福島第一原子力発電所事故後の大気中放射性物質濃度 測定結果に基づく線量の評価 —東海村周辺住民を対象として—

竹安 正則*¹, 住谷 秀一*¹, 古田 定昭*^{1,2}

(2013 年 2 月 17 日受理)

(2013 年 6 月 7 日再受理)

Estimation of Dose from the Measurement Results of Airborne Radionuclide Concentrations Following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident —For the Public around Tokai-mura, Ibaraki—

Masanori TAKEYASU*¹, Shuichi SUMIYA*¹ and Sadaaki FURUTA*^{1,2}

On the basis of the measurement results of airborne radionuclide concentrations in the Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories, Japan Atomic Energy Agency, the committed effective dose to adults and the committed equivalent dose to thyroid of infants by inhalation were estimated for various indoor and outdoor exposure scenarios. It was demonstrated that the indoor to outdoor airborne radionuclide concentration ratio had a dominant effect on the dose estimate. The committed effective dose to adults was estimated to 0.098 mSv, and the committed equivalent dose to thyroid of infants was 1.8 mSv. These doses were about 1/6 and about 1/9, respectively, compared to the provisional ones with such assumptions as continuous outdoor stay.

KEY WORDS: dose estimation, inhalation, public, environmental monitoring, Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident.

I 緒 論

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴い、日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所（原子力機構サイクル研究所）で特別モニタリングとして大気中放射性物質濃度が連続的に測定され、サイクル研究所周辺で

の吸入摂取に係る線量の暫定値が試算された^{1,2)}。この試算は、事故時に一般住民に対する適切な防護措置を策定するために見積もられる予測線量の算出手法に従っている。

予測線量とは、屋外に留まり何の防護措置も講じない場合に一般住民が受けるであろうと考えられる線量の推定値のことである。その見積もりは、屋外の大気中放射性物質濃度に基づき行われる。しかし、一般住民は屋外にずっと留まらず屋内にも滞在するため、予測線量は一般住民が実際に受けた線量とは異なる。また、予測線量見積もりの際に用いられる線量への換算係数として、各核種の化学形に関わらず各核種に対する最大値が採用される³⁾。このように、予測線量の算出手法では保守的な生活形態並びにパラメータが用いられるため、予測線量は過大に見積もられることとなる。

*¹ (独) 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；茨城県那珂郡東海村村松 4-33 (〒319-1194)

Radiation Protection Department, Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories, Tokai Research and Development Center, Japan Atomic Energy Agency; 4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1194, Japan.

E-mail: takeyasu.masanori@jaea.go.jp

*² 現在：(独) 日本原子力研究開発機構東濃地科学センター；岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31 (〒509-5102)

Tono Geoscience Center, Japan Atomic Energy Agency; 959-31 Jorinji, Izumi-cho, Toki-shi, Gifu 509-5102, Japan.

事故発生後、発電所周辺住民の避難や食物摂取制限など様々な防護対策が実施され、一般住民が受ける線量の低減が図られてきた。現状では、事故直後の初期段階において一般住民が実際に受けたであろう線量の再評価が進められている⁴⁾。その中で放射性ヨウ素による内部被ばくによる被ばくが注目され、計算あるいは実測された大気中放射性ヨウ素濃度に基づくより詳細な評価手法が求められている。

サイクル研究所での大気中放射性物質濃度測定においては、放射性物質が粒子状とガス状に分けて測定された^{1,2)}。そのため、各核種に対してその化学形をある程度特定でき、線量への換算係数としてより現実的な値を設定し線量を見積もることが可能である。

本報告では、屋内外での空气中濃度の差、屋内と屋外での滞在時間、呼吸率、線量への換算係数としてより現実的なパラメータを検討した。そして、サイクル研究所での大気中濃度測定結果に基づき、前報^{1,2)}に従って、吸入摂取に係る成人の預託実効線量及び小児（1歳児）の甲状腺預託等価線量を見積もった。

II サイクル研究所での大気中放射性物質濃度の測定の概要

サイクル研究所での大気中放射性物質濃度の測定方法及び測定結果については、前報^{1,2)}に詳細に記載した。本章では、その概要について述べる。

1. 測定方法

サイクル研究所において商用電源が復旧した平成23年3月13日に、サイクル研究所敷地内1地点に可搬型ダスト・ヨウ素サンプラ（Model No. PNC-800）を設置

した。ダストフィルタ（タイプ：HE-40T、アドバンテック東洋製）とTEDA（tri-ethylene-diamine）添着活性炭カートリッジ（タイプ：CHC-50、アドバンテック東洋製）により、空气中的放射性物質を連続的に採取した。

採取時間間隔は基本的に12時間としたが、所内のモニタリングポストで測定された空間放射線線量率が上昇した時は採取時間間隔を短くした。また、空間放射線線量率が徐々に低下していった3月22日以降は順次時間間隔を長くした。そのため、結果として、採取時間間隔は3時間～7日であった。

採取した試料を測定時間1,000秒～5,000秒でゲルマニウム半導体検出器により測定し、測定時間及び採取時間を補正することによりガンマ線放出核種の大気中濃度を定量した。放射性壊変系列に従い親核種テルル-132（Te-132；半減期3.204日）から生成する短寿命壊変生成物ヨウ素-132（I-132；半減期2.295時間）については、親核種と壊変生成物が放射平衡状態にあると仮定し、親核種のみ定量し、後述する線量の見積もりにおいては、親核種と壊変生成物が同じ濃度とした。これは、公表されている放出量がTe-132>I-132であること⁵⁾から妥当と考えられる。

ダストフィルタにより捕集された放射性物質を粒子状の放射性物質とし、活性炭カートリッジにより捕集された放射性物質をガス状の放射性物質とした。

2. 測定結果

粒子状の放射性物質の大気中濃度の経時変化をFig. 1-1、Fig. 1-2に、ガス状の放射性物質の大気中濃度の経時変化をFig. 2に示した。Fig. 1-1、Fig. 1-2及びFig. 2より、放射性物質の大気中濃度は、3月15日、16日、

Fig. 1-1 Variation of airborne Te-129m, Te-132, I-131 and I-133 concentrations in aerosol form.

Fig. 1-2 Variation of airborne Cs-134, Cs-136 and Cs-137 concentrations in aerosol form.

Fig. 2 Variation of airborne radionuclide concentrations in gaseous form.

21日に顕著に上昇した。その後、徐々に減少する傾向を示し、5月7日以降、すべての放射性物質に対して0.01 Bq/m³以下であった。これらの測定結果の詳細は、前報¹⁾に取りまとめた。

III 吸入摂取に係る預託線量の評価方法

1. 吸入摂取に係る預託線量の計算式

吸入摂取に係る預託線量は次式により求められる³⁾。

$$H = \sum_j (K_j \chi_j M T) \quad (1)$$

ここで、

H : 吸入摂取に係る預託線量 (mSv)

K_j : 核種 j の線量係数 (mSv/Bq)

χ_j : 核種 j の空气中濃度 (Bq/m³)

M : 呼吸率 (m³/d)

T : 滞在時間 (d)

である。

前報^{1,2)}での暫定値試算時には、 K_j は化学形を考慮せず各核種に対する最大値、 χ_j は屋内外の空气中濃度差を考慮せず屋外で観測された大気中濃度、 M は睡眠時とその他時間帯での呼吸率の違いを考慮せず1日を通じた平均値 (22.2 m³/d)、 T は24時間ずっと屋外に居続けたと仮定してパラメータを設定した。

2. パラメータの検討

本報では、 K_j は各核種の化学形 (粒子状あるいはガス状) に対応した値、 χ_j は屋内外での空气中濃度差を考慮した値、 M は睡眠時とその他の時間帯に対応した値、 T は屋内と屋外に配分した値とした。

(1) 線量係数 (K_f)

K_f については、各核種の各化学形に対応した値が ICRP Publ. 71⁶⁾ に示されている。本報では、粒子状及びガス状の放射性物質に対する線量係数として ICRP Publ. 71⁶⁾ に記載されたそれぞれに対する線量係数を採用した。ガス状の放射性ヨウ素 (I) については、ICRP Publ. 71⁶⁾ にガス状の線量係数として元素状とメチル化物の2つに対する線量係数が記載されている。空气中に浮遊する放射性 I は種々の化学形態で存在し、元素状及びメチル化物の両方の形態で存在する⁷⁾。このことから、保守的に、線量係数が大きい、元素状に対する線量係数を採用した。放射性セシウム (Cs) については、ICRP Publ. 71⁶⁾ に粒子状に対する線量係数しか記載がない。そのため、ガス状の放射性 Cs に対する線量係数として、ICRP Publ. 71⁶⁾ が推奨した粒子状に対する線量係数を採用した。なお、粒子状及びガス状の放射性 I については、日本人の安定ヨウ素摂取の影響を考慮し甲状腺摂取率を 0.2 として線量係数を補正した³⁾。暫定値試算時に採用した線量係数と、本報で採用した線量係数を **Table 1-1** 及び **Table 1-2** に比較した。**Table 1-1** 及び **Table 1-2** より、本報で採用した線量係数のほうがすべての核種で同じあるいは小さくなった。

(2) 呼吸率 (M) と滞在時間 (T)

呼吸率と滞在時間に係るパラメータについては、いくつかの文献に記載がある。呼吸率について、ICRP Publ. 71⁶⁾ には、成人の睡眠時間は 8.5 時間で呼吸率は 0.45 m³/h、屋内に 13.5 時間(その内、3 分の 1 は座り(呼吸率:0.54 m³/h)、3 分の 2 は軽い作業(呼吸率:1.5 m³/h)) 滞在し呼吸率は 1.18 m³/h、屋外に 2 時間(その内、2 分の 1 は座り、8 分の 3 は軽い作業、8 分の 1 は重労働(呼吸率:3.0 m³/h)) 滞在し呼吸率は 1.21 m³/h と記載がある。小児の睡眠時間は 14 時間で呼吸率は 0.15 m³/h、その他の時間(10 時間)の呼吸率は 0.31 m³/h と記載がある。本報では、ICRP Publ. 71⁶⁾ を参考に、成人の睡眠時呼吸率を 0.45 m³/h、屋内作業時呼吸率を 1.18 m³/h、屋外作業時呼吸率を 1.21 m³/h、小児の睡眠時呼吸率を 0.15 m³/h、その他の時間の呼吸率を 0.31 m³/h と仮定した。

滞在時間に関して我が国においては、成人の屋外での作業時間を 8 時間、屋内滞在時間を 16 時間とした文献がある⁸⁾。総務省平成 23 年社会生活基本調査⁹⁾によれば、茨城県民の平日における平均起床時刻は 6 時 27 分、平均出勤時刻は 8 時 15 分、平均帰宅時刻は 18 時 50 分、平均就寝時刻は 23 時 02 分である。本報では、これらの文献を参考に、茨城県の実態を可能な限り反映するという観点から、成人は 23 時～翌日 6 時 30 分までの 7 時間

Table 1-1 Comparison of dose coefficient for estimating committed effective dose to adults.

Chemical form	Radionuclide	Provisional estimation ^{*2)}		This paper's estimation	
		Dose coefficient ^{*3)} [Sv/Bq]	Absorption type	Dose coefficient [Sv/Bq]	Absorption type
Aerosol form	Te-129m	7.9E-09	Type S ^{*4)}	6.6E-09	Type M ^{*6)}
	Te-132	5.1E-09	Gas or vapour ^{*4)}	2.0E-09	Type M ^{*6)}
	I-131	2.0E-08	Elemental ^{*4)}	4.9E-9 ^{*5)}	Type F ^{*6)}
	I-132 ^{*1)}	3.1E-10	Elemental ^{*4)}	1.0E-10 ^{*5)}	Type F ^{*6)}
	I-133	4.0E-09	Elemental ^{*4)}	1.0E-9 ^{*5)}	Type F ^{*6)}
	Cs-134	2.0E-08	Type S ^{*4)}	6.6E-09	Type F ^{*6)}
	Cs-136	2.8E-09	Type S ^{*4)}	1.2E-09	Type F ^{*6)}
	Cs-137	3.9E-08	Type S ^{*4)}	4.6E-09	Type F ^{*6)}
Gaseous form	Te-129m	7.9E-09	Type S ^{*4)}	3.7E-09	Gas or vapour ^{*7)}
	Te-132	5.1E-09	Gas or vapour ^{*4)}	5.1E-09	Gas or vapour ^{*7)}
	I-131	2.0E-08	Elemental ^{*4)}	1.3E-8 ^{*5)}	Elemental ^{*7)}
	I-132 ^{*1)}	3.1E-10	Elemental ^{*4)}	2.5E-10 ^{*5)}	Elemental ^{*7)}
	I-133	4.0E-09	Elemental ^{*4)}	2.7E-9 ^{*5)}	Elemental ^{*7)}
	Cs-134	2.0E-08	Type S ^{*4)}	6.6E-09	Type F ^{*6)}
	Cs-136	2.8E-09	Type S ^{*4)}	1.2E-09	Type F ^{*6)}
	Cs-137	3.9E-08	Type S ^{*4)}	4.6E-09	Type F ^{*6)}

^{*1)} The radioactive equilibrium with Te-132 was assumed.

^{*2)} This estimation was quoted from FURUTA *et al.* (2011)¹⁾ and TAKEYASU *et al.* (2012).²⁾

^{*3)} These dose coefficients were quoted from ICRP Publ. 71.⁶⁾

^{*4)} These absorption type's dose coefficients were the largest among those in ICRP Publ. 71.⁶⁾

^{*5)} These values were corrected in terms of the intake of a lot of stable Iodine by Japanese.

^{*6)} These absorption types were recommended by ICRP Publ. 71⁶⁾ in the absence of specific information.

^{*7)} These absorption types were corresponded to gaseous form.

Table 1-2 Comparison of dose coefficient for estimating committed equivalent dose to thyroid of infants.

Chemical form	Radionuclide	Provisional estimation ^{*2)}		This paper's estimation	
		Dose coefficient ^{*3)} [Sv/Bq]	Absorption type	Dose coefficient [Sv/Bq]	Absorption type
Aerosol form	Te-129m	1.4E-07	Gas or vapour ^{*4)}	1.2E-08	Type M ^{*6)}
	Te-132	7.8E-07	Gas or vapour ^{*4)}	5.3E-08	Type M ^{*6)}
	I-131	3.2E-06	Elemental ^{*4)}	9.3E-07 ^{*5)}	Type F ^{*6)}
	I-132 ^{*1)}	3.8E-08	Elemental ^{*4)}	1.0E-08 ^{*5)}	Type F ^{*6)}
	I-133	8.0E-07	Elemental ^{*4)}	2.3E-07 ^{*5)}	Type F ^{*6)}
	Cs-134	1.6E-08	Type S ^{*4)}	6.3E-09	Type F ^{*6)}
	Cs-136	3.9E-09	Type F ^{*4)}	3.9E-09	Type F ^{*6)}
	Cs-137	1.1E-08	Type S ^{*4)}	4.4E-09	Type F ^{*6)}
Gaseous form	Te-129m	1.4E-07	Gas or vapour ^{*4)}	1.4E-07	Gas or vapour ^{*7)}
	Te-132	7.8E-07	Gas or vapour ^{*4)}	7.8E-07	Gas or vapour ^{*7)}
	I-131	3.2E-06	Elemental ^{*4)}	2.1E-06 ^{*5)}	Elemental ^{*7)}
	I-132 ^{*1)}	3.8E-08	Elemental ^{*4)}	2.5E-08 ^{*5)}	Elemental ^{*7)}
	I-133	8.0E-07	Elemental ^{*4)}	5.3E-07 ^{*5)}	Elemental ^{*7)}
	Cs-134	1.6E-08	Type S ^{*4)}	6.3E-09	Type F ^{*6)}
	Cs-136	3.9E-09	Type F ^{*4)}	3.9E-09	Type F ^{*6)}
	Cs-137	1.1E-08	Type S ^{*4)}	4.4E-09	Type F ^{*6)}

^{*1)} The radioactive equilibrium with Te-132 was assumed.

^{*2)} This estimation was quoted from FURUTA *et al.* (2011) ¹⁾ and TAKEYASU *et al.* (2012). ²⁾

^{*3)} These dose coefficients were quoted from ICRP Publ. 71. ⁶⁾

^{*4)} These absorption type's dose coefficients were the largest among those in ICRP Publ. 71. ⁶⁾

^{*5)} These values were corrected in terms of the intake of a lot of stable Iodine by Japanese.

^{*6)} These absorption types were recommended by ICRP Publ. 71 ⁶⁾ in the absence of specific information.

^{*7)} These absorption types were corresponded to gaseous form.

30分睡眠し（屋内）、8時30分～19時まで屋外で作業し（10時間30分）、その他の時間帯（6時30分～8時30分及び19時～23時の計6時間）を屋内で作業すると仮定した。

また、小児については、日本小児保健協会の資料¹⁰⁾によれば、小児（1歳児）の平均的な生活習慣として、7時に起床し、その後2時間の昼寝を挟んで自分の家で過ごし、21時に就寝するとのことである。よって、21時～翌日7時までの10時間睡眠し（屋内）、13時～15時の2時間昼寝をし（屋内）、その他の時間帯は屋内で活動すると仮定した。これらの線量見積りに用いたパラメータを **Table 2-1** 及び **Table 2-2** にまとめた。

3. 屋内／屋外の空気中濃度差（屋内濃度低減係数）

屋内と屋外の空気中濃度の差（屋内濃度低減係数）は建物の気密性に依存する。原子力安全委員会の防災指針¹¹⁾には、米国環境保護庁の研究を引用し、気密性の高い建物で20分の1～70分の1、通常の換気率の建物で4分の1～10分の1となり、濃度が低減すると記載されている。JENSENは、デンマークでの典型的な家屋において2種類のエアロゾルの粒径に対して屋内外の空気中濃度差を調査した¹²⁾。その結果、エアロゾルの粒径が2μmの場合、屋内濃度は屋外濃度の5分の1、粒径4μmの場合、屋内濃度は屋外濃度の10分の1と評

Table 2-1 Parameters and their values for estimating committed effective dose to adults, except for dose coefficient.

Parameter	Location	Value
Indoor air concentration reduction factor		0.25
	Indoors: Asleep	7.5 ^a
	Indoors: Awake	6 ^b
Breathing rate [m ³ /h]	Outdoors: Awake	10.5 ^c
	Indoors: Asleep	0.45
	Indoors: Awake	1.18 ^d
	Outdoors: Awake	1.21 ^e

^a From 11 pm to 6:30 am.

^b From 6:30 am to 8:30 am and from 7 pm to 11 pm.

^c From 8:30 am to 7 pm.

^d One-third sitting (breathing rate: 0.54 m³/h) + two-thirds light exercise (breathing rate: 1.5 m³/h).

^e One-half sitting (breathing rate: 0.54 m³/h) + three-eighths light exercise (breathing rate: 1.5 m³/h) + one-eighth heavy exercise (breathing rate: 3.0 m³/h).

Table 2-2 Parameters and their values for estimating committed equivalent dose to thyroid of infants, except for dose coefficient.

Parameter	Location	Value
Indoor air concentration reduction factor		0.25
	Indoors: Asleep	12 ^a
	Indoors: Awake	12 ^b
Breathing rate [m ³ /h]	Indoors: Asleep	0.15
	Indoors: Awake	0.31

^a From 9 pm to 7 am and from 1 pm to 3 pm.

^b From 7 am to 1 pm and from 3 pm to 9 pm.

価した。我が国においては、屋内濃度を屋外濃度の4分の1として線量を評価するという提言がある¹³⁾。本報では、線量を保守的に評価するという観点から、これらの文献のうち濃度差が最小となる、屋内外濃度差として4分の1を仮定した。Fig. 3に、2011年3月15日におけるI-131の空气中濃度を例に取り、屋外の空气中濃度と、線量見積りに使用した空气中濃度の関係を図示した。

IV 結果と考察

前章で議論した方法により線量を見積もった。その結果、見積もられた吸入摂取に係る成人の預託実効線量は0.098 mSvであり、暫定値(0.57 mSv)^{1, 2)}と比較して約6分の1であった。核種別の線量寄与割合は、Te-129mが3.3%、Te-132が5.2%、I-131が66.6%、Cs-134が7.2%、Cs-137が16.6%であった。

各パラメータを変更していく過程で見積もられた成人の預託実効線量をFig. 4-1に比較し、各過程での線量見積もりの条件をTable 3-1にまとめた。Fig. 4-1において、ケース1は、屋外の空气中濃度の放射性物質を吸入するとして線量を見積もった場合である。呼吸率是一日を通じて一定、線量係数は最大値を採用した。ケース2は、線量係数を粒子状とガス状で区別し、粒子状の放射性物質に対しては粒子状に対する線量係数を、ガス状の放射性物質に対してはガス状に対する線量係数を採用した場合である。空气中放射性物質濃度及び呼吸率についてはケース1の場合と同様とした。ケース3は、ケース2からさらに、屋外に滞在した時間帯は屋外の空气中濃度の放射性物質を、屋内に滞在した時間帯は屋内の空气中濃

度の放射性物質を吸入するとして線量を見積もった場合である。呼吸率についてはケース1, 2の場合と同様とした。ケース4は、ケース3からさらに、呼吸率を睡眠時間帯とその他の時間帯で変化させた場合である。

Fig. 4-1より、線量係数の変更(ケース2)により成人の預託実効線量は0.23 mSvとなり、暫定値(ケース1)の約2分の1になった。このように線量が小さくなった原因は、本報での線量係数のほうが暫定値見積もりの線量係数より同じあるいは小さかったためである。また、空气中濃度の変更(ケース3)により成人の預託実効線量は0.092 mSvとなり、暫定値(ケース1)の約6分の1になった。これは、屋内の空气中濃度を屋外の濃度の4分の1とし、19時~翌日8時30分の間、屋内に滞在するとしたからである。さらに、呼吸率の変更(ケース4)により、成人の預託実効線量は0.098 mSvとなった。呼吸率の変更により線量が若干大きくなった原因としては、23時から翌日6時30分までを睡眠時(低い呼吸率)、6時30分から23時までを屋内あるいは屋外での作業時間(高い呼吸率)と設定したが、作業時間帯での空气中濃度が睡眠時間帯での空气中濃度と比較して高かったことが考えられる。ケース4での成人の預託実効線量への核種別線量寄与割合はTe-129mが6.5%、Te-132が5.3%、I-131が78.3%、Cs-134が4.8%、Cs-137が4.0%であった。

また、種々のパラメータ変更後に見積もられた小児甲状腺の預託等価線量は1.8 mSvであり、暫定値(15 mSv)^{1, 2)}と比較して約9分の1であった。核種別の線量寄与割合はTe-132が6.8%、I-131が91.2%であった。

各パラメータを変更していく過程で見積もられた小児

Fig. 3 Relationship between the airborne I-131 concentrations measured outdoors and assumed for estimating committed dose by inhalation (in the case of 15 March 2011).

Fig. 4-1 Variation of committed effective dose to adults in according to the change of parameters (The parameter values for Case 1, 2, 3 and 4 were shown in **Table 3-1**).

Table 3-1 Parameter values for each case in **Fig. 4-1**.

Parameter	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Dose coefficient (K_f)	Maximum value for each radionuclide	Corresponding values to aerosol and gaseous forms ^a	←	←
Airborne radionuclide concentration (χ_i)	Outdoor air concentration measured	←	One-fourth of outdoor air concentration measured ^b	←
Breathing rate (M) [m^3/h]	0.925	←	←	0.45 (Indoors: Asleep ^c), 1.18 (Indoors: Awake ^d), 1.21 (Outdoors: Awake ^e)
Stay period (T)	From March 13 to May 23	←	←	←

^a Dose coefficient for radioactive Iodine is corrected considering of the intake of stable Iodine by Japanese.

^b Indoor stay period (from 7 pm to 8:30 am).

^c From 11 pm to 6:30 am.

^d From 6:30 am to 8:30 am and from 7 pm to 11 pm.

^e From 8:30 am to 7 pm.

甲状腺の預託等価線量を **Fig. 4-2** に比較し、各過程での線量見積もりの条件を **Table 3-2** にまとめた。**Fig. 4-2** において、各ケースにおける線量見積もりの条件は、成人の預託実効線量の見積もり場合と同様である。

Fig. 4-2 より、線量係数の変更（ケース 2）により小児甲状腺の預託等価線量は 7.2 mSv となり、暫定値（ケース 1）の約 2 分の 1 になった。このように線量が小さくなった原因は、成人の預託実効線量見積もり時と同様に、本報での線量係数のほうが暫定値見積もり時の線量係数より同じあるいは小さかったためである。また、空気中濃度の変更（ケース 3）により小児の甲状腺等価線量は 1.8 mSv となり、暫定値（ケース 1）の約 9 分の 1 になった。これは、全時間帯について屋内に滞在するとして空気中濃度を 4 分の 1 にしたことが原因である。さらに、呼吸

率の変更（ケース 4）により、小児甲状腺の預託等価線量は 1.8 mSv となった。呼吸率を変更しても線量が同程度となったのは、空気中濃度が睡眠時間帯（21 時～翌日 7 時及び 13 時～15 時、低い呼吸率）で高く、活動時間帯（7 時～13 時及び 15 時～21 時、高い呼吸率）で低かったためと考えられる。ケース 4 での小児の甲状腺等価線量への核種別線量寄与割合は Te-132 が 1.4%、I-131 が 96.9% であった。

本検討において、成人の屋外滞在時間（屋外作業時間）を 10 時間 30 分と仮定したが、屋外滞在時間は各個人の行動により異なることが想定される。そこで、屋外滞在時間を変更した場合の預託線量を見積もった。成人の屋外滞在時間を 4 時間とし、午前中屋外に滞在する場合（8 時～12 時）、並びに午後に屋外に滞在する場合（13

Fig. 4-2 Variation of committed equivalent dose to thyroid of infants in according to the change of parameters (The parameter values for Case 1, 2, 3 and 4 were shown in **Table 3-2**).

Table 3-2 Parameter values for each case in **Fig. 4-2**.

Parameter	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Dose coefficient (K_i)	Maximum value for each radionuclide	Corresponding values to aerosol and gaseous forms ^a	←	←
Airborne radionuclide concentration (C_i)	Outdoor air concentration measured	←	One-fourth of outdoor air concentration measured	←
Breathing rate (M) [m^3/h]	0.215	←	←	0.15 (Indoors: Asleep ^b), 0.31 (Indoors: Awake ^c)
Stay period (T)	From March 13 to May 23	←	←	←

^a Dose coefficient for radioactive Iodine is corrected considering of the intake of stable Iodine by Japanese.

^b From 9 pm to 7 am and from 1 pm to 3 pm.

^c From 7 am to 1 pm and from 3 pm to 9 pm.

時～17時)をケースとして設定し、線量を見積もった。その結果、午前中屋外に滞在した場合、成人の預託実効線量は0.094 mSv、午後に屋外に滞在した場合、成人の預託実効線量は0.062 mSvとなった。これらの線量は、前章の条件(屋外滞在時間：10時間30分)に対する線量と比較してそれぞれ0.96倍、0.63倍であった。午前中屋外に滞在した場合のほうが午後に滞在した場合より線量が大きくなった原因としては、午前中の時間帯のほうが午後の時間帯より屋外の空気中濃度が高かったことが考えられる。

今後は、発電所における事故推移が明らかとなることで、大気中放射性物質の化学形に関する情報の充実等を期待したい。また、各個人の線量を見積もる場合においては、各個人の行動調査が重要になると考えられる。

V 結 論

福島原発事故発生から約2年が経過し、事故により住民が実際に受けたであろう線量の再評価が進められている。サイクル研究所での大気中放射性物質濃度測定結果に基づき、線量評価に係るパラメータ、すなわち、線量への換算係数、呼吸率、屋内濃度の低減係数としてより一般的かつ現実的な値を設定し、東海村での吸入摂取に係る成人の預託実効線量及び小児甲状腺の預託等価線量を見積もった。

その結果、見積もられた線量は、成人の預託実効線量について0.098 mSv、小児甲状腺の預託等価線量について1.8 mSvであった。これらの線量は、予測線量の算出手法と同様な手法に従って見積もった暫定値と比較して、それぞれ、約6分の1、約9分の1であった。成人の預託実効線量について、一般公衆に対する年間の線量

限度 (1 mSv/y) と比較して約 10 分の 1 であった。見積もられた線量が暫定値に対し小さくなった主な要因は、屋内濃度の低減係数であった。なお、今回は一般的な統計情報等に基づき見積もった結果であり、震災に伴う断水や混乱の中で一般公衆の行動が正常と異なることが考えられるが、それらは反映されていないことを付記する。

謝 辞

線量係数の算出にあたり有益な情報を提供頂いた放射線医学総合研究所緊急被ばく医療研究センター栗原 治博士に感謝いたします。

参 考 文 献

- 古田定昭, 住谷秀一, 渡辺 均, 中野政尚, 今泉謙二, 竹安正則, 中田 陽, 藤田博喜, 水谷朋子, 森澤正人, 國分祐司, 河野恭彦, 永岡美佳, 横山裕也, 外間智規, 磯崎徳重, 根本正史, 檜山佳典, 小沼利光, 加藤千明, 倉知 保; 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, 空气中放射性物質濃度, 降下じん中放射性物質濃度)一, JAEA-Review 2011-035 (2011).
- M. TAKEYASU, M. NAKANO, H. FUJITA, A. NAKADA, H. WATANABE, S. SUMIYA and 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. Tech.*, **49**, 281–286 (2012).
- 原子力安全委員会; 環境放射線モニタリング指針(平成 20 年 3 月, 平成 22 年 4 月一部改訂), (2010).
- 栗原 治, 金ウンジュ, 徐ソヒ, 福津久美子, 松本雅紀, 林津雄厚, 内山優子, 川口勇生; 東電福島第一原発事故における初期内部被ばく線量の再構築, 第 2 回国際シンポジウム「東京電力福島第一原子力発電所事故における初期内部被ばく線量の再構築」講演要旨集, p. 25 (2013), 放射線医学総合研究所, 東京.
- 原子力安全・保安院; 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に係る 1 号機, 2 号機及び 3 号機の炉心の状態に関する評価について, 平成 23 年 6 月 6 日, Available at: <http://www.meti.go.jp/press/2011/06/20110606008/20110606008-2.pdf>, 閲覧 2013 年 6 月 5 日.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP); Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides— Part 4 Inhalation Dose Coefficients, ICRP Publication 71, Ann. ICRP 25 (3–4) (1995).
- ATOMICA; ヨウ素モニタ (09-04-03-10), Available at: http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=09-04-03-10, 閲覧 2013 年 6 月 5 日.
- 服部隆利; 汚染状況に関する情報整理, 日本原子力学会「原子力安全」調査専門委員会福島第一原子力発電所事故に関する緊急シンポジウム, Available at: http://www.aesj.or.jp/110521symp/presentations/02-02_hattori.pdf, 閲覧 2013 年 2 月 14 日.
- 総務省; 平成 23 年社会生活基本調査, Available at: <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001040668&cycode=0>, 閲覧 2013 年 2 月 3 日.
- 日本小児保健協会; 平成 12 年度幼児健康度調査報告書, Available at: http://www.jschild.or.jp/book/pdf/report_2000_6.pdf, 閲覧 2013 年 2 月 4 日.
- 原子力安全委員会; 原子力施設等の防災対策について(昭和 55 年 6 月, 平成 22 年 8 月一部改訂), (2010).
- P. H. JENSEN; Atmospheric Dispersion and Environmental Consequences, Exposure from Radioactive Plume Pathways, Riso-M-2849 (EN), Riso National Laboratory, Denmark (1992).
- 原子力安全委員会; 緊急時モニタリングデータに基づく線量評価方法について(提言), 平成 23 年 3 月 25 日, Available at: <http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/anken/shidai/genan2011/genan019/siryo2.pdf>, 閲覧 2013 年 5 月 31 日.

竹安 正則 (たけやす まさのり)

東北大学工学部原子核工学科卒業。京都大学大学院農学研究科博士課程中退。工学博士。専門分野は環境線量評価, 環境放射線モニタリング。

E-mail: takeyasu.masanori@jaea.go.jp