

平成 25 年度森林内の放射性物質の分布状況調査結果について

1. 背景と目的

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、森林地域にも放射性物質が降下しました。独立行政法人森林総合研究所は、農林水産省と連携し、福島県における森林内部の放射性物質の分布状況を明らかにするため、平成 23 年度（2011 年）から福島県の 3 町村（川内村、大玉村、只見町）に調査地を設け（図 1）、土壌や落葉、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べ、公表してきたところです（平成 23 年 12 月 27 日付け、および平成 25 年 3 月 29 日付け農林水産省プレスリリース）。

事故から 2 年半が経過した平成 25（2013）年 8 月～9 月に、前年に引き続き 3 町村 6 林分の調査地で、継続して部位別の放射性セシウム濃度とその蓄積量を調べましたので、結果を報告します。

2. 調査地

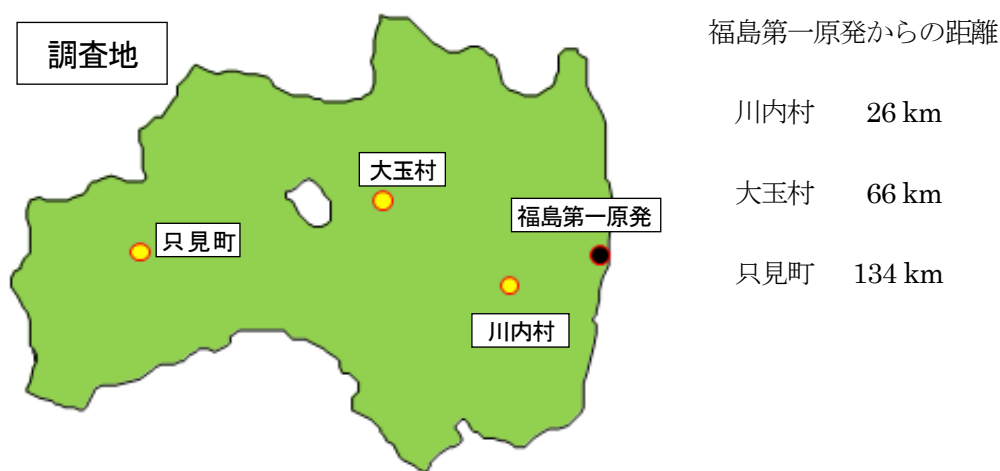


図 1 調査地と福島第一原子力発電所からの距離

調査地は、事故のあった福島第一原子力発電所から直線距離で 26 km～134 km に設けました。3 町村に共通の樹種として、福島県で最も広く植栽されているスギを選びました（表 1）。大玉村では、樹種による違いを比較するため、アカマツと落葉広葉樹の混交林でも調査しました。なお、アカマツが比較的多い場所に設置した調査林分を「アカマツ林」、コナラ等の落葉広葉樹が比較的多い場所に設置した調査林分を「コナラ林」と、ここでは呼ぶこととします。

また、川内村の上川内に平成 24 年度（2012 年）から追加で設けたスギ林の調査地も継続して調査しました。

表1 調査地の所在地と調査期間

調査地	所在地（国有林名）	調査期間
川内	福島県双葉郡川内村（磐城森林管理署管内国有林）	平成25年8月26～28日
上川内	福島県双葉郡川内村上川内（村有林）	平成25年8月28日
大玉	福島県安達郡大玉村（福島森林管理署管内国有林）	平成25年8月1日～2日 同25年8月5日～8日
只見	福島県南会津郡只見町（会津森林管理署南会津支署管内国有林）	平成25年9月4日～5日 同25年9月10日～11日

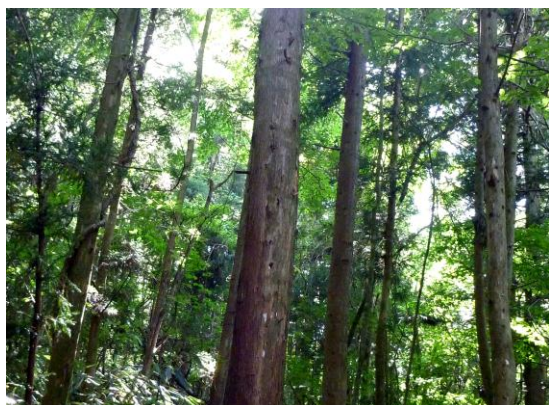


写真1 川内調査地のスギ林



写真2 上川内調査地のスギ林



写真3 大玉調査地のスギ林



写真4 大玉調査地のアカマツ林



写真5 大玉調査地のコナラ林



写真6 只見調査地のスギ林

表2 調査地の樹種、林齢、森林管理状況及び空間線量率

調査地名	調査地の主要樹種	林齢(年)	森林管理	空間線量率(μ Sv/h)*
川内	スギ	44	育成林	2.52
上川内	スギ	57	育成林	1.07
大玉	アカマツ	44	育成林	0.23
大玉	コナラ	44	天然生林	0.24
大玉	スギ	43	育成林	0.25
只見	スギ	42	育成林	0.10

*2013年の調査期間における地上1mで測定した平均値

3. 方法

各調査地の樹種、林齢、空間線量率等は表2のとおりです。調査・分析方法はこれまでと同様の方法により実施しました。

はじめに調査地内の空間線量率を10m間隔で測定しました。調査地の森林の成長量などの基礎的な調査を行い、直径と樹高から幹材積や葉、枝の重量を推定しました。

次に、各調査地で落葉層（土壌の上にある落葉や落枝とそれらの腐朽した腐植からなる堆積有機物層）の試料を採取し、さらに土壌採取用円筒（高さ5cm、内径11cm）を用いて4層（0～5、5～10、10～15、15～20cm）の深さ別に土壌の試料を採取しました（写真7）。樹木については、調査地周辺で対象樹種を3本選び、伐採して、現地で葉、枝、幹の部位に分け、幹部分は樹皮、材に分けました（写真8、9、10）。さらに材は実験室で心材と辺材に分けて、分析試料としました。

部位別の試料は乾燥・粉砕した後に、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法で乾燥重量当たりの放射性セシウム（Cs-134、Cs-137）濃度を定量しました。単位面積当たりの放射性セシウム蓄積量は、面積当たりの落葉層、土壌、樹木の各部位の現存量に、それぞれの放射性セシウム濃度を乗じて求めました。放射性セシウム濃度が検出限界以下の試料については検出限界値を仮置きした上で、すべての試料の平均値と標準偏差を求めました。以下、放射性セシウム濃度はCs-134とCs-137の合計とします。



写真7 落葉層と土壌の採取



写真8 伐採後、樹皮試料の採取



写真9 樹皮剥離後、材試料を採取



写真10 葉の試料の採取

4. 結果

(1) 空間線量率

2013年における高さ1mの空間線量率は、川内が $2.52 \mu\text{Sv/h}$ 、上川内は $1.07 \mu\text{Sv/h}$ 、大玉は $0.23 \sim 0.25 \mu\text{Sv/h}$ 、只見は $0.10 \mu\text{Sv/h}$ で原子力発電所から遠いほど低い値でした(図2)。上川内を除き2011年の空間線量率に比べ70~91%に低下しました。

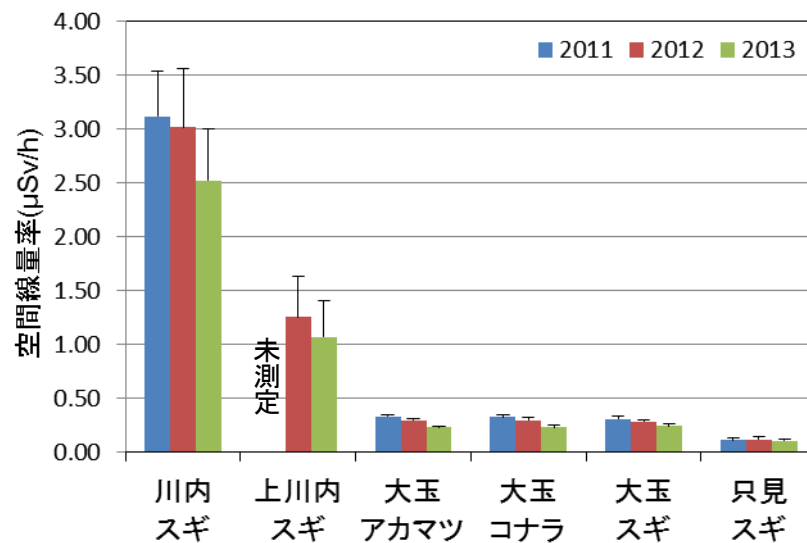


図2 2011年-2013年の調査地における空間線量率(平均値)の変化
(縦棒は標準偏差。2011年の上川内は未測定)

(2) 部位別の放射性セシウム濃度の変化

葉や枝、樹皮など樹木の部位別の放射性セシウム濃度は、おおむね低下傾向にありました（図3）。スギの葉の濃度は2012年の30～72%の濃度に、アカマツの葉の濃度は2012年の8%の濃度に低下しましたが、コナラの葉の濃度については明瞭な変化の傾向はみられませんでした。また、枝の濃度は2012年の61%～103%の濃度、樹皮の濃度は2012年の48～116%の濃度でした。さらに、木材内部の心材と辺材の放射性セシウム濃度は全般に低く、大きな変化は認められませんでした。

落葉層の放射性セシウム濃度は、2012年の73%～101%の濃度でした。上川内スギ林及び大玉スギ林では2012年からほとんど変化がみられませんでした。

土壌は、2012年までと同様、表層土壌0～5cmの濃度が最も高く、5cmより深い層はその1/10以下の濃度で、下層にいくほど低下する傾向を示しました。0～5cmの放射性セシウム濃度は2011年から2012年にかけて大幅に上昇しましたが、2013年の濃度の変化は増加と減少が混在し、明瞭な傾向はみられませんでした。深さ5cmより深い層の放射性セシウム濃度は2012年からわずかな増減がみられました。

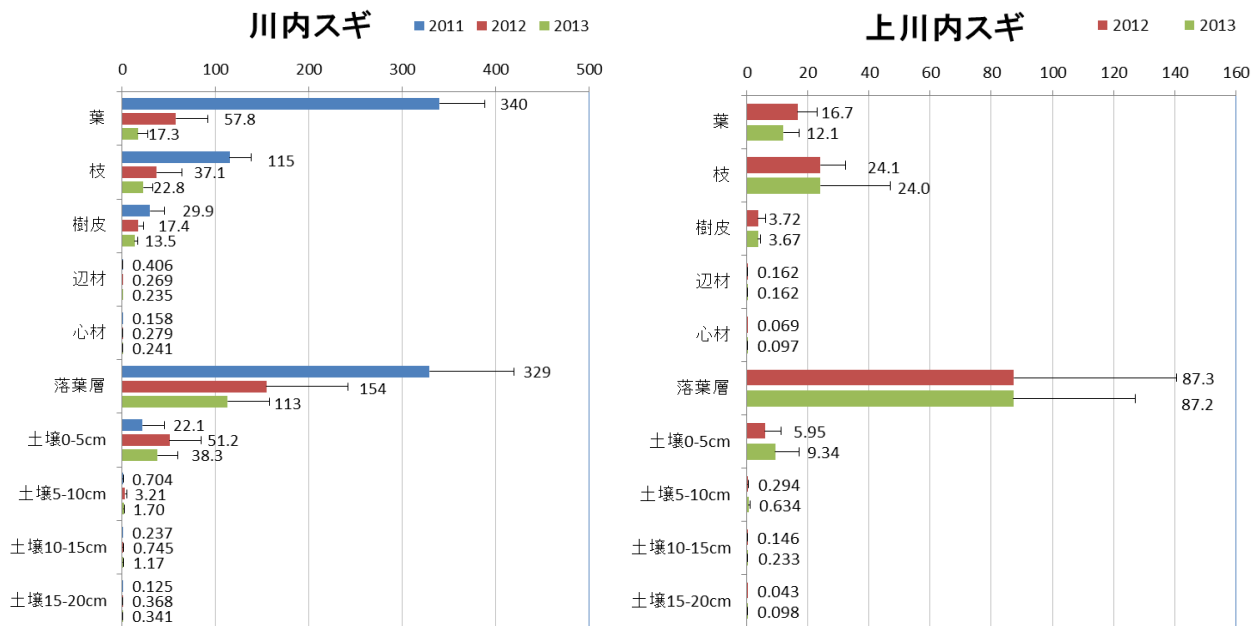


図3 各調査地における部位別放射性セシウム濃度(kBq/kg、平均値)の変化
(横棒は標準偏差。2011年の上川内は未測定。)

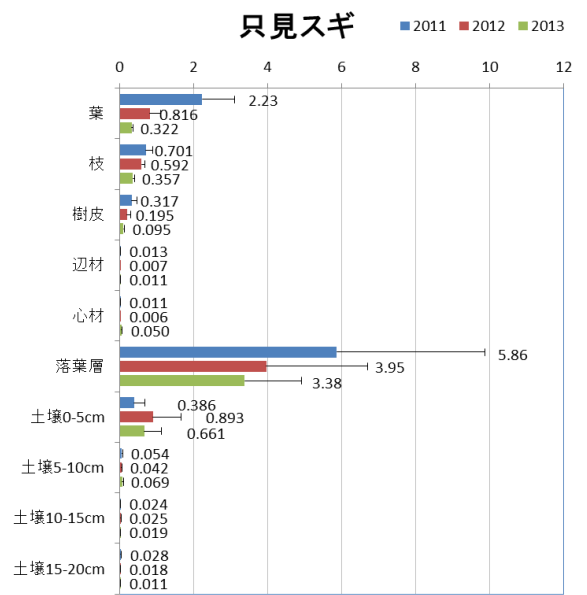
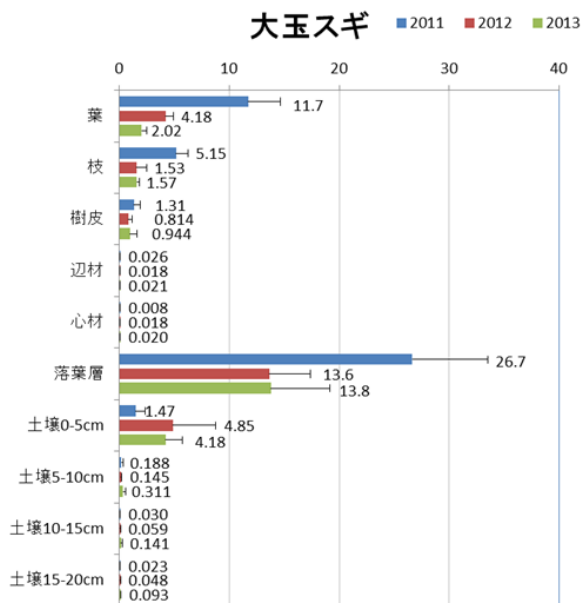
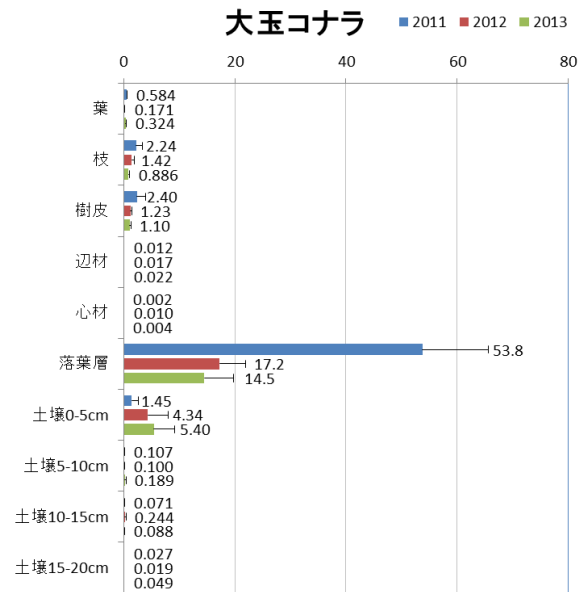
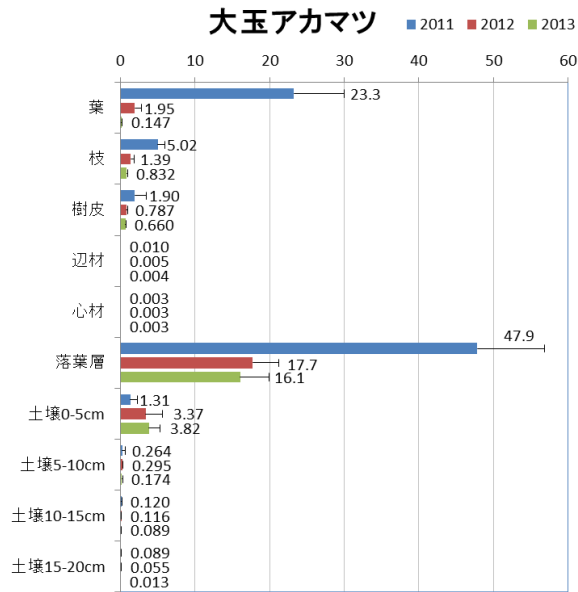


図3 各調査地における部位別放射性セシウム濃度(kBq/kg、平均値)の変化(続き)
(横棒は標準偏差)

(3) 汚染度の異なるスギ林4調査地における部位別放射性セシウム濃度

汚染度が異なるスギ林の4調査地において、部位別の放射性セシウム濃度を比較すると、それらの濃度は空間線量率とおおむね比例していました(図4)。なお、その比例関係は毎年少しずつ変化していることに留意が必要です。

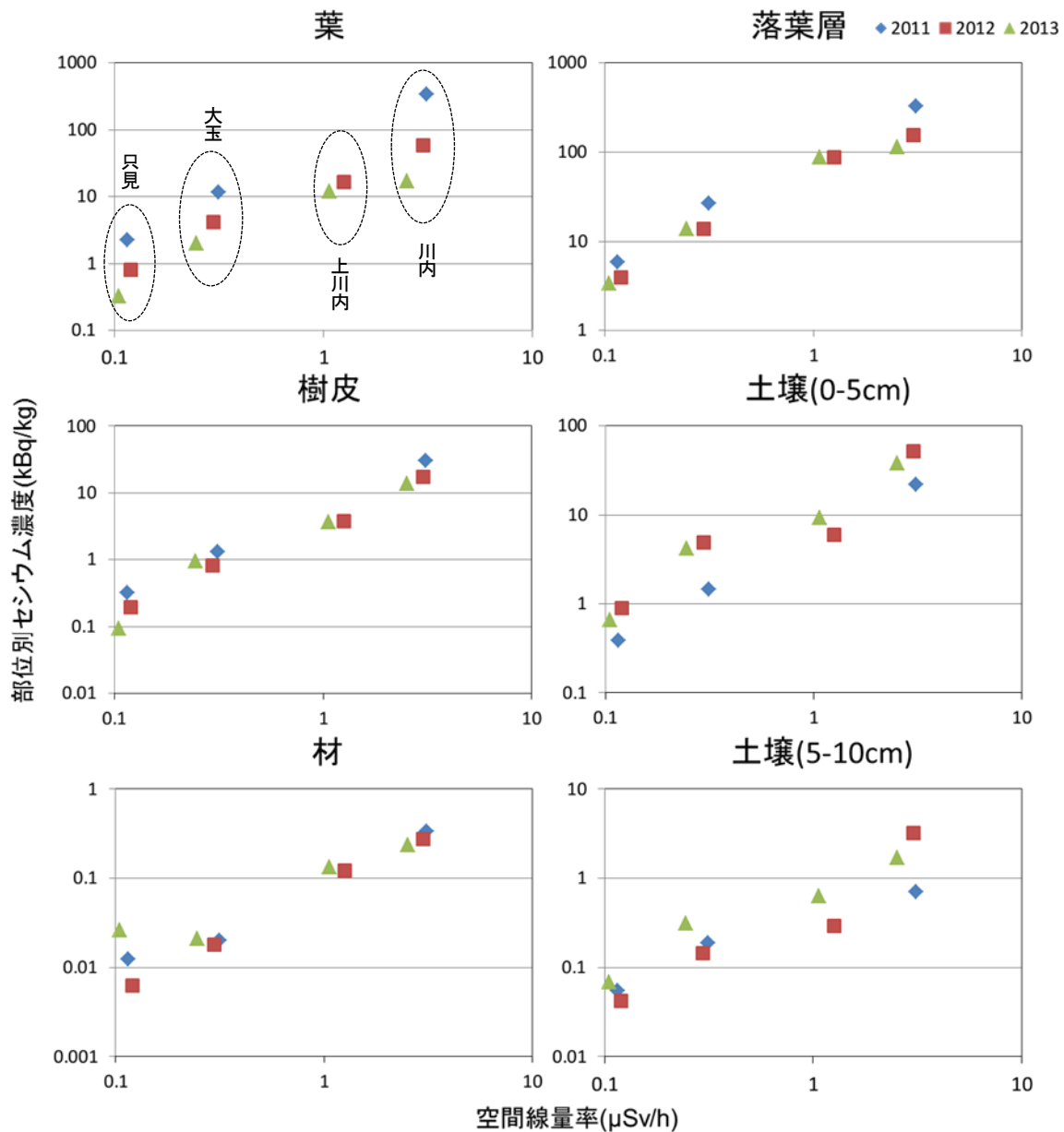


図4 スギ林4調査地における空間線量率(横軸)と部位別放射性セシウム濃度(縦軸)の関係の変化(材は心材と辺材の平均濃度。2011年の上川内は未測定。)

(4) 森林全体の放射性セシウム蓄積量と分布の変化

森林全体の放射性セシウム蓄積量は、初期沈着量の最も多かった川内スギ林ではしだいに減少する傾向を示しました（図5）。それ以外の調査地では、放射性セシウムの蓄積量の明瞭な変化の傾向はみられませんでした。ただし、いずれの調査地も、森林の地上部の樹木に蓄積する割合が減少し、落葉層や土壤に蓄積する割合が増加しました。上川内以外の調査地では、2011年には、地上部に蓄積する放射性セシウムの割合が全体の18～44%を占めていましたが、2013年には2～9%に低下しました。

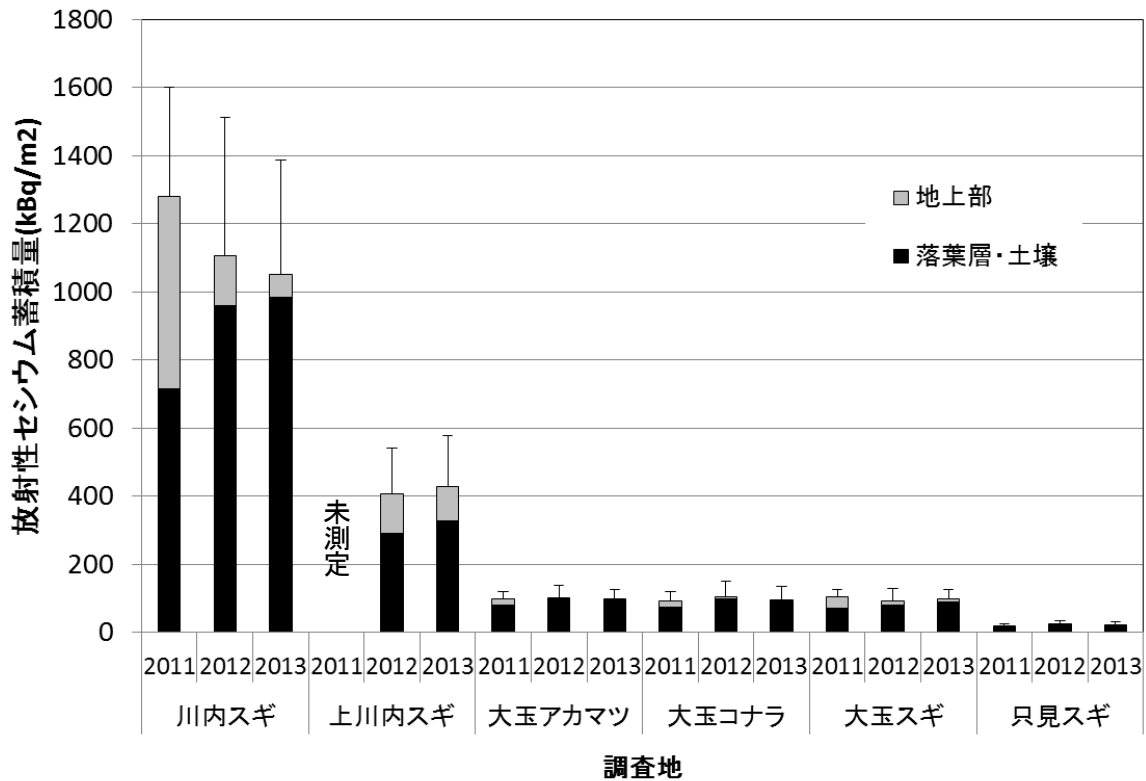


図5 2011年-2013年の森林全体の放射性セシウム蓄積量の変化
(縦棒は標準偏差。2011年の上川内は未測定。)

部位別の放射性セシウム蓄積量の割合をみると、2011年から2012年にかけて各部位の割合が大きく変化しましたが、2012年から2013年にかけての部位別分布の変化は小さなものでした（図6）。2013年も上川内スギ林を除き、放射性セシウムの大部分は落葉層と土壤に分布し、土壤には65～77%と最も多く、落葉層には18～28%が分布していました。一方、上川内スギ林は2012年と同様、他の調査地と異なる傾向を示し、全体の50%が落葉層に分布し、土壤に27%、樹体（葉、枝、樹皮及び材）に23%が分布していました。

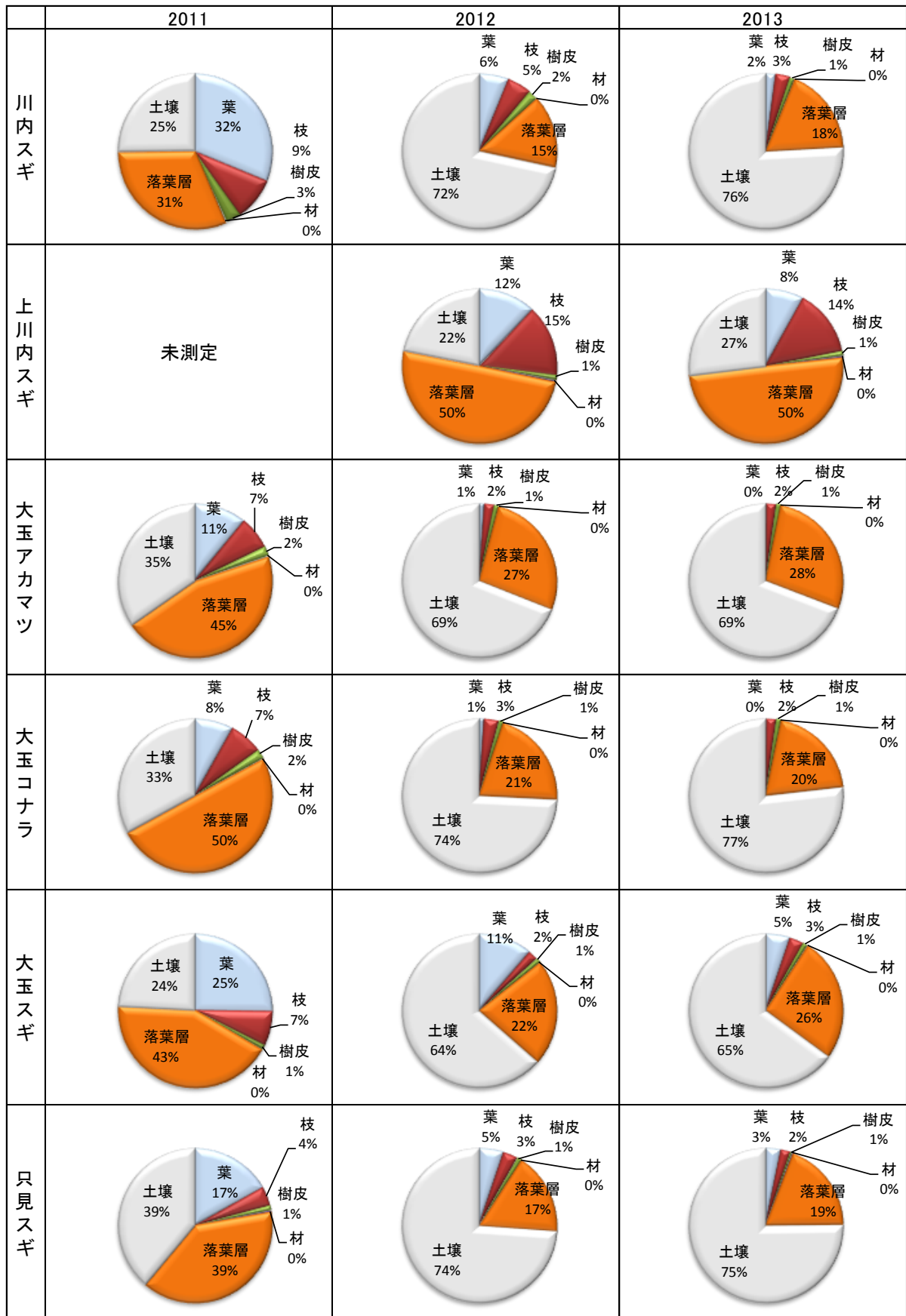


図6 2011-2013年における各調査地の放射性セシウムの部位別分布割合

5. 考察

(1) 空間線量率の変化

2012年の空間線量率は、2011年比で平均95%程度でしたが、2013年には2011年比で平均78%まで低下しました。放射性セシウムの物理学的減衰により2年後の空間線量率は当初の64%に低下すると推計されますが、森林内の高さ1mにおける空間線量率の変化が小さかった要因としては、森林内の放射性セシウムの分布が樹木の樹冠から林床の落葉層や土壌表層に移行したことが一因と考えられます。

空間線量率は、周囲の放射性物質の濃度や分布の影響を受けますが、図4に示したスギの部位別の放射性セシウム濃度と空間線量率との関係は、スギ林における土壌や樹木各部位の放射性セシウム濃度をおおよそ把握する上で参考になると考えられます。

(2) 部位別濃度と分布の変化

葉や枝、樹皮など部位別の放射性セシウム濃度は、2011年から2012年にかけて大幅に低下しましたが、2012年の濃度低下は、放射性セシウムの物理学的減衰とともに、雨などにより放射性セシウムが洗い流された（溶脱）ためと考えられました。このような移動しやすい放射性セシウムの動きが収まったため、2012年から2013年にかけての濃度の変化が比較的小さかったものと考えられます。

スギやアカマツなど常緑樹の葉の濃度低下は明瞭でした。これは溶脱とともに、旧葉の落葉と新しい葉の伸張による置き換わりの影響と考えられます。これらの要因により、大玉を例にとると、2013年のアカマツの葉は147Bq/kgと2011年の1%以下の濃度に、スギの葉は2,020Bq/kgと2011年の17%の濃度に低下しました。一方、毎年開葉するコナラの葉は3年間で171～584 Bq/kgの範囲にあり、大きな変化はみられませんでした。

樹木が放射性セシウムを吸収すると、木材内部の辺材と心材の放射性セシウム濃度も変化すると考えられますが、2013年の調査ではそれらの濃度は全般に低く、大きな変化は認められず、樹木が放射性セシウムを積極的に吸収していることは確認できませんでした。しかし、スギ材で2012年に心材と辺材の濃度差が小さくなったことや、毎年新たに展開するコナラの葉に放射性セシウムが含まれることから、樹木に取り込まれた放射性セシウムが樹体内を移動している可能性が示唆されました。

多くの森林では、放射性セシウムの大部分が土壌と落葉層に移動したと考えられますが、上川内スギ林では異なる傾向を示しました。上川内スギ林は枝葉の量が多いことや落葉層が厚く堆積し、落葉の分解が遅いことなどが関係していると考えられます。このように、森林の状態による放射性セシウムの分布の違いが2013年の調査でも確認されました。

土壌の表層0～5cmの放射性セシウム濃度は2012年に増加しましたが、これは地上部から溶脱した放射性セシウムが移動したためと考えられました。2013年の土壌中の放射性セシウム濃度の変化には増減がみられましたが、一定の傾向は確認できませんでした。一方、深さ5cm以下の土壌の放射性セシウム濃度は表層より大幅に低い状態が続いており、放射性セシウムは土壌表層付近に留まっていると考えられます。

(3) 放射性セシウムの蓄積分布と森林全体の蓄積量の評価

部位別の蓄積分布は、上記のような放射性セシウム濃度の変化を反映し、2011年から2012年にかけては大きく変化しましたが、2012年から2013年にかけては小さなものでした。上川内スギ林のような分布の場合もありますが、放射性セシウムの大部分は落葉層や土壌の表層に蓄積しており、分布状況はこの1年間ではほとんど変化していませんでした。

また、森林全体の放射性セシウム蓄積量も明瞭な変化はありませんでした。地上部の蓄積量はおおむね10%以下ですので、落葉層や土壌の放射性セシウム濃度や蓄積量のばらつきによるセシウム分布の不均一性が、森林全体の蓄積量の推定誤差を大きくしていると考えられるので、今後もモニタリングを続けることにより、放射性セシウム蓄積量の時間的な変化を把握する必要があると考えられます。

(4) 森林生態系の放射性セシウムの循環

チェルノブイリの調査等から放射性セシウムは森林生態系の内部を循環すると言われています。一方、樹種や土壌の違いによる影響も大きいことが知られています。これまでの調査から、原子力発電所の事故で上空から降下した放射性セシウムは、常緑樹や落葉樹といった樹木の形状によって、2011年には部位別の濃度に差が認められました。しかし、放射性セシウムは比較的移動しやすく、2012年には樹木の放射性セシウムの大部分が土壌や落葉層に移動しました。その後、2013年にかけての濃度変化は小さく、森林内部の分布も大きな変化はありませんでした。樹木は土壌から根を通じて放射性セシウムを吸収する可能性がありますが、この1年間の材の濃度変化は小さく、また樹体内での移動も考えられ、吸収量を正確に見積もることはできませんでした。少なくとも木材として利用可能な40年生程度の森林では、木材内部の放射性セシウム濃度は低く、その変化も小さいことがわかりました。

以上のように、森林全体の放射性セシウムの蓄積量の変化が少なく地表付近に留まっている状況や渓流水中の放射性セシウム濃度の調査結果等から、放射性セシウムは森林内に留まり、森林外への流出量は少ないと考えられます。

森林生態系の放射性セシウム循環を解明し、木材の安全性の確認や、放射性物質の除染・拡散防止等への対策に役立てるため、今後も継続して調査を行うこととしています。

6. その他

本調査は独立行政法人森林総合研究所が、福島県林業研究センターおよび川内村の協力を得て実施したものです。