

4. 森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の検証と予備調査

4.1. 目的

過年度に林野庁が実施した「森林施業等による放射性物質拡散防止等検証事業」等において、樹木の伐採等を伴う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。森林施業を実施することにより、樹木の養分吸収が多いとされる 0-5 cm の土壌層より下方へ放射性セシウムが移動することにより、林内の空間線量率の低減、あるいは森林内での放射性セシウムの内部循環を減少させることが期待される。

本項目では、主として 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））を実施することにより、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。これにより、森林土壌中の放射性セシウムの動態を把握するとともに、森林施業が放射性セシウムの下方移動を促進する可能性があることを科学的に示すための基礎資料とする。

4.2. 試験地の概要

施業前の予備調査は、以下の 3 箇所の国有林の林小班を試験地として実施した（表 4-1、図 4-1～図 4-4）。

表 4-1 試験地一覧

試験地名	市町村 国有林名 林小班	試験区 種別	樹種	林齢	面積 ^{※1} (ha)	空間線量率 ^{※3} (μ Sv/h)	初期沈着量 ^{※4} (kBq/m ²)
冬住 試験地	南相馬市 和田城 2011 ち 3	森林施業区 及び 対照区	スギ	36	7.50	0.96	720
高倉 試験地	南相馬市 国見 2031 い	森林施業区 及び 対照区	スギ	53	7.94	0.9	990
飯樋 試験地	飯館村 花塚山 2336 の	森林施業区	スギ	54	1.24	0.9~1.1	900
	飯館村 花塚山 2336 ら	対照区	スギ	63	1.00 ^{※2}		

※1 面積は森林簿上の値

※2 小班面積 10.19ha のうちスギが占める面積

※3 文部科学省 放射線量等分布マップ（令和 2 年 10 月 29 日時点）

※4 文部科学省 放射線量等分布マップ（平成 23 年 7 月 22 日時点）

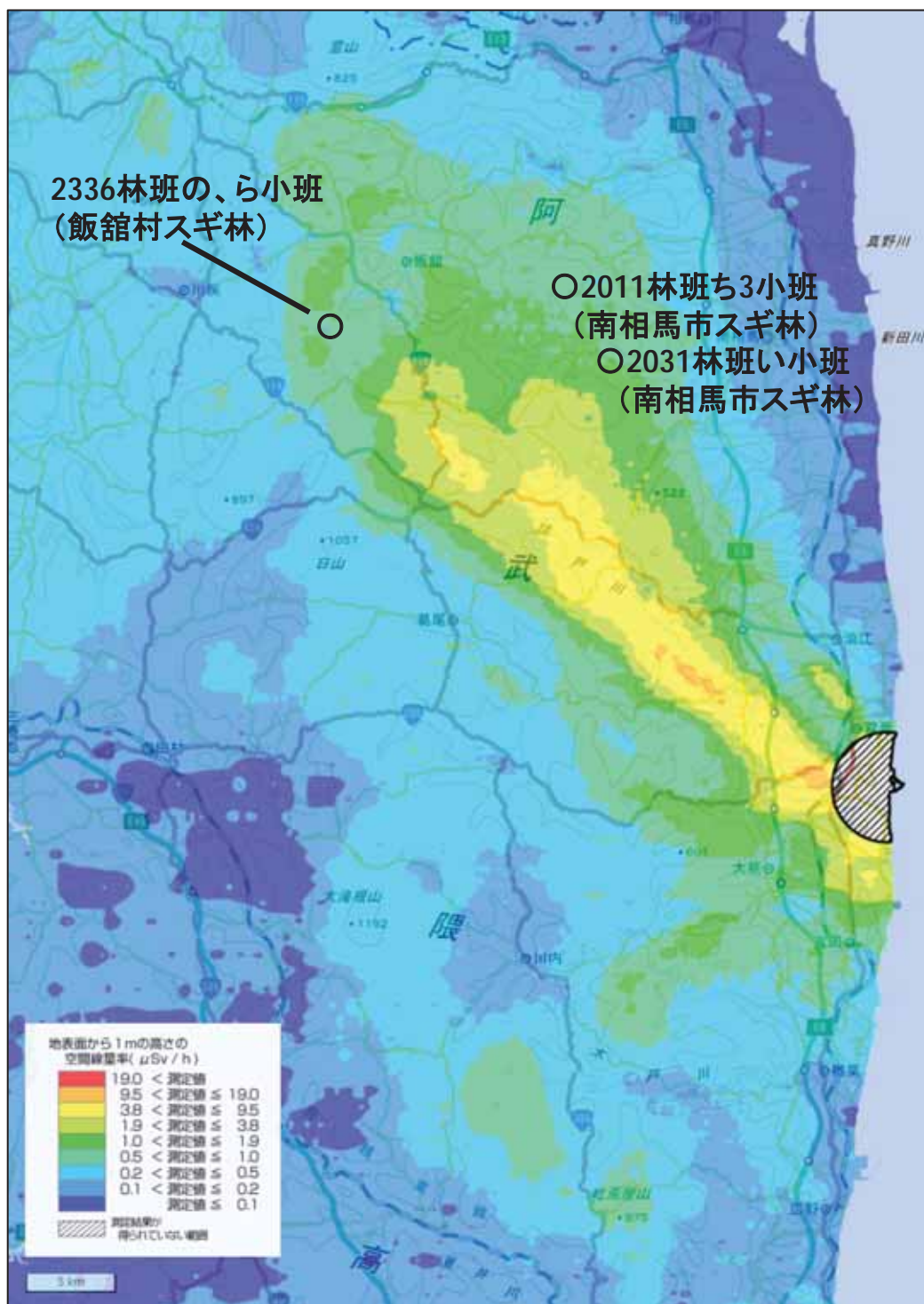


図 4-1 調査対象地の空間線量率(航空機モニタリング)

※ 令和 2(2020)年 10 月 29 日時点の空間線量率マップ(「第 15 次航空機モニタリング」(原子力規制委員会)より作成)

※ ○は試験地位置。

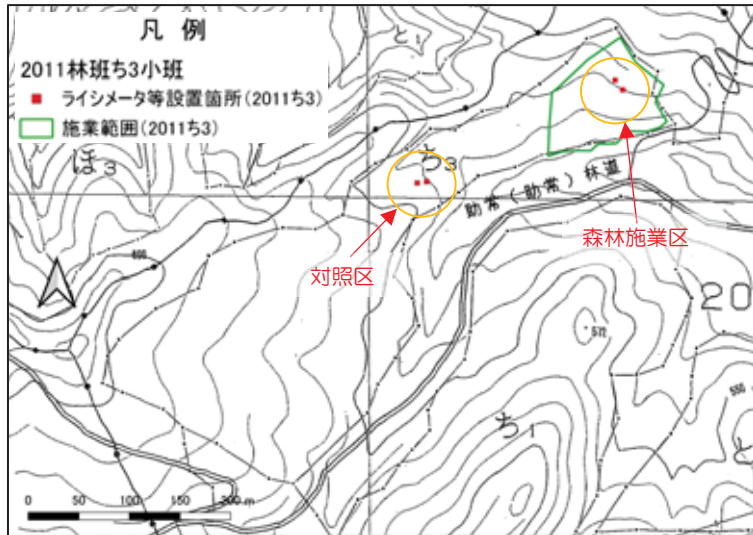


図 4-2 森林施業区と対照区 (2011 林班ち 3 小班)

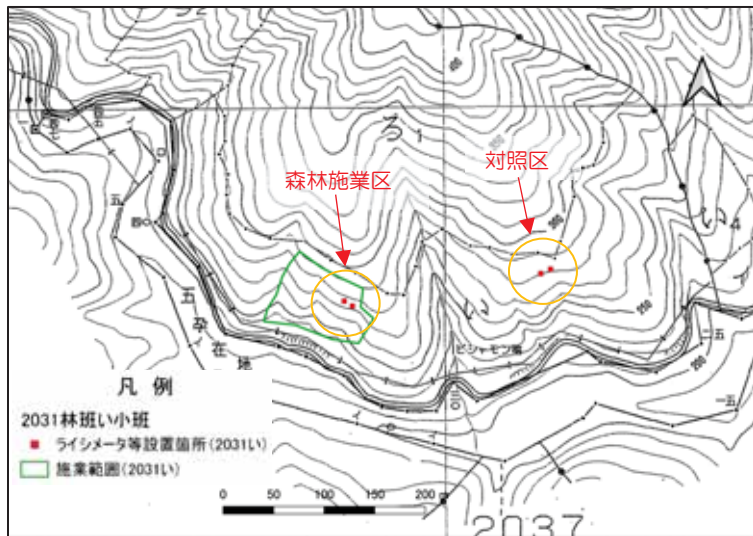


図 4-3 森林施業区と対照区 (2031 林班い1小班)

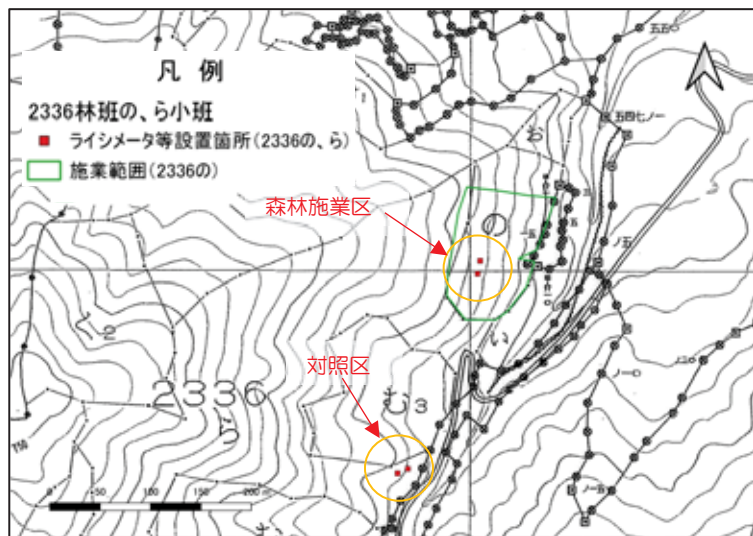


図 4-4 森林施業区と対照区 (2336 林班の小班及びら小班)

4.3. 試験地の選定

(1) 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4年3月時点で事故から11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林床や土壌中に存在している。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、林内作業者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に資すると考えられる。

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本調査の目的である。

(2) 試験設計の概要

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 4-5)。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県原子力被災 12 市町村の林分から選定することとした。

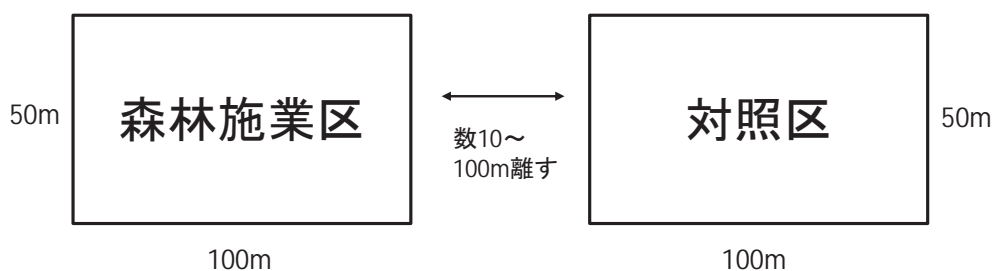


図 4-5 試験区設定イメージ

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 4-6 に示すとおりである。

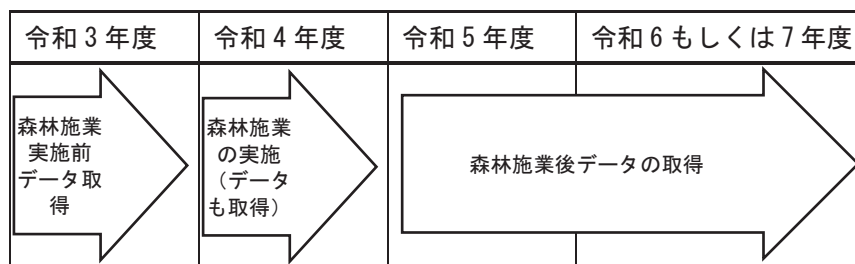


図 4-6 試験スケジュール(案)概要

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、また森林施業方法は福島県浜通り地方の国有林で主に実施されている列状間伐を想定した。

(3) 試験地選定条件

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 4-2 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 4-2 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（下層植生にとって生育しやすい条件）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の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林相やその他の環境条件が異なる可能性があり好ましくない。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くなることを考慮し、南向き斜面が望ましいとした。
傾斜	30° 程度であること。これ以上の傾斜では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いため。

(4) 試験地の決定

以上を踏まえ、令和2年度に候補地とした2つの小班に、新たに南相馬市の2小班を加えた4小班を最終候補地(写真4-1)とした。さらに令和3(2021)年7月13日に検討委員の恩田裕一委員(筑波大学)及び三浦覚委員(森林総合研究所)の現地指導を受け、試験地の絞り込みを実施し、その後の第1回検討委員会において、表4-1に示した3林小班を新規試験地とすることに決定した。

4箇所の林小班のうち、表4-2の条件を完全に満たす林小班は無かったが、檜葉町652林班へ小班は、①傾斜が35°以上の急峻な箇所が多く、ライシメータ設置が困難な上、斜面上方からの土砂による影響を受ける可能性が高い、②土壌中の礫が他の小班と比較して多い、③初期沈着量が他と比較して低い、といった理由から、他の3小班と比較して試験地には適していないと判断し調査対象地から除外した(表4-3)。

表 4-3 試験地選定から外れた 652 林班へ小班の森林情報

市町村 国有林名 林小班	試験区 種別	樹種	林齢	面積 ^{※1} (ha)	空間線量率 ^{※2} ($\mu\text{Sv/h}$)	初期沈着量 ^{※3} (kBq/m^2)
檜葉町 羽山 652 へ	施業区 及び 対照区	スギ	38	3.80	0.48	340

※1 面積は森林簿上の値

※2 文部科学省 放射線量等分布マップ(令和2年10月19日時点)

※3 文部科学省 放射線量等分布マップ(平成23年7月22日時点)



候補地 1 (南相馬市 2011 林班ち 3 小班)



候補地 2 (南相馬市 2031 林班い 1 小班)



候補地 3 (飯館村 2336 林班の 1 小班)



候補地 4 (檜葉町 652 林班へ 1 小班)

写真 4-1 試験候補地の林況

4.4. 森林施業内容の設計

(1) 森林施業内容（案）（令和4年度実施）の概要

1) 森林施業内容（案）

図4-6に示したように、本事業では令和4年度に森林施業を実施し、令和5年度以降数年間のモニタリング調査を実施することを想定している。選定した3箇所の林小班については、全ての林小班で可能な限り森林施業内容を一致させることとする。

具体的には、以下の方法で実施する。

①間伐方法は列状間伐とする。

②伐採は2伐4残もしくは3伐6残を基本とし、列が明瞭でない場合は、伐採列幅を3.6mもしくは5.4m（1列を1.8m）と想定して伐採する。伐採率は3割程度とする。

③森林作業道を作設するほか、必要であれば土場を設置する。

④伐採はチェーンソーによる人力作業、集材方法は全木集材とし、枝葉がついたままウインチ引きで実施する。

2伐4残の列状間伐については、搬出型の間伐を実施する際に一般的に選ばれる方法であることによるが、雨水の浸透が進みやすく、光量や地温が上昇しやすい環境となるよう留意が必要であるため、伐採幅が広がる3伐6残も検討することとした。また、伐採をチェーンソーで実施し、集材をウインチ引きで実施する方法もよく採用されるシステムであり、実際の林業の現場に即した内容であることから、本調査でもこの方法を採用することとした。

2) 樹皮中の放射性セシウム濃度測定

令和4年度に実施する森林施業後の木材の搬出可否を判断するため、「福島県民有林の伐採木の搬出に関する指針について」（平成26年 福島県森林整備課）（以下、「県指針」という）に従い、樹皮中の放射性セシウム濃度を調べた。

県指針によれば、営林活動による搬出を伴う立木伐採作業を実施する際は、以下の2点を確認し、伐採・搬出の判断を行うこととしている。

ア 空間放射線量率の測定

伐採予定地の空間の放射線量率を測定し、 $0.50\mu\text{Sv/h}$ 以下であれば伐採・搬出を可とする。

イ 樹皮の放射性物質濃度の測定

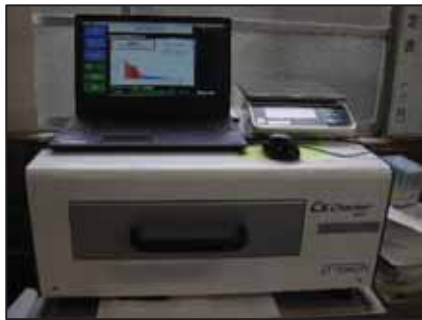
伐採予定地の空間放射線量率が $0.50\mu\text{Sv/h}$ 超の場合には、抽出により樹皮の放射性物質濃度を確認し、 $6,400\text{Bq/kg}$ 以下の場合には搬出・伐採を可とする。

伐採予定地の空間線量率を測定するときの測定点数は、県指針のフローによれば1ha以下の施行地においては2点とされている。本事業の3箇所の調査地はいずれも1haであったため、調査地内で適度に距離が離れるように予め調査点を2点設定し、空間線量率を測定した。結果、いずれの測定点においても空間線量率が $0.5\mu\text{Sv/h}$ を超えたため、樹皮の放射性

物質濃度測定に移った。

樹皮の放射性物質濃度測定にあたっては、県指針のフローによると 1ha あたり 3 本を抽出し、内外樹皮を含めて剥皮し、放射性物質濃度を測定することとなっている。本調査では、2 点の空間線量率を測定したが、値が高かった方の測定箇所周辺の立木を 3 本選定し剥皮した。剥皮重量は、後述する測定機器での測定の際に必要な最低重量である 500g とした。なお、剥皮による立木への影響を鑑み、劣勢木やつる絡みのある一般材になりにくい立木を選定するとともに、剥皮後の幹には材の腐敗を防ぐため、殺菌剤（日本曹達株式会社製：トップジンMペースト）を塗布した。

剥皮した樹皮は、福島県木材協同組合連合会の協力を仰ぎ、放射性物質濃度をセシウムチェッカーミニ（ナニワプロジェクト社製）（写真 4-2）を用いて測定した。結果、最高値が飯舘村 2336 林班の小班の 2,517Bq/kg-wet といずれの樹皮も 6,400Bq/kgを下回る結果となった（表 4-4）。



セシウムチェッカーミニ



樹皮

写真 4-2 セシウムチェッカーミニと採取した樹皮

表 4-4 搬出可否のための樹皮中放射性セシウム濃度測定結果

場所	林小班名	測定木 No	セシウムチェッカーミニ測定結果 (Bq/kg-wet)	樹木直近空間線量率 (μSv/h)
南相馬市	2011 ち 3	スギ①	1,453	1.04
		スギ②	1,507	1.04
		スギ③	1,863	1.06
南相馬市	2031 い	スギ①	1,439	0.87
		スギ②	923	0.95
		スギ③	1,175	0.89
飯舘村	2336 の	スギ①	2,517	1.02
		スギ②	1,752	1.00
		スギ③	1,342	0.99

(2) 森林施業内容の設計

1) 森林施業範囲の確定

森林施業範囲を設定するにあたっては、図 4-5 の試験区設定イメージを満たすよう 0.5ha 以上の面積を確保するとともに、100m 前後離れた箇所に対照区を設定できるように考慮した。

表 4-5 森林施業実施面積等

事業地	試験地名	林小班	森林簿面積 (ha)	実測施業面積 (ha)	林況	備考
南相馬市	冬住	2011 ち 3	7.50	0.85	スギ	土場・作業道含む
	高倉	2031 い	7.94	0.57	スギ	土場・作業道含む
飯館村	飯樋	2336 の	1.24	0.99	スギ	土場・作業道含む
計			16.68	2.41		

これらの条件を基に図 4-7～図 4-9 に示す内容で森林施業内容を検討した。

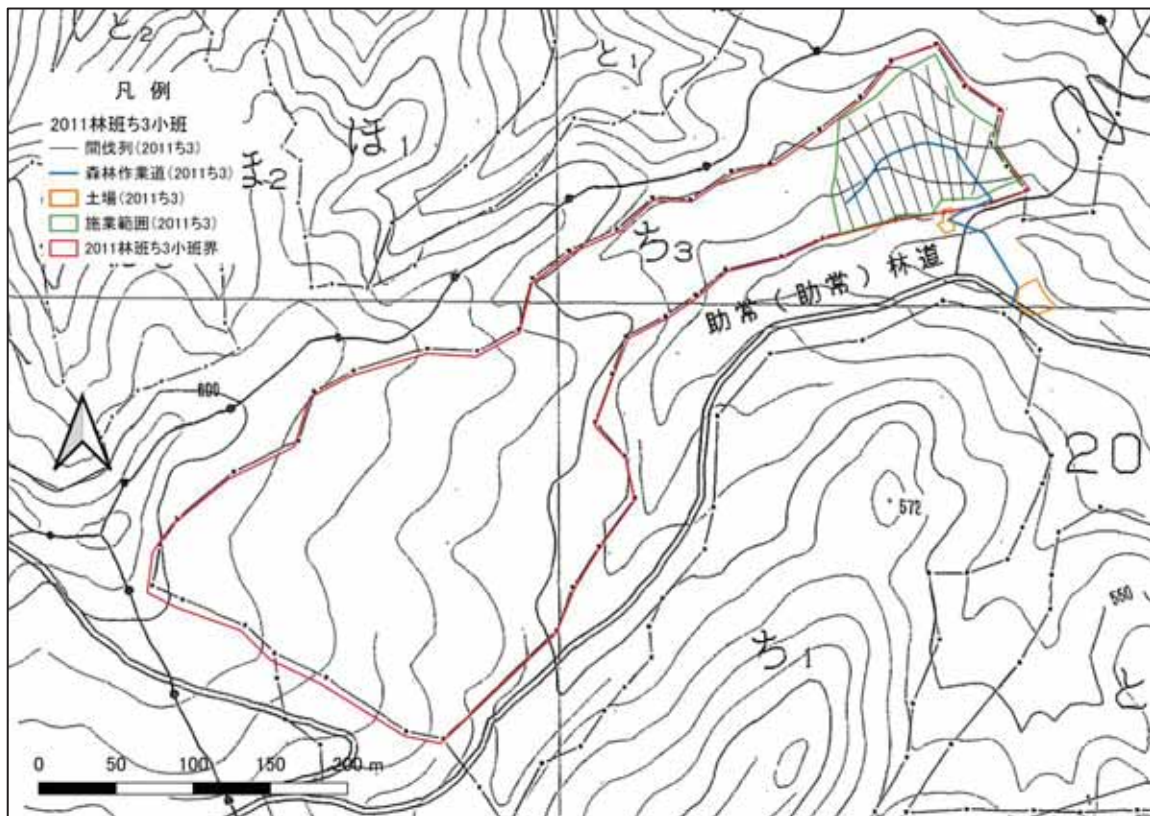


図 4-7 森林施業範囲及び森林作業道・土場（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

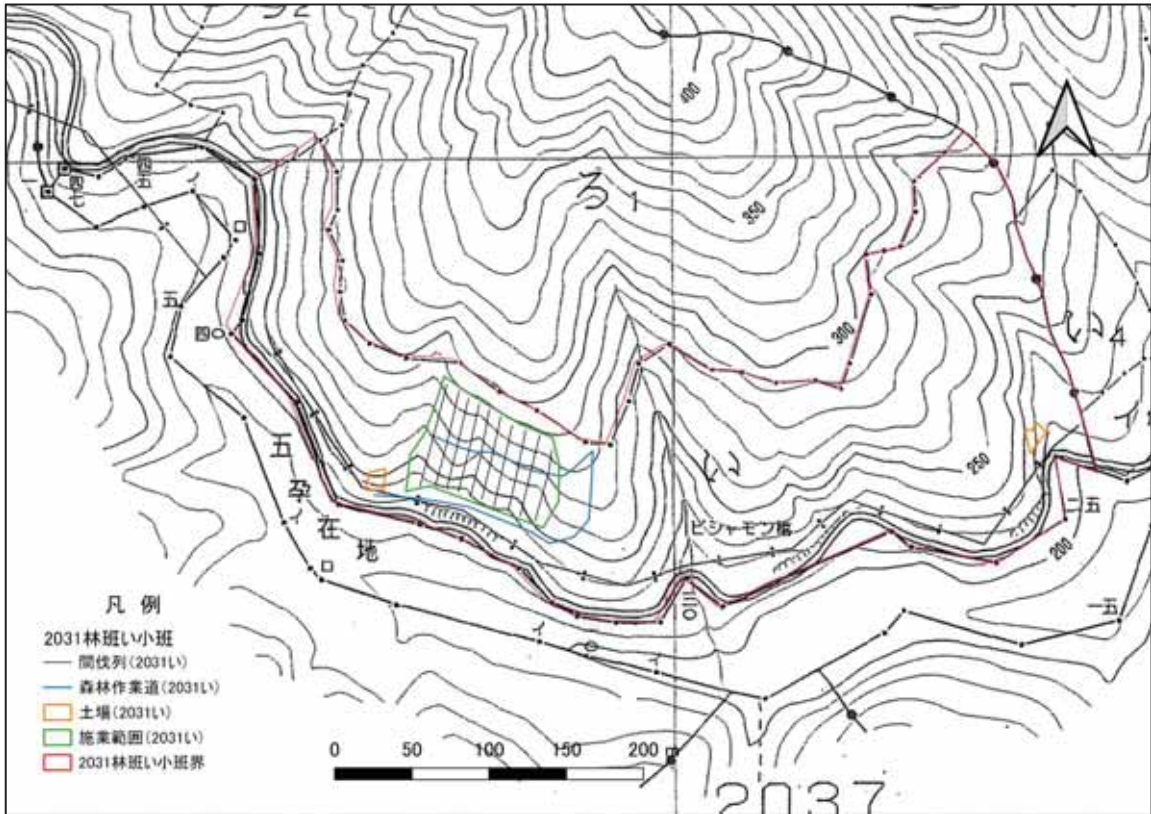


図 4-8 森林施業範囲及び森林作業道・土場（南相馬市 2031 林班い小班）

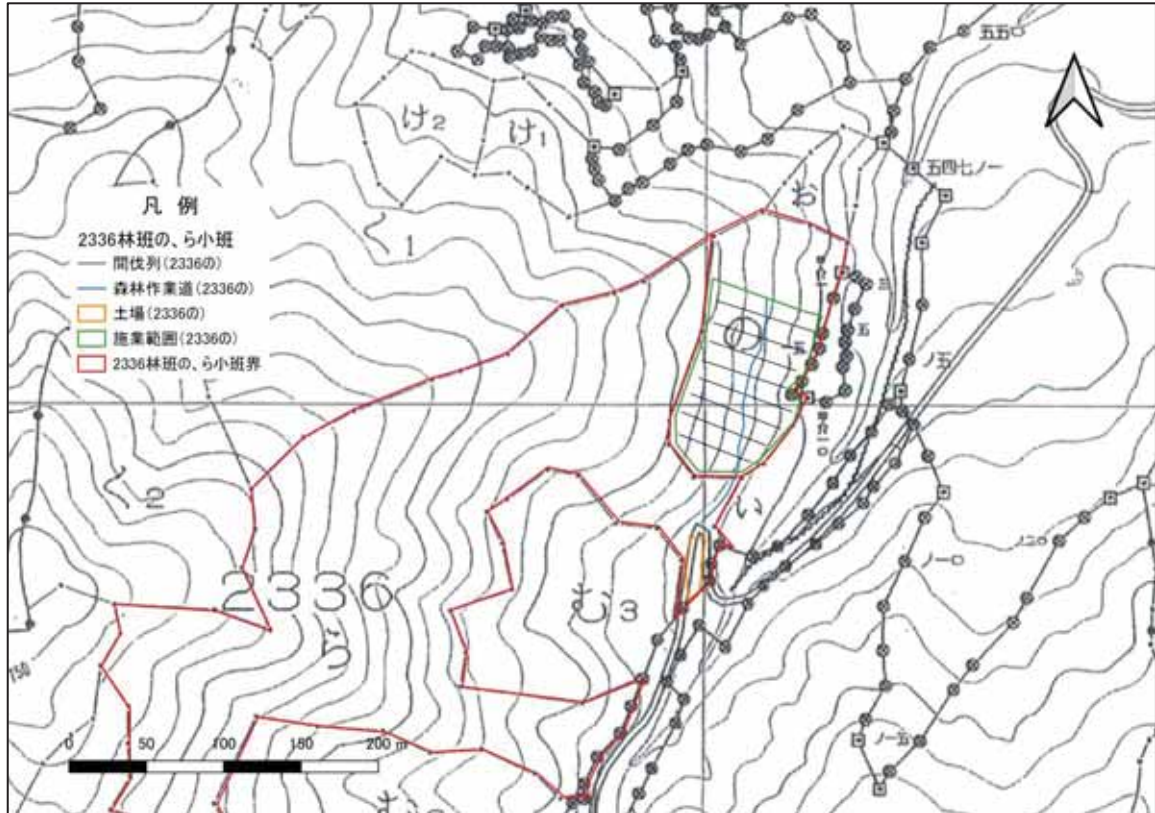


図 4-9 森林施業範囲及び森林作業道・土場（飯館村 2336 林班の小班）

2) 標準地調査

標準地調査は、各小班内に 0.04ha の方形プロットを 2 箇所設定し実施した (表 4-6)。プロットは施業区域の代表的な林況を示していると考えられる箇所に設定し、プロット内の胸高直径 5 cm以上の立木について、樹種、樹高及び胸高直径 (地上高 1.2m) を記録した。得られたデータを基に森林施業区域内の総材積及び伐採材積を推定した。

標準地調査を基に算定した森林施業区域内の本数や材積は表 4-7 に示すとおりである。併せて、面積当たりの本数や材積等を表 4-8 に示した。2011 林班ち 3 小班の施業区域 0.85ha の総材積は 752.7 m³となり、列状間伐材積 251.2 m³を計画した。2031 林班い 1 小班の施業区域 0.57ha の総材積は 346.3 m³となり、列状間伐材積 114.7 m³を計画した。2336 林班の 1 小班の施業区域 0.99ha の総材積は 671.2 m³となり、列状間伐材積 219.7 m³を計画した。

表 4-6 標準地の設定情報

事業地	林小班	林相	面積 (m ²)	区画 (m)	備考
南相馬市	2011 ち 3	スギ	400	18.5 × 21.6	2 区画
	2031 い	スギ	400	18.5 × 21.6	2 区画
飯館村	2336 の	スギ	400	18.5 × 21.6	2 区画

表 4-7 標準地調査結果 (森林施業区域の立木本数及び材積等)

林小班	樹種	森林施業区域面積 (ha)	作業種	森林施業区域総本数 (本)	伐採予定本数 (本)	森林施業区域総材積 (m ³)	伐採予定材積 (m ³)	伐採率 (%)
2011 ち 3	スギ	0.85	列状間伐 (搬出)	1,849	649	752.7	251.2	33.3
2031 い	スギ	0.57	列状間伐 (搬出)	1,874	595	346.3	114.7	33.1
2336 の	スギ	0.99	列状間伐 (搬出)	903	300	671.2	219.7	32.7

表 4-8 標準地調査結果 (ha 当たり立木本数及び材積等)

林小班	樹種	森林施業区域面積 (ha)	作業種	ha 当たり立木本数 (本)	ha 当たり伐採予定本数 (本)	ha 当たり立木材積 (m ³)	ha 当たり伐採予定材積 (m ³)	伐採率 (%)
2011 ち 3	スギ	0.85	列状間伐 (搬出)	2,175	763	885.5	295.5	33.3
2031 い	スギ	0.57	列状間伐 (搬出)	3,287	1,043	607.5	201.2	33.1
2336 の	スギ	0.99	列状間伐 (搬出)	912	303	678.0	221.9	32.7

表 4-9 標準地調査結果（立木の平均直径及び樹高等）

林小班	樹種	森林施業 区域面積 (ha)	作業種	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)
2011 ち 3	スギ	0.85	列状間伐(搬出)	21.8	18.8
2031 い	スギ	0.57	列状間伐(搬出)	17.2	14.2
2336 の	スギ	0.99	列状間伐(搬出)	27.1	20.8

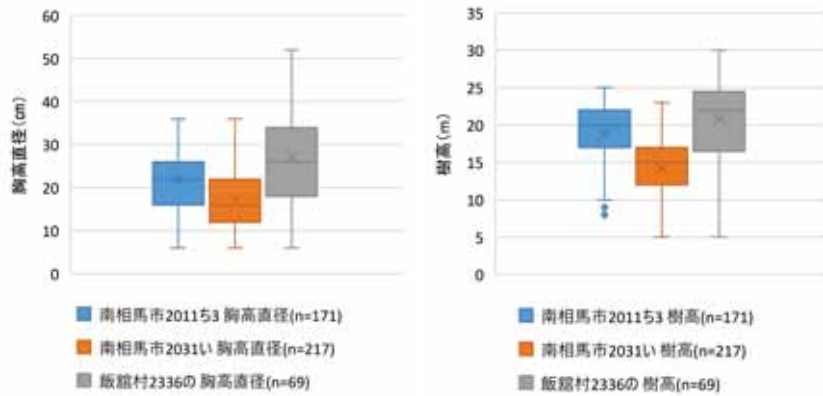


図 4-10 標準地内立木の胸高直径（左図）と樹高分布（右図）

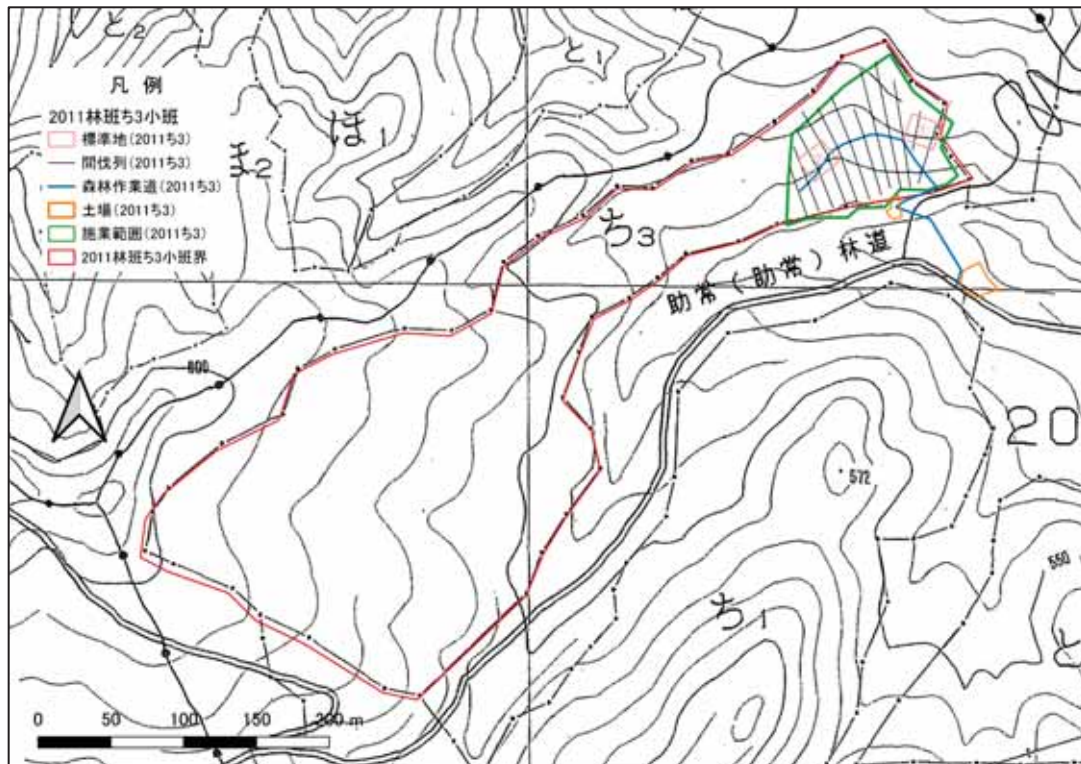


図 4-11 標準地位置図（南相馬市 2011 林班ち 3 小班）

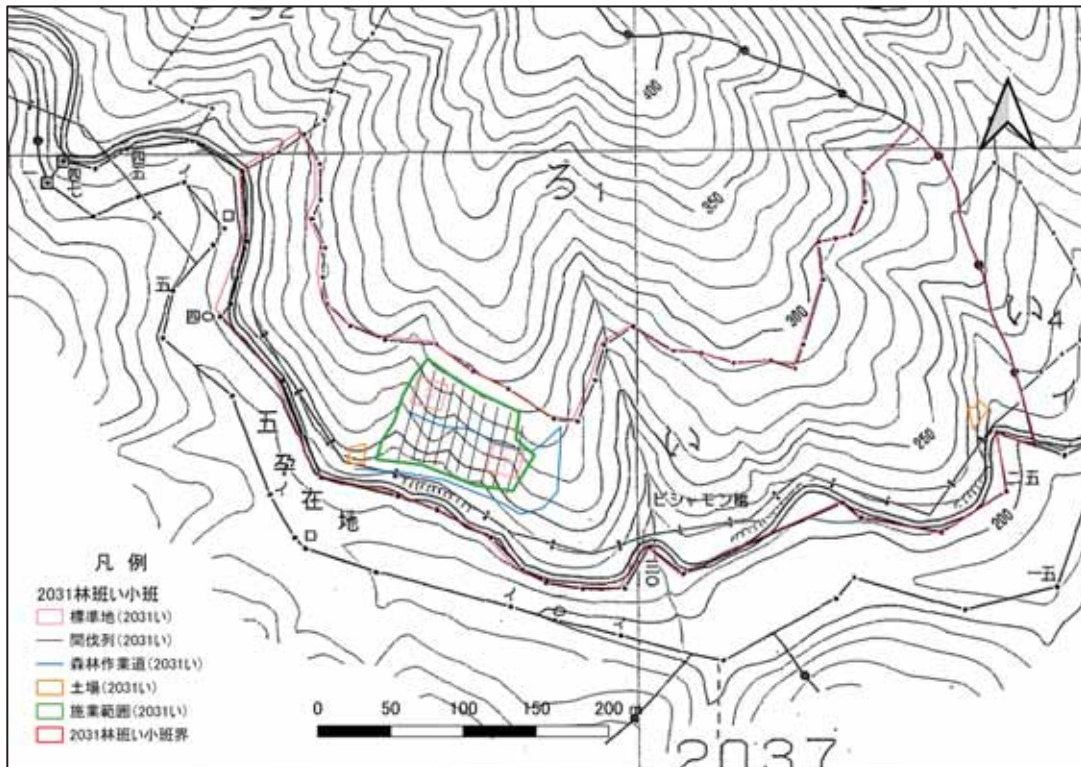


図 4-12 標準地位置図 (南相馬市 2031 林班い小班)

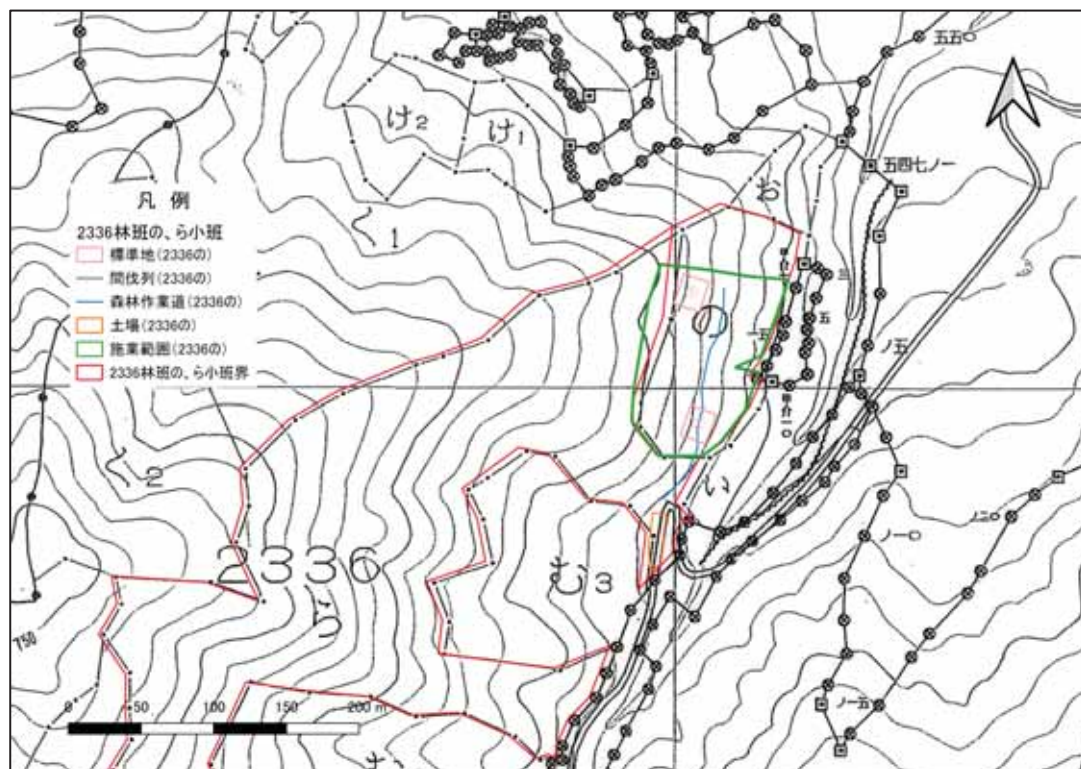


図 4-13 標準地位置図 (飯館村 2336 林班の小班)

4.5. 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

土壌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、4.2. に示す 3 箇所の国有林の林小班において、森林施業区及び対照区を設定して試験を実施した。各試験地の配置を図 4-14、図 4-15、図 4-16 に示す。各森林施業区及び対照区で 2 箇所ずつゼロテンションライシメータ（図 4-17）を設置し、測定を行った。

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を穴空け加工し、シリコンで防水処理してホースでタンクと接続した。設置位置の堆積有機物を、立体的構造を崩さずに 30cm ×30cm の面積で掘削し、そのままプラスチックトレイの上に移設し、設置した。

土壌層の浸透水を採取するゼロテンションライシメータは、斜面の等高線方向に掘削して土壌断面を作成し、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打ち込み、その打ち込んだ長さを記録した上で、土壌断面から出た部分を 5cm 程度残して切断した。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、3D プリンタで作成した治具を使用してホースに接続し、45L タンクに接続した。土壌断面は風雨や落枝の影響を受けないよう、ブルーシートで保護した。めっき鋼板は 1 箇所 3 枚、40cm まで打ち込むことを基本とし、支障物で 40cm まで打ち込めない場合は、長さを記録して切断した。各試験地におけるゼロテンションライシメータの設置日を表 4-10 に、設置状況を写真 4-3、写真 4-4 に示した。

ゼロテンションライシメータは令和 3（2021）年 9 月下旬に設置が完了したが、設置直後は土壌断面の土砂が流入しやすかったため、設置直後にタンクに貯まった浸透水は捨て、10 月中旬に貯水タンクを清掃した後に浸透水の採取を開始した。浸透水の試料回収は 1 ヶ月に 1 回を基本としたが、11 月中旬までの降水量が少なかったため、12 月中旬に試料回収を行った。12 月以降は積雪や配管凍結により正確に試料が採取できないため、試料採取は 12 月中旬をもって終了とした。試料回収状況を表 4-9 に示す。

タンクに貯まった浸透水の量を測定した後に攪拌し、均一となった浸透水の一部を 2L のポリビンで採取して試料とした。採取した試料は、試料重量測定後、孔径 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、7 章に記載した方法により核種測定を行った。ここで、溶存態の試料は放射性セシウム濃度が低いことが想定されたため、加熱濃縮を行い、定量下限値を 0.1~0.2Bq/L とし測定を行った。

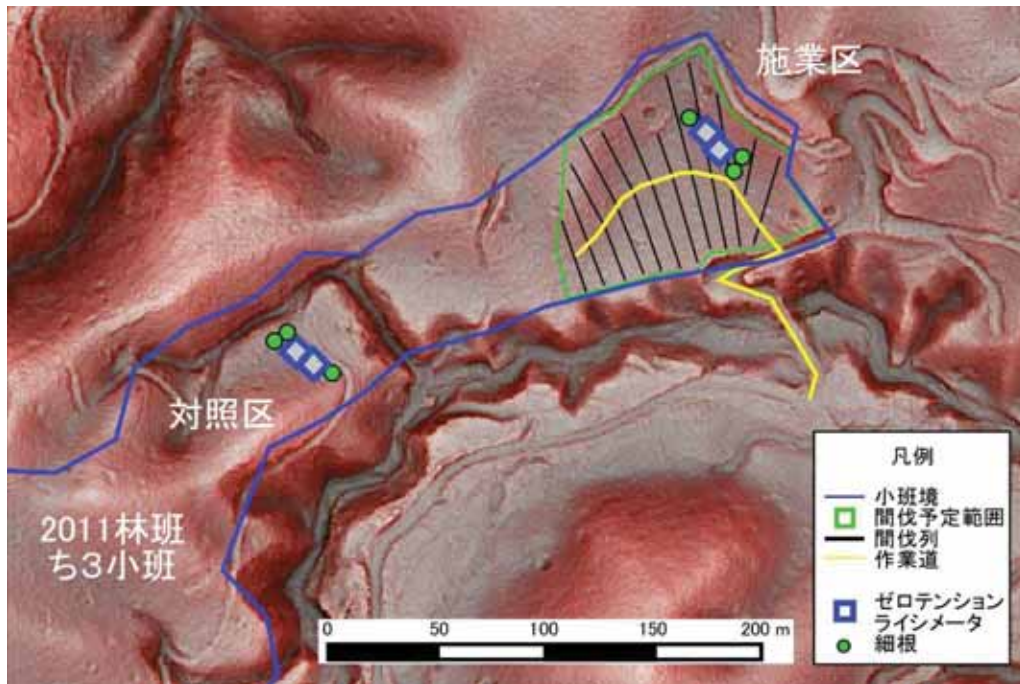


図 4-14 冬住試験地（2011 林班ち3小班）配置（間伐は令和4年度実施予定）

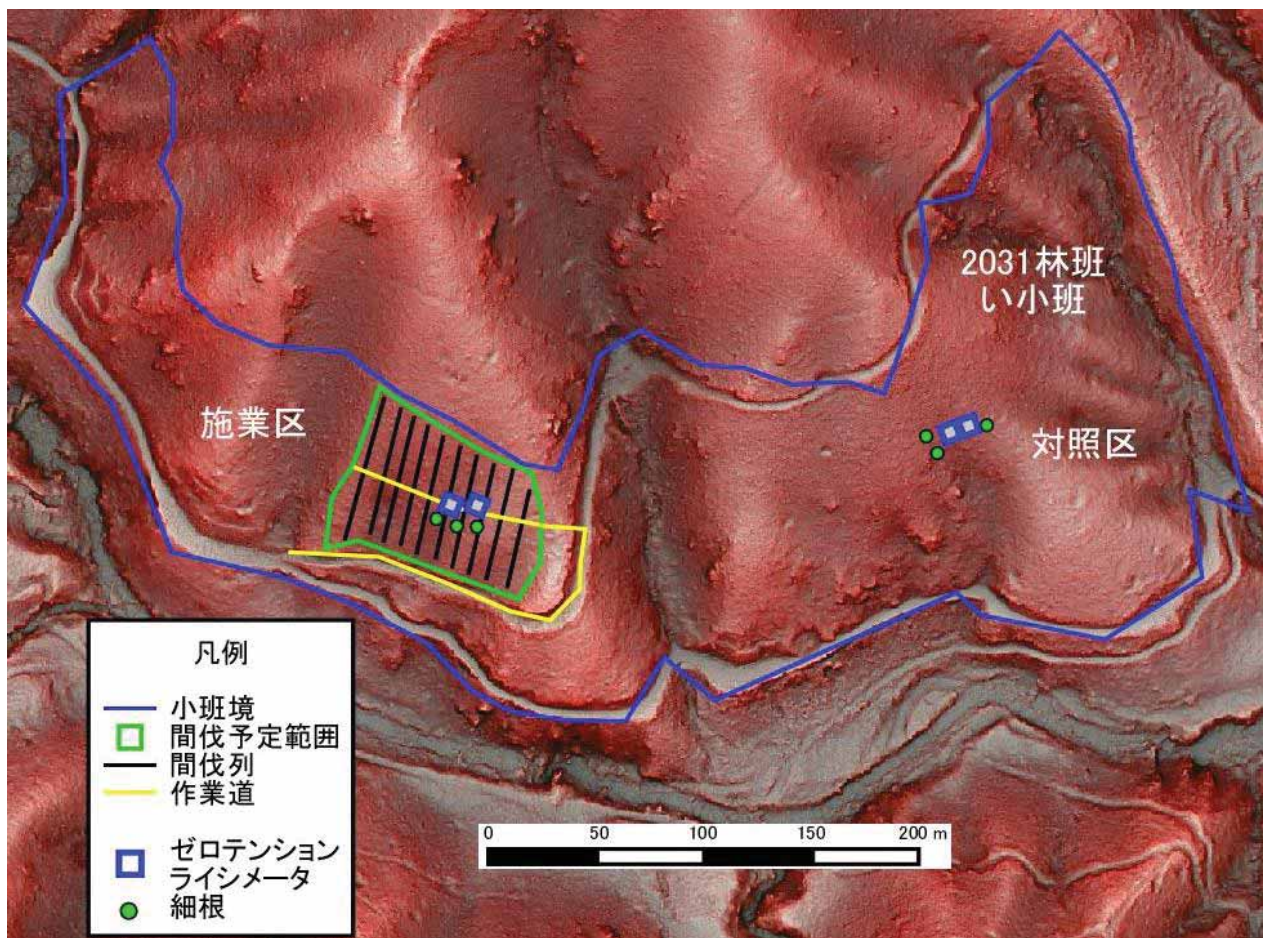


図 4-15 高倉試験地（2031 林班い小班）配置（間伐は令和4年度実施予定）

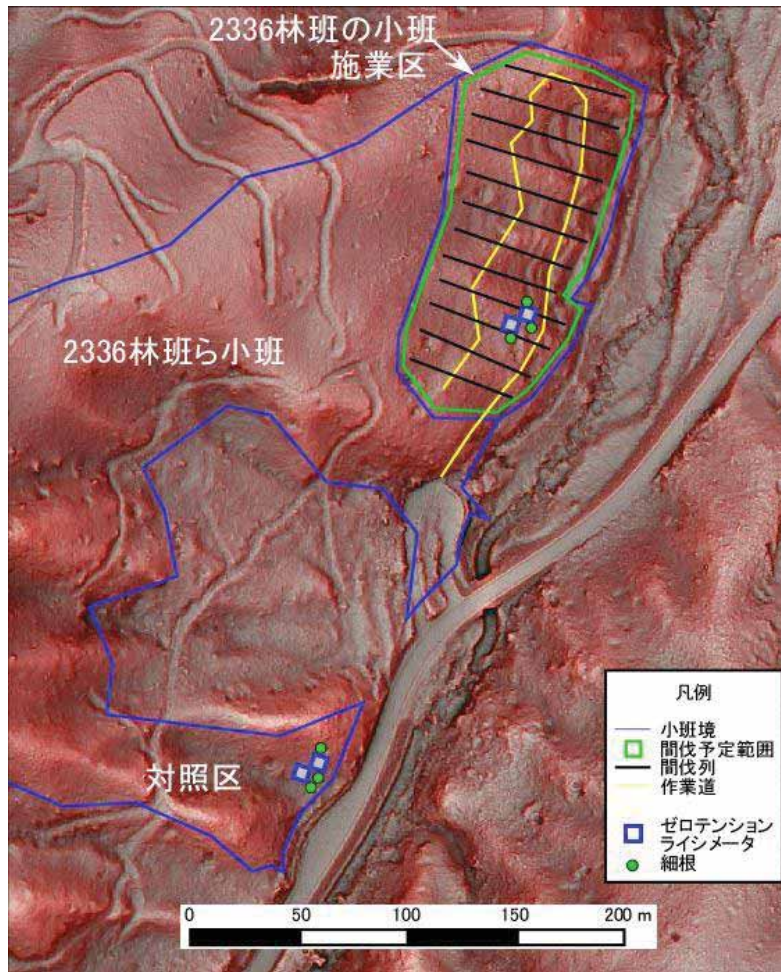


図 4-16 飯館試験地（2336 林班の、ら小班）配置（間伐は令和 4 年度実施予定）

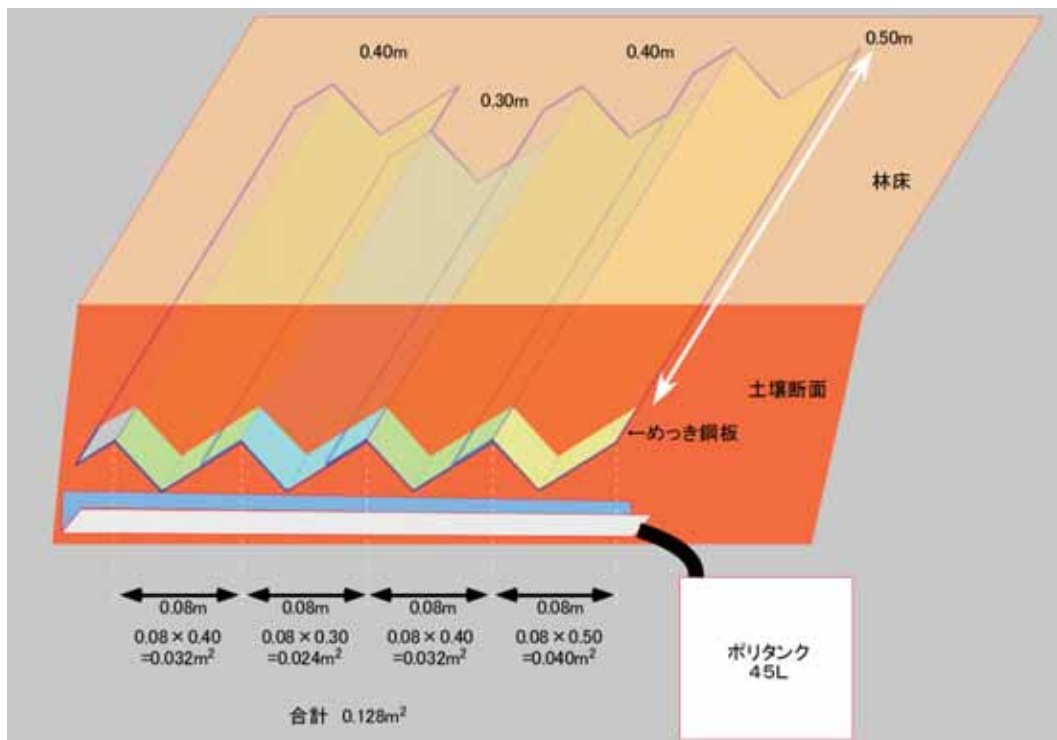


図 4-17 ゼロテンションライシメータ構造図

表 4-10 ゼロテンションライシメータ設置日

試験地	林班	小班	施業区	林相	傾斜角	設置	備考
冬住試験地	南相馬市 2011林班	ち3小班	施業区 (間伐予定地)	スギ	13~23°	2021年7月~8月24日	2区画
			対照	スギ	13~26°	2021年7月~8月25日	2区画
高倉試験地	南相馬市 2031林班	い小班	施業区 (間伐予定地)	スギ	25~33°	2021年7月~9月29日	2区画
			対照	スギ	25~40°	2021年7月~9月10日	2区画
飯舘試験地	飯舘村 2336林班	の小班	施業区 (間伐予定地)	スギ	25~33°	2021年7月~9月10日	2区画
		ら小班	対照	スギ	23~30°	2021年7月~9月9日	2区画



設置前



掘削中



メッキ鋼板打ち込み状況



メッキ鋼板打ち込み完了



トタン水受け、3Dプリンタで作成した治具を設置

写真 4-3 ゼロテンションライシメータ設置状況



浸透水採水タンク（45L）



設置斜面保護状況



浸透水採水タンク保護状況



堆積有機物用トレイ



堆積有機物移設状況



ライシメータ埋設後



ライシメータ試料回収状況

写真 4-4 ゼロテンションライシメータ設置状況、試料回収状況

表 4-11 ゼロテンションライシメータによる試料水回収状況

試験地	観測開始	観測終了	期間 日数	施業区	期間雨量 (mm)	30分降雨強度 最大値 (mm/hr)	年間降水量 推定値 (mm/yr)
冬住 事業地	2021/10/21	2021/12/18	58	施業区 (間伐予定地)	157.0	21.6	1,285
				対照区	151.1	24.4	1,237
高倉 事業地	2021/10/22	2021/12/16	55	施業区 (間伐予定地)	182.8	20.8	1,444
				対照区	192.0	21.6	1,517
飯樋 事業地	2021/10/23	2021/12/21	59	施業区 (間伐予定地)	127.2	14.0	1,053
				対照区	119.4	13.2	988

期間雨量は各事業地に設置した雨量計の観測値。年間降水量推定値は試験地の期間雨量と同期間で付近のAMeDAS観測所の雨量で割り、30年間の年間降水量平均値から割り戻して算出した。

(2) 試験結果

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）の濃度及び期間中の浸透水量を表 4-12、図 4-18 に、年間下方移動量推定値を表 4-13、図 4-19 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、全て測定下限値未満の濃度であった。

浸透水中の放射性セシウム（Cs-137）濃度は、全ての設置箇所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。放射性セシウム（Cs-137）濃度は、下層に行くほど概ね低下していたが、地点によりばらつきが生じていた。

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。また、現存量に対する浸透水による下方移動量推定値は、冬住試験地の堆積有機物層が大きかった他は、試験地間に明瞭な違いが見られなかった

なお、本年度の採取期間が10月中旬から12月中旬の約2ヶ月間であり、年間値は期間雨量に基づく推定であったが、季節変動も見込まれるため、本来はできるだけ通年に近い長期間の観測が望ましい。令和4（2022）年度については、融雪後の4月から秋までの観測を行った後に伐採施業を行うことが望ましい。また、伐採前の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とともに、日照量、地温、気温・湿度、土壌水分等の把握も必要と思われる。さらに、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 4-12 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、浸透水量

試験地	作業区	深度	Cs-134 (Bq/L)	Cs-137 (Bq/L)	浸透水量 (L)
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	1.76	6.1
		0-5cm	N.D.	0.55	6.1
		5-10cm	N.D.	0.29	5.1
		10-20cm	N.D.	0.49	2.2
	対照区	堆積有機物	N.D.	2.08	10.1
		0-5cm	N.D.	0.33	7.0
		5-10cm	N.D.	0.45	3.8
		10-20cm	N.D.	0.17	0.7
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	0.56	9.4
		0-5cm	N.D.	0.39	6.1
		5-10cm	N.D.	0.20	4.1
		10-20cm	N.D.	0.14	1.8
	対照区	堆積有機物	N.D.	0.58	8.9
		0-5cm	N.D.	0.36	6.5
		5-10cm	N.D.	0.26	4.2
		10-20cm	N.D.	0.28	1.8
飯桶 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	0.90	8.5
		0-5cm	N.D.	0.41	4.6
		5-10cm	N.D.	0.54	3.3
		10-20cm	N.D.	0.18	1.8
	対照区	堆積有機物	N.D.	0.58	8.7
		0-5cm	N.D.	0.15	3.5
		5-10cm	N.D.	0.18	2.9
		10-20cm	N.D.	0.32	0.7

「N.D.」は濃度が測定下限値未満であったことを示す。

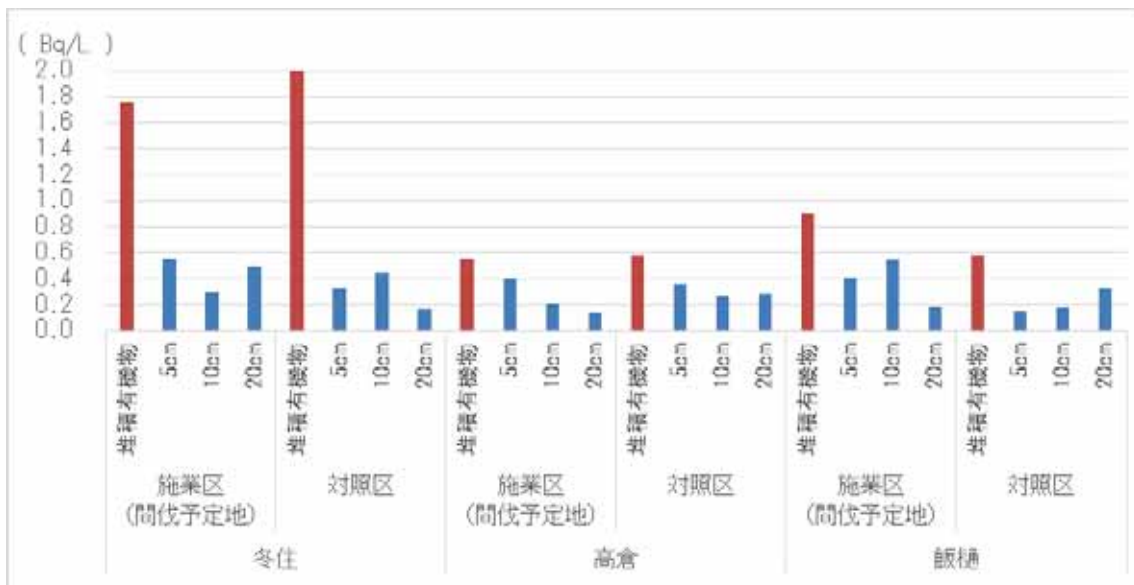


図 4-18 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度

表 4-13 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 移動量・割合

試験地	作業区	深度	Cs-137下方 移行量試算値 (kBq/m ² ・年)	Cs-137下方 移行減少割合 (%)	設置箇所 周辺の現存量 (kBq/m ²)	現存量に対する Cs-137下方移行量 (1年間)
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	1.15	-	1,022	0.11%
		0-5cm	0.35	0.69		0.03%
		5-10cm	0.15	0.87		0.01%
		10-20cm	0.13	0.89		0.01%
	対照区	堆積有機物	1.85	-	678	0.27%
		0-5cm	0.25	0.86		0.04%
		5-10cm	0.10	0.94		0.02%
		10-20cm	0.01	0.99		0.00%
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	0.48	-	735	0.07%
		0-5cm	0.29	0.40		0.04%
		5-10cm	0.10	0.80		0.01%
		10-20cm	0.03	0.94		0.00%
	対照区	堆積有機物	0.47	-	1,015	0.05%
		0-5cm	0.30	0.36		0.03%
		5-10cm	0.12	0.75		0.01%
		10-20cm	0.05	0.89		0.01%
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	0.60	-	758	0.08%
		0-5cm	0.19	0.69		0.02%
		5-10cm	0.15	0.75		0.02%
		10-20cm	0.03	0.95		0.00%
	対照区	堆積有機物	0.47	-	581	0.08%
		0-5cm	0.05	0.90		0.01%
		5-10cm	0.05	0.89		0.01%
		10-20cm	0.02	0.95		0.00%

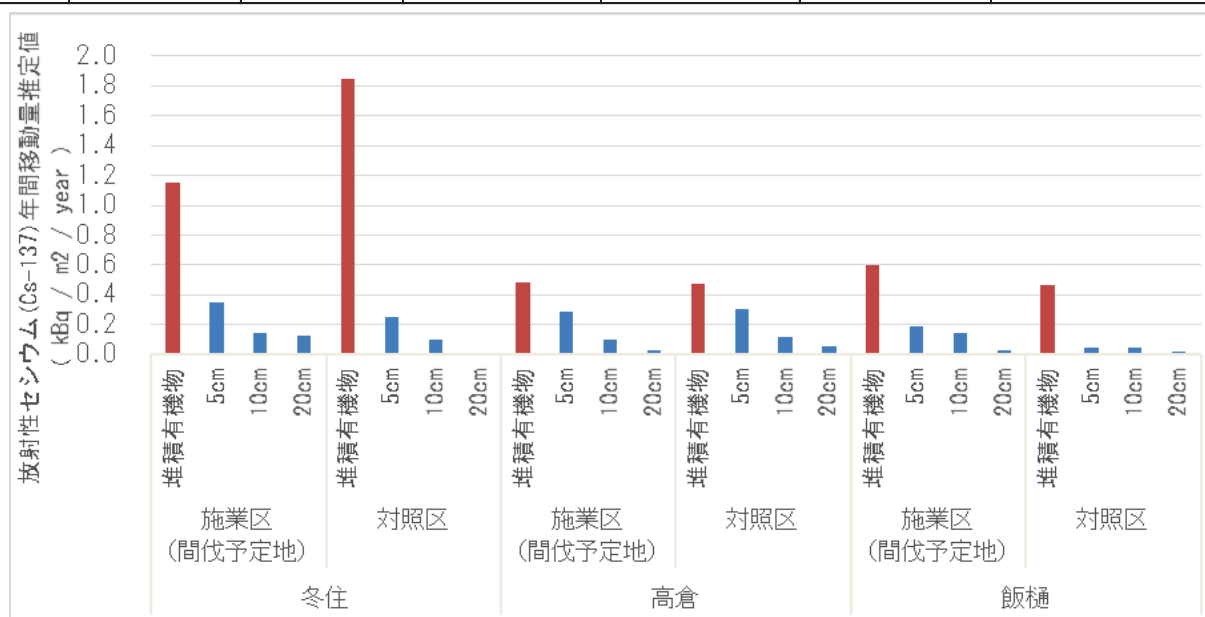


図 4-19 土壌等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 年間移動量推定値
 年間移動量は「期間降水量÷AMeDAS 期間降水量×AMeDAS30 年年平均降水量」より推定した。

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）の濃度を表 4-14 に示す。

残渣の放射性セシウム（Cs-137）濃度は、飯樋事業地で最大 81kBq/kg、冬住事業地で最大 283kBq/kg、高倉事業地で最大 1,350kBq/kg であった。なお、放射性セシウム（Cs-134）濃度は、全て測定下限値未満であった。ただし、残渣重量は微小（0.7mg～16mg 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、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 4-14 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

試験地	作業区	深度	No.1			No.2		
			Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	残渣重量 (g)	Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	残渣重量 (g)
冬住 事業地	施業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0053	N.D.	75,666	0.0117
		0-5cm	N.D.	N.D.	0.0125	N.D.	N.D.	0.0140
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0101	N.D.	N.D.	0.0125
		10-20cm				N.D.	N.D.	0.0114
	対照区	堆積有機物	N.D.	283,330	0.0184	N.D.	N.D.	0.0115
		0-5cm	N.D.	188,389	0.0094	N.D.	N.D.	0.0054
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0141	N.D.	N.D.	0.0120
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0130			
高倉 事業地	施業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0007	N.D.	1,350,000	0.0013
		0-5cm	N.D.	N.D.	0.0100	N.D.	N.D.	0.0068
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0032	N.D.	79,300	0.0077
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0008	N.D.	N.D.	0.0054
	対照区	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0064	N.D.	N.D.	0.0067
		0-5cm	N.D.	36,700	0.0209	N.D.	N.D.	0.0011
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0032	N.D.	N.D.	0.0102
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0090	N.D.	N.D.	0.0011
飯樋 事業地	施業区 (間伐予定地)	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0091	N.D.	N.D.	0.0067
		0-5cm	N.D.	81,178	0.0108	N.D.	N.D.	0.0101
		5-10cm	N.D.	54,351	0.0115	N.D.	N.D.	0.0159
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0099	N.D.	N.D.	0.0080
	対照区	堆積有機物	N.D.	N.D.	0.0093	N.D.	N.D.	0.0113
		0-5cm	N.D.	N.D.	0.0057	N.D.	N.D.	0.0069
		5-10cm	N.D.	N.D.	0.0636	N.D.	N.D.	0.0147
		10-20cm	N.D.	N.D.	0.0115	N.D.	N.D.	0.0149

斜線は欠測を示す。

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。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。

4.6. 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、4.2. に示す3箇所の国有林の林小班において、森林施業区及び対照区を設定して試験を実施した。各試験地の配置を図4-20、図4-21、図4-22に示す。細根分別用の採取地点は、ゼロテンションライシメータ設置位置周辺で、各区3地点、合計18地点で行った。試料採取は、スクレーパープレート（面積15cm×30cm）を用い、堆積有機物層および土壌深度0～5cm、5～10cm、10～20cmの4深度で行った。試料採取日及び採取数量を表4-15に、採取状況を写真4-5、写真4-6に示す。

採取した試料は、未分別試料（土+細根）として7章に記載した方法により核種測定を行った。測定後、バット等に試料を広げ、ピンセットで土塊を崩しながら細根を分別した。分別した細根には土が付着しているため、蒸留水に浸し、超音波ホモジナイザー

（BRANSON 250-Advanced）を用いて複数回洗浄を行い、水の濁りが出なくなった後に、105℃で乾燥し、乾重量を測定した。細根（細根のみ）と土壌（土のみ）に分別した試料は、それぞれ7章に記載した方法により核種測定を行った。細根分別の流れを図4-23に示す。

ここで、日本のスギ林における細根の年間生産量を0.157kg/m²/year²⁶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。

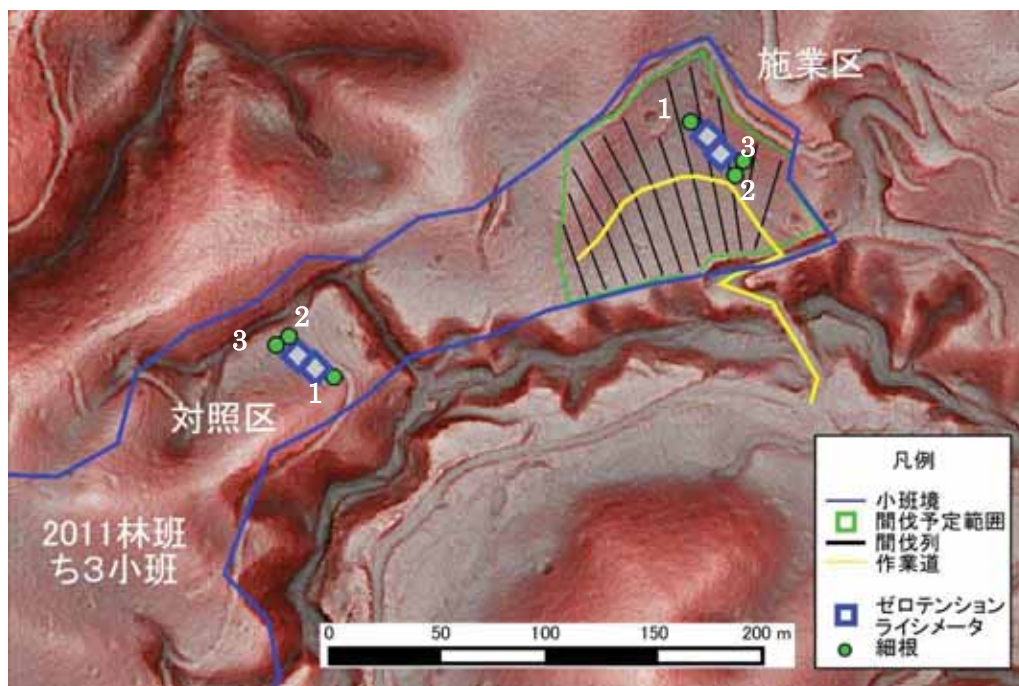


図4-20 冬住試験地 細根採取位置

²⁶ 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)

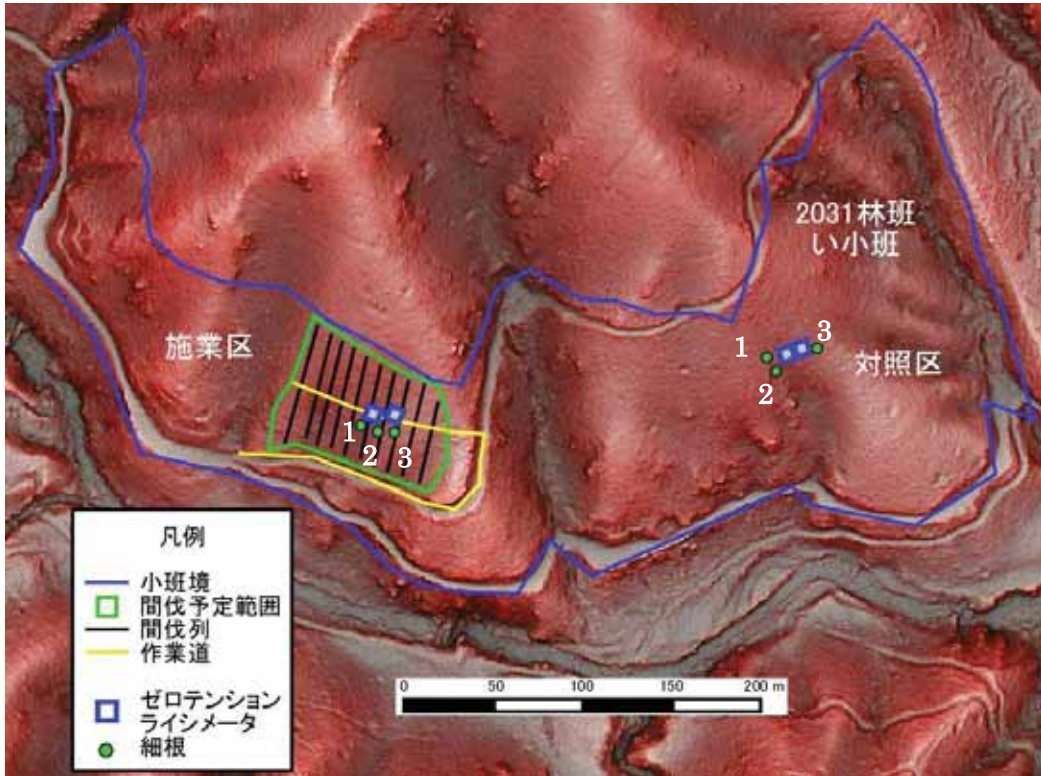


図 4-21 高倉事業地 細根採取位置

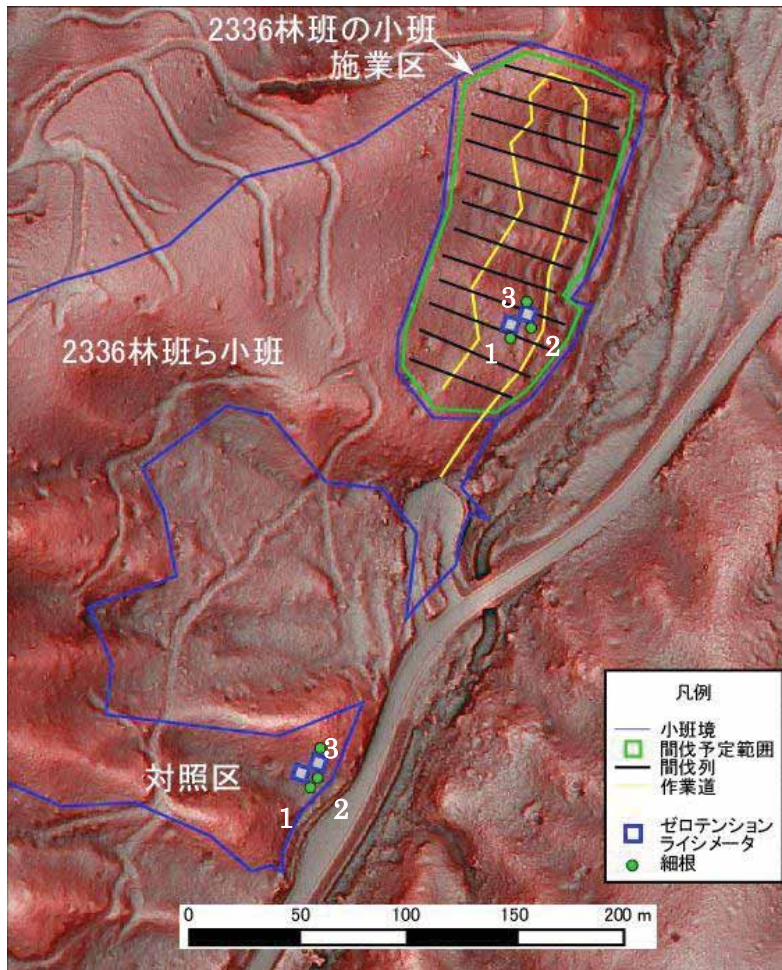


図 4-22 飯樋事業地 細根採取位置

表 4-15 各作業区の細根試料採取日、試料量

試験地	作業区	地点	採取日	細根乾燥重量		
				0-5cm (g)	5-10cm (g)	10-20cm (g)
冬住 事業地	施業区 (間伐予定地)	1	2021年 9月14日	5.2	3.5	4.1
		2	2021年 9月14日	13.7	11.0	1.6
		3	2021年 9月15日	18.0	1.7	3.7
	対照区	1	2021年 9月15日	8.8	5.5	4.2
		2	2021年 9月15日	8.1	4.2	6.2
		3	2021年 9月15日	13.6	15.1	5.2
高倉 事業地	施業区 (間伐予定地)	1	2021年 9月29日	16.3	15.0	30.0
		2	2021年 9月28日	24.4	18.8	12.9
		3	2021年 9月28日	15.6	11.0	9.6
	対照区	1	2021年 9月22日	33.2	6.9	4.9
		2	2021年 9月22日	23.6	6.7	5.7
		3	2021年 9月28日	11.8	8.8	8.6
飯樋 事業地	施業区 (間伐予定地)	1	2021年 9月17日	12.6	4.2	5.7
		2	2021年 9月17日	4.5	3.9	2.6
		3	2021年 9月17日	7.8	3.3	1.7
	対照区	1	2021年 9月17日	17.1	5.7	1.3
		2	2021年 9月21日	30.5	11.5	13.8
		3	2021年 9月21日	18.0	24.6	5.4



細根用試料採取前



堆積有機物層採取後

写真 4-5 細根用試料採取状況 (スクレーパープレート)



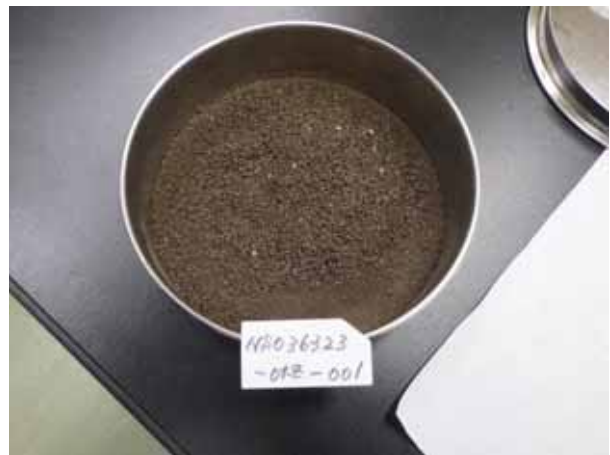
堆積有機物採取後再設置



土壌 20cm 採取後



細根分別状況



分別後土壌のみ試料



超音波ホモジナイザーによる試料洗浄



洗浄後細根分別状況（繰り返し実施）

写真 4-6 細根用試料採取状況（スクレーパープレート）、細根分別状況

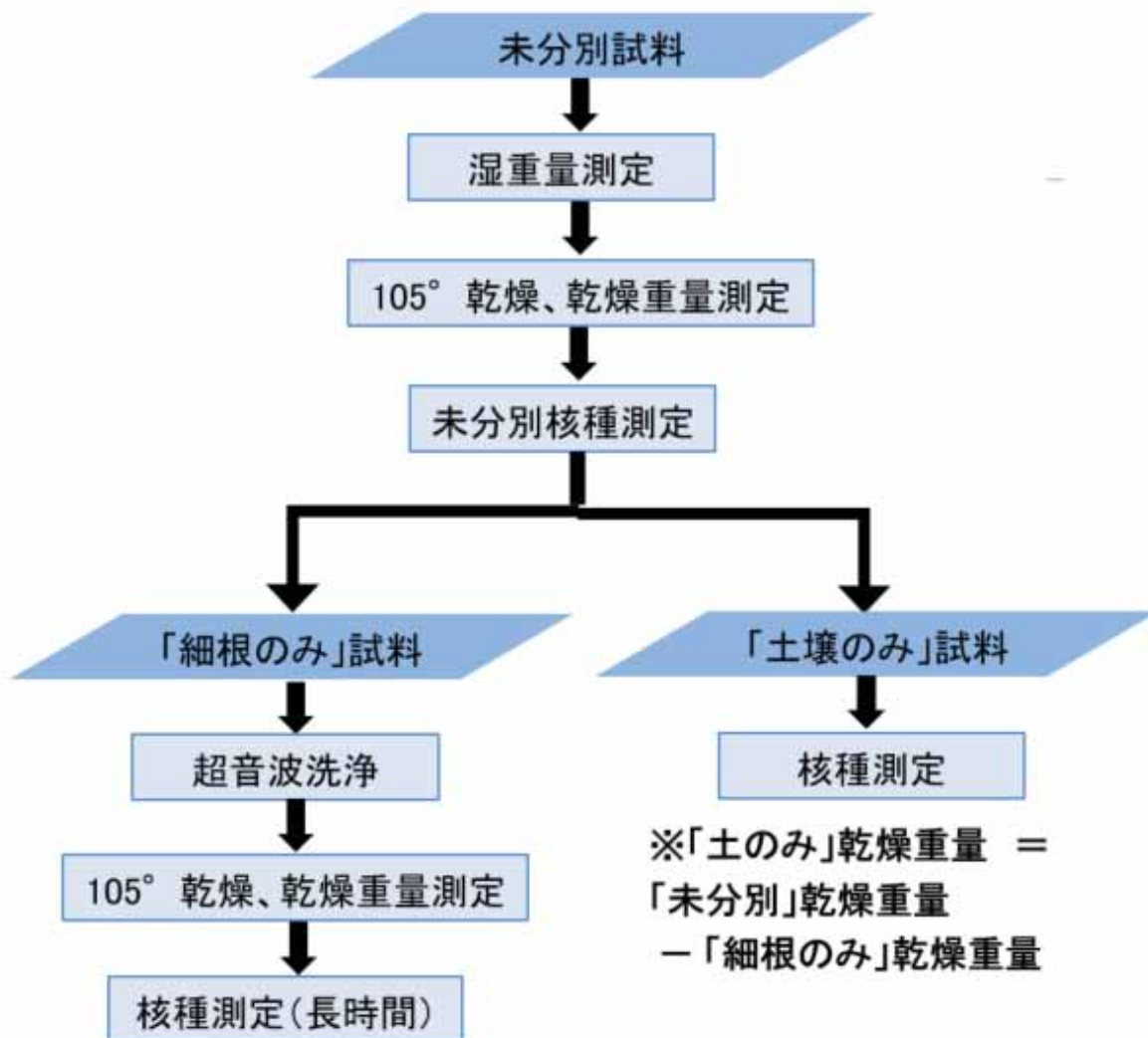


図 4-23 細根等試料測定の流れ

(2) 試験結果及び考察

土壤・細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度等

堆積有機物、土壤、細根の乾燥重量、細根の割合を表 4-16 に、放射性セシウム (Cs-137) の濃度を表 4-17、図 4-24 に示す。いずれの試験地においても、細根よりも、堆積有機物や土壤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、堆積有機物及び土壤に含まれる放射性セシウム (Cs-137) の濃度は、南相馬の 2 事業地(冬住、高倉)のほうが飯櫃事業地よりも高かった。

表 4-16 試料乾燥重量 (3 地点の合計値)

試験地	作業区	深度	堆積有機物 乾燥重量 (g)	土+根 乾燥重量 (g)	土のみ 乾燥重量 (g)	細根のみ 乾燥重量 (g)	細根の 割合 (%)
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	390	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,140	2,100	37.0	1.7%
		5-10cm	-	3,840	3,820	16.2	0.4%
		10-20cm	-	7,550	7,540	9.3	0.1%
	対照区	堆積有機物	410	-	-	-	-
		0-5cm	-	1,180	1,140	30.5	2.6%
		5-10cm	-	2,570	2,540	24.8	1.0%
		10-20cm	-	6,310	6,300	15.5	0.2%
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	369	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,460	2,400	56.3	2.3%
		5-10cm	-	3,470	3,430	44.8	1.3%
		10-20cm	-	9,030	8,970	52.5	0.6%
	対照区	堆積有機物	623	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,380	2,310	68.5	2.9%
		5-10cm	-	4,280	4,260	22.4	0.5%
		10-20cm	-	12,400	12,300	19.3	0.2%
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	303	-	-	-	-
		0-5cm	-	2,260	2,230	24.9	1.1%
		5-10cm	-	3,560	3,550	11.3	0.3%
		10-20cm	-	7,700	7,690	9.9	0.1%
	対照区	堆積有機物	298	-	-	-	-
		0-5cm	-	1,840	1,760	65.6	3.6%
		5-10cm	-	4,100	4,080	41.7	1.0%
		10-20cm	-	10,900	10,900	20.6	0.2%

細根の割合は土壌(土+根)の乾燥重量に対する細根(細根のみ)の乾燥重量

「-」は該当する試料が存在しなかったことを示す。

表 4-17 細根等に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度 (3 地点の平均値)

試験地	作業区	層位(深度)	Cs-137濃度(Bq/kg)			
			堆積有機物	土+根	土のみ	細根
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	46,900	-	-	-
		0-5cm	-	41,700	48,600	20,700
		5-10cm	-	2,550	2,770	1,210
		10-20cm	-	367	388	586
	対照区	堆積有機物	55,500	-	-	-
		0-5cm	-	45,500	41,400	11,900
		5-10cm	-	5,000	5,000	3,310
		10-20cm	-	797	838	2,230
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	54,400	-	-	-
		0-5cm	-	29,600	23,300	10,700
		5-10cm	-	2,620	2,270	817
		10-20cm	-	645	591	542
	対照区	堆積有機物	38,600	-	-	-
		0-5cm	-	43,500	29,400	19,600
		5-10cm	-	6,820	4,470	2,690
		10-20cm	-	727	521	507
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	20,200	-	-	-
		0-5cm	-	27,500	30,300	3,470
		5-10cm	-	5,520	6,810	1,900
		10-20cm	-	394	398	394
	対照区	堆積有機物	25,800	-	-	-
		0-5cm	-	32,600	30,200	5,130
		5-10cm	-	1,930	1,620	699
		10-20cm	-	155	151	345

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 (いずれの試験地も対照区の 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 (後述) は、43~13,000 Bq/m² 程度であり、堆積有機物 (67,900~224,000 Bq/m²) や土壌 (13,500~778,000 Bq/m²) と比較すると極めて小さな値であった。

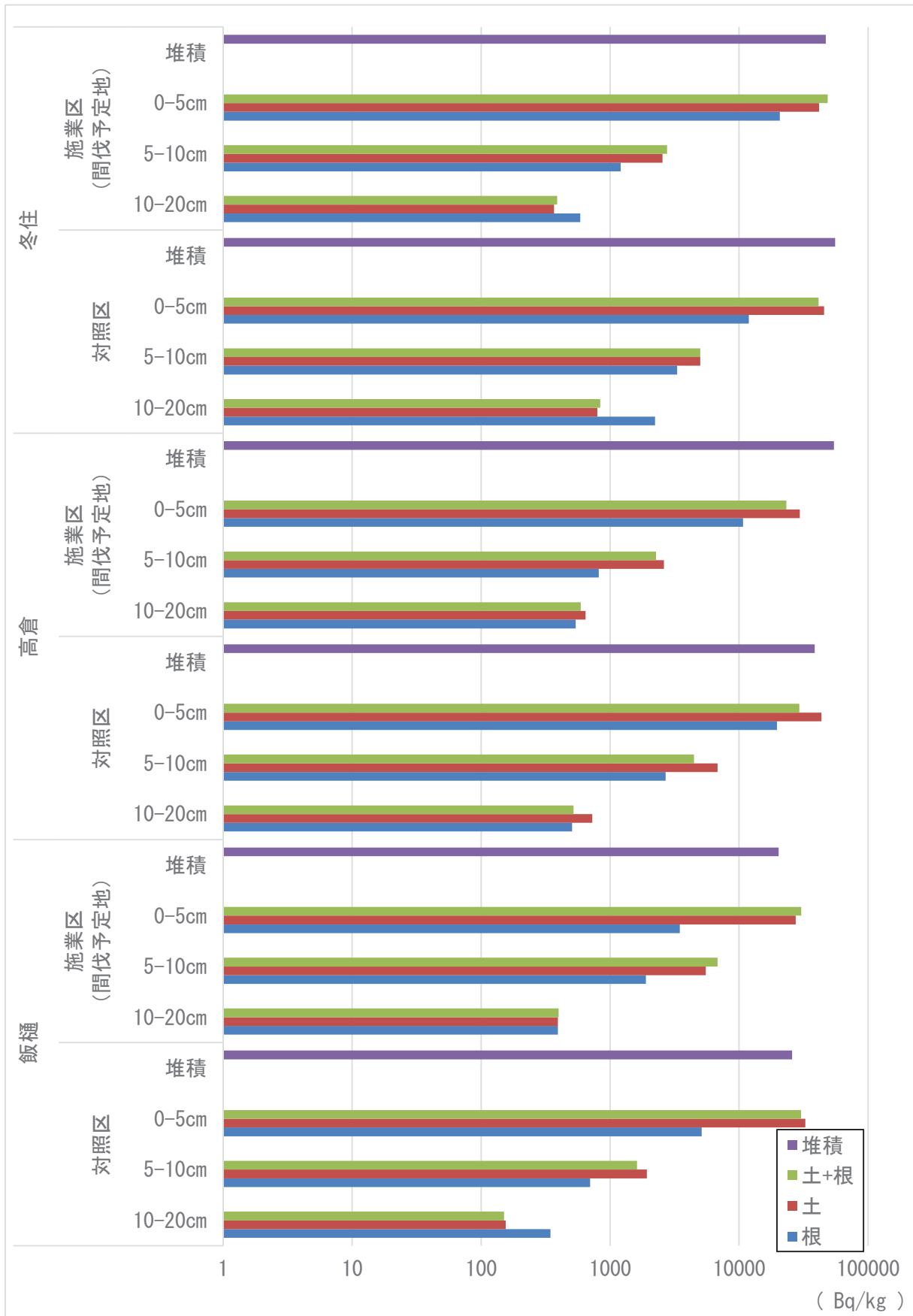


図 4-24 堆積有機物、土壌、及び細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度の層位・土壌深度ごとの比較 (横軸対数目盛)

堆積有機物、土壌、細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量を表 4-18、図 4-25 に示す。放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、いずれの地点においても、堆積有機物層より土壌 0-5cm の方が大きく、深度が深くなるにつれて低下する傾向が見られた。

表 4-18 細根等に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量 (3 点の平均値)

試験地	作業区	層位(深度)	Cs-137現存量 (Bq/m ²)				細根の割合 (%)
			堆積有機物	土+根	土のみ	細根のみ	
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	146,000	-	-	-	-
		0-5cm	-	778,000	678,000	5,800	0.7%
		5-10cm	-	77,800	71,800	173	0.2%
		10-20cm	-	20,500	20,200	43	0.2%
	対照区	堆積有機物	175,000	-	-	-	-
		0-5cm	-	370,000	399,000	2,770	0.7%
		5-10cm	-	94,400	95,500	753	0.8%
		10-20cm	-	38,900	37,900	275	0.7%
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	166,000	-	-	-	-
		0-5cm	-	458,000	570,000	5,330	1.2%
		5-10cm	-	64,400	73,200	313	0.5%
		10-20cm	-	46,400	49,400	203	0.4%
	対照区	堆積有機物	224,000	-	-	-	-
		0-5cm	-	563,000	799,000	13,000	2.3%
		5-10cm	-	171,000	260,000	523	0.3%
		10-20cm	-	57,000	79,400	77	0.1%
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	堆積有機物	41,400	-	-	-	-
		0-5cm	-	514,000	460,000	634	0.1%
		5-10cm	-	179,000	146,000	174	0.1%
		10-20cm	-	23,700	23,500	35	0.1%
	対照区	堆積有機物	67,900	-	-	-	-
		0-5cm	-	446,000	468,000	2,980	0.7%
		5-10cm	-	54,200	63,900	352	0.6%
		10-20cm	-	13,200	13,500	71	0.5%

細根の割合は土壌(土+根)の現存量(Bq/m²)に対する細根(細根のみ)の現存量(Bq/m²)

「-」は該当する試料が存在しなかったことを示す。

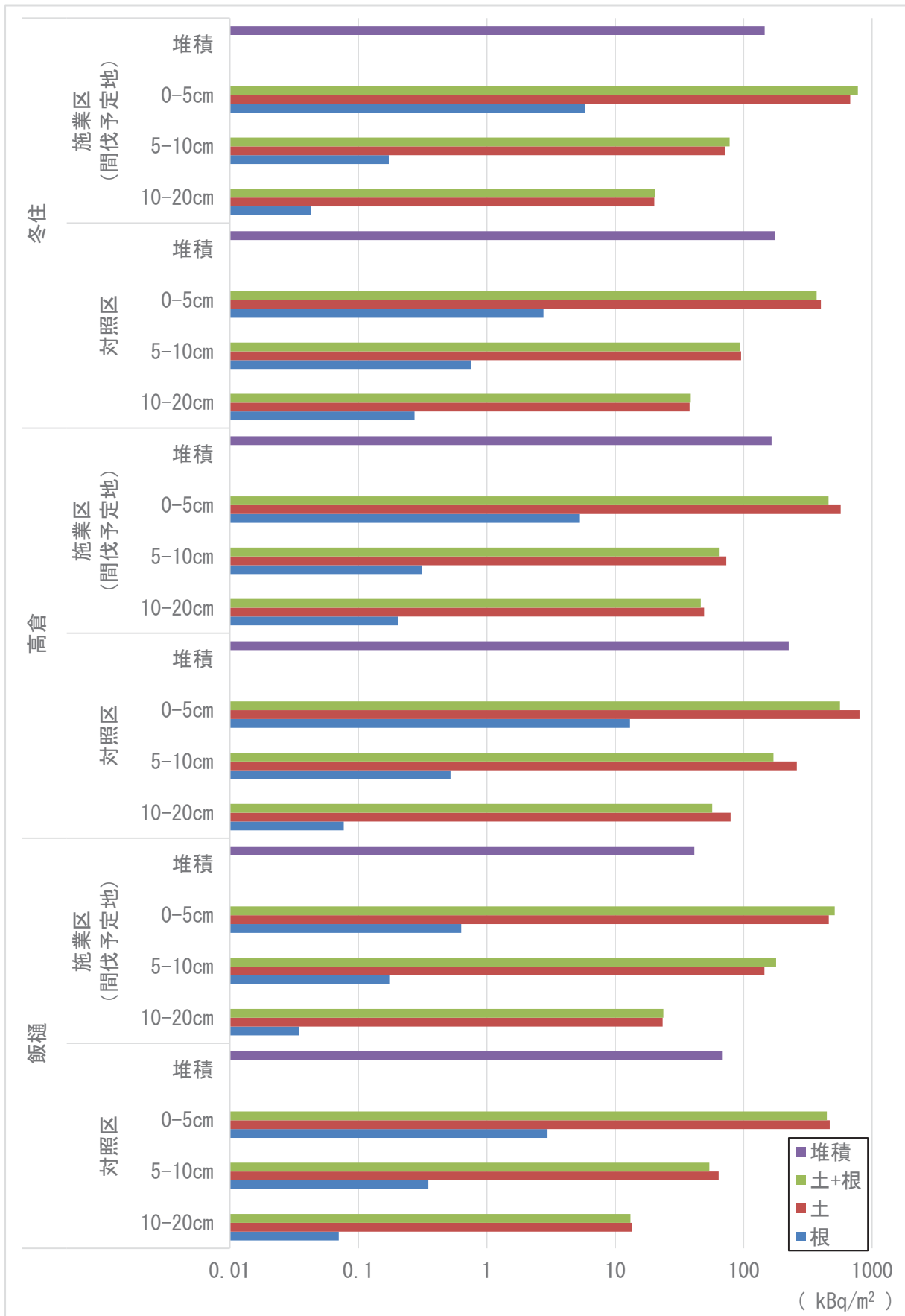


図 4-25 堆積有機物、土壌、及び細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 現存量の層位・土壌深度ごとの比較 (3 点の平均値、横軸対数目盛)

1) 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 4-19、図 4-26、図 4-27 にそれぞれ示す。年間移動量は単位面積・深度当たりの細根量と放射性セシウム (Cs-137) 濃度を乗することにより推計した。どの作業区においても、年間移動量は 0-5cm の深さで高く、5-10cm、10-20cm と深くなるにつれて少なくなる傾向であった。

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についても 0-5cm が高く、5-10cm、10-20cm 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 0.004% から最高 0.98% と、僅かな割合であった。

表 4-19 細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間移行量 (3 点の平均値)

試験地	作業区	Cs-137 現存量 (kBq/m ²)	層位 (深度)	単位面積・深度 当たりの細根量 (g/m ²)	細根による 年間下方移動量 (kBq/m ² /year)	現存量に対する細根 下方移動量の割合 (%)
冬住 事業地	作業区 (間伐予定地)	1,022	0-5cm	0.27	5.68	0.56%
			5-10cm	0.12	0.14	0.014%
			10-20cm	0.07	0.04	0.004%
	対照区	678	0-5cm	0.23	2.69	0.40%
			5-10cm	0.18	0.61	0.09%
			10-20cm	0.11	0.26	0.04%
高倉 事業地	作業区 (間伐予定地)	735	0-5cm	0.42	4.48	0.61%
			5-10cm	0.33	0.27	0.04%
			10-20cm	0.39	0.21	0.03%
	対照区	1,015	0-5cm	0.51	9.97	0.98%
			5-10cm	0.17	0.45	0.04%
			10-20cm	0.14	0.07	0.007%
飯樋 事業地	作業区 (間伐予定地)	758	0-5cm	0.18	0.64	0.08%
			5-10cm	0.08	0.16	0.02%
			10-20cm	0.07	0.03	0.004%
	対照区	581	0-5cm	0.49	2.49	0.43%
			5-10cm	0.31	0.22	0.04%
			10-20cm	0.15	0.05	0.009%

細根の割合は土壌(土+根)の現存量(Bq/m²)に対する細根(細根のみ)の現存量(Bq/m²)

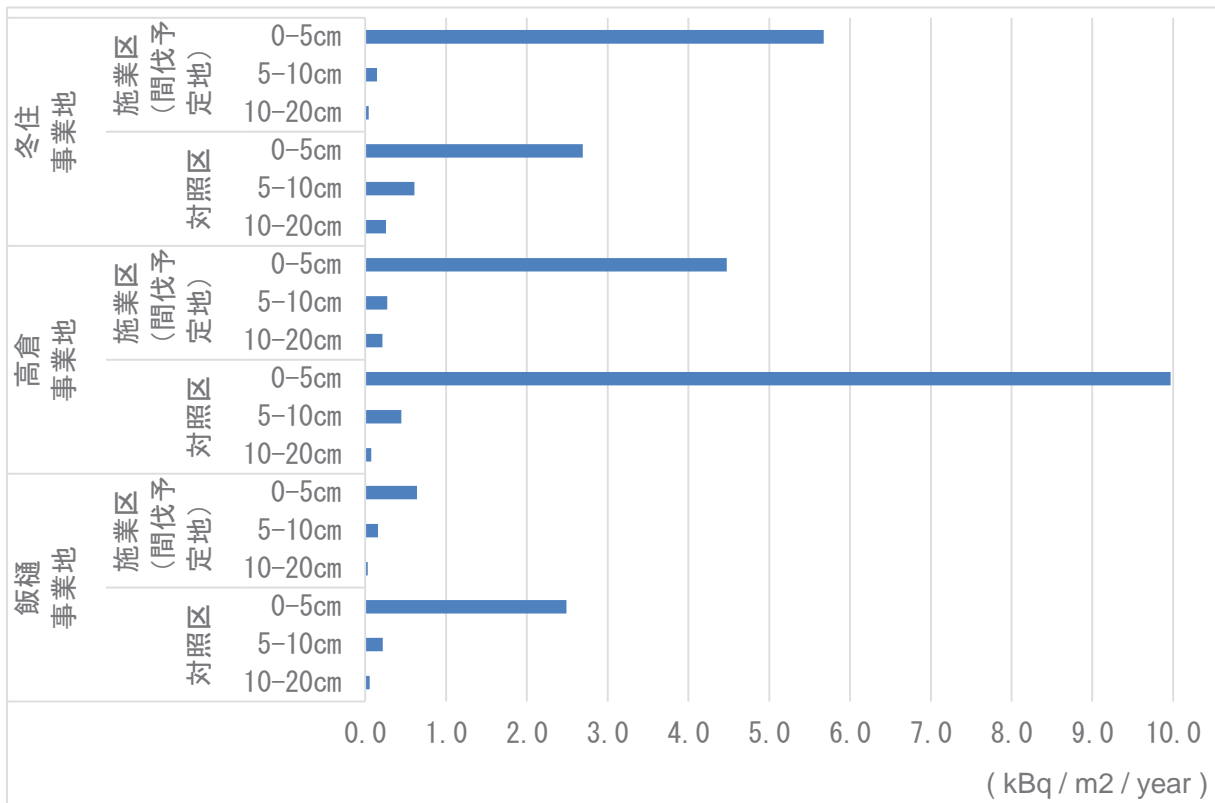


図 4-26 細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間移行量 (kBq/m²/year) (3 点の平均値)

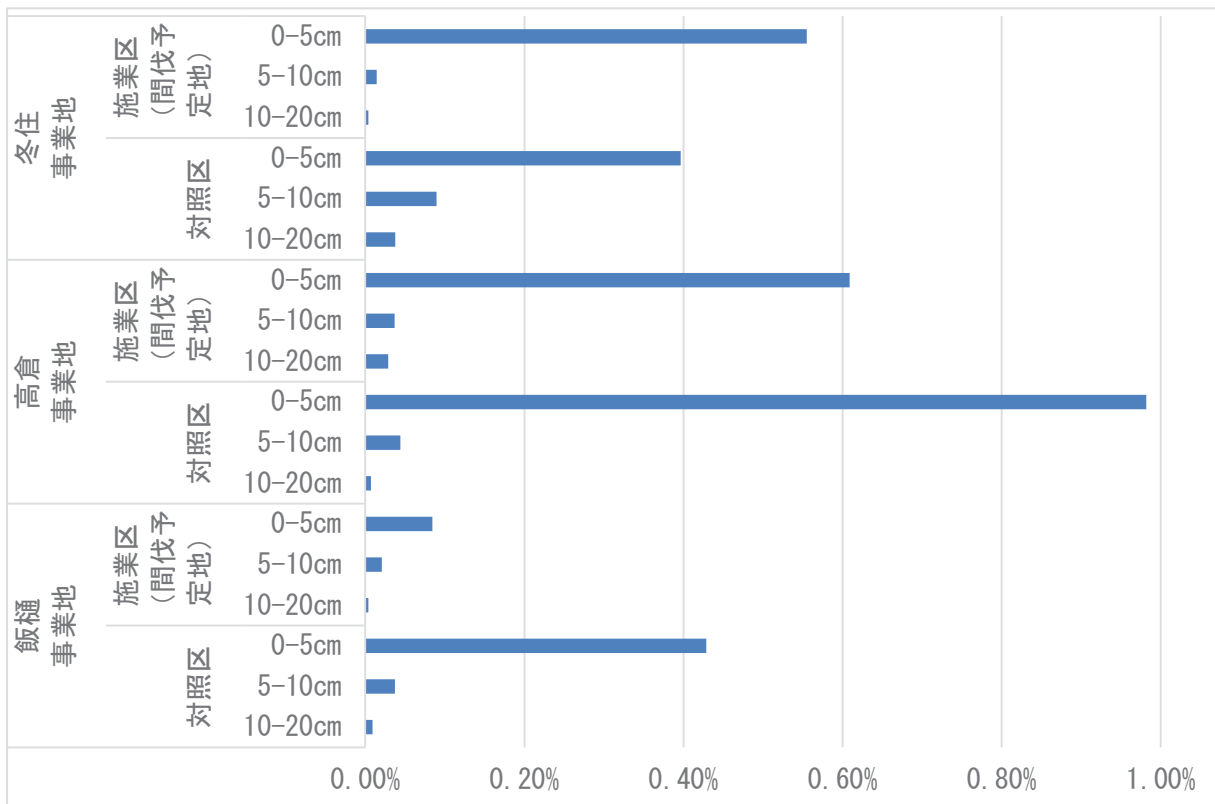


図 4-27 現存量に対する細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間下方移行割合 (3 点の平均値)

4.7. 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、新規試験地の森林施業区及び対照区で実施した。土壌採取地点は施業区及び対照区からそれぞれ2箇所選定した。土壌採取にあたっては、ライシメータ設置箇所から5m程度以内の地表攪乱が見られない箇所を選定した。

試料採取日及び採取地点数を表4-20、試料採取地点を図4-28～図4-30に示す。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15cm×30cm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、0～2cm、2～5cm、5～10cm、10～15cm、15～20cm、20～30cmの6層とした。ただし、一部の試料は、下層の土壌を採取する際に上層の土壌がこぼれ落ちて下層土壌試料に混ざるリスクを軽減する目的から、15～20cmや20～30cmの層において円筒缶を用いて採取した。

採取した試料は、第5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4-20 スクレーパープレート調査実施日等

試験地	試験区別	採取地点数	土壌試料採取日 (令和3(2021)年)	初期沈着量 (kBq/m ²)
南相馬市 2011 林班ち3小班	森林施業区	2	11月15日	720
	対照区	2	11月19日	
南相馬市 2031 林班い小班	森林施業区	2	10月7日	990
	対照区	2	10月7日	
飯館村 2336 林班	の小班	森林施業区	10月8日	900
	ら小班	対照区	10月8日	

※「初期沈着量」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。



堆積有機物層

土壌2cm除去後

土壌30cm除去後

写真4-7 スクレーパープレートによる土壌採取の様子

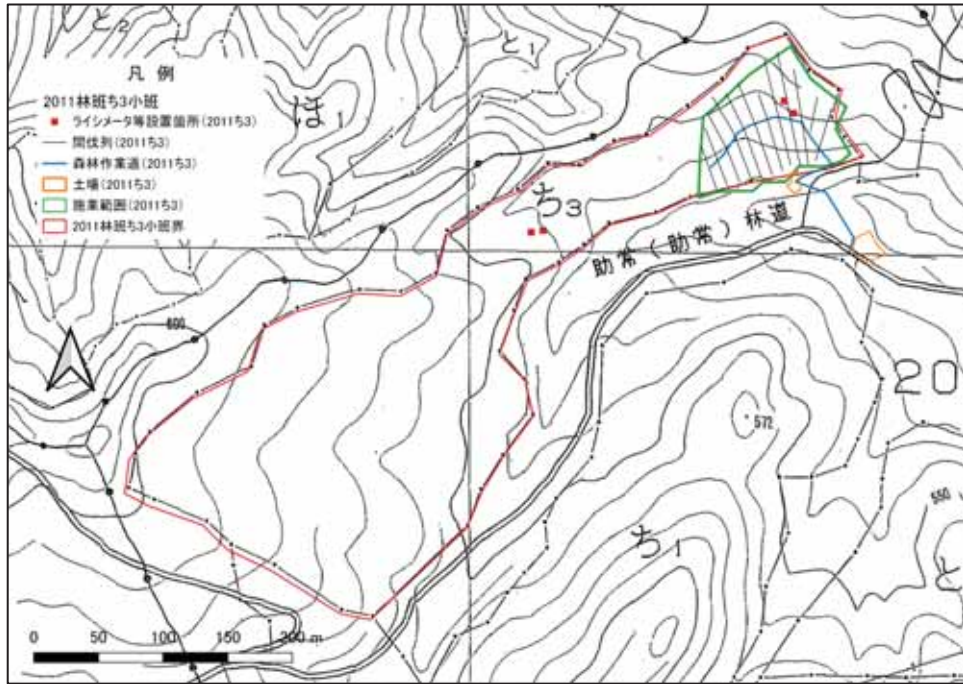


図 4-28 土壌調査箇所位置図 (2011 林班ち 3 小班)

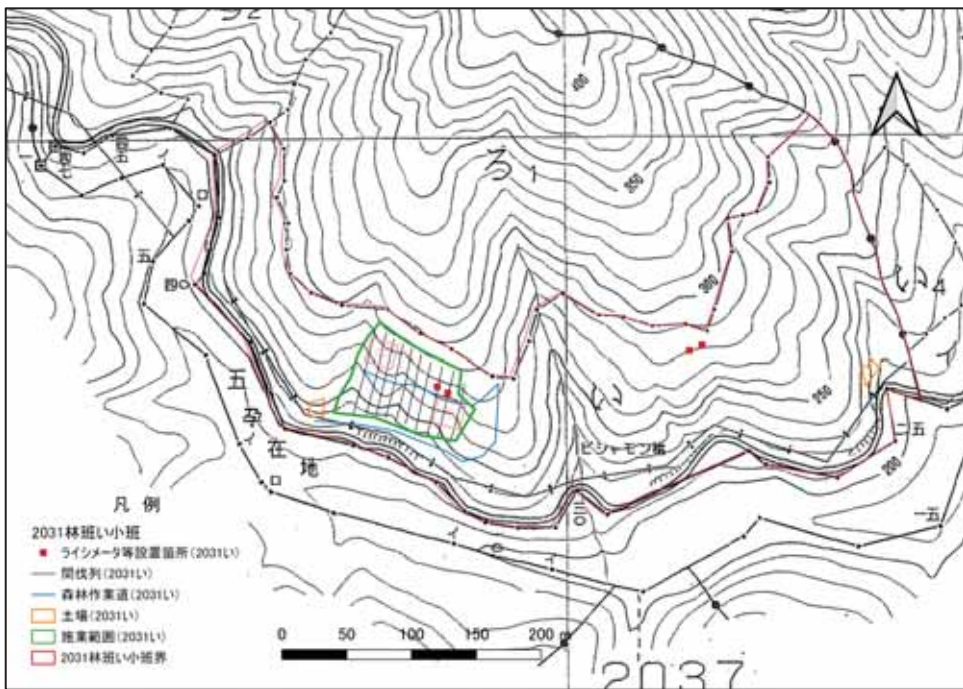


図 4-29 土壌調査箇所位置図 (2031 林班い小班)

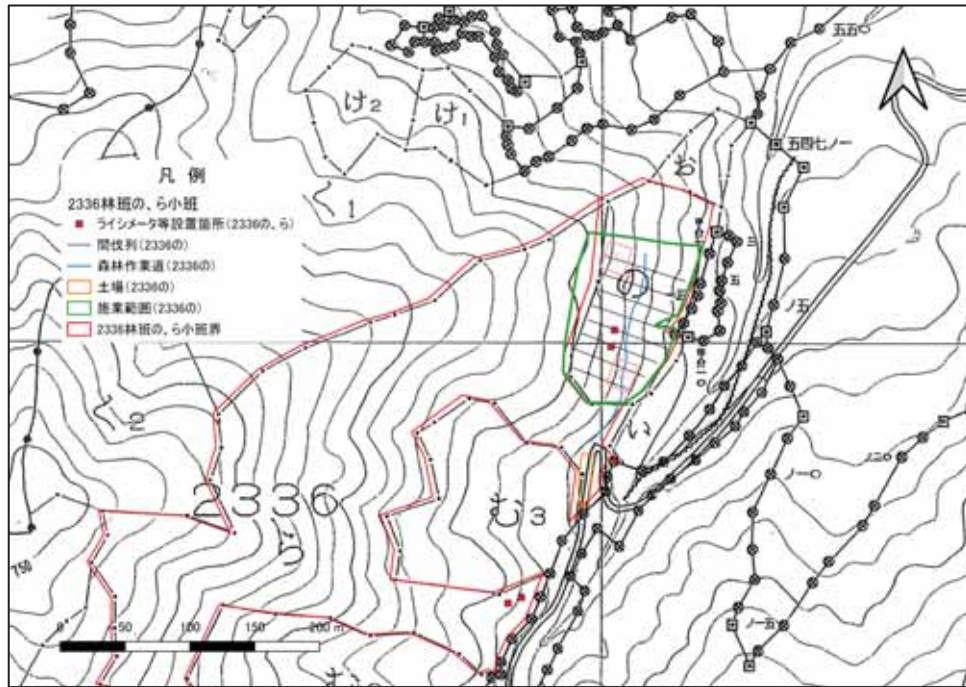


図 4-30 土壌調査箇所位置図（2336 林班の小班及びら小班）

(2) 試験結果

ライシメータ調査箇所における土壌等調査の結果を放射性セシウム濃度に関しては図 4-31～図 4-33 に、放射性セシウム現存量に関しては図 4-34～図 4-36 に整理した。

また、緩衝深度をそれぞれ求め、表 4-21 に整理した。緩衝深度は 2～3cm 台の値が多くみられた。

表 4-21 森林施業区及び対照区における緩衝深度

林小班名	森林施業区	緩衝深度 (cm)	対照区	緩衝深度 (cm)
南相馬市 2011 林班ち 3 小班	森林施業区①	3.84	対照区①	2.74
	森林施業区②	3.90	対照区②	2.77
南相馬市 2031 林班い 1 小班	森林施業区①	3.19	対照区①	3.11
	森林施業区②	3.50	対照区②	3.90
飯館村 2336 林班の、ら 1 小班	森林施業区①	3.73	対照区①	3.12
	森林施業区②	5.61	対照区②	1.99

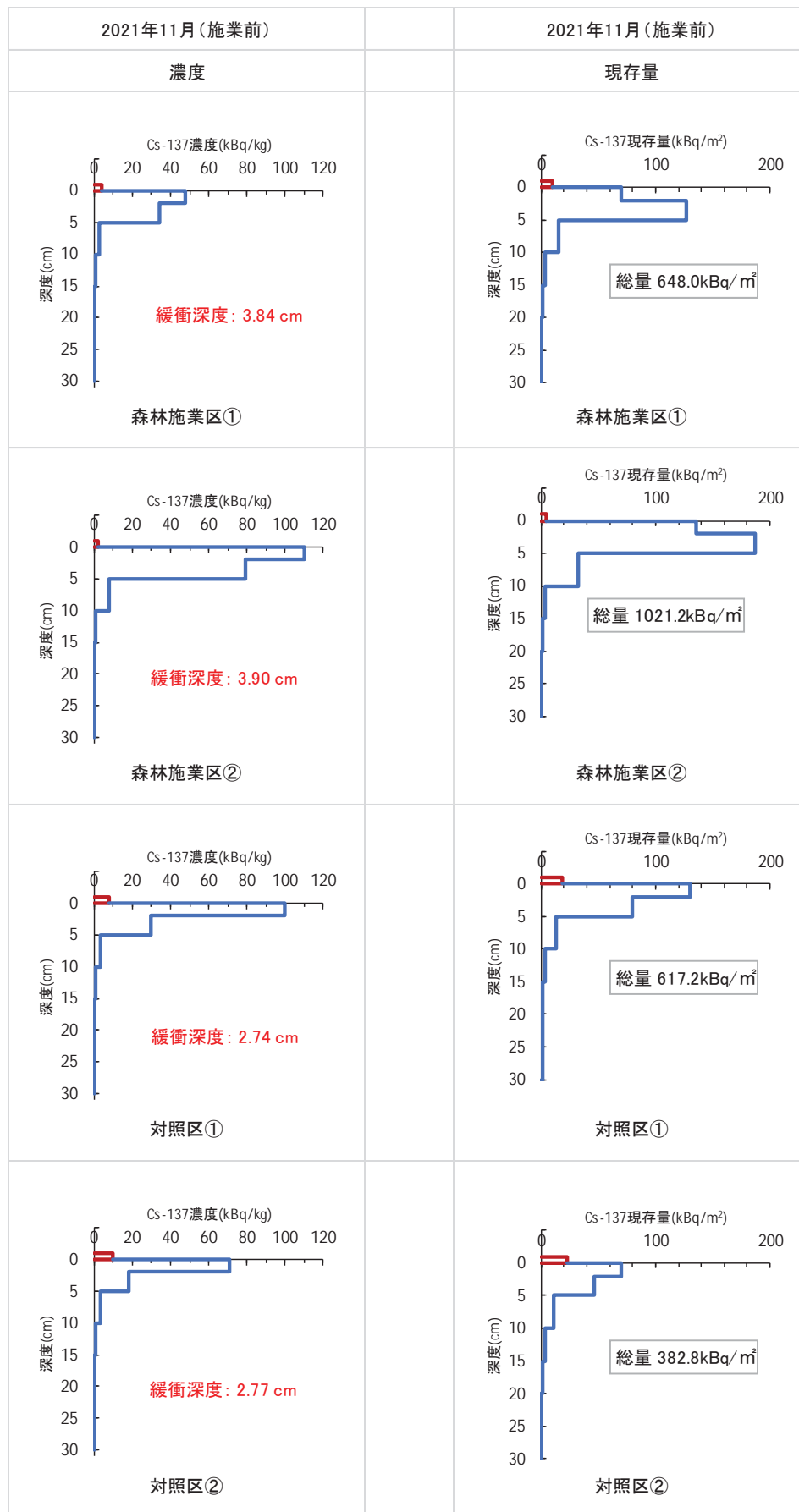


図 4-31 土壤深度別放射性セシウム濃度及び現存量 (南相馬市 2011 林班ち 3 小班)

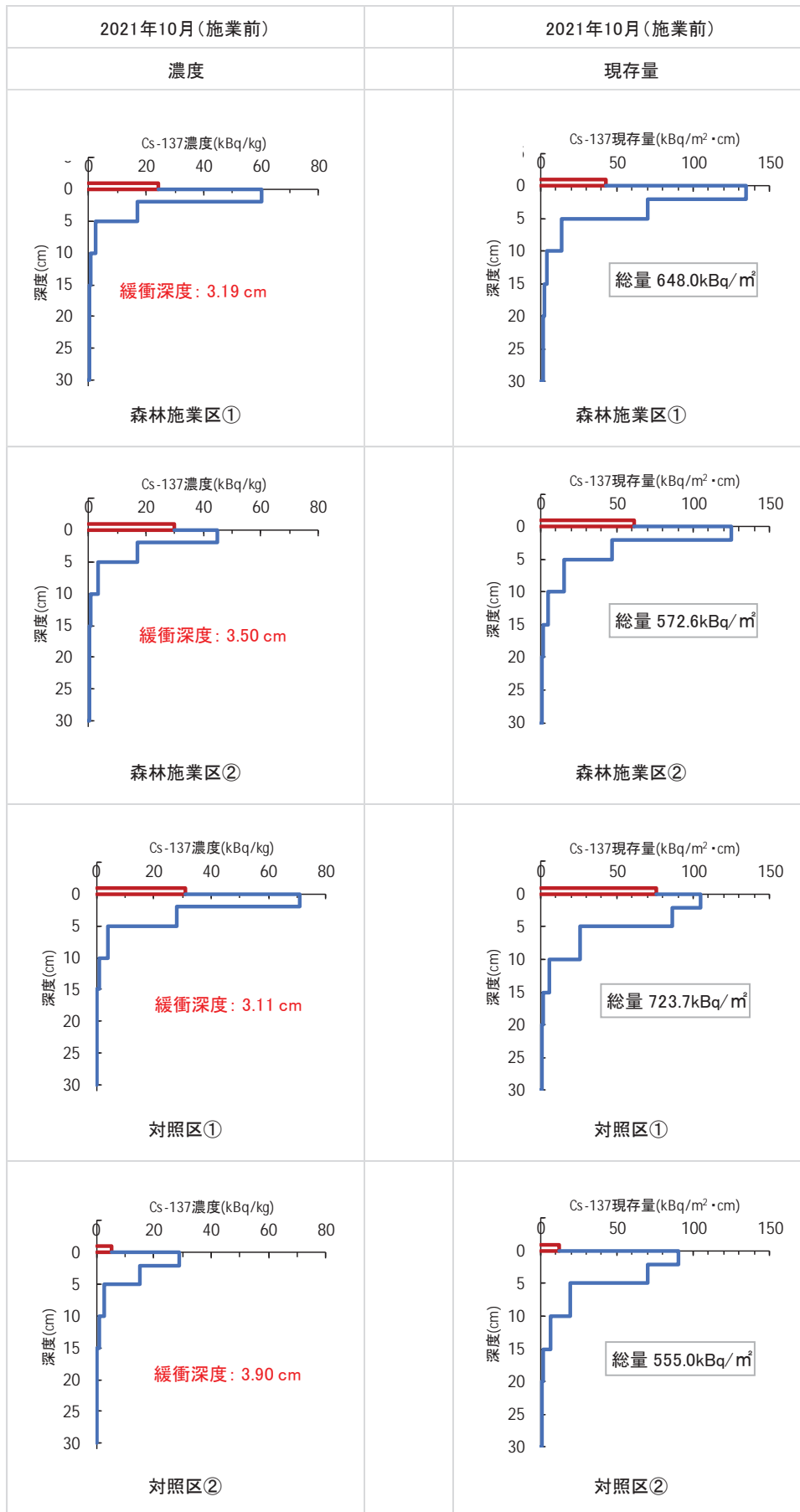


図 4-32 土壤深度別放射性セシウム濃度及び現存量 (南相馬市 2031 林班い小班)

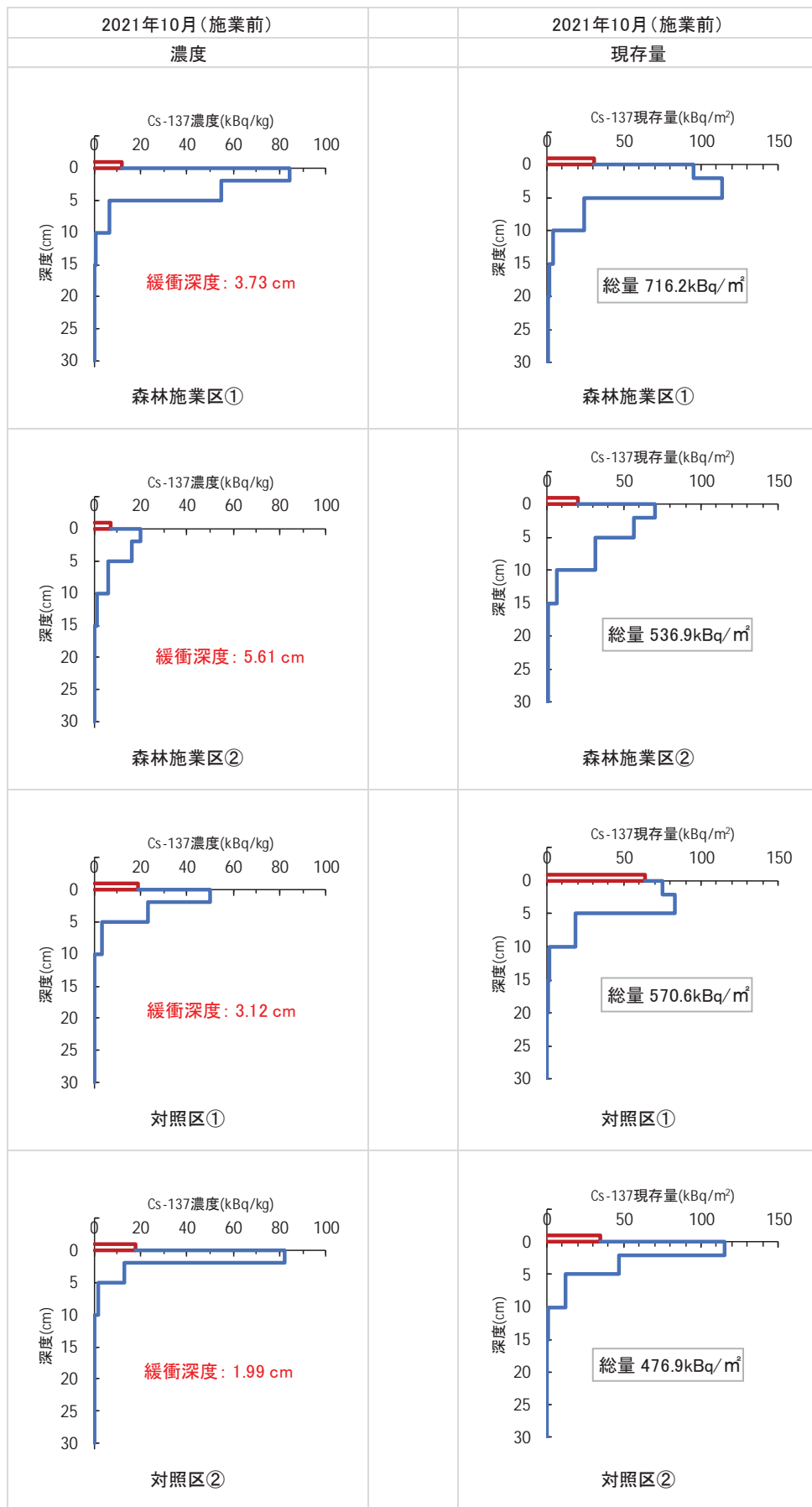


図 4-33 土壤深度別放射性セシウム濃度及び現存量 (飯館村 2336 林班の、ら小班)

4.8. 空間線量率の測定

(1) 試験方法

本調査は、新規試験地の森林施業区及び対照区で実施した(図 4-34～図 4-36)。森林施業区の空間線量率測定点は、試験区内に 20m 毎に設定した格子点とした。対照区については、毎木プロット調査の方形区上に 9 点設定した。いずれも測定点には今後のモニタリングが可能になるよう杭を打設した。

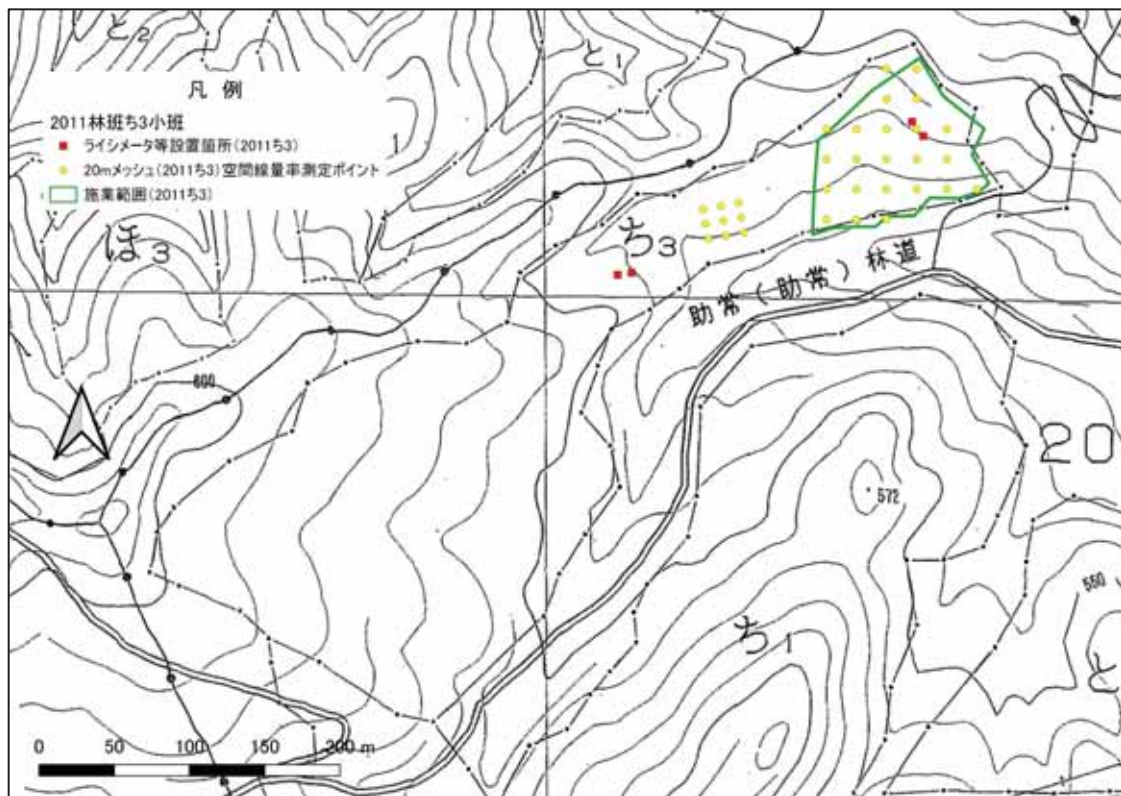


図 4-34 空間線量率測定点 (2011 林班ち 3 小班)

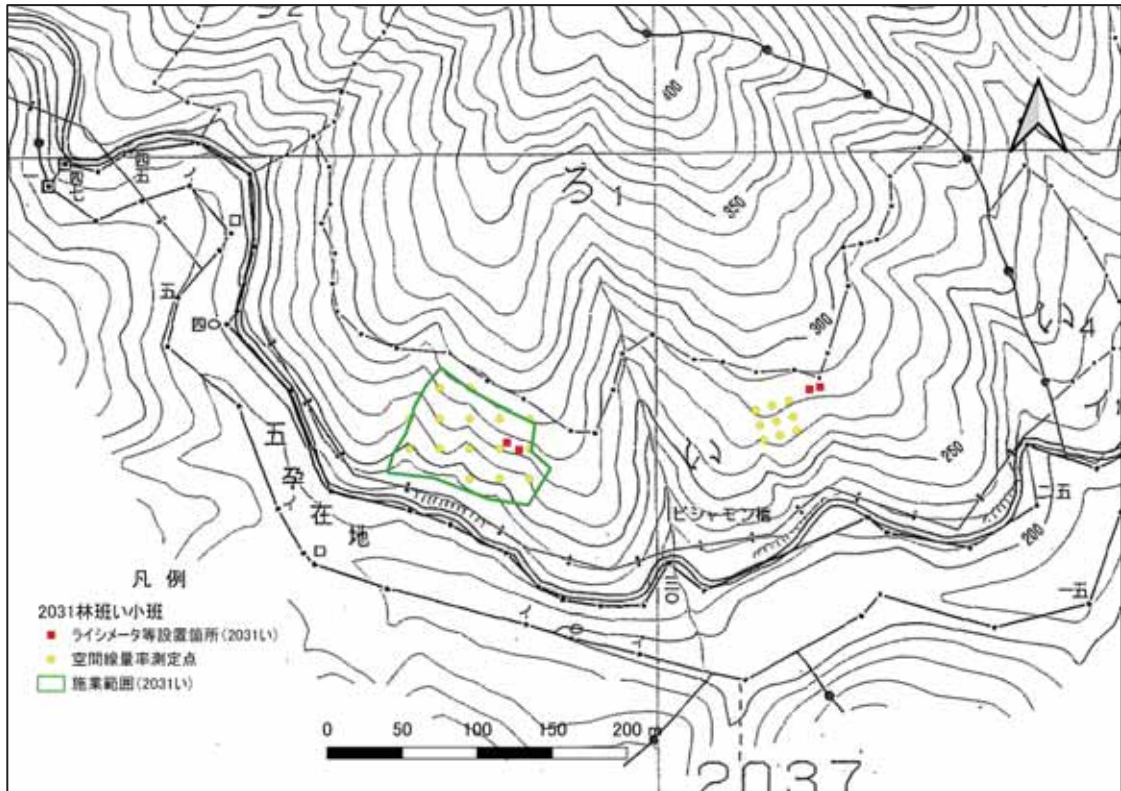


図 4-35 空間線量率測定点 (2031 林班い小班)

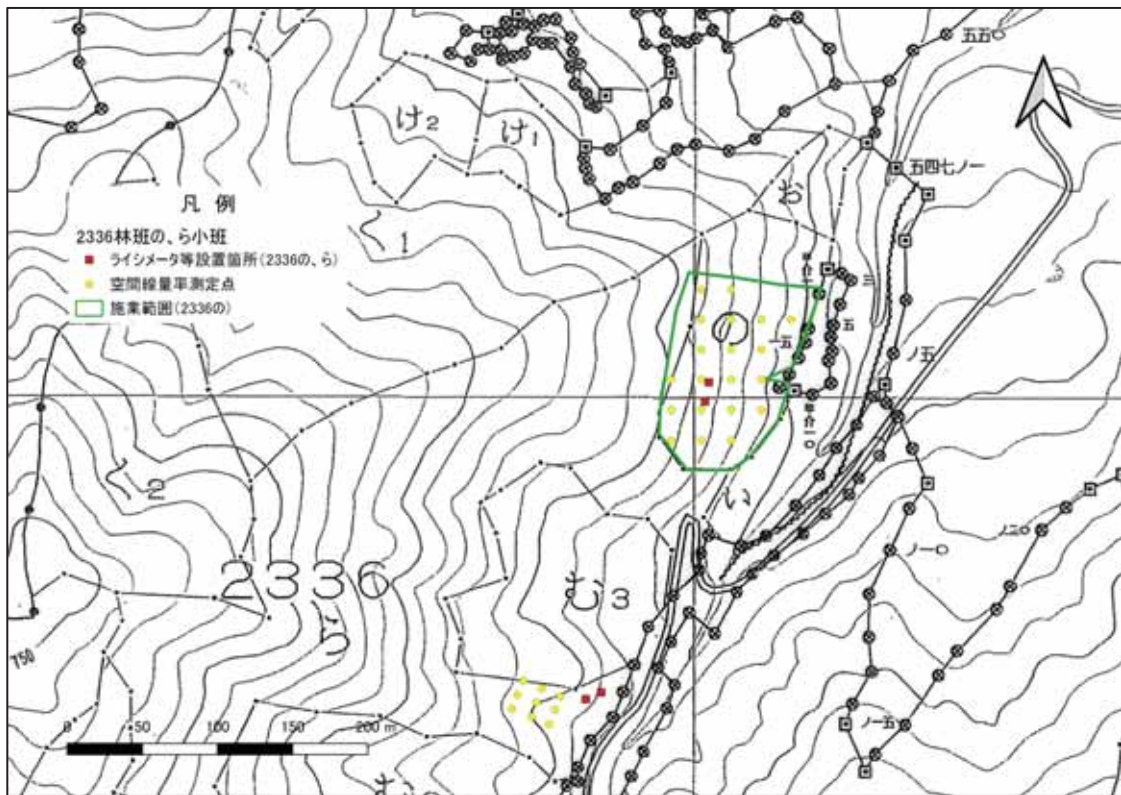


図 4-36 空間線量率測定点 (2336 林班の小班及びら小班)

(2) 調査結果

試験区別の空間線量率の測定結果を表 4-22、図 4-37 に示す。

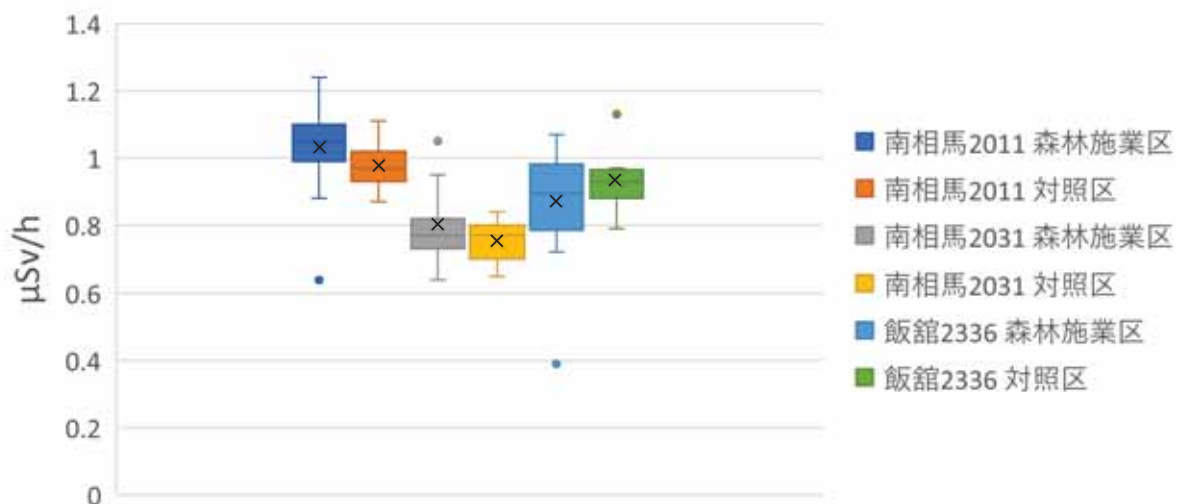
試験区別にみると、若干大きく外れた値がみられるものの、概ね平均値の $\pm 0.2\mu\text{Sv/h}$ 以内に測定値が収まっている。

表 4-22 調査地の空間線量率

樹種	林小班名 (市町村名)	測定日	種別	空間線量率※1 ($\mu\text{Sv/h}$)	初期沈着量※2 (kBq/m^2)
スギ	2011 林班ち3小班 (南相馬市)	2021年 12月7日	森林施業区 (測定点数 n=23)	1.03	720
		2021年 12月7日	対照区 (測定点数 n=9)	0.98	
	2031 林班い小班 (南相馬市)	2021年 12月15日	森林施業区 (測定点数 n=15)	0.80	990
		2021年 12月15日	対照区 (測定点数 n=9)	0.75	
	2336 林班の小班 2336 林班ら小班 (飯館村)	2021年 12月7日	森林施業区 (測定点数 n=20)	0.87	900
		2021年 12月7日	対照区 (測定点数 n=9)	0.93	

※1 空間線量率の値は平均値

※2 文部科学省 放射線量等分布マップ (平成 23 年 7 月 22 日時点)



※箱ヒゲに関しては、巻末の「解釈に関する補足・用語解説」(2) グラフ図示方法 (箱ひげ図) を参照のこと。

※×印は平均値を示す。

図 4-37 試験区別の空間線量率比較

5. 調査・分析方法

調査・分析方法は以下を基本とし、検討委員会の指導・助言を得て実施した。

5.1. 空間線量率等の測定

空間線量率及び放射線量 (cpm) の測定は、「放射線測定に関するガイドライン (文部科学省、日本原子力開発機構 平成 23 年 10 月 21 日)」に基づき、校正済みの NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータ及び GM 管式サーベイメータを用いて行った。なお、測定値の信頼性を確保するため、測定時には、同ガイドラインで定められた時定数 (10 秒) の 3 倍にあたる 30 秒以上はサーベイメータの検出部を静置した。

また、測定時に積雪がある場合及び雨天時には測定を延期した。既設測定点の木杭またはプラスチック杭が消失している場合には、左右前後に残された杭から再計測して測定点を再現し、測定を継続した。その際、杭の再設置も行った。毎回の測定時に各測定点の周囲状況をデジタルカメラで記録し、必要が生じた際にはいつでも確認できるようにした。

空間線量率の測定結果は測定後速やかに整理し、測定値の異常が疑われる場合には現地の状況の再確認等を行った。

5.2. 放射性セシウム濃度の測定

【対象】

固体試料 (堆積有機物・土壌、土砂等、リターフォール、植物体)

【前処理】

試料は、湿重量を計測した後、乾燥機を用いて 105°C で乾燥し、絶乾重量を計測した。次に、粉碎器等で 4mm 以下に粉碎した。破碎した試料は、均質とした後、分取し、専用治具を用いて U-8 容器に充填した後、重量等 (供試重量、充填高さ等) を測定した。

【測定】

ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリ法 (以下「ガンマ線スペクトロメトリ法」という。) により放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) を定量し、単位試料重量当たりの放射性セシウム濃度 (Bq/kg) を求めた。

解釈に関する補足・用語解説

(1) 放射性物質の単位

放射性物質が放射線を出す能力の強さを表す単位をベクレル (Bq) という。

一方、人体が受けた放射線による健康影響と関連づけられた被ばく線量を表す単位としては、シーベルト (Sv) が用いられる。

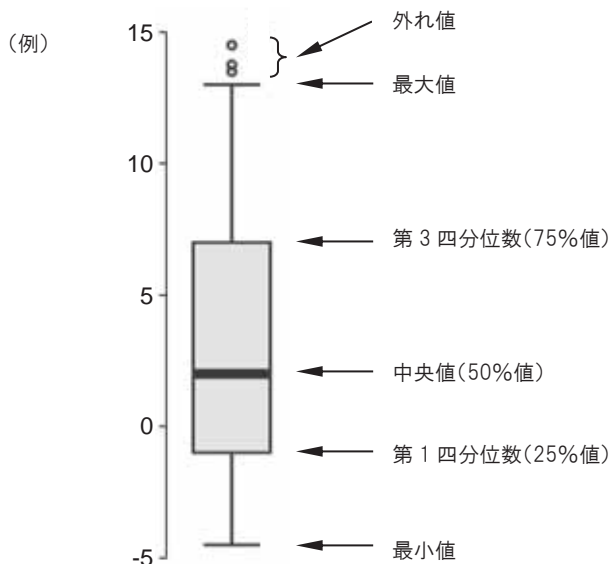
放射性物質の量を扱う上では、「重さとしての情報」と「面としての情報」の2種類の扱いがある。前者は、物質の単位重量当たりの放射エネルギーであり、「放射性物質濃度」を指す。単位は [Bq/kg] を用いる。後者は、単位面積当たりの総放射エネルギーであり、「放射性物質現存量」「放射性物質沈着量」を指す。「インベントリー (Inventory)」と表現することもある。単位は [Bq/m²] を用いる。

(2) グラフ図示方法 (箱ひげ図)

箱ひげ図：データのばらつきをわかりやすく表現するための統計図。データの分布を視覚的に要約し、比較するために用いる (e.g. 箱が大きい=ばらつきが大きい、など)。

四分位：データを大きさの順に並べて、四等分したときの3つの区切りの値を示す。大きさの順に並べたときに下から25%・50%・75%に位置する値のことを第1四分位数・第2四分位数 (中央値)・第3四分位数と言う。

外れ値：統計的に他の値から大きく外れた値。測定ミス等、原因がわかっているものは「異常値」であり、それとは異なる。外れ値であるか否かについて、有意水準を設けて検定した上で取り扱う必要がある。簡便な方法として、 $\mu \pm 3\sigma$ (μ : 平均値、 σ : 標準偏差) より外側の値を外れ値とする方法がある。本報告書 (2章) では、正分布を前提としない基準 (第3四分位数 + (第3四分位数 - 第1四分位数) $\times 1.5$ を上回る値、または、第1四分位数 - (第3四分位数 - 第1四分位数) $\times 1.5$ を下回る値) を用いた。



(3) 平均値

一般的には算術平均値を用いるが、算術平均値は、大きな値があるとそれに引きずられて大きくなりがちである。放射性物質濃度等、データの分布が対数正規分布と見込まれるものについては、幾何平均値を用いる場合がある。IAEA Technical Documents (IAEA-TECDOC)等をはじめとして、本分野においては上記の扱いが多くみられる。

本報告書では、土壌や植物体の試料に含まれる放射性セシウム濃度等の平均値を算出する際に幾何平均値を用いたものがあり、幾何平均値を用いた場合には、図表に注釈を加えた。

一般に平均と呼ばれる算術平均が、和の平均

$$(x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n)/n \quad \text{であるのに対し、}$$

幾何平均は、相乗平均（相乗積の n 乗根）であり、

$$\sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times x_3 \dots \times x_n} \quad \text{である。}$$

(4) 緩衝深度

緩衝深度は放射性物質濃度が地表面の $1/e$ ($\approx 1/2.7$) になる深度で、放射性物質の地中への移行の程度を表すパラメータとして用いられるものである。森林土壌中の放射性セシウム濃度分布を指数関数分布と仮定して、各調査箇所放射性セシウムの深度分布特性（緩衝深度： β ）について、計測された土壌深度分布を基に、各層の放射性物質濃度で重み付けをした最小自乗法により緩衝深度（cm 単位）を算出した。

なお、本事業では、緩衝深度の計算に、落葉層を含めていない。緩衝深度 β を決定するための式は次のとおりである。

$$A(t) = A_0 \cdot \exp\left(\frac{-t}{\beta}\right)$$

A_0 は地表面における放射性物質濃度、 $A(t)$ は深度 t における放射性物質濃度である。