

6. 森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の検証

(1) 目的

当該事業において、これまでに、樹木の伐採等の森林施業が空間線量率に与える影響の検証等を行い、現在、森林内の空間線量率が物理学的減衰よりも早く低減していることが明らかとなっている。この主な要因として、森林内の放射性物質の大部分が樹木から林床に移行し、林床の堆積有機物の放射性物質は徐々に土壌側に移行、土壌内でも表層からより深層への移動が進んでいることが考えられる。

そのため、3つの調査（a:土壌浸透水に含まれる放射性物質濃度の把握（浸透水調査）、b:細根等による放射性物質移動の把握（細根調査）、c:土壌等の放射性物質濃度の測定（深度別土壌調査））により、土壌中の深さごとの放射性物質濃度の変化等のモニタリングや、放射性物質の下方移動状況を定量的に把握することを目的とした。

(2) 試験地の概要

調査は、国有林で間伐等施業を実施した下記の試験地で実施した（表 6-1）。

表 6-1 試験地一覧

試験地名	林小班	調査項目			樹種	施業内容（施業年）
		a 浸透水 調査	b 細根 調査	c 深度別 土壌調査		
檜葉事業地	羽山国有林651よ林小班	○	○	○	スギ	皆伐（平成30(2018)年度）
飯館事業地（1）	前田田国有林2348ほ1林小班	○	○	*1	スギ、ヒノキ	列状間伐（令和元(2019)年度）
田村事業地	東古道乙14の1国有林281い4林小班			○	スギ、ヒノキ	列状間伐（平成30(2018)年度）
飯館事業地（2）	櫛立国有林2351り1林小班			○	アカマツ・広葉樹混交	定性間伐（平成30(2018)年度）
南相馬事業地	和田城国有林2008と林小班			○	スギ	皆伐（平成30(2018)年度）

間伐等施業は「平成30年度旧避難指示区域における林業再生のための実証事業」及び「令和元年度旧避難指示区域における林業再生のための実証事業」にて実施。林小班は「施業区」を記載する。

*1 令和元（2019）年度に実施

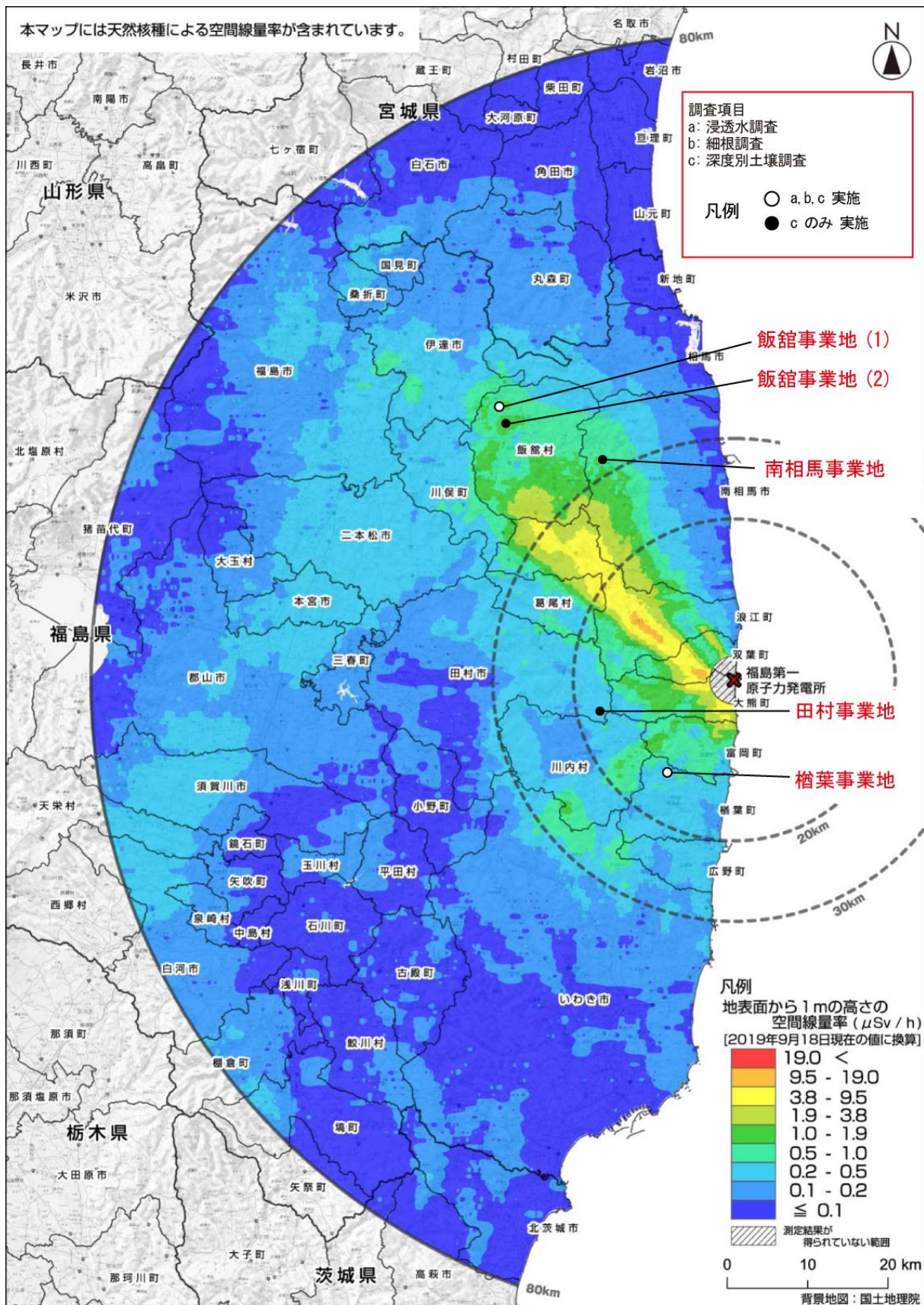


図 6-1 調査対象地の空間線量率(航空機モニタリング)

令和元(2019)年9月18日時点の空間線量率マップ(出典「第14次航空機モニタリング」(原子力規制委員会、令和2(2020)年2月13日)より作成)

6. 1. 土壌浸透水に含まれる放射性物質濃度の把握

(1) 試験地と試験方法

調査は、令和元（2019）年度に国有林で間伐施業を行った飯館事業地（1）および平成30（2018）年度に国有林で皆伐施業を行った檜葉事業地で実施した。各試験地の位置を図 6-1 に、実証事業で実施した作業概要を表 6-2 に、作業区の配置を図 6-2 及び 図 6-3 に示す。

飯館事業地（1）は、設定時には、38 年生のスギ林で、放射性セシウム（Cs-137）の初期沈着量²⁶は 797.4kBq/m²、令和元（2019）年 11 月時点での空間線量率は、1.25～1.47 μSv/h であった。ここに、間伐区、対照区の 2 つの作業区を設定した（表 6-2、図 6-2）。間伐区の作業は、落葉等除去を行わずに、2 伐 4 残の列状に伐採し、ウインチ付グラップルで集材し、チェーンソーで造材した上で搬出した。

檜葉事業地は、設定時には、52 年生のスギ林で、放射性セシウム（Cs-137）の初期沈着量²⁶は 346.8kBq/m²、令和元（2019）年 11 月時点での空間線量率は、0.46～0.75 μSv/h であった。ここに、皆伐区、対照区の 2 つの作業区を設定した（表 6-2、図 6-3）。皆伐区の作業は、落葉等除去を行わずに伐採し、ウインチ付グラップルで集材し、ハーベスタやプロセッサで造材した上で搬出、その後スギ（2,000 本/ha）の苗木を植栽した。

表 6-2 各試験地の作業概要（実証事業）

作業区	作業内容	作業日
飯館事業地(1) 間伐区	作業道作設 間伐 チップ散布	令和元(2019)年 9 月 6 日～19 日 令和元(2019)年 9 月 20 日～11 月 21 日 令和元(2019)年 12 月 4 日～12 日
檜葉事業地 皆伐区	皆伐 チップ散布 下刈り	平成 30(2018)年 10 月上旬～11 月中旬 平成 30(2018)年 11 月下旬 令和 2(2020)年 10 月中旬

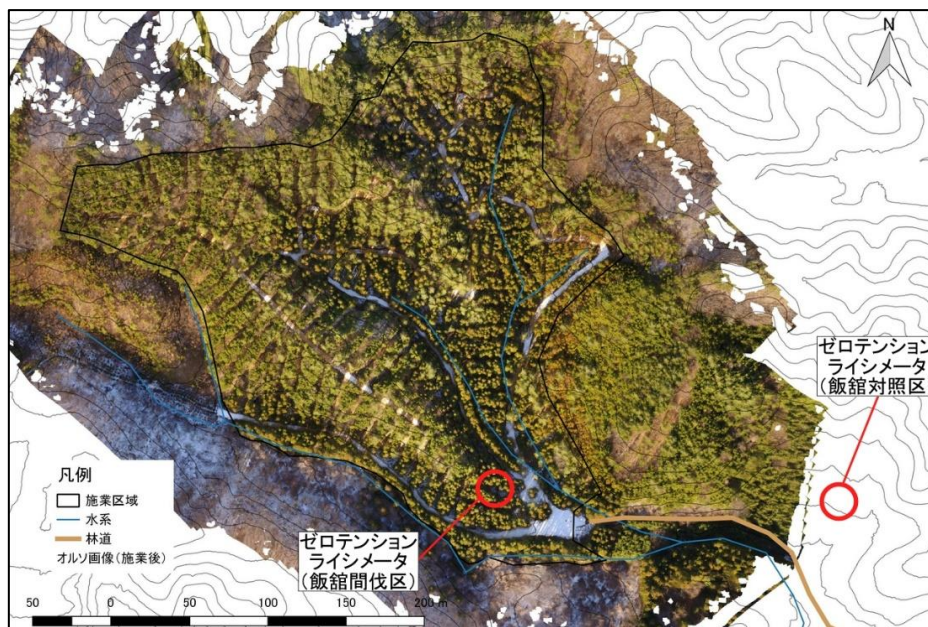


図 6-2 飯館事業地（1）配置

²⁶ 平成 23(2011)年 7 月 2 日（第 3 次航空機モニタリング結果と同一日）時点の放射性セシウム（Cs-137）の沈着量。第 5 次航空機モニタリングによる測定結果も含む。

Kato Onda et al (2019) : Reconstruction of a Fukushima accident-derived radiocesium fallout map for environmental transfer studies, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 210, December 2019, 105996
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.105996> (DATA: doi: 10.34355/CRiED.U.TSUKUBA.0003)



図 6-3 檜葉事業地配置

飯舘事業地（1）スギ林及び檜葉事業地スギ林において、浸透水による放射性セシウムの下方浸透量を定量化するために、図 6-2 及び図 6-3 に示した位置（皆伐または間伐範囲と対照区）で、令和元（2019）年度に設置したゼロテンションライシメータ（図 6-4）を用いて測定を行った。

なお、堆積有機物層の浸透水を採取するゼロテンションライシメータは、30cm×30cm のプラスチックトレイに穴空け加工し、シリコンで防水処理し、ホースでタンクと接続した。設置位置の 30cm×30cm の堆積有機物を、立体的構造を崩さずに、そのままプラスチックトレイの上に載せて替えて作製した。

土壌浸透水用ゼロテンションライシメータは、斜面の等高線方向に土壤に断面を切り、設定深度（5cm、10cm、20cm）でガルバニウム土台水切り（アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板；以後「めっき鋼板」と呼ぶ。）を斜面傾斜と水平にできるだけ深く打ち込み、その深さを記録した上で、土壌断面から出た部分を 5cm 程度残し、カットした。さらに、土中に打ち込んだめっき鋼板から流れてきた浸透水を集められるよう、トタンで水受けを作り、ホースでタンクに接続した。水受けには、雨が直接入らないよう、ガルバニウム捨唐草で屋根を作成した。めっき鋼板の枚数は、1箇所4枚を基本としたが、飯舘事業地(1)の1地点は根等の支障物のため、3枚のみ設置できた。また、打ち込み深度は 5cm、10cm、20cm で計画したが、檜葉事業地では礫が多く、地表からの深さ 20cm でめっき鋼板を土中に水平に挿しこむことが不可能であったため、皆伐区、対照区ともに、地表からの深さ 15cm に設置した。各試験地におけるゼロテンションライシメータの設置状況を表 6-3 に示す。

浸透水の採取は1ヶ月に1回を基本としたが、タンクに貯まった試料が少ない場合には翌月以降に採取した。一方、大雨の後には早めに試料を回収した（表 6-4、表 6-5）。

採取試料は、試料重量測定後、0.45 μ m のメンブレンフィルターでろ過を行い、フィルターに残った物を残渣、通り抜けた濾液を溶存態の試料として、これらの試料について、7章に

記載した方法により核種測定を行った。溶存態の試料は測定対象期間の試料を案分混合し、濃縮して測定に供し、測定時間は10,000秒とした(図6-5)。

ゼロテンションライシメータによる土壤等浸透水の採水状況を表6-4、表6-5に示す。

なお、両試験地で令和2(2020)年5月~7月に想定外の記録的な降水量が観測され、タンクのオーバーフローが生じた。そのため、令和2(2020)年7月29日~31日にかけて浸透水貯留用のタンクを、容量5L(飯館事業地(1))または18L(檜葉事業地)の容量であったポリタンクから、45Lのプラスチックタンク(写真6-2)に交換した。

一方、飯館事業地(1)では令和2(2020)年12月の採水時に、一部、浸透水の貯留量が他よりも極端に少ないタンクがあった。低温による導水ホース内の凍結等がその原因と考えられたため、この測定回の試料は分析対象からは除外した。そのため、両事業地で正常に試料採取が行うことができた7月下旬~10月中旬までの試料を解析対象とした。

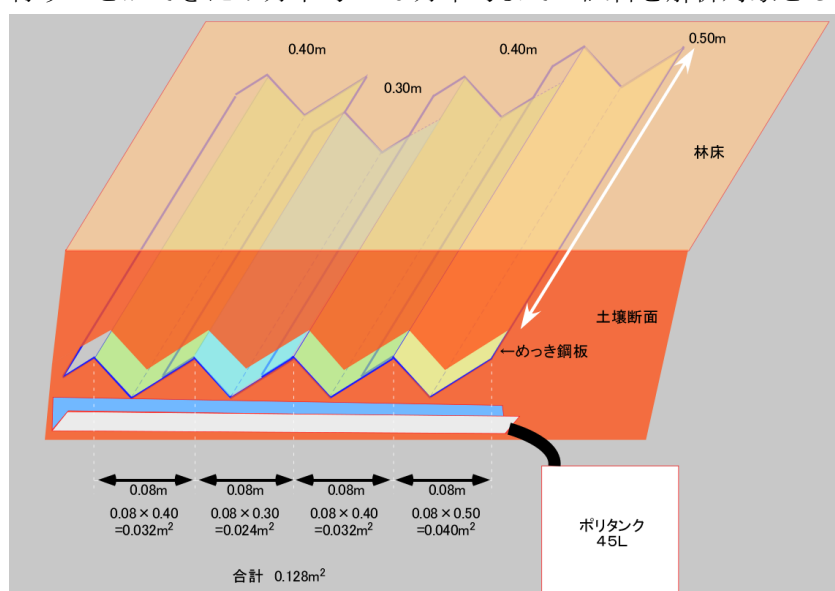


図6-4 ライシメータ設置イメージ

表6-3 各作業区のゼロテンションライシメータ設置状況

作業区	設置完了日	設置深度	採水部面積
飯館 間伐区	令和元(2019)年 10月24日	堆積有機物	0.09 m ²
		5cm	0.112 m ²
		10cm	0.1296 m ²
飯館 対照区	令和元(2019)年 10月24日	堆積有機物	0.09 m ²
		5cm	0.148 m ²
		10cm	0.136 m ²
檜葉 皆伐区	令和元(2019)年 12月13日	堆積有機物	0.09 m ²
		5cm	0.1064 m ²
		10cm	0.0768 m ²
檜葉 対照区	令和元(2019)年 12月13日	堆積有機物	0.09 m ²
		5cm	0.0856 m ²
		10cm	0.0736 m ²
		15cm	0.0696 m ²

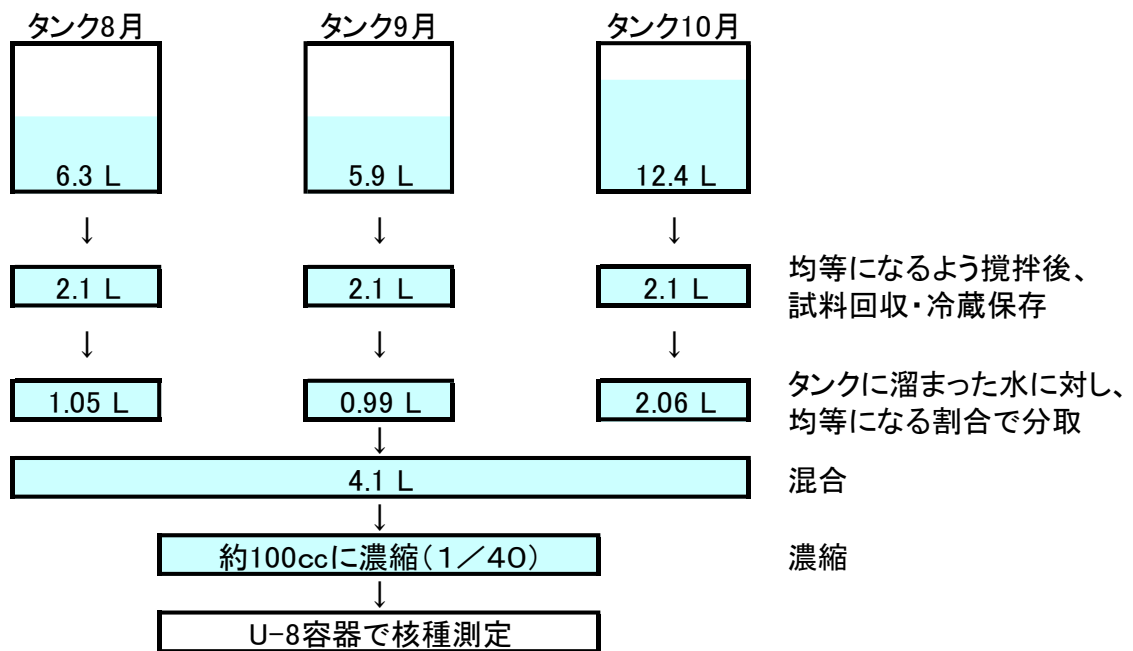


図 6-5 浸透水案分混合イメージ



写真 6-1 ゼロテンションライシメータ設置状況写真 (1) (飯館事業地 (1))

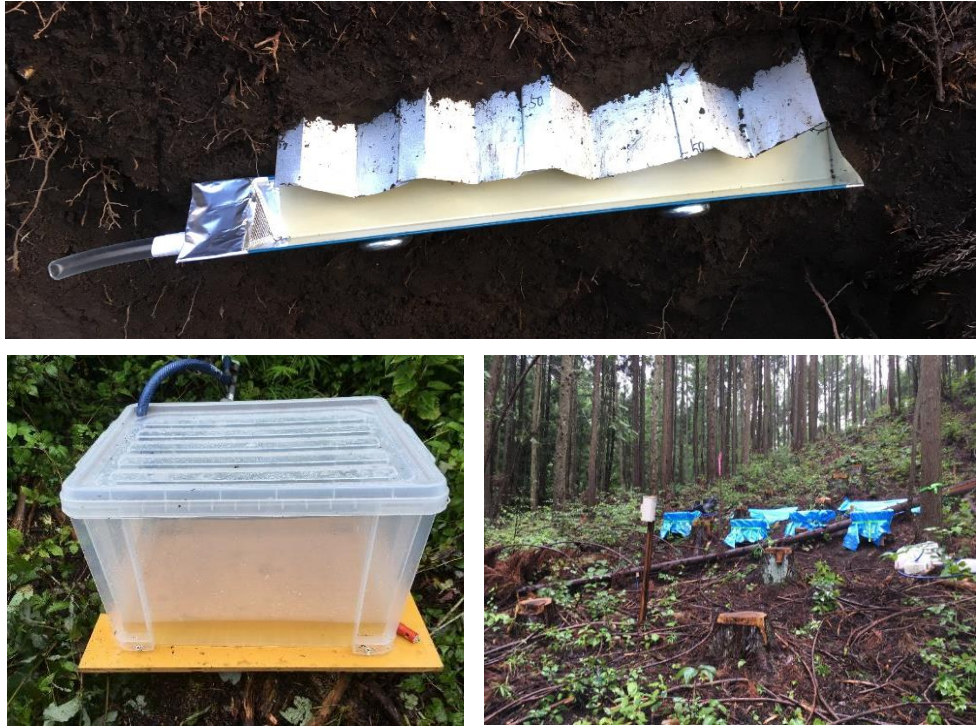


写真 6-2 ゼロテンションライシメータ設置状況写真 (2) (飯館事業地 (1))

表 6-4 飯館事業地 (1) のゼロテンションライシメータによる土壤等浸透水の採水状況

	設置	回収	皆伐区	対照区	期間 降水量 (mm)	年間 降水量 (mm/yr)
第 1 回	令和 2(2020)年 5 月 15 日	令和 2(2020)年 6 月 16 日	オーバーフロー 数カ所壁面崩壊	オーバーフロー	86.4	1,314.3
第 2 回	令和 2(2020)年 6 月 16 日	令和 2(2020)年 7 月 21 日	オーバーフロー	オーバーフロー	208.8	
-	令和 2(2020)年 7 月末		45L タンクへ交換		-	
第 3 回	令和 2(2020)年 7 月 21 日	令和 2(2020)年 8 月 13 日	○	○	220.2	
第 4 回	令和 2(2020)年 8 月 13 日	令和 2(2020)年 9 月 23 日	○	○	154.2	
第 5 回	令和 2(2020)年 9 月 23 日	令和 2(2020)年 10 月 16 日	○	○	131.4	
第 6 回	令和 2(2020)年 10 月 16 日	令和 2(2020)年 12 月 23 日	凍結	凍結	38.0	

赤枠内の試料を解析対象とした。期間降水量は、飯館事業地(1)に設置した雨量計の値を用いた。年間降水量は、令和 2(2020)年 1 月 1 日～12 月 31 日の積算値。ただし、雨量計未設置期間(令和 2(2020)年 1 月 1 日～5 月 15 日)の雨量は、最も近い AMeDAS 飯館と設置が重複する期間の近似式を作成して補正を行った。

表 6-5 檜葉事業地のゼロテンションライシメータによる土壌等浸透水の採水状況

	設置	回収	皆伐区	対照区	期間 降水量 (mm)	年間 降水量 (mm/yr)
第 1 回	令和 2(2020)年 5 月 14 日	令和 2(2020)年 6 月 16 日	オーバーフロー	オーバーフロー	124.8	1,269.9
第 2 回	令和 2(2020)年 6 月 16 日	令和 2(2020)年 7 月 21 日	オーバーフロー	オーバーフロー	204.6	
-	令和 2(2020)年 7 月末		45L タンクへ交換		-	
第 3 回	令和 2(2020)年 7 月 21 日	令和 2(2020)年 8 月 14 日	○	1 深度欠測	70.2	
第 4 回	令和 2(2020)年 8 月 14 日	令和 2(2020)年 9 月 23 日	○	○	93.6	
第 5 回	令和 2(2020)年 9 月 23 日	令和 2(2020)年 10 月 15 日	○	○	127.2	
第 6 回	令和 2(2020)年 10 月 15 日	令和 2(2020)年 12 月 23 日	○	○	41.6	

赤枠内の試料を解析対象とした。期間降水量は、檜葉事業地に設置した雨量計の値を用いた。年間降水量は、令和 2(2020)年 1 月 1 日～12 月 31 日の積算値。ただし、雨量計未設置時期(令和 2(2020)年 1 月 1 日～5 月 14 日)の値は、最も近い川内試験地(林外)に設置した雨量計と設置が重複する期間の近似式を作成して補正を行った。

(2) 試験結果

飯館事業地(1)及び檜葉事業地における土壌及び堆積有機物層浸透水に含まれる放射性セシウム(Cs-134 及び Cs-137)の濃度を表 6-6、図 6-6 に、年間の下方移動量推定値を表 6-7、図 6-7 に示す。

浸透水試料中の放射性セシウムのうち、Cs-137 については全試料で測定下限値以上の濃度が検出されたが、Cs-134 については、10,000 秒の測定でほとんどが測定下限値(0.026～0.069 Bq/kg)未満の濃度であった。

本年度の分析結果では、浸透水中の放射性セシウム(Cs-137)濃度は、全ての設置箇所でも堆積有機物層浸透水のほうが、土壌浸透水よりも高かった。平成 31(2019)年度は、檜葉事業地の皆伐区および対照区で深度 5cm よりも深度 10cm の濃度が高くなっていたが、令和 2(2020)年度は、飯館事業地(1)対照区の 10cm を除き、深度が深くなるごとに濃度が低減する傾向が確認された(図 6-6)。

土壌等浸透水による放射性セシウム(Cs-137)の 1 年当たりの下方移動量推定値は、堆積有機物層で最も高く、土壌深度が深くなるほど低下する傾向が見られた(表 6-6、図 6-6)。下方移動量は、飯館事業地(1)よりも檜葉事業地のほうが大きい傾向が見られた。また、現存量に対する浸透水による下方移動量推定値は、平成 31(2019)年度は試験地間に明瞭な違いが見られなかったものの、令和 2(2020)年度は飯館事業地(1)よりも檜葉事業地の方が全体的に大きい傾向が見られた。

飯舘事業地（１）より檜葉事業地のほうが放射性セシウムの方浸透が大きくなった要因として、１．土質の違い、２．開空率の違い、３．林床被覆の違い、４．降雨強度の違いが考えられる。

１．土質の違いは、飯舘事業地（１）の礫が少ない粘性の大きい黒ボク土であったのに対し、檜葉事業地は巨礫混じりの黒ボク土であったため土壌の空隙率が大きくなるため、飯舘事業地（１）よりも浸透水による下方浸透が大きくなったものと推定された。

２．飯舘事業地（１）では間伐施業、檜葉事業地では皆伐施業を実施したため、開空率が後者のほうが大きく、地温の上昇により有機物の分解にともなう放射性セシウムの溶出量が大きかった可能性がある。

３．檜葉事業地の皆伐区は上層木の葉群がなく、落葉等による林床被覆が乏しかったため、林外雨が直接地表に到達し、下方浸透を促進していた可能性がある。

４．期間中の 30 分降雨強度および降水量は飯舘事業地（１）が 14.4～43.6mm/hr（期間降水量 505.8mm）、檜葉事業地が 8.0～14.4mm/hr（期間降水量 291.0mm）であった。また、飯舘事業地（１）よりも檜葉事業地のほうが、降雨強度と雨量が小さく、土壌水の飽和により表流水として横方向に移動する流れよりも、その場で下方に浸透する割合が相対的に大きくなっていた可能性がある。

なお、浸透水中の放射性セシウム（Cs-137）移動量が、堆積有機物層及び土壌中の放射性セシウム現存量の変化に寄与する割合については、堆積有機物層及び土壌中の放射性セシウム現存量の測定値が局所的に大きくばらついており、試験期間中にむしろ増加していた場合もあったため、妥当な評価が難しい。

土壌浸透水中の放射性セシウムの移動量は、堆積有機物及び土壌中の放射性セシウム現存量の空間的なバラつきと較べて極めて小さいため、両者の評価には工夫が必要である。今後、土壌等浸透水の下方浸透への寄与を正確に評価するためにはより精密な調査が必要である。例えば、下方浸透水の調査開始時及び終了時に堆積有機物および採土円筒缶による各深度の土壌試料中の放射性セシウム Cs-137 の測定を 5 地点程度行い、平均的な現存量の増減を求めるような調査が必要になるものと想定される。また、施業区および対照区の条件の違いによる下方浸透量の差異とその影響を把握するために、林内・林外の降水量と空間線量率の把握は必須であるとともに、日照量、地温、気温・湿度、土壌水分等の把握も必要になる。また、降雨イベント（降雨強度）毎の雨水の下方浸透水量（集水タンクへの流入量）を正しく把握するために、タンクに水位計を設置し、より詳細に雨水の下方浸透状況等を精査することが望ましい。

表 6-6 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) 濃度等

試験地	作業区	層位 (深度)	Cs-134 濃度 (Bq/L)	Cs-137 濃度 (Bq/L)	浸透水採取試料重量 (L)
飯館事業地 (1)	間伐区	堆積有機物	ND (0.038)	1.24 (0.025)	32.3
		5cm	ND (0.030)	0.267 (0.026)	26.7
		10cm	ND (0.031)	0.120 (0.024)	25.0
		20cm	ND (0.026)	0.080 (0.026)	16.8
	対照区	堆積有機物	0.050 (0.044)	1.01 (0.037)	16.6
		5cm	ND (0.036)	0.234 (0.023)	28.6
		10cm	ND (0.030)	0.347 (0.023)	33.4
		20cm	ND (0.040)	0.207 (0.029)	17.1
檜葉事業地	皆伐区	堆積有機物	0.130 (0.053)	2.99 (0.047)	26.6
		5cm	ND (0.045)	0.684 (0.043)	32.1
		10cm	ND (0.038)	0.499 (0.039)	57.0
		15cm	ND (0.061)	0.385 (0.047)	22.9
	対照区	堆積有機物	0.054 (0.035)	1.00 (0.030)	24.6
		5cm	ND (0.042)	0.407 (0.038)	17.3
		10cm	ND (0.033)	0.343 (0.027)	26.7
		15cm	ND (0.069)	0.175 (0.047)	16.0

括弧内の数値は測定下限値、「N.D.」は濃度が測定下限未満であったことを示す。

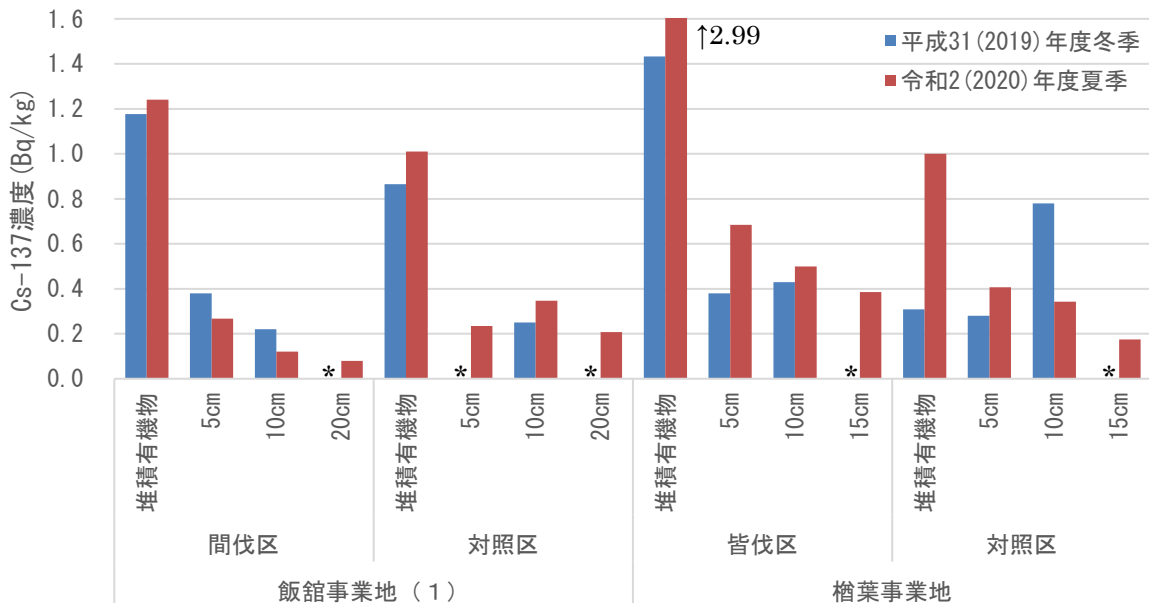


図 6-6 飯館事業地 (1) (左側) 及び檜葉事業地 (右側) における土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度

記号 (*) は放射性セシウム (Cs-137) 濃度が測定下限未満であったことを示す。

表 6-7 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) 移動量・割合

試験地	作業区	層位 (深度)	Cs-137 下方 移動量試算値 (kBq/m ² ・年)	Cs-137 下方 移動減少割合 (%)	設置箇所周 辺の現存量 (kBq/m ²)	現存量に対する Cs-137 下方移動 量(1年間)
飯館事業地 (1)	間伐区	堆積有機物	1.15	-	1,260.17	0.091%
		5cm	0.17	85.6%		0.013%
		10cm	0.06	94.8%		0.005%
		20cm	0.02	98.1%		0.002%
	対照区	堆積有機物	0.48	-	1,139.80	0.042%
		5cm	0.12	75.7%		0.010%
		10cm	0.22	54.3%		0.019%
		20cm	0.06	86.7%		0.006%
檜葉事業地	皆伐区	堆積有機物	3.81	-	275.03	1.384%
		5cm	0.90	76.4%		0.327%
		10cm	1.62	57.5%		0.588%
		15cm	0.51	86.6%		0.186%
	対照区	堆積有機物	1.19	-	514.82	0.231%
		5cm	0.36	69.9%		0.069%
		10cm	0.54	54.3%		0.105%
		15cm	0.18	85.2%		0.034%

Cs-137 年移動量は、試料採取期間中の Cs-137 移動量を「期間降水量/年間降水量」で除して推定した。

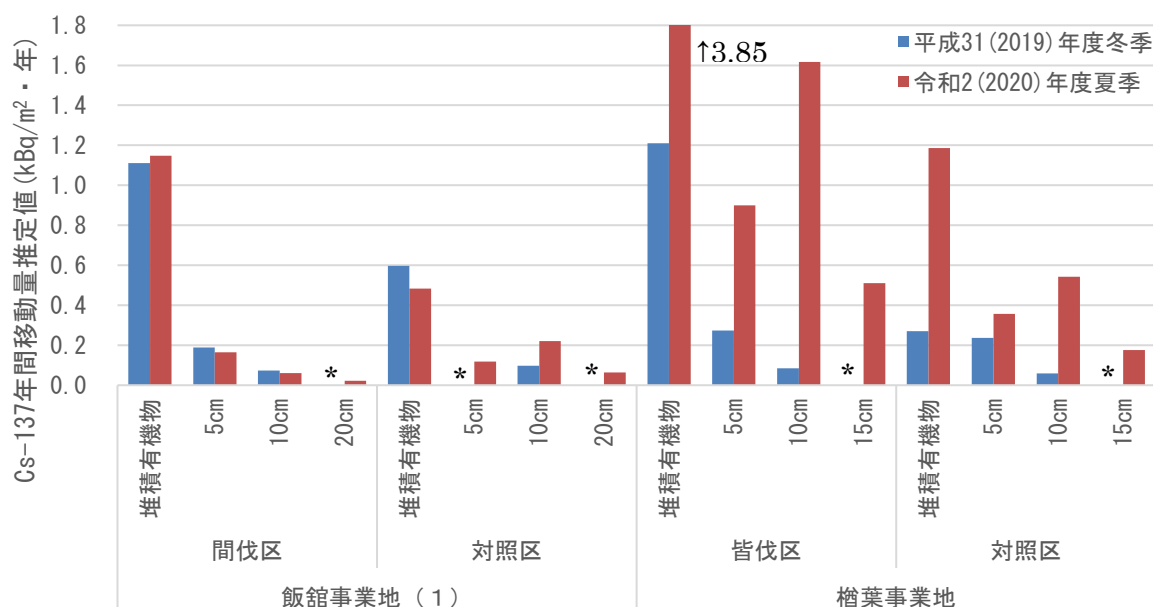


図 6-7 飯館事業地 (1) (左側) 及び檜葉事業地 (右側) における土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 年間移動量推定値

記号(*)は放射性セシウム(Cs-137)濃度が測定下限値未満であったことを示す。平成 31(2019)年度は「期間降水量/年間降水量(2019年1月1日~12月31日)」、令和 2(2020)年度は「期間降水量/年間降水量(2020年1月1日~12月31日)」で除して推定した。

土壌浸透水をメンブレンフィルターでろ過した残渣に含まれる放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) の濃度及び現存量を表 6-8 に示す。これらの残渣はフィルターからの分離が困難であり、残渣重量が 0.01g 未満の試料が多かったため、残渣重量については測定精度が確保できなかった。そのため、残渣の放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) 濃度と現存量は、濾紙込みの測定値を示した。

残渣の放射性セシウム (Cs-137) 濃度は、飯館事業地 (1) では最大 624kBq/kg、櫛葉事業地では最大 55 Bq/kg であった。なお、放射性セシウム (Cs-134) 濃度は、全て測定下限値 (10.7~454kBq/kg) 未満であった。これらの濃度は、ろ紙込みでの測定値を、残渣とろ紙の重量比で割り戻して算出した。ただし、残渣重量は微小 (0.9mg~45.6g 程度) であったため、誤差が大きく出ていた可能性がある。なお、残渣試料に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量は最大 0.006 kBq であった。

残渣の放射性セシウム濃度と現存量は、飯館事業地 (1) のほうが櫛葉事業地よりも高かったが、層位 (深度) による差異や傾向は見られなかった。試験地間の差異は、後述 (174 頁の表 6-10 等参照) のように、土壌に含まれる放射性セシウムの濃度及び現存量を反映していたものと考えられる。

なお、本事業で採取された土壌等浸透水の残渣は、土壌浸透水に伴う下方移動だけではなく、ライシメータを設置した土壌断面から落下した土砂に由来するものも多く含んでおり、評価にあたっては注意が必要である。

表 6-8 土壌等浸透水残渣に含まれる放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) の濃度及び現存量

試験地	試験区	層位 (深度)	Cs-134		Cs-137		残渣重量 (g)
			濃度 (kBq/kg)	現存量 (kBq)	濃度 (kBq/kg)	現存量 (kBq)	
飯館事業地 (1)	間伐区	堆積有機物	N.D. (14.7)	-	173 (9.84)	0.006	0.0326
		5cm	N.D. (69.7)	-	156 (43.3)	0.001	0.0067
		10cm	N.D. (128.0)	-	N.D. (76.2)	-	0.0035
		15cm	N.D. (119.0)	-	624 (88.7)	0.002	0.0035
	対照区	堆積有機物	N.D. (64.9)	-	292 (48.2)	0.002	0.0064
		5cm	N.D. (173.0)	-	595 (121)	0.001	0.0024
		10cm	N.D. (34.9)	-	219 (30)	0.003	0.0117
		15cm	N.D. (13.6)	-	30.0 (10.2)	0.001	0.0314
櫛葉事業地	皆伐区	堆積有機物	N.D. (10.7)	-	N.D. (6.78)	-	0.0459
		5cm	N.D. (128.0)	-	N.D. (91.8)	-	0.0030
		10cm	N.D. (227.0)	-	N.D. (168)	-	0.0015
		15cm	N.D. (454.0)	-	N.D. (307)	-	0.0009
	対照区	堆積有機物	N.D. (23.4)	-	39.5 (14.4)	0.001	0.0185
		5cm	N.D. (31.5)	-	55.7 (23.7)	0.001	0.0137
		10cm	N.D. (117.0)	-	N.D. (61.2)	-	0.0047
		15cm	N.D. (358.0)	-	N.D. (292)	-	0.0011

弧内の数値は測定下限値、「N.D.」は濃度が測定下限値未満であったことを示す。残渣の放射性セシウム濃度 (Cs-134 及び Cs-137) は、ろ紙込みの測定値を、残渣の重量比 (「残渣重」/「濾紙+残渣重」) で割り戻して算出した。

6.2. 細根等による放射性物質移動の把握

(1) 試験地と試験方法

細根の枯死脱落による土壌深部への放射性セシウムの移動を把握するため、間伐区または皆伐区の2地点及び対照区1地点（ゼロテンションライシメータ設置位置周辺；図 6-8、図 6-9）で、100ml 採土円筒による深度別の試料採取を行った。堆積有機物は 20cm×20cm の面積で採取し、細根を採土円筒で深さ 0～5cm、5～10cm 及び 10～15cm の土壌コアを深度毎に 2～3 個採取した。各作業区及び深度における、試料採取日及び採取数量を表 6-9 に示す。

採取試料は、深度毎に採取混合し（図 6-10）、未分別試料として7章に記載した方法により核種測定を行った後に、バット等に出し、ピンセットで土塊を崩しながら細根をより分けた。より分けた細根には土が付着していたため、蒸留水に浸し、超音波ホモジナイザー（BRANSON 250-Advanced）を用いて水の濁りが出なくなるまで複数回洗浄を行った後に、105℃で乾燥し、乾重量を測定した（写真 6-3、写真 6-4）。細根と土壌に分別した試料は、それぞれ7章に記載した方法により放射性 Cs 濃度等の測定を行った。

日本のスギ林における細根の年間生産量は $0.157\text{kg}/\text{m}^2/\text{year}$ ²⁷として、年当たりの細根により移動する放射性セシウム（Cs-137）現存量の推計を行った。

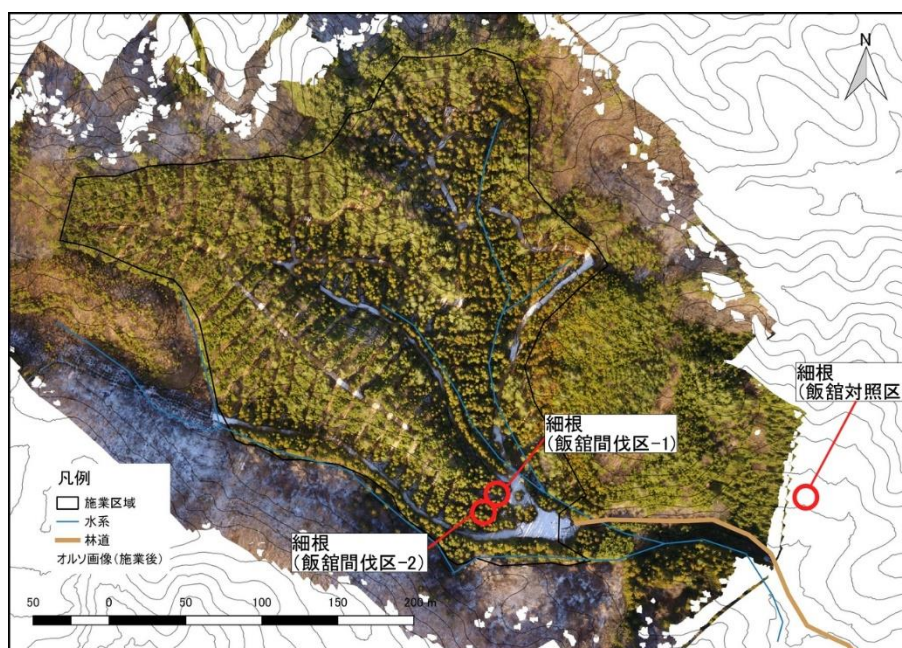


図 6-8 飯館事業地(1)配置

赤い丸印は細根試料採取位置を示す。

²⁷ Kyotaro Noguchi et al (2007) : Biomass and production of fine roots in Japanese forests, J For Res (2007) 12:83–95, 2007,

(DATA: DOI 10.1007/s10310-006-0262-3)



図 6-9 檜葉事業地配置
赤い丸印は細根試料採取位置を示す。

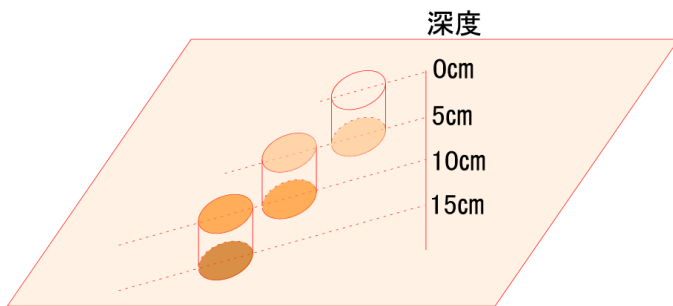


図 6-10 細根採取イメージ (左) と細根採取状況 (右)

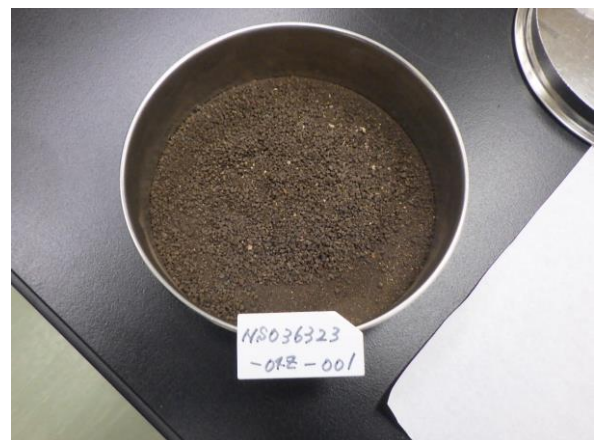


写真 6-3 細根と土壌の分別状況



写真 6-4 細根の超音波洗浄作業（左）及び洗浄中の分別作業（右）

表 6-9 各作業区の細根試料採取日、試料量

作業区	採取日	設置深度	堆積有機物	土壌・細根 分別用試料	細根乾重量 (g)
飯館 間伐区 1	令和2 (2020)年 7月21日	堆積有機物	20cm×20cm	-	-
		0~5cm	-	2個	0.50
		5~10cm	-	2個	0.25
		10~15cm	-	3個	1.12
飯館 間伐区 2	令和2 (2020)年 7月21日	堆積有機物	20cm×20cm	-	-
		0~5cm	-	2個	0.60
		5~10cm	-	2個	0.95
		10~15cm	-	3個	0.89
飯館 対照区	令和2 (2020)年 7月21日	堆積有機物	20cm×20cm	-	-
		0~5cm	-	2個	1.03
		5~10cm	-	2個	0.59
		10~15cm	-	3個	0.51
檜葉 皆伐区 1	令和2 (2020)年 7月21日	堆積有機物	20cm×20cm	-	-
		0~5cm	-	2個	2.05
		5~10cm	-	2個	0.57
		10~15cm	-	3個	0.81
檜葉 皆伐区 2	令和2 (2020)年 7月21日	堆積有機物	20cm×20cm	-	-
		0~5cm	-	2個	0.77
		5~10cm	-	2個	0.35
		10~15cm	-	3個	0.51
檜葉 対照区	令和2 (2020)年 7月21日	堆積有機物	20cm×20cm	-	-
		0~5cm	-	2個	1.04
		5~10cm	-	2個	0.67
		10~15cm	-	3個	1.20

土壌・細根分別の数量は容量 100mL の採土円筒による採取缶数を示す。

(2) 試験結果及び考察

1) 堆積有機物、土壌、細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度

飯舘事業地 (1) 及び檜葉事業地で採取した堆積有機物、土壌、細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) の濃度を表 6-10、図 6-11 及び図 6-12 に示す。

どちらの試験地においても、細根よりも、堆積有機物や土壌に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度のほうがおおむね高い傾向が見られた。また、堆積有機物及び土壌に含まれる放射性セシウム (Cs-137) の濃度は、飯舘事業地 (1) のほうが檜葉事業地よりも高かった。

飯舘事業地 (1) では、放射性セシウム (Cs-137) 濃度は土壌の浅い層 (0-5cm) が最も高く、次いで堆積有機物層が高かった。また、土壌と細根ともに、深度が深くなるにつれ、濃度が低下する傾向が見られた。なお、各深度の放射性セシウム (Cs-137) 濃度は細根より土壌のほうが高い傾向が見られたが、間伐区 2 の深度 10-15cm のみ、土壌よりも細根のほうが高かった。

檜葉事業地でも、放射性セシウム (Cs-137) 濃度は土壌の浅い層 (0-5cm) が最も高く、次いで堆積有機物層が高かった。また、土壌と細根ともに、深度が深くなるにつれ、濃度が低下する傾向が見られたが、対照区の細根のみ、深度 10-15cm の濃度が最も高かった。なお、各深度の放射性セシウム (Cs-137) 濃度は細根より土壌の方が高い傾向が見られたが、対照区の深度 10-15cm のみ、土壌よりも細根のほうが高かった。

表 6-10 細根等に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度

試験地	作業区	層位(深度)	Cs-137 濃度(kBq/kg)			
			堆積有機物	土	土+根	細根
飯館 事業地 (1)	間伐区 1	堆積有機物	21 (0.098)	-	-	-
		0-5cm	-	38 (0.077)	37 (0.080)	4.1 (0.041)
		5-10cm	-	4.5 (0.029)	4.6 (0.034)	1.6 (0.150)
		10-15cm	-	0.85 (0.021)	0.98 (0.020)	0.41 (0.049)
	間伐区 2	堆積有機物	16 (0.079)	-	-	-
		0-5cm	-	70 (0.130)	79 (0.130)	6.4 (0.098)
		5-10cm	-	3.8 (0.028)	4.1 (0.033)	2.1 (0.055)
		10-15cm	-	0.58 (0.023)	0.61 (0.023)	0.79 (0.061)
	対照区	堆積有機物	20 (0.110)	-	-	-
		0-5cm	-	33 (0.084)	36 (0.084)	16 (0.058)
		5-10cm	-	6.8 (0.040)	7.2 (0.035)	4.9 (0.080)
		10-15cm	-	0.42 (0.017)	0.45 (0.019)	0.53 (0.082)
檜葉 事業地	皆伐区 1	堆積有機物	5.7 (0.062)	-	-	-
		0-5cm	-	10 (0.052)	6.8 (0.037)	2.7 (0.025)
		5-10cm	-	1.5 (0.024)	1.5 (0.020)	1.2 (0.079)
		10-15cm	-	0.59 (0.014)	0.56 (0.014)	0.24 (0.067)
	皆伐区 2	堆積有機物	8.6 (0.071)	-	-	-
		0-5cm	-	12 (0.061)	11 (0.054)	5.0 (0.070)
		5-10cm	-	1.5 (0.030)	1.1 (0.022)	0.79 (0.140)
		10-15cm	-	0.73 (0.022)	0.55 (0.016)	0.22 (0.150)
	対照区	堆積有機物	5.0 (0.071)	-	-	-
		0-5cm	-	17 (0.079)	16 (0.079)	2.4 (0.045)
		5-10cm	-	4.6 (0.032)	3.6 (0.020)	3.4 (0.096)
		10-15cm	-	1.7 (0.025)	1.7 (0.016)	2.2 (0.044)

括弧内の数値は測定下限値、「N.D.」は濃度が測定下限値未満であったことを示す。

このように、土壌の深い深度で、土壌よりも細根の放射性セシウム (Cs-137) 濃度のほうが高かったケース (飯館事業地 (1) 間伐区 2 の 10cm 以深、檜葉事業地対照区の 10cm 以深) では、細根の成長と、その後の枯死・脱落が、土壌中の放射性セシウムの下方移動に寄与していた可能性がある。ただし、細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、約 0.01~4.2kBq/m² 程度であり、堆積有機物 (98~718kBq/m²) や土壌 (13~764kBq/m²) と比較すると極めて小さな値であった。

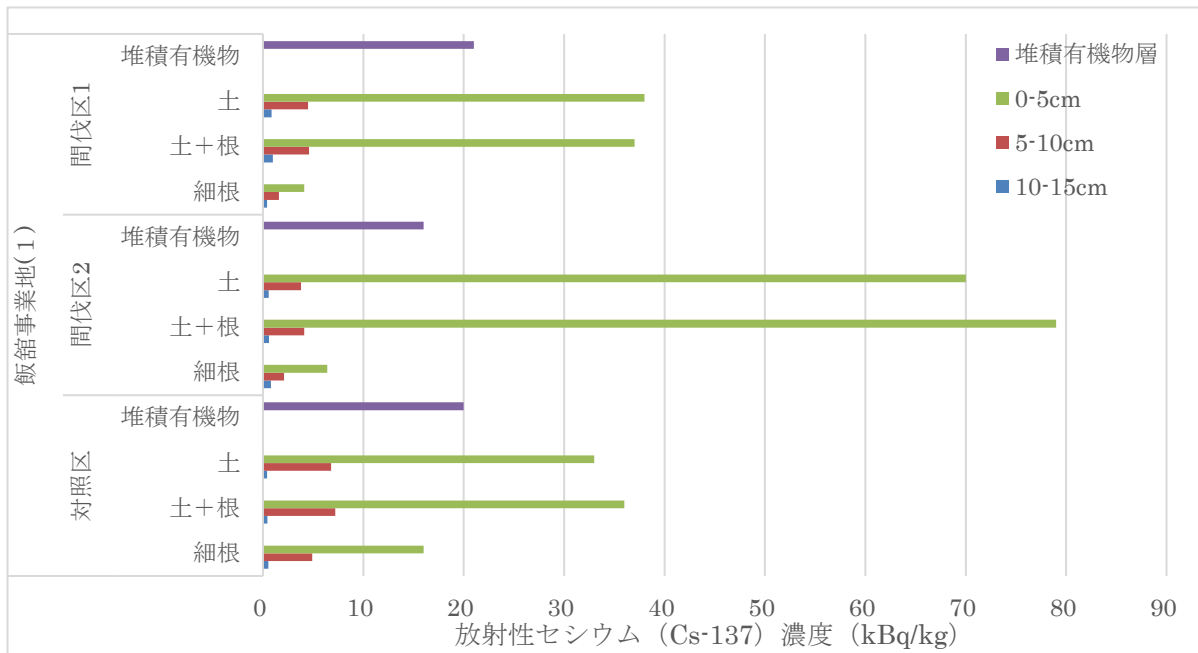


図 6-11 飯館事業地(1)における堆積有機物、土壌、及び細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度の層位・土壌深度ごとの比較

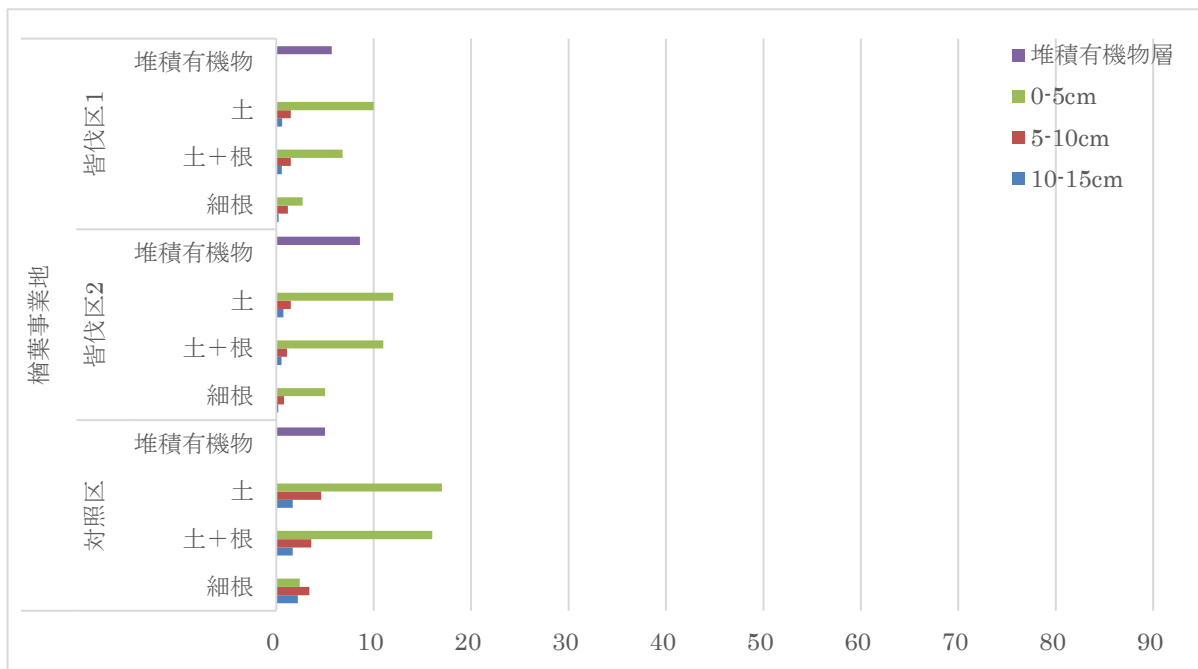


図 6-12 檜葉事業地における堆積有機物、土壌、及び細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度の層位・土壌深度ごとの比較

2) 堆積有機物、土壌、細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量

放射性セシウム (Cs-137) 現存量を表 6-11、図 6-13、図 6-14 及び図 6-15 に示す。

堆積有機物及び土壌に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、飯舘事業地 (1) のほうが、檜葉事業地よりも高い傾向が見られた。堆積有機物中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、バラつきは大きかったものの、どちらの試験地でも、間伐区や皆伐区よりも対照区のほうが高かった。土壌中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量は 0~5cm の深さで最も大きく、深度が深くなるにつれて低下する傾向が見られた。

表 6-11 細根等に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量

試験地	作業区	階層	Cs-137 現存量(kBq/m ²)				細根が占める割合(%)
			堆積有機物	土	土+根	細根	
飯舘事業地 (1)	間伐区 1	堆積有機物	491.266	-	-	-	-
		0-5cm	-	763.582	748.201	0.522	0.07%
		5-10cm	-	105.684	108.326	0.102	0.10%
		10-15cm	-	21.138	24.511	0.058	0.28%
	間伐区 2	堆積有機物	230.563	-	-	-	-
		0-5cm	-	715.338	819.386	0.978	0.14%
		5-10cm	-	74.131	80.976	0.508	0.68%
		10-15cm	-	16.209	17.117	0.090	0.55%
	対照区	堆積有機物	717.860	-	-	-	-
		0-5cm	-	227.847	258.008	4.199	1.81%
		5-10cm	-	140.574	149.925	0.737	0.52%
		10-15cm	-	13.046	14.007	0.034	0.26%
檜葉事業地	皆伐区 1	堆積有機物	98.258	-	-	-	-
		0-5cm	-	147.236	103.672	1.410	0.95%
		5-10cm	-	38.687	38.904	0.174	0.45%
		10-15cm	-	16.286	15.515	0.025	0.15%
	皆伐区 2	堆積有機物	131.509	-	-	-	-
		0-5cm	-	137.946	128.609	0.981	0.71%
		5-10cm	-	31.024	22.849	0.070	0.23%
		10-15cm	-	14.217	10.747	0.014	0.10%
	対照区	堆積有機物	154.497	-	-	-	-
		0-5cm	-	291.967	279.032	0.636	0.22%
		5-10cm	-	95.035	74.990	0.580	0.61%
		10-15cm	-	36.235	6.304	0.298	0.90%

「-」は該当する試料が存在しなかったことを示す。

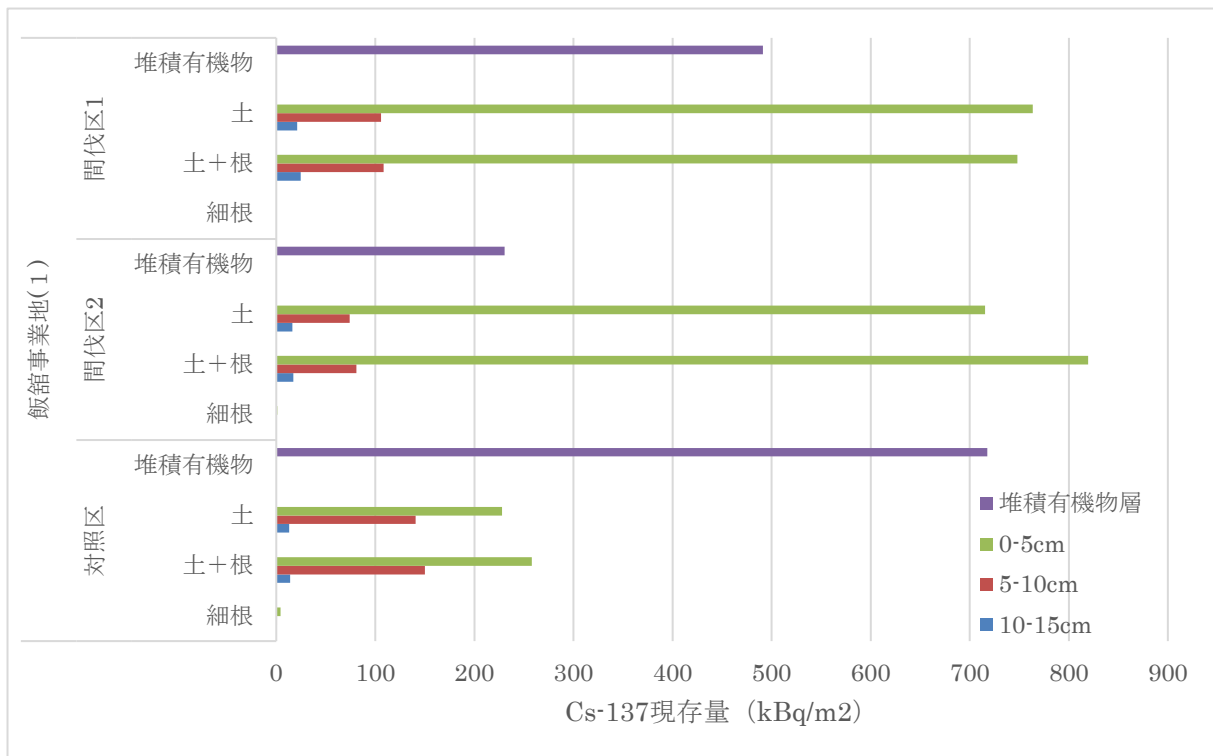


図 6-13 飯館事業地（1）における堆積有機物、土壌、及び細根に含まれる放射性セシウム（Cs-137）現存量の層位・土壌深度ごとの比較

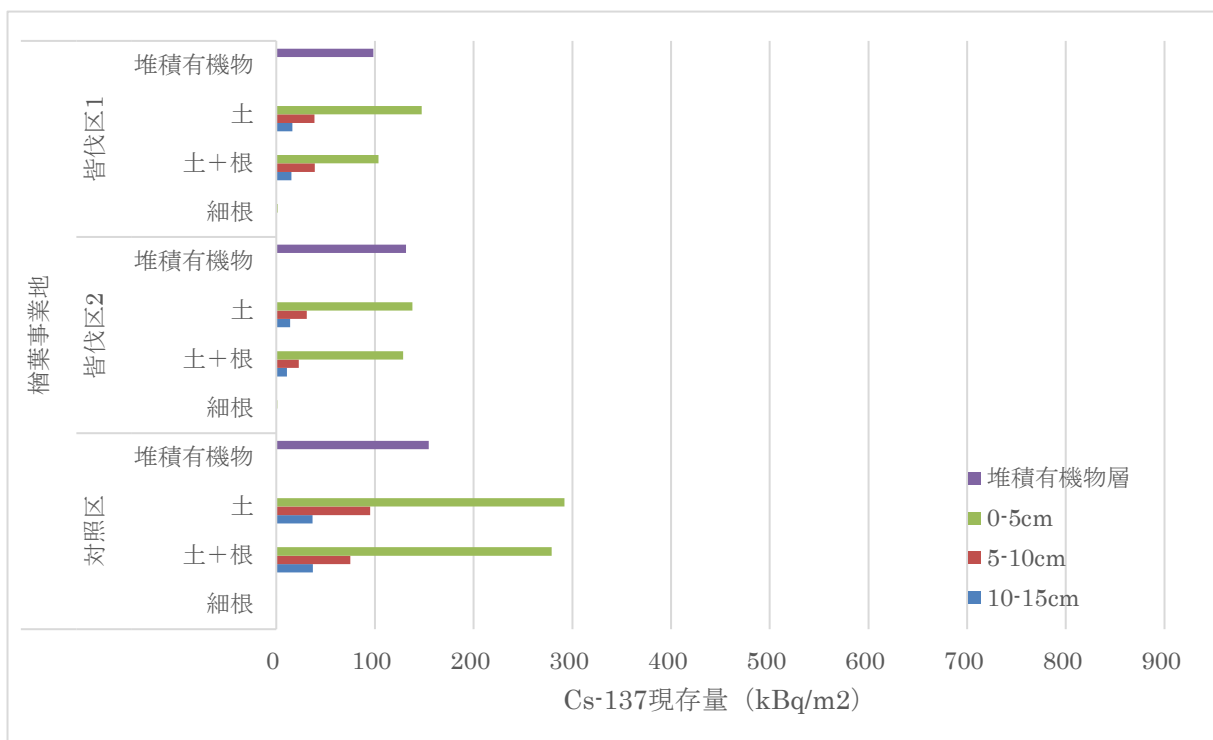


図 6-14 檜葉事業地における堆積有機物、土壌、及び細根に含まれる放射性セシウム（Cs-137）現存量の層位・土壌深度ごとの比較

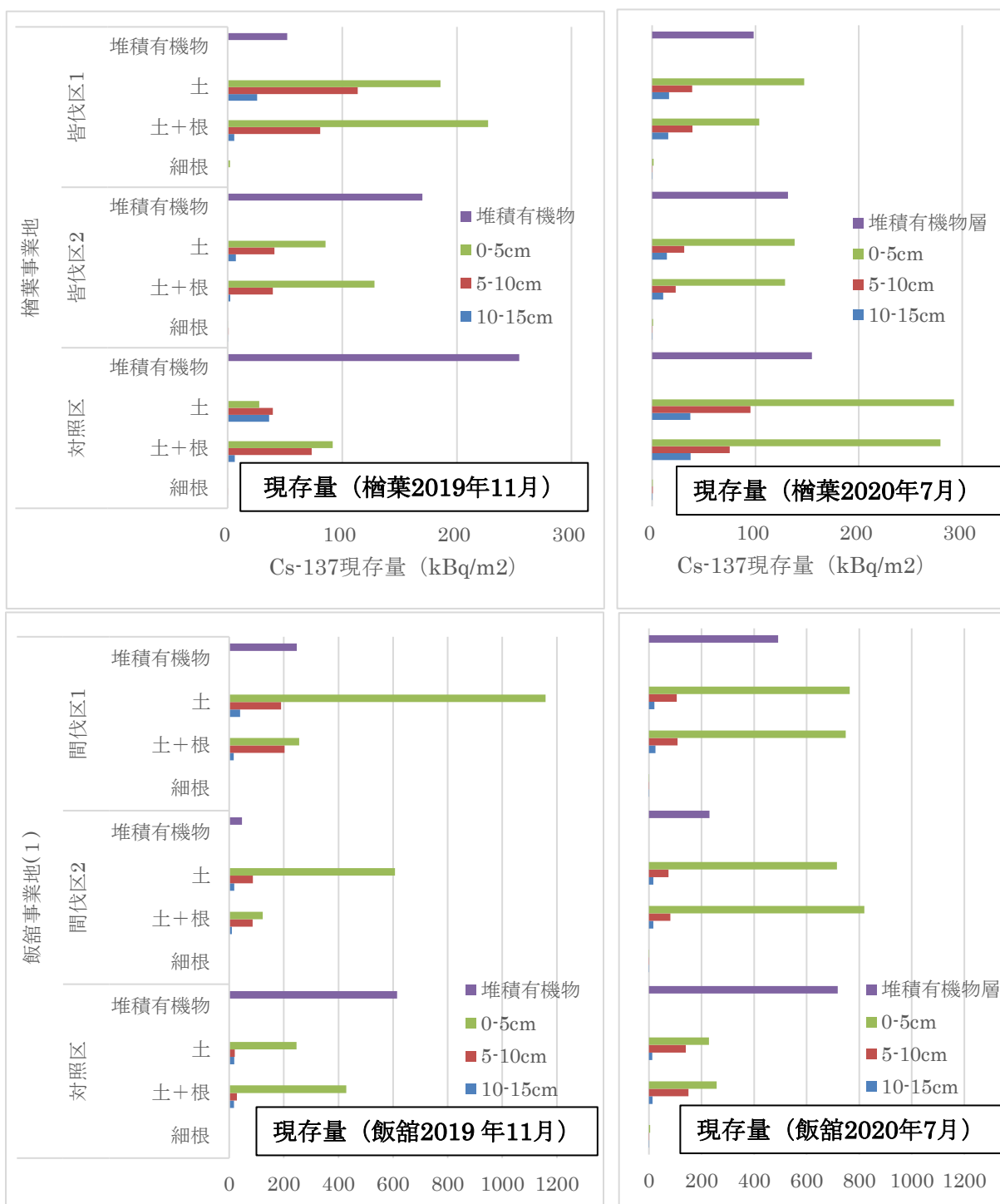


図 6-15 細根等の放射性セシウム (Cs-137) 現存量の過年度事業との比較
(上: 飯館事業地(1)、下: 檜葉事業地、左: 平成 31 (2019) 年 11 月、右: 令和 2 (2020) 年 7 月採取)

3) 細根による放射性セシウム (Cs-137) 移動量

細根による放射性セシウム (Cs-137) の年間移動量を表 6-12、図 6-16 及び図 6-17 にそれぞれ示す。どの作業区においても、年間移動量はおおむね 0-5cm の深さで高く、5-10cm、10-15cm と深くなるにつれて少なくなるか、または、ほぼ横ばいの傾向であった。平成 31 (2019) 年度は深い層での移動量が高くなる地点も確認されたが、令和 2 (2020) 年度はそうのように傾向が逆転する地点は確認されなかった。ただし、檜葉試験地の対照区では、細根による放射性セシウム (Cs-137) の移動量は、深さに関わらず、ほぼ一定であった。

次に、各地点の現存量に対する細根による年間移動量の割合は、令和 2 (2020) 年度はおおむね 0-5cm が高く、5-10cm、10-15cm と深くなるにつれ、少なくなる傾向が確認できるが、年間当たり最低 0.002% から最高 0.23% と、ごく僅かな割合であった。ただし、年間の放射性セシウム (Cs-137) 現存量の移動量に細根が寄与する割合は、土壤中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量の地点のばらつきが大きいため、偏りのない定量化が困難である。令和 2 年 (2020) 年度は土壤中の放射性セシウム (Cs-137) 現存量が、平成 31 (2019) 年度の 2 倍以上の値になっていた作業区もあり、試料が単点のみからの採取であったため、局所的な変動が大きかったものと考えられる。また、伐採施業による地表面の攪乱により、林床の放射性セシウムの分布が、さらに不均一になっていた可能性があると思われる。

今後、年間の放射性セシウム (Cs-137) 現存量の変化に寄与する細根の割合をより正確に算出するためには、地点によるばらつきを抑えるため、1 作業区あたり 3~5 地点の分析を行うとともに、6.1 で示した、空間線量率の把握、日照量、地温、気温・湿度、土壤水分を併せて比較検討し、より詳細に放射性セシウムの移動要因を検討することが望ましい。

表 6-12 細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間移行量

試験地	作業区	階層	平成 31(2019)年度			令和 2(2020)年度		
			現存量	細根による 年間下方 移行量	現存量に 対する 細根下方 移行量の 割合	現存量	細根による 年間下方 移行量	現存量に 対する 細根下方 移行量の 割合
			kBq/m ²	kBq/m ² /year		kBq/m ²	kBq/m ² /year	
飯 館 事 業 地 (1)	間伐区 1	0-5cm	724.00	0.16	0.022%	1,372.30	0.17	0.013%
		5-10cm		0.08	0.010%		0.03	0.002%
		10-15cm		0.16	0.022%		0.04	0.003%
	間伐区 2	0-5cm	265.00	0.19	0.072%	1,148.04	0.25	0.022%
		5-10cm		0.11	0.043%		0.13	0.011%
		10-15cm		0.12	0.045%		0.05	0.004%
	対照区	0-5cm	1,090.00	0.24	0.022%	1,139.80	1.21	0.107%
		5-10cm		0.08	0.007%		0.21	0.019%
		10-15cm		0.05	0.004%		0.02	0.002%
檜 葉 事 業 地	皆伐区 1	0-5cm	366.00	0.73	0.199%	256.35	0.25	0.099%
		5-10cm		0.12	0.033%		0.03	0.012%
		10-15cm		0.06	0.016%		0.01	0.003%
	皆伐区 2	0-5cm	378.00	0.23	0.062%	293.71	0.37	0.126%
		5-10cm		0.46	0.122%		0.03	0.009%
		10-15cm		0.89	0.235%		0.01	0.004%
	対照区	0-5cm	324.00	0.08	0.024%	545.62	0.13	0.025%
		5-10cm		0.11	0.033%		0.12	0.023%
		10-15cm		0.15	0.045%		0.14	0.026%

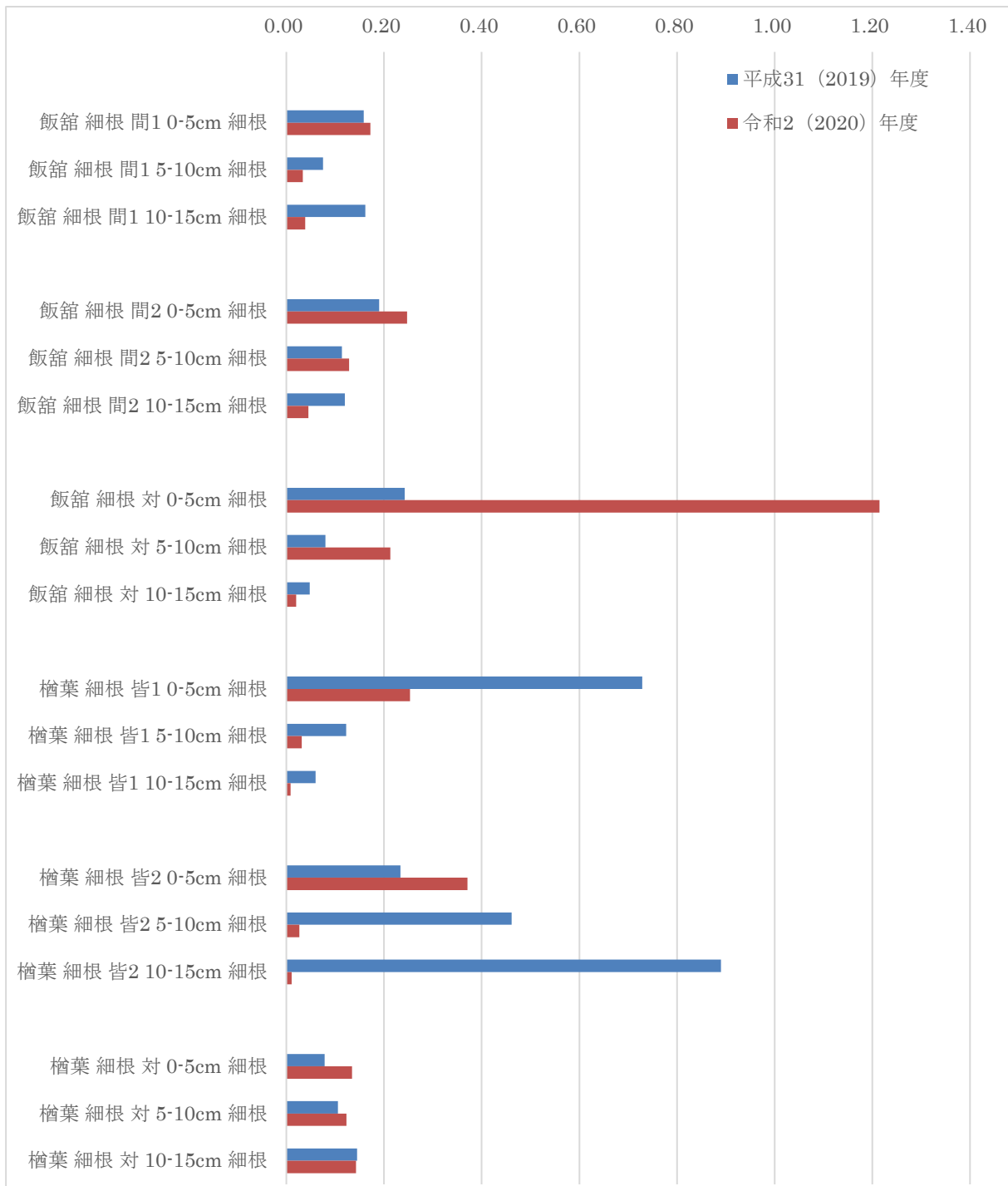


図 6-16 細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間移行量 (kBq/m²/year)

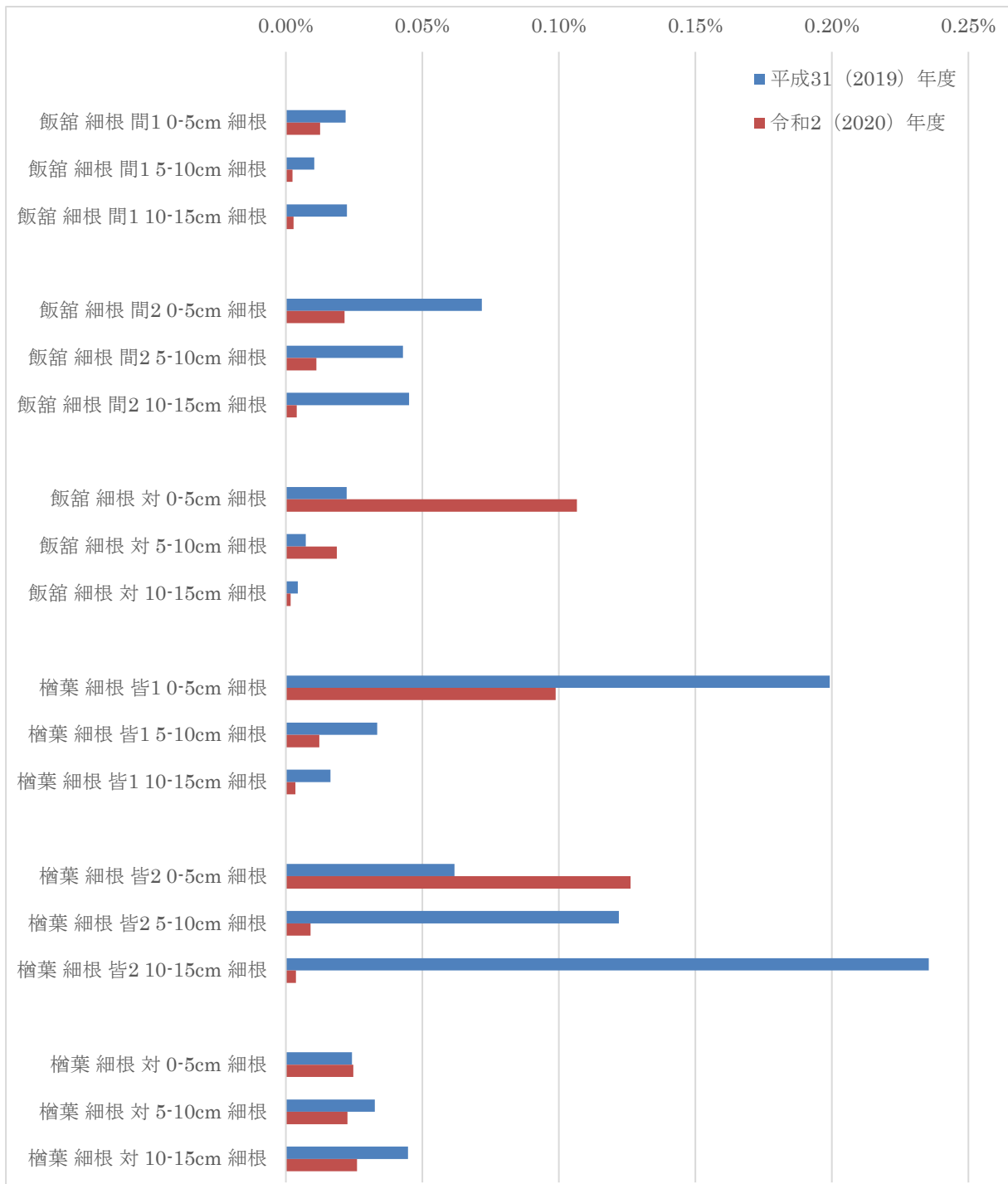


図 6-17 現存量に対する細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間下方移行割合

6.3. 土壌等の放射性物質濃度の測定（スクレーパープレートによる深度別土壌調査）

(1) 試験地と試験方法

本調査は、表 6-1 に示す、国有林で間伐等施業を実施した 4 試験地で実施した。1 試験地につき、間伐等の施業を実施した林地（施業区）と、林分構成や地形等の条件に近い森林施業を実施していない林地（対照区）を作業区として設定し、土壌を採取する地点を施業区及び対照区からそれぞれ 2 箇所選定した。

試料採取時期及び測定点数は、表 6-13 に、試料採取地点を図 6-18～図 6-21 に示した。採取範囲は、スクレーパープレートのフレームサイズである 15 cm×30 cm とし、堆積有機物は、鉍質土層が出る深度まで全量を採取した。土壌については、スクレーパープレートを用いて、深度別の試料を採取した。採取深度は、0～0.5 cm、0.5～1.0 cm、1.0～1.5 cm、1.5～2.0 cm、2.0～3.0 cm、3.0～5.0 cm、5.0～7.0 cm、7.0～10.0 cm の 8 段階とした。

採取した試料は、第 7 章に記載した方法により、放射性セシウム濃度等を測定した。

表 6-13 スクレーパープレート調査箇所一覧

試験地	林小班	施業 実施年度	作業区	調査時期		初期沈着量 kBq/m ²
				春季	秋季	
田村事業地	東古道乙14の1国有林281い4林小班	平成30 (2018)	ヒノキ 列状間伐区	5月	10月	225
			スギ 列状間伐区	5月	10月	
			ヒノキ 対照区	5月	10月	225
			スギ 対照区	5月	10月	
檜葉事業地	羽山国有林651よ林小班	平成30 (2018)	スギ 皆伐区(上)	5月	10月	347
			スギ 皆伐区(下)	5月	10月	
			スギ 対照区(1)	5月	10月	347
			スギ 対照区(2)	5月	10月	
飯館事業地(2)	桐立国有林2351り1小班	平成30 (2018)	アカマツ・広葉樹混交林 定性間伐区(1)	5月	10月	1036
			アカマツ・広葉樹混交林 定性間伐区(2)	5月	10月	
			アカマツ・広葉樹混交林 対照区(1)	5月	10月	1036
			アカマツ・広葉樹混交林 対照区(2)	5月	10月	
南相馬事業地	和田城国有林2008と林小班	平成30 (2018)	スギ 皆伐区(1)	5月	10月	538
			スギ 皆伐区(2)	5月	10月	
			スギ 対照区(1)	5月	10月	538
			スギ 対照区(2)	5月	10月	

間伐等施業は「平成 30 年度旧避難指示区域における林業再生のための実証事業」及び「令和元年度旧避難指示区域における林業再生のための実証事業」にて実施。林小班は「施業区」を記載する。

「初期沈着」は、平成 23(2011)年 7 月 2 日（第 3 次航空機モニタリング結果と同一日）時点の放射性セシウム(Cs-137)沈着量。第 5 次航空機モニタリングによる測定結果も含む。（出典：Kato Onda et al (2019) (p.160 脚注 26 参照)）

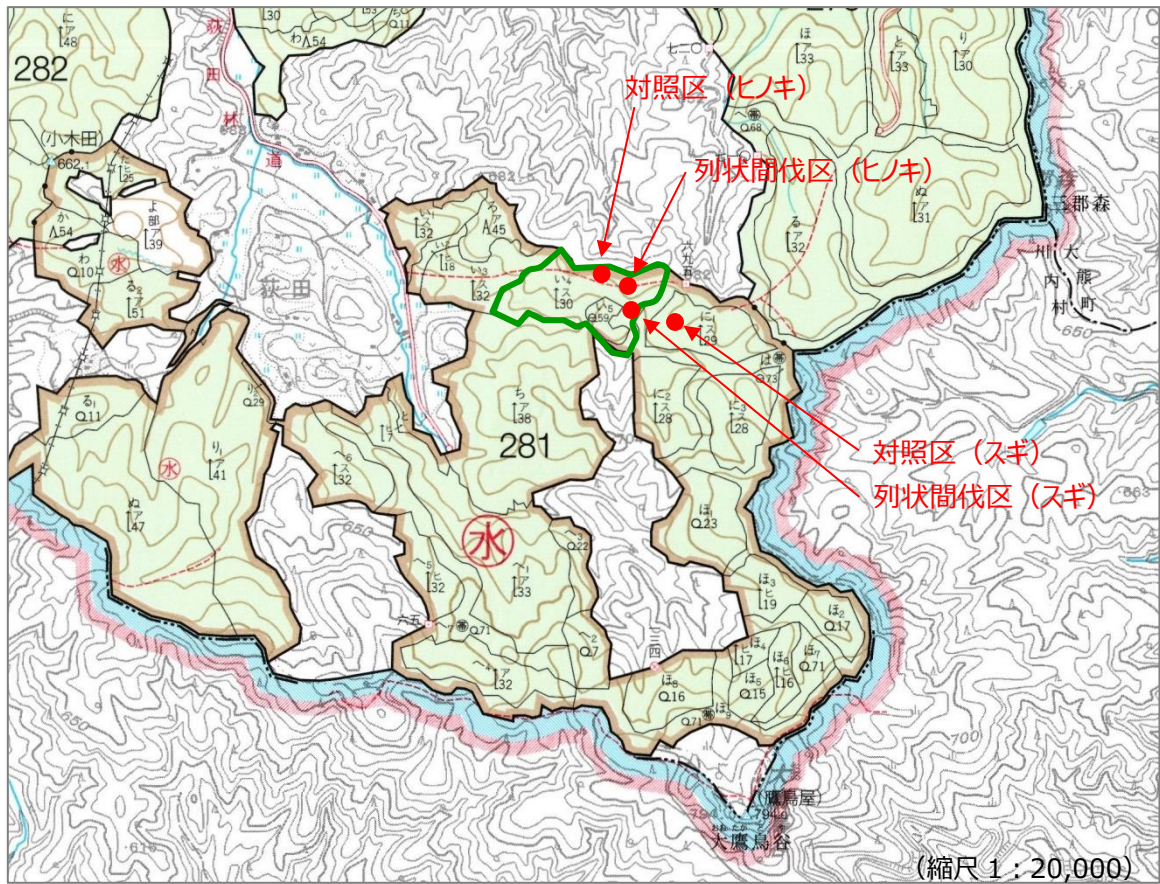


図 6-18 田村事業地位置図 (281 い 4 林小班) (平成 30(2018)年度施業)

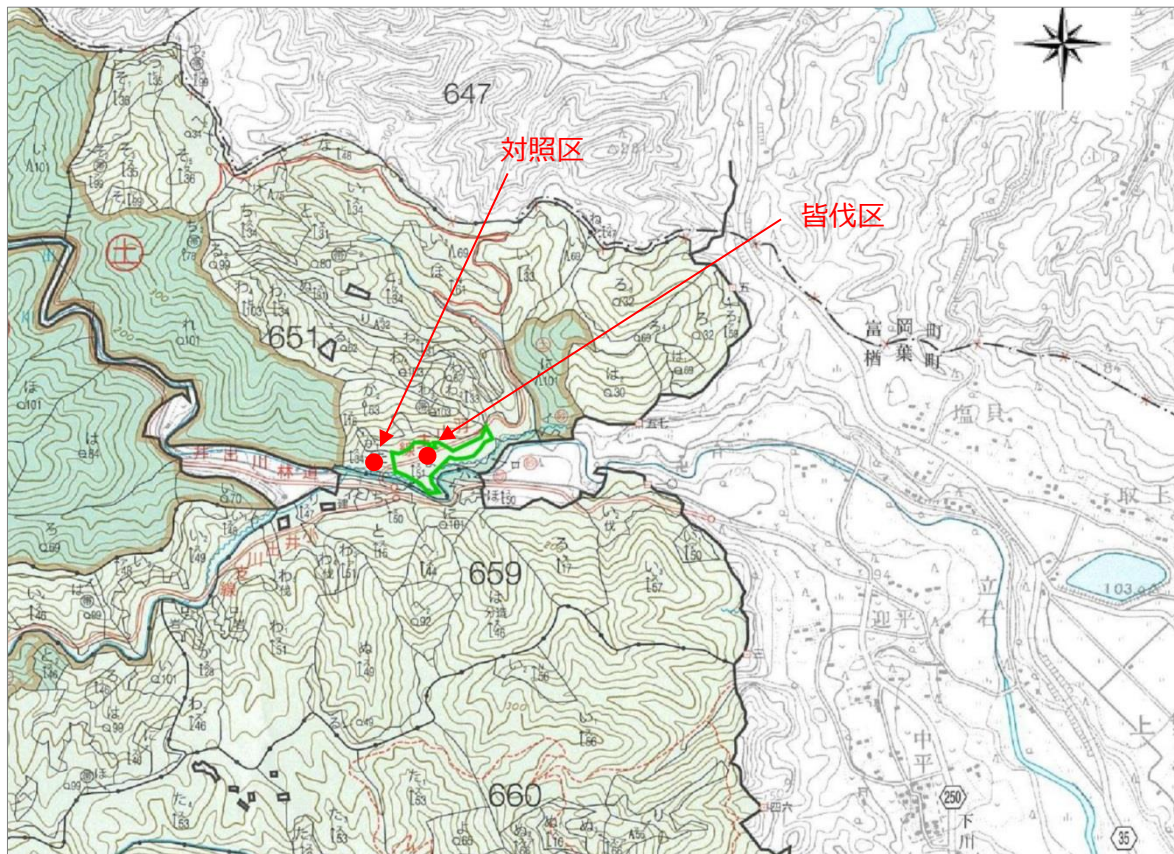


図 6-19 檜葉事業地位置図 (羽山国有林 651 よ 林小班) (平成 30(2018)年度施業)

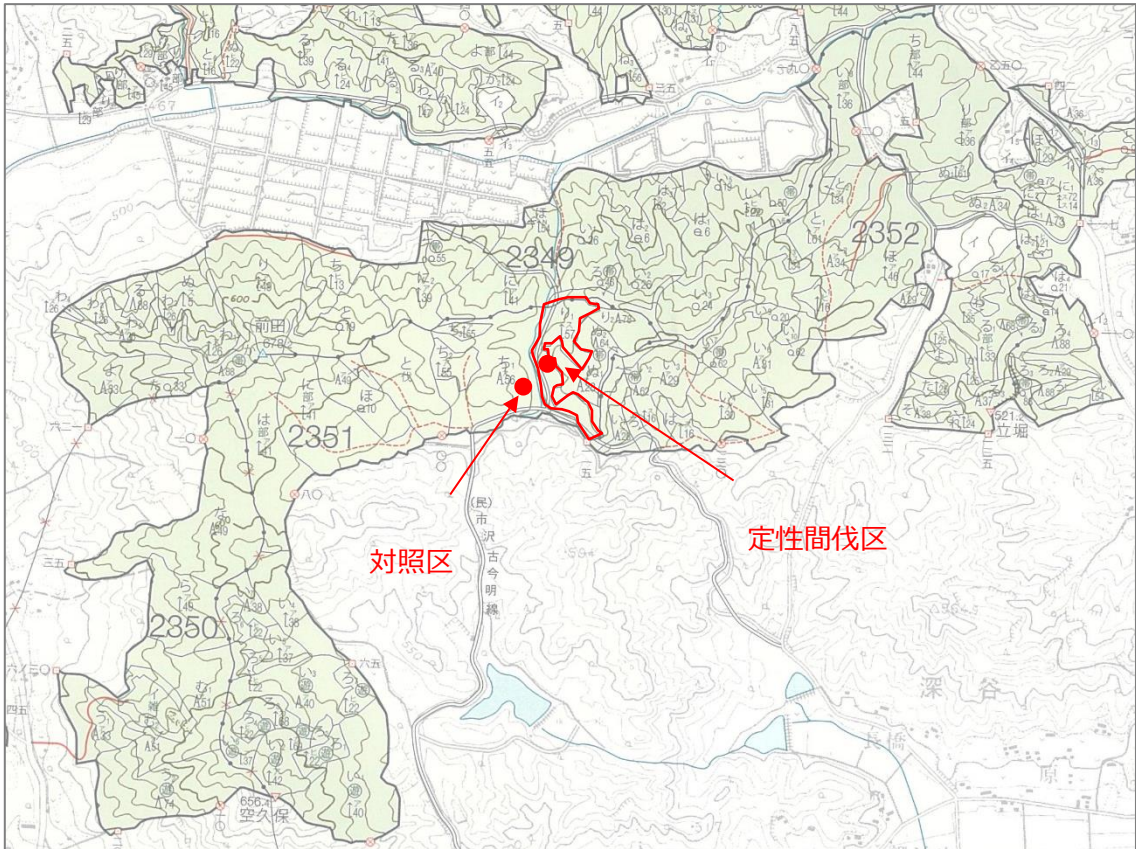


图 6-20 飯館事業地(2)位置図 (柵立国有林 2351 り 1 林小班) (平成 30(2018)年度施業)

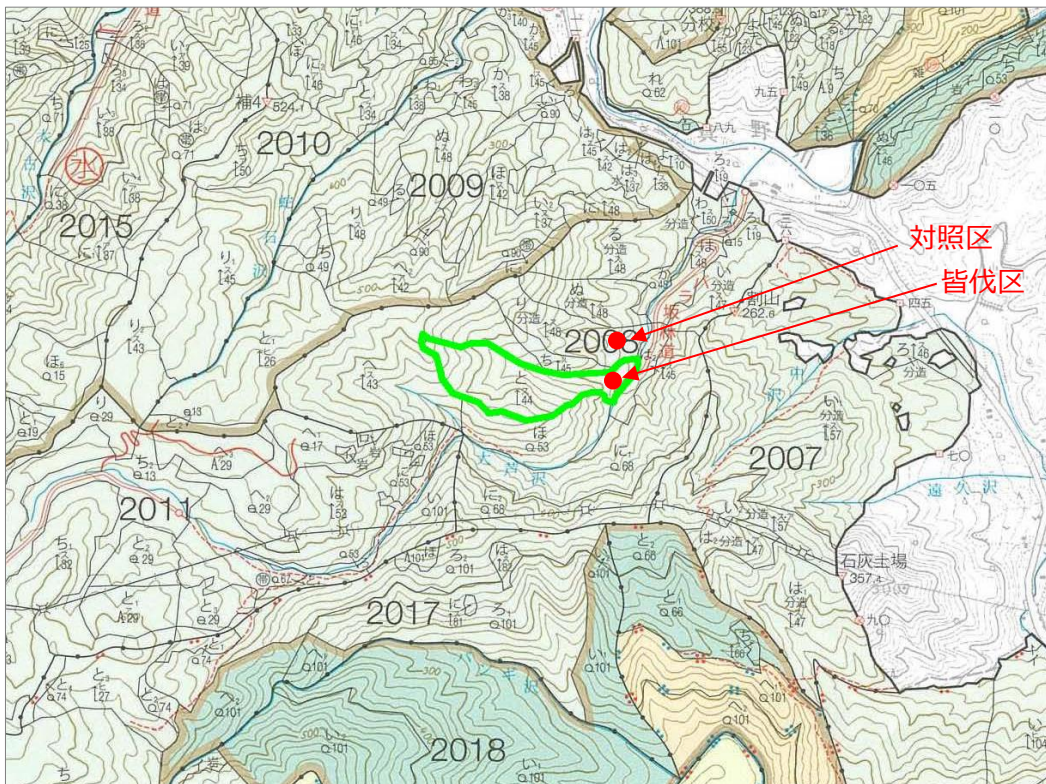


图 6-21 南相馬事業地位位置図 (和田城国有林 2008 と林小班) (平成 30(2018)年度施業)

(2) 試験結果

間伐等施業の実施年度別に、調査結果を整理した。平成 30 (2018) 年度に施業を実施した 4 試験地における令和元 (2019) 年 5 月～令和 2 (2020) 年 10 月までの調査結果を図 6-23～図 6-26 に示す。

また、緩衝深度 (2 章 2.5 (3) 2) ②参照) をそれぞれ求め、表 6-14 に整理した。今年度の調査において、緩衝深度の値が大きかったのは樹種別及び作業種別においても全て対照区であった。

作業種別として、皆伐、間伐及び対照区に分け、土壌の深さ層位ごとの、放射性セシウム (Cs-137) の存在割合の経時変化を図 6-22 に示す。ばらつきが大きいものの、平均値は作業区と対照区で同様の推移変動を示した。施業区における放射性セシウムの下方移動の傾向は現時点ではみられない。

表 6-14 平成 30 (2018) 年度施業地における緩衝深度

		2019 年平均		2020 年平均	
		施業区	対照区	施業区	対照区
樹種別	スギ	2.8	2.9	2.7	3.0
	ヒノキ	2.0	2.2	1.6	2.1
	アカマツ	1.9	2.6	2.4	3.2
作業種別	皆伐	3.2	2.8	2.9	3.2
	列状間伐	2.0	2.7	1.9	2.3
	定性間伐	1.9	2.6	2.4	3.2
total		2.4	2.7	2.4	2.9
max		(6.1)	(3.9)	(4.9)	(5.1)
min		(1.3)	(1.7)	(1.2)	(1.3)

単位は cm、平均は幾何平均を示す。平均値の大きい方を太字で示す。

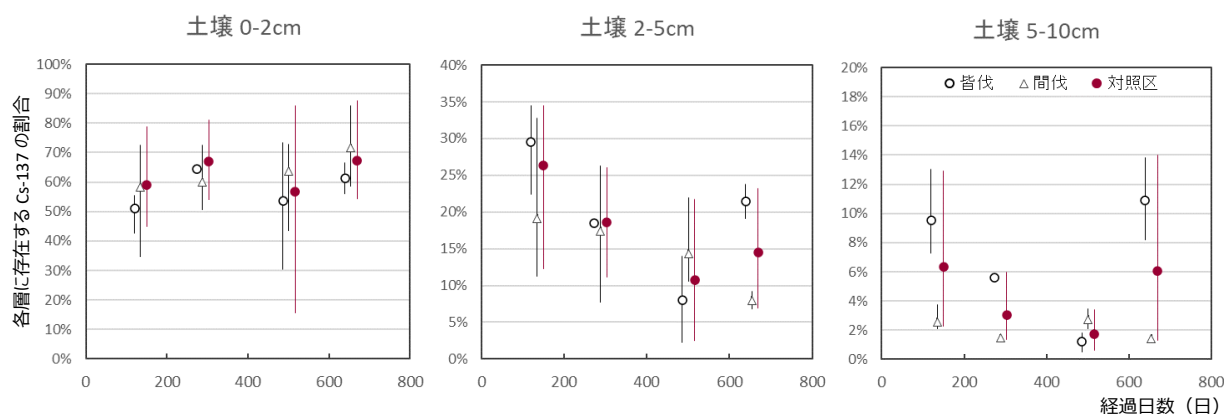


図 6-22 土壌深さ階層ごとの放射性セシウム (Cs-137) の存在割合の経時変化 (作業種別)
エラーバーは、最大値、最小値を示す。平成 31(2019)年 1 月 1 日を経過日数の基準日とした。

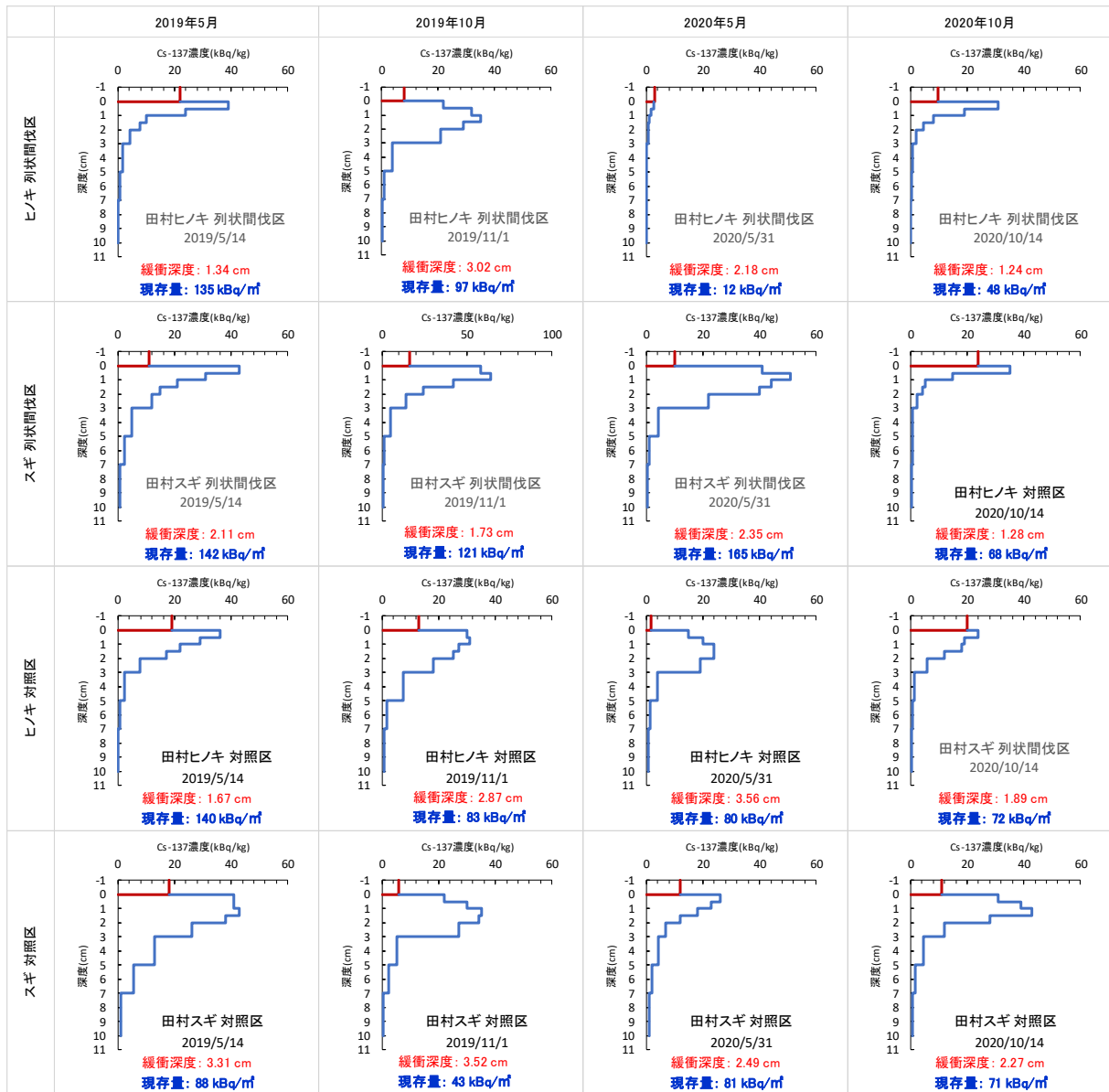


図 6-23 田村事業地における土壌深度別放射性セシウム濃度（平成 30(2018)年度施業地）

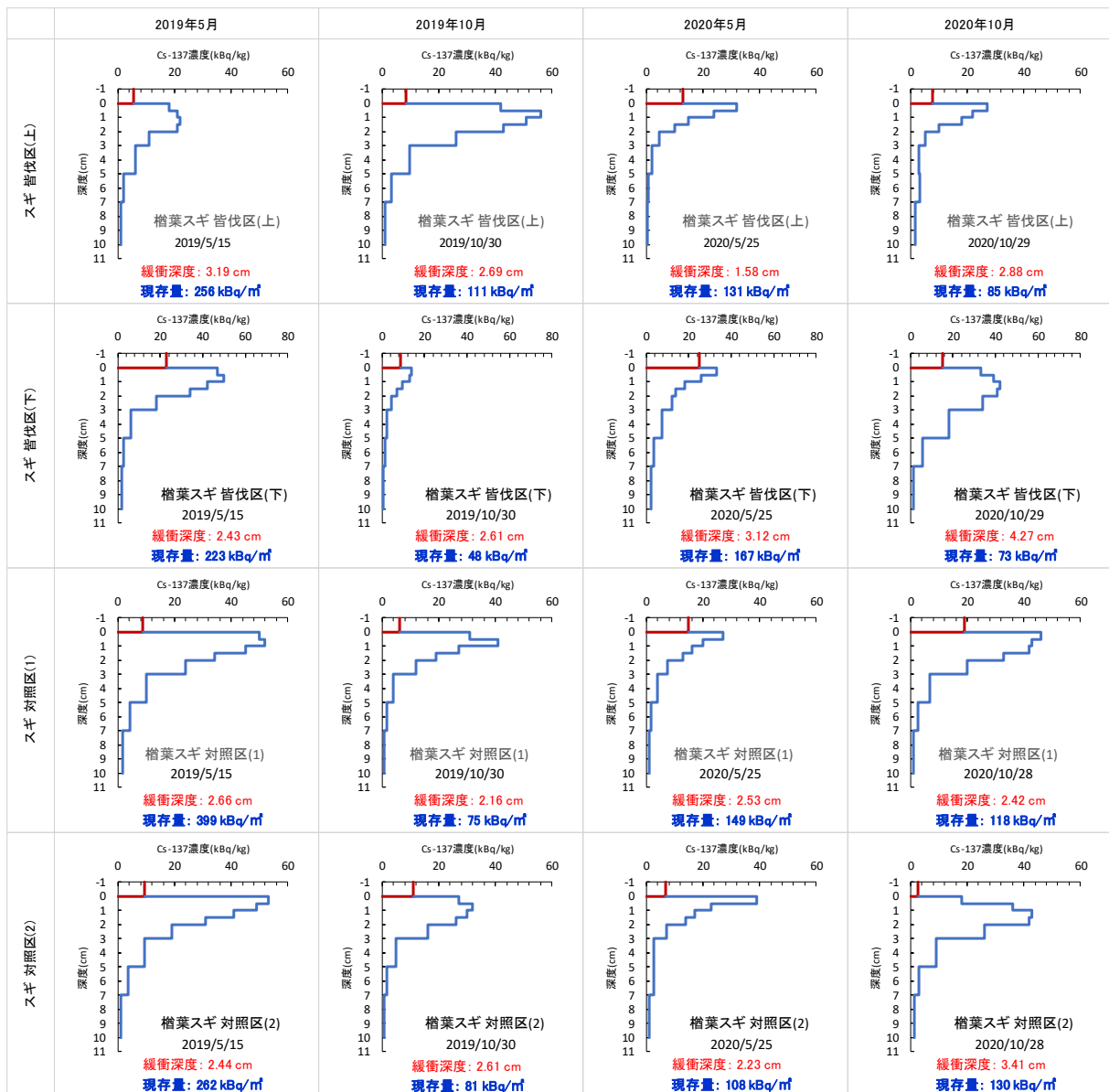


図 6-24 榎葉事業地における土壌深度別放射性セシウム濃度 (平成 30(2018)年度施業地)

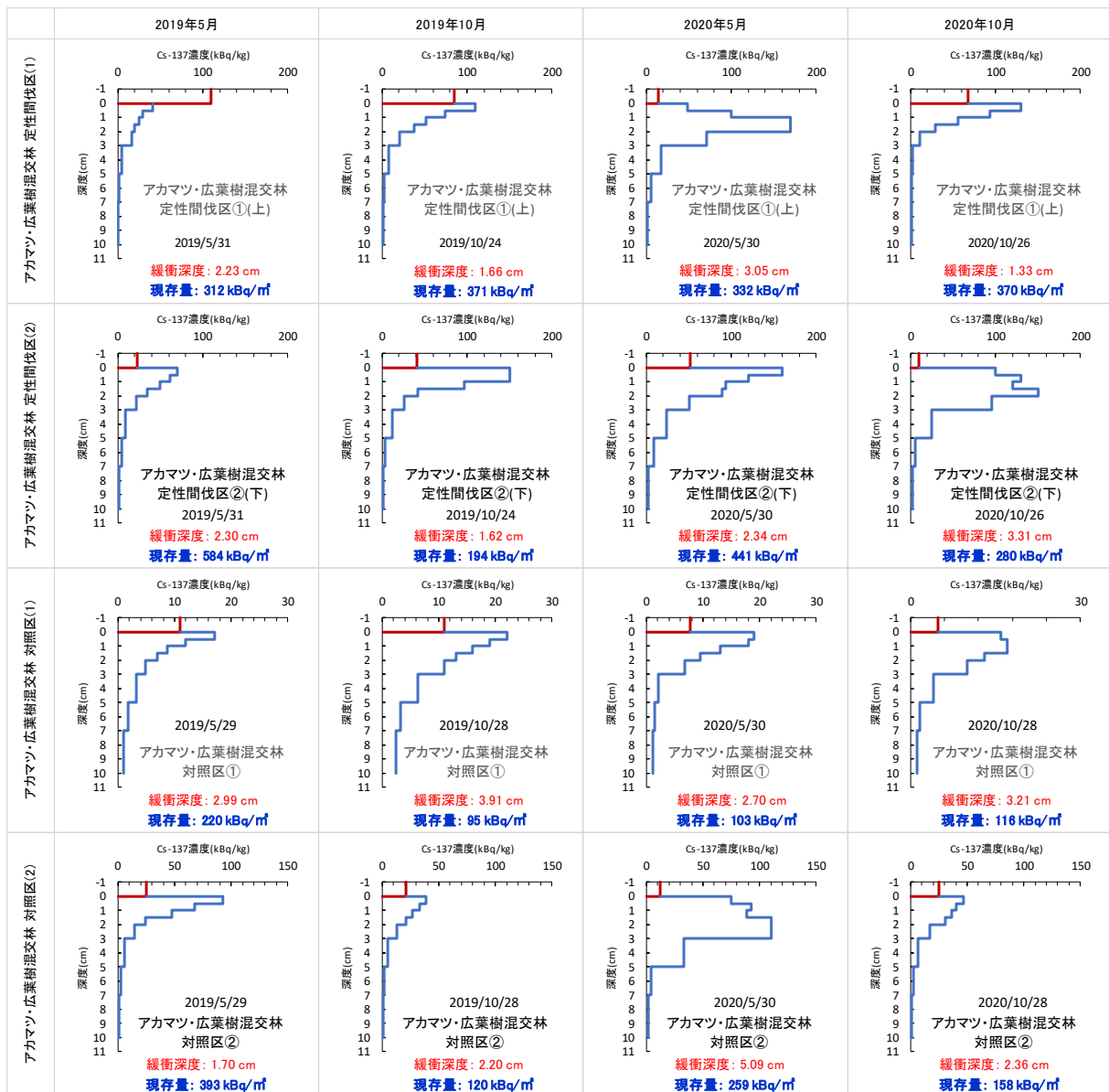


図 6-25 飯館事業地(2)における土壌深度別放射性セシウム濃度(平成30(2018)年度施業地)

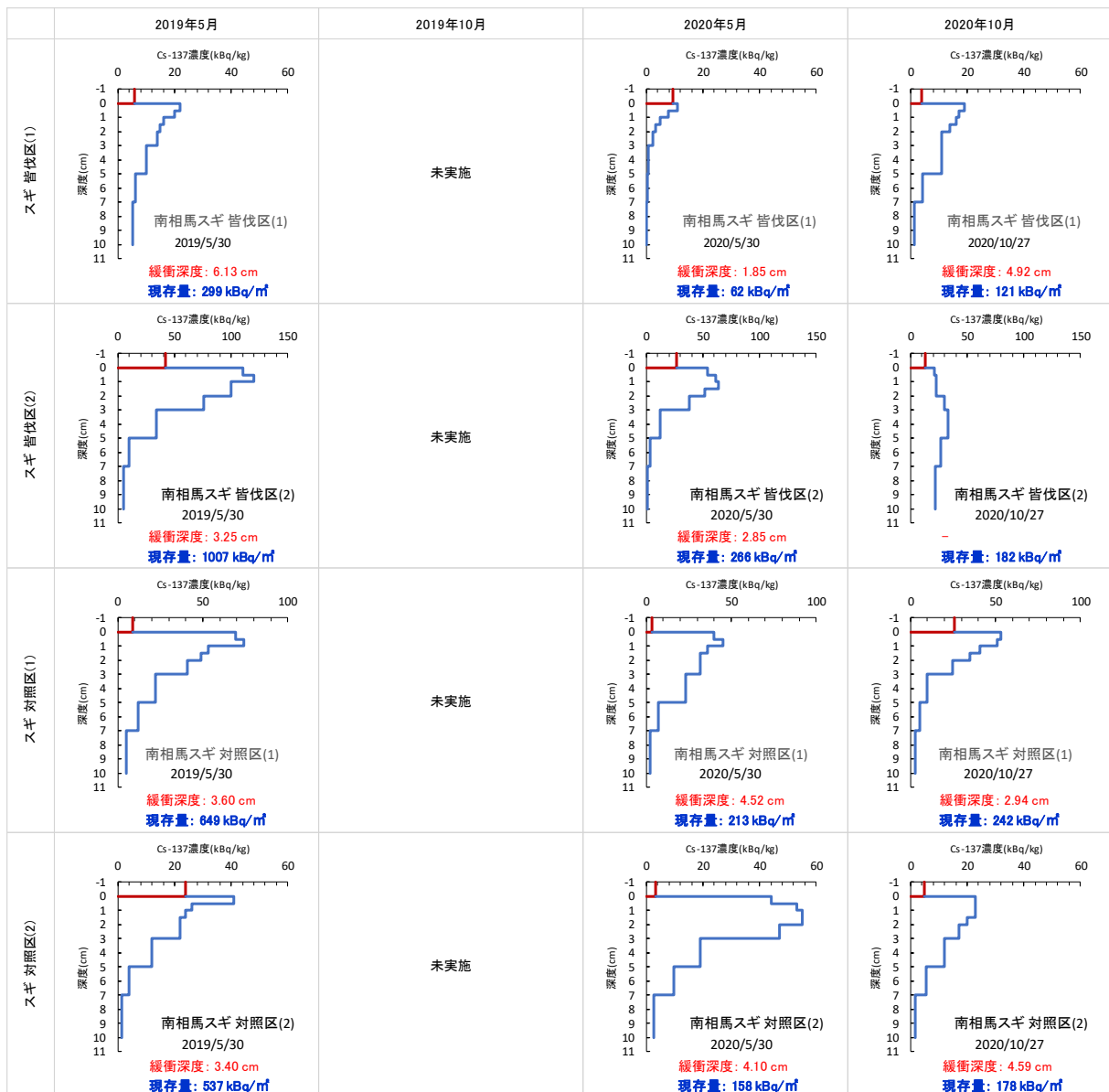


図 6-26 南相馬事業地における土壌深度別放射性セシウム濃度（平成 30(2018)年度施業地）
2019 年秋季は台風 19 号(10/12)後の林道被害の発生により調査地への到達不可となり未実施。

6.4. 森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の新たな試験地の選定と予備調査

(1) 目的

放射性セシウムの土壌下方への移動は、森林内の空間線量率の低減や植物体に取り込む放射性セシウムの減少に寄与すると考えられる。特に、土壌の攪乱に伴う鉛直下方への放射性セシウムの物理的移動や、土壌中の細根の成長枯死に伴う放射性セシウムの生物的移動については、森林施業の実施がその効果を促進する可能性がある。

本項では、上記内容を検証するための新規試験を令和3年度以降実施することを想定して、新規試験地を選定するとともに、予備調査として放射性セシウムの深度別分布を把握するために土壌調査を行った。

(2) 方法

1) 新規試験地選定にあたっての考え方

福島第一原発事故により森林生態系に降下した放射性セシウムは、主に枝葉や樹皮といった植物体の表面や林床の堆積有機物上に付着した。令和3年3月時点で事故から10年が経過したが、その間、放射性セシウムが付着した枝葉・樹皮等はリターフォールとして徐々に降下し、現在ではその多くが存在している。林床内でみると、放射性セシウムは堆積有機物から土壌への移行が徐々に進んでいる。さらに、土壌中の放射性セシウムは、土壌の深い層へ移動していると考えられるが、その過程は緩やかであると考えられる。これは、放射性セシウムが土壌中の粘土鉱物に電子的に吸着され、下方への移動が困難になるためである。なお、土壌中の放射性セシウムの一部は植物体中に根から取り込まれるが、このうち枝葉へ移動したものは再度リターフォールとして林床に降下するという循環を繰り返すと考えられる。

このように、森林生態系内の放射性セシウムの分布は、この循環を経て平衡状態に向かっていると考えられる一方、森林施業における土壌の攪乱により、少しでも早く土壌の深い層への移動が進めば、森林における空間線量率が低下することが想定される。これにより、林内作業員の被ばく量が低減するとともに、植栽樹木が根から取り込む放射性セシウムの量が減少することで、木材中の放射性セシウム濃度も低下し、材の搬出、利用に繋がることで林業再生が進むと考えられる。

放射性セシウムが土壌の下方へ移動する要因としては、主に以下の4つが考えられる。

要因①：自然状態の土壌における鉛直下方への物理的移動

要因②：土壌中を移動する水に溶けてイオンとなって移動する溶存態の放射性セシウム

要因③：多少の土壌の攪乱を伴う森林施業による鉛直下方への物理的移動

要因④：毎年2～3トン/ヘクタール程度発生する土壌中の細根の成長枯死に伴う生物的移動

要因①は、粘土鉱物に吸着された放射性セシウムが、粘土鉱物とともに重力による作用で下方へ移動することを想定したものである。

要因②は、粘土鉱物に吸着されていない放射性セシウムが水に溶けた状態で土壌下方へと移動している状態を想定したものであり、ライシメータによる調査で移動量を把握すること

ができる。

要因③は、重機等による森林作業道や土場等の作設、伐採木集材時のウインチ引きなどにより表層土壌と深部の土壌が逆転することを想定したものである。

要因④は、表層土壌に近いところにある細根が土壌深部へ伸長することにより、細根中に含まれる放射性セシウムが細根とともに土壌深部へ移動し、細根が枯死したときにそのまま土壌深部へ残るイメージである。とくに間伐実施後は林内照度が高くなり下層植生が生育しやすくなるため、暗い林内よりは細根量が多くなり、これらの枯死とともに放射性セシウムが土壌深部にとどまることが想定される。

こうした要因を人為的に実現するための現実的な手段として、間伐等による森林施業の実施が考えられ、森林施業が土壌中の放射性セシウムの下方移動に与える効果を検証することが新規試験の目的である。

2) 新規試験の調査設計

得られる結果の科学的根拠を高めるために、以下のような試験設定を優先した。

まず、森林施業箇所と施業を実施していない箇所を比較するため、森林施業区と対照区を設定することとした（図 6-27）。設定にあたっては、同一林小班内、もしくは隣接する 2 小班において、森林施業区と対照区を設けることを想定した。また、森林施業区は面積 0.5ha 程度以上を想定し、対照区は間伐による影響をできるだけ少なくする必要があることから、森林施業区からは数 10～100m 程度離すこととした。これらのセットを福島 12 市町村の中で選定することとした。

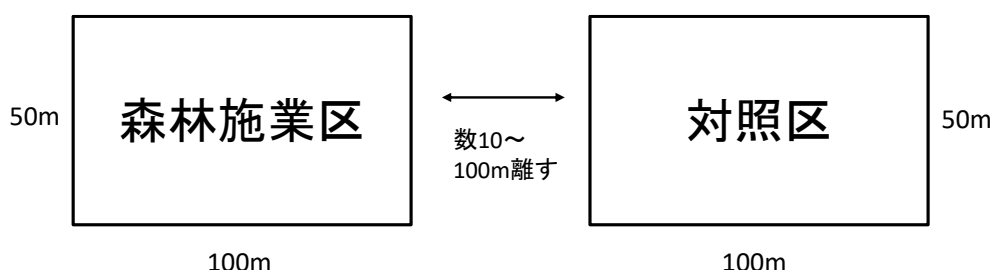


図 6-27 試験区設定イメージ

新規試験では、森林施業を実施する前年度に、森林施業区、対照区ともに施業を実施する前の初期値に該当するデータを取得することとした。また、森林施業実施年度とさらにその翌年度から 3 年程度はモニタリング的にデータを取得することとした。

これらを踏まえたスケジュールの概要は、図 6-28 に示すとおりである。

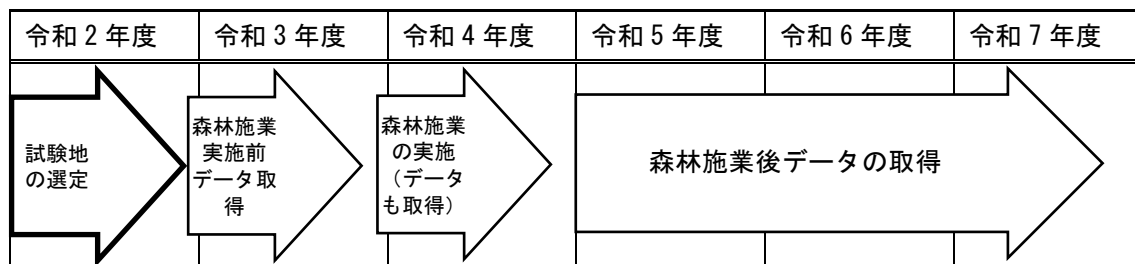


図 6-28 新規試験スケジュール（案）概要

対象樹種は福島県の人工林の植栽樹種として多くみられるスギを、また森林施業は主として列状間伐を想定した。

以上を踏まえ、新規試験地選定を実施するにあたっての前提条件として、令和 3 年度以降に実施する試験地で実施する試験内容（案）を以下に示す。

ア. ライシメータ調査

土壌水分の下方移動に伴う放射性セシウム の 下方移動量を把握するために実施。

令和 3 年 6～7 月設置。森林施業前に一度撤去し、施業後、森林施業による攪乱箇所 に再設置。

イ. 細根等による放射性セシウム移動の把握調査

土壌中の細根量と その中に含まれる放射性セシウム濃度を把握し、細根の枯死に伴う放射性セシウムの量を把握するために実施。

スクレーパープレートによる土壌採取。施業年度（令和 4 年度）は、森林施業後に実施。0～5、5～10、10～15 cm の 3 層を採取。

ウ. 深度別土壌調査

土壌中の放射性セシウムの分布を把握するために実施。スクレーパープレート土壌調査により土壌を採取する。

施業年度（令和 4 年度）は、森林施業後に実施。

細根調査とは別に実施。堆積有機物層、0～0.5 cm、0.5～1.0 cm、1.0～1.5 cm、1.5～2.0 cm、2.0～3.0 cm、3.0～5.0 cm、5.0～7.0 cm、7.0～10.0 cm の 9 層を採取。

エ. その他

エ-1. 空間線量率（ライシメータ設置箇所において、土壌調査時に NaI シンチレーションで測定。1m 高さ、0.1m 高さで実施。森林施業実施前後にも測定）

エ-2. リターフォール調査：リター中の放射性セシウムの移動を把握するために実施

エ-3. 林分調査（林況把握のため毎木調査）

エ-4. 雨量計（森林施業区、対照区に 1 基ずつ設置）

3) 新規試験地選定手順

以上の考え方や調査設計を基に、机上調査により試験地として条件のよい林小班を抽出した後、現地確認を行い、表 6-15 の条件をできるだけ満たす林小班の絞り込みを行った。

表 6-15 試験地選定のための条件

条 件	内 容
初期沈着量	学識経験者の意見を参考として 300kBq/m ² 以上を目安とした。第3次航空機モニタリング（平成23年7月2日時点）の結果から得られた値を活用した。
一斉林である	現地確認箇所から 360° 見渡して混植もしくは、広葉樹の侵入等が顕著でなければ、一斉林とした。0.5ha 内が単一種であること。
林齢 40～50 年生以上である	40～50 年生以上の林であれば、土壤中の団粒状構造（下層植生にとって良い条件）が発達していることを見込んでいる。
一様な平衡斜面である	一般的に斜面の傾斜方向の凹凸が少ない斜面のことを平衡斜面というが、ここでは等高線方向の凹凸も含む。目視により小尾根等の微地形で 50m 程度先が見えない場合は、平衡斜面ではないとした。
表流水の有無（地下水が多くない）	表流水がみられるだけでなく、歩行中にぬかるむ場所は不適とした。地下からの水分上昇があるとライシメータ調査の実行が困難となる。
対照区の確保	同一林小班内に対照区を確保可能な面積があるかどうか、もしくは直近に条件に近い小班が存在するかどうかで判断した。また、200～300m が限界距離で、これ以上離れるのは好ましくない。同一林小班内もしくは隣接する林小班が対照区になる場合は問題ない。
石礫が少なく、ササが密生していない	ライシメータの設置やスクレーパープレートによる土壌調査が可能な試験地であることが必須。
斜面方位	間伐実施後に下層植生が生育しやすいことを考慮し、南向き斜面が望ましいとした。
傾斜	30° 程度であること。これ以上の傾斜だと調査中の移動時等に土壌攪乱が大きくなる可能性がある。
原発事故以降、手が入っていない	放射性セシウム降下後に土壌攪乱や森林施業がされておらず、条件ができるだけ均質であることを必要とするため。
試験地へのアクセス	林小班直近の既設林道まで車でアクセスが可能かどうか。駐車箇所から徒歩 5 分以内でアクセス可能かどうか。歩きやすさも考慮。試験機器や試料の重量が大きいため。

4) 土壌調査

新規試験地において調査を実施する際の事前情報として、選定後の試験地の土壌深度別の放射性セシウムの分布状況を把握することとした。

スクレーパープレートを用いた土壌採取を1試験地につき2箇所（試験区・対照区それぞれ1箇所）実施した。土壌は、深度別（0-2cm、2-4cm、4-6cm、6-8cm、8-10cm）に2cmごと5層の試料を採取した。

採取した試料は7.2により放射性セシウムの濃度を測定した。

(3) 結果

1) 新規試験地選定

(2) 方法で示した試験地選定のための条件を満たす林分選定するために、表 6-16 に示す林分で現地調査を行った。結果、試験地として活用する可能性のある林小班のセット（森林施業区及び対照区）として2箇所選定した（表 6-17）。

表 6-16 現地調査対象林分

No	市町村	林小班名	No	市町村	林小班名	No	市町村	林小班名
1	飯舘村	2336 の、ら	11	檜葉町	652 へ	21	いわき市	118 か 8
2	檜葉町	651 い 1	12	檜葉町	652 そ 2	22	いわき市	155 と 1
3	檜葉町	651 と 1	13	檜葉町	652 そ 3	23	いわき市	155 ち 3
4	檜葉町	651 と 3	14	檜葉町	652 な	24	いわき市	172 へ 4
5	檜葉町	651 ち 1	15	檜葉町	653 ね 4	25	いわき市	172 へ 6
6	檜葉町	651 わ 2	16	檜葉町	654 と 5	26	いわき市	172 へ 7
7	檜葉町	651 そ 1	17	檜葉町	654 と 6	27	いわき市	172 ち
8	檜葉町	651 そ 3	18	檜葉町	656 は	28	いわき市	172 る
9	檜葉町	651 そ 5	19	檜葉町	659 へ 1			
10	檜葉町	652 ほ	20	いわき市	112 り 4			

※本表に掲載した林分は全て磐城森林管理署管内の国有林

表 6-17 新規試験地候補林小班

No	市町村	林班	小班	試験区 種別	樹種	林齢	面積※ (ha)	備考
候補地 1	檜葉町	652	へ	施業区 及び 対照区	スギ	38	3.80	磐城森林 管理署管 内国有林
候補地 2	飯舘村	2336	の ら	施業区 対照区	スギ	54 63	1.24 1.00	

※面積は、森林簿中の林地面積に樹種別の面積歩合を乗じて算出

新規試験地候補林小班の詳細は図 6-29、図 6-30 に示した。また、林況写真を写真 6-5～写真 6-8 に示した。

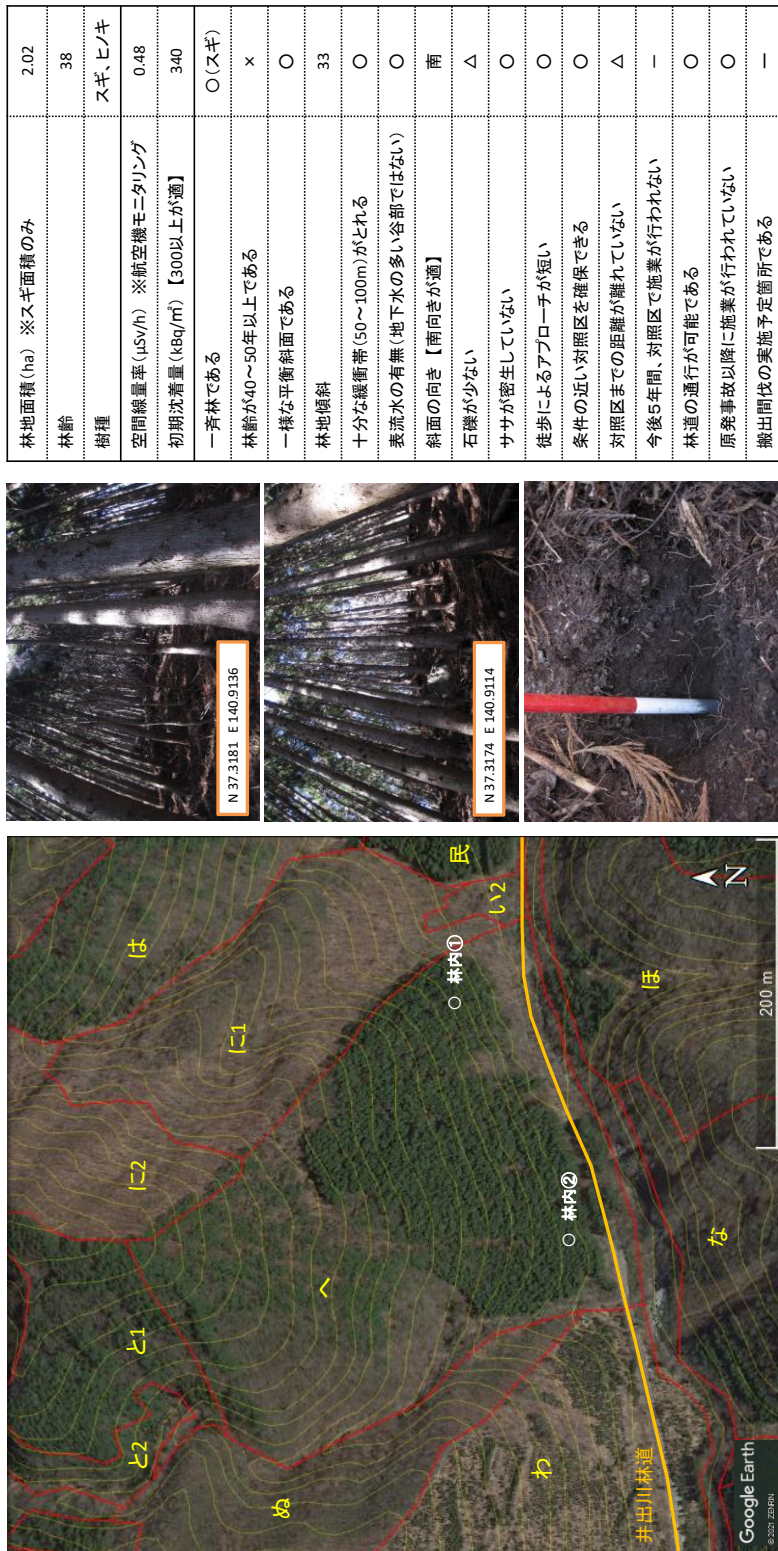


図 6-29 652 林班へ小班的調査箇所詳細

【特記事項】

- ・ 一般的な南向斜面となっているが、中腹より上は勾配が急になる。
- ・ 林道周辺はスギが植栽されており、成長は比較的よい。
- ・ 林道からも近いが、石礫が散見されており、機材等の設置場所を考慮する必要がある。
- ・ 土壌中の石礫はやや多いものの、ライシメータ調査、スクレーパーシート調査ともに設置等可能。ただし、石礫の少ない箇所は35°以上の急傾斜地である。

林地面積 (ha) ※スギ面積のみ	2.02
林齢	38
樹種	スギ、ヒノキ
空間線量率 (μSv/h) ※航空機モニタリング	0.48
初期沈着量 (kg/m ²) 【300以上が適】	340
一斉林である	○(スギ)
林齢が40～50年以上である	x
一様な平衡斜面である	○
林地傾斜	33
十分な緩衝帯(50～100m)がとれる	○
表流水の有無(地下水の多い谷部ではない)	○
斜面の向き【南向きが適】	南
石礫が少ない	△
ササが密生していない	○
徒歩によるアプローチが短い	○
条件の近い対照区を確保できる	○
対照区までの距離が離れていない	△
今後5年間、対照区で施業が行われない	—
林道の通行が可能である	○
原発事故以降に施業が行われていない	○
繰出間伐の実施予定箇所である	—

磐城森林管理署 2336 林班 の、ら 小班 (飯館村)

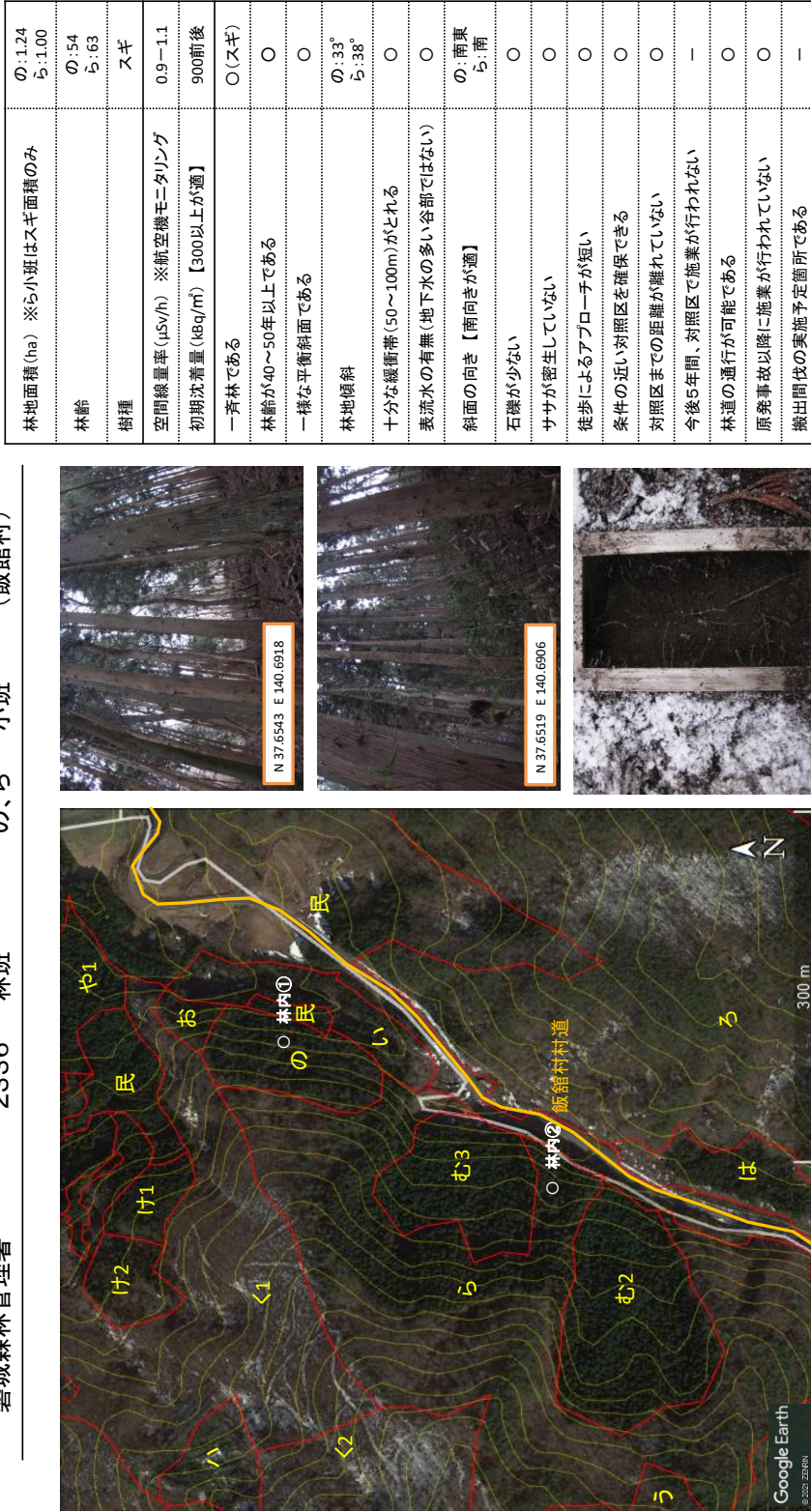


図 6-30 2336 林班の小班・ら小班の調査箇所詳細

①檜葉町 652 林班へ小班現況



林況 ①

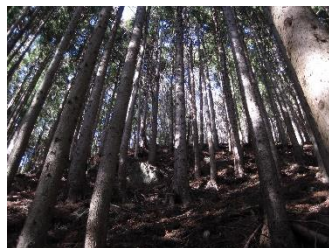


林況 ②



林冠

写真 6-5 652 林班 (林内①) 現況



林況 ①



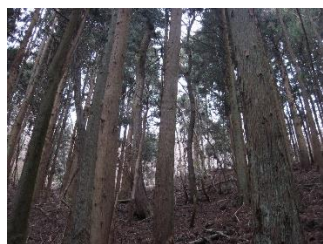
林況 ②



林冠

写真 6-6 652 林班 (林内②) 現況

②飯館村 2336 林班「の小班」及び「ら小班」現況



林況 ①



林況 ②



林冠

写真 6-7 2336 林班の小班 (森林施業区予定箇所) 現況



林況 ①



林況 ②



林冠

写真 6-8 2336 林班ら小班 (対照区予定箇所) 現況

2) 土壌調査

① 檜葉町 652 林班へ小班

土壌採取箇所①の状況写真を写真 6-9、写真 6-10 に、土壌中の放射性セシウム濃度の深度別分布を図 6-31 に示す。土壌中の水分量が少なく粘り気はわずかであった。細根は多少みられた。放射性セシウム濃度は、林内①②ともに 0-2 cm の層で多く、下方に行くにしたがって小さくなる傾向にあった。



林 床

土 壤 (0-2 cm 除去後)

土 壤 (6-8 cm 除去後)

写真 6-9 652 林班へ小班 (林内①) 土壌採取箇所の状況



林 床

土 壤 (0-2 cm 除去後)

土 壤 (6-8 cm 除去後)

写真 6-10 652 林班へ小班 (林内②) 土壌採取箇所の状況

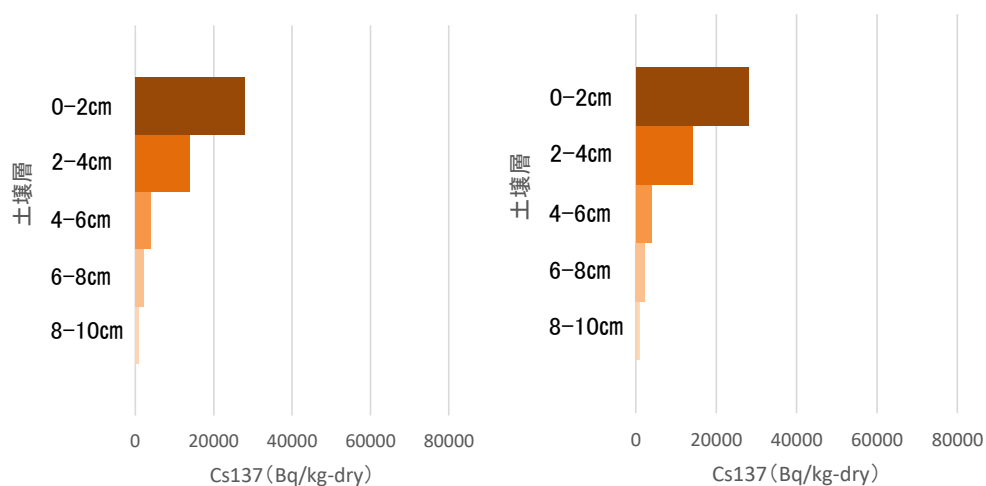


図 6-31 土壌中の放射性セシウム濃度の深度別分布 (檜葉町 652 林班へ小班)

(左: 採取箇所① 右: 採取箇所②)

② 飯館村 2336 林班「の小班」及び「ら小班」

土壌採取箇所状況写真を写真 6-11、写真 6-12 に、土壌中の放射性セシウム濃度の深度別分布を図 6-32 に示す。

黒ボク土壌であり水分を含み粘り気があった。石礫があまりみられなかったが、細根は多少みられた。放射性セシウム濃度は、の小班、ら小班ともに 0-2 cm の層で多く、下方に行くにしたがって小さくなる傾向にあった。



林床 土壌（0-2 cm 除去後） 土壌（6-8 cm 除去後）
写真 6-11 2336 林班のの小班（森林施業区予定箇所）土壌採取箇所状況



林床 土壌（0-2 cm 除去後） 土壌（6-8 cm 除去後）
写真 6-12 2336 林班のら小班（対照区予定箇所）土壌採取箇所状況

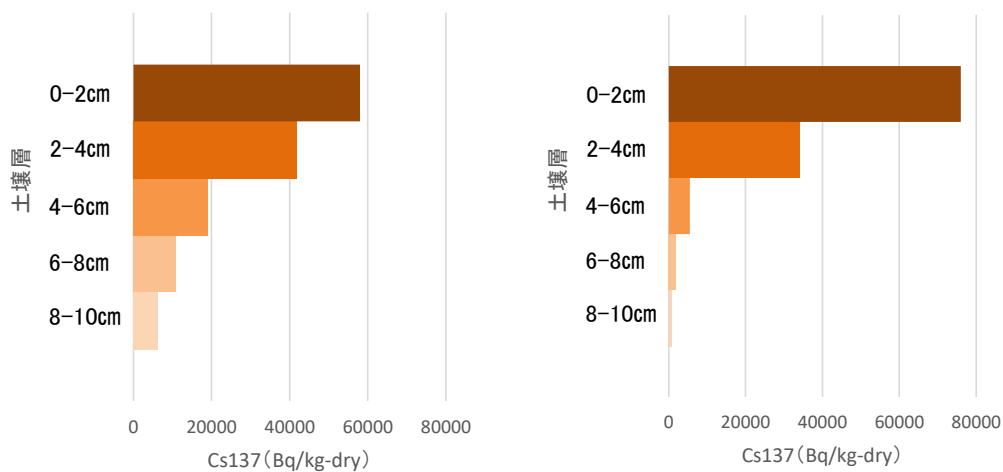


図 6-32 土壌中の放射性セシウム深度別分布（飯館村 2336 林班）
（左：の小班（森林施業区予定箇所） 右：ら小班（対照区予定箇所））