

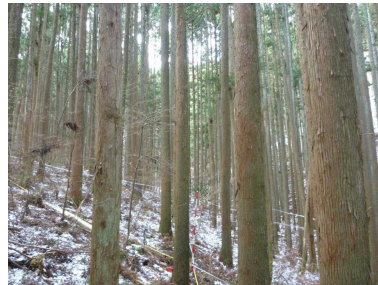
## \* 1 4 皆伐・間伐による放射性物質低減効果の実証試験の概要

1. 実施主体：林野庁
2. 試験地：福島県広野町（旧緊急時避難準備区域）
3. 林況：アカマツ広葉樹混交林、スギ人工林、広葉樹二次林
4. 試験期間：平成 24 年 1 月 25 日～3 月 21 日

| 樹種        | 空間線量率<br>(地上高 1m)     | 林齢      |  |
|-----------|-----------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|
| アカマツ・広葉樹  | 0.65 $\mu\text{Sv/h}$ | 46-63年生 |                                                                                    |
| スギ(定性間伐区) | 0.52 $\mu\text{Sv/h}$ | 49年生    |                                                                                    |
| スギ(列状間伐区) | 0.48 $\mu\text{Sv/h}$ | 49年生    |                                                                                    |
| 広葉樹       | 0.82 $\mu\text{Sv/h}$ | 59年生    |                                                                                    |



アカマツ広葉樹混交林



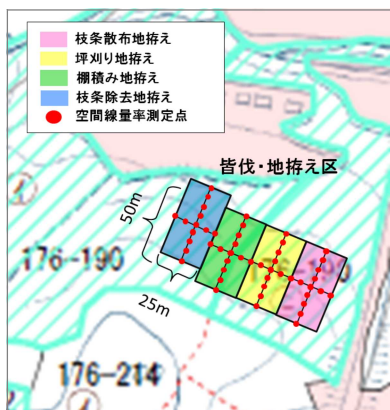
スギ人工林



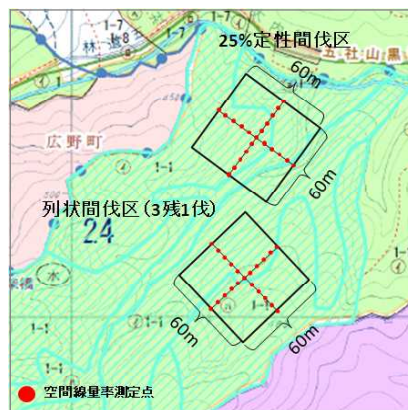
広葉樹二次林

## 5. 試験方法：

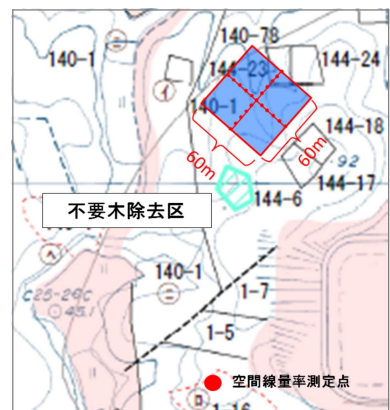
アカマツ広葉樹混交林内に 25m×50m の調査区を短冊状に 4 箇所、スギ人工林内に 60m×60m の調査区を 2 箇所、広葉樹二次林内に調査区を 1 箇所設け、以下の方法により皆伐や間伐等の実施に伴う空間線量率の変化や放射性物質の挙動等を調査した。



アカマツ広葉樹混交林



スギ人工林



広葉樹二次林

### (1) 空間線量率及び土壌等の放射性セシウム濃度の測定

各調査区内の中心点から十字方向に等間隔で設定した測点における空間線量率を皆伐や間伐等の施業実施前後（皆伐は地拵え実施後）に測定した。

## (2) 樹木中の放射性セシウム濃度の測定

各調査区付近において、落葉落枝及び土壌のサンプルを採取するとともに、生育程度の異なる調査対象木を 3 本ずつ選定して伐倒して、葉、枝、樹皮、幹材に分けてサンプルを採取し、その放射性セシウム濃度を測定した。

また、面積あたりの落葉層、土壌、樹木の各部位の現存量に、上記測定から求めた放射性セシウム濃度をそれぞれ乗じて、調査区内における放射性セシウムの蓄積量を推定した。

## (3) 森林施業等の実施

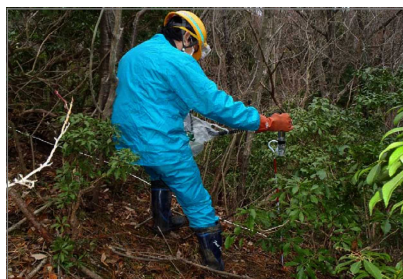
皆伐や間伐等の異なる伐採方法での放射性物質の低減効果等を把握するため、①アカマツ広葉樹混交林において皆伐を実施した後、調査区ごとに異なる地拵え（枝条散布、坪刈り、棚積み、枝条除去）を、②スギ人工林内において定性間伐（本数間伐率 25%）及び列状間伐（3 残 1 伐）を、③広葉樹二次林において、中下層の常緑樹、株立ち・雑灌木等の不要木や枯損木の除去を実施した。

(1) 及び (2) の測定により、森林施業等による空間線量率の変化を測定するとともに、森林施業に伴う放射性セシウムの森林外への除去量を推定した。

## (4) 流出土砂等の量及び放射性セシウム濃度の測定

森林施業等の実施後、各調査区内及び隣接対照区に、試験斜面枠（2m × 5m）、ステンレス製捕捉箱、転倒升式雨量計を設置して、捕捉箱により捕捉・分離された流出土砂、地表流水について、その流出量と放射性セシウム濃度を測定するとともに、転倒升式雨量計により降雨量を測定した。

なお、定性間伐及び列状間伐の調査区の試験斜面枠の一部については、間伐後に枠内及び枠周辺部の落葉等堆積有機物の除去を行い、間伐とあわせて落葉等堆積有機物の除去を行った場合の土壌流出の傾向も把握できるようにした。



空間線量率の測定  
(広葉樹二次林)



間伐作業の様子  
(スギ人工林列状間伐)



設置した試験斜面枠  
(アカマツ・広葉樹混交林)

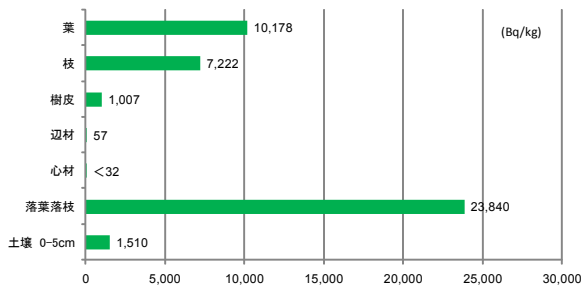
## 6. 試験結果：

### (1) 放射性物質濃度と蓄積量

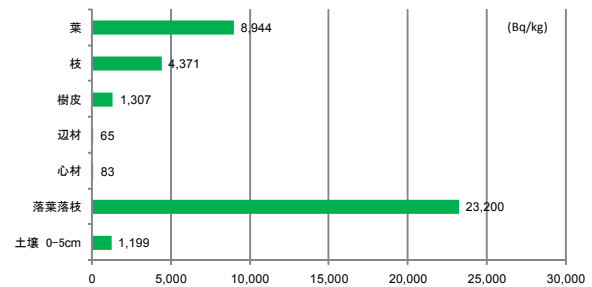
スギ人工林における樹木の部位別及び土壌等の放射性物質濃度については、落葉落枝が最も高く約 2.3 万 Bq/kg、次いで、葉 8,944-10,178Bq/kg、枝 4,371-7,222Bq/kg、土壌 1,199-1,510Bq/kg の順となり、辺材及び心材では検出限界未満のサンプルが多く見られ、その濃度は数十 Bq/kg と低い値となった。(検出限界未満のものは、検出限界

値の 1/2 として取扱い、濃度を算出した。)

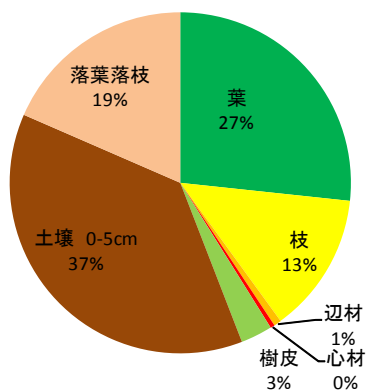
また、放射性物質の部位別の分布割合を見ると、土壌、葉、落葉層の順に、放射性物質の分布割合が高い結果となった。なお、平成 23 年 8-9 月に福島県の川内村、大玉村、只見町のスギ人工林で実施した同様の調査では、土壌に分布する放射性物質の割合は、それぞれ 22%、18%、34%となっており、今回の調査結果は、これらの結果と比べて土壌の放射性物質の分布割合が高い結果となっている。このことは、土壌の容積重の差、落葉が分解して腐葉層に変化したことにより生じた結果と推測される。



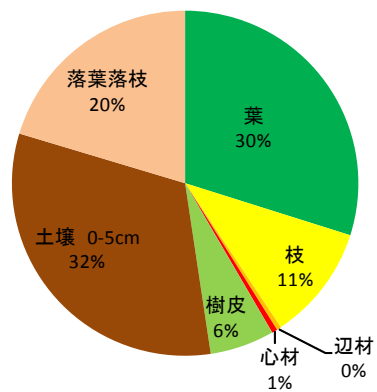
部位別の放射性セシウム濃度  
(スギ定性間伐区)



部位別の放射性セシウム濃度  
(スギ列状間伐区)



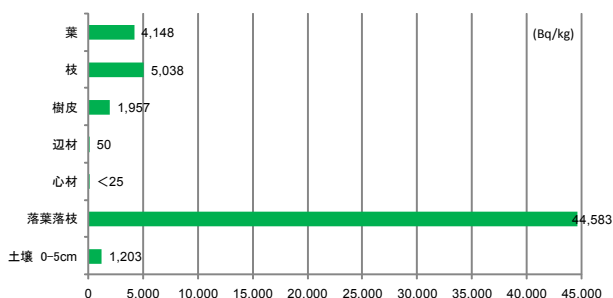
部位別の放射性セシウムの分布割合  
(スギ定性間伐区)



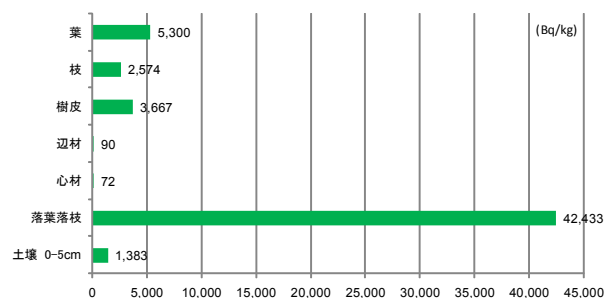
部位別の放射性セシウムの分布割合  
(スギ列状間伐区)

アカマツ・広葉樹混交林、落葉広葉樹二次林においても放射性物質濃度は、落葉落枝が最も高く、それぞれ 44,583Bq/kg、42,433Bq/kg となり、アカマツについては枝 5,038Bq/kg、葉 4,148Bq/kg にも放射性物質が付着している状況が明らかとなった。

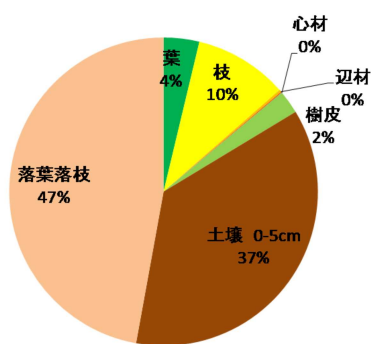
また、放射性物質の部位別の分布割合を見ると、土壌、落葉層に多くの放射性物質が分布しており、特に土壌における分布割合が高くなった。平成 23 年 8-9 月に福島県大玉村のコナラ林で実施した同様の調査結果（放射性物質の分布割合は落葉層 66%、土壌 18%）と比較すると、土壌における放射性物質の分布割合が高くなっており、このことは、落葉が分解して腐葉層へと変化したことを示唆している。



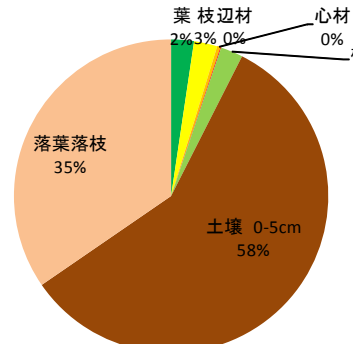
部位別の放射性セシウム濃度  
(アカマツ・落葉樹混交林)



部位別の放射性セシウム濃度  
(落葉広葉樹二次林)



部位別の放射性セシウムの分布割合  
(アカマツ・落葉樹混交林)



部位別の放射性セシウムの分布割合  
(落葉広葉樹二次林)

## (2) 森林施業実施前後の空間線量率及び放射性物質蓄積量の変化

施業実施前後の空間線量率（地上高 1m）を測定して比較したところ、皆伐で 9% 減、不要木除去で 1%減、定性間伐で 16%増、列状間伐で 20%増となった。

なお、間伐については、施業前の空間線量率測定時点では約 10cm の積雪があった一方、施業後の空間線量率測定時点では殆どの積雪が融けた状態となっていたことから、雪の遮蔽効果により施業前の空間線量率が低く測定されている可能性が高い。

このことから、積雪前の事前調査時点で測定していた空間線量率のうち、積雪時点の測点と同じ位置にある 10 測点について比較し、遮蔽率を算出（23%）して数値の補正を行った。

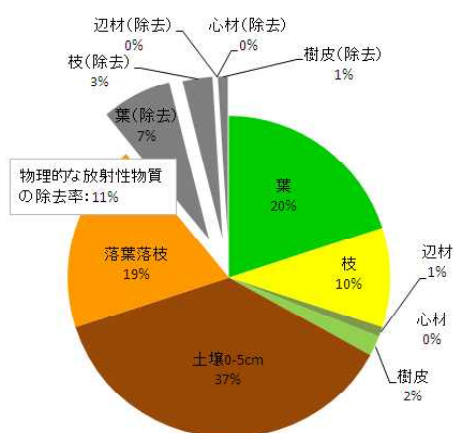
間伐の前後に積雪をはさんだことで、土壌の水分状況等が完全には一致しないが、推定の結果から、定性間伐、列状間伐ともに、間伐実施後の空間線量率は実施前と比較して 8%程度減少していると推定できる。

|                        | 25%定性間伐 |        |       | 列状間伐(3残1伐) |        |       | 不要木除去 |      |     | 皆伐   |      |     |
|------------------------|---------|--------|-------|------------|--------|-------|-------|------|-----|------|------|-----|
|                        | 施業前     | 施業後    | 増減率   | 施業前        | 施業後    | 増減率   | 施業前   | 施業後  | 増減率 | 施業前  | 施業後  | 増減率 |
| 空間線量率<br>( $\mu$ Sv/h) | 0.52    | 0.48   | ▲8%   | 0.48       | 0.45   | ▲8%   | 0.82  | 0.82 | ▲1% | 0.65 | 0.59 | ▲9% |
|                        | (0.41)  | (0.48) | (16%) | (0.37)     | (0.45) | (20%) |       |      |     |      |      |     |

※間伐の下段（ ）書きは生データであり、上段は積雪による遮蔽効果(23%)を算定して補正した推計値

更には、間伐・全木搬出した木のサイズを測定して、森林外へ物理的に除去した放射性物質の割合を推定した。その結果、25%定性間伐を実施した場合には、森林内に蓄積されている放射性物質の11%を、3 残 1 伐の列状間伐では13%を森林外へと除去できたことが分かった。仮に、間伐とあわせて落葉落枝のすべてを除去した場合、理論的には最大で約3割の放射性物質を除去できる結果となった。

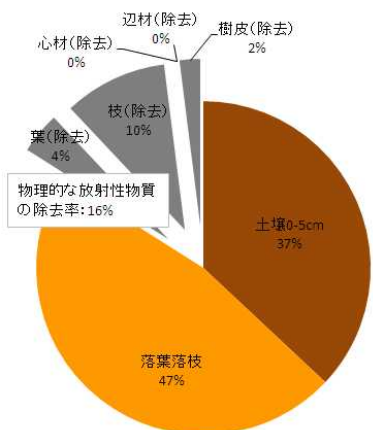
なお、皆伐区においては伐採・搬出した木のサイズ測定は行っていないが、枝条のすべてを除去した区画では、立木に付着した放射性物質は基本的には森林外へと除去されていると考えられることから、皆伐による放射性物質の物理的な除去率は16%となり、仮に皆伐と併せて落葉落枝のすべてを除去した場合、理論的には最大で約6割の放射性物質を除去できる結果となった。



放射性セシウムの物理的除去率  
(スギ定性間伐区)



放射性セシウムの物理的除去率  
(スギ列状間伐区)



放射性セシウムの物理的除去率  
(アカマツ・広葉樹混交林皆伐区)

### (3) 流出土砂等の量、放射性セシウムの流出量

皆伐・地拵え実施後、3月10日～21日の12日間（期間中の降雨量は30mm）の土砂等の流出量を測定したところ、棚積み区が4.0g/m<sup>2</sup>と最も少なく、次に、坪刈り区13.2g/m<sup>2</sup>、枝条散布区13.4g/m<sup>2</sup>、枝条除去区14.9g/m<sup>2</sup>の順となった。また、地表流水の量を比較すると、土砂等の流出量の多い坪刈り区画、枝条除去区画の地表流水の量は多くなる傾向にあった。

今回の測定においては、皆伐実施区画の方が対照区に比較して土砂等の流出量が少なくなっているが、①地拵えにより林床に据え置いた枝条が土砂等の移動を一時的に抑制したこと、②落葉時期の冬季における調査であったため、立木のある対照区においても葉による降雨の遮蔽が行われなかったこと等が考えられる。

なお、新葉が展開する春季以降は、降雨が葉に遮られて雨滴の衝撃が少なくなることから、対照区の土砂等の流出量が減少することが予想される。また、中期的にも立木の無い状態にある皆伐実施区画の方が土砂等の流出量が多くなることが予想されることから、継続的なモニタリングを実施する予定である。

更には、流出土砂等及び地表流水のサンプルを採取して放射性セシウム濃度を測定したところ、土砂等は 465 ～ 935Bq/kg、地表流水はいずれも検出限界未満となった。

これらの結果から、土砂等の流出に伴う放射性セシウムの流出率について、流出量と濃度をかけあわせて推定したところ、ほとんどが 0.05%程度に留まり、流出率の最も高い枝条除去区でも 0.092%と小さな結果となった。

このことは、①森林から土砂等及び地表流水として流出する放射性セシウムの流出率は大きなものではないこと、②皆伐を実施した場合でも、棚積みにより土砂等の移動を抑制する、枝条散布を行い林床を被覆するなど適切な方法を講ずることで、放射性物質の付着した土砂等の流出量を抑制できることを示唆しており、これまでに蓄積されている林業的な知見と異なるものではなかった。

#### 皆伐及び不要木除去区における土砂等の移動によるCsの流出量

|                      | 皆 伐 区                     |                        |                        |                         |                        | 不要木除去区                    |                         |
|----------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                      | 枝条散布                      | 坪刈り                    | 棚積み                    | 枝条除去                    | 対照区<br>(未施業)           | 不要木除去                     | 対照区<br>(未施業)            |
| 流出した土砂等の量            | 13.4 g/m <sup>2</sup>     | 13.2 g/m <sup>2</sup>  | 4.0 g/m <sup>2</sup>   | 14.9 g/m <sup>2</sup>   | 17.2 g/m <sup>2</sup>  | 9.4 g/m <sup>2</sup>      | 7.0 g/m <sup>2</sup>    |
| 上記に伴い流出したCsの量        | 79.8 Bq/m <sup>2</sup>    | 61.0 Bq/m <sup>2</sup> | 51.4 Bq/m <sup>2</sup> | 123.7 Bq/m <sup>2</sup> | 67.7 Bq/m <sup>2</sup> | 101.9 Bq/m <sup>2</sup>   | 111.1 Bq/m <sup>2</sup> |
| 施業後の堆積有機物及び土壌のCs現存量  | 134,350 Bq/m <sup>2</sup> |                        |                        |                         |                        | 111,167 Bq/m <sup>2</sup> |                         |
| Cs流出率                | 0.059 %                   | 0.045 %                | 0.038 %                | 0.092 %                 | 0.050 %                | 0.092 %                   | 0.100 %                 |
| 【参考】プレ調査で把握した流出土砂等の量 | 42.5 g/m <sup>2</sup>     | 53.7 g/m <sup>2</sup>  | 53.3 g/m <sup>2</sup>  | 84.0 g/m <sup>2</sup>   | 39.9 g/m <sup>2</sup>  | 277.4 g/m <sup>2</sup>    | 48.6 g/m <sup>2</sup>   |

※測定期間は3/10～3/21の12日間であり、期間中の降雨量は30mm（7メタースター）

※土砂等の流出量については、RUSLE法により傾斜角を30度（リルや流水の影響が小さい場合）に補正して計算した。

※放射性Csの流出率は、流出したCsの量を施業後の堆積有機物及び土壌のCs現存量で除して算出した。（※Csの流出量は試験斜面枠内での移動量であって、そのまま森林外へ流出する量を示すものではない。）

※参考は、地表流水の採取装置設置前にプレ調査として、流出土砂等のみサンプル回収したものであり、RUSLE法により傾斜角を30度に補正した数値【皆伐区は2/29～3/9の10日間・降雨量80mm（7メタースター）、不要木除去区は3/1～3/9の9日間・降雨量68.5mm（7メタースター）】。試験斜面枠設置による攪乱の影響で土壌流出量が多くなっている可能性がある。

間伐を実施した区画についても、3月10日～20日の11日間（期間中の降雨量は30mm）で土砂等及び地表流水について同様の調査を行った。

定性間伐区、列状間伐区、対照区（無間伐）を比較すると、土砂等の流出量については間伐前後で顕著な変化は見られなかったが、地表流水の流出量は間伐実施後

に多くなる傾向にあった。このことは、間伐実施によりギャップが生じ、林内へと通過する降雨が多くなり地表流水も多くなった可能性が考えられる。

また、落葉等堆積有機物の除去を行った区画と、除去をしていない区画とを比較すると、定性間伐、列状間伐、間伐を行わなかった場合のいずれにおいても、落葉等堆積有機物の除去を行うと、土砂等の流出量が増加する結果となった。

更には、皆伐実施区と同様に、土砂等の流出に伴う放射性セシウムの流出量及び流出率を算出（地表流水はいずれも検出限界未満）したところ、間伐を実施していない対照区で  $9.4 \sim 10.7 \text{ Bq/m}^2$  (0.011 ～ 0.012%)、間伐実施区で  $9.2 \sim 29.3 \text{ Bq/m}^2$  (0.011 ～ 0.032%) と、間伐実施前後で放射性セシウムの流出率が顕著に増加するような結果は見られなかった。

一方、落葉等堆積有機物の除去を行った区画では、放射性セシウムの流出量及び流出率は  $20.4 \sim 177.8 \text{ Bq/m}^2$  (0.126 ～ 1.019%) と増加する傾向にあった。

これらの結果からは、間伐実施直後であっても、伐採・搬出作業による林床攪乱の程度は、それほど大きなものではない一方で、落葉等堆積有機物の林床攪乱による影響は比較的大きいものと推定され、落葉等堆積有機物の除去後には、必要な土壌保全措置を講ずる必要があるものと考えられる。

なお、これらのデータは計測期間が短時間に限られており、攪乱を伴う試験斜面枠の設置直後に測定を行ったことから、土砂等の流出量を過大評価している可能性が否定できない。また、梅雨期など降雨の多い時期等における流出量の変化、間伐実施による林床植生の成長促進による土砂等の流出抑制効果についても中長期的にモニタリングすることが重要である。

### 間伐区における土砂等の移動によるCsの流出量

|                     | 定性間伐区                    |                          |                          |                          | 列状間伐区                    |                          |                          |                          |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                     | 間伐                       | 間伐＋落葉除去                  | 対照区<br>(無間伐)             | 対照区<br>(無間伐＋落葉除去)        | 間伐                       | 間伐＋落葉除去                  | 対照区<br>(無間伐)             | 対照区<br>(無間伐＋落葉除去)        |
| 流出した土砂等の量           | 3.2 g/m <sup>2</sup>     | 17.5 g/m <sup>2</sup>    | 3.1 g/m <sup>2</sup>     | 29.1 g/m <sup>2</sup>    | 1.8 g/m <sup>2</sup>     | 13.1 g/m <sup>2</sup>    | 0.6 g/m <sup>2</sup>     | 7.4 g/m <sup>2</sup>     |
| 上記に伴い流出したCsの量       | 29.3 Bq/m <sup>2</sup>   | 71.8 Bq/m <sup>2</sup>   | 10.7 Bq/m <sup>2</sup>   | 177.8 Bq/m <sup>2</sup>  | 9.2 Bq/m <sup>2</sup>    | 20.4 Bq/m <sup>2</sup>   | 9.4 Bq/m <sup>2</sup>    | 63.8 Bq/m <sup>2</sup>   |
| 施業後の堆積有機物及び土壌のCs現存量 | 90,450 Bq/m <sup>2</sup> | 17,450 Bq/m <sup>2</sup> | 90,450 Bq/m <sup>2</sup> | 17,450 Bq/m <sup>2</sup> | 86,550 Bq/m <sup>2</sup> | 16,217 Bq/m <sup>2</sup> | 86,550 Bq/m <sup>2</sup> | 16,217 Bq/m <sup>2</sup> |
| Cs流出率               | 0.032 %                  | 0.412 %                  | 0.012 %                  | 1.019 %                  | 0.011 %                  | 0.126 %                  | 0.011 %                  | 0.394 %                  |

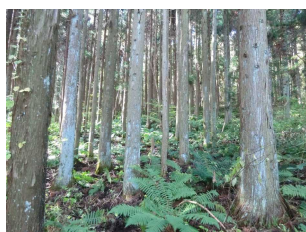
※測定期間は3/10～3/20の11日間であり、期間中の降雨量は30mm（7月～9月）

※土砂等の流出量については、RUSLE法により傾斜角を30度（リルや流水の影響が小さい場合）に補正して計算した。

※放射性Csの流出率は、流出したCsの量を施業後の堆積有機物及び土壌のCs現存量で除して算出した。（※Csの流出量は試験斜面枠内での移動量であって、そのまま森林外へ流出する量を示すものではない。）

## \* 15 伐採等による放射線量低減に関する実証試験の概要

1. 実施主体：福島県林業研究センター
2. 試験地：福島県川俣町山木屋地内（計画的避難区域）
3. 林況：スギ人工林（40年生）、落葉広葉樹林（30年生）
4. 試験期間：平成23年11月18日～平成24年2月22日



作業前のスギ人工林



作業前の落葉広葉樹林

### 5. 試験方法：

スギ人工林及び落葉広葉樹林内のそれぞれに調査区（60m × 60m）を設け、調査区の中央点から周辺に向かって下草と落葉等の除去範囲を段階的に拡大しつつ空間線量を測定した。40m × 40m の落葉等の除去後は、30%間伐、50%間伐、皆伐について同様の調査を行い、次に 60m × 60m について 30%間伐、50%間伐、皆伐について一部実施し、同様の測定を行った。



落葉等除去作業



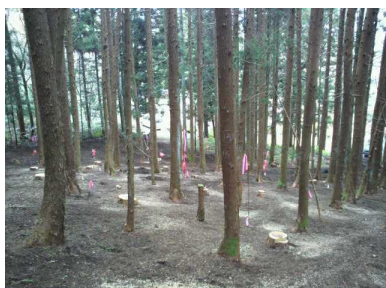
スギ人工林の間伐



間伐木の搬出



落葉等除去後のスギ人工林



30% 間伐後のスギ人工林



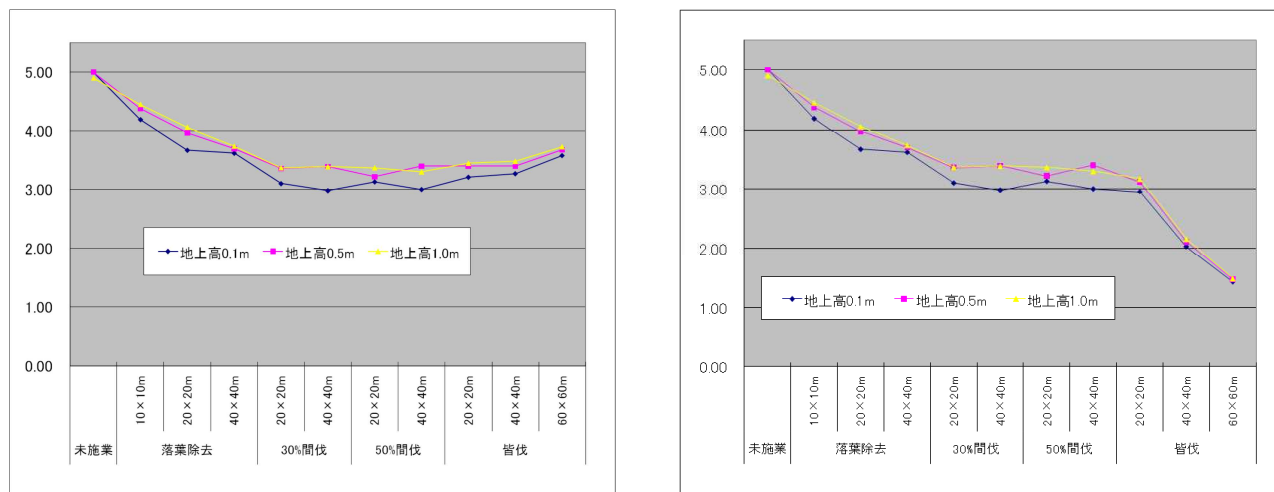
皆伐後のスギ人工林

### 6. 試験結果：

スギ人工林において、40m × 40m の範囲で落葉等除去、30%間伐、50%間伐を行った結果、調査区中央点の地上高 1m の空間線量率は、未施業時と比較して、落葉等除去で約 24% 減少、30%間伐で約 31%減少、50%間伐で約 33%減少という結果となった。

なお、皆伐 20m × 20m 以降の作業では、積雪による空間線量率低下の影響を受けたため、数値補正を行い、雪の影響を排除したが、補正は、作業による減少の率を小さめに評価する方法で行っており、実際には減少割合がさらに大きく、また、今回空間線量率に変化がなかった皆伐も減少している可能性がある。

図1 スギ人工林における空間線量率( $\mu$  Sv/h)の変化

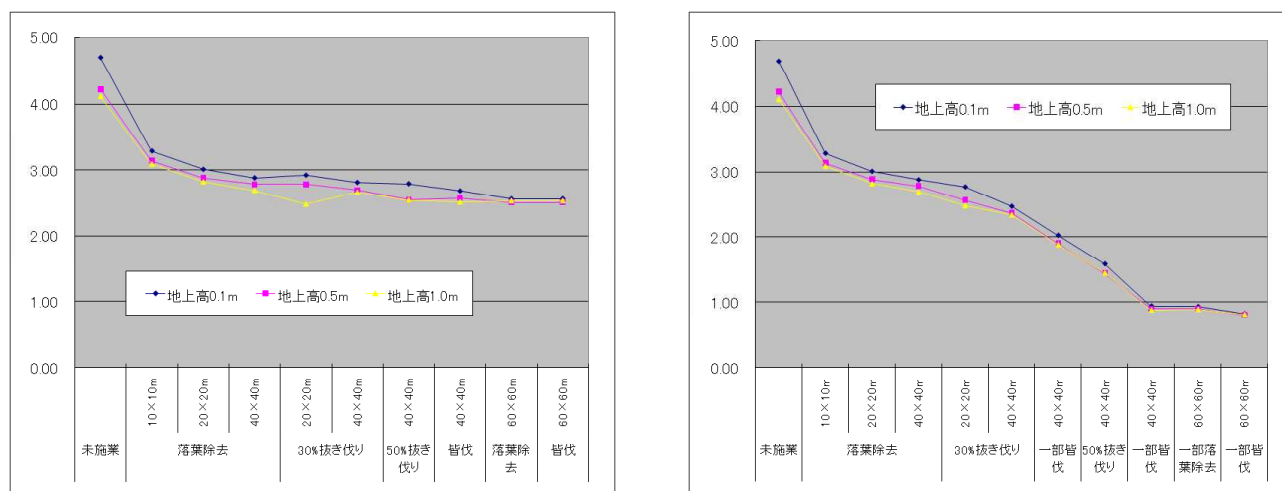


※左図：皆伐について降雪による補正値を使用、右図：補正していない実数値を使用

落葉樹林においては、40m × 40m の範囲で落葉等除去を行った場合、調査区中央点の地上高 1m の空間線量率は約 35%減少した。30%間伐実施では変化はあまり見られなかったが、40m × 40m の範囲で 50%間伐を行った場合、空間線量率は更に 3%減少した。

なお、20m × 20m 範囲での 30%間伐以降の作業については、降雪の影響により数値が大きく減少したため、スギ人工林と同様の補正を行った。

図2 落葉広葉樹林における空間線量率( $\mu$  Sv/h)の変化



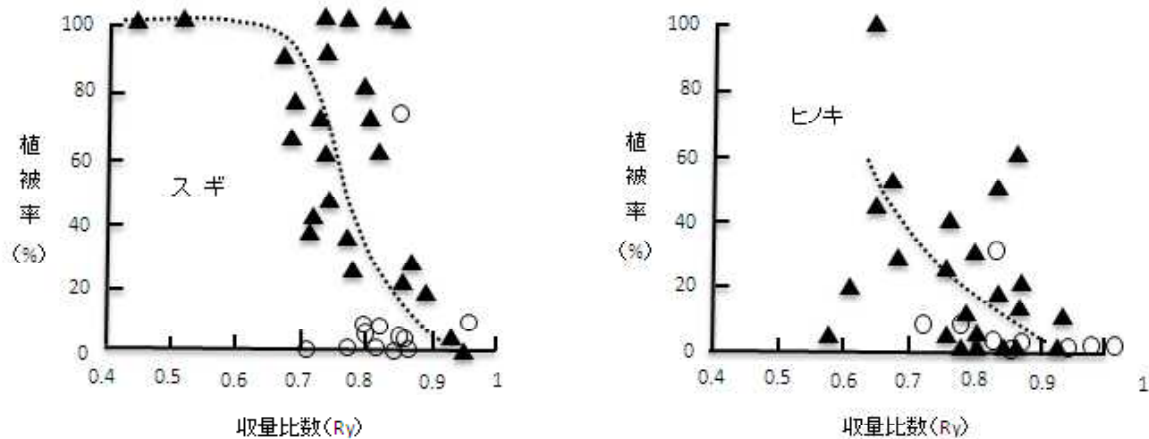
※左図：降雪による補正値を使用、右図：補正していない実数値

## \* 16 人工林における収量比数と植被率及び土砂流出量

収量比数とは、ある林齢の森林が最も込み合った状態を 1 として表したものであり、一般にスギ・ヒノキ等の人工林においては収量比数 0.8 程度となった時を間伐実施の目安としている。

収量比数が高い（＝込み合った）森林では、植被率が低く（＝下草が少なく）なり、土砂等の流出量が増加する傾向にあることが知られている。

図1 スギ・ヒノキ林内における収量比数と下層植生の植被率



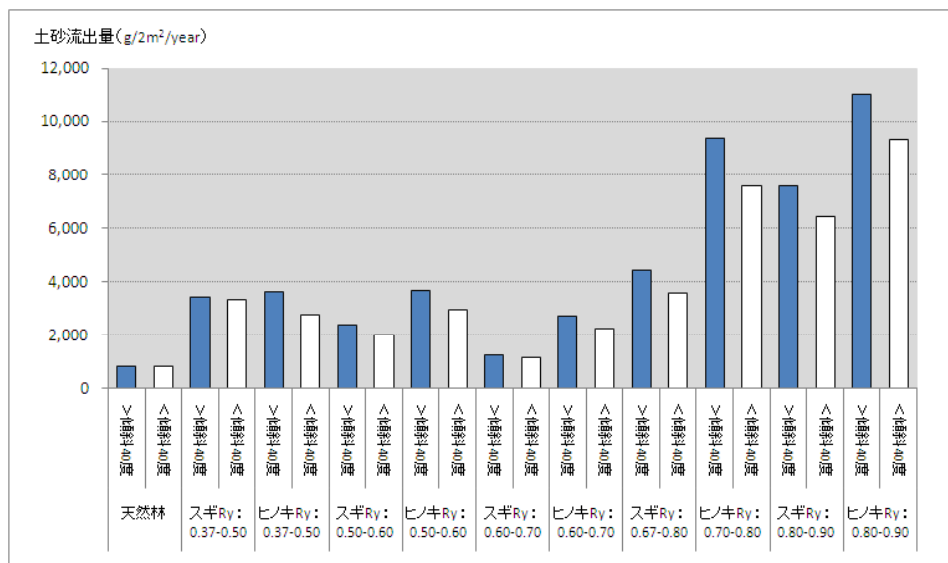
※災害に強い国土づくりのための間伐方法に関する調査報告書（平成13年林野庁）

※林齢40年生以下のスギ、ヒノキ林

※○：間伐、枝打ちを行っていないか、施業後10年以上経過した林分

▲：間伐、枝打ち後3～9年経過した林分

図2 傾斜別・樹種別の収量比数と土砂流出量



※ Bam H.N. Razafindrabe・He Bin・Shoji Inoue・Tsugio Ezaki・Rajib Shaw（2008, Environ Monit Asses）

※愛媛県の天然林、スギ人工林、ヒノキ人工林について1×2mの堆積物トラップで土砂流出量を計測