

平成12年度

環境試料中のプルトニウム調査(Ⅱ)報告書

平成13年2月

福島県衛生公害研究所

は　じ　め　に

福島県内に原子力発電所が設置され30年になります。これまで「福島県原子力センター」で行ってきた原子力発電所周辺の環境放射能の監視測定結果では、海外での核実験による影響等を除き、環境中の放射能レベルは十分に低いことが確認されており、地域住民の健康と安全を確保するうえで問題は生じていません。

しかし、放射能、放射線あるいは原子力発電に関する不安が必ずしも解消されていない現状から、環境放射能の監視測定に万全を期するため、平成7年度、当研究所に環境放射能分析棟を整備いたしました。

この分析棟では、従来「原子力センター」で行ってきた監視測定対象に加え、肉、卵、果物などの日常食品や地域特産品の放射能分析、 α 線や β 線を放出する放射性物質の分析を行うとともに、調査研究を行うこととしています。

一方、県民の間には、福島第一原子力発電所におけるプルサーマル導入計画などを契機として、原子力発電についての関心が高まっていることから、当研究所では昨年度、多品目の環境試料に関するプルトニウム濃度の調査を実施しました。その結果をふまえ、今年度は湖・ダム底沈積物17試料、陸土40試料を対象として、分析の一部(26試料)を財団法人日本分析センターに委託して行い、当研究所での放射能分析結果とあわせ本書に述べるような結果が得られました。これらの結果を基に、県内におけるプルトニウムのバックグラウンドレベルの理解に役立つことを願うところです。

調査に当たり、試料採取を受託していただいた財団法人福島県保健衛生協会およびプルトニウム分析の一部を受託していただいた財団法人日本分析センター、並びに試料採取にご協力いただいた各機関に深く感謝申し上げる次第です。

平成13年2月

福島県衛生公害研究所長

加藤 一 夫

目 次

	(頁)
1 調査目的	1
2 調査方法	1
(1) 調査地点	1
(2) 試料採取期間	6
(3) 試料採取方法	6
3 分析方法	6
(1) 試料調製	6
(2) プルトニウム	6
(3) γ 線放出核種	7
(4) 水分、強熱減量	7
(5) 有機態炭素	7
(6) 粒径組成	7
(7) 比重、孔隙量	8
4 調査結果	8
(1) プルトニウムの検出状況	1 0
(2) γ 線放出核種の検出状況	1 1
(3) 各分析項目間の相関	1 3
① P u -238とP u -239+240	
② P u -239+240とC s -137	
③ P u -239+240と有機物	
④ P u -239+240と粒径組成	
⑤ P u -239+240/C s -137比と強熱減量	
⑥ P u -239+240と比重、孔隙量	
(4) 陸土中のP u -239+240の深度分布	3 2
(5) ダム底沈積物とダム岸土の関係	3 3
(6) P u -239+240と地理的要因	3 4
5 まとめ	3 6
[参考文献]	3 9
[附表]	4 1

1 調査目的

プルトニウムは、長半減期の α 線放射体であり、大気圏内核実験の影響等により環境中に広く分布し、線量評価を行う上で重要な核種である。このため本県では、福島県原子力発電所周辺環境放射能測定計画に基づき、降下物など6種類の環境試料について平成8年度からモニタリングを実施している。

一方、国では最近のエネルギー事情から、ウランとプルトニウムの混合酸化物燃料(MOX燃料)を軽水炉で燃焼するプルサーマル計画を採用することとし、本県の原子力発電所においても当計画が実施される予定である。

これらのことから、平成11年度から3カ年計画で、環境中のプルトニウム濃度のバックグラウンドレベルを把握するとともに、プルトニウムの環境動態に影響を与える基礎的項目等について調査し、基礎資料を得ることを目的に調査を開始した。昨年度は県内の広い範囲において、多品目のプルトニウム濃度を調査した結果、土試料、貝類、藻類、降下物からプルトニウムが検出され、なかでも土試料に広く蓄積されていることがわかった¹⁾。このため本年度は、土試料に着目し、県内各地から採取した湖沼・ダム沈積物及び陸土についてプルトニウム濃度の調査を行った。

2 調査方法

(1) 調査地点

県全体におけるプルトニウム濃度の状況を把握するため、調査地点として、湖沼6地点、ダム11地点、学校11地点を、地域的な偏りがないように選定した。(図-1、表-1)なお、湖沼及びダム、学校の諸元は表-2、3、4に示した。

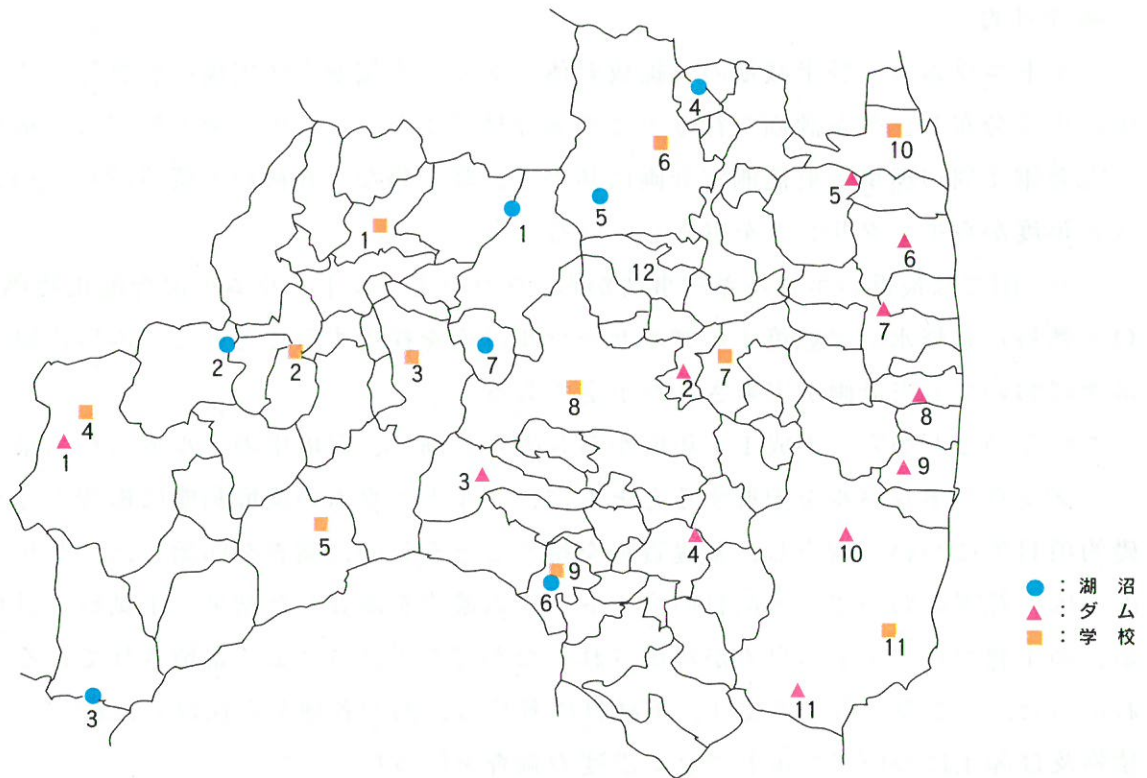


図-1 調査地点

表-1 調査地点

区分	地点 No.	地点名	区分	地点 No.	地点名
湖底沈積物	1	桧原湖	学校	1	喜多方高校
	2	沼沢沼		2	西山小学校
	3	尾瀬沼		3	会津高校
	4	半田沼		4	只見高校
	5	女沼		5	田島高校
	6	南湖		6	福島高校
	※ 7	猪苗代湖		7	船引高校
ダム底沈積物・岸土	△ 1	田子倉ダム		8	安積高校
	2	三春ダム		9	白河高校
	△ 3	羽鳥ダム		10	相馬高校
	4	千五沢ダム		11	磐城高校
	5	真野ダム			
	6	高の倉ダム			
	7	大柿ダム			
	8	坂下ダム			
	9	谷室沢ダム			
	10	小玉ダム			
	11	四時ダム			
	※ 12	岳ダム			

※ 7 : 猪苗代湖、※ 12 : 岳ダム
 は平成 11 年度の調査地点
 △ 1 : 田子倉ダム、△ 3 : 羽鳥ダムは
 ダム底沈積物のみを採取

表一2 調査した湖沼の諸元

No.	名称	所在地	天然・人工の別	湖面積 (km ²)	貯水量 (m ³)	最大水深 (m)	平均水深 (m)	流域面積 (km ²)	標高(m)	調査年月日	採泥水深 (m)
1	桧原湖	耶麻郡北塩原村	天然	10.40	127,600,000	30.5	12.0	106.4	819	H12.7.17	23.0
2	沼沢沼	大沼郡金山町沼沢	天然	3.10	193,800,000	95.0	62.4	8.9	474	H12.7.10	87.0
3	尾瀬沼	南会津郡檜枝岐村	天然	1.84	6,600,000	9.5	4.1	18.4	1,665	H12.6.27	6.7
4	半田沼	伊達郡桑折町南半田	天然	0.06	500,000	23.2	8.3	—	419	H12.7.25	3.5
5	女沼	福島市土湯温泉町	天然	0.08	—	8.7	—	—	530	H12.7.25	6.2
6	南湖	白河市南湖	人工	0.162	177,000	1.6	1.5	2.0	360	H12.7.6	1.6
7	猪苗代湖	猪苗代町・郡山市・ 会津若松市	天然	103.20	3,859,000	94.6	51.5	820.20	514	H11.8.20	—

—はデータがないことを示す。

表一3 調査したダムの諸元

No.	名称	所在地	ダムの型式	灌水開始年	堤頂標高(m)	堤長(m)	堤頂幅員(m)	堤体積(m ³)	流域面積(km ²)	満水面積(km ²)	満水位標高(m)	平均水深(m)	最大水深(m)	総貯水量(m ³)	調査年月日
1	田子倉ダム	南会津郡只見町大字田子倉字菅目	コンクリート重力式	1959	515.3	462	9	1,949,500	816.3	9.95	510	-	-	494,000,000	H12.7.10
2	三春ダム	田村郡三春町大字西方字中ノ内	重力式コンクリートダム	1996	65	174	6.5	195,000	226.4	2.9	326	51.5	58.5	42,800,000	H12.6.30
3	羽鳥ダム	岩瀬郡天栄村大字羽鳥字唐沢国有林	ゾーン型フィルダム	1956	690.3	169.5	9	318,107	42.69	2.01	686	22	32	27,321,060	H12.7.6
4	千五沢ダム	石川郡石川町母畑千五沢	中心遮水ゾーン型アースダム	1984	43	176.5	8	347,000	110	0.97	362.7	18.1	30.2	13,000,000	H12.6.30
5	真野ダム	相馬郡飯館村大字大倉字松ヶ平	重力式コンクリートダム	1989	184	239	4	218,684	72.8	1.37	173	59.67	59	25,200,000	H12.7.14
6	高の倉ダム	原町市高倉字細倉地	直線式コンクリート重力ダム	1975	158.2	129.4	4	91,400	13.4	0.316	156.2	-	33.4	6,000,000	H12.7.14
7	大柿ダム	双葉郡浪江町大字室原字十年平	中心遮水ゾーン型ロックフィルダム	1986	173.5	262	10	1,756,000	110.2	0.93	170	33.5	65	19,500,000	H12.6.23
8	坂下ダム	双葉郡大熊町大字大川原字の倉	直線式コンクリート重力ダム	1972	134	215	3	110,000	12.5	0.21	132.5	21	43	2,840,000	H12.6.23
9	谷室沢ダム	双葉郡楡葉町大字大谷字郭公	重力式越流型コンクリートダム	1937	279.4	90.6	27	15,987	1.54	0.014	279.4	-	4.54	75,200	H12.6.23
10	小玉ダム	いわき市小川町高萩	重力式コンクリートダム	1996	222	280	5	570,000	72.6	0.48	188	29	58	13,930,000	H12.7.24
11	四時ダム	いわき市川部町	ロックフィルダム	1984	125.5	300	10	2,512	95.6	0.48	119.5	-	66.5	12,100,000	H12.7.12
12	岳ダム	二本松市岳温泉地内	重力式コンクリートダム	1979	470	215	4	117,500	14.4	0.08	465.4	-	55.4	1,100,000	H11.8.7

表-4 調査した学校の諸元

No.	学 校	所 在 地	標 高(m)	立地年	調査年月日
1	福島県立喜多方高等学校	喜多方市字桜が丘1-129	220	1918	H12.7.28
2	柳津町立西山小学校	河沼郡柳津町大字砂子原字居平316	389	1960	H12.7.28
3	福島県立会津高等学校	会津若松市表町3-1	212	1935	H12.7.28
4	福島県立只見高等学校	南会津郡只見町大字只見字根岸2358	375	1954	H12.7.28
5	福島県立田島高等学校	南会津郡田島町大字田島字田部原260	554	1934	H12.6.27
6	福島県立福島高等学校	福島市森合町5-72	70	1898	H12.7.25
7	福島県立船引高等学校	田村郡船引町大字船引字石崎15-3	448	1984	H12.6.30
8	福島県立安積高等学校	郡山市開成5-25-63	265	1889	H12.6.30
9	福島県立白河高等学校	白河市字南登町54	361	1922	H12.7.6
10	福島県立相馬高等学校	相馬市中村字大手先57-1	9	1898	H12.7.14
11	福島県立磐城高等学校	いわき市平字高月7	35	1923	H12.7.24

(2) 試料採取期間

平成12年6月～8月

(3) 試料採取方法

湖沼においては、湖心から湖底沈積物を採取した。ダムにおいては、ダム中心部からダム底沈積物、ダム岸部から陸土（以下、「ダム岸土」という）を採取した。学校からは陸土（以下、「学校陸土」という）を採取した。湖・ダム底沈積物はエクマン・バージ型採泥器により湿重量で約3kg採取した。ダム岸土は満水時の水面より上方でかつダム造成前の状態が保たれている場所、学校陸土は浸食・崩壊がなく人為的攪乱のない場所を選び、直径50mmの土壤採取器を用いてコア状に採取し、表面から5cmまでを上層、5～10cmまでを下層として分割し試料とした。採取量は湿重量でそれぞれ約2kgとした。

3 分析方法

(1) 試料調製

科学技術庁放射能測定法シリーズ16「環境試料採取法」⁴⁾に準じて行った。操作の概略は以下のとおりである。

採取した試料はほうろう引きまたはステンレス製のバットに広げ、標準土色帖を用いて湿土の土色を判定する。105℃の乾燥器に入れ十分に乾燥し、放冷後、乾土の土色判定と乾土重量測定を行う。磁性乳鉢で軽く磨砕し、2mmのふるいで篩い分け、植物根、石礫等を取り除き乾燥細土重量を測定する。十分混合して分析試料とする。

(2) プルトニウム

科学技術庁放射能測定法シリーズ12「プルトニウム分析法」⁵⁾に準じて行った。操作の概略は以下のとおりである。

試料50gを分取し、500℃の電気炉で加熱処理後、分析試料にPu-242収率補正用トレーサーを一定量添加し、硝酸を加えて加熱抽出する。残留物をろ別後、ろ液を蒸発濃縮して、硝酸(3+2)及び過酸化水素水を加えて加熱する。放冷後ろ過し、ろ液を陰イオン交換樹脂カラムに通した後、硝酸(3+2)、塩酸(5+1)で順次洗浄後、ヨウ化アンモニウム-塩酸溶液でプルトニウムを溶離し、蒸発乾固する。これに硝酸及び過塩素酸を加えて再び蒸発乾固し、硫酸(1+9)で溶解後、pHを調整し、プルトニウムをステンレス板上に電着して測定試料とする。シリコン半導体検出器を用い、測定試料のα線スペクトルを80,000秒測定する。測定試料のPu-238及びPu-239+240の正味計数率を求め、収率補正用トレーサーの計

数率との比較、分析供試量等からそれぞれの放射能濃度を算出した。

(3) γ 線放出核種

科学技術庁放射能測定法シリーズ13「ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法」⁶⁾及び同シリーズ7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」⁷⁾に準じて行った。

試料を試料詰め具を用いてU-8容器に詰め測定試料とし、ゲルマニウム半導体検出器を用い、測定試料の γ 線スペクトルを80,000秒測定した。

測定対象核種は、Cr-51, Mn-54, Co-58, Fe-59, Co-60, Zr-95, Nb-95, Ru-106, Cs-134, Cs-137, Ce-144の人工放射性核種とした。このうちCr-51, Mn-54, Co-58, Fe-59, Co-60は原子力発電所の原子炉冷却系の成分が中性子照射を受けて生じる放射性核種であり、Zr-95, Nb-95, Ru-106, Cs-134, Cs-137, Ce-144は核実験や原子炉内で起こる核分裂によって生じる放射性核種である。

(4) 水分・強熱減量

「底質調査方法」(昭和63年9月8日付け環水管第127号 環境庁水質保全局長通知)⁸⁾に準じて行った。操作の概略は以下のとおりである。

分析試料を磁器製のるつぼに入れ、105℃の乾燥器で2時間乾燥後、デシケータ中で放冷し質量を測定し、減量から水分を算出する。さらに電気炉を用いて600℃で2時間強熱した後、デシケータ中で放冷し質量を測定、恒量に達するまで強熱-放冷-秤量を繰り返し、減量から強熱減量を算出する。

(5) 有機態炭素

簡易滴定法(Tyurin法)⁹⁾で行った。操作の概略は以下のとおりである。

試料0.1~0.5gを100ml容三角フラスコにとり、0.4Nクロム硫酸溶液10mlを加え5分間煮沸する。冷却後りん酸5mlとオルトフェナントロリン指示薬を加え0.2N硫酸第一鉄アンモニウム溶液で滴定する。

(6) 粒径組成

国際土壌学会法¹⁰⁾に準じて行った。操作の概略は以下のとおりである。

試料10gを500ml トールビーカーにとり、おだやかに加熱しながら過酸化水素水を少量ずつ加えて有機物を分解する。上澄み液を除去した後、熱湯を用いて70メッシュのふるいを通す。ふるい上の残渣は乾燥して秤量する。(粗砂画分)ふるいを通した部分は、分液ロートに移し0.4Nカルゴン(ヘキサメタりん酸ナトリウム)25mlを加えて2時間振とうする。500mlの共栓付きメスシリンダーに移し1

分間振とう後、所定の時間静置して水面から5 cmの深さから試料液を10 ml採取し乾燥して秤量する。(シルト、粘土画分)

(7) 比重、孔隙量

試料を容積既知の容器に充填して重量を測定する。数回繰り返して見かけ比重を求める。試料5 gを重量既知の100mlメスフラスコにとり、少量の水を加え30分間煮沸する。放冷後水で100mlにメスアップし重量を測定し真の比重を求める。見かけ比重と真の比重から孔隙量を算出する。

4 調査結果

今回採取した試料から検出された放射性核種は、Pu-238、Pu-239+240及びCs-137であった。測定結果を表5、6に示す。

表-5 湖・ダム底沈積物の核種濃度

区分	No	地点名	①Pu239+240 (Bq/Kg乾土)	②Pu-238 (Bq/Kg乾土)	全Pu(①+②) (Bq/Kg乾土)	Cs-137 (Bq/Kg乾土)
湖底沈積物	1	桧原湖	4.1	0.10	4.2	91
	2	沼沢沼	4.4	0.12	4.52	131
	3	尾瀬沼	4.9	0.14	5.04	61
	4	半田沼	0.057	LTD	0.057	1.9
	5	女沼	0.44	0.016	0.456	7.9
	6	南湖	0.50	0.021	0.521	9.8
ダム底沈積物	1	田子倉ダム	0.069	LTD	0.069	2.7
	2	三春ダム	0.070	LTD	0.070	2.5
	3	羽鳥ダム	0.60	0.015	0.615	23
	4	千五沢ダム	0.12	LTD	0.12	2.6
	5	真野ダム	0.23	LTD	0.23	6.5
	6	高の倉ダム	0.35	LTD	0.35	12
	7	大柿ダム	0.24	LTD	0.24	6.7
	8	坂下ダム	0.16	LTD	0.16	4.4
	9	谷室沢ダム	0.43	0.023	0.453	11
	10	小玉ダム	0.16	LTD	0.16	5.8
	11	四時ダム	0.39	LTD	0.39	11

※ LTD は検出限界未満であることを示す

表-6 ダム岸土、学校陸土の核種濃度

区分	No	地点名	①Pu239+240 (Bq/Kg乾土)	②Pu-238 (Bq/Kg乾土)	全Pu(①+②) (Bq/Kg乾土)	Cs-137 (Bq/Kg乾土)
ダム岸土	1	三春ダム・上	0.029	LTD	0.029	0.89
		〃 ・下	LTD	LTD	LTD	LTD
	2	千五沢ダム・上	1.6	0.046	1.646	55
		〃 下	0.72	0.027	0.747	23
	3	真野ダム・上	LTD	LTD	LTD	LTD
		〃 ・下	LTD	LTD	LTD	LTD
	4	高の倉ダム・上	LTD	LTD	LTD	LTD
		〃 ・下	LTD	LTD	LTD	LTD
	5	大柿ダム・上	1.1	0.046	1.146	41
		〃 ・下	0.39	0.022	0.412	14
	6	坂下ダム・上	0.053	LTD	0.053	5.2
		〃 ・下	0.046	LTD	0.046	2.7
	7	谷室沢ダム・上	0.73	LTD	0.73	39
		〃 ・下	0.78	0.034	0.814	25
	8	小玉ダム・上	0.70	0.020	0.72	29
		〃 ・下	0.81	0.040	0.85	24
	9	四時ダム・上	0.79	0.027	0.817	37
		〃 ・下	0.76	0.028	0.788	36
学校陸土	1	喜多方高校・上	0.11	LTD	0.11	4.9
		〃 ・下	0.036	LTD	0.036	1.4
	2	西山小学校・上	LTD	LTD	LTD	1.4
		〃 ・下	LTD	LTD	LTD	LTD
	3	会津高校・上	LTD	LTD	LTD	0.54
		〃 ・下	LTD	LTD	LTD	0.81
	4	只見高校・上	0.021	LTD	0.021	2.0
		〃 ・下	LTD	LTD	LTD	LTD
	5	田島高校・上	LTD	LTD	LTD	LTD
		〃 ・下	LTD	LTD	LTD	LTD
	6	福島高校・上	0.037	LTD	0.037	2.3
		〃 ・下	0.050	LTD	0.050	1.8
	7	船引高校・上	LTD	LTD	LTD	LTD
		〃 ・下	LTD	LTD	LTD	LTD
	8	安積高校・上	0.062	LTD	0.062	2.6
		〃 ・下	LTD	LTD	LTD	1.0
	9	白河高校・上	0.34	LTD	0.34	14
		〃 ・下	0.33	LTD	0.33	15
10	相馬高校・上	0.15	LTD	0.15	17	
	〃 ・下	0.57	0.030	0.60	61	
11	磐城高校・上	0.061	LTD	0.061	2.8	
	〃 ・下	0.053	LTD	0.053	2.8	

(1) プルトニウムの検出状況

湖・ダム底沈積物のPu測定結果を図-2に示す。一般的に、ダム底沈積物に比べ湖底沈積物のPu濃度が高く、特に尾瀬沼(Pu-238+239+240として5.04Bq/kg乾土)、沼沢沼(5.52Bq/kg乾土)、桧原湖(4.20Bq/kg乾土)で高かった。ダム底沈積物では最も高濃度の地点でも羽鳥ダムの0.615Bq/kg乾土であった。現在、環境中に存在するPuのほとんどは、1940年代の半ばから1960年代にかけて行われた核実験によって生成され地上に降下したフォールアウトであるとされている¹¹⁾。今回調査したダムの多くは1960年以降に造成されていることから、降雨などによってダム内へ流入したPu量が湖沼よりも少なかったことがその理由として考えられる。なお、調査した湖沼が県西部に多く位置し、ダムは県東部に集中していたことから、湖・ダム底沈積物中のPuの蓄積量に地域的な差があるかどうかは明らかにはならなかった。

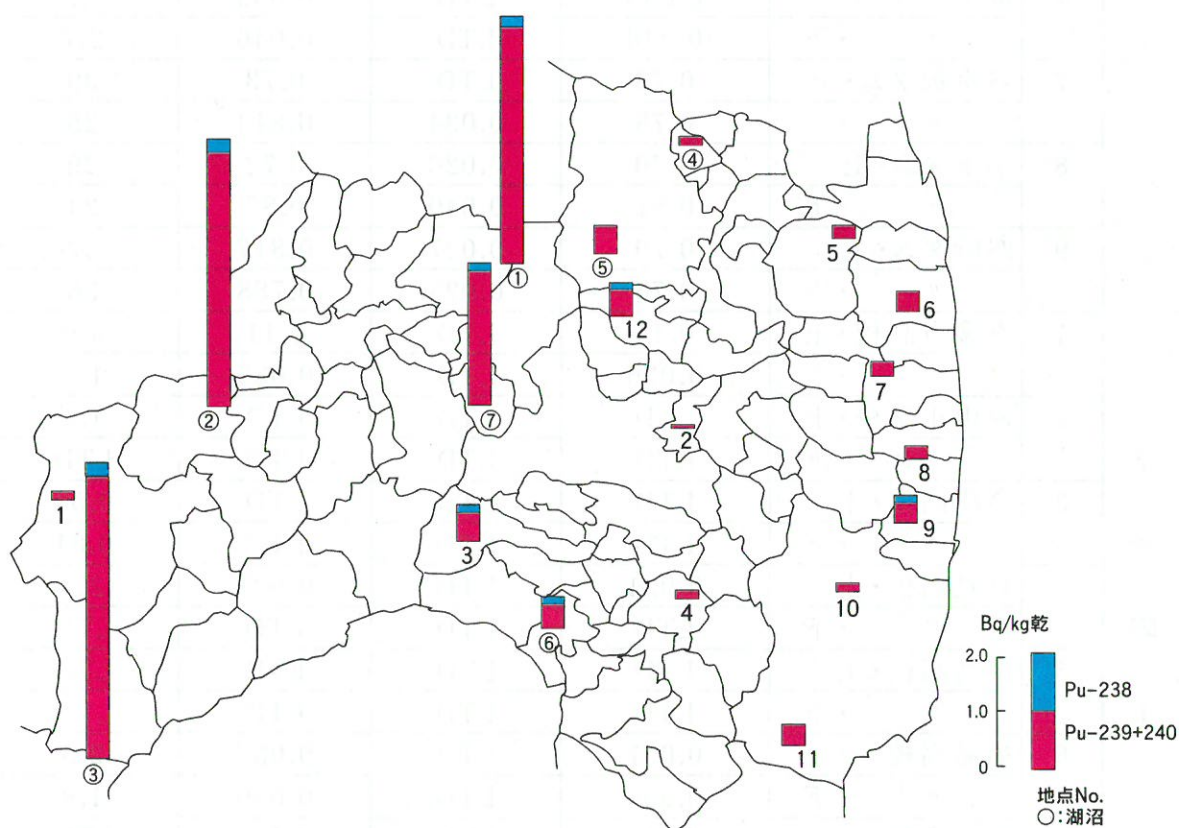


図-2 湖・ダム底沈積物のPu-238、Pu-239+240濃度

ダム岸土及び学校陸土のPu測定結果を図-3に示す。試料を採取した学校は1校を除いて、1960年代より以前に現在地に立地されている。また、ダム岸土の採取地点は、ダム造成以前の状態を保っている場所であることから、両地点とも核実験によって受けた影響に大差はないと考えられる。しかし一般的に、学校陸土に比べダム岸土のPu濃度が高く、特に千五沢ダムの上層岸土(1.646Bq/kg乾土)、大柿ダム上層岸土(1.146Bq/kg乾土)が高かった。学校陸土では相馬高校の下層陸土(0.60Bq/kg乾土)が高かった。

調査したダムは、山間部に位置しているため、採取したダム岸土は森林土であった。Puは草原土に比べて森林土に多く含まれているとの報告があり¹²⁾、このことが学校陸土よりもダム岸土のPu濃度が高い大きな理由であると考えられる。また、ダム岸土の採取地点が山から流れ落ちる雨水や土砂が貯まりやすい山麓であることや、学校陸土の採取地点が土壌粒子が移動しやすい平地であることなどの地形的な影響が大きく影響していると思われる。

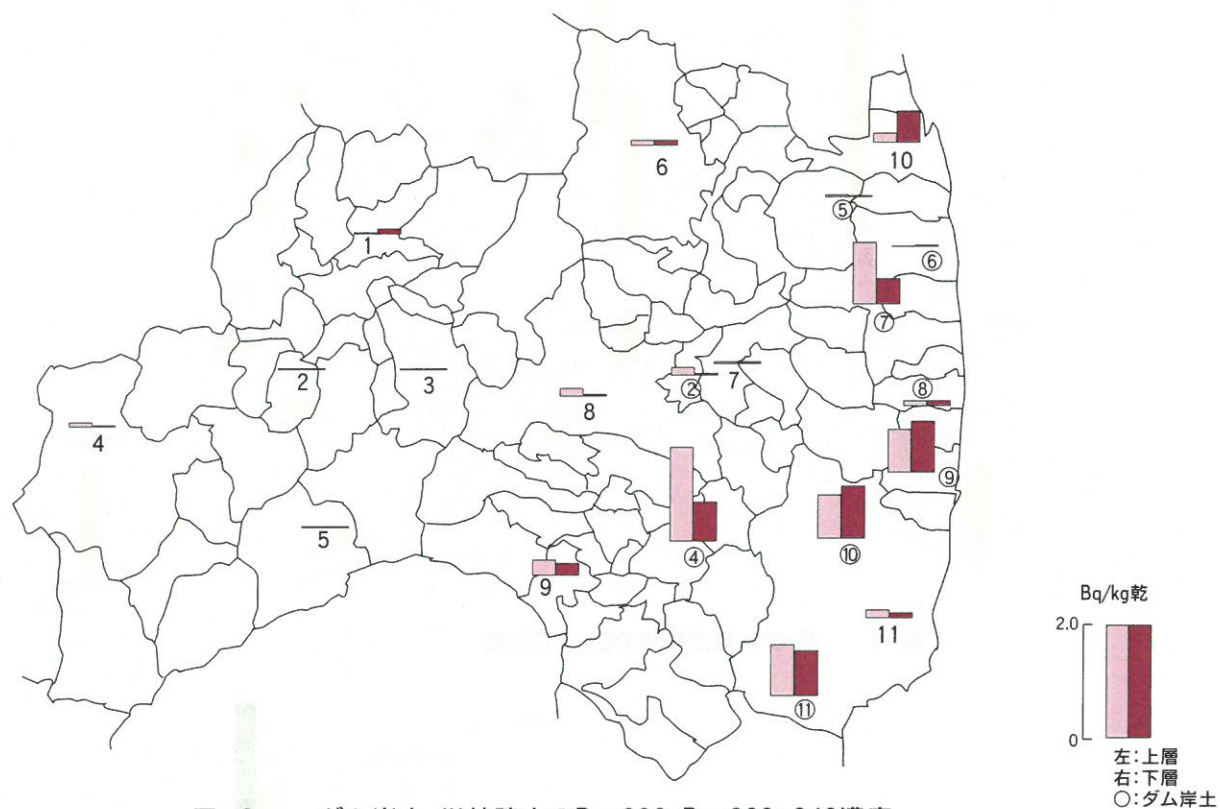


図-3 ダム岸土、学校陸土のPu-238、Pu-239+240濃度

(2) γ 線放出核種の検出状況

人工の γ 線放出核種うち今回検出されたのはCs-137だけであり、他の核種は検出されなかった。Cs-137は核分裂生成物質であり、過去の核実験ではPuよりも大量のCs-137が環境中に放出されたとされている。(Pu-238+239+240: 約 13.3×10^{15} Bq、Cs-137: 約 912×10^{15} Bq)¹³⁾湖・ダム底沈積物のCs-137の測定結果を図-4に示す。一般的に、ダム底沈積物に比べ湖底沈積物のCs-137濃度が高く、特に沼沢沼(131Bq/kg乾土)、桧原湖(91Bq/kg乾土)、尾瀬沼(61Bq/kg乾土)で高かった。ダム底沈積物では最も高濃度の地点でも羽鳥ダムの23Bq/kg乾土であった。Cs-137の濃度分布はPuの濃度分布と非常に似ていることから、両核種とも同じような蓄積過程を経たものと推測

される。

ダム岸土及び学校陸土のCs-137の測定結果を図-5に示す。これもPuの濃度分布と非常に似ており、相馬高校の下層陸土(61Bq/kg乾土)、千五沢ダムの上層岸土(55Bq/kg乾土)、大柿ダム上層岸土(41Bq/kg乾土)で高かった。全般に学校陸土に比べダム岸土のCs-137濃度が高いが、Puと同様に土性の違いや地形的な影響によるためと思われる。

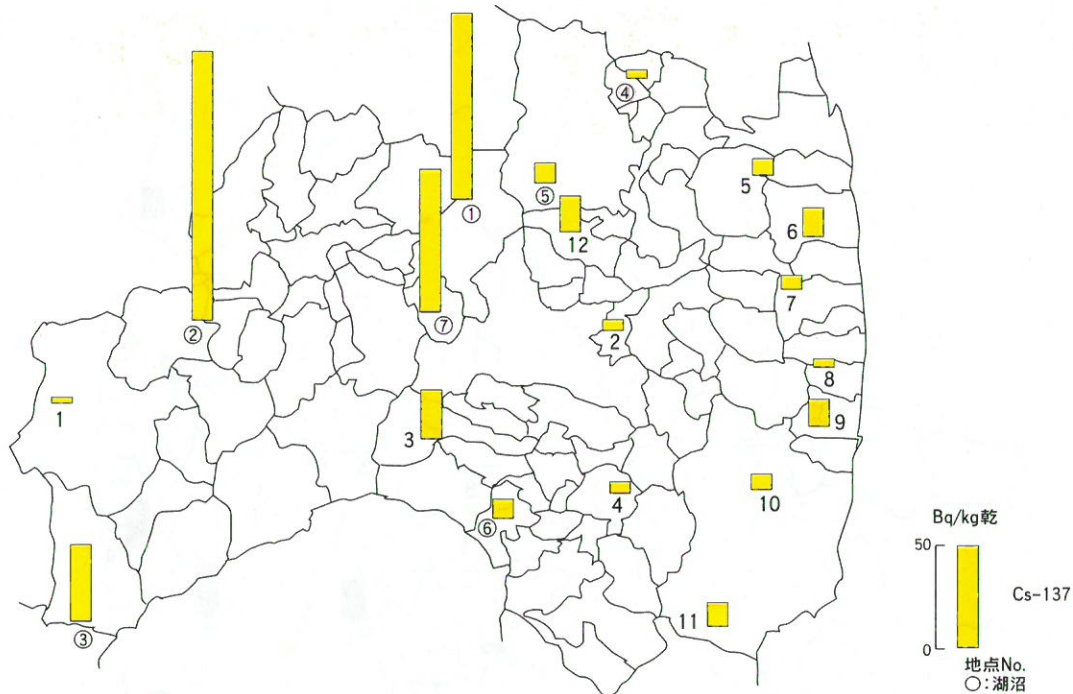


図-4 湖・ダム底沈積物のCs-137濃度

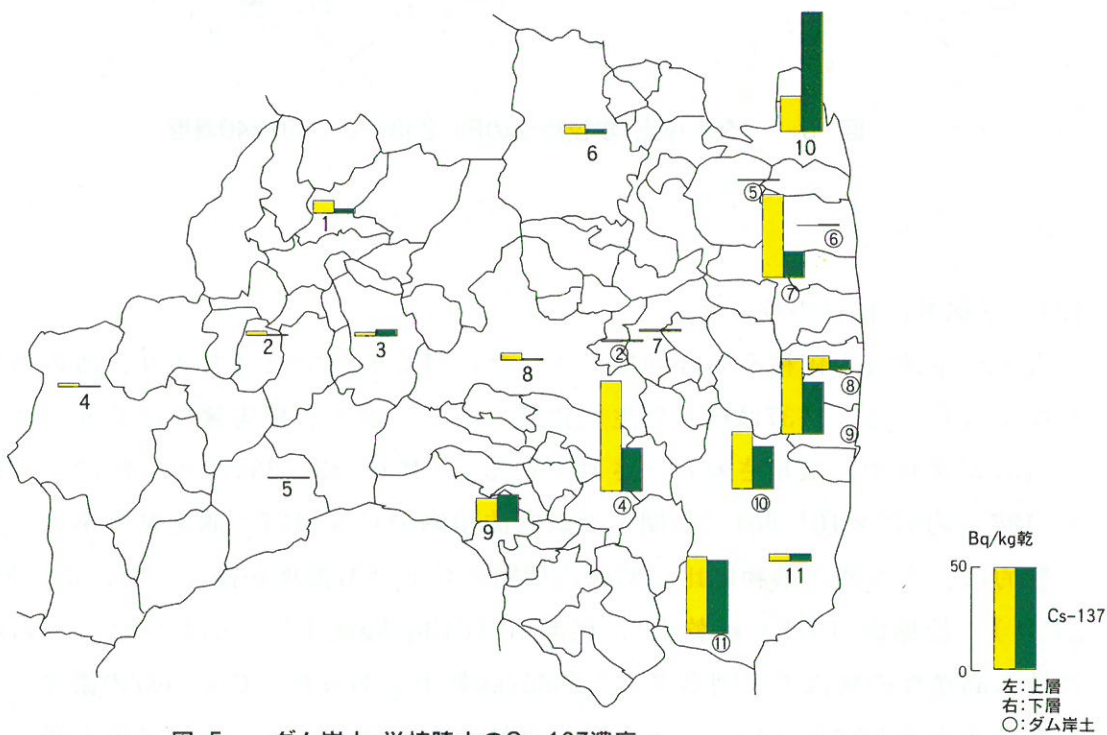


図-5 ダム岸土、学校陸土のCs-137濃度

(3) 各分析項目間の相関

① Pu-238とPu-239+240

Pu-238は、Pu-239やPu-240とともに核実験等で生じるPuの同位体の1つである。核実験での生成量は、Pu-238が 0.33×10^{15} Bqであり、Pu-239の 7.8×10^{15} BqやPu-240の 5.2×10^{15} Bqに比べて少ない。また半減期もPu-238が87.7年であり、Pu-239の24,100年やPu-240の6,570年に比べて短い。そのため、現在環境中に存在するPu-238の濃度はかなり低くなっており、検出限界未満となることも多い。しかし、原子力発電所等の事故や核燃料電池を搭載した人工衛星の大気圏突入などによって新たにPu-238が放出されると、環境中のPu-238/Pu-239+240値が大きくなることから、そのPuの放出源を推定できる。

今回の調査で、Pu-238は、湖底沈積物6試料のうち5試料、ダム底沈積物11試料のうち2試料、ダム岸土18試料のうち9試料、学校陸土22試料のうち2試料から検出された。いずれもPu-239+240濃度が高い試料から検出されており、Pu-239+240と高い相関を示した。(図-6) このことから両同位体の起源が同一のものであることが推察される。Pu-238が検出された試料について、Pu-239+240との比を算出したところ表-6のようになり、0.024~0.056となった。核実験由来のPu-238とPu-239+240の比は陸土で0.03~0.05であるのに対し、チェルノブイリ原子力発電所の事故由来の比は0.4~0.5であるとの報告がある¹¹⁾。このことから、今回の試料に含まれるPuは、核実験由来のものであると考えられる。

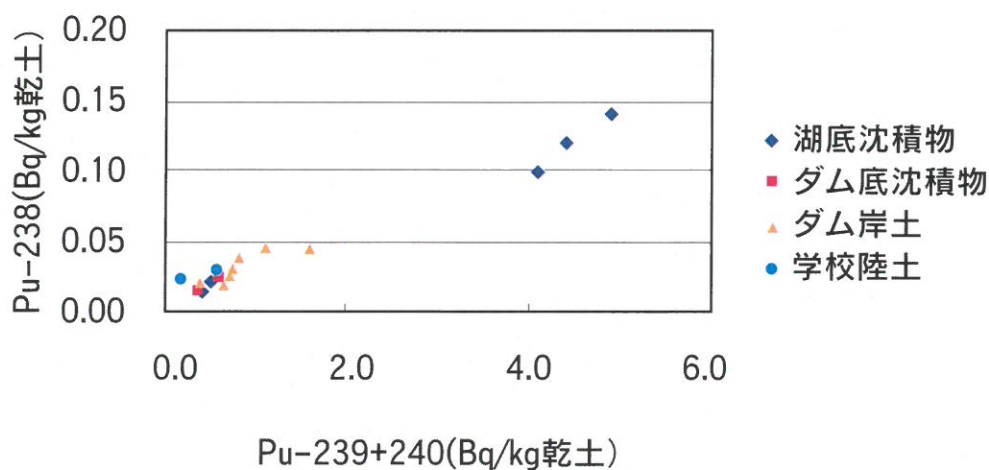


図-6 Pu-239+240とPu-238の相関

表-7 Pu-238/Pu-239+240の比

試料の種類	地点 No.	地 点 名	Pu238/ P u -239+240	平均値
湖底沈積物	1	桧原湖	0.024	0.031
	2	沼沢沼	0.027	
	3	尾瀬沼	0.029	
	4	女沼	0.036	
	5	羽鳥湖	0.025	
	6	南湖	0.042	
ダム底沈積物	3	羽鳥湖	0.025	0.039
	9	谷室沢ダム	0.053	
ダム岸土	4	千五沢ダム・上	0.029	0.040
		” ・下	0.038	
	7	大柿ダム・上	0.042	
		” ・下	0.056	
	9	谷室沢ダム・下	0.044	
	10	小玉ダム・上	0.029	
		” ・下	0.049	
	11	四時ダム・上	0.034	
” ・下		0.037		
学校陸土	10	相馬高校・下	0.053	0.053
最 小 値				0.024
最 大 値				0.056
平 均 値				0.037

② Pu-239+240とCs-137

Cs-137はPu-239+240が検出されたすべての試料から検出された。図-7に示すように、Pu-239+240とCs-137との相関係数は高く、両核種が同じ起源を持つと考えられる。Pu-239+240が検出された試料についてCs-137との比を求めると表-8のようになり、0.009~0.080であった。核実験由来のPu-239+240とCs-137の表土蓄積比は0.02~0.04とされているが^{15) 16)}、ダム底沈積物、ダム岸土、学校陸土の結果は概ねその範囲に入っており、Pu-239+240とCs-137の由来が核実験であると考えられた。しかし、湖底沈積物のPu-239+240/Cs-137比は、ダム底沈積物、ダム岸土、学校陸土よりも高く、その値は湖沼によってばらつきが見られた。湖沼には、

Pu-239+240とCs-137の沈積量に影響を与える要因の存在がうかがえる。

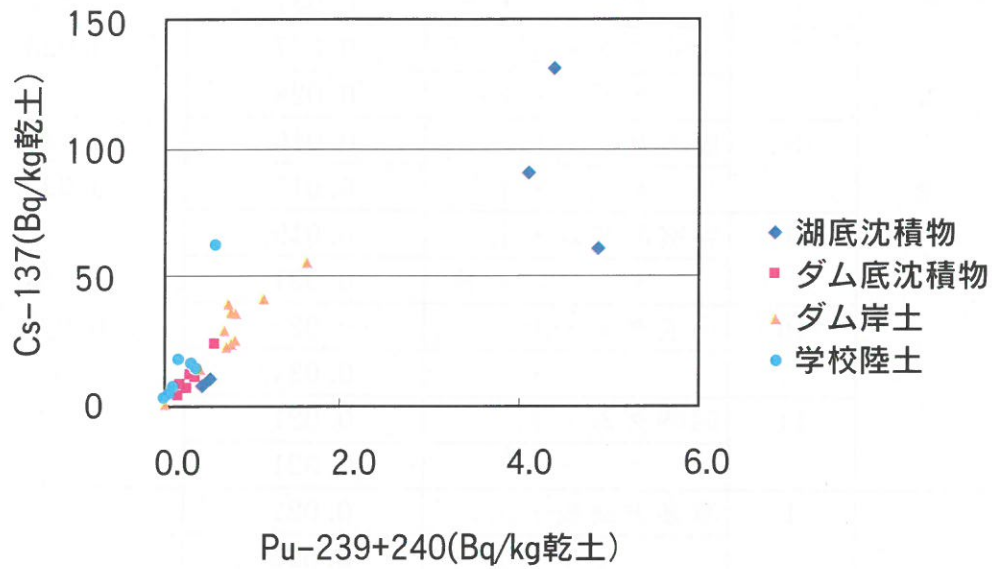


図-7 Pu-239+240とCs-137の相関

表-8 Pu-239+240/Cs-137の比

区分	No	地点名	Pu-239+240/ Cs-137	平均値
湖底沈積物	1	桧原湖	0.046	0.049
	2	沼沢沼	0.034	
	3	尾瀬沼	0.080	
	4	半田沼	0.030	
	5	女沼	0.056	
	6	南湖	0.051	
ダム底沈積物	1	田子倉湖	0.026	0.033
	2	三春ダム	0.028	
	3	羽鳥湖	0.026	
	4	千五沢ダム	0.046	
	5	真野ダム	0.035	
	6	高の倉ダム	0.029	
	7	大柿ダム	0.036	
	8	坂下ダム	0.036	
	9	谷室沢ダム	0.039	
	10	小玉ダム	0.028	
	11	四時ダム	0.035	

ダム岸土	2	三春ダム・上	0.033	上層 0.023 下層 0.027 全体 0.025
	4	千五沢ダム・上	0.029	
		” ・下	0.031	
	7	大柿ダム・上	0.027	
		” ・下	0.028	
	8	坂下ダム・上	0.010	
		” ・下	0.017	
	9	谷室沢ダム・上	0.019	
		” ・下	0.031	
	10	小玉ダム・上	0.024	
		” ・下	0.034	
11	四時ダム・上	0.021		
	” ・下	0.021		
学校陸土	1	喜多方高校・上	0.022	上層 0.018 下層 0.021 全体 0.019
		” ・下	0.026	
	4	只見高校・上	0.011	
		6	福島高校・上	
	” ・下		0.028	
	8	安積高校・上	0.024	
		9	白河高校・上	
	” ・下		0.022	
	10	相馬高校・上	0.010	
		” ・下	0.009	
	11	磐城高校・上	0.022	
” ・下		0.019		
最小値			0.009	
最大値			0.080	
平均値			0.029	

③ Pu-239+240と有機物

土試料を強熱すると、試料中の有機物や硫化物・炭酸塩の分解及び、結晶水や化合物の離脱が起こり重量が減少する。また同時に一部の金属元素の酸化により重量が増加する。強熱減量はこれらが合算された結果であるため、底質では強熱減量が必ずしも有機物量の目安にならないとされている⁸⁾。そこで強熱減量と有機態炭素量を測定した。結果を表-9と図-8に示す。どの試料についても強熱減量と有機態炭素量の相関は非常に高く（相関係数0.94~0.99）、今回の試料では強熱減量が有機物の目安になることが分かった。

表-9 強熱減量と有機体炭素量

区分	No	地点名	強熱減量(%)	有機体炭素(%)
湖底沈積物	1	桧原湖	12.44	3.51
	2	沼沢沼	8.52	2.33
	3	尾瀬沼	23.89	10.07
	4	半田沼	6.13	0.90
	5	女沼	14.94	5.15
	6	南湖	27.26	11.08
ダム底沈積物	1	田子倉湖	3.93	0.98
	2	三春ダム	12.98	2.76
	3	羽鳥湖	17.76	5.48
	4	千五沢ダム	15.44	3.65
	5	真野ダム	12.77	3.16
	6	高の倉ダム	13.42	3.87
	7	大柿ダム	13.35	3.20
	8	坂下ダム	12.37	2.20
	9	谷室沢ダム	21.72	9.14
	10	小玉ダム	11.24	3.18
	11	四時ダム	17.25	5.76
ダム岸土	2	三春ダム・上	6.40	1.02
		” ・下	6.20	0.73
	4	千五沢ダム・上	21.67	8.36
		” ・下	16.67	4.67
	5	真野ダム・上	8.72	1.89
		” ・下	6.72	0.45
	6	高の倉ダム・上	7.15	0.37
		” ・下	6.18	0.22
	7	大柿ダム・上	16.80	8.78
		” ・下	13.01	7.79
	8	坂下ダム・上	6.45	2.21
		” ・下	4.38	1.14
	9	谷室沢ダム・上	22.69	9.97
		” 下	17.44	8.81
	10	小玉ダム・上	13.75	6.44
		” ・下	10.85	4.92
	11	四時ダム・上	25.18	10.19
		” ・下	22.14	11.36
1	喜多方高校・上	4.81	1.59	
	” ・下	2.19	0.67	

学 校 陸 土	2	西山小学校・上	5.86	2.08
		” ・下	3.62	0.89
	3	会津高校・上	1.74	0.46
		” ・下	1.56	0.27
	4	只見高校・上	3.62	0.91
		” ・下	4.27	0.28
	5	田島高校・上	3.13	0.47
		” ・下	2.84	0.15
	6	福島高校・上	10.46	3.65
		” ・下	6.95	2.03
	7	船引高校・上	3.25	0.42
		” ・下	2.25	0.23
	8	安積高校・上	6.08	1.53
		” ・下	3.87	0.41
	9	白河高校・上	15.54	4.68
		” ・下	11.84	3.05
	10	相馬高校・上	8.16	3.14
		” ・下	7.41	2.70
	11	磐城高校・上	8.63	2.99
		” ・下	9.25	3.33

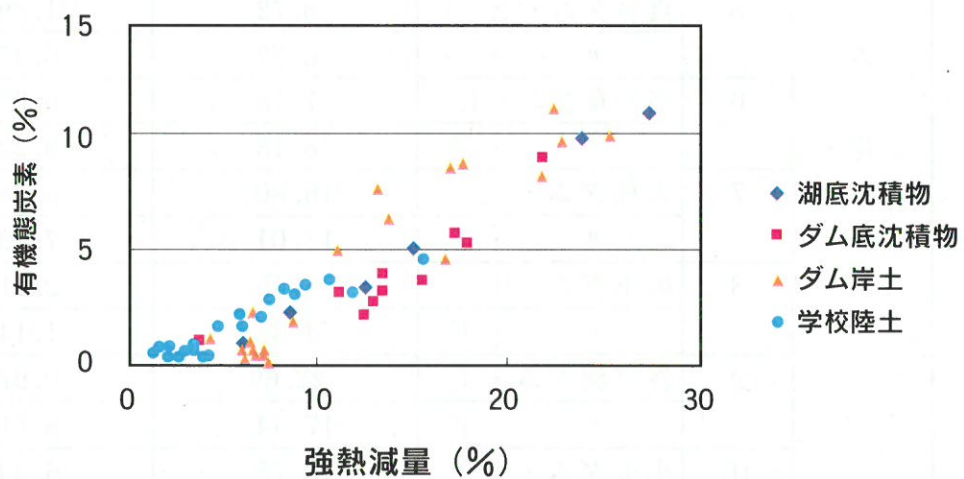


図-8 強熱減量と有機態炭素の相関

昨年度の調査で、陸土中の Pu-239+240濃度と強熱減量が相関を示し、Pu-239+240濃度と有機物の関係が示唆されたことから、今回の試料について Pu-239+240及び C

s-137濃度と強熱減量との相関を求めた。図-9、10に示すように、湖底沈積物ではPu-239+240、Cs-137濃度と強熱減量との相関は見られなかった。これは、湖沼ごとに、フォールアウトによって流入したPu-239+240、Cs-137の量や湖沼中の有機物量が異なることが原因と考えられる。この相関関係からは、両核種の湖底への沈積に対する有機物の寄与については明らかにはならない。しかし、ダム底沈積物ではPu-239+240、Cs-137濃度と強熱減量は高い相関を示した(図-11、12)。調査したダムは核実験以後に造成されていることから、有機物とPu-239+240、Cs-137は同時にダム内へ流入したと考えられる。よって、ダム底沈積物中のPu-239+240、Cs-137濃度と強熱減量との高い相関は、両核種と有機物の沈降速度が相関を持つことを示しており、このことから、ダムではPu-239+240、Cs-137の沈積に有機物が寄与している可能性が大きいと考えられる。

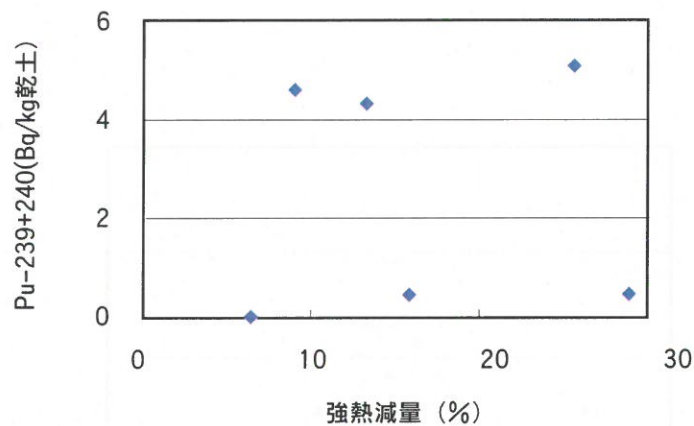


図-9 湖底沈積物のPu-239+240と強熱減量の相関

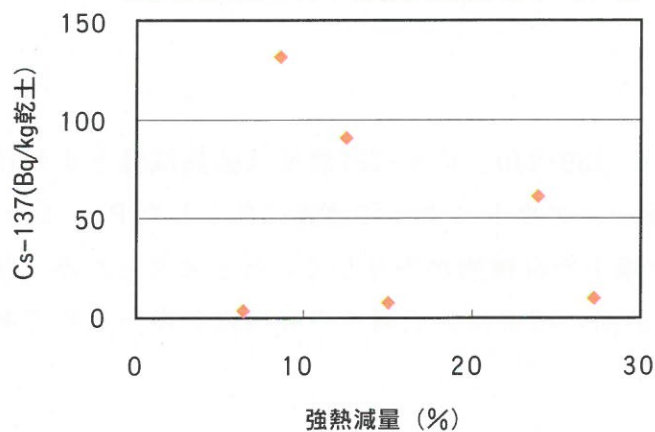


図-10 湖底沈積物のCs-137と強熱減量の相関

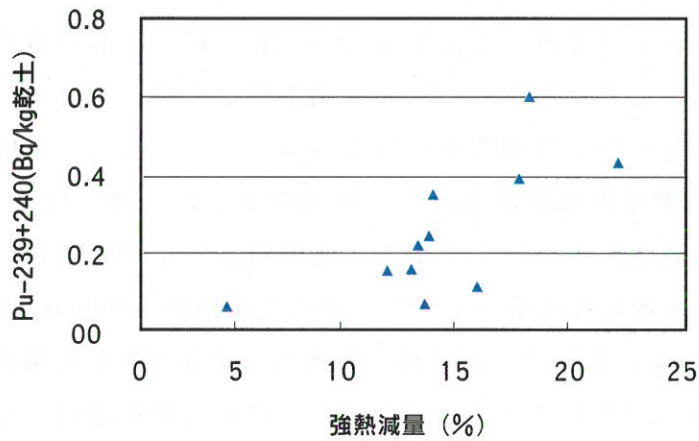


図-11 ダム底沈積物のPu-239+240と強熱減量相関

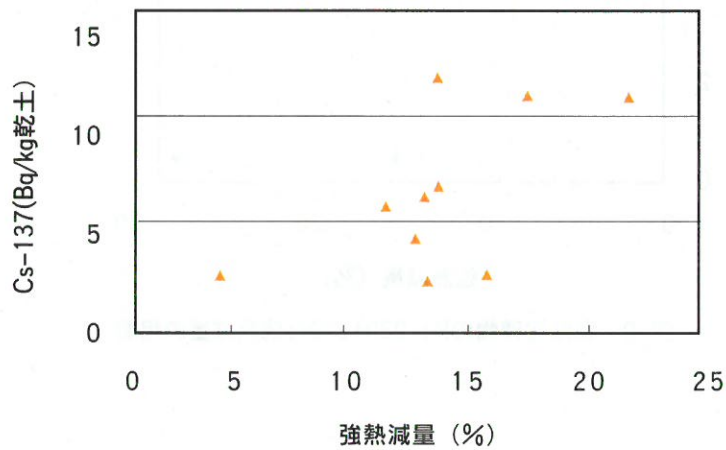


図-12 ダム底沈積物のCs-137と強熱減量相関

ダム岸土と学校陸土はPu-239+240、Cs-137濃度は強熱減量と正の相関を示すことから（図-13～16）、フォールアウトによって地表に落下したPu-239+240、Cs-137の土壌への蓄積には、土壌中の有機物が寄与していると考えられる。学校陸土に比べてダム岸土中のPu濃度が高い理由は、土壌中の有機物が多いためであると思われる。

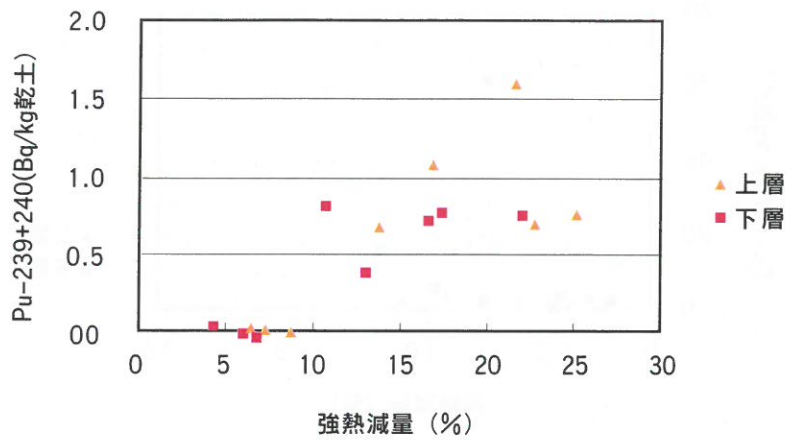


図-13 ダム岸土のPu-239+240と強熱減量相関

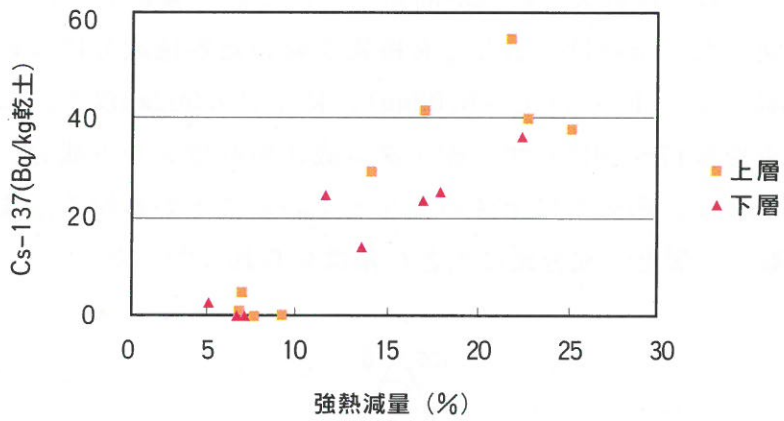


図-14 ダム岸土のCs-137と強熱減量相関

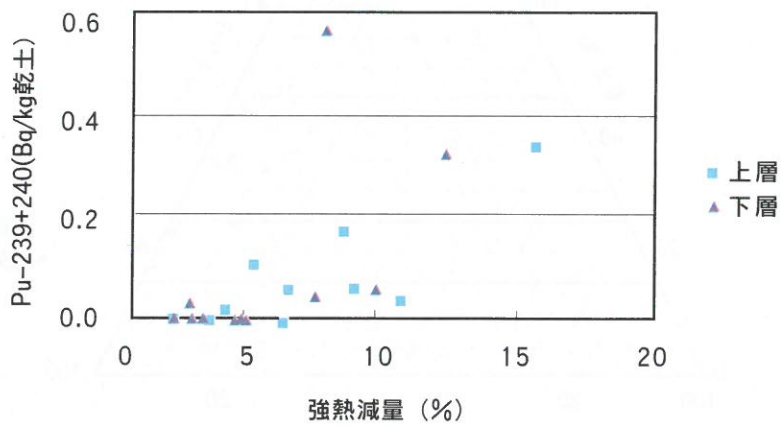


図-15 学校陸土のPu-239+240と強熱減量相関

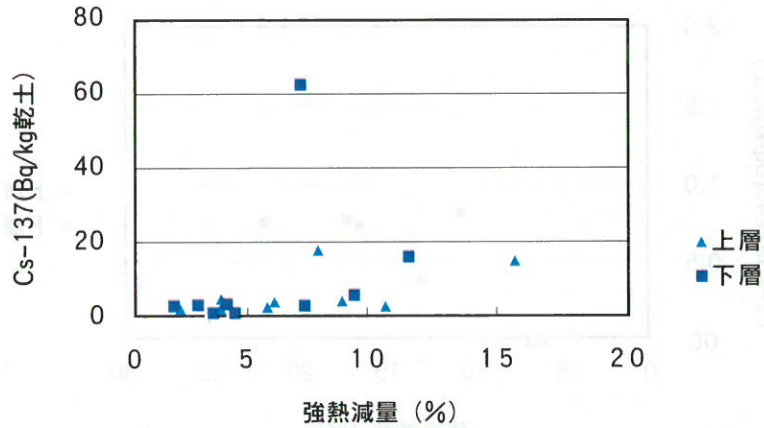


図-16 学校陸土のCs-137と強熱減量相関

④ Pu-239+240と粒径組成

底質へのPuの吸着には底質の粒径が関係しているとの報告がある¹⁷⁾。そこで、試料の粒径組成を調べた。試料は、水分と有機物を除いた無機成分について、砂（粗砂+細砂0.02~2mm）、シルト（0.002~0.02mm）、粘土（0.002mm以下）に分画し、含量をもとめた。結果を図17~19に示す。湖・ダム底沈積物はシルト成分、ダム岸土・学校陸土は砂成分が多く、明らかに土性が異なっていることがわかる。また、ダム岸土・学校陸土の上層と下層とで成分比に大きな差は見られなかった

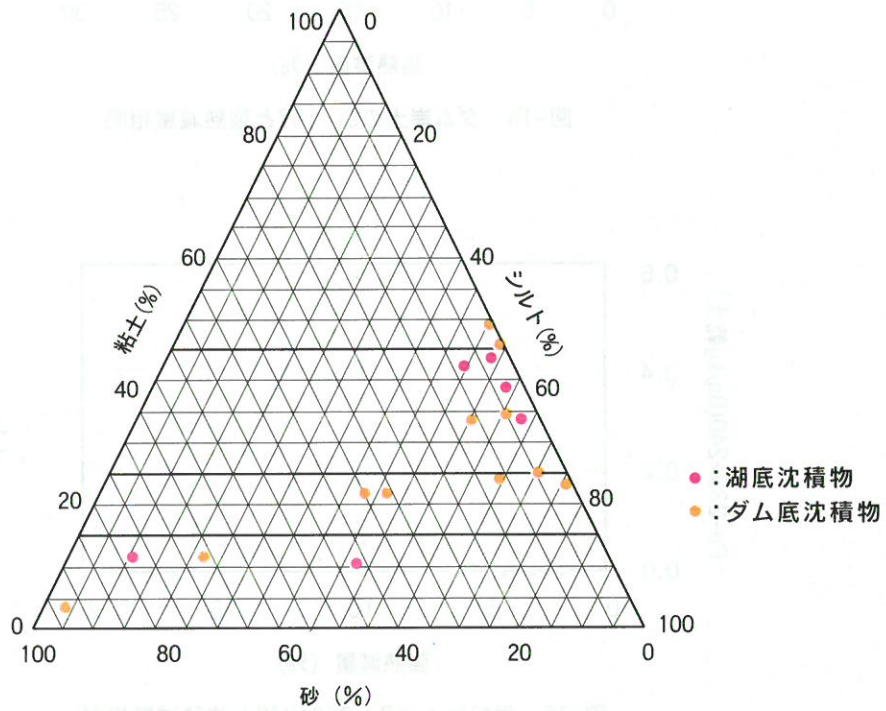


図-17 湖・ダム底沈積物の粒径組成

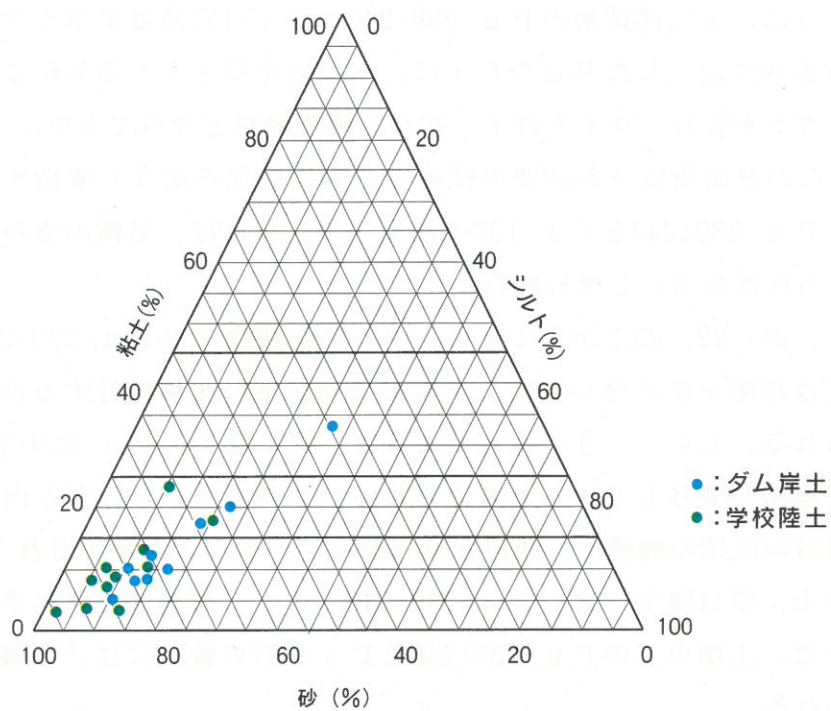


図-18 ダム岸土・学校陸土の粒径組成(上層)

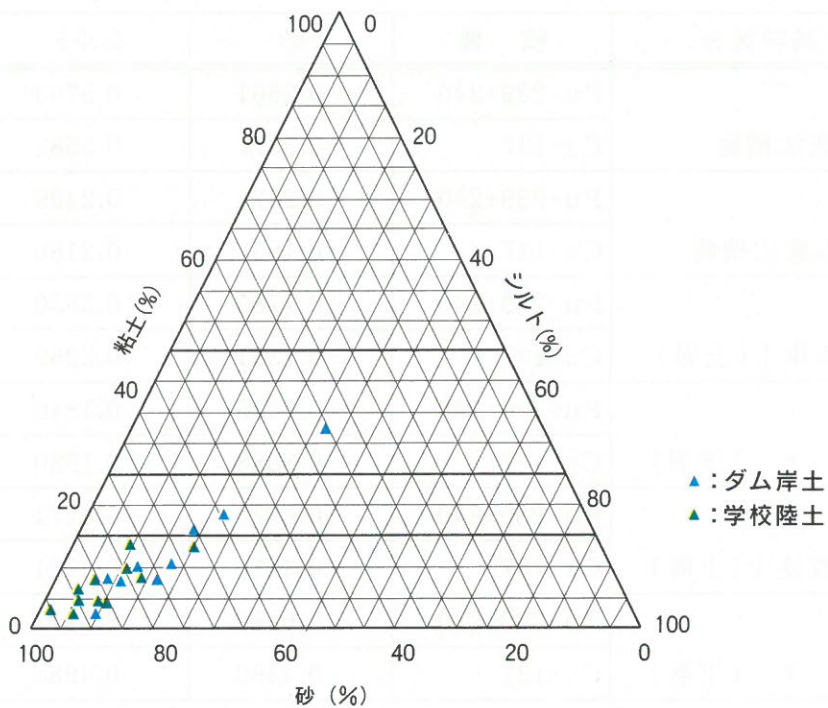


図-19 ダム岸土・学校陸土の粒径組成(下層)

放射性核種と砂、シルト、粘土の各成分との相関係数を表-10に示す。図-20、21に示すように、湖底沈積物のPu-239+240、Cs-137濃度が粘土含量と高い相関を示した。淡水域に流入したPuやCsは、有機物を核とする錯体粒子あるいは酸化鉄や酸化マンガンを含むコロイド粒子と結合し懸濁物質となって水中に存在するとされる⁸⁾。これらの懸濁微粒子が時間の経過とともに底部へ沈降し蓄積すると考えられることから、Pu-239+240とCs-137の湖底への沈積には、無機の微粒子（粘土）が寄与している可能性が高いと思われる。

一方、図-22、23に示すように、ダム底沈積物ではPu-239+240、Cs-137ともに粘土とは相関を示さなかった。ダムでは両核種の沈積に対する粘土の寄与は小さいと考えられる。しかし、③で述べたように、ダム底へのPu-239+240とCs-137の沈積には有機物が寄与していると考えられる。このことから、ダム内でのPu-239+240とCs-137の沈積の機構は、湖沼とは異なっていることが示唆される。

ダム岸土、学校陸土では、Pu-239+240、Cs-137濃度と特に高い相関を示す成分はなかった。土壌中でのPu-239+240とCs-137の蓄積には、無機成分の寄与は小さいと思われる。

表-10 Pu-239+240、Cs-137と粒径組成成分との相関

試料区分	核種	砂	シルト	粘土
湖底沈積物	Pu-239+240	-0.6661	0.5703	0.8271
	Cs-137	-0.5577	0.5582	0.8894
ダム底沈積物	Pu-239+240	-0.2374	0.2409	-0.1350
	Cs-137	-0.1837	0.2180	-0.1836
ダム岸土(上層)	Pu-239+240	-0.7785	0.3850	0.6154
	Cs-137	-0.7351	0.2269	0.5202
" (下層)	Pu-239+240	-0.5435	0.1849	0.3351
	Cs-137	-0.5888	0.1980	0.3528
学校陸土(上層)	Pu-239+240	-0.6973	0.6271	0.4225
	Cs-137	-0.4710	0.3721	0.2523
" (下層)	Pu-239+240	-0.6180	0.6777	0.4101
	Cs-137	-0.4360	0.4988	0.2947

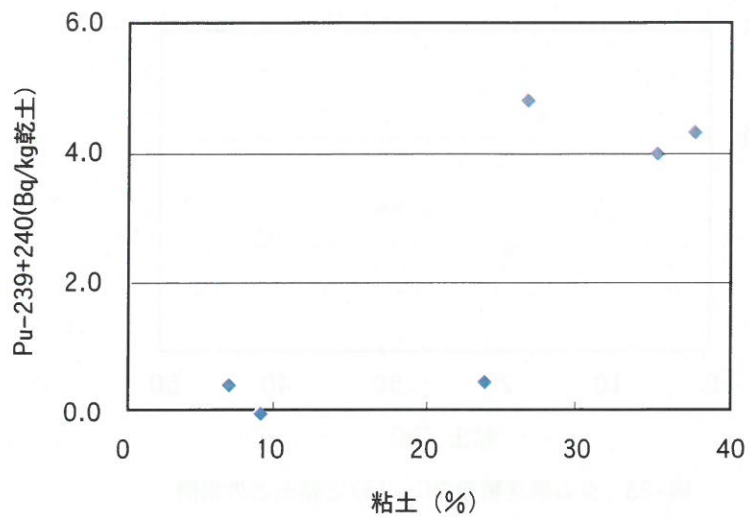


図-20 湖底沈積物のPu-239+240と粘土との相関

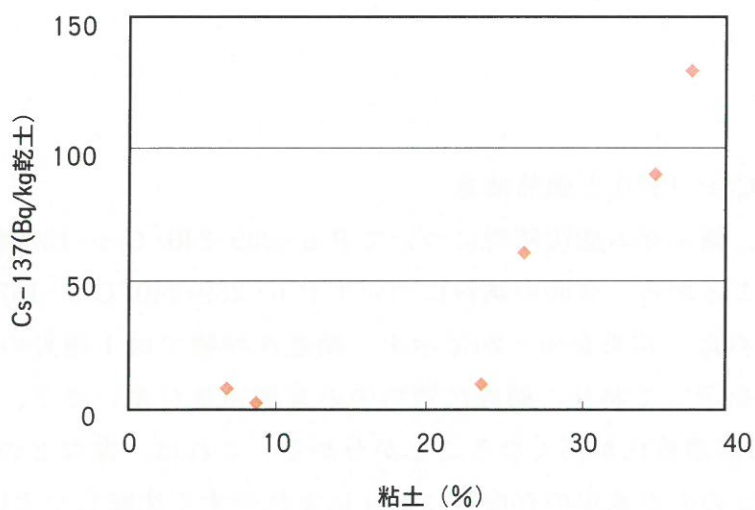


図-21 湖底沈積物のCs-137と粘土との相関

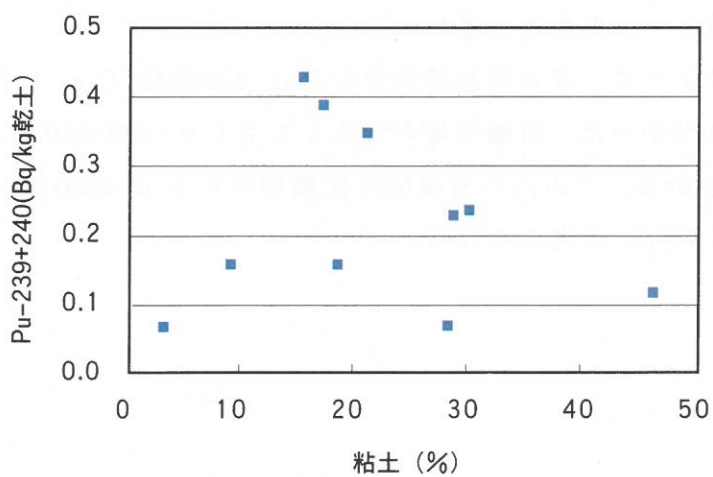


図-22 ダム底沈積物のPu-239+240と粘土との相関

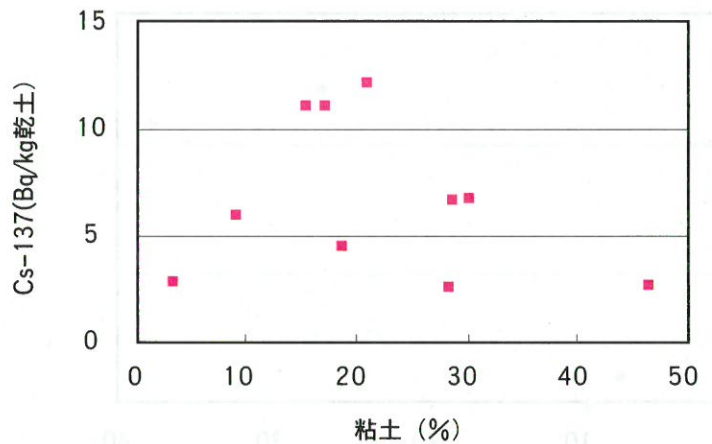


図-23 ダム底沈積物のCs-137と粘土との相関

⑤ Pu-239+240/Cs-137比と強熱減量

昨年度の調査で、湖・ダム底沈積物についてPu-239+240/Cs-137濃度比が強熱減量と相関を示したことから、今回の試料についてPu-239+240/Cs-137濃度比と強熱減量との相関を求めた。結果を図-24に示す。湖底沈積物では1地点のデータを除くと非常に高い相関を示しており、湖底沈積物中の有機物量が多いほど、沈積物中のPu-239+240/Cs-137濃度比が高くなることが分かる。これは、湖などの閉鎖系水域ではCsに比べてPuの方が水中の有機物に取り込まれやすく沈降しやすいとの報告¹⁹⁾と合致する結果である。

回帰直線からはずれた1地点（地点No. 6：南湖）は、人工湖であり、他の自然湖とは異なる湖内様相を呈しているためと思われる。

一方、図-25に示すように、ダム底沈積物中のPu-239+240/Cs-137濃度比と強熱減量との相関は見られなかった。有機物量が変化してもPu-239+240/Cs-137濃度比は一定の値をとることから、ダム内の有機物は沈積物中のPu-239+240とCs-137の濃度比に影響を与えていないと考えられる。

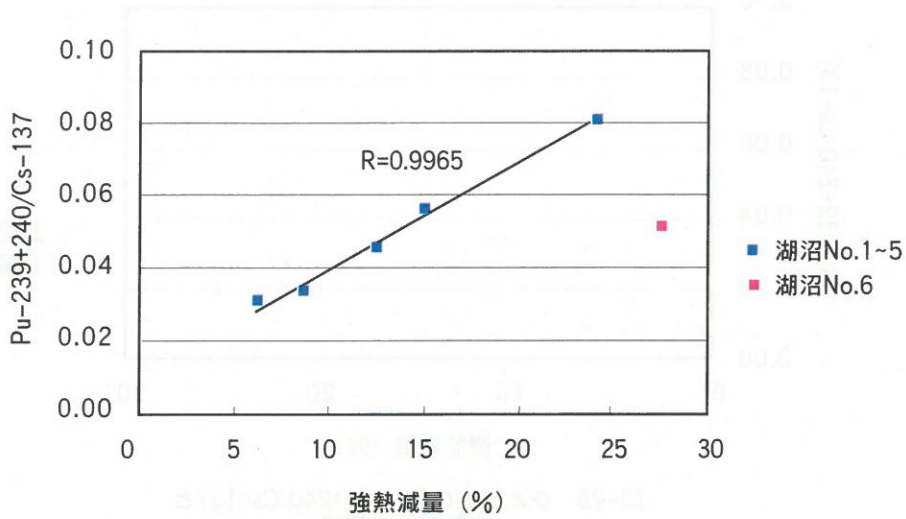


図-24 湖底沈積物のPu-239+240/Cs-137と強熱減量の相関

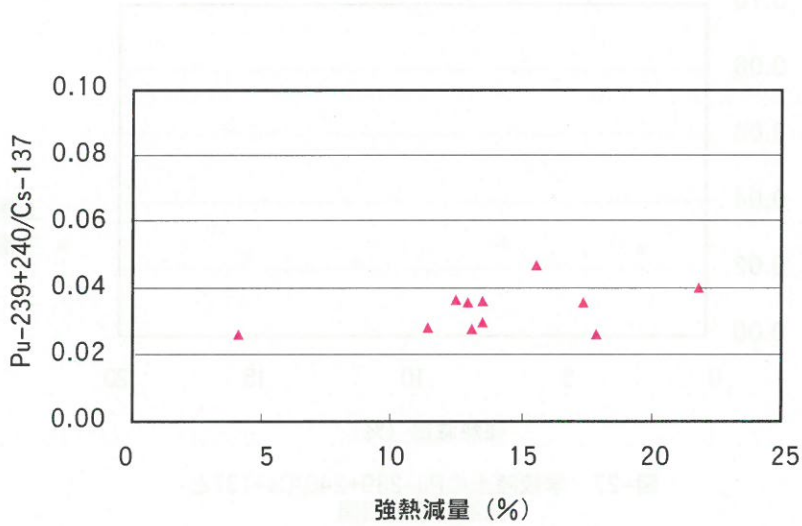


図-25 ダム底沈積物のPu-239+240/Cs-137と強熱減量の相関

ダム岸土、学校陸土では図-26、27に示すように、強熱減量の値にかかわらず、Pu-239+240/Cs-137の比がほぼ一定の値を示すことから、土壌中の有機物量はPu-239+240/Cs-137の濃度比に影響を与えていないと思われた。

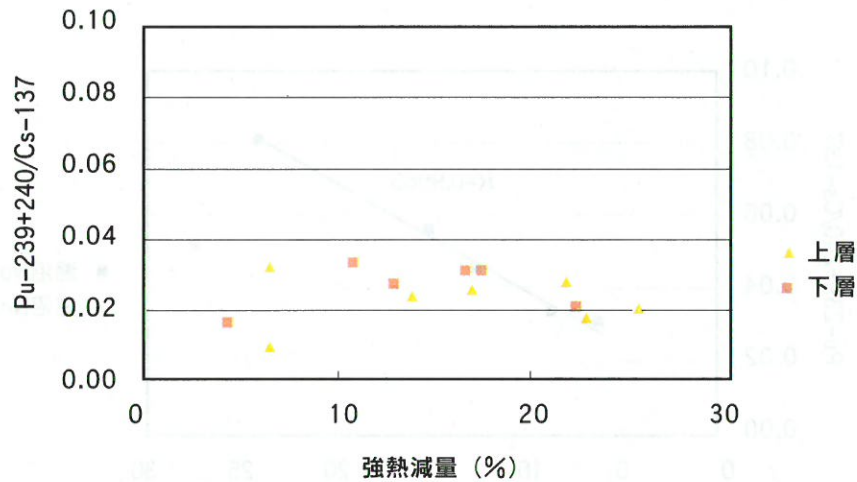


図-26 ダム岸土のPu-239+240/Cs-137と強熱減量の相関

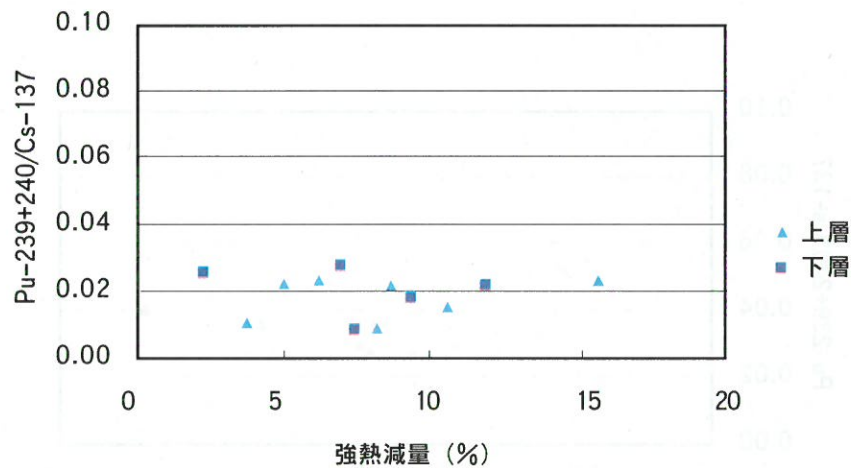


図-27 学校陸土のPu-239+240/Cs-137と強熱減量の相関

⑥ Pu-239+240と比重、孔隙量

土壌の比重には見かけ比重と真比重がある。見かけ比重は一定容積当たりの重量をいい、見かけ比重が小さいほど孔隙が多いことを示す。真比重は土壌粒子自身の比重をいい、真比重が大きいほど重い粒子の多い土壌であることを示す。また、土壌粒子は、さまざまな大きさの粒子からできているが、これらの粒子はある程度集まって団粒をつくり、さらにその団粒が立体的に配置されて、水や空気の移動に必要な孔隙を作っている²⁰⁾。

この土の孔隙量とPuやCsの吸着との関係を調べるため、乾燥した試料を用いて、見かけ比重と真比重、孔隙量を求めた。結果を表-11に示す。湖・ダム底沈積物はダ

ム岸土、学校陸土に比べて見かけ比重、真比重ともに小さく、孔隙量は大きいことから、軽くて隙間の多い土であると推定される。しかし、湖・ダム底では沈積物が常に水と接していることから、団粒構造は破壊されて泥状となり、基本粒子が凝集した状態となるため孔隙量はかなり小さくなっていると考えられる。事実、乾燥した沈積物の孔隙量とPu-239+240、Cs-137の濃度との相関は見られなかった(図-28~31)。底質へのPuの吸着には底質粒子の表面積が関係しているとの報告もあることから、沈積物については孔隙量よりも表面積の測定が重要と思われた。

一方、ダム岸土、学校陸土では、図-30、31に示すようにPu-239+240と孔隙量は相関を示した。陸土では孔隙が水や空気の通り道となっていることから、孔隙量が多いほど、Puを含んだ雨水と接する土壌粒子の面積は大きくなると考えられる。③で述べたように、ダム岸土と学校陸土におけるPu-239+240、Cs-137の蓄積には有機物が寄与していると推察される。この有機物は、土壌に団粒構造を形成させ、大きな孔隙を作らせる²⁰⁾ことから、Pu-239+240、Cs-137と土壌粒子との接触面積が増加し、土壌粒子への両核種の吸着を促進していると推察される。

表-11 見かけ比重、真比重、孔隙量の平均値

試料区分	見かけ比重	真比重	孔隙量(%)
湖底沈積物	0.43	1.98	78.6
ダム底沈積物	0.59	2.23	73.6
ダム岸土(上層)	0.80	2.24	64.5
〃(下層)	0.87	2.33	62.9
学校陸土(上層)	1.01	2.38	57.7
〃(下層)	1.04	2.41	56.7

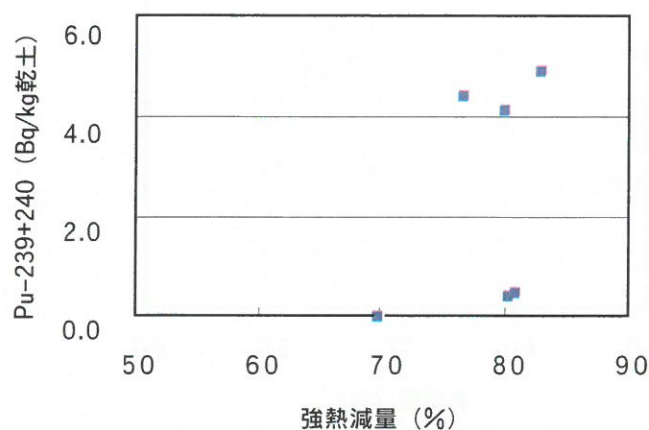


図-28 湖底沈積物のPu-239+240と孔隙量との相関

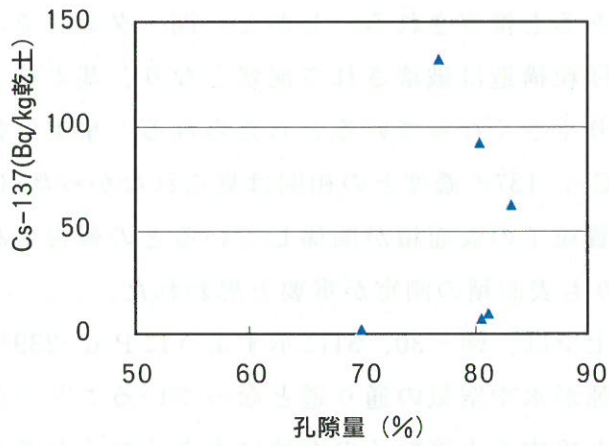


図-29 湖底沈積物のCs-137と孔隙量との相関

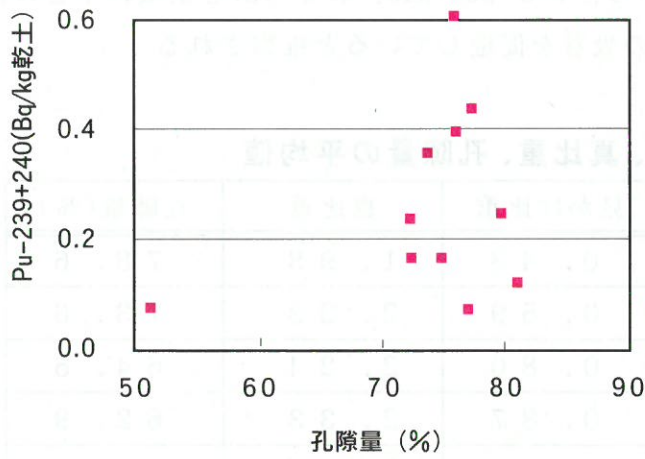


図-30 ダム底沈積物のPu-239+240と孔隙量との相関

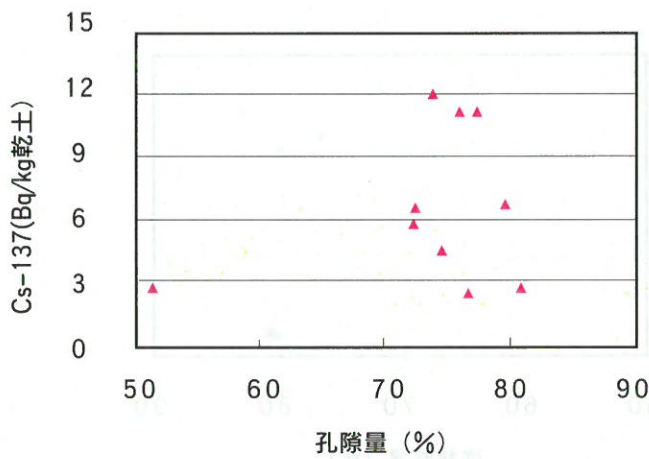


図-31 ダム底沈積物のCs-137と孔隙量との相関

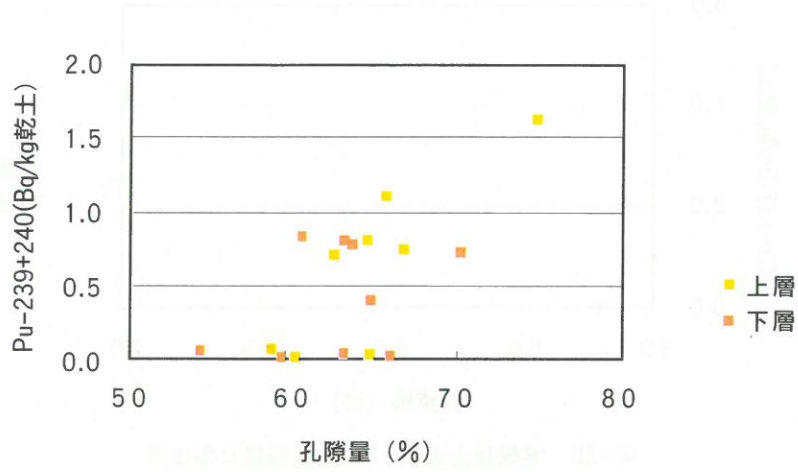


図-32 ダム岸土のPu-239+240と空隙量との相関

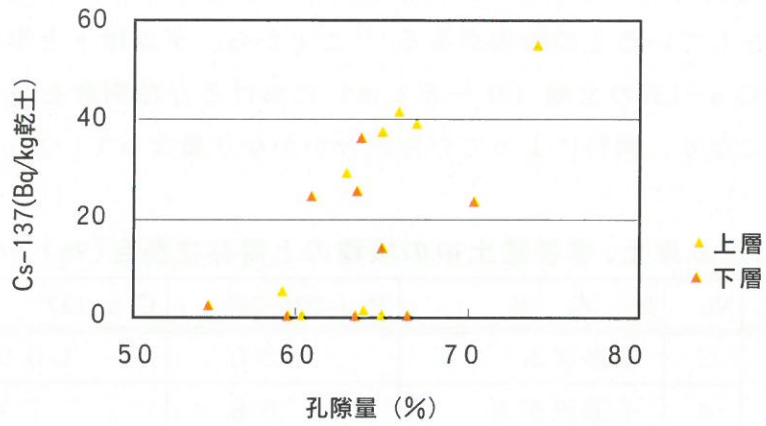


図-33 ダム岸土のCs-137と空隙量との相関

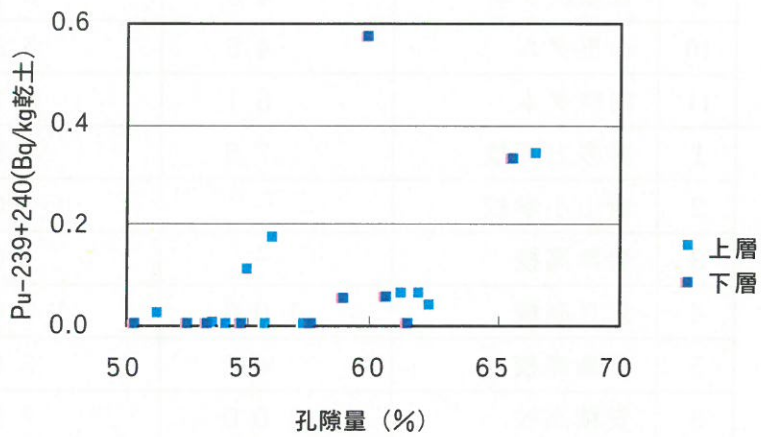


図-34 学校陸土のPu-239+240と空隙量との相関

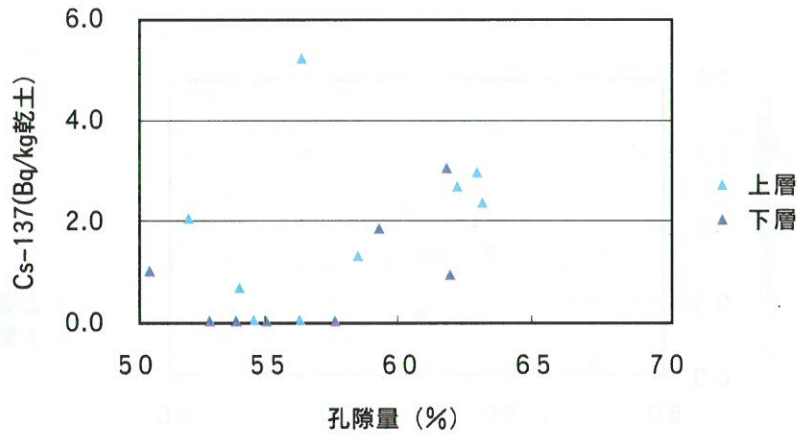


図-35 学校陸土のCs-137と孔隙量との相関

(4) 陸土中Pu-239+240の深度分布

PuとCsは地表面から10cm以内に85~90%以上存在しており、その多くは表層5cm以内に存在しているとの報告がある²¹⁾ことから、ダム岸土と学校陸土についてPu-239+240及びCs-137の上層(0~5cm)における存在割合をもとめた。その結果は表-12のようになり、試料によって存在割合がかなり異なっていた。

表-12 ダム岸土、学校陸土中の核種の上層存在割合(%)

区分	No.	地点名	Pu-239+240	Cs-137
ダム岸土	2	三春ダム	100	100
	4	千五沢ダム	69	71
	7	大柿ダム	74	75
	6	坂下ダム	54	66
	9	谷室沢ダム	48	61
	10	小玉ダム	46	55
	11	四時ダム	51	51
学校陸土	1	喜多方高校	75	78
	2	西山小学校	-	100
	3	会津高校	-	40
	4	只見高校	100	100
	5	福島高校	43	56
	8	安積高校	100	72
	9	白河高校	51	48
	10	相馬高校	23	22
	11	磐城高校	54	50

Pu及びCsの下層へ移動は、土壌中の有機物、植物への吸収、土壌の粒径組成が関係しているとされる^{17) 22)}。表-11に示したように、上層と下層の孔隙量はほぼ同じであることから、雨水は下層まで浸透すると考えられる。地表に降下したフォールアウトのPuは、まず上層土の有機物に吸着され、上層で吸着しきれなかったPuは下層へ移動し、下層土中の有機物に吸着されると考えられる。

また、表-7に示すように、Pu-239+240/Cs-137の比はダム岸土の上層の平均が0.023、下層の平均が0.027、学校陸土の上層の平均が0.018、下層の平均が0.021と下層の方がやや高い傾向があり、Csに比べPuの方が下層へ移行しやすいことを示している。これは、PuよりもCsの方が植物に吸収されやすく（移行係数が高い）²³⁾その植物の腐植とともに上層にとどまるためと考えられている。

また、下層のPu-239+240、Cs-137濃度が上層の濃度を上回っている地点がダム岸土で2地点、学校陸土で4地点あったが、このような土壌は他にもあることが報告されており¹⁷⁾、PuとCsを吸着した土壌粒子が雨水や風によって流失することが原因と考えられている。

(5) ダム底沈積物とダム岸土の関係

ダムへのPu、Csの流入は、河川からだけでなく、周囲の浸出水や土砂の寄与も考えられる。そこで、Pu-239+240及びCs-137濃度について、ダム底沈積物とダム岸土（上層）の関係を調べた。その結果、図-36、37に示すように、Pu-239+240、Cs-137のどちらもダム底沈積物とダム岸土との相関は見られなかった。今回の調査では、各ダムにおける調査地点が1カ所ずつしかなかったことから、ダム底沈積物とダム岸土との関係を推察するのは難しいと思われた。今後、ダム底沈積物及び周囲の陸土について、詳細に核種濃度分布を調査し、地理的なデータと併せて検討することによって、ダム周辺におけるPuやCsの挙動を推察することができると思われる。

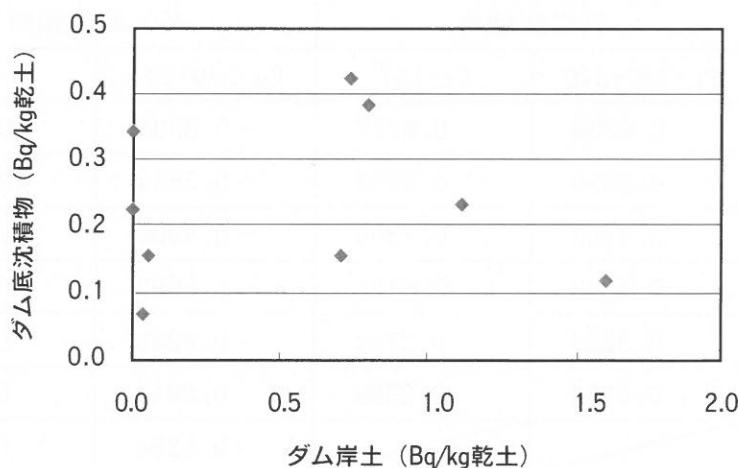


図-36 ダム底沈積物とダム岸土のPu-239+240濃度

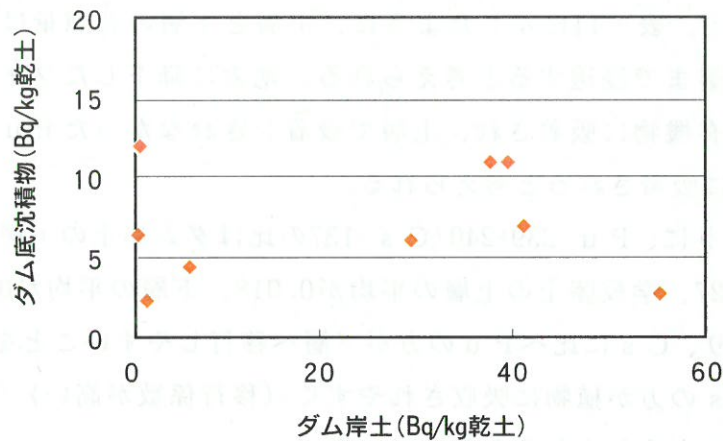


図-37 ダム底沈積物とダム岸土のCs-137濃度

(6) Pu-239+240と地理的要因

Pu-239+240、Cs-137濃度と地理的項目との相関を表-13、14に示す。

湖底沈積物では、Pu-239+240濃度と特に高い相関を示す項目はなかった。しかし、Cs-137は、貯水量、平均水深、最大水深、採泥水深と相関を示した。両核種の環境中での移動性が異なることが示唆される。

ダム底沈積物、ダム岸土、学校陸土のPu-239+240、Cs-137濃度は、どの項目とも相関を示さなかった。

環境中において、Pu-239+240、Cs-137は水を介して移動すると考えられる。今後、地理的データに加え降雨雪量等のデータを併せて検討することが必要と思われる。

表-13 湖・ダム底沈積物の核種と地理的データとの相関係数

	湖底沈積物		ダム底沈積物	
	Pu-239+240	Cs-137	Pu-239+240	Cs-137
面積	0.6088	0.6377	-0.3894	-0.2697
貯水量	0.5896	0.9204	-0.3854	-0.2953
平均水深	0.4200	0.7860	-0.4909	-0.4768
最大水深	0.4863	0.8136	-0.5683	-0.4191
流域面積	0.3229	0.2752	-0.4962	-0.4040
水面標高	0.6734	0.2399	0.2814	0.4536
ダム年齢			0.5254	0.4650
採泥水深	0.5470	0.8571	0.5150	0.3830

表-14 ダム岸土と学校陸土の核種と地理的データとの相関係数(上:上層、下:下層)

	ダム岸土		学校陸土	
	Pu-239+240	Cs-137	Pu-239+240	Cs-137
標 高	0.3039	0.2227	-0.1735	-0.3987
	0.0842	-0.0886	-0.4270	-0.4782
ダム・学校	0.0415	0.1946	0.3863	0.4550
年齢	0.2251	0.1917	0.4078	0.3954

5 まとめ

(1) Pu-239+240の検出状況

- ① 調査したすべての湖・ダム底沈積物からPu-239+240が検出された。その濃度は、ダム底沈積物に比べて湖底沈積物の方が高かった。調査したダムが、Pu-239+240の主な放出源である核実験が行われた年代より後に造成されたため、ダムに流入したPu-239+240の量が少なかったためと考えられる。
- ② 調査したダム岸土、上層・下層各9試料のうち、上層7試料、下層6試料からPu-239+240が検出された。また、学校陸土、上層・下層各11試料のうち、上層6試料、下層4試料からPu-239+240が検出された。その濃度は、学校陸土に比べてダム岸土の方が高かった。ダム岸土は腐植に富んだ森林土であることからPu-239+240を蓄積しやすいためと考えられる。

(2) γ 線核種の検出状況

- ① 今回検出された人工の γ 線核種はCs-137だけであり、他の核種は検出されなかった。
- ② 調査したすべての湖・ダム底沈積物からCs-137が検出された。その濃度分布はPu-239+240と非常に似ていることから、Pu-239+240と同様の沈積過程を経たものと考えられる。
- ③ ダム岸土、上層・下層各9試料のうち、上層7試料、下層6試料からCs-137が検出された。また、学校陸土、上層・下層各11試料のうち、上層9試料、下層7試料からCs-137が検出された。その濃度分布はPu-239+240と非常に似ていることから、Pu-239+240と同様の蓄積過程を経たものと考えられる。

(3) Pu-238とPu-239+240

- ① 湖底沈積物5試料、ダム底沈積物2試料、ダム岸土9試料、学校陸土2試料からPu-238が検出された。その濃度は、Pu-239+240の濃度と高い相関を示すことから、両同位体の起源は同一であると考えられた。
- ② Pu-238とPu-239+240との濃度の比は、0.024~0.056であった。核実験に由来する陸土中の両同位体比(0.03~0.05)の範囲内であり、その起源が核実験によるフォールアウトであると推定された。

(4) Pu-239+240とCs-137

- ① Pu-239+240とCs-137の濃度は、高い相関を示すことから、両同位体の起源は同一であると考えられた。
- ② Pu-239+240とCs-137の濃度の比は、0.009~0.080であった。ダム底沈積物、ダム岸土、学校陸土のPu-239+240/Cs-137は、核実験に由来する陸土中の両同位体比(0.02~0.04)の範囲内であり、その起源が核実験によるフォールアウトであると推定された。

③ 湖底沈積物の P u -239+240/ C s -137は、他の試料の濃度比よりも高い傾向があり、湖沼によってばらつきが見られた。

(5) P u -239+240、C s -137と有機物

① 湖底沈積物中の P u -239+240、C s -137濃度は、強熱減量と相関を示さなかった。湖沼によって P u -239+240、C s -137の流入量が異なることも考えられ、両核種の沈積に対する有機物の寄与については明らかにはならなかった。一方、ダム底沈積物では、P u -239+240、C s -137濃度と強熱減量は相関を示した。ダムでは両核種の沈積に有機物が寄与している可能性が高い。

② ダム岸土と学校陸土中の P u -239+240、C s -137濃度は、強熱減量と相関を示すことから、陸土中の両核種の蓄積には有機物が寄与していると考えられた。

③ ダム岸土の P u -239+240、C s -137濃度が学校陸土に比べて高い理由は、強熱減量が高い（有機物量が多い）ためと考えられた。

(6) P u -239+240、C s -137と粒径組成

① 湖底沈積物において、P u -239+240、C s -137濃度と粘土含量が高い相関を示したことから、湖底沈積物中の両核種の多くは粘土に吸着している可能性がある。

② ダム底沈積物、ダム岸土、学校陸土においては、P u -239+240、C s -137濃度は砂、シルト、粘土のどの無機成分とも相関を示さなかったことから、両核種の大部分は有機物に吸着していると思われた。

(7) P u -239+240/ C s -137比と強熱減量

① 天然湖の湖底沈積物において、P u -239+240/ C s -137が強熱減量と高い相関を示し、沈積物中の有機物が多いほど P u -239+240/ C s -137が高くなることが分かった。

② ダム底沈積物、ダム岸土、学校陸土では、有機物が P u -239+240/ C s -137比に影響を及ぼしているとは考えられなかった。

(8) P u -239+240、C s -137と比重、孔隙量

① 湖・ダム底沈積物において、P u -239+240、C s -137濃度と孔隙量との相関は見られなかった。実際の沈積物中には、乾試料で測定した孔隙は存在しないため、孔隙量は両核種の吸着には無関係であった。

② ダム岸土、学校陸土において、P u -239+240、C s -137濃度と孔隙量に相関が見られた。土壌中の有機物が団粒構造を形成することによって孔隙量が増加し、土壌粒子と両核種を含んだ雨水等との接触面積を増加させたためと考えられた。

(9) 陸土中の P u -239+240、C s -137の深度分布

① ダム岸土では、表土～10 cm に存在する P u -239+240の46～100%、学校陸土では23～100%が上層（0～5 cm）に存在していた。土壌の孔隙量が上・下層で差がないことから、P uを含んだ雨水等が下方へ移動して、土壌中の有機物と

吸着したと考えられた。

- ② P u -239+240/C s -137比は、ダム岸土、学校陸土ともに下層の方がやや高く、土壌中ではP u -239+240に比べてC s -137の方が移動しにくいと考えられた。

(10) ダム底沈積物とダム岸土のP u -239+240とC s -137

ダム底沈積物のP u -239+240、C s -137濃度は、ダム岸土の両核種濃度と相関を示さなかった。今後、詳細な調査地点の設定が必要である。

(11) P u -239+240と地理的要因

- ① 湖底沈積物のC s -137濃度は、貯水量、平均・最大水深、採泥水深と相関を示したが、P u -239+240濃度はどの項目とも相関を示さなかった。環境中での両核種の移動性の違いが示唆される。
- ② ダム底沈積物、ダム岸土、学校陸土のP u -239+240、C s -137濃度はどの項目とも相関を示さなかった。

[参考文献]

- 1) 福島県衛生公害研究所：「平成11年度環境試料中のプルトニウム調査報告書」(2000)
- 2) 全国湖沼環境保全対策推進協議会：「全国湖沼資料集」(1999)
- 3) 環境庁自然保護局：第4回自然環境保全基礎調査「湖沼調査報告書」(1993)
- 4) 科学技術庁：科学技術庁放射能測定法シリーズ16「環境試料採取法」(昭和58年)
- 5) 科学技術庁：科学技術庁放射能測定法シリーズ12「プルトニウム分析法」(平成2年改訂)
- 6) 科学技術庁：科学技術庁放射能測定法シリーズ7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」(平成4年3訂)
- 7) 科学技術庁：科学技術庁放射能測定法シリーズ13「ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法」(昭和57年)
- 8) 環境庁水質保全局水質規制課編：改訂版 底質調査方法とその解説、社団法人日本環境分析協会、(1996)
- 9) 青峰重範：「土壌肥科学実験ノート」(株)養賢堂、(1977)
- 10) 土壌物理性測定法委員会編：「土壌物理性測定法」(株)養賢堂
- 11) 財団法人日本分析センター：環境放射能分析研修事業「プルトニウム・アメリシウム逐次分析法解説」、(1995)
- 12) K.Bunzl & W.Kracke : Cumulative Deposition of ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am from Global Fallout in Soils from Forest, Grassland and Arable Land in Bavaria (FRG) , J.Environ.Radioactivity 8 (1988)
- 13) UNSCEAR Rep. 1982
- 14) 山本政儀：チェルノブイリ原子力発電所事故起因の環境中超ウラン元素、保健物理、24、(1989)
- 15) 福島浩人、中山一成：降下物、陸水、海水、土壌および核種食品試料の放射能調査、第34回環境放射能調査研究成果論文抄録集(1992)
- 16) 原子力安全研究協会：生活環境放射線(国民線量の算定)(1992)
- 17) M.YAMAMOTO,S.YAMAMORI,K.KOMURA,M.SAKANOUÉ : Behavior of Plutonium and Americium in Soils , J.RADIAT.RES. , 21 (1980)
- 18) 財団法人原子力環境整備センター：環境パラメータシリーズ3 淡水から生物への放射性物質の移行、(1992)
- 19) 長尾誠也：湖底及び海底堆積物からみた天然環境における Cs-137,Pu-239,240 の動態、京都大学原子炉実験所「環境中微量物質動態」専門研究会報告書、(1997)
- 20) 川口桂三郎 他：改訂新版土壌学、(株)朝倉書店、(1974)
- 21) M.H.LEE, C.W.LEE, K.H.HONG, Y.H.CHOI, B.H.BOO : DEPTH DISTRIBUTION OF $^{239,240}\text{Pu}$ AND ^{137}Cs IN SOILS OF SOUTH KOREA, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Artic

- 22) F. I. Pavlotskaya, T. A. Goryachenkova, B. F. Myasoedov : MIGRATION OF PLUTONIUM IN SOILS, *Atomnaya Energiya*, Vol.61, No.3, (1986)
- 23) 財団法人原子力環境整備センター：環境パラメータシリーズ1 土壌から農作物への放射性物質の移行係数、(1994)
- 24) 山本敬義：チェルノブイリ原子力発電所事故起因の環境中移行パラメータに関する研究、環境物理学、24 (1989)
- 25) 福島浩人、中山一虎、阿部隆、藤本、藤水、藤原、土壌および核燃料の放射性能率、第34回環境放射能調査報告書(1992)
- 26) 原子力安全研究協会：チェルノブイリ原子力発電所事故起因の環境中移行パラメータに関する研究、環境物理学、24 (1989)
- 27) M. YAMAMOTO, Y. MAMORI, K. KOMURA, M. SAKANOUE : Behavior of Plutonium and Americium in Soils, *J. RADIAT. RES.*, 21 (1980)
- 28) 財団法人原子力環境整備センター：環境パラメータシリーズ3 地下水から土壌への放射性物質の移行、(1992)
- 29) 長尾誠也：湖沼及び海産生物からみた天然環境におけるCs-137, Pu-239, 240の動態、京都大学原子力研究所「環境中放射性物質動態」専門研究会報告、(1987)
- 30) 山口桂三郎、他：放射能汚染土壌学、(朝倉書店、1974)
- 31) M. H. LEE, C. W. LEE, K. H. HONG, Y. H. CHOI, B. H. BOO : DEPTH DISTRIBUTION OF 239, 240Pu AND 137Cs IN SOILS OF SOUTH KOREA, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, A112*

附表一 湖・ダム底沈積物の分析結果

区分	No	地点名	Pu239+240 (Bq/Kg乾)	Pu238 (Bq/Kg乾)	Cs137 (Bq/Kg乾)	砂(%)	シルト (%)	粘土 (%)	強熱減量 (%)	有機態 炭素(%)	水分 (%)	見かけ比 重(g/cm3)	真比重 (g/cm3)	孔隙量 (%)
湖 底 沈 積 物	1	桧原湖	4.1	0.10	91	2.76	45.80	35.02	12.44	3.51	3.98	0.40	1.99	80.11
	2	沼沢沼	4.4	0.12	131	8.28	44.26	37.32	8.52	2.33	1.62	0.51	2.21	76.90
	3	尾瀬沼	4.9	0.14	61	3.44	40.57	26.33	23.89	10.07	5.76	0.24	1.45	83.15
	4	半田沼	0.057	LTD	1.9	69.95	10.61	8.76	6.13	0.90	4.56	0.69	2.28	69.77
	5	女沼	0.44	0.016	7.9	35.86	38.40	6.65	14.94	5.15	4.16	0.41	2.10	80.66
	6	南湖	0.50	0.021	9.8	2.36	42.93	23.55	27.26	11.08	3.89	0.35	1.87	81.04
ダ ム 底 沈 積 物	1	田子倉ダム	0.069	LTD	2.7	90.02	2.20	3.11	3.93	0.98	0.73	1.23	2.53	51.27
	2	三春ダム	0.070	LTD	2.5	4.35	52.34	27.99	12.98	2.76	2.34	0.49	2.12	76.74
	3	羽鳥ダム	0.60	0.015	23	9.98	52.21	18.88	17.76	5.48	1.17	0.53	2.19	75.58
	4	千五沢ダム	0.12	LTD	2.6	0.05	46.08	46.19	15.44	3.65	1.23	0.43	2.26	80.86
	5	真野ダム	0.23	LTD	6.5	10.28	47.42	28.38	12.77	3.16	1.14	0.63	2.26	72.26
湖 底 沈 積 物	6	高の倉ダム	0.35	LTD	12	4.50	60.88	20.71	13.42	3.87	0.48	0.62	2.35	73.60
	7	大柿ダム	0.24	LTD	6.7	0.06	59.75	29.81	13.35	3.20	2.54	0.46	2.25	79.39
	8	坂下ダム	0.16	LTD	4.4	0.71	66.73	18.35	12.37	2.20	1.85	0.57	2.25	74.51
	9	谷室沢ダム	0.43	0.023	11	25.55	35.74	15.15	21.72	9.14	1.84	0.43	1.91	77.18
	10	小玉ダム	0.16	LTD	5.8	59.27	18.59	8.90	11.24	3.18	2.00	0.64	2.30	72.06
	11	四時ダム	0.39	LTD	11	28.93	36.10	16.84	17.25	5.76	0.88	0.51	2.14	76.02

附表-2 ダム岸土の分析結果

区分	No	地点名	Pu239+240 (Bq/Kg乾)	Pu238 (Bq/Kg乾)	Cs137 (Bq/Kg乾)	砂(%)	シルト (%)	粘土 (%)	強熱減量 (%)	有機態 炭素(%)	水分 (%)	見かけ比 重(g/cm3)	真比重 (g/cm3)	孔隙量 (%)
ダム	1	三春ダム・上	0.029	LTD	0.89	59.16	18.06	15.05	6.40	1.02	1.32	0.91	2.46	63.25
		"・下	LTD	LTD	LTD	60.58	17.63	14.25	6.20	0.73	1.33	0.91	2.46	63.17
岸土	2	千五沢ダム・上	1.6	0.046	55	27.43	24.47	25.81	21.67	8.36	0.63	0.56	2.15	73.93
		"・下	0.72	0.027	23	30.09	26.64	25.84	16.67	4.67	0.76	0.67	2.25	70.34
	3	真野ダム・上	LTD	LTD	LTD	71.36	12.02	6.19	8.72	1.89	1.71	0.87	2.48	64.79
		"・下	LTD	LTD	LTD	77.11	7.23	7.38	6.72	0.45	1.56	0.85	2.50	66.17
	4	高の倉ダム・上	LTD	LTD	LTD	69.00	15.17	8.35	7.15	0.37	0.34	0.99	2.47	60.13
		"・下	LTD	LTD	LTD	68.23	16.26	8.95	6.18	0.22	0.38	1.01	2.48	59.38
	5	大柿ダム・上	1.1	0.046	41	61.57	11.83	8.11	16.80	8.78	1.69	0.73	2.12	65.71
		"・下	0.39	0.022	14	65.24	13.76	7.01	13.01	7.79	0.98	0.79	2.25	64.83
	6	坂下ダム・上	0.053	LTD	5.2	79.40	9.09	4.51	6.45	2.21	0.55	0.97	2.35	58.87
		"・下	0.046	LTD	2.7	83.75	8.33	3.32	4.38	1.14	0.22	1.10	2.41	54.44
	7	谷室沢ダム・上	0.73	LTD	39	60.10	7.41	7.79	22.69	9.97	2.01	0.62	1.88	66.82
		"・下	0.78	0.034	25	63.68	8.88	8.53	17.44	8.81	1.47	0.81	2.20	63.26
	8	小玉ダム・上	0.70	0.020	29	67.63	10.78	6.92	13.75	6.44	0.93	0.84	2.24	62.56
		"・下	0.81	0.040	24	72.23	9.95	6.11	10.85	4.92	0.85	0.90	2.28	60.63
	9	四時ダム・上	0.79	0.027	37	42.56	15.04	15.03	25.18	10.19	2.19	0.71	2.01	64.67
		"・下	0.76	0.028	36	45.25	15.83	14.82	22.14	11.36	1.97	0.79	2.17	63.61

附表一3 学校陸土の分析結果

区分	No	地点名	Pu239+240 (Bq/Kg乾)	Pu238 (Bq/Kg乾)	Cs137 (Bq/Kg乾)	砂(%)	シルト (%)	粘土 (%)	強熱減量 (%)	有機態 炭素(%)	水分 (%)	見かけ比 重(g/cm3)	真比重 (g/cm3)	孔隙量 (%)
学 校	1	喜多方高校・上	0.11	LTD	4.9	82.38	7.31	5.11	4.81	1.59	0.39	1.11	2.47	54.97
		"・下	0.036	LTD	1.4	93.59	2.11	1.79	2.19	0.67	0.31	1.26	2.48	49.30
陸 土	2	西山小学校・上	LTD	LTD	1.4	83.16	5.93	4.55	5.86	2.08	0.51	0.98	2.28	57.11
		"・下	LTD	LTD	LTD	87.62	5.29	3.09	3.62	0.89	0.38	1.16	2.48	53.25
3	会津高校・上	LTD	LTD	0.54	88.85	6.48	2.83	1.74	1.56	0.46	0.11	1.17	2.50	53.37
		"・下	LTD	LTD	0.81	90.04	5.87	2.39	1.56	0.27	0.13	1.23	2.46	50.22
4	只見高校・上	0.021	LTD	2.0	91.29	1.89	2.81	3.62	0.91	0.40	0.40	1.13	2.32	51.16
		LTD	LTD	LTD	85.75	4.62	4.96	4.27	0.28	0.40	0.40	1.07	2.25	52.43
5	田島高校・上	LTD	LTD	LTD	81.63	11.31	3.38	3.13	0.47	0.56	0.56	1.13	2.46	54.14
		LTD	LTD	LTD	85.63	9.18	1.80	2.84	0.15	0.54	0.54	1.03	2.41	57.48
6	福島高校・上	0.037	LTD	2.3	67.76	11.33	9.60	10.46	3.65	0.86	0.86	0.86	2.29	62.26
		"・下	0.050	LTD	1.8	81.20	6.73	4.13	6.95	2.03	0.99	0.97	2.36	58.90
7	船引高校・上	LTD	LTD	LTD	82.14	9.48	4.98	3.25	0.42	0.42	0.15	1.11	2.49	55.66
		LTD	LTD	LTD	86.70	6.85	4.14	2.25	0.23	0.23	0.06	1.15	2.55	54.69
8	安積高校・上	0.062	LTD	2.6	61.97	9.76	20.91	6.08	1.53	1.53	1.27	0.91	2.34	61.18
		"・下	LTD	LTD	1.0	73.49	8.54	12.67	3.87	0.41	1.42	0.93	2.43	61.53
9	白河高校・上	0.34	LTD	14	52.64	17.30	13.26	15.54	4.68	4.68	1.25	0.75	2.25	66.53
		"・下	0.33	LTD	15	58.48	17.74	11.31	11.84	3.05	0.63	0.79	2.29	65.63
10	相馬高校・上	0.15	LTD	17	77.03	8.12	6.65	8.16	3.14	3.14	0.05	1.03	2.34	55.89
		"・下	0.57	0.030	61	72.80	12.16	7.47	7.41	2.70	0.15	0.95	2.37	59.76
11	磐城高校・上	0.061	LTD	2.8	72.01	10.21	9.14	8.63	2.99	2.99	0.02	0.92	2.41	61.85
		"・下	0.053	LTD	2.8	72.45	10.15	7.93	9.25	3.33	0.22	0.95	2.40	60.57

附表-4 各項目間の相関係数(湖底沈積物、ダム底沈積物)

湖底沈積物

	Pu239-240 (Bq/Kg乾)	Pu238 (Bq/Kg乾)	Cs137 (Bq/Kg乾)	砂(%)	シルト(%)	粘土 (%)	強熱減量 (%)	有機態 炭素(%)	水分 (%)	見かけ比 重(g/cm3)	真比重 (g/cm3)	孔隙率 (%)	面積 (km2)	貯水量 (m3)	平均水深 (m)	最大水深 (m)	流域面積 (km2)	水面標高 (m)	ダム年齢 (年)	採泥深度 (m)
Pu239-240 (Bq/Kg乾)	0.9937	0.8764	-0.6661	0.5703	0.8271	0.0264	0.0537	-0.1173	-0.4474	-0.4602	0.4136	0.6088	0.5896	0.4200	0.4863	0.3229	0.6734	-	0.5470	
Pu238 (Bq/Kg乾)	0.6896	0.8491	-0.6892	0.5873	0.8078	0.1007	0.1335	-0.0949	-0.5007	-0.5194	0.4596	0.5252	0.5335	0.4079	0.4595	0.1836	0.7039	-	0.5322	
Cs137 (Bq/Kg乾)	0.9627	0.6125	-0.5773	0.5582	0.8894	-0.2670	-0.2494	-0.5683	-0.1302	-0.0234	0.1691	0.6377	0.9204	0.7860	0.8136	0.2752	0.2399	-	0.8571	
砂(%)	-0.2374	-0.0306	-0.1837	-0.9341	-0.5894	-0.5961	-0.5894	0.1698	0.7978	0.6005	-0.8132	-0.4572	-0.3482	-0.1288	-0.1275	-0.3376	-0.3855	-	-0.2952	
シルト (%)	0.2409	-0.0303	0.2180	0.6771	0.4818	0.4692	0.4692	-0.2949	-0.7607	-0.4298	0.8464	0.4466	0.4886	0.2522	0.1691	0.6512	0.2451	-	0.3525	
粘土 (%)	-0.1350	-0.1944	-0.1836	0.3748	0.0746	0.0751	0.0746	-0.4487	-0.3303	-0.2403	0.3326	0.6747	0.8046	0.5682	0.5843	0.4559	0.2506	-	0.6578	
強熱減量 (%)	0.7107	0.6785	0.5617	0.4214	0.3196	0.9969	0.4368	0.4368	-0.8396	-0.8112	0.7740	-0.2200	-0.5139	-0.5357	-0.6100	-0.4213	0.3864	-	-0.4612	
有機態 炭素(%)	0.7502	0.8269	0.5861	0.0778	0.9073	0.0094	0.9073	0.4396	-0.8414	-0.8304	0.7685	-0.2582	-0.5157	-0.5066	-0.5842	-0.4808	0.4211	-	-0.4358	
水分 (%)	-0.2618	0.0714	-0.2952	0.2363	0.1784	0.1378	0.1378	0.4396	-0.3603	-0.6328	0.2217	-0.1567	-0.8120	-0.8760	-0.8387	0.1377	0.6265	-	-0.8617	
見かけ比 重(g/cm3)	-0.3647	-0.2686	-0.2504	-0.6832	-0.6233	-0.8327	-0.5593	-0.4459	0.8822	0.8822	-0.9765	-0.1510	0.1286	0.2991	0.3803	0.0809	-0.6541	-	0.2061	
真比重 (g/cm3)	-0.4633	-0.6651	-0.2998	-0.3115	-0.2018	-0.8883	-0.8315	-0.4214	0.7668	-0.6834	-0.7616	-0.0333	0.4145	0.4911	0.4719	0.1435	-0.8498	-	0.3604	
孔隙率 (%)	0.3192	0.1807	0.2176	0.7152	0.6849	0.7793	0.4798	0.4289	-0.9922	-0.6834	0.1959	0.1959	0.0121	-0.1949	-0.3114	0.0091	0.5311	-	-0.1236	
面積 (km2)	-0.3894	-0.1690	-0.2637	0.6904	-0.6355	-0.4052	-0.7374	-0.2875	0.8891	0.6074	-0.8872	0.5984	0.5984	0.1197	0.2784	0.9727	0.2068	-	0.2843	
貯水量 (m3)	-0.3854	-0.1664	-0.2953	0.7733	-0.7014	-0.4935	-0.7499	-0.3438	0.9389	0.6453	-0.9367	0.9741	0.8626	0.8626	0.8928	0.3092	-0.1949	-	0.9143	
平均水深 (m)	-0.4909	-0.5091	-0.4768	0.2874	-0.3085	-0.1480	-0.5602	-0.0411	0.4247	0.2267	-0.4419	0.4743	0.4114	0.8626	0.9883	-0.1918	-0.2862	-	0.9898	
最大水深 (m)	-0.5683	-0.8544	-0.4191	0.0889	0.0163	0.0214	-0.7295	0.1708	0.4302	0.5636	-0.2590	0.2149	0.4196	0.7553	0.9883	-0.0590	-0.2252	-	0.9790	
流域面積 (km2)	-0.4962	-0.2616	-0.4040	0.7337	-0.6899	-0.3922	-0.7636	-0.2409	0.8766	0.6152	-0.8690	0.9750	0.9757	0.4682	0.7846	-0.0590	0.1175	-	-0.1155	
水面標高 (m)	0.2814	0.4055	0.4536	0.2028	-0.2200	-0.1037	-0.0745	0.0079	0.3234	0.2018	-0.3248	0.5297	0.4335	-0.2494	-0.0871	0.3953	0.1175	-	-0.1778	
ダム年齢 (年)	0.5254	0.8151	0.4650	0.1965	-0.1606	-0.3899	0.3120	-0.2519	0.1707	-0.2566	-0.2375	0.1864	0.2562	-0.3396	-0.3757	0.1113	0.4773	-	-	
採泥深度 (m)	0.5150	0.0029	0.3830	-0.6759	0.6316	0.4360	0.7663	0.0846	-0.7614	-0.6550	0.7567	-0.7542	-0.7685	-0.1015	-0.4056	-0.7360	-0.4629	-	-0.4068	

ダム底沈積物

附表-5 各項目間の相関係数(ダム岸土)

ダム岸土(上層)

	Pu239+240 (Bq/Kg乾)	Pu238 (Bq/Kg乾)	Cs137 (Bq/Kg乾)	砂(%)	シルト(%)	粘土 (%)	強熱減量 (%)	有機態 炭素(%)	水分 (%)	見かけ比 重(g/cm3)	真比重 (g/cm3)	孔隙量 (%)	標高(m)	年齢(年)
Pu239+240 (Bq/Kg乾)		0.8931	0.9743	-0.7785	0.3850	0.6154	0.8118	0.8386	0.1474	-0.8879	-0.7108	0.8199	0.3039	0.0415
Pu238 (Bq/Kg)	0.9782		0.8110	-0.6749	0.4555	0.5531	0.6071	0.6633	0.0813	-0.6488	-0.4565	0.6462	0.0637	-0.3126
Cs137 (Bq/Kg)	0.9598	0.9065		-0.7351	0.2269	0.5202	0.9018	0.9330	0.2790	-0.9240	-0.8486	0.7642	0.2227	0.1946
砂(%)	-0.5435	-0.4255	-0.5888		-0.7593	-0.9367	-0.7334	-0.6002	-0.1662	0.7882	0.4895	-0.8442	-0.4823	0.0806
シルト (%)	0.1849	0.0931	0.1980	-0.8688		0.9157	0.1239	-0.0340	-0.3091	-0.2691	0.1777	0.5769	0.5885	-0.4620
粘土 (%)	0.3351	0.2074	0.3528	-0.9470	0.9099		0.4588	0.3106	-0.0770	-0.5858	-0.2015	0.7659	0.6307	-0.2248
強熱減量 (%)	0.8583	0.7805	0.9347	-0.7223	0.3220	0.4928		0.9591	0.5398	-0.9115	-0.9220	0.6783	0.0583	0.3303
有機態 炭素(%)	0.8237	0.7972	0.9077	-0.4672	0.0651	0.1780	0.9267		0.5506	-0.8833	-0.9555	0.6055	-0.0326	0.3062
水分 (%)	0.3261	0.2834	0.4462	-0.3025	-0.0903	0.2031	0.5756	0.5429		-0.4429	-0.5487	0.2184	-0.2781	0.1877
見かけ比 重	-0.6371	-0.5987	-0.6226	0.7830	-0.5037	-0.6911	-0.7662	-0.5967	-0.5536		0.8264	-0.8943	-0.4113	-0.3052
真比重 (g/cm3)	-0.9238	-0.8939	-0.9482	0.5495	-0.1905	-0.2898	-0.9156	-0.9501	-0.3522	0.6260		-0.4892	0.0076	-0.5480
孔隙量 (%)	0.3550	0.3179	0.3251	-0.7208	0.5516	0.7308	0.5164	0.2863	0.4941	-0.9337	-0.3066		0.6435	0.0567
標高(m)	0.0842	0.0594	-0.0886	-0.4986	0.6082	0.6451	0.0201	-0.2283	-0.0860	-0.4267	0.0498	0.5365		0.0993
年齢(年)	0.2251	0.1887	0.1917	0.0740	-0.2743	-0.1738	0.2657	0.3003	0.0008	0.0335	-0.3005	-0.1729	0.0993	

ダム岸土(下層)

附表一6 各項目間の相関係数(学校陸土)

学校陸土(上層)

	Pu239+240 (Bq/Kg乾)	Pu238 (Bq/Kg乾)	Cs137 (Bq/Kg乾)	砂(%)	シルト(%)	粘土 (%)	強熱減量 (%)	有機態 炭素(%)	水分 (%)	見かけ比 重(g/cm3)	真比重 (g/cm3)	孔隙量 (%)	標高(m)	年齢(年)
Pu239+240 (Bq/Kg乾)														
Pu238 (Bq/Kg乾)	0.8525		0.8419	-0.7099	0.6421	0.4328	0.8162	0.7515	0.4401	-0.6389	-0.4652	0.6245	-0.1735	0.3863
Cs137 (Bq/Kg乾)	0.9517	0.9713		-0.4710	0.3721	0.2523	0.6604	0.6929	0.1240	-0.4289	-0.4479	0.3618	-0.3987	0.4550
砂(%)	-0.6180	-0.2543	-0.4360		-0.8448	-0.8568	-0.8558	-0.7572	-0.7361	0.9210	0.5390	-0.9485	0.2092	-0.5720
シルト (%)	0.6777	0.3173	0.4988	-0.9260		0.5282	0.7230	0.5969	0.5327	-0.7039	-0.2054	0.8135	0.0129	0.3297
粘土 (%)	0.4101	0.1643	0.2947	-0.8749	0.6871		0.5470	0.4591	0.7359	-0.7409	-0.4366	0.7583	-0.2250	0.6241
強熱減量 (%)	0.6116	0.2314	0.4122	-0.8938	0.8069	0.6444		0.9693	0.5213	-0.9279	-0.7173	0.8836	-0.3451	0.4564
有機態 炭素(%)	0.6597	0.3784	0.5193	-0.7594	0.6849	0.4961	0.9292		0.3800	-0.8786	-0.7204	0.8162	-0.5174	0.5160
水分 (%)	-0.1663	-0.2596	-0.2226	-0.3257	0.1280	0.5135	0.1419	-0.0438		-0.6651	-0.5882	0.6166	0.2442	0.4081
見かけ比 重	-0.5211	-0.2177	-0.3675	0.9404	-0.8599	-0.8060	-0.8512	-0.6777	-0.4852		0.7449	-0.9649	0.2886	-0.4686
真比重 (g/cm3)	-0.3715	-0.1414	-0.2492	0.5303	-0.4343	-0.3865	-0.6241	-0.4151	-0.2534	0.6340		-0.5453	0.1381	-0.2992
孔隙量 (%)	0.4982	0.1972	0.3463	-0.9399	0.8840	0.8118	0.8133	0.6774	0.4762	-0.9695	-0.4293		-0.2870	0.4581
標高(m)	-0.4270	-0.4827	-0.4782	0.2494	-0.0779	-0.2377	-0.4066	-0.6353	0.0040	0.1913	0.1410	-0.1770		-0.6414
年齢(年)	0.4078	0.3506	0.3954	-0.4458	0.2982	0.4761	0.3907	0.4345	0.5988	-0.4997	-0.3268	0.4836	-0.6414	

学校陸土(下層)



古紙配合率70%再生紙を使用しています