE によるソースターム解析 <http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/shingikai/700/14/240723/240723.html>
20. N. D. Priest. Radiation doses received by adults Japanese populations living outside Fukushima Prefecture during March 2011, following the Fukushima 1 nuclear power plant failure, J. Environ. Radioact., 114, 162-170 (2012).

#### 第 4 章 初期内部被ばく線量推計

初期内部被ばく線量, すなわち, 最も注視されるべき放射性ヨウ素による甲状腺等価線量(以下, 単に甲状腺線量)を推計する上で, 最も信頼性の高いとされる甲状腺計測の実測データは限られる。本調査では, こうした現状を踏まえ, ホールボディカウンタ(WBC)による実測データ及び放射性核種の大気拡散シミュレーションを組み合わせながら, 福島県民の初期内部被ばく線量を推計することとした(図 17)。これらの方法の詳細は後述するとおりであるが, ここでは各方法の内容について以下に簡単に述べておく。

- ① 甲状腺計測に基づく方法: 甲状腺計測によって直接定量された甲状腺中の放射性ヨウ素量から, 国際放射線防護委員会(ICRP)が定める方法に則り, 甲状腺線量を算定する方法である<sup>1)</sup>。本報告では, 小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査によって得られた 1,080 人分の実測データを活用した(第 3 章 3.1.1)。これまでのところ, スクリーニング検査の結果としては, 甲状腺線量が 100 mSv を超えた者はいないという報告がされたのみであった<sup>2)</sup>。今回の調査では, 使用された放射線検出器の校正定数の見直しや摂取シナリオの再検討などを行い, 被検者の甲状腺線量分布を導出した。
- ② 全身計測に基づく方法: WBC による全身計測から直接得られるのは放射性セシウムの全身量である。今回利用できたデータは, この全身量から, 2011 年 3 月 12 日における単一摂取を仮定して得られた実効線量である<sup>3)</sup>。放射性ヨウ素と放射性セシウムの摂取量比を決定することで, 実効線量から甲状腺線量を推計する。
- ③ 大気拡散シミュレーションに基づく方法: ①と②の方法は個人計測に基づく方法であるが, これらの実測データが得られない地域住民については, 大気拡散シミュレーションによって得られた大気中放射性物質濃度マップから甲状腺線量を算出する。

初期内部被ばく線量: 事故初期段階における放射性ヨウ素(主に<sup>131</sup>I)に代表される短寿命核種による内部被ばく線量(特に, 甲状腺等価線量)

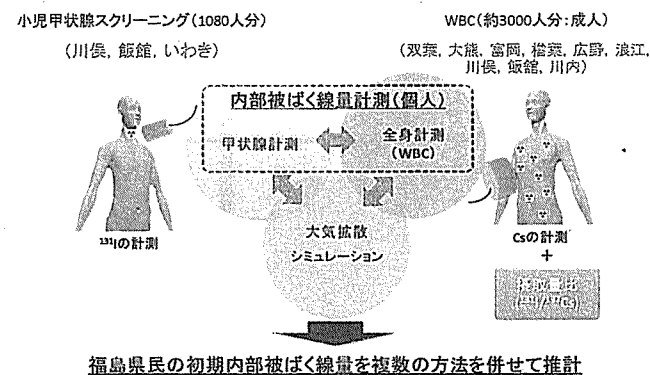


図 17 初期内部被ばく線量の推計方法

#### 4.1 個人計測データに基づく線量推計

##### 4.1.1 甲状腺計測に基づく線量推計

###### (1) 摂取シナリオ

放射性核種の摂取シナリオ、すなわち、いつ摂取したか、どのように摂取したか（吸入、経口など）などの条件設定は、内部被ばく線量評価において重要な要素となる。摂取日から測定日までの期間が長くなるほど、初期値となる摂取量に対する測定時点での残留放射能の割合（残留率）は小さくなる。小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査は2011年3月下旬に実施されたが、甲状腺計測は各被検者につき1回のみであるため、残留放射能のトレンドから摂取日を特定することができない。したがって、福島県各地において実測された周辺線量当量率の時間推移から可能性のある摂取日を推定することとした（図18）。

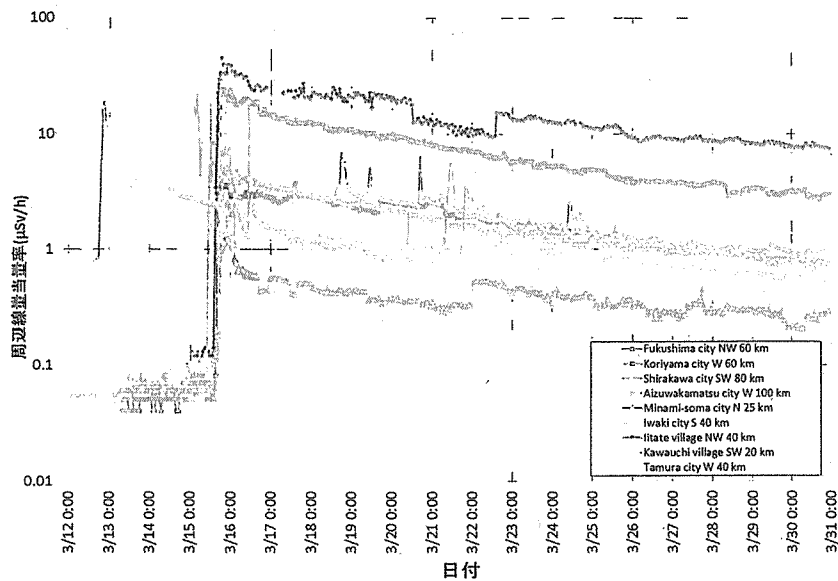


図18 福島県各地の周辺線量当量率の時間推移

同図から、2011年3月15日に福島県内の多くの場所で周辺線量当量率の急激な上昇が認められる。ただし、福島第一原子力発電所の北に位置する南相馬市では、3月12日に周辺線量当量率の上昇がある。小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査が行われた川俣町、いわき市、飯館村については、住民に有意な内部被ばくを受けたのは3月15日以降と考えることができる。したがって、摂取シナリオとして次の二つを設定した。

- ① シナリオ1：3月15日に全量一回摂取（急性摂取）
- ② シナリオ2：3月12日から測定日前日までの均等連続摂取（慢性摂取）

シナリオ1は、後述する全身計測に基づく（放射性セシウムによる）実効線量の評価に用いた摂取シナリオに類似しており、シナリオ2は、スクリーニング検査実施時に想定された摂取シナリオである。現実的な摂取シナリオを定めるには個人の行動調査に基づく必要があるが、甲状腺等価線量（以下、甲状腺線量）としては、以上の二つのシナリオから得られる線量の範囲内に収まるものと考えられる。なお、甲状腺計測に基づく（甲状腺）線量評価では、吸入摂取における放射性ヨウ素の物理化学的性状（元素状ヨウ素、ヨウ化メチル、粒子状ヨウ素）及び摂取経路（吸入/経口）の条件設定の違いによって、甲状腺線量の計算値はほとんど変わらない。したがって、線量評価に影響する因子は摂取時期のみとなる。図19にはシナリオ1及びシナリオ2のイメージを示した。

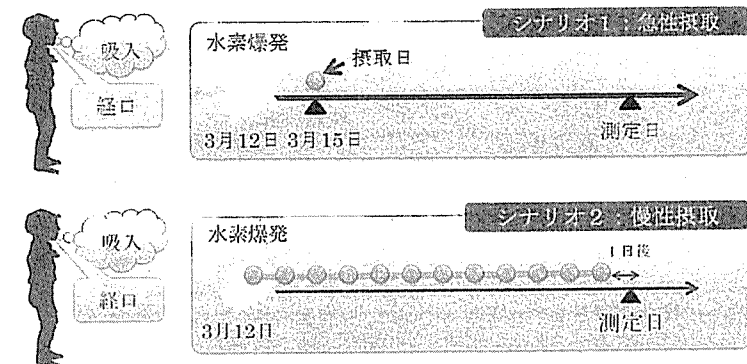


図19 摂取シナリオ  
(シナリオ1：急性摂取，シナリオ2：慢性摂取)

###### (2) 校正定数の見直し

空間線量率用 NaI(Tl)シンチレーションサーベーターの甲状腺計測への利用は、原子力災害時における対応の一つとして検討されてきた。国内で普及している典型的なサーベーター（日立アロカメディカル社製 TCS シリーズ）の甲状腺残留ヨウ素 ( $^{131}\text{I}$ ) に対する校正定数は、約  $30 \text{ kBq}/\mu\text{Sv h}^{-1}$  である。ただし、この数値は成人被検者に対するものであり、頸部が細く、甲状腺前組織厚の薄い小児については別途評価が必要である。前述したように（第3章，3.1.1），スクリーニング検査当時小児用の校正定数の導出には、成人を模擬した校正用ファントムが用いられたことから、甲状腺計測における幾何学的条件が実際と大きく異なることが予想される。

図20には、被検者の年齢層に応じた校正定数の傾向を示した。ただし、成人に対する校正定数を1として規格化を行っている。年齢層が若くなるほど校正定数が減少する（すなわち、感度が高くなる）のは、甲状腺容積が小さくなるのと甲状腺前組織厚が薄くなる双方の効果により、甲状腺計

測における幾何学的条件が成人に比べて有利になるためである。同図から、スクリーニング検査当時に用いられた校正定数は他と比較して高く、小児用ファントムによって実験的に求めた校正定数（同図：田中ら<sup>4</sup>）は最も低い。両者の差は、対象となる被検者の年齢によって若干異なるものの、約2倍の開きがある。今回の甲状腺残留量の評価には、これらの2種類の校正定数の中間値を暫定的に用いた。この結果は、チェルノブイリ事故の際に用いられた同タイプの検出器（SRP-68-01）のレスポンスに偶然にも一致している<sup>5</sup>。今回見直した校正定数等を表9に与えた。

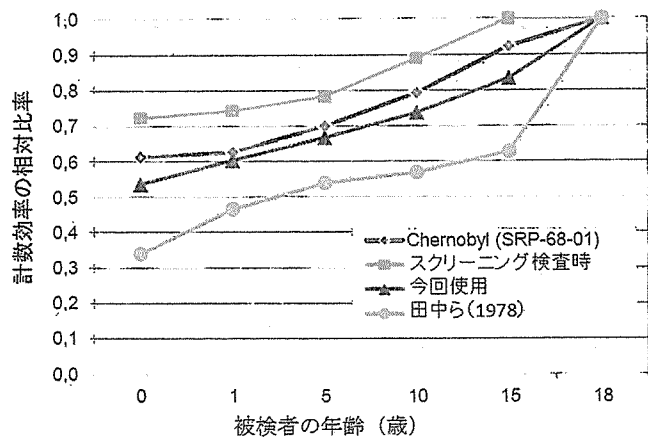


図 20 被検者の年齢による NaI(Tl) シンチレーションサーベーターの校正定数の変化

表 9 NaI(Tl) シンチレーションサーベーターの校正定数

(単位: kBq/μSv h<sup>-1</sup>)

年齢グループ	スクリーニング検査時	田中ら(1978)*	今回使用
0 歳児	21.7	10	16
1 歳児	22.0	14	18
5 歳児	23.5	16	20
10 歳児	26.8	17	22
15 歳児	30.2	19	25
成人	30.2	30	30

\* 原論文では μRnCi を単位としている。また、単位変更後に成人の校正定数を 30 kBq/μSv h<sup>-1</sup> として規格化。

### (3) 甲状腺線量

甲状腺線量を次式により算出した。

$$H_{T,i} = \frac{M}{R_i(t)} \cdot e_i \quad (\text{シナリオ 1 の場合})$$

$$H_{T,i} = \frac{M}{(R_i(t) + R_i(t-1) + \dots + R(2) + R(1))/n} \cdot e_i \quad (\text{シナリオ 2 の場合})$$

ここで、 $H_{T,i}$ : 年齢グループ  $i$  の甲状腺等価線量 (mSv),  $M$ : 甲状腺残留量 (Bq),  $e_i$ : 甲状腺等価線量係数 (mSv/Bq),  $R(t)$ : 測定日から  $t$  日目の甲状腺残留率である。なお、 $e_i$  と  $R(t)$  には元素状ヨウ素に対するデータを文献等から引用した (表 10)<sup>6,7</sup>。

表 10 <sup>131</sup>I の甲状腺線量及び甲状腺残留率

年齢グループ *	0 歳児	1 歳児	5 歳児	10 歳児	15 歳児	成人
$e_i$ (mSv/Bq)	3.3E-03	3.2E-03	1.9E-03	9.5E-04	6.2E-04	3.9E-04
摂取からの経過日数	$R(t)$ (Bq/Bq intake)					
1	2.21E-01	2.24E-01	2.26E-01	2.29E-01	2.29E-01	2.29E-01
2	2.06E-01	2.10E-01	2.15E-01	2.21E-01	2.22E-01	2.23E-01
3	1.80E-01	1.86E-01	1.93E-01	2.02E-01	2.02E-01	2.03E-01
4	1.57E-01	1.64E-01	1.73E-01	1.83E-01	1.84E-01	1.85E-01
5	1.37E-01	1.45E-01	1.54E-01	1.66E-01	1.67E-01	1.68E-01
6	1.20E-01	1.29E-01	1.38E-01	1.51E-01	1.52E-01	1.53E-01
7	1.05E-01	1.14E-01	1.24E-01	1.37E-01	1.38E-01	1.39E-01
8	9.24E-02	1.01E-01	1.11E-01	1.24E-01	1.26E-01	1.27E-01
9	8.09E-02	8.96E-02	9.95E-02	1.13E-01	1.14E-01	1.15E-01
10	7.09E-02	7.94E-02	8.92E-02	1.02E-01	1.04E-01	1.05E-01
11	6.22E-02	7.04E-02	8.00E-02	9.31E-02	9.44E-02	9.57E-02
12	5.45E-02	6.24E-02	7.18E-02	8.46E-02	8.59E-02	8.71E-02
13	4.78E-02	5.53E-02	6.44E-02	7.68E-02	7.81E-02	7.93E-02
14	4.19E-02	4.90E-02	5.77E-02	6.98E-02	7.11E-02	7.22E-02
15	3.67E-02	4.35E-02	5.18E-02	6.35E-02	6.47E-02	6.58E-02
16	3.22E-02	3.86E-02	4.65E-02	5.77E-02	5.88E-02	5.99E-02
17	2.82E-02	3.42E-02	4.17E-02	5.24E-02	5.35E-02	5.45E-02
18	2.47E-02	3.03E-02	3.74E-02	4.76E-02	4.87E-02	4.97E-02
19	2.17E-02	2.69E-02	3.35E-02	4.33E-02	4.43E-02	4.52E-02
20	1.90E-02	2.38E-02	3.01E-02	3.94E-02	4.03E-02	4.12E-02

\* 各年齢グループに該当する年齢は次のとおり: 0 歳児 (0 歳児), 1 歳児 (1, 2 歳児), 5 歳児 (3, 4, 5, 6, 7 歳児), 10 歳児 (8, 9, 10, 11, 12 歳児), 15 歳児 (13, 14, 15, 15, 17 歳児), 成人 (18 歳児以上)

図 21-には、スクリーニング検査が実施された 3 市町村の被検者に対する甲状腺線量分布を示す。同図に示すように、シナリオ 1 はシナリオ 2 に比べて甲状腺線量が高く評価される。また、同図で赤い棒で示した甲状腺線量が 0 の集団は、甲状腺計測のネット値が 0 であるため、人数はシナリオによって変化しない。3 市町村を合算してみると、30 mSv 未満の被検者数の全体に占める割合は、シナリオ 1 の場合は 99.4%であり、シナリオ 2 の場合で 99.9%であった。最大線量としては、シナリオ 1 の場合で 65 mSv、シナリオ 2 の場合で 35 mSv となった。

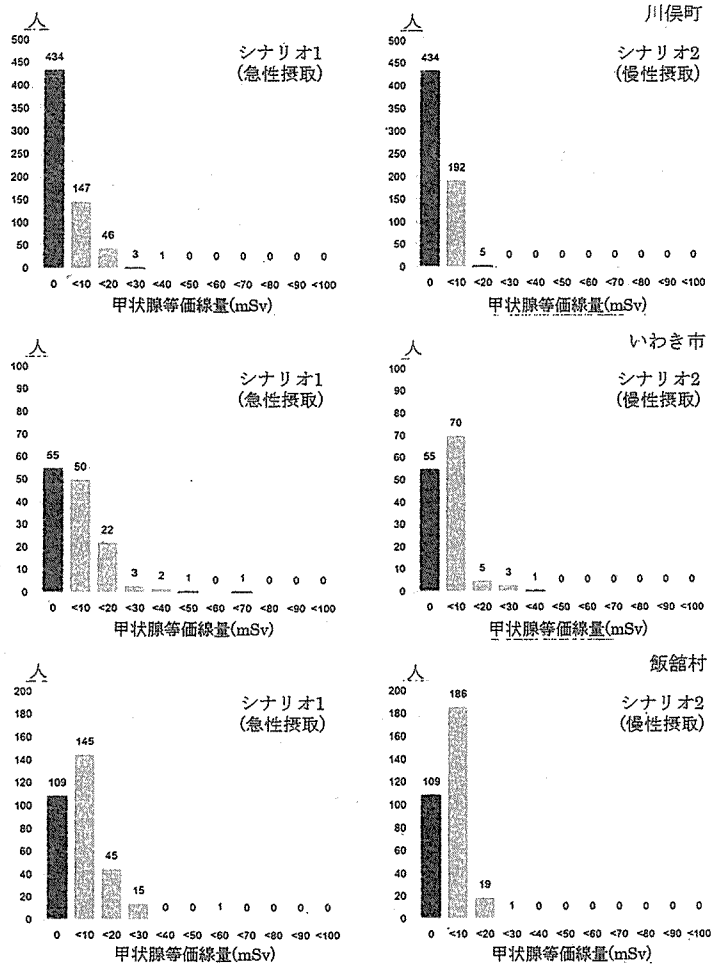


図 21 小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査に基づく甲状腺線量分布  
(上段：川俣町，中段：いわき市，下段：飯館村)

スクリーニング検査が行われた場所の周辺線量当量率は、飯館村の測定において  $0.1 \mu\text{Sv h}^{-1}$  と報告されている。一方、 $^{131}\text{I}$  の甲状腺残留放射能の正味値を得るため、被検者の体幹部位を測定して得られたバックグラウンドの平均値は、 $0.09 \mu\text{Sv h}^{-1}$  (川俣町)、 $0.17 \mu\text{Sv h}^{-1}$  (いわき市)、 $0.12 \mu\text{Sv h}^{-1}$  (飯館村) であった。したがって、 $0.01 \sim 0.02 \mu\text{Sv h}^{-1}$  程度の正味値は、サーベイメータの指示値の統計変動範囲に含まれる可能性がある。正味値  $0.02 \mu\text{Sv h}^{-1}$  に相当する甲状腺線量は、5 歳児で約  $10 \text{ mSv}$  であった。表 11 には、 $10 \text{ mSv}$  の甲状腺線量に相当するサーベイメータの正味値（ただし、シナリオ 1 で測定日を 3 月 26 日とした場合）、 $0.02 \mu\text{Sv h}^{-1}$  以上の被検者数等などについて年齢区分毎に示した。0 歳及び 1 歳の年齢区分では、正味値が  $0.01 \mu\text{Sv h}^{-1}$  の場合に  $10 \text{ mSv}$  となる。一方、 $10 \text{ mSv}$  以上と評価された当該年齢児は 8 名であるが、この内、 $0.02 \mu\text{Sv h}^{-1}$  以上の者は 2 名であることから、残りの 6 名については正味値が  $0.01 \mu\text{Sv h}^{-1}$  であったことがわかる。同様に、被検者数のもっとも多い 5 歳児については、 $10 \text{ mSv}$  以上と評価した当該年齢児は、ほぼ全員で正味値が  $0.02 \mu\text{Sv h}^{-1}$  以上であったことが同表からわかる。より高齢の小児については、 $10 \text{ mSv}$  の甲状腺線量に相当するサーベイメータの正味値が高くなる。今後、詳細な調査を継続して進める必要があるが、本スクリーニング検査の検出下限値は甲状腺線量で  $10 \text{ mSv}$  相当であると見積もられ、検査の目的としては必要十分な感度を有していたと考えられる。

表 11 甲状腺線量  $10 \text{ mSv}$  に相当するサーベイメータの正味値など

年齢グループ	$10 \text{ mSv}$ 相当摂取量(Bq)	正味値 ( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )*	被検者数 $0.02 \mu\text{Sv h}^{-1} \leq$	被検者数 $10 \text{ mSv} \leq$ **
0 歳児	$3.0\text{E}+03$	0.01	2	8
1 歳児	$3.1\text{E}+03$	0.01	11	37
5 歳児	$5.3\text{E}+03$	0.02	87	85
10 歳児	$1.1\text{E}+04$	0.04	70	8
15 歳児	$1.6\text{E}+04$	0.06	30	2

\* シナリオ 1 (3 月 15 日急性摂取) を仮定し 3 月 26 日に甲状腺計測した場合

\*\* シナリオ 1 に基づく甲状腺線量評価

#### 4.1.2 全身計測に基づく線量推計

##### (1) 各自治体住民の実効線量分布

個人情報に係るデータの利用に関しては現状で様々な制約があり、今回の初期内部被ばく線量の推計に用いた WBC の実測データとしては、各自治体住民の成人 (18 歳以上) から得られた実効線量分布のみであった。放射性セシウムの全身量、測定日、被検者の年齢、性別等に関する情報は、今年度の調査では入手出来なかった。なお、今回の調査で利用した WBC の実測データ (実効線量) は、福島県からの委託により日本原子力研究開発機構が実施した福島県民の WBC 測定 (実施期間: 2011 年 7 月上旬から 2012 年 1 月) によって得られたもので、同機構から本調査のために提供を受けたものである。評価された実効線量は全て、2011 年 3 月 12 日における急性摂取 (吸入) シナリオに基づき算出されている。図 22 には、各自治体における住民の実効線量分布を示した。

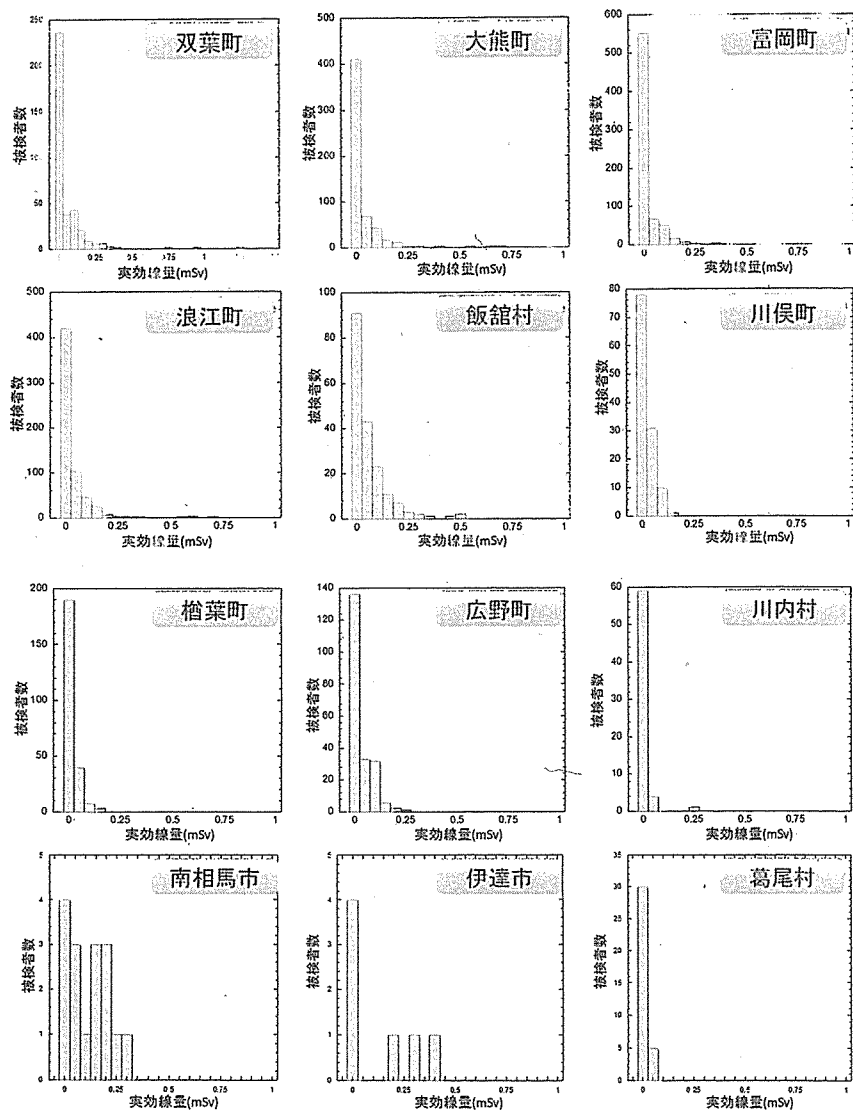


図 22 各自治体住民の実効線量分布  
(検出限界値未満の被検者は実効線量 0 のバンドで示している)

図 22 に示す各自治体の住民の実効線量分布から、その集団における甲状腺線量の代表値を得るために、90 パーセンタイル値及び 50 パーセンタイル値（中央値）に相当する線量を導出した。ただし、後者については、WBC 測定において未検出（検出限界値未満）者に中に埋もれてしまう場合がほとんどであることから、直接的な統計処理によって求めることができない。そこで、実効線量分布が図 23 に示すように対数正規分布になると仮定して、50 パーセンタイル値の導出を行った。

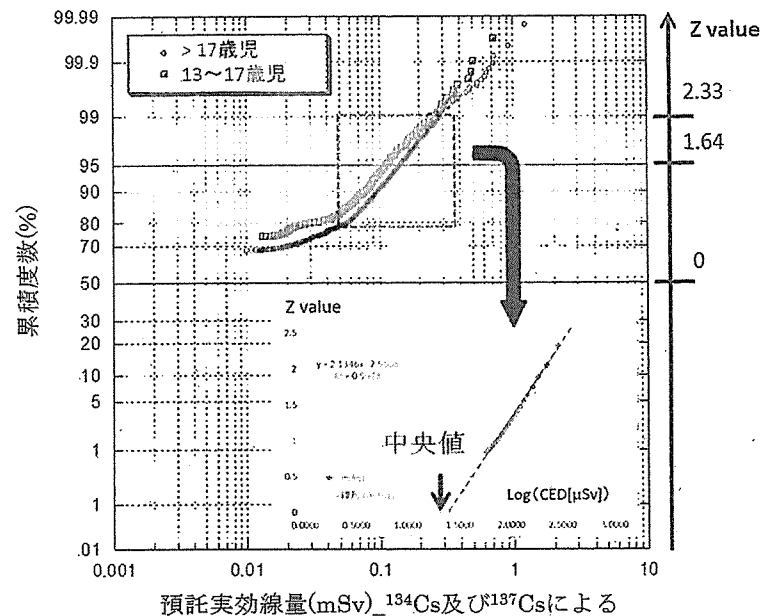


図 23 実効線量分布から 50 パーセンタイル値の導出

図に示すように対数正規確率プロット紙にデータを入力し、プロットの直線部分（累積度数 80%から 99%）から外挿して 50 パーセンタイル値を算出する。Z 値が 0 の場合が 50 パーセンタイル値になる。

各自治体の住民の実効線量分布から得られた 90 パーセンタイル値及び 50 パーセンタイル値を表 12 に示す。これらの数値の導出が行えた自治体は、双葉町、大熊町、富岡町、楢葉町、広野町、浪江町、飯館村、川俣町、川内村の 9 自治体であり、これらの自治体のほとんどが警戒区域内（20 km 圏内）に含まれている（図 24）。一方、各自治体における住民の避難状況は図 25 に示すとおりであり、上記自治体のほとんどの住民が 3 月 12 日終日中には避難していることがわかる<sup>8</sup>。なお、伊達市、南相馬市、葛尾村についてはデータ数が少ないため、90 パーセンタイル値及び 50 パーセンタイル値の導出は行わなかった。



表 12 各自治体住民の実効線量の90パーセンタイル値及び50パーセンタイル値

自治体 <sup>*1</sup>	人数	90パーセンタイル値 (mSv)	50パーセンタイル値 (mSv)	Corr. (R <sup>2</sup> )
双葉町	365	0.15	0.04	0.9901
大熊町	561	0.10	0.02	0.9901
富岡町	696	0.08	0.01	0.8789
楡葉町	241	0.06	0.01	0.8789
広野町	210	0.10	0.05	0.9919
浪江町	614	0.10	0.02	0.9876
飯館村	184	0.17	0.03 <sup>*2</sup>	N.A.
川俣町	120	0.07	0.01 <sup>*2</sup>	N.A.
川内村	64	< 0.01	< 0.01	N.A.
All (17-y) <sup>*3</sup>	3128	0.10	0.02	0.9978
All (13-17-y) <sup>*3</sup>	1565	0.08	0.02	0.9918

\*1 解析対象の自治体の被検者は18歳以上

\*2 実効線量分布から近似することなく直接算出

\*3 個別に解析していない伊達市、南相馬市、葛尾村のデータを含む

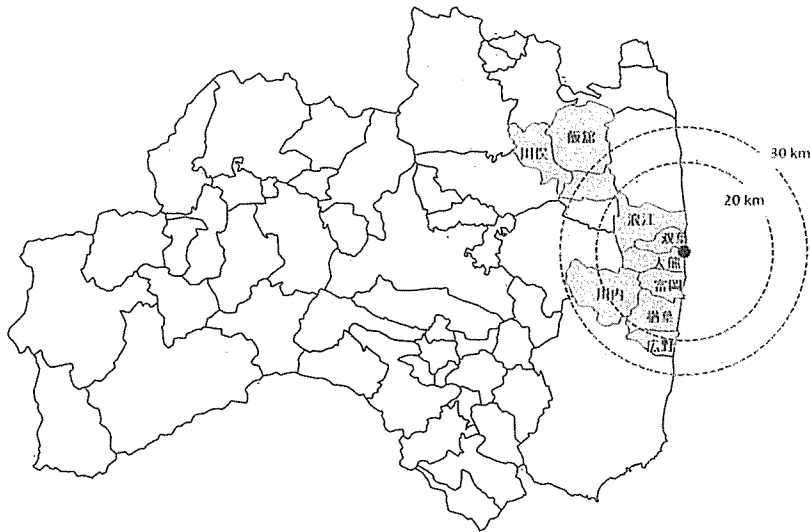


図 24 WBC測定に基づく実効線量分布の解析値が得られた自治体

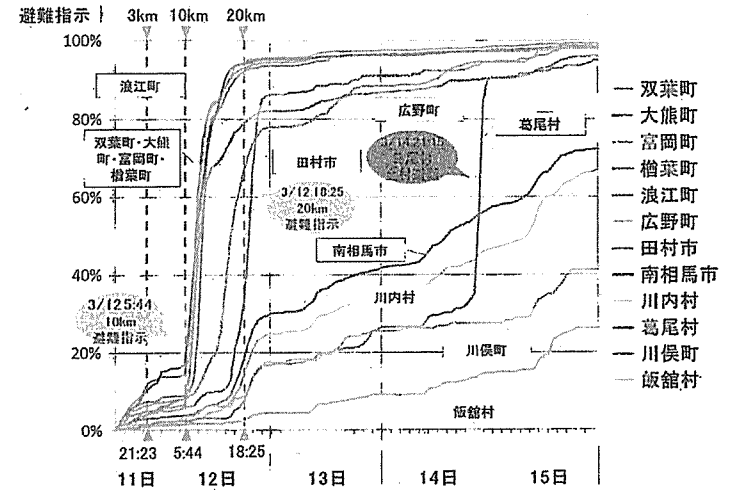


図 25 各自治体の住民の避難状況

(2) ヨウ素/セシウム比及び甲状腺線量の導出

WBC測定から得られた実効線量から、甲状腺線量を導出する方法を以下に述べる。

実効線量は<sup>134</sup>Cs及び<sup>137</sup>Csの合計線量である。<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csはほぼ同量の割合で環境中に存在し、WBC測定においてもこれを支持する結果が得られている。<sup>134</sup>Cs及び<sup>137</sup>Csの成人に対する実効線量係数は、それぞれ6.6E-09 Sv Bq<sup>-1</sup>及び4.6E-09 Sv Bq<sup>-1</sup>であり、両核種の合計した実効線量が1 mSvであれば、摂取量は8.9E+04 Bqずつとなる<sup>1</sup>。

ここで仮に、<sup>137</sup>Csと等量の<sup>131</sup>Iを吸入摂取するならば、<sup>131</sup>Iの摂取量も8.9E+04 Bqとなる。これに<sup>131</sup>Iの成人の甲状腺等価線量係数(元素状ヨウ素: 3.9E-07 Sv Bq<sup>-1</sup>)を乗じると、甲状腺線量は35 mSvとなる。これに、ヨウ素の実際の物理化学的性状及び他核種からの線量寄与を考慮した補正を加えると、放射性セシウムによる実効線量が1 mSvのとき、<sup>137</sup>Csと<sup>131</sup>Iの摂取量比が1であれば、甲状腺等価線量は約30 mSvとなる<sup>2</sup>。以上の計算は、成人についてである(WBC測定から得られた実効線量は、成人の被検者から得られたものである)。次に、同一環境中において成人と小児が吸入摂取をする場合を考えると、摂取量としては呼吸率の違いを考慮して、1歳児については2.1E+04 Bq(=8.9E+04×5.16/22.2)、10歳児については、6.2E+04 Bq(=8.9E+04×15.3/22.2)となる。さらに、それぞれの年齢に対応する甲状腺線量等価線量係数を乗じて、1歳児は60 mSv、10歳児は50 mSvと計算される。ここで述べたことを整理すると、図26に示すようになる。

<sup>1</sup> 6.6E-09×8.9E+04+4.6E-09×8.9E+04=5.9E-04+4.1E-04=1.0E-03 (Sv)=1 (mSv)

<sup>2</sup> 60%元素状ヨウ素、40%粒子状ヨウ素としたときの<sup>131</sup>Iの甲状腺等価線量係数は、2.94E-07 Sv Bq<sup>-1</sup>となる。したがって、8.9E+04 Bq×2.9E-07 Sv Bq<sup>-1</sup>=26 mSv。他核種からの線量寄与(0.1)を含めて29 mSvとなる。

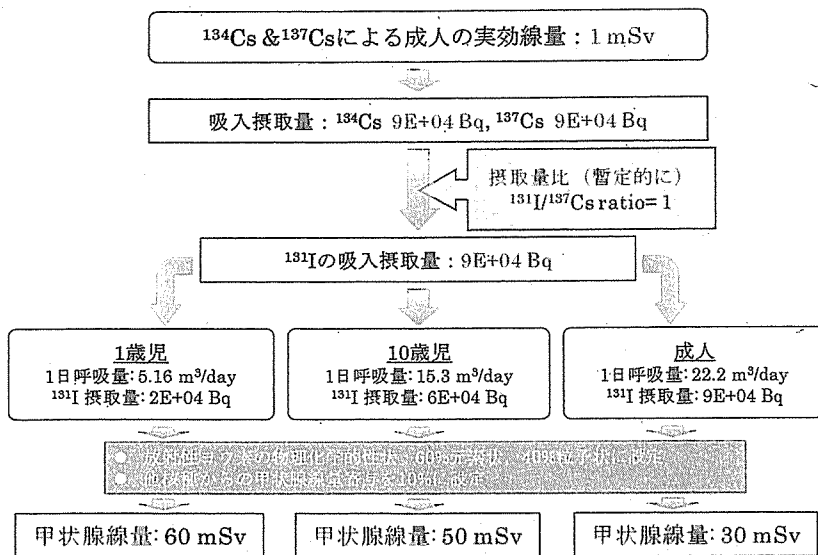


図 26 実効線量から甲状腺線量の導出仮定

飯館村及び川俣町については、小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査と WBC 測定からの実効線量（成人）の両者が得られていることから、図 26 に示す実効線量と甲状腺線量の関係を利用して  $^{131}\text{I}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の摂取量比を導出することが出来る。

図 20 に示すスクリーニング検査の結果から、飯館村及び川俣町の小児甲状腺線量の 90 パーセント値は、それぞれ 15 mSv、7 mSv と算定された（ただし、シナリオ 1 の場合である）。スクリーニング検査の被検者の大半は、5 歳児又は 10 歳児の年齢区分に属する。一方、飯館村及び川俣町の成人の実効線量の 90 パーセント値は、それぞれ 0.17 mSv と 0.07 mSv と算定された。ここで、図 25 に示す関係保持しながら、摂取量比（ $=^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ ）を変化させて、スクリーニング検査と WBC 測定の双方の結果に一致する摂取量比を探索する。すなわち、飯館村の場合であれば、実効線量の 90 パーセント値は 0.17 mSv であり、摂取量比が 1 であれば、1 歳児、10 歳児及び成人の甲状腺線量はそれぞれ 10.2 mSv、8.5 mSv 及び 5.1 mSv となる<sup>3</sup>。摂取量比が 2 であれば、これらの数値が単純に 2 倍になる。この関係を図示したのが図 27 である。横軸は摂取量比であり、縦軸は各年齢区分の甲状腺線量である。飯館村の小児甲状腺線量の 90 パーセント値は 15 mSv であることから、この数値を与える摂取量比は 1.8 となる。スクリーニング検査の精度についての不確かさ（2 倍の過小評価）を見込んだ場合は、摂取量比は 3.5 となる。同様に、川俣町の場合は、摂取量比は 2~4 の範囲となる。以上の解析から、摂取量比の最確値を 3 に決定した。

<sup>3</sup> 1 歳児：0.17 mSv × 60 × 1 = 10.2 mSv、10 歳児：0.17 mSv × 50 × 1 = 8.5 mSv、成人：0.17 mSv × 30 × 1 = 5.1 mSv ここで、1 は摂取量比であり、2 であれば線量は 2 倍になる。

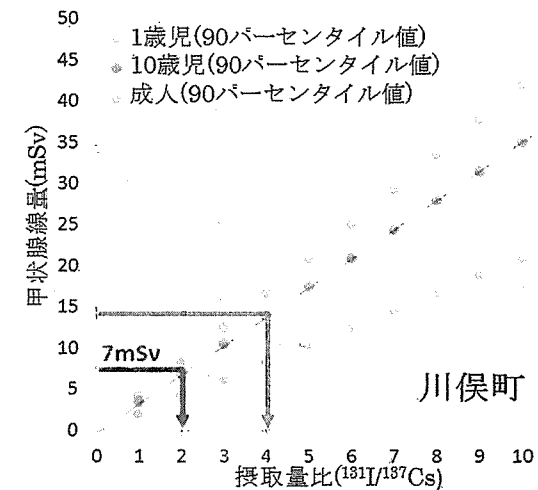
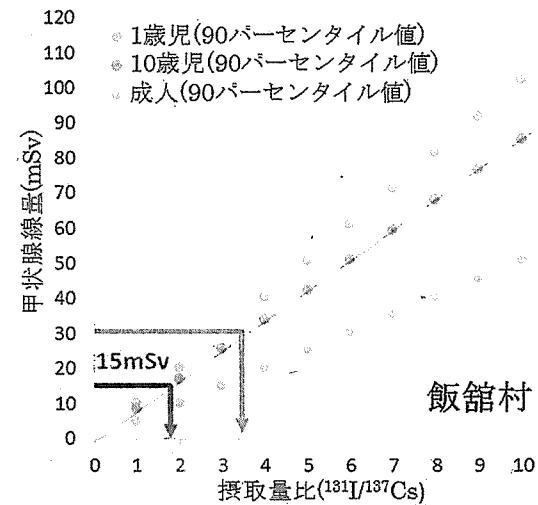


図 27 甲状腺線量から摂取量比 ( $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ ) の導出（上段：飯館村，下段：川俣町）

ここで、摂取量比の導出の際に、二種類の個人計測から得られた線量のそれぞれの 90 パーセント値を用いた理由は、いずれの個人計測（甲状腺計測，全身計測）も被検者数の半数以上は検出限界値未満であり、線量としては確度のある測定に基づく代表値を選ぶ必要があると考えたためである。一方で、より高い累積頻度値は、特異的な行動をした個人の線量結果を含む可能性が考えら

れる。例えば、WBC測定による実効線量が1 mSvを超える個人については、事故初期の放射性核種の取り込み以外の原因が示唆される。そのため、WBC測定日についても情報を入手し、こうした解析に今後反映させることが望ましい。

表13には、表12に示した各自治体住民の実効線量に、摂取量比（最確値）を一括して適用して求めた甲状腺線量を与えた。甲状腺線量が最も高いと予想される集団は飯館村の小児であり、31 mSvとなった。ただし、スクリーニング検査の結果と比較すると、2倍程度高い線量となっている。一方、福島第一原子力発電所が所在する双葉町、大熊町と比較すると、前者住民の甲状腺線量が若干高い。両自治体の住民避難のタイミングはほぼ同じであるが、事故発生直後の放射性プルームは、双葉町のある北方向に流れており、その影響が甲状腺線量（の基礎となる実効線量）に現れているのかもしれない。浪江町の甲状腺線量については弘前大学が計測した結果があるが、62名の被検者の内、有意値を検出した者は46名であり、最大線量は子供で23 mSv、成人で33 mSvという報告がある<sup>10</sup>。用いられた摂取シナリオは3月15日の単一摂取であり、本推計（スクリーニング検査からの甲状腺線量算出）と同じである。

表13 全身計測から評価された各自治体住民の甲状腺線量

自治体	90パーセンタイル値(mSv)			50パーセンタイル値(mSv)		
	1歳児	10歳児	成人	1歳児	10歳児	成人
双葉町	27	23	14	7	6	4
大熊町	18	15	9	4	3	2
富岡町	14	12	7	2	2	1
楢葉町	11	9	5	2	2	1
広野町	18	15	9	9	8	5
浪江町	18	15	9	4	3	2
飯館村	31	26	15	5	5	3
川俣町	13	11	6	2	2	1
川内村	2	2	1	2	2	1
合計 (17歳<) <sup>*3</sup>	18	15	9	4	3	2
合計 (13歳~17歳) <sup>*3</sup>	14	12	7	4	3	2

住民の甲状腺線量との比較対象として、緊急時モニタリング対応のために福島第一原子力発電所近傍または近隣の自治体に派遣された日本原子力機構職員の甲状腺線量を表14に示す。体内の放射性セシウム及び放射性ヨウ素は、立位型のWBC等により定量された。同職員の甲状腺線量の最大値は16 mSvであり、表13に示す住民の甲状腺線量の90パーセンタイル値と比較的近いと言える。ただし、摂取量比（= $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ ）については個人差が大きく、その範囲は1~50、中央値としては11であった<sup>9</sup>。

表14 緊急時モニタリングに従事した日本原子力研究開発機構職員の甲状腺線量等

グループ <sup>*1</sup>	派遣期間	派遣者数	実効線量の最大値 (mSv)	甲状腺線量の最大 値 <sup>*2</sup> (mSv)
1 <sup>st</sup>	3月12日~14日	3	0.39	7.8
2 <sup>nd</sup>	3月13日~14日	10	0.64	12.8
3 <sup>rd</sup>	3月14日~18日	7	0.54	10.8
4 <sup>th</sup>	3月15日~20日	5	0.80	16.0
5 <sup>th</sup>	3月18日~22日	8	0.25	5.0
6 <sup>th</sup> ~15 <sup>th</sup>	3月20日~4月11日まで 4日間	17	0.54	10.8

\*1 Group 1及び2は大熊町にあるオフサイトセンターに派遣された。

\*2 甲状腺線量は原論文には記載がないため、実効線量を20倍して求めた。

参考文献等

1. ICRP. Individual monitoring for internal exposure of workers. ICRP Publication 78, Ann. ICRP 27 (3/4), Pergamon Press (1997).
2. Prime Minister of Japan and his cabinet, Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The accident at TEPCO's Fukushima nuclear power station [http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea\\_houkokusho\\_e.html](http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html)
3. T. Momose, C. Takada, T. Nakagawa, K. Kanai, O. Kurihara, N. Tsujimura, Y. Ohi, T. Murayama, T. Suzuki, Y. Uezu, S. Furuta. Whole-body counting of Fukushima residents after the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident, NIRS-M-252 The 1<sup>st</sup> NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, 67-82, Chiba, Japan (2012).
4. G. Tanaka, H. Kawamura. Measurement of <sup>131</sup>I in the human thyroid gland using a NaI(Tl) scintillation survey meter. J. Radiat. Res., 19, 78-84 (1978).
5. V. Stepanenko, I. Zvonova, S. Shinkarev, Private communication.
6. ICRP. The ICRP database of dose coefficients: workers and members of the public, Elsevier Science (2001).
7. N. Ishigure, M. Matsumoto, T. Nakano and H. Enomoto: Development of software for internal dose calculation from bioassay measurements. Radiat. Prot. Dosim., 109, 235-242 (2004).
8. 国会事故調報告書, 徳間書店 ISBN 978-4-19-863486-5 (2012). <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naic.go.jp/>
9. C. Takada, O. Kurihara, K. Kanai, T. Nakagawa, N. Tsujimura, T. Momose. Results of whole body counting for JAEA staff members engaged in the emergency radiological monitoring for the Fukushima nuclear disaster, NIRS-M-252 The 1<sup>st</sup> NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, 3-12, Chiba, Japan (2012).
10. S. Tokonami, M. Hosoda, S. Akiba, A. Sorimachi, I. Kashiwakura, M. Balonov. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident, Scientific reports, 2, 507 (2012).

4.2 拡散シミュレーションに基づく線量推計

本節は、大気拡散シミュレーションによって再現された放射性核種の空气中濃度マップを用いて、吸入摂取による内部被ばく線量の推計を試みた。同マップの作成には、日本原子力研究開発機構で開発整備された WSPEEDI-II<sup>3</sup> が用いられた。本推計に利用した空气中濃度マップのデータは、堅田らの文献にある計算値である。ソースターム等の計算条件については、これまでに何回か見直しが行われている (表 15) <sup>4,5</sup>。

表 15 東京電力福島第一原子力発電所事故における WSPEEDI-II の大気拡散解析の経緯

<p>【放出量推定】 原子力安全委員会への協力</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 暫定放出量推定発表: 原子力安全委員会発表 (4月12日、5月12日) 原子力学会欧文誌 M. Chino, et al., 2011: J. Nucl. Sci. Technol., 48, 1129-1134</li> <li>■ 3月15日までの放出量の再評価: 原子力安全委員会発表 (8月22日) (<a href="http://www.nsc.go.jp/anzen/shidai/genan2011/genan063/siryos.pdf">http://www.nsc.go.jp/anzen/shidai/genan2011/genan063/siryos.pdf</a>) G. Katata, et al., 2012: J. Environ. Radioactiv., 109, 103-113</li> </ul>
<p>【大気拡散解析】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 局地詳細計算によるプラント北西地域の線量上昇プロセスを解析 ⇒ 6月13日プレス発表 (<a href="http://www.jaea.go.jp/02/press2011/p11061302/index.html">http://www.jaea.go.jp/02/press2011/p11061302/index.html</a>) G. Katata, et al., 2012: J. Environ. Radioactiv., 111, 2-12</li> <li>■ 事故発生後2ヶ月間の日本全国の被ばく線量を暫定的に試算 ⇒ 6月15日原子力機構HP技術解説 (<a href="http://www.jaea.go.jp/jishin/kaisetsu03/kaisetsu03.htm">http://www.jaea.go.jp/jishin/kaisetsu03/kaisetsu03.htm</a>)</li> <li>■ 東日本域の大気降下量の試算と推定放出量の確認+沈着過程の解析 ⇒ 8月31日厚労省プレス発表、9月6日原子力機構HP技術解説 (<a href="http://nsd.jaea.go.jp/fukushima/data/20110906.pdf">http://nsd.jaea.go.jp/fukushima/data/20110906.pdf</a>) H. Terada, et al., 2012: J. Environ. Radioactiv., 112, 141-154</li> </ul>

4.2.1 甲状腺積算線量マップ

今回利用した放射性核種の空气中濃度マップは、<sup>131</sup>I と <sup>137</sup>Cs の 2 核種であり、メッシュ間隔は約 3 km 平方、時間間隔 1 時間である。同マップが与えられる領域を図 28 に示した。

<sup>131</sup>I の吸入摂取による甲状腺線量の線量マップを、評価期間毎に図 29 (1 歳児) 及び図 30 (成人) に示した。甲状腺線量は次式によって求めた。

$$H_{T,i} = e_i \cdot B_i \cdot \int C(t) dt.$$

ここで、 $H_{T,i}$ : 年齢区分  $i$  の甲状腺線量 (mSv),  $e_i$ : 年齢区分  $i$  の甲状腺等価線量係数 (mSv Bq<sup>-1</sup>)<sup>6</sup>,  $B_i$ : 年齢区分  $i$  の単位時間当たり呼吸量 (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>)<sup>7</sup>,  $C(t)$ : 空气中 <sup>131</sup>I 濃度 (Bq m<sup>-3</sup>)  
上式中に与えるパラメータには、表 16 に示す数値を用いた。

表 16 甲状腺線量の計算に用いたパラメータの数値

年齢	3 か月	1 歳児	5 歳児	10 歳児	15 歳児	成人
$e_i$ (mSv Bq <sup>-1</sup> )*1	2.54E-03	2.48E-03	1.43E-03	7.18E-04	4.60E-04	2.94E-04
$B_i$ *2						
(m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup> )	2.86	5.16	8.72	15.3	20.1	22.2
(m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	0.119	0.215	0.363	0.638	0.838	0.925

\*1 <sup>131</sup>I の甲状腺等価線量係数 (60%元素状ヨウ素+40%粒子状ヨウ素 (吸収タイプ F))

\*2 上段は 1 日当たりの呼吸量, 下段は 1 時間当たりの呼吸量

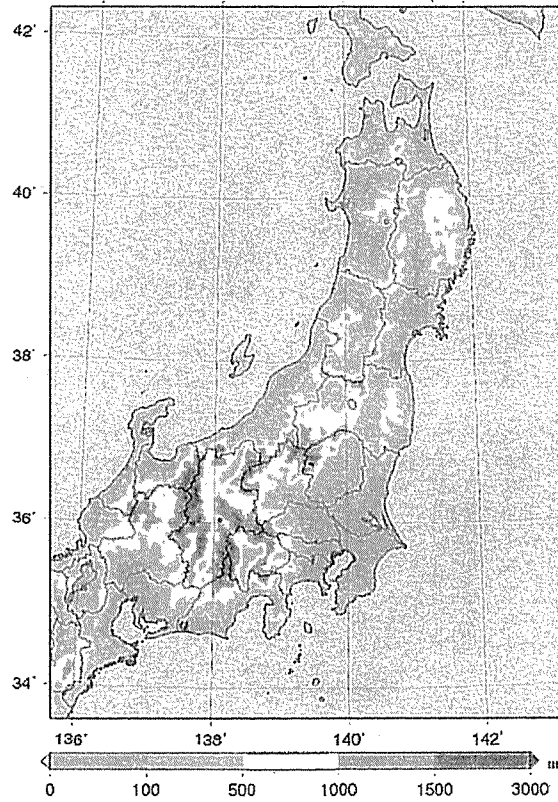


図 28 放射性核種の空气中マップの領域

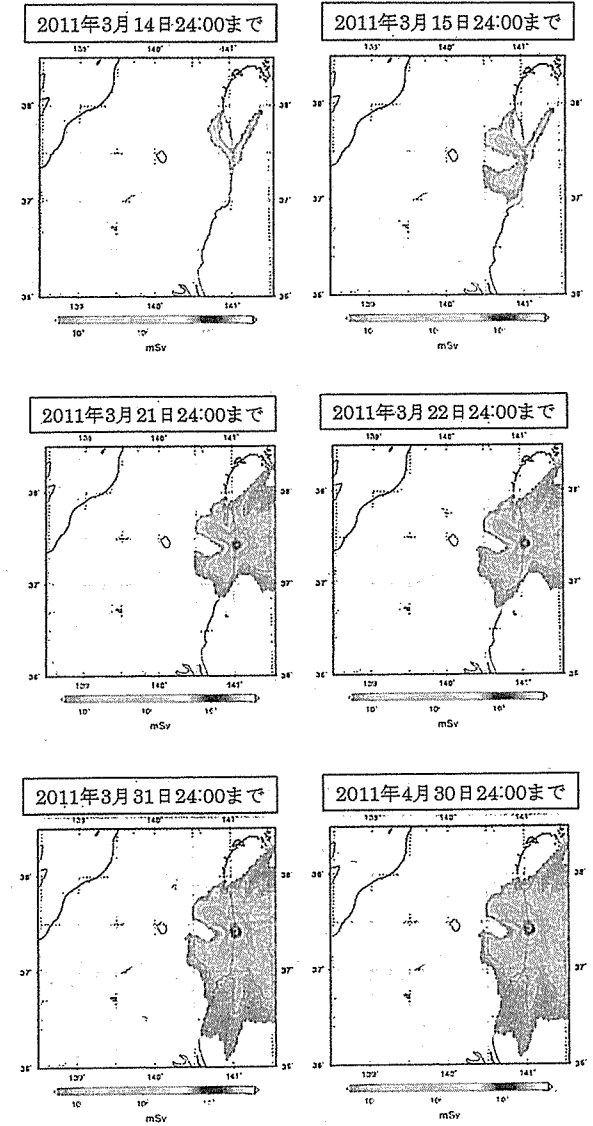


図 29 評価期間別甲状腺線量マップ (1 歳児)

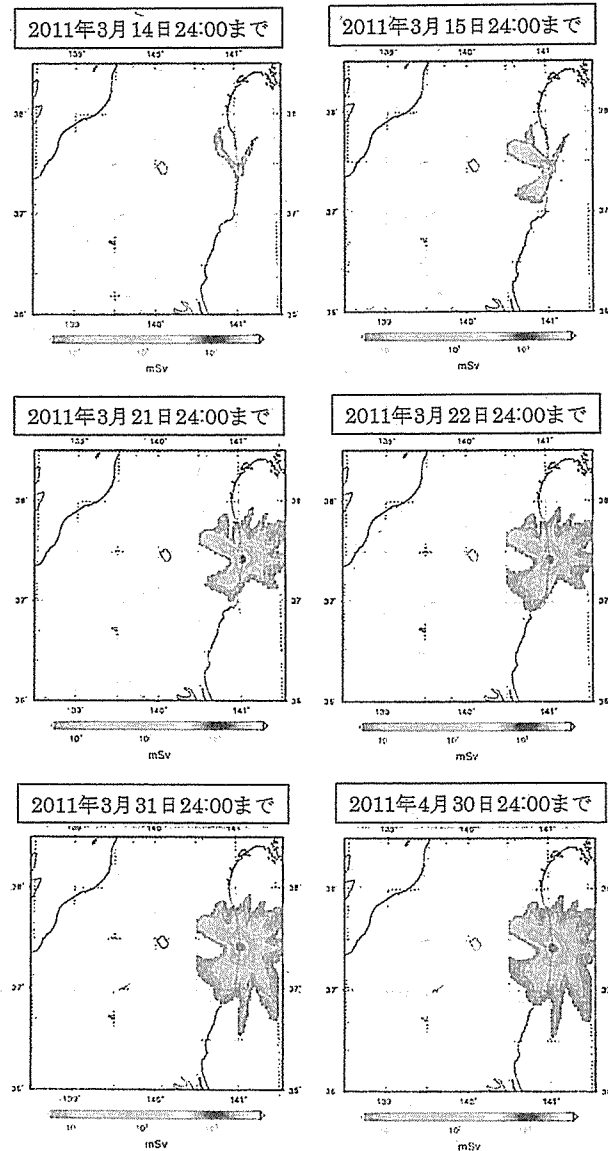


図 30 評価期間別甲状腺線量マップ (成人)

#### 4. 2. 2 個人計測から得られた線量との比較

$^{131}\text{I}$ の吸入摂取による甲状腺線量マップを図 29 及び図 30 に示した。しかし、これらの結果は、人が屋外に居続けて吸入摂取をした場合を想定しており、拡散シミュレーションが実際の放射性核種の空气中濃度を正確に再現していれば、①避難に伴う移動、②屋内滞在に伴う防護効果(家屋の構造にも依るが、屋内は屋外に比べて放射性核種の空气中濃度が低くなる)<sup>8,9</sup>、③活動に伴う呼吸率の変化(睡眠時は呼吸率が低下する)などの理由により、過大評価をしていることが想定される。また、甲状腺線量マップの計算に用いた ICRP 標準人の呼吸率については、日本人のそれよりも数割高いことが報告されている(※日本人男女平均呼吸率は  $17.3 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ )<sup>10</sup>。

図 31 及び表 17 には、小児甲状腺被ばくスクリーニング検査から得られた甲状腺線量分布(図 20 のシナリオ 1)と拡散シミュレーションから得られた甲状腺線量を比較した。後者については、被検者個人の住所が不明のため、各自治体の役場に最も近い計算グリッド及び周囲の 8 グリッドの全 9 グリッドの空气中濃度の幾何平均値(GM)及び幾何標準偏差( $\sigma_g$ )を用いて線量を導出した。

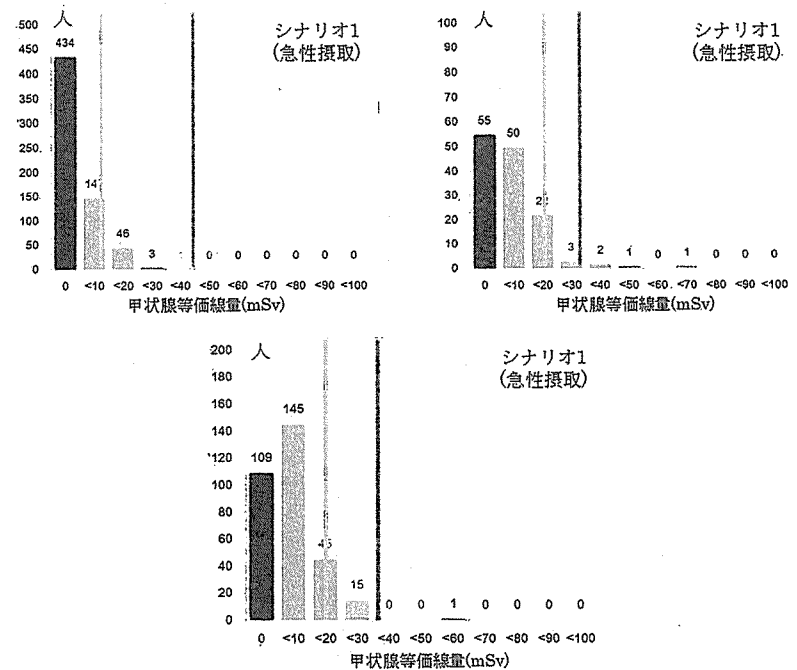


図 31 甲状腺線量比較 (小児甲状腺被ばくスクリーニング検査/拡散シミュレーション)

(左上: 川俣町, 右上: いわき市, 下: 飯館村)

※図中の青線: 90 パーセンタイル値 (スクリーニング検査), 赤線: GM (拡散シミュレーション, 5 歳児) を用いた線量, 桃色帯:  $\text{GM}/\sigma_g \sim \text{GM} \cdot \sigma_g$  を用いた線量

表 17 甲状腺線量比較 (小児甲状腺被ばくスクリーニング検査/拡散シミュレーション)

自治体	90 パーセントイル値 (計測値) (mSv)	WSPEEDI* (計算値) (mSv)	計算値/計測値
川俣町	7	40 (1.3)	5.7
いわき市	16	28 (1.1)	1.8
飯館村	15	32 (1.6)	2.1

\* 5 歳児の甲状腺線量 カッコ内の数値は幾何標準偏差

表 18 には、福島県内の主要な自治体の中心 (役場近傍) における <sup>131</sup>I 吸入による甲状腺線量を示した。評価期間は、2011 年 4 月 30 日までとした。前述したスクリーニング検査以外に拡散シミュレーションと比較検証できる甲状腺計測の実測データは十分ではないが、例えば、浪江町住民を測定して得られた結果では甲状腺線量の最大値は 33 mSv であり<sup>11</sup>、放射性プルームの到来期間中に東海村 (茨城県) に滞在していた日本原子力研究開発機構職員の甲状腺線量は数 mSv であった<sup>12</sup>。一方、警戒区域内に位置する双葉町、大熊町、富岡町、楢葉町、浪江町については甲状腺線量が 100 mSv を超えているが、これらは多量放出のあった 3 月 15 日以前までに行われた避難を考慮しない結果であり、やはり過大評価をしていると考えられる。以上を踏まえると、大気拡散シミュレーションから導出した甲状腺線量は大きな不確かさを伴うものの、個人計測に基づく甲状腺線量の概ね上限値となる目安を解釈する上では有用であり、次章で述べるように、避難時の行動パターンや付随する情報を考慮することにより、今後精度向上が期待できると考える。

表 18 拡散シミュレーションによる甲状腺線量の計算値  
(当該場所に 4 月 30 日まで屋外で滞在し続けた場合)

自治体	子供	成人	自治体	子供	成人
双葉町	100 <	100 <	田村市	<10	<10
大熊町	100 <	100	小野町	<10	<10
富岡町	100 <	100 <	平田村	10	<10
楢葉町	100 <	80	古殿町	<10	<10
広野町	60	30	須賀川市	<10	<10
川内村	10	<10	三春町	<10	<10
浪江町	100 <	100 <	郡山市	<10	<10
相馬 (浪江町)	90	50	福島市	<10	<10
飯館村	30	20	二本松市	<10	<10
川俣町	40	20	いわき市	30	10
南相馬市	40	20	小名浜	20	<10
相馬市	10	<10	北茨城 (茨城)	<10	<10
島尾村	40	20	東海村 (茨城)	<10	<10

□ 主に原発周囲 20 km 圏内    ▨ 主に原発周囲 30 km 圏内

\* 子供の甲状腺線量は、1 歳児、5 歳児及び 10 歳児の平均値

参考文献等

1. H. Terada, A. Furuno, M. Chino. Improvement of worldwide version of system for prediction of environmental emergency dose information (WSPEEDI), (I) New combination of models, atmospheric dynamic model MM5 and particle random walk model Gearn-new, J. Nucl. Sci. Technol., 41, 632-640 (2004).
2. H. Terada, M. Chino. Improvement of worldwide version of system for prediction of environmental emergency dose information (WSPEEDI), (II) Evaluation of numerical models by <sup>137</sup>Cs deposition due to the Chernobyl nuclear accident, J. Nucl. Sci. Technol., 42, 651-660 (2005).
3. 寺田宏明, 永井晴康, 古野朗子, 掛礼豊和, 原山卓也, 茅野政道. 緊急時環境線量情報予測システム (世界版) WSPEEDI 第 2 版の開発, 日本原子力学会論文誌, 7, 257-267 (2008).
4. M. Chino, H. Nakayama, H. Nagai, H. Terada, G. Katata, H. Yamasawa. Preliminary estimation of release amounts of <sup>131</sup>I and <sup>137</sup>Cs accidentally discharged from the Fukushima Daiichi nuclear power plant into the atmosphere. J. Nucl. Sci. Technol., 48, 1129-1134 (2011).
5. G. Katata, H. Terada, H. Nagai, M. Chino. Numerical reconstruction of high rate zones due to the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident, J. Environ. Radioact., 111, 2-12 (2012).
6. ICRP. The ICRP database of dose coefficients; workers and members of the public, Elsevier Science (2001).
7. ICRP. Age-dependent dose to members of the public from intake of radionuclides: Part 4. ICRP Publication 71, Ann. ICRP 25 (3/4), Elsevier Science (1995).
8. US EPA. Manual of protective action guides and protection actions for nuclear incidents-second printing (1992).
9. JAERI. 保健物理-管理と研究 No. 25, JAERI-M83-134 (1992).
10. 放射線医学総合研究所. ラドン濃度測定・線量評価最終報告書 (1998).
11. S. Tkonami, M. Hosoda, S. Akiba, A. Sorimachi, I. Kashiwakura, M. Balonov. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident, Scientific reports, 2, 507 (2012).
12. C. Takada, O. Kurihara, K. Kanai, T. Nakagawa, N. Tsujimura, T. Momose. Results of whole body counting for JAEA staff members engaged in the emergency radiological monitoring for the Fukushima nuclear disaster, NIRS-M-252 The 1st NIRS-symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, 3-12, Chiba, Japan (2012).

4.3 福島県住民の初期内部被ばく線量推計結果

個人計測及び拡散シミュレーションによる線量結果を総合的に判断し、福島県住民の初期内部被ばく線量（甲状腺線量）を下記の方針により決定した。

- ① 個人計測に基づく線量評価を基本とする。拡散シミュレーションに基づく線量評価（吸入摂取のみ）は、個人計測が得られていない地域に用いる
- ② 福島県内では、拡散シミュレーションにより得られた甲状腺線量マップにおいて、概ね10 mSvを超えていない会津地方、中通り地方の各自治体については、拡散シミュレーションが過大気味の甲状腺線量を与えることを踏まえ、10 mSv未満とした。なお、拡散シミュレーションからの算定された線量については、概ね過大評価の傾向にあることを見越して、これを90パーセントイル相当値として仮定した。
- ③ 浜通り地方の多くの自治体ではWBC測定による甲状腺線量が得られているが（表13）、実測データが十分に得られなかったいわき市については、拡散シミュレーションの結果を用いることとした<sup>4</sup>。また、南相馬市と葛尾村については個人計測の実測データのある浪江町の結果を割り当てることとした。

本調査によって得られた福島県民の初期内部被ばく線量推計の暫定結果を表19に示す。有効数字は1桁として同表に与えた。

表19 福島県民の初期内部被ばく線量推計の暫定結果（90パーセントイル値）

自治体	1歳児	成人	方法
双葉町	30	10	全身計測
大熊町	20	< 10	全身計測
富岡町	10	< 10	全身計測
楢葉町	10	< 10	全身計測
広野町	20	< 10	全身計測
浪江町	20	< 10	全身計測, 甲状腺計測
飯館村	30	20	甲状腺計測, 全身計測
川俣町	10	< 10	甲状腺計測, 全身計測
川内村	< 10	< 10	全身計測
葛尾村	20	< 10	浪江町の数値を代用
いわき市	30	10	拡散シミュレーション, 甲状腺計測
南相馬市	20	< 10	浪江町の数値を代用
福島県内他	< 10	< 10	拡散シミュレーション

<sup>4</sup> いわき市では小児甲状腺被ばくのスクリーニング検査が行われたものの、当該年齢人口（15歳以下）に対する被検者の割合が飯館村、川俣町の検査に比べて低い。

スクリーニング検査の被検者数及び当該年齢人口

	川俣町	いわき市	飯館村
被検者数	631	134	315
人口（15歳以下）*	1,917	50,482	865

\* 2010年国勢調査より

5.1 内部被ばく線量評価システムの開発

東京電力福島第一原子力発電所事故における周辺住民の初期内部被ばくは、主として吸入摂取に因るものと考えられている。警戒区域（当該原発周囲20km圏内）の住民の大半は事故発生後に避難を開始しているが、その過程での吸入摂取の状況を拡散シミュレーションから得られる放射性ブルームの動きと照合して検証することは重要である。表20、図32及び表21、図33に、警戒区域及び計画的避難区域に居住していた住民の避難時の行動パターンを示す。これらの行動パターンは、住民の外部被ばく線量推計を目的として、実際の行動情報に基づいて考えられたモデルケースである。これらは、外部被ばく線量推計を保守的に行うために、やや遅れた避難時期を想定した行動が設定されている。

表20 避難時の行動パターン（警戒区域）

ID	行動パターン
1	3月12日 富岡町役場(0.4)→川内村役場(0.4)に6時までに移動完了。移動時間3時間。 3月16日 ビックバレットふくしま(0.1)に10時から移動開始。移動時間6時間。
2	3月12日 大熊町役場(0.4)→船引就業改善センター(0.4)に13時に移動完了。移動時間3時間。
3	3月12日 双葉町役場(0.4)→8時に川俣小学校(0.4)に移動完了。移動時間5時間。 3月19日 さいたまスーパーアリーナ(0.1)に10時から移動開始。移動時間7時間。 3月31日 旧県立駒西高校(0.1)に10時から移動開始。移動時間1時間。
4	3月12日 双葉町役場(0.4)→一号機の水素爆発に伴い川俣小学校(0.4)に16時から移動開始。移動時間5時間。 3月19日 さいたまスーパーアリーナ(0.1)に10時から移動開始。移動時間7時間。 3月31日 旧県立駒西高校(0.1)に10時から移動開始。移動時間1時間。
5	3月12日 楢葉町役場(0.4)→いわき市役所(0.4)に13時に移動完了。移動時間4時間。 3月31日 船引就業改善センター(0.4)に朝10時から移動。移動時間2時間。
6	3月12日 楢葉町役場(0.4)→いわき市役所(0.4)に13時に移動完了。移動時間4時間。 3月16日 会津美里町役場(0.4)に10時から移動開始。移動時間5時間。
7	3月12日 浪江町役場(0.4)→15時につしま活性化センター(0.4)に移動完了。移動時間3時間。 3月16日 安達体育館(0.4)に10時から移動開始。移動時間は4時間。
8	3月12日 田村市20km圏内最大線量領域(0.4)→デンソー東日本(0.4)に8時までに移動完了。移動時間1時間。 3月31日 ビックバレットふくしま(0.1)に10時から移動。移動時間1時間。
9	3月15日 南相馬市20km圏内最大線量領域(0.4)→伊達市役所(0.4)に10時から移動開始。移動時間6時間。 3月31日 あづま総合体育館(0.4)に10時から移動開始。移動時間1時間。
10	3月12日 広野町20km圏内最大線量領域(0.4)→小野町役場(0.4)に8時に移動完了。移動時間7時間。
11	3月13日 川内村20km圏内最大線量領域(0.4)→川内村小学校(0.1)に10時から移動開始。移動時間1時間。 3月16日 ビックバレットふくしま(0.1)に10時から移動開始。移動時間6時間。
12	3月14日 葛尾村20km圏内最大線量領域(0.4)→あづま総合体育館(0.4)に10時から移動開始。移動時間8時間。

表21 避難時の行動パターン（計画的避難区域）

ID	行動パターン
13	3月23日 浪江町つしま活性化センター(0.4)→安達体育館(0.4)に10時から移動開始。移動時間は4時間。
14	3月21日 葛尾村役場(0.4)→あづま総合体育館(0.4)に10時から移動開始。移動時間2時間。
15	5月29日 飯館村役場(0.4)→福島市役所飯野支所(0.4)に10時から移動開始。移動時間1時間。
16	6月21日 飯館村役場(0.4)→福島市役所飯野支所(0.4)に10時から移動開始。移動時間1時間。
17	5月20日 南相馬市計画的避難区域内最大線量領域(0.4)→南相馬市役所(0.4)に10時から移動開始。移動時間0.5時間。
18	6月1日 川俣町計画的避難区域内最大線量領域(0.4)→川俣町役場(0.4)に朝10時から移動開始。移動時間0.5時間。



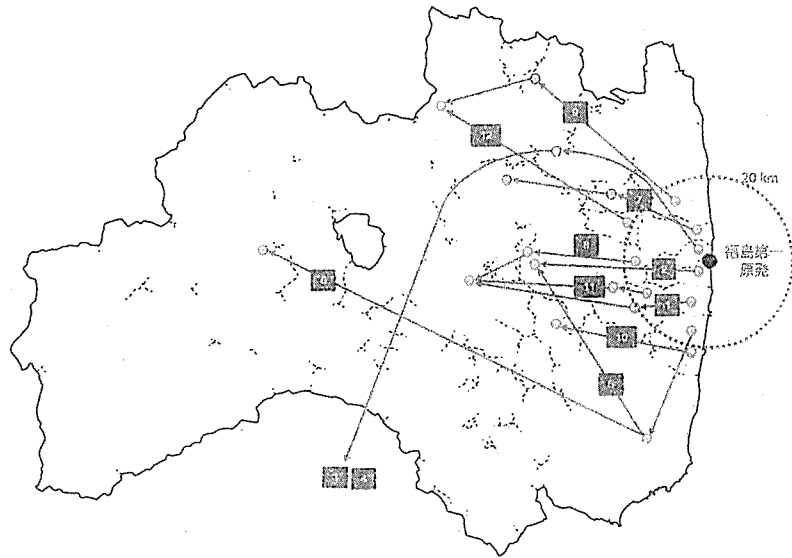


図 32 避難時の行動パターン (警戒区域)

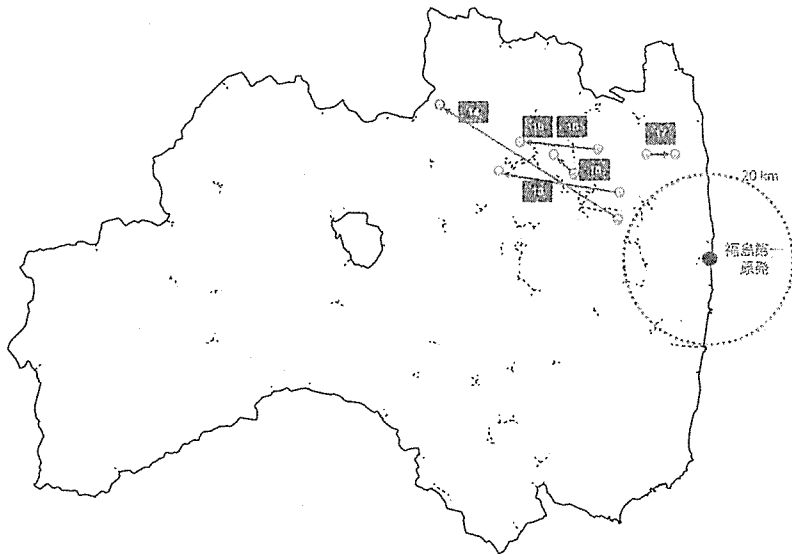


図 33 避難時の行動パターン (計画的避難区域)

避難時の行動パターンは様々であり、大気拡散シミュレーションによって対象者の(吸入)摂取量、線量を計算するためには、避難中の各滞在場所における空気中濃度を濃度マップから抽出する必要がある。将来的に、より複雑な個人の行動パターンに対応した計算を迅速に行うことを目的として、本調査において内部被ばく線量評価システムを試作した。同システム的设计概念を図 34 に示す。

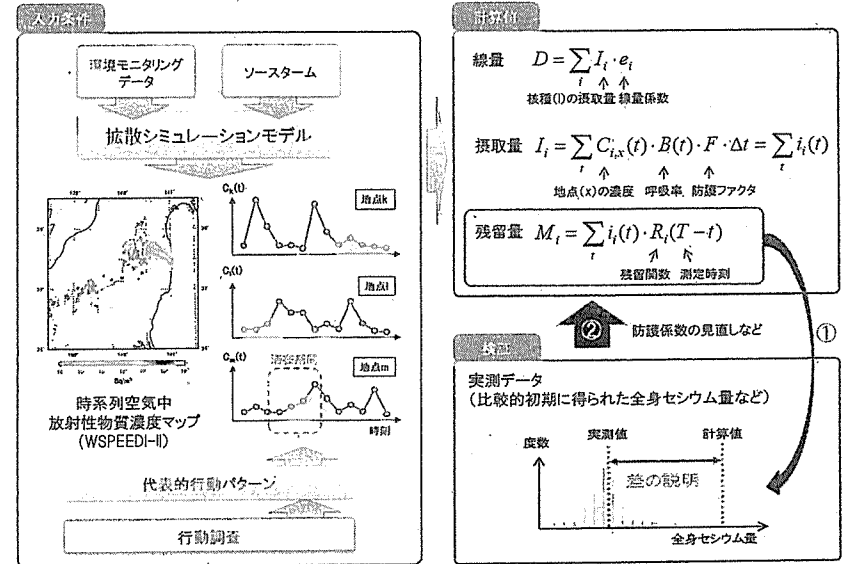


図 34 内部被ばく線量評価システムの設計概念

同システムは、第 4 章 (4.2) で述べた WSPEEDI-II から得られた放射性核種の空気中濃度マップを格納し、入力された行動パターンに含まれる評価地点の緯度経度情報に基づき、当該地点の最近傍の空気中濃度データをマップから抽出する。評価地点は避難時における複数の滞在場所に相当する。同システムからの出力としては、線量の他に WBC 測定から得られるセシウムの全身残留放射能が得られるように開発した。これらの出力は、個人の内部被ばく線量測定結果と比較検証することで、防護係数、呼吸率等のパラメータの数値を最適化することが可能となり、本システムによる線量評価の精度向上が期待できる。なお、今回、内部被ばく線量評価システムとしては、PC 版とサーバー版の両方を試作している。前者は、地図情報を含む GUI (Graphical User Interface) を実装したソフトウェアであり、PC 上で動作可能である。後者は、コマンドラインベースで動作するが、電子化された個人行動情報を高速に処理することを視野に入れている。内部被ばく線量評価システム (PC 版) の GUI を図 35 に示した。

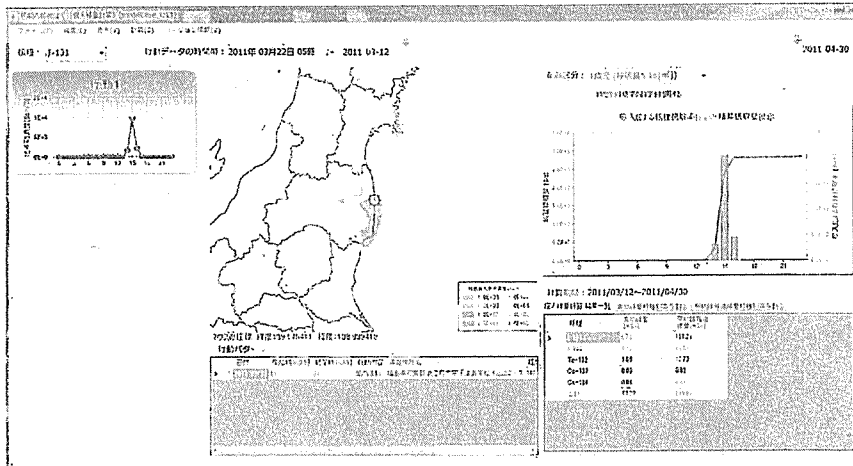


図 35 内部被ばく線量評価システム (PC版) の GUI

算出された甲状腺線量の解釈のため、各行動パターンについて、該当する評価地点の空气中濃度及び甲状腺累積線量を併せて示す。なお、以下は開発したシステムによる試算結果であり、個人の実際の行動情報に基づくものではないこと、拡散シミュレーションに結果についても今後大幅に見直される可能性があること等の不確定要素を含むものであることに注意する必要がある。

## 5.2 代表的行動パターンに対する線量評価

表 20 及び表 21 に示される全 18 の行動パターンに準じた避難をした (仮想的な) 集団の甲状腺線量を、開発したシステムを用いて計算した。ただし、以下の計算条件を設定している。

- ① 各年齢区分の呼吸率、甲状腺線量係数は表 16 (第 4 章 4.2) と同一とした。
- ② 移動中は、移動元と移送先の両地点の空气中濃度の平均値を用いる。
- ③ 呼吸率の生活活動に伴う変化、屋内滞在やマスクの着用などによる摂取量の低減効果は考慮しない。

全 18 の行動パターンに対する甲状腺線量の計算値を表 22 に示す。計算値は、全て有効数字 1 桁でまとめた。

表 22 全 18 の行動パターンに対する <sup>131</sup>I による甲状腺線量

(単位: mSv)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-y	< 10	< 10	40	90	30	10	90	< 10	< 10
10-y	< 10	< 10	40	70	30	< 10	80	< 10	< 10
Adults	< 10	< 10	20	40	20	< 10	50	< 10	< 10
No.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1-y	10	< 10	< 10	100	40	30	30	80	70
10-y	< 10	< 10	< 10	90	30	30	30	70	60
Adults	< 10	< 10	< 10	50	20	20	20	40	30

◆ 行動パターン 1

3月12日 富岡町役場 (ID1-1) →川内村役場 (ID1-2) に6時までに移動完了  
(移動3時間)

3月16日 ビックパレットふくしま (ID1-3) に10時から移動開始 (移動6時間)

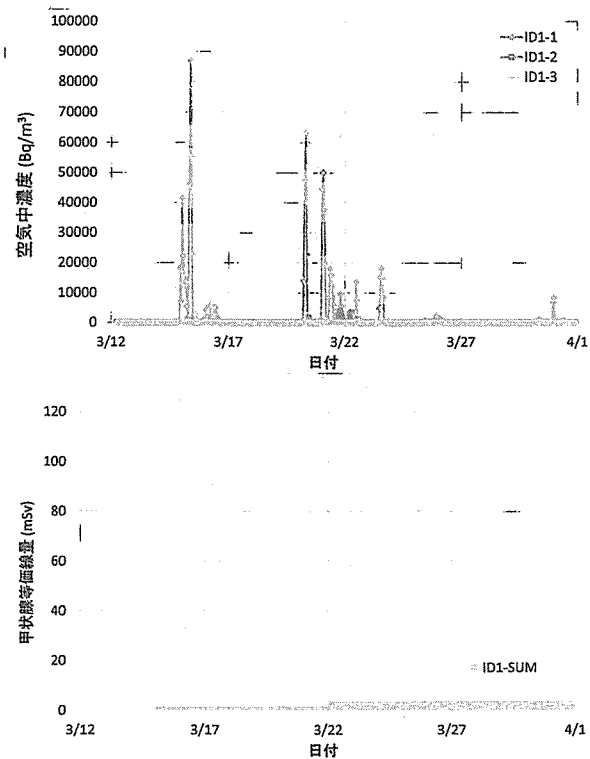


図 36 行動パターン 1：各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び1歳児甲状腺線量 (下) の時系列

ID1-1の空気中濃度は、放射性プルームの到来により幾度も上昇している。しかし、ID1-1からID1-2への移動は、多量放出のあった3月15日以前に行われているため、評価期間を通して甲状腺線量は低く抑えられている。

◆ 行動パターン 2

3月12日 大熊町役場 (ID2-1) →船引就業改善センター (ID2-2) に13時に移動完了 (移動3時間)

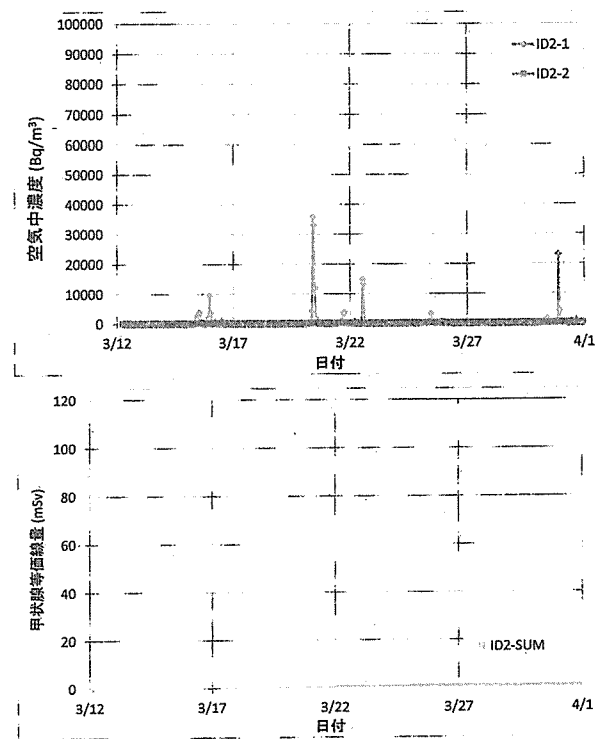


図 37 行動パターン 2：各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び1歳児甲状腺線量 (下) の時系列

放射性プルームが到達しないID2-2に3月12日に移動しているため、評価期間を通して低く抑えられている。

◆ 行動パターン 3

- 3月12日 双葉町役場 (ID3-1) → 8時に川俣小学校 (ID3-2) に移動完了 (移動5時間)
- 3月19日 さいたまスーパーアリーナ (ID3-3) に10時から移動開始 (移動7時間)
- 3月31日 旧県立騎西高校 (ID3-4) に10時から移動開始 (移動1時間)

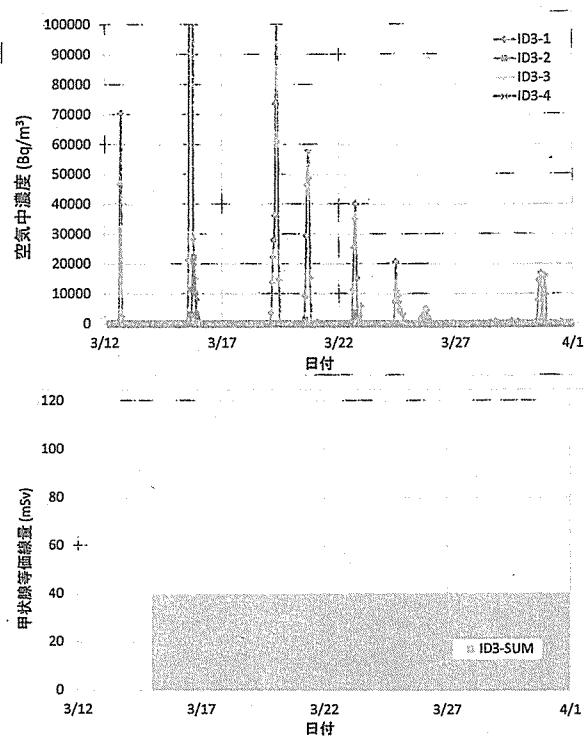


図 38 行動パターン 3 : 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列

ID3-1では、放射性プルームが何度も通過し、その都度空気中濃度が上昇している様子がわかる。3月12日にもID3-1で空気中濃度の上昇があるが、その前にID3-2に移動している。ただし、3月15日にはID3-2でも空気中濃度の上昇があり、ここで甲状腺線量が上昇している。

◆ 行動パターン 4

- 3月12日 双葉町役場 (ID4-1) → 川俣小学校 (ID4-2) に16時から移動開始 (移動5時間)
- 3月19日 さいたまスーパーアリーナ (ID4-3) に10時から移動開始 (移動7時間)
- 3月31日 旧県立騎西高校 (ID4-4) に10時から移動開始 (移動1時間)

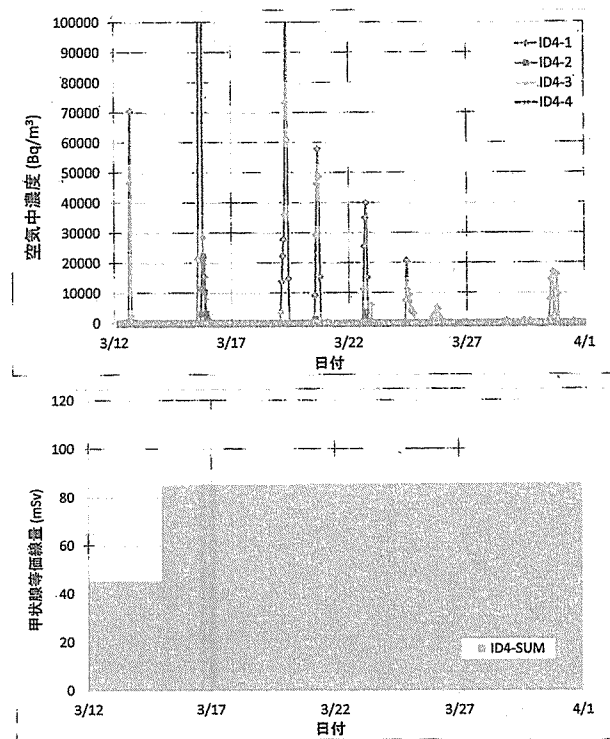


図 39 行動パターン 4 : 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列

行動パターン 3 との違いは、3月12日のID4-1 (ID3-1と同じ) からID4-2 (ID3-2と同じ) への移動時間帯である。3月12日の移動は16時からであるため、同日にID4-1を通過した放射性プルームによる吸入摂取があり、この分の線量が行動パターン 3 の線量に追加される。

◆ 行動パターン 5

3月12日 楡葉町役場 (ID5-1) →いわき市役所 (ID5-2) に13時移動完了  
(移動4時間)  
3月31日 船引就業改善センター (ID5-3) に朝10時から移動 (移動2時間)

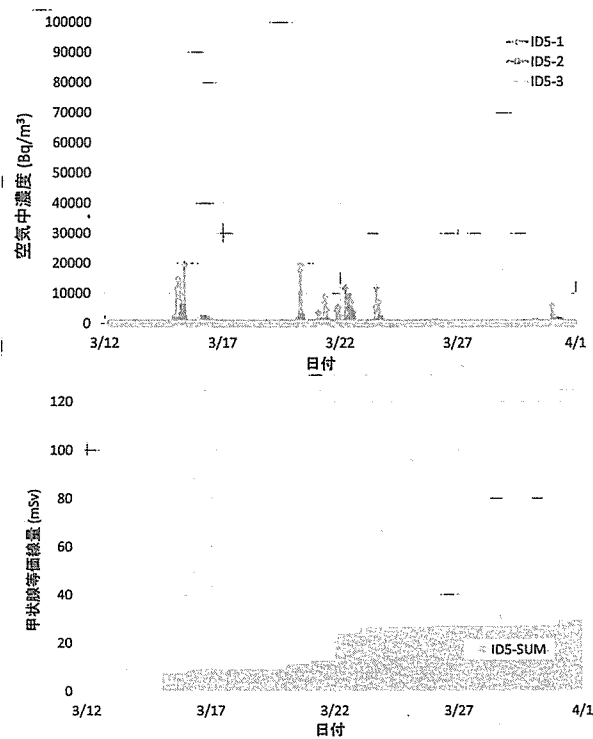


図 40 行動パターン 5 : 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列

最も滞在期間の長い ID5-2 で受ける甲状腺線量がほぼ全線量となる。ID5-2 では、3月15日と3月22日に一時的な空気中濃度の上昇がある。

◆ 行動パターン 6

3月12日 楡葉町役場 (ID6-1) →いわき市役所 (ID6-2) に13時移動完了  
(移動4時間)  
3月16日 会津美里町役場 (ID6-3) に10時から移動開始 (移動5時間)

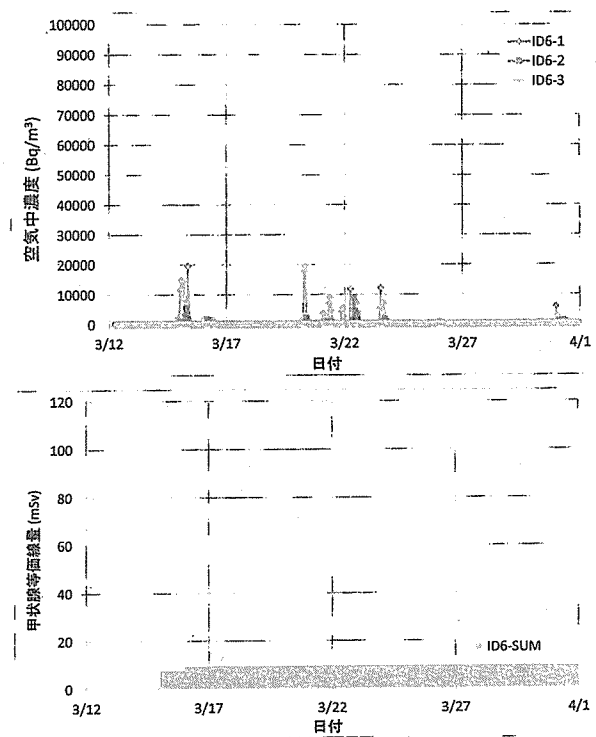


図 41 行動パターン 6 : 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列

行動パターン 5 と違いは、ID6-2 (ID5-2 と同一) からの次の移動先及びその移動時期である。行動パターン 5 に比べて ID6-2 の滞在時間が短く、その分甲状腺線量は低くなる。また、行動パターン 5 と同様に、ID6-2 で受ける甲状腺線量がほぼ全線量となる。

◆ 行動パターン 7

3月12日 浪江町役場 (ID7-1) → 15時 つしま活性化センター (ID7-2) に移動完了 (移動3時間)

3月16日 安達体育館 (ID7-3) に10時から移動開始 (移動4時間)

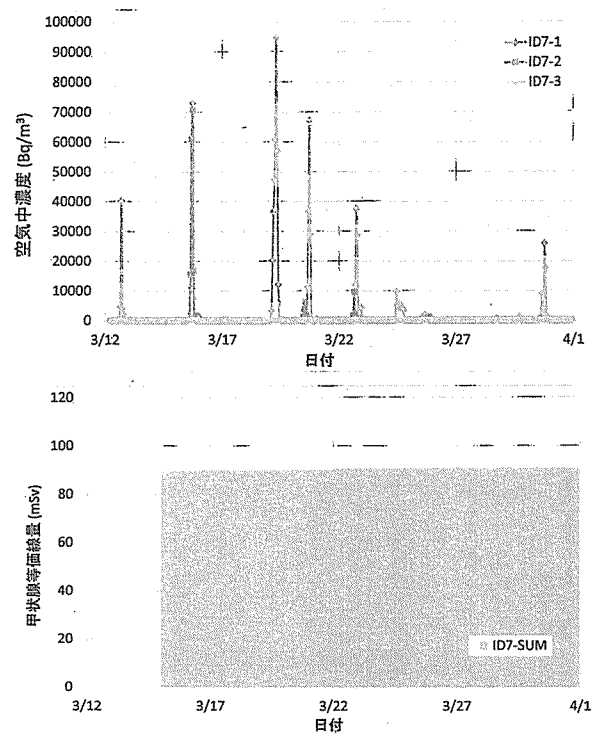


図 42 行動パターン 7: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列

ID7-2 において、3月15日に放射性プルームの通過に伴い空気中濃度が一時的に増加している。この際に受けた甲状腺線量がほぼ全線量となる。床次らが甲状腺計測を行った被検者の行動に類似している。

◆ 行動パターン 8

3月12日 田村市某所 (ID8-1) → デンソー東日本 (ID8-2) に8時までに移動完了 (移動1時間)

3月16日 ビックパレットふくしま (ID8-3) に10時から移動 (移動1時間)

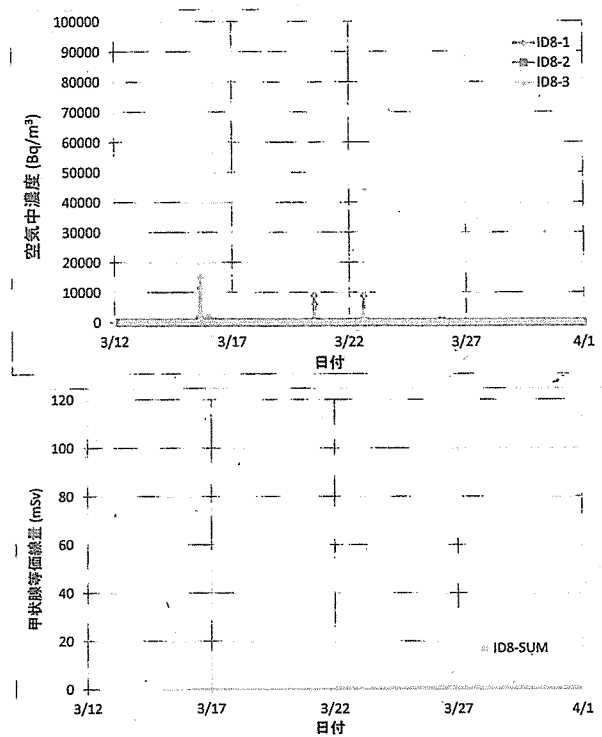


図 43 行動パターン 8: 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列

福島第一原子力発電所の西側に位置する田村市は、その一部が警戒区域に含まれるが、事故初期における空気中濃度は継続して低い。行動パターン 8 の評価地点 (ID8-1, ID8-2, ID8-3) 全て同様である。

◆ 行動パターン 9

3月15日 南相馬市某所 (ID9-1) →伊達市役所 (ID9-2) に10時から移動開始  
(移動6時間)

3月31日 あづま総合体育館 (ID9-3) に10時から移動開始。移動時間1時間

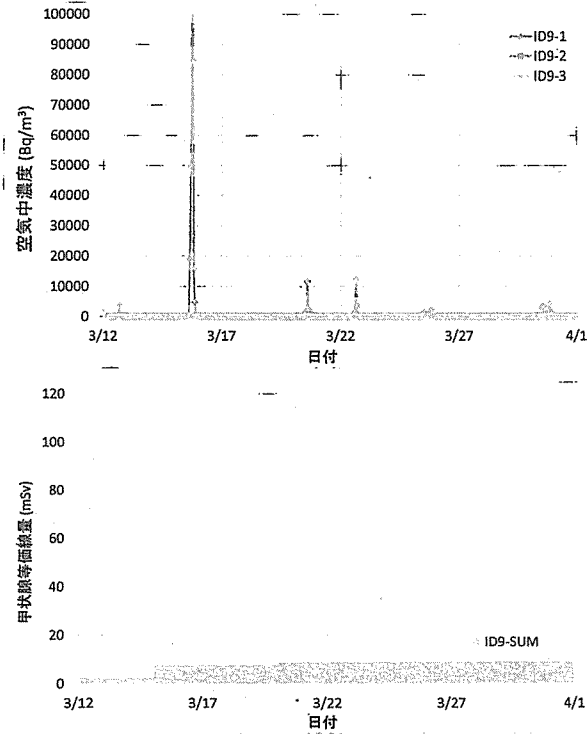


図 44 行動パターン 9 : 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列

ID9-1 において、3月15日に空気中濃度の上昇がある。同日に、ID9-1 から空気中濃度が継続して低い ID9-2 に移動しているため、甲状腺線量は回避されている。

◆ 行動パターン 10

3月12日 広野町某所 (ID10-1) →小野町役場 (ID10-2) に8時に移動完了  
(移動7時間)

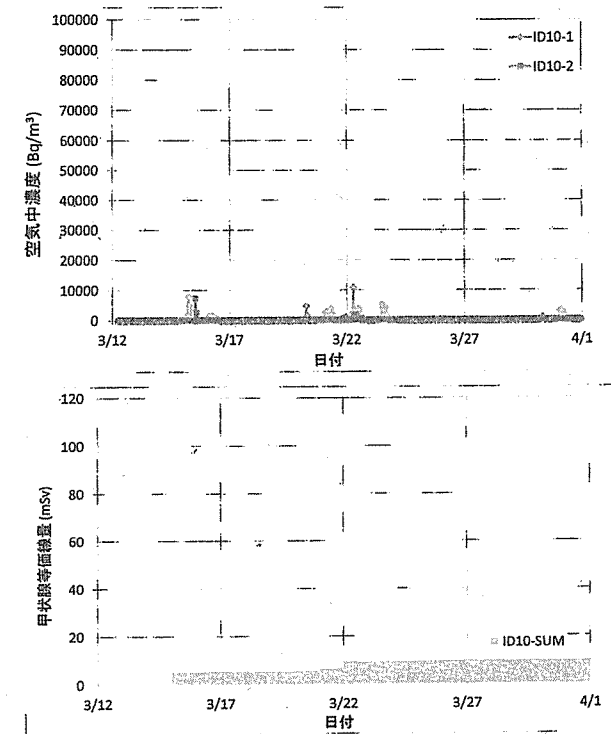


図 45 行動パターン 10 : 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び 1 歳児甲状腺線量 (下) の時系列

ID10-2 の空気中濃度は継続して低いために、避難によって甲状腺線量は低く抑えられている。

◆ 行動パターン 11

3月13日 川内村某所 (ID11-1) →川内村小学校 (ID11-2) に10時から移動開始  
(移動1時間)  
3月16日 ビッグパレットふくしま (ID11-3) に10時から移動開始 (移動6時間)

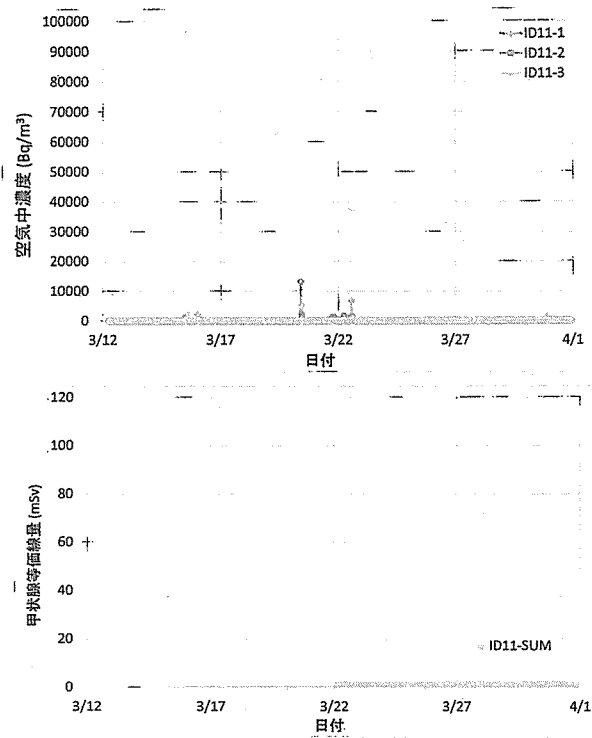


図 46 行動パターン 11 : 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び1歳児甲状腺線量 (下) の時系列

ID11-1, ID11-2 (川内村) の空気中濃度は評価期間を通して比較的低い。3月16日にさらに遠方に移動しているため、甲状腺線量は低く抑えられている。

◆ 行動パターン 12

3月14日 葛尾村某所 (ID12-1) →あづま総合体育館 (ID12-2) に10時から移動開始 (移動8時間)

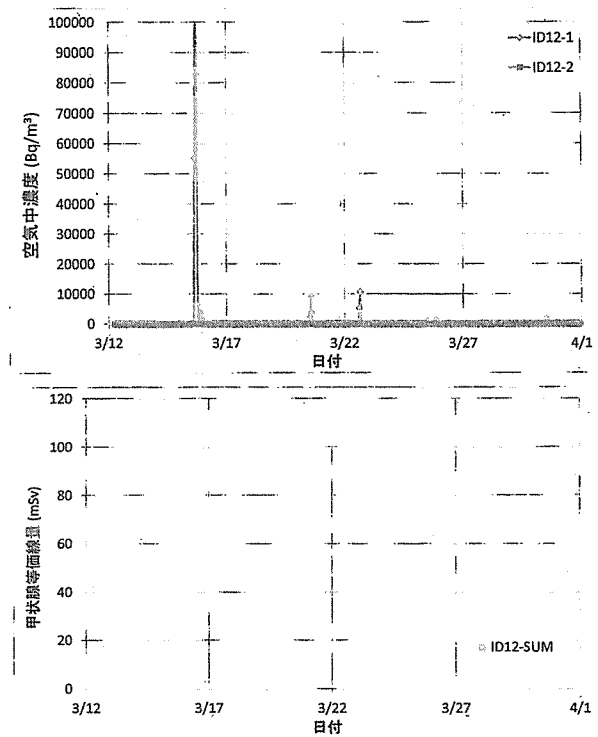


図 47 行動パターン 12 : 各滞在地点での空気中濃度 (上) 及び1歳児甲状腺線量 (下) の時系列

ID12-1において3月15日に高濃度の放射性プルームが通過しているが、その以前にID12-2に移動しているため、甲状腺線量は低く抑えられている。