

東日本大震災後の環境中での放射能・放射線の推移

*猿渡 英之・**円子 和顕・***佐藤 諒平・*玉木 洋一

The Changes of Radioactivity and Radiation in Environment
after the Grate East Japan Earthquake Disaster

SAWATARI Hideyuki, MARUKO Kazuaki, SATO Ryohei and TAMAKI Yoichi

Abstract

Radioactivity of various kinds of natural samples and radiation dose rate were measured after the Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident for finding the contamination of radioactivity.

Just after the nuclear accident, short life nuclides with half life of several days were observed in samples such as the soils of several places in Japan, plants and filtrated air samples. The decrease of dose rate corresponded to the decay of these nuclides. It was found that radioactive nuclides were strongly adsorbed by fallen leaves and weathered leaves compared with living plant surface.

Systematical survey was carried out at Aobayama area of Miyagi University of Education in 2011 and 2014. It became clear that radioactivity and dose rate were varied from place to place due to natural environment and phenomena or perturbation of people's activity. It was found that radiocesium stayed at the surface of soil, and not penetrated as the water soluble species, during these periods. As for surface soil samples, however, the results of the survey in 2014 made it plain that diffusion, transfer and accumulation of radiocesium have occurred. Radioactivity concentrations were less than physical one calculated from the result of 2011 and decay until 2014.

Similar survey was carried out at Sukagawa city in Fukushima prefecture.

Key words : Nuclear power plant accident (原発事故)

Radiation dose (放射線量)

Radioactivity (放射能)

Environment (環境)

Radioactive Contamination (放射能汚染)

Cs-137 (セシウム-137)

* 宮城教育大学理科教育講座

** 宮城教育大学教育学部理科教育専攻

*** 宮城教育大学教育学部理科コース

1. はじめに

1-1 福島第1原発事故と放出放射能の概要

2011年3月11日14時46分、後に東北地方太平洋沖大地震と名付けられたマグニチュード9.0の巨大地震が起こり、それに伴う津波により東京電力福島第1原子力発電所の原子炉群は浸水し、外部電源の喪失、炉心核燃料の露出、高温による核燃料の溶融・水素爆発により、原子炉は破壊され、多量の核分裂物質が放出された。¹⁾ 3月12日から15日にかけての4基の原子炉の爆発により、大気に放出された放射性物質は900 PBq (9×10^{17} Bq 放射性ヨウ素換算値)と膨大な量であることが報告されている。¹⁾

この原発事故による放射性物質は東日本、北日本に深刻な放射能汚染を引き起こし、²⁾ 現在でも(2015年8月現在)東日本大震災の避難者として、放射能汚染によるものを含め約20万人が避難を余儀されている。

事故直後、主として¹³¹I、¹³²Iなどの短半減期の放射性核種からの放射線による高い放射線量が観測された。その後、放射線量は急激に減少し、1, 2月後にはほぼ一定の値となったが、現在も事故前より高い値が続いている。これは、天然の放射線に加え、原発事故由来の半減期の長い放射性核種による放射線が主因であり、外部放射線への寄与は小さいものの内部被曝が危惧される⁹⁰Srなども含まれる、これらの放射能は今後少なくとも数十年間は環境に存在することになり、その挙動について長期間の観測、測定を継続して行くことが必要になる。

1-2 研究目的

原発事故により放出され、拡大した放射性物質による汚染は、放射能・放射線は人間には五感に感じられないため、不安や恐れを抱かせてしまう恐れがある。この意味で環境中での放射能・放射線について事故当時やそれからの推移、現状を客観的に示しておく必要がある。

本学では、放射線施設を有しており、RI実験棟で非密封の放射性同位元素等を扱ってきている。また、これまでも環境放射能の測定を行っており、常時、観測・測定体制を取ることができる。原発事故直後からの約1年間は種々の機関、個人からの依頼により、線

量率測定、食物、土壌、作物、水などの試料の放射能測定を行ってきた。これらの測定と並行して、身近な環境における放射能・放射線を明らかにするため、継続して研究を行ってきた。

本報告では、このうち以下の点について行った研究を述べる。

- 原発事故直後からの継続した観測による放射線量の把握
- 青葉山キャンパスとその周辺について、放射線量と原発事故由来の放射能を測定することにより、この地域全体の放射能汚染状況を明らかにする。
- 同様の地域で約3年後の放射能汚染状況を示し、放射性物質の減衰、移動等の推移を示し、その理由を明らかにする。
- 他の地域の観測・測定により、青葉山キャンパスとの地域間の相違を示す。

なお、本研究で示した資料は、これまでの3年間の結果をまとめ、記録として残す目的も含んでいる。

2. 実験

2-1 放射線測定装置

本研究では、空間放射線量率(放射線量率)および放射能濃度の測定を行った。以下にその測定装置の概要について示す。

1) 放射線量率測定装置

放射線量率の測定にはγ線サーベイメータ(日立アロカメディカル社製TCS-151, TCS-172B, PDR-301)を目的に応じて使用した。いずれの機種も固体検出器であり、γ線による放射線量率が測定できる。

TCS-151, TCS-172Bは検出器としてNaI(Tl)結晶が使われており、最小目盛はいずれも0.01 μSv/hである。測定時は0.001 μSv/h単位まで読み取った。PDR-301はシリコン半導体が使われており、測定データの自動記憶機能により連続長時間測定とそのデータのコンピュータ処理が可能である。尚、これらの機種は全て校正済みである。

2) 放射能測定装置

採取試料中の放射能濃度の測定には、高純度ゲルマニウム半導体検出器(SEIKO EG & G社製)によ

る γ 線スペクトロメータシステムを用いた。

この計測システムは、半導体検出器、液体窒素による検出器冷却系、天然放射線低減のための遮蔽体、高圧電源、前置増幅器、比例増幅器、波高分析器の計測系と γ 線スペクトル解析系からなっている。遮蔽体は、外側から厚さ10 cmの鉛、それぞれ5 mmの銅とアクリルからなり、検出器の遮蔽とともに、制動放射線の低減を図っている。また、検出器周りは検出器冷却系の液体窒素から発生する窒素ガスを充填させ、ラドンおよびその娘核種からの γ 線の低減を図っている。これらの低減処置により、検出下限を向上させることができ、代表的な測定核種である ^{137}Cs の検出下限は約0.1 Bqであった

2-2 放射線量率測定方法

宮城教育大学青葉山キャンパス（青葉山キャンパス）とその周辺の放射線量率測定にあたっては、図1に示すように東西、南北方向にそれぞれ100 m間隔のメッシュで区画し、その区画内の1点を選んで測定地点とした。

原発事故由来の放射線量率への寄与は事故後の雨や雪によって地表に降り注ぎ、とどまっている放射性核種によるものである。現在、事故後4年半が経過しており、事故当時の放射性核種は人の出入りによる攪乱、風雨、植物の繁茂、落葉などによる移動、攪拌などが起こっていると考えられる。放射線量率および放射能強度の推移を検討するためにできるだけ人為的な影響を受けない事故当時の環境を保っている場所を主として選定した。具体的な場所の選定条件は以下の通りである。

これは「人があまり足を踏み入れない場所、樹木の下などでない開けた場所、建物から離れた場所、舗装されていない裸地、傾斜のない場所」であり、これらの条件をできるだけ満たすようにメッシュ内でその場所を選んだ。

また、これらと比較するため上記の条件に合わない場所も意識的に選定した。これらの測定場所は図1中に通し番号で示した。

測定地点で放射性核種が不均一に分布していることに起因するサーベイメータの検出器の向きによる放

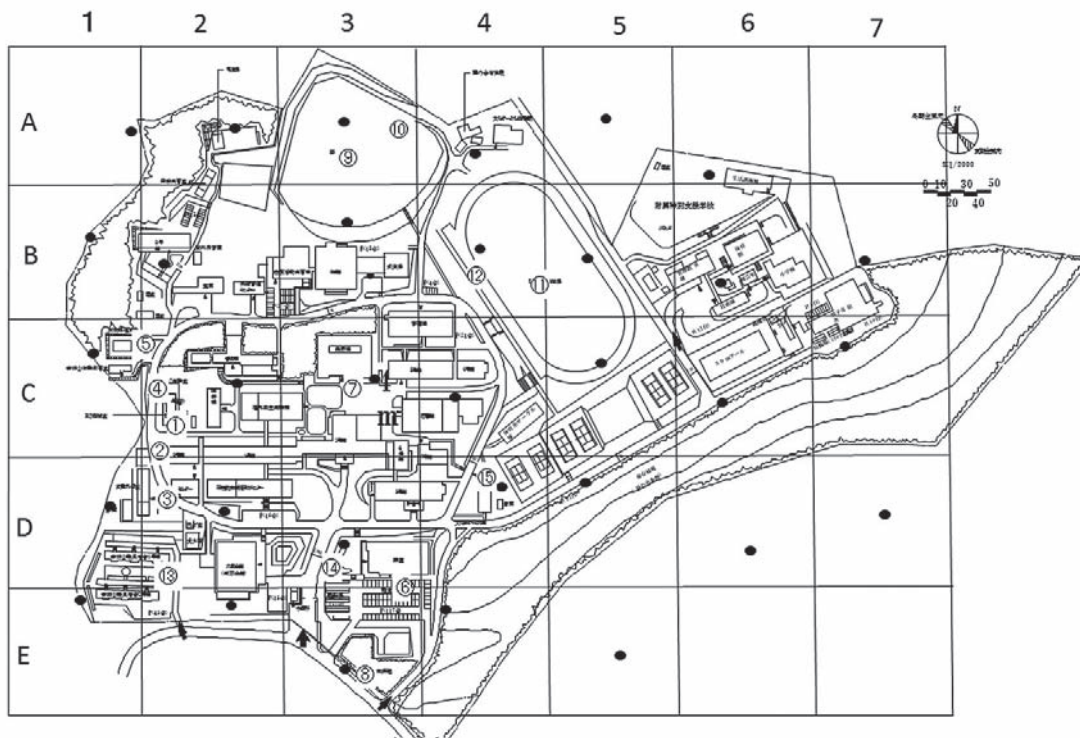


図1 宮城教育大学青葉山キャンパス及び周辺の線量率測定地点、土壌採取地点
 ● 線量率測定地点
 図中の番号は●以外の線量率測定地点及び土壌採取地点の通し番号

放射線量率の測定値に偏りはないことを確認している。

放射線量率の測定は、同一地点で地面から5 cm、高さ1 mで行った。サーベイメータの時定数を30秒とし、4回以上測定を繰り返し、その平均を測定値とした。

2-3 放射能濃度測定方法

1) 試料採取と測定試料の調製

大気中放射性核種の採取は定流量エアサンプラーとろ紙フィルター（ADVANTEC社製 HE-40T）によって行った。採取空気容量は5 m³で行った。採取後のフィルターは同じ大きさの四角形に折りたたみ、測定試料とした。

落ち葉等の植物試料は採取後、洗浄、乾燥等を行わず、そのまま粉砕した。

土壌試料の採取には、スチール製のコーヒー缶をくりぬいた自作の簡易試料採取器を用いた。これにより、単位面積当たり、単位重量当たりの放射能濃度を求めることができる。また、深さごとに分画して採取することにより深さ方向の分布を求めることができる。採取した土壌試料はよく攪拌した。植物試料、土壌試料は試料量に応じてU8容器、U9容器（アズワン製、それぞれ容量100 mL、50 mL）を用いて測定試料とし、 γ 線測定に供した。

2) γ 線スペクトル測定と放射能濃度算出

高純度ゲルマニウム検出器による γ 線スペクトルの測定は宮城教育大学RI実験棟で行った。各放射性核種の同定、計数値の算出等はスペクトル解析ソフト（SEIKO EG & G社 ガンマスタジオ）によって行った。核種ごとの放射能濃度の算出に必要な計数効率¹⁵²Eu標準線源と質量既知のKCl試料を用いて、測定試料の形状ごとに求めた。

3. 実験結果と考察

3-1 原発事故後初期の放射線量率と放射性核種の推移

東北地方太平洋沖大地震による東日本大震災ではライフラインが長期間にわたって停止したままになり、原発事故の状況や放出された放射能による汚染状況は正確には把握できず、マスコミも含めて放射能や

放射線についての無理解や偏見が露呈した。このような中で、原子炉から放出された核種は数日単位の短半減期のものが多く、身の回りの放射能と放射線の測定は急を要する事態であった。

図2に2011年3月15日を基点とした約100日間の空間放射線量率の測定結果を示す。3月15日は原子炉事故で最も多く放射性物質が放出された日である。¹⁾ 測定機器はガンマ線サーベイメータ（TCS-151）、測定は宮教大キャンパス9号館玄関前で高さ1 m、および著者の一人の自宅2階南側で行った。

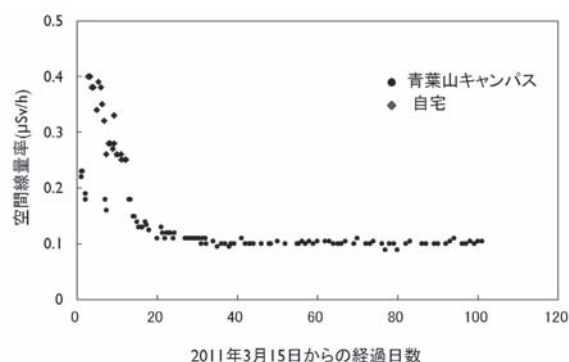


図2 原発事故後初期の空間線量率

この図に見られるように、空間線量率は、事故直後0.4 μ Sv/h以上の値から約2週間までに急激に減少し、その後は約0.1 μ Sv/hで緩やかに減少している。この初期の急激な減少は短半減期核種の壊変による減衰のためである。事故以前の自然放射線は0.02~0.04 μ Sv/h程度であり、約100日経過した後でも高い状態を保っている。このような空間線量率の推移は福島県や茨城県の他の測定地点とよく対応していた。³⁾

γ 線スペクトル測定によって確認された核種の例を半減期、光電ピークのエネルギーとともに表1に示す。またこの各光電ピークの減衰曲線の例を図3に示す。

表1 γ 線スペクトル測定による検出核種^{*)}

核種	半減期	γ 線エネルギー (keV)
¹³¹ I	8.04 d	364.48
¹³² I ^{**)}	2.28 h	667.69
(¹³² Te)	(77.7 h)	772.61
¹³⁴ Cs	2.06 y	569.29
		604.66
		795.76
¹³⁶ Cs	13 d	340.57
		818.00
		1,048.07
¹³⁷ Cs	30 y	661.64

*) 測定試料：ケヤキ落ち葉、2011年4月4日採取

***) ¹³²Teの娘核種

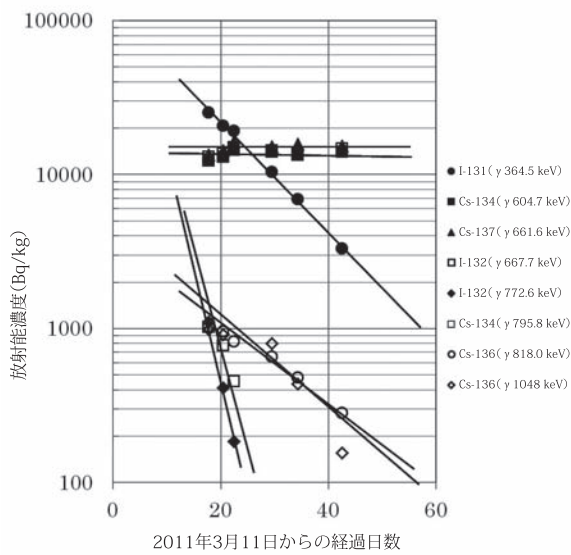


図3 γ 線光電ピークの減衰曲線

γ 線スペクトルでは天然放射性核種も含め多くの光電ピークが見られる。表1から原発事故由来の短半減期の放射性核種である ^{131}I 、 ^{132}I (^{132}Te の娘核種)が観測されている。また、図3にみられるように、減衰曲線を事故発生時の基点に戻せば、これらの核種は原発事故による放射線への寄与が他の核種に比べ大きいことが分かり、事故直後の被爆放射線量の見積もりが可能であると思われる。また、前述の空間放射線量率の初期での急激な減衰とこれらの短半減期核種が対応していることが分かる。

原発事故後初期の植物の状態ごとの放射能測定結果を表2に示す。

落ち葉は青葉山キャンパスのケヤキの落ち葉、枯れ草、雑草(生葉)、ヨモギは著者の一人の自宅近くの空き地の同じ場所で採取した。

表に見られるように、放射能濃度は放射性のセシウム、ヨウ素とも落ち葉、枯葉は高く、同程度の値であり、雑草(生葉)、ヨモギの順に弱くなる結果が得られた。

事故直後、放出された放射性核種は大気の流れにより移動していることがシミュレーションで示されており、地表を汚染させる主な原因は降雨・降雪であると考えられる。これらにより降り積もった放射性核種は地表にある物質に吸着され、一部の溶解性の化学種は風雨によって洗い流されたり、粉塵として飛ばされて移動するものと考えられる。

今回の結果は、放射性核種が落ち葉や枯れ草には強く吸着されていることを示している。これに対し事故当時生葉であった雑草は落ち葉や枯れ草と対照的に放射能濃度は非常に弱い。この理由は、生葉も同じように放射性核種が降り注いだと考えられるが、生葉は吸着力が弱く、風雨で移動したのと考えられる。放射性セシウムの吸着機構は種々研究されて来ており、⁴⁾今回の枯葉や枯れ草と生葉の吸着力の大きな違いは興味あるところである。ヨモギは事故当時は生えておらず、その後新たに芽が出て成長したものである。わずかに見られる放射性核種は土壌から吸収されたものと考えられ、この場所の土壌の放射能測定から、土壌からヨモギの葉への移行係数は0.01程度と算出された。

表2 原発事故後初期の植物の放射能濃度*)

核種	落ち葉			枯れ草			雑草(生葉)			ヨモギ	
	採取日	採取日	採取日	採取日	採取日	採取日	採取日	採取日	採取日	採取日	
	4/1	4/7	4/11	4/4	4/7	4/10	4/4	4/7	4/10	4/7	6/9
^{132}I	1,018	701	—	633	596	—	42	—	—	—	—
^{131}I	25,214	22,541	11,861	22,228	19,500	10,719	1,289	1,458	533	11	—
^{136}Cs	1,028	1,008	1,008	1,096	897	547	75	—	—	—	—
^{134}Cs	12,295	17,272	15,850	15,423	16,180	10,834	1,064	1,598	1,139	27	29
^{137}Cs	13,341	20,406	18,942	15,505	17,259	12,084	1,088	1,981	1,418	41	27

*) 単位はBq/kg、—は不検出

図4に大気中放射能濃度の測定結果を3月15日を基点として示す。放射性のヨウ素やセシウムなどは大気中にはエアソゾルや塵などに存在し、フィルターに捕捉される。試料採取は青葉山キャンパス1号館1階北側屋外、高さ1mで行った。

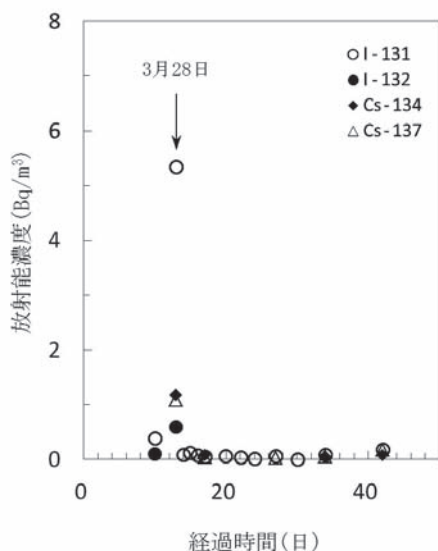


図4 原発事故後の大気中の放射能濃度

同定された核種は ^{131}I 、 ^{132}I 、 ^{134}Cs 、 ^{136}Cs であった。

3月28日の急激な増加は塵芥の飛散などが考えられるがその理由は不明である。短半減期核種である ^{131}I 、 ^{132}I (^{132}Te) は基点の日から20日頃までわずかではあるが検出された。

表3に事故後数ヶ月間に採取・測定を行った日本各地の土壌の放射能濃度の測定結果を示す。

表3 原発事故後初期における各地の土壌の放射能濃度

採取地点	採取日	採取状況	放射能濃度 (Bq/kg)		
			^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs
仙台	4/2	畑	3,260	944	986
仙台	4/7	畑	2,680	1,170	1,280
遠野	5/15	畑	19	376	443
南相馬	5/25	開けた所	—	27,200	30,600
南相馬	6/7	松林	—	9,850	11,700
徳島市	7/3	道路脇	—	129	220
米沢	7/23	植え込み	—	229	275
東京 (世田谷区)	8/8	裸地	—	224	228
川崎	8/8	植え込み	—	160	172
川崎	8/8	植え込み (腐植葉)	—	811	918
東京 (文京区)	8/26	樹の下	—	814	987

この表から東北電力福島第1原子力発電所に近い南相馬市は数値が非常に高い。放射能濃度の値は、例えば南相馬の同じ区域で松林と開けた場所など、地域、採取場所、採取状況により異なり、数値自体を比較することはできないが、福島第1原子力発電所に近い東北地方、関東地方は当然ながら、その値は小さいものの関西地方まで放射能汚染が拡散していることが分かる。

3-2 青葉山キャンパスおよび周辺の放射線量率の推移

2011年9月末に行った空間放射線量率の高さ1mでの測定結果を表4(a)、表4(b)に示す。

誤差は標準偏差で示し、地表面から5cmでの測定値との比も示した。表4(a)では、測定32地点の高さ1mでの放射線量率の値は最大0.178 $\mu\text{Sv/h}$ 、最小0.118 $\mu\text{Sv/h}$ 、平均値は0.14 $\mu\text{Sv/h}$ であり、測定場所による違いが明確に見られる。また高さ5cmでの値は最大0.211 $\mu\text{Sv/h}$ 、最小0.136 $\mu\text{Sv/h}$ 、平均0.17 $\mu\text{Sv/h}$ である。高さ1mと5cmでの放射線量率には相関が見られ、天然放射線等からの線量を差し引いても地表面に存在する原発事故由来の放射能による放射線であることが明らかである。

前述の測定場所選定条件に当てはまらない場所を選んで測定した結果を表4(b)に示す。

測定状況は、①雨樋脇、②アスファルト上、③コンクリート上、④マンホール上、⑤樹の下、⑥駐車場、⑦下水枘の上、⑧植え込みである。②、③、④、⑥は放射線量率の値が低く、1mと5cmでの値の違いはほとんどない。この原因は降雨や風による放射性核種の移動と人によるかき混ぜが起こっているためと考えられる。これに対して、①、⑤、⑦、⑧は放射線量率が高く、1mに比べ5cmでの値は大きく、事故後の放射性核種が移動して蓄積されたり(①、⑦)、事故後の状態が約8ヶ月後もそのまま維持されている(⑤、⑧)場所であると考えられる。

約3年後の2014年10月26日、前回と同じ場所で放射線量率の測定を行った。測定結果を基に、前回との変化の違いを3種類にグループ分けし、比較検討を行った。

Aグループは森の中や人が比較的立ち入ることのない場所、Bグループは人の通りが比較的多い道の脇など、Cグループは陸上競技場や野球場と分類した。

表4 (a) 原発事故後初期の青葉山キャンパスの放射線量率^{*)}

測定場所	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
放射線量率	0.145	0.130	0.143	0.171	0.153	0.155	
誤差	0.004	0.009	0.005	0.002	0.005	0.004	
1 m/5 cmの比	0.935	0.874	0.857	0.901	0.871	0.816	
測定場所	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
放射線量率	0.153	0.149	0.156	0.178	0.134	0.124	0.138
誤差	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003	0.003
1 m/5 cmの比	0.841	0.888	0.828	0.840	0.856	0.750	0.917
測定場所	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
放射線量率	0.144	0.146	0.138	0.124	0.166	0.138	0.126
誤差	0.007	0.005	0.003	0.006	0.003	0.005	0.006
1 m/5 cmの比	0.865	0.900	0.853	0.697	0.858	0.738	0.697
測定場所	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
放射線量率	0.133	0.135	0.140	0.151	0.130	0.130	0.136
誤差	0.003	0.003	0.007	0.005	0.007	0.004	0.005
1 m/5 cmの比	0.891	0.871	0.789	0.890	0.954	0.867	0.965
測定場所	E1	E2	E3	E4	E5		
放射線量率	0.125	0.155	0.133	0.118	0.124		
誤差	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003		
1 m/5 cmの比	0.781	0.844	0.797	0.832	0.717		

*) 測定日：2011年9月27日～28日、放射線量率：μSv/h、誤差：標準偏差

表4 (b) 原発事故後初期の青葉山キャンパスの放射線量率^{*)}

測定場所	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
放射線量率(μSv/h)	0.140	0.100	0.099	0.103	0.136	0.078	0.141	0.143
誤差	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.006
1 m/5 cmの比	0.479	1.00	0.952	1.24	0.773	0.805	0.351	0.430

*) 測定日：2011年12月1日、測定場所番号：図1参照 誤差：標準偏差

原発事故由来の放射能は、約3年経過すると長半減期の核種のみになり、放射線量率に寄与するγ線を放出する放射性核種は主として¹³⁴Cs（半減期2.06年）と¹³⁷Cs（半減期30.17年）である。⁵⁾

図3に示されるように事故当時の¹³⁴Csと¹³⁷Csの放射能の比はほぼ1：1であった。また、¹³⁴Csからのγ線は¹³⁷Csの放出する1本のγ線のエネルギーの周りに複数あり、⁵⁾放射線の強度は¹³⁷Csの約2.6倍である。また、半減期の短い¹³⁴Csはその放射線量の減衰は¹³⁷Csより速く、半減期の違いによる減衰量の違いから前回（2011年9月）の放射線量率を1とすると2014年10月は0.34に減少している。従って放射性核種の移動がなければこの放射線量率なる。本報告では2014年10月時点でのこの線量率を「線量率の物理的減

衰値」と呼ぶこととする。

グループごとの1mの高さでの約3年間の比較を図5(a)、(b)、(c)に示した。

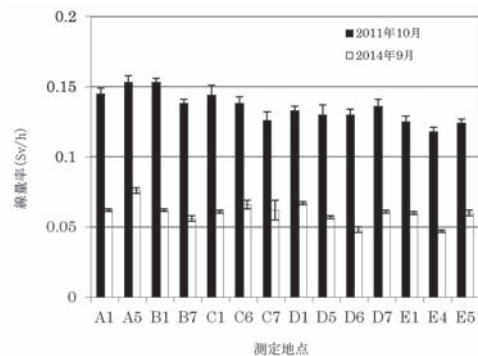


図5 (a) 青葉山キャンパスにおける線量率の推移 Aグループ 高さ1m 誤差は標準偏差

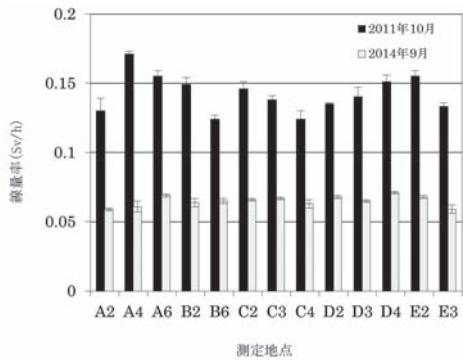


図 5 (b) 青葉山キャンパスにおける線量率の推移 Bグループ 高さ 1 m 誤差は標準偏差

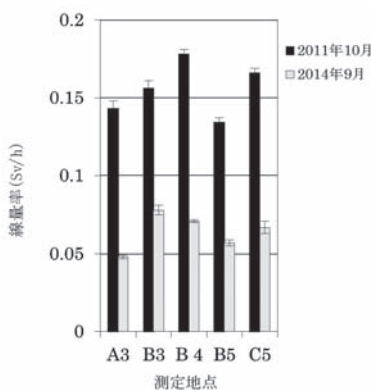


図 5 (c) 青葉山キャンパスにおける線量率の推移 Cグループ 高さ 1 m 誤差は標準偏差

各図の比較から、AとCのグループでは、2014年10月の値は2011年9月の値に対応して増減している。また、Aグループは線量率の物理的減衰値とほぼ一致したが、CグループはAグループと比べ、放射線量率の減少量が線量率の物理的減衰値より大きい結果となったこれに対して、BグループはA、Cグループとは異なり、2011年9月の値とは対応せず、場所にかかわらず、ほぼ一定の値となった。この結果から、Aグループは約3年前の状態を保っており、放射性核種はそのままとどまっている。Bグループは人間活動によるかき混ぜが進み、均一になったと考えられる。地表面の放射性セシウムは深さ方向への移動はほとんど無く地表面にとどまっている。⁶⁾これは後述のように本研究でも示されており、Cグループは野球場や陸上競技場のグラウンドであることから、人為的なかき混ぜ、風による表層土の飛散や移動などにより放射性物質が他の地点より少なくなったと考えられる。

以上述べたように、原発事故後の環境放射線量は、場所による違いが大きく、その時間経過に伴う変

化もその場所のおかれている状況により大きく異なることが明らかになった。

3-3 土壌中の放射性セシウムの推移とその挙動

1) 放射性セシウムの局所分布状況

γ 線スペクトルから得られる放射性核種は原発事故発生初期を過ぎれば ^{134}Cs と ^{137}Cs である。この放射性同位体は物理的にも化学的にも同じ挙動を示すと考えられる。このためこの報告では主として ^{137}Cs について述べる。

採取した試料がその地点を代表しているかどうかを確認するため、3 m四方の四隅とその中央の5点から採取し、放射能測定を行った。その結果、平均値に対して相対誤差(標準偏差)は、約25%と大きい値を得た。これは、放射性セシウムの分布は均一ではなく、採取位置やその結果の解釈について注意が必要であることを示している。

地表面から深さ方向の放射性セシウムの濃度分布について2011年5月と2014年10月採取した試料の測定結果を図6(a)、図6(b)に示す。

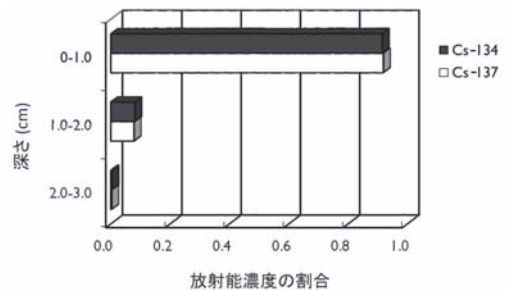


図 6 (a) 土表面から深さ方向の放射能濃度の割合 採取日：2011年6月7日

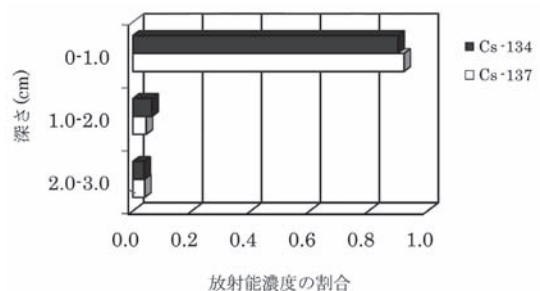


図 6 (b) 土表面から深さ方向の放射能濃度の割合 採取日：2014年10月27日

この結果から、地表面に降り積もった放射性セシウムのほとんどは事故後初期にはその表面にとどまっていることが示され、さらに、約3年間経過後もこの状態は変わらず、地中へは移動しないことが示された。このことから、放射性セシウムは表面の土（土壌）に強く吸着していることが明らかになった。

2) 青葉山キャンパスにおける放射性セシウムの挙動
 青葉山キャンパス内15地点で採取した土壌の¹³⁷Cs濃度を表5に示す。採取地点は図1に示した場所であり、その地点の周囲の状態を表中に示した。

この結果から、測定地点全体の¹³⁷Cs放射性セシウム濃度の平均値は180 Bq/kgであった。しかし、場所による違いが大きいことが示されている。このことは、ある地域に原発事故由来の放射性セシウムが存在していることは明らかにできるが、採取の点数が少ない値ではそこ代表する数値として示すことは困難であるといえる。地域全体の汚染状況を表すには航空機モニタリングが有効であろう。⁷⁾ 表の中で、①RI棟わき雨樋そば、⑦美術棟前雨水枡は放射性セシウム濃度が非常に高い、これらの場所は雨水の流れる経路であり、放射性セシウムが吸着した土やほこりなどの固体が蓄積した場所であると考えられる。

図7に2011年9月と2014年10月の¹³⁷Cs濃度の比較を示す。表には¹³⁷Csの2014年10月での「放射能の物理的減衰値」を示した。この値は¹³⁷Csの移動、拡散、蓄積などが無く、2011年9月の状態のまま変化しないと仮定した時の値である。

¹³⁷Cs濃度の小さい場所で逆転はあるものの、2011

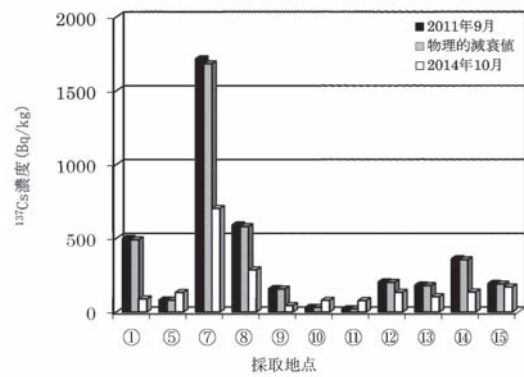


図7 青葉山キャンパスにおける土壌中の¹³⁷Cs濃度の推移

年9月より2014年10月の方が¹³⁷Cs濃度は放射能の物理的減衰値より減少しており、その減少量は90%から15%の広い範囲に及んでいる。地表面付近の¹³⁷Cs濃度の減少は、前述のように深さ方向への移動はほとんどないことから、降雨などによる水平方向の移動によるものと考えられ、この移動も放射線量と同様にその地点のおかれている状況に左右されているものと考えられる。

放射性セシウム濃度と放射線量率との関係については、5 cmでの放射線量率で正の強い相関が得られた。高さ1 mでの放射線量率との相関は高さ5 cmより弱かった。

3-5 須賀川市での調査と走行サーベイ測定を試み

2014年11月を中心に、著者の一人の出身地である福島県須賀川市で放射能、放射線に関して青葉山キャンパスと同様の手法で調査を行った。

表5 青葉山キャンパス内での土壌の¹³⁷Csの放射能濃度*)

採取場所**)	①	⑤	⑦	⑧	⑨	⑩
放射能濃度 (Bq/kg)	499	81	1716	590	158	31
放射能濃度 (Bq/m ³)	8,850	4,900	48,700	30,100	7,490	1,840
採取場所	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	
放射能濃度 (Bq/kg)	21	204	182	361	193	
放射能濃度 (Bq/m ³)	1,340	9,660	7,080	13,200	9,190	

*) 採取日：2011年12月17日

***) ①雨樋脇 ⑤樹の下 ⑦下水枡 ⑧植え込み ⑨野球場中央 ⑩野球場北東脇
 ⑪グラウンド中央 ⑫グラウンド西脇 ⑬宿舍北 ⑭講堂南 ⑮テニスコート脇草地

調査の区域は須賀川市郊外の住宅団地、公園、雑木林、農地など多様な土地利用が行われていた場所である。調査地点は前述と同様に100 mメッシュで区画し、4×4、合計16地点で行った。

放射線量率は比較的高い値を示し、その値は0.12から0.63 $\mu\text{Sv/h}$ と地点により大きく異なっていた。平均値は0.29 $\mu\text{Sv/h}$ であった（5 cmでの値）。この平均値は青葉山キャンパスの約4倍であった。

放射性セシウム濃度についても、採取地点による違いは同様に大きく異なり、 ^{137}Cs 濃度14,000 Bq/kgの強い地点も存在した。その平均値は1,950 Bq/kgと青葉山キャンパスの約10倍であった。

須賀川市での調査には自家用乗用車で移動した。須賀川市での放射線量率が比較的高いことが調査前から知られていたため、仙台からの移動、調査中、仙台への帰路全体を通して車両走行により放射線量率を連続測定することを試みた。この走行サーベイ測定は地域の線量率把握のため多くの場所で行われている方法である。⁵⁾

測定は2014年11月22日に実施した。走行経路は以下の通りである。

宮城教育大学発－東北自動車道宮城IC－同須賀川

IC－須賀川市内－国道49号線－いわき市から国道6号線－山元ICから仙台東部道路－長町IC－宮城教育大学着

測定には γ 線サーベイメータPDR-301を用い、後部座席中央に固定して行った。結果を図8に示す。

図に示されるように、宮城教育大学出発後、東北自動車道国見パーキング付近（以下図8中(1)）までは値は0.07 $\mu\text{Sv/h}$ 程度と低く、その後、帰路の福島県新地町まで比較的高い値で推移し、この間、福島西IC付近(2)、郡山IC付近(3)、須賀川市内(4)(5)、国道6号線久の浜パーキング(6)で高い値が見られた。通行禁止区間が解除された東京電力福島第1原子力発電所の北側を通過する区間である久の浜から南相馬までは高い線量率を示し、最大値は3.4 $\mu\text{Sv/h}$ であった(7)。

車内では自動車の車体に遮蔽され放射線量率は低く測定される。今回の測定条件では車内は車外の0.7倍程度と求められており、実際の屋外での放射線量はさらに高いものである。

このように連続した走行サーベイ測定は明確にその変化を測定でき、各地点での放射線量率の把握に非常に有効な手段である。

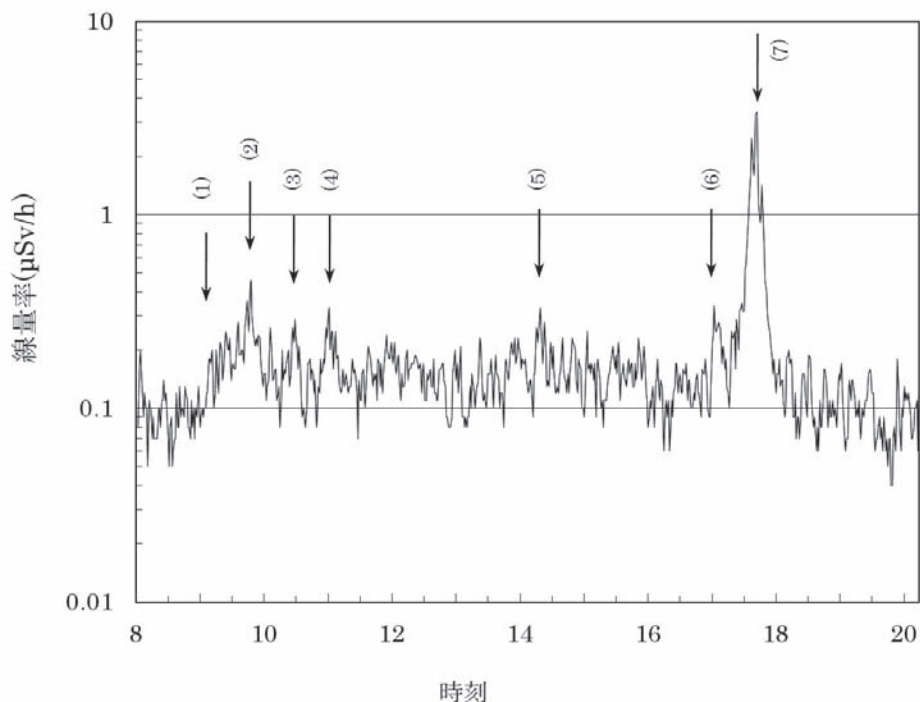


図8 走行サーベイ測定による線量率測定結果
図中の番号は本文参照

4. まとめ

本研究では、原発事故後初期の空間線量率、大気中、土壌の放射能濃度の測定を継続して行い、その結果から、原発事故に由来する環境中の放射能について示すことができた。特に、短半減期の放射性ヨウ素の計測により、その強度を明らかにすることができ、また、放射性核種の植物表面や土壌での吸着性の違いについて知見が得られた。

青葉山キャンパス及びその周辺の線量率を事故後初期と3年後に計測し、この地区全体の放射線量を把握し、その推移を明らかにした。放射線量は測定場所の道路、林の中などの土地利用状況や地形などにより違いが大きいことが分かり、3年後については線量が変動しない場所、上昇した場所、減少した場所など自然条件や人の出入りにより乱された効果によってその推移は異なっていることが示された。同じ区域での放射能濃度の測定によっても線量率と同様の結果が得られ、放射性セシウムの風雨による移動、蓄積、拡散、人為的な要因などが明らかになった。原発事故由来の放射性元素は今後長期にわたって環境に存在し続けるため、今後継続して観測してゆく必要がある。

須賀川市での同様の手法による線量率測定によって青葉山キャンパスとの相違が明らかになった。同時に行った道路上の走行サーベイ測定は地域の線量率測定法として有効な方法であることが確かめられた。

放射性セシウムは、現在は原発事故による放射能汚染の主要な放射性同位体であり、環境の除染や廃棄物保管において常に監視対象となる。本研究でも示されたように、その吸着性と挙動には関連がある。放射性セシウムの存在状態と化学的性質について多くの研究が行われており、放射性物質に汚染された廃棄物からの分離、濃縮、廃棄物の減量化のためにも放射性セシウムの挙動の解明が課題となる。

参考文献

- 1) 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会, 国会事故調査委員会報告 (2012年7月5日) .
- 2) 文部科学省, 放射線量等分布マップ拡大サイト, <http://ramap.jaea.go.jp/map/> (2015年8月確認) .
- 3) <http://dl.dropbox.com/u/16653989/NuclPlants/can.gif> (2015年8月確認) .

- 4) 田中, 坂口, 岩谷, 高橋, 放射化学, 第27号, 12 (2013) .
- 5) C. Michael Lederer and Virginia S. Shirley Ed., Table of Isotopes Seventh Edition, John Wiley & Sons, Inc., (1978) .
- 6) 田上, 内田, Radioisotopes, 61, 511 (2012) .
- 7) 文部科学省報道発表2014年9月28日, 原子力規制庁サイト, radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/7000/6289/24/203_0928.pdf (2015年12月確認) .

(平成27年9月30日受理)