

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わる 都内環境放射能測定及び被ばく線量測定

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

地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター[†]

115-8586 東京都北区西が丘 3-13-10

*東京都立食品技術センター

101-0025 東京都千代田区神田佐久間町 1-9

2011年6月29日 受理

2011年3月11日の東日本大震災に伴い、福島第一原子力発電所の事故が発生した。この事故後から東京都内（世田谷区深沢）で大気浮遊塵、農畜水産物、浄水の放射能濃度及び γ 線の空間線量率のモニタリングを行ってきた。5月31日までの測定結果を基に ^{132}Te , ^{131}I , ^{132}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs の5核種による内部被ばく線量及び空間線量率による外部被ばく線量を試算した。その結果、測定開始から1年間の積算線量は $425.1\ \mu\text{Sv}$ となり、ICRPの定める一般公衆の年間被ばく限度(1 mSv)を超えないものと推定された。

Key Words : Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, radioactive substance, ambient radioactivity, dust, agricultural and livestock product, drinking water, gamma ray, dose rate, Tokyo, exposure dose

1. 緒言

2011年3月11日の東日本大震災に伴い、東京電力福島第一原子力発電所事故が発生した。原子力安全委員会によれば、放射性物質の総放出量は ^{131}I で $1.5 \times 10^{17}\text{Bq}$, ^{137}Cs で $1.2 \times 10^{16}\text{Bq}$ と推定されている¹⁾。「国際原子力事故評価尺度 (INES)」の暫定評価は「レベル7」で、わが国では最も深刻な原子力災害となった²⁾。

東京都では旧都立アイソトープ総合研究所(現都立産業技術研究センター(以降、都産技研)に組織変更)の時代より36年間に渡り、環境放射能の定時定点観測を行ってきた³⁾。1986年4月26日に発生したチェルノブイリ原子力発電所の事故の際には、アイソトープ総合研究所が中心となって都内の放射能測定を行い、5月3日に日本で最初に ^{131}I を観測した⁴⁾。今回の事故においても観測体制を強化し、3月

12日より空間線量、3月13日より大気浮遊塵中の放射能濃度の測定を24時間体制で行ってきた。その結果、東京都においても3月15日には放射性物質が検出された。その後、東京都の地域防災計画に基づき、都より依頼された日常食である飲料水、農畜水産物等についても放射能測定を行ってきた。

本稿ではまず2011年5月31日までの試料の放射能及び放射線レベルを明らかにした。更に本事故における翌年3月12日までの内部被ばく線量及び外部被ばく線量を推定した。

2. 方法

2.1 放射能濃度及び空間線量率の測定

大気浮遊塵、農畜水産物及び浄水は、Ge半導体検出器を用いて測定した。大気浮遊塵は放射能標準 γ 面線源、他試料については放射能標準 γ 体積線源との比較により放射能濃度を算出した。3月12日から4月10日まではCANBERRA GR3019(相対効率32.6%)、4月

[†]現住所: 135-0064 東京都江東区青海 2-4-10

11日以降はORTEC GMX25(相対効率率28.3%)を用いた。

空間線量率は、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ(ALOKA TGS-171B)を用いて測定した。

2.2 測定対象及び測定条件

2.2.1 空間線量率及び大気浮遊塵

空間線量率は3月12日から4月10日までは旧駒沢支所の中庭で地上から48cmの高さで測定を行った。4月11日以降は支所内の工事により中庭での測定が困難になったため、正門脇の地上から88cmの高さで行った。データロガー(T&D VR-71)にて24時間連続で1分ごとに線量を記録し、1時間ごとの最大値・最小値及び平均値を求めた。

大気浮遊塵の捕集は、3月13日から4月10日まではStaplex TFIA型集塵装置を、4月11日以降はSIBATA HV-500Rハイポリウムエアサンプラーを用いた。捕集は駒沢支所構内、地上から1mの高さで行った。吸引量は $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ であった。採取したろ紙(ADVANTEC GB-100R)は、ポリ塩化ビニリデンフィルムで包み測定試料とした。捕集時間は空間線量率の値の変化に合わせて変更した。モニタリング開始時の捕集時間は8時間おき、空間線量率の上昇が見られた際には1~3時間おき、減少後は24時間おきにろ紙を交換した。測定時間はろ紙のサンプリングの間隔が8時間おきの際にはサンプリングに要する時間、マシンタイム、行政対応等を考慮し10000秒、ろ紙のサンプリングの間隔が1~3時間の際には迅速な行政対応が求められたため1000秒、サンプリングの間隔が24時間おきの際には検出限界値が $10^{-4} \text{ Bq}/\text{m}^3$ となるよう、20000秒で測定を行った。

2.2.2 農畜水産物及び浄水

農畜水産物及び浄水については、東京都の地域防災計画(原子力災害対策)に基づき、都より依頼されたものについて測定を行った。測定試料の調製・測定時間は厚生労働省のマニュアル

に準拠した⁵⁾。各試料は5月31日までに測定を依頼されたものである。農作物は6検体、水産物は2検体について測定を行った。試料を細切後、U-8容器に密に詰め、2000秒で測定を行った。

原乳は3検体、浄水は金町浄水場、朝霞浄水場、小作浄水場の計3か所より毎朝6時に採水・配送されたものについて3月22日から5月31日まで測定を行った。試料をそのままU-8容器に入れ、原乳については2000秒、浄水については3月22日から4月14日までは2000秒、4月15日以降は3000秒で測定を行った。

3. 結 果

3.1 大気浮遊塵

検出された核種のうち、内部被ばく線量に大きく寄与する ^{132}Te 、 ^{131}I 、 ^{132}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の5核種に着目した。3月13日~5月31日までの測定値の経時変化を ^{131}I 、 ^{137}Cs についてFig.1に示す。 ^{132}Te 、 ^{131}I 、 ^{132}I の3核種及び ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の2核種はほぼ同様の経時変化を示したため ^{131}I 、 ^{137}Cs のみとした。3月14日まではどの核種についても検出されなかった。15日0時~7時12分に捕集したサンプルより放射性物質が初検出された。測定値は15日の7時12分から9時にかけては一旦減少が見られたが、その後増加していき10~11時に捕集したサンプルで最大値を示した。放射能濃度は ^{132}Te が $395 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 、 ^{131}I が $241 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 、 ^{132}I が $281 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 、 ^{134}Cs が $64 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 、 ^{137}Cs が $60 \text{ Bq}/\text{m}^3$ であった。3月15日以降は低下傾向であったが、21日から23日にかけて再び値の上昇が見られた。これは21日から降雨があったためと考えられる。3月25日以降5月31日までの測定値は検出限界以下 $\sim 10^{-2} \text{ Bq}/\text{m}^3$ であった。 ^{132}I は半減期が2.295時間と短いにも関わらず、今回の観測では検出が確認された。これは ^{132}I の親核種 ^{132}Te の半減期が3.204日であることから⁶⁾、 ^{132}Te が供給源となり ^{132}I が検出されたと考えられる。

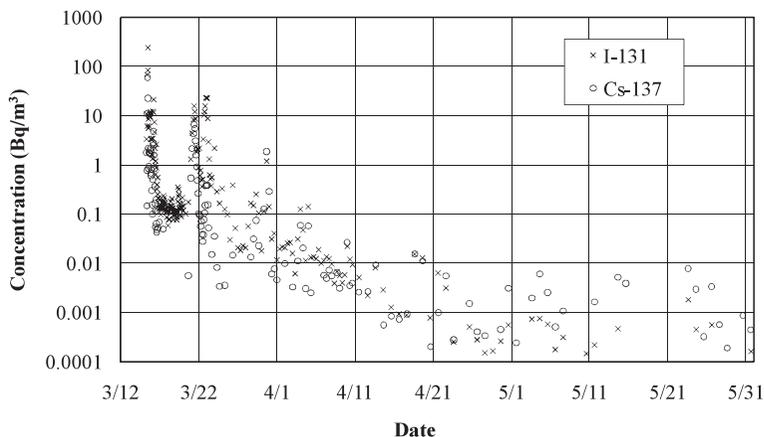
Fig. 1 Concentrations of ^{131}I and ^{137}Cs (Bq/m^3) in the airborne dust during March 13 – May 31

Table 1 Concentrations of radionuclides in foodstuffs sampled in Tokyo

Sample	Sampling date	Sample weight(g)	Concentration(Bq/kg)				
			^{131}I	^{132}Te	^{132}I	^{134}Cs	^{137}Cs
Spinach(outdoors)	3/24	84.0	1270	414	275	53	55
Komatsuna(outdoors)	3/24	87.9	925	38	35	34	38
Komatsuna(outdoors)	3/24	90.9	953	183	148	173	178
Angelica keiskei①	5/10	81.4	<10	<7	<7	16	14
Angelica keiskei②	5/16	91.4	<8	<6	<8	<8	<11
Angelica keiskei③	5/16	84.4	<9	<7	<9	<9	<11
Raw milk①	3/19	94.3	46	<6	<10	<8	<7
Raw milk②	3/23	94.3	41	<5	<11	<7	<8
Raw milk③	5/18	95.8	<8	<6	<9	<8	<9
Ayu①	5/25	95.5	<10	<6	<7	83	92
Ayu②	5/25	97.6	<7	<7	<9	35	24

3・2 農畜水産物及び浄水

農畜水産物の放射能濃度について Table 1 に示す。野菜については 5 月 31 日までに 6 検体の測定を行い, 4 検体から放射性物質が検出された。測定値は ^{132}Te が 38 ~ 414 Bq/kg , ^{131}I が 925 ~ 1 270 Bq/kg , ^{132}I が 35 ~ 275 Bq/kg , ^{134}Cs が 16 ~ 173 Bq/kg , ^{137}Cs が 14 ~ 178 Bq/kg であった。

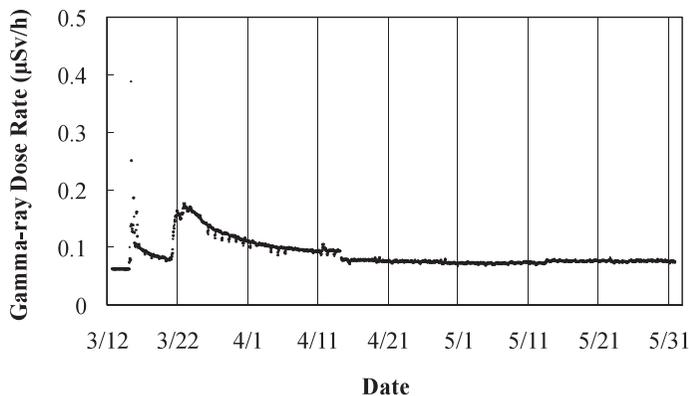
牛乳については, 3 検体中 2 検体より ^{131}I が検出されそれぞれ 41 Bq/kg , 46 Bq/kg であった。 ^{132}Te , ^{134}Cs , ^{137}Cs については 3 検体とも検出限界以下であった。

水産物については, 5 月 26 日に測定した検体より ^{134}Cs が 35 Bq/kg 及び 83 Bq/kg , ^{137}Cs が 24 Bq/kg 及び 92 Bq/kg 検出され ^{132}Te , ^{131}I , ^{132}I は検出限界以下であった。

都内浄水場の浄水の放射能濃度について Table 2 に示す。浄水については 3 月 22 日から 4 月 4 日まで ^{131}I が検出された。最大値は 3 月 22 日の金町浄水場の浄水で 210 Bq/kg を示し, 4 月 5 日以降, 5 月 31 日まではどの核種についても検出限界以下であった。 ^{132}Te 及び ^{132}I は 3 月 22 日のみ検出され, その後は検出限界以下であった。

Table 2 Concentrations of radionuclides in drinking water of Kanamachi filtration plant, Asaka filtration plant and Ozaku filtration plant in Tokyo

Measuring date	Kanamachi filtration plant				Asaka filtration plant				Ozaku filtration plant			
	Sample weight(g)	Concentration(Bq/kg)			Sample weight(g)	Concentration(Bq/kg)			Sample weight(g)	Concentration(Bq/kg)		
		¹³¹ I	¹³² Te	¹³² I		¹³¹ I	¹³² Te	¹³² I		¹³¹ I	¹³² Te	¹³² I
3/22	55.8	210.5	16.5	<21	90.3	22.3	<8	<8	90.0	31.6	12.9	14.4
3/23	60.4	193.6	<9	<13	62.1	<7	<8	<7	61.5	12.0	<12	<10
3/24	89.8	78.7	<10	<9	92.0	48.0	<7	<7	89.0	14.6	<7	<8
3/25	86.8	50.9	<7	<9	82.1	75.7	<7	<8	98.3	11.2	<6	<8
3/26	90.2	33.6	<7	<8	94.0	48.3	<6	<7	91.1	<8	<6	<7
3/27	88.2	19.7	<7	<8	92.0	26.6	<6	<8	92.0	9.4	<6	<6
3/28	90.7	14.4	<6	<7	88.7	14.2	<6	<7	88.9	<8	<6	<8
3/29	90.3	14.1	<6	<8	93.0	14.2	<6	<7	89.3	<8	<7	<7
3/30	89.6	15.0	<6	<7	91.6	10.3	<6	<8	92.0	7.7	<6	<7
3/31	89.7	<8	<6	<9	96.8	12.8	<6	<8	93.4	9.9	<6	<7
4/1	87.6	<9	<6	<8	90.1	13.1	<7	<7	90.6	<7	<6	<8
4/2	89.2	<8	<7	<9	91.8	<8	<6	<8	91.7	9.2	<6	<7
4/3	90.9	7.5	<6	<7	88.8	<8	<6	<8	90.7	<9	<6	<7
4/4	96.0	8.3	<7	<7	88.9	7.3	<6	<8	91.8	7.6	<7	<7
4/5	88.9	<8	<6	<8	90.4	<9	<7	<7	90.8	<8	<7	<7
4/6	90.0	<7	<6	<5	86.3	<7	<7	<8	97.1	<7	<5	<6

Fig. 2 γ -ray dose rate (μ Sv/h) during March 13 – May 31

3.3 空間線量率

空間線量率の経時変化を Fig. 2 に示す。大気浮遊塵の計測値と良い相関を示している。3月15日5時頃に上昇が見られ、同日10～11時に最大値を観測した。その後、低下傾向が続き21～23日の降雨の際に再び上昇が見られた。23日以降、線量が事故前と比べ高いのは、地面に沈着した放射性物質の影響によるものと考えられる。4月15日以降、線量率の低下が見られるが、これは支所内の工事の関係で、測定時の高さをおよそ48 cm から88 m に変更した

ためである。

4. 被ばく線量評価

4.1 内部被ばく

¹³²Te, ¹³¹I, ¹³²I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, の5核種について、一般成人の内部被ばく線量の評価を行った。内部被ばく線量 H (mSv) の計算は、式(1)⁷⁾を用いた。

$$H = \sum_m \sum_i K_i \cdot A_m \cdot i \quad \dots (1)$$

K_i は放射性物質 i の実効線量への換算係数

(mSv/Bq), A_m , i は摂取物 m 中の各放射性物質 i の累積摂取量 (Bq) を示す。

大気浮遊塵による累積摂取量は, 大気浮遊塵の測定結果と成人の呼吸率 $22.2 \text{ m}^3/\text{日}^{8)}$ を用いて評価した。3月13日～5月31日までの累積摂取量はそれぞれ ^{132}Te が643 Bq, ^{131}I が1038 Bq, ^{132}I が672 Bq, ^{134}Cs が232 Bq, ^{137}Cs が218 Bqであった。屋内での低減効果はないものとし, 5月31日までの累積被ばく線量を計算した。実効線量への換算係数としてはICRP Pub 72⁹⁾を用いた。式(1)で計算した結果, 被ばく線量は5月31日までで $22.2 \mu\text{Sv}$ と計算された。更に5月末の10日間の平均値が今後続くと仮定して翌年3月12日までの1年間の累積被ばく線量を計算した結果, $22.8 \mu\text{Sv}$ と推定された。

農畜水産物は Table 1 に示した農作物, 畜産物, 水産物についての放射能濃度の各平均値を算出し被ばく線量を評価した。1年間食べ続けたとして, その間の減衰を考慮して計算を行った。摂取量は, 日本人の平均の摂取量を用いた⁷⁾。野菜の摂取による被ばく線量は $174.6 \mu\text{Sv}$, 牛乳の摂取による被ばく線量は $0.7 \mu\text{Sv}$, 水産物の摂取による被ばく線量は $71.7 \mu\text{Sv}$ と評価された。

農畜水産物については試料数が少なく, 評価の信頼性については正確性を欠いていることは否めない。しかし他インターネット¹⁰⁾で公表されている試料数がより多い農作物の測定値についての平均値を算出すると, Table 1 の平均値より低い値であり, 本論文での被ばく線量評価は安全側に立ったものとなっている。

浄水の摂取による被ばく線量の評価は, ^{131}I で最大値を示した金町浄水場の水を毎日飲み続けたとして計算した。浄水の摂取量は文献¹¹⁾から $0.7 \text{ L}/\text{日}$ を採用した。その結果, 被ばく線量は $10.0 \mu\text{Sv}$ であった。

大気浮遊塵, 農畜水産物, 浄水による1年間の累積内部被ばく線量は, 合計 $279.8 \mu\text{Sv}$ と推定された。

4.2 外部被ばく

事故後の外部被ばく線量を評価するため, 測定された空間線量の値から平常時の線量を差し引いた。平常時の線量は, 4月14日までは旧駒沢支所中庭における放射性物質検出前(3月15日以前)の線量を用いた。4月15日以降は測定箇所を正門脇に変更したため, 2010年11月に管理区域法定帳簿作成の際に本地点で測定した値をバックグラウンド値 ($0.05 \mu\text{Sv}/\text{h}$) として用いた。8時間は屋外, 16時間は屋内で生活すると仮定し, 屋内での低減係数として 0.4 ¹²⁾ を用いて外部被ばく線量を計算した。計算の結果, 被ばく線量は5月31日までで $38.8 \mu\text{Sv}$ と計算された。更に5月末の10日間の平均値が今後続くと仮定して翌年3月11日までの1年間の累積被ばく線量を計算した結果, $145.3 \mu\text{Sv}$ と推定された。

5. 結 語

都産技研では福島第一原子力発電所の事故後, 継続して都内の放射能や放射線の測定を行ってきた。測定対象は大気浮遊塵, 農畜水産物, 浄水の放射能濃度及び空間線量率である。対象核種は内部被ばく線量に大きく寄与する ^{132}Te , ^{131}I , ^{132}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs の5核種とした。それぞれの結果を基に翌年までの累積被ばく線量を推定した。その結果, 内部被ばく線量と外部被ばくの合計値は $425.1 \mu\text{Sv}$ と評価された。

東京都では100か所における空間線量率の測定を行っており, 地域によっては最大で $0.2 \mu\text{Sv}/\text{h}$ を観測した¹³⁾。この値を基に1年間の被ばく線量を評価したところ, 一般公衆の被ばく限度である $1 \text{ mSv}/\text{年}$ を大きく超えないことが示された。

本稿ではヨウ素については粒子状物質のみに着目し, ガス状ヨウ素については考慮されておらず過小評価となっており, 農畜水産物についても試料数が少ない。更に東京電力福島第一原子力発電所の収束の長期化, あるいは食品汚染の広域化に伴い, 被ばく線量が増加することも

考えられる。

今後も継続した放射能（線）測定を行い、より精確な被ばく線量を評価することが求められる。

謝 辞

本観測を行うに当って多くの方々のご助力及びご教示を得ました。バイオ応用技術グループの朝倉守氏、碓井正雄氏、武藤利雄氏、高田茂氏、斎藤正明氏、中川清子氏、紋川亮氏、柚木俊二氏、中川朋恵氏、大藪淑美氏、藤井恭子氏、河原大吾氏、畑山博哉氏の皆様に謝意を表します。また、観測にご協力いただいた他グループの方々には心からお礼申し上げます。

文 献

- 1) 原子力安全委員会：
<http://www.nsc.go.jp/info/20110412.pdf>
- 2) IAEA：
<http://www.iaea.org/newscenter/news/2011/fukushima120411.html>
- 3) 東京都総務局，プロジェクト研究報告 環境放射能に関する調査研究，19-220(1978)
- 4) 猪越幸雄，山崎正夫，高田茂，鈴木隆司，武藤利雄，谷崎良之，岡野安宏，千坂治雄，チェルノブイリ原子力発電所事故に係る環境放射能測定結果と被ばく線量評価，東京都立アイソトープ総合研究所研究報告(1988)
- 5) 厚生労働省医薬局食品保健部監視安全課，緊急時における食品の放射能測定マニュアル，p. 10 (2002)
- 6) 日本アイソトープ協会，アイソトープ手帳 10 版，p. 48，p. 50，丸善，東京(2001)
- 7) 厚生労働省医薬局食品保健部監視安全課，緊急時における食品の放射能測定マニュアル，p. 28，p. 37-39(2002)
- 8) 原子力安全委員会，環境放射線モニタリング指針，p. 48(2008)
- 9) ICRP Publication 72, *Ann. ICRP*, **26**, 26-27, 60-62 (1996)
- 10) 東京都産業労働局：
<http://www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2011/06/2016a602.htm>

- 11) 花王株式会社，水摂取量：
http://unit.aist.go.jp/riss/crm/exposurefactors/documents/factor/food_intake/intake_water.pdf
- 12) 原子力安全委員会，原子力施設等の防災対策について，p. 94(2008)
- 13) 東京都健康安全研究センター：
http://monitoring.tokyo-eiken.go.jp/mon_tokyo_area.html

Abstract

Measurement of the Ambient Radioactivity and Estimation of Human Radiation Exposure Dose in Tokyo with Regard to the Radioactive Substance Leakage Due to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident

Yoshiyasu NAGAKAWA, Takashi SUZUKI, Yasuhito KINJO, Noriyuki MIYAZAKI*, Masayuki SEKIGUCHI, Noboru SAKURAI and Hiroaki ISE: Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute[†], 3-13-10 Nishigaoka, Kita-ku, Tokyo 115-8586, Japan, *Tokyo Metropolitan Food Technology Research Center, 1-9 Kanda-Sakuma-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0025, Japan, [†]Present address: 2-4-10 Aomi, Koto-ku, Tokyo 135-0064, Japan

The massive earthquake that occurred in northeastern Japan on March 11, 2011 triggered a severe nuclear accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Since the accident, concentrations of radionuclides in airborne dust, foodstuffs and drinking water, and γ -ray dose rate have been monitored at Fukazawa, Setagaya-ku in Tokyo. Based on the results obtained until May 31, we tried to calculate internally exposed dose due to ^{132}Te , ^{131}I , ^{132}I , ^{134}Cs and ^{137}Cs , and externally exposed dose calculated from air dose rates. Cumulative dose in one year from the day when we started monitoring was estimated to be 425.1 μSv , which does not exceed 1 mSv, the annual dose limit of public given by ICRP.

(Received June 29, 2011)