

3章

森林における 放射性物質の動態

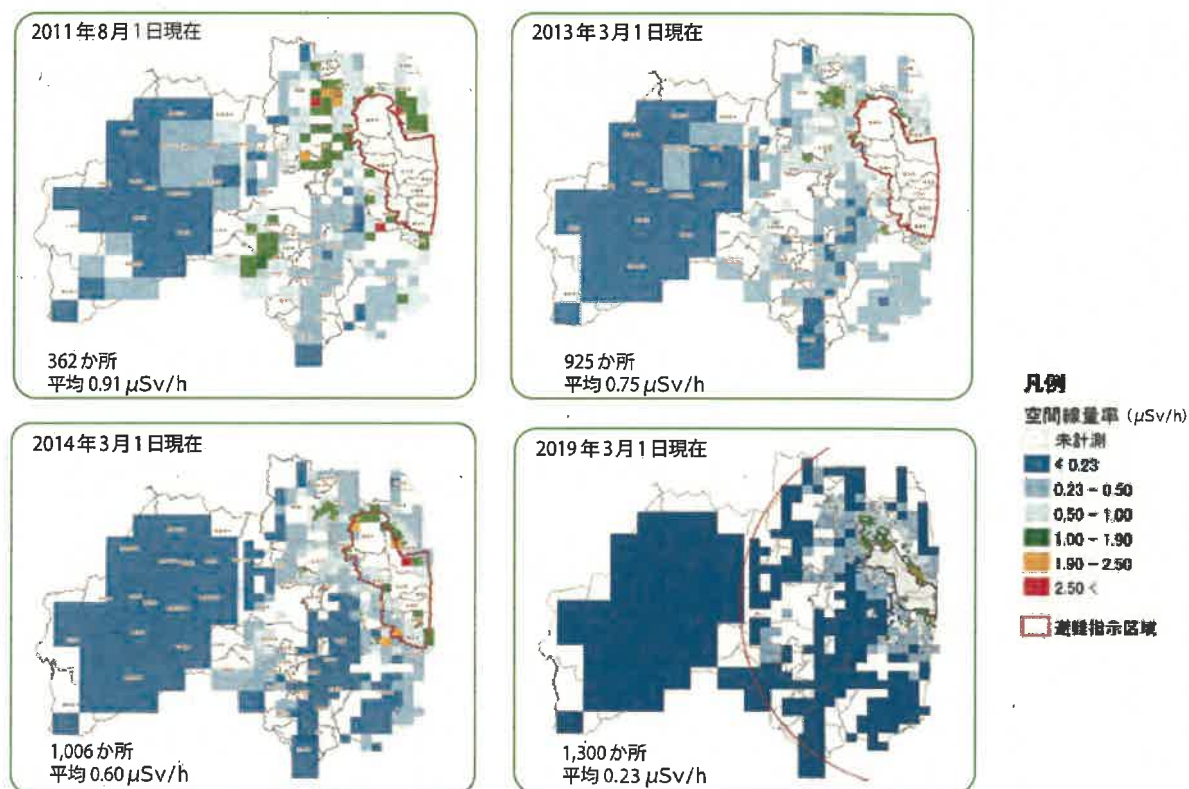
福島県及び周辺地域の放射線の状況は、年々変化し続けています。福島第一原子力発電所事故直後から現在に至るまでの経過、また今後の見通しについて、詳細にモニタリングされている実際の測定データとともに、現状を紹介します。林野庁では、森林内の放射性セシウムの分布状況を明らかにするため、2011年から福島県内の3町村(川内村、大玉村、只見町)に調査地を設定し、土壌や落葉層、樹木の葉や幹などの部位別に放射性セシウム濃度とその蓄積量を調査しています。

森林内の空間線量率の広域調査① 空間線量率の分布 —2018年度までの調査結果

福島県は2011～2018年度に、延べ1,591か所の森林において、樹木や土壌などの放射性セシウム濃度や調査地点の空間線量率などのモニタリングを実施してきました。ここでは2018年度までの空間線量率の推移を紹介します。

空間線量率の分布の推移

2018年度は1,300か所の森林でモニタリングを行いました。ここでは2011年から継続して調査を行っている362か所を対象に空間線量率の推移を検討しました。2019年3月の空間線量率の平均値は0.23 $\mu\text{Sv/h}$ となっており、2011年以降森林内の空間線量率は年々低下しています(図3-1)。



[図3-1] 森林における空間線量率の分布の推移

資料：福島県森林計画課「森林における放射性物質の状況と今後の予測について」(2018年度)

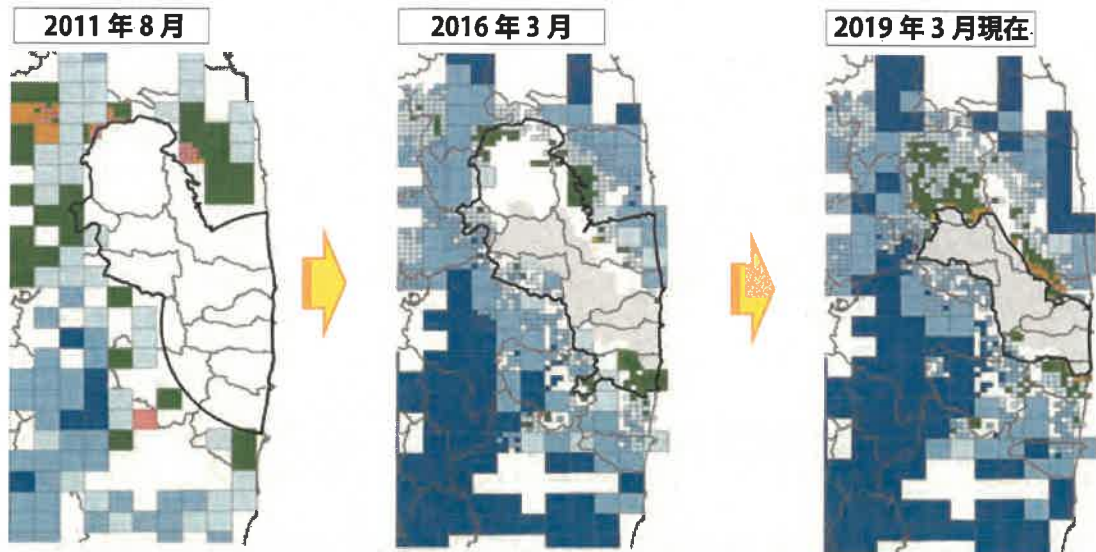
2018年度の測定結果を地域別にみると、県北地域(0.04~1.57 $\mu\text{Sv/h}$)、相双地域(0.09~3.53 $\mu\text{Sv/h}$)、いわき地域(0.05~1.18 $\mu\text{Sv/h}$)、県中地域(0.05~0.42 $\mu\text{Sv/h}$)で空間線量率に大きなばらつきがみられました。避難指示区域等の見直しに伴い、新たな調査測点が追加された相双地域では空間線量率が高い値となっています。なお、会津地域及び南会津地域の空間線量率は全て0.23 $\mu\text{Sv/h}$ 未満でした(図3-4)。

2018年度の空間線量率は、2011年度と比較して約75%低下しました(40頁表3-2)。また、1.00 $\mu\text{Sv/h}$ 以上の区域は、調査箇所数比で35%(2011年度)から0.5%(2018年度)に減少しました。汚染状況重点調査地域の基準である0.23 $\mu\text{Sv/h}$ *未満の区域は、調査箇所数比で12%(2011年度)から64%(2018年度)に増加しています。

*放射性物質汚染対処特措法に基づく汚染状況重点調査地域の指定や、除染実施計画を策定する地域の要件は0.23 $\mu\text{Sv/h}$ 以上の地域とされています。この数値は、年間追加被ばく線量1ミリシーベルト(mSv)に相当します。

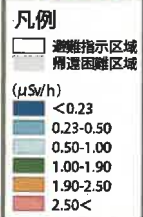
避難指示解除準備区域内及び周辺森林の空間線量率

2013年度から、避難指示区域内(避難指示解除準備区域のみ)の森林の調査も開始されました(避難指示区域等の区域の見直しに伴い、該当する調査測点数が変化し、2013年度:65か所、2018年度:15か所)。2018年に調査した避難指示解除準備区域内(15か所)の空間線量率の平均値は、0.91 $\mu\text{Sv/h}$ でした。避難指示解除準備区域内と、その周辺の森林内の空間線量率も年々低下傾向を示しています(図3-2)。



- ・避難指示解除準備区域及び周辺の調査箇所の空間線量率も徐々に低下
- ・平成25年度(2013年度)から避難指示区域内の調査を開始(避難指示解除準備区域のみ)
- ・避難指示区域等の区域の見直しに伴い、調査測点数も減となっている。

年度	2013	2014	2015	2016	2017	2018
箇所数	65	134	137	87	15	15



[図 3-2] 避難指示解除準備区域内とその周辺の空間線量率の推移

資料：福島県森林計画課「森林における放射性物質の状況と今後の予測について」(2018年度)

森林内の空間線量率の広域調査② 物理学的減衰にともなう 空間線量率の減衰

森林内の空間線量率減衰の予測

福島県は、「福島第一原発事故直後の福島県中通りにおける放射性物質の飛散状況はどのようなものだったか—事故直後に行われた高エネルギー加速器研究機構と理化学研究所の合同チームによる調査結果—」の資料を基に、2041年までの放射能(Cs-134とCs-137の放射能の合計)と空間線量率の減衰割合を表3-1のように推計しました。

空間線量率の物理学的減衰曲線と森林モニタリング実測値との関係

推計された空間線量率の物理学的減衰曲線と、2011年度より実施している森林でのモニタリング実測値(362か所の平均値)を図3-3に示しました。森林内の空間線量率の実測値は、物理学的減衰とほぼ同じように低下していることがわかります。この結果から、今後も物理学的減衰と同じように森林内の空間線量率も低下していくことが見込まれます。

なお、推計された物理学的減衰では、雨で流されたり地中に浸透したりする影響(ウェザリング効果)は考慮していません。

経過年数(年次)	放射能の減衰	空間線量率の減衰
0	2011	100
1	2012	90
2	2013	77
3	2014	68
4	2015	60
5	2016	55
6	2017	51
7	2018	48
8	2019	46
9	2020	44
10	2021	42
11	2022	40
12	2023	39
13	2024	38
14	2025	37
15	2026	36
16	2027	35
17	2028	34
18	2029	33
19	2030	33
20	2031	32
21	2032	31
22	2033	30
23	2034	30
24	2035	29
25	2036	28
26	2037	28
27	2038	27
28	2039	26
29	2040	26
30	2041	25

	平均値	最大値	最小値
2011年度	0.91	4.32	0.09
2012年度	0.62	2.58	0.07
2013年度	0.44	2.18	0.05
2014年度	0.39	2.03	0.03
2015年度	0.32	1.73	0.03
2016年度	0.27	1.33	0.03
2017年度	0.23	1.09	0.03
2018年度	0.23	1.11	0.03

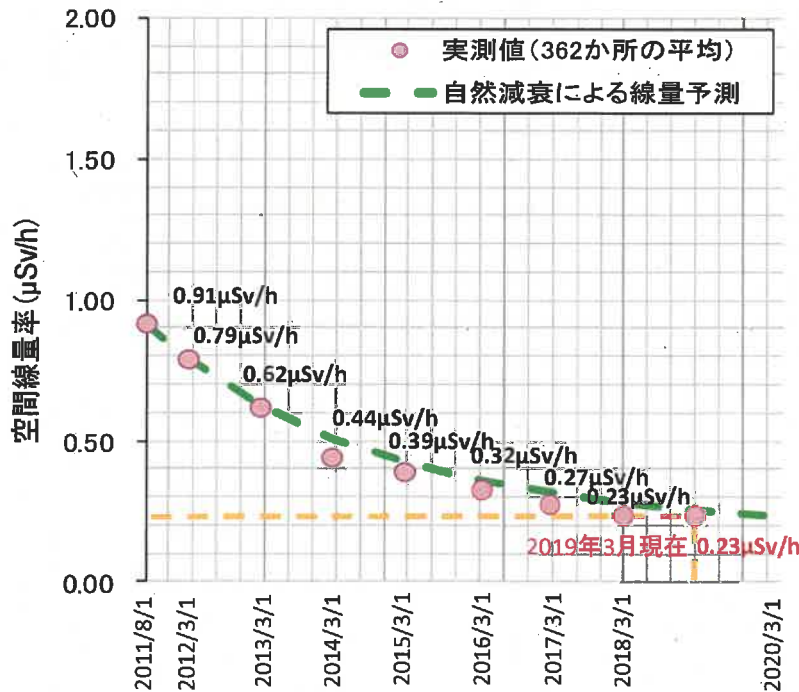
[表 3-2] 2011年度からの継続調査地の空間線量率(362 か所集計)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

2011年度からの平均低減率は、2011年度に対して、2012年度に約32%、2013年度に約51%低減、2014年度に約57%低減、2018年度に約75%低減

[表 3-1] 2041年までの放射能と空間線量率の減衰割合の推計(物理学的減衰)

(単位: 2011年を100とした時の割合(%)/2011年8月を基準として作成)



[図 3-3] 2020年までの森林の空間線量率の予測

(放射性セシウムの物理学的減衰曲線とモニタリング実測値(362か所の平均値)の関係)

資料: 福島県森林計画課「森林における放射性物質の状況と今後の予測について」(2018年度)

森林内の空間線量率の広域調査③ 空間線量率の分布の将来予測

福島県は、2011～2018年度の森林のモニタリング結果を基に、今後の空間線量率を予測しました。

森林内の空間線量率の将来の分布予測

8年間の森林内の空間線量率は、放射性物質の物理学的減衰とほぼ同じように低下しました。この結果から、今後も同様の推移をたどることを仮定すると、東京電力福島第一原子力発電所事故から10年後、15年後、20年後の平均値は表3-3のように予測されます。なお、2018年度に実施した空間線量率の調査地362か所(2011年から継続して調査している地点)の平均値は0.23 $\mu\text{Sv/h}$ でした。

空間線量率の平均値は、2020年(原発事故10年後)は0.21 $\mu\text{Sv/h}$ 、2025年(15年後)は0.17 $\mu\text{Sv/h}$ 、2030年(20年後)は0.14 $\mu\text{Sv/h}$ に減衰すると予測されました(表3-3)。

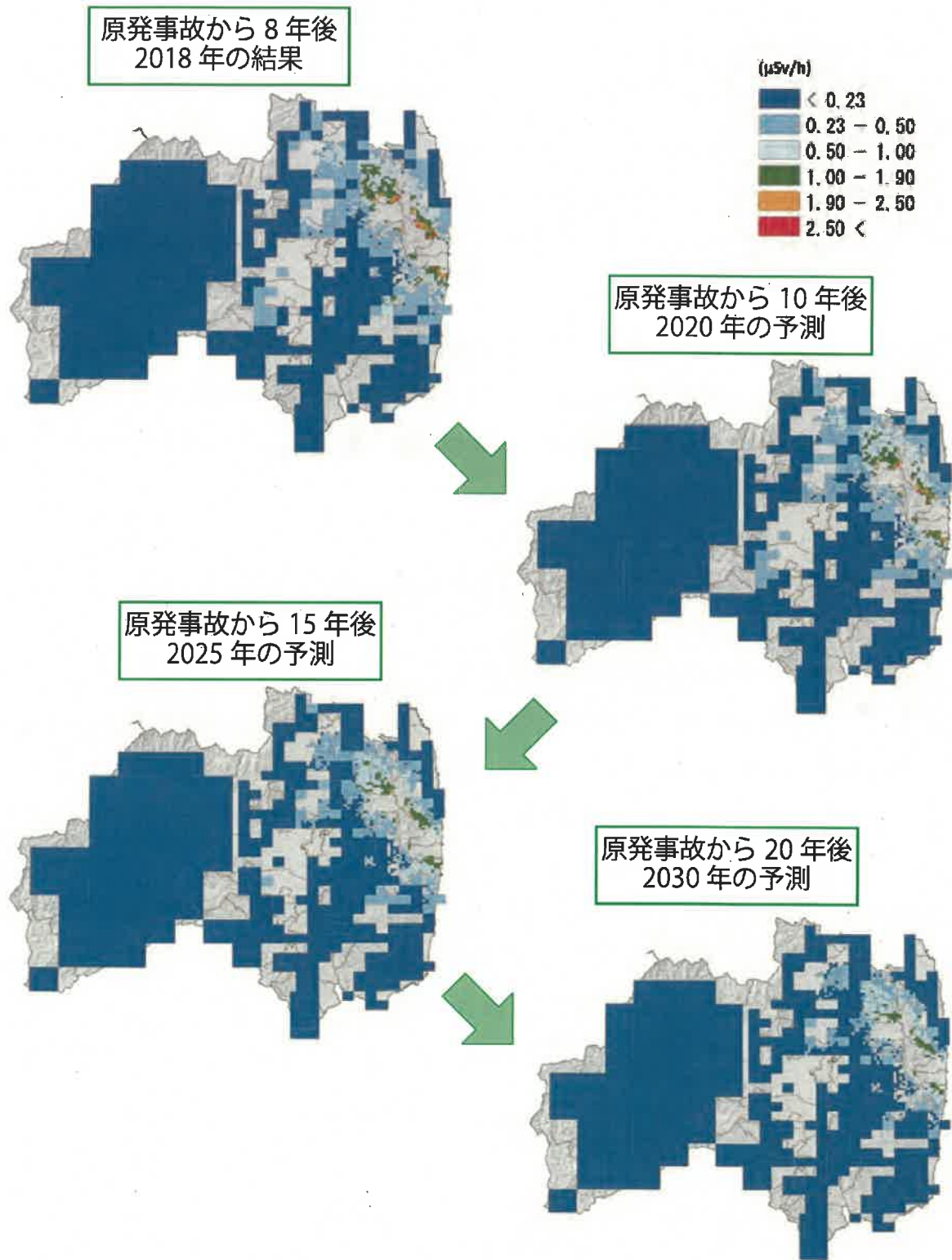
今後の森林内の空間線量率の分布は、図3-4のように予測されています。

(単位は $\mu\text{Sv/h}$)

2019年3月現在	原発事故10年後 2020年3月現在	原発事故15年後 2025年3月現在	原発事故20年後 2030年3月現在
0.23	0.21	0.17	0.14

[表3-3] 今後の空間線量率の予測値(単位： $\mu\text{Sv/h}$)

*2011年8月から継続調査を実施している362か所に基づく予測値



[図 3-4] 今後の森林の空間線量率の分布予測

資料：福島県森林計画課「森林における放射性物質の状況と今後の予測について」(2018 年度)

森林内の放射性物質の動態調査①

スギ林内における部位別の放射性物質濃度の変化

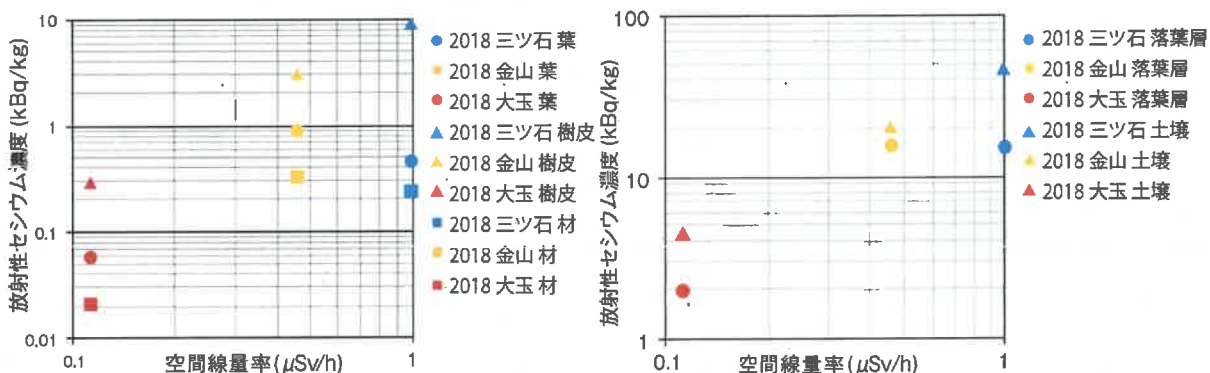
林野庁が福島県内2村6か所(川内村:館山アカマツ林、三ツ石スギ林、三ツ石ヒノキ林、三ツ石コナラ林、金山スギ林、大玉村:大玉スギ林)で行っている調査から、スギ林内における土壌、落葉層、樹木の葉、幹等の部位別の放射性セシウム濃度の調査結果を紹介します。

空間線量率と放射性セシウム濃度の関係

林野庁では、2011年から2018年にかけて、福島県の2村(川内村、大玉村)*の調査地で、スギ林内の樹木の葉や枝、樹皮などの部位別の放射性セシウム濃度について調査を行ってきました。

2018年の地上高1mの空間線量率は、三ツ石スギ林で $0.98 \mu\text{Sv/h}$ (2011年比32%)、金山スギ林で $0.46 \mu\text{Sv/h}$ (2012年比35%)、大玉スギ林で $0.11 \mu\text{Sv/h}$ (2011年比36%)であり、福島第一原子力発電所から遠くなるほど空間線量率が低くなりました。空間線量率とスギの部位別の放射性セシウム濃度の関係は、おおむね比例関係にあることが分かりました(図3-5)。

*福島第一原発からの距離は、三ツ石調査地が26km(川内村)、金山調査地が28km(川内村)、大玉調査地が66km(大玉村)。



【図3-5】スギ林3調査地における空間線量率と部位別放射性セシウム濃度の関係の変化
材は辺材と心材の濃度の平均値とした。土壌は最表層(深さ0-5cm)の値を用いた。

資料: 林野庁「平成30年度 森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」2019年3月

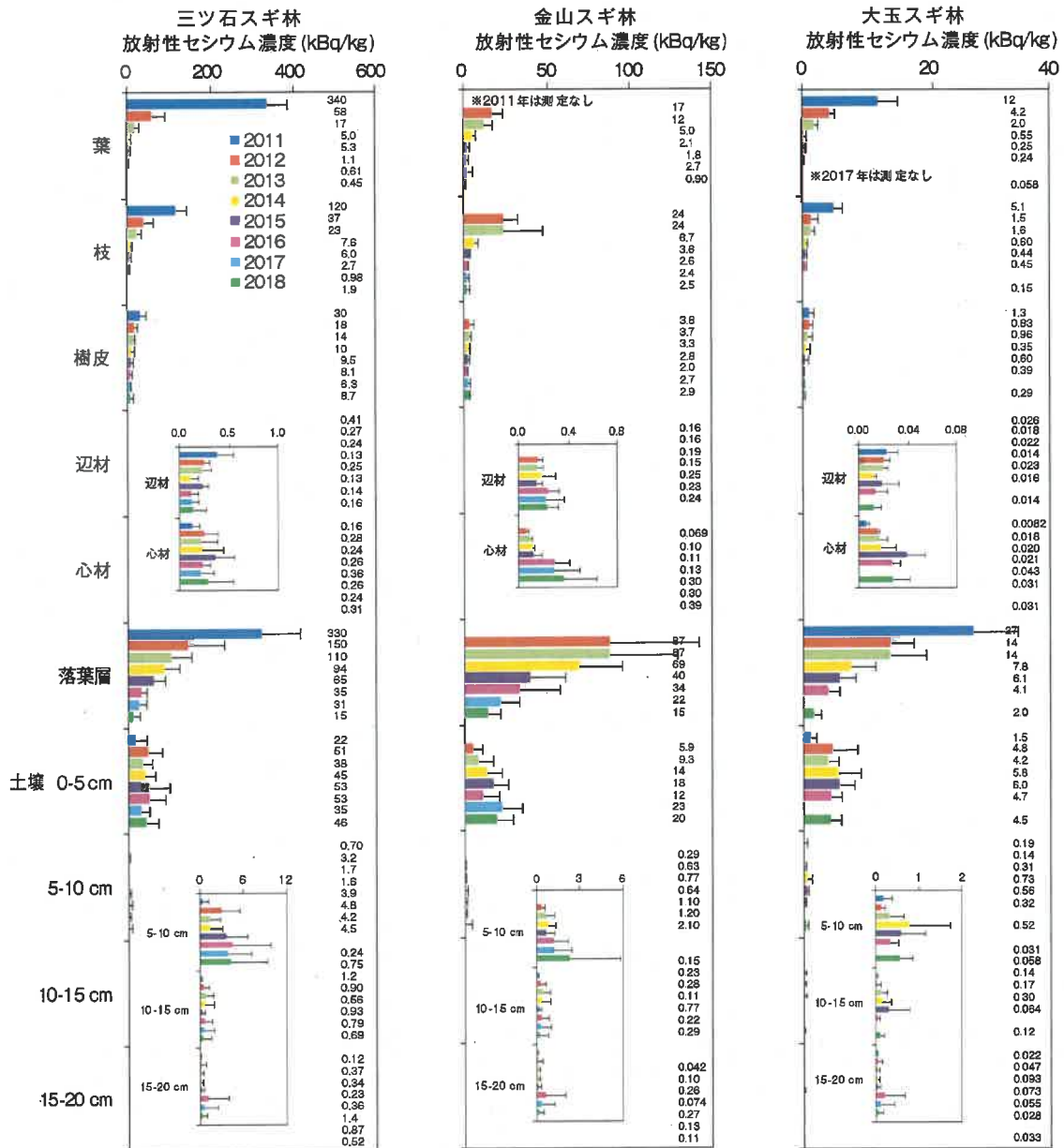
葉・枝・樹皮の放射性セシウム濃度

スギの葉の放射性セシウム濃度は2011年から2012年にかけて大きく低下し、その後も年々低下してきました(図3-6)。2018年の葉の放射性セシウム濃度*は、三ツ石、金山、大玉調査地の順に、0.45、0.90、0.06 kBq/kgでした。三ツ石及び金山調査地の計2か所の葉の放射性セシウム濃度の経年変化をみると、2017年から2018年にかけて、それぞれ7割、3割に減少していました(2017年は大玉のスギ林で調査を実施しなかった)。枝の放射性セシウム濃度も2011年から2012年にかけて大きく低下し、その後も年々低下してきました(図3-6)。ただし、2017年から2018年にかけて、枝では三ツ石で2倍以上に増加し、金山は1割増加し、2018年の枝の放射性セシウム濃度は、上記3調査地の順に1.9、2.5、0.15 kBq/kgでした。樹皮の放射性セシウム濃度も2011年以降低下傾向にありますが、2018年度は三ツ石で4割増加し、金山で1割増加し、三ツ石、金山、大玉の調査地でそれぞれ8.7、2.9、0.29 kBq/kgでした。このように、スギの葉・枝・樹皮では降雨による洗脱や落葉・落枝による移動によって事故から数年は濃度が大きく低下しましたが、近年ではやや増加する場合もみられるようになってきました。

*放射性セシウム濃度は、各年の9月1日を基準日として減衰補正をしています。Cs-134濃度が不検出の場合、2011年3月15日時点のCs-134濃度とCs-137濃度の比を1:1とし、半減期を用いた物理学的減衰に基づく理論的な推定式から、各年9月1日時点のCs-134濃度を推定しています。

辺材・心材の放射性セシウム濃度

2011年に行った調査において、すべてのスギ林で材から放射性セシウムが検出されました(図3-6)。このことは事故直後にスギに吸収された放射性セシウムが、材にも転流していたことを示しています。2018年の辺材の放射性セシウム濃度は、三ツ石、金山、大玉調査地の順に、0.16、0.24、0.014 kBq/kgであり、心材の放射性セシウム濃度は、0.31、0.39、0.031 kBq/kgでした。これまでの研究から、スギでは辺材よりも心材で放射性セシウム濃度が高くなることが明らかにされています。また、いずれの地域においても、材の放射性セシウム濃度は、葉、枝、樹皮に比べて低く、他の部位と比較すると、濃度の経年変化が小さいことが分かりました(図3-6)。



[図 3-6] 三ツ石・金山・大玉の3調査地のスギ林における部位別放射性セシウム(134+137)濃度(kBq/kg、平均値)の測定結果(細線は標準偏差)。

資料：林野庁「平成30年度 森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」2019年3月

落葉層・土壌の放射性セシウム濃度

2018年のスギ林の落葉層の放射性セシウム濃度は、三ツ石、金山、大玉調査地でそれぞれ15、15、2.0 kBq/kgで、2017年から2018年にかけて、放射性セシウム濃度は、三ツ石で5割、金山で3割減少しました(図3-6)。落葉層の放射性セシウム濃度は2011年以降減少する傾向が続いており、2011年(金山は2012年)から2018年にかけての7年間(金山は6年間)で、落葉層の放射性セシウム濃度は、三ツ石で9割5分、金山で8割、大玉で9割減少したことになります。

土壤の放射性セシウム濃度は2011年から増加傾向にありましたが、2015年頃から増加の傾向は不明瞭となっています。2018年の表層土壤(深さ0~5 cm)の放射性セシウム濃度はそれぞれ46、20、4.5 kBq/kgで、いずれも落葉層より濃度は高くなっていました。また、土壤全体で見ると、表層土壤の放射性セシウム濃度が最も高く、下層の土壤ほど濃度が低下していました(図3-6)。

以上より、落葉層中の放射性セシウムは、有機物の分解によって土壤に移動し、土壤表層に蓄積していることが明らかになりました。

森林内の放射性物質の動態調査② 樹木・土壌の放射性物質蓄積量の 分布割合の変化

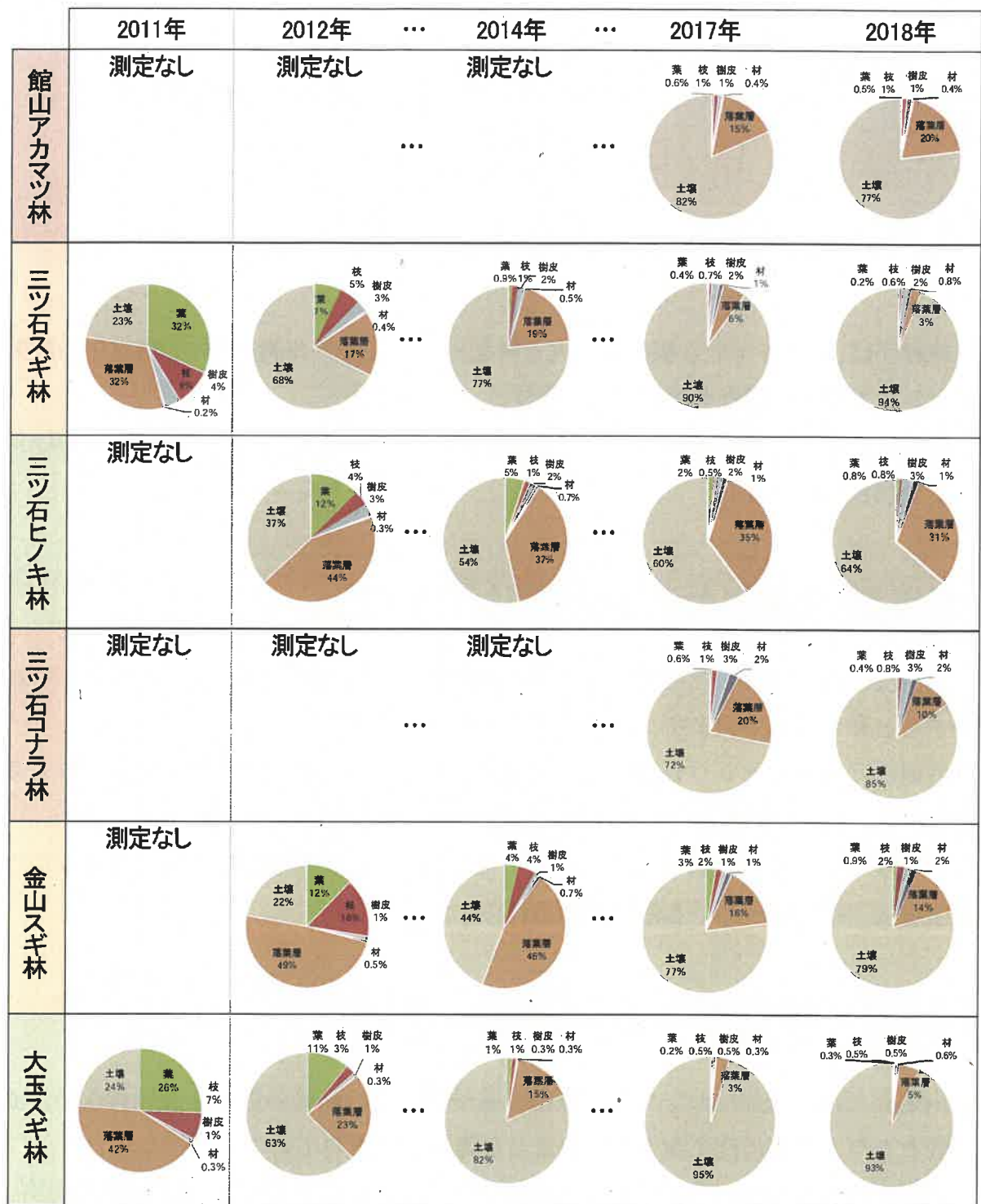
樹木の各部位別の放射性物質蓄積量の分布変化

2011年から2018年までの樹木の葉、枝、樹皮、辺材、心材の放射性セシウムの蓄積量の調査結果から、原発事故直後の2011年から2012年にかけては、放射性セシウム蓄積量の分布割合が大きく変化しましたが、2013年以降の変化は小さかったことが分かりました(図3-7)。

2018年の森林全体に対する樹木の放射性セシウム蓄積量の割合は、スギ林、ヒノキ林、コナラ林、アカマツ林の順に、2~6%、6%、5%、3%でした。それぞれの調査地の前年の調査結果と比較すると、葉、枝、樹皮、辺材、心材において、放射性セシウム蓄積割合にはほとんど変化が見られなくなってきています。

落葉層・土壌の放射性物質蓄積量の分布変化

2018年の森林全体に対する落葉層の放射性セシウム蓄積割合は、三ツ石スギ林、ヒノキ林、コナラ林、金山スギ林の4地点で前年よりも2~10%減少していましたが、館山アカマツ林では5%増加していました(図3-7)。2017年から2018年までの土壌の放射性セシウム蓄積割合は、三ツ石コナラ林で13%増加しましたが、それ以外の三ツ石スギ林、ヒノキ林、金山スギ林では5%以内の変化であることが分かりました。また、土壌中の放射性セシウムのうち、8~9割が表層土壌(0~5 cm 深)に分布していることが分かりました。



[図 3-7] 2011-2018 年における各調査地の放射性セシウム(134+137)蓄積量の部位別分布割合
 2013 年、2015 年、2016 年の調査結果は省略。

資料：林野庁「平成 30 年度 森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」2019 年 3 月

森林内の放射性物質の動態調査③ 樹皮の放射性物質

林野庁は、2012年から福島県の大玉村と川内村に設けた調査地で、樹皮中の放射性セシウム濃度の調査を継続しています。

樹皮は、生きた細胞を含まない外樹皮と生きた細胞を含む内樹皮(師部)に分けられます(59頁図3-14)。

外樹皮の放射性セシウム濃度は減少

外樹皮では、付着した放射性セシウムが樹皮の脱落や雨で洗い流されたりして減少すると考えられています。

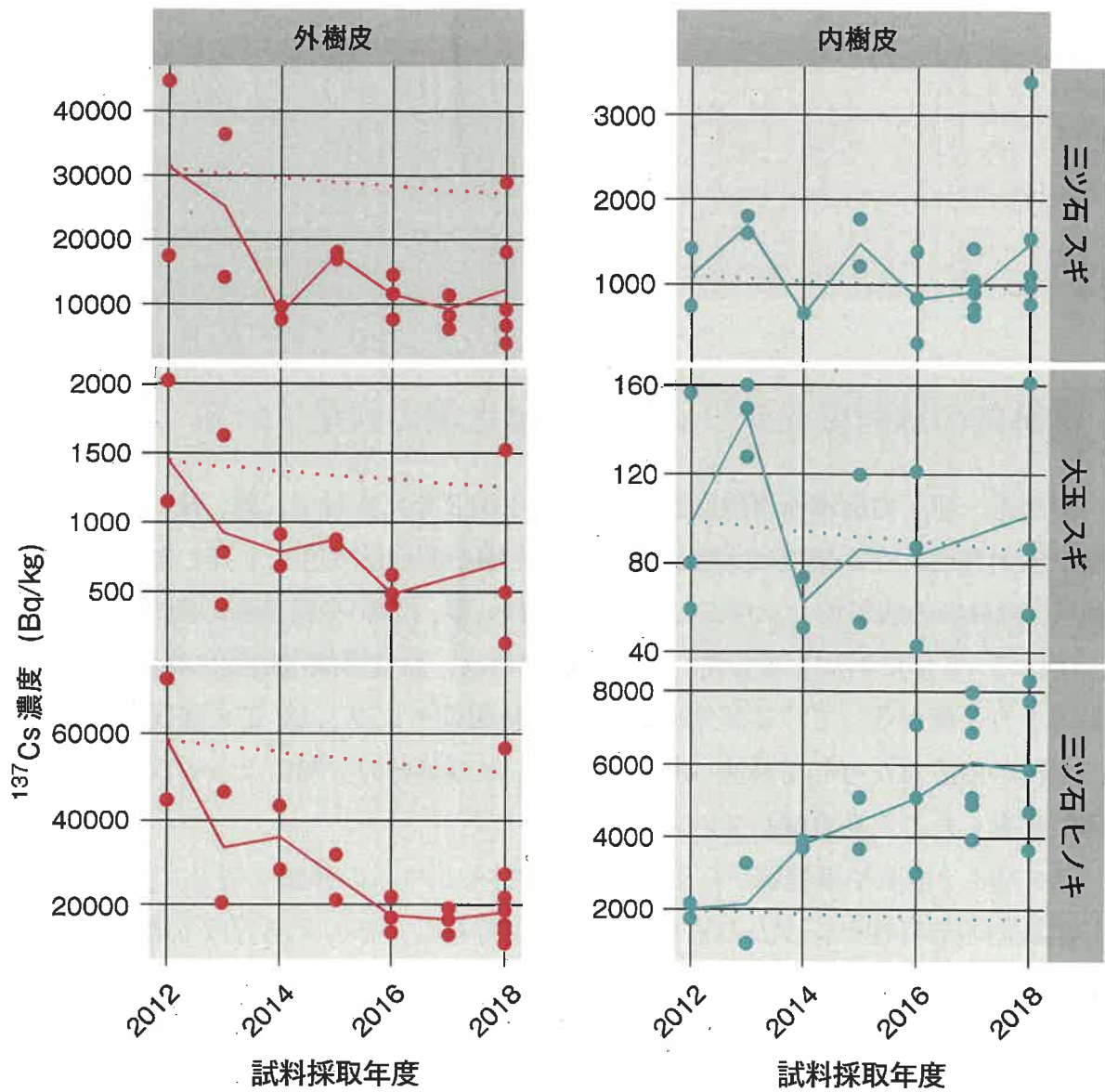
外樹皮の放射性セシウム濃度の平均値は、全ての調査地で物理学的減衰よりも多く減少し、2018年は2012年の3~5割程度まで低下しました(図3-8)。また、三ツ石スギやヒノキに顕著に見られるように、2016年以降は外樹皮の放射性セシウム濃度は下げ止まっている傾向が見られました。

内樹皮の放射性セシウム濃度は一定せず

内樹皮では、放射性セシウムの経根吸収や樹体内の転流の影響を受けるため、放射性セシウム濃度の変化を予測することが難しいとされています。

内樹皮の放射性セシウム濃度の平均値は、三ツ石ヒノキ以外では物理学的減衰と同様に減少しています。一方、三ツ石ヒノキでは内樹皮の放射性セシウム濃度に増加傾向が見られ、2018年は2012年の約3倍になりました(図3-8)。

一部に上げ止まり、下げ止まりの傾向がみられるものの、正確に判断するためには今後も引き続き変化をみていく必要があります。



[図 3-8] 外樹皮と内樹皮における放射性セシウム濃度(kBq/kg)の経年変化
 実線は平均値を、破線は初回モニタリング年の平均値からの物理学的減衰を示す
 資料：林野庁「平成 30 年度 森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」2019 年 3 月

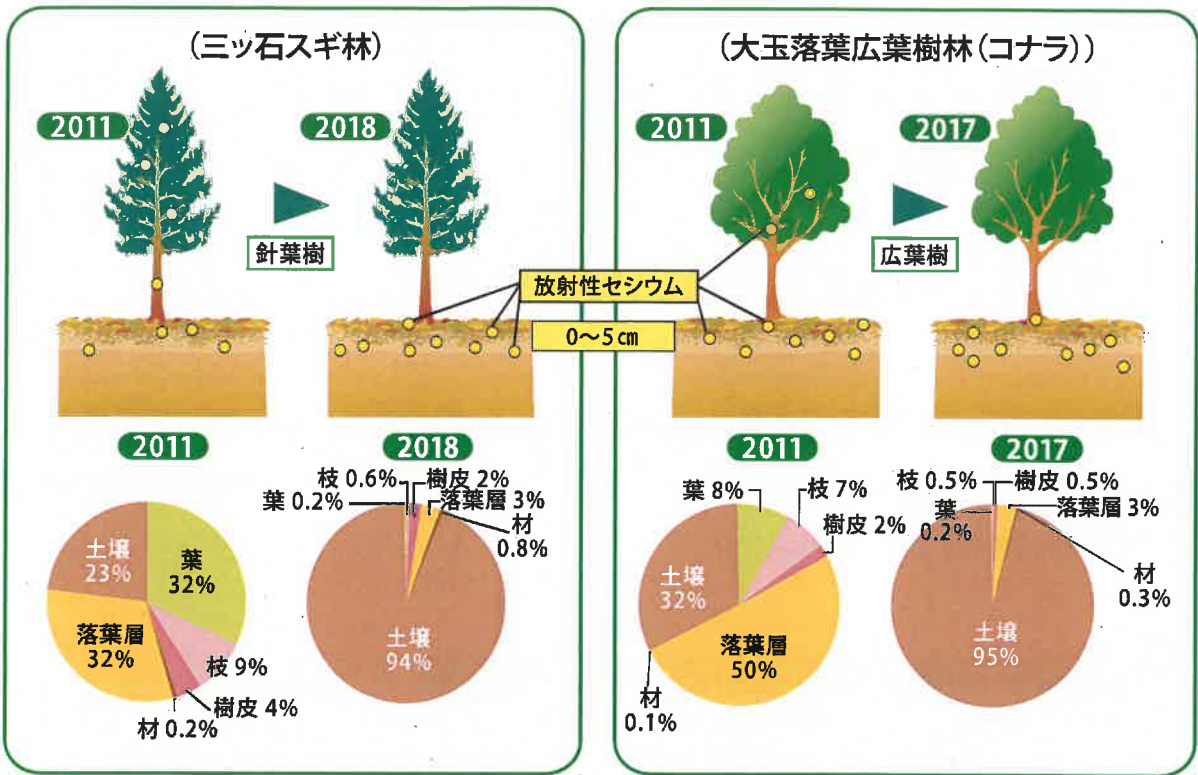
森林内の放射性物質の動態調査(まとめ) 森林の放射性物質の動態変化 —2011～2018年

森林内の放射性セシウムの9割は土壌の表層に分布

福島第一原子力発電所事故直後の2011～2012年にかけて、葉、枝、樹皮や落葉層の放射性セシウム濃度は大幅に低下し、土壌の濃度は大きく上昇しました。その結果、森林内の放射性セシウムの蓄積量は樹木(葉、枝等)や落葉層の割合が低下し、土壌は2～3倍に増加しました。これらの変化は、原発事故後初期に森林の樹冠(樹木の上方の葉が茂っている部分)に付着した放射性セシウムが、その後落葉したり、雨で洗い流されたりして林床へ移動し、さらに落葉層の分解によって落葉層から土壌に移動したことを意味しています。

その後も、樹木や落葉層から土壌への放射性セシウムの移動は続き、2018年時点で森林内の放射性セシウムの約9割が土壌に分布し、その大部分は土壌の表層0～5 cmに存在しています(図3-9)。

土壌の放射性セシウムは、時間の経過とともに順次、地上部から落葉層、土壌表層への移動が見られ、また一部ではさらに深い層への移行が見られることから、今後も移動状況を注視していく必要があります。



森林内の放射性セシウムの約90%以上が土壌(0~5cm)に分布
約2~6%が樹木に分布

[図3-9] 森林の放射性セシウム(134+137)の動態変化
資料：林野庁「平成30年度 森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」2019年3月、
林野庁「平成29年度 森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」2018年3月を基に作成

針葉樹林と広葉樹林における空間線量率の変化

林野庁は郡山市にある福島県林業研究センター多田野試験林の常緑針葉樹林(スギ、ヒノキ)と落葉広葉樹林(コナラ、サクラ)で、地上高 1 m の空間線量率の経時変化を長期に追跡しています。

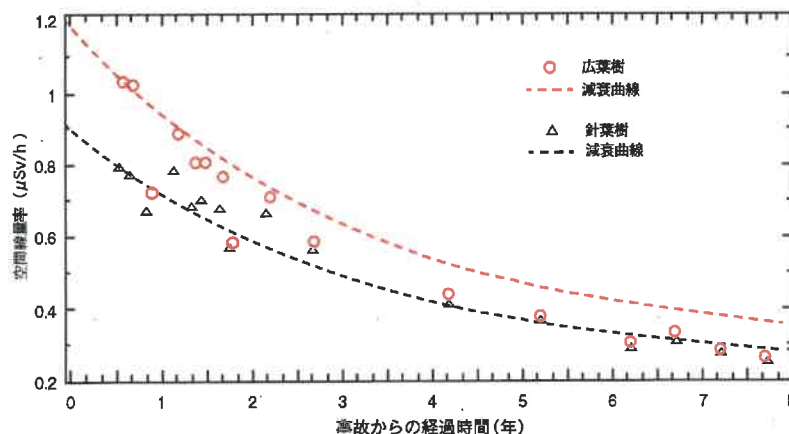
林内の空間線量率の経時変化と減衰曲線

図 3-10 は、放射性セシウム(Cs-134 と Cs-137)の物理学的半減期から推定される空間線量率の減衰(減衰曲線)と実測値の経時変化を示したものです。

常緑針葉樹林内の空間線量率は、約 3 年経過後までの線量率の低下が遅く、4 年目以降はほぼ減衰曲線に沿った変化傾向でした。

一方、落葉広葉樹林内での実測値は、減衰曲線より低いことが多く、経過年 1 年以降が減衰曲線より低くなっていました。

常緑針葉樹林内では事故当時の 3 月にも葉が多く存在していたと考えられ、樹冠部にも放射性セシウムが多く沈着したため、その後の落葉等によってそれらが林床方向へ再移動した結果、林内空間線量率の低減速度が遅くなっていると考えられます。



【図 3-10】 常緑針葉樹林内と落葉広葉樹林内の空間線量率の経時変化と放射性セシウムの物理学的半減期から推定した空間線量率の減衰(減衰曲線)

減衰曲線は最初の各測定値を基に、事故日を 2011 年 3 月 15 日、自然放射線率を $0.05 \mu\text{Sv/h}$ として計算した。

資料：林野庁「平成 30 年度 森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」2019 年 3 月

スギ雄花中の放射性物質

林野庁は、森林に降下した放射性物質がスギ花粉の飛散により再拡散し、人がそれを吸収することによる影響を把握するため、2011年度からスギ雄花に含まれる放射性セシウム濃度の調査を行っています。

これまでのスギ雄花中セシウム濃度

2011年度にスギの雄花に含まれる放射性セシウム濃度(単位重量(乾重)当たりのCs-134とCs-137)の調査を実施したところ、最高値は253 kBq/kgでした。

これまでの調査で、スギ雄花に含まれている放射性セシウム濃度は、全体としては年々低下する傾向を示しました。低減割合は年を追うごとに変化しており、2012年度は全体として2011年度の半分まで低下していましたが、2017年度は2016年度の7割となっていました。

このように、全体としては事故直後に比べて雄花の放射性セシウム濃度は低減していますが、空間線量率の高い地域では雄花の放射性セシウム濃度が高い傾向が続いています。

雄花と葉の放射性セシウム濃度については、2011年度から2014年度までは事故直後に直接汚染された葉が残存していたため、葉の濃度が雄花よりも高くなりましたが、2015年度以降は雄花の濃度の方が葉の濃度より高くなりました。

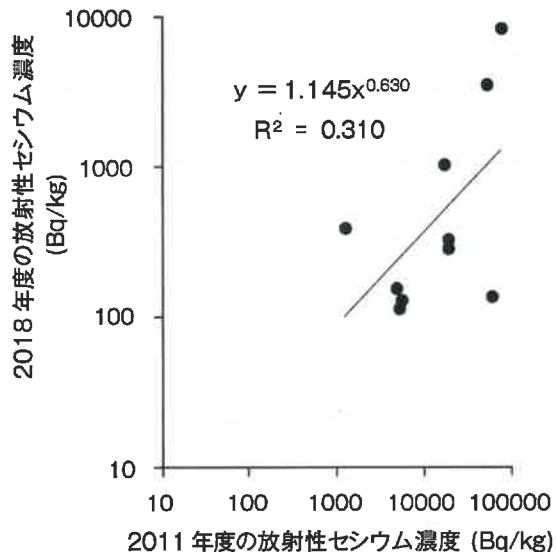
2011年度と2018年度のスギ雄花中セシウム濃度の関係

2018年度は、前年度と同様に、空間線量率の高い地域を中心に16地点においてスギ雄花に含まれる放射性セシウム濃度の調査を実施しました。スギ花粉は、春に飛散しますが、その放射性セシウム濃度は、11月頃のスギ雄花の放射性セシウム濃度から予測できることから、スギ雄花試料は2018年11月に採取しました。

図3-11は、事故直後(2011年度)から調査されている10地点について事故直後(2011年度)と2018年度のスギ雄花中の放射性セシウム濃度の関係を示したものです。

2011年度に雄花の放射性セシウム濃度が高かった地点ほど、その後の年の濃度も高いという関係が認められました。

2018年度のスギ雄花に含まれる放射性セシウム濃度は事故直後に比べて、全体として7%程度に低減していました。



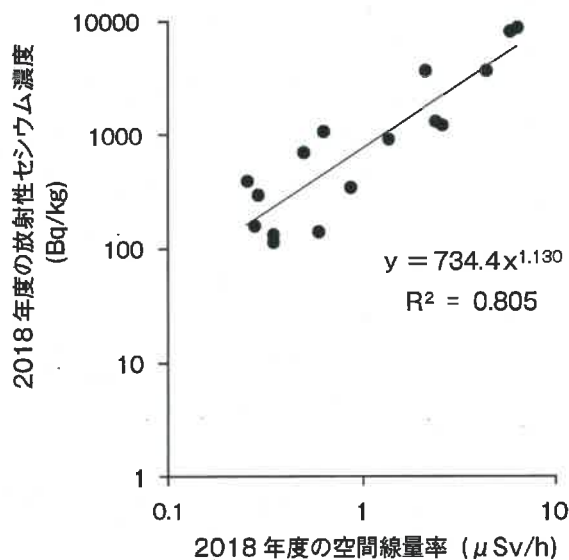
[図3-11] 継続調査地点(10地点)の2011年度と2018年度のスギ雄花中セシウム濃度の関係(Bq/kg)

資料：林野庁「平成30年度 森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」2019年3月

空間線量率とスギ雄花中セシウム濃度の関係

図3-12は、2018年度雄花を採取した16地点について空間線量率と雄花中の放射性セシウム濃度の関係を示したものです。

空間線量率の高い地点では雄花中の放射性セシウム濃度も高い傾向が認められました。



[図3-12] 空間線量率とスギ雄花中のセシウム濃度(2018年度)

資料：林野庁「平成30年度 森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」2019年3月

放射性セシウムを含むスギ花粉を人が吸収することによる影響

2018年度の調査で測定された最高濃度の放射性セシウム(8.4 kBq/kg)がスギ花粉に含まれて大気中に飛散し、これを人が吸入した場合に受ける放射線量を2011年度と同様の前提条件で試算したところ、1時間あたり最大0.0000078 μ Svとなりました。この数値は、東京都新宿区で観測された1時間あたりの放射線量0.037 μ Sv(2019年2月27日時点)と比べても非常に低いものでした。

区分(前提条件)	Cs-137	Cs-134
スギの花粉に含まれる放射性セシウムの濃度(①)	7.8 kBq/kg	0.6 kBq/kg
飛散するスギの花粉の過去最高の大気中の濃度(②)	2,207 個/m ³	
スギの花粉の1個あたりの重量	12 ナノグラム	
大気中に飛散するスギの花粉に含まれる放射性セシウムの濃度(①、②の濃度及び重量により計算)	0.000207 Bq/m ³	0.000017 Bq/m ³
上記大気を成人が吸入することにより受ける放射線量(上記濃度及び③、④により計算)	1時間	0.0000078 μ Sv
	花粉の飛散期間での累計(2月～5月)	0.0000224 mSv

(参考)2011年度と同様の前提条件

- ①スギの花粉に含まれる放射性セシウム濃度は、2018年度に調査を行ったスギの雄花の測定結果の最高値(8,430 Bq/kg)を使用。(花粉に含まれる放射性セシウムの濃度が雄花の濃度と同一と仮定)
- ②飛散するスギ花粉の大気中の濃度は、環境省花粉情報システムによる測定結果の最高値2,207個/m³を使用。
- ③成人が1日に吸入する空気の量は、国際放射線防護委員会の数値(22.2 m³)を使用し、1時間あたりの吸入量はこれを24で割ったものとした。
- ④実効線量係数(吸引摂取)は、Cs-137は0.039 μ Sv/Bq、Cs-134は0.020 μ Sv/Bqを使用。

東京都新宿区で観測された放射線量 (2019年2月27日時点)	1時間	0.037 μ Sv
------------------------------------	-----	----------------

[表3-4] 2018年度調査結果に基づく人体が受ける放射線量の試算

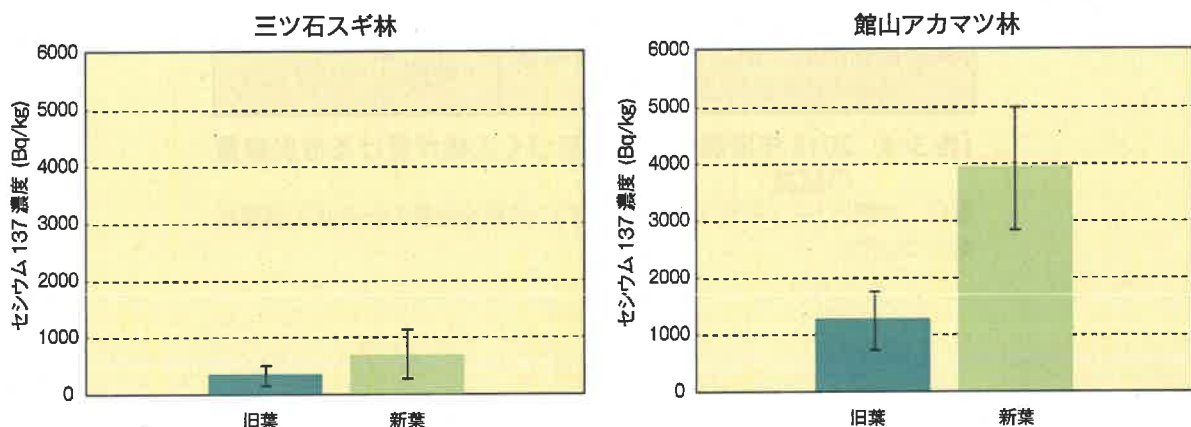
資料：林野庁HP「平成30年度森林内の放射性物質の分布状況調査結果について」

葉の放射性物質

林野庁が2018年に福島県内2村6か所(川内村：三ツ石スギ林、三ツ石ヒノキ林、三ツ石コナラ林、金山スギ林、館山アカマツ林；大玉村：大玉スギ林)で実施した調査では、スギ林、コナラ林、アカマツ林において、新葉(調査した年に展開した葉)と旧葉(古い葉)に分けて、放射性セシウム濃度を調べました。その中から、三ツ石スギ林と館山アカマツ林の測定結果について紹介します。また、森林内の小径木の葉の放射性セシウム濃度についても紹介します。

スギとアカマツの葉の放射性物質

2018年の調査で採取された三ツ石スギ林の新葉と旧葉の放射性セシウム濃度(Cs-137)は、690 Bq/kgと340 Bq/kgであり、新葉の濃度が旧葉よりも約2倍高いことが分かりました。葉を区別して採取し始めた2014年の三ツ石スギ林の調査では、旧葉の放射性セシウム濃度の方が当年葉よりも高いものも見られました。しかし、2018年になると、新葉の濃度の方が旧葉よりも高くなっていることから、この調査結果は、原発事故で直接汚染された葉が完全に落葉したことを反映していると考えられます(図3-13)。



【図3-13】2018年の三ツ石スギ林と館山アカマツ林の新葉と旧葉のセシウム137濃度比較
各調査地の試料(三ツ石スギ：n=7；館山アカマツ：n=8)における平均値(標準偏差)
資料：林野庁「平成30年度森林内における放射性物質実態把握調査事業報告書」の調査結果より

場所	測定年	調査林分 (記号等)	土壌 137Cs 量 (kBq/m ²)	林齢 (年生)	試料木 (本数)	137Cs 濃度 (kBq/kg)		当年葉/ 旧葉比	文献
						当年葉	旧葉**		
ベラルーシ Gomel (120 km) #	2001 (15年)*	Young	1,756	17	9	43.3	19.3	2.2	Goor and Thiry (2004) Table3
		Medium	1,521	37	9	18.2	7.3	2.5	
		Old	989	57	9	21.3	8.8	2.4	

#括弧内は、チェルノブイリ原発からの距離。

*括弧内は、チェルノブイリ原発事故(1986年)からの経過年数。

**旧葉の葉齢の区別はなし。

[表 3-5] 欧州アカマツ (*Pinus sylvestris*) の当年葉と旧葉の放射性セシウム濃度の測定例

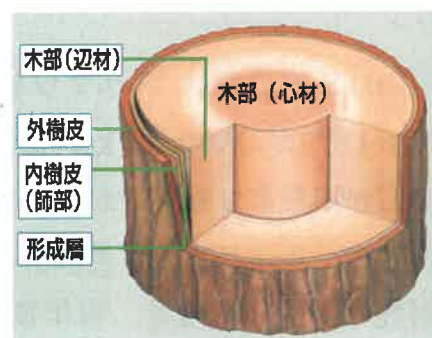
2018年の館山アカマツ林での調査結果から、新葉の放射性セシウム濃度(Cs-137)が3900 Bq/kg、旧葉の濃度が1200 Bq/kgであり、アカマツ林でも新葉の方が旧葉よりも濃度が約3倍高くなっていました。チェルノブイリでの原発事故後のベラルーシでの調査によると、事故後15年程度経過した欧州アカマツの葉の放射性セシウム濃度も、当年葉が旧葉よりも高い値だったことが報告されています(表 3-5)。

今後、時間の経過とともに、旧葉から新しい葉にどの程度の量の放射性セシウムが転流し、どの程度の量の放射性セシウムが土壌から吸収されるのか、福島県のアカマツ林の調査でもさらなる検証が必要です。

木材中の放射性物質

森林が放射性物質で汚染されると、幹内部の木材の部分にも放射性物質が移動するのではないかと考えられます。

林野庁と福島県ではそれぞれ、伐採した幹を樹皮と材に分け、さらに材を辺材(水や養分を運ぶ機能のある部分)と心材(成熟した幹の中心にできる生命活動を停止した部分)に分けて、木材内の放射性セシウム濃度について調査を行いました。



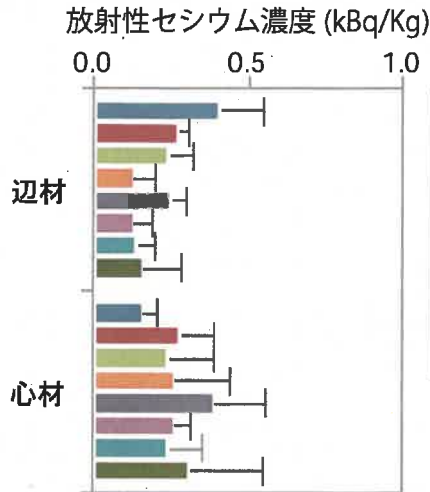
[図 3-14] 樹幹の構造 資料：一般社団法人全国林業改良普及協会「森林を知るデータ集 No. 1」

木材(辺材、心材)中の放射性セシウム濃度の変化

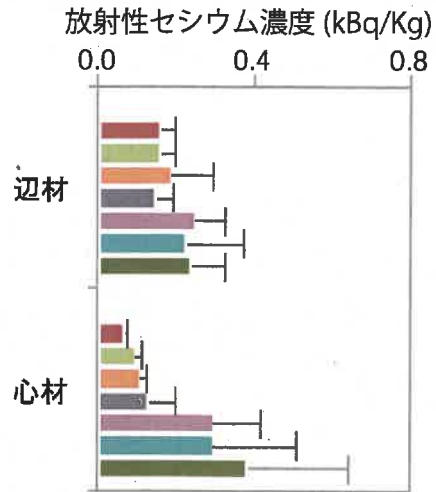
林野庁では、2011年以降、川内村や大玉村のスギ林、ヒノキ林、アカマツ林或いはコナラ林など計10か所で木材中の放射性セシウム濃度を継続調査しています。

木材中の放射性セシウム濃度は、スギの辺材では大きな変化がなく、心材では2015年頃まで増加してそれ以降あまり変化がないという傾向が見られました。ただし、金山スギ林のように場所によっては辺材と心材の両方で放射性セシウム濃度が引き続き増加傾向にあることもわかっています。他の樹種では、コナラで辺材と心材の放射性セシウム濃度が増加傾向にあります。一方、アカマツの木材中の放射性セシウム濃度は、これまでの調査で増加傾向は見られておらず、他の樹種に比べて木材中の放射性セシウム濃度が低い傾向にあることもわかってきました。

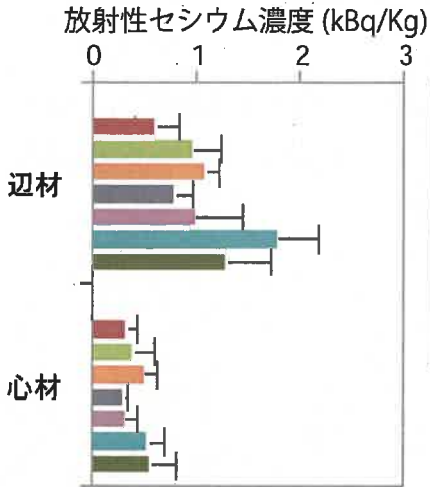
三ツ石スギ林



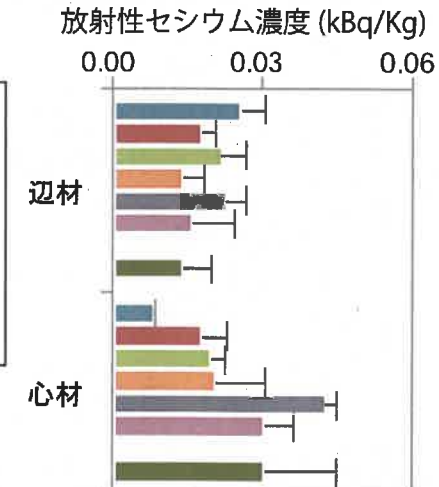
金山スギ林



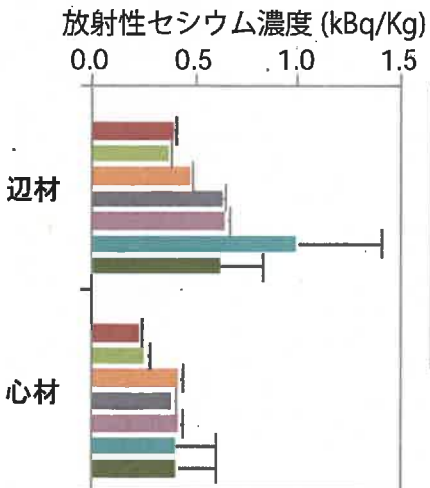
三ツ石コナラ林



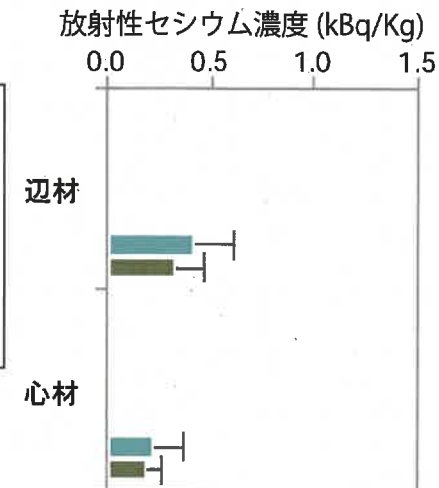
大玉スギ林



三ツ石ヒノキ林



館山アカマツ林



[図 3-15] 三ツ石スギ林、金山スギ林、三ツ石コナラ林、大玉スギ林、三ツ石ヒノキ林、館山アカマツ林における木材内部の放射性セシウム濃度 (kBq/kg) の変化

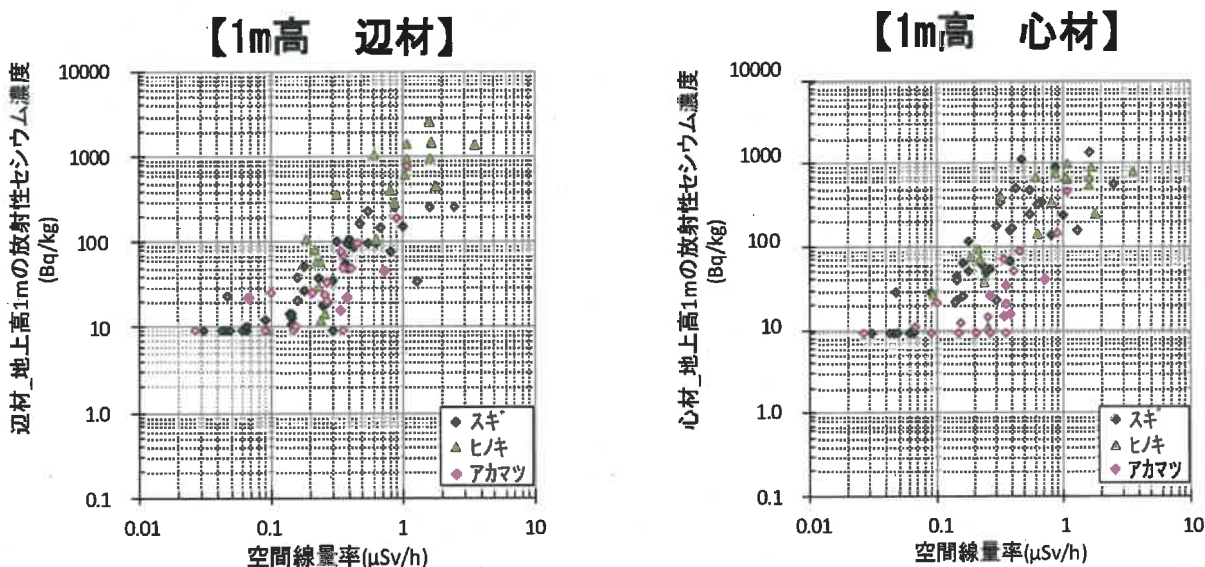
資料：林野庁 HP「平成 30 年度森林内の放射性物質の分布状況調査結果について」

空間線量率と木材(辺材、心材)中の放射性セシウム濃度との関係

福島県では、県内の森林で、木材中の放射性セシウム濃度を継続して調べています。2018年の調査は、81か所(スギ39か所、ヒノキ21か所、アカマツ21か所)で行いました。調査では、スギ、ヒノキ、アカマツを対象として、樹木の地上1mの辺材・心材の放射性セシウム濃度と、採取木周辺における地上1mの空間線量率を測定しました。

空間線量率と高さ1mの辺材・心材の放射性セシウム濃度との関係をみると、空間線量率が高いほど、木材に含まれる放射性セシウム濃度も高いことがわかりました(図3-16)。空間線量率の把握が今後の林業生産活動の目安になると考えられます。

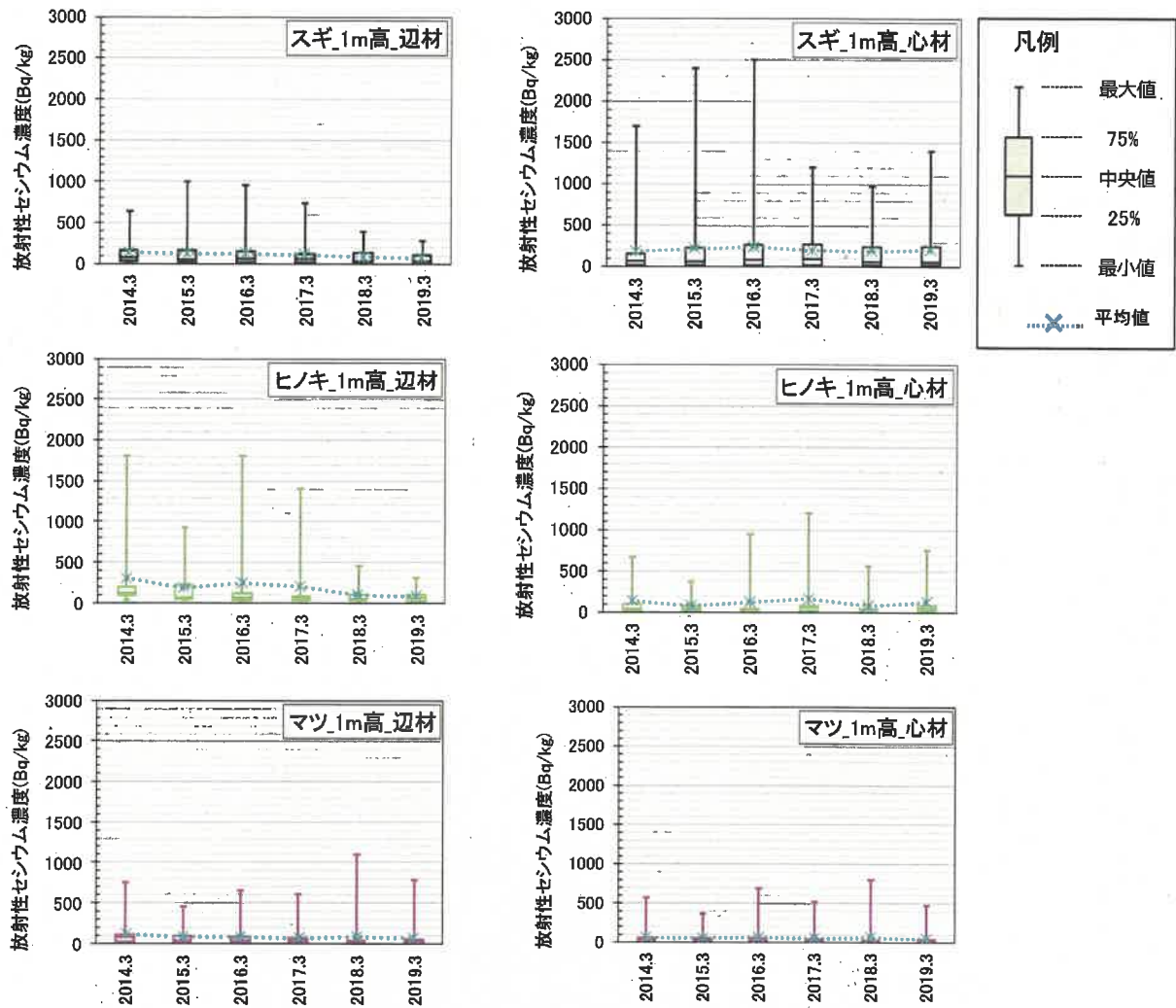
木材に含まれる放射性セシウム濃度の平均値の経年推移をみると、大きく変動していないことから、原発事故直後に取り込まれた放射性セシウムが樹木内部に溜まっていると考えられます。



〔図3-16〕空間線量率と辺材・心材(高さ1m)の放射性セシウム濃度の関係

※10 Bq/kg 未満の場合の値を「10」としている

資料：福島県森林計画課「森林における放射性物質の状況と今後の予測について」(2018年度)



【図 3-17】 木材に含まれる Cs 濃度の平均値の経年推移

資料：福島県森林計画課「森林における放射性物質の状況と今後の予測について」(2018 年度)

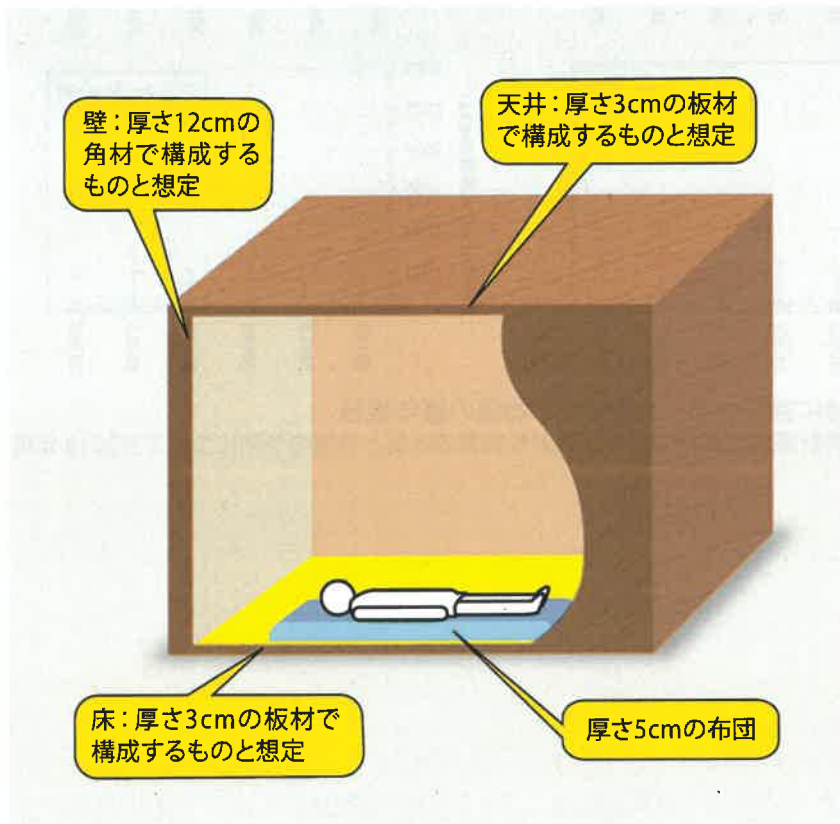
木造住宅を使用した場合の年間被ばく線量

福島県が2018年度に県内81か所で行った調査において、最も放射性セシウム濃度が高かった木材^{※1}を天井、壁、床の6面に使って住宅を建てた場合の追加被ばく線量は、時間当たり0.010 $\mu\text{Sv/h}$ で、年間0.075 mSvと推定されています^{※2}。この数値は自然放射線による年間被ばく線量2.1 mSvと比べても著しく小さいことが分かりました。

以上のことから、空間線量率0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 以下の森林で生産される木材を利用した木造住宅で暮らしても、環境や健康への影響はほとんどないと考えられます(図3-18)。

^{※1} 3,000 Bq/kg(帰還困難区域に隣接する調査地から採取)

^{※2} 林野庁資料「木材で囲まれた居室を想定した場合の試算結果・IAEA-TECDOC-1376」に基づき試算



【注1】一般的な日本の木造住宅(軸組住宅)では、この試算よりも木材の使用量がかなり少ないので、被ばく量はさらに少なくなると想定されます。

【注2】福島県では県内の製材工場で、製材品の表面の放射線量(表面線量)を定期的に測定し、出荷されている県産材が安全かどうかを調査しています。その結果、専門家から製材品の表面線量は低く、環境や健康への影響はないものと評価されています。

【図3-18】木材で囲まれた居室を想定した場合の試算結果
資料：福島県森林計画課「森林における放射性物質の状況と今後の予測について」(2018年度)

渓流水・飲用沢水・河川の放射性物質

放射性物質が私たちの生活に欠かせない水に影響を与えることが懸念されたため、溪流、沢、河川及びその流域において調査を行いました。

渓流水の放射性物質

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所では、2012年に福島県内6か所(飯舘村、伊達市、二本松市、会津若松市、郡山市、広野町)の森林で渓流水中の放射性セシウム濃度の調査を行いました。雪解け期・梅雨期・秋期に調査をした結果、採取した渓流水の大部分で放射性セシウムは検出されませんでした(検出下限値 1 Bq/L)、降雨があった日の一部の試料から放射性セシウムが検出されました。

さらに、渓流水に含まれる懸濁物質(水に溶けない粒子)の濃度が高いほど放射性セシウムの濃度が高いことがわかりました。検出された時の渓流水には、水の中に細かな土などの粒子が混ざり濁っていたため、ろ過により懸濁物質を取り除いたところ、ろ過後の水の大部分で放射性セシウムは不検出となりました。このことから、渓流水中の放射性セシウムは、混ざっていた細かな土などの粒子が主な由来であると推測されました。

資料:森林総合研究所「プレスリリース」2012年6月12日、2012年9月21日、2012年12月20日

飲用沢水の放射性物質

環境省では、2012年12月より、福島県内の要望があった市町村で住民が飲用する沢水等のモニタリングを実施しています。これまでの5年間の調査データによると、9市町村(飯舘村、大熊町、葛尾村、川内村、川俣町、田村市、浪江町、楢葉町、広野町)で、全9,020検体中8,963検体(99.4%)が不検出となっており、ろ過



[写真 3-1] 採水場所の例(飯舘村)

後の測定では全箇所では不検出となりました。

また、2018年2月に、11か所の沢水等を採取し、放射性セシウム濃度の測定をしたところ、すべての検体で不検出(検出下限値 1 Bq/L)となりました。

※参考 1

食品衛生法に基づく食品、添加物等の規格基準(飲料水)放射性セシウム(Cs-134、Cs-137 合計) : 10 Bq/L。
水道水中の放射性物質に係る目標値(水道施設の管理目標値)放射性セシウム(Cs-134、Cs-137 合計) : 10 Bq/L。

※参考 2

2018年3月2日に公表した沢水モニタリング測定結果の概要

・2018年2月における調査箇所は、11か所。・期間中に採取した11検体はすべて不検出(検出下限値:1Bq/L)。

資料:環境省「除染特別地域等における沢水等モニタリングの測定結果について(2018年2月採取分及び過去5年間の測定結果の取りまとめ)」2018年3月2日

河川の放射性物質

環境省では福島第一原発の事故後、福島県及びその近隣県において河川の放射性セシウム(Cs-134、Cs-137)濃度を継続して測定しています。福島県においては123地点で測定を行っており、2015年4月～6月の測定では、浜通りの1地点及び中通りの1地点でCs-137が1Bq/L検出されたのみで、その他の地点ではCs-134、Cs-137ともに全て不検出(検出下限値1Bq/L)となりました。

また、河川の流域に沈着した放射性セシウム(Cs-137)がどの程度河川に流出するかについて、福島県内3か所、茨城県内1か所、宮城県内1か所を対象として国立研究開発法人日本原子力研究開発機構及び国立環境研究所が調査を行っています。これらの調査結果から試算すると、1年間に森林から河川に流出するCs-137の量は森林内の土壌に沈着したCs-137の0.02%～0.26%程度でした(環境省試算)。

資料:環境省除染チーム「河川・湖沼における放射性物質に係る知見の整理」2014年8月

風による放射性物質の拡散

環境省は、森林に残存する放射性物質が風向・風速によって生活圏の空間線量率にどのような影響を与えるかについて調査を行いました。

風向・風速と空間線量率

環境省では、除染を実施した区域より奥の生活圏外の森林に残存している放射性物質が飛散し、生活圏が汚染されるのではないかと懸念があったため、風による放射性物質の拡散について調査を実施しています。

田村市の北部と南部に1か所ずつ、森林から20m程度以上離れた場所に測定地点を設けました。空間線量率を測るモニタリングポストと風向や気温などを測る気象計で、空間線量率の気象条件による変動をみました。その結果、空間線量率は風向・風速によらず、ほぼ一定の範囲内で変動しており、森林のある方角から風が吹いた際にも、生活圏の空間線量率の上昇はみられませんでした。

実施場所①	風速		風速							
	風向	全風速	～1.0 m/s	1.1～2.0 m/s	2.1～3.0 m/s	3.1～4.0 m/s	4.1～5.0 m/s	5.1～6.0 m/s	6.1～7.0 m/s	7.1 m/s～
	N	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.13±0.00	—	—
	NE	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.13±0.02	0.12±0.02	—	—	—	—
	E	0.14±0.02	0.14±0.02	0.15±0.02	0.15±0.02	—	—	—	—	—
	SE	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.03	0.14±0.02	0.14±0.02	—	—	—	—
	S	0.14±0.02	0.14±0.02	0.15±0.02	0.14±0.02	0.14±0.03	—	—	—	—
森林のある方角	SW	0.14±0.02	0.14±0.02	0.15±0.03	—	—	—	—	—	—
	W	0.14±0.02	0.14±0.02	0.15±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.11±0.00	—	—	—
	NW	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.14±0.02	0.13±0.02	—	—

実施場所②	風速		風速							
	風向	全風速	～1.0 m/s	1.1～2.0 m/s	2.1～3.0 m/s	3.1～4.0 m/s	4.1～5.0 m/s	5.1～6.0 m/s	6.1～7.0 m/s	7.1 m/s～
	N	0.17±0.02	0.17±0.02	—	—	—	—	—	—	—
	NE	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.15±0.03	—	—	—	—	—
	E	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.15±0.02	—	—
	SE	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.03	—	—	—	—	—	—
	S	0.15±0.02	0.15±0.02	0.16±0.02	—	0.15±0.00	—	—	—	—
森林のある方角	SW	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.12±0.02	—	—	—	—
	W	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.17±0.02
	NW	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.17±0.02	—	—	—	—	—

※表中の値は「空間線量率(風向・風速に応じた平均値)±標準偏差(μSv/h)」である。

[表 3-6] 空間線量率及び気象データの経時変化

大気浮遊じん中の放射性セシウム濃度

飛来物質の放射性セシウム濃度を把握するため、同一地点にハイボリュームエアサンプラー※を設置して大気粉じんを捕集し、計測を行いました。大気中の放射性セシウム濃度の最大値は、実施場所②で得られ(第2回調査)、その値は放射性Cs-134:0.0094 mBq/m³、放射性Cs-137:0.027 mBq/m³でした。

調査で得られた大気粉じん中の放射性セシウム濃度の最大値が、屋内・屋外を問わず、年間を通して生活圏に存在すると仮定して、その際の内部被ばく線量を推計換算した結果、0.0000016 mSv/年となりました。この値は、日本人の1人当たりの自然放射線による被ばく線量(約2.1 mSv/年)と比較しても、100万分の1という非常に低い値でした。

これらのことから、森林からの放射性セシウムの飛散による生活圏への影響はないものと考えられます。

※ハイボリュームエアサンプラー：大気中の粉じん、煤じんの試料採取装置の1つで、大量に空気を吸引し、試料をガラス繊維のフィルタに捕集する。

事前調査 (H26.12.16~27)		Cs-134 (mBq/m ³)		Cs-137 (mBq/m ³)		Cs 合計値		(参考)	(参考)
		放射能濃度 (誤差範囲)	検出 下限値	放射能濃度 (誤差範囲)	検出 下限値	放射能濃度		粉じん量 (mg)	吸引ガス 流量 (m ³)
粒径別 粉じん	7μm 以上	—	0.0085	—	0.0094	—		7	8,959
	3.3~7μm	—	0.0079	—	0.0086	—		0	
	2.0~3.3μm	—	0.0089	—	0.0078	—		1	
	1.1~2.0μm	—	0.0083	—	0.0088	—		0	
	1.1μm 以下	—	0.0075	0.0067 (±0.0021)	0.0062	0.0067		21	
総粉じん		—	0.0091	0.014 (±0.0032)	0.0091	0.014		37	7,138
第1回調査 (H27.01.14~H27.02.04)		Cs-134 (mBq/m ³)		Cs-137 (mBq/m ³)		Cs 合計値		(参考)	(参考)
		放射能濃度 (誤差範囲)	検出 下限値	放射能濃度 (誤差範囲)	検出 下限値	放射能濃度		粉じん量 (mg)	吸引ガス 流量 (m ³)
粒径別 粉じん	7μm 以上	—	0.0046	0.0055 (±0.0015)	0.0043	0.0055		30	17,451
	3.3~7μm	—	0.0048	—	0.0052	—		7	
	2.0~3.3μm	—	0.0044	—	0.0046	—		14	
	1.1~2.0μm	—	0.0044	—	0.0046	—		3	
	1.1μm 以下	—	0.0076	0.012 (±0.0019)	0.0053	0.012		88	
総粉じん		0.0072 (±0.0014)	0.0040	0.022 (±0.0023)	0.0055	0.029		131	17,732
第2回調査 (H27.02.16~H27.03.09)		Cs-134 (mBq/m ³)		Cs-137 (mBq/m ³)		Cs 合計値		(参考)	(参考)
		放射能濃度 (誤差範囲)	検出 下限値	放射能濃度 (誤差範囲)	検出 下限値	放射能濃度		粉じん量 (mg)	吸引ガス 流量 (m ³)
粒径別 粉じん	7μm 以上	—	0.0045	—	0.0046	—		69	17,279
	3.3~7μm	—	0.0048	—	0.0048	—		58	
	2.0~3.3μm	—	0.0041	—	0.0043	—		30	
	1.1~2.0μm	—	0.0043	—	0.0049	—		18	
	1.1μm 以下	0.0094 (±0.0016)	0.0043	0.027 (±0.0023)	0.0053	0.036		73	
総粉じん		—	0.0055	0.015 (±0.0020)	0.0051	0.015		211	17,613

※表中の「—」は検出下限値未満。※放射能濃度及び吸引ガス流量は20℃、1気圧での換算濃度。

[表3-7] 大気粉じん中の放射性セシウム濃度測定(実施場所②)

資料：環境省除染チーム「森林の実証事業について(中間報告)」2015年6月