阿武隈沖海底土における放射性セシウム濃度の 時空間変動とその変動要因について

長尾 誠也*, 寺崎聡一郎**, 落合 伸也*, 福士 圭介* 浅見 光史***, 小田野直光***

Spatial-Temporal variation and its controlling factors of radiocesium concentration in coastal sediment off Abukuma River

by

Seiya NAGAO, Souichiro TERASAKI, Shinya OCHIAI, Keisuke FUKUSHI, Mitsufumi ASAMI and Naoteru ODANO

Abstract

It is important to elucidate the short-term and long-term impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident on coastal marine environments. This study investigated the spatial distribution of radiocesium in the coastal marine sediment off the Abukuma River in Fukushima Prefecture, Japan during October 2013-January 2014 and August 2014- January 2015. The surface sediment samples were collected once a month by a multiple-corer and sectioned as follows: 0-3, 3-10 and 10-20 cm depth. Radioactivity of ¹³⁷Cs ranged from 28 Bq/kg to 7280 Bq/kg-dry sediment. The water content also varied spatiality and temporality. However, there is a positive correlation between the radioactivity and water content. The vertical profile also varied with site, depending on the sediment feature, that is profile of silt and sandy sediment layers. The radiocesium inventory shows decreasing trend with increasing time at offshore sites during the sampling period. These results suggest that surface silty sediments with radiocesium are re-suspended and remobilized by heavy rain and strong wind events such as typhoon and winter stormy weather.

 * 金沢大学環日本海域環境研究センター、** 金沢大学大学院自然科学研究科、*** 海上技術安全研究所 原稿受付 平成 30 年 8 月 3 日
審 査 日 平成 30 年 10 月 5 日

目 次

1.	まえがき ・・・・・	· 36
2.	試料と方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 37
	2.1 試料採取 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· 37
	2.2 放射能測定方法	· 37
	2.3 有機物の特性分析方法	· 37
	2.4 X線回折方法 ······	· 38
	2.5 粒度分析方法	· 38
3.	海底土の放射性セシウム濃度と地球科学的特性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 38
	3.1 表層海底土の ¹³⁷ Cs 放射能濃度・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 38
	3.1.1 水平分布の変動・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 38
	3.1.2 鉛直分布の変動・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 40
	3.2 表層海底土の有機物の特性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 41
	3.3 表層海底土の鉱物組成と粒度分布・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	• 43
4.	海底土の放射性セシウム濃度の変動要因・・・・・	• 43
	4.1 表層海底土の ¹³⁷ Cs存在量······	• 43
	4.2 表層海底土の ¹³⁷ Cs 放射能濃度の変動要因・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 44
5.	まとめ ・・・・・	• 45
誃	辞	• 46
参	*考文献	• 46

1. まえがき

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故(以下,「福島原発事 故」という.)以降,政府及び関係機関によって近傍,沿岸,沖合及び外洋等の海域の海水,海底土及び水産物の モニタリングが実施されてきた¹⁾. 従来の海域のモニタリングでは,海水や海底土を定期的に定点で採取し分析 する調査となっており,その測定結果は断片的な情報を与えるのみであった.海上技術安全研究所と東京大学生 産技術研究所(東大生研)は,東大生研で開発した曳航型スペクトロメータを用いて,2012 年から 2017 年まで, 福島県沖及び阿武隈川河口沖付近で海底における放射性物質の分布状況調査を実施している²⁾. 一連の調査結果 から,水平分布や時系列データにおいても海底土の放射性セシウム濃度の変動が起きる海域が明らかになってき た.また,定期的な海底土を採取した調査においても,仙台湾から千葉県にかけての水深 200 m 以浅の浅海底土 に関して放射性セシウム濃度の時空間変動が観測されている^{3,4,5,6,7)}.

沿岸域における放射性物質の動態を把握する場合,陸域から流入した土砂や浮遊砂が海底土となって蓄積する 経路及び再懸濁による再移動を検討する必要がある.そのためには、対象とする海域の海底土における放射性セ シウム放射能濃度の水平分布とともに時系列の変動を把握しなければならない.

本研究では、阿武隈川沖の海域で2013年10月から2014年度1月までと、2014年8月から2015年1月まで毎月1回程度、沿岸域の3~7地点において海底土を採取し、その放射能測定から放射性セシウム濃度の水平分布の変動とともに時系列変動を調査し、海底土の物理化学特性等を考慮した上で、沿岸域における放射性セシウムの移行動態と河川の影響について考察した。

2. 試料と方法

2.1 試料採取

阿武隈川沖の沿岸域の調査は、2013 年 10 月 13 日、11 月 28 日、12 月 18 日、2014 年 1 月 22 日、8 月 22 日、 10 月 3 日、11 月 14 日、12 月 10 日、および 2015 年 1 月 30 日に実施した.海底土は、測点 5、6、11、21、22、 23、24 でアシュラ式不攪乱柱状採泥器により採泥した(図 1).これまでに報告されている各海域の観測点に比べ て岸に近く、水深は 17~21m であった.なお、海苔養殖の関係で測点 21、22 は 2014 年 10 月の調査で終了した. 得られた海底土は 0~3 cm、3~10 cm、10~20 cm の 3 層にカットし、泥質試料は真空凍結乾燥、砂質試料は 40°C に設定した乾燥機で乾燥し、水分の減少重量から含水率を算出した.乾燥した海底土試料は 2 mm メッシュのふ るいでふるい分けし、泥質試料はその後メノウ乳鉢で粉砕し測定用試料とした.



図1 阿武隈川沖の沿岸域海底土採取地点

2.2 放射能測定方法

採取した海底土は丸型プラスチック容器に満杯にパッキングし、通常は丸型容器2つを準備した. 試料量が少ない場合には、容器1つの測定試料を準備した. 容器とフタの境目にビニールテープで巻きつけ、ユニパックで2重に密閉し測定し、40分から5日間、金沢大学環日本海域環境研究センター低レベル放射能実験施設あるいは尾小屋地下実験施設の極低レベルGe半導体検出器によるγ線測定を行なった.¹³⁴Csの定量には604、795keVのピーク、¹³⁷Csの定量には661keVのピークを用い、標準試料としてはNBL42-2あるいは日本分析化学会頒布土 壊標準試料JSAC0471を用いた.¹³⁴Csに関しては、サム効果を補正した.本研究で測定した福島原発事故時に壊変補正した¹³⁴Cs¹³⁷Cs放射能濃度比はほぼ1を示し、検出された大部分の海底土の放射性セシウムは2011年3月の原発事故由来と考えられる.本研究では、放射性セシウム濃度の時系列変動について検討するため、半減期2.06年の¹³⁴Csではなく、半減期30.16年の¹³⁷Csを対象に検討を進めた.

2.3 有機物の特性分析方法

海底土は、有機炭素測定のために 1M 塩酸で炭酸塩を除去した後、MilliQ 水で洗浄後、再度、真空凍結乾燥機 で乾燥した後にメノウ乳鉢ですりつぶした試料を元素分析計(ヤナコ社製 CHN corder MT-5、パーキンエルマー 社製 2400Series II、あるいはサーモフィッシャー社製 Flash EA1112)で有機炭素(TOC)含有量と全窒素(TN) 含有量を測定した.また、炭素安定同位体比(δ^{13} C、式 2.1)と窒素同位体比(δ^{15} N、式 2.2)は質量分析計(サー モフィッシャー社製 Delta V あるいは Delta V Advantage)で測定した.

$$\delta^{13}C(\%) = \{({}^{13}C/{}^{12}C)_{it \#}/({}^{13}C/{}^{12}C)_{it \#} -1\} \ge 1000$$

(2.1)

 $\delta^{15}N \ (\ensuremath{\%}\ensuremath{\%}\ensuremath{)} = \{(^{15}N/^{14}N)_{\ensuremath{\natural}\ensuremath{,}\ensuremath{\$}\ensuremath{,}\ensuremat$

有機物の放射性炭素は、Beta Analytic Inc.社の加速器質量分析装置により ${}^{14}C/{}^{12}C$ を測定し、2.3 式に示した炭素同 位体の同位体分別効果を補正するために用いられている $\Delta^{14}C$ 値で表示した.

 $\Delta^{14}C$ (‰) = $\delta^{14}C - 2(\delta^{13}C + 25) (1 + \delta^{14}C/1000)$

Δ¹⁴C がプラスの値を有する場合は、1950 年以降の炭素で構成されていることを示している.

2.4 X 線回折方法

測定用試料をガラス製のサンプルフォルダーに詰め、測定を行った.測定には Rigaku 社製 UltimaIVを用いた. 測定条件を以下に示す.

分析条件:X線:CuKa; 電圧:40 kV; 電流:30 mA; 発散スリット:2/3deg;散乱スリット:2/3deg; 受光スリット: 0.3mm; スキャンスピード:1.0°/min; スキャンステップ:0.020°; 走査範囲 2.000~65.000°.

2.5 粒度分析方法

乾燥試料を分散剤溶液(0.2wt%ヘキサメタリン酸ナトリウム)に適当量添加し,超音波バス照射により分散させた条件において測定を行った.測定には島津社製SALD-2200及びSALD-2000J粒度分析計を用いた.

3. 海底土の放射性セシウム濃度と地球科学的特性

3.1 表層海底土の¹³⁷Cs 放射能濃度

3.1.1 水平分布の変動

2014年8月~2015年1月に採取した阿武隈川沖の沿岸域海底土の測定結果は図2に示した.2014年8月の表 層海底土は全ての測点では含水率57.8~64.8%と泥質であり,¹³⁷Cs放射能濃度は1,513~3,752 Bq/kg-乾土であっ た.2014年10月では測点21,22の泥質の海底土(含水率68.2~71.5%)では1,676~1,826 Bq/kg-乾土であり,8 月に3,752 Bq/kg-乾土と高い放射能濃度を検出した測点5は,10月には約1,000Bq/kg-乾土¹³⁷Cs放射能濃度が低 下した.一方,表層海底土が砂質(含水率30.3~42.6%)の測点6,11,23,24の¹³⁷Cs放射能濃度は132~638 Bq/kg-乾土と低い値であった.また,2014年11月~2015年1月に採取した砂質の海底土は203~532 Bq/kg-乾土と同様 に低い値であった.泥質海底土の測点5では3596~5876 Ba/kg-乾土,それ以外の測点でも863~1,979Bq/kg-乾土 と高い.



図2 阿武隈川沖表層海底土 0~3 cm の¹³⁷Cs 放射能濃度の時系列変動. 砂質海底土は S で表記

(2.3)

図3には表層海底土0~3 cmの含水率を示した.2014年では8月に観測した3測点(測点5,6,11)でいすれ も含水率は58~65%と高いが、10月には全測点で30~40ポイント低い含水率を示した.11月には再び高い含水 率、12月には減少するという変動傾向を示した.また、10月から観測した観測域北側の測点23は大きな変動は 認められないが、測点24では上記の3測点と同様な変動傾向を示した.このことは、測点23を除く観測域にわ たり海底土表層の含水率に大きな変動をもたらす事象が発生したことが考えられる.

図4には、2013年10~12月と2014年1月の観測結果が存在する阿武隈川沖の測点11の表層海底土(0~3 cm)の¹³⁷Cs 放射能濃度と含水率の時系列変動を示した.¹³⁷Cs 放射能濃度は2013年11月に極大値になり、その後、時間の経過とともに減少する傾向を示した.表層海底土の含水率は2013年11月の極大値の69%から2013年12月の40%と泥質から砂質へ変動していることが分かる.海底土の放射性セシウム濃度の時系列データには含水率と強い正の相関性(相関係数 0.88)が認められた.つまり、海底土の¹³⁷Cs 放射能濃度の時系列の変動は、¹³⁷Cs を吸着した微細粒子の挙動が重要であり、微細粒子の移動・沈着が観測域全域で生じている可能性が示唆される.



図3 阿武隈川沖沿岸域の測点5,6,11,23,24における表層海底土含水率の時系列変動



図4 阿武隈川沖の測点11の表層海底土(0~3 cm)の¹³⁷Cs 放射能濃度(a),含水率(b),および, ¹³⁷Cs 放射能濃度-含水率(c)の関係

3.1.2 鉛直分布の変動

図 5 には、2013 年 10 月から 2015 年 1 月までの測点 11 で採取された海底土の¹³⁷Cs 放射能濃度と含水率の鉛直 分布を示した. 測点 11 は得られた海底土 0~30 cm 間の¹³⁷Cs 放射能濃度は泥質と砂質の海底土では鉛直的に大き な変動が認められた. 上層の泥質層では 1,260~7,280 Bq/kg-乾土ではあるが、下層の砂層、あるいは 2014 年 10 月以降の全層にわたり砂層の場合には 148~712 Bq/kg-乾土と低い濃度範囲であった. 一方、図 6 に示した様に、 測点 5 では含水率 51~59%と全層にわたり泥質の場合、¹³⁷Cs 放射能濃度は 0~20 cm 間が 1,048~7,242 Bq/kg-乾 土, 20~40 cm 間が 7.4~42 Bq/kg-乾土であった. このことは、阿武隈川沖の沿岸域海底土において、福島原発事 故由来の¹³⁷Cs の寄与が少なくとも海底土の深さ 20cm まで及んでいる可能性を示唆している. 一方、測点 6 と 11



図5 阿武隈川沖の測点 11 で採取した海底土中の¹³⁷Cs 放射能濃度と含水率の鉛直分布



図6 阿武隈川沖で2014年8月22日に採取した測点5,6,11の海底土中¹³⁷Cs 放射能濃度と含水率の鉛直分布

の泥質の深さ 0~10 cm の海底土で 1,513~1,798 Bq/kg-乾土と比較的高い放射能濃度であるが、10 cm 以深の砂層 の海底土は 181~313 Bq/kg-乾土であった. 図には示していないが他の採取時期の測点 5 と6 の鉛直分布データま で含めると砂質の海底土は 28~863 Bq/kg-乾土と阿武隈川の砂質の河床土と同様に低い濃度レベルであった. こ れらの結果は、これまでに報告されている福島・宮城・茨城沖の沿岸域堆積物の報告値の範囲内であった^{3),4),5),6),7)}.

3.2 表層海底土の有機物の特性

表1には、測点11の海底土の有機炭素含有量、有機物の炭素安定同位体比(δ^{13} C)と窒素同位体比(δ^{15} N)、 放射性炭素(Δ^{14} C)を示した.河口域や沿岸域の海底土において、 δ^{13} Cは陸起源有機物と海起源有機物の寄与、 混合割合を評価するために用いられ、 δ^{15} Nは栄養塩環境や窒素負荷の状況を把握出来る. Δ^{14} Cは有機物を構成す る炭素の見かけの年代を考慮することが可能である.測点11の表層海底土では、有機炭素含有量(TOC)は0.56 ~3.95%と大きく変動した.有機物の δ^{13} Cは-27.0‰~-24.7‰と海洋起源の有機物に比べて低く、大部分が陸起 源有機物の寄与が高いことが示唆される^{8),9,10}.

図7には2014年8月に採取した海底土の¹³⁷Cs放射能濃度とともに有機物含有量とその特性に関する測定結果 を示した. 泥質の表層 0~10 cm 間では,全有機炭素含有量は2.34~3.63%と高いが,測点6,11の下層の砂層で は0.24~0.50%と急激に減少した. 測点6と測点11の有機物の δ^{13} C値は表層泥質海底土<砂層海底土、 Δ^{14} C値 は表層泥質海底土>砂層海底土と明瞭な違いが確認出来る. δ^{15} N値はどの測点でも泥質の海底土では3.9~4.8‰ (平均値4.4±0.3‰)の範囲内に収まり,大きな変動は認められなかった.しかし,測点6と11の砂層では3.2 ~3.7‰と若干低い値を示した.以上の結果より,表層の泥質海底土とその下層の砂質海底土の有機物では特性が 異なることが明らかである.

Date	тос	C/N	δ^{13} C	Δ^{14} C	δ^{15} N
	(%)		(‰)	(‰)	(‰)
2013.10.13	2.74	11.7	-26.4	-93	4.3
2013.11.28	3.95	11.9	-26.4	-106	4.6
2013.12.18	3.08	11.0	-26.1	-94	4.7
2014.1.22	1.49	11.1	-25.6	-89	0.4
2014.8.22	3.29	13.7	-27.0	-54	3.9
2014.10.3	0.85	12.1	-26.2	-107	4.5
2014.11.14	1.02	11.2	-26.3	-178	4.6
2014.12.10	1.41	14.3	-26.5	-85	3.9
2015.1.30	0.56	10.4	-24.7	-58	5.4

表1 測点11の表層海底土の有機物含有量とその特性



図7 阿武隈川沖表層海底土の¹³⁷Cs 放射能濃度,全有機炭素含有量,有機物の炭素安定同位体比(δ¹³C), 放射性炭素(Δ¹⁴C),および,窒素同位体比(δ¹⁵N)の鉛直分布.2014年8月22日に測点5,6,11で採取した 試料の分析結果

3.3 表層海底土の鉱物組成と粒度分布

海底土の粘土鉱物等に¹³⁷Cs が吸着している状況を調べるため,海底土に存在する鉱物組成を X 線回折で同定 した.図8には,2014年10月に測点11で採取した阿武隈川沖沿岸域海底土の X 線回折の測定結果を示した.海 底土の深さ0~30 cm には,放射性セシウムとの親和性が高い雲母類やスメクタイト・緑泥石等の粘土鉱物,カオ リンが検出された.深さ毎,あるいは採取した時期の違いは認められなかった.また,他の採取日の測点11の海 底土や他の測点,阿武隈川河川水懸濁粒子も同様な X 線回折の特徴を示した.なお,図には示していないが,阿 武隈川の河床土は砂質のために粘土画分が少なく,粘土鉱物は検出されていない.一方,2014年10月8,9日の 降雨時に輸送される河川水懸濁粒子は,2014年8月の河川水懸濁粒子試料に比べて,より明瞭に粘土鉱物が検出 されたが,海底土試料の結果とほぼ一致する特徴であった.

沿岸域海底土の粒径分布は,2014 年 8 月の測点 5,6,11 と 2014 年 10 月の測点 21,22 の泥質試料では,中央 粒径で 14~34 μm であった.2014 年 10 月 8 日と 9 日の降雨時の阿武隈川河川水懸濁粒子では,9.2~13.0 μm と 若干低い値を示した.なお,海底土の中央径は,2013 年 10 月に同海域において採取した泥質海底土とほぼ一致 する値(14~39 μm)であった.



図8 阿武隈川沖表層海底土のX線回折スペクトル. 試料は2014年10月3日に採取した測点11の測定結果 14Å:スメクタイトー緑泥石等,10Å: 雲母類,7Å:スメクタイトー緑泥石等,Am:角閃石類, Ka:カオリン,Qtz:石英,PI: 斜長石

4. 海底土の放射性セシウム濃度の変動要因

4.1 表層海底土の¹³⁷Cs存在量

海底土の放射性セシウムの放射能濃度の時系列変動を検討するため、観測期間を通して海底土を採取した阿武 隈川沖の測点11 (38°02.43'N, 140°56.47'E)に着目し存在量を見積もった(図9). 泥質の海底土は、深さ0~30cm 間の¹³⁷Cs 放射能存在量が2013年10月の36.9 Bq/cm²から2014年1月の10.9 Bq/cm²まで減少した.一方、砂質 の海底土は 6.4~11.3 Bq/cm²の変動幅で,平均値としては 8.8±2.1 Bq/cm²であった. 2014 年 8 月の泥質の海底土 は 9.3 Bq/cm² と 2013 年 12 月程度の存在量であった.しかし,2014 年 10 月以降は表層に泥質の海底土が認めら れず,海底土表層は砂質に変化していた.砂質の海底土の¹³⁷Cs 放射能存在量は 2.2~9.6 Bq/cm² と 2013 年 10 月 ~2014 年 1 月の砂層の海底土の存在量と同じ程度であった.変動傾向の要因としては,阿武隈川から供給される 懸濁粒子が 2013 年 11~1 月にかけて減少することが考えられる.福島県福島市の気象庁の観測所データによると 2014 年では 10 月を除くとほぼ同様な降水量である¹¹⁾.しかしながら,2013 年の 8~9 月には合計約 260 mm の降 水量が観測されている.つまり,夏場の降水量の違いが,河川からの懸濁粒子の供給量に反映され,2013 年と 2014 年の観測結果の違いが生じた可能性が考えられる.以上の観測結果は,阿武隈川沖の海底土粒子の供給・沈着・ 再移動が 2013 年と 2014 年では異なり,泥質の海底土の移動性が高く,気象条件が関与している可能性が示唆さ れる.



4.2 表層海底土の¹³⁷Cs 放射能濃度の変動要因

平成25年度放射性物質測定調査委託費成果報告書¹²⁾では、この海域で設置型超音波ドップラー式多層流向流速 計(ADCP)、電磁流速計、及び濁度計による15昼夜の流況観測を2014年1月に実施した.その結果、阿武隈川河 口近傍の測点では、冬期には中層及び底層で西から北向きの流向が支配的であった.また、2014年には9月と12 月に同様の流況観測を実施した¹³⁾.2014年9月と12月の調査では、海底土の巻き上がりを評価するせん断応力と海 底土近傍の濁度に相関が認められた.この海底土近傍の濁度と降水等による阿武隈川の水位上昇には相関があり、 阿武隈川河口近傍の測点での濁度及び流速には、阿武隈川からの河川水流入の寄与が示唆される.阿武隈川河口 から離れた測点では、せん断応力と海底土近傍の濁度に相関がなく、河口近傍の測点と比較して河川水の影響が 小さくなることを意味している.つまり、流況の状況により阿武隈川沖合へは河川からの懸濁粒子が負荷される とともに、海底土の粒子が底層への再懸濁により移動する可能性が示唆される.

海底土の放射性セシウムの放射能濃度の時空間変動と含水率,有機物の特性分析結果,さらに阿武限川流域の 降雨量との関係を考慮すると,以下に示すような放射性セシウム濃度の変動機構が考えられる.台風等の降雨に より阿武限川から放射性セシウムを吸着した懸濁粒子が沿岸域に供給され堆積する.しかしながら,水深が17m 程度と浅いために波浪の影響により表層海底土は再懸濁し,底層流の動きに従って水平あるいは外洋域に輸送さ れる.水深 873 mの福島第一原発沖の測点で実施したセジメントトラップ実験により,冬季に放射性セシウムを 含む海底土が再懸濁し水平的に輸送された結果が報告されている¹⁴⁾.また,沿岸域から外洋域への海底土からの 再懸濁による懸濁粒子の輸送は,他の海域におけるセジメントトラップ実験により報告されている¹⁵⁾.以上の結 果から、阿武隈川のような1級河川が存在する沿岸域では、沿岸域海底土の放射性セシウムの存在量は陸域からの供給と沿岸の底層流の動きに支配され、溶出の影響はほとんど寄与しないことが考えられる.

図10は粒子に含まれる有機物の炭素同位体比、δ¹³CとΔ¹⁴C値の関係を示した.図10(a)は阿武隈沖の測点11の泥 質海底土,砂質海底土,および阿武隈川河川懸濁粒子の有機物のδ¹³CとΔ¹⁴Cをプロットした.この図を見ると, 泥質海底土の有機物は砂質海底土に比べるとδ¹³Cは2‰程度低く,Δ¹⁴Cは最大で約250‰高い値を有している.ま た,阿武隈川の河川懸濁粒子と同じ様な領域にプロットされているから,泥質海底土の有機物の大部分は阿武隈 川から供給された河川懸濁粒子が堆積していると考えられる.一方,図10(b)に示されたように,砂質海底土の場 合には,十勝川沖の水深138~1699 mの海起源有機物の寄与が高い表層海底土に対して,海起源有機物に陸域の 有機物が寄与している十勝川沖大陸棚,あるいは噴火湾沖の海底土に近いことが分かる.これらの結果より,阿 武隈川沖の砂質の海底土の場合,陸域の影響を受けた比較的古い,有機物の分解の影響を受けた有機物が移行し 堆積した可能性が考えられる.つまり,泥質の表層海底土は,絶えず陸域から河川を経由して供給される有機物 により支配されていることを表している.この考察は,上述した粒子態の放射性セシウムの移行挙動の考えを支 持するものである.



図10 阿武隈川沖沿岸域の測点11における海底土と河川懸濁粒子中の有機物の炭素同位体比(a)と北海道の十勝 川沖と噴火湾沖のデータをプロット(b). 十勝川沖のデータはNagao et al.¹⁰より引用, 噴火湾沖のデータは長 尾(未公表)データ

5. まとめ

2011年3月に発生した福島原発事故の影響により環境中に放射性物質が放出され、大気から陸域・海洋への沈着とともに、海洋への直接流出等を通して海洋環境に放射性核種が拡散移動している。海底土でもこれまでのモニタリングの結果から、放射性セシウム濃度の空間変動・時系列変動が報告されている。そのため、本研究では、河川の影響が想定される阿武隈川沖の海底土について水平分布・鉛直分布の変動特性を把握するとともに、その変動要因について検討を進めた。2013年10月から2014年1月、さらに2014年8月から2015年1月までの期間、阿武隈川沖の水深17~21mの海底土中放射性セシウムの濃度を計測した。その結果、表層0~3 cmの海底土では観測期間中、132~7280 Bq/kg-乾土と大きく変動した。鉛直分布の特徴としては、表層の泥質層では¹³⁷Cs濃度は1260~7280 Bq/kg-乾土、泥層の下の砂層あるいは測点によっては2015年10月以降に全層にわたる砂層の海

底土では 28~863 Bq/kg-乾土と異なる濃度範囲を示した.しかし,海底土の含水率とは正の相関関係が認められた.

海底土の放射性セシウムの放射能濃度の時空間変動と含水率,有機物の特性分析結果,さらに阿武隈川流域の 降雨量との関係を考慮すると,以下の様な放射性セシウムの変動機構が考えられる.台風等の降雨により阿武隈 川から放射性セシウムを吸着した懸濁粒子が沿岸域に供給され堆積する.しかしながら,今回時系列変動の観測 点とした測点11 は水深が17m程度と浅いために波浪の影響により表層海底土は再懸濁し,底層流の動きに従っ て水平あるいは外洋域に輸送される.水深 873mの福島第一原発沖の測点で実施したセジメントトラップ実験に より,冬季に放射性セシウムを含む海底土が再懸濁し水平的に輸送された結果が報告されている.また,沿岸域 から外洋域への海底土からの再懸濁による懸濁粒子の輸送は,他の海域におけるセジメントトラップ実験により 報告されている.以上の結果から,阿武隈川のような1級河川が存在する沿岸域では,沿岸域海底土の放射性セ シウムの存在量は陸域からの供給と沿岸の底層流の動きに支配されると考えられる.

謝 辞

本研究は原子力規制庁委託事業平成25年度と平成26年度放射性物質測定調査委託費(海域における放射性物質の分布状況の把握等に関する調査研究)事業により実施した.

参考文献

- 1) 原子力規制委員会,総合モニタリング計画, radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/13000/12892/24/204_1_20170428.pdf
- B. Thornton, *et al.*, "Distribution of local ¹³⁷Cs anomalies on the seafloor near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant,", Mar. Poll. Bull., 74, 344-350, 2013.
- 3) M. Kusakabe, *et al.*, "Spatiotemporal distributions of Fukushima-derived radionuclides in nearby marine surface sediments,", Biogeosci., 10, 5019-5030,2013.
- S. Otosaka and T. Kobayashi, "Sedimentation and remobilization of radiocesium in the coastal area of Ibaraki, 70 km south of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant,", Environ. Monit. Assess, 185, 5419-5433, 2013.
- D. Ambe, *et al.*, "Five-minute resolved spatial distribution of radiocesium in sea sediment derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant,", J. Environ. Radioact., 138, 264-275, 2014.
- S. Otosaka, *et al.*, "Radiocesium derived from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident in seabed sediments: Initial deposition and inventories,", Environ. Sci. Process Impact, 6, 978-990, 2014.
- M. Kusakabe, *et al.*, "Decline in radiocesium in seafloor sediments off Fukushima and nearby prefectures,", J. Oceanogr., 73, 529-545, 2017.
- 8) S. Nagao, *et al.*, "Combined use of Δ^{14} C and δ^{13} C values to trace transportation and deposition processes of terrestrial particulate organic matter in coastal marine environments,", Chem. Geol., 218, 63-72, 2005.
- 9) T. Usui, *et al.*, "Distribution and sources of organic matter in surficial sediments on the shelf and slope off Tokachi, western North Pacific, inferred from C and N stable isotopes and C/N ratios,", Mar. Chem., 98, 241-259, 2006.
- 10) S. Nagao, *et al.*, "Spatial distribution of Δ^{14} C values of organic matter in surface sediments off Saru River in northern Japan, one year after a flood event in 2016,", Radiocarbon, 52, 1068-1077, 2010.
- 11) 気象庁, 過去の気象データ検索, http://www.data.jma.gp.jp/obd/stays/ern/index.php?prec_no=&block_no=&year=& month=&day=&view=
- 12) 原子力規制庁,平成25年度放射性物質測定調査委託費(海域における放射性物質の分布状況の把握等に関する調査研究事業)成果報告書,(2014).
- 13) 原子力規制庁,平成26年度放射性物質測定調査委託費(海域における放射性物質の分布状況の把握等に関する調査研究事業)成果報告書,(2015).

- 14) S. Otosaka, *et al.*, "Vertical and lateral transport od particulate radiocesium off Fukushima,", Environ. Sci. Technol., 48, 12595-12602, 2014.
- 15) M. C. Honda, *et al.*, "Radiocarbon of sediment trap samples from the Okinawa Trough: lateral transport of ¹⁴C-poor sediment from the continental slope,", Mar. Chem., 68, 231-247, 2000.