

令和 3 年度  
リモートセンシング技術等を用いた  
森林の機能別調査の手法に関する  
調査事業

報 告 書

令和 4 年 3 月

**林野庁**



## 目次

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 第1章 事業概要.....                                   | 1  |
| 1.1. 本業務の目的 .....                               | 1  |
| 1.2. 事業の背景と課題 .....                             | 1  |
| 1.2.1. 森林の機能別調査の状況 .....                        | 1  |
| 1.2.2. 高精度・高解像度の地位情報の必要性.....                   | 2  |
| 1.2.3. LiDAR 計測データを用いた地位推定方法について .....          | 3  |
| 第2章 事業の実施内容.....                                | 4  |
| 2.1. 検討委員会の設置・運営 .....                          | 4  |
| 2.2. 都道府県の現状調査・整理.....                          | 5  |
| 2.2.1. 徳島県の事例 .....                             | 5  |
| 2.3. 調査手法の開発・実証 .....                           | 9  |
| 2.3.1. 前提条件 .....                               | 9  |
| 2.3.1.1. 対象者 .....                              | 9  |
| 2.3.2. LiDAR データを使った地位指数分布図の作成 .....            | 10 |
| 2.3.2.1. 地位指数分布図作成のながれ .....                    | 10 |
| 2.3.2.2. 実証サイトの概要 .....                         | 12 |
| (1) 徳島県 .....                                   | 13 |
| (2) 茨城県 .....                                   | 14 |
| (3) 新潟県 .....                                   | 14 |
| 2.3.2.3. 航空機 LiDAR データを用いた上層木平均樹高の推定方法の検討 ..... | 15 |
| 2.3.2.4. 低密度の航空機 LiDAR 計測データの利用可能性.....         | 20 |
| 2.3.2.5. 航空機 LiDAR データを使った地位指数曲線作成の検討 .....     | 23 |

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 2.3.2.6. 地域性の比較 .....                    | 25 |
| 2.3.3. 実証調査地での開発手法の適用結果 .....            | 26 |
| 2.3.3.1. 実証調査地における地位指数曲線および地位指数分布図 ..... | 26 |
| 2.3.3.2. 徳島県における結果 .....                 | 26 |
| 2.3.3.3. 茨城県における結果 .....                 | 36 |
| 2.3.3.4. 新潟県における結果 .....                 | 38 |
| 2.3.3.5. 実証サイトの比較 .....                  | 41 |
| 2.3.4. まとめ .....                         | 42 |
| 2.3.5. 地位指数分布図の活用例：実務での活用 .....          | 43 |
| 2.4. 調査手法の普及 .....                       | 45 |
| 2.4.1. 地位指数分布図作成の手引き .....               | 45 |
| 2.4.2. 手引きを使った講習会の実施 .....               | 46 |
| 第3章 今後の課題 .....                          | 47 |
| 3.1. 上層木平均樹高推定における精緻化 .....              | 47 |
| 3.2. 林齢の不確実性に対する検討 .....                 | 47 |
| 3.3. 実証サイトにおけるより詳細な検討 .....              | 48 |
| 第4章 引用文献 .....                           | 49 |

# 第1章 事業概要

## 1.1. 本業務の目的

森林の機能別調査は、地域森林計画において属地的森林の整備目標等を定めるために必要な客観的資料を得ることを目的として都道府県が実施するものであり、森林計画制度の適正な運用を図るための重要な調査である。本事業では、近年データの整備が進んでいる航空機 LiDAR 計測データを活用し、森林の機能別調査のうち、木材等生産機能の評価に必要な地位級等の因子を簡易に求める手法の開発に向けた調査を行うものである。

## 1.2. 事業の背景と課題

### 1.2.1. 森林の機能別調査の状況

本事業の調査対象である森林の機能別調査は、「森林の機能別調査実施要領の制定について」（昭和 52 年 1 月 18 日 52 林野計第 532 号林野庁長官から各都道府県あて）により実施要領が定められ、各都道府県において実施されてきた。この実施要領によれば、森林の有する機能は「木材等生産機能」「水源涵養機能」「山地災害防止機能」「快適環境形成機能」「保健・レクリエーション機能」の 5 機能に区分され、各機能と関連性が高いと思われる評価因子について、多次元解析や数量化理論等の統計的手法を用いて数値化し、これを各機能のポテンシャル（機能発揮の可能性の大きさ）として評価区分するものである。

ただし、木材生産機能については、これ以前に全国で実施されていた地位級等林地生産力に関する調査の結果等に基づいて機能の評価区分を行うこととされている。立地級調査は、「立地級調査について」（「地域森林計画及び地域別の森林計画に関する事務の取り扱いの運用について」（平成 12 年 5 月 8 日付 12 林野計第 188 号林野庁長官通知）の付録第 5 号別添）の「第 1 立地級調査要領」（以下「立地級調査要領」）に基づいて行われるもので、森林計画区内の民有林について森林施業の適正化を図るため、当該地域森林計画樹立に際し地位、地利等の立地条件を客観的に把握することを目的として実施される。ここで立地級とは、地位級と地利級を組み合わせで表されるもので、地位級とは主要樹種別の伐期総平均成長量を  $\text{m}^3$  単位の等級に区分したもの、地利級は樹種別、現在・将来別に、当該林分における  $1\text{m}^3$  あたりの立木価格の 1000 円単位の数値、と定義されている。

立地級調査要領によれば、地位級は主林木の平均樹高を直接法及び間接法により求め、地位判定基準図より伐期平均成長量を求めることとなっている。直接法は、現地調査により現地に生育する主林木の平均樹高と林齢から地位級を求めるものである。間接法は該当樹種が現地に存在しない、あるいは幼齢林で直接法を行うことが適当でない場合等に実施するもので、ここで主林木の伐期平均樹高は、上記「立地級調査について」の「第 2 地位指数調査要領」に（以下「地位指数調査要領」）において対象箇所の立地条件（気象、標高、地形、地質等の因子）から、数量化理論等の統計的手法により地位指

数（基準林齢（カラマツ 35 年、その他樹種 40 年）における当該樹種の主林木平均樹高）を算出し、これから推定することとされている。

都道府県における実際の地位級に関する調査は、これらの要領が制定された昭和 40-50 年代に集中的に実施され、その成果は森林簿の中では林小班情報と紐づけられて格納されている。調査の実施後 40 年以上が経過し、当時は存在していなかった高齢級林分が増えていること等を踏まえると、必要に応じて新たな情報を効率的に用いて機能別調査の結果を更新することが求められている状況になりつつあるといえる。

### 1.2.2. 高精度・高解像度の地位情報の必要性

林地の生産力を示す指標として、ある林齢における主林木平均樹高など樹高が尺度として用いられているのは、直径成長と比較して樹高成長が本数密度の影響を受けにくいという性質に基づいている。特に、ある基準林齢における樹高として表現される地位指数は、「上・中・下」等の相対的な基準ではなく、絶対的な評価基準として利用可能なものであり、地位級等の基準情報ともなっている。

一方、都道府県の森林簿に適用されている地位級の情報について、実態としてどのような運用がされているのかについては、都道府県によりかなり差異があると思われる。いくつか公表されている情報等から判断すると、実際に適用されている地位級は、市町村や流域単位などかなりマクロな空間スケールで適用されている場合が多いことがうかがわれる。

そもそも林地生産力は、地質や地形、土壌といった環境要因によって決定づけられると考えられ、例えば尾根部では相対的に生産力が低く、沢筋では高いといった具合に、実際には局所的な空間スケールで差異が大きいことが経験的に知られているが、これまでは利用可能な情報、とくに地形情報の解像度が低く、局所的な地位に関する情報は、利用可能な状態となっていなかった。

我が国の人工林資源が充実し本格的な利用期を迎えている中で、持続的な林業を經營するためには、国土保全及び木材利用の観点を踏まえながら、主伐・再造林適地を判別し、効率的・効果的に森林施業を実施していくことが重要である。市町村森林整備計画の策定や、森林経営管理制度における森林の経済性の判定など、市町村が地域の実情に合わせたきめ細かいゾーニングが必要になってきている。そのためには、林小班～林分スケールでの生産力に関する高精度・高解像度な情報の重要性が高まっている（図 1）。

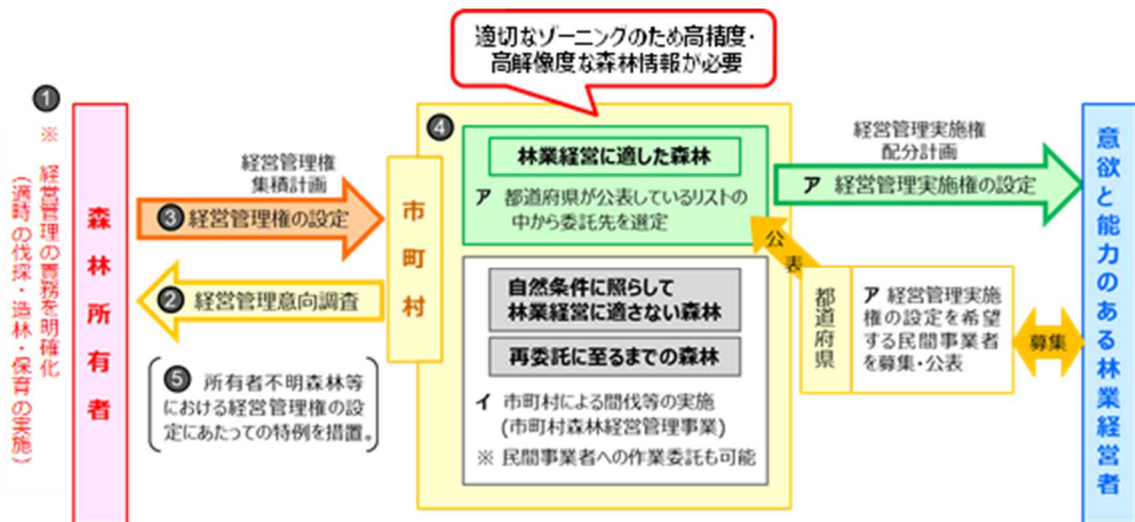


図 1 森林経営管理制度における詳細森林情報の必要性

### 1.2.3. LiDAR 計測データを用いた地位推定方法について

LiDAR 計測データからは、高精度の地表面データ (DEM) と林冠表層データ (DSM) を得ることができ、この差分を取ることによって林冠高 (DCHM) を算出することができる (図 2)。DCHM は、主林木平均樹高や上層樹高を直接示すものではないが、両者には強い正の相関があると考えられることから、簡易な補正等により DCHM から主林木平均樹高等を推定することが可能である。航空機 LiDAR データを用いて樹高や材積、土地生産力を推定する試みについては、既に様々な研究がある。

航空機等による既存の LiDAR 計測データについては、公益財団法人日本測量調査技術協会の「航空測量データポータルサイト」 (<https://sokugikyo.or.jp/laser/>) を見てもわかるように、全国的な整備が進みつつある。しかしながら、計測された年度や計測スペック (照射点密度) については様々であり、これらの計測スペックに違いのある LiDAR データを用いて、地位判定に必要な主林木平均樹高 (≒ 上層樹高) がどの程度の精度で取得可能であるかについて、技術的な整理・評価を行う必要がある。

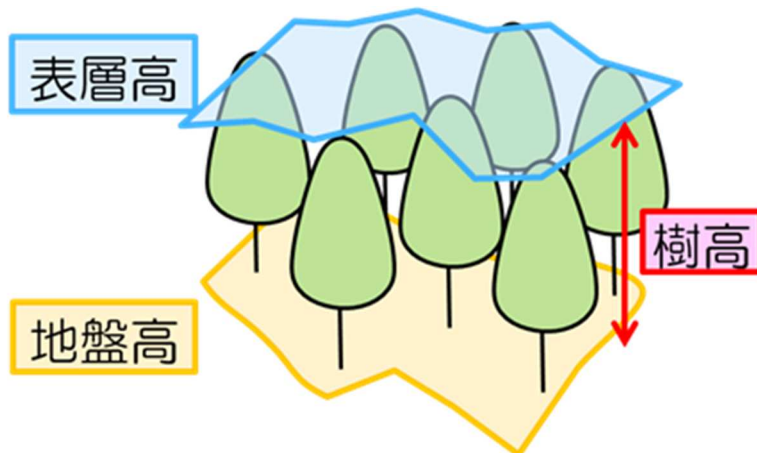


図 2 LiDAR 計測データから得られる情報

## 第2章 事業の実施内容

### 2.1. 検討委員会の設置・運営

事業の実施に当たっては、検討委員会を設置し、技術的指導や助言を受けるものとする。なお検討委員会の開催スケジュール及び各委員会に置ける検討内容、及び委員は表1及び表2に示すとおりである。

検討委員会の開催にあたり、委員との連絡調整、謝金支払い、資料作成印刷、会場手配等を行った。なお新型コロナウイルスの感染状況等に応じ、Web形式で委員会を開催した。

表1 委員会の開催スケジュールおよび検討内容

| 回   | 時期             | 検討概要                      |
|-----|----------------|---------------------------|
| 第1回 | 令和3年<br>9月1日   | 調査手法開発の基本方針の確認・検討         |
| 第2回 | 令和3年<br>10月22日 | 開発手法の進捗状況、現地実証の方針及び手法決定 等 |
| 第3回 | 令和3年<br>12月14日 | 開発手法の実証、必要に応じた見直し、普及の方針等  |
| 第4回 | 令和4年<br>2月22日  | とりまとめ報告                   |

表2 検討委員

| 氏名     | 所属、役職                              | 専門分野、実績等                |
|--------|------------------------------------|-------------------------|
| 戸田 堅一郎 | 長野県庁 林務部 信州の木活用課<br>林業経営支援係 係長     | リモートセンシング、<br>市町村森林整備計画 |
| 藤井 栄   | 徳島県立農林水産総合技術支援センター<br>資源環境研究課 研究係長 | 造林、森林計画                 |
| 光田 靖   | 宮崎大学 農学部 森林緑地環境科学科 教授              | 資源解析、森林計画               |
| 村上 拓彦  | 新潟大学 自然科学系（農学部） 准教授                | GIS、リモートセンシング、森林計画      |

敬称略



## **2.2. 都道府県の現状調査・整理**

### **2.2.1. 徳島県の事例**

本事業の実証サイトの一つである徳島県の森林情報に係る現状と課題についてヒアリングした結果を示す。森林情報の現状について表 3 に示す。地位指数の更新については、初期に設定されて以降、長期間に渡って更新されていなかったが、平成 23 年頃、森林生態系多様性基礎調査や吸収源関連の毎木調査によるデータから、高齢級林分の調査結果を反映した樹高曲線に修正されている。

表 3 徳島県の森林情報の現状

| 項目       | 内容                                                                           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|
| 森林計画区    | 2 区                                                                          |
| 森林調査区    | 5 区                                                                          |
|          | 5 年に 1 回、調査区の更新を行い、2 年もしくは 3 年に 1 回、地域森林計画の樹立を実行                             |
| 森林計画図の構成 | 林班（30-100ha）                                                                 |
|          | 小班群（5-30ha）※地位指数は小班群単位で指定                                                    |
|          | 小班（1-5ha）※境の基本は所有単位、枝番で樹種、林齢を区分                                              |
| 地位指数クラス  | 2 つの階層があり 9 段階に区分                                                            |
|          | ① 調査区単位で上中下に区分                                                               |
|          | ② 調査区内で上中下に区分                                                                |
| 地位指数の更新  | 初期に設定されて以降、長期間に渡って更新されていなかった。                                                |
|          | 平成 23 年頃、森林生態系多様性基礎調査（当時のモニタリング調査）や吸収源関連の毎木調査によるデータから、高齢級林分の調査結果を反映した樹高曲線に修正 |

現在の地位に関する課題と航空機 LiDAR 計測への期待について県職員の方から頂いた回答を抜粋する。

#### 地位指数の問題点

- 地形、斜面の向き、標高に大きな変化があると想定される小班群(5-30ha)単位で指定されている。
- 9 段階の地位指数は高齢級林分に配慮した樹高曲線に更新したのみで、環境因子との関係は初期設定以降更新されていない。

(航空レーザ計測データから計算した材積と森林簿の材積を比較した場合、調査区単位で過剰な場合と過小な場合がある→調査区単位で地位を指定していることが原因か?)

今回業務に期待すること

■ 全体的に航空レーザ計測が完了しつつあるが、得られたデータに違いがある。

① 4点/m<sup>2</sup>(DEM DSM DCHM) + 森林資源データ

② 4点/m<sup>2</sup>(DEM DSM DCHM)

③ 1点/m<sup>2</sup>(DEM DSM DCHM)

- ・ ①の区域では森林資源データを活用できるが、他の区域では従来通り、森林簿や人力による標準地調査が実施されている。②や③の区域においても高精度の森林資源データが必要。
- ・ ①の区域においても、森林資源データを活用している林業事業体は一部。広く活用するためには高精度森林簿整備が望ましい。
- ・ 航空レーザ計測は今後、繰り返し実施されるものではないと想定される。技術的にはシステム収穫表を使えば良いが、広く活用するためには高精度な森林簿の整備が望ましい。

※ 高精度森林簿：局地的な地位が反映した小班(1-5ha 程度)単位の森林資源データを整備した森林簿とする。

- 森林経営管理制度において経営管理が行われていない森林の集積・配分を進めているところであり、効率的な業務推進には高精度森林簿が必要。
- Jクレジットをはじめ、森林簿の資源量は林務行政の基本であることから、現実に合った資源量を森林簿として整備すべき。
- 現状の森林簿の資源量には問題があり、その大きな要因が整備当初から更新されておらず、小班群レベルで設定されている地位指数である。
- 一方で新たな森林経営管理制度により、施業実施林分レベルでの資源量を把握することが重要となっている。
- このような中、航空レーザ計測による高精度データが整備されつつあることから、施業実施林分レベルでの地位指数整備は技術的に可能と想定される。

- しかし、本県を含む一部の都道府県では試験場がこのような課題に取り組んでおらず、地域に林業を専門としたコンサルタントも不在であることが多く、自力での航空レーザデータ活用による地位指数等の更新が困難である地域も少なくないと想定されることから、課題解決に本業務を期待する。

本事業における地位指数推定は、高精度かつ高解像度を目指しており、方法論が開発されれば施業スケールの資源量把握に繋がり、都道府県の森林計画・管理に貢献できると考えられる。

ここ数年で LiDAR 計測の整備が進みつつあり、また LiDAR データに対する期待があることから、都道府県職員が自ら実施できるような簡単で方法であれば活用が進むと考えられる。

## 2.3. 調査手法の開発・実証

「立地級調査要領」には、いくつかのステップがあるが、基本的な出発点は、当該箇所における地位指数の算出である。地位指数は基準林齢における上層樹高であることから、これを収穫表における林齢－樹高の関係式（樹高曲線）と紐づけ、収穫表を用いて伐期齢における材積を求め、それを伐期齢で除したものが伐期平均成長量すなわち地位級となる。なお、委員会等での議論を踏まえ、本調査では「地位指数分布図」までの作成を目標とする。

地位指数の推定方法としては、数量化理論に基づき地質、地形、土壌等の環境要因からスコア値を集計するスコア表法、現地調査に基づき局所的な環境因子と地位指数の関係を重回帰分析により地位指数式を求める方法、[竹下, 1964]が考案した地形因子のみから推定する方法、[光田, 鹿又, 松本, 2013]が考案した気象因子、地形因子、森林生態系多様性基礎調査の実測値から推定する方法などが知られている。これらの手法によって得られる地位指数の地理空間的な解像度は、得られる情報の地理空間的な解像度に依存している。例えば利用可能な地形データの解像度が 50m であれば、それ以上に詳細な空間解像度での地位指数区分はできない。

近年、都道府県等での航空レーザ計測データのアーカイブの蓄積が進んでおり、都道府県または市町村レベルでの利用が可能になってきた。そこで、LiDAR 計測データから樹高を推定し、当該林分の林齢情報から樹高曲線により直接地位指数を推定する方法（[福井, 2019]）を適用し、広域のかつ高精度な地位指数をより簡易な手法で算定する方法について検討した。ただし、この方法においては、森林簿林齢の不確実性に留意する必要がある。

### 2.3.1. 前提条件

#### 2.3.1.1. 対象者

本事業で開発する手法の前提条件を表 4 に示す。

表 4 本事業で開発する手法に係る前提条件

| 項目                 | 内容                                                |
|--------------------|---------------------------------------------------|
| 地位指数算出作業を想定している利用者 | 都道府県や市町村の計画担当者                                    |
| 必要なデータセット          | 1. 樹種と林齢情報が格納されている GIS ポリゴン<br>2. 航空機 LiDAR 計測データ |
| 対象とする林相            | スギ人工林とヒノキ人工林                                      |
| 空間スケール             | 20m メッシュ                                          |

本事業で開発する手法について、まず利用対象者としては、都道府県の計画担当者や市町村の担当者を想定している。GIS ソフトや Microsoft Excel を使用したことがあれば地位指数分布図を作成できるような簡単な手法とする。

必要なデータセットは2つあり、一つは林齢と樹種が格納されている GIS ポリゴンで、都道府県で整備されている森林簿 GIS の利用を想定している。もう一つは航空機 LiDAR 計測データで、LiDAR 計測時の仕様によるが照射密度 4 点/m<sup>2</sup> 以上のデータを前提としている。LiDAR データの種類として林冠高データ (DCHM) が必要だが、入手できなければ DTM(digital terrain model, 地盤高)と DSM (digital surface model, 表層高) の差分から計算可能である。

本事業で検討した林相は主体としてスギ人工林である。

作成される分布図の空間精度については 20m メッシュで設計した。これは、「令和 3 年度林業イノベーション推進総合対策のうち ICT 生産管理推進対策のうちレーザ計測による森林資源データの解析・管理の標準化事業」で森林資源データ解析・管理標準仕様案の森林資源量集計メッシュポリゴンと一致させるためである。森林資源量集計ポリゴンには、今回使用する樹種や樹高情報も含まれること、またメッシュサイズを統一しておけば、森林資源集計ポリゴンと地位指数の情報の連携が一对一ででき、管理のしやすさが期待できる。

## **2.3.2. LiDAR データを使った地位指数分布図の作成**

### **2.3.2.1. 地位指数分布図作成のながれ**

地位指数分布図の作成手法の開発では、図 3 に示したように、まず a.上層木平均樹高の分布図、b.樹種分布図、c.林齢分布を作成し、これらに樹種別（必要であればさらに地域別）の地位指数曲線を作成し、各メッシュの地位指数を決定数する方法を検討した。