

令和4年度

森林情報の高度化推進に向けた
条件整備等に関する調査委託事業
報 告 書

令和5年3月

林野庁

目次

1. 背景と目的.....	1
2. 収穫表見直しに活用できる森林資源データの洗い出し	2
2.1. 林野庁所有の現地調査データ	2
2.1.1. 新収穫表調製に用いられたデータ	3
2.1.2. NFI データ	4
2.1.3. FM 高齢級・若齢級データ	7
2.2. 都道府県所有の現地調査データ	9
2.3. 森林機構所有の現地調査データ	10
2.3.1. 収穫試験地	10
2.3.2. 森林整備センターの森林現況簿	11
2.3.3. 林分密度管理図の作成データ	11
2.4. 林野庁所有の ALS データ	12
2.5. 都道府県所有の ALS データ	12
3. 森林資源データの取得、解析用データへの加工・整備	14
3.1. 現地調査データの取得	14
3.1.1. 都道府県所有現地調査データの授受経過.....	14
3.1.2. 都道府県所有現地調査データのとりまとめ方針	15
3.1.3. データリスト	17
3.2. 現地調査データの整理、単一フォーマットの検討	21
3.3. 治山課、都道府県 ALS データの授受経過、データリスト	22
3.3.1. 治山課 ALS データの授受経過、データリスト	22
3.3.2. 都道府県 ALS データの授受経過、データリスト	24
3.4. 収集した現地調査データ数のクロス集計	27
4. 追加調査・解析の検討.....	33
4.1. 新たに現地調査や ALS 計測を実施、発注する場合の留意点	33
4.1.1. 新たな現地調査の実施、発注の留意点	33
4.1.2. ALS データ計測の発注の留意点	33
4.2. 森林資源解析がされている ALS データの活用方法	34
4.2.1. GIS 上の仮想プロットによる林齢－平均樹高データセットの作成.....	34
4.2.2. 伐根調査による森林簿林齢の補正とデータの棄却	43
4.3. 森林資源解析がされていない ALS データの活用方法	50
4.3.1. 航測会社などに森林資源解析を依頼する場合	50
4.3.2. 都道府県等が自ら解析する場合	51
5. 人工林における林分密度管理図、樹高成長曲線の見直しの是非の検討	53
5.1. 最多密度式の妥当性の検討	53

5.2.	幹材積合計推定式の妥当性の検討	58
5.3.	平均胸高直径推定式の妥当性の検討	63
5.4.	収集した現地調査データと密度管理図作成当時の樹高成長傾向の比較.....	68
6.	林分を優占する樹種に応じた天然林の成長量に関する検討	73
6.1.	地域別、都道府県別、優占樹種別の平均成長量	73
6.2.	林齢または上層樹高と気象、地形、林分構造因子による成長量推定の試み	82
7.	まとめと課題	94

1. 背景と目的

人工林資源が本格的な利用期を迎えたことなどを背景に、近年、主伐が増加しており、森林資源の保続確保が重要な課題となっている。

保続の検討には正確な森林蓄積の把握が重要であるが、森林簿に記載されている森林蓄積は、昭和 50 年代に整備された収穫表に基づくものが多いため、新たな知見を反映して、十分な精度を確保していく必要がある。

こうした中、森林生態系に関する全国レベルの継続的かつ体系的な標本調査に加え、国や都道府県等による航空レーザ計測が広域で実施されている。これらの高度な森林情報は、収穫表の見直しにも活用可能であるが、解析に用いるためには、各機関から個別にデータ取得し、加工するなどの事前準備が必要である。

このため、本調査事業では、各機関が取得した森林情報のうち、収穫表見直しに活用できるデータの洗い出しを行った上で、各機関から実際に取得し、新たな解析用データとして整備する。

さらに、この新たな解析用データを用い、地域別、樹種別に作成されている林分密度管理図、樹高成長曲線等の見直しの是非について検討するほか、優先する樹種に応じた天然林の成長量について検討を行うなど、収穫表の見直しに向けた予備的な解析も実施する。

以降、本事業の仕様書に示された 5 つの事業内容、すなわち

- ① 収穫表見直しに活用できる森林資源データの洗い出し
- ② 森林資源データの取得、解析用データへの加工・整備
- ③ 追加調査・解析の検討
- ④ 人工林における林分密度管理図、樹高成長曲線の見直しの是非の検討
- ⑤ 林分を優占する樹種に応じた天然林の成長量に関する検討

に沿ってそれぞれ成果を報告する。

2. 収穫表見直しに活用できる森林資源データの洗い出し

本報告で想定する収穫予想表の見直しは、密度管理図を用いた手法を基本とし、密度管理図そのものの再調製も視野に検討するものとする。林分密度管理図を用いて収穫予想表を見直す方法は、以下の二通りから選択できる。

- ①林分密度管理図は既存のものを利用し、樹高成長曲線を更新し収穫予想表を調製する
- ②林分密度管理図と樹高成長曲線の両者を更新し収穫予想表を調製する

方法①では、林齢（もしくは齢級）の散らばりが均等かつ十分な数の林齢一上層木平均樹高データが必要である。方法②では方法①に加えて、自然枯死が発生している林分を含む多様かつ十分な数の林分における一般的なプロット調査データが必要となる。いずれの方法でもすべての都道府県が独自に林分密度管理図を用いて収穫予想表の見直しをするのは容易ではないと考えられる。

一方、近年、森林生態系に関する全国レベルの継続的かつ体系的な標本調査に加え、国や都道府県等による航空レーザ計測が広域で実施されており、収穫予想表の見直しに利用可能なデータが蓄積されつつある。これらのデータを利用して国が林分密度管理図や樹高成長曲線を調整・提供することが可能になれば、各都道府県がそれぞれの状況に応じて方法①や②により収穫予想表を見直すことが期待できる。

そこで、昭和 50 年代に林野庁主導で整備した地域別、樹種別の林分密度管理図や、都道府県が整備した樹高成長曲線の作成経緯等を十分勘案した上で、国や都道府県において実施済みの森林調査や、公共測量として実施された航空レーザ測量等を念頭に、収穫表の見直しに必要な森林資源データの洗い出しを行った。

洗い出しに当たっては、今回の見直しの主旨が、高齢級林分における成長量の頭打ち傾向の是正であることを踏まえ、高齢級林分を含む森林調査のデータや、4 点/m²で計測された航空レーザのデータを中心に検討を行った。

加えて、森林研究・整備機構が全国の国有林に設定している収穫試験地など、林齢や施業履歴が明確なデータの活用可能性についても検討した。

2.1. 林野庁所有の現地調査データ

本事業で利用する林野庁が所有する現地調査データとして、表 1 に示した 3 種類のデータを用いた。以下、各データの概要について述べる。

表 1 本事業で用いたデータ及び関連する事業一覧

データ名	事業実施年度	データ収集を実施した事業名
新収穫表調製に用いられたデータ	平成 15～17 (2003～2005)	森林吸収源データ緊急整備事業
NFI データ	平成 21～25 (2019～2013)	森林生態系多様性基礎調査 第 3 期
	平成 26～30 (2014～2018)	森林生態系多様性基礎調査 第 4 期
FM 高齢級・若齢級データ	平成 26 (2014)	森林吸収源インベントリ情報整備事業 審査対応等（高齢級林分に関する分析・検討）
	平成 27～29 (2015～2017)	森林吸収源インベントリ情報整備事業 「森林経営」対象森林率調査（現地調査業務）
	平成 27～28 (2015～2016)	森林吸収源インベントリ情報整備事業 審査対応等（次期枠組みにおける森林吸収量の 算定・計上方法に係る調査・分析）

2.1.1. 新収穫表調製に用いられたデータ

2.1.1.1. 概要

京都議定書の第 1 約束期間において日本が森林の吸収量を報告・計上するにあたり、1990 年以降に人為的活動が行われた森林の炭素吸収量効果を示すデータを収集する必要がある。そこで、平成 15～17 年度森林吸収源データ緊急整備事業（表 1）により各都道府県から共通仕様の森林資源データを収集した。この事業では森林簿データの精度検証のため現地での林分調査と森林簿情報の比較や林分調査結果を用いた収穫予想表の改善を目的としていた。樹種毎の調査箇所数を表 2 に示す。

表 2 対象樹種毎の調査箇所数

対象樹種	都道府県	調査箇所数
スギ	山梨、大阪、香川、沖縄以外のすべて	8,106
ヒノキ	関東以南のほとんど	5,446
カラマツ	北海道、岩手、山梨、長野	1,188
マツ類（アカマツ等）	青森、岩手、福島、長野	976
トドマツ	北海道	662
アカエゾマツ	北海道	305
アテ	石川	130
リュウキュウマツ	沖縄	100
クスギ	大分	110
ヤチダモ	北海道	29

対象樹種	都道府県	調査箇所数
シラカバ	北海道	250
天然林	北海道	188
計		17,390

2.1.1.2. 現地調査地の選定方法

現地調査箇所は、下の条件で選ばれている。

- 森林法第 2 条に該当する森林のうち、同法第 5 条に基づき都道府県が地域森林計画の対象とする森林（民有林）
- 調査箇所数は各都道府県の総数を齢級で層化し若齢級・高齢級林分に重点配分
- 上で層化配分した調査対象から齢級毎に実際の調査箇所（小班）を無作為抽出

2.1.1.3. 現地調査内容

現地調査概要を以下に。現地調査の内容を表 3 に示した。

- 選定された林小班での標準地調査
- 優勢木を 50 本以上含む方形調査区（最大 50m×50m、0.25ha）を設定
- 毎木調査（3 齢級以上の小班では調査区内の胸高直径 3.0cm 以上の全ての立木、3 齢級未満の小班では調査区内の全ての植栽木について胸高直径と樹高を計測）

表 3 現地調査の内容

調査項目	主な内容
地形情報	斜面方位、斜面傾斜、標準地面積
林況	林型、実際の林齢
施業情報	更新方法、直近の間伐林齢・間伐率、H2 以降の施業の種類、施業履歴の根拠、植栽本数
立木情報	樹種、胸高直径、樹高、立木の状態、

2.1.2. NFI データ

2.1.2.1. 概要

森林生態系多様性基礎調査（National Forest Inventory、以下 NFI と記す）は持続可能な森林経営の推進に資する観点から、森林の状態とその変化の動向を全国統一した手法に基づき把握・評価することにより、森林計画における森林の整備・保全に係る基本的な事項等

を定めるのに必要な客観的資料を得ることを目的として実施されている¹。日本全土の国有林・民有林、人工林・天然林にわたって固定調査地（プロット）が設置されており、各プロットは5年に1回調査されている。第4期の優占樹種による森林生態系タイプ区分を図1に示す。

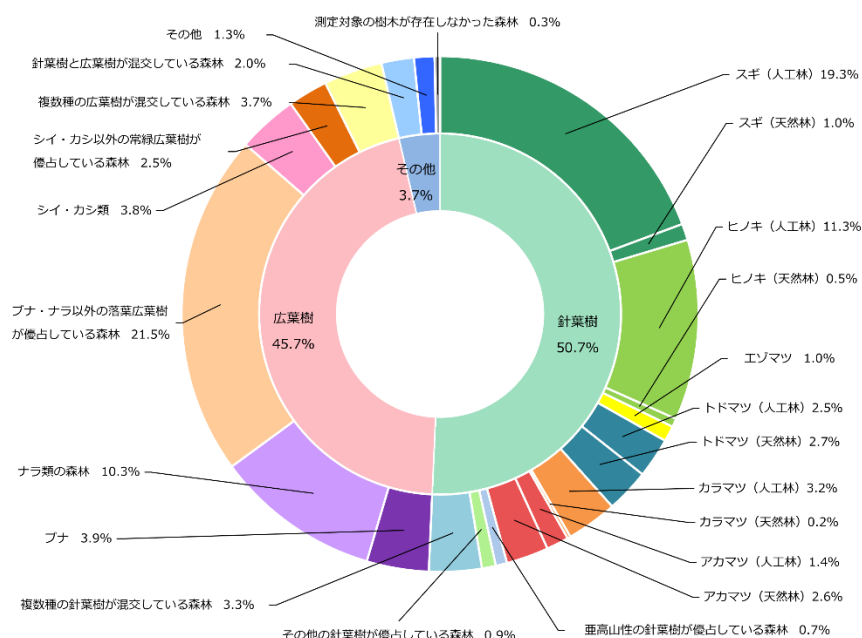


図 1 優占樹種による森林生態系タイプ区分（第4期）¹

2.1.2.2. 調査地点の設定方法

NFI は国土全域に 4km 間隔の格子点を想定し、その交点を調査地点（プロットとも呼ぶ。各期約 1 万 5 千点）とする標本調査である。

2.1.2.3. 現地調査内容

現地調査は 4km 格子点に 0.1ha の円形調査プロットを設置して行われる。円形調査プロット内には半径の異なる 3 つの同心円を設定する。樹高はできるだけ幅広い直径階から 20 本を選定して計測される。NFI の円形調査プロットの概念図と胸高直径計測のルールを図 2 に示す。

¹ 林野庁 Web サイト (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/tayouseichousa/index.html>)

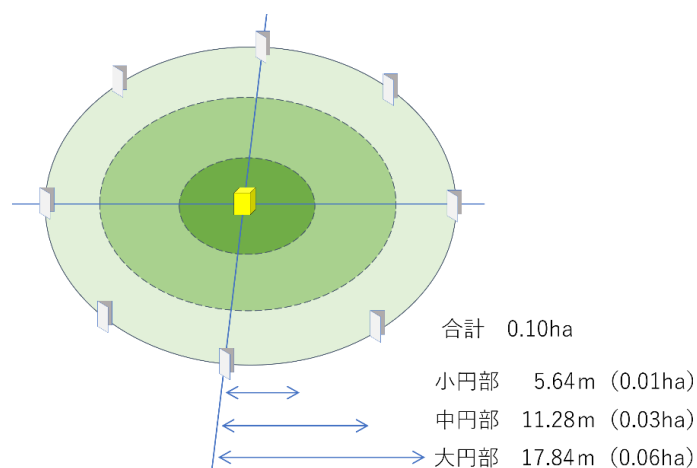


図 2 NFI の円形調査プロットの概念図²

同心円の種類によって、計測される最低胸高直径が異なる。小円部では胸高直径 1cm 以上のすべての立木、中円部では 5cm 以上のすべての立木、大円部では 18cm 以上の立木が計測対象となる。したがってこの立木調査データを用いて ha あたりの量等を計算したい場合には、直径階に応じたウェイトを掛ける等の前処理が必要である。主な調査項目を表 4 に示す。

表 4 NFI の主な調査項目

調査項目	主な内容
地理情報	調査地の地理座標、位置図
地形情報	斜面の方位・傾斜、微地形
林況	主な樹種の占有率、優占樹種
立木情報	樹種、胸高直径、樹高 枯損、幹折れ、獣害、倒木
施業情報	施業形跡と伐根（5 年以内）
被害情報	病虫害、気象害等
その他	下層植生、土壌侵食
資料調査	森林簿の内容

標準木及び DBH18cm 以上の毎木には標識番号が取り付けられており、経年で成長量を把握することが可能である。調査地の地理座標は GPS 計測されている。

² 林野庁 Web サイト (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/tayouseichousa/houhou.html>)

2.1.3. FM 高齡級・若齡級データ

2.1.3.1. 概要

林野庁は京都議定書における森林吸収量算定・計上のため、森林経営活動（Forest Management、以下:FM と記す）対象森林、いわゆる FM 林の森林吸収源インベントリ情報整備事業を実施しており、本事業では、これら一連の調査事業の成果のうち高齡級林分（50 年生以上）を対象とした調査結果を取りまとめて「FM 高齡級データ」として、若齡級林分（37 年生以下）の調査結果を抽出したものを「FM 若齡級データ」として用いた。FM 高齡級・若齡級データとして用いた調査を表 5 に示す。

表 5 FM 高齡級・若齡級データに用いた事業と調査

対象	実施年度	事業名称	調査	民 国	調査区 面積	対象樹種・地 域
高齡級	H26 (2014)	森林吸収源インベントリ情報整備事業 審査対応等（高齡級林分に関する分析・検討）	新収獲表の一部樹種・地域を対象に高齡級林分の調査を実施	民 国	0.2～ 0.1ha	スギ（表東北地方） ヒノキ（北近畿・中国地方）
高齡級	H27～29 (2015- 2017)	森林吸収源インベントリ情報整備事業 「森林経営」対象森林率調査（現地調査業務）	高齡級林分データを抽出	民	0.2～ 0.1ha	H.27 スギ（南関東・東海）、 ヒノキ（九州） H.28 スギ（南近畿・四国）
高齡級	H27～28 (2015- 2016)	森林吸収源インベントリ情報整備事業 審査対応等（次期枠組みにおける森林吸収量の算定・計上方法に係る調査・分析）	新収獲表の一部樹種・地域を対象に高齡級林分の調査を実施	民 国	0.2～ 0.1ha	H.27 スギ（南関東・東海） H.28 スギ（南近畿・四国）
若齡級	H19～R3 (2007- 2021)	森林吸収源インベントリ情報整備事業 「森林経営」対象森林率調査（現地調査業務）	若齡級林分データを抽出	民	0.04ha	

2.1.3.2. 調査地点の設定方法

FM 率調査は国家森林資源データベースより人工林と育成天然林を対象に、ランダムサンプリングにより抽出された民・国有林合せて約 22,000 箇所において調査を実施している。現地で FM 林・非 FM 林判定を行い、樹種別・地域別、民国別に FM 率を算出している³。

2.1.3.3. 現地調査内容

調査プロットの設定ルールは 2 種類ある。通常の FM 率調査では、調査対象の林小班に 0.04ha の円形調査プロットを設置する。NFI の調査プロットとは異なり同心円は設置しない。標準木 20 本を選定して胸高直径及び樹高計測を行う。FM 率調査の主な調査項目を表 6 に示す。

表 6 FM 率調査の主な調査項目

調査項目	主な内容
地理情報	調査地の地理座標
地形情報	斜面方位・傾斜、地形
森林簿情報	樹種、林齢
林況	実際の優占樹種、樹種混交の有無と割合 階層別植被率、
林内環境	明るさ、下層植生
立木情報	樹種、胸高直径、樹高、立木本数 立木の状態（被圧、幹折れ等）
施業情報	1990 年以降の各種施業痕跡
伐根情報	腐朽度、年輪の数
その他	下層植生、土壌侵食

一方、FM 高齢級調査では、調査対象の林小班に 0.1ha の円形調査プロットを 2 つ計 0.2ha を設置した。調査プロットは対象小班からはみ出さないよう、また互いの調査プロットが重複しないよう設置された。主な調査項目は通常の FM 率調査と同様であるが、高齢級調査では胸高直径は調査プロット内の全立木を、樹高は 50 本を計測対象としている。

³ 林野庁（2022）令和 3 年度森林吸収源インベントリ情報整備事業「森林経営」対象森林率調査（指導取りまとめ業務）

2.2. 都道府県所有の現地調査データ

令和2年度に林野庁は収穫表見直しの状況について都道府県に聞き取りを実施している。すでに収穫表を見直している17道府県は現地調査データを持っている可能性が高いことも踏まえ、本事業では林野庁を通して都道府県に現地調査データ提供の依頼を行った。現地調査データの提供依頼内容⁴を下枠に示す。回答結果については3.1で述べる。

現地調査結果（林分または単木の情報）

スギ、ヒノキ、カラマツを目的とした調査で概ね平成20年度以降に調査されたもの。

〔例：都道府県独自で実施しているモニタリング調査結果や収穫調査結果
収穫予想表等を既に見直している県においては、その際に利用した調査結果〕

具体的な項目は以下のとおり。

【林分の情報】

- ・平均胸高直径
- ・平均樹高
- ・単位面積当たりの材積
- ・プロット位置（少なくとも所在市町村、できれば地理座標）
- ・林齢（森林簿転記でなく補正しているものがあればその旨明記）
- ・現地調査日（少なくとも調査年度）
- ・プロット面積
- ・（できれば）施業履歴（植栽本数、間伐からの経過年数など）

【単木の情報】※上記の「林分の情報」の元データもあれば含む。

- ・樹種（広葉樹の樹種は特定されていなくても可）
- ・胸高直径
- ・樹高（測定方法が明確であること、目測なら目測と明記）
- ・（できれば）被圧木か否か
- ・（できれば）単木材積

⁴ 令和4年8月4日林野庁森林整備部計画課発出各都道府県森林計画担当者宛事務連絡

2.3. 森林機構所有の現地調査データ

2.3.1. 収穫試験地

森林機構と国有林の共同試験である収穫試験地の概要を細田ら（2009）⁵から引用すると以下のとおりである。

収穫試験地は「所属施業団の現行あるいは将来予想される施業法によって施業した場合の成長量、収穫量及びその他の統計資料を収集するとともに林分構造の推移を解明する」（収穫試験施行要綱、昭和 34 年 6 月 12 日付け 34 林野指第 4127 号）ことを目的として、全国の国有林内に設定されている主に同齢単純林の固定試験地である。国有林において収穫試験地は、技術開発試験地や検定林などと並び、試験地の一種として位置づけられている（施業指標林、展示林及び試験地の取り扱いについて、平成元年 6 月 9 日付け元林野業一第 46 号）。また、収穫試験地の新設や廃止は森林管理局と森林総合研究所とが相互に協議して行うものと規定されている（収穫試験施行要綱）。

収穫試験地は 1897 年に大林区署で開始された造林試験を端緒とし、山林局長通牒「収穫試験施行方法」によって 1934 年に制度化された。1959 年、林野庁長官通達によって収穫試験施行要綱が改めて制定されるとともに、同時期に、戦前に設定された試験地の一部廃止と新設が行われ、約 360 か所に整理された。その後、試験期間満了や風雪害等で廃止される試験地があり、現在は約 180 か所について試験が継続中である（中略）。

収穫試験地は小班単位で指定されているが、小班全域を調査することは困難である。小班内に 1 つの標準地、あるいは施業方針や地位が異なる複数の試験区を設定している場合は、それぞれの試験区に 1 つの標準地を設定し、それら標準地について継続調査を行っている。収穫試験施行要綱では、標準地の面積は人工林で 0.2ha 以上と規定されているが、無間伐等の比較区では 0.1ha 程度、また戦前に設定された試験地では 0.2ha よりやや大きい場合が少なくない（中略）。

立木調査は全立木（人工林でない場合は、胸高直径 5cm 以上）について識別番号を付し、原則として 5 年間隔、高齢級では 10 年間隔で胸高直径、樹高、寺崎式樹型級区分（寺崎 1928）等の全数調査を行っている。ただし調査間隔は、調査や施業実行上の都合から、5 年または 10 年間隔になっていない場合もある。

胸高直径は試験地によって、輪尺による 2 方向測定の場合と直径巻尺の場合とがあるが、ペンキで印づけた毎回同一の位置を 0.1cm 括約で測定することは共通している。樹高の測定には、若齢では測竿が、成長に伴ってブルーメライズ測高器などが用いられてきた。担当組織によって前後するが 2000 年頃からは、超音波またはレーザー距離計と傾斜

⁵ 細田和男ほか（2014）平成 18～22 年度に調査した収穫試験地等固定試験地の経年成長データ（収穫試験報告第 25 号）．森林総合研究所研究報告 13(4)：225-254.

センサーを内蔵した測高器（スウェーデン Haglöf 社製 VERTEX III、VERTEX IV、米国 Laser Technology 社製 IMPLUSE200 など）を用い、三角法により 0.1m 括約で樹高測定を行っている（以上引用終わり）。

各収穫試験地の集計結果は、直近の測定結果を踏まえ、データの遡及修正、欠測値の補完等を行って確定したものが「収穫試験報告」として公表されてきている。本事業では、収穫試験報告第 24 号⁶、第 25 号⁷、第 26 号⁸に収録されているデータから、事業目的に適ったデータを抽出して解析に供した。すなわち、目的樹種がスギ、ヒノキ、カラマツのいずれかであって、無間伐や上層間伐など特殊な施業を行われている試験地は除外、また極端な根曲り等データが正常でない試験地は除外し、結果として北海道から鹿児島県の国有林に所在する試験地 58 か所、897 回分のデータを抽出した。

2.3.2. 森林整備センターの森林現況簿

森林研究・整備機構森林整備センターは、水源林造成事業地について森林調査を行い、その結果を森林現況簿というデータベースに格納している。本事業での利用可能性を検討するため、森林整備センターから特別に、個人情報を除くデータの提供を受けて内容を検討した。その結果、調査を行った林齢の範囲が限られていること、調査プロットが比較的小さく、樹高は少数の代表木の測定にとどまること、幹材積合計は林分密度管理図を用いて平均樹高と本数から算出（推定）されていること、などから本事業の目的には適さないと判断し、利用しないことにした。

2.3.3. 林分密度管理図の作成データ

前述のとおり、本事業の目的の一つに林分密度管理図の見直し可否の検討がある。そこで本事業で収集・整理した最近の林分データに加え、検証対象である林分密度管理図が作成された当時（1978～1982 年度）の林分データも整理して比較参照することにした。地方別、樹種別の林分密度管理図が完成するたびに林野庁が発行した「林分密度管理図説明書」には、その密度管理図の詳細な計算経過とともに使用された林分データの一覧表も掲載されている。森林総合研究所資源解析研究室がそれらを電子化したファイルを保有して

⁶ 細田和男ほか（2009）平成 13～17 年度に調査した収穫試験地等固定試験地の経年成長データ（収穫試験報告第 24 号）。森林総合研究所研究報告 8(3)：187-203.

⁷ 細田和男ほか（2014）平成 18～22 年度に調査した収穫試験地等固定試験地の経年成長データ（収穫試験報告第 25 号）。森林総合研究所研究報告 13(4)：225-254.

⁸ 西園朋広ほか（2019）平成 23～27 年度に調査した収穫試験地等固定試験地の経年成長データ（収穫試験報告第 26 号）。森林総合研究所研究報告 18(2)：231-273.

おり、本事業に関わるスギ7地域（表東北、裏東北・北陸⁹、北関東・東山¹⁰、南関東・東海¹¹、北近畿・中国、南近畿・四国、九州¹²）、ヒノキ4地域（関東・中部¹³、北近畿・中国¹⁴、南近畿・四国¹⁵、九州¹⁶）、カラマツ2地域（北海道¹⁷、本州¹⁸）のデータを抽出して再整理した。この際、各密度管理図が作成される過程で棄却された過剰データ、異常データは本事業においても除外した。

なお、密度管理図の作成のため当時予定された調査地は、林冠閉鎖の始まる齢級から標準伐期齢を6齢級超えるまでの林齢（おおむね3～14齢級）で、間伐後5年以上が経過した健全な同齢単純林から選定され、調査区面積は原則として0.1ha、4齢級以下の若齢級で本数が多い場合は0.05haと規定されていた。

2.4. 林野庁所有の ALS データ

林野庁では、豪雨や地震等の災害地を対象とし、航空 LiDAR 計測データ（以下 ALS）が計測されている。本事業では、2016 年～2020 年に計測対象となった岡山、広島、愛媛、高知、熊本、大分の6県について ALS データを収集した。データは森林整備部治山課で管理されている。

2.5. 都道府県所有の ALS データ

都道府県の ALS データの所有状況については、令和3年度林野庁事業「レーザ計測による森林資源データの解析・管理の標準化事業報告書」¹⁹を参照して、データ収集対象都道

⁹ 林野庁（1979）人工林密度管理図の作成について 表東北地方スギ 裏東北・北陸地方スギ. 61pp.

¹⁰ 林野庁（1981）スギ人工林密度管理図説明書 北関東・東山地方. 26pp.

¹¹ 林野庁（1981）スギ人工林密度管理図説明書 南関東・東海地方. 28pp.

¹² 林野庁（1980）スギ人工林密度管理図説明書 北近畿・中国地方 南近畿・四国地方九州地方. 84pp.

¹³ 林野庁（1982）ヒノキ人工林密度管理図説明書 関東・中部地方. 26pp.

¹⁴ 林野庁（1983）ヒノキ人工林密度管理図説明書 北近畿・中国地方. 29pp.

¹⁵ 林野庁（1981）ヒノキ人工林密度管理図説明書 南近畿・四国地方. 28pp.

¹⁶ 林野庁（1982）ヒノキ人工林密度管理図説明書 九州地方. 25pp.

¹⁷ 林野庁（1982）カラマツ人工林密度管理図説明書 北海道地方. 33pp.

¹⁸ 林野庁（1981）カラマツ人工林密度管理図説明書 本州地域. 30pp.

¹⁹ 日本森林技術協会・日本林野測量協会（2022）令和3年度林業イノベーション推進総合対策のうち ICT 生産管理推進対策のうちレーザ計測による森林資源データの解析・管理の標準化事業報告書. 145pp

府県を絞り込んだ。本報告書によれば、40 の都道府県で ALS データを計測実績があり、このうち本事業で解析するデータのうち単木樹高を有している都道府県に絞り込んで提供依頼をすることとした。さらに、データの提供可能性が高くかつ撮影面積が大きい都道府県も加えて対象を絞り込んだ。

絞り込みの結果、データ提供を依頼した都道府県は青森、秋田、静岡、鳥取、徳島、大分の 6 県である。

3. 森林資源データの取得、解析用データへの加工・整備

3.1. 現地調査データの取得

3.1.1. 都道府県所有現地調査データの授受経過

都道府県からの現地調査データ提供依頼に対する回答結果を表 7 に示した。「回答」欄が空白の都道府県は回答無し、「無し」はデータが存在しないことを意味する。その結果、データの提供があった都道府県が 28 都府県だった。

表 7 都道府県からの現地調査データ提供依頼に対する回答結果

都道府県名	データの 有無	データ有りの場合 提供状況	備考
北海道	無し		
青森県			
岩手県	有り	受領	本事業限りでの使用とする
宮城県	無し		
秋田県	有り	受領	
山形県	有り	受領	
福島県	有り	受領	
茨城県	無し		
栃木県	無し		
群馬県	有り	受領	
埼玉県			
千葉県	無し		
東京都	有り	受領	
神奈川県			
新潟県	有り	受領	
富山県	有り	受領	
石川県	有り	受領	
福井県	有り	受領	
山梨県	有り	受領	
長野県			
岐阜県	有り	受領	
静岡県	有り	受領	

都道府県名	データの 有無	データ有りの場合 提供状況	備考
愛知県	無し		
三重県	有り	受領	
滋賀県			
京都府	有り	受領	
大阪府	有り	受領	
兵庫県			
奈良県	有り	受領	本事業限りでの使用とする
和歌山県			
鳥取県	無し		
島根県	有り	受領	
岡山県	有り	受領	
広島県	有り	受領	
山口県	有り	受領	
徳島県	有り	受領	
香川県	無し		
愛媛県	有り	受領	
高知県	有り	受領	
福岡県	有り	受領	
佐賀県	有り	受領	
長崎県	有り	受領	
熊本県			
大分県	有り	受領	他の都道府県へのデータ提供にあたっては要調整
宮崎県			
鹿児島県	無し		
沖縄県	無し		

3.1.2. 都道府県所有現地調査データのとりまとめ方針

本事業では林分データもしくは単木データが求められ、表 8 に示した項目が必要になる。

表 8 必要となるデータ項目

項目	摘要
林分情報に関する項目	
位置情報	少なくとも所在市町村、理想的には地理座標
樹種	必須。ただし、広葉樹の樹種は特定されていなくても可
林齢	できれば森林簿の単純転記ではなく、補正や修正をして現実に近づけたもの
現地調査日	少なくとも調査年度
施業履歴	植栽本数、間伐からの経過年数など。必須ではない
林分データとして必要になる項目	
ha あたり本数密度	必須
ha あたり林分材積	必須
上層木平均樹高	必須
平均胸高直径	必須
ha あたり胸高断面積合計	必須ではない
単木データとして必要になる項目	
プロット内毎木調査か NFI 同心円プロットか	林分データに変換する際に必要。同心円プロットの場合、どのプロット内の立木か区別できること
胸高直径	必須。0.1cm/1cm/2cm 単位など括約や丸めた数字になっている場合があるので、明示されていれば参考になる
樹高	測定方法が明確であること、目測なら目測と明記。回帰式を用いた推定値の場合も同様
被圧木か否か	必須ではない
プロットの面積	林分データに変換する際に必要 ²⁰

提供されたデータをもとにとりまとめ方針を検討し、以下の方針でとりまとめを行うことになった。

- エクセルファイルでデータを取りまとめる。作業効率から PDF ファイル状態の都道府県データの処理は優先度を下げる。
- 本事業の目的である収獲表の見直しに必要な項目が含まれている都道府県データを優先的に整理する。特に林齢情報がある都道府県を優先する。

²⁰ プロットの面積は本数や幹材積合計を ha あたりに換算するために必要であるが、データのスクリーニングにも重要な情報になると考えた（プロット面積が狭すぎる場合、ha あたり本数や幹材積合計の不確実性が高い）。

- 項目名は都道府県間で統一されていないので、とりまとめ時は都道府県独自の項目名を列として追加していく。
- 単木樹高については実測のデータを優先する。

3.1.3. データリスト

3.1.2 のとりまとめ方針に従って、提供を受けた都道府県現地調査データの内容を整理した結果を表 11 に示した。その中から単木もしくは林分データとしてとりまとめた都道府県についてデータの内容を表 12 に示した。結果として、本年度は提供を受けた 28 府県中 4.1 に示す理由により 16 府県のデータを取りまとめた。それ以外の都道府県については、本年度はとりまとめを実施しなかった。

最終的にとりまとめたファイルの項目を表 9、表 10 に示す。3.1.2 で述べたように、とりまとめ時は都道府県独自の項目名を列として追加していくため、類似の項目名が並ぶ場合がある。

表 9 林分データとりまとめファイルの項目

項目 (列名)	摘要
県名	
県 ID	
フォルダ名①	この項目を使って個別の林分データを 区別する
フォルダ名②	
ファイル名	
シート名	
調査番号	
樹種	
平均胸高直径	
平均樹高	
プロット材積	
ha あたり材積	
林齢	
プロット (ha)	プロット面積
成立本数 (本/ha)	本数密度

表 10 単木データとりまとめファイルの項目

項目（列名）	内容
県名	
県 ID	
フォルダ名①	この項目を使って個別の調査プロットを区別する
フォルダ名②	
フォルダ名③	
ファイル名	
シート名	
プロット番号	
毎木/NFI 系	プロット内毎木調査か NFI 同心円プロットか
プロット面積（m ² ）	
プロット面積（ha）	
林齢	
番号	調査プロット内で付与された単木 ID
樹種	
胸高直径(cm)	
胸高直径②(cm)	
樹高(m)	
幹材積(m ³)	
本数	

表 11 提供を受けた都道府県現地調査データの内容

都道府県 名	樹種			プロット 数	林齢 情報	単木/林分 データの別		データの とりまとめ	
	ス ギ	ヒノ キ	カラ マツ	概ね 20 か所以上 なら○		単木 データ	林分 データ	単木 データ として	林分 データ として
岩手県	○		○			○			
秋田県	○		○	○	○	○	○	○	
山形県	○		○	○	○	○	○	○	
福島県	○				○	○		○	
群馬県	○	○	○	○		○	○		
東京都	○				○	○			
新潟県	○	○	○	○	○	○			
富山県	○			○	○	○			
石川県	○	○		○	○		○		○
福井県			○	○	○	○		○	
山梨県	○	○	○	○	○		○		
岐阜県	○	○				○			
静岡県	○	○		○	○	○	○	○	
三重県	○	○		○	○	○	○	○	
京都府	○	○		○	○	○		○	
大阪府	○	○		○		○			
奈良県	○	○		○	○	○	○		○
島根県	○	○		○	○	○	○	○	
岡山県	○	○		○	○		○		○
広島県	○	○		○	○		○		
山口県	○	○		○	○		○		
徳島県	○	○		○	○	○	○	○	
愛媛県	○	○		○	○	○	○	○	
高知県		○		○	○	○	○		
福岡県	○	○		○	○	○	○	○	
佐賀県	○	○		○	○	○	○		
長崎県	○	○		○	○	○	○	○	
大分県	○	○		○	○		○		○

表 12 取りまとめをした都道府県現地調査データの内容

都道府 県名	データの とりまとめ		単木データ							林分データ					
	単木デー タとして	林分デー タとして	毎木 /NFI	直径	直径計測単位 0.1cm/1cm/2cm	樹高	樹高計測 単位 0.1/1m	プロッ ト面積	NFI の場 合、大中 小円情報	本数密 度/ha	プロッ ト面積	林分蓄 積/ha	上層木 平均樹 高	平均直 径	胸高断 面積合 計/ha
秋田県	○		NFI	○	0.1cm	○	0.1m	○	○	○	○	○	○	○	○
山形県	○		毎木	○	2cm	○	0.1m	○		○	○		○	○	
福島県	○		毎木	○	2cm	○	1m	○							
石川県		○								○	○	○	○	○	
福井県	○		毎木	○	2cm	○	1m	○		○	○				
静岡県	○		毎木	○	1cm	○	0.1m	○		○			○	○	
三重県	○		毎木	○	0.1cm	○	0.1m	○		○	○	○	○	○	
京都府	○		毎木	○	1cm	○	0.1m	○			○				
奈良県		○									○	○	○	○	
島根県	○		毎木	○	0.1cm	○	0.1m	○		○	○		○	○	
岡山県		○								○	○	○	○	○	
徳島県	○		毎木	○	1cm	○	1m	○			○	○			
愛媛県	○		毎木	○	1cm	○	1m	○			○	○	○	○	○
福岡県	○		毎木	○	0.1cm	○	0.1m	○			○		○	○	
長崎県	○		毎木	○	0.1cm	○	0.1m	○			○		○	○	○
大分県		○									○	○	○	○	

3.2. 現地調査データの整理、単一フォーマットの検討

収集しあるいは提供を受けた7種類の現地調査データ、すなわち①新収穫表調製（森林簿の蓄積精度検証調査）データ、②FM 高齢級データ、③FM 若齢級データ、④森林生態系多様性基礎調査データ第3期、⑤同第4期、⑤都道府県提供データ、⑥収穫試験地、⑦林分密度管理図作成データの内容を精査しつつ、表計算ソフトのワークシート1枚に行列構造のデータとして整理を行った。同時に、必須項目の欠落しているデータや、異常値の棄却を行った。

新収穫表調製データは、当時の目的に応じて目的樹種の材積混交率を75%以上としていたが、本事業では、同齢単純林を対象とする密度管理図の検証を行うため、目的樹種の材積混交率を95%以上に限定した。一方で、新収穫表では棄却していた林齢111年以上のデータは採用した。

FM 高齢級データも目的樹種の材積混交率を95%以上に限定した。

森林生態系多様性基礎調査は第3期、第4期ともに、円形プロットに占める林分占有率が40%（0.04ha）以上で、スギ、ヒノキまたはカラマツの断面積混交率が95%以上の林分のみを抽出し、スギ、ヒノキまたはカラマツだけを集計対象とした。同じプロットであっても第3期と第4期は林齢の異なる独立したデータとして扱った。

都道府県データのうち単木データが提供されたものは、林分の平均値またはhaあたりの合計値に換算した。樹高が全数測定ではない場合、樹高未測定木の樹高は林分ごとに作成した樹高曲線で補間した。樹高測定木の樹高は実測のままとした。集計の結果スギ、ヒノキまたはカラマツの断面積混交率が95%以上の林分について、スギ、ヒノキまたはカラマツだけを集計対象とした。

収穫試験地は基本的に十分な施業が行われた同齢単純林であり、混交率による棄却は行わなかったが、無間伐や上層間伐など特殊な施業を行ってきた試験地、また極端な根曲り等データが正常でない試験地は除外した。

各データに共通して林齢が不明なデータは棄却した。また、林齢－上層樹高、林齢－平均胸高直径、平均胸高直径－上層樹高等の基本的な散布図上において、視覚的に明らかに外れ値となるデータは棄却した。さらに胸高断面積合計が150m²/ha以上となるデータは、プロットの設定が適切でない可能性があるので棄却した。この閾値150m²/haは、四手井（1974）²¹が純林の胸高断面積合計の最大値をスギ100 m²/ha、ヒノキ80 m²/ha、マツ類60 m²/haと述べていること、また田中（1991）²²が、平均樹高30mのときの最大値をスギ

²¹ 四手井綱英（1974）自然保護・森林・森林生態．281pp．農林出版

²² 田中和博（1991）各成長段階における最大林分断面積の推定．森林計画学会誌16：99-124.

106.7 m²/ha、ヒノキ 86.6 m²/ha、カラマツ 58.4 m²/ha と推定していることを参考にして定めた。

フォーマットはワークシートの A 列から、都道府県、（市町村）、樹種、林齢、上層樹高、平均樹高、平均胸高直径、ha あたり本数、（ha あたり胸高断面積合計）、ha あたり幹材積合計、密度管理図の地方・樹種名、資料名、（備考）の 13 列とし（括弧付は必須ではない項目を示す）、1 行目の項目名に続き 2 行目から各林分データが連続して格納されているものとした。また、上層樹高と平均樹高の区別ができないデータは、両者に同じ値を格納した。

3.3. 治山課、都道府県 ALS データの授受経過、データリスト

3.3.1. 治山課 ALS データの授受経過、データリスト

林野庁整備部治山課所有の 2016～2020 年に計測された ALS データの概要一覧を事業名別・時系列順に表 13 に示す。データ取得した都道府県は前章で述べたとおり、熊本県、大分、岡山、広島、愛媛、高知県の西日本 6 県である。

撮影面積は 265～5043 km²で、一部の 2018 年計測の愛媛県と高知県については両県計測分を併せた数値で示している。点密度は 4 点/m² 以上ですべて計測されている。生成されているデータ種について、災害後の地形測量を目的とされているため基本データである地盤高（digital elevation model, 以下 DEM）、地表面高（digital surface model, 以下 DSM）が生成されている。森林資源解析はなされておらず、本事業での解析データとして利用を想定している単木樹高、林冠高（digital canopy height model, 以下 DCHM）は生成されていない。

表 13 林野庁治山課管理の災害地を対象とした ALS データの概要 (2016-2020 年)

対象 県	撮影 年	事業名	面積 (km ²)*	点密度 (/m ²)	DEM	DSM	DCHM	分 解 能 (m)	単 木 樹 高
岡山	2018	平成 30 年度 森林域にお ける航空レーザー計測業務 (その 1) 岡山県	2,899	4	○	○	×	0.5	×
広島	2018	平成 30 年度 森林域にお ける航空レーザー計測業務 (その 1) 広島県	2,304	4	○	○	×	0.5	×
愛媛	2018	平成 30 年度 森林域にお ける航空レーザー計測業務 (その 2) 愛媛県	5,043	4	○	○	×	0.5	×
高知	2018	平成 30 年度 森林域にお ける航空レーザー計測業務 (その 2) 高知県		4	○	○	×	0.5	×
熊本	2016	森林域における航空レーザ ー計測業務 平成 28 年 9 月	1,730	4	○	○	×	0.5	×
熊本	2016	森林域における航空レーザ ー計測業務 (I) 平成 28 年 11 月	253	4	○	○	×	0.5	×
熊本	2020	令和 2 年度 森林域におけ る航空レーザー計測業務 (その 1)	3,240	4	○	○	×	0.5	×
大分	2016	森林域における航空レーザ ー計測業務 平成 28 年 9 月	417	4	○	○	×	0.5	×
大分	2016	森林域における航空レーザ ー計測業務 (I) 平成 28 年 11 月	265	4	○	○	×	0.5	×
大分	2016	森林域における航空レーザ ー計測業務 (IV) 平成 28 年 11 月	445	4	○	○	×	0.5	×

3.3.2. 都道府県 ALS データの授受経過、データリスト

前章で述べたとおり、アンケート結果から絞り込んだ 6 県を対象にデータ提供を依頼し、ALS データを入手した。県別にまとめたデータ概要を表 14 に示す。

都道府県の ALS データ概要には、追加情報としてデータのファイルフォーマットも併せて記載した。また、現地調査が実施されている都道府県について、調査結果のデータの提供があった県については調査種とファイルフォーマットも記載した。

表 14 航空レーザ計測データの提供依頼先の都道府県及びデータ仕様

対象 県	撮影 年	事業名	撮影時期	面積 (km ²) *	点密度 (/m ²)	DEM	DSM	DCHM	分解能 (m)	単木樹高	現地調査データ
青森	2020	令和 2 年度青森県航空レーザ測 量森林資源解析業務	11/7-8	109	4	csv,lem,txt	txt	img	0.5	shp	あり：プロット、毎木。た だし PDF ファイル
	2021	令和 3 年度青森県航空レーザ計 測森林資源解析業務	10/27-11/8	71	4	csv,lem,txt	txt	tif	0.5	shp	あり：プロット、毎木。た だし PDF ファイル
	2021	令和 3 年度青森県航空レーザ計 測森林資源解析業務	8/5-9/1	128	4	csv,lem,txt	txt	img	0.5	shp	あり：プロット、毎木。た だし PDF ファイル
秋田	2020	県北地区 森林情報デジタル化 推進業務委託航空レーザ用写真 地図データ索引図	提供なし	223	4	csv,lem	csv,lem ,txt	-	0.5	×	×
静岡	2020	令和 2 年度賀茂地区航空レーザ 計測成果を用いた森林資源情報 等解析業務委託	提供なし	70	提供なし	tif	なし	なし	0.5	shp	×
	提供 なし	令和 3 年度静岡県東部地域デジ タル森林資源情報解析業務委託	既存データを分 析。撮影時期は 未掲載	225	4	tif	tif	tif	0.5	shp	あり：プロット。PPT
	2021	令和 3 年度静岡県西部地域デジ タル森林資源情報等解析業務委 託	9/2-10/20	168	16	tif	なし	tif	0.5	shp	あり：プロット。EXCEL。 現地調査・LiDAR 樹高の比 較あり
	2021	令和 3 年度静岡地域デジタル森 林資源情報等解析業務委託	既存データを分 析。撮影時期は 未掲載	119	16	tif	tif	tif, 0.2m グリッド	0.5	shp	なし
	提供 なし	令和元年度航空レーザ測量成果 を用いた森林資源解析調査業務 委託	既存データを分 析。撮影時期は 未掲載	9	???	なし	なし	img	0.5	shp	あり：プロット、毎木。た だし PDF ファイル

対象 県	撮影 年	事業名	撮影時期	面積 (km ²) *	点密度 (/m ²)	DEM	DSM	DCHM	分解能 (m)	単木樹高	現地調査データ
	2019	令和元年度志太榛原地域航空レーザ測量業務委託	2022/10/5	67	4	tif	なし	txt tif は 3band	0.5	shp	×
鳥取	2018	平成30年度鳥取県航空レーザ測量業務（その1）	11/16-27	292	4	tif	なし	なし	0.5	shp	毎木あり、PDF プロットあり、EXCEL
	2019	平成31年度鳥取県航空レーザ測量業務（その1）	8/5-12/11	588	4程度	tif			0.5	shp	毎木あり、EXCEL(特殊フ ォーマット) プロットあり、EXCEL
	2020	令和2年度鳥取県航空レーザ測量業務（その1）	8/9-11/5	208	4程度	tif	なし	なし	0.5	shp	毎木あり、PDF プロットあり、EXCEL
	2020	令和2年度鳥取県航空レーザ測量業務（その2）	9/29-11/6	172	15						
	2021	令和3年度鳥取県航空レーザ測量業務（その1）	8/27-9-7	171	4程度	tif	なし	なし	0.5	shp	毎木あり、PDF プロットあり、EXCEL
徳島	2009 2013	詳細地形表現図作成及び樹高解析業務（新規撮影はなく過去の解析データを解析）	2009/03～ 2009/05 2009/12～ 2010/02 2013/10	2,062	1	txt	txt	txt	1	×	×
	2018	提供なし	提供なし	提供 なし	4	tif	×	tif	0.5	shp	×
	2019	令和元年度航空レーザ測量業務	12/11	83	4	tif	tif	tif	0.5	shp	あり EXCEL
	2020	令和2年度航空レーザ測量業務	2020/11/18- 2021/1/11	496	12	tif	tif	tif	0.5	shp	あり EXCEL
大分	提供 なし	提供なし	提供なし	提供 なし	4	tif	なし	なし	1	shp	×

* 森林資源解析エリア

3.4. 収集した現地調査データ数のクロス集計

収集、整理した現地調査データは3樹種合わせて19,721か所で、半数以上は蓄積精度検証調査ほか林野庁が保有するデータであったが、本事業により府県から提供された資料及び森林機構の保有する収穫試験地合わせて3,015か所のデータを追加することができた（表15）。樹種別にはスギが半数以上を占めていた。これとは別に、比較参照用として林分密度管理図の作成データ4,216か所を整理した。林齢別では（表16）、全国レベルで見て十分なデータ数が存在するのはスギで110年まで、ヒノキで100年まで、カラマツで70年までであった。

表15 現地調査データ数（資料別、樹種別）

資料名	スギ	ヒノキ	カラマツ	計
蓄積検証	6,595	4,132	693	11,420
F M高齢級	330	101		431
F M若齢級	850	331	108	1,289
多様性3	1,125	596	90	1,811
多様性4	1,071	603	81	1,755
府県提供	1,202	855	61	2,118
収穫試験地	426	285	186	897
計	11,599	6,903	1,219	19,721
密度管理図	2,254	1,350	612	4,216

表16 現地調査データ数（林齢別、樹種別）

林齢	スギ	ヒノキ	カラマツ	計
1～10	800	571	118	1,489
11～20	1,096	816	167	2,079
21～30	1,466	946	190	2,602
31～40	1,467	863	180	2,510
41～50	1,716	1,034	229	2,979
51～60	1,304	590	138	2,032
61～70	1,467	671	155	2,293
71～80	745	546	22	1,313
81～90	905	535	14	1,454
91～100	408	218	6	632
101～110	108	61		169
111～120	51	24		75
121～	66	28		94
計	11,599	6,903	1,219	19,721

さらに、林分密度管理図の地域（スギ7地域、ヒノキ7地域、カラマツ2地域）で区分すると（表 17）、十分なデータ数が得られたのはスギとヒノキで 100 または 110 年まで、カラマツでは 70 年までであった。

表 17 現地調査データ数（林齢別、樹種別、地域別）

林齢	スギ						
	表東北	裏東北 北陸	北関東 東山	南関東 東海	北近畿 中国	南近畿 四国	九州
1～ 10	90	237	81	52	124	69	147
11～ 20	88	309	138	82	166	120	193
21～ 30	192	352	166	176	164	165	251
31～ 40	113	391	125	118	292	148	280
41～ 50	144	430	129	138	328	196	351
51～ 60	101	390	107	113	155	155	283
61～ 70	103	421	120	111	210	141	361
71～ 80	83	230	75	53	96	71	137
81～ 90	100	250	86	73	175	94	127
91～100	43	106	57	30	77	39	56
101～110	7	22	10	21	6	25	17
111～120	3	7	4	14	6	14	3
121～	6	9	3	17	8	23	
計	1, 073	3, 154	1, 101	998	1, 807	1, 260	2, 206

林齢	ヒノキ				カラマツ	
	関東 中部	北近畿 中国	南近畿 四国	九州	北海道	本州
1～ 10	166	166	120	119	82	36
11～ 20	215	224	200	177	119	48
21～ 30	281	273	230	162	125	65
31～ 40	220	226	206	211	118	62
41～ 50	225	286	248	275	149	80
51～ 60	154	161	109	166	59	79
61～ 70	205	171	112	183	93	62
71～ 80	190	130	107	119	8	14
81～ 90	200	134	102	99	1	13
91～100	85	39	56	38		6
101～110	13	11	31	6		
111～120	5	5	13	1		
121～	5	7	15	1		
計	1, 964	1, 833	1, 549	1, 557	754	465

網掛けはデータ数 10 未満を示す

表 18 スギ現地調査データ数（林齢別、都道府県別）

林齢	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	中浜	会津	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟
1～ 10	23	13	31	12	52	36	47	22	14	12	18	9	3	4	2	38
11～ 20	22	20	39	23	77	45	28	12	16	15	38	10	13	4	2	57
21～ 30	7	32	102	59	96	51	39	24	36	20	44	3	24	4	12	69
31～ 40	23	47	56	31	113	35	36	15	25	15	34	11	13	9	4	75
41～ 50	32	43	53	53	144	59	53	14	24	20	31	12	18	13	5	54
51～ 60	21	34	49	37	113	40	41	25	13	23	36	8	9	9	10	47
61～ 70	53	32	47	33	133	42	26	18	28	14	39	13	4	9	8	64
71～ 80	14	7	24	15	82	25	44	6	15	9	19	5	3	3	4	28
81～ 90	9	14	42	17	104	36	43	12	22	10	24	5	3	1	4	21
91～100	2	2	13	8	43	12	22	10	9	9	15	3	2	3		8
101～110		1	2	1	13		4	2	2	3	4	1	1		1	3
111～120			1		3		2		2	2	1		1			1
121～		3	1		3	2	5		2				1	1	2	
計	206	248	460	289	976	383	390	160	208	152	303	80	95	60	54	465

林齢	富山	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取
1～ 10	33	12	8		11	31	11	12	6	12	12		16	7	14	14
11～ 20	28	31	15		18	57	20	11	16	12	15		33	21	28	13
21～ 30	9	22	34	3	21	75	45	15	40	30	13	1	36	28	24	21
31～ 40	21	29	23		20	45	18	12	37	11	21		48	20	23	15
41～ 50	23	27	19	3	20	43	29	9	40	15	26		57	26	32	26
51～ 60	21	39	24	1	11	28	30	12	30	4	25		31	15	33	26
61～ 70	24	29	23		14	40	29	12	21	15	37		35	19	32	15
71～ 80	23	21	24		6	36	11	6	11	11	19		7	10	14	13
81～ 90	20	17	15	1	10	36	25	8	10	15	19		19	14	27	14
91～100	10	15	4	1	9	20	6	1	9	8	10		4	14	7	7
101～110	2	1				2	1		16		4		1	6	8	
111～120	1	2				1	1		10		1		1	11		3
121～		1			1	2	5		6	3	3		1	22		
計	215	246	189	9	141	416	231	98	252	136	205	1	289	213	242	167

林齢	島根	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄
1～ 10	28	6	21	15	18		22	8	14	6	8	23	53	25	18	
11～ 20	33	17	26	17	21	2	19	29	17	10	8	30	48	41	39	
21～ 30	32	8	13	10	48	2	25	38	20	16	4	27	56	69	59	
31～ 40	125	25	27	20	32	2	18	53	18	15	15	30	84	78	40	
41～ 50	125	30	32	17	50	2	27	59	23	12	15	44	126	88	43	
51～ 60	15	25	18	11	32	1	24	50	45	7	11	34	107	52	27	
61～ 70	36	29	27	16	27		31	32	50	18	49	33	123	60	28	
71～ 80	18	11	10	7	25		8	14	24	5	27	16	34	16	15	
81～ 90	54	26	14	14	31		10	12	22	8	16	13	16	27	25	
91～100	34	8	6		7		6	5	13	3	6	10	9	11	4	
101～110	1				4		5	2	2	1	3	4	3	3	1	
111～120			1		2		1				1	1	1			
121～		1					1									
計	501	186	195	127	297	9	197	302	248	101	163	265	660	470	299	

網掛けはデータ数 10 未満を示す

表 19 ヒノキ現地調査データ数（林齢別、都道府県別）

林齢	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟
1～ 10				17				13	13	11	15	2	9	7	
11～ 20			1	13			6	16	11	19	13	11	17	5	
21～ 30				13			7	11	18	23	7	14	6	4	
31～ 40							6	14	23	15	5	9	4	2	
41～ 50				8				17	13	13	1	8	14	7	
51～ 60				5			1	5	12	7	3	4	5	6	
61～ 70				11			2	18	11	20	3	2	7	6	
71～ 80				8				9	13	16	7	4	9	4	
81～ 90				8				24	12	27	6	3	9	6	
91～100				11				3	9	7	5	2	3	3	
101～110									2						
111～120								1			1				
121～															
計			1	94			22	131	137	158	66	59	83	50	

林齢	富山	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取
1～ 10			8	8	12	27	18	6	7	12	15	6	15	7	18	9
11～ 20		1	10	5	9	37	21	20	31	13	20	5	28	13	21	16
21～ 30		17	10	17	27	60	18	29	46	14	18	11	33	17	22	20
31～ 40		26	4	13	12	37	27	23	28	9	12	4	30	11	31	15
41～ 50		6	8	13	7	55	17	38	45	15	24	3	44	28	31	14
51～ 60		4	3	8	7	28	22	34	18	9	12	1	10	7	15	11
61～ 70		2	8	3	11	30	35	36	16	17	25	4	22	10	22	5
71～ 80			8	2	22	47	15	26	10	13	17	3	16	26	22	12
81～ 90			7	2	14	44	23	15	12	22	19	5	18	15	27	5
91～100		1			6	20	4	11	14	4	8	2	1	8	10	4
101～110		3	1		1	5		1	15	1	3	1	2	6	1	1
111～120		1				1		1	5	1	1			7		3
121～						5			6	6			1	5		
計		61	67	71	128	396	200	240	253	136	174	45	220	160	220	115

林齢	島根	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄
1～ 10	24	19	29	37	30	13	28	17	16	19	13	19	12	28	12	
11～ 20	28	36	41	37	55	21	21	38	23	21	12	29	34	32	26	
21～ 30	35	52	51	39	54	16	42	33	14	14	22	23	48	27	14	
31～ 40	16	85	31	24	37	13	38	48	22	19	14	28	61	39	28	
41～ 50	19	90	45	32	52	10	33	49	36	27	32	33	79	43	25	
51～ 60	7	72	25	14	14	13	13	29	41	6	15	27	38	22	17	
61～ 70	20	25	19	34	29	8	14	13	38	18	36	19	30	25	17	
71～ 80	19	19	12	19	28		14	7	25	8	19	15	24	15	13	
81～ 90	11	16	20	18	24		18	6	19	7	19	14	22	9	9	
91～100	2	3	5	10	13		9	2	8	3	4	5	10	6	2	
101～110		3			4		3	2			2		1	3		
111～120					1						1					
121～					2		2				1					
計	181	420	278	264	343	94	235	244	242	142	190	212	359	249	163	

網掛けはデータ数 10 未満を示す

表 20 カラマツ現地調査データ数（林齢別、都道府県別）

林齢	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟
1～10	82		21		3	1									
11～20	119		28		1	2									
21～30	125	1	38			1	1		3						
31～40	118		14		9		1			1					
41～50	149	1	24		14										
51～60	59	2	6		27	7	1								
61～70	93		31		10	2									
71～80	8		5		3										
81～90	1		5		3					1					
91～100			3		3										
101～110															
111～120															
121～															
計	754	4	175		73	13	3		3	2					

林齢	富山	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡
1～10				2	9		
11～20				7	10		
21～30			4	9	8		
31～40				16	21		
41～50				9	31	1	
51～60				5	25	6	
61～70			1	4	14		
71～80					6		
81～90				1	3		
91～100							
101～110							
111～120							
121～							
計			5	53	127	7	

網掛けはデータ数 10 未満を示す

ところで、樹高成長曲線や林分密度管理図を見直すために必要なデータ数に明確な基準はないが、山田・村松（1971）²³には、林分収穫表の作成には 1 地位につき 30 か所以上（地位が 3 区分であれば 90 か所以上）が望ましいと記載されている。また、1948～1969 年に作成された 40 種類の国有林林分収穫表はそれぞれ 44～163 か所、平均 94 か所のデータをもとにしている（細田、未発表）ことから、一つの目安として 100 か所を考えること

²³ 山田茂男・村松保男（1971）再訂増補 例解測樹の実務. 258pp., 地球社

ができる。もっとも山田・村松（1971）に記載のとおり、箇所数だけでなく、対象地域の幅広い地位、林齢をバランスよくカバーしていることも重要である。

都道府県別にみると、まずスギの場合（表 18）、北海道から鹿児島までおおむねカバーされている。しかし埼玉、東京、神奈川、山梨、大阪、香川は 100 か所を大きく下回っており、県単独で樹高成長曲線の見直しを行うのは難しく、隣接都府県のデータを転用したり、密度管理図の地域区分単位で見直したりするが現実的と考えられた。また、それ以外の道府県でも、データが十分にあるのは 90 年生までで、101 年以上は全国的にみてもデータが少なかった。奈良は例外的に 121 年生以上のデータが豊富であった。

ヒノキの場合（表 19）、もともと造林されることが少ない東北、北陸地方は問題でないとして、東日本のうち埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨は 100 か所を大きく下回っていた。長野以西は、大阪を除いては十分なデータが収集整理された。高齢級はスギと同様に、90 年までがほとんどを占めていた。

カラマツの場合（表 20 カラマツ現地調査データ数（林齢別、都道府県別））、データが収集できた都道府県は限定され、北海道、岩手、秋田、山梨、長野の 5 道県でほとんどを占めていた。データの総数や林齢構成の制約から秋田は岩手と、山梨は長野と合併して検討することが現実的と考えられた。なお、福島県と群馬県の民有林にも 1 万 ha 以上のカラマツ人工林が存在するが、両県のカラマツ現地調査データはほとんど収集できなかった。

4. 追加調査・解析の検討

4.1. 新たに現地調査やALS計測を実施、発注する場合の留意点

4.1.1. 新たな現地調査の実施、発注の留意点

今年度提供を受けながらとりまとめができなかった都道府県所有の現地調査データについて主な理由を下記に示す。

- 単木データでプロット内毎木調査か NFI 同心円プロットかが不明
- 単木データで調査プロットの面積が不明
- PDF ファイルの元がデジタルファイルで存在しない
- 年度によって内容が異なる
- 野帳データと林齢の紐づけが困難
- 野帳ファイルの内容が複雑で解釈が困難

現地調査を実施するにあたっては、これら避けることにより本事業のような目的に対して利用可能性が上がると思われる。

4.1.2. ALS データ計測の発注の留意点

ALS を実施・発注する場合、一般的な仕様としては、「森林・林業分野における航空レーザー計測積算ハンドブック」²⁴に記載されているが、収穫表作成準備のための現地調査の代替データとして使う場合には、森林資源解析データのの一つである樹頂点データ、樹種ポリゴンを発注することが望ましい。樹頂点データはポイントシェープファイル形式かつ樹高が格納されているもの、樹種ポリゴンはポリゴンシェープファイルである。

ALS データを現地調査代替データとし、平均樹高及び立木密度の推定を目的とする場合、航測会社への発注の際に留意する点は以下のとおりである。

DCHM の発注

予算の都合により森林資源解析が発注できない場合、自力での作業は必要とするが、DCHM から上層木樹高や立木密度を推定する手法もあり、DCHM の作成までを仕様に含む選択肢もある。この DCHM は、次節の森林簿林齢の外れ値を抽出して大まかな林齢を推定するような場合、またより PC への負荷が小さいラスターデータでの樹冠表示など

²⁴ 2014 年(平成 26 年), 一般社団法人日本林野測量協会航空レーザー検討会 編, 森林・林業分野における航空レーザー計測積算ハンドブック, 一般社団法人日本林野測量協会, 東京, 57pp.

様々な用途で使えるため、DCHM も併せて納品物として発注されることが推奨される。なお DCHM の算出方法は、もっとも簡易な方法であれば DSM と DEM の差分によるものであり航測会社の掛かり増しは軽度である。

空中写真の同時撮影

収穫表は樹種別に作成する必要がある、森林簿の樹種が不確実な場合、別途林相区分図が準備されていることが望ましい。その場合、ALS 計測時に空中写真を同時撮影することで精度が高い林相区分図の取得が可能である。

4.2. 森林資源解析がされている ALS データの活用方法

4.2.1. GIS 上の仮想プロットによる林齢－平均樹高データセットの作成

4.2.1.1. 背景と目的

本事業の目的の一つである樹高成長曲線の見直しには、多数の林齢－平均樹高データセットが必要である。このためには多数の現地プロットを設定して樹高を測定し、さらに林齢が不明あるいは森林簿に記載されている林齢が不確かであれば、伐根や成長錘の年輪数を数えるか、所有者から聞き取るなど莫大な労力が必要となる。一方で近年、都道府県や市町村など多くの地方公共団体で、航空レーザ測量（ALS、Airborne Laser Scanner）による森林資源調査が行われており、プロット調査の代替手段としての活用が期待できる。ここでは、ALS データによる林齢－平均樹高データセットの作成方法や問題点をまとめることを目的とした。

4.2.1.2. 方法

調査手法の検討と設定

樹高については、ALS で把握しやすい平均樹高とした。一般的に、過去の密度管理図や収穫表などでは、上層樹高が用いられる。分析資料となるプロットの野外調査時に、寺崎式間伐法などの基準から上層木と下層木とを分類し、上層木と分類された立木の平均樹高を上層樹高とする。ただし、野外調査時の立木の分類評価は、労力的にも専門技術の点でも負担が大きく、現場ではほとんど行われない。一方で、収穫表の資料を再分析すると、上層樹高と全立木の平均の平均樹高はほとんど変わらない（Kodani et al. 2011）²⁵ため、ALS で把握しやすい平均樹高を用いた。

²⁵ Eiji Kodani, Naoto Matsumura, Aki Tarumi (2011) Analyzing the Effects of Environmental Factors on the Site Indexes of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) Manmade Coniferous Forest Stands in the Shikoku National Forest Using GIS. Journal of Forest Planning 17:3-8.

林齢については、立木から成長錘を採取して年輪を数える、間伐木の伐根の年輪を数えるなど、直接に把握する方法がある。また、対象林分の林小班を特定し森林簿から林齢を把握する方法がある。ここでは、位置情報が正確な ALS を用いて広域のデータ収集を行うために、森林簿と小班界から林齢を把握する方法を採用した。

分析対象地の条件

本事業の対象は民有林であり、主な解析場所は民有林とした。林齢－樹高曲線把握のための分析対象地の条件としては、①ALS 計測が実施され、森林資源解析が行われている地域、②森林基本図と森林簿が正確な地域、③過去の収穫表などの資料が整備された地域、の3つである。①は既存データの整理により特定できる。③の収穫表等の資料は民有林の場合、都道府県から資料を収集できる。最も難しいのは、②の森林簿と森林基本図の正確さである。

森林簿と森林基本図について、森林管理の最小単位は小班である。小班の基本的な定義は、国有林では林況または施業別で設定する、民有林では所有者別に設定する。民有林では小班の下に、施業別や樹種別でさらに施業班などを設定する都道府県が多い。ただし、民有林では地籍調査が行われていない箇所が多く、地籍調査が終わっていない箇所は所有界が不明である。そのような場所では空中写真判読等による小班の設定が認められている。

これまでの野外での森林調査の経験から、森林簿と小班界の確からしさについて分析する。まず、国有林で小班は林況別や施業別と定義され、言いかえると1つの小班の中でスギやヒノキなどの人工林の植栽年次は同じで、植栽から間伐と主伐まで、一体として施業が行われる。小班は単一林種・樹種と限らず、スギやヒノキの人工林と、不成績造林などで人工林に優先した天然生の広葉樹林が小班の中に複雑に分布している場合がある。本論で重要な点は、小班内での林齢は同じである、という点である。一方で、小班界は、森林簿と森林基本図を統合した森林 GIS でまとめられ、あるいは2万分の1事業図にまとめられる。森林 GIS 等を用いて現場で調査してきた経験から、厳密に測量している訳では無いので小班界に少々の位置誤差はあるが、現地と比較して小班界は概ねあっていると評価できる。まとめると、国有林の森林 GIS のデータについて、小班の境界と林齢は概ね正確であり、小班の中でスギや広葉樹などを分類する必要はあるが、林齢は本論の分析に利用できると評価する。

次に、民有林の小班について検討する。過去に森林 GIS を調査した A 県 Y 町では、全町で地籍調査が完了し、地籍調査結果を用いて森林簿と森林基本図を更新しており、小班は森林所有者を単位とし、小班界も正確である。このような地域の小班・森林簿からの林齢情報は精度が高いと期待できる。別の例として、A 県中部の町で、中規模の林家の森林情報を整備したところ、この林家の森林は、スギ林とヒノキ林がパッチ状に分布し、若齢林、高齢林や複層林などからなる非常に複雑な林相をもち、所有者も森林所有者 A 氏とその縁故者の複数であった。地籍調査が行われていない地域であり、小班界は航空写真の判

読等で大まかに設定されたようである。この林家の小班界は 30ha の団地スケールでまとめられていた。このような例では、林齢を精度良く求めることは困難と考える。

このように民有林において、森林簿から林齢を求める場合には、森林簿と森林基本図という森林データの正確性に対して注意が必要である。都道府県ごと、地域ごとに、どのデータが正しく利用できるのか十分に検討する必要がある。本事業における対象地域を選ぶにあたって重要な条件は、地籍調査と考える。A 県 Y 町のように市町村単位あるいは 2000 年代の市町村合併前の旧市町村単位で地籍調査を行って、森林基本図の小班界が修正された地域を、優先的に分析すべきであると考ええる。

分析対象地の選定

本事業の分析対象地として、青森県の平川市と大鰐町を選定した(図 3)。条件として、まず両市町は、2020 年に ALS 計測と ALS データをもとにした森林資源解析が実施されている。次いで、地籍調査について国土交通省の地籍調査 web サイトによると、青森県の地籍調査の進捗率は 93%であり、進捗率の高さは沖縄県と佐賀県に次いで全国第 3 位となっている。この青森県の中でも特に平川市の進捗率は 99%、大鰐町の進捗率は 100%である。青森県庁職員に聞き取り調査をした結果、地籍調査が行われて、森林基本図も修正されており、小班の境界は明瞭であり、行政の作業でも多くの場合に問題にならないとのことである。また、本事業とは別の事業のため、2021 年度に平川市及び大鰐町、2022 年度に深浦町、三戸町及び五戸町（3 町ともに進捗率 100%）で、小班界図を参照しながら現地プロット調査を行った。現地での感想として、所有界そのものが直接にわかる訳ではないが、小班界は尾根や谷など地形や林相の境界ときれいに一致しており、国有林の小班界のように、林相や林齢などを反映した小班界になっていた。国有林に匹敵するような精度の高い小班界であると考えられた。

地上プロット調査の林齢の確認

平川市と大鰐町の民有林に約 400m²のプロットを設定して、直径と樹高を計測した(図 4)。この野箇所について、森林簿の林齢が確からしいか、野外調査の樹高や現地の状況から分析した。

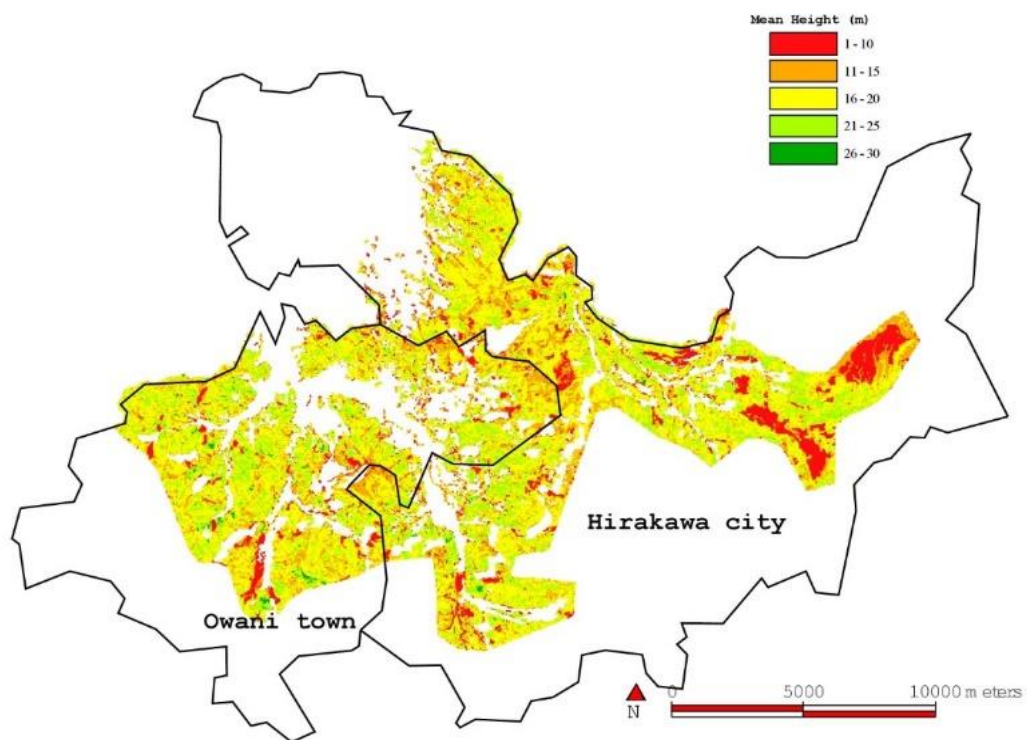


図 3 平川市と大鰐町での 2020 年航空レーザ計測の範囲
(平均樹高を 5 段階で色分け、林地のみ表示)

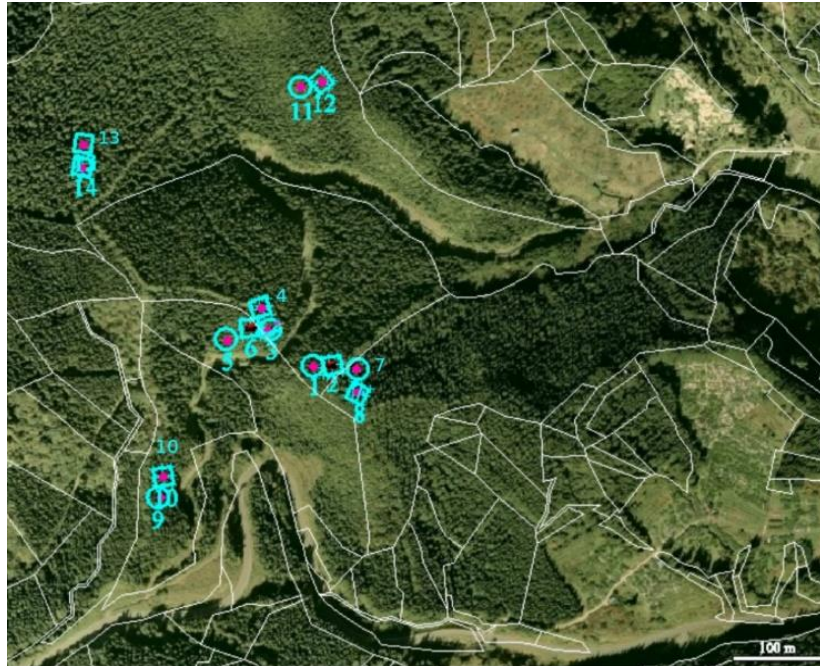


図 4 青森県平川市阿闍羅山における地上プロットの位置

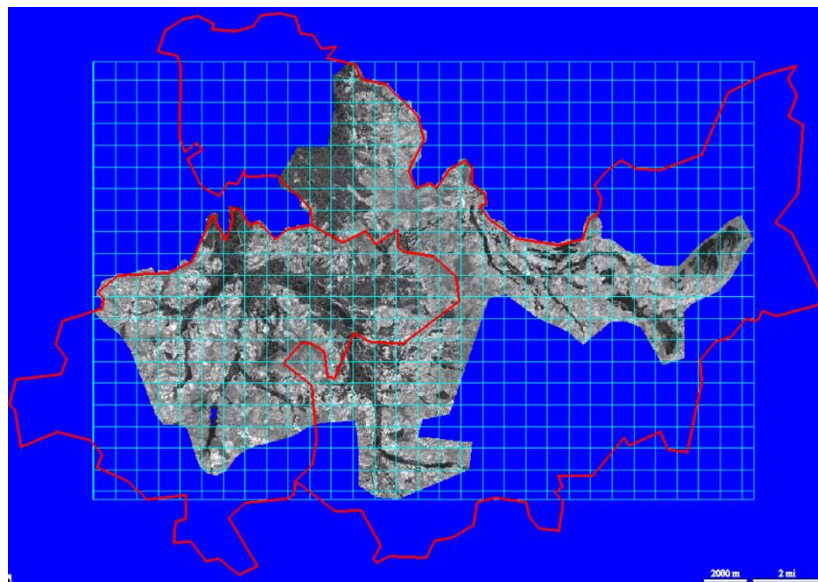


図 5 青森県平川市と大鰐町での 1km 格子の生成



図 6 GIS 上での仮想プロットの設定
(背景：航空写真オルソフォト、水色：林小班、施業班境界、赤色：仮想プロット)

GIS 上の仮想プロットの設定

空中写真と小班界、施業班界を GIS 上で閲覧しながら仮想プロットを設定した（図 5、図 6）。当地域の主要な樹種はスギ、広葉樹、カラマツ、アカマツである。人工衛星画像や空中写真判読において、スギとヒノキの区別はやや難しいが、当地域にはヒノキはない。人工林としては、カラマツとアカマツが存在するが、樹冠形状がスギと大きく異なるので、スギとアカマツは容易に区分できる。スギの小班・施業班内に、広葉樹が繁茂する場合があります、スギだけが含まれるようにプロットの位置を調整した。

空中写真と ALS 林冠高の画像から、小班、施業班内で均質な箇所を選択した。空中写真を見る範囲で、大きな小班では間伐などで作業道が高密度に開設されており、プロット内に作業道を含まないように注意した。作業道の判読については、空中写真よりも ALS 林冠高の方が明瞭であった。特に急傾斜の場合は、空中写真では地形の陰で作業道が判別しにくくなるが、航空レーザ測量の林冠高には、地形の陰の影響はなく、判別しやすかった。

仮想プロットの設定方針

GIS 上の仮想プロットの設定方針は、幾つか考えられる。まずは、ランダムにサンプリングが考えられるが、手作業で広域にランダムに抽出することは難しいので、1km メッシュ格子を作成し、その周囲のスギ林で仮想プロット設定し、データを抽出した。次いで、森林簿の林齢で 80 年生以上の高齢林を抽出し、その中で均質な箇所に GIS 上の仮想プロ

ットを設定した。最後に、森林 GIS で 15-30 年の若齢林を抽出し、その中で均質な箇所に GIS 上の仮想プロットを設定した。

4.2.1.3. 結果

地上プロットの林齢の検証

まず前提として、森林 GIS の小班・施業班の境界が正しいかについて確認した。実施した 33 か所の地上プロット調査のうち、8 か所はスギ林の中に境界木としてカラマツが植えられており、これらカラマツの植え列は GIS 上の小班・施業班の境界に一致していた。1 つの小班・施業班内にプロットを 2 か所程度設定するため、調査時に林内を水平方向に歩行したが、林齢は同一と判断された。その他プロット設定のために、空中写真による林相を判読し、小班・施業地図を持って現地を歩き回ったが、尾根・谷の地形や、航空写真の林相が明確に変わる箇所は小班・施業班も変わり、小班・施業班の境界が不正確という判断した場合はなかった。以上から当地域の小班・施業班の正確さは、国有林に比肩すると評価された。

次に航空写真、現地の林内写真、現地プロット調査結果を比較し、森林簿の林齢の妥当性を検討した。その結果、森林簿の林齢が現地調査と明らかに一致しないプロットが 33 か所のうち 3 箇所あった（表 21）。

表 21 森林簿と現地調査の林齢に齟齬がある 3 箇所

-
- 100 年生を越える天スギのような立木があるが、森林簿の林齢は若い。森林簿の林齢は上層木の存在を反映していない。
 - 上層木の林相と林齢が似ている隣の 80 年生小班と比較して、林齢が 50 年と奇妙に若い。崩壊地と作業道に下木植栽があり、これが森林簿の林齢になっている可能性。
 - 現地調査で上層木は 100 年越えと判断した。老齢の上層と若齢の下層の帯状二段林になっていた。森林簿の林齢は下層木の林齢のようである。
-

これら 3 箇所以外は問題なく、当地域の場合 $30/33 = 91\%$ で森林簿の林齢は妥当と判断した。ALS による仮想プロットの分析を進めるにあたっては、高齢のスギ林内に帯状二段林状で高さの異なる複数の林相がある場合に、注意することにした。

地上プロット調査と航空レーザ測量による平均樹高の比較

地上プロット調査と、ALS による GIS 仮想プロットでの平均樹高を比較した（図 7）。林齢と平均樹高に対して地位がどのくらいかをわかりやすく示すために、青森県の既存の収穫表から 5 段階の地位指数曲線の上に、プロットの林齢－平均樹高の散布図を描いた。

結果として、プロットの林齢は、主に 40-70 年生と、拡大造林期に植栽されたものが多かった。

散布図を細かくみると、ALS による平均樹高には誤差が含まれるために、地上調査の平均樹高とはやや異なっているが、全体的にはほぼ同じような散布図となった。このことから、大前提として森林 GIS の小班界が正確で、森林簿と現地の林齢に齟齬が少ない地域であれば、GIS 上の仮想プロットで ALS 平均樹高を計測し、林齢－平均樹高のデータセットを作成することが可能と判断された。

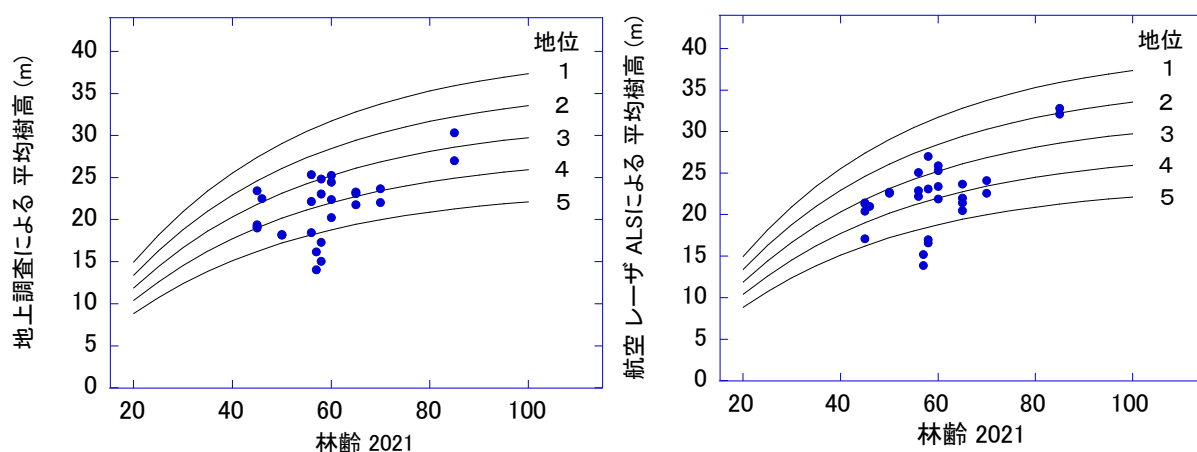


図 7 地上調査（左）と ALS（右）による林齢－平均樹高の散布図
（既存の収穫表からこの地域の樹高成長曲線を実線で併記）

仮想プロットによる林齢－ALS 平均樹高の関係

当地域の ALS 計測エリアに 1km の格子を設定し、格子点周辺で均質なスギ林に仮想プロットを設定し、ALS データから平均樹高を取得した。森林簿から取得した林齢とともに、林齢－平均樹高の散布図を作成した（図 8）。1km 格子点上のプロットは、図 7 と同じく拡大造林期の植林に相当する 40～60 年生が多かった。

このデータセットから樹高成長曲線を作成する場合、若齢林から、壮齢林、老齢林へと林齢が幅広く、均等に配置されているのが理想的である。プロットが一部の林齢に偏ると、林齢－樹高曲線のパラメータの決定が不安定になり式の適用範囲にも問題が生じる。図 7 や、図 8 の青丸●と緑四角□のような偏った分布は、分析の上で不十分である。

そこでこれらのデータを補うように、若齢林と老齢林について重点的に仮想プロットを追加した。林齢－平均樹高の散布図では、林齢の分布の偏りを解消するように、若齢と老齢な林分のデータが取得できた。

図 8 を見ると、仮想プロットによるデータの一部は、既存収穫表の地位 1～5 の範囲を超えて広く分布している。細かく見れば、50～60 年生で地位 5 を下回る箇所があり、逆に 80～100 年生で高めの箇所が存在する。このデータから樹高成長曲線（中心線）を作成す

ると、高齢級では既存収穫表の地位3よりもやや高くなる可能性がある。さらに点数を増やす一方、外れ値を排除する閾値の検討も行う必要があるが、林齢－ALS 平均樹高のデータセットから樹高成長曲線の見直しを行える見通しを示すことができた。

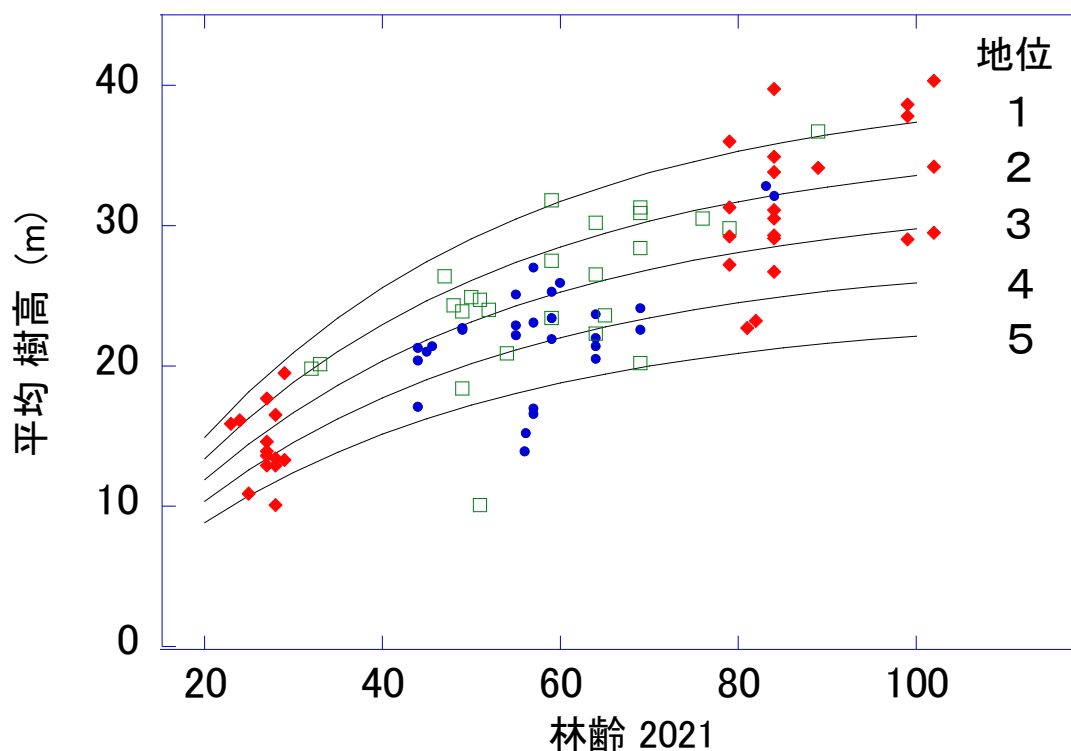


図 8 仮想プロット ALS による林齢－樹高の散布図
(●地上プロット位置、□格子上で無作為設定、◆若齢高齢を有意抽出して追加)

4.2.1.4. まとめ

ALS データと森林 GIS による仮想プロット設定の利点や特徴についてまとめると以下のとおりである。

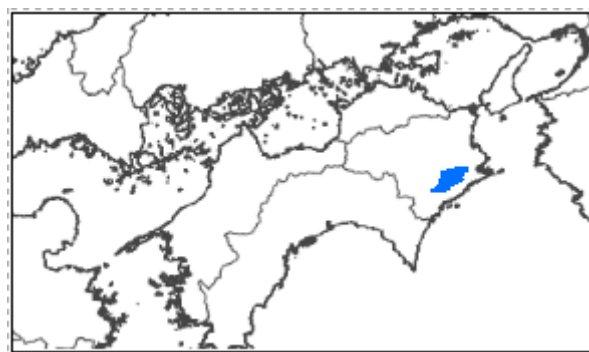
- ① プロットの設定速度が速い。面積 0.04ha で通常の現地プロット調査を実施すると、1 日あたり 2～4 プロットくらいのペースである。ここで検討した GIS による方法では、1 日 40 カ所以上は設定でき、10 倍以上のペースでデータを収集することができる。
- ② 無作為にプロットを設定すると拡大造林期の林齢に集中してしまうので、若齢級や高齢級は別途有意抽出する必要がある。
- ③ 高齢林は総面積が少ないものの、GIS で林齢範囲を指定することにより、容易に候補となる小班を抽出し、仮想プロットを追加できる。
- ④ 林齢の正確性を高めるために、地籍調査が完了し、地籍調査の結果から森林簿と小

班界が修正されている地域で行うことが望ましい。

4.2.2. 伐根調査による森林簿林齢の補正とデータの棄却

林齢情報は、収穫表を用いた林分蓄積や地位指数の推定や将来の施業計画の検討などにおいて重要な指標である。林齢情報が得られるのは主に森林簿からだが、森林簿記載の林齢が現実林齢と大きく乖離している林分が少なからず存在している。この林齢の齟齬により、収穫表を介して推定した森林簿の林分蓄積にも齟齬が生じることになる。このような齟齬をできる限り軽減させるため、広域計測が可能な ALS データによる林齢の補正手法を検討した。

対象サイトは徳島県那賀町で、徳島県による林齢情報の収集調査が進んでいるとともに、ALS データも提供されている。



調査対象地域 徳島県那賀町（青塗りの箇所）

4.2.2.1. 検討方法

樹高成長曲線は林齢から樹高を推定する関係式であるが、樹高データがあれば、ある程度の林齢までは林齢を逆推定できると考えられる。一方、上層木平均樹高と DCHM は比例関係にあり、図 9 に示したように対象地で毎木計測された調査地点の Lorey 上層木平均樹高（各立木の胸高断面積を重みとする加重平均樹高）と ALS データの DCHM の関係には高い相関がある。

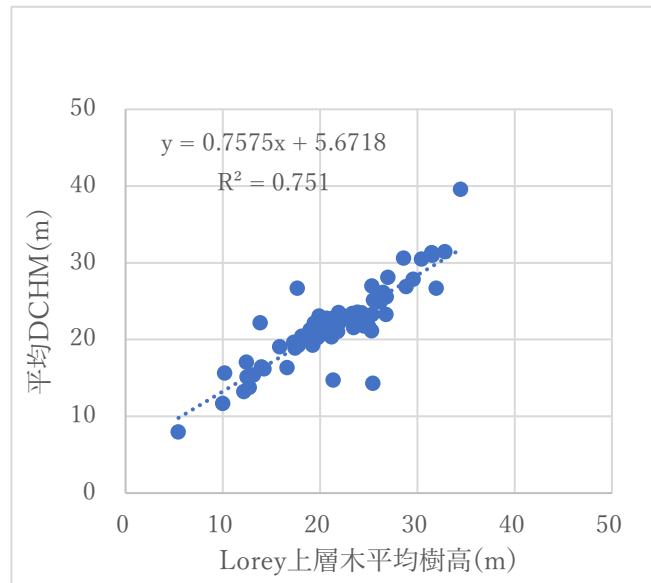


図 9 上層木平均樹高と DCHM の関係

このことから、DCHM と林齢との間には比例関係があると考えられ、対象エリアで正しい林齢情報を収集し、両者の関係を確認した。

林齢情報は植栽年をヒアリングする方法、成長錐でコアを採集し年輪を計測する方法、伐採年が明らかな皆伐地や間伐林分で切り株の年輪を計測する方法があり、本事業では確実かつ効率的に入手できる切り株の年輪計測を実施した。

年輪調査では、間伐の履歴があるスギまたはヒノキの小班、及びスギまたはヒノキの皆伐跡地の小班を徳島県の協力で抽出した。徳島県が過去に間伐林分を対象として切り株年輪の計測を行っているが、林齢 60 年生までの小班が多くを占めているため、本事業では高齢林分に重点をおいて対象小班を選定した。

現地では切り株の写真撮影のみを行い、持ち帰った写真を使い室内で年輪をカウントした（図 10）。現地での観察の結果、間伐が 2017 年以前の場合は材の腐朽により年輪を正確にカウントすることが難しいことが分かったため、2018 年以降に間伐された小班でそれぞれ 3 本程度の切り株を撮影した。皆伐地については、当地域における ALS 計測後の 2021 年 1 月以降に皆伐された林分で、それぞれ切り株 5 本程度を撮影した。写真を用いた年輪カウント作業は徳島県にご協力いただいた。



図 10 皆伐地の切り株写真上に記した年輪線（赤線）（徳島県提供）

年輪データと突合するための ALS 計測データは、2019 年 11-12 月及び 2020 年 11-12 月に点密度 4 点/m²以上の仕様で計測されている。年輪計測を実施した小班について、GIS を使い DCHM 画像上に半径 10m の円を 1-3 ヶ所設定し（図 11）、円内の DCHM 平均値を取得した。

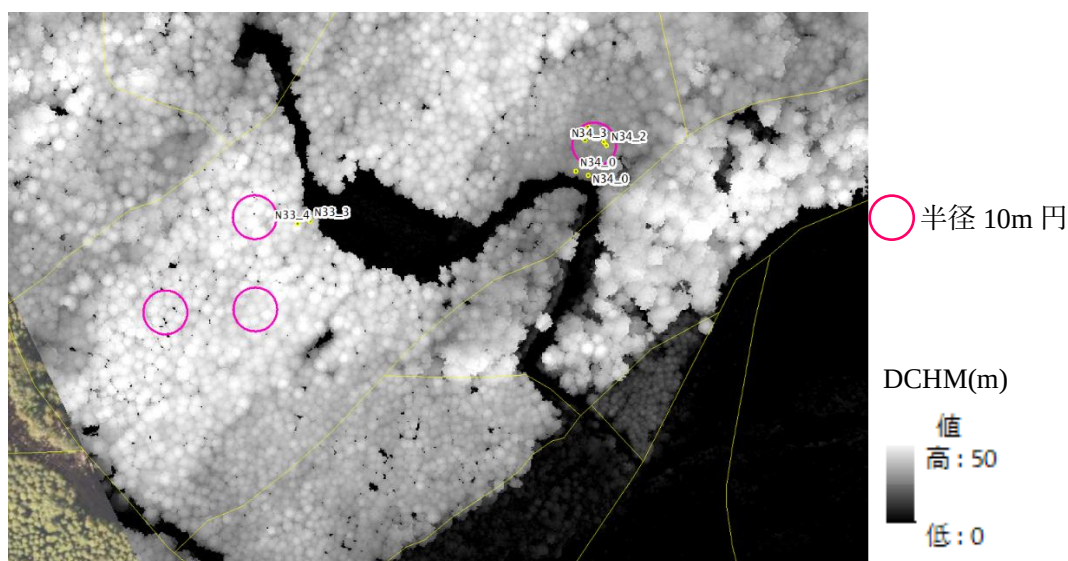


図 11 航空機 LiDAR の DCHM 情報の抽出

4.2.2.2. 結果

年輪調査結果について、事業別・スギ/ヒノキ別の計測本数を表 22 に、DCHM と林齢の関係を図 12 に示す。本事業では、合計 27 本の年輪を計測した。徳島県が既に計測している切り株のうち対象エリア内の計測木は 23 本である。

表 22 事業別の年輪実測データ数

樹種	本事業取得	徳島県取得
ヒノキ	8	5
スギ	19	18
計	27	23

平均 DCHM と林齢の関係について、まずヒノキ林では、ヒノキは平均 DCHM 20 m 程度で頭打ちになる傾向が示された。ヒノキ林は高齢林分の切り株を見つけることが難しく、十分な検討はできないが、60 年生と 120 年生の両林分とも DCHM が同程度であることから、DCHM から林齢を推定する場合、DCHM が 20m 以上、林齢でいえば 60 年生以上の林分での林齢精度は低いと想定される。つまり、図中の DCHM 20m、林齢 120 年のヒノキ林のような高齢級のヒノキ林分の林齢を 120 年と推定することは DCHM からでは難しく、林齢 60 年以上という推定値を記載するにとどまる。

スギ林については、100 年生以上のデータも皆伐地で数ヶ所取得できており、高齢級のデータもヒノキ林よりは多い。ヒノキ林よりも 10 m 高い DCHM 30 m 程度で頭打ちの傾

向を示している。これは林齢約 75 年に相当し、75 年以上の高齢林分の林齢推定の精度は低くなると考えられる。

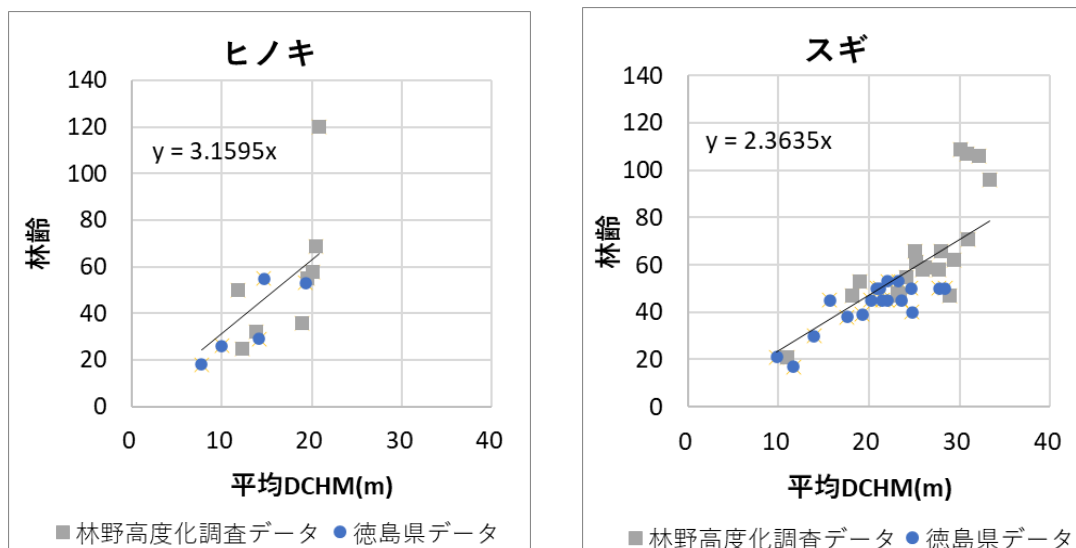


図 12 スギとヒノキ林における平均 DCHM と林齢の関係

以上のことから、スギ・ヒノキとも頭打ちの段階になった林齢の推定精度は低くなると想定されるが、それより若い林分であれば図中に示した回帰式を使うことで暫定的な林齢を推定することができる。頭打ち以上の林齢については、ヒノキあれば 60 年以上、スギであれば 75 年以上といった暫定林齢の入力に留めておく方が精度の問題上望ましいと考えられる。

なお、徳島県那賀町には元来高い樹高のスギが分布しており、樹高 50 m レベルの立木も存在していることから、他の地域ではもう少し低い林齢で DCHM の上限に達する可能性に留意する必要がある。

4.2.2.3. ALS データによる林齢推定方法の活用

本事業で検討した ALS データの DCHM から林齢を推定する方法は、特に高齢林分で高精度な林齢推定が難しい。このため、森林簿の林齢そのものを修正するのではなく、例えば林齢情報を使う収穫表や地位指数等を面的に推定したい場合、明らかに林齢に齟齬がある林分に仮林齢を与え、スポットではなく地域的に集計するようなケースで活用できると考えられる。

林齢の齟齬の抽出については、フィルタリングが必要となる。齟齬が生じている林分には、例えば林齢 100 年の人工林で樹高 10m 以下の林分、樹高 30m で林齢 10 年以下といったものが想定される。

フィルタリングをする場合は、地位を使う方法も考えられる。地位を使うことで、林齢と高さの二つのパラメータの組み合わせを一つの数値で表現でき、理解しやすい。

地位でフィルタリングする場合、地位を計算する必要がある。ALS データを用いた地位の計算及び地位分布図の作成方法については 2021 年度林野庁事業「リモートセンシング技術等を用いた森林の機能別調査の手法に関する調査事業」で手引きを作成している。

フィルタリングの数値基準は、地域によって異なる。例えば、樹高成長が良い地域、悪い地域で異なるため、各地域で設定されることが望ましい。

徳島県那賀町の一部で作成した地位分布図から林齢齟齬箇所を抽出した事例を図 13 に示す。ここでは、明らかに外れ値と考えられる地位指数 10 以下を濃い青、41 以上を赤色で示した。

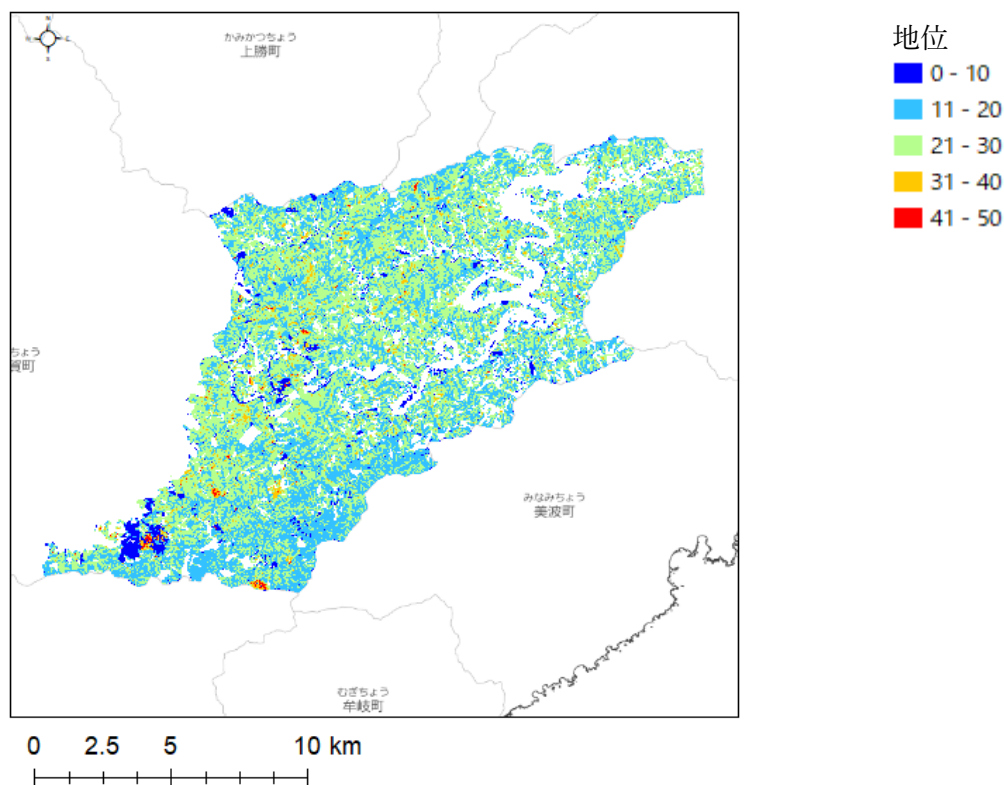


図 13 地位分布図からの林齢齟齬の抽出のイメージ

地位 10 以下の箇所及び 40 以上の箇所を拡大して、それぞれ図 14 と図 15 に示す。図の左側が地位の分布図、右が DCHM の分布図で、図中の薄い水色の線が小班境界、数値は森林簿上の林齢である。地位 10 以下の箇所はおそらく伐採地（DCHM 分布図で黒い箇所）であり、小班内の一部が伐採され、その部分について森林簿の林齢が未更新と考えられる。

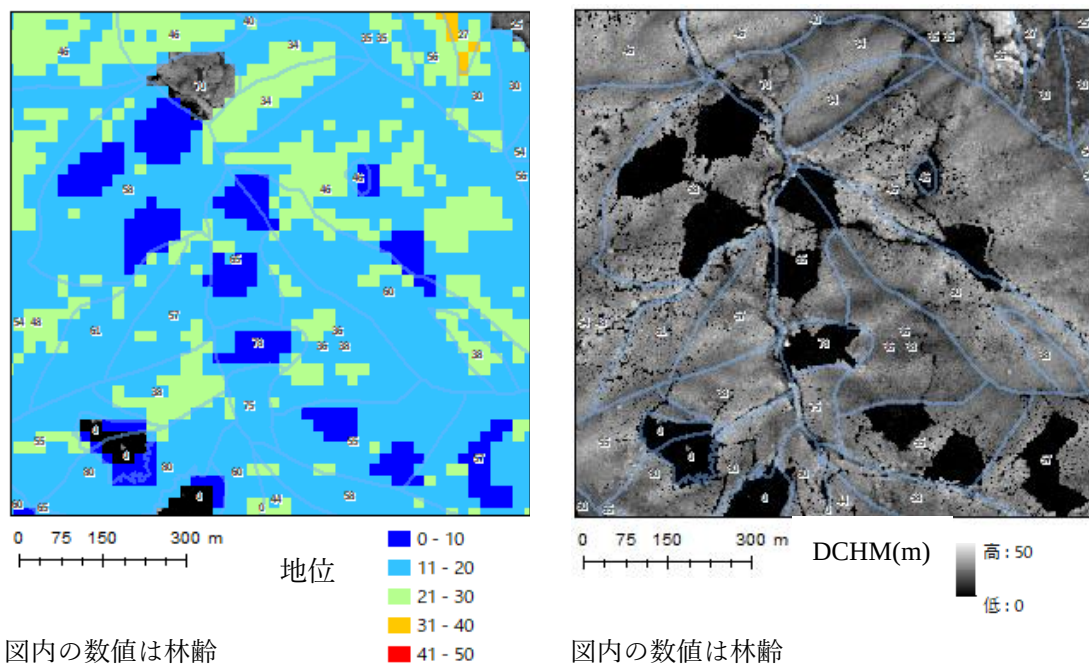


図 14 地位 10 以下（濃い青色）の箇所

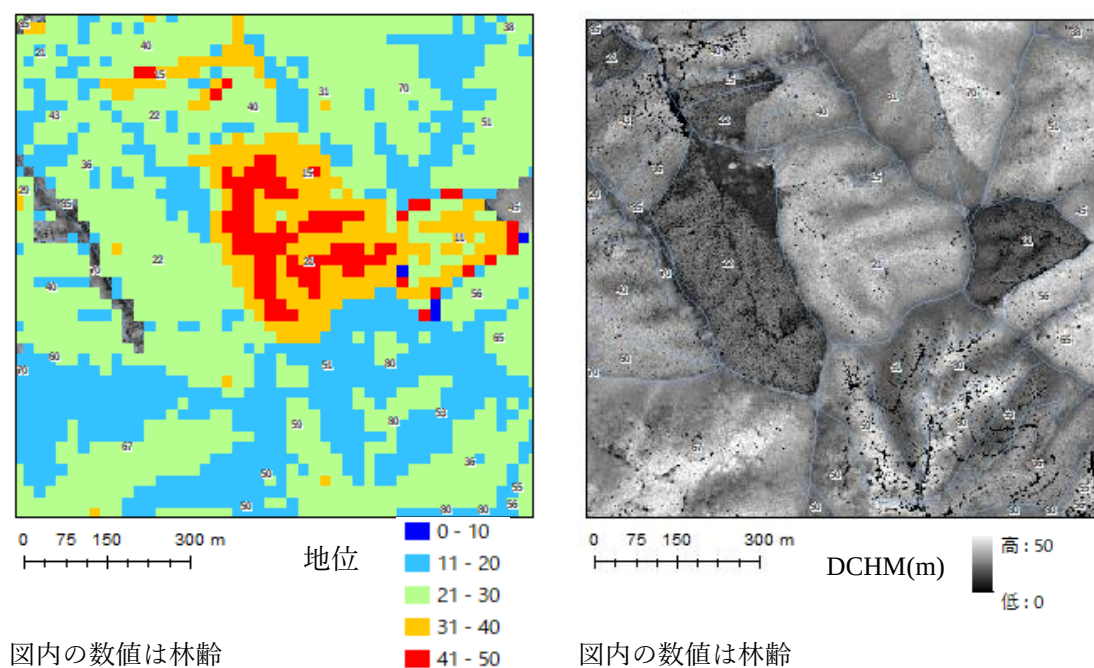


図 15 地位 41 以上（赤色）の箇所

地位 40 以上（赤いエリア、林齢 21 年）については、左側に隣接する小班の林齢が 22 年とほぼ同じ林齢であるが、地位 40 以上エリアの方が高い DCHM（DCHM 画像では黒色が低く、白が高い）を示しており、森林簿の更新ミスがあった可能性がある。

森林簿のデータは莫大であり、林齢の情報を 1 行ずつ見ていくことは非常に困難な作業であるが、本手法により、ALS データで林齢齟齬を抽出することが可能である。

4.3. 森林資源解析がされていない ALS データの活用方法

国内の森林域で行われている ALS 計測は、森林資源把握のために解析が行われ樹頂点の抽出などがなされている場合と、治山事業のための精密地形の把握にとどまる場合との 2 通りに分けられる。前者の地域では先に紹介した方法が適用できるが、後者の場合はあらかじめ航測会社などに森林資源解析を依頼するか、あるいは公設林業試験研究機関等と連携して都道府県等が自ら解析を行う必要がある。

4.3.1. 航測会社などに森林資源解析を依頼する場合

ALS の計測から森林資源解析までの一連のコストは、航空機による ALS 計測、地上での標準地調査、データ分析（内業）の 3 つに大別される。

普及誌の記事²⁶によると、精密地形計測を目的として ALS 計測を行い、地盤高を作成する費用は、1 点/m²の低密度計測では 10 万円/km²であり、4～5 点/m²の高密度計測では 20 万円/km²である。さらに、地上での標準地調査を行い、分析して森林資源推定図を作製した場合の合計費用は 35 万円/km²である。

森林資源解析が行われていなくとも、国土地理院の精密地形図作成、国土交通省の河川管理や砂防のため、あるいは都道府県でも砂防や治山のための ALS データが計測済みである地域は多い。このような地域では、ALS データは既にあるので計測コストはゼロであり、コストは森林資源解析に要するコストだけとなり、上記の（35－20）万円で 15 万円/km²と推定される。ただし、発注が市町村単位か県単位かなど、対象の広さで計測コストと地上解析コストの割合が異なる可能性もある。

高知県と愛媛県では、台風災害で緊急調査された砂防用の ALS データを活用して、航測会社に全県の森林資源解析を依頼した例がある。高知県からの聞き取りによると、令和 2～4 年度に委託した全県の森林情報整備業務は、面積 3,854 km²で 172,337 千円であった。単位面積あたりでは 45,000 円/km²と計算され、全県を対象とするためか、前述の推定値 15 万円/km²よりも低廉であった。このような事例もあり、治山等の目的で計測されたが森林資源解析が行われていない ALS データの活用は、コスト面からも有効と考えられる。

²⁶ 日本林業調査会（2014）林政ニュース 488：28.

4.3.2. 都道府県等が自ら解析する場合

ALS データの森林資源解析は、①ALS データを分析して樹高・材積などを把握する、②ALS データと空中写真を併用して樹種分類図・林相図を作る、③地上調査結果をもとに推定値の補正と検証をする、の3段階に分かれる。

①については、フリーソフトとして著名な GIS ソフトウェアである Q-GIS の解析コマンドやプラグインの活用により、都道府県等が自ら実行可能である。樹高把握の手順の概略を以下に述べる。

砂防用の高密度 ALS データから生成された地盤高 DTM と表面高 DSM の差分から林冠高 DHM を算出する（式1）。地盤高しか生成されていない場合は、ALS のオリジナルデータと地盤高 DTM の差分から林冠高を算出する（式2）。

$$\text{林冠高 DHM} = \text{表面高 DSM} - \text{地盤高 DTM} \quad (\text{式1})$$

$$\text{林冠高 DHM} = \text{オリジナルデータ } z - \text{地盤高 DTM} \quad (\text{式2})$$

林冠高 DHM から樹木の梢端を抽出する代表的な手法として、局所最大値法（Local Maximum Filter method）と流域法（Watershed method）の2つがある。局所最大値法は、画像強調などでよく使われる 3×3 ピクセルなどのローカルフィルターを2回使用して、フィルター中心値がフィルター内で最大値となる場合に出力値を1になるように計算する。一方の流域法は、林冠高 DHM の正負を逆にして、多くの GIS に搭載されている流域解析コマンドを利用する。いずれも Q-GIS の解析ツールを利用すれば可能である。

なお、梢端抽出については、ALS データ処理用のため Q-GIS のプラグインとして開発された FUSION があり、このプラグインに含まれる梢端抽出コマンドによっても実行可能である。行政部局の職員が FUSION を用いてドローンの林冠高 DHM を分析した事例もある。

単木材積の計算には樹高に加えて胸高直径が必要である。胸高直径を ALS データから把握するために、（a）樹高や樹冠面積などの複数の説明変数から胸高直径を推定する回帰式を作成して推定する、（b）樹高のみから胸高直径を推定する回帰式を作成して推定する方法がある。いずれも地域ごとに地上調査で収集されたデータから回帰式を作成することが前提となる。また樹高から直接単木材積を推定する試み²⁷もあり、これらの共通的な推定式の整備や認知が進めば ALS データからの資源量推定が容易になることが期待できる。

②の樹種分類図と林相図の作成は、樹種を細かく分類するほど、解像度を細かくするほど難しくなる。林相図の定義と解像度をさまざまに設定し、現地のデータと比較して試行錯誤的に調整する必要がある。森林簿や収穫表との対応を考えると、スギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツなど人工林の主要な針葉樹種と、広葉樹という区分が適当と考えられる。

²⁷ 西園朋広ほか（2016）秋田地方スギにおける樹高を用いた一変数材積式の検討。関東森林研究 67(2)：223-226.

通常 ALS 計測ではデジタルカメラによる撮影も同時に行っており、このデジタル写真をオルソフォトにして、林相を目視判読する方法が一般的である。針葉樹と広葉樹の分類は容易であるが、スギとヒノキの判別は画質によっては困難となることもある。一例として四国西部において、5月末にALS計測と同時に撮影された写真では、太陽高度が高く影が少なく、オルソフォトからでもスギとヒノキの樹冠形の違いが判別できた。一方で、葉の落ちた晩秋に計測されたものは、ALSは問題ないが、写真は太陽高度が低く山影が多く、細かな樹種分類には不適であった。森林資源用と近年の砂防用では、夏季から秋季に計測・撮影されていることが多く、樹種判読への利用も期待できる。

また、オルソ画像だけではなく ALS の高さ情報も利用した樹種分類の手法もある。航測会社からの聞き取りによると、樹種分類図の作成方法として、まず ALS データのインテンシティ（反射強度）情報と、赤色立体図のような林冠高 DHM の凸凹情報を利用して、樹種分類用画像を作る。ついで、現地調査での経験を加味して、この樹種分類用画像を目視で判読して、樹種・林相図を作成する。この方法は ALS データを利用することにより、通常の写真に比べて、山影など地形の影響が少なく、樹冠の形状も強調されており、有効と考えられる。

ALS 計測による樹高の分析が、自動的に全域を処理できるのに比べて、林相・樹種の分類図の作成は、手作業であったり地形の陰を考慮したりと、自動化が難しい面がある。このために、試験研究目的で狭い範囲で行うのは難しくないが、市町村単位や都道府県単位など広域での林相・樹種分類図の作成は、作業量が大きくなり、難易度が高くなる。

5. 人工林における林分密度管理図、樹高成長曲線の見直しの是非の検討

本事業では都道府県が収穫予想表を見直す手法として、樹高成長曲線（地位指数曲線）と既存の林分密度管理図の組み合わせによる手法を想定している。その前提として既存の林分密度管理図の妥当性を確認しておく必要があることから、本事業で収集したデータを用いて検証した。林分密度管理図はさまざまな数式、曲線によって構成されているが、収穫予想表の作成に影響が大きいと考えられる最多密度式、上層樹高と本数から幹材積合計を推定する式、上層樹高と本数から平均胸高直径を推定する式の3つに着目して検証した。

5.1. 最多密度式の妥当性の検討

スギ7地域、ヒノキ4地域、カラマツ2地域の密度管理図について、本事業で収集、整理した現地調査データを図16に示した。また、対照のためそれぞれにおける既存の密度管理図を作成したデータも示した。

地域により差異もあるがスギの場合、密度管理図作成データの幹材積合計が概ね1200m³/haが上限であるのに対し、本事業で2000年代以降のデータの上限は概ね1800m³/haであった。同様にヒノキでは約800m³/haに対して約1200m³/ha、カラマツでは約500m³/haに対して約700m³/haが上限であり、昭和50年代に比べてそれぞれ幹材積合計の上限が1.5倍程度になっていた。

昭和50年代に収集された密度管理図作成データは、当然ながら最多密度線を上回る箇所がほとんどないが、本事業で収集した2000年代以降のデータでは最多密度線を上回るものが少なくない。この傾向はヒノキで著しく、次いでスギ、カラマツの順であり、いずれも最多密度線を上回るデータは1000本/ha以上の領域に多かった。これに対して1000本/ha未満で間伐の進んだ高齢側では、幹材積合計は全体として昭和50年代よりも多いが、最多密度曲線を超えるものはほとんどなかった。しかしながら密度管理図の最も重要な用途が間伐の指針であることを考えれば、より新しいデータを反映した最多密度式の見直しの必要性が指摘できる。

なお、1000本/ha以上でRy0.5未満のデータが目立つのは、密度管理図作成データが3齢級以上を対象にしているのに対し、本事業の収集データは1、2齢級を含んでいるためだと推察される。

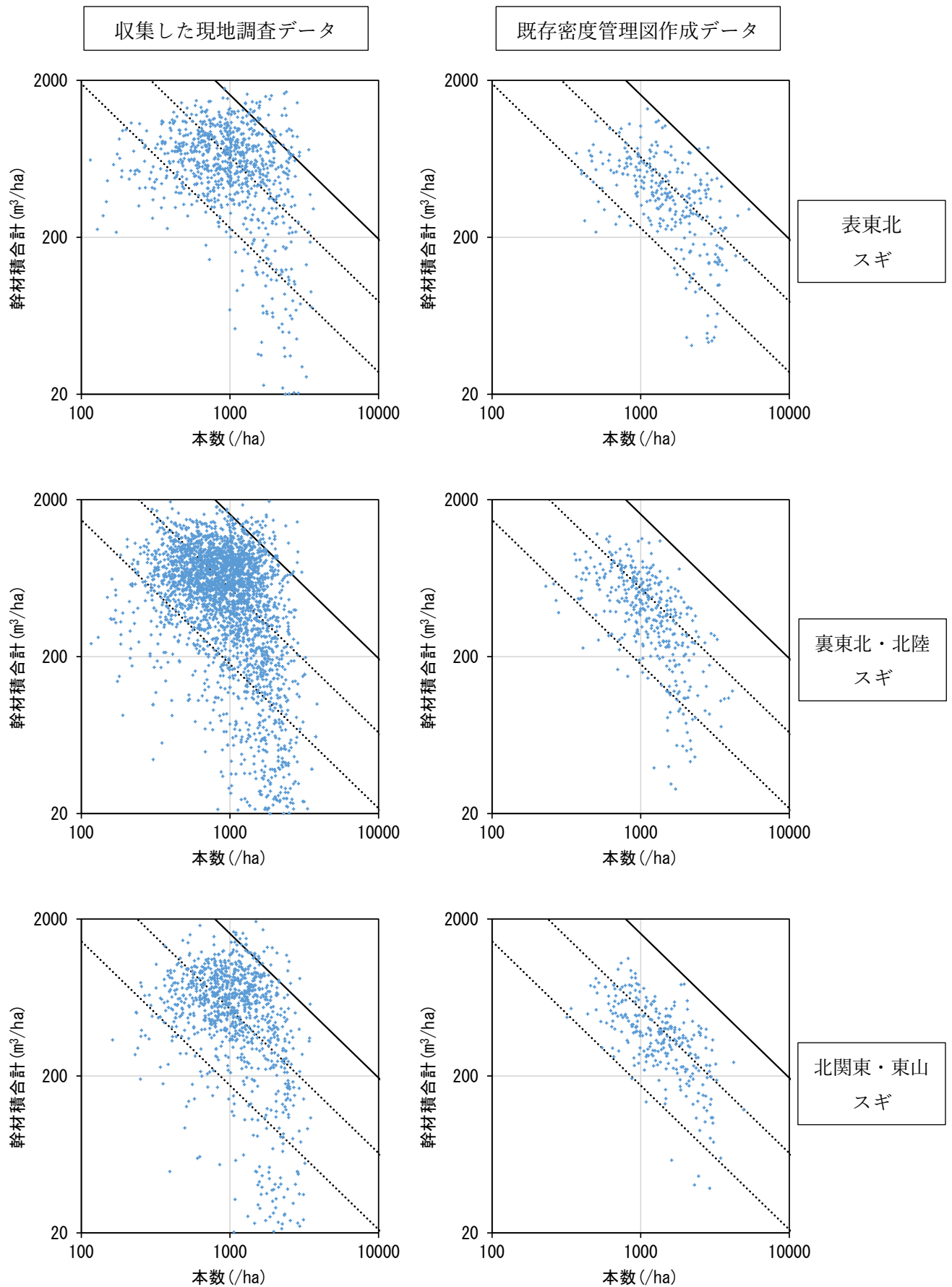


図 16 既存林分密度管理図の最多密度曲線の検証

斜線は右上から $RY=1.00$ 、 0.75 、 0.50

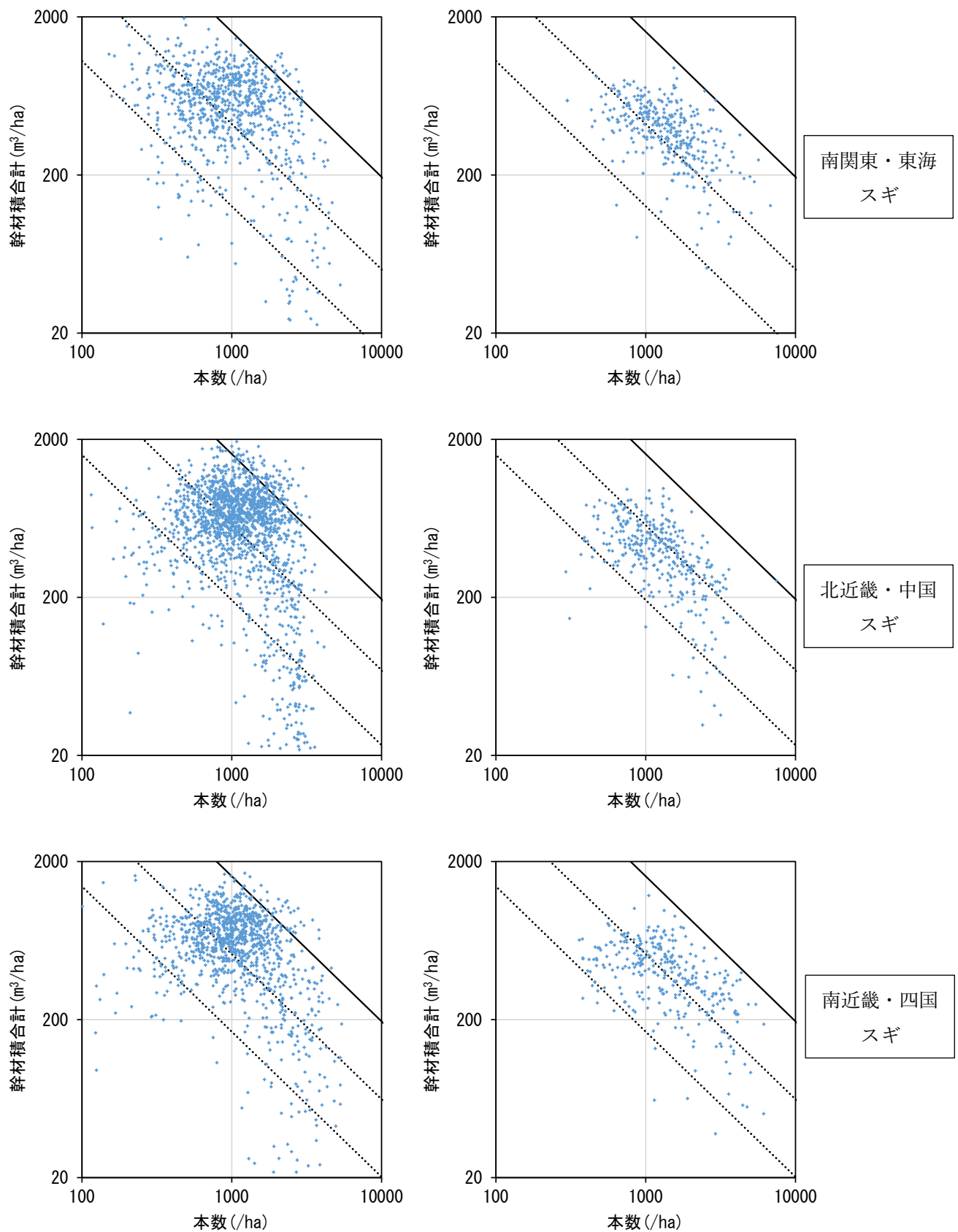


図 16 既存林分密度管理図の最多密度曲線の検証 (続き)

斜線は右上から RY=1.00、0.75、0.50

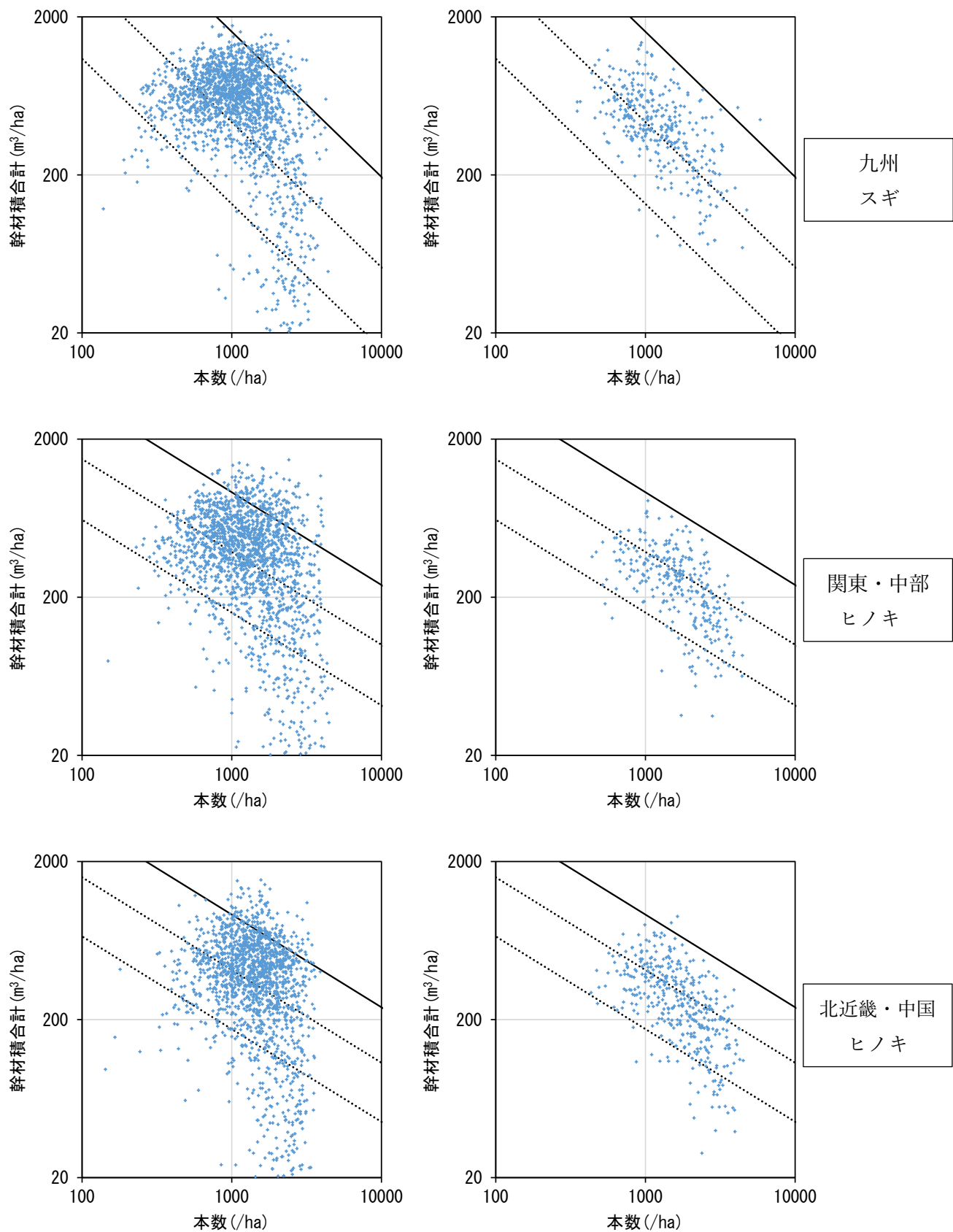
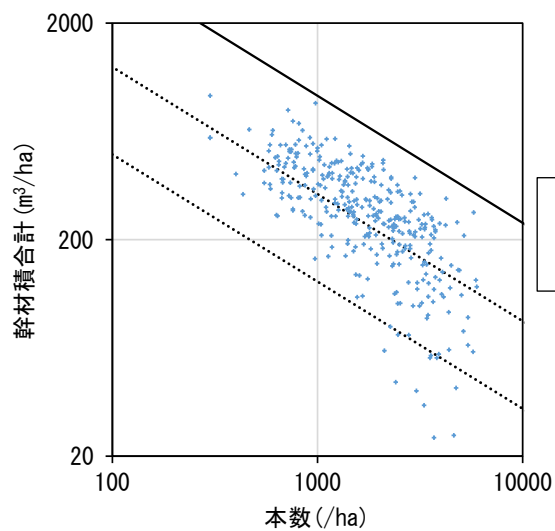
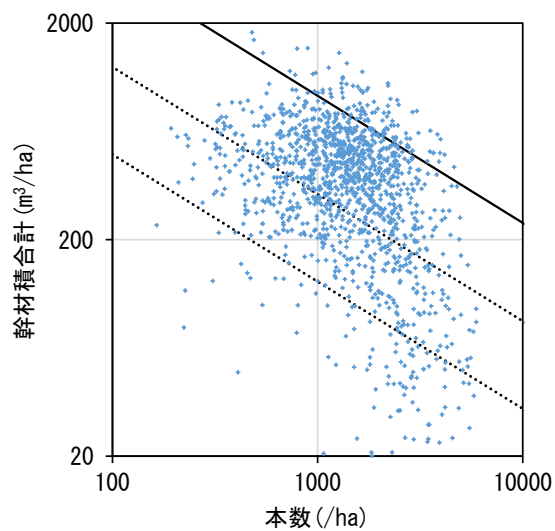
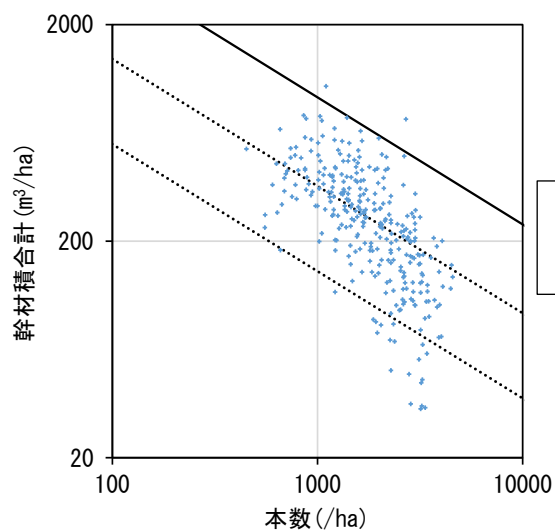
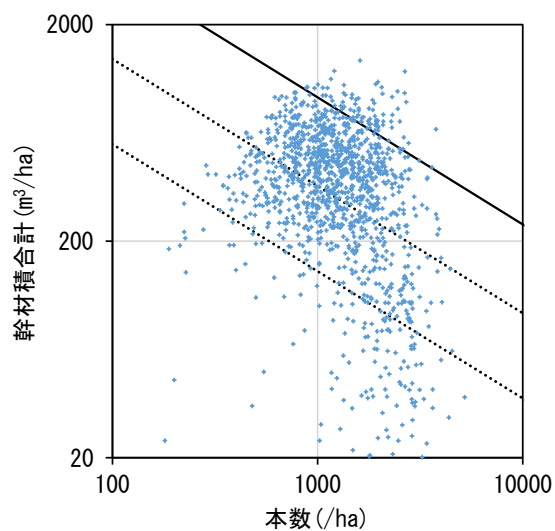


図 16 既存林分密度管理図の最多密度曲線の検証 (続き)

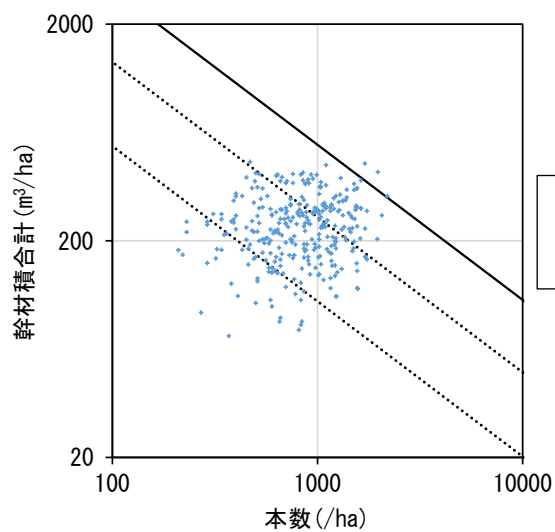
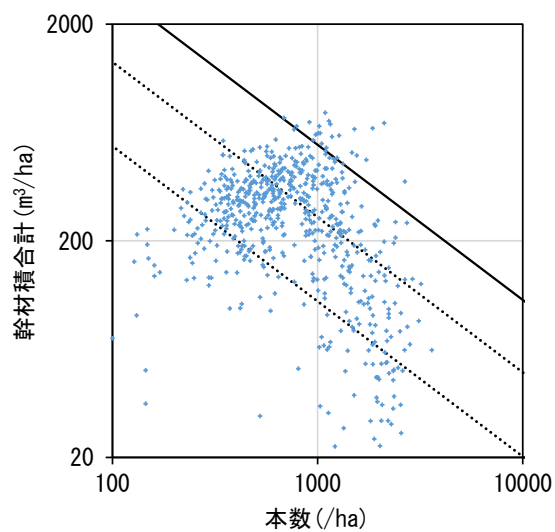
斜線は右上から RY=1.00、0.75、0.50



南近畿・四国
ヒノキ



九州
ヒノキ



北海道
カラマツ

図 16 既存林分密度管理図の最多密度曲線の検証 (続き)

斜線は右上から RY=1.00、0.75、0.50

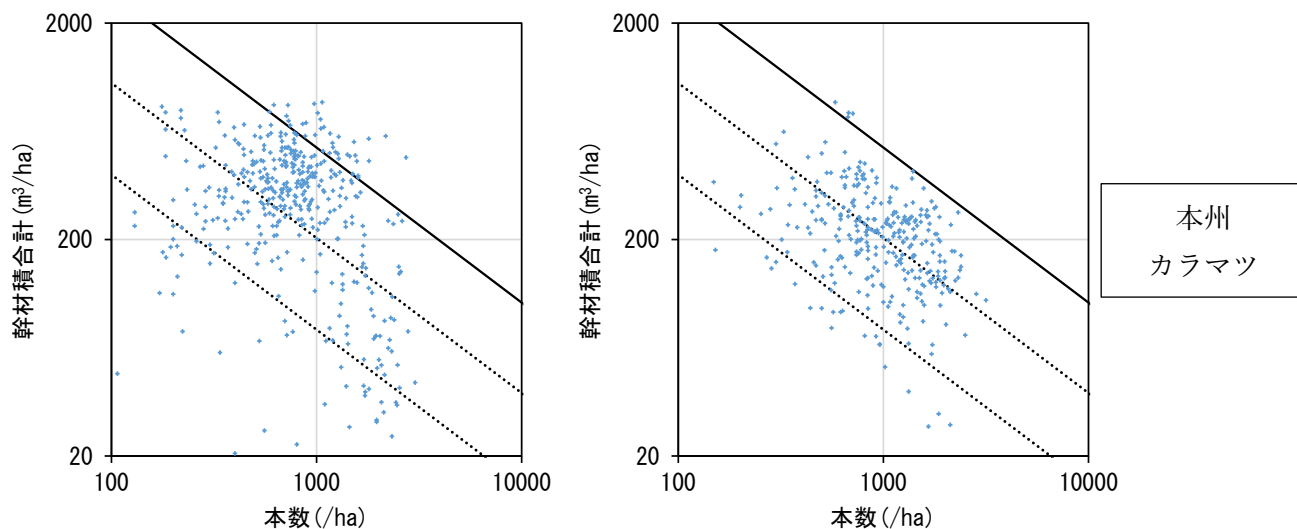


図 16 既存林分密度管理図の最多密度曲線の検証（続き）

斜線は右上から $RY=1.00$ 、 0.75 、 0.50

5.2. 幹材積合計推定式の妥当性の検討

密度管理図では、幹材積合計は上層樹高と ha あたり本数から算出される。本事業で収集した現地調査データにおいて、毎木調査の結果から単木幹材積を求め、それらを合計した幹材積合計を横軸、一方、毎木調査の結果から得られた上層樹高と ha あたり本数から密度管理図で推定した幹材積合計を縦軸として図 17 に示した。対照として示した既存密度管理図作成データでは、当然ながら 1:1 の関係にあるが、本事業で収集、整理した現地調査データでは、樹種・地域に共通した傾向として、幹材積合計が大きくなるにつれてばらつきが大きくなり、密度管理図による推定値は過小推定になっている傾向が明らかであった。

これら既存の林分密度管理図をもとにして収穫予想表を見直した場合、高齢級・高蓄積側で過小評価になる可能性があるため、幹材積合計推定式も合わせて見直しを検討することの必要性が示唆された。

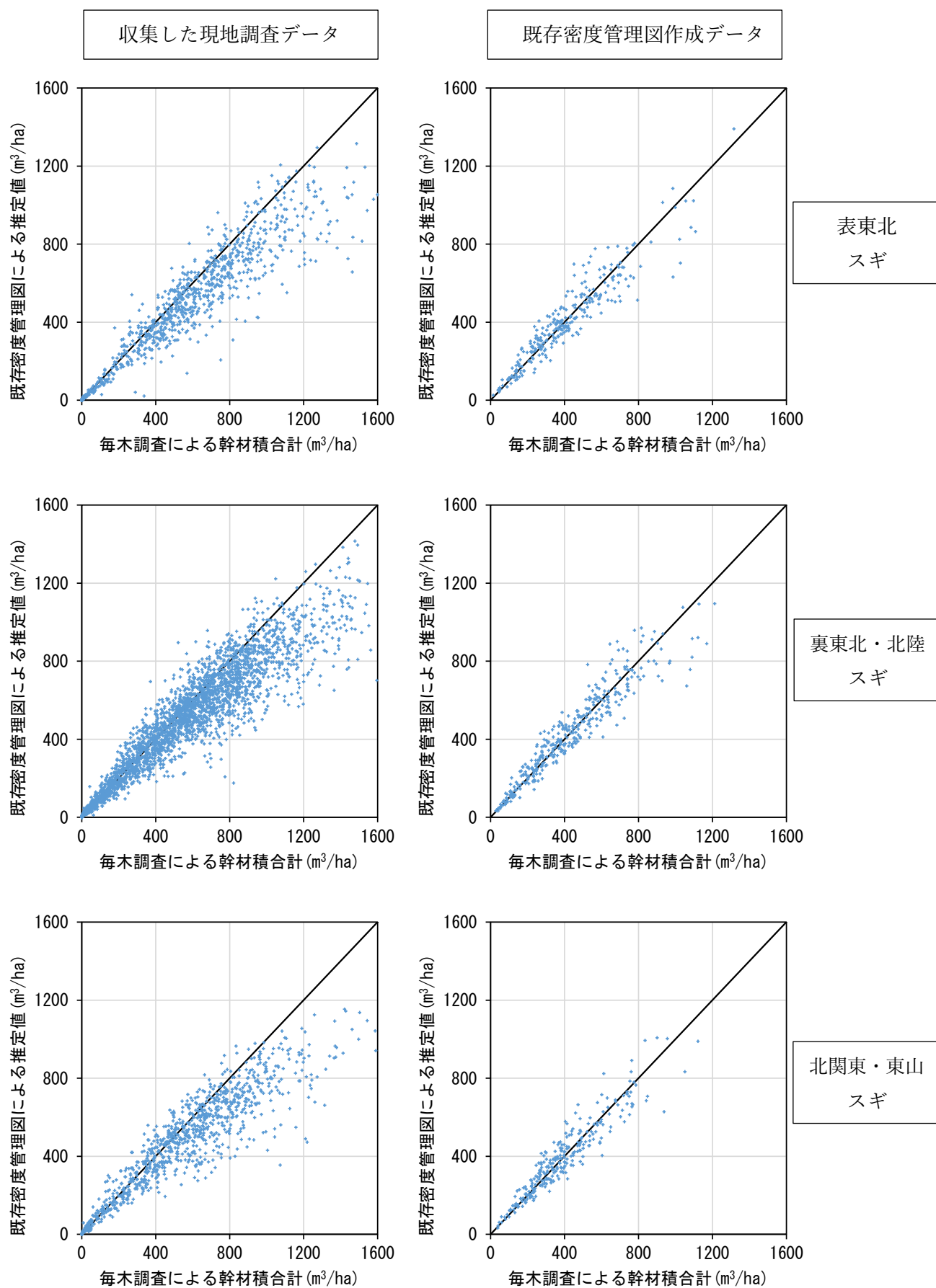
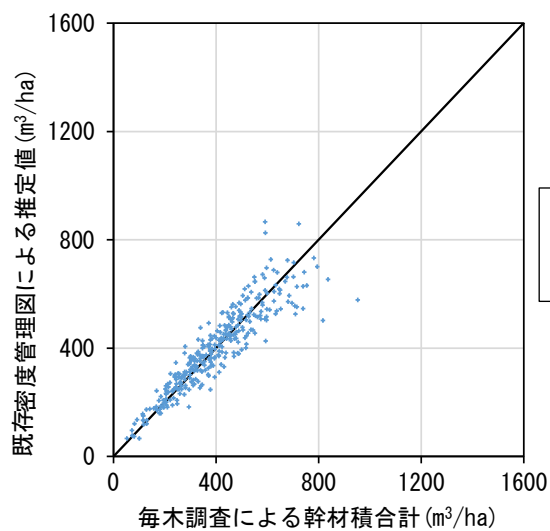
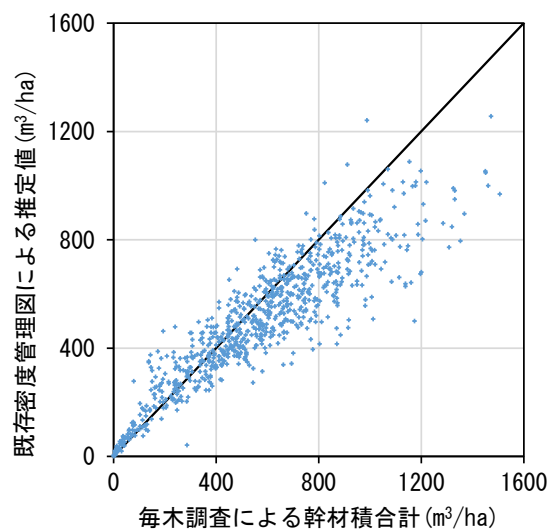
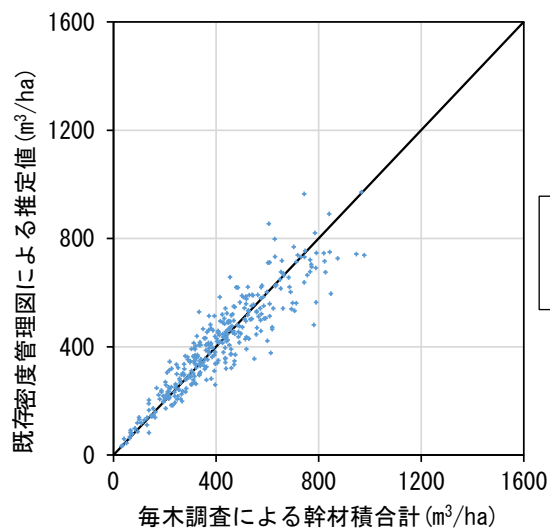
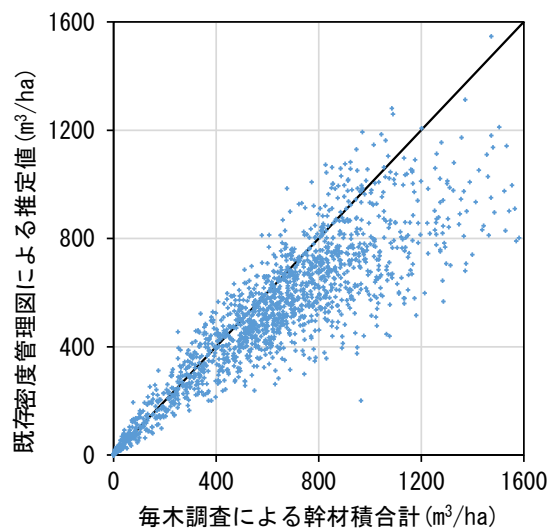


図 17 既存林分密度管理図の幹材積合計推定式の検証

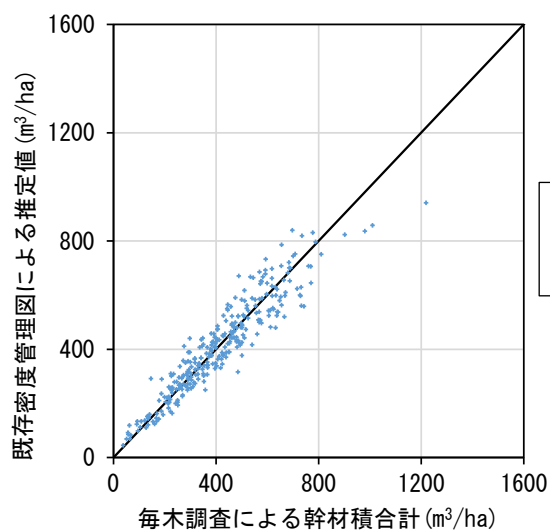
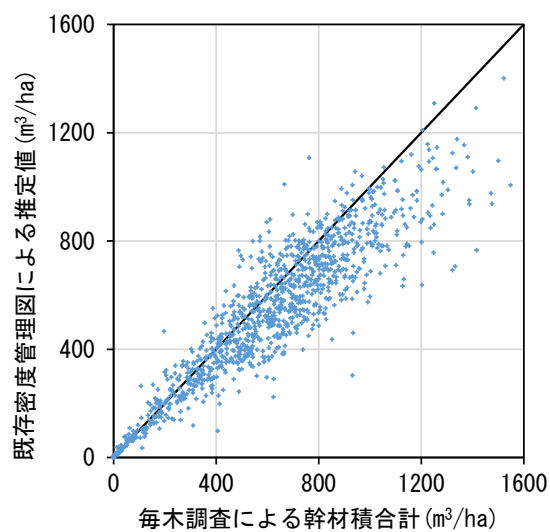
斜線は 1:1 を表す



南関東・東海
スギ



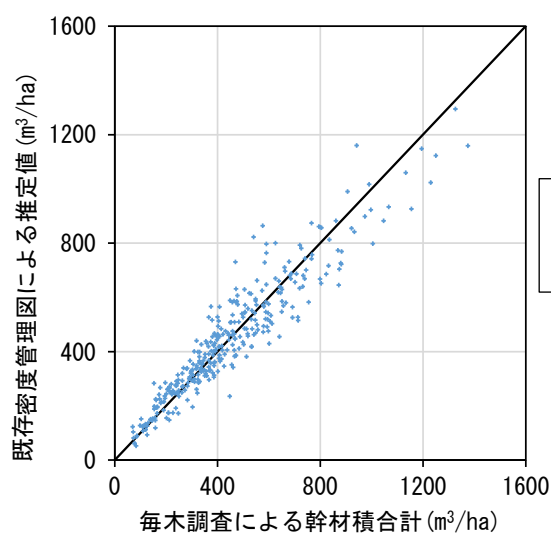
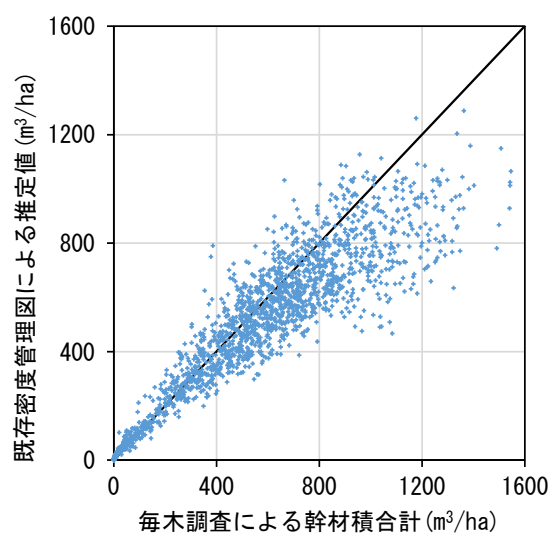
北近畿・中国
スギ



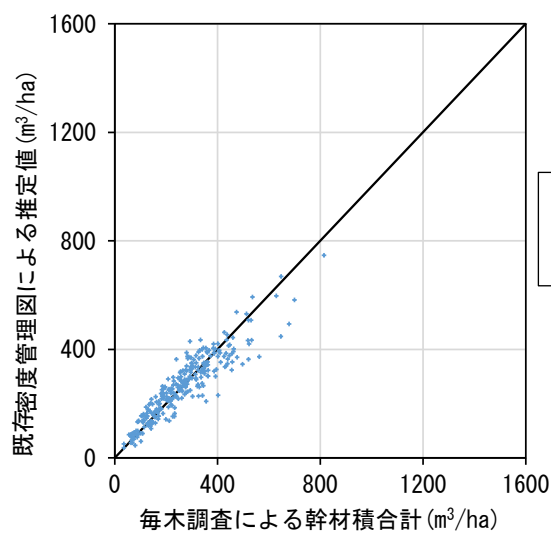
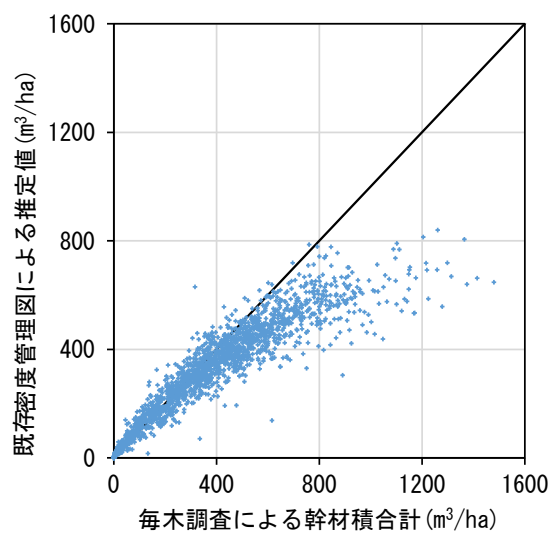
南近畿・四国
スギ

図 17 既存林分密度管理図の幹材積合計推定式の検証（続き）

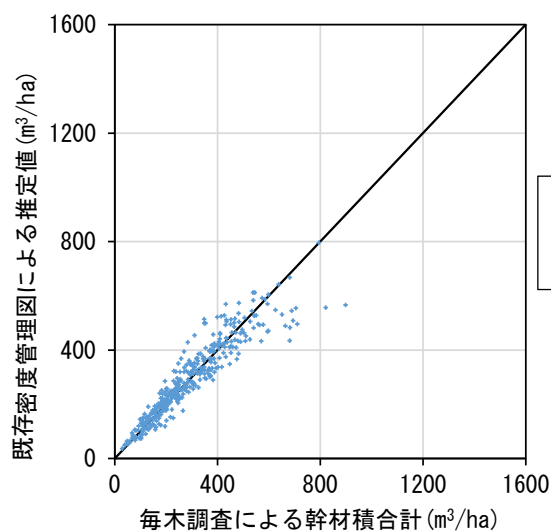
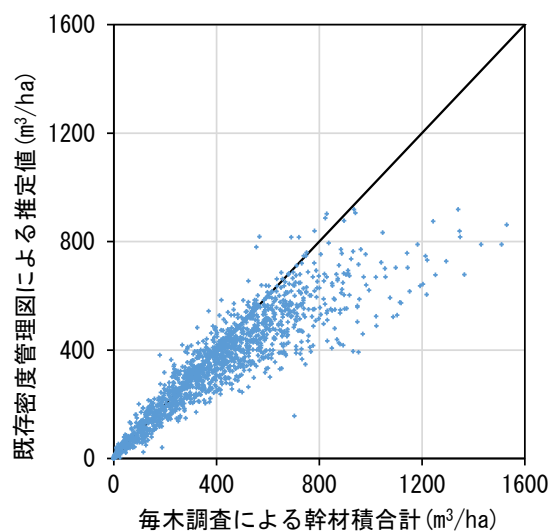
斜線は 1:1 を表す



九州
スギ



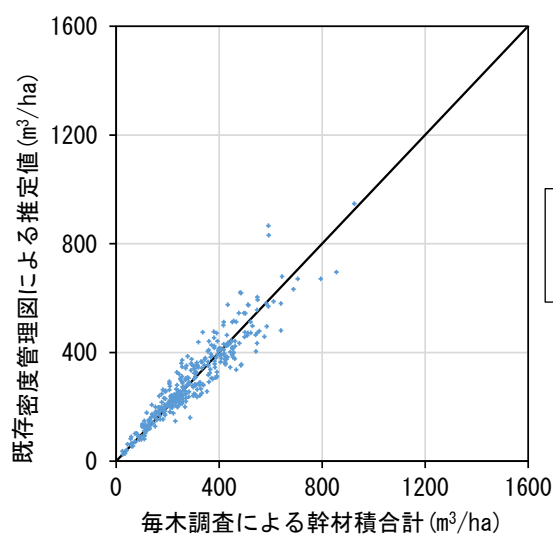
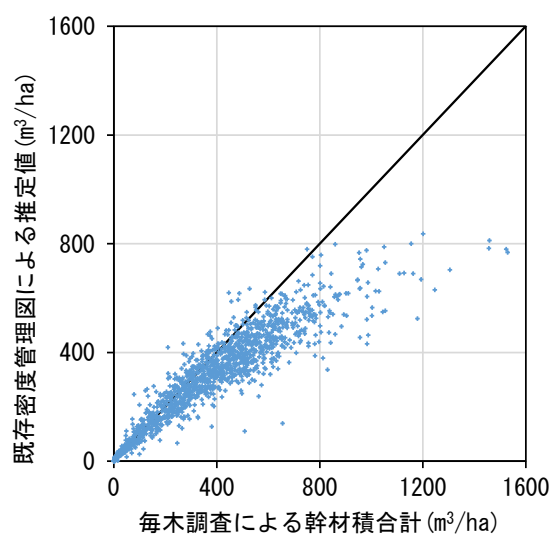
関東・中部
ヒノキ



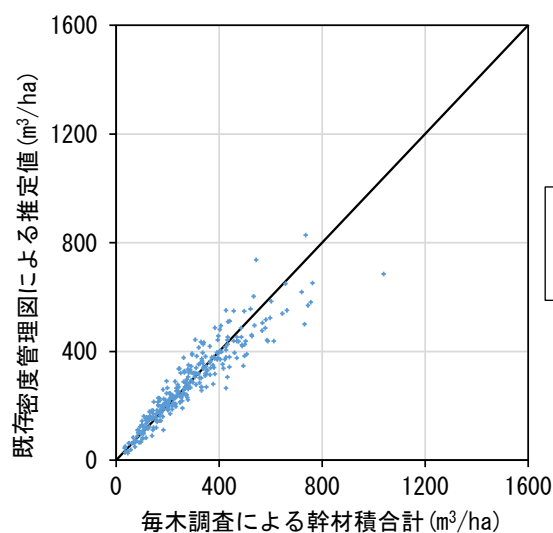
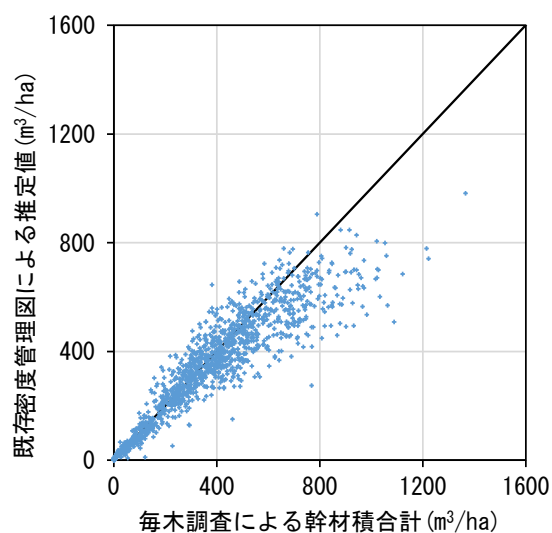
北近畿・中国
ヒノキ

図 17 既存林分密度管理図の幹材積合計推定式の検証（続き）

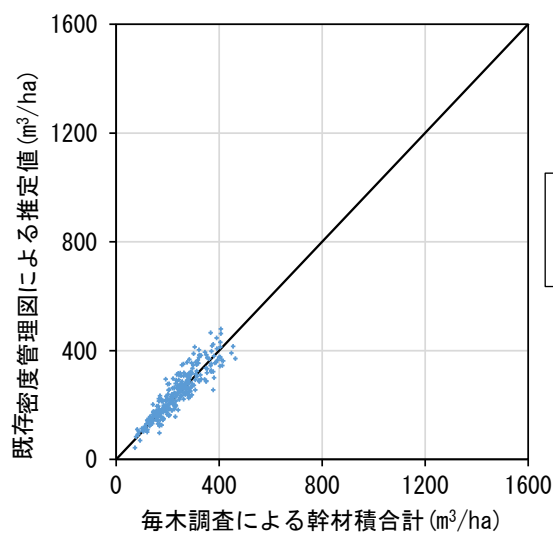
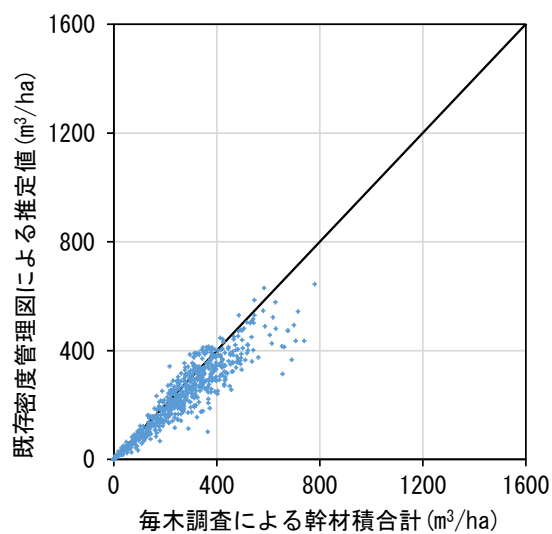
斜線は 1:1 を表す



南近畿・四国
ヒノキ



九州
ヒノキ



北海道
カラマツ

図 17 既存林分密度管理図の幹材積合計推定式の検証（続き）

斜線は 1:1 を表す

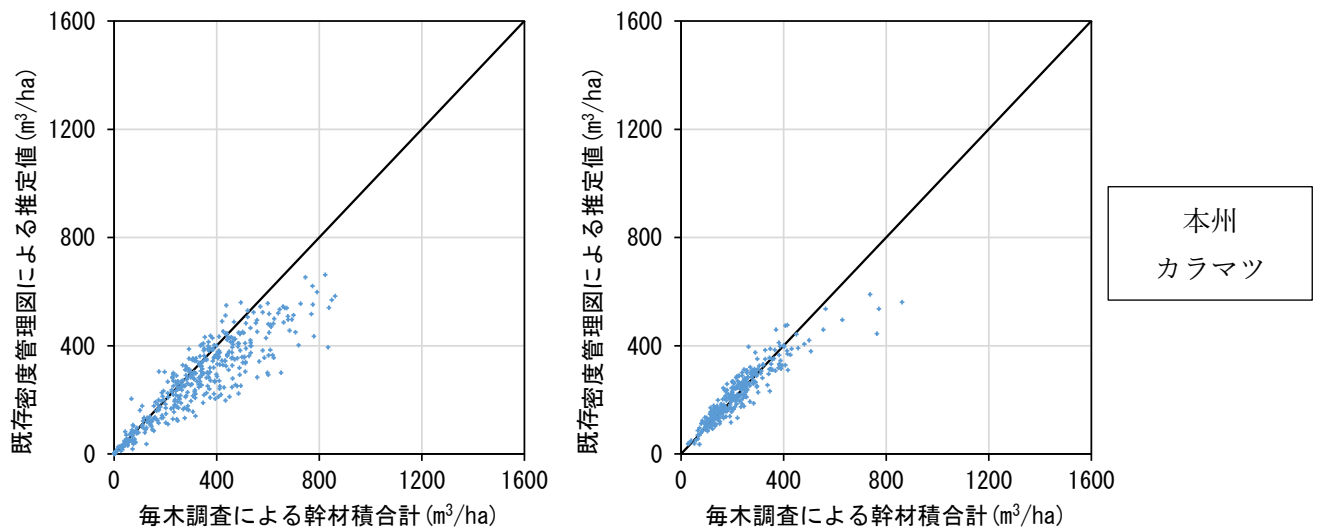
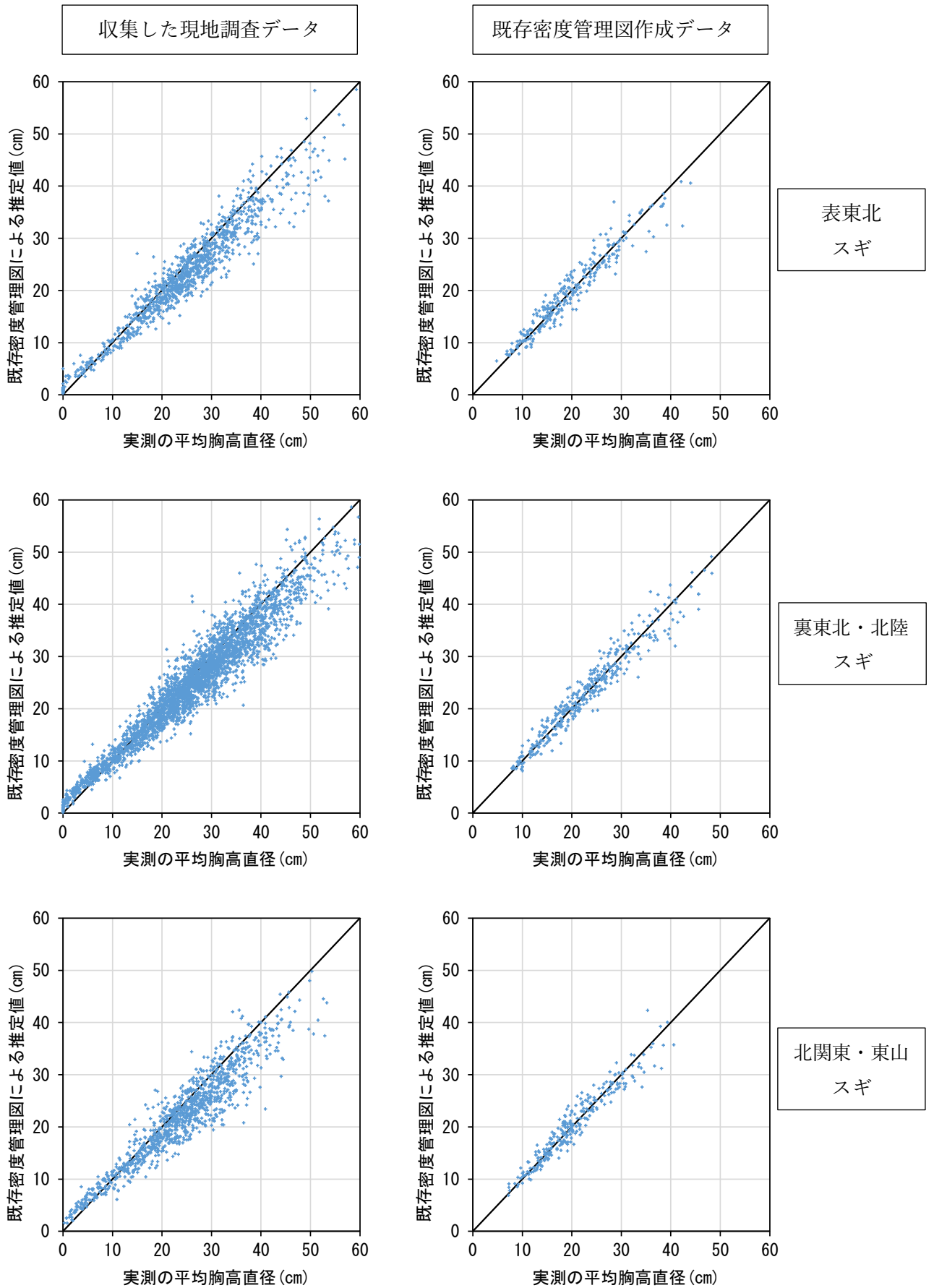


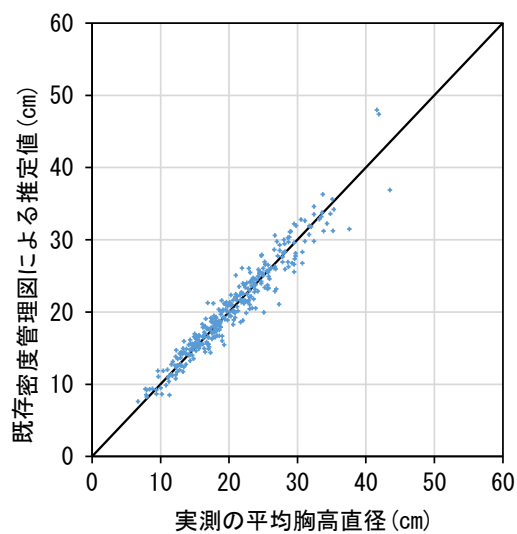
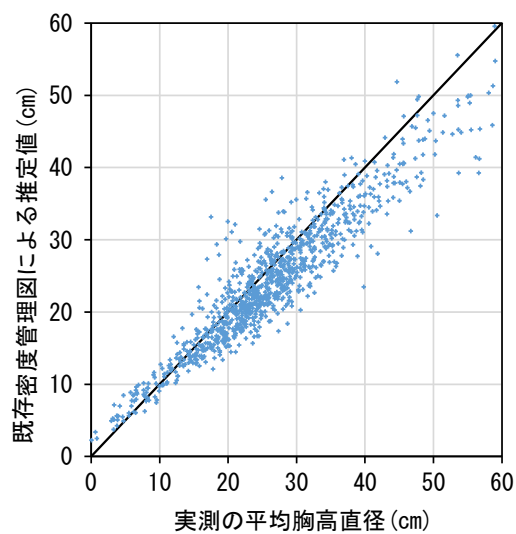
図 17 既存林分密度管理図の幹材積合計推定式の検証（続き）

斜線は 1:1 を表す

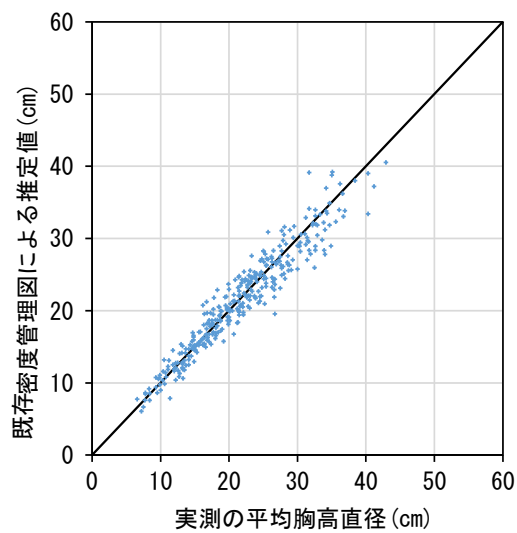
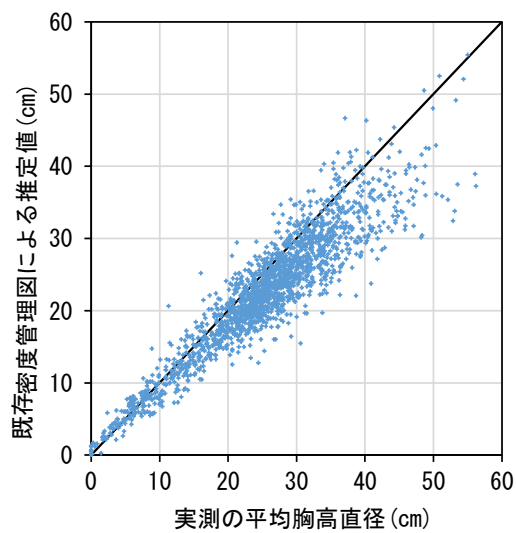
5.3. 平均胸高直径推定式の妥当性の検討

平均胸高直径推定式についても、幹材積合計推定式と同様の傾向が見受けられた（図 18）。また、特徴的なこととして、一部の密度管理図では、10cm 未満の領域で密度管理図のほうが逆に過大推定の傾向が認められた。この傾向は特に九州スギやヒノキの 4 地域すべてで特に目立っていた。密度管理図作成資料は 3 齢級以上が対象で、平均胸高直径 10cm 未満が少なかったことが一因と考えられる。平均胸高直径 10cm 未満の領域は資源把握上あまり重要ではないが、初期保育の参考とするために若齢時の林分構造を推定するニーズも存在することから、密度管理図の見直しを行う場合は留意すべき点であると考えられる。

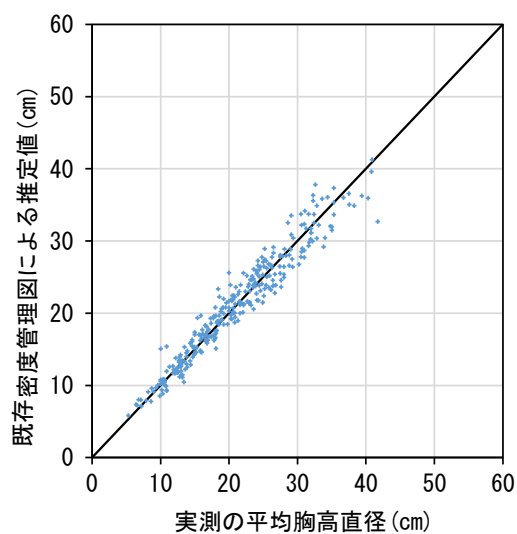
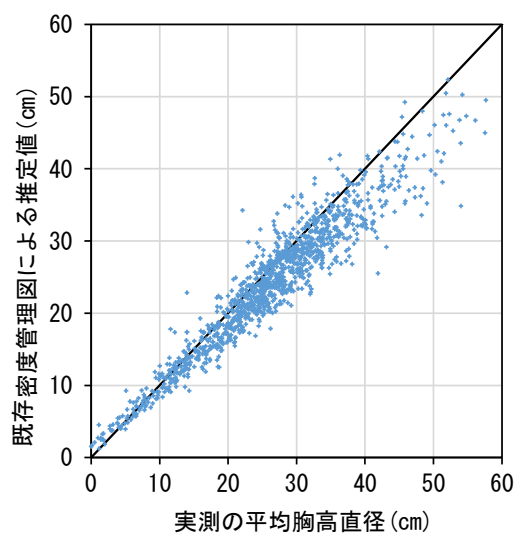




南関東・東海
スギ



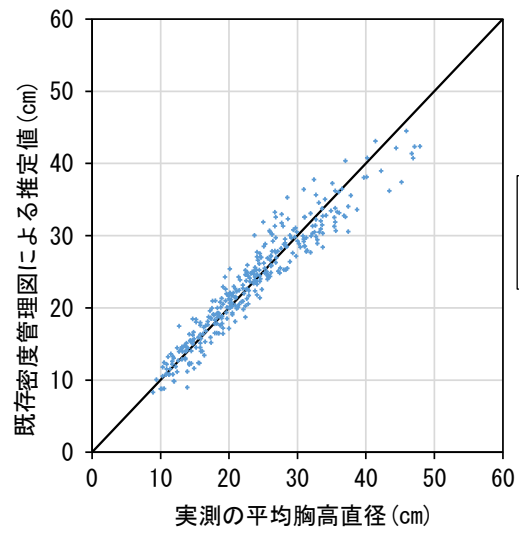
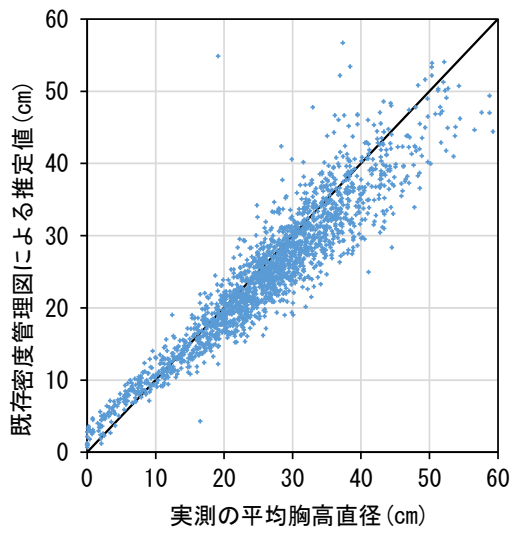
北近畿・中国
スギ



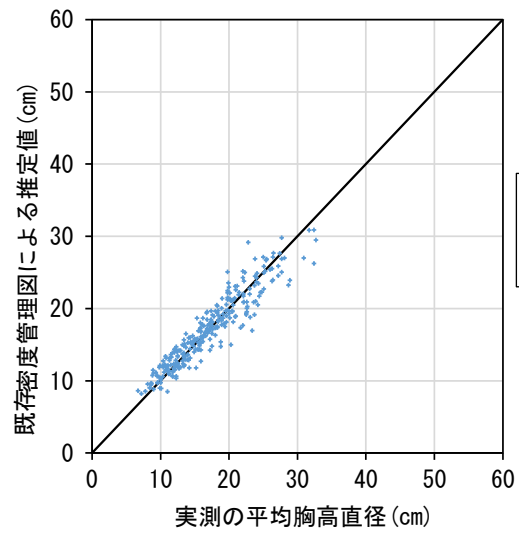
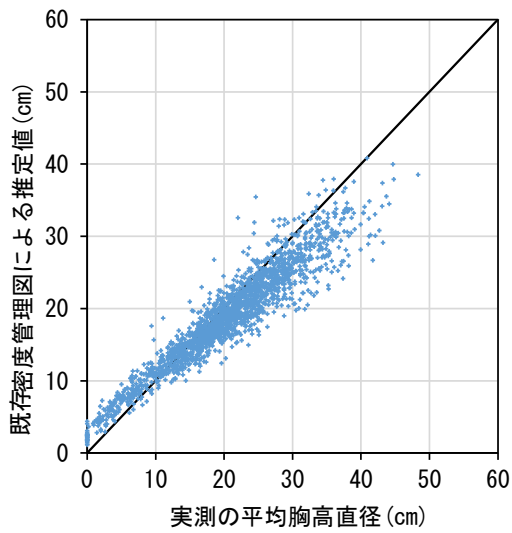
南近畿・四国
スギ

図 18 既存林分密度管理図の平均胸高直径推定式の検証（続き）

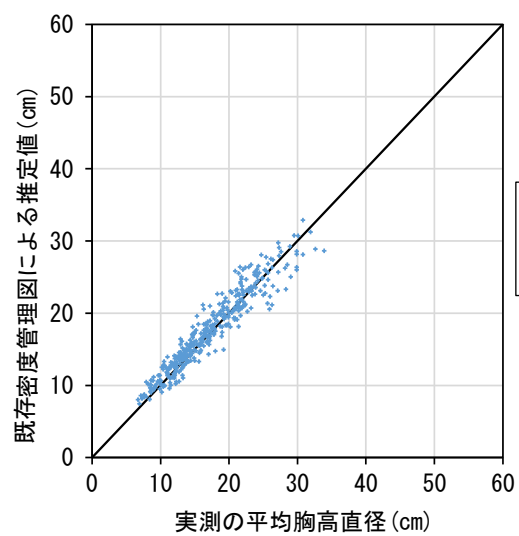
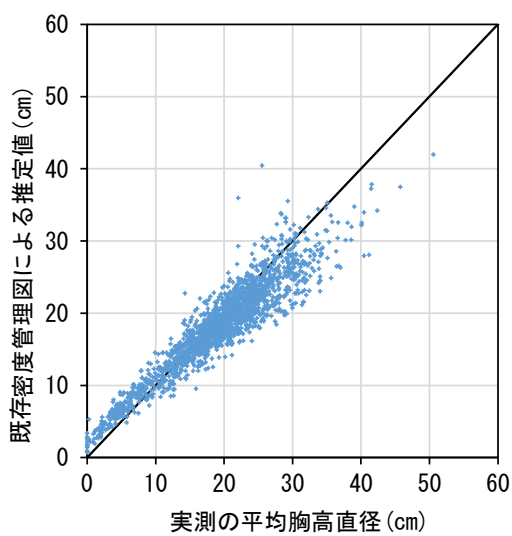
斜線は 1:1 を表す



九州
スギ



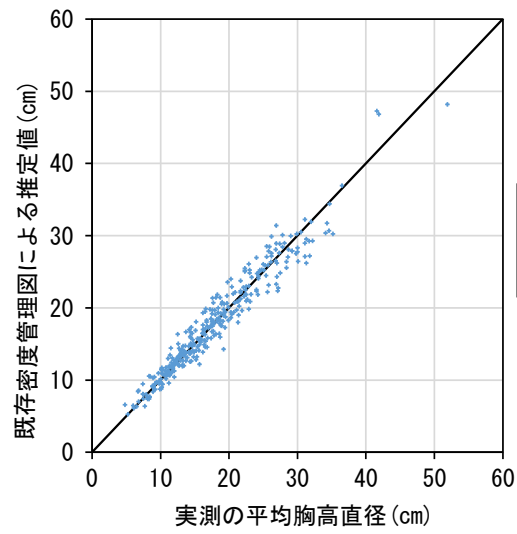
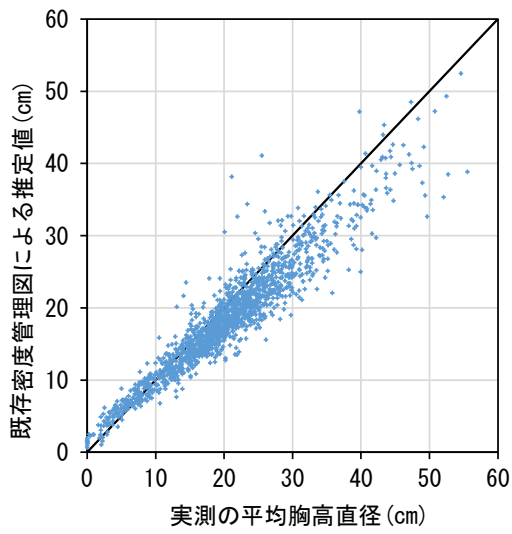
関東・中部
ヒノキ



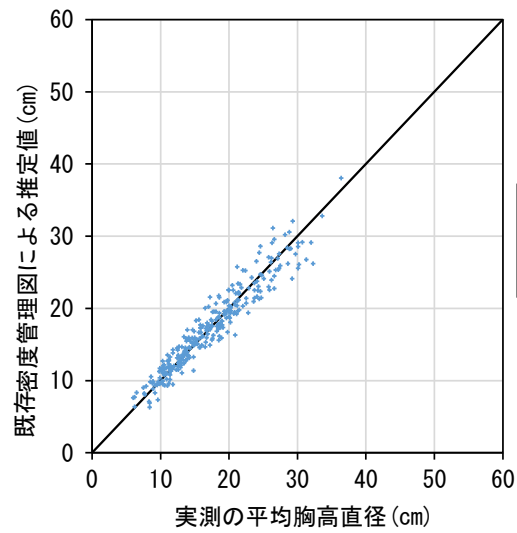
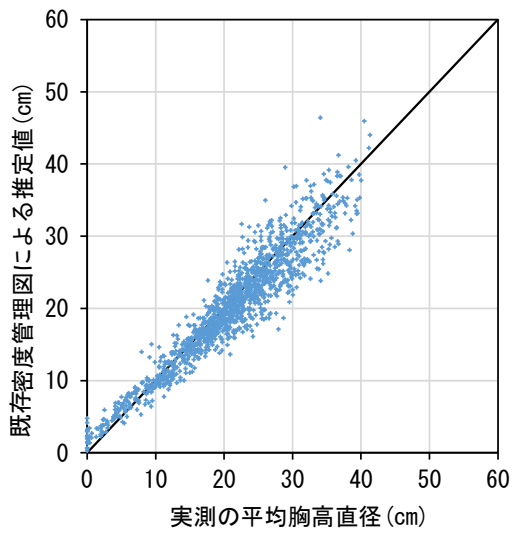
北近畿・中国
ヒノキ

図 18 既存林分密度管理図の平均胸高直径推定式の検証（続き）

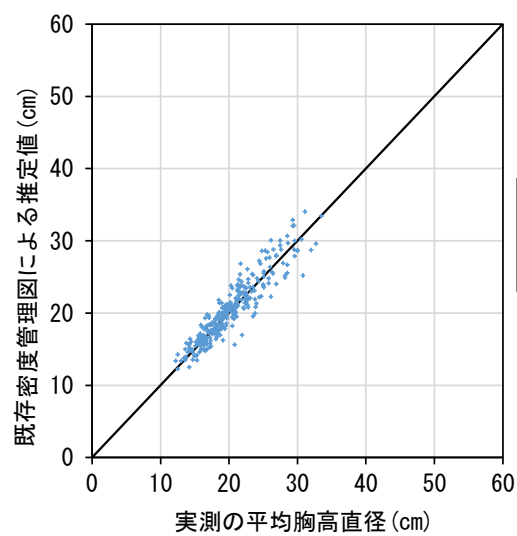
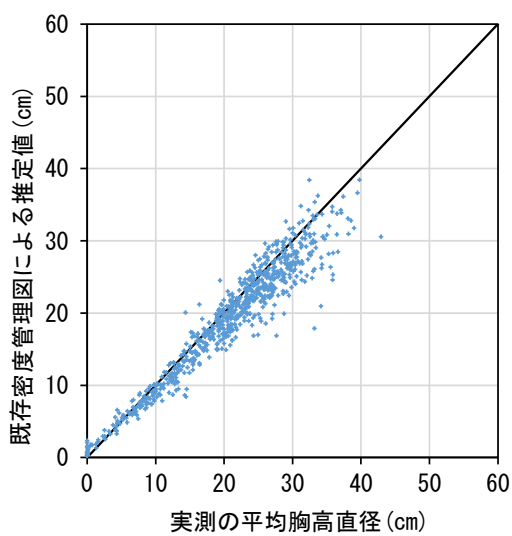
斜線は 1:1 を表す



南近畿・四国
ヒノキ



九州
ヒノキ



北海道
カラマツ

図 18 既存林分密度管理図の平均胸高直径推定式の検証（続き）

斜線は 1:1 を表す

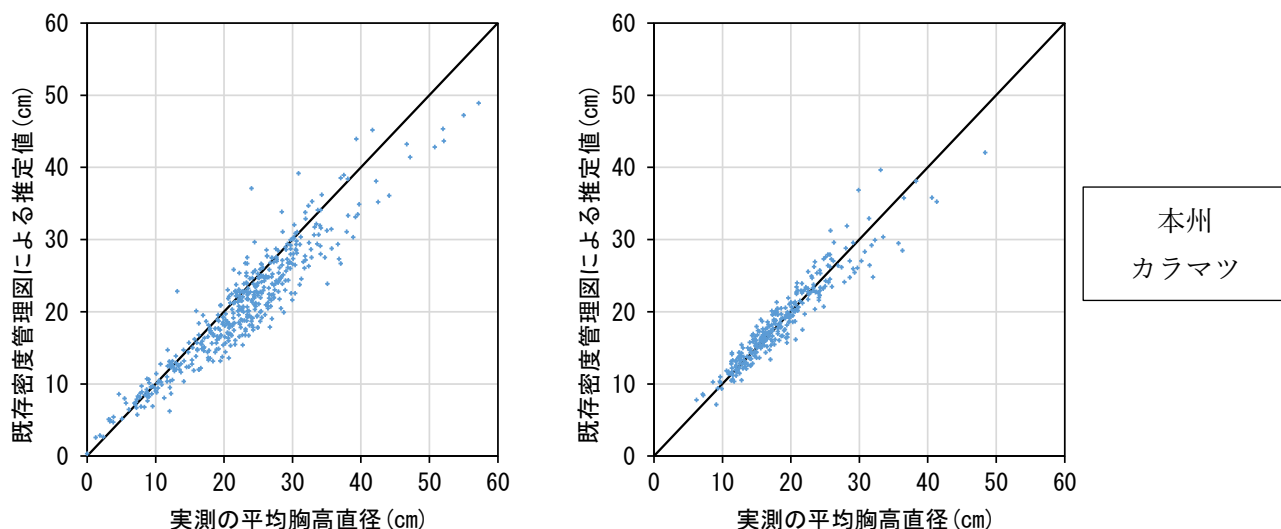


図 18 既存林分密度管理図の平均胸高直径推定式の検証（続き）

斜線は 1:1 を表す

5.4. 収集した現地調査データと密度管理図作成当時の樹高成長傾向の比較

都道府県が整備した樹高成長曲線は網羅的に収集することができなかった。しかしながら、昭和 50 年代に民有林用の林分密度管理図が作成された際、各都道府県では林分密度管理図と同じデータを用いて、地位指数曲線や収穫予想表を同時に調製した例が多い。その後新たなデータを用いて改訂を行っていない都道府県では、昭和 50 年代のデータをもとにした樹高成長曲線を用いている可能性が高いと考えられるため、本事業で収集した新しいデータと比較することによって、間接的に樹高成長曲線の見直しの要否を検討することとした。

林分密度管理図の樹種・地域区分ごとに図示すると、散布図では非常に多くの点が重なって傾向が判別できないため、林齢を 10 年ごとに区切って平均樹高と標準偏差を求めて比較した。また、10 以上のデータが存在するカテゴリーのみを図示した（図 19）。

本事業で収集した 2000 年代以降の新しいデータでは、60 年生以降も上層樹高が増加を続けているケースが多かった。ただし、北近畿・中国及び九州地方のスギとヒノキ、北海道のカラマツは頭打ち傾向を示していた。また、いったん頭打ちになったあと高齢側で再び傾きが大きくなり、S 字状を呈している樹種・地域もある（裏東北・北陸スギ、南近畿・四国スギ、南近畿・四国ヒノキなど）。これは、80 年生ぐらいまでは現地調査の候補地を森林簿上で無作為に抽出することができるのに対し、100 年を超えるような高齢林は限られた保護林、展示林、篤林家の所有林など優良な林分のなかから有意抽出されている可能性があるためとも考えられる。高齢級に対応した樹高成長曲線の見直しにあたって

は、既述のとおり ALS による仮想プロット調査も併用しながら、より幅広く偏りのない高齢データの追加収集が望まれる。

なお、60 年生以下に着目して昭和 50 年代のデータと比較すると、カラマツを除いては、本事業で収集した新しいデータの上層樹高がやや上回る傾向が共通していた。収穫表見直しの必要性が議論される場合、高齢級での成長の持続に関心が集まることが多いが、より若い林齢についても注意を払って見直しの要否を検討する必要がある。

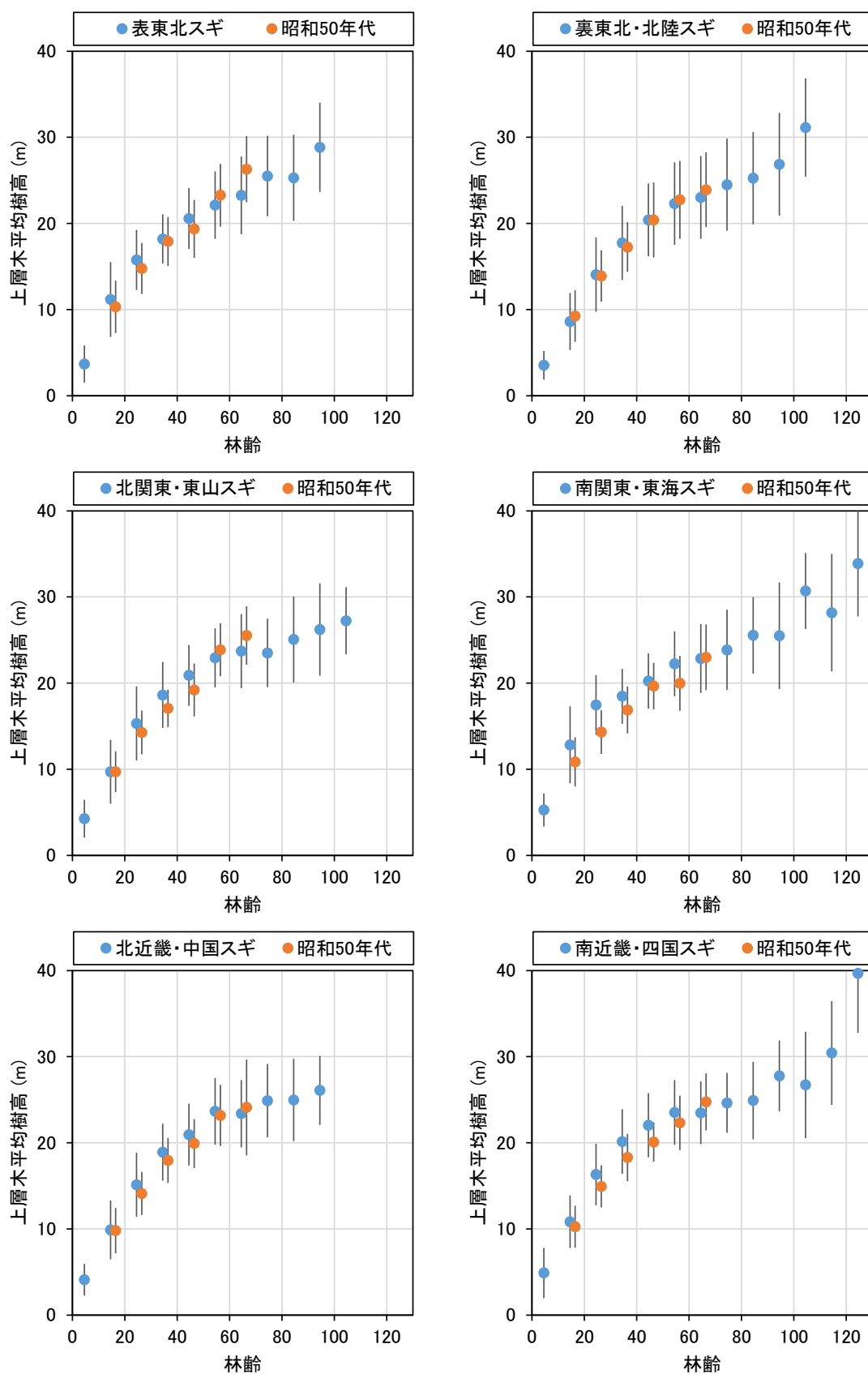


図 19 加齢に伴う上層木平均樹高の変化の比較
縦棒は標準偏差を表す

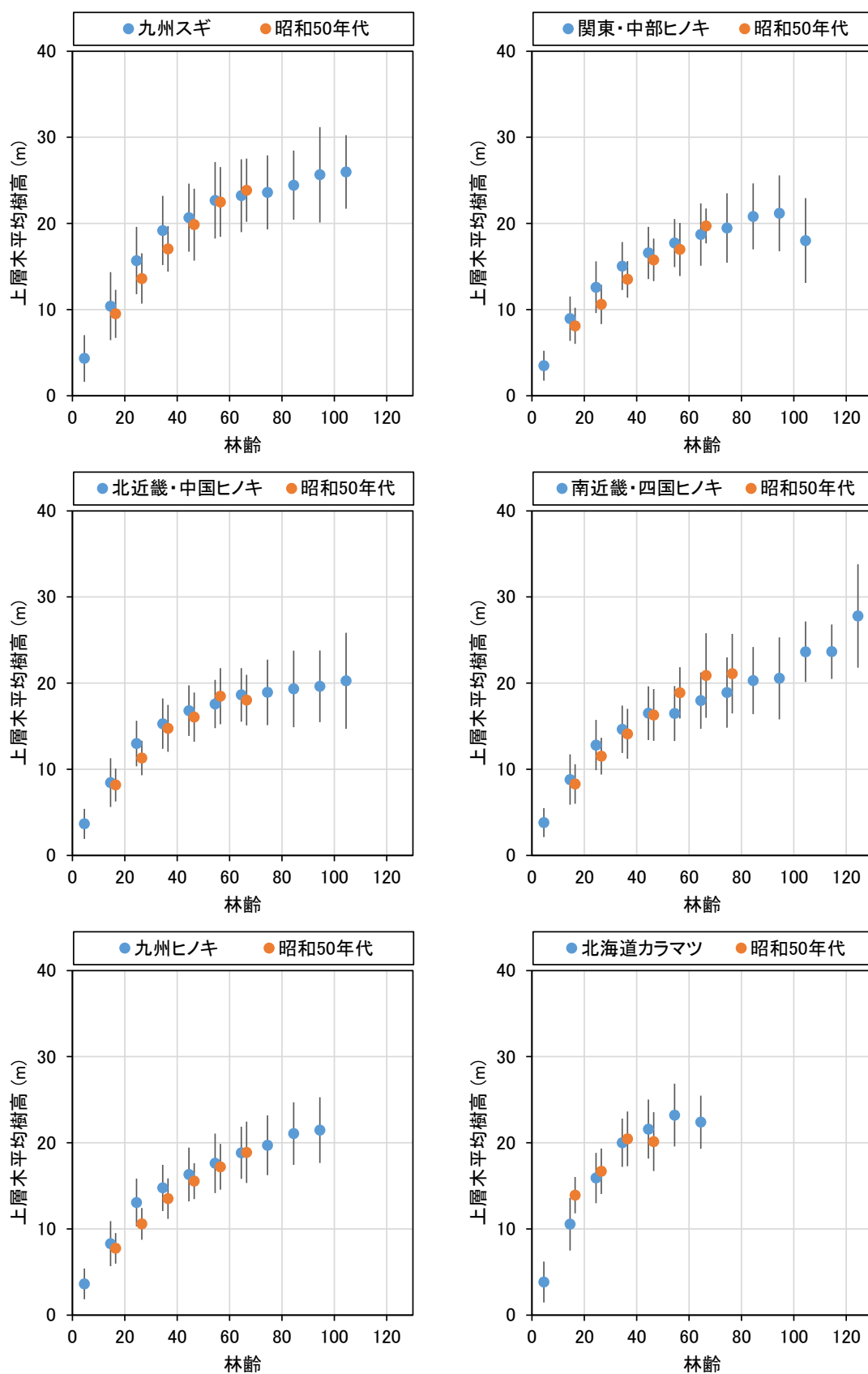


図 19 加齢に伴う上層木平均樹高の変化の比較 (続き)

縦棒は標準偏差を表す

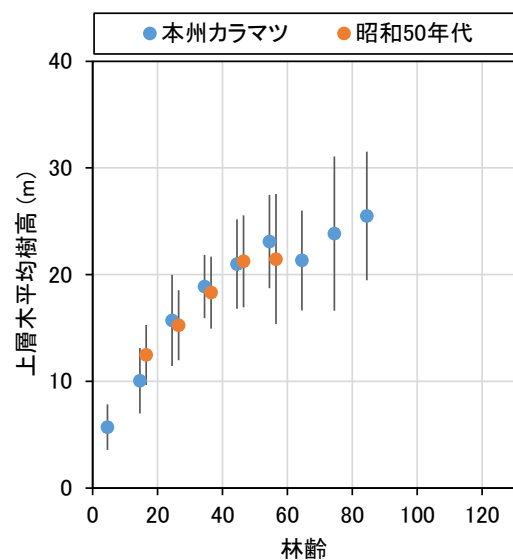


図 19 加齢に伴う上層木平均樹高の変化の比較（続き）
縦棒は標準偏差を表す

6. 林分を優占する樹種に応じた天然林の成長量に関する検討

天然林はさまざまな種や年齢の樹木から構成されており、同齢単純林と同じような収穫予測は難しい。ここでは、地域別に、林分を優占する樹種に応じた林分成長量を算定した。この林分成長量は、一般的な収穫表を用いない形で天然林における蓄積の推計や、森林吸収量の算定する際の因子の一つとしての活用も念頭に置いたものである。また、林分構造・気象条件・地理環境を説明変数として加えることで、天然林の林分材積や成長量をより高い精度で推定できるかを検討した。

6.1. 地域別、都道府県別、優占樹種別の平均成長量

森林生態系多様性基礎調査（National Forest Inventory; 以下 NFI）の第3期（2009–2013年）と第4期（2014–2018年）の毎木調査データを使って、天然林の成長量を求めた。第3期に測定された天然林の数は6,512プロット（全体の49.0%）、第4期は6,132プロット（48.5%）である。解析に用いるプロットは、以下の条件で選定した：「林分材積が20 m³/ha 以上」「第3期（期首）の『森林簿林齢』が欠測していない」「第3期から第4期にかけて『継続調査』が行われている」「第3期から第4期にかけての林分成長量が±300 m³/ha 未満」「第3期と第4期の緯度経度の実測値の距離が20 m 未満」「優占種が『樹種不明』ではない」。以上のフィルタリングの結果、残った4,044プロットを統計解析の対象とした。期間中の枯死木の発生により成長量がマイナスになるプロットもそのまま集計した。

地域区分は全国、地域、都道府県の3階層とした。地域は、民有林用の広葉樹林分密度管理図の5地域（②東北、③関東・中部、④北陸・山陰、⑤近畿・山陽、⑥四国・九州）に①北海道と⑦沖縄県を加えた7地域に区分した。

樹種区分は全樹種、針広別、優占樹種グループの3階層とした。優占樹種は11グループに区分し、①モミ属、②スギ、③ヒノキ亜科、④マツ属、⑤その他針葉樹、⑥ナラ・クリ（ブナ属を除く落葉性ブナ科）、⑦ブナ属、⑧カバノキ属、⑨その他落葉広葉樹、⑩カシ・シイ（常緑性ブナ科）、⑪その他常緑広葉樹、とした。

地域別、針広別、優占樹種別の平均成長量とその標準偏差を表23に示した。

地域・樹種を区分しない全国の前平均成長量は3.9 m³/ha/年、針葉樹は5.7 m³/ha/年、広葉樹は3.2 m³/ha/年であった。森林資源現況の平成24年と29年とを比較して算出した平均成長量は、同じ順に1.1、0.3、1.3 m³/ha/年であり、森林生態系多様性基礎調査のほうが3倍以上大きかった。

地域別にみると、針広に共通して九州、関東・中部、東北地域の平均成長量が大きく、各地域のシイ・カシ林、ヒノキ天然林、スギ天然林などの存在が影響していると考えられる。一方、北海道、北陸・山陰の寒冷地は相対的に平均成長量が小さかった。北海道はプロット数の1/4を占めるカバノキ属優占プロットが平均成長量を押し下げていると考えら

れる。総じて落葉広葉樹よりも常緑広葉樹の成長量のほうが大きい。針葉樹では地域を問わずスギ、ヒノキ亜科の成長量が多い。

都道府県に細分した平均成長量を表 24 に示した。ただし、カテゴリーあたりのプロット数が 5 未満の場合は表示しなかった。都道府県別にみると、県による平均成長量の差は著しい。針広合計でみると熊本県、千葉県、埼玉県、茨城県の平均成長量は相対的大きく、 $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{年}$ を超えている。また富山県は優占樹種を問わず成長量がマイナスになっているが、これらについて合理的な説明は難しい。測定誤差の影響も考えられ、都道府県別に数値を定めるには、さらなるスクリーニングや、第 5 期データの活用が必要と考えられる。

以上のとおり整理したカテゴリー別の平均成長量により、各プロットの成長量を算定した場合の精度を評価するため、カテゴリー別の平均成長量の標準偏差を比較した（図 20）。

地域、樹種を全く区分しない天然林全体の平均成長量は前述のとおり $3.9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{年}$ で、この標準偏差は 1.43 m^3 であった。これは一律 3.9 で全国のすべての天然林の成長量を推定した時の推定誤差に相当する。樹種区分をしないまま、地域を 7 地域、さらに 47 都道府県に細分し、それぞれカテゴリーごとの平均成長量で標準偏差を算出すると、7 地域区分では 1.41 、47 都道府県では 1.39 と、当然ながらやや減少し、推定精度が若干向上する。

に示すように、針広で分けたり、11 の優占樹種グループで区分したりするとさらに標準偏差は減少し、最も細分された都道府県別、優占樹種グループ別では標準偏差が 1.30 まで減少する。これは全国一律の標準偏差 1.43 に比べると 0.13 、割合にして 9%改善していることになる。平均成長量の推定精度が $0.13 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{年}$ 改善することは僅差ともいえる。しかし一方、わが国の天然林面積を $1,348$ 万 ha とすれば、天然林全体の年間成長量の推定誤差が 169 万 m^3 改善することになり、無視できない値であるともいえる。

ここまで検討してきた、何らかのカテゴリー分けをした平均成長量を森林簿の各小班に適用しようとする場合、地域区分は自明であり正確に把握できるが、優占樹種の把握は別途方法を検討する必要がある。針葉樹と広葉樹の区分は、衛星画像を用いることでも可能であり、季節の異なる画像を組み合わせれば、落葉広葉樹と常緑針葉樹もある程度は区分できる（実際、京都議定書報告のため基準年（1990 年）現在の森林タイプ区分図がランドサット画像によって作成されている）。

また、森林簿に適用するためには各小班の成長量だけでなく、期首蓄積も必要である。これは現状で森林簿に記載されている小班蓄積をそのまま踏襲するか、そのままでは正確性が担保できないのであれば、やはり航空レーザ計測等のリモートセンシングによる推定値で置き換えることも検討する必要がある。

さらに、（正しい林齢が分からないので）林齢に関わらず一定の成長量を与えるということは、伐採されるまで無限に成長することにもなる。これは森林の成長として不自然で

あり、ある上限を決めて達したらそれ以上は増加しない、あるいは上限に近づくにつれて成長量にブレーキをかける、といった運用も検討する必要がある。

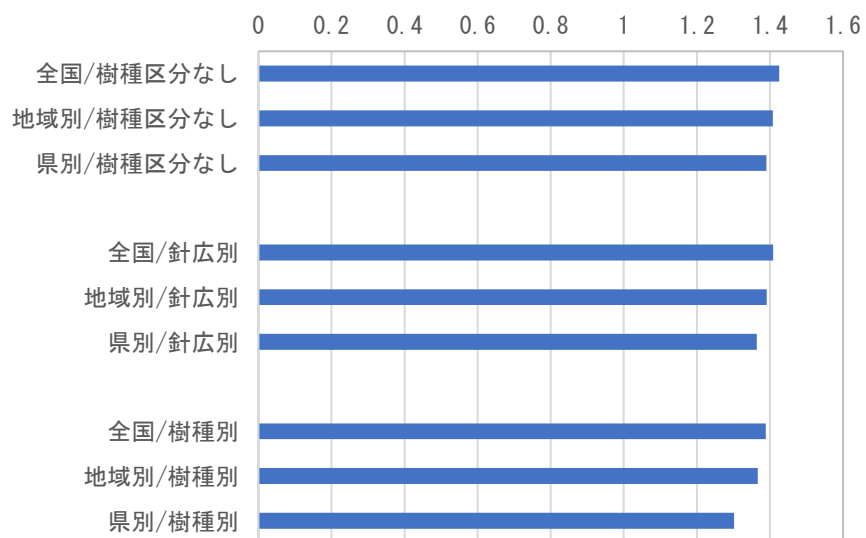


図 20 地域、樹種の細分化に伴う標準偏差（m³/ha/年）の減少

表 23 地域別、針広別、優占樹種別平均成長量 (m³/ha/年)

地域区分	全樹種			針葉樹			広葉樹		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
全国	4044	3.9	1.43	1193	5.7	1.57	2851	3.2	1.34
北海道	1206	2.6	1.29	349	3.5	1.39	857	2.2	1.24
東北	1085	4.4	1.46	265	6.7	1.61	820	3.6	1.39
関東・中部	533	4.7	1.46	209	6.3	1.59	324	3.6	1.34
北陸・山陰	279	1.1	1.45	75	3.8	1.59	204	0.1	1.38
近畿・山陽	544	4.6	1.34	191	5.8	1.50	353	4.0	1.21
四国・九州	379	7.1	1.62	104	10.3	1.88	275	5.9	1.47
沖縄県	18	2.5	1.43	0			18	2.5	1.43

地域区分	ナラ・クリ			ブナ属			カバノキ属		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
全国	870	3.0	1.36	393	3.1	1.44	271	1.7	1.09
北海道	185	2.6	1.27	53	0.6	1.39	205	1.2	1.14
東北	297	3.0	1.37	275	3.9	1.49	30	3.2	0.97
関東・中部	111	3.1	1.43	38	3.1	1.34	30	3.0	1.04
北陸・山陰	87	-0.8	1.54	19	-1.9	1.26	1		
近畿・山陽	153	4.9	1.29	4			1		
四国・九州	37	5.7	1.28	4			4		
沖縄県	0			0			0		

地域区分	その他落葉広葉樹			シイ・カシ			その他常緑広葉樹		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
全国	907	3.2	1.25	236	5.6	1.46	174	3.6	1.19
北海道	414	2.8	1.25	0			0		
東北	214	4.3	1.31	0			4		
関東・中部	108	2.9	1.16	25	10.1	1.58	12	4.9	1.38
北陸・山陰	52	1.1	1.13	25	2.0	1.10	20	0.8	1.39
近畿・山陽	67	2.8	1.09	63	4.1	1.24	65	2.9	1.07
四国・九州	52	5.8	1.44	115	6.0	1.63	63	6.3	1.20
沖縄県	0			8	8.7	1.50	10	-2.5	1.07

地域区分	モミ属			スギ			ヒノキ亜科		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
全国	324	3.8	1.40	294	9.7	1.65	249	7.4	1.59
北海道	284	3.6	1.40	2			1		
東北	14	3.6	1.48	138	10.7	1.58	23	3.5	1.23
関東・中部	20	4.8	1.26	32	10.8	1.82	74	5.8	1.69
北陸・山陰	0			32	5.3	1.69	17	9.2	1.52
近畿・山陽	2			33	9.2	1.34	101	7.5	1.54
四国・九州	4			57	8.9	1.89	33	13.0	1.89
沖縄県	0			0			0		

地域区分	マツ属			その他針葉樹		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
全国	205	2.4	1.47	121	2.9	1.37
北海道	0			62	2.8	1.32
東北	75	2.2	1.62	15	0.3	1.65
関東・中部	48	5.7	1.40	35	4.7	1.39
北陸・山陰	24	-0.2	1.23	2		
近畿・山陽	51	0.2	1.43	4		
四国・九州	7	7.0	1.35	3		
沖縄県	0			0		

表 24 都道府県別、針広別、優占樹種別平均成長量 (m³/ha/年)

地域区分	全樹種			針葉樹			広葉樹		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
北海道	1206	2.6	1.29	349	3.5	1.39	857	2.2	1.24
青森県	98	2.6	1.43	29	5.1	1.62	69	1.5	1.32
岩手県	237	3.3	1.37	62	6.4	1.26	175	2.1	1.38
宮城県	75	0.3	1.43	18	-2.6	1.84	57	1.3	1.17
秋田県	154	5.3	1.54	35	10.5	1.51	119	3.8	1.52
山形県	173	5.0	1.46	26	6.8	1.69	147	4.7	1.40
福島県	199	5.4	1.51	56	5.0	1.75	143	5.6	1.38
茨城県	23	10.5	1.37	12	11.1	1.47	11	9.7	1.28
栃木県	58	3.5	1.40	19	2.5	1.39	39	4.0	1.42
群馬県	73	2.2	1.22	15	2.8	1.45	58	2.0	1.14
埼玉県	10	11.7	1.63	4			6	7.6	1.13
千葉県	30	13.2	1.63	11	17.9	1.85	19	10.5	1.41
東京都	13	4.8	1.33	1			12	3.8	1.29
神奈川県	14	4.1	1.10	1			13	4.3	1.12
新潟県	149	6.2	1.42	39	11.6	1.53	110	4.3	1.33
富山県	35	-6.2	1.38	10	-9.5	1.63	25	-4.9	1.23
石川県	38	3.1	1.46	14	8.0	1.39	24	0.3	1.44
福井県	45	2.0	1.48	7	8.1	1.76	38	0.9	1.40
山梨県	33	5.2	1.25	18	7.0	1.19	15	3.1	1.29
長野県	107	3.4	1.62	44	5.8	1.67	63	1.7	1.56
岐阜県	121	4.1	1.42	59	5.4	1.62	62	2.9	1.10
静岡県	39	3.0	1.22	17	2.6	1.21	22	3.3	1.24
愛知県	12	8.3	1.44	8	6.6	1.55	4		
三重県	40	7.2	1.26	10	11.7	1.49	30	5.7	1.11
滋賀県	28	1.0	1.30	13	0.8	1.38	15	1.2	1.24
京都府	45	0.1	1.35	15	2.8	1.54	30	-1.2	1.20
大阪府	6	2.2	1.56	2			4		
兵庫県	97	5.3	1.36	34	5.8	1.66	63	5.0	1.05
奈良県	18	5.8	1.23	9	6.4	1.35	9	5.2	1.11
和歌山県	37	4.4	1.36	8	11.1	1.21	29	2.5	1.33
鳥取県	41	-0.3	1.57	10	2.0	1.50	31	-1.1	1.60
島根県	120	2.7	1.35	34	5.6	1.50	86	1.6	1.25
岡山県	100	5.3	1.26	37	7.3	1.39	63	4.1	1.14
広島県	109	4.4	1.38	46	4.0	1.47	63	4.7	1.29
山口県	64	5.8	1.33	17	8.3	1.51	47	4.9	1.23
徳島県	29	9.8	1.59	11	18.1	1.81	18	4.8	1.06
香川県	17	5.6	1.25	4			13	3.5	0.95
愛媛県	53	3.9	1.30	19	3.9	1.52	34	3.9	1.13
高知県	48	10.0	1.50	19	15.8	1.62	29	6.1	1.25
福岡県	16	5.0	1.59	2			14	5.4	1.62
佐賀県	4			2			2		
長崎県	35	8.2	1.66	9	4.9	2.12	26	9.3	1.40
熊本県	43	15.7	1.61	7	26.1	1.68	36	13.7	1.55
大分県	21	9.2	1.56	9	9.5	1.65	12	8.9	1.52
宮崎県	52	2.9	1.63	9	-2.0	2.07	43	3.9	1.48
鹿児島県	61	3.4	1.77	13	8.3	2.17	48	2.1	1.60
沖縄県	18	2.5	1.43	0			18	2.5	1.43

表 24 都道府県別、針広別、優占樹種別平均成長量 (m3/ha/年) (続き)

地域区分	ナラ・クリ			ブナ属			カバノキ属		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
北海道	185		2.6 1.27	53		0.6 1.39	205		1.2 1.14
青森県	19		3.9 1.22	32		1.3 1.40	1		
岩手県	84		1.3 1.48	31		3.9 1.25	17		2.8 0.91
宮城県	28		0.7 1.02	18		1.0 1.42	0		
秋田県	32		6.6 1.55	60		1.8 1.59	2		
山形県	36		2.2 1.34	74		5.6 1.50	3		
福島県	58		4.0 1.28	28		7.4 1.49	5		2.2 0.99
茨城県	6		1.3 1.11	0			0		
栃木県	14		5.3 1.44	7		3.7 0.97	3		
群馬県	20		4.0 1.10	9		0.6 1.07	2		
埼玉県	1			0			1		
千葉県	3			0			0		
東京都	0			0			0		
神奈川県	4			1			0		
新潟県	40		3.9 1.25	32		5.4 1.50	2		
富山県	9		-7.7 1.24	5		-6.4 1.39	0		
石川県	16		0.6 1.54	2			0		
福井県	16		0.5 1.60	5		-3.5 1.39	1		
山梨県	8		0.2 1.30	1			1		
長野県	25		-1.9 1.78	6		0.7 1.68	14		2.7 0.95
岐阜県	22		2.3 0.99	12		4.4 1.37	6		5.2 0.73
静岡県	5		4.4 1.15	2			3		
愛知県	3			0			0		
三重県	7		8.5 0.98	0			0		
滋賀県	5		-0.4 1.21	1			0		
京都府	12		0.7 1.23	0			0		
大阪府	2			0			0		
兵庫県	31		4.2 1.07	1			0		
奈良県	3			0			1		
和歌山県	5		-1.7 1.90	0			0		
鳥取県	11		-6.1 1.96	4			0		
島根県	35		1.4 1.31	3			0		
岡山県	37		5.1 1.18	0			0		
広島県	37		6.8 1.39	2			0		
山口県	14		5.4 1.30	0			0		
徳島県	1			2			1		
香川県	5		5.7 1.10	0			0		
愛媛県	11		5.7 1.20	1			1		
高知県	3			0			2		
福岡県	3			0			0		
佐賀県	0			0			0		
長崎県	2			0			0		
熊本県	4			0			0		
大分県	2			0			0		
宮崎県	5		2.9 1.39	1			0		
鹿児島県	1			0			0		
沖縄県	0			0			0		

表 24 都道府県別、針広別、優占樹種別平均成長量 (m3/ha/年) (続き)

地域区分	その他落葉広葉樹			シイ・カシ			その他常緑広葉樹		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
北海道	414		1.25	0			0		
青森県	17		1.22	0			0		
岩手県	43		1.36	0			0		
宮城県	11		0.88	0			0		
秋田県	25		1.26	0			0		
山形県	34		1.24	0			0		
福島県	52		1.43	0			0		
茨城県	1			2			2		
栃木県	14		1.15	1			0		
群馬県	26		1.16	0			1		
埼玉県	4			0			0		
千葉県	2			11		1.40	3		
東京都	4			4			4		
神奈川県	8		1.11	0			0		
新潟県	32		1.17	0			4		
富山県	11		1.08	0			0		
石川県	6		1.22	0			0		
福井県	11		1.17	4			1		
山梨県	5		0.69	0			0		
長野県	18		1.33	0			0		
岐阜県	20		0.99	2			0		
静岡県	6		0.71	4			2		
愛知県	0			1			0		
三重県	3			17		1.20	3		
滋賀県	6		1.31	0			3		
京都府	10		1.05	3			5		1.35
大阪府	0			1			1		
兵庫県	8		1.14	7		0.95	16		1.02
奈良県	2			1			2		
和歌山県	5		1.05	17		1.10	2		
鳥取県	7		1.33	6		0.98	3		
島根県	17		0.98	15		1.16	16		1.46
岡山県	10		1.09	3			13		0.94
広島県	17		1.00	3			4		
山口県	6		1.06	11		1.41	16		1.07
徳島県	6		0.93	5		1.04	3		
香川県	3			3			2		
愛媛県	7		0.95	5		1.28	9		0.98
高知県	8		0.91	8		1.32	8		1.31
福岡県	2			6		1.57	3		
佐賀県	0			2			0		
長崎県	2			12		1.49	10		1.39
熊本県	10		1.78	13		1.57	9		1.27
大分県	2			3			5		0.79
宮崎県	7		1.24	27		1.61	3		
鹿児島県	5		1.45	31		1.74	11		1.05
沖縄県	0			8		1.50	10		1.07

表 24 都道府県別、針広別、優占樹種別平均成長量 (m3/ha/年) (続き)

地域区分	モミ属			スギ			ヒノキ亜科		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
北海道	284	 3.6	1.40	2	 11.7	1.60	1	 2.2	1.05
青森県	1			14	 8.7	1.35	7	 2.2	1.05
岩手県	0			23	 7.4	0.89	1		
宮城県	0			6	 11.7	1.51	3		
秋田県	2			27	 7.7	1.82	3		
山形県	1			19	 10.6	1.69	0		
福島県	9	 6.2	1.61	22	 11.4	1.65	7	 4.4	1.18
茨城県	1			6			3		
栃木県	3			0			7	 4.9	1.69
群馬県	2			1			3		
埼玉県	1			1			2		
千葉県	0			8	 11.6	1.47	3		
東京都	0			0			1		
神奈川県	0			0			1		
新潟県	1			27	 13.7	1.59	2		
富山県	0			6	 -10.0	1.69	1		
石川県	0			5	 15.2	1.49	2		
福井県	0			5	 14.0	1.57	1		
山梨県	2			2			3		
長野県	5	 7.9	1.07	3			7	 -2.4	2.31
岐阜県	4			9	 10.6	2.20	27	 6.3	1.48
静岡県	2			2			11	 1.7	1.26
愛知県	0			0			6	 4.7	1.37
三重県	0			0			9	 12.2	1.53
滋賀県	0			3			6	 5.9	0.86
京都府	0			3			10	 4.7	1.40
大阪府	0			0			1		
兵庫県	0			6	 11.3	1.62	19	 4.5	1.79
奈良県	0			2			3		
和歌山県	2			2			3		
鳥取県	0			5	 -0.7	1.70	2		
島根県	0			11	 7.8	1.35	11	 10.5	1.68
岡山県	0			3			21	 9.0	1.49
広島県	0			8	 7.2	1.25	21	 6.8	1.53
山口県	0			6	 10.4	1.46	8	 10.0	1.54
徳島県	0			3			4		
香川県	0			1			3		
愛媛県	3			8	 4.9	1.18	5	 4.0	1.71
高知県	1			8	 14.5	1.49	7	 16.3	1.59
福岡県	0			2			0		
佐賀県	0			1			1		
長崎県	0			4			5	 4.4	2.49
熊本県	0			4			3		
大分県	0			6	 5.8	1.50	3		
宮崎県	0			8	 -3.7	2.11	1		
鹿児島県	0			12	 8.3	2.22	1		
沖縄県	0			0			0		

表 24 都道府県別、針広別、優占樹種別平均成長量（m3/ha/年）（続き）

地域区分	マツ属			その他針葉樹		
	箇所数	成長量	標準偏差	箇所数	成長量	標準偏差
北海道	0			62	 2.8	1.32
青森県	6	 -7.3	1.60	1		
岩手県	28	 6.0	1.13	10	 3.9	1.23
宮城県	9	 -11.3	2.02	0		
秋田県	2			1		
山形県	5	 5.7	1.13	1		
福島県	16	 0.2	1.74	2		
茨城県	2			0		
栃木県	5	 -0.1	1.29	4		
群馬県	3			6	 1.1	1.35
埼玉県	0			0		
千葉県	0			0		
東京都	0			0		
神奈川県	0			0		
新潟県	9	 9.4	1.26	0		
富山県	1			2		
石川県	7	 3.0	1.18	0		
福井県	1			0		
山梨県	4			7	 6.0	1.14
長野県	17	 10.0	1.29	12	 5.7	1.63
岐阜県	15	 1.0	1.33	4		
静岡県	0			2		
愛知県	2			0		
三重県	1			0		
滋賀県	4			0		
京都府	2			0		
大阪府	1			0		
兵庫県	8	 4.8	1.33	1		
奈良県	2			2		
和歌山県	1			0		
鳥取県	3			0		
島根県	12	 -0.8	1.19	0		
岡山県	13	 4.1	1.20	0		
広島県	16	 -1.7	1.37	1		
山口県	3			0		
徳島県	2			2		
香川県	0			0		
愛媛県	3			0		
高知県	2			1		
福岡県	0			0		
佐賀県	0			0		
長崎県	0			0		
熊本県	0			0		
大分県	0			0		
宮崎県	0			0		
鹿児島県	0			0		
沖縄県	0			0		

6.2. 林齢または上層樹高と気象、地形、林分構造因子による成長量推定の試み

森林生態系多様性基礎調査データ

前節と同じ基準でフィルタリングを行った 4,044 プロットを統計解析の対象とした。優占樹種の分類も前節と同じ 11 グループである。さらに、以下の変数を各プロットについて求めた：「上層樹高（実測樹高の上位 3 つの平均値）」「森林簿林齢」「優占種」「立木密度（胸高直径 5 cm 未満、5–18 cm、18 cm 以上）」「種数」「種均等度（Pielou evenness index）」「土壌群」。土壌タイプについては、現地で記録された土壌型を、より上位の分類単位である土壌群として以下の 7 グループにまとめた：「褐色森林土」「黒色土」「未熟土」「ポドソル」「赤・黄色土」「グライ」「その他」。

気象・地形データ

国土地理院が提供している全国の気候値（1km メッシュ；1981–2010 年の平均値）を使って、以下の 4 変数をプロットごとに算出した：「暖かさ指数」「年間降水量」「年最深積雪深」「年平均全天日射量」。また水文補正標高ラスターデータ（日本域表面流向マップ version 1.0、空間解像度：30 × 30 m）に基づき、以下の 4 変数をプロットごとに算出した：「標高」「斜面角度」「斜面方位」「地形湿潤指数（Topographic Wetness Index；以下 TWI）」。斜面方位については、真北からの方位（度）を $-\cos$ 変換することで、真北で -1 、真南で 1 の値を取るようにした。TWI は水文過程に対する地形条件の影響を定量化したもので、恒常的な水の集まりやすさや溜まりやすさを表す指数である。

林分蓄積の統計解析

林分蓄積と林齢の関係を、以下の式で表される Richards 関数を使って解析した。

$$\text{Stock} = a[1 - \exp(-b \cdot \text{Age})]^c \quad (\text{式 1})$$

ここで、Stock は林分蓄積、Age は林齢、 a 、 b 、 c はパラメータである。

次に、式 1 のパラメータ a を、気象条件と地理環境に関する変数の一次式として表した。

$$a = a_0 + \sum_{i=1}^8 a_i x_i \quad (\text{式 2})$$

x_i は i 番目の変数（暖かさ指数、年間降水量、年最深積雪深、年平均全天日射量、標高、斜面角度、斜面方位、TWI の計 8 変数）、 a_0 と a_i はパラメータである。ここでは、地位曲線の推定で一般的に用いられるアプローチと同様に、林分材積と林齢の間の相対的な傾き（パラメータ b と c ）は一定としつつ、林分材積の最大値（パラメータ a ）だけが環境によって変化すると仮定している。全ての変数について、第 3 期の値を解析に用いた。式 1 と 2 のパラメータを、非線形最小二乗法を使って推定した。なお、式 1 の応答変数を林

分蓄積（バイオマス）ではなく林分材積としたモデルも試行したが、パラメータが収束しなかったため、林分蓄積の結果のみ報告する。

林分成長量の統計解析

林分成長量と林齢の関係を、線形回帰モデルを使って解析した。

$$\Delta\text{Stock} = \beta_0 + \beta_1\text{Age} \quad (\text{式 3})$$

ここで、 ΔStock は林分蓄積の変化量、Age は林齢、 β_0 と β_1 はパラメータである。

次に、式 3 に、林分構造、気象条件、地理環境に関する説明変数を加えた。

$$\Delta\text{Stock} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{17} \beta_i x_i \quad (\text{式 4})$$

x_i は i 番目の変数（林齢及び式 2 で使った 8 変数に、さらに期首林分蓄積、優占種、胸高直径 5 cm 未満の立木密度、5–18 cm の立木密度、18 cm 以上の立木密度、種数、種均等度、土壌群を加えた計 17 変数）、 β_0 と β_i はパラメータである。応答変数（ ΔStock ）には第 3 期から第 4 期にかけての林分蓄積の変化量、説明変数（ x_i ）には第 3 期（期首）の値を解析に用いた。式 3 と 4 のパラメータについて、後退的選択法（backward selection）に基づくパラメータ選択を行った後、最小二乗法を使って値を推定した。また、天然林の林齢は推定誤差が大きいことを鑑み、式 4 の説明変数から「林齢」を除き、代わりに「上層樹高」を用いたモデルも試行した。

結果

各変数値の空間分布を図 21 に示す。林分蓄積は平均 14.6 t/ha 増加していた（図 21 b, d）。九州地方で継続調査が行われていないプロットが多く、常緑広葉樹や優占するプロットの数が少ない傾向があった（図 21 f）。

Richards 関数を使った林分蓄積の解析結果を図 22 と図 23、表 23 に示す。決定係数（ R^2 ）は、林齢のみ使ったモデルで 0.022、気象条件と地理環境を加えたモデルで 0.104 だった（図 23）。林分蓄積は、暖かく、降水量が多く、積雪深が浅く、日射量が大きく、斜面が緩く、南向き斜面で、TWI が少ない場所で高かった（表 25）。

線形回帰を使った林分成長量の解析結果を図 24 と図 25、表 26 に示す。決定係数（ R^2 ）は、林齢のみ使ったモデルで 0.007、気象条件と地理環境を加えたモデルで 0.086 だった（図 25）。林分蓄積の変化量は、期首蓄積が小さく、シイ・カシが優占し、大径木密度が高く、種数が多く、種均等度が低く、降水量が多く、日射量の大きい場所で高かった（表 26）。なお、林齢を上層樹高で置き換えたモデルを試行したところ、上層樹高は林分成長量に有意な影響を与えておらず、その他の説明変数については置き換える前と同じ変数が有意となった。

考察

統計解析の結果、林分蓄積は、気温が暖かく、降水量が多く、斜面が緩やかな南向き斜面といった条件で高く、一般的に想定される傾向が確認された（表 25）。林分成長量は、大径木密度、種数、降水量といった林分構造や気象条件と正の相関を持つことが分かった（表 26）。林分成長量と地理環境（標高、斜面角度、斜面方位、TWI）の間には相関は見られなかった。天然林の炭素貯留について検討する際は、微地形よりも、よりマクロな気象条件や林分構造が重要だと示唆された。

林分蓄積に関するモデルもその変化量に関するモデルも、決定係数（ R^2 ）は低かった（図 23 b、図 25 b）。従って、これらのモデルをすぐに将来予測に活用することは困難である。林分蓄積やその成長量の予測には、林齢、林分構造、気象条件、地理環境に加えて、リモートセンシングなどによって得られた追加情報が必要である。

表 25 林分蓄積と林齢、気象条件、地理環境の関係を表す
モデル（式 1 と 2）のパラメータ推定結果

変数（パラメータ）	推定値	P 値
暖かさ指数	0.318193	0.004**
年間降水量	0.002515	<0.001***
年最深積雪深	-0.08309	<0.001***
年平均全天日射量	0.960734	0.006**
標高	-0.00015	0.984
斜面角度	-0.52182	0.004**
斜面方位	5.520522	0.005**
TWI	-6.16442	<0.001***
a_0	75.10344	0.05
b	0.0592	<0.001***
c	1.187843	<0.001***

表 26 林分蓄積の変化量と林齢、林分構造、気象条件、地理環境の関係を表す
モデル（式 3 と 4）のパラメータ推定結果（変数選択後に残されたもののみ）

変数（パラメータ）	推定値	P 値
期首蓄積	-0.1472	<0.001***
優占種	-4.71（カバノキ属） ～ 21.74（シイ・カシ）	<0.001***
中径木密度	-0.001063	0.666
大径木密度	0.03816	<0.001***
種数	0.4096	<0.001***
種均等度	-10.01	0.002 **
年間降水量	0.0003032	0.003**
年最深積雪深	0.02314	0.614
年平均全天日射量	0.4356	0.002**
標高	-0.004368	0.061

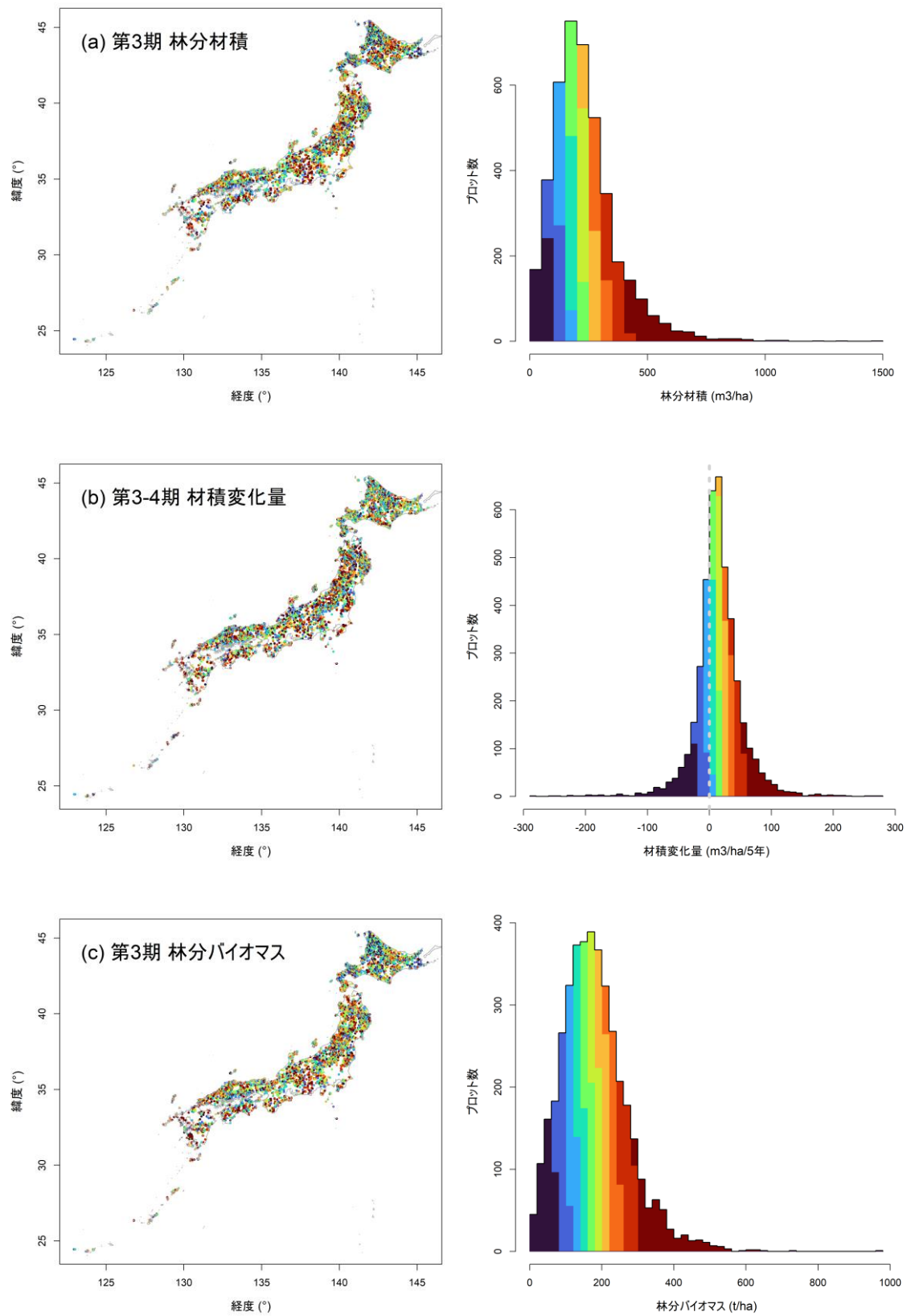


図 21 天然林プロットの林分蓄積・林分構造・気象条件・地理環境

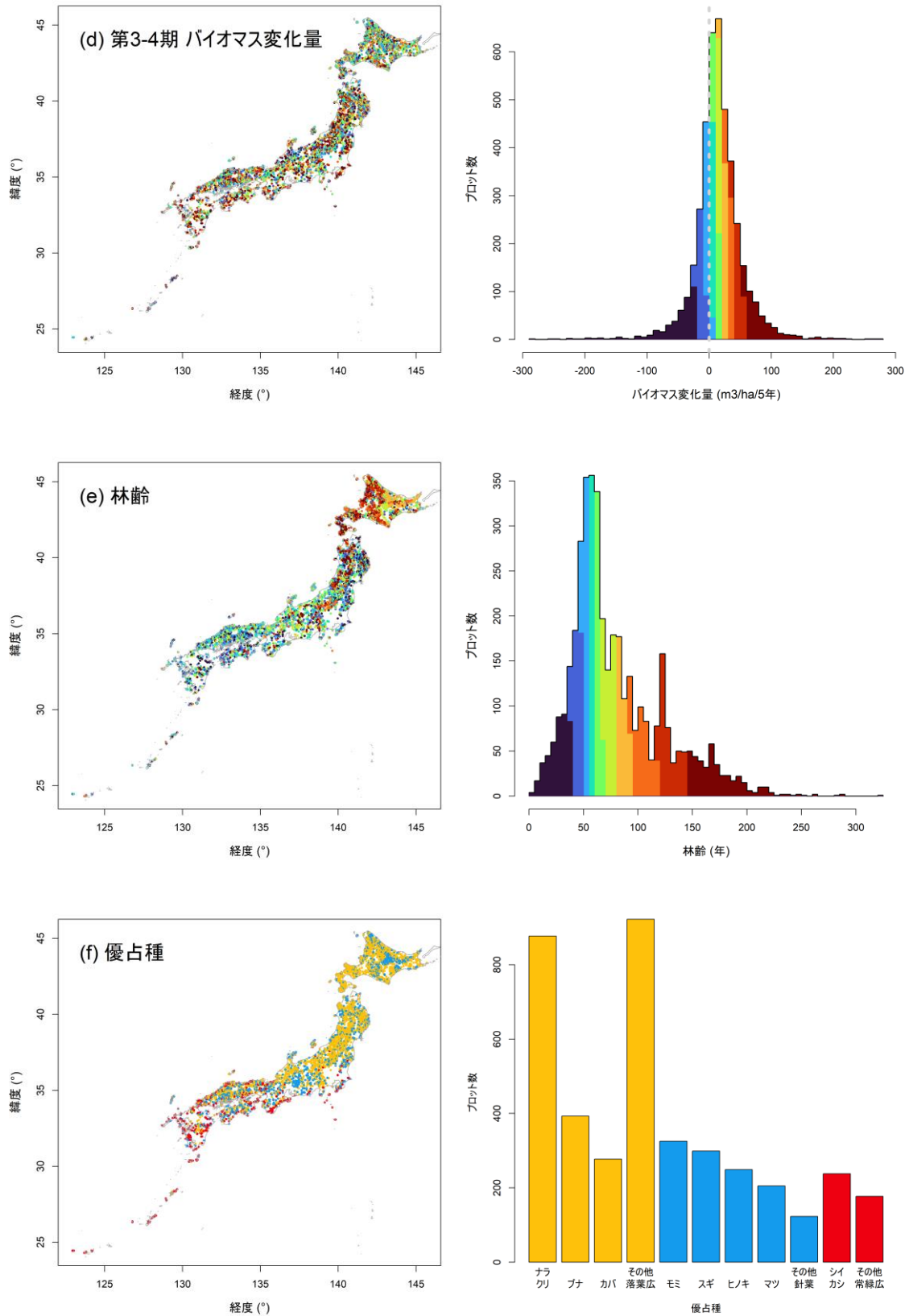


図 21 天然林プロットの林分蓄積・林分構造・気象条件・地理環境 (続き)

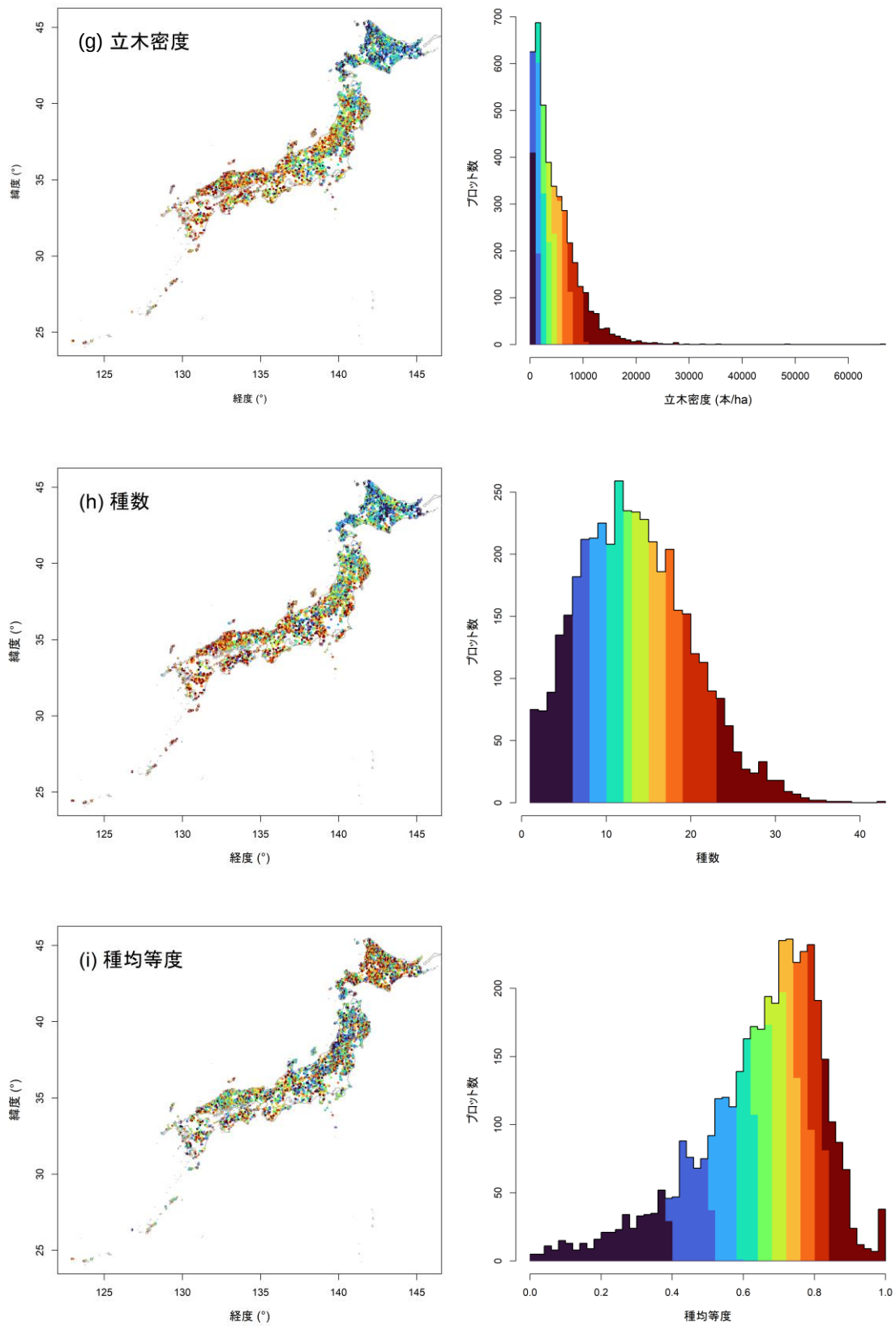


図 21 天然林プロットの林分蓄積・林分構造・気象条件・地理環境（続き）

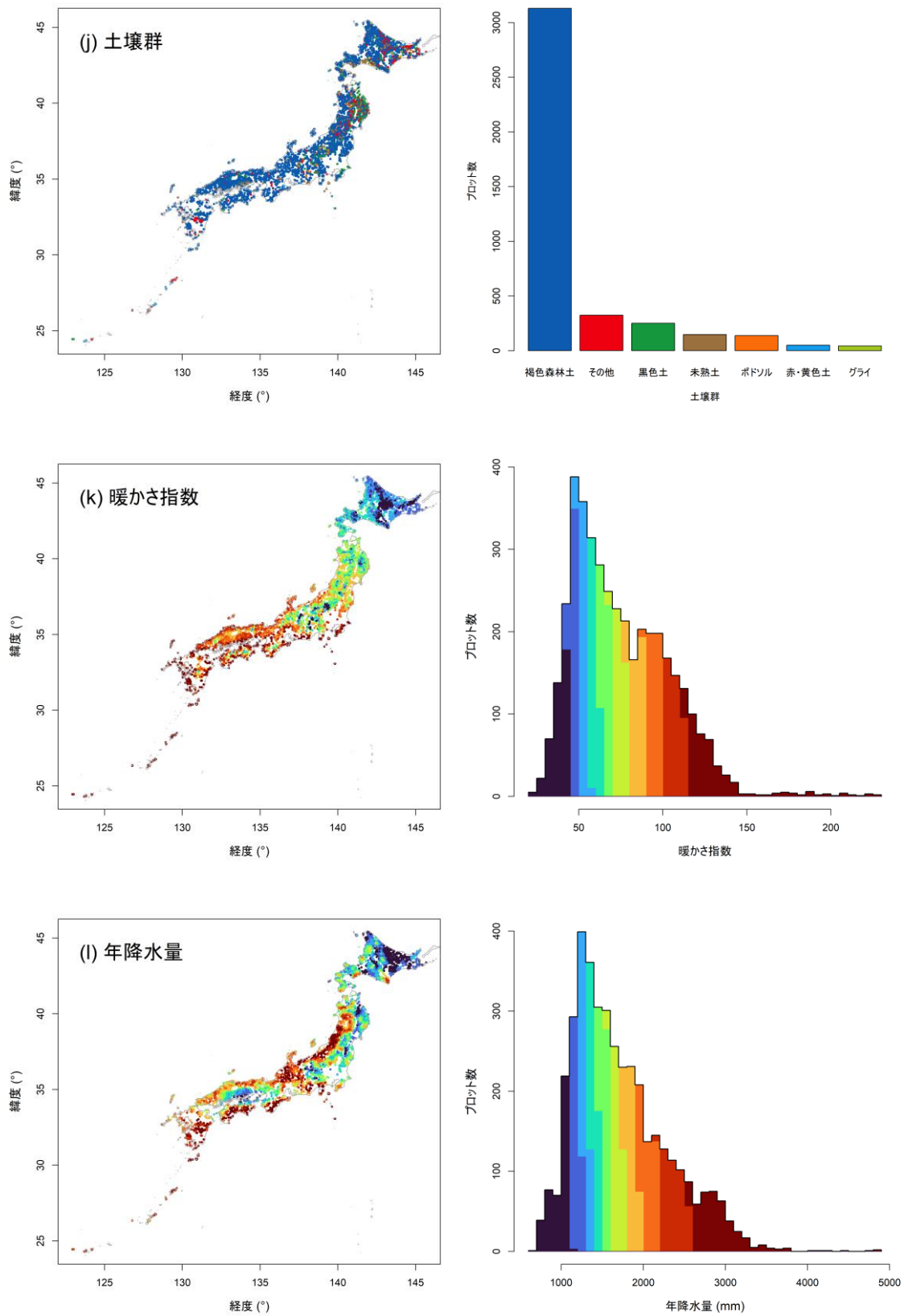


図 21 天然林プロットの林分蓄積・林分構造・気象条件・地理環境（続き）

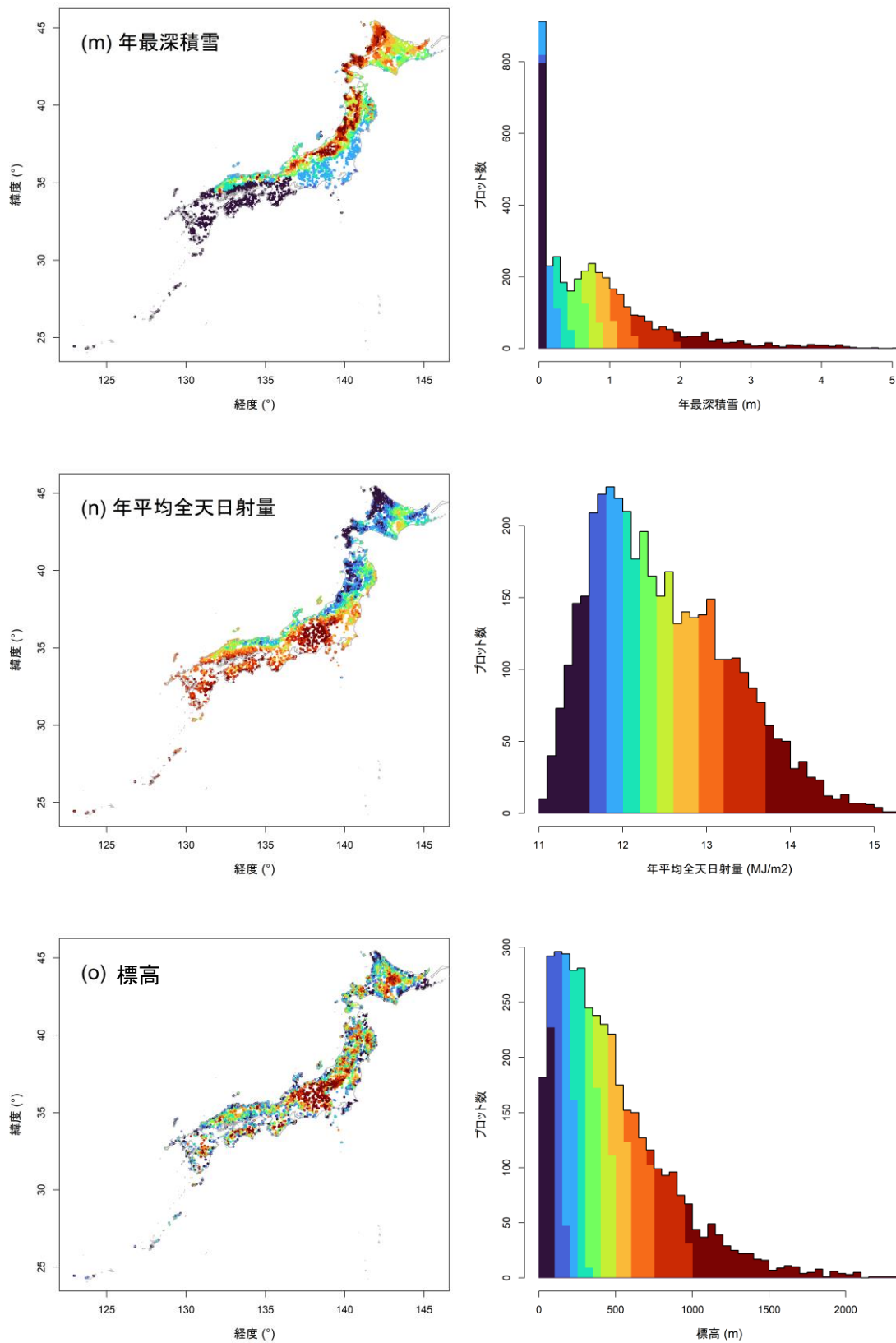


図 21 天然林プロットの林分蓄積・林分構造・気象条件・地理環境（続き）

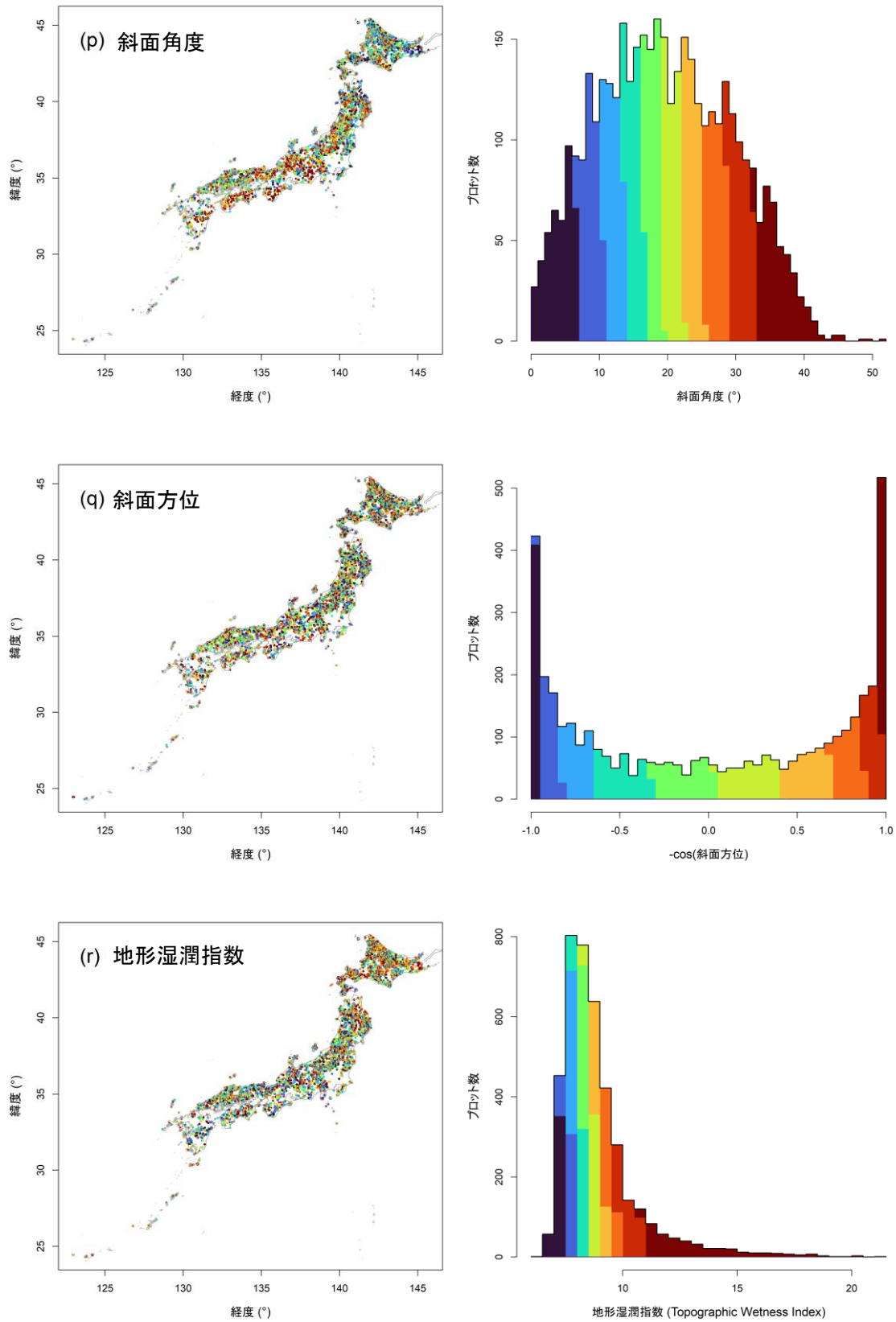


図 21 天然林プロットの林分蓄積・林分構造・気象条件・地理環境 (続き)

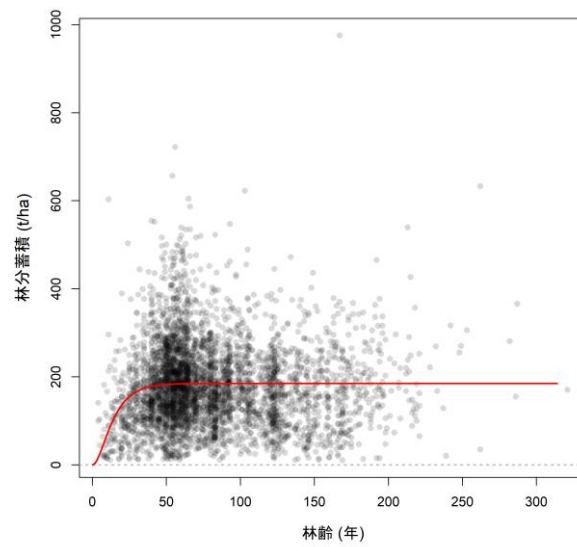


図 22 林齢と林分蓄積（第 3 期）の関係
赤線は当てはめた Richards 関数を表す

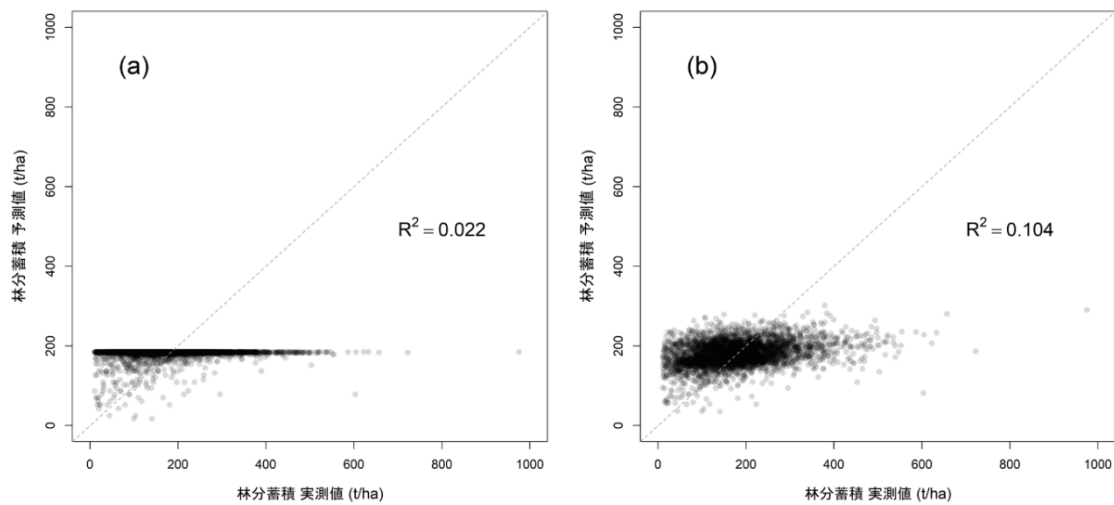


図 23 林分蓄積の実測値と予測値

- (a) 林齢のみを説明変数とするモデル（式 1）
- (b) 林齢、気象条件、地理環境を説明変数とするモデルによる予測（式 1 と 2）

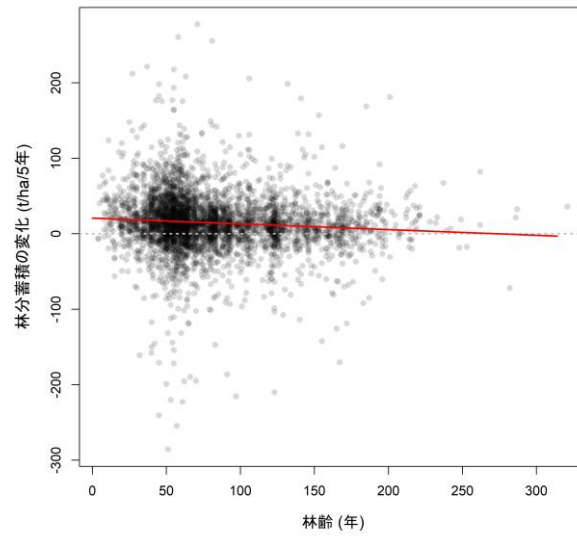


図 24 林齢と林分蓄積の変化量の関係
赤線は当てはめた線形回帰モデルを表す

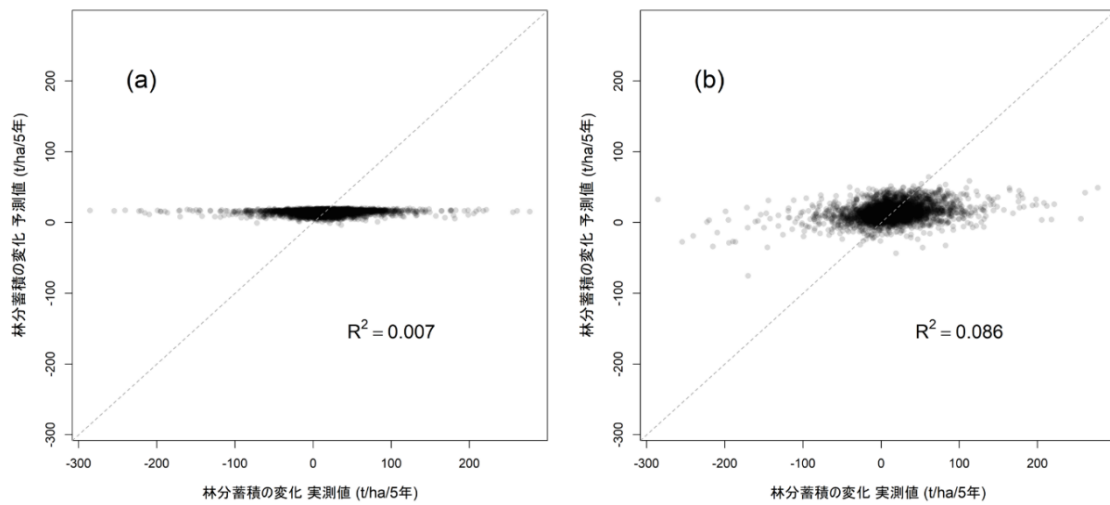


図 25 林分蓄積の変化量の実測値と予測値

- (a) 林齢のみを説明変数とするモデル (式 1)
(b) 林齢、林分構造、気象条件、地理環境を説明変数とするモデルによる予測 (式 3 と 4)

7. まとめと課題

収穫表見直しに活用できる森林資源データの洗い出しを行った結果、蓄積精度検証調査ほか林野庁がもともと保有していた 16,702 か所のデータに加え、本事業により府県から新たに提供された資料及び森林機構の保有する収穫試験地を合わせて 3,015 か所の現地調査データを追加することができた。また、6 県から ALS データの提供を受け、収穫表見直しに活用できる状態に整理した。

収集整理したデータを用いて、昭和 50 年代に作成された既存の密度管理図の最多密度曲線、幹材積合計推定式及び平均胸高直径推定式を検証したところ、樹種・地域により乖離の程度に差はあるが、見直しの必要性が示唆された。

同じく樹種・地域により傾向に差異はあるが、上層樹高は 60 年生以降も増加を続けているケースが多く、樹高成長曲線についても見直しの必要性が再認識された。

ただし、本事業で収集整理したデータセットにおいても、高齢級データの相対的な不足は解消しきれなかった。樹高成長曲線の見直しにあたっては、高齢級データの補充が必要である。本事業でも検討した ALS データを用い GIS 上に仮想プロットを設定する手法は、高齢級データを低費用で効率的に補充する手段として有効と考えられる。

林分密度管理図を用いた収穫表の作成には、樹高成長曲線に加え、林齢に応じて間伐等により本数が減少していく経過を仮定する必要がある。この本数減少経過は、樹種により、また地域により異なると考えられる。本事業で収集整理したデータセットには、ha あたり本数の項目も含まれていることから、今後の分析に活用することができる。

森林生態系多様性基礎調査のデータを用いて天然林の蓄積、林分成長量を分析した結果、地域、都道府県、針広、優占樹種グループで細分すると一定の傾向は認められたが、合理的な説明が難しい場合もあった。得られた結果を森林簿に反映することも視野に入れて、リモートセンシング等も用いて広域で実行可能な、現実的なカテゴリー区分や蓄積・成長量推定手法を検討する必要がある。