

東電福島第一原発事故に伴う

いわき市海岸砂浜の放射性セシウム汚染調査

Investigation of Radiocesium Contamination of Sand Beaches in Iwaki City
caused by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Disaster.

原田 正光・江尻 勝紀*・橋本 孝一**・中西 恒雄***

山田 貴浩†・青木 寿博††

福島工業高等専門学校建設環境工学科・*モノづくり教育研究支援センター・**いわき地域環境科学会

***NPO法人いわき環境研究室・†福島工業高等専門学校電気工学科

††福島工業高等専門学校物質工学科

Masamitsu Harada, Katsunori Ejiri*, Kouichi Hashimoto**, Tsuneo Nakanishi***,

Takahiro Yamada† and Toshihiro Aoki††

Fukushima National College of Technology, Department of Civil Engineering

*Fukushima National College of Technology, Manufacturing Support Center for Education and Research,

**Environmental and Scientific Society of Iwaki District

***Non-profit organization Iwaki Environment Laboratory

†Fukushima National College of Technology, Department of Electrical Engineering

††Fukushima National College of Technology, Department of Chemistry and Biochemistry

(2012年9月20日受理)

A radioactive material discharged by the accident on March 11, 2011 in Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant of Tokyo Electric Power Company has brought about radioactive contamination of the sand beaches in Iwaki City. Inside the beach sand, it turned out that various vertical profile of the radiocesium concentration existed for the surveying sites. As this cause, it was possible that the layer of beach sand contacted the highly contaminated ascension water and salty groundwater and that the corrosion and deposition of sand layer arose by physical factors.

Key words: radiocesium contamination, Fukushima daiichi nuclear power plant disaster, beach sand

1. はじめに

福島県いわき市には、豊間海岸をはじめとする鳴き砂をもつ海岸や、海水浴シーズンに市外や県外から多くの海水浴客が訪れる海岸が総延長約66kmの海岸線に点在している。これらの自然豊かな海岸砂浜を利用して、いわき地域環境科学会やNPO法人いわき環境研究室などの市民グループが小中学生や市民を対象として、磯の観察会や砂浜保全活動¹⁾などの環境教育を行ってきた。

しかしながら、2011年3月11日に発生した大地震

と大津波により海岸環境が大きなダメージを受けたことに加えて、大震災が原因で発生した東京電力福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質による汚染²⁾のために、海岸砂浜を利用した諸活動が滞っている。特に、放射能汚染問題は大きなダメージをもたらし、海岸砂浜における活動のみならず、森林や水田、河川や湖沼などこれまで市民と自然が触れ合う場として利用してきたフィールドにおける活動が制約を受ける未曾有の事態を招いている。現在、様々なところで震災からの復旧・

復興が進められているが、市民が地域で元気に活動できるフィールドの再生も重要な課題である。

このような観点から、いわき地域環境科学会では発災2ヶ月後に環境教育のフィールドとして利用してきた砂浜の放射能汚染の実態を調べようと永崎海岸砂浜において放射線量の計測を試みた。その後も同海岸砂浜におけるモニタリングを継続するとともに、計測箇所をいわき市内全域の海岸砂浜に拡大した調査を試みている。さらにこれらの調査は、海水浴場のオープンに向けた基礎調査としていわき市から委託されたNPO法人いわき環境研究所のいわき市海水浴場放射能汚染状況調査に結びついている。

本論文では、永崎海岸砂浜における調査ならびに室内実験を中心に、砂浜表面および砂層内部の放射性セシウム汚染の実態について報告する。

2. 調査方法

2.1 調査地点および調査期間

永崎海岸砂浜における環境放射能調査地点を、Fig.1に示す。天神前川と大平川にはさまれた砂浜に、海岸線と平行に3地点(A-2,B-2,C-2)、岸沖方向に3地点(A-1,A-2,A-3)、遡上波の影響を受けないところに1地点(D)を調査地点として設定した。調査は、2011年5月26日から2012年1月28日の期間に行った。調査日と調査地点は、Table 1に示す。なお、調査時の河川流況や潮汐などの関係により、適宜調査地点の増減を行った。

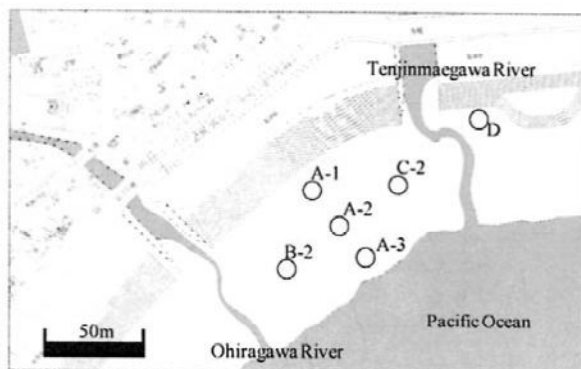


Fig.1 Surveying sites in Nagasaki beach.

また、2012年1月には永崎海岸のほかいわき市内の海岸砂浜における実態調査を行った。各海岸における調査地点および調査日をTable 2に示す。なお、調査地点は各海水浴場の地形を考慮のうえ、砂浜の

中央(C)を中心にして海岸線と平行に北側(N)と南側(S)を設け、さらに各地点で岸沖方向に陸側(添字L)と海側(添字S)を必要に応じて設置した。

Table 1 Surveying date of Nagasaki beach.

Surveying date	Surveying site
May 26, 2011	A-1, A-2, C-2
July 24, 2011	A-1
July 30, 2011	A-1, A-2, A-3, D
August 27, 2011	B-2
October 8, 2011	A-2
January 28, 2012	A-1, A-2, B-2

Table 2 Surveying date of the every beach.

Beach name	Surveing site	Surveying date
Hattachi	C	January 15, 2012
Funado	L, S	January 15, 2012
Yotsukura	N, C, Si, Ss	January 15, 2012
Shinmaiko	L, N, S	January 18, 2012
Uuiso	N, C, S	January 28, 2012
Toyoma	N, C, S	January 10, 2012
Kasso	C	January 28, 2012
Nagasaki	N, C, S, Cl, Cs	January 28, 2012
Obama	N, C, S	January 25, 2012
Sekita	N, S	January 25, 2012
Nakoso	N, S	January 25, 2012

N: north side, S: south side, C: center of the beach. L and S of the subscript indicates the land side and the sea side, respectively.

2.2 測定項目

調査地点において、地上1m、地上50cmの空間線量を線量計(HORIBA PA-1000)を用いて測定した。また、直径45cmのステンレス製掘削管を用いて地表から10cmずつ掘り下げていき、掘削表面において、線量計を用いて地表線量を測定した。

一方、深さ10cmごとに掘り下げた各掘削表面から深さ2cm部分の砂試料を直径12.0cm、深さ6.5cmの透明プラスチック容器に充填して実験室に持ち帰り、食品放射能測定器(日立アロカメディカル製 CAN-OSP-NAI)を用いて放射性セシウム濃度を測定した。また、放射性セシウム濃度測定用試料と同じ深さの砂試料を含水率測定用試料として直径12cm、深さ7cmの透明プラスチック容器に充填して持ち帰り、含水率の測定を行った。

2.3 砂の性状分析

砂付着物として、試料洗浄水の電気伝導度(EC)とCOD濃度を測定した。乾燥砂試料15gと精製水50mLを50mLガラス管ビンに入れて密栓後、1日数

回転倒混和しながら2日間放置した。その後、上澄水のECを測定するとともに、COD濃度を過マンガン酸カリウム法により測定した。また、メッシュサイズ420, 210, 105, 75 μm のふるいで粒度試験を行い、砂の粒度分布を求めた。一連の性状分析は2011年7月30日に採取した試料を用いた。

2.4 砂の放射性セシウム吸着・洗浄試験

砂への放射性セシウムの吸着状況を調べるために、原発事故前の2010年7月に永崎海岸から採取した砂試料を直径12.0cm、高さ6.5cmのプラスチック製容器に充填して、これに一般廃棄物焼却施設飛灰から抽出した放射性セシウムを含む汚染水1.2Lを1.6時間かけて通水した。プラスチック容器の底部には細孔を2つ設けて、浸透水の排出を行った。

浸透水の排出後、砂全量を105~110 $^{\circ}\text{C}$ で12時間乾燥させた後、乾燥砂の放射性セシウム濃度の測定を行った。その後、砂試料をメッシュサイズ74 μm のふるいに入れて水道水で微細粒子を洗い流しながら入念に洗浄を行った。洗浄後は、砂全量を105~110 $^{\circ}\text{C}$ で12時間乾燥させた後、乾燥砂の放射性セシウム濃度の測定を行った。その後2回にわたり、洗浄後の砂を用いて同様の実験を行った。

3. 結果および考察

3.1 永崎海岸における放射能汚染状況

Fig.2に永崎海岸砂浜における2011年5月26日、2011年7月30日、2012年1月28日の砂層内放射性セシウム濃度の鉛直分布を示す。5月26日の調査時には天神前川の流況が異なっており、地点A-1と地点A-2の間を貫流していた。この流れは7月6日には地点A-2を流れ、次第に通常の流況に移っていき、7月30日および1月28日の調査では同じ流路を保っていた。

地点A-1は5月26日時点では汚染されていなかったが、その後7月30日までの間に汚染海水に曝されたために砂の放射性セシウム濃度が増加したと考えられる。地点Dは、海浜植生が見られる地点で、遡上海水の影響がおよばず、風送された砂が周囲より高く堆積していた。汚染砂が表層に堆積して放射性セシウム濃度が若干高くなっていたものと考えられる。

2012年1月28日の調査で、表面から深さ30cmまでの部分では砂の放射性セシウム濃度がすべての地

点で一様に低くなっており、深さ30cmより深い部分では7月30日の調査で表層から深さ30cmの部分に見られた濃度分布と似通った分布を示していた。これは、半年の間に砂浜の岸沖方向の長さが拡大していることから、各地点で30~40cm程度の砂の堆積が起こった結果ではないかと推察された。

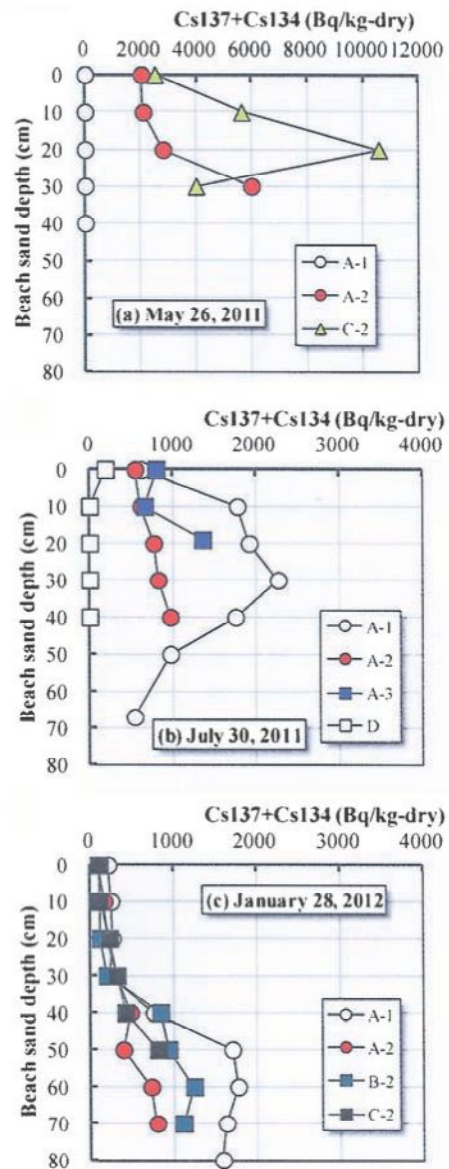


Fig.2 Radiocesium concentration in the sand layer of Nagasaki beach.

このように、砂層内の放射性セシウム濃度分布は各地点で異なるパターンを示していた。海岸の砂は遡上波や河川水、風などを受けて絶えず移動しており、砂浜自体の地形や被覆植生、人工構造物などの影響で浸食や堆積の状況が異なる。砂層内部の放射

能濃度分布の変化はこのような物理的な砂の移動のみでも生じるものと考えられた。

一般に土壌内の放射性セシウム濃度分布は、表層から汚染海水が不飽和層を浸透するケースでは上部ほど濃度が高くなる。砂層の場合は、土壌に比べて空隙が大きく海水の浸透速度も大きいので、より内部まで濃度の高い吸着層が形成されやすく、畑地土壌のようにごく表面のみ放射性セシウム濃度が高くなる分布とは異なる傾向が見られた。

また、砂層内部では岸から沖方向に淡水地下水の流出が起きており、潮汐や降水の影響を受けながら常に海水と淡水のせめぎあいが生じている³⁾⁴⁾。砂層を浸透する汚染水は淡水地下水面に近くなると、地下水との混合・希釈を受けながら地下水面に近いところを沖方向に引き戻される。この淡水地下水面の影響は砂浜に河川が存在する場合とそうでない場合では大きく異なり、河川の存在は淡水地下水位を上昇させることで砂層内不飽和領域を少なくすることにつながり、結果的に汚染海水の影響がおよぶ範囲を少なくする役割を果たしていると考えられた。

3.2 砂の性状と放射性セシウム濃度

永崎海岸において2011年7月30日に採取した砂の性状分析の結果をTable 3に示す。地点Dは塩分濃度や含水率が低いことから、他の地点に比べて遡上波や地下水の影響を受けにくい地点であることが示された。また、この地点には植生も見られ、根が存在する砂層の深い部分で有機物濃度(COD)が高くなる傾向を示していた。地点A-1から地点A-3では表層の砂の有機物濃度は深層よりは高くなる傾向が見られた。また、砂の含水率は地下水位との関連付けができ、地点A-1は深さ40cm程度までは地下水の影響をあまり受けていないようであった。

Fig.3に74 μm 通過粒子の含有割合と放射性セシウム濃度の深さ方向の分布を示す。地点A-1と地点A-2では、深さ方向には地下水の影響をより受けやすい潮間圏で微細粒子を含む割合が減少しており、砂層中の地下水の移動と一緒に微細粒子の移動が起こり流出・減少することが考えられた。遡上波や地下水の影響を受けやすい地点A-3では砂層中に微細な粒子を含む割合が最も少なかった。

Table 3 Characteristics of each-layer sand

Site	Depth (cm)	W. C. (%)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinity (%)	COD (mg/L)
A-1	0	2.61	331	0.03	5.3
A-1	10	5.29	1017	0.06	1.9
A-1	20	9.13	2290	0.13	0.7
A-1	30	13.49	2640	0.14	0.7
A-1	40	17.53	3680	0.19	0.3
A-1	50	20.55	4310	0.23	0.3
A-1	67	24.14	5220	0.27	0.7
A-2	0	17.60	2320	0.13	4.0
A-2	10	20.18	3690	0.20	2.0
A-2	20	20.91	4490	0.24	1.3
A-2	30	21.97	5010	0.26	1.0
A-2	40	24.26	5300	0.28	1.7
A-3	0	23.97	8060	0.41	4.7
A-3	10	21.42	5550	0.29	1.0
A-3	19	24.31	6540	0.34	1.7
D	0	1.76	108	0.01	1.3
D	10	6.13	146	0.01	2.0
D	20	5.90	119	0.01	9.3
D	30	5.86	124	0.01	8.3
D	40	9.31	113	0.01	13.0

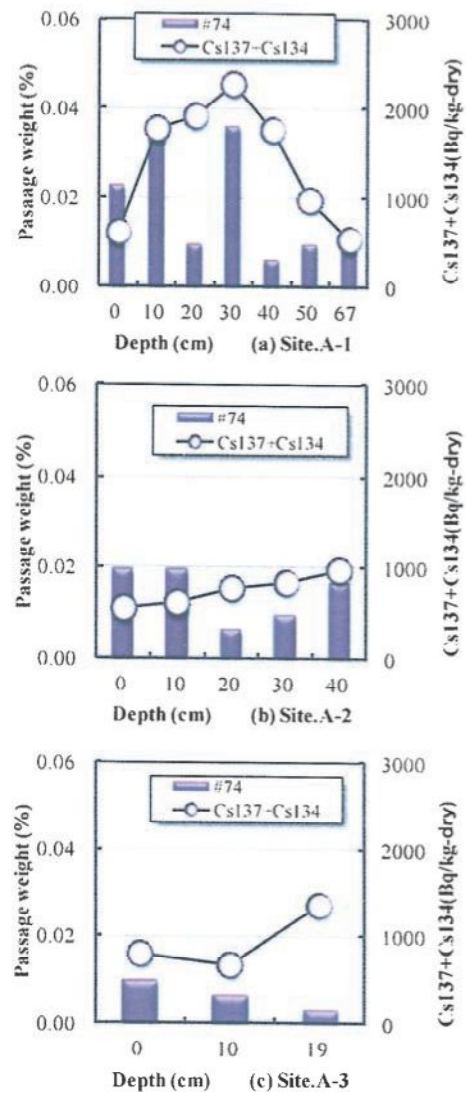


Fig.3 Radiocesium concentration and micro particles content in each layer sand.

農地など内陸の土壌中では放射性セシウムは粘土などの微細粒子に強固に吸着しており、放射性物質を吸着した微細粒子が不飽和砂層を沈降してより内部で濃度が高くなる場合⁵⁾も指摘されているが、永崎海岸では必ずしも砂層中の微細粒子の含有割合と放射性セシウム濃度との間に深い関係は見られなかった。

3.3 砂への放射性セシウムの吸着と洗浄効果

Fig.4に砂への吸着実験の結果を示す。1回目の実験では、汚染水の放射性セシウム濃度は420Bq/kgであったが、2回目および3回目の実験ではそれぞれ213 Bq/kg, 182 Bq/kgであった。これら汚染水1.2Lを約1.6時間かけて浸透させたところ、実験の繰り返しにより吸着能力は低下したが、浸出水の放射能濃度はいずれも検出限界(35Bq/kg)以下であった。

Table 4に吸着実験から得られた砂および汚染水に含まれる放射性セシウム量を示す。最初の吸着では汚染水に含まれていた放射性セシウムの94%が砂に吸着されており、簡単な接触で水中の放射性セシウムが砂に吸着することが示された。

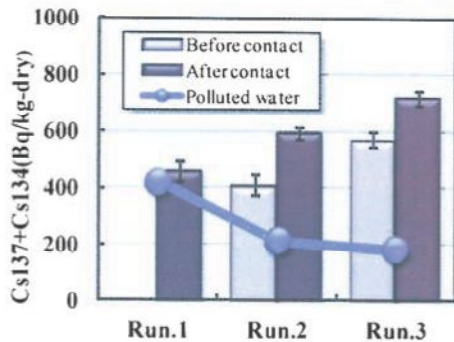


Fig.4 Desorption of radiocesium from the contaminated sand by washing.

Fig.5は、砂の洗浄実験の結果を示す。1回目の洗浄実験では若干の低下が見られたが、洗浄回数が進むにつれて洗浄の効果は低下した。メッシュサイズ74μm以下の微細粒子への吸着とこの粒子の排出による放射性セシウム濃度の低下の影響も若干考えられるが、微細粒子を洗浄により排出した後でも砂の放射性セシウム濃度があまり変化しないことから、砂層への放射性セシウムの吸着の多くは砂粒子への吸着であり、吸着成分は簡単な水洗い程度では脱着できないことが示された。

Table 4 Adsorption of radiocesium to the sand.

Run No.	Radiocesium				Rate (%)
	Polluted water (Bq)	Sand before (Bq)	Sand after contact (Bq)	Adsorbed to sand (Bq)	
1	504 ± 47	0	472 ± 36	472	94
2	255 ± 18	418 ± 37	612 ± 24	194	76
3	219 ± 22	583 ± 27	728 ± 26	145	66

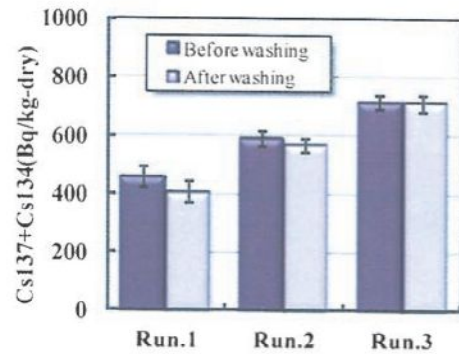


Fig.5 Desorption of radiocesium from the contaminated sand by washing.

3.4 地表線量と放射能濃度

いわき市内12海岸砂浜において2012年1月から3月に測定した地表線量と砂の放射性セシウム濃度の全データを用いて表した両者の関係をFig.6に示す。砂層内部の深さ10cmごとに測定した地表線量にはその上の掘削側面からの線量も反映されていると考えられ、厳密に線量計が接している砂自体の放射能の影響のみを表しているわけではないが、砂の放射性セシウム濃度との関係は相関係数0.9程度を示していた。地表線量は線量計を用いて比較的容易にデータを得ることができるので、海岸のメッシュ調査など限られた時間に多くの情報を得る際には十分有用であることが示された。

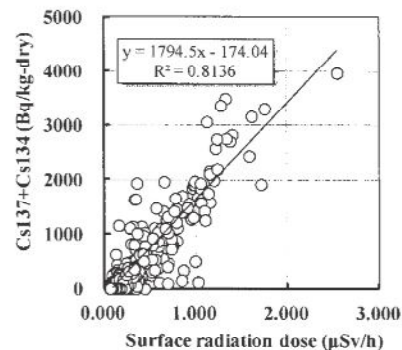


Fig.6 Relationship between surface radiation dose and radiocesium concentration.

3.5 他海岸における放射能汚染の状況

2012年1月に行ったいわき市内海岸砂浜の地表線量結果をTable 6に示す。同じ海岸でも地点によって砂層内の地表線量の鉛直分布が異なっていた。四倉海岸や永崎海岸は砂層内部での線量の増加が顕著であった。一般に、海岸はそれぞれ前浜や後浜の広さや勾配が異なり、遡上波や地下水の影響も異なる。また、陸域から砂浜に流入する河川の有無や流況、砂浜の植生など、砂浜の砂の物理的な移動に係る要因にも違いが見られる。これらの要因が各海岸砂浜における砂層内の放射線量に変化をもたらしているものと考えられる。

Table 6 Surface radiation dose in the sand beach. The unit of radiation dose is μ Sv/h

Depth (cm)	Hattachi			Funado			Yotsukura			
	C	L	S	N	C	S _L	S _S			
0	0.301	0.314	0.422	0.116	0.140	0.194	0.134			
10	0.299	0.293	0.330	0.120	0.120	0.200	0.132			
20	0.254	0.292	0.224	0.136	0.157	0.208	0.167			
30	0.181	0.262	0.179	0.155	0.171	0.300	0.182			
40	0.146	0.210		0.206	0.247	0.414	0.236			
50	0.140	0.214		0.233	0.406	0.700	0.303			
60		0.198		0.353	0.655	1.200	0.494			
70		0.215		0.401	0.939	1.714	0.795			
Depth (cm)	Shinmaiko			Usuiso			Toyoma			
	N	S	L	N	C	S	N	C	S	
0	0.158	0.176	0.105	0.153	0.196	0.181	0.116	0.113	0.102	
10	0.212	0.254	0.084	0.232	0.207	0.158	0.113	0.112	0.123	
20	0.304	0.350	0.092	0.231	0.352	0.127	0.123	0.141	0.127	
30	0.447	0.473	0.091	0.180	0.375	0.128	0.154	0.176	0.151	
40	0.379	0.521	0.079	0.148		0.113	0.217	0.221	0.217	
50	0.333	0.574	0.089				0.303	0.298	0.332	
60	0.297	0.537	0.091						0.443	
70	0.220	0.464	0.077							
Depth (cm)	Kasso		Nagasaki							
	C	N	C	S	C _L	C _S				
0	0.109	0.092	0.131	0.103	0.164	0.152				
10	0.085	0.100	0.141	0.132	0.206	0.166				
20	0.083	0.165	0.168	0.154	0.238	0.167				
30		0.205	0.244	0.225	0.343	0.181				
40		0.337	0.298	0.450	0.567	0.226				
50		0.487	0.321	0.590	0.856					
60			0.416	0.677	1.025					
70			0.507	0.800	1.054					
80					1.158					
Depth (cm)	Obama			Sekita		Nakoso				
	N	C	S	N	S	N	S			
0	0.095	0.087	0.088	0.092	0.082	0.113	0.410			
10	0.102	0.133	0.134	0.095	0.117	0.130	0.360			
20	0.119	0.191	0.180	0.146	0.142	0.152	0.224			
30	0.101	0.245	0.194	0.144	0.202	0.163	0.190			
40	0.088	0.270	0.219	0.104	0.179	0.154	0.153			
50	0.088	0.236	0.267	0.112	0.153	0.120	0.105			
60	0.069	0.233	0.354	0.103	0.123					
70	0.074	0.290	0.458	0.076	0.093					

4. まとめ

いわき市内海岸砂浜における放射能汚染の実態調査から、各海岸砂浜における放射性セシウムの濃度のレベル、水平分布や砂層内鉛直分布が海岸によって異なる状況を把握することができた。

砂浜の放射能汚染は東京電力福島第一原子力発電所事故後一時期高濃度に汚染された海水が砂層を通過したことが原因であると考えられるが、その状況の違いには砂浜の地形や河川の流況、地下水などの影響を受けている可能性が示唆された。

また、室内実験から、砂への放射性セシウムの吸着は比較的容易に起こるが、吸着した放射性セシウムはなかなか脱着しないことが示され、砂浜の放射能汚染は、汚染砂自体がその場から物理的に移動する現象を伴わなければ大きくは低減しないことが示唆された。なお、定期的にモニタリングを継続しながら、海岸ごとの汚染の詳細を明らかにする予定である。

謝 辞

いわき地域環境科学会およびNPO法人いわき環境研究室の方々には現地調査に際し多大なるご協力をいただいた。放射能測定では、福島高専芥川研究室にご協力いただいた。また、本研究は日本財団からの助成事業、いわき市観光物産課からの委託調査の一環として行われたものである。御世話になった関係各位に謝意を表す。

文 献

- 1)いわき地域環境科学会編：永崎海岸浄化プロジェクト2010報告書(2011).
- 2) H. Kawamura, T. Kobayashi, A. Furuno, T. In, Y. Ishikawa, T. Nakayama, S. Shima and T. Awaji : Journal of Nuclear Science and Technology, 48(11),1349-1356(2011).
- 3)柳嶋慎一, 加藤一正, 福田真人：現地海岸における前浜地下水位の変動特性, 海岸工学論文集, 40, 411-415(1993).
- 4)関口秀雄, 東 良慶, クリヨ サンボド：養浜砂浜海岸域における不圧地下水の動態観測とその意義, 海岸工学論文集, 54, 721-725(200).
- 5)大貫敏彦, 和達嘉樹：砂層中におけるCs-137の移動, 日本原子力学会誌, 25(6), 486-493(1983).