

令和6年度

再造林の推進に向けた伐採状況の  
把握手法等に関する調査委託事業

報 告 書

令和7年3月

林野庁

# 目次

1. 要約.....	1
1.1. 行政情報の集計等による伐採（主伐）面積の推計 .....	1
1.1.1. 行政情報の集計等による推計結果.....	1
1.1.2. 行政情報による推計の比較と考察.....	1
1.2. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採（主伐）面積の推定 .....	1
1.2.1. 推定手法の整理と提案 .....	1
1.2.2. 推計手法の詳細設計.....	2
1.3. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採（主伐）面積の推定詳細設計の検証..	4
1.3.1. 全国の民有林での伐採面積推定 .....	4
1.3.2. 地域別の民有林伐採での面積推定.....	5
1.4. 行政情報と衛星判読による推計の比較・検証.....	5
1.4.1. 木材供給量ベースの推計に用いる換算係数の改善方法の検討 .....	5
1.4.2. 木材供給量ベースの推計に用いる換算係数の検証 .....	6
1.5. 調整委員会の開催.....	6
2. 背景と目的.....	7
3. 行政情報の集計等による伐採（主伐）面積の推計手法の整理.....	8
3.1. 行政情報の集計等による推計手法 .....	8
3.2. 行政情報の集計等による伐採（主伐）面積の推計結果 .....	8
3.3. 行政情報による推計の比較と考察 .....	9
4. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採（主伐）面積の推定.....	11
4.1. 語句の定義 .....	11
4.2. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採（主伐）面積の推定 .....	12
4.2.1. 推定手法の整理と提案 .....	12
4.2.2. 推定手法の詳細設計.....	35
4.3. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採（主伐）面積の推定詳細設計の検証	54
4.3.1. 全国の民有林での伐採面積推定 .....	54
4.3.2. 地域別の民有林での伐採面積の推定 .....	65
5. 行政情報と衛星判読による推計の比較・検証.....	74
5.1. 推定結果の比較（全国） .....	74
5.2. 木材供給量ベースの推計に用いる換算係数の改善方法の検討 .....	75
5.3. 木材供給量ベースの推計に用いる換算係数の検証 .....	79
5.3.1. 各換算係数を用いた推計結果.....	79
5.3.2. 各換算係数の評価 .....	80

6.	まとめと課題 .....	82
6.1.	層化無作為抽出法による 2021 年および 2022 年の推定 (Landsat 時系列マップ) .....	82
6.2.	層化無作為抽出法による 2023 年 (早期把握手法) の推定 (Sentinel-2 簡易マップ) .....	82
6.3.	2021, 2022 年の地域別の民有林での伐採面積の推定 .....	82
6.4.	行政情報と衛星判読による推計の比較・検証 (全国) .....	83
7.	調整委員会の開催 .....	84
8.	巻末資料 .....	85
8.1.	調整委員会 議事録の要約 .....	85
8.1.1.	第 1 回 .....	85
8.1.2.	第 2 回 .....	90
8.1.3.	第 3 回 .....	95

## 1. 要約

### 1.1. 行政情報の集計等による伐採（主伐）面積の推計

伐採面積の推定方法のうち、従来から用いられている行政情報等を用いた民有林の伐採面積を推定する以下2通りの方法について整理する。

- (ア) 行政手続の積み上げによる推計方法（全国・都道府県別）
- (イ) 木材供給量からの推計方法（全国のみ）

#### 1.1.1. 行政情報の集計等による推計結果

- (ア) 行政手続の積み上げによる推計方法

林野庁において整理された平成30年度から令和5年度までの推計結果は、期間を通して概ね50,000～55,000haの値で推移している。

- (イ) 木材供給量からの推計方法

森林・林業統計要覧では、平成30年度～令和4年度の民有林における立木面積は、概ね80,000～90,000haの値で推移している。

#### 1.1.2. 行政情報による推計の比較と考察

(ア) 行政手続ベースの推計と(イ) 木材供給量ベースの推計を比較すると、木材供給量ベースの推計の方が20,000ha程度大きく推計されている。

いずれの推計手法も不確実な要素を含んでいるため、実際に生じている伐採面積をどの程度の確に捉えられているかは不透明であり、また、どちらがより確からしいかを判断することは難しい。

### 1.2. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採（主伐）面積の推定

行政情報による従来の間接的な伐採面積推計とは別に、衛星画像等のリモートセンシング技術を活用し、観測データから直接的に伐採面積を推計する方法について整理する。

#### 1.2.1. 推定手法の整理と提案

衛星画像等のリモートセンシング技術を利用した伐採面積の推定では、サンプル抽出に基づいた標本調査を利用する手法が一般的である。この手法では対象とする地域の一部（サンプル）を無作為に抽出して伐採・非伐採を判読し、その結果から対象地全体の伐採面積を推定する。

標本調査の効率を向上させるために、衛星画像等を利用して作成した伐採マップを利用する。伐採面積の推定は、1) 対象とする地域からサンプルを抽出し、2) そのサンプルを人間が衛星画像等を用いて目視によって判読（目視判読）してリファレンスクラス（伐採・非

伐採)を割り当て、3)適切な計算手法で伐採面積を推定する、という手順を踏む。労力の大部分は目視判読作業で発生するため、サンプルサイズが大きいと労力が多大になる。面積推定の不確実性(=精度)は95%信頼区間の幅で示される。

伐採マップで伐採と分類されたピクセルの面積を足し合わせて伐採面積を推定するピクセルカウント法では、伐採マップにおける分類精度を考慮していないため、特殊な場合を除いて伐採面積の推定に偏りがある。そのため、特段の理由がない限り、標本調査に基づいた手法を利用することが望ましい。

伐採マップを利用した伐採面積の推定では、層化無作為抽出法がよく利用される。層化の効率性は伐採マップの精度に依存し、伐採の見逃しが少ない方が効率は高いため、必要なサンプルサイズを減らすことができる。95%信頼区間を伐採面積の $\pm 10\%$ 程度にしたい場合、適当な精度の伐採マップの利用を仮定すると、日本の私有林全体では約3万程度のサンプルサイズが必要となる。

都道府県別の伐採面積について同様に $\pm 10\%$ 程度に収めたい場合、日本全体で約236万程度のサンプルサイズが必要となり、目視判読は非現実的といえる。全国の伐採面積推定に利用したサンプルを再度利用し、ある程度仮定を置くことで都道府県別の伐採面積を省力的に推定できるが、推定の妥当性については検証が必要である。

目視判読においては、ある程度の判読誤差が発生することを考慮する必要がある。判読作業を複数人で実施することは一般的であり、判読者ごとに判読の差異が発生することもある。判読誤差を無視して伐採面積を推定すると、推定の精度は過大になり、計算した95%信頼区間に真の値が含まれない場合が増える。そのため判読誤差を減少させ、必要であれば判読誤差を考慮して伐採面積を推定する必要がある。複数の判読者が存在する場合、判読の事前トレーニングや判読作業中の品質保証を導入することで判読の一貫性を向上させることができる。また、同じサンプル要素の位置を複数人で独立して判読し、その結果を統合することで、判読誤差を減少させることができる。

## 1.2.2. 推計手法の詳細設計

### 1.2.2.1. 全国の私有林での伐採面積推定

#### ① 2021年および2022年の推定(Landsat時系列マップ)

- ・ 2021年および2022年の私有林での伐採面積を推定する手法を設計する。
- ・ 衛星データで作成された既存の伐採マップ(Landsat時系列マップ)を、2021年と2022年の伐採箇所の層化に利用する。
- ・ サンプルサイズは $n=31,000$ として、伐採層・非伐採層・バッファ層の3層に割り振る。
- ・ 判読作業は6人で実施し、各サンプル要素の位置について最低3人が独立して判読する。
- ・ 判読手順の確認と判読の一貫性維持のため、作業前にプレ判読をする。判読の途

中でそれぞれの判読結果のフィードバックを実行する。

- ・ 伐採面積の推定には対応する計算式と手順を利用する。

## ② 2023 年（早期把握方法）の推定（Sentinel-2 簡易マップ）

- ・ 2023 年の民有林での伐採面積を事例として、前年の伐採面積を早期に推定する手法を設計する。早期に伐採面積を把握するために一部で手順を簡略化し労力を削減する。
- ・ Sentinel-2 衛星画像を利用して 2023 年の伐採箇所を抽出する伐採マップ（Sentinel-2 簡易マップ）を、FAMOST<sup>1</sup>と類似手法を用いて簡略に作成する。
- ・ サンプルサイズは①を参考に  $n = 30,000$  として、判読クラスを簡略化して伐採層・非伐採層の 2 層に割り振る。
- ・ 判読作業は 3 人で実施し、各サンプル要素の位置について 1 人ずつ独立して判読する。
- ・ 作業前のプレ判読と途中の判読結果フィードバックを省略する。
- ・ 伐採面積の推定には対応する計算式と手順を利用する。

### 1.2.2.2. 地域別の民有林での伐採面積推定

#### ① 都道府県を対象とした推定

- ・ 2021 年および 2022 年の民有林での伐採面積を各都道府県で推定する手法を設計する。
- ・ 新たにサンプルを抽出して目視判読はせず、全国の民有林での伐採面積推定のために伐採マップ（Landsat 時系列マップ）から抽出したサンプル ( $n=31,000$ ) や、その伐採マップから求められる伐採クラスのピクセル数等を利用する。
- ・ 各都道府県の伐採面積を推定するため、(1)各都道府県の区域内に位置するサンプルを利用して推定する手法、(2) 全国の推定値を都道府県別の伐採ピクセル数で配分する手法、(3) 7つの地方の各地方の区域内に位置するサンプルを利用して地方別の伐採面積を推定した後に、都道府県別の伐採ピクセル数で各都道府県に配分する手法、(4) 全国の伐採面積の推定値を都道府県別の素材生産量で配分する手法、の 4 つを検討する。

---

<sup>1</sup> Forest and Agriculture Monitoring Observation with Satellite Technology、林野庁が開発した衛星画像を用いた森林変化点抽出プログラム

## ② スギ人工林伐採重点区域を対象とした推定

- ・ 2022年のスギ人工林伐採重点区域内での伐採面積を推定する手法を設計する。
- ・ 新たにサンプルを抽出して目視判読はせず、全国の民有林での伐採面積推定のため伐採マップ（Landsat 時系列マップ）を用いて抽出したサンプル（ $n = 31,000$ ）のうち、重点区域内に位置するものを推定に利用する。
- ・ 伐採面積の計算手法は全国の民有林での伐採面積推定と同じ。

### 1.3. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採（主伐）面積の推定詳細設計の検証

#### 1.3.1. 全国の民有林での伐採面積推定

##### ① 2021年および2022年の推定結果（Landsat 時系列マップ）

- ・ 2021年および2022年の民有林での伐採面積は以下の通り推定された。
  - － 2021年: 46,165 ha  $\pm$  5,335ha (95%信頼区間)
  - － 2022年: 54,628 ha  $\pm$  6,873ha (95%信頼区間)
- ・ 伐採面積に対する95%信頼区間の比率は2021年が11.6%で2022年が12.6%だった。森林・林業統計要覧の伐採面積よりも推定値は小さかった。
- ・ 1人のみの判読では目視判読誤差が大きく、信頼できる推定値が得られない可能性が高いが、3人以上の判読者で同じサンプル要素の位置を判読すると判読誤差の影響を取り除くことができた。

##### ② 2023年（早期把握方法）の推定結果（Sentinel-2 簡易マップ）

- ・ 2023年の民有林での伐採面積は以下の通り推定された。
  - － 54,248 ha  $\pm$  8,477 ha (95%信頼区間, 伐採面積に対する比率 15.6%)
- ・ 判読作業では、各サンプル要素の位置の高解像度衛星画像が手に入らない場合が多かったために、目視判読の精度が低下したと考えられる。当初、能登半島地震で発生した崩壊地を伐採と誤判読した例が複数あり、伐採面積の推定値に影響を与えた。
- ・ 層化に用いる伐採マップを簡易手法で作成したため、伐採マップの精度が低く、それにより層化の効率が低下したことにより、伐採面積の推定精度が低下したと考えられる。

### 1.3.2. 地域別の民有林伐採での面積推定

#### ① 都道府県を対象とした推定の結果

検討した4つの手法で都道府県別に推定した結果を、行政手続きに基づく都道府県別の主伐面積と比較した。2021年・2022年ともに、都道府県毎に差異はあるものの、おおよその傾向は捉えられている。

伐採面積の多寡による傾向を都道府県別に把握するため、行政手続きによる推計値に対する、各手法での推定値の割合を見てみると、各手法とも行政手続きによる推計値との一定の相関が認められた。特に主伐面積が大きい幾つかの道県においては一定の範囲に収束していた。しかし、それ以外の大半の都府県では、いずれの手法であっても、30%~300%の相違があり、これらの手法で都道府県別の主伐面積を推定することは困難と考えられる。

#### ② スギ人工林伐採重点区域を対象とした推定の結果

- ・ 2022年のスギ人工林伐採重点区域内の伐採面積は以下の通り推定された。
  - 2,477 ha ± 1,270 ha (95%信頼区間, 伐採面積に対する比率 51.3%)
- ・ スギ人工林伐採重点区域内に位置するサンプルのサンプルサイズが小さいため、95%信頼区間の幅が大きくなった。

### 1.4. 行政情報と衛星判読による推計の比較・検証

衛星判読による推定値と行政情報等による推計値を比較したところ、衛星判読による推定値は、行政手続きベースの推計値と規模感が一致したものの、木材供給量ベースの推計値との乖離は20,000~30,000 haと大きかった。

衛星判読による推定値を踏まえると、全国の民有林の伐採面積は、行政手続きベースの推計値と同規模の50,000 ha/年程度である蓋然性が高いものと考えられる。

#### 1.4.1. 木材供給量ベースの推計に用いる換算係数の改善方法の検討

木材供給量ベースの伐採面積の推計値が大きくなっている要因は、材積から面積の割り戻しに用いている換算係数である主伐時の単位面積当たりの平均立木蓄積が、実際に主伐の対象となった林分の蓄積と比べて過小である可能性が挙げられた。

このため、より主伐対象林分の実態に即した換算係数の算出方法を検討するため、森林生態系多様性基礎調査 (NFI) <sup>2</sup>のデータを用いて、①実際に主伐が発生したと考えられる調査

---

<sup>2</sup> 林野庁が実施する、国土全域に4km間隔の格子点を想定し、交点が森林に位置する箇所の現地調査を行う、標本調査。<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/tayouseichousa/index.html>

点から立木材積を推定し換算係数とする方法、②伐採の発生する確率の高い一定の林齢以上の平均立木材積を換算係数とする方法の2種類について検討した。

#### 1.4.2. 木材供給量ベースの推計に用いる換算係数の検証

①の方法では、主伐が行われたと判定された調査点は140点にとどまり、それらの調査点の推定伐採時平均立木材積は401.2 m<sup>3</sup>/ha、推定伐採時平均林齢は52.6年となった。

②の方法では、伐採の発生確率の高い林齢を①の結果を踏まえて11歳級以上として計算したところ、人工林の平均立木材積は、521.7 m<sup>3</sup>/ha、天然林283.0 m<sup>3</sup>/ha、その他307.4 m<sup>3</sup>/ha、全体で381.3 m<sup>3</sup>/haとなった。

この結果をもとに換算係数を検討し、伐採面積を推計したところ、①の手法の場合には69,342ha、②の手法の場合には63,523haと推計された。

いずれの方法にも長短があるが、①の方法に比べ②の方法は人工林の抽出点数が9,000点と一定数が確保されていること、伐採面積の推計値が、衛星判読による推定結果により近いことを考慮すれば、②の換算係数が主伐対象林分の立木材積の実態に近いとする蓋然性が高いと考えられる。

#### 1.5. 調整委員会の開催

林野庁計画課、受託者及び林野庁計画課が指名する助言者で構成する調整委員会を対面・オンライン併用で開催し、業務の進捗管理及び方針を決定した。調整委員会の開催数は3回で、各委員会の開催日及び概要は下表のとおりである。

調整委員会	日時	概要
第1回	令和6年9月3日	業務の目的の確認、作業・解析手法の説明と質疑応答、想定される課題の整理等
第2回	令和6年12月17日	進捗の確認、一部結果の報告と質疑応答等
第3回	令和7年2月7日	結果報告と質疑応答、取りまとめに向けた方向性の確認等

## 2. 背景と目的

我が国の森林資源が本格的な利用期を迎える中、人工林資源の循環利用の推進が重要であり、特に適正な伐採への誘導と再生林の確保が求められている。

こうした施策の検討や効果の検証のためには、各地域における伐採（主伐）や造林の状況を適確に把握することが必要である。一方、全国の伐採（主伐）面積の把握については、従来、木材利用量から推定する手法が用いられているものの、地域（都道府県）毎の算出や森林の種類（人工林・天然林）毎の推定が困難という課題がある。このため、地域毎や森林の種類毎の伐採（主伐）面積の推定については、森林法に基づく伐採造林届等の行政情報を元にした推計等も行われてきたが、木材利用量による全国レベルの推定と地域レベルの推定の情報源とが異なるため、直接的な比較が困難であるといった課題がある。

また、伐採（主伐）後の再生林の割合（再生林率）についても、従来、一定期間内の伐採（主伐）面積の推定値を分母に、それとは必ずしも一致しない一定期間内の造林面積を分子として算出されてきたが、ある箇所での伐採と造林の実施時期がずれることも多く、傾向を把握するに留まっている。

こうした中で、近年、衛星画像等のリモートセンシング技術の普及が進んできており、こうした技術を用いて伐採面積の推定等を行っている学術研究成果も見られる。

本調査については、令和6年4月3日にスギ花粉発生源対策推進方針（平成13年6月19日付け13林整保第31号林野庁長官通知。最終改正：令和6年4月3日付け5林整森第288号）が改正されるなど、今後、地域毎の伐採等の動向をより早期かつ的確に把握することが求められる中で、伐採（主伐）面積や再生林率について、リモートセンシング技術や各種行政情報等を用いて、全国レベルと地域レベルの推定をより整合した形で効率的に実施する手法を検討するものである。なお、国有林の伐採の実績は業務統計により把握されていることから、本事業では民有林の主伐を対象に各種推定を行うこととする。

以下本報告書においては、事業の仕様書に示された事業内容に従いつつ、①従来の行政情報による推計（整理・結果）、②衛星画像を活用した推定（手法整理・設計・検証）、③衛星判読と行政情報等による推計の比較（比較結果・改善方法）、④調整委員会の開催の順に沿ってそれぞれ成果を記述した。

特に衛星画像を用いた手法では、伐採マップを用いた層化無作為抽出法によって伐採面積を推定する手法について検討する。

- ・2021年および2022年の全国の民有林における伐採面積を推定する手法
- ・2023年の全国の民有林における伐採面積を早期に推定する手法
- ・2021年および2022年の各都道府県の民有林における伐採面積を推定する手法
- ・2022年のスギ人工林伐採重点区域内における伐採面積を推定する手法

### 3. 行政情報の集計等による伐採（主伐）面積の推計手法の整理

#### 3.1. 行政情報の集計等による推計手法

伐採面積の推定方法のうち、従来から用いられている行政情報を用いた民有林の伐採面積を推定する以下2通りの方法について整理する。

##### （ア）行政手続の積み上げによる推計方法（全国・都道府県別）

都道府県毎に集計した、森林法に基づく伐造届出書等（伐造届出書、緊急伐採の事後の伐採届出、経営計画に基づく伐採届出、保安林立木伐採許可・事前届出、林地開発許可）の行政手続に記載された主伐面積の積み上げにより推計する方法である。なお、重複計上を回避するため、経営計画に基づく伐採届出のうち、保安林立木伐採許可・事前届出の面積は、積み上げから除外している。

##### （イ）木材供給量からの推計方法（全国のみ）

木材需給表の「国内生産」を基に、間伐材利用量・国有林出材量を差し引いて算出した民有林主伐材積から、別途得られた平均蓄積を換算係数として割り戻すことにより伐採面積を推計する方法であり、森林・林業統計要覧において「立木伐採面積」として公表されている。

#### 3.2. 行政情報の集計等による伐採（主伐）面積の推計結果

##### （ア）行政手続の積み上げによる推計方法

林野庁において整理された平成30年度から令和5年度までの推計結果を表3-1に示す。期間を通して概ね50,000～55,000haの値で推移している。

表 3-1 行政手続きの積み上げによる推計結果

年度	H30	R1	R2	R3	R4	R5
面積(ha)	53,759	54,003	50,825	54,677	53,194	50,378

行政情報の積み上げによる集計方法は、実際の伐採が行政手続を行った翌年以降に行われる「時間差」や、手続を行ったものの伐採は実行されない「不実行」といった、不確実な要素が一定数含まれ、実際に生じている伐採面積との乖離は必ず生じる。このうち「時間差」については、毎年度の発生割合が一定と仮定すれば、年度間で相殺すると考えることも可能だが、「不実行」については年度間で相殺されることはないため、推計値はその分過大となっている可能性がある。

特に宮崎県・鹿児島県など南九州地域では、無届伐採を回避するため、伐採する可能性のある箇所について幅広く伐採造林届出書を出す傾向にあり、地域別に評価する場合には過大傾向となる点に留意が必要である。

また、行政手続のうち伐採造林届出書に記載する面積は、実測面積とはされていないことなどから、実際に生じている伐採面積をどの程度的確に捉えられているかは不透明である。

#### (イ) 木材供給量からの推計方法

手順は以下の通りである。

- ・ 木材需給表における国内生産量から間伐材利用量を差し引き、主伐材積を計算
- ・ 主伐材積から国有林分を差し引き、民有林主伐材積を計算
- ・ 民有林主伐材積を、林野庁業務参考資料から推定した単位面積当たりの立木材積 ( $m^3/ha$ ) で割り戻し、民有林の主伐面積を推計する

森林・林業統計要覧から平成 30 年度～令和 4 年度の民有林における立木伐採面積を抜粋すると、表 3-2 のとおり、概ね 80,000～90,000ha の間で推移している。

表 3-2 木材供給量からの推計結果

年度	H30	R1	R2	R3	R4
面積(ha)	79,365	79,365	79,365	82,122	87,921

木材供給量からの推計方法は、複数の仮定をおいて算出しており、特に単位面積当たりの立木材積は都道府県からの聞き取りを元に算出しているなど、主伐の実態を押し量るにあたり、不確実な要素を多分に含むものとなっている。

### 3.3. 行政情報による推計の比較と考察

(ア) 行政手続ベースの推計と (イ) 木材供給量ベースの推計を比較すると (図 3-1)、木材供給量ベースの推計値の方が 20,000 ha 程度大きく推計されている。

前述したとおり、いずれの推計手法も不確実な要素を含んでいるため、実際に生じている伐採面積をどの程度的確に捉えられているかは不透明であり、また、どちらがより確からしいかを判断することは難しい。

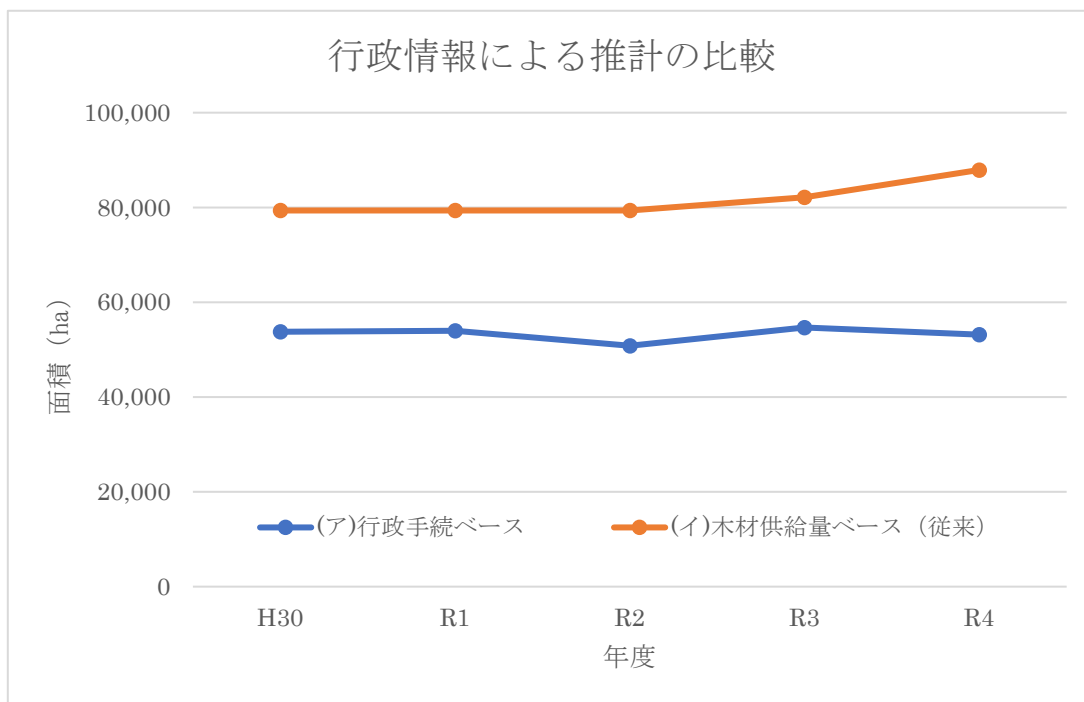


図 3-1 推計結果の比較

## 4. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採（主伐）面積の推定

行政情報等による従来の間接的な伐採面積推計とは別に、衛星画像等のリモートセンシング技術を活用し、観測データから直接的に伐採面積を推計する方法について整理する。

### 4.1. 語句の定義

#### （伐採）

本報告書での伐採とは主伐を指すこととし、間伐・除伐等の主伐ではない伐採は調査対象としない。主伐は皆伐と択伐に分けられる。立木が実際に伐採された区域の面積を伐採面積と表し、伐採後の土地利用が森林かどうかは問わない。

#### （標本）

母集団の一部。サンプルとも記載する。標本の大きさをサンプルサイズという。大きさ  $n$  の標本を抽出したとき、そのうちの一つを指す場合はサンプルとはいわず、サンプル要素や標本の要素などという。

#### （信頼区間）

標本から求めた推定値の確実性を表す。95%信頼区間は、同じ方法で標本抽出を繰り返したとき 100 回のうち 95 回程度は真の値を含む範囲を表す。本報告書では、信頼区間は標準誤差から計算し、標準誤差は分散から計算するため、これらを相互的に利用する場合がある。

#### （推定量）

母集団の特性値を推定するための計算式もしくは計算手順を指す。「不偏推定量」は、期待値が真の特性値と一致する推定量のこと。

#### （User's accuracy, UA もしくは User's 精度）

利用者精度。各クラスの分類結果のうちどの程度が評価データと一致したかを表す。

#### （Producer's accuracy, PA もしくは Producer's 精度）

作成者精度。評価データのうちどの程度が分類結果と一致したかを表す。

#### （伐採マップ）

所定の期間内で伐採が行われた箇所を示す分類図もしくは地図を指す。本報告書では、決められた対象地内について、機械学習等の手法で年ごとに伐採が行われた箇所を抽出した結果を表すラスターデータを指す。

### (リファレンスデータ)

特定のサンプル要素の位置での実際のクラスを表す情報。それぞれのサンプル要素の位置での該当する時期に対して、最も確からしいカテゴリのクラス（リファレンスクラス）を割り当てることで作成される。

## 4.2. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採（主伐）面積の推定

### 4.2.1. 推定手法の整理と提案

衛星データを利用した伐採面積推定に利用できる手法・設計は数多く存在するが、本節ではその中でも代表的な 1) 単純無作為抽出法、2) 層化無作為抽出法、3) ピクセルカウント法について検討する。本章では、それぞれの手法で伐採面積を推定する際の考え、計算方法、推定誤差について整理する。単純無作為抽出法では衛星データを利用しないが、事後的に衛星データの情報を利用する手法が存在すること、および層化無作為抽出法での推定の基礎となるためここでの検討に含める。

衛星データ（衛星画像）等のリモートセンシング技術は、伐採面積などの推定の効率性や精度の向上を目的として活用できる。衛星データを用いた標本調査の基本的な考えについては Olofsson et al. (2014)、Stehman and Foody (2019)などが参考になる。また、日本語の文献には、志水（2023）がある。ここでは簡潔に概略を記載する。

何らかの母集団の特性値を知りたい場合、全数を調査すれば真値が得られるが、労力と時間の点で現実的でない場合がある。そこで母集団の一部（標本、もしくはサンプル）を抽出して調査し、その結果から母集団の特性値を推測する手法がとられる。この調査を標本調査といい、本節ではこの考えに基づき日本における全体と都道府県別、もしくは特定の区域の伐採面積を推定する手法を検討する。基本的には、a) 対象とする地域からサンプルを抽出し、b) そのサンプルに最も確からしいリファレンスクラス（伐採・非伐採）を衛星画像等の目視による判読（目視判読）等で割りあて、c) 適切な計算手法で伐採面積を推定するという手順を踏む。志水（2023）に示されているように衛星データを用いてクラス面積と精度を推定するときには推奨される手法と基準があり、それぞれ **Sampling design** (=サンプル抽出手法)、**Response design** (=リファレンスデータの作成手法)、**Analysis** (=推定値の計算手法) に対応する項目を適切に決めることが求められる。面積推定と精度評価をこれらの3つの構成要素にわたる手法はよく用いられており、例えば **Global Forest Observations Initiative (2020)**でも衛星データを用いた土地被覆変化分類の精度評価で推奨される手法として記述されている。そのため、空間評価単位などの **Sampling design**、**Response design**、**Analysis** を適切に設定することが重要となるが、本章では必要なサンプルサイズや労力の検討を行うことを主な目的としているため、面積推定と精度評価の計算に大きな影響を与えない点については厳密には定義しない。例えば、日本の民有林全体の伐採面積を推定する際、空間評

価単位が 10m でも 30m でも母集団は十分に大きいことから計算には影響がないため、厳密に決めなくても計算が可能である。具体的な設定は詳細設計の際に詳しく検討する。

また、標本調査では、サンプル抽出に起因する変動（≒標本誤差）以外に、結果の変動に与える要因がないと仮定して面積と精度を計算するが、実際には目視判読の誤差や集計ミスなどの非標本誤差が含まれる。本章では標本誤差に加え目視判読に起因する非標本誤差の影響も検討する。

#### 4.2.1.1. 単純無作為抽出法

##### （概要）

単純無作為抽出法は、事前に母集団の特徴に関する情報を利用せずに母集団から無作為に標本を抽出して母数（伐採面積など）を推測する手法である。日本全体における年ごとの伐採面積は森林の 0.2～0.3%程度と想定され、推定の 95%信頼区間を伐採面積の±10%程度に収めたい場合、16 万程度のサンプルサイズが必要となることから、伐採面積の推定においては効率が悪い手法となる。さらに、各都道府県の伐採面積について同様に±10%程度に収めたい場合、1,126.6 万程度のサンプルサイズが必要となる。基本的には衛星画像等を用いた目視判読によってサンプルを調査することから、労力が非常に大きく継続性は低い。既存の目視判読データを利用した場合でも推定における計算方法等は同じだが、判読における伐採の定義の違いなどいくつかの点で留意が必要となる。

##### ① 推定の考えと算出方法

##### （推定の考え）

事前に母集団の特徴に関する情報を利用せずに、母集団から無作為にサンプル（標本）を抽出して母数を推測する手法である。計算の考えは、基本的な標本調査と同様であり、サンプル抽出に由来する変動を考慮して母数（伐採面積など）を推定する。伐採面積の推定にあたっては、一定の大きさの区画（10m 格子など）を母集団の要素としてサンプル抽出し、各サンプル要素に対して伐採・非伐採などのリファレンスクラスを割り当てて伐採面積割合を推定する。推定した伐採面積割合に全体の面積を掛けることで伐採面積と信頼区間を求める。

リファレンスクラスについては、通常、高解像度衛星画像や空中写真などを人間（判読者）が目視で判読（目視判読）して割り当てる。この目視判読には、本来伐採である箇所を非伐採とする、もしくは本来非伐採である箇所を伐採とする誤差が発生し得る。これは判読者ごとの判読の変動による誤差と捉えることができる。目視判読誤差の定量化にあたっては、サンプル抽出による誤差に加え、測定の誤差（≒目視判読誤差）が発生する 2 段階のプロセスと捉える。判読者による変動を考慮しない場合、変動は過少になる。

### (算出方法：面積割合とサンプルサイズ)

単純無作為抽出法において、面積を求めたいクラスを $k$ とする。クラス $k$ の面積割合 $\hat{p}_k$ は、単に調査した結果の割合として以下の式で推定できる。

$$\hat{p}_k = \frac{n_k}{n} \quad (1)$$

ここで、 $n_k$ は調査でクラス $k$ と判読されたサンプル要素数、 $n$ は調査全体のサンプルサイズである。面積割合推定の分散は下記の式で求められる (Stehman et al. 2021)。ここでは、母集団が充分大きいものと仮定して、有限修正項は無視できるものとする。

$$\hat{V}(\hat{p}_k) = \hat{p}_k(1 - \hat{p}_k)/(n - 1) \quad (2)$$

推定の信頼区間の半値幅 $d$ は、分散の推定値の平方根をとって標準誤差を計算した上で、信頼水準に相当する値 $z$  (標準正規分布でのパーセンタイル値であり 95%信頼区間の場合 $z = 1.96$ ) を乗じて以下の通り求められる。

$$d = z \cdot \sqrt{\hat{V}(\hat{p}_k)} \quad (3)$$

推定結果は、求めた面積推定値と 95%信頼区間を利用して  $\hat{p}_k \pm d$  のような形で表すことが多く、本報告書でもそのように表記する。ここで、標本調査に必要なサンプルサイズを求めるために上記の式を整理すると以下の通りに表される(Cochran 1977)。なお、ここでは $n - 1$ を $n$ として整理している。

$$n = \frac{z^2 \hat{p}_k (1 - \hat{p}_k)}{d^2} \quad (4)$$

仮に 95%信頼区間の半値幅が伐採面積の 10%に相当するといったような設定で、標本調査に必要なサンプルサイズ $n'$ を求める場合、 $d = 0.1 \cdot \hat{p}_k$ とおけば良く、クラス $k$ の面積割合を用いて以下の式で表すことができる。

$$n' = 100 \cdot \frac{1.96^2 (1 - \hat{p}_k)}{\hat{p}_k} \quad (5)$$

式でわかる通り、95%信頼区間の範囲を伐採面積の 10%ではなく 5%と (1/2 になるように) 設定すると必要なサンプルサイズは  $2^2=4$  倍になる。

### (算出方法：測定誤差の考慮)

上記の面積推定およびサンプルサイズの計算では、非標本誤差がないものと仮定して計算している。実際の標本調査では、標本誤差に加え非標本誤差が存在しうる。非標本誤差には、データの入力ミスや調査漏れ、測定誤差などがあるが、ここでは、測定誤差に着目して定量化する手法を示す。特に、衛星データを用いた解析では、目視判読の際に判読者間ではばらつきが生じることが知られており、このばらつきを測定誤差とみなして定量化する。ここでは、いくつかある手法のうち、単純測定モデル(Simple measurement model) (Särndal et al. 1992; Stehman et al. 2022) を利用する。

ここで、面積推定全体の分散を $V_{total}$ とし、2つの成分に分けられると考える。

$$V_{total} = V_1 + V_2 \quad (6)$$

式中の $V_1$ は測定の分散 (measurement variance)、 $V_2$ はサンプルによる分散 (sampling variance) をあらわす。単純測定モデルでは、面積推定を2段階のプロセスと捉える。1つ目はサンプル抽出であり、サンプル抽出誤差 $V_2$ が発生する。2つ目はサンプルの測定において測定の誤差 $V_1$ が確率的に発生すると考える。

ここで、 $V_1$ 自体がサンプル抽出で変動する分散成分を含むため、全数を測定したときの分散成分 $V_{1cen}$ とサンプル抽出の分散成分である $V_{1sam}$ にさらに分ける。

$$V_1 = V_{1cen} + V_{1sam} \quad (7)$$

ここで、求めたい分散は、判読に起因する分散 $V_{1cen}$ であり、観測値の分散 $\sigma^2$ や測定の相関 $\rho$ の真値が分かる場合、単純無作為抽出法においては以下の通り計算できる。

$$V_{1cen} = [1 + (N - 1)\rho]\sigma^2/N \quad (8)$$

$$V_{1sam} = (1 - n/N)(1 - \rho)\sigma^2/n \quad (9)$$

以上をサンプルから推定する必要がある。ここで、サンプル抽出での全体のサンプルサイズを $n_s$ とし、そのうち一部のサブサンプル $n_r$ のサンプル要素 $k$ について2回の反復測定の結果 $y_{k1}$ 、 $y_{k2}$ が手に入るとき (つまり同じ箇所について2回の目視判読をするとき)、2回の測定の差を以下の通り表すことができる。

$$z_k = y_{k1} - y_{k2} \quad (10)$$

ここでは、測定の結果が求めたいクラス $c$ である場合は $y_k = 1$ 、そうでない場合は $y_k = 0$ として計算する。単純無作為抽出法における $V_{1cen}$ の不偏推定量は、以下の通りとなる (Stehman et al. 2022)。

$$\hat{V}_{1cen} = \frac{N^2}{2n_r} \sum_r z_k^2 + \frac{N(N-1)}{2n_r(n_r-1)} \sum_r \sum_{k \neq l} z_k z_l \quad (11)$$

全体の分散の不偏推定量は以下の通り。

$$\hat{V}_{total} = \hat{V}_{stand} + \hat{V}_{1cen} \quad (12)$$

ここで $\hat{V}_{stand}$ は測定誤差を考慮しないサンプル抽出による分散と同じであり、2回の測定を用いて以下の通り表される。

$$\hat{V}_{stand} = N^2 \frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n-1} \quad (13)$$

ここで、

$$\hat{p} = (\hat{p}_1 + \hat{p}_2)/2 \quad (14)$$

であり、 $\hat{p}_1$ と $\hat{p}_2$ はそれぞれ1回目と2回目のリファレンスクラスの推定割合を指す。サブサンプル $n_r$ が小さいと推定値には変動が生じる。全てのサンプル要素を2回測定して $n_r = n_s$

としてももちろん構わない。なお、上記の式 (11), (13)は母集団の和を求める推定量なので、面積割合を推定するときには実際には $N^2$ で割って計算する。

#### (前年の伐採面積を早期に推定する手法)

計算方法に影響はないため、上記の手法と同じである。

## ② 推定誤差の整理

#### (必要サンプルサイズの検討：全国と都道府県)

ここで、年あたりの伐採面積が6万 ha で対象地森林面積が2,500万 ha と仮定した場合、 $\hat{p}_k=0.0024$ (=6万 ha/2,500万 ha)であり、95%信頼区間の範囲を伐採面積の10%とするために必要なサンプルサイズを式(5)より計算すると、 $n' = 159,683$ となる。

$$n' = 100 \cdot \frac{1.96^2(1 - 0.0024)}{0.0024} = 159682.5$$

同式で伐採面積が8万 ha と仮定した場合は $n' = 119,666$ 、4万 ha と仮定した場合は $n' = 239,716$ となる。 $\hat{p}_k=0.5$ を境に伐採面積割合が0または1に近づくほど必要なサンプルサイズは増大する。民有林において、伐採面積5.4万 ha で森林面積1,800万 ha と仮定した場合、必要なサンプルサイズは $n' = 127,669$ となる。なお、伐採面積は通常、サンプル抽出の実施前にわからないことが多いため、必要とするサンプルサイズの計算では伐採面積を仮定する必要がある。

対象地は有限母集団であるが、母集団は充分に大きいため、有限修正項は無視できる。そのため、上記の計算は母集団が充分大きければどの母集団にもあてはまることになる。つまり、47都道府県それぞれでサンプル抽出を実施して、それぞれについて推定の95%信頼区間を各都道府県の伐採面積の10%以内におさめたい場合、都道府県別の伐採面積割合がほぼ同じと仮定すると159,693を47倍した750万程度のサンプルサイズが必要となると見込まれる。実際には都道府県ごとに伐採面積割合は異なるので、衛星データによる伐採抽出(Shimizu and Saito 2021)のデータを利用して計算すると、約1,126.6万程度のサンプルサイズが必要となる(ここでは、詳細データと計算過程は省略する。)

単純無作為抽出法では、サンプルに含まれる伐採クラスの割合は真の伐採面積割合と同じと期待できるため、概ね0.2~0.3%程度である。そのため、サンプルサイズ10,000のサンプルを抽出した場合、伐採クラスに相当するサンプルはそのうちの20~30程度となり、推定が安定しない要因となる。基本的には伐採面積割合が小さくなるほど、95%信頼区間を伐採面積のx%以内にするために必要となるサンプルサイズは増加する。

#### (ARD 調査の利用)

新たに標本調査を行うのではなく、既存の調査データを利用することで労力を削減できる場合がある。例として、森林吸収源インベントリ情報整備事業における衛星画像等による

土地利用変化状況調査（以下、ARD 調査）を利用することが考えられる。ARD 調査では 2 年毎の衛星画像の目視判読を実施している。判読点は約 74 万点（500m 格子）であり、系統抽出法の一つと捉えることができる。系統抽出法では、分散が過小になることが指摘されているものの単純無作為抽出法と同じ計算式が不偏推定量となる。仮に ARD 調査で伐採が本事業と同様に定義され、目視判読されるとすると、伐採面積が年 6 万 ha で対象地面積が 2,500 万 ha と仮定した場合、上記の(2)~(3)式を利用して 2 年分の伐採面積（12 万 ha）を  $\pm 3.3\%$  の 95%信頼区間で推定可能になると見込まれる。

$$95\%CI = 1.96 \cdot \sqrt{0.0048(1 - 0.0048)/(740000 - 1)} = 0.00015748$$

$$95\%CI/\hat{p}_k = 0.00015748/0.048 = 0.0328 \approx 3.3\%$$

ただし、ARD 調査は、単年度ではなく 2 年間の推定値であり、74 万の判読点のうちの半分をそれぞれの年に割り振って判読したと仮定すると、単年の伐採面積は  $\pm 6.6\%$  の 95%信頼区間で推定できると見込まれる。

#### （衛星データを用いた事後層化する場合の効果）

単純無作為抽出法（もしくは系統抽出法）を行った後、伐採面積推定の計算に衛星データの分類結果等の補助情報を用いる手法が存在する（事後層化）。この手法では十分にサンプルサイズが大きければ、後で説明する層化無作為抽出法のうち、比例割当による手法とほぼ同等の精度が得られるとされる（Cochran 1977）。つまり、衛星データの補助情報を利用することで、精度を向上させることができる。計算式は層化無作為抽出法と同じであるためここでは省略するが、Producer's accuracy (Producer's 精度, PA) = 80%, User's accuracy (User's 精度, UA) = 90%の伐採マップを利用すると仮定して式 (15)~(17)を用いて計算すると、サンプルサイズ  $n' = 159,683$  のときの伐採面積推定値の 95%信頼区間幅は伐採面積の  $\pm 5.3\%$  に相当するので、衛星データを利用しない場合の値 ( $\pm 10\%$ ) と比較して精度が向上する。単純無作為抽出法であっても、衛星データの補助情報があれば、より確からしい推定値を得ることができる。

#### （測定誤差の考慮）

目視判読でサンプルのリファレンスクラスを決定する際、多くの場合、複数人で判読する。1 人ですべてを判読すると、最終的に得られる面積推定値はその判読者の技量に依存して変動する。また、判読するサンプル要素数が多い場合、労力の面から 1 人では実施が難しい場合もある。そのため、複数人で判読し、その結果を統合することがよく行われるが、この際、目視判読の判読誤差を考慮する必要がある。例えば、日本の森林を対象に、単純無作為抽出法によるサンプル  $n=159,683$  を異なる 2 人の判読者が独立して判読した場合を仮定する。1 人目が 352 のサンプル要素を伐採クラスとし、残りを非伐採クラスとしたとし、2 人目は 1 人目の伐採クラスのうち 5%にあたる 18 サンプル要素を非伐採クラスとし、非伐採クラスのうち 0.05%にあたる 80 サンプル要素を伐採クラスと判読したとする。ここで、判読者の

判読の変動を考慮しないで伐採面積とその信頼区間を推定すると、結果は上記とほぼ同じで、伐採面積の推定値は 6.0 万 ha で 95%信頼区間は伐採面積の約 10%に相当する $\pm 0.6$  万 ha が得られる。

しかし、目視判読の変動を考慮して式(11)~(14)で計算すると、分散は 83%過小に見積もられており、実際の伐採面積推定の 95%信頼区間は $\pm 1.5$  万 ha となる。2 人の判読者が同等の能力をもっていると仮定すると、1 人の判読者のみで判読する場合には、上記のような変動が生じると捉えることができる。また、完全に正しい目視判読結果を得ることができないので、実際に目視判読にどの程度のバイアスがあるかはわからないが、判読者によっては、伐採面積推定値が実際よりも過大、あるいは過小になることがありうる。その場合は当然、95%信頼区間内に真の伐採面積を含む可能性は低下する。一般的には、判読の誤差は面積推定の偏りを引き起こす。今回の例では 2 人の判読者の判読誤差の割合について 5%と 0.05%と低い数値を仮定したが、実際はもっと大きな値になる可能性もある。

この変動を減少させるためには、1 つのサンプル要素の位置について複数の判読者で判読し、その判読結果を統合することが重要とされている。異なる判読者間では判読結果に変動があるが、その結果を統合することで、より確からしい判読結果が得られる。McRoberts et al. (2018) では、3 人以上の判読結果の最頻値を取ることによって分散推定値が地上調査とほぼ同等となることが示されている。しかし、伐採面積の推定にあたって望ましい判読者数はよくわかっていない。

#### (行政データとの差)

判読に利用する衛星データなどの取得時期によっては、サンプル抽出を利用した推定の対象となる期間が行政データの集計年度(年次)と一致しない可能性がある。また、行政データにおける伐採面積と目視判読による伐採面積は必ずしも定義が一致しないことがある。こうした差異は行政データと比較したときの差の要因となる。

#### (前年の伐採面積を早期に推定する手法)

標本調査で伐採面積を求める場合、基本的には目視判読でサンプル要素にリファレンスクラス(伐採・非伐採)を割り当てるため、目視判読に用いる衛星画像が取得・公開されていることが必要になる。前年の伐採面積を推定するためには、判読時点で前年の伐採がわかるデータが必要であるが、時間が経っていないとそうしたデータが手に入らない場合もある(例: Google Earth の画像)。この場合、他の解像度が低い入手可能なデータで代替することが必要になり、目視判読の正確性が下がるため、結果として伐採面積の推定精度が低下する(95%信頼区間の幅が大きくなる)可能性がある。

### ③ 継続性、労力や経費等の評価

単純無作為抽出法による利点は、不偏推定量を利用できるので平均的に偏りのない推定値が得られることにある。また、事前に母集団の特徴に関する情報が不要なので、伐採マップ等を用意しなくてもよい利点もある。ただし、事後層化をする場合には伐採マップが後で必要となる。

単純無作為抽出法でサンプル調査を行う場合、必要なサンプルサイズを踏まえると現地調査の実施は不可能に近い。基本的には衛星データ等の目視判読を実行する。この手法自体はよく利用されるため問題ないが、目視判読の精度と労力が問題になる。日本全体の伐採面積をある程度の精度で推定する場合、目標とする精度の設定によってはサンプルサイズを数万程度にすることができるので目視判読の実施は現実的だが、各都道府県の伐採面積の推定値について95%信頼区間を伐採面積の10%にする場合、必要となるサンプルサイズは1,126.6万点となり、労力の観点から無理が生じる。また、伐採面積割合の大きい都道府県では、年間で森林の0.7%が伐採されていると仮定した場合、推定の95%信頼区間を伐採面積の10%にしようとする、サンプルサイズ $n'=54,495$ だが、伐採面積割合が小さい都道府県で年間の伐採面積割合が0.1%に満たないような場合、サンプルサイズ $n'=3,841,216$ 以上となり、指数関数的に増加する。「伐採面積の10%に相当する95%信頼区間幅」になるように必要なサンプルサイズを算出すると、伐採面積が小さくなればなるほど必要なサンプルサイズが増大していく。そのため、明らかに伐採面積割合が小さいと事前にわかっている場合は、非現実的なサンプルサイズとなることを避けるため、目標とする95%信頼区間幅の設定を変えることも方法の1つである。

日本全体に対してサンプル抽出を行い目視判読した結果から、各都道府県の区域内に位置するサンプル要素を再度利用し、各都道府県の伐採面積を算出することもできる。このとき、各都道府県の区域内に位置するサンプル要素の数は、日本全体のサンプルサイズよりも小さくなるため、式(2)から分散推定値は大きくなる。基本的に都道府県単位では必要なサンプルサイズには足りないことが多いと想定される。

#### 4.2.1.2. 層化無作為抽出法

##### (概要)

層化無作為抽出法は、母集団をいくつかの層に分け、層内で無作為抽出する手法である。層化抽出はいくつかの組み合わせがあるが、衛星画像解析では層化無作為抽出法が一般的である。衛星データの情報を利用することで、単純無作為抽出法よりも効率的なサンプル抽出が可能となる。伐採面積推定の95%信頼区間を伐採面積の $\pm 10\%$ 程度に収めたい場合、日本の民有林全体では約3万程度のサンプルサイズが必要となる。各都道府県について同様に $\pm 10\%$ 程度に収めたい場合、日本全体の合計で約236万程度のサンプルサイズが必要となる。そのため、目視判読に要する労力は、日本の民有林全体での伐採面積を推定する

場合は現実的だと考えられるが、各都道府県の伐採面積を推定する場合は多大となり、現実的ではない。ある程度仮定をおくことで、全国の伐採面積推定に利用したサンプルを再度利用して各都道府県の伐採面積を省力的に推定できるが、推定の妥当性は検証が必要である。伐採面積推定の 95%信頼区間幅は層化にも影響を受けるため、層化に用いる伐採マップ等の精度も重要となる。具体的には伐採に相当するクラスの Producer's 精度が高い伐採マップを利用することで、必要なサンプルサイズを減少させることができる。また、層化の工夫で必要なサンプルサイズを減少させることができる場合もある。判読作業における判読誤差も考慮する必要があり、判読誤差を無視すると伐採面積推定の信頼性を過度に高く見積もる場合がある。各サンプル要素を複数の判読者で判読し、その結果を統合することで判読誤差を減少させることができる。

## ① 推定の考えと算出方法

### (推定の考え)

衛星データの解析では層化無作為抽出法はよく利用されており、精度評価と面積推定にあたって推奨される手法である。母集団をいくつかの層に分割し、それぞれの層で無作為抽出を行う。層ごとに抽出率を変えられるため、伐採面積の推定にあたっては面積割合が小さいと推測される伐採クラスからもある程度サンプルを抽出できる。そのため、単純無作為抽出法よりも効率が良いと期待される。

層化のためには、伐採マップなどの対象地を分割するためのマップ（データ）が必要となる。層化に用いるマップは、サンプル抽出によって目標精度を達成するために必要なサンプルサイズを減らせることができ、推定が効率的になるのであればどのようなマップでもよい（推定が効率的になるのであれば、伐採面積推定に伐採マップではないマップを用いてよい）。通常、どのようなマップでもある程度の誤差を含み、マップの誤差が大きいと面積推定の精度が低下する（95%信頼区間の幅が大きくなる）。事前にマップの精度を知ることが基本的には無く、通常はマップの精度評価と同時に面積推定を実施することになる。しかし、面積の推定にあたって必要となるサンプルサイズを計算するためにはマップの精度が必要であるため、事前に精度を仮定する必要がある。

面積推定では、層化に用いるマップの精度によって同じサンプルサイズでも求める精度が変わる。ただし、分散の大小に影響はあるが、不偏性には影響がないので、どのようなマップを利用しても偏りは生じない。

以下に、伐採マップに応じて層化して伐採面積を推定する場合の計算式を示す。伐採マップは伐採・非伐採の2クラスを想定するが、3クラス以上でも計算できる。ただし、サンプル抽出を実施した後に伐採マップを作成し直したり、伐採マップのクラスの定義を変更したりした場合、以下の式は不偏推定量でなくなるので注意が必要である。そうした場合は後述するマップのクラスと層が異なる場合のサンプル抽出に対応した推定量（Stehman 2014）を利用する必要がある。以下の計算は志水（2023）の記載に従う。

(算出方法：分散とサンプルサイズ)

伐採マップでのマップ結果を層として利用し、サンプル抽出後にサンプルに対して目視判読などでリファレンスクラスを割り当てて、マップクラス*i*とリファレンスクラス*j*のクロス集計表から誤差行列を作成したとき、サンプルと面積割合を利用して以下の通り各セル値 $\hat{p}_{ij}$ を推定できる。

$$\hat{p}_{ij} = W_i \frac{n_{ij}}{n_{i+}} \quad (15)$$

ここで、 $W_i$ はマップでのクラス*i*の面積割合、 $n_{ij}$ はマップ分類でクラス*i*かつリファレンスデータでクラス*j*のサンプルの要素数、 $n_{i+}$ はクラス*i*のサンプルサイズである。

目的とするクラス（例えば伐採クラス）を*k*としたとき、クラス*k*の母集団での面積割合の推定値 $\hat{p}_{+k}$ は、誤差行列の成分の推定値 $\hat{p}_{ik}$ （式 15）を用いて次式で計算される。ここで伐採・非伐採の 2 クラスの場合、クラス数*c* = 2である。

$$\hat{p}_{+k} = \sum_{i=1}^c \hat{p}_{ik} \quad (16)$$

クラス*k*の面積割合の分散推定量は、次式の通りである。

$$\hat{V}(\hat{p}_{+k}) = \sum_{i=1}^c W_i^2 \hat{p}_i (1 - \hat{p}_i) / (n_{i+} - 1) \quad (17)$$

ここで、 $\hat{p}_i = \hat{p}_{ik} / p_{i+}$ であり、伐採マップの層クラス*i*でのクラス*k*の面積割合の推定値を表す。

次に目標とする推定の 95%信頼区間幅を達成するために必要なサンプルサイズを計算する。層化無作為抽出法では、全体のサンプルサイズと各層に割り当てるサンプルサイズの 2 つを決める必要がある。層化無作為抽出法では、面積分散を最小にするサンプル割当の計算方法（Neyman 割当）がある。Neyman 割当ではマップ面積とマップ精度がわかれば最適割当を計算できるので、事前にマップ精度の仮定をおくことでサンプル割当の割合を計算できる。全体のサンプルサイズを計算すれば、その全体のサンプルサイズにサンプル割当の割合にかけて、各層のサンプル割当を計算できる。ここで伐採と非伐採の 2 クラスとして式 17 を整理すると以下ようになる。

$$n = \frac{1}{\hat{V}(\hat{p}_{+k})} \left( \frac{\hat{p}_1(1 - \hat{p}_1)}{r_1} + \frac{\hat{p}_2(1 - \hat{p}_2)}{r_2} \right) \quad (18)$$

ここで $r_1$ は最適割当の結果配分されたサンプルにおける層 1 の割合で $r_1 = n_{1+}/n$ で計算される。同様に $r_2$ はサンプルにおける層 2 の割合で $r_2 = n_{2+}/n$ で計算される。 $n$ は全体のサンプルサイズを指し、 $n_{1+}$ および $n_{2+}$ はマップのクラス 1 と 2 のサンプルサイズを指す。

層数*H*のマップのクラス*h*の最適割当は以下で計算できる（Cochran 1977; Stehman 2012）。

$$n_{h+} = n \frac{N_h S_h}{\sum_{h=1}^H N_h S_h} \quad (19)$$

$N_h$ はクラス *h* のマップでの要素数だが、対象地全体の要素数*N*で割った $W_h$ もしくは $p_{h+}$ でも最終的には同じ結果が得られる。 $S_h$ は層 *h* の標準偏差であり、 $S_h = \sqrt{\hat{p}_h(1 - \hat{p}_h)}$ で求められる。式(19)を整理し、より一般的な形は以下の通りとなる。

$$n = \frac{(\sum W_h S_h)^2}{\hat{V}(\hat{p}_{+k})} \quad (20)$$

面積の代わりに全体精度をおく場合が一般的である（志水 2023）。そのとき  $S_h = \sqrt{U_h(1-U_h)}$  であり、2クラスのときは  $\sqrt{\hat{p}_h(1-\hat{p}_h)}$  と等しいので下式は同じ結果が得られる。

$$n = \frac{(\sum W_h S_h)^2}{\hat{V}(\hat{O})} \quad (21)$$

ここで、式(3)と同様に求めたい信頼区間の半値幅  $d$  は以下の式で求められる。

$$d = z \cdot \sqrt{\hat{V}(\hat{p}_k)} \quad (22)$$

これを式(21)に代入し、

$$n = \frac{z^2}{d^2} \left( \sum W_h S_h \right)^2 \quad (23)$$

同様に  $d = 0.1 \cdot \hat{p}_{+k}$  とおけば（伐採クラスとする）以下の式で伐採面積の 10% に相当する面積に 95% 信頼区間幅をおさめるために必要なサンプルサイズ  $n'$  が計算できる。

$$n' = 100 \frac{z^2}{\hat{p}_{+k}^2} \left( \sum W_h S_h \right)^2 \quad (24)$$

なお、上述のサンプルサイズ計算に必要な  $S_h$  は、2クラスの場合は一方のクラス（例えば伐採クラス）の Producer's 精度, User's 精度を決めればよいが、3クラス以上では全てのクラスの Producer's 精度, User's 精度を決める必要がある。3クラス以上ではすべてのクラスの Producer's 精度, User's 精度を事前に矛盾なく決めることは難しい。Producer's 精度と User's 精度ではなく、面積割合を  $S_h$  の計算に利用する場合でも、各層でのクラスの面積割合を仮定するので、同じ問題が発生する。全体精度を目標とするのであれば、計算には User's 精度を決めればよいので多少現実的になる。

上記は最適割当をしたときに必要なサンプルサイズであるため、最適割当をしない場合には最終的な分散推定値は計算よりも大きくなる。

#### （計算方法：測定誤差の考慮）

単純無作為抽出法の式(11)~(14)を利用して層ごとに分散を計算し、層の面積割合で重み付けすれば良い。つまり、各層の要素数を  $N_h$  とし、 $N$  を置き換える。以下はすべて各層の値とする。

$$\hat{V}_{1cen} = \frac{N_h^2}{2n_r} \sum_r z_k^2 + \frac{N_h(N_h - 1)}{2n_r(n_r - 1)} \sum_r \sum_{k \neq l} z_k z_l \quad (25)$$

$$\hat{V}_{stand} = N_h^2 \frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n-1} \quad (26)$$

$$\hat{V}_{total} = \hat{V}_{stand} + \hat{V}_{1cen} \quad (27)$$

これらは各層での推定値となるので、全体の推定値は各層の面積比率で重み付けして計算する。

$$\hat{V}_x = \sum_{i=1}^c W_i^2 \hat{V}_{x,h} / (n_{i+} - 1) \quad (28)$$

ここで $\hat{V}_{x,h}$ は層 $h$ での分散 $\hat{V}_{1cen}$ ,  $\hat{V}_{total}$ ,  $\hat{V}_{stand}$ などを表す。このときも、面積割合を推定する場合には $N_h^2$ で割って計算する。

#### (計算方法：マップ分類と層が異なるとき)

上記の計算はサンプル抽出に用いる層化と精度評価の対象であるマップが同じときに適用可能であり、それらが異なる場合は適用できない(不偏推定量ではない)。例えば、2021年と2022年の伐採をあわせて1つの伐採クラスとして層を作成してサンプル抽出し、判読では2021年と2022年にわけて伐採または非伐採クラスを割り当てるときなどを指す。このとき、精度と面積推定の一致推定量は提案されている(Stehman 2014)が、最適サンプルサイズの計算や測定誤差の計算方法については提案されていない。

ここで、志水(2023)の記法に従い、ピクセルを空間評価単位とする大きさ $N$ の母集団の母数の平均 $\bar{Y}$ を次式で表す。ここで $\bar{Y}$ は伐採面積割合を表すと捉えることができる。

$$\bar{Y} = \sum_{u=1}^N y_u / N \quad (29)$$

ここで $y_u$ はピクセル $u$ の観測である。クラス $k$ の面積を計算するとき以下のとおり $y_u$ を定義する。

$$y_u = \begin{cases} 1 & \text{ピクセル}u\text{がクラス}k\text{のとき} \\ 0 & \text{ピクセル}u\text{がクラス}k\text{でないとき} \end{cases} \quad (30)$$

層化無作為抽出法によるサンプルを用いたとき、推定値 $\hat{Y}$ は式(31)を式(32), (33)に代入して以下のように推定できる。

$$\hat{Y} = \sum_{h=1}^H N_h^* \bar{y}_h / N \quad (31)$$

$$\bar{y}_h = \sum_{u \in h} y_u / n_h^* \quad (32)$$

ここで、 $\bar{y}_h$ は層 $h$ での $y_u$ のサンプル平均を表しており、 $u \in h$ はサンプルのピクセル $u$ が層 $h$ から選ばれたことを示す。 $H$ は層の数であり、 $N_h^*$ は層 $h$ の対象地全体のピクセル数、 $n_h^*$ は層 $h$ から無作為抽出されたサンプルサイズである。包含確率は層ごとに $\pi_u = n_h^* / N_h^*$ で表される。分散については、以下の式で推定される。

$$\hat{V}(\hat{Y}) = \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^H N_h^{*2} (1 - n_h^* / N_h^*) s_{y_h}^2 / n_h^* \quad (33)$$

ここで $s_{y_h}^2$ は層 $h$ での $y_u$ の標本分散であり次式で計算される。

$$s_{y_h}^2 = \sum_{u \in h} (y_u - \bar{y}_h)^2 / (n_h^* - 1) \quad (34)$$

### (前年の伐採面積を早期に推定する手法)

単純無作為抽出法と同様に早期に推定する場合でも計算方法に変わりはないため、上記と同じ計算が利用できる。

## ② 推定誤差の整理

### (必要サンプルサイズの検討：日本全体)

式(15)~(17)を利用して日本全体の伐採面積割合を推定でき、その推定値に森林面積を乗ずることで伐採面積を推定できる。推定にあたっては、達成したい推定の 95%信頼区間幅に対して十分なサンプルサイズを確保する必要がある。サンプル抽出の際に各層（例：伐採マップの伐採層と非伐採層）に割り当てるサンプルサイズは式(19)によって決めることができる。割当比率は全体のサンプルサイズと独立に決められるので、ここでの検討では全体のサンプルサイズのみ考慮すれば良い。日本全体の伐採面積を 6 万 ha として、Producer's 精度=80%, User's 精度=90%のマップを層化に利用したとき、伐採面積の 10%に相当する面積 (=6,000ha)の 95%信頼区間に必要なサンプルサイズは式(24)より $n'=33,825$ となる（対象地面積は 2,500 万 ha）。

$$n' = 100 \cdot \frac{1.96^2}{0.0024^2} (0.0021333 \cdot 0.3 + 0.9978667 \cdot 0.021927)^2 = 33824.8$$

民有林（1,750 万 ha）に限定した場合、伐採面積を 5.4 万 ha（0.31%）として同様に計算すると伐採面積割合が国有林より大きいため  $n=26,490$  になる。

### (必要サンプルサイズの検討：都道府県別)

都道府県別の伐採面積割合が異なることで、達成したい 95%信頼区間幅に必要なサンプルサイズも異なるので、各都道府県の伐採面積割合をもとに計算する。ここで、過去の衛星データでの推定値（Shimizu & Saito 2021）を用いて各都道府県の伐採面積を計算し、層化に使用する伐採面積マップの伐採クラスの精度を仮想的に Producer's 精度=80%, User's 精度=90%とおいて必要なサンプルサイズについて式（24）を用いて計算する。民有林を対象とすると年間平均 0.32%の伐採割合であり、各都道府県で伐採面積の 10%に相当する 95%信頼区間を達成するために必要なサンプルサイズは図 4-1 の通りとなる。合計すると日本全体で  $n$ =約 235.6 万のサンプルサイズが必要となる。また、民有林での伐採面積割合に応じた各都道府県の必要サンプルサイズの関係は図 4-2 の通りであり、伐採面積割合が小さいほど大きなサンプルサイズを要する。

上記の通り、達成したい 95%信頼区間を伐採面積の  $x\%$ として計算すると伐採面積割合が小さい都道府県ほど達成する 95%信頼区間の幅が小さくなり、サンプルサイズが増大する。サンプルサイズが大きいと判読作業などに労力を要することを考慮すると、伐採面積割合が小さい都道府県に大きなサンプルサイズを割り当てるのは合理的ではないと考えられる。そこで、別のサンプルサイズ設定を考えると、「95%信頼区間の幅が伐採面積割合の  $x\%$ 」、

「95%信頼区間の幅が x ha」となるサンプルサイズなどとするれば 95%信頼区間幅と必要サンプルサイズの関係性は変わる（図 4-3 a, b）。

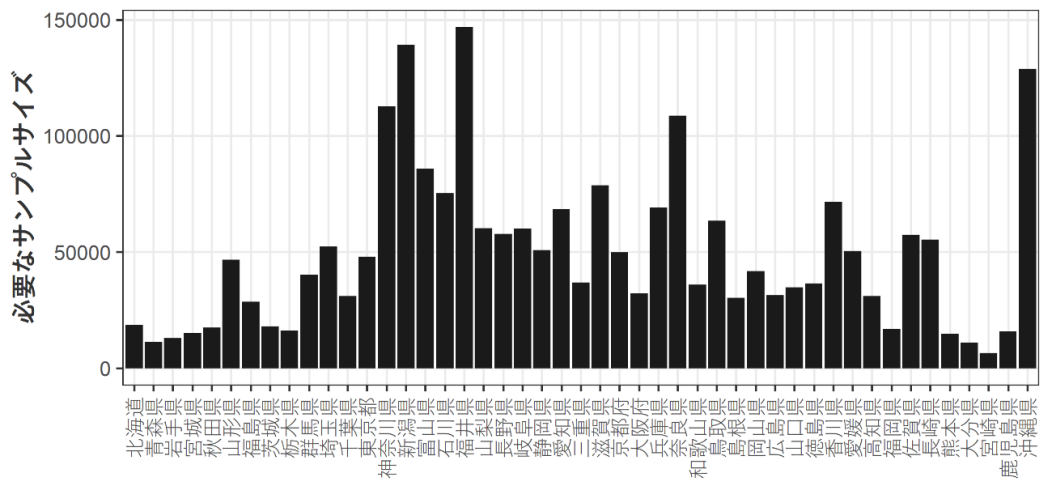


図 4-1 層化無作為抽出法において設定した条件で、各都道府県で伐採面積の 10%に相当する 95%信頼区間を達成するために必要なサンプルサイズ

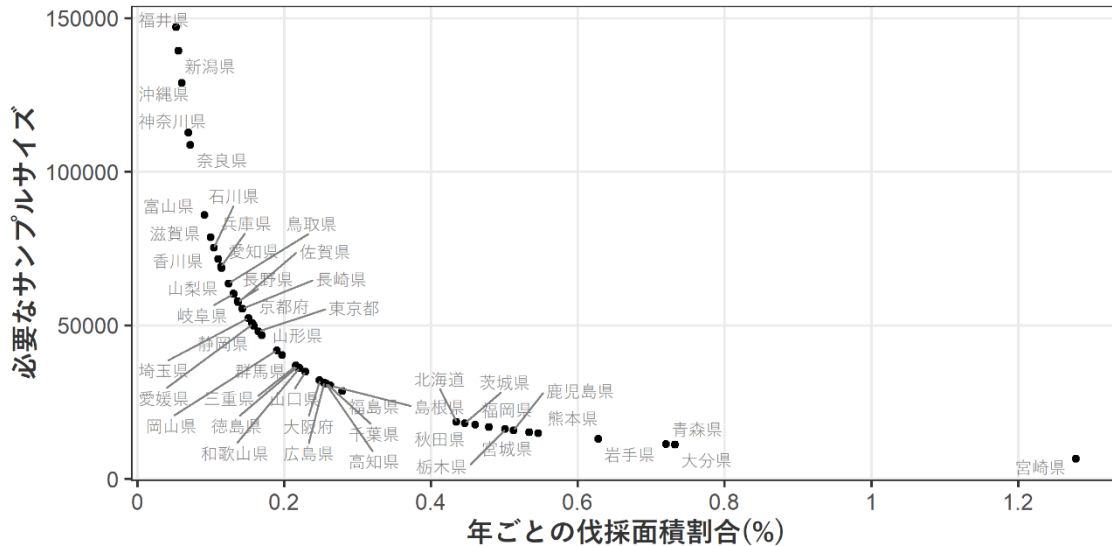


図 4-2 層化無作為抽出法において設定した条件下で各都道府県の必要サンプルサイズと民有林での伐採面積割合の関係

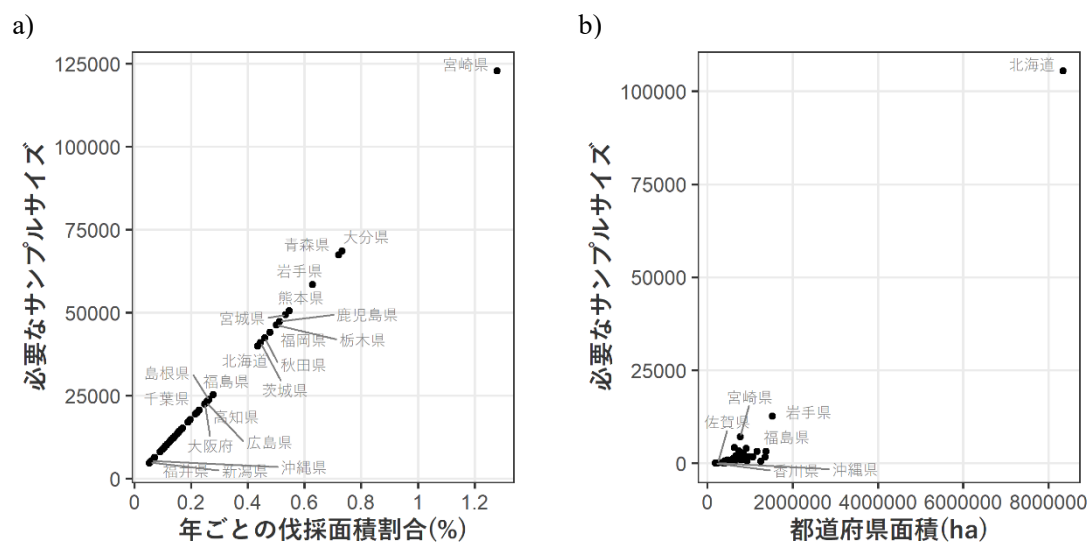


図 4-3 a) 95%信頼区間が伐採面積割合 0.03%となるときに必要なサンプルサイズ、  
b) 95%信頼区間が 500ha となるときに必要なサンプルサイズの関係

### (都道府県別のサンプルサイズにマップ精度が与える影響)

上記の検討では、伐採マップの伐採クラスを Producer's 精度=80%, User's 精度=90%と仮定して各都道府県で必要なサンプルサイズを計算した。しかし、必要なサンプルサイズは伐採マップの精度（伐採クラスの Producer's 精度と User's 精度）と伐採面積割合で変動する。上記の都道府県別の伐採面積を 0.25 倍～2 倍（25%～200%）に変動させ、それぞれについて伐採クラスの Producer's 精度のみ 30%から 99%まで変動させたとき（User's 精度は 90%で固定）、伐採クラスの Producer's 精度が高いほど必要なサンプルサイズが小さくなる（図 4-4）。また、伐採面積割合が大きくなれば必要なサンプルサイズが低下する。一方で User's 精度は変動させても全体のサンプルサイズに Producer's 精度ほどの影響はない（図 4-5）。つまり、層化に利用する伐採マップの作成方法を工夫することで、同じサンプルサイズでも 95%信頼区間の幅を小さくできる可能性がある（=同じ 95%信頼区間の幅を達成するサンプルサイズが小さくなる）。

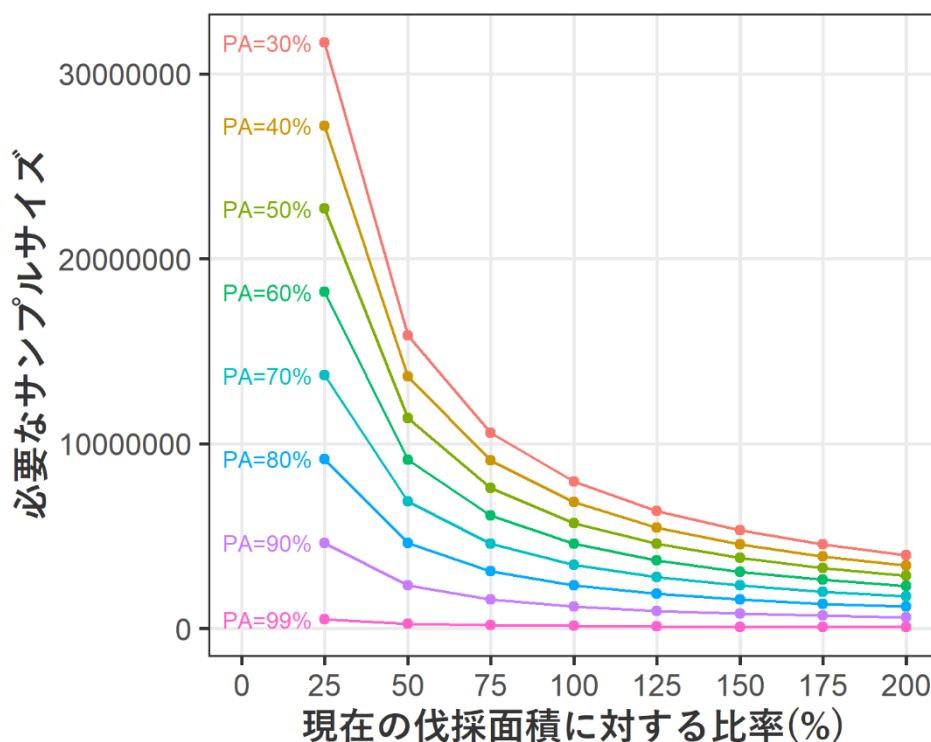


図 4-4 各都道府県での伐採面積を 0.25 倍～2 倍（25%～200%）に変動させ、伐採クラスを UA=90%で固定し PA=30～99%に変動させたときの、推定の 95%信頼区間が伐採面積の±10%に相当するサンプルサイズ合計

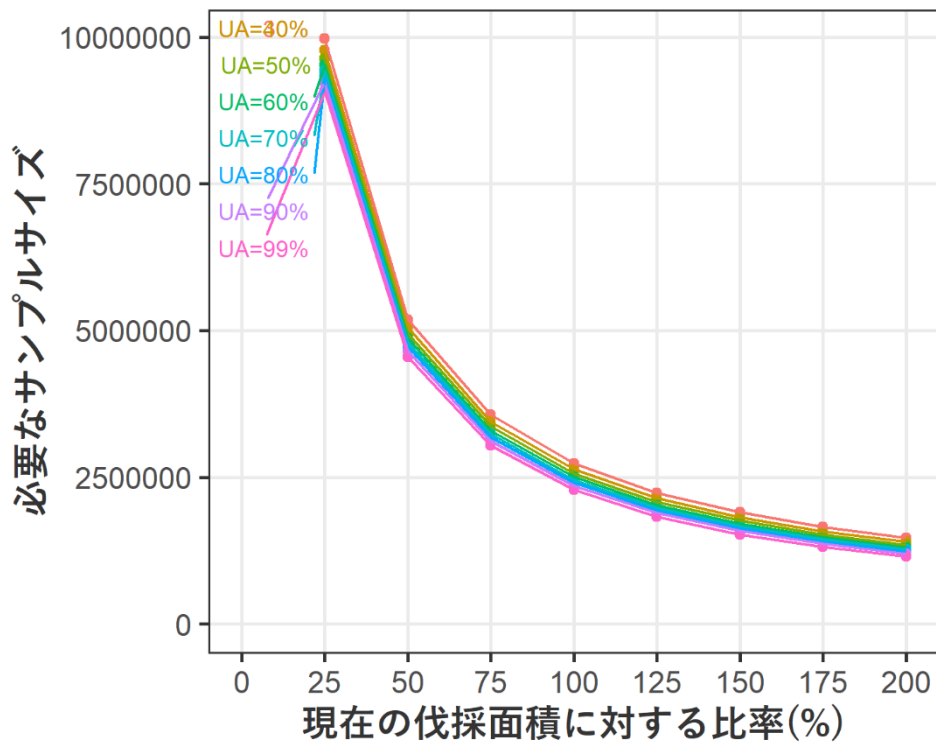


図 4-5 各都道府県での伐採面積を 0.25 倍～2 倍 (25%～200%) に変動させ、伐採クラスを PA=80%で固定し、UA=30～99%に変動させたときの、推定の 95%信頼区間が伐採面積の±10%に相当するサンプルサイズ合計

#### (必要サンプルサイズの検討：スギ人工林伐採重点区域)

スギ人工林伐採重点区域は、各都道府県に設定されているスギ人工林を主とする森林の区域を指す。設定されている区域の合計面積は約 100 万 ha 程度であり、この区域内での伐採面積を推定する場合、基本的には都道府県別での伐採面積の推定と方法は変わらない。ただし、重点区域の面積に占める伐採面積割合は、日本全国の民有林と異なる可能性があり、必要なサンプルサイズ変動の要因となる。

#### (全国推定値を都道府県に割り振ったときの誤差)

都道府県ごとの伐採面積の推定は、層化無作為抽出法でも日本全体では大きなサンプルサイズが必要となる。そのため、現実的な方法として、日本全体の伐採面積をある程度の精度で推定できるようにサンプルを抽出して判読し、そのサンプルおよび結果を都道府県ごとの伐採面積推定に再度利用する方法がある。単純には、日本全国を対象に抽出したサンプルを用いて、各都道府県の区域内に位置するものを抽出し、都道府県ごとに伐採面積を推定する手法がある。層化無作為抽出法により母集団から抽出したサンプルは、部分母集団（ここでは各都道府県）から層化無作為抽出法により抽出したサンプルとして扱ってクラス面積を推定できる（志水 2023）ため、通常層化推定量（式 15～17）で各都道府県の伐採面

積を推定できる。ただし、この手法では区域面積の小さい都道府県では推定に十分な大きさのサンプルが得られないこともある。例えば、ある都道府県で伐採と判読されたサンプル要素が1つもなければ、その都道府県の伐採面積は0 haと推定される。

伐採面積推定の精度と現実的な手法の折衷案として、全国の伐採面積を都道府県の区域内の伐採ピクセル数に応じて割り振る方法がある。この方法では、伐採マップの精度が空間的に変動なく、各都道府県で同じと仮定できれば伐採面積は不偏になる。また、伐採ピクセル数の代わりに行政データの都道府県別の素材生産量を用いる方法がある。こちらも行政データの素材生産量のデータが伐採面積を正しく表しているのであれば、都道府県ごとの伐採面積の推定値は確からしい値になる。しかし、基本的には伐採マップの精度は空間的にばらつく想定される。

更なる折衷案としては、サンプルを用いた面積推定を国全体ではなく複数の地域に区分して実施し、地域ごとの面積を求めてから地域内の都道府県に割り振る方法がある。この手法では地域ごとに伐採マップの精度が変動する場合にその変動をある程度反映することができる。

上記は伐採面積についてのみ言及しているが、95%信頼区間についても分散には加法性があるため、仮に都道府県ごとに分散が分かる場合、都道府県面積で加重をして日本全体の分散を求め、そこから標準誤差と95%信頼区間を計算できる。日本全体の分散が求められている場合には、都道府県面積に応じて伐採ピクセル数割合で分配することで面積に比例する形で割り当てることができる。こちらも都道府県別の分散を伐採面積割合にしたがって割り当てられるという仮定が正しい保証はない。

### (民有林と国有林での差)

国有林での伐採面積割合は民有林よりも小さいため、伐採面積を民有林のみに限定すると、国有林を含む場合よりも伐採面積割合が上昇するので、必要なサンプルサイズが減少する。

### (層化の効率)

上記の通り、層化に利用する伐採マップの精度によって必要なサンプルサイズが変化する(言い換えれば同じサンプルサイズでも、層化に利用する伐採マップの精度によって推定の95%信頼区間幅が変化する)。層化を工夫すれば必要なサンプルサイズを減少させることができる。1つの手法に、伐採マップでの伐採箇所の周囲に空間的なバッファ層を設定するものがある(Olofsson et al. 2020)。伐採とマッピングされた箇所の周囲に、抽出できなかつた伐採箇所があるという経験則に基づいたもので、「本当は伐採」である割合が高い層を用意することで、伐採面積推定の95%信頼区間を小さくし、必要なサンプルサイズを減らせる可能性がある。条件と想定される効果は志水(2023)を参照。

### (目視判読での誤差の影響)

目視判読では判読者によって判読ラベルの割当に変動があり、同じサンプル要素の位置を判読しても、判読者によって伐採・非伐採の判断が分かれることがある。判読誤差の発生割合やサンプル割当にもよるが、基本的には判読作業は同じ箇所を1人で実施するよりも、複数人で判読して多数決などでサンプルのクラスを決定した方が良いとされる (McRoberts et al. 2018)。判読誤差の影響検討のため、Producer's 精度=80%, User's 精度=90%の伐採マップを利用して層化無作為抽出法でサンプル (n=33,825) を抽出し、年間6万 ha の伐採がある全国の森林で伐採面積を仮想的に推定する。ここで判読ミスがないと仮定した場合、伐採面積の推定は 6.0 万 ha±0.6 万 ha となる。正しいリファレンスクラスがわかると仮定し、それぞれの判読者が確率的に判読でミスをする場合を考える。異なる確率で判読ミスをする5人の判読者で判読作業を100回繰り返すと仮定する。複数人で判読した結果が異なるサンプル要素については、多数決をとってリファレンスクラスを決定する。伐採:0.01%~1% (平均0.5%), 非伐採:0.01~0.2% (平均0.1%) の幅で無作為に誤判読すると設定し式(25)~(28)を用いて推定すると、1人だと100回繰り返しの中央値では9.4万 ha±3.2万 ha、2人だと9.2万 ha±1.7万 ha、3人以上だと6.0万 ha±0.6万 ha と推定される。3人以上のときは、判読ミスがない場合と同じ推定値が得られる。つまり、判読者が2人のときまでは、判読誤差が大きいが、3人以上になるとほぼ判読ミスによる変動が消え、面積推定値は真値に近づく。

実際には判読者による判読ミスは独立でないと想定される (例:判読しづらい箇所は、どの判読者でも判読しづらい) ので、必要な判読者数に影響する (McRoberts et al. 2018)。ミスの発生頻度を10倍にすると1人だと100回繰り返しの中央値では36.7万 ha±25.2万 ha、2人だと37.3万 ha±16.6万 ha、3人だと7.3万 ha±1.2万 ha、4人だと7.2万 ha±0.96万 ha、5人だと6.0万 ha±0.61万 ha となる。特に層化無作為抽出法では、層ごとにサンプル抽出確率を変えているので、層ごとに判読ミスが面積推定値に与える影響が異なる。今回の場合では、非伐採クラスの層の面積割合が大きいため、非伐採クラスの判読ミスが伐採面積の推定値と分散により大きな影響を与える。

判読者間の判読誤差については、土地被覆分類の例ではあるが Powell et al. (2004) では、Landsat ピクセルの5クラス分類での5人の判読者の判読結果には30%の不一致があった。また Pengra et al. (2020) では、サンプルサイズ12,000の単純無作為抽出法によるサンプルに対して8クラスを判読で割り当て、全体精度は88%で土地攪乱クラスについては一致率が46%だった。森林での伐採についての判読者間の判読誤差は、これまでの研究で明らかにされていないが、変化を伴うクラスは判読誤差が大きい傾向にあるため、ある程度は発生すると考えられる。判読者間の判読結果の不一致の解消方法は、上記の場合では多数決 (最頻値) をとったが、他にも判読者間で話し合っ合意を取る、判読の熟練者が決める、などの手法がある。

### (行政データとの差)

層化無作為抽出法であっても、単純無作為抽出法のとくと同様に衛星データなどの取得時期によって伐採マップの対象期間が変わるので、行政データの集計年度(年次)と一致しない可能性がある。また、行政データにおける伐採と目視判読による伐採の定義が必ずしも一致しないことがある。推定した伐採面積を比較する場合にはその点を考慮する必要がある。

### (マップと層が異なるときの誤差)

「①推定の考えと算出方法」で説明した通り、サンプル抽出に用いる層化と精度評価の対象であるマップが異なる場合、式(15)~(17)を用いると偏りのある推定値が得られるので、式(29)~(34)を代わりに用いる必要がある。

以下の通り例を考える。2021年と2022年の2年間を対象とした伐採・非伐採の2クラスの伐採マップを作成し、これを層としてサンプル抽出を実施する。サンプルを目視判読して2021年と2022年のそれぞれについてリファレンスクラスを割り当てる。2021年と2022年のそれぞれの伐採面積(と95%信頼区間)を推定するためには、2021年と2022年それぞれで伐採マップを仮想的に作成し、それぞれをサンプルのリファレンスクラスで評価することが必要となる。このとき、2021年の仮想的な伐採マップと2022年の仮想的な伐採マップは、どちらもサンプル抽出に用いた層化と完全には一致しないため、式(29)~(34)で計算する必要がある。なお、ここで「仮想的な伐採マップ」としたのは、各年の伐採面積推定にあたっては、実際に各年の伐採マップを作成しなくても推定値を計算できるためである。

### (前年の伐採面積を早期に推定する手法)

層化無作為抽出法で伐採面積を求める場合も、単純無作為抽出法の場合と同様、基本的には目視判読でサンプル要素にリファレンスクラス(伐採・非伐採)を割り当てるため、目視判読に用いる衛星画像が取得・公開されていることが必要になる。前年の伐採面積を判読するためには、判読時点で前年の伐採がわかるデータ(例: Google Earthの画像)が必要であるが、時間が経っていないとそうしたデータが手に入らない場合もある。そうした場合、他の入手可能な解像度の低い衛星データで代替することになるが、目視判読の精度が下がり、結果として伐採面積の推定精度が低下する(95%信頼区間の幅が大きくなる)可能性がある。

## ③ 継続性、労力や経費等の評価

層化無作為抽出法により伐採面積を推定する場合、伐採面積の10%に相当する95%信頼区間幅となるようにサンプルサイズを設定すると、日本の民有林全体では3万程度のサンプルサイズが必要となる。その場合、目視判読作業には労力を要するが、単純無作為抽出法と比べて現実的な範囲と考えることができる。一方で、都道府県ごとに同様の精度で推定し

たい場合、単純無作為抽出法よりは小さいものの、目視判読作業を行うには非現実的なサンプルサイズが必要となる。

伐採面積の推定にあたっては、層化のために推定する年の伐採マップが必要となる。そのため、その年の伐採マップが存在しない場合は、伐採マップを作成するための労力を考慮する必要がある。

前年の伐採面積を早期に推定したい場合、通常すぐには伐採マップが手に入らないので作成が必要な可能性が高い。伐採マップの精度は、面積推定値の不偏性には影響しないものの、簡易的に伐採マップを作成する場合はマップ精度が低下するため、層化の効果が低下し、伐採面積推定の精度が低下することが想定される。また、単純無作為抽出法の場合と同様、目視判読に必要な高解像度衛星画像などが不足する可能性がある。目視判読に必要な高解像度画像が足りない場合については Sentinel-2 などの中分解能衛星の情報を可能な限り利用して対応することになり、判読の正確性が低下する可能性がある。

目視判読作業に無料の衛星画像 (Sentinel-2 や Landsat 画像) を利用する場合、データ提供元から画像をダウンロードして処理することに時間とデータストレージを要する。Google Earth Engine (GEE) や Tellus などのクラウド型空間解析プラットフォームを利用することが効率的だが、Google Earth Engine は行政の業務利用等では有償となる場合があるので、利用条件を確認する必要がある。

各都道府県の伐採面積を推定する場合、全国の伐採面積推定に利用したサンプルや推定値を再度利用することも考えられる。その場合、労力は軽減できるが推定精度は低下することが想定される。例えば、全国の伐採面積推定値を都道府県ごとの伐採ピクセル数の割合で配分する手法の妥当性は、伐採マップの精度などに依存するため、実施する場合にはその妥当性の検討が必要である。

目視判読誤差は、今回の仮定よりも大きい可能性もある。その場合は、伐採面積推定の 95%信頼区間は今回示した値より大きくなり、推定の信頼性が低下する。判読誤差を明示的に検討しない場合でも、複数の判読者の判読結果によってサンプル要素のリファレンスクラスを決定することは、判読誤差を減少させるために有用である。また、判読者が複数いる場合には、判読者間の判読の一貫性を保つことが必要である。そのためには、判読者に対するトレーニングが重要と考えられる。トレーニングに要する労力は増大するが、判読の一貫性を保ち、信頼性のある伐採面積の推定値を得るためには必要な手順である。

#### 4.2.1.3. ピクセルカウント法

##### (概要)

ピクセルカウント法は、伐採マップのうち、伐採クラスのピクセル数をカウントし、それに 1 ピクセルあたりの面積を乗じて対象地の伐採面積を求めるような手法である。伐採マップにおける分類誤差を考慮していないため、推定値には通常偏りがある。そのため利用しないことが推奨されるが、推定値の偏りが認識されずに利用されることがある。

## ① 推定の考えと算出方法

ピクセルカウント法は、伐採マップのうち、伐採クラスのピクセル数をカウントし、それに 1 ピクセルあたりの面積を乗じて対象地の伐採面積を求めるような手法をいう。例えば 10m 解像度(=0.01ha)で伐採マップを作成し、2020 年の伐採クラスのピクセルが 500 万あれば、伐採面積を  $500 \text{ 万} \times 0.01 \text{ ha}$  で 5.0 万 ha と推定するものである。

この方法では分類誤差を考慮していないため、もとの伐採マップに誤差があると面積推定値も誤差の影響を受ける。伐採クラスの Producer's 精度と User's 精度がバランスを取れていない限り（例えば伐採の Producer's 精度=80%で User's 精度=80%の組み合わせなど、Producer's 精度と User's 精度が等しい場合でない限り）、サンプル抽出によって多少の変動はあるものの、平均的には偏りのある推定値が得られる。言い換えると伐採マップの精度には見逃し（実際には伐採があるのにマップでは伐採ではない）と、空振り（マップでは伐採だが実際には伐採ではない）の 2 種類があり、通常これらの割合が同じでないため、特殊な場合を除き、伐採面積の推定はどちらかに偏る（図 4-6）。

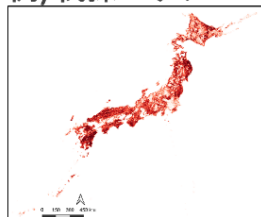
## ② 推定誤差の整理

ピクセルカウント法は、①で述べたとおり伐採マップの誤差を考慮していないため、伐採マップの精度によって伐採面積の推定値が偏る。

## ③ 継続性、労力や経費等の評価

ピクセルカウント法が利用される可能性があるのは、1) 伐採マップが非常に高精度とわかっていてそのまま利用できるの見込める場合、2) Producer's 精度と User's 精度がバランスされると想定される場合、3) 判読のためのデータが入手できないなどの事情で精度評価できない場合などが考えられる。また、伐採面積が対象地に占める割合が非常に小さい場合で、通常のサンプル抽出による推定では 95%信頼区間幅が大きいことが想定されるときには、ピクセルカウント法の方が現実的な数値が得られることもある。また、ピクセルカウント法では、サンプル抽出をして目視判読でリファレンスデータを作成する必要がないので、労力の面では優れる。しかし、推定値に偏りがある点を踏まえると、基本的にはピクセルカウント法の利用は推奨されない。

例) 伐採マップ



ピクセルカウント法：

- ・ 伐採クラスのピクセルが500万
- ・ 1ピクセルの面積が0.01ha

→ 伐採面積は5万ha

実際の面積との関係：

		実際		
		伐採	非伐採	
マップ	伐採	4万ha	1万ha	ピクセルカウント法の数値: 5万ha
	非伐採	2万ha	2493万ha	

実際の伐採面積  
: 6万ha

図 4-6 ピクセルカウント法による推定値の偏りの説明

(引用文献)

- Cochran WG. (1977) Sampling techniques, third edit. John Willey & Sons Inc, New York, NY
- Global Forest Observations Initiative. (2020) Integration of remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and guidance from the Global Forest Observations Initiative, Edition 3.0. Rome
- McRoberts RE, Stehman S V., Liknes GC, Næsset E, Sannier C, Walters BF. (2018) The effects of imperfect reference data on remote sensing-assisted estimators of land cover class proportions. ISPRS J Photogramm Remote Sens. 142:292–300.
- Olofsson P, Foody GM, Herold M, Stehman S V, Woodcock CE, Wulder MA. (2014) Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sens Environ. 148:42–57.
- Olofsson P, Arévalo P, Espejo AB, Green C, Lindquist E, McRoberts RE, Sanz MJ. (2020) Mitigating the effects of omission errors on area and area change estimates. Remote Sens Environ. 236:111492.
- Pengra BW, Stehman S V., Horton JA, Dockter DJ, Schroeder TA, Yang Z, Cohen WB, Healey SP, Loveland TR. (2020) Quality control and assessment of interpreter consistency of annual land cover reference data in an operational national monitoring program. Remote Sens Environ. 238:111261.
- Powell RL, Matzke N, De Souza C, Clark M, Numata I, Hess LL, Roberts DA, Clark M, Numata I, Hess LL, Roberts DA. (2004) Sources of error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the Brazilian Amazon. Remote Sens Environ. 90:221–234.

- Särndal C-E, Swensson B, Wretman J. (1992) Model Assisted Survey Sampling. Springer New York, New York, NY
- 志水克人 (2023) 衛星データを用いた森林変化マップにおける面積推定と精度評価の手法. 日林誌 105: 166–182.
- Shimizu K, Saito H. (2021) Country-wide mapping of harvest areas and post-harvest forest recovery using Landsat time series data in Japan. *Int J Appl Earth Obs Geoinf.* 104:102555.
- Stehman S V. (2012) Impact of sample size allocation when using stratified random sampling to estimate accuracy and area of land-cover change. *Remote Sens Lett.* 3:111–120.
- Stehman S V. (2014) Estimating area and map accuracy for stratified random sampling when the strata are different from the map classes. *Int J Remote Sens.* 35:4923–4939.
- Stehman S V., Foody GM. (2019) Key issues in rigorous accuracy assessment of land cover products. *Remote Sens Environ.* 231:111199.
- Stehman S V., Mousoupetros J, McRoberts RE, Næsset E, Pengra BW, Xing D, Horton JA. (2022) Incorporating interpreter variability into estimation of the total variance of land cover area estimates under simple random sampling. *Remote Sens Environ.* 269:112806.
- Stehman S V., Pengra BW, Horton JA, Wellington DF. (2021) Validation of the U.S. Geological Survey’s Land Change Monitoring, Assessment and Projection (LCMAP) Collection 1.0 annual land cover products 1985–2017. *Remote Sens Environ.* 265:112646.
- Tsendbazar N, Herold M, Li L, Tarko A, de Bruin S, Masiliunas D, Lesiv M, Fritz S, Buchhorn M, Smets B, Van De Kerchove R, Duerauer M. (2021) Towards operational validation of annual global land cover maps. *Remote Sens Environ.* 266:112686.

#### 4.2.2. 推定手法の詳細設計

本節では4.2.1 で検討した内容を踏まえ、伐採面積を推定する手法について、継続的な実行可能性を考慮し詳細な設計を検討する。伐採マップを用いた層化無作為抽出法によって伐採面積を推定する手法を用いる。

- ・2021 年および 2022 年の全国の民有林における伐採面積を推定する手法 (4.2.2.1.①)
- ・2023 年の全国の民有林における伐採面積を早期に推定する手法 (4.2.2.1.②)
- ・2021 年および 2022 年の各都道府県の民有林における伐採面積を推定する手法 (4.2.2.2.①)
- ・2022 年のスギ人工林伐採重点区域内における伐採面積を推定する手法 (4.2.2.2.②)

#### 4.2.2.1. 全国の民有林伐採面積推定

##### ① 2021年および2022年の推定（Landsat 時系列マップ）

###### （全体の流れ）

2021年および2022年での民有林における伐採面積を推定する手法を検討する。4.2.1.2で検討した通り、層化無作為抽出法で実施する。全体の設計について、a) サンプル抽出手法、b) リファレンスデータの作成手法、c) 推定値の計算手法を確定した後、該当する作業を実施する（図 4-7）。



図 4-7 伐採面積推定の流れ

###### （サンプル抽出）

2021年および2022年の民有林での伐採面積推定のために、サンプル抽出手法の決定、層化のための伐採マップの選定、層の設定、サンプルサイズの決定を実施した後、サンプル抽出を実行する。

###### (1) サンプル抽出手法および層化のための伐採マップ（Landsat 時系列マップ）の選定

層化無作為抽出法を利用してサンプル抽出を実施する。層化に用いる伐採マップは、Shimizu and Saito (2021) が Landsat 衛星画像で作成した伐採マップの期間を更新したデータ (1985-2022) <https://doi.org/10.5281/zenodo.11634214> とする。このデータは、日本全体を対象

として 1985 年から 2022 年の毎年の伐採箇所を 30m 解像度でマッピングしている。伐採マップ作成に利用している手法の制約から、2022 年の伐採箇所のマッピングには 2023 年の Landsat 衛星画像が必要となる。この伐採マップは 30m 解像度で作成されているが、今回の伐採面積推定では 10m を空間単位とするので、これに合わせて 10m 解像度に変換する。ここで、伐採面積の推定の対象が民有林であるため、民有林の範囲を国土数値情報の森林地域ポリゴンデータ (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A13.html>) から抽出し確定する。このポリゴンデータも層化マップに合わせて 10m 解像度に変換する (図 4-8)。

## (2) 層化のクラス設定

サンプル抽出のための層は、推定する年の伐採と非伐採の層が基本となるが、ここでは推定の効率を向上させて労力を削減するためにいくつか変更を加える。2021 年と 2022 年のサンプル位置を同じとなるようにすると、同じ箇所でも 2 年分を判読することが可能になるので目視判読の労力を削減できる。このために、2021 年と 2022 年のそれぞれに層化のためのマップを作成するのではなく、伐採マップのうち 2021 年と 2022 年の伐採箇所を抽出し、それらを合わせて伐採クラス層としてサンプル抽出に利用する。加えて、層化の効果向上のために伐採箇所の周囲 1 ピクセルを空間的バッファ層として設定する (図 4-9)。このため、伐採層、非伐採層、バッファ層の 3 クラスの層化となる。日本全体のうち、民有林のみを対象として層化の面積を集計すると表 4-1 の通りとなる。

## (3) サンプルサイズの決定

伐採面積推定の 95%信頼区間を伐採面積の 10%に相当する面積におさめるために必要なサンプルサイズを目標とする。伐採面積自体が本事業で推定する値なので、サンプルサイズの決定にあたっては、現実に近い伐採面積を設定する必要がある。ここでは民有林での伐採面積割合が 0.3% (=53,610 ha)と仮定する。4.2.1.2 の検討結果と、2 年分のサンプルを抽出することにしている点を踏まえ、 $n=31,000$  のサンプルサイズが必要と判断して、表 4-1 の通りに各層で抽出するサンプルサイズを割り振る。

## (4) サンプル抽出の実行

上記の設定でサンプル抽出を実行する (図 4-10)。後の目視判読作業のために、サンプル要素の位置の地理データなどを準備する。



図 4-8 対象地とした私有林（黒色箇所）の分布

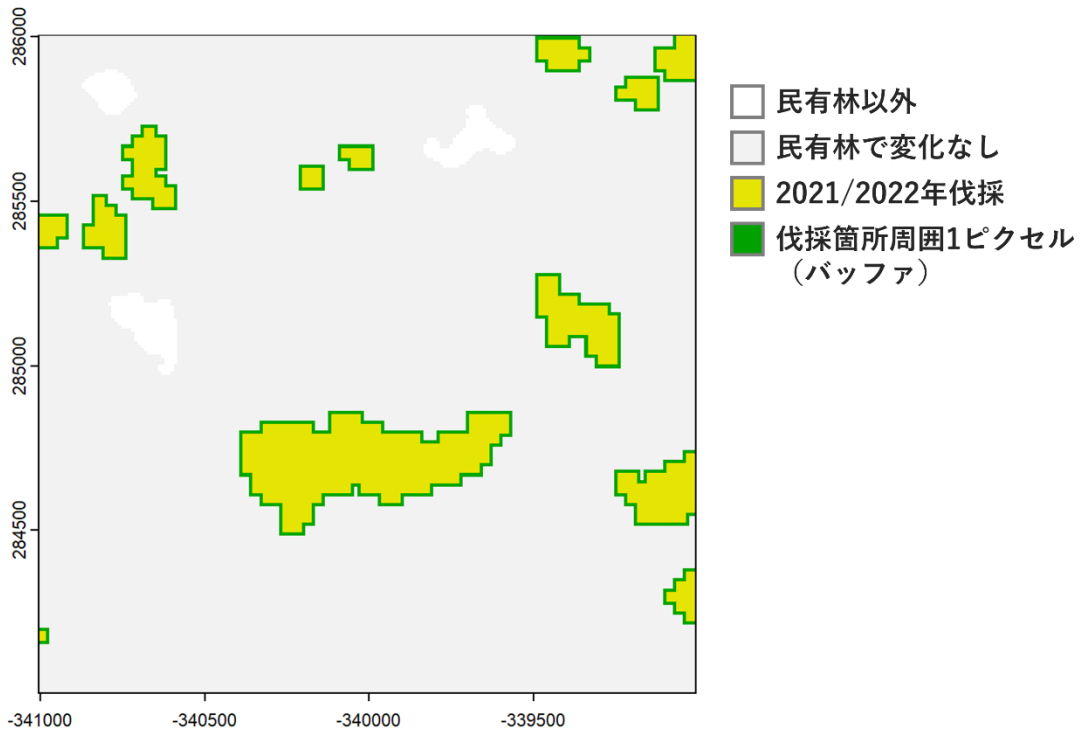


図 4-9 層化マップの拡大図 (2 × 2 km)



図 4-10 抽出したサンプル (n=31,000) の位置

表 4-1 民有林での伐採面積推定のための層化クラスとサンプルサイズ

層	マップ面積※ (ha)	面積割合(%)	n
民有林で変化なし (変化なし)	17,757,348	99.369	27,815
2021/2022 年伐採 (伐採)	82,762	0.463	2,050
伐採箇所周囲 1 ピクセル (バッファ)	29,996	0.168	1,135

※マップ面積とは、伐採マップに占める各層のピクセルの面積を全て足し合わせたもの

### (リファレンスデータの作成)

抽出したサンプルに対して目視判読でリファレンスクラス（参照クラス）を割り当てることでリファレンスデータを作成する。リファレンスクラスは、各サンプル要素の位置での該当する年での最も適するカテゴリを指す。ここでは、リファレンスデータの空間単位、目視判読のデータ情報源、クラスラベルの割当手法、一致の定義を決める。

#### (1) リファレンスデータの空間単位

層化のための伐採マップと同じく 10m 解像度のピクセルとする。

#### (2) クラスラベルの割当および目視判読のデータ情報源

各サンプル要素のリファレンスクラスは目視判読によって割り当てる。この際、判読誤差の低減と 1 人あたりの労力低減のために、6 人の判読者で分担して 31,000 箇所のサンプル要素の判読を実施する。判読では各判読者で同じデータセットを利用する（図 4-11）。判読では、伐採のうち判断が難しい、北海道で普及している帯状の伐採や、伐採以外の森林変化（崩壊や風倒害など）を明示的に分離するために、伐採・非伐採以外のクラスも用意して判読する（表 4-2）。また、判読者間で判読の一貫性を保つためにプレ判読と、途中のフィードバックを実施する。判読結果をとりまとめ、各サンプル要素での最終的なリファレンスクラス（伐採・非伐採）を割り当てる。

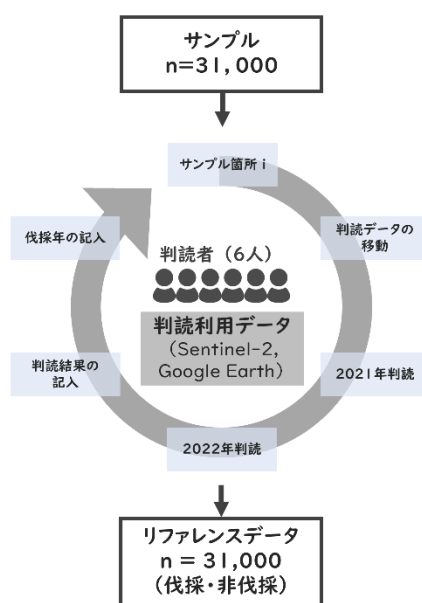


図 4-11 サンプル抽出箇所の判読の流れ

(2-1) 判読手順

- ・ 判読者は合計 6 人（経験者 5 名、初心者 1 名）
- ・ サンプルを 1 セット n=500 に無作為に分割し、合計 62 セットのデータセットを作成する。
- ・ 各セットについて、独立した 3 人がそれぞれ判読する（図 4-12）
- ・ 62 セットの一部（8 セット）については 6 人全員が判読する。
- ・ 判読の際のクラスは表 4-2 の通り。
- ・ 2021 年と 2022 年のそれぞれについてクラスを判読する。伐採がある場合は伐採年月も判読して記録する。
- ・ 判読手順の確認と判読者間の目視判読の一貫性を保つため、最初に全員でプレ判読（n=100）をする。プレ判読では間違いやすい箇所を恣意的に抽出して、判読者に各クラスの特徴などを確認してもらう。
- ・ 目視判読の一貫性を保つため、判読の途中でそれぞれの判読結果のフィードバックを実行する（合計 5 セット）。
- ・ フィードバックは、6 人全員が判読する「共通判読セット」で行う。判読者は、6 人の判読者とは別の判読に慣れた者が事前に判読した結果を参照し、判読の差異を確認する。フィードバックの結果を踏まえて、それ以降の判読を行う。
- ・ 判読管理者は判読結果を統合し、入力ミスがないか確認する。入力ミスと思われる箇所については、その判読者に確認して必要があれば修正する。

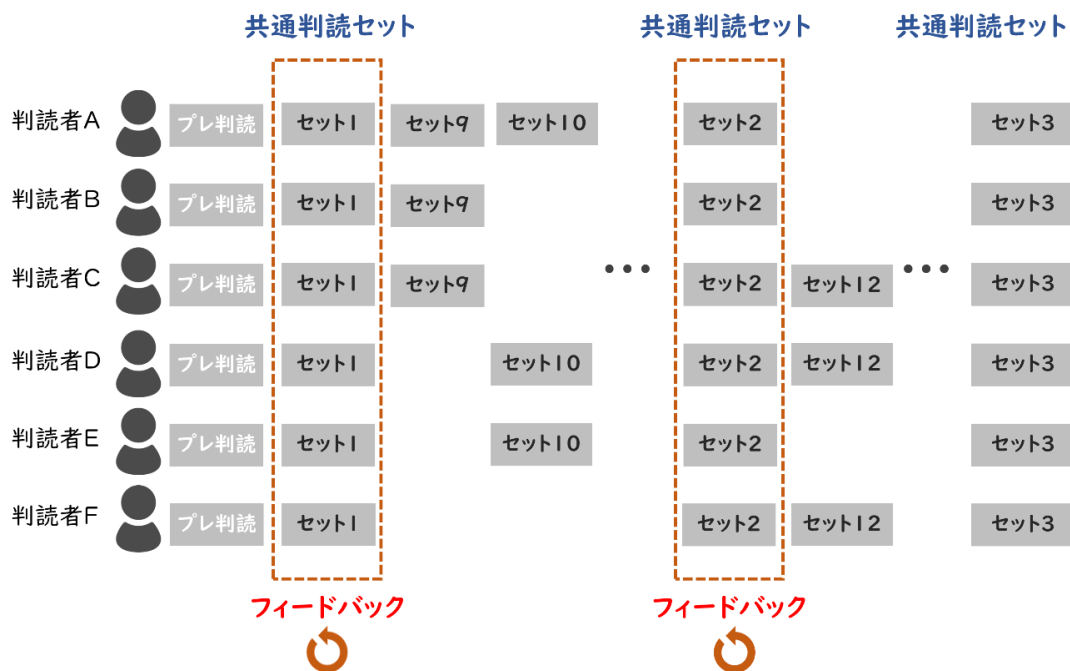


図 4-12 目視判読作業の概念図。判読者ごとに各データセットを順番に判読していく

表 4-2 目視判読の際のクラス表（※最終的なリファレンスデータでは、伐採・非伐採の2クラスに集約する。）

コードとクラス名	土地被覆の状況	例
1 伐採	皆伐地、開発地	人為的に木を切ったところ、林業的伐採箇所 0.1ha 以上の作業道開設
2 帯状択伐	伐採面積が 0.1 ha 以上の列状伐採	主に北海道に存在
3 森林変化	伐採以外の変化	間伐、崩壊地、風倒、森林火災、0.1ha 未満の作業道開設
4 森林	森林のまま変化なし	針葉樹、広葉樹、伐採跡地、樹冠被覆率 30%以上を目安とする
5 非森林	森林以外のまま変化なし	裸地（崩壊地含む）、農地、果樹園、河川、住宅、太陽光パネル、道路、樹冠被覆率 30%未満の笹地
6 その他	1～5 以外（判読が難しい土地被覆）	
7 判読不能	衛星画像に起因する判読不能地点	雲、陰、ハレーション

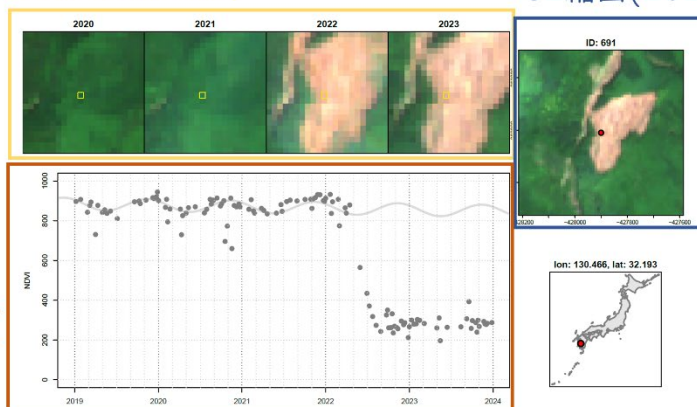
#### (2-2) 判読に用いるデータ

目視判読を実施するため、Google Earth Engine (GEE) を用いて中心点が判読するサンプル要素の位置となる Sentinel-2 画像からデータセットを作成する。具体的には、2020～2023 年のそれぞれの年について、5-9 月の間に撮影された Sentinel-2 画像のうち、雲被覆率 70%以下の画像を用いて、各 band の中央値コンポジット画像を作成して、雲のない各年の画像をダウンロードする。同様に、伐採年月の判読のためにサンプル要素の位置の全ての Sentinel-2 画像の NDVI（正規化植生指数, Normalized Difference Vegetation Index）を計算してダウンロードし、NDVI の時系列推移を作成する。これらをまとめたデータを各サンプル要素の位置での判読作業に利用する（図 4-13）。判読作業において、伐採がある可能性がある場合は、その位置の Google Earth の高解像度画像を閲覧して詳細な検討をする。

Sentinel-2 (S2) コンポジット,  
210m四方

S2縮図(2023, 約630m四方)

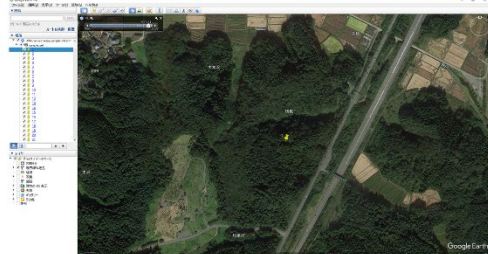
NDVIプロット  
(中心ピクセル  
の値)



位置図

Google Earth, 該当するKMLを表示する

記入用Excelシート



	A	B	C	D	E	F	G
1	SET	ID	CODE2021	CODE2022	YearMonth	Notes	
2		2	501				
3		2	502				
4		2	503				
5		2	504				
6		2	505				
7		2	506				
8		2	507				
9		2	508				
10		2	509				

図 4-13 目視判読に用いるデータの例

### (2-3) 複数判読者のラベル統合と目視判読誤差の定量化

判読作業を実施すると、 $n=31,000$  のサンプルのうち、 $27,000$  のサンプル要素については異なる3人の判読者による判読結果が得られ、残りの $4,000$  のサンプル要素については異なる6人の判読結果が得られる。各サンプル要素の2021年と2022年のリファレンスクラスについては、伐採(表4-2のコード1と2)・非伐採(コード3~6)の2クラスに整理した上で、全判読者の多数決をとって決定する。6人の判読者が存在するサンプル要素では、判読の結果が伐採と非伐採で3対3に分かれる可能性があり、そのときには無作為にどちらかのクラスを割り当てる。

複数人で手分けして判読した各データセットについて、1人のみで判読する場合のシミュレーションも検討する。各セットの複数判読者の判読結果から、1人の判読結果を無作為に選んで、その結果からリファレンスデータを作成する手順を十分な回数(例えば300回)繰り返し、下記に示す伐採面積推定の手法で推定値の平均を計算する。

目視判読誤差の定量化の際には、6人全員が判読した $n=4,000$  の共通判読セットのサンプル要素を用いて、判読者が1人のとき、3人で多数決をとったとき、5人で多数決をとったときのそれぞれの場合でリファレンスデータを作成し、後の伐採面積計算に利用する。

### (3) 一致の定義

伐採・非伐採クラスのマップとリファレンスクラスでの一致の定義は、目視判読での基準に合わせる。

#### (伐採面積の計算)

作成したリファレンスデータを用いて、2021年および2022年の伐採面積推定値とその95%信頼区間を算出する。評価するマップと層化が異なるので式(29)~(34)を利用する。全ての判読者の判読結果を用いた多数決、1人での判読シミュレーション結果、判読誤差を考慮した1, 3, 5人での場合のそれぞれについて同じ式で推定する。

目視判読誤差の推定のため、6人全員が判読した共通判読セットの $n=4,000$ について、それぞれ1, 3, 5人で判読したときの誤差を式(25)~(28)で推定する。判読誤差を定量化するにあたり、2つの判読結果の組み合わせから推定誤差を定量化する手法しか論文で示されていないため、複数の2つの組み合わせを作り、それぞれで判読誤差を算出し、その平均と中央値を計算する。例えば、4,000のサンプル要素を1人で判読する場合を考えると、ここでは6人の判読者がいるので ${}_6C_1$ で6通りの判読結果が存在することになる。6通りの判読結果から構成される2つの判読結果の組み合わせは ${}_6C_2$ で15通りあり、それぞれの組み合わせにおける目視判読誤差を算出する(判読者A-Bの組み合わせの判読誤差、A-Cの組み合わせでの判読誤差...)。同様に3人の判読者で判読すると仮定した場合の組み合わせは190通り、5人の判読者で判読すると仮定した場合の組み合わせは15通り存在する。これらの結果から、1, 3, 5人で判読したときの平均的な判読誤差(もしくは中央値)を推定する。真の判読クラスはわからないため、ここでの判読誤差は、それぞれの判読結果の差異による伐採面積の変動のみを考慮する。

目視判読誤差は、2021年と2022年を合わせて判読したと仮定して判読誤差を算出する。つまり、2021年と2022年の伐採年を間違えて判読するミスを考慮しない。これはサンプル抽出での層化とマップが一致しているときには式(25)~(28)を利用できるが、一致しない場合にはそれに対応する計算方法が示されていないことに起因する。本事業では2021年と2022年のそれぞれの年で、サンプル抽出の層化とマップが異なるため、各年の目視判読誤差を推定できない。2021年と2022年の伐採を合わせた伐採クラスを評価していると仮定すれば、層化と評価するマップが一致するため、目視判読誤差を算出できる。

本事業の目視判読では、北海道での帯状の伐採と他の伐採を分けた判読クラスとしている。この帯状の伐採の面積を推定したい場合、リファレンスクラスを変更することで推定が可能となる。上記のリファレンスデータの作成の(2-3)でサンプルにリファレンスクラスを割り当てる際、伐採クラス(表4-2のコード1と2)から分離して伐採(コード1)、帯状伐採(コード2)とし、非伐採(コード3~6)と合わせて3クラスとする。これで2クラスのとときと同様に式(29)~(34)で伐採面積、帯状択伐面積、非伐採面積が推定できる。

## ② 2023 年（早期把握方法）の推定（Sentinel-2 簡易マップ）

### （全体の流れ）

2023 年の民有林における伐採面積を推定する手法を検討する。2021 年と 2022 年の伐採面積推定と全体的な手順は同じだが、早期に伐採面積を把握するために労力削減をしており一部で手順が異なる。また、追加で伐採マップの作成が必要になる。手順を簡略化したため、最終的な伐採面積の推定精度は低下する可能性がある。

### （サンプル抽出手法）

2021 年および 2022 年の民有林での伐採面積推定と同様に、サンプル抽出手法の決定、層化のための伐採マップの選定、層の設定、サンプルサイズの決定を実施した後、サンプル抽出を実行する。

#### (1) サンプル抽出手法および層化のための伐採マップ（Sentinel-2 簡易マップ）の作成

2021 年および 2022 年と同様に層化無作為抽出法を利用してサンプル抽出を実施する。2023 年の伐採面積推定のための層化に用いる伐採マップが存在しないため、FAMOST<sup>3</sup>を参考として簡易的な手法で伐採マップを作成する。このために、Google Earth Engine で 2023 年 5～9 月と 2024 年 5～9 月の Sentinel-2 画像の中央値コンポジット画像を 10m 解像度で作成する。中央値コンポジット画像から、FAMOST で利用される 3 つの植生指数を計算し、2023 年と 2024 年の 2 期間の差分を算出する。FAMOST で設定された閾値を用いて、2 期間の差分から森林攪乱候補を抽出する。このうち、0.2ha 以下の攪乱箇所候補を抽出ミスとみなして削除し、残った森林攪乱候補を伐採と読み替えて伐採マップとする。10m 解像度の民有林の範囲を国土数値情報の森林地域ポリゴンデータから確定する。伐採マップは、民有林を対象とした 2023 年の伐採と非伐採の 2 クラスのマップとなる。

#### (2) 層化のクラス設定

上記の 2023 年の伐採マップにおける伐採と非伐採のクラスをそのままサンプル抽出の層化とする。手順の簡素化のため、2021 年と 2022 年の推定とは異なり空間的バッファ層は設定しない。例として層化マップ（2023 年）の拡大図（2 × 2 km）を図 4-14 に示す。日本全体のうち、民有林のみを対象として層化マップの面積を集計すると表 4-3 の通りとなる。

#### (3) サンプルサイズの決定

2021 年および 2022 年の伐採面積推定を参考として、サンプルサイズを  $n = 30,000$  とし、表 4-3 の通りに各層で抽出するサンプルサイズを割り振る。

---

<sup>3</sup> Forest and Agriculture Monitoring Observation with Satellite Technology、林野庁が開発した衛星画像を用いた森林変化点抽出プログラム

#### (4) サンプル抽出の実行

上記の設定でサンプル抽出を実行する。後の目視判読作業のために地理データなどを準備する。

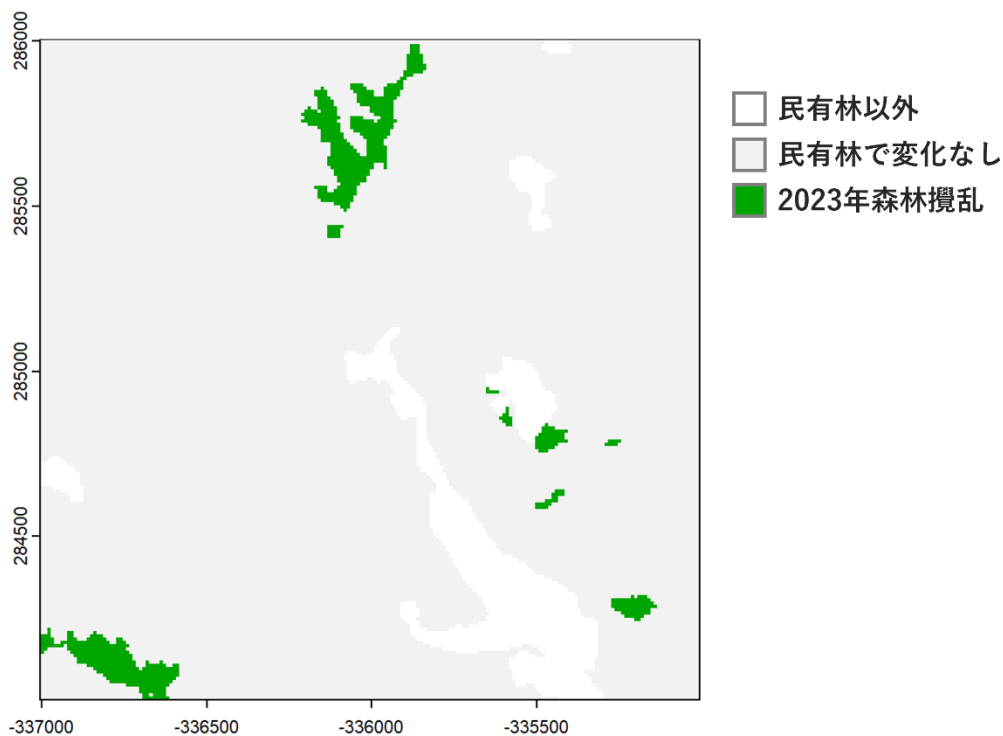


図 4-14 層化マップ（2023年）の拡大図（2 × 2 km）

表 4-3 民有林での伐採面積推定のための層化クラスとサンプルサイズ

層	マップ面積 (ha)	面積割合(%)	n
民有林で変化なし（変化なし）	17,843,937	99.848	28600
2023年森林攪乱（伐採クラス）	27,216	0.152	1400

#### （リファレンスデータの作成）

2021年および2022年と同様にリファレンスデータの空間単位、目視判読のデータ情報源、クラスラベルの割当手法、一致の定義を決める。

##### (1) リファレンスデータの空間単位

層化の伐採マップと同じく10m解像度のピクセルとする。

## (2) クラスラベルの割当および目視判読データの情報源

2021 年および 2022 年と同様に各サンプル要素のリファレンスクラスは目視判読によって割り当てられるが、一部で簡略化する。目視判読については、3 人の判読者で分担することとし、各サンプル要素について 1 人のみが判読する（つまり 1 人あたり 10,000 箇所サンプル要素を判読する）。判読のクラスは、伐採・非伐採と判読不能の 3 クラスとする（表 4-4）。3 人の判読者は、2021 年および 2022 年の判読を実施した者で、判読手順と判読クラスを事前に把握している。そのため、判読者間の一貫性を保つためのプレ判読と判読途中のフィードバックは実施しない。共通判読セットも用意しない。

### (2-1) 判読手順

- ・ 判読者は合計 3 人（いずれも 2021 年および 2022 年の判読を実施した判読者）
- ・  $n=30,000$  の抽出したサンプルを 1 セット  $n=500$  に無作為に分割し、合計 60 セットの各セットのデータセットを作成する。
- ・ 1 人あたり 20 セットをそれぞれで判読する
- ・ 判読の際のクラスは表 4-4 の通り。
- ・ 各サンプル要素の 2023 年のクラスを目視判読する。伐採があると判断された場合でも、伐採年月は記録しない。
- ・ プレ判読と判読結果のフィードバックは行わない。
- ・ 判読管理者は判読結果を統合し、入力ミスがないか確認する。入力ミスと思われる箇所は、その判読者に確認して必要があれば修正する。

表 4-4 2023 年のリファレンスデータのクラス表

コードとクラス名	土地被覆の状況	2021 年および 2022 年判読時のコードとクラス名
1 伐採	皆伐地、開発地、列状伐採	「1 伐採」「2 帯状択伐」
2 非伐採	森林のまま変化なし、伐採以外の変化、森林以外	「3 森林変化」「4 森林」「5 非森林」「6 その他」
3 判読不能	衛星画像に起因する判読不能地点	「7 判読不能」

## (2-2) 判読に用いるデータ

2021年および2022年と同様に、Google Earth Engine (GEE) を用いてサンプル要素の位置を判読箇所の中心とした Sentinel-2 画像から、目視判読に用いるデータセットを作成する。2020～2024年の各年の Sentinel-2 画像を利用する(図 4-15)。なお、Google Earth Engine は行政の業務利用等では有償となる場合があるので、利用条件の確認が必要となる(<https://earthengine.google.com/noncommercial/>)。

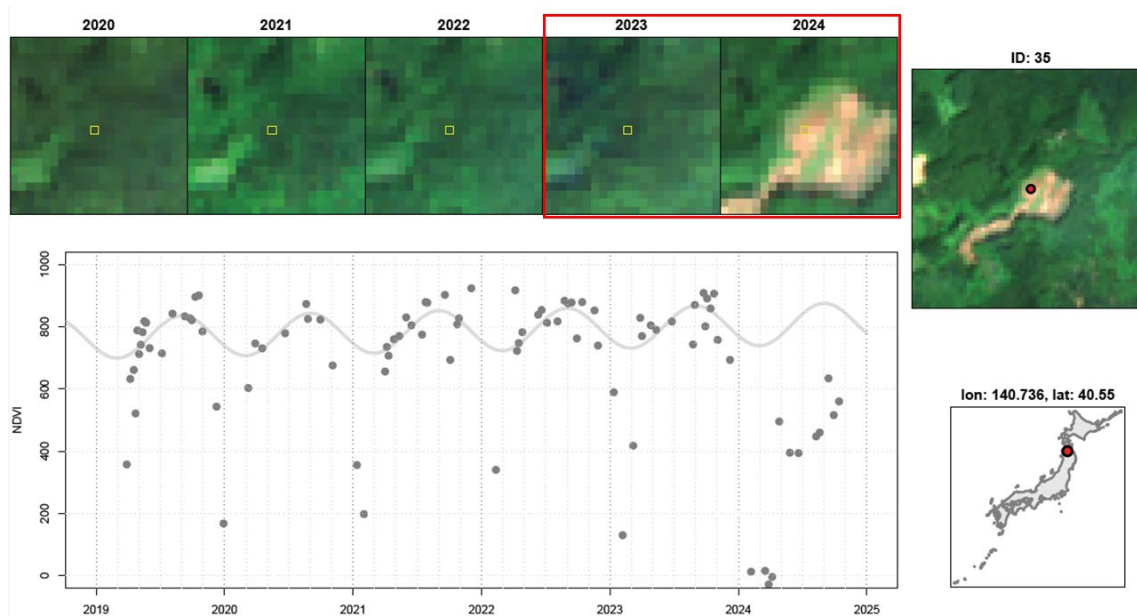


図 4-15 2023年の目視判読に用いるデータの例

## (2-3) サンプルのリファレンスクラス

2021年および2022年の判読と異なり、それぞれのサンプル要素について1人の判読者しかいないため、それぞれの判読結果をそのままリファレンスクラスとして利用する。判読誤差は定量化しない。

## (3) 一致の定義

伐採・非伐採クラスのマップとリファレンスクラスでの一致の定義は、目視判読での基準に合わせる。

### (伐採面積の計算)

目視判読によるリファレンスデータを用いて、2023年の伐採面積推定値とその95%信頼区間を算出する。2021年および2022年の場合と異なり、評価する伐採マップと層化が一致

するので、推定には式(15)～(17)を利用する。この際、異なる判読者の間の目視判読誤差は考慮しない。

#### 4.2.2.2. 地域別の民有林での伐採面積推定

##### ① 都道府県を対象とした推定

###### (全体の流れ)

2021年および2022年の、各都道府県での民有林における伐採面積を推定する手法を検討する。新たにサンプルを抽出して目視判読することはせず、4.2.2.1①で抽出した全国の民有林での伐採面積推定のためのサンプルや、伐採マップ（Landsat 時系列マップ）から求められる伐採ピクセル数を利用する。いくつかの前提に基づいて都道府県ごとの伐採面積を推定する。

###### (サンプルおよびリファレンスデータ)

4.2.2.1①で抽出した2021年および2022年のサンプル（ $n=31,000$ ）と、各年のリファレンスクラスをそのまま利用する。

###### (伐採面積推定手法)

都道府県ごとの伐採面積推定のために、4つの手法を検討する。都道府県の区域が必要なので別途国土数値情報の行政区域データ（<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-2024.html>）を10m解像度に変換して計算に利用する。

##### (1) 各都道府県の区域内に位置するサンプルを利用した伐採面積推定

各都道府県の区域内に位置するサンプルを利用して、各都道府県の伐採面積を推定する手法である。単に日本全国での推定手法（4.2.2.1①）を各都道府県に適用するもので、式(29)～(34)で伐採面積と95%信頼区間を推定する。サンプルサイズの最小は東京都の102で最大は北海道の4,593となる（図4-16）。全国の民有林を母集団として抽出したサンプルを利用しているため、都道府県ごとのサンプルサイズが充分であることは保証されない。そのため、推定値の信頼性は各都道府県でばらつくことが予想される。

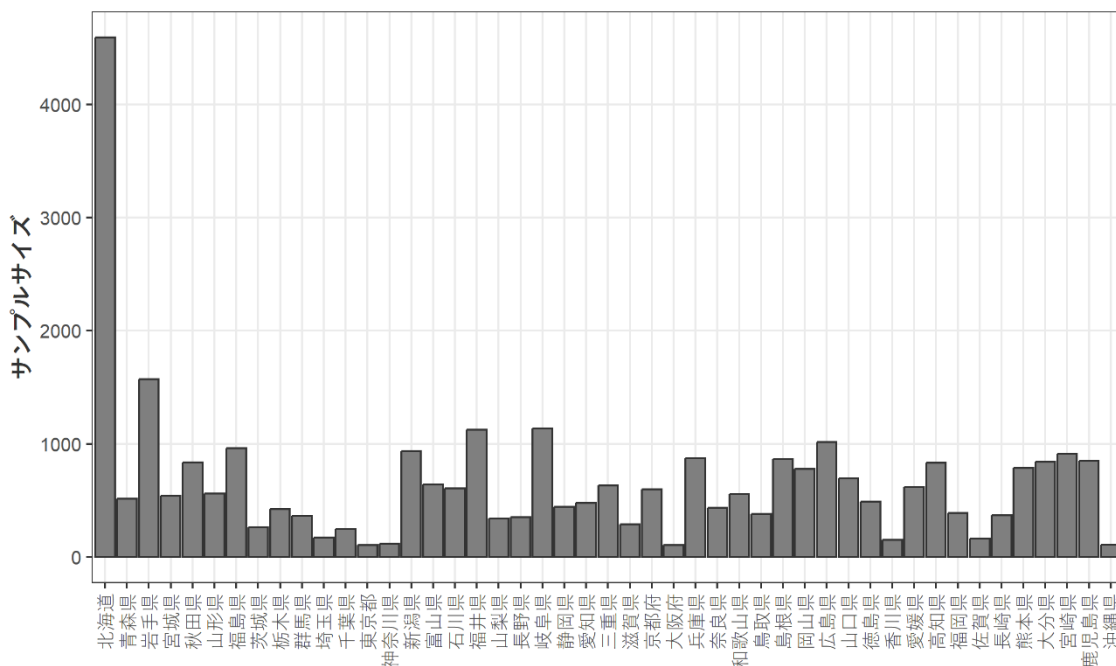


図 4-16 各都道府県の区域内に位置するサンプルサイズ

(2) 全国の推定値を都道府県別の伐採ピクセルで配分

4.2.2.1①の手法で求める民有林全体の 2021 年および 2022 年の伐採面積および 95%信頼区間の推定値を、伐採マップから求められる各都道府県の伐採ピクセル数の割合で配分する手法である。95%信頼区間については、一度分散に計算し直し、都道府県別の伐採ピクセル数の割合に応じて配分したうえで、各都道府県における 95%信頼区間を算出する。伐採マップの精度がどの都道府県でも同じと仮定できる場合は、都道府県での推定値には偏りが無い。また、サンプルサイズが小さい都道府県において、通常の層化推定量では伐採面積の推定値が安定せず、場合によっては伐採面積の推定値が 0 ha になるが、伐採ピクセル数の割合に応じて全国の伐採面積を配分することで現実に即して推定できる可能性がある。一方で、伐採マップの都道府県別の精度についての仮定が成り立つとは限らず、伐採マップの精度は地域的に偏りがある可能性が高いため、都道府県別の伐採面積推定の偏りの要因となる可能性がある。また、分散についても伐採ピクセル数の割合に応じて割り当てるのが適当である保証はない。

(3) 地域別にサンプル利用で面積推定後に都道府県別の伐採ピクセルで配分

上記の(1)と(2)の折衷案であり、日本を都道府県ごとに 7つの地方に分け、それぞれの地方の区域内に位置するサンプルを利用して地方ごとの伐採面積を推定し、それぞれの地方の区域内の都道府県について伐採ピクセル数の割合で配分する手法である。伐採マップの

精度が地方ごとに異なるとき、その地域性を都道府県の推定値にある程度反映できる。7地方は各森林管理局の国有林の管轄の都道府県で分けている（表 4-5）。欠点は(2)と同様である。

#### (4) 全国の推定値を都道府県別の素材生産量で配分

4.2.2.1①の手法で求める民有林全体の 2021 年および 2022 年の伐採面積および 95%信頼区間の推定値を各都道府県の素材生産量（森林・林業統計要覧 2023）の割合で配分する手法である。上記の(2)の手法を「伐採マップの伐採ピクセル数割合」の代わりに「森林・林業統計要覧の素材生産量割合」で置き換える。2021 年度（確報）と 2022 年度（一報）の値を用いる。行政データの情報を反映できる利点がある。欠点は上記の(2)と同じであり、森林・林業統計要覧の素材生産量の割合に応じて伐採面積を配分するのが妥当かを検証する必要がある。地域に応じて伐採の樹種や面積当たりの蓄積量が異なる可能性があり、伐採面積の代表とならない可能性もある。

表 4-5 地域ごとのサンプルサイズと 2021 年伐採マップの精度

地域	都道府県	全体の n	伐採マップ の PA (%)	伐採マップ の UA (%)
北海道	北海道	4,593	65.3 (±15.3%)	77.5 (±5.3%)
東北	青森県, 岩手県, 宮城県, 秋田県, 山形県	4,017	75.6 (±12.4%)	77.1 (±5.8%)
関東	福島県, 茨城県, 栃木県, 群馬県, 埼玉県, 千葉県, 東京都, 神奈川県, 新潟県, 山梨県, 静岡県	4,357	48.2 (±22.4%)	77.2 (±9.3%)
中部	富山県, 長野県, 岐阜県, 愛知県	2,600	48.3 (±34.1%)	71.0 (±16.1%)
近畿中国	石川県, 福井県, 三重県, 滋賀県, 京都府, 大阪府, 兵庫県, 奈良県, 和歌山県, 鳥取県, 島根県, 岡山県, 広島県, 山口県	8,939	68.6 (±19.6%)	64.3 (±7.0%)
四国	徳島県, 香川県, 愛媛県, 高知県	2,089	45.9 (±30.2%)	73.7 (±14.1%)
九州	福岡県, 佐賀県, 長崎県, 熊本県, 大分県, 宮崎県, 鹿児島県, 沖縄県	4,405	76.4 (±12.9%)	71.5 (±5.4%)

#### ② スギ人工林伐採重点区域を対象とした推定

##### (全体の流れ)

2022 年のスギ人工林伐採重点区域内での伐採面積を推定する手法を検討する。新たにサンプルを取得して目視判読はせず、4.2.2.1.①で Landsat 時系列マップを用いて取得した全国

の民有林での伐採面積推定のためのサンプルを利用する。なお、スギ人工林重点伐採区域を対象とした行政情報は存在しないため、都道府県別の推定(4)で用いた素材生産量等により配分する方法を利用することはできない。

#### (サンプルおよびリファレンスデータ)

4.2.2.1.①で取得した2022年の民有林でのサンプル(n=31,000)と目視判読結果を利用する。23都道府県のスギ人工林伐採重点区域ポリゴンを結合し10m解像度のラスタに変換する。スギ人工林伐採重点区域ポリゴンは民有林以外も含んでおり、非民有林はサンプル抽出の範囲外なので解析から除外する。全体の面積は151.9万haであり、うち25.2万haは非民有林なので、対象となるのは126.7万haである(図4-17)。対象地域内に位置するサンプルはn=2,230であり、このサンプルを利用して伐採面積を推定する。



図 4-17 23 都道府県におけるスギ人工林伐採重点区域（黒色）の分布

#### (面積推定手法)

4.2.2.2.①(1)と同様の手法で、スギ人工林伐採重点区域内にあるサンプル(n=2,230)をそのまま計算に利用する。層化無作為抽出法で取得したサンプルは部分母集団内でも層化

無作為抽出によるサンプルと扱って計算できるため、式(29)~(34)を用いて区域内の2022年の伐採面積を推定する。

### ③ (参考) 都道府県等地域別に推定するその他の方法 (小地域推計)

都道府県等地域別に推定する方法として考えられる手法の1つに、小地域推定を利用するものがある。小地域推定は、標本調査の際に母集団全体で十分なサンプルがあっても、とある部分母集団(小地域)に対してはサンプルが足りず、信頼性が高い推定ができない場合に利用される。標本調査での推定値と行政情報での推定値のうち、信頼性が高い方に大きな重みがつくような推定モデルで各都道府県の伐採面積を推定する。ただし、推定は複雑になりブラックボックス化する懸念もあるので、本事業では小地域推定の詳細は検討せず、整理に留める。

## 4.3. 衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した伐採(主伐)面積の推定詳細設計の検証

### 4.3.1. 全国の民有林での伐採面積推定

#### ① 2021年および2022年の推定結果 (Landsat 時系列マップ)

##### (2021年および2022年の伐採面積の推定)

4.2.2.1①の詳細設計に従い、全国の民有林を対象にサンプルから推定した伐採面積は以下の通りとなる(表4-6、表4-7)。

2021年: 46,165 ha ± 5,335ha (95%信頼区間)

2022年: 54,628 ha ± 6,873ha (95%信頼区間)

表 4-6 2021年の伐採面積推定の概要

層	マップ面積(ha)	サンプルサイズ n	PA	UA	平均伐採割合 $y_h$	伐採面積推定式 (式 31)	推定伐採面積(ha)
変化なし	17,757,348	27,815	99.8%	99.8%	0.0006	1,775.7 万 ha × $y_h$	10,215
2021/2022 年伐採	82,762	2,050	62.7%	77.0%	0.3766	8.3 万 ha × $y_h$	31,167
バッファ	29,996	1,135	—	—	0.1595	3.0 万 ha × $y_h$	4,784
(民有林合計)	17,870,106	31,000	—	—	—	—	<b>46,165</b>

PA および UA は層をクラスとしたときの Producer's 精度と User's 精度を表す(表 4-7 と同じ値になる)。マップ面積とサンプルサイズ n は表 4-1 と同じ。

表 4-7 2022 年の伐採面積推定の概要。

層	マップ面積(ha)	サンプルサイズ n	PA	UA	平均伐採割合 $y_h$	伐採面積推定式 (式 31)	推定伐採面積(ha)
変化なし	17,757,348	27,815	99.8%	99.8%	0.0010	1,775.7 万 ha $\times y_h$	17,875
2021/2022 年伐採	82,762	2,050	62.7%	77.0%	0.3917	8.3 万 ha $\times y_h$	32,418
バッファ	29,996	1,135	—	—	0.1445	3.0 万 ha $\times y_h$	4,334
(民有林合計)	17,870,106	31,000	—	—	—	—	54,628

PA および UA は層をクラスとしたときの Producer's 精度と User's 精度を表す (表 4-6 と同じ値になる)。マップ面積とサンプルサイズ n は表 4-1 と同じ。

ただし、上記の推定に目視判読誤差は含まない。伐採面積に対する 95%信頼区間の比率は 2021 年が 11.6%で 2022 年が 12.6%だった。行政データとの比較は図 5-1 の通り。このうち、北海道での帯状伐採の推定面積は 80.7ha (2021) および 759.5ha (2022) だった。

## ② 2023 年 (早期把握手法) の推定結果 (Sentinel-2 簡易マップ)

### (2023 年の伐採面積の推定)

全国の民有林を対象に 2023 年のサンプルから推定した伐採面積は以下の通りとなる (表 4-8)。

2023 年: 54,248 ha  $\pm$  8,477 ha (95%信頼区間, 伐採面積に対する比率 15.6%)

表 4-8 2023 年の伐採面積推定の概要

層	マップ面積(ha)	サンプルサイズ n	PA	UA	平均伐採割合 $y_h$	伐採面積推定式 (式 15, 16)	推定伐採面積(ha)
変化なし	17,843,937	28,600	99.98%	99.8%	0.0017	1784.4 万 ha $\times y_h$	29,948
2023 年伐採	27,216	1,400	44.8%	89.3%	0.8929	2.7 万 ha $\times y_h$	24,300
(民有林合計)	17,871,153	30,000	—	—	—	—	54,248

PA および UA は層をクラスとしたときの Producer's 精度と User's 精度を表す。マップ面積とサンプルサイズ n は表 4-3 と同じ。2021/2022 年の民有林面積との差異は利用したマップの差異に起因する。ここで  $y_h$  は式(15)における  $n_{ij}/n_{i+}$  を表し、ここでは  $1-UA$  と一致する。

ただし、上記は4.2.2.1②での詳細設計の手法に加えて、2024 年 1 月の能登半島地震によって発生した崩壊地の判読のため、崩壊地ポリゴンと震災後の空中写真 (国土交通省, [https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101\\_noto\\_earthquake.html](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101_noto_earthquake.html)) のデータを利用して判読結果を修正したものである。詳細設計における判読手法を実施した場合、判読実施時期 (2024 年 12 月) には Google Earth に高解像度画像がなく、Sentinel-2 画像のみを用いた目視判読では

崩壊地の一部を伐採地としていた。修正前の推定値は 57,562 ha±8,905 ha であり、伐採面積を過大推定していた。

#### (早期把握での留意点)

早期把握のために伐採マップを FAMOST の手法に従い簡易的に作成したため、伐採マップの伐採クラスの Producer's 精度は 44.8%であり、サンプル抽出の効率が悪かったことが 2021 年および 2022 年の推定よりも推定精度が低かった (95%信頼区間の幅が大きかった) 要因と考えられた。FAMOST は市町村担当者が的確に伐採箇所を把握することを目的に、伐採クラスの User's 精度が高くなるよう設計されており、面積推定の精度向上のために、伐採マップにおける伐採クラスの Producer's 精度が高くなるよう設計を見直すことも今後検討が望まれる。

また、早期把握を志向した推定手法では、目視判読の際に十分なデータが得られない可能性がある。今回の事例のように、前年の伐採・非伐採を判読する際に高解像度衛星画像が手に入らない場合、崩壊地を伐採と誤判読する可能性がある。このような判読ミスが発生する場合、伐採面積の推定値が過大になる。こうした早期把握に起因する判読ミスは今後も留意すべきである。

#### 4.3.1.2. 目視判読に関する検証

##### (1人で判読したときの伐採面積推定値)

判読者の無作為選択を 1 人で判読した場合をシミュレーションするため、充分と考えられる回数 (300 回) 繰り返した結果、以下の通りの平均値が得られた。3 人で判読 (ただし 4,000 箇所は 6 人の判読) 結果の多数決をとったときよりも過大傾向にあった。

2021 年: 平均 49,652 ha (3 人の場合より+3,487 ha)

2022 年: 平均 58,039 ha (3 人の場合より+3,411 ha)

層化無作為抽出法では、層によって 1 箇所を「伐採」クラスと判読したときの影響が異なる。例えば 2021 年の推定では、非伐採層のサンプル要素の 1 つを伐採クラスと判読すると、全体の伐採面積推定値は 638.4ha 増加し影響が大きいが、伐採層では 40.4ha 増加、空間的バッファ層では 26.4ha 増加に留まり相対的に影響が小さい。そのため、3 人判読のときと判読結果大きく変わらなくても、影響の大きい非伐採層で 1 サンプル要素の判読結果が異なるだけで、伐採面積推定値が大きく異なる場合もある。

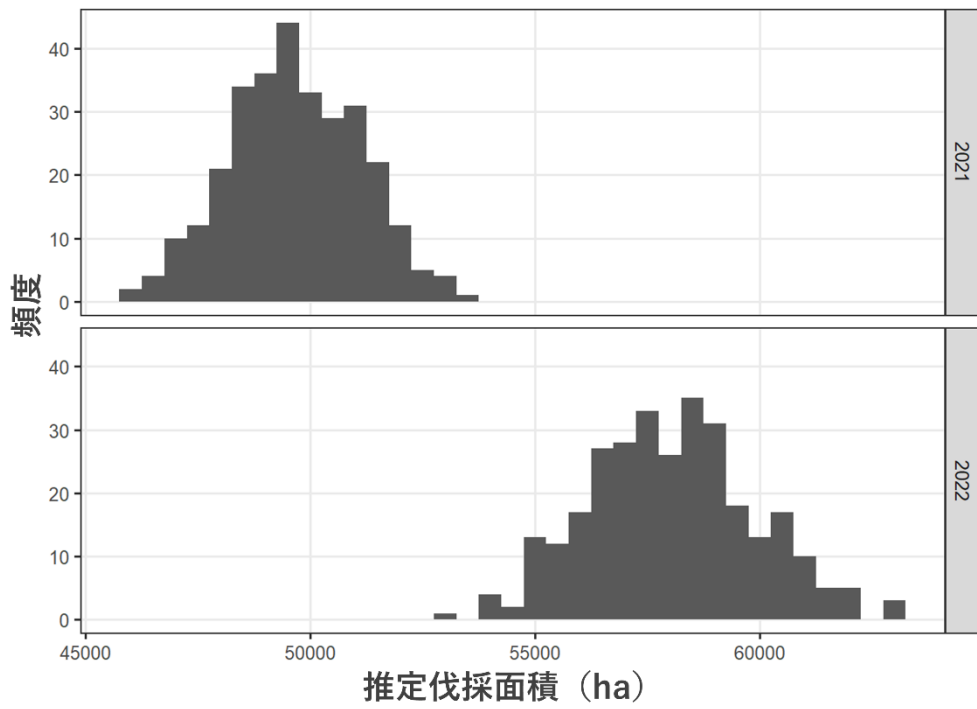


図 4-18 判読者が1人のときの伐採面積の推定値シミュレーション結果

**(伐採年月の分布)**

伐採年月の中央値の分布では、伐採が行われた時期は 1～3 月に多く 7～9 月の夏季に少ない傾向にあった。

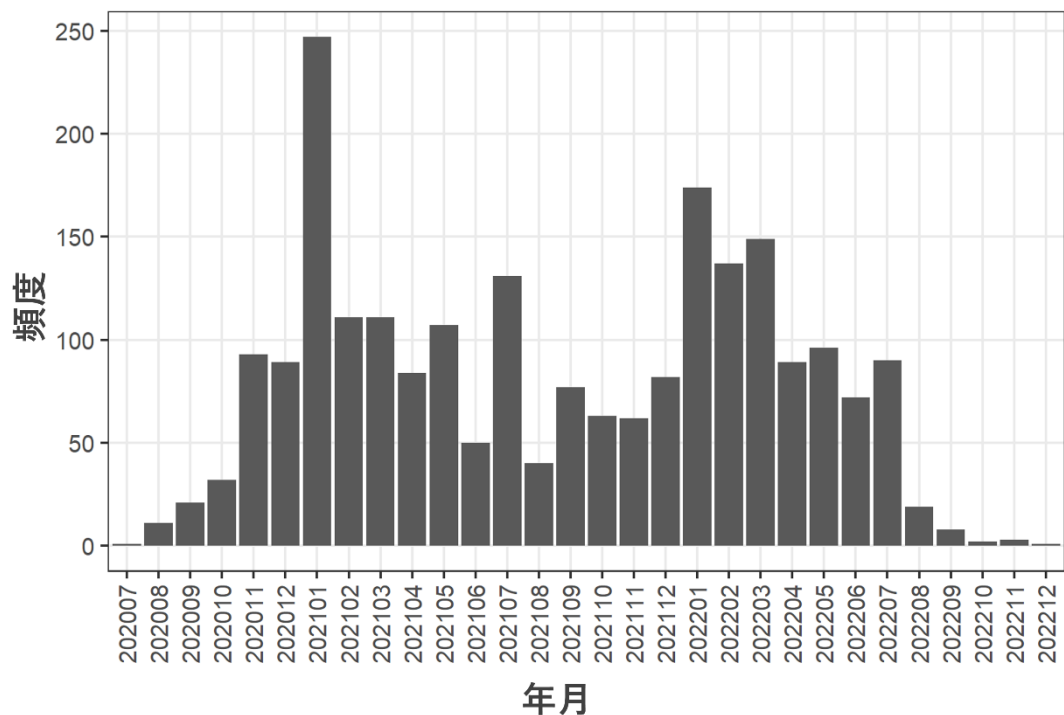


図 4-19 判読データにおける伐採年月の中央値の分布

**(目視判読に要した時間)**

判読作業に要した時間は延べ 420.7 時間であり、これに加えて集計作業やフィードバックなどの時間が必要だった(図 4-20)。1セット (n=500) あたりの平均判読時間は 1.99 時間であり、判読者ごとに平均 1.2~4.8 時間要した(図 4-21)。

セット数による判読時間の変化をみると、判読を進めて作業に慣れていくに従い、各セットの判読に要する時間が短くなる傾向があった(図 4-22)。特に最初の数セットはどの判読者も時間を要していた。

項目	詳細	A	B	C	D	E	F	全体	合計	
プレ判読	判読時間 100サンプル	3.3	0.7	2.9	6.7	1.4	1.6		16.4 時間	
	事前説明・フィードバック	3	3	3	3	3	3		18.0 時間	
	判読結果の管理							0.5 時間	1 set	0.5 時間
	小計(時間)									34.9 時間
	小計(日)									5.0 日
本判読	平均判読時間	1.8	1.5	1.2	4.8	1.5	2.2		2.0 時間	
	判読セット数	44	41	40	25	31	30		211 set	
	合計判読時間(H)	77.8	62.3	48.8	119.3	45.6	67.0		420.7 時間	
	合計判読日数(日)	11.1	8.9	7.0	17.0	6.5	9.6		60.1 日	
	フィードバック時間/回	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		5 回	50.0 時間
	フィードバック(日)									7.1 日
	判読結果の管理							0.5 時間	62 set	31.0 時間
	判読結果管理時間(日)									4.4 日
小計(日)									71.7 日	
合計日数									76.7 日	

(注) 時間から日への変換は休憩時間を除く 1 日 7 時間

図 4-20 判読作業全体に要した時間の計算

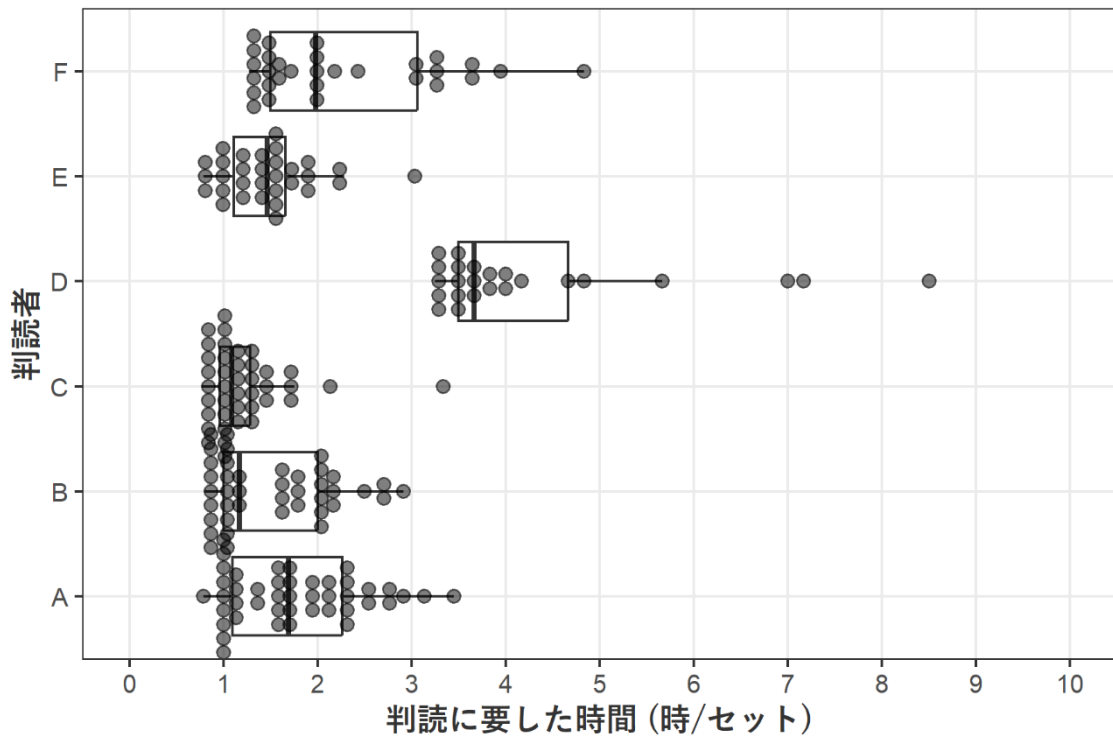


図 4-21 各判読者がセットごとの判読に要した時間の分布

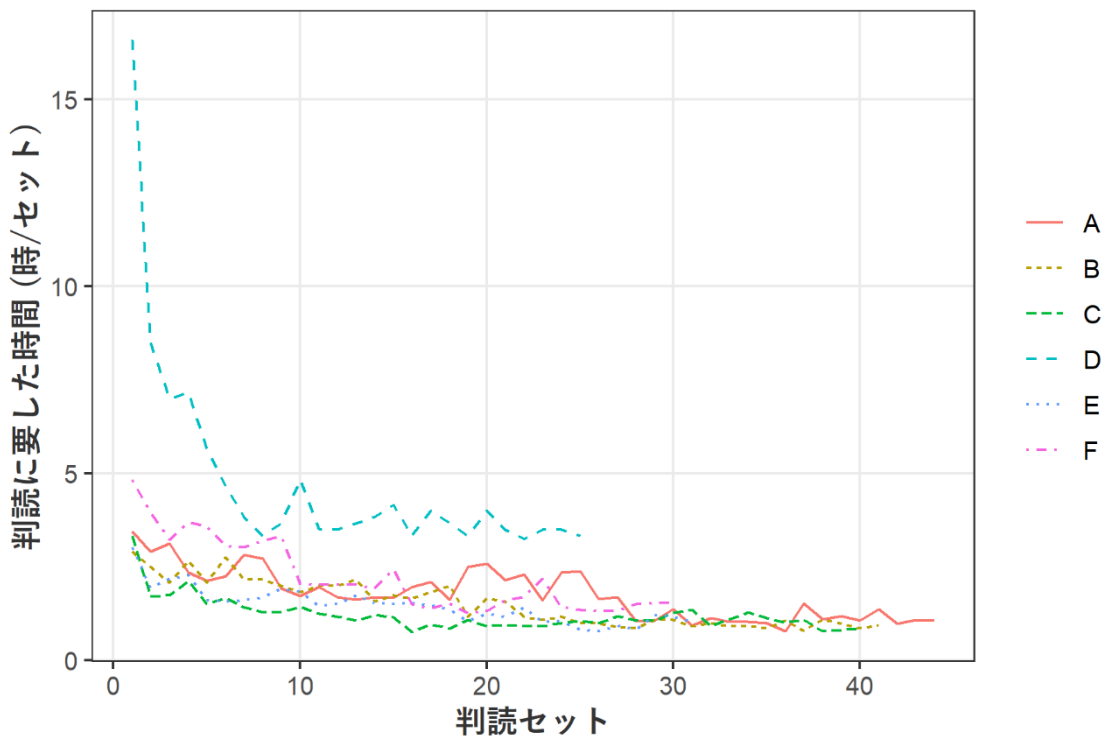


図 4-22 各セットの判読に要した時間の推移

### (判読者間で判読が異なった例)

本業務の目的の1つは、判読によりサンプルのリファレンスクラス（伐採・非伐採）を決定し、伐採面積を推定することである。この方法を用いた際に伐採面積の推定精度に大きく関係してくるのは、森林か非森林か、および伐採かどうかの判断である。

判読作業では、500の判読箇所をひとセットとし合計62セット、31,000サンプル要素について、各セット3名または6名で判読した。このうち、一人でも伐採地と判読したサンプル要素は合計1,095点あり、内870点は全員一致、判読が異なったのは225点である。判読基準を一定にすることを旨とした判読フィードバックを経たとしても、判読結果が異なるケースとして以下が挙げられる。

- ✓ 森林/非森林の判断が難しい地点
- ✓ 斜面や樹木による陰影に点が落ちている場合
- ✓ 土地被覆の境界に点が落ちている場合

#### ■ 森林/非森林の判断が難しい地点

判読箇所を森林とするかどうかは日本のパリ協定NDC報告対象森林の定義を目安としており、樹高5m以上、森林面積0.3ha以上、樹冠被覆率30%以上、最小幅20mを数値的定義として使われている。ここで、衛星画像の目視判読だけの判断が難しいものが、樹高と樹冠被覆率である。

樹高による森林・非森林の判断が難しいケースとして、伐採後の再伐採のクラスの割り当てである。植栽又は天然更新によって森林が維持されていれば森林としており、例えば、時系列的には2020年が森林で、2021年に伐採、その後なにかしらの手が入られなくても森林とみなすルールを採用している。ここで、相当時間（10年程度）が経過した後に、再度伐採される場合があり、再伐採を伐採とするのか森林のままとするかの判断が難しい。再伐採の時点にある程度樹高が高ければ伐採とするが、Sentinel-2やGoogle Earthで閲覧できる光学衛星画像で高さを判断できない。このため、判読者によって結果が異なることとなる。

樹冠被覆率による森林・非森林の判断が難しいケースとしては、強間伐地、また高山帯や湿地帯など立木本数密度が低い場所を森林とするか非森林とするかである。強間伐地は樹冠被覆率が低くなるケースもあり、目視判読での判断に限界がある。もともと立木が疎な高山帯や湿地帯、草地などは、そもそも森林なのかの判断が難しいケースである。

#### ■ 斜面や樹木による陰影に点が落ちている場合

このケースでは、斜面や樹木による陰影によって、土地被覆の判断が難しい。樹木による陰影は森林の北や西側に位置する伐採地で起きやすい。伐採地と森林の境界での判読結果に影響を及ぼす。

■ 土地被覆の境界に点が落ちている場合

判読箇所が土地被覆の境界にあると、判読結果が一致しない場合が多い。Google Earth 画像でも確認するが、Google Earth の高分解画像は実際の位置とはずれがあるため決定することは難しい。

伐採面積の計算において、伐採のサンプル要素数とその面積に大きく寄与することから、伐採地の判断は非常に重要である。土地被覆の境界に判読箇所が落ちている場合の判読結果が異なることは避けられないが、今後、判読者の相違を減らす対応として、判読結果を一致させることを目的とした判読ガイドブックの作成が挙げられる。森林・非森林の判断や、陰影にある判読ポイントについては条件を決めることで判読の一致率を上げることが期待できると考えられる。

(フィードバックの判読に対する効果)

各判読者の各層のサンプルに対する他の判読者との合致率を見ると初回・2回目のフィードバック(図 4-23 の●の箇所)後に合致率が向上する傾向があり、効果がある可能性がある(図 4-23)。全体として、伐採層で3.0%、バッファ層で3.1%について判読者間で不一致があった。

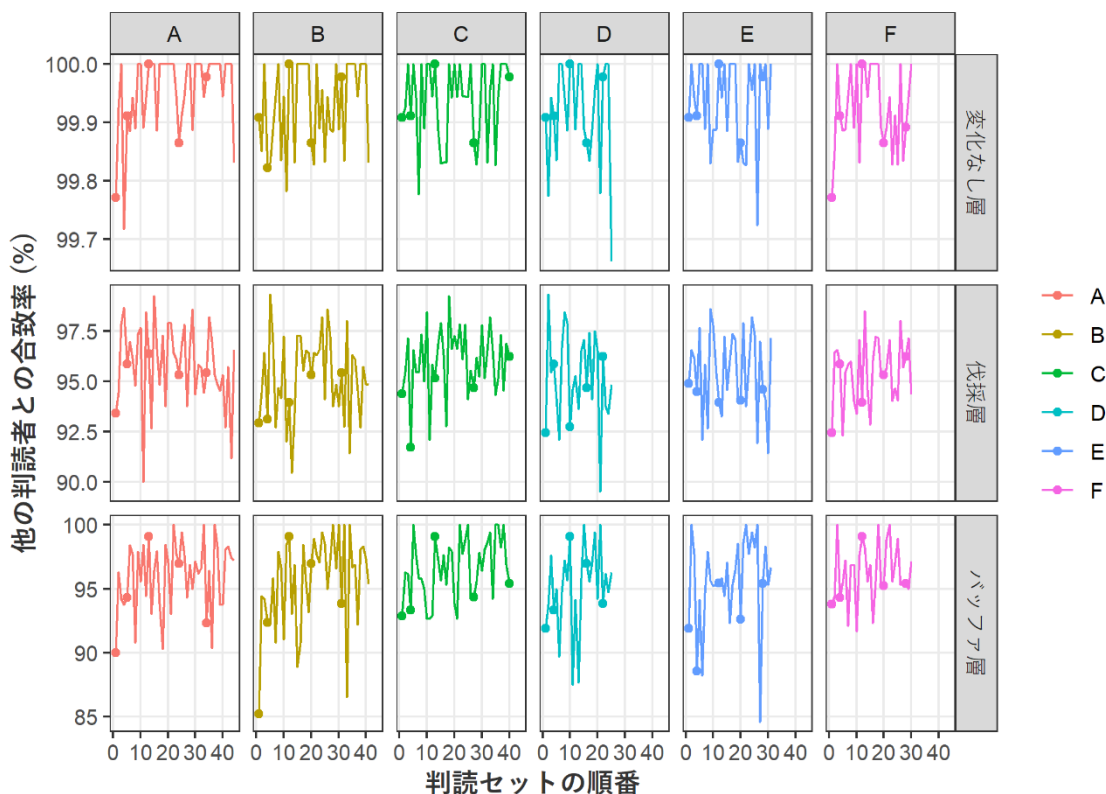


図 4-23 各判読者 (A~F) の各層におけるセットごとの他の判読者との一致率

### (目視判読誤差の推定)

目視判読誤差を共通判読セット (n = 4,000) で定量化すると、判読者を 1, 3, 5 人にして多数決をとったとき、1 人のみだと判読誤差が大きい傾向にあり、3 人だと平均的に小さくなり、5 人だとほぼ判読誤差の影響がなくなると推定された (図 4-24)。ここでの判読誤差はサンプルによる推定値のため、マイナスの値をとるときがあるが、目視判読による誤差がなければ分散=0 となる。

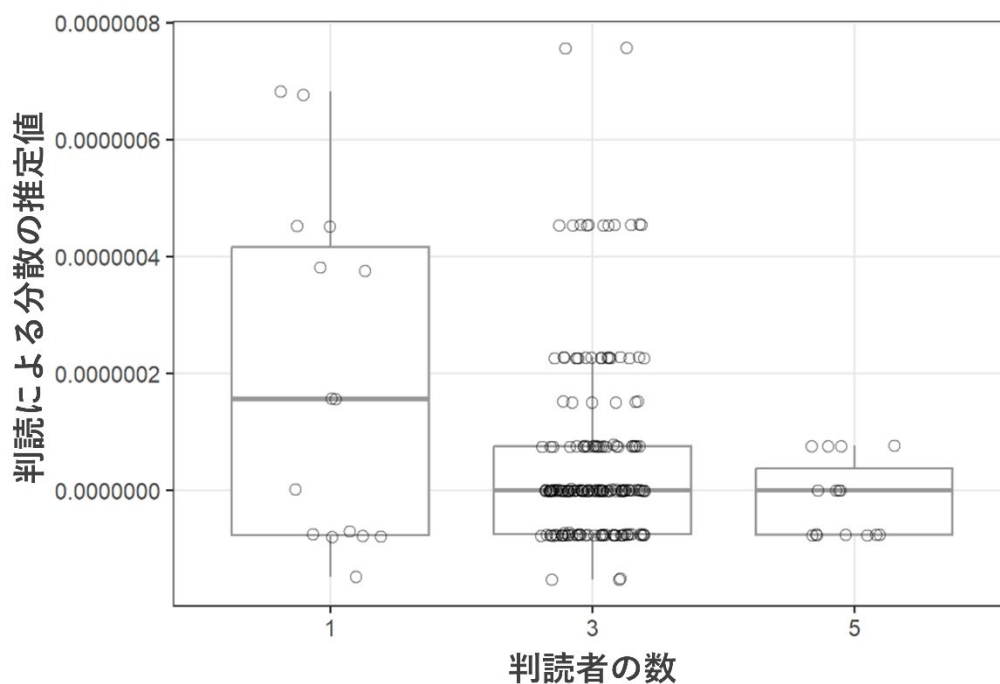


図 4-24 判読者数 1, 3, 5 人のときの目視判読による誤差が伐採面積推定に与える分散の推定値の分布

### (判読誤差の全体への影響)

上記で推定した目視判読誤差を年ごとに判読誤差が変わらないものとして、全体 (n=31,000) の伐採面積推定への影響を検証した。また、ここでの計算ではサンプル抽出によって発生する推定の分散は、判読者の数に関係なく同じと仮定して 3 人の判読結果の値を利用した。判読誤差を考慮しない場合と比較して、判読誤差を考慮することで信頼区間の中央値は 1 人の場合 2.2~2.8 倍、3 人の場合 1.0~1.0 倍、5 人の場合 1.0~1.0 倍となった (表 4-9)。平均値を用いると 1 人の場合 2.3~3.0 倍、3 人の場合 1.4~1.8 倍、5 人の場合 1 倍以下となった。目視判読誤差はサンプルサイズに依存しないので、n が大きくなると相対的な影響が大きくなる傾向があった (図 4-25)。

表 4-9 判読者数ごとの判読誤差が伐採面積推定の 95%信頼区間に与える影響。値は中央値を利用

判読者数	年	誤差を考慮しない 95%信頼区間 (ha)	判読誤差を含む 95% 信 頼 区 間 (中央値, ha)	比率
1	2021	5,335	14,841	2.8
1	2022	6,985	15,511	2.2
3	2021	5,335	5,341	1.0
3	2022	6,985	6,990	1.0
5	2021	5,335	5,335	1.0
5	2022	6,985	6,985	1.0

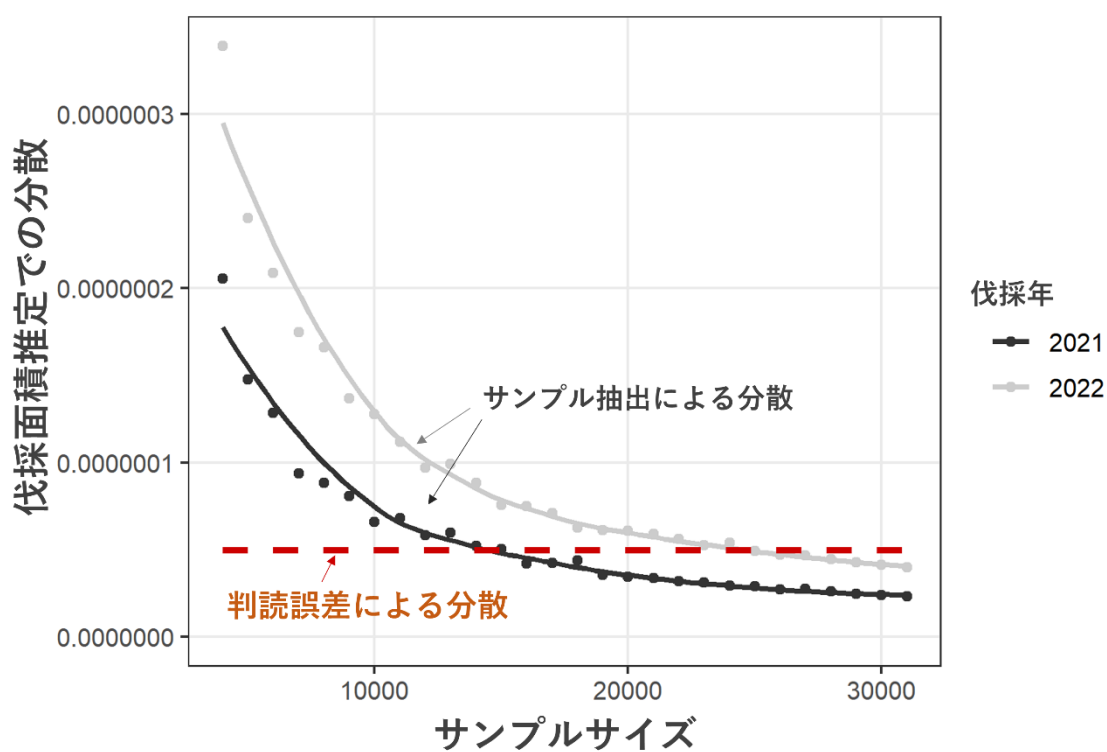


図 4-25 サンプル抽出と目視判読誤差の伐採面積推定での分散の関係

### (目視判読における省力化など)

同じサンプル箇所を3人で判読すると判読誤差をかなり軽減でき、5人だとほとんど影響を無視できるようになる。本事業での2021年および2022年の伐採面積推定では、目視判読は3人もしくは6人の多数決により決めているので、判読誤差は小さいと考えられる。

1人で判読する場合、平均的には判読誤差が大きいと想定される。ただし、判読誤差がほぼない判読者は存在するので、トレーニング次第では1人でも判読誤差が問題にならないこともあり得る。複数人で分担して判読する場合には、フィードバックなどで一貫性を保つ手順が必要と考えられる。

## 4.3.2. 地域別の民有林での伐採面積の推定

### ① 都道府県を対象とした推定の結果

#### (1) 各都道府県の区域内でのサンプルを利用した伐採面積推定

4.2.2.2.①の詳細設計に従い推定すると図4-26の通りとなる。埼玉県などで伐採のサンプル要素が0のため伐採面積 = 0 ha と推定されている。

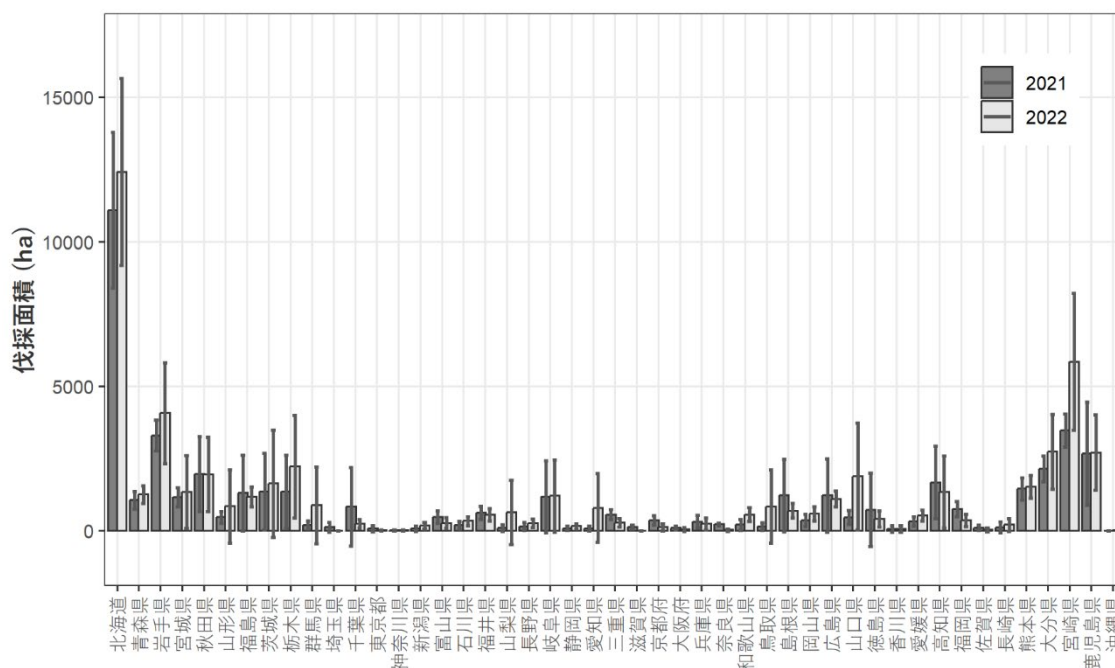


図 4-26 各都道府県の区域内でのサンプルを利用したときの伐採面積推定値

(2) 全国の推定値を都道府県別の伐採ピクセルで配分

図 4-27 の通り、2021・2022 年の 2 か年の伐採から作成した伐採マップの伐採層の面積を利用したため 2021 年と 2022 年は同じ面積比率となっている。今回は検討しなかったが、2021 年と 2022 年の伐採マップをそれぞれ作成してサンプル抽出を行えば、各年の伐採層の面積を反映でき、年ごとの変動を考慮できる。

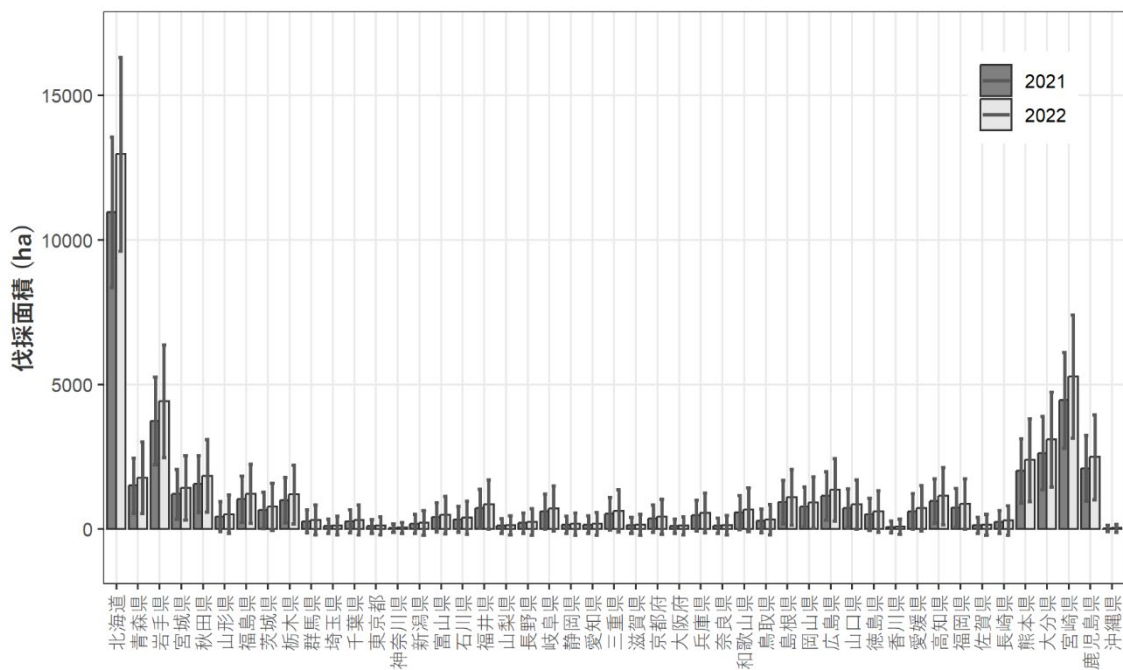


図 4-27 全国の推定値を都道府県別の伐採ピクセルで配分することで推定した各都道府県の伐採面積

(3) 地域別でサンプル利用で面積推定後に都道府県別の伐採ピクセルで配分  
 地域別に推定した面積を都道府県別の伐採ピクセルで配分した (図 4-28)。

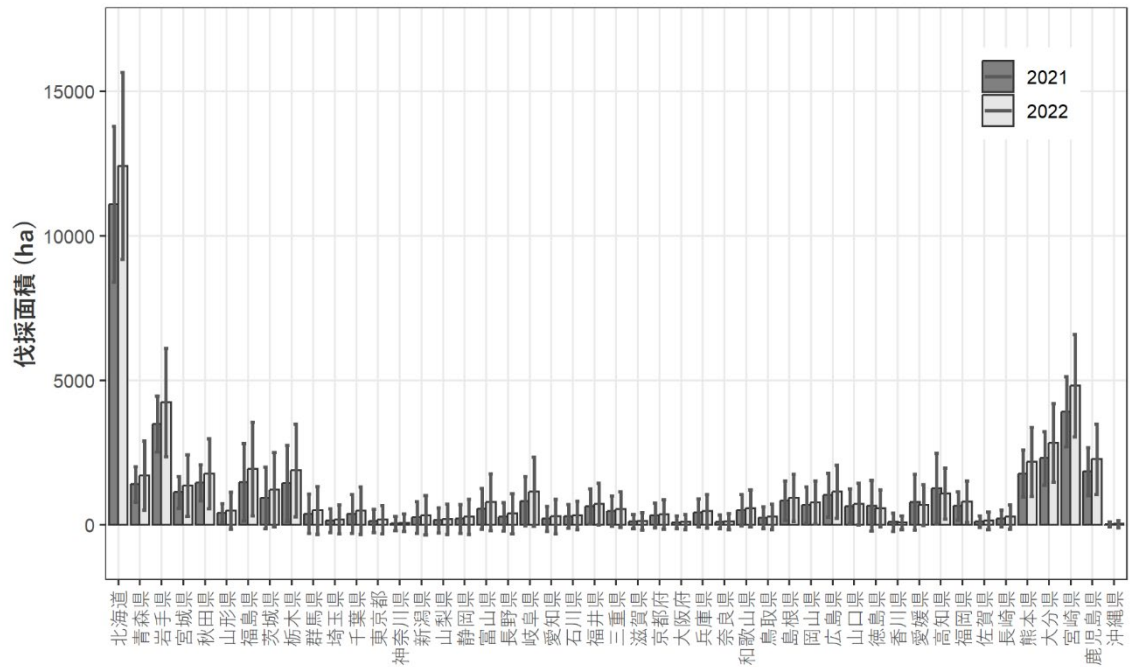


図 4-28 地域別でサンプルを利用して伐採面積を推定後、都道府県別の伐採ピクセルで配分して推定した各都道府県の伐採面積

(4) 全国の推定値を都道府県別の素材生産量で配分

森林・林業統計要覧の都道府県別素材生産量の割合に応じて配分した伐採面積を示す(図4-29)。

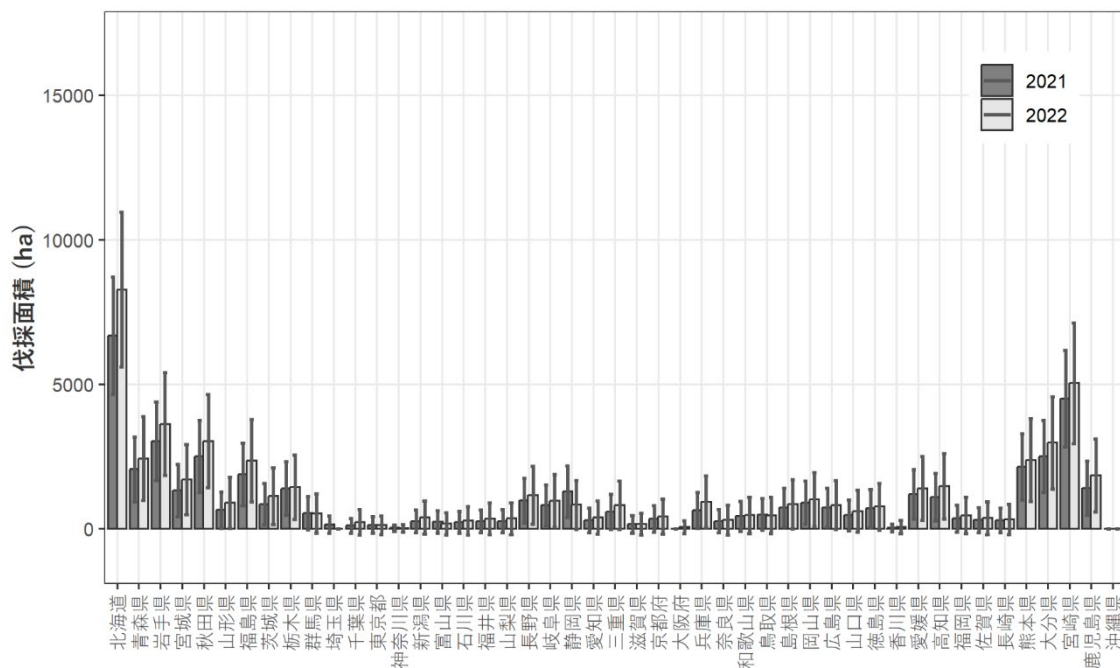


図 4-29 全国の推定値を都道府県別の素材生産量の割合で配分し推定した各都道府県の伐採面積

### (方法間の比較)

各手法で都道府県別に推計した結果の傾向を把握するため、行政手続きに基づく都道府県ごとの主伐面積の推計値と比較すると、2021年・2022年ともに、都道府県ごとに差異はあるものの、おおよその傾向は捉えられている。(図 4-30、図 4-31)

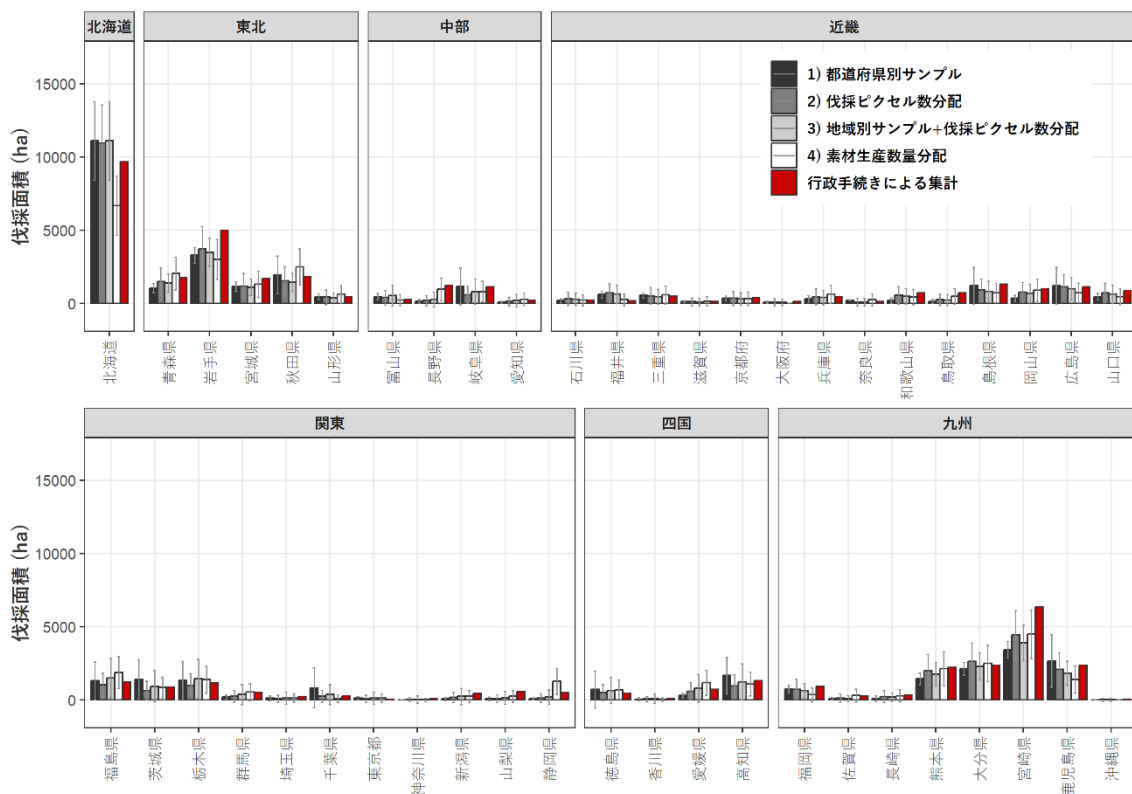


図 4-30 各手法での伐採面積の推定値の比較（2021年）。地方は各森林管理局の国有林の管轄地域

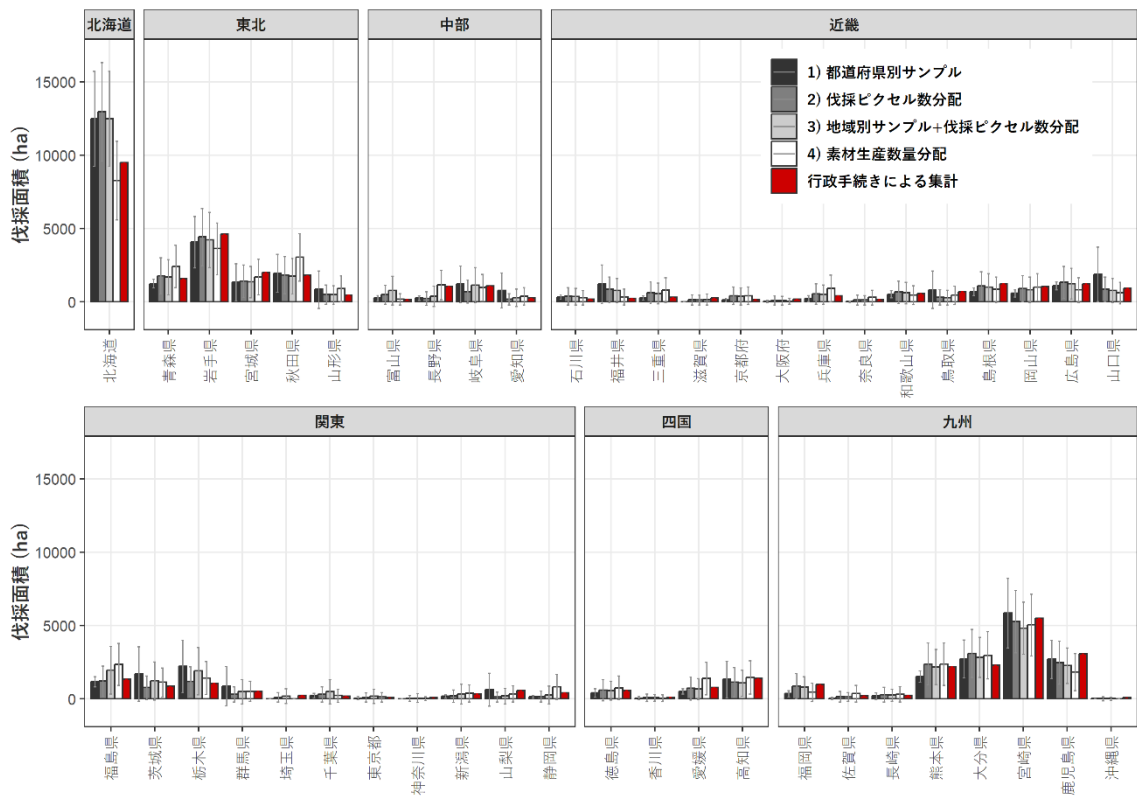
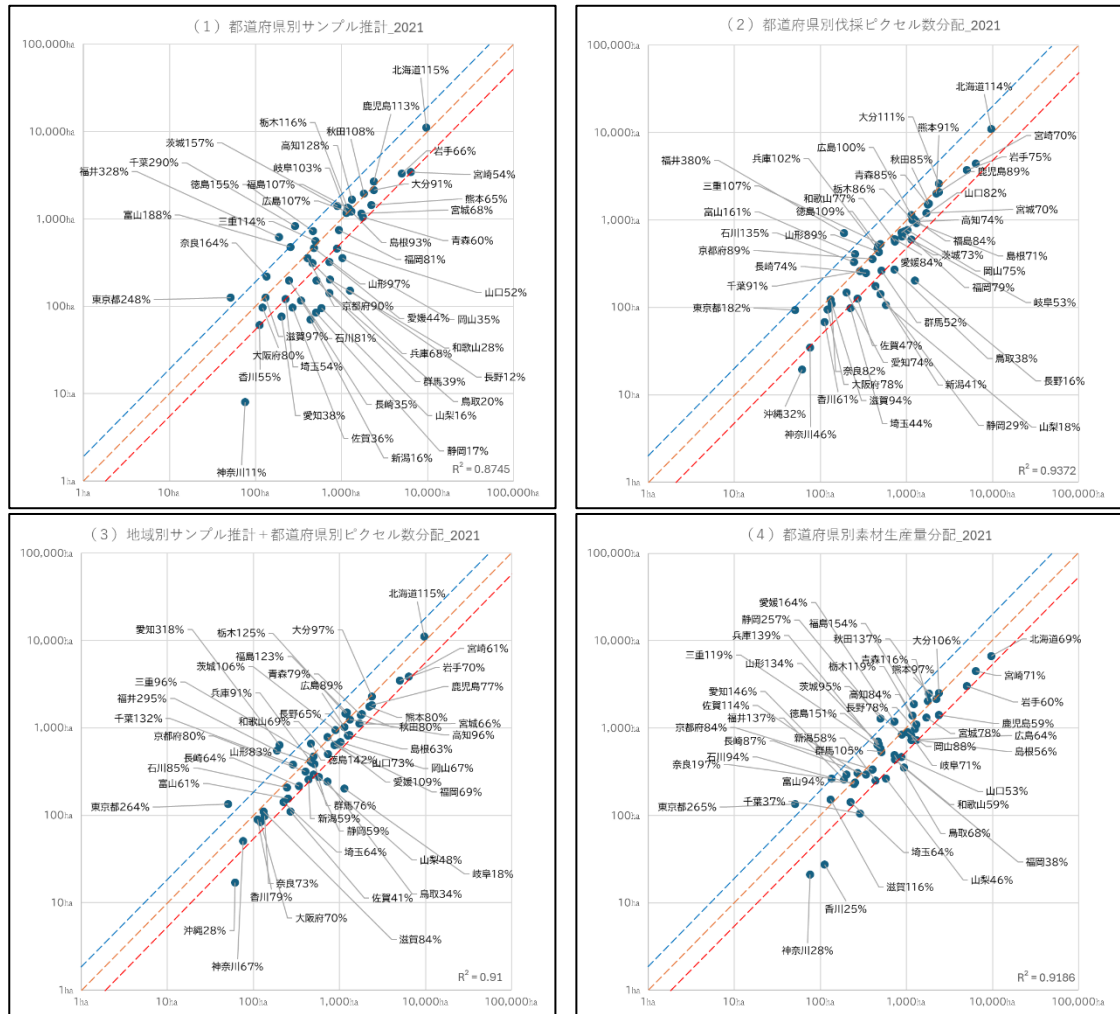


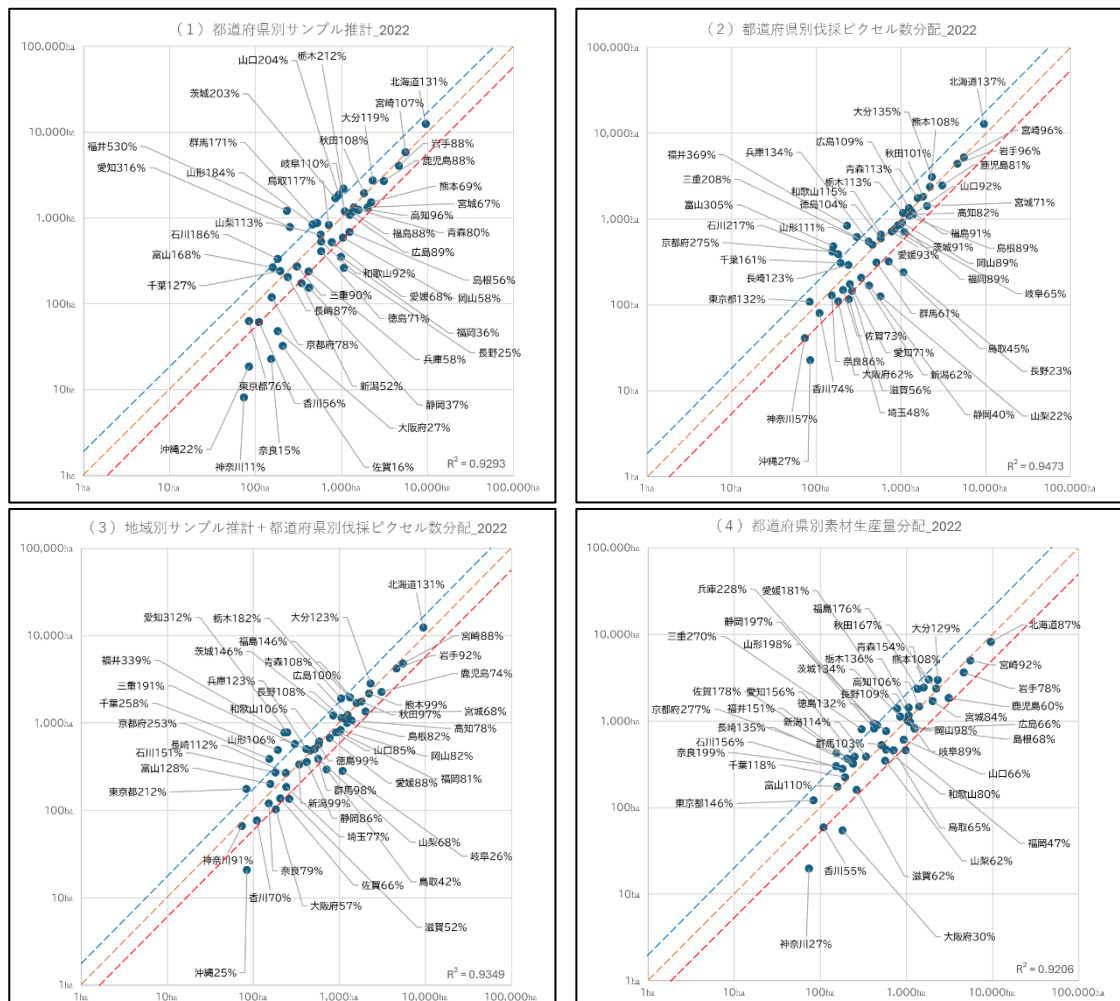
図 4-31 各手法での伐採面積の推定値の比較（2022 年）。地方は各森林管理局の国有林の管轄地域

また、伐採面積の多寡による傾向を都道府県別に把握するため、行政手続による推計値に対する、各手法での推定結果の割合を対数にて図示した（図 4-32、図 4-33）。各手法とも行政手続による推計値との一定の相関が認められ、特に主伐面積が大きい幾つかの道県においては一定の範囲に収束された。しかし、それ以外の大半の都府県では、いずれの手法であっても、30%～300%の相違がある場合も多く、これらの手法で都道府県別の主伐面積を的確に推計することは困難と考えられる。



※横軸は行政手続きによる推計値を示し、縦軸は各手法による推計値を示す。  
 ※図中の破線は行政手続きによる推計値に対する推計値の割合の目安を示しており、**橙破線**が100%、**赤破線**は50%、**青破線**は150%を示す。

図 4-32 各手法での伐採面積と行政手続きの主伐面積との比較 (2021年)



※横軸は行政手続きによる推計値を示し、縦軸は各手法による推計値を示す。  
 ※図中の破線は行政手続による推計値に対する推計値の割合の目安を示しており、**橙破線**が100%、**赤破線**は50%、**青破線**は150%を示す。

図 4-33 各手法での伐採面積と行政手続きの主伐面積との比較 (2022年)

## ② スギ人工林伐採重点区域を対象とした推定の結果

スギ人工林伐採重点区域での 2022 年の伐採面積の推定値は以下の通りとなる(表 4-9)。

2022 年: 2,477 ha ± 1,270 ha (95%信頼区間, 伐採面積に対する比率 51.3%)

表 4-9 スギ人工林伐採重点区域での 2022 年の伐採面積推定の概要

層	マップ面積(ha)	サンプルサイズ n	PA	UA	平均伐採割合 $y_h$	伐採面積推定式 (式 31)	推定伐採面積(ha)
変化なし	1,261,326	2,059	99.8%	99.8%	0.0005	126.1 万 ha × $y_h$	613
2021/2022 年伐採	4,124	105	62.7%	77.0%	0.3714	0.4 万 ha × $y_h$	1,532
バッファ	1,569	66	—	—	0.2121	0.2 万 ha × $y_h$	333
(重点区域合計)	1,267,019	2,230	—	—	—	—	2,477

PA および UA は層をクラスとしたときの民有林全体の Producer's 精度と User's 精度を表す。

また、参考として、同様の方法で 2021 年も同様に既存のサンプルから伐採面積を推定すると 1,862 ha ± 403 ha (95%信頼区間, 伐採面積に対する比率 21.6%)となる。2021 年の伐採面積推定の信頼区間の幅が小さい要因は、層化に用いた伐採マップ (Landsat 時系列マップ) における伐採クラスの Producer's 精度が 2021 年の方が高かったことによるものと考えられた。

なお、4.3.1①2021 年および 2022 年の全国推計値も、同じ伐採マップ (Landsat 時系列マップ) を用いて推定していることから、信頼区間幅は同様に 2021 年の方が小さかったものの、全国を対象とした推計ではサンプルサイズが十分に確保 (n=31,000) されているため大きな差にはならなかった。一方で、スギ人工林伐採重点区域での推定では、サンプルサイズが小さい (n=2,230) ことから、年別の信頼区間の差が大きくなっている。

## 5. 行政情報と衛星判読による推計の比較・検証

### 5.1. 推定結果の比較（全国）

3.3 の行政情報による推計を比較した図 3-1 に、4.3.1 衛星判読による推計を追加し、各推計値の比較を行ったところ（図 5-1）、衛星判読による推定値は、行政手続ベースの推計値と規模感が一致したものの、木材供給量ベースの推計との乖離は 20,000～30,000 haと大きかった。

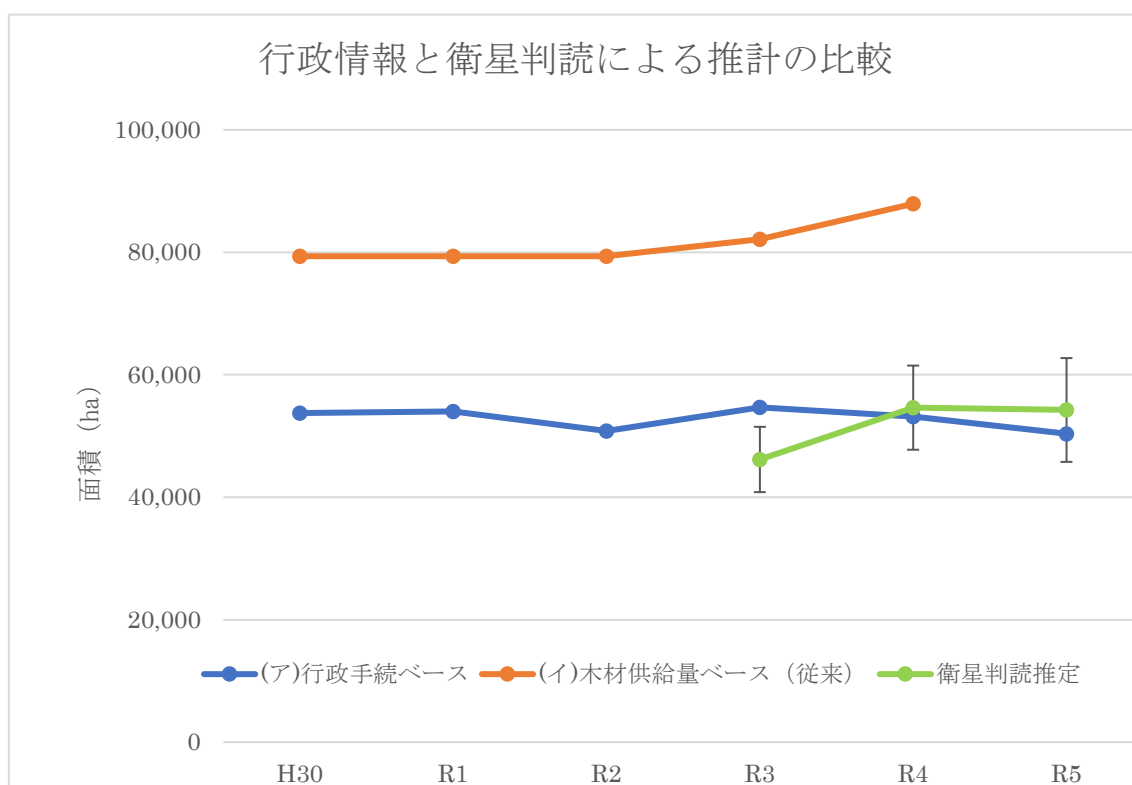
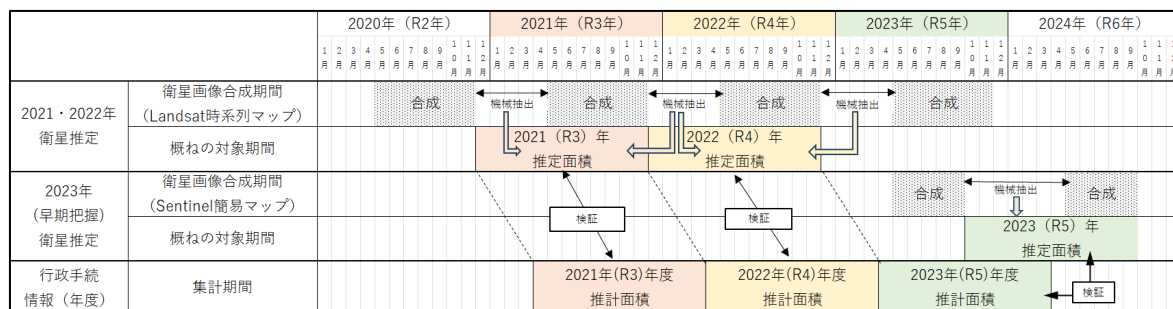


図 5-1 行政情報と衛星判読による推計の比較

3.3 で述べたとおり、行政情報による 2 つの推計はどちらがより確からしいかの判断することは難しいところであるが、今回衛星判読による推計定値を踏まえると、民有林の主伐面積は、行政手続ベースの推計値と同規模の 50,000 ha/年程度である蓋然性は高いものと考えられる。

他方で、増減の傾向を見ると、衛星判読による推定値は木材供給量ベースの推計値と増減のトレンドが一致していることから、一定の関連性はあると考えられ、木材供給量ベースの推計が過大となっている要因は、推計過程で用いる換算係数が実際の主伐の状況と乖離している可能性が考えられる。

なお、伐採面積推定の対象期間は、衛星画像を用いた手法と行政情報の集計等による手法で差異があり、また、衛星画像を用いた手法においても 2021 年および 2022 年と 2023 年では対象期間の考えが異なる点に留意されたい。整理すると下図（図 5-2）のようになる。



- ※ 2021 年および 2022 年の推計に用いた Landsat 時系列マップは、伐採年の前年・翌年・翌々年の 3 カ年の衛星画像を用いて作成している。
- ※ 2023 年の推計に用いた Sentinel-2 簡易マップは、伐採年の前年・翌年の 2 カ年の衛星画像を用いて作成している。

図 5-2 本事業での伐採面積推定における各手法での対象期間

## 5.2. 木材供給量ベースの推計に用いる換算係数の改善方法の検討

3.3 で述べたとおり、木材供給量ベースの推計が過大となっている要因は、推計過程で用いる換算係数のいずれかが実態とは合わないものになっていることが考えられ、各換算係数の検証を行った。その結果、材積から面積の割り戻しに用いている換算係数である主伐時の単位面積当たりの立木材積について、皆伐で約 370 m<sup>3</sup>/ha（択伐で約 120 m<sup>3</sup>/ha）とされており、実際に主伐の対象となる林分の蓄積としては過小である可能性が挙げられた。

このため、より主伐対象林分の実態に即した換算係数の算出方法を検討するため、現地実測データである森林生態系多様性基礎調査 (NFI) <sup>4</sup>のデータを用い、①実際に主伐が発生したと考えられる調査点から伐採材積を推定し換算係数とする方法、②伐採の発生する確率の高い一定の林齢以上の平均立木材積を換算係数とする方法、の 2 種類について検討した。

### ① 実際に主伐が発生したと考えられる調査点から伐採材積を推定し換算係数とする方法

以下のような手順で主伐材積の推定を行った。

#### 1) 解析手順

##### 【利用データ】

- ・森林生態系多様性基礎調査第 3 期～5 期調査データ（2009～2023 年）

<sup>4</sup> 林野庁が実施する、国土全域に 4km 間隔の格子点を想定し、交点が森林に位置する箇所の現地調査を行う、標本調査。<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/tayouseichousa/index.html>

- ・生立木の材積のみ用い枯死木は除外

#### 【抽出方法】

- ・3-4期、4-5期を併せて評価する（前の期を期首、後ろを期末とする）
- ・継続調査地点のみとする
- ・期首で単一林分であること（伐採後一部立木が残っている場合は期末に林分分割されている可能性もあるので期末の林分分割は排除しない）
- ・林種の人天は区分しない

#### 【主伐判定条件】

- ・期首材積と期末材積を比較し 50%以上減少している
- ・かつ、期末に伐根（過去5年以内に発生）がある
- ・人為的な施業が行われている

#### 【処理方法】

- ・伐採時林齢は、期首調査直後に伐採されたものと考え、期首林齢を採用する
- ・伐採時立木材積は、期首調査直後に伐採されたものと考え、期首材積－期末材積を伐採材積とする

## 2) 解析結果

解析結果を表 5-1 に示す。主伐と判定された点は 140 点確認された（3-4 期 61 点、4-5 期 79 点）。全体の推定伐採時の立木材積は 401.2 m<sup>3</sup>/ha、推定伐採時林齢は 52.6 年となった。

樹種別にみると、針葉樹ではスギの点数が 45 点ともっとも多く、立木材積も大きい（640.9 m<sup>3</sup>/ha）。次いでカラマツの点数が多い（26 点）が立木材積は小さく 281.9 m<sup>3</sup>/ha。3 番目はヒノキで（16 点）立木材積は 337.9 m<sup>3</sup>/ha となった。広葉樹ではナラ類、その他落葉広葉樹が多く立木材積は 185.0 m<sup>3</sup>/ha となった。伐採時林齢にはそれほどばらつきが無く、概ね 50～60 年の間であった。また、樹種をスギ、ヒノキ、カラマツの主要人工林樹種に絞った場合の立木材積の平均は 477.9 m<sup>3</sup>/ha となった（表 5-2）。

表 5-1 NFI データから求めた主伐時の立木材積推定値

森林タイプ	推定伐採時 林齢(年)	推定伐採時材 積(m <sup>3</sup> /ha)	地点数
スギ	52.0	640.9	45
ヒノキ	51.4	337.9	16
アカマツ	56.0	227.7	4
クロマツ	63.0	136.6	3
カラマツ	48.2	281.9	26
トマツ	55.4		10
亜高山性針葉樹	46.0	490.4	1
針葉樹混交	56.6	518.8	5
その他針葉樹	59.0	268.1	1
ナラ類 (落葉)	51.9	185.0	16
シイ・カ類 (常緑)	38.0	381.7	1
その他落葉広葉樹	62.8	236.5	8
広葉樹混交	56.0	155.1	3
外来針葉樹	53.0	483.6	1
<b>全体</b>	<b>52.6</b>	<b>401.2</b>	<b>140</b>

表 5-2 NFI データから求めた主伐材積推定値 (主要 3 樹種)

森林タイプ	推定伐採時 林齢(年)	推定伐採時材 積(m <sup>3</sup> /ha)	地点数
スギ	52.0	640.9	45
ヒノキ	51.4	337.9	16
カラマツ	48.2	281.9	26
<b>全体</b>	<b>50.8</b>	<b>477.9</b>	<b>87</b>

- ② 伐採の発生する確率の高い一定の林齢以上の平均立木材積を換算係数とする方法  
以下のような方法で計算を行った。

1) 解析手順

【利用データ】

- ・森林生態系多様性基礎調査第 3 期～5 期調査データ (2009～2023 年)

- ・生立木の材積のみ用い枯死木は除外

**【抽出方法】**

- ・継続調査地点のみとする
- ・森林簿上の林種別に人工林、天然林、その他に区分する。

**【伐採林齢の考え方】**

- ・平均的な伐期齢として①の検討により 52.6 年という値が得られたことから、11 齢級以上の林分を伐採対象と考える。

2) 解析結果

結果を表 5-3 および図 5-3 に示す。全体及び林種別いずれの場合においても、立木材積は時系列的に単調な増加傾向を示している。人工林の平均立木材積は、第 5 期において 521.7 m<sup>3</sup>/ha、天然林 283.0 m<sup>3</sup>/ha、その他 307.4 m<sup>3</sup>/ha、全体で 381.3 m<sup>3</sup>/ha であり、人工林の立木材積が相対的に大きい。

表 5-3 11 齢級以上の平均立木材積

(単位：m<sup>3</sup>/ha)

調査期	人工林		天然林		その他		全体	
	平均立木材積	地点数	平均立木材積	地点数	平均立木材積	地点数	平均立木材積	地点数
3期	459.0	2,119	242.0	4,808	233.8	51	307.9	6,978
4期	483.7	2,820	264.2	4,946	269.4	99	343.0	7,865
5期	521.7	3,828	283.0	5,367	307.4	134	381.3	9,329

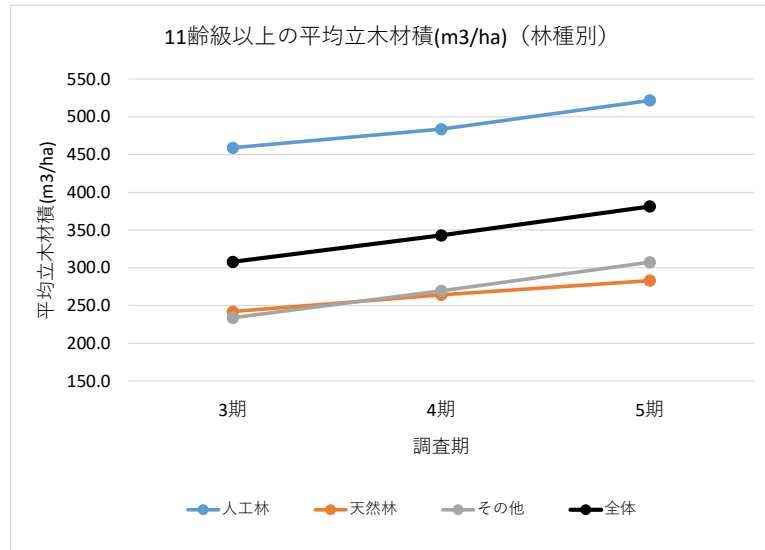


図 5-3 11 歳級以上の平均立木材積

### 5.3. 木材供給量ベースの推計に用いる換算係数の検証

#### 5.3.1. 各換算係数を用いた推計結果

5.2①②で求めた 2 つの換算係数を用いて、主伐時の立木材積からの割戻法による伐採面積の推計を改めて実施した。

①の方法で算出した換算係数のうち、主伐（皆伐）立木材積には、主要 3 樹種（スギ、ヒノキ、カラマツ）の平均値 477.9 m³/ha、主伐（皆伐以外）立木材積には、森林法施行令で定める択伐率（3 割以下）から主伐（皆伐）立木材積の 30%にあたる 143.4 m³/ha を割り当てた。

②の方法で算出した換算係数のうち、主伐（皆伐）立木材積には、第 5 期の人工林の平均値 521.7 m³/ha、主伐（皆伐以外）立木材積には、①の場合と同様に主伐（皆伐）立木材積の 30%にあたる 156.5 m³/ha を割り当てた。

結果は表 5-4 に示すとおりである。①の換算係数を使用した場合に 69,342ha、②の場合に 63,523ha と推計された。

表 5-4 見直した換算係数に基づく伐採面積推計結果

材積：m<sup>3</sup>、面積：ha

	伐採材積	換算係数①	換算係数②	推定面積①	推定面積②
主伐(皆伐)	31,132	477.9	521.7	65,143	59,676
主伐(皆伐以外)	602	143.4	156.5	4,199	3,846
計				69,342	63,523

### 5.3.2. 各換算係数の評価

①の伐採イベントが生じたプロットの期首の材積と期末の材積の差分を主伐立木材積としその平均値を換算係数とする方法は、現地実測された結果をもとに算出しているため、一定の合理性がある。しかしながら、解析の結果抽出された点数が、3-4 期、4-5 期の 2 期間を合わせても 140 点しかなく、誤差や偏りが懸念される。

一方、②の伐採の発生する確率の高い一定の林齢以上の平均蓄積を換算係数とする方法は、相対的に伐採確率の高い高齢級林分に絞り込んで算出したもので、また閾値とする林齢は実測結果である①の結果をもとに決定しており、これらについても一定の合理性がある。

①の方法に比べ②の方法は人工林での抽出点数が約 9,000 点と一定数が確保されていること、換算した推計結果が、衛星判読による推計結果により近いこと考慮すれば、②の換算係数が主伐対象林分の立木材積の実態に近いとする蓋然性が高いと考えられる。

他の推計結果と比較するため、②の方法で H30 年以降各年の換算係数を算出したうえで主伐面積を推計し、図 5-1 に追加した (図 5-4)。

NFI 換算係数を用いた推計値は 50,000~60,000 ha と、行政手続ベースの推計値や衛星判読による推計値と同規模か、やや大きい傾向となり、従来の換算係数に比べ主伐対象林分の立木材積を的確に捉えていると考えられる。

他方で、当該換算係数は、全国の森林資源量の把握を目的として調査設計されている NFI データから部分的に結果を抽出し算出していることから、統計的な精度が低下していることについて留意が必要である。

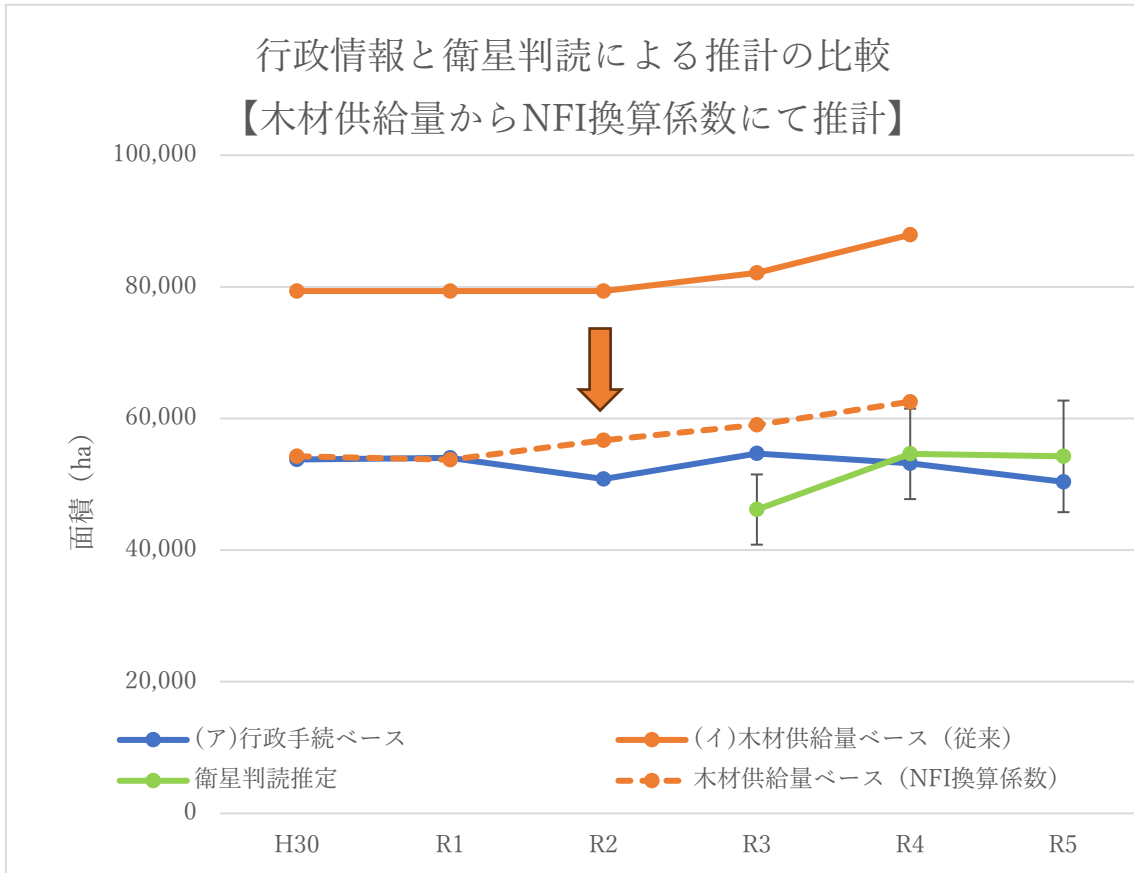


図 5-4 行政情報と衛星判読による推計の比較 (木材供給量から NFI 換算係数にて推計)

## 6. まとめと課題

本事業では、民有林での伐採面積を推定する手法について整理・検討し、以下の結果が得られた。

### 6.1. 層化無作為抽出法による 2021 年および 2022 年の推定 (Landsat 時系列マップ)

- ・ 2021 年と 2022 年の全国の民有林での伐採面積の推定値は森林・林業統計要覧での民有林の立木伐採面積と乖離があった。
- ・ 推定の 95%信頼区間幅は、伐採面積推定値の 10%をわずかに超えたが、概ね詳細設計の計画通りの幅になり、想定した推定精度で伐採面積を推定できた。
- ・ 判読者による判読誤差の伐採面積に与える影響は大きく、1 人のみの判読では信頼できる推定値が得られない可能性が高いため、3 人以上の複数人で同じサンプル要素の位置を判読することが望ましい。
- ・ 複数の判読者で判読を行う場合は、判読の一貫性を向上させるようなフィードバックなどの手法を取り入れたほうがよい。
- ・ 既存の森林・林業統計要覧での推計手法を用いて伐採面積を推計する場合、伐採箇所の ha あたりの蓄積量を妥当な数値にすることが重要であり、森林生態系多様性基礎調査データなどを利用してより確からしい数値を設定できる可能性がある。

### 6.2. 層化無作為抽出法による 2023 年(早期把握手法)の推定(Sentinel-2 簡易マップ)

- ・ 早期に前年の伐採面積を推定する際、FAMOST を参考として層化に用いる伐採マップを簡易手法で作成したため層化の効率が低下し、伐採の推定精度が低下した。FAMOST は市町村担当者が的確に伐採箇所を把握することを目的に、伐採クラスの User's 精度が高くなるよう設計されており、面積推定の精度向上のために、伐採マップにおける伐採クラスの Producer's 精度が高くなるよう設計を見直すことも今後検討が望まれる。
- ・ 早期に前年の伐採面積を推定する場合、目視判読に利用できる高解像度衛星画像が入手できない箇所が発生し、目視判読の精度が低下する可能性がある。特に震災などの突発的な森林攪乱については推定値に影響を与えるので、崩壊などが広い地域で発生していないかを確認して注意する必要がある。

### 6.3. 2021, 2022 年の地域別の民有林での伐採面積の推定

- ・ 都道府県別の推定をサンプル抽出のみで実施するとき、サンプルサイズが小さい場合が多く推定精度が低い場合が多い。全国推定のサンプルを利用して都道府県別の推定

を実施することも可能だが、何らかの仮定を置く必要があり、その仮定が妥当であるかを検証する必要がある。

- ・ 各手法とも行政手続による推計値との一定の相関が認められ、特に主伐面積が大きい幾つかの道県においては一定の範囲に収束された。しかし、それ以外の大半の都府県では、いずれの手法であっても、30%~300%の相違がある場合も多く、これらの手法で都道府県別の主伐面積を的確に推計することは困難と考えられる。
- ・ スギ人工林伐採重点区域における伐採面積の推定では、全国推定に用いたサンプルのみではサンプルサイズが小さく推定精度が低かった。そのため、サンプルサイズを大きくする工夫などをしないと推定が難しかった。

#### 6.4. 行政情報と衛星判読による推計の比較・検証（全国）

- ・ 衛星判読による推定値は、行政手続ベースの推計値と規模感が一致したものの、木材供給量ベースの推計との乖離は 20,000~30,000 haと大きかった。今回衛星判読による推計定値を踏まえると、民有林の主伐面積は、行政手続ベースの推計値と同規模の 50,000 ha/年程度である蓋然性は高いものと考えられる。
- ・ 過大と考えられた木材供給量ベースの推計値について検証し、実態に合っていないと考えられた換算係数 (m<sup>3</sup>/ha) を、NFI のデータを用いた係数に改め推計を行ったところ 50,000~60,000 haと、行政手続ベースの推計値や衛星判読による推定値と同規模かやや大きい傾向となり、従来の換算係数に比べ主伐対象林分の立木材積を的確に捉えていると考えられる。
- ・ 他方で、NFI データから部分的に結果を抽出し算出していることから、統計的な精度が低下していることについて留意が必要である。

## 7. 調整委員会の開催

林野庁計画課、受託者及び林野庁計画課が指名する助言者で構成する調整委員会を対面・オンライン併用で開催し、業務の進捗管理及び方針を決定した。調整委員会の開催数は3回で開催日時・場所は以下のとおりである。各委員会での質疑応答について要約を作成した（巻末資料）。

### ■ 第1回委員会

日時 令和6年9月3日（火） 13:30～15:30

場所 東京都千代田区六番町7 日林協会館 5F（中会議室）および Web  
（巻末資料に議事録要約を掲載）

### ■ 第2回委員会

日時 令和6年12月17日（火） 13:30～15:30

場所 東京都千代田区六番町7 日林協会館 3F（大会議室）および Web  
（巻末資料に議事録要約を掲載）

### ■ 第3回委員会

日時 令和7年2月7日（金） 13:30～15:30

場所 東京都千代田区六番町7 日林協会館 3F（大会議室）および Web  
（巻末資料に議事録要約を掲載）

## 8. 巻末資料

### 8.1. 調整委員会 議事録の要約

#### 8.1.1. 第1回

敬称略

検討項目	内容
事業の狙い・期待すること	(林野庁 本橋) <ul style="list-style-type: none"><li>伐採後の面積の把握、さらには伐採後の再生林の把握が施策を考えるうえで重要で、正しい数字と効率的に把握することが課題。</li><li>デジタル技術を活用していかに透明性を持った上で我々の施策を展開していくかということが求められており、今がターニングポイント。</li></ul>
	(林野庁 藤代) <ul style="list-style-type: none"><li>継続的な実施を前提とした伐採面積把握方法を検討することが必要。</li><li>現在森林・林業統計で公表している推計値が過大と考えられる中で、精度±10%という性格の衛星画像による推計値が公表値に代わることができるのかは一つの論点。</li><li>最終的に、林野庁側で適切な伐採面積把握の方法を判断する事になるが、その判断に必要な材料、対外的に説明するための資料となる結果を本事業で示してほしい。</li><li>リモートセンシングへの期待が高まっている中、「何でも解析できる」という過度な期待が生じており、これを解消するための材料も必要。できる事できない事を、専門外の者にも判りやすく整理して欲しい。</li></ul>
方法論	Q. (林野庁 長谷川、藤代) <ul style="list-style-type: none"><li>R5年の伐採マップを作ることが技術的に難しい理由を教えてください。</li><li>継続して実施する観点から、前年の伐採を推計したいといった、即時性が求められる場合に推計可能な方法があるのか。</li></ul>
	A. (森林総研 志水) <ul style="list-style-type: none"><li>今回採用した手法では、伐採を層化サンプリングで把握する。層化するためには、その年度の伐採マップが必要である(該当のマップを作成する場合、2時点だけでなく、より多くの衛星画像による変化傾向から伐採地を抽出することで精度が向上する)。今回使用しているマップでは、当該年の翌年までの画像を使って伐採地を抽出するため、例えば2024年までの画像が入手できれば、2023年までのマップが作成できる。</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>即時性を求める手法ではなく、過去の 35 年間ぐらいの伐採を知りたいという観点で作成されたマップ。今回はそれを流用している</u>という<u>ことで今年度や前年度の伐採マップができない。即時性を求めるのであれば違う方法を使って、そういった即時性がある伐採マップを使えるような手法をつくる</u>なりして、<u>同様のサンプリングに利用していけばいい</u>という回答になる。</li> <li>・ <u>論文の中で使った手法をそのまま使う場合、衛星の画像の時期が 5 月から 11 月くらいで設定されているので、11 月を超えた段階から衛星画像を処理し始めてマップを作るということをすれば、今年の 11 月以降になれば 2023 年の画像は一応作れる。</u></li> <li>・ <u>例えば 7-8 月だけの画像を使ってマップを作成できるが、マップの精度は下がるので、その分だけ多くサンプリングの数が</u><u>必要になる。</u></li> </ul>
判読作業	<p>Q. (林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ これまでの衛星画像判読の際に判断に困りそうな土地被覆があったので対応をあらかじめ考えておいては？</li> </ul> <p>(1) 北海道で見られた例で、伐採か迷った。列の広い間伐なのか、複層伐なのか、帯状に広い面積で伐採されているケースがある。</p> <p>(2) 全国的に見られるケースで、おそらく路網整理のため広く切り開かれている場所がある。おそらく土場ではないか。</p> <p>A. (森林総研 志水)</p> <p>(1) 伐採地の面積は 0.1ha 以上と設定しているため分類上は伐採に入るが、今回は新しくクラスを追加し対応する。</p> <p>(2) 土場については、土地被覆上は非森林とする。</p> <p>Q. (林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 3 名での単独作業とのこと、<u>3 名それぞれが同じ結果を延べ 3 回読むということか？</u></li> </ul> <p>A. (森林総研 志水)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ そのとおり。<u>判読者のぶれの評価、より確からしい判読の結果を得ることの 2 つが 3 名で判読する理由。</u></li> <li>・ <u>学術論文的によれば、1 人で読むよりは 3 人の多数決を取ったほうが、ぶれが少なくなり、より確からしい判読結果が得られると記載されている。</u></li> </ul>
地域的な伐採の特徴	<p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 届出の結果と衛星画像の比較の際、<u>届け出の数字の出し方に地域的な特徴がある点に注意が必要。</u></li> <li>・ <u>2、3 年を読んでも、届出の情報と衛星の情報が乖離する地域がある。</u></li> </ul>

	<p>面積が小さくて推定の精度が上がらないところは、傾向が一定にならず、明らかに衛星情報のほうが大きく出やすい都道府県や、逆に小さく出やすい都道府県というような傾向があるところがある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>北海道について、列の幅が広い間伐のような場所があり、これを主伐と判読するとずれるという印象。</li> <li>宮崎県について、届出が過大に出やすく、この理由として違法伐採になってはいけないという考えがあり、あらかじめ前広に出しておき実際はやらないため。違法伐採になってしまうなら空振ってくれという指導を現場がしている様子。隣県鹿児島にも違和感がある。</li> </ul> <p>(林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>南九州では、違法伐採の回避、手間を減らすといった観点から、数年のうちに伐採する可能性が少しでもある箇所は、幅広に届け出るいわゆるカラ届出が多い傾向にあり、鹿児島では、伐採期間7年という届出の例もある。</li> <li>地域別に推定する場合、この事業だけでは完全に要因は分からないと思うが、違って見えるケースを整理してもらえるとよい。</li> </ul>
判読作業	<p>竹林について (林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>竹林の区分は難しいこと、また竹林伐採はそう多くないと考えられることから、今回は区分せず進めてよい。</li> </ul>
都道府県レベルでの対応	<p>Q. (林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>都道府県レベルでの推計については全国推計以上に難しいと考えられるが、今回どのような方法を想定しているか？</li> <li>全国レベルで推計が可能なら、都道府県レベルでも同様に推計できると考える向きもあり、できないこと・できることを示してほしい。</li> </ul> <p>A. (森林総研 齋藤)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>この事業の中で、全国と同じ方法論の場合での必要なサンプルサイズを明らかにする一方で、ARDのデータが各都道府県で何点ぐらい落ちるのかというのを検討することを考えている。ARDのデータを使ってそれぞれの県で、どの程度の精度で推定できるのかというのは出せるのではないかと考えているところ。後者は、検討レベル。</li> </ul> <p>(林野庁 英賀)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>衛星データを使うという話を聞くと、この手法ではなくピクセルカウントを想像する人が多い。分かっている人は統計的な処理をすると分かるが、普通は、「どこが変化しました、その面積を囲えばいいでしょう」と捉え、簡単にできるのではないかという話に行ってしまう。ま</li> </ul>

	<p>ずはその理解というのがある。(ピクセルカウントではなく、本法を適用するポイントを報告書で説明する必要あり)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>北海道が一つの地域ベースになるのであれば、東北の県であれば東北地方、中部であれば中部地方、といった<u>地域的なまとまり</u>と<u>考えても良いのでは</u>。あるいは県も1県1県全体を厳密にくくる必要もなく、<u>小さいものをより集団で少し囲う手法もあるのではないか</u>。その他、九州、東北、北海道の伐採量の多い3地域と、伐採量が少ない地域を分けるなど。</li> </ul> <p>A. (森林総研 齋藤)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>例えば国有林だったら管理局ぐらいの範囲、あるいは植栽のことを考えるのだったら苗木の育種区ぐらいの範囲での考え方はあるだろう。</li> </ul>
都道府県レベルでの対応	<p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>都道府県別の推定時に起こる問題を、少し丁寧に潰していただくというのが、同じ議論を2度3度しなくていいという意味で先々のためにはいいのではないかと。</li> <li>全国一本もしくは地域別でつくった目視判読の結果の係数を、そのまま都道府県別に適用するという発想は出やすいが、<u>地域ごとに補正すべき係数が大分違っている</u>ので、<u>同じ数字を使うと過大・過小という問題が出やすい</u>。</li> <li>行政手続の総量と衛星画像から推定されてくる数字はある程度相関している。<u>都道府県別の素材生産量の数値もある程度相関している</u>。</li> <li>統計学的にあまり複雑なことをやると後で手法が分からなくなってしまいうので避けるとして、厳密なやり方ではない簡易的なものとして全国の衛星で推計した面積を行政手続きの量や素材生産量で按分してしまうといったやり方もあり得る。こうした点について、都道府県レベルでの丁寧な整理を全国網羅的には難しいかもしれないが、論点を整理しておくとう良いのでは。</li> </ul>
行政情報の取りまとめ	<p>Q. (日林協 古田)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>統計要覧での公開データの計算に使われる単位面積当たりの材積量(m<sup>3</sup>/ha)の値について、都道府県の届出情報からは300~400m<sup>3</sup>/haが多いが、実態の数値はもう少し高いのではないかと。</li> </ul> <p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>国有林の立木販売データでは(毎木調査かは不明)、<u>スギで令和5年度の全国の90か所ぐらいの平均値で約560m<sup>3</sup>/haとある</u>。<u>スギなので西日本が多い</u>と思われる。<u>国有林の中でも狙って主伐をしているところなので、ある程度材積があるところが選定されている</u>と思うが、<u>換</u></li> </ul>

	<p><u>算に使っている数字の 400m<sup>3</sup>/ha というのは全樹種が入っているとはいえスギが 6~7 割なので、少し低い。原因として、<u>森林簿の収穫モデルが過小になってしまっている</u>と考えられる。</u></p>
	<p>(日林協 古田)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>細田先生と収穫予想表の見直しを林野庁の別事業で実施しており、そのデータを活用して補正係数を検討することも考えられる。</li> </ul>
	<p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>多様性基礎調査で 40 年生以上の人工林の調査結果試算した単位面積当たりの材積量を補正係数にしたところ、衛星による推計値に驚くほど近かった。40 年生以上は仮で設定したに過ぎないので、実際に伐採されている林齢を何らか当てはめたとした方が論理的。聞き取りなどで地域別に主伐される林齢を絞るなどできれば良いのだが。</li> </ul>
	<p>(森林総研 細田)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>民有林（森林簿）の林齢は怪しいので、あまり使わない方が良い。多様性基礎調査で主伐に該当する箇所は、<u>年間数十か所と少ないが 5 年では 100 か所ぐらいになるので伐採される林齢や、ha材積などが目安にはなる。</u></li> </ul>
	<p>(林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>5 年前に全国森林計画班で多様性基礎調査から主伐箇所を抽出したデータがあるので参考に共有する。</u></li> </ul>
	<p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>転用や災害による材積減少が判れば主伐から除くことが望ましいが、発生頻度との関係から影響は小さいかもしれない。</li> </ul> <p>(総研 細田)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>複数の方法でフィルタリングした計算結果のばらつきを見れば、適切なha材積の検討がつく気がする。</li> </ul> <p>(日林協 古田)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ご意見を踏まえ日林協で多様性基礎調査のデータから、主伐が行われたと考えられる調査点の、ha材積を解析する。</li> </ul>
次回の委員会	2024 年 12 月 17 日（火）13：30～15：30 に決定

8.1.2. 第2回

敬称略

検討項目	内容
衛星画像等のリモートセンシング技術を活用した推計手法	<p>Q. (林野庁 英賀)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>委員会説明資料5ページ目の最後の「<u>ARD データ等でも同じ計算方法を利用可能 (※期間や定義など要検討)</u>」というこの一文は、<u>どういう意味か。</u></li> </ul> <p>A. (森林総研 齋藤)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>今回利用した目視判読点を、<u>ARD のデータで置き換えることは技術的には可能だが、調査対象期間や伐採の定義が異なるので、置き換えるには整理が必要</u>ということ。</li> </ul>
行政情報の集計等による推計手法	<p>(林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>説明資料17ページ目の、<u>NFI で実際に伐採のあったプロットからha蓄積を計算した結果</u>について。計算に用いた地点数が<u>2期10年間で149点</u>と相当少ない。また、19ページ目の11歳級上の解析では、<u>50 m<sup>3</sup>/ha以下の被害森林と思われるプロットが一定数含まれると聞いており、推定値が過小</u>となっていると考えられ、<u>一定未満のha蓄積未満の点は計算から除外しない限り実態と乖離してしまう</u>。同じ推計ならNFIではなく、<u>素材生産量から按分するなど、分かりやすい仮定のもとで数値を出すなど、出口として客観的合理性が高い方法を選択することも大事だと考えている。</u></li> </ul> <p>Q. (林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NFI データを用いた主伐発生の判定について難しいと感じた。条件設定には大きな違和感はなく、一定の数値未満は解析データを除く必要は理解するが、基準となる数値 (例えば 50m<sup>3</sup>/ha など) の設定が恣意的になる可能性がある。</li> </ul> <p>A. (日林協 金森)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NFI データの主伐発生地点は点数が少なく、条件を厳しくするとさらに減少する。P17 表のスギの材積 (632.1m<sup>3</sup>/ha) は相場観と矛盾しないが、この結果が実際の値と矛盾なく説明できるかも課題。抽出された149点について、<u>野帳で実際の林相を確認することは可能だが、どの程度労力を割くべきか議論の余地がある。</u></li> </ul> <p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>別のアイデアとして、伐採マップと <u>NFI データを GIS で重ね合わせ、伐採発生地点と材積を推定する方法</u>が考えられるが、手間がかかるた</li> </ul>

	<p>め、今年度に実行するのは難しいと思う。</p> <p>Q. (森林総研 齋藤)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 収穫調査の結果から伐採時の材積を計算することはできないか。</li> </ul> <p>A. (林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>国有林であれば主伐時の材積は確認できる (R4 統計で平均 540 m<sup>3</sup>/ha)。ただし、収穫調査の精度にも限界がある。民有林は調査がされていないと考えられ、国有林と民有林が同等かは分からない。</u></li> </ul>
推定手法の詳細設計	<p>Q. (林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伐採面積を推定する際に用いられる<u>バッファ層(委員会説明資料の23ページ目に記載)</u>とはどのような効果があるものなのか。</li> </ul> <p>A. (森林総研 志水)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伐採の周囲に<u>空間的バッファ層を設定することで、伐採地や伐採面積の推定精度の向上が期待できる。抽出した伐採周辺に漏れが生じることで推定精度が低下し、必要なサンプルサイズが増加する可能性があるため、経験則的に見逃しが多い伐採抽出箇所の周りにバッファ層を設定し、必要なサンプルサイズを抑えている。</u></li> </ul>
詳細設計の検証	<p>(林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>衛星推計結果と行政データとの比較について、2ヶ年分ではあるが、素材生産量から推計している森林・林業統計の数値と桁の違いはあるものの、動きはリンクしているように見えることから素材生産量から伐採面積の推移を追うことには一定の意義を感じる。</u></li> <li>・ 一方、伐採造林届出等行政手続の積み上げによる数値とは、規模感では一致するが、<u>トレンドは合わない</u>。これは<u>届出た年に伐採されるとは限らないことや、実際には伐採されないケース等が含まれるためと</u>考えられる。最終的にどのデータを利用するかは、<u>3つの数値を比較し、特徴を把握することが重要。</u></li> </ul> <p>Q. (林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>1人で判読した場合のシミュレーションは、具体的にどのように行ったのか。</u></li> <li>・ <u>R3/2021年の46,000haという数値は少なく感じられるが、実際に少ないのか、それとも判読者ごとの癖など要因によるものか、原因を知りたい。</u></li> </ul> <p>A. (森林総研 志水)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ シミュレーションは、<u>各セットからランダムに1人の判読者を選び、それを判読セット分の62回繰り返して推定値を算出するという方法で行った。1人がすべてを判読した場合ではなく分担して判読した場</u></li> </ul>

	<p>合の推定値を示している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>3人で判読する場合には判読者間のミスが打ち消される効果があると考えられ、それにより1人で判読した場合の推定値が少し高くなっている</u>と考える。</li> </ul>
Q. (林野庁 英賀)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>推定値上の3,000haは判読点数で言うと何点に相当するものなのか。</u></li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>非伐採層、伐採層、バッファ層で重みが異なる。非伐採層を伐採と判定した場合は1点あたり約500ha、伐採層を伐採と判定した場合は30ha~40ha程度の影響になる。</u></li> </ul>
Q. (林野庁 長谷川)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>今回の検証では1セットに対して3人で判読をおこなったが、サンプル点数を3倍にするのとはどちらが良いのか。</u></li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>サンプルサイズを90,000点に増やしても、サンプリング誤差はそれほど小さくならないと考えられる。一方で、判読誤差はサンプルサイズに依存せず、判読者数を3人に増やすことで判読誤差が大きく減少する。したがって、サンプルサイズを増やすよりも判読者を増やす方が効果的である</u>と考えている。</li> </ul>
Q. (林野庁 長谷川)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>目視判読について省力化の観点から、網羅的に3人で判読して平均をとるのではなく、影響の大きい非伐採を伐採と読んだ場所などを、追加的に別の人が検証する</u>といった方法はあり得るか。推計結果にバイアスが生じるという懸念はあると思うのだが。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>省力化しつつばらつきを抑えるという点で、影響の大きい非伐採を伐採と読んだ場所を追加的に検証することは有効かもしれない。</u>他方、バイアスが生じる可能性は少しある。統計的に問題があるかは即答できない。</li> </ul>
Q. (林野庁 藤代)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>現状では伐採マップの作成に3ヶ年分の衛星画像を要するが、即時に把握するという観点から例えば2ヶ年のみで伐採面積の推定をおこなうことは可能な</u>のか。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>伐採マップの作成では、前後の値を予測変数として分類を行っている。</u>後ろの画像がないと予測変数が得られず、予測が不可能となるた</li> </ul>

	め、やはり3ヶ年分の画像が必要である。
Q. (林野庁 藤代)	<ul style="list-style-type: none"> <li>追加事業で行うこととしたR5の伐採面積推定にFAMOSTを使った方法は、R3・4伐採マップを使った推計と比べて、どのような影響を想定されるか。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>R5/2023年のFAMOSTを用いた森林変化の抽出面積は27,000haと算出された。<u>実際には50,000haから60,000ha程度あると考えられるため過小評価されている可能性が高い。</u>伐採の見逃しが多いと思われる。層化に利用した場合、伐採面積推定値の信頼区間が大きくなることが想定される。 (FAMOSTでは、確実に伐採だけを拾えるよう保守的な閾値が設定されている)</li> </ul>
Q. (林野庁 樽谷)	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>重点区域の推定に当たり、全国の目視判読データを用いることになっているが、この場合の推定精度はどのくらいになる見込みか。</u></li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>サンプルサイズが8%程度に減少しているため、信頼区間はおそらく±30%から40%になるだろう。</li> </ul>
Q. (林野庁 樽谷)	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>海外で衛星画像の判読から伐採面積を把握している国があるのか。</u>もしあれば、算出手法の移行時に何かいろいろと問題があったのか知りたい。</li> </ul>
A. (林野庁 英賀)	<ul style="list-style-type: none"> <li>先進国に関して具体的な例は知らないが、途上国では衛星データしかないというのが大半だと思われるため、衛星画像を使った伐採面積推計は一般論としてはスタンダードな手法だろう。日本は複雑な地形・樹種構成で一箇所当たり伐採面積も小さいため、衛星活用が難しい面もあると思う。</li> </ul>
Q. (林野庁 藤代)	<ul style="list-style-type: none"> <li>将来的に衛星判読を統計数値に使用する場合、継続性の観点から推計作業が属人的になってしまうことを懸念している。行政の立場からは、行って以上の地域があれば誰でも推計出来るというのが理想的。志水先生以外の他の手法も含めて、所感を教えていただきたい。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>個人的には誰でも実施できるように日本語で総説を書いた。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>例えば <u>FAMOST</u> を使った方法など、<u>基準を満たす方法であれば、どのような手法を用いてもいいと考えている。</u></li> <li>今回の結果を見ると<u>目視判読</u>については想定していたよりぶれることがあり、これを統計として適するのかは少し課題があるように思えた。</li> </ul>
	<p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>伐採マップ作成よりも判読作業の効率を確保しつつ、判読を安定させることの難易度が高いと感じた。マップについては、知識・経験がある人であれば同じように作成できるが、判読事務は誰が行うかでブレが生じる可能性が高いと考えている。判読事務を継続的に行うためには、ツールやトレーニングの手法を整備することが重要だろう。</li> </ul> <p>(日林協 古田)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>伐採や非伐採の判読は簡単だが、森林と伐採の境界が不明確な場合、また陰になって見えない部分など、<u>Google Earth</u> でも位置ずれや画像の違いにより判断が難しい場合がある。判読結果に微妙な不確定要素が残ることもあり、これが判読のぶれの原因になると考えられる。</li> </ul> <p>(林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>判読で迷った際には判断基準を統一し、ルールを設けるべきだろう。その結果、全体の数値に偏りが生じる可能性はあるが、毎回異なる判断をするよりも、第三者が客観的に評価しやすいデータとなると考えられる。</li> </ul>
	<p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>真値を完全に把握することは不可能であるため、傾向を把握することを重視する観点からは判読の正確性を追求するよりも、判断が安定していることが重要だと考える。多数決による判断が安定をもたらすのであれば、それを採用する可能性もあるが、別の選択肢として特定の経験豊富な専門家の判断に委ねる方法も考えられる。</li> </ul>
	<p>(林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>今回の事業報告書では、衛星判読、素材生産量換算、行政手続データ積み上げといった複数の推計方法について、<u>各推計の方法とその特徴を整理してもらいたい</u>と思っている。</li> <li>前回委員会でも触れたが、<u>ピクセルカウントや無層化抽出</u>といった今回採用していない方法についても解説し、行政職員が見ても今回の推計方法を採用した訳が理解できるようにして欲しい。</li> </ul>
<p>次回の委員会</p>	<p>2025年2月7日（金）13：30～15：30 に決定</p>

8.1.3. 第3回

敬称略

検討項目	内容
推定手法の詳細設計 ア・全国の民有林での伐採面積推定 (早期把握)	<p>Q. (林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>7 ページ目の FAMOST ベースのマップによる 2023 年の推定結果では、思ったよりも信頼区間の幅は小さかったものの、当初の伐採マップを使った 2021・2022 年の推計結果と比較してやや推定区間が広い結果になっている。この差について分かりやすく説明いただきたい。</li> </ul>
	<p>A. (森林総研 志水)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>信頼区間の幅は推定に用いる伐採マップの精度に依存する。FAMOST は「伐採」として抽出された場所を実際に確認したときに空振りが少なくなるよう設計されており、伐採の見逃しは多い。2021・2022 年の推計に用いた伐採マップと比較して伐採の検出精度が低いマップを使用したため信頼区間の幅が広がったと考えている。</u></li> </ul>
	<p>Q. (林野庁 樽谷)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>推定した伐採面積では、信頼区間の幅が年ごとに異なる。推定値を対外的に公表するにあたり、信頼区間の幅がどの程度であれば公表してもよいのか、推定値が信頼に耐え得るものなのか等の数値的な目安はあるのか。</li> </ul>
	<p>A. (森林総研 志水)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>統計的には信頼区間の幅が広がるほど信頼性が低い値であると解釈されるが、<u>どれくらいの数値であればよいという具体的な目安は無い</u>。そのため、公表する側である林野庁のほうで算出された数値を解釈していただきたい。</li> </ul>
	<p>(林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>以前、信頼区間の幅について研究畑ではそれほど議論にならないと聞いて意外だった。研究畑で気にしない数値を林野庁だけ気にするものどうかと感じた。</li> <li>実際に統計値として公表する場合には信頼区間を記載することはない。そのため信頼区間を踏まえて統計値として取り扱う事が適切かどうか、林野庁で考える必要がある。公表した数値に対して質問された際に、疑義の無い回答ができるかどうか、その数値を使う場合の判断基準になるだろう。</li> </ul>
	<p>Q. (林野庁 樽谷)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>スギ伐採重点区域 (以下、「重点区域」と記載) の推定値に対する信頼</li> </ul>

	<p>区間の幅が、2021年に比べて2022年ではかなり大きい。同じ伐採マップを使用していたとしても年によって精度が変わるのか。</p>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>今回はどちらの年も同じ伐採マップを使用した<u>が、もとの変化抽出アルゴリズムの特性上、推定最終年は伐採を検出しづらい。</u>今回は2022年までの推定であったため2022年の精度が下がった。仮に2023年までを推定した場合は2022年の精度が上がり、2023年の推定精度が最も低くなると予想される。</li> </ul>
Q. (林野庁 樽谷)	<ul style="list-style-type: none"> <li>全国推計では民有林を対象としているとのことだが、重点区域についても国有林は除外して推定されている認識か。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>全国推計のための目視判読は民有林の中でしかサンプルを取っていない。重点区域の推定でも同じサンプルを使用しているため、今回示した数値は重点区域のポリゴンかつ民有林内での伐採面積である。</li> </ul>
Q. (林野庁 藤代)	<ul style="list-style-type: none"> <li>重点地域の場合と同様に、全国推計の2021年と2022年でも最終年の2022年の方が推定精度は低いという認識か。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>重点区域の場合と同様に2022年のほうが推定精度は低いと考えられる。ただし、その時々でサンプルの偏りなどのランダム性が入るため、それによっても精度は変わる可能性がある。</li> </ul>
Q. (林野庁 樽谷)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2021年と2022年の信頼区間の差について、全国推計では小さいものの重点区域にすると大きくなるのはなぜか。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>全国推計と重点区域で用いているサンプルサイズに大きな差があるためであると考えている。<u>サンプルサイズを増やすと両者の信頼区間の差は縮まるだろう。</u></li> </ul>
Q. (林野庁 藤代)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2021年と2022年の信頼区間の差は、全国にならすとそこまで目立たないが、重点区域の様に小さくすればするほど、大きくなるという理解でよいか。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>そうなると思う。</li> </ul>

	<p>Q. (林野庁 樽谷)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>重点区域においても全国推計と同レベルの精度を担保するためには、重点区域だけで全国と同程度のサンプル数で目視判読を行う必要があるのか。</li> </ul> <p>A. (森林総研 志水)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>基本的にはその通りである。ただし、重点区域は全国よりも伐採面積の割合が低いとため、もう少しだけサンプルサイズを増やさなくてはならない。</li> </ul> <p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>今回、重点区域については都道府県を限定して推定に用いている。本年度の推定では伐採面積の割合が多い県は入っていないため、実質的に伐採重点区域の伐採面積の割合が低いわけではないため注意が必要だろう。</li> </ul> <p>(林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>伐採面積の早期把握の検証では、能登半島地震による崩壊が目視判読結果へ影響し、推定値に誤差が生じた。今後も高分解能の衛星画像が無い場合に同様の現象が起こる可能性が考えられる。このような事象はたびたび発生する可能性が高いため、伐採面積の即時推定の際の注意点として報告書へ記載していただきたい。</li> </ul>
<p>推定手法の詳細設計 イ・都道府県等での伐採面積(都道府県)</p>	<p>Q. (林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>8 ページ目のサンプルを利用した推定では、各都道府県内に落ちた目視判読のサンプル結果を用いて面積を推定しており、サンプルが落ちていない都道府県県についてはそもそも推定できないので数値としては0になるという解釈で合っているか。よし悪しという話とは別で考えるべきであるが、0が出てくるといのは、俯瞰してものを見る上では欠点だと感じた。</li> </ul> <p>A. (森林総研 志水)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>その通りである。<u>各都道府県に位置するサンプルを利用して 47 都道府県分を推定している</u>。例えば沖縄県は目視判読点において伐採と判定されたサンプルが無かったため伐採面積が0になっている。</li> </ul> <p>Q. (林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>9 ページ目のピクセル割合を利用した推定について、これは層化のための機械的抽出作業の結果伐採層となったピクセルを、カウントするのではなく、その割合を全国推計のものに掛けて按分する手法だと理解した。</li> <li>2021 年と 2022 年と同じ面積比率になるのは伐採マップが同じである</li> </ul>

	<p>ためとのことだが、2021年と2022年で伐採マップあえて分けなかった理由はなぜか。</p>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>これは単なる作業上の理由である。今回、全国推計のための伐採マップを作る段階で2021年と2022年の伐採クラスをあわせて1つのクラスとした。伐採マップを分けて作成することは可能であるが、改めて作成する場合には時間がかかるため2021年と2022年が一緒になった伐採マップを用いて推定した。個別の年の伐採マップが必要であることが事前に分かっていたら対応可能である。</li> </ul>
Q. (林野庁 藤代)	<ul style="list-style-type: none"> <li>10 ページ目の都道府県別の素材生産量を用いた推定で使われている素材生産量は農林水産省の統計の都道府県別のものか。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>森林・林業統計要覧に記載された素材生産量の値を用いている。詳細な項目については加味しておらず、単純に素材生産量を掛けて算出している。</li> </ul>
(林野庁 藤代)	<ul style="list-style-type: none"> <li>11 ページ目の手法は、例えば「北海道」や「東北」など全国7地域で分けて、地域内に落ちたサンプルの判読結果から制度を求めた上で、一旦推定する。その後、9ページと同じ方法を用いて伐採層ピクセルの割合を掛けたものであると理解している。</li> </ul>
Q. (林野庁 藤代)	<ul style="list-style-type: none"> <li>8~11 ページの各手法で推定された数値を見て、研究者目線から思うことをご紹介いただきたい。</li> </ul>
A. (森林総研 志水)	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>素材生産量で割り当てたときに北海道の値がかなり小さくなったことは気になったところである。</u></li> <li><u>また、先ほどおっしゃったように、8ページの方法だと推定値が0になる県が出るため、推定値を統計として扱うときに困りそうだと感じた。</u></li> <li>統計的な仮定について思うところはあるが、11 ページで示した手法は、8ページのものと同様の中間のような形で、各地域の精度をある程度反映しつつならされており見た目はいいと感じた。</li> </ul>
(林野庁 藤代)	<ul style="list-style-type: none"> <li>都道府県別に割り振った推定値は、見た目の説得力やいろいろ考慮されている感も、重要だろう。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>北海道では、行政情報の数値に近いのは素材生産量に応じて割当てる手法（10 ページ）であると感じた。</li> <li>第 1 回委員会で話に挙げた、九州では伐採しない地点も含めて届出が出ているという件についても、2021 年の宮崎県ではそのように見えるが、他県や 2022 年についてはあまりわからない。</li> </ul> <p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>伐採面積の真値は分からないが、15 ページで示されているように行政情報とそれぞれの手法での推定値がおおよそ一致していることから、どの手法を使ってもおおよその傾向は捉えられていると感じた。</li> <li>宮崎県について、行政情報に比べ実際の伐採が少ないという感覚と 2021 年は一致しているが 2022 年は一致しなかった。</li> <li>素材生産量に応じて割当てる手法の推定値では、北海道の伐採推定量が少なく違和感があるが、その理由として、北海道は、本州に比べて ha 当たり蓄積量が大幅に低いことが影響しているように感じた。</li> </ul> <p>Q. (林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各都道府県に対して 95%信頼区間のエラーバーが記載されているが、素材生産量など原理的に算出できないものにも示されている。これは伐採面積と分散の両方を各都道府県に分配しているという認識か。</li> </ul> <p>A. (森林総研 志水)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>その通りである。日本全体の分散は分かるため、それを素材生産量に応じて割り振っている。伐採面積が大きければ、分散もそれに依って大きくなる。日本全体の 95%信頼区間の値を一度分散に戻し、分散を各都道府県へ分配した後で改めて 95%信頼区間の値に計算しなおしている。</li> </ul>
<p>行政情報の集計等による推計手法</p>	<p>(林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>18 ページ目の NFI データを用いた推定では、第 2 回委員会において推定値が低いのではないかと指摘があった。</li> <li>計算に用いたデータのうち ha 当たり蓄積量が 50m<sup>3</sup>/ha 未満のプロット数が多いが、これらのプロットは計算用のデータから除外するため今回は特に問題にならない。全国森林計画班の事業で解析する際にご確認いただきたい。</li> <li>今回は計算に用いるデータを決定するための閾値について考えたく、全てのデータで計算したものに加えて 4 つの閾値 (50m<sup>3</sup>/ha、100m<sup>3</sup>/ha、150m<sup>3</sup>/ha、200m<sup>3</sup>/ha) のパターンを作成した。仮に 200m<sup>3</sup>/ha を閾値とした場合は、今回行った全国推計の値に近い値となる。閾値について、科学的に決めることは難しく林野庁の方で決める必要があるだろう。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星画像の推定結果と NFI データの推定結果を照らし合わせれば、この辺りの閾値が妥当であるという言い方もできると思った。</li> </ul> <p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>以前、ha 当たり蓄積量の平均で計算した際には、平均が 600m<sup>3</sup>/ha となり、推定面積もおおよそ合っていた。今回のデータでは 50m<sup>3</sup>/ha 未満のプロット数があまりにも多く、使用しているデータが違う可能性があるためご確認いただきたい。</li> <li>閾値をどのように決定するかについては、理由付けが難しい。閾値を設定しなくとも適切な数値になるようであれば、その方がよいだろう。</li> </ul> <p>(林野庁 江崎)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ha 当たり蓄積量が 50m<sup>3</sup>/ha 未満の部分のプロット数が多過ぎると感じた。計算に使用しているデータが正しいか、もう一度確認すべきだろう。人工林もプロット数は百数十ぐらいに収まるのではないか。</li> </ul> <p>※(委員会後、データを再度確認した結果、集計上のミスが判明し、50m<sup>3</sup>/ha 未満のプロット数が極端に大きいという報告は誤りだった。)</p>
	<p>Q. (林野庁 藤代)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>24 ページ目の主伐以外の換算係数で人工林、天然林、その他の全てを平均したものを ha 当たり蓄積量としているが、これはなぜか。</li> </ul>
	<p>A. (日林協 金森)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>皆伐以外ということで、厳密には第 5 期の全体の平均を取っている。皆伐以外の伐採量は非常に少なく、現実的な問題としてどれを取ろうともそれほど影響はないと考えている。</li> </ul>
	<p>(林野庁 長谷川)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ha 当たり蓄積量の換算係数の設定の仕方について、これ以上何かをしようと思うと GIS を使った処理を入れていくしかないとは思っている。一つは、NFI のデータのうち伐採マップに当たっているところを拾うというやり方。もう一つは、森林簿で使えるようなデータがあれば伐採マップと森林簿を重ねて、取得した樹種や林齢について閾値を決める参考にするというもの。ただし、いずれも作業に手間がかかるため、どうしてもこれまでの検討以上に閾値の根拠が求められた場合に試してみてもどうか。</li> </ul>
	<p>(日林協 米)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>NFI データ</u>について、データ元を調べて確認する。データ分類の際に問題が生じた可能性が考えられる</li> <li>全国の森林ポリゴンと森林簿をリンクしたものが整備されれば、<u>GIS</u></li> </ul>

	<p>上で NFI と森林簿を比較することで、ある程度の伐採状況も把握できるだろう。ただ、<u>いずれの方法にしても精度が不安である</u>。森林簿は、情報が正しくない可能性あるなかで優占樹種の情報しか存在しない状態なので、どのようになるのか分からない状況である。</p>
	<p>(森林総研 細田)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国で出されている統計は誤差を示さずに示されていることが多い。しかし、統計手法により推定した値はどうしても誤差がある。そのため、誤差を含めて推定値をどう理解したらいいのかという解説をつけ、手法によってどれくらいの幅があるのかを示しつつ公表するのがよいだろう。</li> </ul>

令和6年度  
再造林の推進に向けた伐採状況の把握手法等に関する調査委託事業  
報告書

令和7年3月

(受託者)

令和6年度 再造林の推進に向けた伐採状況の把握手法等に関する調査委託事業共同事業体  
国立研究開発法人森林研究・整備機構 / 一般社団法人日本森林技術協会