

4. 森林内の放射性物質の移動（下方浸透）の検証

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・5cm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）、d:空間線量率の変動の把握）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とともに空間線量率の変動状況についても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。

今年度（令和4年度）は令和3年度に引き続き、森林施業実施前のデータを取得するとともに、年度後半に森林施業を実施した。なお、森林施業後のモニタリング用機器の設置は令和5年度事業において実施予定である。

4.2. 事業地の概要

本調査は以下の3箇所の国有林の林小班を事業地として実施した（表 4-1、図 4-1～図 4-4）。

表 4-1 事業地一覧

事業地名	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 ($\mu\text{Sv/h}$)	初期沈着量※4 (kBq/m^2)
冬住 事業地	南相馬市 和田城 2011ち3	間伐区 及び 対照区	スギ	37	7.50	0.96	720
高倉 事業地	南相馬市 国見 2031い	間伐区 及び 対照区	スギ	54	7.94	0.9	990
飯樋 事業地	飯舘村 花塚山 2336の	間伐区	スギ	55	1.24	0.9～1.1	900
	飯舘村 花塚山 2336ら	対照区	スギ	64	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）

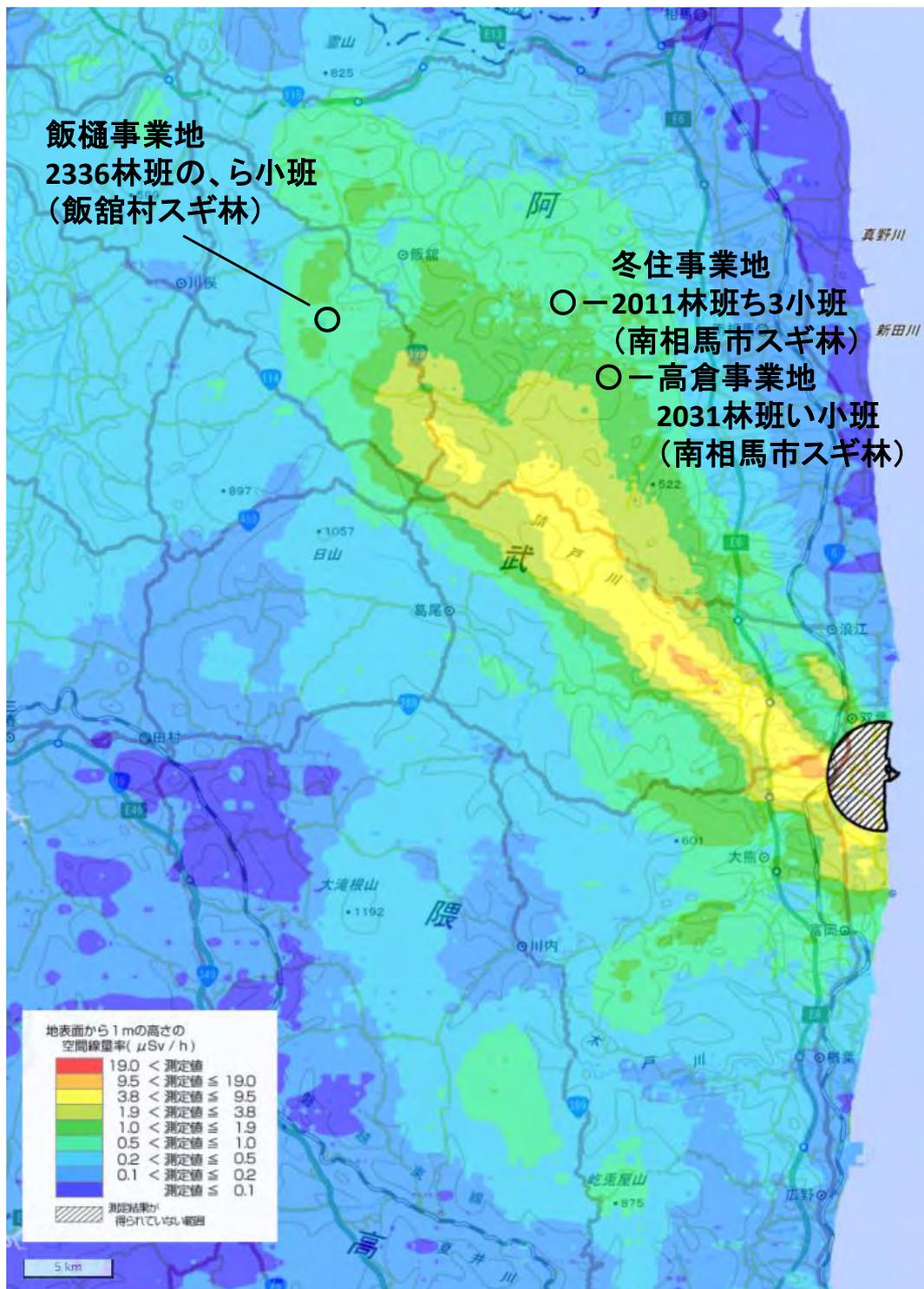


図 4-1 調査対象地の空間線量率(航空機モニタリング)

※ 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)

※ ○は事業地位置。

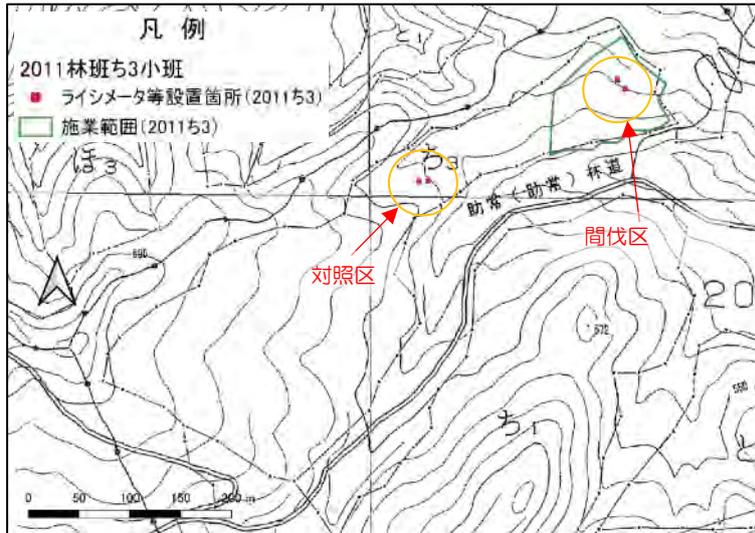


図 4-2 間伐区と対照区 (冬住事業地_2011 林班ち3 小班)

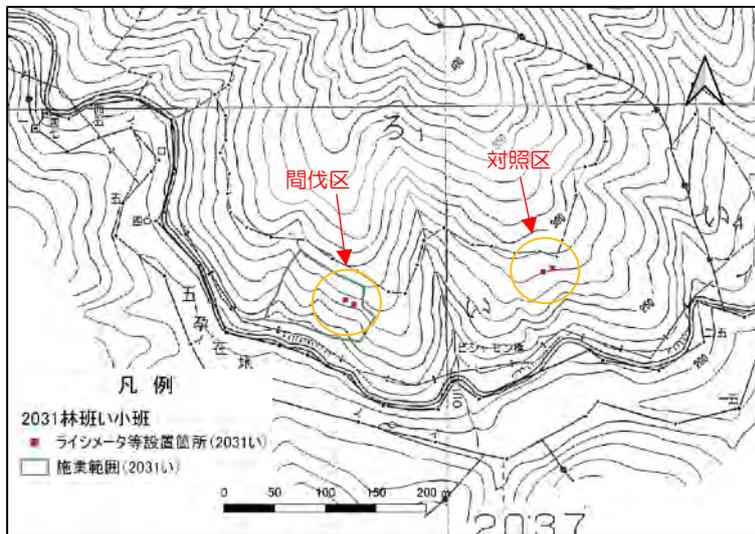


図 4-3 間伐区と対照区 (高倉事業地_2031 林班い 小班)

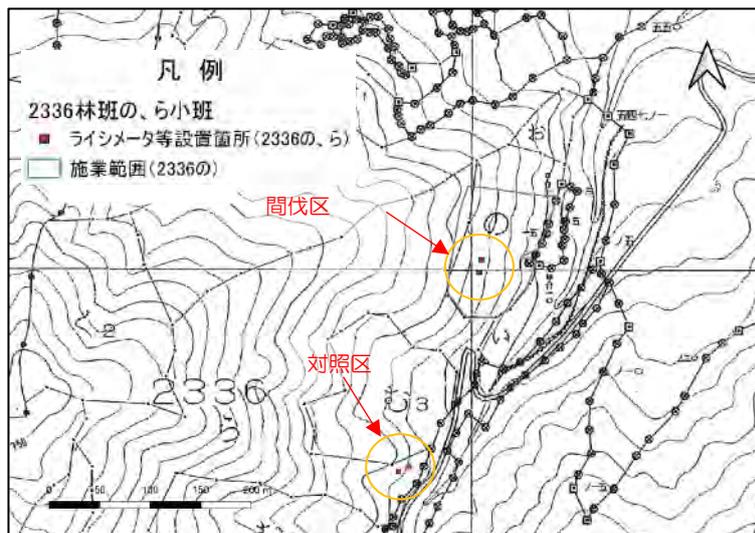


図 4-4 間伐区と対照区 (飯樋事業地_2336 林班の 小班及びら 小班)

4.3. 事業地の選定

(1) 事業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林床に降下し、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推察される。

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ことが期待される。

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つが推測される。

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、間伐区と対照区を設定することとした（図 4-5）。設定に当たっては、同一林小班内、もしくは隣接する2小班において、間伐区と対照区を設けることを想定した。また、間伐区は面積 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、間伐区からは数 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。

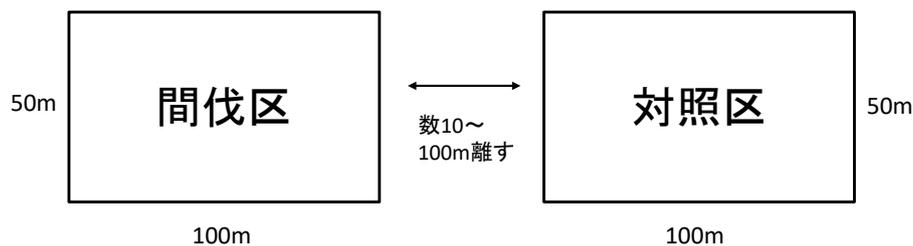


図 4-5 試験区設定イメージ

新規試験では、森林施業を実施する前年度に、間伐区、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。

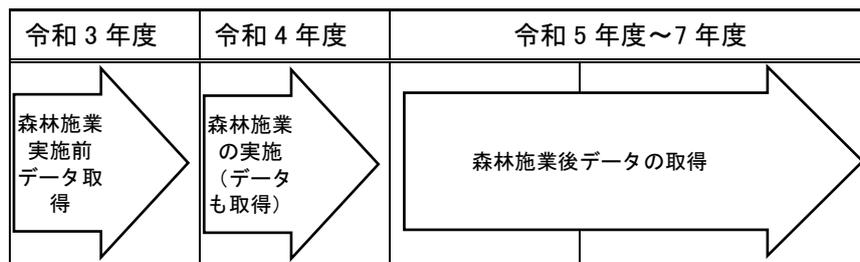


図 4-6 試験スケジュール概要

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) 事業地選定条件

以上の考え方や調査設計を基に、机上調査により事業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令和 3 年度に行い、表 4-1 の事業地を選定した。

表 4-2 事業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、土壌中の団粒状構造(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事業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。
事業地へのアクセス	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。

4.4. 森林施業の実施

(1) 森林施業内容の概要

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した。

具体的には、以下の方法で実施した。

①間伐方法は列状間伐とする。

②伐採は 3 伐 6 残とし、列が明瞭でない場合は、伐採列幅を 5.4m、残存列幅を 10.8m（1 列を 1.8m として計算）と想定して伐採する。

③森林作業道を作設する。

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を基本とし、作業道近くの伐採木はグラップルで、作業道からグラップルが届かない箇所の伐採木についてはウインチ引きで実施する。

搬出型の間伐を実施するにあたっては 2 伐 4 残の列状間伐が一般的に選ばれる方法であるが、本事業の目的に沿ったものとするため、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、伐採幅が広がる 3 伐 6 残で実施することとした。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) 森林施業内容

1) 森林施業範囲

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考慮した。

表 4-3 森林施業実施面積等

市町村名	事業地名	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
飯舘村	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。

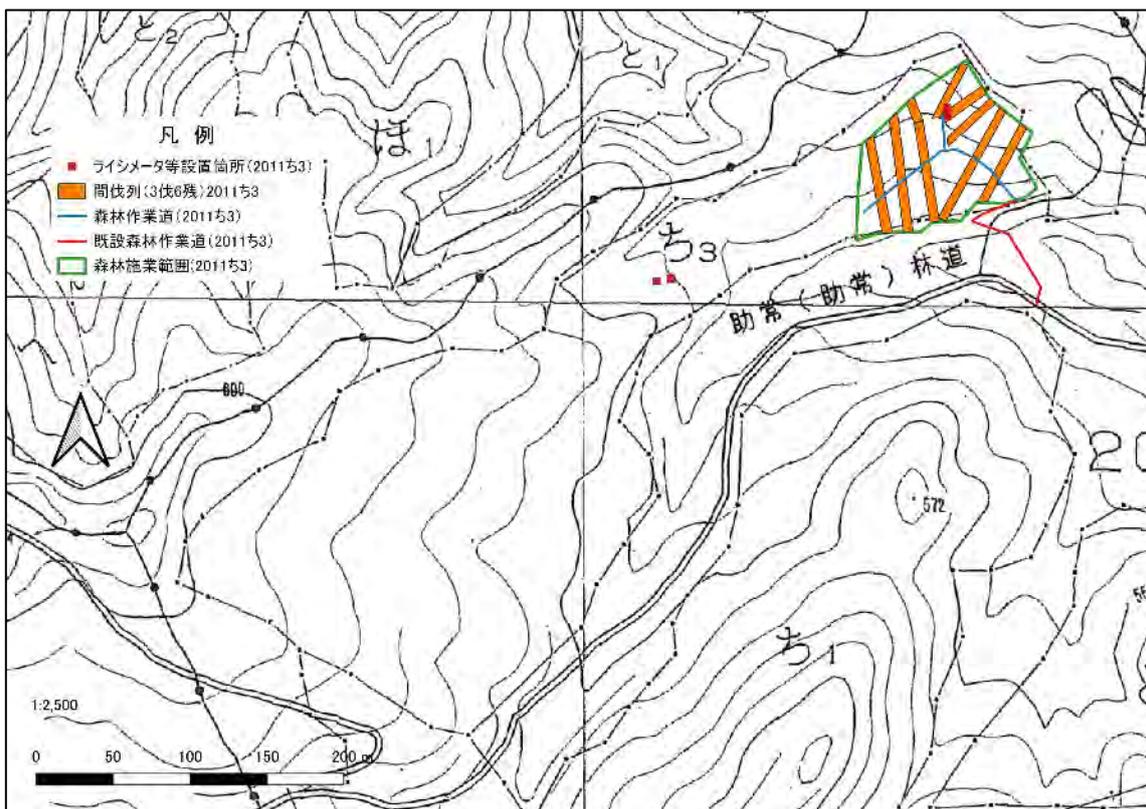


図 4-7 森林施業範囲及び森林作業道 (冬住事業地_2011 林班ち3 小班)

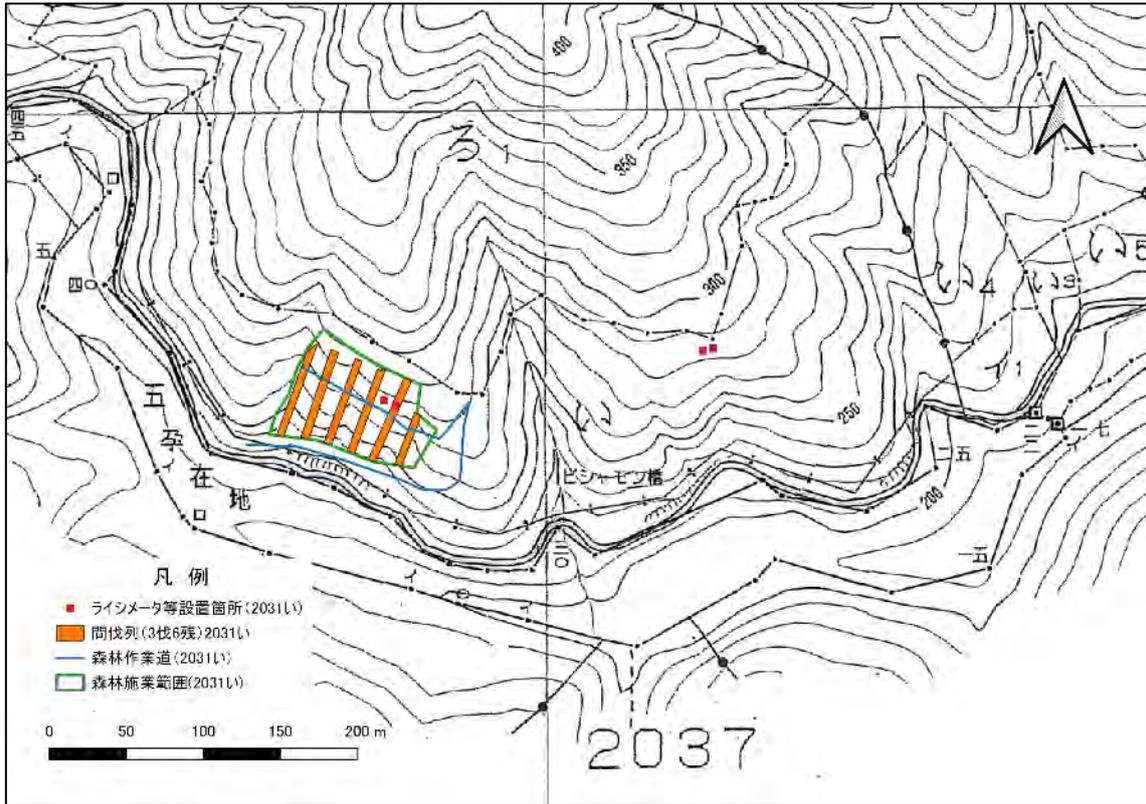


図 4-8 森林施業範囲及び森林作業道 (高倉事業地_2031 林班い小班)

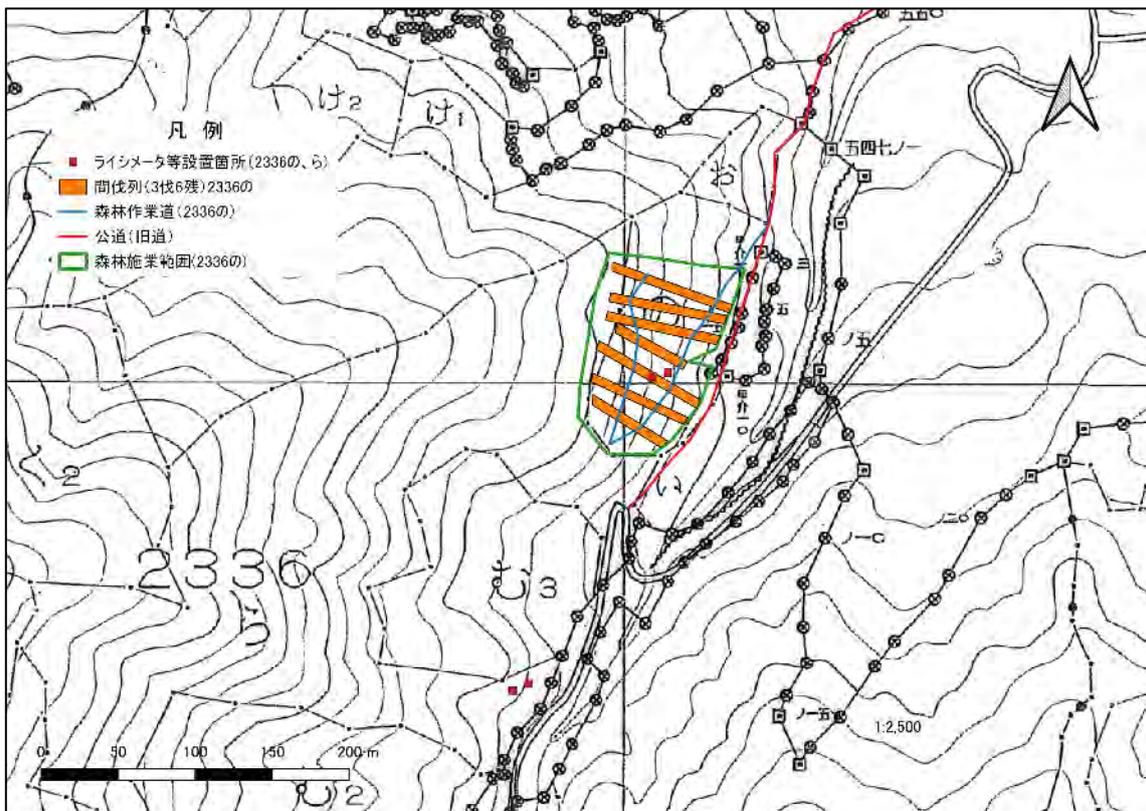


図 4-9 森林施業範囲及び森林作業道 (飯樋事業地_2336 林班の小班)

2) 標準地調査（令和3年度実施内容再掲）

標準地調査は、令和3年度の本事業において、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4-4）。プロットは間伐区域の代表的な林況と考えられる箇所に設定しプロット内の胸高直径5cm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間伐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間伐区域内の本数や材積は表4-5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4-6に示した。2011林班ち3小班の間伐区域0.85haの総材積は752.7m³となり、列状間伐材積251.2m³を計画した。2031林班い小班の間伐区域0.57haの総材積は346.3m³となり、列状間伐材積114.7m³を計画した。2336林班の小班の間伐区域0.99haの総材積は671.2m³となり、列状間伐材積219.7m³を計画した。

表 4-4 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
冬住事業地	2011 ち 3	スギ	400	18.5×21.6	2 区画
高倉事業地	2031 い	スギ	400	18.5×21.6	2 区画
飯樋事業地	2336 の	スギ	400	18.5×21.6	2 区画

表 4-5 標準地調査結果（間伐区域の立木本数及び材積等）

事業地名 林小班	樹種	間伐区域 面積 (ha)	作業種	間伐区域 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)	材積 伐採率 (%)
冬住事業地 2011 ち 3	スギ	0.85	列状間伐 (搬出)	1,849	649	752.7	251.2	33.3
高倉事業地 2031 い	スギ	0.57	列状間伐 (搬出)	1,874	595	346.3	114.7	33.1
飯樋事業地 2336 の	スギ	0.99	列状間伐 (搬出)	903	300	671.2	219.7	32.7

表 4-6 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	間伐区域 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)	材積 伐採率 (%)
冬住事業地 2011 ち 3	スギ	0.85	列状間伐 (搬出)	2,175	763	885.5	295.5	33.3
高倉事業地 2031 い	スギ	0.57	列状間伐 (搬出)	3,287	1,043	607.5	201.2	33.1
飯樋事業地 2336 の	スギ	0.99	列状間伐 (搬出)	912	303	678.0	221.9	32.7

表 4-7 標準地調査結果（立木の平均直径及び樹高等）

事業地名 林小班	樹種	間伐区域 面積 (ha)	作業種	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)
冬住事業地_2011 林班ち3 小班	スギ	0.85	列状間伐(搬出)	21.8	18.8
高倉事業地_2031 林班い 小班	スギ	0.57	列状間伐(搬出)	17.2	14.2
飯樋事業地_2336 林班の 小班	スギ	0.99	列状間伐(搬出)	27.1	20.8

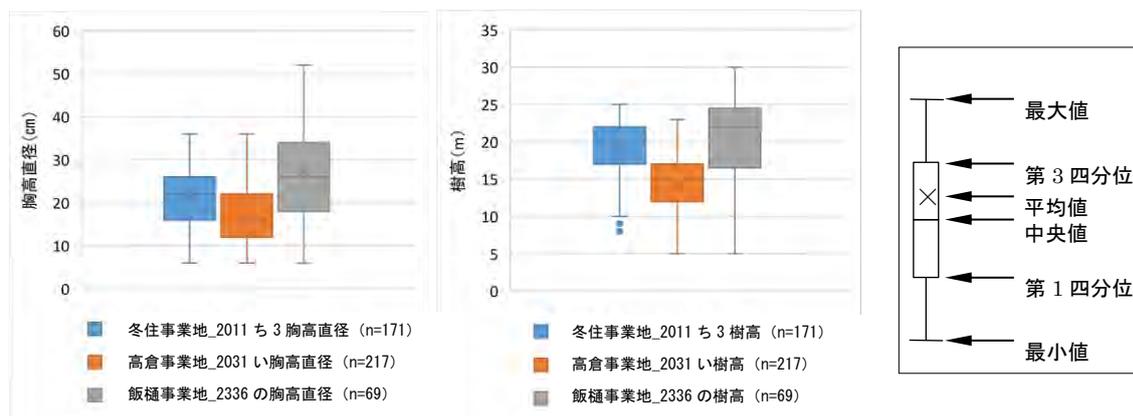


図 4-10 標準地内立木の胸高直径（左図）と樹高（右図）分布

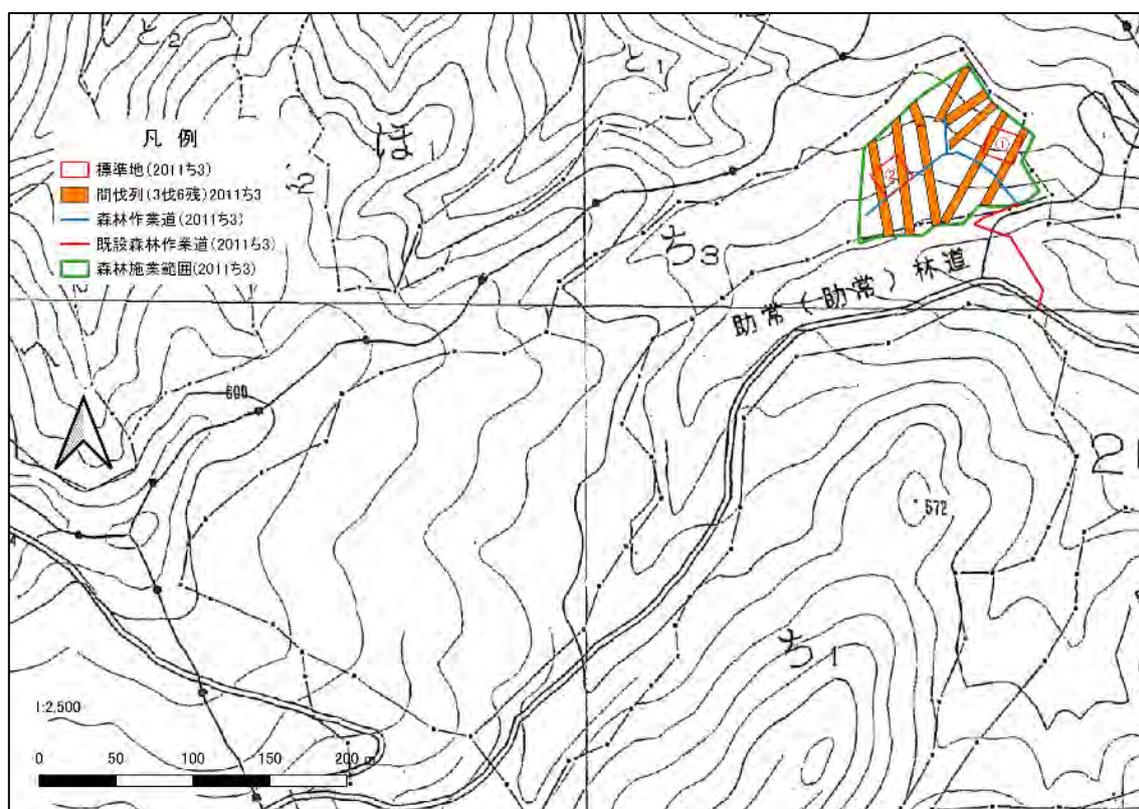


図 4-11 標準地位置図（冬住事業地_2011 林班ち3 小班）

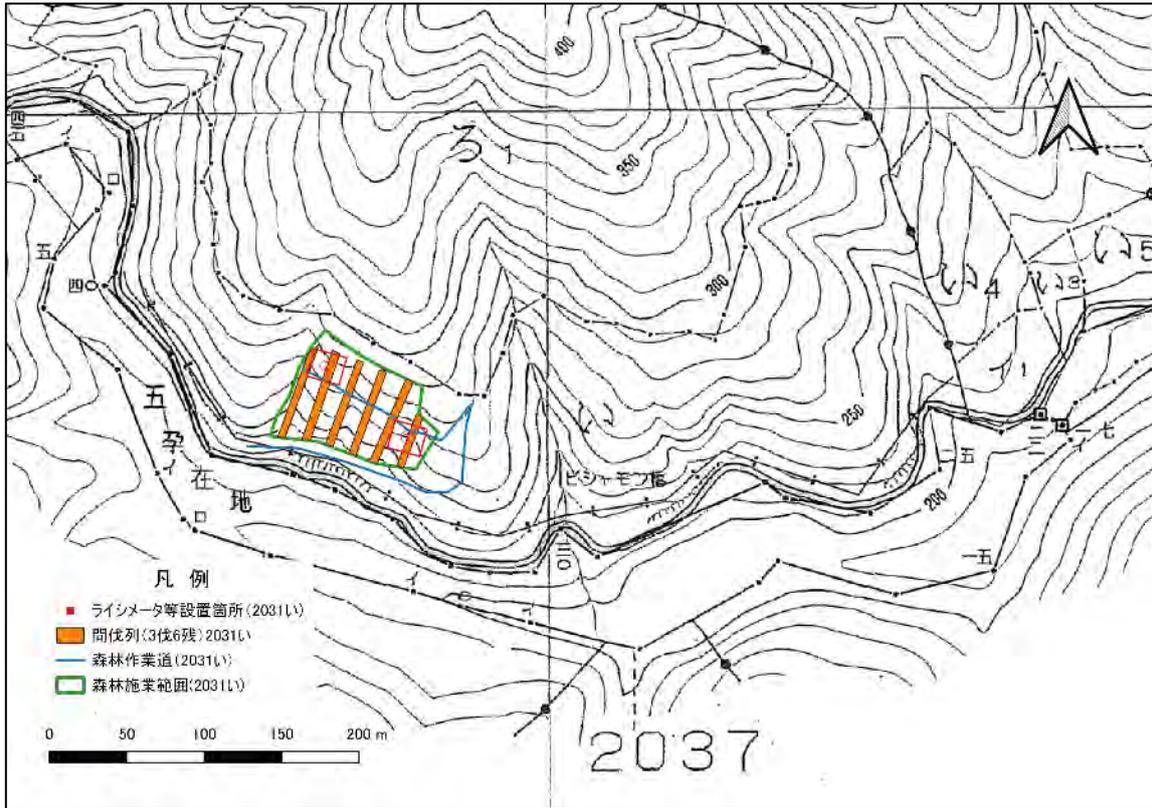


図 4-12 標準地位置図 (高倉事業地_2031 林班い小班)

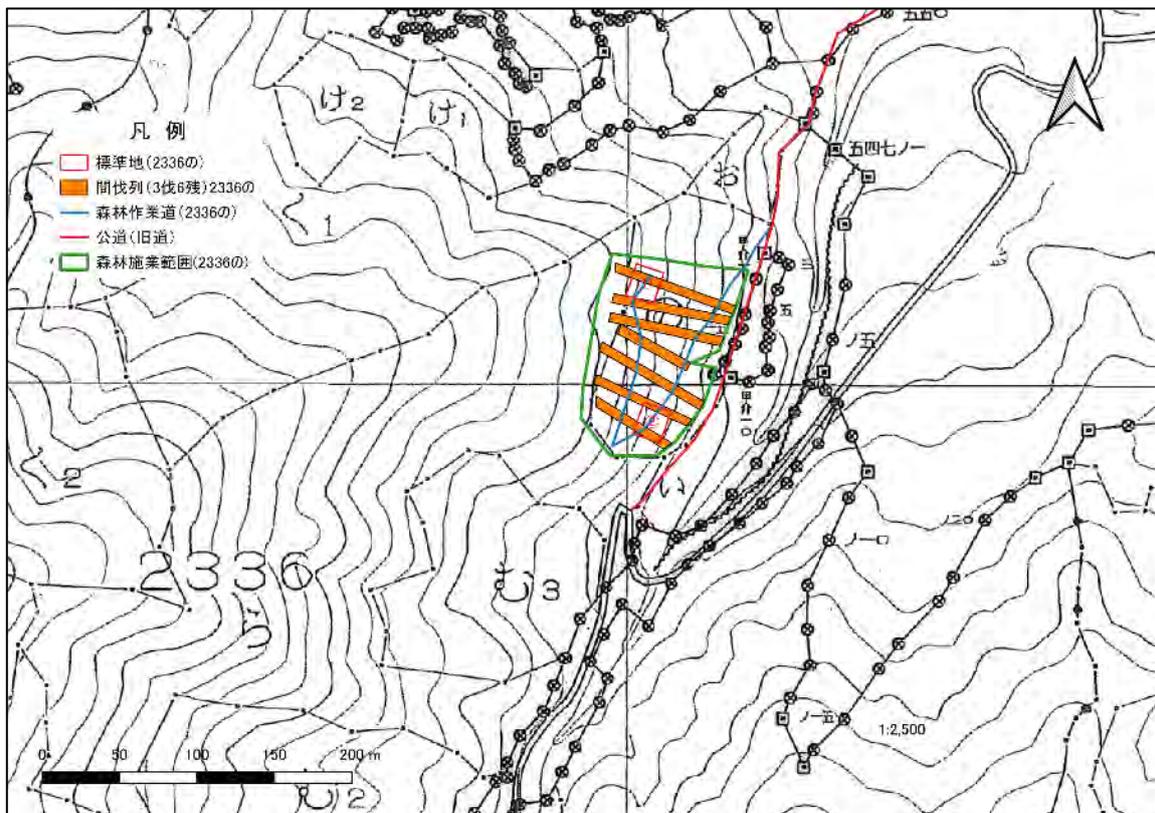


図 4-13 標準地位置図 (飯樋事業地_2336 林班の小班)

3) 森林施業の実施

森林施業は大まかに分けて、①森林作業道の作設、②伐採、③集材、④造材、⑤運材・はい積みの順で実施した。

森林施業の実施にあたっては、写真 4-1 に示す重機を使用した。

森林施業実施期間（作業道作設開始を始まりとして事業地からの運材終了まで）は、飯樋事業地は 2022 年 10 月 4 日～27 日、冬住事業地は 11 月 9 日～12 月 1 日、高倉事業地は 12 月 7 日～12 月 24 日であった。



バケット付バックホー
(ウインチ付き)



グラップル付きバックホー
(ウインチ付き)



フォワーダ

写真 4-1 使用した重機一覧

①森林作業道の作設

森林作業道作設は、チェーンソーを用いた支障木の先行伐倒を行い、その後、バケット機能付きバックホーによる土作業で天地返しを行い実施した。チェーンソーにより先行伐倒後、路線線形に掛かる伐採木はその場でチェーンソーを用いて枝払い・玉切りの造材作業を行い、林内や路肩等に集積移動した。あわせてバケット付バックホーにより、抜根・掘削・整地作業を行い、森林作業道を作設した。

②伐採

列状間伐は、人力によるチェーンソー伐倒、0.25 m³クラスのグラップル・ウインチ付バックホーで木寄せ・集材し、チェーンソーにより造材作業を行う作業システムを基本とした。伐採列は、植栽列が不明瞭な箇所については幅 5.4m の伐採列に対し幅 10.8m の保残列で、植栽列が明瞭である場合は 3 列分を伐採列、6 列分を残存列として設定した。また、森林施業の実施を正確に効率的に進めることを目的として、標識テープ(白)を伐採木に巻き付け、伐採対象である旨を明示した。

③集材

グラップルの作業機が届く範囲は伐採した材を作業機で掴み集材し、届かない範囲の材については、ウインチ引きによる全木集材を行った。ただし、作業時に枝葉が支障となる際には適宜枝払いを集材前に行った。集材作業の際には荷掛け作業員とオペレーターがペアとなって行った。

④造材

伐倒した材はチェーンソーにより枝払い・玉切りし、丸太は森林作業道沿いに仮置きした。また、枝払いした枝条等は、まとめて作業道沿いに集積した。

⑤運材・はい積み

森林作業道沿いに仮置きした丸太はグラップルでフォワーダに積み込み、土場へ運搬しはい積した。それ以外の残材は作業道脇に集積した。



森林作業道作設



伐採



集材



枝払・玉切



運材



はい積み

写真 4-2 森林施業の様子

4) 森林施業実施による森林環境の変化

森林施業（列状間伐）の実施による森林環境の変化について、森林施業前後の写真（林況写真、全天空写真、オルソ写真）による現況把握、全天空写真から得られた開空率、林床被覆率の変化、林床の攪乱状況について調査した内容を参考として示す。

① 間伐実施による森林環境変化の状況

間伐予定列内の2本の立木がなるべく水平に位置する箇所を選定し、間伐列毎に1箇所、調査プロットとして設定した（図 4-14～図 4-16）。なお、一部の調査プロットは間伐後に森林作業道作設に伴い消失した。調査プロットの中心から、伐採列の斜面上部方向と下部方向の林況写真を間伐前後に撮影し、その変化を記録した（写真 4-4）。また、調査プロットの中心において、360°カメラ（RICOH THETA S）により全天空写真を間伐前後に撮影した（写真 4-5）。

オルソ写真は小型無人航空機による空中写真撮影から得られた写真データを用いて作成した。飛行ルートは、GPSプログラミングにより設定した飛行ルート上を自動撮影したほか、必要に応じて適宜マニュアルによる空撮を実施した。撮影時期は、いずれの事業地においても施業前写真が2022年9月、施業後写真が2022年12月である。また、使用した小型無人航空機は、写真 4-3 に示すとおりである。撮影時は、オペレーター以外に1名以上の補助員を配置し、第三者の立ち入りの制限や飛行状態の確認、異常時の対応に備えた。



写真 4-3 使用した小型無人航空機（Mavic 2 Pro）

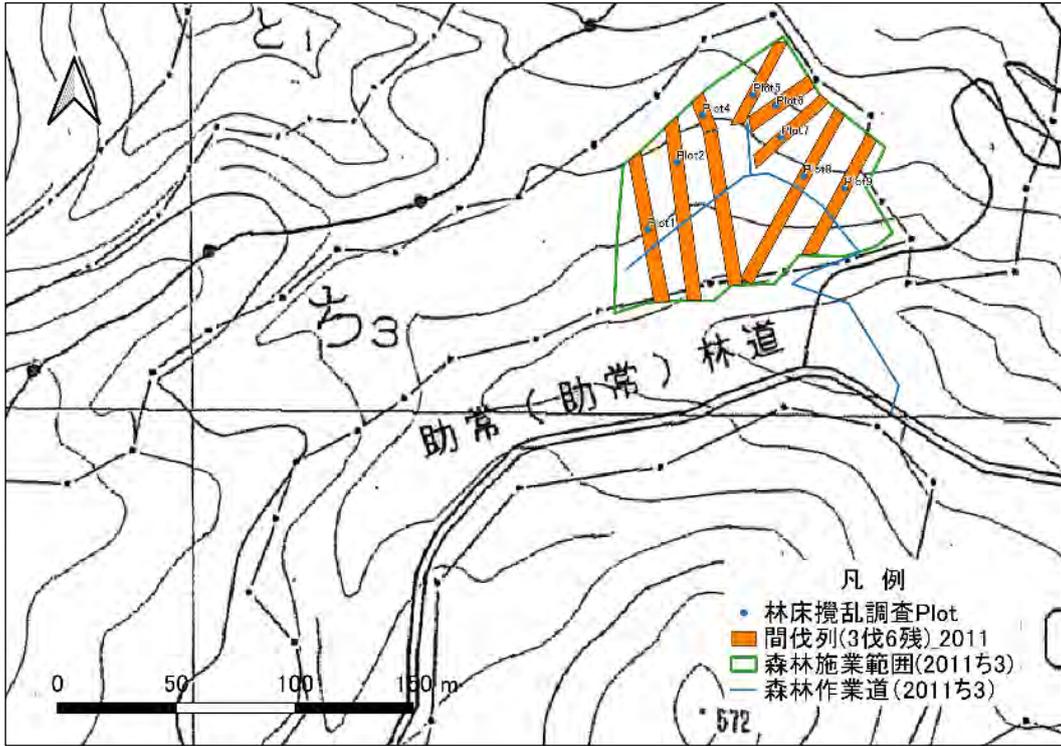


図 4-14 林床攪乱調査プロット位置 (冬住事業地_2011 林班ち3 小班)

※Plot3 は森林作業道作設に伴い消失

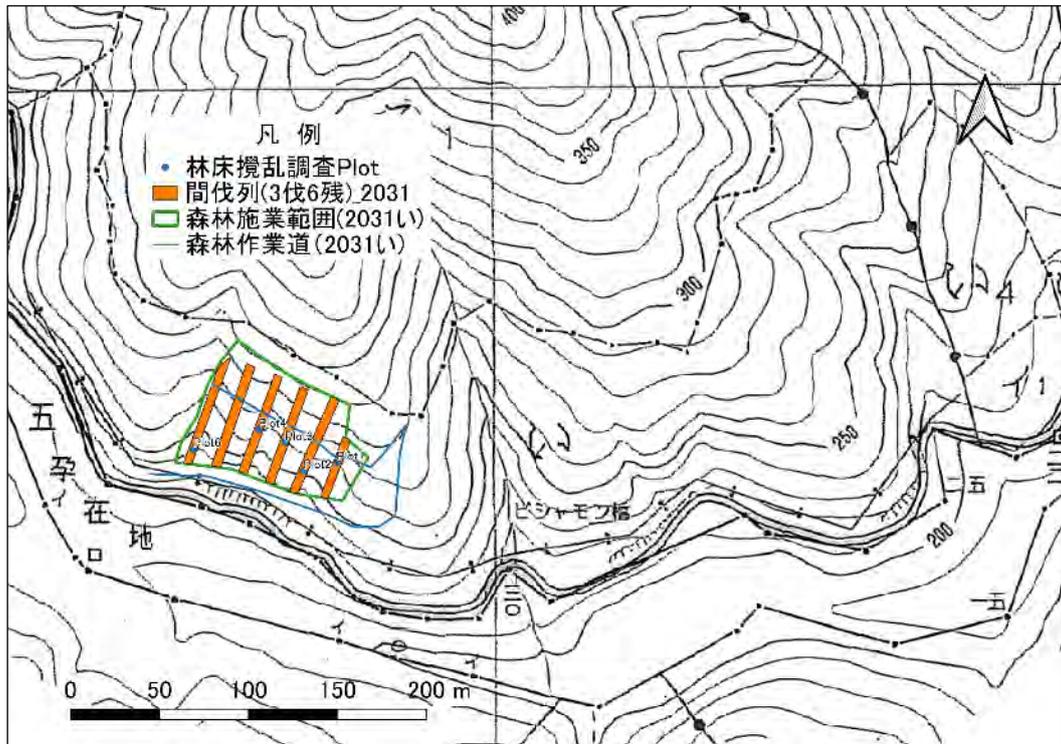


図 4-15 林床攪乱調査プロット位置 (高倉事業地_2031 林班い小班)

※Plot5 は森林作業道作設に伴い消失

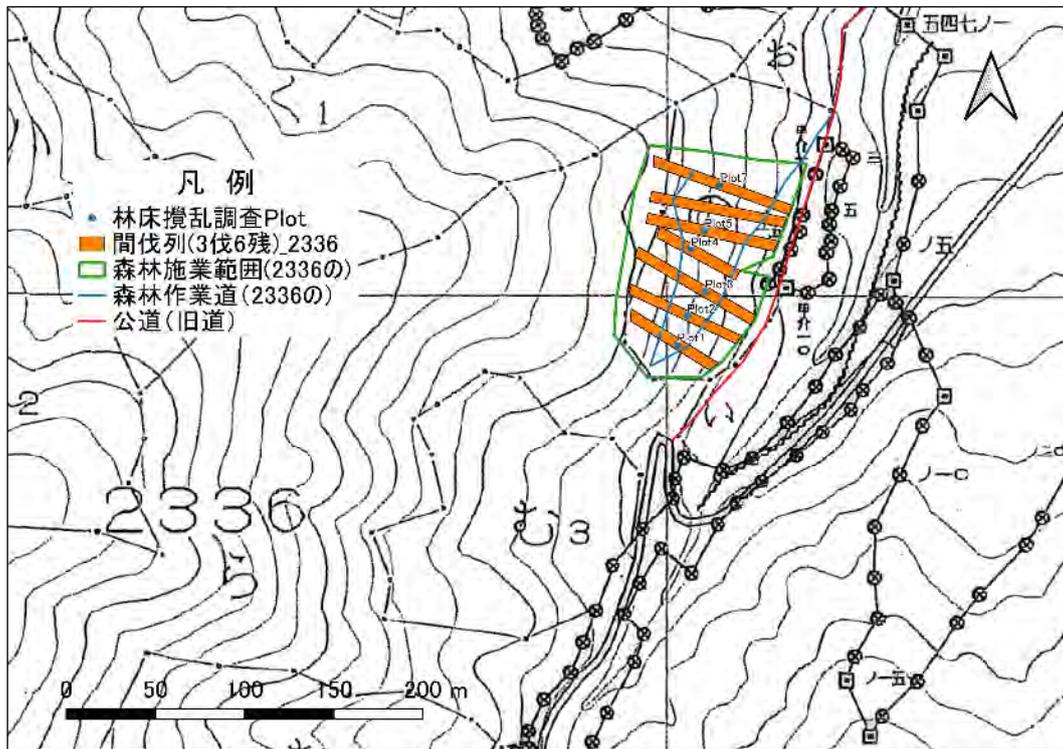


図 4-16 林床攪乱調査プロット位置 (飯樋事業地_2336 林班の小班)

※Plot6 は森林作業道作設に伴い消失



写真 4-4 列状間伐実施前後の状況

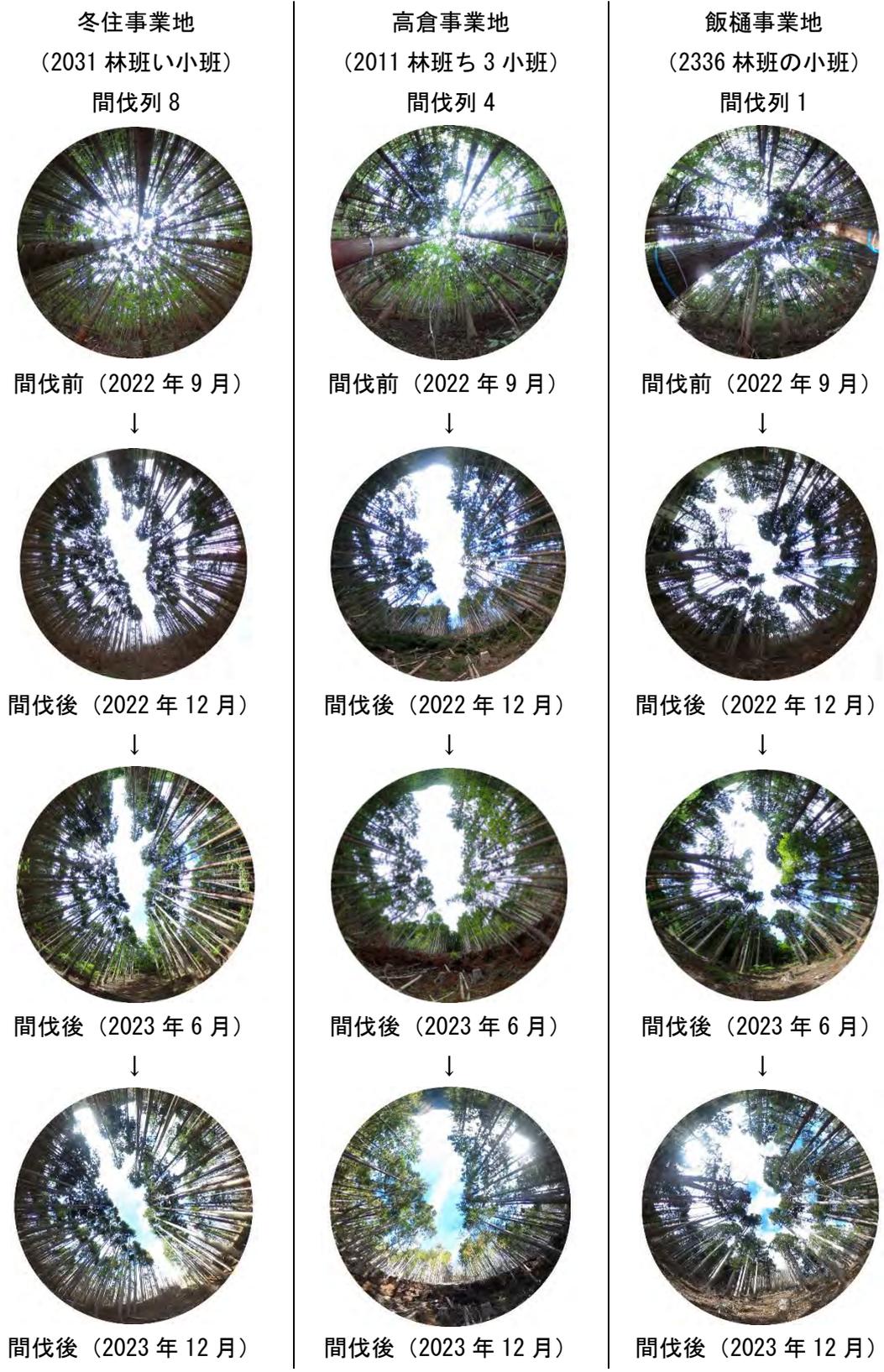
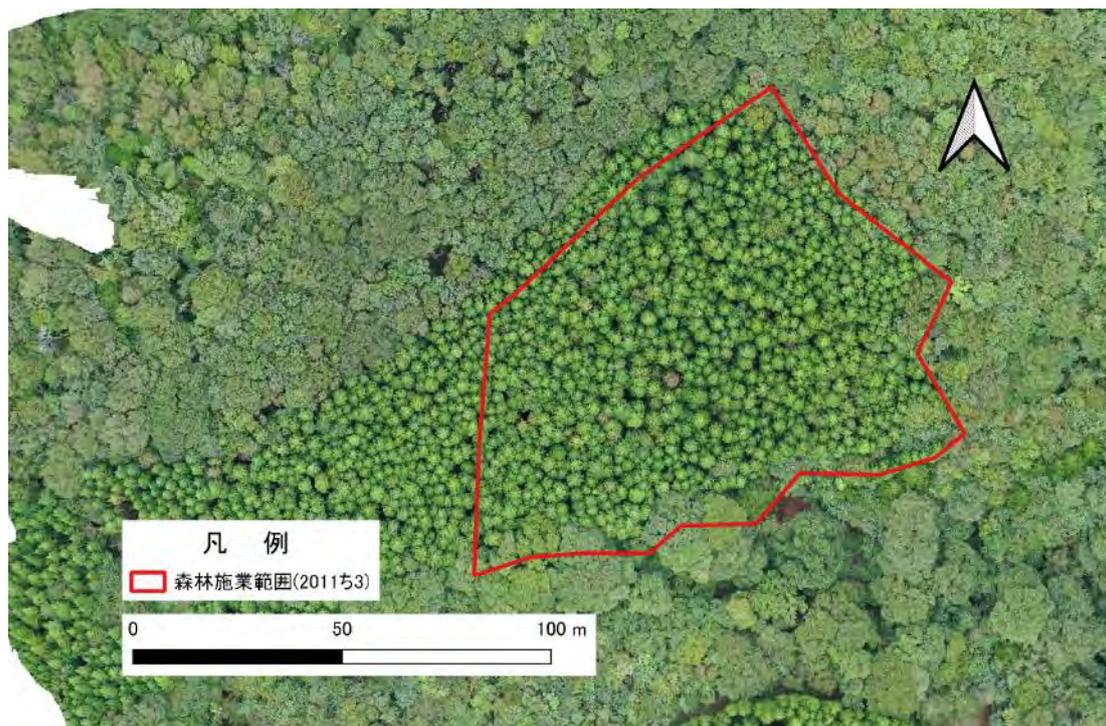


写真 4-5 列状間伐実施前後の開空状況 (全天空写真)



間伐前

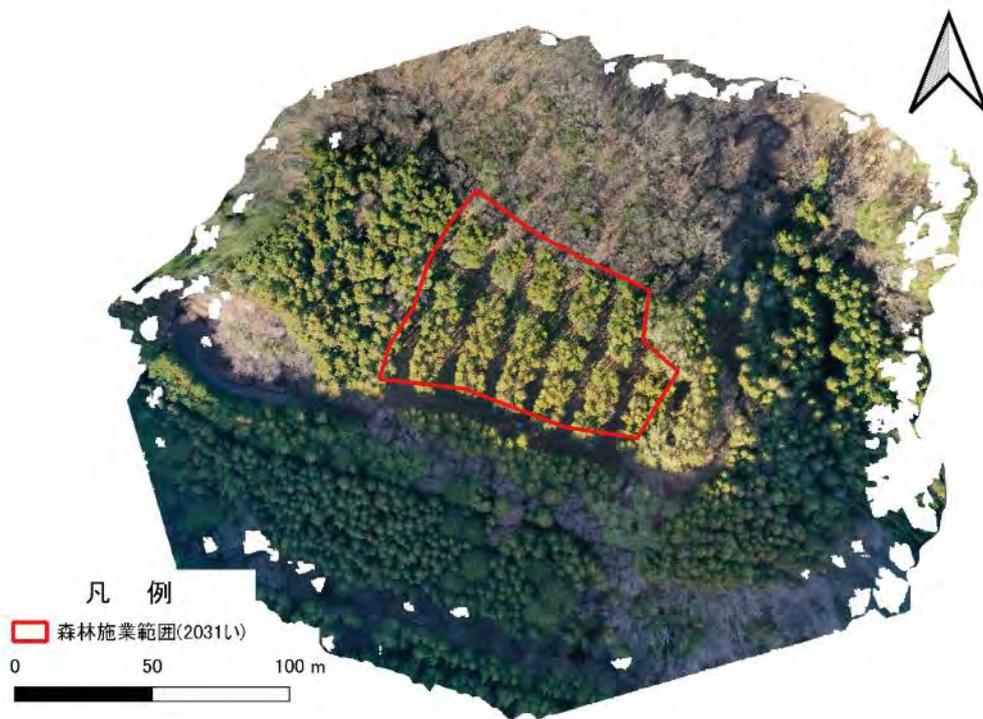


間伐後

写真 4-6 森林施業前後の環境変化 (冬住事業地_2011 林班ち3 小班)



間伐前



間伐後

写真 4-7 森林施業前後の環境変化（高倉事業地_2031 林班い小班）



間伐前



間伐後

写真 4-8 森林施業前後の環境変化（飯樋事業地_2336 林班の小班）

②森林施業実施による間伐列の開空率の変化

得られた全天球写真（画角 360°）を全天空写真（画角 180°）に加工した後（写真 4-9）、ソフトウェアにて開空率を算出した。詳しい算出の手順は次ページを参考にさせていただきたい。なお、一部の調査プロットは森林作業道作設にあたって消失したため、森林施業前に撮影した写真から得られたデータは使用していない。

間伐列における施業前後の開空率の変化を表 4-8 に示す。全ての事業地において、開空率が施業前後で 2 倍程度大きくなり、日光を取り込む量が増えたことが示唆される。

表 4-8 間伐列における施業前後の開空率変化

事業地	開空率 ±標準偏差(%)	開空率 ±標準偏差(%)	開空率 ±標準偏差(%)	開空率 ±標準偏差(%)
	間伐直前 (2022年9月)	間伐直後 (2022年12月～ 2023年1月)	間伐後6か月程度 (2023年6月)	間伐後12か月程度 (2023年12月)
冬住事業地 2011 林班ち3小班	12.9±0.4	24.2±1.6	16.2±1.5	23.7±2.1
高倉事業地 2031 林班い小班	11.4±1.9	22.8±0.8	20.9±0.9	23.1±2.3
飯樋事業地 2336 林班の小班	13.1±0.7	24.2±2.3	17.5±3.0	24.5±3.5



全天球写真は、RICOH THETA などのソフトウェアを用いると球状の画像をソフトウェア上で回転させることもできる。



全天空写真は、全天球写真を基にソフトウェアを使用して作成できる。

写真 4-9 全天球写真と全天空写真

(参考：開空率算出手順)

①RICOH 製の 360°カメラ THETA で撮影。

②撮影した写真を水平に撮影した全天空写真にする準備

1. フリーソフトウェア「RICOH THETA」を使用。
2. 撮影写真をソフト画面上にドラッグ&ドロップ。
3. 「ファイル」→「天頂補正書き出し」を実施し、保存。

③全天空写真の作成

1. フリーソフトウェア「paint.net」を使用。
2. ②で作成したファイルを開く。
3. 「イメージ」→「キャンパスサイズ」でピクセルサイズの高さを 2 分の 1 にして、OK ボタンを押す。例えば、THETAS の場合は、得られる全天球写真の画像サイズが横 5376×縦 2688 であるが、縦を上半分にしたいため 1344 を入力して処理する。
4. 「効果」→「THETA」→「FishEye」で Y Direction を -90.00、Magnification を 0.50 に設定し、OK ボタンを押す (Projection は Equidistance とする)¹。
5. 名前を付けて保存するが、ファイルの種類を BMP ファイルにして保存する。
(※)「THETA」の拡張機能である「FishEye」は「paint.net」にリコーシート関連のプラグイン「THETATools1_2」にある 4 つのプラグイン (EqRectLevel、FishEyeProjection、MercatorProjection、PersProjection) を、エクスプローラー上で「Program Files」→「paint.net」→「Effects」に入れると使用できるようになる。プラグイン「THETATools1_2」は以下の URL からダウンロード可能。

<https://github.com/aitch-two/THETATools>

④開空率の算出

1. フリーソフトウェア「CanopOn2」を使用。以下のホームページも参照のこと。ホームページ内では開空率を開空率と表現している。

<http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/>

2. 「CanopOn2」の Load Image から③で作成した全天空写真を開く。
3. BW/Color で白黒写真にする。このとき、exposure の値を 0.85 くらいにすると、空が見えている部分と木や枝葉にさえぎられている部分との区別が適切に二値化されることが多いが丁寧な確認が必要。この値の適切な設定が極めて重要。適切に二値化されない場合、RGB の設定を適切に行うとうまくいくこともある。
4. 表示されている青い円をマウスで操作し、全天空写真にぴったり合わせる。
5. 表示画面左の中ほどにある Eval ボタンを押すと表示される Mean open の数値が開空率。

③森林施業実施による林床の攪乱状況

列状間伐時の集材作業にあたっては、グラップルによる集材においてもウインチを使った地曳集材においても、伐採木が地面を引きずられる際に、伐採木の幹や枝葉の部分によって、**写真 4-10**に示すような攪乱が生じる。とくに、かかり木となった伐採木の根元にワイヤーを括り付け、ウインチで引き出す際には、伐採木が立った状態で元口部分が林床をえぐることになるため、攪乱が非常に大きい。

ライシメータ等機器の設置にあたっては、攪乱の極端に多い箇所もしくはあまり攪乱されていない箇所は避け、事業地全体を見渡して平均的な攪乱具合の箇所を選定するように留意する必要がある。



グラップルによる集材



ウインチ引きによる集材



ウインチ引き時に梢端部が
林床を引きずった跡



ウインチ引き時に元口部が
林床をえぐった跡



かかり木をウインチ引きし
たときに元口部が林床をえ
ぐった跡



伐採木の枝葉が伐採列を
覆っている状況

写真 4-10 集材時の林床攪乱状況

併せて上記調査と同一の箇所において、2本の立木を中心とする1.8m×1.8mの範囲の林床の被覆率を目視により把握した（写真4-11）。

林床被覆率の森林施業前後における変化について、表4-9に示す。列状間伐により伐採列の林床被覆率は20%前後減少したが、その後徐々に回復しつつある傾向にある。

表 4-9 伐採列の林床被覆率の変化

事業地	林床被覆率 ±標準偏差(%) 間伐直前 (2022年9月)	林床被覆率 ±標準偏差(%) 間伐直後 (2022年12月～ 2023年1月)	林床被覆率 ±標準偏差(%) 間伐後6か月程度 (2023年6月)	林床被覆率 ±標準偏差(%) 間伐後12か月程度 (2023年12月)
冬住事業地(n=8) 2011林班ち3小班	100±0	79±22	86±18	99±3
高倉事業地(n=5) 2031林班い小班	98±2	77±15	75±4	88±5
飯樋事業地(n=6) 2336林班の小班	100±0	86±13	75±11	85±11

冬住事業地
(2031 林班い小班)
間伐列 8



間伐前 (2022 年 9 月)



間伐後 (2022 年 12 月)



間伐後 (2023 年 6 月)



間伐後 (2023 年 12 月)

高倉事業地
(2011 林班ち 3 小班)
間伐列 4



間伐前 (2022 年 9 月)



間伐後 (2022 年 12 月)



間伐後 (2023 年 6 月)



間伐後 (2023 年 12 月)

飯樋事業地
(2336 林班の小班)
間伐列 1



間伐前 (2022 年 9 月)



間伐後 (2022 年 12 月)



間伐後 (2023 年 6 月)



間伐後 (2023 年 12 月)

写真 4-11 伐採列の林床変化の状況

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方浸透量を定量化するため、**図 4-1** に示す 3 箇所の事業地の施業区及び対照区において試験を実施した。各事業地のゼロテンションライシメータ設置位置を**図 4-17**、**図 4-18**、**図 4-19** に示す。

本年度は、間伐施業に伴い撤去したゼロテンションライシメータの再設置を、6～8月に実施した。また、対照区では令和3（2021）年度に設置したゼロテンションライシメータ（**図 4-20**）を7～8月にメンテナンス・清掃した後に観測を開始する予定であったが、高倉事業地と飯桶事業地ではモグラによるゼロテンションライシメータへの被害が大きかったため（後述）、8～9月に移設作業を行った後に観測を開始した。

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。各事業地におけるゼロテンションライシメータの観測期間を**表 4-10**に、設置状況を**写真 4-12**、**写真 4-13**に示した。

浸透水の試料回収は1か月に1回を基本とし、8月初旬～11月末までの約4ヶ月間の観測を予定し、観測を実施したが、高倉事業地（対照区）が移設により、9月末の観測開始となったため、観測期間を合わせるため、1回目試料は取り置き保管とし、9月末～11月末に採水した2回目の試料のみを測定に供することとした。また、9月末以降の降水量が少なかったため、試料採取は11月末に1回実施し、9月末～11月末の1回（2ヶ月分）の試料を測定することとした。試料回収状況を**写真 4-14**に示す。

なお、2022（令和4）年度、冬住事業地対照区において、深度10cm、20cmの試料の濃度が異常に高くなったため、近傍に追加設置した10cm、20cmのゼロテンションライシメータで採取された試料と、比較試験を実施することとした。

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、観測期間中にタンクに貯まった量を按分し、混合して1試料とした。混合した試料は、孔径0.45μmのメンブレンフィルターでろ過し、フィルターに残ったものを残渣、通り抜けた濾液を溶存態の試料として、5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として測定を行った。

また、下方浸透の調査に併せて、放射性セシウム の 下方浸透量把握のための環境要因の基礎情報把握のため、自記式の観測機器（気温・湿度、雨量、空間線量率、照度計、土壤水分計、地温計、水位計）による10分毎（空間線量率のみ1時間毎）の観測を行った。観測機器及びデータ回収状況を写真4-12～写真4-16に示す。

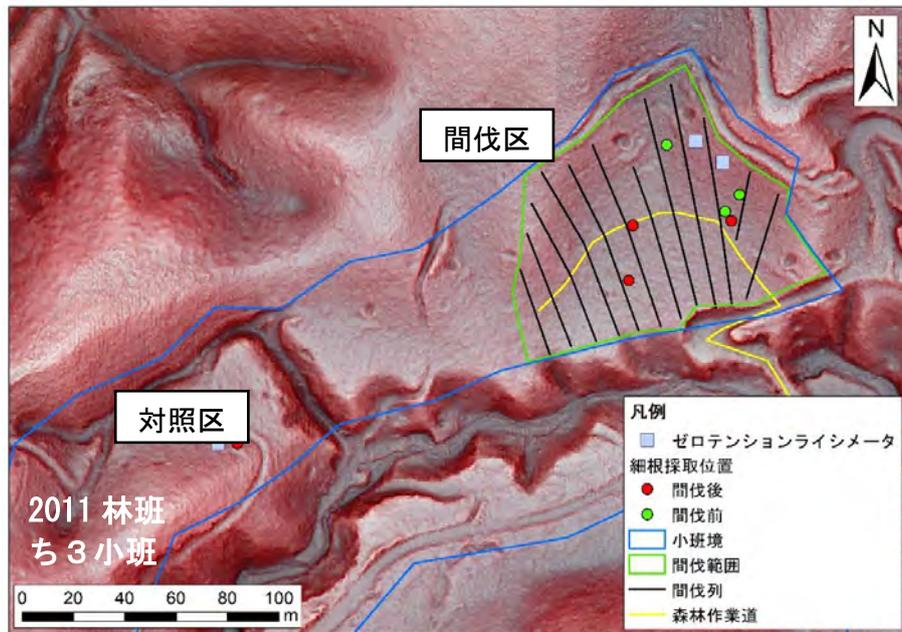


図 4-17 冬住事業地（2011 林班ち3小班）配置

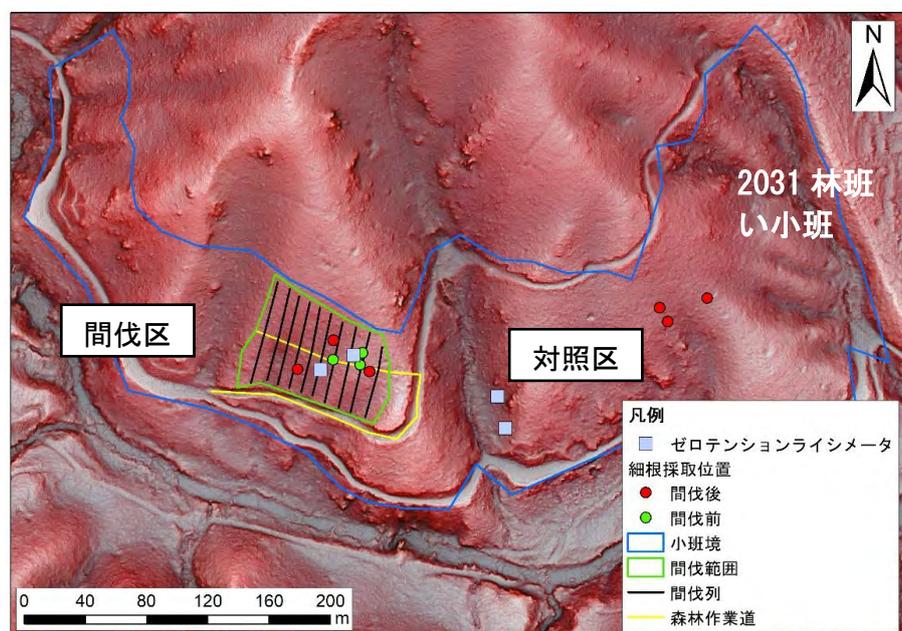


図 4-18 高倉事業地（2031 林班い小班）配置

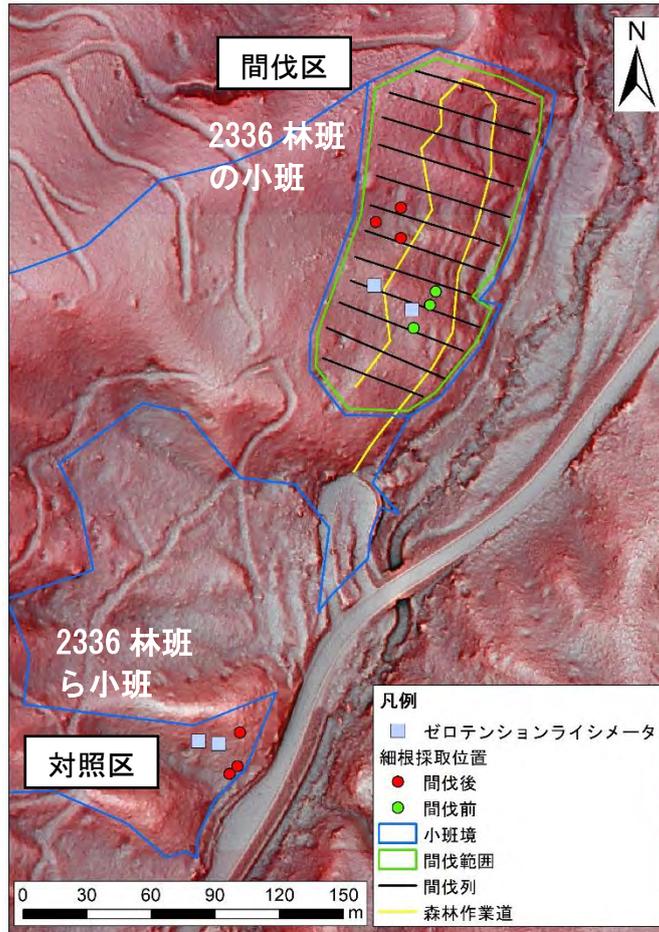


図 4-19 飯館事業地 (2336 林班の、ら小班) 配置

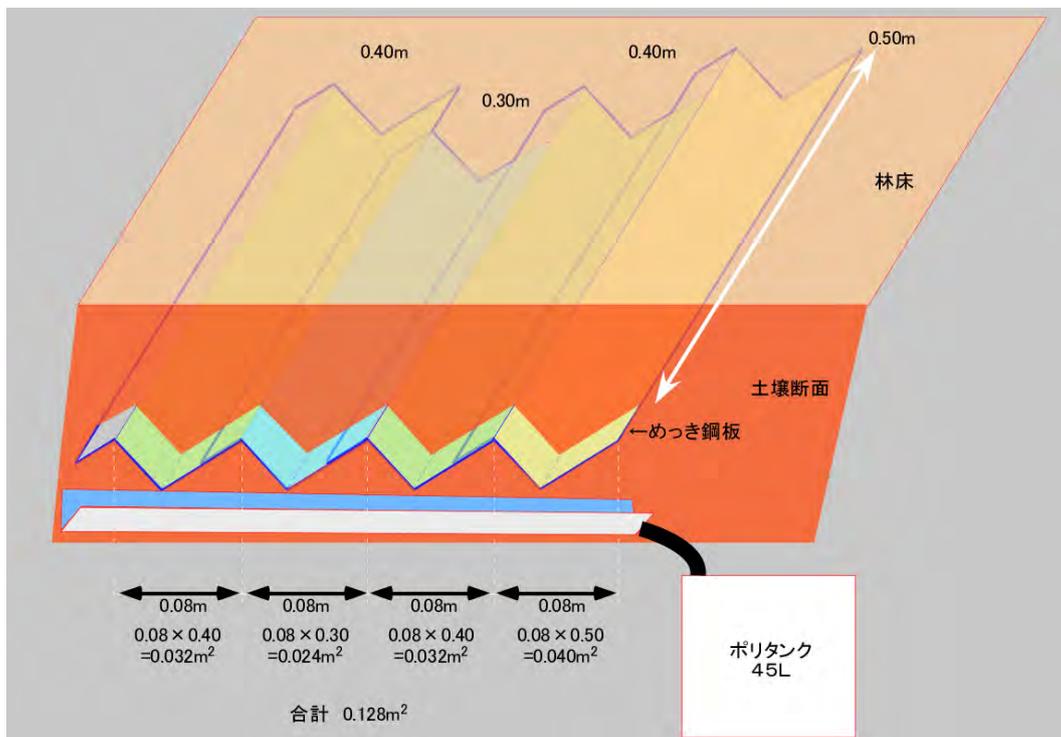


図 4-20 ゼロテンションライシメータ構造図

表 4-10 ゼロテンションライシメータ観測期間

事業地	施業区	林相	設置傾斜角	設置作業期間	令和3(2021)年				令和4(2022)年			
					観測期間	日数	期間雨量(mm)	年降水量(mm/年)	観測期間	日数	期間雨量(mm)	年降水量(mm/年)
各住事業地	間伐区(施業前)	スギ	13~23°	2021年7月~8月24日	10月21日~12月18日	58	183	1,444	6月15日~10月25日	132	497	1,081
	対照区	スギ	13~26°	2021年7月~10月8日			192	1,517				
高倉事業地	間伐区(施業前)	スギ	25~33°	2021年7月~9月29日	10月22日~12月16日	55	157	1,285	6月14日~10月24日	132	393	963
	対照区	スギ	25~42°	2021年7月~9月30日			151	1,237				
飯櫃事業地	間伐区(施業前)	スギ	25~33°	2021年7月~10月23日	10月23日~12月21日	59	127	1,053	6月13日~9月26日	105	346	1,054
	対照区	スギ	23~39.5°	2021年7月~9月9日			119	988				

--- 令和4(2022)年 秋~冬 間伐施業 ---

事業地	施業区	林相	設置傾斜角	施業後再設置、移設等作業期間	令和5(2023)年							
					観測期間①	日数	期間雨量(mm)	備考	観測期間②	日数	期間雨量(mm)	年降水量(mm/年)
各住事業地	間伐区(施業後)	スギ	17~27°	2023年7月~8月8日	8月8日~9月28日	51	511	保管	9月28日~11月29日	62	122	1,095
	対照区(追加設置)	スギ	13~27°	2021年7月~10月8日、2023年8月4日			525	比較試験			72	1,059
高倉事業地	間伐区(施業後)	スギ	22~37°	2023年6月~8月10日	8月10日~9月29日	50	374	保管	9月29日~11月30日	62	99	1,298
	対照区(移設後)	スギ	28~35°	2023年9月19日~9月22日			—	517			移設期間	65
飯櫃事業地	間伐区(施業後)	スギ	19~33°	2023年6月~8月9日	8月9日~9月29日	51	499	保管	9月29日~11月28日	60	133	963
	対照区(一部移設)	スギ	23~39.5°	2021年7月~9月9日、2023年9月15日			331	保管			76	1,309

期間雨量は各事業地に設置した雨量計の観測値。

年間降水量は、試験地の期間雨量を同じ期間で付近のAMeDAS観測所の雨量で割り、30年間の年間降水量から割り戻して算出した。

令和4年度は雨量計の目詰まりが多かったため、施業前であることから、間伐区と対照区の雨量計を平均して観測値とした。

本年度はゼロテンションライシメータの間伐施業後の再設置や、移設・追加設置を行ったため、傾斜角度は過年度と異なる。



設置状況全景



浸透水集水状況

写真 4-12 ゼロテンションライシメータ設置状況



メッキ鋼板打ち込み状況



トタン水受けと3Dプリンタで作成した治具を設置



浸透水採水タンク (45L)



浸透水採水タンク・自記水位計



堆積有機物移設状況



ゼロテンションライシメータ埋設後

写真 4-13 ゼロテンションライシメータ設置状況



ゼロテンションライシメータ浸透水試料回収状況
 写真 4-14 ゼロテンションライシメータ試料回収状況



ロガーボックス外観



温湿度計設置状況



D-シャトル設置状況



データ回収状況

写真 4-15 ゼロテンションライシメータ周囲に設置した観測装置及びデータ回収状況



照度計設置状況近景



照度計設置状況遠景



土壤水分計及び地温計設置状況

写真 4-16 ゼロテンションライシメータ周囲に設置した観測装置及びデータ回収状況

(2) モグラ被害によるゼロテンションライシメータの移設

高倉事業地と飯樋事業地の対照区に設置した多数（土壌断面 12 基中 8 基）のゼロテンションライシメータで、モグラにより土壌断面に穴をあけられる被害が発生したため（表 4-11、写真 4-17）、8～9月に移設作業を行った。

高倉事業地（対照区）はモグラの生息密度が非常に高かったため、ライシメータ全基（8 基）を 150m 以上離れた別の場所に移設した（図 4-21）。飯樋事業地（対照区）は、高倉事業地に比べるとモグラの生息密度が低かったため、土壌断面に採水板を打ち足すか、ライシメータを 5 m ほど横へ移設することで対処した。

被害対策として、動物忌避剤「逃げまんねん」（成分：木酢液、木タール、にんにく）とモグラ忌避剤「モグレス」（成分：ナフタリン）の散布を実施している（写真 4-18）。

表 4-11 モグラによるゼロテンションライシメータへの被害状況

事業地	施業区	設置位置	設置深度	モグラの被害	
高倉試験地	対照区	左①	堆積有機物	なし	
			5cm	土壤断面にモグラの穴(採水に影響あり)	
			10cm	土壤断面にモグラの穴(採水に影響あり)	
		20cm	土壤断面にモグラの穴(採水に影響あり)		
		右②	堆積有機物	なし	
			5cm	土壤断面にモグラの穴(採水に影響あり)	
	10cm		土壤断面にモグラの穴(採水に影響あり)		
	飯樋試験地	対照区	左①	堆積有機物	なし
				5cm	土壤断面にモグラの穴(採水に影響あり)
10cm				なし	
20cm			土壤断面にモグラの穴(採水に影響あり)		
右②			堆積有機物	なし	
			5cm	なし	
		10cm	土壤断面にモグラの穴(採水に影響あり)		
			20cm	なし	



ライシメータ周辺に掘られたモグラの穴(左)と地表付近に掘られたモグラの穴(右)
写真 4-17 モグラによるゼロテンションライシメータへの被害状況(高倉事業地)

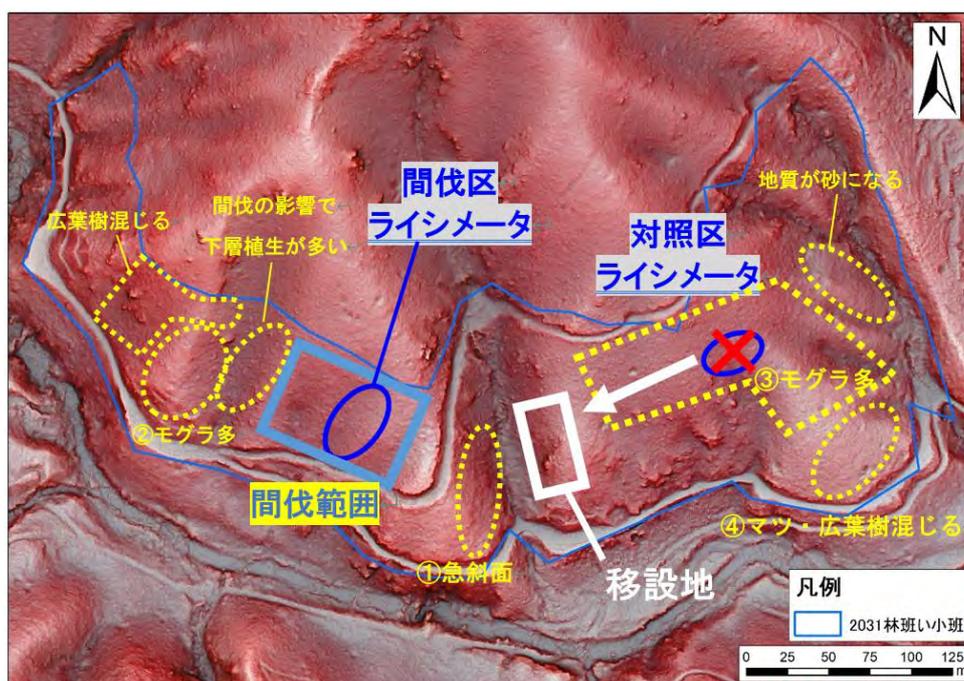


図 4-21 ゼロテンションライシメータ移設地と周辺状況(高倉事業地)



写真 4-18 モグラ忌避剤の散布状況（左：モグレス、右：逃げまんねん）

(3) 施業による林内環境の変化

間伐施業に伴う林内環境の変化を把握するため、間伐区および対照区において、照度計、地温計、土壌水分計、温湿度計、空間線量率の連続観測を行った。

照度計の観測結果を図 4-22 に、地温計の観測結果を図 4-23 に、空間線量率の観測結果を図 4-24 に、各事業地の間伐前後の比較結果を表 4-12 に示す。その他の観測結果、データは巻末資料に示した。

間伐後、間伐区における照度は 742～1,201%増加し、気温は 0.7～1.1℃増加、湿度は 2.3～5.2%減少、地温計は故障により比較が行えなかった地点もあるが、0.5℃～3.0℃増加、土壌水分は高倉事業地の深度 5 cm で 17.8%の減少であったが、それ以外は 4.4～37.5%の増加であった。間伐を行うことが、温度等の条件の面でも堆積有機物の分解を促進させる一因となることが推察された。空間線量率は、冬住事業地が 0.04 μ Sv/h の増加、高倉事業地が 0.01 μ Sv/h、飯樋事業地が 0.02 μ Sv/h の減少であった。

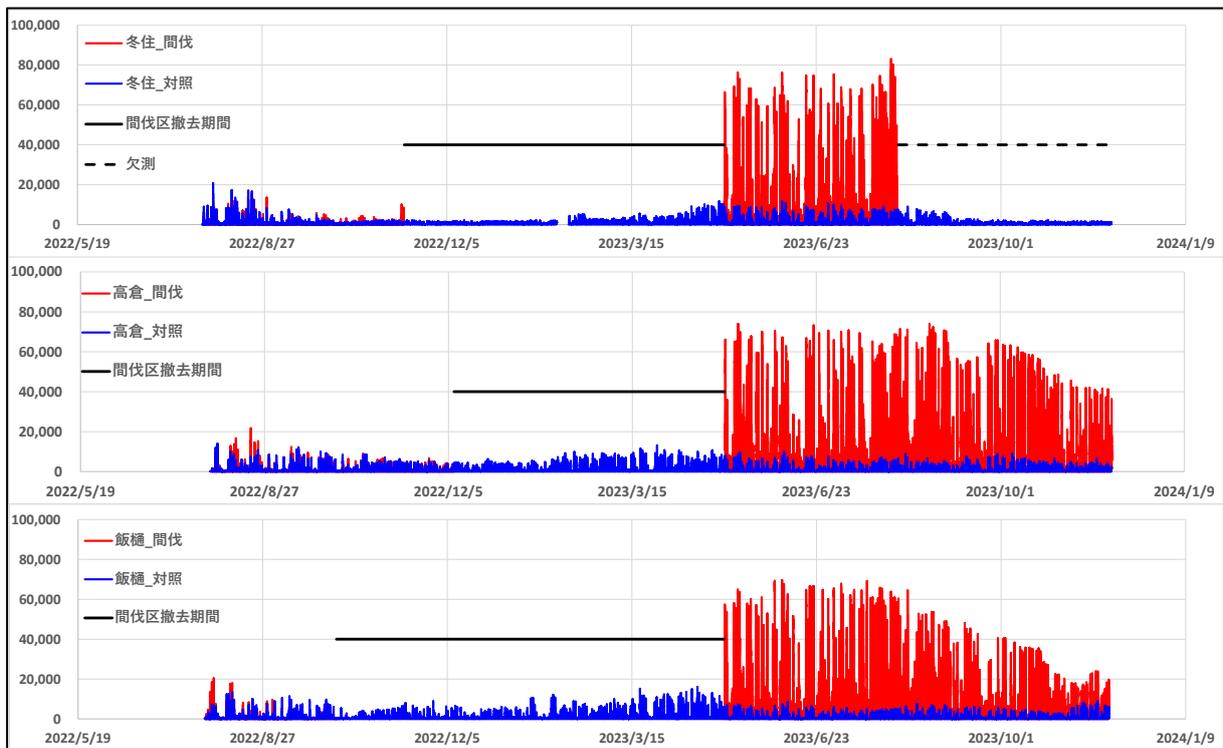


図 4-22 照度計（縦軸：Lux）

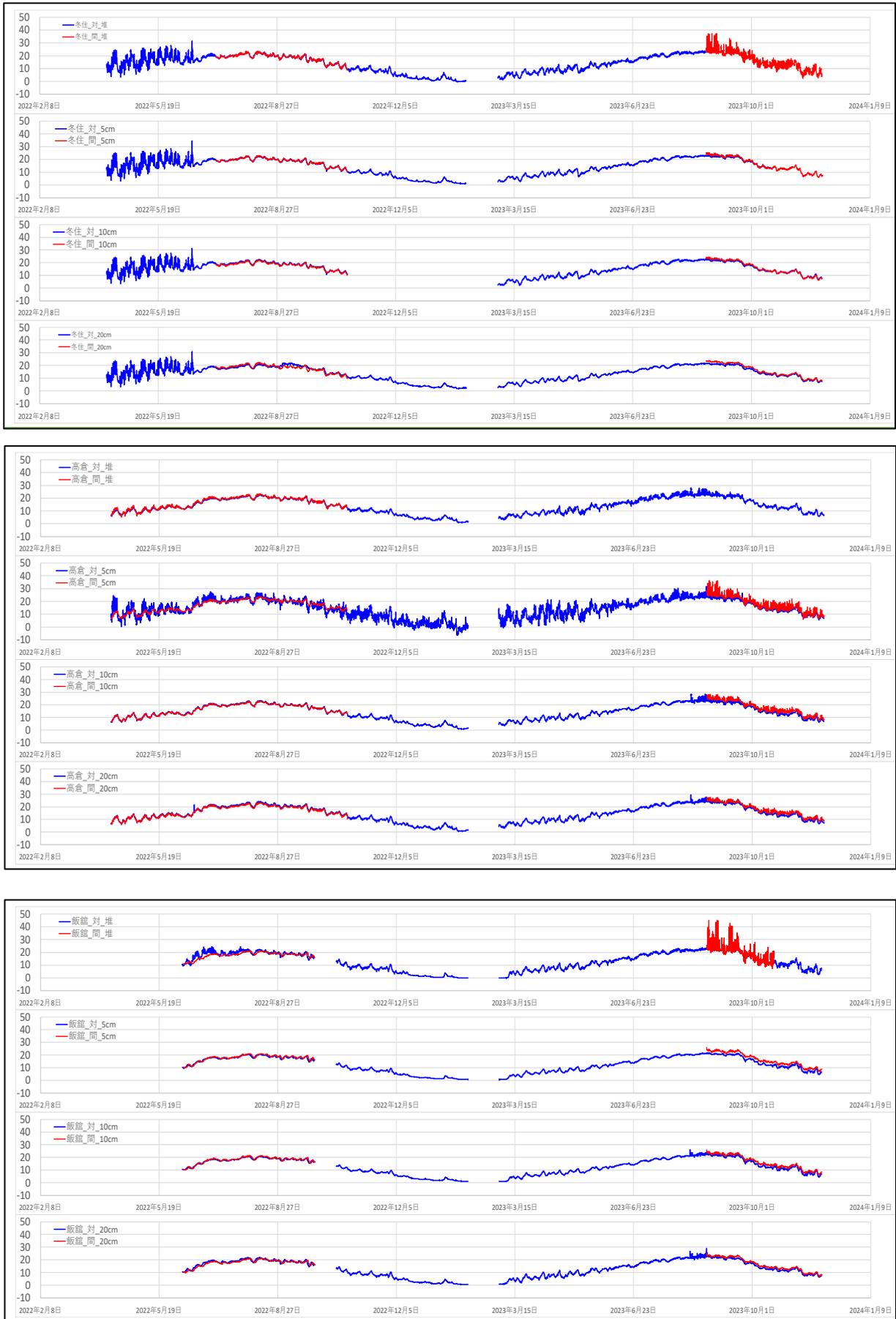


図 4-23 地温計記録 (縦軸 : °C)

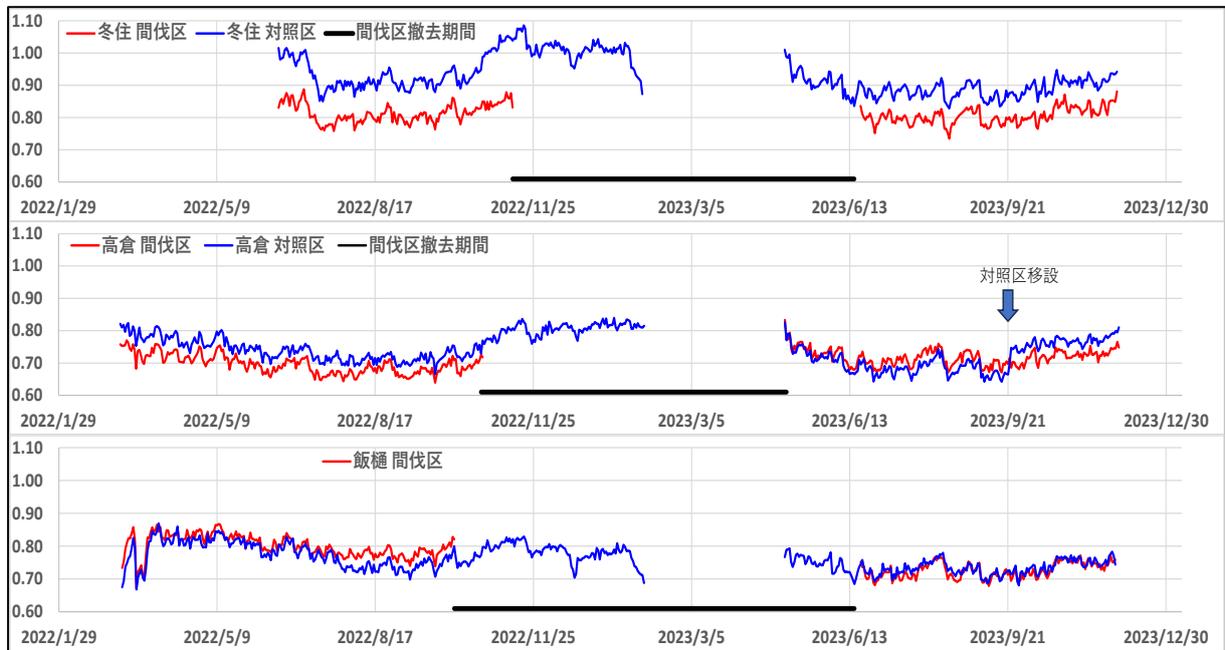


図 4-24 空間線量率測定記録 (縦軸 : $\mu\text{Sv/h}$)

表 4-12 間伐施業に伴う林内環境の変化

冬住事業地	単位	間伐施業前			間伐施業後			間伐前後比較	備考
		間伐区	対照区	間伐/対照	間伐区	対照区	間伐/対照		
照度計	LUX	4,054,011	4,812,105	84.2%	70,129,267	8,483,033	826.7%	742%増	期間合計値の比較
気温	°C	17.9	17.8	0.1	12.1	11.1	1.0	1.1°C増	期間平均値の比較
湿度	湿度%	96.2	93.4	2.8	86.6	89	-2.4	5.2%減	期間平均値の比較
空間線量率	μSv/h	0.81	0.93	-0.12	0.81	0.89	-0.08	0.04 増	期間平均値の比較
地温計-堆積	°C	18.6	18.5	0.0	19.5	故障	故障	故障	期間平均値の比較
地温計-5cm		18.7	18.6	0.1	19.7	19.2	0.6	0.5°C増	
地温計-10cm		18.0	18.4	-0.4	19.6	18.8	0.8	1.2°C増	
地温計-20cm		18.2	18.4	-0.2	19.6	18.2	1.4	1.6°C増	
土壌水分計-堆積	水分量	17.0	23.1	-6.1	16.8	18.4	-1.6	4.6%増	期間平均値の比較
土壌水分計-5cm	%	20.2	19.8	0.3	25.2	20.5	4.8	4.4%増	
土壌水分計-10cm		52.0	36.2	15.8	故障	故障	故障		
土壌水分計-20cm		51.5	55.8	-4.3	50.3	49.6	0.7	5.0%増	
高倉事業地	単位	間伐施業前			間伐施業後			間伐前後比較	備考
		間伐区	対照区	間伐/対照	間伐区	対照区	間伐/対照		
照度計	LUX	6,694,545	5,847,667	114.5%	131,483,655	11,152,707	1178.9%	1064%増	期間合計値の比較
気温	°C	17.1	17.3	-0.2	14.2	13.4	0.8	1.0°C増	期間平均値の比較
湿度	湿度%	93.2	93.5	-0.3	80.2	85.6	-5.4	5.1%減	期間平均値の比較
空間線量率	μSv/h	0.70	0.74	-0.04	0.72	0.77	-0.05	0.01 減	期間平均値の比較、対照区移設
地温計-堆積	°C	19.2	19.0	0.2	故障	15.6	故障	故障	期間平均値の比較
地温計-5cm		19.7	19.3	0.4	18.0	16.2	1.8	2.2°C増	
地温計-10cm		19.1	19.2	-0.2	18.0	16.1	2.0	2.2°C増	
地温計-20cm		19.2	19.9	-0.7	18.2	16.7	1.5	2.2°C増	
土壌水分計-堆積	水分量	17.2	17.4	-0.2	12.9	故障	故障	故障	期間平均値の比較 対照区異常値のため、 比較できる範囲で比較
土壌水分計-5cm	%	19.2	16.4	2.8	9.2	24.1	-14.9	17.8%減	
土壌水分計-10cm		18.0	35.6	-17.6	22.9	26.0	-3.1	14.5%増	
土壌水分計-20cm		30.2	38.9	-8.6	31.3	24.9	6.4	15.1%増	
飯櫃事業地	単位	間伐施業前			間伐施業後			間伐前後比較	備考
		間伐区	対照区	間伐/対照	間伐区	対照区	間伐/対照		
照度計	LUX	2,515,548	2,739,588	91.8%	116,057,412	8,979,199	1292.5%	1201%増	期間合計値の比較
気温	°C	20.3	20.2	0.1	11.4	10.6	0.8	0.7°C増	期間平均値の比較
湿度	湿度%	93.4	96.9	-3.5	86	91.8	-5.8	2.3%減	期間平均値の比較
空間線量率	μSv/h	0.80	0.78	0.02	0.73	0.73	0.00	0.02 減	
地温計-堆積	°C	18.8	19.5	-0.7	19.2	18.0	1.2	1.9°C増	期間平均値の比較
地温計-5cm		18.8	18.4	0.5	20.1	17.6	2.5	3.0°C増	
地温計-10cm		19.1	18.7	0.4	19.8	18.1	1.7	2.1°C増	
地温計-20cm		18.8	19.1	-0.3	19.8	18.5	1.3	1.6°C増	
土壌水分計-堆積	水分量	13.5	20.4	-6.9	19.1	19.3	-0.2	6.7%増	期間平均値の比較
土壌水分計-5cm	%	33.1	28.6	4.5	35.0	25.5	9.5	5.0%増	
土壌水分計-10cm		18.9	34.3	-15.4	38.4	16.3	22.1	37.5%増	
土壌水分計-20cm		40.4	35.3	5.0	51.3	36.2	15.1	10.1%増	

間伐前、間伐施業後それぞれ、間伐区と対照区が比較できる期間で、照度は合計値の割合、それ以外は平均値の差をとり、間伐前後の比較を行った。

(4) 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 4-13、図 4-25 に、年間の方下移動量推定値を表 4-14、図 4-26 に、降水量・単位面積当たりの浸透量および降水量・単位面積当たりの放射性 Cs-137 浸透量を図 4-27 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（0.05～1.03Bq/L）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、前年度までは、概ね堆積有機物層浸透水の方が土壌浸透水よりも高く、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。本年度は、堆積有機物層浸透水よりも土壌浸透水の濃度が高い地点が増えた。また、冬住事業地（間伐区、対照区）や飯樋事業地（間伐区）では下層に行くほど濃度が上昇していた。

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、前年度までは、概ね堆積有機物層で最も大きく、土壌深度が深くなるほど低下する傾向が見られた。本年度は、全事業地の間伐区で、堆積有機物層よりも、より深い土壌深度の下方移動推定値が大きかった。また、冬住事業地（間伐区、対照区）、高倉事業地（間伐区）、飯樋事業地（間伐区）では下層の方が下方移動推定値が大きくなる傾向が見られた。また、現存量に対する浸透水による下方移動量推定値は、前年度までは冬住事業地の堆積有機物層で大きかったが、本年度は事業地間での明瞭な違いは見られなかった。

降水量・単位面積当たりの浸透水量は、おおむね堆積有機物層の浸透水が多く、下層に行くほど浸透量が減少する傾向が見られたが、間伐施業後の高倉事業地や飯樋事業地では、震度 10cm、20cm など下層で高くなる状況が確認された。また、降水量・単位面積当たりの Cs-137 浸透量は、各事業地の間伐区で、堆積有機物層より下層の浸透量が高くなる傾向が確認された。

表 4-13 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

(n=2 平均値)

年度	深度	冬住事業地(間伐区)			冬住事業地(対照区)		
		Cs-134 (Bq/L)	Cs-137 (Bq/L)	浸透水量 (L)	Cs-134 (Bq/L)	Cs-137 (Bq/L)	浸透水量 (L)
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	N.D.(0.19)	1.76	6.1	N.D.(0.74)	2.08	10.1
	0-5cm	N.D.(0.25)	0.55	6.1	N.D.(0.17)	0.33	7.0
	5-10cm	N.D.(0.2)	0.29	5.1	N.D.(0.17)	0.45	3.8
	10-20cm	N.D.(0.26)	0.49	2.2	N.D.(0.09)	0.17	0.7
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	N.D.(0.52)	1.94	25.1	N.D.(0.58)	1.24	39.1
	0-5cm	N.D.(0.38)	0.53	16.3	N.D.(0.23)	0.38	28.3
	5-10cm	N.D.(0.17)	0.24	9.3	N.D.(0.55)	-	13.3
	10-20cm	N.D.(0.14)	0.33	1.4	N.D.(0.91)	-	5.1
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	N.D.(0.13)	0.18	5.9	N.D.(0.36)	0.57	5.0
	0-5cm	N.D.(0.09)	0.27	7.2	N.D.(0.34)	0.49	2.6
	5-10cm	N.D.(0.11)	0.46	4.1	N.D.(0.75)	0.76	2.5
	10-20cm	N.D.(0.18)	0.55	2.1	N.D.(1.03)	0.65	0.1
年度	深度	高倉事業地(間伐区)			高倉事業地(対照区)		
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	N.D.(0.09)	0.56	9.4	N.D.(0.09)	0.58	8.9
	0-5cm	N.D.(0.08)	0.39	6.1	N.D.(0.08)	0.36	6.5
	5-10cm	N.D.(0.09)	0.20	4.1	N.D.(0.09)	0.26	4.2
	10-20cm	N.D.(0.09)	0.14	1.8	N.D.(0.09)	0.28	1.8
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	N.D.(0.09)	0.74	31.0	N.D.(0.07)	0.78	25.2
	0-5cm	N.D.(0.08)	0.56	18.2	N.D.(0.08)	0.43	20.3
	5-10cm	N.D.(0.08)	0.36	18.4	N.D.(0.08)	0.21	16.8
	10-20cm	N.D.(0.08)	0.24	8.0	N.D.(0.08)	0.10	10.2
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	N.D.(0.08)	0.07	7.3	N.D.(0.08)	0.20	7.1
	0-5cm	N.D.(0.07)	0.16	7.5	N.D.(0.08)	0.11	4.4
	5-10cm	N.D.(0.08)	0.11	6.9	N.D.(0.07)	0.06	2.7
	10-20cm	N.D.(0.08)	0.07	4.7	N.D.(0.09)	0.09	1.5
年度	深度	飯櫃事業地(間伐区)			飯櫃事業地(対照区)		
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	N.D.(0.42)	0.90	8.5	N.D.(0.39)	0.58	8.7
	0-5cm	N.D.(0.32)	0.41	4.6	N.D.(0.14)	0.15	3.5
	5-10cm	N.D.(0.34)	0.54	3.3	N.D.(0.15)	0.18	2.9
	10-20cm	N.D.(0.14)	0.18	1.8	N.D.(0.29)	0.32	0.7
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	N.D.(0.3)	1.06	18.7	N.D.(0.22)	0.54	22.8
	0-5cm	N.D.(0.37)	0.61	19.5	N.D.(0.11)	0.13	13.0
	5-10cm	N.D.(0.18)	0.31	15.0	N.D.(0.06)	0.08	8.3
	10-20cm	N.D.(0.14)	0.25	11.8	N.D.(0.05)	0.05	5.1
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	N.D.(0.12)	0.17	8.4	N.D.(0.11)	0.35	5.6
	0-5cm	N.D.(0.12)	0.47	5.8	N.D.(0.11)	0.18	3.2
	5-10cm	N.D.(0.41)	0.50	3.3	N.D.(0.09)	0.10	2.2
	10-20cm	N.D.(0.14)	0.66	3.8	N.D.(0.37)	0.42	0.8

測定値が不検出(N.D.)の試料については、括弧内に測定下限値を示した。

(n=2)

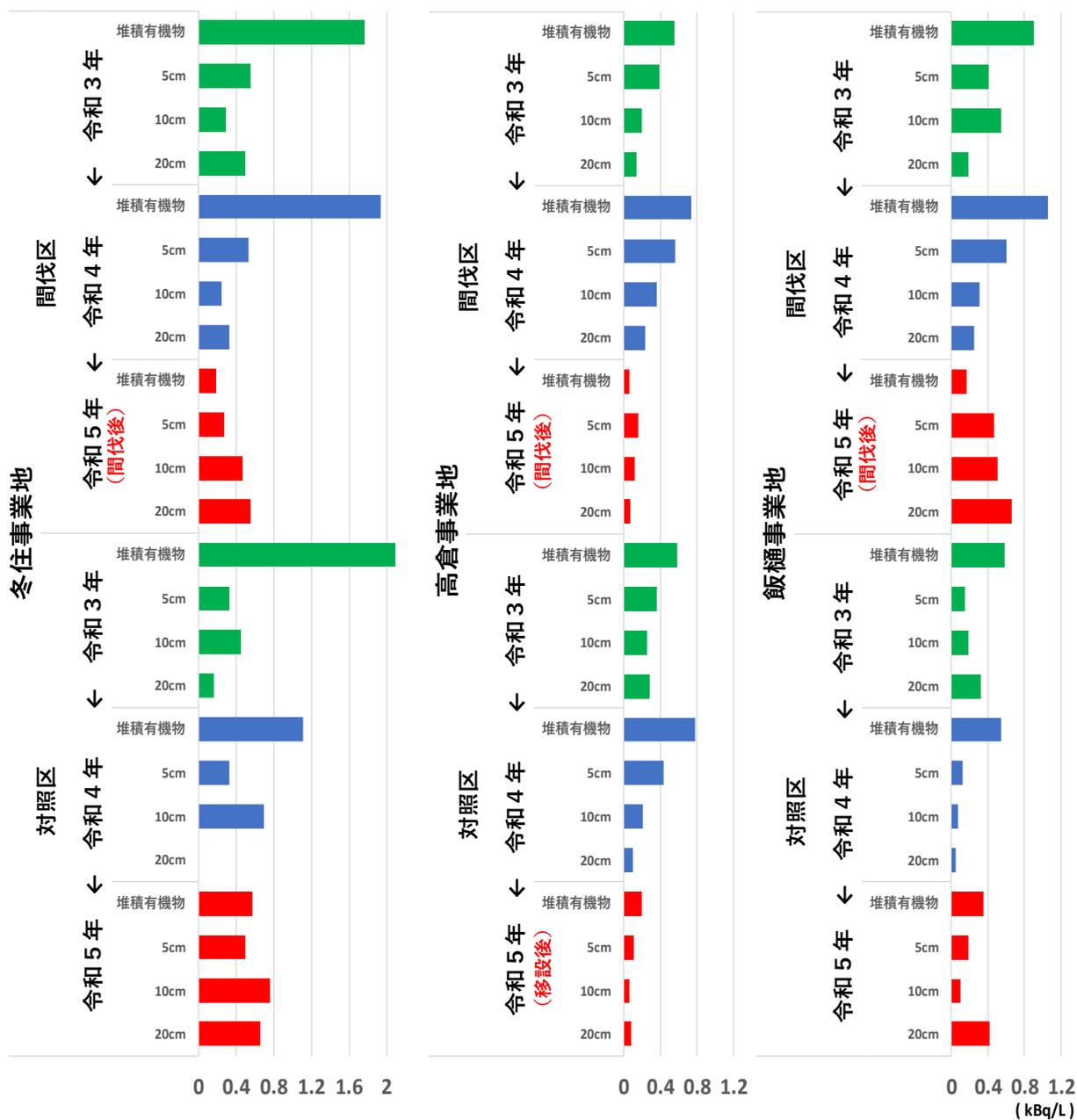


図 4-25 土壤等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度

表 4-14 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

(n=2 平均値)

年度	深度	冬住事業地(間伐区)				冬住事業地(対照区)					
		Cs-137 濃度 (Bq/L)	下方移行量 試算値 (kBq/m ² ・年)	設置箇所 周辺の現存量 (kBq/m ²)	Cs-137 下方移行量 (1年間)	Cs-137 濃度 (Bq/L)	下方移行量 試算値 (kBq/m ² ・年)	設置箇所 周辺の現存量 (kBq/m ²)	Cs-137 下方移行量 (1年間)		
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	1.76	1.15	1022	0.11%	2.08	1.85	678	0.27%		
	0-5cm	0.55	0.35		0.034%				0.33	0.25	0.037%
	5-10cm	0.29	0.15		0.014%				0.45	0.10	0.015%
	10-20cm	0.49	0.13		0.013%				0.17	0.01	0.0021%
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	1.94	1.49	1060	0.14%	1.24	1.23	633	0.19%		
	0-5cm	0.53	0.26		0.025%				0.38	0.39	0.062%
	5-10cm	0.24	0.07		0.0069%				3.65	0.79	0.12%
	10-20cm	0.33	0.02		0.0021%				11.70	2.29	0.36%
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	0.18	0.11	1206	0.0092%	0.57	0.48	670	0.072%		
	0-5cm	0.27	0.20		0.017%				0.49	0.26	0.038%
	5-10cm	0.46	0.27		0.022%				0.76	0.37	0.055%
	10-20cm	0.55	0.09		0.0074%				0.65	0.01	0.00153%
年度	深度	高倉事業地(間伐区)				高倉事業地(対照区)					
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	0.56	0.48	735	0.066%	0.58	0.47	1015	0.046%		
	0-5cm	0.39	0.29		0.039%				0.36	0.30	0.030%
	5-10cm	0.20	0.10		0.013%				0.26	0.12	0.011%
	10-20cm	0.14	0.03		0.0042%				0.28	0.05	0.0052%
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	0.74	0.72	734	0.098%	0.78	0.64	1137	0.057%		
	0-5cm	0.56	0.49		0.067%				0.43	0.37	0.033%
	5-10cm	0.36	0.40		0.054%				0.21	0.15	0.013%
	10-20cm	0.24	0.13		0.018%				0.10	0.06	0.0053%
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	0.07	0.08	773	0.0102%	0.20	0.31	1333	0.023%		
	0-5cm	0.16	0.20		0.026%				0.11	0.14	0.0103%
	5-10cm	0.11	0.18		0.023%				0.06	0.06	0.0043%
	10-20cm	0.07	0.07		0.0092%				0.09	0.04	0.0029%
年度	深度	飯櫃事業地(間伐区)				飯櫃事業地(対照区)					
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	0.90	0.60	758	0.079%	0.58	0.47	581	0.080%		
	0-5cm	0.41	0.19		0.025%				0.15	0.05	0.0080%
	5-10cm	0.54	0.15		0.020%				0.18	0.05	0.0088%
	10-20cm	0.18	0.03		0.0041%				0.32	0.02	0.0042%
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	1.06	0.54	693	0.077%	0.54	0.48	502	0.095%		
	0-5cm	0.61	0.48		0.070%				0.13	0.08	0.015%
	5-10cm	0.31	0.20		0.028%				0.08	0.03	0.0054%
	10-20cm	0.25	0.14		0.020%				0.05	0.01	0.0024%
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	0.17	0.12	994	0.012%	0.35	0.43	800	0.053%		
	0-5cm	0.47	0.30		0.030%				0.18	0.16	0.020%
	5-10cm	0.50	0.15		0.015%				0.10	0.06	0.0074%
	10-20cm	0.66	0.32		0.032%				0.42	0.09	0.0108%

令和 3(2021)年度の年間移動量は「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。

(n=2)

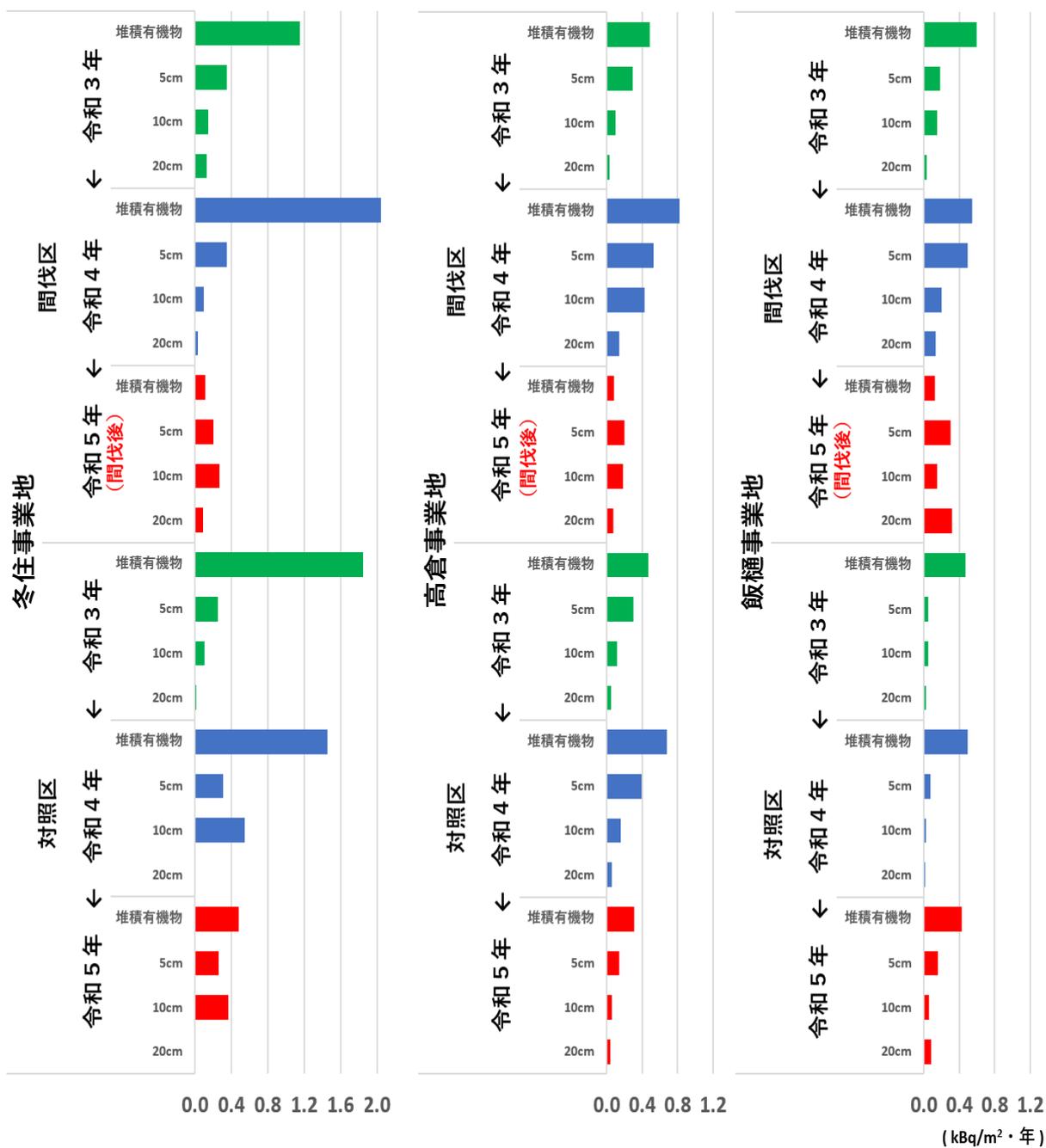


図 4-26 土壤等浸透水に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 年間移動量推定値

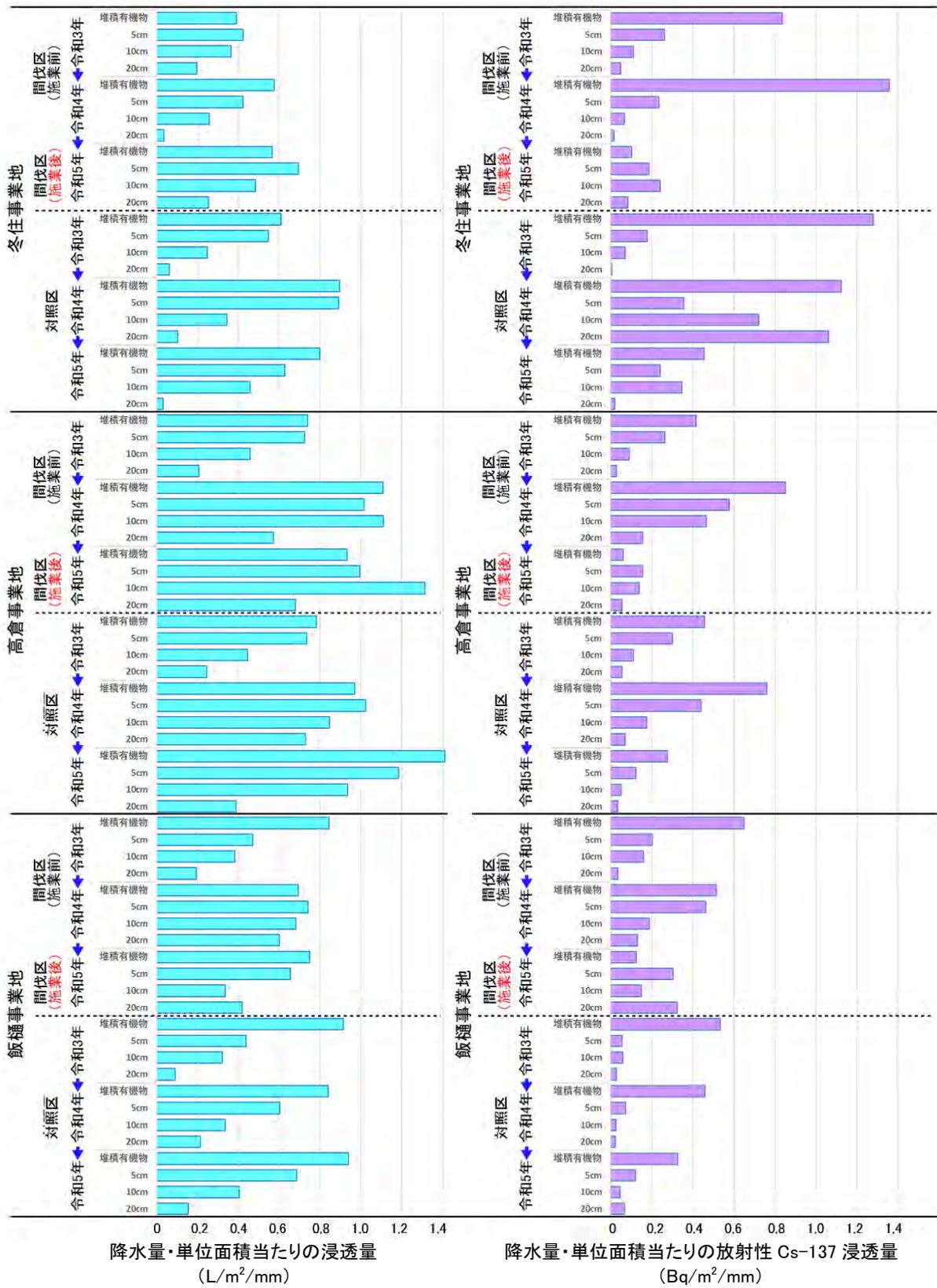


図 4-27 降水量・単位面積当たりの浸透量／Cs-137 浸透量

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 4-15 に示す。

令和 4（2022）年度の残渣の放射性セシウム（Cs-137）濃度は、令和 3（2021）年度と比較し、全体的に上昇していることが確認でき、飯樋事業地で最大 158kBq/kg、冬住事業地で最大 739kBq/kg、高倉事業地で最大 105kBq/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（1.1mg～123.1mg 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 4-15 土壌等浸透水の残渣に含まれる放射性セシウム（Cs-134 及び Cs-137）の濃度

年度	深度	冬住事業地(間伐区)						冬住事業地(対照区)					
		No.1			No.2			No.1			No.2		
		Cs-134 (kBq/kg)	Cs-137 (kBq/kg)	重量 (mg)									
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 実施前	堆積	N.D.	N.D.	5.3	N.D.	76	11.7	N.D.	283	18.4	N.D.	N.D.	11.5
	0-5cm	N.D.	N.D.	12.5	N.D.	N.D.	14.0	N.D.	188	9.4	N.D.	N.D.	5.4
	5-10cm	N.D.	N.D.	10.1	N.D.	N.D.	12.5	N.D.	N.D.	14.1	N.D.	N.D.	12.0
	10-20cm				N.D.	N.D.	11.4	N.D.	N.D.	13.0			
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 実施前	堆積	N.D.	254	26.4	N.D.	303	10.0	N.D.	392	10.8	N.D.	739	4.7
	0-5cm	N.D.	60	10.6	N.D.	91	12.5	N.D.	194	21.2	N.D.	160	30.8
	5-10cm	N.D.	68	10.0	N.D.	101	10.6	N.D.	130	33.8	N.D.	281	10.6
	10-20cm				N.D.	N.D.	10.0	N.D.	126	36.7			
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 実施後	堆積	N.D.	N.D.	10	N.D.	N.D.	10	N.D.	N.D.	10	N.D.	130	10
	0-5cm	N.D.	N.D.	10	N.D.	N.D.	10	N.D.	76	10	N.D.	106	10
	5-10cm	N.D.	N.D.	10	N.D.	N.D.	10	N.D.	N.D.	10	N.D.	95	10
	10-20cm	N.D.	N.D.	10	N.D.	N.D.	10	N.D.	ND	10			
年度	深度	高倉事業地(間伐区)						高倉事業地(対照区)					
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 実施前	堆積	N.D.	N.D.	0.7	N.D.	1350	1.3	N.D.	N.D.	6.4	N.D.	N.D.	6.7
	0-5cm	N.D.	N.D.	10.0	N.D.	N.D.	6.8	N.D.	37	20.9	N.D.	N.D.	1.1
	5-10cm	N.D.	N.D.	3.2	N.D.	79	7.7	N.D.	N.D.	3.2	N.D.	N.D.	10.2
	10-20cm	N.D.	N.D.	0.8	N.D.	N.D.	5.4	N.D.	N.D.	9.0	N.D.	N.D.	1.1
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 実施前	堆積	N.D.	19	119.4	N.D.	105	34.1	N.D.	135	4.2	N.D.	110	4.0
	0-5cm	N.D.	185	2.1	N.D.	47	21.7	N.D.	76	19.7	N.D.	37	17.8
	5-10cm	N.D.	80	17.6	N.D.	49	11.3	N.D.	N.D.	1.4	N.D.	31	29.8
	10-20cm	N.D.	54	16.3	N.D.	36	17.3	N.D.	32	15.6	N.D.	N.D.	18.3
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 実施後	堆積	N.D.	84	3.4	N.D.	37	5.1	N.D.	45	7.6	N.D.	53	7.1
	0-5cm	N.D.	109	4.2	N.D.	39	2.5	N.D.	64	4.4	N.D.	43	2.5
	5-10cm	N.D.	ND	4.7	N.D.	38	5.8	N.D.	N.D.	5.0	N.D.	N.D.	2.5
	10-20cm	N.D.	10	15.1	N.D.	43	3.8	N.D.	22	7.3	N.D.	N.D.	0.6
年度	深度	飯樋事業地(間伐区)						飯樋事業地(対照区)					
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 実施前	堆積	N.D.	N.D.	9.1	N.D.	N.D.	6.7	N.D.	N.D.	9.3	N.D.	N.D.	11.3
	0-5cm	N.D.	81	10.8	N.D.	N.D.	10.1	N.D.	N.D.	5.7	N.D.	N.D.	6.9
	5-10cm	N.D.	54	11.5	N.D.	N.D.	15.9	N.D.	N.D.	63.6	N.D.	N.D.	14.7
	10-20cm	N.D.	N.D.	9.9	N.D.	N.D.	8.0	N.D.	N.D.	11.5	N.D.	N.D.	14.9
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 実施前	堆積	N.D.	60	85.3	N.D.	39	123.1	N.D.	67	86.0	N.D.	95	21.7
	0-5cm	N.D.	122	86.1	N.D.	158	46.5	N.D.	188	26.1	N.D.	44	30.8
	5-10cm	N.D.	159	30.6	N.D.	99	101.7	N.D.	N.D.	4.9	N.D.	15	98.5
	10-20cm	N.D.	50	82.6	N.D.	39	59.1	N.D.	48	40.6	N.D.	26	23.0
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 実施後	堆積	N.D.	N.D.	10	N.D.	56	10	N.D.	N.D.	10	N.D.	N.D.	10
	0-5cm	N.D.	N.D.	10	N.D.	67	10	N.D.	N.D.	10	N.D.	N.D.	10
	5-10cm	N.D.	N.D.	10									
	10-20cm	N.D.	N.D.	10									

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

スギ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、表 4-1 に示す 3 箇所の事業地の間伐区及び対照区において、試験を実施した。細根採取位置を図 4-28、図 4-29、図 4-30 に、スギ林における細根分布イメージを図 4-31 に示す。細根分別用の採取地点は、図 4-17、図 4-18、図 4-19 に示した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。

本年度は、間伐区においては間伐列での試料採取とし、隣接する残存列の優勢木直近位置で採取を実施したため、前年度以前とは異なる地点で試料採取を実施した。試料採取は、後述の「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）」と併せて行った。

試料採取は、スクレーパープレート（面積 15cm×30cm）を用いて堆積有機物層及び土壌深度 0～1 cm、1～2 cm、2～5 cm、5～10 cm、10～15 cm、15～20cm の計 7 深度で行った。試料採取日を表 4-16 に、採取状況写真を写真 4-19 に、細根縮分、測定状況写真を写真 4-20 に示す。

採取した試料は、まず、「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）」の測定用の未分別試料「土＋細根」として 5 章に記載した方法により核種測定を行った後に、細根調査用試料とした。なお、土壌深度 0～1 cm、1～2 cm については、「土＋根」測定後に混合して細根調査用の 1 試料とした。細根分別する試料はバット等に広げ、ピンセットで土塊を崩しながら「粗根（直径φ 2 mm～20mm の根）」、「細根（直径φ 2 mm 未満の根）」を分別した。分別した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。

なお、昨年度は深度 5 cm 以深の試料について、試料を 1/4 に均等案分し（縮分）して細根分別を行ったが、本年度は全深度で縮分を行った上で、核種測定を行った。

縮分を行う試料については、「粗根（直径φ 2 mm～20mm の根）」、「長い細根（直径φ 2 mm 以下、長さ 1 mm 以上の根）」を分別後、よく攪拌し、重量で 1/4 に均等に案分（縮分）し、縮分した 1/4 の試料について、「短い細根（直径φ 2 mm 未満、長さ 1 mm 未満）の根」、「土」の分別を行った。「粗根」、「細根」、「長い細根」、「短い細根」と「土」に分別した試料は、それぞれ後段の「調査・分析方法」に記載した方法により核種測定を行った。令和 3（2021）年度事業の細根採取・分別のイメージを図 4-32 に、本年度事業の細根分別のイメージを図 4-33 に、測定フローを図 4-34 に示す。

また、放射性物質の存在量は、水平面の 1 m²当たりの放射性セシウム量（Bq/m²）で評価を行うことにより、他の森林や平地の調査結果と比較することが可能となるが、本事業地においては傾斜地となっており、水平面での評価に比べて過小となるため、水平面に投影する傾斜補正を実施した。傾斜補正のイメージを図 4-35 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 $0.157\text{kg/m}^2/\text{year}$ ¹⁰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。

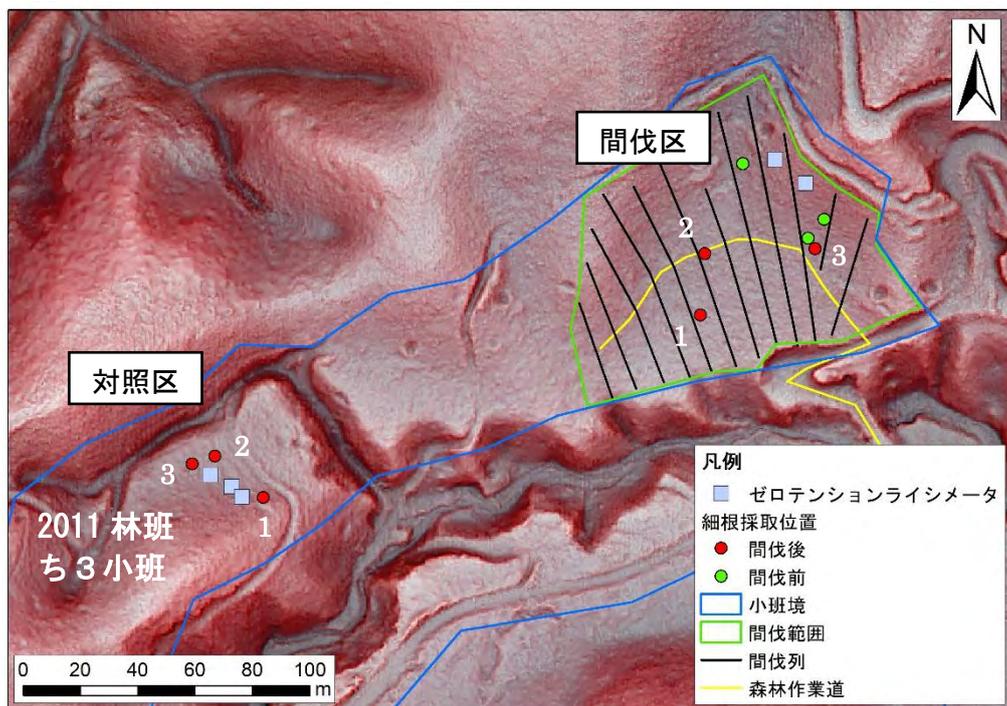


図 4-28 冬住事業地 細根採取位置

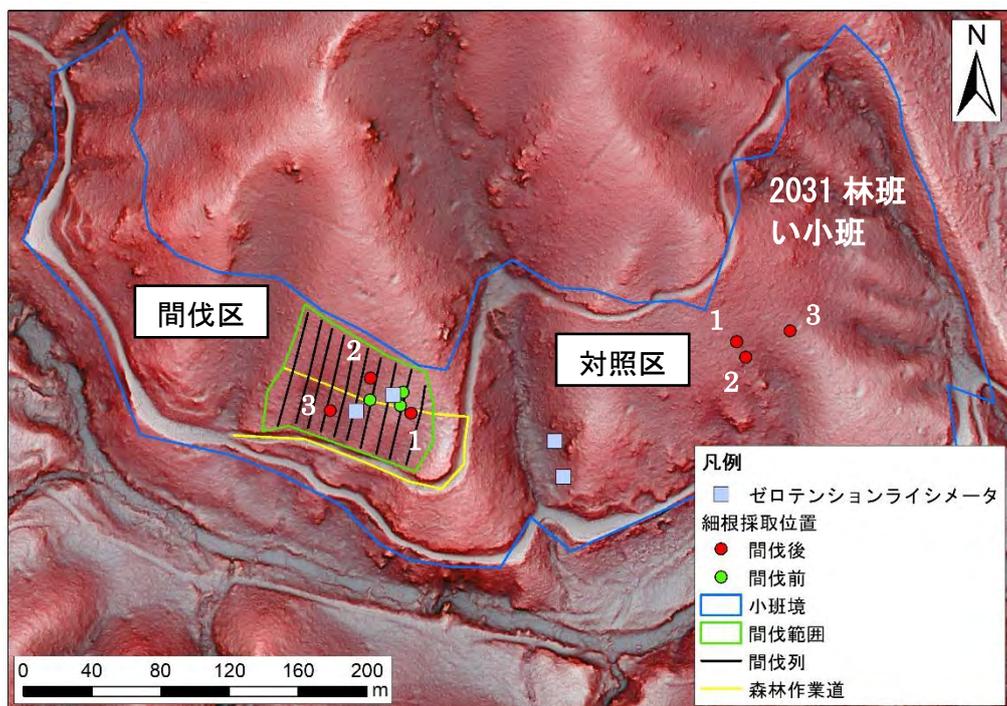


図 4-29 高倉事業地 細根採取位置

¹⁰ 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)

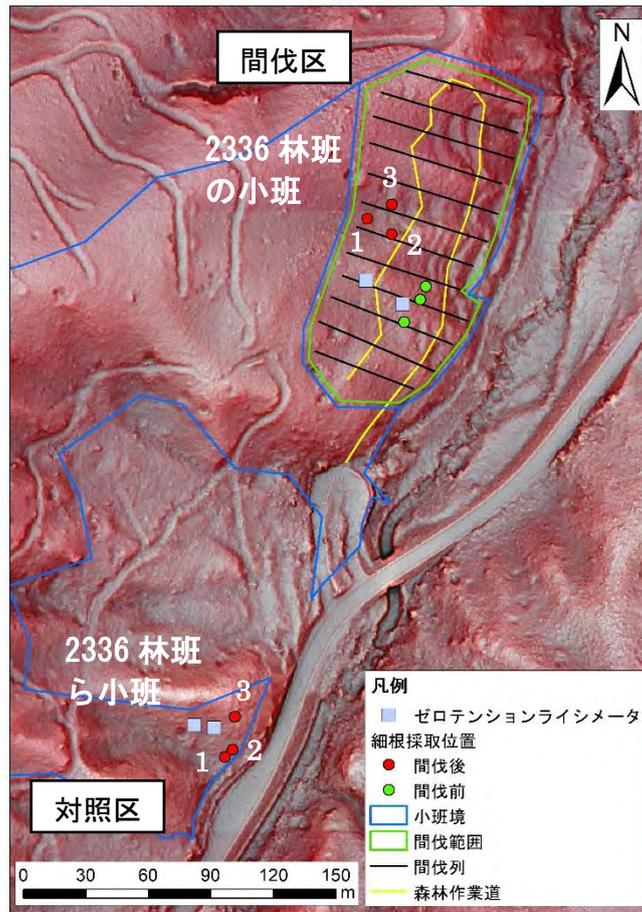


図 4-30 飯樋事業地 細根採取位置

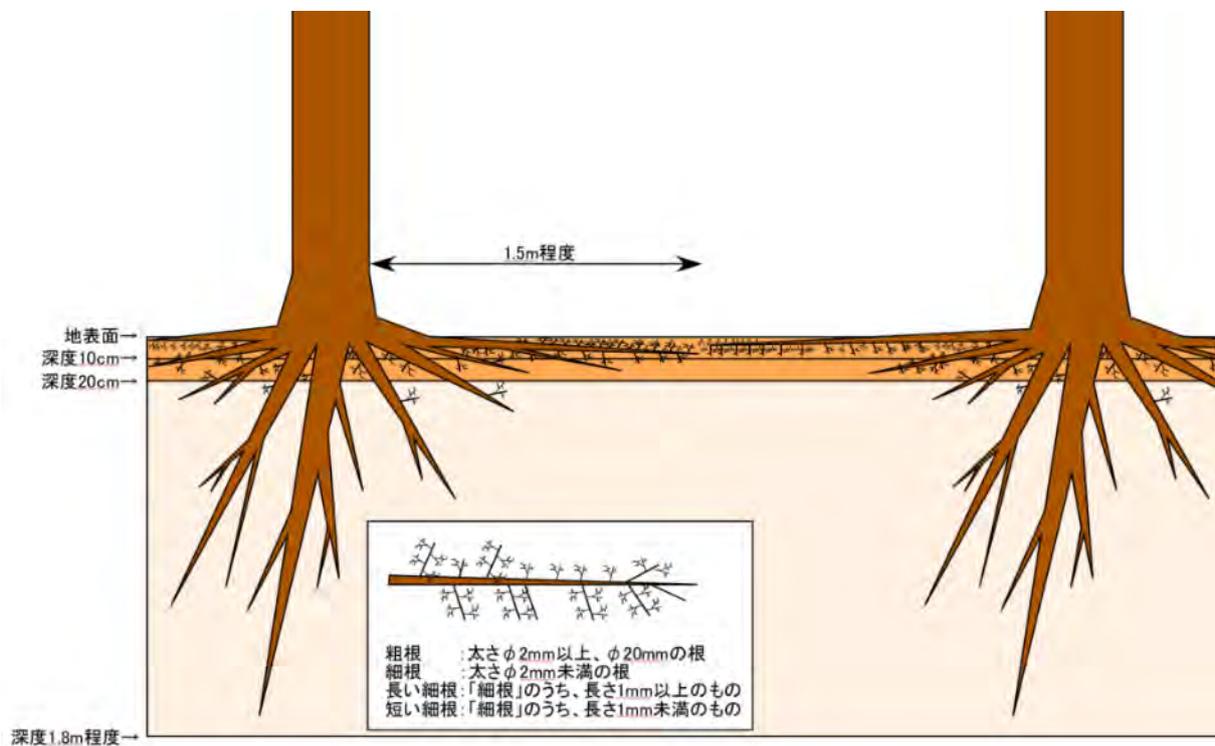


図 4-31 スギ林における細根分布イメージ

表 4-16 各作業区の細根試料採取日

試験地	作業区	地点	令和3(2021)年 間伐区・施業前	令和4(2022)年 間伐区・施業前	令和5(2023)年 間伐区・施業後
冬住 事業地	間伐区	1	9月14日	7月21日	7月24日
		2	9月14日	7月11日	7月24日
		3	9月15日	7月11日	7月24日
	対照区	1	9月15日	7月21日	7月25日
		2	9月15日	7月20日	7月25日
		3	9月15日	7月20日	7月25日
高倉 事業地	間伐区	1	9月29日	7月5日	7月26日
		2	9月28日	7月5日	7月26日
		3	9月28日	7月29日	7月26日
	対照区	1	9月22日	7月12日	7月27日
		2	9月22日	7月12日	7月27日
		3	9月28日	7月25日	7月27日
飯樋 事業地	間伐区	1	9月17日	7月14日	7月28日
		2	9月17日	7月14日	7月28日
		3	9月17日	7月1日	7月28日
	対照区	1	9月17日	7月28日	7月19日
		2	9月21日	7月4日	7月20日
		3	9月21日	7月22日	7月21日

間伐区においては、令和4(2022)年10～12月に森林施業を実施したため、本年度は前年度以前とは異なる地点で細根試料採取を行った(図4-29～4-31)。

令和3(2021)年度 細根採取・分別イメージ

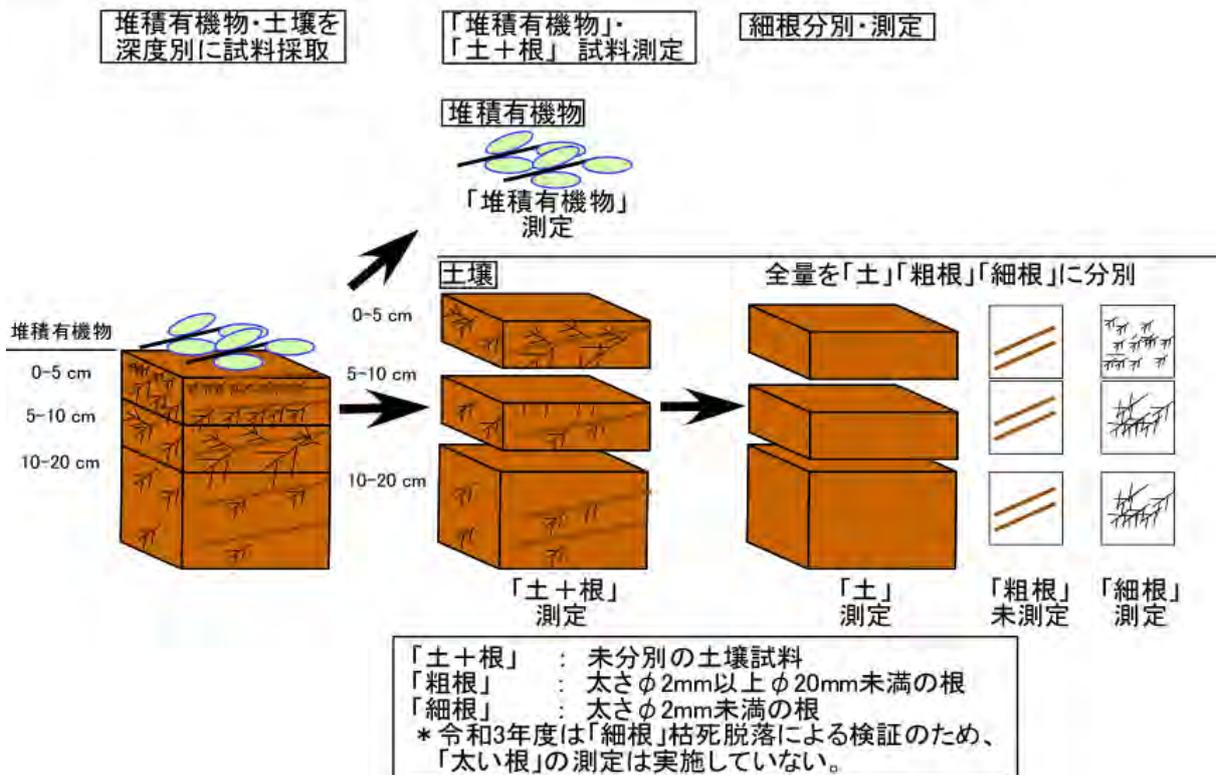


図 4-32 令和3(2021)年度実施 細根採取・試料分別イメージ

細根採取・縮分・分別イメージ

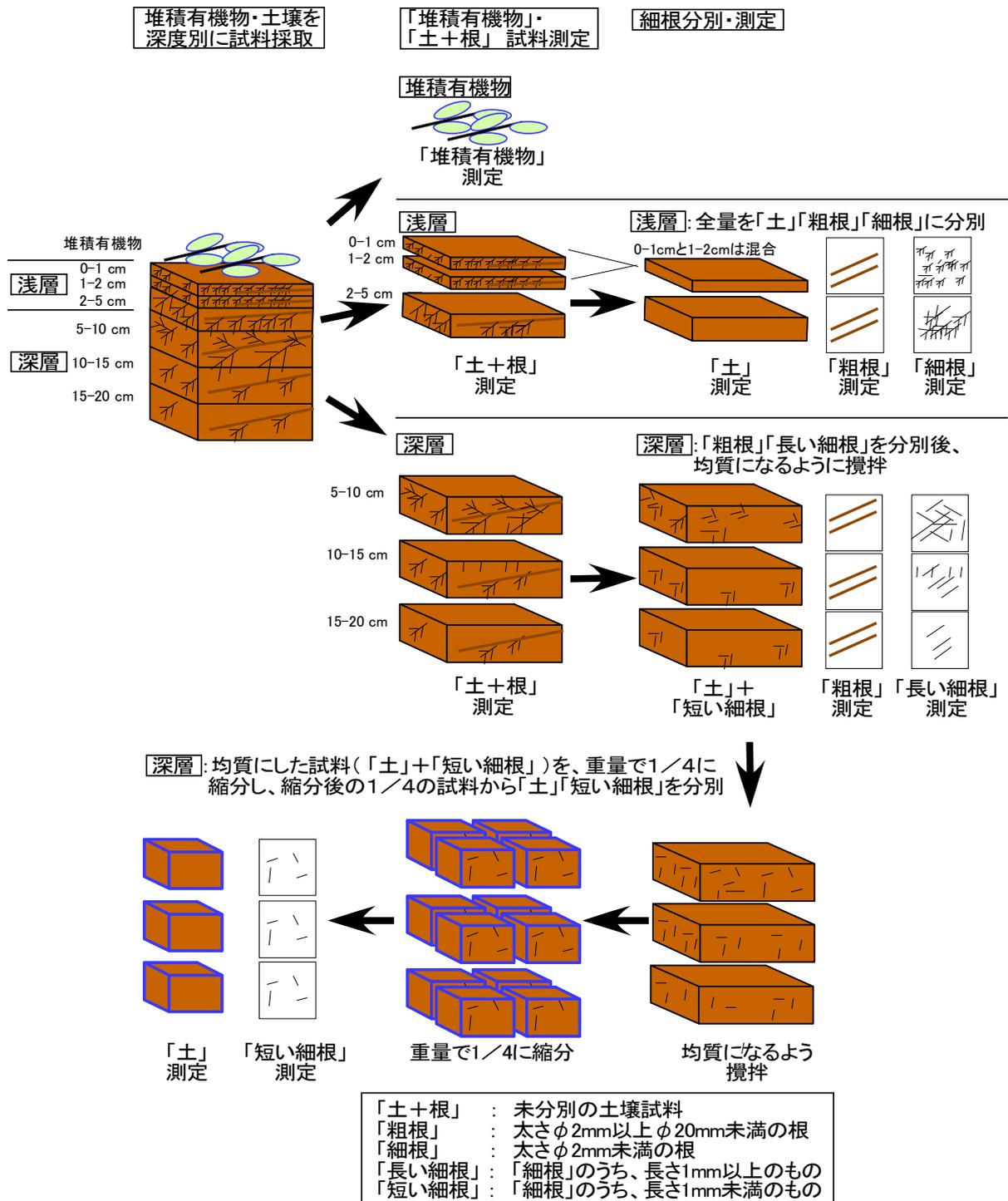


図 4-33 縮分による試料分別イメージ

(令和 4 (2022) 年度、本年度実施。本年度は全深度で縮分を実施)



写真 4-19 細根試料採取状況

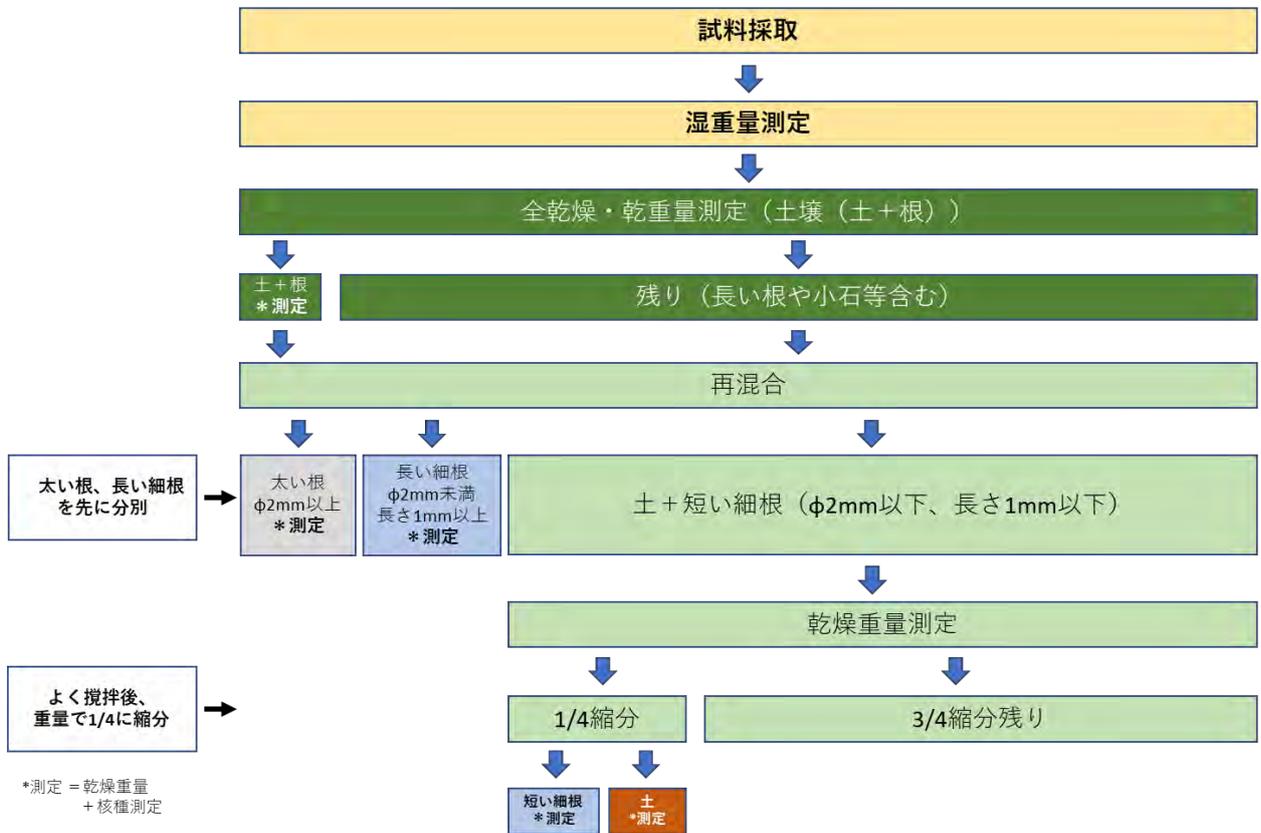
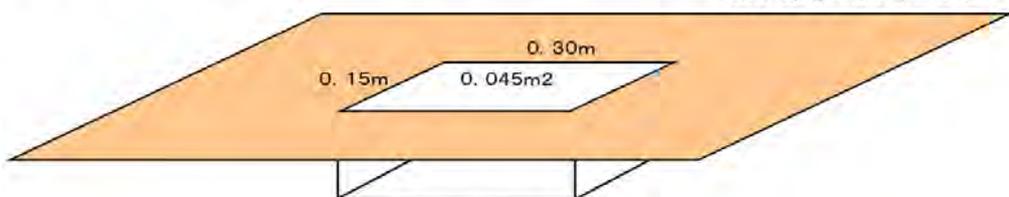


図 4-34 細根分別・測定フロー

①平地におけるスクレーパープレート面積の現存量

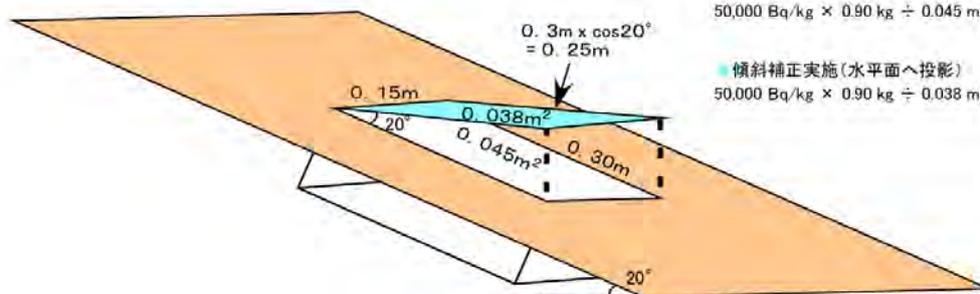
□水平面
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.045 \text{ m}^2 = \frac{1,000,000 \text{ Bq/m}^2}{1,000 \text{ kBq/m}^2}$



②傾斜20°の斜面におけるスクレーパープレート面積の現存量(傾斜補正による評価)

□傾斜補正未実施(傾斜20°の斜面)
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.045 \text{ m}^2 = \frac{1,000,000 \text{ Bq/m}^2}{1,000 \text{ kBq/m}^2}$

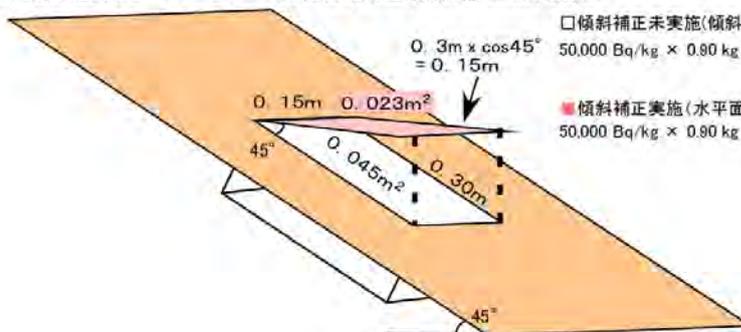
■傾斜補正実施(水平面へ投影)
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.038 \text{ m}^2 = \frac{1,184,210 \text{ Bq/m}^2}{1,184 \text{ kBq/m}^2}$



③傾斜45°の斜面におけるスクレーパープレート面積の現存量(傾斜補正による評価)

□傾斜補正未実施(傾斜45°の斜面)
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.045 \text{ m}^2 = \frac{1,000,000 \text{ Bq/m}^2}{1,000 \text{ kBq/m}^2}$

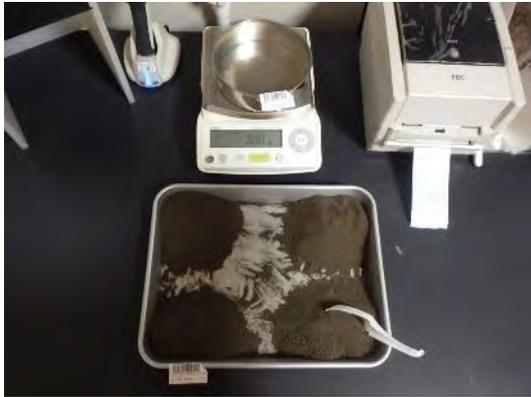
■傾斜補正実施(水平面へ投影)
 $50,000 \text{ Bq/kg} \times 0.90 \text{ kg} \div 0.023 \text{ m}^2 = \frac{1,956,521 \text{ Bq/m}^2}{1,956 \text{ kBq/m}^2}$



①平地:1,000 kBq/m²、②傾斜20°:1,184 kBq/m²、③傾斜45°:1,956 kBq/m²
 (濃度50,000 Bq/kg、乾燥後試料重量0.90 kgの場合の比較)

傾斜角度が異なる場合、他地点と条件が異なるため、比較が行えない。
 水平面に投影し、水平面でのm²当たりの放射性セシウム量とすることで、他地点との比較を行う。

図 4-35 スクレーパープレート試料採取における傾斜補正イメージ



縮分状況



細根洗浄状況



粗根



長い細根



短い細根



写真 4-20 細根縮分、分別、測定状況

(2) 試験結果及び考察

1) 土壌・細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度等

堆積有機物、土壌、細根の乾燥重量と、各層における細根の割合を表 4-17 に示す。ほぼ全ての地点において「短い細根」より「長い細根」の乾燥重量が多かった。令和3

(2021) 年度と令和4 (2022) 年度は、おおむね「粗根」より「細根」の乾燥重量が多かったが、令和5 (2023) 年度は同様の傾向は見られなかった。また、各深度における「土+根」乾燥重量に対する「細根」の割合は、0.01~4.1%であり、0~2cm が最も高く、下層の方が低くなる傾向が確認できた。

表 4-17 試料乾燥重量 (3 地点の合計値)

年度	深度	冬住事業地(間伐区)							冬住事業地(対照区)								
		堆積有機物 (g)	土+根 (g)	土 (g)	粗根 (g)	細根 (g)	長い細根 (g)	短い細根 (g)	細根の割合	堆積有機物 (g)	土+根 (g)	土 (g)	粗根 (g)	細根 (g)	長い細根 (g)	短い細根 (g)	細根の割合
令和3 (2021) 年度・間伐区 施業前	堆積	390	-	-	-	-	-	-	410	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-5cm	-	2,140	2,100	-	37	-	-	1.7%	-	1,180	1,140	-	30	-	-	2.5%
	5-10cm	-	3,840	3,820	-	16	-	-	0.42%	-	2,570	2,540	-	25	-	-	0.97%
	10-20cm	-	7,550	7,540	-	9.3	-	-	0.12%	-	6,310	6,300	-	16	-	-	0.25%
令和4 (2022) 年度・間伐区 施業前	堆積	460	-	-	-	-	-	-	250	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	905	897	1.7	6.8	-	-	0.75%	-	230	220	3.8	6.1	-	-	2.7%
	2-5cm	-	1,640	1,630	2.8	7.8	-	-	0.48%	-	833	821	1.5	11	-	-	1.3%
	5-10cm	-	3,090	3,080	5	8.8	6.2	2.6	0.28%	-	2,110	2,090	3.4	15	11	4	0.71%
	10-15cm	-	3,990	3,970	6.3	8	5.3	2.7	0.20%	-	2,350	2,340	2.9	10	6.8	3.4	0.43%
	15-20cm	-	4,040	4,030	1.2	3.3	2.4	0.9	0.08%	-	2,430	2,420	1	4.2	2.4	1.8	0.17%
令和5 (2023) 年度・間伐区 施業後	堆積	500	-	-	-	-	-	-	230	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	270	222	32	11	8.9	2	4.1%	-	225	210	4.5	7.3	6	1.3	3.2%
	2-5cm	-	694	634	31	20	18	2.7	2.9%	-	787	763	5.8	12	10	2	1.5%
	5-10cm	-	1,460	1,440	5.2	10	8.3	2	0.68%	-	2,390	2,360	7.8	13	10	3.3	0.54%
	10-15cm	-	2,630	2,600	20	5.5	4.1	1.4	0.21%	-	2,610	2,590	4	5.8	4	1.8	0.22%
	15-20cm	-	2,700	2,690	1.3	2.6	1.8	0.8	0.10%	-	2,990	2,980	3.7	2.9	1.7	1.2	0.10%
年度	深度	高倉事業地(間伐区)							高倉事業地(対照区)								
令和3 (2021) 年度・間伐区 施業前	堆積	370	-	-	-	-	-	-	623	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-5cm	-	2,460	2,400	-	56	-	-	2.3%	-	2,380	2,310	-	69	-	-	2.9%
	5-10cm	-	3,470	3,430	-	45	-	-	1.3%	-	4,280	4,260	-	22	-	-	0.51%
	10-20cm	-	9,030	8,970	-	53	-	-	0.59%	-	12,360	12,340	-	19	-	-	0.15%
令和4 (2022) 年度・間伐区 施業前	堆積	330	-	-	-	-	-	-	250	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	592	582	0.9	8.8	-	-	1.5%	-	893	879	5.2	8.9	-	-	1.0%
	2-5cm	-	1,970	1,950	3.7	18	-	-	0.91%	-	1,820	1,810	2.1	7.7	-	-	0.42%
	5-10cm	-	4,130	4,100	12	27	17	9.9	0.65%	-	3,770	3,760	3.2	9.3	4.8	4.6	0.25%
	10-15cm	-	3,640	3,610	23	13	7.5	5.5	0.36%	-	4,960	4,950	4.1	4.2	2.6	1.6	0.08%
	15-20cm	-	4,180	4,160	8.5	11	6.2	4.5	0.26%	-	4,750	4,750	1.2	2.8	2	0.7	0.06%
令和5 (2023) 年度・間伐区 施業後	堆積	244	-	-	-	-	-	-	190	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	696	670	4.3	14	12	2.4	2.0%	-	623	596	15	7.4	6	1.4	1.2%
	2-5cm	-	1,610	1,570	8.1	19	15	4.7	1.2%	-	1,550	1,530	7.4	7.8	5.7	2.1	0.50%
	5-10cm	-	3,570	3,530	9.5	13	9.5	3.2	0.36%	-	4,830	4,800	6	13	9.7	3.6	0.27%
	10-15cm	-	4,730	4,700	16	8.1	6	2.1	0.17%	-	6,250	6,240	5.9	7.1	5.3	1.8	0.11%
	15-20cm	-	5,130	5,100	26	5.2	3.9	1.4	0.10%	-	6,900	6,880	16	5.1	3.8	1.3	0.07%
年度	深度	飯櫃事業地(間伐区)							飯櫃事業地(対照区)								
令和3 (2021) 年度・間伐区 施業前	堆積	300	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-5cm	-	2,260	2,230	-	25	-	-	1.1%	-	1,840	1,760	-	66	-	-	3.6%
	5-10cm	-	3,560	3,550	-	11	-	-	0.31%	-	4,100	4,080	-	42	-	-	1.0%
	10-20cm	-	7,700	7,690	-	9.9	-	-	0.13%	-	10,920	10,910	-	21	-	-	0.19%
令和4 (2022) 年度・間伐区 施業前	堆積	280	-	-	-	-	-	-	350	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	640	631	0.7	8	-	-	1.3%	-	699	681	4.5	14	-	-	2.0%
	2-5cm	-	1,330	1,320	5.4	6.3	-	-	0.47%	-	1,980	1,950	12	14	-	-	0.71%
	5-10cm	-	3,100	3,090	6.2	4	2.9	1.1	0.13%	-	3,850	3,830	9	7.6	4.1	3.4	0.20%
	10-15cm	-	3,340	3,330	6.6	1.5	0.6	0.9	0.04%	-	4,190	4,190	1	4.2	2.8	1.4	0.10%
	15-20cm	-	3,380	3,380	2	1.1	0.8	0.3	0.03%	-	4,940	4,930	3.8	3.7	2.1	1.6	0.07%
令和5 (2023) 年度・間伐区 施業後	堆積	230	-	-	-	-	-	-	190	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	499	483	12	3	2.6	0.4	0.60%	-	478	462	5.4	7.9	6.9	1	1.7%
	2-5cm	-	1,400	1,390	4.3	3.7	3	0.7	0.26%	-	1,810	1,780	9	12	9.7	2.2	0.66%
	5-10cm	-	3,100	3,100	1	1.3	1	0.3	0.04%	-	4,960	4,930	13	9.6	7.4	2.2	0.19%
	10-15cm	-	4,090	4,090	0	0.5	0.4	0.1	0.01%	-	5,630	5,620	13	4	2.9	1.1	0.07%
	15-20cm	-	4,020	4,020	1.6	0.6	0.6	0.1	0.01%	-	7,690	7,680	7.3	2.6	2	0.6	0.03%

「土」は、根の洗浄時に流出するため、重量の測定が正確に行えない。そのため、「土+根」から「土」、「粗根」および「細根」を除いた重量で計算している。

本表では数値を丸めているため、合計は一致しない。

「短い細根」は1/4に縮分した試料から分別しているため、重量を測定値から4倍にしている。

令和4(2022)年の5cm以深の「細根」は、「長い細根」、「短い細根」重量の合計値を示す。

「堆積有機物」、「粗根」、「細根」、「長い細根」、「短い細根」は有効数字2桁とし、「土+根」、「土」は有効数字3桁とした。

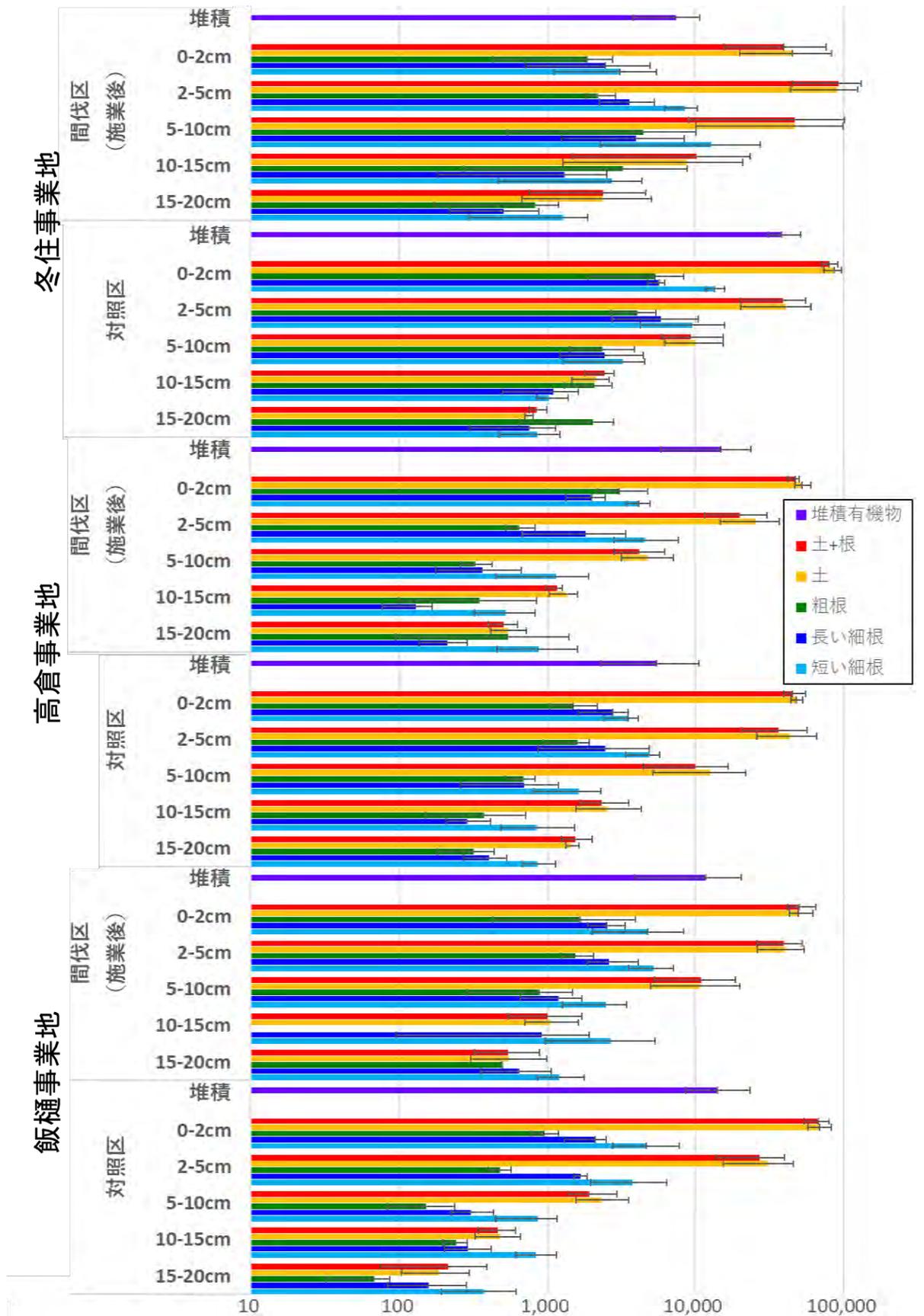
放射性セシウム (Cs-137) の濃度を表 4-18 に、本年度の放射性セシウム濃度測定結果を図 4-36 に示す。放射性セシウム (Cs-137) 濃度は、いずれの事業地においても、細根よりも、堆積有機物や土壌の方が概ね高い傾向が見られた。また、冬住事業地対照区 15-20cm、高倉事業地間伐区 15-20cm、飯樋事業地間伐区 10-15cm、15-20cm、同対照区 10-15cm、15-20cm の各深度においては、土壌よりも細根の放射性セシウム (Cs-137) 濃度の方が高かった。これらの深度では、細根の成長と、その後の枯死・脱落が、土壌中の放射性セシウムの下方移動に寄与していた可能性がある。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、3.4~640 Bq/m² 程度であり、堆積有機物 (8,700~72,000 Bq/m²) や土壌 (11,000~470,000 Bq/m²) と比較すると極めて小さな値であった。また、本事業では、縮分時に、「長い細根 (太さφ 2 mm 未満、長さ 1 mm 以上)」、「短い細根 (太さφ 2 mm 未満、長さ 1 mm 未満) の測定を行っているが、30 試料中 29 試料 (全体の 97%) の試料で、「短い細根」の放射性セシウム (Cs-137) 濃度が高かったことが確認された。「粗根」については、30 試料中 27 試料 (全体の 90%) が「細根」よりも濃度が低く、「粗根」が「土」よりも濃度が高い地点は 1 試料 (冬住事業地対照区 15-20cm) で確認された。

表 4-18 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)

(単位: Bq/kg)

年度	深度	冬住事業地(間伐区)							冬住事業地(対照区)						
		堆積有機物	土+根	土	粗根	細根	長い細根	短い細根	堆積有機物	土+根	土	粗根	細根	長い細根	短い細根
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	47,000	-	-	-	-	-	-	56,000	-	-	-	-	-	-
	0-5cm	-	49,000	42,000	-	21,000	-	-	-	41,000	46,000	-	12,000	-	-
	5-10cm	-	2,800	2,500	-	1,200	-	-	-	5,000	5,000	-	3,300	-	-
	10-20cm	-	390	370	-	590	-	-	-	840	800	-	2,200	-	-
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	30,000	-	-	-	-	-	-	33,000	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	58,000	66,000	400	11,000	-	-	-	99,000	120,000	520	8,400	-	-
	2-5cm	-	31,000	33,000	1,300	9,900	-	-	-	42,000	46,000	540	6,600	-	-
	5-10cm	-	5,300	5,800	600	2,800	1,900	3,200	-	6,000	6,500	2,100	2,500	2,000	2,700
	10-15cm	-	980	1,000	260	640	380	770	-	1,500	1,400	1,600	930	1,000	890
	15-20cm	-	470	400	230	810	250	1,000	-	560	620	110	730	710	750
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	7,400	-	-	-	-	-	-	38,000	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	39,000	45,000	1,900	3,000	2,500	3,100	-	80,000	87,000	5,300	12,000	5,700	13,000
	2-5cm	-	92,000	90,000	2,200	7,800	3,600	8,500	-	39,000	41,000	4,100	8,900	5,800	9,500
	5-10cm	-	47,000	46,000	4,500	11,057	4,000	13,000	-	9,300	10,000	2,400	3,000	2,400	3,200
	10-15cm	-	10,000	8,700	3,200	2,400	1,300	2,700	-	2,400	2,100	2,100	1,100	1,100	1,000
	15-20cm	-	2,400	2,400	820	1,000	500	1,300	-	850	740	2,000	810	750	850
年度	深度	高倉事業地(間伐区)							高倉事業地(対照区)						
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	54,000	-	-	-	-	-	-	39,000	-	-	-	-	-	-
	0-5cm	-	23,000	30,000	-	11,000	-	-	-	29,000	43,000	-	20,000	-	-
	5-10cm	-	2,300	2,600	-	820	-	-	-	4,500	6,800	-	2,700	-	-
	10-20cm	-	590	650	-	540	-	-	-	520	730	-	510	-	-
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	13,000	-	-	-	-	-	-	14,000	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	43,000	58,000	460	4,600	-	-	-	52,000	69,000	500	2,400	-	-
	2-5cm	-	16,000	20,000	1,000	1,700	-	-	-	26,000	38,000	390	4,100	-	-
	5-10cm	-	3,000	3,500	700	1,000	590	1,300	-	6,800	10,000	350	2,900	1,500	4,300
	10-15cm	-	790	1,000	210	530	310	690	-	930	1,300	390	800	240	1,100
	15-20cm	-	620	740	120	510	200	740	-	430	580	230	1,100	160	1,400
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	15,000	-	-	-	-	-	-	5,500	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	47,000	53,000	3,100	3,800	2,000	4,100	-	45,000	48,000	1,500	3,400	2,800	3,500
	2-5cm	-	20,000	26,000	640	3,900	1,800	4,500	-	36,000	44,000	1,600	4,300	2,500	4,900
	5-10cm	-	4,100	4,700	330	950	360	1,200	-	10,000	13,000	690	1,400	700	1,600
	10-15cm	-	1,200	1,300	350	420	130	530	-	2,300	2,500	370	700	290	840
	15-20cm	-	510	540	540	710	210	880	-	1,500	1,400	320	740	410	850
年度	深度	飯櫃事業地(間伐区)							飯櫃事業地(対照区)						
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	20,000	-	-	-	-	-	-	26,000	-	-	-	-	-	-
	0-5cm	-	30,000	28,000	-	3,500	-	-	-	30,000	33,000	-	5,100	-	-
	5-10cm	-	6,800	5,500	-	1,900	-	-	-	1,600	1,900	-	700	-	-
	10-20cm	-	400	390	-	390	-	-	-	150	160	-	340	-	-
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	21,000	-	-	-	-	-	-	7,500	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	45,000	49,000	380	3,800	-	-	-	61,000	70,000	600	5,400	-	-
	2-5cm	-	26,000	30,000	560	5,900	-	-	-	8,500	11,000	420	5,400	-	-
	5-10cm	-	5,500	5,100	500	3,700	2,400	4,200	-	760	920	270	730	230	1,200
	10-15cm	-	730	700	270	1,300	860	1,900	-	250	260	800	410	160	540
	15-20cm	-	240	220	1,000	2,200	630	2,800	-	140	160	82	530	200	780
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	12,000	-	-	-	-	-	-	14,000	-	-	-	-	-	-
	0-2cm	-	50,000	50,000	1,700	4,500	2,500	4,800	-	67,000	69,000	940	4,400	2,100	4,700
	2-5cm	-	39,000	40,000	1,600	4,700	2,600	5,200	-	27,000	31,000	480	3,400	1,700	3,700
	5-10cm	-	11,000	11,000	880	2,200	1,200	2,500	-	1,900	2,300	150	730	300	850
	10-15cm	-	1,000	1,100	-	2,200	910	2,700	-	460	480	240	680	290	840
	15-20cm	-	550	550	490	1,100	650	1,200	-	210	190	68	330	160	370

令和4(2022)年の5cm以深の「細根」は、「長い細根」、「短い細根」の濃度を重量比で案分し、計算した。
数値は有効数字2桁とした。



誤差線は、最大値及び最小値を示す。

Cs-137 濃度 (Bq/kg)

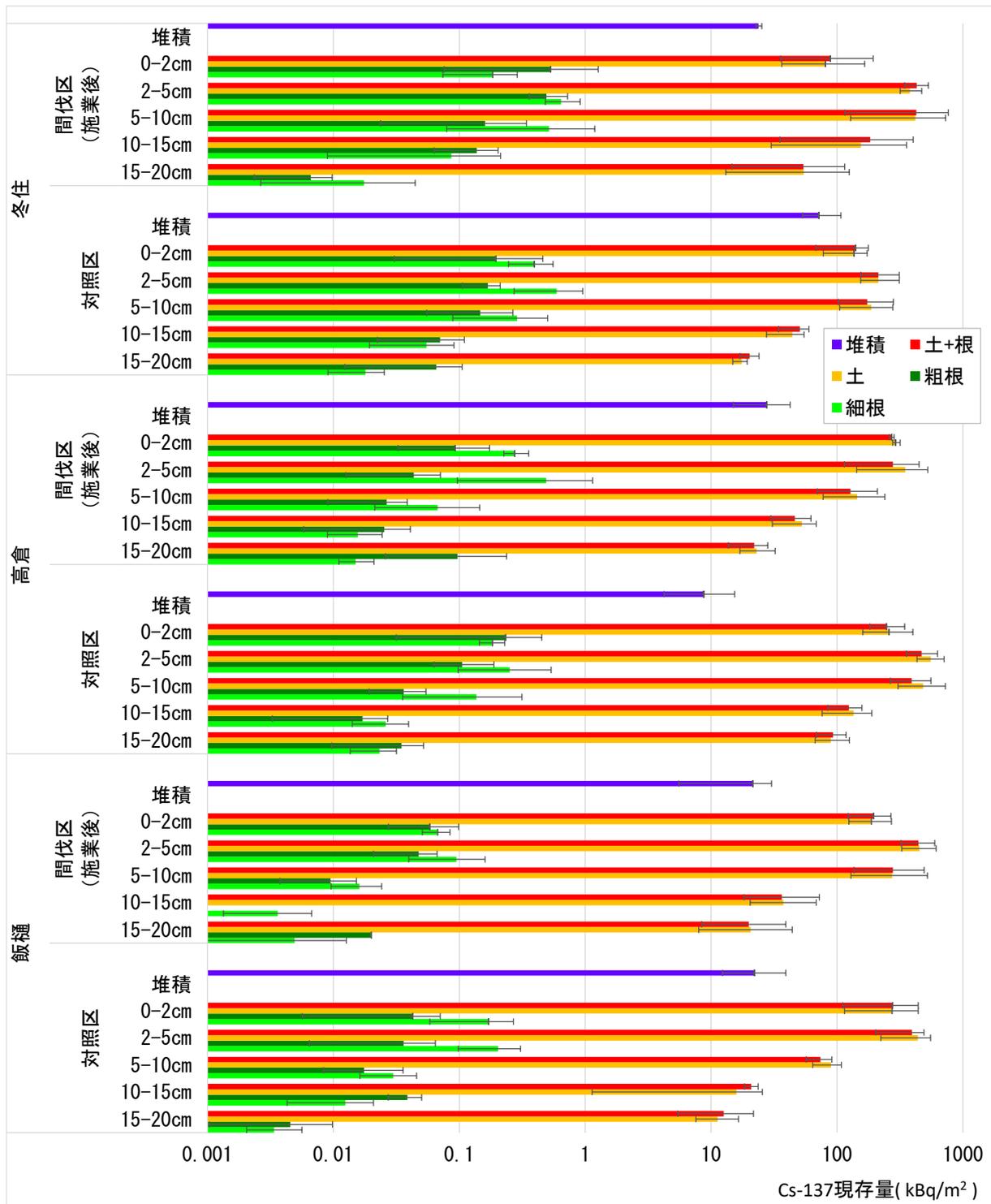
図 4-36 堆積有機物、土壌、及び細根に含まれる放射性セシウム (Cs-137) 濃度の層位・土壌深度ごとの比較 (横軸対数目盛) 令和 5 (2023) 年測定結果

本年度の堆積有機物、土壌、細根に含まれる放射性セシウム（Cs-137）現存量を表 4-20、図 4-37 に示す。いずれの地点においても、土の 2～5 cm の現存量が最も高い傾向にあり、それより下層では深度が大きいほど低下する傾向が確認された。

表 4-19 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） ※本年度の結果

事業地	作業区	層位 (深度)	令和5(2023)年測定結果 Cs-137現存量 (kBq/m ²)							Cs-137 全深度 現存量
			堆積 有機物	土+根	土	粗根	細根	長い細根	短い細根	
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	24	-	-	-	-	-	-	1,200
		0-2cm	-	89	81	0.53	0.18	0.14	0.044	
		2-5cm	-	430	380	0.49	0.64	0.47	0.18	
		5-10cm	-	430	420	0.16	0.52	0.32	0.2	
		10-15cm	-	180	150	0.14	0.087	0.057	0.029	
		15-20cm	-	54	54	0.0066	0.018	0.01	0.0073	
	対照区	堆積	72	-	-	-	-	-	-	670
		0-2cm	-	140	140	0.2	0.39	0.26	0.13	
		2-5cm	-	210	210	0.17	0.59	0.46	0.13	
		5-10cm	-	170	190	0.15	0.29	0.2	0.088	
		10-15cm	-	51	44	0.07	0.055	0.04	0.015	
		15-20cm	-	20	18	0.066	0.018	0.01	0.008	
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	28	-	-	-	-	-	-	770
		0-2cm	-	270	290	0.092	0.28	0.19	0.081	
		2-5cm	-	280	350	0.044	0.49	0.29	0.2	
		5-10cm	-	130	140	0.027	0.067	0.034	0.034	
		10-15cm	-	46	53	0.025	0.016	0.0066	0.009	
		15-20cm	-	22	23	0.097	0.015	0.0066	0.0084	
	対照区	堆積	8.7	-	-	-	-	-	-	1,300
		0-2cm	-	250	260	0.23	0.18	0.14	0.046	
		2-5cm	-	470	560	0.11	0.25	0.16	0.094	
		5-10cm	-	390	480	0.036	0.14	0.08	0.056	
		10-15cm	-	120	140	0.017	0.026	0.014	0.012	
		15-20cm	-	93	89	0.035	0.023	0.013	0.01	
飯樋 事業地	間伐区 (施業前)	堆積	21	-	-	-	-	-	-	1,000
		0-2cm	-	190	190	0.058	0.067	0.051	0.017	
		2-5cm	-	440	450	0.048	0.095	0.068	0.027	
		5-10cm	-	280	270	0.0095	0.016	0.009	0.007	
		10-15cm	-	36	37	-	0.0036	0.0014	0.0022	
		15-20cm	-	20	21	0.02	0.0049	0.0043	0.00066	
	対照区	堆積	22	-	-	-	-	-	-	800
		0-2cm	-	280	270	0.043	0.17	0.13	0.041	
		2-5cm	-	390	440	0.036	0.2	0.14	0.066	
		5-10cm	-	74	89	0.018	0.03	0.016	0.013	
		10-15cm	-	21	16	0.039	0.012	0.0055	0.007	
		15-20cm	-	13	11	0.0045	0.0034	0.0019	0.0015	

全深度現存量は、「堆積有機物」と「土+根」の合計値を示す。
5cm以深の「細根」は、「長い細根」、「短い細根」現存量の合計値を示す。
数値は有効数字2桁とした。



誤差線は、最大値及び最小値を示す。

図 4-37 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、横軸対数目盛)
 本事業、令和5 (2023) 年測定結果

また、過年度事業との比較を行うため、同深度に区分した放射性セシウム (Cs-137) 現存量を表 4-20 に、令和3年 (2021) 年～令和5年 (2023) 年の測定結果を図 4-38～図 4-40 に示した。放射性セシウム (Cs-137) 現存量は、いずれの点においても、堆積有機物層より土壌0～5 cm の

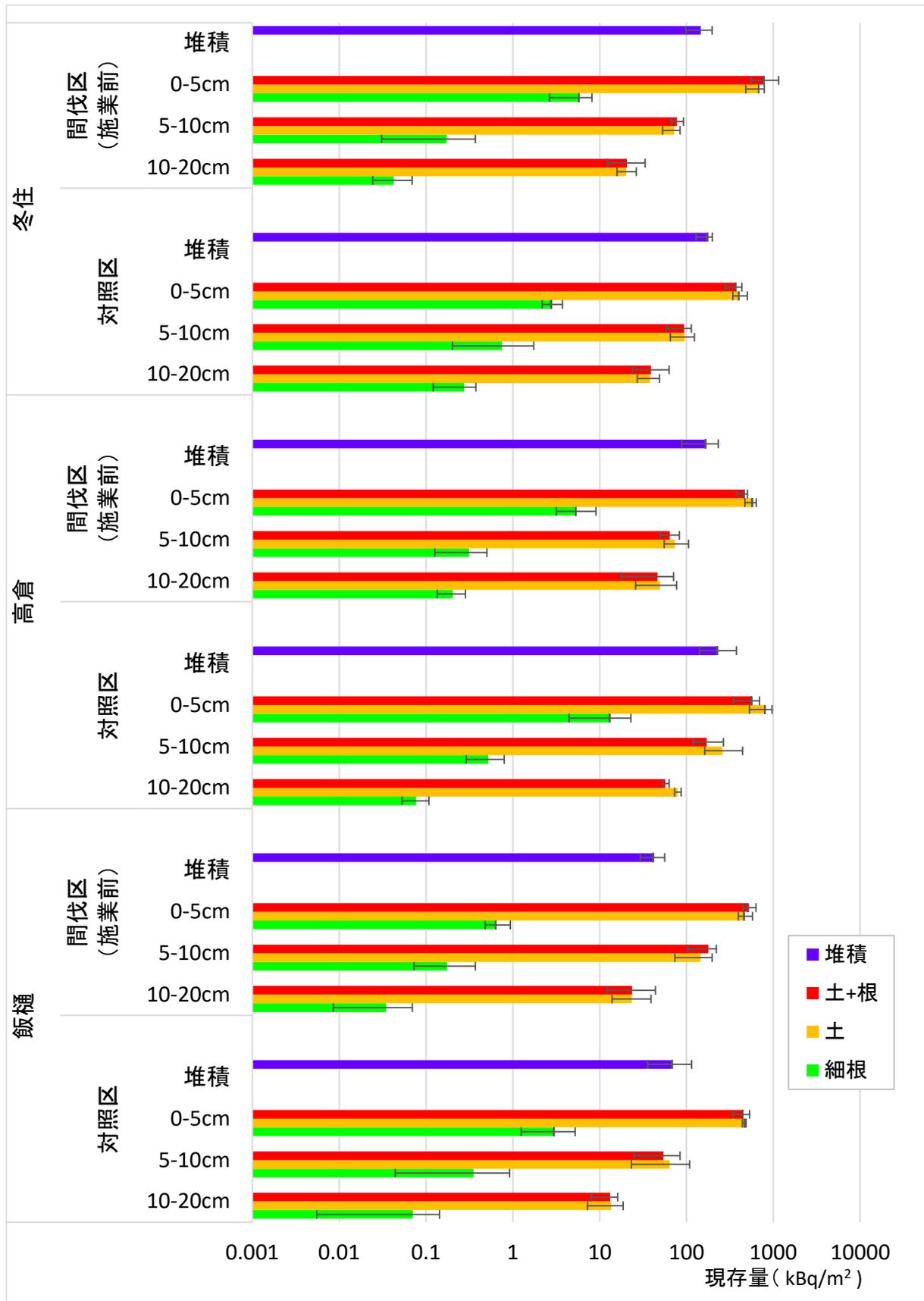
方が大きく、深度が深くなるにつれて低下するという令和3（2021）年の調査結果と同様の傾向が見られた。

表 4-20 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）

（単位:kBq/m²）

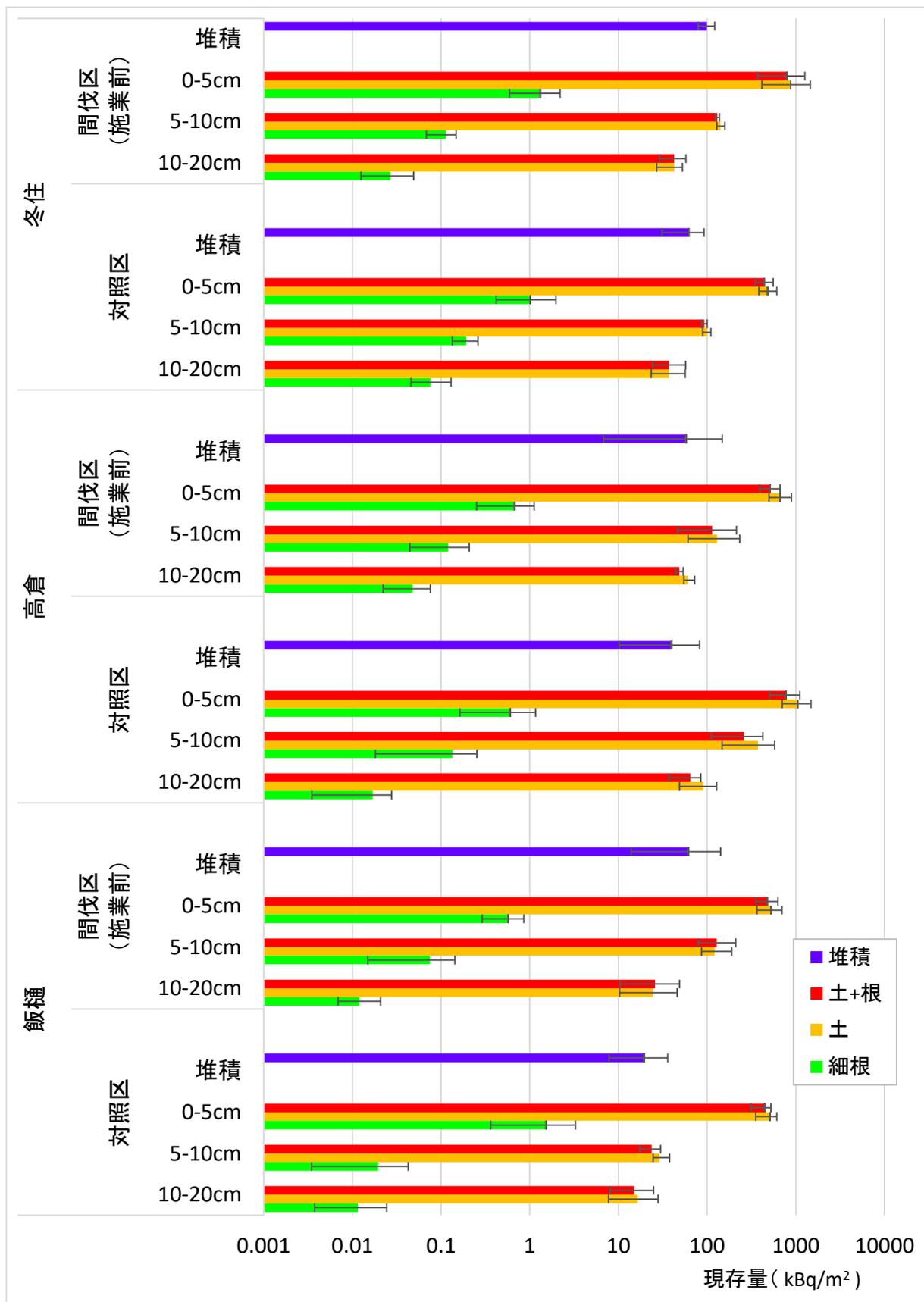
年度	深度	冬住事業地(間伐区)								Cs-137 全深度 現存量	冬住事業地(対照区)								Cs-137 全深度 現存量
		堆積 有機物	土+根	土	粗根	細根	長い 細根	短い 細根	堆積 有機物		土+根	土	粗根	細根	長い 細根	短い 細根			
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	150	-	-	-	-	-	-	1000	170	-	-	-	-	-	-	680		
	0-5cm	-	780	680	-	5.8	-	-		-	370	400	-	2.8	-	-			
	5-10cm	-	78	72	-	0.17	-	-		-	94	100	-	0.75	-	-			
	10-20cm	-	21	20	-	0.043	-	-		-	39	38	-	0.27	-	-			
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	100	-	-	-	-	-	-	1100	62	-	-	-	-	-	-	630		
	0-5cm	-	790	880	0.092	1.3	-	-		-	440	480	0.033	1	-	-			
	5-10cm	-	130	140	0.023	0.11	0.097	0.016		-	93	100	0.072	0.19	0.17	0.021			
	10-20cm	-	42	43	0.023	0.027	0.021	0.0057		-	37	37	0.032	0.076	0.066	0.0092			
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	24	-	-	-	-	-	-	1200	72	-	-	-	-	-	-	670		
	0-5cm	-	520	460	1	0.83	0.61	0.22		-	350	350	0.36	0.99	0.72	0.27			
	5-10cm	-	430	420	0.16	0.52	0.32	0.2		-	170	190	0.15	0.29	0.2	0.088			
	10-20cm	-	240	210	0.14	0.1	0.068	0.036		-	71	62	0.14	0.073	0.05	0.023			
年度	深度	高倉事業地(間伐区)								高倉事業地(対照区)									
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	170	-	-	-	-	-	-	730	220	-	-	-	-	-	-	1000		
	0-5cm	-	460	570	-	5.3	-	-		-	560	800	-	13	-	-			
	5-10cm	-	64	73	-	0.31	-	-		-	170	260	-	0.52	-	-			
	10-20cm	-	46	49	-	0.2	-	-		-	57	79	-	0.077	-	-			
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	58	-	-	-	-	-	-	730	40	-	-	-	-	-	-	1100		
	0-5cm	-	510	660	0.082	0.68	-	-		-	770	1100	0.046	0.6	-	-			
	5-10cm	-	110	130	0.086	0.12	0.088	0.032		-	260	370	0.017	0.13	0.082	0.052			
	10-20cm	-	48	61	0.063	0.048	0.033	0.015		-	65	91	0.034	0.017	0.0089	0.0081			
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	28	-	-	-	-	-	-	770	8.7	-	-	-	-	-	-	1300		
	0-5cm	-	550	640	0.14	0.77	0.48	0.28		-	720	810	0.34	0.43	0.29	0.14			
	5-10cm	-	130	140	0.027	0.067	0.034	0.034		-	390	480	0.036	0.14	0.08	0.056			
	10-20cm	-	68	76	0.12	0.031	0.013	0.017		-	220	220	0.052	0.049	0.028	0.022			
年度	深度	飯樋事業地(間伐区)								飯樋事業地(対照区)									
令和3 (2021) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	41	-	-	-	-	-	-	760	68	-	-	-	-	-	-	580		
	0-5cm	-	510	460	-	0.63	-	-		-	450	470	-	3	-	-			
	5-10cm	-	180	150	-	0.17	-	-		-	54	64	-	0.35	-	-			
	10-20cm	-	24	23	-	0.035	-	-		-	13	14	-	0.071	-	-			
令和4 (2022) 年度 ・ 間伐区 施業前	堆積	61	-	-	-	-	-	-	690	19	-	-	-	-	-	-	500		
	0-5cm	-	480	530	0.023	0.57	-	-		-	440	500	0.071	1.5	-	-			
	5-10cm	-	130	120	0.026	0.075	0.066	0.0094		-	24	29	0.0074	0.02	0.0084	0.011			
	10-20cm	-	26	24	0.061	0.012	0.0079	0.0042		-	15	16	0.023	0.012	0.0074	0.0041			
令和5 (2023) 年度 ・ 間伐区 施業後	堆積	21	-	-	-	-	-	-	1000	22	-	-	-	-	-	-	800		
	0-5cm	-	640	640	0.11	0.16	0.12	0.04		-	670	710	0.079	0.37	0.27	0.11			
	5-10cm	-	280	270	0.0095	0.016	0.009	0.007		-	74	89	0.018	0.03	0.016	0.013			
	10-20cm	-	56	58	0.02	0.0085	0.0057	0.0028		-	33	27	0.043	0.016	0.0073	0.0085			

Cs-137全深度現存量は、「堆積有機物」と「土+根」の合計値。
「細根」の現存量は、「長い細根」と「短い細根」の現存量の合計値。
数値は有効数字2桁とした。



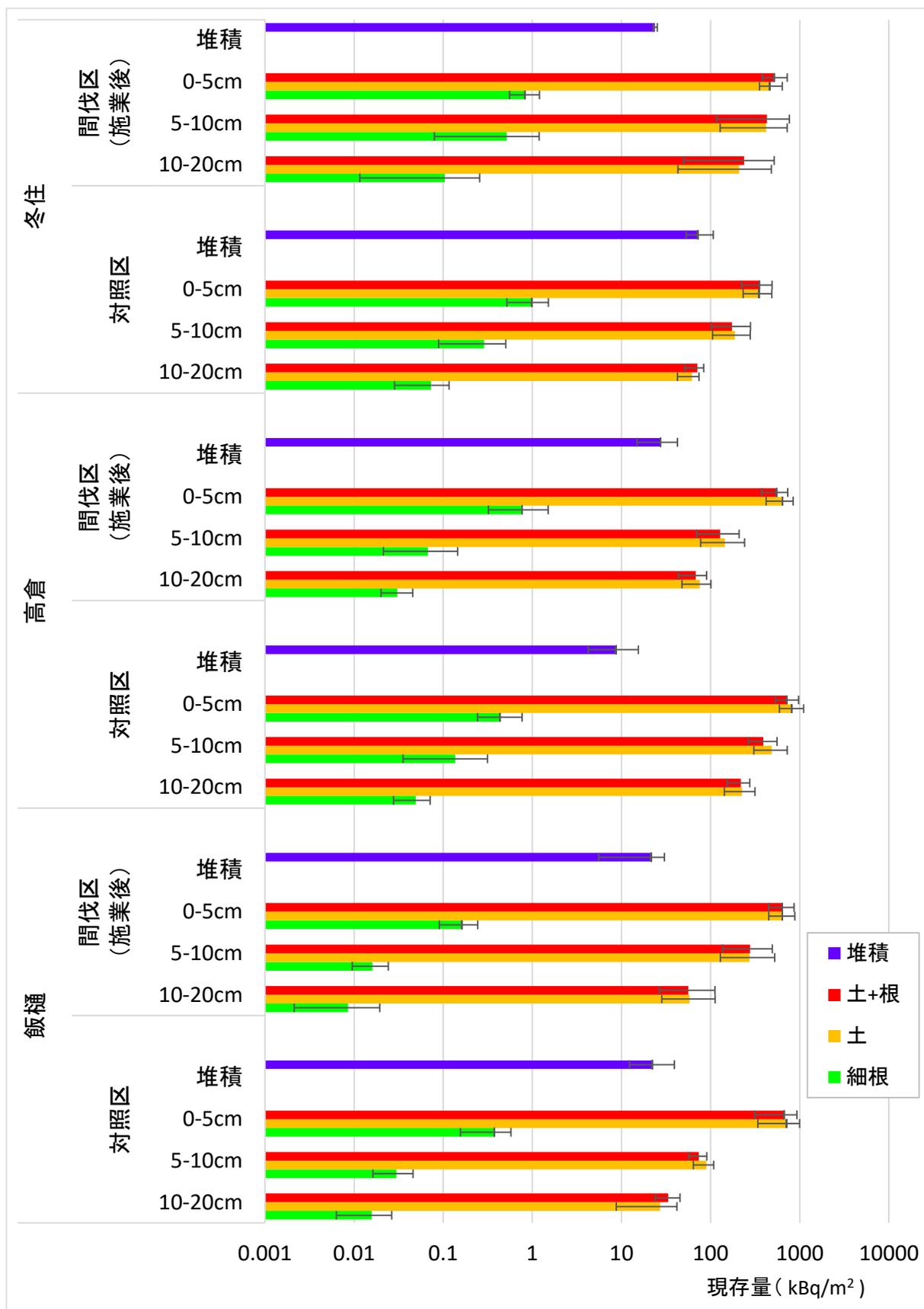
誤差線は、最大値及び最小値を示す。

図 4-38 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) 令和3 (2021) 年測定結果



誤差線は、最大値及び最小値を示す。

図 4-39 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 (令和3年 (2021) 年と同深度で比較) 令和4 (2022) 年測定結果



誤差線は、最大値及び最小値を示す。

図 4-40 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 (令和3年 (2021) 年と同深度で比較) 令和5 (2023) 年測定結果

2) 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) の年間移行量を表 4-21、図 4-41 に、年間下方移行量の割合を図 4-42 に示す。既往の研究では、細根のターンオーバー (1年に成長・枯死を行う回数) の値のばらつきが大きい。そのため、やや過小評価になる可能性があるが、控えめに見積もっても、7月時点の細根量と同量以上の細根成長量があるものと推定されるため、仮にターンオーバーを1とし、年間の細根生産量を、細根の乾燥重量に等しいものと仮定して放射性セシウム (Cs-137) の下方移行量を算定した。ただし、本事業で測定されている単位面積当たりの細根量は、既往研究で報告されているスギ林の年間の細根成長量 (0.157kg/m²) よりも大きい地点が多いため (令和5 (2023) 年度 0.068~0.442 kg/m²)、留意が必要である。

放射性セシウム (Cs-137) 濃度と各深度の単位面積・深度当たりの細根乾燥重量を乗ずることにより年間移行量を推計した。年間移行量は、多くの作業区において2~5cmの深さが高く、5~10cm、10~15cm、15~20cmと深くなるにつれて少なくなる傾向であった。

各地点の Cs-137 全深度の現存量に対する、細根による年間移行量の割合についても多くの作業区で2~5cmが高く、5~10cm、10~15cm、15~20cmと深くなるにつれ、少なくなる傾向が確認できた。なお、この割合は、0.00054%から0.12%であった。

表 4-21 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)

令和4(2022)年										
事業地	作業区	層位 (深度)	採取 面積 (m ²)	Cs-137 平均濃度 (n=3) (kBq/kg)	乾燥重量 合計 (n=3) (g)	単位面積あ たりの細根 重量 (g/m ²)	単位面積 あたりの 細根重量 (kg/m ²)	細根による Cs-137年間 下方移行量 (kBq/m ² /年)	Cs-137 全深度 現存量 (kBq/m ²)	全深度現存量に 対する、細根に よるCs-137下方 移行量の割合
冬住 事業地	間伐区 (施業前)	0-2cm	0.135	11.24	6.77	50	0.050	0.673	1,060	0.053%
		2-5cm	0.135	9.89	7.81	58	0.058	0.645		0.054%
		5-10cm	0.135	2.81	8.80	65	0.065	0.113		0.017%
		10-15cm	0.135	0.64	8.00	59	0.059	0.020		0.0036%
		15-20cm	0.135	0.81	3.32	25	0.025	0.007		0.0019%
	対照区	0-2cm	0.135	8.41	6.08	45	0.045	0.399	633	0.060%
		2-5cm	0.135	6.61	10.59	78	0.078	0.609		0.082%
		5-10cm	0.135	2.51	15.07	112	0.112	0.192		0.044%
		10-15cm	0.135	0.93	10.25	76	0.076	0.058		0.011%
		15-20cm	0.135	0.73	4.17	31	0.031	0.017		0.0036%
高倉 事業地	間伐区 (施業前)	0-2cm	0.135	4.64	8.75	65	0.065	0.427	734	0.041%
		2-5cm	0.135	1.67	18.04	134	0.134	0.248		0.030%
		5-10cm	0.135	1.04	26.97	200	0.200	0.120		0.028%
		10-15cm	0.135	0.53	13.04	97	0.097	0.030		0.0070%
		15-20cm	0.135	0.51	10.76	80	0.080	0.018		0.0056%
	対照区	0-2cm	0.135	2.44	8.94	66	0.066	0.264	1,137	0.014%
		2-5cm	0.135	4.12	7.72	57	0.057	0.337		0.021%
		5-10cm	0.135	2.92	9.34	69	0.069	0.134		0.018%
		10-15cm	0.135	0.80	4.21	31	0.031	0.012		0.0022%
		15-20cm	0.135	1.10	2.76	20	0.020	0.005		0.0020%
飯桶 事業地	間伐区 (施業前)	0-2cm	0.135	3.80	8.02	59	0.059	0.241	693	0.033%
		2-5cm	0.135	5.89	6.34	47	0.047	0.332		0.040%
		5-10cm	0.135	3.72	4.00	30	0.030	0.075		0.016%
		10-15cm	0.135	1.27	1.51	11	0.011	0.006		0.0021%
		15-20cm	0.135	2.17	1.14	8	0.008	0.006		0.0026%
	対照区	0-2cm	0.135	5.38	13.82	102	0.102	0.640	502	0.11%
		2-5cm	0.135	5.38	13.73	102	0.102	0.882		0.11%
		5-10cm	0.135	0.73	7.55	56	0.056	0.020		0.0082%
		10-15cm	0.135	0.41	4.23	31	0.031	0.007		0.0026%
		15-20cm	0.135	0.53	3.74	28	0.028	0.005		0.0029%
令和5(2023)年										
冬住 事業地	間伐区 (施業後)	0-2cm	0.135	2.98	10.86	80	0.080	0.185	1,206	0.020%
		2-5cm	0.135	7.84	20.42	151	0.151	0.643		0.098%
		5-10cm	0.135	11.06	10.28	76	0.076	0.516		0.070%
		10-15cm	0.135	2.38	5.54	41	0.041	0.087		0.0081%
		15-20cm	0.135	1.04	2.57	19	0.019	0.018		0.0016%
	対照区	0-2cm	0.135	12.01	7.27	54	0.054	0.394	670	0.096%
		2-5cm	0.135	8.90	12.03	89	0.089	0.593		0.12%
		5-10cm	0.135	3.04	13.46	100	0.100	0.288		0.045%
		10-15cm	0.135	1.05	5.78	43	0.043	0.055		0.0067%
		15-20cm	0.135	0.81	2.88	21	0.021	0.018		0.0026%
高倉 事業地	間伐区 (施業後)	0-2cm	0.135	3.79	14.48	107	0.107	0.276	773	0.053%
		2-5cm	0.135	3.87	19.17	142	0.142	0.490		0.071%
		5-10cm	0.135	0.95	12.70	94	0.094	0.067		0.012%
		10-15cm	0.135	0.42	8.09	60	0.060	0.016		0.0033%
		15-20cm	0.135	0.71	5.21	39	0.039	0.015		0.0035%
	対照区	0-2cm	0.135	3.37	7.40	55	0.055	0.183	1,333	0.014%
		2-5cm	0.135	4.25	7.79	58	0.058	0.251		0.018%
		5-10cm	0.135	1.39	13.33	99	0.099	0.137		0.010%
		10-15cm	0.135	0.70	7.14	53	0.053	0.026		0.0028%
		15-20cm	0.135	0.74	5.10	38	0.038	0.023		0.0021%
飯桶 事業地	間伐区 (施業後)	0-2cm	0.135	4.48	3.01	22	0.022	0.067	994	0.010%
		2-5cm	0.135	4.73	3.65	27	0.027	0.095		0.013%
		5-10cm	0.135	2.17	1.34	10	0.010	0.016		0.0022%
		10-15cm	0.135	2.24	0.47	3	0.003	0.004		0.00079%
		15-20cm	0.135	1.13	0.64	5	0.005	0.005		0.00054%
	対照区	0-2cm	0.135	4.35	7.91	59	0.059	0.171	800	0.032%
		2-5cm	0.135	3.35	11.96	89	0.089	0.203		0.037%
		5-10cm	0.135	0.73	9.64	71	0.071	0.030		0.0065%
		10-15cm	0.135	0.68	4.01	30	0.030	0.012		0.0025%
		15-20cm	0.135	0.33	2.58	19	0.019	0.003		0.00078%

単位面積当たりの細根重量を1年間の細根生産量と仮定した。1年間の細根生産量に、Cs-137濃度を乗ずることにより、当該深度の細根によるCs-137下方移行量とした。

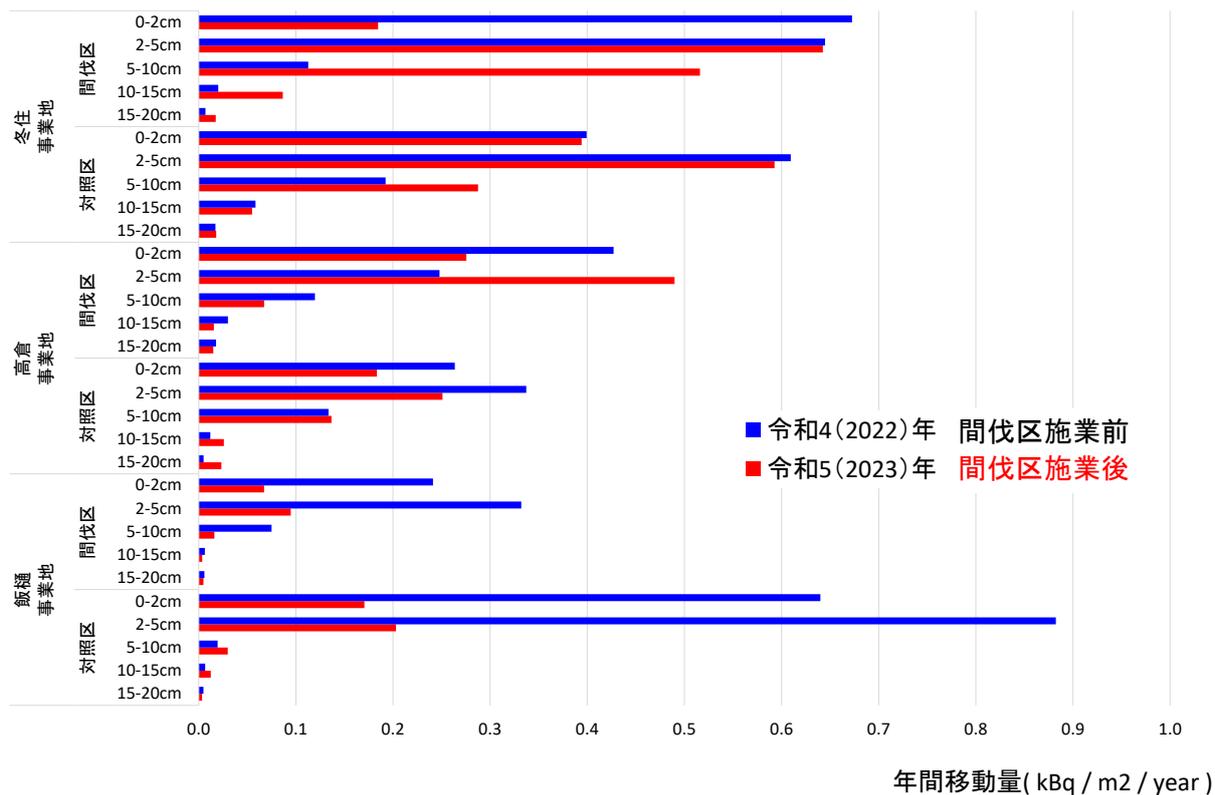


図 4-41 細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間移行量 (kBq/m²/year) (3点の平均値)

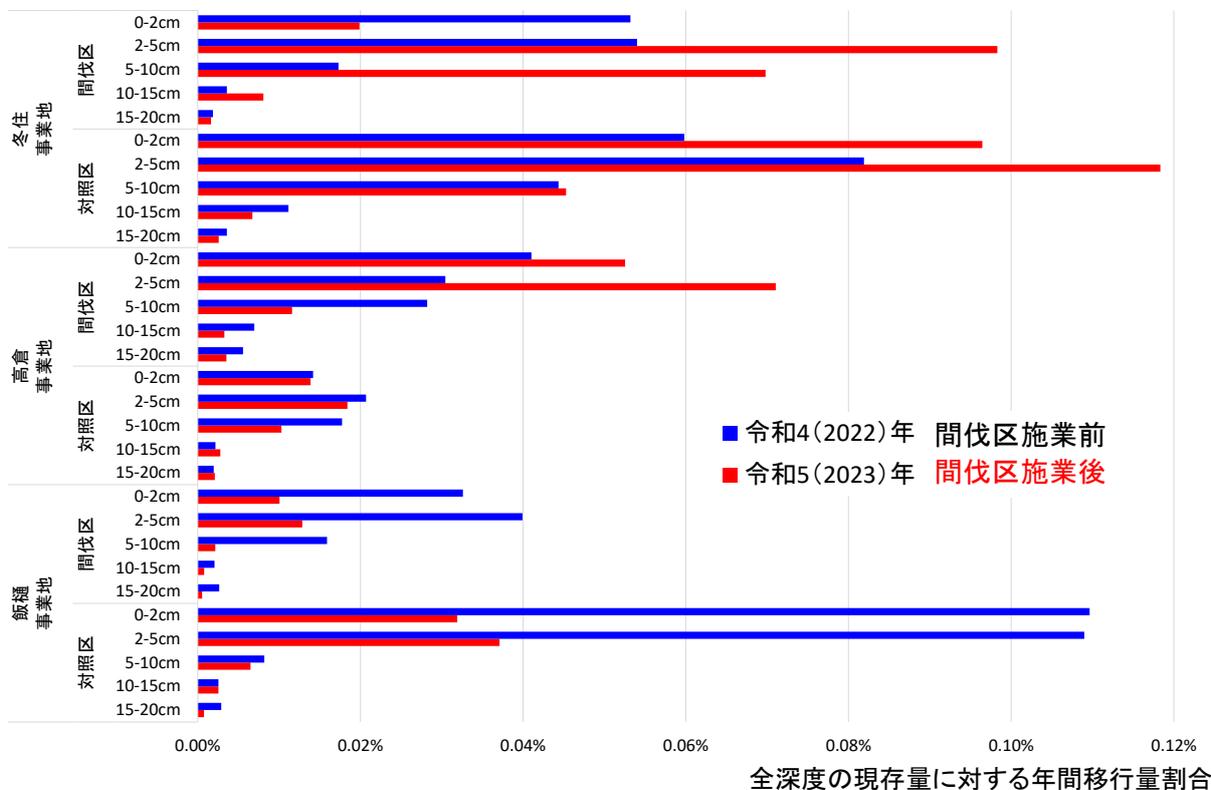


図 4-42 現存量に対する細根による放射性セシウム (Cs-137) 年間下方移行割合 (3点の平均値)

調査対象林班ごとの細根による放射性セシウム（Cs-137）年間移行量を表 4-22 に示す。令和 4（2022）年の冬住対照区と高倉間伐区では 0～2 cm の深度が最も高かったが、それ以外は全て 0～5 cm の深度が最も高く、それよりも下層で低下する傾向が見られた。また、年度で比較すると、令和 4（2022）年より令和 5（2023）年の方が冬住事業地間伐区の 5cm 以下の下層で細根による年間移行量および林班における年間移行量が大きくなっている傾向が確認され、それ以外の地点では同水準または低下傾向がみられた。林内環境により局所的な変動が大きいことも考慮し、モニタリング結果を注視していく必要がある。

表 4-22 調査対象林班ごとの細根による放射性セシウム（Cs-137）年間移行量

事業地	林班	作業区	林班面積 (m ²)	層位 (深度)	令和4(2022)年 間伐区・施業前		令和5(2023)年 間伐区・施業後	
					細根による年間下方移行量 (kBq/m ² /年)	林班における移行量 (kBq/年)	細根による年間下方移行量 (kBq/m ² /年)	林班における移行量 (kBq/年)
冬住事業地	南相馬市 2011林班ち3小班	間伐区	8,500	0-2cm	0.673	5,717	0.185	1,570
				2-5cm	0.645	5,481	0.643	5,462
				5-10cm	0.113	958	0.516	4,386
				10-15cm	0.020	170	0.087	736
				15-20cm	0.007	58	0.018	149
		対照区	66,500	0-2cm	0.399	26,557	0.394	26,209
				2-5cm	0.609	40,529	0.593	39,419
				5-10cm	0.192	12,794	0.288	19,129
				10-15cm	0.058	3,886	0.055	3,652
				15-20cm	0.017	1,146	0.018	1,197
高倉事業地	南相馬市 2031林班い小班	間伐区	5,700	0-2cm	0.427	2,435	0.276	1,570
				2-5cm	0.248	1,413	0.490	2,792
				5-10cm	0.120	682	0.067	384
				10-15cm	0.030	172	0.016	89
				15-20cm	0.018	102	0.015	85
		対照区	73,700	0-2cm	0.264	19,429	0.183	13,514
				2-5cm	0.337	24,850	0.251	18,499
				5-10cm	0.134	9,849	0.137	10,073
				10-15cm	0.012	877	0.026	1,914
				15-20cm	0.005	373	0.023	1,716
飯樋事業地	飯館村 2336林班の小班	間伐区	9,900	0-2cm	0.241	2,388	0.067	666
				2-5cm	0.332	3,288	0.095	938
				5-10cm	0.075	742	0.016	159
				10-15cm	0.006	62	0.004	36
				15-20cm	0.006	57	0.005	49
		対照区	2,500	0-2cm	0.640	1,600	0.171	426
				2-5cm	0.882	2,206	0.203	508
				5-10cm	0.020	49	0.030	75
				10-15cm	0.007	17	0.012	31
				15-20cm	0.005	12	0.003	8
	飯館村 2336林班ら小班	対照区	10,000	0-2cm	0.640	6,400	0.171	1,705
				2-5cm	0.882	8,824	0.203	2,032
				5-10cm	0.020	195	0.030	299
				10-15cm	0.007	67	0.012	124
				15-20cm	0.005	48	0.003	34

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、4.2. に示す3箇所の事業地の間伐区（施業前）及び対照区において試験を実施した。スクレーパープレート調査実施日を表 4-23 に、各事業地の細根兼土壌試料採取位置を図 4-43、図 4-44、図 4-45 に示す。試料採取は図 4-17、図 4-18、図 4-19 に示したゼロテンションライシメータ設置位置周辺で、「4.6.細根等による放射性物質移動の把握」と併せて各区3地点、合計18地点でスクレーパープレート（面積15cm×30cm）を用いて、堆積有機物層及び土壌深度0～1cm、1～2cm、2～5cm、5～10cm、10～15cm、15～20cmの計7深度で行った。なお、間伐区においては、令和4（2022）年10～12月に森林施業を実施したため、本年度は過年度とは異なる地点で試料採取を行った。

令和3（2021）年事業では、堆積有機物層及び、0～2cm、2～5cm、5～10cm、10～15cm、15～20cm、20～30cmの6層で試料採取を行った。同事業では一部の試料は、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、後段の「調査・分析方法」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。

なお、4.6（1）に示した傾斜補正を実施したより現実に即した値とすることにより、令和3（2021）年度業務報告書に記載されている傾斜補正を実施していない現存量及び緩衝深度（緩衝深度については、後段の「解釈に関する補足・用語解説」を参照）の数値とは一致しない。

表 4-23 スクレーパープレート調査実施日

事業地	施業区	林相	傾斜角	初期沈着量 (kBq/m ²)	令和3(2021)年 間伐区・施業前		令和4(2022)年 間伐区・施業前		令和5(2023)年 間伐区・施業後	
					採取 地点数	採取日	採取 地点数	採取日	採取 地点数	採取日
冬住 事業地	間伐区	スギ	13～23°	720	2	11月15日	3	7月11日 7月21日	3	7月24日
	対照区	スギ	13～26°		2	11月19日	3	7月20日 7月21日	3	7月25日
高倉 事業地	間伐区	スギ	25～33°	990	2	10月7日	3	7月5日 7月29日	3	7月26日
	対照区	スギ	25～40°		2	10月7日	3	7月12日 7月25日	3	7月27日
飯樋 事業地	間伐区	スギ	25～33°	900	2	10月8日	3	7月1日 7月14日	3	7月28日
	対照区	スギ	23～30°		2	10月8日	3	7月4日 7月22日 7月28日	3	7月19日 7月20日 7月21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。
間伐区においては、令和4(2022)年10～12月に森林施業を実施したため、本年度は前年度以前とは異なる地点で試料採取を行った。

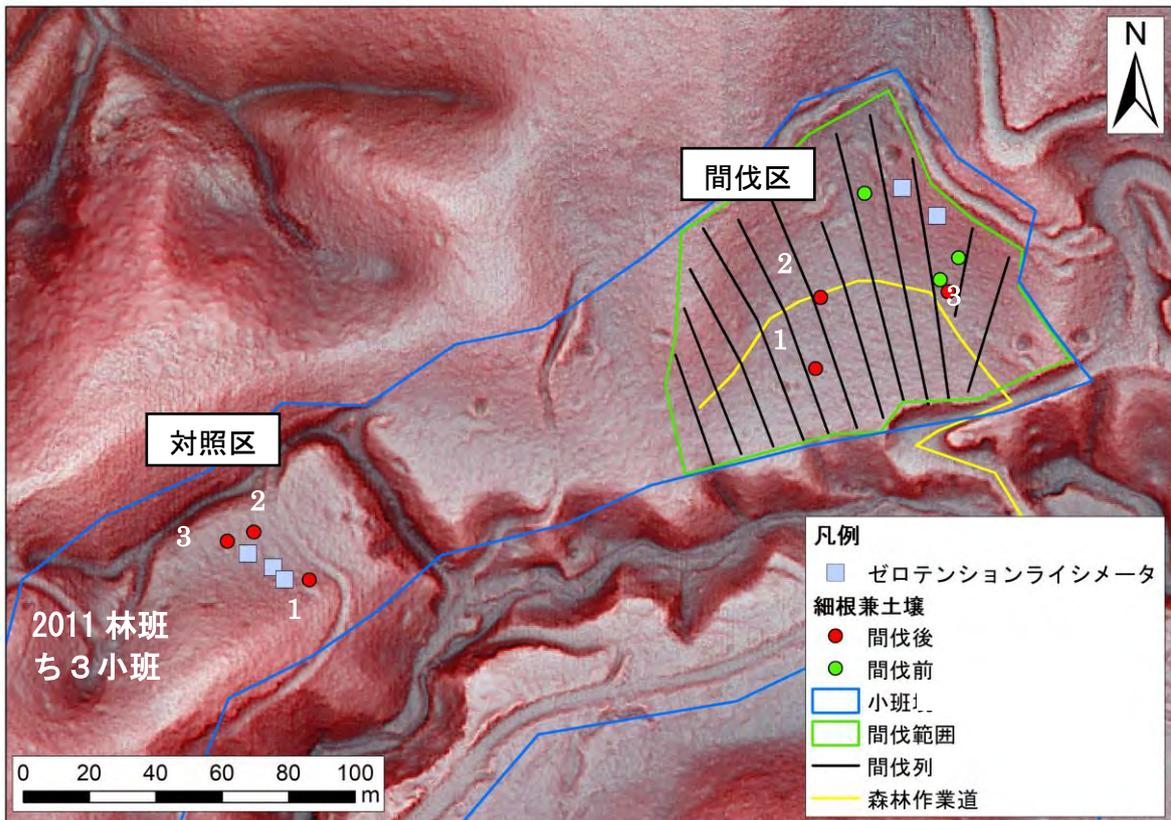


図 4-43 冬住事業地 細根兼土壤試料採取位置

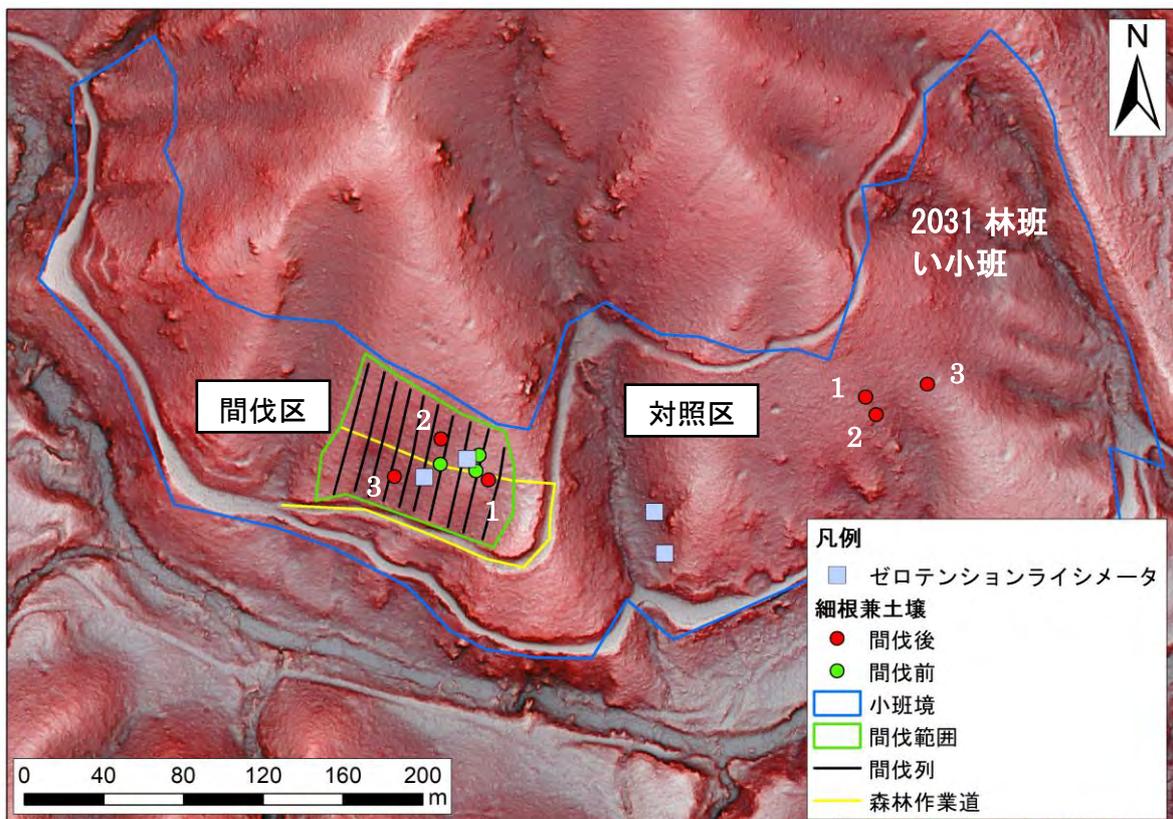


図 4-44 高倉事業地 細根兼土壤試料採取位置

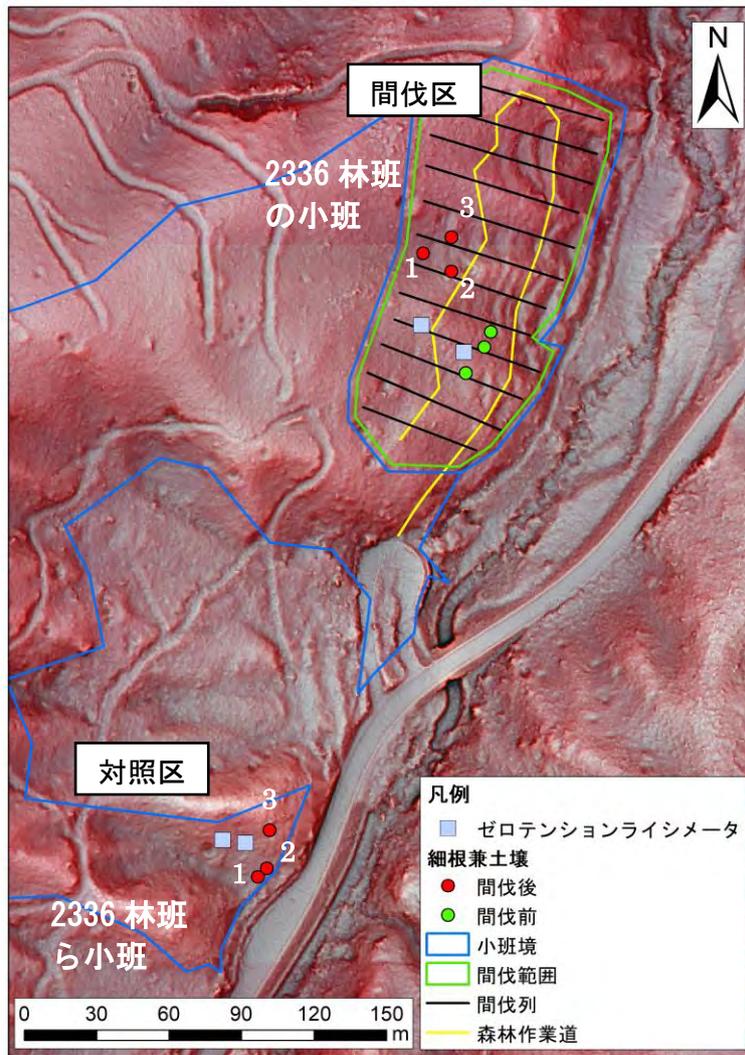


図 4-45 飯樋事業地 細根兼土壤試料採取位置

(2) 試験結果

土壤等調査の放射性セシウムの濃度および現存量を図 4-46～図 4-52 に整理し、緩衝深度を表 4-24 に整理した。緩衝深度は深い方がより下方への移行が進んでいる指標となる。高倉事業地および飯樋事業地では、緩衝深度が 2～4 cm 台の値となり、間伐前と同程度の値であったが、冬住事業地の間伐区の 3 地点では 3.36、6.71、10.83cm とばらつきが確認された。これは Cs-137 濃度が、過年度に比べ 3 地点のうち 2 地点において、深度 2～5 cm、5～10cm で高くなり、そのうち 1 地点においては深度 10～15cm まで高くなっている（図 4-46）ことにより、緩衝深度が深くなっていた。林内環境により局所的な変動が大きいことも考慮し、モニタリング結果を注視していく必要がある。

冬住事業地 放射性セシウム (Cs-137) 濃度 (kBq/kg)

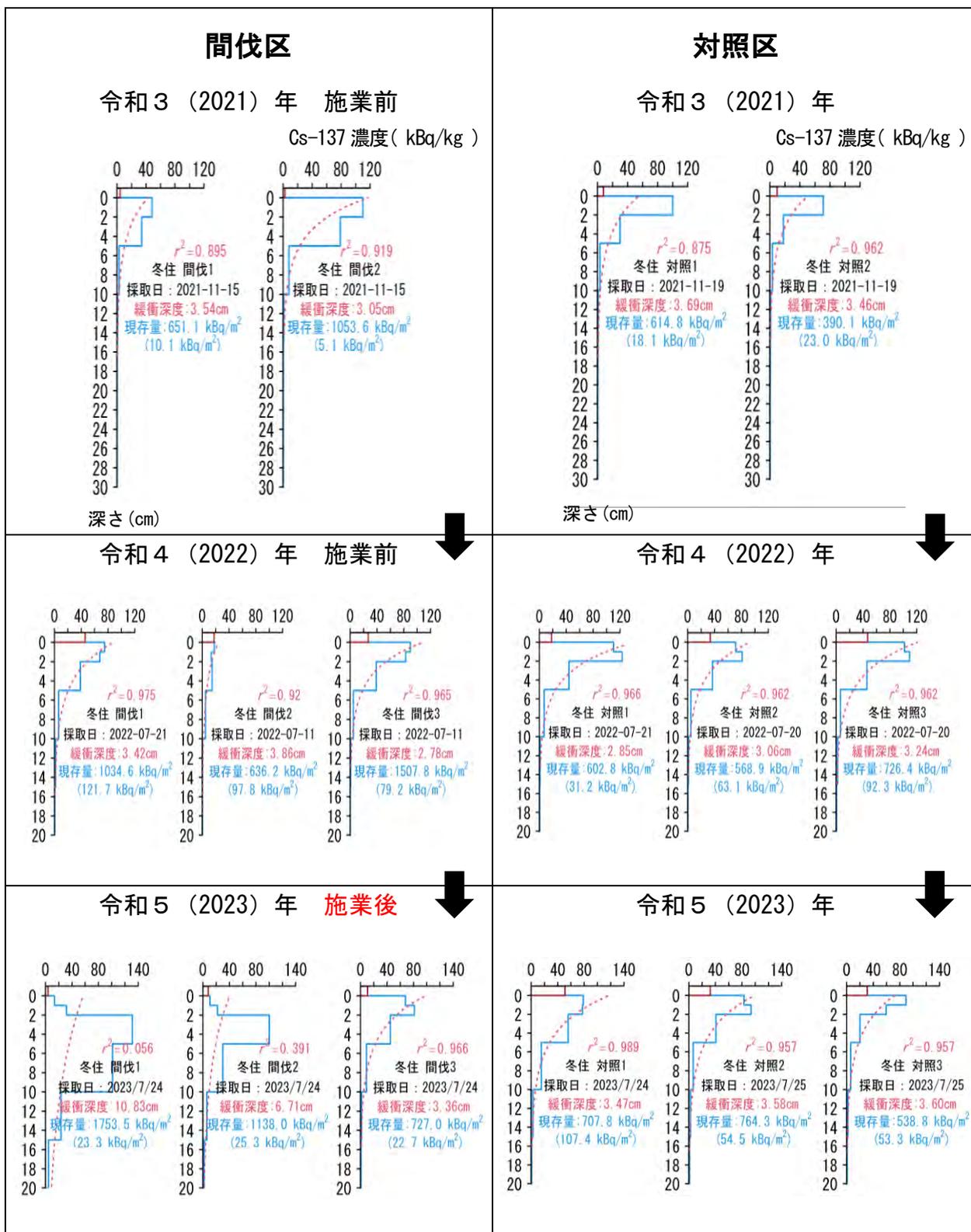


図 4-46 土壌深度別放射性セシウム濃度 (冬住事業地)

間伐区においては、令和4 (2022) 年に森林施業を実施したため、過年度とは異なる地点で試料採取を行った。

冬住事業地 放射性セシウム (Cs-137) 現存量 (kBq/m²)

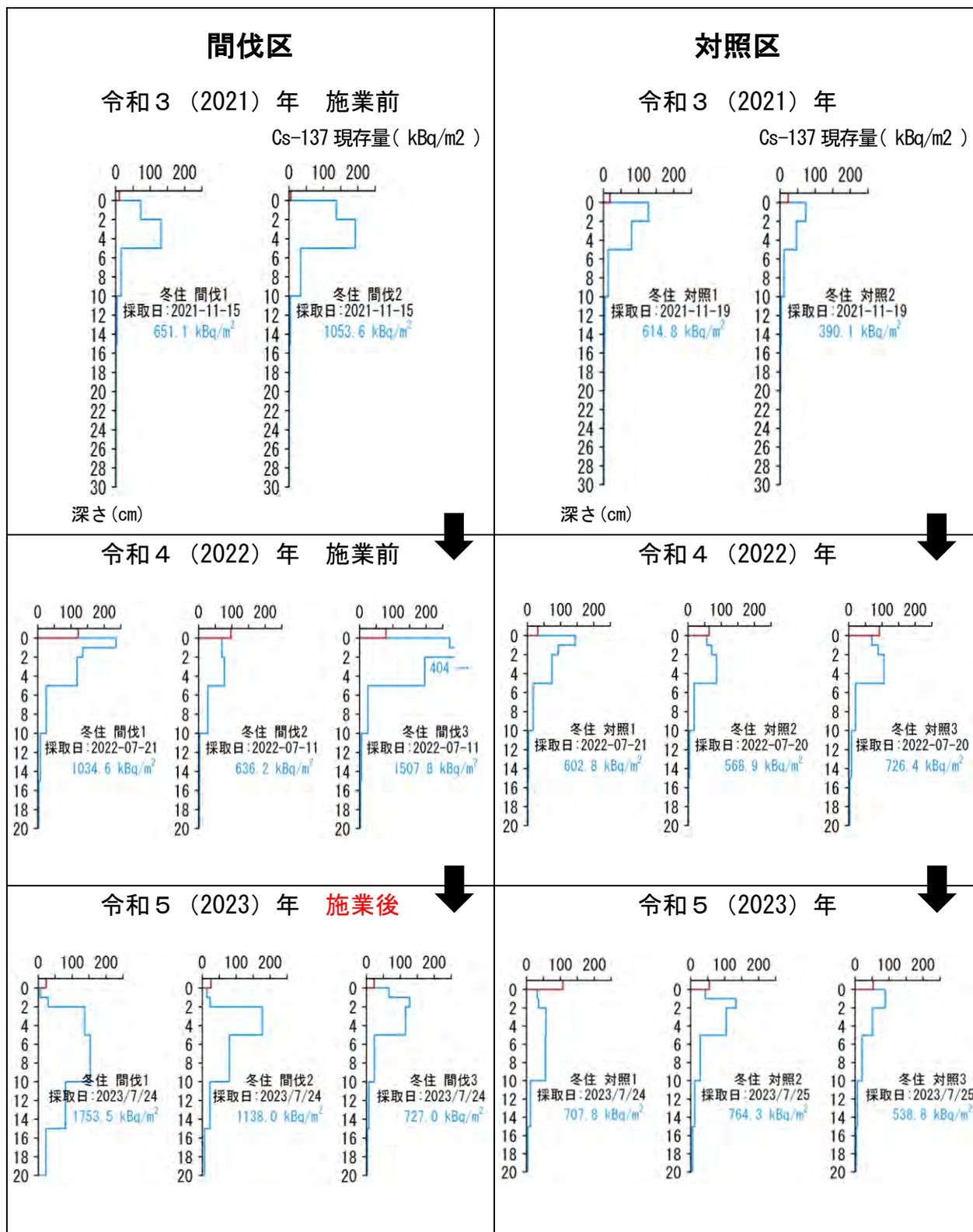


図 4-47 土壤深度別放射性セシウム現存量 (冬住事業地)

間伐区においては、令和4 (2022) 年に森林施業を実施したため、過年度とは異なる地点で試料採取を行った。

高倉事業地 放射性セシウム (Cs-137) 濃度 (kBq/kg)

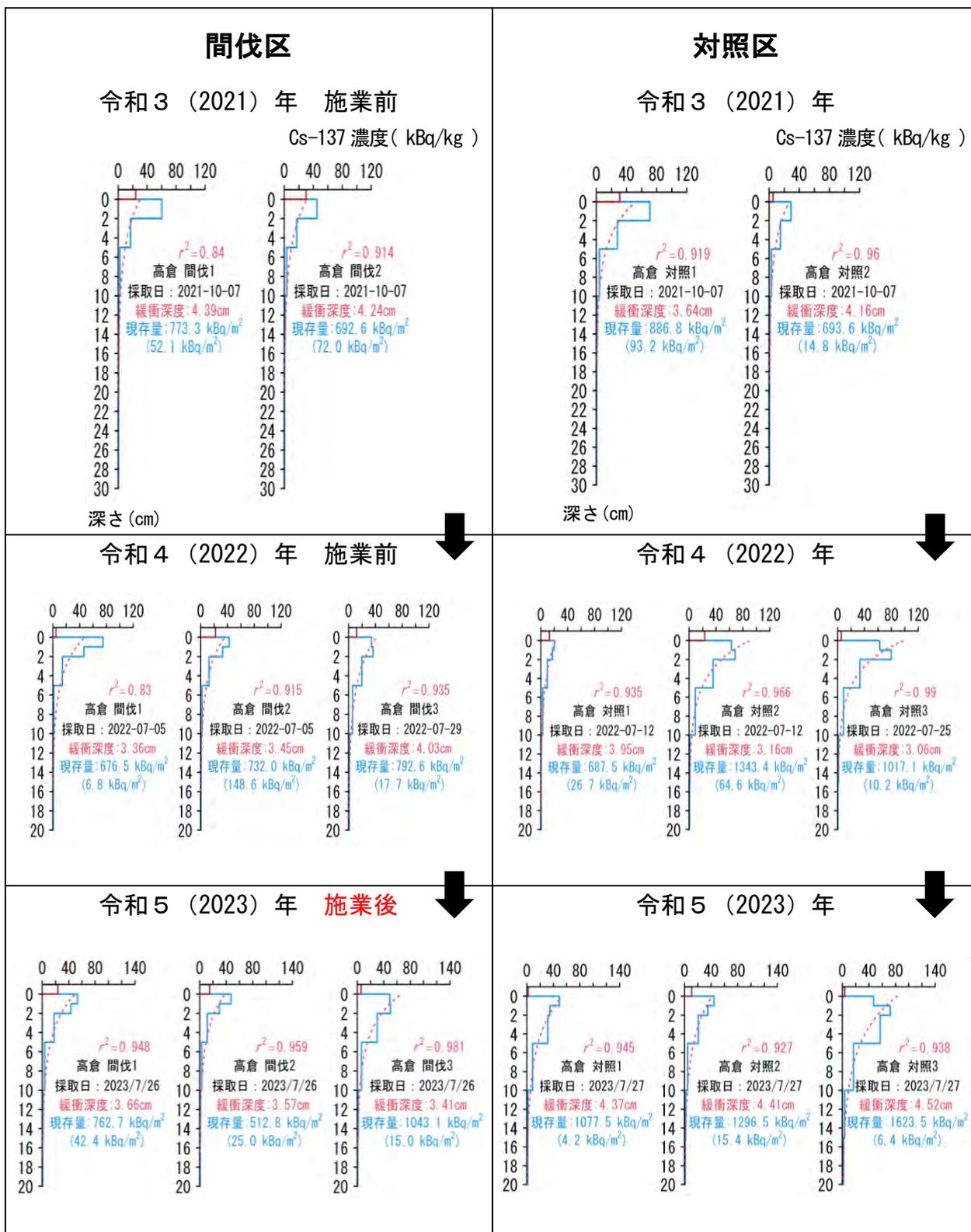


図 4-48 土壌深度別放射性セシウム濃度 (高倉事業地)

間伐区においては、令和4(2022)年に森林施業を実施したため、過年度とは異なる地点で試料採取を行った。

高倉事業地 放射性セシウム (Cs-137) 現存量 (kBq/m²)

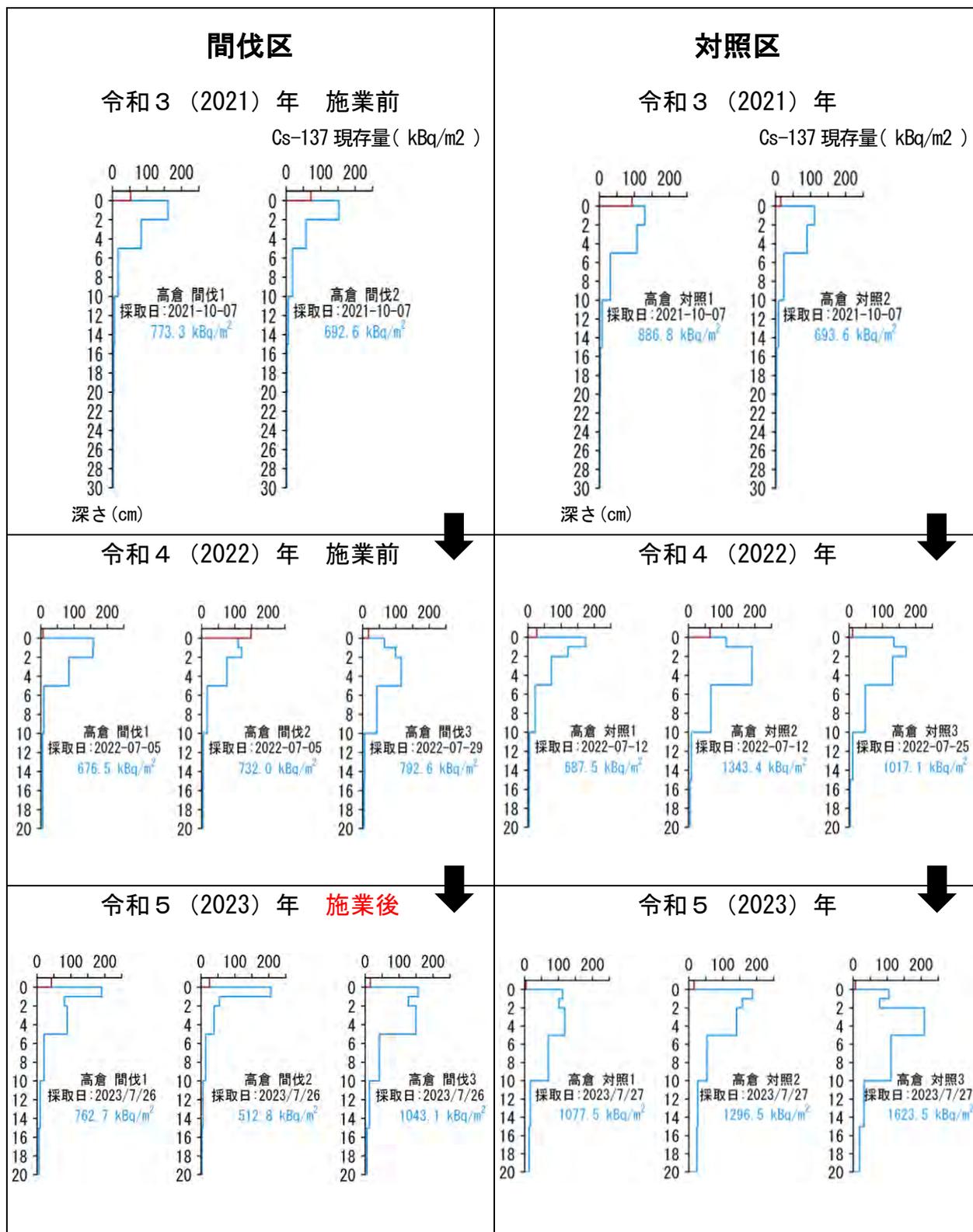


図 4-49 土壌深度別放射性セシウム現存量 (高倉事業地)

間伐区においては、令和4 (2022) 年に森林施業を実施したため、過年度とは異なる地点で試料採取を行った。

飯樋事業地 放射性セシウム (Cs-137) 濃度 (kBq/kg)

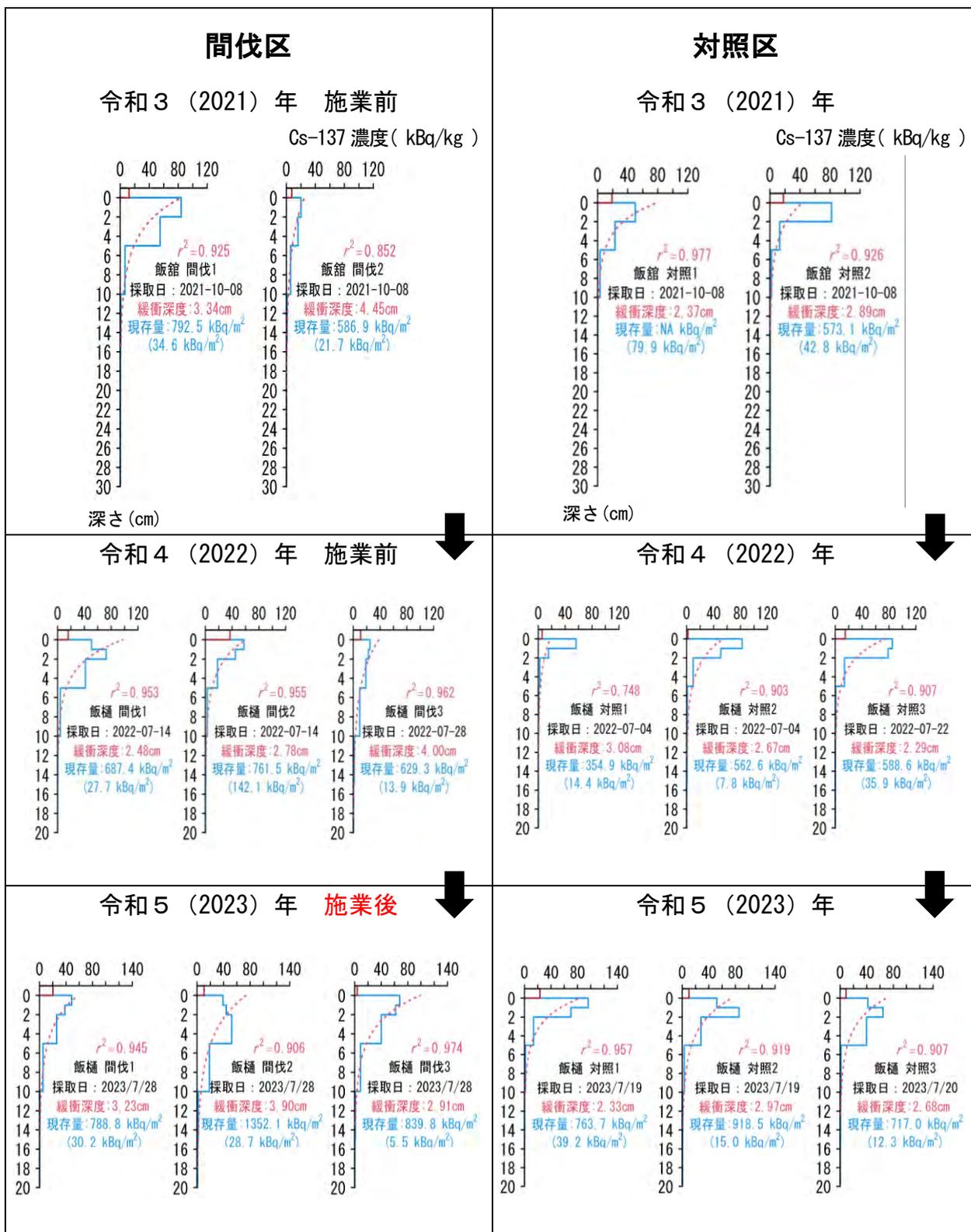


図 4-50 土壌深度別放射性セシウム濃度 (飯樋事業地)

間伐区においては、令和4 (2022) 年に森林施業を実施したため、過年度とは異なる地点で試料採取を行った。

飯樋事業地 放射性セシウム (Cs-137) 現存量 (kBq/m²)

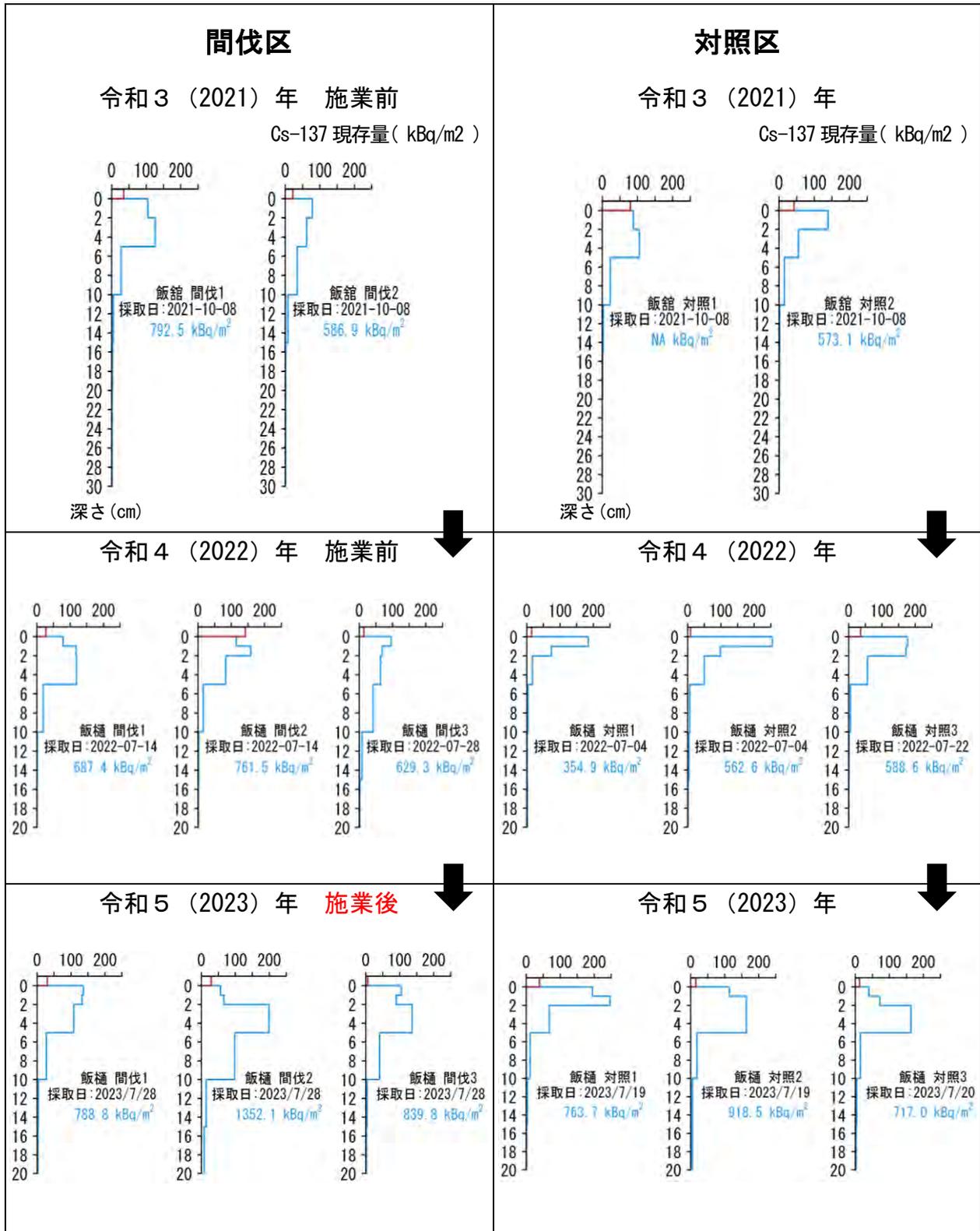


図 4-51 土壤深度別放射性セシウム現存量 (飯樋事業地)

間伐区においては、令和4 (2022) 年に森林施業を実施したため、過年度とは異なる地点で試料採取を行った。

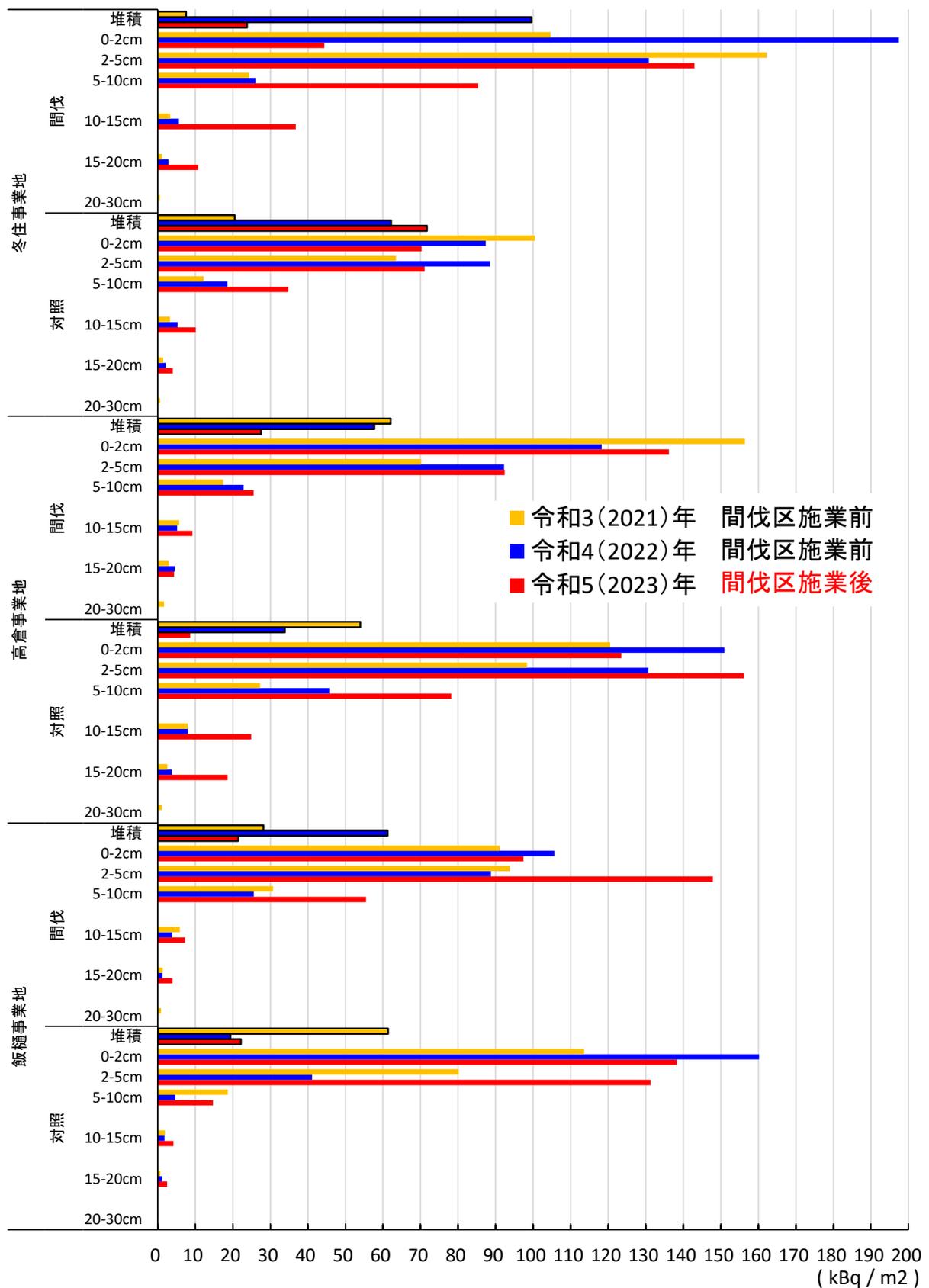


図 4-52 土壌深度別放射性セシウム現存量 (平均値) の比較 (令和3年~令和5年)

表 4-24 間伐区（施業前）及び対照区における緩衝深度¹¹

事業地	作業区	令和3年(2021年)	令和4年(2022年)	令和5年(2023年)
		緩衝深度 (cm) 施業前(間伐区)	緩衝深度 (cm) 施業前(間伐区)	緩衝深度 (cm) 施業後(間伐区)
冬住 事業地	間伐区	3.54	3.42	10.83
		3.05	3.86	6.71
			2.78	3.36
	平均	3.30	3.35	6.97
	対照区	3.69	2.85	3.47
		3.46	3.06	3.58
			3.24	3.60
平均	3.58	3.05	3.55	
高倉 事業地	間伐区	4.39	3.36	3.66
		4.24	3.45	3.57
			4.03	3.41
	平均	4.32	3.61	3.55
	対照区	3.64	3.95	4.37
		4.16	3.16	4.41
			3.06	4.52
平均	3.90	3.39	4.43	
飯樋 事業地	間伐区	3.34	2.48	3.23
		4.45	2.78	3.90
			4.00	2.91
	平均	3.90	3.09	3.35
	対照区	2.37	3.08	2.33
		2.89	2.67	2.97
			2.29	2.68
平均	2.63	2.68	2.66	

¹¹ 緩衝深度は、値が大きいほど地中の深い箇所に放射性物質が存在することを示す指標。解釈に関する補足・用語解説（4）も参照のこと。

4.8. 空間線量率の測定

(1) 試験方法

本調査は、各事業地の間伐区及び対照区で実施した（図 4-53～図 4-58）。令和 3 年度事業時においては、間伐区の空間線量率測定点を試験区内に 20m 毎に設定した格子点とし、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。令和 4 年度は、より空間線量率測定の密度を高めることを目的として、森林施業範囲の林縁部に近い箇所を除いた領域に 10m 格子点を設定するとともに、対照区においてもライシメータ等機器周辺に 10m 格子点を設定した。

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。また、森林施業後に消失した杭については施業後に復元し、空間線量率の測定を実施した。

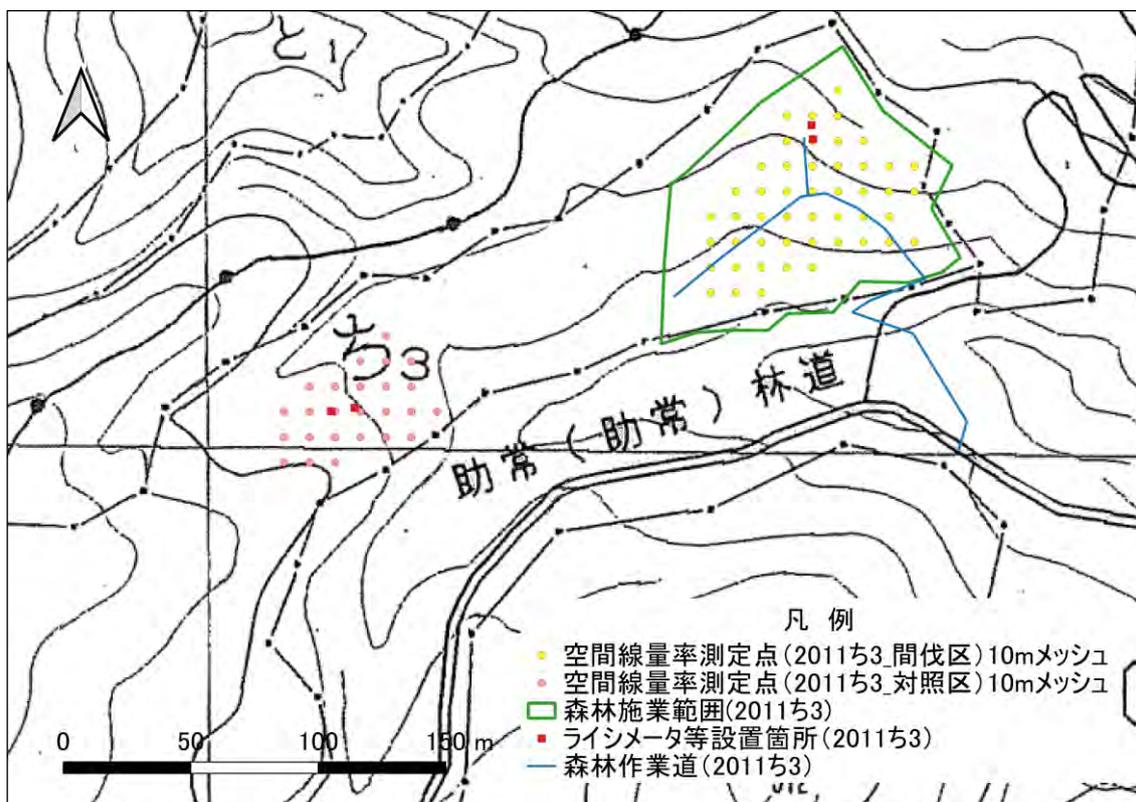


図 4-53 令和 4 年度の空間線量率測定点（冬住事業地_2011 林班ち 3 小班）

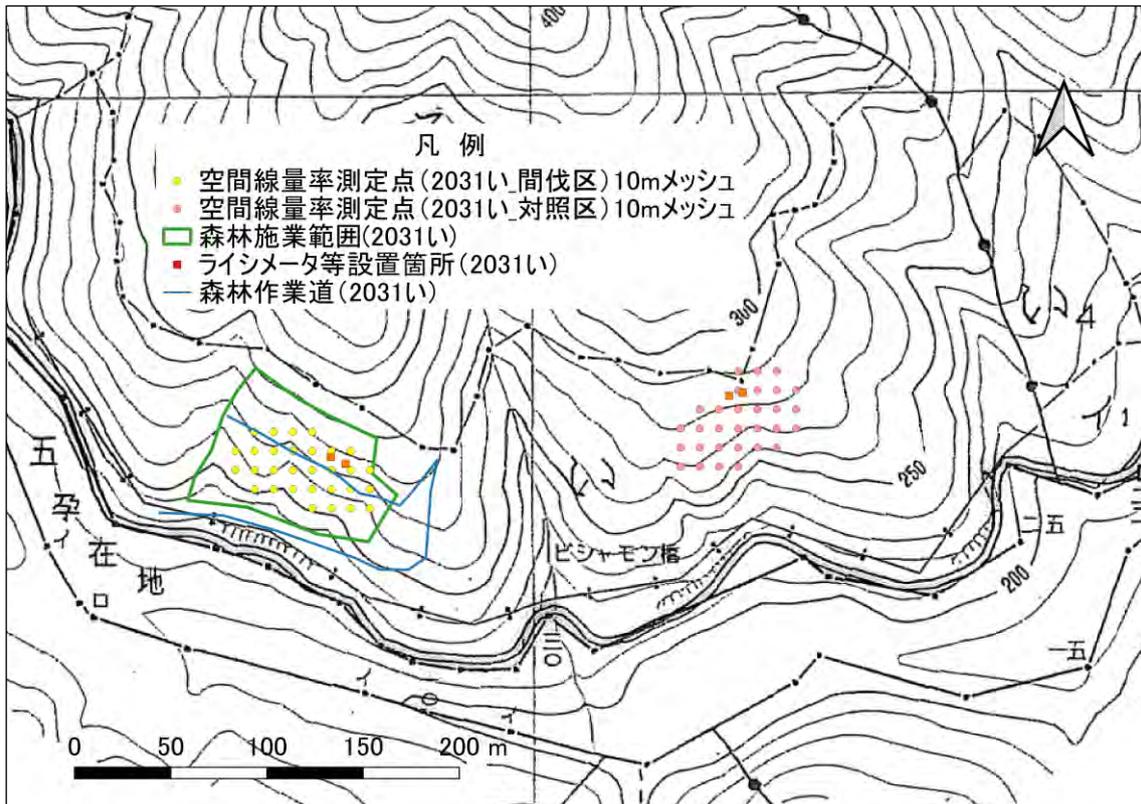


図 4-54 令和 4 年度の空間線量率測定点 (高倉事業地_2031 林班い小班)

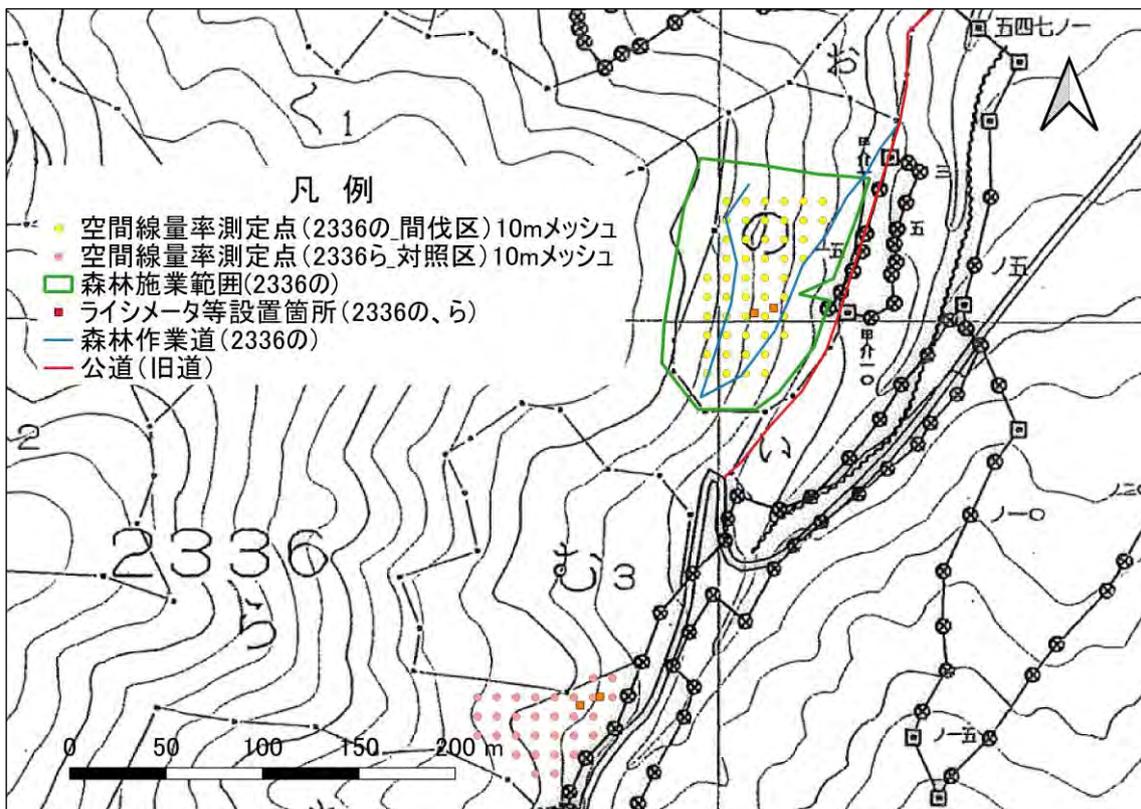


図 4-55 令和 4 年度の空間線量率測定点 (飯樋事業地_2336 林班の小班及びら小班)

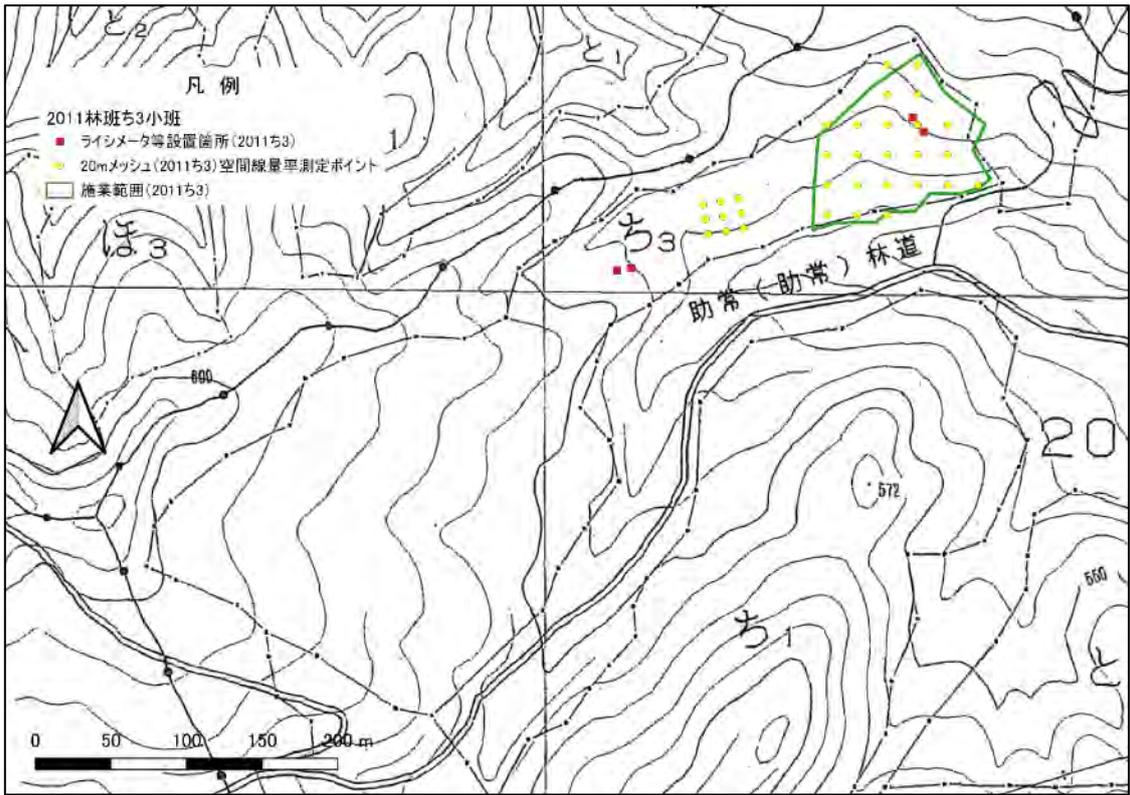


図 4-56 令和 3 年度の空間線量率測定点 (冬住事業地_2011 林班ち 3 小班)

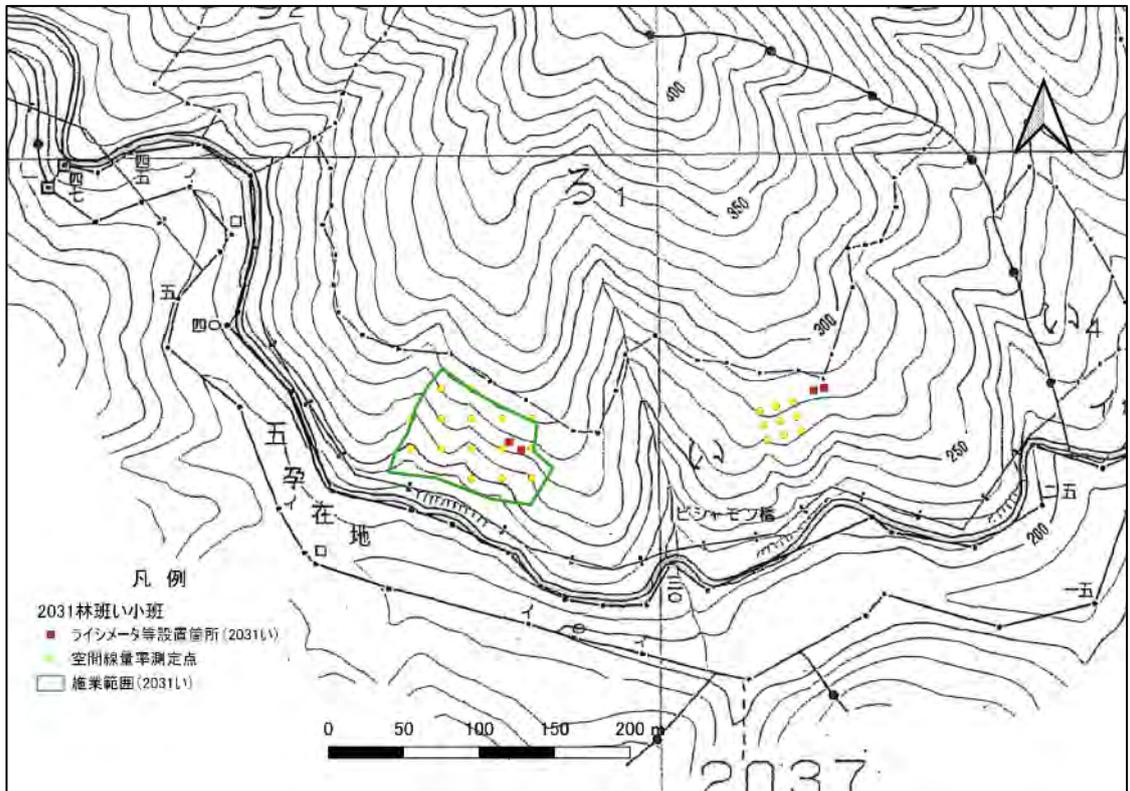


図 4-57 令和 3 年度の空間線量率測定点 (高倉事業地_2031 林班い小班)

(2) 調査結果

試験区別の空間線量率の測定結果を表 4-25、図 4-59～図 4-61 に示す。

試験区別にみると、間伐実施前においては、若干大きく外れた値がみられるものの、概ね平均値の±0.2μSv/h 以内に測定値が収まっている。間伐実施後は、森林作業道>間伐列>残存列の順で低減の程度が大きかった。

表 4-25 調査地の空間線量率

事業地名 林小班名 (市町村名)	種別	空間線量率*1 (μSv/h) '21/12月*3 施業前年度	空間線量率*1 (μSv/h) '22/7月*4 施業前	空間線量率*1 (μSv/h) '23/1月*4 施業後	空間線量率*1 (μSv/h) '23/5月*4 施業後6か月	空間線量率*1 (μSv/h) '23/8月*4 施業後9か月	空間線量率*1 (μSv/h) '23/12月*4 施業後12か月	初期沈着量*2 (kBq/m ²)
冬住事業地 2011 林班ち3 小班 (南相馬市)	間伐区	1.03 (n=23)	1.03 (n=48)	0.94 (n=48)	0.93 (n=48)	0.96 (n=48)	0.92 (n=48)	720
	対照区	0.98 (n=9)	0.97 (n=25)	0.99 (n=25)	0.97 (n=25)	1.00 (n=25)	0.93 (n=25)	
高倉事業地 2031 林班い小班 (南相馬市)	間伐区	0.80 (n=15)	0.76 (n=30)	0.72 (n=30)	0.71 (n=30)	0.69 (n=30)	0.72 (n=30)	990
	対照区	0.75 (n=9)	0.77 (n=30)	0.80 (n=30)	0.77 (n=30)	0.76 (n=30)	0.80 (n=30)	
飯塚事業地 2336 林班の小班 2336 林班ら小班 (飯館村)	間伐区	0.87 (n=20)	0.91 (n=50)	0.74 (n=50)	0.74 (n=50)	0.74 (n=50)	0.77 (n=50)	900
	対照区	0.93 (n=9)	0.89 (n=30)	0.87 (n=30)	0.85 (n=30)	0.84 (n=30)	0.86 (n=30)	

※1 空間線量率の値(1m高さ)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)

※3 2021年12月計測のうち間伐区は20mメッシュで実施。対照区はリタートラップ設定箇所にて測定。

※4 2022年7月～2023年12月までの計測は、間伐区、対照区ともに10mメッシュ。

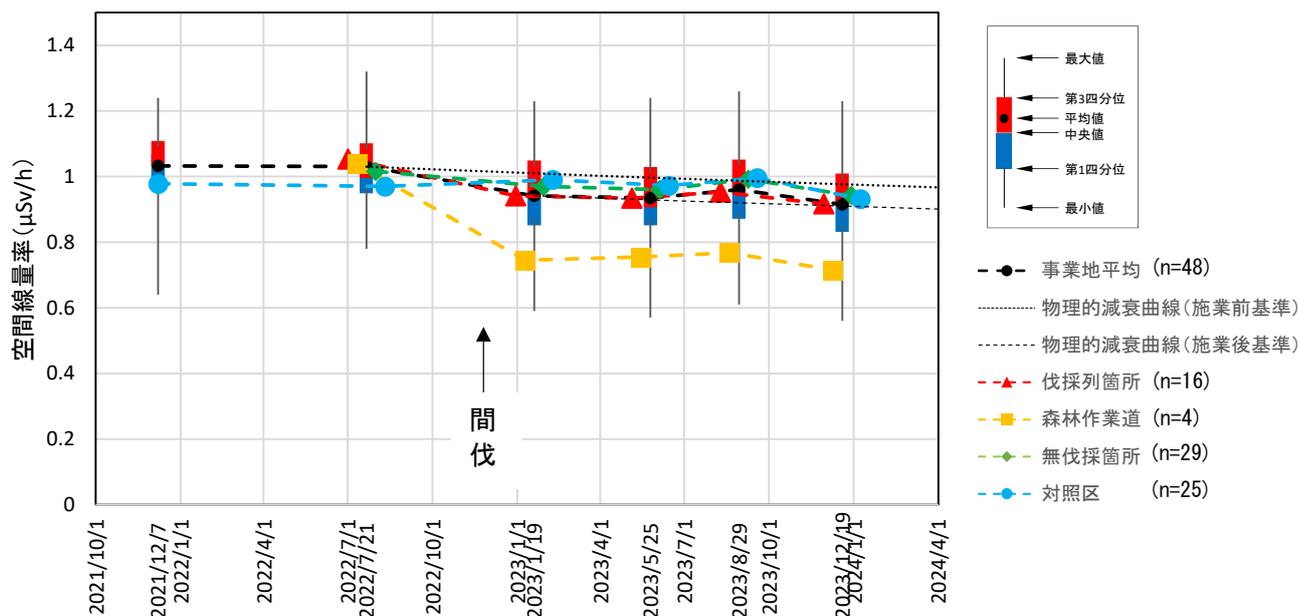


図 4-59 空間線量率推移(冬住事業地_2011 林班ち3 小班)

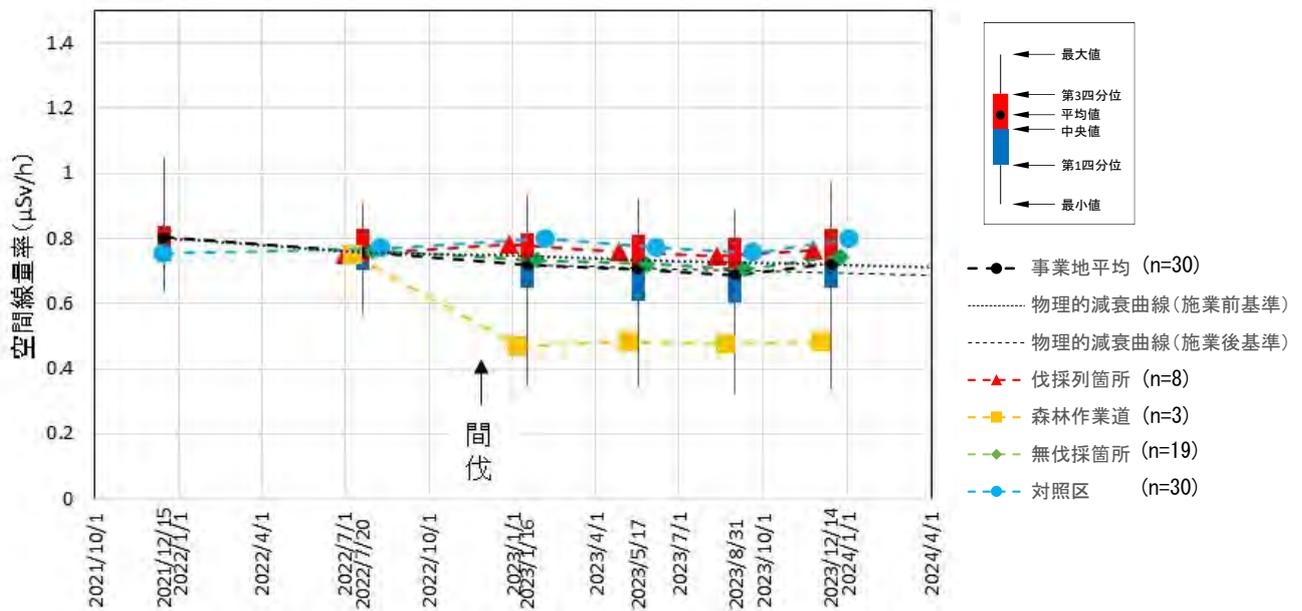


図 4-60 空間線量率推移 (高倉事業地_2031 林班い小班)

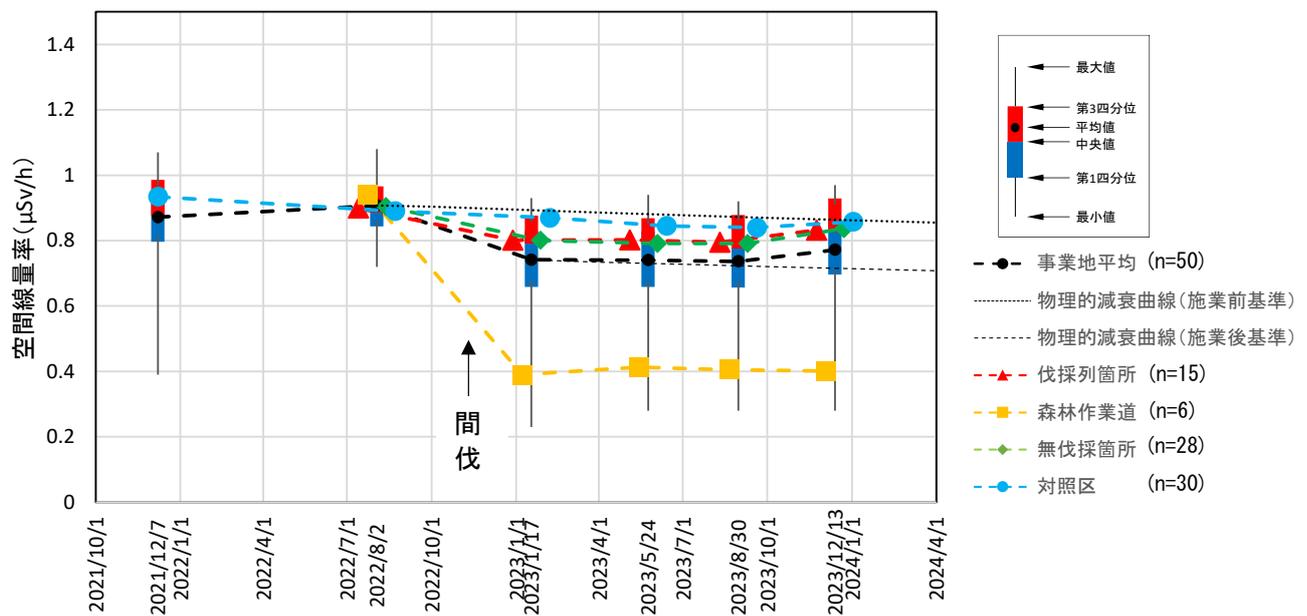


図 4-61 空間線量率推移 (飯樋事業地_2336 林班の小班)

また、施業前の空間線量率に対する施業後 12 か月経過してからの空間線量率の測定値の割合を測定点別にみた場合の結果を図 4-62～図 4-64 に示す。これらの図では対照区での結果も併せて示している。

各事業地とも森林作業道とその周辺部における空間線量率の低減が大きめであり、森林施業の中心部から離れた林縁部に近い箇所では間伐列に該当する箇所であっても空間線量率の低減は小さめである。

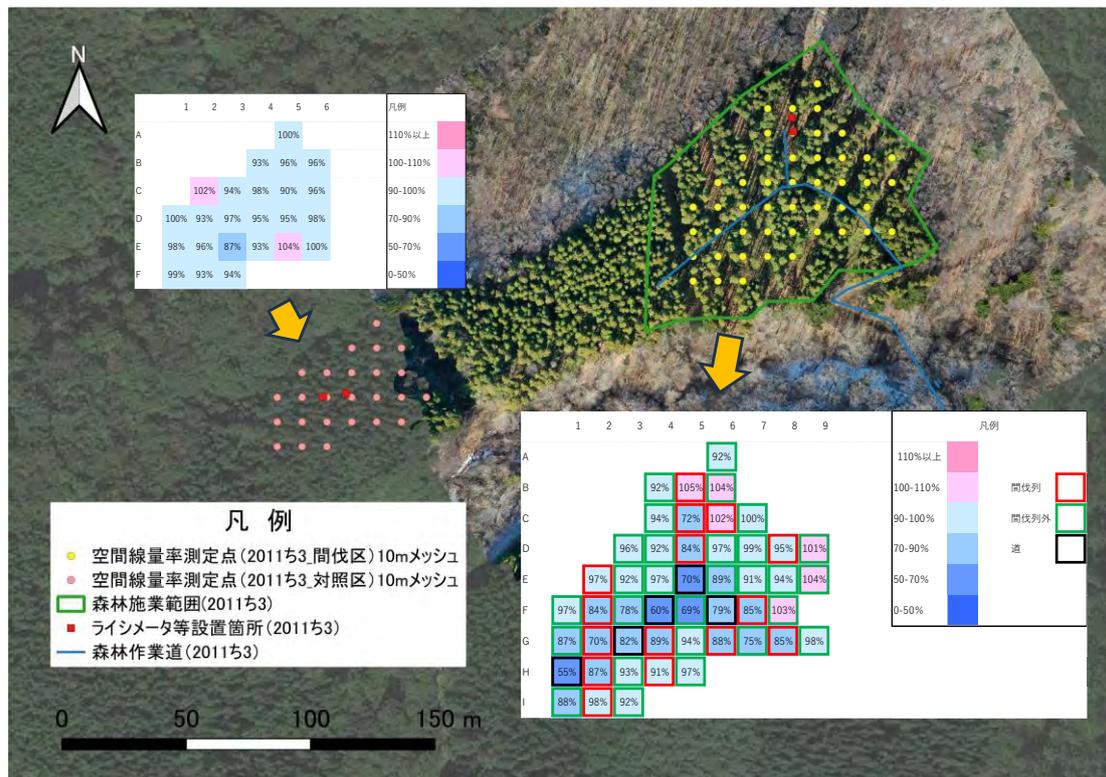


図 4-62 測定点別の施業前測定値に対する施業 12 か月後の測定値の割合 (冬住事業地)

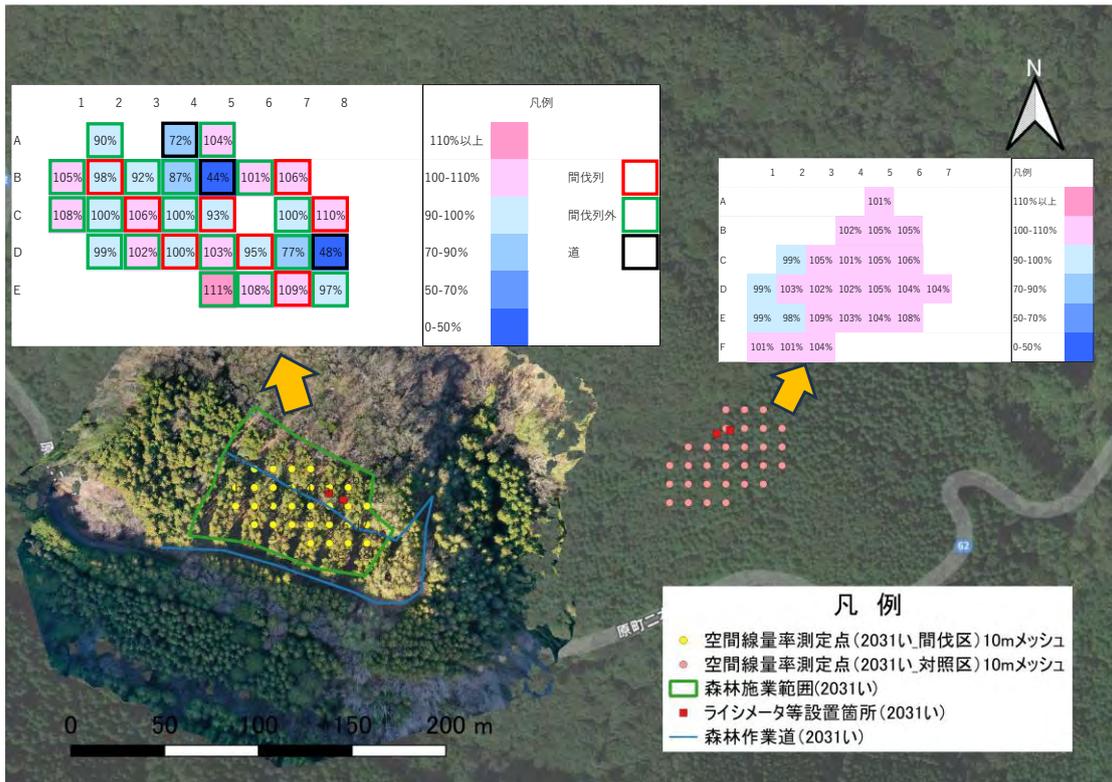


図 4-63 測定点別の施業前測定値に対する施業 12 か月後の測定値の割合（高倉事業地）

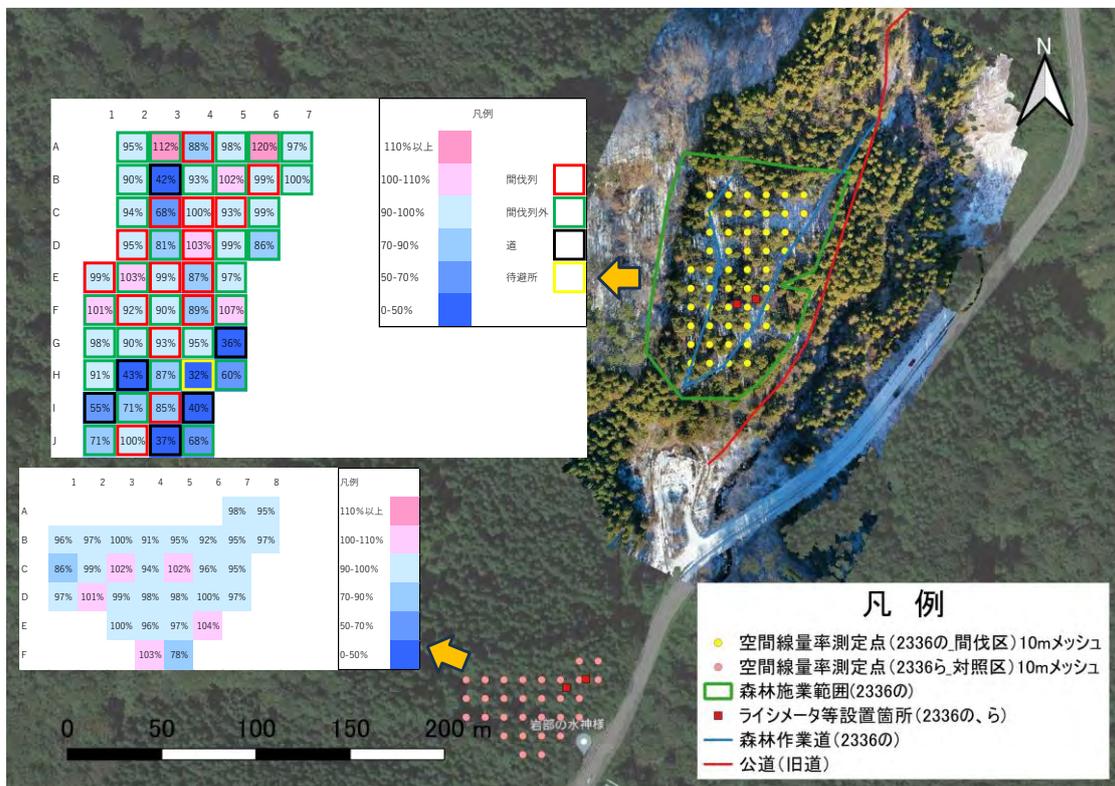


図 4-64 測定点別の施業前測定値に対する施業 12 か月後の測定値の割合（飯樋事業地）

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℃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。

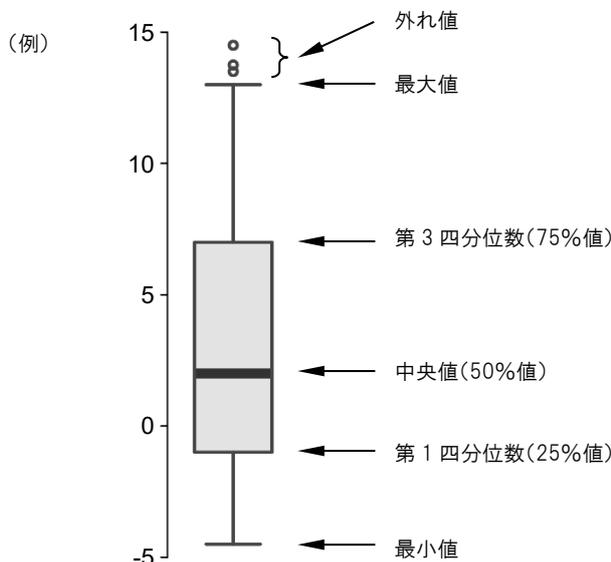
放射性物質の量を扱う上では、「重さとしての情報」と「面としての情報」の2種類の扱いがある。前者は、物質の単位重量当たりの放射エネルギーであり、「放射性物質濃度」を指す。単位は [Bq/kg] を用いる。後者は、単位面積当たりの総放射エネルギーであり、「放射性物質現存量」「放射性物質沈着量」を指す。「インベントリー (Inventory)」と表現することもある。単位は [Bq/m²] を用いる。

(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。なお、 e は自然対数の底である。緩衝深度の値が大きいほど地中の深い箇所に放射性物質が存在することを示す可能性があるが、林内環境により局所的な変動が大きいことも考慮し、モニタリング結果を注視していく必要がある。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、各調査箇所の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。