

平成 1 7 年 度

環境試料中のストロンチウム調査報告書

平成 1 8 年 3 月

福 島 県 原 子 力 セ ン タ ー

はじめに

福島県は、現在東京電力株式会社福島第一原子力発電所 6 基、東京電力株式会社福島第二原子力発電所 4 基の、合計 10 基の原子炉が稼働する日本でも有数の電力供給地です。当センターは発足当初より原子力発電所周辺環境放射能の測定・監視を実施してきました。これまでの測定において検出された放射能のレベルは十分低く、生活環境上の問題となるようなものではありませんでした。しかし、放射能に対する不安や東京電力株式会社における一連のトラブル隠し等による原子力発電所に対する不信感から、原子力行政に対する県民の関心は高く、大きな期待が寄せられています。

福島県ではそれまでの原子力センターによる監視に加え、平成 7 年度に衛生公害研究所（現衛生研究所）に環境放射能分析棟を整備し、プルトニウムやストロンチウムなどの放射性物質の化学分析や原子力発電所立地地域の特産品の放射能測定等を行い、平成 13 年度からは当該環境放射能分析棟を組織改編により原子力センター福島支所としました。

福島支所では、環境放射能に関する調査研究も行っており、平成 8 年度から平成 10 年度にかけては食品摂取量調査、平成 11 年度から平成 13 年度にかけては環境試料中のプルトニウム調査、平成 14 年度から平成 16 年度にかけては環境試料中のトリチウム調査を実施しており、今回は平成 17 年度から平成 19 年度にかけて環境試料中のストロンチウム調査を実施することとしました。

ここに、平成 17 年度に実施した福島県内全域の表層陸土におけるストロンチウムの実態調査の結果をまとめました。本書が福島県内におけるストロンチウムの資料として有効に活用されれば幸いです。

最後に、本調査の実施に当たりご協力いただいた関係各位に対し、深く感謝申し上げます。

平成 18 年 3 月

福島県原子力センター

所長 澤田 貞

目 次

1	目的	1
2	調査対象	1
2.1	対象試料	
2.2	測定項目	
2.3	試料調整	
3	測定方法	5
3.1	土壌中の Sr-90 濃度の測定	
3.2	土壌中の Cs-137 濃度の測定	
3.3	土壌中の水分の測定	
3.4	土壌の強熱減量の測定	
3.5	土壌の pH 測定	
3.6	土壌の粒径組成測定	
3.7	土壌中の Ca 濃度の測定	
4	結果と考察	7
4.1	測定結果	
4.2	福島県内における Sr-90 濃度のレベル	
4.3	Sr-90 濃度と地域性	
4.4	気象条件が Sr-90 濃度に及ぼす影響	
4.5	土質と Sr-90 濃度	
4.6	Sr-90 濃度と Cs-137 濃度の関係	
5	まとめ	21
	参考文献	22

1 目的

核実験及び原子炉内での核分裂により生成した放射性核種の中には、環境中に放出された場合に被ばくの原因となるものが多くある。その中でも放射性ストロンチウムはカルシウムと化学的性質が似ているため、人体に摂取されると骨に取り込まれる比率が体の他の部位に比べて高いといわれている¹⁾。特にストロンチウム 90 は半減期が約 30 年と比較的長く、長期的な内部被ばくの原因となるため、重要なモニタリング項目である。

本県では福島県原子力発電所周辺環境放射能測定基本計画（以下、「測定計画」という。）に基づき、平成 8 年度から環境試料中のストロンチウム 90 濃度について測定を行っている。その結果環境安全上問題となるような濃度ではないが、ストロンチウム 90 は土壤、農畜産物等から検出されている²⁾。このことから、環境中のストロンチウム 90 の動向を把握することは被ばく管理上きわめて重要であるといえる。

一方、これまでの測定計画に基づくストロンチウム 90 の調査では、原子力発電所周辺地域以外での測定は限られた地点のみで行っていたため、県内全域のストロンチウム 90 の濃度の把握には至っていない。また、ストロンチウム 90 は降下物から土壤に蓄積し、その後は土壤を起点として植物、地下水等の環境中に移動していくと考えられる³⁾ ことから、ストロンチウム 90 の挙動を把握する上で、土壤深度や植物による吸収等多くの面から検討していく必要がある。

以上のことから、県内全域におけるストロンチウム 90 の実態を把握すると共に、被ばく管理上の知見を得るために、環境中のストロンチウム調査を 3 ヶ年計画で実施することとした。

初年度である平成 17 年度には、県内全域において、ストロンチウム 90 の移動の起点である表層土壤中のストロンチウム 90 濃度の実態及びストロンチウム 90 の土壤中における挙動を明らかにすることを目的として調査を行った。あわせて、ストロンチウム 90 と気象条件、地域性、土質及びセシウム 137 等との関連についても検討したので報告する。

2 調査対象

2.1 対象試料

対象試料は表層陸土（以下、「土壤」という。）とし、採取地点は表 1 及び図 1 に示した。試料採取地点は、人が日常的に立ち入る場所またはその周辺から選定した。特に、過去に土壤とともに対象核種であるストロンチウム 90（以下「Sr-90」という。）が移動した可能性のある場所を避け、客土、切り土、耕作等の人為的な土壤の移動が長期間ない場所とした。地点数は、県内を 7 つの地域に分け、その面積比に応じて算出し、県北地域 6 地点、県中地域 9 地点、県南地域 6 地点、会津地域 11 地点、南会津地域 8 地点、相双地域 9 地点、いわき地域 4 地点の合計 53 地点とした。なお、図 1 において白地図上に示した番号は、表 1 の番号に対応している。

表 1 試料採取地点一覧

地点番号	地域	地点名	所在地	土地の状況
1	県北	大鳥城跡	福島市飯坂町	公園
2		松蔵寺	伊達郡国見町大字小坂	神社仏閣旧跡
3		夏無沼	安達郡東和町大字針道※	公園
4		フォレストパークあだたら	安達郡大玉村大字玉井	山林
5		霞ヶ城	二本松市郭内	神社仏閣旧跡
6		霊山こどもの村	伊達郡霊山町大字石田※	山林
7	県中	休石温泉付近	郡山市蓬瀬町多田野	山林
8		藤沼湖自然公園	須賀川市江花	山林
9		羽鳥湖畔オートキャンプ場	岩瀬郡天栄村大字羽鳥	山林
10		小栗山観音堂	岩瀬郡鏡石町小栗山	神社仏閣旧跡
11		母畑温泉付近	石川郡石川町大字湯郷渡	神社仏閣旧跡
12		越代の桜公園	石川郡古殿町大字大久田	草地
13		館公園	田村市常葉町大字常葉	山林
14		子安神社	田村市都路町古道	神社仏閣旧跡
15		ザクの磨崖三十三観音	郡山市田村町糠塚	草地
16	県南	聖ヶ岩ふるさとの森キャンプ場	西白河郡大信村大字隈戸※	山林
17		ちゃぼランド西郷	西白河郡西郷村大字真船	山林
18		小峰城跡	白河市字郭内	神社仏閣旧跡
19		泉崎横穴	西白河郡泉崎村大字泉崎	神社仏閣旧跡
20		和泉式部庵跡と化粧の井	西白河郡表郷村大字中野※	山林
21		矢祭山公園	東白川郡矢祭町大字内川	公園
22	会津	中ノ沢温泉	耶麻郡猪苗代町大字蚕養	山林
23		長浜	耶麻郡猪苗代町大字翁沢	山林
24		背あぶり山自然保養林	会津若松市湊町大字赤井	山林
25		伊佐須美神社	大沼郡会津高田町字宮林※	山林
26		沼沢湖キャンプ場	大沼郡金山町大字大栗山	公園
27		西山温泉付近	河沼郡柳津町大字砂子原	山林

地点 番号	地域	地点名	所在地	土地の状況
28	会津	会津坂下町営スキー場	河沼郡会津坂下町大字見明	山林
29		泉福寺	耶麻郡山都町大字小舟寺※	神社仏閣旧跡
30		示現寺	耶麻郡熱塩加納村大字熱塩※	神社仏閣旧跡
31		山ノ上墓地公園	喜多方市岩月町宮津	山林
32		勝常寺	河沼郡湯川村大字勝常	神社仏閣旧跡
33	南会津	うさぎの森キャンプ場	南会津郡田島町大字糸沢※	山林
34		馬場公園	南会津郡田島町大字田部※	公園
35		照国寺	南会津郡伊南村大字古町※	神社仏閣旧跡
36		大内宿	南会津郡下郷町大字大内	山林
37		たかつえスキー場入口	南会津郡館岩村八総※	山林
38		岩黒山展望台	南会津郡檜枝岐村字岩黒山	山林
39		大泉寺	南会津郡南郷村和泉田※	神社仏閣旧跡
40		田子倉ダム	南会津郡只見町大字田子倉	その他
41	相双	高山自然公園	双葉郡川内村大字上川内	山林
42		村民の森あいの沢	相馬郡飯館村大字深谷	山林
43		中村城跡	相馬市中村	神社仏閣旧跡
44		大柿ダム	双葉郡浪江町大字川房	山林
45		国見山	原町市高倉※	山林
46		葛尾村中央公園	葛尾村大字落合	その他
47		広野町	双葉郡広野町大字下北迫	神社仏閣旧跡
48		浪江町	双葉郡浪江町大字北幾世橋	草地
49		小高町	相馬郡小高町大字浦尻※	その他
50	いわき	三崎公園	いわき市小名浜下神田	公園
51		勿来の関	いわき市勿来町関田	神社仏閣旧跡
52		四時ダム	いわき市川部町字大沢	草地
53		長沢峠	いわき市三和町上市萱	山林

※ 平成 17 年 4 月 1 日現在の住居表示とした。

土壌の採取は文部科学省マニュアル⁴⁾に準拠して行った。採取深度は地表から 5cm とし、図 2 に示した半径 5~10m の円の中心と円周上の合計 5 箇所から合計 1kg 採取し、均一に混合して 1 地点の試料とした。ただし、地形等により図 2 の位置で採取が困難な場合は、条件に応じて間隔及び方向を変更した。

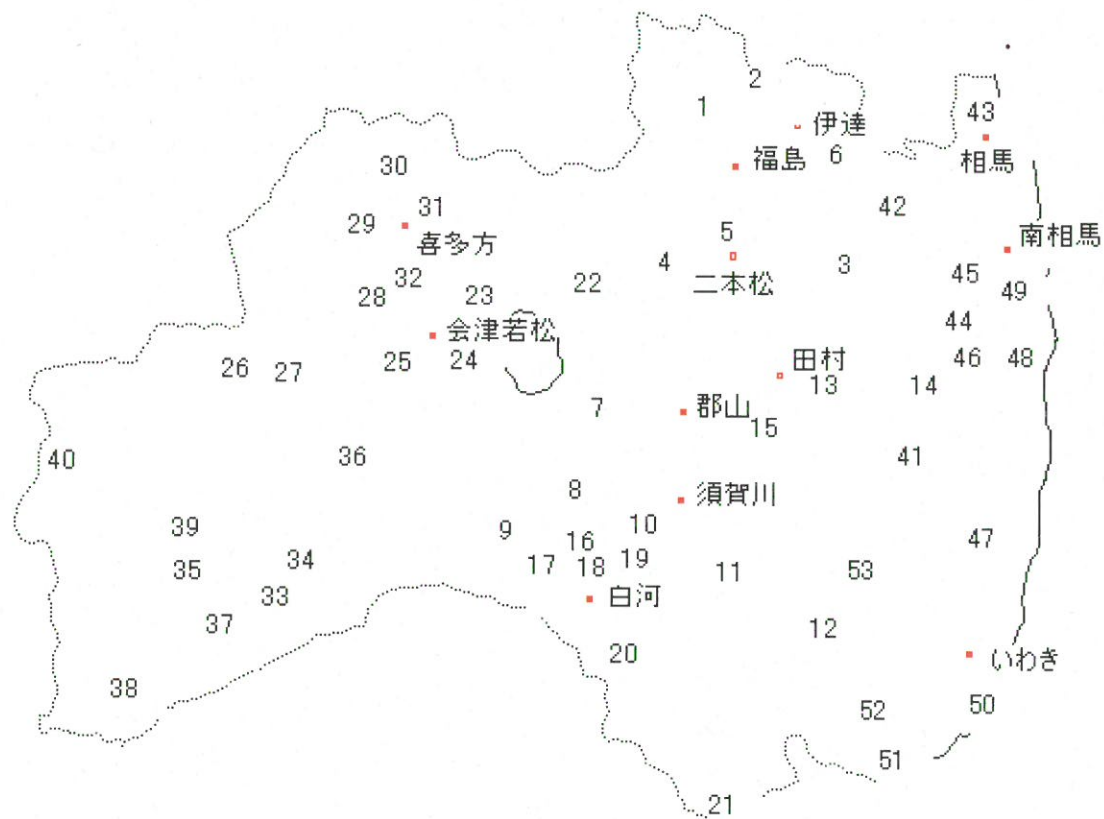


図 1 試料採取地点地図

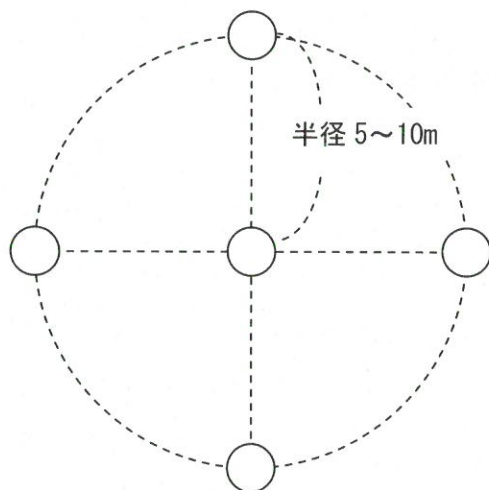


図 2 試料の採取箇所



図 3 土壌採取風景

2.2 測定項目

測定は放射性核種及び土質について行った。詳細な項目は次に示すとおりである。なお、一部の試料の Sr-90 濃度及びカルシウム（以下、「Ca」という。）濃度の測定は財団法人日本分析センターに委託して行った。

(1) 放射性核種分析

- ① 土壌中の Sr-90 濃度
- ② 土壌中のセシウム 137（以下、「Cs-137」という。）濃度

(2) 土質分析

- ① 土壌中の水分
- ② 土壌の強熱減量
- ③ 土壌の pH
- ④ 土壌の粒径組成
- ⑤ 土壌中の Ca 濃度

2.3 試料調整

採取後の土壌は前述 2.2 項の測定項目ごとに調整を行った。

放射性核種分析及び Ca 濃度分析試料は文部科学省マニュアル⁴⁾に準拠し処理した。土壌は乾燥機（ヤマト科学(株)製、DNF94 型）を用い、105℃で 48 時間加熱乾燥後、2mm 目のふるいを通し、ゴミや小石等の不純物を除去し測定試料とした。

一方、土質分析試料（Ca 濃度を除く。）は、金属製バットに薄く広げ室内で自然乾燥を行った。自然乾燥の終点は、200g 分取した土壌の水分量が平衡に達し、5 時間以上の間隔を空けて繰り返し計量した水分減少量が 0.2g 以下になったときとした。乾燥後の土壌は上記の処理と同様に、2mm 目のふるいを通し測定試料とした。

3 測定方法

3.1 土壌中の Sr-90 濃度の測定

土壌中の Sr-90 濃度の測定は文部科学省マニュアル⁵⁾（イオン交換法）に準拠し、図 4 に示した分析フローシートに従い行った。Sr-90 濃度の測定には低バックグラウンド放射能測定装置（アロカ(株)製、LBC-472-Q 型）を用いた。測定条件は測定時間 60 分間、3 回繰り返しとした。また、得られた結果は、1 回目の測定結果を Sr-90 濃度の計算に、2、3 回目のデータは、放射能の減衰を確認して測定の精度を確保するために使用した。なお、測定値が標準偏差の 3 倍 (3σ) 未満の場合には検出限界未満（以下、「LTD」という。）とした。

3.2 土壌中の Cs-137 濃度の測定

土壌中の Cs-137 濃度の測定は文部科学省マニュアル⁶⁾に準拠し、図 4 に示した分析フロ

ーシートに従い行った。測定装置はゲルマニウム半導体検出器（オルテック製、GEM-30185型）を使用した。また、測定時間は80000秒とした。なお、測定値が標準偏差の3倍（3 σ ）未満の場合はLTDとした。

3.3 土壌中の水分の測定

土壌の水分の測定は底質調査法⁷⁾に準拠し、図5に示した分析のフローシートに従い行った。自然乾燥後の土壌を、乾燥機（ヤマト科学(株)製、DNF44型）を用い、105°Cで2時間加熱乾燥後、デシケータ中で2時間放冷した。放冷後の試料は、精密天秤（メトラー・トレド製、AG245型）で重量を測定した。このときの重量減少分を土壌中の水分とし、重量百分率で表した。

3.4 土壌の強熱減量の測定

強熱減量の測定は底質調査法⁷⁾に準拠し、図5に示した分析のフローシートに従い行った。前述3.3項における水分測定後の試料をマッフル炉（ヤマト科学(株)製、FP42型）で600°C、2時間の条件で加熱した。その後、マッフル炉内で温度が80°Cに低下するまで放置し、さらにデシケータに移し2時間放冷した。放冷後の試料は、精密天秤（メトラー・トレド製、AG245型）で重量測定を行った。このときの重量減少分を強熱減量とし、重量百分率で表した。

過去の調査において、強熱減量は土壌中に含まれる有機物量の目安となりうるとの結果を得ている⁸⁾。しかし、土壌を600°Cの高温で加熱すると、土壌を構成する物質の分子中に含まれる結晶水が熱分解により放出され、重量減少分に結晶水の重量も含まれることとなる。このため、強熱減量が有機物の含有量を正確に表さないことから、ここでは強熱減量を有機物量の推定値として用いた。

3.5 土壌のpH測定

土壌のpHは図5に示した分析のフローシートに従い測定した⁹⁾。自然乾燥後の土壌に蒸留水を加え、往復振とう機（ヤマト科学(株)製、SA-51型）を用い振とう数毎分150回の条件で、30分間振とうした。振とう後の試料をビーカーに移し、マグネティックスターラー（アドバンテック製、SR350型）でかくはんを継続しながらpH計（(株)堀場製作所製、D-22型）で測定した。

3.6 土壌の粒径組成測定

土壌の粒径組成はピペット法⁹⁾により求めた。図5に示した分析のフローシートに従い、土壌を各組成に分離し、重量から組成を決定した。粒径の区分は、表2に示した国際土壤学会法に基づく区分に従った。なお、組成の比率は砂、シルト及び粘土の合計を100%として求めた。

表 2 粒径の区分⁹⁾

名 称	粒径範囲 (mm)
粗 砂	0.2 以上
細 砂	0.02 以上 0.2 未満
シルト	0.002 以上 0.02 未満
粘 土	0.002 未満

3.7 土壌中の Ca 濃度の測定

土壌中の Ca 濃度の測定は文部科学省マニュアル⁵⁾ の安定ストロンチウム定量法に準拠し、図 4 に示した分析フローシートに従い行った。測定装置は ICP-MS (ヒューレットパッカード製、HP4500 型) を使用した。Ca 濃度は内部標準法により求めた。内部標準試薬はイットリウム (和光純薬工業㈱製、原子吸光分析用) を用いた。

4 結果と考察

4.1 測定結果

土壌中の Sr-90 濃度等の測定結果は表 3 に示すとおりであった。

4.2 福島県内における Sr-90 濃度のレベル

今回測定した 53 地点の土壌中の Sr-90 濃度の範囲は 0.2~20.4Bq/kg で、平均値は 3.6Bq/kg であった。最大値は南会津地域の岩黒山展望台 (番号 38) の 20.4Bq/kg で、試料は黒色で水分を多く含んでいた。2 番目に大きい値は会津地域の背あぶり山自然保養林 (番号 24) の 13.1Bq/kg で、試料は黒色の腐葉土であった。3 番目に大きい値は南会津地域のうさぎの森キャンプ場 (番号 33) の 9.7Bq/kg で、試料は黒色の腐葉土であった。また、土壌中の Sr-90 濃度が高かった 3 地点はいずれも山林であった。

一方、測定計画に基づく平成 8 年度~15 年度における土壌中の Sr-90 濃度の測定結果は LTD~6.0Bq/kg であった。今回の測定した地点の土壌中 Sr-90 濃度については、福島県内における過去の Sr-90 濃度の最大値である 6.0Bq/kg を超えるものが 53 地点中 8 地点あり、中には過去の最大値の 3 倍を上回るものがあることがわかった。文部科学省が全国的に行っている、環境における放射能水準の過去の調査結果 (<http://searchkankyo-hoshano.go.jp>) によると、土壌中の Sr-90 濃度について、20.4Bq/kg より大きな値が検出されるなど、福島県内での過去の測定結果を上回る事例がいくつかある。よって、今回の測定の結果から、より実態に即した土壌中の Sr-90 濃度が把握できたものといえる。そして、今回の測定結果を新たなバックグラウンドとして、今後の福島県内における土壌中 Sr-90 濃度の調査結果の評価に役立てることができる。



図4 放射性核種分析及びCa分析フローシート

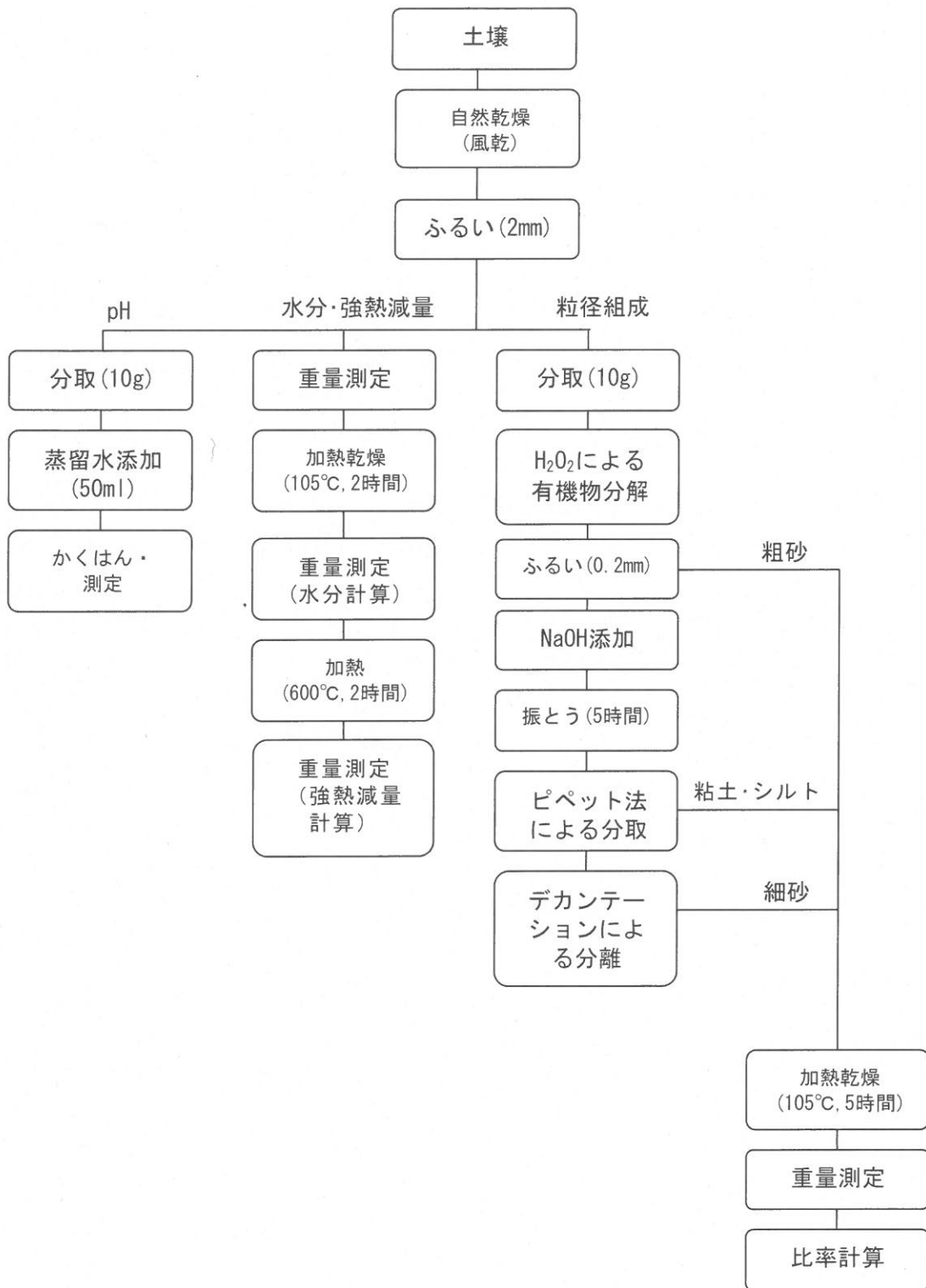


図5 土質分析フローシート (Caを除く。)

表 3 測定結果一覧

地点 番号	Sr-90 (Bq/kg)	Ca (%)	Cs-137 (Bq/kg)	強熱減量 (%)	粘土 (%)	シルト (%)	砂 (%)	水分 (%)	pH
1	3.6	0.1	18.5	12.8	12	39	49	3.2	5.0
2	2.5	0.5	8.8	10.6	7	42	51	4.5	6.3
3	6.3	0.9	38.6	29.7	12	45	43	6.6	5.1
4	2.2	0.3	45.4	22.4	7	46	47	5.9	5.2
5	1.0	0.7	1.3	9.4	8	26	66	3.6	6.1
6	2.5	0.3	22.6	17.0	4	43	53	4.7	5.0
7	2.2	0.6	39.2	11.8	3	32	65	3.5	5.0
8	7.3	1.6	26.2	21.1	7	37	56	5.4	5.2
9	9.3	1.5	54.9	23.6	10	28	62	6.0	5.3
10	2.4	0.8	16.6	9.6	12	14	74	2.8	5.8
11	2.2	0.6	3.3	5.5	2	9	89	2.0	5.3
12	0.5	1.0	LTD	6.0	1	21	78	2.7	6.1
13	1.7	0.4	9.8	4.5	2	5	93	1.3	5.5
14	0.6	0.2	LTD	9.1	3	10	87	3.4	5.5
15	3.1	1.0	24.5	17.4	8	23	69	4.1	5.5
16	1.9	0.9	28.1	23.6	9	18	73	5.0	4.9
17	5.6	1.9	88.8	25.3	10	25	65	5.1	5.1
18	2.5	0.4	19.3	15.3	4	32	64	4.4	5.3
19	0.7	0.3	11.6	15.4	5	31	64	5.0	5.1
20	1.2	0.2	15.0	17.4	5	50	45	5.7	4.9
21	0.9	0.7	LTD	4.8	2	14	84	1.1	5.8
22	4.6	0.4	34.1	28.7	12	35	53	6.5	5.4
23	3.4	0.2	33.8	29.7	15	43	42	6.8	5.1
24	13.1	0.3	75.6	28.6	14	37	49	6.4	5.2
25	5.1	0.3	46.8	11.0	9	10	81	3.7	4.5
26	2.1	0.3	9.2	6.2	2	15	83	2.4	5.9
27	2.1	0.5	12.4	10.7	3	17	80	3.5	5.4

番号	Sr-90 (Bq/kg)	Ca (%)	Cs-137 (Bq/kg)	強熱減量 (%)	粘土 (%)	シルト (%)	砂 (%)	水分 (%)	pH
28	4.1	0.2	38.1	9.3	10	32	58	2.5	5.1
29	4.6	0.4	2.5	3.4	3	5	92	1.4	5.3
30	0.2	0.3	39.2	11.4	7	48	45	5.5	5.6
31	1.3	0	3.6	7.4	6	57	37	3.2	4.8
32	0.9	0.1	30.7	19.1	17	31	52	5.5	4.0
33	9.7	0.6	37.8	18.6	7	39	54	5.4	5.3
34	4.5	0.8	43.5	23.0	9	30	61	6.1	5.1
35	1.1	0.2	4.1	4.5	6	8	86	1.8	4.9
36	4.5	1.0	56.2	26.2	12	35	53	6.4	4.4
37	4.2	0.9	33.8	19.1	8	23	69	5.4	4.7
38	20.4	0.3	68.2	32.7	14	50	36	8.1	5.4
39	8.9	0.8	50.6	15.9	8	41	51	5.0	5.0
40	1.7	0.8	14.1	7.5	7	12	81	4.2	6.9
41	1.7	0.2	23.7	10.4	5	16	79	2.4	4.8
42	2.7	0.4	27.3	13.9	4	26	70	3.8	5.1
43	2.6	0.9	12.4	11.5	15	18	67	4.0	6.6
44	2.0	0.7	33.9	16.2	7	25	68	4.1	5.1
45	6.6	0.3	50.3	24.8	9	33	58	5.1	4.8
46	0.2	0.1	LTD	4.8	5	15	80	1.7	4.8
47	1.7	0.2	17.3	14.7	16	41	43	4.7	5.8
48	3.0	0.6	LTD	24.2	8	57	35	6.2	5.4
49	4.5	0.7	8.8	22.1	8	47	45	5.9	5.7
50	2.7	0.3	16.7	24.0	8	36	56	5.0	5.2
51	3.2	0.1	57.6	15.7	37	22	41	6.1	4.2
52	0.5	0.5	1.9	9.7	13	26	61	3.1	6.3
53	1.2	0.6	8.7	9.5	3	22	75	3.2	5.2
最大	20.4	1.9	88.8	32.7	37	57	93	8.1	6.9
最小	0.2	0	LTD	3.4	1	5	35	1.1	4.0
平均	3.6	0.5	25.8	15.6	8	29	63	4.4	5.3

※ 粘土、シルト及び砂についてはその合計を100%とした。

4.3 Sr-90 濃度と地域性

土壌中の Sr-90 濃度の上位 3 地点が会津地域及び南会津地域の地点であったことから、Sr-90 濃度と地域の関係について検討した。福島県内における土壌中の Sr-90 濃度の分布状況をみるため、Sr-90 濃度を 5 段階に分け、地図上にプロットしたものを図 6 に示した。この図では Sr-90 濃度の高い順に茶、赤、黄、緑、青に色分けして表した。今回採取した土壌が各地点を代表する試料であると仮定すると、Sr-90 濃度の高い地点は会津地域及び南会津地域に多く、県北地域の一部、県中地域の会津地域に近い地点及び相双地域の北部にも点在しているといえる。

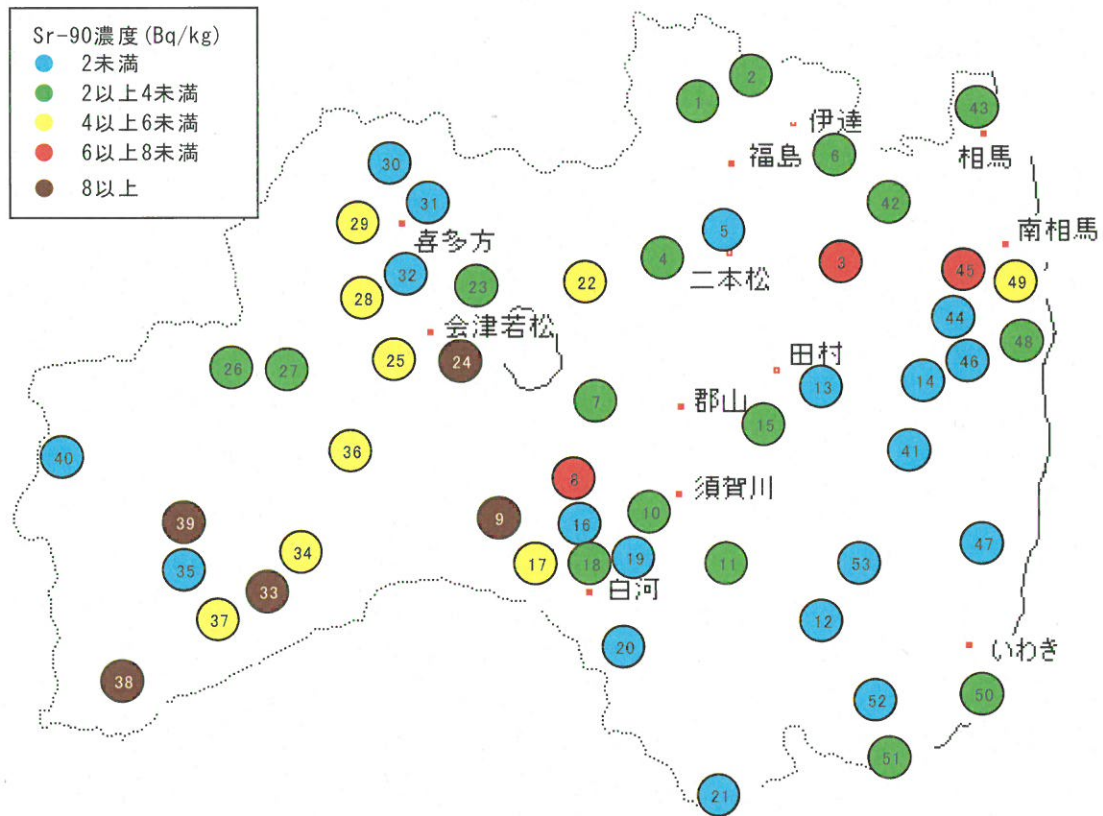


図 6 福島県内における Sr-90 濃度の分布
(地図上の数字は地点番号を表す。)

また、より詳しくみるために、地域ごとの Sr-90 濃度の平均値、最大値及び 53 地点の平均値である 3.6Bq/kg (以下、「全体平均」という。) を超えた地点の割合を表 4 に示した。表 4 において、地域の平均値が全体平均を越えたのは会津地域と南会津地域であった。会津地域は Sr-90 濃度の最大値が 13.1Bq/kg、平均値が 3.8Bq/kg、全体平均を超えた地点の割合が 45%であった。南会津地域は Sr-90 濃度の最大値が 20.4Bq/kg、平均値が 6.9Bq/kg、全体平均を超えた地点の割合が 75%であった。地域の平均値が全体平均には至らなかったものの、3 番目に平均値が高かった県中地域は、Sr-90 濃度の最大値が 9.3Bq/kg、平均値が

3.3Bq/kg、全体平均を超えた地点の割合が 22%であった。県中地域で特に Sr-90 濃度の高かった羽鳥湖畔オートキャンプ場 (9.3Bq/kg・番号 9) と藤沼湖自然公園 (7.3Bq/kg・番号 8) はいずれも会津地域に近い場所に位置している。これらのことから、会津地域及び南会津地域は他の地域に比べて Sr-90 濃度が高い傾向があると考えられる。

表 4 地域別にみた Sr-90 濃度

地域	地点数	最大値 (Bq/kg)	地域の平均値 (Bq/kg)	全体平均を超えた地点の割合 (%)
県北	6	6.3	3	17
県中	9	9.3	3.3	22
県南	6	5.6	2.1	17
会津	11	13.1	3.8	45
南会津	8	20.4	6.9	75
相双	9	4.5	2.8	22
いわき	4	3.2	1.9	0

4.4 気象条件が Sr-90 濃度に及ぼす影響

会津地域及び南会津地域をはじめとする広い地域にわたり、土壌から比較的高い濃度の Sr-90 が検出されたことから、広範囲に影響を及ぼすと考えられる気象条件と Sr-90 濃度の関係について考察した。現在土壌中に存在する Sr-90 は、かつて行われた核実験、原子力発電所の事故等により大気圏内に放出されたものが、フォールアウトとして地表に蓄積したものと考えられる。一方、平成 8 年度から平成 16 年度までの測定計画に基づく調査の結果によると、降下物中から Sr-90 はほとんど検出されていない²⁾。このことから、フォールアウトによる土壌への新たな Sr-90 の供給はほとんどないと考えられる。従って、Sr-90 が下層へ移動するなどして失われやすい地点ほど、表層土壌中の Sr-90 濃度が低くなると考えられる。そこで、降水量と Sr-90 濃度の関係について検討した。平年の年間降水量を円の面積で表し、地図上にプロットしたものを図 7 に示した。平年の年間降水量は気象庁のデータベース (<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/index.html>) より引用し、5 段階に分類した。図 7 には Sr-90 濃度も、図 6 と同じ色で併せて表示した。県北地域及び県中地域の一部の年間降水量は 1200mm 未満であり、日本の年平均降水量である 1700mm¹⁰⁾ に比べて非常に少ない。それ以外の地域の年間降水量は 1300mm 以上であり、日本の年平均降水量を超える地点もみられた。中でも、土壌中の Sr-90 濃度が低かった相双地域南部やいわき地域の地点には年間降水量が 1400mm 以上の地点が多く、これらの地域では、Sr-90 が降雨による水の地下浸透により、表層から下層へと移動したのではないかと推察される。

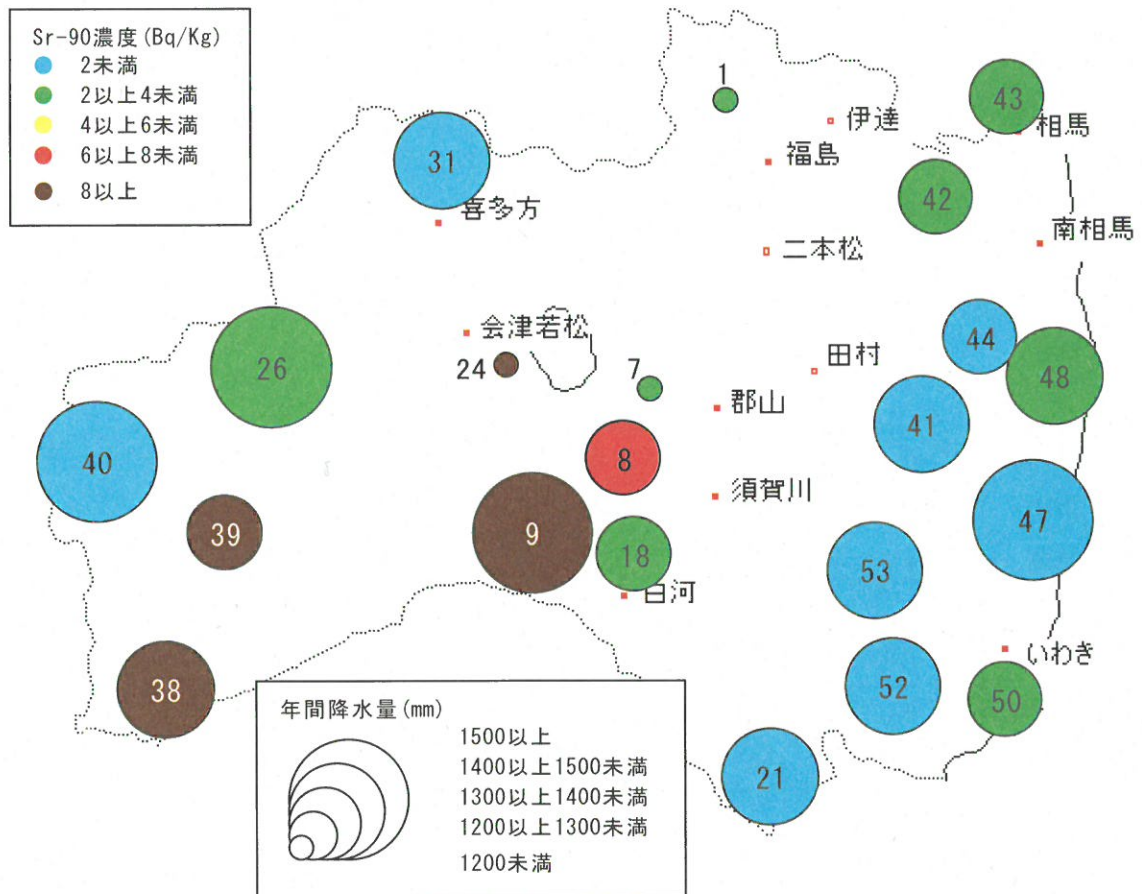


図7 福島県における平年の年間降水量と土壤中 Sr-90 濃度の関係
(地図上の数字は地点番号を表す。気象データのある地点のみ表示。)

一方、土壤中の Sr-90 濃度が高かった会津地域及び南会津地域も降水量は多いが、12～3月の冬期間における降水量の大半は降雪によるものと考えられ、降雪の少ない相双地域やいわき地域とは状況が異なる。そこで、降雪の影響を検討するため、気象庁のデータベースに基づく平年の年間最大積雪量と Sr-90 濃度の関係を図8に示した。この図には東側(右半分)の地域のデータがほとんどないが、これは気象庁が積雪量を観測している地点が東側にほとんどないためである。東側の地域が降雪の少ない地域であることを考慮すると、岩黒山展望台(番号38)や大泉寺(番号39)のように、Sr-90濃度が高い地点は積雪量が多い傾向があるといえる。この理由として、冬期間は地下に浸透する水が少ないことが考えられる。積雪の多い場所では、冬期間は地面が雪に覆われているため、降水の地下浸透が少なく、Sr-90が表層から下層へ移動しにくいと考えられる。冬期間は地表に到達する水が少なくても、春には雪融けにより一時期に大量の水が発生するが、福島県内の土壤によくみられる黒ボク土¹¹⁾では、水の土壤への浸透速度は年間1m以下¹²⁾と遅い。また、融雪時は土壤中の水分が飽和状態になり、新たに表層土壤に供給された水が土壤中に浸透しにくいいため、表面を流出する水量の割合が大きくなるといわれている¹³⁾。これらのことか

ら、雪融け水の一部は地表面を流れ、河川等を経由して流出するため、地下浸透が抑えられているのではないかと考えられる。よって、会津地域等の積雪量の多い地域は、年間降水量が多いにもかかわらず、土壌中の Sr-90 の下層への移動が起こりにくいのではないかと考えられる。

なお、図 8 には積雪量のデータが少ないので、積雪量に替えて積雪量と関係の深い気温と Sr-90 濃度についても比較した。福島県においては、会津地域や南会津地域のように冬期間の気温が低い地域に積雪が多い。そこで、気象庁のデータベースに基づく平年における 12~3 月の平均気温と Sr-90 濃度の関係を図 9 に示した。図 9 からは、気温の低い岩黒山展望台（番号 38）等の南会津地域において Sr-90 濃度が高い傾向がみられた。また、気温の高い相双地域及びいわき地域の Sr-90 濃度が低い傾向もみられ、図 8 では十分に確認できなかった積雪量の少ない地点について、Sr-90 濃度が低い傾向があることが確認できた。

以上のことから、気象条件が土壌中の Sr-90 濃度に及ぼす影響として、降雨に伴う水の地下浸透により、表層に蓄積していた Sr-90 が浸透した水とともに下層に移動し、その結果表層の Sr-90 濃度が低くなることが考えられる。

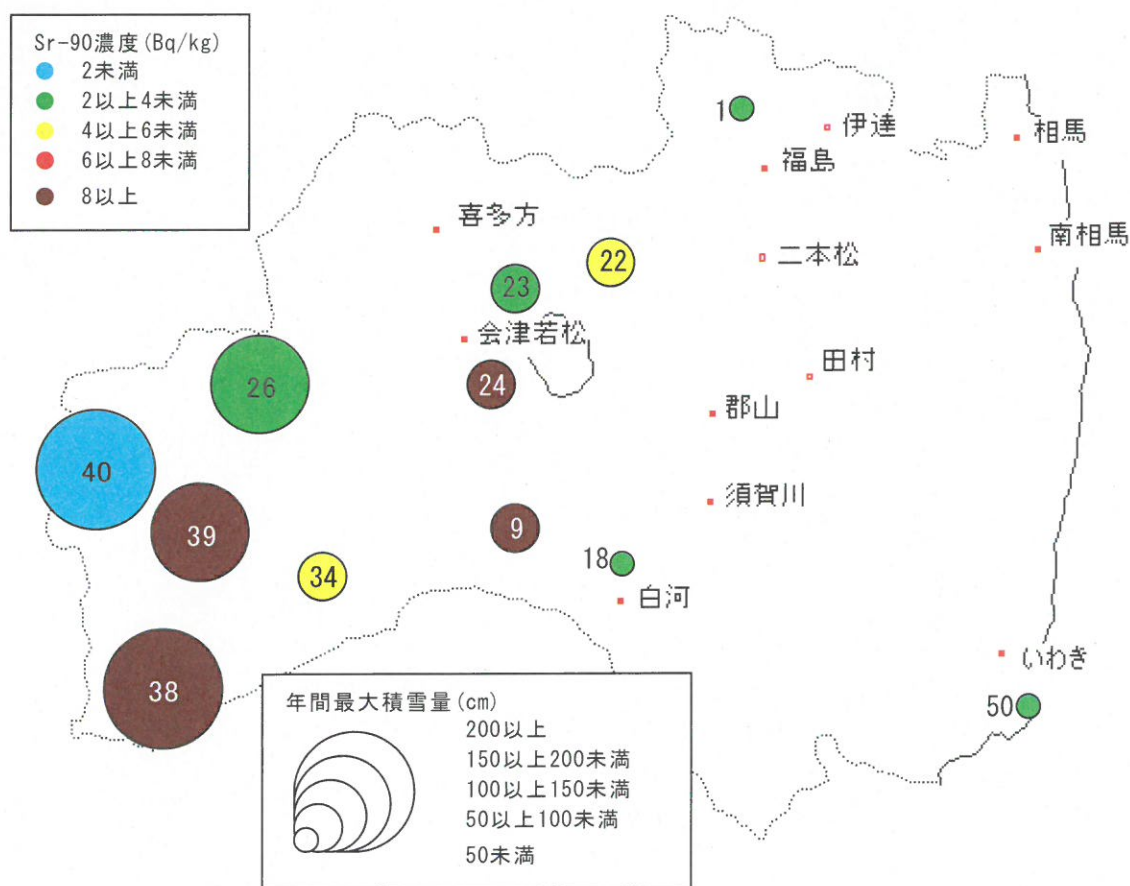


図 8 福島県における平年の年間最大積雪量と Sr-90 濃度の関係
(地図上の数字は地点番号を表す。気象データのある地点のみ表示。)

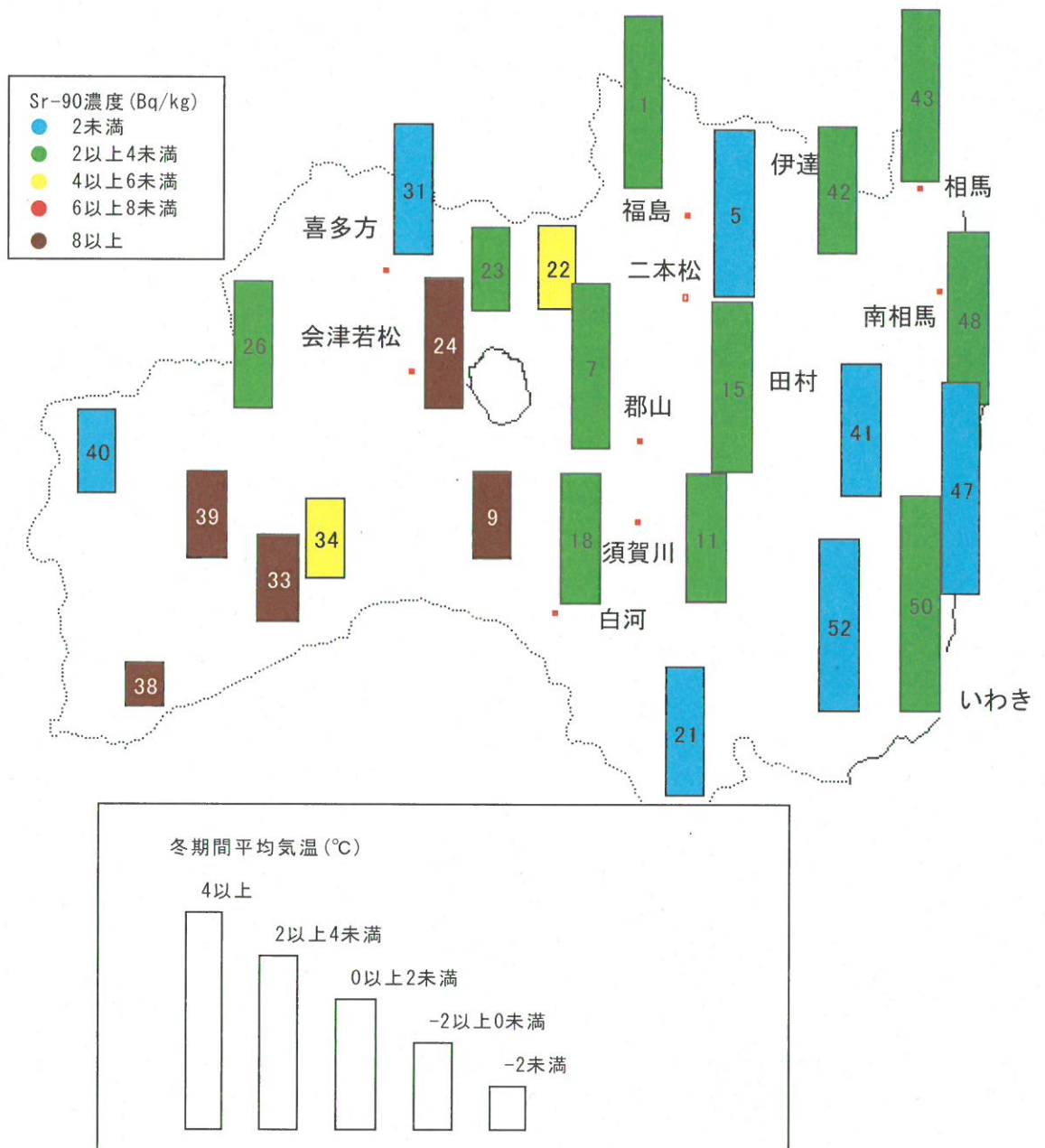


図9 福島県における平年の冬期間平均気温と Sr-90 濃度の関係
(地図上の数字は地点番号を表す。気象データのある地点のみ表示。)

4.5 Sr-90 濃度と土質

これまで、土壌中の Sr-90 が雨水等の地下浸透水により表層から下層へと移動するという考えを述べてきたが、Sr-90 の移動しやすさは土壌の性質によっても異なると考えられる。土壌は動植物の分解産物である有機物、様々な物質が溶解している土壌水並びに粘土、シルト及び砂から成る鉱物成分等で構成されている¹⁴⁾。そこで、有機物、水分等の土質と Sr-90 濃度の関係について検討した。

まず、土壌中に含まれる有機物と Sr-90 濃度との関係について検討した。有機物含有量を表す強熱減量の測定結果は、最大値が 32.7%、最小値が 3.4%、平均値が 15.6%であった。最大値が最小値の 10 倍近くあり、地点により大きな差があることがわかった。有機物含有量が 20%以上の土壌は有機物が多い土壌であるといわれており¹⁴⁾、今回測定した 53 地点中 14 地点が 20%を超えていた。この有機物の多かった 14 地点の中には、土壌中の Sr-90 濃度が全体平均を超えた地点が 10 地点あった。Sr-90 濃度が特に高かった岩黒山展望台や背あぶり山自然保養林もこの 10 地点に含まれており、有機物が多い土壌には Sr-90 が多く含まれている傾向がみられた。このことは、強熱減量と Sr-90 濃度との関係を表した図 10 から明らかである。これらのことから、有機物を多く含む土壌には Sr-90 を土壌中に保持する作用があるのではないかとと思われる。

なお、有機物の多かった 14 地点のほとんどが山林で、表層土が腐葉土である地点が多かった。

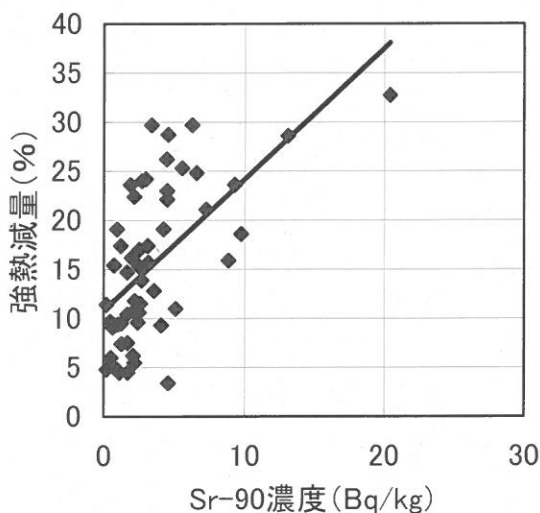


図 10 土壌中の Sr-90 濃度と強熱減量の関係

次に、土壌中に含まれる水分と Sr-90 濃度との関係についても検討した。水分の測定結

果は、最大値が 8.1%、最小値が 1.1%、平均値が 4.4%であった。最大値が最小値の 8 倍近くあり、地点により大きな差があることがわかった。Sr-90 濃度が特に高かった岩黒山展望台の水分は 8.1%、背あぶり山自然保養林の水分は 6.4%であった。

また、土壌中の Sr-90 濃度と水分との関係を図 11 に示した。図 11 から水分を多く含む土壌ほど Sr-90 濃度が高いことがわかる。このことから、水分を多く保持している土壌は水分が浸透しにくく、水分の浸透に伴う Sr-90 の表層から下層への移動速度が遅いため、表層の Sr-90 濃度が低下しにくいのではないかと考えられる。

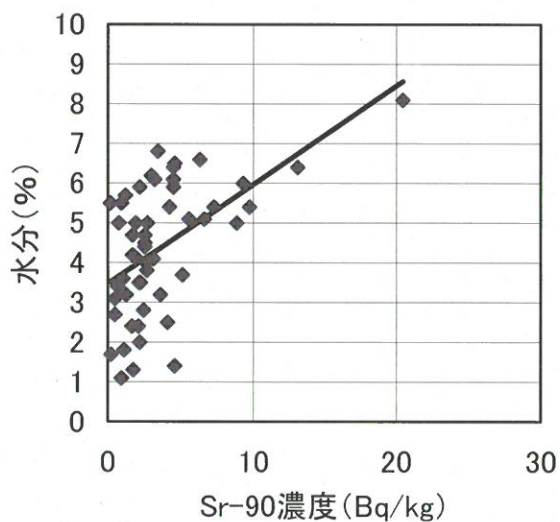


図 11 土壌中の Sr-90 濃度と水分の関係

山林の土壌に有機物と水分が多く含まれていることは、山林を構成する樹木のはたらきによるところが大きいのではないかとと思われる。そこで、樹木が土壌中の Sr-90 濃度と与え得る影響について考察した。Sr-90 濃度が高い土壌で生育した松及びヨモギは、葉の中の Sr-90 濃度も高い傾向があるといわれている¹⁵⁾。また、図 10 及び図 11 からわかるように、Sr-90 濃度が土壌に含まれる水分及び有機物と関係があることから、土壌中に蓄積した Sr-90 の一部は水とともに樹木に吸収されたあと葉に蓄積し、落葉により再び土壌中に移動する可能性が考えられる。そして、この葉は腐葉土となり、多くの有機物と水分を含み、これらとともに Sr-90 を樹木に供給する。このように樹木を通して Sr-90 の循環を繰り返すことにより、山林は他の場所に比べて Sr-90 の表層から下層への移動が抑えられているのではないかと推察される。

さらに、有機物、水分と同様に粘土等の組成も土壌が Sr-90 を保持することと関係があると考え、粒径組成と Sr-90 濃度の関係について検討した。Sr-90 濃度の高い方からみた上

位の 10 試料及び下位の 10 試料の粒径組成を三角座標に表示して比較したものが図 12 である。福島県の土壤に多くみられる黒ボク土は、シルト及び粘土の分析が難しい。よって、粒径組成については特に砂の割合に着目して考察した。図 12 から、Sr-90 濃度の高かった試料は砂の割合が 50~70%前後と比較的小さいものも多く、Sr-90 濃度が低かった試料は砂の割合が 60~90%前後と比較的大きいものが多いことがわかった。このことから、砂の多い土壤は、Sr-90 を含んでいる有機物及び水分を保持しにくい構造であるため、Sr-90 濃度が低いものと推察される。

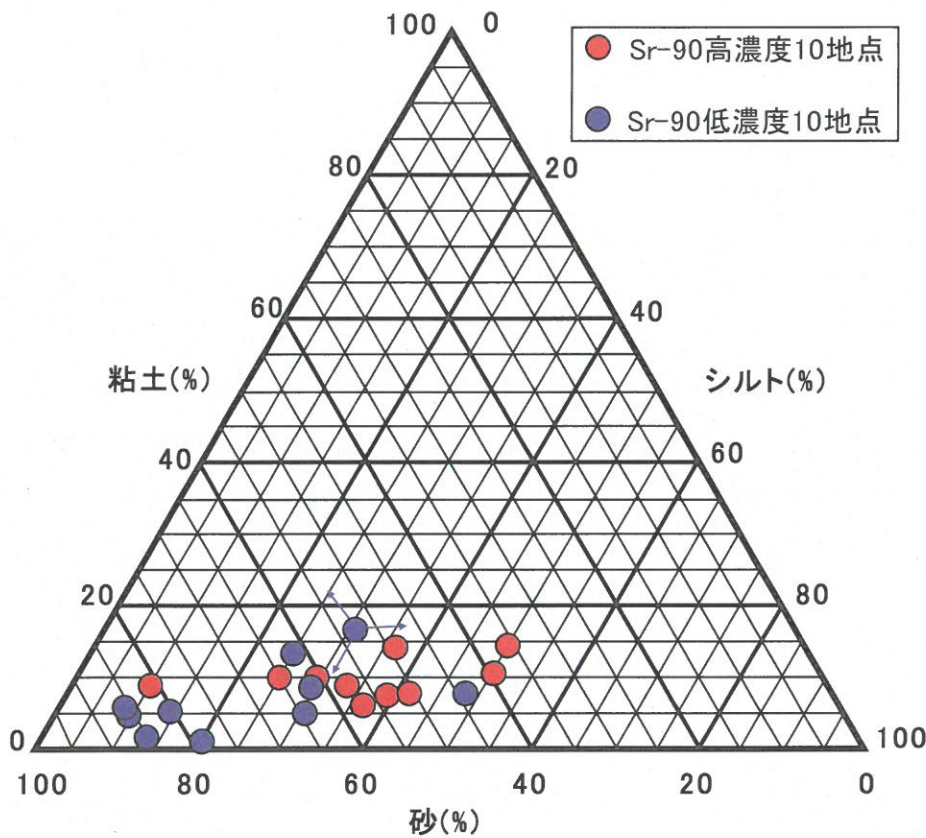


図 12 Sr-90 高濃度地点と Sr-90 低濃度地点の土壤の粒径組成

また、土壤中の Sr-90 濃度と pH の関係を図 13 に示した。今回測定した土壤中の pH は最大値が 6.9、最小値が 4.0、平均値が 5.3 で、すべて酸性を示していた。図 13 からは Sr-90 濃度と pH の間に関係はみられず、pH が Sr-90 濃度に影響を及ぼしているとはいえなかった。なお、今回の pH 測定にあたっては自然乾燥させた試料を用いたが、試料を乾燥させず、採取時に近い状態で測定する方法もある¹⁶⁾ ことから、今後の調査においてはこのような方法についても検討したい。

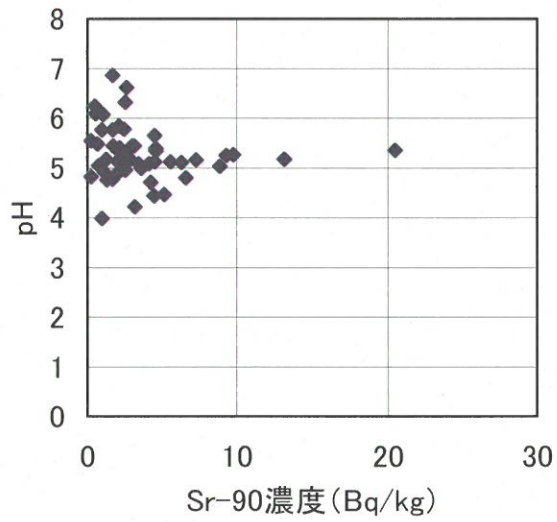


図 13 土壤中の Sr-90 濃度と pH の関係

さらに、土壤中の Sr-90 濃度と Ca 濃度の関係を図 14 に示した。土壤中の Ca 濃度の最大値は 1.9%、最小値は 0%、平均値は 0.5%であった。図 14 からは Sr-90 濃度と Ca 濃度の間には特に関係はみられなかった。

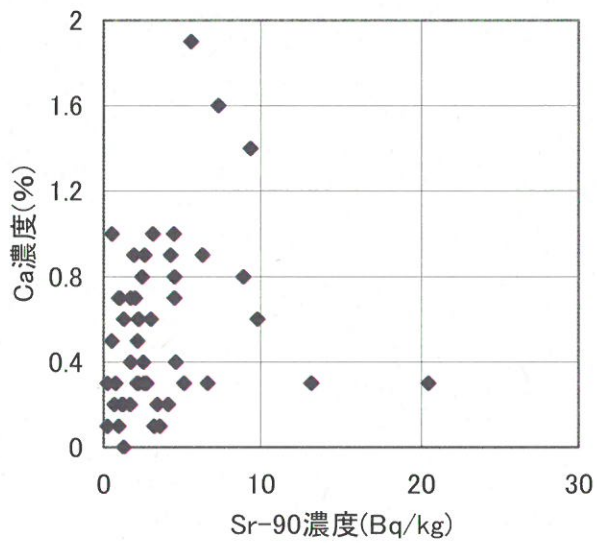


図 14 土壤中の Sr-90 濃度と Ca 濃度の関係

4.6 Sr-90 濃度と Cs-137 濃度の関係

土壌中の Sr-90 濃度と土壌中 Cs-137 濃度の関係を図 15 に示した。両者の間には相関がみられ、Cs-137 濃度が高い地点は Sr-90 濃度も高い傾向があるといえる。このことから、緊急時モニタリングにおいて、測定に多くの時間を要しない Cs-137 濃度を測定することにより、Sr-90 の存在をある程度予測できるものと思われる。

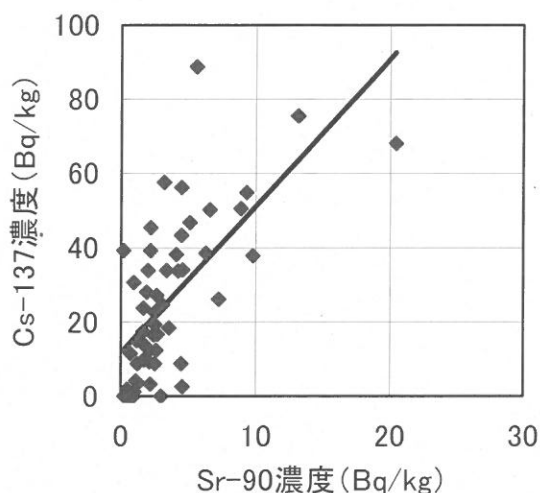


図 15 土壌中の Sr-90 濃度と Cs-137 濃度の関係

5 まとめ

本調査により次のことがわかった。

- ① 県内 53 地点で調査した土壌中の Sr-90 濃度レベルは、最大値 20.4Bq/kg、平均値 3.6Bq/kg であり、全地域で検出された。
- ② 会津地域及び南会津地域は他の地域に比べ土壌中の Sr-90 濃度が高い傾向にある。
- ③ 土壌中の Sr-90 は降雨に伴う水の地下浸透により、表層から下層へと移動すると推察された。
- ④ Sr-90 は、腐葉土など有機物及び水分を多く含む土壌中に保持されやすいことが分かった。
- ⑤ 砂など土壌の粒径組成は Sr-90 の保持に影響を及ぼすことが分かった。
- ⑥ Cs-137 濃度が高い土壌は Sr-90 濃度も高い傾向がみられた。

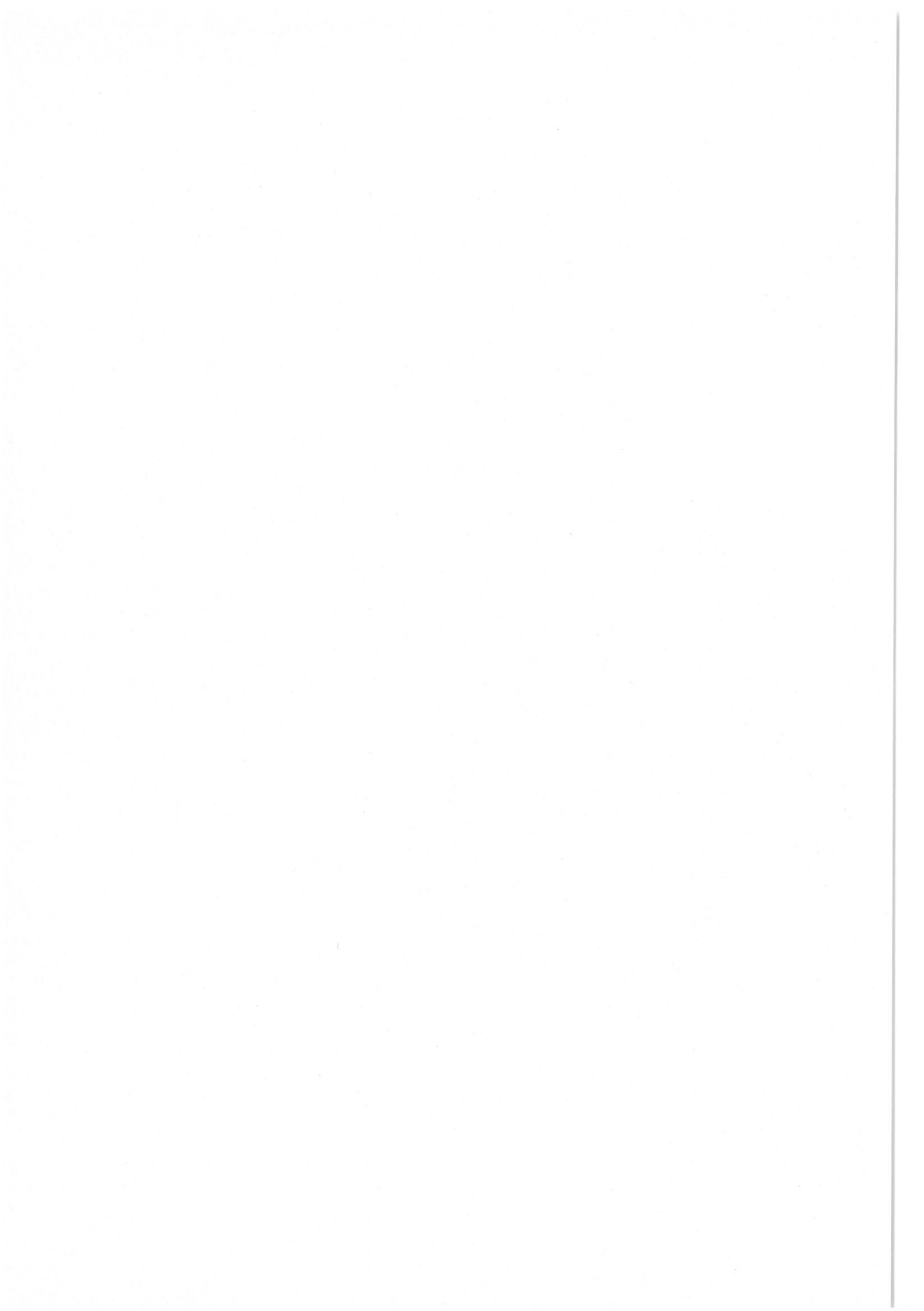
以上のことから、県内における土壌中の Sr-90 濃度レベルがより明確になり、新しいバックグラントレベルとして活用できる。また、今後は、土壌中のより深い位置での Sr-90 の挙動を明らかにするとともに、農作物への吸収についても検討したい。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、貴重な助言をいただいた、独立行政法人農業環境技術研究所土壌分類研究室の中井信室長及び財団法人日本分析センター分析部の方々に深く感謝致します。

参考文献

- 1) John Emsley 著, 山崎昶訳, 元素の百科事典, p260, 丸善(株)(2003)
- 2) 平成8年度～平成16年度福島県原子力発電所周辺環境放射能測定結果報告書, 福島県原子力発電所安全確保技術連絡会(1997～2005)
- 3) 放射性物質の取り扱いに関する環境モニタリングの諸原則 ICRP Publication7, p22,23 (社)日本アイソトープ協会, (財)仁科記念財団(1965)
- 4) 環境放射能測定シリーズ16, 試料採取法, 科学技術庁(1983)
- 5) 環境放射能測定シリーズ2, 放射性ストロンチウム分析法(4訂), 文部科学省(2003)
- 6) 環境放射能測定シリーズ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(3訂), 科学技術庁(1992)
- 7) 底質調査法, 環境省(2001)
- 8) 平成12年度環境試料中のプルトニウム調査(Ⅱ)報告書, p16, 福島県原子力センター(2001)
- 9) 青峰重範, 土壌肥科学実験ノート, p9-12,p15, (株)養賢堂(1977)
- 10) 理化学事典(第5版), p454, (株)岩波書店(1998)
- 11) 国土の現況とその歩み 地域計画アトラス 日本国勢地図帳, p12, 国土地理院, 日本地図センター(1984)
- 12) 農業環境研究成果報第20集, p13, (独)農業環境技術研究所(2004)
- 13) 環境保全型農業大事典① 施肥と土壌管理, p73, (財)農山漁村文化協会(2005)
- 14) 中野政詩, 宮崎毅, 塩沢昌ほか, 土壌物理環境測定法, p17,18, (財)東京大学出版会(1995)
- 15) 中山哲彦, 小森正樹 “石川県における松葉及びヨモギ葉のCs-137とSr-90の分布とビニールハウス栽培を用いた挙動調査” 平成14年度放射能分析調査技術検討会資料, p233-238(2003)
- 16) 土壌環境分析法, p115, 日本土壌肥料学会, (株)博友社(2003)



平成18年3月発行

平成17年度環境試料中のストロンチウム調査報告書

発行：福島県原子力センター福島支所

福島市方木田字水戸内16-6

TEL (024)544-2030

FAX (024)544-2040

福島県原子力センター

双葉郡大熊町大字下野上字大野199

TEL (0240)32-2230

FAX (0240)32-3440

