

令和6年度  
国有林野成長予測モデル等整備事業

報告書

令和7年3月

林野庁



## 目次

1	事業概要	1
1.1	事業目的	1
1.2	事業の履行期間	1
1.3	事業項目	1
1.4	事業実施フロー	2
1.5	事業実施範囲	3
2	成長予測モデルの整備	4
2.1	全国的なグルーピングの実施	4
2.1.1	グルーピング手法	4
2.1.2	主成分の選択	9
2.1.3	クラス数の検討	10
2.1.4	グルーピングの試行結果	12
2.1.5	クラス数の妥当性の評価	15
2.1.6	全国の計画区単位のクラス割当て	20
2.1.7	東北局及び中部局の管内におけるクラス統合の検討	22
2.1.8	グルーピング結果のまとめと今後の検討課題	31
2.2	成長予測モデルの見直し方法の検討	33
2.2.1	データの収集	33
2.2.2	成長予測モデルの構築	57
2.2.3	成長予測モデルの見直し結果のまとめと今後の検討課題	103
3	航空レーザ計測結果を活用した地位推定手法の検討	105
3.1	地位級推定の流れ	105
3.2	検討対象地	106
3.3	地位級の算出・比較（東北局）	109
3.3.1	既存の収穫予想表から作成した地位判定基準図による地位級（パターン1）	109
3.3.2	新たな収穫予想表から作成した地位判定基準図による地位級（パターン2）	118
3.3.3	現行森林調査簿に記載の地位級（パターン3）	127
3.3.4	算出した地位級の比較	129
3.3.5	地位級と地位指数の関係	132
3.4	地位級の算出・比較（中部局）	133
3.4.1	既存の収穫予想表から作成した地位判定基準図による地位級（パターン1）	133

3.4.2	新たな収穫予想表から作成した地位判定基準図による地位級.....	142
3.4.3	現行森林調査簿に記載の地位級（パターン3） .....	151
3.4.4	算出した地位級の比較.....	153
3.4.5	地位級と地位指数の関係.....	156
3.5	<b>航空レーザ計測結果から地位級区分図・分布図を作成する手順の整理</b> .....	157
3.5.1	樹冠高データの作成.....	157
3.5.2	樹種区分図の作成.....	157
3.5.3	樹頂点の抽出及び樹高の測定.....	158
3.5.4	20mメッシュ及び小班林相単位での集計 .....	158
3.5.5	地位判定基準図の作成.....	159
3.5.6	20mメッシュ及び小班林相データの地位級割当て.....	159
3.5.7	地位級区分図及び地位級分布図の作成.....	159
4	<b>検討委員会の開催</b> .....	160
4.1	<b>検討委員</b> .....	160
4.2	<b>開催日時</b> .....	160
4.3	<b>検討委員会における主な意見等</b> .....	160
5	<b>成果品</b> .....	163

# 1 事業概要

## 1.1 事業目的

本事業では、スマート林業実施の前提として必要となる現在及び将来の森林資源量並びに適当な伐期齢を的確に推測するため、昭和40年代に作成された国有林の現行の収穫予想表に替わり、新たな収穫予想表（以下「成長予測モデル」という。）を整備し、これらにより国有林野事業の事業改善を進めるとともに、地域における林業の成長産業化に積極的に貢献することを目指すものである。

なお、本事業は平成31年度に開始されたものであり、本年度は6年目に当たる。

## 1.2 事業の履行期間

本事業の履行期間は、令和6年10月31日（木）～令和7年3月14日（金）である。

## 1.3 事業項目

本事業の実施項目を以下に示す。

- (1) 成長予測モデルの整備
  - ① 全国的なグルーピングの実施
  - ② 成長予測モデルの見直し方法の検討
- (2) 航空レーザ計測結果を活用した地位推定手法の検討
- (3) 検討委員会の開催
- (4) 報告書の作成

前年度までの成果を踏まえ、本年度は、全国を対象として気象条件を因子とするグルーピングを実施するとともに、国有林を管理する7つの森林管理局（以下「局」という。）のうち東北局及び中部局の管轄エリアを対象として、航空レーザ計測結果を活用したスギ、ヒノキ及びカラマツの成長予測モデルの構築及び地位推定手法の検討を実施した。

前年度までに挙げられた検討課題のうち、本事業において特に検討したものは以下の3点である。

### 1) 統一的なグルーピング手法

各局の現行の収穫予想表の地域区分をベースにグルーピングを行うと、各局の整備方針の違いにより、グルーピングの程度が異なってしまう場合がある。「令和5年度国有林野成長予測モデル整備事業」（以下、「令和5年度事業」という。）では気象条件による統一的なグルーピング手法を構築したところ、各地域の特性を考慮しつつ、全国的なグルーピングにおける当該手法の適応性を検証する必要がある。

## 2) データフィルタリングの検討

航空レーザ計測結果を活用した成長予測モデルの構築においては、多数のサンプルデータを取得できる一方、異常値も少なからず含んでしまうことが課題となる。幼齢林や高齢林といったサンプル数が少ない林分は、異常値によって推定される成長曲線の形状に大きく影響を与える可能性があるため、データの適切なスクリーニング方法について継続して検討する必要がある。

## 3) 航空レーザ計測結果の特徴を活かした成長予測モデルの構築

現行の収穫予想表の作成方法は地上調査を前提としたものであるため、航空レーザ計測結果の活用を前提とした成長予測モデルの構築に適用するには限界がある。特に、過年度事業で検討したモデル構築方法は、航空レーザ計測による樹高をベースに各種相関式を作成し構築するものであり、立木本数予測や材積成長率等において現実林分と乖離が生じることがわかった。

航空レーザ計測結果では悉皆的に樹高や本数を把握できることから、この特徴を活かした成長予測モデルの構築が求められる。

## 1.4 事業実施フロー

本事業の事業実施フローを図 1.4.1に示す。本事業は大きく「(1) 成長予測モデルの整備」と「(2) 航空レーザ計測結果を活用した地位推定手法の検討」の2項目からなる。

なお、成長予測モデル構築においては、(2)において実施する森林資源解析の成果も含めた国有林の航空レーザ計測結果に加え、民有林の航空レーザ計測結果も活用した。

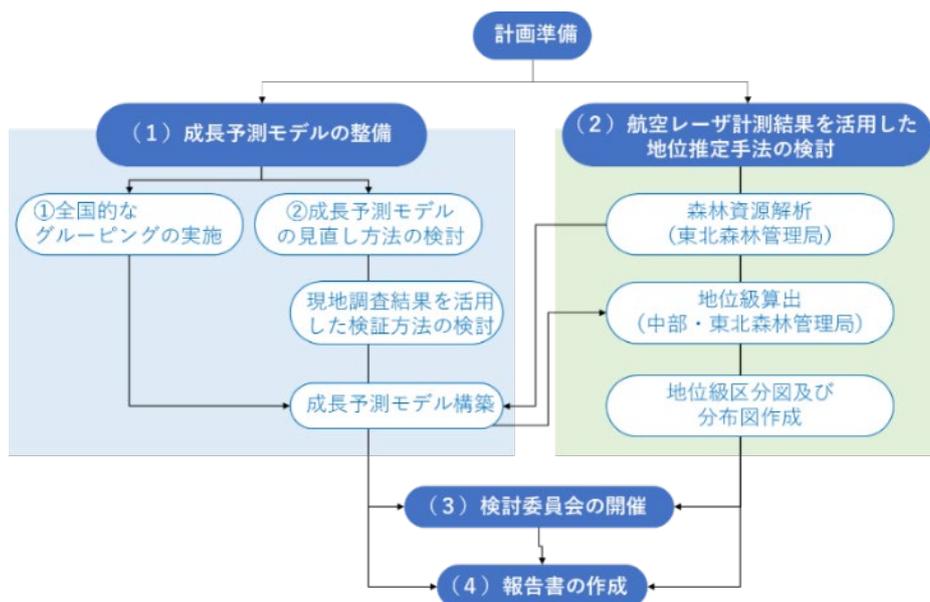


図 1.4.1 事業実施フロー

## 1.5 事業実施範囲

本事業では、グルーピングの実施については全局管内国有林を対象とし、成長予測モデルの整備及び航空レーザ計測結果を活用した地位推定手法の検討については東北局及び中部局の管内の国有林を対象とした。

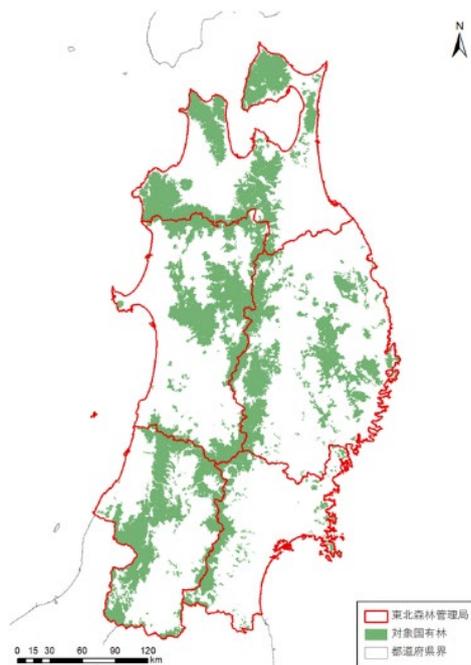


図 1.5.1 東北局管内国有林位置図

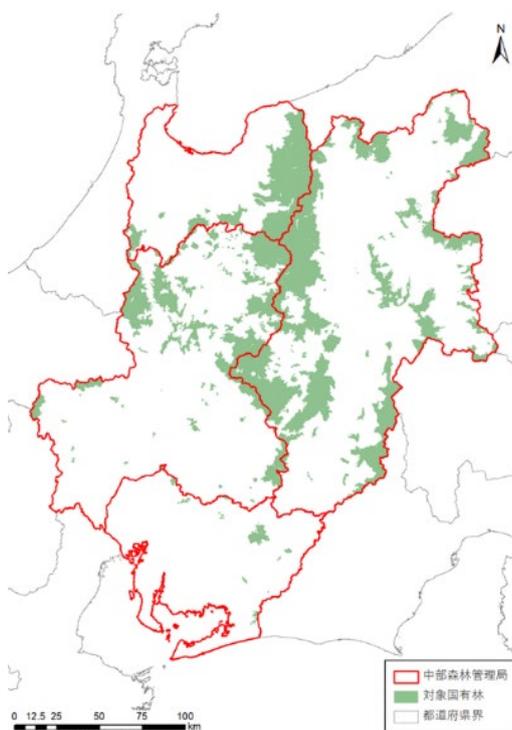


図 1.5.2 中部局管内国有林位置図

## 2 成長予測モデルの整備

令和5年度事業で検討した手法を用いて気象条件による全国的なグルーピングを実施した上で、東北局及び中部局の管内を対象として、管内の国有林及び民有林の航空レーザ計測結果を活用し、成長予測モデルを構築した。その際、過年度事業で明らかとなった課題を踏まえて構築方法の見直しを検討した。

### 2.1 全国的なグルーピングの実施

令和5年度事業で検討した気象条件を因子とするクラス区分によるグルーピング手法を用いて、全国を対象としたグルーピングを実施し、全国158の森林計画区（以下「計画区」という。）の単位でクラス区分を整理した。また、東北局及び中部局の管内については、本事業で成長予測モデルを整備するため、計画区毎の航空レーザ計測結果の利用可能性を踏まえて、必要に応じてクラスの統合を行った。グルーピングの妥当性の評価に当たっては、国有林における既存の収穫予想表や樹種の成長特性に関する既往の文献等との比較を行った。

#### 2.1.1 グルーピング手法

過年度事業におけるグルーピングでは、各局の現行の収穫予想表の地域区分をベースにクラス区分を行うと、各局の整備方針の違いにより、グルーピングの程度が異なってしまう場合があるという課題があった。

そこで、令和5年度事業では気象条件による統一的なグルーピング手法を採用し、各局の収穫予想表の地域区分によらず同じ基準でのグルーピングを実施した。本事業でも同じ手法を用いて全国を対象としたグルーピングを実施した。

この手法は、国土数値情報の平年値気候メッシュから、k-means法（非階層型クラスタリング手法の1つで、客観的にクラス区分ができる統計手法）を用いてグルーピングを実施するもので、花岡（2018）<sup>1</sup>の手法を参考に下記の手順で作業を行った。

1. 国土数値情報の平年値メッシュデータ（1kmメッシュ、令和4年度作成）を対象範囲全域について収集。ただし、東京都島嶼部は日射量データがないため除外（図 2.1.1）し、積雪データがないメッシュは0に置換。
2. 解析時の負荷を軽減するため、1kmメッシュのデータを10kmメッシュ単位に再集計。
3. 標準化を行った上で、気象データの全属性を用いて主成分を分析。
4. 累積寄与率が0.8（80%）を超えるまでの主成分を選択（今回は第1主成分から第3主成分までを採用）。
5. 選択した主成分の主成分スコアを用いたクラス区分に当たり、適切なクラス数を求め

---

<sup>1</sup> 花岡創. (2018). 北海道育種基本区における気象条件と育種区との対応. *北方森林研究*, 66, 43-46.

るため、Tibshirani et al. (2001)<sup>2</sup>の手法によりGap解析を実施。Gap値が高いほどクラスの当てはまりがよいことを示すが、クラス数が多過ぎると煩雑となり本来の目的であるデータの要約が難しくなることを踏まえ、適切なクラス数（k値）を選択。

6. 選択されたk値に基づき、k-means法により各メッシュのクラス区分を実施。

なお、グルーピングに使用した国土数値情報の平年値メッシュデータは以下5つの気象要素について過去30年間の観測値から1kmメッシュ毎の平年値を整備したものである。

- ① 降水量（各月及び年の合計降水量）
- ② 気温（各月及び年平均の最高・最低・平均気温）
- ③ 最深積雪（1～3月の各月及び年の最深積雪）
- ④ 日照時間（各月及び年の合計日照時間）
- ⑤ 全天日射量（各月及び年の全天日射量の日積算量の平均値）

参考として、主要な気象因子の分布を図 2.1.2～図 2.1.6に示す。

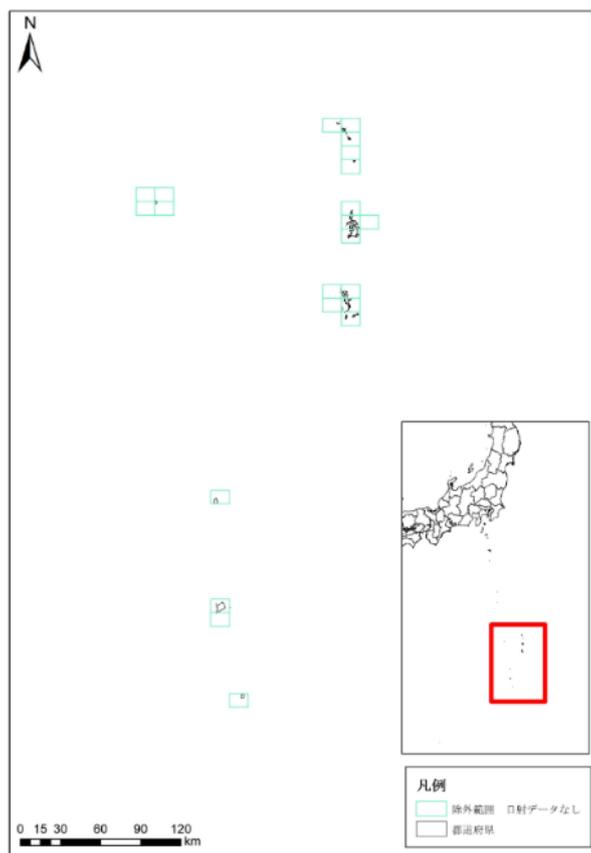


図 2.1.1 除外対象とした東京都島嶼部のメッシュ

<sup>2</sup> Tibshirani, R., Walther, G., & Hastie, T. (2001). Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 63(2), 411-423.

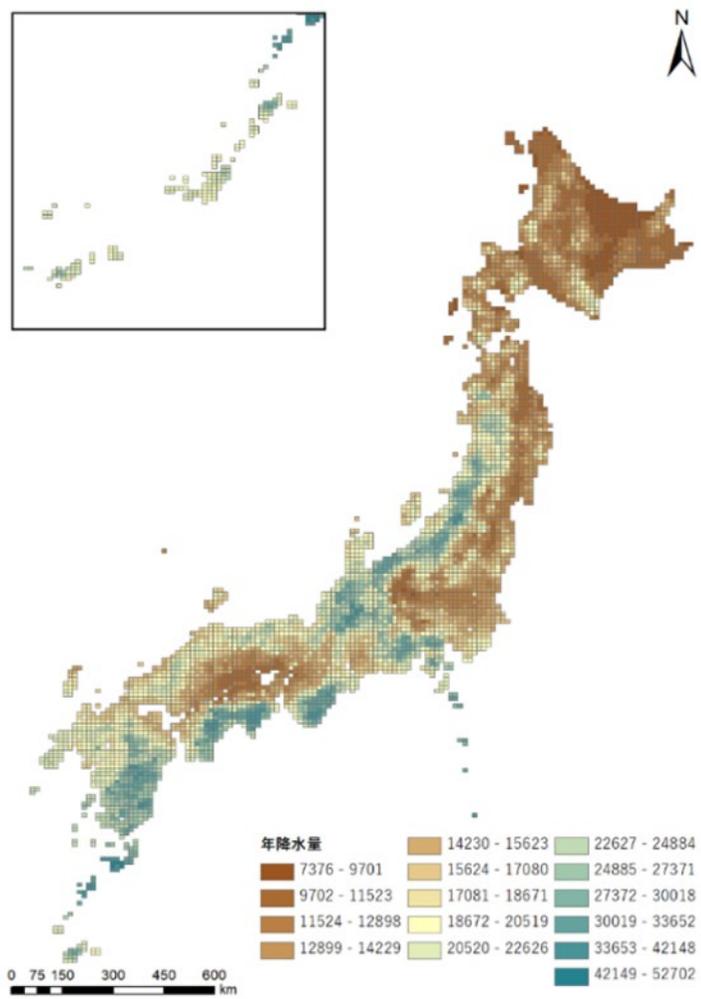


图 2.1.2 年降水量 (单位 : 0.1mm)

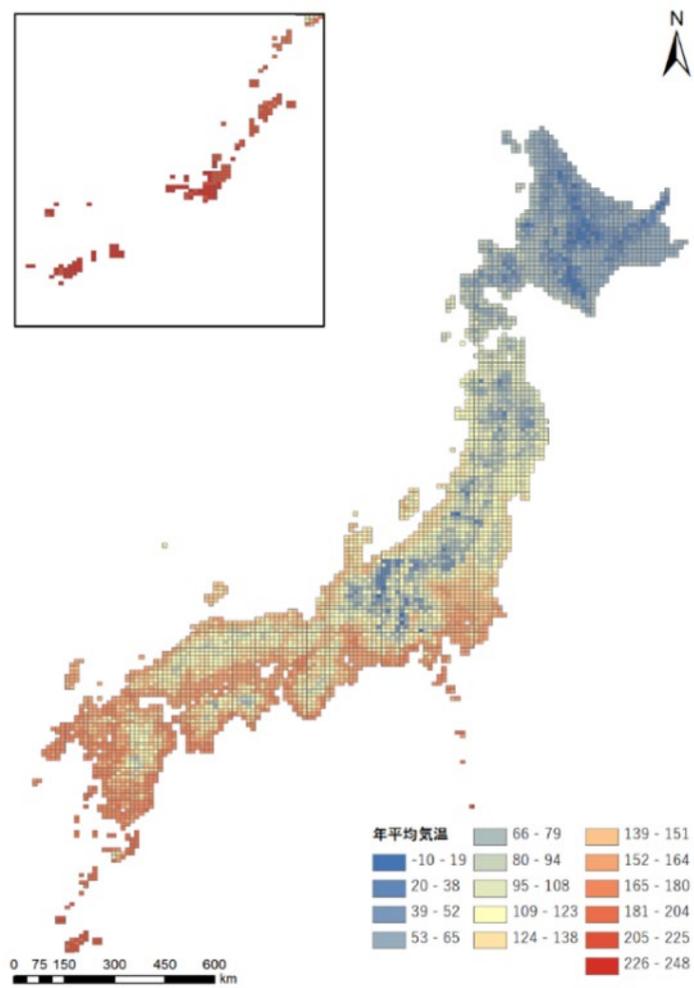


图 2.1.3 年平均气温 (单位 : 0.1°C)

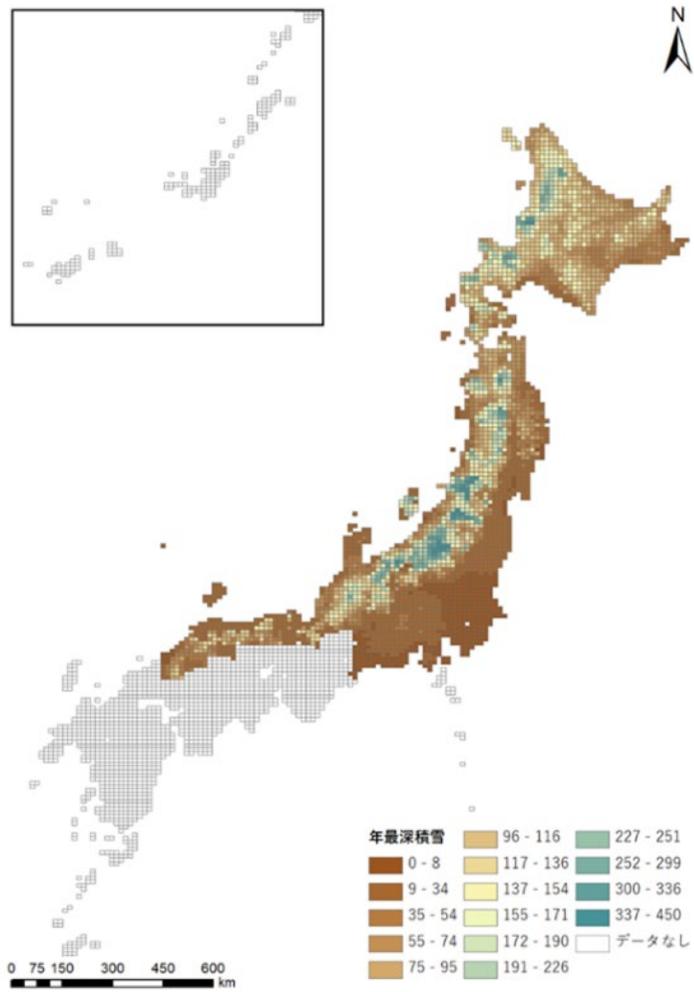


図 2.1.4 年最深積雪 (単位 : cm)

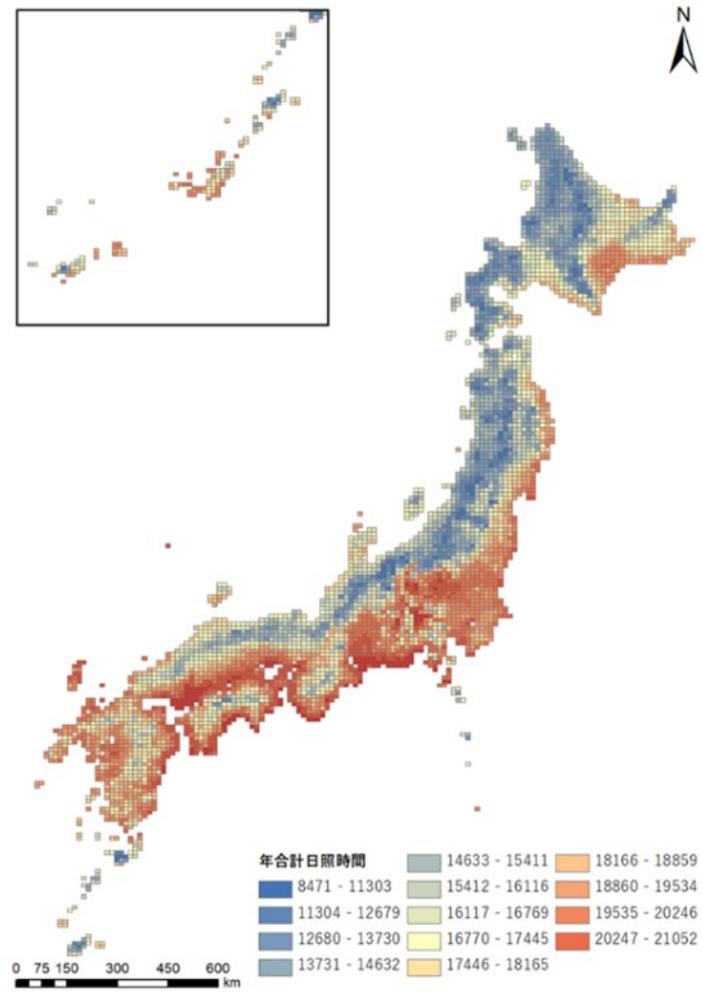


図 2.1.5 年合計日照時間 (単位 : 時間)

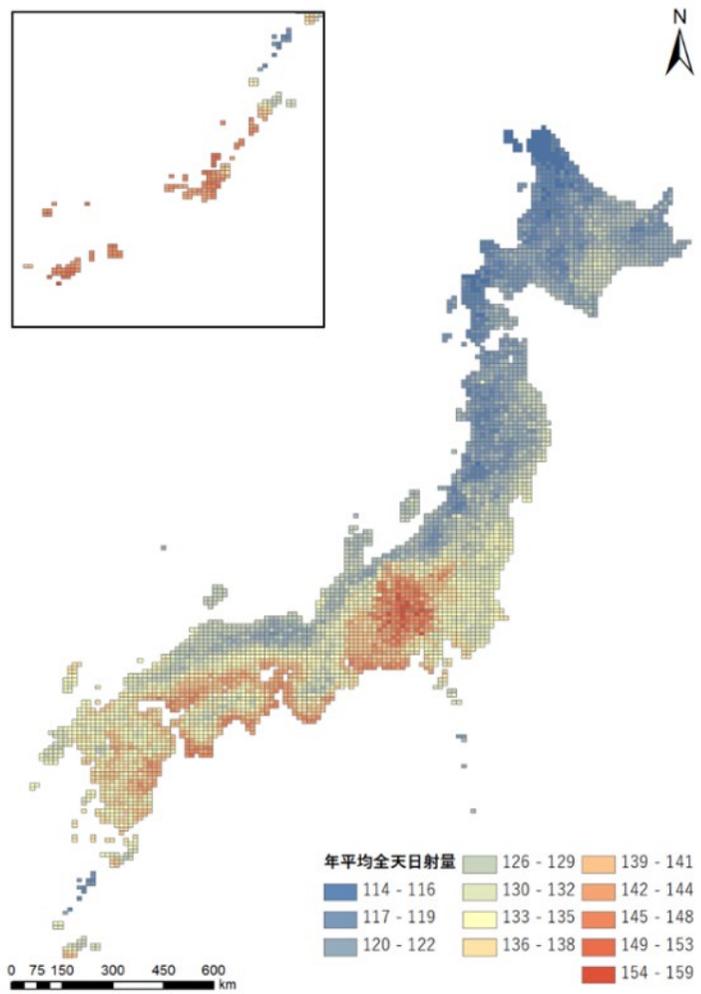


図 2.1.6 全天日射量の日積算量の年平均値（単位：0.1MJ/m<sup>2</sup>）

## 2.1.2 主成分の選択

主成分1から主成分6までの標準偏差と寄与率の関係を表 2.1.1に示す。

主成分の累積寄与率は、主成分3までで0.8（80%）を超えた。データの要約という面ではできるだけ採用する主成分は少ない方が望ましいが、その他の主成分で森林の成長に特に寄与するものがある可能性もあるため、主成分1～3を採用した場合と、主成分1～6を採用した場合との両方で検討を行うこととした。

表 2.1.1 主成分1から主成分6までの標準偏差と寄与率の関係

主成分(PC)	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
標準偏差	7.02	3.39	2.80	1.82	1.60	1.38
寄与率	0.59	0.14	0.09	0.04	0.03	0.02
累積寄与率	0.59	0.73	0.83	0.87	0.90	0.92

解析に用いた気象因子と主成分分析の固有ベクトルを表 2.1.2に示す。各主成分の固有ベクトルの絶対値が高いほど、その気象因子との関連が深いことを意味することから、各主成分については、おおむね下記の気象因子と関係があると見受けられた。特に森林の成長に影響する気温や降水量の因子との関連が深いのは主成分1～3、5及び6といえる。

主成分1: 気温、積雪関係

主成分2: 冬の降水量、日照時間・日射量関係

主成分3: 降水量関係

主成分4: 積雪、日照時間・日射量関係

主成分5: 冬の降水量、夏の気温関係

主成分6: 降水量、積雪関係

表 2.1.2 気象因子に対する主成分の固有ベクトル

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6		
① 降水量	1月降水量	0.016	-0.235	0.092	0.106	0.183	-0.095	
	2月降水量	-0.021	-0.227	0.174	0.085	0.106	0.003	
	3月降水量	-0.066	-0.128	0.252	0.030	0.058	0.033	
	4月降水量	-0.080	-0.054	0.257	-0.035	-0.025	0.120	
	5月降水量	-0.085	-0.033	0.241	-0.064	-0.101	0.138	
	6月降水量	-0.087	-0.023	0.209	-0.070	-0.071	0.252	
	7月降水量	-0.053	-0.030	0.257	0.035	0.126	0.299	
	8月降水量	-0.014	-0.039	0.267	-0.090	-0.023	0.220	
	9月降水量	-0.053	0.003	0.276	-0.067	0.000	0.051	
	10月降水量	-0.019	-0.063	0.222	-0.039	0.009	-0.316	
	11月降水量	0.023	-0.236	0.115	0.042	0.081	-0.058	
	12月降水量	0.028	-0.239	0.075	0.101	0.174	-0.070	
	年降水量	-0.052	-0.134	0.280	-0.003	0.055	0.105	
	② 気温	1月最高気温	-0.140	-0.022	-0.009	-0.044	-0.025	-0.045
1月最低気温		-0.132	-0.083	-0.031	-0.005	-0.040	-0.004	
1月平均気温		-0.137	-0.059	-0.027	-0.023	-0.048	-0.024	
2月最高気温		-0.141	-0.019	0.003	-0.037	-0.015	-0.031	
2月最低気温		-0.133	-0.077	-0.027	-0.016	-0.044	-0.006	
2月平均気温		-0.139	-0.052	-0.018	-0.027	-0.043	-0.018	
3月最高気温		-0.141	-0.013	0.005	-0.030	0.016	-0.019	
3月最低気温		-0.136	-0.062	-0.028	-0.027	-0.074	-0.011	
3月平均気温		-0.140	-0.039	-0.018	-0.034	-0.041	-0.015	
4月最高気温		-0.138	-0.013	0.001	-0.014	0.076	-0.029	
4月最低気温		-0.137	-0.051	-0.036	-0.030	-0.076	-0.024	
4月平均気温		-0.141	-0.034	-0.020	-0.024	-0.003	-0.022	
5月最高気温		-0.131	-0.028	-0.003	0.016	0.114	-0.053	
5月最低気温		-0.138	-0.051	-0.043	-0.020	-0.019	-0.053	
5月平均気温		-0.138	-0.043	-0.029	-0.005	0.042	-0.051	
6月最高気温		-0.126	-0.047	-0.033	0.028	0.122	-0.070	
6月最低気温		-0.138	-0.053	-0.041	-0.008	0.020	-0.040	
6月平均気温		-0.136	-0.054	-0.040	0.007	0.064	-0.048	
7月最高気温		-0.126	-0.034	-0.019	0.026	0.167	-0.057	
7月最低気温		-0.137	-0.054	-0.047	0.001	0.069	-0.019	
7月平均気温		-0.135	-0.051	-0.044	0.014	0.108	-0.035	
8月最高気温		-0.127	-0.028	-0.035	0.036	0.208	-0.043	
8月最低気温		-0.135	-0.045	-0.066	-0.010	0.086	-0.028	
8月平均気温		-0.134	-0.045	-0.061	0.006	0.134	-0.033	
9月最高気温	-0.135	-0.027	-0.044	-0.027	0.113	-0.012		
9月最低気温	-0.138	-0.041	-0.044	-0.021	0.024	-0.038		
9月平均気温	-0.138	-0.039	-0.054	-0.030	0.050	-0.023		
10月最高気温	-0.139	-0.028	-0.029	-0.041	0.043	-0.004		
10月最低気温	-0.136	-0.053	-0.040	-0.022	-0.043	-0.041		
10月平均気温	-0.138	-0.044	-0.043	-0.036	-0.016	-0.028		
11月最高気温	-0.141	-0.024	-0.007	-0.029	0.014	-0.034		
11月最低気温	-0.133	-0.073	-0.042	-0.019	-0.087	-0.025		
11月平均気温	-0.138	-0.052	-0.035	-0.029	-0.050	-0.026		
12月最高気温	-0.141	-0.023	-0.005	-0.031	-0.009	-0.051		
12月最低気温	-0.132	-0.085	-0.035	-0.001	-0.058	-0.019		
12月平均気温	-0.137	-0.059	-0.029	-0.018	-0.049	-0.034		
年平均最高気温	-0.140	-0.025	-0.012	-0.018	0.054	-0.037		
年平均最低気温	-0.137	-0.064	-0.039	-0.015	-0.029	-0.024		
年平均平均気温	-0.140	-0.049	-0.033	-0.019	0.000	-0.029		
③ 最深積雪	1月最深積雪	0.105	-0.135	0.029	0.116	-0.005	-0.164	
	2月最深積雪	0.103	-0.138	0.038	0.114	-0.010	-0.174	
	3月最深積雪	0.107	-0.113	0.042	0.105	-0.066	-0.164	
	12月最深積雪	0.109	-0.126	0.022	0.097	-0.048	-0.145	
	年最深積雪	0.106	-0.133	0.039	0.125	-0.012	-0.167	
	④ 日照時間	1月日照時間	-0.067	0.233	0.060	-0.056	0.008	-0.179
		2月日照時間	-0.068	0.240	0.044	-0.033	0.031	-0.119
		3月日照時間	-0.067	0.241	-0.009	-0.004	0.097	0.010
		4月日照時間	-0.059	0.179	-0.081	0.082	0.290	0.150
		5月日照時間	-0.028	0.060	-0.132	0.268	0.378	0.174
		6月日照時間	0.020	-0.058	-0.256	0.182	-0.010	0.000
		7月日照時間	-0.105	-0.049	-0.131	0.098	-0.206	0.037
		8月日照時間	-0.120	-0.048	-0.102	0.146	0.027	0.042
		9月日照時間	-0.075	-0.018	-0.201	0.037	-0.155	0.227
10月日照時間		-0.093	0.115	-0.071	0.027	-0.044	0.304	
⑤ 全天日射量	1月全天日射量	-0.089	0.173	0.135	0.040	-0.066	-0.214	
	2月全天日射量	-0.069	0.206	0.140	0.073	-0.067	-0.187	
	3月全天日射量	-0.042	0.234	0.122	0.155	-0.064	-0.096	
	4月全天日射量	-0.028	0.172	0.120	0.334	0.096	0.039	
	5月全天日射量	0.018	0.051	0.067	0.468	0.157	0.077	
	6月全天日射量	0.086	-0.058	-0.110	0.259	-0.147	-0.060	
	7月全天日射量	-0.071	-0.073	-0.020	0.235	-0.382	0.044	
	8月全天日射量	-0.105	-0.060	0.028	0.303	-0.071	0.005	
	9月全天日射量	-0.107	-0.048	-0.009	0.182	-0.273	0.157	
	10月全天日射量	-0.119	0.032	0.082	0.139	-0.136	0.141	
	11月全天日射量	-0.114	0.093	0.135	0.103	-0.083	-0.070	
	12月全天日射量	-0.104	0.138	0.137	0.057	-0.080	-0.161	
年平均全天日射量	-0.101	0.105	0.105	0.253	-0.151	-0.062		

### 2.1.3 クラス数の検討

主成分1~3までを用いた場合のGap解析結果を図 2.1.7に、主成分1~6までを用いた場合の結果を図 2.1.8に示す。データ要約の観点からは、採用するクラス数 (k値) が少ないほど望ましい。また、Gapk値が高いほど、そのk値のクラス数で分類したときの当てはまりがよいことを示す。図 2.1.7を見ると、Gapk値のピークはいくつか確認できるが、そのうちk値が低いk=12とk=19をクラス区分数の候補として選択した。

一方、主成分1~6までを用いた結果では、明瞭なピークが確認できなかったため、主成分1~3の場合との比較を考慮して同じクラス数のk=12とk=19を採用することとした。

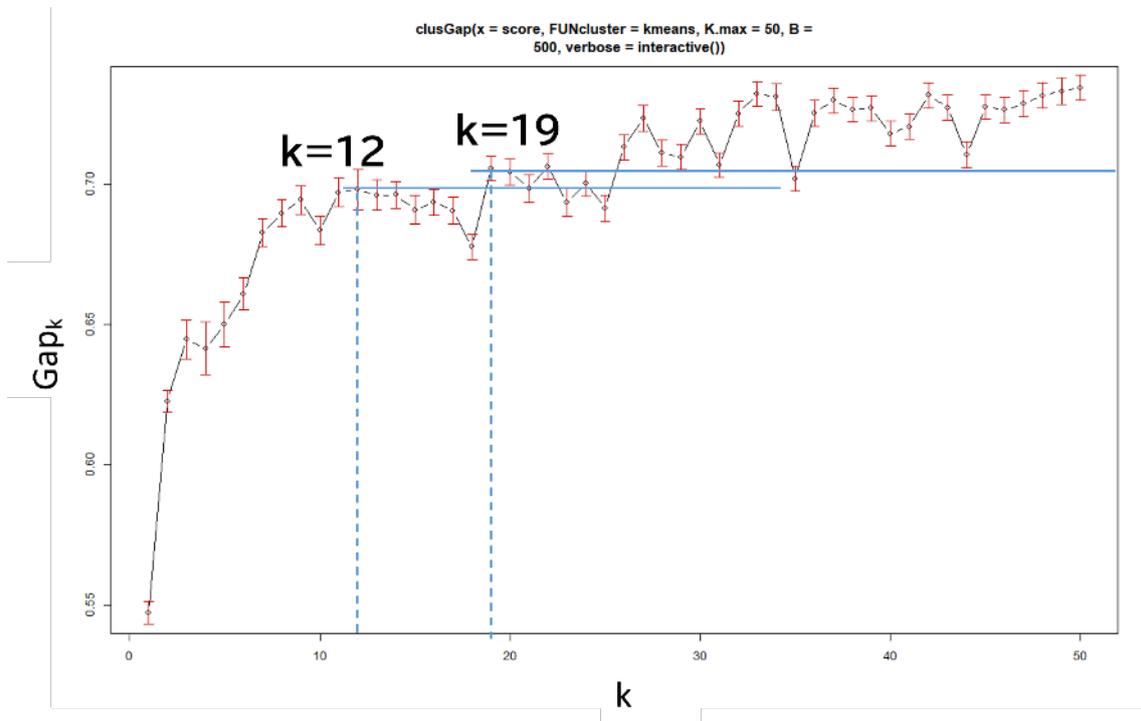


図 2.1.7 主成分1~3までを用いたGap解析結果（一部加工）

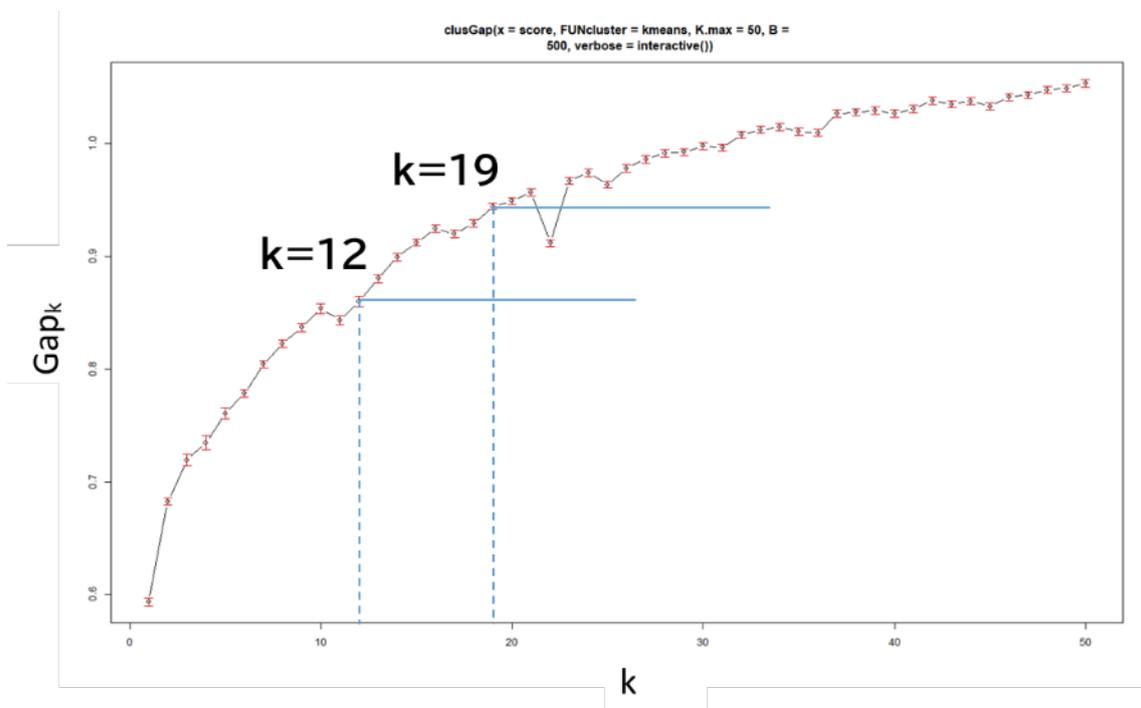


図 2.1.8 主成分1~6までを用いたGap解析結果（一部加工）

#### 2.1.4 グルーピングの試行結果

全国でのグルーピングの試行結果として、主成分1～3を用いた場合の12クラス及び19クラスでの区分並びに主成分1～6を用いた場合の12クラス及び19クラスでの区分を示す（図 2.1.9～図 2.1.12）。各局別に拡大した図面については別冊資料1-1の1に示す。

これらを比較したところ、採用する主成分について、主成分1～3を用いた場合と主成分1～6を用いた場合とで、グルーピングに大きな違いは見られなかった。また、前述のとおり、主成分1～3において既に累積寄与率の0.8を超えており、森林の成長に特に寄与する気象因子も含まれていることや、主成分1～6を用いた場合でクラス数の選択において明瞭なピークが得られなかったことから、主成分1～3を用いた場合でのグルーピングを採用することが適当と判断した。

一方、クラス区分については、12クラス区分では19クラス区分よりも比較的各地域でまとまって分類されているが、例えば北海道に分布するクラス7及び10が本州山間部にも分布しているなど、異なる地域で同じ気象クラスが割当てられている場合が見られた。また、中部地方の高標高域では細かく気象クラスが変わりモザイク状となっていた。19クラス区分では、12クラス区分と比べさらに細かく区分され、東北地方や中部地方の高標高域でモザイク状の分布が見られた。

以上を踏まえ、適切なクラス数を決定するため、主成分1～3を用いた場合の12クラス区分及び19クラス区分について、国有林の現行収穫予想表等と比較し妥当性の評価を行うこととした。

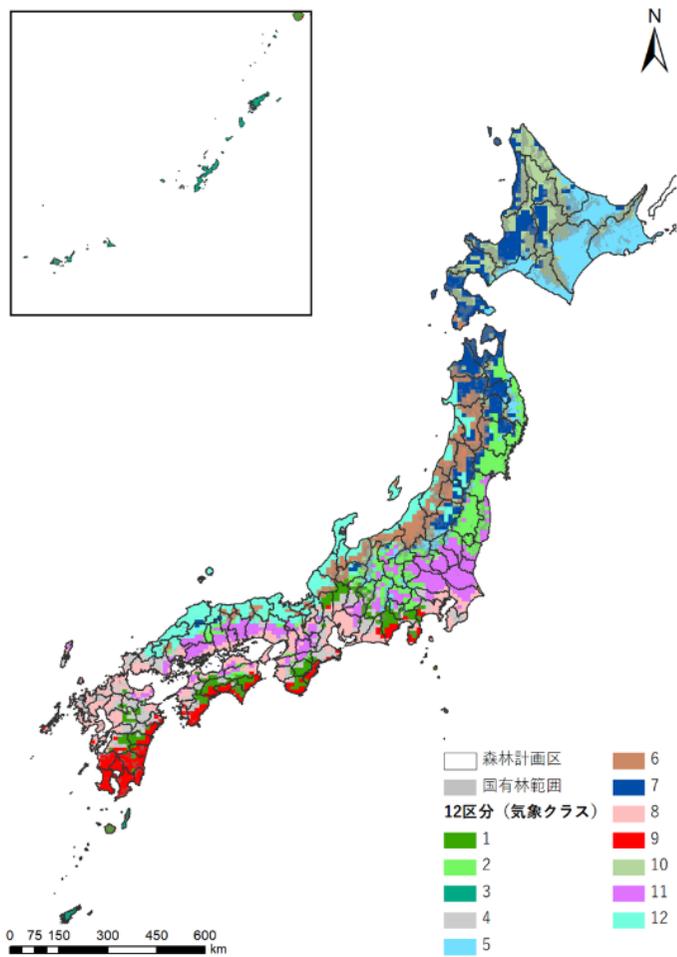


図 2.1.9 主成分1~3を用いた場合の12クラスでの区分 (全国)

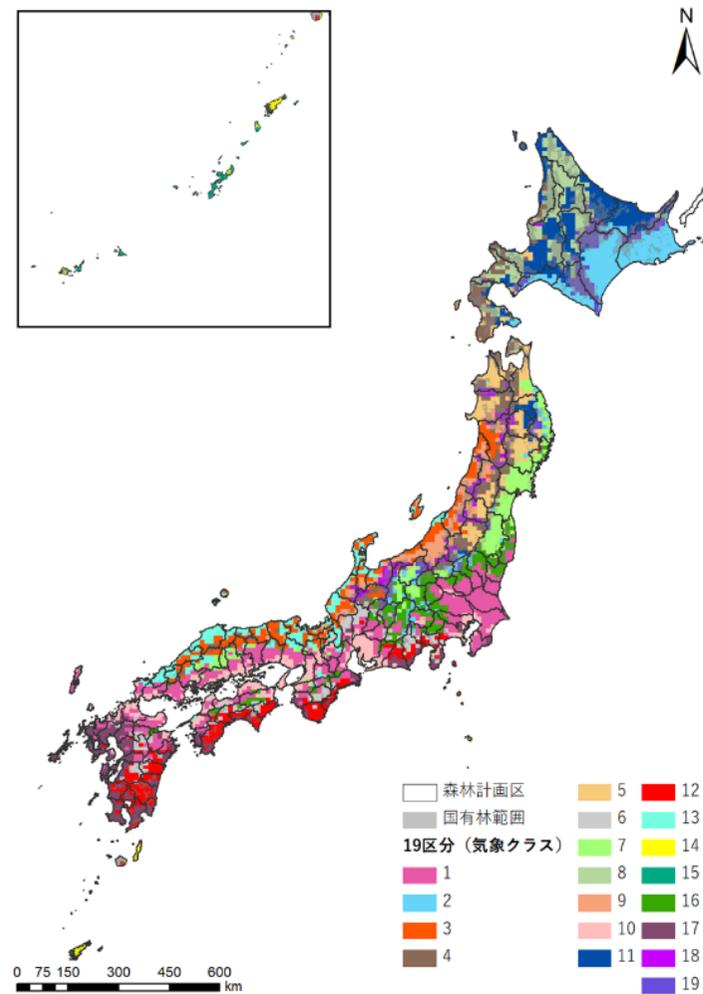


図 2.1.10 主成分1~3を用いた場合の19クラスでの区分 (全国)

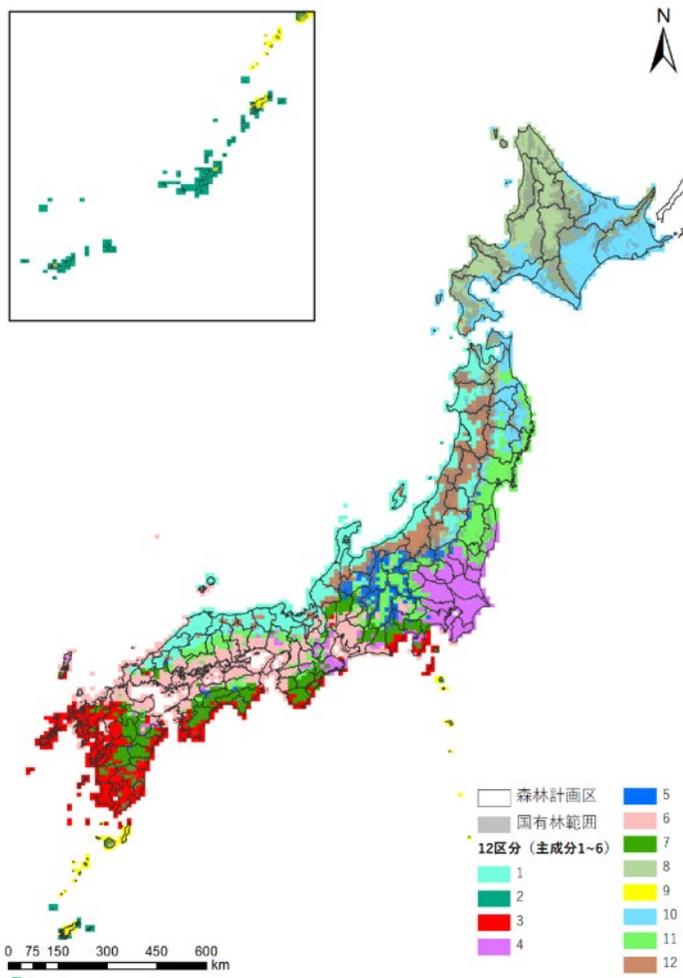


図 2.1.11 主成分1~6を用いた場合の12クラスでの区分 (全国)

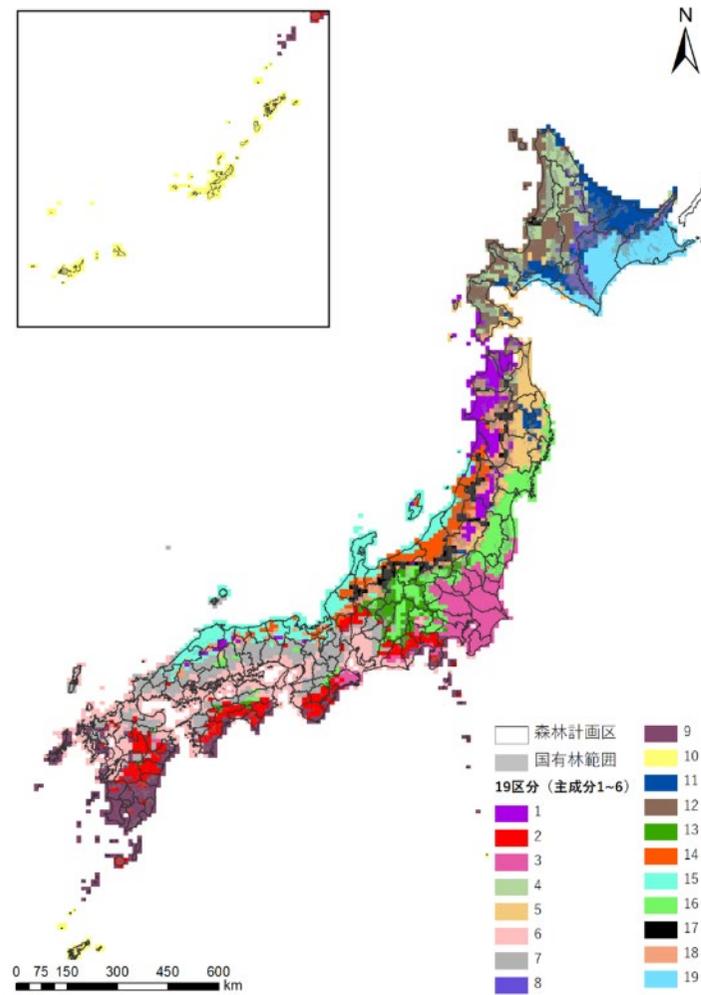


図 2.1.12 主成分1~6を用いた場合の19クラスでの区分 (全国)

### 2.1.5 クラス数の妥当性の評価

主成分1～3を用いた場合の12クラス区分及び19クラス区分によるグルーピングの試行結果について、令和5年度事業にて行った近畿中国局及び九州局の管内におけるグルーピングの区分、国有林の現行収穫予想表の地域区分、林業種苗法に基づく林業用種苗の配布区域区分、既往文献における地域区分とそれぞれ比較を行い、妥当性を評価した。なお、比較に使用した図面については、別冊資料1-1の2に示す。

#### 2.1.5.1 令和5年度事業におけるグルーピング区分との比較

令和5年度事業にて実施した近畿中国局及び九州局の管内におけるグルーピング結果との比較を行った。なお、令和5年度事業では、利用できるデータ分布の関係から一部クラスの統合を実施しているため、統合前と統合後の2パターンを比較に用いた。

近畿中国地域については、令和5年度事業のクラス区分は統合前6クラス、統合後5クラスであったのに対し、本事業では12クラス区分で9クラス、19クラス区分で13クラスとなっている。大まかな分布としては類似しているように見えるが、本事業の結果の方が、モザイク状になっていてまとまりを視認しづらい。

九州局管内については、令和5年度事業のクラス区分は統合前10クラス、統合後5クラスであったのに対し、本事業では12クラス区分で7クラス、19クラス区分で8クラスとなっている。こちらも大まかな分布としては類似しているように見えるが、本事業の結果は令和5年度事業の統合後の分布に近いと言える。

グルーピング結果の違いの要因として、10kmメッシュで解析したことによる解像度の違い（令和5年度事業では5kmメッシュで解析）や、全国でのグルーピングにより考慮される気象データの幅が広がったこと（令和5年度事業では地域毎のグルーピング）が考えられる。

#### 2.1.5.2 国有林の現行収穫予想表の地域区分との比較

国有林に適用されているスギ、ヒノキ及びカラマツの現行収穫予想表における地域区分（表 2.1.3）との比較を行った。なお、地位や施業により適用する収穫予想表の違いは本事業では考慮しないこととした。

表 2.1.4に、現行収穫予想表の地域・樹種別区分数と、当該地域に該当する、本事業の12クラス区分・19クラス区分によるグルーピングでのクラス数を整理した。なお、グルーピング結果では樹種別の違いは考慮していない。地域・樹種によって現行収穫予想表の区分数が異なるが、中部局を除いておおむね近い区分数でグルーピングが実施されていると考えられる。

中部局管内については、管内の標高差が激しく、多様な気象条件が混在するためにグルーピング結果のクラス数が多くなったと考えられる。

表 2.1.3 国有林で適用されている収穫予想表区分

No.	局	計画区	スギ	ヒノキ	カラマツ
01	北海道	石狩空知（石狩署）、胆振東部（1林班～1501林班）	-	-	01-3-1
		石狩空知（空知署）			01-3-2
		石狩空知（空知署北空知支署）、留萌、上川北部、上川南部、宗谷			01-3-3
		後志胆振、渡島檜山	01-1-1		01-3-4
		網走西部、網走東部	-		01-3-5
		日高、胆振東部（2001林班～2195林班、3183～3186林班）			01-3-6
		釧路根室、十勝			01-3-7
02	東北	最上村山（最上支署）、庄内	02-1-1	-	02-3-1
		最上村山（山形署）、置賜	02-1-2		02-3-2
		雄物川（秋田市を除く）、子吉川	02-1-3		02-3-3
		米代川（米代東部、上小阿仁（旧米内沢、旧阿仁））	02-1-4		02-3-4
		米代川（米代西部、上小阿仁（旧上小阿仁））、雄物川（秋田（秋田市））	02-1-5		02-3-5
		宮城南部、宮城北部	02-1-6	02-2-1	02-3-6
		久慈・閉伊川、大槌・気仙川、馬淵川上流、北上川上流、北上川中流	02-1-7		
		下北、三八上北、津軽、東青	02-1-8		
03	関東	磐城	03-1-1	03-2-1	03-3-1
		阿武隈川、奥久慈	03-1-2	03-2-2	03-3-2
		会津	03-1-3	03-2-5	03-3-3
		那珂川	03-1-4	03-2-3	03-3-4
		鬼怒川、渡良瀬川	03-1-5	03-2-4	03-3-5
		利根上流、吾妻	03-1-6	03-2-5	03-3-6
		利根下流、西毛	03-1-7	03-2-6	03-3-7
		下越、佐渡	03-1-8		03-3-8
		中越、上越	03-1-9		
		八溝多賀、水戸那珂、霞ヶ浦	03-1-10		
		埼玉	03-1-11	03-2-8	03-3-10
		山梨東部、富士川上流、富士川中流	03-1-12	03-2-9	03-3-11
		千葉北部、千葉南部	03-1-13	03-2-10	-
		多摩	03-1-14	03-2-11	-
		伊豆諸島、神奈川	03-1-15	03-2-12	-
		伊豆	03-1-16	03-2-13	03-3-12
富士	03-2-14				

No.	局	計画区	スギ	ヒノキ	カラマツ
		静岡、天竜	03-1-17	03-2-15	03-3-13
04	中部	神通川、庄川、宮・庄川、飛騨川、長良川、揖斐川、木曾川、東三河	04-1-1	04-2-1	04-3-1
		尾張西三河	04-1-2	04-2-2	
		伊那谷	04-1-4	04-2-3	04-3-3
		千曲川下流、千曲川上流	04-1-3	04-2-4	04-3-2
		中部山岳（中信以外）			
		中部山岳（中信）	04-1-5	04-3-3	
		木曾谷			
05	近畿中国	伊賀、北伊勢、南伊勢、尾鷲熊野、大和・木津川、吉野、北山・十津川、紀南、紀北、紀中、大阪（阪南市・岬町・和歌山市）	05-1-1	05-2-1	-
		日野川、天神川、千代川、江の川下流、斐伊川、高津川、円山川（旧香住町・旧村岡町・旧浜坂町・旧美方町・旧温泉町）	05-1-2	05-2-2	
		加古川、揖保川、高梁川下流、旭川、吉井川、大阪（箕面市）、円山川（養父市・豊岡市）	05-1-3	05-2-3	
		高梁川上流、江の川上流、太田川、瀬戸内、山口、岩徳、豊田、萩	05-1-4	05-2-4	
		若狭、由良川、湖北（旧今津町・旧マキノ町・旧余呉町・旧木之本町・旧伊吹町）、湖南（土山町・永源寺町）	05-1-5	05-2-5	
		越前（木津川市・井出町・宇治市・京都市）、湖北（多賀町・甲良町・旧高島町）、湖南（旧信楽町・大津市・野洲市・竜王町・近江八幡市・旧能登川町、栗東町）、淀川上流（木津川市・井手町・宇治市・京都市）、大阪（高槻市）	05-1-6		
		加賀	-		
06	四国	吉野川、那賀・海部川、香川、東予、今治松山（今治市）	06-1-1	06-2-1	-
		南予、四万十川	06-1-2	06-2-2	
		肱川、中予山岳、嶺北仁淀、高知、今治松山（東温市・伊予市・砥部町）	06-1-3	06-2-3	
		安芸	06-1-4	06-2-4	
07	九州	遠賀川、福岡、筑後・矢部川、佐賀東部、佐賀西部	07-1-1	07-2-1	-

No.	局	計画区	スギ	ヒノキ	カラマツ
		長崎北部、長崎南部、五島舌岐、対馬	07-1-2	07-2-2	
		白川・菊池川、緑川、球磨川、天草	07-1-3	07-2-3	
		大分北部、大分西部、大分中部、大分南部	07-1-4	07-2-4	
		五ヶ瀬川、耳川、一ツ瀬川	07-1-5	07-2-5	
		大淀川（宮崎）	07-1-6	07-2-6	
		大淀川（熊本南部、都城、西諸、えびの）、広渡川	07-1-7	07-2-7	
		大隈	07-1-8	07-2-8	
		北薩、始良、南薩	07-1-9	07-2-9	
		熊毛	07-1-10	07-2-10	
		奄美大島、沖縄北部、宮古八重山、沖縄中南部	07-1-11		

表 2.1.4 現行収穫予想表の区分数とグルーピング結果のクラス数の比較

局	樹種	現行収穫予想表 区分数	12クラス グルーピング結果	19クラス グルーピング結果
北海道	スギ	1	5	8
	カラマツ	7		
東北	スギ	8	7	12
	ヒノキ	1		
	カラマツ	6		
関東	スギ	17	12	18
	ヒノキ	15		
	カラマツ	13		
中部	スギ	5	11	15
	ヒノキ	4		
	カラマツ	3		
近畿中国	スギ	6	9	13
	ヒノキ	5		
四国	スギ・ヒノキ	4	6	7
九州	スギ	11	7	8
	ヒノキ	10		

### 2.1.5.3 林業用種苗の配布区域区分との比較

種の遺伝的要因によって成長が異なることが想定されるため、林業種苗法に基づくスギ及びヒノキの林業用種苗の配布区域区分との比較を行った。なお、カラマツは種苗配布区域が設定されていないため比較対象外とした。

本事業のグルーピング結果では異なる地域間でも同じクラスに区分されている場合があるため、必ずしも種苗配布区域と一致していないが、中央分水嶺で分かれている点は同様であり、傾向は類似すると考えられる。

### 2.1.5.4 既往文献における地域区分との比較

Nishizono et al., (2014)<sup>3</sup>は、スギの樹高一林齢の関係について、地理的分布の差異を検討し、気象条件の異なる13区分で比較した結果、2地域に大きく区分されると報告している。

本事業のグルーピング結果では、当該文献において区分された2地域との境界で概ね同様に区分できており、既往の結果と矛盾しないと考えられる。

### 2.1.5.5 評価結果のまとめ

本事業の12クラス区分及び19クラス区分によるグルーピング結果について、以上のとおり既存の地域区分と比較することにより妥当性を評価した結果、いずれのクラス区分についても既存の地域区分との類似性が一定程度確認できたが、樹種や地域によって当てはまりの良さにばらつきがあり、一概にどちらのクラス区分が妥当か判断することは難しいと考えられた。

一方、実利用の面では、計画区単位でクラスを割当てた上で、クラス区分毎に樹種別の成長予測モデルを整備していく方針であることから、ある程度まとまりを持ったクラス区分が望ましい。

また、成長予測モデルを整備する際には、各クラス区分に対応する地域において、森林資源解析済みの航空レーザ計測結果が必要となることから、それが無い場合には過年度事業と同様にクラス区分を統合する必要がある。

したがって、本事業では、クラス数としてはあまり細かくなり過ぎない12区分を採用することとし、それによるグルーピング結果に基づき、実際に全国の計画区単位でクラスを割当てるとともに、このうち成長予測モデルの整備対象とした東北局及び中部局の管内については、必要な航空レーザ計測結果が十分に得られないクラスについて統合を検討することとした。

---

<sup>3</sup> Nishizono, T., Kitahara, F., Iehara, T., & Mitsuda, Y. (2014). Geographical variation in age-height relationships for dominant trees in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forests in Japan. *Journal of Forest Research*, 19, 305-316.

### 2.1.6 全国の計画区単位のクラス割当て

ここまでのグルーピングの検討では、10kmメッシュ単位でクラス区分を実施してきたが、クラス毎に樹種別の成長予測モデルを整備し林分に適用していく上では、10kmメッシュ単位でクラス区分を行うことは実用的でないため、計画区単位でクラス区分を行うこととした。

計画区単位でのクラスの割当て方法については、以下の2つの手法が考えられる。

#### ① 森林範囲を対象とした割当て

各計画区において、国有林と民有林を含めた森林全体（国土数値情報の森林地域データ（平成27年度）を使用）を対象として、10kmメッシュで割当てたクラス別の面積割合を算出した上で、最大の割合となるクラスを当該計画区の代表クラスとして割当ててる。

#### ② 国有林範囲を対象とした割当て

各計画区において、国有林のみ対象として、10kmメッシュで割当てたクラス別の面積割合を算出した上で、最大の割合となるクラスを当該計画区の代表クラスとして割当ててる。

全国において、①森林範囲を対象とした割当て結果を図 2.1.13に、②国有林範囲を対象とした割当て結果を図 2.1.14にそれぞれ示す。また、①及び②の割当て結果について、全国及び各局管内において、それぞれ10kmメッシュでのクラス区分と比較した図面を別冊資料1-1の3に示す。

これらのクラス割当て結果を比較すると、森林範囲を対象とした場合と国有林範囲を対象とした場合で多少異なるが、本事業では国有林の成長予測モデルの整備を目的としているため、国有林範囲を対象として計画区毎のクラスを割当てることが適当と判断した。

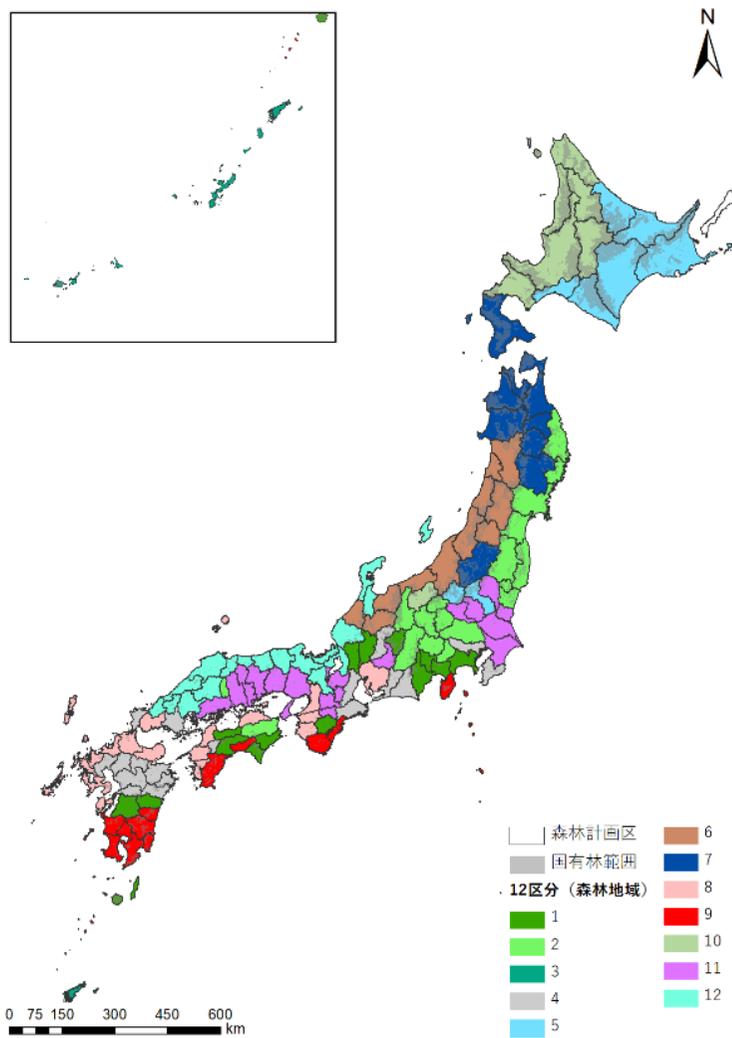


図 2.1.13 森林範囲での12区分の割当て (全国)

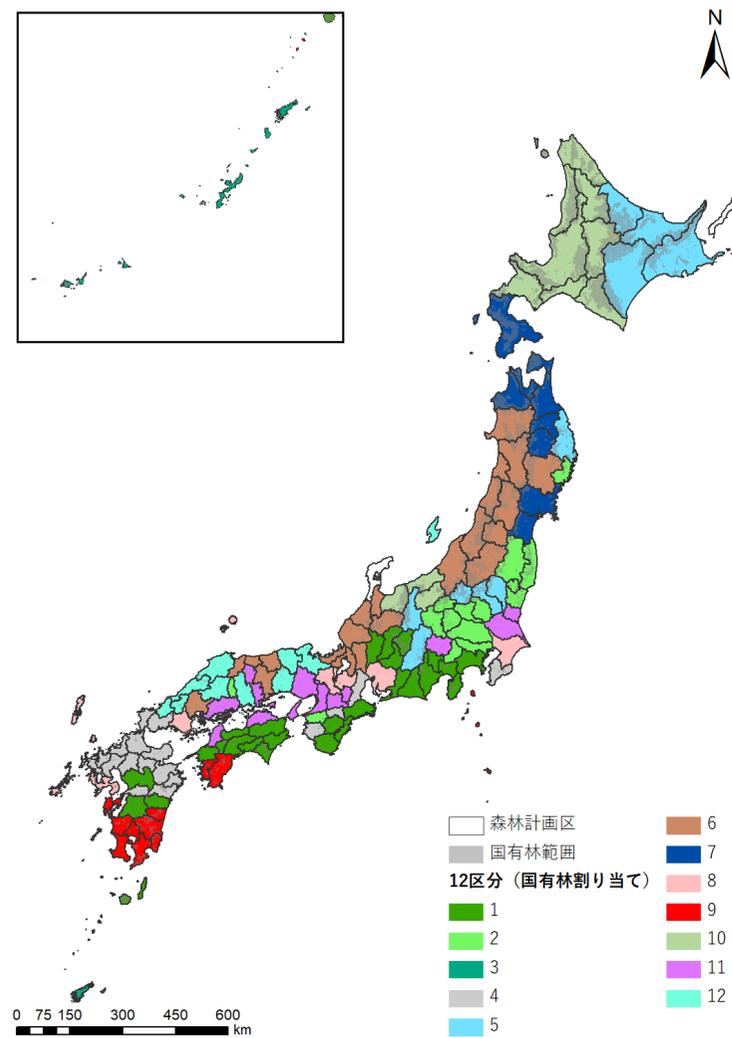


図 2.1.14 国有林範囲での12区分の割当て (全国)

### 2.1.7 東北局及び中部局の管内におけるクラス統合の検討

成長予測モデルの整備に当たっては、気象条件だけでなく遺伝的な要因等も森林の成長に影響を与えうることを踏まえ、全国で気象条件により区分した12クラスのそれぞれに対して1つのモデルを構築するのではなく、局単位でクラス毎にモデルを構築することとした。

この際、成長予測モデルは、航空レーザ計測結果を用いて樹種別に構築することとしているため、各局管内の各クラス区分に対応する地域において十分なデータ数が必要となる。必要なデータ数について明確な基準はないものの、過年度事業の事例から最低でも3,000メッシュ程度と考えられる。データ数が不足するクラスについては、便宜上、他のクラスとの統合を行う必要がある。

本事業では、東北局及び中部局の管内を対象に成長予測モデルを構築するため、両局管内において、クラス毎に利用可能な森林資源解析済みの航空レーザ計測結果（出典は2.2.1.1参照）のデータ数（20mメッシュ数）を確認し、表 2.1.5及び表 2.1.6に各局のクラス区分図（12区分）と併せて示した。なお、ここに示すメッシュ数は2.2.2.2に詳述するフィルタリング・補正処理等を実施した後の数である。

東北局管内ではヒノキの全クラス及びスギ・カラマツのクラス5について、中部局管内ではスギ・ヒノキのクラス2及び5、ヒノキのクラス10並びにカラマツのクラス6及び8について、利用可能なデータ数が3,000メッシュ未満となった。このうち、東北局管内のヒノキについては、林相としては存在するものの、データを得られなかったため、今回は成長予測モデルの構築対象外とした。また、中部局管内のカラマツのクラス8については、データを得られなかったことに加え、当該地域の国有林にカラマツがほとんど存在しないため、モデル構築対象外とした。この他のデータ数が3,000メッシュ未満のクラスについては、他のクラスとの統合が必要と考えられた。

成長予測モデルの構築に当たっては、各クラスにおいて、全体のデータ数だけでなく、年齢級毎のデータ数も十分であることを確認する必要がある。このため、東北局及び中部局の管内における樹種・クラス・年齢級のデータ数を確認し、表 2.1.7及び表 2.1.8に示した。

東北局管内のクラス2、6及び7についてはスギ、カラマツともに年齢級毎に十分なデータ数があると考えられる。クラス5については利用できるデータがないため示していない。中部局管内においては、スギ及びヒノキのクラス2及び5並びにヒノキのクラス10については、全体のデータ数が少ない中で、若年齢級及び高齢級のデータ数も少なく、前述のとおり当該クラス単独ではモデル構築が難しいと考えられた。一方、カラマツのクラス6については、全体のデータ数は3,000未満であるものの2,500以上はあり、若年齢級及び高齢級についても一定数のデータが得られたことから、単独でのモデルを構築できると判断した。

表 2.1.5 利用データとクラス割り当て：東北局  
 (赤字はデータ不足 ※局管内のクラス毎のデータ数<3,000)

県	クラス	航空レーザ解析済データ数 (20mメッシュ数)		
		スギ	ヒノキ	カラマツ
青森県	7	168,285	-	2,124
岩手県	2	30,940	0	8,106
	5	0	0	0
	6	97,522	0	24,834
	7	47,250	0	6,948
宮城県	7	-	-	-
秋田県	6	234,410	0	16
山形県	6	306,033	0	3,733
局全体	2	30,940	0	8,106
	5	0	0	0
	6	637,965	0	28,583
	7	215,535	0	9,072

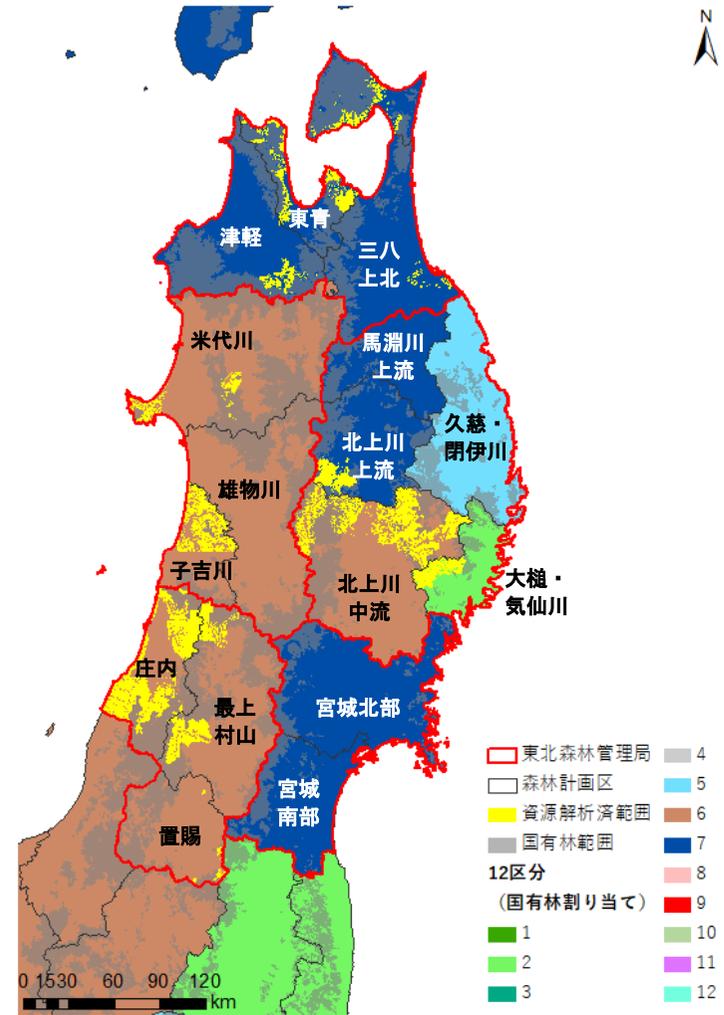


図 2.1.15 東北局管内のクラス区分 (計画区名入り)

表 2.1.6 利用データとクラス割り当て：中部局  
 (赤字はデータ不足 ※局管内のクラス毎のデータ数<3,000)

県	クラス	航空レーザ解析済データ数 (20mメッシュ数)		
		スギ	ヒノキ	カラマツ
富山県	6	107,176	1,358	1,884
	10	217,995	562	1,462
長野県	1	413	32,404	56,282
	2	95	1,477	30,031
	5	772	2,497	4,704
	10	75,038	0	35,330
岐阜県	1	3,757	12,037	766
	6	1,596	2,399	672
愛知県	1	152,819	110,836	0
	8	30,448	80,197	0
局全体	1	156,989	155,277	57,048
	2	95	1,477	30,031
	5	772	2,497	4,704
	6	108,772	3,757	2,556
	8	30,448	80,197	0
	10	293,033	562	36,792

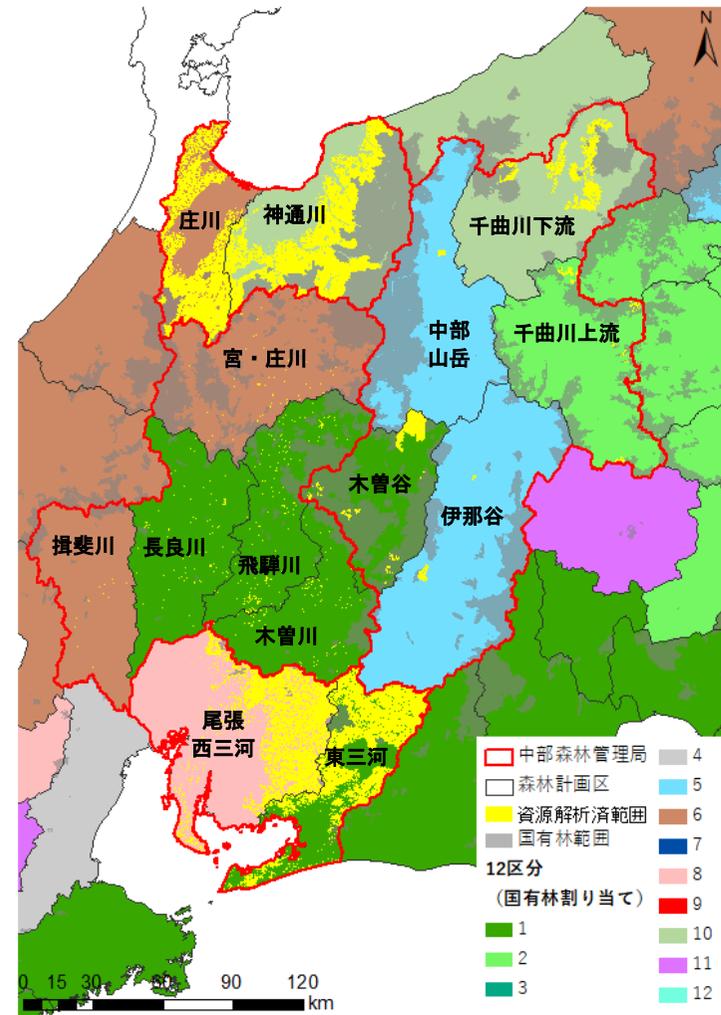


図 2.1.16 中部局管内のクラス区分 (計画区名入り)

表 2.1.7 クラス別年齢分布（東北局管内 左：スギ 右：カラマツ）

スギ 年齢級	クラス			合計
	2	6	7	
1				
2	84	208	103	395
3	447	1,487	196	2,130
4	332	3,085	667	4,084
5	694	6,969	4,427	12,090
6	1,104	15,110	13,483	29,697
7	2,647	27,295	15,465	45,407
8	6,040	46,779	18,563	71,382
9	6,122	71,981	23,482	101,585
10	3,989	78,074	32,959	115,022
11	3,341	92,211	31,286	126,838
12	2,944	91,378	23,178	117,500
13	1,700	71,594	14,484	87,778
14	784	47,087	11,398	59,269
15	151	25,096	8,657	33,904
16	128	16,175	3,616	19,919
17	181	13,755	5,382	19,318
18	93	10,793	1,732	12,618
19	21	6,510	1,441	7,972
20	73	4,430	1,008	5,511
21	13	3,635	1,005	4,653
22	16	1,648	485	2,149
23	25	1,063	532	1,620
24	2	539	599	1,140
25	6	335	48	389
26		135	743	878
27		146	175	321
28		55	30	85
29	1	49	108	158
30	1	38	40	79
31	1	30		31
32		62	1	63
33		34		34
34		12	3	15
35		11	1	12
36		7	83	90
37		16		16
38		130		130
39		2		2
40		1	155	156
合計	30,940	637,965	215,535	884,440

カラマツ 年齢級	クラス			合計
	2	6	7	
1				
2	265	304		569
3	674	702	4	1,380
4	22	192	1	215
5	1	379	12	392
6	107	798	25	930
7	420	1,553	79	2,052
8	208	2,152	148	2,508
9	37	1,027	534	1,598
10	26	401	613	1,040
11	279	1,360	1,640	3,279
12	2,445	3,883	2,071	8,399
13	2,320	8,096	1,624	12,040
14	816	5,032	1,494	7,342
15	391	2,091	354	2,836
16	6	296	325	627
17	85	112	70	267
18	4	61	7	72
19		27	17	44
20		37	15	52
21		19	4	23
22		16		16
23			3	3
24		6		6
25		7	24	31
26		3		3
27				
28		1		1
29		8	3	11
30		9	2	11
31				
32				
33		7		7
34				
35				
36				
37		4		4
38			2	2
39			1	1
40				
合計	8,106	28,583	9,072	45,761

表 2.1.8 クラス別年齢級分布（中部局管内 左上：スギ 右上：ヒノキ 下：カラマツ）

スギ 年齢級	クラス						合計
	1	2	5	6	8	10	
1				2			2
2	22			306		95	423
3	62			2,164	3	187	2,416
4	431			2,656	9	1,296	4,391
5	1,237			1,736	97	3,659	6,729
6	1,854			2,056	248	6,775	10,932
7	3,000	5		3,995	327	15,996	22,923
8	4,868		2	5,484	791	21,978	33,123
9	5,673		69	8,111	793	32,076	46,722
10	12,393	5	131	10,793	2,018	45,217	70,557
11	29,774	1	68	12,735	3,681	39,929	77,188
12	29,427	77	111	12,774	6,855	28,625	77,869
13	24,927	3	102	11,788	4,776	23,444	65,038
14	10,912	1	65	8,743	3,158	19,584	42,463
15	6,897	3	26	5,818	1,637	9,730	24,111
16	5,690		16	4,596	1,645	7,116	19,023
17	6,650		22	4,060	1,276	7,236	19,244
18	4,708		49	3,144	680	6,550	15,131
19	4,431		83	2,498	485	5,075	12,572
20	3,240		19	1,685	349	3,178	8,471
21	3,200		2	1,301	351	2,256	7,110
22	3,122			656	579	734	5,090
23	1,613		1	447	472	797	3,330
24	811			301	98	446	1,656
25	469		2	179	75	6,075	6,800
26	264			139	33	249	685
27	98			134	2	3,546	3,780
28	24		4	78	3	1,126	1,235
29	33			160		273	466
30	7			99	4	13	123
31	23			36		52	111
32	13			66		42	121
33	88			28	3	15	134
34	25			3		60	88
35				6			6
36							
37				35			35
38				5			5
39	3						3
40						3	3
合計	156,989	95	772	108,772	30,448	293,033	590,109

ヒノキ 年齢級	クラス						合計
	1	2	5	6	8	10	
1							
2	51				31		82
3	239				120	104	464
4	1,102				77	591	1,772
5	3,466	178	4		52	2,176	5,916
6	4,881	146	17		46	2,436	7,557
7	7,344	548	1		50	4,848	12,955
8	9,768	364	65		20	6,882	17,134
9	10,059	183	259		81	6,108	16,699
10	12,466	22	152		104	6,604	21,416
11	15,178	5	207		1,395	7,509	24,321
12	16,999	29	74		596	10,446	28,183
13	12,648	1	228		547	7,296	20,770
14	5,542		77		161	5,314	11,158
15	3,917		32		60	2,782	6,825
16	3,692		17		45	2,586	6,342
17	6,736	1	386		41	1,656	9,057
18	9,276		815		18	2,340	12,449
19	8,182		32		56	2,138	10,410
20	8,036		128		116	1,623	9,906
21	9,378		2		100	1,487	10,968
22	2,991				11	1,510	4,513
23	1,452				3	785	2,244
24	854				5	430	1,295
25	528		1			134	663
26	220				1	85	306
27	99				18	24	141
28	80				1	24	105
29	13					17	30
30	9					13	22
31	24					30	54
32	5				2		7
33	1					3	4
34	1					12	13
35	1						1
36							
37						3	3
38							
39	1						1
40							
合計	155,277	1,477	2,497	3,757	80,197	562	243,767

カラマツ 年齢級	クラス					合計
	1	2	5	6	10	
1						
2						
3					1	1
4	26	32		4	22	84
5	1,268	102	1	1	39	1,431
6	1,128	774	46	70	490	2,498
7	1,935	1,889	1	26	470	4,301
8	3,345	1,145	75	7	1,050	5,622
9	4,296	2,285	120	20	1,647	8,368
10	13,464	4,075	35	119	5,782	23,455
11	11,554	6,236	1,083	333	8,874	29,580
12	6,898	4,948	1,198	581	8,915	22,538
13	4,741	2,039	425	479	4,238	11,922
14	3,235	2,801	836	365	2,033	9,269
15	35	1,215	389	166	896	2,723
16	918	22	230	101	367	1,638
17	463	30	98	93	358	1,062
18	627	20	105	50	324	1,126
19	2,182	103	33	21	145	2,484
20	566		5	13	92	676
21	298	66	1	8	313	684
22	26	17	23		942	1,008
23		6		33	85	124
24		248		25	26	297
25				7	33	40
26			1		10	11
27				14	22	36
28					3	3
29					4	4
30					124	124
31						
32						
33					9	9
34						
35						
36						
37						
38						
39	7					7
40					6	6
合計	57,048	30,031	4,704	2,566	36,792	131,131

以上を踏まえ、他クラスとの統合が必要と考えられる樹種・クラスを整理すると次のとおりである。

- ① 東北局管内： スギ・カラマツのクラス5
- ② 中部局管内： スギのクラス2及び5； ヒノキのクラス2、5及び10

クラス統合の検討に当たっては、統合対象となるクラスの類似性や、計画区内の国有林における10kmメッシュ単位でのクラス面積割合を考慮した。

まず、クラスの類似性については、主成分の散布図（図 2.1.17～図 2.1.20）を用いて比較したところ、統合が必要なクラス（2、5及び10）と近いクラスはそれぞれ次のとおりであった。

- ・クラス2と比較的近いクラスはクラス1、5、6、10
- ・クラス5と比較的近いクラスはクラス2、8
- ・クラス10と比較的近いクラスはクラス1、2、6

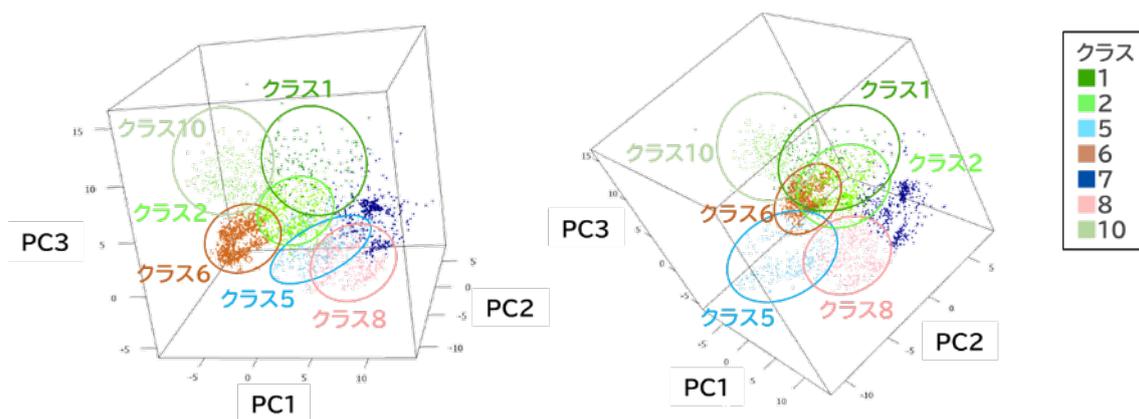


図 2.1.17 東北局・中部局管内に存在するクラスの主成分散布図（3次元）

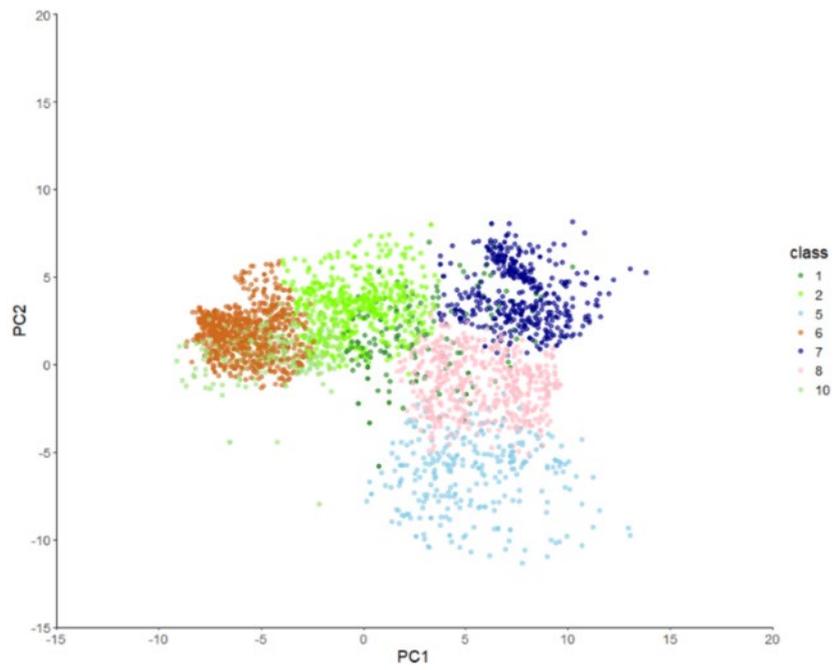


図 2.1.18 東北局・中部局管内に存在するクラスの主成分散布図（主成分1-2）

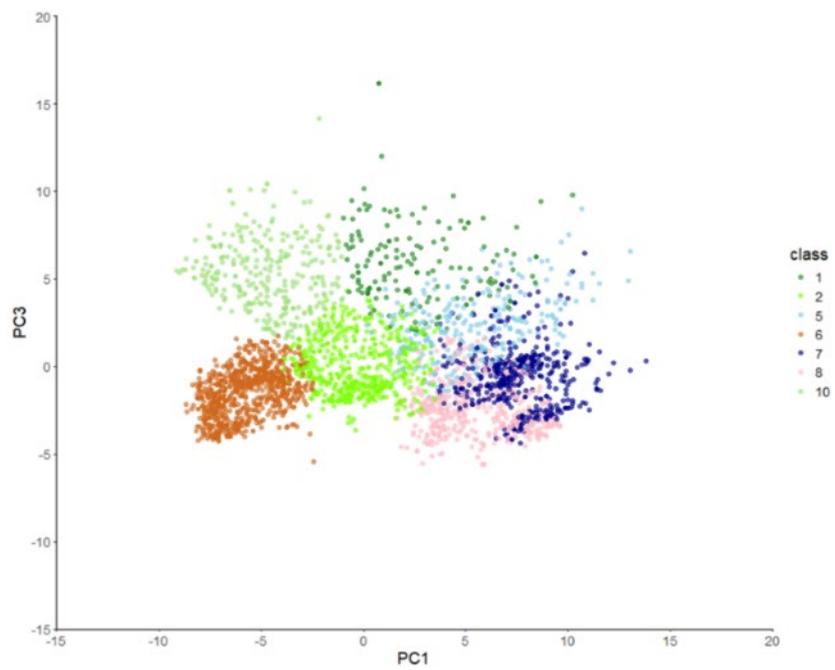


図 2.1.19 東北局・中部局管内に存在するクラスの主成分散布図（主成分1-3）

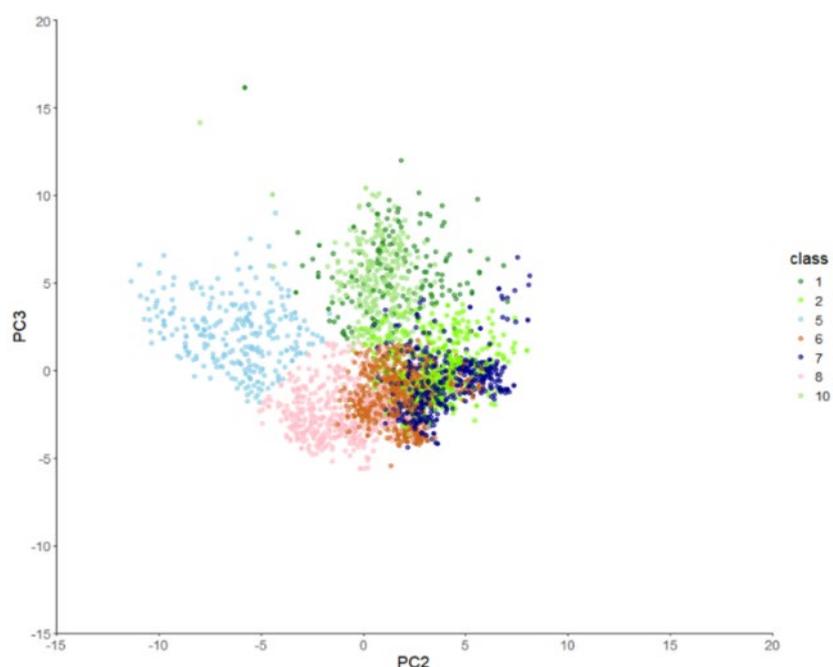


図 2.1.20 東北局・中部局管内に存在するクラスの主成分散布図（主成分2-3）

次に、統合が必要なクラスに該当する計画区について、国有林内の10kmメッシュ単位のクラス別面積割合を確認した。

東北局管内について、クラス5に該当する久慈・閉伊川計画区の国有林における10kmメッシュ単位のクラス別面積割合を確認すると、次点でクラス10、3番目にクラス2が多い分布となっていた（表 2.1.9）。このうちクラス10は、他の東北局管内の計画区においていずれも選択されていないクラスであるため、統合対象としては不適である。一方、クラス2は、森林範囲を対象としたクラス割当てを行った場合に同計画区で選択されているとともに（図 2.1.13）、クラス5と主成分の類似性（特に主成分1-3関係：図 2.1.20）もあることから、クラス5の統合対象候補として適当と考えられる。

表 2.1.9 東北局管内の統合対象クラスが位置する計画区における国有林面積割合

計画区	クラス	面積割合
久慈・閉伊川	5	35.9%
	10	30.0%
	2	24.3%
	7	9.9%

中部局管内について、クラス2に該当する千曲川上流計画区並びにクラス5に該当する中部山岳計画区及び伊那谷計画区の国有林における10kmメッシュ単位のクラス別面積割合を確認すると、クラス10やクラス1が統合対象として考えられた（表 2.1.10）。また、当該計画区での森林範囲を対象としたクラス割当て結果は、いずれもクラス2となっていた（図 2.1.13）。

表 2.1.10 中部局管内の統合対象クラスが位置する計画区における国有林面積割合

計画区	クラス	面積割合
千曲川上流	■2	71.6%
	■5	16.5%
	■11	11.9%
中部山岳	■5	45.0%
	■10	32.9%
	■2	14.2%
	■11	4.1%
	■6	3.8%
伊那谷	■5	58.5%
	■2	21.8%
	■1	13.6%
	■11	5.2%
	■4	0.9%

ここで、林業用種苗配布区域の区分（別冊資料1-1の2③）や既往文献における地域区分（別冊資料1-1の2④）と比較すると、北陸地方と長野中央部とは区分される傾向にあることから、クラス10との統合は避けた方がいいと考えられる。そのため、クラス2及び5の統合対象はクラス1とした。なお、ヒノキにおいて統合が必要なクラス10については、ヒノキの北陸地方における分布がごくわずかであることから、ヒノキに限定してクラス10もクラス1に統合することとした。

東北局及び中部局の管内におけるクラス統合の検討結果をまとめると以下のとおりであり、これに基づく成長予測モデルの構築単位を表 2.1.11に示す。

- ① 東北局管内： スギ・カラマツのクラス5 → クラス2に統合
- ② 中部局管内： スギのクラス2及び5 → クラス1に統合  
ヒノキのクラス2、5及び10 → クラス1に統合

表 2.1.11 クラス統合後の成長予測モデルの構築単位

局	クラス	成長予測モデルの構築単位 (○)		
		スギ	ヒノキ	カラマツ
東北	■2	○	/	○
	■5			
	■6	○	/	○
	■7			
中部	■1	○	○	○
	■2			○
	■5			○
	■10			○
	■6	○	○	○
	■8	○	○	/

### 2.1.8 グルーピング結果のまとめと今後の検討課題

本事業では、令和5年度事業で検討した手法を用いて、全国を対象に10kmメッシュ単位で気象条件を因子とするグルーピングを実施した。グルーピングに当たっては、森林の成長に特に影響する気温や降水量の因子を含む主成分1~3を選択した。クラス数については、12区分と19区分を検討したが、実利用の観点から、ある程度まとまりを持った区分が可能な12区分を採用した。その際、国有林の現行収穫予想表や林業用種苗の配布区域、既往文献等における地域区分との比較を行い、グルーピングの妥当性を評価した。

また、グルーピングの結果に基づき、全国158の計画区において、国有林範囲を対象とした10kmメッシュ単位のクラス別面積割合を求め、計画区毎に割合が最大となるクラスを割当てた（図 2.1.14）。

成長予測モデルは、気象条件だけでなく遺伝的な要因等も考慮し、各局管内の各クラスについて樹種別に構築することとしているが、航空レーザ計測結果を用いることから、各クラスに該当する地域において十分なデータを得られない場合は、他のクラスとの統合を検討する必要がある。

本事業では、東北局及び中部局の管内において成長予測モデルを整備するため、航空レーザ計測結果の利用可能性も踏まえて、必要なクラス統合を検討した。検討に当たっては、統合対象となるクラスの主成分の類似性や、計画区毎の10kmメッシュ単位のクラス別面積割合を考慮した。このクラス統合後のグルーピング結果に基づく成長予測モデルの整備について、2.2.2章に詳述する。

次年度以降、全国的に成長予測モデルを整備していく上で、その基礎となるクラス区分（クラスの統合を含む。）の妥当性については、更なる検証が必要と考えられる。すなわち、そのクラス区分が実際に森林の成長の違いを表しているか（現地の森林資源データの

ばらつきがクラス内で少なくクラス間で大きくなっているか) についても確認する必要がある。

なお、参考までに、東北局及び中部局の管内において、今回のグルーピング結果に基づくクラス間及び各クラスの計画区間の航空レーザ計測による森林資源データの分布を確認した(別冊資料1-2)。全体のデータ数の偏りに加え、クラス内又はその中の計画区内のデータのばらつきや年齢構成の偏りが大きいことから、今回のクラス区分が森林の成長の違いを表しているか一概に判断することは難しく、場合によっては更なるクラス統合も可能ではないかと考えられた。最終的に各局管内においてどの地域区分で成長予測モデルを整備するかについては、本年度の全国的なグルーピング結果を基に、現場での実利用の観点も踏まえつつ、次年度以降に検討することとしたい。

## 2.2 成長予測モデルの見直し方法の検討

2.1章のグルーピング結果に基づき、東北局及び中部局の管内を対象として、航空レーザ計測結果を用いた成長予測モデルを構築した。モデルの構築単位は、表 2.1.11に示したとおり、局管内の樹種別にクラス毎とし、東北局管内で計6、中部局管内で計12とした（以下に再掲）。

- ① 東北局管内 - スギ : クラス2 (5を統合) 、6、7
  - カラマツ : クラス2 (5を統合) 、6、7
- ② 中部局管内 - スギ : クラス1 (2及び5を統合) 、6、8、10
  - ヒノキ : クラス1 (2、5及び10を統合) 、6、8
  - カラマツ : クラス1、2、5、6、10

成長予測モデルの構築に当たっては、構築方法について、過年度までの課題を踏まえて見直しを行うとともに、モデルの妥当性を検証するために各種現地調査データと比較し、次年度以降の全国的な整備に向けて、現実林分への適合性が高いと考えられるものを選定した。また、使用するデータのサンプリングも試行的に実施し、この結果に基づく新たな収穫予想表を作成した。

モデル構築に用いる航空レーザ計測による森林資源解析データについては、国有林を優先的に使用するが、既存の森林資源解析データが十分でない場合は、近隣の民有林における解析データも対象に加えた。また、航空レーザ計測結果から胸高直径を推計するための既存の回帰式について、民有林のものを含めて収集した。

### 2.2.1 データの収集

成長予測モデルを構築するため、東北局及び中部局の管内における航空レーザ計測による森林資源解析データを収集するとともに、東北局管内の一部国有林について新たに森林資源解析を実施した。また、モデルの妥当性を検証するため、国有林の収穫調査等の現地調査データを収集した。

#### 2.2.1.1 航空レーザ計測による森林資源解析データ

##### (1) 使用したデータ

成長予測モデルの構築に当たっては、航空レーザ計測結果を用いた森林資源解析が既に実施されているデータ（民有林を含む）の活用を基本とした。使用したデータの一覧を表 2.2.1及び表 2.2.2に示す（東北局管内においては、(3)に詳述するとおり、一部範囲において新たに森林資源解析を実施した）。また、これらのデータの対象範囲を図 2.2.1及び図 2.2.2（背景には地理院地図を使用）に示す。

表 2.2.1 使用した航空レーザ計測結果及び森林資源解析の実施状況（東北局管内）

	計測地域	事業主体	計測年度/ 解析年度	森林資源解析 実施状況
国有林	青森県（上磯地域）	青森県外ヶ浜町	2023年	実施済み 民・国共同
	岩手県（二戸市、八幡平市、滝沢市、雫石町）	林野庁東北森林管理局	2021年	本事業にて 一部新規解析
	岩手県（花巻市）	岩手県花巻市	2023年	実施済み 民・国共同
	岩手県（遠野市）	岩手県遠野市	2023年	
	岩手県（住田町）	岩手県住田町	2023年	
	山形県（置賜地域）	米沢市、南陽市	2022年	実施済み
民有林	青森県（平川市、大鰐町、八戸市、むつ市、平内町）	青森県	2020～22年度	実施済み
	青森県（むつ市）	青森県むつ市	2022年度	
	秋田県（由利本荘市）	秋田県由利本荘市	2022～23年度	
	秋田県（男鹿市）	秋田県男鹿市	2023年度	
	秋田県（上小阿仁村）	秋田県上小阿仁村	2023年度	
	岩手県（花巻市）	岩手県花巻市	2019～22年度	
	岩手県（住田町）	岩手県住田町	2020～23年度	
	岩手県（遠野市）	岩手県遠野市	2019～23年度	
	山形県（金山町）	山形県金山町	2015～16年度	
	山形県（真室川町）	山形県真室川町	2021年度	
	山形県（鶴岡市）	山形県	2023年度	

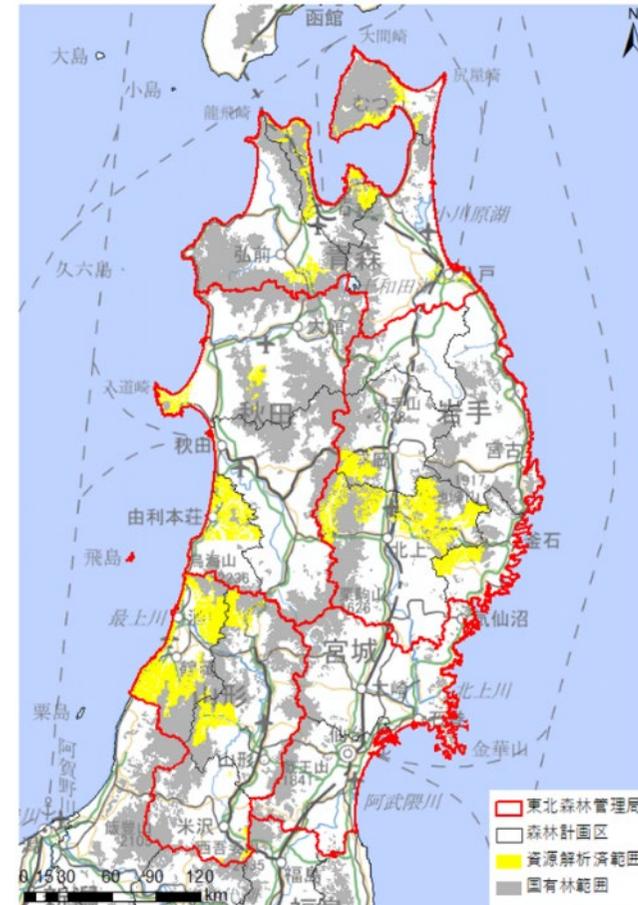


図 2.2.1 使用した航空レーザ計測結果の対象範囲（東北局管内）

表 2.2.2 使用した航空レーザ計測結果及び森林資源解析の実施状況（中部局管内）

	計測地域	事業主体	計測年度/ 解析年度	森林資源解析 実施状況
国有林	長野県（木曾川上流・長者畑川流域）	林野庁 中部局	2019年	一部実施済み ※木曾森林 管理署管内
	長野県（黒姫山地域・西岳地域・飯山市・下高井郡ほか）		2020年、 2021年	一部実施済み ※黒姫山国有林 ※長倉山国有林
民有林	富山県（県内一円）	富山県	2018～21年度	実施済み
	長野県（上田市・飯田市）	長野県	2018～20年度	
	長野県（飯山市・中野市ほか）	北信州森林組合	2014年度	
	岐阜県（中津川市・恵那市・高山市ほか）	岐阜県	2020～22年度	
	愛知県（豊根村・東栄町・豊田市ほか）	愛知県	2018～21年度	



図 2.2.2 使用した航空レーザ計測結果の対象範囲（中部局管内）

## (2) 既存解析データの胸高直径推定式と精度

森林資源解析を実施済みのデータについては、現地調査データを用いて回帰式を作成することで胸高直径が推定されている。この回帰式の精度や、回帰式作成に用いた現地調査点の地理的分布等は重要な情報であり、本事業で構築する成長予測モデルの適用可能範囲にも影響する。

そこで、前項で示した既存の森林資源解析実施済みデータの事業資料を収集し、胸高直径推定式とその精度、推定式作成に使用した現地調査データを整理した。

胸高直径推定式の精度を評価する指標として、補正 $R^2$ 値とRMSE値も合わせてとりまとめた（表 2.2.3、表 2.2.4）。

- **補正 $R^2$ 値** …回帰式を評価する場合、一般的に $R^2$ 値が使用される。しかし、重回帰分析において説明変数の数が違う場合、 $R^2$ 値から式の良否を評価することはできない（説明変数の数が大きいほど $R^2$ 値は良好な値を示す）。このような説明変数の数の影響を取り除き、見かけ上の当てはまりの良さを差し引いた数値が補正 $R^2$ 値である。この数値が高いほど、回帰式から求められる予測値が目的変数に近く、回帰式の当てはまりが良いことを示す。自由度調整済決定係数ともいわれる。
- **RMSE** …2乗平均平方根誤差（Root Mean Squared Error）。回帰式から求められる予測値が真値からどの程度乖離しているかを示す。0に近い値であるほど誤差が小さいことを示す。

表 2.2.3 既存解析データの現地調査概要と胸高直径推定式（東北局管内）<sup>4</sup>

No.	樹種	現地調査 点数	樹高範囲(m)	立木密度範囲(本/ha)	直径推定式 <sup>5</sup>	補正R <sup>2</sup> 値 <sup>6</sup>	RMSE <sup>7</sup>
1	スギ	49	5-10m~30-35m	500未満~1500以上	$d = 3.670 \times Ca^{0.326} \times h^{0.430}$	0.883	3.18
	カラマツ	30	5-10m~30-35m	500未満~500-1000	$d = 1.965 \times A^{0.269} \times h^{0.524}$	0.697	4.13
2	スギ	40	10-15m~30m以上	500-1000~1500-2000	$d = 2.774 \times Ca^{0.425} \times h^{0.463}$	0.948	1.87
	カラマツ	35	20-25m~30m以上	500-1000~1500-2000	$d = 4.125 \times A^{0.165} \times h^{0.444}$	0.636	2.32
3	スギ	8	10-15m~30m以上	500-1000~2000以上	$d = 3.191 \times Ca^{0.359} \times h^{0.467}$	0.884	3.15
	カラマツ	8	15-20m~25-30m	500未満~500-1000	$d = 6.297 \times A^{0.128} \times h^{0.356}$	0.530	2.91
4	スギ	32	15m未満~30m以上	1000未満~2000以上	$d = 3.556 \times Ca^{0.437} \times h^{0.366}$	0.840	3.37
	カラマツ	19	20m未満~30m以上	500未満~1000以上	$d = 5.334 \times A^{0.244} \times h^{0.287}$	0.751	2.65
5	スギ	52	10m未満~30m以上	300-600~1500以上	$d = 2.965 \times Ca^{0.312} \times h^{0.508}$	0.915	2.82
	カラマツ	4	15-20m~25~30m	300-600~600-900	$d = 2.264 \times V^{0.411} \times h^{0.345}$	0.949	3.15
6	スギ	99	10-15m~30m以上	300未満~1500以上	$d = 4.234 \times Ca^{0.404} \times h^{0.337}$	0.937	1.95
7	スギ	50	10m未満~30m以上	0-500~1000以上	$d = 2.815 \times Ca^{0.325} \times h^{0.520}$	0.938	2.31
8	スギ	50	15-20m~30m以上	0-500~1000以上	$d = 2.527 \times Ca^{0.358} \times h^{0.518}$	0.964	1.94
9	スギ	20	15-20m~25m以上	500未満~1500以上	$d = 2.659 \times Ca^{0.376} \times h^{0.442}$	0.769	2.78
	カラマツ	10	20-25m~25m以上	500未満~500-1000	$d = 3.459 \times Ca^{0.310} \times h^{0.371}$	0.504	3.41
10	スギ	10	10m未満~20-25m	500未満~2000以上	$d = 2.800 \times Ca^{0.374} \times h^{0.466}$	0.926	1.92
	カラマツ	10	10m未満~25m以上	500-1000~2000以上	$d = 2.214 \times Ca^{0.422} \times h^{0.349}$	0.964	3.10
11	スギ	10	15-20m~25m以上	500未満~1500以上	$d = 1.864 \times Ca^{0.232} \times h^{0.572} \times Ch^{0.148}$	0.847	2.07
	カラマツ	10	15-20m~25m以上	500未満~500-1000	$d = 2.300 \times Ca^{0.329} \times h^{0.472}$	0.768	2.30
12	スギ	26	5-10m~30m以上	500未満~1500以上	$d = 3.564 \times Ca^{0.460} \times h^{0.355}$	0.936	2.54

<sup>4</sup> これらの胸高直径推定式はあくまで各事業の条件下で検討し作成されたものである。十分な検討・検証なくこれらの推定式を他事業へ適用することはできない。適用可否については利用者の責任でよく検討を行うこととし、本事業で責任は負わない。また、森林資源解析成果の精度を評価する上では胸高直径以外にも様々な要素があるため、これらの胸高直径推定式の精度のみから各地域の森林資源解析の精度を評価することは最善ではないが、本事業では便宜的に比較のための基準とした。

<sup>5</sup> 樹高 h(m)、樹冠投影面積 Ca(m<sup>2</sup>)、樹冠長 Ch(m)、樹冠表面積 A(m<sup>2</sup>)、樹冠長率 Cp(%)、樹冠体積 V(m<sup>3</sup>)

<sup>6</sup> 補正 R<sup>2</sup> 値：説明変数の数の影響を取り除き、見かけ上の当てはまりの良さを差し引いた数値。この数値が高いほど、回帰式から求められる予測値が目的変数に近く、回帰式の当てはまりが良いことを示す。

<sup>7</sup> RMSE：2乗平均平方根誤差(Root Mean Squared Error)。回帰式から求められる予測値が真値からどの程度乖離しているかを示す。0に近い値であるほど誤差が小さいことを示す。

No.	樹種	現地調査 点数	樹高範囲(m)	立木密度範囲(本/ha)	直径推定式 <sup>5</sup>	補正R <sup>2</sup> 値 <sup>6</sup>	RMSE <sup>7</sup>
	カラマツ	22	5-10m~30m以上	500未満~1500以上	$d = 3.564 \times Ca^{0.348} \times h^{0.463}$	0.940	2.51
13	スギ	3	18-20m、22-24m	500-1000~1500以上	$d = 2.232 \times Ca^{0.314} \times h^{0.544}$	0.839	2.06
	カラマツ	3	20-22m~24-26m	500未満、500-1000	$d = 2.037 \times Ca^{0.370} \times h^{0.466}$	0.765	2.28
14	スギ	10	15-20m~25m以上	500-1000~1500以上	$d = 3.755 \times Ca^{0.349} \times h^{0.388}$	0.869	2.36
	カラマツ	10	15-20m~25m以上	500未満、500-1000	$d = 2.060 \times V^{0.316} \times h^{0.501}$	0.905	3.49
15	スギ	5	20-25m、25-30m	0-500、1000-1500	$d = .596 \times Ca^{0.191} \times h^{0.692} \times Ch^{0.102}$	0.806	2.36
	カラマツ	5	20-25m~30-35m	0-500、500-1000	$d = 2.049 \times Ca^{0.408} \times h^{0.439}$	0.789	2.40
16	スギ	10	20-25m~25m以上	500未満~1000-1500	$d = 3.928 \times Ca^{0.378} \times h^{0.353}$	0.841	2.71
	カラマツ	10	15m未満~25m以上	500未満~1500以上	$d = 2.049 \times Ca^{0.206} \times h^{0.618}$	0.889	3.71
17	スギ	10	15-20m~25m以上	500未満~1500以上	$d = 3.477 \times Ca^{0.387} \times h^{0.383}$	0.861	2.61
	カラマツ	10	20-25m~25m以上	500未満~500-1000	$d = 2.093 \times Ca^{0.144} \times h^{0.695}$	0.878	2.49
18	スギ	15	15m未満~25m以上	500-1000~1500以上	$d = 2.659 \times Ca^{0.376} \times h^{0.442}$	0.769	2.78
	カラマツ	8	15-20m~25m以上	500未満~1000-1500	$d = 3.459 \times Ca^{0.310} \times h^{0.371}$	0.504	3.41
19	スギ	10	15-20m~25m以上	500-1000~1000-1500	$d = 2.232 \times Ca^{0.314} \times h^{0.544}$	0.804	2.20
	カラマツ	10	15-20m~25m以上	500未満~1500以上	$d = 2.037 \times Ca^{0.370} \times h^{0.466}$	0.739	2.95
20	スギ	17	15m未満~25m以上	500未満~1500以上	$d = 2.970 \times Ca^{0.267} \times h^{0.494}$	0.807	2.10
	カラマツ	17	15-20m~25m以上	500未満~1000-1500	$d = 1.967 \times Ca^{0.267} \times h^{0.563}$	0.743	2.99
21	スギ	10	15-20m~30-35m	500未満~1500-2000	$d = 2.687 \times Ca^{0.324} \times h^{0.484}$	0.852	2.26
	カラマツ	10	10-15m~25-30m	500未満~1500-2000	$d = 2.618 \times Ca^{0.383} \times h^{0.372}$	0.806	2.90
22	スギ	10	15-20m~25-30m	500-1000~1000-1500	$d = 2.614 \times Ca^{0.305} \times h^{0.509}$	0.850	2.20
	カラマツ	10	15-20m~25-30m	500未満~500-1000	$d = 2.611 \times Ca^{0.356} \times h^{0.399}$	0.794	2.80
23	スギ	28	15-20m~30m以上	300未満~1200-1500	$d = 4.877 \times Ca^{0.381} \times h^{0.307}$	0.799	2.66
	カラマツ	13	20-25m~30m以上	300-600~600-900	$d = 2.996 \times h^{0.740}$	0.759	1.63
24	スギ	32	5-10m~30-35m	500未満~2500-3000	$d = 2.883 \times Ca^{0.376} \times h^{0.445}$	0.941	2.20
	カラマツ	28	15-20m~30-35m	500未満~500-1000	$d = 3.349 \times Ca^{0.373} \times h^{0.333}$	0.651	2.76

表 2.2.4 既存解析データの現地調査概要と胸高直径推定式（中部局管内）<sup>8</sup>

No.	樹種	現地調査 点数	樹高範囲(m)	立木密度範囲(本/ha)	直径推定式	補正R <sup>2</sup> 値	RMSE	
1	ヒノキ	15	10-12m~24-26m	500未満~2000以上	$d = 2.786 \times A^{0.148} \times h^{0.571}$	0.868	1.76	
	カラマツ	15	16-18m~30m以上	500未満~1000	$d = 5.837 \times C_a^{0.328} \times h^{0.195}$	0.719	2.78	
2	スギ	13	15-20m~20-25m	600-800~1200以上	$d = 6.857 \times C_a^{0.278} \times h^{0.251}$	0.860	2.02	
	カラマツ	13	15-20m~25m以上	400未満~800-1000	$d = 12.236 \times C_a^{0.239}$	0.450	3.22	
3	スギ	47	15-20m~30m以上	500未満~2000	$d = 3.115 \times C_a^{0.437} \times h^{0.373}$	0.929	2.67	
	ヒノキ	45	10-15m~25-30m	500未満~2000以上	$d = 2.977 \times C_a^{0.382} \times h^{0.436}$	0.896	2.13	
	カラマツ	4	20m~25m	500未満~1000	$d = h^{1.022}$	0.908	3.39	
4	スギ	15	20-25m~25m以上	500未満~1500	$d = 4.736 \times C_a^{0.431} \times h^{0.256}$	0.880	2.84	
	ヒノキ	15	10-15m~20-25m	500~1500以上	$d = 3.439 \times C_a^{0.365} \times h^{0.409}$	0.877	2.07	
5	スギ	122	10-15m~25m以上	500未満~1500以上	$d = 2.858 \times C_a^{0.368} \times h^{0.458}$	0.860	2.74	
	ヒノキ	73	10-15m~20-25m	500~1500以上	$d = 3.597 \times C_a^{0.361} \times h^{0.391}$	0.841	2.19	
6	スギ	30	15-20m~30m以上	500未満~2000	$d = 3.694 \times C_a^{0.285} \times h^{0.378} \times C_h^{0.098}$	0.827	2.23	
	ヒノキ	30	15m未満~20-25m	500未満~2000	$d = 5.009 \times C_a^{0.302} \times h^{0.252} \times C_h^{0.113}$	0.816	1.95	
7	スギ	30	10m未満~25m以上	500未満~1500以上	$d = 3.402 \times C_a^{0.357} \times h^{0.451}$	0.947	2.11	
	ヒノキ	30	10m未満~25m以上	500未満~1500以上	$d = 3.007 \times C_a^{0.257} \times h^{0.517}$	0.928	2.00	
8	スギ	46	10m未満~25m以上	400未満~1000以上	$d = 3.173 \times C_a^{0.354} \times h^{0.430}$	0.925	2.33	
	ヒノキ	55	10m未満~25m以上	400未満~1000以上	$d = 2.823 \times C_a^{0.391} \times h^{0.407}$	0.763	3.90	
	カラマツ	32	15-20m~25m以上	400未満~1000以上	$d = A^{0.223} \times h^{0.756}$	0.966	不明	
9	スギ	No.8 スギのパラメータを使用						
	ヒノキ	8	10-15m~20-25m	200~1000以上	$d = 2.689 \times A^{0.057} \times h^{0.720}$	0.657	2.33	
	カラマツ	8	15-20m~25m以上	500未満~1000	$d = 1.889 \times A^{0.326} \times h^{0.453}$	0.956	1.52	
10	スギ	No.8 スギのパラメータを使用						
	カラマツ	32	19m~32m	275~1025	$d = 5.426 \times C_a^{0.569}$	0.755	2.98	

<sup>8</sup> これらの胸高直径推定式はあくまで各事業の条件下で検討し作成されたものである。十分な検討・検証なくこれらの推定式を他事業へ適用することはできない。適用可否については利用者の責任でよく検討を行うこととし、本事業で責任を負わない。また、森林資源解析成果の精度を評価する上では胸高直径以外にも様々な要素があるため、これらの胸高直径推定式の精度のみから各地域の森林資源解析の精度を評価することは最善ではないが、本事業では便宜的に比較のための基準とした。

No.	樹種	現地調査 点数	樹高範囲(m)	立木密度範囲(本/ha)	直径推定式	補正R <sup>2</sup> 値	RMSE
11	スギ	30	15m未満～25m以上	500未満～1000以上	$d = 4.461 \times C_a^{0.349} \times h^{0.367}$	0.879	2.91
	ヒノキ	4	15m未満～15-20m	500未満～1000以上	$d = 2.945 \times C_a^{0.296} \times h^{0.545}$	0.882	1.54
	カラマツ	3	15m未満～15-20m	500未満～1000	$d = 14.085 \times C_a^{0.252}$	0.176	3.43
12	スギ	91	15-20m～25m以上	500未満～1000以上	$d = 3.321 \times C_a^{0.342} \times h^{0.499} \times C_h^{-0.075}$	0.874	2.68
	ヒノキ	No.11 ヒノキ、カラマツのパラメータを使用					
	カラマツ						
13	カラマツ	No.11 カラマツのパラメータを使用					

### (3) 東北局管内における新規森林資源解析

#### ① 解析対象範囲

本事業で収集した航空レーザ計測結果（表 2.2.1及び表 2.2.2）のうち、令和3年度に計測が実施された東北局管内の国有林については森林資源解析が未実施であったため、その一部について本事業において新たに解析を実施した。対象範囲は岩手県八幡平市の切通山国有林（2,334ha）とし、対象樹種はスギ及びカラマツとした（ヒノキは分布していない）（図 2.2.3）。当該国有林は馬淵川上流計画区に該当し、2.1.6章のグルーピング結果ではクラス7に該当している。

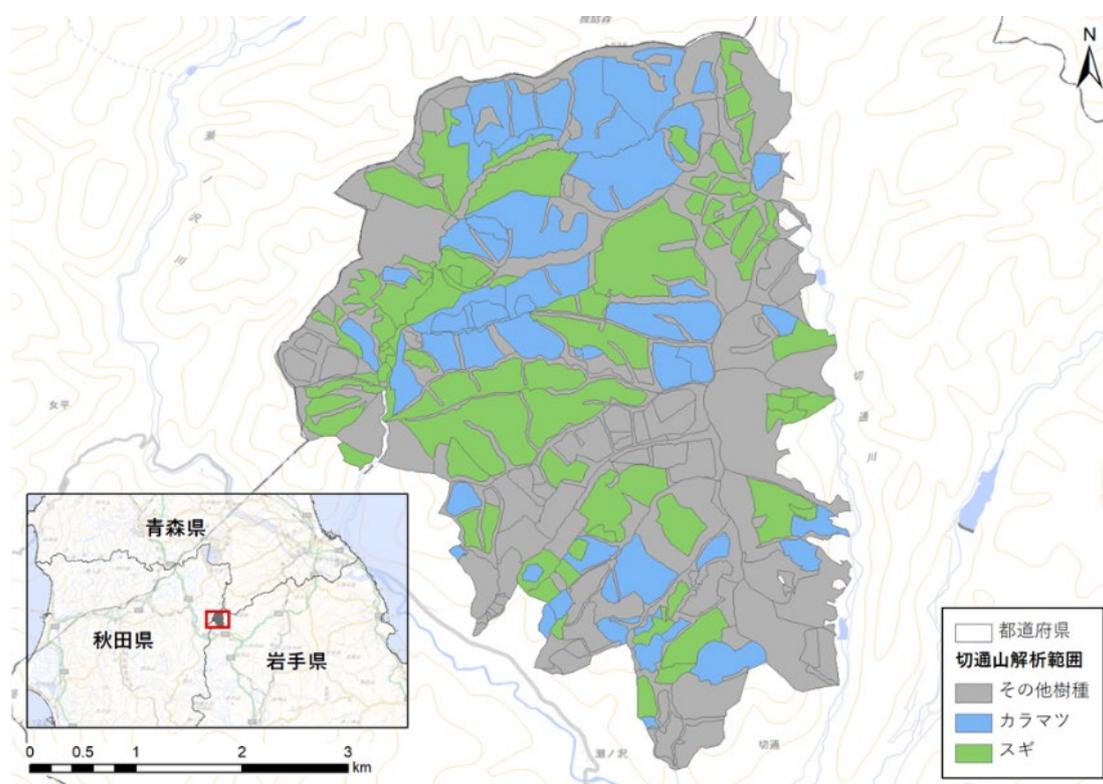


図 2.2.3 解析対象範囲

（岩手県八幡平市 切通山国有林2,334ha 馬淵川上流森林計画区）

#### ② 森林資源解析の手順

森林資源解析の一般的な手順は以下のとおりである。

- (i) 林相判読：空中写真（オルソ画像）又は航空レーザ計測結果より作成した林相識別図（レーザ林相図）を用いて林相判読を実施し、樹種ポリゴンを作成する。
- (ii) 樹頂点の抽出：解析対象樹種の林相内において、樹頂点を抽出する。
- (iii) 胸高直径の推定：樹高や樹冠データ等から胸高直径推定式を作成し、胸高直径を推定する。

- (iv) メッシュへの集計：成長予測モデルの構築に当たって、抽出した樹頂点データを20mメッシュ単位で集計する。

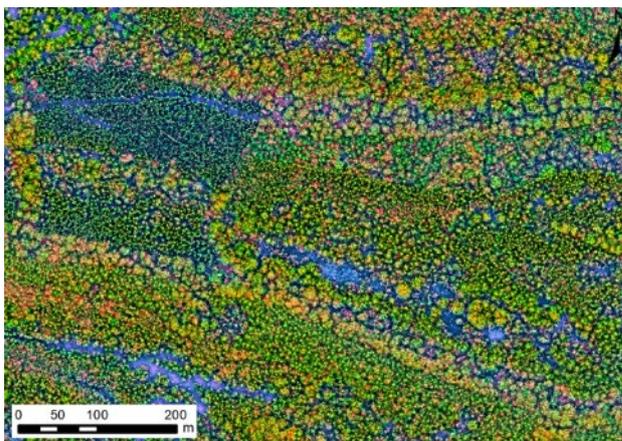
東北局管内の新規森林資源解析箇所については、本事業において手順(i)～(iv)の一連の作業を実施した。その他の本事業で収集した森林資源解析実施済みのデータについては手順(i)～(iii)が実施済みであるため、本事業では手順(iv)のみを実施した。新規解析箇所でも実施した手順(i)～(iii)については以下に詳述する。全ての収集データを対象に実施した手順(iv)については(4)に詳述する。

### (i) 林相判読

林相区分を行うに当たり、レーザの反射強度を解析し、複数の色により樹種を表現し、影等の影響のないレーザ林相図を林相識別図として作成した。航空写真と比較して樹種の違いによって色調が明瞭に異なり、樹冠形状もわかりやすく識別できるため、林相区分の精度を高めることができる(図 2.2.4)。

なお、航空レーザ計測結果について対象範囲に鉄塔や電線が存在するか確認したが、当該地物は確認されなかったため、データ除去は特に実施しなかった。

レーザ林相図



オルソ画像(同位置)



図 2.2.4 林相判読に用いたレーザ林相図(上)／同位置のオルソ画像(下)

林相判読に当たっては、表 2.2.5に示す判読キーを基に、レーザ林相図及びオルソ写真を用いて目視判読によりできる限り正確に樹種境界を区分した。最小判読面積は20m×20mの0.04ha以上とし、それ未満の林相は分割せず周囲の林相に含めた。判読区分は表 2.2.6の通りとした。

表 2.2.5 林相判読キーの特徴

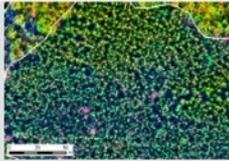
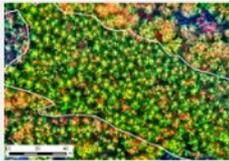
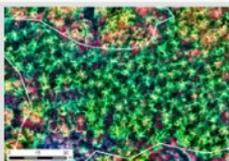
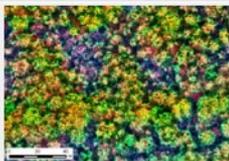
	レーザ林相図が示す判読キー	オルソ写真が示す判読キー
スギ	 <p>個々の樹冠が明瞭であり、赤みがかった黄色～緑がかかった黄色を呈する。</p>	 <p>個々の樹冠が明瞭であり、深緑色を呈する。樹冠は円錐形できめが粗い。</p>
カラマツ	 <p>スギに比べて、個々の樹冠がやや不明瞭である。色味は黄緑～緑色を呈する。</p>	 <p>個々の樹冠が明瞭であるが、スギよりは不明瞭。薄緑色を呈し、秋季は紅葉するため橙色を呈する。</p>
アカマツ	 <p>個々の樹冠が不明瞭であり、緑色～黄色がかかった緑色を呈する。低い林分は薄紫色を呈する。</p>	 <p>スギに比べて色が薄く見え、明るいグレーがかかった緑色を呈する。樹冠は不整形で、羽毛状である。</p>
広葉樹 その他	 <p>濃い赤色～濃い橙色と明るい緑色～暗い緑色を呈する。樹冠は鱗状に見える。</p>	 <p>針葉樹と比べて樹冠が不明瞭である。落葉広葉樹は冬の時期、葉が落ちて地面が見える。</p>

表 2.2.6 林相判読区分

ID	樹種
1	スギ
2	カラマツ
3	アカマツ
4	広葉樹
5	その他（人工地等）

## (ii) 樹頂点の抽出

樹頂点の抽出では、樹冠高から樹冠形状の三次元的な凹凸を数値化した樹種別の樹冠形状指数を作成し、樹木の先端部（樹頂点）を抽出した（図 2.2.5）。

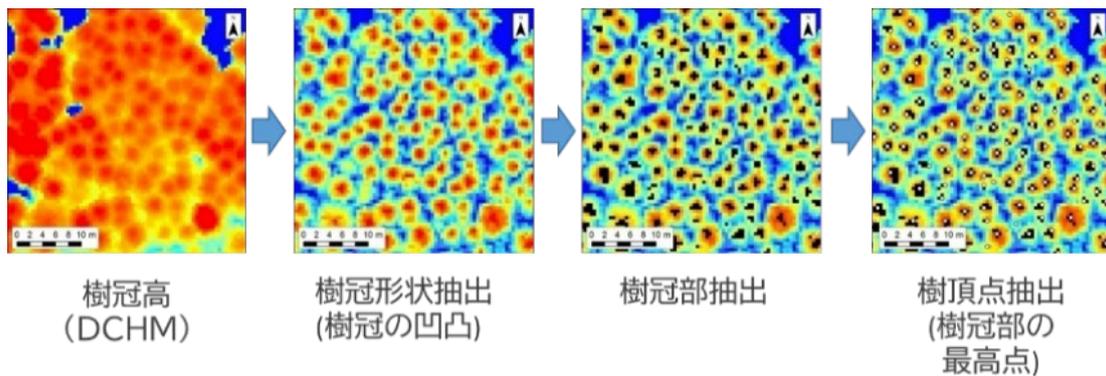


図 2.2.5 樹頂点抽出の工程イメージ

### (iii) 胸高直径の推定

胸高直径を推定する一般的な手順を図 2.2.6に示す。胸高直径は航空レーザ計測結果からの直接計測できないため、樹高や樹冠等のレーザデータから得られる情報を用いて推定式を作成することによって求める。

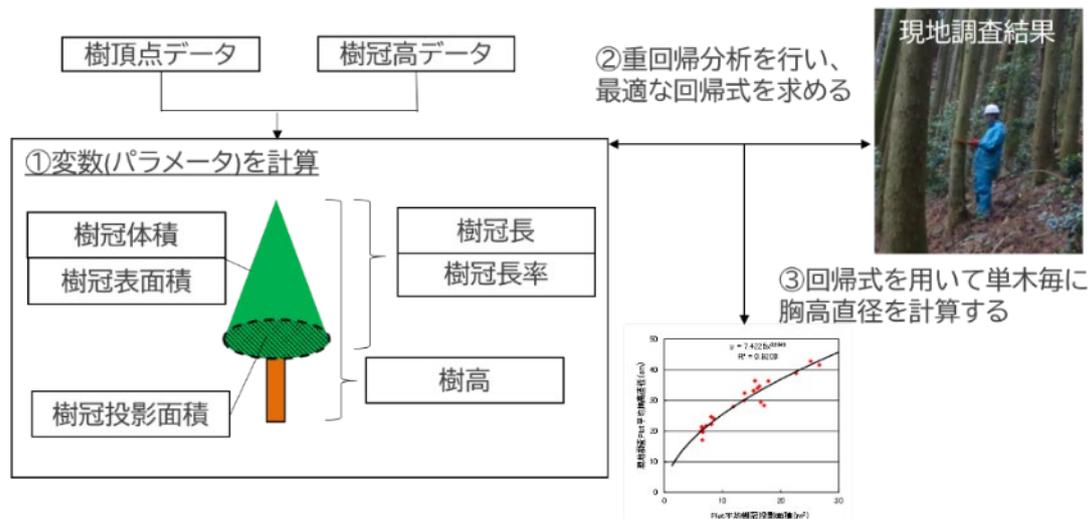


図 2.2.6 胸高直径を推定する一般的な手順

本事業では現地調査を実施していないため、解析範囲の胸高直径推定式を新たに作成できないことから、近隣地域の既存森林資源解析事業において作成された胸高直径推定式を用いて胸高直径を推定することとした。

採用する胸高直径推定式の候補として、表 2.2.7に示す3つの胸高直径推定式（岩手県遠野市、同花巻市並びに青森県青森市、むつ市及び八戸市）を選定した。これらによる胸高直径の推定結果を図 2.2.7に示す。

表 2.2.7 採用候補とした近隣地域の胸高直径推定式

地域	スギ	カラマツ
R5遠野市 <sup>9</sup>	$d = 2.625 \times Ca^{0.300} \times h^{0.511}$	$d = 2.596 \times Ca^{0.353} \times h^{0.404}$
R5花巻市 <sup>10</sup>	$d = 2.886 \times Ca^{0.376} \times h^{0.445}$	$d = 3.349 \times Ca^{0.373} \times h^{0.333}$
R3青森県 <sup>11</sup> (青森市・むつ市・八戸市)	$d = 2.774 \times Ca^{0.425} \times h^{0.463}$	$d = 2.916 \times Ca^{0.126} \times h^{0.527} \times Cp^{0.113}$

樹高：h(m)、樹冠投影面積：Ca(m<sup>2</sup>)、樹冠長率：Cp(%)

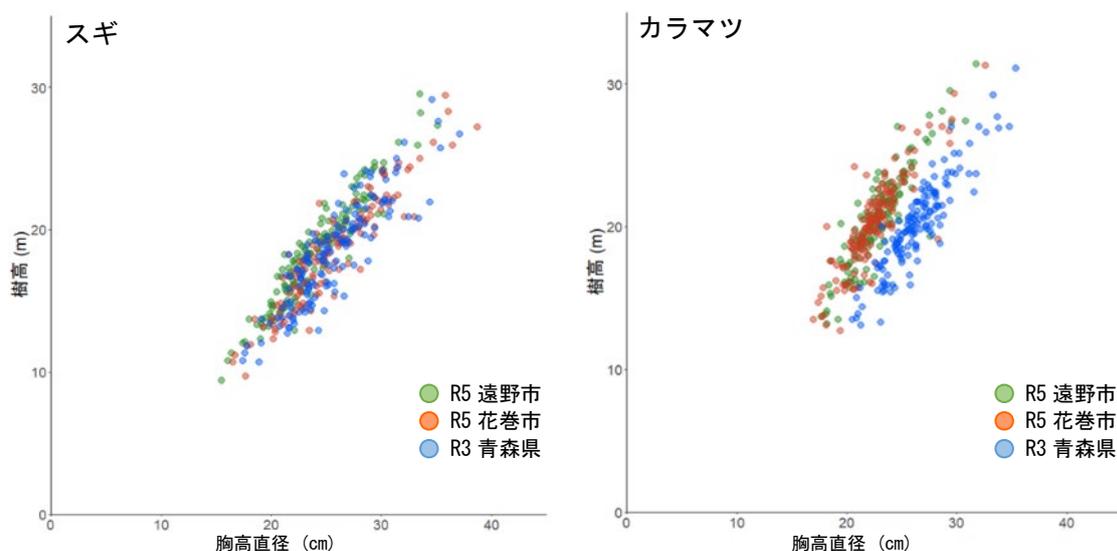


図 2.2.7 3つの胸高直径推定式による推定結果の比較（林小班単位）

採用する胸高直径推定式の検討に当たっては、本事業での解析対象範囲である切通山国有林において過去に収穫調査が実施された林小班について、当該収穫調査データ（図 2.2.8）と、上記の3つの推定式により推定した単木の胸高直径を集計した上で、収穫調査データを真値として、平均胸高直径の残差平方和が最も小さい推定式を採用することとした（表 2.2.8、表 2.2.9）。

その結果、スギ、カラマツともに令和5年度に作成された遠野市の胸高直径推定式（R5遠野市）を採用した。当該推定式を用いた解析データと収穫調査データの比較を図 2.2.9に示す。

<sup>9</sup> 森林資源航空計測事業（令和5年度遠野市実施）

<sup>10</sup> 森林資源航空レーザ計測及び解析事業（令和5年度花巻市実施）

<sup>11</sup> 令和3年度青森県航空レーザ計測森林資源解析事業（令和3年度青森県実施）

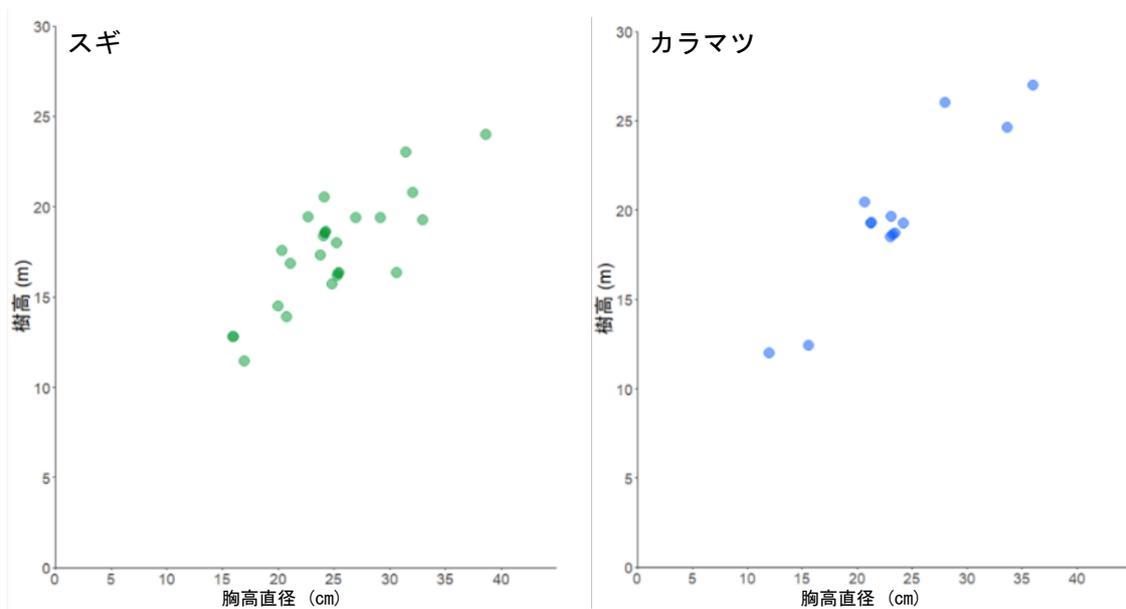


図 2.2.8 収穫調査の樹高と胸高直径（切通山国有林内：林小班単位）

表 2.2.8 各胸高直径推定式を使用した場合の解析データと収穫調査の残差平方和（スギ）

推定式	R5遠野市			R5花巻市			R3青森県 (青森市・むつ市・八戸市)		
	解析 データ (cm)	収穫 調査 (cm)	残差 平方和 (cm <sup>2</sup> )	解析 データ (cm)	収穫 調査 (cm)	残差 平方和 (cm <sup>2</sup> )	解析 データ (cm)	収穫 調査 (cm)	残差 平方和 (cm <sup>2</sup> )
101と	29.1	24.1	24.7	31.1	24.1	48.5	30.3	24.1	38.0
102い	30.2	29.2	1.0	32.4	29.2	10.2	31.3	29.2	4.4
102ち	26.5	32.1	31.2	28.1	32.1	15.9	27.6	32.1	20.1
102ろ1	16.4	20.7	18.8	16.7	20.7	16.3	17.6	20.7	9.9
102ろ3	18.0	16.0	4.1	18.5	16.0	6.4	19.1	16.0	9.8
102ろ4	16.1	16.0	0.0	16.5	16.0	0.3	17.4	16.0	2.0
90ろ2	19.1	24.1	24.6	20.1	24.1	15.7	20.8	24.1	10.7
91い5	22.2	25.3	9.8	23.2	25.3	4.6	24.0	25.3	1.8
91ろ1	24.6	22.7	3.6	25.6	22.7	8.4	25.7	22.7	9.0
92は	26.7	25.5	1.5	28.5	25.5	9.2	28.5	25.5	9.2
92ろ1	28.9	23.8	25.8	30.7	23.8	47.3	30.3	23.8	42.0
92ろ2	28.4	20.0	70.6	29.1	20.0	82.8	30.7	20.0	114.5
94ち1	33.5	25.3	67.6	35.8	25.3	110.7	34.6	25.3	86.9
合計			283.5			376.4			358.3

表 2.2.9 各胸高直径推定式を使用した場合の解析データと収穫調査の残差平方和  
(カラマツ)

推定式	R5遠野市			R5花巻市			R3青森県 (青森市・むつ市・八戸市)		
	解析 データ (cm)	収穫 調査 (cm)	残差 平方和 (cm <sup>2</sup> )	解析 データ (cm)	収穫 調査 (cm)	残差 平方和 (cm <sup>2</sup> )	解析 データ (cm)	収穫 調査 (cm)	残差 平方和 (cm <sup>2</sup> )
101と	29.5	36.0	42.3	29.3	36.0	44.9	33.8	36.0	4.8
101ろ5	26.1	28.0	3.6	25.9	28.0	4.4	30.3	28.0	5.3
102ち	25.3	33.7	70.0	25.0	33.7	75.1	29.0	33.7	21.8
90ろ2	19.9	21.3	2.0	19.1	21.3	4.9	22.8	21.3	2.2
91い1	24.1	23.3	0.7	24.3	23.3	1.1	28.1	23.3	23.5
91い5	22.6	23.4	0.7	22.3	23.4	1.3	26.3	23.4	8.2
91い7	23.0	23.0	0.0	22.9	23.0	0.0	27.0	23.0	15.8
92ろ1	25.2	23.1	4.4	25.5	23.1	5.8	29.9	23.1	46.4
92ろ2	22.3	15.6	44.9	22.4	15.6	46.2	27.0	15.6	130.0
94ち1	22.1	24.2	4.6	22.1	24.2	4.6	25.5	24.2	1.6
合計			173.1			188.3			259.6

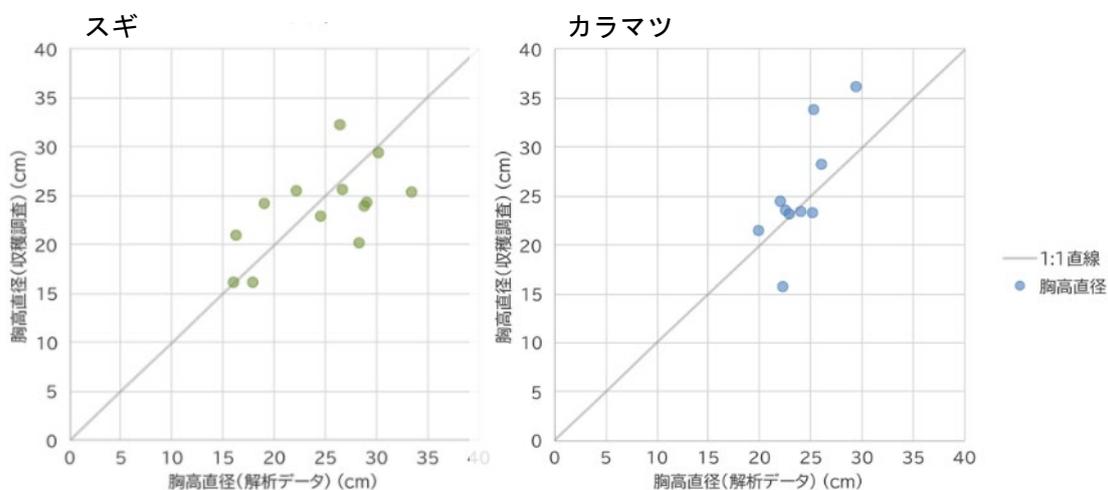


図 2.2.9 解析データと収穫調査の胸高直径の比較 (林小班単位)

#### (4) 20mメッシュ集計

対象エリア全域を20mメッシュで区分し、このメッシュを基本として、樹高、胸高直径などの森林資源情報の平均値を集計した。

林齢は、各メッシュと森林簿（国有林の場合は森林調査簿、以下同じ。）の小班の範囲を空間的に重ねて情報を抽出した（図 2.2.10）。ただし、メッシュ上に小班又は林相の境界が通る場合は異質な林分の情報が混入するため、こうしたメッシュは解析から除外した。また、メッシュ内の立木本数が9本未満のメッシュは目視にて樹頂点の分布に偏りがな  
いか確認し、偏りがあるメッシュは除外した。

さらに、20m×20mのメッシュ内に含まれる立木本数でha当たり本数を算出すると、立木の局所的な偏りが影響するおそれがある。そのため、ha当たり本数については、小班内の林相区分を単位としてha当たり本数を抽出することにより、密度効果を含めた本数単位を示した（図 2.2.11）。同様に、ha当たり材積についても小班・林相単位での集計結果をメッシュに割当てた。

20mメッシュの属性項目一覧とデータ由来を表 2.2.10に示す。

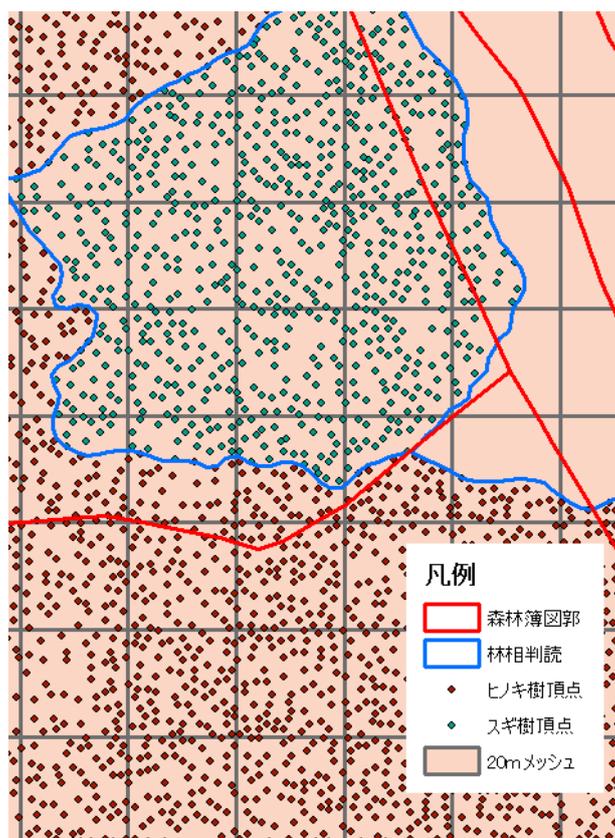


図 2.2.10 解析に係る単木情報とメッシュのイメージ図

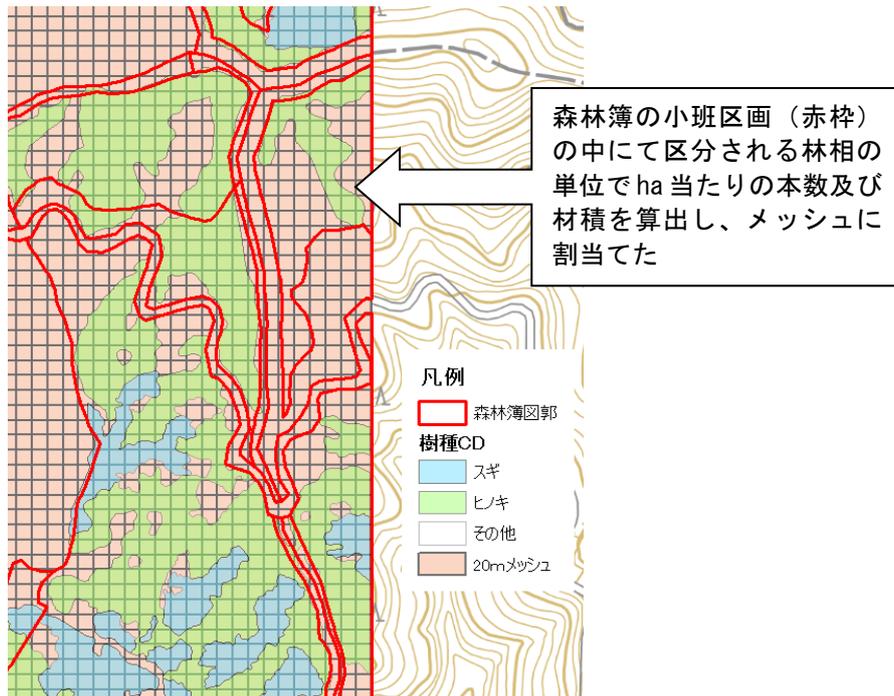


図 2.2.11 haあたり本数及びhaあたり材積の算出の考え方

表 2.2.10 20mメッシュの属性項目一覧とデータ由来

属性項目	データ由来
林相名	林相区分
立木密度(haあたり本数)	小班・林相別計算結果
haあたり材積	
平均樹高	メッシュ別計算結果
平均胸高直径	
平均単木材積	
Lorey's height	
林齢	森林簿／森林調査簿

### 2.2.1.2 現地調査データ

航空レーザ計測により得られるデータが、様々な条件の森林を悉皆的に捉えたものであるという特性を踏まえつつ、そのデータから構築する成長予測モデルがその地域の森林の成長を適切に表しているかどうかを確認するため、比較対象として国有林の収穫調査（以下「収穫調査」という。）、既存事業の現地調査（以下「既存事業現地調査」という。）及び森林生態系多様性基礎調査によるデータを収集した（各調査の概要は表 2.2.11のとおり）。過年度事業では、このうち収穫調査及び既存事業現地調査のデータを比較に用いたが、本事業では森林生態系多様性基礎調査のデータを追加した。

表 2.2.11 収集した現地調査データの概要

調査データ	調査対象	調査プロット面積	調査手法	調査位置
(1) 収穫調査	国有林	伐採範囲・調査手法による	毎木調査又は標準地調査。樹高測定は目測の場合あり。一般材と低質材の区別があるが上層木区別はなし。	林小班により特定可能
(2) 既存事業現地調査	主に 民有林	0.04ha	レーザ解析と比較できるように上層木を区別。	GNSS記録で特定可能
(3) 森林生態系多様性基礎調査	国有林、 民有林	0.1ha	5年毎に継続調査。上層木の区別はなし。0.01haの小円、0.04haの中円、0.1haの大円で調査項目が異なる。	4km格子毎に設定されているが詳細位置は非公開

#### (1) 収穫調査データ

収穫調査データは、樹種がスギ、ヒノキ、カラマツのうち、調査方法が「毎木調査」のデータのみを抽出し、さらに林齢が60年以上かつ樹高が15m以下、林齢が10年以下かつ樹高が12m以下、林齢が5年以下かつ樹高が8m以上、対象樹種の材積合計が林分全体の80%未満の林分は異常値の可能性が高いため除外した。

なお、収穫調査データには下層木も含まれるため、収穫予想表で用いられる上層木平均樹高と傾向が異なる懸念がある。そのため、胸高断面積での重み付けにより上層木平均樹高と近い値を示すLorey's height (2.2.2章参照) を樹高として用いた。また、材積は収穫調査復命書のN材積を立木調査野帳の樹種毎に按分した値を使用した。

収集した収穫調査データについて、樹種別及び2.1.6章において区分したクラス別のデータ数を表 2.2.12に示すとともに、計画区別に国有林の現行収穫予想表と比較した林齢－樹高関係の散布図を図 2.2.12～図 2.2.16に示す（散布図内の曲線は現行収穫予想表）。

表 2.2.12 収集した収穫調査データの樹種別・クラス別データ数

局	東北局管内				中部局管内					
	2	5	6	7	1	2	5	6	8	10
スギ	0	0	413	122	60	68	3	14	39	8
ヒノキ	0	0	0	0	424	2	10	80	36	20
カラマツ	0	0	21	9	37	30	228	85	38	0

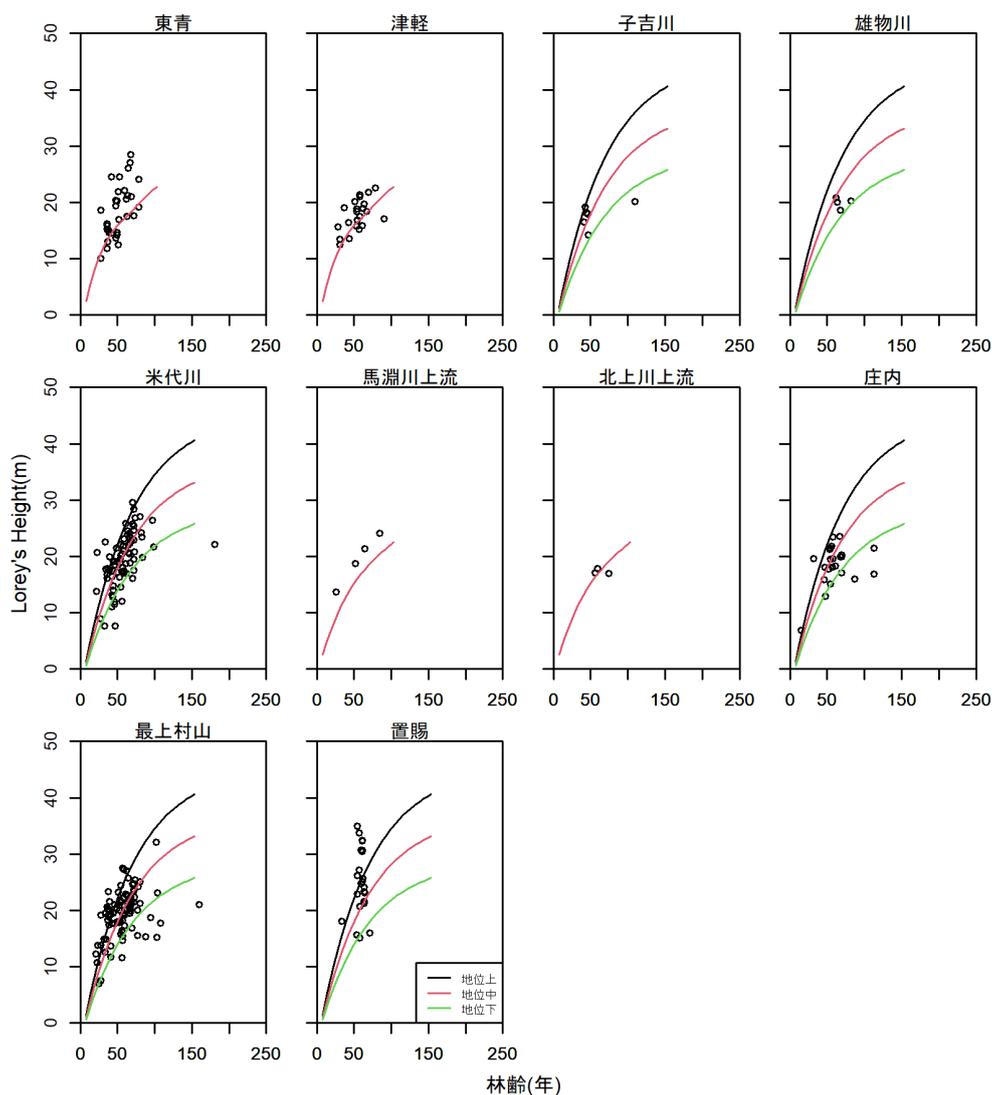


図 2.2.12 計画区別の収穫調査データの林齢－樹高関係（東北局管内：スギ）

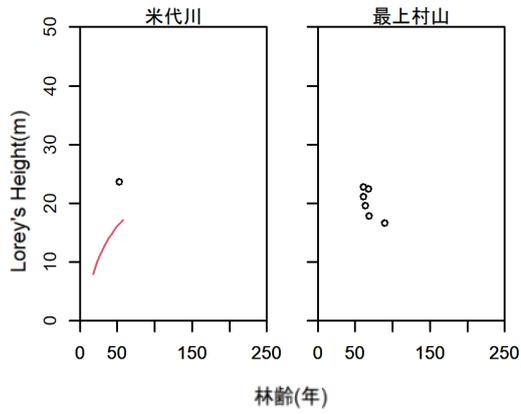


図 2.2.13 計画区別の収穫調査データの林齢－樹高関係（東北局管内：カラマツ）

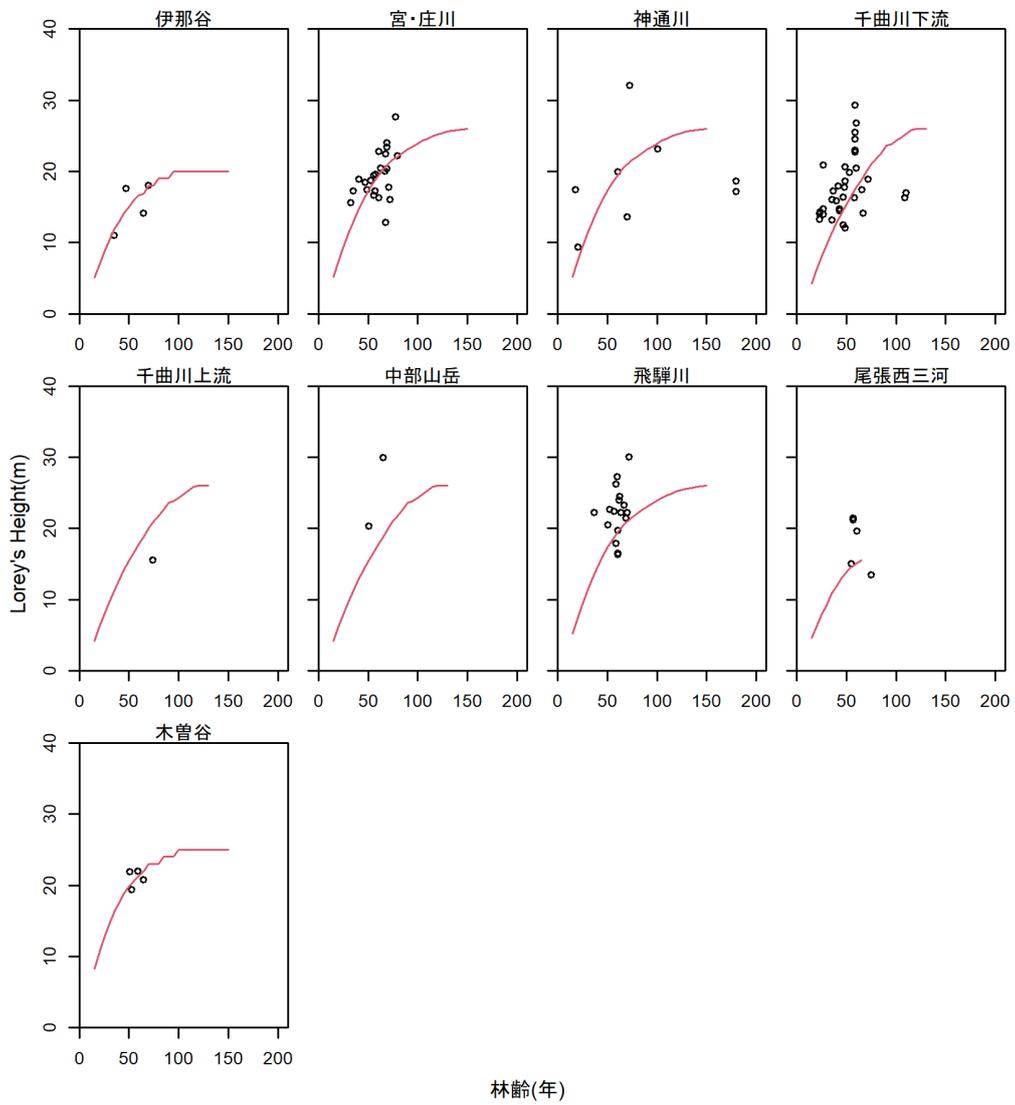


図 2.2.14 計画区別の収穫調査データの林齢－樹高関係（中部局管内：スギ）

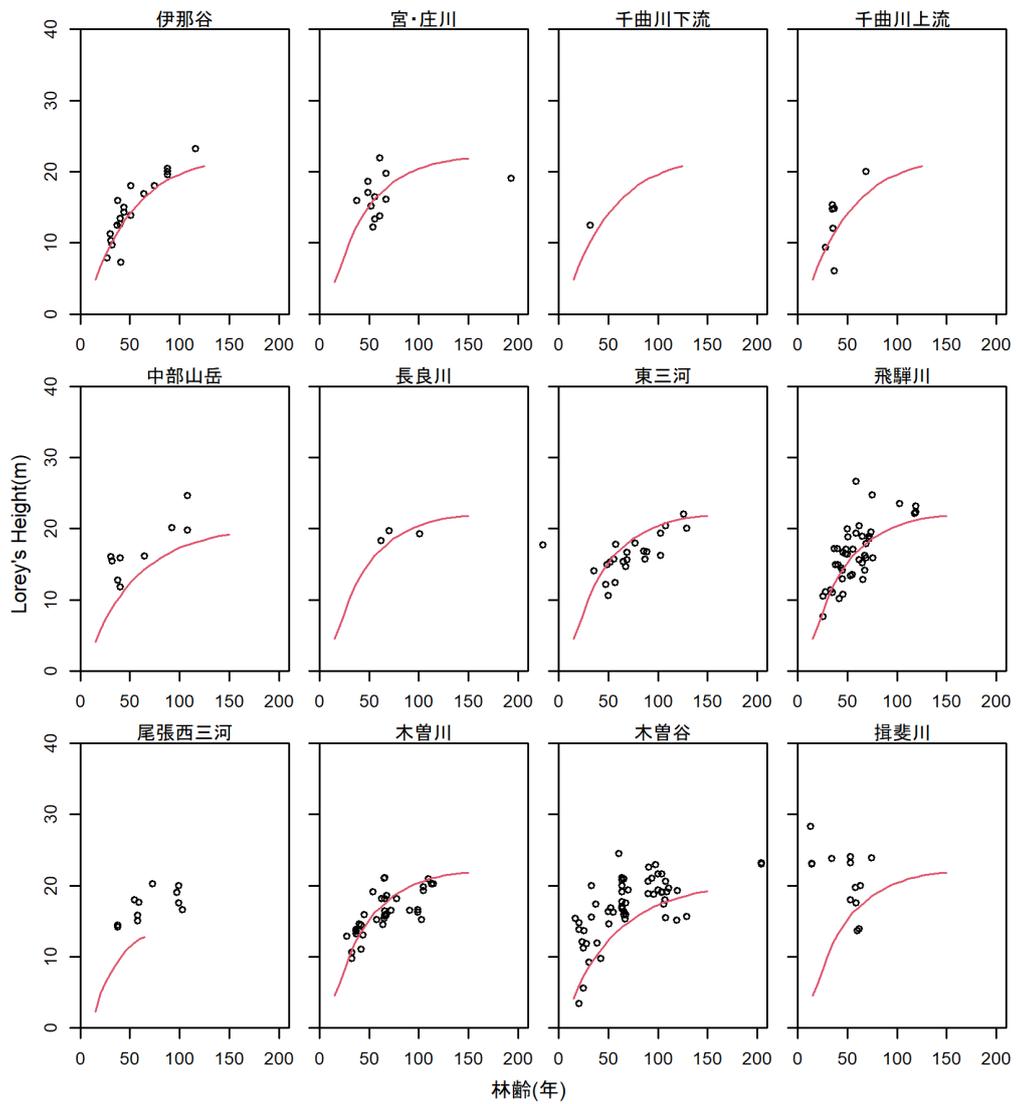


図 2.2.15 計画区別の収穫調査データの林齢—樹高関係 (中部局管内：ヒノキ)

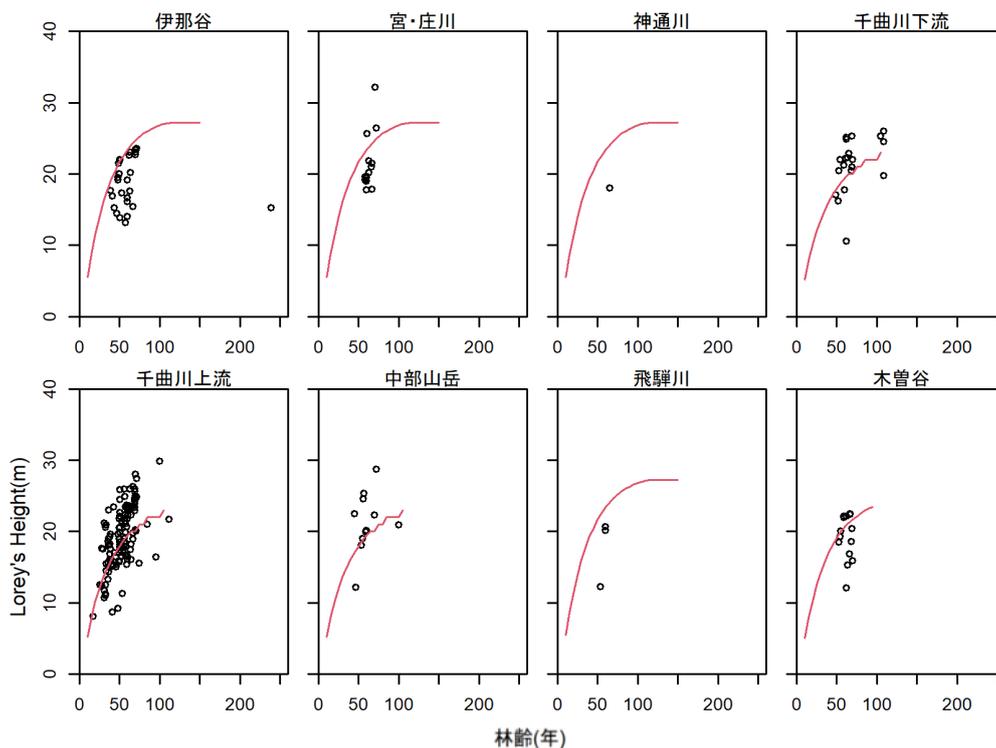


図 2.2.16 計画区別の収穫調査データの林齢－樹高関係（中部局管内：カラマツ）

## (2) 既存事業現地調査データ

東北局・中部局管内の民有林において、過年度に森林資源解析が実施された事業のうち、発注者から成果データの使用許諾を得られた事業を対象に、現地調査データを収集した。

収集した現地調査データの樹種別及び2.1.6章において区分したクラス別のデータ数を表2.2.13に示す。

表 2.2.13 収集した既存事業現地調査データの樹種別・クラス別データ数

局	東北局管内				中部局管内					
	2	5	6	7	1	2	5	6	8	10
スギ	67	0	355	191	204	1	0	30	81	65
ヒノキ	0	0	0	0	188	3	0	8	118	0
カラマツ	70	0	110	133	22	6	0	0	1	52

## (3) 森林生態系多様性基礎調査データ

森林生態系多様性基礎調査データは、公表されているウェブサイト (<http://forestbio.jp/>) から調査期間が第3期（2009～2013年）及び第4期（2014～2018年）のデータを収集した。

なお、公表されているデータのうち、成長予測モデルとの比較に利用できる数値データ

は林齢とha当たり材積であったため、以降の散布図では、林齢とha当たり材積に関する散布図のみに利用した。

収集した森林生態系多様性基礎調査データについて、樹種別及び2.1.6章において区分したクラス別のデータ数を表 2.2.14に、データ分布を図 2.2.17及び図 2.2.18に示す。ただし、調査点の位置5kmメッシュの計画位置であり、実際のプロット位置とはずれが生じる。

表 2.2.14 収集した森林生態系多様性基礎調査データの樹種別・クラス別データ数

局	東北局管内				中部局管内					
	2	5	6	7	1	2	5	6	8	10
スギ	22	21	442	266	85	2	24	58	8	45
ヒノキ	0	0	0	6	212	1	33	28	23	1
カラマツ	6	20	18	58	27	55	70	6	0	21

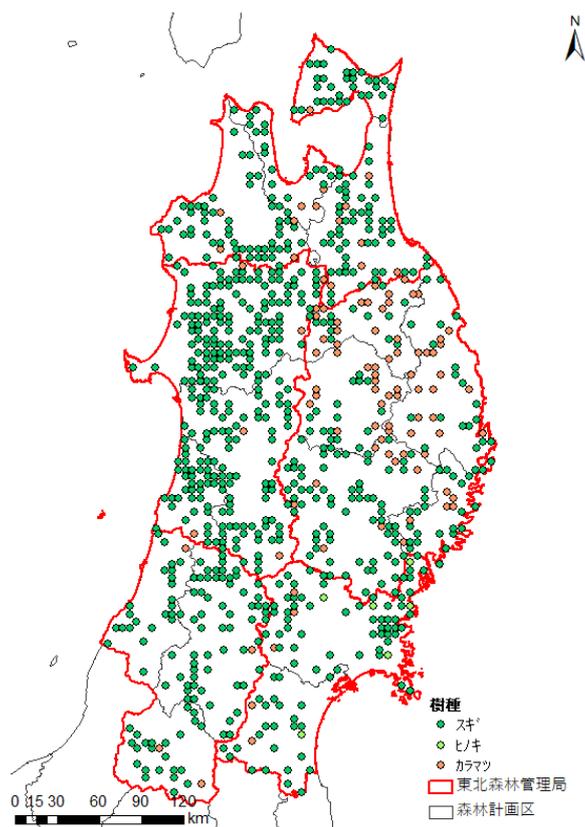


図 2.2.17 収集した森林生態系多様性基礎調査データの分布  
(東北局管内)

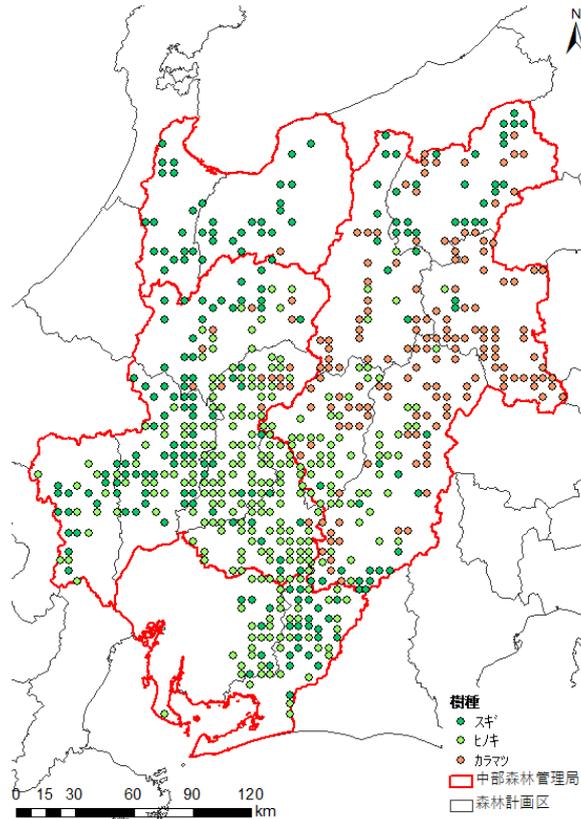


図 2.2.18 収集した森林生態系多様性基礎調査データの分布  
(中部局管内)

### 2.2.1.3 収集したデータの散布図

収集した航空レーザ計測による森林資源解析データ及び3種類の現地調査データ並びに国有林の現行収穫予想表について、林齢－上層樹高 (Lorey' s height)、林齢－平均胸高直径、林齢－ha当たり本数及び林齢－ha当たり材積の関係をそれぞれ局別・樹種別・クラス別・計画区別にプロットした散布図を別冊資料1-2にまとめた。なお、東北局管内のクラス5は航空レーザ計測結果が得られなかった(表 2.1.5参照)ため含めていない。

## 2.2.2 成長予測モデルの構築

東北局及び中部局の管内を対象に成長予測モデルの見直し及び構築を実施した。成長予測モデルの見直しに当たっては、特に過年度から課題となっているha当たり本数及びha当たり材積の推計について、過年度に整備した成長予測モデルより現実林分への適合性を高めるために効果的と考える方法を検討した。見直し案として4つの手法を検討し、それぞれの手法による成長予測モデルを構築した。これらの結果を比較検討し、現実林分への適合性が最も高いものを選定した。

### 2.2.2.1 成長予測モデル構築の流れと見直し方針

現行の成長予測モデル構築の流れと、本事業において見直しを検討した項目について、図 2.2.19に示す。このうち「①航空レーザ計測による森林資源解析」については2.2.1.1章に記載したとおりであり、以降には「②異常データのフィルタリング・補正」から「⑩成長予測モデル（新たな収穫予想表）の構築」までの項目について記載する。

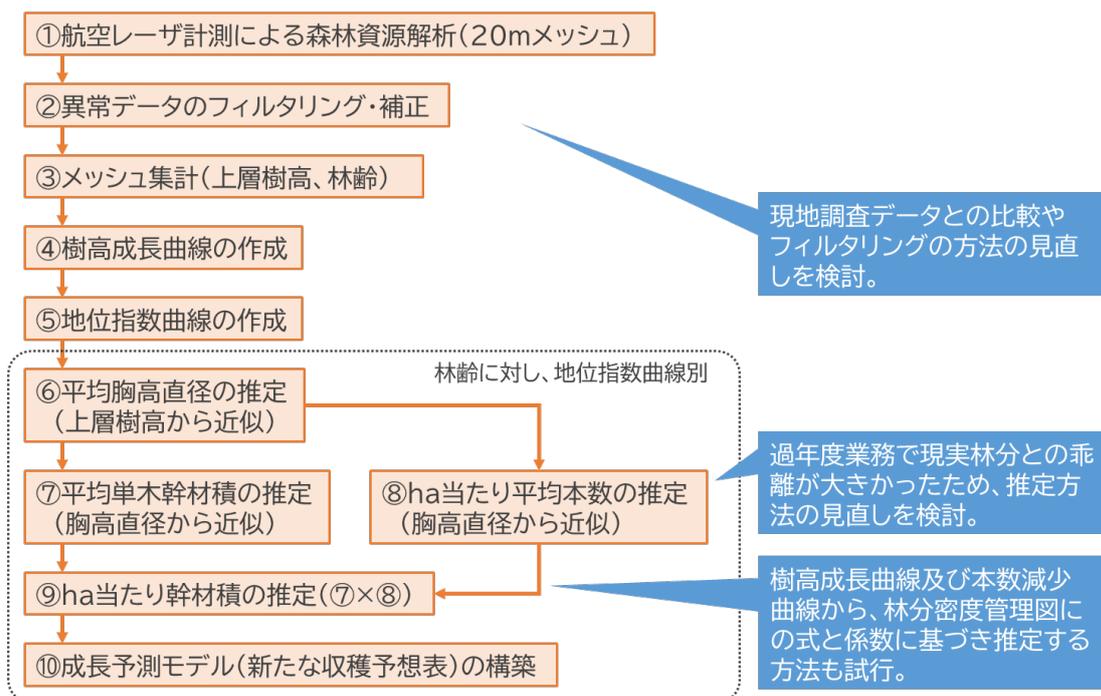


図 2.2.19 現行の成長予測モデルの構築方法と検討事項

過年度までに構築した成長予測モデルにおいては、以下のような課題があった。

- 1) データフィルタリング：航空レーザ計測結果を使用した成長モデルの構築においては、多数のサンプルデータを取得できる一方、異常値も含んでしまう。
- 2) ha当たり本数：平均胸高直径からha当たり本数を推定する相関式について、現実林分の本数のばらつきが大きいため、現実の本数分布を再現しきれていない。また、植栽

後、一定年数を経てから自己間引きにより本数が減り始めるといった現実林分での一般的な経年変化も表せていない。

- 3) 材積成長量のピーク：樹高成長をベースとしたモデルであるため、樹高よりも遅れて成長する傾向のある胸高直径の成長が織り込まれず、結果として材積成長量のピークが一般的な林分よりも早くなっている。

本事業では上記の課題に対応し、「②異常データの検証・フィルタリング・補正」においてフィルタリングの追加を検討するとともに（2.2.2.2章に詳述）、「⑥平均胸高直径の推定」から「⑨ha当たり幹材積の推定」までの工程において、ha当たり平均本数の推定方法の見直しや、樹高成長曲線及び本数減少曲線から林分密度管理図の式と定数に基づきha当たり材積を推定する方法<sup>12</sup>を検討した（2.2.2.4章に詳述）。

### 2.2.2.2 異常データのフィルタリング・補正及びメッシュ集計

航空レーザ計測結果は、多数のサンプルデータを取得できる一方、異常データも含んでいることから、以下のとおり異常データのフィルタリング及び補正を実施した上で、最終的なメッシュ集計を行った。

#### (1) 異常木及び異常メッシュのフィルタリング

令和5年度事業では以下のフィルタリングを実施しており、本事業においても実施した。

- 形状比が40未満又は150以上となる単木は、樹高－胸高直径関係が適切に推定できていない異常値と考え、除外した。
- メッシュは小班区画、林相区画の境界と交差しないものを対象とした。
- メッシュ内立木本数が0本となるメッシュは除外した。
- 森林簿の林齢が0年となるメッシュは除外した。
- 林齢と樹高の関係性から、「樹高/林齢 $>1.2$ 」のデータ（例えば林齢10年で樹高12m以上、林齢20年で樹高24m以上）、「樹高/林齢 $<0.1$ 」のデータ（例えば林齢100年で樹高10m未満）は異常値と考え、集計から除外した。
- 造林樹種において森林簿の林齢が200年生以上のデータは異常値の可能性はある。過年度事業において、林齢が200年生以上のメッシュを目視確認した結果、実際は樹高が低く若齢と見られる林分や広葉樹等の混交林が分布しているケースが多く、成長予測モデルの作成に適している林分は少ないと考えられた。そのため、林齢200年生以上のメッシュは除外した。
- メッシュ内立木本数が9本未満のメッシュについて、単木樹頂点位置の分布を目視で確認し、メッシュ内に偏って分布するメッシュは林縁部で樹形が標準的でない可能性が

---

<sup>12</sup> 林野庁（2024）林分密度管理図による収穫予想表作成の手順書（民有林スギ人工林版）。  
[https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin\\_keikaku/attach/pdf/con\\_3-60.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin_keikaku/attach/pdf/con_3-60.pdf)

あるため除外した（図 2.2.20）。

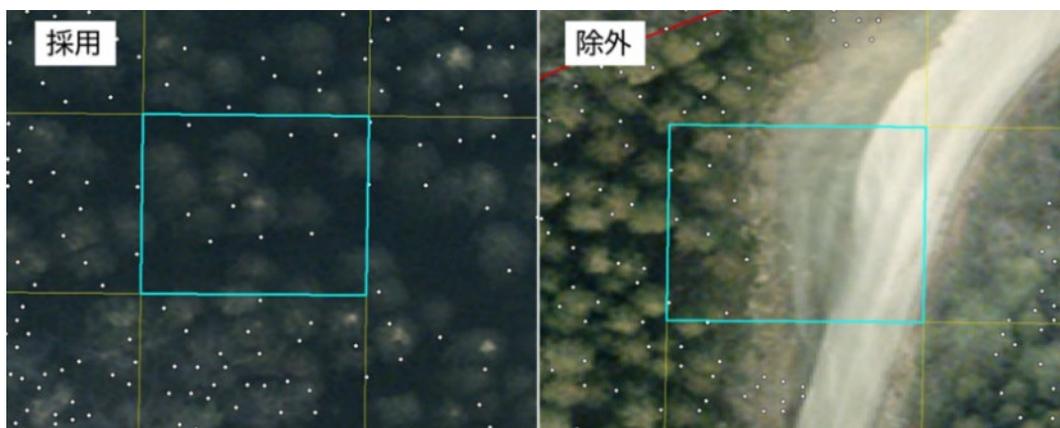


図 2.2.20 メッシュ内の単木樹頂点位置の分布確認イメージ  
(左：採用 右：除外)

さらに本事業では、樹高だけでなく胸高直径や本数についても異常値を抽出できるよう、以下のフィルタリングを追加した。

- 胸高直径については、林齢-樹高関係のフィルタリングを参考とし、また正常なデータを除去してしまわないよう留意して、「平均胸高直径/林齢 $>2$ 」及び「平均胸高直径/林齢 $<0.1$ 」のデータを除外した（図 2.2.21）。
- 立木密度（haあたり本数）については、各林分における施業の仕方により変化するものであり、変化の幅が大きいため一律の除外は難しいところであるが、明らかに異常値と考えられるものとして、「立木密度 $<100$ 」のデータを除外した（図 2.2.22）。

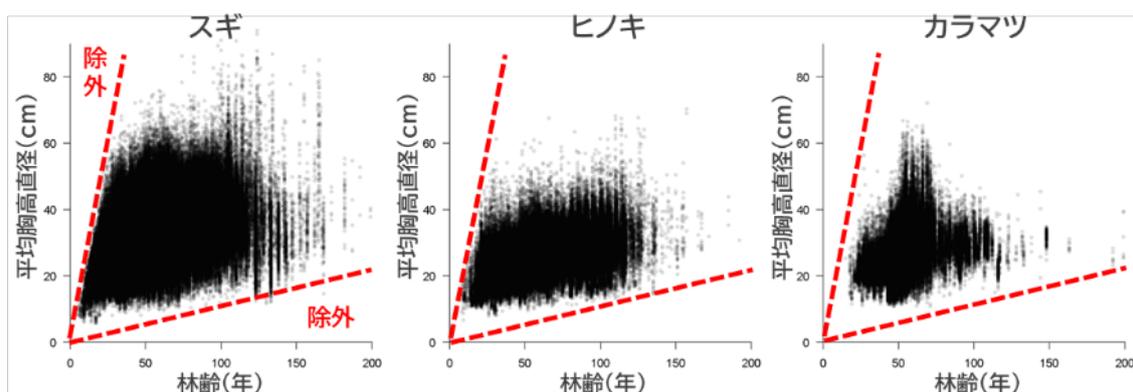


図 2.2.21 林齢-胸高直径関係のフィルタリングイメージ  
(中部局のメッシュデータでの例) ※過年度までのフィルタリング実施後

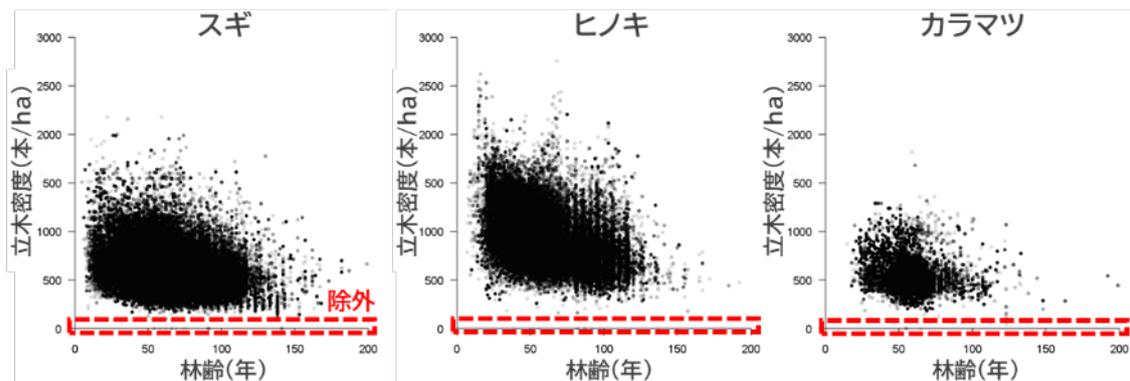


図 2.2.22 林齢-立木密度関係のフィルタリングイメージ  
(中部局のメッシュデータでの例) ※過年度までのフィルタリング実施後

## (2) データの補正

過年度事業と同様に、以下のデータ補正処理を実施した。

- 航空レーザ計測時の年と、森林資源解析を実施した年（解析データに森林簿の林齢を付与した年）が異なっているデータについては、森林簿の林齢を計測当時の林齢に逆算して補正した。補正の結果、林齢が0以下となってしまうデータは除外した。
- 国有林の森林調査簿など、1つの小班に樹種・林齢データが3つずつ紐づいている場合がある。原則として「樹種1」に紐づく「林齢1」を採用したが、「林齢>樹高」となるデータは異常値の可能性があるため、これらについて、「樹種2」又は「樹種3」が林相判読結果の樹種と一致している場合は「林齢2」又は「林齢3」を採用した。いずれにも一致せず、林齢が10未満のデータは異常値と考え集計から除外した。
- 平均樹高が著しく低いメッシュについては、立木間のギャップに存在する低木等の単木ポイントが影響している可能性がある。樹高成長曲線の作成には上層樹高を用いるため、そのような低木の影響を軽減する目的でLorey's heightを計算し上層樹高として用いることとした。

Lorey's heightは、胸高断面積を重みとする加重平均樹高であり、以下の式で計算できる。ここで、 $H_{Lorey}$ はLorey's height(m)、 $BA_i$ は胸高断面積( $\text{cm}^2$ )、 $DBH_i$ は胸高直径(cm)、 $H_i$ は樹高である（参考：Pourrahmati et al., 2018<sup>13</sup>等）。

$$H_{Lorey} = \frac{\sum_{i=1}^n BA_i \times H_i}{\sum_{i=1}^n BA_i} = \frac{\sum_{i=1}^n DBH_i^2 \times H_i}{\sum_{i=1}^n DBH_i^2}$$

<sup>13</sup> Rajab Pourrahmati, M., Baghdadi, N., Darvishsefat, A. A., Namiranian, M., Gond, V., Bailly, J. S., & Zargham, N. (2018). Mapping Lorey's height over Hyrcanian forests of Iran using synergy of ICESat/GLAS and optical images. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 100-115.

### 2.2.2.3 樹高成長曲線及び地位指数曲線の作成方法

樹高と林齢の関係から、樹高成長曲線を作成した。適用する成長式の候補として、過年度事業までの検討を踏まえ、リチャーズ式を採用した。

$$\text{リチャーズ式} : H_t = a(1 - b \cdot e^{(-c)t^d})$$

$t$ は林齢、 $H_t$ は林齢 $t$ における上層樹高、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 及び $d$ は定数である。定数 $a$ は理論上の最大樹高となる。

なお、本事業で作成する成長曲線は、若齢林の成長についても適切に表せることが重要であり、原点を通る必要がある。そのため、リチャーズ式の定数 $b$ は1に固定した。20mメッシュ別に求めた林齢と樹高データから、非線形回帰によりリチャーズ式の $a$ 、 $c$ 及び $d$ の定数を求めた。

回帰の際は、年齢毎に外れ値を算出し、それを除いたデータを用いて実施した。R(ver. 4.2.1)のboxplot関数により年齢毎の箱ひげ図を作成し、「第3四分位数+ (第3四分位数-第1四分位数) ×1.5」を上回る値、又は「第1四分位数- (第3四分位数-第1四分位数) ×1.5」を下回る値を外れ値として除いた。

求めた成長曲線をガイドカーブとして、上限線と下限線を決定した。各線の決定に当たっては、和口ら (2013) <sup>14</sup>の検討に基づき、以下の式により平均偏差率を算出した。

$$\delta = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{Y - Y'}{Y'} \right|$$

このとき、 $M$ はサンプル数、 $N$ は上層木平均樹高、 $Y'$ は算出したガイドカーブにより求めた樹高である。

この平均偏差率の値を以下の式に代入すると、 $n$ が±2.5のときに分布の95.5%が含まれることから、このときの曲線をガイドカーブの上限・下限線として設定した。

$$H_t = a(1 + n\delta)(1 - e^{(-b)t^c})$$

また、林齢40年時の上限線と下限線の樹高の範囲で得られる偶数の値毎に地位指数曲線を作成した。

### 2.2.2.4 平均胸高直径からha当たり材積までの推定方法

#### (1) 従来方法

令和5年度事業では、各メッシュのデータを用いた上層樹高-胸高直径、胸高直径-単木材積及び胸高直径-ha当たり本数の散布図を基に、以下のとおり、①上層樹高から胸高直

<sup>14</sup> 和口美明, 今治安弥, & 迫田和也. (2013). 長伐期化に対応した奈良県スギ人工林地位曲線の作成.

径、②胸高直径から単木材積及び③胸高直径からha当たり本数を推定する近似式をそれぞれ作成し、単木材積及びha当たり本数からha当たり材積を推定する方法（以下「従来方法」という。）を採用した。

### ① 上層樹高から胸高直径の推定

胸高直径から樹高を求める近似式としては、以下(i)の拡張相対成長式がよく用いられる（伊東，2015<sup>15</sup>）が、成長予測モデルでは上層樹高から胸高直径を求める必要があるため、上記の式を以下(ii)のように変形し、これを用いて上層樹高から胸高直径を推定する近似式を作成した。なお、ここで、 $H$ は樹高、 $D$ は胸高直径、 $a$ 、 $b$ 及び $H_{max}$ は定数であり、特に $H_{max}$ は最大樹高である。

(i) 拡張相対成長式（伊藤，2015）

$$\frac{1}{H - 1.2} = \frac{1}{aD^b} + \frac{1}{H_{max}}$$

(ii) 拡張相対成長式の変形式

$$D = \left( \frac{1}{H - 1.2} - \frac{1}{H_{max}} \right)^{-\frac{1}{b}} \cdot \left( \frac{1}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

### ② 胸高直径から単木材積の推定

胸高直径から単木材積を推定する近似式については、以下の相対成長式を用いた。ここで、 $y$ は単木材積、 $x$ は胸高直径、 $a$ 及び $b$ は定数である。

$$y = ax^b$$

### ③ 胸高直径からha当たり本数の推定

胸高直径からha当たり本数を推定する近似式については、植栽本数に上限があることから、以下のとおり、最大値を指定する定数（ $N_{max}$ ）のある拡張相対成長式の変形式を用いた。

$$N = \frac{N_{max} \cdot a \cdot D^b}{N_{max} + a \cdot D^b}$$

ここで、 $N$ はha当たり本数、 $D$ は胸高直径、 $N_{max}$ 、 $a$ 及び $b$ は定数である。ただし、 $N_{max}$ についてはha当たり本数の最大値であり、植栽本数と一致する必要があるため、回帰による定数探索の対象とせず、標準的な植栽本数として、令和5年度事業を踏襲し、スギ・ヒノキについて3,000本/haに固定した。カラマツについてもスギ・ヒノキと同様に3,000本/haとした。

令和5年度事業では、この推定式により推定したha当たり本数と現実林分との乖離が大きかったことから、本事業では推定式を見直すこととした（以下(2)の見直し案①～③）。

<sup>15</sup> 伊東宏樹. (2015). 樹種間差及び測定誤差を考慮した胸高直径-樹高関係のベイズ推定. 森林総合研究所研究報告, 14(2), 73-74.

## (2) 見直し案

本事業では、成長予測モデルの構築方法の見直しに当たって、ha当たり本数の推定方法を見直す案を3通り検討するとともに（見直し案①～③）、樹高成長曲線及び本数減少曲線から林分密度管理図の式と定数に基づき直接ha当たり材積を推定する方法（見直し案④）を検討した（図 2.2.23）。それぞれの見直し案について以下に記載する。

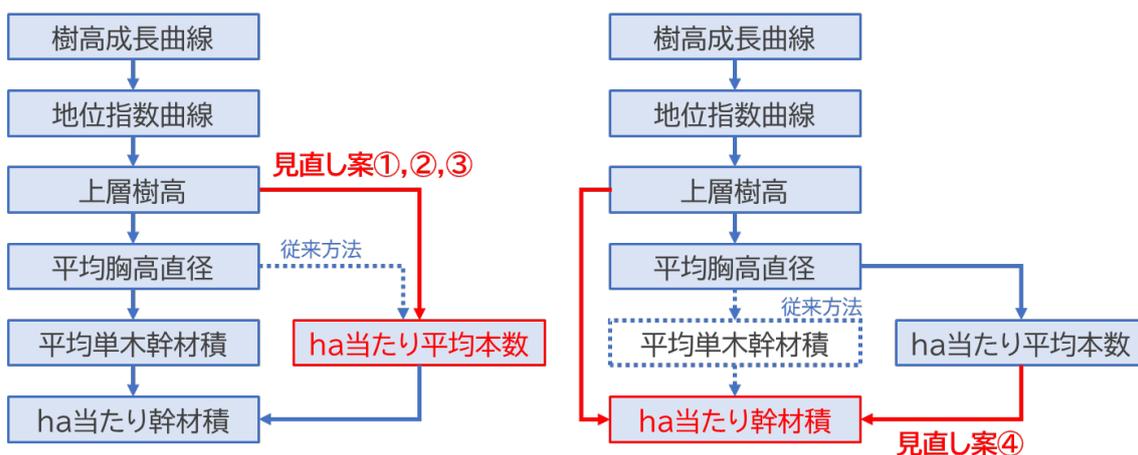


図 2.2.23 上層樹高からha当たり材積までの推定方法の見直し案

### <ha当たり本数の推定方法の見直し>

#### 【見直し案①】

稲田(1991)<sup>16</sup>を参考に、以下の変形ゴンペルツ式を適用し、メッシュデータに対して平均樹高からha当たり本数を求める近似式を作成した。

$$N = N_v - (N_v - N_L) \cdot e^{-a \cdot e^{-b \cdot H}}$$

$N$ : ha当たり本数、 $N_v$ ,  $N_L$ : 上下の漸近線を表す定数、 $H$ : 樹高、 $a$ ,  $b$ : 定数

ここで、 $N_L$ については本数の上限線となるため、従来方法での設定と同様に、標準的な植栽本数を与え固定することとし、スギ、ヒノキで3,000本/haとした。なお、カラマツは3,000本/haでは定数が収束しなかったため2,000本/haとした。

#### 【見直し案②】

林野庁(2024)<sup>17</sup>の手法を参考に、以下のべき乗式を適用し、メッシュデータに対して平均樹高からha当たり本数を求める近似式を作成した。

<sup>16</sup> 稲田(1991)林分密度管理図に基づく人工林収穫予測表等の作成, 森林計画学会誌 16: 71-85.

<sup>17</sup> 林野庁(2024)林分密度管理図による収穫予想表作成の手順書(民有林スギ人工林版).  
[https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin\\_keikaku/attach/pdf/con\\_3-40.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin_keikaku/attach/pdf/con_3-40.pdf)

$$N = a \cdot b^H$$

$N$ : ha当たり本数、 $H$ : 樹高、 $a, b$ : 定数

### 【見直し案③】

現行収穫予想表の樹高－本数関係をプロットし、そのデータに対して従来方法と同様に拡張相対成長式をフィッティングすることで近似式を求めた。

## <上層樹高及びha当たり本数からha当たり材積を推定する方法>

### 【見直し案④】

林野庁(2024)において示された、以下の林分密度管理図の式と定数を用いて、上層樹高とha当たり平均本数から直接ha当たり幹材積を推定した。ただし、この推定式は民有林のスギ人工林を対象としているため、本事業ではスギの成長予測モデルについてのみ適用を検討した。

$$V = \left( b_1 \cdot H^{b_2} + \frac{b_3 \cdot H^{b_4}}{N} \right)^{-1}$$

$V$ : ha当たり幹材積、 $N$ : ha当たり本数、 $H$ : 樹高、 $b_1, b_2, b_3, b_4$ : 定数

ここで、ha当たり本数については、後述するとおり従来方法による計算結果を使用した。定数 $b_1, b_2, b_3, b_4$ については、林野庁(2024)において7つの地域区分により設定されていることから、本事業では、東北局管内に該当する「表東北」、中部局管内に該当する「北関東・東山」の定数を使用した(表 2.2.15)。

表 2.2.15 見直し案④に用いた密度管理図の定数

成長予測モデル	林野庁(2024)の地域区分	スギ人工林密度管理図の定数			
		$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$
東北局管内	表東北	0.013	-1.02379	7256	-2.933
中部局管内	北関東・東山	0.0131	-1.02748	8237	-2.94356

### 2.2.2.5 成長予測モデルの構築結果

東北局管内及び中部局管内における成長予測モデルの構築結果(従来方法及び見直し案①～④)について、樹種・クラス別にグラフで示した(別冊資料2の2)。グラフには、モデルの比較対象として、収穫調査、既存事業現地調査及び森林生態系多様性基礎調査による現地調査データ並びに該当地域の国有林の現行収穫予想表の値を併せて表示した(ただし、森林生態系多様性基礎調査データについてはha当たり材積のグラフにのみ表示)。

本章では、これらの成長予測モデルの構築結果から、本事業においてモデルの構築方法を見直した部分を中心に抜粋しつつ、結果の傾向や留意点について述べる。

### (1) 樹高成長曲線

樹高成長曲線（図 2.2.24～図 2.2.28：林齢150程度以上は非表示）については、全体的な傾向として、今回作成したガイドカーブ（赤線）の方が、国有林の現行収穫予想表の値を上回っており、現行収穫予想表では現実林分を過小評価している可能性が示唆された。

東北局管内のスギのクラス2（図 2.2.24）や中部局管内のスギのクラス10（図 2.2.26）などでは、初期に成長が良くガイドカーブの樹高が高いものの、100年生以上の高齢級ではプロットされたデータの樹高が低く、ガイドカーブを下回っている。これは、近年において地位が高く成長が良い林分を中心に主伐・更新が行われ齢級が低くなっている一方、成長の悪い林分は伐採されずに残され高齢級化しているために樹高が低い、という状況を反映していた可能性がある。本成長予測モデルは、時系列データを使ったものではなく、異なる齢級の林分を一時期で同時に使用したデータ（クロスセクションデータ）である。そのため、今回の結果のように、若齢林が過大評価となってしまうなど、本来の成長とは異なる可能性があることに留意が必要である。

また、東北局管内のカラマツのクラス2（図 2.2.25）をはじめとして、20年生以下の若齢級林分及び100年生以上の高齢級林分は、いずれの地域でもデータ数が少なくなるため、その他の齢級と比べ信頼性が低いと考えられ、利用に当たっては注意が必要である。

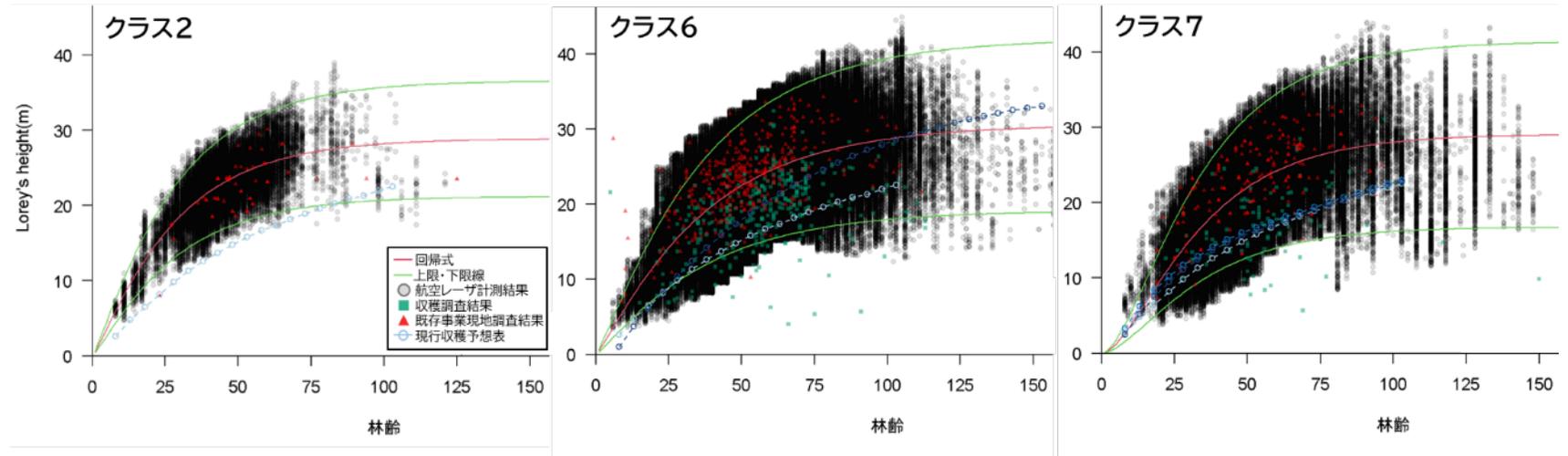


図 2.2.24 樹高成長曲線 (東北局管内：スギ)

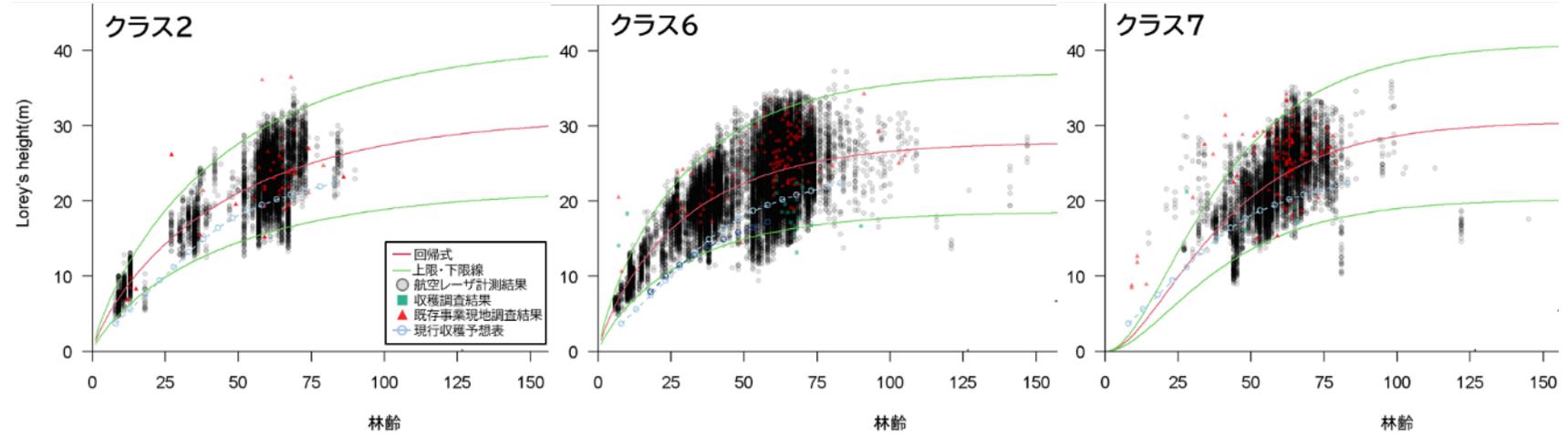


図 2.2.25 樹高成長曲線 (東北局管内：カラマツ)

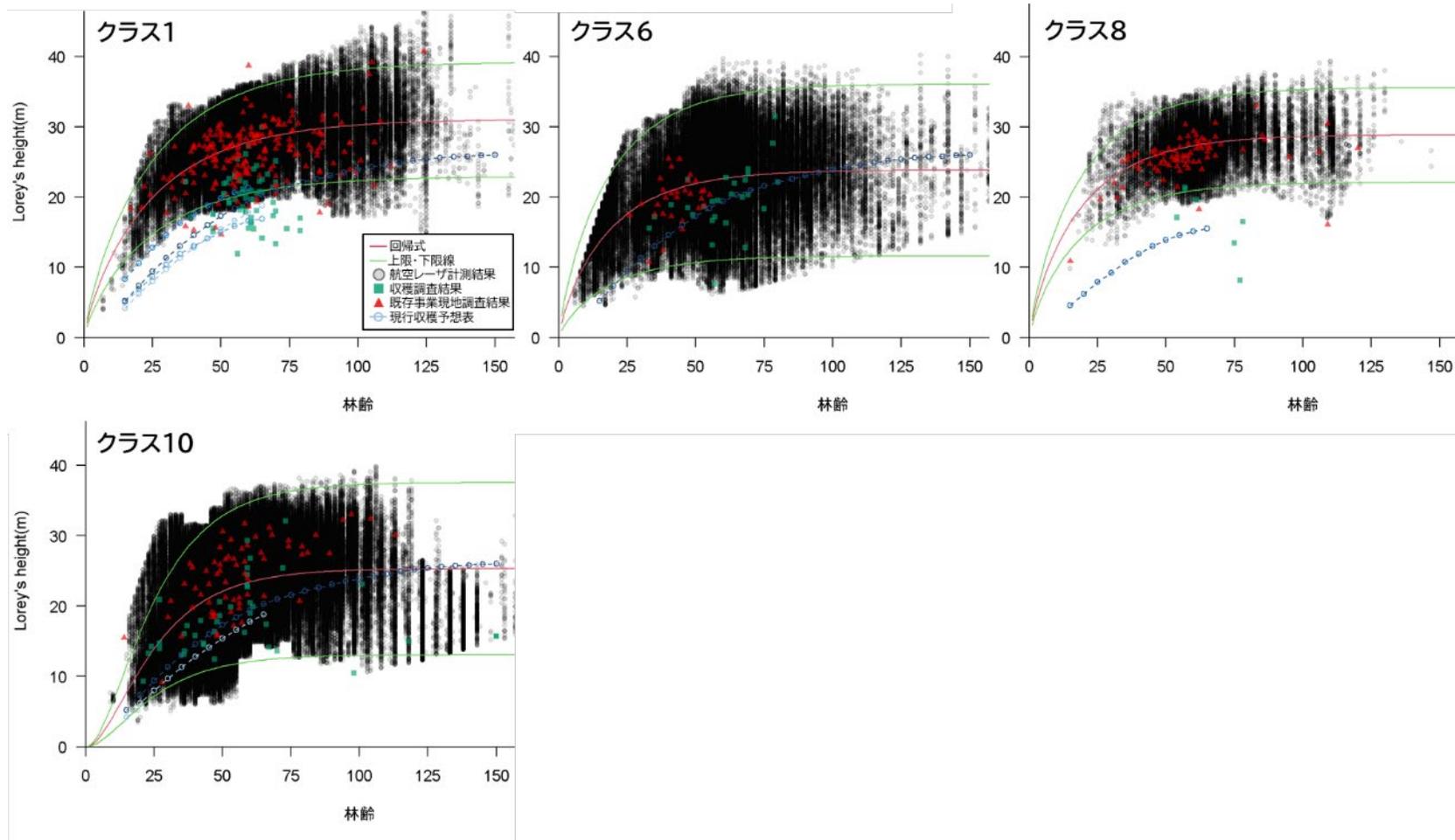


図 2.2.26 樹高成長曲線（中部局管内：スギ）

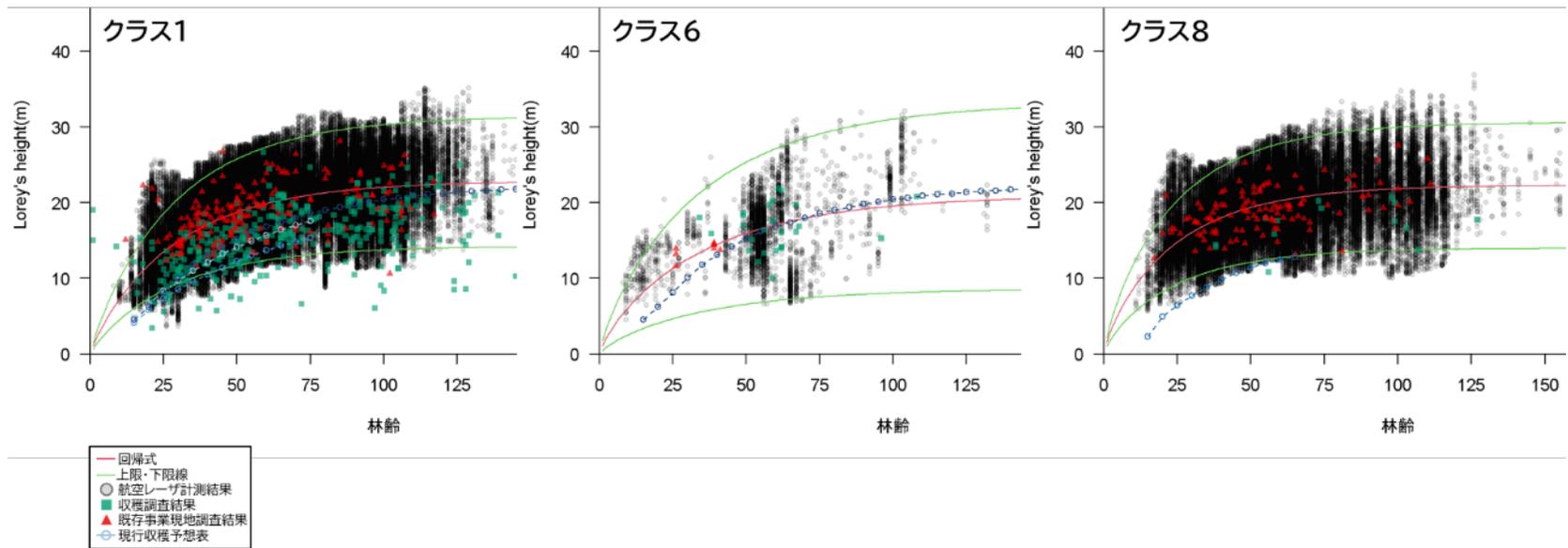


図 2.2.27 樹高成長曲線（中部局管内：ヒノキ）

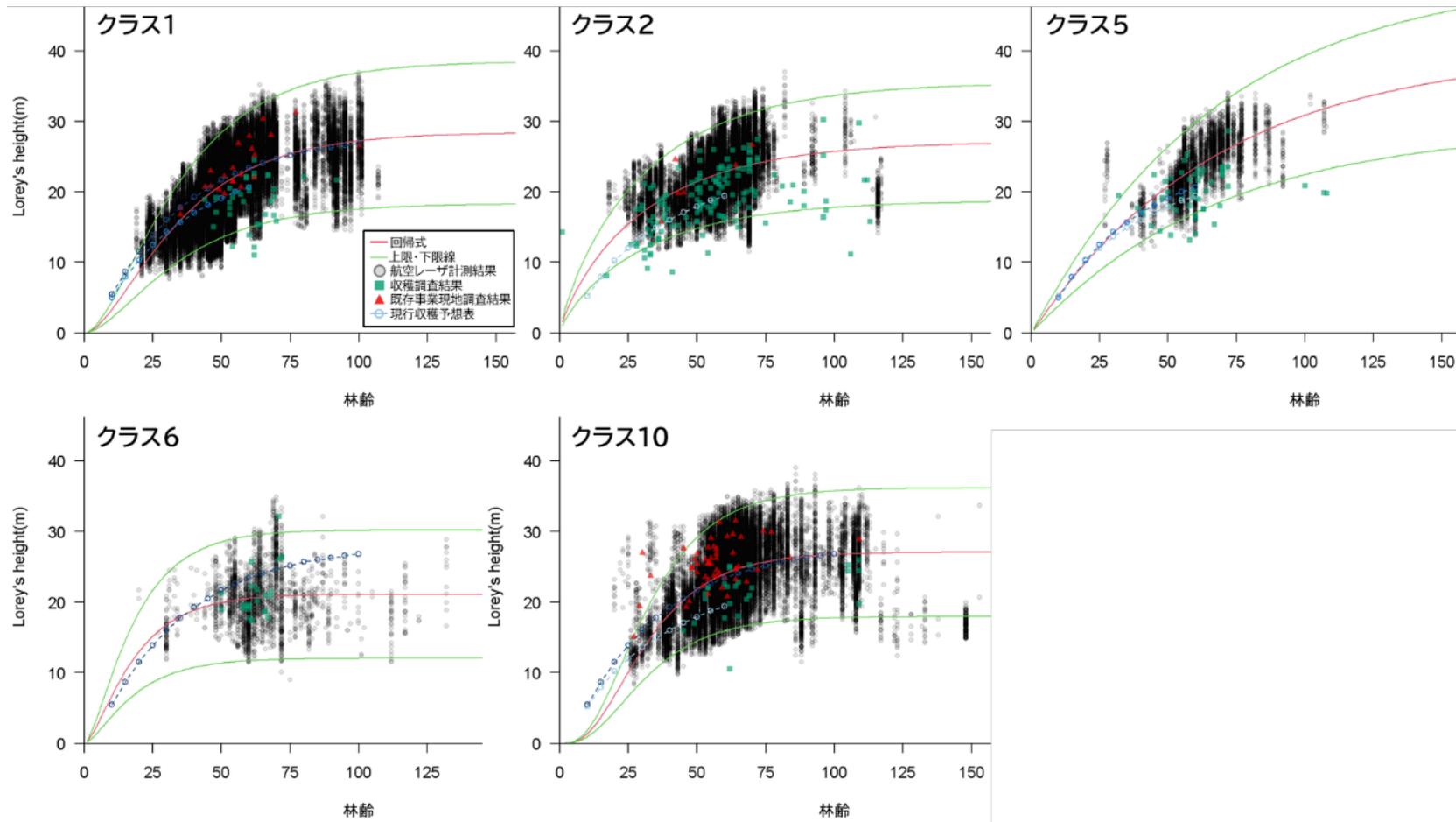


図 2.2.28 樹高成長曲線（中部局管内：カラマツ）

## (2) ha当たり本数の推定結果の比較

ha当たり本数については、従来方法と見直し案①～③による推定結果を比較した（図 2.2.29～図 2.2.46）。

従来方法では、ばらつきの大きい現実林分の本数分布を再現しきれていないことや、植栽後一定年数を経てから本数が減り始めるといった一般的な変化を表せていないことが課題であった。

これに対し、見直し案①では、カラマツなどで本数曲線が逆S字型となり、成長初期については実際の減少傾向と近くなったと考えられるが、その後の減少がほぼ発生せず一定となってしまう、ha当たり材積の再現性は悪かった。

見直し案②では、成長初期の本数が過小評価となる場合が多かった。

見直し案③では、全体的に顕著な本数の過小評価傾向が見られ、ha当たり材積も過小評価傾向となった。当該案では、現行収穫予想表の樹高一本数関係から従来方法と同様に拡張相対成長式による近似式を求めており、樹高が高いほど本数が少なくなる関係性となる。航空レーザ計測結果では樹高が現行収穫予想表の値を上回る場合が多いことから、それに伴い推定本数がかんりの若齢級から減少してしまい、過小評価になったものと考えられた。

以上の結果を踏まえると、ha当たり本数の推定方法については、いずれの見直し案についても従来方法の課題に適切に対応できておらず、従来方法よりも現実林分との乖離が大きくなる場合も見られたことから、課題は残るものの全体的には従来方法を引き続き採用することが妥当と考えられた。

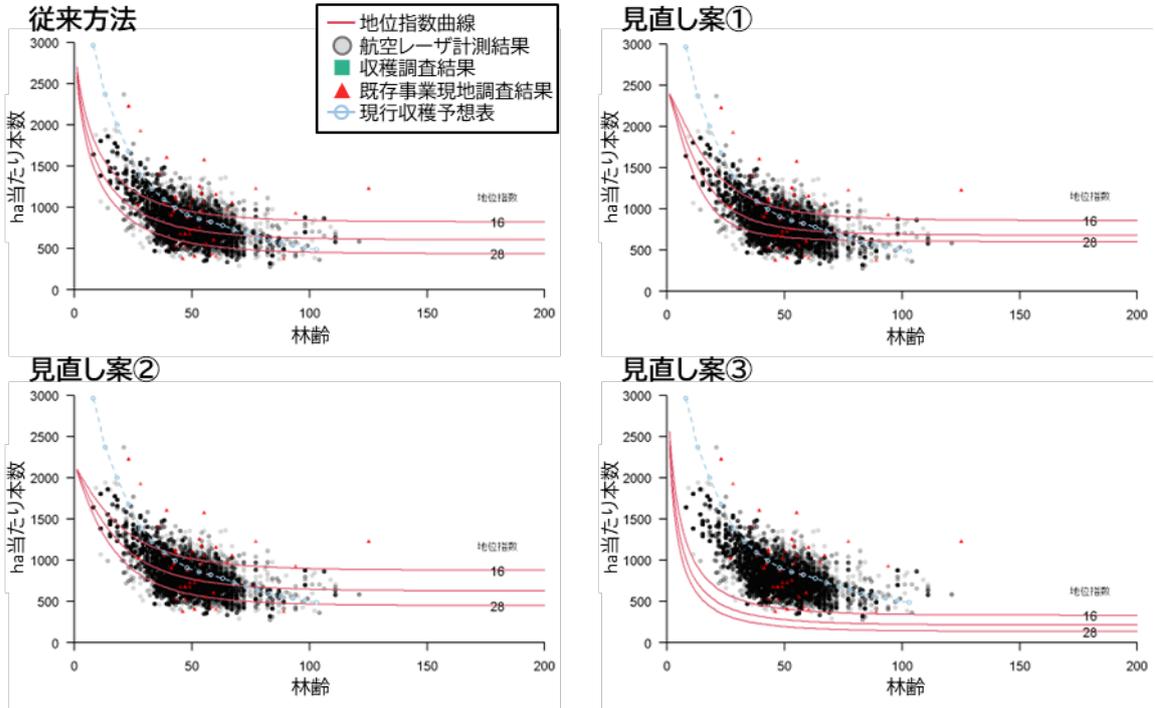


図 2.2.29 haあたり本数の推定結果の比較（東北局管内：スギ：クラス2）

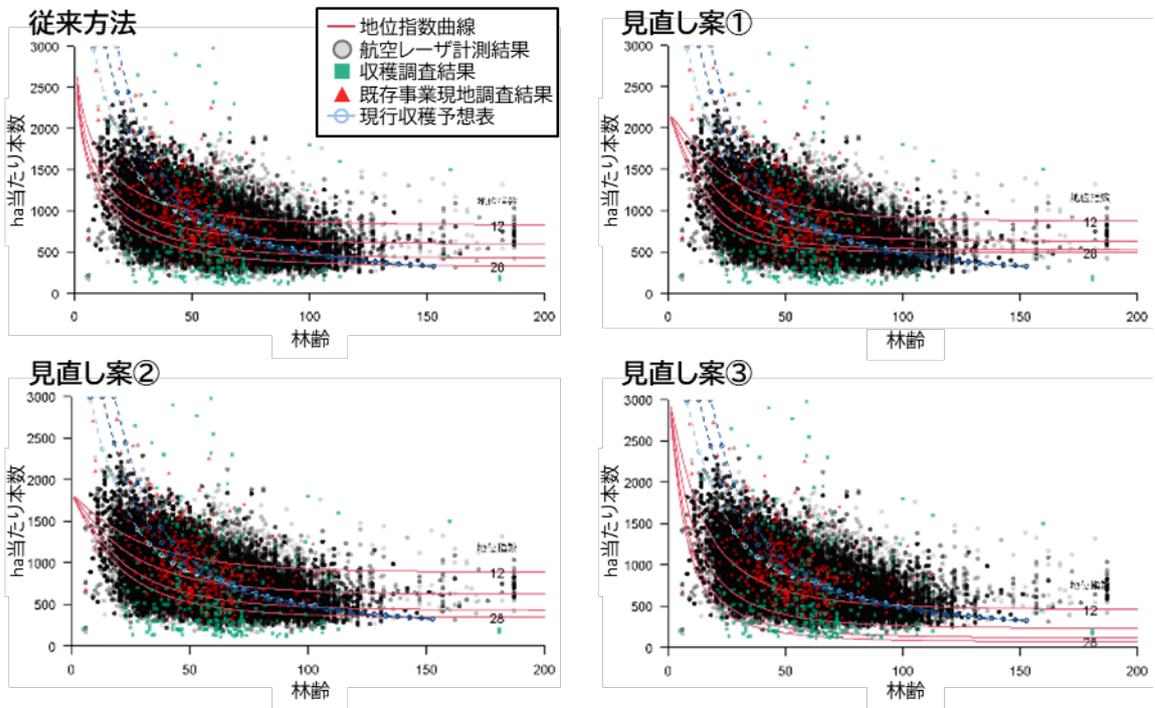


図 2.2.30 haあたり本数の推定結果の比較（東北局管内：スギ：クラス6）

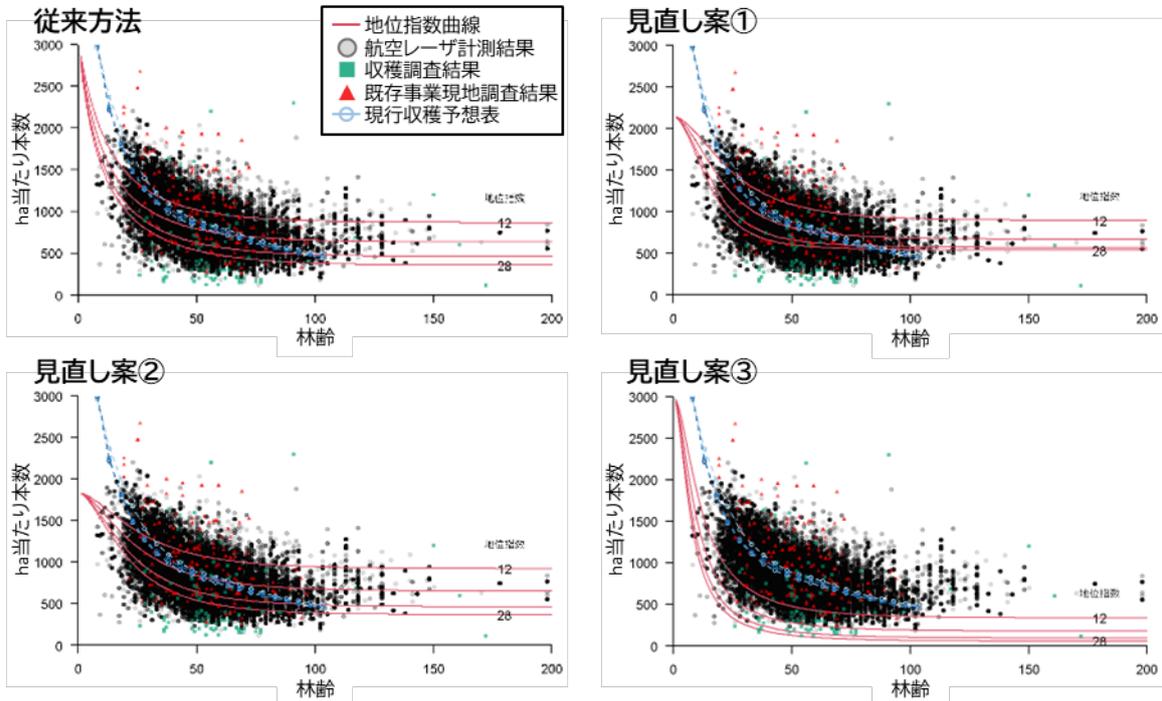


図 2.2.31 ha当たり本数の推定結果の比較（東北局管内：スギ：クラス7）

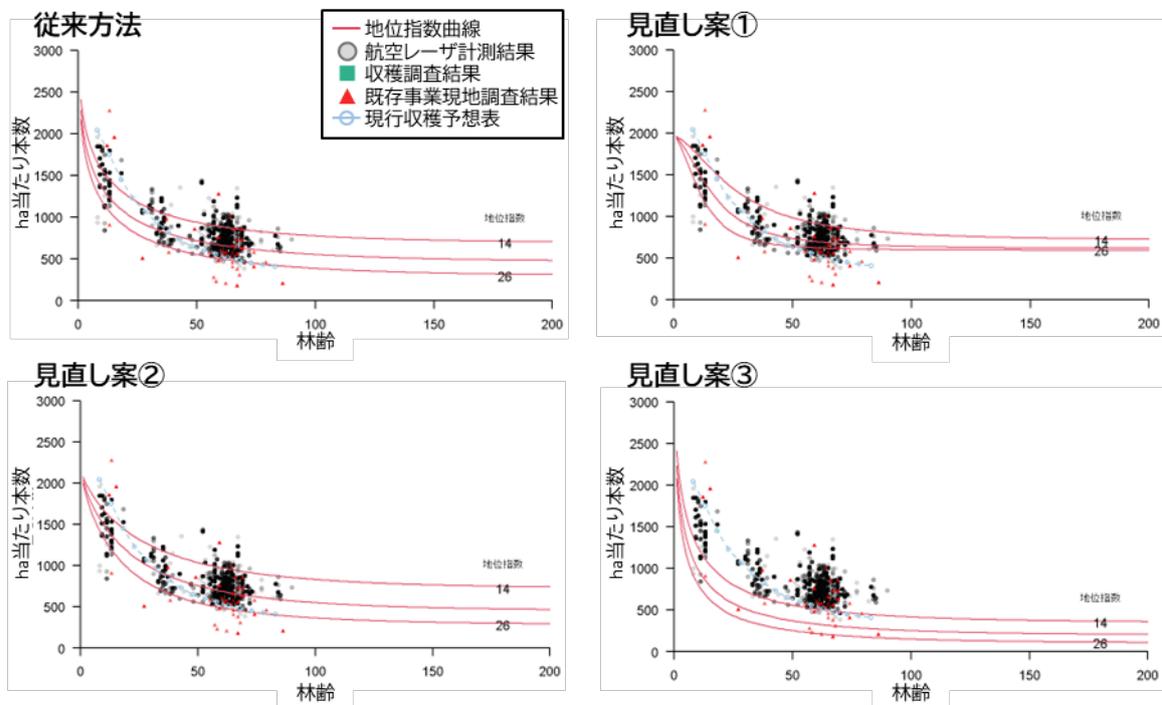


図 2.2.32 ha当たり本数の推定結果の比較（東北局管内：カラマツ：クラス2）

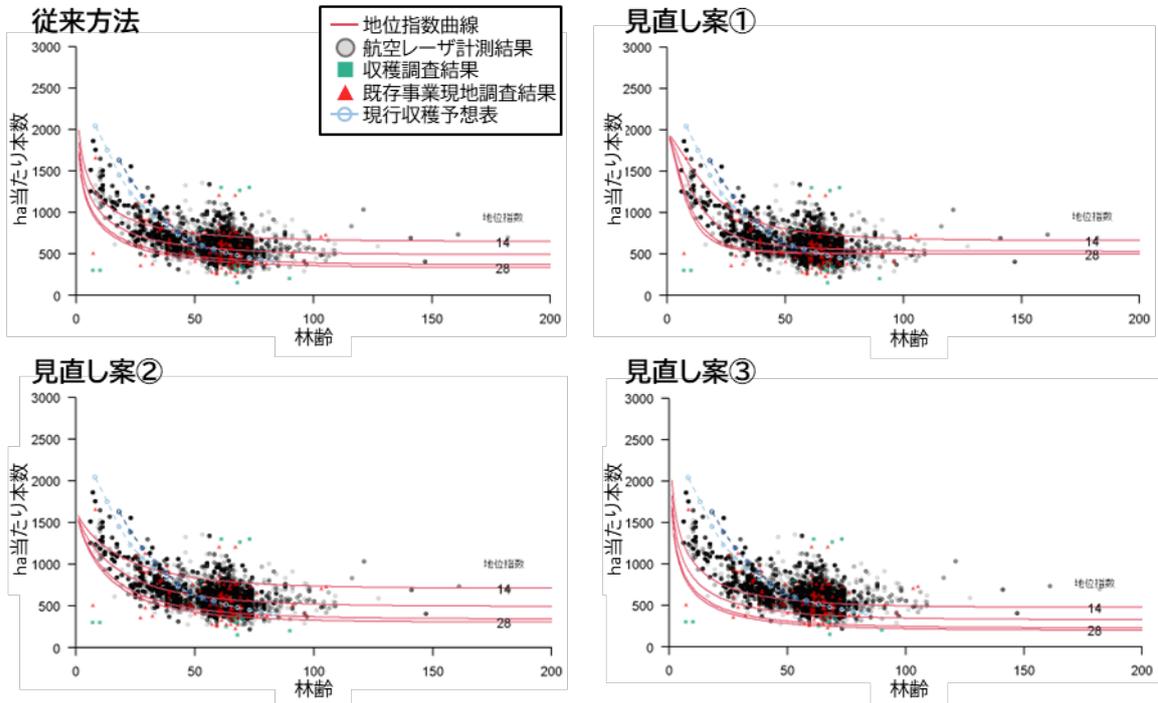


図 2.2.33 haあたり本数の推定結果の比較（東北局管内：カラマツ：クラス6）

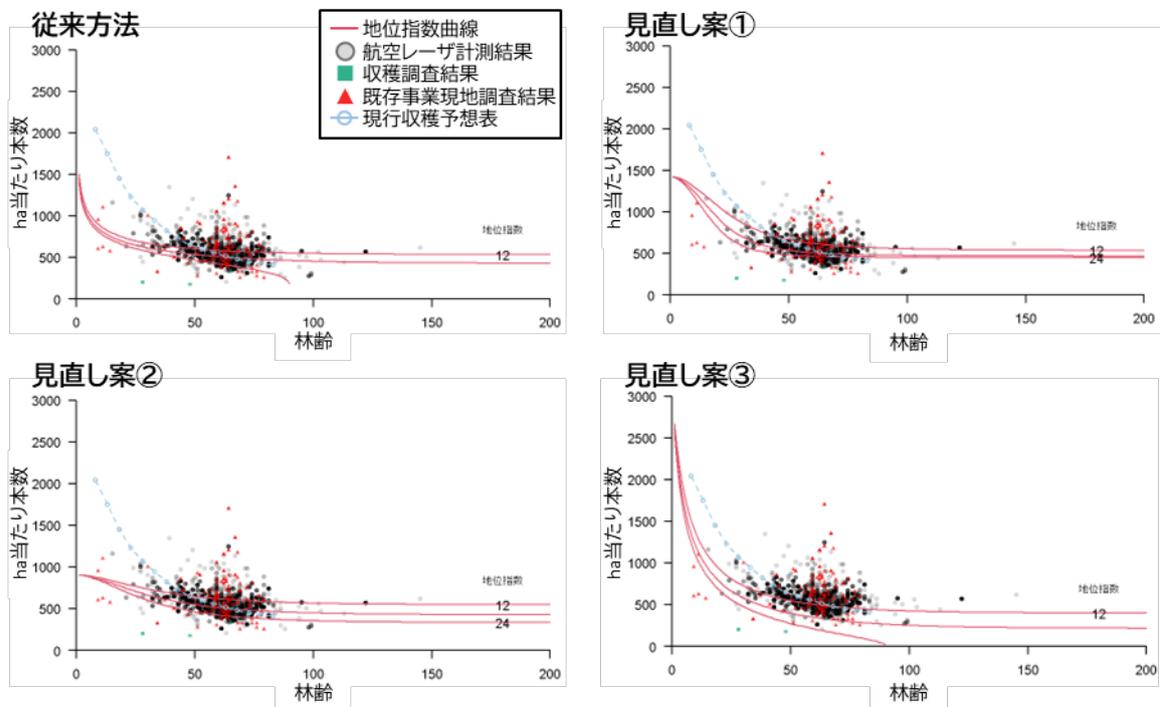


図 2.2.34 haあたり本数の推定結果の比較（東北局管内：カラマツ：クラス7）

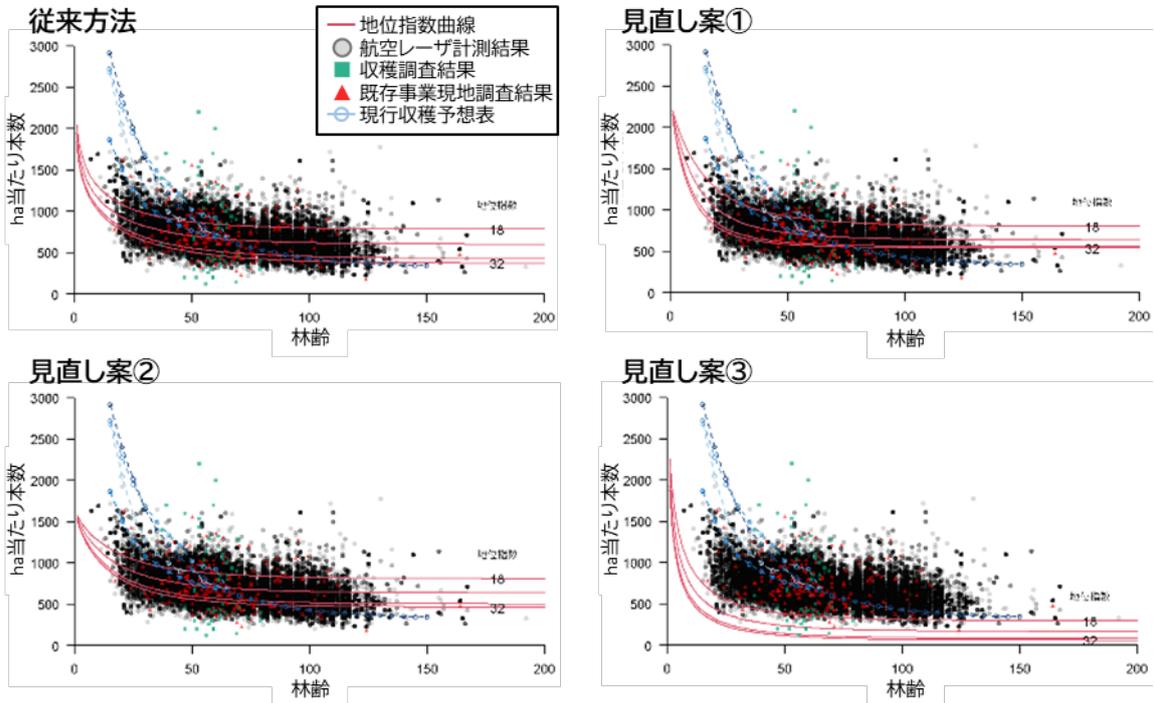


図 2.2.35 ha当たり本数の推定結果の比較（中部局管内：スギ：クラス1）

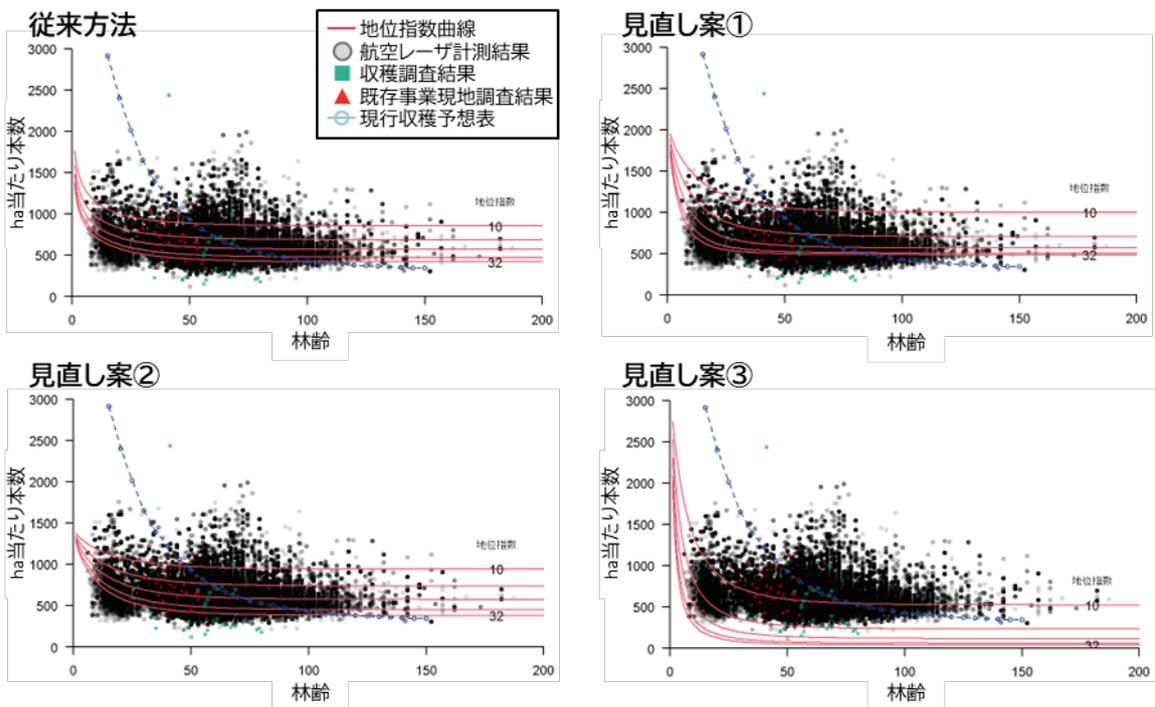


図 2.2.36 ha当たり本数の推定結果の比較（中部局管内：スギ：クラス6）

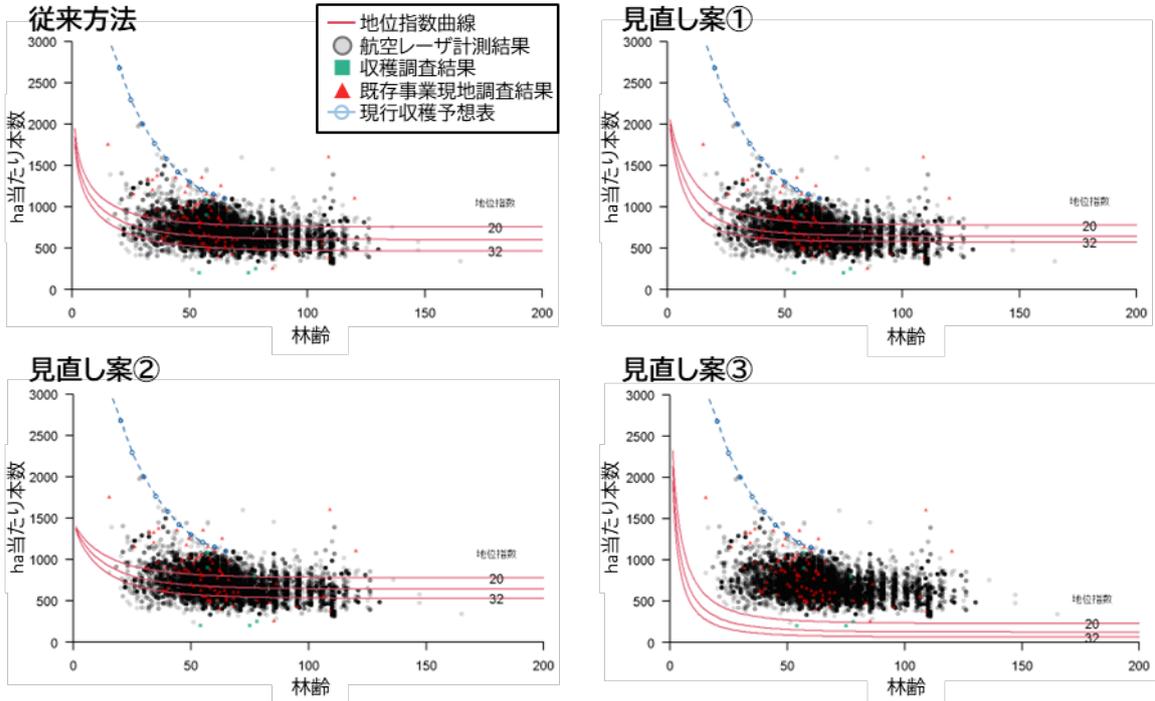


図 2.2.37 haあたり本数の推定結果の比較 (中部局管内: スギ: クラス8)

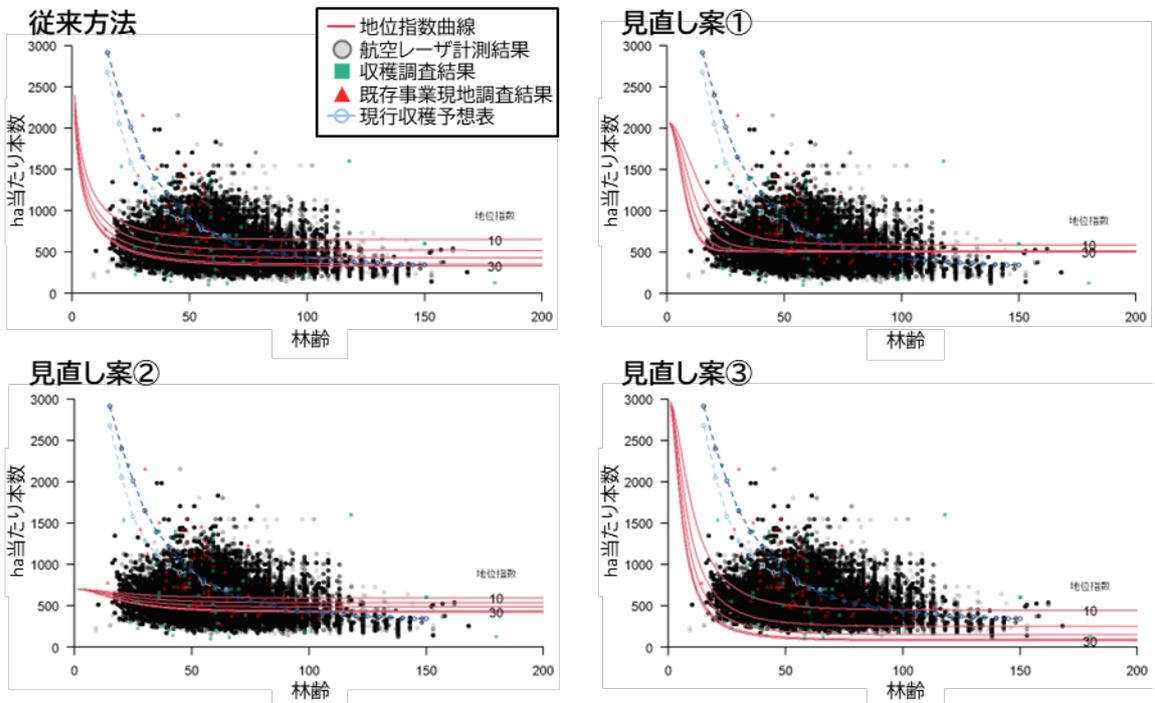


図 2.2.38 haあたり本数の推定結果の比較 (中部局管内: スギ: クラス10)

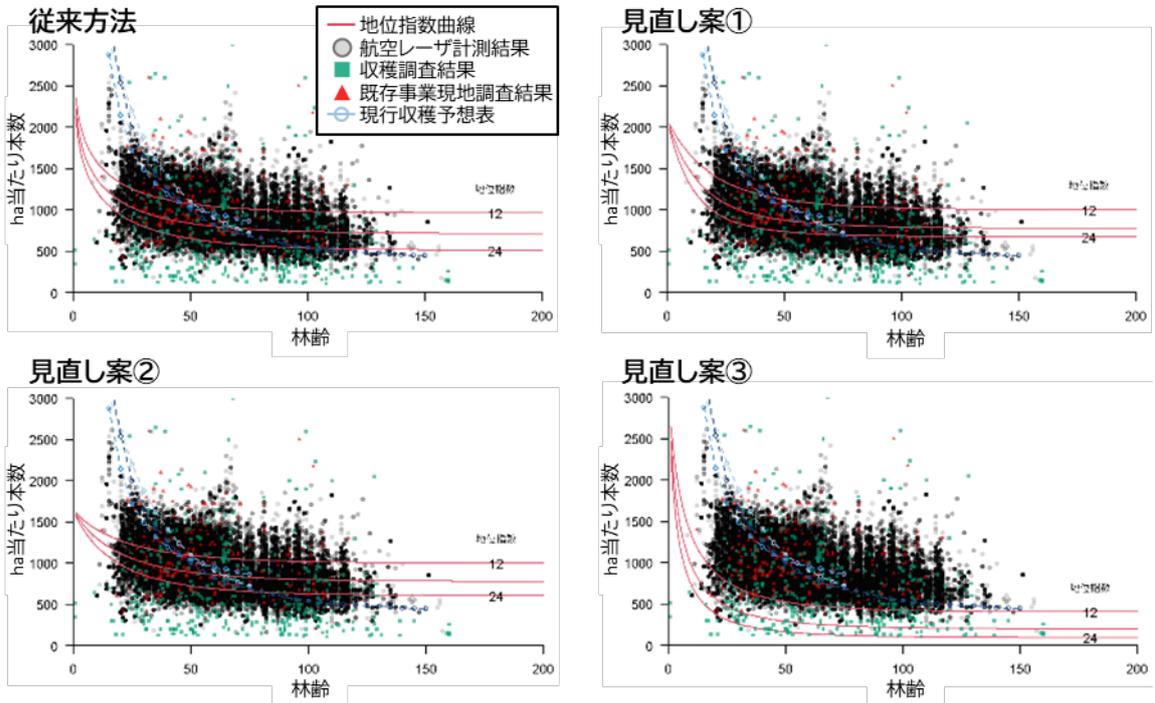


図 2.2.39 ha当り本数の推定結果の比較（中部局管内：ヒノキ：クラス1）

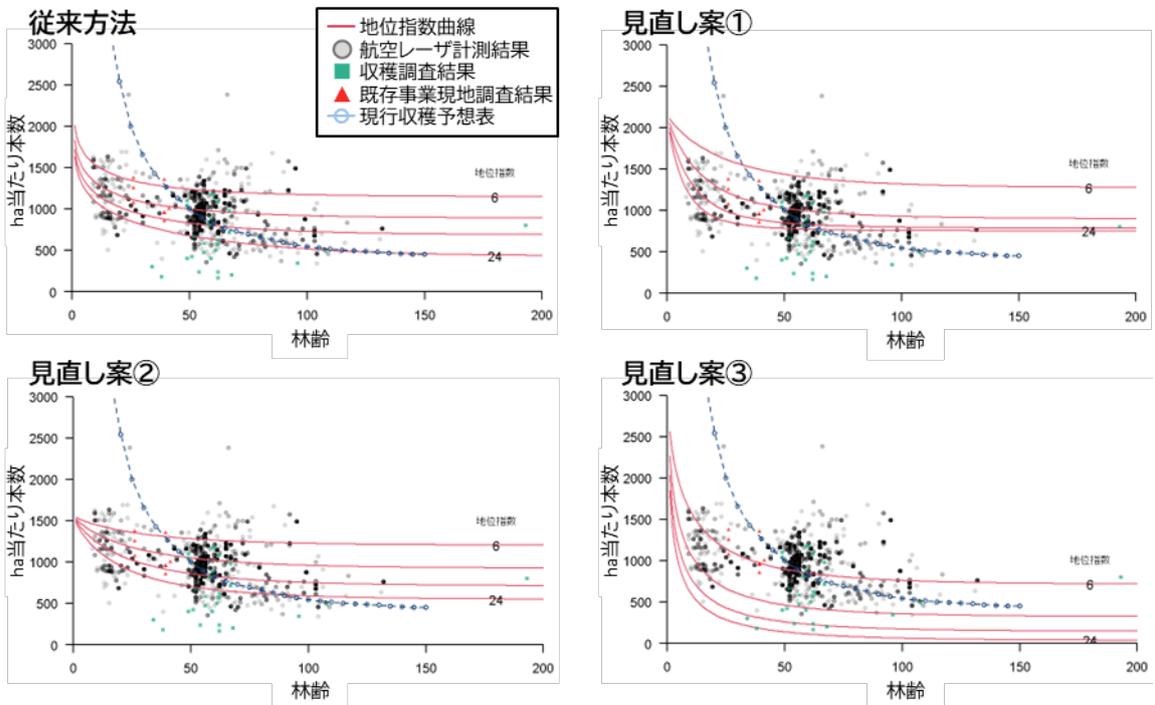


図 2.2.40 ha当り本数の推定結果の比較（中部局管内：ヒノキ：クラス6）

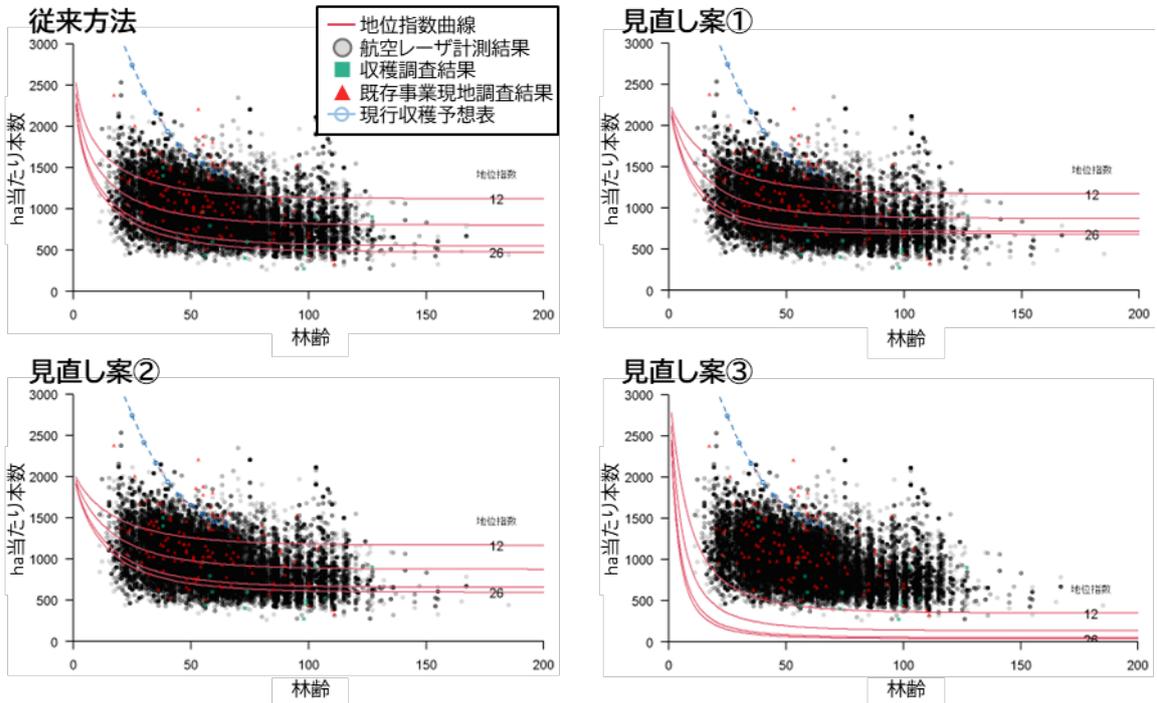


図 2.2.41 ha当たり本数の推定結果の比較（中部局管内：ヒノキ：クラス8）

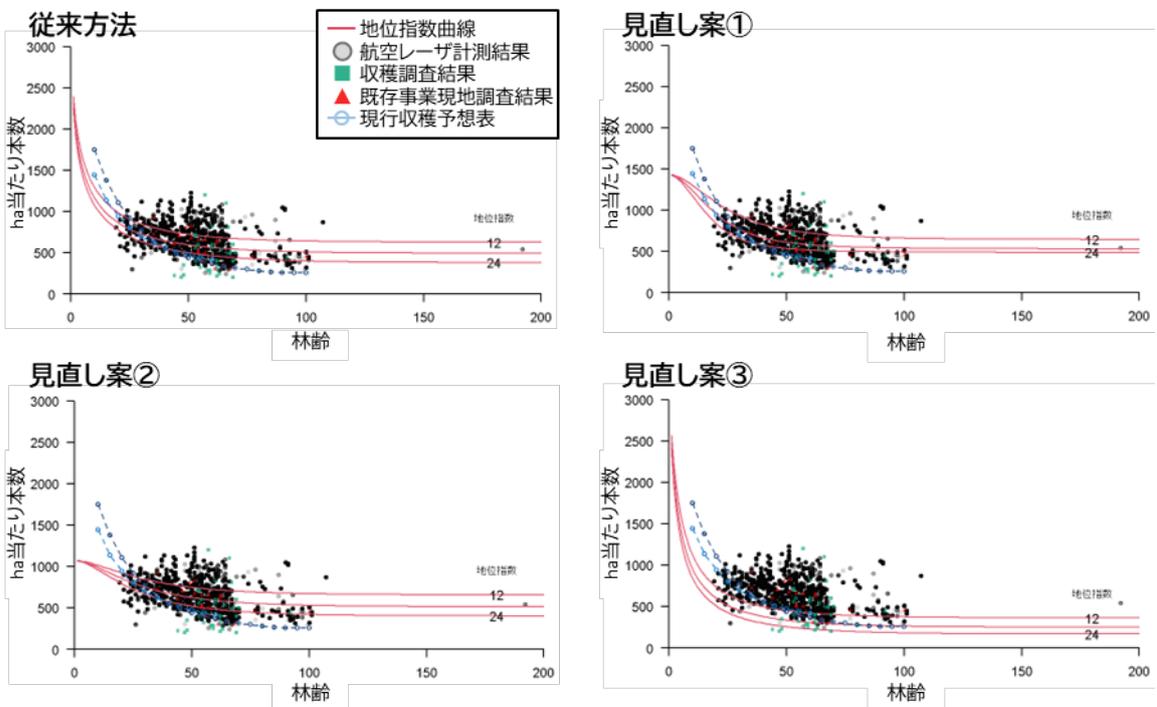


図 2.2.42 ha当たり本数の推定結果の比較（中部局管内：カラマツ：クラス1）

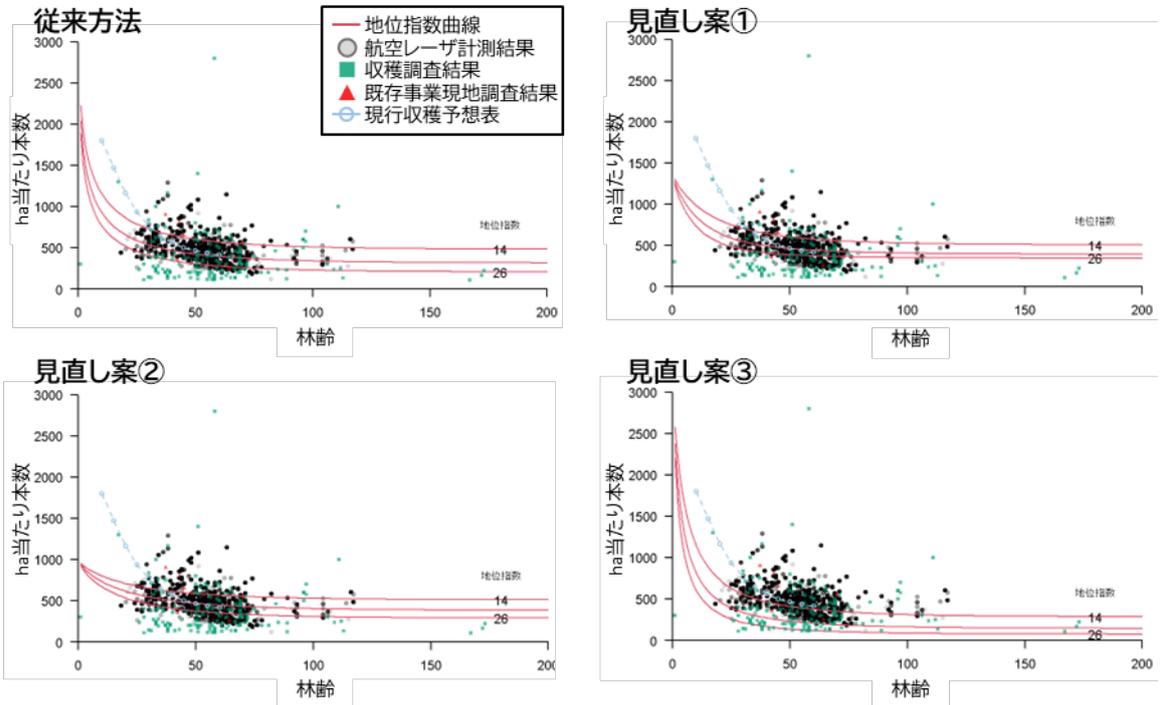


図 2.2.43 ha当たり本数の推定結果の比較（中部局管内：カラマツ：クラス2）

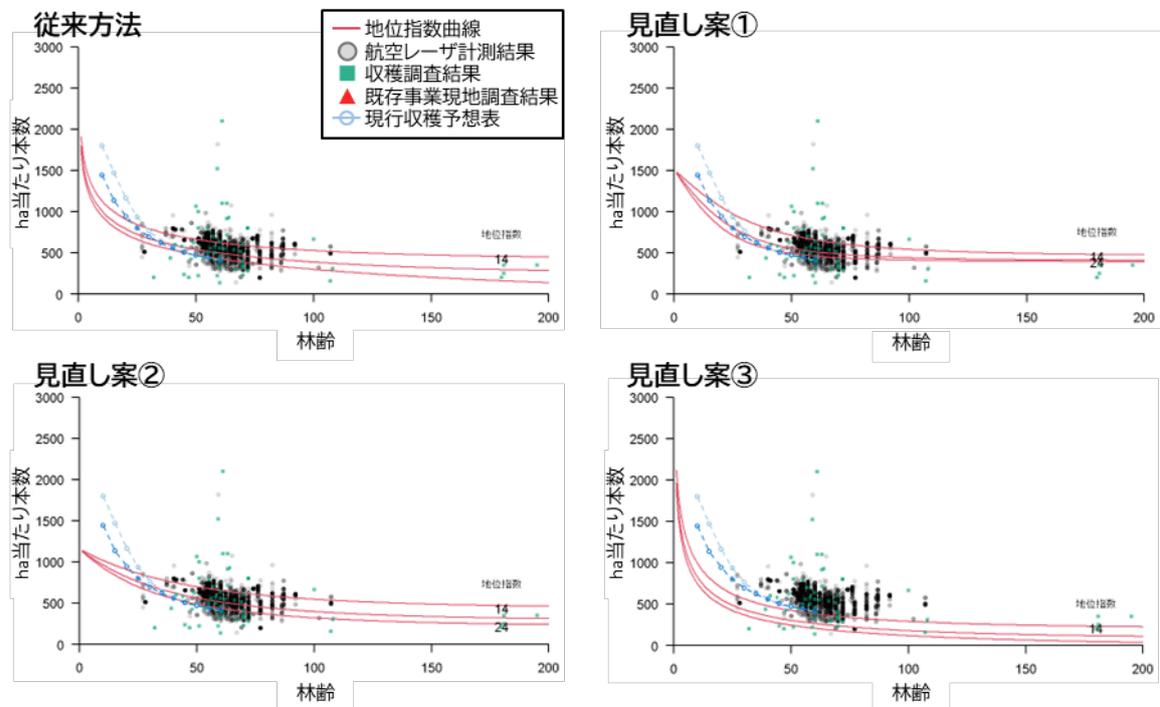


図 2.2.44 ha当たり本数の推定結果の比較（中部局管内：カラマツ：クラス5）

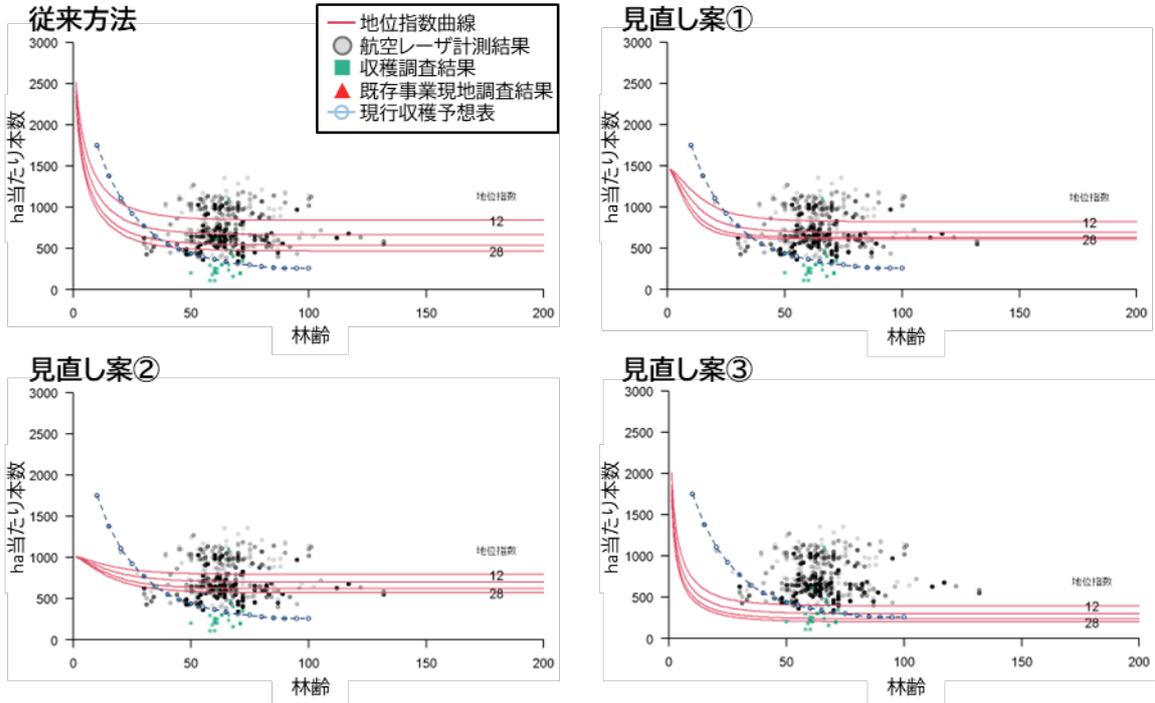


図 2.2.45 haあたり本数の推定結果の比較（中部局管内：カラマツ：クラス6）

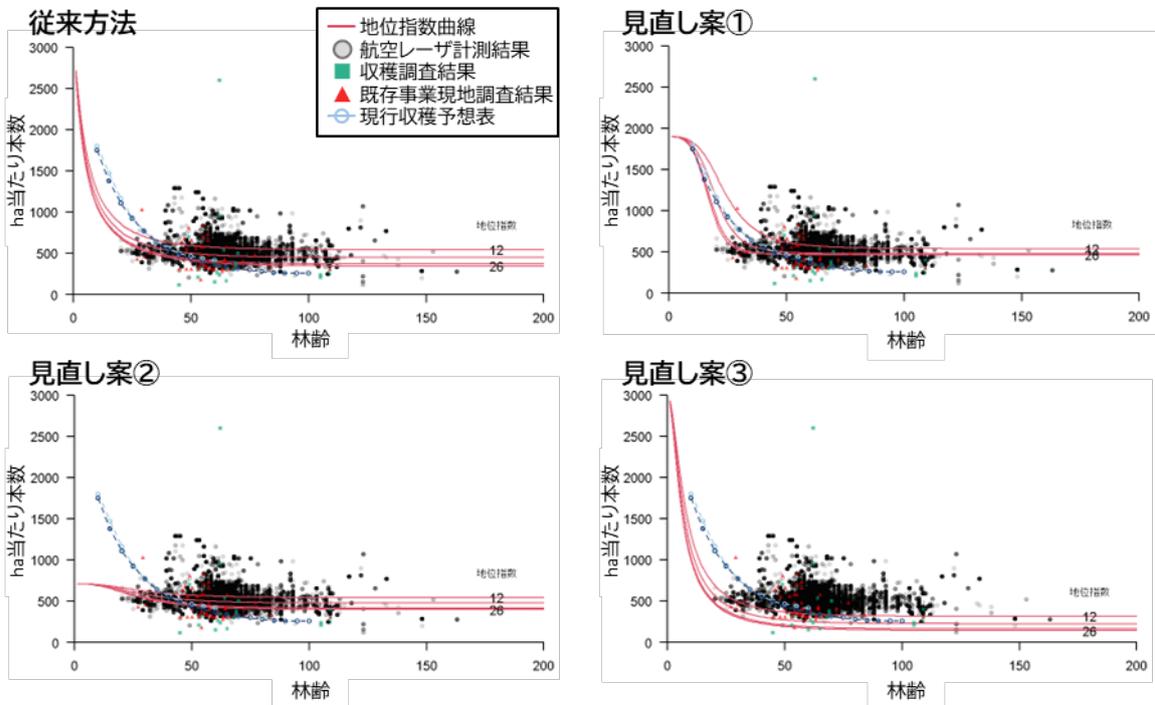


図 2.2.46 haあたり本数の推定結果の比較（中部局管内：カラマツ：クラス10）

### (3) ha当たり材積の推定結果の比較

ha当たり材積について、従来方法と見直し案①～③による推定結果を比較したところ、全体的な傾向として、従来方法と見直し案①及び②との差異は小さかった。ただし、一部のモデルでは見直し案①は成長曲線が右肩上がりにならず一時減少するような曲線となっていた。見直し案③は現実林分データよりも下方に成長曲線が位置し、過小評価となっていた。このため、ha当たり本数の推定結果も踏まえると、全体的には従来方法の方が見直し案①～③より妥当なモデルであると考えられた。

一方、見直し案④（スギのみ）では、樹高とha当たり本数を用いて林分密度管理図の式と定数により直接ha当たり材積を推定したが、ha当たり本数の推定方法については前述のとおり見直し案①～③よりも従来方法の方が妥当と考えられたことから、これを採用した。従来方法と見直し案④によるha当たり材積の推定結果を比較すると、見直し案④の方が若干ではあるが航空レーザ計測結果をプロットした値（現実林分の値）の中心に近い位置に成長曲線が引かれていることが多く、現実林分をより適切に反映できていると考えられた（図 2.2.47、図 2.2.48）。密度管理図は林分単位のデータから求めたパラメータであるため、同じく林分単位で集計したha当たり材積と近い値となっていると考えられる。ただし、この推定式の対象はスギのみであるため、他の樹種には適用できないことに留意が必要である。

なお、見直し案③を除いて、航空レーザ計測結果をプロットした各メッシュの値が、林齢－材積の成長曲線よりも下方に分布する傾向が見られた。これは、集計単位の違いによるものと考えられる。樹高や胸高直径、単木材積については20mメッシュ単位で樹頂点を集計した値を用いたが、ha当たり本数及びha当たり材積は、局所的な異常値の影響を軽減するため、小班・林相単位で集計した値を該当するメッシュに割り当てた。そのため、ha当たり材積のグラフにプロットしたメッシュの値は小班・林相単位でならされたような値となり、成長曲線よりも下方に分布したものと考えられる。

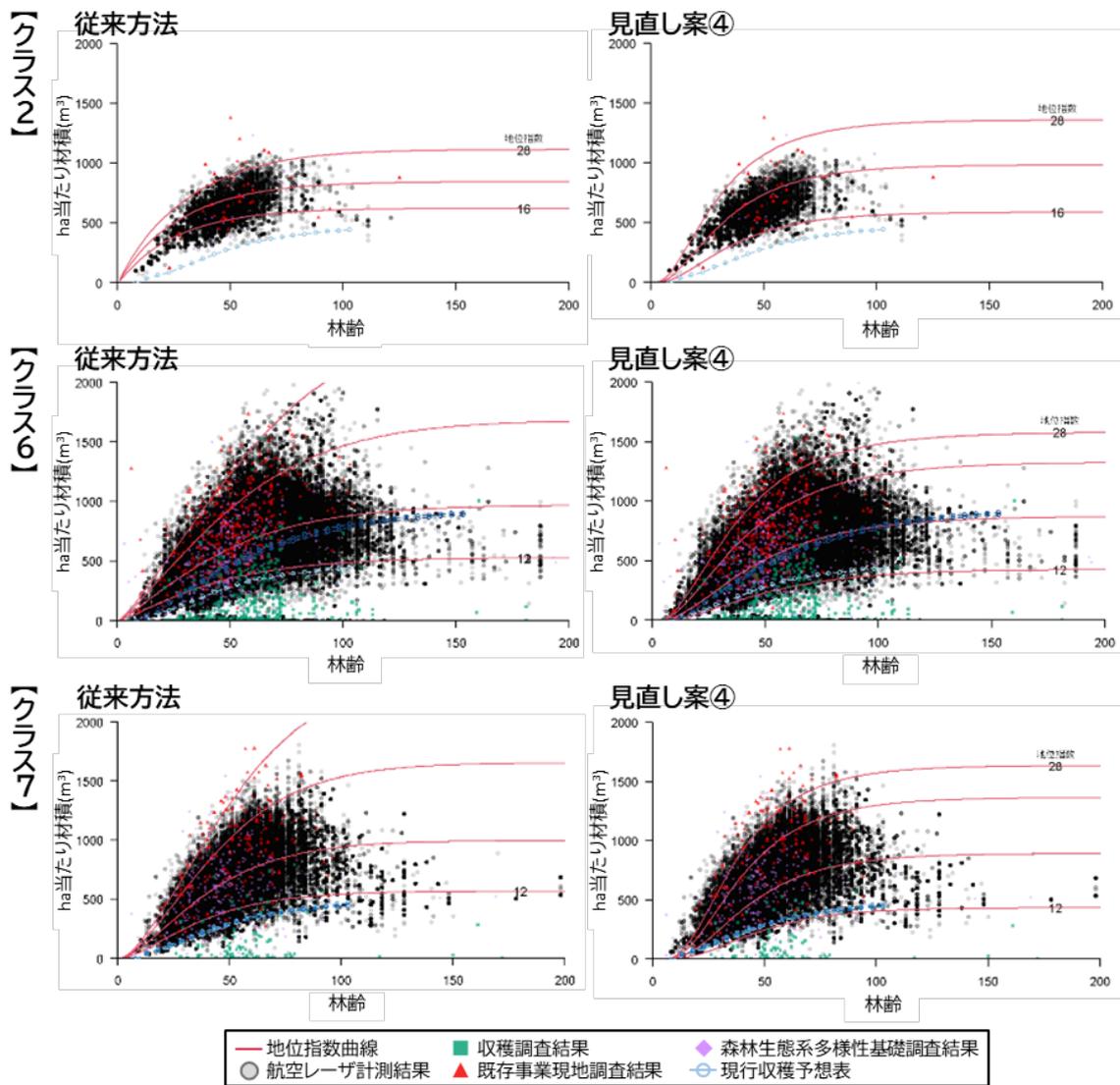


図 2.2.47 ha当たり材積の推定結果の比較（東北局管内：スギ）

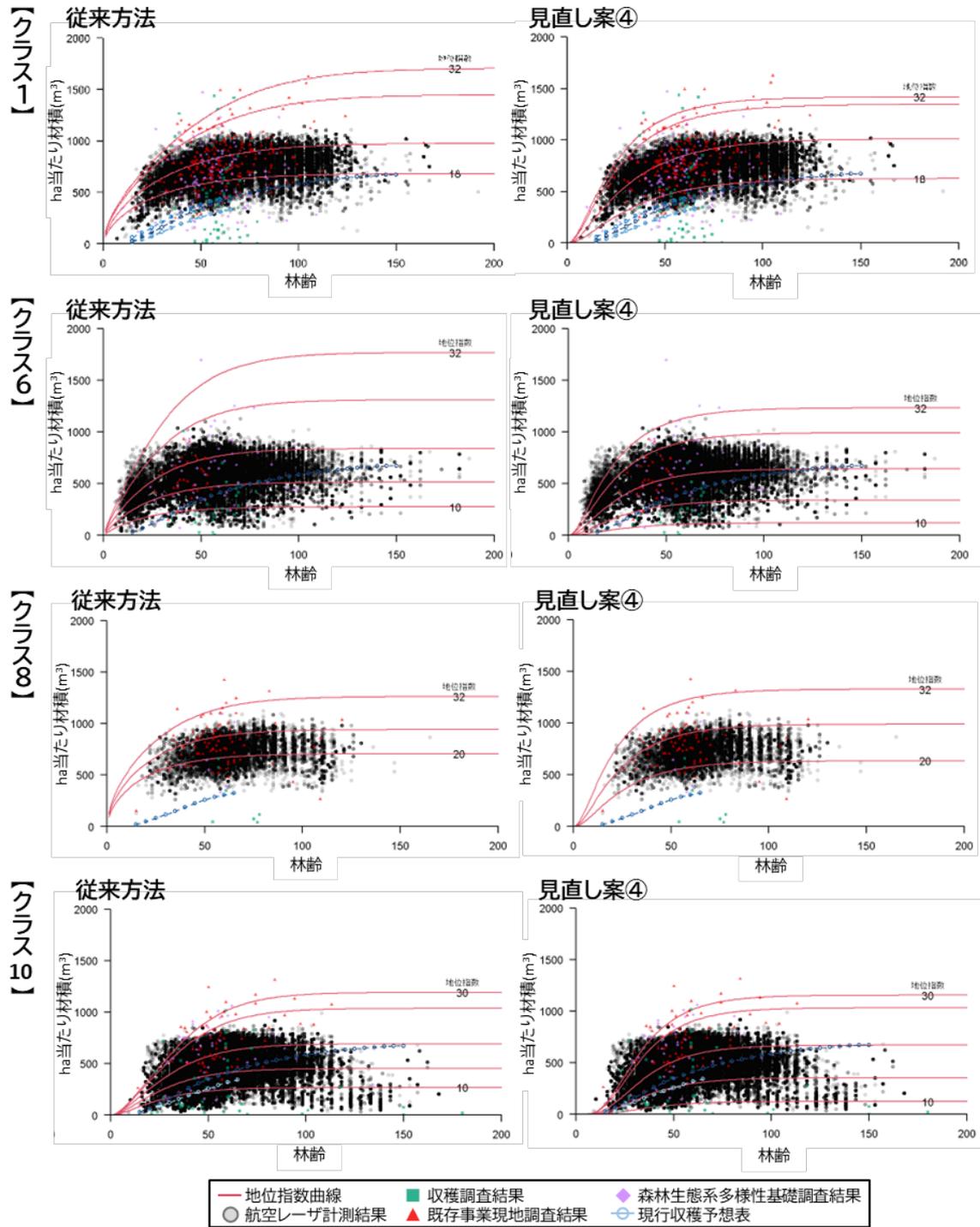


図 2.2.48 ha当たり材積の推定結果の比較 (中部局管内：スギ)

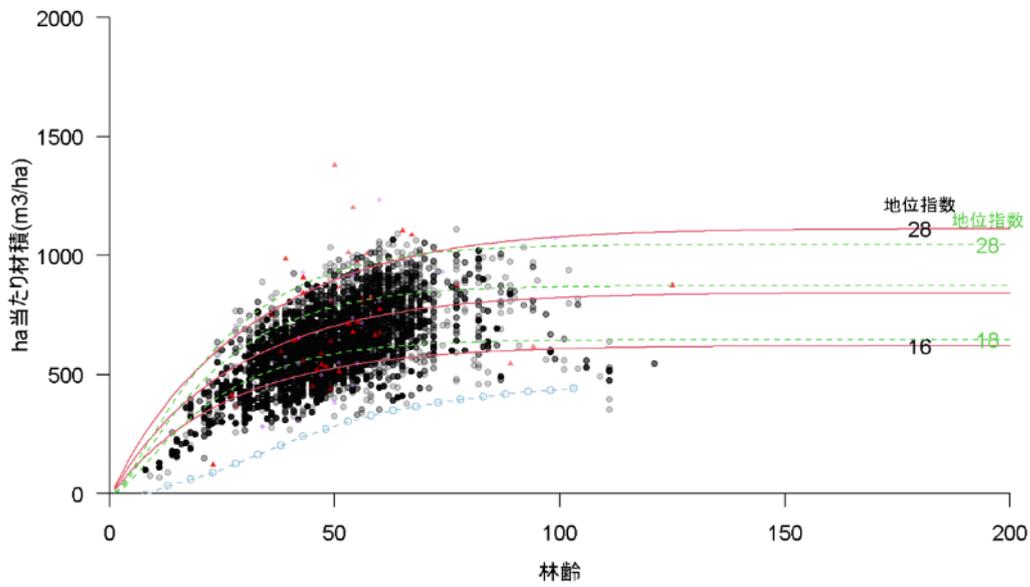
### 2.2.2.6 使用データのサンプリングの試行

航空レーザ計測結果から計算したメッシュデータは悉皆的なデータであるため、全てのデータを成長予測モデルの構築に使用すると、年齢毎にデータ数の偏りがあった場合、データ数が多い年齢のデータに予測結果が影響され、全体の年齢に対して予測結果が偏ってしまう可能性がある。そこで、年齢毎のデータ数の偏りを除去するため、成長予測モデルに使用するデータのサンプリングを試行した。具体的には、各年齢におけるメッシュデータの平均樹高中央値を計算し、その値から前後10個（各年齢で合計20個）のデータをサンプリングした。

前章に記載した成長予測モデル構築方法の見直しの検討において、従来方法及びスギについては見直し案④が比較的妥当であると考えられたことを踏まえ、上記のサンプリングデータを用いて、これらの2つの構築方法による成長予測モデルをそれぞれ作成し、全てのデータを使用した場合と比較した。このうち最終的なha当たり材積の推定結果について図 2.2.49～図 2.2.66に示す。

ha当たり材積の推定結果について、全データとサンプリングデータを使用した場合を比較すると、中部局管内のスギのクラス10やカラマツのクラス5など一部を除いて、中央の成長曲線に大きな差異は見られなかった。一方、サンプリングデータを用いた場合の方が、地位指数曲線の範囲の中に現実林分データが収まっていることから、より代表性の高いモデルになっていると考えられた。ただし、高齢級や若齢級でデータが十分でない場合にデータが大きくばらつくため、十分なデータがある年齢に絞るなど工夫が必要であると考えられる。

<従来方法>



<見直し案④>

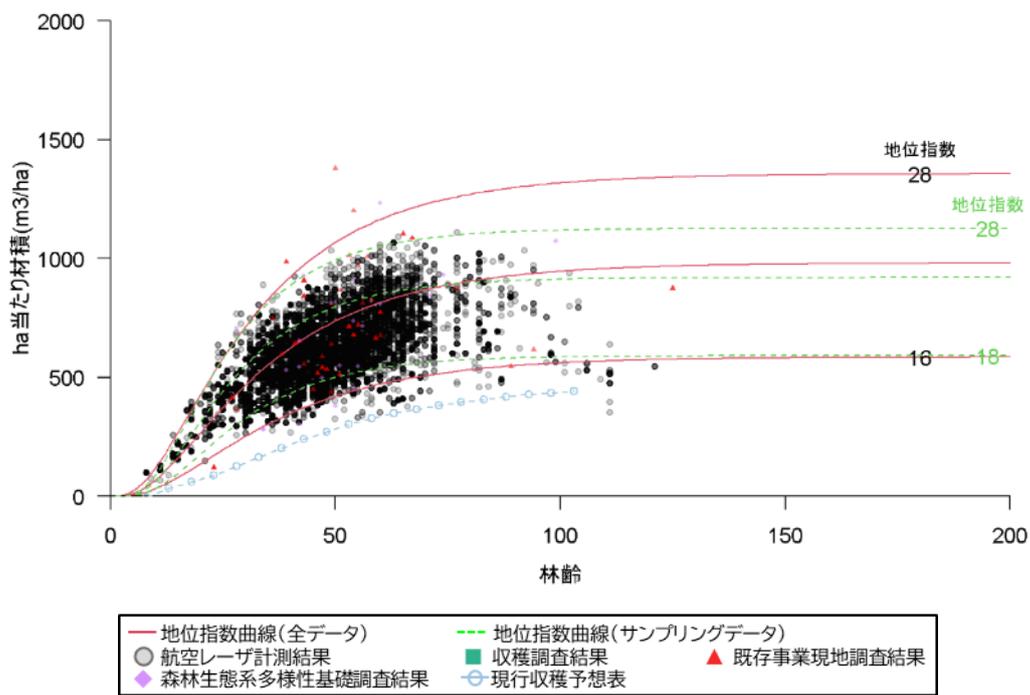
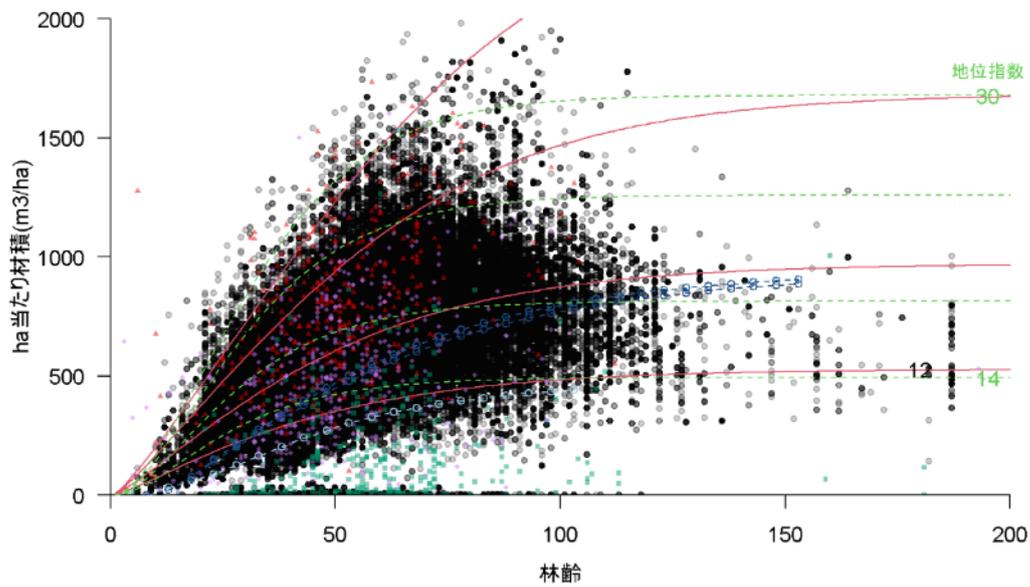


図 2.2.49 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（東北局管内：スギ：クラス2）

<従来方法>



<見直し案④>

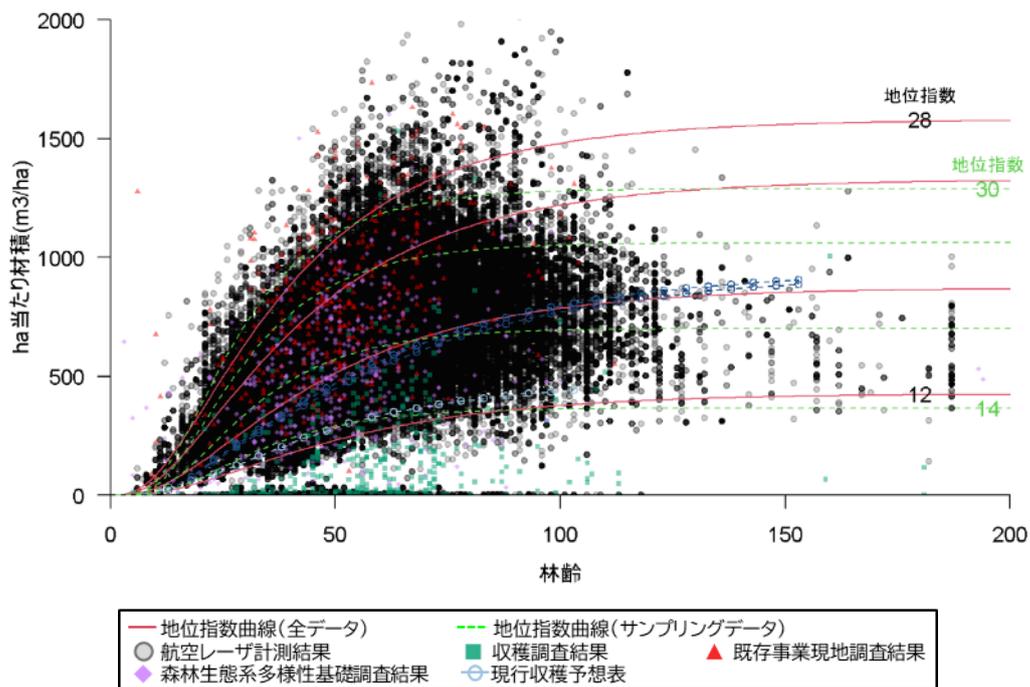
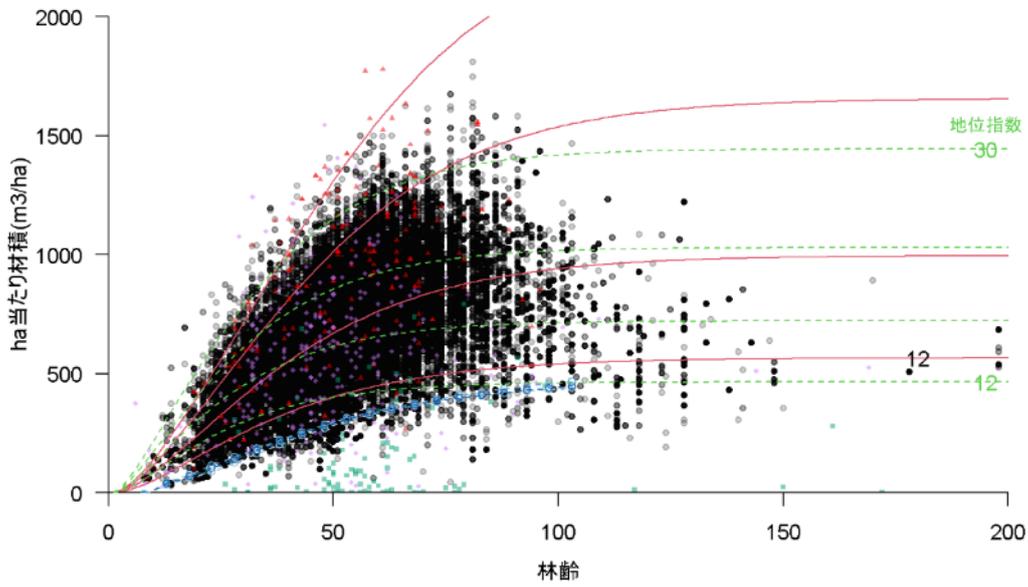


図 2.2.50 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（東北局管内：スギ：クラス6）

<従来方法>



<見直し案④>

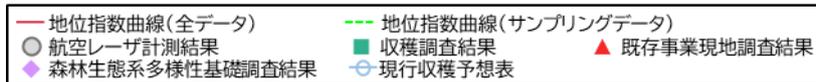
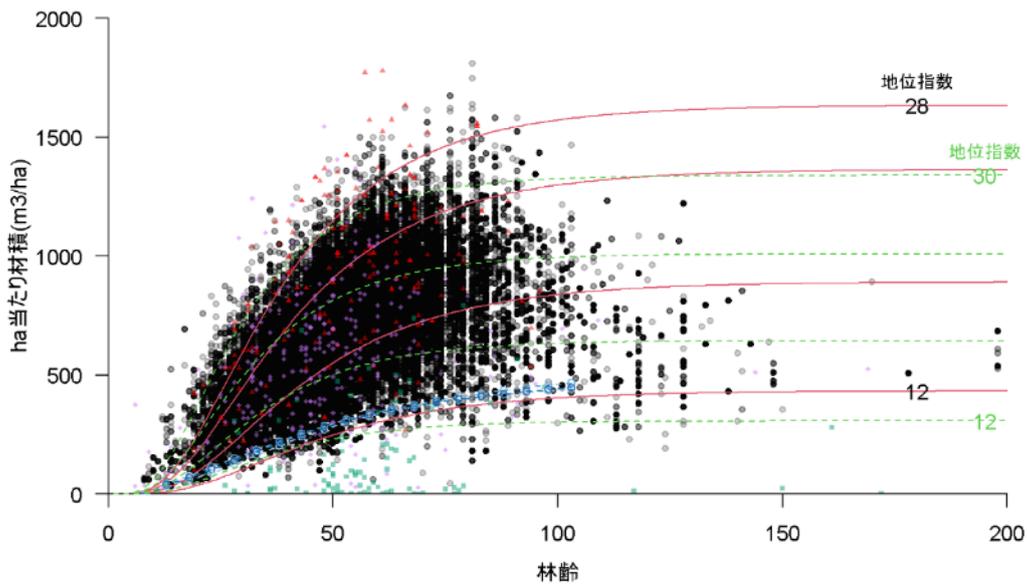


図 2.2.51 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（東北局管内：スギ：クラス7）

<従来方法>

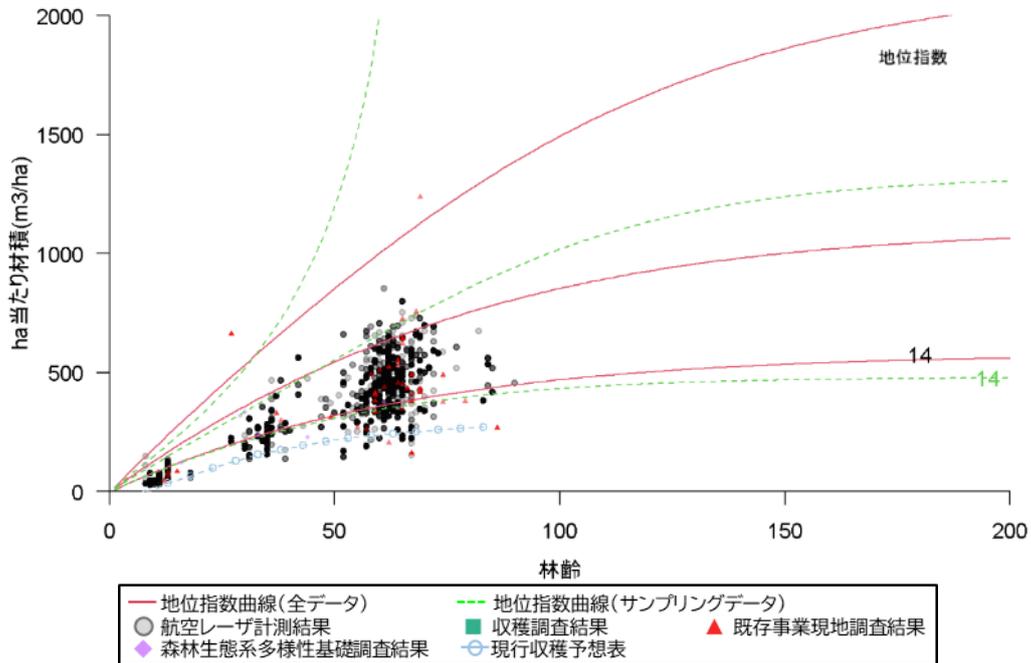


図 2.2.52 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（東北局管内：カラマツ：クラス2）

<従来方法>

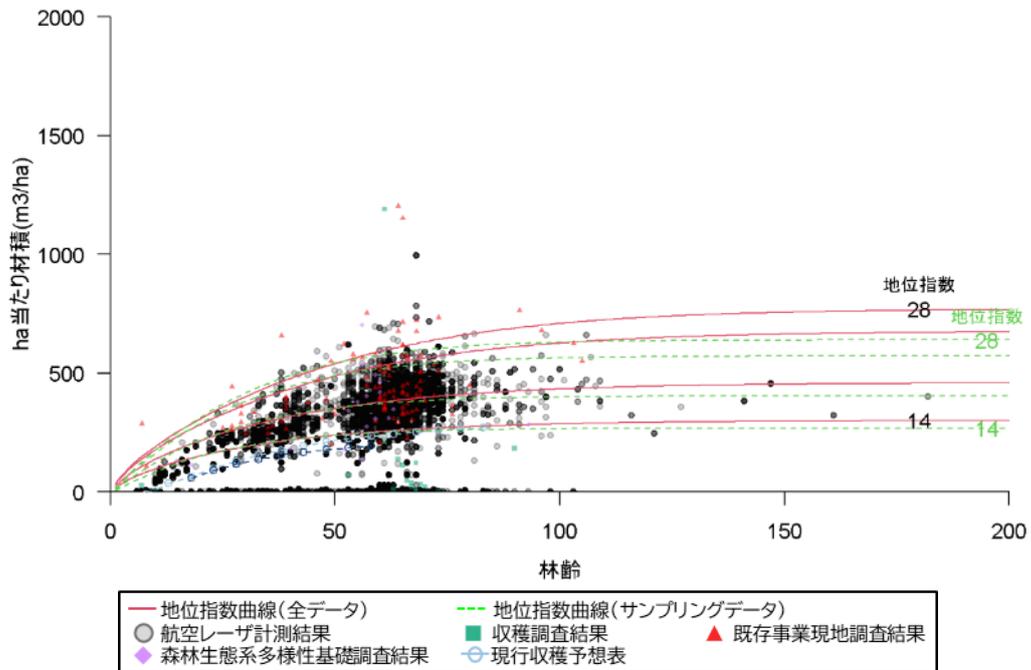


図 2.2.53 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（東北局管内：カラマツ：クラス6）

<従来方法>

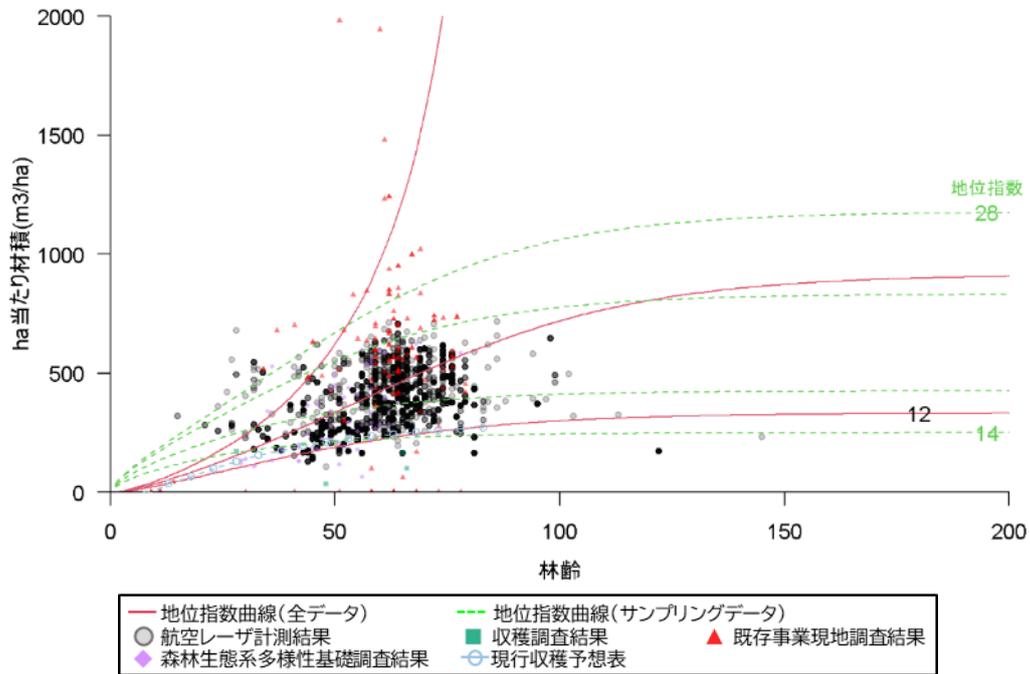
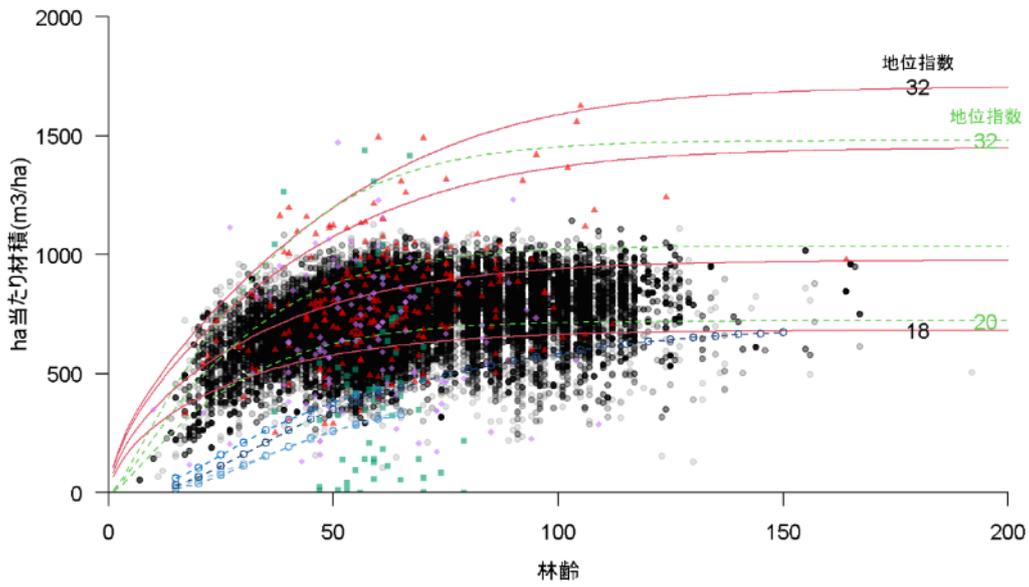


図 2.2.54 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（東北局管内：カラマツ：クラス7）

<従来方法>



<見直し案④>

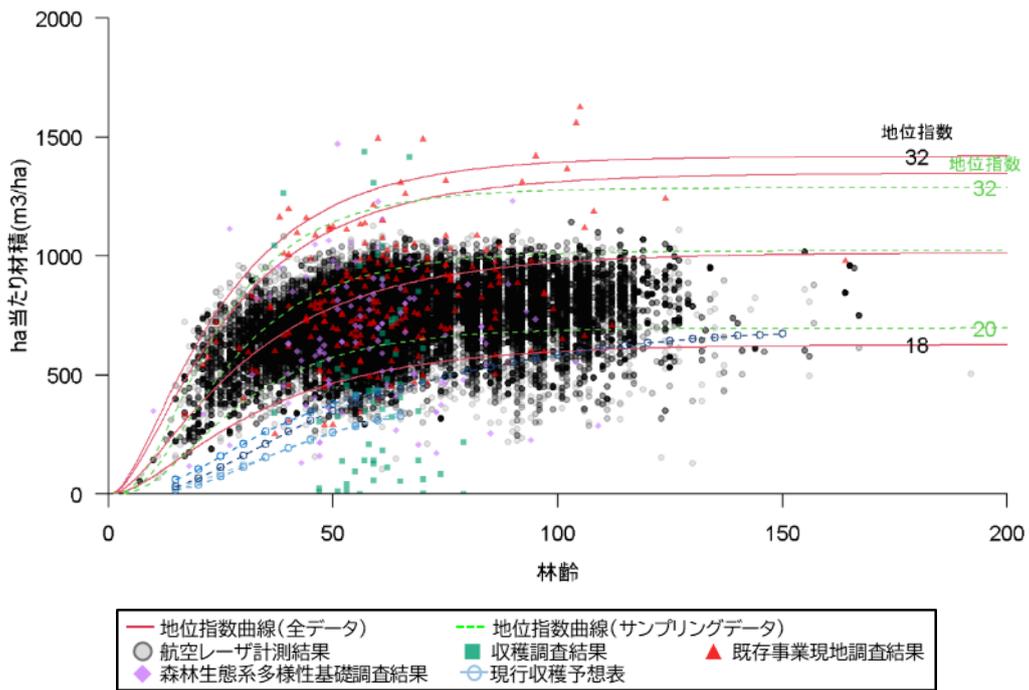
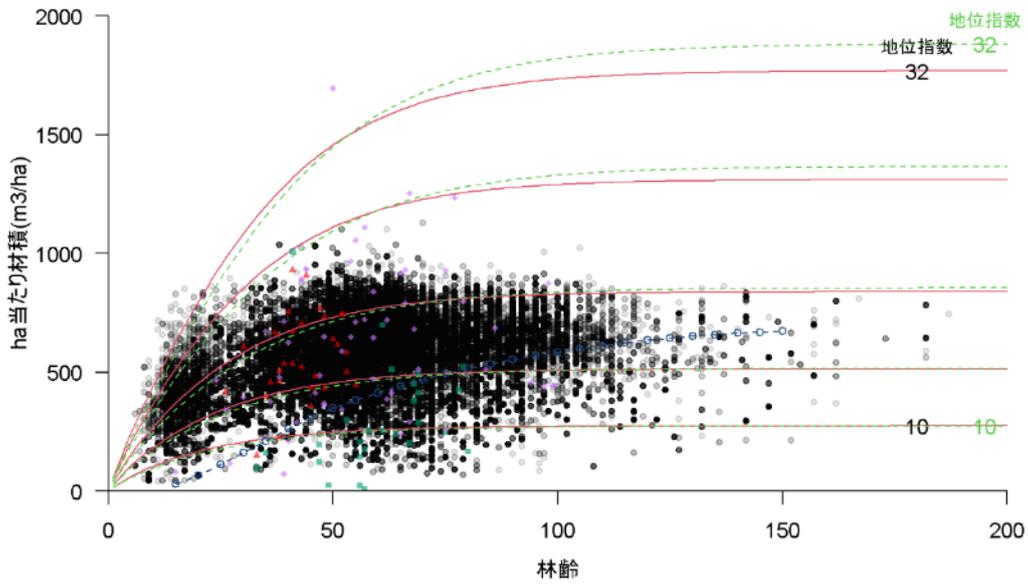


図 2.2.55 ha当たり材積の推定結果(全データ・サンプリングデータ)の比較  
(中部局管内:スギ:クラス1)

<従来方法>



<見直し案④>

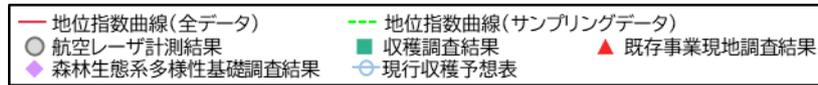
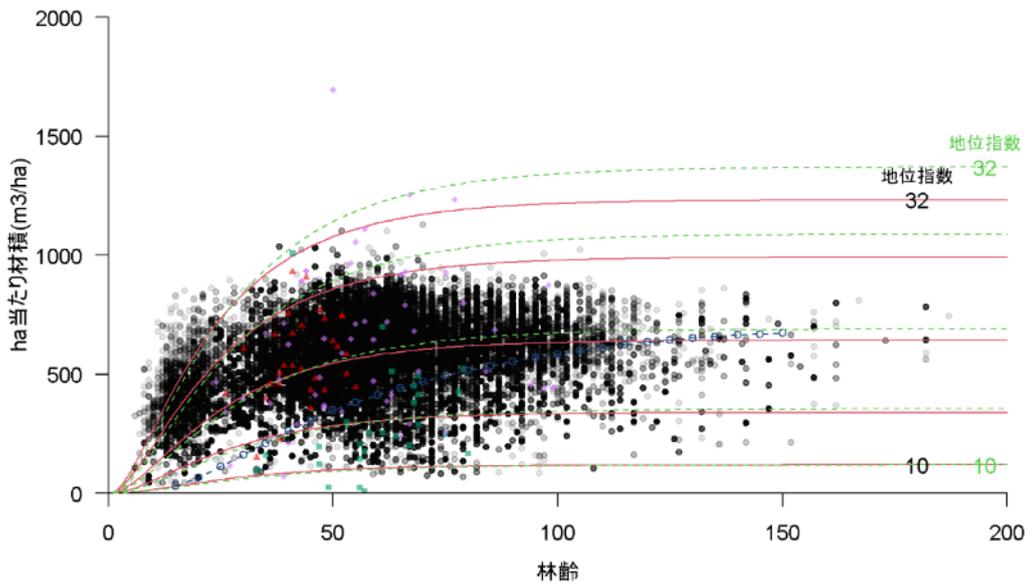
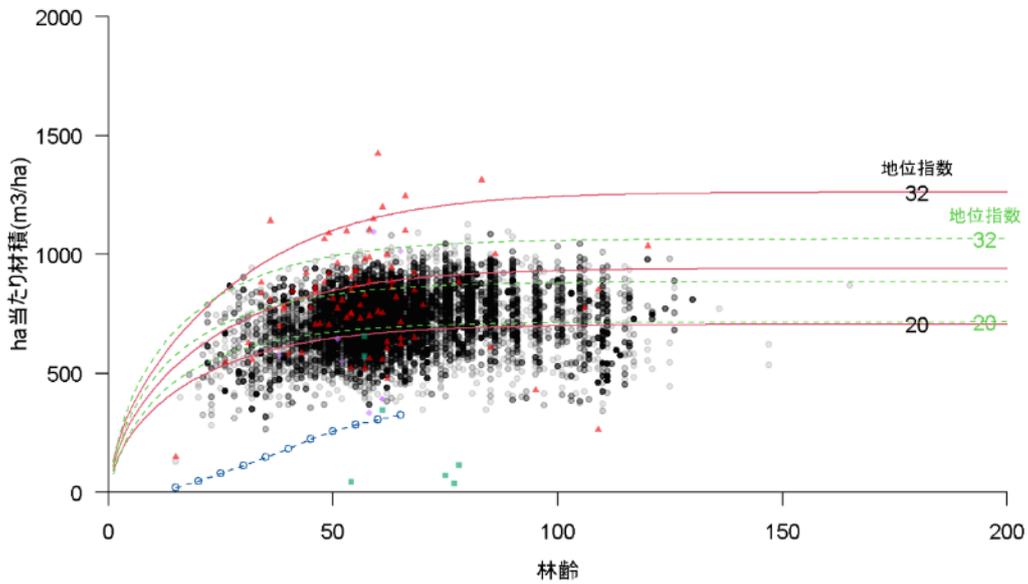


図 2.2.56 ha当たり材積の推定結果(全データ・サンプリングデータ)の比較  
(中部局管内:スギ:クラス6)

<従来方法>



<見直し案④>

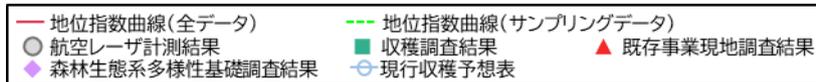
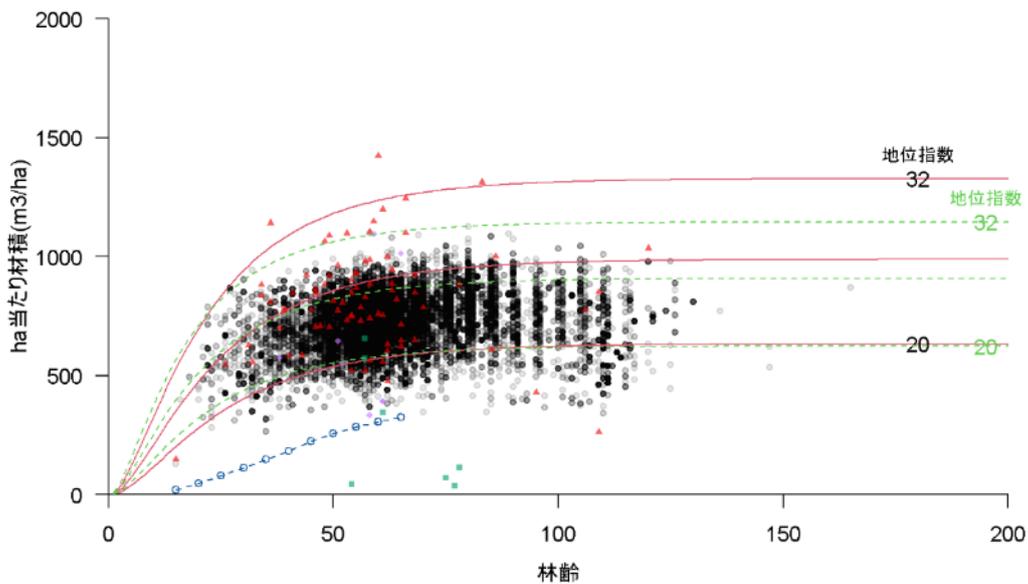
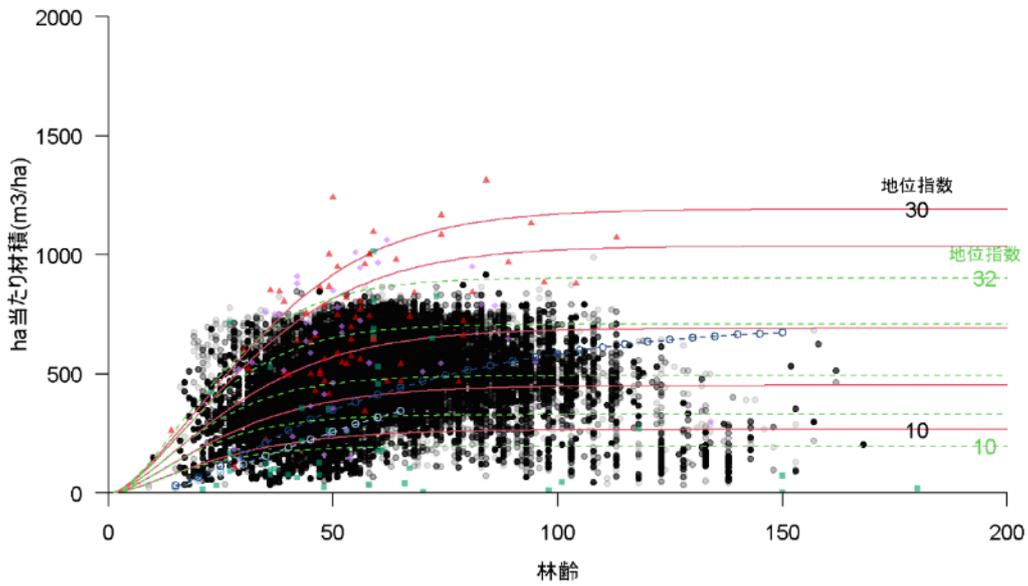


図 2.2.57 ha当たり材積の推定結果(全データ・サンプリングデータ)の比較  
(中部局管内:スギ:クラス8)

<従来方法>



<見直し案④>

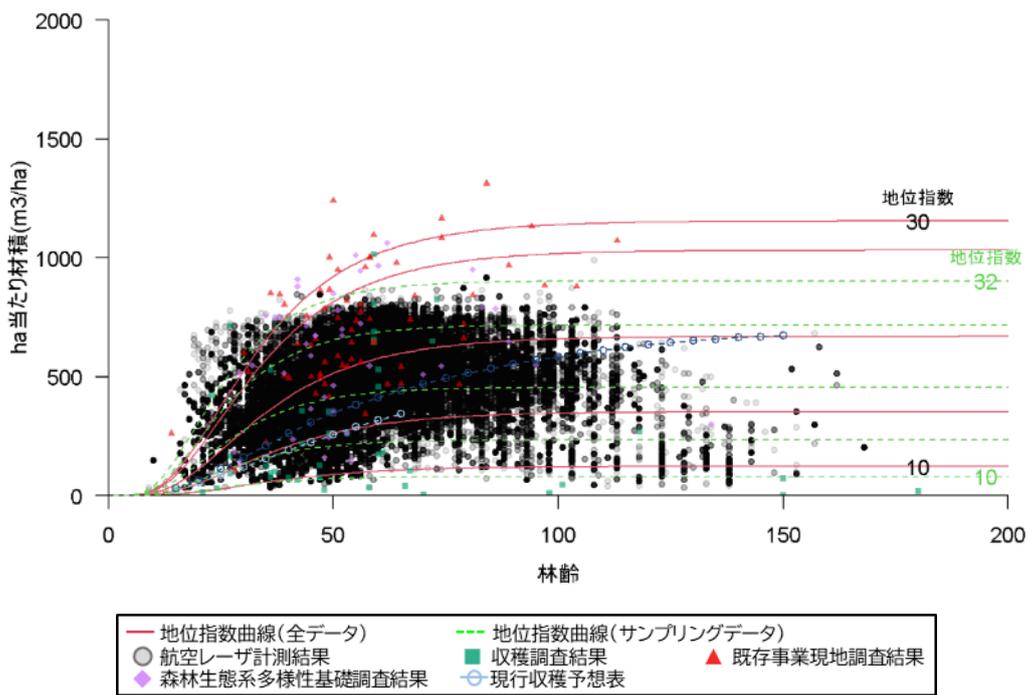


図 2.2.58 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（中部局管内：スギ：クラス10）

<従来方法>

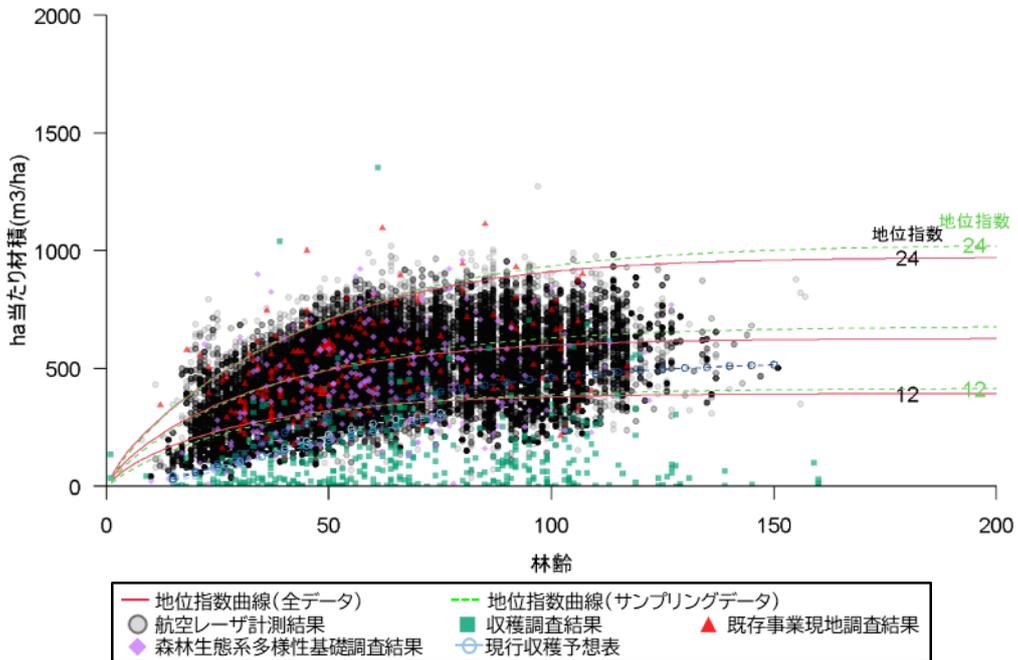


図 2.2.59 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（中部局管内：ヒノキ：クラス1）

<従来方法>

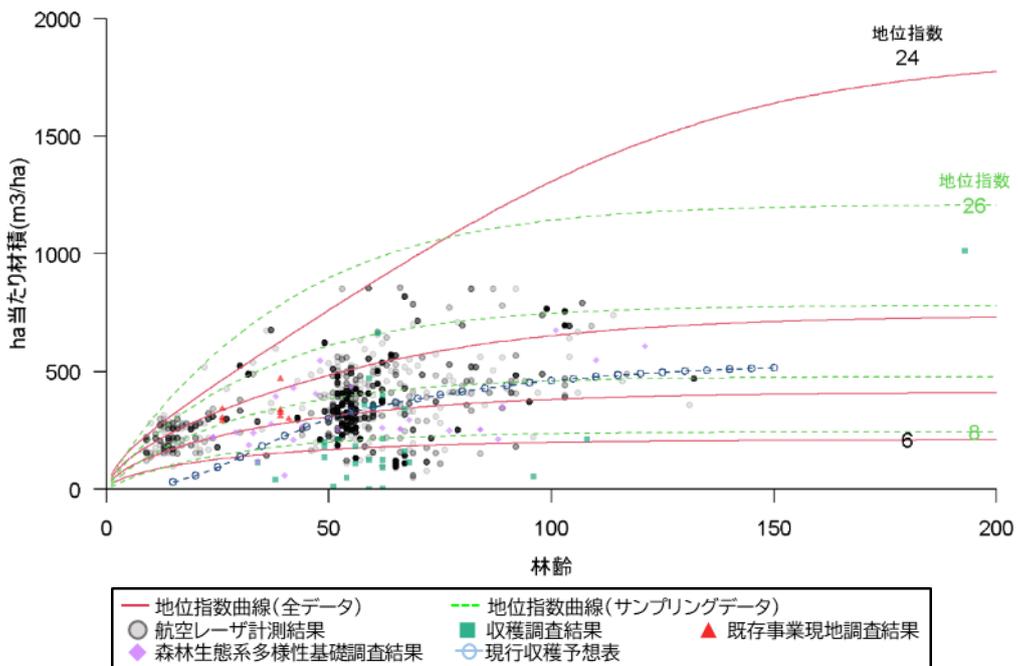


図 2.2.60 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（中部局管内：ヒノキ：クラス6）

<従来方法>

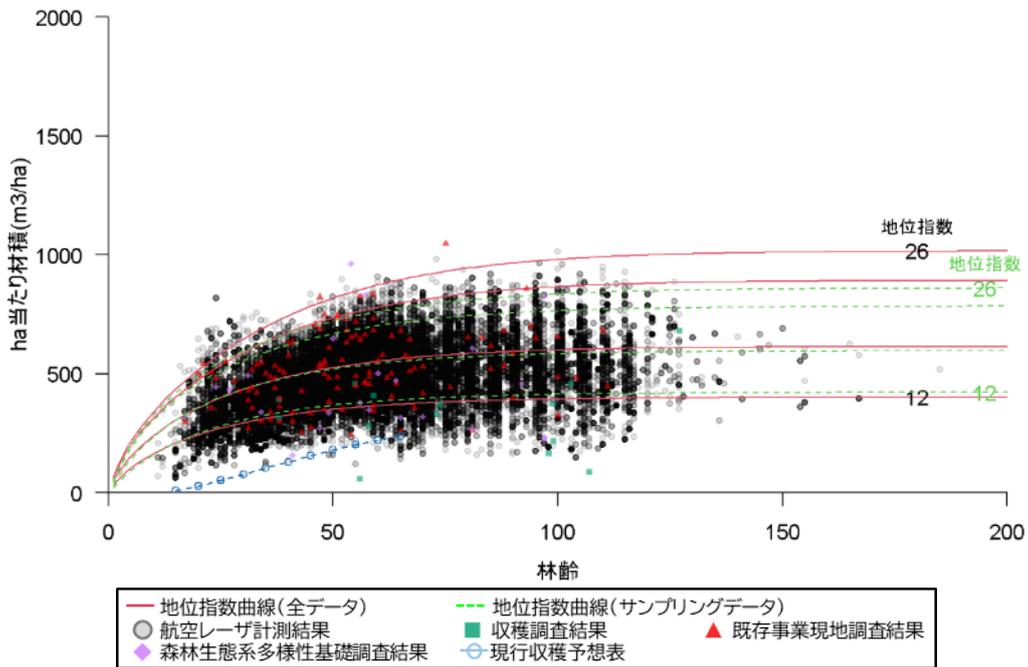


図 2.2.61 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（中部局管内：ヒノキ：クラス8）

<従来方法>

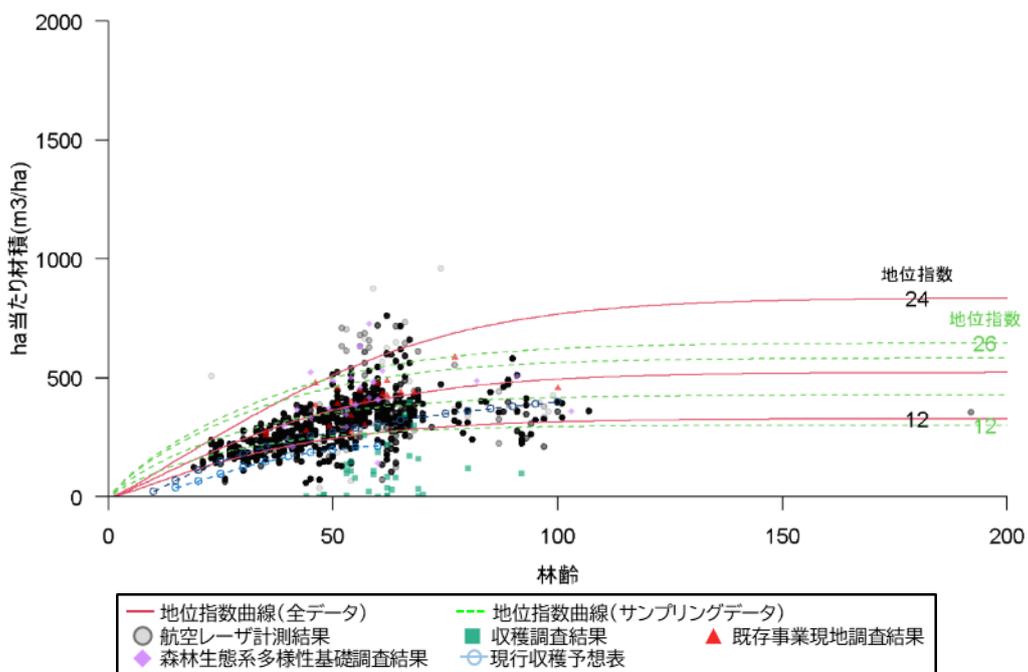


図 2.2.62 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（中部局管内：カラマツ：クラス1）

<従来方法>

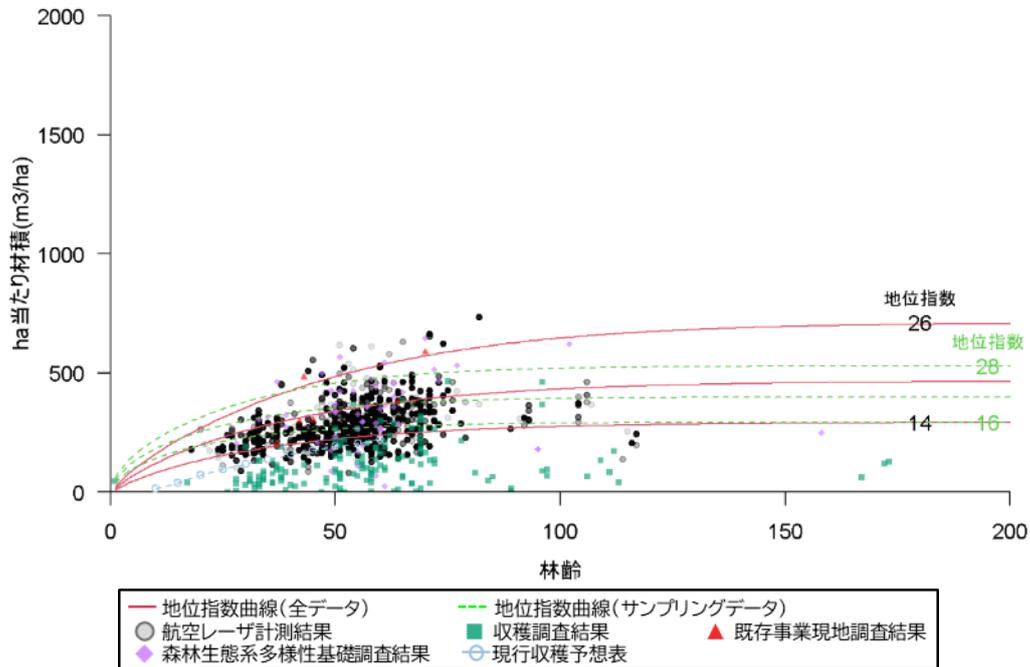


図 2.2.63 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（中部局管内：カラマツ：クラス2）

<従来方法>

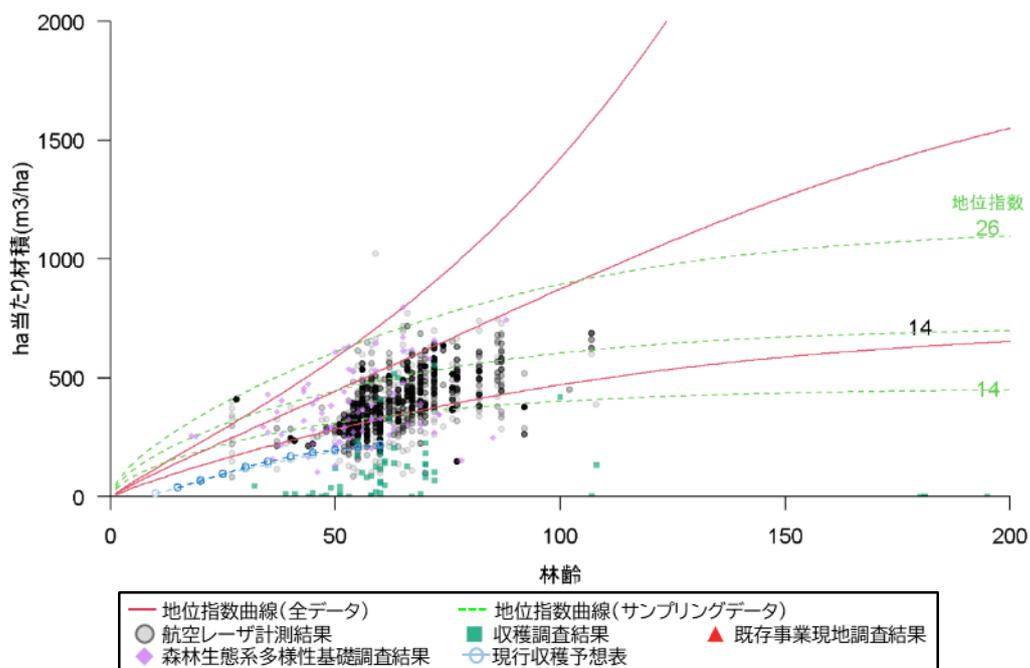


図 2.2.64 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（中部局管内：カラマツ：クラス5）

<従来方法>

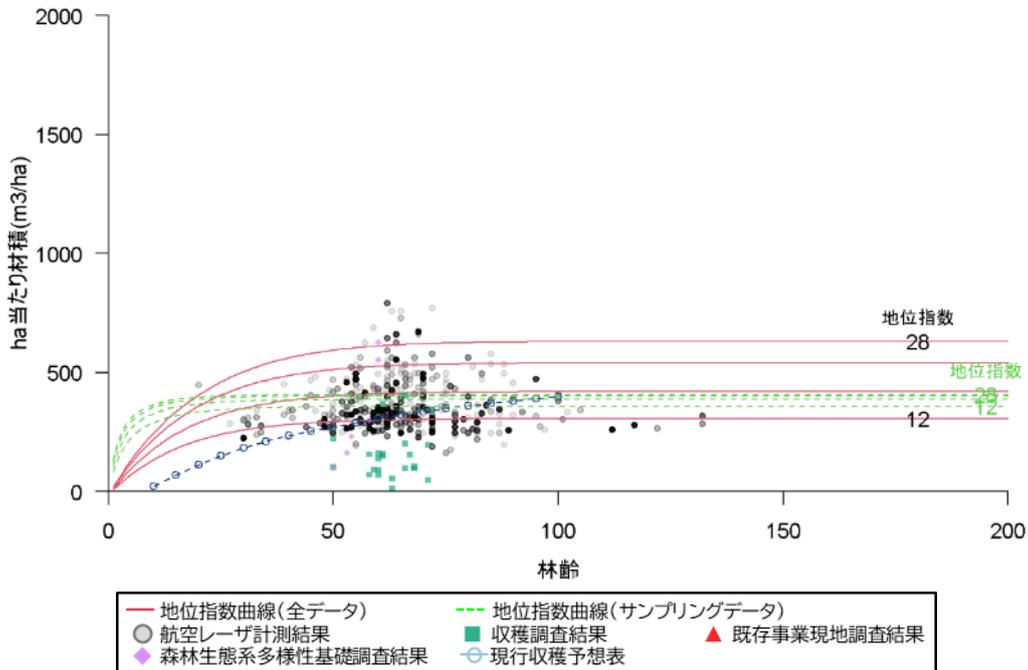


図 2.2.65 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（中部局管内：カラマツ：クラス6）

<従来方法>

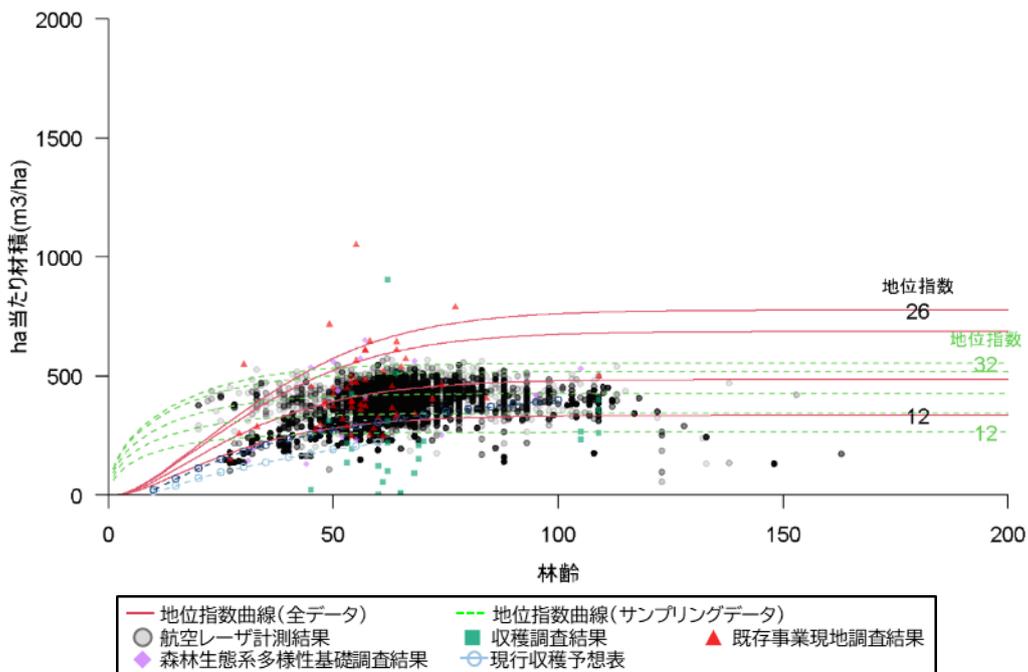


図 2.2.66 ha当たり材積の推定結果（全データ・サンプリングデータ）の比較  
（中部局管内：カラマツ：クラス10）

### 2.2.2.7 成長予測モデルの成長量の比較

成長予測モデルから計算される連年成長量及び平均成長量について、地位指数20の値を代表として用いて、従来方法及び見直し案④の全データ及びサンプリングデータを使用した場合並びに見直し案①～③の全データを使用した場合による結果を比較した（図 2.2.67～図 2.2.71）。

過年度からの課題として、成長量のピークが林齢の若い時期に来てしまう現象があったが、本事業における見直し案を比較すると、従来方法、見直し案②、及びスギについて見直し案④が比較的現実的な成長量のピークを示していた。従来方法及び見直し案④について全データとサンプリングデータを使用した場合を比較すると、場合によって成長量が現実的な方が異なっていた。

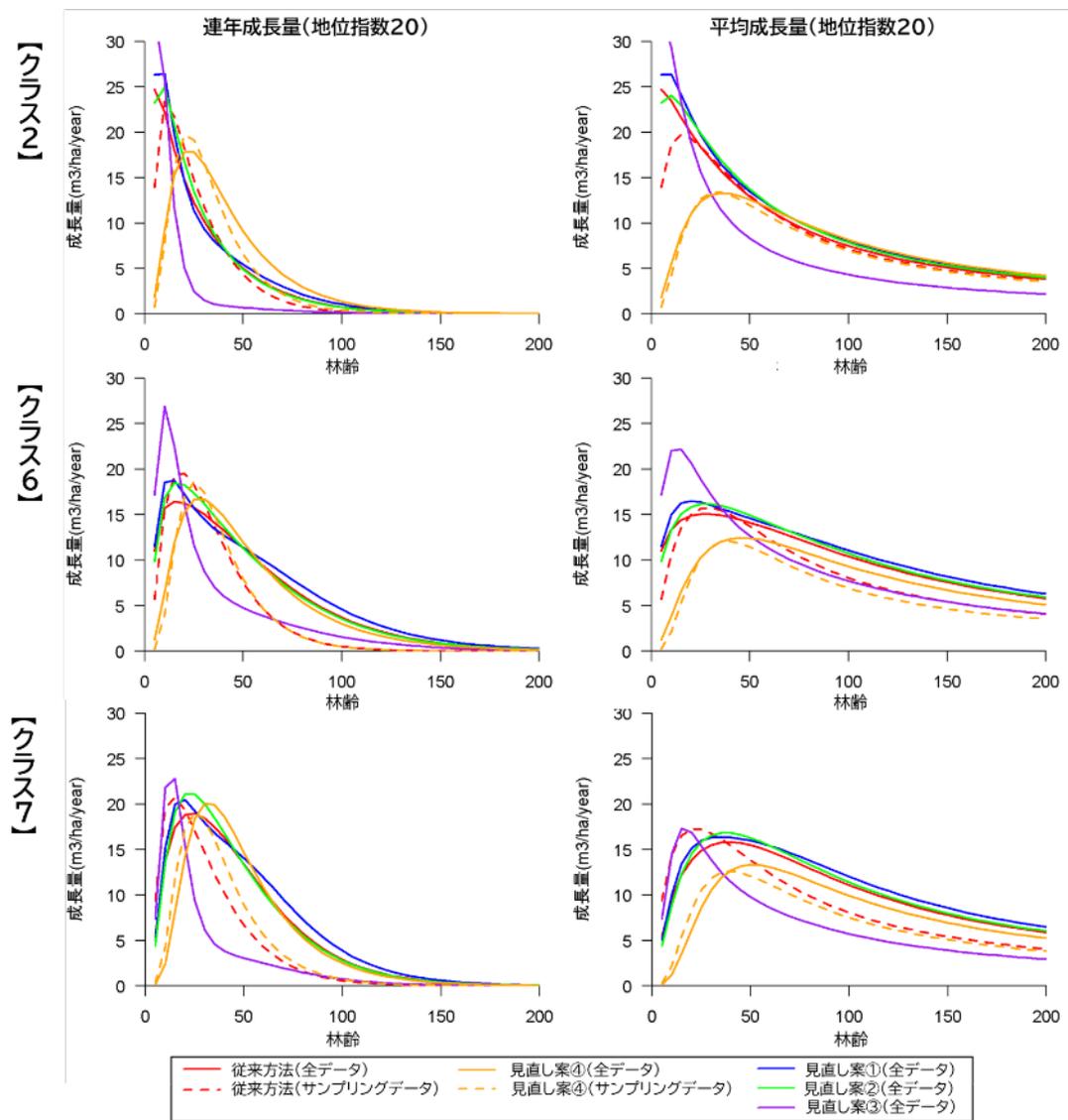


図 2.2.67 連年成長量及び平均成長量の比較 (東北局管内: スギ)

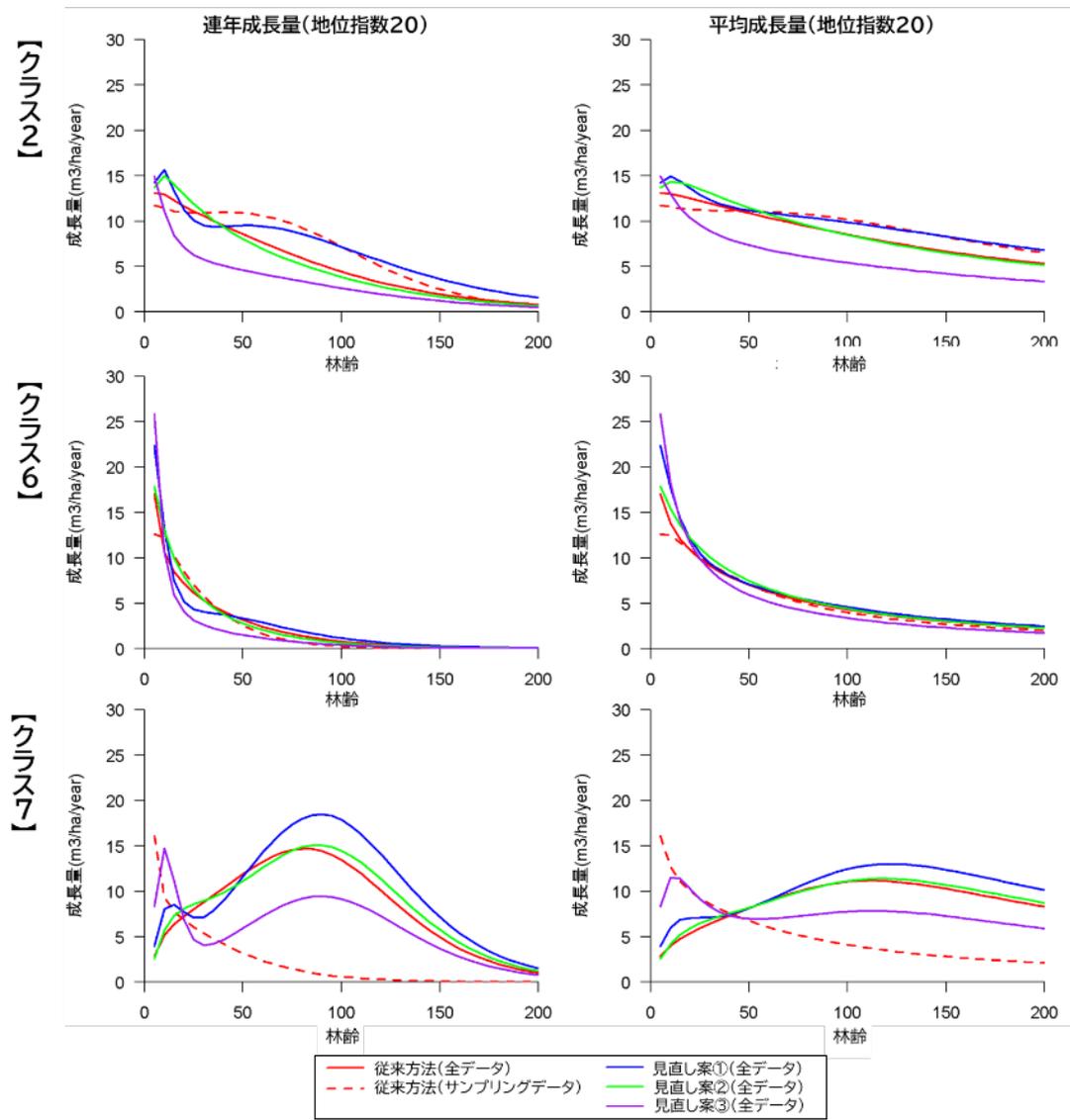


図 2.2.68 連年成長量及び平均成長量の比較（東北局管内：カラマツ）

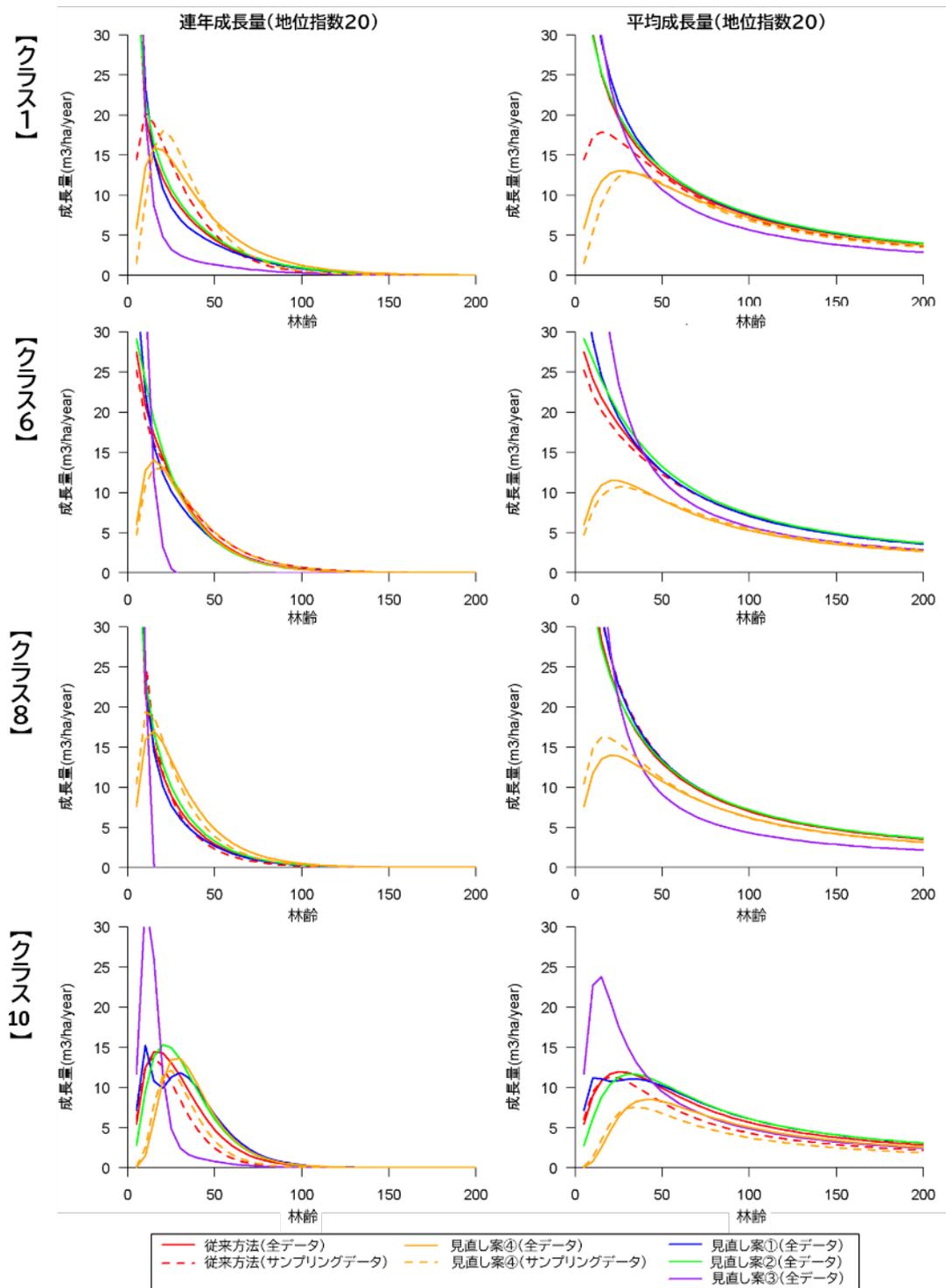


図 2.2.69 連年成長量及び平均成長量の比較 (中部局管内：スギ)

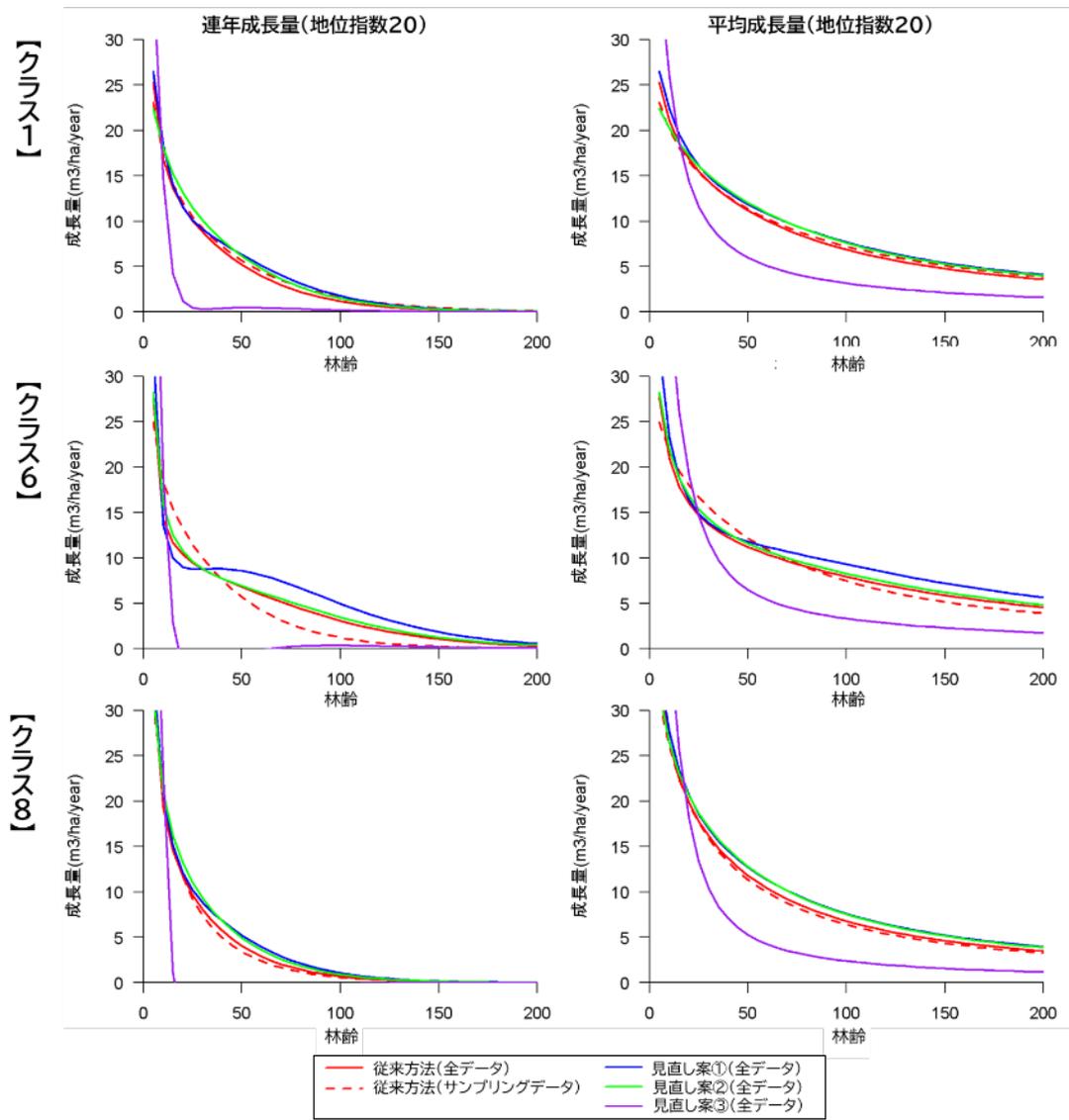


図 2.2.70 連年成長量及び平均成長量の比較 (中部局管内：ヒノキ)



### 2.2.3 成長予測モデルの見直し結果のまとめと今後の検討課題

本事業では、航空レーザ計測結果を活用した成長予測モデルの構築について、過年度事業での課題を解決すべく、データフィルタリングを追加するとともに、ha当たり本数の推定方法について3通りの見直し案（見直し案①～③）を検討した。また、スギについては林分密度管理図の式と定数を用いて樹高とha当たり本数から直接ha当たり材積を推定する方法（見直し案④）も検討した。

その結果、ha当たり本数の推定については、いずれの見直し案においても、ばらつきの大きい現実林分の本数分布を再現しきれない、植栽後一定年数を経てから本数が減少する一般的な変化を表せていないといった課題に十分対応できず、また、従来方法よりも現実林分との乖離が大きくなる場合も見られた。このため、課題は残るものの全体的には従来方法を引き続き採用することが妥当と考えられた。

ha当たり材積の推定については、スギに限られるが、ha当たり本数の推定に従来方法を用いた上で、見直し案④の方が従来方法よりも現実林分のデータ分布を良好に表していることを確認した。

以上から、成長予測モデルの構築方法としては、従来方法及びスギについては見直し案④が比較的妥当であると考えられた。

また、これらの方法について、モデル構築にメッシュデータの全てを用いる場合と、年齢毎に平均樹高中央値の前後10個のデータをサンプリングして用いる場合とでha当たり材積の推定結果を比較したところ、サンプリングデータを用いた場合の方が、地位指数曲線の範囲の中に現実林分データが収まっており、より代表性の高いモデルになっていると考えられた。

このため、本事業の成果としては、現実林分に適用可能な成長予測モデルの案として、従来方法によりサンプリングデータを用いた場合のモデルを提示することとし、このモデルに基づく新たな収穫予想表を別冊資料2の3に整理した。

今後、全国的に成長予測モデルを整備していく上では、以下のような課題があることから、次年度以降に検討することとしたい。

- 成長予測モデル構築に使用する航空レーザ計測結果のメッシュデータのサンプリングについて、本事業では各年齢の平均樹高中央値の前後のデータを機械的に抽出したが、高齢級や若齢級でデータが十分でない場合には抽出データが大きくばらついてしまう。成長予測モデルは、その地域における標準的な林分の成長を表すものであることを踏まえ、より適切なサンプリング手法が求められる。
- 成長予測モデルはメッシュ単位で算出した平均上層樹高のデータを基に各種推定式を用いて構築しているが、モデルと比較した航空レーザ計測結果による現実林分のha当たり本数及びha当たり材積については、局所的な異常値を避けるため、メッシュ単位で算出したデータではなく小班・林相単位で算出したデータをメッシュに割当てた値を用いた。この算出単位の違いが、モデルと現実林分データの乖離の一因となっている

る可能性があるため、算出単位を揃えた上での比較を検討する必要がある。

- 林分密度管理図の式と定数を用いて樹高とhaあたり本数から直接haあたり材積を推定する方法（見直し案④）については、従来方法と比較してモデルの当てはまりがよいと考えられたが、現時点で利用できるパラメータはスギのみとなるため、他樹種のパラメータが利用可能となった際、改めて比較検討を行うことが望ましい。

### 3 航空レーザ計測結果を活用した地位推定手法の検討

東北局及び中部局のそれぞれ約2,000haの国有林を対象として、航空レーザ計測による森林資源解析結果を活用して、上層木平均樹高及び林齢から地位級（対象樹種の伐期総平均成長量をもってm<sup>3</sup>単位で区分した等級）を推定し、現行の森林調査簿に記載されている地位級との比較・分析を行った。地位級は、以下の3パターン（パターン1～3）で算出し比較した。

1. 航空レーザ計測結果を用いて、既存の収穫予想表から作成した地位判定基準図により算出した地位級
2. 航空レーザ計測結果を用いて、新たな収穫予想表（2章及び別冊資料2の3参照）から作成した地位判定基準図により算出した地位級
3. 現行森林調査簿に記載の地位級

対象樹種は、スギ、ヒノキ及びカラマツとし、地位判定基準図は「立地級区分調査要領（昭和39年10月1日39林野計第537号）」に基づく手法により作成した。地位級の推定は、林小班・林相区分毎に行い、林小班・林相区分ポリゴンの属性値として整理するとともに、地位級区分図を作成し、Geotiff形式等のファイルを作成した。

併せて、単木解析結果と林小班情報とを組み合わせ、地位級分布を作成した。地位級分布は、グリッド単位で解析するが、グリッド内に十分な本数の上層木が得られない場合は、周囲のグリッドをバッファ領域とすることにより、適切な上層木平均樹高が得られるようにした。解析結果から、グリッド単位のポリゴンデータ及びグラデーションさせた地位級分布図を生成し、Geotiff形式等のファイルを作成した。また、作成した地位級分布図については、ポリゴンデータを作成するとともに、国土基本図2500図郭（平面直角座標系、2.0km×1.5km）毎のGeotiff形式及び同図郭のJPEG形式及び位置情報ファイルを作成した。

最後に、航空レーザ計測結果から地位級区分図及び地位級分布図を作成する手順について整理した。

#### 3.1 地位級推定の流れ

本項目の作業詳細フローを図 3.1.1に示す。中部局では航空レーザ計測による森林資源解析を実施済みの範囲を検討対象としたが、東北局では未実施の範囲を対象としたため、単木抽出から樹高算定までの一連の解析を実施した。

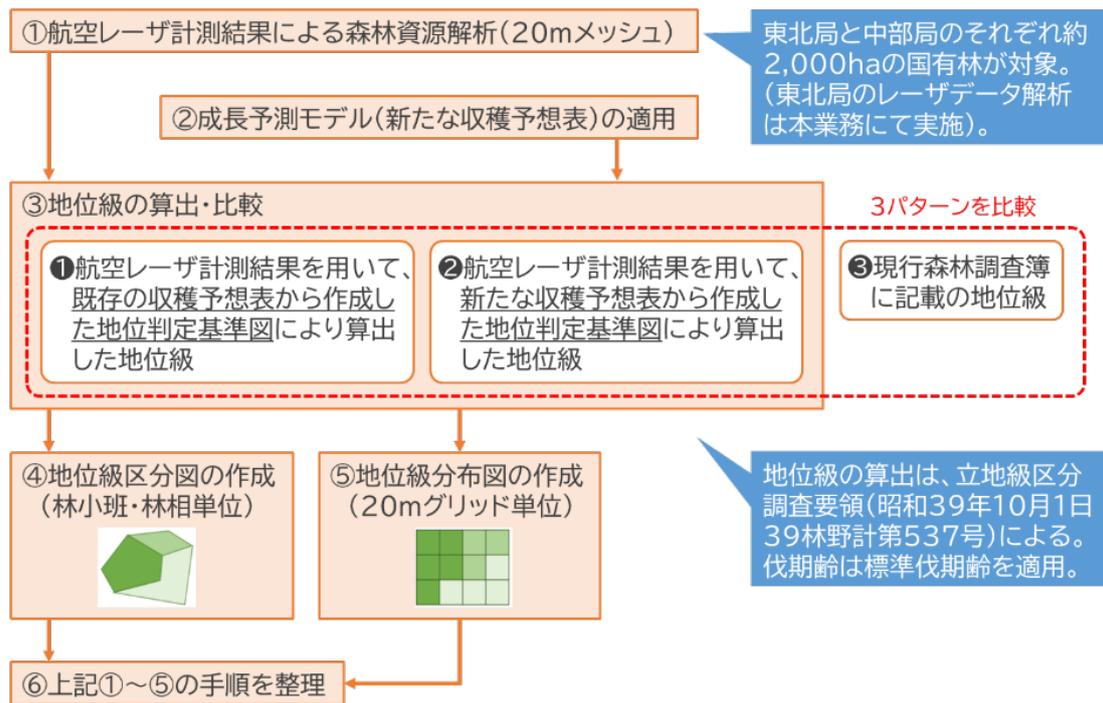


図 3.1.1 航空レーザ計測結果を活用した地位推定手法の検討の詳細フロー

### 3.2 検討対象地

東北局における検討対象地は、岩手県八幡平市の切通山国有林とした(図 3.2.1)。対象面積は2,334haで、馬淵川上流森林計画区(2.1章で実施したグルーピングではクラス7)に該当する。本対象地では令和3年度に航空レーザ計測が実施されているが、森林資源解析は未実施であったことから、本事業において新たに実施した(2.2.1.1章の(3)参照)。対象地内における解析対象樹種はスギ及びカラマツとし、標準伐期齢はそれぞれ45年、35年である。

中部局における検討対象地は、長野県信濃町の黒姫山国有林とした(図 3.2.2)。対象面積は1,929haで、千曲川下流森林計画区(2.1章で実施したグルーピングではクラス10)に該当する。本対象地では令和2年度に航空レーザ計測が実施され、令和3年度に森林資源解析が実施されている。対象地内にはスギ、ヒノキ及びカラマツが存在するものの、ヒノキは分布が限られていたため、令和3年度の森林資源解析の対象とされなかった。そのため、本事業においても解析対象樹種はスギ及びカラマツとした。標準伐期齢はいずれも40年である。

なお、森林資源解析において実施した林相判読作業で判読された樹種と、森林調査簿に記載の樹種(樹種1~3)のいずれにも一致しない場合、正確な林齢を参照できないため、該当データは地位級推定対象から除外した。

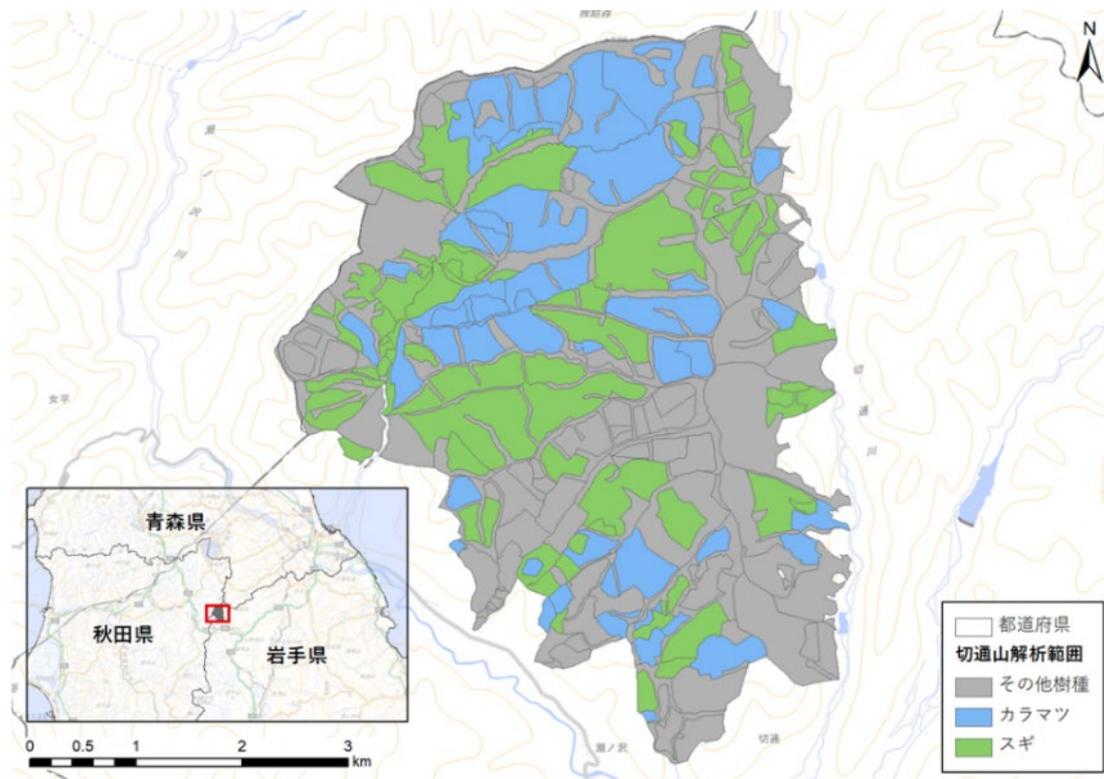


図 3.2.1 地位級の算出対象地域：東北局  
 岩手県八幡平市 切通山国有林2,334ha（馬淵川上流森林計画区）

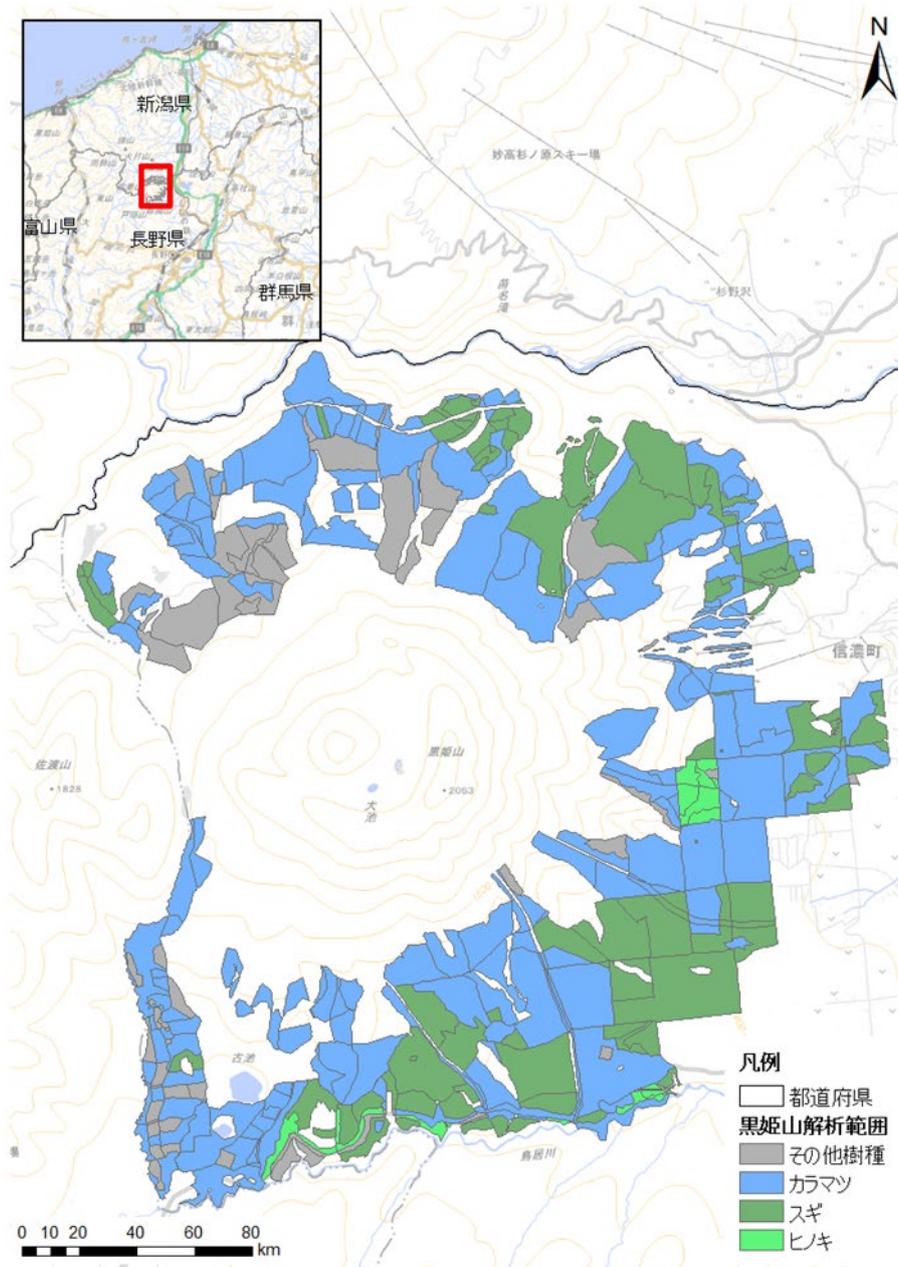


図 3.2.2 地位級の算出対象地域：中部局  
長野県信濃町 黒姫山国有林1,929ha（千曲川下流森林計画区）

### 3.3 地位級の算出・比較（東北局）

#### 3.3.1 既存の収穫予想表から作成した地位判定基準図による地位級（パターン1）

東北局で現在使用している国有林の収穫予想表では地位の区別がなく地位判定基準図の作成が困難であったため、過去に調製された収穫表を用いることとした。スギは青森地方スギ林林分収穫表<sup>18</sup>（伐期齢55年）、カラマツは岩手地方カラマツ林林分収穫表<sup>19</sup>（伐期齢40年）を用いて、図面上の値を読み取りデータ化した上で、地位判定基準図を作成した。地位判定基準図の樹高曲線は、収穫表を基にプロットした点に、当てはまりの良いリチャーズ式を適用して求めた。なお、伐期齢が現行の標準伐期齢と異なることに留意が必要である。

地位級の算出に当たっては、地位判定基準図において、対象範囲の航空レーザ計測結果に基づく小班・林相別の林齢－樹高データ及び20mメッシュ別の林齢－樹高データをプロットし、それぞれのデータがどの地位級に該当するかを判定し、地位級を割り当てた。

図 3.3.1にスギの小班・林相単位での地位級判定結果、図 3.3.2にカラマツの小班・林相単位での地位級判定結果を示す。また、図 3.3.3及び図 3.3.4に、小班・林相を地位級別に色分けした地位級区分図を示す。

同様に、図 3.3.5にスギの20mメッシュ単位での地位級判定結果、図 3.3.6にカラマツの20mメッシュ単位での地位級判定結果を、図 3.3.7及び図 3.3.8に、20mメッシュを地位級別に色分けした地位級分布図を示す。

---

<sup>18</sup> 林野庁・林業試験場(1962) 青森地方スギ林林分収穫表調製説明書。  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/shukakushiken/02gyoken/>

<sup>19</sup> 林野庁・林業試験場(1961) 岩手地方カラマツ林林分収穫表調製説明書。  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/shukakushiken/02gyoken/>

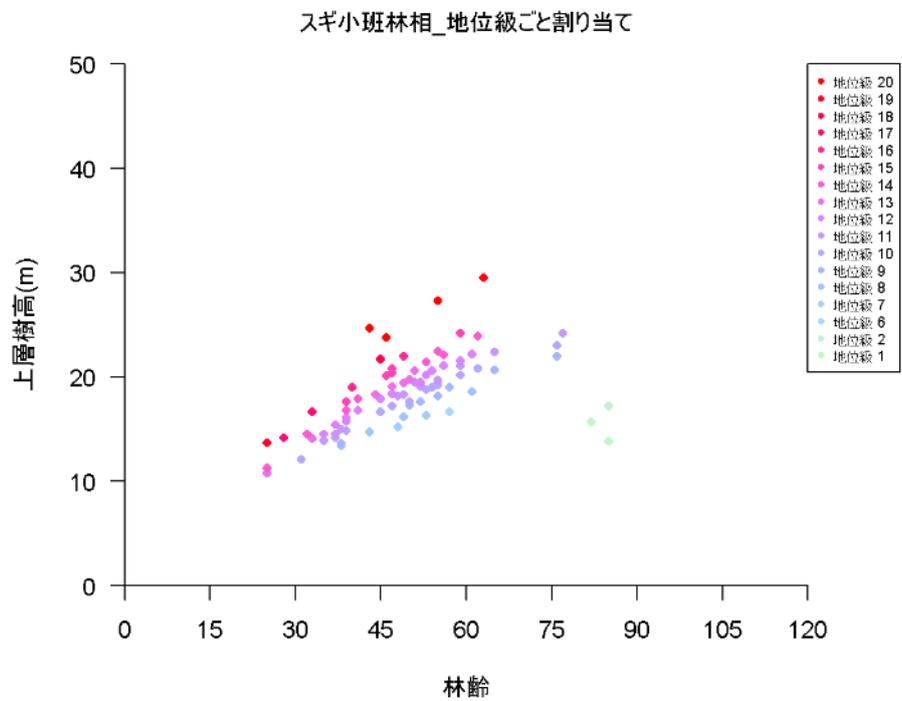
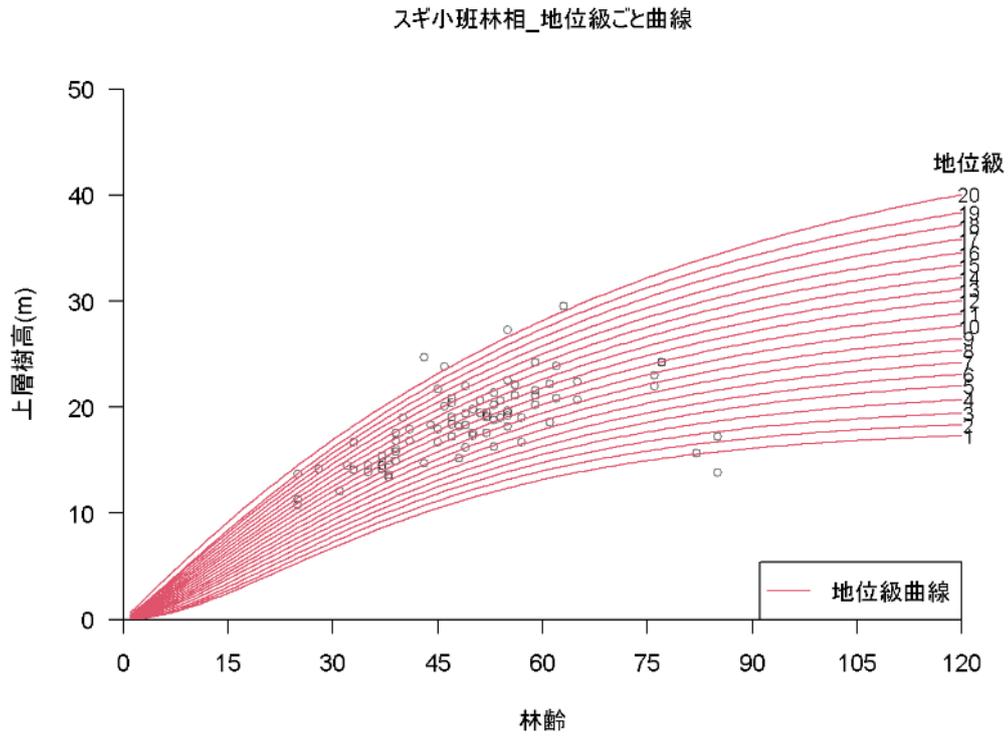


図 3.3.1 東北局：スギの小班・林相単位における地位級（パターン1）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

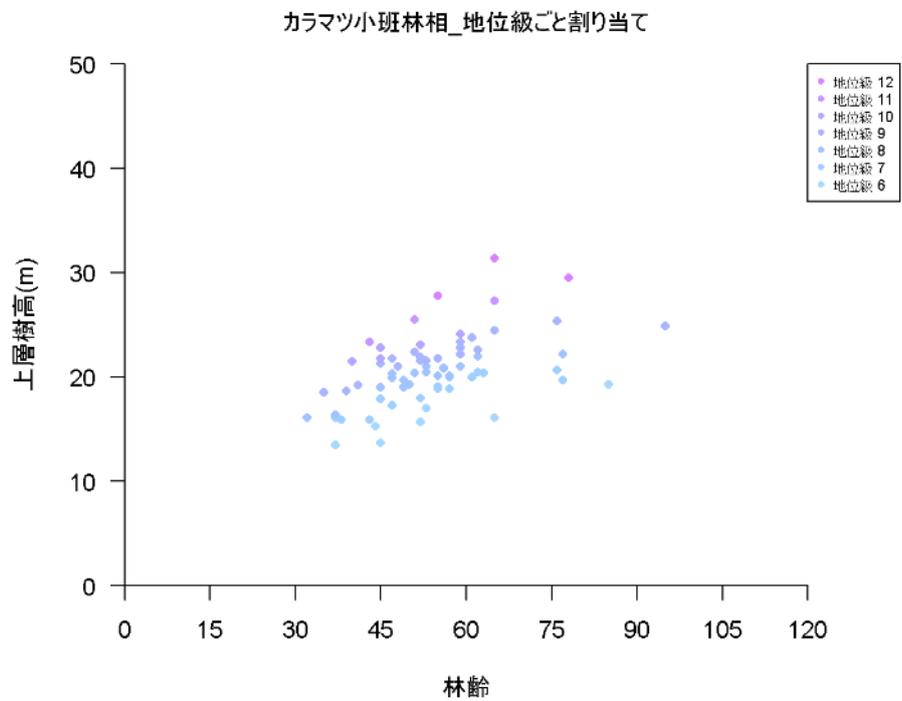
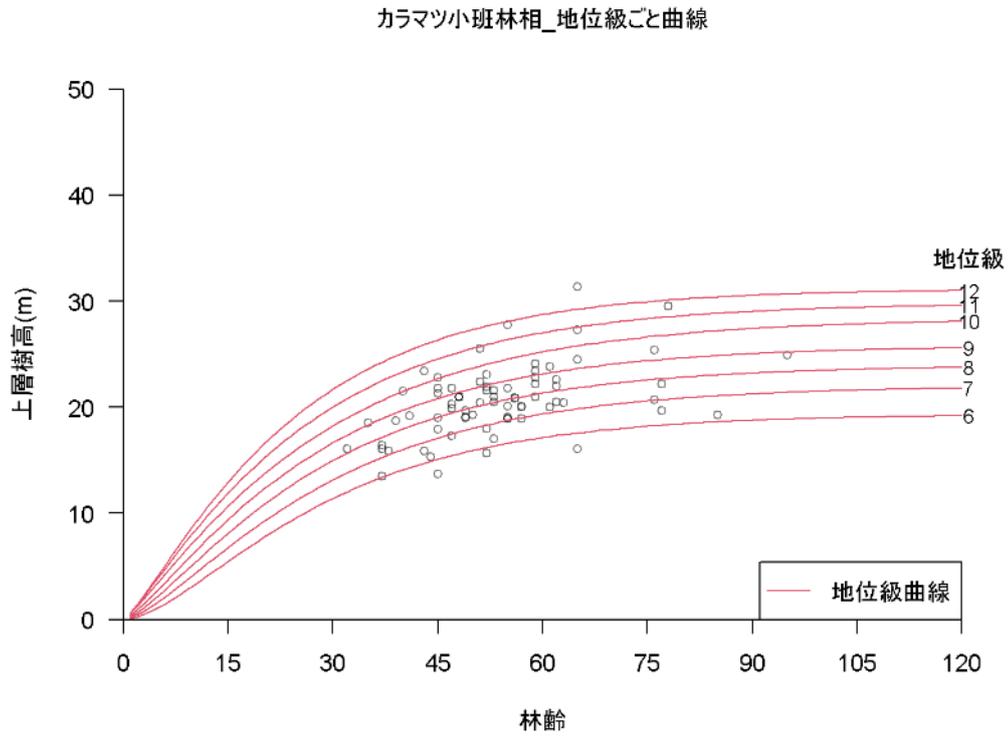


図 3.3.2 東北局：カラマツの小班・林相単位における地位級（パターン1）の判定結果  
 （上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

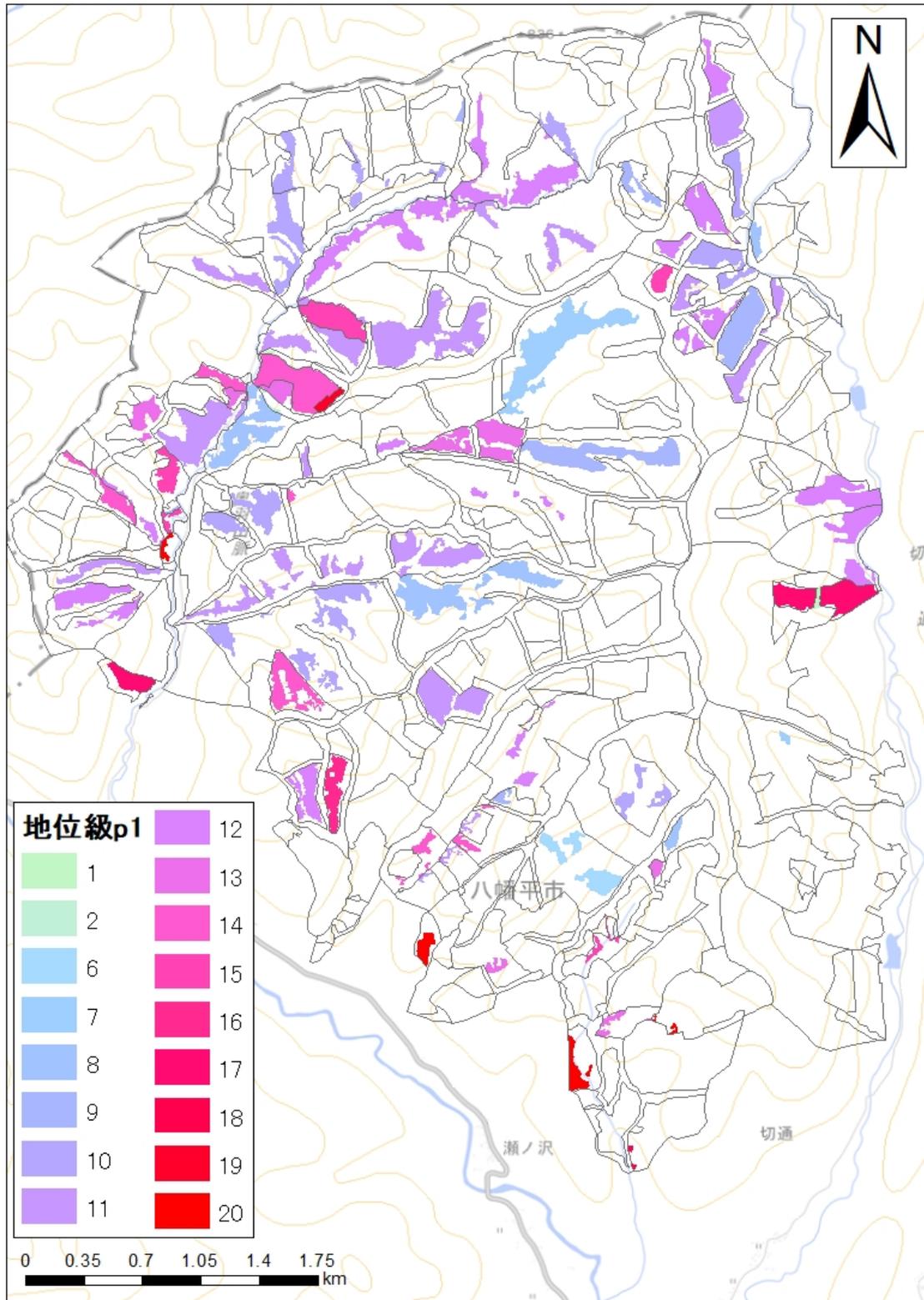


図 3.3.3 東北局：スギの小班・林相単位における地位級区分図（パターン1）

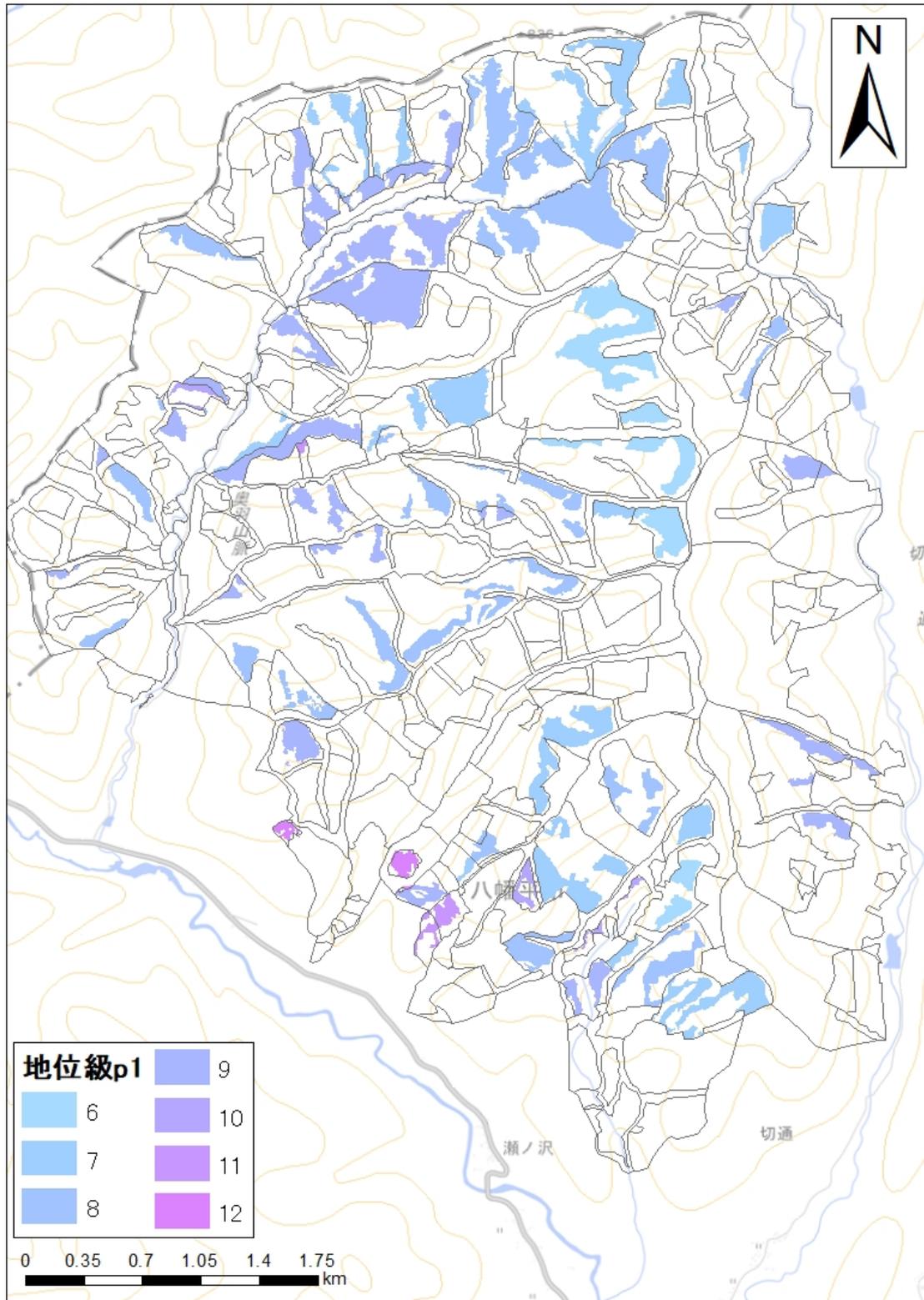


図 3.3.4 東北局：カラマツの小班・林相単位における地位級区分図（パターン1）

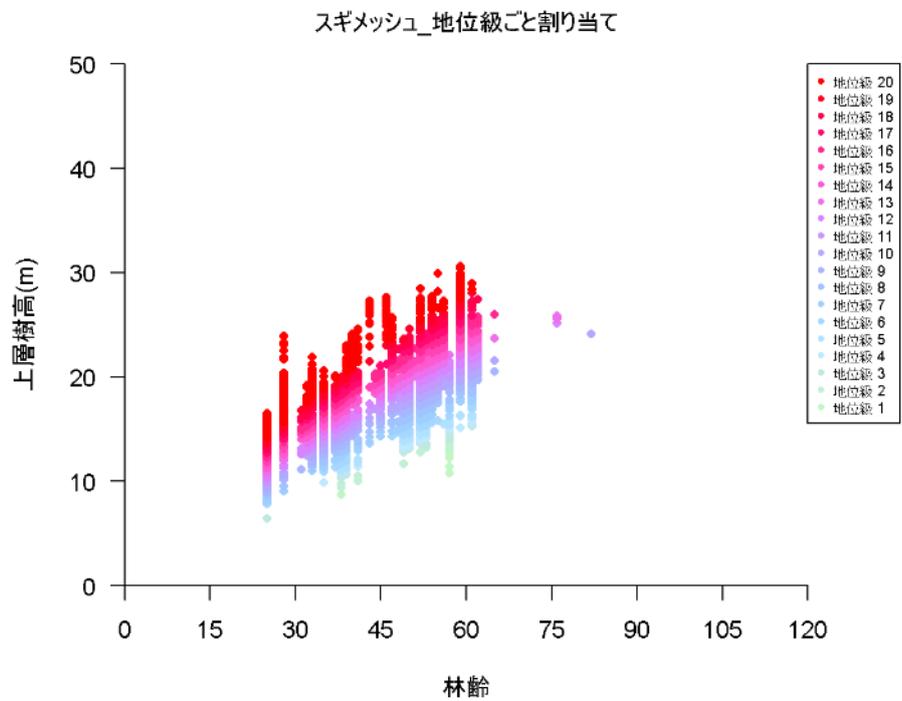
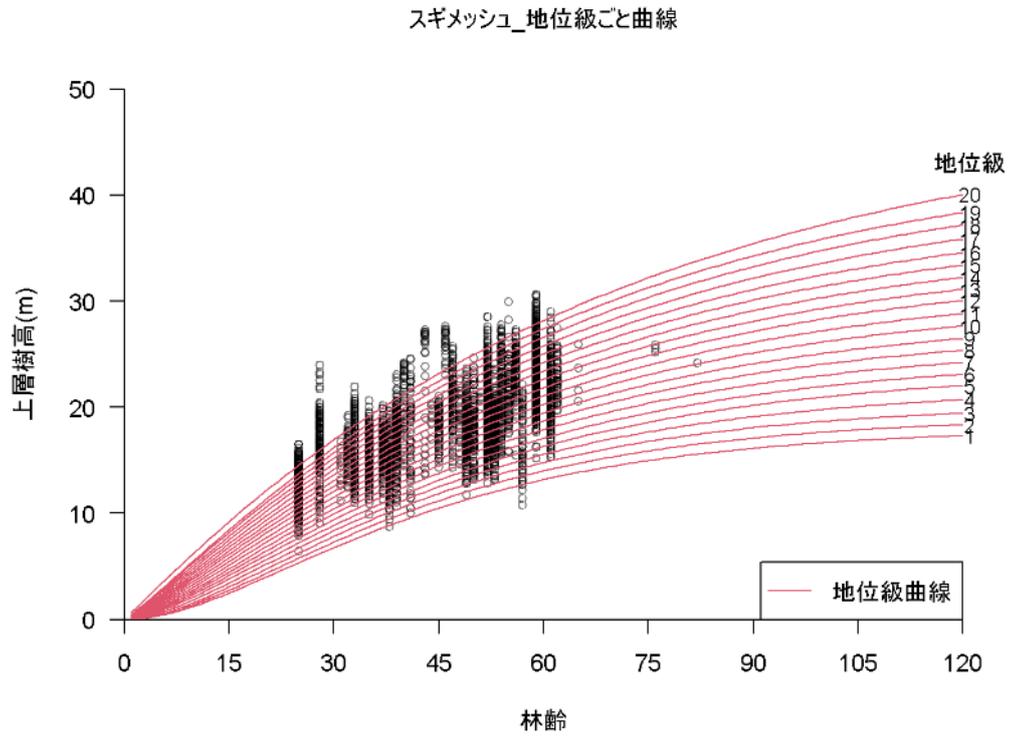


図 3.3.5 東北局：スギの20mメッシュ単位における地位級（パターン1）の判定結果  
 （上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

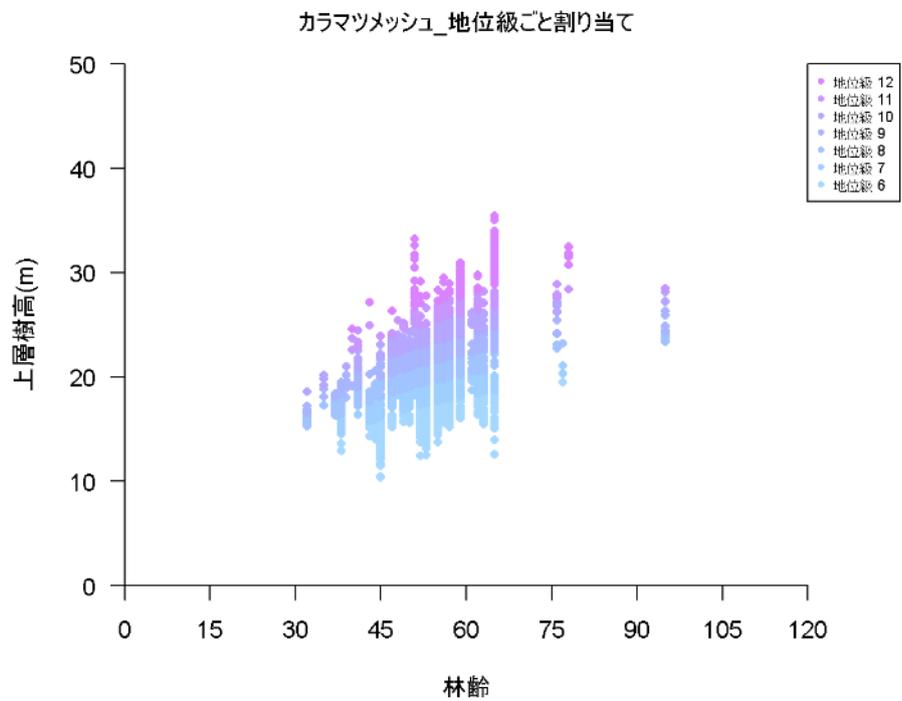
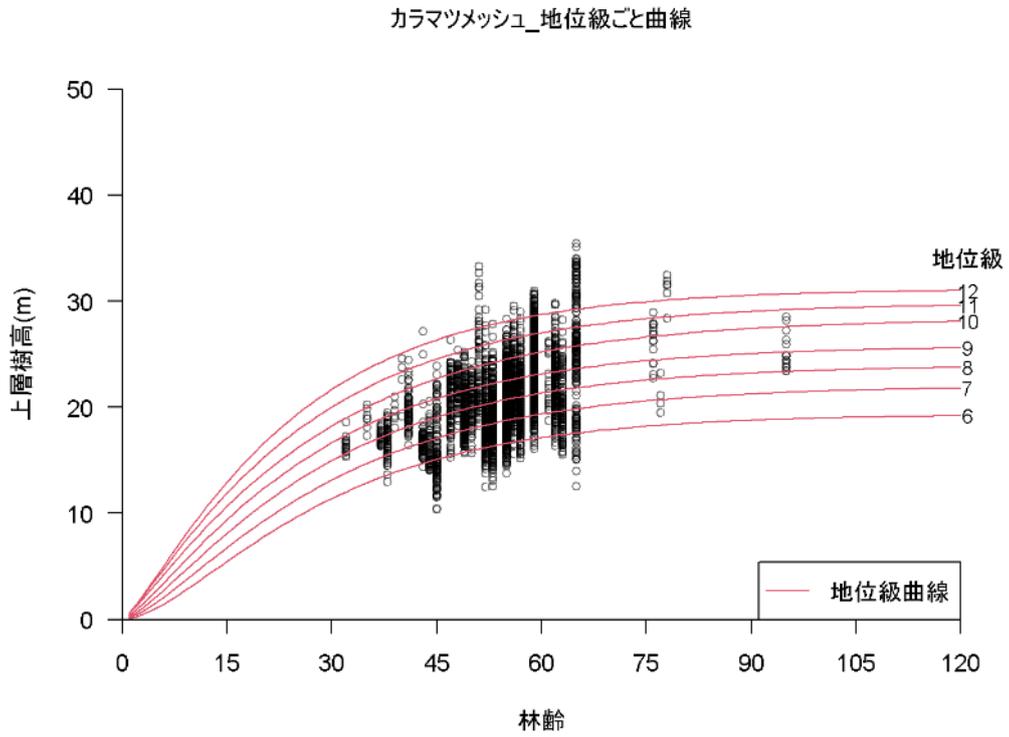


図 3.3.6 東北局：カラマツの20mメッシュ単位における地位級（パターン1）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

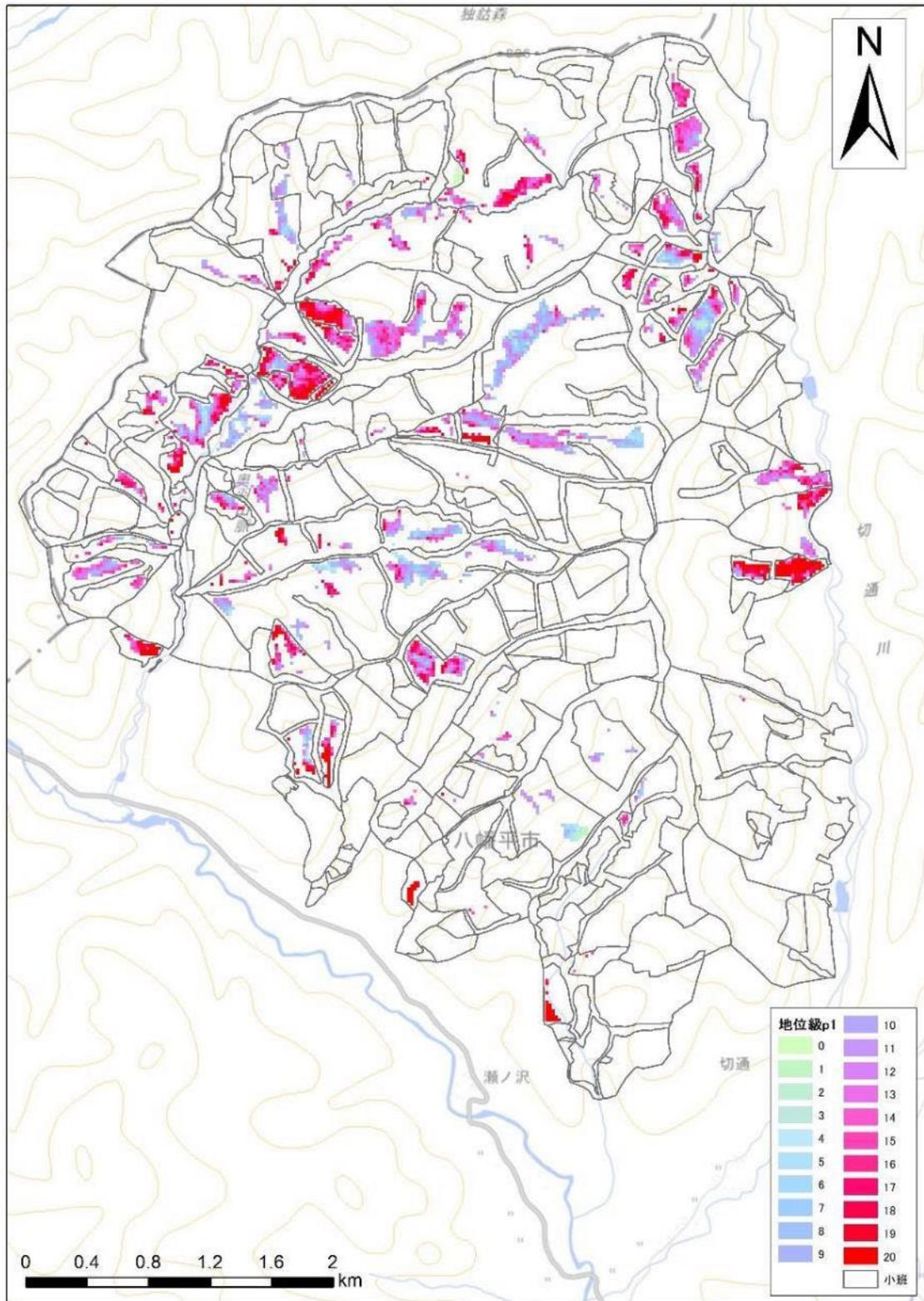


図 3.3.7 東北局：スギの20mメッシュ単位における地位級分布図（パターン1）

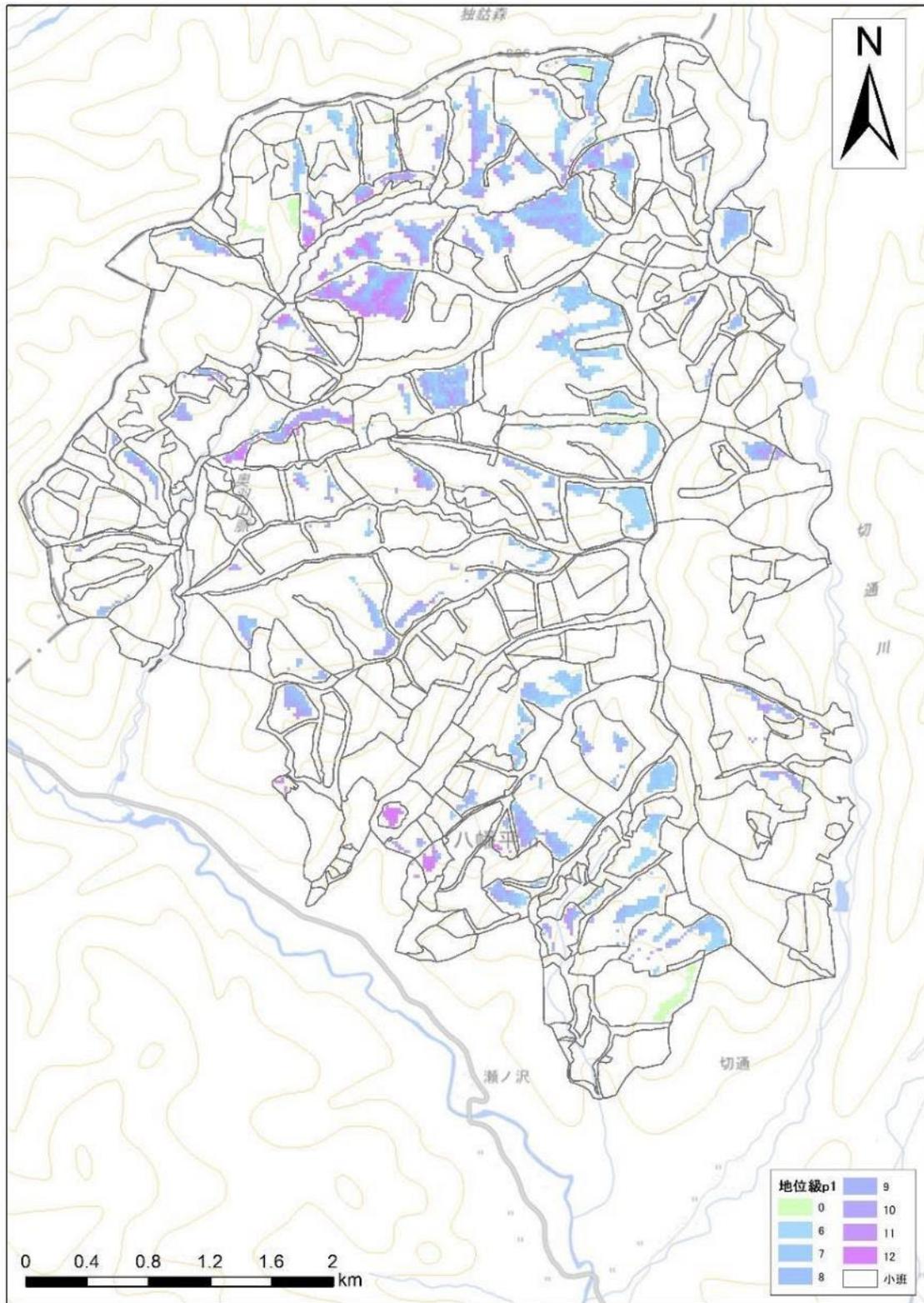


図 3.3.8 東北局：カラマツの20mメッシュ単位における地位級分布図（パターン1）

### 3.3.2 新たな収穫予想表から作成した地位判定基準図による地位級（パターン2）

本事業で作成した新たな収穫予想表（2章及び別冊資料2の3参照）から地位判定基準図を作成した上で、これに対象範囲の小班・林相別の林齢－樹高データ及び20mメッシュ別の林齢－樹高データをプロットし、それぞれのデータがどの地位級に該当するかを判定し、地位級を割り当てた。

図 3.3.9にスギの小班・林相単位での地位級判定結果、図 3.3.10にカラマツの小班・林相単位での地位級判定結果を示す。また、図 3.3.11及び図 3.3.12に、小班・林相を地位級別に色分けした地位級区分図を示す。

同様に、図 3.3.13にスギの20mメッシュ単位での地位級判定結果、図 3.3.14にカラマツの20mメッシュ単位での地位級判定結果を、図 3.3.15及び図 3.3.16に、20mメッシュを地位級別に色分けした地位級分布図を示す。

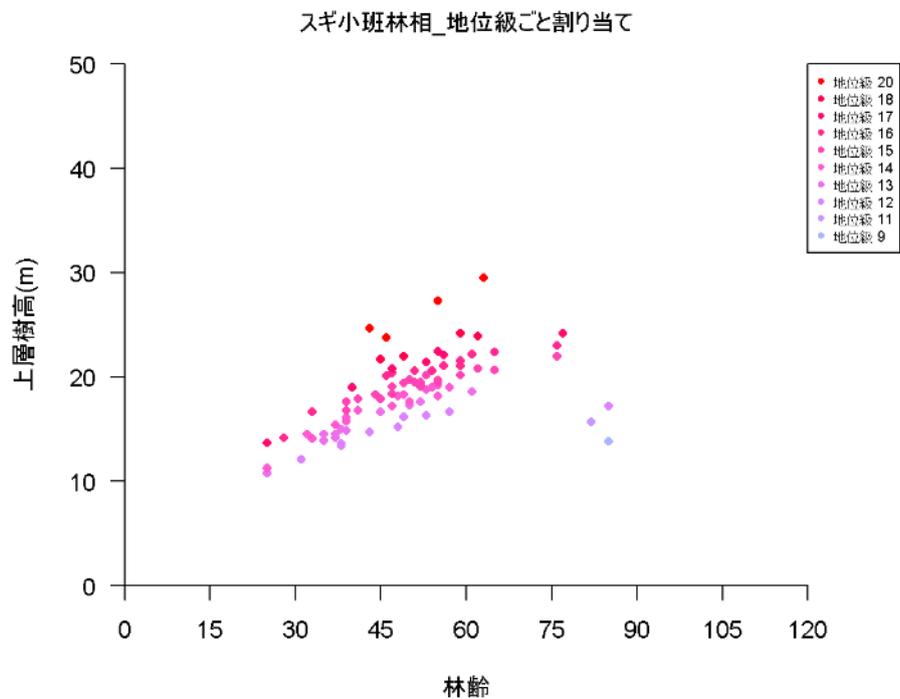
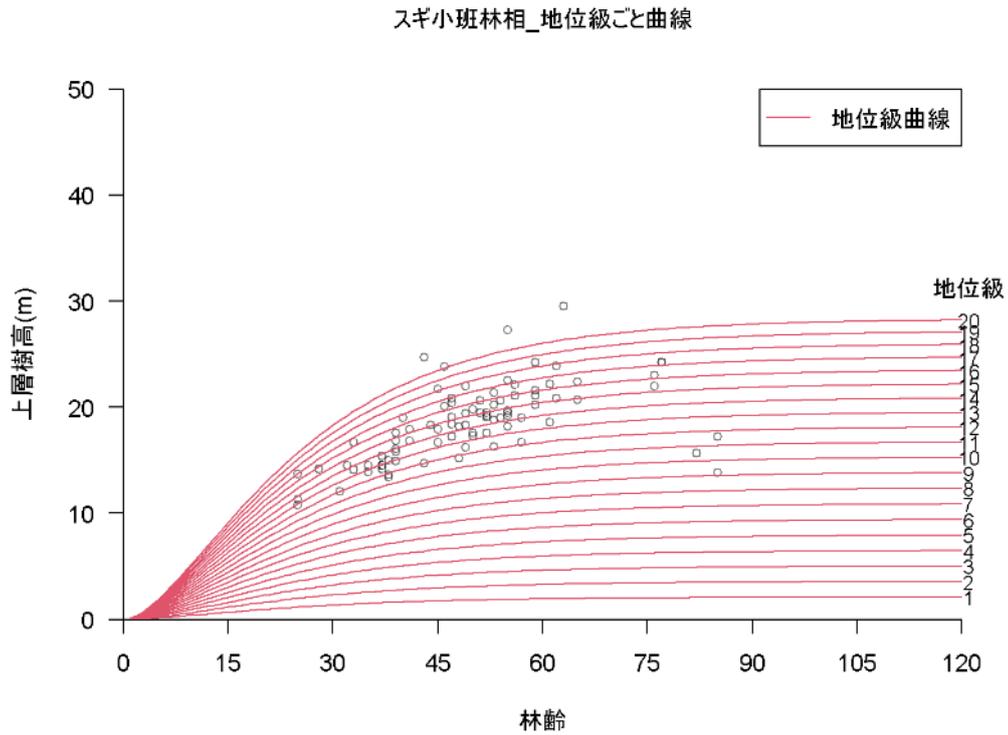


図 3.3.9 東北局：スギの小班・林相単位における地位級（パターン2）の判定結果  
 （上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

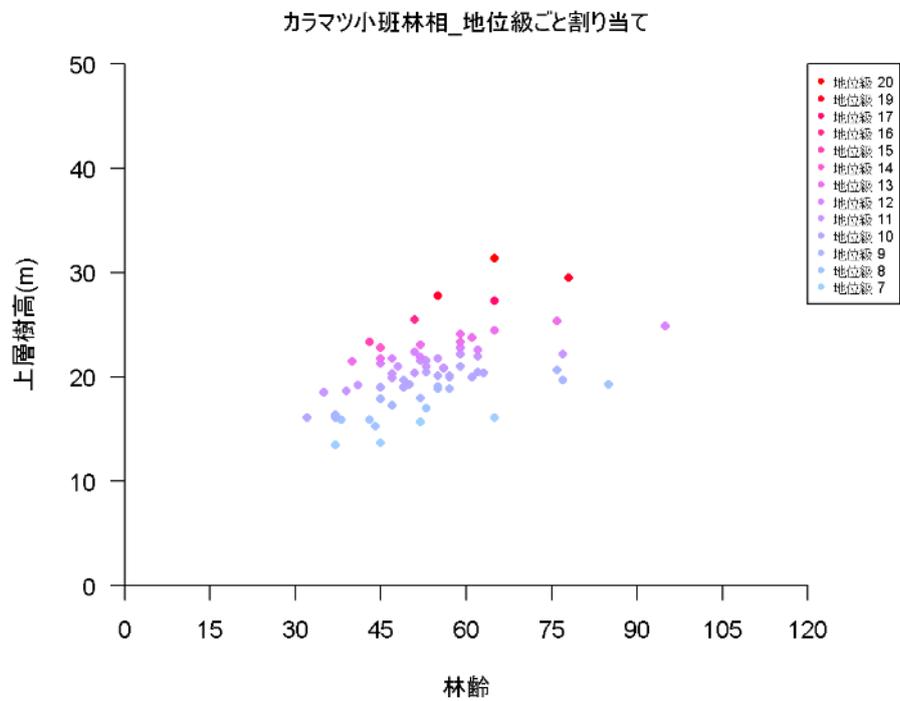
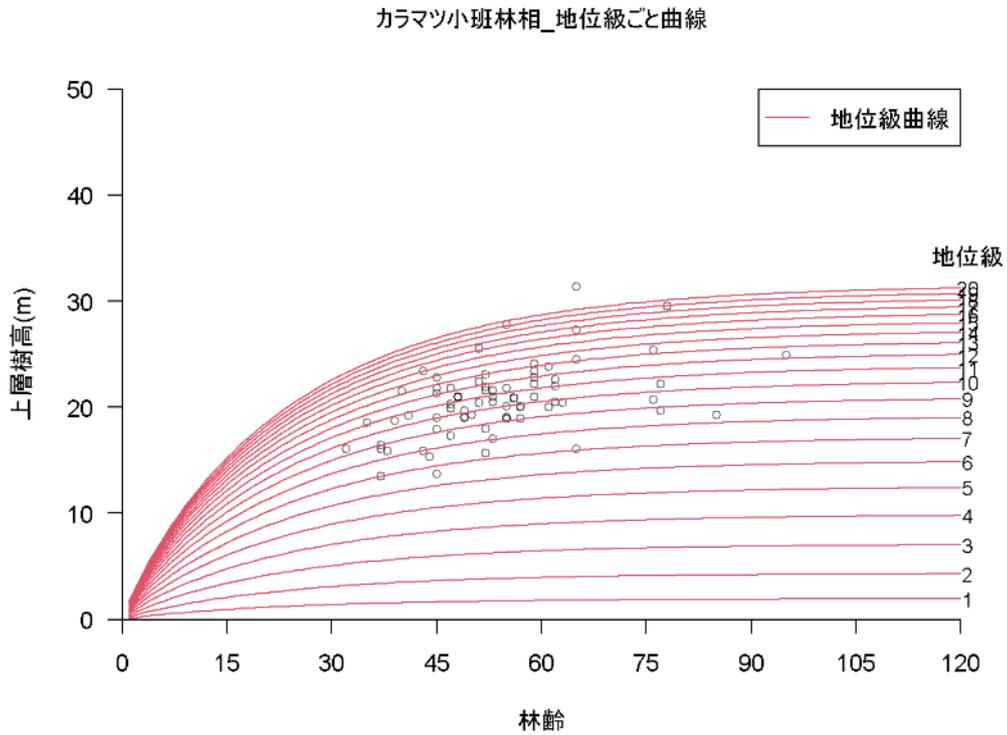


図 3.3.10 東北局：カラマツの小班・林相単位における地位級（パターン2）の判定結果  
 （上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

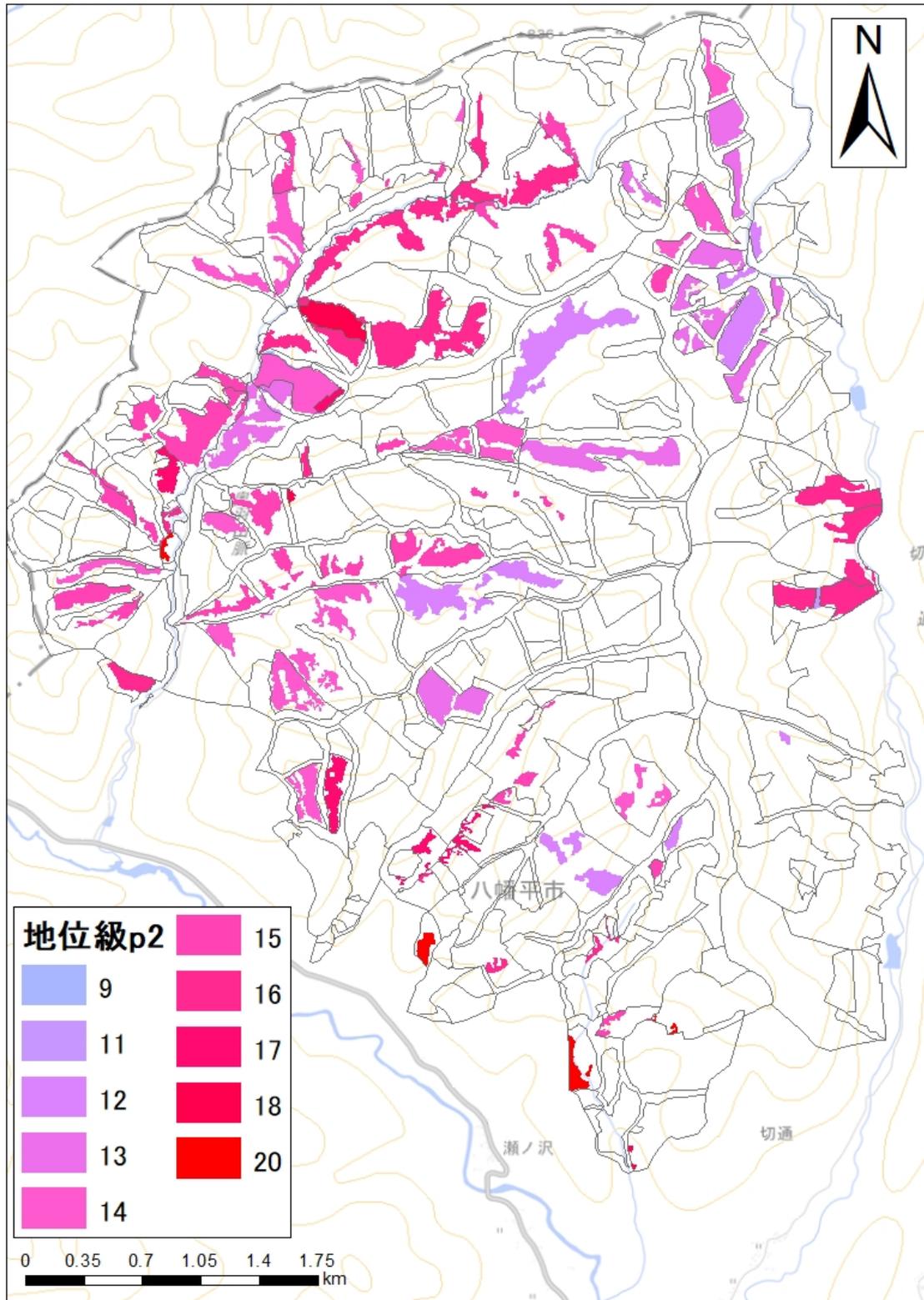


図 3.3.11 東北局：スギの小班・林相単位における地位級区分図（パターン2）

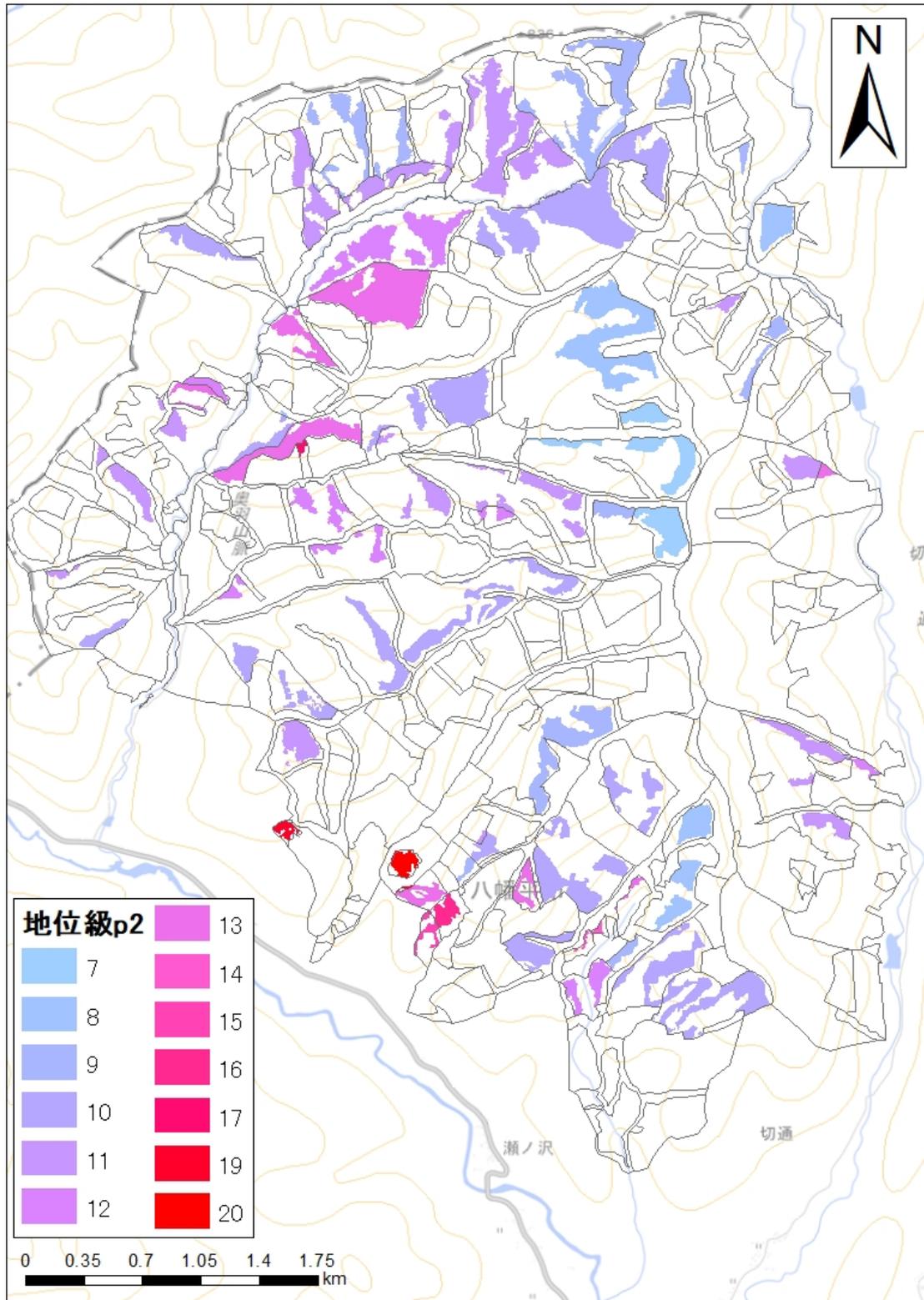


図 3.3.12 東北局：カラマツの小班・林相単位における地位級区分図（パターン2）

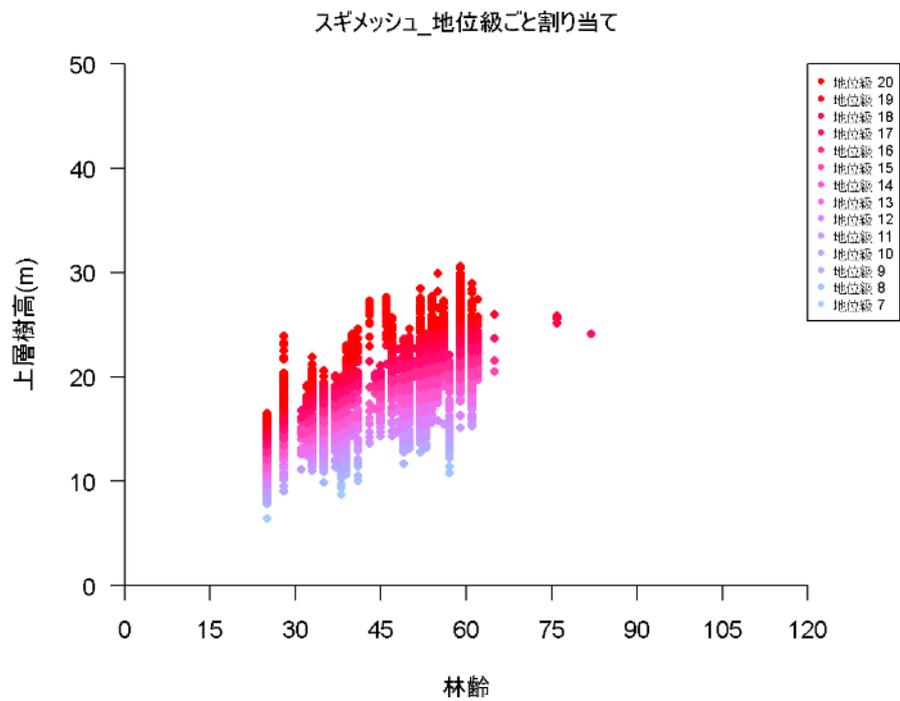
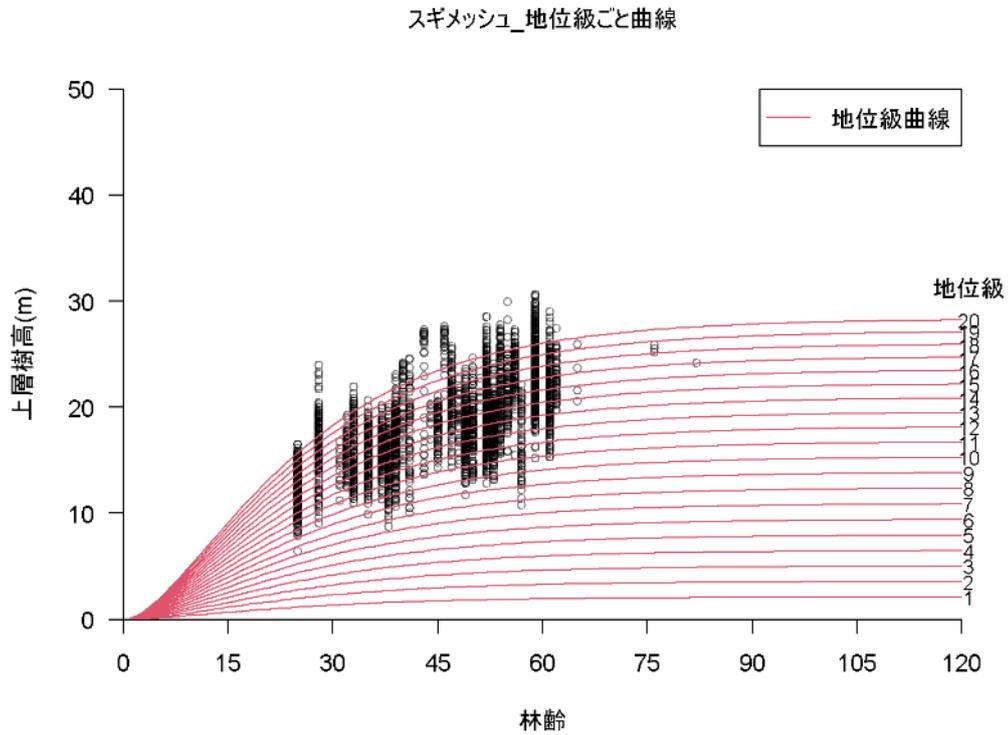


図 3.3.13 東北局：スギの20mメッシュ単位における地位級（パターン2）の判定結果  
 （上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

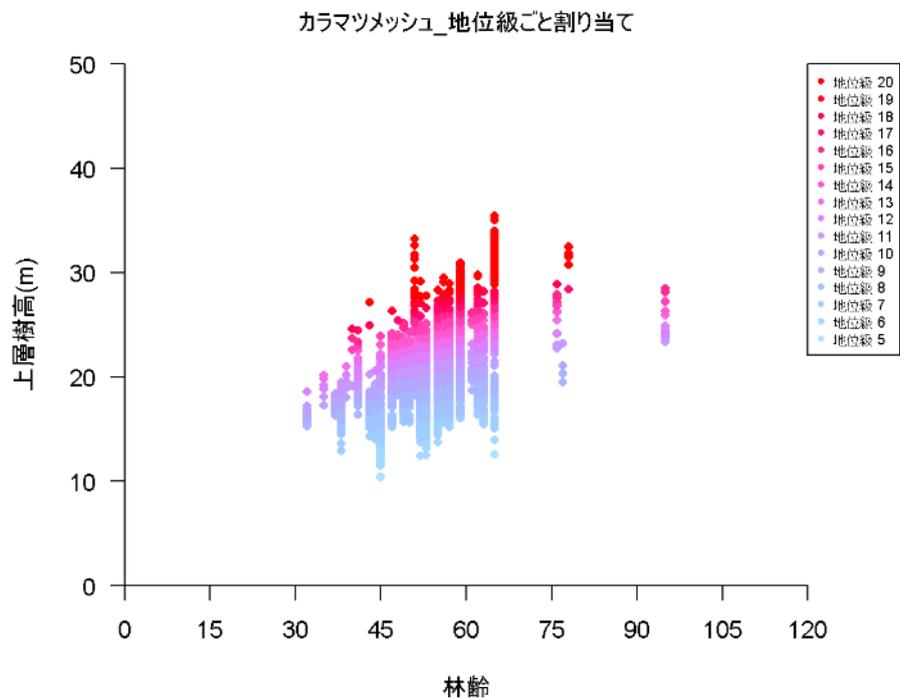
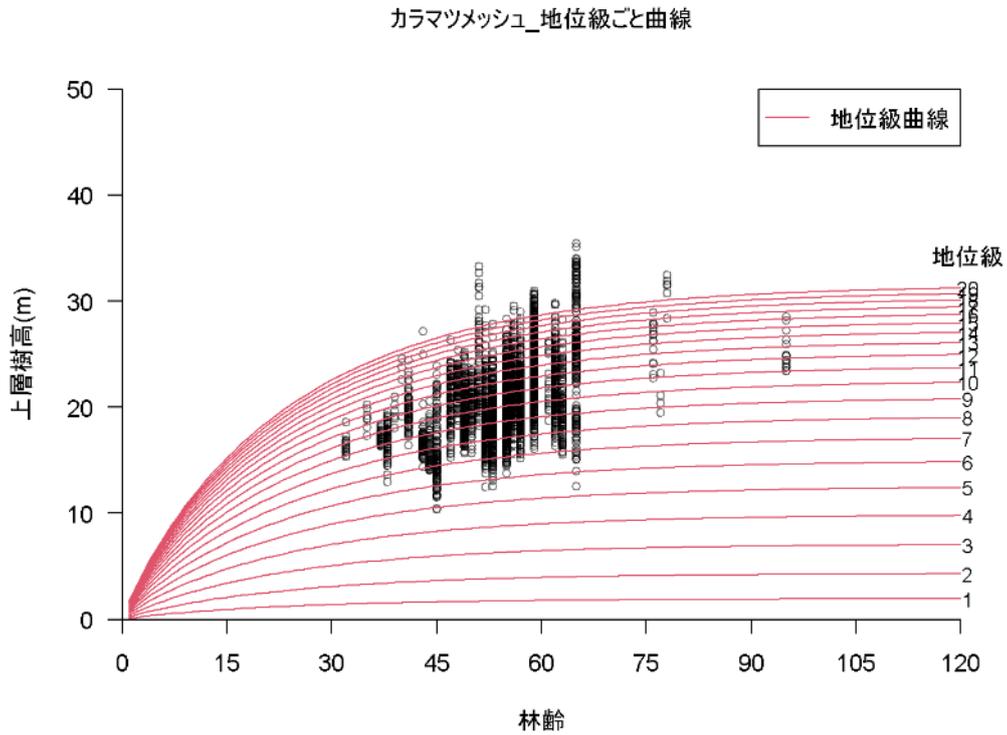


図 3.3.14 東北局：カラマツの20mメッシュ単位における地位級（パターン2）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

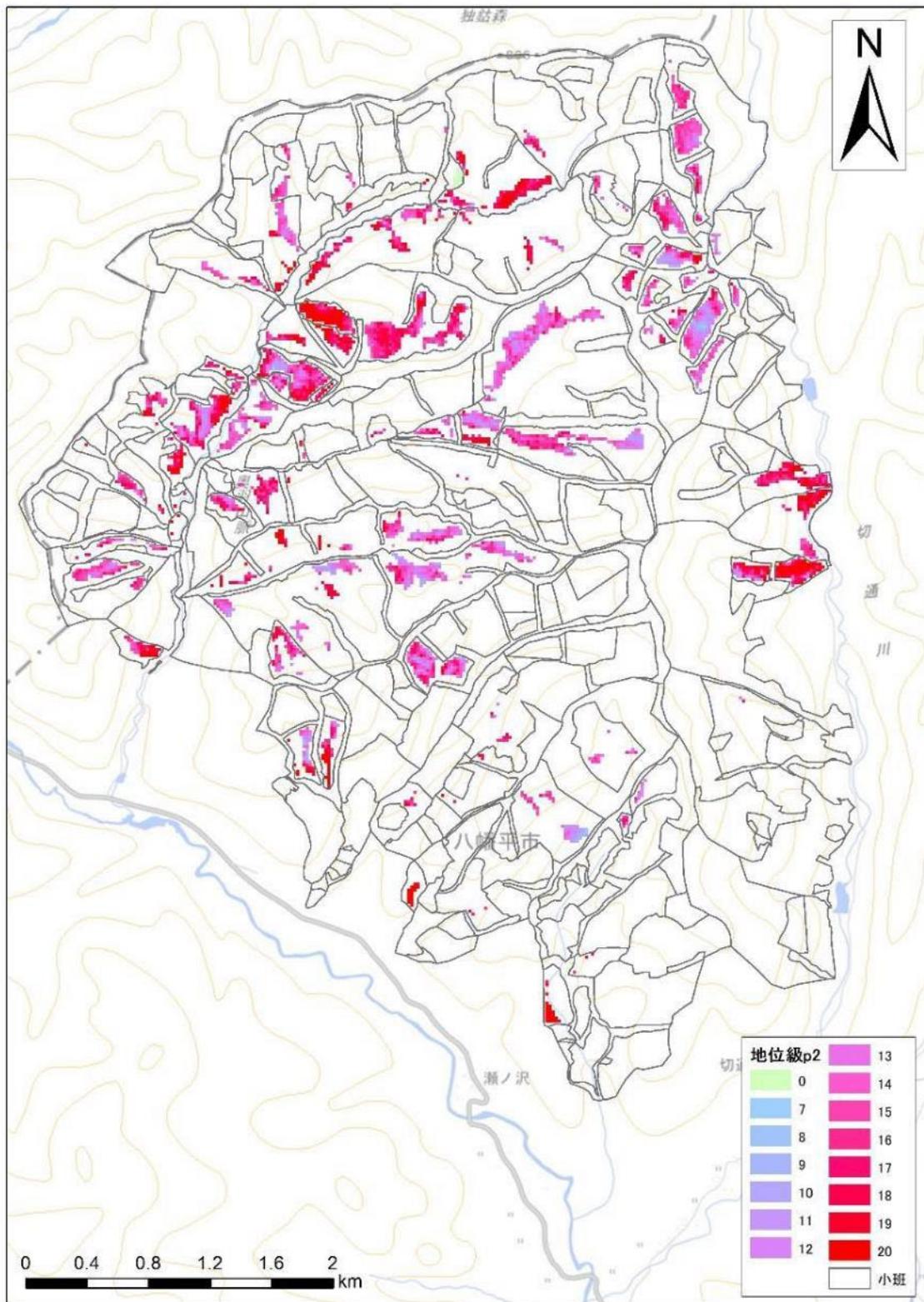


図 3.3.15 東北局：スギの20mメッシュ単位における地位級分布図（パターン2）

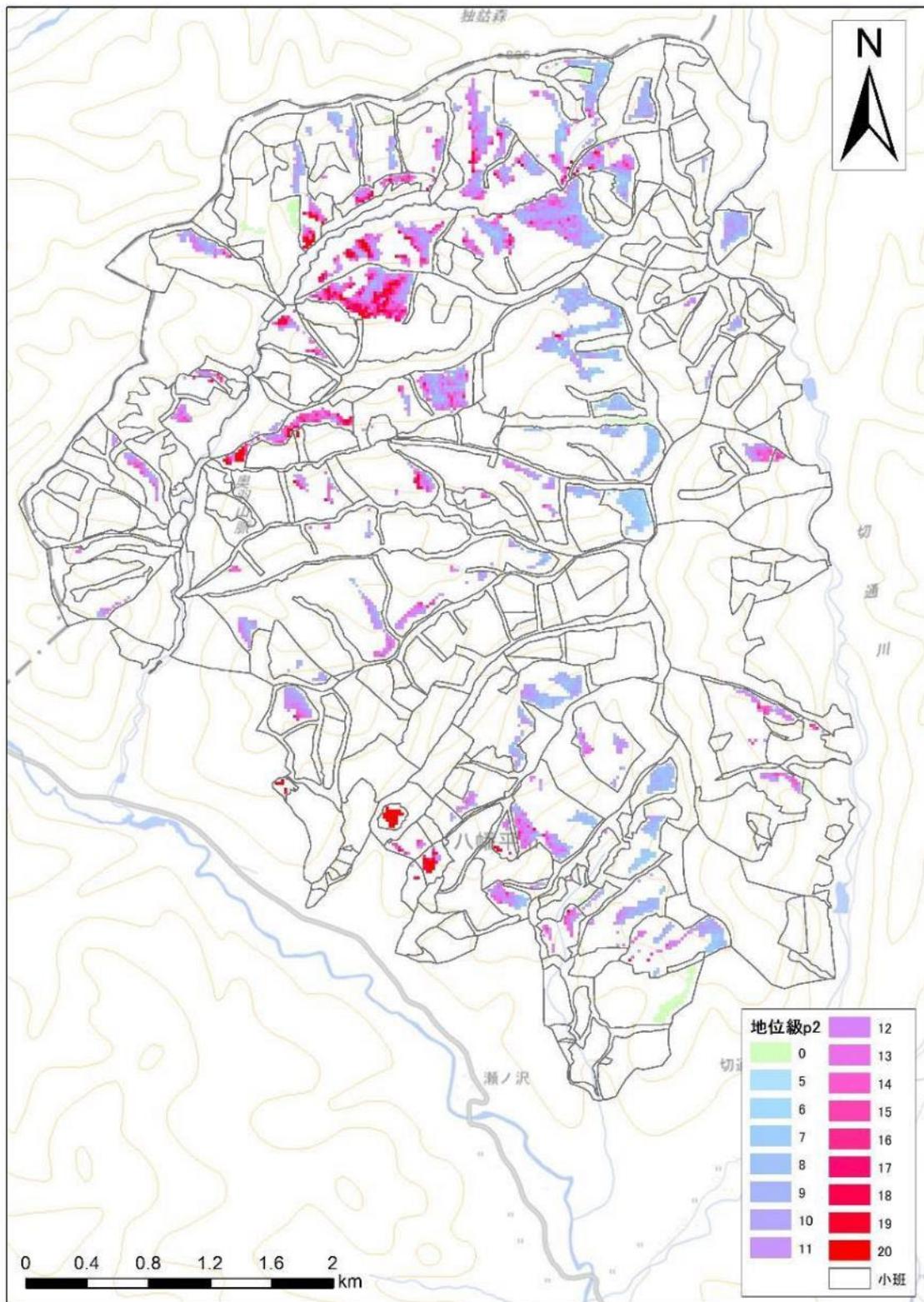


図 3.3.16 東北局：カラマツの20mメッシュ単位における地位級分布図（パターン2）

### 3.3.3 現行森林調査簿に記載の地位級（パターン3）

現行森林調査簿に記載の地位級は、「現等級1」の項目に記載された値を用いた（図 3.3.17、図 3.3.18）。

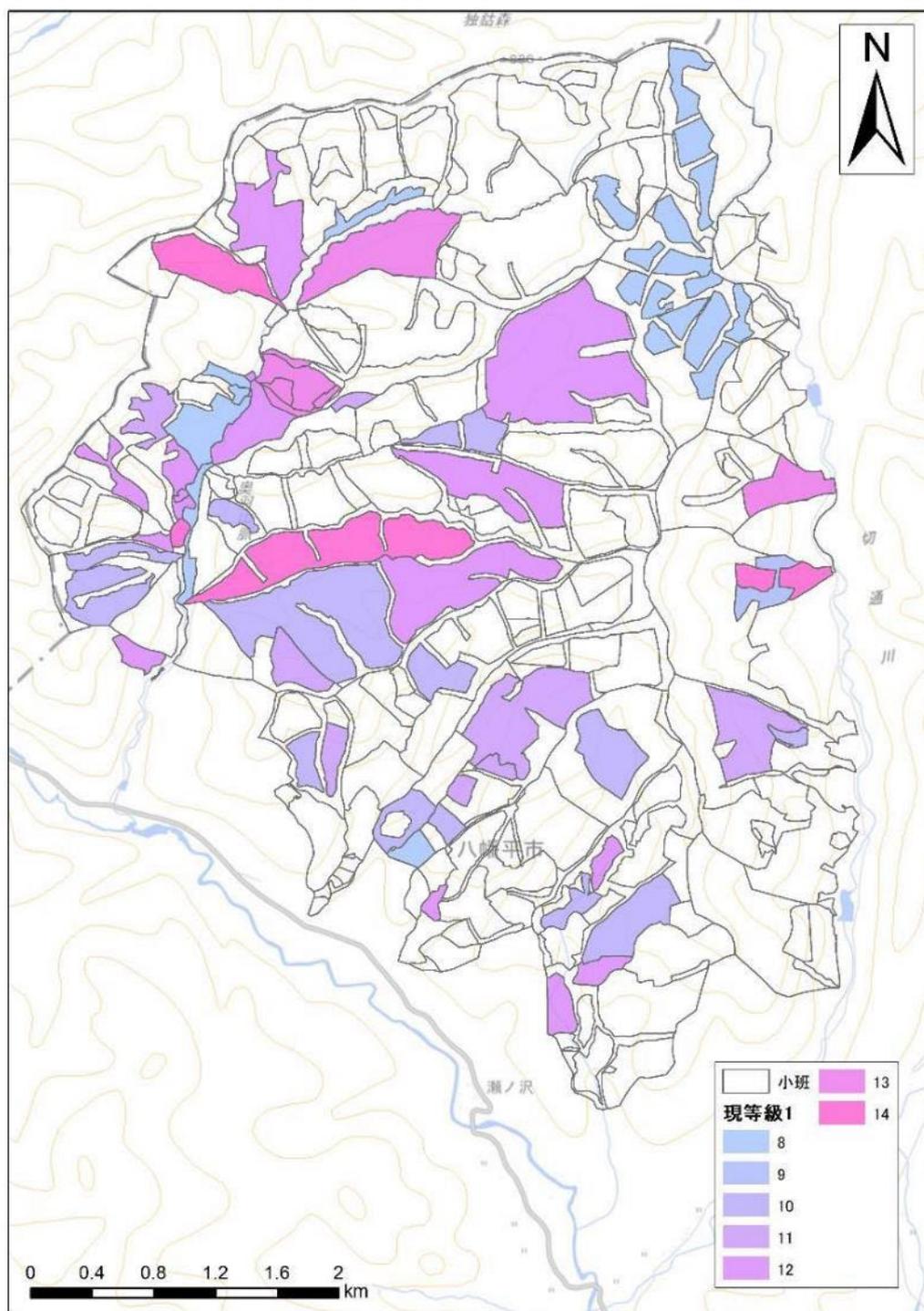


図 3.3.17 東北局：森林調査簿の樹種1がスギの小班における地位級（パターン3）の分布

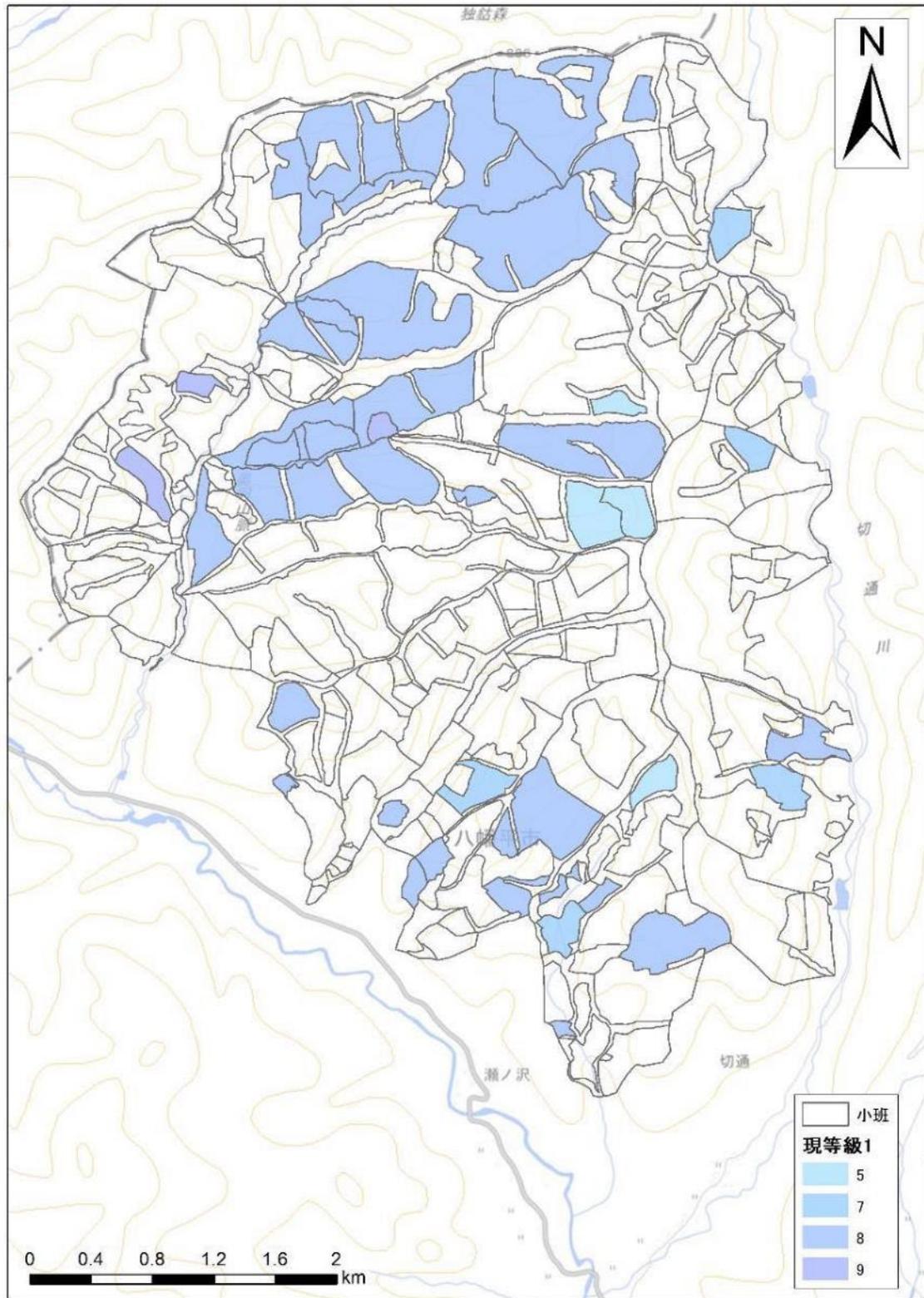


図 3.3.18 東北局：森林調査簿の樹種1がカラマツの小班における地位級（パターン3）の分布

### 3.3.4 算出した地位級の比較

算出したパターン1～3の地位級について、表 3.3.1～表 3.3.3に小班・林相単位での比較結果を、表 3.3.4～表 3.3.6に20mメッシュ単位での比較結果を示す。

全体として、同じ小班・林相又はメッシュにおいて、パターン2（新たな収穫予想表に基づき航空レーザ計測による樹高をもって判定した地位級）の方が、パターン1（過去に調整された収穫表に基づき航空レーザ計測による樹高をもって判定した地位級）及びパターン3（現行森林調査簿に記載の地位級、すなわち現行収穫予想表に基づき過去に計測した樹高をもって判定した地位級）よりも高く判定される傾向がみられた。

パターン2とパターン1とでは、樹高データは同じであるが地位判定に使用した収穫（予想）表が異なる。パターン1よりもパターン2の地位級が高いということは、パターン1で使用した過去の収穫表よりもパターン2の新たな収穫予想表の方が、成長の良いモデルであることを反映していると考えられた。

一方、パターン2とパターン3では収穫予想表に加え使用した樹高も異なる。収穫予想表については、2.2.2.6章の図 2.2.51及び図 2.2.54に示したとおり、パターン2で使用した新たな収穫予想表（これらの図における従来方法のサンプリングデータによるモデル）の方がパターン3で使用した現行収穫予想表よりも成長の良いモデルとなっている。樹高については、パターン2とパターン3で計測方法が異なるとともに、パターン3で使用された樹高が不明であり単純に比較できない。このため、パターン2とパターン3の差異が主に収穫予想表の違いに起因しているのか、樹高の違いに起因しているのか、又はその両方なのかについては明らかではなかった。

なお、パターン1とパターン3との関係には明瞭な傾向がみられなかった。これらも使用した収穫予想表と樹高が異なることから比較が困難であった。

表 3.3.1 地位級パターン1とパターン2の比較（小班・林相単位）

地位級 パターン2	地位級パターン1																	総計
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
7			4															4
8			3	2														5
9	1			10	1													12
10				4	11													15
11	1				7	10												18
12		1	1	2	3	8	1											16
13					1	6	7	4	1	1								20
14						2	6	2	4	1	2							17
15						2	3	4	5	4	2	1						21
16								1	3	4	1		2		2			13
17									3			3	1	1			1	9
18												1	1	1		1		4
19										2								2
20										1								4
総計	2	1	8	18	23	28	18	16	17	7	8	5	2	2	1	1	4	161

表 3.3.2 地位級パターン1とパターン3の比較（小班・林相単位）

地位級 パターン3	地位級パターン1																		
	1	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	総計	
2						1												1	
5			2	2	1													5	
7			1	1	2	3			1	1	2							11	
8			3	9	6	16	11	10	7	2	2	2			1		2	71	
9	1				2		1		2									6	
10				1	4	1	3	3	3	1	1	1	1					19	
11				3	3	2		1	1	1	1		1					13	
12			1	2	4	2	3		1	1	1	2		1			1	19	
13	1	1	1			2			2	1	1					1		10	
14					1	1		2						1			1	6	
総計	2	1	8	18	23	28	18	16	17	7	8	5	2	2	1	1	4	161	

表 3.3.3 地位級パターン2とパターン3の比較（小班・林相単位）

地位級 パターン2	地位級パターン3										総計	
	2	5	7	8	9	10	11	12	13	14		
7		2		2								4
8		1	2					1	1			5
9		1		7		1	2		1			12
10			1	6		4	1	2		1		15
11			2	7	3	1	3	2				18
12	1	1	2	6			1	2	2	1		16
13				13	1	1		3	2			20
14				7		6	1	1	1	1	1	17
15			1	9	2	1	3	4			1	21
16			1	6		1		2	2	1		13
17			2	1		2	2	1	1			9
18				3		1						4
19				1		1						2
20				3				1		1		5
総計	1	5	11	71	6	19	13	19	10	6		161

表 3.3.4 地位級パターン1とパターン2の比較 (20mメッシュ単位)

地位級 パターン2	地位級パターン1																				総計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
5					5																5
6						32															32
7	1		1			219															221
8	2	3				337	135														477
9	6	4	4	6	1	4	738	41													804
10		5	14	17	11	14	146	565	10												782
11			3	15	36	35	27	440	214	7											777
12				7	46	84	34	538	54	18	4										785
13					2	27	110	317	165	72	50	13									756
14								19	95	405	83	55	94	36	12						799
15									4	218	120	127	57	78	81	26	2				713
16										14	144	151	99	52	56	73	55	15			659
17										1	67	6	96	110	55	31	40	53	49		508
18											41	10	1	48	88	54	26	18	30	44	360
19												33	1		9	66	55	21	7	56	248
20												130				3	25	63	52	254	527
総計	9	12	22	38	55	694	1,157	1,209	1,178	864	545	566	361	324	301	253	203	170	138	354	8,453

表 3.3.5 地位級パターン1とパターン3の比較 (20mメッシュ単位)

地位級 パターン3	地位級パターン1																				総計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2								5	7	2	1										15
5						133	88	14	2	1	1	1			1						241
7						39	46	82	76	46	10	10	13	11	8	9	4	7	7	10	378
8	9	6	10	13	32	321	597	644	687	512	321	351	181	180	158	118	91	77	43	88	4,439
9							2	17	14	13	4	3	2	1	1		2			1	60
10		3	1	10	8	20	81	119	109	67	53	55	56	40	43	36	19	25	15	31	791
11						26	87	64	33	20	7	11	14	13	15	21	14	9	8	31	373
12		3	9	13	15	146	201	182	133	105	75	46	34	21	28	18	21	14	17	52	1,133
13			1	1		1	21	54	75	65	52	65	36	45	38	38	30	30	28	43	623
14			1	1		8	34	28	42	33	21	24	25	13	9	13	22	8	20	98	400
総計	9	12	22	38	55	694	1,157	1,209	1,178	864	545	566	361	324	301	253	203	170	138	354	8,453

表 3.3.6 地位級パターン2とパターン3の比較 (20mメッシュ単位)

地位級 パターン2	地位級パターン3											総計
	2	5	7	8	9	10	11	12	13	14		
5						1			12		2	
6	1		6	11	2			4	58	37	38	
7	6	3	68	195	160	40	17	182	247	74		
8	17	6	135	722	612	74	15	261	514	188		
9	12		37	1,300	1,318	99	8	169	596	302	14	
10	1		9	1,378	2,310	83	5	103	348	345	50	
11	3		4	395	1,180	42		78	176	303	45	
12	1		3	88	325	66		81	130	242	31	
13				15	120	46		40	62	145	33	
14	1			1	20	15		19	27	108	8	
15					7				6	18	56	13
16					5				3	4	24	4
17									2	1	10	3
18											2	1
19									1			3
20											2	
総計	42	9	262	4,105	6,059	466	49	1,017	2,160	1,839	205	

### 3.3.5 地位級と地位指数の関係

森林の生産力を表す指標として、伐期総平均成長量を示す地位級の他に、基準林齢（一般的には40年）における平均樹高を示す地位指数がある。後者は伐期齢によらないため比較しやすいという利点があることを踏まえ、参考までに、パターン1及びパターン2において算出した地位級のそれぞれについて、対応する地位指数（基準林齢は40年）を算出した（表 3.3.7）。これにより、地位級を地位指数に置き換えて参照可能となる。

表 3.3.7 地位級に対応する地位指数（東北局）

地位級	スギ地位指数		カラマツ地位指数	
	パターン1	パターン2	パターン1	パターン2
1	9.4	2.1		2.0
2	10.0	3.6		4.3
3	10.7	5.0		7.1
4	11.3	6.5		9.9
5	11.8	8.0		12.5
6	12.5	9.4	14.1	15.0
7	13.1	10.9	16.0	17.2
8	13.7	12.4	18.0	19.2
9	14.3	13.9	19.7	21.0
10	15.0	15.3	21.5	22.5
11	15.6	16.8	23.4	23.9
12	16.2	18.2	25.1	25.2
13	16.8	19.6		26.3
14	17.5	20.9		27.3
15	18.1	22.3		28.2
16	18.7	23.5		29.0
17	19.3	24.8		29.7
18	19.9	26.0		30.4
19	20.5	27.2		31.0
20	21.3	28.3		31.5

### 3.4 地位級の算出・比較（中部局）

#### 3.4.1 既存の収穫予想表から作成した地位判定基準図による地位級（パターン1）

中部局で現在使用している国有林の収穫予想表を用いて地位判定基準図を作成した。地位判定基準図の樹高曲線は、収穫予想表を基にプロットした点に、当てはまりの良いリチャーズ式を適用して求めた。これに対象範囲の航空レーザ計測結果に基づく小班・林相別の林齢－樹高データ及び20mメッシュ別の林齢－樹高データをプロットし、それぞれのデータがどの地位級に該当するかを判定し、地位級を割り当てた。

図 3.4.1にスギの小班・林相単位での地位級判定結果、図 3.4.2にカラマツの小班・林相単位での地位級判定結果を示す。また、図 3.4.3及び図 3.4.4に、小班・林相を地位級別に色分けした地位級区分図を示す。

同様に、図 3.4.5にスギの20mメッシュ単位での地位級判定結果、図 3.4.6にカラマツの20mメッシュ単位での地位級判定結果を、図 3.4.7及び図 3.4.8に、20mメッシュを地位級別に色分けした地位級分布図を示す。

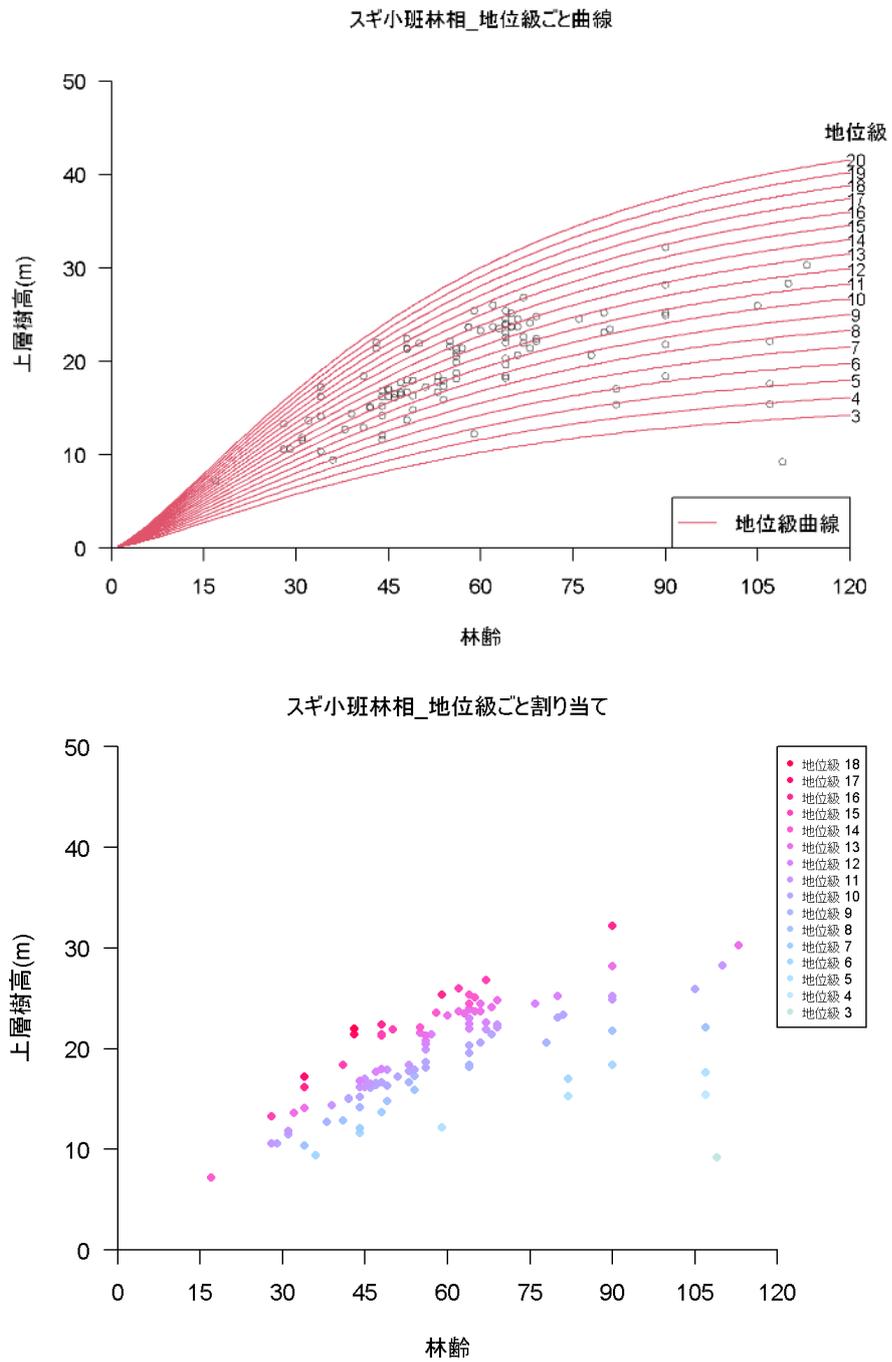


図 3.4.1 中部局：スギの小班・林相単位における地位級（パターン1）の判定結果  
 （上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

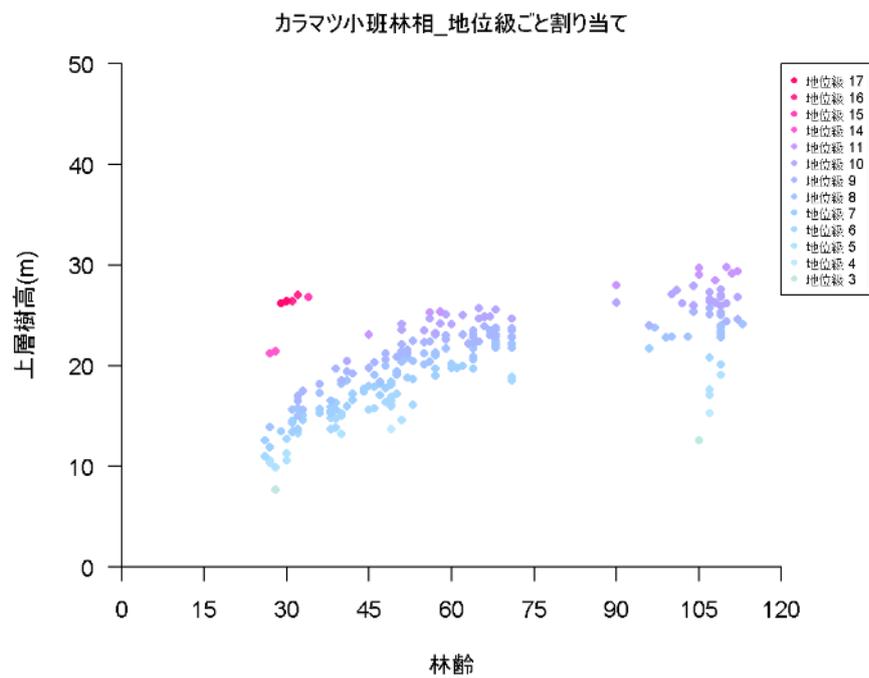
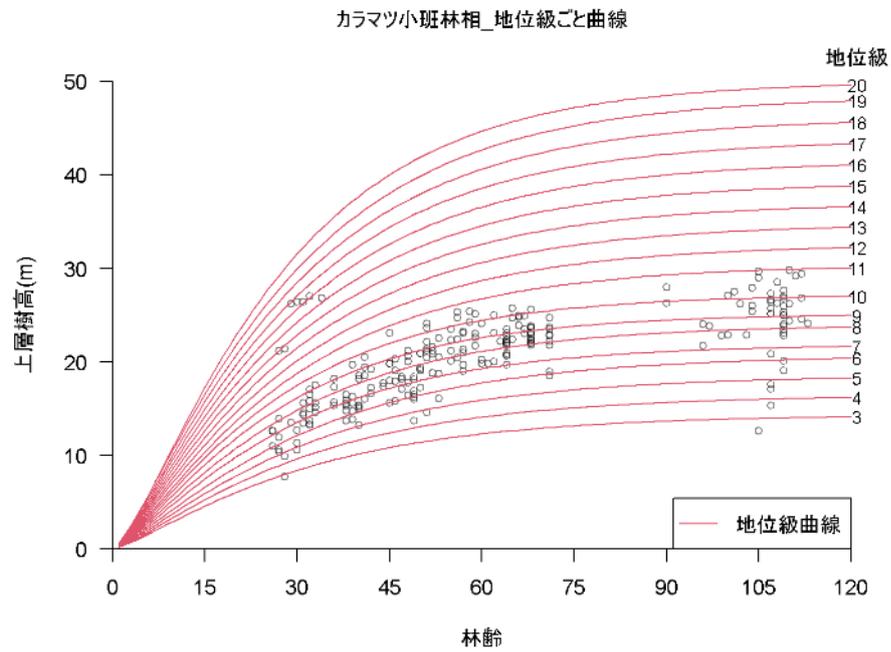


図 3.4.2 中部局：カラマツの小班・林相単位における地位級（パターン1）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

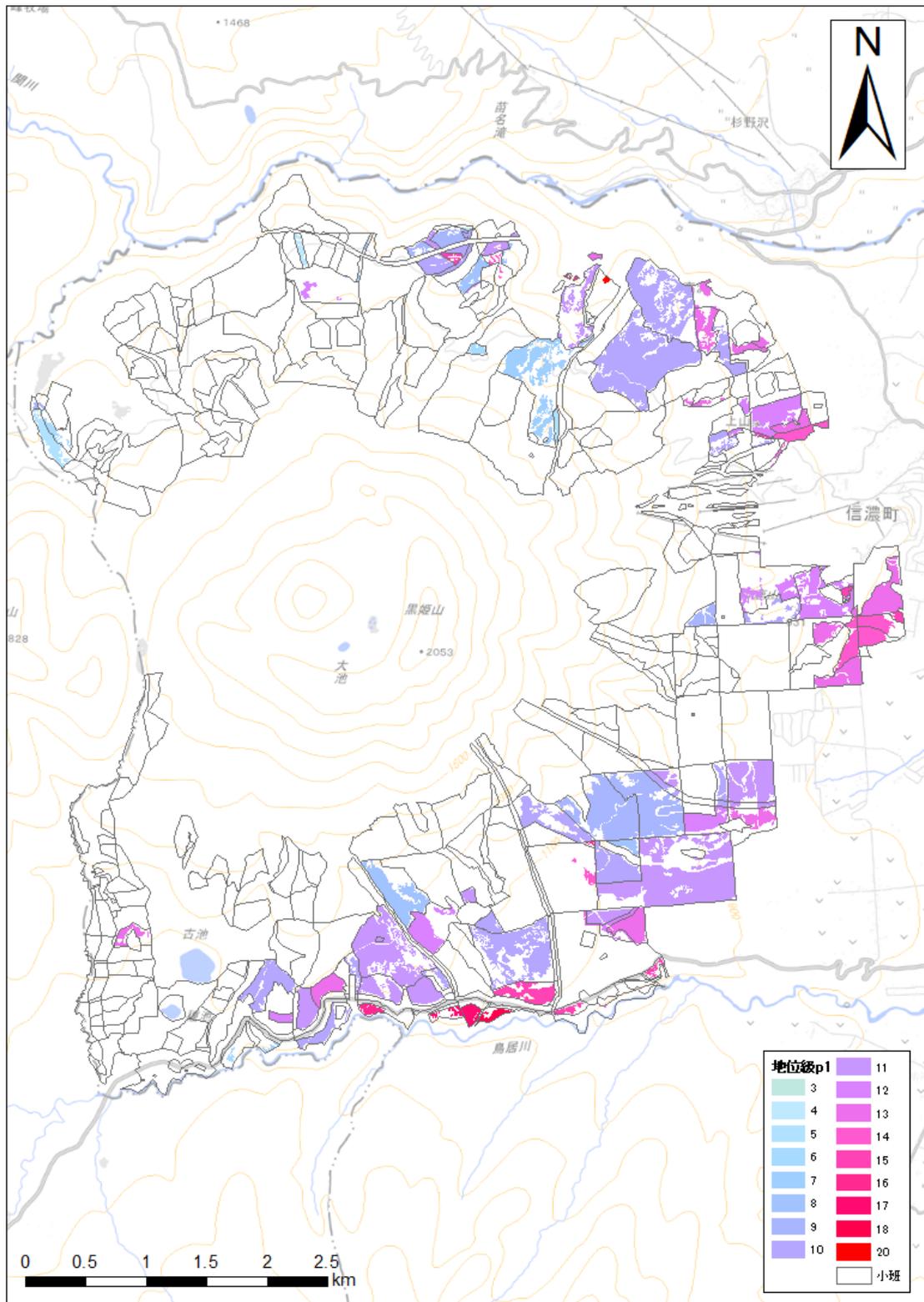


図 3.4.3 中部局：スギの小班・林相単位における地位級区分図（パターン1）

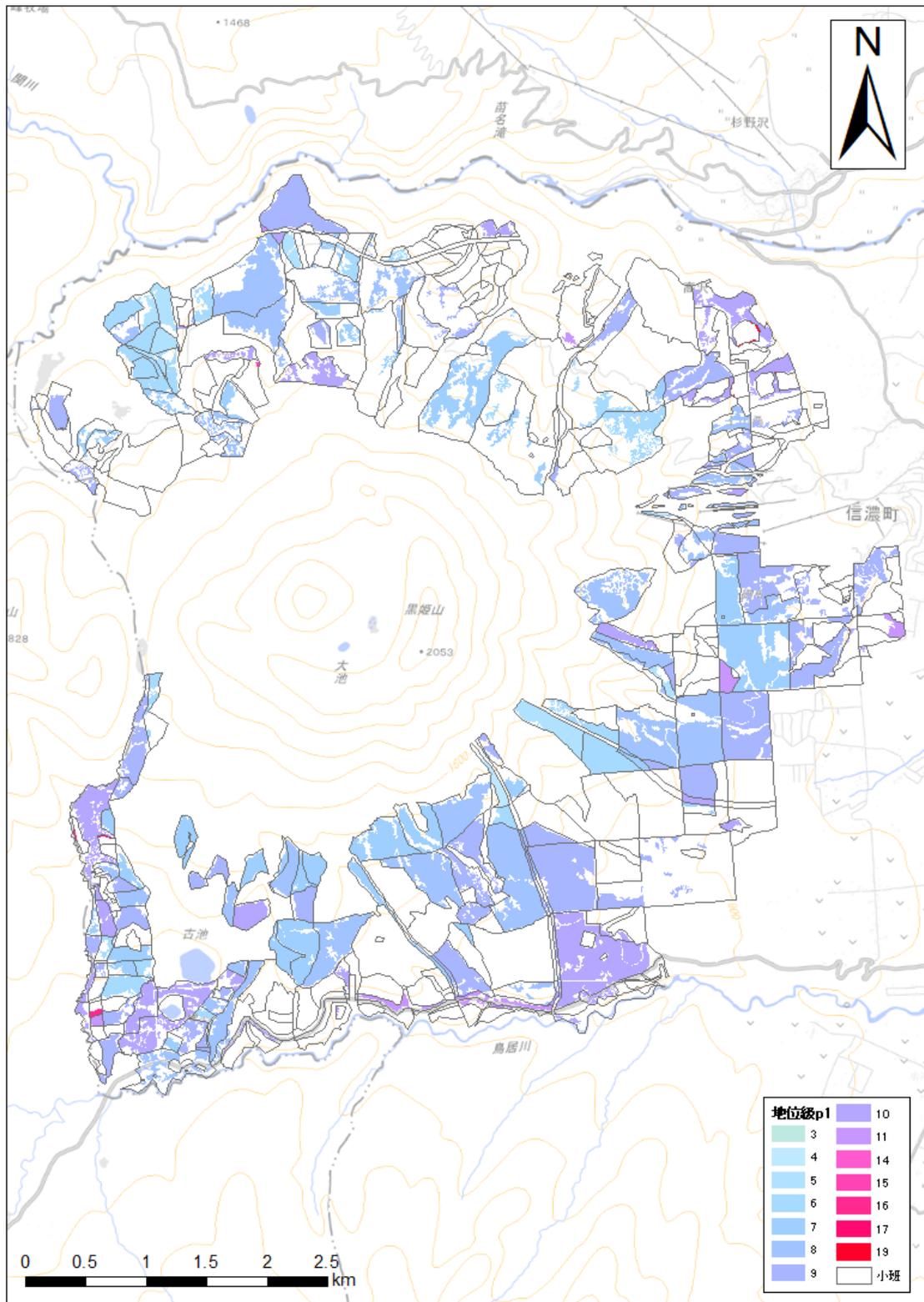


図 3.4.4 中部局：カラマツの小班・林相単位における地位級区分図（パターン1）

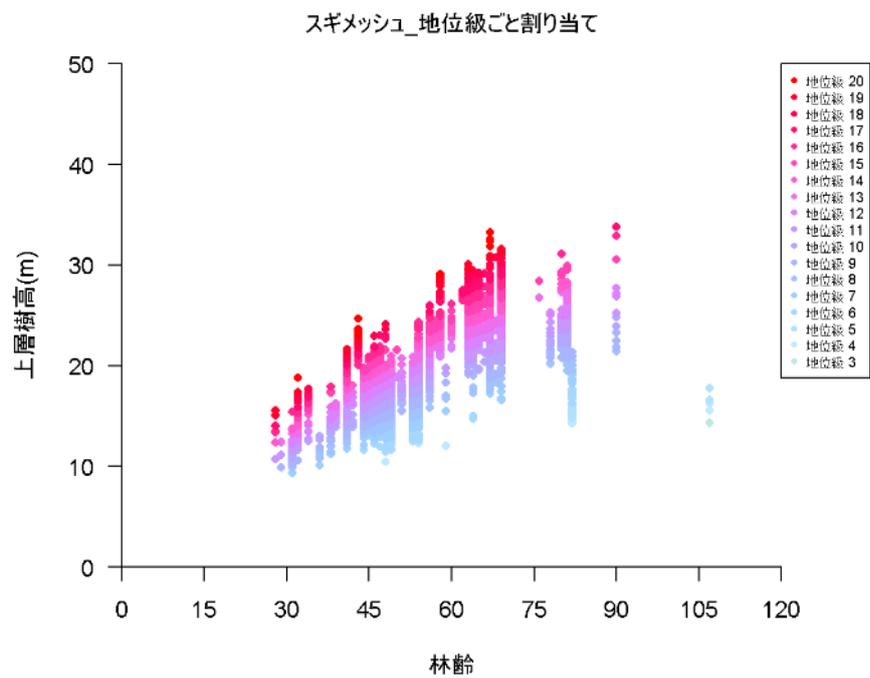
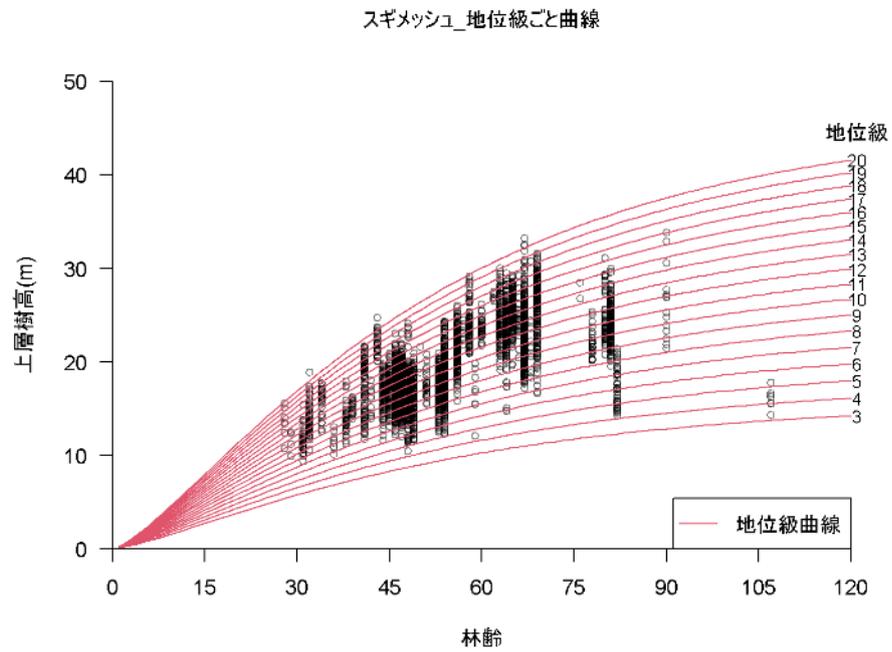


図 3.4.5 中部局：スギの20mメッシュ単位における地位級（パターン1）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

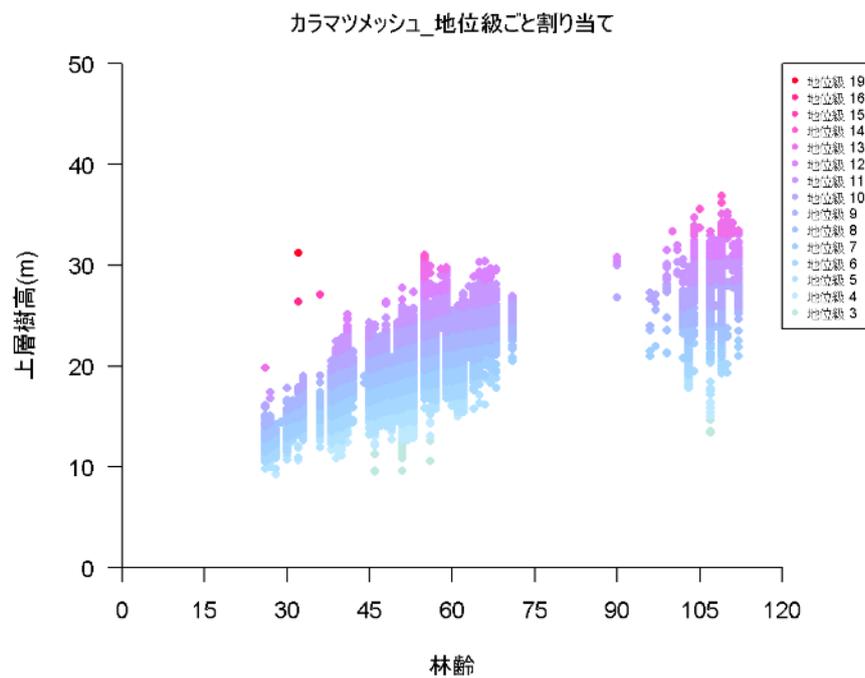
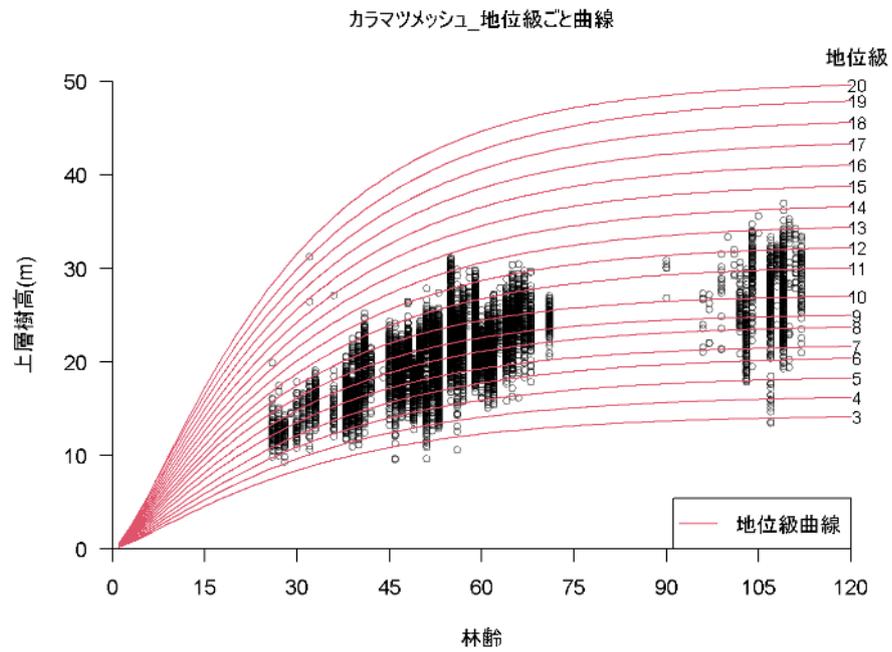


図 3.4.6 中部局：カラマツの20mメッシュ単位における地位級（パターン1）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

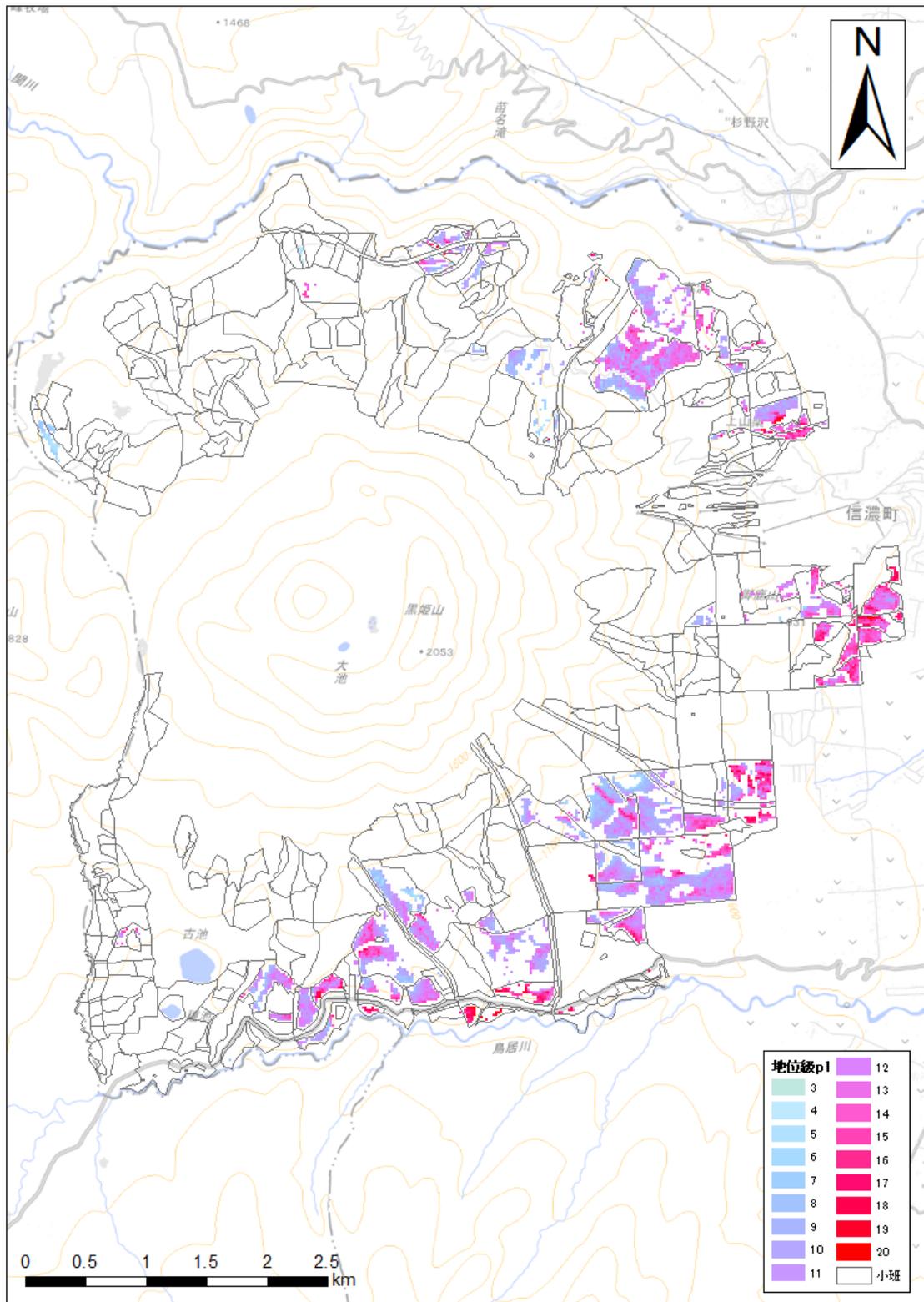


図 3.4.7 中部局：スギの20mメッシュ単位における地位級分布図（パターン1）

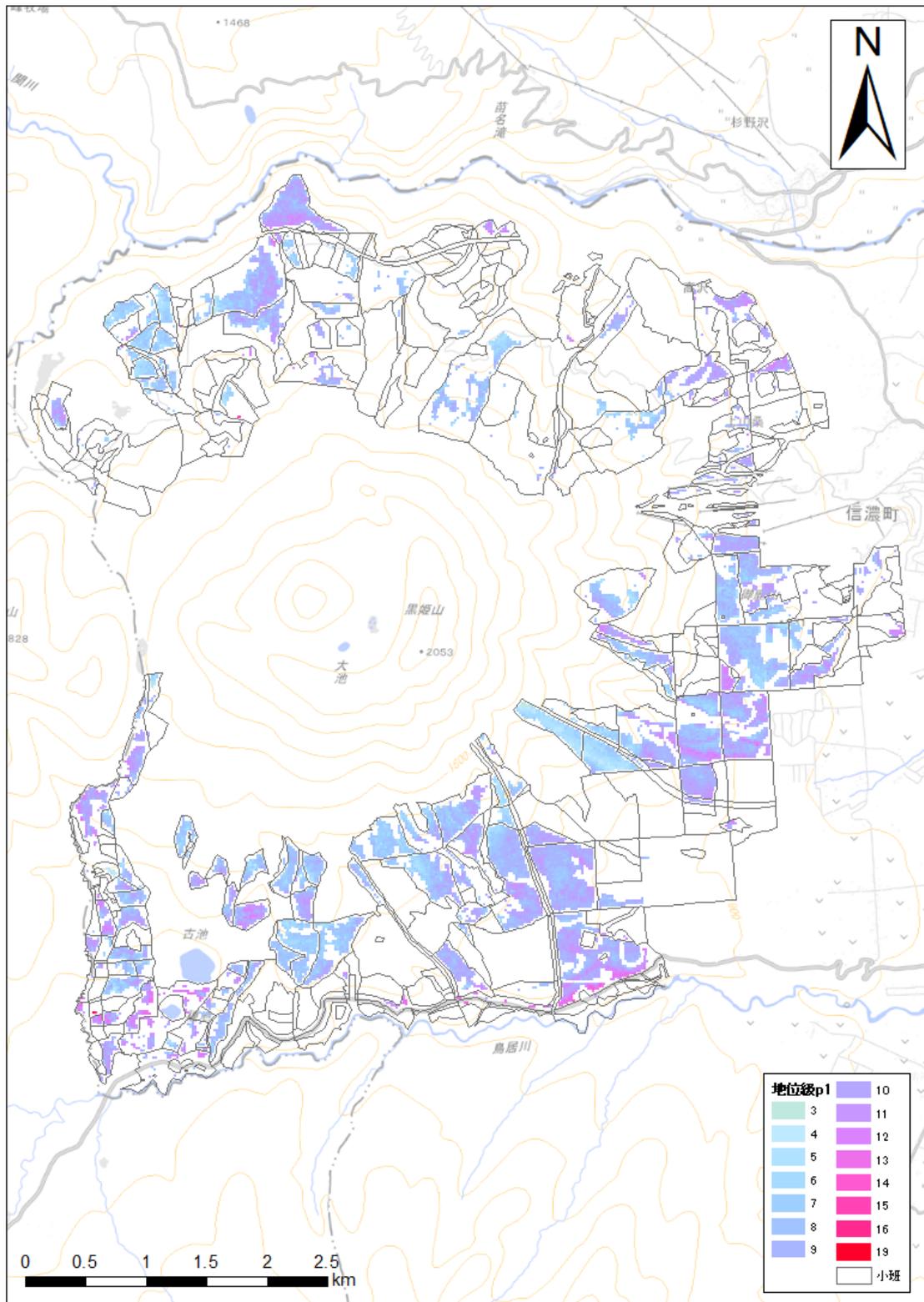


図 3.4.8 中部局・カラマツ20mメッシュにおける地位級分布図（パターン1）

### 3.4.2 新たな収穫予想表から作成した地位判定基準図による地位級

本事業で作成した新たな収穫予想表（2章及び別冊資料2の3参照）から地位判定基準図を作成した上で、これに対象範囲の小班・林相別の林齢－樹高データ及び20mメッシュ別の林齢－樹高データをプロットし、それぞれのデータがどの地位級に該当するかを判定し、地位級を割り当てた。

図 3.4.9にスギの小班・林相単位での地位級判定結果、図 3.4.10にカラマツの小班・林相単位での地位級判定結果を示す。また、図 3.4.11及び図 3.4.12に、小班・林相を地位級別に色分けした地位級区分図を示す。

同様に、図 3.4.13にスギの20mメッシュ単位での地位級判定結果、図 3.4.14にカラマツの20mメッシュ単位での地位級判定結果を、図 3.4.15及び図 3.4.16に、20mメッシュを地位級別に色分けした地位級分布図を示す。

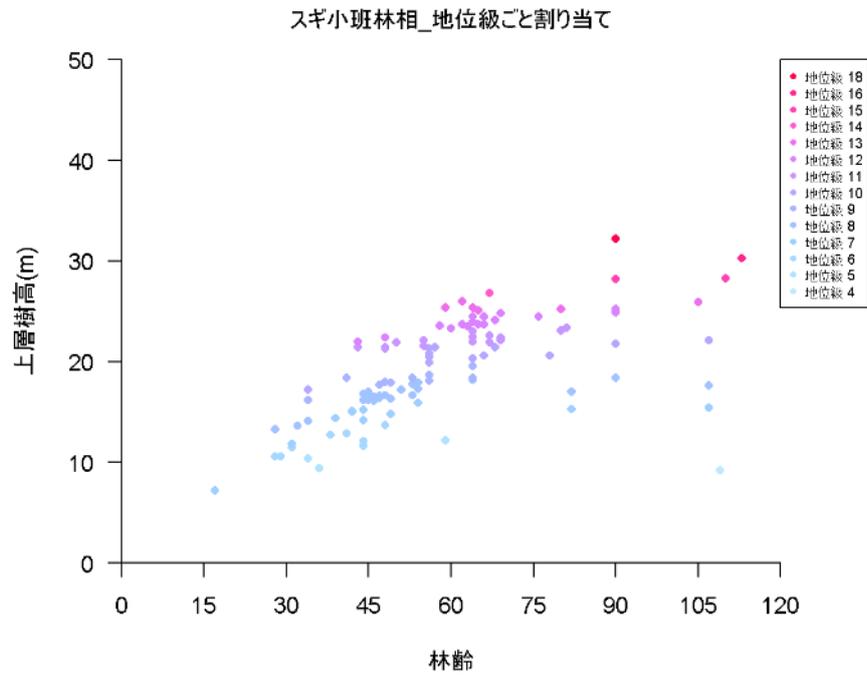
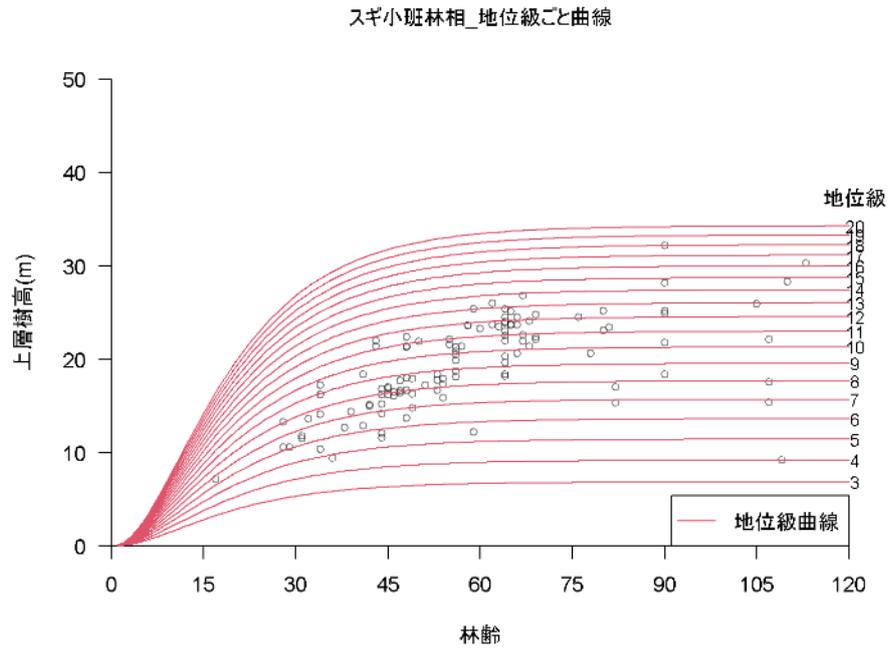


図 3.4.9 中部局：スギの小班・林相単位における地位級（パターン2）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

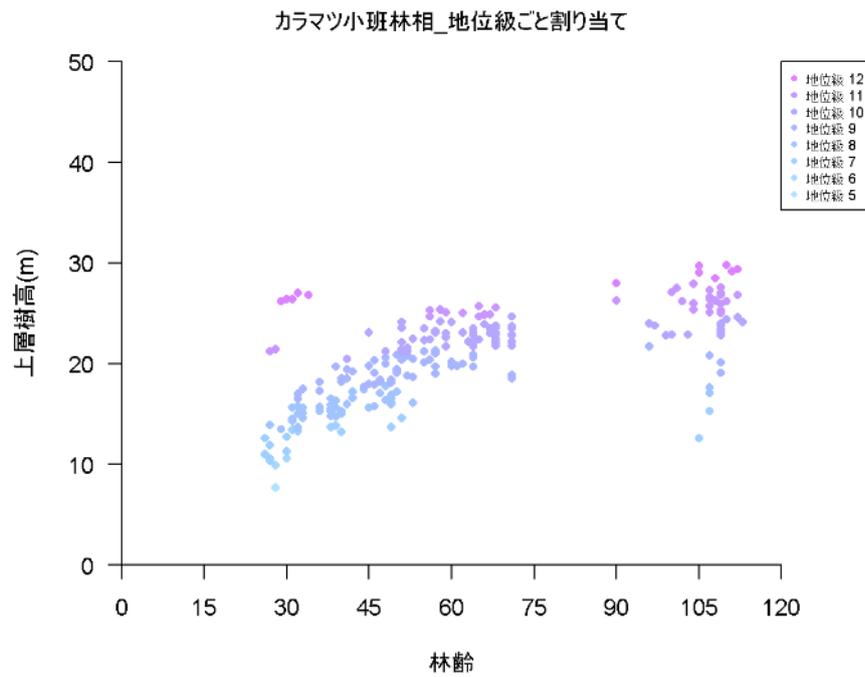
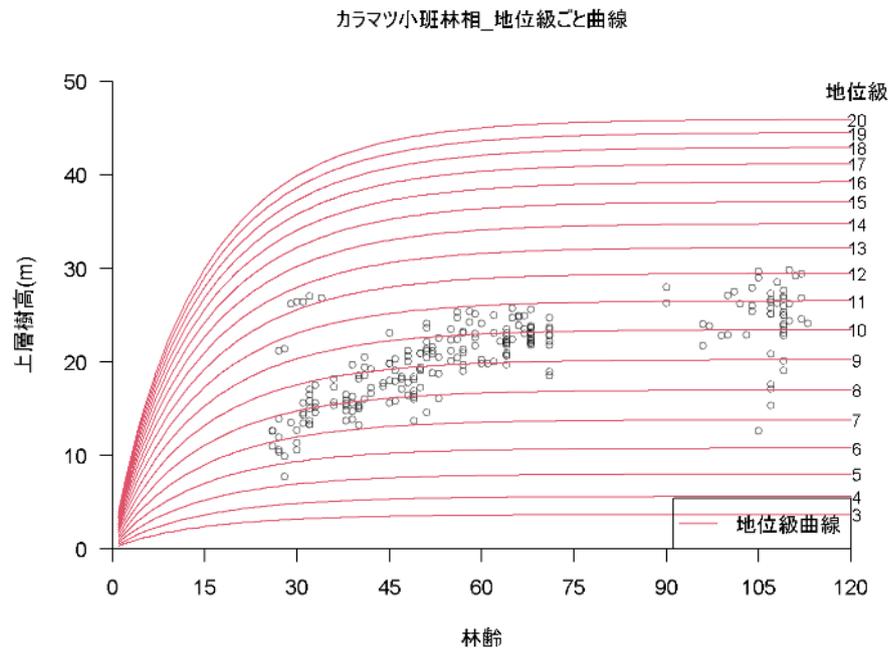


図 3.4.10 中部局：カラマツの小班・林相単位における地位級（パターン2）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

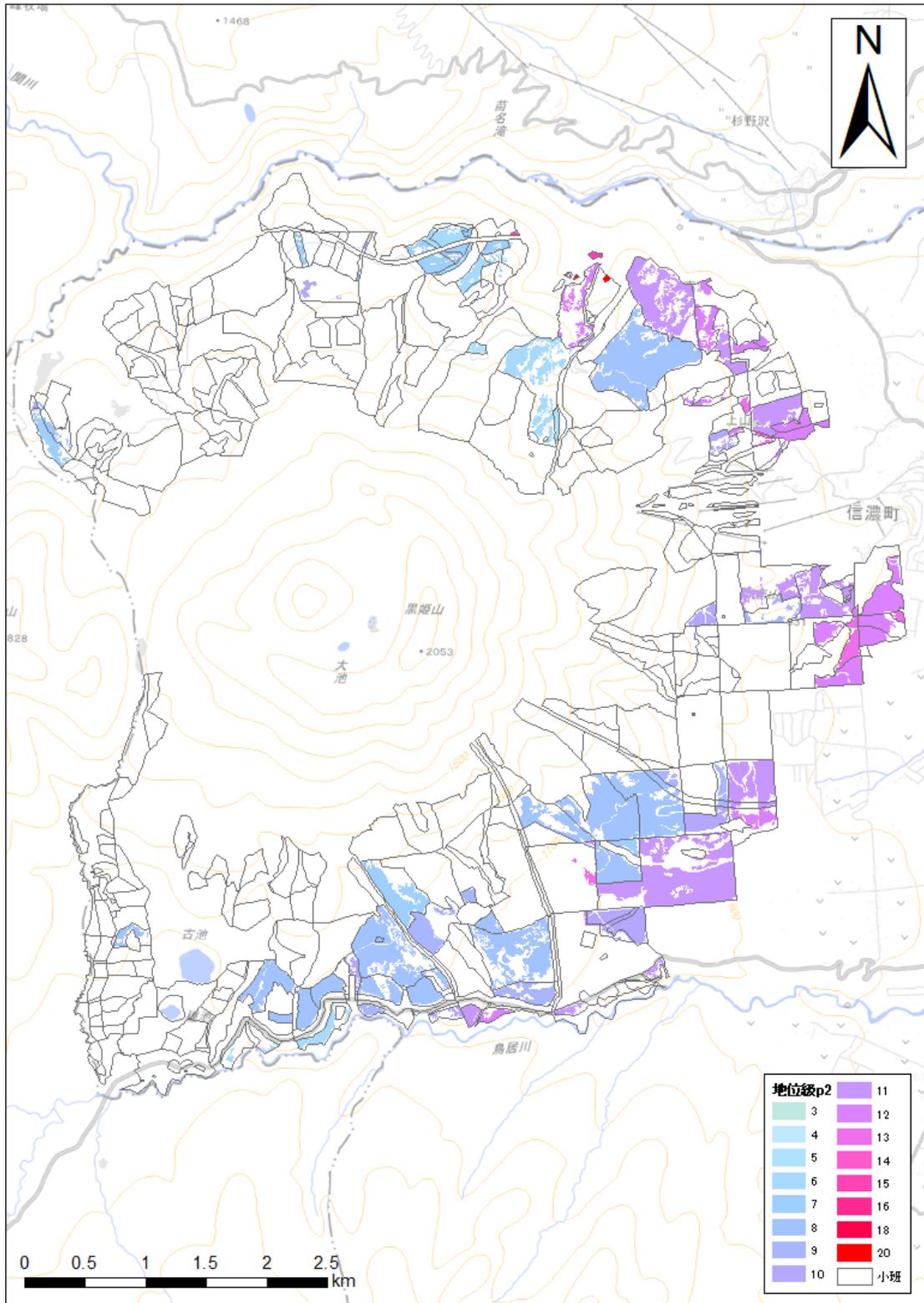


図 3.4.11 中部局：スギの小班・林相単位における地位級区分図（パターン2）

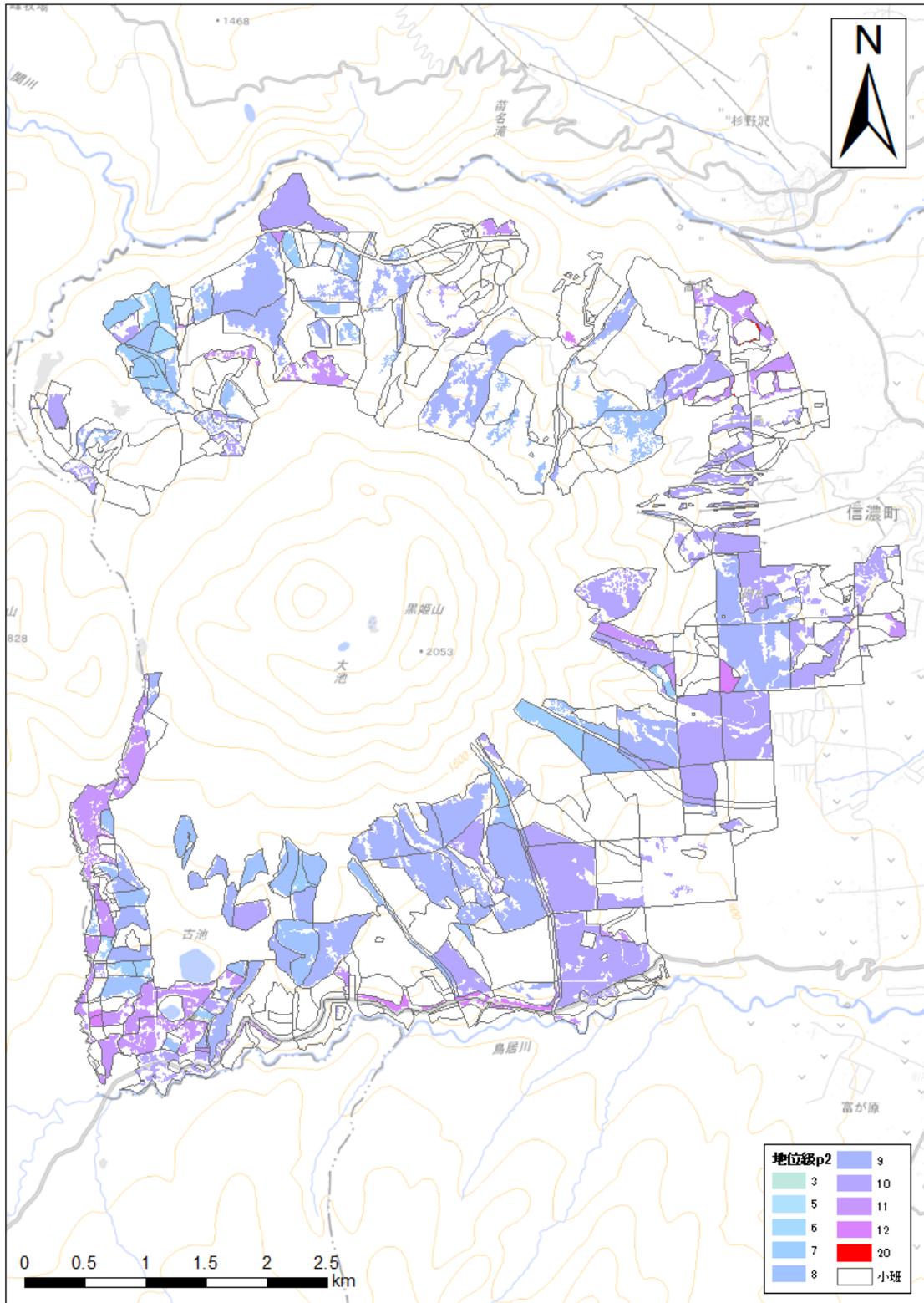


図 3.4.12 中部局：カラマツの小班・林相単位における地位級区分図（パターン2）

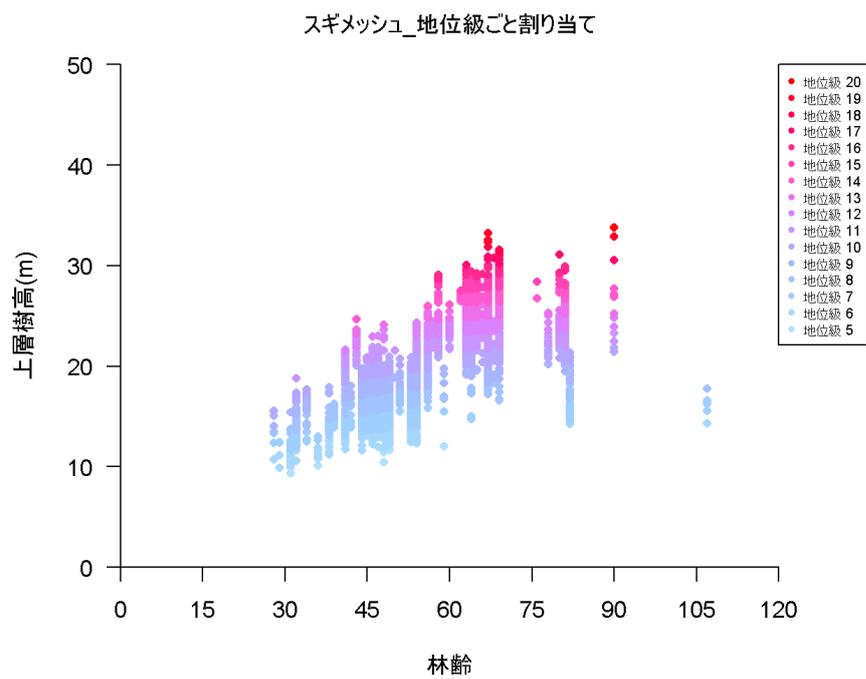
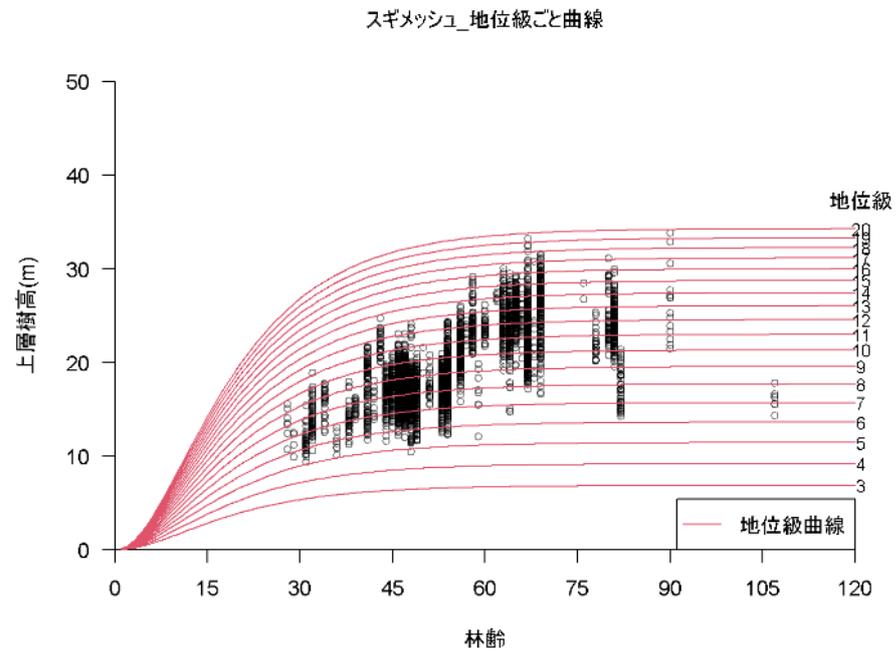


図 3.4.13 中部局：スギの20mメッシュ単位における地位級（パターン2）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

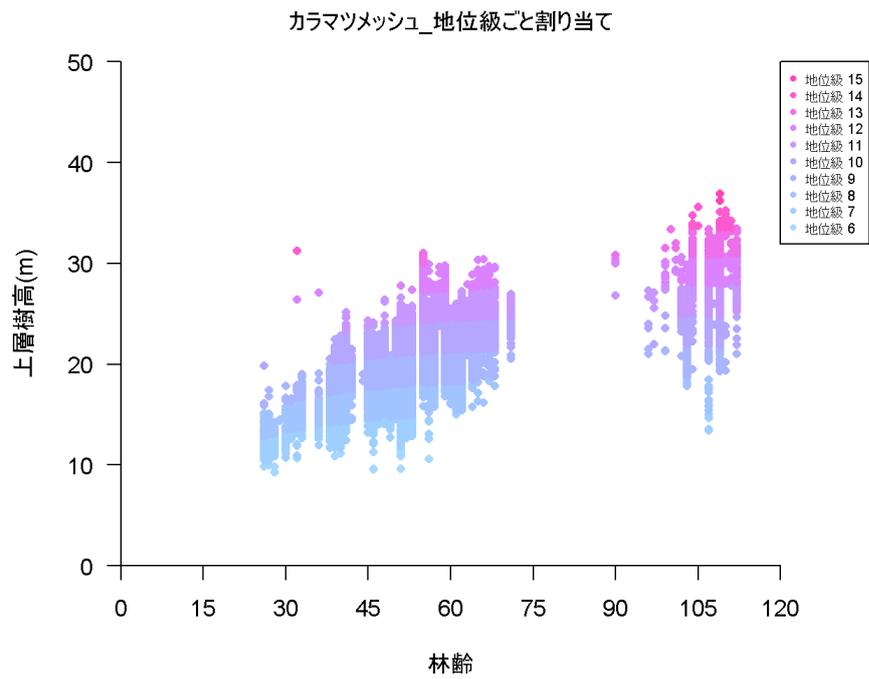
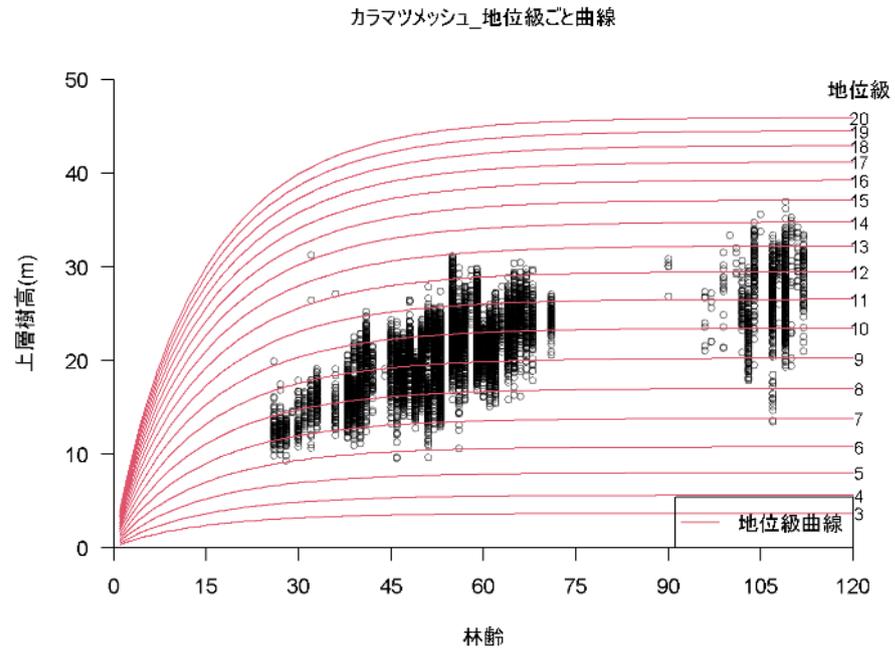


図 3.4.14 中部局：カラマツの20mメッシュ単位における地位級（パターン2）の判定結果  
（上：地位判定基準図での割り当て、下：各データの判定結果）

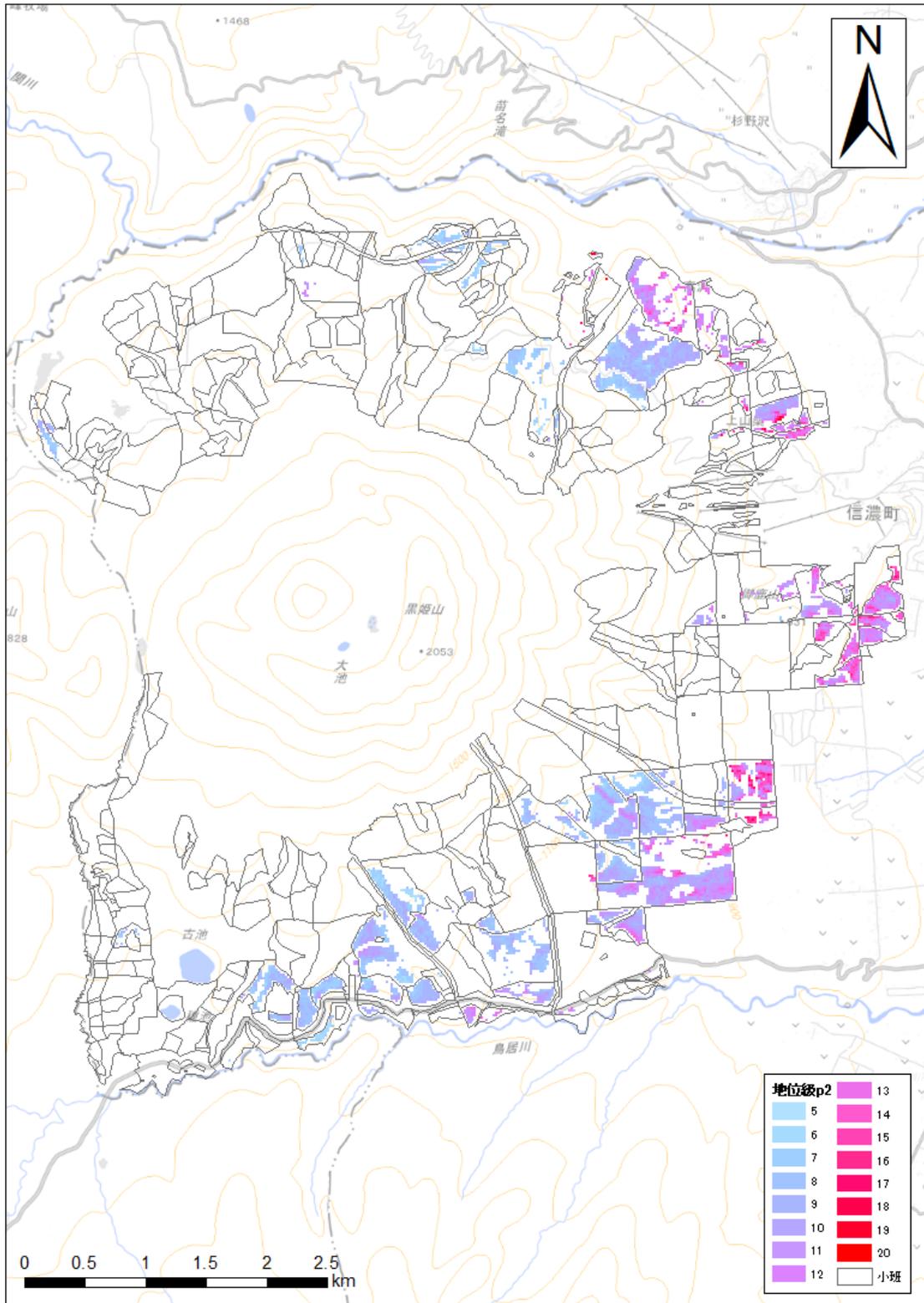


図 3.4.15 中部局：スギの20mメッシュ単位における地位級分布図（パターン2）

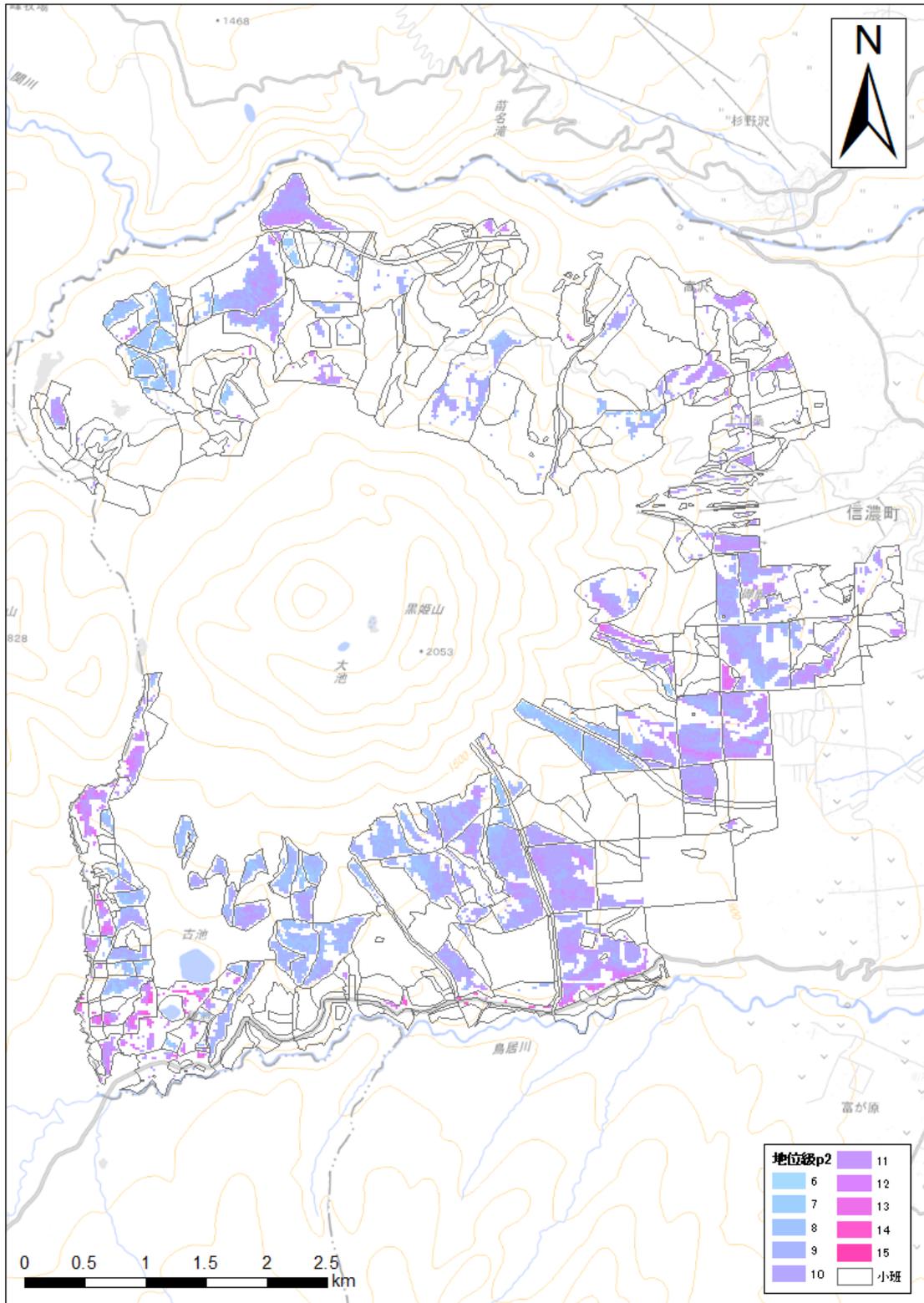


図 3.4.16 中部局：カラマツの20mメッシュ単位における地位級分布図（パターン2）

### 3.4.3 現行森林調査簿に記載の地位級（パターン3）

現行森林調査簿に記載の地位級は、「現等級1」の項目に記載された値を用いた（図 3.4.17、図 3.4.18）。

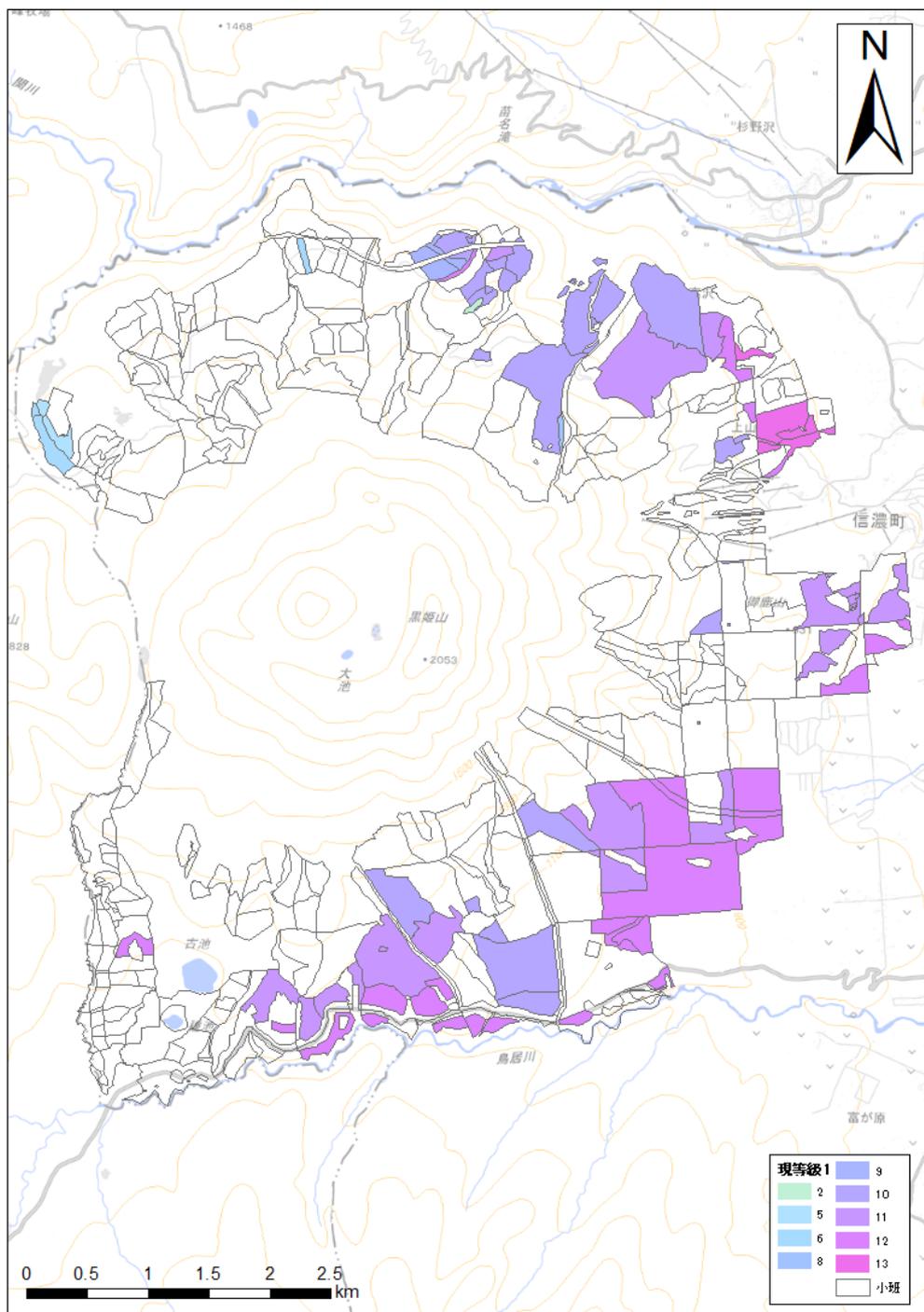


図 3.4.17 中部局：森林調査簿の樹種1がスギの小班における地位級（パターン3）の分布

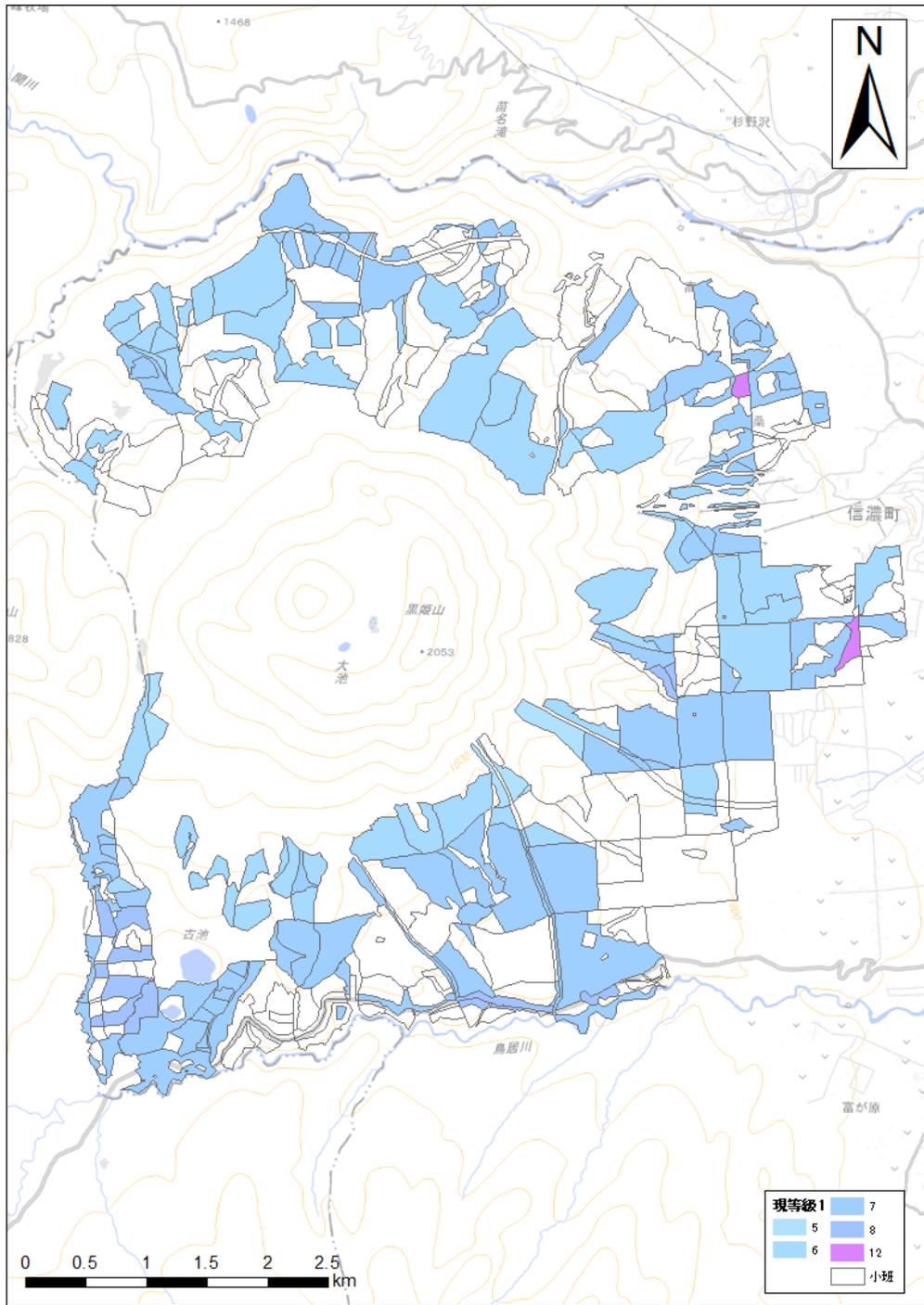


図 3.4.18 中部局：森林調査簿の樹種1がカラマツの小班における地位級（パターン3）の分布

### 3.4.4 算出した地位級の比較

算出したパターン1～3の地位級について、表 3.4.1～表 3.4.3に小班・林相単位での比較結果を、表 3.4.4～表 3.4.6に20mメッシュ単位での比較結果を示す。

3.3.4章の東北局における事例と同様に、全体としては、同じ小班・林相又はメッシュにおいて、パターン2の方が、パターン1及びパターン3よりも地位級が高く判定される傾向がみられた。ただし、パターン2とパターン1の差異は、東北局の事例と比べて小さかった。これは、2.2.2.6章の図 2.2.58及び図 2.2.66で示したとおり、パターン2でを使用した新たな収穫予想表と、パターン1でを使用した現行収穫予想表との差がそれほど大きくなかったことによるものと考えられる。なお、パターン2とパターン3では、3.3.4章に記載のとおり、使用した収穫予想表と樹高がいずれも異なることから、比較は困難であった。

一方、パターン1とパターン3とでは、東北局の事例と異なり、パターン1の方が地位級が高く判定される傾向が明らかであった。中部局の事例では、パターン1、パターン3ともに同じ現行収穫予想表を使用できたため、地位級の差異は樹高によるものと考えられた。パターン3で使用された樹高は不明であるものの、パターン1の方が地位級が高いということは、実際に航空レーザ計測により把握した現在の森林の成長が、過去の想定を上回っている可能性を示唆している。

表 3.4.1 地位級パターン1とパターン2の比較（小班・林相単位）

地位級 パターン2	地位級パターン1																				総計
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
3	3																			3	
4	1																			1	
5	1		1	1		1														4	
6			2	1	2	1	1	2	1											10	
7	1	3	6	6	4	2	1	3	2			1								29	
8			3	16	19	6	3	8	5	1	2		1							64	
9			1	4	17	19	15	3	2	2			1	1						65	
10						26	36	11	2	3	1				1					80	
11							7	27	5	4	1	3	3		1					51	
12									9	1	11	3	1	3	2	1				31	
13								1		1		2	1	1						6	
14														1						1	
15									1	1										2	
16										1										1	
18														1						1	
20																		4	1	5	
総計	6	3	13	28	42	55	63	55	27	12	17	9	8	6	4	1	4	1		354	

表 3.4.2 地位級パターン1とパターン3の比較（小班・林相単位）

地位級 パターン3	地位級パターン1																			総計
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
2				1	2	1													4	
3							1												1	
5		1	2	3	1	1	5											13		
6		1	7	8	15	17	19	7	1	1			1		1			78		
7	2	1	4	6	14	28	18	20	7	5	6	4	2	1	1		2	121		
8				3	3	1	3	4	4		1			1	1			21		
9							1											1		
10	2			4	3	3	5	4	6		1	1		2			1	32		
11				2	2	2	1	6	3	4	3	2	2	1				28		
12	1			1	2	1	7	13	6	2	5	2	2	1	1	1	1	46		
13	1					1	3	1			1		1				1	9		
総計	6	3	13	28	42	55	63	55	27	12	17	9	8	6	4	1	4	1	354	

表 3.4.3 地位級パターン2とパターン3の比較（小班・林相単位）

地位級 パターン2	地位級パターン3												総計
	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
3					1						1	1	3
4									1				1
5				1	1				2				4
6				2	1				3	1	3		10
7			3	9	7	3	1	3		3			29
8	3		2	15	23	4		6	6	5			64
9			6	21	24	2		3	4	5			65
10	1		1	22	29	1		4	4	14	4		80
11		1	1	5	21	6		2	6	9			51
12				3	11	5		3	4	4	1		31
13					1			1	2	1	1		6
14												1	1
15									2				2
16										1			1
18									1				1
20					2			1		1	1	1	5
総計	4	1	13	78	121	21	1	32	28	46	9		354

表 3.4.4 地位級パターン1とパターン2の比較（20mメッシュ単位）

地位級 パターン2	地位級パターン1																			総計
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
5		2	6	4	2	1													15	
6	11	6	7	30	44	26	15	13	5										157	
7	7	85	178	120	110	187	181	63	30	20	10	1							992	
8		6	171	599	581	221	185	387	310	54	11	13	5	1					2,544	
9			5	74	811	1,499	452	135	262	359	214	13	9	14	6	1	1		3,855	
10					38	469	2,007	1,473	186	130	141	111	48	20	1	6	2		4,632	
11							92	1,009	684	239	101	47	13	15	19	5	1	1	2,226	
12								47	340	176	205	107	60	11	4	8	8	1	967	
13									12	155	44	149	79	14	2	1		5	461	
14										4	41	7	74	55	12	4	1	1	199	
15												9	4	44	37	3	3		100	
16													5		19	12	3	1	40	
17													1	1		10	4		16	
18																	2	1	3	
19														1				3	4	
20															1			1	2	
総計	18	99	367	827	1,586	2,403	2,932	3,127	1,829	1,137	767	457	298	176	101	50	25	14	16,213	

表 3.4.5 地位級パターン1とパターン3の比較 (20mメッシュ単位)

地位級 パターン3	地位級パターン1																			総計
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
2		1	5	8	14	4	3	4	1					1			1		42	
3			1	2	5	1													9	
5	10	25	93	74	31	19	4	4	2										262	
6	6	31	139	378	789	966	830	702	205	35	17	5	2						4,105	
7	2	38	111	295	601	1,061	1,495	1,507	616	194	72	23	23	3	7	5	5	1	6,059	
8		3	8	34	61	66	79	83	73	35	23	1							466	
9				1	1	4	8	5	10	6	2	5	3	1	1		2		49	
10		1	6	18	31	94	172	228	199	123	68	17	18	20	11	5	5	1	1,017	
11			3	8	32	113	168	265	371	417	381	208	104	55	19	12	3	1	2,160	
12			1	9	19	74	164	292	313	304	180	176	130	85	54	24	7	7	1,839	
13					2	1	9	37	39	23	24	22	18	11	9	4	2	4	205	
総計	18	99	367	827	1,586	2,403	2,932	3,127	1,829	1,137	767	457	298	176	101	50	25	14	16,213	

表 3.4.6 地位級パターン2とパターン3の比較 (20mメッシュ単位)

地位級 パターン2	地位級パターン3												総計
	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
5						1		12		2			15
6	1			6	11	2		4	58	37	38		157
7	6	3	68	195	160	40	17	182	247	74			992
8	17	6	135	722	612	74	15	261	514	188			2,544
9	12		37	1,300	1,318	99	8	169	596	302	14		3,855
10	1		9	1,378	2,310	83	5	103	348	345	50		4,632
11	3		4	395	1,180	42		78	176	303	45		2,226
12	1		3	88	325	66		81	130	242	31		967
13				15	120	46		40	62	145	33		461
14	1			1	20	15		19	27	108	8		199
15					7			6	18	56	13		100
16					5			3	4	24	4		40
17								2	1	10	3		16
18										2	1		3
19									1		3		4
20									2				2
総計	42	9	262	4,105	6,059	466	49	1,017	2,160	1,839	205		16,213

### 3.4.5 地位級と地位指数の関係

ここでも参考までに、パターン1及びパターン2において算出した地位級のそれぞれについて、対応する地位指数（基準林齢は40年）を算出した（表 3.4.7）。

表 3.4.7 地位級に対応する地位指数（中部局）

地位級	スギ地位指数		カラマツ地位指数	
	パターン1	パターン2	パターン3	パターン3
3	7.5	6.9	10.2	3.7
4	8.5	9.2	11.6	5.6
5	9.5	11.4	13.1	8.0
6	10.5	13.6	14.7	10.8
7	11.4	15.7	16.2	13.8
8	12.3	17.7	17.7	17.0
9	13.2	19.6	19.2	20.2
10	14.1	21.3	20.8	23.4
11	15.0	23.0	22.5	26.5
12	15.9	24.6	24.1	29.5
13	16.7	26.0	25.7	32.2
14	17.5	27.4	27.4	34.8
15	18.3	28.7	29.0	37.1
16	19.1	30.0	30.7	39.2
17	19.9	31.2	32.4	41.2
18	20.6	32.3	34.1	42.9
19	21.3	33.3	35.8	44.5
20	22.0	34.3	37.7	45.9

### 3.5 航空レーザ計測結果から地位級区分図・分布図を作成する手順の整理

本章では、航空レーザ計測結果の森林資源解析の実施から、地位判定基準図を用いた地位級を判定し、地位級区分図・分布図を作成するまでの手順を整理した。

手順は以下のとおりであり、それぞれの項目について以降に詳述する。なお、このうち①～④は航空レーザ計測結果の森林資源解析に当たる。

- ① 樹冠高データの作成
- ② 樹種区分図の作成
- ③ 樹頂点の抽出及び樹高の測定
- ④ 20mメッシュ及び小班・林相単位での集計
- ⑤ 地位判定基準図の作成
- ⑥ 20mメッシュ及び小班・林相データの地位級割当て
- ⑦ 地位級区分図及び地位級分布図の作成

#### 3.5.1 樹冠高データの作成

航空レーザ計測結果を用いて、樹冠表層高を表現するために不要となる送電線などの情報を除去し、樹冠表層面の高さ（標高値）のモデルである樹冠表層高データ（DCSM：Digital Canopy Surface Model）を作成する。また、地盤標高データ（DEM：Digital Elevation Model）との差分により、樹冠高データ（DCHM：Digital Canopy Height Model）を作成する。作成データの解像度は、使用する航空レーザ計測結果の照射点密度を考慮して決定する必要がある。単木での森林資源解析を行うには4点/m<sup>2</sup>以上が必要とされ、その際のDEMデータの作成解像度は0.5mに設定される<sup>20</sup>。DCHMについてもDEMの解像度に合わせて作成することが一般的である。

なお、本事業では、照射点密度が4点/m<sup>2</sup>以上の航空レーザ計測結果を使用したことから、解像度は0.5mメッシュとした。

#### 3.5.2 樹種区分図の作成

##### (1) 林相識別図の作成

航空レーザ計測結果の反射強度等から林相を識別できる林相識別図を作成する。

本事業では、林相識別図としてレーザ林相図を作成しており、反射強度、樹冠高データ、樹冠形状といった要素を用いて合成した画像となる。

##### (2) 樹種区分図データの作成

林相識別図及び航空レーザ計測時に撮影した空中写真を判読し、樹種区分図を作成する。

---

<sup>20</sup> 「森林・林業分野における航空レーザ計測積算ハンドブック」（一般社団法人 日本林野測量境界 平成26年9月）

樹種区分項目は「森林資源データ解析・管理標準仕様書<sup>21</sup>」に準拠することを基本とし、解析対象地の樹種構成に合わせて設定する。また、単木レベルでの区分を行うと煩雑になってしまうため、最小抽出面積を20m四方（0.04ha）程度とすることが適当である。

本事業では、正確な樹種区分を実施するため、林相識別図と空中写真を用いた目視判読により樹種区分図データを作成した。場合によってはAIによる判読も考えられるが、十分な目視検証及び正確で滑らかな境界線作成が可能である必要がある（メッシュ単位での判読は正確な樹種境界とならないため望ましくない）。

### 3.5.3 樹頂点の抽出及び樹高の測定

解析対象樹種の林分を対象に、航空レーザ計測データを解析して樹頂点の位置を抽出し、単木位置情報をGIS上のポイントデータとして整備して、立木本数を算出する。抽出した樹頂点について、樹冠高データ及び樹頂点の位置情報から単木毎に樹高を計測する。

本事業における樹頂点の抽出は、アジア航測株式会社及び東京電力株式会社の特許技術である樹頂点抽出手法（特許第4279894号）を用いたが、それ以外に局所最大値フィルター法による樹頂点抽出も可能である。

なお、樹頂点の抽出及び樹高測定に当たっては、対象地において現地調査を別途実施し、現地調査データと解析データを比較することで精度検証を行うことが望ましい（現地調査の手法は「森林資源データ解析・管理標準仕様書」に準拠することが望ましい）。ただし、本事業では現地調査を実施していないため、近隣の私有林において過去に実施された森林資源解析事業で求められたパラメータを使用して解析した。

また、地位推定のための目的であれば必要ないが、森林計画や伐採計画等に用いることも想定される場合、胸高直径及び材積についても推定することが望ましい。胸高直径は、現地調査データとの比較により樹高や樹冠投影面積といった変数から重回帰式を作成して推定する手法が一般的である。ただし、本事業では現地調査を実施していないため、近隣の私有林において過去に実施された森林資源解析事業で求められた胸高直径推定式の中から、当該地域で実施された収穫調査データとの比較を行い、最も適切な推定式を選定して推定した。

### 3.5.4 20mメッシュ及び小班林相単位での集計

抽出された樹頂点について、20mメッシュ及び小班・林相（小班界を樹種区分図データで細分化（インターセクト）したデータ）単位で集計し、平均樹高を求める。

また、森林簿（国有林の場合は森林調査簿）の小班を空間的に解析し、該当小班の林齢を20mメッシュ及び小班・林相それぞれに付与する。なお、森林簿の小班に複数樹種（樹種

---

<sup>21</sup> 「森林資源データ解析・管理標準仕様書 Ver2.0」（2022年7月版 森林GISフォーラム）  
<https://fgis.jp/cloud>

1～3等)が存在する場合、樹種区分結果と照らし合わせ、適切な林齢が付与されるよう注意が必要である。

20mメッシュについて、本事業では異なる樹種や林齢のデータが混ざること防ぐため、小班界、樹種境界に交差しないメッシュのみを抽出した。また、小班・林相は、樹種区分図で細分化した際にごくわずかな面積しか持たない微小ポリゴンが発生することがあるため、小班界を維持するように統合処理を行うことが望ましい。

また、本作業を地位推定だけでなく森林計画や伐採計画を作成する目的で行う場合、平均樹高に加え、平均胸高直径や立木密度、ha当たり材積、収量比数、相対幹距比といった項目も計算することが望ましい。

### 3.5.5 地位判定基準図の作成

地位判定の対象とする樹種とその伐期齢を設定する。なお、本事業では対象地域における対象樹種の標準伐期齢を使用した。

現行の収穫予想表から地位判定基準図を作る場合、対象地域における対象樹種の収穫予想表から、地位別に伐期齢における平均樹高(伐期樹高)及び総平均成長量(伐期総平均成長量)のデータを収集し、伐期総平均成長量に対する伐期樹高の近似式を求める。この関係式から、それぞれの地位級(伐期総平均成長量)における伐期樹高を逆算する。現行収穫予想表の地位別の林齢-樹高の関係性から、内挿により各地位級における林齢-樹高の関係性を求めることで、地位判定基準図を作成する。

### 3.5.6 20mメッシュ及び小班林相データの地位級割当て

地位判定基準図において、判定対象である20mメッシュ及び小班・林相データの林齢-樹高関係をプロットし、該当する地位級を判定する。

### 3.5.7 地位級区分図及び地位級分布図の作成

各データに割当てられた地位級を、20mメッシュ及び小班・林相のポリゴンデータに紐づける。紐づけた地位級に応じて色分けすることで、小班・林相単位の地位級区分図、20mメッシュ単位の地位級分布図を作成できる。

## 4 検討委員会の開催

### 4.1 検討委員

検討委員は表 4.1.1の学識経験者に依頼した。

表 4.1.1 検討委員一覧（敬称略：順不同）

氏名	まつえけいご 松英恵吾
所属	宇都宮大学 農学部森林科学科 准教授
専門分野	森林計画学・森林計測学・森林リモートセンシング・森林GIS

氏名	にしぞのともひろ 西園朋広
所属	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 森林管理研究領域 チーム長（資源動態担当）
専門分野	森林計画学、森林計測学、森林情報の計測評価及び持続的利用

氏名	みつだやすし 光田 靖
所属	宮崎大学 農学部 森林緑地環境科学科 教授
専門分野	森林計画学、森林経理学

### 4.2 開催日時

検討委員会は、WEB会議形式により以下の2回開催した。

- 2024年12月17日 15時～17時
- 2025年2月27日 10時～12時

### 4.3 検討委員会における主な意見等

※敬称略

#### <第1回検討委員会>

委員	主な意見等
事業概要・グルーピングの実施に係る報告	
松英	気象データを使用した主成分分析の際に、植物の成長に寄与する他の主成分の使用も検討すべき。 グルーピング自体の適正度の評価は難しい。
光田	種苗の行き来の有無を考慮して、各森林管理局管内で気象条件によって分けられれば遺伝的な要因による成長の違いの影響が抑えられるのではないか。
西園	局ごとの断絶を防ぐためには全国の気候区分でのグルーピングが良く、種苗の影響を抑えるためには管理局単位が良いと思う。参考文献でも行政界を使

委員	主な意見等
	用する方が実用上良いという経緯だったので、そのような考え方を参考にしたらどうか。
成長予測モデルの見直し方法の検討に係る実施方針	
西園	密度管理図は被圧木も含めた全ての立木の本数なので取り扱いには注意が必要。直径・樹高・本数密度を別々に推定する場合は、理にかなった直径である確認が必要となる。
松英	航空レーザ測定の特性があるため、上層木樹高と林分密度の分布特性を踏まえて検討する必要がある。
光田	収穫予想表は標準的な施業を受けた林分を対象に製作されるものなので、見直しが可能であれば、国有林の標準施業体系に基づく本数密度の推移を行った場合における樹高等の他の数値の推移を現実林分と照らし合わせるのはどうか。そうでなければ、収量比数のある閾値を超えないような本数で推移させるという方法はどうか。
航空レーザ計測結果を活用した地位推定手法の検討に係る実施方針	
光田	地位級は手入れの程度によって平均成長量の最大値が変わるため、昭和39年に定められた手法を使用することについては一考の余地がある。地位級ではなく地位指数を利用する方法もあると考えられ、その場合、レーザデータを使用した地位指数の推定は林野庁の過去の事業の手法や、森林総研の事業の成果を利用することができるのではないか。
松英	レーザデータがある場所は面的に地位指数で算出して利用したらどうか。
光田	従来手法での地位級の判定は収穫表に依存し、今回の成長予測モデルは樹高成長に依存するため、地位級と地位指数を置き換えても現状と齟齬は出ないだろう。
松英	地位級の表記が全国で統一されていないという課題があるため、地位指数に統一してはどうか。
総合討議・質疑応答	
西園	グルーピングによって成長が異なるかを、航空レーザデータやNFIのデータを使用して確認すべき。
松英	段階ごとの方針と実務的な要望をすり合わせたうえで、解析手法と方針を決定すればよい。

### <第2回検討委員会>

委員	主な意見等
ヒアリングでいただいた意見への対応方針・グルーピングの実施に係る報告	
松英	少ないデータで無理に成長予測モデルを作成する必要はない。偏ったデータを無理に区分する必要もないだろう。
光田	データにノイズが多く、クラス内の分散の大きさを判断できない。クラス内の分散が小さく、クラス間の分散が大きくなればグルーピングする意味があるため、今後データのフィルタリング等を検討してはどうか。
成長予測モデルの見直し方法の検討に係る実施方針	
西園	従来モデルと見直し案について、連年成長量の推移傾向を比較検討してはど

委員	主な意見等
	うか。
西園	平均直径や単木材積とha当たり材積の算出単位は揃えてはどうか。平均直径が過大評価となっている原因について検討の余地がある。
松英	使用するデータのノイズや少ない高齢級のデータにモデルの形が影響を受けているため、モデルの作成目的を踏まえたデータのサンプリング方法を検討する必要がある。
光田	悉皆調査のような航空レーザ計測結果と、現行の収穫予想表の基となった標準地調査のデータの違いがモデルに影響しているため、悉皆調査のようなデータをそのまま全て使用するのは不適切と考える。
光田	航空レーザ計測では上層木のみが抽出されるため、劣勢木が入っていないという点で何か補正をしなければ直径等が過大評価になると思う。
松英	航空レーザ計測では全木推定ができないため、レーザ計測による上層木本数と実際の本数の違いを検証することは、データの持つ意味の整理として必要ではないか。
航空レーザ計測結果を活用した地位推定手法の検討に係る実施方針	
松英	森林簿に記載の樹種と解析による樹種が一致しておらず地位級の判定ができない場所が多いことは実用上問題がある。
総合討議・質疑応答	
松英	レーザデータは同じ林分の中でも分散が大きいデータであるため、インプットするデータとアウトプットする成果との関連性を整理する必要があるだろう。
光田	データのサンプリングバイアスが後々まで影響を及ぼしているため、使用するデータについてさらなる検討が必要。

## 5 成果品

下記の成果物を納品した。

- ① 事業報告書 5部
- ② 電子媒体資料（CD-R（必要に応じてDVD-RやHDD）） 2部
  - (ア) 「2.1 全国的なグルーピングの実施」で作成したグルーピング結果（PDF及びshape形式ファイル）
  - (イ) 「2.2 成長予測モデルの見直し方法の検討」で作成した成長予測モデル（案）
  - (ウ) 「3 航空レーザ計測結果を活用した地位推定」で作成した地位級区分図、地位級分布図（shape形式及びGeotiffファイル）
  - (エ) 「3 航空レーザ計測結果を活用した地位推定手法の検討」の過程で得られた森林資源解析結果データ一式（樹冠表層モデル（DCSM）データ、樹冠高（DCHM）データ、解析範囲ポリゴンデータ、林相区分ポリゴンデータ、単木解析データ（ポイント）、単木解析データ（Excel）等）
  - (オ) 「4 検討委員会の開催」の検討委員会資料・議事録（Excel形式又はWord形式）
  - (カ) 事業報告書原稿（Excel形式又はWord形式及びPDF形式）