

令和5年度

航空レーザーを活用した森林資源調査実証業務
(森林資源解析等) (網走東部森林計画区)

業 務 報 告 書

令和6年3月

北海道森林管理局

国際航業株式会社

目 次

1. 業務概要	- 3 -
1-1 業務名	- 3 -
1-2 業務期間	- 3 -
1-3 業務目的	- 3 -
1-4 対象範囲	- 3 -
1-5 実施項目	- 4 -
1-6 貸与資料	- 4 -
2. 作業計画	- 5 -
2-1 作業フロー	- 5 -
2-2 工程表	- 6 -
3. 業務内容	- 7 -
3-1 森林資源解析基礎資料作成	- 7 -
3-1-1 準備作業	- 7 -
3-1-2 フィルタリング	- 7 -
3-1-3 DCSM データ作成	- 8 -
3-1-4 DCHM データ作成	- 8 -
3-1-5 森林資源解析対象外ポリゴン作成	- 11 -
3-2 現地調査	- 14 -
3-2-1 現地調査1	- 14 -
3-2-2 現地調査2	- 19 -
3-2-3 現地調査結果	- 21 -
3-3 森林資源解析	- 25 -
3-3-1 林相区分判読	- 25 -
1) 樹種の見え方の違い	- 26 -
2) 林相区分図の作成	- 28 -
3-3-2 カンバ林の抽出	- 34 -
3-3-3 単木解析データ作成	- 39 -
1) 樹頂点の抽出	- 39 -
2) 樹高・樹冠長・樹冠長率・樹冠投影面積の算出	- 51 -
3-3-4 胸高直径の推定	- 56 -
3-3-5 針葉樹の蓄積の推定	- 60 -
3-3-6 収量比数の推定	- 64 -
3-3-7 広葉樹の蓄積の推定	- 70 -
3-3-8 混交林の蓄積の推定	- 72 -
3-3-9 針葉樹・広葉樹・混交林の蓄積分布	- 78 -
3-3-1 林相区分図等作成	- 84 -
3-3-2 Geotiff 形式作成	- 84 -

3-3-3	森林資源量集計ポリゴン等作成	- 84 -
3-4	森林資源情報の活用データ整理	- 85 -
3-4-1	林小班・林相区分の樹種・成林状況整理	- 85 -
1)	樹種の整合の分類	- 85 -
2)	成林状況の分類	- 90 -
3-4-2	森林調査簿更新資料の作成	- 96 -
3-4-3	マニュアルの更新・拡充	- 99 -
3-5	森林資源解析結果の分析等	- 100 -
3-5-1	航空レーザによる地位推定と蓄積比較	- 100 -
3-5-2	既存樹高曲線との比較検証	- 108 -
3-6	本業務における解析図データファイル等の作成	- 113 -
3-7	森林資源情報解析の高度化に向けた提案	- 114 -
3-7-1	森林資源情報解析の高度化に向けた提案	- 114 -
1)	広葉樹・混交林の蓄積推定の高度化	- 114 -
2)	航空レーザによる地位の推定と蓄積推定の向上	- 115 -
3-8	森林資源解析結果活用に向けた講習会	- 116 -
3-8-1	講習会の概要	- 116 -
3-8-2	アンケート調査結果	- 117 -
3-9	業務報告書の作成	- 120 -
3-9-1	報告書	- 120 -
3-9-2	電磁記録媒体資料	- 120 -
4.	作業体制	- 121 -

1. 業務概要

1-1 業務名

令和5年度航空レーザを活用した森林資源調査実証業務（森林資源解析等）（網走東部森林計画区）

1-2 業務期間

令和5年8月9日～令和6年3月1日

1-3 業務目的

借用する航空レーザ計測の成果に基づき森林資源解析等を行い、樹高、立木密度、蓄積等の森林資源情報を把握するとともに、効果的な森林資源調査手法を検討することを目的とした。

1-4 対象範囲

網走中部森林管理署及び網走南部森林管理署管内の国有林 A=362.67 km²

本業務の業務対象区域は位置図のとおりとする。

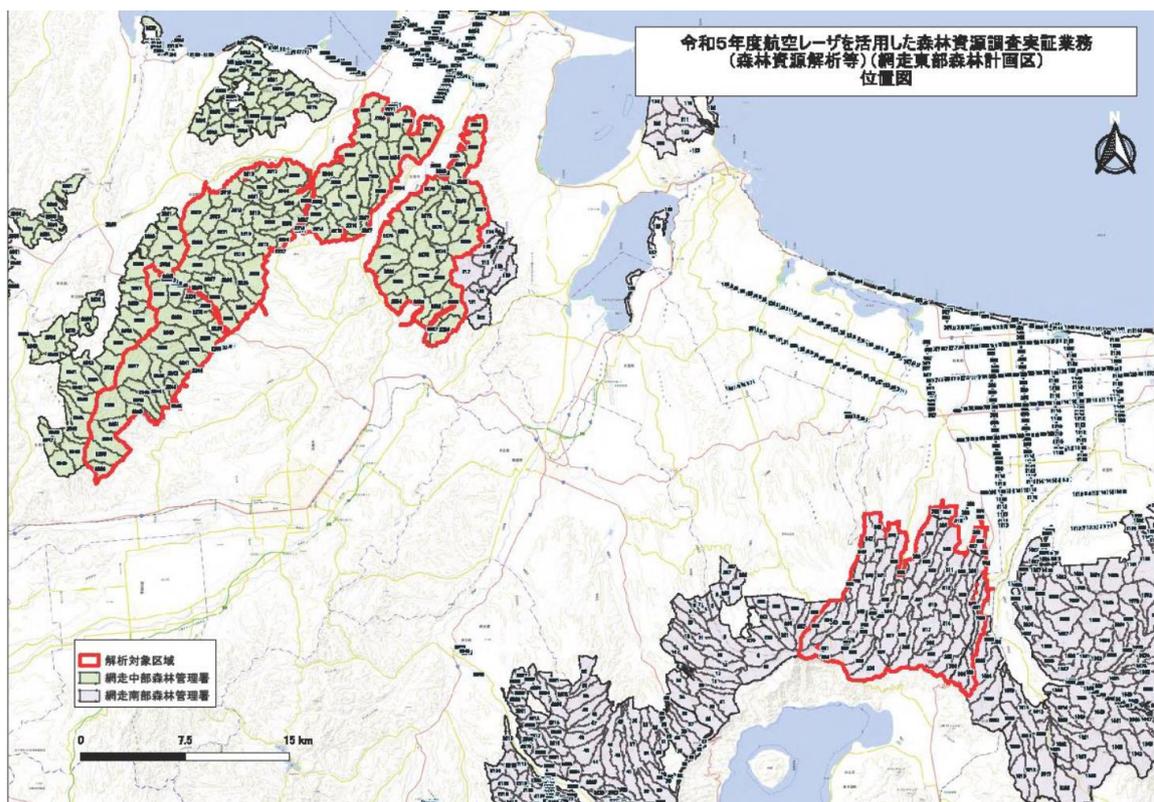


図 1-1 業務対象範囲

1-5 実施項目

本業務の実施項目は以下のとおりとする。

① 森林資源解析	1式
② 現地調査	1式
③ 森林資源情報の活用データ整理	1式
④ 森林資源解析結果の分析等	1式
⑤ 本業務における解析図データファイル等の作成	1式
⑥ 森林資源情報解析の高度化に向けた提案	1式
⑦ 森林資源解析結果活用に向けた講習会	1式
⑧ 業務報告書の作成	1式

1-6 貸与資料

本業務の実施に当たり、林野庁の北海道森林管理局が提供する、以下のデータについて貸与を受けた。

- (1) 網走中部森林管理署及び網走南部森林管理署森林計画図データ(shape形式)
- (2) 網走中部森林管理署及び網走南部森林管理署森林調査簿・樹種別調査簿データ(shape形式、エクセル形式)
- (3) 網走中部森林管理署及び網走南部森林管理署樹高曲線、収穫予想表及び地位判定基準図(トドマツ、カラマツ)
- (4) 中部森林管理局発注の「令和4年度航空レーザを活用した森林資源調査実証業務(森林資源解析等)」報告書等成果物(全体索引図、地形解析成果(傾斜区分図等)、森林資源解析成果及びマニュアル等)
- (5) レーザ計測業務成果品(4点/m²)(「令和4年度航空レーザ計測業務(網走東部森林計画区)」成果品)
 - ① オリジナルデータ(org.txt及びlas)
 - ② グラウンドデータ
 - ③ グリッドデータ
 - ④ 水部ポリゴンデータ
 - ⑤ 航空レーザ用写真地図データ
 - ⑥ 位置情報ファイル
 - ⑦ 格納データリスト
 - ⑧ 等高線データ
 - ⑨ 低密度ポリゴンデータ
 - ⑩ メタデータ

2. 作業計画

2-1 作業フロー

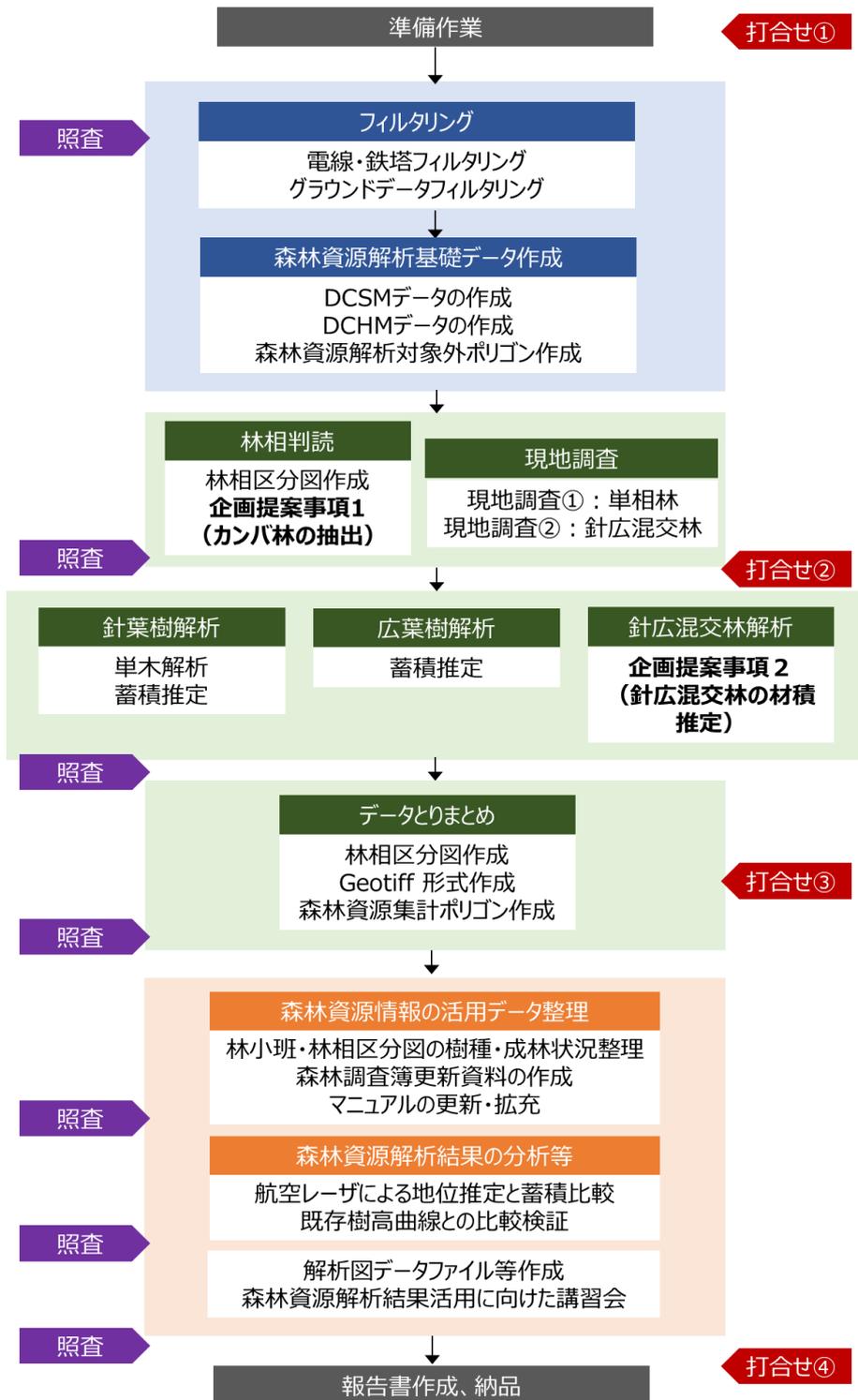


図 2-1 作業フロー図

2-2 工程表

表 2-1 工程表

業務・種別	数量	単位	令和5年		9月		10月		11月		12月		令和6年		2月		3月	
			8月		10		20		10		20		1月		10		20	
			10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
全体計画	1	式																
1. 森林資源解析																		
(1) 作業準備	362.67	km2																
(2) フィルタリング	362.67	km2																
(3) DCSMデータの作成	362.67	km2																
(4) DCHMデータの作成	362.67	km2																
(5) 森林資源解析対象外ポリゴンの作成	362.67	km2																
(6) 単木解析データ作成(針葉樹)	170.68	km2																
(7) 林相区分判読	362.67	km2																
企画提案事項1<カンパ林の抽出>	362.67	km2																
(8) 蓄積推定(針葉樹)	170.68	km2																
(9) 蓄積推定(広葉樹)	172.62	km2																
(10) 林相区分図作成	362.67	km2																
(11) Geotiff形式作成	362.67	km2																
(12) 森林資源集計ポリゴン作成	362.67	km2																
2. 現地調査																		
(1) 現地調査1 (推定式作成及び樹高・立木密度)	80	箇所																
(2) 現地調査2 (企画提案事項2<針広混交林の材積推定>)	40	箇所																
3. 森林資源情報の活用データ整理																		
(1) 林小班・林相区分の樹種・成林状況整理	170.68	km2																
(2) 森林調査簿更新資料の作成	169.04	km2																
(3) マニュアルの更新・拡充	1	式																
4. 森林資源解析結果の分析等																		
(1) 航空レーザによる地位推定と蓄積比較	159.03	km2																
(2) 既存樹高曲線との比較検証	170.68	km2																
5. 本業務における 解析図データファイル等の作成	1	式																
6. 森林資源情報解析の高度化に向けた提案	1	式																
7. 森林資源解析結果活用に向けた講習会	1	回																
8. 業務報告書の作成	1	式																
打合せ協議 ※必要に応じて適宜打合せを実施	4	回																
業務スケジュール管理	1	回/月																

■ 計画
■ 進捗

3. 業務内容

3-1 森林資源解析基礎資料作成

3-1-1 準備作業

資料の貸与を受け、資料を精査して解析に利用するデータと解析手順を決定した。森林調査簿や施業履歴等の情報をもとに、皆伐地や新植地、複層林、高齢林等の解析上の取扱いを注意すべき区域を整理するとともに、現地調査箇所選定等に反映した。

3-1-2 フィルタリング

① オリジナルデータのフィルタリング

航空レーザのオリジナルデータから樹冠表層高を示すデータ（点群）を作成した。オリジナルデータに送電線・鉄塔等、樹木より高い地物がある場合は、単木解析等のノイズや誤差の原因となるため、フィルタリング処理で高い地物を除去する必要がある。フィルタリング処理では自動フィルタリングと専門技術者による手動フィルタリングを実施した。また、データの欠損が生じないように穴埋め処理を行った。

② グラウンドデータのフィルタリング

グラウンドデータの精度は、森林資源解析データ全体の品質を決定づける重要な要素である。貸与を受けたグラウンドデータで、地盤が正確に取れているかを当社独自の点検図（特願 2022-1000072 号）を使用し点検したところ、問題がないことを確認した。

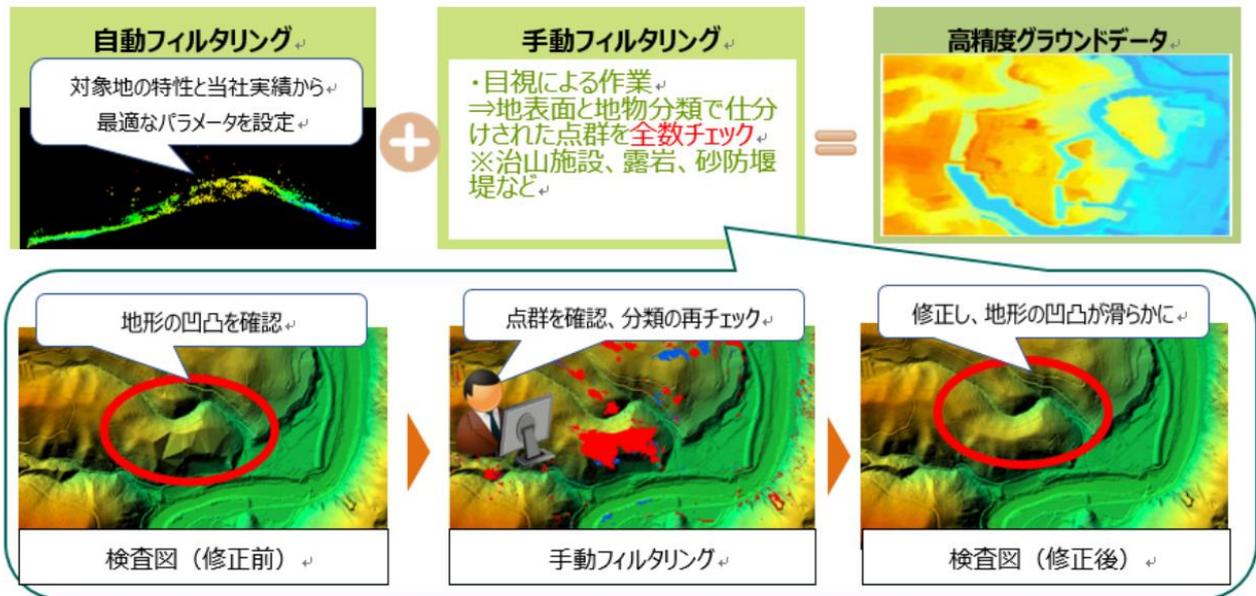


図 3-1 高精度グラウンドデータ作成のフィルタリング処理の例

3-1-3 DCSM データ作成

電線等のフィルタリングを行った樹冠表層の標高を示すデータから、0.5 m グリッドの樹冠表層モデル (DCSM: Digital Canopy Surface Model) データを作成した。

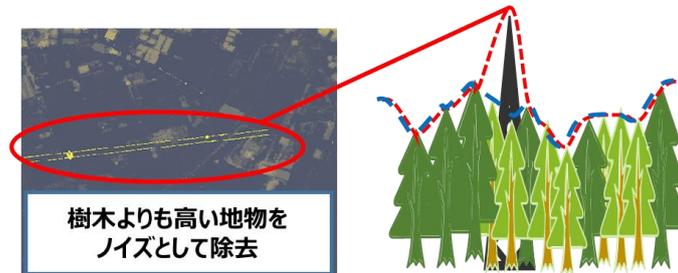


図 3-2 DCSM フィルタリングの概念図

3-1-4 DCHM データ作成

0.5 m グリッドの樹冠表層モデル (DCSM) データと数値標高モデル (DEM) データの差分により、樹冠高モデル (DCHM: Digital Canopy Height Model) データを作成した。

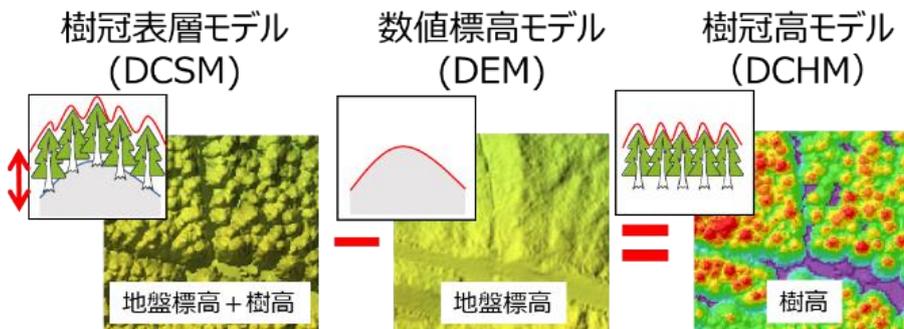


図 3-3 樹冠高モデル作成の概念図

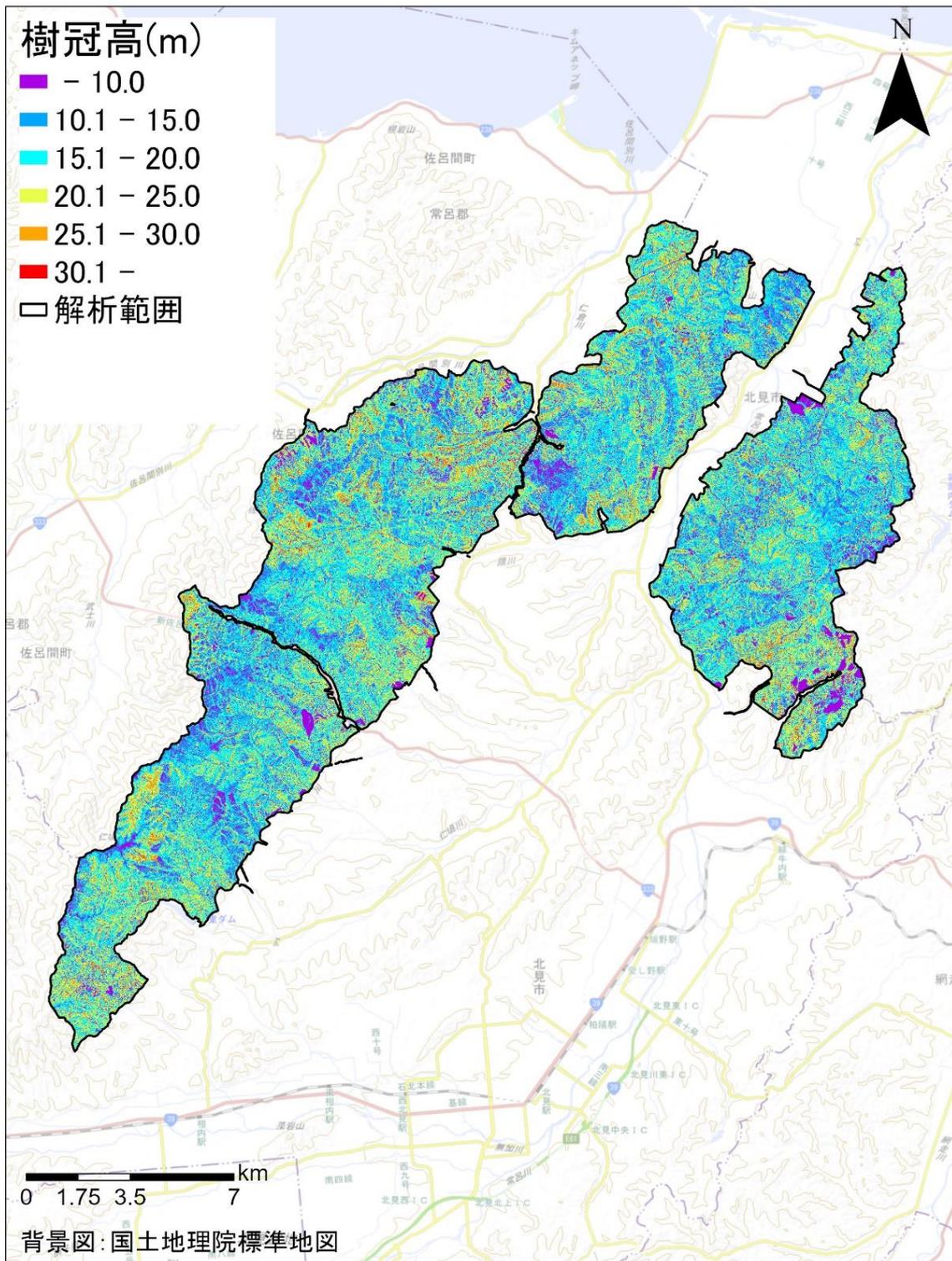


図 3-4 DCHM データ (網走中部)

3-1-5 森林資源解析対象外ポリゴン作成

本業務の森林資源解析の対象樹種は、トドマツ、エゾマツ、カラマツ、その他針葉樹、広葉樹、針広混交林であるため、解析範囲のその他の範囲については、森林資源解析対象外ポリゴンを作成した。方法は、樹冠高データ（DCHM）を活用し、1.5 m未満となる未立木地について抽出し、オルソフォトや森林調査簿等から現況を判読した。森林資源解析対象外ポリゴンの最小面積については0.04 haとし、分類項目は、新植地、伐採跡地、その他、未立木地とした。

表 3-1 解析対象外ポリゴンの分類

判読コード	項目	説明
97	新植地	植林されていることは確認できるが、植林されて間もないため、航空写真から樹種を判読することが難しいもの
98	伐採跡地	皆伐地
99	その他	林道・作業道・沢・低木類など上記項目にあてはまらないもの
100	未立木地	ササ地等、伐採跡地以外の無立木地

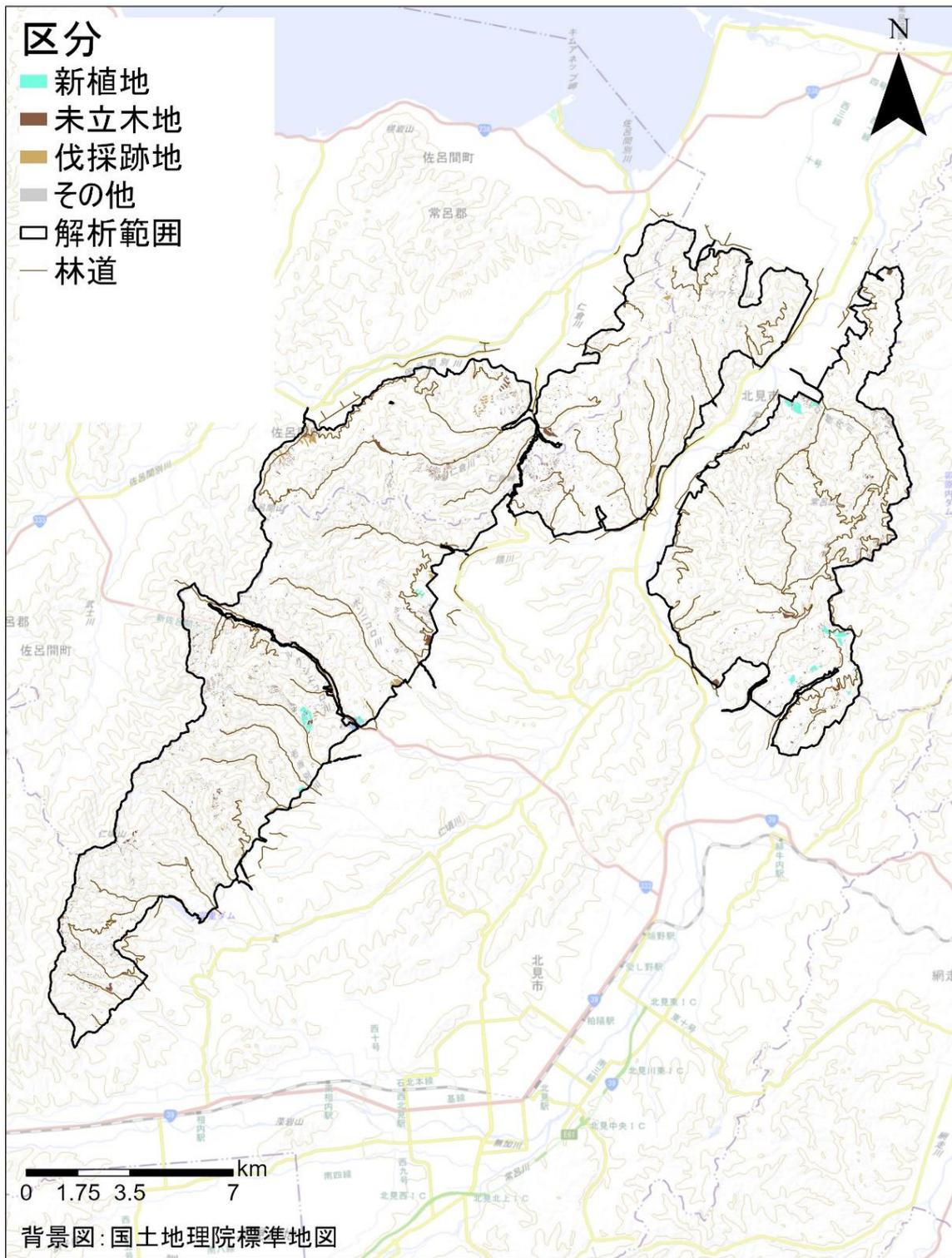


図 3-6 森林資源解析対象外ポリゴン（網走中部）

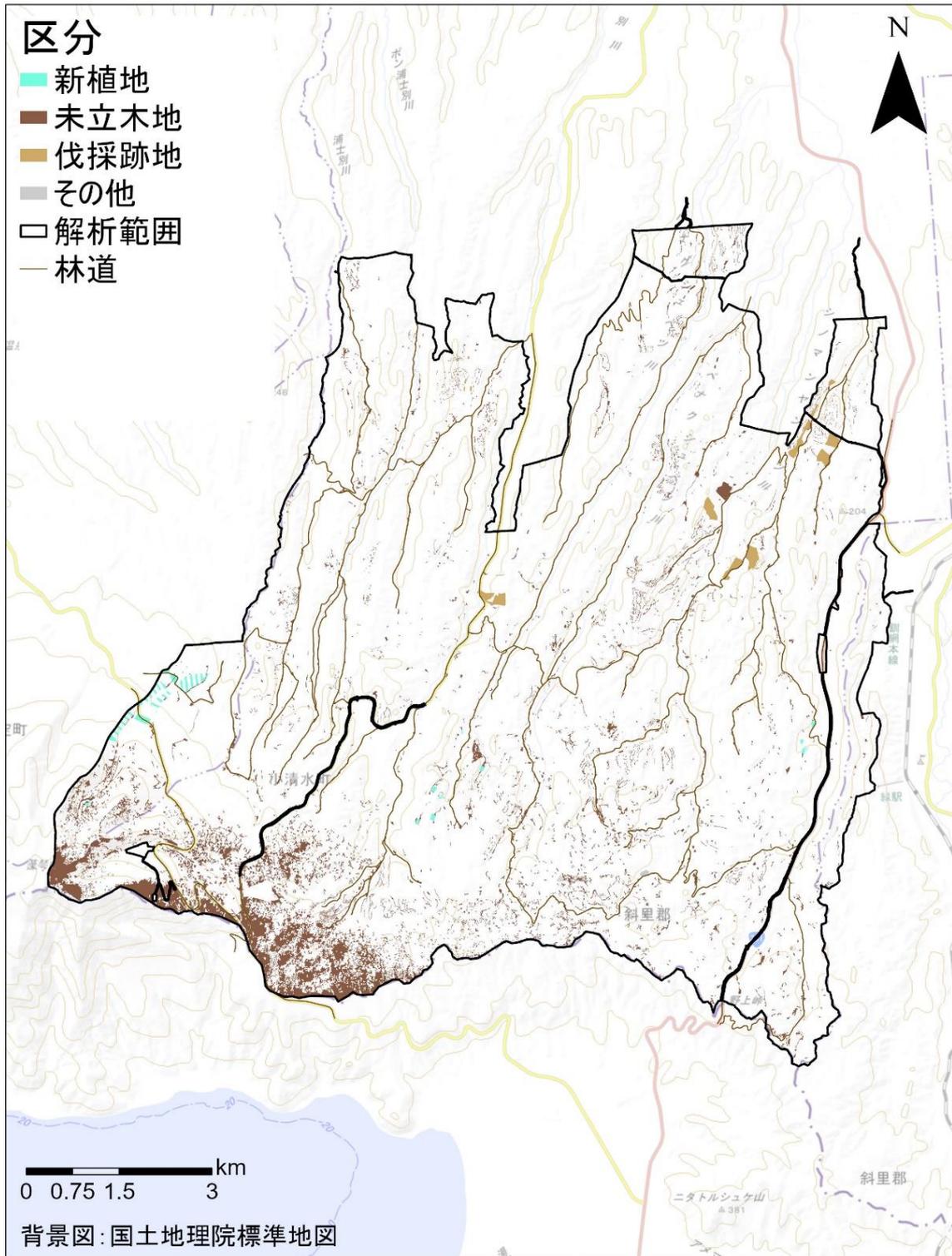


図 3-7 森林資源解析対象外ポリゴン（網走南部）

3-2 現地調査

胸高直径の推定、広葉樹の蓄積推定及び解析結果の精度検証を目的に、現地調査1と現地調査2を実施した。対象区域の地域特性やばらつきを考慮し、傾斜区分、樹高、立木密度等の異なる箇所を選定した。

3-2-1 現地調査1

トドマツ、エゾマツ、カラマツの胸高直径の推定、広葉樹の蓄積の推定のために、トドマツ30箇所、エゾマツ15箇所、カラマツ15箇所、広葉樹20箇所の計80箇所の現地調査をした。調査プロットは、森林調査簿やオルソフォトを用いて、林齢や樹高、密度の条件のばらつきを考慮し選定した。また、針葉樹については、空中写真から確認した広葉樹の混交率が25%以下の林分を対象とした。現地調査は、0.04 ha（水平面積）の円形プロットを設け、表3-4の項目を調査した。

表 3-2 現地調査1の箇所数

樹種	箇所数
トドマツ	30 箇所
エゾマツ	15 箇所
カラマツ	15 箇所
広葉樹	20 箇所
計	80 箇所

本業務では、現地調査の際、中心点の座標は高精度GNSSおよびGarmin（GPSMAP 64csx, GPSMAP 64sc J）で測位した。表3-3に、使用した機材および測位方法、高精度GNSSとGarminとの中心位置の比較結果を示す。すべてのプロットにおいて、高精度GNSSとGarminは同じプロット中心点を計測しているが、両者で最大26.84 m、平均で5 m程度の中心位置の開きがあった。

表 3-3 高精度GNSSとGarminで取得した中心位置の比較

機材	測位方法	最短距離 (m)	最長距離 (m)	平均距離 (m)	サンプル数
Trimble R12	ネットワーク型RTK-GNSS (VRS)	4.97	6.32	5.64	2
Trimble R12	スタティック	0.54	12.70	4.75	60
Geode	D-GNSS	0.39	26.84	5.34	33
Trimble R2	D-GNSS	1.05	11.65	5.19	25

表 3-4 現地調査項目

調査項目	針葉樹	広葉樹・混交林	備考
調査面積	0.04 ha (半径 11.3 m 円)	0.04 ha (半径 11.3 m 円)	
調査地中心の座標	緯度・経度、または平面直角座標の XY 座標データ		
胸高直径	全立木		直径 6 cm 以上
樹種	全立木 (トドマツ、エゾマツ、カラマツ、その他針葉樹、広葉樹のいずれか)	針葉樹：全立木 広葉樹：プロット内の主要樹種上位 3 種程度	直径 6 cm 以上
本数	全立木		直径 6 cm 以上
樹高	全立木		直径 6 cm 以上
上層木 (樹冠が上層に到達しているか否か)	全立木		上層に達しているかを目視確認
単木位置	各樹種 100 本程度	—	
備考	二又、先折れ、病虫害	病虫害	※枯死木は本数、樹冠に達しているかを記載
写真撮影	中心から東西南北、天頂、調査範囲全体、林床の計 7 枚撮影		
その他特記事項	間伐の実施状況、下層植生の状況、アクセス性		

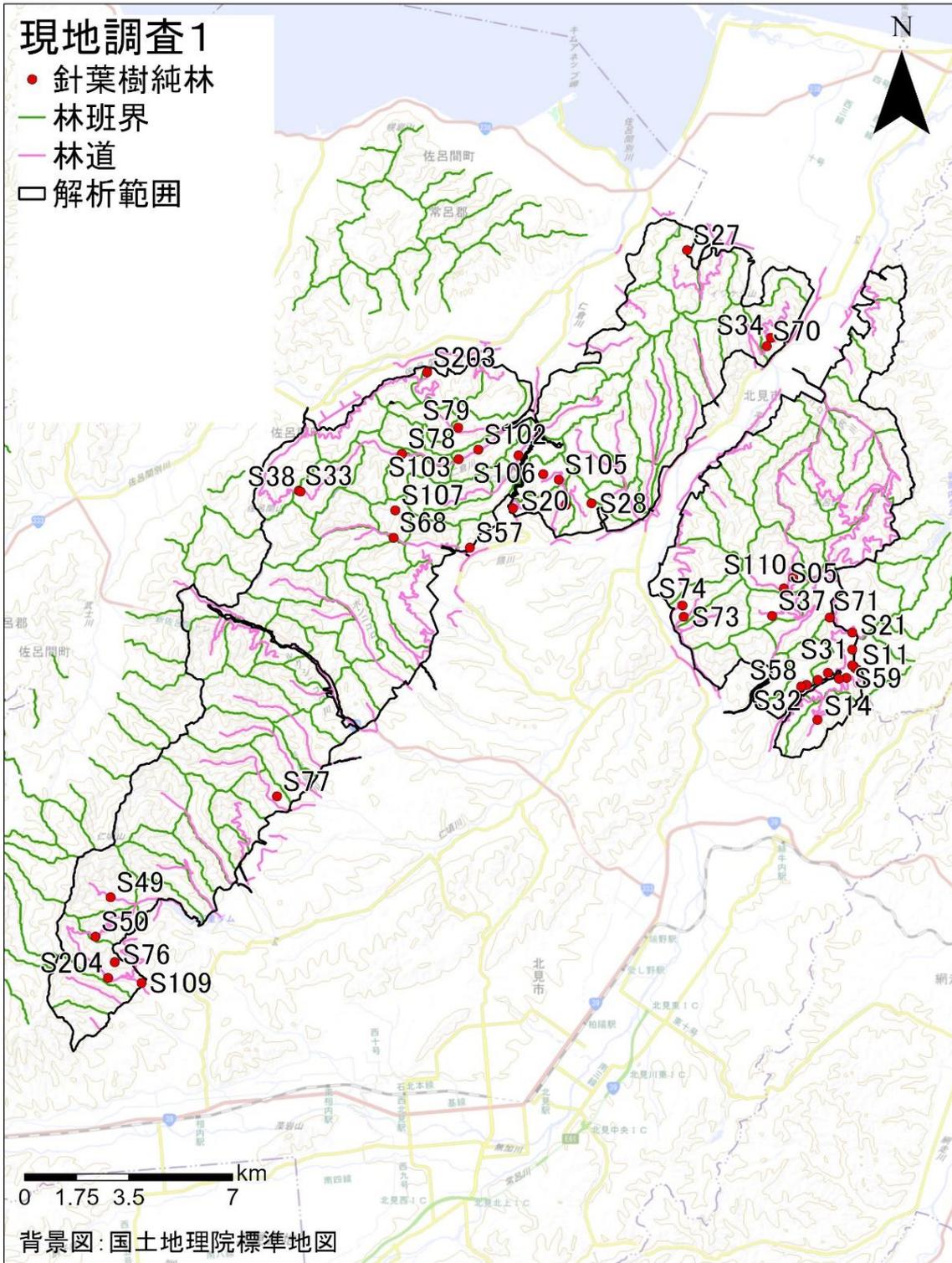


図 3-8 現地調査1 実施箇所 (網走中部)

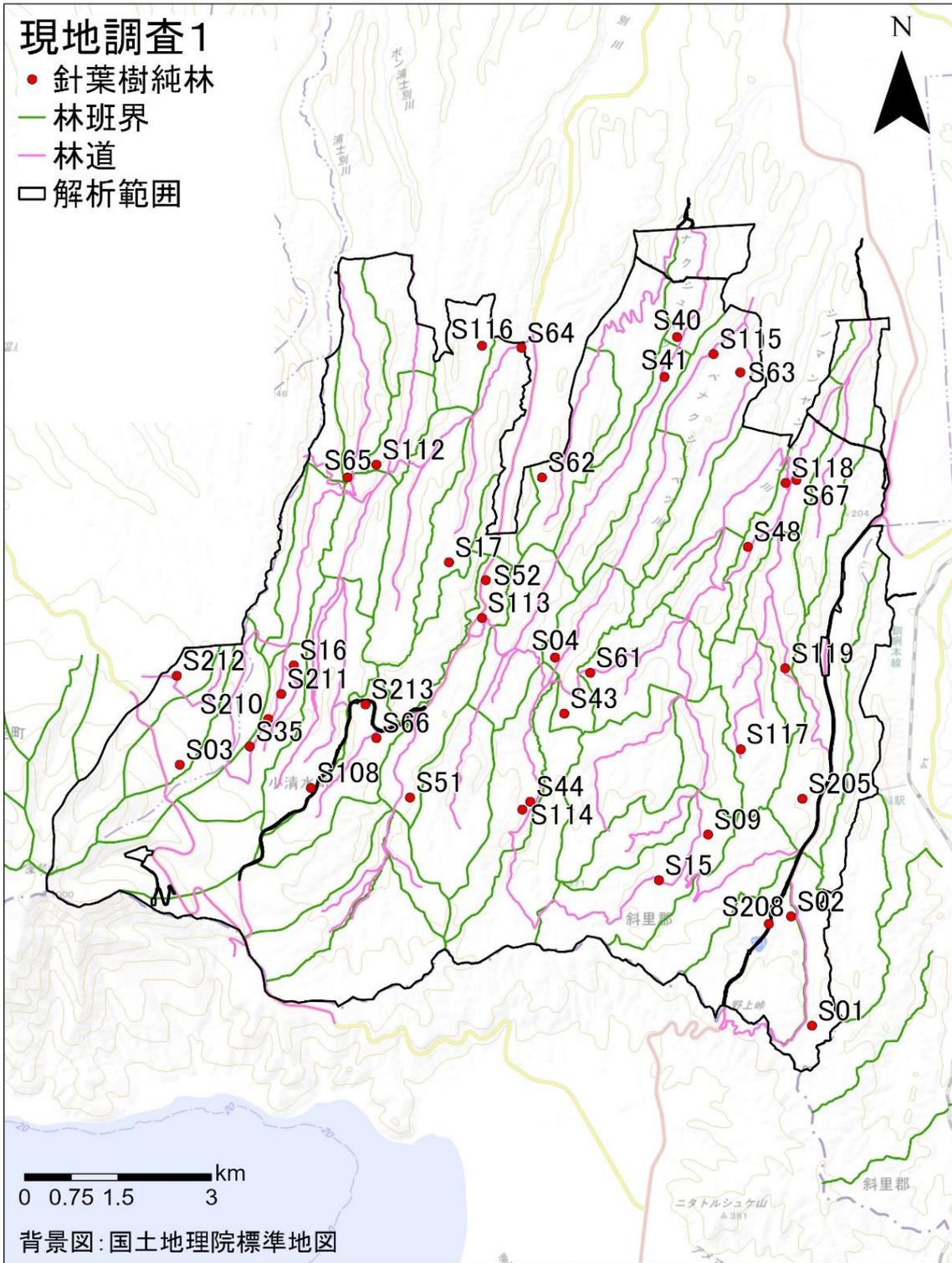
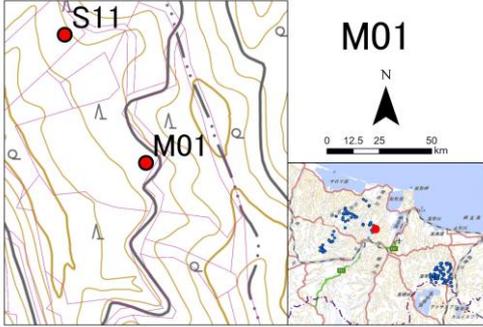


図 3-9 現地調査1 実施箇所（網走南部）

プロット名	M01	作業日	2023/10/3
森林簿樹種	アカエゾマツ	記録者	久保田
林班名	2288_林班の	天気	雨
GPSポイント名	1S	樹高測定方法	Trupalse360B
緯度(度分秒)	N43° 55' 54.11779696"	プロット中心位置測定機器	Trimble R12
経度(度分秒)	E144° 01' 53.26149731"	位置計測方法	スタティック
プロット面積(ha)	0.04	樹齢(年)	17



樹木本数(本)	平均胸高直径(cm)	平均樹高(m)	相対幹距比(%)
95	8.7	6.4	32.2
本数密度(本/ha)	Sd_胸高直径(cm)	Sd_樹高(m)	枯死木本数(本)
2375	1.77	1.01	1.0
現地林況			
笹が繁茂している ウコギ科(胸高直径6cm未満多数あり) ※樹種写真参照			
広葉樹混交率(%)	23		
間伐の有無	無		
アクセス性	問題なし		



天頂



林床



下層植生



北



東



西



南

No.	ゾーン	樹種	胸高直径 [cm]	樹高 [m]	折れ、二又、被圧 病虫害・獣害	樹冠 到達	その他備考
1	SW	アカエゾマツ	10.0	7.3		○	
2	SW	広	6.9	2.5		×	
3	SW	アカエゾマツ	6.8	4.2		○	
4	SW	アカエゾマツ	10.0	6.3		○	
5	NW	アカエゾマツ	8.9	5.8		○	
6	NW	広	6.9	7.9		○	
7	NW	アカエゾマツ	11.1	8.1		○	
8	NW	アカエゾマツ	7.1	5.2		×	
9	NW	広	6.4	8.3		○	
10	NW	アカエゾマツ	9.2	5.8		○	
11	NW	広	6.9	7.8		○	
12	NW	アカエゾマツ	8.7	6.5		○	
13	NW	アカエゾマツ	10.5	7.0		○	
14	NW	広	6.5	7.1		○	
15	NW	アカエゾマツ	7.1	5.8		○	
16	NW	アカエゾマツ	8.5	6.0		○	
17	NW	広	7.0	6.3		○	
18	NW	広	8.7	6.8		○	
19	NW	アカエゾマツ	7.7	6.0		○	
20	NW	アカエゾマツ	7.8	6.3		○	
21	NW	アカエゾマツ	8.3	5.5		○	
22	NW	広	8.7	7.5		○	
23	NW	アカエゾマツ	8.9	6.1	株	○	
24	NW	アカエゾマツ	8.6	6.1	株	○	
25	NW	広	7.2	7.0		○	
26	NW	広	7.5	6.1		○	
27	NW	アカエゾマツ	6.4	5.2		×	
28	NW	アカエゾマツ	12.8	6.7		○	
29	NW	広	6.2	5.4		○	
30	NW	アカエゾマツ	8.5	5.8		○	
31	NW	アカエゾマツ	7.3	5.3		○	
32	NW	アカエゾマツ	8.0	6.1		○	
33	NW	アカエゾマツ	10.8	6.5		○	
34	NW	広	6.3	7.8		○	
35	W	アカエゾマツ	9.3	7.2		○	
36	NW	アカエゾマツ	7.5	5.5		○	
37	NW	アカエゾマツ	11.3	7.5		○	
38	NW	アカエゾマツ	9.8	6.8		○	
39	NW	アカエゾマツ	9.5	5.3		○	
40	NW	アカエゾマツ	11.9	7.1		○	
41	SW	アカエゾマツ	7.2	4.8		○	
42	SW	アカエゾマツ	10.1	6.9		○	
43	NW	アカエゾマツ	9.8	6.2		○	
44	NW	アカエゾマツ	7.3	6.4		○	
45	NW	アカエゾマツ	8.7	6.7		○	
46	NW				枯死		
47	NW	アカエゾマツ	9.9	7.7		○	
48	NW	広	6.0	7.1		○	
49	NW	アカエゾマツ	12.5	7.3		○	
50	NW	アカエゾマツ	8.5	5.0		○	
51	NW	アカエゾマツ	9.3	6.7		○	
52	NW	広	6.4	5.4		○	
53	NW	アカエゾマツ	9.8	5.4		○	
54	NW	アカエゾマツ	7.6	5.6		○	
55	NW	アカエゾマツ	9.9	6.5		○	
56	NW	アカエゾマツ	11.4	6.7		○	
57	NE	アカエゾマツ	9.8	7.3		○	
58	NE	アカエゾマツ	9.9	7.1		○	
59	NE	広	7.4	6.1		○	
60	NE	アカエゾマツ	7.8	5.7		○	
61	NE	アカエゾマツ	7.1	4.7		○	
62	NE	アカエゾマツ	11.5	8.1		○	
63	NE	アカエゾマツ	7.3	5.7		○	
64	NE	アカエゾマツ	11.7	7.9		○	
65	NE	アカエゾマツ	7.5	5.8		×	
66	NE	アカエゾマツ	11.4	6.4		○	
67	NE	アカエゾマツ	11.5	7.4		○	

図 3-10 現地調査結果とりまとめ例

3-2-2 現地調査2

針広混交林の蓄積推定、混交率の精度検証を目的に現地調査2を実施した。対象は、トドマツ、エゾマツ、カラマツ（以下「目的樹種」）のうち広葉樹の混交率が25%を超えるものとし、林相区分データなどを利用して、複数の混交率の林分からばらつきを考慮して調査プロットを選定した。

表 3-5 現地調査2の箇所数

樹種	箇所数
トドマツ針広混交林	15 箇所
エゾマツ針広混交林	10 箇所
カラマツ針広混交林	15 箇所
計	40 箇所

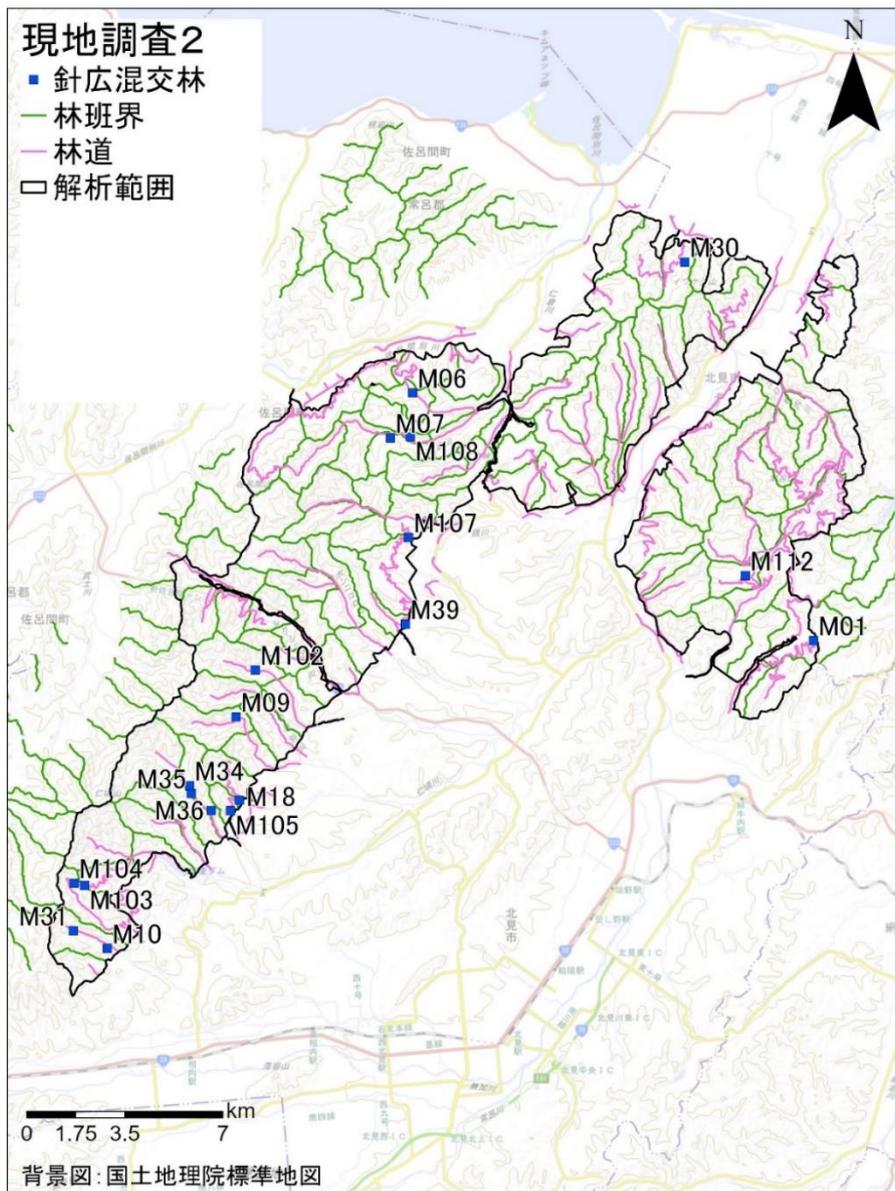


図 3-11 現地調査2実施箇所（網走中部）

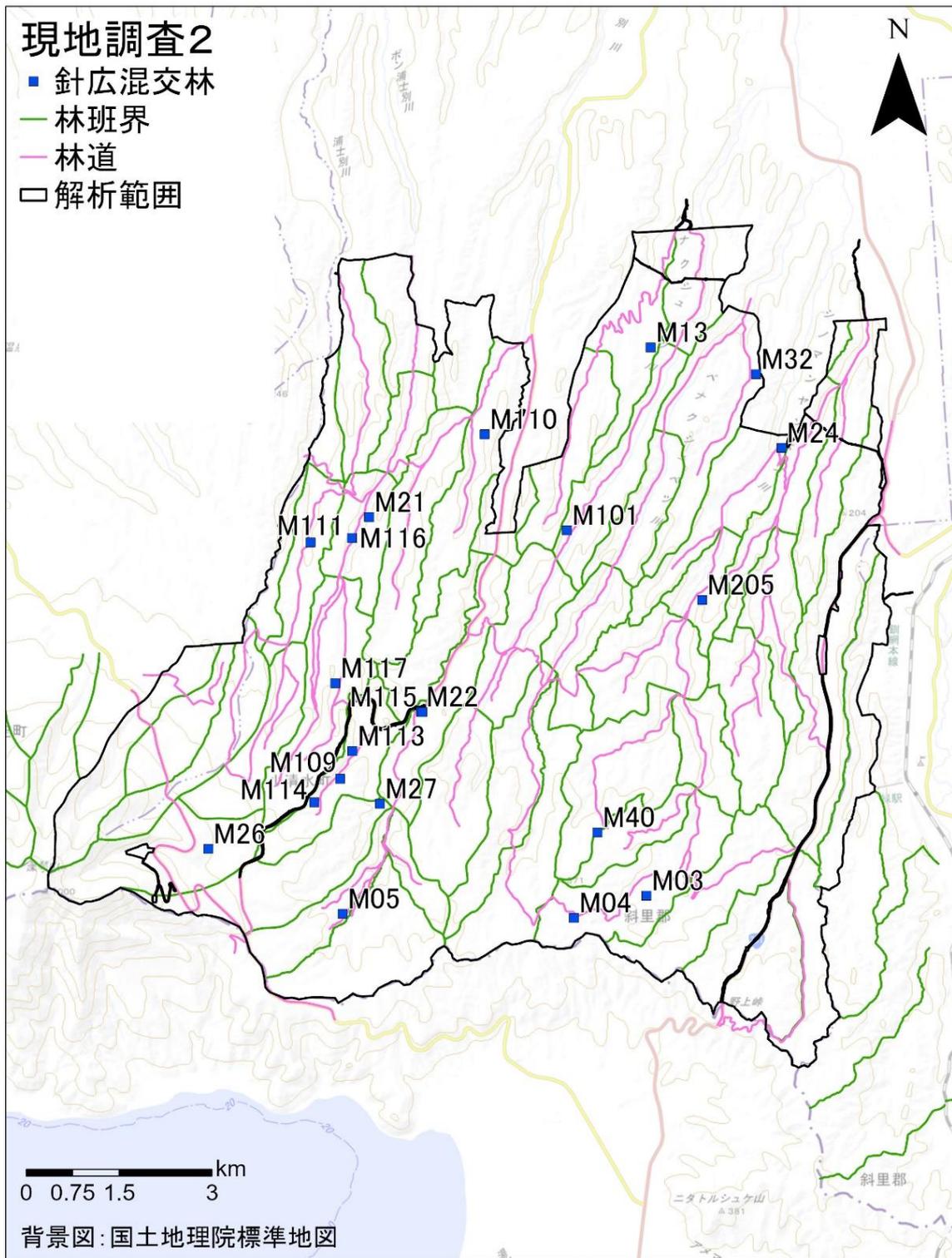


図 3-12 現地調査2 実施箇所（網走南部）

3-2-3 現地調査結果

現地調査1および現地調査2の結果を表3-6、表3-7、表3-8、表3-9に示す。最新林齢は森林調査簿の林齢に3を足し、現地調査した令和5年度の林齢とした。

表 3-6 現地調査1 (トドマツ)

プロット番号	本数	平均樹高 (m)	平均DBH (cm)	蓄積 (m3)	蓄積 (m3/ha)	測位方法	種別	種別2	樹種	最新林齢
S03	27	19.82	32.76	23.76	594.00	D-GNSS	単	針	トドマツ	44
S109	16	24.93	40.23	27.09	677.25	D-GNSS	単	針	トドマツ	61
S110	29	20.73	30.11	23.12	578.00	D-GNSS	単	針	トドマツ	61
S112	33	20.86	31.37	30.49	762.25	D-GNSS	単	針	トドマツ	55
S113	16	25.88	38.37	24.54	613.50	D-GNSS	単	針	トドマツ	68
S115	20	19.36	28.20	15.43	385.75	D-GNSS	単	針	トドマツ	52
S116	16	19.78	28.76	12.60	315.00	D-GNSS	単	針	トドマツ	62
S203	45	20.54	25.84	27.13	678.25	D-GNSS	単	針	トドマツ	48
S204	12	23.19	39.94	18.10	452.50	D-GNSS	単	針	トドマツ	73
S205	17	24.21	38.46	25.40	635.00	D-GNSS	単	針	トドマツ	104
S31	55	6.27	9.02	1.54	38.50	スタティック	単	針	トドマツ	17
S32	49	5.92	9.63	1.61	40.25	D-GNSS	単	針	トドマツ	18
S33	23	14.00	24.40	8.50	212.50	スタティック	単	針	トドマツ	3
S34	26	18.45	26.85	14.95	373.75	D-GNSS	単	針	トドマツ	33
S35	36	15.11	26.48	16.41	410.25	スタティック	単	針	トドマツ	36
S37	19	17.02	24.99	8.78	219.50	D-GNSS	単	針	トドマツ	38
S38	20	13.90	23.59	6.92	173.00	スタティック	単	針	トドマツ	37
S40	26	18.05	23.07	11.51	287.75	スタティック	単	針	トドマツ	39
S41	50	12.01	17.51	9.68	242.00	D-GNSS	単	針	トドマツ	39
S43	23	19.79	28.84	16.17	404.25	スタティック	単	針	トドマツ	48
S44	22	16.57	27.13	11.59	289.75	D-GNSS	単	針	トドマツ	48
S48	25	20.54	30.87	20.92	523.00	スタティック	単	針	トドマツ	56
S49	24	23.84	34.38	28.28	707.00	スタティック	単	針	トドマツ	58
S50	13	24.17	37.96	18.60	465.00	スタティック	単	針	トドマツ	60
S51	23	20.90	33.15	21.87	546.75	D-GNSS	単	針	トドマツ	61
S52	12	22.56	38.48	15.95	398.75	スタティック	単	針	トドマツ	68
S57	21	22.25	36.94	25.59	639.75	スタティック	単	針	トドマツ	84
S58	42	11.65	18.67	8.11	202.75	D-GNSS	単	針	トドマツ	93
S59	10	18.93	36.73	10.40	260.00	スタティック	単	針	トドマツ	94
S60	7	24.36	41.46	11.46	286.50	D-GNSS	単	針	トドマツ	94

表 3-7 現地調査1 (エゾマツ・カラマツ)

プロット番号	本数	平均樹高 (m)	平均DBH (cm)	蓄積 (m3)	蓄積 (m3/ha)	測位方法	種別	種別2	樹種	最新林齢
S01	22	19.61	28.62	14.83	370.75	スタティック	単	針	エゾマツ	64
S02	21	22.22	31.25	19.51	487.75	スタティック	単	針	エゾマツ	66
S04	44	13.57	21.58	14.65	366.25	スタティック	単	針	エゾマツ	34
S05	14	19.52	29.39	10.37	259.25	D-GNSS	単	針	エゾマツ	49
S09	32	19.08	25.82	17.23	430.75	スタティック	単	針	エゾマツ	51
S101	11	27.23	36.92	15.62	390.50	スタティック	単	針	カラマツ	59
S102	9	26.93	40.96	15.47	386.75	スタティック	単	針	カラマツ	57
S103	15	27.63	34.94	18.74	468.50	スタティック	単	針	カラマツ	57
S104	15	20.83	31.70	12.46	311.50	スタティック	単	針	エゾマツ	55
S105	27	15.42	21.01	8.12	203.00	スタティック	単	針	エゾマツ	42
S106	39	13.63	19.50	9.25	231.25	スタティック	単	針	エゾマツ	40
S107	40	12.91	17.72	7.94	198.50	スタティック	単	針	カラマツ	34
S108	50	13.04	19.23	11.86	296.50	D-GNSS	単	針	エゾマツ	36
S11	25	18.48	29.86	16.94	423.50	スタティック	単	針	エゾマツ	95
S114	33	18.24	24.72	16.54	413.50	D-GNSS	単	針	エゾマツ	104
S14	15	21.76	30.34	13.51	337.75	スタティック	単	針	エゾマツ	58
S15	28	15.12	23.71	10.18	254.50	スタティック	単	針	エゾマツ	51
S16	36	20.11	23.34	15.35	383.75	スタティック	単	針	カラマツ	37
S17	16	22.82	30.50	13.96	349.00	スタティック	単	針	カラマツ	42
S20	10	27.69	36.60	13.87	346.75	スタティック	単	針	カラマツ	58
S208	34	25.89	29.81	32.00	800.00	D-GNSS	単	針	エゾマツ	64
S21	11	22.64	36.76	12.50	312.50	VRS	単	針	カラマツ	59
S210	36	12.85	21.87	9.55	238.75	D-GNSS	単	針	エゾマツ	36
S211	33	19.74	23.63	14.25	356.25	D-GNSS	単	針	カラマツ	37
S212	10	22.02	40.08	13.27	331.75	D-GNSS	単	針	カラマツ	62
S213	15	28.04	42.06	28.15	703.75	D-GNSS	単	針	カラマツ	61
S27	18	24.68	30.89	15.78	394.50	スタティック	単	針	カラマツ	65
S28	16	22.09	33.99	15.39	384.75	スタティック	単	針	カラマツ	65
S29	7	30.46	49.63	19.57	489.25	VRS	単	針	エゾマツ	72
S30	5	26.24	46.24	10.39	259.75	D-GNSS	単	針	カラマツ	71

表 3-8 現地調査1 (広葉樹・カンバ)

プロット番号	本数	平均樹高 (m)	平均DBH (cm)	蓄積 (m3)	蓄積 (m3/ha)	測位方法	種別	種別2	樹種
S117	27	13.97	17.08	6.97	174.25	D-GNSS	単	広	広葉樹
S118	32	13.76	18.55	11.70	292.50	D-GNSS	単	広	広葉樹
S119	63	12.70	15.85	16.32	408.00	D-GNSS	単	広	広葉樹
S61	49	13.53	17.46	14.35	358.75	スタティック	単	広	カンバ
S62	61	14.11	16.30	12.89	322.25	スタティック	単	広	カンバ
S63	55	12.20	17.50	14.70	367.50	スタティック	単	広	カンバ
S64	36	11.88	19.10	12.60	315.00	スタティック	単	広	広葉樹
S65	23	12.17	21.92	8.52	213.00	D-GNSS	単	広	広葉樹
S66	31	16.15	24.80	14.84	371.00	D-GNSS	単	広	広葉樹
S67	23	14.82	20.27	8.78	219.50	D-GNSS	単	広	広葉樹
S68	23	14.85	26.57	21.12	528.00	D-GNSS	単	広	広葉樹
S69	31	12.43	19.96	13.01	325.25	D-GNSS	単	広	広葉樹
S70	27	13.70	23.54	14.20	355.00	D-GNSS	単	広	広葉樹
S71	20	12.29	22.83	7.85	196.25	スタティック	単	広	広葉樹
S73	65	12.87	14.96	9.49	237.25	D-GNSS	単	広	カンバ
S74	24	13.69	23.69	12.96	324.00	D-GNSS	単	広	広葉樹
S76	29	15.32	24.50	18.07	451.75	D-GNSS	単	広	広葉樹
S77	41	13.89	20.17	17.98	449.50	D-GNSS	単	広	広葉樹
S78	28	17.15	26.51	22.94	573.50	D-GNSS	単	広	カンバ
S79	19	15.13	26.05	10.52	263.00	D-GNSS	単	広	広葉樹

表 3-9 現地調査2

プロット番号	本数	平均樹高 (m)	平均DBH (cm)	蓄積 (m3)	蓄積 (m3/ha)	測位方法	種別	種別2	樹種
M01	95	6.38	8.70	2.34	58.50	スタティック	混	混	エゾマツ
M03	47	10.19	17.24	9.90	247.50	スタティック	混	混	エゾマツ
M04	69	11.44	17.05	11.11	277.75	スタティック	混	混	エゾマツ
M05	27	14.09	26.45	14.34	358.50	スタティック	混	混	エゾマツ
M06	61	8.96	14.52	7.77	194.25	スタティック	混	混	エゾマツ
M07	38	13.34	17.58	9.03	225.75	スタティック	混	混	エゾマツ
M09	39	13.41	21.20	10.72	268.00	スタティック	混	混	エゾマツ
M10	35	20.15	29.28	34.25	856.25	スタティック	混	混	エゾマツ
M101	109	11.71	17.50	25.97	649.25	スタティック	混	混	トドマツ
M102	45	14.14	20.68	15.09	377.25	D-GNSS	混	混	トドマツ
M103	33	16.80	26.21	19.00	475.00	D-GNSS	混	混	トドマツ
M104	39	18.99	25.59	24.44	611.00	D-GNSS	混	混	トドマツ
M105	27	14.17	22.24	12.16	304.00	D-GNSS	混	混	トドマツ
M107	39	10.15	18.12	6.69	167.25	D-GNSS	混	混	エゾマツ
M40	20	14.95	28.77	13.92	348.00	スタティック	混	混	エゾマツ
M26	14	13.19	34.33	13.01	325.25	スタティック	混	混	トドマツ
M27	56	11.44	20.03	18.53	463.25	スタティック	混	混	トドマツ
M30	50	9.71	15.62	12.21	305.25	スタティック	混	混	トドマツ
M31	23	21.03	32.47	30.72	768.00	スタティック	混	混	トドマツ
M32	32	15.98	21.95	16.55	413.75	スタティック	混	混	トドマツ
M34	95	11.04	14.15	13.13	328.25	スタティック	混	混	トドマツ
M35	43	14.00	20.72	15.58	389.50	スタティック	混	混	トドマツ
M36	70	11.21	19.43	21.56	539.00	スタティック	混	混	トドマツ
M39	63	15.98	20.24	26.97	674.25	スタティック	混	混	トドマツ
M108	64	10.18	14.37	7.94	198.50	D-GNSS	混	混	カラマツ
M109	53	12.89	15.86	14.72	368.00	D-GNSS	混	混	カラマツ
M110	30	15.53	20.24	12.61	315.25	D-GNSS	混	混	カラマツ
M111	21	22.30	26.93	13.13	328.25	D-GNSS	単	針	カラマツ
M112	47	14.73	18.90	15.76	394.00	D-GNSS	混	混	カラマツ
M113	49	13.82	17.88	16.84	421.00	D-GNSS	混	混	カラマツ
M114	30	14.41	20.31	11.58	289.50	D-GNSS	混	混	カラマツ
M115	31	15.04	18.14	15.49	387.25	D-GNSS	混	混	カラマツ
M116	25	17.38	25.68	16.93	423.25	D-GNSS	混	混	カラマツ
M117	35	13.08	17.52	9.53	238.25	D-GNSS	混	混	カラマツ
M13	55	14.17	18.63	15.96	399.00	スタティック	混	混	カラマツ
M18	29	17.60	20.59	10.78	269.50	スタティック	混	混	カラマツ
M205	32	14.58	18.22	11.19	279.75	D-GNSS	混	混	カラマツ
M21	18	17.70	25.33	12.77	319.25	スタティック	混	混	カラマツ
M22	39	13.74	14.98	9.45	236.25	スタティック	混	混	カラマツ
M24	43	17.71	22.00	25.59	639.75	スタティック	混	混	カラマツ

3-3 森林資源解析

3-3-1 林相区分判読

オルソフォト、DCHM データ等から林相区分データを作成した。対象区分は、トドマツ、エゾマツ、カラマツ、その他針葉樹、広葉樹、針広混交林、カンバ林とした。

① 林相識別図の作成

樹種ごとの葉の形・大きさ・葉の方向等の違いは、レーザの反射強度の大きさに影響する。その特性を活かして、DCHMデータやファーストパルスデータ（レーザを地物に当てた際に、最初に返ってくる信号）等と組みあわせることで、オルソフォトだけでは分かりづらい樹種の違いを表現した弊社独自の林相識別図を作成した。本業務ではカンバ林に特化した林相識別図を作成した。詳細は3-3-2に示す。

② AI による樹種区分

オルソフォトや林相識別図をもとに、弊社独自のAIを用いて樹種区分した。樹種区分データは、教師データや設定するパラメータにより精度が変わるため、専門技術者による目視判読結果と比較しながら、教師データとパラメータを調整した。ただし、針広混交林の抽出方法については、他の区分の判読方法とは異なるため、詳細は3-3-8に記載する。

③ 林小班の境界の反映

森林の管理単位である林小班の境界を樹種区分データに反映した林相区分データを作成した。なお、林相区分データの最小面積は0.04 haとした。

④ 目視による修正

北海道の国有林の森林調査簿は樹種の信頼性が高いという点を活かし、林相区分データと森林調査簿を突合し、樹種判読にミスがあるかもしれない箇所を効率的に抽出した。抽出したポリゴンは、専門技術者により目視確認のうえ修正した。

1) 樹種の見え方の違い

オルソフォトによる樹種毎の見え方の例を図 3-13 に示す。

トドマツ	エゾマツ
	
カラマツ	その他針葉樹
	
広葉樹	針広混交林
	

新植地	伐採跡地
	
その他	未立木地
	

図 3-13 樹種ごとの林相の見え方

2) 林相区分図の作成

森林調査簿の樹種分布（樹種1）を図 3-14、図 3-16 に、本業務で作成した林相区分図を図 3-15、図 3-17 に示す。また、樹種ごとの面積を表 3-10、表 3-11 に、樹種ごとの面積割合を図 3-18、図 3-19 に示す。

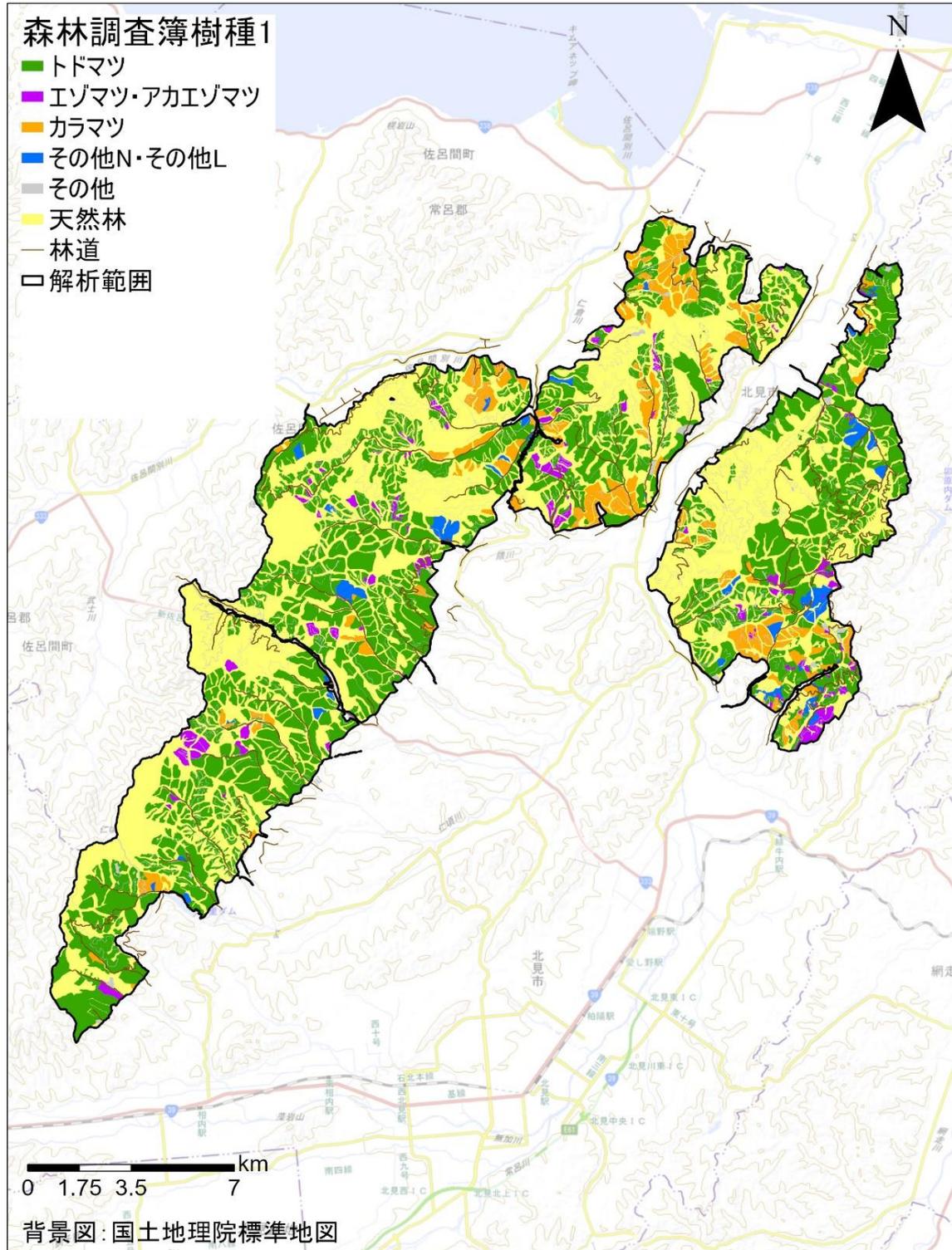


図 3-14 森林調査簿の樹種分布（網走中部）

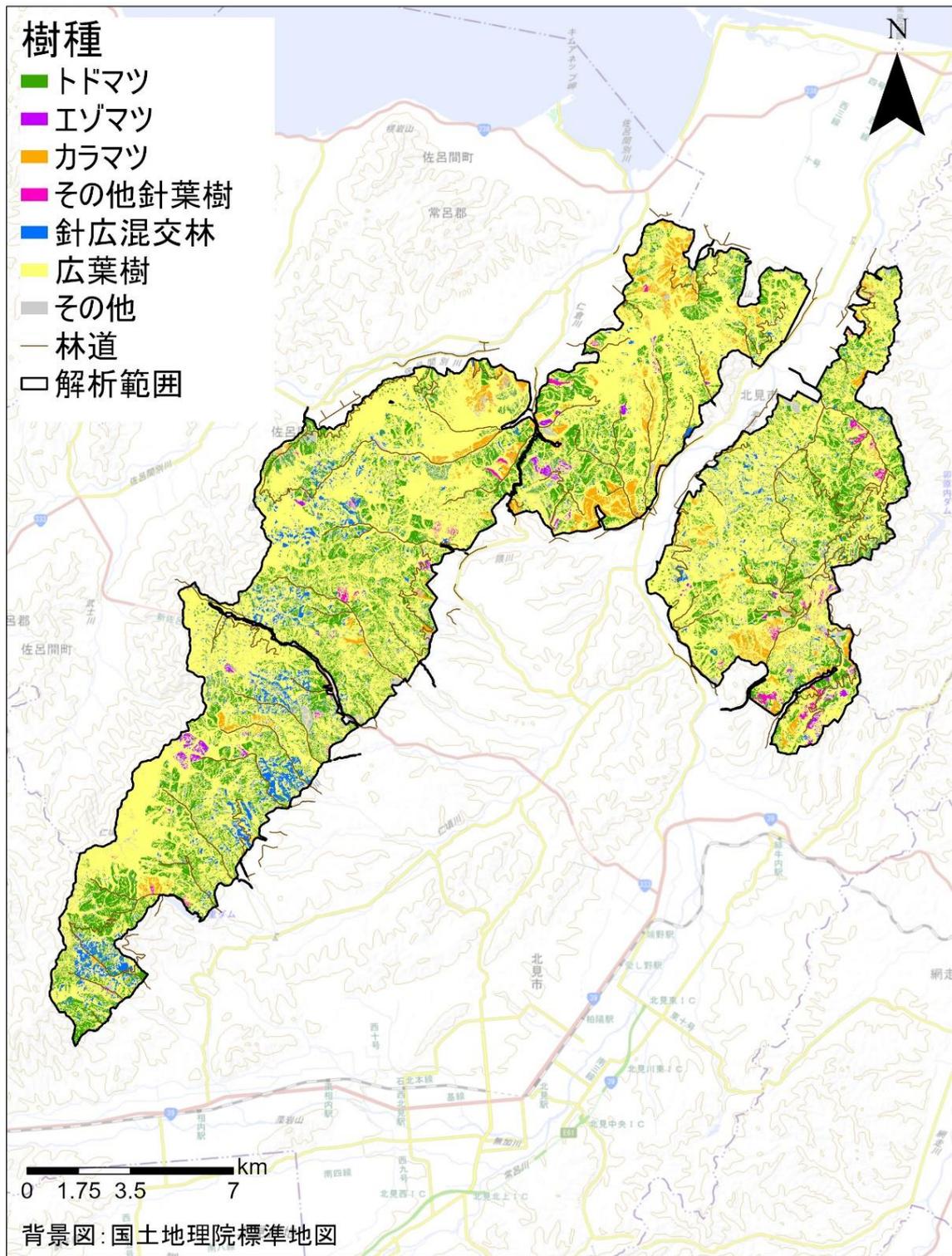


図 3-15 林相区分図（網走中部）

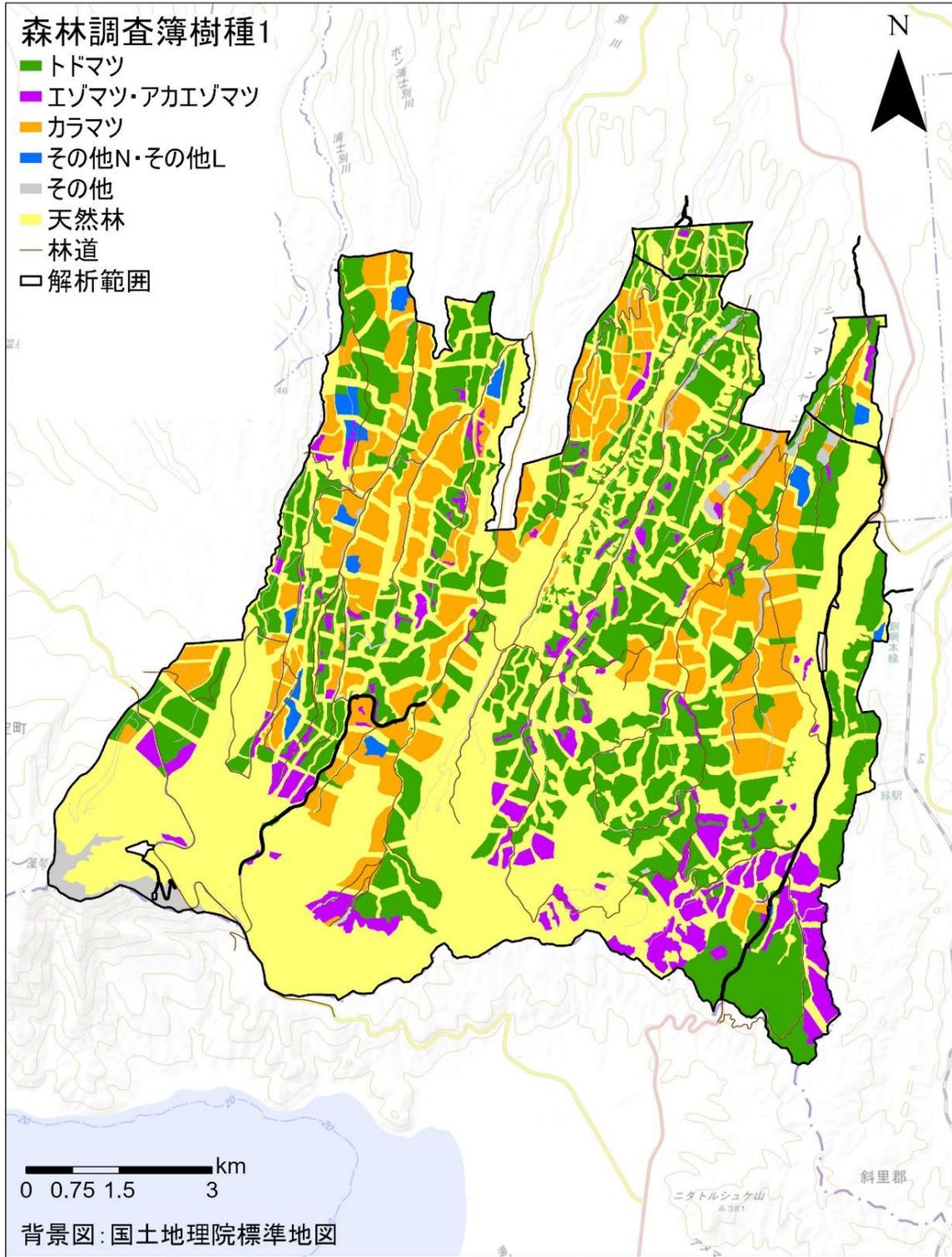


図 3-16 森林調査簿の樹種分布（網走南部）

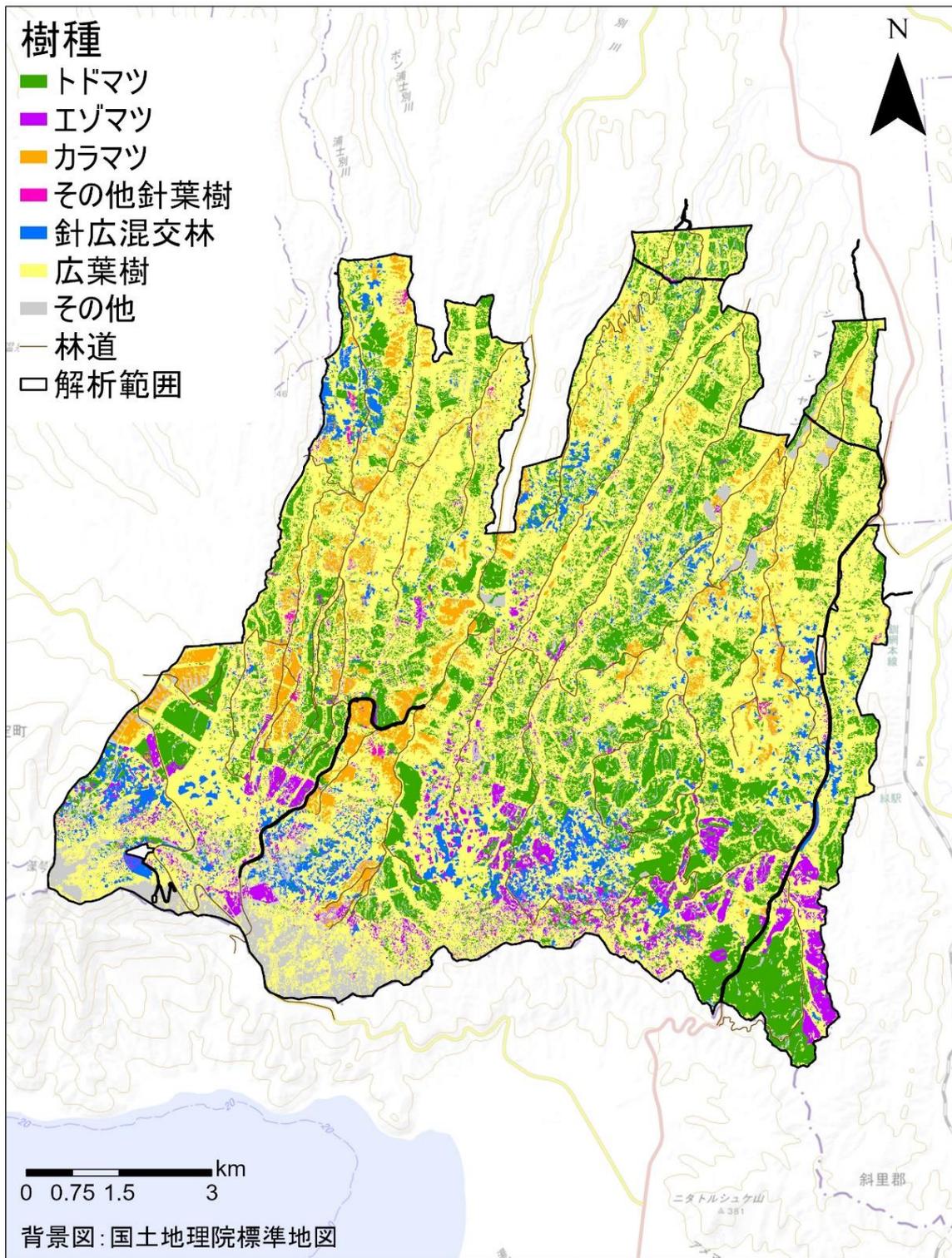


図 3-17 林相区分図 (網走南部)

表 3-10 網走中部の樹種ごとの面積

解析樹種 ID	解析樹種	樹種 ID	樹種	面積 (ha)	面積割合 (%)
5	トドマツ	5	トドマツ	5,004.92	20.0%
6	エゾマツ	6	エゾマツ	178.55	0.7%
4	カラマツ	4	カラマツ	858.73	3.4%
7	その他 N	7	その他針葉樹	156.25	0.6%
11	その他 L	11	広葉樹	17,128.85	68.4%
96	針広混交林	96	針広混交林	998.49	4.0%
97	新植地	97	新植地	70.11	0.3%
98	伐採跡地	98	伐採跡地	47.86	0.2%
99	その他	99	その他	124.80	0.5%
		100	未立木地	456.60	1.8%
計				25,025.16	100%

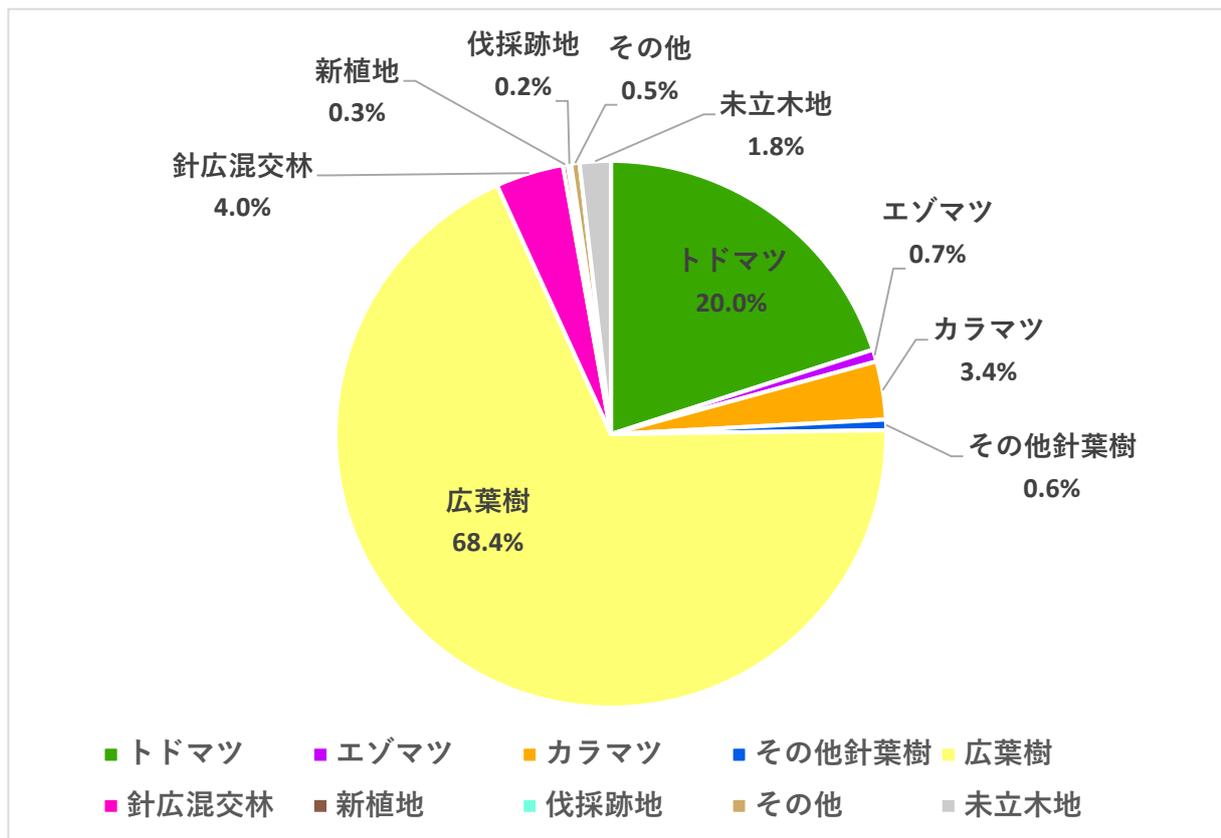


図 3-18 網走中部の樹種毎の面積割合

表 3-11 網走南部の樹種ごとの面積

解析樹種 ID	解析樹種	樹種 ID	樹種	面積 (ha)	面積割合 (%)
5	トドマツ	5	トドマツ	2,486.11	22.1%
6	エゾマツ	6	エゾマツ	527.40	4.7%
4	カラマツ	4	カラマツ	507.68	4.5%
7	その他 N	7	その他針葉樹	39.38	0.3%
11	その他 L	11	広葉樹	6,416.63	56.9%
96	針広混交林	96	針広混交林	585.71	5.2%
97	新植地	97	新植地	16.56	0.1%
98	伐採跡地	98	伐採跡地	34.01	0.3%
99	その他	99	その他	66.97	0.6%
		100	未立木地	591.13	5.2%
計				11,271.56	100%

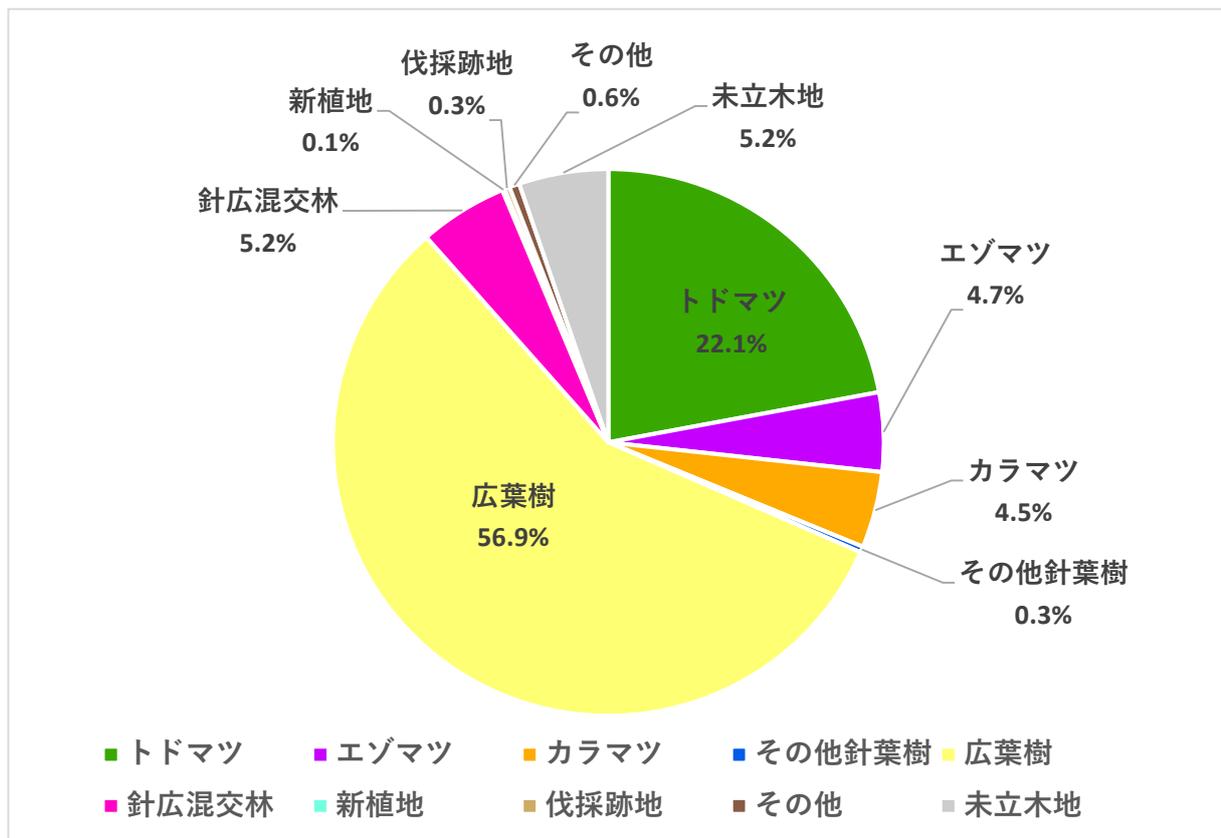


図 3-19 網走南部の樹種毎の面積割合

3-3-2 カンバ林の抽出

カンバ類は他の広葉樹に比べ、梢端に近い範囲に葉が密集する傾向があることが先行研究により明らかになっている (Utsugi, 2009)。このことから、まず、航空レーザの点群から同様の分布傾向が表れるかを確認した。半径 10 m の円内のレーザ反射点の高さ別のヒストグラムを図 3-20 に示す。カンバ林は、レーザ反射の分布の山の立ち上がりが他の樹種に比べて早く、カンバの葉が梢端近くに密集しているのを捉えられていると考えられる。また、カンバ類は、反射点の分布の山が二山ある。カンバ類は林内の相対照度が明るいことから、梢端部に葉は密集しているものの、林床部にもレーザ光が届きやすく、中層木からの反射も捉えられているため、二山になったと考えられる。次に、レーザ光の反射強度を比較した。結果を図 3-21 に示す。上記のとおり、カンバ林は中間層に光が届きやすいため、反射強度が他の樹種に比べ低く暗い色で表現されているのが分かる。

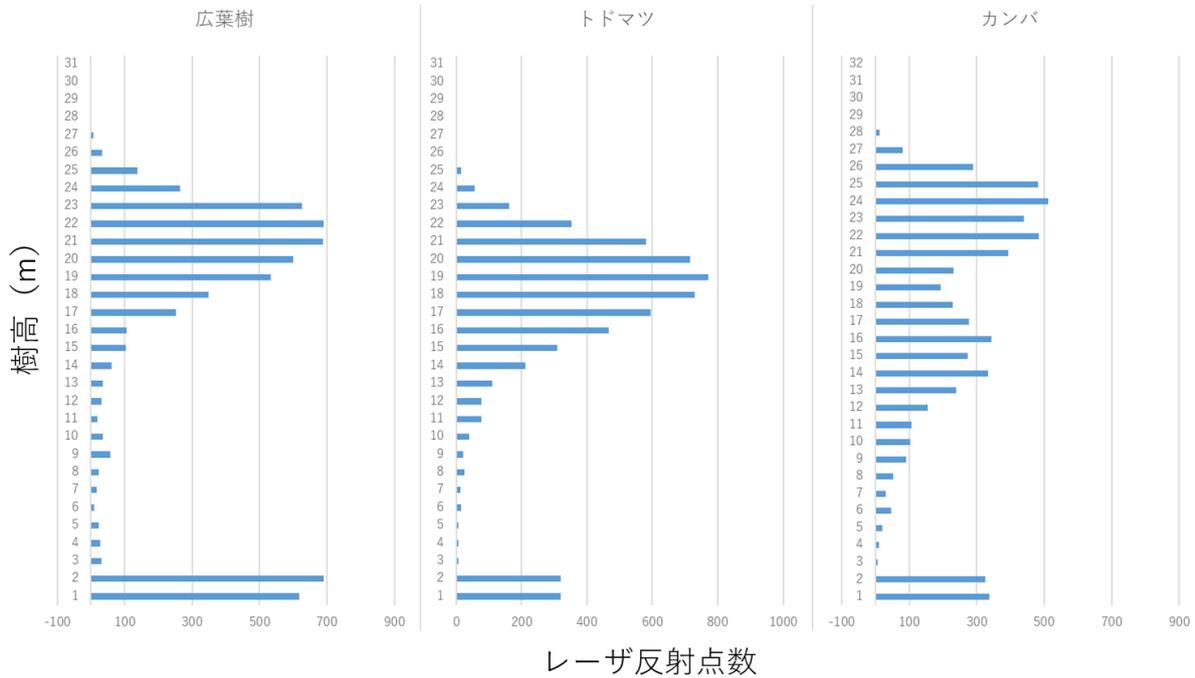


図 3-20 カンバ類と落葉広葉樹・針葉樹のレーザ反射点分布の違い

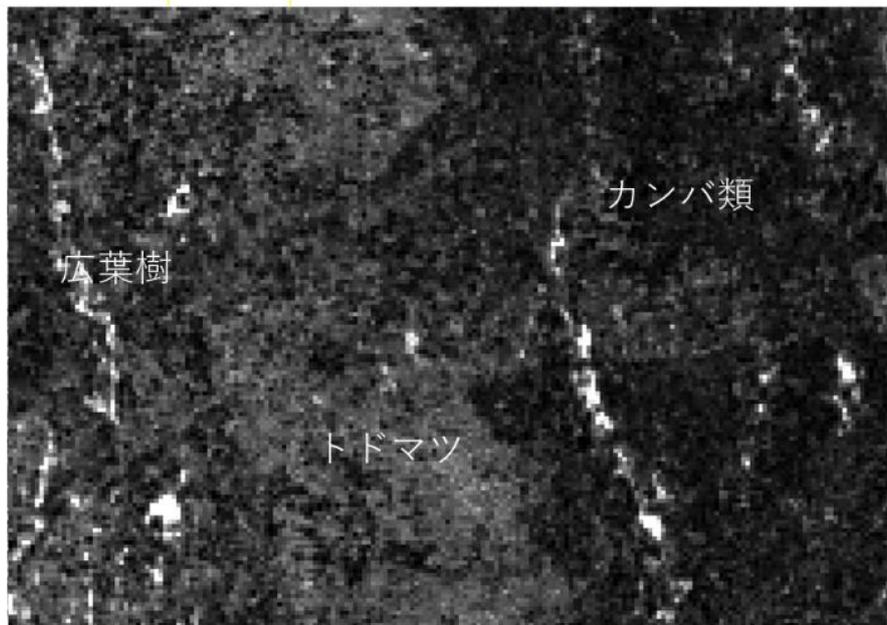


図 3-21 カンバ類とその他樹種との反射強度の違い

上記解析から、カンバ類は中層木からの反射が多いことが確認された。これらの特徴を利用して、レーザ光の反射強度、レーザの反射特性、樹冠形状を基にした合成画像を作成した（図 3-22）。合成画像ではカンバ林は赤く表現されているのが分かる。この合成画像を参考に目視判読によりカンバ林を抽出した。なお、網走中部については、計測時期の関係で、すでに落葉している林分もあった。そのため、樹冠形などを確認しながら、目視で修正した箇所が多数みられた。また、完全に落葉してしまっている林分については、抽出から漏れている可能性が考えられる。判読結果と現地調査結果を比較したところ、現地調査をした網走南部の3地点、網走中部の1地点の計4地点を全て抽出できていた（表 3-12）。

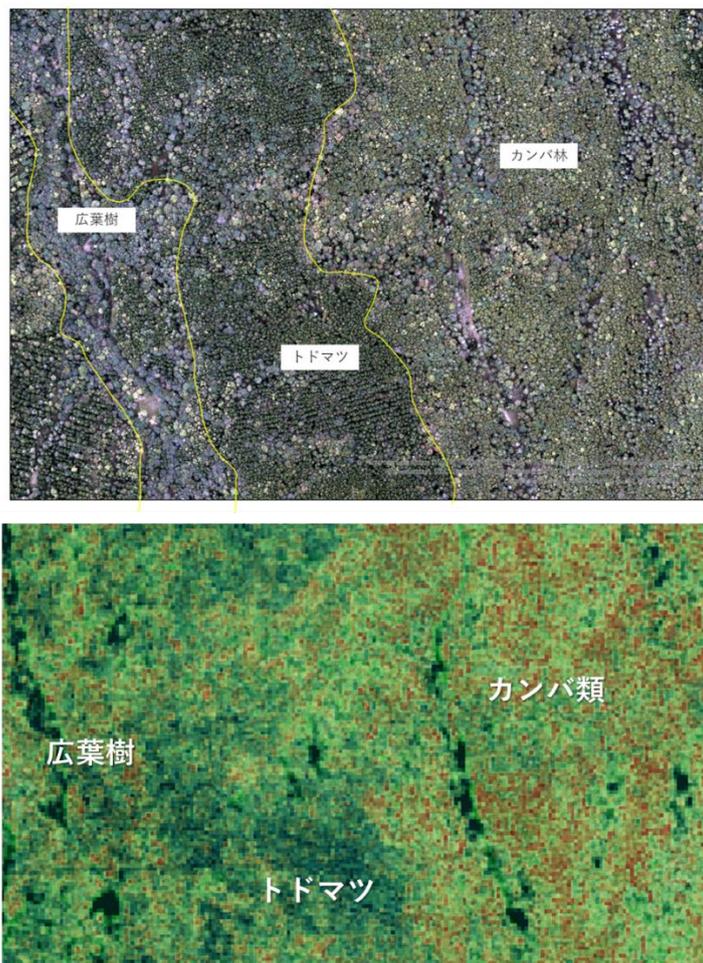


図 3-22 合成画像の一例

表 3-12 カンバ類の抽出結果

地点	エリア	調査地点にあったカンバ類	判読結果
S61	網走南部	ダケカンバ、ウダイカンバ	抽出
S62		ダケカンバ、ウダイカンバ	抽出
S63		ダケカンバ、ウダイカンバ	抽出
S73	網走中部	シラカバ	抽出

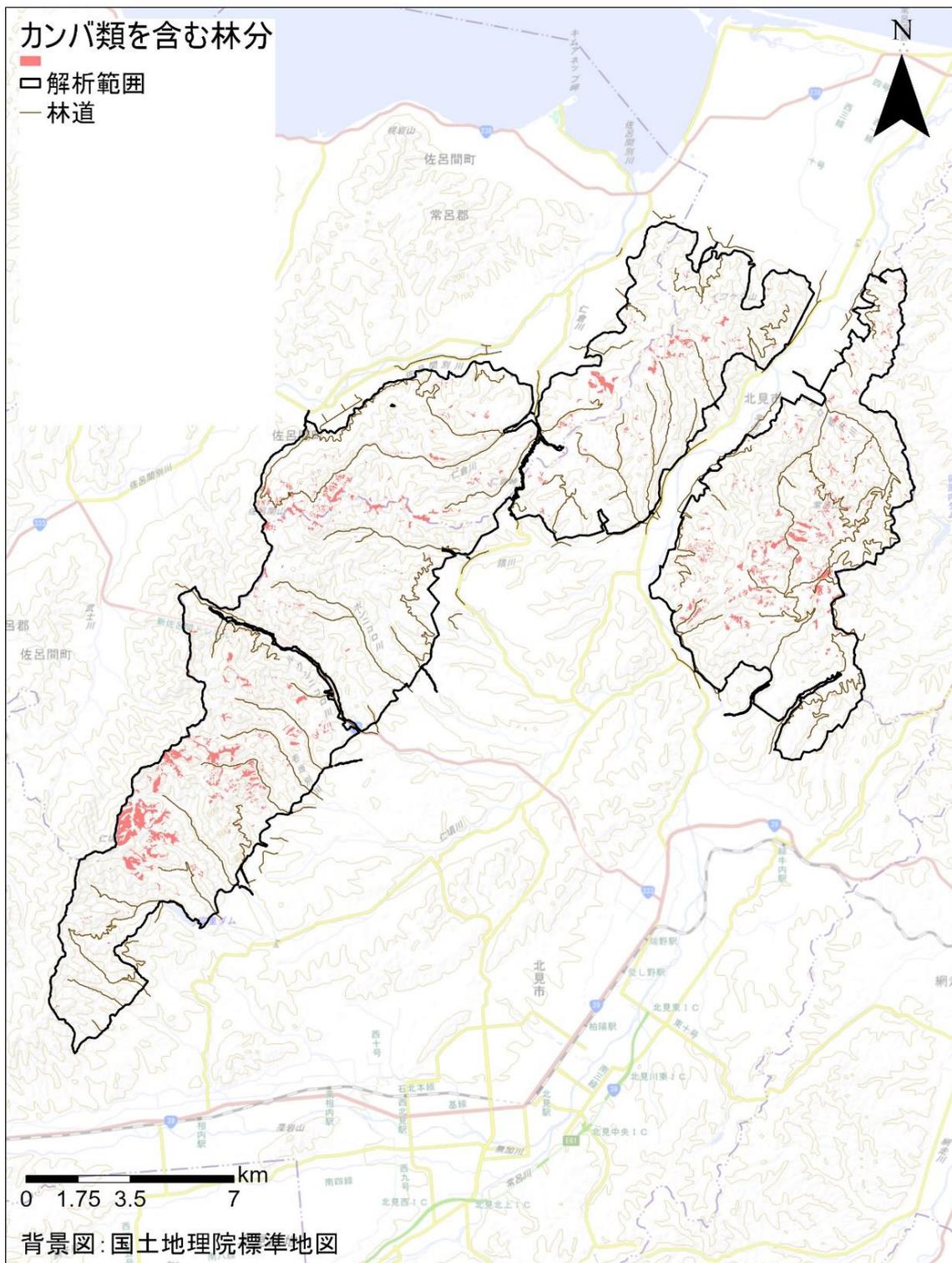


図 3-23 カンバ林分布図（網走中部）

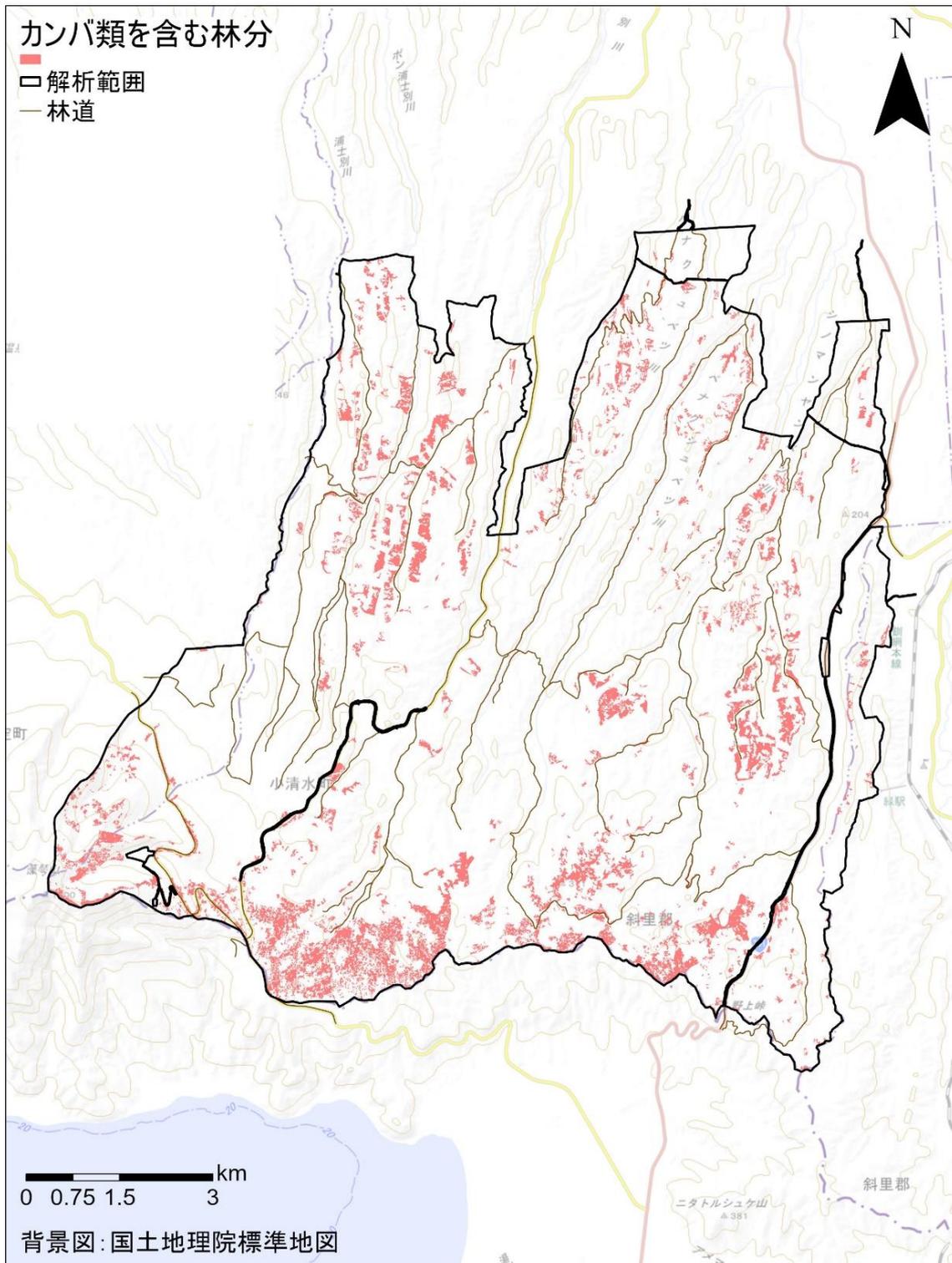


図 3-24 カンバ林分布図（網走南部）

3-3-3 単木解析データ作成

トドマツ、エゾマツ、カラマツにおいて、単木ごとの樹高、樹冠投影面積及び樹冠長等（以下「単木解析データ」）を算出した。

1) 樹頂点の抽出

樹冠の凹凸を表現している樹冠高データ（DCHM）を用いて、樹頂点の位置を検出し、立木位置ポイントデータを作成した。樹頂点の抽出には一定範囲内の高さが最も高いところを抽出する局所最大値法を採用した。また、樹頂点抽出の精度向上のため、樹頂点探索範囲（ウィンドウサイズ）を樹種ごと、密度ごとに変更し、最も精度の良い探索範囲を採用した。自動検出した樹頂点は、林分の疎密度によって精度にばらつきが発生する可能性があるため、複数の林分の上層木の本数と現地調査結果と比較して検証した。検証に使用した指標を以下に示す。

- 現地比 (%)

現地調査結果に対する森林資源情報解析結果の比率である。数値が 100%以下の場合、解析結果は現地調査結果に比べて過小となり、数値が 100%以上の場合、解析結果は現地調査結果に比べて過大となる。各プロットでの比較に使用する。

$$\text{現地比} = \frac{\hat{y}}{y}$$

レーザー計測による解析結果： \hat{y} 現地調査結果： y

- 誤差率 (%)

森林資源解析結果と現地調査結果の差に対する現地調査結果の比率である。数値が大きいほど、誤差が大きいことを示す。また、本数誤差は同じでもプロット内の全体本数が少ないほど誤差率が大きくなる傾向がある。

$$\text{誤差率} = \left| \frac{\hat{y} - y}{y} \right|$$

レーザー計測による解析結果： \hat{y} 現地調査結果： y

- RMSE

二乗平均平方根誤差 (Root Mean Squared Error) である。森林資源解析結果が現地調査結果からどの程度乖離しているかを表し、0 に近い値であるほど誤差が小さいことを示す。平均誤差率が相対的な誤差の比率であるのに対し、RMSE は誤差の絶対値である。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\hat{y}_k - y_k)^2}$$

レーザ計測による解析結果： \hat{y} 現地調査結果： y サンプル数： N

表 3-13 に全体の検証結果を表 3-14、表 3-15、表 3-16 にプロット毎の精度検証結果を示す。トドマツおよびエゾマツについては、現地比の平均が 98% と概ね良好な結果ではあるものの、100% を切っていることから、レーザ解析において判定漏れがあることが分かる。誤差が特に大きい林分を確認したところ、図 3-26 および図 3-27 の右に示したような列状間伐の後がはっきりと見える林分において、小径木や準劣勢木の判定漏れが確認された。

航空レーザによる単木抽出では、局所最大値法を使用するため、梢端が隠れてしまうような劣勢木は抽出することができない。現地調査ではプロット内の全立木の本数と上層木の本数を数えており、上層木の本数と精度検証を行った。そのため、図 3-25 中央に示すような列状間伐後まもない林分では、劣勢木はまだ成長していないため、梢端を抽出することができない。一方で、現地では、上空から梢端が見えているため、上層木としてカウントしてしまい、誤差が大きくなったと考えられる。

表 3-13 樹頂点抽出の精度検証

樹種	現地比	誤差率平均	RMSE
トドマツ	98%	23%	7
エゾマツ	98%	22%	8
カラマツ	109%	31%	6

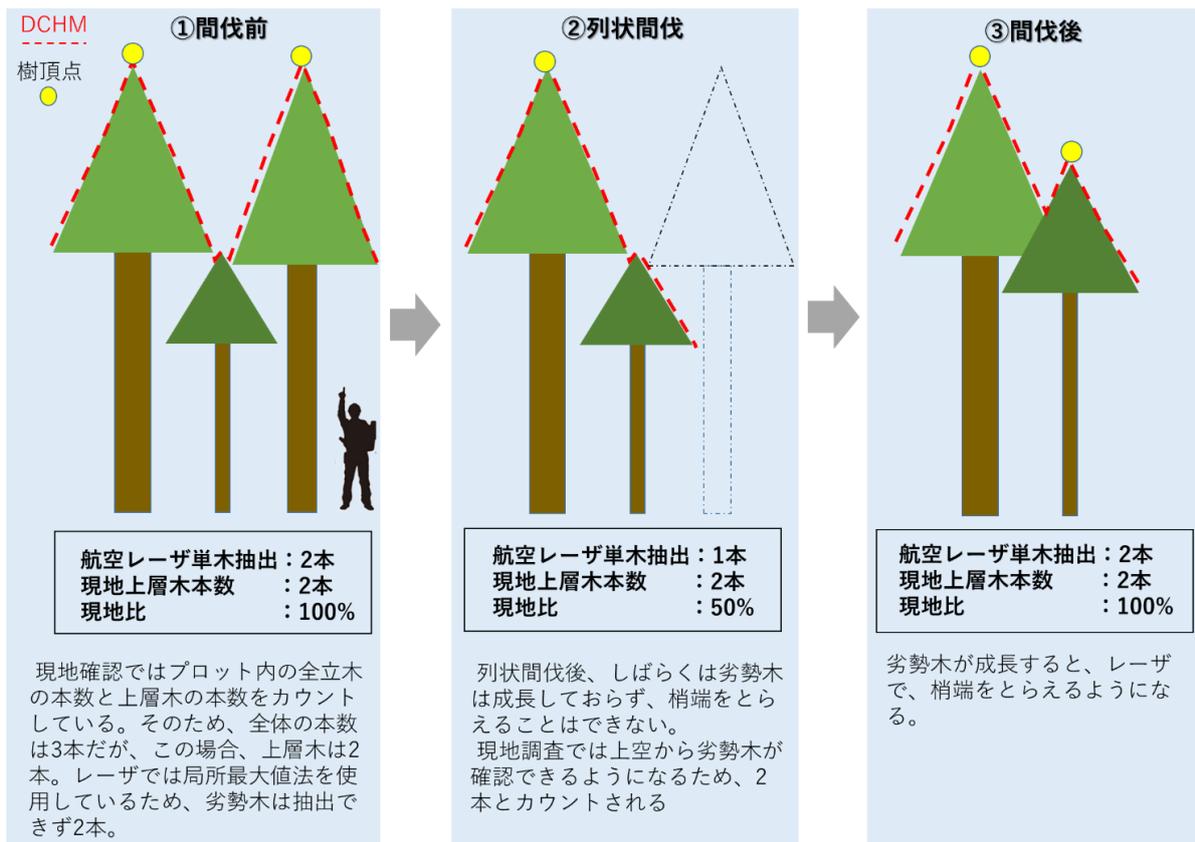


図 3-25 列状間伐の跡が残る林分で精度が落ちる理由

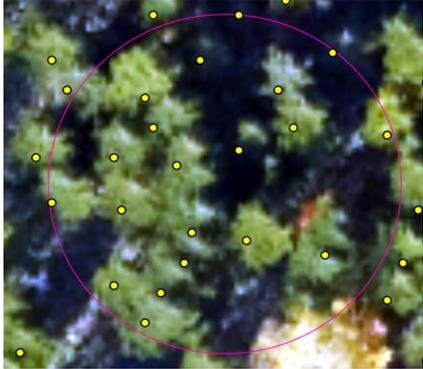
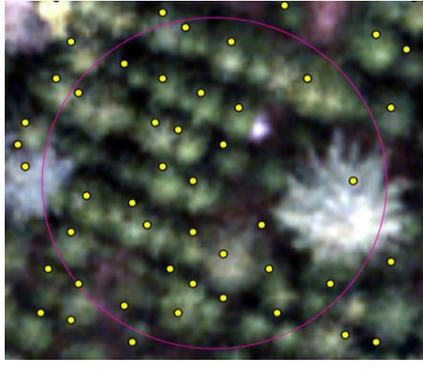
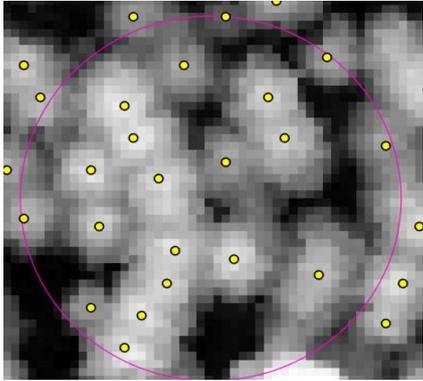
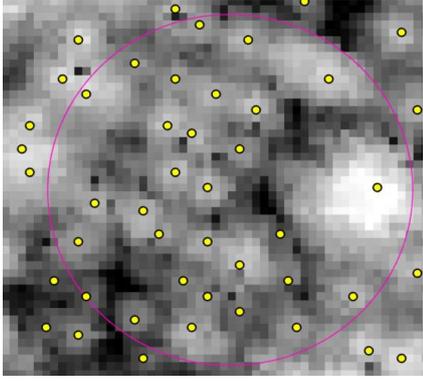
樹種		精度が良い例	精度が悪い例
トドマツ	プロット 番号	S38	S41
	現地比	100%	60%
	航空 写真		
D C H M			

図 3-26 トドマツの樹頂点の抽出例

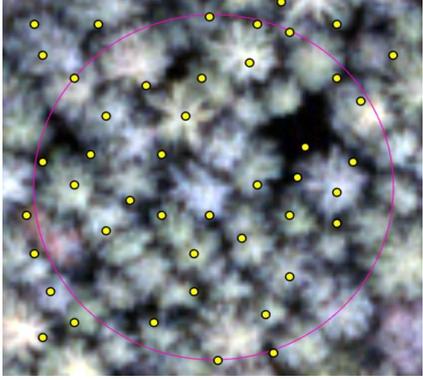
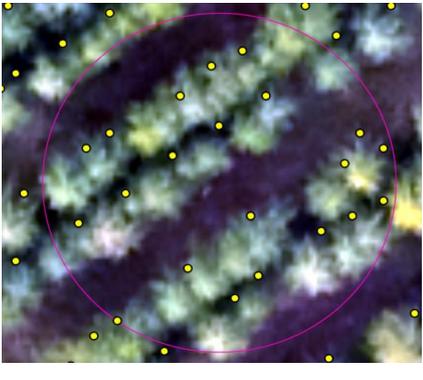
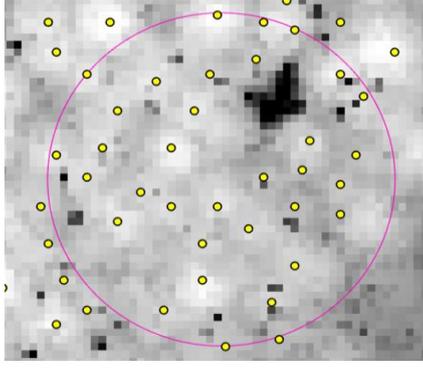
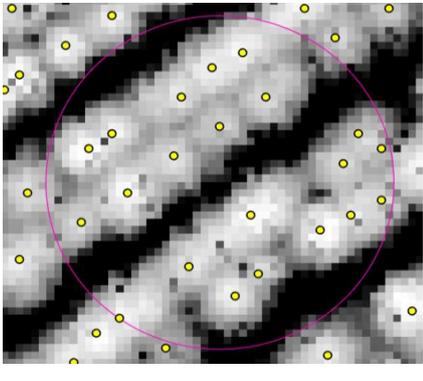
エ ゾ マ ツ	プロット 番号	S208	S106
	現地比	94%	55%
	航 空 写 真		
	D C H M		

図 3-27 エゾマツの樹頂点の抽出例

カラマツにおいては、現地比が 109%と 100%を超えており、レーザ解析は現地に比べ過剰抽出であった。次に、過剰抽出が特に多い林分を確認したところ、図 3-28 中央に示したような林冠の大きな大径木の林分に顕著であった。このような林分で誤差が大きくなった要因としては、一つ目に、広葉樹の混入があげられる。このような林分は上層部に林冠の大きな広葉樹の混入も多く、広葉樹は樹形が不定形で樹頂点の過剰抽出が起きやすいため、誤差が大きくなったと考えられる。2つ目は、カラマツの樹形が要因と考えられる。樹冠にギャップがある場合、樹木は光がより得られる方に向かって枝を伸ばす。レーザ解析では、図 3-29 に示したように、このギャップ方向に大きく伸ばした枝の一部を、樹頂として抽出してしまっていると考えられる。なお、抽出漏れがあったプロットも確認したところ、トドマツ、エゾマツと同様に列状間伐の跡がはっきりと見える林分で発生していた。

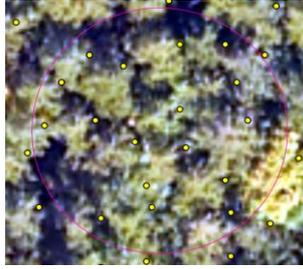
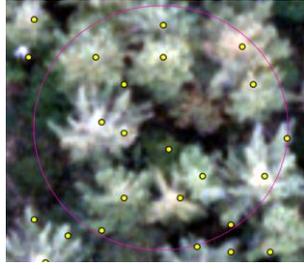
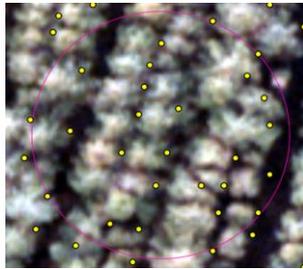
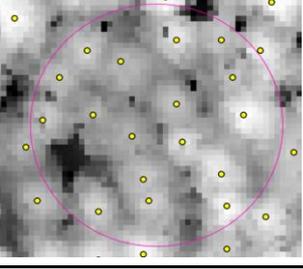
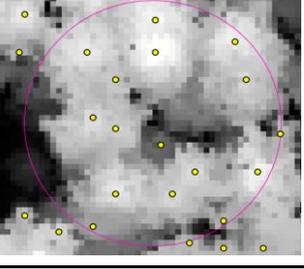
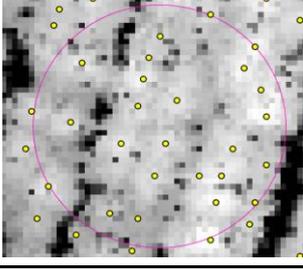
樹種		精度が良い例		精度が悪い例	
カラマツ	プロット番号	S27	S212	S16	
	現地比	94%	160%	58%	
	航空写真				
	DCHM				

図 3-28 カラマツの樹頂点の抽出例

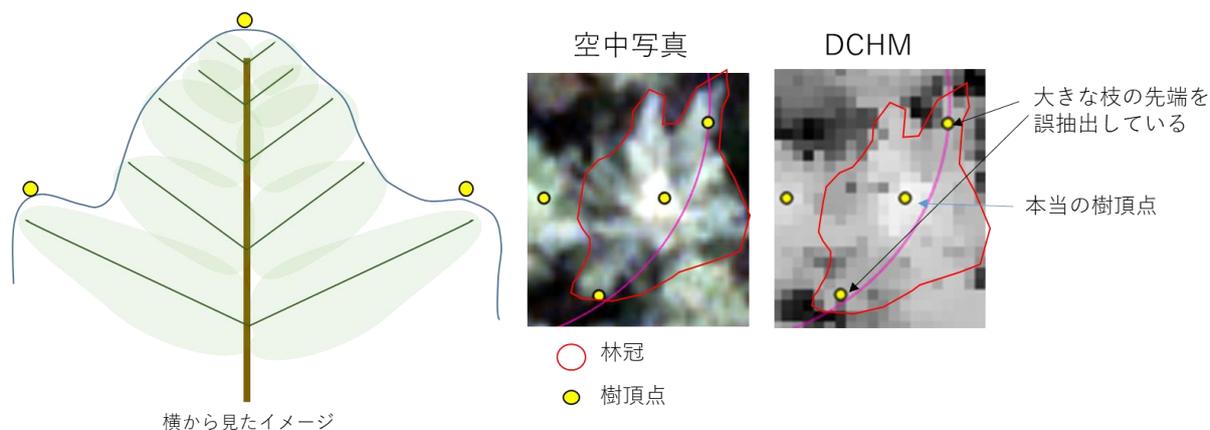


図 3-29 カラマツの樹形が要因の誤抽出の例

表 3-14 トドマツのプロット毎の樹頂点抽出精度

プロットID	樹種	現地本数	レーザ解析	誤差	誤差率
S03	トドマツ	27	17	-10	37%
S109	トドマツ	16	17	1	6%
S110	トドマツ	27	28	1	4%
S112	トドマツ	27	21	-6	22%
S113	トドマツ	16	20	4	25%
S115	トドマツ	18	12	-6	33%
S116	トドマツ	10	9	-1	10%
S203	トドマツ	45	24	-21	47%
S204	トドマツ	8	10	2	25%
S205	トドマツ	17	18	1	6%
S31	トドマツ	55	59	4	7%
S32	トドマツ	49	53	4	8%
S34	トドマツ	26	21	-5	19%
S35	トドマツ	36	29	-7	19%
S37	トドマツ	19	26	7	37%
S38	トドマツ	20	20	0	0%
S40	トドマツ	26	25	-1	4%
S41	トドマツ	50	30	-20	40%
S43	トドマツ	23	16	-7	30%
S44	トドマツ	21	17	-4	19%
S48	トドマツ	21	24	3	14%
S49	トドマツ	24	17	-7	29%
S50	トドマツ	13	11	-2	15%
S51	トドマツ	23	25	2	9%
S52	トドマツ	12	15	3	25%
S57	トドマツ	16	19	3	19%
S58	トドマツ	42	27	-15	36%
S59	トドマツ	10	15	5	50%
S60	トドマツ	7	11	4	57%

表 3-15 エゾマツのプロット毎の樹頂点抽出精度

プロットID	樹種	現地本数	レーザ解析	誤差	誤差率
S01	エゾマツ	20	23	3	15%
S02	エゾマツ	20	19	-1	5%
S04	エゾマツ	44	27	-17	39%
S05	エゾマツ	13	19	6	46%
S09	エゾマツ	32	28	-4	13%
S104	エゾマツ	12	17	5	42%
S105	エゾマツ	26	24	-2	8%
S106	エゾマツ	38	21	-17	45%
S108	エゾマツ	42	25	-17	40%
S11	エゾマツ	25	19	-6	24%
S114	エゾマツ	24	29	5	21%
S14	エゾマツ	10	11	1	10%
S15	エゾマツ	26	23	-3	12%
S208	エゾマツ	34	32	-2	6%
S210	エゾマツ	36	34	-2	6%
S29	エゾマツ	7	9	2	29%

表 3-16 カラマツのプロット毎の樹頂点抽出精度

プロットID	樹種	現地本数	レーザ解析	誤差	誤差率
M111	カラマツ	21	18	-3	14%
S103	カラマツ	13	12	-1	8%
S28	カラマツ	16	17	1	6%
S102	カラマツ	7	12	5	71%
S107	カラマツ	28	26	-2	7%
S16	カラマツ	36	21	-15	42%
S17	カラマツ	13	15	2	15%
S20	カラマツ	10	10	0	0%
S21	カラマツ	11	16	5	45%
S211	カラマツ	33	20	-13	39%
S212	カラマツ	10	16	6	60%
S213	カラマツ	15	9	-6	40%
S27	カラマツ	18	17	-1	6%
S30	カラマツ	5	9	4	80%

林相ポリゴン毎に抽出された樹頂点を集計し、ha 当たりの立木本数を算出した。結果を図 3-30、図 3-32 に、集計結果を表 3-17、表 3-18、図 3-31、図 3-33 に示す。

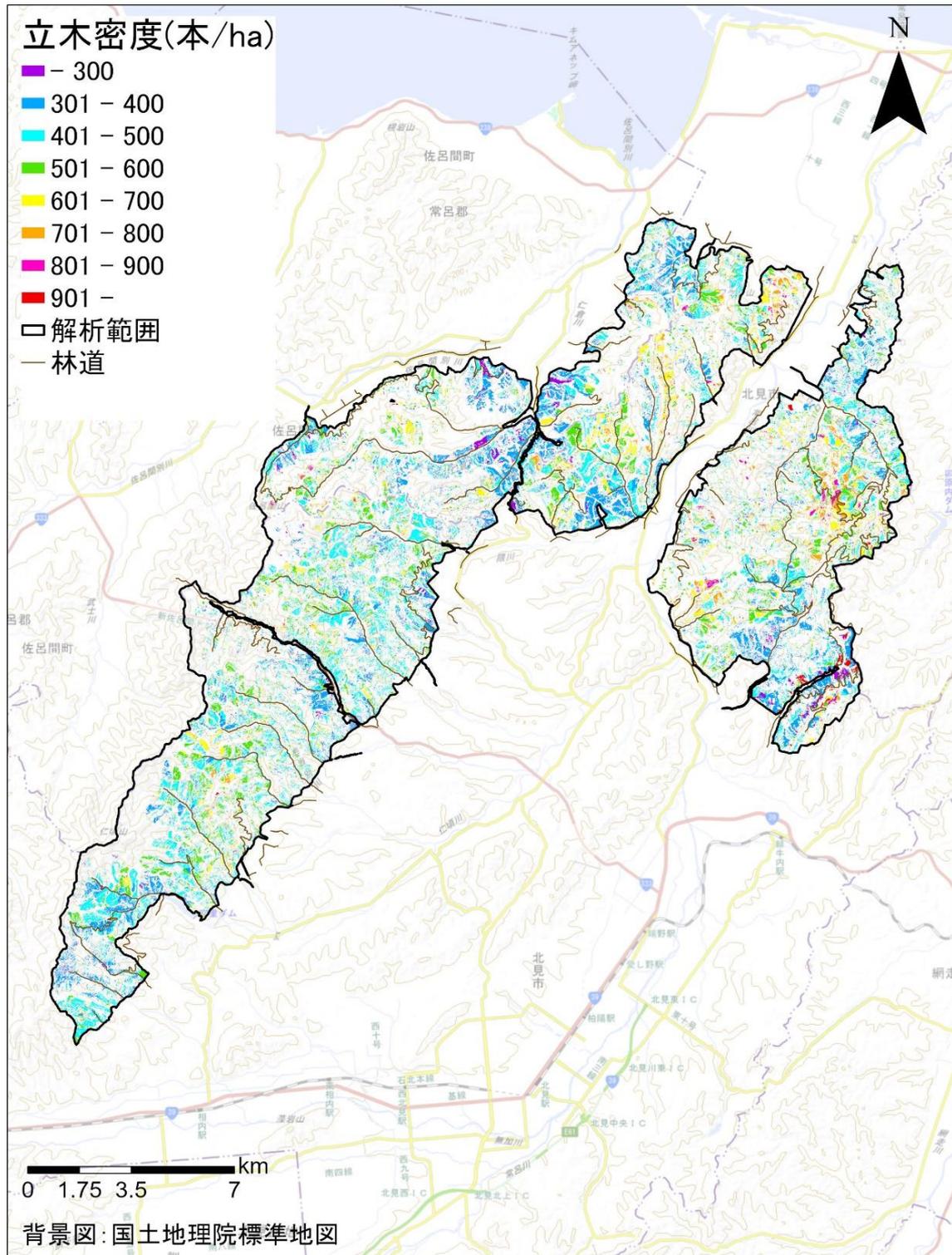
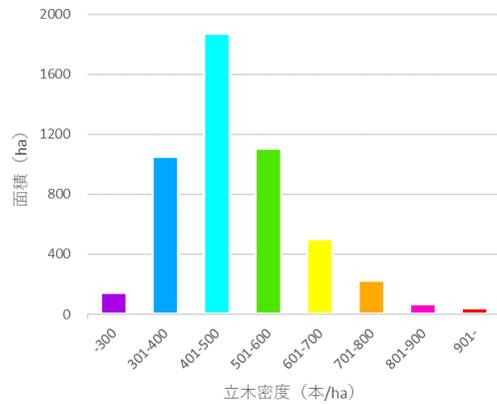


図 3-30 立木密度分布図 (網走中部)

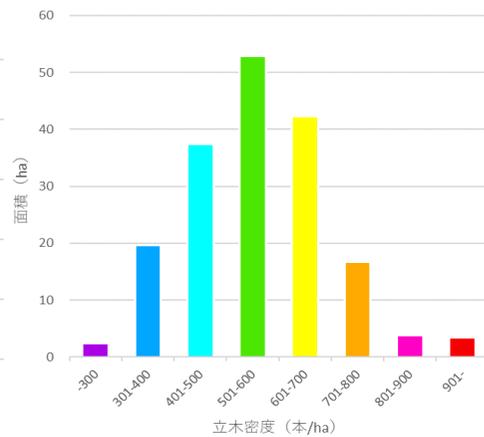
表 3-17 網走中部の立木密度ごとの面積

樹種	-300 (本/ha)		301-400 (本/ha)		401-500 (本/ha)		501-600 (本/ha)		601-700 (本/ha)		701-800 (本/ha)		801-900 (本/ha)		901- (本/ha)		総計
	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)
トドマツ	143.62	2.9%	1050.05	21.0%	1869.85	37.4%	1105.38	22.1%	501.81	10.0%	222.74	4.5%	68.99	1.4%	42.48	0.8%	5004.92
エゾマツ	2.39	1.3%	19.69	11.0%	37.38	20.9%	52.88	29.6%	42.23	23.7%	16.74	9.4%	3.85	2.2%	3.41	1.9%	178.55
カラマツ	55.57	6.5%	603.28	70.3%	162.30	18.9%	32.34	3.8%	4.56	0.5%	0.19	0.0%	0.25	0.0%	0.24	0.0%	858.73
合計	201.58	3.3%	1673.01	27.7%	2069.53	34.3%	1190.59	19.7%	548.60	9.1%	239.67	4.0%	73.08	1.2%	46.14	0.8%	6042.20

トドマツ



エゾマツ



カラマツ

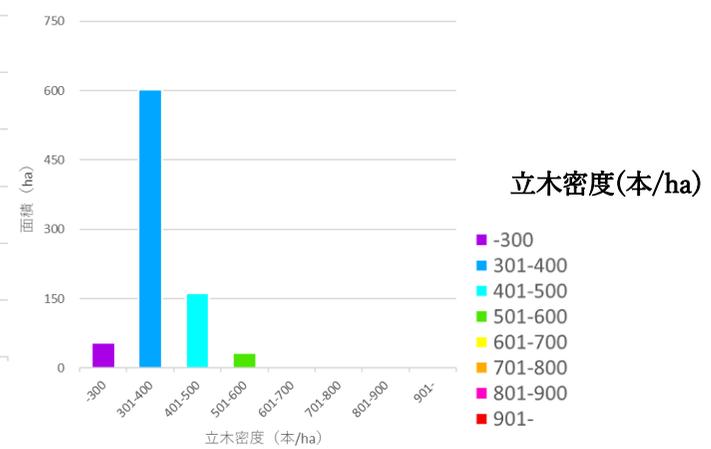


図 3-31 網走中部の立木密度毎の面積割合

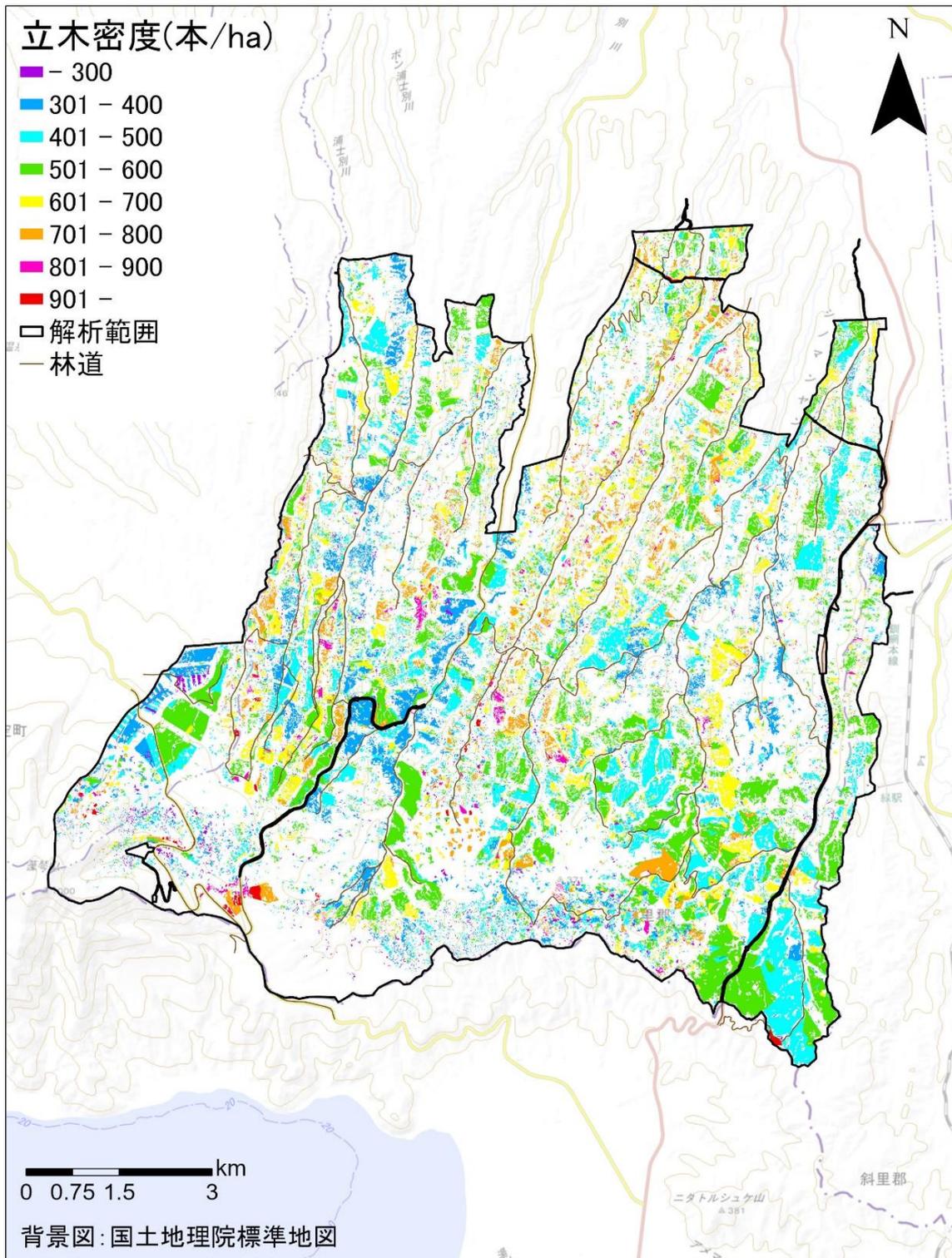


図 3-32 立木密度分布図 (網走南部)

表 3-18 網走南部の立木密度ごとの面積

樹種	-300 (本/ha)		301-400 (本/ha)		401-500 (本/ha)		501-600 (本/ha)		601-700 (本/ha)		701-800 (本/ha)		801-900 (本/ha)		901- (本/ha)		総計
	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)
トドマツ	19.05	0.8%	107.34	4.3%	625.89	25.2%	995.96	40.1%	439.06	17.7%	236.05	9.5%	47.17	1.9%	15.58	0.6%	2486.11
エゾマツ	24.00	4.6%	66.99	12.7%	118.92	22.5%	144.60	27.4%	67.74	12.8%	66.18	12.5%	20.05	3.8%	18.93	3.6%	527.40
カラマツ	17.02	3.4%	314.11	61.9%	154.49	30.4%	18.01	3.5%	3.68	0.7%	0.34	0.1%	0.00	0.0%	0.05	0.0%	507.68
合計	60.06	1.7%	488.43	13.9%	899.30	25.5%	1158.57	32.9%	510.48	14.5%	302.57	8.6%	67.22	1.9%	34.55	1.0%	3521.19

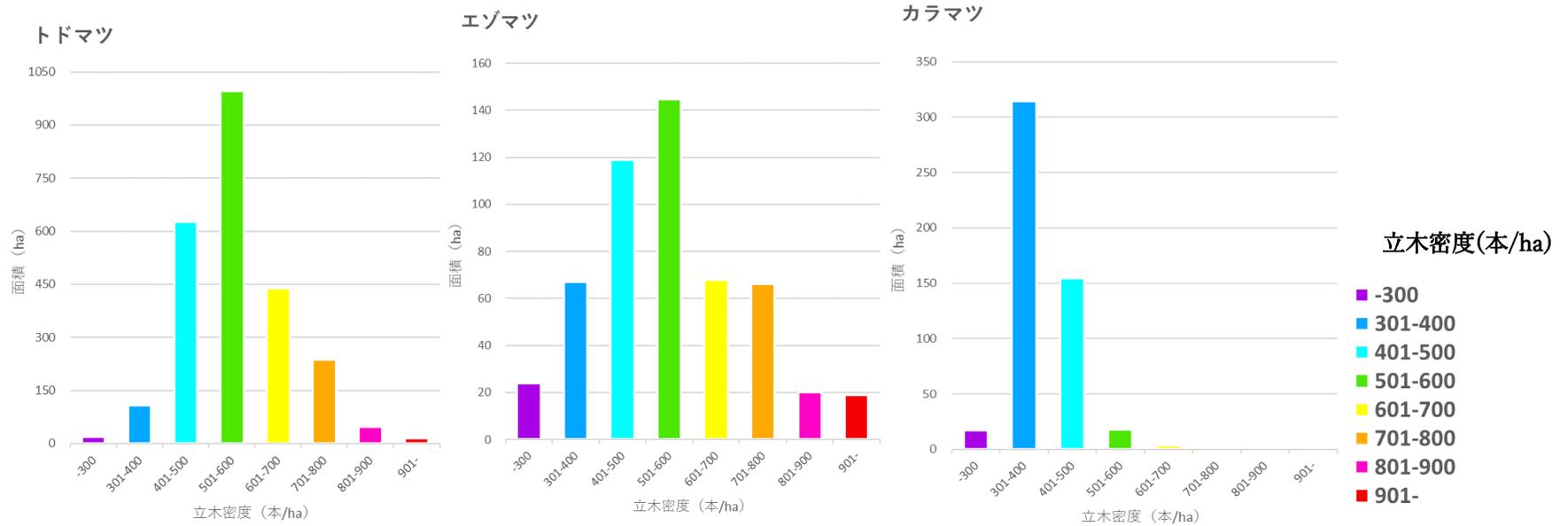


図 3-33 網走南部の立木密度毎の面積割合

2) 樹高・樹冠長・樹冠長率・樹冠投影面積の算出

樹冠高データ (DCHM) を用いて、前項にて取得した立木位置ポイントデータに樹高情報を付与した。次に、単木ごとの樹冠ポリゴンを作成し、各ポリゴンの面積を樹冠投影面積情報として立木位置ポイントデータに付与した。樹冠長および樹冠長率は、オリジナルデータの垂直方向の点群分布の頻度分布を解析し、樹冠長ラスタを作成したうえで、樹冠長ラスタと立木位置データを重ね合わせ、単木ごとの樹冠長率 (樹高に対する樹冠長の割合) を算出した。

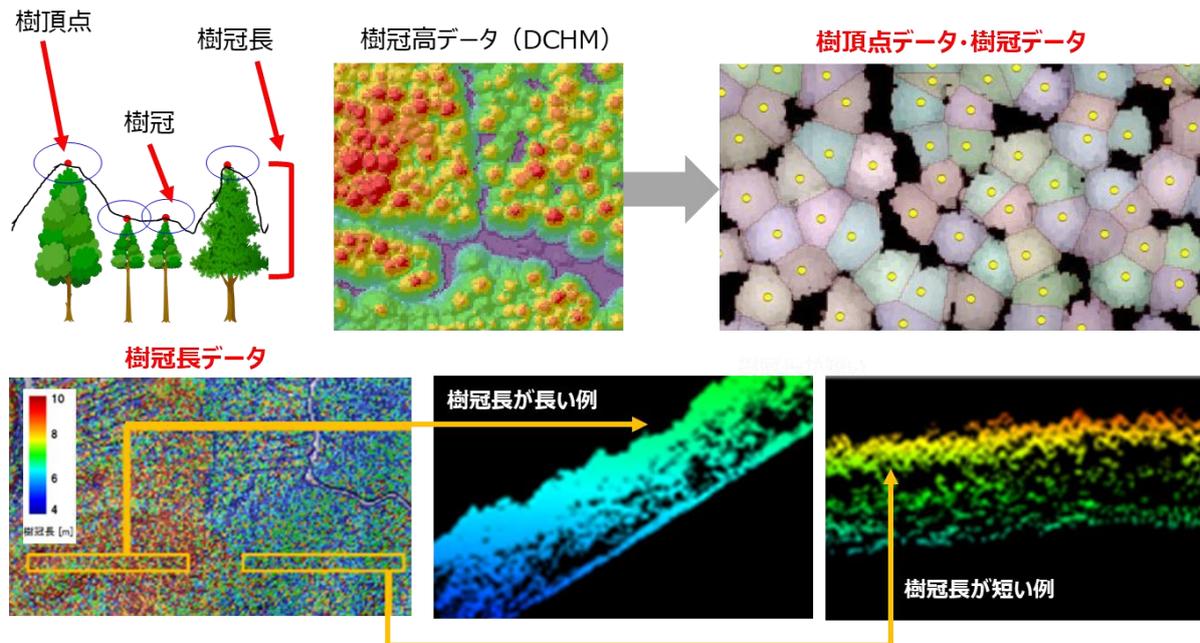


図 3-34 樹頂点データ、樹冠データ、樹冠長データの例の例

林相ポリゴン毎に平均樹高を算出した。針葉樹は単木単位で算出した樹高を林相ポリゴン毎に平均した平均樹高を、広葉樹および混交林は林相ポリゴン毎の DCHM の平均値である平均樹冠高を算出した結果を図 3-35、図 3-37 に、集計結果を図 3-36、図 3-38、表 3-19、表 3-20 に示す。

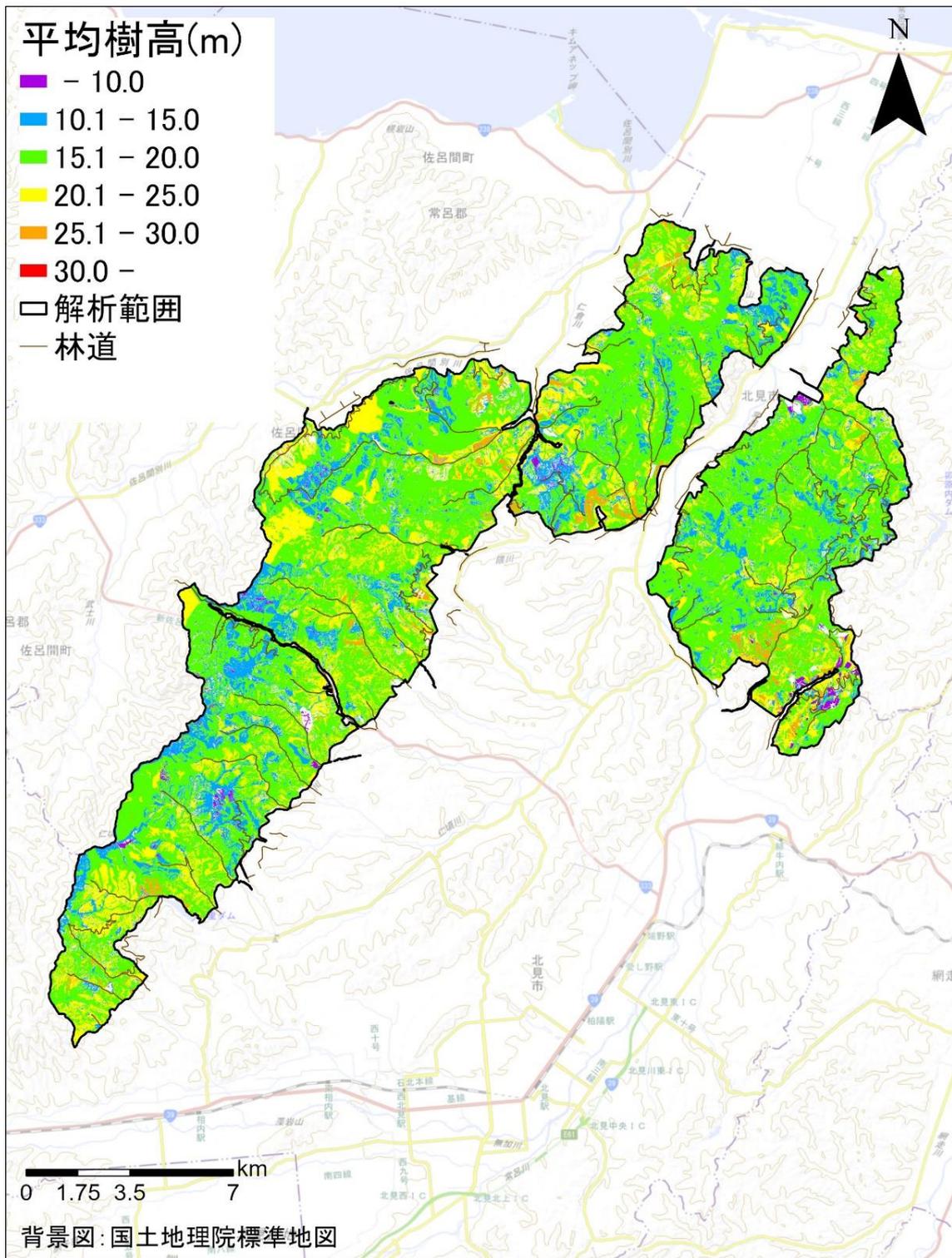
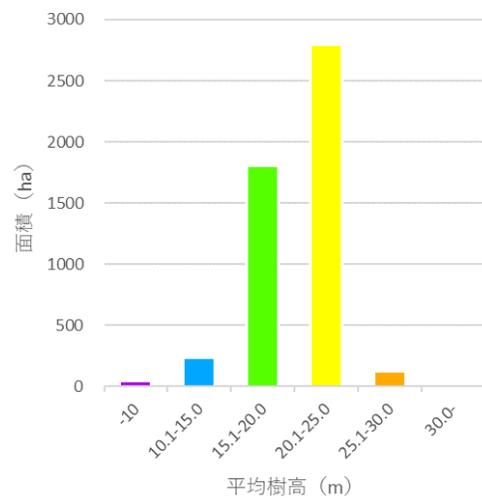


図 3-35 平均樹高区分図 (網走中部)

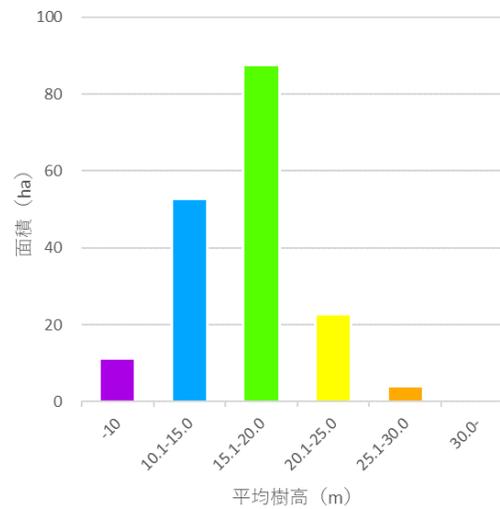
表 3-19 網走中部の平均樹高ごとの面積

樹種	-10 (m)		10.1-15.0 (m)		15.1-20.0 (m)		20.1-25.0 (m)		25.1-30.0 (m)		30.0- (m)		総計
	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)
トドマツ	44.15	0.9%	237.34	4.7%	1806.85	36.1%	2793.13	55.8%	122.74	2.5%	0.71	0.0%	5004.92
エゾマツ	11.37	6.4%	52.74	29.5%	87.51	49.0%	22.76	12.7%	4.07	2.3%	0.08	0.0%	178.55
カラマツ	0.46	0.1%	0.83	0.1%	30.62	3.6%	411.02	47.9%	408.58	47.6%	7.21	0.8%	858.73
合計	55.98	0.9%	290.91	4.8%	1924.99	31.9%	3226.92	53.4%	535.40	8.9%	8.01	0.1%	6042.20

トドマツ



エゾマツ



カラマツ

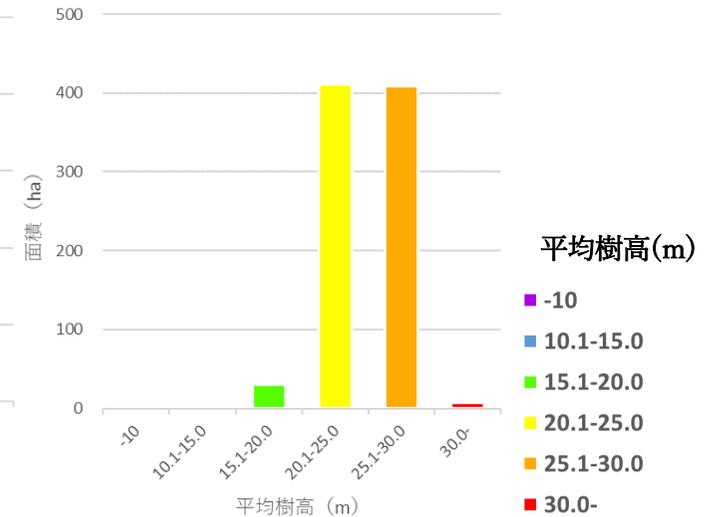


図 3-36 網走中部の平均樹高毎の面積割合

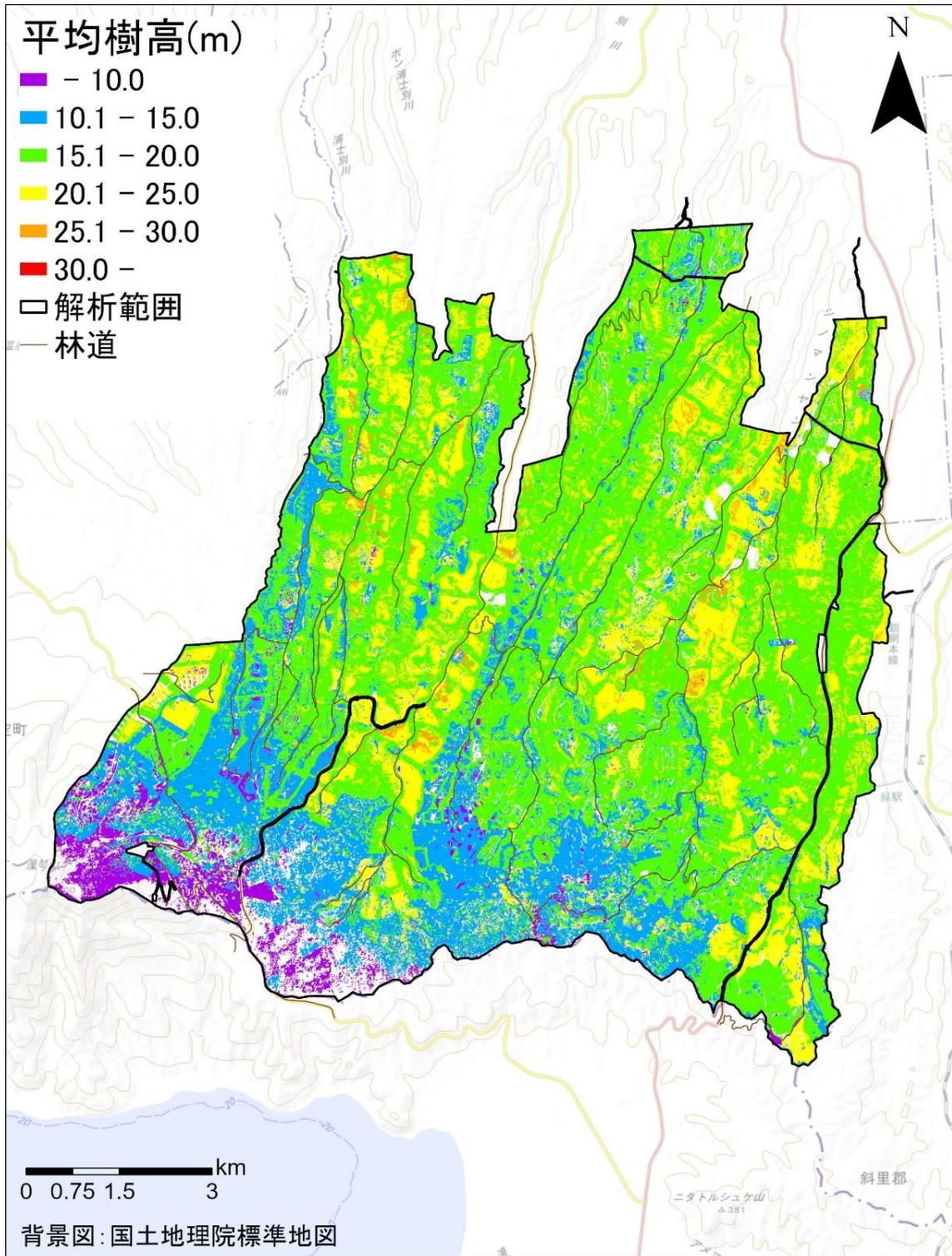


図 3-37 平均樹高区分図 (網走南部)

表 3-20 網走南部の平均樹高ごとの面積

樹種	-10 (m)		10.1-15.0 (m)		15.1-20.0 (m)		20.1-25.0 (m)		25.1-30.0 (m)		30.0- (m)		総計 面積 (ha)
	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	
トドマツ	14.28	0.6%	83.64	3.4%	1145.82	46.1%	1234.96	49.7%	7.37	0.3%	0.04	0.0%	2486.11
エゾマツ	44.21	8.4%	119.91	22.7%	224.94	42.7%	122.88	23.3%	15.08	2.9%	0.38	0.1%	527.40
カラマツ	0.05	0.0%	0.45	0.1%	59.62	11.7%	350.83	69.1%	96.34	19.0%	0.38	0.1%	507.68
合計	58.54	1.7%	203.99	5.8%	1430.39	40.6%	1708.67	48.5%	118.79	3.4%	0.81	0.0%	3521.19

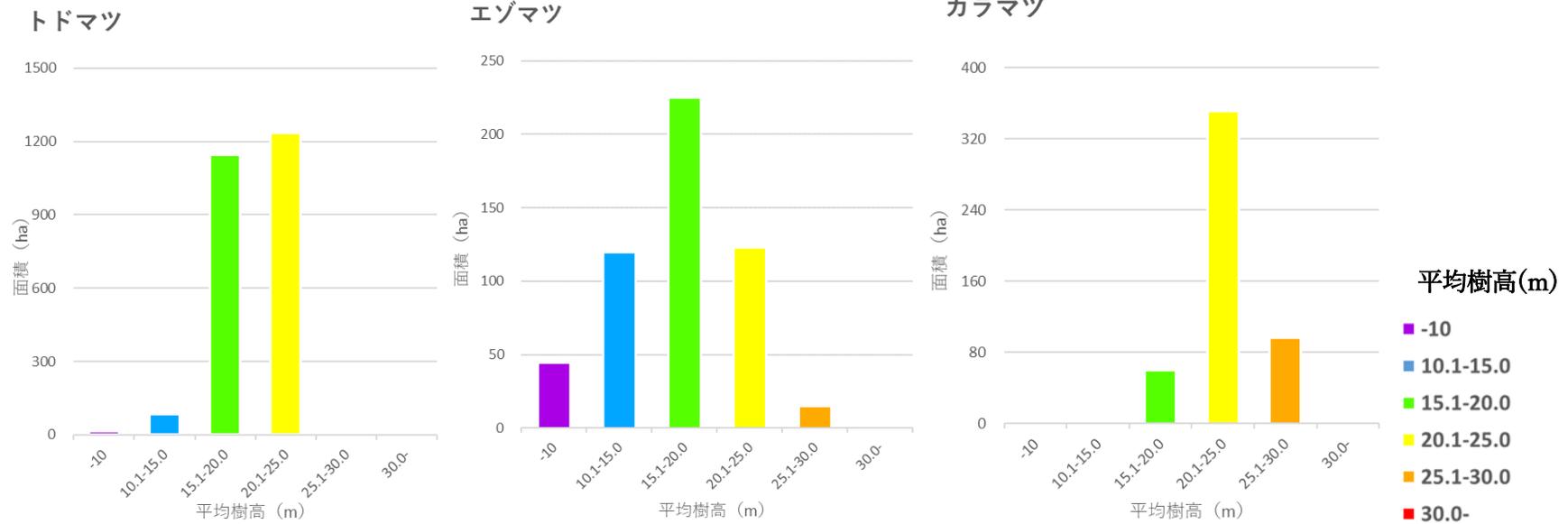


図 3-38 網走南部の平均樹高毎の面積割合

3-3-4 胸高直径の推定

トドマツ、エゾマツ、カラマツは、樹種ごとに胸高直径推定式を作成した。胸高直径推定式の作成方法は大きく下記の2通りに分けられる。

【方法A：プロット単位】

平均樹高（判定値）や平均樹冠投影面積などで平均胸高直径（地上計測）の推定式を作成する。立木の平均的な形状に基づいて推定する。回帰式のみかけの当てはまりが良くなるが、多様な木々の形状の違いには対応できない。単木ポイントデータよりも林相ポリゴンを使用して森林を管理する場合に有効。

【方法B：単木単位】

毎木の樹高（判定値）や樹冠投影面積などで胸高直径の推定式を作成する。多様な樹形のサンプル木を利用して推定する。回帰式の当てはまりは悪くなるが、多様な木々の形状の違いに対応している。単木ポイントデータを使用して森林を管理する場合に有効。

次に、推定式の形は、主に下記の一次式と二次式があげられる。

$$\text{一次式： } DBH = a \times H + b$$

H：樹高

$$\text{二次式： } DBH = a \times CA^b \times H^c$$

H：樹高 CA：樹冠投影面積

また、DBH推定の際に使用するサンプルは、過学習を防ぐため、交差検証法を採用した。交差検証法には以下の3種類があるが、本業務ではk-分割交差検証法を採用し、データを3分割したうえで、2グループを教師データ、1グループを検証用データとして使用した。

【ホールドアウト検証】

トレーニングデータを教師データと検証データに分けて、教師データで作成したモデルを検証データで評価する方法。従来のリモートセンシングデータの分類結果の精度検証に相当する。データを交差させることがないため、交差検証に含めないことも多い。

【k-分割交差検証】

トレーニングデータをk個のグループに分割し、そのうちの1個グループを検証データとして残りを教師データとしてモデルを作成して検証する。k回実施して精度の平均値をモデルの精度とする。

【leave-one-out 交差検証】

n 画素のトレーニングデータを用い、n-1 画素でモデルを作成して残りの 1 画素で精度を評価し、全ての画素を検証データとして n 回実施して平均値をモデルの精度とする。

よって本業務では樹種毎に 12 式、計 36 式の推定精度を求めた。

表 3-2 1 作成した DBH 推定式

方法	推定式	グループ
プロット単位	一次式	①
		②
		③
	二次式	①
		②
		③
単木単位	一次式	①
		②
		③
	二次式	①
		②
		③

最後に、精度の検証方法を下記に示す。

- 誤差率(%)

森林資源解析結果と現地調査結果の差に対する現地調査結果の比率である。数値が大きいほど、誤差が大きいことを示す。また、本数誤差は同じでもプロット内の全体本数が少ないほど誤差率が大きくなる傾向がある。

$$\text{誤差率} = \left| \frac{\hat{y} - y}{y} \right|$$

レーザ計測による解析結果： \hat{y} 現地調査結果： y

- RMSE

二乗平均平方根誤差 (Root Mean Squared Error) である。森林資源解析結果が現地調査結果からどの程度乖離しているかを表し、0 に近い値であるほど誤差が小さいことを示す。平均誤差率が相対的な誤差の比率であるのに対し、RMSE は誤差の絶対値である。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\hat{y}_k - y_k)^2}$$

レーザ計測による解析結果： \hat{y} 現地調査結果： y サンプル数： N

- 赤池情報基準（以下、AIC）

AIC はモデルのあてはまり度を表す統計量である。値が小さいほどあてはまりが良いとされるが、絶対的な評価として用いられるため、精度の基準はない。なお、以下の式で定義されるため、サンプルサイズや説明変数の数が少ないほど、AIC は低くなる。

$$\text{AIC} = n \left(\log \left(2\pi \frac{S_e}{n} \right) + 1 \right) + 2(p + 2)$$

n : サンプルサイズ p : 説明変数の数 S_e : 残差平方和

発注者との協議の結果、今後の森林管理方法が主に小班および林相ポリゴン単位になることから、本業務では方法Aのうち最も精度の良い式を採用した。採用した DBH 推定式は以下のとおりである。なお、カラマツについては、誤差率および RMSE でみると表 3-2 2 の非線形回帰式①の DBH 推定式が最も良い結果であったが、表 3-1 6 に示したようなカラマツ林分で林冠投影面積の推定精度が落ちるため、単回帰式①を採用することとした。また、その他針葉樹については、ある程度まとまりを持って分布している樹種の多くがストローブマツであったため、本業務ではカラマツの式を採用し DBH を推定した。

【エゾマツ】

$$y = 1.4x + 0.78$$

【トドマツ】

$$y = 1.37x + 4.25$$

【カラマツ】

$$y = 1.25x + 3.04$$

【その他針葉樹】

$$y = 1.25x + 3.04$$

y : DBH (cm) x : H(m)

表 3-2 2 DBH 推定式 (プロット単位)

単回帰 Y=aX+b Y:DBH X:樹高												検証結果				
樹種	Training Data数	検証データ数	Training Group	検証Group	Group	a	b	R2	誤差率	誤差率平均	RMSE	RMSE平均	AIC	AIC平均		
エゾマツ	12	6	1	2	3 ①	1.58	-2.1	0.97	12.1%	6.8%	3.67	2.62	32.6	29.96		
エゾマツ	12	6	1	3	2 ②	1.4	0.78	0.91	2.4%		1.31		22.1			
エゾマツ	11	7	2	3	1 ③	1.21	4.37	0.83	5.8%		2.88		35.18			
エゾマツ	21	11	1	2	3 ①	1.48	1.88	0.85	7.3%	7.9%	3.01	3.08	52.59	57.84		
トドマツ	21	11	1	3	2 ②	1.37	4.25	0.84	7.0%		2.51		60.64			
トドマツ	21	11	2	3	1 ③	1.41	3.3	0.91	9.4%		3.72		60.28			
カラマツ	11	6	1	2	3 ①	1.25	3.04	0.53	9.5%	10.5%	4.81	5.04	33.6	35.57		
カラマツ	11	6	1	3	2 ②	1.11	3.04	0.54	10.6%		4.69		37.4			
カラマツ	11	6	2	3	1 ③	1.27	1.21	0.62	11.6%		5.61		35.72			

非線形回帰 Y=a*CA^b*h^c Y:DBH CA:樹冠投影面積 h:樹高												検証結果				
樹種	Training Data数	検証データ数	Training Group	検証Group	Group	a	b	c	R2	誤差率	誤差率平均	RMSE	RMSE平均	AIC	AIC平均	
エゾマツ	12	6	1	2	3 ①	1.5425	0.1608	0.8256	0.99	9.3%	6.1%	2.41	1.71	35.18	28.26	
エゾマツ	12	6	1	3	2 ②	2.0319	0.2382	0.6611	0.96	3.9%		1.1		30.93		
エゾマツ	11	7	2	3	1 ③	2.1607	0.2065	0.6642	0.91	5.0%		1.62		18.67		
トドマツ	21	11	1	2	3 ①	1.9396	0.1552	0.7775	0.88	8.0%	9.6%	2.61	3.21	53.25	58.50	
トドマツ	21	11	1	3	2 ②	2.1173	0.2981	0.6164	0.91	12.1%		3.81		62.61		
トドマツ	21	11	2	3	1 ③	2.4384	0.1048	0.7556	0.92	8.7%		3.22		59.65		
カラマツ	11	6	1	2	3 ①	0.9074	0.1669	0.9576	0.71	9.1%	12.9%	4.28	6.14	35.98	38.08	
カラマツ	11	6	1	3	2 ②	0.9249	0.2457	0.887	0.78	12.5%		4.67		35.4		
カラマツ	11	6	2	3	1 ③	3.642	0.553	0.1275	0.85	17.0%		9.46		42.85		

表 3-2 3 DBH 推定式 (単木単位)

単回帰 Y=aX+b Y:DBH X:樹高												検証結果				
樹種	Training Data数	検証データ数	Training Group	検証Group	Group	a	b	R2	誤差率	誤差率平均	RMSE	RMSE平均	AIC	AIC平均		
エゾマツ	66	32	1	2	3 ①	1.6	-0.65	0.63	9%	10%	3.98	4.83	190.99	173.69		
エゾマツ	66	32	1	3	2 ②	1.7	-3.25	0.78	12%		4.23		170.92			
エゾマツ	66	32	2	3	1 ③	1.66	-1.86	0.64	10%		6.28		159.15			
トドマツ	66	32	1	2	3 ①	1.37	6.76	0.68	12%	10%	5.43	5.36	182.1	189.01		
トドマツ	66	32	1	3	2 ②	1.34	7.12	0.68	9%		5.29		192.39			
トドマツ	66	32	2	3	1 ③	1.42	5.4	0.75	10%		5.36		192.53			
カラマツ	56	28	1	2	3 ①	1.18	6.03	0.36	13%	15%	4.77	4.92	171.1	167.82		
カラマツ	56	28	1	3	2 ②	1.33	6.08	0.47	22%		5.32		171.33			
カラマツ	54	29	2	3	1 ③	1.13	3.61	0.35	10%		4.66		161.03			

非線形回帰 Y=a*CA^b*h^c Y:DBH CA:樹冠投影面積 h:樹高												検証結果				
樹種	Training Data数	検証データ数	Training Group	検証Group	Group	a	b	c	R2	誤差率	誤差率平均	RMSE	RMSE平均	AIC	AIC平均	
エゾマツ	66	32	1	2	3 ①	1.6441	0.0434	0.9405	0.64	8%	10%	2.29	5.69	159.15	175.46	
エゾマツ	66	32	1	3	2 ②	1.0729	0.0278	1.0916	0.79	12%		5.71		191.88		
エゾマツ	66	32	2	3	1 ③	1.48533	0.07928	0.93931	0.67	10%		9.07		175.34		
トドマツ	66	32	1	2	3 ①	4.01334	0.02422	0.69359	0.7	12%	10%	5.44	7.82	192.53	190.27	
トドマツ	66	32	1	3	2 ②	4.1019	0.01244	0.69585	0.69	9%		8.54		183.27		
トドマツ	66	32	2	3	1 ③	3.34019	0.03729	0.73947	0.76	10%		9.48		195.02		
カラマツ	56	28	1	2	3 ①	2.3765	0.01872	0.80164	0.37	10%	11%	0.96	4.67	161.03	169.35	
カラマツ	56	28	1	3	2 ②	2.35155	0.06362	0.75835	0.51	12%		6.52		174.77		
カラマツ	54	29	2	3	1 ③	2.74841	0.03021	0.74697	0.37	11%		6.52		172.26		

3-3-5 針葉樹の蓄積の推定

単木ポイントの幹材積は、単木毎に胸高直径を推定し、上記材積式から幹材積を推定した。通常、林相ポリゴン単位での蓄積はこの単木毎の幹材積を林相ポリゴン単位で集計したものを使用する。しかし、本業務で採用した DBH 推定式はプロット平均値を使用して作成した式（3-3-4）であるため、この推定式を単木のデータに適用してしまうと、表 3-24 に示したとおり単木単位での DBH の推定精度が落ちるため幹材積の推定精度も落ちてしまう。

そこで、本業務ではプロット単位での推定精度を高めるため、以下の手順で針葉樹の蓄積を推定した。なお、林相ポリゴン単位で平均樹高を算出したうえで、DBH を推定する方法もあるが、プロット式の推定精度を落とさないためには、現地調査を実施したプロット面積（0.04 ha）単位で推定することが望ましいため、以下の手順をとった。

表 3-24 DBH 推定精度の比較

樹種	プロット単位での精度		単木単位での精度	
	誤差率	RMSE	誤差率	RMSE
エゾマツ	2%	1	10%	4
トドマツ	7%	3	12%	5
カラマツ	9%	5	11%	5

【手順1】 林相ポリゴンのメッシュ化および平均樹高

2 m×2 m のメッシュを設定し、林相ポリゴンをメッシュ化した。この際メッシュ内の最大面積の林相を採用することとした。次に、中心のメッシュから半径 11.3 m（約 400 m²）の領域内に含まれる単木データの平均樹高および平均立木密度を算出した（図 3-40）。

【手順2】

次に、メッシュ毎の平均樹高に、3-3-4 で算出した DBH 推定式を樹種ごとに適用し、平均 DBH を算出した。

【手順3】

平均樹高メッシュ、平均 DBH メッシュ、平均立木密度メッシュを掛け合わせ、平均蓄積量を算出した。なお、蓄積量の算出は、林野庁計画課監修「立木幹材積表（東日本編）（1970 年）」に収録されている材積表に対応した材積式を使用している。

【手順4】

手順3で推定したメッシュ毎の平均蓄積量を林相ポリゴン単位、小班単位で集計した。

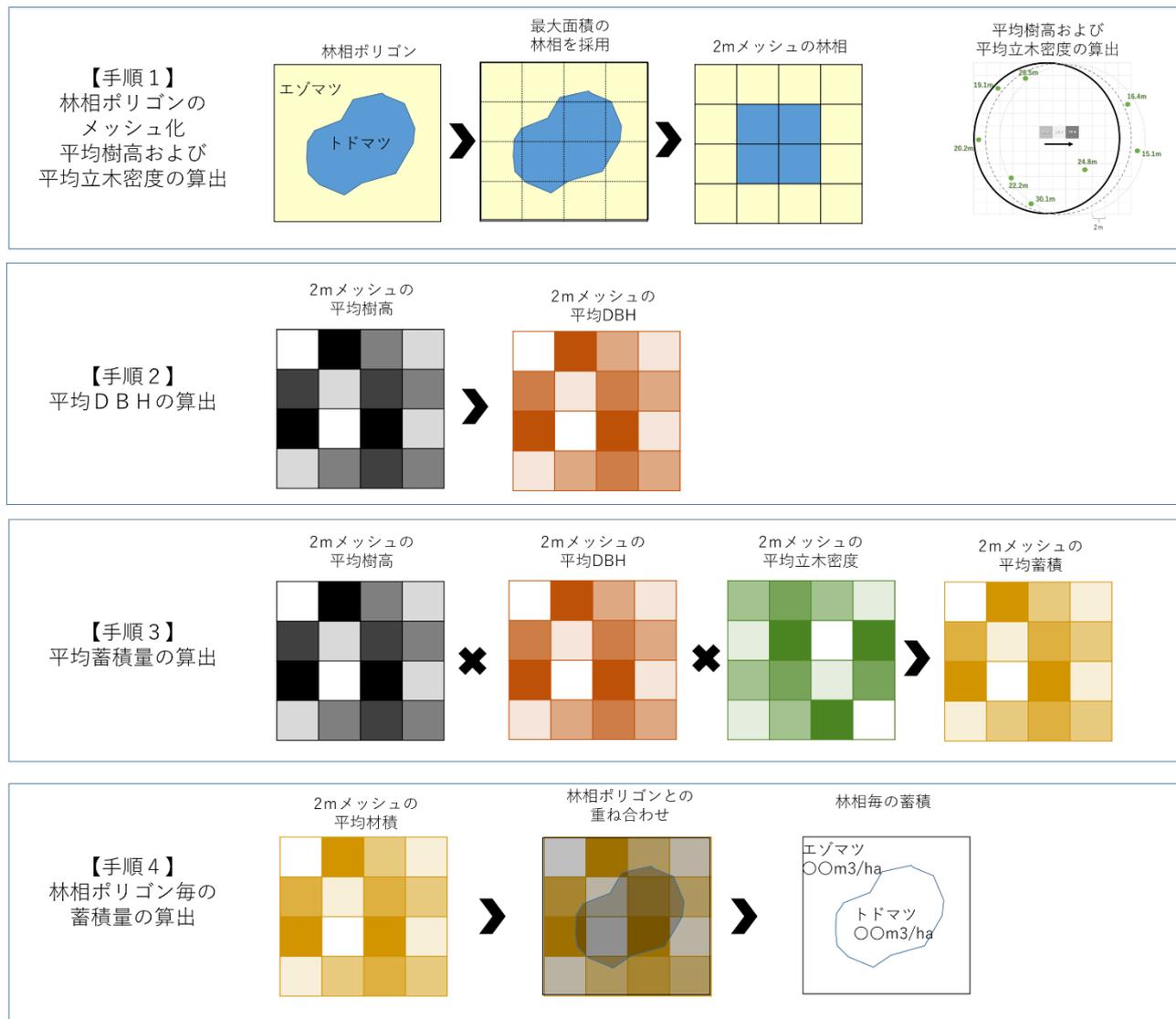


図 3-39 林相ポリゴン毎の蓄積量の推定手順

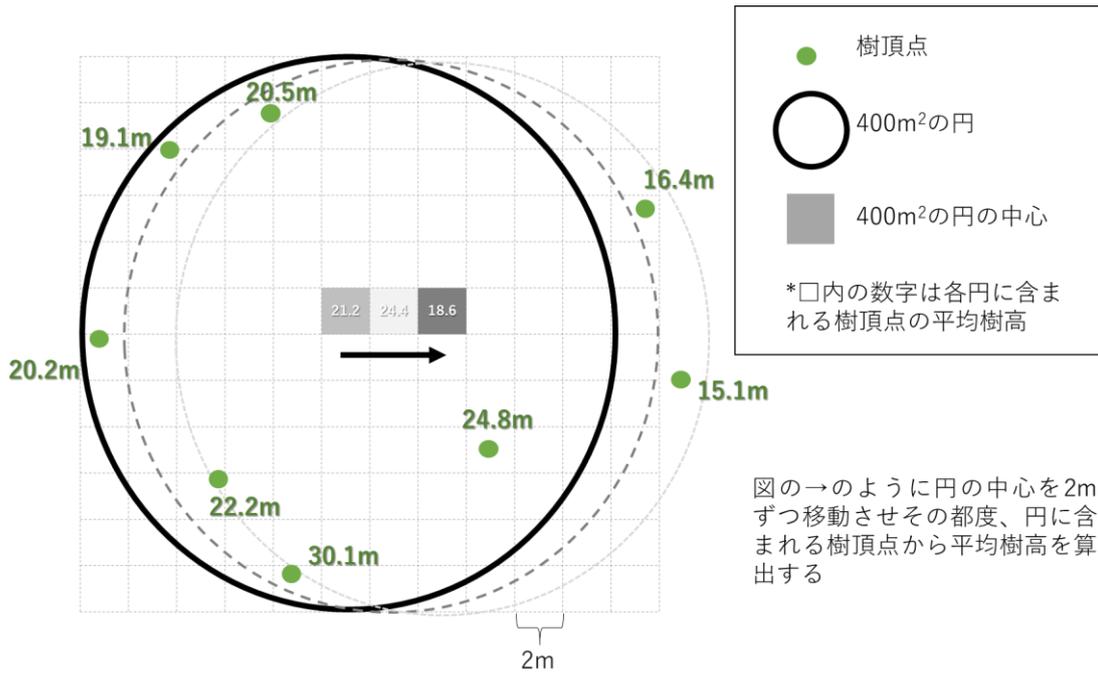


図 3-40 平均樹高・平均立木密度の算出方法

樹種毎の推定精度を表 3-25 に示す。

表 3-25 蓄積量の推定精度

樹種	誤差率	AIC	RMSE
エゾマツ	21%	197	102
トドマツ	21%	346	97
カラマツ	15%	163	104

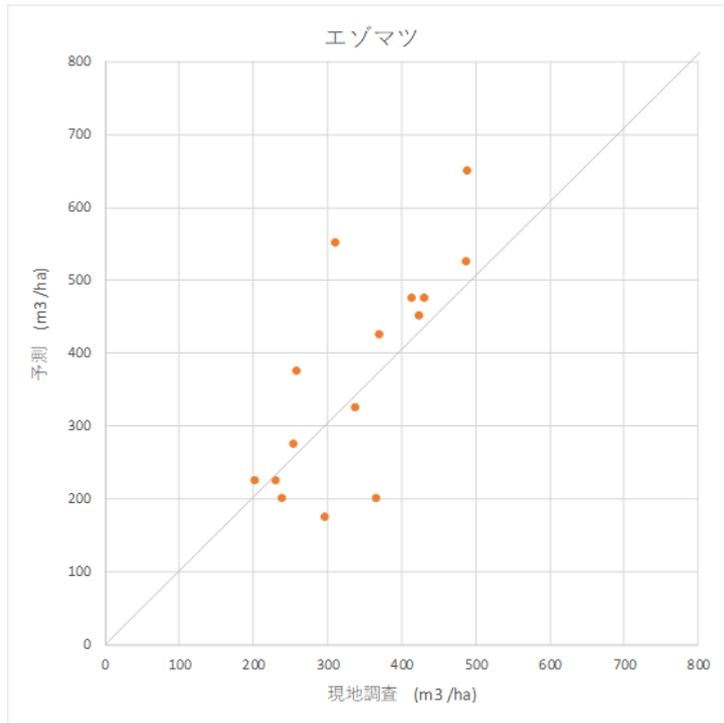


図 3-41 エゾマツの蓄積推定と現地蓄積との比較

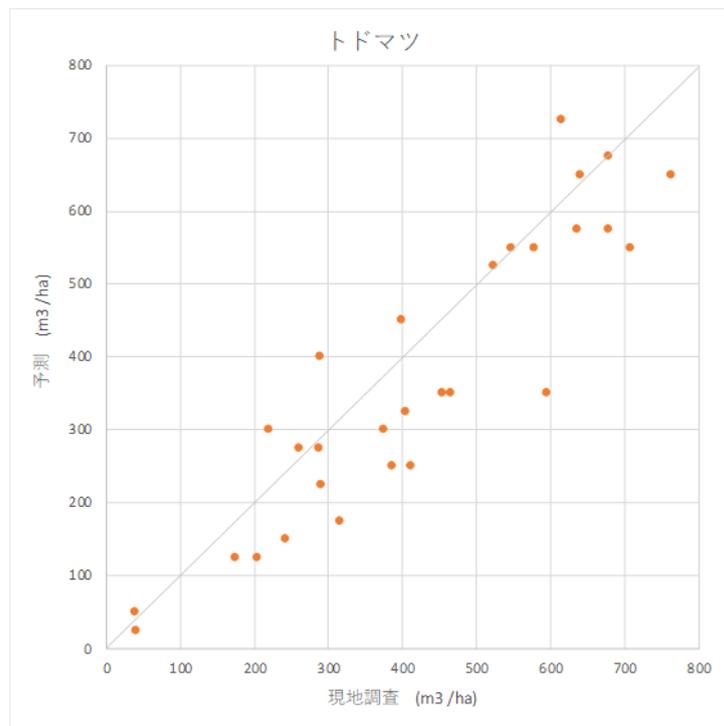


図 3-42 トドマツの蓄積推定と現地蓄積との比較

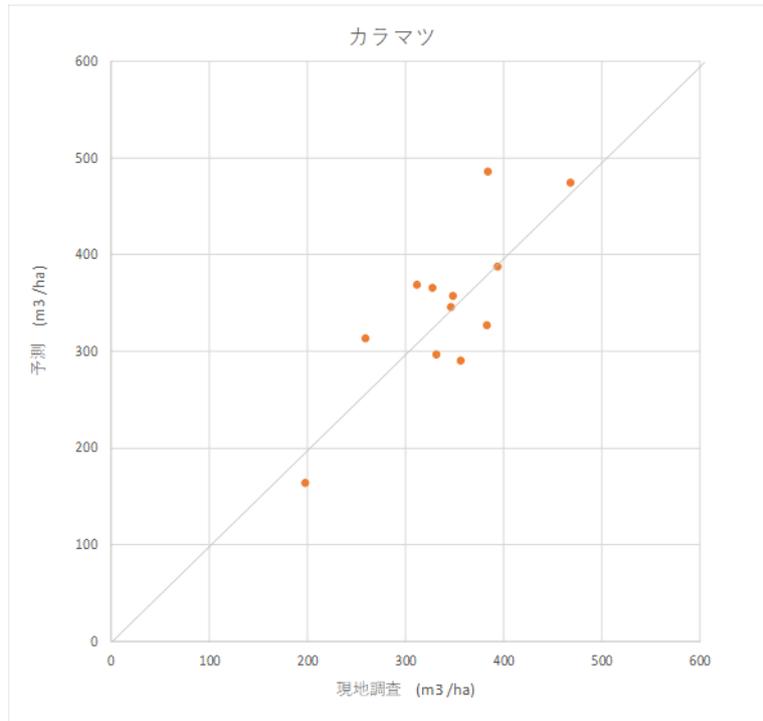


図 3-43 カラマツの蓄積推定と現地蓄積との比較

3-3-6 収量比数の推定

森林資源解析結果から収量比数を推定した。収量比数とは、同じ等平均樹高線上にある ha 当たり最多林分材積に対する ha 当たり林分材積の比である。つまり、ある樹高の上限本数密度を 1 とした場合の、相対的な森林の込み具合を表した指標である。数値が高いほど、林分密度が高くなり、林分の収量比数の値が 0.8 以上であると過密、0.7~0.8 は中庸、0.7 以下は疎な林分となる。

本業務では、地域・樹種ごとに調整された林分密度管理図をもとに作成された、森林総合研究所が公開している「収量比数 Ry 計算プログラム (2012)」を利用し、これに立木本数密度、平均樹高を引数として使用し、収量比数を算出した。

網走中部と網走南部ともに、トドマツやカラマツと比べてエゾマツ林分の収量比数の値が 0.5 以下の面積割合が高かった。これは、表 3-26 に示されるよう、エゾマツは他の樹種と比べて林齢の低い林分の割合が高いためと考えられる。結果を図 3-44、図 3-46 に、集計結果を表 3-27、表 3-28、図 3-45、図 3-47 に示す。

表 3-26 樹種別齢級別面積および小班数一覧表

齢級	網走中部						網走南部					
	トドマツ		エゾマツ		カラマツ		トドマツ		エゾマツ		カラマツ	
	小班数	面積(ha)	小班数	面積(ha)	小班数	面積(ha)	小班数	面積(ha)	小班数	面積(ha)	小班数	面積(ha)
1	4	12.08										
2	4	17.94										
3	11	20.07			1	0.55	1	2.14				
4	20	94.51	1	3.20			2	5.64	6	7.36		
5	3	11.52	9	20.21					2	1.83		
6	5	20.27	8	22.46			4	4.36	21	39.82	1	1.86
7	118	399.86	25	71.41	4	19.33	75	276.76	37	102.61	13	52.20
8	210	871.58	28	98.40	29	161.13	54	254.60	4	8.44	13	88.59
9	253	1,183.52	22	90.60	11	48.34	56	314.22	25	135.50	26	184.29
10	223	1,268.11	29	93.79	14	109.74	60	524.61	33	158.28	15	147.46
11	184	1,664.78	7	43.10	27	274.08	50	441.56	3	28.79	43	487.10
12	152	1,412.18			58	512.89	40	412.73	10	79.46	35	380.24
13	165	1,178.14	1	0.10	55	406.52	54	457.11	10	41.53	24	231.61
14	120	1,028.58	3	35.63	17	100.05	29	243.87			2	15.72
15	33	370.78	3	10.10	1	5.35	11	111.26				
16	3	13.21	2	45.55								
17	5	26.70	1	6.29								
18					1	0.32						
19	15	30.91	9	20.47	3	1.60						
総計	1528	9,624.74	148	561.31	221	1,639.90	436	3,048.86	151	603.62	172	1,589.07

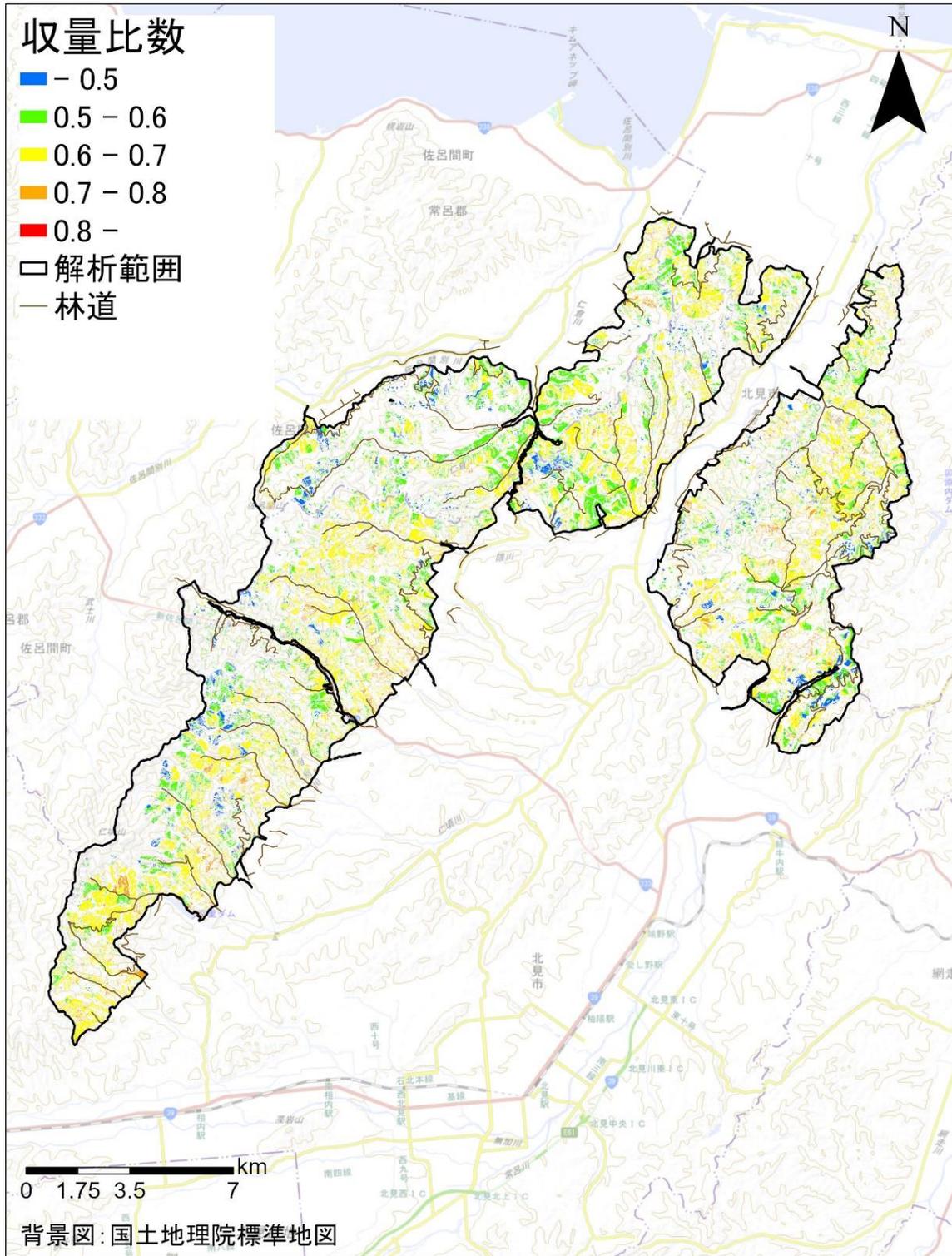
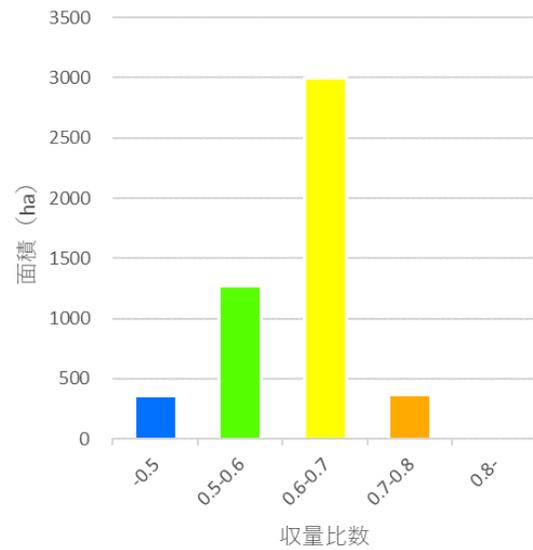


図 3-44 収量比数分布図（網走中部）

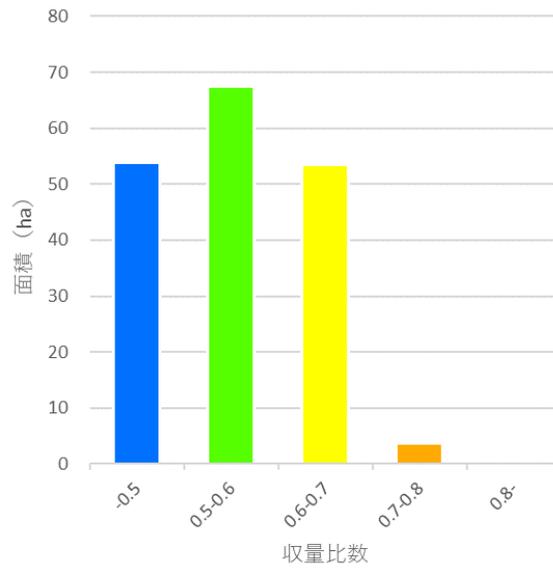
表 3-27 網走中部の収量比数ごとの面積

樹種	-0.5		0.5-0.6		0.6-0.7		0.7-0.8		0.8-		総計
	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)
トドマツ	361.64	7.2%	1271.17	25.4%	3004.03	60.0%	365.13	7.3%	2.96	0.1%	5004.92
エゾマツ	53.86	30.2%	67.46	37.8%	53.45	29.9%	3.78	2.1%	0.00	0.0%	178.55
カラマツ	48.42	5.6%	490.35	57.1%	303.78	35.4%	15.20	1.8%	0.98	0.1%	858.73
合計	463.92	7.7%	1828.98	30.3%	3361.26	55.6%	384.11	6.4%	3.93	0.1%	6042.20

トドマツ



エゾマツ



カラマツ

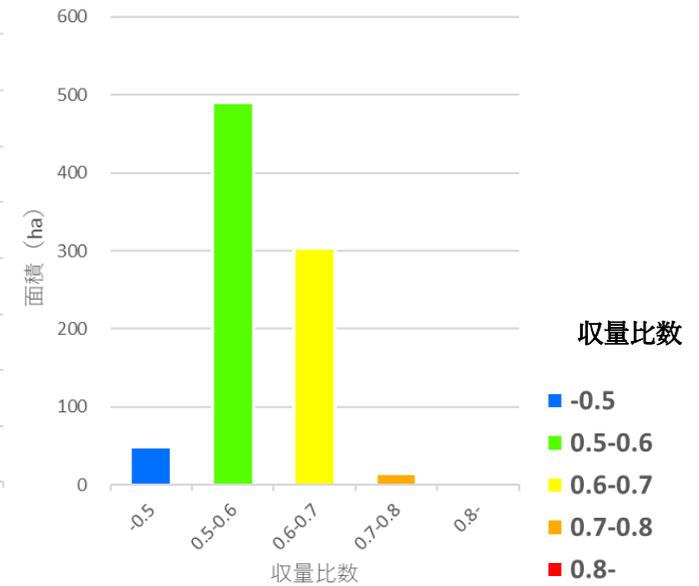


図 3-45 網走中部の収量比数毎の面積割合

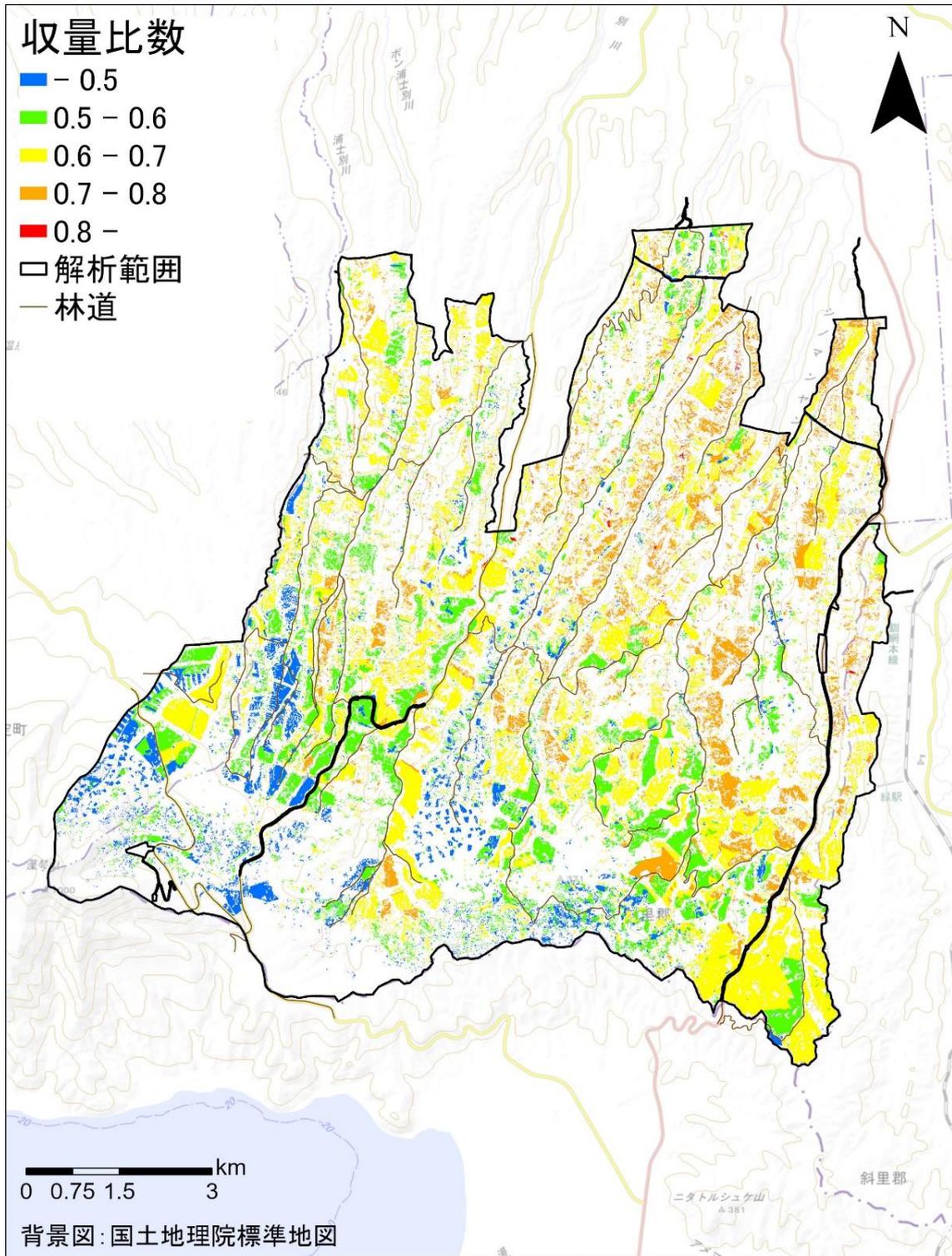


図 3-46 収量比数分布図（網走南部）

表 3-28 網走南部の収量比数ごとの面積

樹種	-0.5		0.5-0.6		0.6-0.7		0.7-0.8		0.8-		総計
	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)
トドマツ	119.88	4.8%	467.74	18.8%	1312.54	52.8%	574.60	23.1%	11.34	0.5%	2486.11
エゾマツ	166.31	31.5%	163.13	30.9%	174.54	33.1%	22.45	4.3%	0.98	0.2%	527.40
カラマツ	93.63	18.4%	262.84	51.8%	133.65	26.3%	16.99	3.3%	0.57	0.1%	507.68
合計	379.81	10.8%	893.71	25.4%	1620.73	46.0%	614.05	17.4%	12.89	0.4%	3521.19

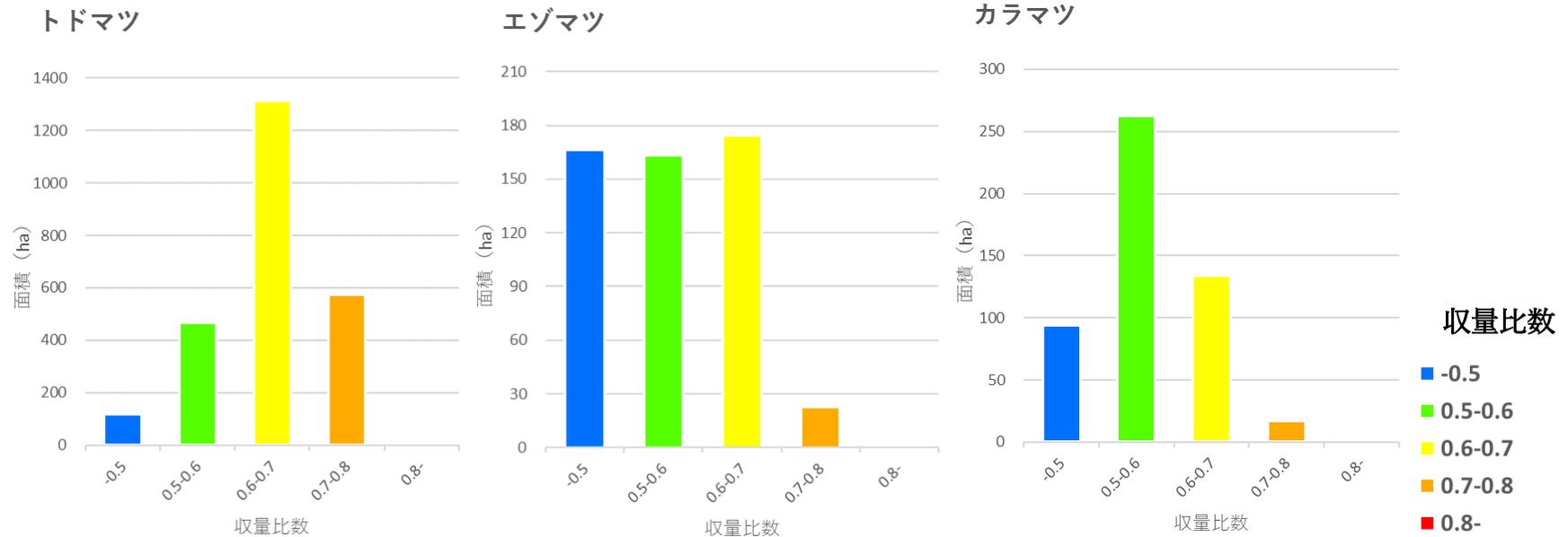


図 3-47 網走南部の収量比数毎の面積割合

3-3-7 広葉樹の蓄積の推定

広葉樹は、樹冠が明瞭でなく樹頂点を抽出することが難しいため、林分ごとの空間体積から蓄積を推定する「総体積法」を使用した。総体積法の回帰式は、DCHM データから得られた空間体積と現地調査で得られた蓄積から作成した。また、回帰式の精度検証には k-分割交差検証法を採用した。具体的には、現地調査から得られたデータを 3 分割し、2 グループをトレーニングデータ、1 グループを検証データとして 3 つの式を作成したうえで、最も精度の良い①式を採用した。採用した①式およびその精度検証結果は表 3-29 のとおりである。それぞれの式について、図 3-48、図 3-49、図 3-50 に示す。最後に得られた蓄積分布を広域で把握しやすいように、「高」、「中」、「低」に 3 区分した。区分の閾値を表 3-30 に示す。

表 3-29 広葉樹蓄積量の精度検証結果

パターン	a	b	R2	誤差率	RMSE	AIC
①	47.327	0.000009	0.81	21%	87	71.59
②	50.507	0.00001	0.82	39%	130	86.15
③	50.509	0.000009	0.82	22%	94	90.09

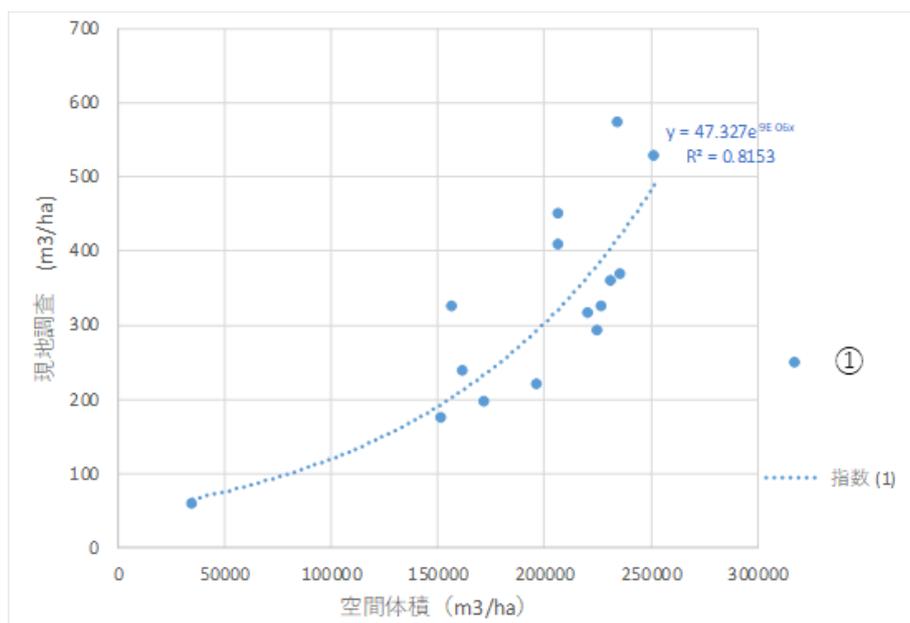


図 3-48 総体積法の回帰式①

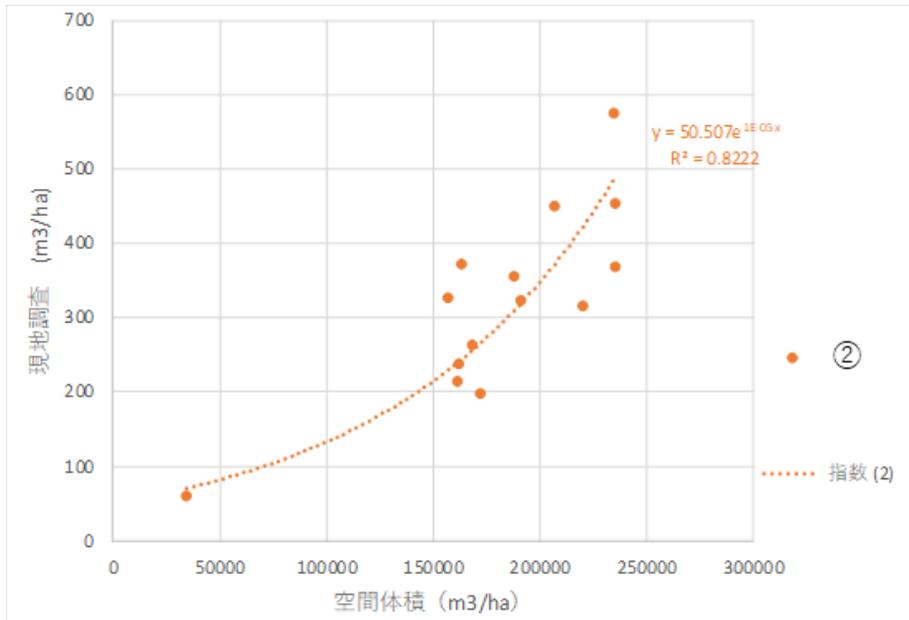


図 3-49 総体積法の回帰式②

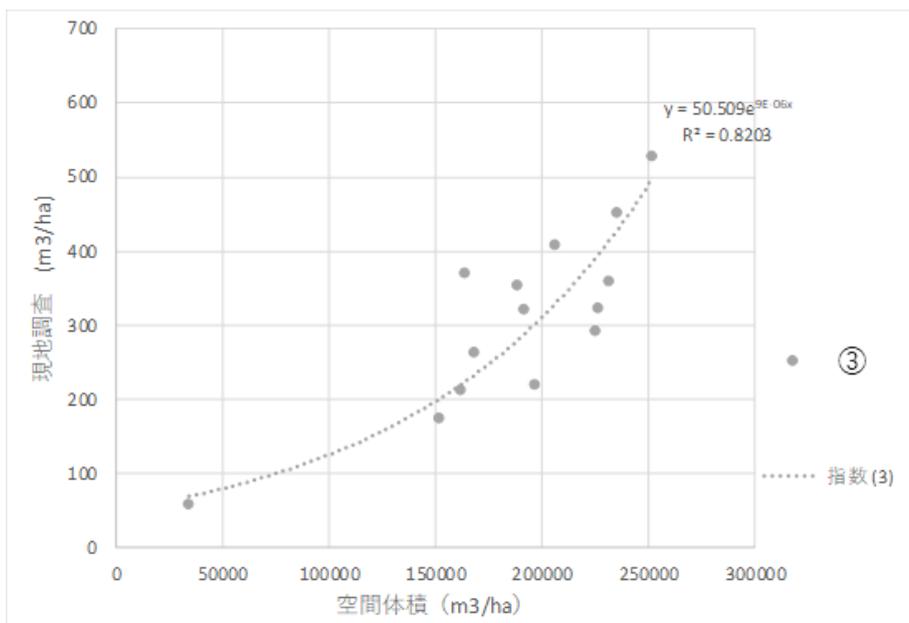


図 3-50 総体積法の回帰式③

表 3-30 広葉樹蓄積区分の閾値

分類	閾値
低	200m³/ha 未満
中	200 以上 400m³/ha 未満
高	400m³/ha 以上

3-3-8 混交林の蓄積の推定

図 3-51 に混交林の蓄積推定のフローを示す。まず、①針広混交林小班の抽出を行ったうえで、針広混交林小班を対象に②林相の再分類を行ったうえで、③樹種毎に蓄積の推定を行った。

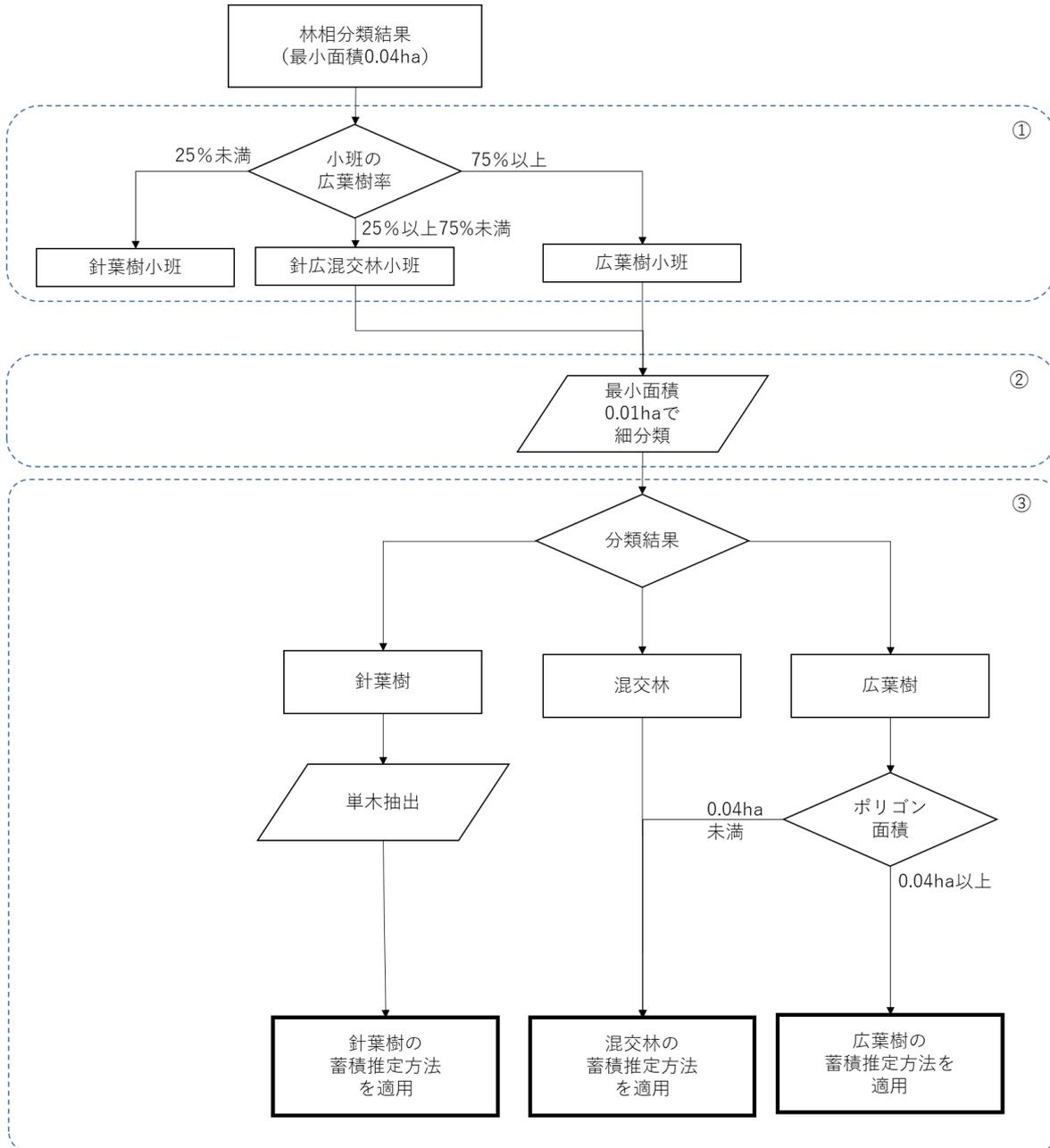


図 3-51 混交林の蓄積推定の流れ

① 針広混交林小班の抽出

本業務で扱う針広混交林は、広葉樹の面積割合が、25%以上 75%未満の林分とした。

作成した林相区分データについて、樹種ごとの面積を小班ごとに集計し、混交率を算出したうえで、混交率が上記の定義と一致する場合、針広混交林の識別情報を付与した。その結果、本事業の対象小班である 4390 小班のうち 43%にあたる 1875 小班がこれに該当した。



図 3-52 針広混交林小班のイメージ図

② 林相の細分類

針広混交林と判断された小班および広葉樹と判断された小班について、オルソフォトや反射強度画像をもとに、分類の最小面積を 0.01 ha として細分類した。なお、ここで細分類の対象に広葉樹小班を含めたのは、林相図作成時に、図 3-54 のような、まとまりを持たない針葉樹が広葉樹内に分散して分布しているのが確認されたためである。

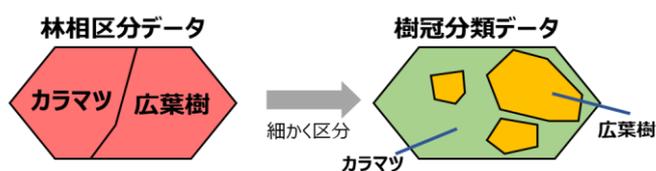


図 3-53 細分類のイメージ



図 3-54 混交林の例

③ 蓄積の推定

細分類結果を使用し以下のとおり蓄積を推定した。

表 3-3 1 針広混交林の蓄積推定の手法

小班の森林タイプ	樹種	広葉樹割合	蓄積の推定手法	作成する回帰式	利用する現地調査の結果	現地調査
針葉樹林	針葉樹	0~25%	単木解析	胸高直径推定式	針葉樹純林の樹高と胸高直径	現地調査 1
針広混交林	針葉樹	25~75%	単木解析	胸高直径推定式	針葉樹純林の樹高と胸高直径	現地調査 1
	広葉樹 (0.04ha以上)		空間体積法	材積推定式	広葉樹純林の平均蓄積	現地調査 1
	広葉樹 (0.04ha未満) 混交林		針広混交林の現地調査のプロットのha当たりの平均蓄積を利用	現地調査プロットのha当たりの平均蓄積の対応表	針広混交林の平均蓄積	現地調査 2
広葉樹林	広葉樹	75~100%	空間体積法	蓄積推定式	広葉樹純林の平均蓄積	現地調査 1

(ア) 針葉樹

針葉樹と判断されたポリゴンは単木抽出を実施し、胸高直径と蓄積は3-3-4と3-3-5で示した方法を用いて算出した。

(イ) 広葉樹

広葉樹の蓄積推定に使用する空間体積法は、ある一定の広さを持った林分に適した方法であり、小面積の林分への適用は蓄積推定の誤差の原因になると考えられる。そこで、0.04 ha（現地調査と同等の面積）を閾値とし、0.04 ha 以上の面積を持つポリゴンは、3-3-6に示した広葉樹林の空間体積式により蓄積を推定した。0.04 ha 以下のポリゴンについては、以下に示す混交林の蓄積推定方法を採用した。推定した蓄積は、3-3-7の表 3-3 0に示す閾値で「高」、「中」、「低」に3区分した。

(ウ) 混交林

上記のとおり、空間体積法はある一定の広さを持った林分に適した方法である。そのため、現地調査で得られた混交林の蓄積量と、レーザデータから得られた平均樹高から、蓄積推定式を作成したうえで、平均蓄積量の場合分けした対応表を作成し、条件が一致する混交林の林分にこれを適用した。

対応表を作成するのに先立ち、樹種と樹高の関係性を確認した。その結果、樹種毎にみると、トドマツとエゾマツは同様の傾向がみられ、カラマツはこれとは異なる傾向がみられた（図 3-55）。そのため、対応表は、トドマツ・エゾマツに対応したものと、カラマツに対応したものの2種類を作成することとした。作成した推定式を下記に、対応表を表 3-3 2、表 3-3 3に示す。推定した蓄積は、広葉樹と同じ閾値で「高」、「中」、「低」に3区分した。

$$\text{トドマツ・エゾマツ} : y = 67.471e^{0.107x}$$

$$\text{カラマツ} : y = 59.617e^{0.0896x}$$

y:蓄積(m³/ha) x:樹高(m)

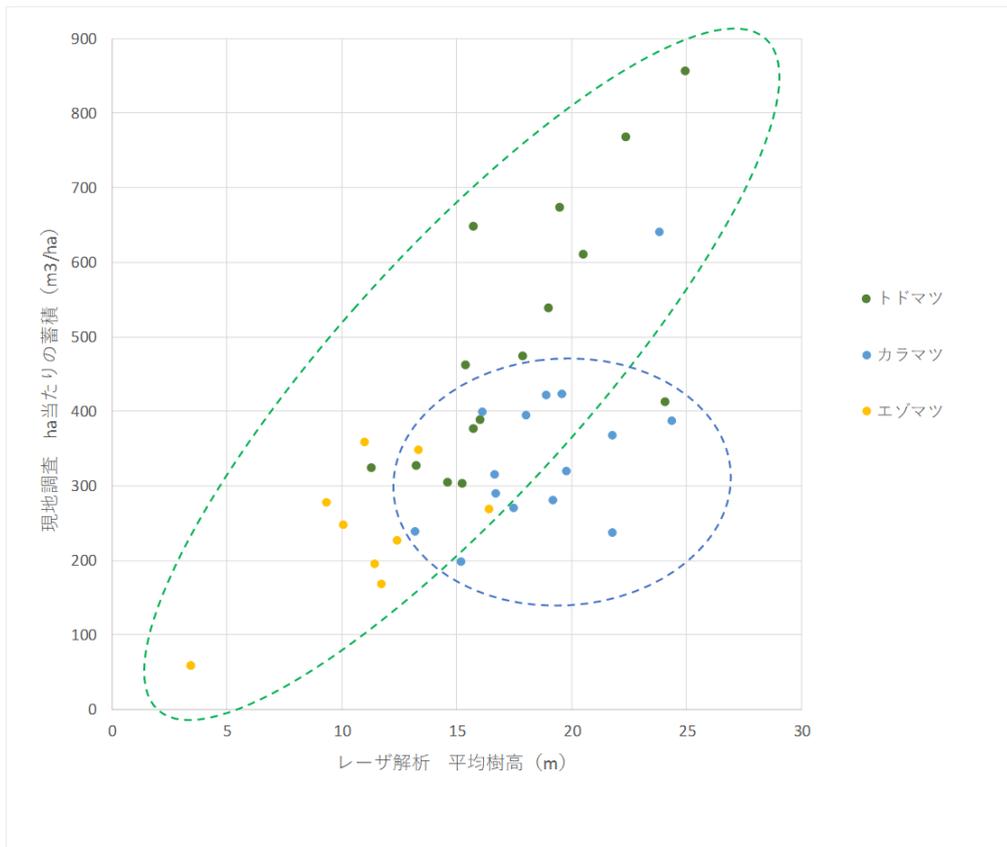


図 3-55 混交林における平均樹高と蓄積の関係

表 3-3 2 トドマツ・エゾマツ混交林の ha 当たりの蓄積

平均樹高 m	蓄積 m ³ /ha	区分
10m 以下	155.95	低
10m~12.5m	226.87	中
12.5m~15m	296.45	中
15m~17.5m	387.37	中
17.5m~20m	506.17	高
20m~25m	776.32	高
25m 以上	979.16	高

表 3-3 3 カラマツ混交林の ha 当たりの蓄積

平均樹高 m	蓄積 m ³ /ha	区分
10m 以下	119.68	低
10m~12.5m	164.39	低
12.5m~15m	205.66	中
15m~17.5m	257.29	中
17.5m~20m	321.89	中
20m~25m	458.9	高
25m 以上	718.25	高

精度検証の結果を表 3-3 4 に示す。精度検証の結果は誤差率がエゾマツ・トドマツで 33%、カラマツで 25% となり、広葉樹の蓄積推定精度（表 3-2 9）に比べると劣る結果となった。針広混交林の蓄積推定精度に影響する樹種、樹高以外の要因としては、①混交率と②中低木層の分布状況があげられる。まず、①混交率については、一般的に、針葉樹と広葉樹の蓄積を比較すると、同じ樹高の場合針葉樹の方が蓄積は大きくなる。そのため、針葉樹の混交率が高いほど、同じ平均樹高であっても、単位面積あたりの蓄積も多くなる。航空レーザの反射強度データや空中写真もしくは衛星画像等を用いて画像処理により、おおよその混交率を把握することができれば、精度向上につながる可能性が考えられる。

次に、②中低木層の分布状況については、上層木の樹高が同じ林分の場合、中低木層が多いほど、面積当たりの蓄積は大きくなる。しかし、空中写真や樹高分布データは上層木の林分状況を示すデータであるため、中低木層の分布状況まで把握することができない。中低木層の分布を把握するためには、レーザの点データの垂直方向の分布状況等が有効と考えられる。

表 3-3 4 針広混交林の精度検証結果

	平均誤差率	RMSE	AIC
エゾマツ・トドマツ	33%	120.14	314.38
カラマツ	25%	101.49	184.96

3-3-9 針葉樹・広葉樹・混交林の蓄積分布

3-3-5、3-3-7、3-3-8の結果を基に、針葉樹・広葉樹・針広混交林の蓄積を推定した。針葉樹は本業務で作成したDBH推定式と既存の幹材積式、0.04 ha以上ある広葉樹林は空間体積法、0.04 ha未満の広葉樹林及び針広混交林は平均樹高と蓄積の対応表を用いて蓄積を推定した。蓄積を100 m³/haごとに区分した結果を図3-56、図3-59に示す。広葉樹林と針広混交林は蓄積を閾値で「高」、「中」、「低」に3区分した。蓄積区分図を図3-57、図3-60に示す。また、蓄積ごとの面積割合を表3-35、表3-36、図3-58、図3-61に示す。

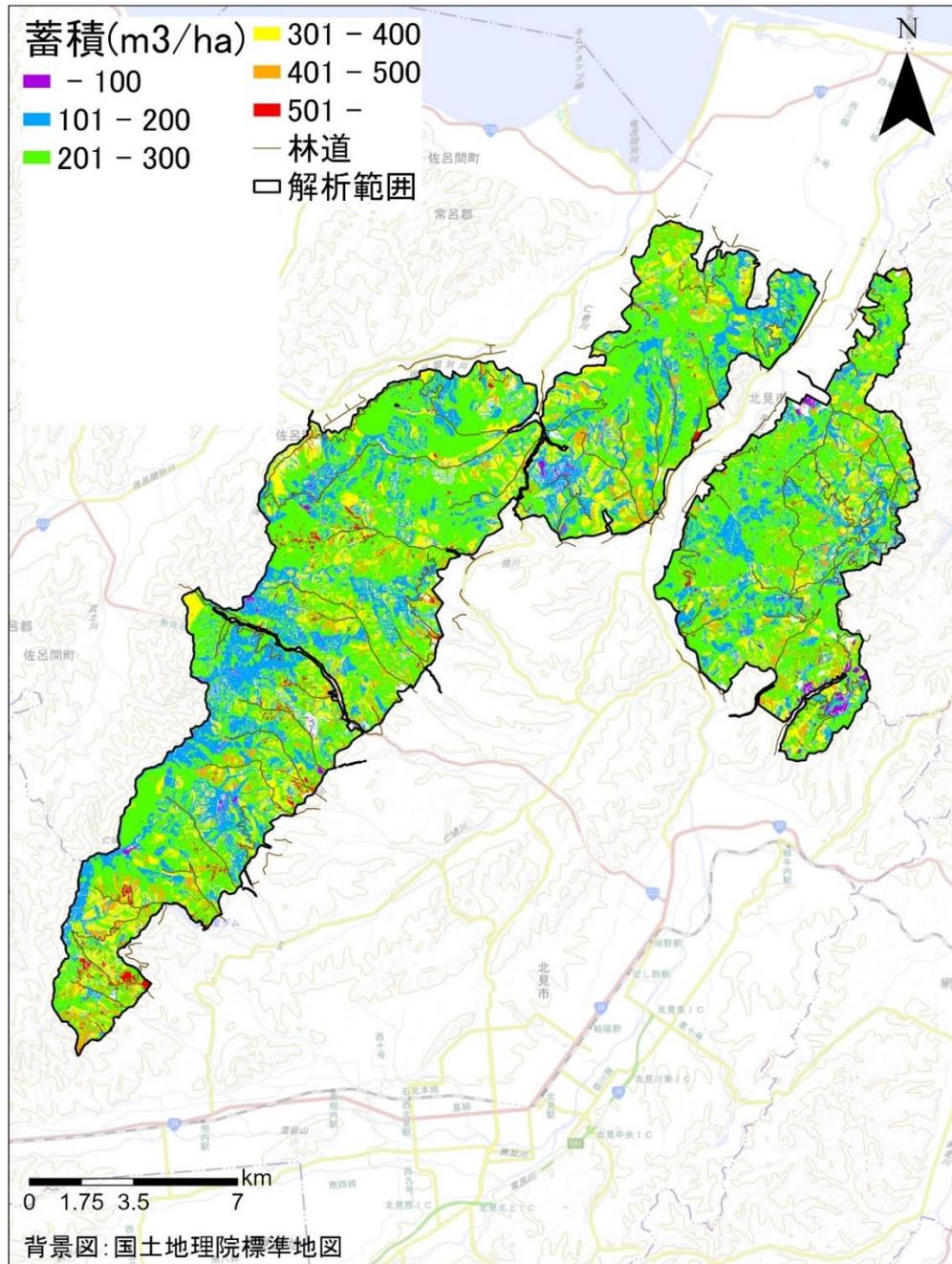


図 3-56 蓄積分布図（網走中部）

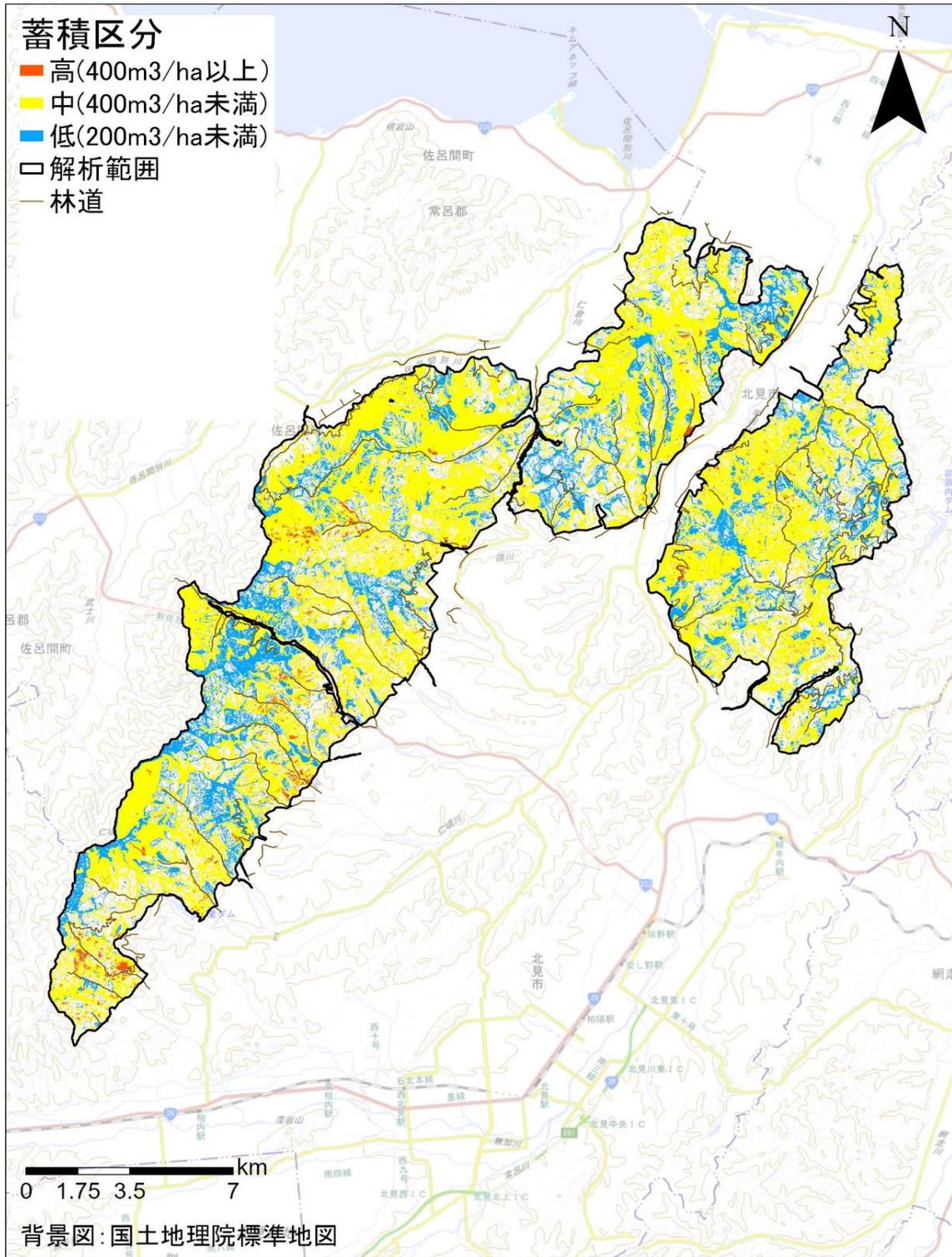


図 3-57 蓄積区分図 (網走中部)

表 3-35 網走中部の蓄積ごとの面積

樹種	-100 (m ³ /ha)		101-200 (m ³ /ha)		201-300 (m ³ /ha)		301-400 (m ³ /ha)		401-500 (m ³ /ha)		501- (m ³ /ha)		総計
	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)
トドマツ	111.60	2.2%	535.71	10.7%	1408.69	28.1%	2151.37	43.0%	724.80	14.5%	72.76	1.5%	5004.92
エゾマツ	35.83	20.1%	71.81	40.2%	49.98	28.0%	18.62	10.4%	1.22	0.7%	1.09	0.6%	178.55
カラマツ	1.86	0.2%	33.92	4.0%	222.24	25.9%	444.23	51.7%	148.12	17.2%	8.36	1.0%	858.73
合計	149.29	2.5%	641.44	10.6%	1680.91	27.8%	2614.22	43.3%	874.14	14.5%	82.20	1.4%	6042.20

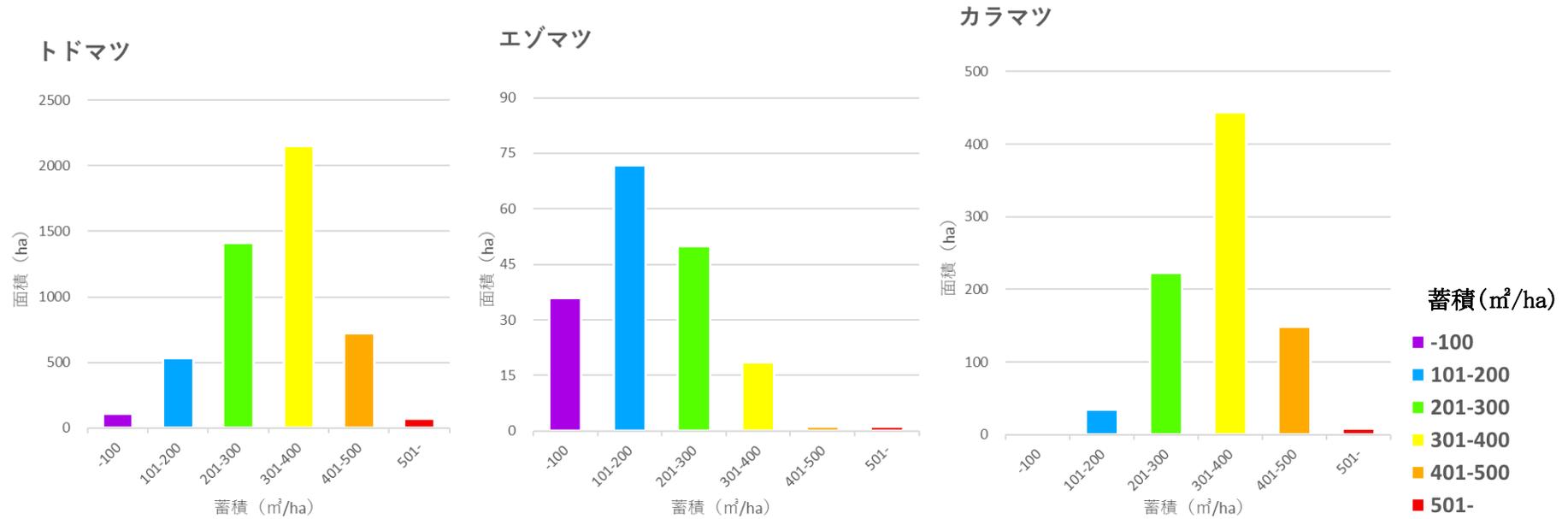


図 3-58 網走中部の蓄積ごとの面積割合

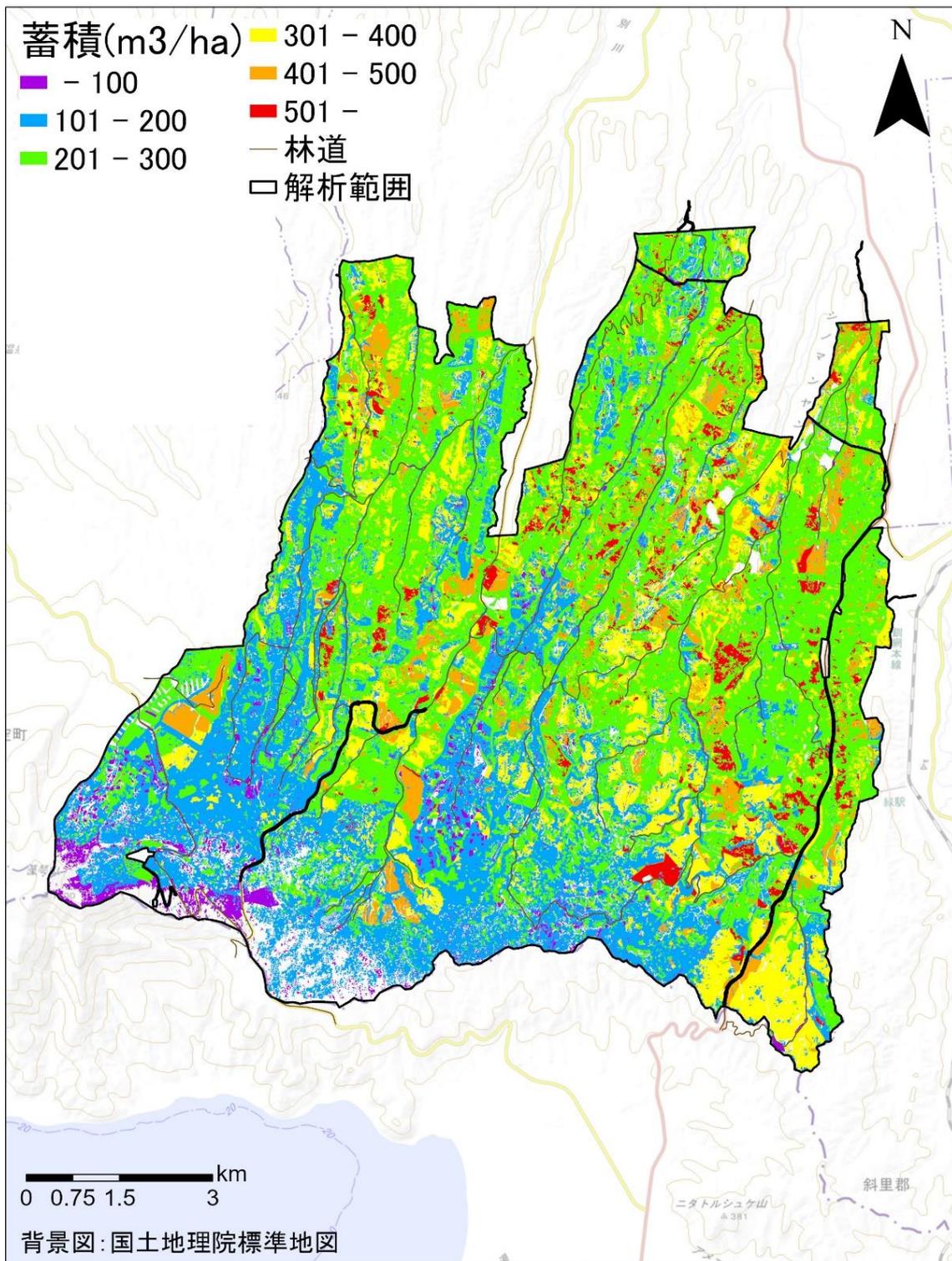


図 3-59 蓄積分布図 (網走南部)

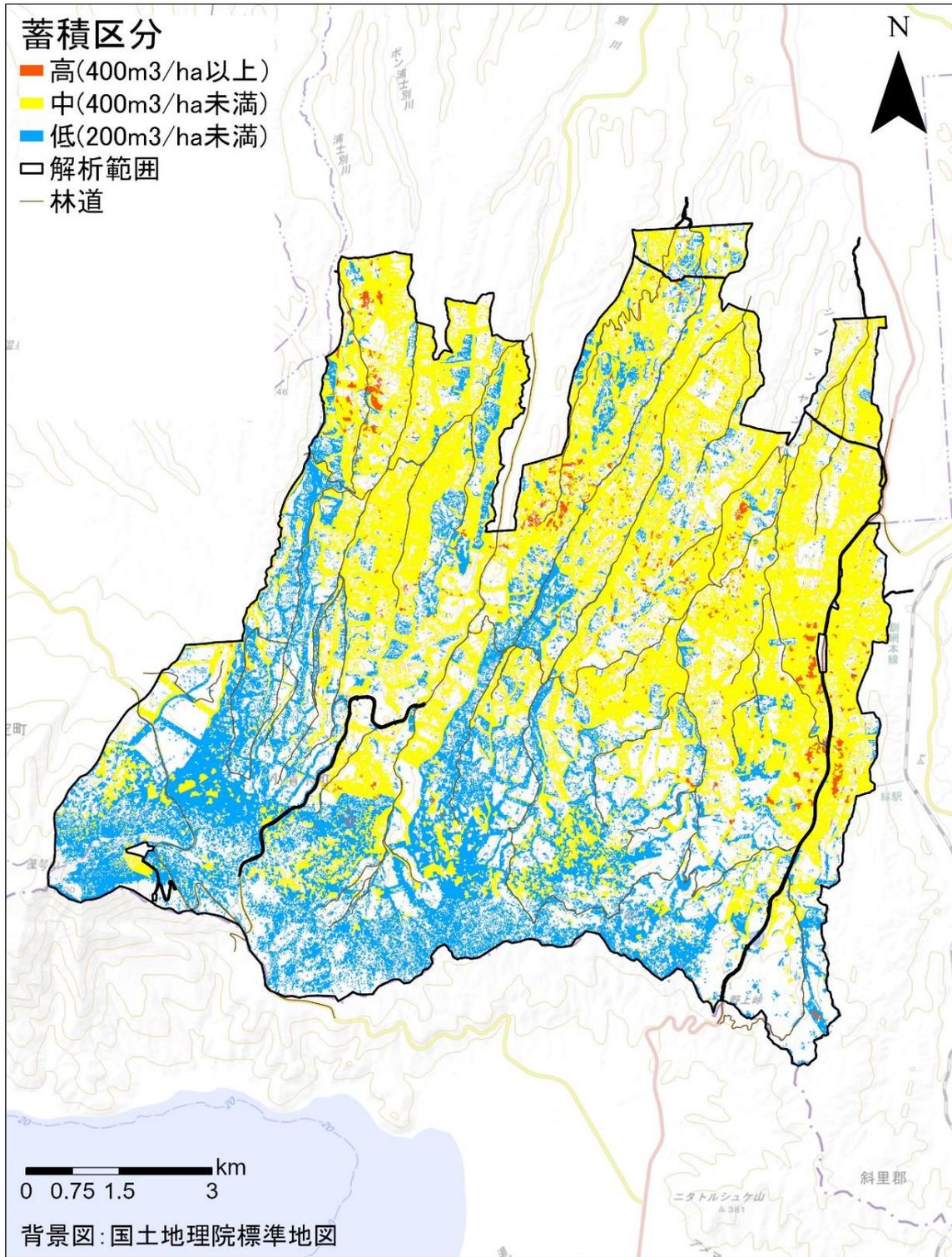


図 3-60 蓄積区分図 (網走南部)

表 3-3 6 網走南部の蓄積ごとの面積

樹種	-100 (m ³ /ha)		101-200 (m ³ /ha)		201-300 (m ³ /ha)		301-400 (m ³ /ha)		401-500 (m ³ /ha)		501- (m ³ /ha)		総計
	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)	割合	面積 (ha)
トドマツ	40.33	1.6%	167.72	6.7%	490.13	19.7%	939.88	37.8%	598.27	24.1%	249.77	24.1%	2486.11
エゾマツ	105.50	20.0%	177.35	33.6%	163.05	30.9%	68.23	12.9%	10.73	2.0%	2.54	2.0%	527.40
カラマツ	2.37	0.5%	66.80	13.2%	223.70	44.1%	182.32	35.9%	31.54	6.2%	0.96	6.2%	507.68
合計	148.19	4.2%	411.87	11.7%	876.88	24.9%	1190.43	33.8%	640.55	18.2%	253.26	7.2%	3521.19

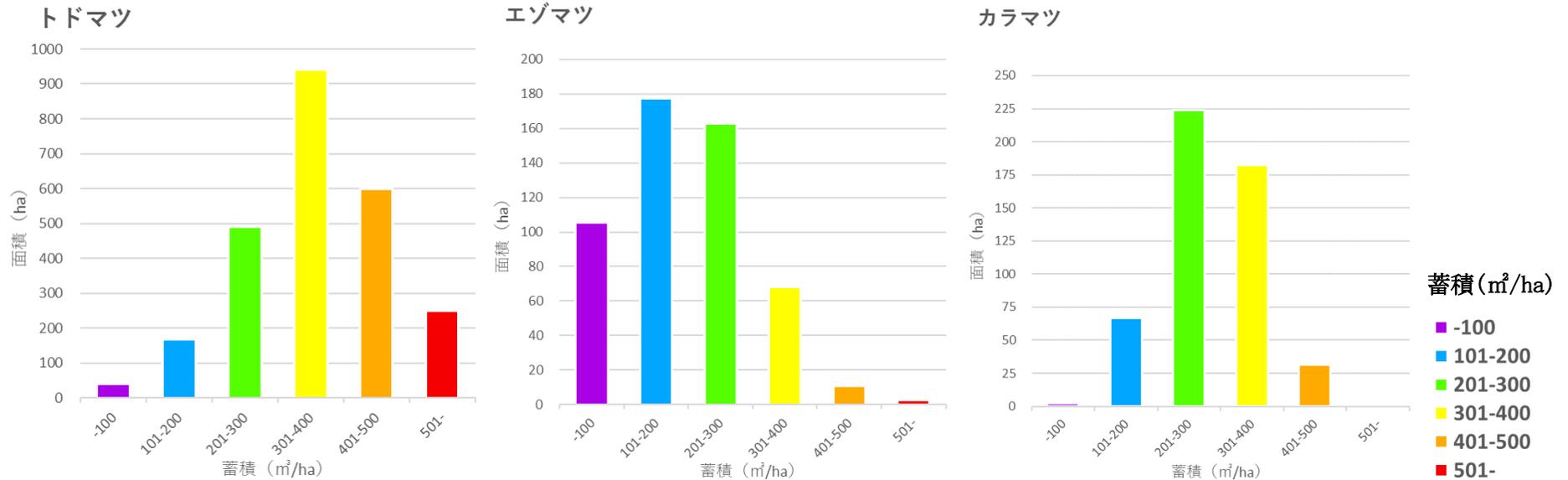


図 3-61 網走南部の蓄積ごとの面積割合

3-3-1 林相区分図等作成

解析結果より林相区分図、樹高区分図、立木密度分布図、蓄積分布図、収量比数分布図を作成した。林相区分図等は、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、2.0 km×1.5 km）ごとの Geotiff 形式及び同図郭の JPEG 形式の画像ファイルと位置情報ファイルを作成した。

3-3-2 Geotiff 形式作成

DCSM データと DCHM データは、CSV、LAS データ形式のいずれかにするとともに、国土基本図 2500 図郭（平面直角座標系、2.0 km×1.5 km）ごとの Geotiff 形式も作成した。

3-3-3 森林資源量集計ポリゴン等作成

単木解析結果をポイントデータで作成した。また、針葉樹、広葉樹、針広混交林の解析結果を林相区分ごとに集計し、エクセルデータと森林資源量集計ポリゴンを作成した。林相区分データには、小班ごとの ID を付与した。

表 3-3 7 森林資源量集計ポリゴン等作成データ一覧

作成データ	データ形式	集計単位	対象
林相区分図、樹高区分図、蓄積分布図	Geotiff 形式、 JPEG 形式 位置情報ファイル	林相区分	トドマツ、エゾマツ、カラマツ、 その他針葉樹、広葉樹、針広混交林
蓄積区分図	Geotiff 形式、 JPEG 形式 位置情報ファイル	林相区分	広葉樹、針広混交林
立木密度分布図、 収量比数分布図	Geotiff 形式、 JPEG 形式 位置情報ファイル	林相区分	トドマツ、エゾマツ、カラマツ、 その他針葉樹
DCSM データ DCHM データ	CSV または LAS データ形式 Geotiff 形式 位置情報ファイル		全解析範囲
樹高、立木密度、幹材積、 収量比数、樹冠長、樹冠長率	ポリゴンデータ エクセルデータ	林相区分	トドマツ、エゾマツ、カラマツ、 その他針葉樹、広葉樹、針広混交林
樹高、胸高直径、蓄積、 樹冠長、樹冠長率	ポイントデータ エクセルデータ	単木	トドマツ、エゾマツ、カラマツ、 その他針葉樹

3-4 森林資源情報の活用データ整理

森林資源解析、現地調査結果を基に、森林資源情報を活用するためのデータ整理を実施した。データ整理手法については、中部森林管理局発注「令和4年度航空レーザを活用した森林資源調査実証業務（森林資源解析等）」の成果を踏まえて行った。

3-4-1 林小班・林相区分の樹種・成林状況整理

林相区分図と森林資源解析対象外ポリゴンを活用して、森林調査簿上の樹種、成林状況と解析結果の整合を整理した。また、成果品として、1)と2)の分類結果を森林調査簿に追加し、森林調査簿更新資料を整備した。

1) 樹種の整合の分類

樹種の整合の分類フローを図3-62に示す。樹種の整合は小班単位で整備し、森林調査簿の樹種と80%以上整合している場合はA.整合、樹種の整合率が20%以下の場合はB.林小班区画全体の樹種の誤り、AまたはB以外で、樹種境界が明瞭で区分する面積が0.5ha以上の場合はC.林小班内で樹種が混交、A,B,Cのどれにも属さない場合はD.林小班内で樹種が混交（樹種境界は区分不可）の4つに分類し、整合結果を整理したエクセルデータ及びCについてのポリゴンを作成した。

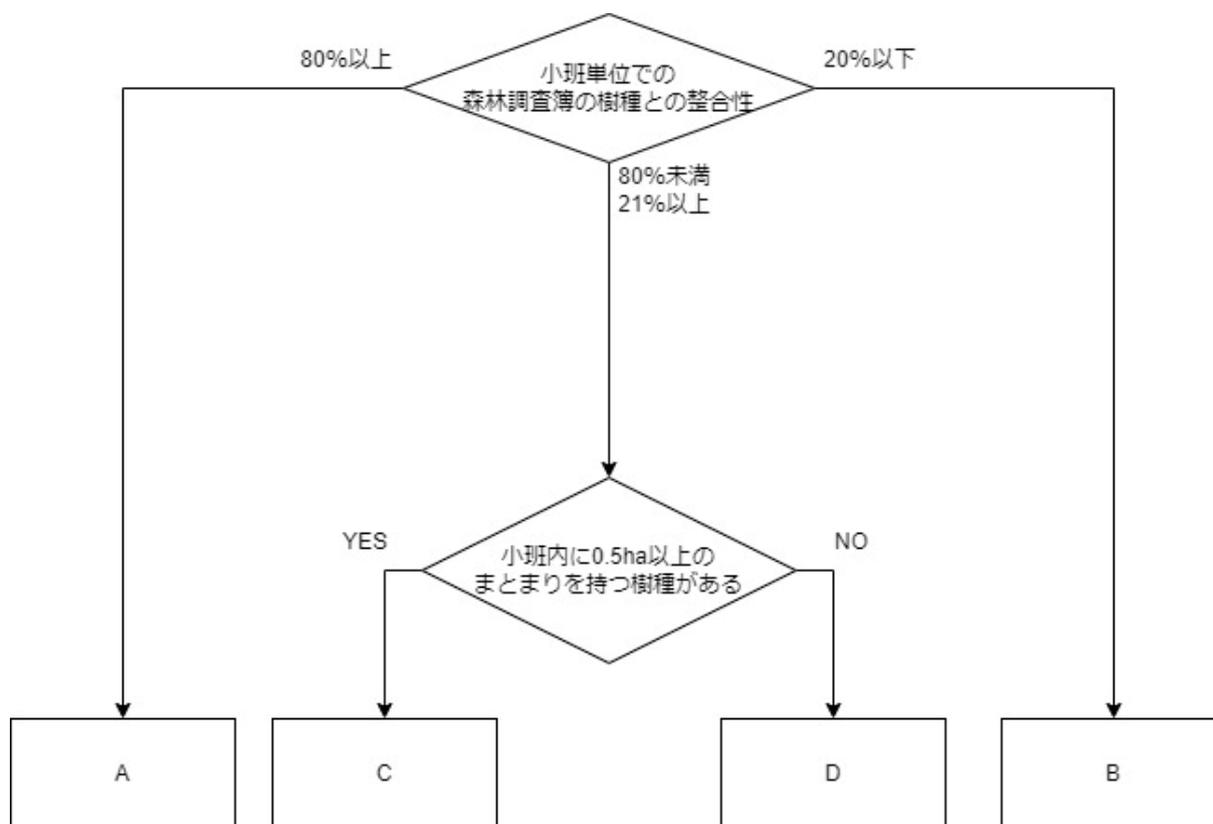


図 3-62 樹種の整合の分類フロー

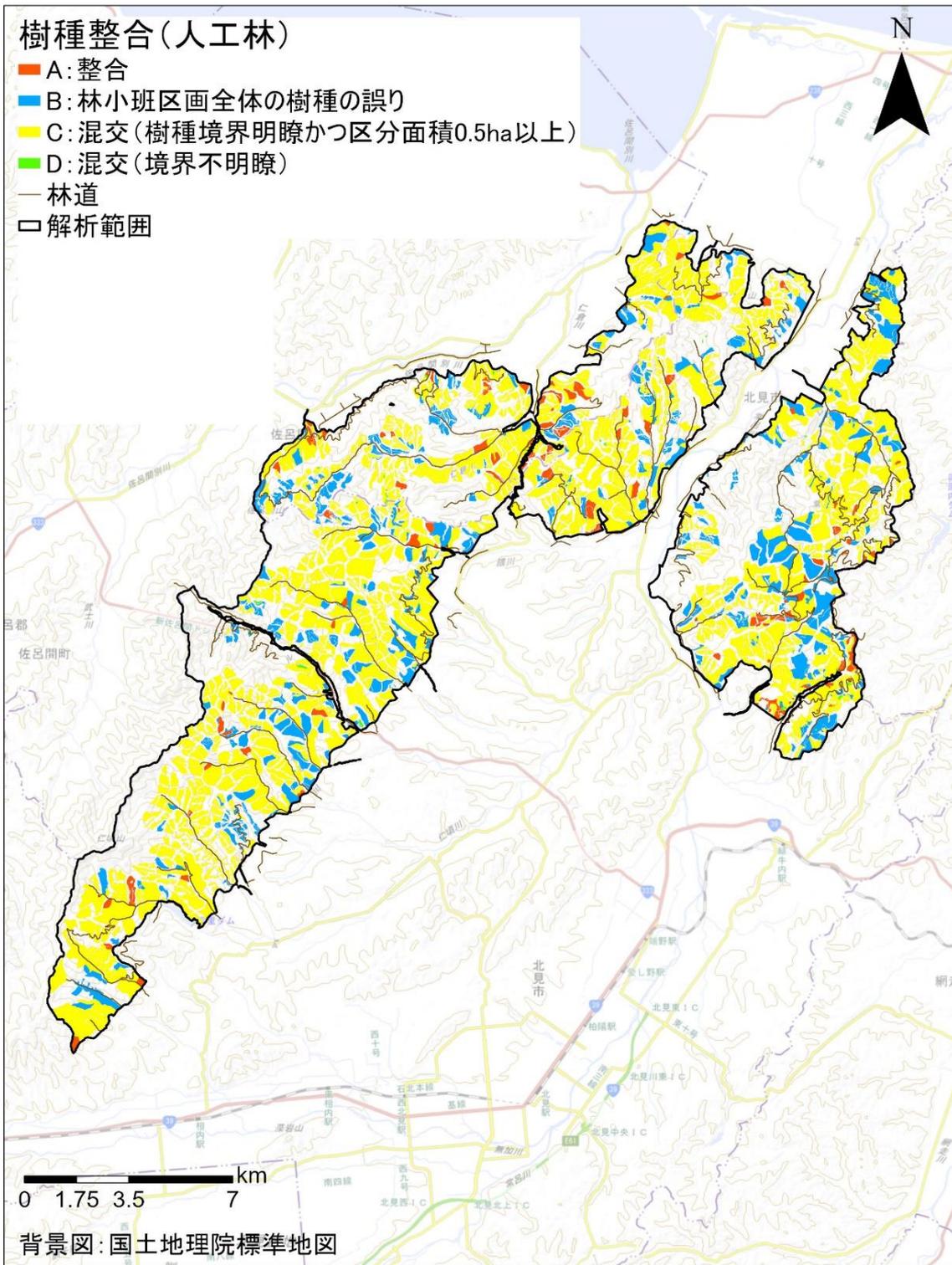


図 3-63 樹種の整合状況_人工林(網走中部)

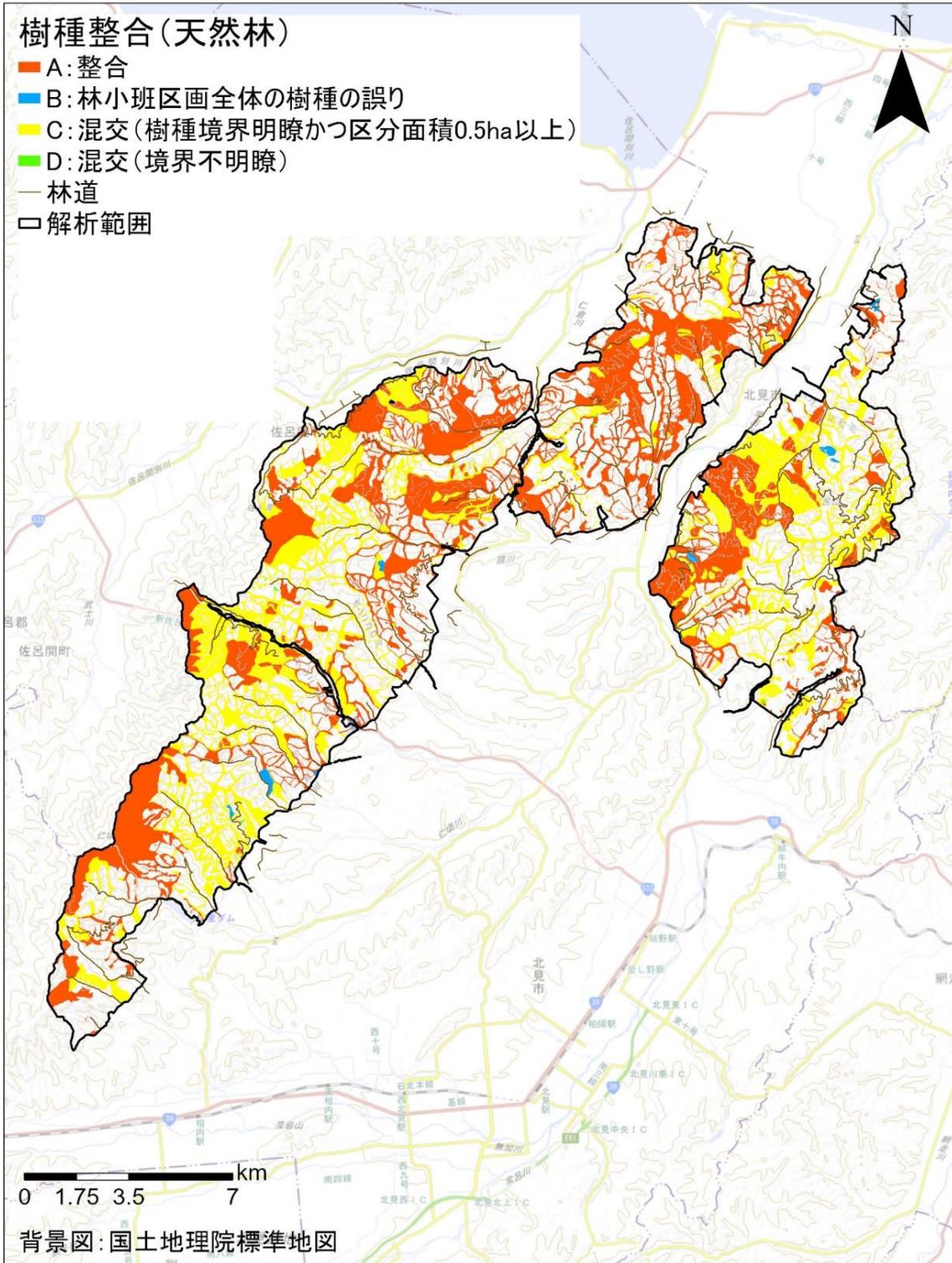


図 3-64 樹種の整合状況_天然林(網走中部)

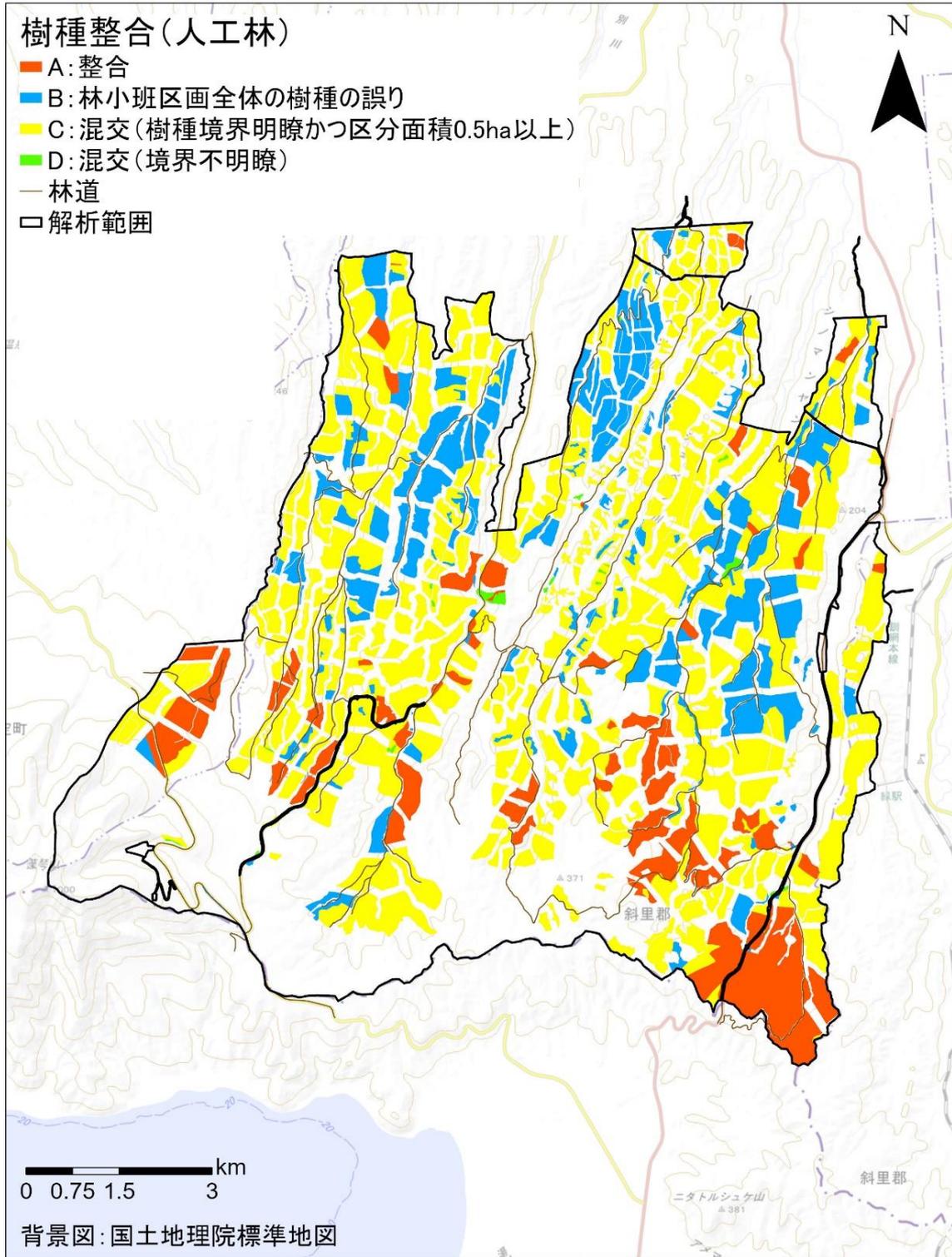


図 3-65 樹種の整合状況_人工林 (網走南部)

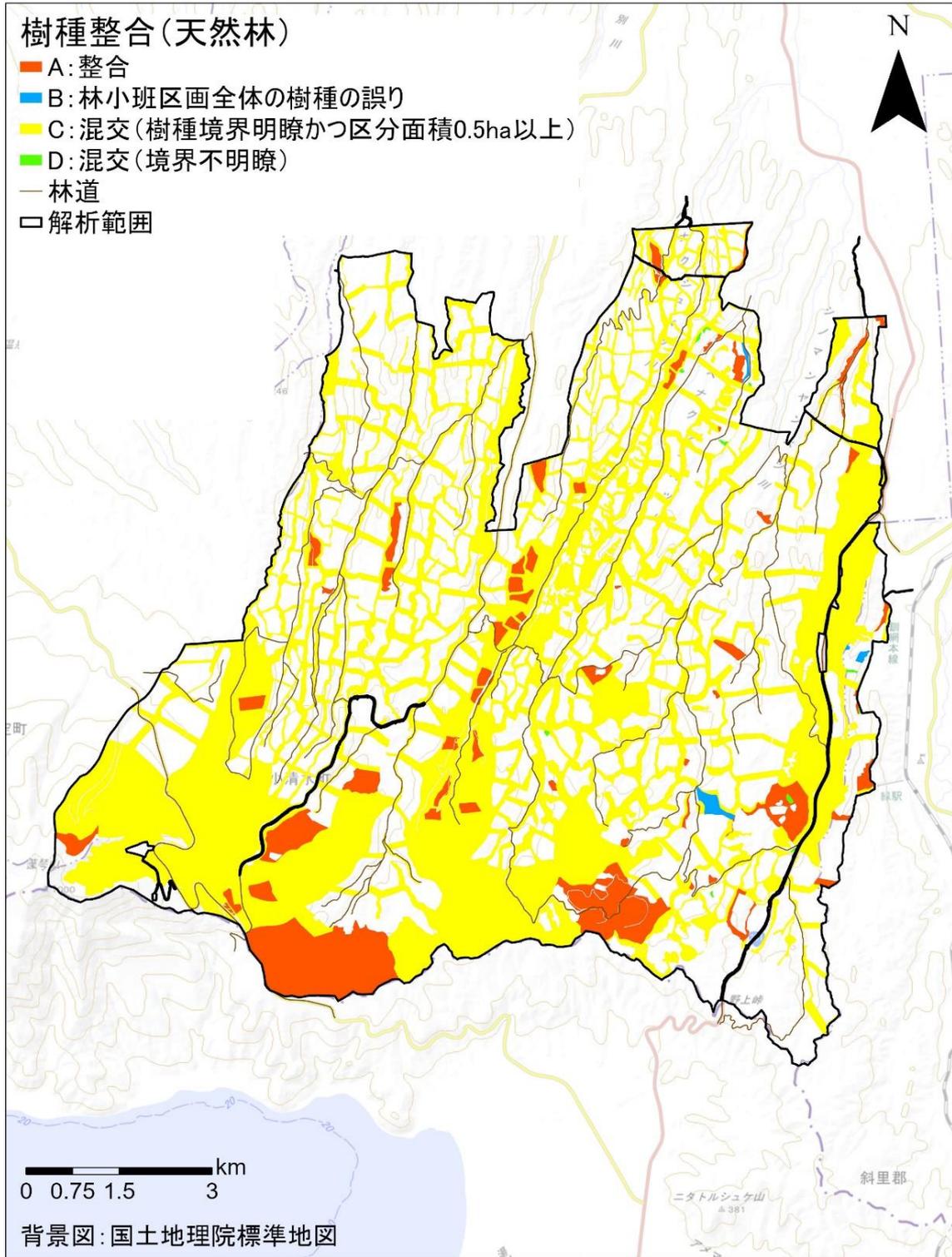


図 3-66 樹種の整合状況_天然林(網走南部)

2) 成林状況の分類

成林状況の分類フローを図 3-67 に示す。成林状況は林相ポリゴン単位で整備し、林相が「その他」のポリゴンは A. 林小班から除外すべき雑地 (0.04 ha 以上)、これ以外のポリゴンで針葉樹の場合、期待される樹高が 20%を下回るもしくは、期待される密度が 20%を下回る場合に未達ポリゴンとし、小班内の未達ポリゴンの面積割合が 80%以上だった場合は B. 林小班全体が期待される樹高・立木密度に未達、80%未満でポリゴンの面積が 0.5 ha 以上ある場合は、C. 林小班の一部が期待される樹高・立木密度に未達とし、エクセルデータ及び A・C についてのポリゴンを作成した。なお、期待される樹高および密度については、収穫予想表の林齢と樹高、胸高直径、本数密度の関係から回帰式を作成し、各林齢時に期待される樹高と本数密度を計算した。使用した回帰式を表 3-38 に示す。

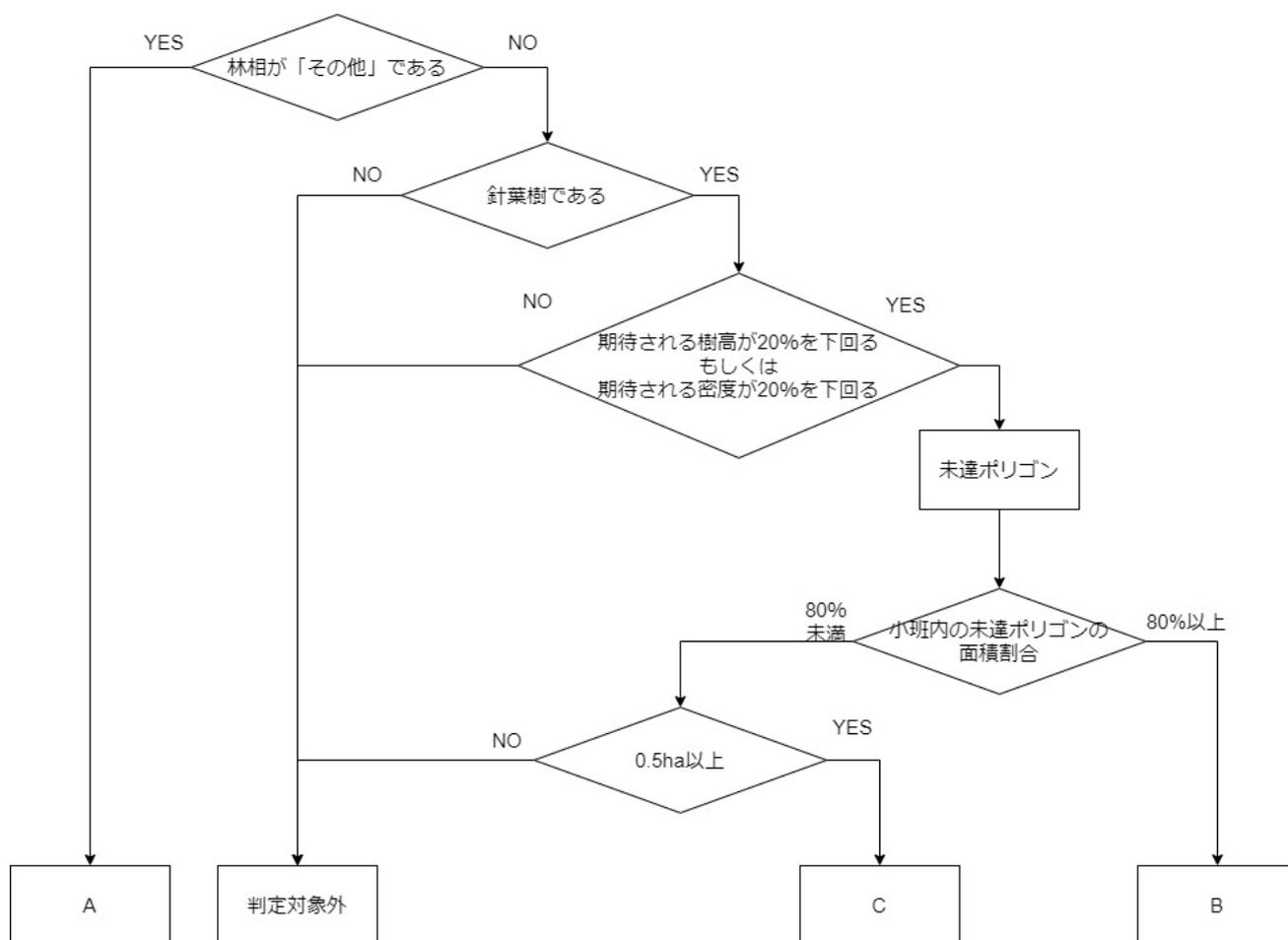


図 3-67 成林状況の分類フロー

表 3-38 期待される樹高・胸高直径・立木密度の回帰式

	地位	トドマツ		エゾマツ		カラマツ	
		a	b	a	b	a	b
樹高 = $a \times \ln(\text{林齢}) - b$	特	14.267	-36.168	11.766	-31.589	12.558	-21.294
	1	13.487	-35.936			11.069	-18.754
	2	12.802	-35.103			9.653	-16.354
	3	12.018	-33.836			8.0849	-13.621
胸高直径 = $a \times (\text{樹高}) + b$	—	1.4316	1.1431	0.634	2.0584	1.202	0.2464
立木密度 = $a \times b^{\text{DBH}}$	特	2529.05	0.9477	2375.666	0.9463	3206.867	0.9306
	1	2201.074	0.952			3121.255	0.9307
	2	2037.202	0.9553			2229.315	0.967
	3	1892.894	0.9586			2155.612	0.9746

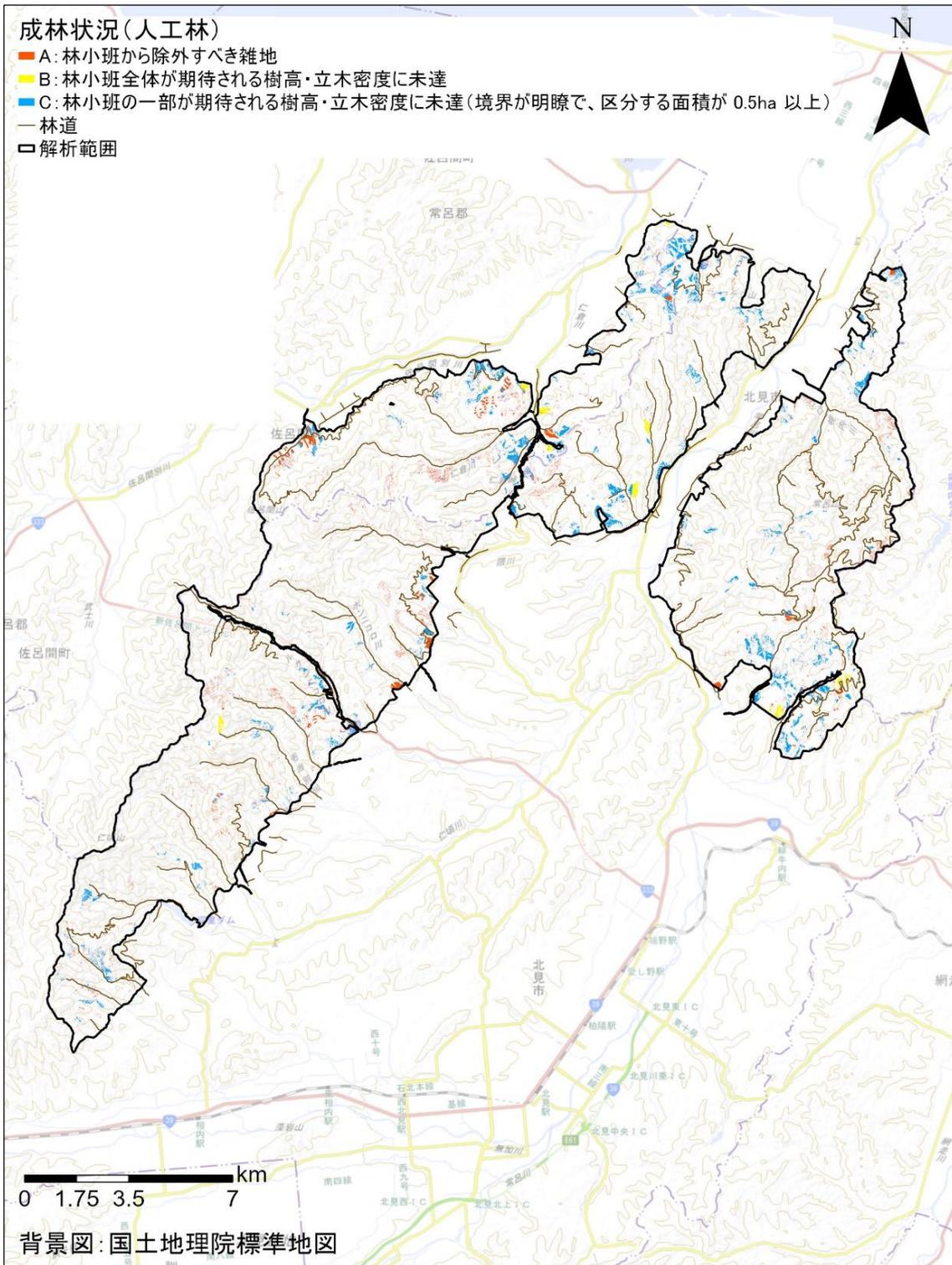


図 3-68 成林状況_人工林 (網走中部)

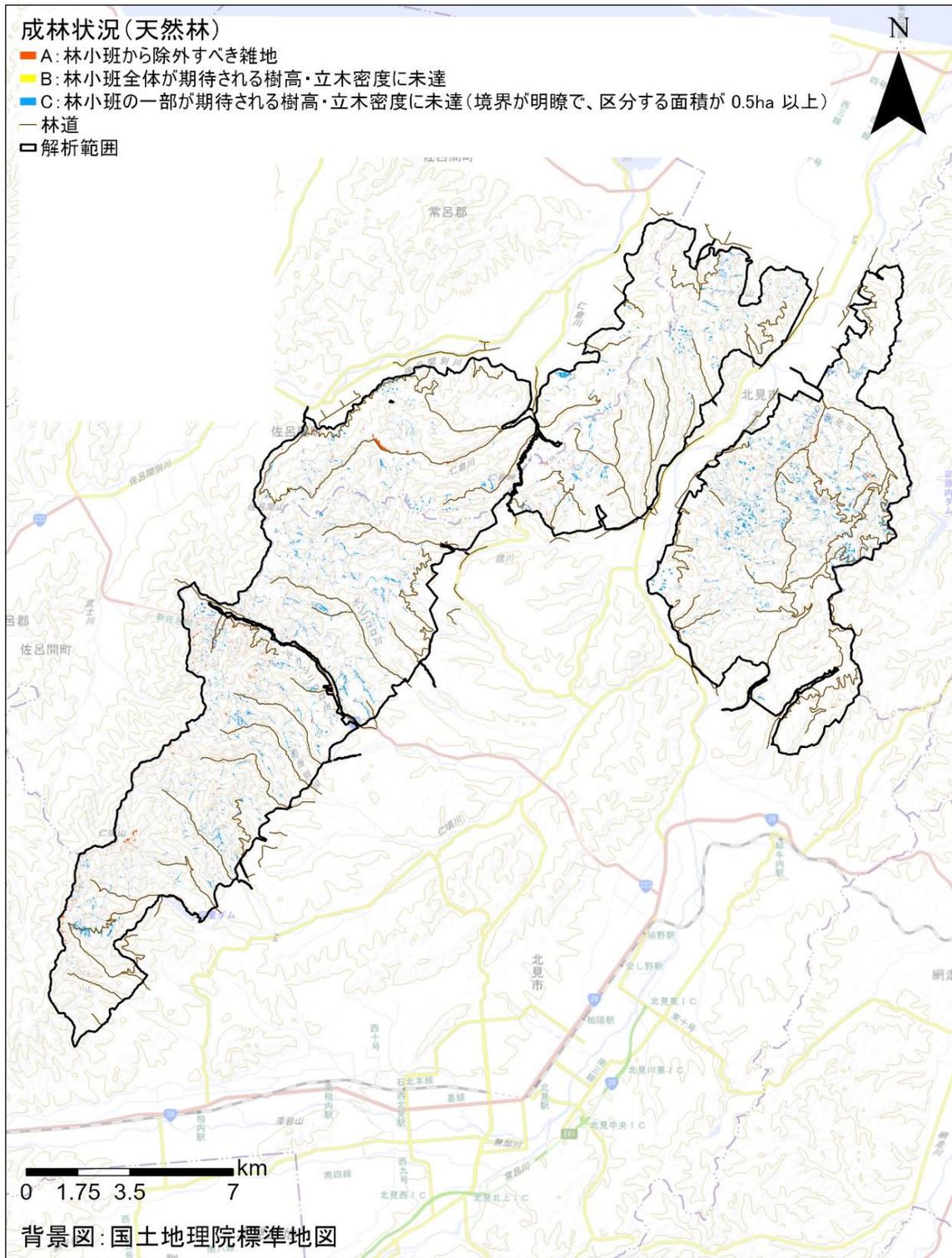


図 3-69 成林状況_天然林 (網走中部)

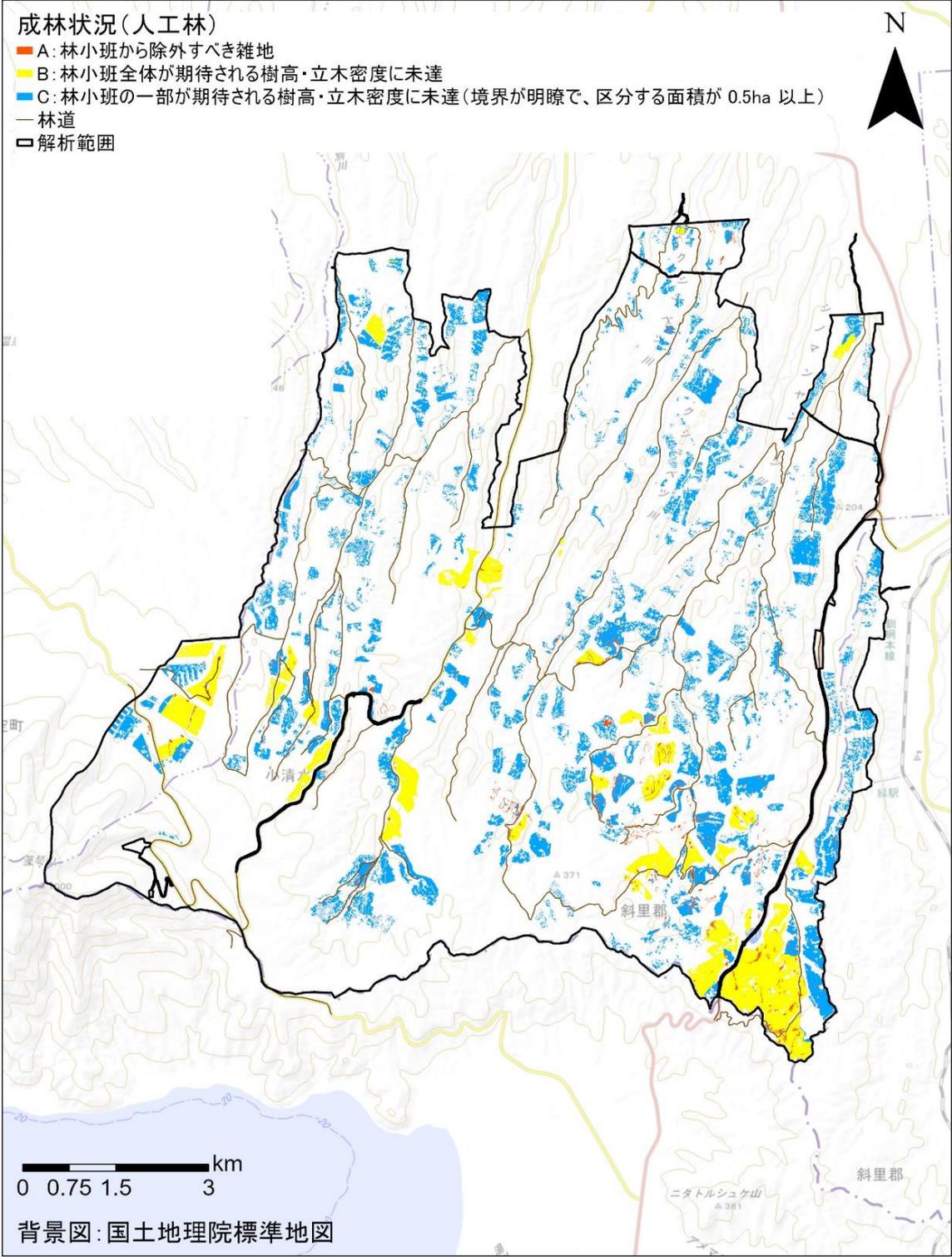


図 3-70 成林状況_人工林 (網走南部)

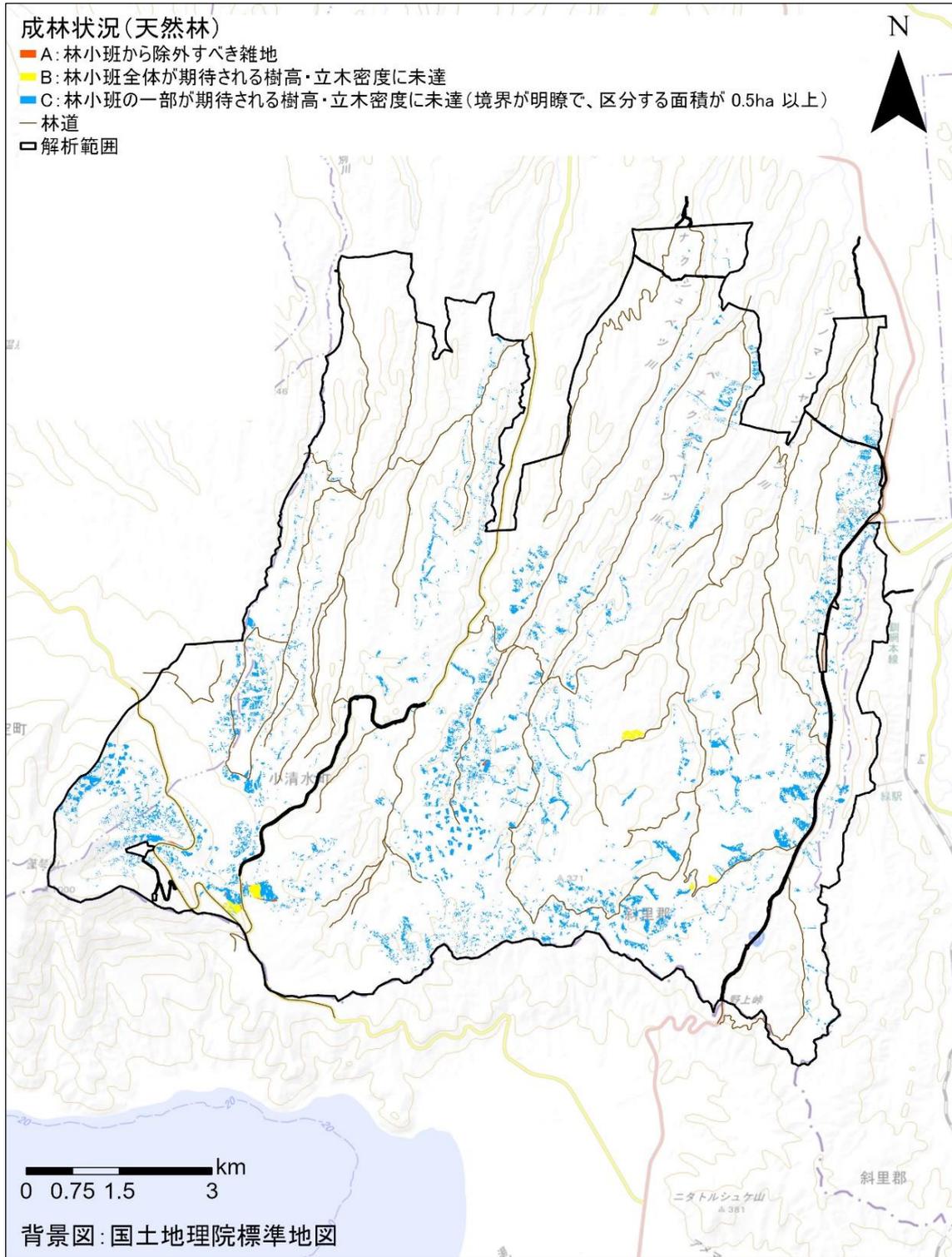


図 3-71 成林状況_天然林 (網走南部)

3-4-2 森林調査簿更新資料の作成

森林調査簿情報のうち、樹種、樹高、成立本数及び蓄積等の森林資源解析結果から更新することが可能な情報を整理した。整理した項目を表 3-39 に示す。これらの項目を対象に森林調査簿更新資料を作成した。なお、情報の整理は樹種をトドマツ、エゾマツ、カラムツとし、林齢 21 年生以上を対象とした。森林調査簿更新資料の属性表を表 3-40 に示す。林齢は森林調査簿の林齢に 2 を足し、地位を推定する際に利用した、航空レーザ計測年の令和 4 年度の林齢とした。

また、本資料と樹種・成林状況の整理結果を踏まえ、小班の統合・分割等の再区画の可否を検討した。小班の分割が必要な例を図 3-72 に示す。樹種の整合が C の小班のうち、成林状況が A のポリゴンおよび、新植地、未立木地が 0.5 ha 以上のポリゴンがある小班を対象に再区画を行った。更新資料はエクセルデータ、再区画区域についてはポリゴンデータとして整備した。

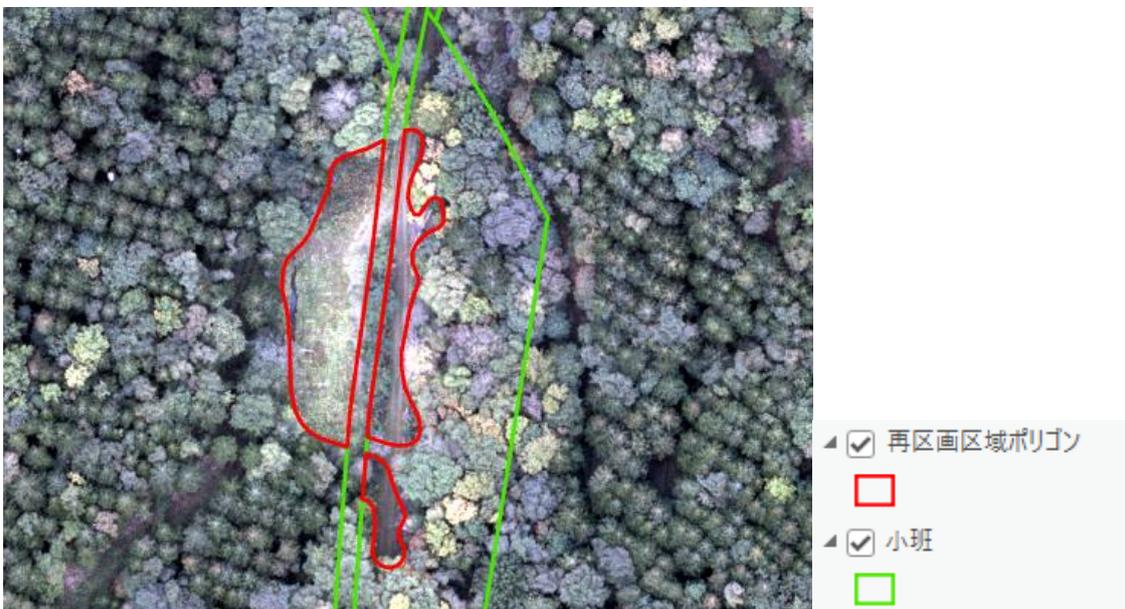


図 3-72 再区画区域ポリゴンの例

表 3-3 9 森林資源解析結果から更新することが可能な情報の整理

森林調査簿記載項目	更新可否								
小班検索文字列	-	保安区 6	-	混交歩合_6_樹種	-	本数H_4_樹種	○	現等級 1	○
森林管理局	-	面積区 6	-	混交歩合_7_樹種	-	本数H_5_樹種	○	現等級 2	○
森林管理署	-	雑面積 6	○	混交歩合_8_樹種	-	本数H_6_樹種	○	現等級 3	○
官造地	-	林種	-	混交歩合_9_樹種	-	本数H_7_樹種	○	将等級 1	-
林班	-	林種細分	-	混交歩合_10_樹種	-	本数H_8_樹種	○	将等級 2	-
小班	-	林相	○	混交歩合_11_樹種	-	本数H_9_樹種	○	将等級 3	-
森林計画	-	立木度	-	混交歩合_12_樹種	-	本数H_10_樹種	○	将歩合 1	-
担当区	-	疎密度	-	混交歩合_13_樹種	-	本数H_11_樹種	○	将歩合 2	-
県市町村	-	樹種_1_樹種	○	混交歩合_14_樹種	-	本数H_12_樹種	○	将歩合 3	-
国有林名等	-	樹種_2_樹種	○	混交歩合_15_樹種	-	本数H_13_樹種	○	現在地利	*
要存置	-	樹種_3_樹種	○	面積歩合_1_樹種	○	本数H_14_樹種	○	将来地利	-
対象森林	-	樹種_4_樹種	○	面積歩合_2_樹種	○	本数H_15_樹種	○	傾斜	*
樹立小班	-	樹種_5_樹種	○	面積歩合_3_樹種	○	材積H	-	土壌型	-
山地災害	-	樹種_6_樹種	○	面積歩合_4_樹種	○	総材積_1_樹種	○	地質	-
水源涵養	-	樹種_7_樹種	○	面積歩合_5_樹種	○	総材積_2_樹種	○	有効深度	-
快適環境	-	樹種_8_樹種	○	面積歩合_6_樹種	○	総材積_3_樹種	○	局所地形	-
保健文化	-	樹種_9_樹種	○	面積歩合_7_樹種	○	総材積_4_樹種	○	土性	-
木材生産	-	樹種_10_樹種	○	面積歩合_8_樹種	○	総材積_5_樹種	○	堆積型	-
機能類型	-	樹種_11_樹種	○	面積歩合_9_樹種	○	総材積_6_樹種	○	下層積生	*
施業群	-	樹種_12_樹種	○	面積歩合_10_樹種	○	総材積_7_樹種	○	下層被度	*
国土保全	-	樹種_13_樹種	○	面積歩合_11_樹種	○	総材積_8_樹種	○	下層高さ	-
保護林	-	樹種_14_樹種	○	面積歩合_12_樹種	○	総材積_9_樹種	○	林区区分	-
レコの森	-	樹種_15_樹種	○	面積歩合_13_樹種	○	総材積_10_樹種	○	林型層構造	-
公益区分	-	NL区分_1_樹種	○	面積歩合_14_樹種	○	総材積_11_樹種	○	森林帯	-
林地保全	-	NL区分_2_樹種	○	面積歩合_15_樹種	○	総材積_12_樹種	○	標高	*
公益施業	-	NL区分_3_樹種	○	林齢_1_樹種	-	総材積_13_樹種	○	温湿指数	-
搬出特定	-	NL区分_4_樹種	○	林齢_2_樹種	-	総材積_14_樹種	○	降水量	-
保安林 1	-	NL区分_5_樹種	○	林齢_3_樹種	-	総材積_15_樹種	○	林道距離	-
保安林 2	-	NL区分_6_樹種	○	林齢_4_樹種	-	成長量_1_樹種	-	方位	*
保安林 3	-	NL区分_7_樹種	○	林齢_5_樹種	-	成長量_2_樹種	-	風衝害	-
保安林 4	-	NL区分_8_樹種	○	林齢_6_樹種	-	成長量_3_樹種	-	雪害	-
法令等 1	-	NL区分_9_樹種	○	林齢_7_樹種	-	成長量_4_樹種	-	霜害	-
法令等 2	-	NL区分_10_樹種	○	林齢_8_樹種	-	成長量_5_樹種	-	基本図番号	-
法令等 3	-	NL区分_11_樹種	○	林齢_9_樹種	-	成長量_6_樹種	-	写真番号	-
法令等 4	-	NL区分_12_樹種	○	林齢_10_樹種	-	成長量_7_樹種	-	調査方法	○
法令等 5	-	NL区分_13_樹種	○	林齢_11_樹種	-	成長量_8_樹種	-	備考 1	-
法令等 6	-	NL区分_14_樹種	○	林齢_12_樹種	-	成長量_9_樹種	-	備考 2	-
法令等 7	-	NL区分_15_樹種	○	林齢_13_樹種	-	成長量_10_樹種	-		
契約等 1	-	点被_1_樹種	-	林齢_14_樹種	-	成長量_11_樹種	-		
契約等 2	-	点被_2_樹種	-	林齢_15_樹種	-	成長量_12_樹種	-		
契約等 3	-	点被_3_樹種	-	胸高直径_1_樹種	○	成長量_13_樹種	-		
契約等 4	-	点被_4_樹種	-	胸高直径_2_樹種	○	成長量_14_樹種	-		
公園等	-	点被_5_樹種	-	胸高直径_3_樹種	○	成長量_15_樹種	-		
国立名称	-	点被_6_樹種	-	胸高直径_4_樹種	○	成長率_1_樹種	-		
国定名称	-	点被_7_樹種	-	胸高直径_5_樹種	○	成長率_2_樹種	-		
県立名称	-	点被_8_樹種	-	胸高直径_6_樹種	○	成長率_3_樹種	-		
レコ名称	-	点被_9_樹種	-	胸高直径_7_樹種	○	成長率_4_樹種	-		
保護林名	-	点被_10_樹種	-	胸高直径_8_樹種	○	成長率_5_樹種	-		
縁の回廊	-	点被_11_樹種	-	胸高直径_9_樹種	○	成長率_6_樹種	-		
世界遺産名	-	点被_12_樹種	-	胸高直径_10_樹種	○	成長率_7_樹種	-		
伐採方法	-	点被_13_樹種	-	胸高直径_11_樹種	○	成長率_8_樹種	-		
権裁指定	-	点被_14_樹種	-	胸高直径_12_樹種	○	成長率_9_樹種	-		
限度面積	-	点被_15_樹種	-	胸高直径_13_樹種	○	成長率_10_樹種	-		
施業方法	-	層区分_1_樹種	-	胸高直径_14_樹種	○	成長率_11_樹種	-		
施業細分	-	層区分_2_樹種	-	胸高直径_15_樹種	○	成長率_12_樹種	-		
長期育成	-	層区分_3_樹種	-	樹高_1_樹種	○	成長率_13_樹種	-		
林地区分	-	層区分_4_樹種	-	樹高_2_樹種	○	成長率_14_樹種	-		
林地面積	-	層区分_5_樹種	-	樹高_3_樹種	○	成長率_15_樹種	-		
保安区 1	-	層区分_6_樹種	-	樹高_4_樹種	○	伐年度主	-		
雑面積 1	○	層区分_7_樹種	-	樹高_5_樹種	○	主伐採方法	-		
保安区 2	-	層区分_8_樹種	-	樹高_6_樹種	○	主伐採率	-		
面積区 2	-	層区分_9_樹種	-	樹高_7_樹種	○	主伐採材積	-		
雑面積 2	○	層区分_10_樹種	-	樹高_8_樹種	○	主伐採面積	-		
保安区 3	-	層区分_11_樹種	-	樹高_9_樹種	○	伐年度間	-		
面積区 3	-	層区分_12_樹種	-	樹高_10_樹種	○	間伐採率	-		
雑面積 3	○	層区分_13_樹種	-	樹高_11_樹種	○	間伐採材積	-		
保安区 4	-	層区分_14_樹種	-	樹高_12_樹種	○	間伐採面積	-		
面積区 4	-	層区分_15_樹種	-	樹高_13_樹種	○	更新年度	○		
雑面積 4	○	混交歩合_1_樹種	-	樹高_14_樹種	○	現樹種 2	-		
保安区 5	-	混交歩合_2_樹種	-	樹高_15_樹種	○	現樹種 3	-		
面積区 5	-	混交歩合_3_樹種	-	本数H_1_樹種	○	将樹種 1	-		
雑面積 5	○	混交歩合_4_樹種	-	本数H_2_樹種	○	将樹種 2	-		
		混交歩合_5_樹種	-	本数H_3_樹種	○	将樹種 3	-		

○：更新可能な項目

*：航空レーザデータから更新可能だが本業務では解析していない項目

表 3-40 森林調査簿更新資料の属性表

森林調査簿記載項目
小班検索文字列
森林管理局
森林管理署
官造地
林班
小班
森林計画
担当区
縣市町村
国有林名等
雑面積
林相
樹種
NL区分
面積歩合
林齡*
胸高直径
樹高
本数H
総材積
更新年度
現等級
調査方法

*地位を推定している場合に林齡を記載

3-4-3 マニュアルの更新・拡充

本業務での解析成果、発注者からのフィードバックを踏まえ、中部森林管理局発注「令和4年度航空レーザを活用した森林資源調査実証業務（森林資源解析等）」で作成したマニュアルの更新・拡充を行った。発注者への聞き取りならびに北海道の森林の特徴に合わせて作成した。聞き取り結果の概要を以下に示す。

■実施日

- ・ 第1回目：2023年12月11日（月）
- ・ 第2回目：2024年1月11日（木）
- ・ 第3回目：2024年1月25日（木）

■聞き取り結果（概要）

- ・ 間伐する・しないの選定を行ったあと、間伐林の蓄積量を推定する流れをマニュアルに追加してほしい
- ・ 資源解析成果を利用して類似林分を把握し、効率的に収穫調査地点を選定することを目的として、立木本数、混交割合、蓄積等で似ている林分を色付けする方法や、林業適地診断のように点数付けをして色分けする方法等を記載してほしい
- ・ QGISの利用が進んでいることから、ArcGIS版については更新・拡充の対象外で問題ない
- ・ マニュアルは、QGISのLTR版（3.28.4版）を前提とすること

■更新・拡充内容（概要）

- ・ 既存マニュアルの「6.4 航空レーザ森林資源解析成果を活用した間伐・主伐箇所抽出の検討」を「6.4 航空レーザ森林資源解析成果を活用した間伐・主伐箇所抽出の検討～施業履歴を活用する方法～」とし、「6.5 航空レーザ森林資源解析成果を活用した間伐・主伐箇所抽出の検討～林業適地・荒廃林から特定する方法～」を追加した
- ・ 巻末に「9. 収穫調査への活用」、「10. 標準地調査への活用」を新たに追加した

3-5 森林資源解析結果の分析等

3-5-1 航空レーザによる地位推定と蓄積比較

森林資源解析結果を用いて、上層木平均樹高、林齢から地位を推定し、森林調査簿更新資料として取りまとめ、森林調査簿の地位と比較・分析した。対象樹種は、トドマツ及びビカラムツとした。林齢は森林調査簿の林齢に2を足し、航空レーザ計測年である令和4年度の林齢とした。

① 林小班・林相区分ごとの地位区分図の作成

地位の推定は、林相区分ごとに行い、林相区分ポリゴンの属性値として整理するとともに、地位区分図を作成し、Geotiff形式等のファイル形式で保存した。

② 20m グリッドごとの地位分布図の作成

併せて、単木解析結果と林小班情報とを組み合わせ地位分布を推定した。地位分布は、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、周囲のグリッドから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分布図を生成し、林相区分図等と同様に Geotiff 形式等のファイル形式で保存した。地位分布図の配色は発注者と協議し決定した。地位分布図は、狭域（グリッド単位）と広域（林小班単位）で作成し、狭域と広域の双方が読み取れるように整備した。

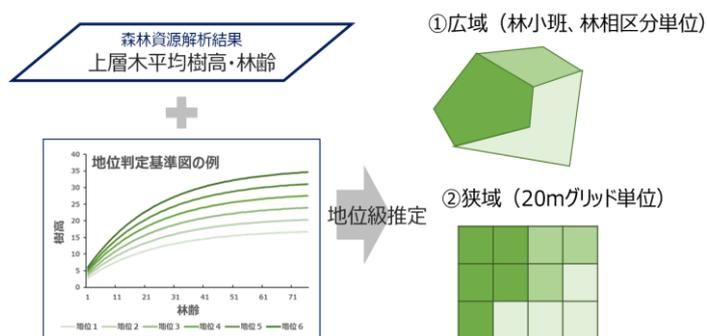


図 3-73 地位推定のイメージ図

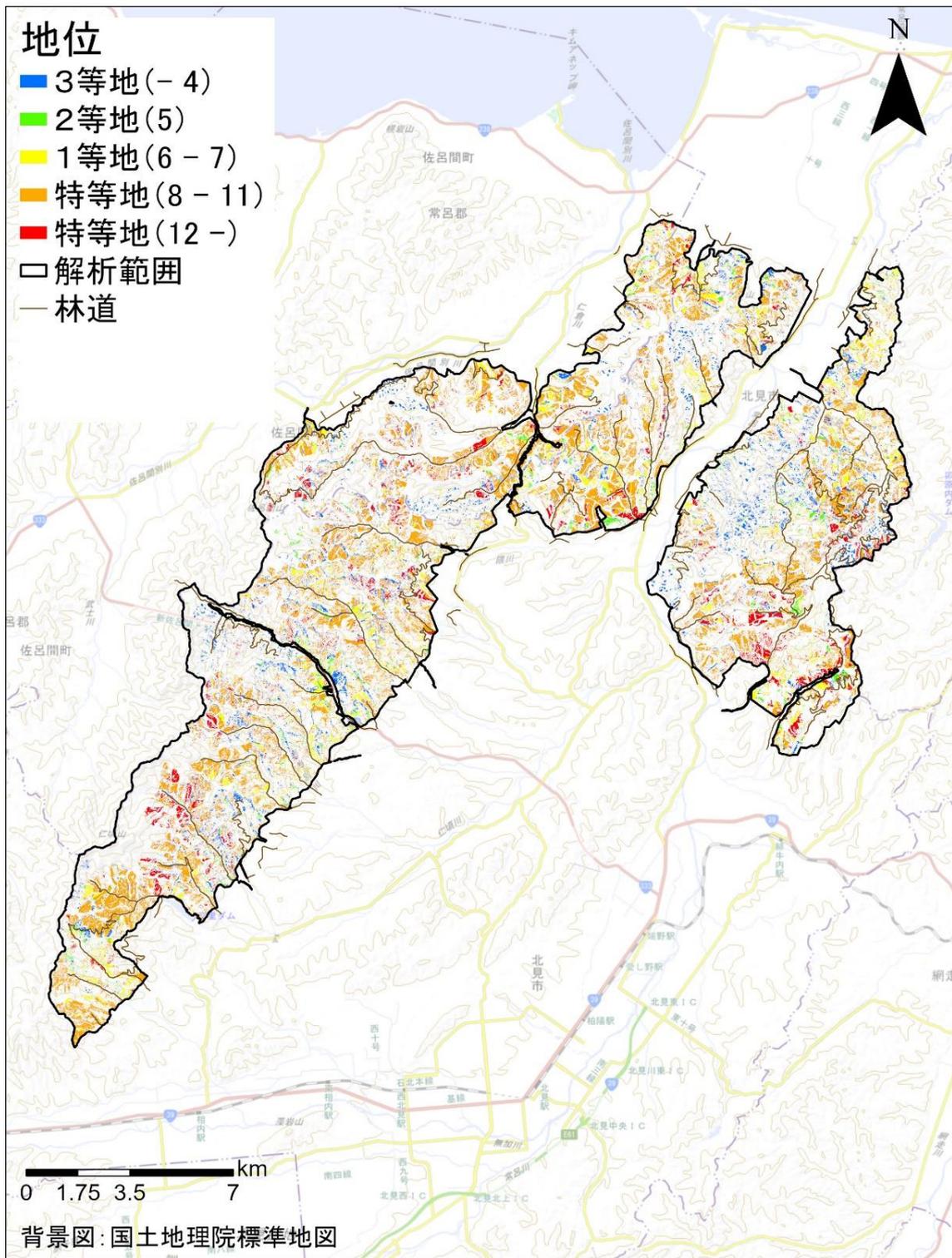


図 3-74 地位区分図(網走中部)

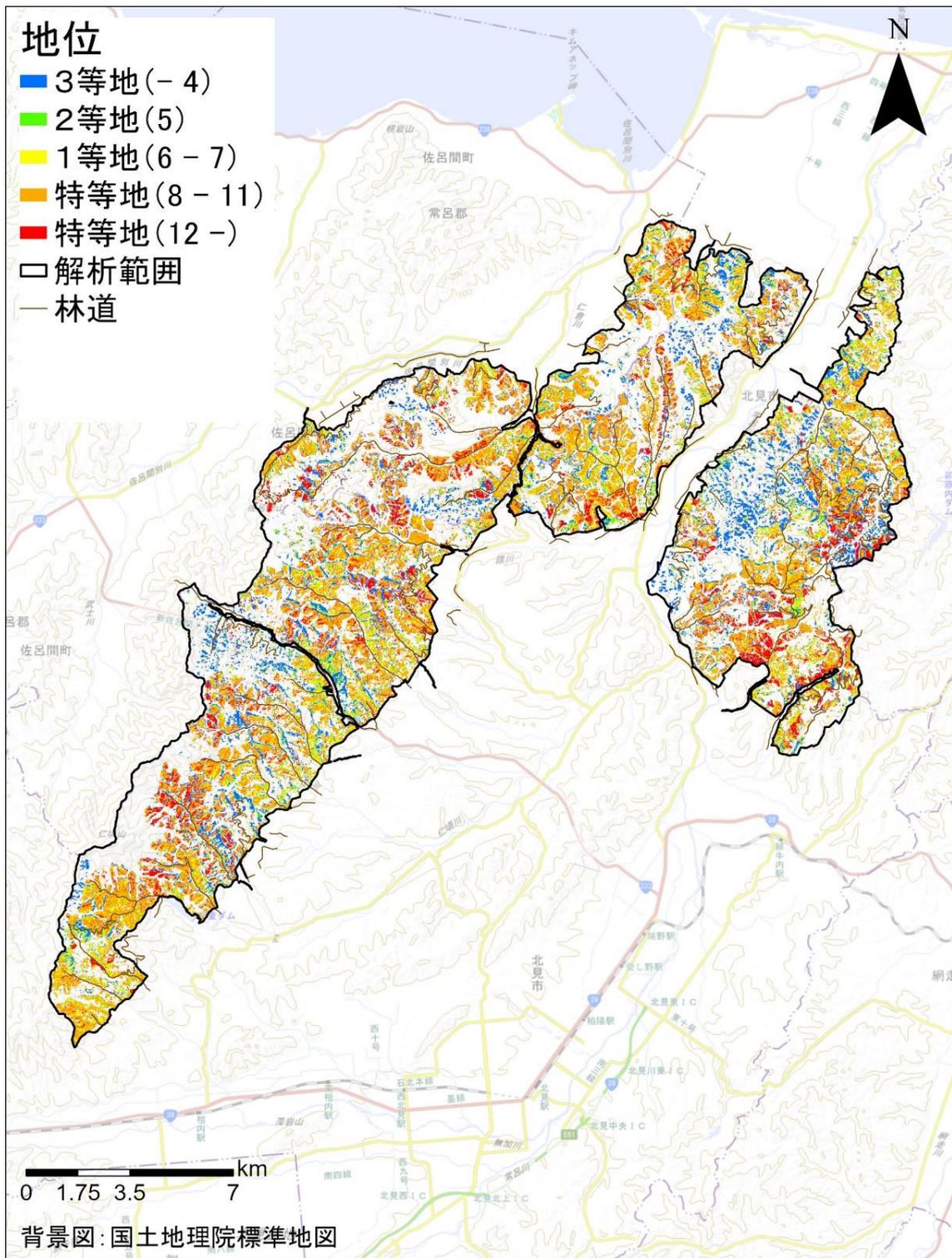


図 3-75 20m メッシュ地位分布図 (網走中部)

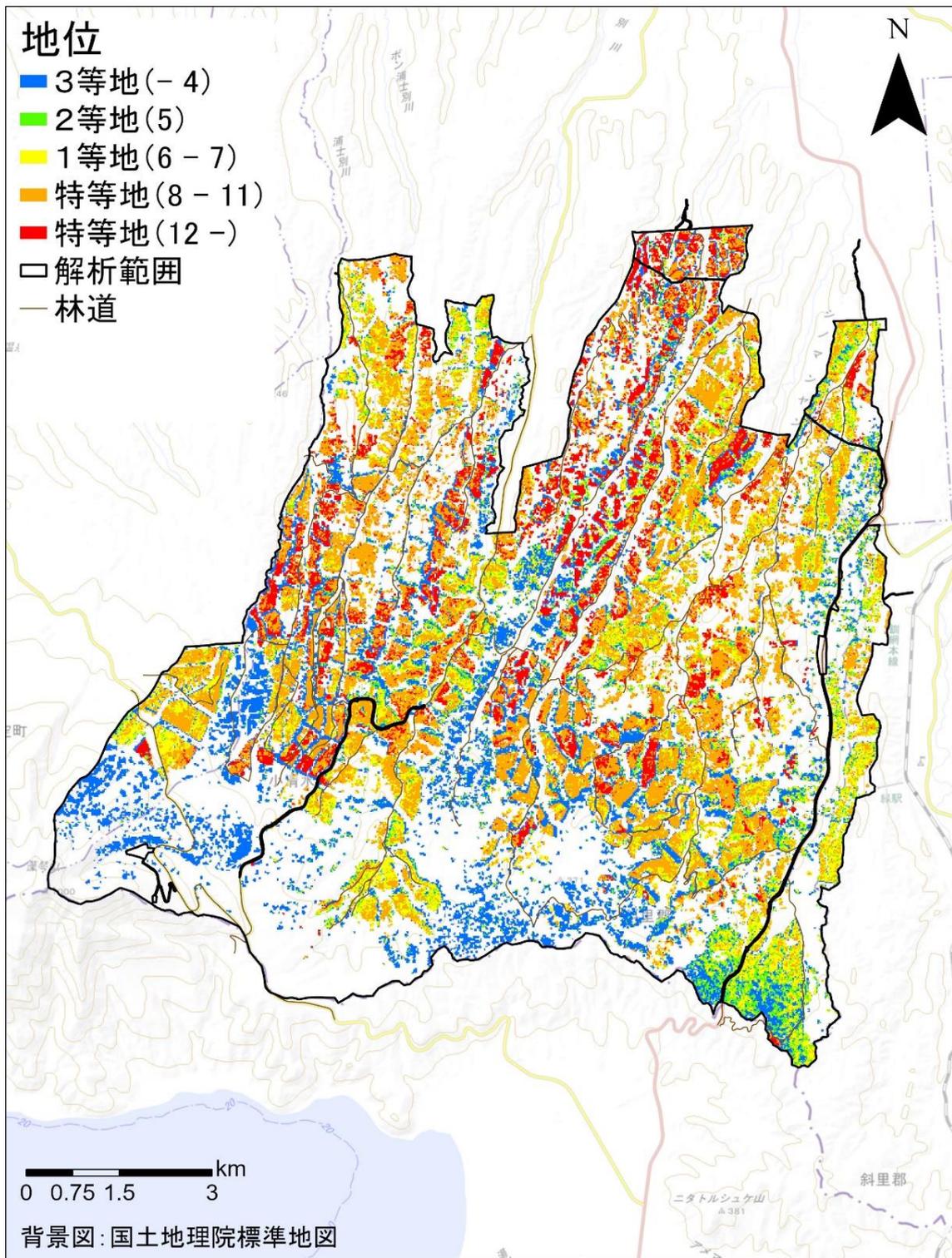


図 3-77 20m メッシュ地位分布図 (網走南部)

③ 収穫予想表からの蓄積推定と検証

森林調査簿とレーザ解析の樹種が一致したポリゴンの地位の比較結果を表 3-4 1、表 3-4 2 に示す。トドマツ、カラマツともに、航空レーザにより地位推定の結果が森林調査簿の地位より上回っていた。特に森林調査簿で地位 5～7 が、再推定の結果地位 10～12 と判定されているケースが多かった。

表 3-4 1 トドマツの地位の比較

航空レーザによる地位推定																		
森林調査簿の地位		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	総計	
	1		11	33	63	41	17	6	11	7	1	2	1					193
	2	3	4	11	20	24	17	30	21	20	28	15	17	8			39	257
	3				4	7	15	15	10	24	39	23	20	16	7	115		295
	4	1		1	19	40	90	168	246	363	471	357	260	195	95	199		2505
	5	6	5	7	23	65	166	269	530	792	985	870	676	503	280	877		6054
	6	1	6	3	33	85	225	465	582	780	852	780	624	411	223	466		5536
	7	5	2	6	38	67	161	299	421	514	508	428	308	206	139	346		3448
	8	12	1	6	18	22	100	207	282	381	423	386	276	149	104	216		2583
	9	5		1	24	71	174	275	301	285	236	208	106	26	9	22		1743
	10	4	1			7	11	26	33	45	30	25	10	3		2		197
	11	1			1	2	4	4	6	3	4	8	7	1	1	3		45
	12				2	2	9	29	28	15	25	18	9	1	2			
	13																	0
	14																	
	15																	
	総計	38	30	68	245	433	989	1793	2471	3229	3602	3120	2314	1519	860	2285		22996

表 3-4 2 カラマツの地位の比較

航空レーザによる地位推定																		
森林調査簿の地位		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	総計	
	1									1	8	3	2	2	1			17
	2						2	6	10	13	9	11	4	6	1	9		71
	3								3	1	4	2	4	3	5	7		29
	4					1		2	17	36	54	53	53	26	22	19		283
	5				1	1	8	8	58	89	97	117	103	54	30	30		596
	6					2	3	17	41	86	113	155	131	78	40	47		713
	7		1			5	5	36	119	205	181	190	148	85	63	93		1131
	8				1	2	3	14	32	62	74	89	66	38	30	45		456
	9							6	20	42	34	24	13	10	16	27		192
	10					1	1	2	6	20	19	6	7	9				71
	11								1	3	4	1	2					11
	12																	
	13																	0
	14																	
	15																	
	総計	0	1	0	2	12	22	91	308	565	592	650	533	310	207	277		3570

航空レーザ解析結果で推定した地位を収穫予想表に当てはめることで蓄積を算出した。また、算出結果を、森林調査簿に記録された蓄積、森林資源解析から推定された蓄積、現地調査から推定された蓄積と比較した。比較結果を表 3-4 3、図 3-78、図 3-79 に示す。誤差率、AIC、RMSE とともに LiDAR の推定結果の方が現地調査結果に近い結果となった。収穫予想表から推定した場合、特に高蓄積の林分で現地との乖離が大きくなっている。一方で、特にトドマツにおいては、収穫予想表の上限以下では比較的当てはまりの良い結果になっている。

表 3-4 3 蓄積量の比較結果

樹種	LiDAR 推定			収穫予想表 推定		
	誤差率	AIC	RMSE	誤差率	AIC	RMSE
トドマツ	21%	346	97	30%	375	160
カラマツ	15%	163	104	17%	164	106

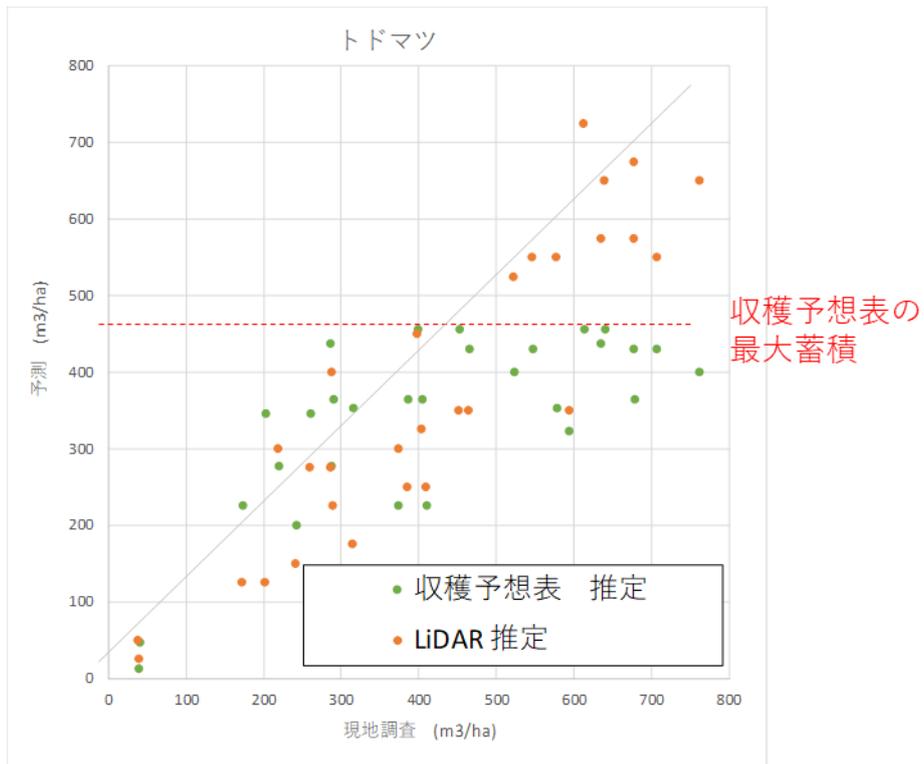


図 3-78 蓄積の比較 (トドマツ)

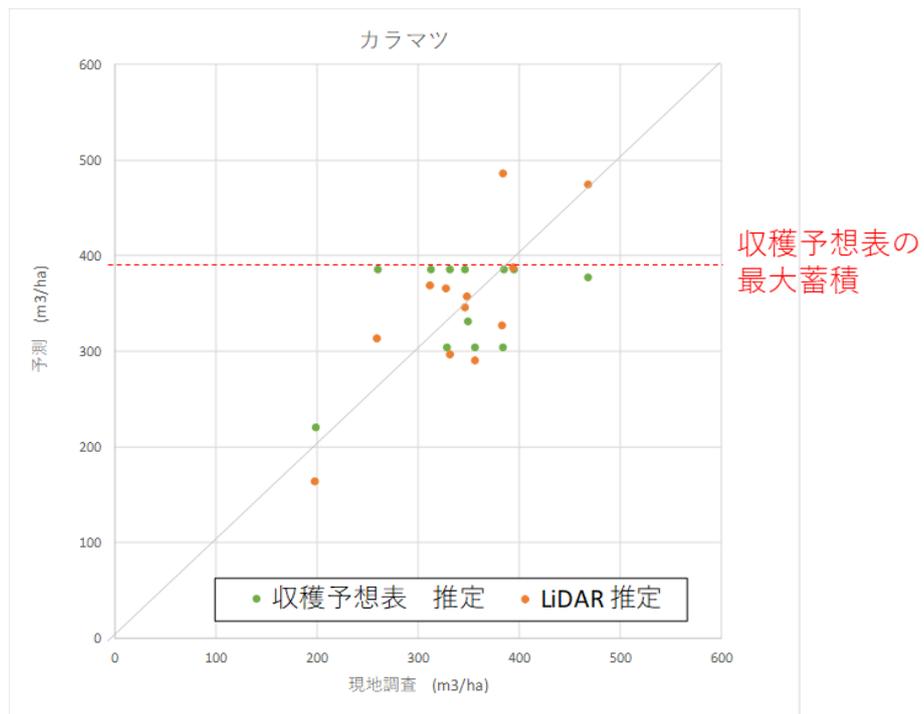


図 3-79 蓄積の比較 (カラマツ)

3-5-2 既存樹高曲線との比較検証

既存の樹高曲線は回帰分析での誤差を伴うものの、樹高と胸高直径の関係を表している。そこで、樹高曲線表の樹高と胸高直径から DBH 推定式を作成した。作成した DBH 推定式を図 3-80、図 3-81、図 3-82 に示す。

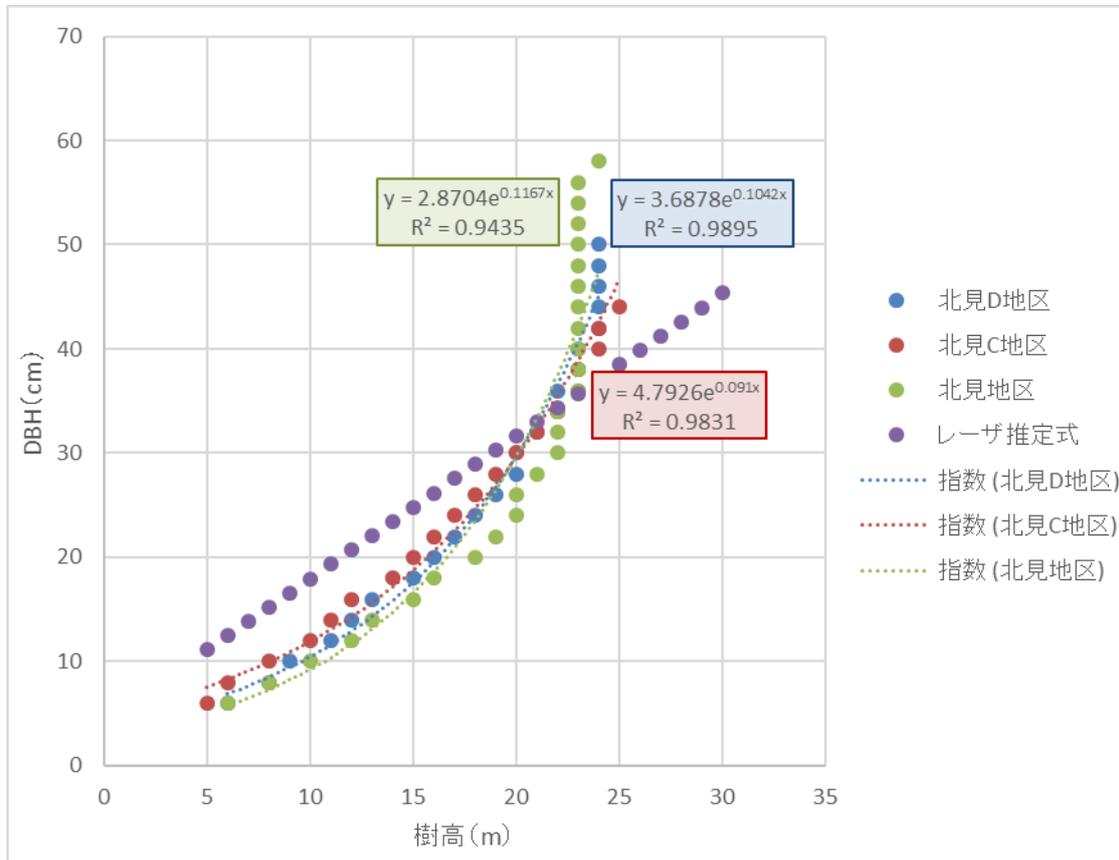


図 3-80 樹高曲線表から作成した DBH 推定式 (トドマツ)

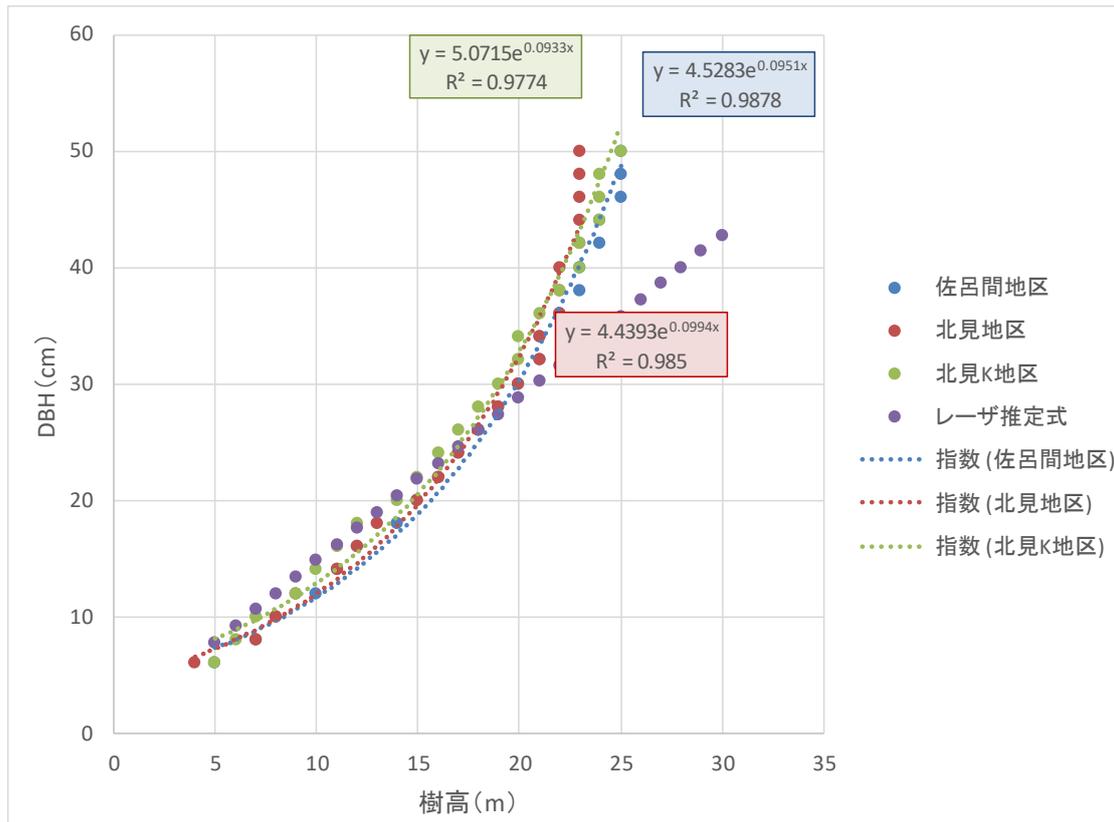


図 3-81 樹高曲線表から作成した DBH 推定式 (エゾマツ)

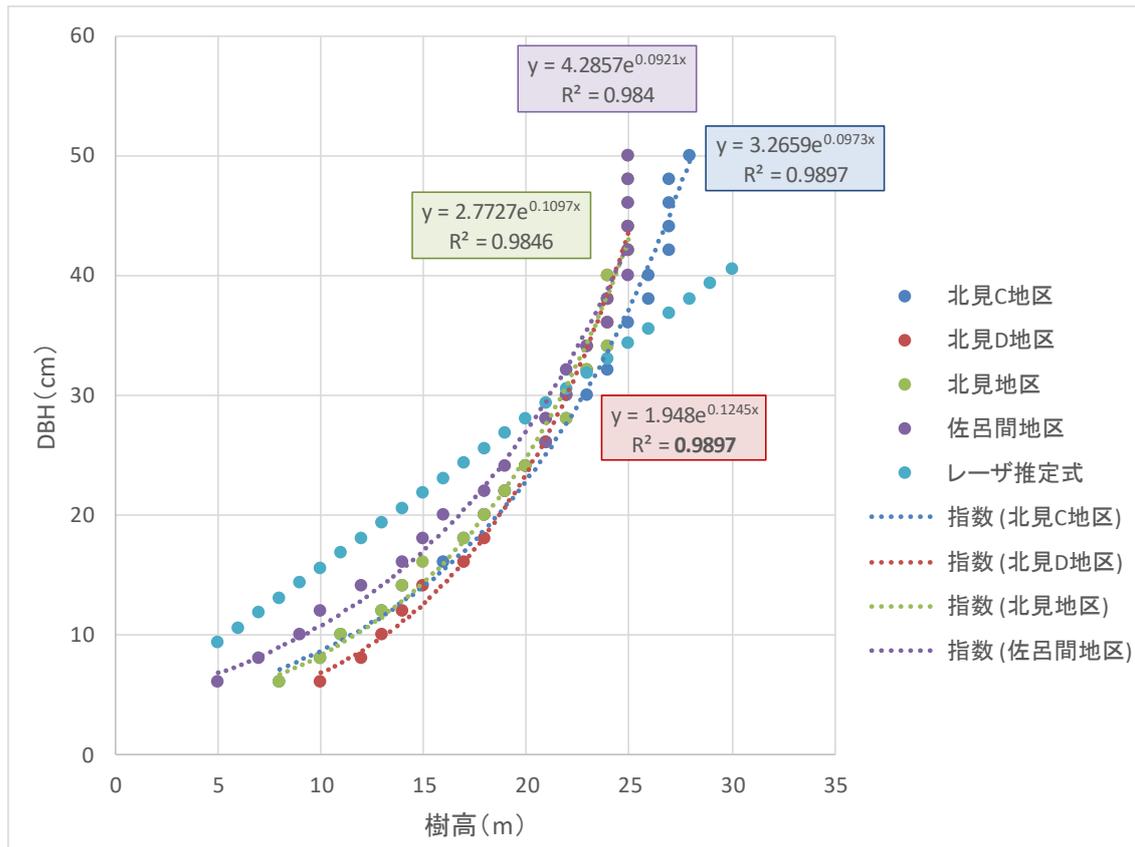


図 3-82 樹高曲線表から作成した DBH 推定式 (カラマツ)

次に、担当区毎に上記式を用いて、航空レーザで推定した樹高から胸高直径を推定した場合の精度、誤差の大きさと傾向を分析した。結果を表 3-4 4、図 3-83、図 3-84、図 3-85 に示す。いずれの樹種においても、樹高曲線を使用した場合、樹高曲線表の最大樹高を超えると誤差が大きくなっており、樹高曲線表から作成した胸高直径推定式の外挿の影響が表れていると考えられる。このことから、現状の樹高曲線表では現地調査によらず回帰式を作成するのは難しいと言える。

表 3-4 4 DBH 推定精度の比較結果

樹種	LiDAR 推定			樹高曲線 推定		
	誤差率	AIC	RMSE	誤差率	AIC	RMSE
エゾマツ	9%	78	3.30	33%	136	16.96
トドマツ	10%	143	3.34	26%	191	9.15
カラマツ	14%	82	5.29	45%	134	21.91

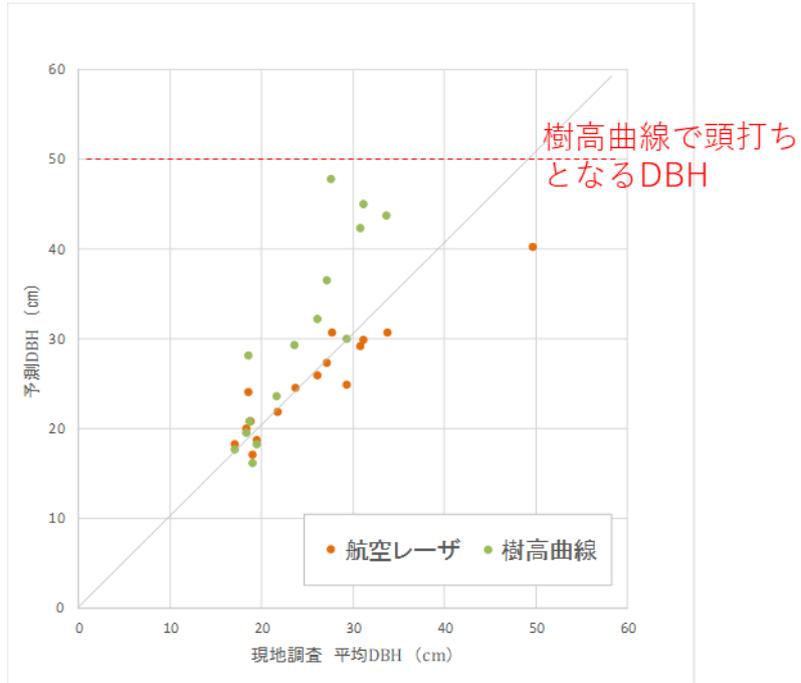


図 3-83 DBH 推定値の比較 (エゾマツ)

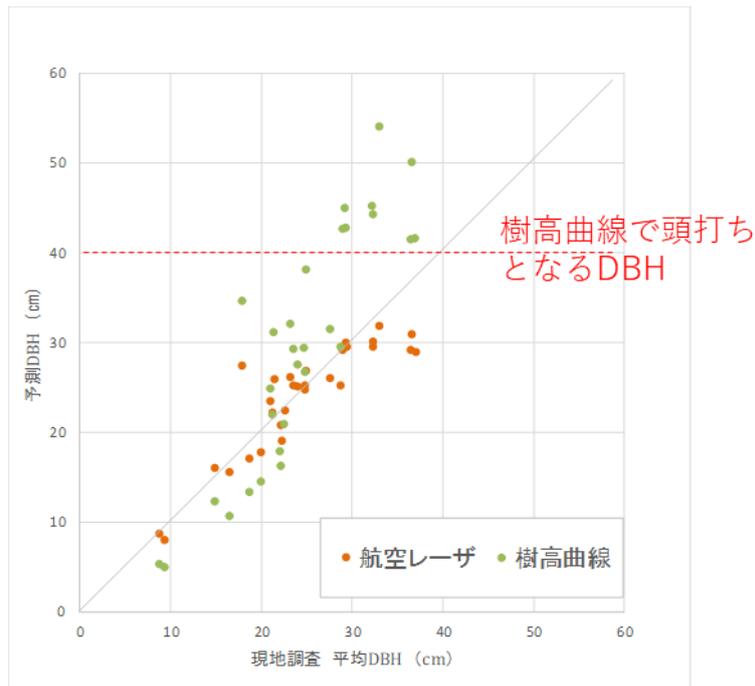


図 3-84 DBH 推定値の比較 (トドマツ)

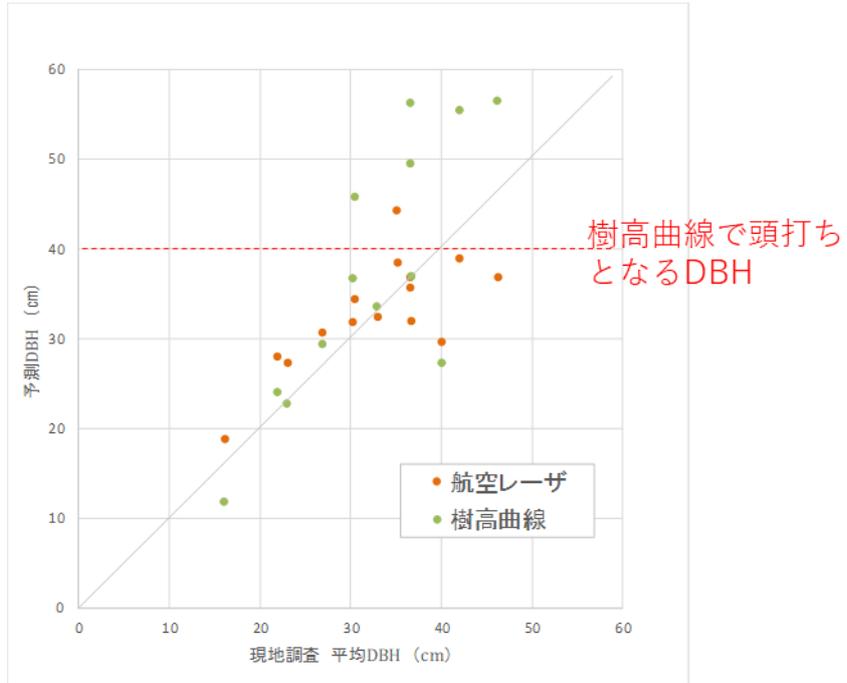


図 3-85 DBH 推定値の比較 (カラマツ)

3-6 本業務における解析図データファイル等の作成

数値地形図データファイル等を作成するとともに、現地調査結果、作業記録、精度管理表等を作成した。ファイル名及び格納データのフォルダ構造は、公共測量作業規程の準則等の関連規定を参考に、明確なルールに基づいて整理した。

表 3-45 成果一覧表

成果品一覧表	
・樹冠表層モデル (DCSM) データ	・森林資源集計エクセルデータ
・樹冠高 (DCHM) データ	・林相区分図
・解析範囲ポリゴンデータ	・樹高区分図
・林相区分ポリゴンデータ	・立木密度分布図
・単木解析データ (ポイント)	・蓄積分布図
・単木解析データ (エクセル)	・収量比数分布図
・森林資源集計ポリゴンデータ	・地位区分図

3-7 森林資源情報解析の高度化に向けた提案

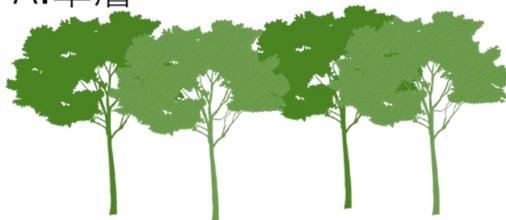
本事業での検討を踏まえ、森林整備・保育・生産事業等の効率化に資する森林資源情報解析の高度化に向けた、今後の検討項目を以下に提案する。

3-7-1 森林資源情報解析の高度化に向けた提案

1) 広葉樹・混交林の蓄積推定の高度化

広葉樹・混交林は、樹冠が明瞭でなく樹頂点を抽出することが難しいため、林分ごとの空間体積から蓄積を推定する「総体積法」をベースに蓄積を推定している。総体積法の回帰式は、DCHM データから得られた空間体積と現地調査で得られた蓄積から作成する。そのため、例えば、図 3-86 に示したような林分では、総体積法を使用した場合、平均樹高が同じ、つまり空間体積が同じになるため推定される蓄積は同じとなる。一方で、実際の林分では単層の林分に比べ、林内に中間層の立木が存在する多層の林分の方が ha 当たりの蓄積は高くなる。航空レーザデータから広葉樹および混交林の蓄積推定精度をあげるためには、林分構造をレーザデータより把握することで、推定精度を高められる可能性があると考えられる。

A: 単層



B: 多層 (Multi-layer forest)



樹高（総体積）	$A = B$
推定ha当たり蓄積	$A = B$
現実林分ha当たり蓄積	$A < B$

図 3-86 単層林と多層林における樹高と蓄積の関係

2) 航空レーザによる地位の推定と蓄積推定の向上

3-5-1では、航空レーザ解析結果で得られた上層木の樹高と、森林調査簿から得られた林齢を使用し、地位を推定したうえで、これを収穫予想表に当てはめることで蓄積を算出した。その結果、収穫予想表から推定した場合、特に高蓄積の林分で現地との乖離が大きくなっており、これは、収穫予想表の蓄積の上限を超える林分が現地で確認されたためである。一方で、上限以下では比較的あてはまりが良かったことから、以下の方法で収穫予想表を補正することで、蓄積の推定精度が上がる可能性があると考えられる。

【収穫予想表の補正方法の案】

1. 航空レーザ解析結果で得られた上層木の樹高と森林調査簿から得られた林齢を使用し地位を推定する
2. 1で推定した地位毎に現地調査を実施する。対象は高齢林分とし、調査地点の選定の際は、航空レーザ結果で得られた上層木の樹高や林冠投影面積等を参考に、選定する
3. 収穫予想表と2で推定した結果を使用し、地位毎に林齢からha当たりの蓄積を推定する回帰式を作成する（回帰式のイメージは表 3-38）

3-8 森林資源解析結果活用に向けた講習会

3-8-1 講習会の概要

昨年度の中部森林管理局発注「令和4年度 航空レーザを活用した森林資源調査実証業務（森林資源解析等）」で作成したマニュアル等を活用し、以下のとおり講習会を実施した。

■ 開催概要

共催：北海道森林管理局，国際航業

日時：2月6日（火）13:00～17:00

開催形式：Teams

■ 登壇者

国際航業株式会社 RSソリューション部 森林チーム

栗屋善雄、前田佳子、上野操子

■ タイムテーブル

No	項目	内容		開始 ～ 終了		
1	開会	1-1	開会挨拶	13:05	～	13:10
		1-2	話題提供「国有林野事業における航空レーザ成果の活用にむけて」	13:10	～	13:15
		1-3	事業概要説明	13:15	～	13:20
		1-4	次第、配布資料確認	13:20	～	13:25
2	基礎と概要	2-1	航空レーザ計測の基礎	13:25	～	13:40
		2-2	森林資源解析の概要	13:40	～	14:25
		2-3	森林資源解析の活用事例	14:25	～	15:00
		2-4	質疑応答及び休憩	15:00	～	15:15
3	操作講習	3-1	操作実習説明	15:15	～	15:20
		3-2	間伐・主伐箇所検討方法	15:20	～	16:00
		3-3	収穫調査・標準地調査への適用	16:00	～	16:40
		3-4	オープンデータのご紹介	16:40	～	16:45
		3-5	質疑応答	16:45	～	16:55
4	閉会	4-1	閉会挨拶	16:55	～	17:00

3-8-2 アンケート調査結果

令和5年度航空レーザを活用した森林資源調査実証業務（森林資源解析等）森林資源解析結果活用に向けた講習会（航空レーザ計測の基礎・森林資源解析の概要）の参加者は121名（Teams講習者リストによる把握人数）であり、アンケートの回答者数は30名で回答率は25%であった。下記の表にアンケート調査結果を示す。

研修内容は理解できたかについては、よく理解できた17%、理解できた57%、どちらともいえない20%、あまり理解できない3%、理解できなかったが3%であった。また、研修内容は難しいと感じたかとの問いでは、適切が37%、やや難しい57%、難しい7%であった。

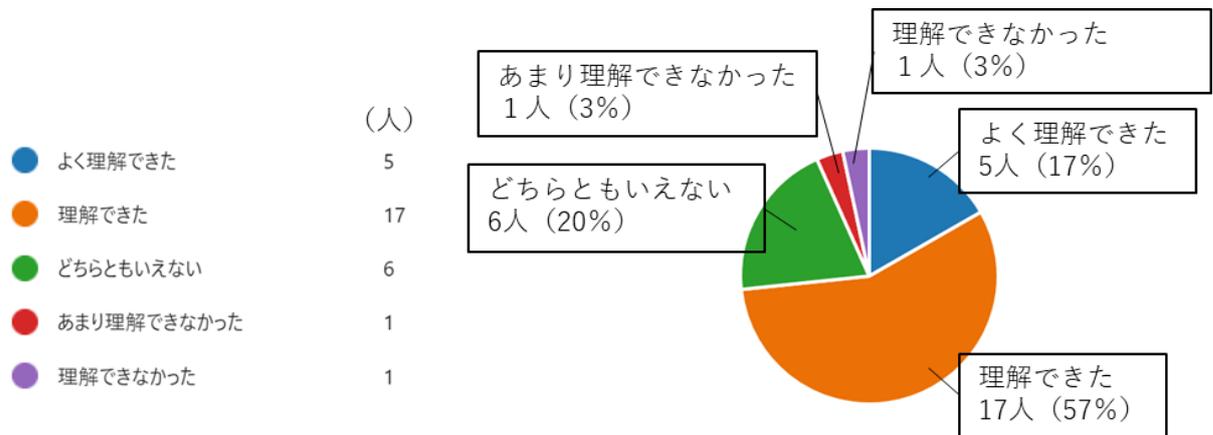


図 3-87 研修内容は理解できましたか？に対する回答

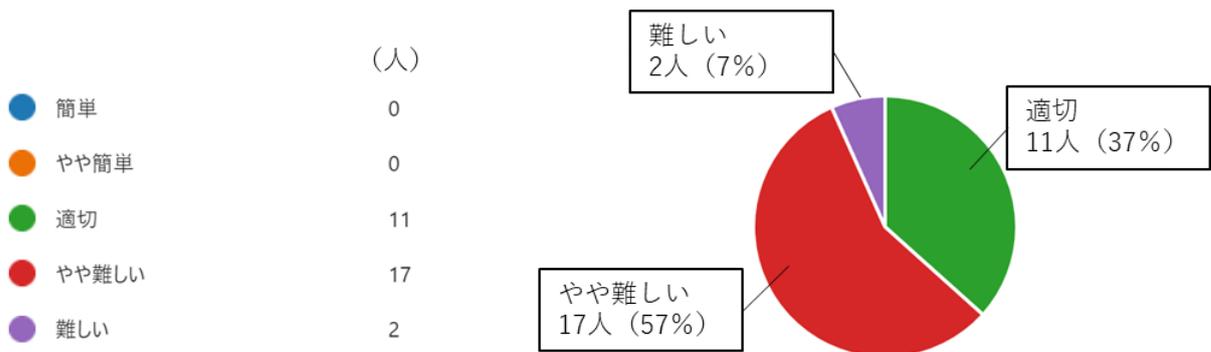


図 3-88 研修内容は難しいと感じましたか？に対する回答

航空レーザ計測の基礎・森林資源解析の概要については、満足40%、やや満足47%、やや不満13%、満足・やや満足の理由として、基礎から実務上の問題まで多岐にわたる内容が網羅されていたとの回答であった。やや不満の回答としては、専門用語が多く難しかったとの回答であった。この結果、87%の研修者が航空レーザ計測の基礎・森林資源解析の概要に満足していることが分かった。

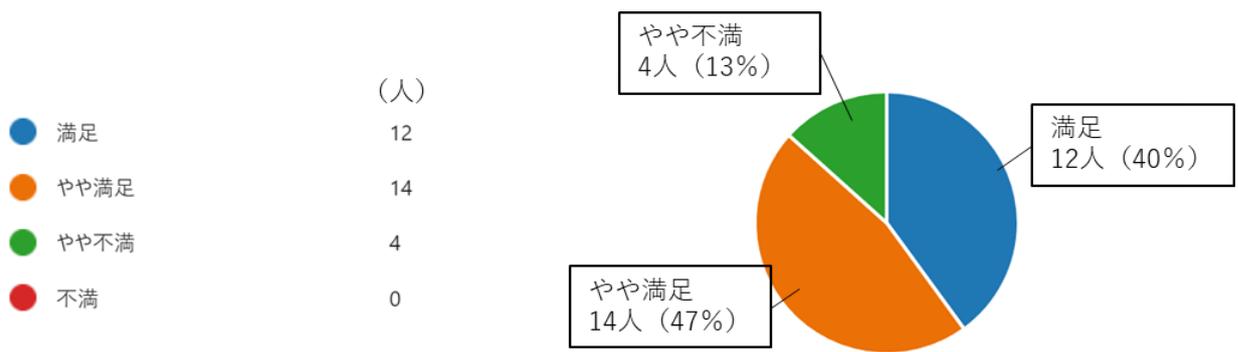


図 3-89 航空レーザの基礎と概要についての回答

次に、GIS 操作研修については、満足 33%、やや満足 33%、やや不満 27%、不満 7%、満足・やや満足の理由として、全体フローや手順を確認しつつの進行で分かりやすかった。今後活用できそうな手法だったとの回答をいただき、60%の受講者が満足していることが分かる。

一方で、やや不満の回答としては、流れが速く追いつけなかったとの回答をいただいた。また、研修内容について改善してほしい点で、時間が足りない、ペースをゆっくりにして欲しい、初心者むけの講義もお願いしたい等の意見をいただいた。

今回の操作研修では、GIS が使用できる方を対象としており、GIS 初心者は進行が早く追いつけなかった可能性がある。また、今回、操作研修では、追いつけなかった方や質問がある方を対象に、サブルームを設けサポート体制を整えていたが、利用する方はいなかった。このことから、本講習では、航空レーザ計測の基礎・森林資源解析の概要と GIS 研修を併せて講習会を実施したが、例えば、別日に設定し GIS 研修はもう少し時間を長くとりマニュアルを見返す時間等を確保した方が良いかもしれない。

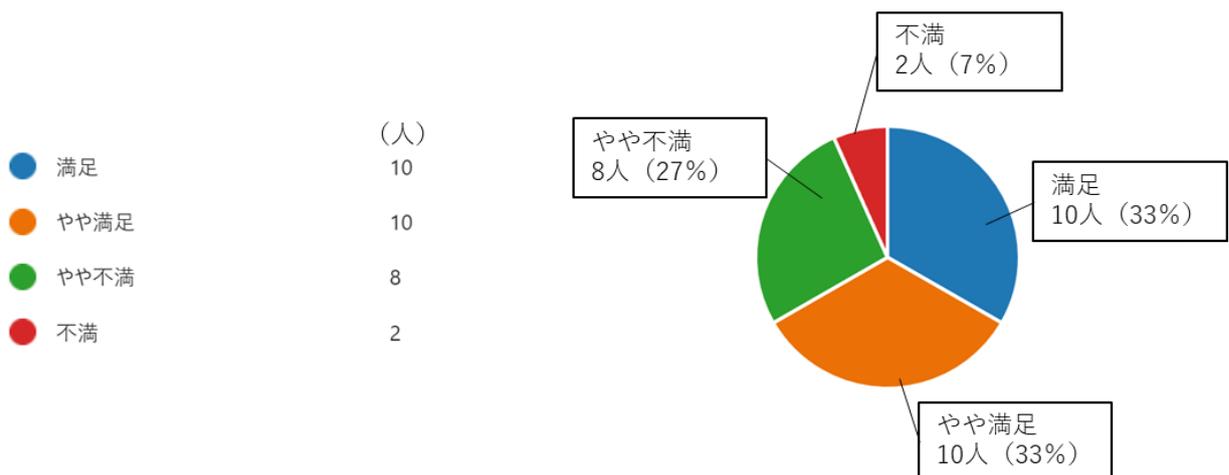


図 3-90 GIS 操作研修についての回答

追加またはより詳しく説明してほしい内容としては以下のご意見を頂いた。

- 解析データの作成方法（例：オルソ画像から解析データを作成する手法のヒント）
- 収穫調査の襲用のようなニーズに基づいた講習を引き続き行ってほしい
- 広葉樹のデータはどのような形式でどのように利用するか
- 森林調査（収穫調査・標準値調査）と単木調査（例：蓄積推定と樹高・樹冠から銘木等の天然木の把握）
- 航空レーザ測量と地上での森林調査の比較

また、積極的に行いたい作業内容については、森林資源量の把握が最も多く、次いで森林調査簿の修正、施業実施箇所の把握が続いており、昨年度の講習会と同様の傾向となっている。

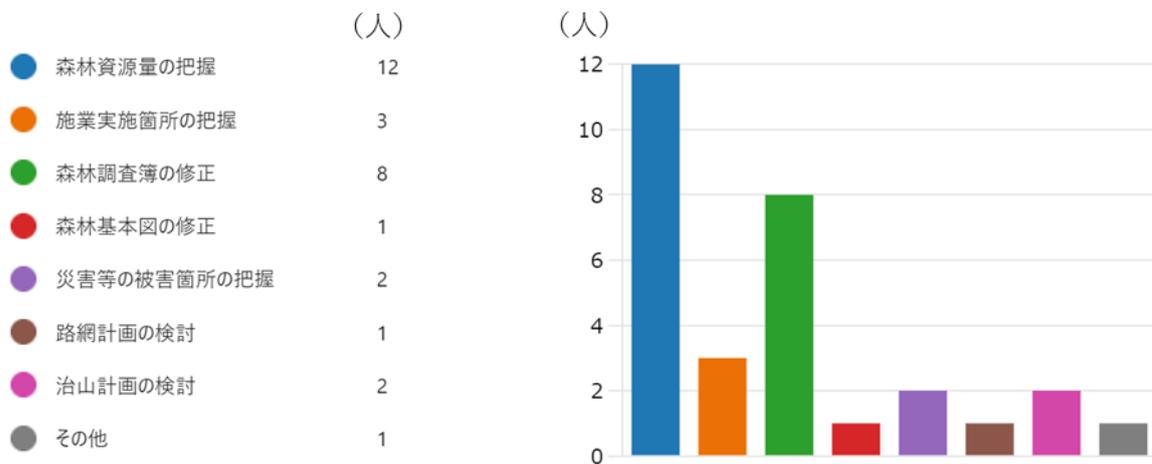


図 3-91 詳しく説明してほしい内容についての回答

3-9 業務報告書の作成

内容・結果を取りまとめ、業務報告書を作成した。

3-9-1 報告書

報告書には、全体索引図（図郭割図）及び各種解析・表現図等作成のパラメータシート等を含め4部（A4版）作成した。

3-9-2 電磁記録媒体資料

以下を格納したHDDを3部納入した。なお、納入する電磁記録媒体資料は、ウイルスチェックを行い、ウイルスチェックに関する情報ウイルス対策ソフト名、定義ファイルのバージョン、チェック年月日等を記載したラベルを添付して提出した。

- ① 調査報告書の電子データ（PDF形式）
- ② 数値地形図等データファイル
 - 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
 - 単木解析データ（ポイント）
 - 単木解析データ（エクセル）
 - 森林資源集計ポリゴンデータ
 - 森林資源集計エクセルデータ
 - 林相区分ポリゴンデータ
 - 樹高区分図データ
 - 立木密度分布図データ
 - 蓄積分布図データ
 - 収量比数分布図データ
 - 地位区分図データ
 - 森林資源解析現地調査等データ、調査票、写真
- ③ 検証作業の成果物
 - 林小班・林相区分の樹種・成林状況整理データ
 - 森林調査簿更新資料データ
- ④ 格納データリスト
- ⑤ 図郭割図（インデックス）
- ⑥ 作業記録
- ⑦ 打合せ協議簿
- ⑧ 格納データリスト

4. 作業体制

表 4-1 実施体制表

役割	担当者名	所属/役職	資格
管理技術者	真砂 陽太郎	RS ソリューション部 リモートセンシングG 森林チーム (チームリーダー)	技術士 (森林/林業・林産) 測量士 地理空間情報専門技術者 (GIS1 級)
照査技術者	今井 靖晃	RS ソリューション部 (部長)	空間情報総括監理技術者 技術士 (総合技術監理/建設・建設環境)、測量士
レビューワー	栗屋 善雄	技術顧問 岐阜大学 特任教授	農学博士
担当技術者	前田 佳子	RS ソリューション部 リモートセンシングG 森林チーム	森林情報士 (森林リモートセンシング 技術者 1 級) 林業技師、測量士補
担当技術者	永田 早希		技術士補 (森林) 測量士補
担当技術者	上野 操子		森林情報士 (森林 GIS 2 級) 地理空間情報認定資格 初級技術者
担当技術者	中沖 元哉		修士卒 (森林・環境資源科学専攻)
営業責任者	鈴木 桂司		北海道支店 支店長
営業担当者	近藤 真衣	北海道支店	