報

ため池底質における Cs の堆積状況と粒径別 Cs 濃度の比較

Spatial and Vertical Distribution of Cs in Ponds Sediment and Particle Size Fractions

吉 永 育 生† 島 崎 彦†

(Yoshinaga Ikuo)

I. はじめに

(SHIMASAKI Masahiko)

住 直 人 (TSUNESUMI Naoto)

木 強 治† (TAKAKI Kyoji)

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により、周辺環境 へ放射性核種が放出された。放射性核種のうち、セシ ウム (Cs) は水溶性で移動しやすく¹⁾, 農業用水や土壌 を経て農作物に移行する可能性があるため、ため池な どの水利施設における Cs の挙動を把握することはき わめて重要である。

東北農政局の調査によると、ため池においては、貯 留水から Cs が検出される事例は少数であるが、底質 には一定濃度で存在している²。これは、Cs の大半は 土粒子や有機物に吸着された状態で存在すること, た め池では集水域からの流出水を貯留しており、ため池 内で土砂が蓄積しやすいこと、が要因として考えられ る。底質に存在する Cs が、巻き上がりなどによって 貯留水に回帰するかどうかを判断するには、底質にお ける Cs の状態を把握することが重要である。

閉鎖性水域の底質における Cs の分布については、 チェルノブイリ事故に伴うフォールアウトにかかる事 例が多数報告されている。Cs は、土粒子に吸着され やすく、特に粘土には強く吸着されること、一方で有 機物に対する吸着力は弱く、溶脱しやすいことなどが 知られている。また、堆積土では、単位重量当たりの Cs 吸着量は粘土が大きいものの、土中に多く存在す る 10 μm 以上の粗い粒子に吸着している Cs 量が多 い3)、底質のCsの再拡散の主要因は風による底質の巻 上げであり、深水域では6年でCsの堆積量が50%増 加した⁴, などが報告されており, Cs の存在や移動形態 は、流域や水域の特性によって異なると予想される。

しかし、ため池のように比較的小規模な水域におけ る報告例はきわめて少ない。そこで、ため池の底質に おける Cs の面的な分布、深さ方向の分布を把握する ことを目的として調査を実施した。

また、風などによって、底質が巻き上がった場合、 浮遊している土粒子の Cs 濃度が、貯留水の Cs 濃度 に影響を及ぼす。そこで、ストークス径によって底質 の土粒子を分画した結果を報告する。

II. 方法

1. 対象としたため池

福島県内のため池を対象とした。既往の調査結果を もとに調査ため池を選定し、山間部にある池 (ため池 A), 平野部にある池 (ため池 B), 底質の Cs 濃度が高 いため池(ため池C)の3つとした。いずれのため池 においても、集水域における Cs の初期沈着量の平均 値は 300~430 kBg/m²である。

ため池の諸元を表-1, 平面図を図-1~3 に示す。な お、ため池からの取水は直径 12~15 cm の取水口から

表-1 対象としたため池の諸元

	ため池 A	ため池 B	ため池C
貯水量 (m3)	109,800	50,000	1,600
満水面積 (m²)	32,800	52,000	1,600
最大水深 (m)	5.0	1.7	3.0
流域面積(m²)	371,100	901,400	43,400

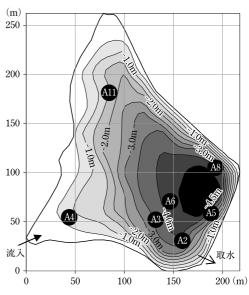


図-1 平面図と調査地点(ため池 A)

†農村工学研究所水利工学研究領域

TO 16

水質、セシウム、分画、放射性物質、巻き上が り, 鉛直分布

水土の知 81 (9) 709

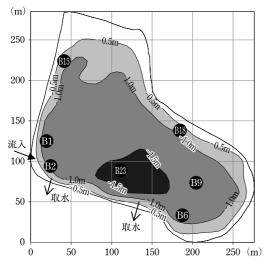
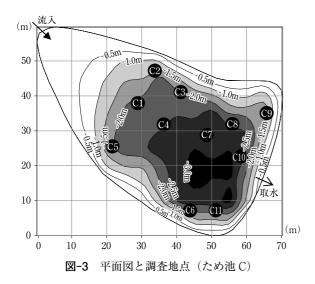


図-2 平面図と調査地点 (ため池 B)



斜樋を通じて実施されている。

2. 調查方法

(1) サンプルの採取方法 ため池 A と B では、2012年5月下旬に概況調査を実施した。同年6月下旬に、ボートの上から4 cm 径のコアサンプラーを使って7地点で採泥した。各地点において底質の表層12 cm を5回採取し、1つは2 cm 間隔で6つに分けた(2 cm サンプル)。残りの4つのサンプルは6 cm 間隔で2つに分けた後、表層0~6 cm で採取したサンプル同士、表層6~12 cm で採取したサンプル同士をそれぞれ混合した(6 cm サンプル)。ため池Cでは、同年5月下旬に11地点でエクマンバージ採泥器を使って底質を採取した。これは、底質が砂質でコアサンプラーによる採取が不可能であったためである。

(2) 分画方法 ため池 A と B では、6 月下旬に最深部の表層 $0\sim6$ cm で採取した試料を用い、ため池 C では、8 月 28 日に東北農政局が実施したダイバーによるコアサンプリング試料のうち、最深部の表層 $0\sim6$

cm の試料を用いた。分画の手法は次のとおりであり、有機物分解剤、分散剤はいずれも添加していない。

- ① 炉乾によって含水比を計測。
- ② 炉乾後の試料に蒸留水を添加し、1昼夜放置。
- ③ 粘土とシルトの粒径は、沈降による分画。500 mL トールビーカーに入れた試料を 1 分間攪拌し、一定時間静置した後、上澄みを採取。上澄みを炉乾し、残留物を採取。この作業を、上澄みが透明になるまで繰り返して実施した。粘土画分の繰返し回数は、ため池 A:40回、ため池 B:32回、ため池 C:38回であった。
- ④ ふるい分けにより細砂と粗砂を分画。

Cs 濃度は、試料を乾燥・粉砕した後に、ガンマ線スペクトロメトリー法により放射性物質量を定量した。調査結果の Cs 濃度は、¹³⁴Cs と¹³⁷Cs の合計量であり、放射線量の減衰を考慮し、採取日の値に換算している。

III. 調査結果

1. ため池内の空間分布

ため池 $A \ \ \, b \ \, D$ の結果を**図-4**、**5** に示す。菱形と四角形は各 $2 \ \, cm \ \, t \ \, b$ プルの値であり、たとえば $0 \ \, c \ \, c \ \, d$ に成形の表面 $0 \ \, cm \ \, m$ から $2 \ \, cm \ \, o$ 層の値を示す。横棒は $2 \ \, cm \ \, t \ \, d$ プルの平均値で、乾燥重量によって重み付けしている。丸印は $6 \ \, cm \ \, t \ \, d$ プルの値を示す。

ため池 A では、同一地点であってもサンプルごとの Cs 濃度が異なる。 $6 \, \mathrm{cm} \, \mathrm{thr}$ サンプルは、同一地点における $4 \, \mathrm{thr}$ つのサンプルを混合しているので、これを各地点の代表値とみなす。大半の地点で、 $2 \, \mathrm{cm} \, \mathrm{thr}$ の平均値と代表値の差が大きい。さらには、 $2 \, \mathrm{cm} \, \mathrm{thr}$ ンプルの最大値と最小値の間に代表値があるのは、 $7 \, \mathrm{thr}$ 14 カ所のうち A3 の $0 \, \mathrm{thr}$ 6 chr 2 cm A4 の $6 \, \mathrm{chr}$ 12 cm A5 の $0 \, \mathrm{chr}$ 6 chr 0 chr 6 chr 7 thr 5 thr 6 thr 7 thr 6 thr 7 thr 6 thr 7 thr 8 thr 6 thr 9 thr 6 thr 9 thr 6 thr 7 thr 6 thr 7 thr 6 thr 8 thr 6 thr 9 thr

鉛直方向のCs 濃度については、表層 $0\sim6$ cm における2 cm サンプルの値は $40\sim15$,160 Bq/kg と広く

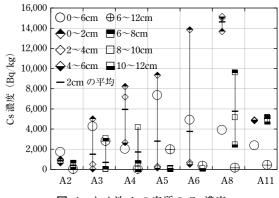
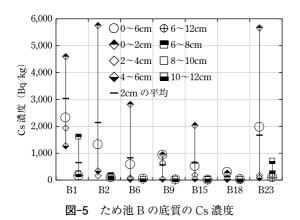


図-4 ため池 A の底質の Cs 濃度

分布するうえ, 地点によって Cs の存在傾向が異なり, 明確な傾向は見いだせない。

ここで、土粒子の密度を 2.53 と仮定すると、底質の表層 12 cm における単位面積当たりの堆積 Cs 量は $165\sim682$ kBq/m²となる。ため池 A の流域における Cs の初期沈着量は 303 kBq/m²であり、底質の Cs 存在量は初期沈着量の $0.54\sim2.3$ 倍に相当する。

ため池 B では、同一地点における 2 cm サンプルの Cs 濃度は深さによって異なるものの、その平均値は 6 cm サンプルの値とほぼ同様である。鉛直方向の Cs 濃度は、表層ほど濃度が高く、深くなるほど値が低く なる傾向を示し、7 地点の平均で Cs の 86%が表層 4 cm に存在し、90%が表層 6 cm に存在している。B1、B2 と B23 では $6\sim12 \text{ cm}$ の深さにも存在しているが、濃度は低い。ため池内部の分布については、南西側の流入に近い地点と、中央の深い地点が高い傾向を示した。底質における Cs 堆積量は、流域の初期沈着量の $0.12\sim0.62$ 倍に相当する。



ため池 C の調査結果を表-2 に示す。なお,ため池 C ではエクマンバージ採泥器による採取のため,深さ 別の値は存在しない。Cs 濃度は $23,000\sim238,000$ Bq/kg の間の値を示し,水深や水域の形状と Cs 濃度 の相関は見られず,地点によって値が大きく異なる。たとえば C7 と C8 は,調査地点が約 10 m と近接して いるにも関わらず,Cs 濃度のオーダーが異なる結果 となっている。

ため池の底質は、水利用、形状などの多くの要因の 影響を受ける。底質の物理性は、「底質の性状はバラ ツキが大きく、特に湖底地形が谷や崖のような場所で

表-2 ため池 C の底質の Cs 濃度 (Bq/kg)

地	点	Cs 濃度	地点	Cs 濃度	地点	Cs 濃度
C:	1	238,000	C5	102,000	C9	50,000
C	2	109,000	C6	172,000	C10	231,000
C	3	114,000	C7	176,000	C11	108,000
C	1	59,000	C8	23,000		

は、少しのずれで泥種や含有量が大きく変わることがありバラツキが大きくなりやすい⁵⁾」ことが知られており、地点内または地点間で Cs 濃度が大きく異なっていた、ため池 A と C では湖底地形の起伏が大きいことと整合する。

また、国内の閉鎖性水域の底質の年間堆積速度は、湖にて $0.6\sim1.4\,\mathrm{cm}^{6)\sim8}$ 、内湾にて $0.5\sim1.3\,\mathrm{cm}^{9,10}$ が報告されており、フォールアウトから底質採取までの間の堆積深さは $2\,\mathrm{cm}$ 以下と考えられる。しかしながら、ため池 A と B では、 $2\,\mathrm{cm}$ より深くまで、地点によっては $12\,\mathrm{cm}$ の深さまでCs が存在していることから、底質の表層では攪乱を受けていると考えられる。

2. ストークス径別の Cs 濃度

各ため池の底質を分画した結果を表-3に示す。

底質が巻き上がった場合、微細な土粒子ほど長期間 浮遊する。ここでは、巻き上がると少なくとも 1 日以 上浮遊する、ストークス径が $2\mu m$ 以下の画分に注目 する。

表-3 ストークス径で分画した粒径別の Cs 濃度

	ストークス	乾燥重量	Cs 濃度	Cs 量	Cs 量
	径	(%)	(Bq/kg)	(Bq)	(%)
	<2 μm	15	6,400	95	26
	2∼20 µm	49	3,100	147	41
ため池 A	20~200 μm	32	3,200	96	27
	>200 μm	5	4,200	19	5
	未分画試料	100	4,900	356	100
	<2 μm	26	3,000	40	35
	2∼20 μm	43	1,600	36	31
ため池B	20~200 μm	26	2,100	29	25
,6,9,6,5	>200 μm	6	3,100	10	9
	未分画試料	100	2,000	115	100
	<2 μm	7	218,000	713	7
ため池 C	2∼20 μm	31	337,900	4,601	43
	20~200 μm	43	207,200	3,948	37
	>200 μm	18	187,700	1,463	14
	未分画試料	100	239,700	10,747	100

Cs 量は、乾燥重量(kg)×Cs 濃度(Bq/kg)で算定。

 $2\mu m$ 以下の画分が巻き上がって、濁った場合の貯留水の Cs 濃度は式 (1) となる。

$$C_{\rm w} = C_{\rm ss} \cdot C_{\rm csu2} \cdot 10^{-6} \quad \cdots \qquad (1)$$

 C_w : 貯留水の Cs 濃度 (Bq/L), C_{ss} : 貯留水の SS 濃度 (mg/L), C_{csu2} : 2 μ m 以下の画分の Cs 濃度 (Bq/kg), 10^{-6} : 換算係数 (kg/mg) である。

ここで、底質が巻き上がって水が濁った場合、Cs 濃度が上昇する可能性を考える。農業用水にかかる Cs の基準が存在しないため、ここでは飲料水の基準である $10 \, \mathrm{Bq/L}$ となる場合の SS 濃度を求める。式(1)の C_w に 10 を、 C_{csu2} に表-3 の結果を代入すると、貯留水の Cs 濃度が $10 \, \mathrm{Bq/L}$ となるには、SS 濃度は 1,600

水土の知 81 (9) 711

mg/L (ため池 A), 3,300 mg/L (ため池 B), 46 mg/L (ため池 C) 以上の場合となる。参考までに、濁水の SS 濃度は、湖沼にて風波による巻き上がり時で約 130 mg/L 11 、水田の代かき 1 日後の田面水で $290\sim460$ mg/L 12 、と報告されており、上記の値はきわめて高い値であることがわかる。

これらの結果から、ため池 A と B においては、底質が巻き上がったとしても、Cs 濃度が大きく上昇する可能性は低い。

IV. おわりに

今回の調査では、ため池底質において、Cs は平面方向、鉛直方向のいずれにも不均一に存在していた。さらなる調査研究により Cs の挙動の解明に努めたい。

調査研究の実施に当たり、関係機関の皆様には多大なるご協力を頂きました。深く御礼申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 山口紀子,高田裕介,林 健太郎ほか:土壌 植物系に おける放射性セシウムの挙動とその変動要因,農業環 境技術研究所報告 31, pp.75~129 (2012)
- 2) 東北農政局:福島県内のため池における放射性物質の 測定結果(2回目) について、http://www.maff.go. jp/tohoku/press/seibi/suiriseibi/120426.html (参照 2013.6.17)
- 3) Korobova, E.M., Chizhikova, N.P. and Linnik, V. G.: Distribution of ¹³⁷Cs in the particle-size fractions and in the profiles of alluvial soils on floodplains of the Iput and its tributary Buldynka Rivers (Bryansk Oblast), Eurasian Soil Science 40(4), pp. 367~379 (2007)
- 4) Konitzer, K. and Meili, M.: Retention and horizontal redistribution of sedimentary Chernobyl ¹³⁷Cs in a small Swedish forest lake, Marine and freshwater research 46(1), pp.153~158 (1995)
- 5) 国土交通省東北地方整備局:湖沼底質環境・調査手引

- き (案), 130p.(2009)
- 6) 早川和秀, 横田喜一郎: 琵琶湖および流入河川河口部付近における底質のサンプリング調査と堆積年代の推定, 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書(平成16年度), pp.84~88(2005)
- 7) 川人茂二, 松澤震介, 大西明夫: ウトナイ湖の湖底堆積 速度検討, 河川環境総合研究所報告 8, pp.8~12(2002)
- 8) 金井 豊, 井内美郎, 片山 肇, 斎藤文紀:²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs 法による長野県諏訪湖底質の堆積速度の見積り, 地質 調査所月報 46(5), pp.225~238 (1995)
- 9) 山崎秀夫, 小川喜弘, 石澤 篤, 横田喜一郎:大阪湾底質に対する有機物フラックスとその初期続成過程における分解速度, 近畿大学理工学総合研究所研究報告 18, pp.57~66 (2006)
- 10) 中川康之:内湾域における泥質物の堆積過程に関する 研究,港湾空港技術研究所報告 37(4), pp.113~133 (1998)
- 11) 豊田政史, 宮原一道, 北村 聡, 宮原裕一, 富所五郎: 諏訪湖における底質の性状および懸濁物質の挙動に関 する現地観測, 水工学論文集 50, pp.1309~1314(2006)
- 12) 金木亮一, 久馬一剛, 岩間憲治, 小谷廣通: 無代かき移植・育苗箱全量施肥栽培法による表面流出負荷削減効果, 農土論集 196, pp.183~188 (1998)

〔2013.6.25.受稿〕

吉永 育生(正会員)



1972年 熊本県に生まれる 1995年 京都大学農学部卒業

略

農林水産省農業工学研究所などを経て 2012年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構農 村工学研究所水利工学研究領域主任研究 員

歴

現在に至る

島崎 昌彦(正会員)



1965年 兵庫県に生まれる

1989年 神戸大学大学院農学研究科修了 農林水産省農業工学研究所などを経て 2012年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構農 村工学研究所水利工学研究領域主任研究 員

常住 直人(正会員)



1963年 千葉県に生まれる

現在に至る

1985年 東京農工大学農学部卒業

農林水産省農業土木試験場などを経て 2011年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構

1年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所水利工学研究領域主任研究員

現在に至る

髙木 強治(正会員)



1960年 福岡県に生まれる 1984年 九州大学農学部卒業

農林水産省農業土木試験場などを経て 2011年 (独)農業・食品産業技術総合研究機構農 村工学研究所水利工学研究領域上席研究 員

現在に至る