

4 河川中(河川水、河底土、及び浮遊砂)における放射性物質の濃度の変化傾向の確認

代表研究者：池内嘉宏(日本分析センター)

4.1 調査の目的

平成 23 年 6 月期に実施した第 1 次分布状況等調査で採取された河川試料は、調査箇所が多くで福島第一原発から放出された放射性セシウム等の放射性核種が検出された。

そこで、今回の調査では、第 1 次分布状況等調査から半年ほど経過した時点における河川中の放射性核種の放射能濃度の状況を把握するとともに、第 1 次分布状況等調査時からの放射能濃度の変化傾向を確認するため、平成 23 年 12 月下旬から第 1 次分布状況等調査と同一箇所において、再度、河川試料(河川水、及び河底土、並びに浮遊砂)を採取し、放射能濃度を測定した。

4.2 本調査の実施概要

4.2.1 採取期間

第 1 次分布状況等調査は梅雨前後の変化傾向を確認するため平成 23 年 6 月下旬～7 月初旬及び 8 月初旬から実施しており、これに引き続き台風期後の変化傾向を確認するため、本調査は平成 23 年 12 月下旬から開始した。

① 河川水の採取期間

・調査期間(平成 23 年 12 月 20 日～21 日)

② 河底土の採取期間

・調査期間(平成 23 年 12 月 20 日～21 日)

③ 浮遊砂の採取期間

・調査期間(平成 24 年 1 月 28 日～2 月 26 日)

4.2.2 調査項目

① 河川水

河川水中のガンマ線放出核種(放射性セシウム、ヨウ素 131)及びベータ線放出核種(ストロンチウム 89、ストロンチウム 90)の放射能濃度の測定

② 河底土

河底土中のガンマ線放出核種(放射性セシウム、ヨウ素 131)の放射能濃度の測定

③ 浮遊砂

浮遊砂中のガンマ線放出核種(放射性セシウム、ヨウ素 131)の放射能濃度の測定

4.2.3 調査箇所

本調査は、第 1 次分布状況等調査時の測定結果からの変化傾向を確認することを目的としているため、第 1 次分布状況等調査で河川試料(河川水、河底土及び浮遊砂)を採取した箇所と同一箇所(河川水試料：福島県内の 50 箇所、河底土、浮遊砂試料：河川水試料採取箇所のうち 10 箇所)から河川試料を採取した。調査箇所を図 4.2.3-1 に示す。

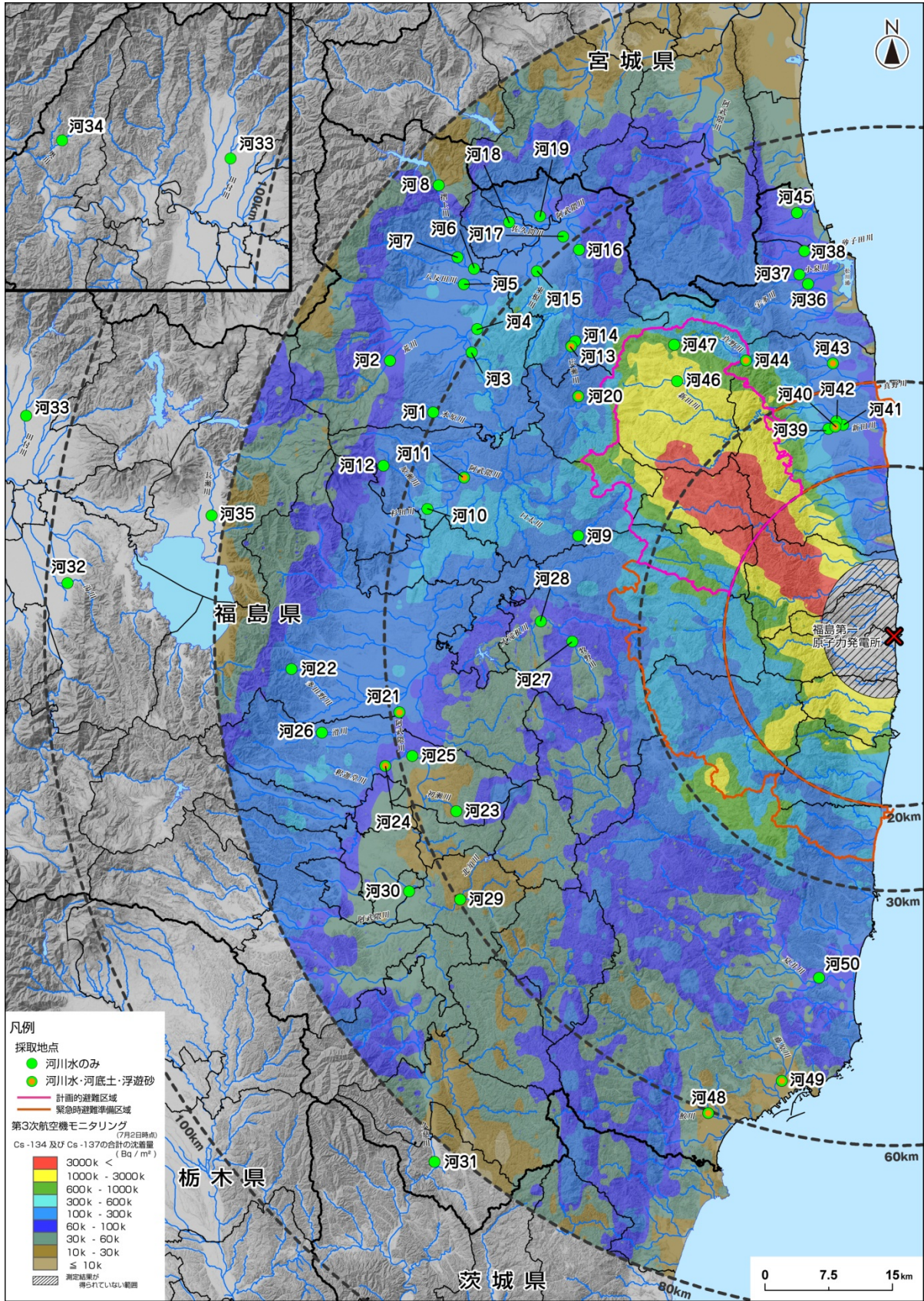


図 4.2.3-1 河川試料（河川水、河底土及び浮遊砂）の採取箇所

なお、調査箇所は、以下の条件で第1次分布状況等調査時に選定している。

- ・これまでの陸上モニタリングや航空機モニタリングの結果を参考に、放射性セシウムの蓄積量が比較的高い箇所から河川試料の採取箇所候補を選定。
- ・河川水の採取箇所の選定にあたっては、将来的に放射性物質の移行状況を詳細に把握することを視野に入れ、定期的に河川の流量観測を行うことが可能な箇所を上記採取箇所候補から50箇所を選定。
- ・河底土及び浮遊砂の採取箇所は、河川水の採取箇所（50箇所）のうち福島県から10箇所を選定。

4.2.4 試料の採取方法

試料の採取方法を以下に示す。

① 河川水

雨が降っていない日に、河岸から、河川水をひしゃく状の採取器ですくって、キュービティナー（容量：20L）にロートを用いて移した。河岸に降りられない場合は、橋の上から、バケツにロープをつけて、投げ込み採水し、キュービティナー（容量：20L）にロートを用いて移した。

② 河底土

移植ごてにより河底土の表面から約1cmを200g程度採取した。

③ 浮遊砂

浮遊土砂に含まれる放射性核種の放射能濃度を有意に測定するためには、通常、10g以上の浮遊土砂試料が必要である。しかしながら、10g以上の浮遊土砂試料を回収するためには、出水期間中の濁水を大量に採取した上で、吸引ろ過して濁度成分を抽出しなければならないなど手間と労力を要すものである。他方、濁水の採取に自動採水器が用いられる場合が多いものの、装置自体が高価であるほか、採取量が不十分である場合が多く、現実的ではない。

そこで、本調査では、英国のフィリップスらが開発した、浮遊土砂の堆積現象を利用した浮遊土砂サンプラー（Time-integrated suspended sediment sampler）（Phillips et al. 2000）^[1]を利用した。本サンプラーは流域の溪流における出水時を含む一定の期間の浮遊土砂を採取することを目的としている。

本サンプラーは、内径98mm、長さ1mの塩化ビニルパイプを用い、両端の蓋部に内径4mmのチューブを取り付けた簡易な装置であり、安価での製作が可能である（図4.2.4-1）。本サンプラーは、流向と平行になるよう河底に直接設置することで、上流部のチューブから流入した濁水の流速が急激に低下し、濁度成分を沈降・堆積させるものである。本サンプラーの浮遊土砂採取効率を水路実験で検証した結果、流速が速いほど、また濁水の土砂濃度が高いほど、採取効率が高いことが明らかになっている（古賀ら、2004、小山内ら、2005）^{[2]、[3]}。



図 4. 2. 4-1 浮遊砂サンプラーの採取口の構造（上）、河床に設置した浮遊砂サンプラー（中）、
浮遊砂の回収状況（下）

4.2.5 河川試料の測定方法

① 河川水試料の核種分析の方法と検出下限値

・河川水におけるガンマ線放出核種の放射能濃度測定

文部科学省の放射能測定法シリーズに準じて、試料は濾過せずに容量が2Lのマリネリビーカーに移し、そのままゲルマニウム半導体検出器を用いて8時間程度核種分析を行い、ヨウ素131、セシウム134、セシウム137等のガンマ線放出核種の放射能濃度を測定した。検出下限値は、それぞれ、0.10 Bq/kg程度である。

・河川水におけるベータ線放出核種の放射能濃度測定

河川水40Lから放射化学分析により放射性ストロンチウムを分離し、ストロンチウム90の壊変生成物であるイットリウム90と放射平衡になる2週間後に、ベータ線放出核種であるストロンチウム89、ストロンチウム90の放射能濃度を測定した。測定にあたっては、低バックグラウンドベータ線測定装置を用いて60分程度測定を行った。検出下限値はストロンチウム89で 4.0×10^{-3} Bq/kg程度、ストロンチウム90で 6.0×10^{-4} Bq/kg程度である。

なお、ストロンチウム89、ストロンチウム90の放射能濃度測定は、空間線量率が比較的高い箇所や地域的な広がりを考慮し、10箇所を選定して実施した。

② 河底土、浮遊砂の核種分析の方法と検出下限値

傾斜法により試料から水分を除去し、ポリプロピレン製のU-8容器に移した上で、ゲルマニウム半導体検出器により1時間、ヨウ素131、セシウム134、セシウム137等のガンマ線放出核種の放射能濃度を測定した。河底土におけるヨウ素131の検出下限値は20 Bq/kg程度、浮遊砂におけるヨウ素131の検出下限値は50 Bq/kg程度である。

③ 河底土、浮遊砂の粒度分布測定

河底土、浮遊砂の粒径と、その放射性セシウムの放射能濃度との関係を確認するため、JIS規格に従い粒度分布を測定した。

4.3 調査結果

4.3.1 河川水の核種分析結果

① 河川水におけるヨウ素131、セシウム134、セシウム137のガンマ線放出核種の放射能濃度の測定結果

1) ヨウ素131の放射能濃度の測定結果

河川水におけるヨウ素131の放射能濃度はいずれの試料も検出下限値以下であった（河川水の核種分析結果は表4.3.1-1参照）。

2) 放射性セシウムの放射能濃度の測定結果

河川水においては、セシウム134の放射能濃度は最大で3.3 Bq/kg（検出された試料の平均値：0.44 Bq/kg）、セシウム137の放射能濃度は最大で4.2 Bq/kg（検出された試料の平均値：0.49 Bq/kg）であった（表4.3.1-1）。

また、第1次分布状況等調査の第1回調査（平成23年6月）、第2回調査（平成23年8月）、及び第2次分布状況等調査（平成23年12月）（以下、「第3回調査」とする。）においてセシウム134、セシウム137の放射能濃度が検出下限値以上であった箇所について、各調査箇所における河川水中のセシウム134、セシウム137の放射能濃度の変化状況を確認した。その結果、図4.3.1-1、図4.3.1-2

に見られるように、ほとんどの調査箇所において、第1回調査、第2回調査の測定結果に比べて、第3回の調査では河川水中の放射性セシウムの放射能濃度が減少している傾向にあることが確認された。なお、試料 No. 18 の佐久間川で採取された河川試料については放射能濃度が第1回から徐々に増加している傾向にあるが、河川試料の採取時の環境の違い等の要因もあり、今後、継続的に放射能濃度の変化傾向を確認していくことが必要である。

② 河川水におけるストロンチウム 89、ストロンチウム 90 の放射能濃度測定の結果

河川水におけるストロンチウム 89 の放射能濃度は、いずれも検出下限値以下であった。ストロンチウム 90 の放射能濃度は最大で 6.7×10^{-3} Bq/kg (平均 2.5×10^{-3} Bq/kg) であった (表 4.3.1-2 参照)。

第1回 (平成 23 年 6 月)、第2回 (平成 23 年 8 月)、及び第3回調査 (平成 23 年 12 月) において河川水中のストロンチウム 90 の放射能濃度が検出下限値以上であった箇所について、ストロンチウム 90 の放射能濃度の変化を確認した。その結果、図 4.3.1-3 に見られるように、ほとんどの調査箇所において、第1回調査、第2回調査の測定結果に比べて、第3回調査では、河川水中のストロンチウム 90 の放射能濃度が減少している傾向にあることが確認された。

表 4.3.1-2 河川水試料中のストロンチウム 89、ストロンチウム 90 の放射能濃度の測定結果
 (第 1 次分布状況等調査 (1 回目 : H23. 6. 29~30 採取、2 回目 : H23. 8. 1~2 採取)、
 第 2 次分布状況等調査 (3 回目 : H23. 12. 21~22 採取))

No.	市町村名	マップ上の表記	平成23年6月29日、30日採取		平成23年8月1日、2日採取		平成23年12月21日、22日採取	
			Sr-89 不検出 (検出下限値:0.004)	Sr-90 0.0020	Sr-89 不検出 (検出下限値:0.003)	Sr-90 0.0016	Sr-89 不検出 (検出下限値:0.005)	Sr-90 0.0014
11	二本松市	二本松 ※1	不検出 (検出下限値:0.004)	0.0020	不検出 (検出下限値:0.003)	0.0016	不検出 (検出下限値:0.005)	0.0014
13	伊達市	月館(県) ※1	不検出 (検出下限値:0.004)	0.0027	0.0035	0.0020	不検出 (検出下限値:0.005)	0.0010
20	川俣町	川俣 ※1	不検出 (検出下限値:0.004)	0.0018	0.0037	0.00095	不検出 (検出下限値:0.005)	0.00093
21	郡山市	御代田 ※1	不検出 (検出下限値:0.004)	0.0020	不検出 (検出下限値:0.003)	0.0014	不検出 (検出下限値:0.005)	0.0014
24	須賀川市	西川 [西川(県)]	不検出 (検出下限値:0.003)	0.0016	不検出 (検出下限値:0.003)	0.00087	不検出 (検出下限値:0.005)	0.0012
40	南相馬市	水無川 北町 ※1	0.038	0.012	0.015	0.0054	不検出 (検出下限値:0.02)	0.0067
43		小島田堰 ※1	0.021	0.0061	0.0071	0.0044	不検出 (検出下限値:0.005)	0.0022
44		真野 ※1	0.032	0.0095	0.013	0.0054	不検出 (検出下限値:0.007)	0.0059
48	いわき市	松原 ※1	不検出 (検出下限値:0.003)	0.0018	0.013	0.0043	不検出 (検出下限値:0.004)	0.0012
49		小名浜 ※1	0.055	0.018	0.014	0.0079	不検出 (検出下限値:0.007)	0.0027

※1及び[]内は、観測所名

注) 分析結果は、試料採取日に減衰補正した。

単位: Bq/kg

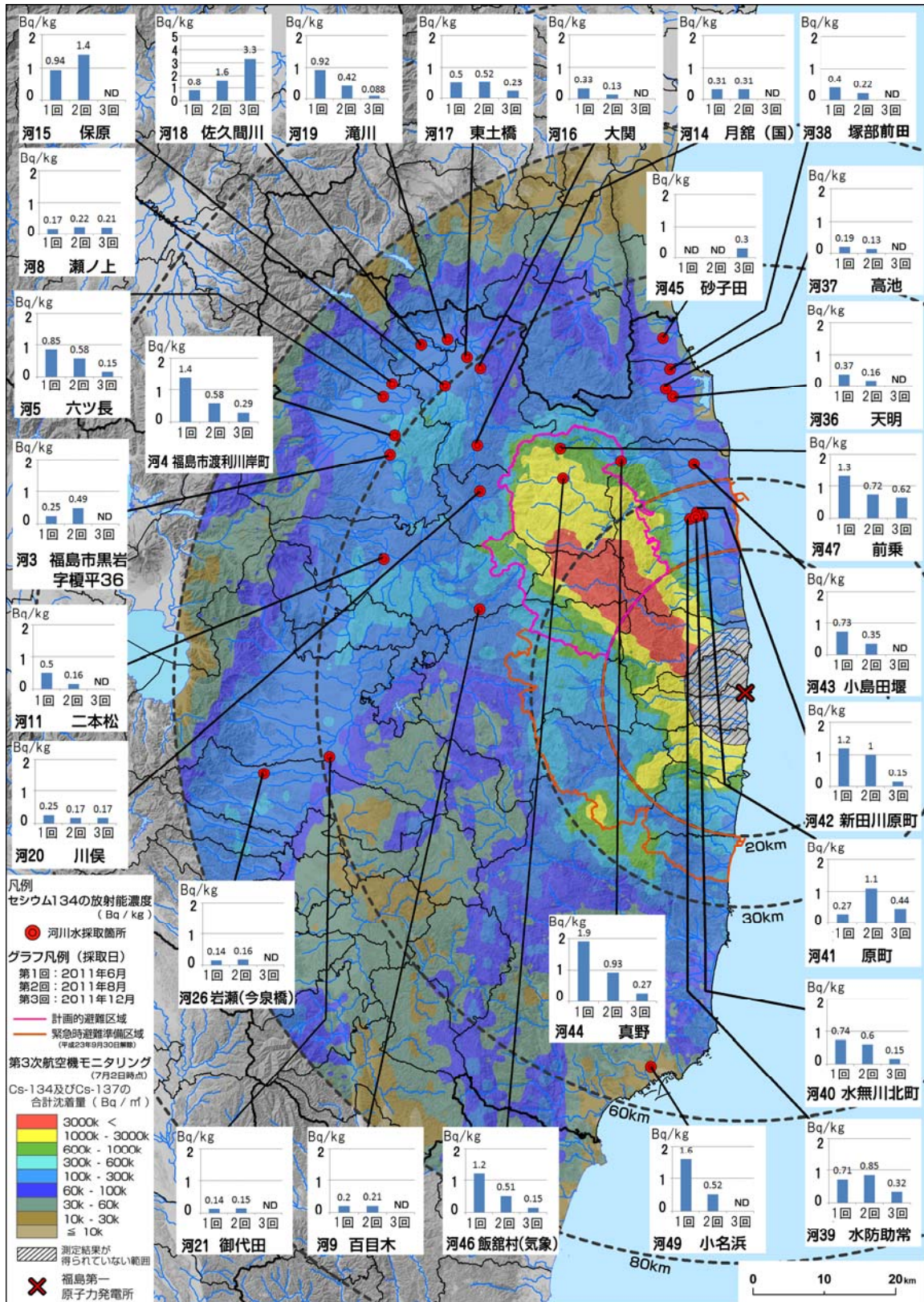


図 4. 3. 1-1 河川水試料中のセシウム 134 の放射能濃度の変化
 (第 1 次分布状況等調査 (第 1 回) : H23. 6. 29~7. 1 採取、第 1 次分布状況等調査 (第 2 回) :
 H23. 8. 1~2 採取、第 2 次分布状況等調査 (第 3 回) : H23. 12. 21~22 採取)

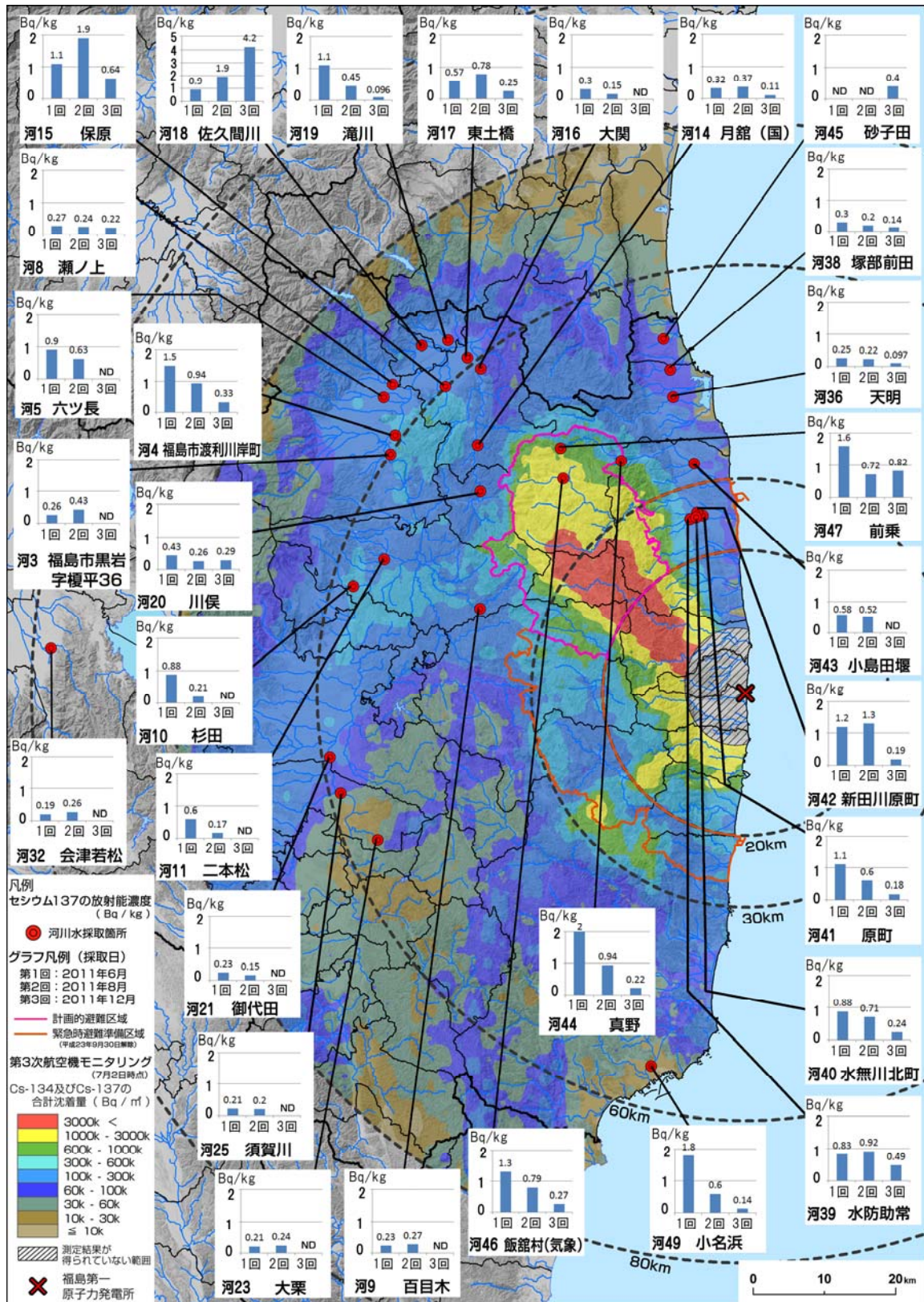


図 4. 3. 1-2 河川水試料中のセシウム 137 の放射能濃度の変化
 (第1次分布状況等調査(第1回): H23. 6. 29~7. 1採取、第1次分布状況等調査(第2回):
 H23. 8. 1~2採取、第2次分布状況等調査(第3回): H23. 12. 21~22採取)

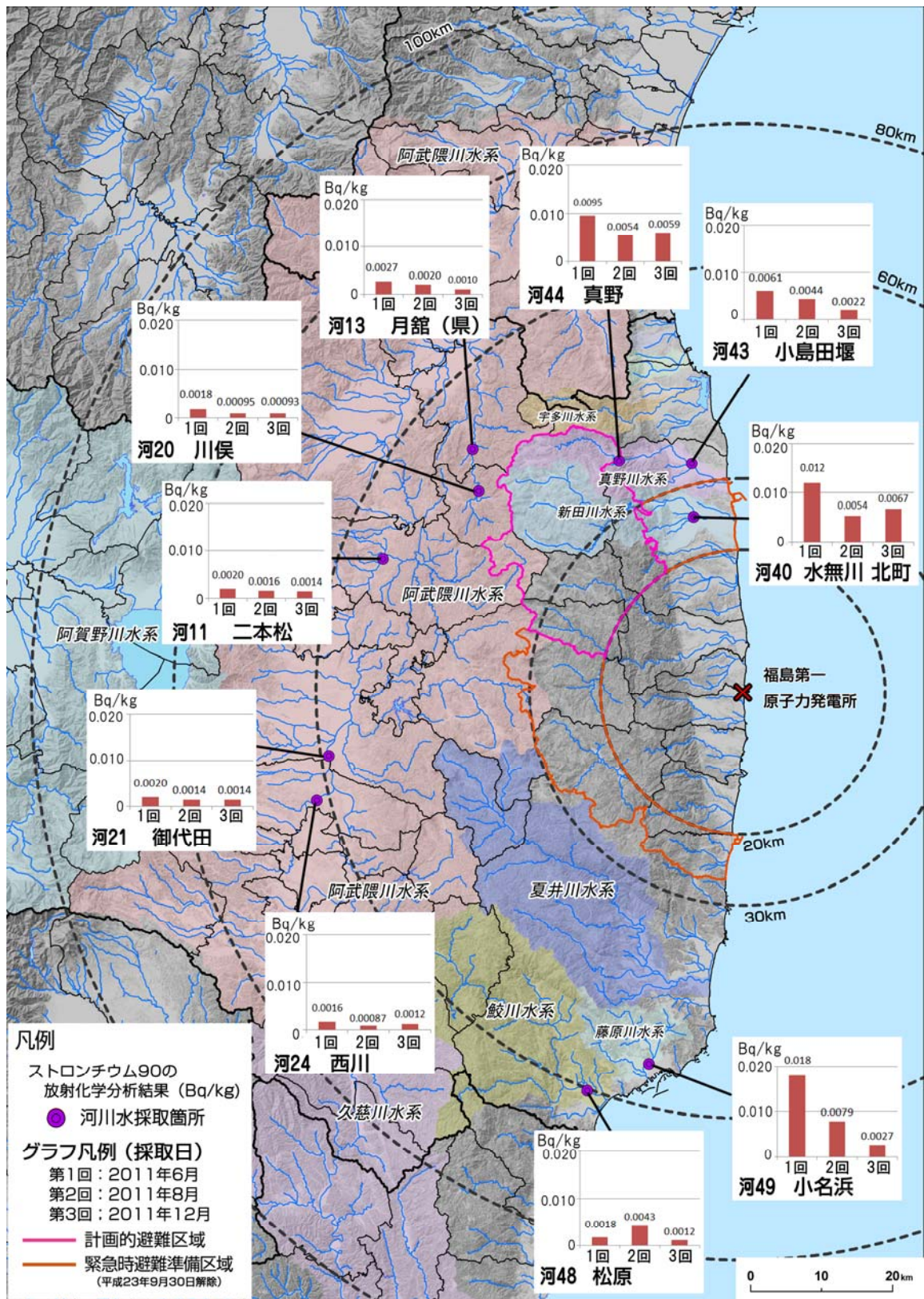


図 4. 3. 1-3 河川水試料中のストロンチウム 90 の放射能濃度の変化
 (第 1 次分布状況等調査 (第 1 回) : H23. 6. 29~30 採取、第 1 次分布状況等調査 (第 2 回) :
 H23. 8. 1~2 採取、第 2 次分布状況等調査 (第 3 回) : H23. 12. 21~22 採取)

4.3.2 河底土の核種分析結果

① 河底土におけるガンマ線放出核種の放射能濃度の測定結果

1) ヨウ素 131 の放射能濃度の測定結果

河底土におけるヨウ素 131 の放射能濃度はいずれの試料も検出下限値以下であった（河底土の核種分析結果は表 4.3.2-1 参照）。

2) 放射性セシウムの放射能濃度の測定結果

河底土におけるセシウム 134 の放射能濃度は最大で 3,800 Bq/kg（平均：1,100 Bq/kg）、セシウム 137 の放射能濃度は最大で 5,000 Bq/kg（平均：1,400 Bq/kg）であった（表 4.3.2-1）。

また、第 1 回調査（平成 23 年 6 月）、第 2 回調査（平成 23 年 8 月）、及び第 3 回調査（平成 23 年 12 月）において河底土中のセシウム 134、セシウム 137 の放射能濃度が検出下限値以上であった箇所について、各調査箇所における河底土中のセシウム 134、セシウム 137 の放射能濃度の変化状況を確認した。その結果、図 4.3.2-1、図 4.3.2-2 に見られるように、ほとんどの調査箇所において、第 1 回調査、第 2 回調査の測定結果に比べて、第 3 回調査では河底土中の放射性セシウムの放射能濃度が減少している傾向にあることが確認された。なお、試料 No. 49 の小名浜で採取された河底土試料については、河川水の結果とは異なり放射能濃度が第 1 回調査から徐々に増加している傾向にあるが、河川試料の採取時の環境の違い等の要因もあり、今後、継続的に放射能濃度の変化傾向を確認していくことが必要である。

3) その他の放射性核種の放射能濃度の測定結果

第 3 回調査では、試料 No. 44 の真野の試料にのみ、河底土から銀 110m がわずかに検出されたが、第 1 回調査に比べると放射能濃度は減少傾向であった。そのほか、第 1 回調査、第 2 回調査において数箇所検出されていたテルル 129m は、いずれの試料においても検出下限値以下であった。

4) 河底土の粒度分布の測定結果

第 3 回調査で得られた河底土の粒度分布の測定結果を図 4.3.2-3 に示す。

表 4.3.2-1 河底土試料中のヨウ素 131、セシウム 134、セシウム 137、その他の放射能濃度の測定結果
(第 1 次分布状況等調査 (1 回目：H23.6.29~30 採取、2 回目：H23.8.1~2 採取)、
第 2 次分布状況等調査 (3 回目：H23.12.21~22 採取))

No.	市町村名	マップ上の表記	平成23年6月29日、30日採取				平成23年8月1日、2日採取				平成23年12月20日、21日採取			
			I-131	Cs-134	Cs-137	その他	I-131	Cs-134	Cs-137	その他	I-131	Cs-134	Cs-137	その他
11	二本松市	二本松 ※1	不検出 (検出下限値:17)	3,100	3,500		不検出 (検出下限値:9.7)	830	9,300		不検出 (検出下限値:7.5)	310	400	
13	伊達市	月館(県) ※1	不検出 (検出下限値:11)	1,000	1,100		不検出 (検出下限値:11)	920	1,000		不検出 (検出下限値:9.6)	610	800	
20	川俣町	川俣 ※1	不検出 (検出下限値:16)	2,300	2,600		不検出 (検出下限値:9.9)	920	1,100		不検出 (検出下限値:7.7)	400	520	
21	郡山市	御代田 ※1	不検出 (検出下限値:21)	4,200	4,700		不検出 (検出下限値:11)	1,000	1,200		不検出 (検出下限値:5)	120	150	
24	須賀川市	西川 [西川(県)]	不検出 (検出下限値:14)	2,100	2,300		不検出 (検出下限値:7.1)	400	480		不検出 (検出下限値:5.2)	170	220	
40		水無川 北町 ※1	不検出 (検出下限値:27)	7,800	9,000		不検出 (検出下限値:20)	4,200	4,800	Ag-110m: 25	不検出 (検出下限値:20)	3,400	4,500	
43	南相馬市	小島田塚 ※1	不検出 (検出下限値:16)	2,600	2,900		不検出 (検出下限値:19)	3,600	4,200		不検出 (検出下限値:14)	1,600	2,100	
44		真野 ※1	不検出 (検出下限値:37)	14,000	15,000	Ag-110m: 93 Te-129m: 1,800	不検出 (検出下限値:30)	6,000	6,700		不検出 (検出下限値:22)	3,800	5,000	Ag-110m: 17
48		松原 ※1	不検出 (検出下限値:20)	3,900	4,400	Te-129m: 3,100	不検出 (検出下限値:9)	740	830	Te-129m: 270	不検出 (検出下限値:3.4)	13	16	
49	いわき市	小名浜 ※1	不検出 (検出下限値:4)	55	64		不検出 (検出下限値:7.5)	440	510		不検出 (検出下限値:9.6)	510	670	

※1及び[]内は、観測所名

単位: Bq/kg

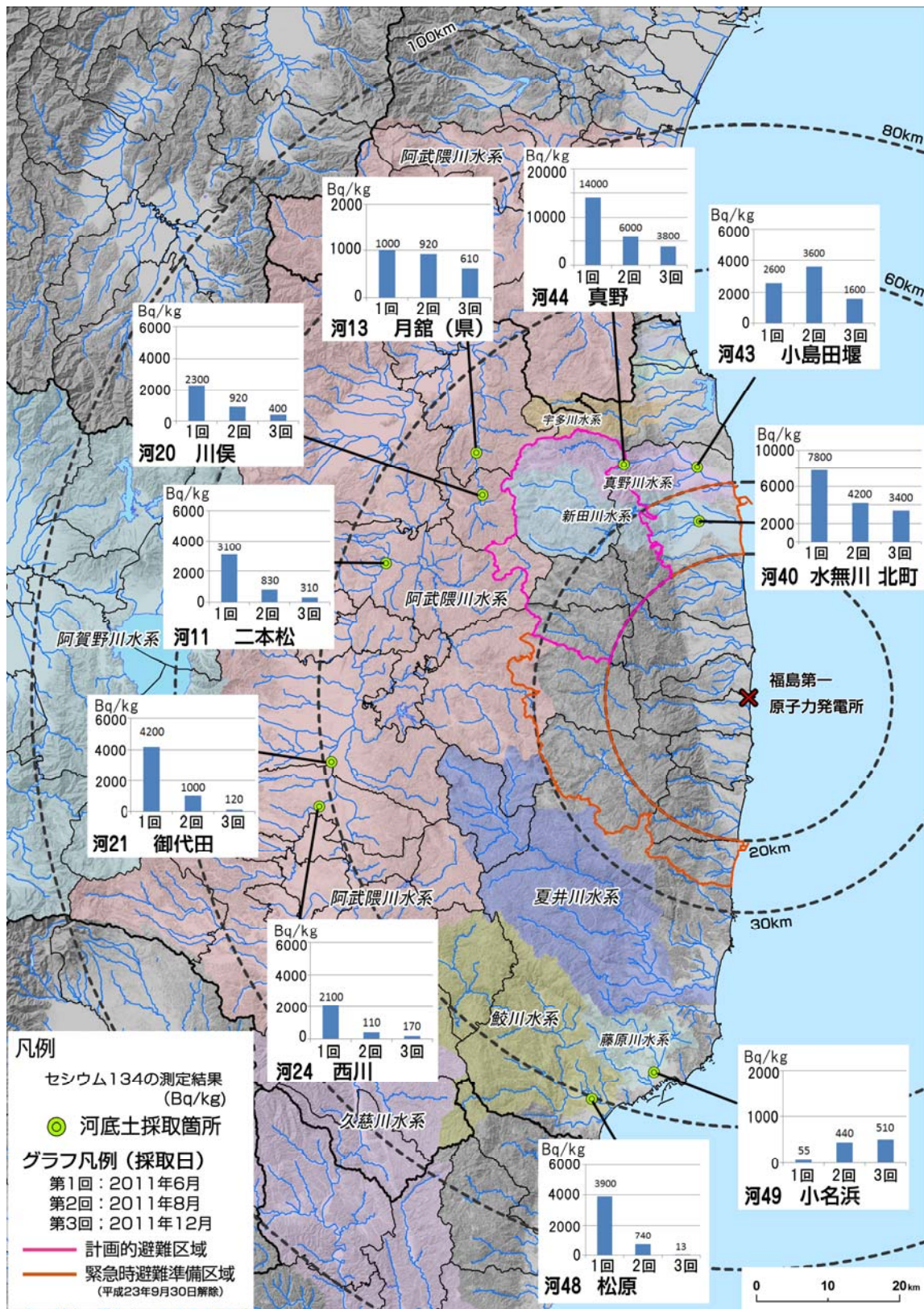


図 4. 3. 2-1 河底土試料中のセシウム 134 の放射能濃度の変化
 (第1次分布状況等調査(第1回): H23. 6. 29~30 採取、第1次分布状況等調査(第2回):
 H23. 8. 1~2 採取、第2次分布状況等調査(第3回): H23. 12. 21~22 採取)

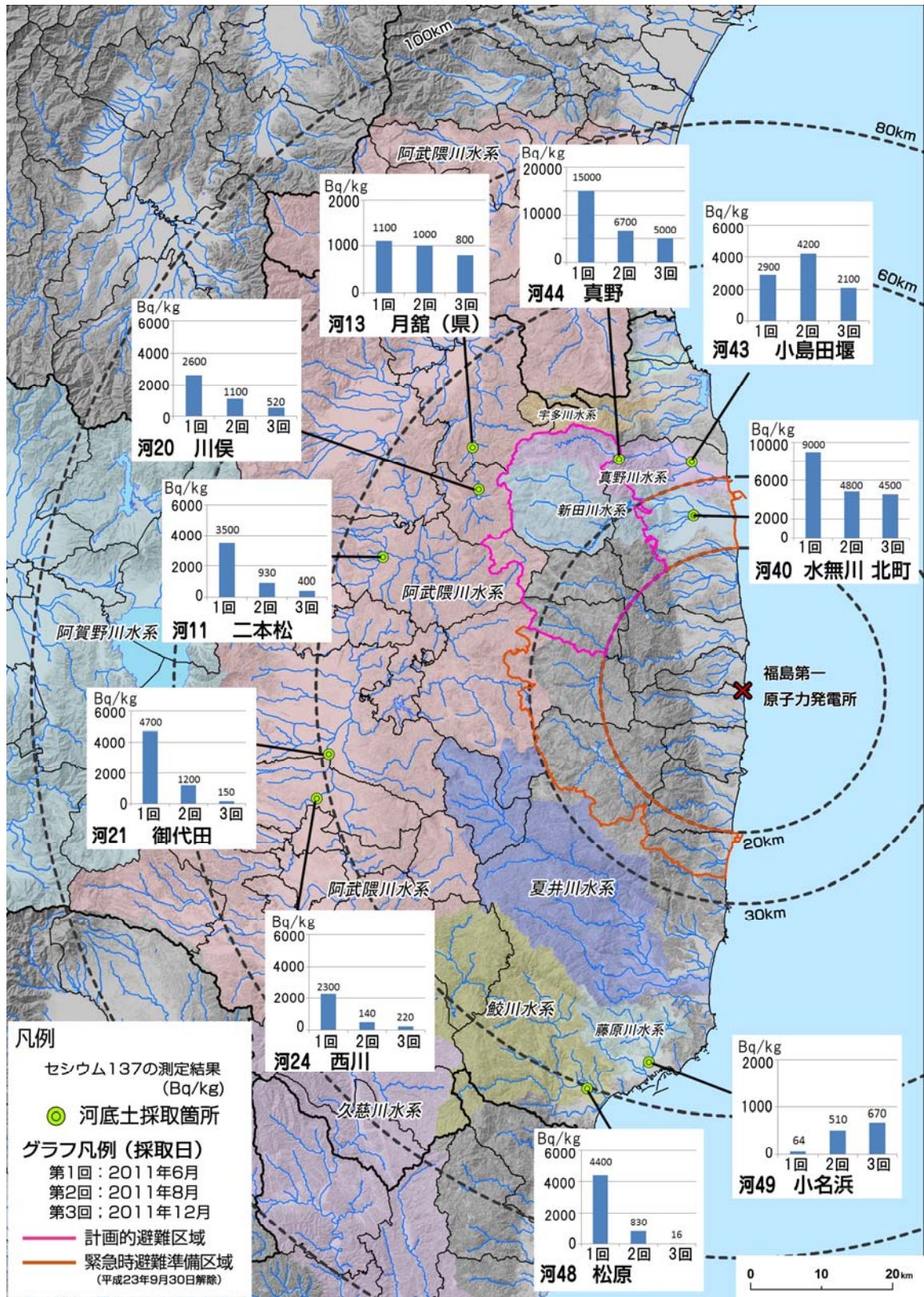


図 4. 3. 2-2 河底土試料中のセシウム 137 の放射能濃度の変化
 (第 1 次分布状況等調査 (第 1 回) : H23. 6. 29~30 採取、第 1 次分布状況等調査 (第 2 回) :
 H23. 8. 1~2 採取、第 2 次分布状況等調査 (第 3 回) : H23. 12. 21~22 採取)

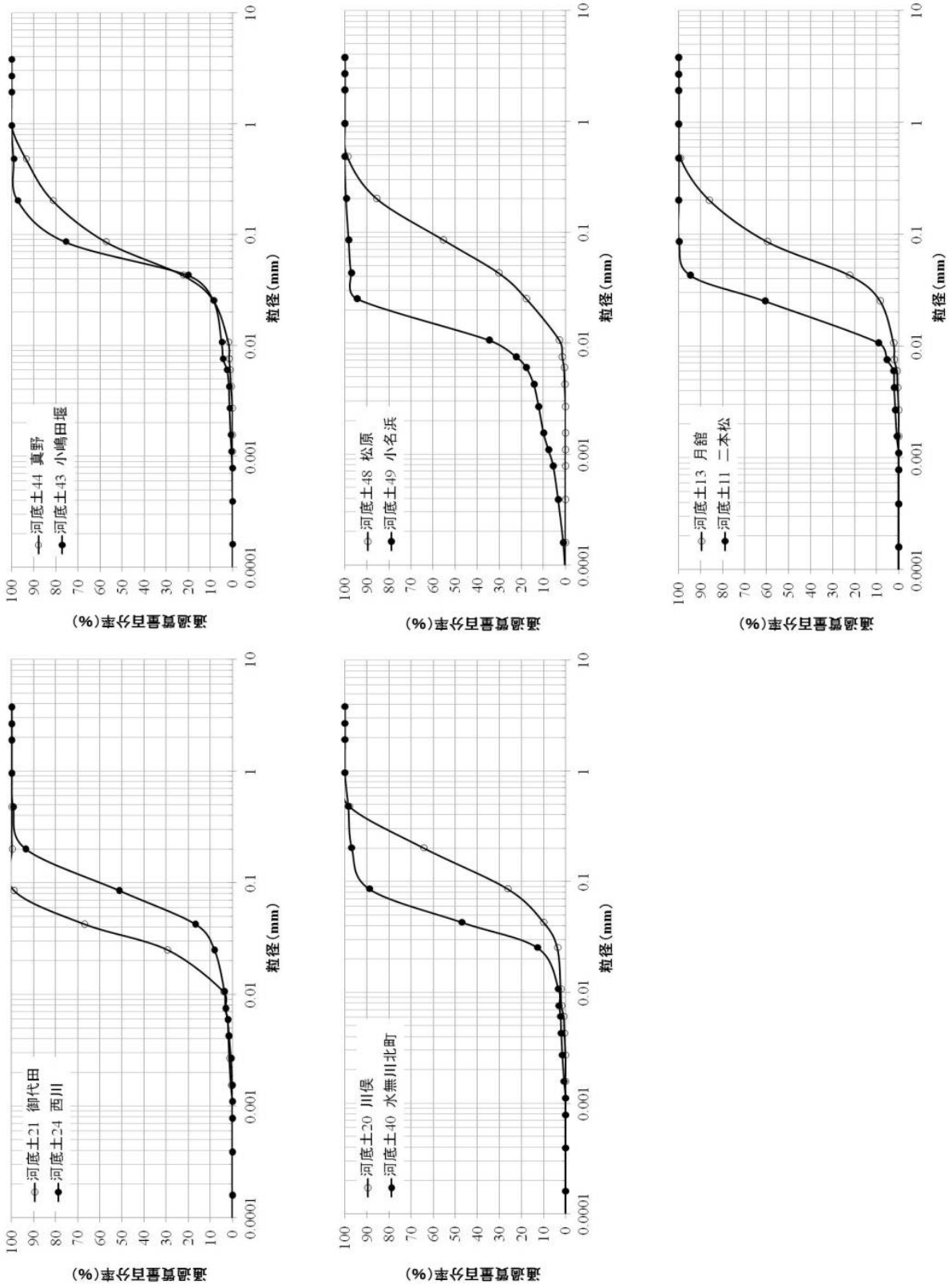


図 4. 3. 2-3 河底土試料の粒度分布の測定結果
 (第 2 次分布状況等調査 (第 3 回調査) : H23. 12. 21~22 採取)

4.3.3 浮遊砂の核種分析結果

① 浮遊砂におけるガンマ線放出核種の放射能濃度の測定結果

1) ヨウ素 131 の放射能濃度の測定結果

浮遊砂におけるヨウ素 131 の放射能濃度はいずれの試料も検出下限値以下であった（浮遊砂の核種分析結果は表 4.3.3-1 参照）。

2) 放射性セシウムの放射能濃度の測定結果

浮遊砂におけるセシウム 134 の放射能濃度は最大で 7,300 Bq/kg（平均：2,400 Bq/kg）、セシウム 137 の放射能濃度は最大で 9,700 Bq/kg（平均：3,200 Bq/kg）であった（表 4.3.3-1）。

また、第 1 回調査（平成 23 年 8 月）、第 2 回調査（平成 23 年 9 月）、及び第 3 回調査（平成 24 年 2 月）において浮遊砂中のセシウム 134、セシウム 137 の放射能濃度が検出下限値以上であった箇所について、各調査箇所における浮遊砂中のセシウム 134、セシウム 137 の放射能濃度の変化状況を確認した。その結果、図 4.3.3-1、図 4.3.3-2 に見られるように、ほとんどの調査箇所において、第 1 回調査、第 2 回調査の測定結果に比べて、第 3 回調査では浮遊砂中の放射性セシウムの放射能濃度が減少している傾向にあることが確認された。なお、試料 No. 20 の川俣で採取された浮遊砂試料については放射能濃度が第 2 回調査から第 3 回調査で増加していることが確認されたが、河川試料の採取時の環境の違い等の要因もあり、今後、継続的に放射能濃度の変化傾向を確認していくことが必要である。

3) その他の放射性核種の放射能濃度の測定結果

第 3 回調査では、試料 No. 40 の水無川北町においてのみ、浮遊砂から銀 110m が検出されていたが、第 1 回調査から次第に放射能濃度が減少している傾向にあることが確認された（表 4.3.3-1 参照）。

4) 浮遊砂の粒度分布の測定結果

第 3 回調査で得られた浮遊砂の粒度分布の測定結果を図 4.3.3-3 に示す。

表 4.3.3-1 浮遊砂試料中のヨウ素 131、セシウム 134、セシウム 137、その他の放射能濃度の測定結果

（第 1 次分布状況等調査（1 回目：H23.8.31～9.1 採取、2 回目：H23.9.26～27 及び H23.10.19 採取）、第 2 次分布状況等調査（3 回目：H24.2.24～26 採取）

No.	市町村名	マップ上の表記	平成23年8月31日、9月1日採取				平成23年9月26日、27日、10月18日採取				平成24年2月24日、25日、26日採取			
			I-131	Cs-134	Cs-137	その他	I-131	Cs-134	Cs-137	その他	I-131	Cs-134	Cs-137	その他
11	二本松市	二本松 ※1	不検出 (検出下限値:40)	11,000	13,000		不検出 (検出下限値:32)	6,400	7,800		不検出 (検出下限値:23)	3,200	4,400	
13	伊達市	月館(県) ※1	不検出 (検出下限値:37)	9,000	11,000		不検出 (検出下限値:25)	4,000	4,700		不検出 (検出下限値:26)	3,500	4,700	
20	川俣町	川俣 ※1	不検出 (検出下限値:34)	7,800	9,300	Ag-110m: 22	不検出 (検出下限値:29)	4,900	5,900		不検出 (検出下限値:28)	5,300	7,200	
21	郡山市	御代田 ※1	不検出 (検出下限値:21)	4,800	5,600		不検出 (検出下限値:16)	1,600	2,000		不検出 (検出下限値:53)	730	910	
24	須賀川市	西川 [西川(県)]	不検出 (検出下限値:33)	6,100	7,200						不検出 (検出下限値:15)	1,300	1,900	
40		水無川 北町 ※1	不検出 (検出下限値:47)	21,000	24,000	Ag-110m: 66	不検出 (検出下限値:39)	13,000	16,000	Ag-110m: 86	不検出 (検出下限値:34)	7,300	9,700	Ag-110m: 39
43	南相馬市	小島田郷 ※1	不検出 (検出下限値:32)	9,600	11,000	Ag-110m: 59	不検出 (検出下限値:36)	8,100	9,900	Ag-110m: 61	不検出 (検出下限値:29)	1,300	1,600	
44		真野 ※1	不検出 (検出下限値:89)	12,000	13,000		不検出 (検出下限値:41)	9,300	11,000	Ag-110m: 60	不検出 (検出下限値:51)	680	940	
48	いわき市	松原 ※1	不検出 (検出下限値:20)	1,000	1,200		不検出 (検出下限値:12)	670	810		不検出 (検出下限値:35)	280	360	
49		小名浜 ※1	不検出 (検出下限値:17)	960	1,100		不検出 (検出下限値:16)	1,200	1,400		不検出 (検出下限値:17)	490	590	

※1及び[]内は、観測所名

単位: Bq/kg

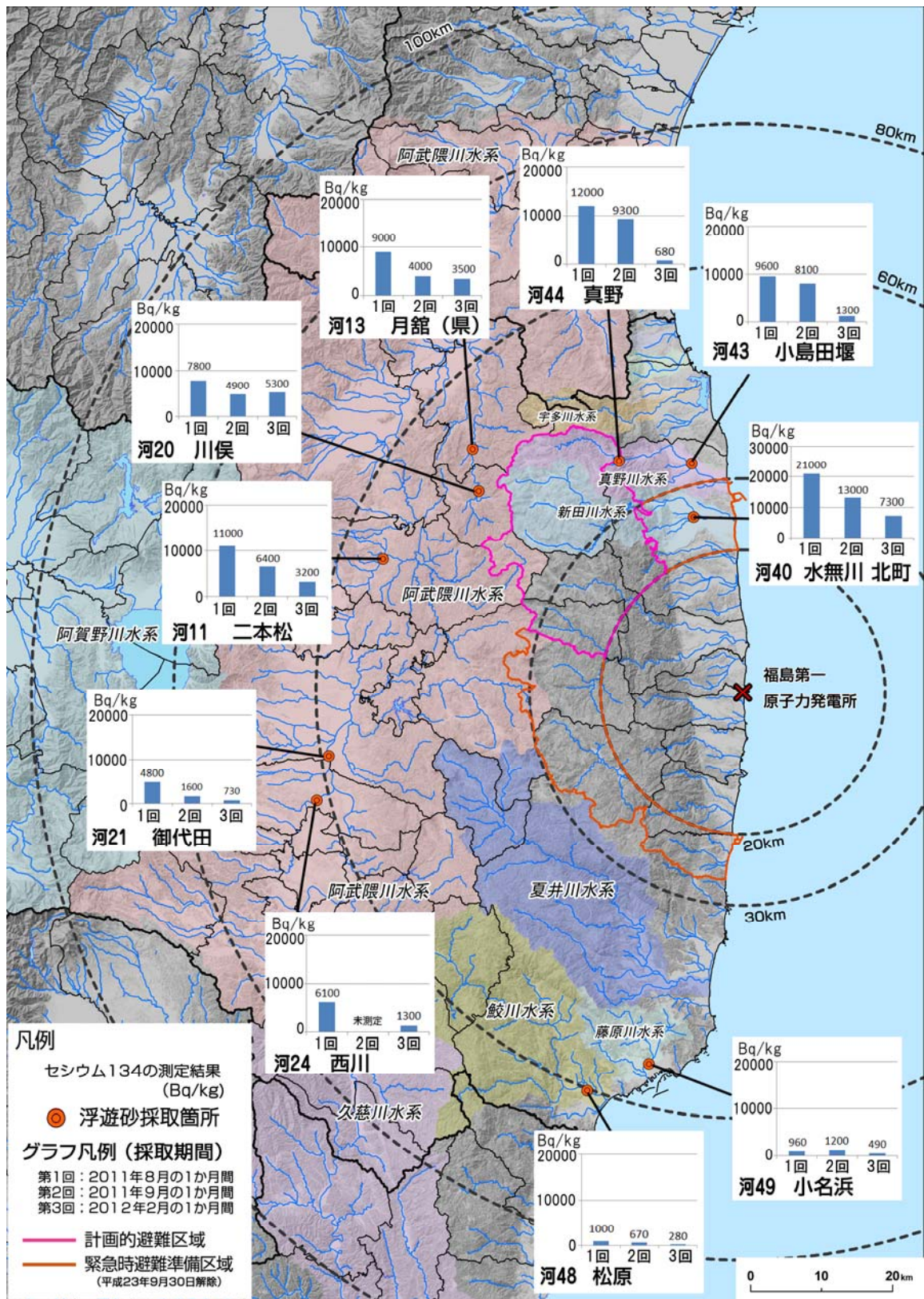


図 4. 3. 3-1 浮遊砂試料中のセシウム 134 の放射能濃度の変化
 (第 1 次分布状況等調査 (第 1 回) : H23. 8. 31~9. 1 採取、第 1 次分布状況等調査 (第 2 回) :
 H23. 9. 26~27、第 2 次分布状況等調査 (第 3 回) : H24. 2. 24~26 採取)

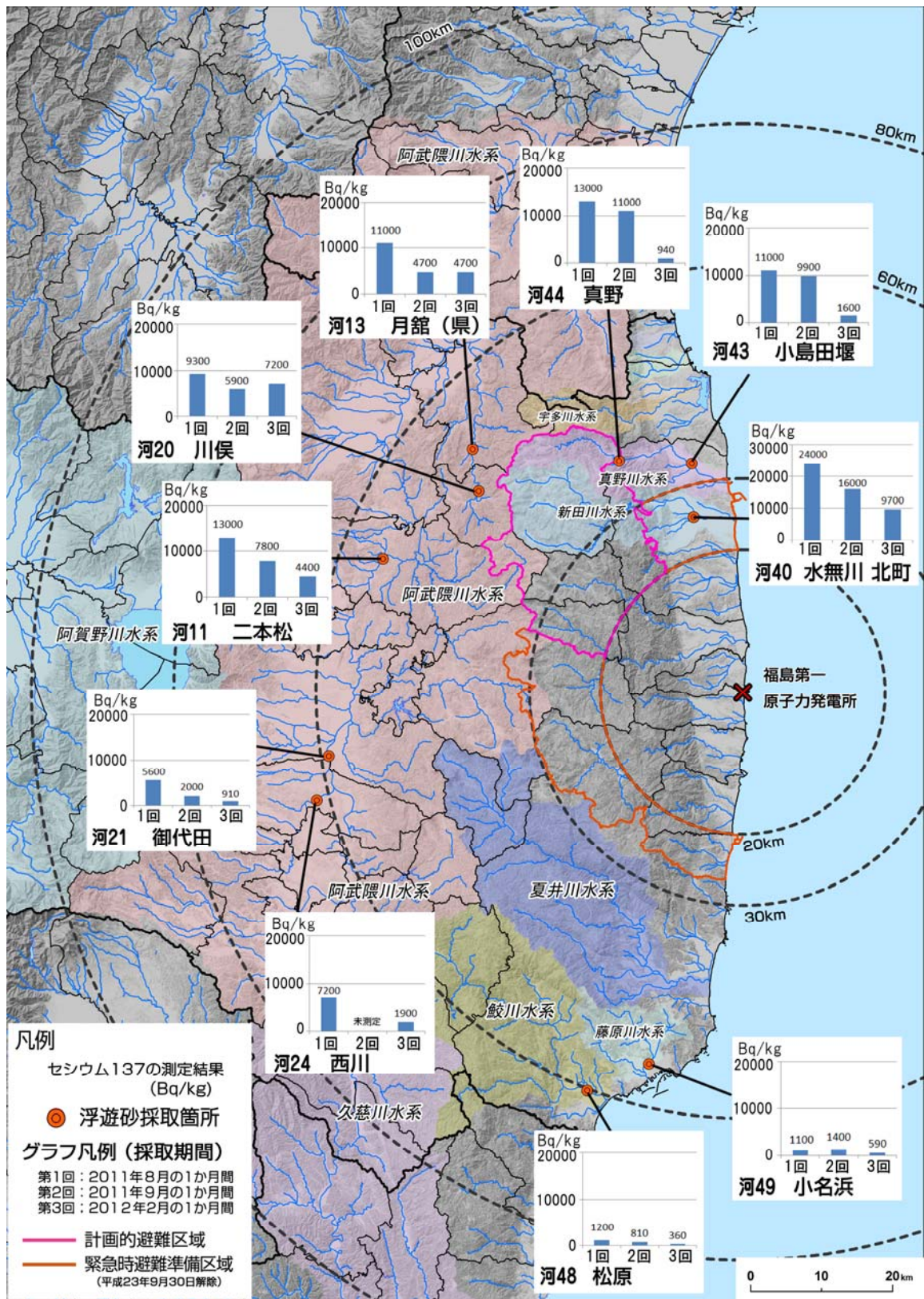


図 4. 3. 3-2 浮遊砂試料中のセシウム 137 の放射能濃度の変化
 (第 1 次分布状況等調査 (第 1 回) : H23. 8. 31~9. 1 採取、第 1 次分布状況等調査 (第 2 回) :
 H23. 9. 26~27、第 2 次分布状況等調査 (第 3 回) : H24. 2. 24~26 採取)

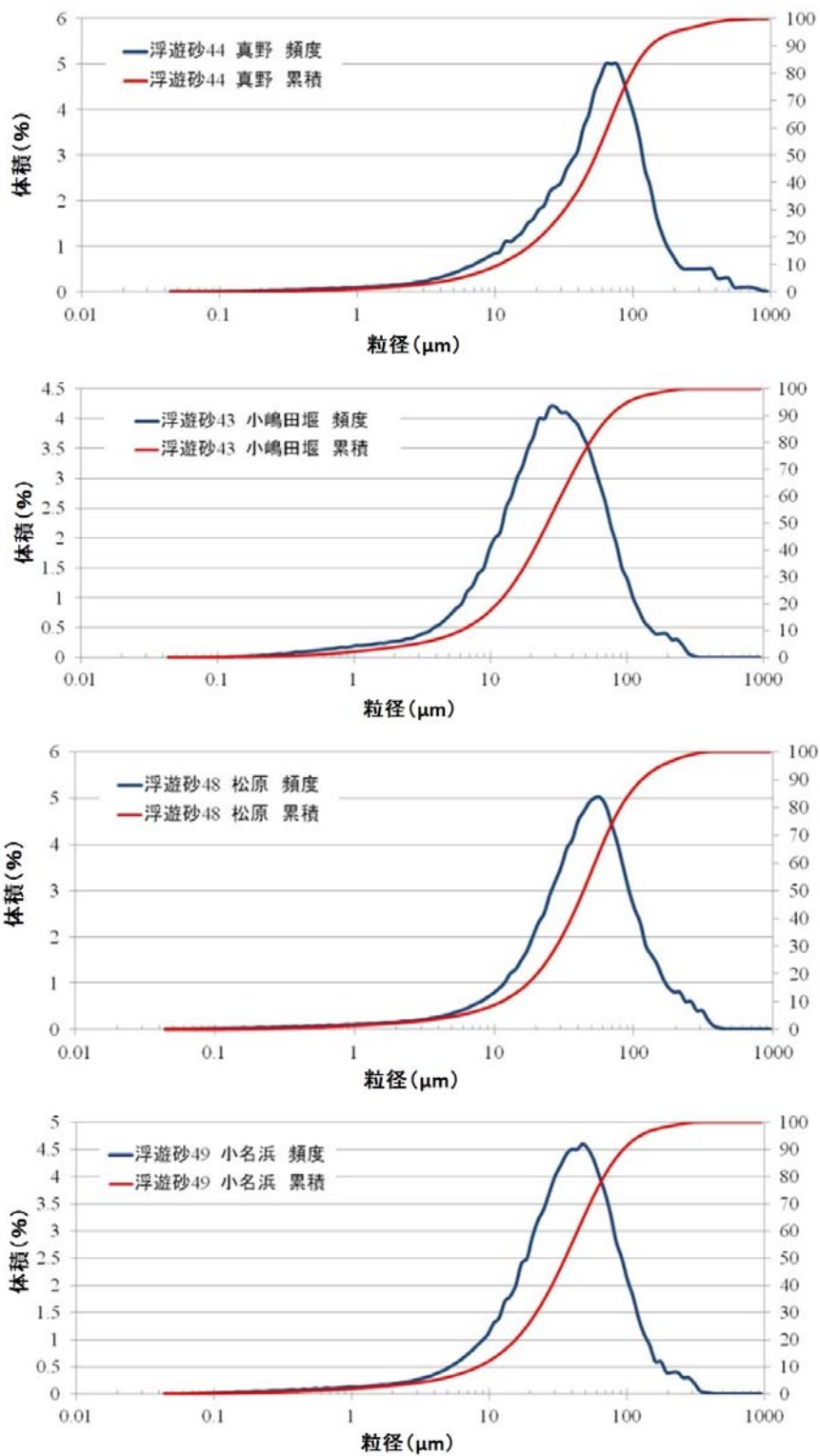


図 4.3.3-3 浮遊砂試料の粒度分布の測定結果 1/3
 (第 2 次分布状況等調査 (第 3 回調査) : H24. 2. 24~26 採取)

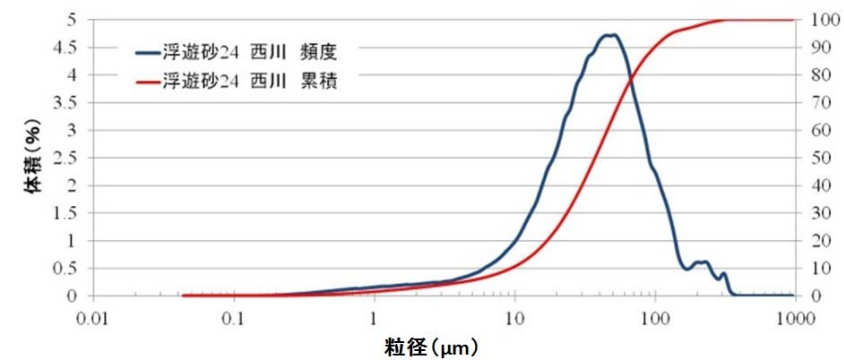
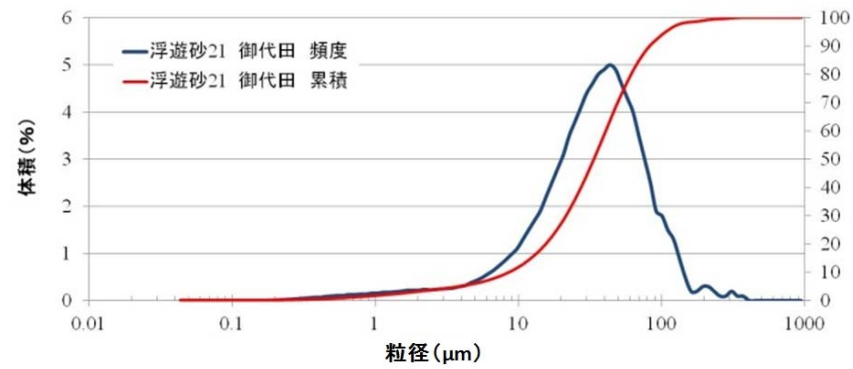
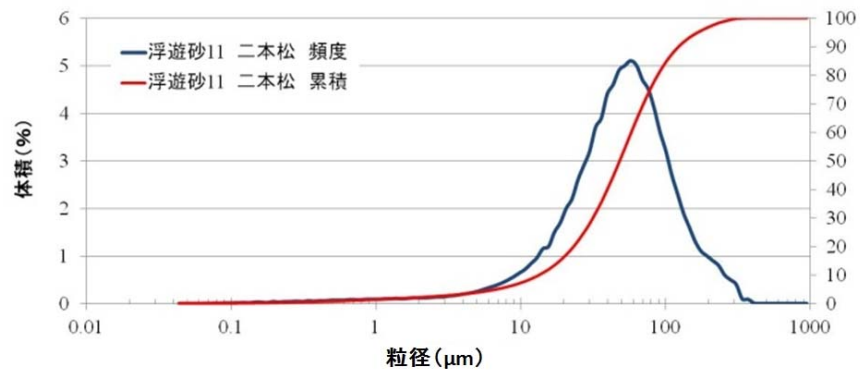
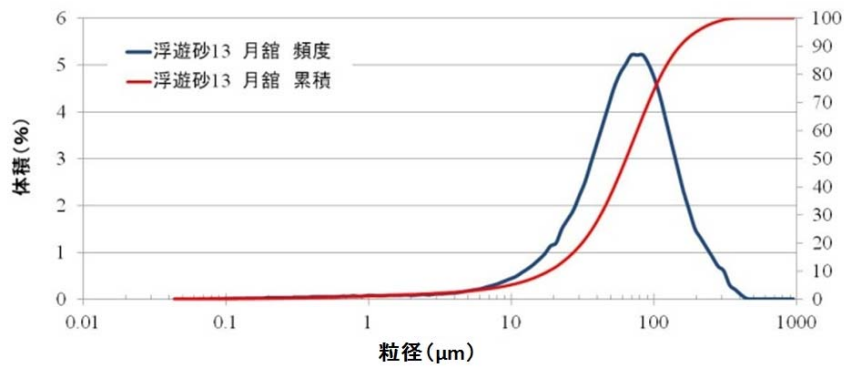


図 4.3.3-3 浮遊砂試料の粒度分布の測定結果 2/3
 (第 2 次分布状況等調査 (第 3 回調査) : H24. 2. 24~26 採取)

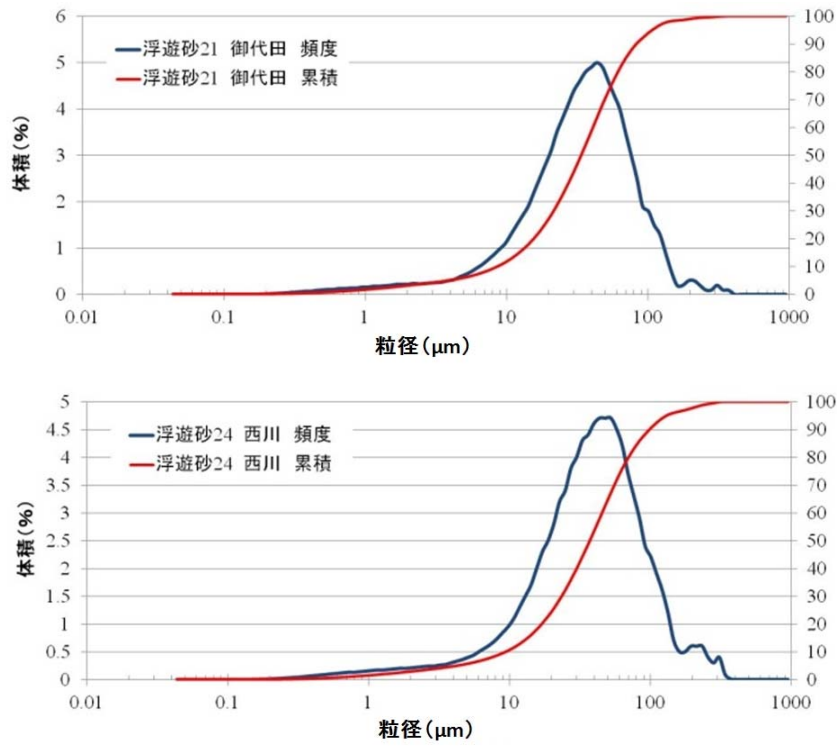


図 4. 3. 3-3 浮遊砂試料の粒度分布の測定結果 3/3
 (第 2 次分布状況等調査 (第 3 回調査) : H24. 2. 24~26 採取)

4.3.4 河川（河川水、河底土及び浮遊砂）における放射性セシウムの放射能濃度と、上流域土壌の放射性セシウムの放射能濃度の関係

土壌表面に沈着した放射性物質が河川へ移行することは福島第一原発の事故以前の調査結果から明らかである（Walling and Woodward 1992; Mizugaki et al. 2008）^{[4]、[5]}。また、第1次分布状況等調査の報告書では、各河川の上流域で採取された土壌の放射性セシウムの放射能濃度の平均値と河川水中の放射性セシウムの放射能濃度との間に正の相関関係があり、上流域の土壌の放射性セシウムの放射能濃度が高いと河川水中の放射性セシウムの放射能濃度が高くなることが確認されている。

そこで、河川上流域地表面への放射性セシウムの沈着量と河川の放射性セシウムの放射能濃度の相関関係を確認した。

① 河川水中の放射性セシウムの放射能濃度の変化傾向

土壌表面に沈着した放射性セシウムの河川水への流出状況を把握するため、上流域の土壌表面への放射性セシウムの沈着量には航空機モニタリングによる結果、また、河川水中の放射性セシウムの放射能濃度には第1回調査（平成23年6月）、第2回調査（平成23年8月）、及び第3回調査（平成23年12月）の結果を用いて、相関関係の変化状況について確認した。相関関係解析には、図4.2.3-1に示された地点で得たデータを用いた。相関関係の変化状況の確認にあたっては、上流域土壌表面の沈着量を可能な限り河川水を採取した時期にそろえるため、第1回調査、第2回調査の河川水の放射能濃度との比較には第3次航空機モニタリング（平成23年7月2日時点）の結果を、また、第3回調査の河川水の放射能濃度との比較には第4次航空機モニタリング（平成23年11月5日）の結果を用いた。なお、物理的減衰の効果による影響を無視するため、半減期が長いセシウム137の放射能濃度に着目した。

その結果、図4.3.4-1に示すように、第1回調査、第2回調査、及び第3回調査において測定された河川水中の放射能濃度と航空機モニタリングによる地表面へのセシウム137の沈着量には良い相関があり、その傾きも、第1回調査及び第2回調査の調査に比べて、第3回調査では減少していることが確認された。このことから、第1回調査及び第2回調査に比べて第3回調査では、地表面から河川中に流出する放射性セシウムの放射能濃度が減少していることが示唆される。

② 河底土中の放射性セシウムの放射能濃度の変化傾向

河底土についても同様に、上流域の土壌表面に沈着した放射性セシウムの河底土への沈着状況を把握するため、航空機モニタリングによる放射性セシウムの沈着量と河底土中の放射性セシウムの放射能濃度との相関関係の変化状況について確認した。第1次分布状況等調査において、土壌粒子の粒径の違い（比表面積の違い）により、放射性セシウムの放射能濃度は異なってくることを確認されているため、河底土中の放射性セシウムの放射能濃度は河底土の比表面積の違いにより補正する必要がある。ある特定の箇所では採取された河底土の比表面積とその他の調査箇所では採取された河底土の比表面積との関係には、以下のような式^{*1}が適用される。基準には、土壌粒子の直径が0.1mm以上の土壌粒子が大半を占める試料No.44の真野の土壌試料における比表面積を用い、比表面積の違いごとに他の調査箇所の河底土試料の放射性セシウムの放射能濃度を規格化した。

※1： $P = (Sms/Sa1)^V$

P：粒度補正係数、Sms及びSa1はそれぞれの調査箇所では採取された河底土の比表面積及び特定の箇所では採取された河底土の比表面積。比表面積は、河底土が球形の土壌粒子で構成されていると仮定して、河底土の粒度分布から算出した見かけ上の比表面積。Vはべき乗の関数で、第1次分布状況等調査時と同様に、イギリスのHe and Walling^[6]の調査結果か

ら 0.65 を使用した。

その結果、図 4.3.4-2 に示すように、第 1 回調査、第 2 回調査、及び第 3 回調査における調査で測定された河底土中の放射能濃度と航空機モニタリングによる地表面へのセシウム 137 の沈着量には相関があり、その傾きも、第 1 回調査及び第 2 回調査に比べて、第 3 回調査では減少していることが確認された。このことから、第 1 回調査及び第 2 回調査に比べて第 3 回調査では、地表面から河川中に流出する放射性セシウムの放射能濃度が減少していることが示唆される。

③ 浮遊砂中の放射性セシウムの放射能濃度の変化傾向

浮遊砂についても同様に、上流域の土壌表面に沈着した放射性セシウムの浮遊砂への沈着状況を把握するため、航空機モニタリングによる放射性セシウムの沈着量と浮遊砂中の放射性セシウムの放射能濃度との相関関係の変化状況について確認した。

その結果、図 4.3.4-3 に示すように、第 2 回調査では、浮遊砂中の放射性セシウムの放射能濃度と航空機モニタリングによる地表面へのセシウム 137 の沈着量には良い相関があったが、第 3 回調査では明確な相関は確認できなかった。

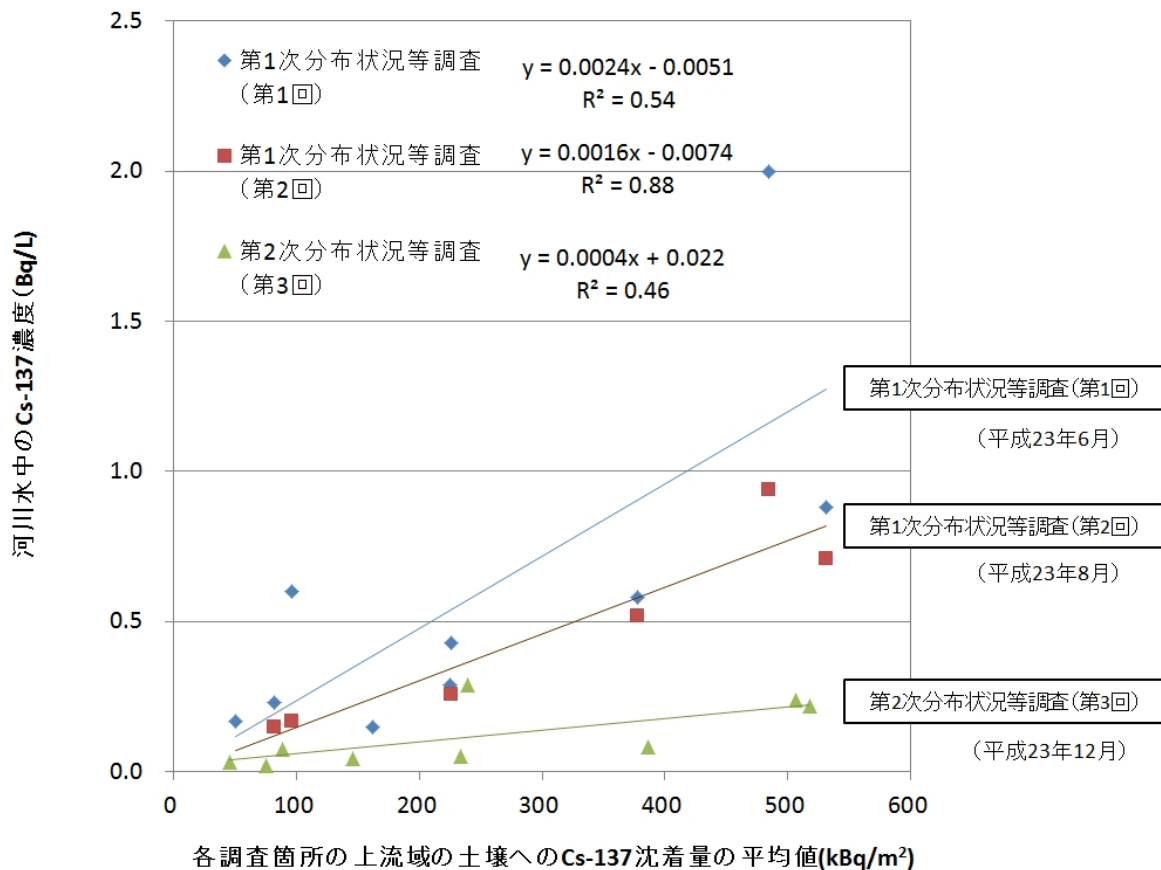


図 4.3.4-1 河川水試料中のセシウム 137 の放射能濃度 (Bq/L) と各調査箇所の上流域の土壌への放射性セシウムの沈着量 (kBq/m²) (平均値) との関係の変化状況 (セシウム 137 の沈着量は航空機モニタリングの測定結果を使用)

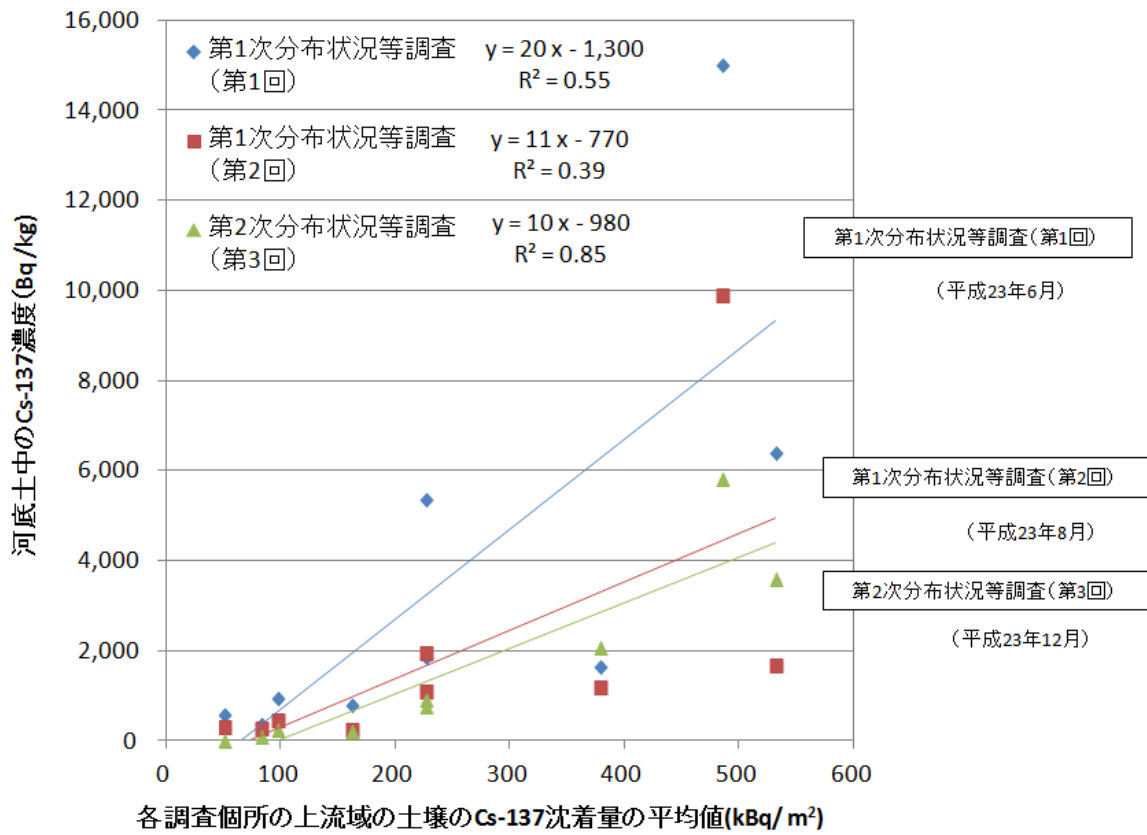


図 4. 3. 4-2 河底土試料中のセシウム 137 の放射能濃度 (Bq/kg) と各調査箇所の上流域の土壌への放射性セシウムの沈着量 (kBq/m²) (平均値) との関係の変化状況 (セシウム 137 の沈着量は航空機モニタリングの測定結果を使用)

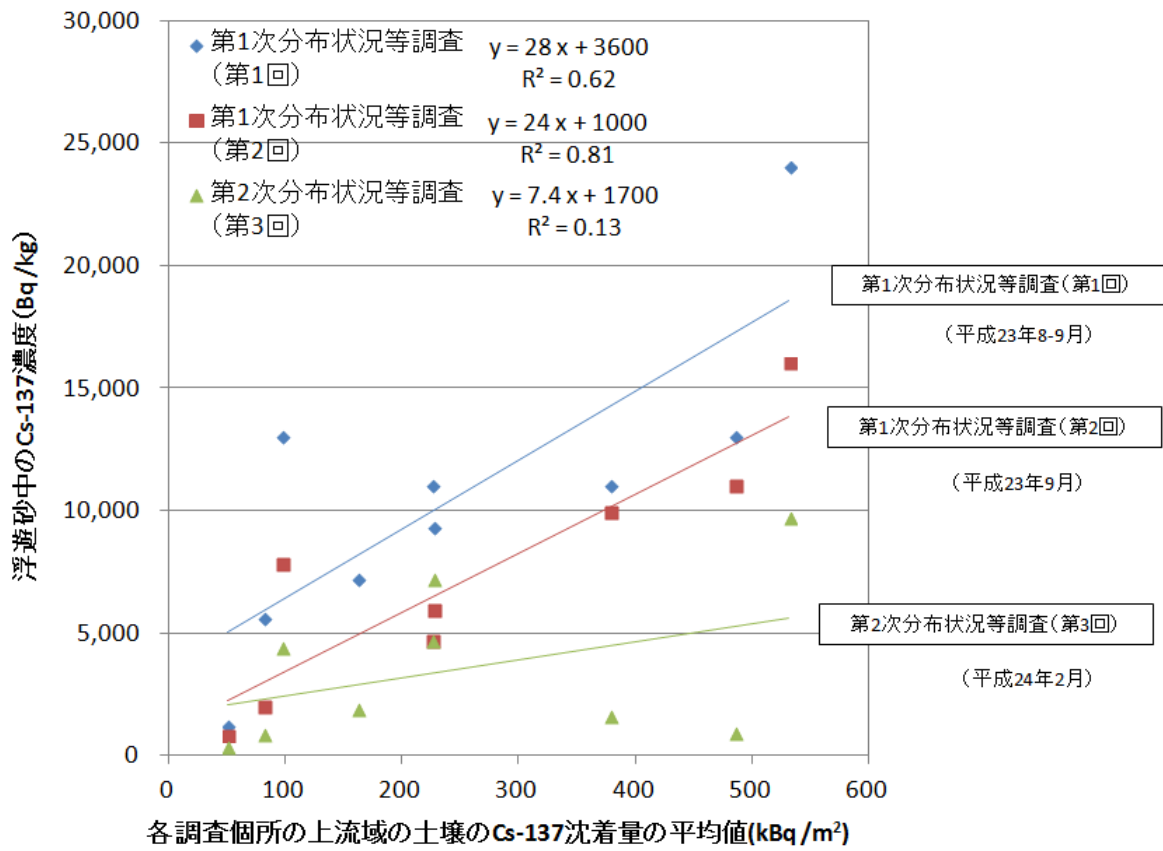


図 4. 3. 4-3 浮遊砂試料中のセシウム 137 の放射能濃度 (Bq/kg) と各調査箇所の上流域の土壤への放射性セシウムの沈着量 (kBq/m²) (平均値) との関係の変化状況 (セシウム 137 の沈着量は航空機モニタリングの測定結果を使用)

4.4 考察

4.4.1 全体的な考察

本調査は、平成23年6月期における第1次分布状況等調査に引き続き、第1次分布状況等調査時と同じ調査箇所（河川試料（河川水、河底土、及び浮遊砂））を採取、放射能濃度を測定することで、時間の経過に伴う河川の放射能濃度の変化状況を確認することを目的に調査を実施した。その結果、第1次分布状況等調査では梅雨前後で河川の放射能濃度の明確な変化は確認されなかったものの、平成23年12月からの第3回調査においては、ほとんどの調査箇所（河川水）で放射能濃度が減少傾向にあることが確認された。

しかし、約半年と言う短い期間において、いくつかの調査箇所（河川水）で放射能濃度が増加しており、河川における放射性物質の放射能濃度の変化傾向を詳細に確認するためには、今後も長期的に調査を実施することが必要である。

4.4.2 本測定結果に関する考察

（河川水中の放射性セシウムの放射能濃度に関する考察）

本調査で検出された、河川水の放射性セシウムの放射能濃度は、河川水においては、セシウム134の放射能濃度は最大で3.3 Bq/kg、セシウム137の放射能濃度は最大で4.2 Bq/kgであった。この河川水を直接、飲用することは考えられないが、いずれも厚生労働省告示第370号「食品、添加物等の規格基準」による新たな基準値10 Bq/kgよりも小さいことが確認された。

（河川水中の放射性セシウム、放射性ストロンチウムの放射能濃度に関する考察）

本調査において、ストロンチウム89の放射能濃度はいずれの試料でも検出下限値以下であったが、いくつかの調査箇所において、河川水試料から検出下限値以上のストロンチウム90が検出された。なお、このストロンチウム90について影響を確認するため、直接、河川水を飲用することは考えられないが、仮に、このストロンチウム90の放射能濃度の最高値が検出された河川水を1年間飲み続けた場合に生じる内部被ばく量について計算^{※2}したところ、放射性セシウムの放射能濃度の最高値が検出された河川水を1年間飲み続けた場合に生じる内部被ばく線量と比べて、非常に低いことが確認された。

※2：計算条件：原子力安全委員会 原子力発電所等周辺防災対策専門部会 環境ワーキンググループ「飲食物摂取制限に関する指標について」より1日の水分の摂取量は1.65リットル（成人の1日当たり摂取量）を、また、同指標より単位経口摂取当りの線量（mSv/Bq）には次の成人の数値を使用した（ストロンチウム90： 2.8×10^{-5} mSv/Bq、セシウム134： 1.9×10^{-5} mSv/Bq、セシウム137： 1.3×10^{-5} mSv/Bq）を用いて計算

（参考1）

本調査においてストロンチウム90の最高値が検出された河川水を1年間飲み続けた場合に生じる内部被ばく線量

① 河川水中のストロンチウム90： 1.1×10^{-4} mSv

（参考2）

本調査においてセシウム134、セシウム137の最高値が検出された河川水を1年間飲み続けた場合に生じる内部被ばく線量

① 河川水中のセシウム134： 3.8×10^{-2} mSv

② 河川水中のセシウム137： 3.3×10^{-2} mSv

第1次分布状況等調査時と同様に、放射性セシウムが含まれる河川水を1年間飲み続けた場合の放射性セシウムによる内部被ばく線量に比べて、放射性ストロンチウムが含まれる河川水や井戸水を1年間飲み続けた場合の放射性ストロンチウムによる内部被ばく線量が非常に小さいことを考慮すると、今後の被ばく線量評価の観点においては、河川水についても土壌と同様に、放射性セシウムの放射能濃度に着目していくことが適切であると考えられる。

4.4.3 河川水の放射能濃度の測定結果に対する考察

本調査では、放射能濃度は低いものの、いくつかの河川水試料から放射性セシウム及び放射性ストロンチウムが一定量検出されていることから、第1次分布状況等調査時と同様に、土壌等に沈着した放射性セシウムや放射性ストロンチウムは河川に移行していることが確認された。

なお、河川水に含まれるセシウム137の放射能濃度に対するストロンチウム90の放射能濃度の比率について着目すると、平成23年6月期に調査が実施された第1次分布状況等調査時に比べて、平成23年12月から平成24年2月まで調査が実施された第2次分布状況等調査時では平均で2倍程度になっていることが確認された。この要因の一つとしては、放射性ストロンチウムが放射性セシウムに比べて土壌から水に溶出しやすいことによるものと考えられる。

(参考)

- 第2次分布状況等調査における河川水中のセシウム137の放射能濃度に対するストロンチウム90の放射能濃度の比率： $3.2 \times 10^{-3} \sim 2.8 \times 10^{-2}$ （平均： 1.9×10^{-2} ）
- 第1次分布状況等調査における河川水中のセシウム137の放射能濃度に対するストロンチウム90の放射能濃度の比率： $3.3 \times 10^{-3} \sim 2.8 \times 10^{-2}$ （平均： 8.7×10^{-3} ）
- 上流域の土壌表面に沈着したセシウム137の放射能濃度に対するストロンチウム90の放射能濃度の比率： $1.6 \times 10^{-4} \sim 5.8 \times 10^{-2}$ （平均： 2.6×10^{-3} ）

4.4.4 河川（河川水、河底土及び浮遊砂）における放射性セシウムの放射能濃度の変化傾向に関する考察

土壌表面に沈着した放射性核種が河川へ移行することは福島第一原発の事故前の調査結果から明らかである（Walling and Woodward 1992; Mizugaki et al. 2008）^{[4]、[5]}。また、特定の河川試料の採取箇所より上流域の放射性セシウムの沈着量と特定の河川試料の採取箇所でも得られた河川試料の放射能濃度との間に相関関係があることは第1次分布状況等調査時において確認されている。

そこで、各河川試料（河川水、河底土及び浮遊砂）の採取箇所より上流域の放射性セシウムの沈着量と各採取箇所でも得られた河川試料の放射能濃度と相関関係から得られる傾きについて、平成23年6月期の第1回調査時から、第3回調査（平成23年12月から実施）にかけてどのように変化したかを確認した。

その結果、河川水、河底土については、一部の調査箇所において相関関係からずれる箇所はあったものの、概ねほとんどの調査箇所でも採取された河川水、河底土試料の放射性セシウムの放射能濃度と河川水、河底土の採取箇所より上流域の放射性セシウムの沈着量の平均値との間に正の相関があり、この傾きについても第1回調査時から第3回調査にかけて減少していることが確認された。

一方、浮遊砂については、第1次分布状況等調査（第1回調査及び第2回調査）において浮遊砂採取箇所の上流域の放射性セシウムの沈着量の平均値と各調査箇所における浮遊砂の放射性セシウムの放射能濃度との間に正の相関が確認されたが、第3回調査では、明確な相関関係が確認できなかった。

これらのことから、河川水、河底土試料については、各調査箇所の上流域において土壌侵食によって生産された土砂が河川内に流下してきていたものと考えられ、平成23年6月期の第1回調査時に比べて、平成23年12月から平成24年2月まで実施された第3回調査時では降雨等に伴う河川への土壌の流出量が少ないことから、各調査箇所の河川水、河底土試料の放射性セシウムの放射能濃度が減少したものと考えられる。また、第1次分布状況等調査時（第1回調査及び第2回調査）と平成23年12月から平成24年2月まで実施された第3回調査時に採取された河底土の粒度分布を見ると、表4.4.4-1に見られるように、第3回調査では全体的には、粒径が大きく異ならない。したがって平均的濃度は、測定時の濃度を用いて比較は可能となるが、個別の調査箇所の比較については、時期によって粒度が異なることも有るため、従来通り粒度補正が必要と考えられる。

上記のように、河川中の放射能濃度の変化要因として、降雨等の違いに伴う土砂流出量の違いや土壌流出起源の違いによる影響が考えられることから、河川中の放射性セシウムの放射能濃度の変化傾向の確認のためには、今後も同一の調査箇所でも河川の放射能濃度を測定し、その変化傾向を詳細に確認していくことが必要である。

表 4.4.4-1 第1次分布状況等調査及び第2次分布状況等調査における河底土試料の粒度分布の変化状況

	採取時期	土壌試料の粒度分布	土壌試料の平均粒度
第1次分布状況等調査 (第1回)	平成23年6月29日 ～7月1日	河底土： 0.001～19 mm	河底土： 0.68 mm
第1次分布状況等調査 (第2回)	平成23年8月1日 ～8月2日	河底土： 0.013～9.5 mm	河底土： 0.64 mm
第2次分布状況等調査 (第3回)	平成23年12月20日 ～12月21日	河底土： 0.001～9.5 mm	河底土： 0.65 mm

4.4.5 河川水中に含まれる放射性セシウムの放射能濃度と河底土及び浮遊砂に含まれる放射性セシウムの放射能濃度の関係

平成23年6月期に実施された第1回調査では、河川水中の放射性セシウムの放射能濃度と河底土の放射能濃度の間に正の相関が確認された。そこで、第3回調査でも同様の状況にあるか確認したところ、第3回調査においては図4.4.5-1に示すように、河川水中の放射性セシウムの放射能濃度と河底土の放射能濃度の間には弱い正の相関は確認できた。河底土の放射能濃度を基に河川水の放射能濃度を予測することは困難になってきたことが確認された。この相関係数は、平成23年6月期に実施された第1回調査時に比べて減少している傾向が確認された。この要因としては、全般的に河川水の放射能濃度が低下したことに伴い、検出下限値以上の河川試料数が減ったことが要因の一つとして考えられる。また、本調査では河川水試料の放射性セシウムの放射能濃度の測定にあたって、河川水をろ過せずにそのまま分析しており、採取環境による影響の違いが考えられること、また、河川水と河底土の放射能濃度の詳細な相関関係を確認するには、まだ、サンプル数が少ないことから、今後、河川水試料をろ過するとともに、サンプル数を増やすことで、河川水と河底土の放射能濃度の詳細な相関関係が確認できるものとする。

なお、河川水試料と浮遊砂試料中に含まれる放射性セシウムの放射能濃度の相関を確認したところ、図 4.4.5-2 に示すように、河川水試料と河底土試料との相関関係に比べて相関関係が低いことが確認されている。この状況からも、河川水、河底土については、河川に流入した土砂に含まれる放射性セシウムが河川水及び河底土間で平衡状態となり、その際の分配係数によってそれぞれの試料の放射性セシウムの放射能濃度が決定される可能性があるが、浮遊砂中の放射性セシウムの放射能濃度については、河川水との分配係数により規定されるというより、河川内に流入する土砂の起源の違いに規定されている可能性が示唆された。

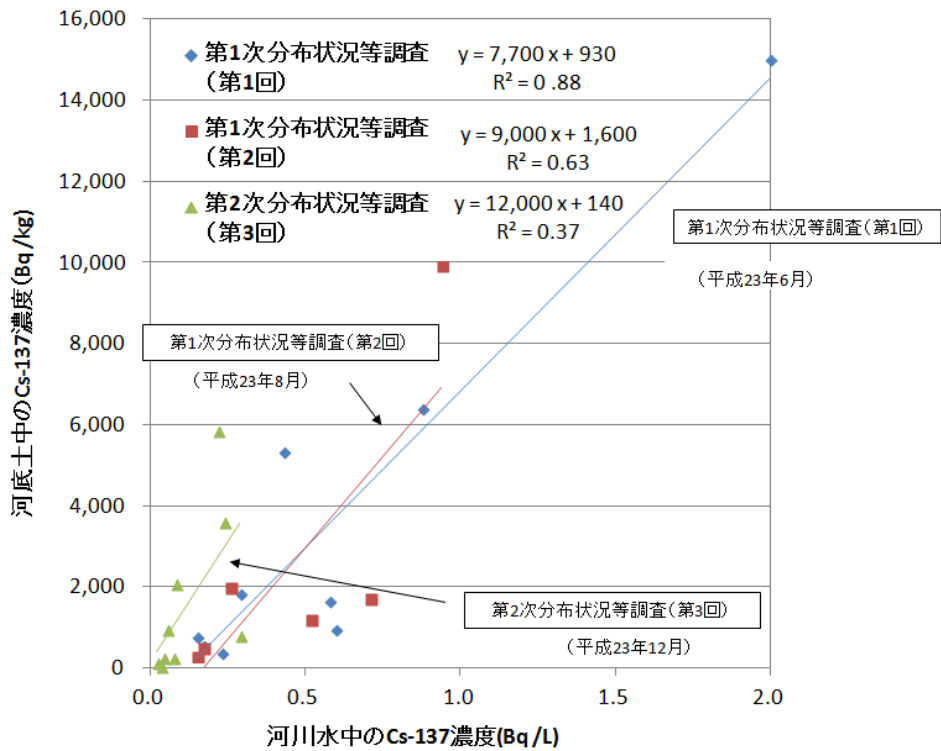
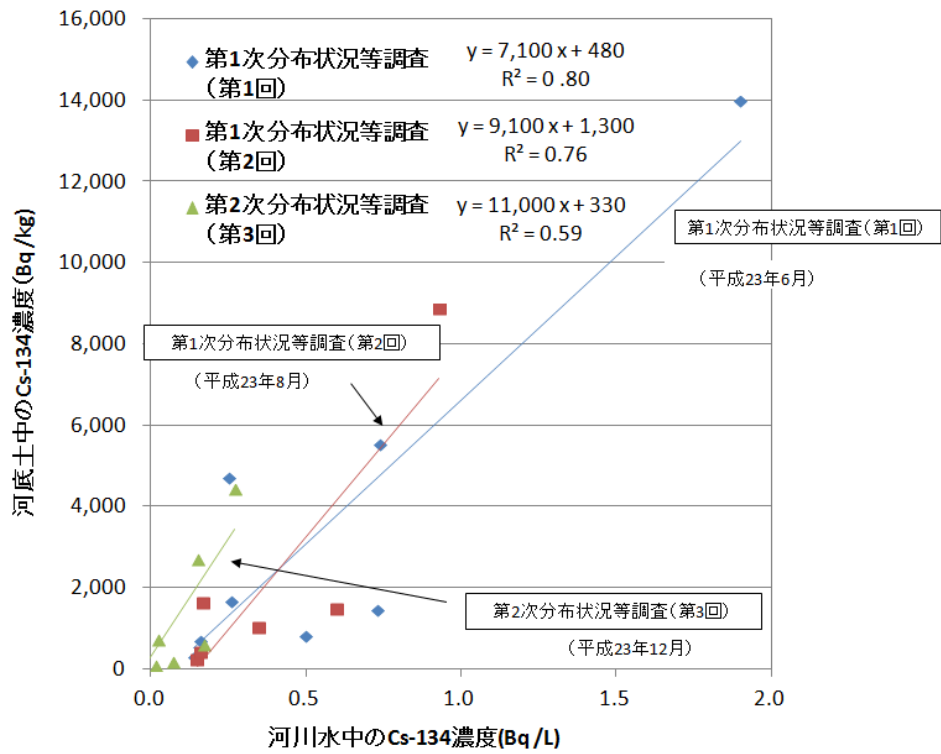


図 4. 4. 5-1 河川水試料中の放射性セシウム濃度と河底土試料中の放射性セシウム濃度との関係

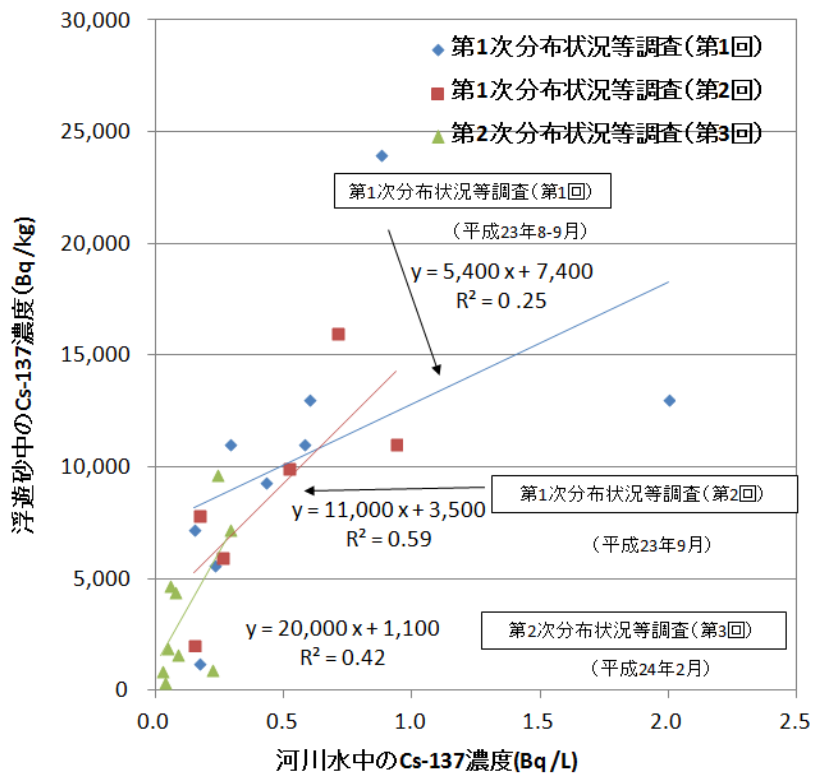
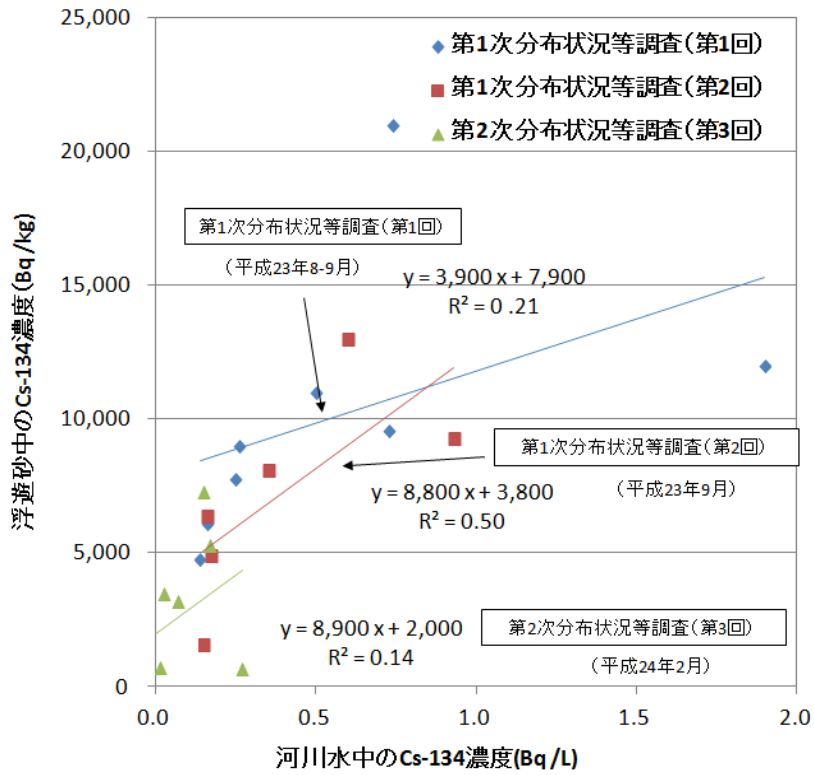


図 4. 4. 5-2 河川水試料中の放射性セシウムの放射能濃度と浮遊砂試料中の放射能濃度との関係

参考文献

- [1] Phillips JM, Russell MA, Walling DE. (2000) Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: A simple methodology for small catchments. *Hydrological Processes* 14: 2589-2602.
- [2] 古賀聡子・恩田裕一・飯島英夫. (2004) 長期浮遊砂サンプリングのための簡易サンプラーの実験的検証. 筑波大学陸域環境研究センター報告 5: 109-114.
- [3] 小山内信智・水野秀明・沖中健起・原楨利幸. (2005) Time-integrated sampler の浮遊砂採取効率に関する水路実験. 国土技術政策総合研究所資料 266: 74 pp.
- [4] Walling, D.E., Woodward, J.C. (1992) Use of radiometric fingerprints to derive information on suspended sediment sources. *Proceedings of "Erosion and Sediment Transport Monitoring Programs in River Basins"*, IAHS Publ., 210, 153-164.
- [5] Mizugaki, S., Onda, Y., Fukuyama, T., Koga, S., Asai, H., Hiramatsu, S. (2008) Estimation of suspended sediment sources using ^{137}Cs and ^{210}Pb in unmanaged Japanese cypress plantation watersheds in southern Japan. *Hydrological Processes* 23, 4519-4531.
- [6] He Q, Walling DE. (1996) Interpreting particle size effects in the adsorption of Cs-137 and unsupported Pb-210 by mineral soils and sediments. *Journal of Environmental Radioactivity* 30: 117-137.