

4. 森林解析業務

航空レーザ計測により取得したデータを用いて、森林資源情報解析を行い、立木本数や樹高、胸高直径、材積、収量比数などの森林資源情報を整理し、GISデータとしてとりまとめた。

4.1 解析の事前準備

森林資源解析を行うにあたり、既存のオープンデータをもとに樹種別の若齢林・壮齢林・高齢林の分布状況等を確認した。具体的には国土交通省の『国土数値情報ダウンロードサイト』や『G空間情報センター』で公開されるデータを活用して情報を収集した。

4.2 樹冠高 DCHM データの作成

4.2.1 樹冠高データの作成方法

航空レーザ計測では、1点のレーザパルスの照射に対し1回もしくは複数回の反射が得られる。これは、上空から照射された1点のレーザパルスは拡散し、地表面に到達する時、直径23cm程度の円形となり、その円形の中で一部が地表面の物体に反射し、残りのレーザ光がさらにその下層の別の物体で反射することがあるためである。レーザパルス反射のイメージ図を図4-1に示す。

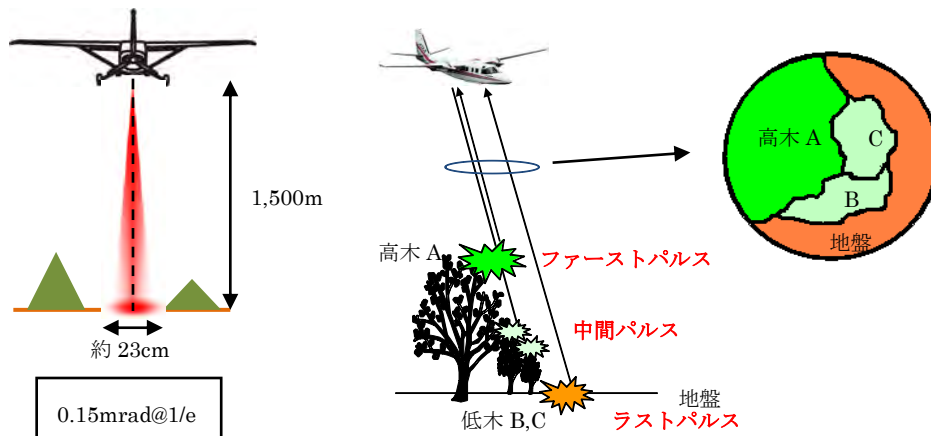


図 4-1 レーザパルス反射のイメージ図

1回もしくは複数回の反射のうち、最初の反射はファーストパルスデータ、最後の反射はラストパルスデータ、その他のデータは中間パルスデータと呼ばれる。レーザパルス1点の内で反射したファーストパルスデータは対応するラストパルスデータに比べ相対的に高い標高を示すデータとなる。本業務での林内の断面図を図4-2に示す。

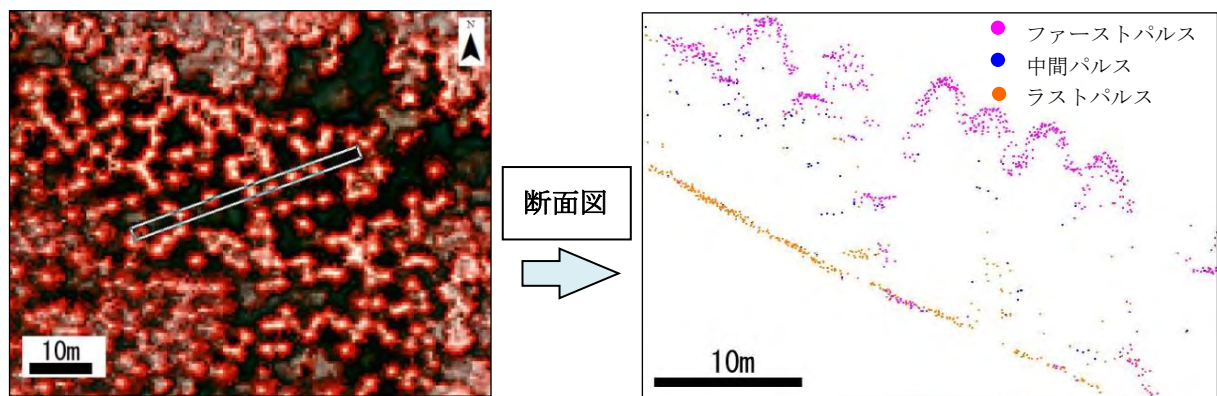


図 4-2 点群の断面図

ファーストパルスデータには、樹冠表層面以外で反射したレーザパルス（たとえば、高圧鉄塔や電線、もしくは空気中のちり・水蒸気）等の外れ値も含まれる。樹木の解析のためには、樹冠表層面のみの高さが必要であるため、ファーストパルスデータから樹冠表層面以外を除去する処理を行った。

まず、高圧鉄塔や電線等、樹冠よりも上部で反射したレーザパルスについて、作業用に作成した林冠表層の赤色立体地図を用いて確認し除去した。次いで、作業用に作成した林冠表層の赤色立体地図を用いて目視確認により AI 処理で残存した樹冠よりも上部の反射レーザパルスを除去した。さらにエラー等の外れ値を取り除くため、それぞれのレーザパルスについて周囲のレーザ反射パルスと高さを比較し、大きく異なる場合は除去を行った。これらの処理を行うことにより、樹冠表層面の高さ精度の向上を図った。除去処理前後のファーストパルスデータの標高図と断面図を図 4-3 に示す。

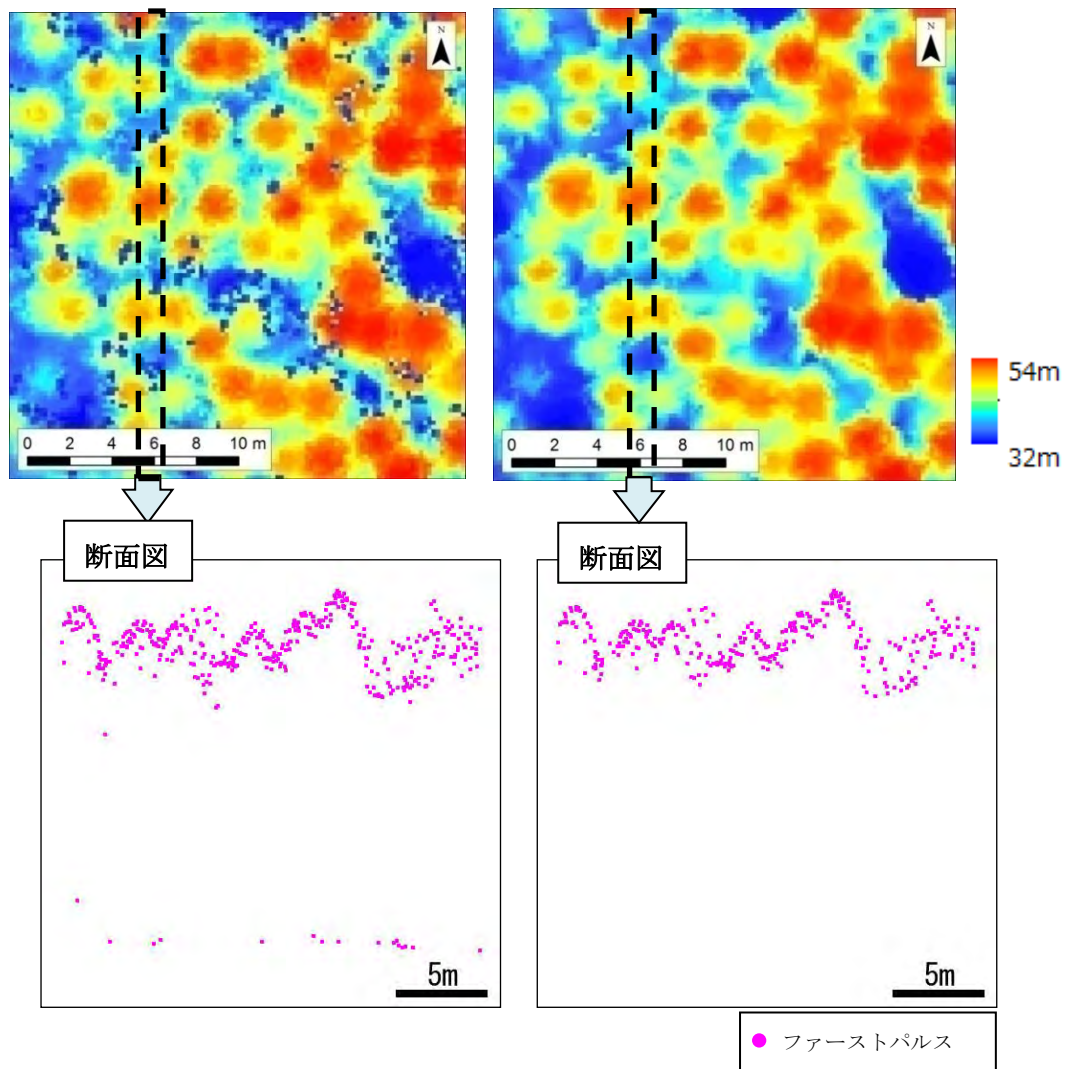


図 4-3 除去処理前後のファーストパルス（左：除去前 右：除去後）

除去処理を行ったファーストパルスデータを TIN 補間でメッシュ化することにより 50cm 間隔の DCSSM (Digital Canopy Surface Model : 樹冠表層モデル) を作成した。その後、DCSSM と 50cm 間隔の DEM との差分をとることで、樹冠部の高さを表す 50cm 間隔の DCHM (Digital Canopy Height Model : 樹冠高モデル) を作成した。同じ範囲の DCSSM、DEM、DCHM の 3D モデルとそれぞれの標高段彩図および断面のイメージを図 4-4 に示す。

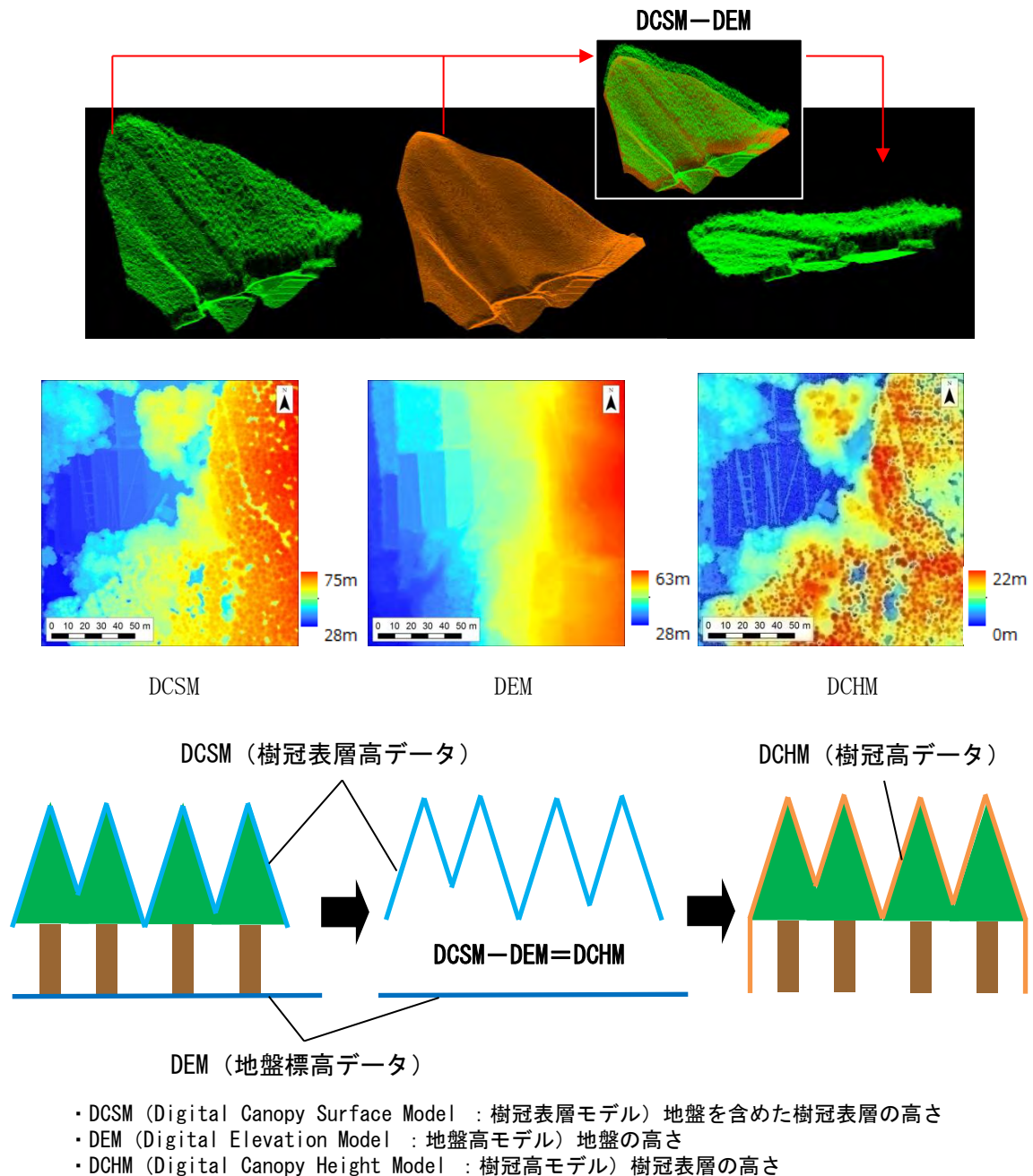


図 4-4 DCSSM、DEM、DCHM と標高段彩図

4.2.2 樹高区分図

樹冠高データについて高さごとに色を割り付けることで樹高区分図を作成した。樹高区分図データとオルソ画像を比較した拡大図を図 4-5 に、作成した樹高区分図の全体図を図 4-6、図 4-7 に、市町村別の図を図 4-8～図 4-17 に示す。栃木県範囲においては既往成果との整合のため測量区域外も含めた形で整備し、茨城県については測量区域のみの整備とした。

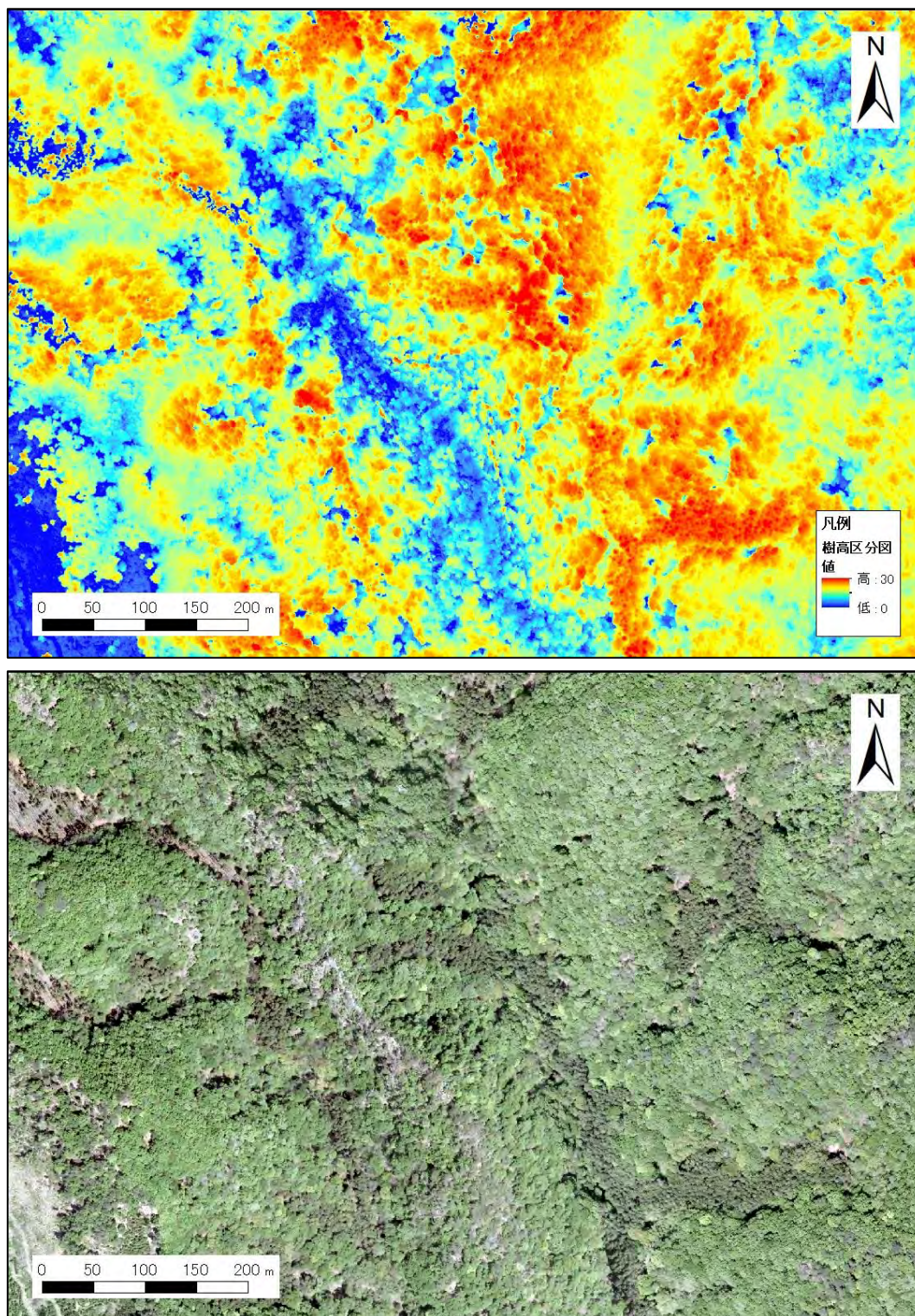


図 4-5 樹高区分データ（上）とオルソ画像（下）の比較（拡大図）

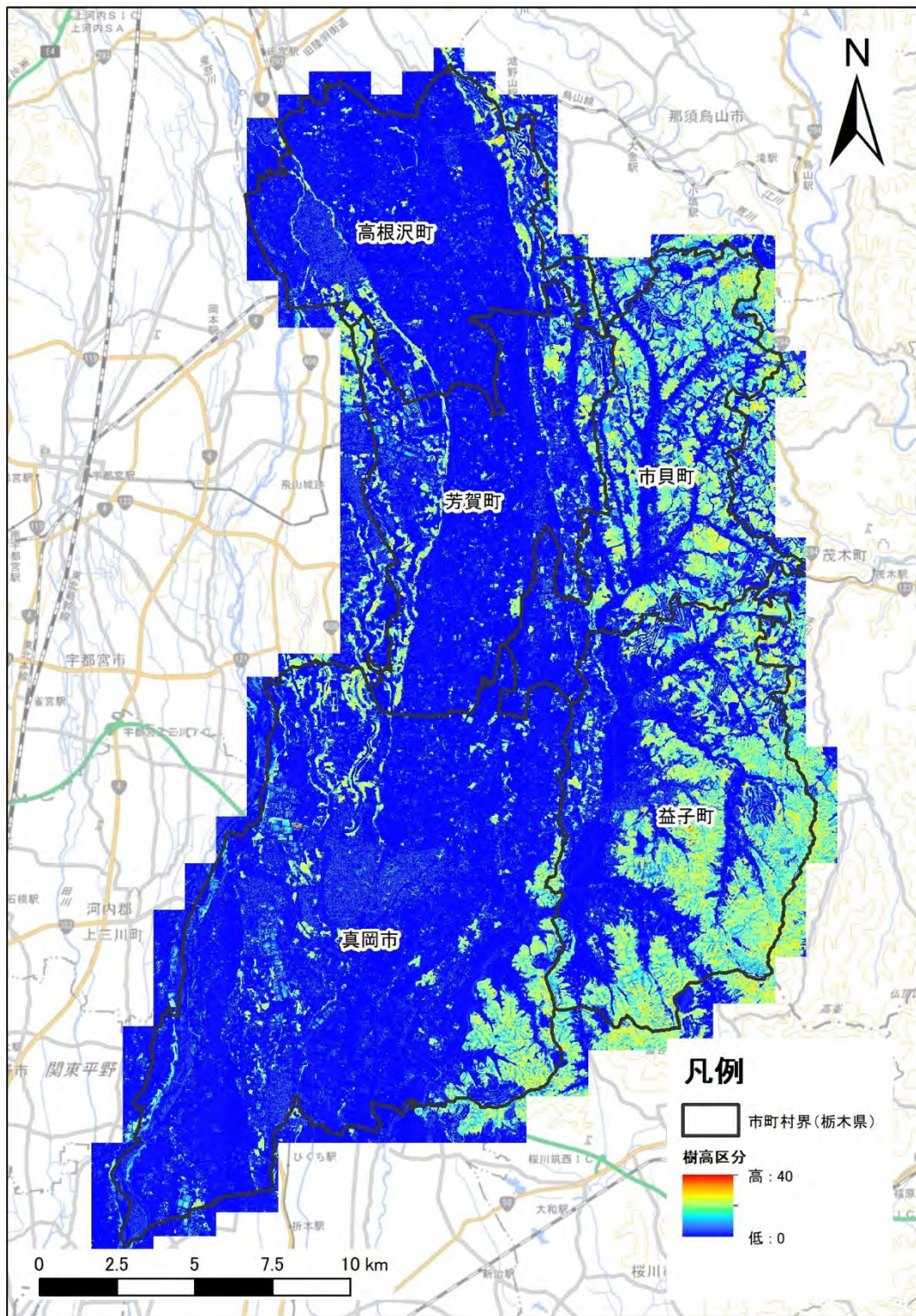


图 4-6 樹高区分图(栃木県)

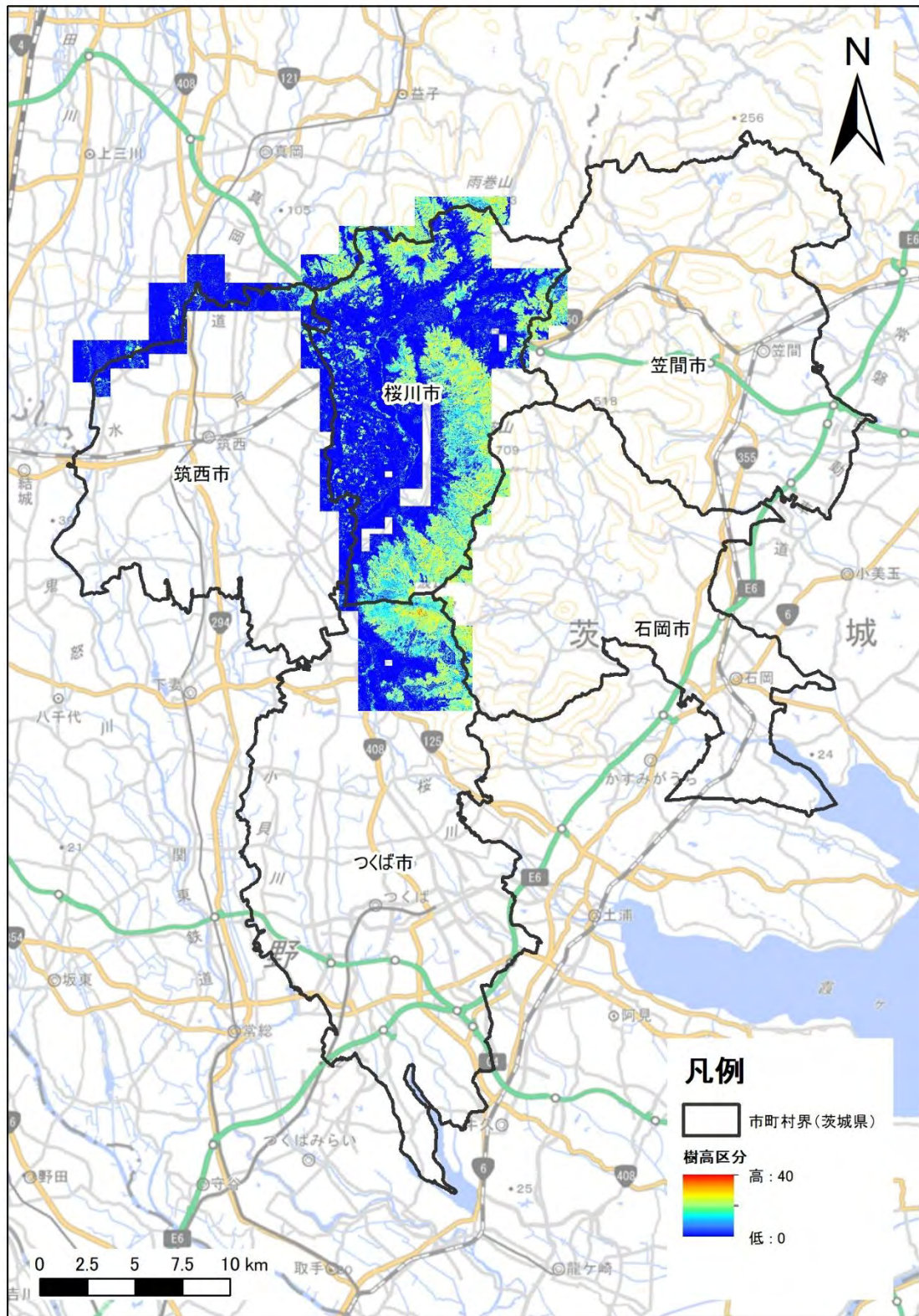


图 4-7 樹高区分图(茨城県)

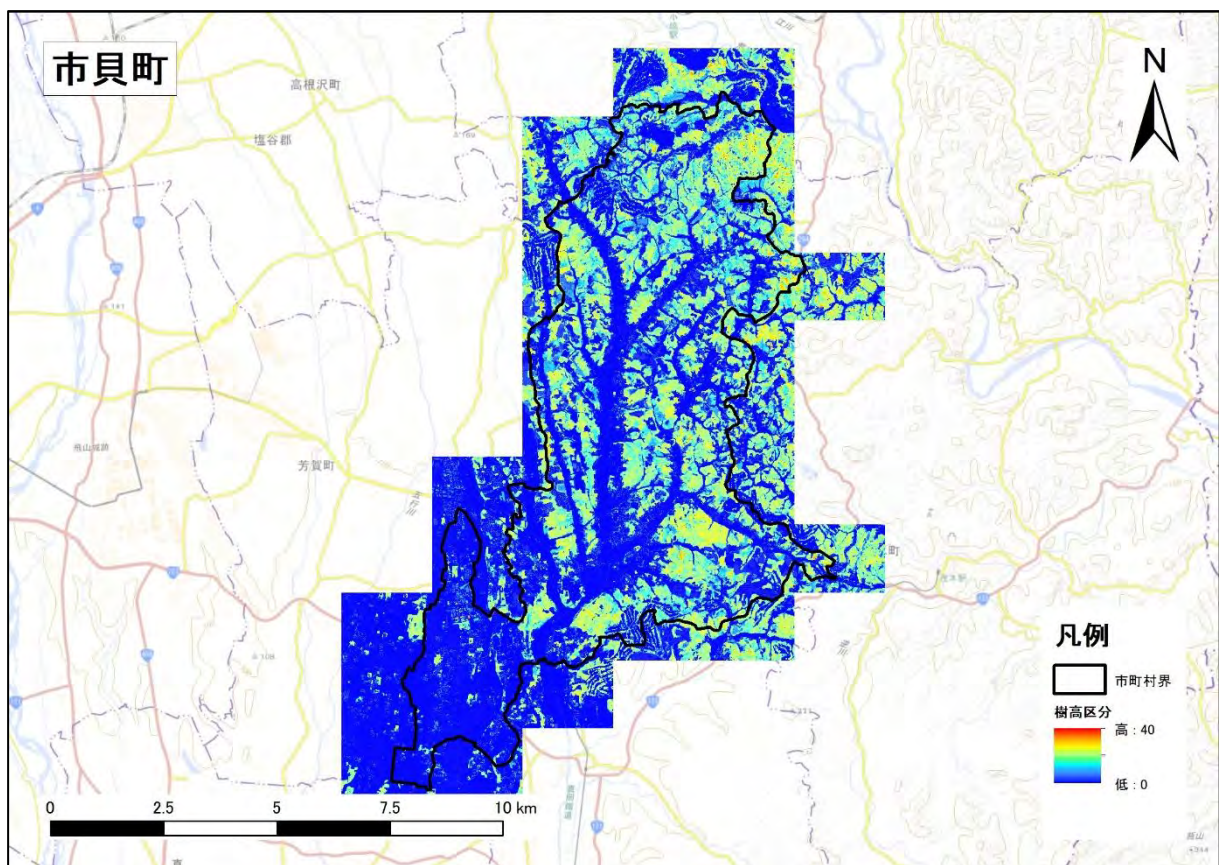


图 4-10 樹高区分図（市貝町）

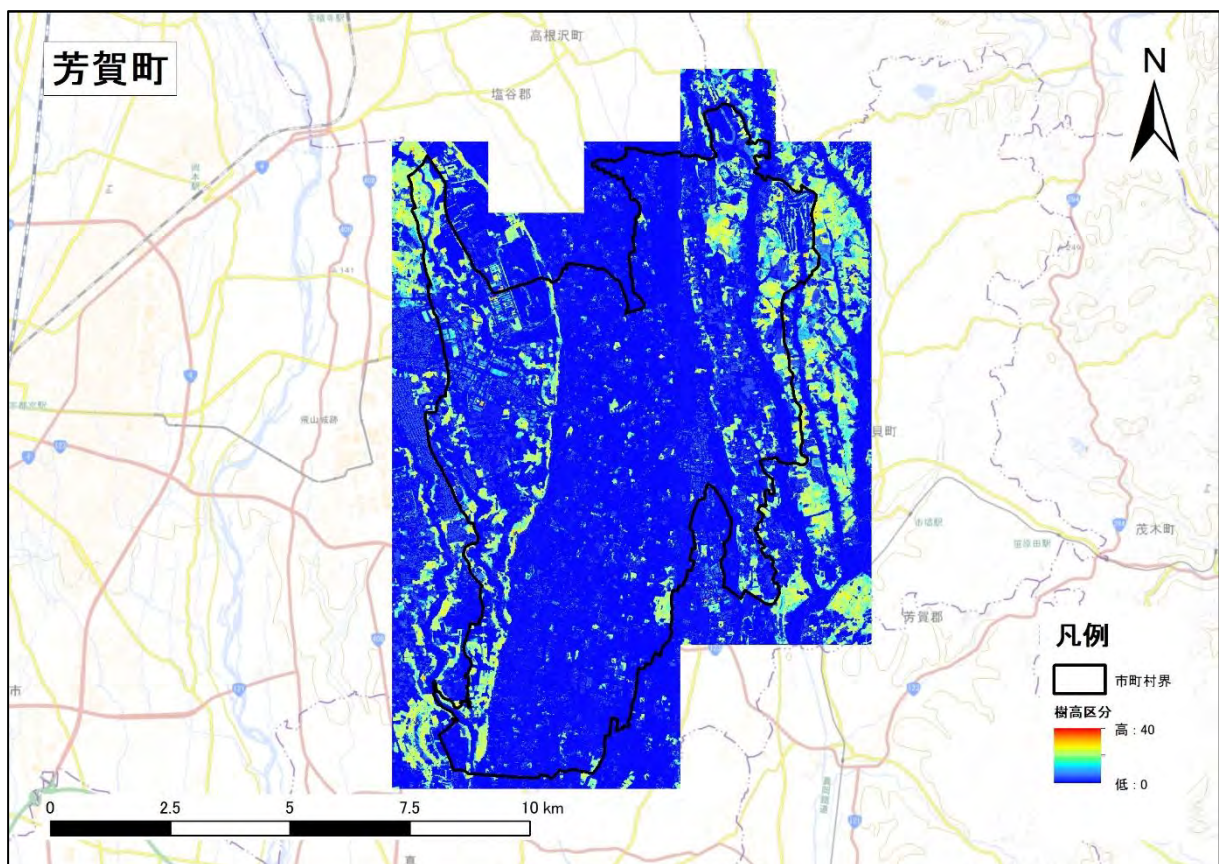


图 4-11 樹高区分図（芳賀町）

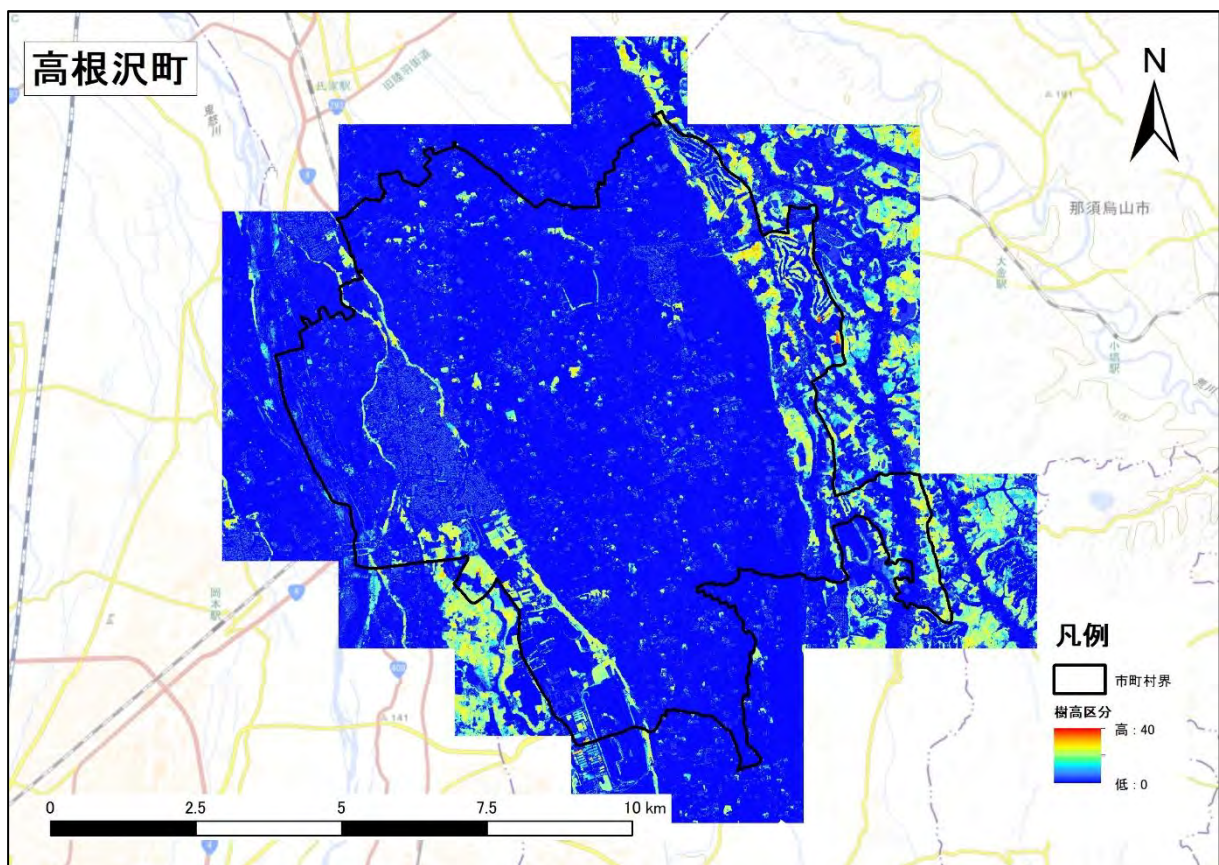


图 4-12 樹高区分図（高根沢町）

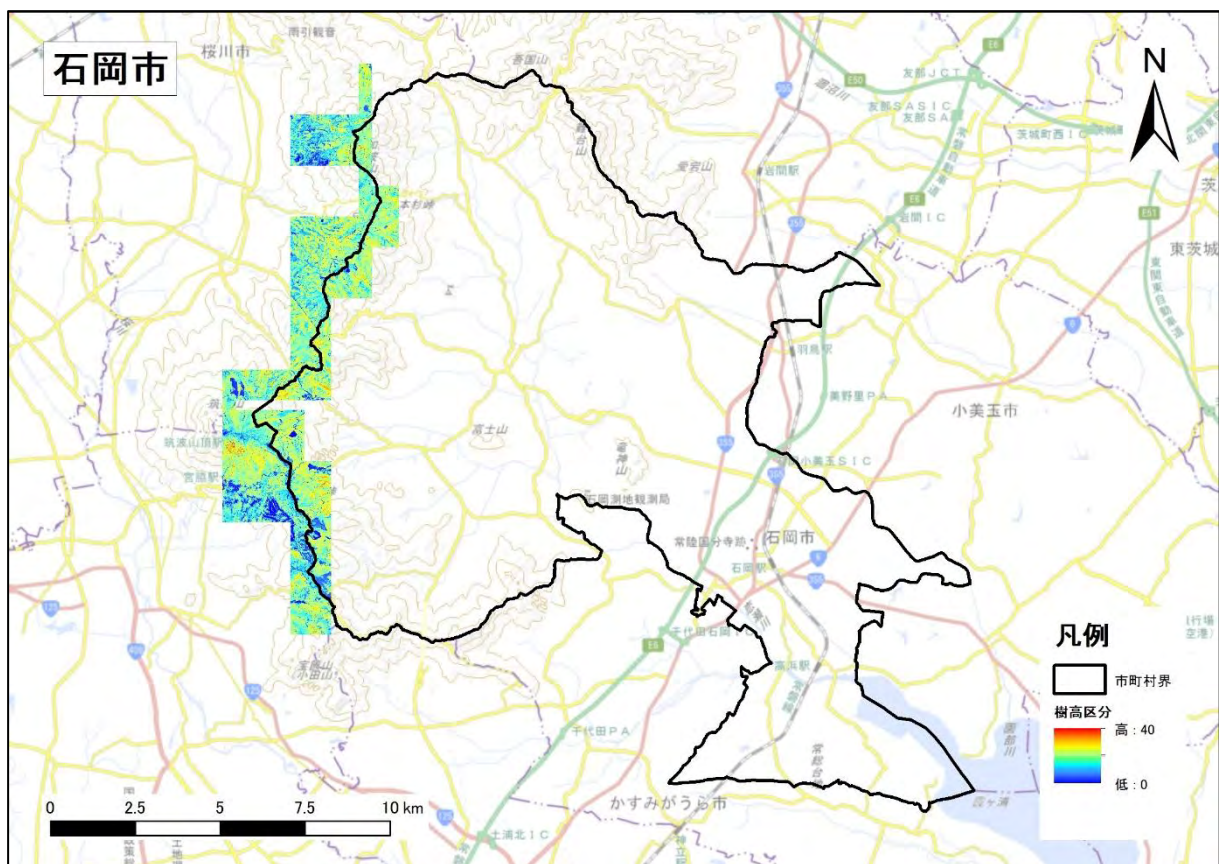


图 4-13 樹高区分図（石岡市）

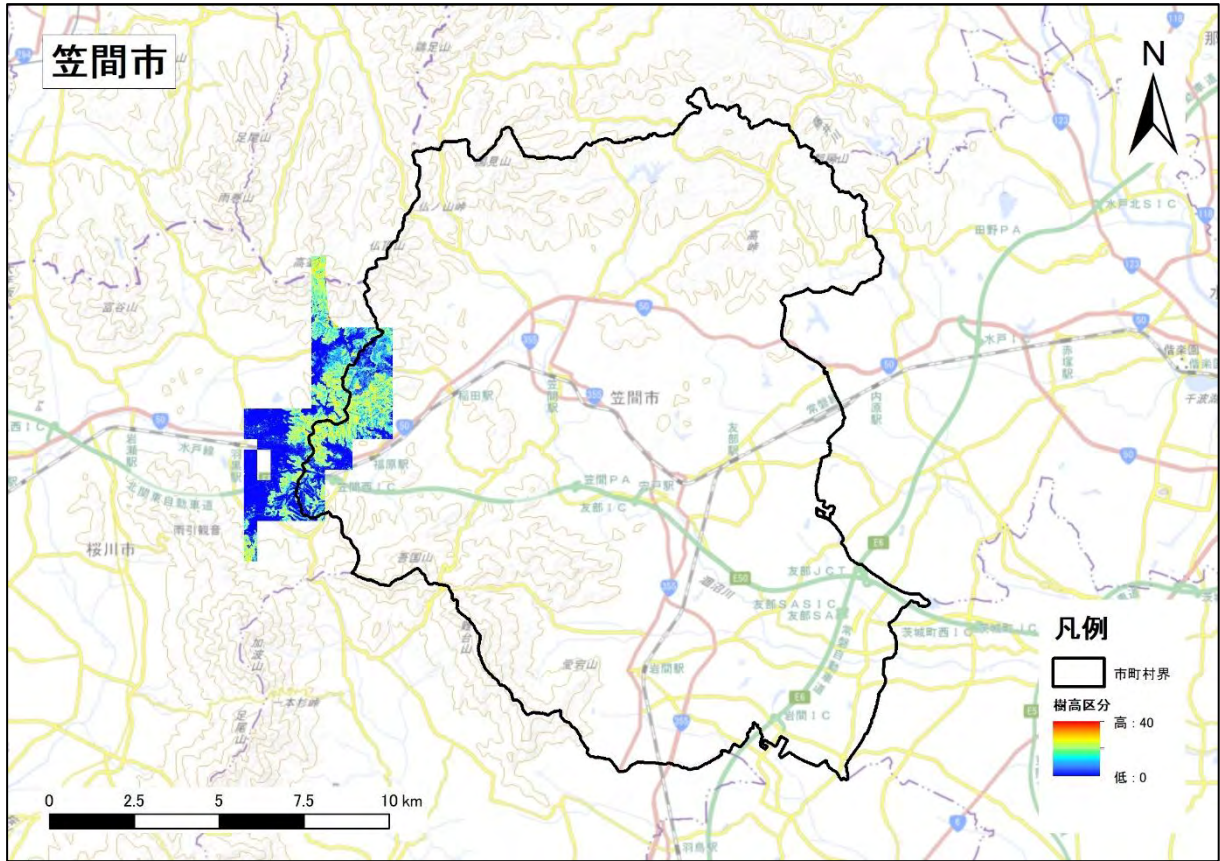


図 4-14 樹高区分図（笠間市）

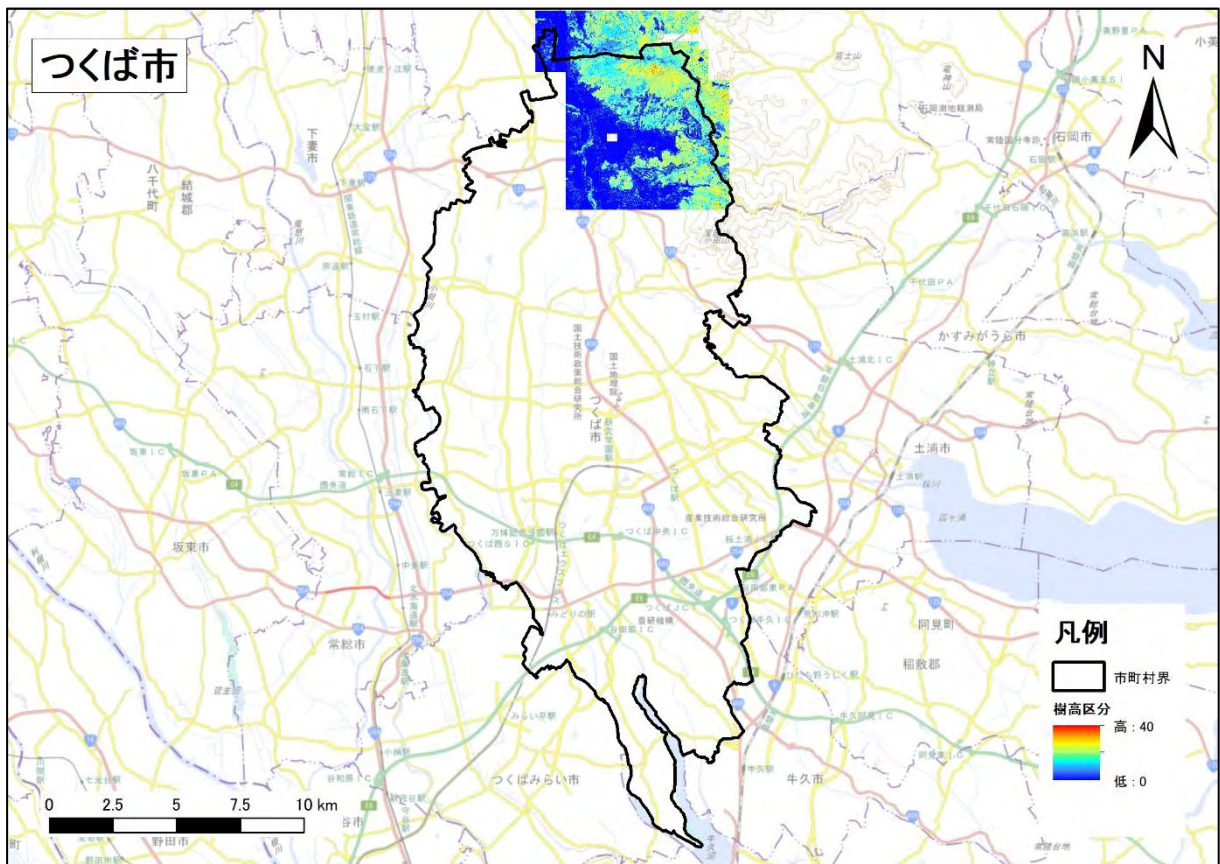


図 4-15 樹高区分図（つくば市）

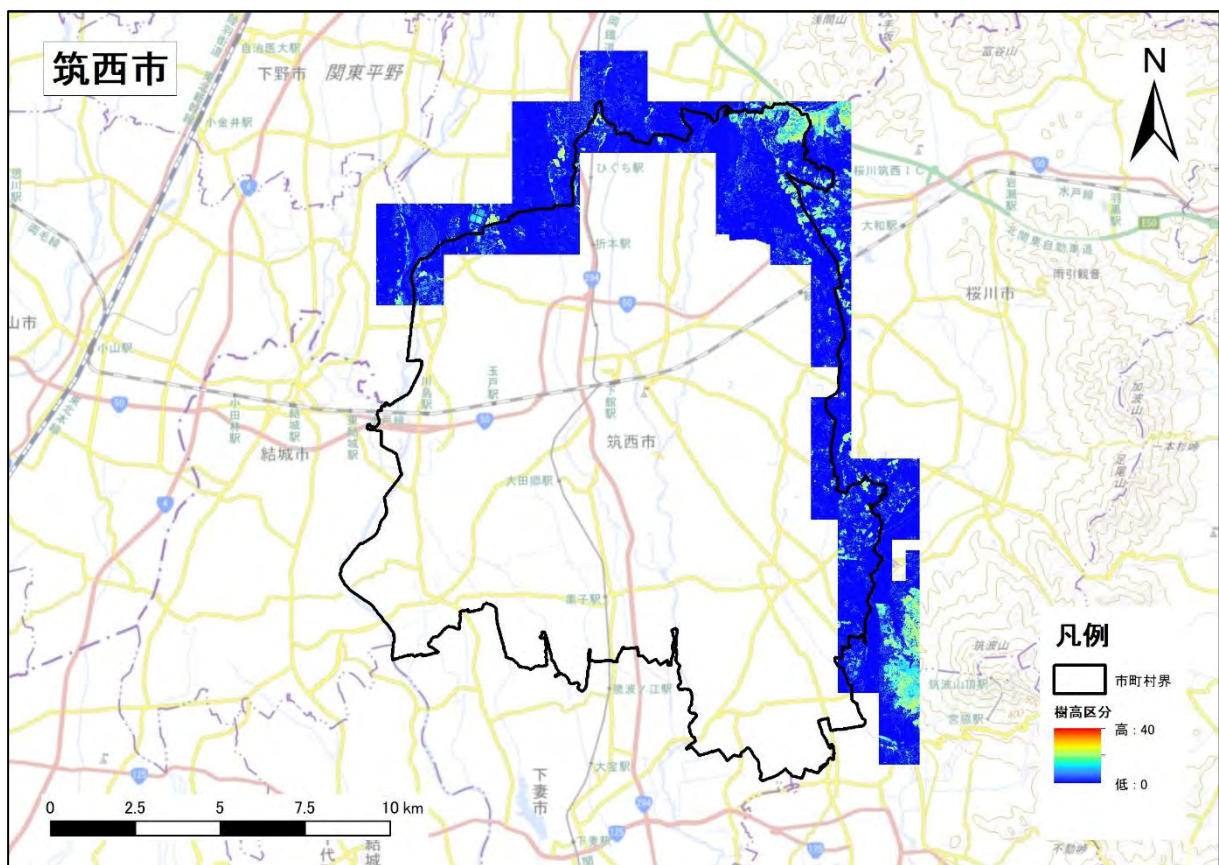


图 4-16 樹高区分图（筑西市）

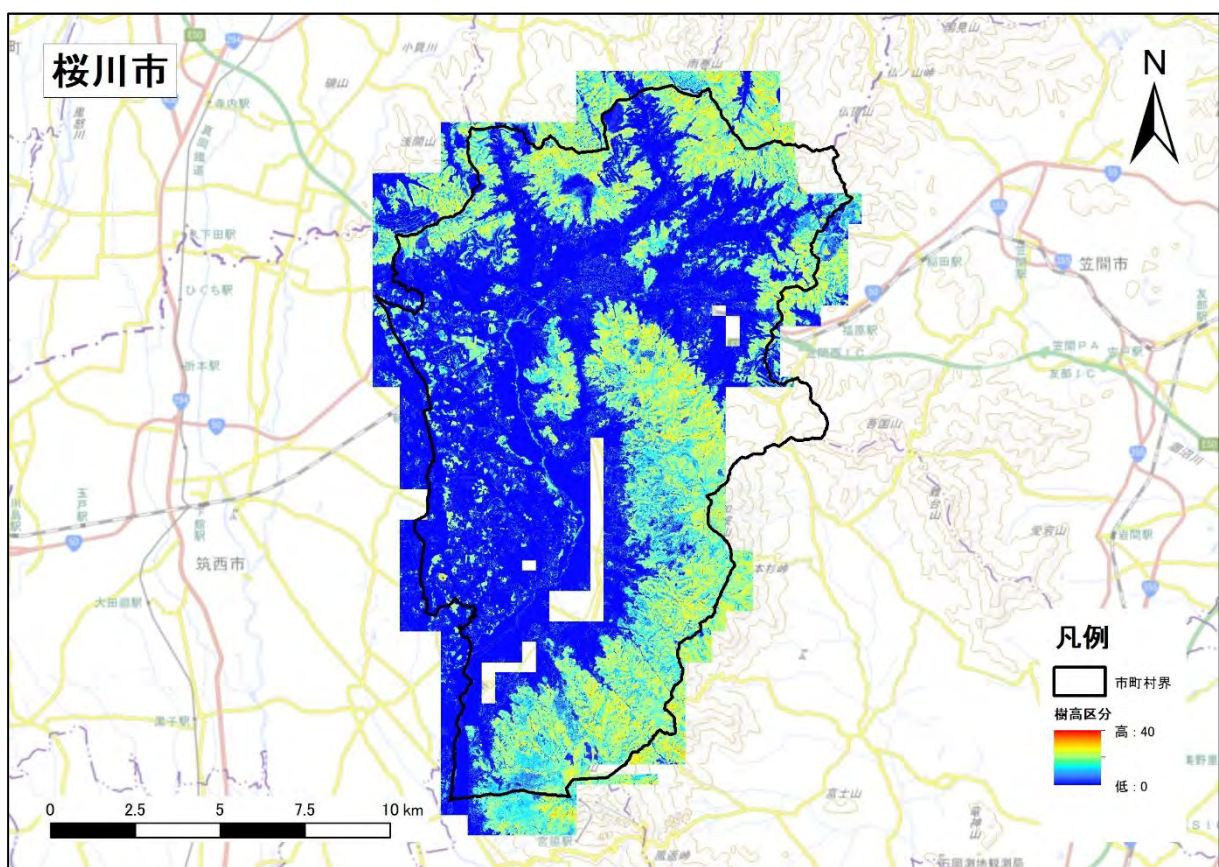


图 4-17 樹高区分图（桜川市）

4.3 樹種ポリゴン等の作成

4.3.1 林相識別図の作成

(1) レーザ林相図の作成

取得した航空レーザ計測データから林相識別図としてレーザ林相図（特許第 5592855 号）を作成した。

一般的には林相判読にオルソ写真や空中写真が用いられるが、レーザ林相図はオルソ写真等と比較すると、判読作業において以下のような利点がある。

- 撮影時の日射条件（天候や太陽方位・高度等）による画像の色合いに違いが生じず、撮影範囲を一様に判別できる。
- 植生域を緑色だけでなく、赤色、黄色、青色等多様な色で表現でき、樹種を識別するための情報量が多い。
- 地形の影響による影が生じず、谷部でも明瞭に表現される。
- 樹木や建物等の倒れ込みが生じず、より正確に境界線を判読できる。

以上のことから、レーザ林相図はオルソ写真と比べて、色調、テクスチャの違いが明確で、樹種や生育状況が異なる林分の分布境界の識別が容易である。このレーザ林相図を併用して判読することで、より精度の高い林相区分図を作成することができる。

(2) レーザ林相図の構成要素

レーザ林相図は、以下の3つの構成要素の画像を合成して作成した。構成要素の画像例を図4-18に示す。

- 樹冠高データ (DCHM: Digital Canopy Height Model)

DCSM (Digital Canopy Surface Model : 数値表層高データ) と DEM (Digital Elevation Model : 数値標高データ) の差分解析により作成される樹冠高を表すデータである。

- 樹冠形状データ

樹冠高モデルから作成される樹冠のテクスチャ (形状、凹凸、樹木配列等) を表すデータである。

- レーザパルスの反射強度データ (DIM: Digital Intensity Model)

航空機から照射されたレーザパルスが地表面で反射して再びセンサに検知される際の強度を表すデータである。計測に使用されるレーザパルスの波長は、植生の活力に強く反応 (反射) する近赤外波長 1,064nm と同じであるため、その反射強度は、植生の違いを識別する有効な指標となる。

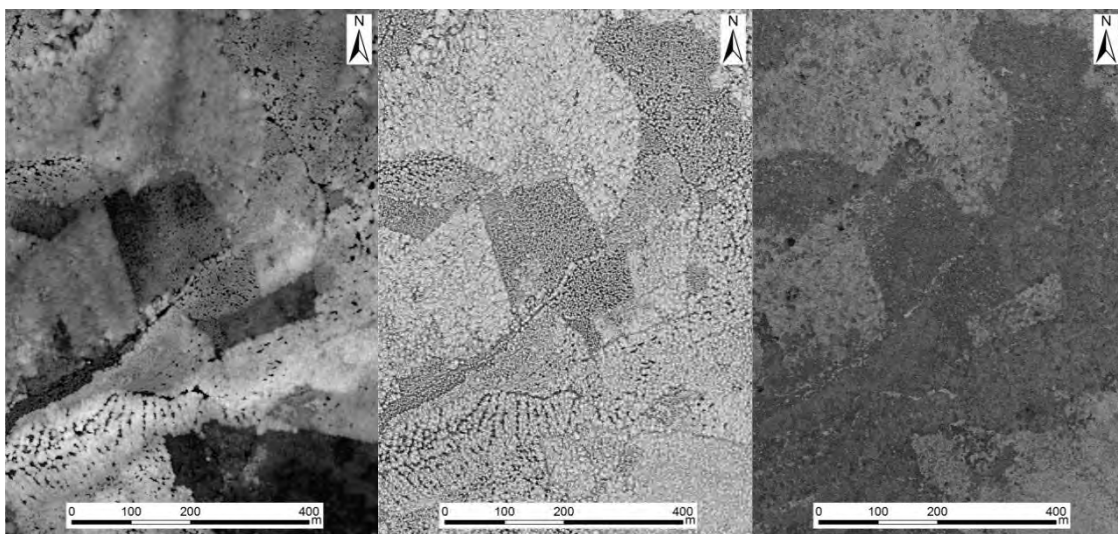


図 4-18 レーザ林相図の構成要素の画像例

(左図 : 樹冠高データ画像例、中図 : 樹冠形状データ画像例、右図 : 反射強度データ画像例)

(3) レーザ林相図の標準的な色合い

レーザ林相図とオルソ写真から読み取れる判読キーの特徴を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 レーザ林相図とオルソ写真から読み取れる判読キーの特徴 (1/3)

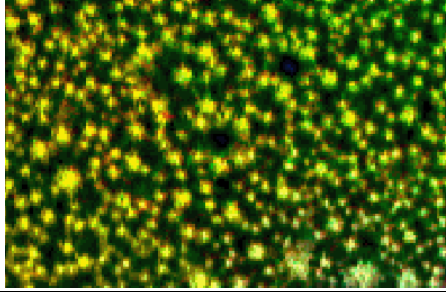

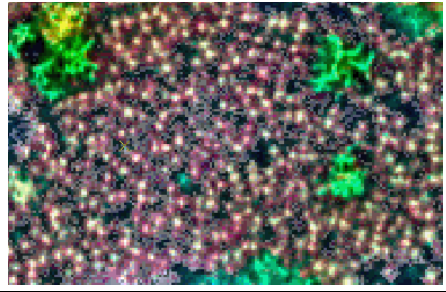

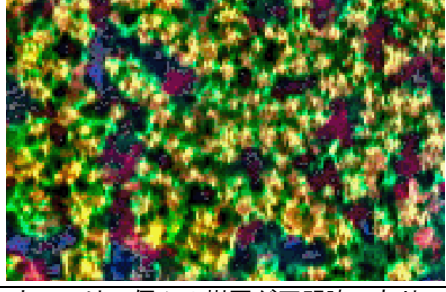

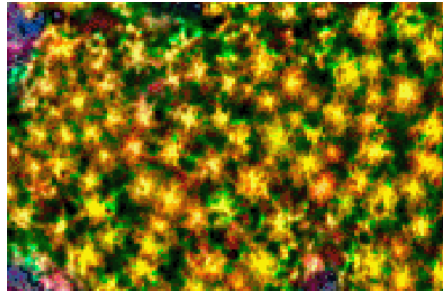

凡例	レーザ林相図	オルソ画像
スギ		
	スギは、個々の樹冠が明瞭であり、色は黄色～緑色を帯びた黄色を呈する。樹冠の密度が疎な林分では林床を示す青色が混じることもある。	樹冠は円錐形であり、きめが粗い。樹冠の色は深緑色に見え、褐色を帯びて見える場合が多い。
ヒノキ類		
	ヒノキは、個々の樹冠がスギと比較して不明瞭であり、色は鈍い黄色～赤色を呈する。	樹冠は円錐形であるが、スギと比較してきめが細かく、緑色が鮮やかに見える。
マツ類		
	アカマツは、個々の樹冠が不明瞭であり、色は緑色～黄色がかった緑色を呈する。	スギやヒノキに比べて色が薄く見える。樹冠は不整形で、羽毛状に見える。
カラマツ		
	個々の樹冠は明瞭で、スギ、ヒノキ、マツに比べて大きい。緑がかった橙色を呈する。	他の樹種に比べて濃い緑色に見える。

表 4-2 レーザ林相図とオルソ写真から読み取れる判読キーの特徴 (2/3)

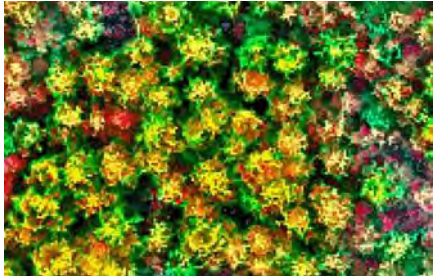

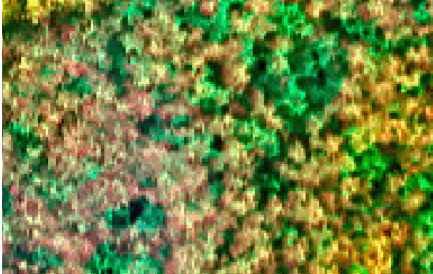



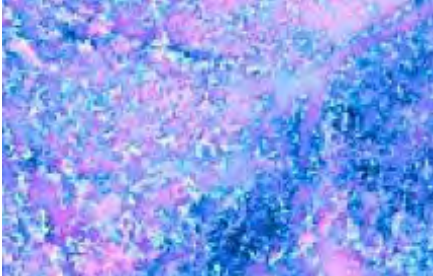

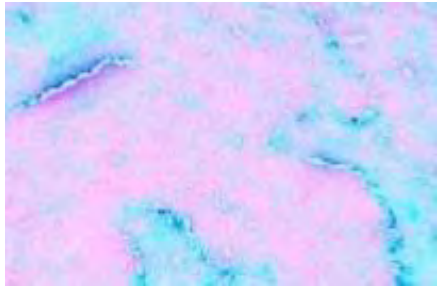

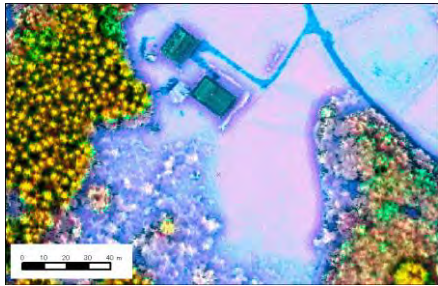

凡例	レーザ林相図	オルソ画像
その他 N		
	<p>個々の樹冠は比較的明瞭で、スギ、ヒノキ、マツに比べて大きい。緑がかった黄色を呈する。</p>	<p>他の樹種に比べて濃い緑色に見える。</p>
その他 L		
	<p>広葉樹は、落葉木は明るい緑色～暗い青緑色を呈し、着葉木は橙色～黄色を帯びた橙色を呈する。樹冠は不整形である。</p>	<p>針葉樹と比べて、樹冠が不明瞭である。落葉広葉樹は、春季には若芽の淡い色、秋期には紅葉の色、冬期には葉が落ちて地面の色が見える。</p>
タケ		
	<p>タケは、樹冠は小さく、隙間が多く暗い青色が混じる場合が多い。色は薄い黄色～緑を呈する。</p>	<p>樹冠は幅が細く、色々な方向に傾いている。また、色は薄い緑色の場合が多い。</p>
新植地		
	<p>新植地は、植栽後間もないため、樹高が低く、薄紫～青色を呈する。個々樹木は不明瞭である、樹冠は不整形である。</p>	<p>色味は薄緑～濃緑まで様々であり、間伐実施前のため樹木が規則正しく並んでいる。</p>

表 4-3 レーザ林相図とオルソ写真から読み取れる判読キーの特徴 (3/3)

凡例	レーザ林相図	オルソ画像
伐採跡地		
	<p>伐採跡地は樹高が低く、薄紫色～薄い青色を呈する。形状は不明瞭である。</p>	<p>草本等の食帯の場合は、緑色～薄緑色を呈する。土壌が見えている場合は灰色や黄土色に見える。</p>
その他		
	<p>形状で判別でき、道路、構造物等は青～青緑色を呈し、水域は水色～濃い青色を呈する。また、草地、田畑等は植生の桃色を呈する。</p>	<p>住宅は屋根の色で表され、形状は方形であることが多い。田畑は茶色～緑色である。道路は濃い灰色であり、細長い形状である。水域は紺色～暗い青みがかった灰色に見える。</p>

(4) レーザ林相図

レーザ林相図とオルソ画像を比較した拡大図を図 4-19 に、作成したレーザ林相図の全体図を図 4-20、図 4-21 に、市町村別の図を図 4-22～図 4-31 に示す。

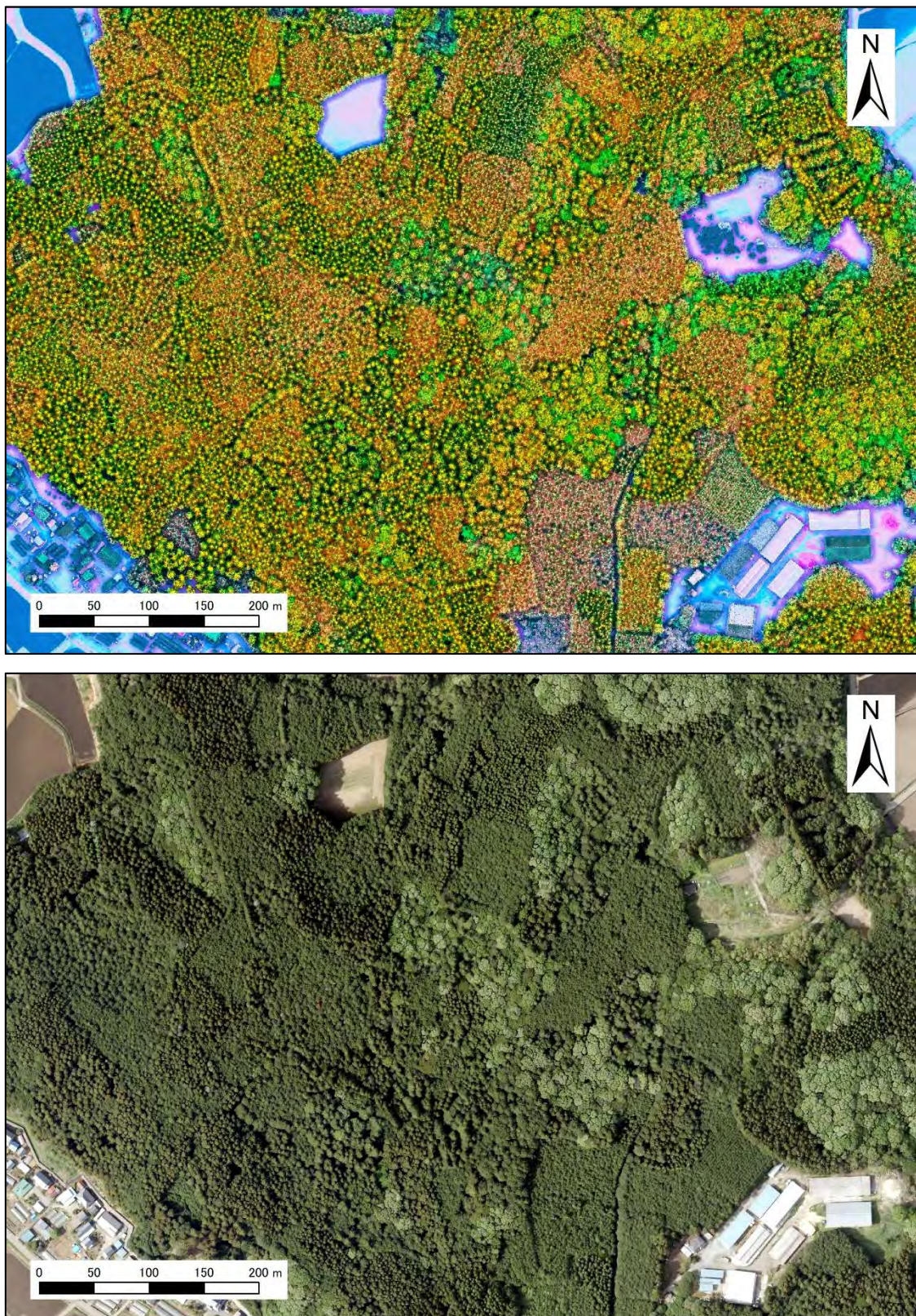


図 4-19 同一箇所のレーザ林相図（上）とオルソ画像（下）の例

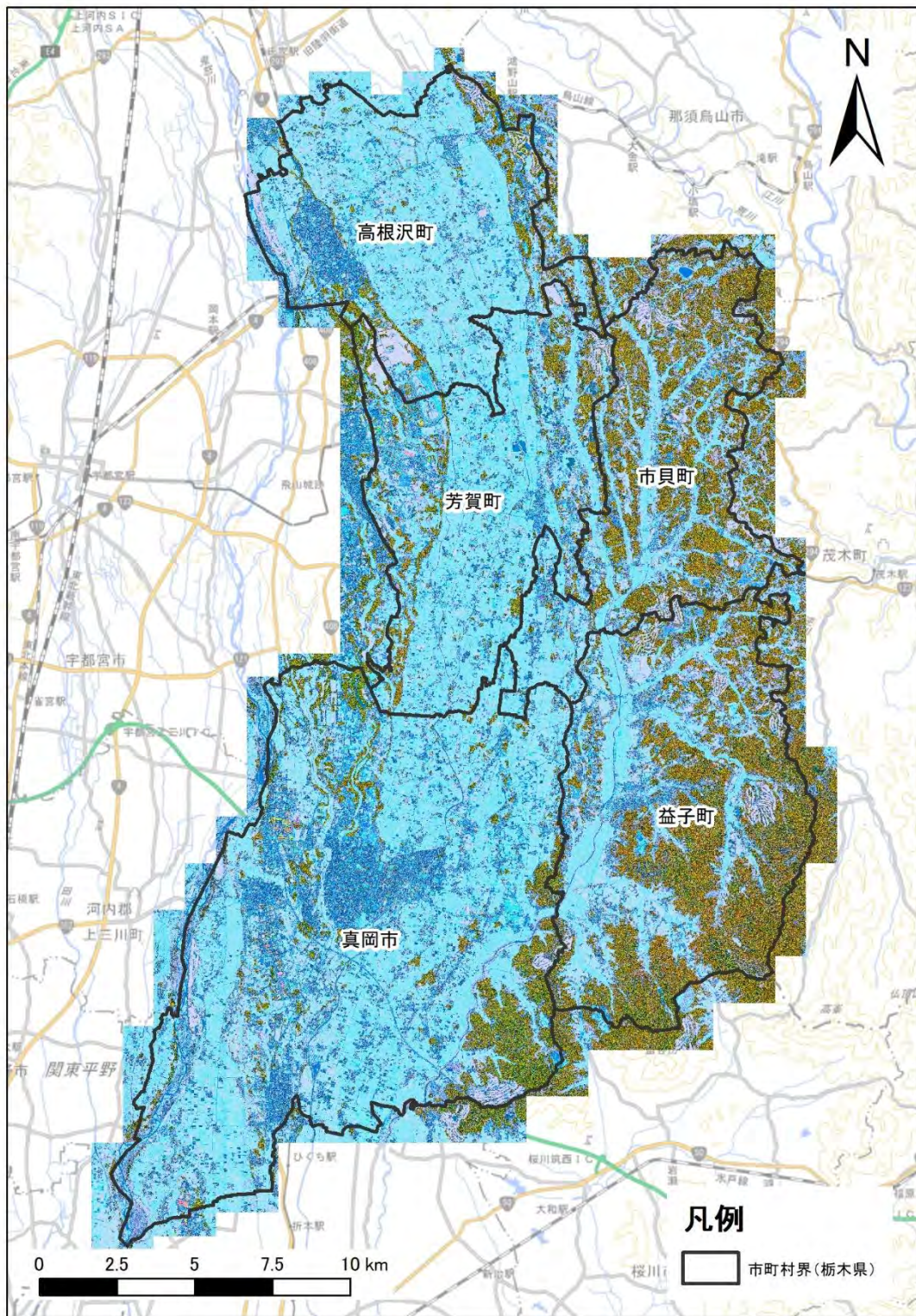


図 4-20 レーザー林相図(栃木県)

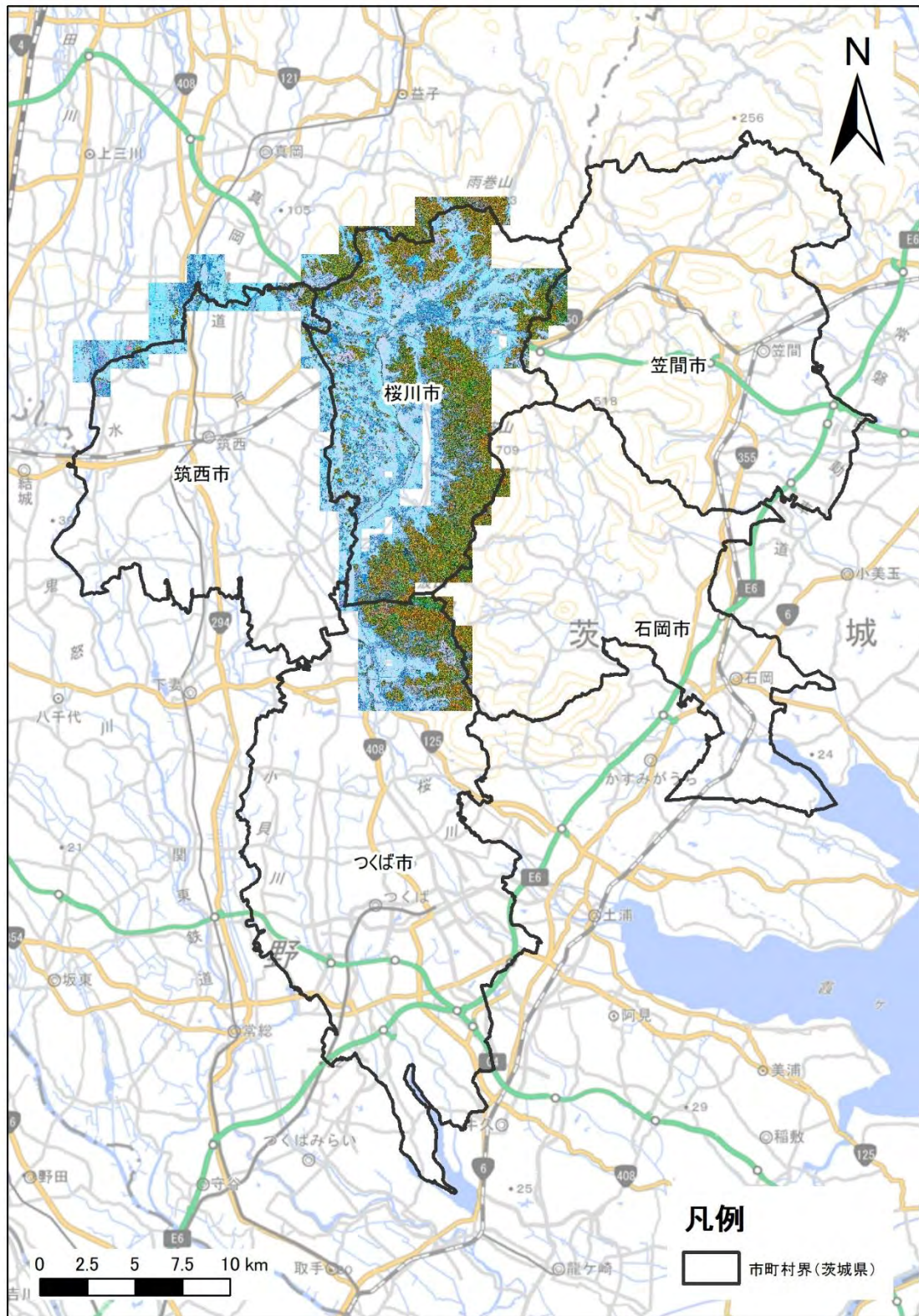


図 4-21 レーザー林相図(茨城県)

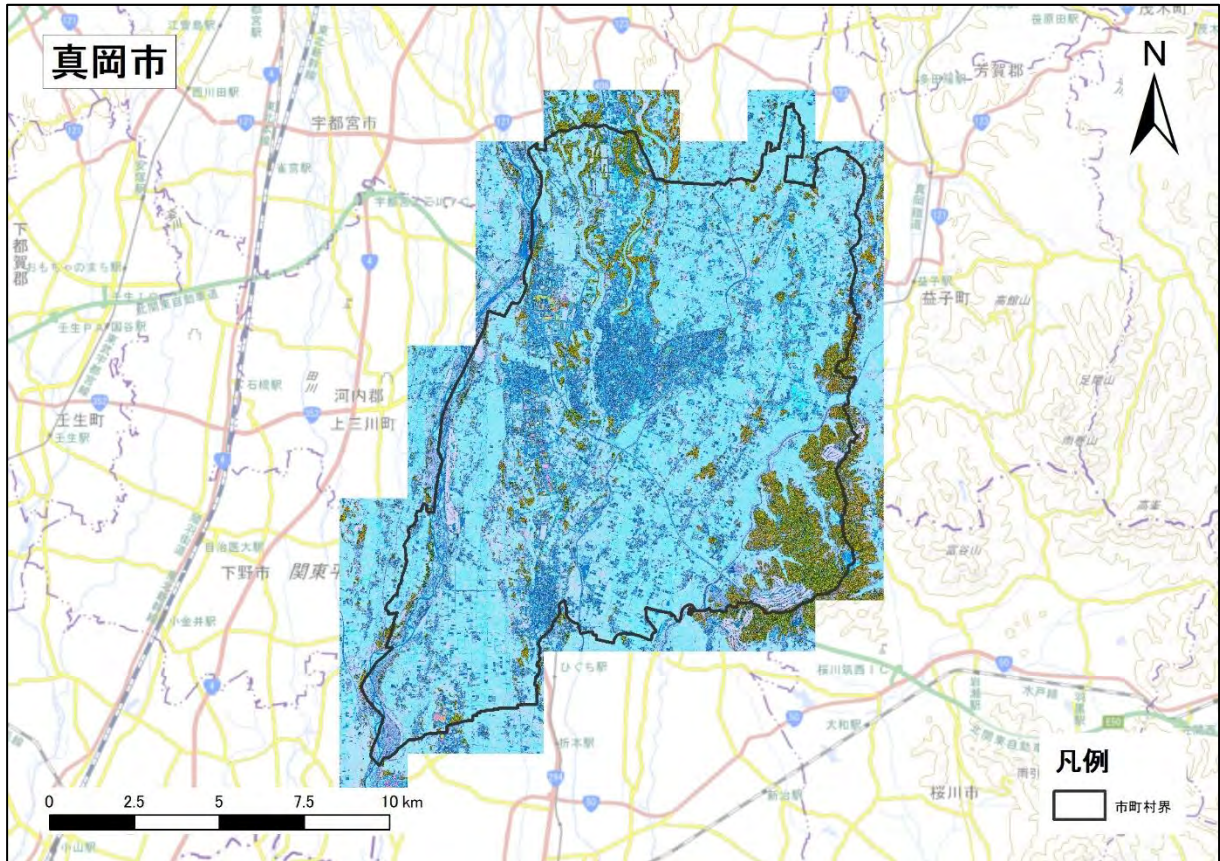


図 4-22 レーザ林相図（真岡市）

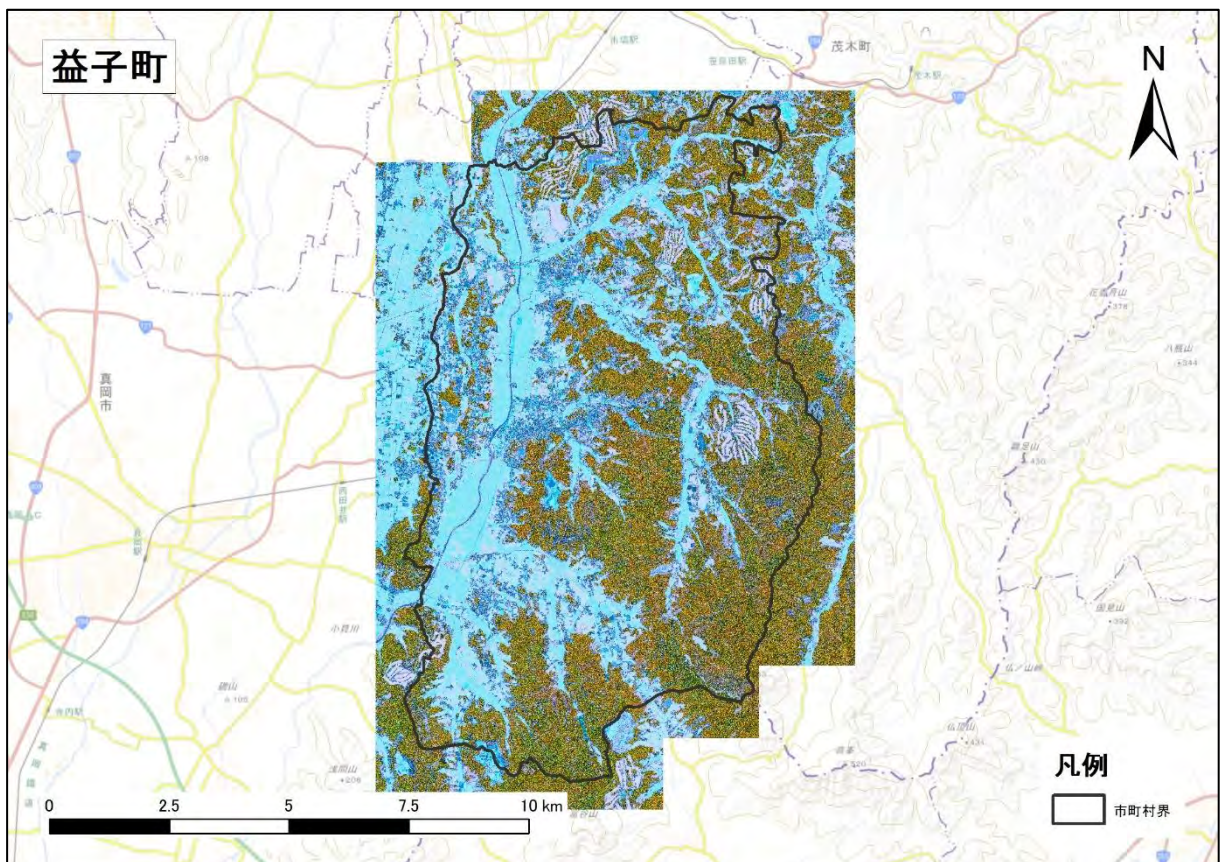


図 4-23 レーザ林相図（益子町）

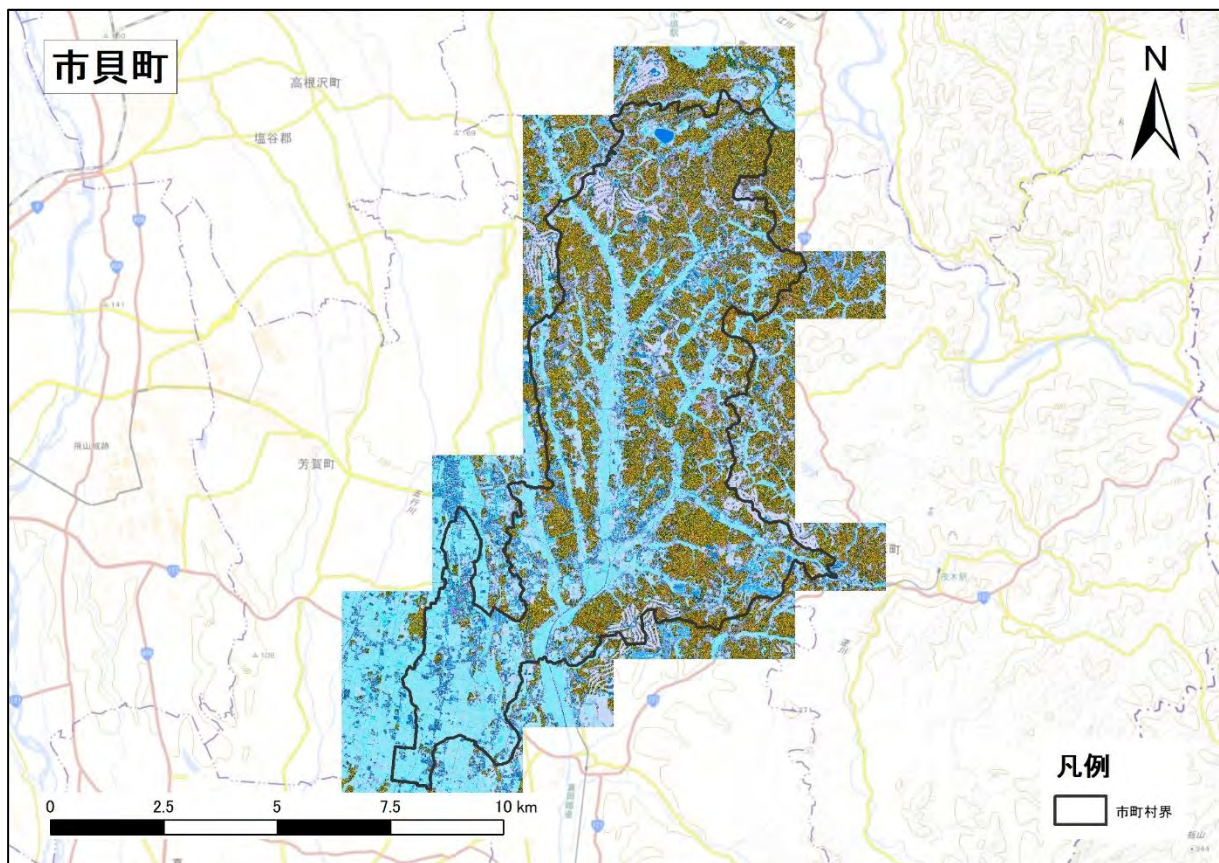


図 4-24 レーザ林相図（市貝町）

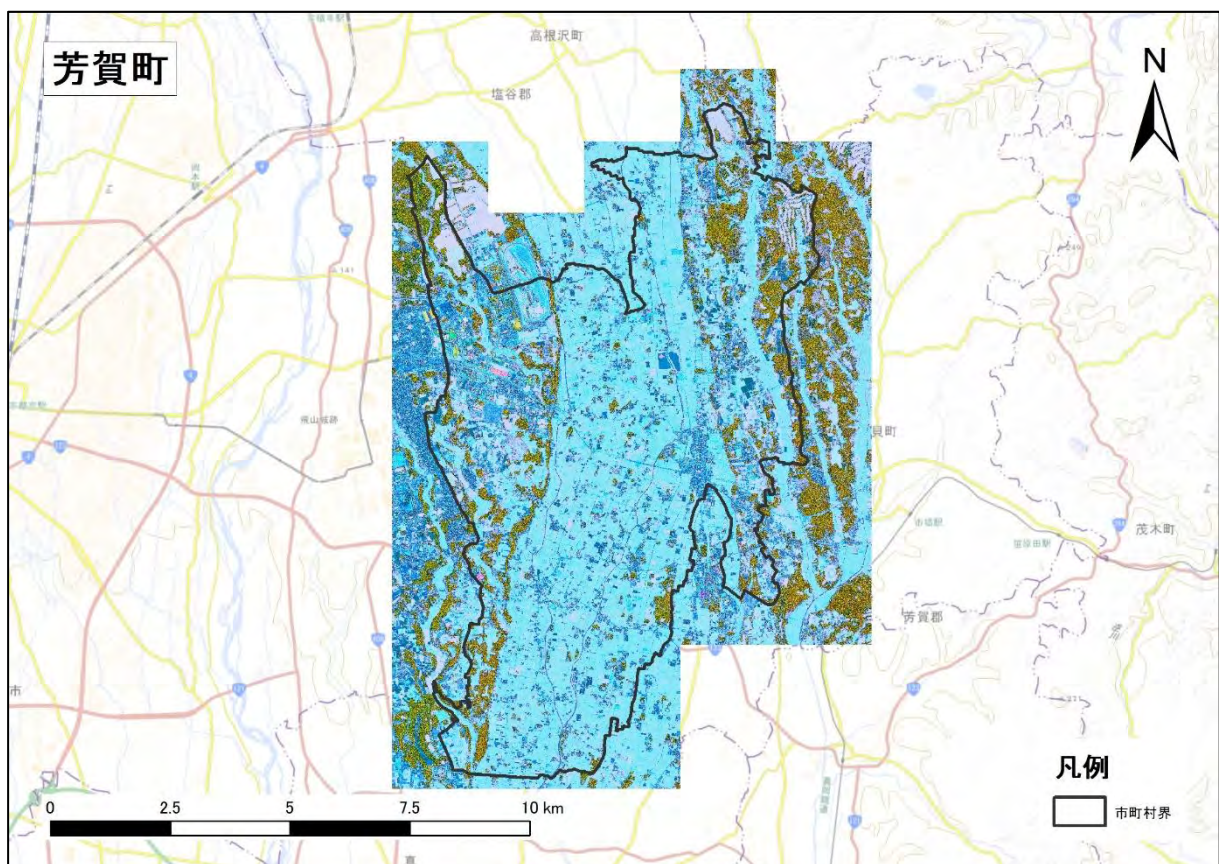


図 4-25 レーザ林相図（芳賀町）

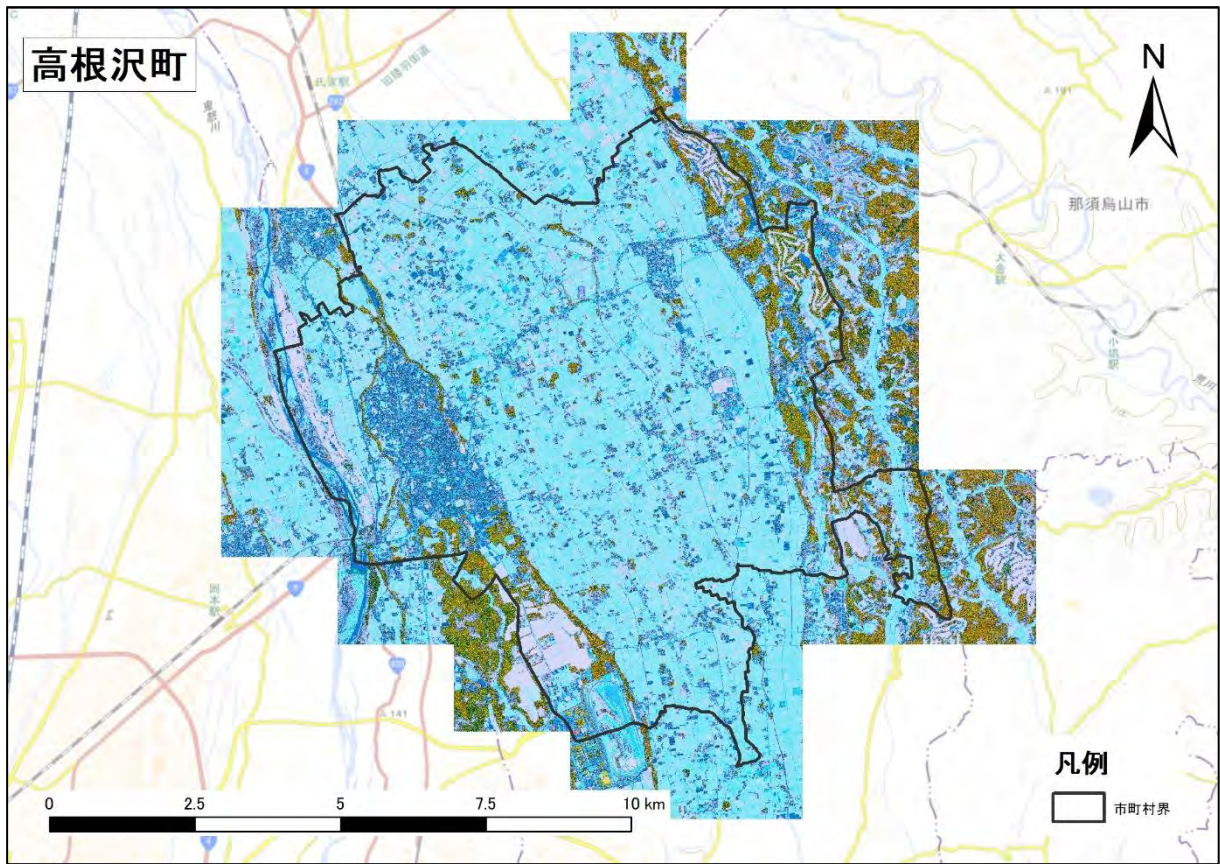


図 4-26 レーザ林相図（高根沢町）

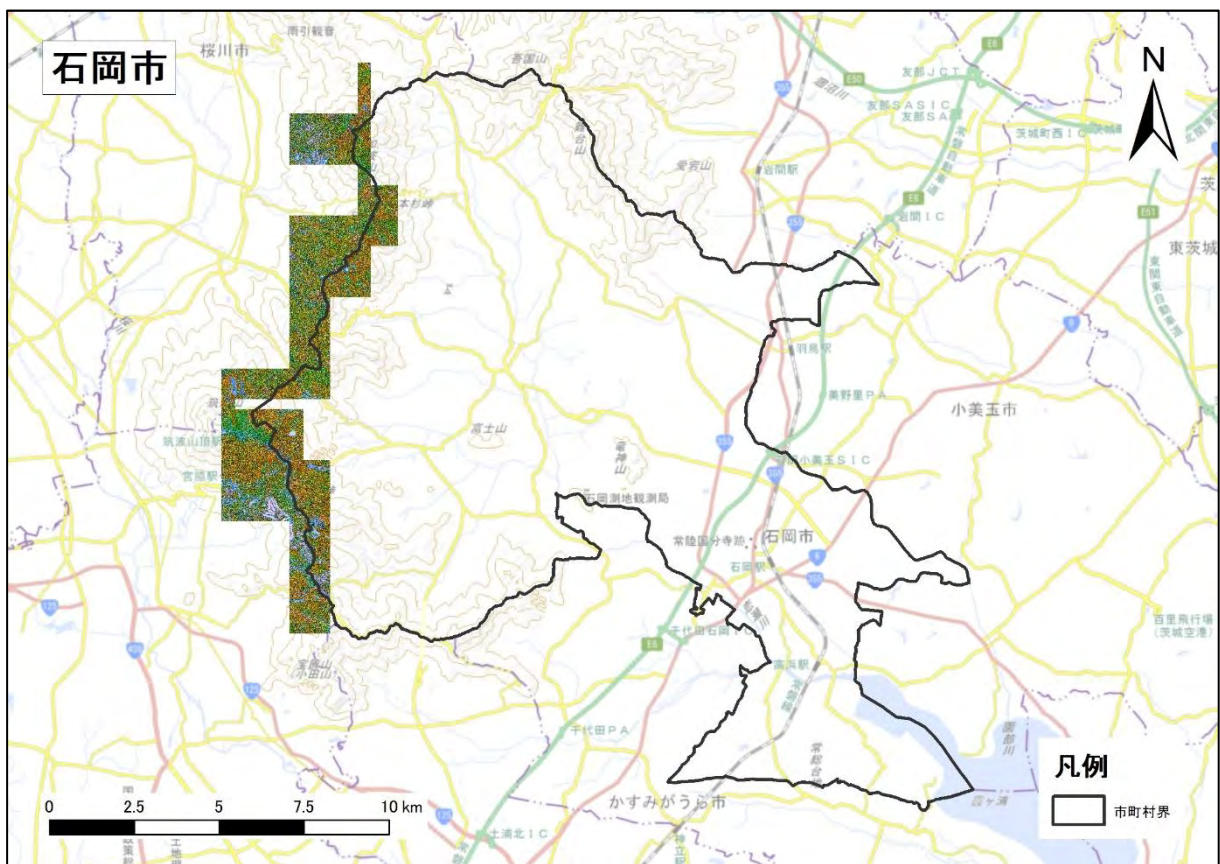


図 4-27 レーザ林相図（石岡市）

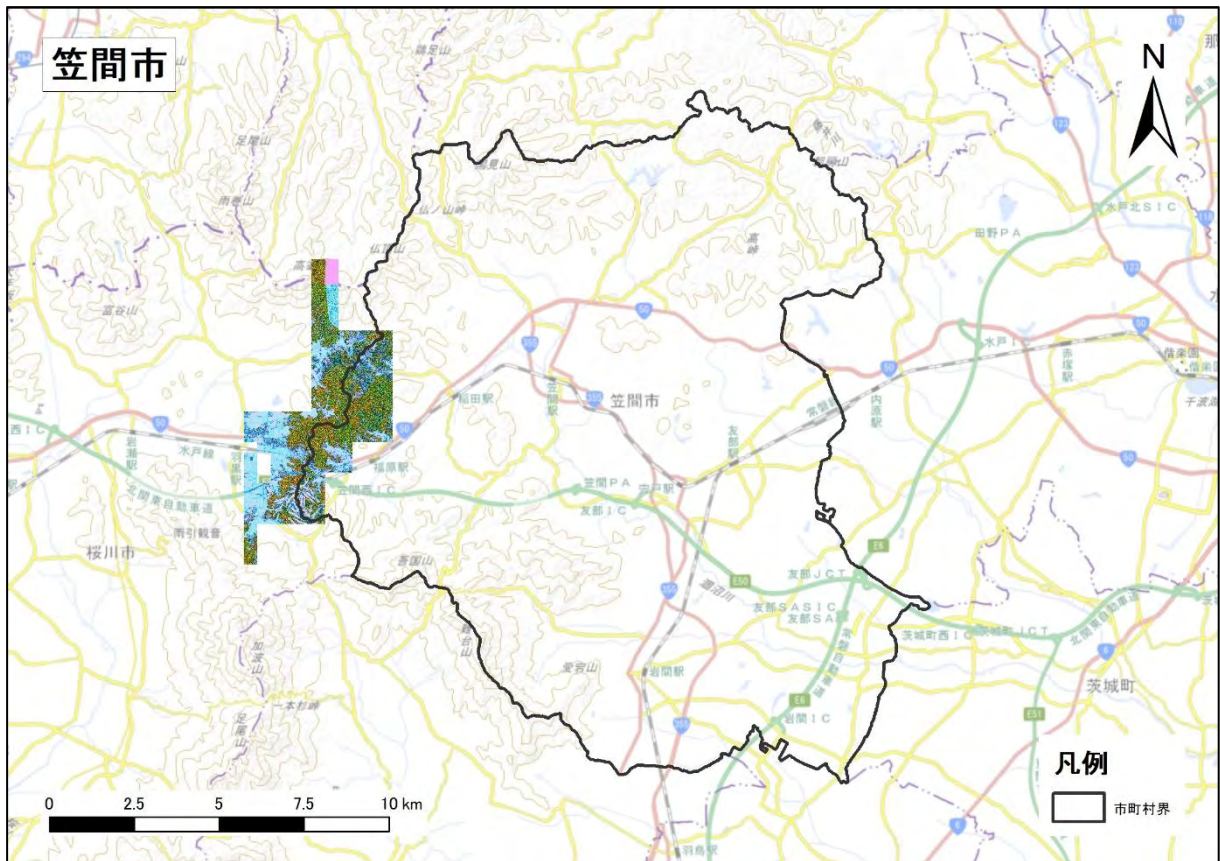


図 4-28 レーザ林相図 (笠間市)

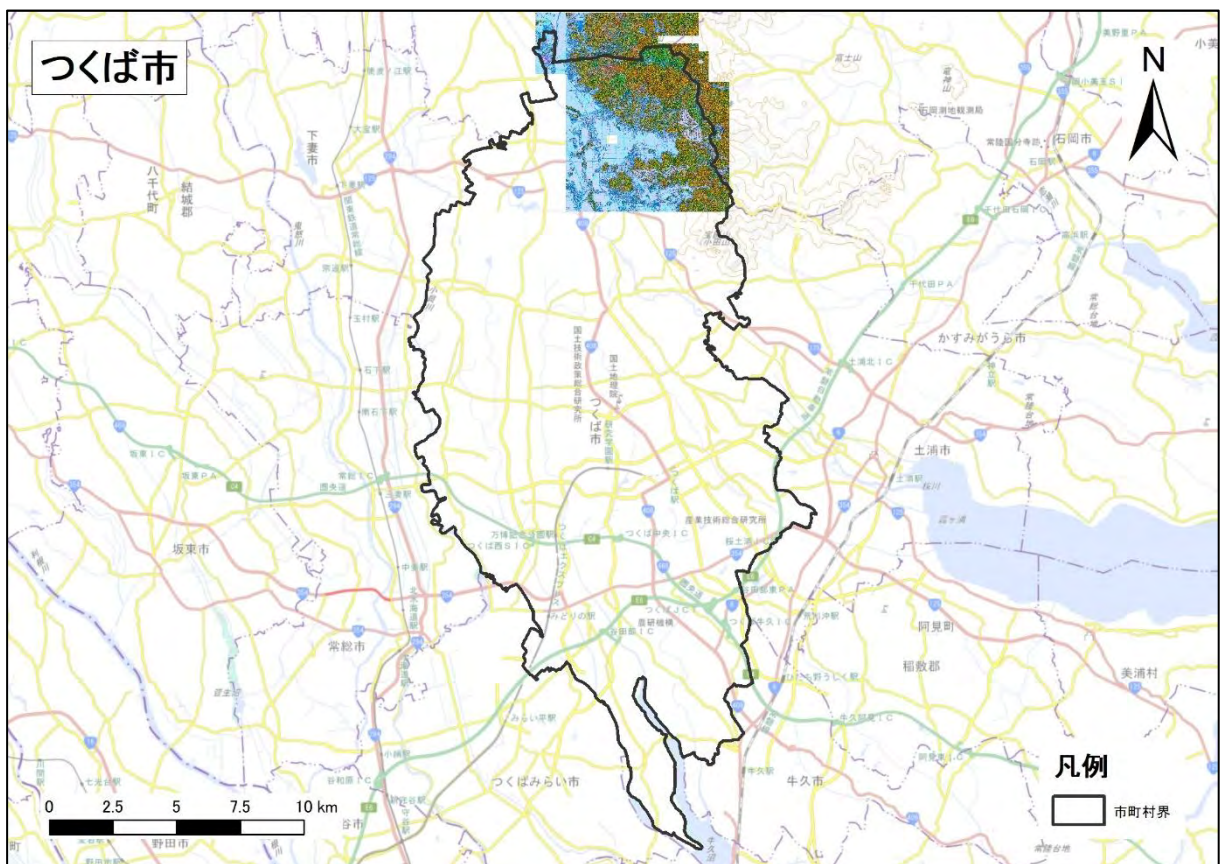


図 4-29 レーザ林相図 (つくば市)

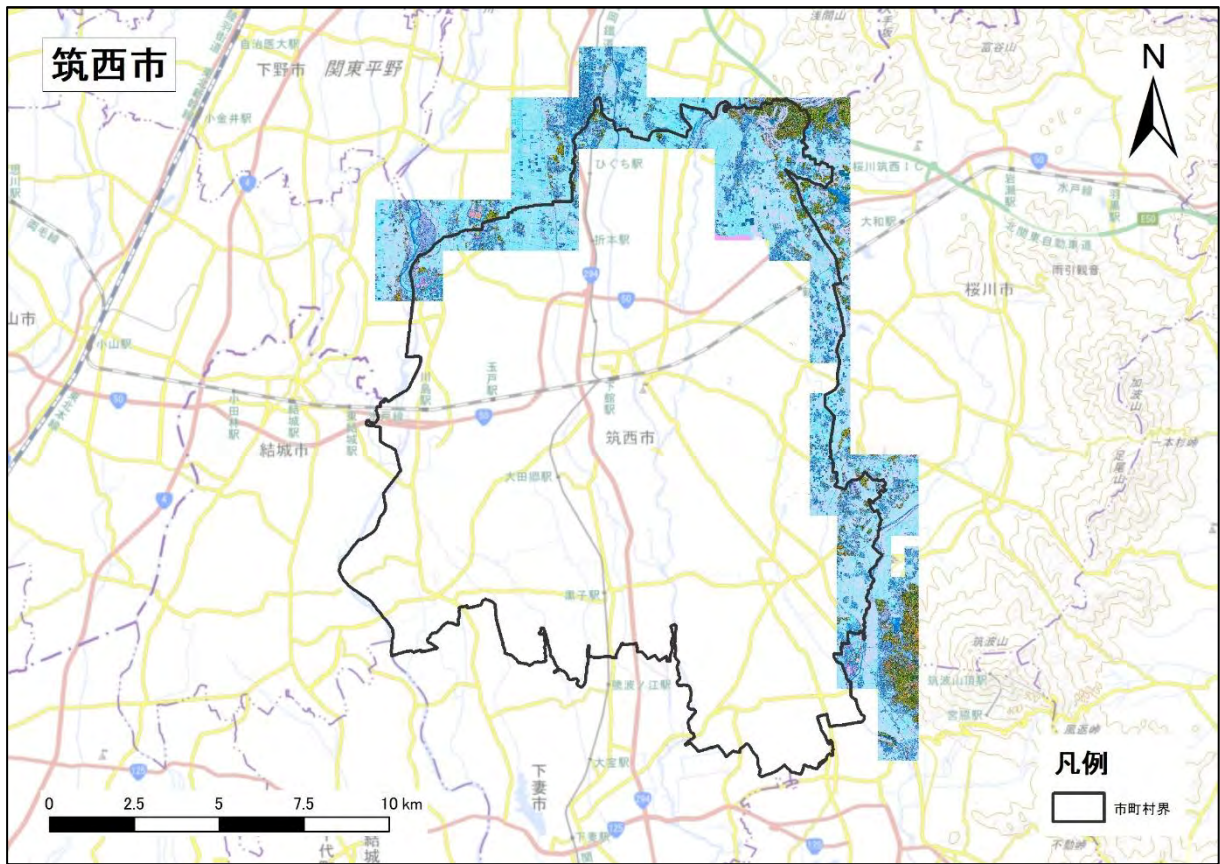


図 4-30 レーザ林相図 (筑西市)

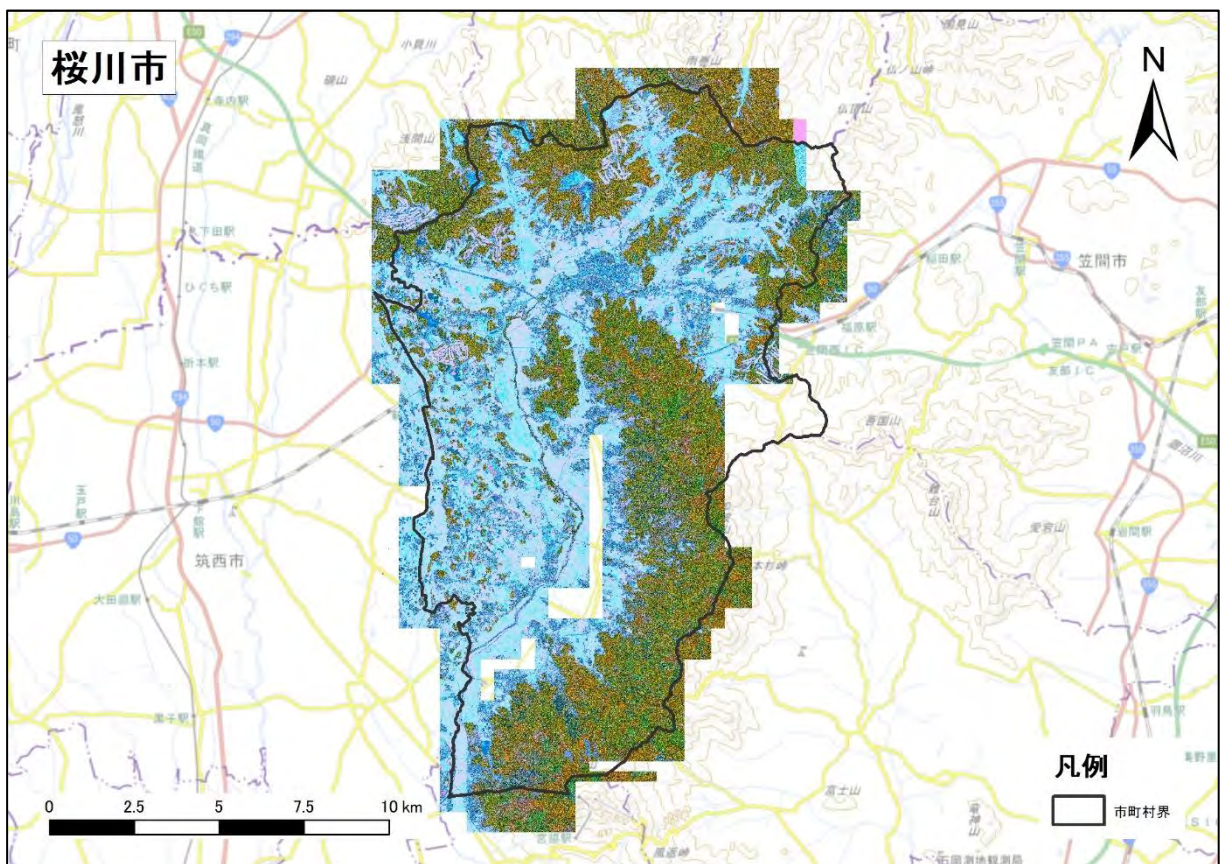


図 4-31 レーザ林相図 (桜川市)

(5) 判読キー

レーザ林相図とオルソ写真から読み取れる各林相の判読キーを表 4-4～表 4-13 に示す。

表 4-4 スギの判読キー

レーザ林相図	オルソ写真

表 4-5 ヒノキ類の判読キー

レーザ林相図	オルソ写真

表 4-6 マツ類の判読キー

レーザ林相図	オルソ写真

表 4-7 カラマツの判読キー

レーザ林相図	オルソ写真

表 4-8 その他 N の判読キー

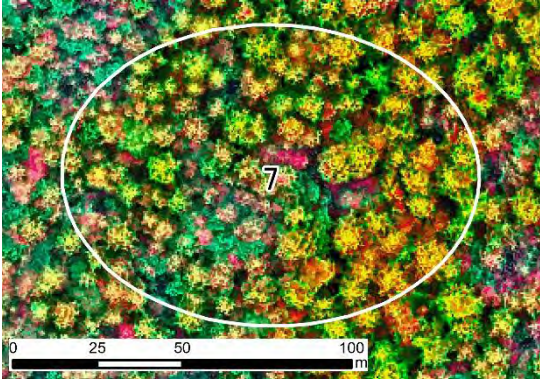

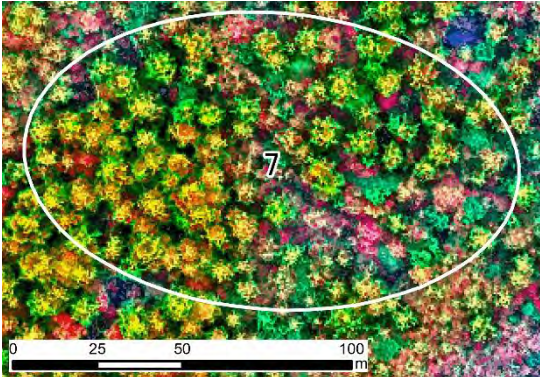
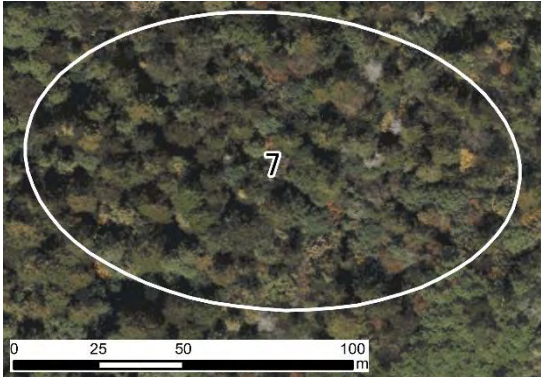
レーザ林相図	オルソ写真
	
	

表 4-9 その他Lの判読キー

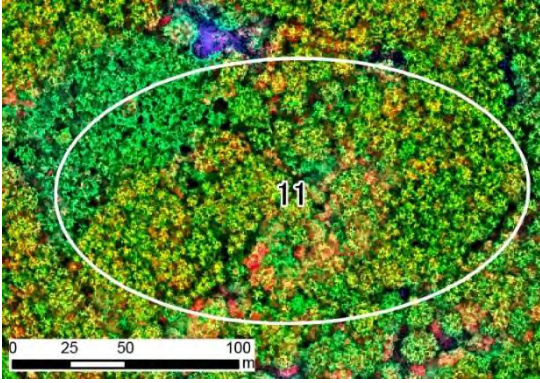
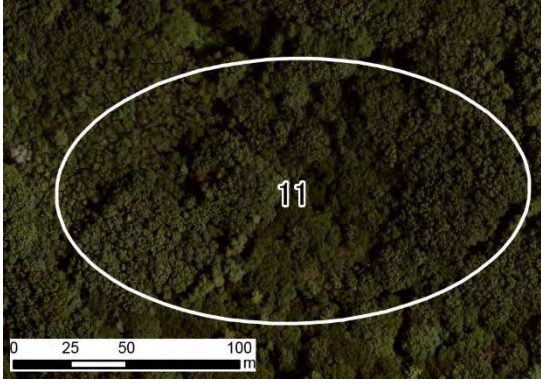
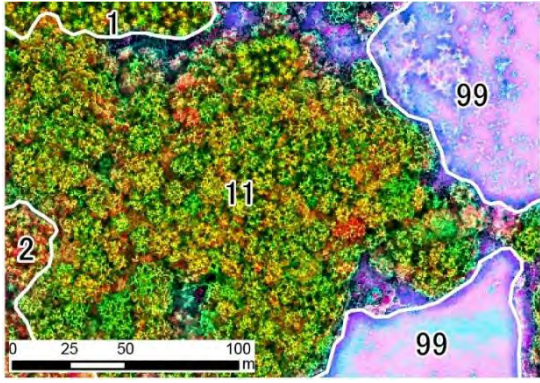
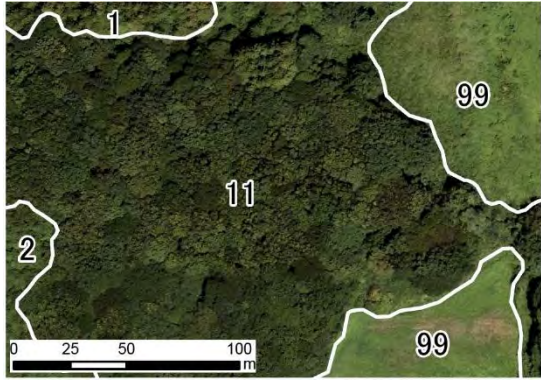
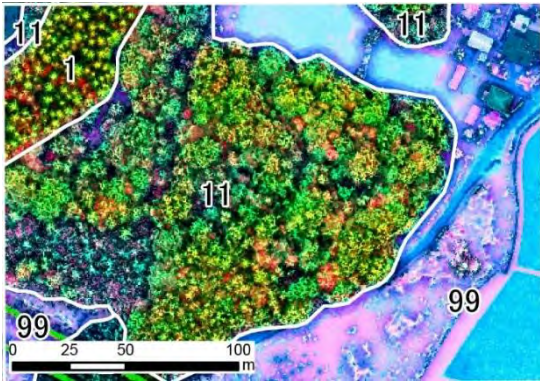

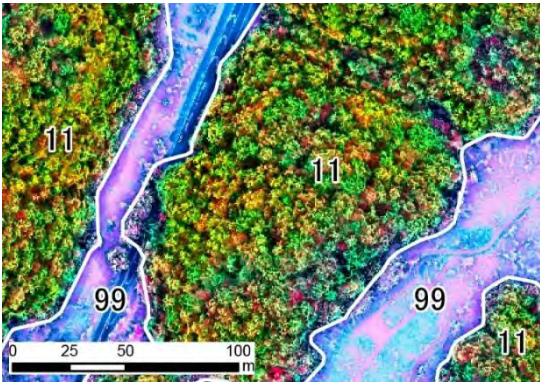
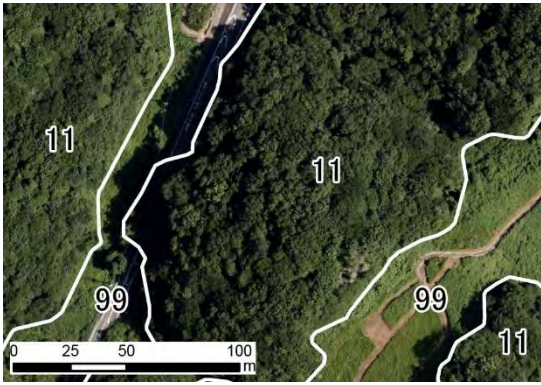
レーザ林相図	オルソ写真
	
	
	
	

表 4-10 タケの判読キー

レーザ林相図	オルソ写真

表 4-11 新植地の判読キー

レーザ林相図	オルソ写真

表 4-12 伐採跡地の判読キー

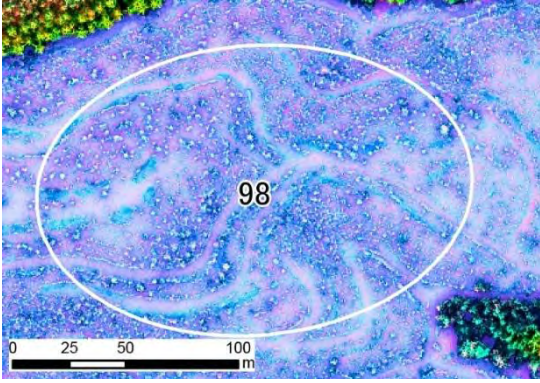
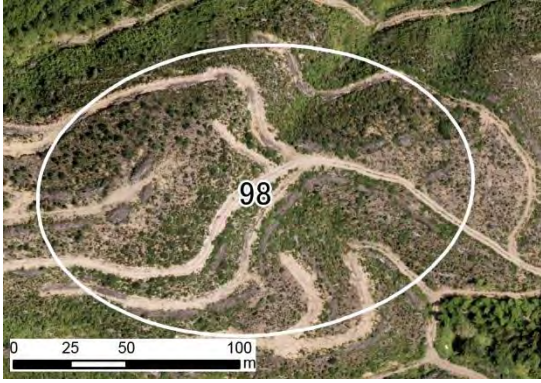
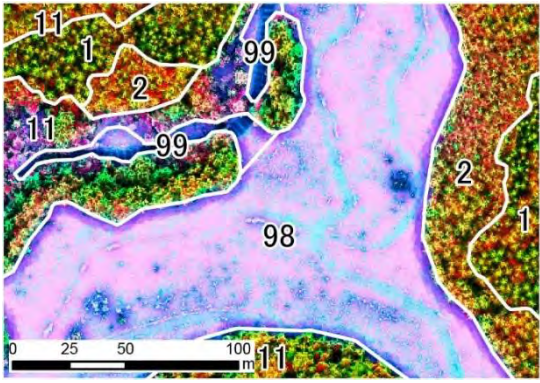
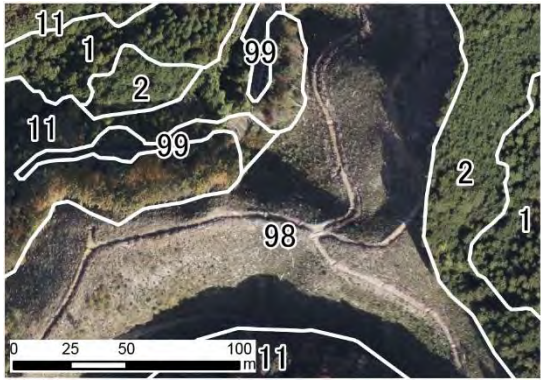
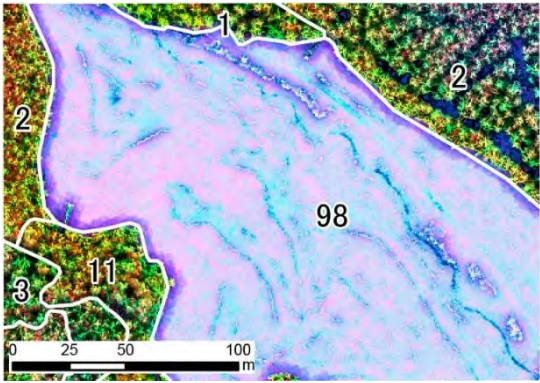
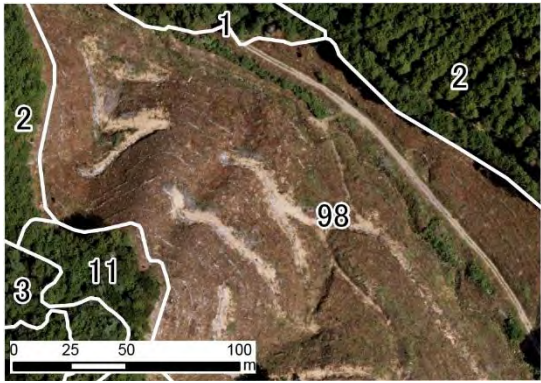
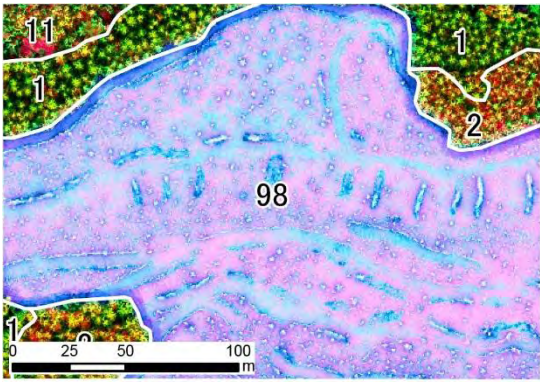
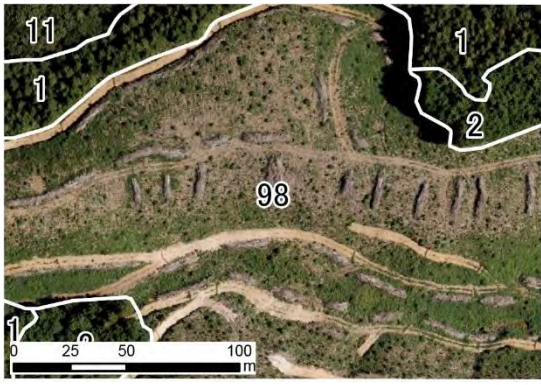
レーザ林相図	オルソ写真
	
	
	
	

表 4-13 その他の判読キー

レーザ林相図	オルソ写真

4.3.2 樹種ポリゴンデータの作成

(1) 判読方法

林相判読にあたり、まず林相識別図及びオルソ写真から樹種ごとの判読キー（各凡例の判読指標）を作成した。この判読キーの特徴をもとに、レーザ林相図、オルソ写真から目視判読により林相区分図を作成した。林相区分図の作成イメージを図 4-32 に示す。

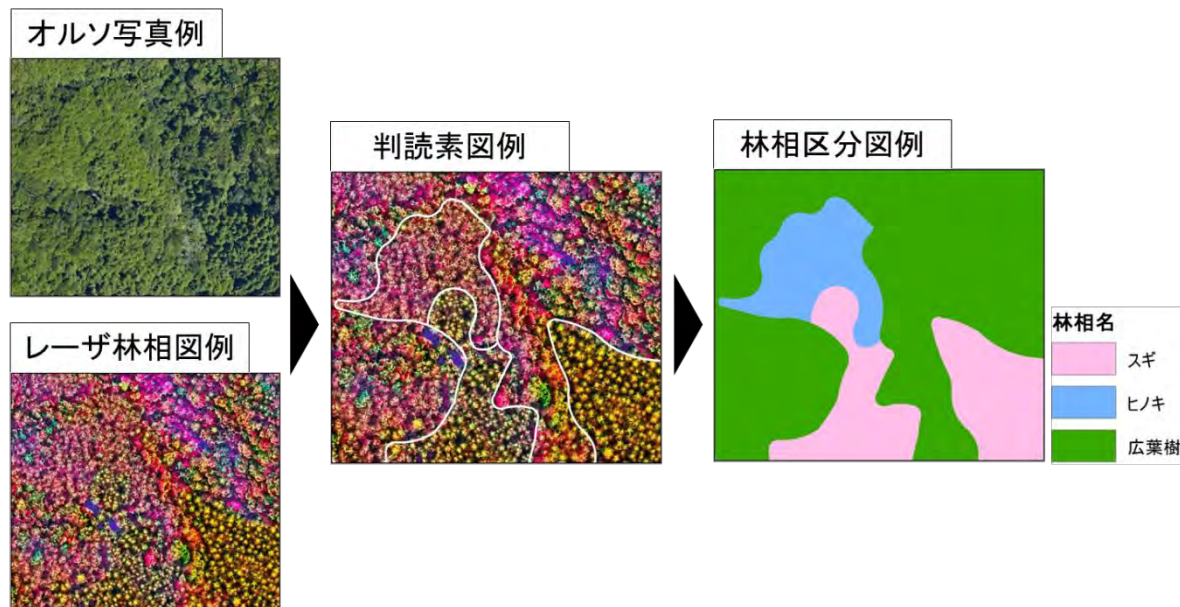


図 4-32 林相区分図の作成イメージ

(2) 最小判読単位

林相区分は樹木1本1本ごとではなく、まとまった林分に対して区分を行った。まとまった林分の判定要素として、最小判読単位を設定した。最小判読単位は、どこまで細かく林相を区分するかの単位であり、縮尺1/5,000の地図上で0.4cm×0.4cm(実尺20m×20m:0.04ha)とした。林内に最小判読単位より小さい範囲の林相があった場合、周囲の大きい林相に分類した。

例えば、ヒノキ林の中に広葉樹林が混交していた場合、数本だけの広葉樹最小判読単位よりも小さい場合はヒノキ類と判読し、広葉樹が最小判読単位よりも大きく分布している場合はその他Lと判読した。複数の林相が含まれる林分の林相区分例を図4-33に示す。

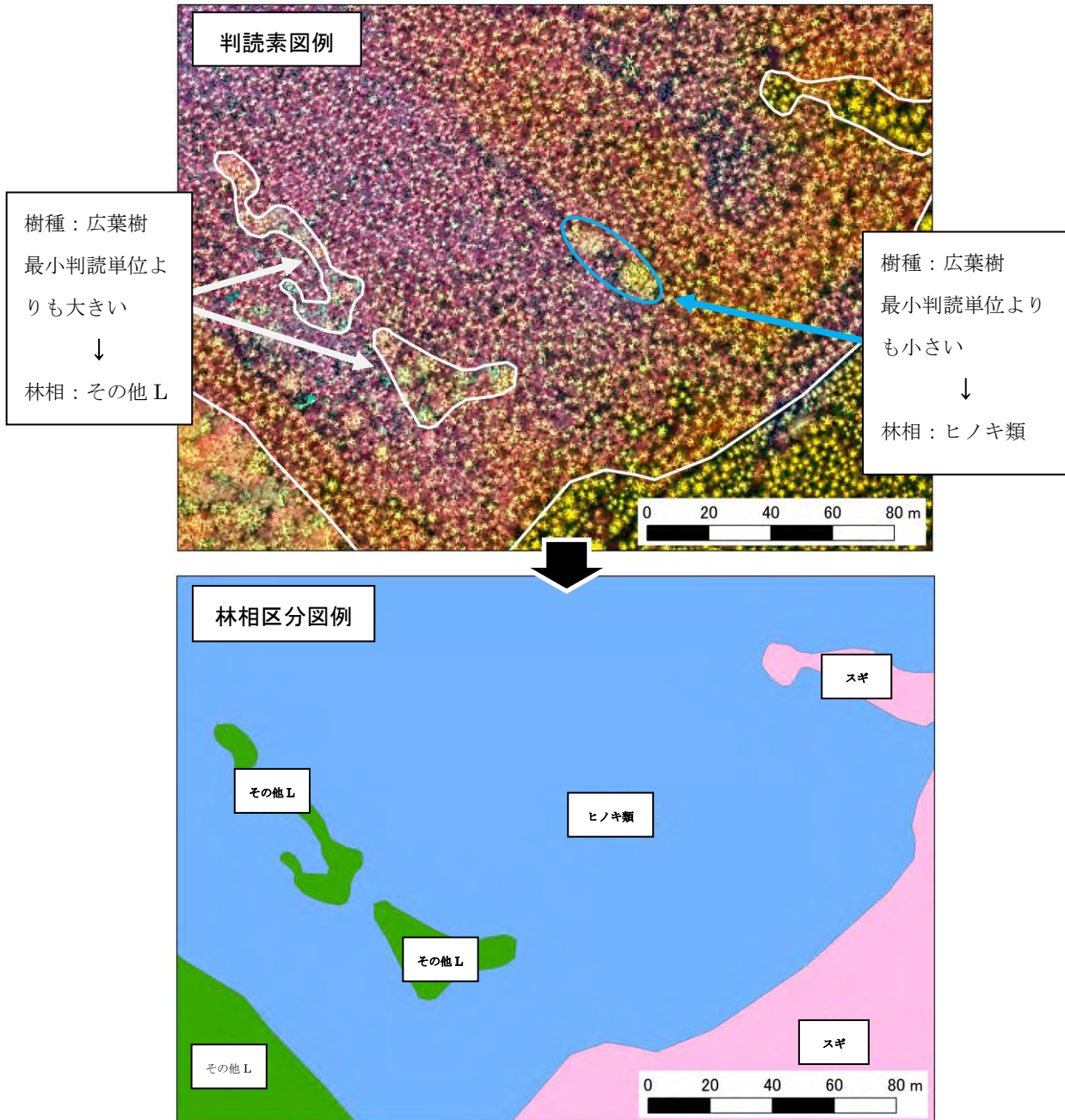


図 4-33 林相区分のイメージ

(3) 判読項目

表 4-14 に示す凡例（林相）の分布状況を、林相区分図を作成することで把握した。林相区分図は、航空レーザ計測で取得したオルソ写真とその計測データから作成した林相識別図（レーザ林相図）を用いて、目視判読により林相を GIS 上で区分して作成した。

表 4-14 樹種ポリゴンの凡例

解析樹種 ID	解析樹種	樹種 ID	樹種
01	スギ	01	スギ
02	ヒノキ類	02	ヒノキ類
03	マツ類	03	マツ類
04	カラマツ	04	カラマツ
07	その他 N	07	その他針葉樹
11	その他 L	11	広葉樹
12	タケ	12	タケ
97	新植地	97	新植地
98	伐採跡地	98	伐採跡地
99	その他	99	その他

4.3.3 グリッド検査の実施

(1) グリッド検査の実施

作成した樹種ポリゴンの判読結果について、第三者によるグリッド検査を実施した。判読範囲全体において100m間隔のポイントを発生させ、ポイントごとに樹種ポリゴンの林相名および林相境界に問題がないか確認を行い、問題がある場合は都度修正を行った。これにより判読範囲全域の樹種ポリゴンの判読精度を担保した。さらに、グリッド検査後の変更履歴をレポートとしてまとめ、照査技術者による照査を受けた（表 4-15）。

表 4-15 グリッド検査レポート

	判読ポイント											精度 (判読一致度)	
	解析樹種	01 スギ	02 ヒノキ類	03 マツ類	04 カラマツ	07 その他N	11 その他L	12 タケ	97 新植地	98 伐採跡地	99 その他		合計
判読 ポイント (照査)	01スギ	1,733	7		3		11				1	1,755	0.99
	02ヒノキ類	6	1,653	2	1		4					1,666	0.99
	03マツ類		3	374	114		1					492	0.76
	04カラマツ				1							1	1.00
	07その他N	3				10						13	0.77
	11その他L	26	2	209	125		9,919	7			19	10,307	0.96
	12タケ	2					1	294				297	0.99
	97新植地								13		6	19	0.68
	98伐採跡地									1		1	1.00
	99その他			2			4				1,511	1,517	1.00
合計	1,770	1,665	587	244	10	9,940	301	13	1	1,537	16,068		
精度(判読信頼度)	0.98	0.99	0.64	0.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	0.98		0.965	

(2) 林相区分結果

樹種ポリゴンにおける各樹種の色調（表 4-16）に基づき作成した、地区ごとの林相区分図を図 4-37～図 4-45 に示す。また、林相区分図から算出した林相別面積の集計一覧を表 4-17 に、林相別面積割合グラフを図 4-34～図 4-36 に示す。

林相区分図で最も分布面積の大きい林相は広葉樹であり、10,438.7ha で 64.2%を占めた。次いでスギが 1,730.5ha で 10.6%、ヒノキ類が 1,639.5ha で 10.1%であった。

スギ、ヒノキ類、広葉樹は調査範囲全域に広く分布しており、その中に、マツ類、タケ、新植地、その他等が散在していた。

市町別に比較すると、高根沢町ではスギ（18.9%）、石岡市ではスギ（31.9%）とヒノキ類（29.4%）の分布面積割合が他市町よりも高かった。なお、カラマツ（0.6ha）と伐採跡地（0.2ha）については高根沢町のみ分布が見られた。

表 4-16 樹種の色調









樹種名	色調 (RGB)	実際の色調
スギ	R 255, G 75, B 0	
ヒノキ類	R 77, G 196, B 255	
マツ類	R 137, G 250, B 194	
カラマツ	R 0, G 90, B 255	
その他針葉樹	R 0, G 0, B 0	
広葉樹	R 3, G 175, B 122	
タケ	R 255, G 202, B 191	
新植地	R 191, G 191, B 191	
伐採跡地	R 191, G 191, B 191	
その他	R 191, G 191, B 191	

表 4-17 林相別面積集計一覧

(ha)		スギ	ヒノキ類	マツ類	カラマツ	その他N	その他L	タケ	新植地	伐採跡地	その他	総計
栃木県	真岡市	133.2	46.1	62.0			1,006.9	38.0	0.5		201.4	1,488.1
	益子町	427.9	751.7	210.4			2,256.4	40.9	21.5		330.6	4,039.4
	市貝町	239.6	187.5	110.2			1,602.1	90.4	0.0		248.6	2,478.5
	芳賀町	97.7	33.8	9.9			435.6	35.0			149.6	761.7
	高根沢町	95.3	30.3	2.7	0.6		264.1	18.3		0.2	93.7	505.1
	計	993.7	1,049.4	395.1	0.6	0.0	5,565.2	222.7	22.1	0.2	1,023.9	9,272.8
茨城県	石岡市	80.6	74.2	1.2			92.4	0.2			3.9	252.4
	つくば市	190.5	78.7	2.3		16.3	858.0	9.2			85.9	1,241.0
	筑西市	16.8	2.3	2.1			136.0	4.9			23.8	185.8
	桜川市	448.9	435.0	93.4			3,787.1	74.9	0.4		457.8	5,297.6
	計	736.8	590.2	99.0	0.0	16.3	4,873.5	89.3	0.4	0.0	571.3	6,976.8
合計		1,730.5	1,639.5	494.1	0.6	16.3	10,438.7	312.0	22.5	0.2	1,595.2	16,249.7

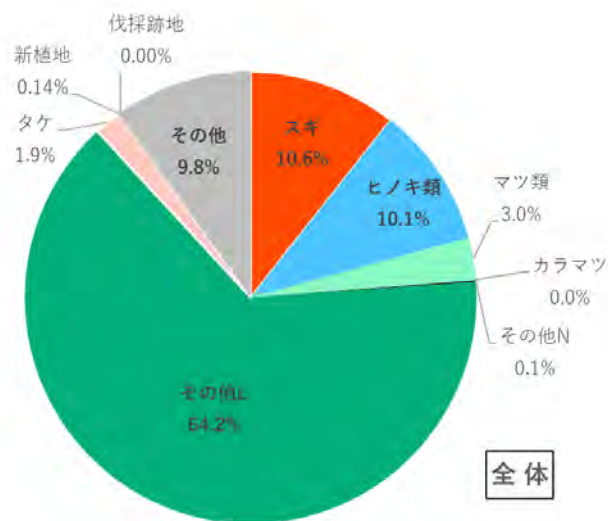


図 4-34 林相別面積割合 (全体)

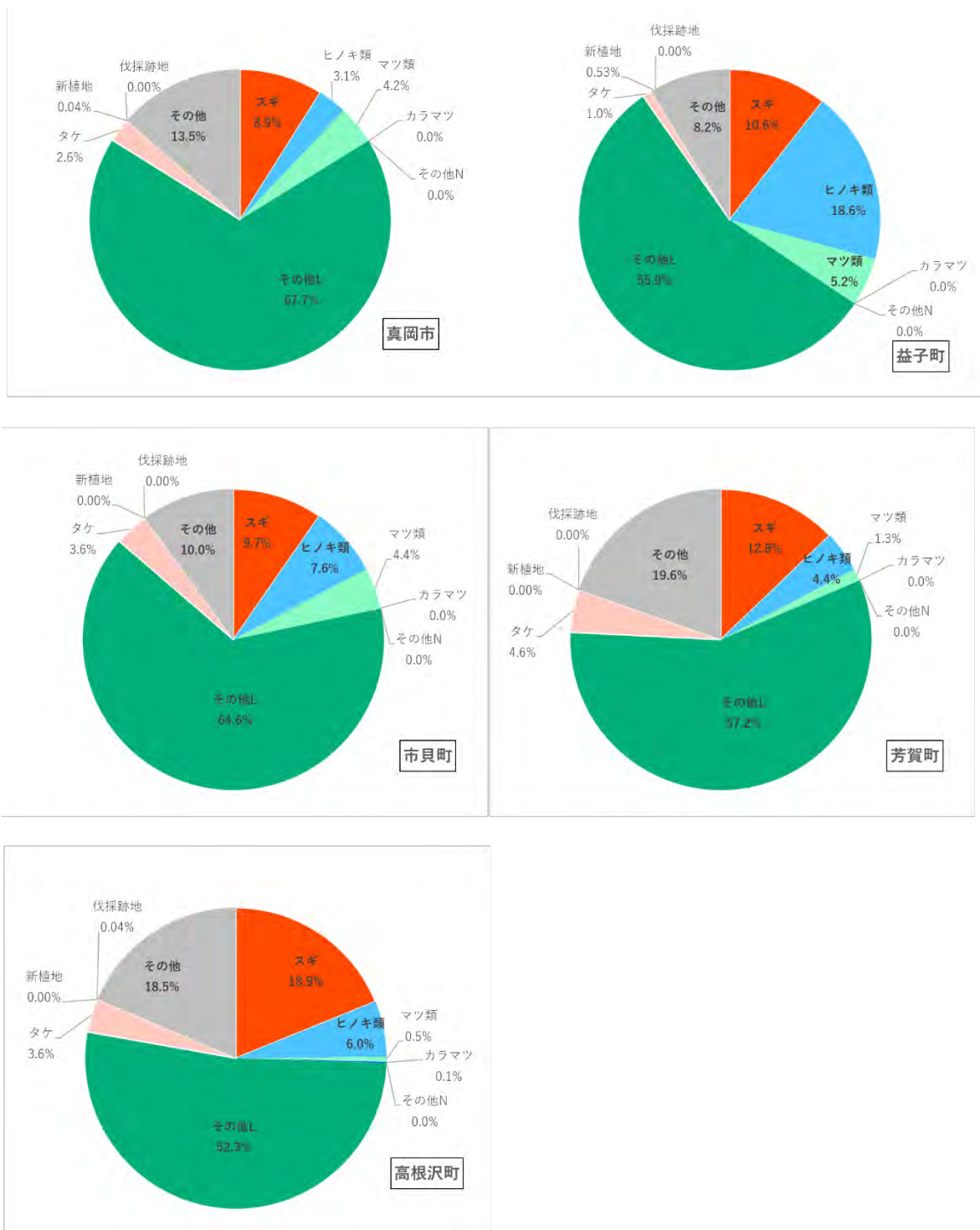


図 4-35 林相別面積割合（栃木県）

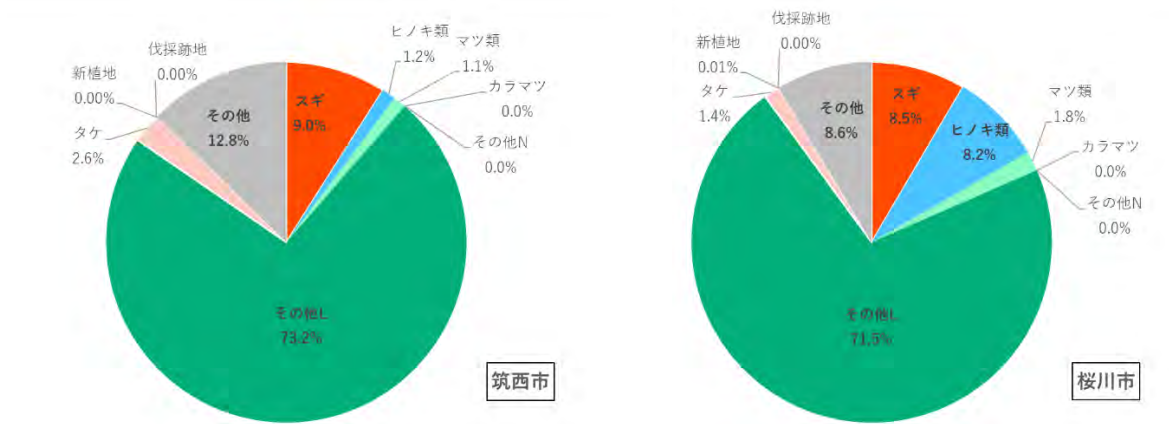
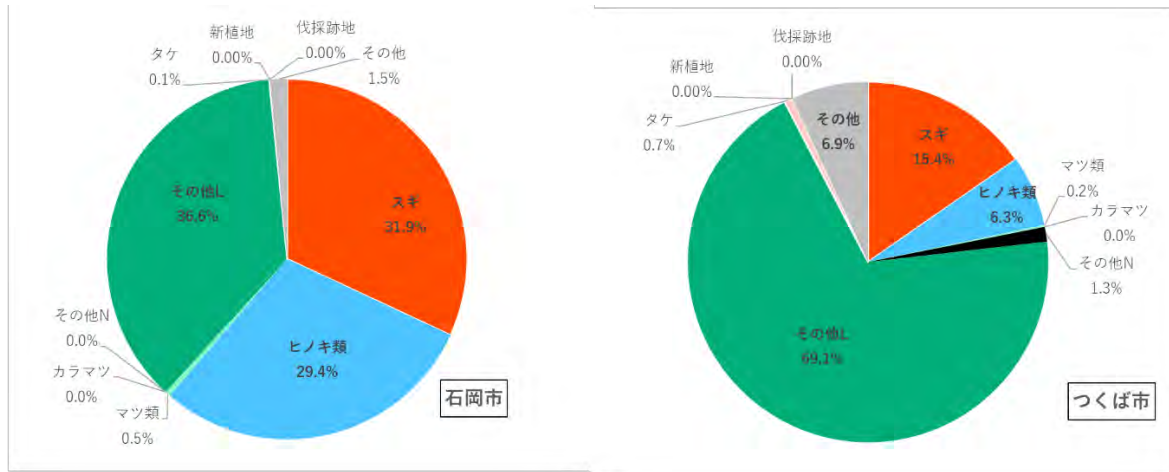


図 4-36 林相別面積割合（茨城県）

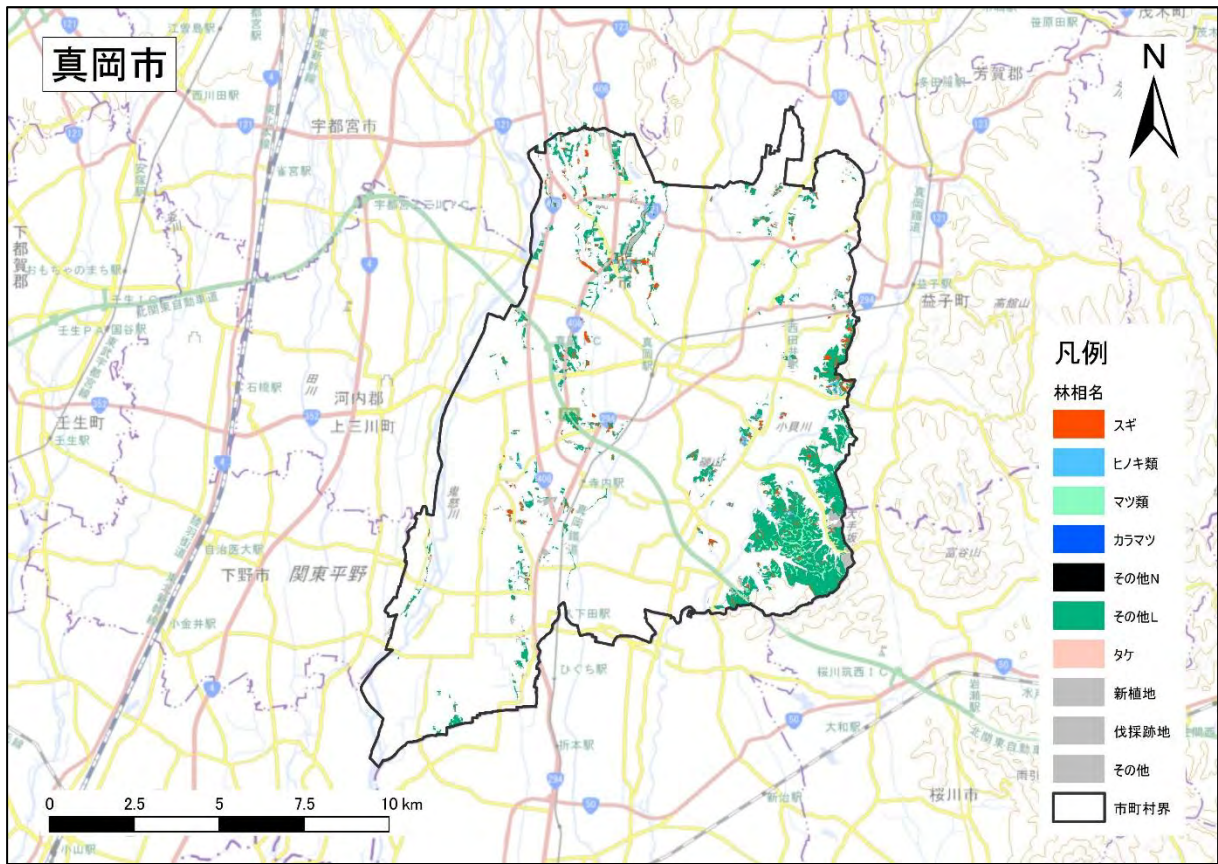


図 4-37 林相区分図（真岡市）

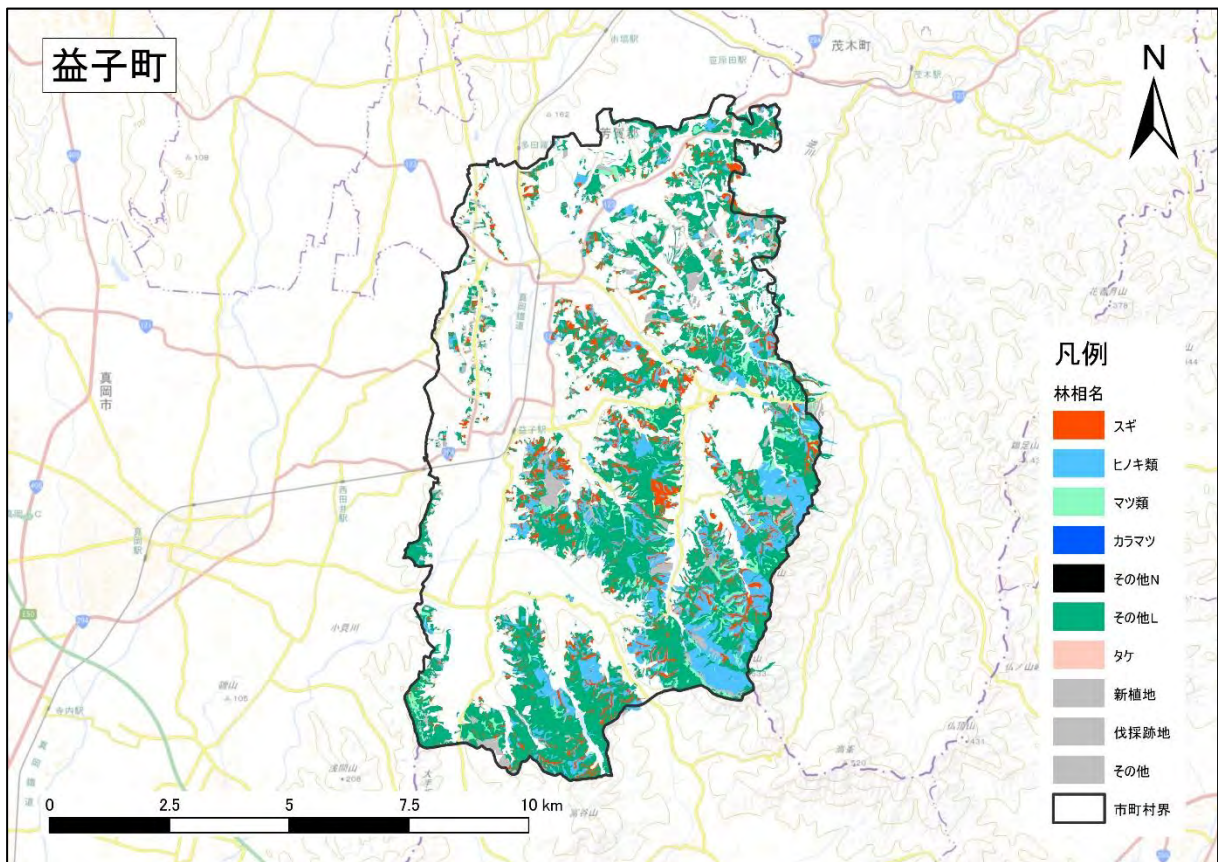


図 4-38 林相区分図（益子町）

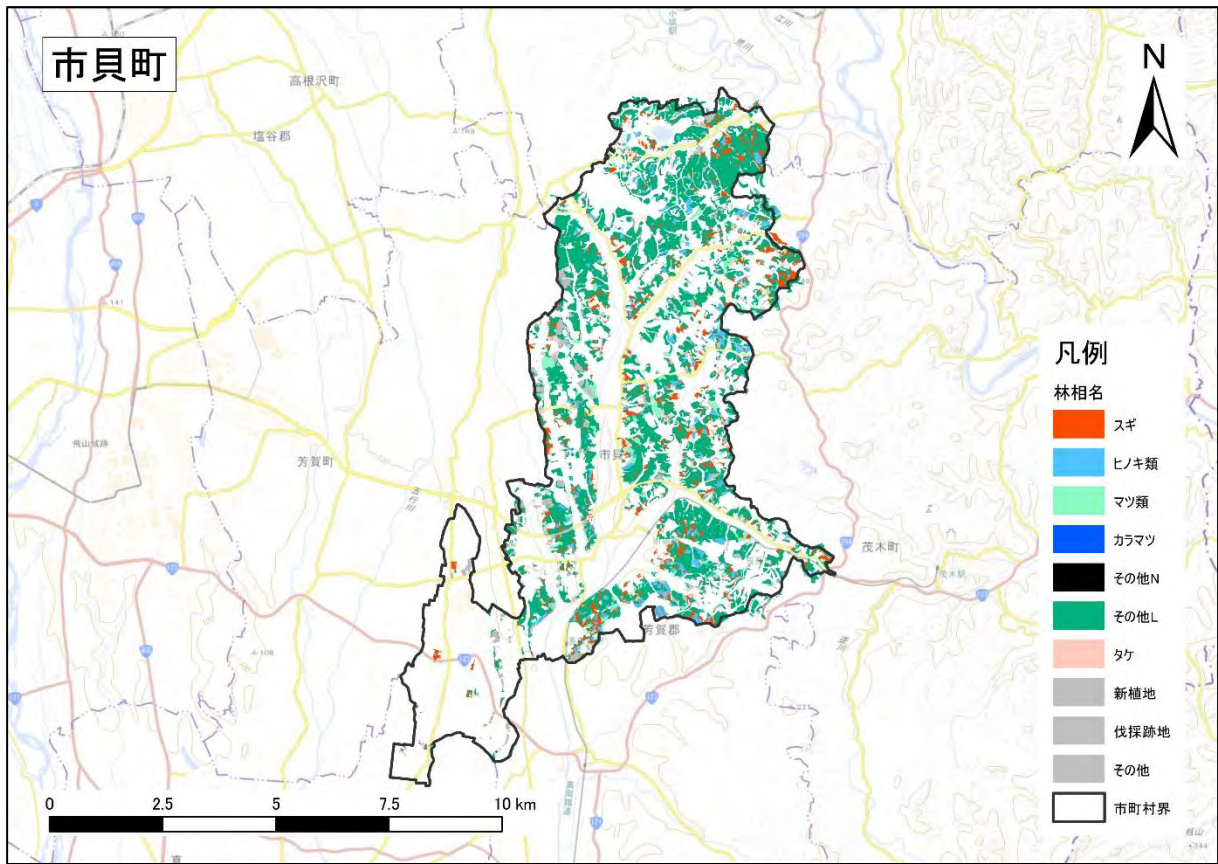


図 4-39 林相区分図（市貝町）

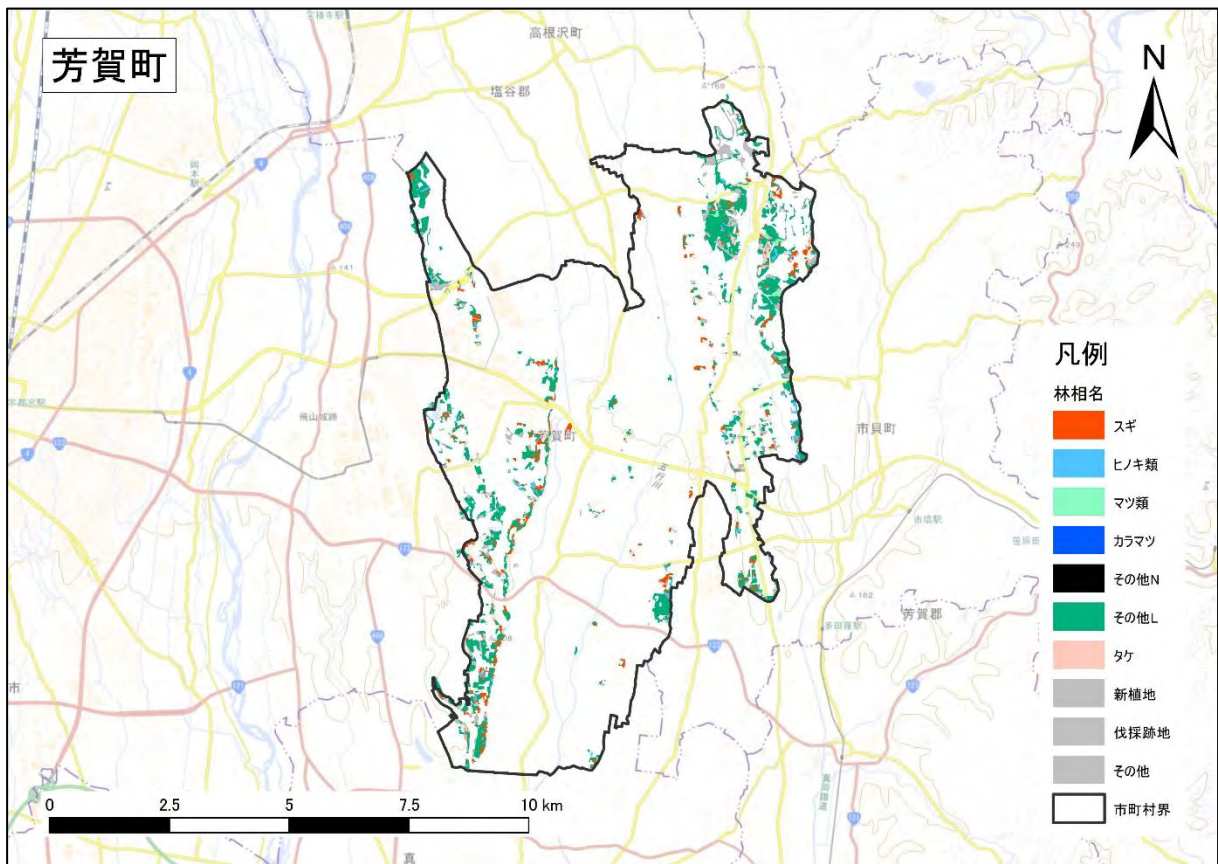


図 4-40 林相区分図（芳賀町）

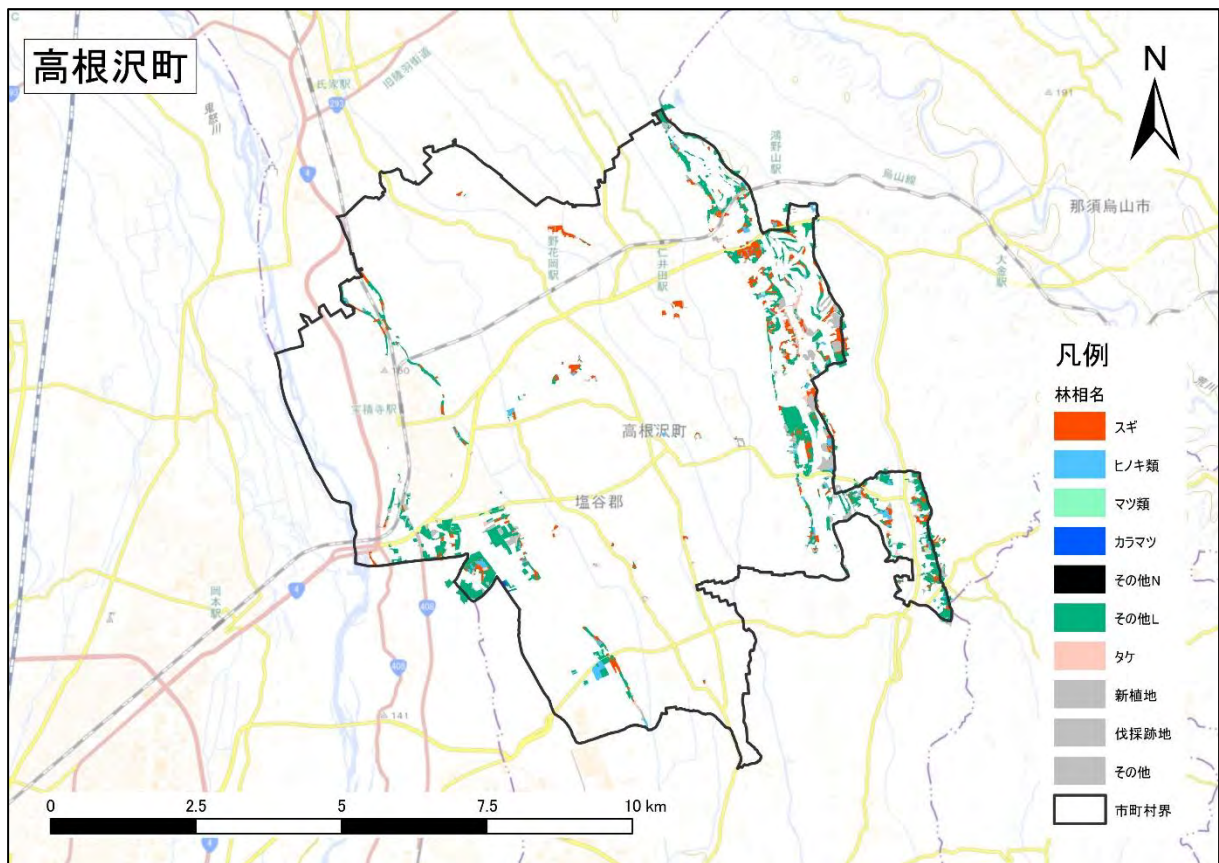


図 4-41 林相区分図（高根沢町）

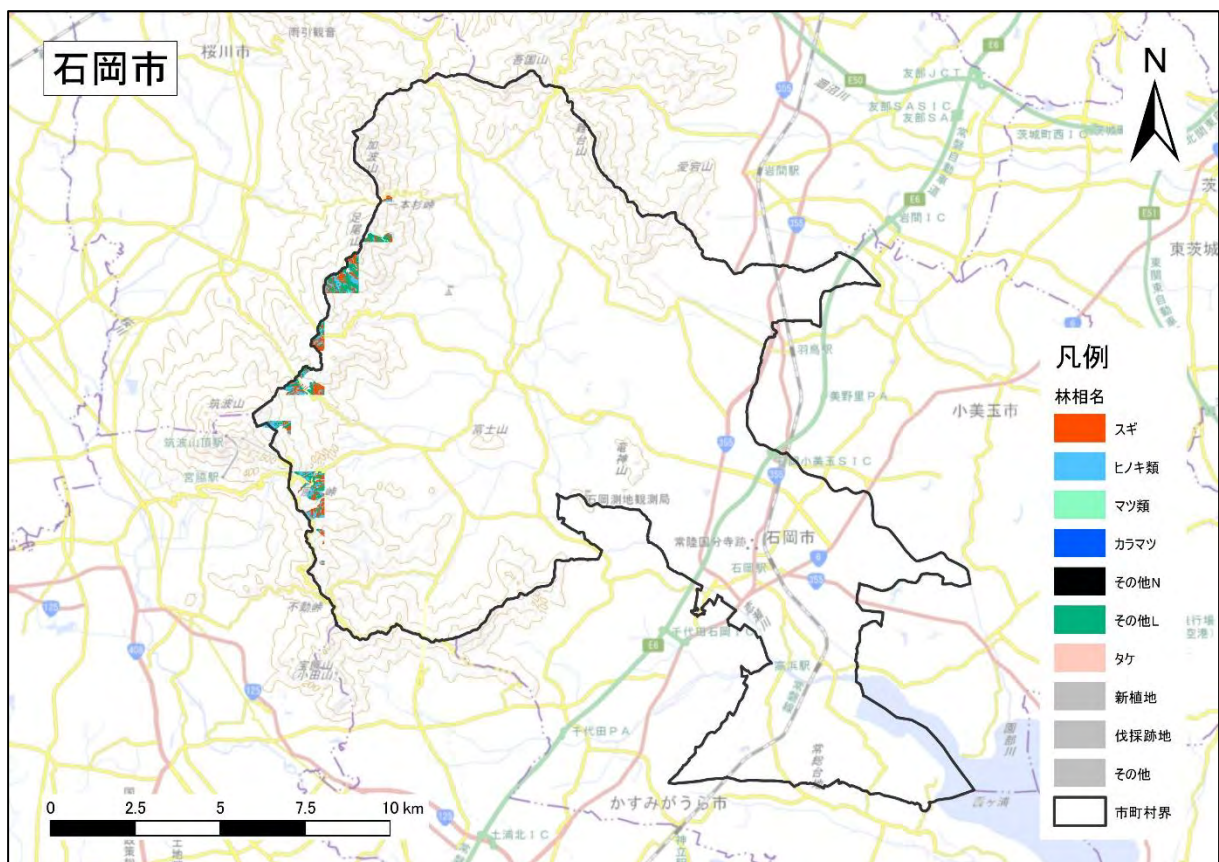


図 4-42 林相区分図（石岡市）

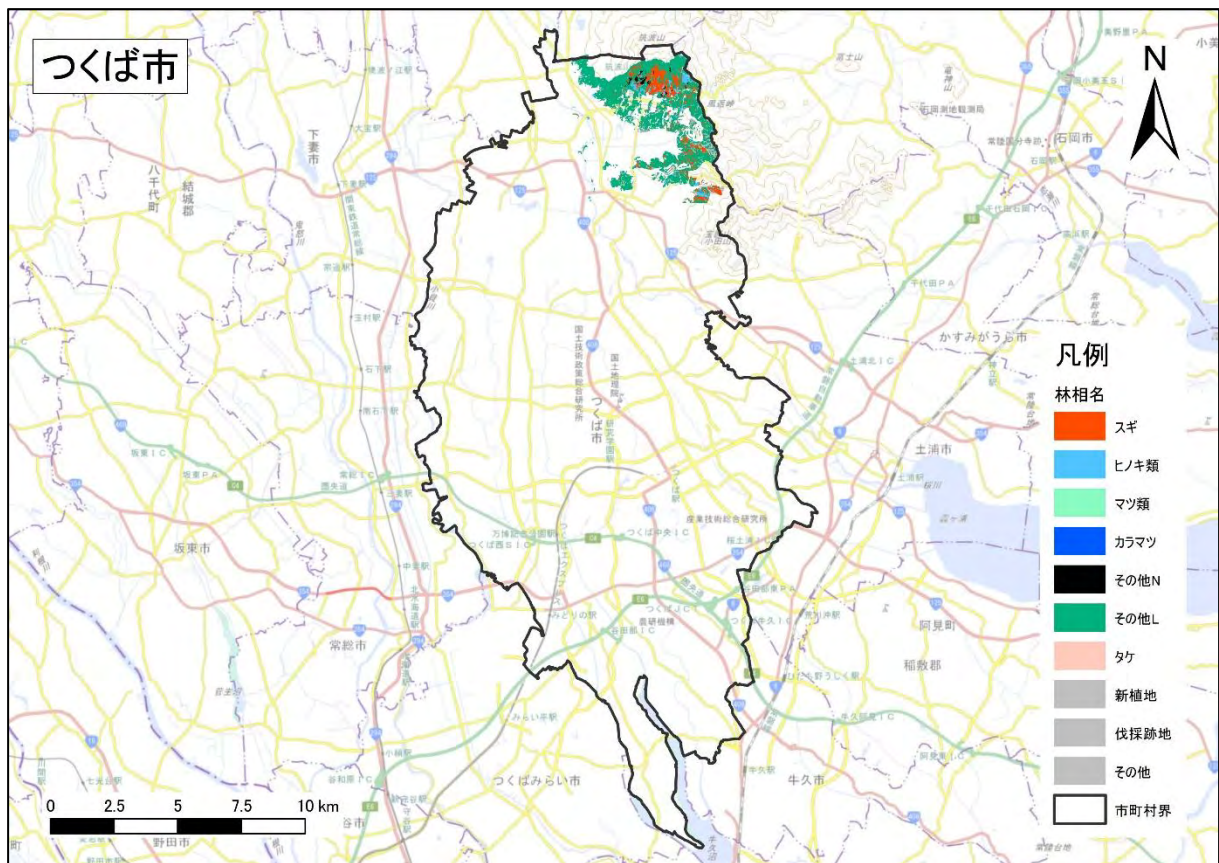


図 4-43 林相区分図（つくば市）

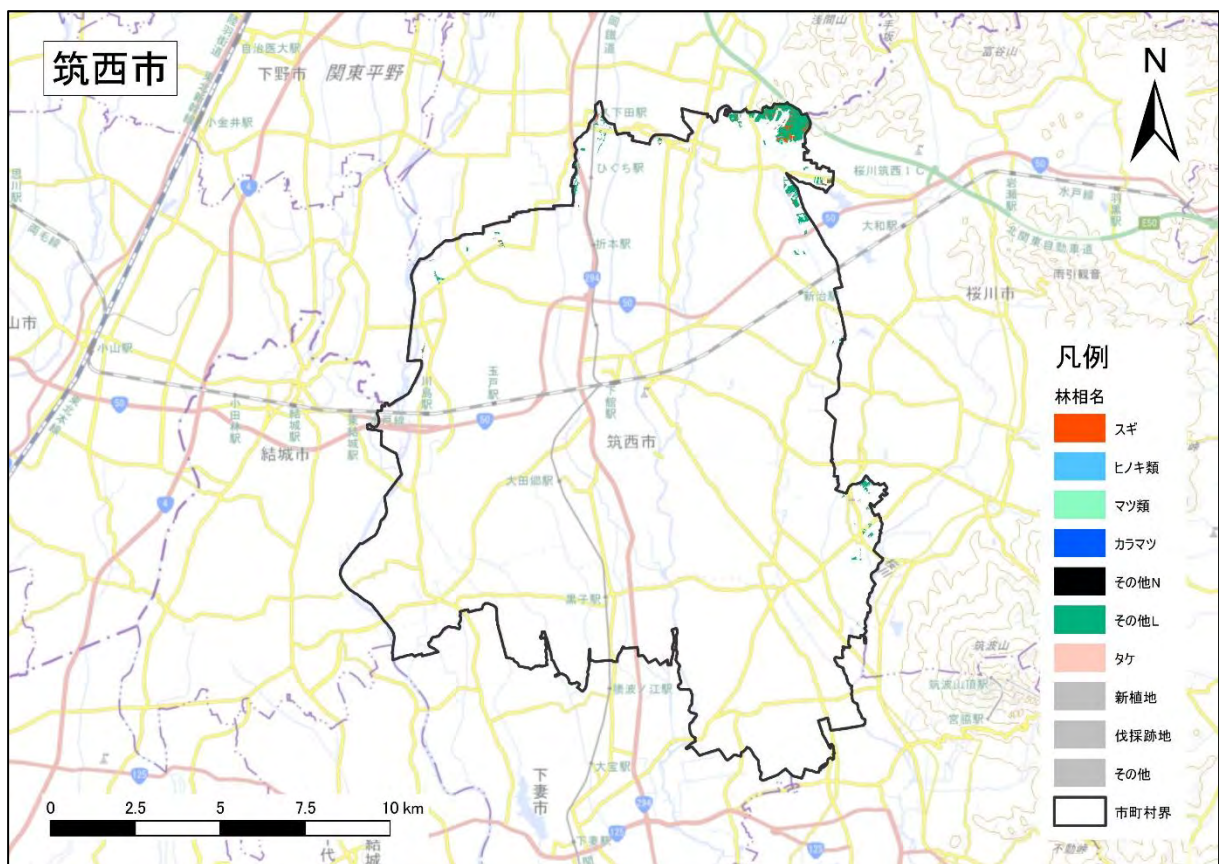


図 4-44 林相区分図（筑西市）

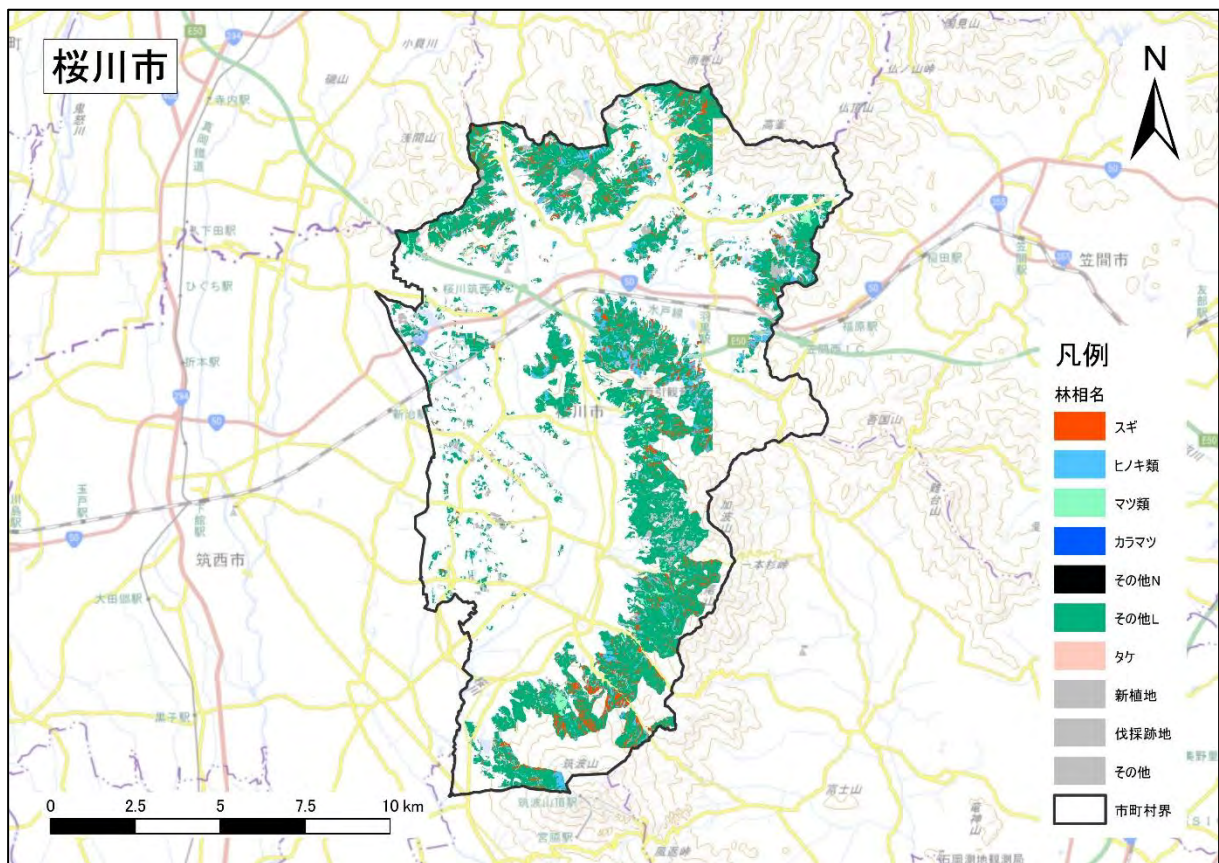


図 4-45 林相区分図（桜川市）

4.4 単木ポイントの作成

4.4.1 樹頂点の抽出

本業務では、東京電力株式会社と当社で共同開発した樹頂点抽出技術（特許第 4279894 号）を用いて針葉樹の解析を行った。手順は以下のとおりである（図 4-46）。

- ①DCHM から樹冠形状指数を計算する。樹冠形状指数とは、樹頂部の凹凸を表す指数で、凸部ほど高い値になり凹部ほど低い値をとる。梢端では凸状であり、樹冠縁は凹状となり、必ず単木ごとに高い値と低い値が含まれる。そのため画像上で単木を識別しやすくなる。
- ②樹冠形状指数を用いて、樹冠部を抽出する。動的に決められる閾値以上のまとまりが樹冠部として抽出される。
- ③最後に樹冠部の中の DCHM を調べ、最も DCHM が高いメッシュの位置を樹頂点として抽出する。一つの樹冠に複数の凸部がある場合の過剰抽出を避けるために樹頂点間の距離に制限値を設定し、制限値以内の距離にある複数の樹頂点のうち、最も DCHM が高い樹頂点のみを抽出する。

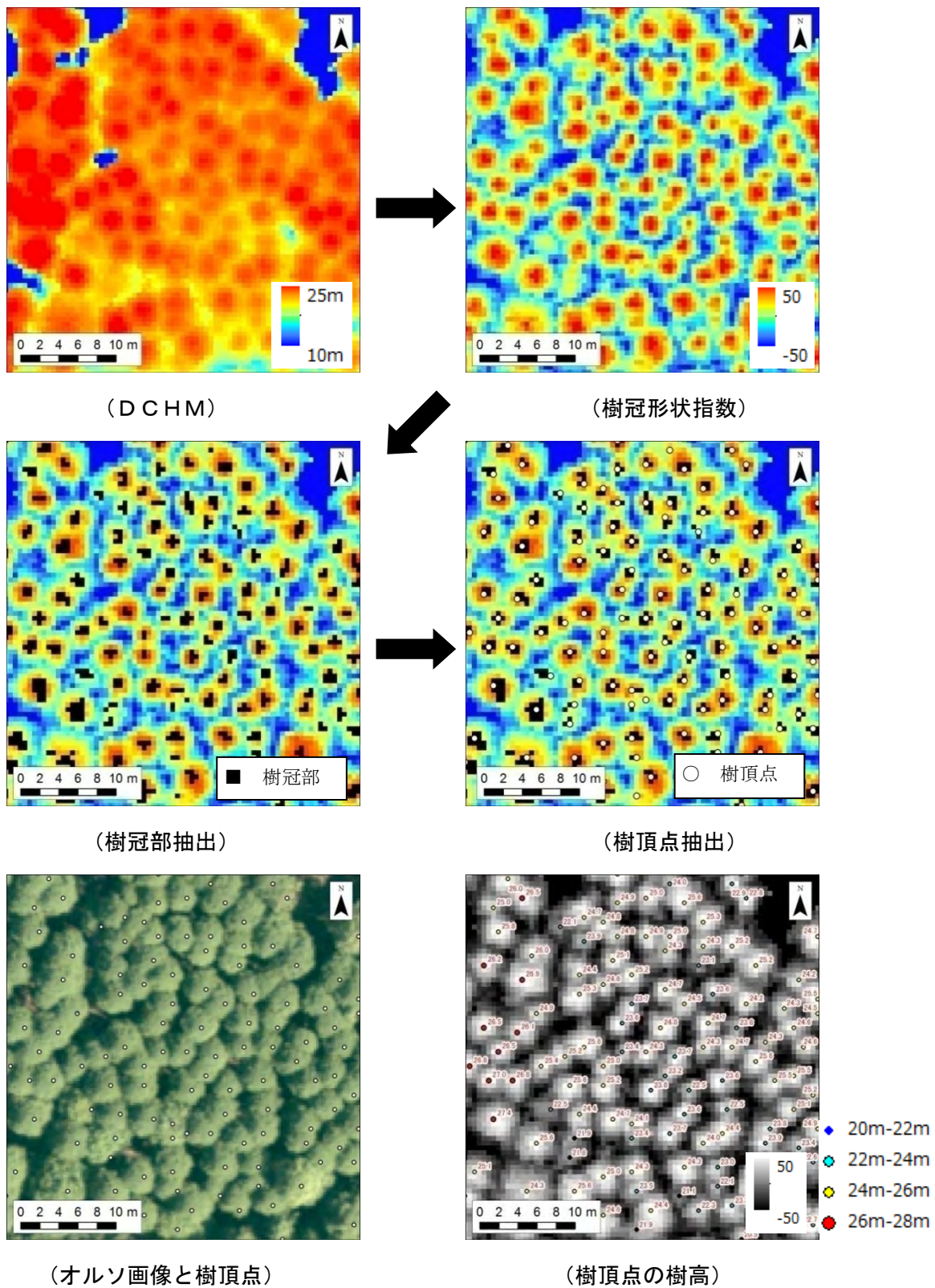


図 4-46 樹頂点抽出の流れ

4.4.2 集計データ区画

①において作成した単木ポイントデータを表 4-18 に示す 3 つの区画にて集計を行う。
次ページ以降『1_森林簿・森林計画図の林小班ごと』の集計結果を示す。

表 4-18 集計区画の一覧

	集計区画	作成理由・利活用方法
1	森林簿・森林計画図の 林小班ごと	森林解析結果の栃木県等行政機関や林業事業者での利用を 想定し、林務部局で利用されるデータと揃えた形式とし た。 また、花粉量は林齢に応じた多寡の傾向があるため、森林 簿の林齢と森林解析結果を一覧で確認できるものとした。
2	20mメッシュポリゴン	森林簿・森林計画図では小班の重複や属性項目が多くなっ てしまうため、より簡易に森林資源量を面的に把握できる データとして整備し、花粉症対策の樹種と材積を特定でき るように作成した。
3	1 km ² メッシュポリゴン	データ公開後、速やかに民間事業者が花粉飛散予測での利 用できるように作成した。

4.4.3 立木本数

(1) 集計結果

樹木本数を樹種別に集計した結果を表 4-19、表 4-20 に示す。栃木県のスギの立木本数は民有林で約 65 万本、国有林で約 7.6 万本、ヒノキ類の立木本数は民有林で約 57 万本、国有林で約 39 万本、マツ類の立木本数は民有林で約 24 万本、国有林で約 7.2 万本であった。栃木県のスギ、ヒノキ類、マツ類の合計立木本数は約 200 万本であった。栃木県の森林解析範囲ではスギの平均立木密度は 751 本/ha、ヒノキ類は 941 本/ha、マツ類は 809 本/ha であった。

茨城県のスギの立木本数は民有林で約 52 万本、国有林で約 3000 本、ヒノキ類の立木本数は民有林で約 47 万本、国有林で約 1.3 万本、マツ類の立木本数は民有林で約 8.4 万本、国有林で約 300 本であった。茨城県のスギ、ヒノキ類、マツ類の合計立木本数は約 100 万本であった。茨城県の森林解析範囲ではスギの平均立木密度は 744 本/ha、ヒノキ類は 869 本/ha、マツ類は 884 本/ha であった。

表 4-19 樹木本数集計結果（栃木県）

樹種	範囲	合計本数 (本)	割合	面積 (ha)	割合	平均立木密度 (本/ha)
スギ	民有林	654,184	32.6%	863	36.2%	758
	国有林	75,589	3.8%	108	4.5%	698
	合計	729,773	36.3%	971	40.7%	751
ヒノキ類	民有林	572,691	28.5%	623	26.1%	919
	国有林	393,820	19.6%	404	16.9%	975
	合計	966,511	48.1%	1,027	43.1%	941
マツ類	民有林	240,972	12.0%	293	12.3%	822
	国有林	72,315	3.6%	94	4.0%	766
	合計	313,287	15.6%	387	16.2%	809
総計		2,009,571	-	2,386	-	842

表 4-20 樹木本数集計結果（茨城県）

樹種	範囲	合計本数 (本)	割合	面積 (ha)	割合	平均立木密度 (本/ha)
スギ	民有林	515,006	47.7%	692	51.6%	744
	国有林	2,856	0.3%	4	0.3%	732
	合計	517,862	47.9%	696	51.8%	744
ヒノキ類	民有林	465,319	43.1%	536	39.9%	869
	国有林	12,932	1.2%	15	1.1%	860
	合計	478,251	44.3%	551	41.0%	869
マツ類	民有林	84,272	7.8%	95	7.1%	885
	国有林	279	0.0%	0	0.0%	619
	合計	84,551	7.8%	96	7.1%	884
総計		1,080,664	-	1,342	-	805

次に、抽出された樹頂点を栃木県、茨城県の業務対象区域それぞれの林小班ごとに集計し、立木密度を算出した結果を表 4-21 に示す。

表 4-21 立木密度ごとの面積

	樹種	500未満 (本/ha)		500以上 750未満 (本/ha)		750以上 1000未満 (本/ha)		1000以上 1250未満 (本/ha)		1250以上 1500未満 (本/ha)		1500以上 (本/ha)		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		
栃木県	民有林	スギ	53.39	4.6%	576.05	50.0%	418.84	36.3%	82.26	7.1%	18.19	1.6%	3.63	0.3%	1152.36
		ヒノキ類	7.09	0.9%	162.15	20.1%	414.96	51.4%	193.88	24.0%	22.02	2.7%	7.38	0.9%	807.48
		マツ類	3.44	0.9%	118.37	30.8%	227.36	59.1%	35.73	9.3%	0.03	0.0%	0.02	0.0%	384.94
		小計	63.92	2.7%	856.57	36.5%	1061.16	45.3%	311.87	13.3%	40.24	1.7%	11.03	0.5%	2344.79
	国有林	スギ	8.36	7.7%	72.06	66.5%	20.51	18.9%	4.60	4.2%	0.87	0.8%	1.96	1.8%	108.36
		ヒノキ類	0.69	0.2%	59.00	14.6%	183.56	45.4%	119.10	29.5%	36.48	9.0%	5.13	1.3%	403.96
		マツ類	0.14	0.1%	45.42	48.1%	47.54	50.3%	1.31	1.4%	0.01	0.0%	0.00	0.0%	94.42
		小計	9.19	1.5%	176.47	29.1%	251.61	41.5%	125.01	20.6%	37.36	6.2%	7.10	1.2%	606.74
茨城県	民有林	スギ	32.45	4.7%	391.65	56.6%	217.41	31.4%	34.43	5.0%	6.71	1.0%	9.31	1.3%	691.96
		ヒノキ類	7.35	1.4%	144.80	27.0%	253.90	47.4%	114.84	21.4%	12.41	2.3%	2.30	0.4%	535.62
		マツ類	1.14	1.2%	17.21	18.1%	50.82	53.4%	26.01	27.3%	0.05	0.1%	0.01	0.0%	95.24
		小計	40.94	3.1%	553.65	41.9%	522.13	39.5%	175.28	13.3%	19.18	1.4%	11.62	0.9%	1322.81
	国有林	スギ	0.00	0.1%	2.17	55.5%	1.72	44.0%	0.00	0.0%	0.01	0.3%	0.00	0.0%	3.90
		ヒノキ類	0.00	0.0%	1.60	10.7%	12.67	84.2%	0.77	5.1%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	15.04
		マツ類	0.01	1.4%	0.44	98.6%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.45
		小計	0.01	0.1%	4.22	21.7%	14.39	74.2%	0.77	4.0%	0.01	0.1%	0.00	0.0%	19.40
総計		114.06	2.7%	1590.91	37.1%	1849.29	43.1%	612.93	14.3%	96.79	2.3%	29.75	0.7%	4293.74	

1) 栃木県民有林（真岡市、益子町、市貝町、芳賀町、高根沢町）

栃木県民有林の立木密度ごとの面積（ha）を図 4-47、立木密度区分図を図 4-48 に示す。

スギは 500 本/ha 以上 750 本/ha 未満の林分が最も多く 50.0%となっており、次いで 750 本/ha 以上 1000 本/ha 未満の林分が 36.6%を占めていた。

ヒノキ類は 750 本/ha 以上 1000 本/ha の林分が最も多く 54.1%となっており、次いで 1000 本/ha 以上 1250 本/ha の林分が 24.0%を占めていた。

マツ類は 750 本/ha 以上 1000 本/ha の林分が最も多く 59.1%となっており、次いで 500 本/ha 以上 1750 本/ha の林分が 30.8%を占めていた。

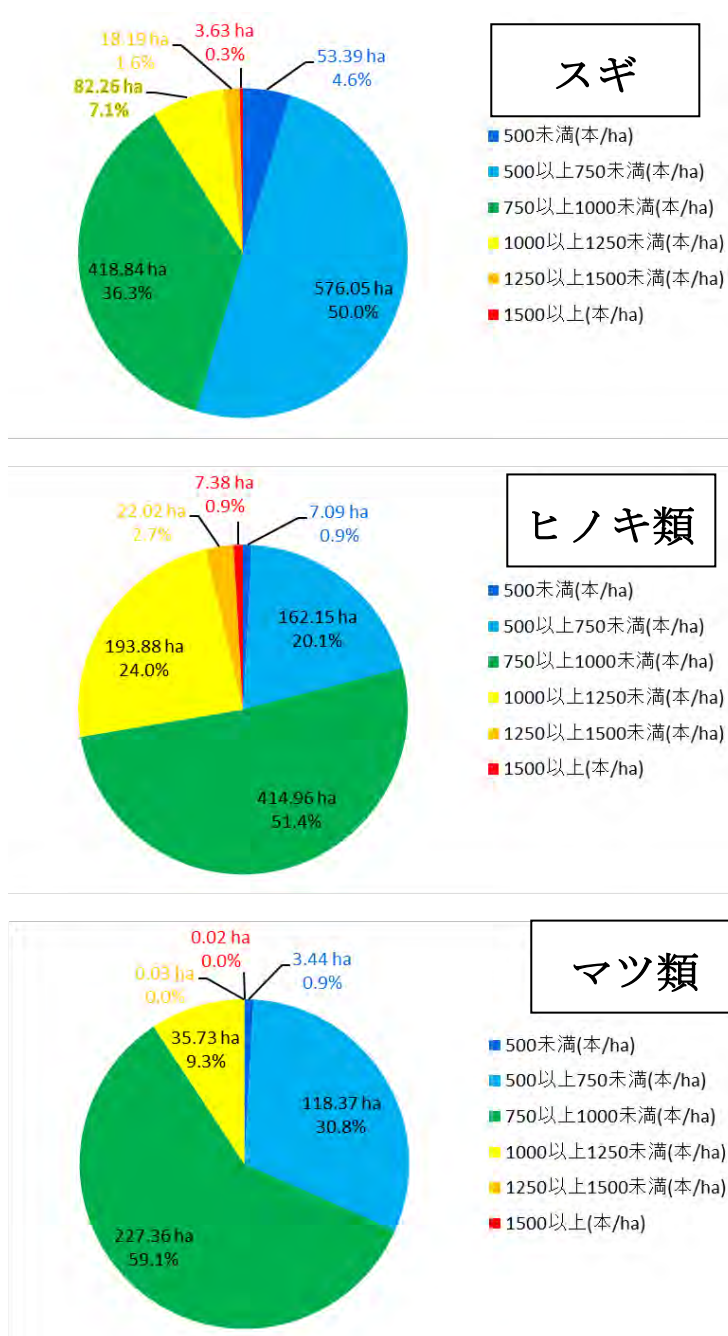


図 4-47 立木密度ごとの面積（ha）（栃木県民有林）

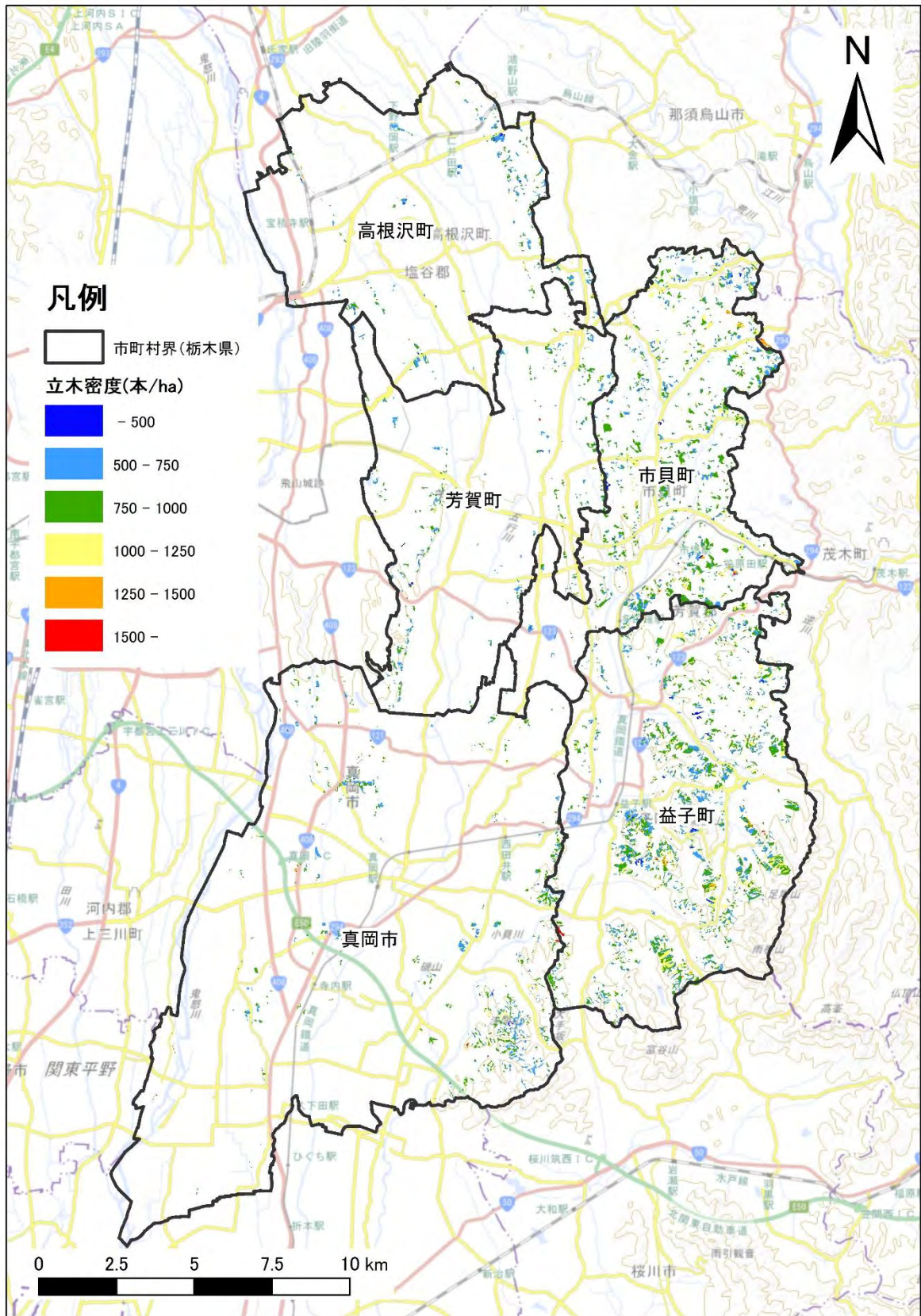


図 4-48 立木密度区分図 (栃木県民有林)

2) 栃木県国有林（益子町）

栃木県国有林の立木密度ごとの面積（ha）を図 4-49、立木密度区分図を図 4-50 に示す。

スギは 500 本/ha 以上～ 750 本/ha の林分が最も多く 66.5%となっており、次いで 750 本/ha 以上 1000 本/ha の林分が 18.9%を占めていた。

ヒノキ類は 750 本/ha 以上 1000 本/ha 未満の林分が最も多く 45.4%となっており、次いで 1000 本/ha 以上 1250 本/ha 未満の林分が 29.5%を占めていた。

マツ類は 750 本/ha 以上 1000 本/ha 未満の林分が最も多く 50.3%となっており、次いで 500 本/ha 以上 750 本/ha 未満の林分が 48.1%を占めていた。

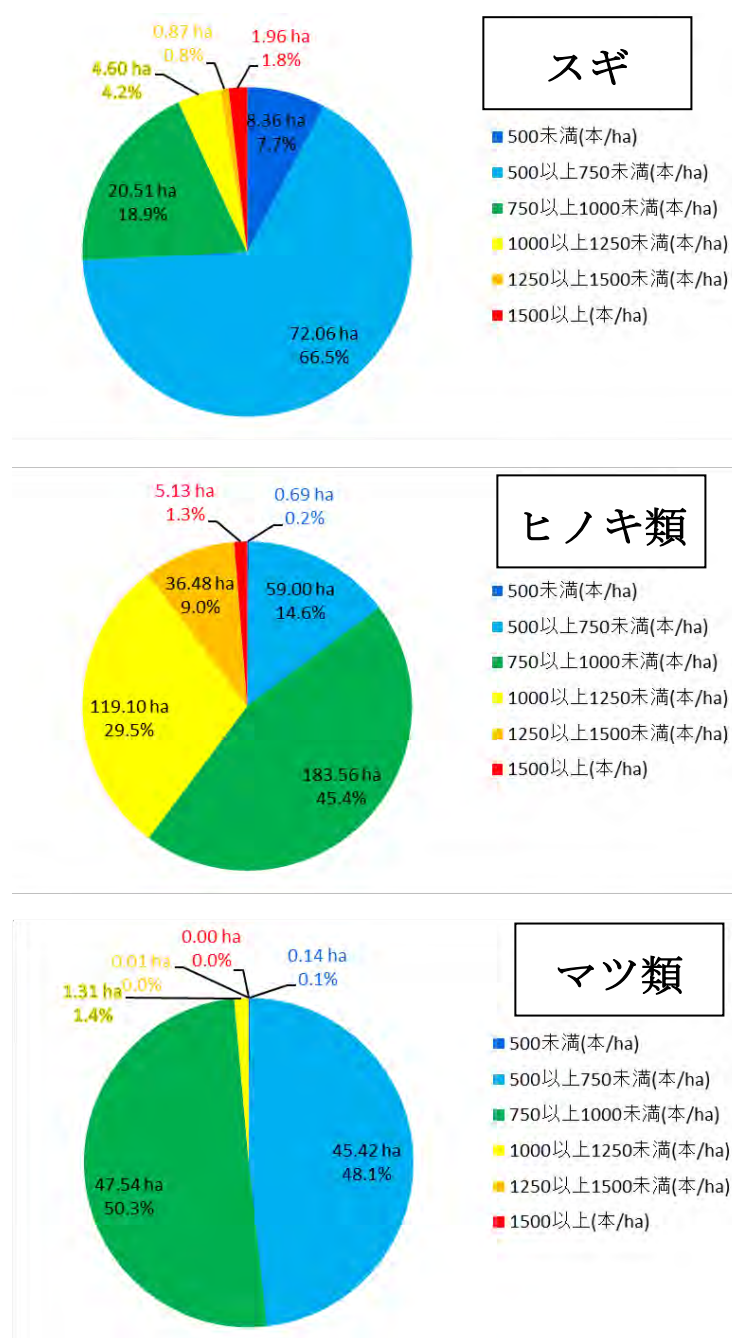


図 4-49 立木密度ごとの面積（ha）（栃木県国有林（益子町））

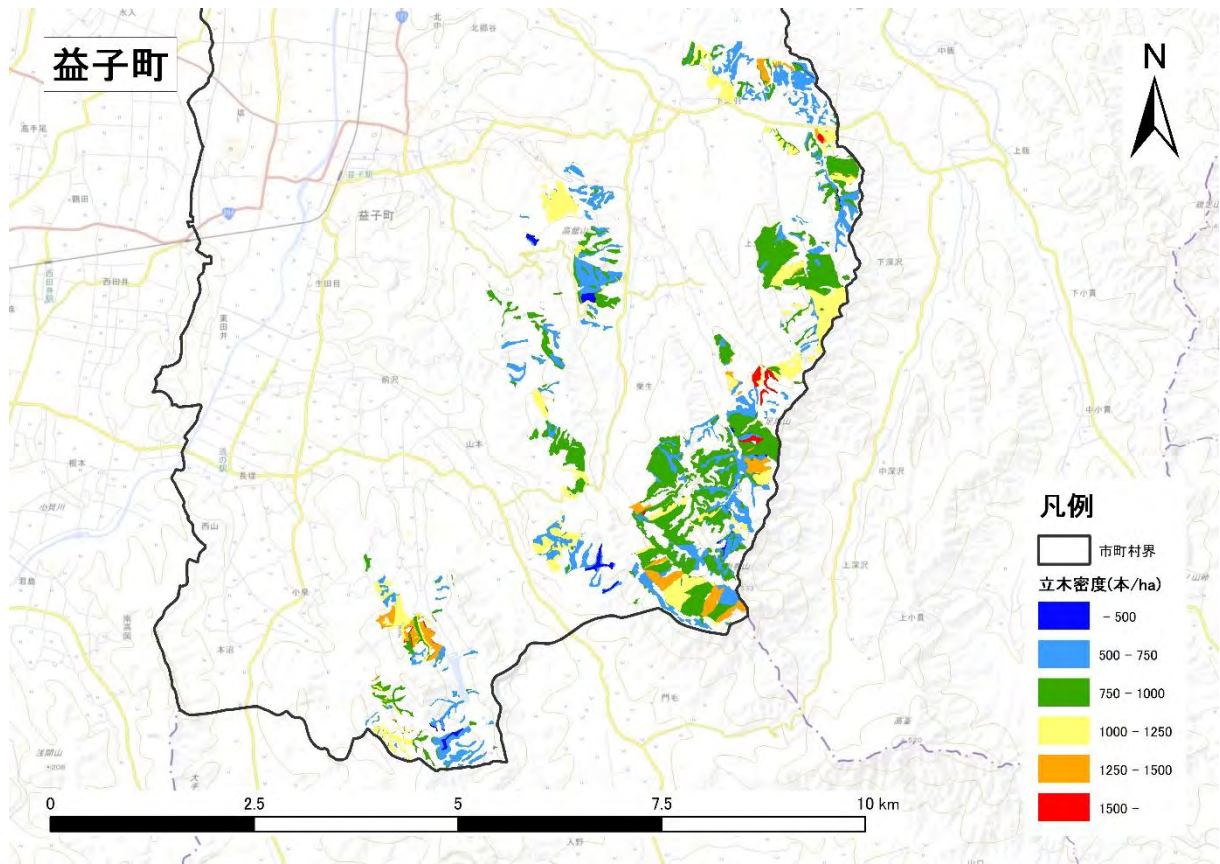


图 4-50 立木密度区分图（栃木県国有林（益子町））

3) 茨城県民有林（石岡市、つくば市、筑西市、桜川市）

茨城県民有林の立木密度ごとの面積（ha）を図 4-51、立木密度区分図を図 4-52 に示す。

スギは 500 本/ha 以上 750 本/ha 未満の林分が最も多く 56.6%となっており、次いで 750 本/ha 以上 1000 本/ha 未満の林分が 31.4%を占めていた。

ヒノキ類は 750 本/ha 以上 1000 本/ha 未満の林分が最も多く 47.4%となっており、次いで 500 本/ha 以上 750 本/ha 未満の林分が 27.0%を占めていた。

マツ類は 750 本/ha 以上 1000 本/ha 未満の林分が最も多く 53.4%となっており、次いで 1000 本/ha 以上 1250 本/ha 未満の林分が 27.3%を占めていた。

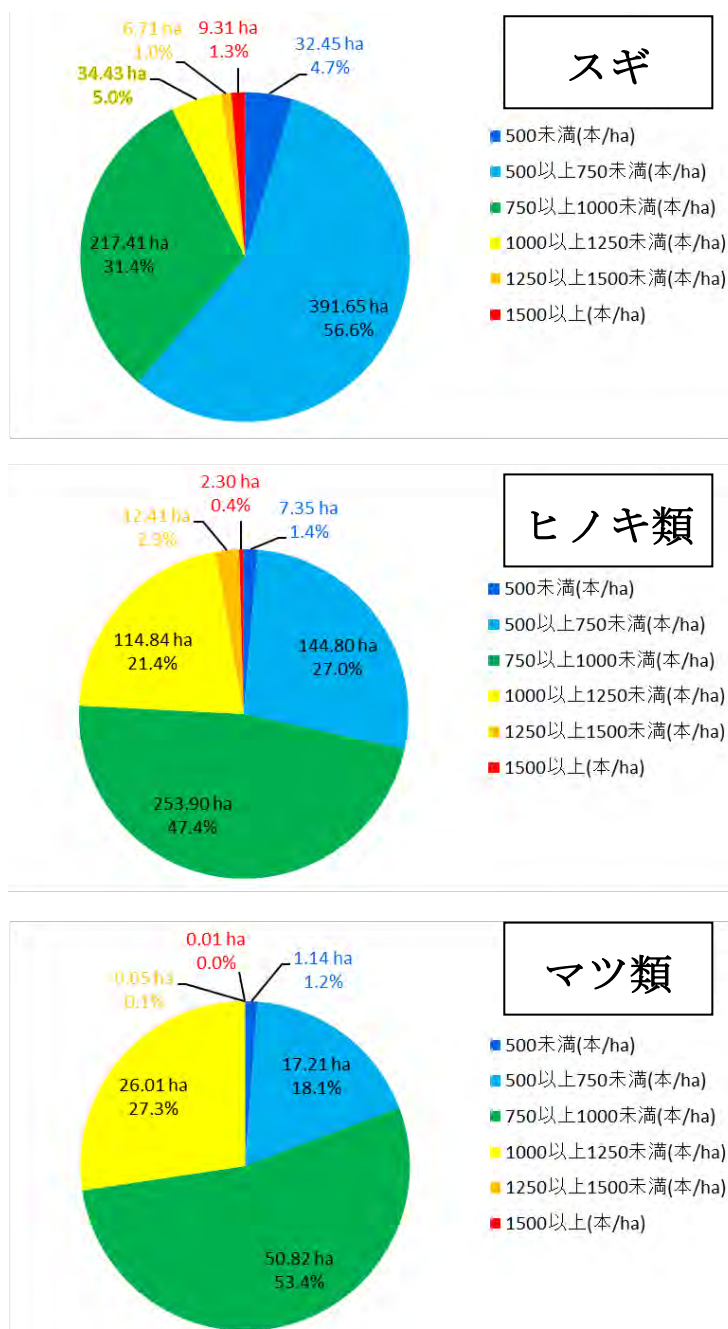


図 4-51 立木密度ごとの面積（ha）（茨城県民有林）

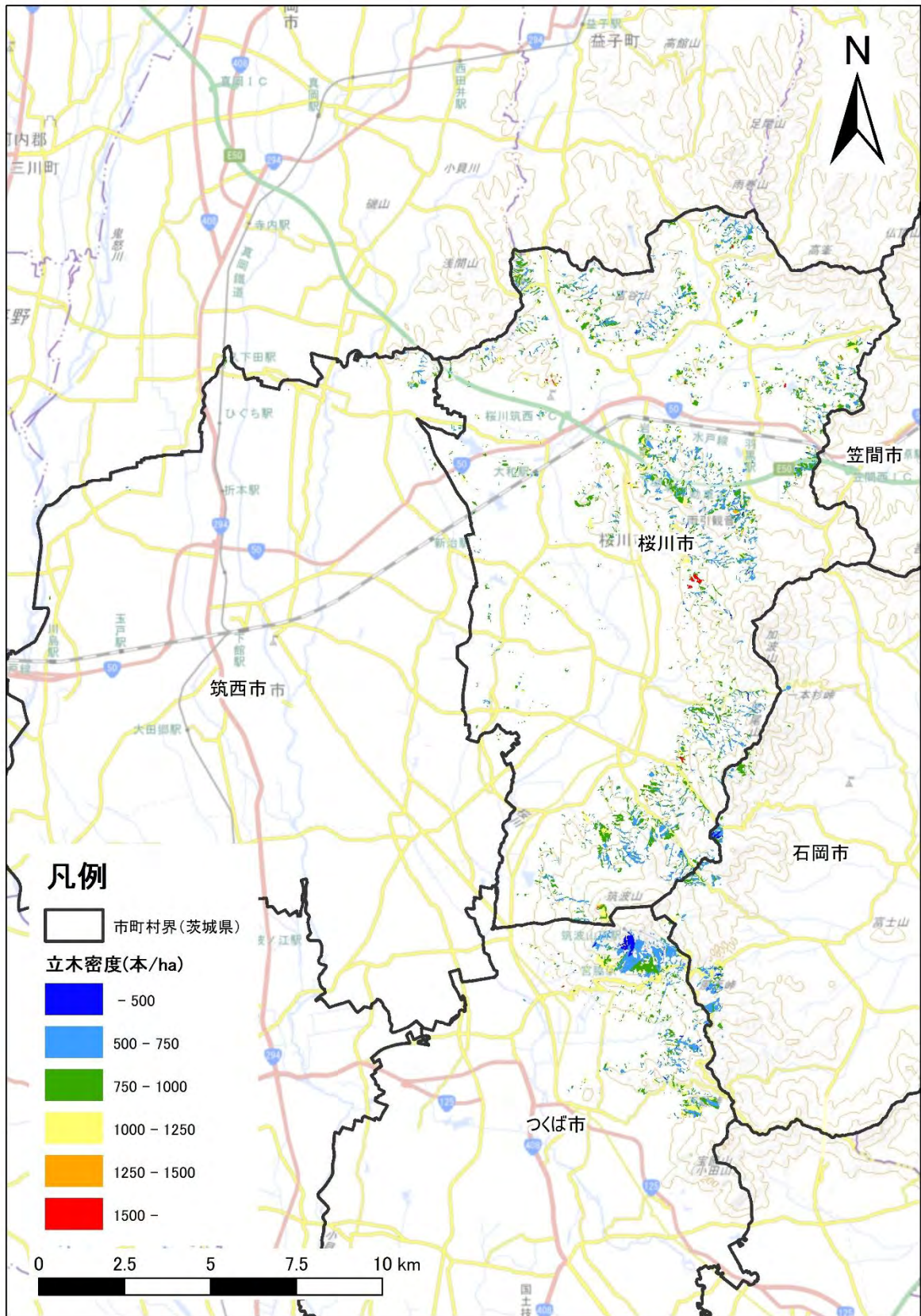


図 4-52 立木密度区分図 (茨城県民有林)

4) 茨城県国有林（桜川市）

茨城県国有林の立木密度ごとの面積（ha）を図 4-53、立木密度区分図を図 4-54 に示す。

スギは 500 本/ha 以上 750 本/ha 未満の林分が最も多く 55.5%となっており、次いで 750 本/ha 以上 1000 本/ha 未満の林分が 44.0%を占めていた。

ヒノキ類は 750 本/ha 以上 1000 本/ha 未満の林分が最も多く 84.2%となっており、次いで 500 本/ha 以上 750 本/ha 未満の林分が 10.7%を占めていた。

マツ類は 500 本/ha 以上 750 本/ha 未満の林分が最も多く 98.6%となっており、次いで 500 本/ha 未満の林分が 1.4%を占めていた。

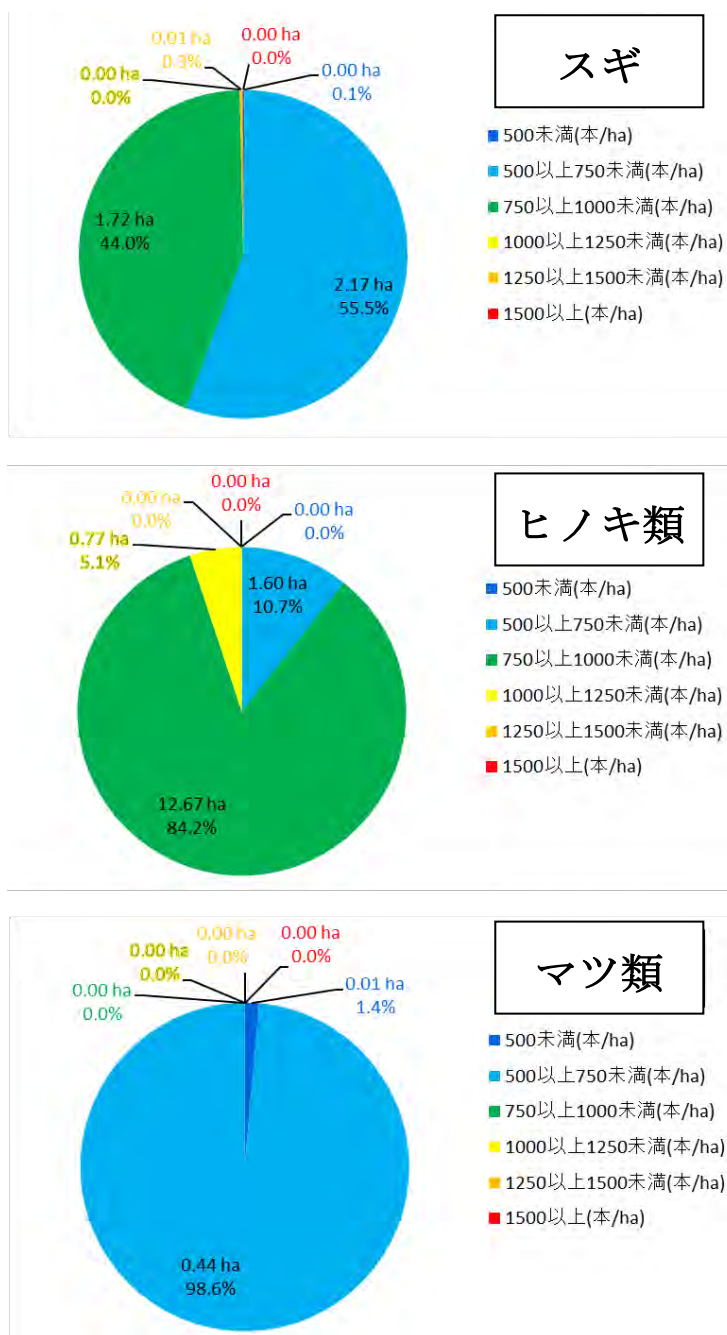


図 4-53 立木密度ごとの面積（ha）（茨城県国有林（桜川市））

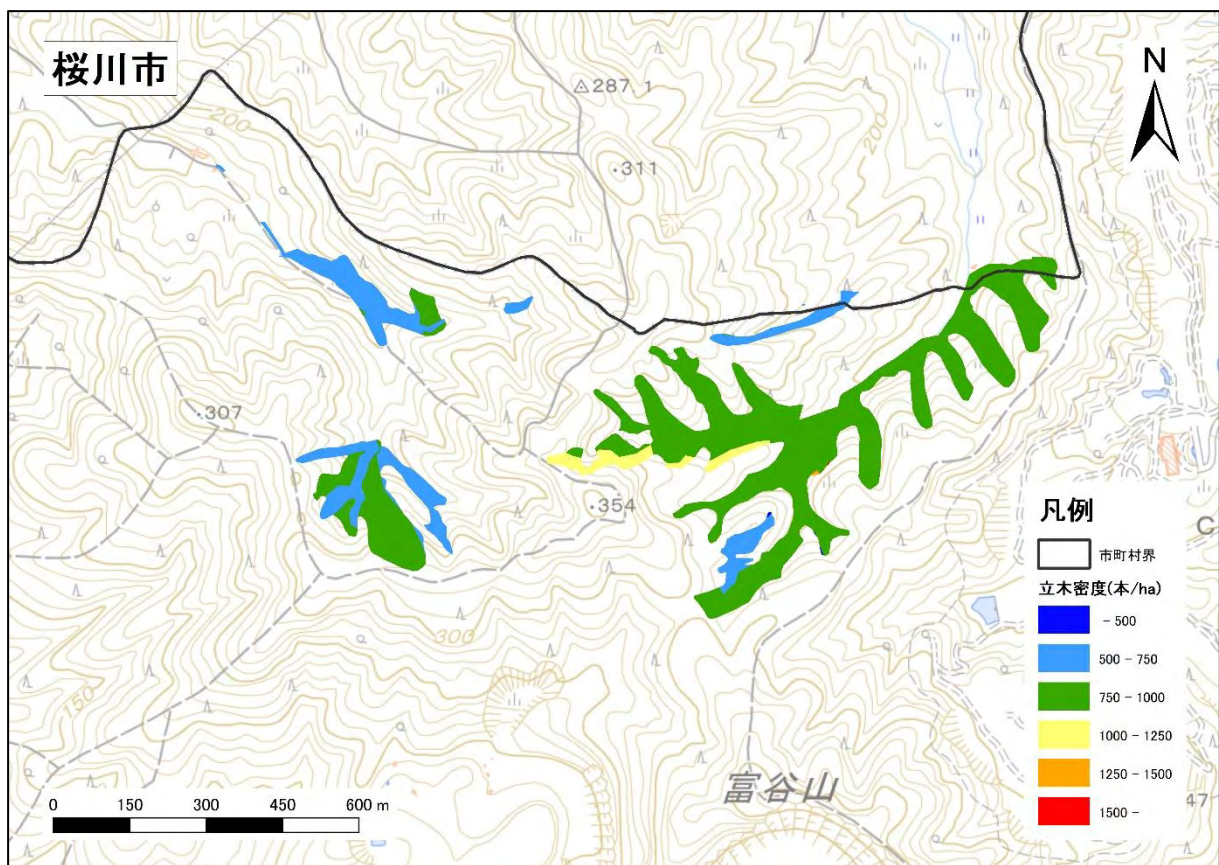


图 4-54 立木密度区分图（茨城県国有林（桜川市））

4.4.4 樹高

(1) 集計結果

抽出された樹頂点を栃木県、茨城県の業務対象区域それぞれの林小班ごとに集計し、平均樹高を算出した結果を表 4-22 に示す。平均樹高分布は齡級分布と比較することで地位の評価を行う情報として活用することも可能なものである。

表 4-22 平均樹高ごとの面積

	樹種	10未満 (m)		10以上15未満 (m)		15以上20未満 (m)		20以上25未満 (m)		25以上 (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)	
栃木県	民有林	スギ	1.17	0.1%	8.23	0.7%	151.82	13.2%	674.99	58.6%	316.15	27.4%	1152.36
		ヒノキ類	1.44	0.2%	31.55	3.9%	430.24	53.3%	325.57	40.3%	18.69	2.3%	807.48
		マツ類	41.46	10.8%	248.31	64.5%	88.78	23.1%	5.66	1.5%	0.72	0.2%	384.94
		小計	44.07	1.9%	288.10	12.3%	670.83	28.6%	1006.22	42.9%	335.56	14.3%	2344.79
	国有林	スギ	0.02	0.0%	2.19	2.0%	8.34	7.7%	66.41	61.3%	31.40	29.0%	108.36
		ヒノキ類	0.09	0.0%	41.68	10.3%	250.78	62.1%	99.34	24.6%	12.07	3.0%	403.96
		マツ類	2.79	2.9%	38.80	41.1%	50.62	53.6%	2.22	2.4%	0.00	0.0%	94.42
	小計	2.90	0.5%	82.67	13.6%	309.73	51.0%	167.97	27.7%	43.48	7.2%	606.74	
茨城県	民有林	スギ	1.21	0.2%	10.76	1.6%	62.75	9.1%	332.73	48.1%	284.50	41.1%	691.96
		ヒノキ類	0.18	0.0%	10.48	2.0%	220.86	41.2%	271.71	50.7%	32.38	6.0%	535.62
		マツ類	27.94	29.3%	56.40	59.2%	10.31	10.8%	0.41	0.4%	0.18	0.2%	95.24
		小計	29.33	2.2%	77.63	5.9%	293.93	22.2%	604.86	45.7%	317.07	24.0%	1322.81
	国有林	スギ	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.01	0.2%	2.09	53.5%	1.81	46.3%	3.90
		ヒノキ類	0.00	0.0%	0.00	0.0%	6.95	46.2%	7.25	48.2%	0.84	5.6%	15.04
		マツ類	0.00	0.1%	0.44	98.6%	0.01	1.3%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.45
	小計	0.00	0.0%	0.44	2.3%	6.96	35.9%	9.34	48.2%	2.65	13.6%	19.40	
総計		76.30	1.8%	448.84	10.5%	1281.46	29.8%	1788.39	41.7%	698.74	16.3%	4293.74	

1) 栃木県民有林（真岡市、益子町、市貝町、芳賀町、高根沢町）

栃木県民有林の平均樹高ごとの面積を図 4-55、平均樹高区分図を図 4-56 に示す。

スギは平均樹高 20m 以上 25m 未満の林分が最も多く 58.6%を占めており、次いで 25m 以上の林分が 27.4%を占めていた。

ヒノキ類は平均樹高 15m 以上 20m 未満の林分が最も多く 53.3%を占めており、次いで 20m 以上 25m 未満の林分が 40.3%を占めていた。

マツ類は平均樹高 10m 以上 15m 未満の林分が最も多く 64.5%を占めており、次いで 15m 以上 20m 未満の林分が 23.1%を占めていた。

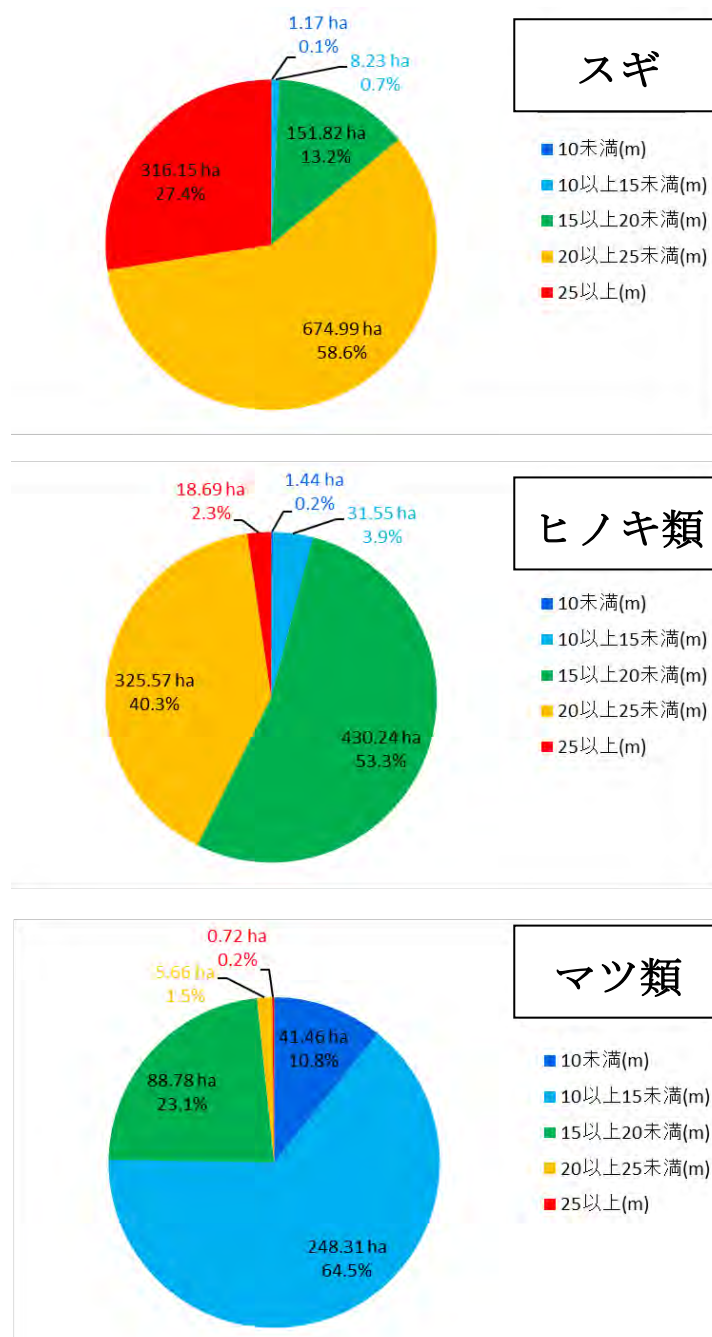


図 4-55 平均樹高ごとの面積 (ha) (栃木県民有林)

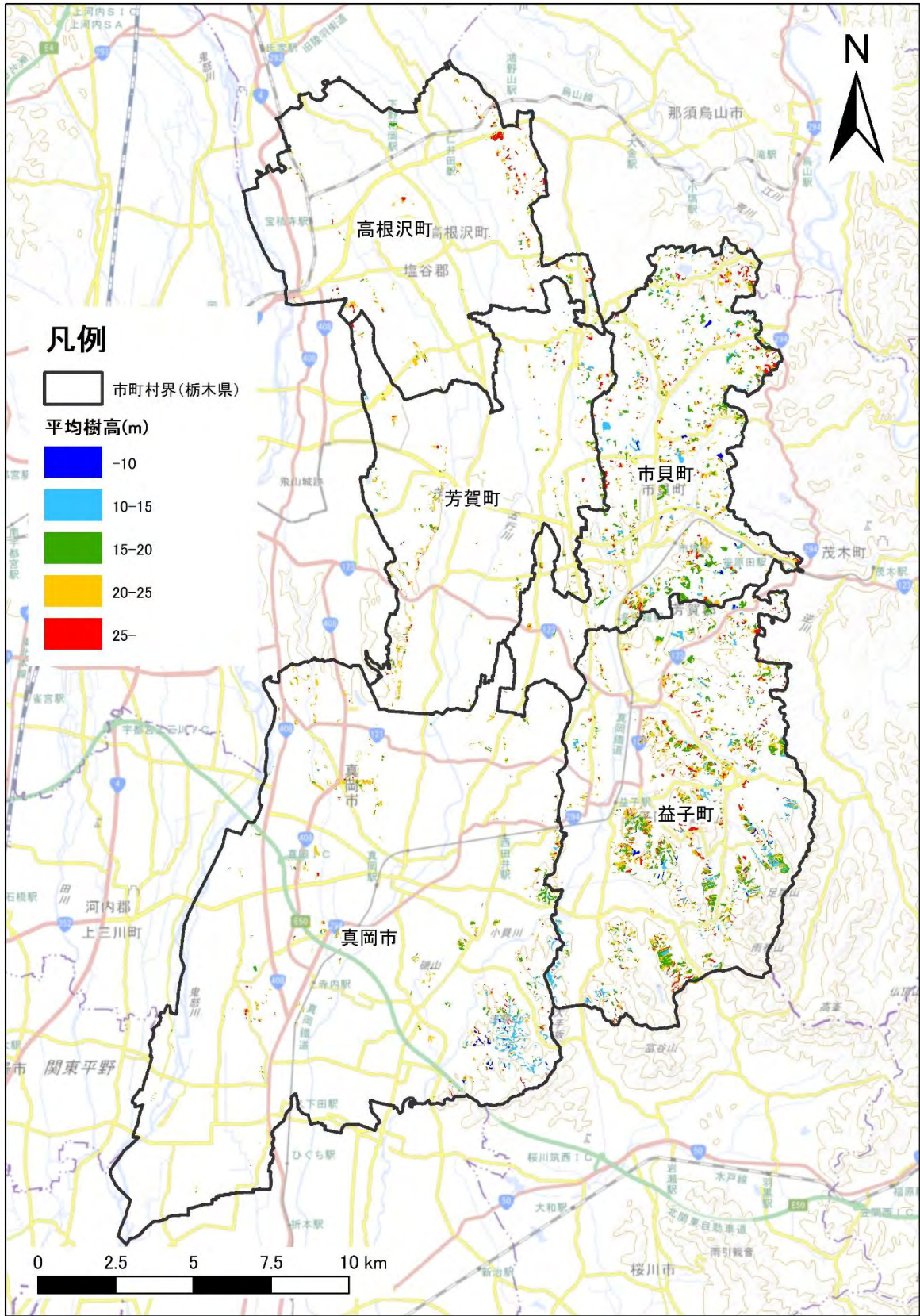


図 4-56 平均樹高区分図（栃木県民有林）

2) 栃木県国有林（益子町）

栃木県国有林の平均樹高ごとの面積を図 4-57、平均樹高区分図を図 4-58 に示す。

スギは平均樹高 20m 以上 25m 未満の林分が最も多く 61.3%を占めており、次いで 25m 以上の林分が 29.0%を占めていた。

ヒノキ類は平均樹高 15m 以上 20m 未満の林分が最も多く 62.1%を占めており、次いで 20m 以上 25m 未満の林分が 24.6%を占めていた。

マツ類は平均樹高 15m 以上 20m 未満の林分が最も多く 53.6%を占めており、次いで 10m 以上 15m 未満の林分が 41.1%を占めていた。

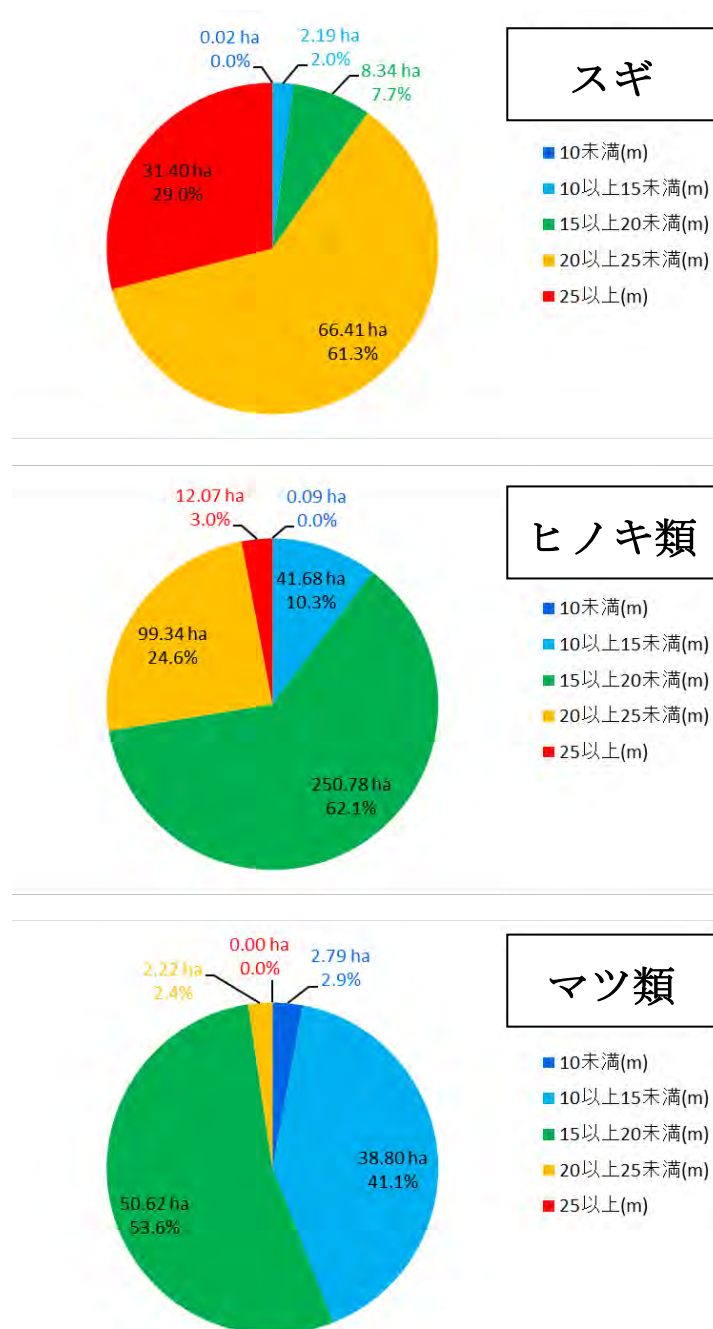


図 4-57 平均樹高ごとの面積 (ha) (栃木県国有林 (益子町))

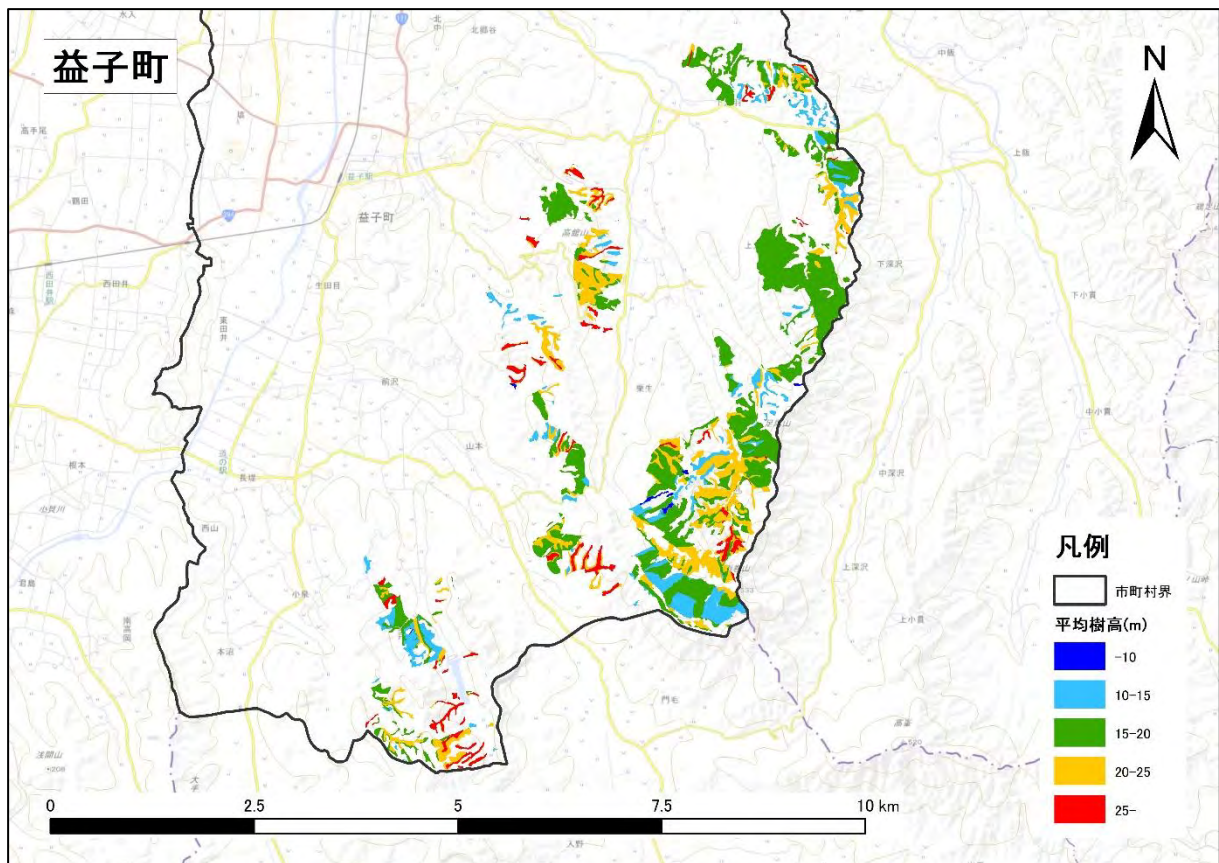


图 4-58 平均樹高区分图（栃木県国有林（益子町））

3) 茨城県民有林（石岡市、つくば市、筑西市、桜川市）

茨城県民有林の平均樹高ごとの面積を図 4-59、平均樹高区分図を図 4-60 に示す。

スギは平均樹高 20m 以上 25m 未満の林分が最も多く 48.1%を占めており、次いで 25m 以上の林分が 41.1%を占めていた。

ヒノキ類は平均樹高 20m 以上 25m 未満の林分が最も多く 50.7%を占めており、次いで 15m 以上 20m 未満の林分が 41.2%を占めていた。

マツ類は平均樹高 10m 以上 15m 未満の林分が最も多く 59.2%を占めており、次いで 10m 未満の林分が 29.3%を占めていた。

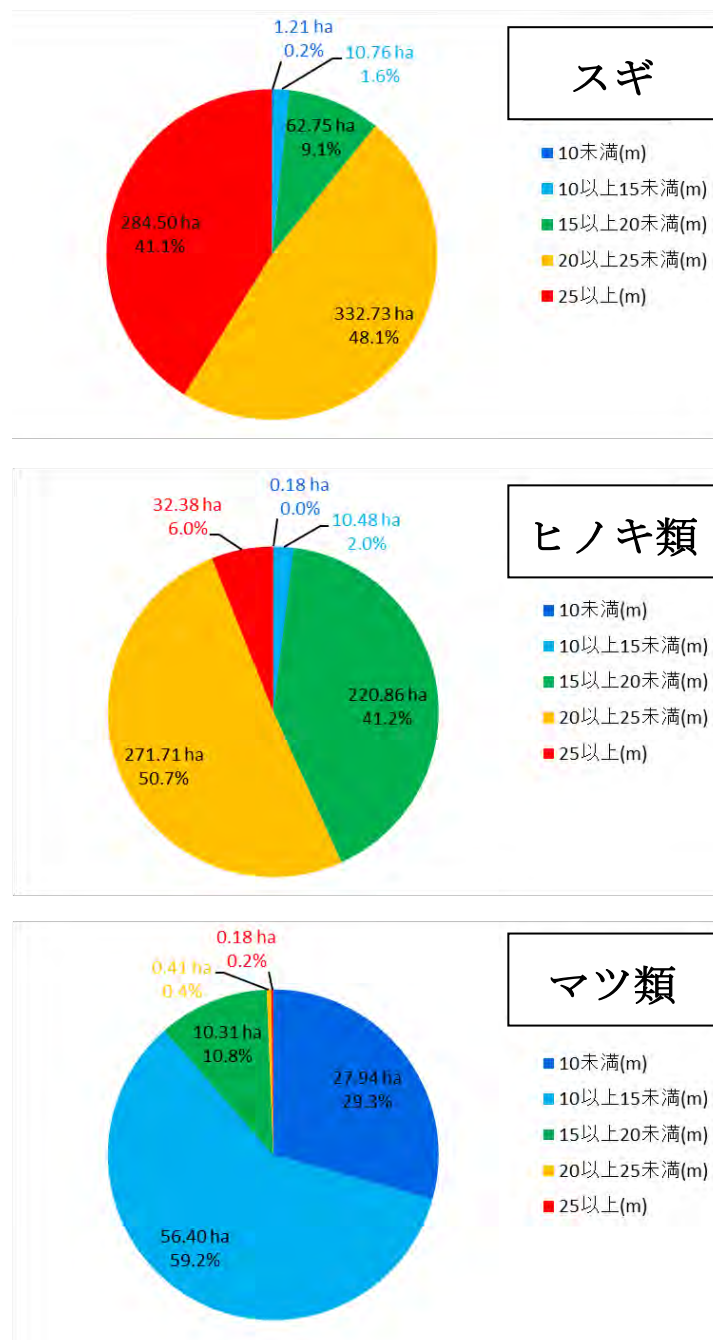


図 4-59 平均樹高ごとの面積 (ha) (茨城県民有林)

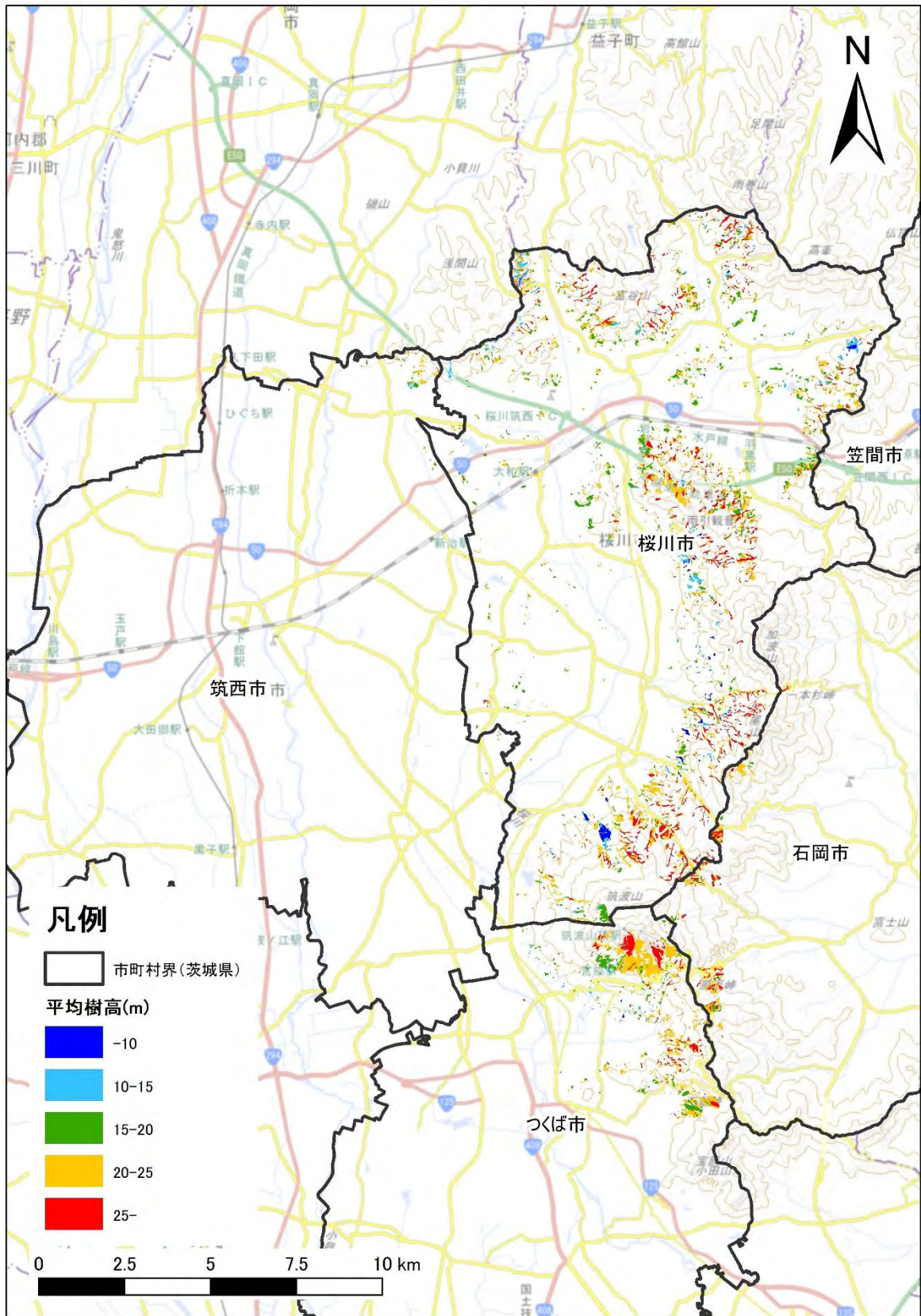


図 4-60 平均樹高区分図 (茨城県民有林)

4) 茨城県国有林（桜川市）

茨城県国有林の平均樹高ごとの面積を図 4-61、平均樹高区分図を図 4-62 に示す。

スギは平均樹高 20m 以上 25m 未満の林分が最も多く 53.5%を占めており、次いで 25m 以上の林分が 46.3%を占めていた。

ヒノキ類は平均樹高 20m 以上 25m 未満の林分が最も多く 48.2%を占めており、次いで 15m 以上 20m 未満の林分が 46.2%を占めていた。

マツ類は平均樹高 10m 以上 15m 未満の林分が最も多く 98.6%を占めており、次いで 15m 以上 20m 未満の林分が 1.3%を占めていた。

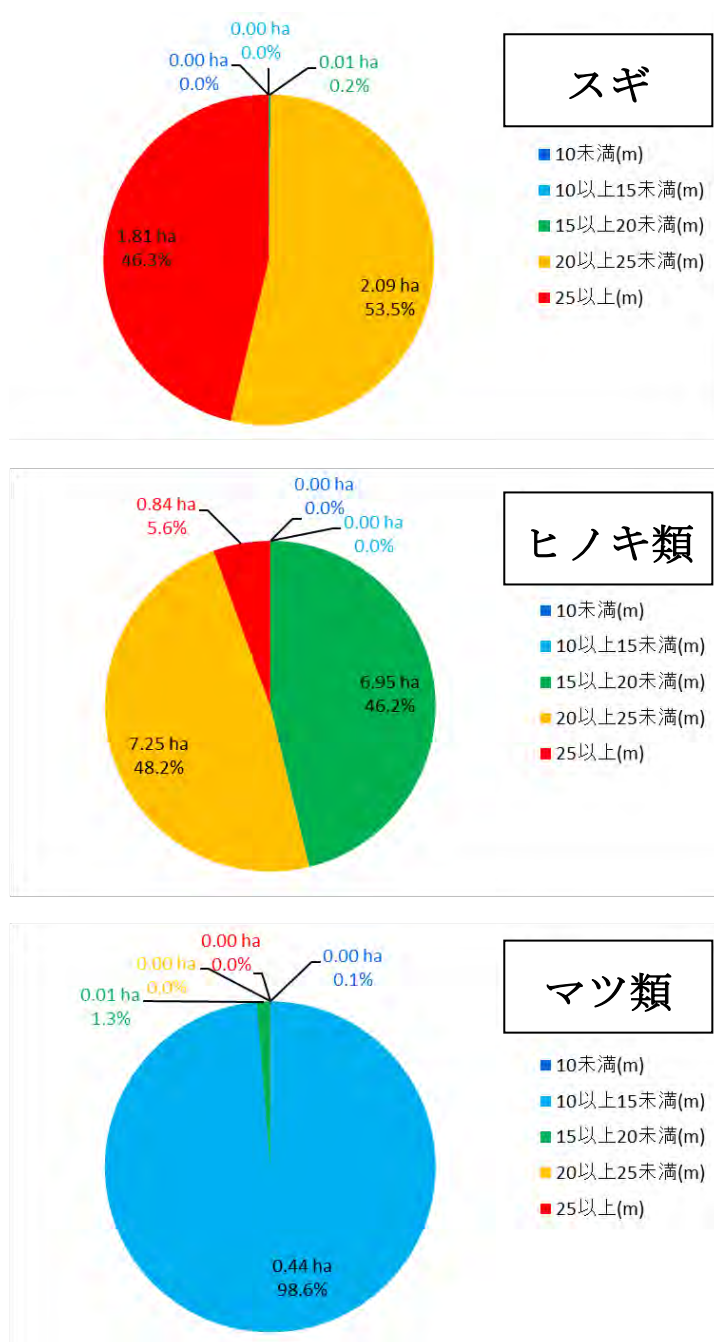


図 4-61 平均樹高ごとの面積 (ha) (茨城県国有林 (桜川市))

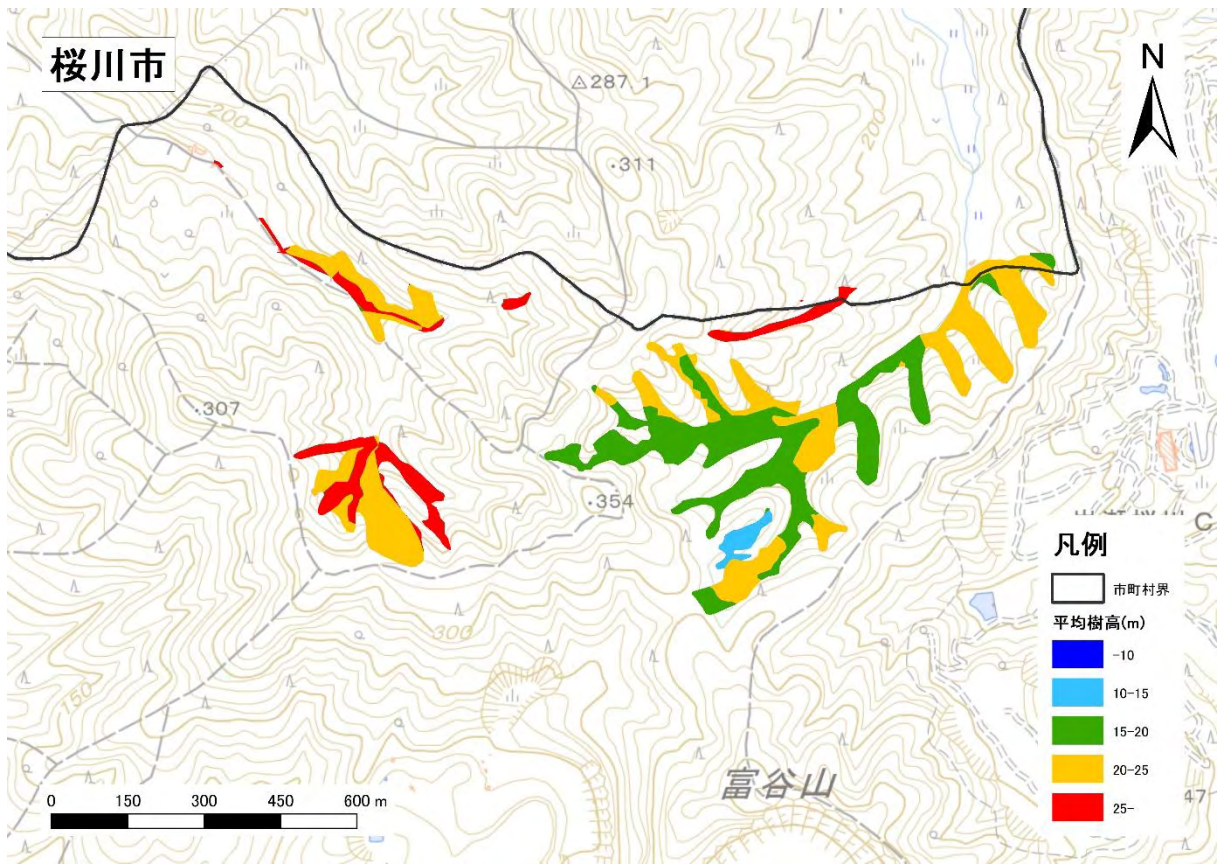


图 4-62 平均樹高区分図（茨城県国有林（桜川市））

4.4.5 胸高直径

(1) 胸高直径の推定方法

スギ、ヒノキ類については栃木県において実施された既往の現地調査結果を用いて作成した既存回帰式を利用し単木ごとの胸高直径を推定した。なお、マツ類については既往の回帰式がないため単木ポイント作成のみを行った。胸高直径の推定のイメージを図 4-63 に示す。

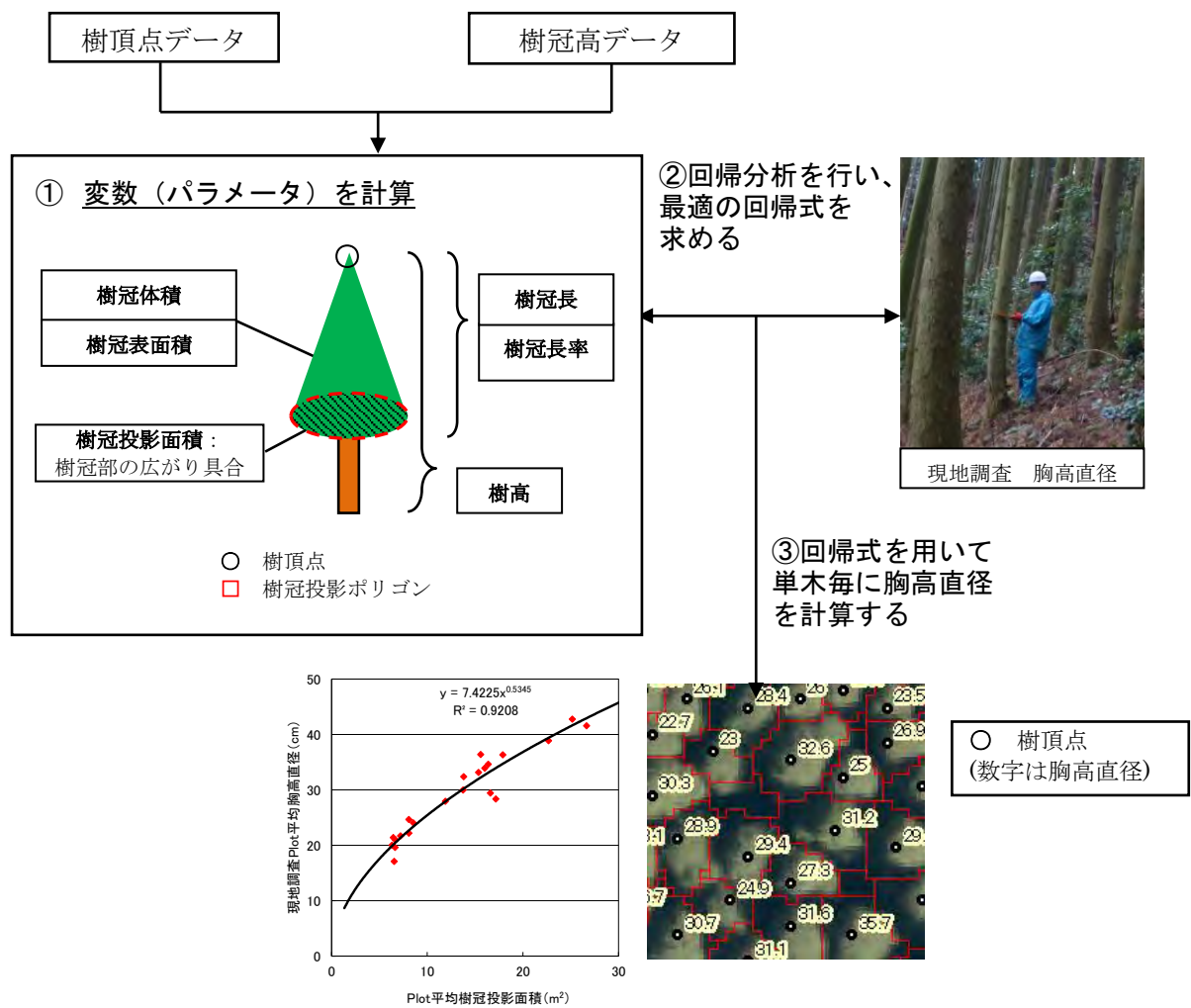


図 4-63 胸高直径の推定方法

1) 使用する変数 (パラメータ)

抽出した樹頂点位置と樹冠形状指数画像をもとに樹冠投影ポリゴンの計算を行い、樹冠投影面積、樹冠長、樹冠長率を計算した。また、樹冠部が円錐形であると仮定して樹冠表面積、樹冠体積を計算した。回帰分析に使用する各変数の計算方法は以下のとおりである。

7) 樹冠投影面積 (Ca) :

樹冠投影ポリゴンの面積 (m²) を指す。抽出した樹頂点位置と樹冠形状指数画像をもとに watershed (分水嶺) アルゴリズムを用いた処理で、単木レベルの樹冠投影ポリゴンを作成し、その各ポリゴンの面積を算出した。watershed (分水嶺) アルゴリズムとは、数値の高低を山と谷に見立て、分割された分水界を領域とするものである。樹冠投影ポリゴンの作成イメージを図 4-64 に示す。

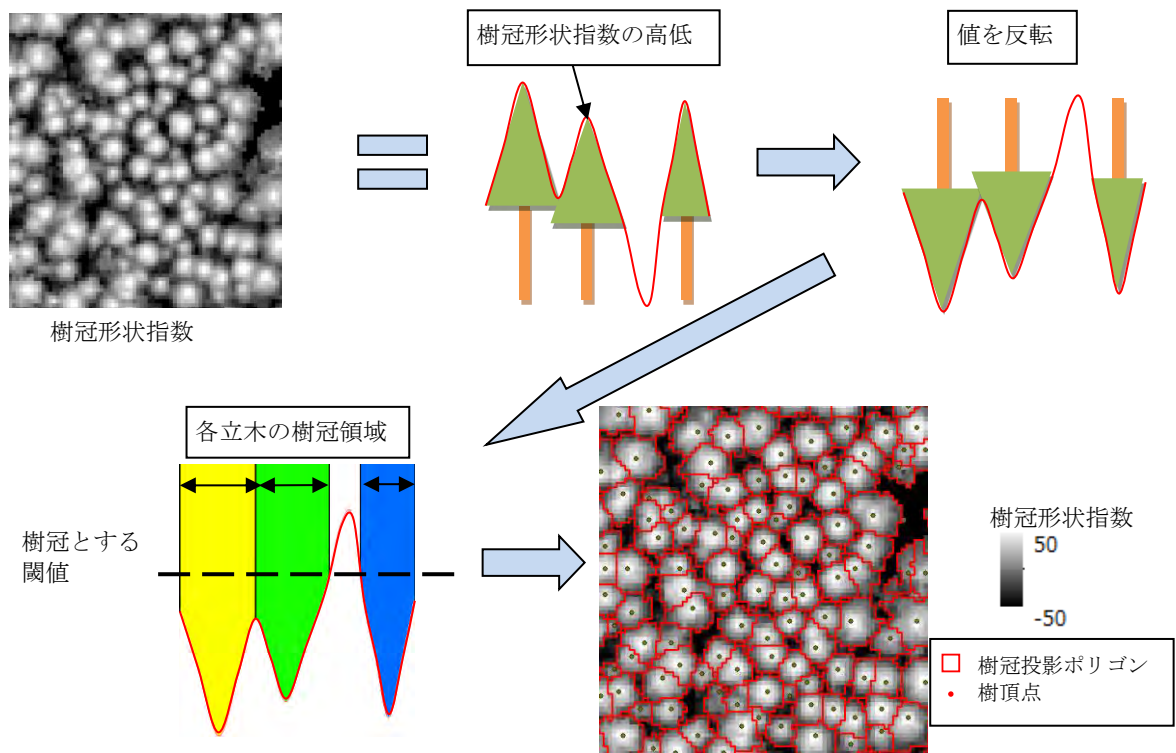


図 4-64 樹冠投影ポリゴンの作成イメージ

イ) 樹冠長(C_h)

樹冠投影ポリゴン内で最も低い DCHM の値と樹高 (h) との差 (m) を指す。イメージ図を 図 4-65 に示す。

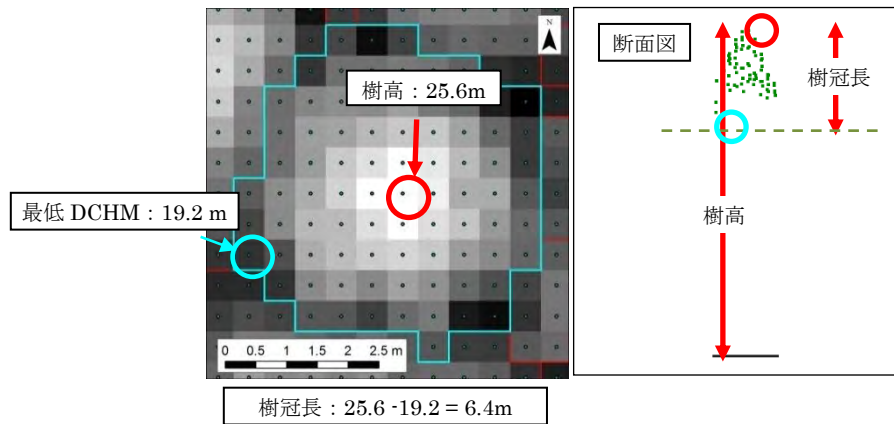


図 4-65 樹冠長のイメージ図

ロ) 樹冠長率 (C_p)

樹冠長 (C_h) と樹高 (h) の比 (%) を指す。

$$C_p = \frac{C_h}{h}$$

イ) 樹冠表面積 (A)

樹冠の形状を円錐と仮定した際 (図 4-66) の、円錐の扇形部分の表面積 (m^2) を指す。

$$\begin{aligned} A &= \frac{\theta}{360} \pi R^2 \\ &= \pi R^2 \frac{\theta}{360} \\ &= \pi \sqrt{\frac{Ca}{\pi}} \sqrt{\frac{Ca + \pi Ch^2}{\pi}} \\ &= \sqrt{Ca(Ca + \pi Ch^2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2\pi R \frac{\theta}{360} &= 2\pi r \quad \text{より} \quad \frac{\theta}{360} = \frac{r}{R} \\ Ca &= \pi r^2 \quad \text{より} \quad r = \sqrt{\frac{Ca}{\pi}} \\ r^2 + Ch^2 &= R^2 \quad \text{より} \quad R = \sqrt{r^2 + Ch^2} = \sqrt{\frac{Ca}{\pi} + Ch^2} = \sqrt{\frac{Ca + \pi Ch^2}{\pi}} \end{aligned}$$

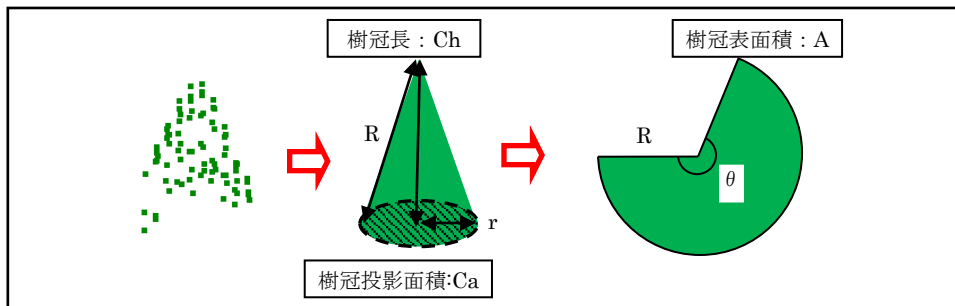


図 4-66 樹冠表面積のイメージ図

ハ) 樹冠体積 (V)

樹冠の形状を円錐と仮定した際の、円錐の体積 (m^3) を指す。

$$V = \frac{Ca \times Ch}{3}$$

2) 回帰分析に使用する用語

- 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かい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。
- p 値…回帰分析の場合、目的変数と無関係である説明変数を加えても回帰式は作成される。例えば体重を目的変数とした場合、身長や腹囲等体重と関係がある説明変数の他に、視力という全く関係ない説明変数を加えて回帰分析すると、作成された回帰式に視力の係数も設定される。しかし、その係数は偶然その値になっただけで、視力と体重に関係があることを示しているわけではない。このような目的変数と説明変数の関係を判断するために p 値が用いられる。

p 値は、帰無仮説（ある仮説に対して真逆の仮説）が成立する確率である。本解析では、目的変数である胸高直径と説明変数である樹高、樹冠投影面積等が無関係である確率を示している。p 値が小さければ、「目的変数と説明変数は無関係ではない」ことになり、目的変数と説明変数には関係があると判断することができる。この p 値の判断基準として、一般的に 0.05（5%）未満が用いられる。

R^2 値や、RMSE が回帰式から求められる予測値を評価するものであるのに対し、p 値は回帰式の説明変数の使用の可否を判断するものである。

胸高直径の推定に使用する回帰式を決定する際、まず説明変数の p 値がすべて 0.05（5%）未満である回帰式を選び、その中で R^2 値が高く、RMSE が小さい式を選定する。

すなわち、目的変数（胸高直径の実測値）と説明変数（樹冠投影面積、樹高等）の関係が強く、回帰式の当てはまりが良く、回帰式から求められる予測値（胸高直径の推定値）と真値（胸高直径の真値）の誤差が小さい回帰式を良好な胸高直径の推定式として選定する。

(2) 胸高直径の回帰式

本業務では栃木県の既往業務で整備された回帰式を用いた。既往の現地調査結果と計測した平均胸高直径 d (cm) から、レーザ計測より求められた6つの変数との比較を行い、最も関係の強い変数を使用することで、平均胸高直径を推定する回帰式を求めた。6つの変数は、樹高 h (m)、樹冠投影面積 C_a (m²)、樹冠長 C_h (m)、樹冠長率 C_p (%)、樹冠表面積 A (m²)、樹冠体積 V (m³) である。回帰式を求める際には、6つの変数から強い関係が予想される変数の組み合わせを11パターン試し比較を行った。回帰式の基本型は以下の式となる。

$$d = \alpha \times X_1^{\beta_1} \times X_2^{\beta_2} \times X_3^{\beta_3}$$

(α :定数 $X_1 \sim X_3$:説明変数 $\beta_1 \sim \beta_3$:説明変数の係数)

スギの胸高直径の回帰式は、補正 R^2 値が最も高い値である回帰式5を採用した。RMSE 値については回帰式5、式10、式11が最小値を示しているが、回帰式5はすべての説明変数に有意性が見られ、予測性の高い式であると考えられるため採用した。

ヒノキ類の胸高直径の回帰式5を採用した。回帰式5、式10、式11で補正 R^2 値が高く、RMSE が小さくなっていたため、説明変数の有意性に加え、胸高直径、合計材積、単木材積の精度も併せて検討した。式10、式11に比べ、式5の補正 R^2 値は小さく、RMSE は大きくなっていた。しかし、説明変数全体の有意性は式5の方が高く、また合計材積のRMSE、誤差率は式5の方が小さくなっていた。以上を踏まえ、回帰式5を採用した。

表 4-23 回帰式の比較結果

【スギ 回帰分析結果】

回帰式	説明変数の組合せ	α	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	補正R ²	RMSE
1	X ₁ 樹高	1.356 *	0.964 ***			0.693	4.30
2	X ₁ 樹冠投影面積	7.552 ***	0.539 ***			0.767	2.99
3	X ₁ 樹冠表面積	10.160 ***	0.309 ***			0.543	4.63
4	X ₁ 樹冠体積	14.159 ***	0.240 ***			0.592	4.61
5	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	2.304 ***	0.355 ***	0.513 ***		0.874	2.57
6	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	1.595 ***	0.177 ***	0.714 ***		0.826	3.21
7	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	2.150 ***	0.140 ***	0.679 ***		0.833	3.26
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	7.167 ***	0.608 ***	-0.080 **		0.775	2.91
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	9.470 ***	0.611 ***	-0.140 ***		0.811	2.81
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	2.300 ***	0.352 ***	0.515 ***	0.002	0.873	2.57
11	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	2.259 ***	0.351 ***	0.519 ***	0.004	0.873	2.57

† p値<0.1 * p値<0.05 ** p値<0.01 *** p値<0.001

【ヒノキ類 回帰分析結果】

回帰式	説明変数の組合せ	α	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	補正R ²	RMSE
1	X ₁ 樹高	2.719 ***	0.734 ***			0.475	3.45
2	X ₁ 樹冠投影面積	9.206 ***	0.441 ***			0.642	3.07
3	X ₁ 樹冠表面積	10.643 ***	0.293 ***			0.494	3.48
4	X ₁ 樹冠体積	15.551 ***	0.206 ***			0.503	3.74
5	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高	3.666 ***	0.333 ***	0.387 ***		0.736	2.66
6	X ₁ 樹冠表面積 X ₂ 樹高	2.560 ***	0.221 ***	0.544 ***		0.726	2.60
7	X ₁ 樹冠体積 X ₂ 樹高	3.526 ***	0.154 ***	0.534 ***		0.723	2.84
8	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長	8.649 ***	0.500 ***	-0.075 *		0.649	3.05
9	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹冠長率	10.772 ***	0.499 ***	-0.114 ***		0.681	2.93
10	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長	3.413 ***	0.261 ***	0.443 ***	0.072 *	0.740	2.60
11	X ₁ 樹冠投影面積 X ₂ 樹高 X ₃ 樹冠長率	2.415 ***	0.258 ***	0.520 ***	0.075 *	0.741	2.59

† p値<0.1 * p値<0.05 ** p値<0.01 *** p値<0.001

(3) 集計結果

抽出された樹頂点を栃木県、茨城県の業務対象区域それぞれの林小班ごとに集計し、平均胸高直径を算出した結果を表 4-24 に示す。

表 4-24 平均胸高直径ごとの面積

	樹種	10未満 (cm)		10以上15未満 (cm)		15以上20未満 (cm)		20以上25未満 (cm)		25以上30未満 (cm)		30以上 (cm)		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)	
栃木県	民有林	スギ	0.60	0.1%	1.55	0.1%	27.74	2.4%	253.54	22.0%	574.14	49.8%	294.79	25.6%	1152.36
		ヒノキ類	0.25	0.0%	0.86	0.1%	30.42	3.8%	430.18	53.3%	301.25	37.3%	44.52	5.5%	807.48
		小計	0.85	0.0%	2.40	0.1%	58.16	3.0%	683.73	34.9%	875.39	44.7%	339.31	17.3%	1959.84
	国有林	スギ	0.02	0.0%	1.10	1.0%	2.10	1.9%	15.03	13.9%	53.54	49.4%	36.58	33.8%	108.36
		ヒノキ類	0.01	0.0%	0.08	0.0%	46.90	11.6%	250.05	61.9%	91.50	22.7%	15.41	3.8%	403.96
	小計	0.03	0.0%	1.18	0.2%	49.00	9.6%	265.08	51.7%	145.04	28.3%	52.00	10.1%	512.32	
茨城県	民有林	スギ	0.24	0.0%	4.53	0.7%	14.79	2.1%	106.97	15.5%	293.72	42.4%	271.71	39.3%	691.96
		ヒノキ類	0.17	0.0%	0.00	0.0%	10.21	1.9%	227.54	42.5%	249.83	46.6%	47.86	8.9%	535.62
		小計	0.41	0.0%	4.53	0.4%	25.00	2.0%	334.51	27.2%	543.55	44.3%	319.57	26.0%	1227.57
	国有林	スギ	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.1%	0.02	0.6%	2.33	59.7%	1.55	39.6%	3.90
		ヒノキ類	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	7.10	47.2%	7.88	52.4%	0.07	0.4%	15.04
	小計	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	7.12	37.6%	10.21	53.9%	1.61	8.5%	18.95	
総計		1.29	0.0%	8.11	0.2%	132.15	3.6%	1290.44	34.7%	1574.19	42.3%	712.49	19.2%	3718.68	

1) 栃木県民有林（真岡市、益子町、市貝町、芳賀町、高根沢町）

栃木県民有林の平均胸高直径ごとの面積（ha）を図 4-67、平均胸高直径区分図を図 4-68 に示す。

スギは 25cm 以上 30cm 未満の林分が最も多く 49.8%となっており、次いで 30cm 以上の林分が 25.6%を占めていた。

ヒノキ類は 20cm 以上 25cm 未満の林分が最も多く 53.3%となっており、次いで 25cm 以上 30cm 未満の林分が 37.3%を占めていた。

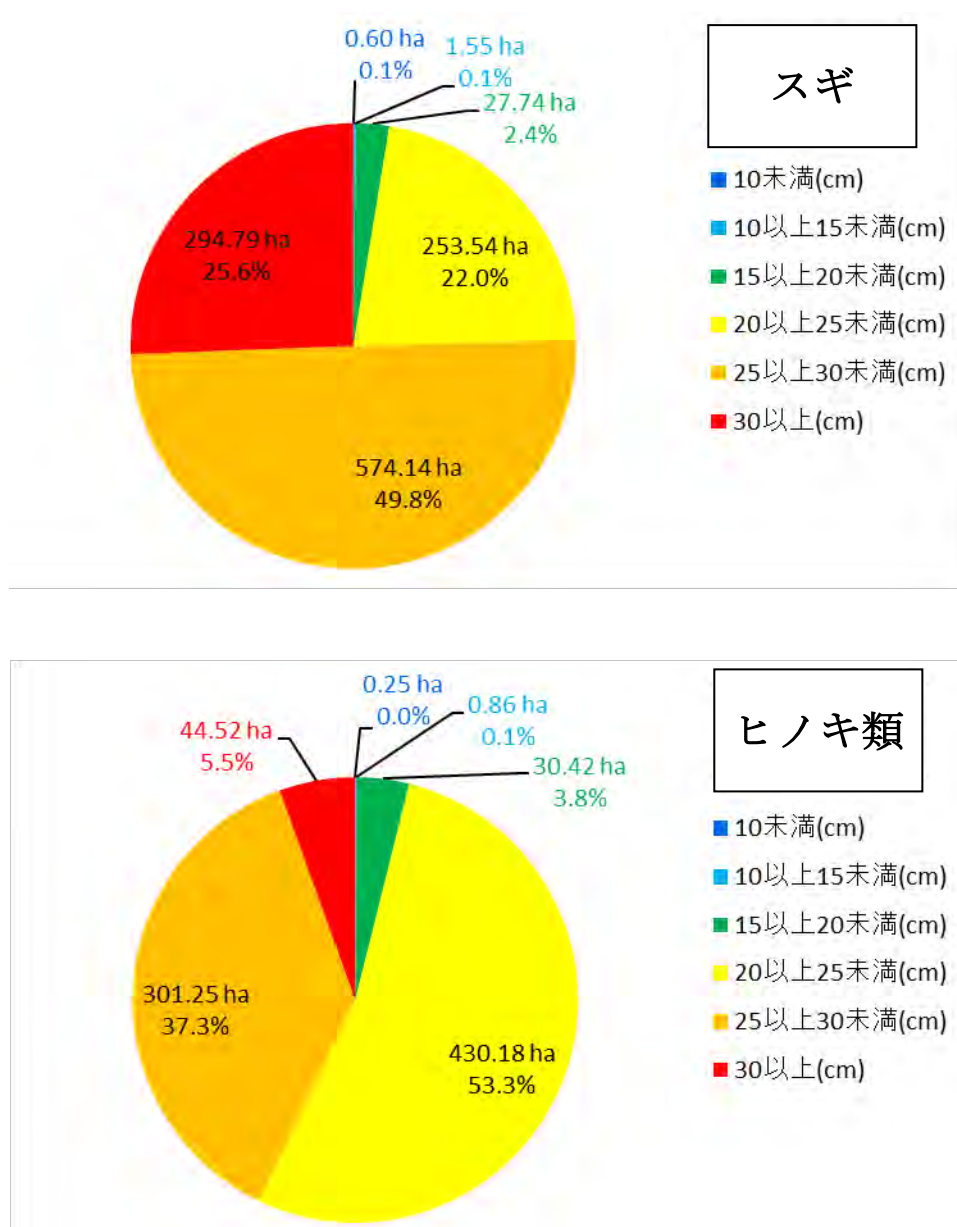


図 4-67 平均胸高直径ごとの面積（ha）（栃木県民有林）

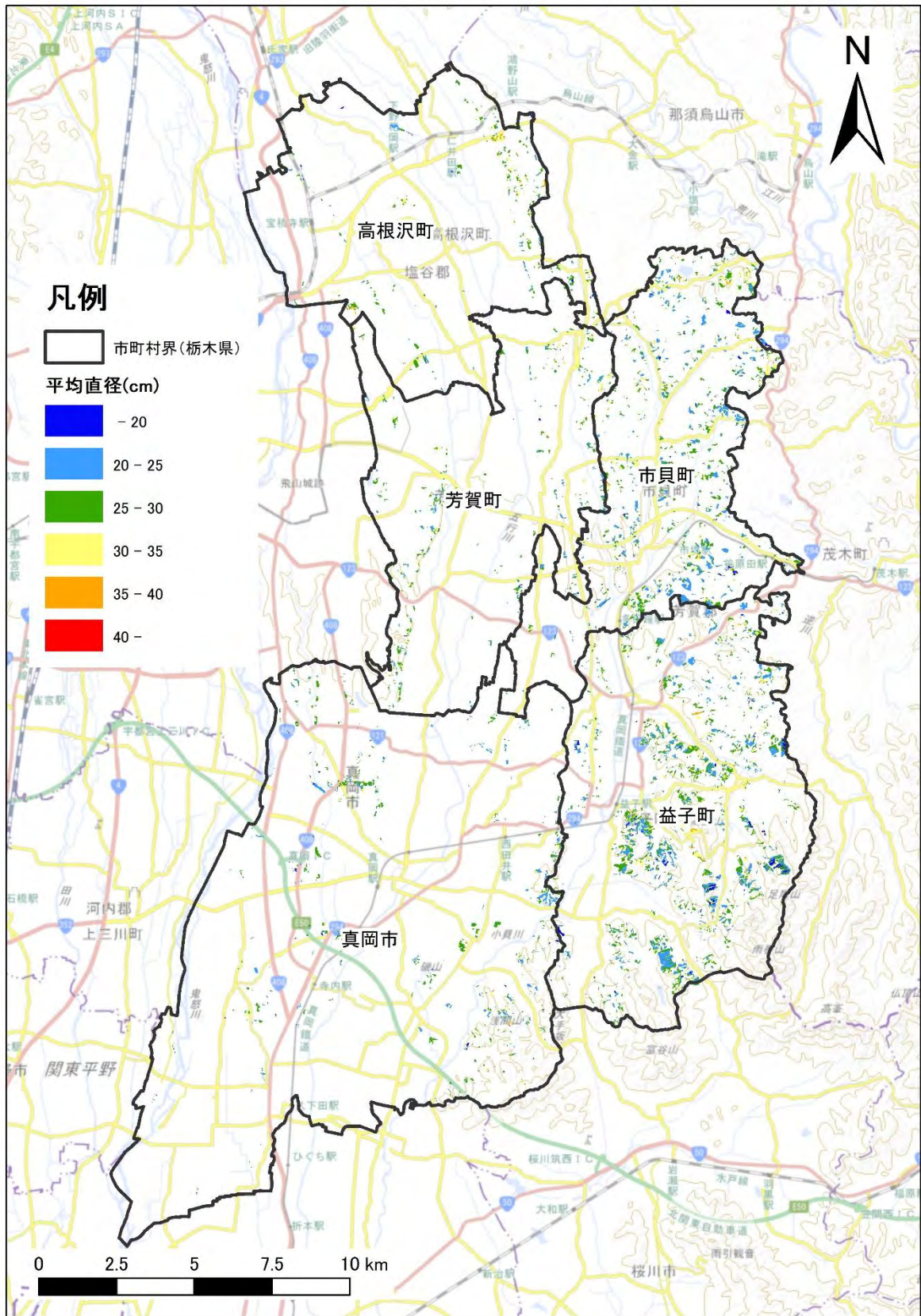


图 4-68 平均胸高直径区分图 (栃木県民有林)

2) 栃木県国有林（益子町）

栃木県国有林の平均胸高直径ごとの面積（ha）を図 4-69、平均胸高直径区分図を図 4-70 に示す。

スギは平均胸高直径 25cm 以上 30cm 未満の林分が最も多く 49.4%となっており、次いで 30cm 以上の林分が 33.8%を占めていた。

ヒノキ類は 20cm 以上 25cm 未満の林分が最も多く 61.9%となっており、次いで 25cm 以上 30cm 未満の林分が 22.7%を占めていた。

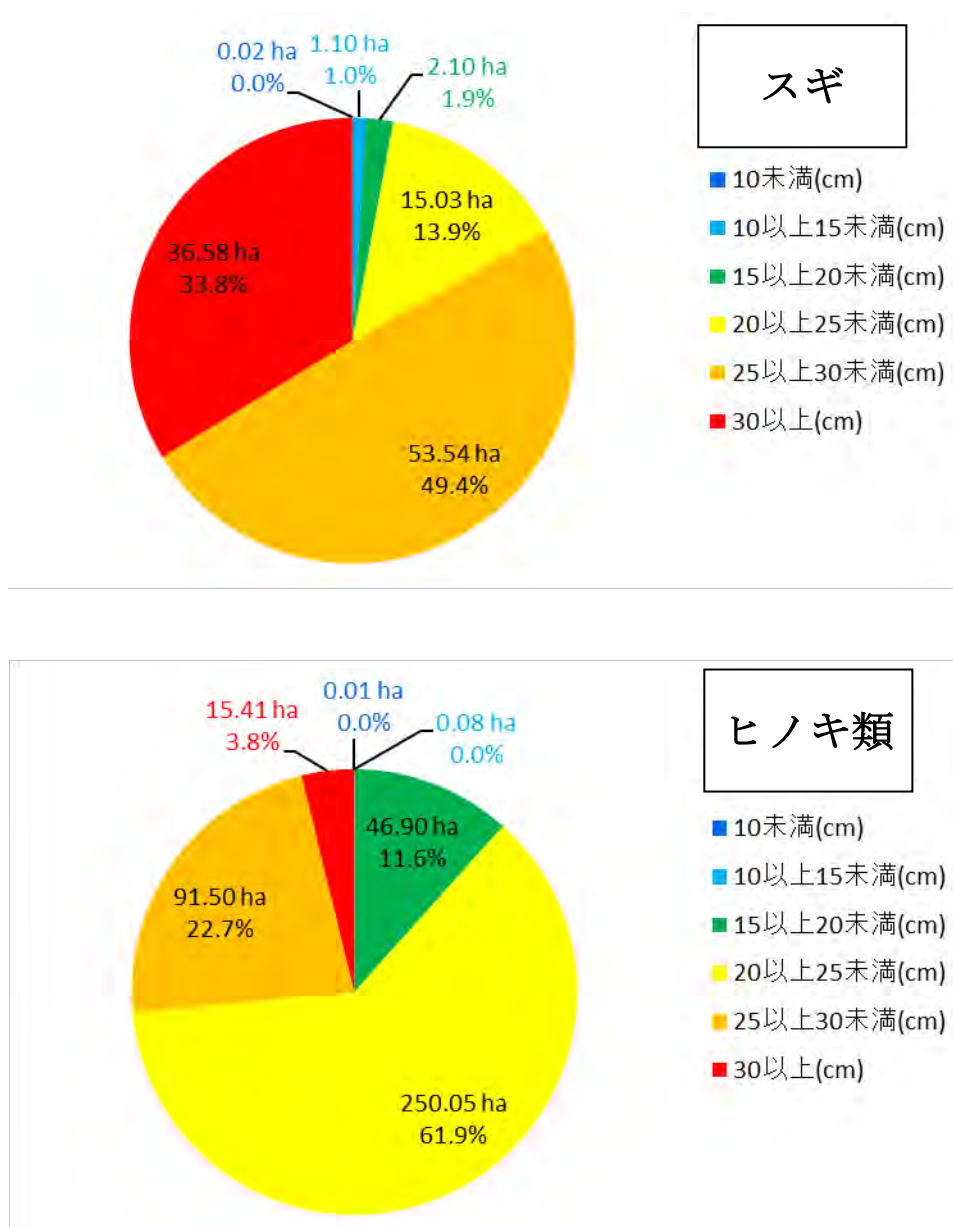


図 4-69 平均胸高直径ごとの面積（ha）（栃木県国有林（益子町））

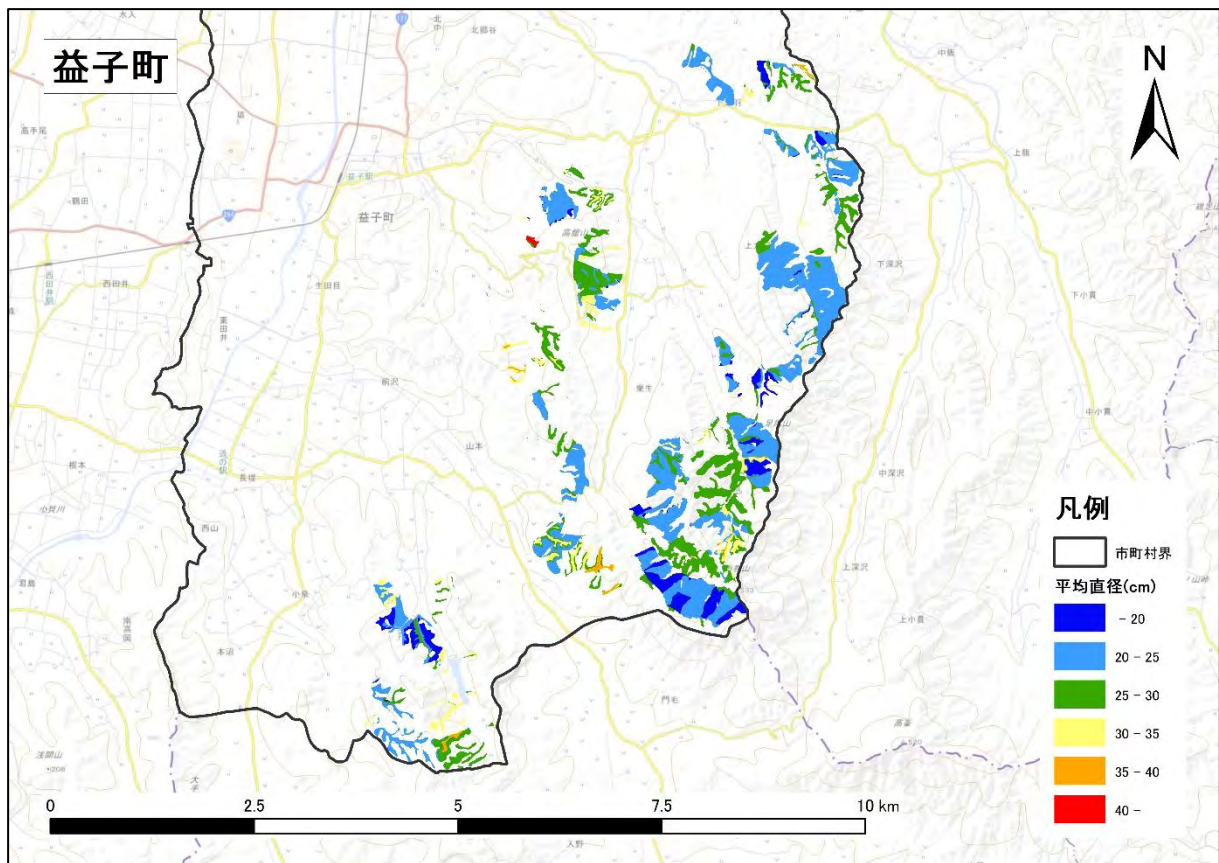


图 4-70 平均胸高直径区分图（栃木県国有林（益子町））

3) 茨城県民有林（石岡市、つくば市、筑西市、桜川市）

茨城県民有林の平均胸高直径ごとの面積（ha）を図 4-71、平均胸高直径区分図を図 4-72 に示す。

スギは平均胸高直径 25cm 以上 30cm 未満の林分が最も多く 42.4%となっており、次いで 30cm 以上の林分が 39.3%を占めていた。

ヒノキ類は平均胸高直径 25cm 以上 30cm 未満の林分が最も多く 46.6%となっており、次いで 20cm 以上 25cm 未満の林分が 42.5%を占めていた。

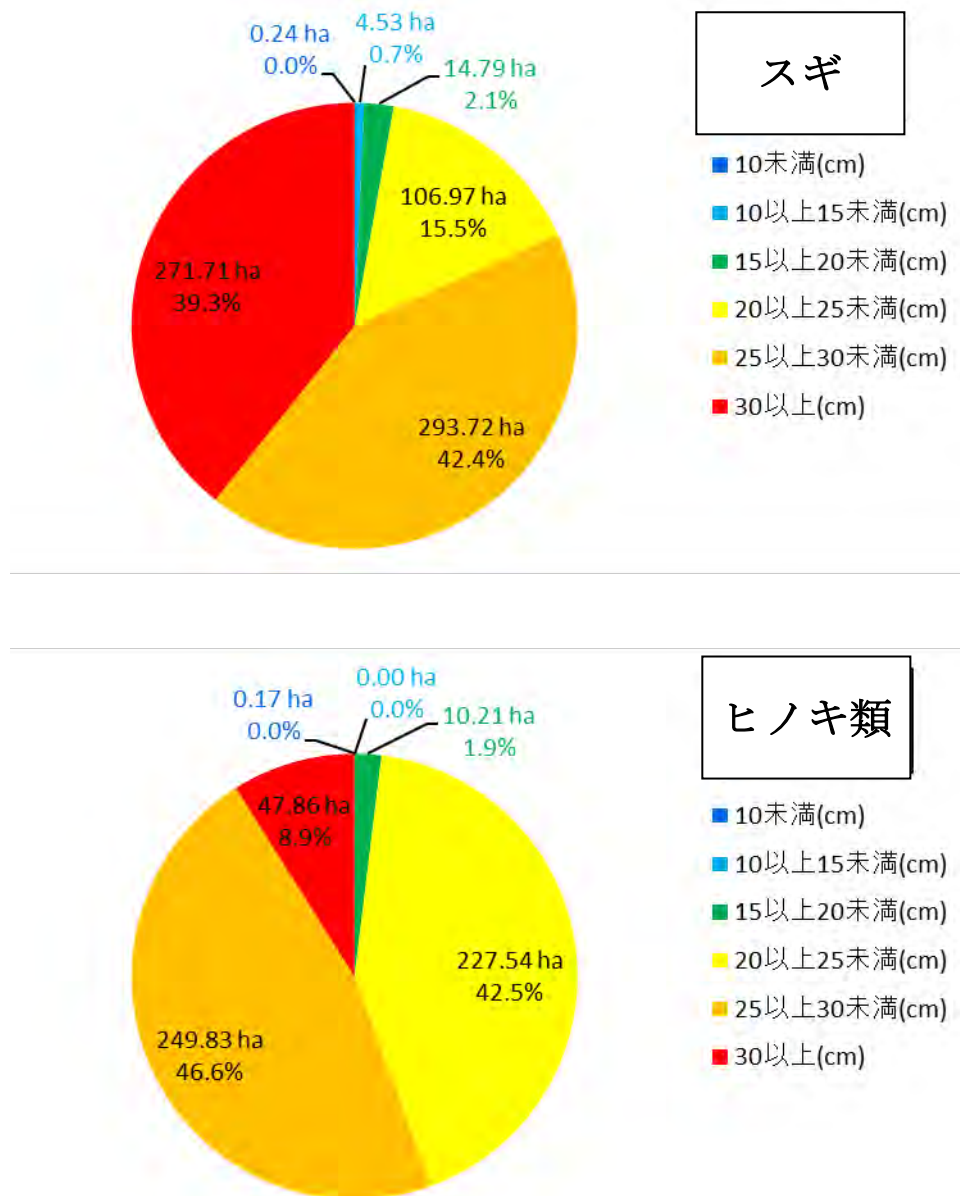


図 4-71 平均胸高直径ごとの面積（ha）（茨城県民有林）

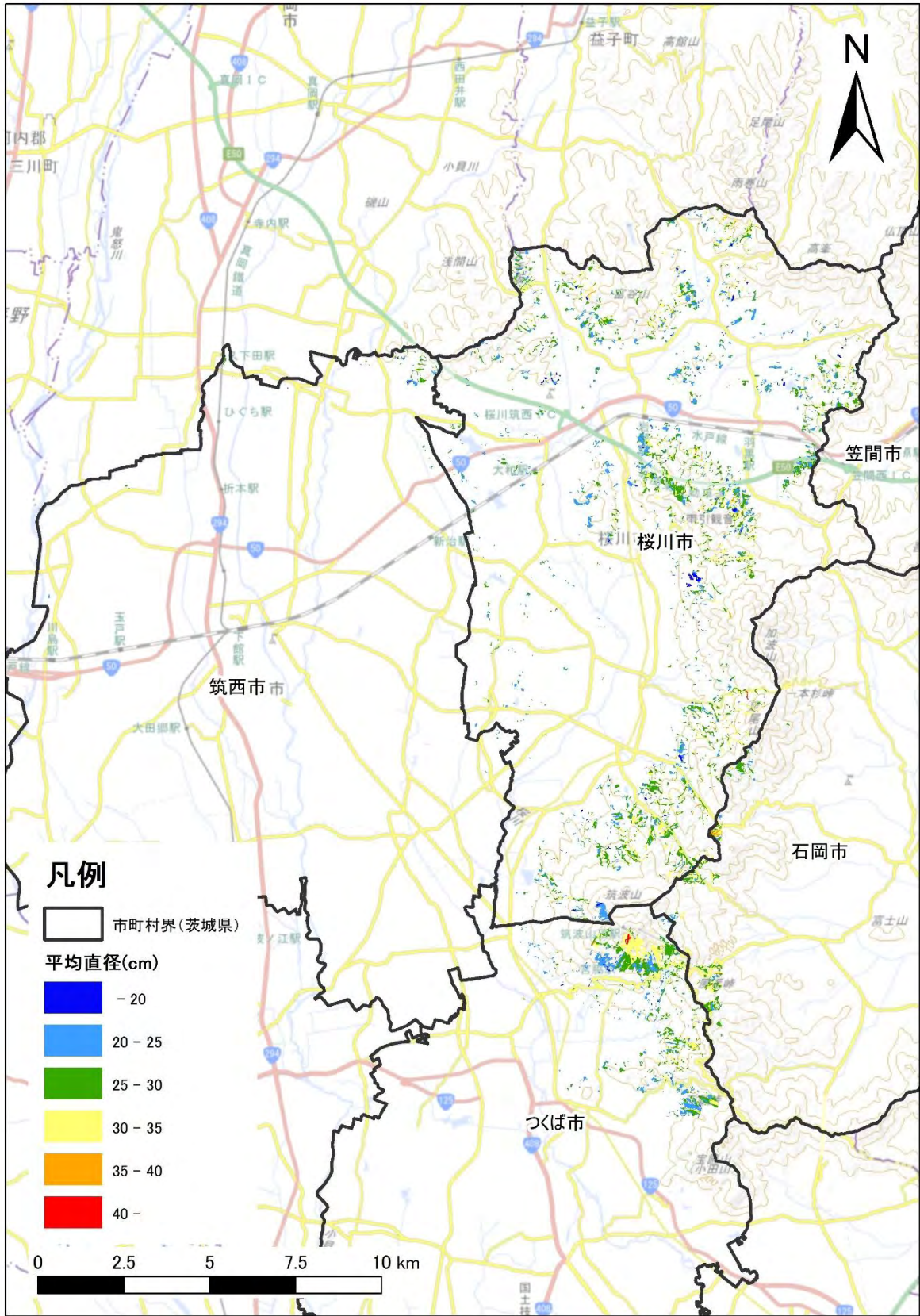


図 4-72 平均胸高直径区分図 (茨城県民有林)

4) 茨城県国有林（桜川市）

茨城県国有林の平均胸高直径ごとの面積（ha）を図 4-73、平均胸高直径区分図を図 4-74 に示す。

スギは 25cm 以上 30cm 未満の林分が最も多く 59.7%となっており、次いで 30cm 以上の林分が 39.6%を占めていた。

ヒノキ類は 25cm 以上 30cm 未満の林分が最も多く 52.4%となっており、次いで 20cm 以上 25cm 未満の林分が 47.2%を占めていた。

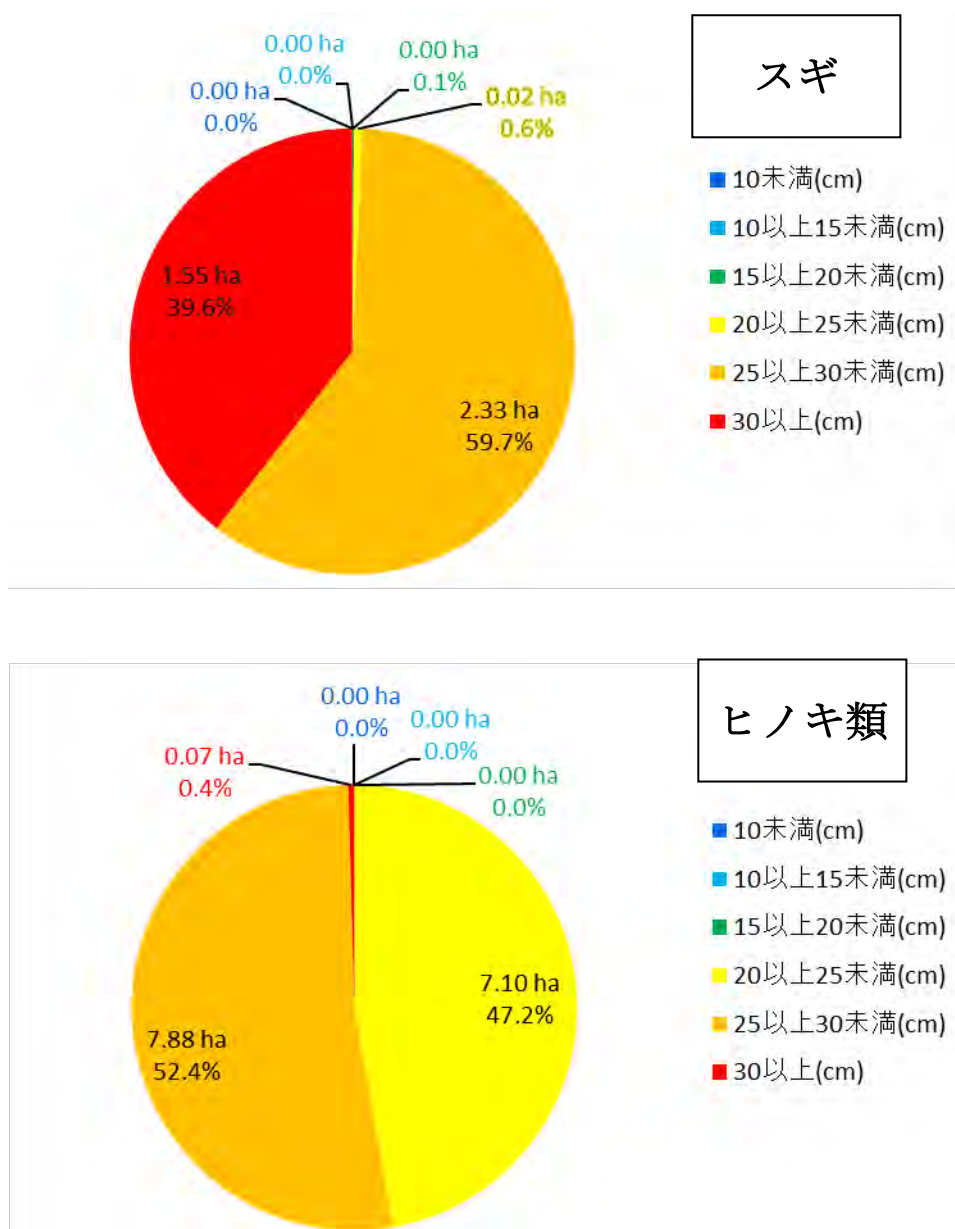


図 4-73 平均胸高直径ごとの面積（ha）（茨城県国有林（桜川市））

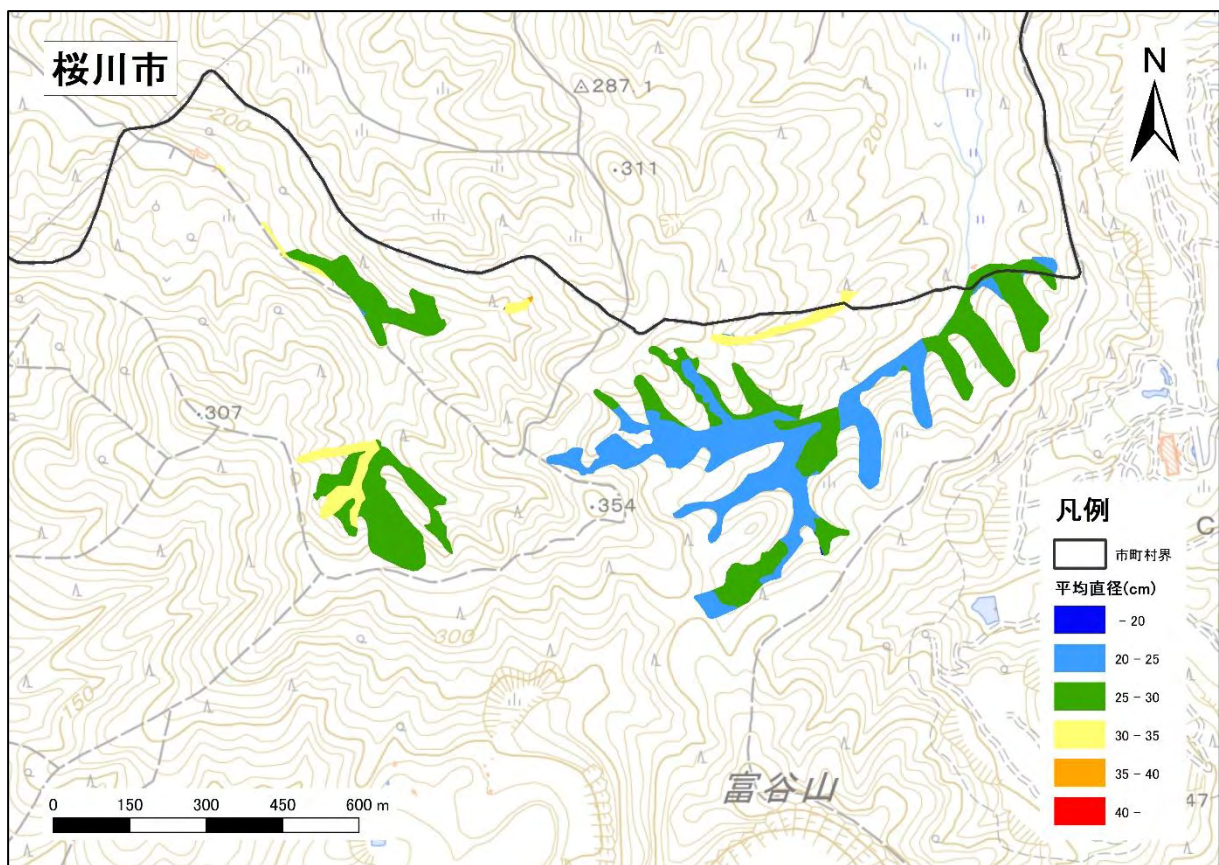


图 4-74 平均胸高直径区分图 (茨城県国有林 (桜川市))

4.4.6 ha 当たり材積

(1) 材積の推定方法

スギ、ヒノキ類の材積は、福島、栃木、群馬、新潟地方の材積式（林野庁計画課編 立木幹材積表-東日本編-）を用い、単木の樹高と胸高直径から算出した。使用したスギ、ヒノキの材積式を以下に示す。

○スギ

- ・ **福島（中通り、浜通り）、栃木、群馬地方**

$$\log V = -5 + 0.8769 + 1.7454 \log d + 1.014 \log h \quad (d: 5 \sim 10 \text{cm})$$

$$\log V = -5 + 0.73504 + 1.83346 \log d + 1.06569 \log h \quad (d: 12 \sim 20 \text{cm})$$

$$\log V = -5 + 0.71514 + 1.74357 \log d + 1.17719 \log h \quad (d: 22 \sim 30 \text{cm})$$

$$\log V = -5 + 0.82956 + 1.76381 \log d + 1.06412 \log h \quad (d: 32 \sim 40 \text{cm})$$

$$\log V = -5 + 0.88226 + 1.79204 \log d + 0.99303 \log h \quad (d: 42 \text{cm 以上})$$

○ヒノキ

- ・ **福島、栃木、群馬、新潟地方**

$$\log V = -4.173533 + 1.810672 \log d + 0.982833 \log h \quad (d: 4 \sim 10 \text{cm})$$

$$\log V = -4.293729 + 1.905709 \log d + 1.011385 \log h \quad (d: 12 \sim 20 \text{cm})$$

$$\log V = -4.271259 + 1.771888 \log d + 1.138415 \log h \quad (d: 22 \sim 30 \text{cm})$$

$$\log V = -4.404407 + 1.671519 \log d + 1.363617 \log h \quad (d: 32 \text{cm 以上})$$

(2) 集計結果

抽出された樹頂点を栃木県、茨城県の業務対象区域それぞれの林小班ごとに集計し、ha 当たり材積を算出した結果を表 4-25 に示す。

表 4-25 ha 当たりごとの面積

	樹種	200未満 (m ³ /ha)		200以上 400未満 (m ³ /ha)		400以上 600未満 (m ³ /ha)		600以上 800未満 (m ³ /ha)		800以上 (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)	
栃木県	民有林	スギ	5.03	0.4%	113.41	9.8%	677.47	58.8%	331.98	28.8%	24.48	2.1%	1152.36
		ヒノキ類	3.98	0.5%	258.92	32.1%	513.25	63.6%	30.75	3.8%	0.59	0.1%	807.48
		小計	9.01	0.5%	372.32	19.0%	1190.72	60.8%	362.72	18.5%	25.07	1.3%	1959.84
	国有林	スギ	0.47	0.4%	8.09	7.5%	65.30	60.3%	31.02	28.6%	3.48	3.2%	108.36
		ヒノキ類	0.73	0.2%	219.69	54.4%	160.86	39.8%	22.60	5.6%	0.08	0.0%	403.96
		小計	1.20	0.2%	227.78	44.5%	226.16	44.1%	53.62	10.5%	3.55	0.7%	512.32
茨城県	民有林	スギ	2.74	0.4%	58.35	8.4%	337.47	48.8%	272.46	39.4%	20.93	3.0%	691.96
		ヒノキ類	1.07	0.2%	131.79	24.6%	344.87	64.4%	55.61	10.4%	2.28	0.4%	535.62
		小計	3.81	0.3%	190.14	15.5%	682.34	55.6%	328.08	26.7%	23.21	1.9%	1227.57
	国有林	スギ	0.00	0.1%	0.01	0.2%	2.10	53.8%	1.78	45.6%	0.01	0.3%	3.90
		ヒノキ類	0.00	0.0%	2.36	15.7%	11.03	73.3%	1.61	10.7%	0.05	0.3%	15.04
		小計	0.00	0.0%	2.37	12.5%	13.13	69.3%	3.39	17.9%	0.06	0.3%	18.95
総計		14.02	0.4%	792.61	21.3%	2112.36	56.8%	747.80	20.1%	51.89	1.4%	3718.68	

1) 栃木県民有林（真岡市、益子町、市貝町、芳賀町、高根沢町）

栃木県民有林の ha 当たり材積ごとの面積（ha）を図 4-75、ha 当たり材積区分図を図 4-76 に示す。

スギは ha 当たり材積 400m³/ha 以上 600m³/ha 未満の林分が最も多く 58.8%となっており、次いで 600m³/ha 以上 800m³/ha 未満の林分が 28.8%を占めていた。

ヒノキ類は 400m³/ha 以上 600m³/ha 未満の林分が最も多く 63.6%となっており、次いで 200m³/ha 以上 400m³/ha 未満の林分が 32.1%を占めていた。

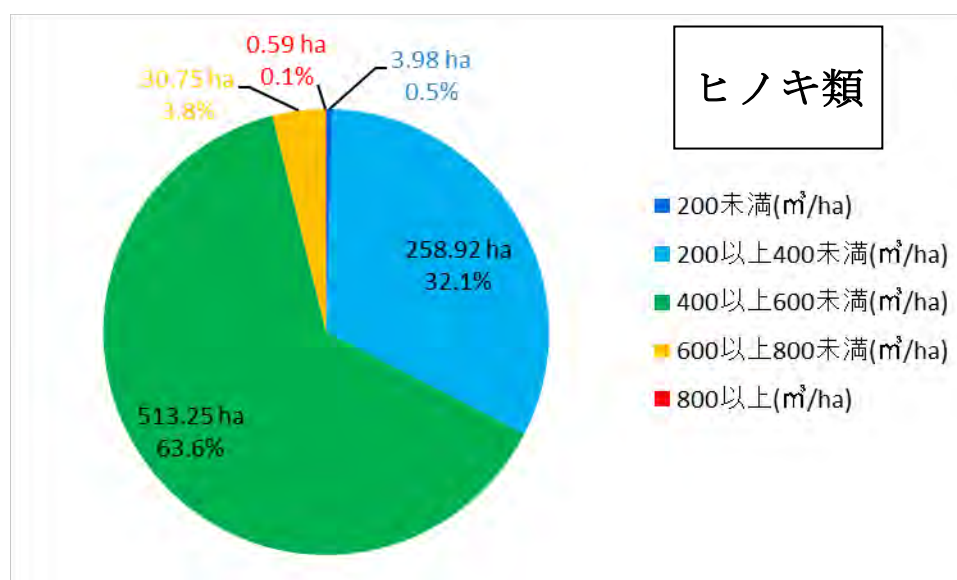
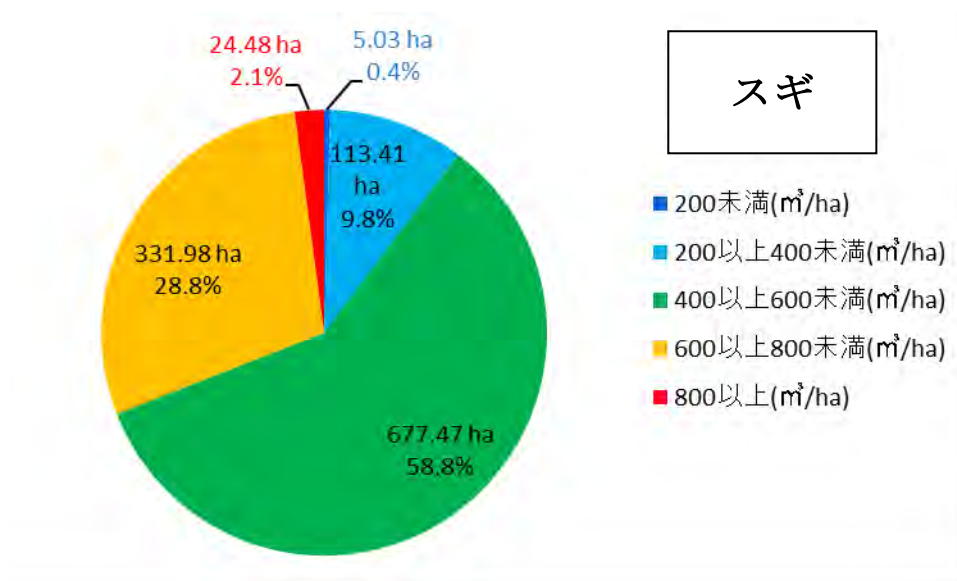


図 4-75 ha 当たり材積ごとの面積（ha）（栃木県民有林）

2) 栃木県国有林（益子町）

栃木県国有林（益子町）の ha 当たり材積ごとの面積（ha）を図 4-77、ha 当たり材積区分図を図 4-78 に示す。

スギは ha 当たり材積 400m³/ha 以上 600m³/ha 未満の林分が最も多く 60.3%となっており、次いで 600m³/ha 以上 800m³/ha 未満の林分が 28.6%を占めていた。

ヒノキ類は ha 当たり材積 200m³/ha 以上 400m³/ha 未満の林分が最も多く 54.4%となっており、次いで 400m³/ha 以上 600m³/ha 未満の林分が 39.8%を占めていた。

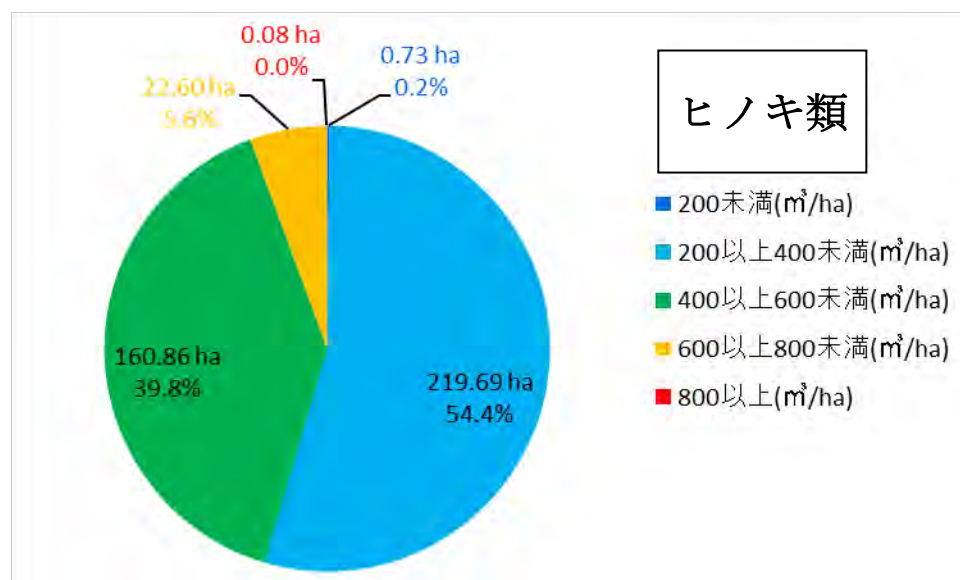
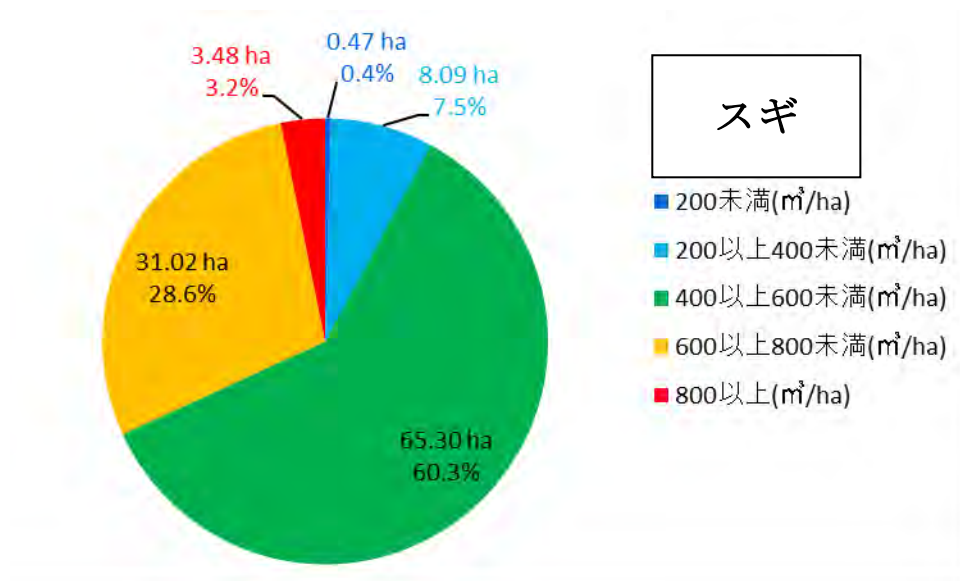


図 4-77 ha 当たり材積ごとの面積（ha）（栃木県国有林（益子町））

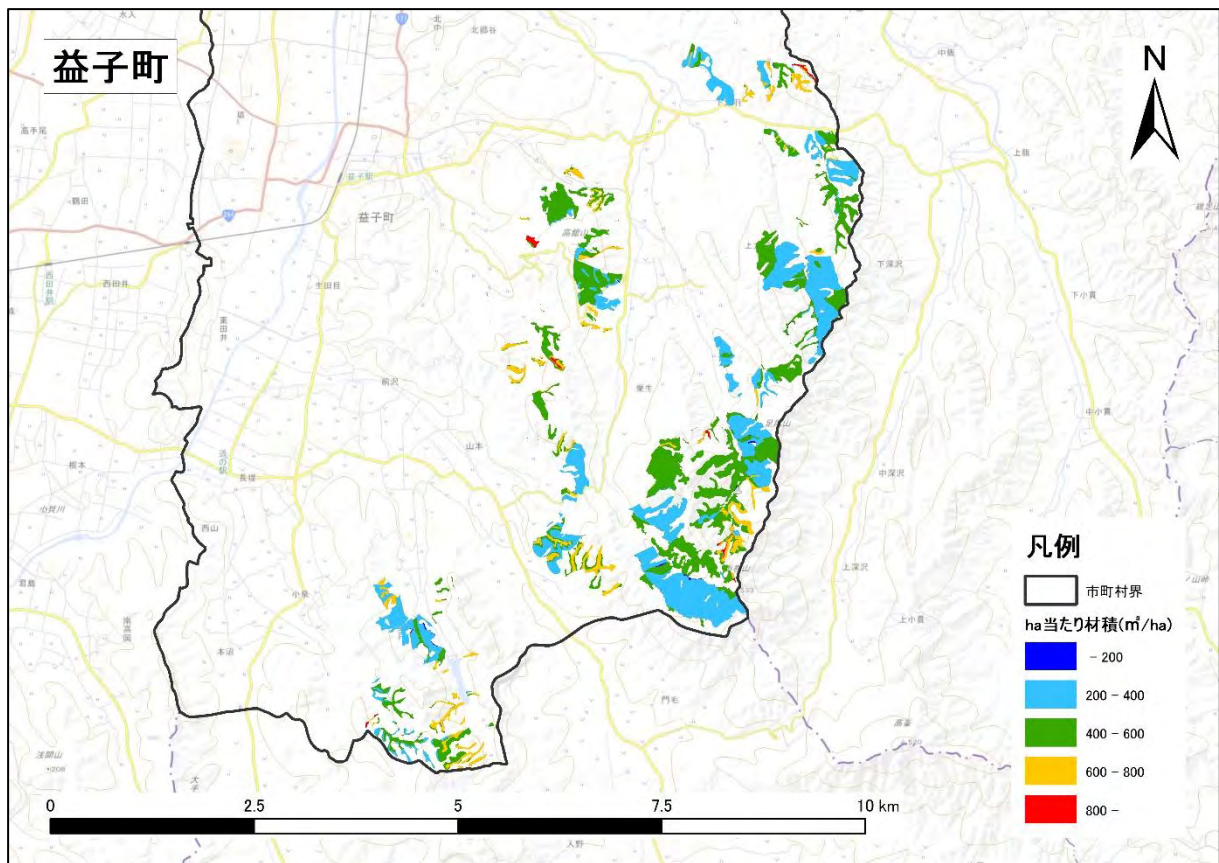


図 4-78 ha 当たり材積区分図（栃木県国有林（益子町））

3) 茨城県民有林（石岡市、つくば市、筑西市、桜川市）

茨城県民有林の ha 当たり材積ごとの面積（ha）を図 4-79、立木密度区分図を図 4-80 に示す。

スギは ha 当たり材積 400m³/ha 以上 600m³/ha 未満の林分が最も多く 48.8%となっており、次いで 600m³/ha 以上 800m³/ha 未満の林分が 39.4%を占めていた。

ヒノキ類は ha 当たり材積 400m³/ha 以上 600m³/ha 未満の林分が最も多く 64.4%となっており、次いで 200m³/ha 以上 400m³/ha 未満の林分が 24.6%を占めていた。

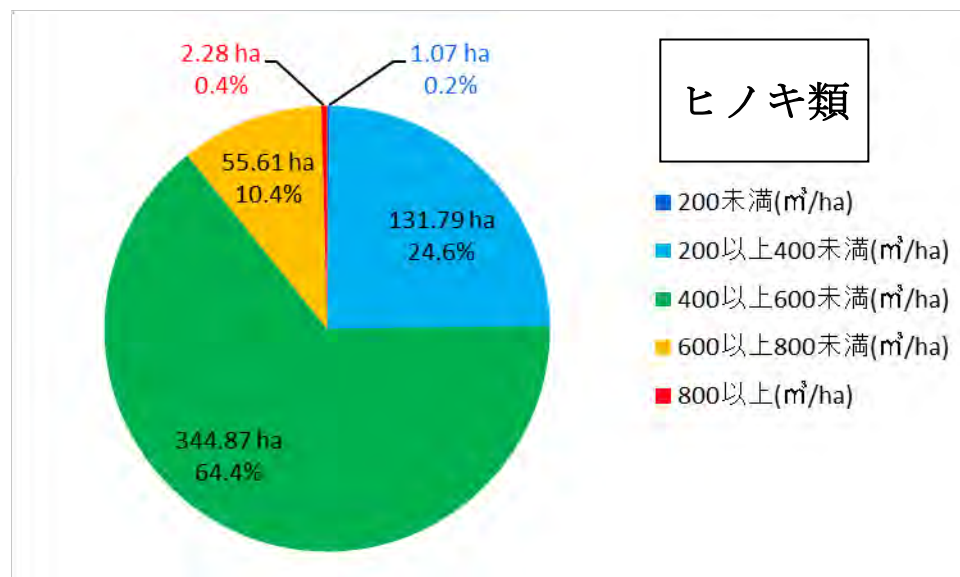
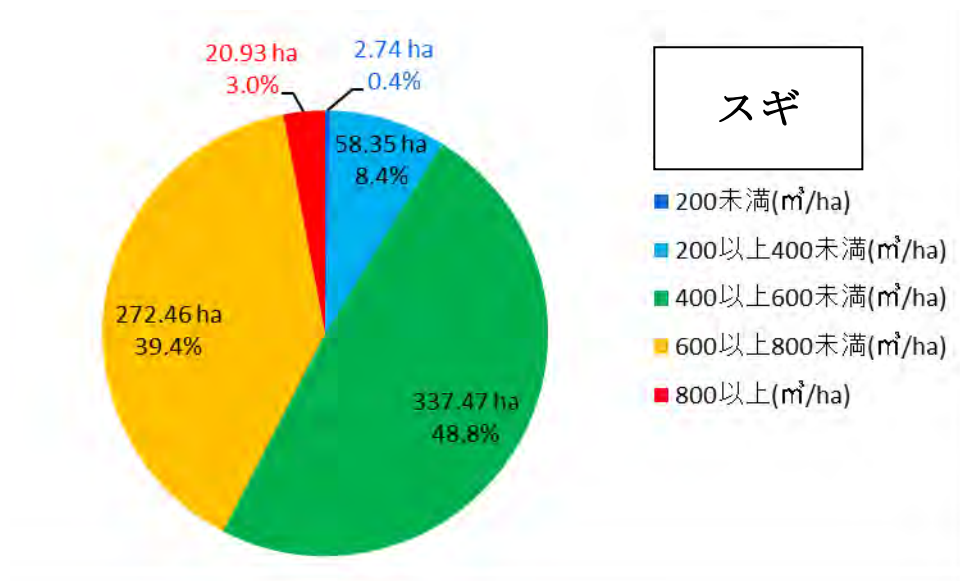


図 4-79 ha 当たり材積ごとの面積（ha）（茨城県民有林）

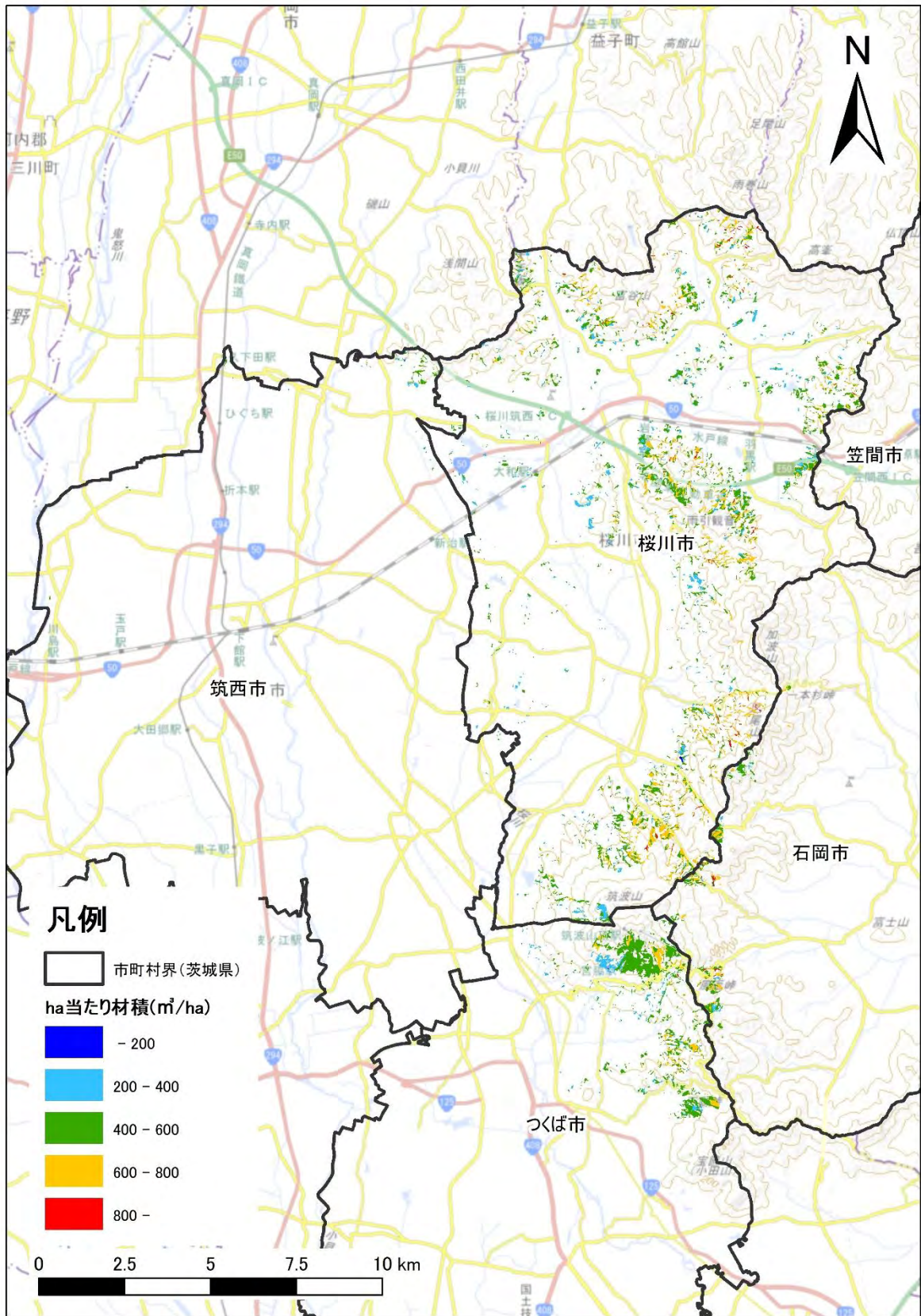


図 4-80 ha 当たり材積区分図 (茨城県民有林)

4) 茨城県国有林（桜川市）

茨城県国有林（桜川市）の ha 当たり材積ごとの面積（ha）を図 4-81、ha 当たり材積区分図を図 4-82 に示す。

スギは ha 当たり材積 400m³/ha 以上 600m³/ha 未満の林分が最も多く 53.8%となっており、次いで 600m³/ha 以上 800m³/ha 未満の林分が 45.6%を占めていた。

ヒノキ類は ha 当たり材積 400m³/ha 以上 600m³/ha 未満の林分が最も多く 73.3%となっており、次いで 200m³/ha 以上 400m³/ha 未満の林分が 15.7%を占めていた。

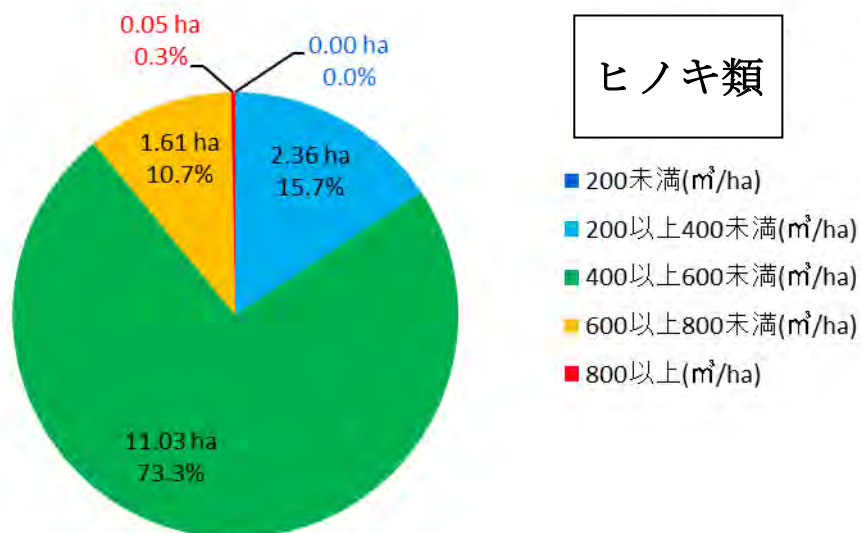
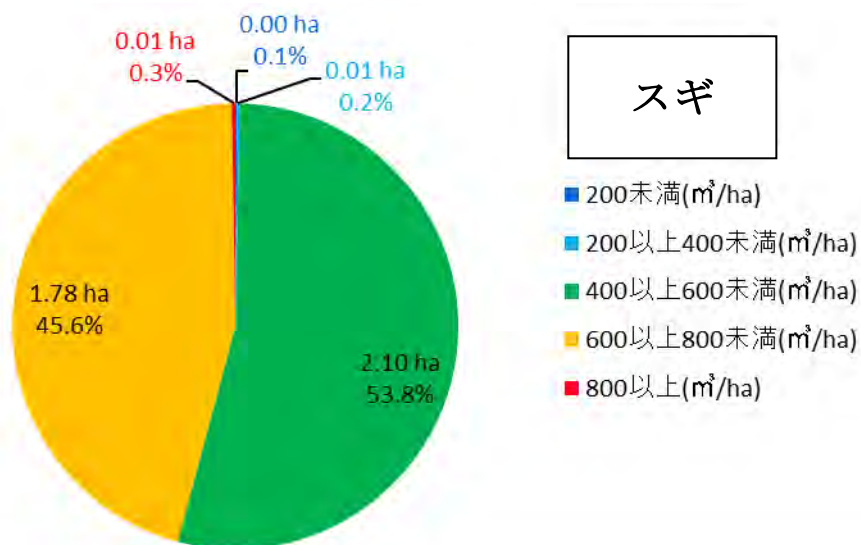


図 4-81 ha 当たり材積ごとの面積（ha）（国有林（桜川市））

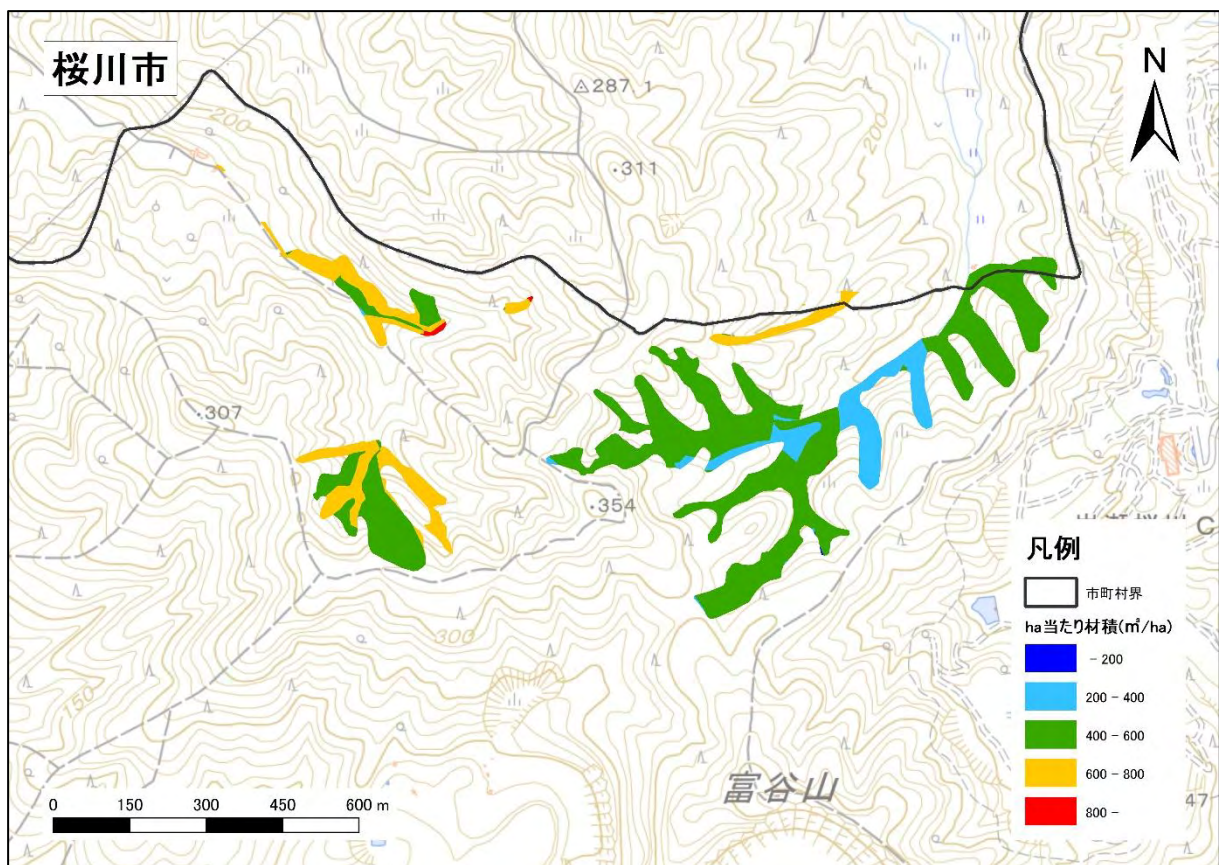


図 4-82 ha 当たり材積区分図 (国有林 (桜川市))

5. 業務取りまとめ

地形解析業務及び森林解析業務に係る電子成果及び各業務を総括した報告書を作成した。地形解析業務と森林解析業務の結果は下記の3種類の区画によりとりまとめ・集計を行った。なお、集計結果を含む各データファイルの座標参照系は、平面直角座標系としてJGD2011の9系とした。

表 5-1 集計区画の一覧

	集計区画	作成理由・利活用方法
1	森林簿・森林計画図の林小班ごと (民有林・国有林)	森林解析結果の栃木県行政、茨城県行政や林業事業者での利用を想定し、林務で利用されるデータとそろえた形式とする 花粉量は林齢に応じた多寡の傾向があるため、森林簿の林齢と森林解析結果を一覧で確認できるものとする
2	20mメッシュポリゴン	森林簿・森林計画図では小班の重複や属性項目が多くなってしまったため、より簡易に森林資源量を面的に把握できるデータとして整備し、花粉症対策の樹種と材積を特定できるようにする
3	1km ² メッシュポリゴン	データ公開後、速やかに民間事業者が花粉飛散予測での利用できるようにする

20mメッシュポリゴンからはスギ林から林相転換しやすい箇所の抽出を行った。抽出にあたっては林道から距離が近く、傾斜が比較的緩やかといった地形要因と樹種がスギであること、材積といった森林資源要因によりゾーニングを行った。

20mメッシュポリゴンからはスギ林から林相転換しやすい箇所の抽出を行った。抽出にあたっては車両系での搬出を想定し、林道から500m以内、傾斜が35度以下の地位が高く、樹種がスギかつ、ha当たり材積が500m³であることを条件とした。

ゾーニングを実施した結果を次ページの図 5-1～図 5-2に示す。

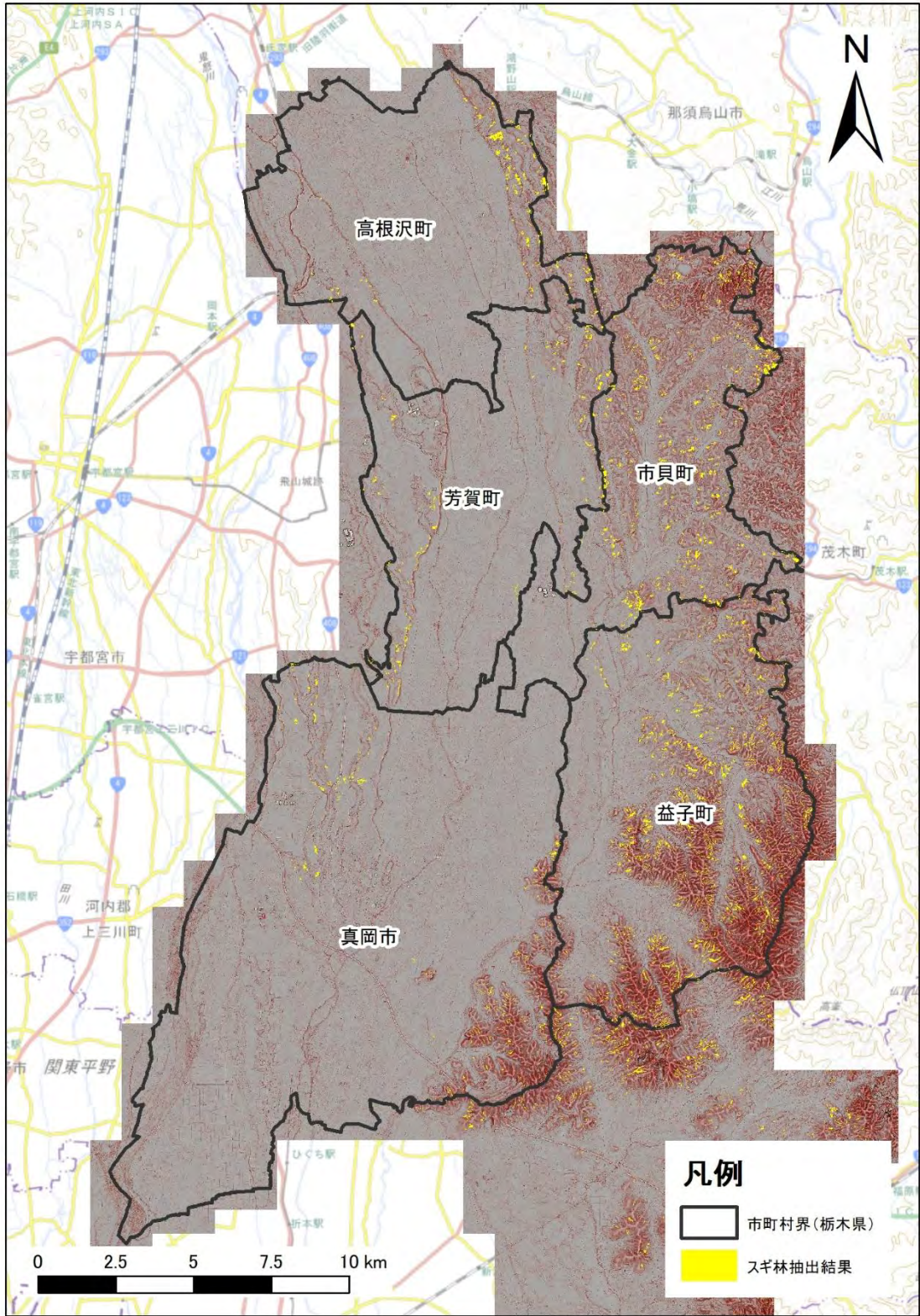


図 5-1 ゾーニング結果（栃木県）

5.1 報告書作成

全体計画に記載の解析により得られた成果並びに打合せ記録等を取りまとめた報告書を作成した。