

平成 24 年度

デジタル森林空間情報利用技術開発事業の
うち現地調査及びデータ解析・プログラム
開発事業報告書

平成 25 年 3 月

株 式 会 社 パ ス コ
一般社団法人日本森林技術協会

目次

1. 事業概要	1
1.1. 背景及び目的	1
1.1.1. 事業の背景	1
1.1.2. 目的	2
1.2. 実施体制	3
1.2.1. 事業の構成	3
1.2.2. 実施者	3
1.2.3. 委員会の開催	4
1.3. 解析・開発の方針	5
1.3.1. 森林航測技術を活用した森林計画支援	5
1.3.2. 汎用性の高いプログラム開発	5
2. データ概要	7
2.1. 対象地域	7
2.1.1. 対象地域の選定概要	7
2.1.2. 相観区分に基づく対象地域選定	7
2.1.3. 対象地域の概要	9
2.2. デジタル空中写真撮影及びレーザ計測	29
2.2.1. データ取得計画	29
2.2.2. 使用する機材	29
2.2.3. 撮影作業の基本仕様	30
2.2.4. 撮影状況	32
2.2.5. 撮影後の作業フロー	34
2.2.6. 成果品	35
2.2.7. 精度管理	36
2.2.8. デジタル撮影結果のまとめ	38
2.3. 現地調査	45
2.3.1. 現地調査方法	45
2.3.2. 現地調査結果概要	46
3. 森林基礎情報の解析	47
3.1. 解析方針	47
3.2. 現地調査による蓄積算出	48
3.2.1. 手法概要	48
3.2.2. 密度管理図の検証	50
3.3. 林相区分・樹種分類	53
3.3.1. 手法概要	53
3.3.2. 林相区画の生成	55
3.3.3. 樹種区分	57
3.3.4. 林相区分結果・考察	61
3.4. 蓄積	65
3.4.1. 手法概要	65
3.4.2. 立体視判読による推定	68
3.4.3. 本数・樹高からの推定	68
3.4.4. 容積からの推定	73
3.4.5. 蓄積推定の精度検証	83
3.5. 樹冠疎密度（日向率）	88

3.5.1. 手法概要	88
3.5.2. 計算事例	88
3.6. 被害可能性	92
3.6.1. 手法概要	92
3.6.2. 計算事例	92
3.7. 地形要因（谷尾根指標）	94
3.7.1. 手法概要	94
3.7.2. 谷尾根指標	94
3.7.3. 計算事例	95
3.8. 生物多様性	99
3.8.1. 空中写真による広葉樹林率	99
3.8.2. レーザによる林分構造	101
4. プログラム開発	103
4.1. 開発方針	103
4.2. 機能概要	104
4.2.1. 入出力データ概要	104
4.2.2. 立体視機能	106
4.2.3. 分析機能	108
5. モデル地域における検討	112
5.1. 検討方針	112
5.2. 市町村森林整備計画	113
5.2.1. 検討目的	113
5.2.2. 地域概要	113
5.2.3. 実施内容	114
5.2.4. 現状と課題	115
5.2.5. デジタル森林空間情報の活用	116
5.3. 森林経営計画	134
5.3.1. 検討目的	134
5.3.2. 地域概要	134
5.3.3. 実施内容	135
5.3.4. 現状と課題	136
5.3.5. デジタル森林空間情報の活用	137
6. デジタル森林空間情報を活用した森林計画支援	159
6.1. デジタル森林空間情報の活用	159
6.2. 今後の展望	160

1. 事業概要

1.1. 背景及び目的

1.1.1. 事業の背景

(1) 生物多様性に関する動向

平成 22 年（2010 年）10 月に名古屋において生物多様性条約第 10 回締約国会議（COP10）が開催され、ポスト 2010 年目標として「戦略計画 2011-2020（愛知目標）」が採択されるなど、生物多様性の保全は国際的に重要な課題となっている。愛知目標は、2050 年までに「自然と共生する」世界を実現するというビジョン（中長期目標）を持って、2020 年までにミッション（短期目標）及び 20 の個別目標の達成を目指すものである。ミッション（短期目標）は、2020 年までに、回復力があり、また必要なサービスを引き続き提供できる生態系を確保するため、生物多様性の損失を止めるための効果的かつ緊急の行動を実施するものである。

国内では平成 24 年（2012 年）9 月に「生物多様性国家戦略 2012－2020」が閣議決定された。これは、COP10 の成果や東日本大震災の経験などを踏まえ、愛知目標の達成に向けたわが国のロードマップである。愛知目標に対応した 2050 年までの長期目標、2020 年までの短期目標、5 つの戦略目標のもと、「13 の国別目標」、その達成に向けた「48 の主要行動目標」、国別目標の達成状況を把握するための「81 の指標」を示している。森林に関する具体的施策の一つとして、「森林空間データ、森林生態系多様性基礎調査の結果及びデジタル空中写真などを森林 GIS 上で統合的に扱うなど、森林資源情報の効果的な活用を図」ることがあげられている。

このような情勢の中で、森林生態系のモニタリングを的確かつ効率的に行っていくことが生物多様性の保全を進めて行く上で重要となっている。

(2) デジタル森林航測技術の進歩

我が国の約 7 割を占める広大な森林の現況を把握し、管理するために、航測技術は昭和初期より常に森林・林業分野において重要な役割を果たしてきた。また、データがアナログ空中写真のみならず、高分解能衛星データへと多様化を続ける中で、森林・林業分野は航測技術の発展の先頭に立っている。

現在では、高精細なデジタル撮影空中写真、航空レーザ計測データが利用可能となっており、これらのデジタル森林航測技術の進歩を森林調査に応用し実用化することが求められている。

(3) 森林・林業の再生に向けて

平成 23 年 4 月には森林法改正により、森林計画制度が見直しされ、市町村森林整備計画のマスタープラン化や森林経営計画の創設など、より現場に近い市町村や林業事業体、森林所有者における実効性の高い計画、施業の確保を目指している。

平成 23 年 7 月に、「森林・林業基本計画」が閣議決定された。今回の基本計画においては、森林施業の集約化や路網整備など、森林・林業再生に向けた取組を推進し、木材自給率 50%を目指すとともに、東日本大震災への対応として、住宅等の再建に必要な木材の安定供給や木質バイオマス資源の活用により、環境負荷の少ない新しいまちづくりに貢献していくこととしている。

一方、都道府県の林務担当者数の削減が進み、森林簿更新や地域森林計画の編成を効率的に進めるためのツールが求められている。また、これから森林管理の中心的な役割を担うことが期待されている市町村であるが、森林計画の専任担当者の配置が困難な場合もある。この点からも森林現況の把握から森林計画策定までの手順が誰にで

も理解できる明確なものとするのが求められている。

このような森林・林業を取り巻く状況の中で、空中写真を利用して効率的に森林管理を行うためのツールを開発するという本事業の意義は大きい。

1.1.2. 目的

以上より、本事業は様々な森林を対象にデジタル空中写真の撮影や航空レーザ計測を実施するとともに、現地調査とあわせ、それらデジタルデータを活用した森林生態系の健全性や生物多様性に係る効率的かつ精度の高い調査・分析のための実用化技術を開発することを目的とする。

本事業では、平成 22 年度からの 3 年間により、森林計画策定支援のため、デジタルデータを活用して森林現況を把握するための解析手法と、その解析手法を誰もが実行できるようなプログラムの開発、さらにプログラムの出力を実際の森林計画等に適応するための利活用手法の提案という 3 つの成果を得ることを目的としている。今年度は最終年度として、プログラムの完成及びモデル地域における利活用手法の試行を中心に行った。

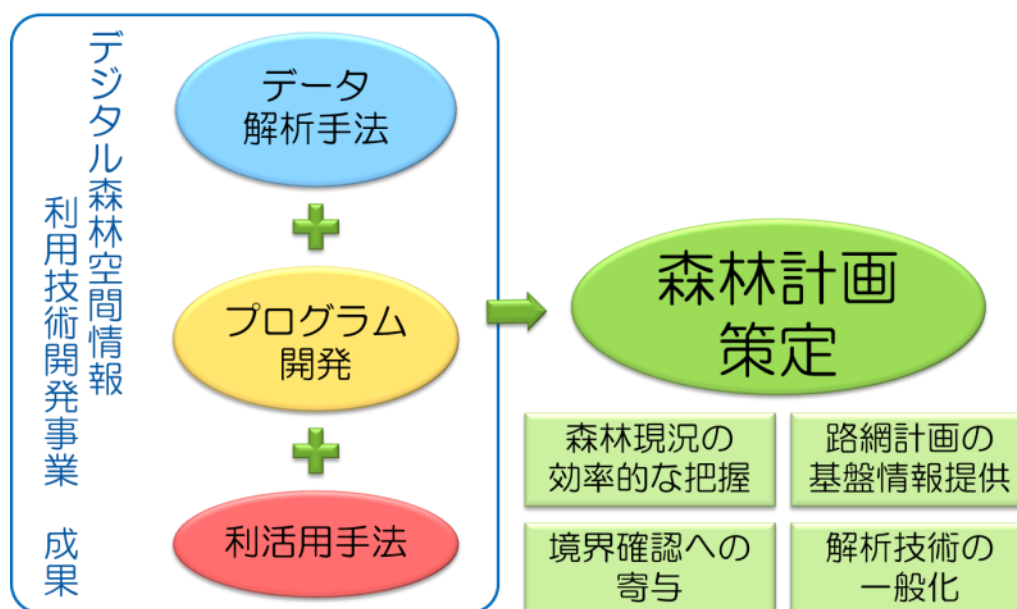


図 1.1.1 事業成果とその効果

1.2. 実施体制

1.2.1. 事業の構成

本事業は「デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうち現地調査及びデータ解析・プログラム開発事業」であり、「デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうちデジタル空中写真撮影及び航空レーザ計測」（以下「撮影・計測事業」という）と連携をとりながら実施することが求められている。

各事業の概要は図 1.2.1 のとおりであり、両事業が連携しつつ、撮影・計測事業で取得したデータを本事業で解析し、プログラムを開発する。撮影の地域や時期などの条件については本事業が指導的に撮影・計測事業を管理するものである。

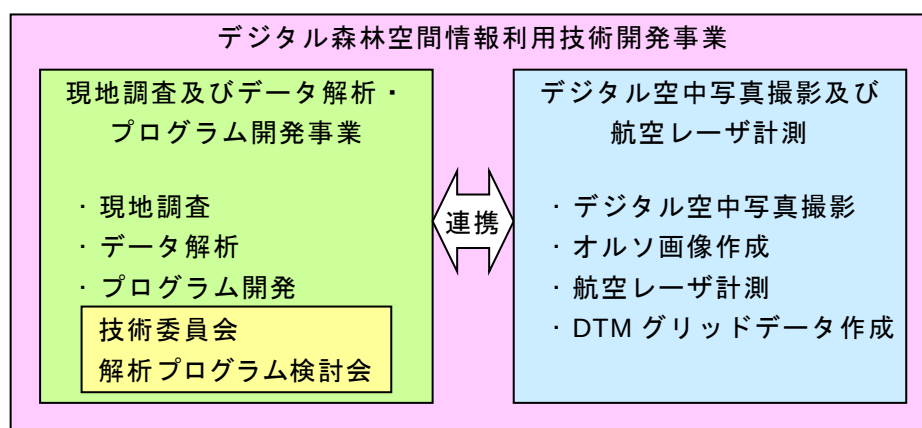


図 1.2.1 事業の構成

1.2.2. 実施者

本事業及び撮影・計測事業はいずれも株式会社パスコが代表者となり、それぞれ共同提案者と共に実施している。共同提案者及び各社ごとの実施内容の分担は図 1.2.2 のとおりである。

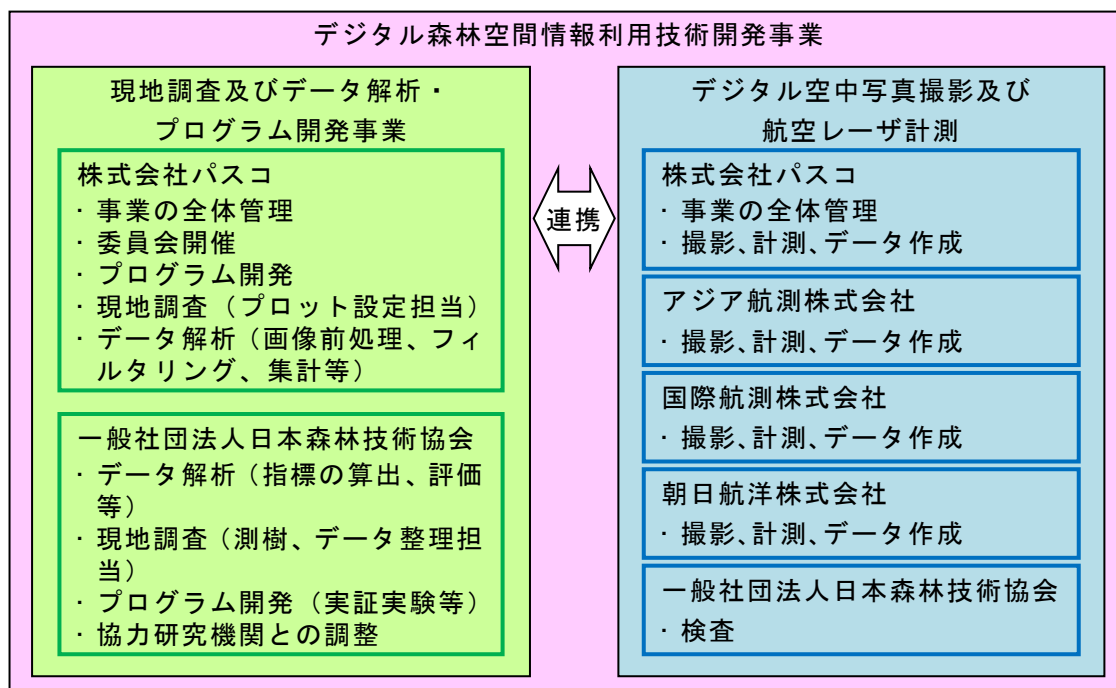


図 1.2.2 事業の実施者

1.2.3. 委員会の開催

本事業では、技術委員会と解析プログラム検討会を開催し、意見を求めた。技術委員会は、解析手法に対する意見、指導を求めるため、森林分野のリモートセンシングに関する専門家を主体に構成した。解析プログラム検討会は利用者の意見をプログラムに反映することを目的とし、都道府県の林務担当者により構成した。

技術委員会は平成 24 年 5 月 8 日、12 月 7 日、平成 25 年 2 月 20 日の 3 回、解析プログラム検討会は平成 24 年 9 月 5 日、平成 25 年 2 月 8 日の 2 回開催した。

それぞれの構成員は表 1.2.1、表 1.2.2 のとおりである。

表 1.2.1 技術委員会名簿

氏 名	所 属 ・ 職 名
栗屋 善雄	岐阜大学 流域圏科学研究センター 流域情報研究部門 人間活動情報研究分野 教授
大貫 仁人	社団法人大日本山林会 前会長
梶本卓也	独立行政法人森林総合研究所 植物生態研究領域長
戸田堅一郎	長野県林業総合センター 育林部 研究員
平田泰雅	独立行政法人森林総合研究所 温暖化対応推進拠点 温暖化対応推進室長
正木 隆	独立行政法人森林総合研究所 森林植生研究領域 群落動態研究室長
光田 靖	宮崎大学農学部 森林緑地環境科学科 准教授
吉田 茂二郎	九州大学大学院農学研究院 森林機能制御学講座 教授
田島信太郎	田島山業株式会社 代表
鈴木富士男	新城市産業・立地部 森林課長

表 1.2.2 解析プログラム検討会名簿

都道府県	部 署	氏名
長野県	森林政策課 森林計画係	山口真保呂、加藤健一、 長澤幸一、林田貴志
静岡県	森林計画課 森林計画班	平山賢次、加藤文敏
	森林整備課 県営林班	森本 彰
愛知県	農林水産部 農林基盤担当局 林務課	尾崎健一郎
	新城設楽農林水産事務所 新城林務課	山本高也
大分県	大分県林務管理課 森林・林業企画班	江藤啓介
宮崎県	環境森林部 森林経営課	稲田眞一
	宮崎県林業技術センター 育林環境部	世見淳一

なお、平成 22 年度、23 年度は技術委員会を平成 22 年 4 月 27 日、12 月 16 日、平成 23 年 3 月 4 日、4 月 25 日、11 月 30 日、平成 24 年 3 月 6 日、解析プログラム検討委員会を平成 22 年 11 月 22 日に開催している。

1.3. 解析・開発の方針

1.3.1. 森林航測技術を活用した森林計画支援

我が国の約 7 割を占める広大な森林の現況を把握し、管理するために、航測技術は昭和初期より常に森林・林業分野において重要な役割を果たしてきた。また、データがアナログ空中写真のみならず、高分解能衛星データへと多様化を続ける中で、森林・林業分野は航測技術の発展の先頭に立っている。

空中写真は戦後 60 年以上にわたり撮影が継続されており、詳細な解像度で森林現況・変化状況を確認することができる貴重な資料である。また、判読技術、空中写真林分材積表などの技術が確立されている。

現在ではデジタルオルソが普及し、森林 GIS の背景として活用されている一方、習熟に時間がかかる立体視はほとんど行われていない。しかしながら、空中写真の高精細なデータ写真が本領を発揮するのは立体視として利用する時である。そこで、本事業では熟練技術者による判読技術を現代の技術により継承し、立体視判読や写真測量を誰もがパソコン上で容易に実施できるようにするプログラムを開発した。これにより、高精度な林相判読が可能であるとともに、成長量や蓄積量の推定、及び生物多様性に係る要素を極めて小規模な現地調査で可能とする。また、立体視は視覚的効果が高く、市町村や林業事業体が実施する集約化のための合意形成や施業提案のための資料として効果的である。

さらに、デジタル空中写真では近赤外域のデータや DSM（樹冠面の標高モデル）を利用することもできるが、立体視と同様、現状では一般的には利用されていない。近赤外域のデータは植物の活性度を表すと言われており、樹種区分や枯損木の判定に有効である。DSM からは林分高を求め、材積推定が可能である。そこで本事業では、これらを利用して広域の森林現況を効率的に把握するため、半自動で林相区分を実施し、さらに林相内の蓄積推定などの分析を行うプログラムを開発した。

航空機レーザ計測については、精細な地盤標高を生成するほか、従来は不要データとして切り捨てられてきた地上部分のデータを用いた解析も行った。地上部分のデータにより、蓄積推定や生物多様性につながる林分構造などの情報を抽出する。地盤標高データからは地形解析を行い、路網計画の策定に資する。また、地盤標高は空中写真を用いた材積推定においても林分高の推定の基準となるために重要である。このようにレーザ計測は、デジタル空中写真の解析を高精度化するとともに、空中写真からは得られない地盤標高や林分内部の情報を得るという位置づけとなる。

実際の森林計画業務においては、次項で詳述するように立体視機能と分析機能という異なる空間スケールを対象とした 2 つの機能を組み合わせて利用する。開発したプログラムで作成したデータは森林 GIS 上で表示することが可能であり、森林 GIS を活用してゾーニング、森林計画策定を行う際には森林簿を補完する情報として利用できる。特に、市町村森林 GIS の導入が推進され、市町村森林整備計画の重要性が指摘されている今日、高精細な空中写真の活用は重要であると考えられる。

1.3.2. 汎用性の高いプログラム開発

本事業でプログラムを開発するに当たっては以下の 3 点を考慮した。

継続的なデータ取得を前提とした手法 行政利用可能なコスト・操作性 全国で利用可能な手法及びプログラム
--

森林計画は 5 年毎に策定するものであり、行政利用可能な範囲のコストで継続取得

できるデータとして、主に空中写真を利用するプログラムとした。解析結果の精度を高めるためには、樹種や地域に適合した手法が必要と想定されるが、簡易な操作性を優先し、プログラムは全国で利用可能なものとした。

一方で、高精度なレーザ計測データを必要に応じて活用したり、地域ごとに独自に求めたパラメーターを入力できるようにしたりと、応用可能な余地を持ったプログラムとしている。

プログラムは、図 1.3.1 のとおり、大きく立体視機能と分析機能に分かれる。立体視機能は現地調査に近いレベルでの森林情報の把握、分析機能はより広範囲の森林概況の把握に適している。このように対象とする空間スケールが異なる機能を組み合わせて利用することにより、事業者から市町村、都道府県と幅広い利用が可能となる。

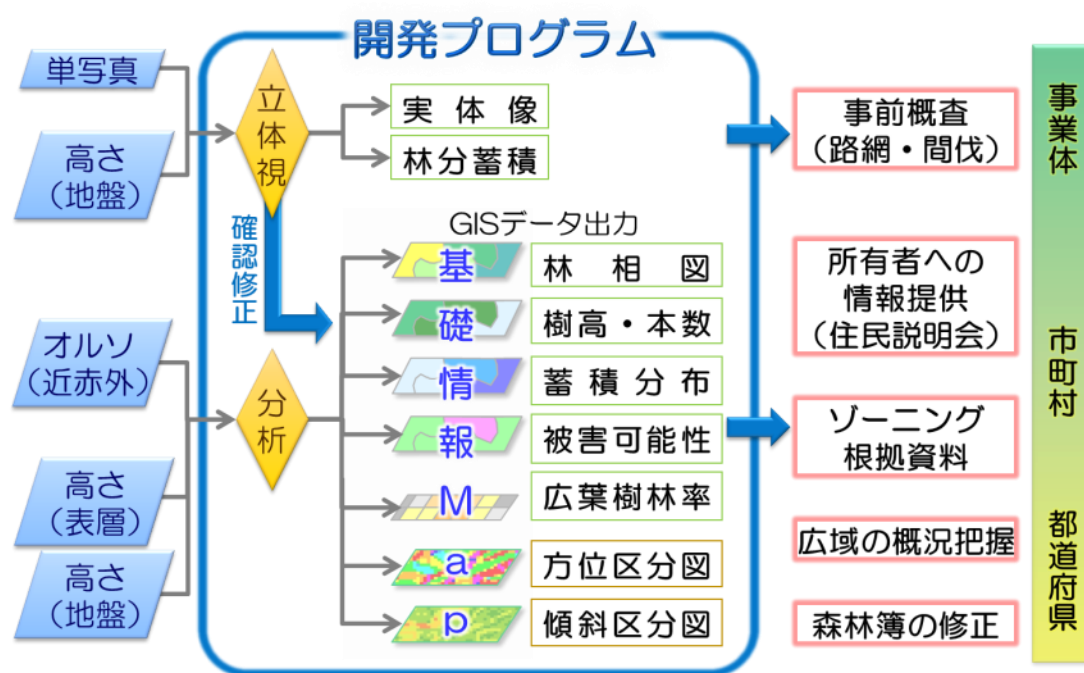


図 1.3.1 解析プログラムの概要

林相区分などの解析は、従来は高額な画像処理ソフトの複数の機能を組み合わせて専門の技術者が行うものであった。画像処理ソフトは、森林分野だけでなく多様なリモートセンシング分野に対応するため、独立した操作がメニューとなり、その組み合わせにより目的とする結果を求めるという使い方になる。これに対し、解析プログラムの中では林相区分、本数推定などの目的をメニュー化し、簡易な操作で高度な画像解析処理を実行できるものとした。

2. データ概要

2.1. 対象地域

2.1.1. 対象地域の選定概要

本事業においては、自然環境保全基礎調査（環境省）の特定植物群落調査における 57 の相観区分（巻末資料）のうち、相観コード 39～57 を含む森林を対象地域として選定することとなっている。レーザ計測はこのうち 6 相観程度を対象とする。

選定にあたっては、相観を満たすことのほか、我が国の森林を代表する地域を対象とすることを旨とし、天然林、林業が盛んな地域、里山地域の別を考慮した。植生の垂直分布が見られる標高差がある地域も対象とした。標高差がある地域は撮影に困難が伴うものの限られた撮影範囲の中で多様な林相を含めることができる。

2.1.2. 相観区分に基づく対象地域選定

特定植物群落調査は、第 2 回自然環境保全基礎調査（昭和 53 年）において実施された。我が国の植物相を具体的に形作っている植物群落のうち、規模や構造、分布等において代表的・典型的なもの、代替性のないもの、あるいはきわめて脆弱であり、放置すれば存続が危ぶまれるものなどの種類やその生育地、生育状況等を把握し、保護対策を検討するために実施されたものである。選定基準に基づいてさまざまな群落は報告されたことから、具体的な把握を可能とするために 57 の相観に区分された。相観コード 1：植生一般、2：亜寒帯植生～5：亜熱帯植生の区分は、選定された特定植物群落が広い面積を持ち、複数の気候帯にまたがる場合（1：植生一般）、同一気候帯内で複数の相観を呈する場合（2：亜寒帯植生～5：亜熱帯植生）に区分されるものであり、一般的な群落の概念とは異なる。

デジタル空中写真の撮影対象地域としては、表 2.1.1 の 12 地域を選定した。今年度の対象となる相観コード 39～57 のうち、森林といえるのは 42：タケ形林、43：ヤシ形林、44：マングローブ林のみである。このうち、43、44 は極めて稀であるため、新たに撮影対象とした相観は 42 のみである。

航空機レーザ計測の対象地域は表 2.1.2 の 4 地域を選定した。レーザ計測は、過去 2 年間のレーザ計測対象地域に天然林、北方地域が少なかったため、そこを補う地域を選定している。

以上の撮影・計測地域は委員会において承認された。

なお、平成 22 年からの全撮影地域を巻末資料に示す。

表 2.1.1 デジタル撮影空中写真の対象地域

	H22 相観コード（15、19 は稀なため対象外）																			H23 相観コード （31～38 は森林外のため対象外）													※
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	42	
36 八方尾根		○														○					◎							◎					
44 帯広			○							◎	○					○	○																
45 清澄			○					○		○			◎																				
46 市貝町				○						○								◎															
47 北茨城				○						○							◎	○															
48 柿崎				○						◎									○														
49 木曽駒ヶ岳		○				○										○																	
50 新城				○						○									○														
51 木曽御岳		○				◎	○					○				○					○												
52 北広島町				○						◎									○														
53 浜田				○						◎							○	○															
54 球磨川				○						◎			○																				○

※ H24 相観コード（43、44 は極めて稀、他は森林外のため除外）

◎：主たる相観 ○：対象相関

表 2.1.2 航空レーザ計測の対象地域

	H22 相観コード（15、19 は稀なため対象外）																			H23 相観コード （31～38 は森林外のため対象外）													※
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	42	
2 厚岸		○										◎																					
25 日田林業				○						◎																							
28 富良野			○														◎																
30 カヌマ沢				○						○							◎																

※ H24 相観コード（43、44 は極めて稀、他は森林外のため除外）

◎：主たる相観 ○：対象相関

2.1.3. 対象地域の概要

(1) 帯広

1) 位置

北海道十勝総合振興局管内の東部、浦幌町に立地する道有林を調査地域にした(図 2.1.1)。

現地調査は平成 24 年 6 月 19 日から 23 日にかけて実施した。

2) 気象・地勢

浦幌町は、十勝平野の東端にあり、白糠丘陵の分水嶺で釧路総合振興局と接し、南は太平洋に面している。白糠丘陵は南北に約 50km の長さを持ち、最高峰はウコキタヌプリ(745m)であるが、浦幌町部分は 500~600m 程度の丘陵山脈となっている。浦幌町は浦幌川の流域を占め南北に長い。大部分が丘陵と台地で町域の約 75%が山林である。酪農(肉用牛)と畑作が盛んであるが、稲作は行われていない。道有林は南北に流れる浦幌川の左岸側(東側)の丘陵地域にある。丘陵とはいふものの開析が進んでおり、急斜面の部分もある。

浦幌のアメダスの平年値を図 2.1.2 に示す。気候は冷涼で冬季の最低気温は-20 度にも達することもあり真冬日が続く。夏季はまれに最高気温が 30 度を超えることもあるが、8 月の最高気温の平年値は 25 度程度である。また年間を通じて降水量が少なく年降水量は 1,000mm に達せず、冬季の最大積雪深も 30cm 程度と浅い。

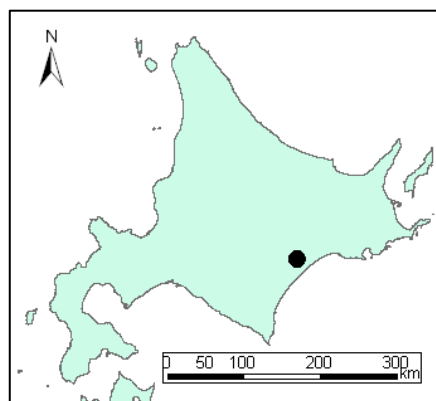


図 2.1.1 対象地域位置図
(帯広)

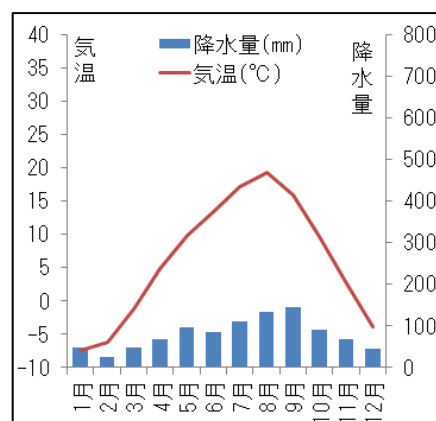


図 2.1.2 浦幌の気温・降水量

3) 森林概況

浦幌町は民有林の 43%が道有林である。十勝地方の道有林は白糠丘陵から十勝平野にかけて分布しており、カラマツ、トドマツを中心とした優良人工林が見られるほか、天然林の割合も高く、浦幌川流域のトドマツを中心とした蓄積の高い天然林やミズナラやハルニレの大径木からなる広葉樹原生保護林が見られる。浦幌町の人工林はトドマツ林が多い。

4) 調査の対象・注目点

北方の人工林を代表する林分としてトドマツ人工林を中心として、いろいろな成長段階の林分の調査を行った。十勝地域では前年足寄地区でも調査を行ったが、足寄地区では天然林やカラマツ人工林を中心としての調査であった。今回はトドマツ林分を中心とした調査とした。比較として、カラマツ人工林、天然林でも調査を行った。

なお、この地域は、(独)森林総合研究所によって生物多様性関連・鳥類に関する研究が行われており、森林解析結果との比較が可能である。

調査地域の状況を図 2.1.3 に示す。



若齡トドマツ人工林



壮齡トドマツ人工林



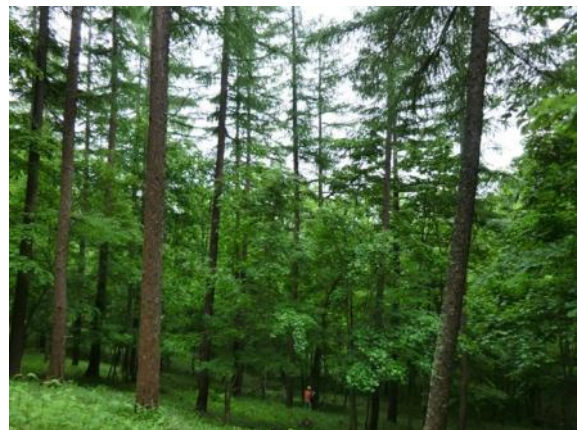
やや壮齡に近づいたトドマツ人工林



幼齡に近いトドマツ人工林



天然林



壮齡カラマツ人工林

図 2.1.3 現地調査写真（帯広）

(2) 清澄

1) 位置

調査地域は千葉県房総半島南部、鴨川市清澄の清澄山周辺とした(図 2.1.4)。

現地調査は平成 24 年 7 月 17 日から 21 日にかけて実施した。

2) 気象・地勢

清澄山は鴨川市にあり標高 377m、海岸(太平洋)から約 5km の距離に位置する。房総半島南部に広がる房総丘陵(最高峰愛宕山標高 408m)の南部の清澄地累の最高峰である。安房と上総との分水界であり、東京湾に注ぐ養老川、小櫃川の源流にもなっている。南房総国立公園に含まれており、北斜面には暖帯性、南斜面には亜熱帯性の植物が自生する植物分布の境界となっている。

調査地域から最も近いアメダス鴨川の平年値を図 2.1.5 に示す。気候は温暖で年降水量は約 1,800mm と年間を通じて多雨である。

3) 森林概況

千葉県の森林率は 31.1%で全国の森林率の半分以下であるが、調査地域が含まれる房総半島南部(夷隅・安房・君津地区)では、50%を超えている。国有林は 5%弱で私有林が 9 割近くを占める。人工林は 39%、天然林は 47%である。人工林の樹種別構成は、面積ベースでスギが 82%、ヒノキが 12%、マツが 5%、クヌギが 1%となっており、スギの割合が非常に高い。人工林の 79%が 9 齢級(41~45 年生)以上であり、高齢級化が進んでいる。

天然林としては、調査地域の含まれる房総半島南部地域では、スダジイ等常緑広葉樹中心の森林が広がっている。また清澄山や愛宕山周辺の標高の高い森林には、モミ、ヒメコマツといった種もみられる。

4) 調査の対象・注目点

今後のデータ活用を意図し、各種のデータが豊富な東京大学千葉演習林内において、モミ・ツガなどの常緑針葉樹天然林、シイ・カシ類の常緑広葉樹林(天然林・二次林)、さらにスギ・ヒノキ人工林を含めて調査を行った。

調査地域の写真を図 2.1.6 に示す。

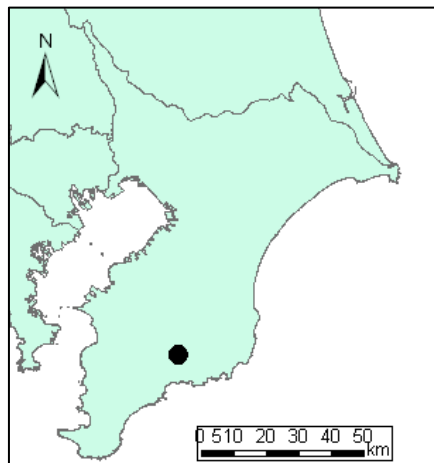


図 2.1.4 対象地域位置図
(清澄)

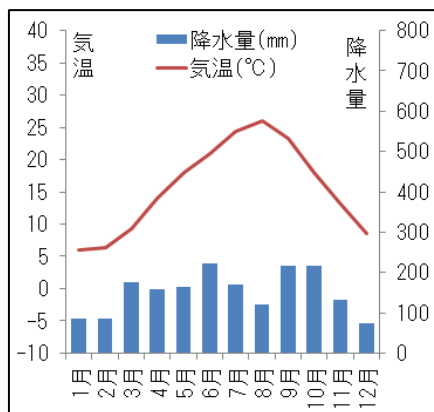


図 2.1.5 鴨川の気温・降水量



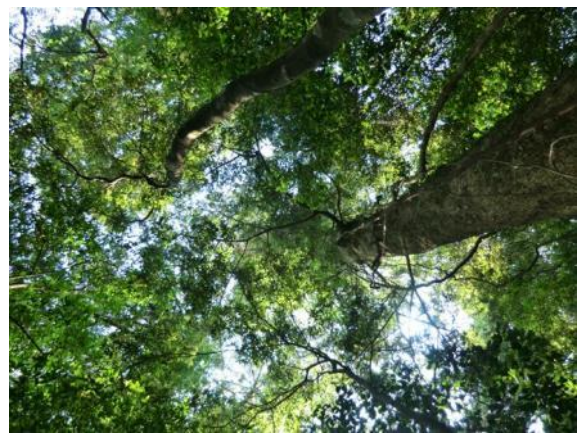
天然林（保護区）



二次林（シイ・カシ類が優占）



天然林（高齢級モミ林）



天然林（左写真）の林冠の状況



人工林（ヒノキ高齢級林分）



シカ防御用ネット

図 2.1.6 現地調査写真（清澄）

(3) 市貝町

1) 位置

調査地域は関東平野の北部、栃木県の南東部に位置する市貝町と東に隣接する茂木町の一部とした。(図 2.1.7)。

現地調査は平成 24 年 9 月 19 日から 22 日にかけて実施した。

2) 気象・地勢

市貝町は関東平野の北部にあるが、標高 100～200m の丘陵状の地形が小貝川とその支流によって開析された低地が入り込む地形となっており、丘陵上は森林や畑地、低地部分の標高は 100～130m で水田や市街地になっている。丘陵が開析された低地部分に開かれた水田は地元では谷津田と呼ばれている。

栃木県の気候は夏多雨多湿、冬少雨乾燥の太平洋側気候を呈する。調査地域が含まれる県東地域では、県内平野部としては冬の冷え込みが厳しい地域であり、一方夏は日中は気温が上がるものの朝晩は涼しく比較的過ごしやすい。調査地域に最も近い真岡のアメダスの平年値を図 2.1.8 に示す。年間降水量は 1,300mm である。

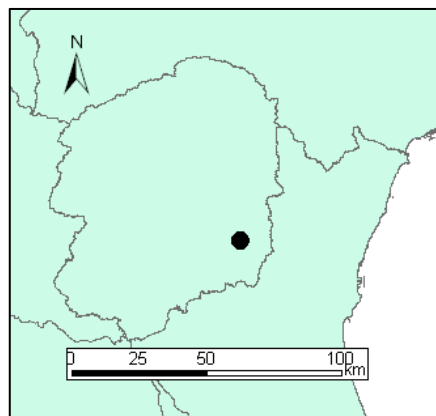


図 2.1.7 対象地域位置図
(市貝町)

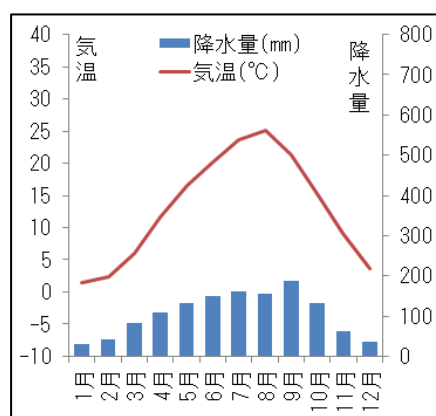


図 2.1.8 真岡の気温・降水量

3) 森林概況

調査地域の市貝町と茂木町の森林率は、それぞれ 37%と 64%である。両町とも国有林はなく、9 割以上が私有林である。人工林率は低く、それぞれ 21%、37%となっている。針葉樹、広葉樹の比は面積ベースで、市貝町 27%：72%、茂木町 40%：59%と広葉樹の割合が多い。

栃木県の針葉樹の樹種別の面積（蓄積）の割合は、スギが 52%（64%）、ヒノキが 34%（23%）、マツが 11%（10%）などとなっている。スギについては 9 齢級（41～45 年生）以上が 82%を占め、高齢級化が進んでいる。

4) 調査の対象・注目点

調査地域の市貝町は、絶滅危惧種サシバ（タカ目タカ科サシバ属）の世界有数の繁殖地である。環境省レッドリスト 2012 年版で絶滅危惧種Ⅱ類（VU：絶滅の危険が増大している種）に指定されている。栃木県では準絶滅危惧種（存続基盤が脆弱な生物）と指定されているが、絶滅危惧種ⅠA 類（ごく近い将来における野生での絶滅の危険性が極めて高いもの）と指定されている県や地域もある。

サシバの生息地の多くは、丘陵地に細長い水田が入り組んだ里山環境である。調査地域では、丘陵地の中にまるで毛細血管のように細長い水田（谷津田）が張り巡らされている。この谷津田は、森林に接する部分が多く、餌となる小動物が多いことから、サシバにとって絶好の生息地になっている。また、NPO 法人オオタカ保護基金によってサシバの生態や保護方法について調査・研究がなされている。

そこで、NPO 法人オオタカ保護基金、市貝町、芳賀地区森林組合の協力のもと、サシバの営巣地周辺に調査地点を設定した。調査地域の写真を図 2.1.9 に示す。



営巣木周辺の森林と復元された谷津田



休耕田となった谷津田と営巣木周辺林分



営巣木周辺の人工林林分



営巣木のないヒノキ林分



営巣木周辺の二次林林分



営巣地域の状況を空中写真で確認する

図 2.1.9 現地調査写真（市貝町）

(4) 北茨城

1) 位置

調査地域は茨城県北東部、北茨城市北西部と高萩市北部とした。(図 2.1.10)。

現地調査は平成 24 年 7 月 30 日から 8 月 3 日にかけて実施した。

2) 気象・地勢

調査地域は宮城県南部伊達郡から続く阿武隈高地の南端部にあたり、茨城県部分は多賀山地とも呼ばれる。多賀山地は、平均標高約 300m の低山性山地(丘陵)で南北に細長く伸びており北に行くほど標高が高くなる。最高峰は栄蔵室(標高 881m)で、茨城県最高峰となっている。山稜を連ねると平坦な面となり高原状の地形となっているが、この平坦面は浸食作用の結果生じた準平原である。

太平洋側気候で、夏は雨が多く、冬は晴れた日が多く積雪することはまれである。北茨城のアメダスの平年値を図 2.1.11 に示す。年降水量は 1,500mm である。

3) 森林概況

暖温帯の照葉樹林帯と落葉樹林の混交する地域であり、ほぼ南北に走る稜線の東・南面では、ヤブツバキ、シロダモ、ヒサカキ、ベニシダ、ヤブコウジなどがみられ、西・北面では、イヌシデ、クリ、イロハモミジ、ケヤキ、モミなどが見られる。市街地に近いため、スギ、ヒノキの植林地が多く天然林が少なくなっているが、山頂付近や社寺有地などは天然林が残っている。

4) 調査の対象・注目点

この地域は、(独)森林総合研究所によって、生物多様性関係・鳥類に関する研究が行われており、森林解析結果との比較が可能である。地域内に存在する天然林、人工林、各種タイプの森林を網羅できるよう調査地点を設定した。調査地域の写真を図 2.1.12 に示す。

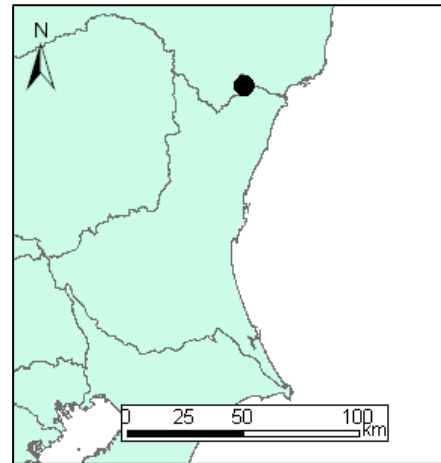


図 2.1.10 対象地域位置図
(北茨城)

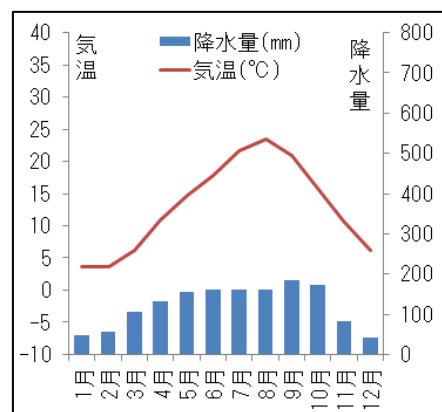


図 2.1.11 北茨城の気温・降水量



壮齡ヒノキ人工林



アカマツが混交するヒノキ人工林



若齡ヒノキ人工林



スギ人工林



林齡が低めの二次林



林齡が高めの二次林

図 2.1.12 現地調査写真（北茨城）

(5) 柿崎

1) 位置

調査地域は、新潟県南西部（上越地方）の上越市柿崎区周辺とした（図 2.1.13）。柿崎区は旧中頸城郡柿崎町が 2005 年に上越市に編入合併されたもので、旧町域が地域自治体柿崎区となったものである。

現地調査は平成 24 年 7 月 23 日から 27 日にかけて実施した。

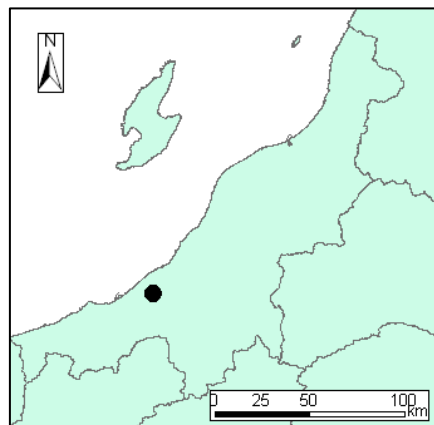


図 2.1.13 対象地域位置図
(柿崎)

2) 気象・地勢

柿崎は、新潟県上越市の北東端にあり、日本海に面している。南西には高田平野が広がり、東は米山（標高 922m）から新潟・長野県境の関田山塊（標高 1,000m 超）に至る東頸城丘陵が広がる。南側も標高 300～400m 程度の山地となっており、関田山塊まで広がっている。東頸城丘陵は第三紀層からなり地すべり地帯として知られている。

北西側が日本海に面し、背後が山地であることから、冬の季節風をまともに受け、冬季の降水量（降雪）が多い典型的な日本海側気候となっている。安塚のアメダスの平年値（図 2.1.14）では、年間降水量は約 2,500mm とかなり多いが、月別にみると夏季の降水量より冬季の降水量が多いことが特長となっている。冬季の積雪深は 150cm を超える。

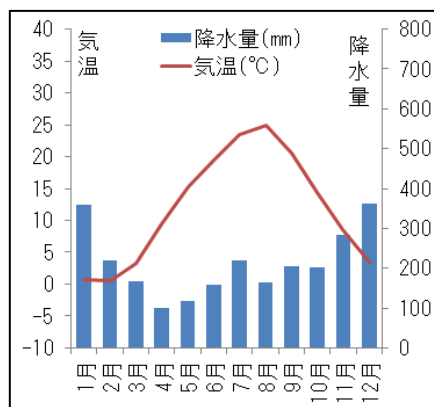


図 2.1.14 安塚の気温・降水量

3) 森林概況

調査地域が含まれる上越森林計画区は森林率 71%で、国有林が 25%、民有林が 75%である。糸魚川市に一部林業が盛んな地域があるものの素材生産量は県内の 7%を占めるに過ぎない。林種区分では、人工林が 27%、天然林が 73%と天然林が多い。21%がスギで、人工林面積の割合にほぼ近い。樹種別面積のうち約 60%が広葉樹になっており、標高 300m 付近ではコナラ、イタヤカエデ、オニグルミなど、標高 600m 以上ではブナの林となっている。さらに、その他 15%が草生地になっている。

4) 調査の対象・注目点

柿崎区においてはイノシシによる被害が多発しており、写真に示すように、林内においてもイノシシの痕跡が頻繁にみられる。本調査地域ではイノシシ生息・生態の研究も行われている。イノシシの生息環境である広葉樹林を中心に調査を行った。調査地域の写真を図 2.1.15 に示す。



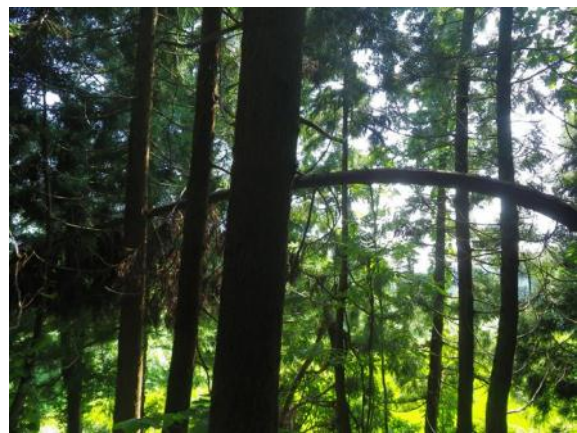
天然林



イノシシによる穴（天然林内）



スギ人工林



冠雪害のあるスギ林分



倒伏木（雪の影響）が多い天然林



標高 600m 付近のブナの天然林

図 2.1.15 現地調査写真（柿崎）

(6) 木曽駒

1) 位置

調査地域は、長野県の伊那地方、上伊那郡宮田村とした(図 2.1.16)。調査地域は木曽駒ヶ岳(標高 2,596m)から東に流れ、駒ヶ根市・宮田村の扇状地の入り口に流れ込む黒川沿いの、標高 1,400m から 2,100m にわたる箇所である。

現地調査は平成 24 年 7 月 2 日から 5 日にかけて実施した。

2) 気象・地勢

伊那谷は、長野県南部、天竜川に沿って南北に延びる盆地である。調査地域はこの伊那谷の西岸にあたる。西を木曽山脈、東を赤石山脈に挟まれ、その間の広い平坦部に北から伊那市、駒ヶ根市、飯田市等の都市や集落が広がっている。駒ヶ根市の北に接する宮田村の中心部の標高は約 640m である。

内陸性気候で中央高地式気候を呈している。年降水量は約 2,000mm。夏と冬の気温差は非常に激しく、夏はフェーン現象で最高気温が 35 度以上の猛暑日になることが珍しくなく、冬は放射冷却現象で朝の最低気温が-15度に達することもある。雪は比較的少ない。駒ヶ根市飯島(標高 728m)のアメダスの平年値を図 2.1.17 に示す。

3) 森林概況

調査地域が含まれる宮田村の森林率は 80%で、国有林が 63%、公有林が 20%、私有林が 16%となっている。民有林の半分以上を公有林が占めるのが特徴である。

調査地域が含まれる南信森林管理署管内国有林の人工林率は 27%で 7 割以上が天然林となっている。

民有林ではカラマツの占める面積が群を抜き、次いでヒノキ、アカマツが続く。広葉樹は 20%となっているが、クヌギ、ブナ、ナラともに 1%に満たない。齢級構成をみると、カラマツ林の 72%が間伐期の 10~13 齢級(46~65 年生)に偏っているほか、アカマツ林の 98%が 9 齢級(41 年生)以上で若齢林がほとんどみられない。

国有林は比較的標高の高い地域に位置しており、亜高山帯においては亜高山帯針葉樹林の天然生林(コメツガ、シラビソ、オオシラビソ、ダケカンバ)、高山帯にあたる木曽駒ヶ岳の稜線部ではハイマツ林を見ることができる。

4) 調査の対象・注目点

調査地域は中央山岳地帯であり、標高差による植生の垂直分布の変化が期待されることから、さまざまな標高ごとに調査地点を設定することを主な留意事項とした。その結果、調査地点の標高範囲は 1,400m から 2,100m までとなった。

調査地域の状況を図 2.1.18 に示す。

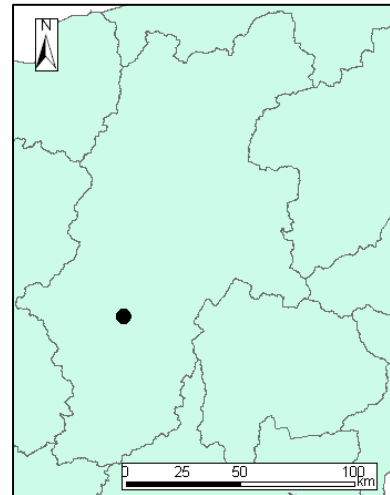


図 2.1.16 対象地域位置
図(木曽駒)

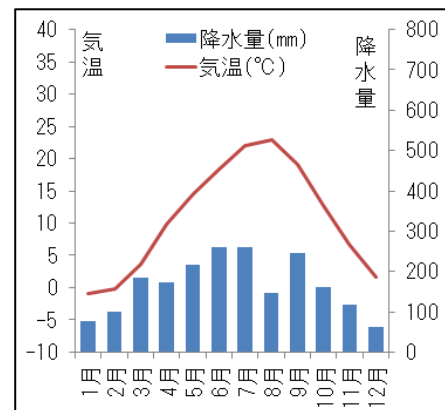


図 2.1.17 飯島の気温・降水量



若齡カラマツ人工林



若齡ヒノキ人工林



針葉樹の天然林（シラビソ）



針広混交林



広葉樹の天然林（ダケカンバが優占）



広葉樹の天然林

図 2.1.18 現地調査写真（木曽駒）

(7) 新城

1) 位置

調査地域は愛知県東部の新城市とした。新城市は東三河地方にある。豊橋市、豊川市の北に位置し、豊橋平野から旧設楽郡への入り口あたる（図 2.1.19）。

現地調査は平成 24 年 7 月 23 日から 31 日にかけて実施した。

2) 気象・地勢

新城市は北を三河山地、東を弓張山地に挟まれ、中央部流れる豊川は北東から南西へ流れ豊橋平野を通じて渥美湾（三河湾）に注いでいる。市域の入り口にあたる南西部は、本宮山（標高 789m）と吉祥山（標高 382m）に挟まれ、両山の距離は約 8km である。その他市域の中心部に鳳来寺山（標高 695m）、北側の設楽町との境に竜頭山（標高 752m）、宇連山（標高 929m）、東栄町との境に明神山（標高 1,016m）と山々に囲まれている。また豊川にそって平地が広がり川沿いに田畑が開かれている。

気候は温暖な太平洋側気候で年間降水量は約 2,200mm である。ただし市域の北部作手高原などでは夏も涼しい。

新城のアメダスの平年値を図 2.1.20 に示す。

3) 森林概況

新城市が含まれる東三河地区の森林率は 64%で、その内訳は民有林が 93%、国有林が 7%と民有林の割合が極めて高い。また東三河地区民有林の人工林率は 77%と高い。人工林の樹種構成はスギが 47%、ヒノキが 42%、その他が 11%となっている。

当地区では三河林業地として知られており、古くから人工造林が進められ、人工造林によって造成された森林の比率が 76%と高く、資源内容はスギを主とした高齢級林分が多くを占めている。三河杉は、光沢のある赤味と美しい木目で、鴨居や天井板などの高級材として利用されている。

なお、人工造林は、40 年ほど前からヒノキの植栽が優位を占めており、北設楽郡を除けば、スギに比べてヒノキの面積の方が多くなっている。

4) 調査の対象・注目点

新城市の協力を得て、デジタル撮影と現地調査結果が市町村森林整備計画に応用することに留意して調査を行った。調査地点は市有林で、間伐が行き届いているが、周辺民有林では要間伐林も多い。調査地域の写真を図 2.1.21 に示す。

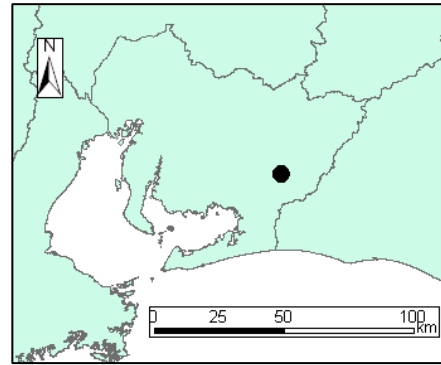


図 2.1.19 対象地域位置図
(新城)

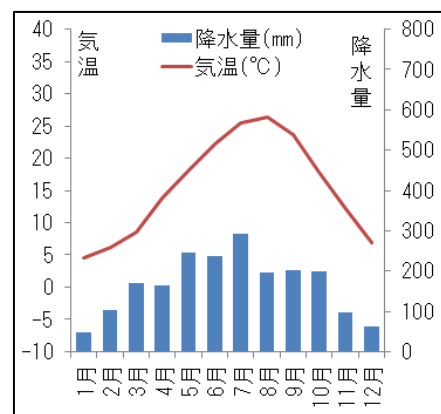


図 2.1.20 新城の気温・降水量



スギ壮齢林



スギ壮齢林（左写真）の林冠の状況



スギ壮齢林



スギ壮齢林（左写真）の林冠の状況



ヒノキ若齢林



ヒノキ若齢林（左写真）の林冠の状況

図 2.1.21 現地調査写真（新城・全て市有林）

(8) 北広島

1) 位置

調査地域は広島県北西部の安芸太田町周辺とした。安芸太田町は 2004 年に加計町、戸河内町、筒賀村が新設合併し誕生した町である(図 2.1.22)。

現地調査は平成 24 年 6 月 5 日から 8 日にかけて実施した。

2) 気象・地勢

安芸太田町は西中国山地の中央部、広島湾に注ぐ太田川の中流域にあたる。最高標高は島根県との県境にある恐羅漢山(標高 1,346m)で、島根県・広島県の最高峰になっている。なだらかな中国山地にあって恐羅漢山周辺は比較的急峻な谷間が刻まれており、その一つが国の特別名勝三段峡である。その他、町域全域が標高 700～1,000m の山々に囲まれ、平地は少ない。最低標高地点は太田川が広島市安佐北区に流れ込むあたりで約 80m となっている。

瀬戸内海沿岸部に比べると降水量が多く、特に冬季にその傾向が強い。また緯度の割には冬の冷え込みが厳しく、北隣の北広島町東八幡原では、1977 年 2 月 19 日に -28.0 度が観測された。

町内の加計のアメダスの平年値を示す(図 2.1.23)。年降水量は 1,900mm である。

3) 森林概況

広島県の森林率は 72%で、民有林が 92%を占め国有林は少ない。民有林のうち個人所有林が 68%である。また、マツの天然林が 31%を占め他の地域よりも多いのが特徴で、その他スギ、ヒノキ等の人工林が 31%、広葉樹天然林が 36%と、人工林、マツ天然林、広葉樹天然林がそれぞれ約 1/3 ずつとなっている。

スギ、ヒノキの人工林は、主に戦後に植林されたものである。齢級構成はスギについては 9～11 齢級(41～55 年生)を中心に主伐期を迎えており、ヒノキは 6～8 齢級(25～40 年生)が中心で今後主伐期を迎える。

4) 調査の対象・注目点

調査地域では広島県総合技術研究所 林業技術センターにおいて「将来の木施業」を実施している。「将来の木施業」とは、従来から行われている伐採木を選木する間伐ではなく、残す木を選木し、将来木の成長に影響を及ぼす木を間伐する手法である。ドイツ、オーストリアで実施されており、日本でも信州大学の島崎洋路元享受が保残木マーク法として提唱している。

調査地域の写真を図 2.1.24 に示す。

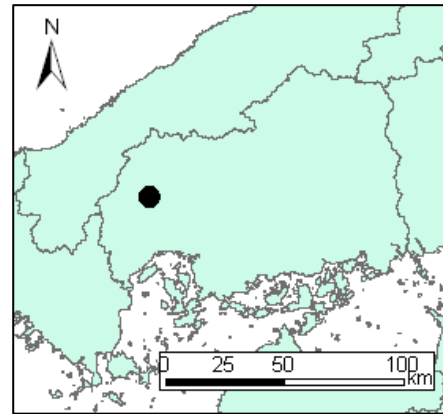


図 2.1.22 対象地域位置図
(北広島)

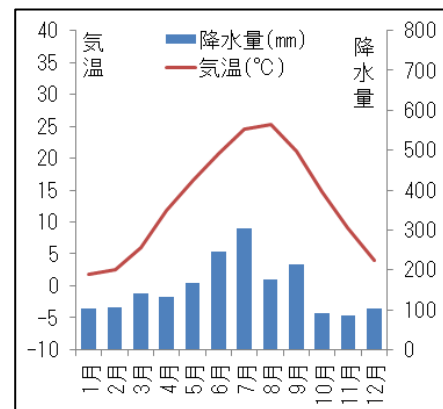


図 2.1.23 加計の気温・降水量



ヒノキ成熟林 マーキングが将来の木



スギ若齢林



スギ壮齢林



アカマツ天然林



スギ雪害木



調査地域の景観

図 2.1.24 現地調査写真（北広島）

(9) 浜田

1) 位置

調査地域は島根県西部浜田市、中国山地の西部、広島県との県境に接する旧金城町波佐地区とした(図 2.1.25)。

現地調査は平成 24 年 7 月 31 日から 8 月 3 日にかけて実施した。

2) 気象・地勢

調査地域である旧金城町波佐地区は南を広島県との境、中国山地の尾根に接する。中国山地の標高は調査地域周辺で、標高 800~1,000m である。尾根の南、広島県側は比較的なだらかな高原状の地形となっているが、尾根より北の波佐地区は、南西から北東に周布川が流れる谷が深く、谷に向かって急峻な地形である。谷底は標高 400~550m で、平坦地はほとんどない。その北側には旧弥栄村との境となる標高 800m 程度の尾根が連なり、こちら側の斜面も急峻である。

日本海から約 20km の距離にあり、冬季に降雪が多い日本海側気候であり、県境の大佐山(1,069m)にはスキー場がある。波佐地区の北に接する弥栄のアメダスの平年値を図 2.1.26 に示す。冬季の降雪があることから冬季にも降水量があり年間の降水量は約 2,200mm となっている。

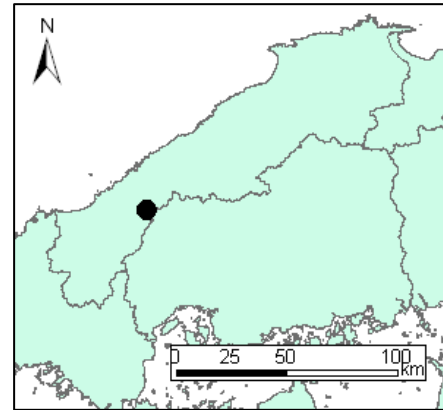


図 2.1.25 対象地域位置図
(浜田)

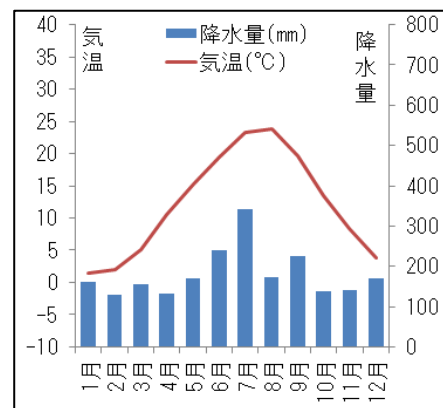


図 2.1.26 弥栄の気温・降水量

3) 森林概況

島根県の森林率は約 8 割で、その 9 割以上が民有林である。またその 7 割が所有規模 5ha に満たない小規模零細林家となっている。

人工林率は約 40%で全国平均の 46%を下回っている。人工林天然林を合わせた樹種構成は面積ベースでスギ 17%、ヒノキ 12%、マツ 16%、蓄積ベースでスギ 39%、ヒノキ 15%、マツ 19%となっている。

齢級構成では植栽後 40 年を超える伐採可能な森林が増加しており、中でもスギの占める割合が多く、ヒノキは間伐時期を迎える森林が多くなっている。若齢の森林が少ない偏った齢級構成になっている。

4) 調査の対象・注目点

当初、この地域の調査は広葉樹バイオマス生産の解析や伐採跡地更新についての基礎資料を取得することに留意して現地に入った。しかし森林所有者から調査の了承を得られた地域・林分では当初の予定を遂行するに十分な広葉樹林や更新された伐採跡地がなかった。

そこで、調査の了承を得られた地域内の状況を網羅できるよう、林種、樹種、林齢を組み合わせたいろいろなタイプの林分を調査した。広葉樹林としては、若齢の二次林、遷移が進んで天然林に近づきつつある二次林、天然林を調査した。

調査地域の写真を図 2.1.27 に示す。



自然度の高い天然林



壮齢スギ人工林



天然林に近づきつつある二次林



若齢ヒノキ人工林



若齢二次林



アカマツ天然林（外縁部）

図 2.1.27 現地調査写真（浜田）

(10) 球磨川

1) 位置

調査地域は熊本県南西部、球磨川の源流域、球磨郡湯前町および水上村とした(図 2.1.28)。

現地調査は平成 24 年 9 月 11 日から 13 日にかけて実施した。

2) 気象・地勢

湯前町は球磨地方の中心地人吉市から東北東約 24km に位置する。町の中心部である町域西部は人吉盆地の東端部にあたる(標高約 190m)。町域東部・南部は九州山地の一角を占めており急峻な地形である。水上村は湯前町のさらに上流域にあたり、全体が山地である。東は宮崎県椎葉村に接し、標高 1,000~1,700m の山々が連なる。

内陸の盆地のため寒暖の差が激しい。夏は暑く年に 1~2 回は降雪がみられることもある。年間を通じて雨量が多いが、特に 6 月、7 月の降水量が多い。年平均降水量は 2,800~3,000mm。湯前町の下流に接するあさぎり町上地区のアメダスの平年値を図 2.1.29 に示す。

3) 森林概況

調査地域周辺は急峻な林地が多いが、土壌の大部分は褐色森林土で表層土は深く、通気性が良い。肥沃な土地と豊富な降水量に恵まれ、スギ・ヒノキの適地となっており、林業の盛んな土地である。

人工林率は 68%であるが、除間伐を必要とする森林が 40%を占めている。また、新植造林地も見られる。その他の森林は、常緑広葉樹林となっている。常緑広葉樹林は、薪炭林施業が行われていた森林で、上層木はスダジイが優占する林分となっている。

4) 調査の対象・注目点

この地域では竹林の拡大が問題になっているため、竹林に留意して調査を行った。調査地域の写真を図 2.1.30 に示す。

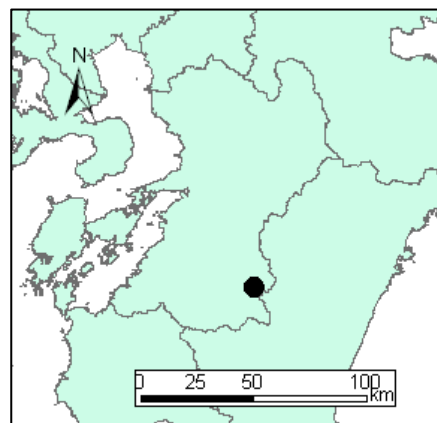


図 2.1.28 対象地域位置図
(球磨川)

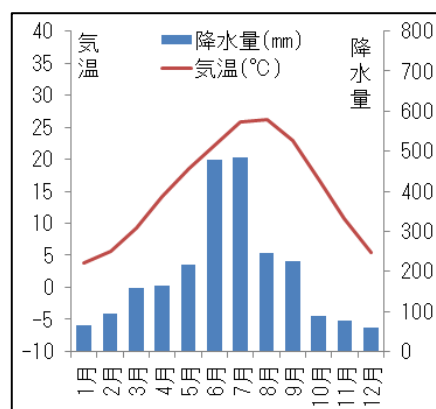


図 2.1.29 上の気温・降水量



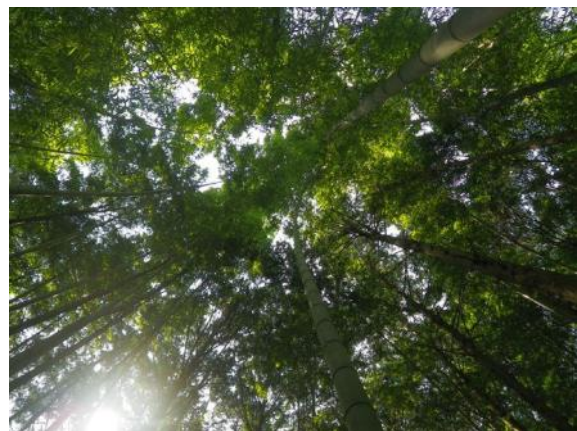
壮齢スギ人工林



壮齢スギ人工林（左の写真）の林冠



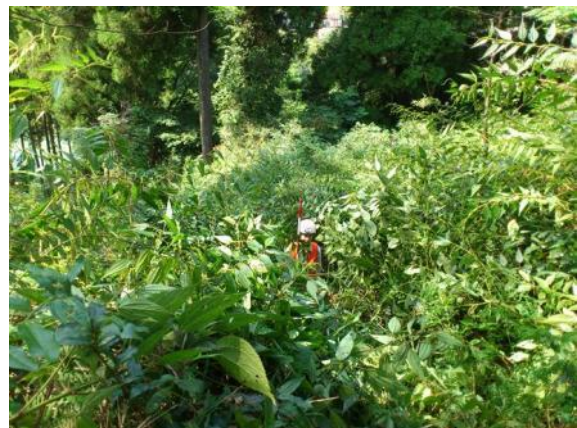
タケが侵入したスギ若齢林



タケ侵入林分（左の写真）の天頂写真



薪炭林施業が行われていたスタジイ林



伐採後放棄された林分

図 2.1.30 現地調査写真（球磨川）

2.2. デジタル空中写真撮影及びレーザ計測

デジタルデータの取得対象となる森林は、自然環境保全基礎調査Ⅰ（環境省）の特定植物群落調査における57の相観区分のうち、我が国の森林を代表すると考えられる19の相観を対象とした。これらの相観を示す森林は、全国各地に広がっており、データ取得面積も広大であることから、プログラム開発事業における解析目標を踏まえ、適切な時期、必要な精度に配慮した上で、できるだけ広範囲なエリアでデータ取得ができるよう、適切なデータ取得計画を樹立することが肝要である。

また、取得したデジタルデータについては、プログラム開発事業の目的に合わせ、適切なオルソ化、DSM作成、フィルタリング処理等を行う必要がある。

2.2.1. データ取得計画

データ取得計画の樹立にあたっては、プログラム開発事業の実施者と十分な打合せを行い、データ取得すべき森林タイプ、林相の特徴に関する情報をもとに候補地の選定を行い、同時に適切な撮影時期についても検討を行った。一方、デジタルデータの取得には、天候等によるリスクがあるため、これらを勘案したデータ取得確率を想定して複数の候補地を選定し、リスク分散を図った。

デジタルデータは、航空機等に搭載したセンサーにより取得するが、今回対象となる森林は全国に広く分散していることから、限られた作業期間内に単一の機材により全ての対象森林をカバーすることは困難である。したがって、複数の機材を効率的に運用することが重要となった。天候や植物の季節的な変化、基地となる空港と対象エリアとの位置関係、機材の移動距離等を考慮して、最適なデータ取得スケジュールを構築した。

デジタル空中写真では合計3,800km²程度、レーザ計測では合計150km²程度のエリアについて撮影あるいは計測を実施する予定とした。

2.2.2. 使用する機材

(1) 航空デジタルカメラ

デジタル撮影にあたって事業参加会社4社は、表2.2.1に示す2メーカー2種類の機材を使用した。

表 2.2.1 事業参加会社の航空デジタルカメラ構成

会社名	(株) パスコ	国際航業(株)	アジア航測(株)	朝日航洋(株)
メーカー	Microsoft	Z/I Imaging		
デジタルカメラ	UltraCamXp	DMC		
画素数	17310×11310	13500×8000		
画素サイズ	6.0μm	12μm		
焦点距離	100mm	120mm		
ラジオメトリック	14Bit	12Bit		
保有台数	3	3	3	2

(2) 航空レーザ計測機器

航空レーザ計測にあたって、事業参加会社4社は、表2.2.2に示す2メーカー3種類の機材を使用した。

表 2.2.2 事業参加会社の航空レーザ機材構成

会社名	(株)パスコ	国際航業(株)	アジア航測(株)	朝日航洋(株)
メーカー	Leica Geosystems			Optech
レーザ機器名	ALS70	ALS60		ALTM
パルスレート (Hz)	500,000	200,000		100,000
パルスモード	1 st , 2 nd , 3 rd , end	1 st , 2 nd , 3 rd , end		1 st , 2 nd , 3 rd , end
高さ精度 (cm)	13~30	13~30		15~35
スキャン角度	0~±37.5	0~±37.5		0~±25
保有台数	1	1		2

(3) 撮影スケジュール

デジタル撮影の期間は、5月から10月末までとした。撮影地域の地形及び時期による特徴的な天候、季節、過去の気象条件等を鑑みながら、下記のとおり効率的な機材配置を行い、期間内に全地域のデジタル撮影を行った。

- アジア航測(株)、国際航業(株)、朝日航洋(株)、(株)パスコの4社が保有するデジタルエリアセンサを計14台、航空レーザ計測機器は計12台を運用し、良好な天候条件を逃さずに撮影するよう配慮した。
- 日本列島を北海道、東北、関東、中部、関西、中四国、九州、沖縄の8ブロックに分け、季節・地域に応じて機材を移動させて集中的に撮影を実施した。

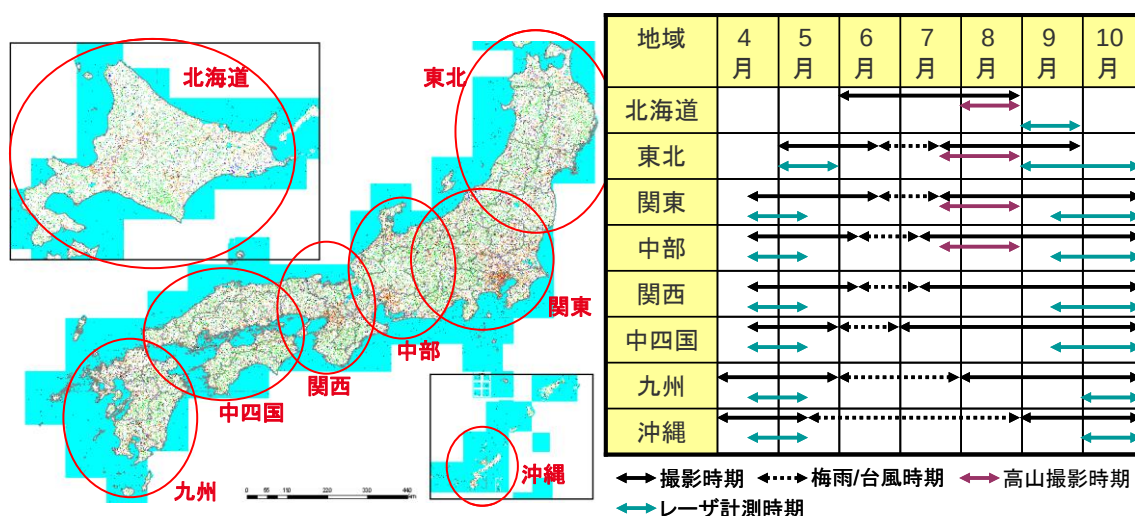


図 2.2.1 大まかな撮影ブロック区分と撮影スケジュール

2.2.3. 撮影作業の基本仕様

デジタル空中写真の撮影は、仕様書に定められた内容及び「林野庁測定規程」に準拠して実施した。一方で、林野庁測定規程では撮影の条件はサイドラップ30%を標準としており、最低10%以上確保することが必要である。しかし、本作業では比高差が大きな地域を対象とした撮影のため、サイドラップ切れのリスクを避けるためにもサイドラップは40%以上確保することを標準として計画を行った。サイドラップを多く取ることにより、写真画像の像の倒れが軽減され、オルソ画像の品質向上にも繋がることになる。

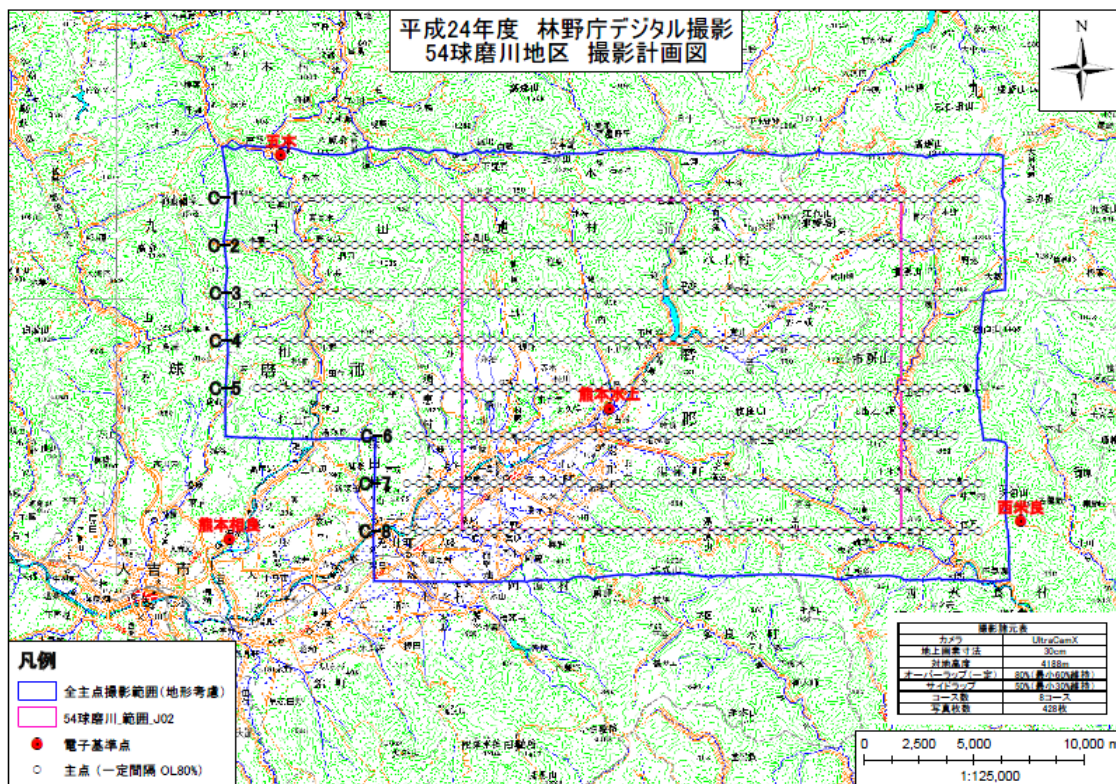


図 2.2.2 デジタル撮影の撮影計画図の例(54 球磨川)

(1) 航空レーザ計測について

本仕様に求められる航空レーザ計測の計測密度は 1 点/1 m²以上に指定されている。固定翼をプラットフォームにした場合、単コースでは仕様を満たすことができないため、サイドラップを 50%以上に設定した。また、山岳地では地形の比高差の影響によって、さらに計測密度が落ちる場合があるため、状況に応じて往復計測を行い、要求密度を確保した。

航空レーザ計測は、照射されたレーザパルスが地上物の隙間をすり抜けて地表面まで到達した場合に地盤面高を得ることができる。そのため、広葉樹が葉を活発に広げている時期には隙間がほとんど無く、地盤面及び中間域の植生の取得が期待できず、プログラム開発事業における生物多様性の評価に支障が出る可能性がある。このようなことから、対象地域の樹種に応じて航空レーザ計測の時期を分けて効率的かつ地盤面取得の目的を達成することとした。

落葉広葉樹：4 月下旬までと 9 月以降

常緑広葉樹やスギ、ヒノキなどの針葉樹：5 月から 8 月まで

H24林野補助事業デジタル撮影(02 厚岸) 計測計画図

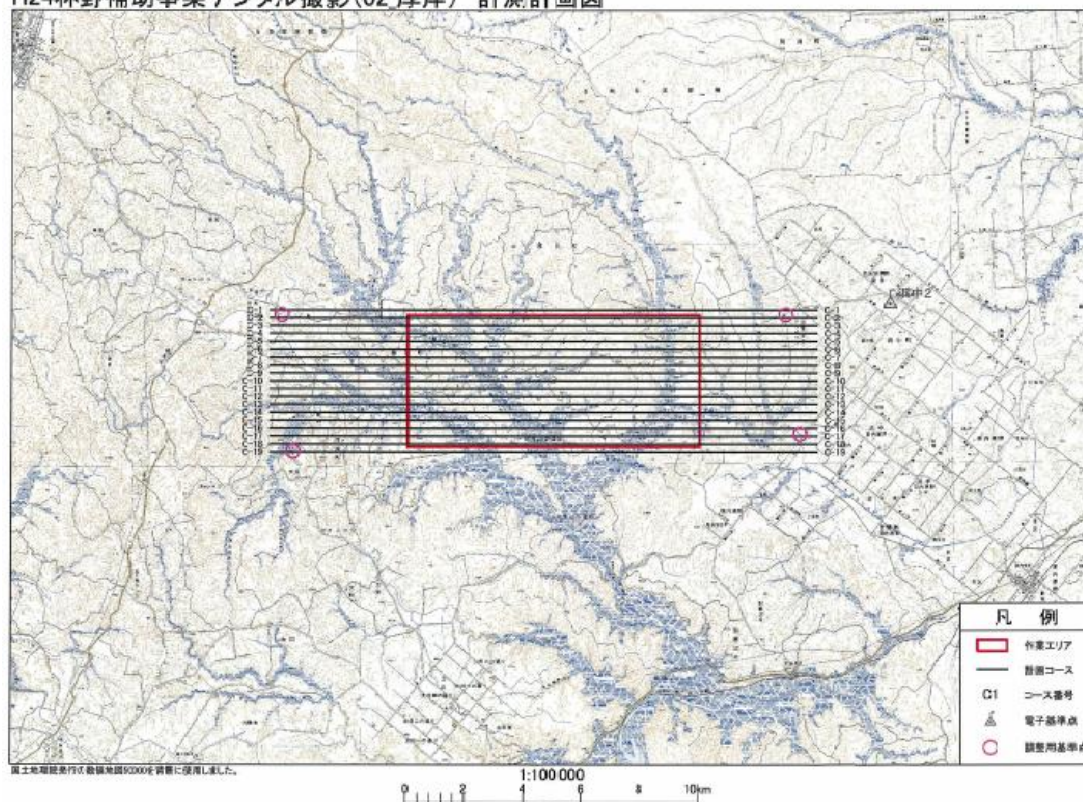


図 2.2.3 航空レーザ計測の撮影計画図の例(02 厚岸)

2.2.4. 撮影状況

(1) デジタル撮影

平成 24 年度は 4 月下旬から撮影を開始し、例年より早期に撮影を実施した。そのため、好天に恵まれた 5 月末までに 12 地区のうち 7 地区の撮影が終了した。その他の地区は雪溶け待ちの状況で撮影着手が遅れたが、9 月末までに終了した。26 八方尾根地区だけは 10 月末まで要したものの、撮影を終了することができた。

最終的に、当初計画した撮影コース(110 コース)の 100%が撮影された。オルソ画像が障害なく作成できる面積は 4,128km²にも及び、本事業の仕様である 3,800 km²を達成した。

効率的に撮影が進んだ要因としては、平成 23 年度に引き続き 4 社体制を取ったことに加え、撮影の着手が 4 月末であったことが挙げられる。5 月は全国的に撮影に適した好天に恵まれることが多く、梅雨前に撮影を着手して多くの地域の撮影を終了できた。

表 2.2.3 デジタル撮影における地域毎の撮影状況

地域番号	地域名	航測会社分担	撮影計画 コース数	撮影実施 コース数	達成率	撮影計画 面積(k㎡)	撮影実施 面積(k㎡)	完了日
36	八方尾根	朝日航洋	9	9	100%	288	288	10/20
44	帯広	アジア航測	6	6	100%	324	324	6/5
45	清澄	国際航業	7	7	100%	288	288	9/13
46	市貝町	朝日航洋	8	8	100%	360	360	5/13
47	北茨城	パスコ	11	11	100%	300	300	5/24
48	柿崎	アジア航測	8	8	100%	300	300	5/24
49	木曽駒ヶ岳	アジア航測	10	10	100%	300	300	9/26
50	新城	朝日航洋	9	9	100%	552	552	4/29
51	木曽御岳	パスコ	18	18	100%	480	480	7/26
52	北広島町	国際航業	7	7	100%	324	324	4/28
53	浜田	国際航業	9	9	100%	312	312	4/28
54	球磨川	パスコ	8	8	100%	300	300	5/18
合計			110	110	100%	4,128	4,128	

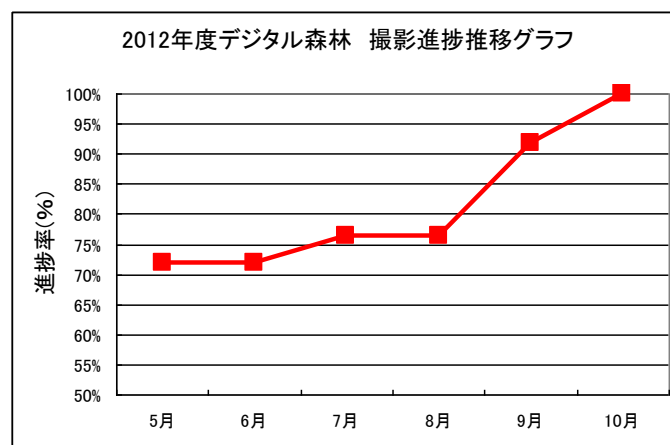


図 2.2.4 デジタル撮影の進捗推移状況

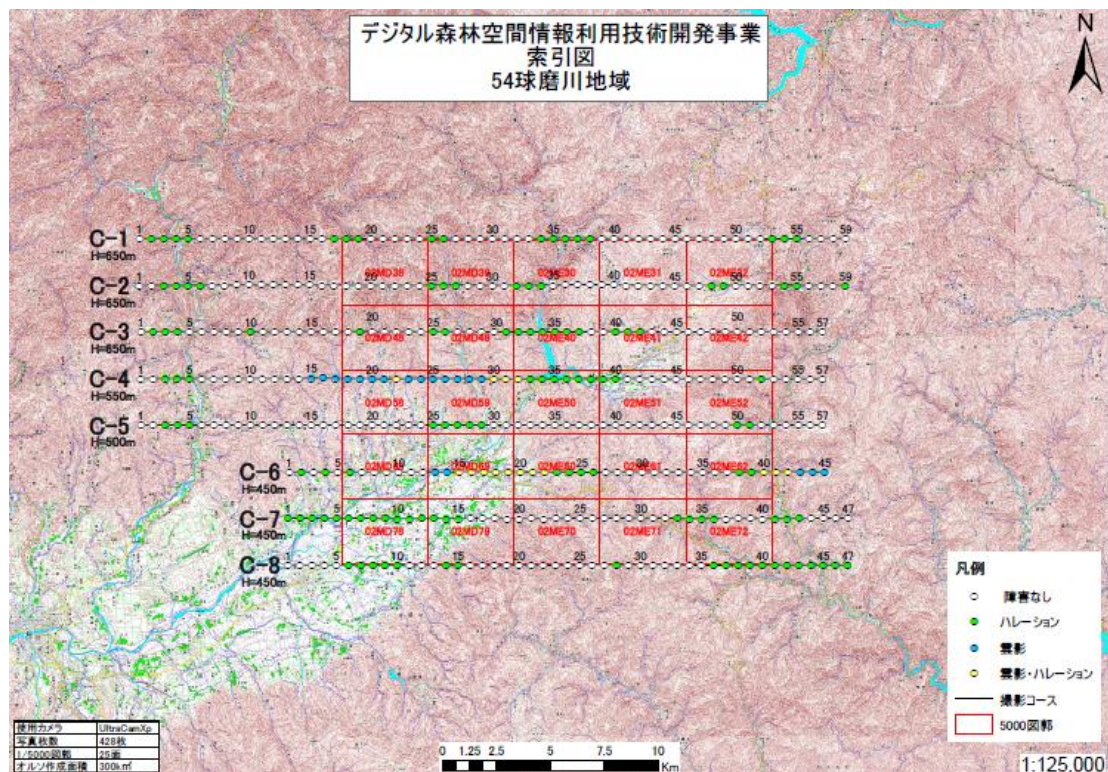


図 2.2.5 撮影標定図の例(54 球磨川地区)

2.2.5. 撮影後の作業フロー

デジタル撮影及び航空レーザ計測後のデータ処理は下記のような手順によって処理が行われる。また、各プロセスにおいては精度管理が行われている。

図 2.2.6 内の GSD は地上画素寸法を意味する。

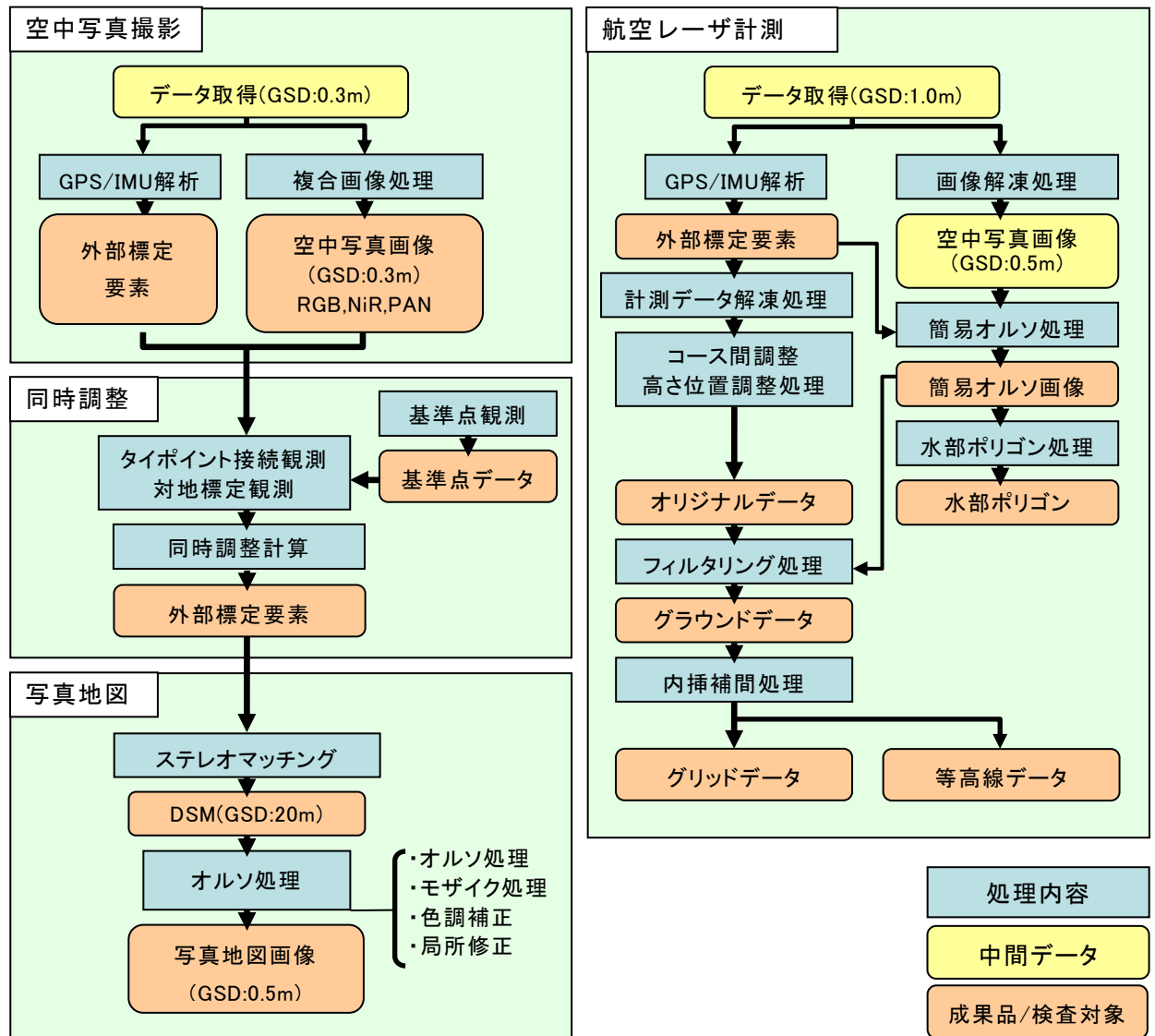


図 2.2.6 作業フロー図

2.2.6. 成果品

デジタル撮影の成果品は表 2.2.4、航空レーザ計測の成果品は表 2.2.5 のとおりである。各成果品の詳細については、「平成 23 年度デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうち現地調査及びデータ解析・プログラム開発事業報告書」(51～57 ページ)を参照されたい。

表 2.2.4 デジタル撮影成果品

成果品	概要
デジタル画像 (単写真)	航空測量用デジタルカメラで取得された生画像は、4 分割(DMC)や 9 分割(UltraCamX/Xp)の画像であるため、複合画像処理により接合してパンクロの高解像度画像を作成する。さらに RGB カラー及び近赤外画像に対してパンシャーブン処理を行い、高解像度のカラー画像を作成する。本事業では、パンクロ画像(1 バンド : 8bit)、RGB カラー画像(3 バンド : 8bit)、RGB カラーと近赤外(4 バンド : 16bit)の画像を作成した。
同時調整計算後の外部標定要素	外部標定要素とは、空中写真画像が撮影された際のカメラの三次元位置(X,Y,Z)と三軸(ω 、 ϕ 、 κ)の回転角度(度)による構成データである。同時調整計算では、個々の写真画像に対して接続処理を行い、当該エリアの画像をあたかも一つのブロックのように繋げて、その接続状態の誤差を最小に調整する計算を行う。これにより、視差が無くなった状態となり、立体視による図化の精度を確保するとともに、オルソ画像のモザイク処理時に接合間のズレを軽減する効果と精度確保することができる。外部標定要素とは、一般的には同時調整計算後のデータを指すことが多い。
DSM データ	空中写真画像と外部標定要素を利用し、ステレオマッチングと呼ばれる画像処理によって三次元地形データを作成する。ステレオマッチング処理は、隣接する画像上の特徴点を自動認識し、その画像座標と外部標定要素から三角測量により三次元座標を求めている。水平方向に 2m 間隔の詳細な DSM データを作成した。
オルソ画像(写真地図画像)	オルソ画像は、空中写真画像と外部標定要素及び DEM データから作成される。オルソ処理は、個々の空中写真画像が持つ中心投影歪み、撮影時のカメラの傾きによる位置ずれと変形の補正、DEM の高低差による縮尺と位置ずれの補正などが行われる。 一般的には、個々の空中写真画像に対してオルソ処理を行った後、隣接するオルソ画像を接続処理(モザイク処理)し、規定の範囲で切り出しが行われる。本事業では、縮尺 1/5,000 図郭を基本とする東西方向 4km、南北方向 3km の範囲が 1 単位のオルソデータとしている。

表 2.2.5 航空レーザ計測の成果品

成果品	概要
オリジナルデータ	航空レーザ計測は、機体に搭載したレーザ測距儀からレーザパルスを高速度に地上に照射し、地上の物体に当たって戻ってきた距離から三次元座標を求める技術である。取得されるデータは、三次元位置のポイントデータである。 オリジナルデータは、航空レーザ計測で得られた生のデータである。各種検査の後、指定の範囲で切り出し、特異点などのノイズを除去処理したデータをオリジナルデータとしている。

	本事業では、縮尺 1/2,500 図郭を基本とする東西方向 2km、南北方向 1.5km の範囲が 1 単位でオリジナルデータを構成している。
グラウンドデータ (DTM)	オリジナルデータは、地表に存在する建物や樹木などの地物も含む高さデータを取得している。航空レーザ計測の主な目的は地盤データ(Digital Terrain Model)を作成することであるので、地物を計測したデータは取り除く必要がある。この作業をフィルタリング処理と呼ばれる。このように、オリジナルデータから地物の計測データを除き、地盤面のみを計測したデータをグラウンドデータと呼んでいる。 なお、フィルタリング処理で取り除かれる地物は、林野庁測定規程(第 302 条 2 項)に則って実施している。
グリッドデータ	グリッドデータは、グラウンドデータから内挿補間処理によって任意の間隔に正規化し、メッシュデータを作成する処理である。一般的には、TIN 方が多く用いられている。本事業では、1m 間隔のグリッドデータを作成している。
等高線データ	グリッドデータ(或いはグラウンドデータ)から地形表現を行う等高線データを自動作成する。本事業では、林野庁測定規程(第 309 条)に則って 2m 間隔の等高線を作成している。

2.2.7. 精度管理

本事業では、作業の各プロセスにおいて林野庁測定規程に則って精度管理が行われている。デジタル撮影の精度管理は表 2.2.6、航空レーザ計測の精度管理は表 2.2.7 のとおりである。各作業の詳細については、「平成 23 年度デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうち現地調査及びデータ解析・プログラム開発事業報告書」(57～62 ページ)を参照されたい。

表 2.2.6 デジタル撮影の精度管理

作業	概要
撮影コース別精度管理	デジタル撮影された画像の精度管理を行う。検査は、雲入りやハレーションなどの画像そのものの障害、計画されたコースの高度と水平位置の飛行状況、隣接する写真画像間の重複度(オーバーラップ量やサイドラップ量)、写真主点座標の回転角などが対象となる。現在のデジタルセンサでは、GPS/IMU を搭載していることや機体には飛行誘導装置などが備えられていることから、飛行状況やサイドラップ量が制限値から逸脱するようなことはほとんど無いと言える。ただし、雲入り等の回避できない障害は生じる。
直接定位精度管理	直接定位計算により、各写真画像の三次元位置及び撮影方向の角度が把握できる。直接定位解析の結果については、林野庁測定規程に基づいた制限値を超えないことを確認している。GPS 衛星の配置状況を確認しながら撮影を実施していたため、GPS 衛星数は十分に確保できており、PDOP が低い値に抑えられている。そのため、解の品質はフィックス解であり、位置の標準偏差、RMS、姿勢の標準偏差等も十分に精度を確保できていることが確認できている。
同時調整計算	直接定位計算によって各写真画像の外部標定要素(三次元位置と写真の撮影方向軸)を求めることはできるが、それぞれの外部標定要素は独立しており、繋がっている状況ではない。同時調整計算では、個々の写真画像に対して接続処理を行い、当該エリアの画像をあたかも一つのブロッ

	クのように繋げて、その接続状態の誤差を最小に調整する計算を行う。これにより、視差が無くなった状態となり、ステレオ視による図化の精度を確保するとともに、オルソ画像のモザイク処理時に接合間のズレを軽減する効果と精度確保することができる。 同時調整計算においては、地上基準点との較差、写真画像間の接続状況の較差(タイポイント交会残差)などの値に対して林野庁測定規程で制限値が設けられ、それらの値を超えないよう作業が行われている。
デジタルオルソ精度管理表	デジタルオルソ精度管理表は、図郭単位のデジタルオルソ画像の精度管理を行った結果である。図郭毎のオルソ画像内に均等に 21 箇所を抽出し、その箇所の水平位置と DEM データの標高値をステレオ観測した値との較差を求めた内容である。 林野庁測定規程(第 257 条 2 項)において、水平位置 5m 以内、DEM は 2.5m 以内の残差であることを求めており、これらの値を超えないよう検査している。

表 2.2.7 航空レーザ計測の精度管理

作業	概要
直接定位精度管理	直接定位計算により、各写真画像の三次元位置及び撮影方向の角度が把握できる。直接定位計算によって得られた外部標定要素から三次元データを生成していくため、当該処理の精度が航空レーザの精度に直結する。そのため、航空レーザ計測では直接定位精度管理は非常に重要である。直接定位解析の結果については、林野庁測定規程に基づいた制限値を超えないことを確認している。
欠測率算出	航空レーザ計測では一般的に「何 m 間隔に 1 点計測」のような点密度の仕様に基づいて計測計画を実施する。 計測仕様で 1m の点密度ならば、1m 間隔のメッシュで計測点が存在しないメッシュをカウントし、その総数が 15% 以下であることを確認する。この場合、水部はカウントに含まれない。
調整用基準点の点検	調整用基準点は、レーザ計測点の高さの検証を行う作業である。GPS/IMU は GPS 衛星の配置状況などにより高さの誤差が生じやすく、レーザ計測点もそれに伴って標高誤差を生じることがある。そのため、5m 四方の平坦な範囲で取得されたレーザ計測点と水準点やスタティック測量によって得られた標高値と比較し、較差を求めることとしている。その較差が一様に生じている場合は、レーザ計測点全体を一定シフトさせることがある。
コース間標高点検	先述のとおり、航空レーザ計測は GPS/IMU の解析精度に大きく依存する。広範囲を計測する場合は複数の日に跨って実施されることになるが、計測日が異なるコース間の接続において計測点の標高ズレが生じる場合がある。それを確認・補正することがコース間標高点検作業である。 コース間の重複部分に点検ポイントを選定し、標高値の相互較差の点検を行う。標準偏差及び RMS 誤差が 0.3m 以内であることを確認する。場合によって、シフトすることもある。
グラウンドデータ、グリッドデータ精度管理表	グラウンドデータ作成作業精度管理表は、グラウンドデータにフィルタリング対象物の残存状況の有無を確認した結果である。また、グリッドデータ精度管理表は、標高値の異常や隣接図郭データとの接合状況などを対象とした検査である。

2.2.8. デジタル撮影結果のまとめ

撮影成果については、森林・林業及びそれに関連する行政・研究機関であれば、著作権者である各撮影航測会社への申請により無償で利用可能としている。全撮影地域のリストを巻末資料に示すと共に、撮影範囲が確認できるデータをホームページ（日本森林技術協会 > 販売・出版物 > 森林立体視ソフトもりったい

http://www.jafta.or.jp/contents/publish/6_list_detail.html）にて公開する。また、本報告書綴じこみ DVD にも撮影範囲が確認できるデータを収めている。

今年度のデジタル撮影の状況図を図 2.2.7～図 2.2.18 に示す。



図 2.2.7 36 八方尾根

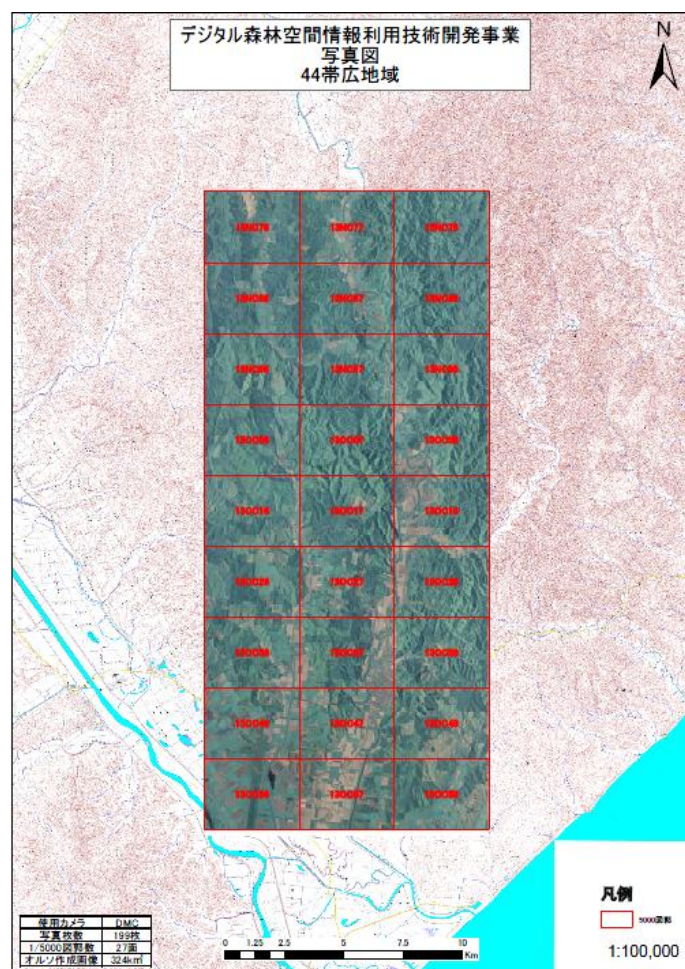


図 2.2.8 44 帯広

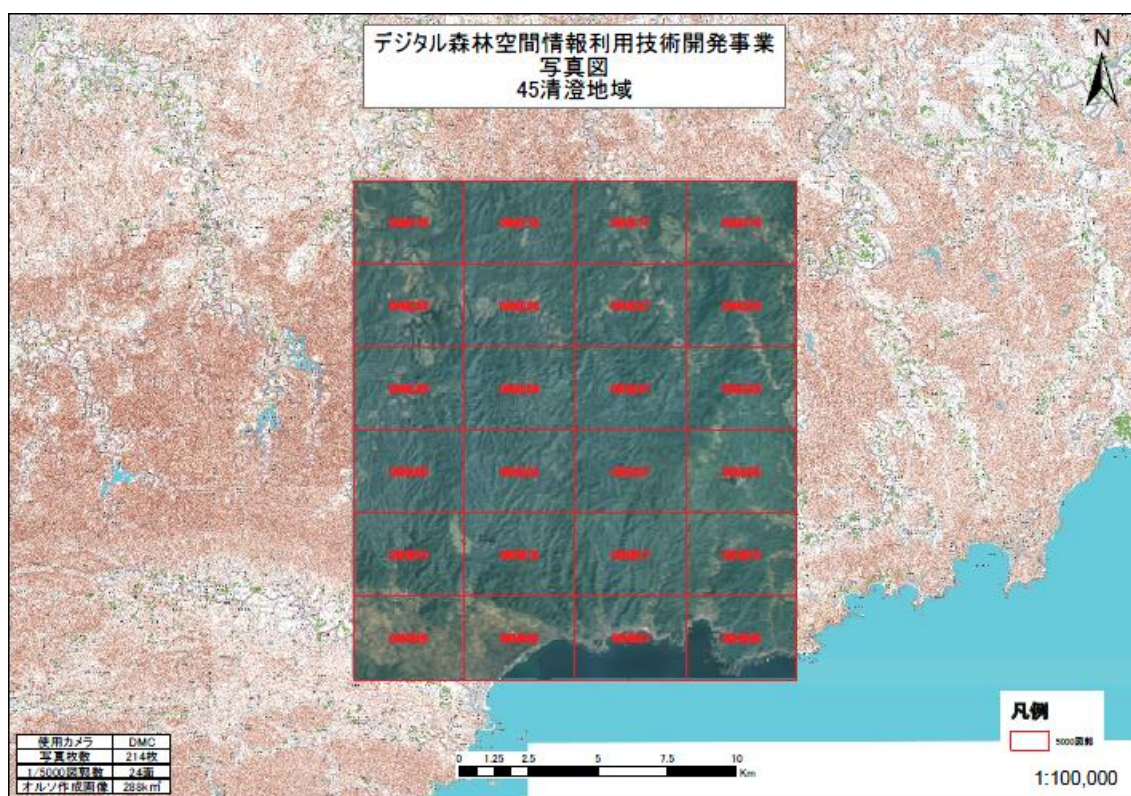


図 2.2.9 45 清澄

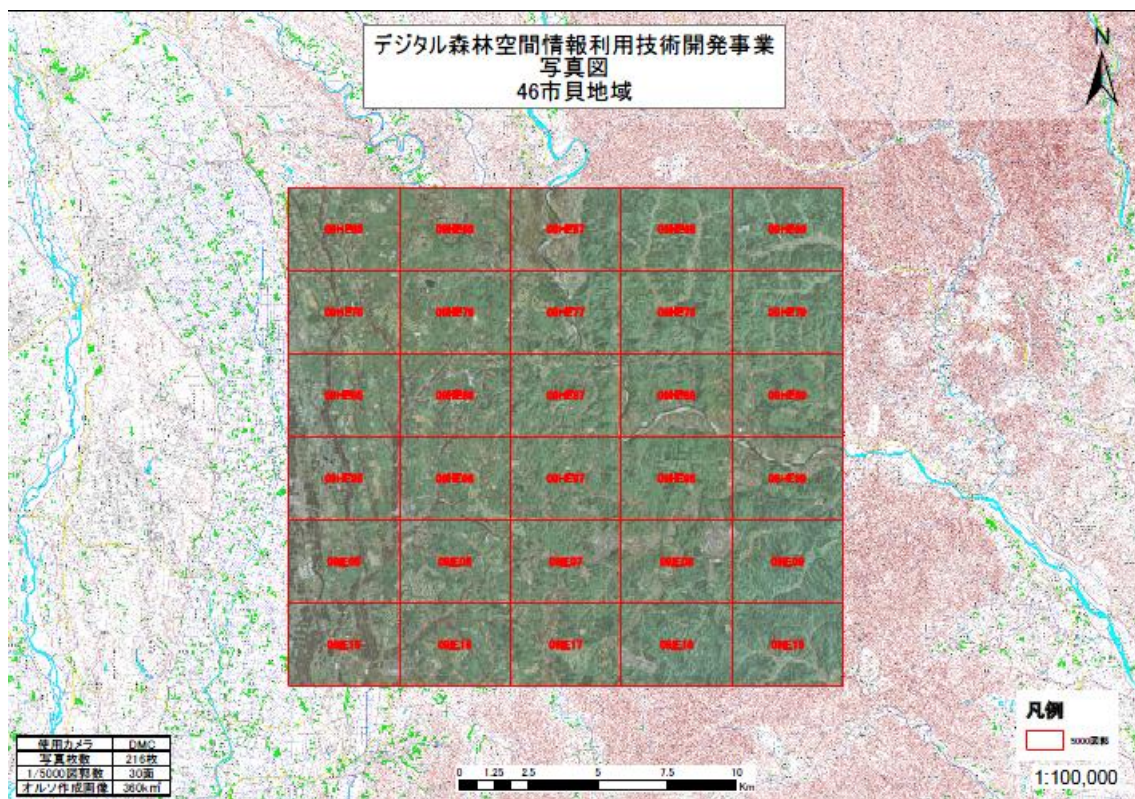


図 2.2.10 46 市貝

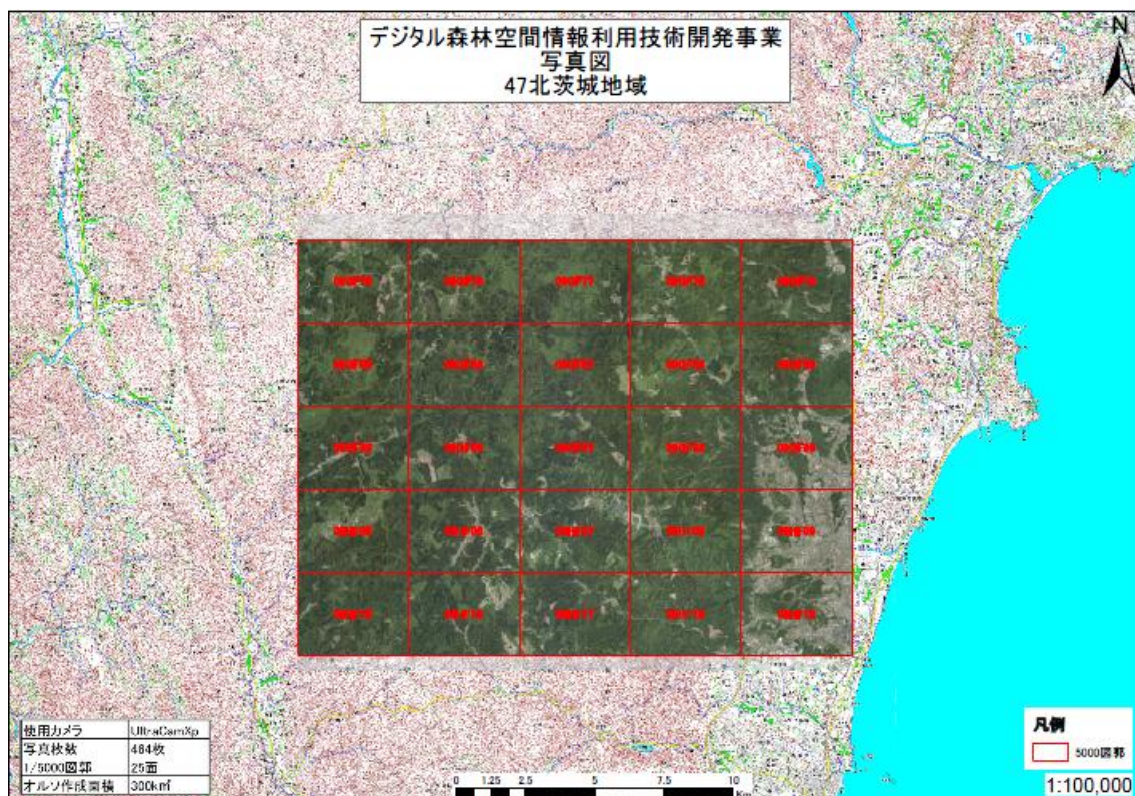


図 2.2.11 47 北茨城

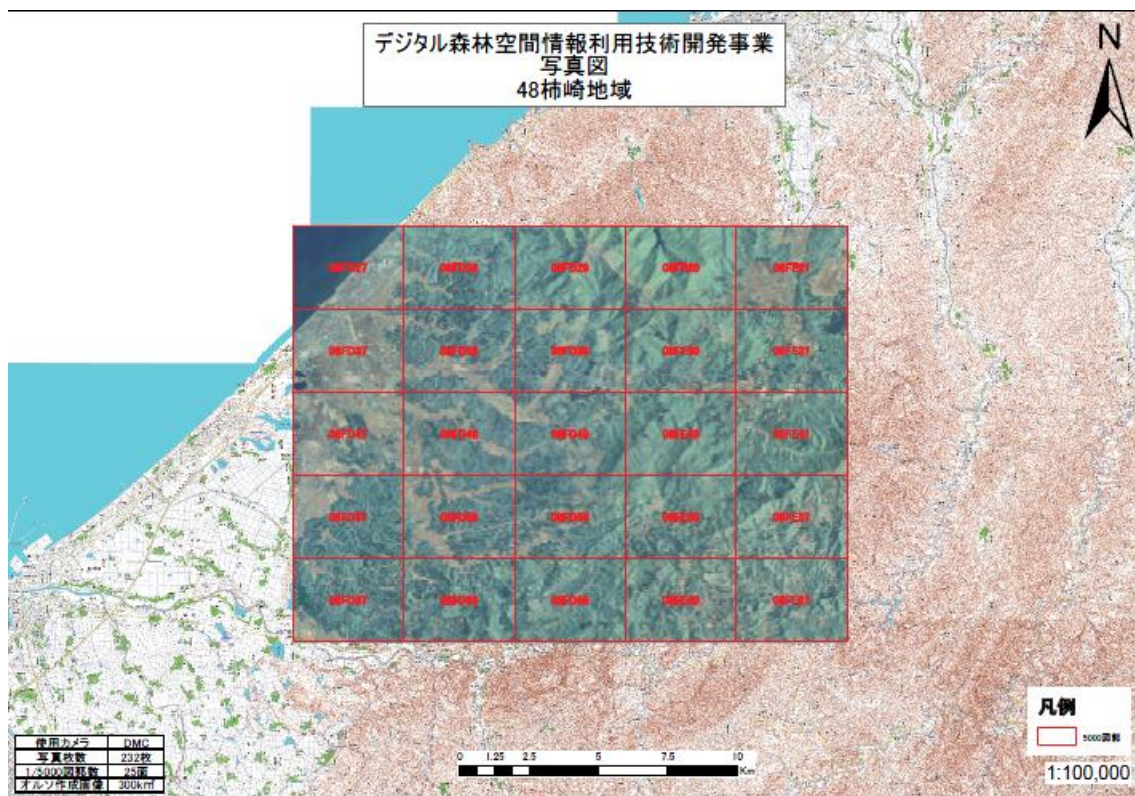


図 2.2.12 48 柿崎

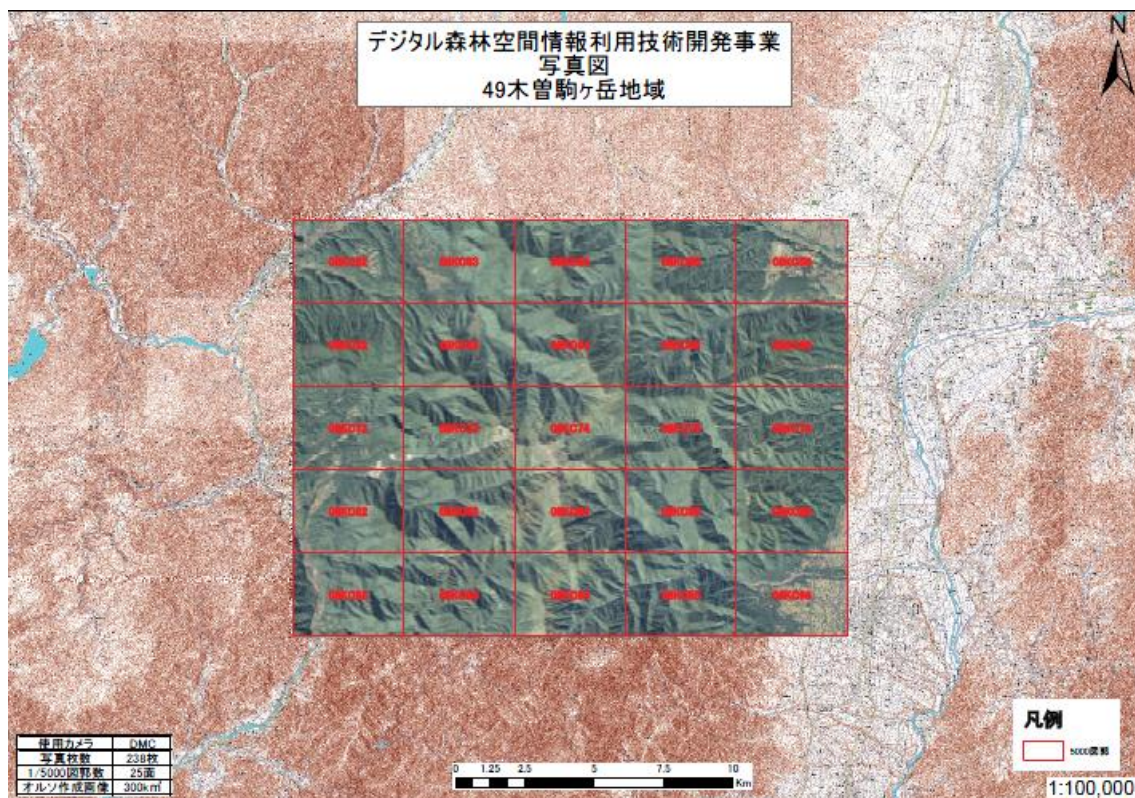


図 2.2.13 49 木曽駒ヶ岳

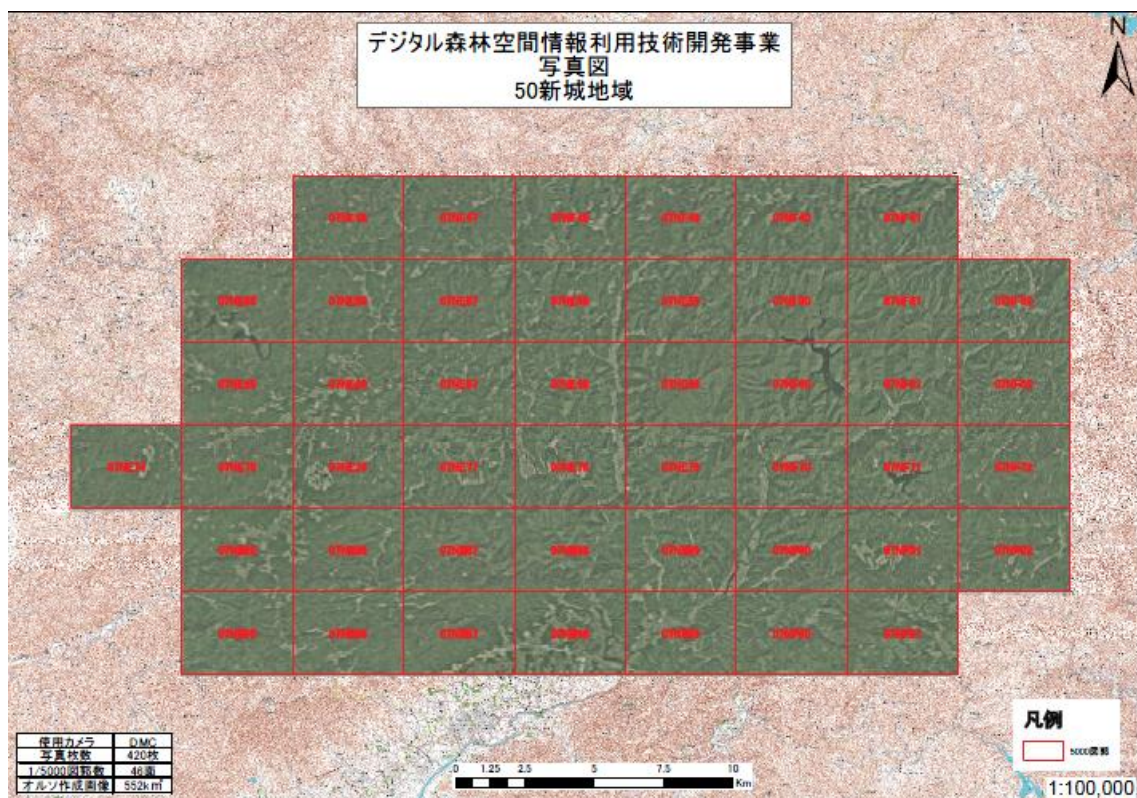


図 2.2.14 50 新城

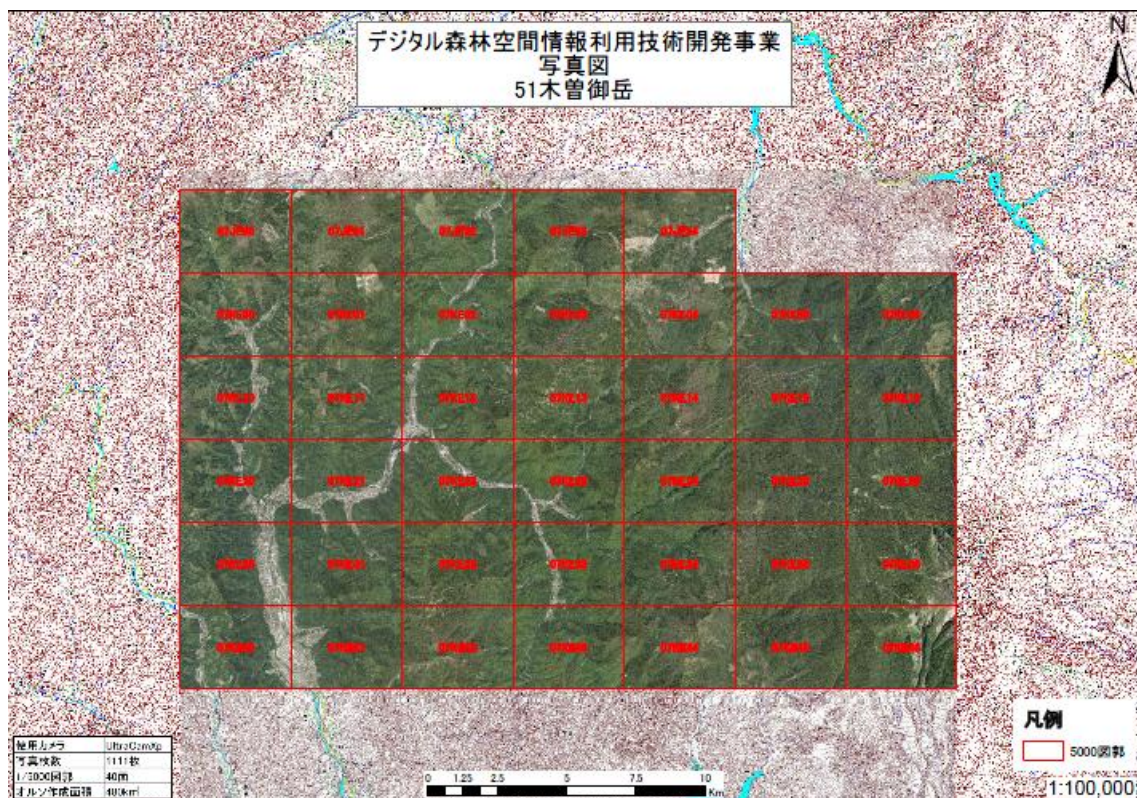


図 2.2.15 51 木曽御岳



図 2.2.16 52 北広島

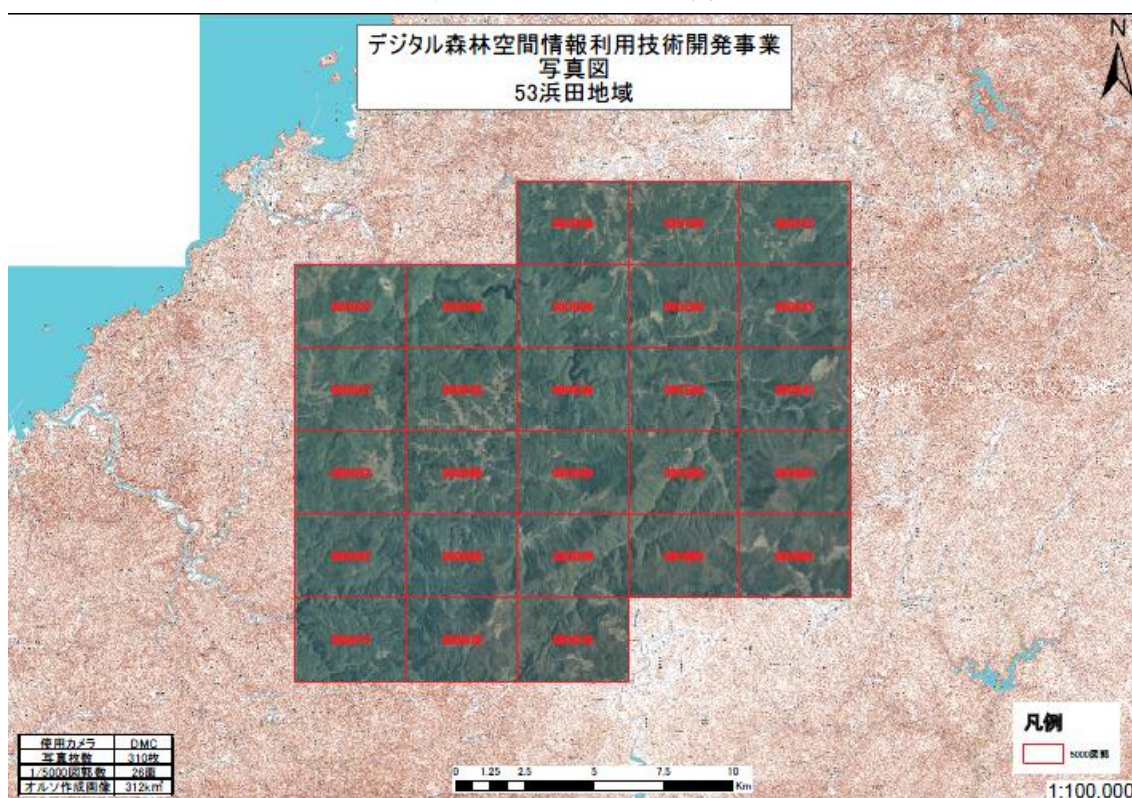


図 2.2.17 53 浜田

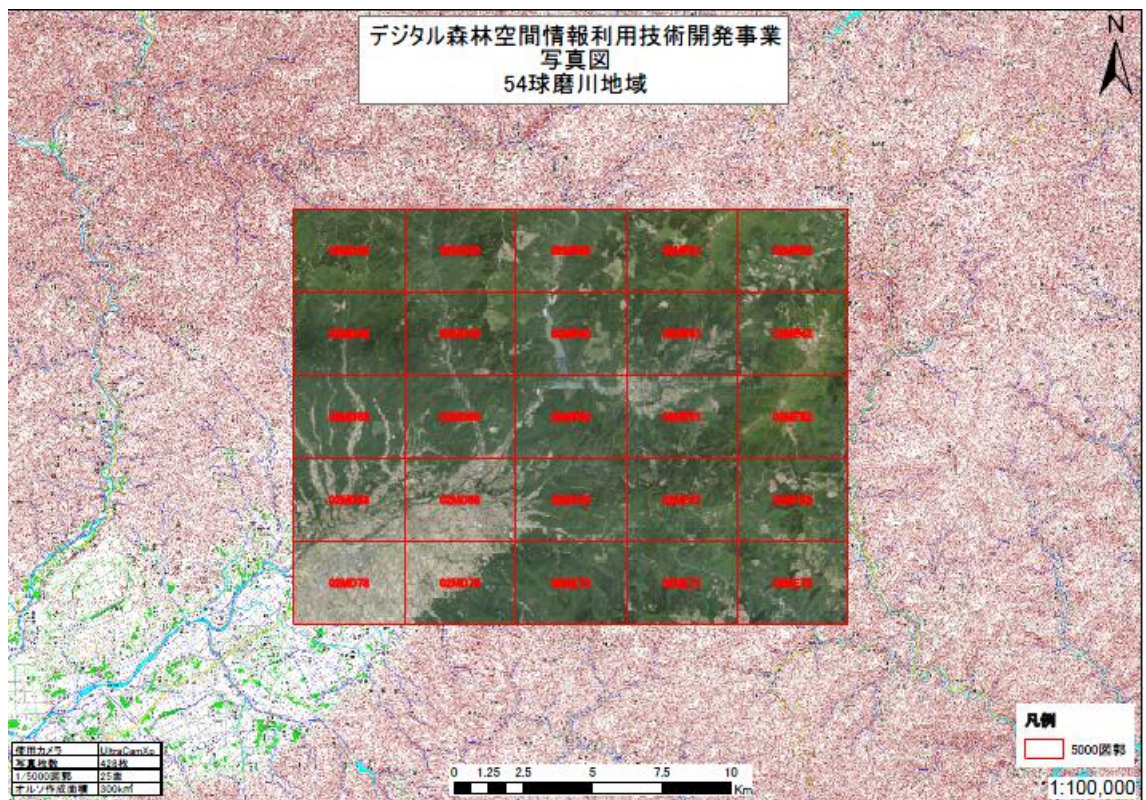


図 2.2.18 54 球磨川

2.3. 現地調査

2.3.1. 現地調査方法

現地調査は、森林生態系多様性基礎調査（旧森林資源モニタリング調査）方法に準じた林相タイプ別の標準地調査（以下「標準地調査」という）と、簡易手法による判読教師データ調査（以下「簡易調査」という）を行った。

標準地調査では、林分における階層構造、樹冠・立木の配置、生物多様性に関わる調査項目、簡易調査では林相区分・林分構造が把握できる最小限の調査項目について調査を行った。それぞれの調査項目は表 2.3.1 のとおりである。

表 2.3.1 現地調査項目

調査種別		林相タイプ別の標準地調査 (標準地調査)	空中写真の判読教師データ調査 (簡易調査)
プロット面積		0.1ha	(林相に応じて) 40m ² ~240m ²
実施箇所数		54	219
プロット 設定方法		水平投影面積 0.1ha となる円形プロット。3重円とし、小円は胸高直径 1cm 以上、中円 5cm 以上、大円 18cm 以上を計測対象とする。	上層木がプロット内に 10 本以上入るように方形プロットを設定。うち 5 本を計測対象とする。
調査 項目	地況	標高、斜面方位、地形	標高、斜面方位
	立木	胸高直径 1cm 以上を対象 樹種、胸高直径（3重円ごとの全対象木）、樹高（20 本）、樹冠長（生枝下高）（20 本） 単木ごとの健全度・病虫獣害の有無	上層木を対象 プロット内本数、胸高直径（5 本）、樹高（5 本）、樹冠長（生枝下高）（5 本）
	林分概況	優占樹種、林分発達段階、植被率、施業形跡、被害・動物等	優占樹種、林分発達段階、植被率、施業形跡、被害・動物等
	下層植生	出現植物種数、植被率	—
	土壌侵食	林床被覆率、巨礫・岩率 土壌侵食痕	—
	写真	林内、天頂	林内、天頂
	GPS 座標	プロット中心	プロット中心

林分構造の指標の一つとして、樹冠長（生枝下高）を計測した。図 2.3.1 のとおり、樹高から生枝下高を引いたものを樹冠長とする。樹高を計測した立木はすべて樹冠長も計測した。

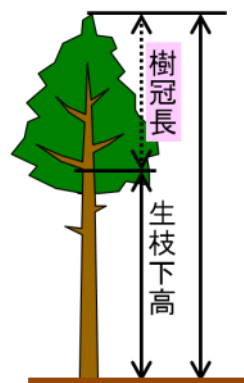


図 2.3.1 樹冠長

2.3.2. 現地調査結果概要

撮影地域別の現地調査地点数は表 2.3.2 のとおり、標準地調査 50 地点、簡易調査 147 地点である。25 日田林業、28 富良野、30 カヌマ沢は空中写真は過年度に撮影済みであり、現地調査も実施しているが、今年度レーザ計測の対象としたため、追加の現地調査を実施した。

表 2.3.2 撮影地域別現地調査地点数

撮影地域	標準地調査	簡易調査
25 日田林業	—	13
28 富良野	4	16
30 カヌマ沢	4	12
44 帯広	4	11
45 清澄	4	10
46 市貝町	4	11
47 北茨城	4	10
48 柿崎	4	10
49 木曾駒ヶ岳	4	10
50 新城	5	10
52 北広島町	5	11
53 浜田	4	11
54 球磨川	4	12
計	50	147

現地調査の計測値等の標準地調査の結果は、巻末資料に示す。

3. 森林基礎情報の解析

3.1. 解析方針

解析プログラムの分析機能は、林相（樹種）、立木本数、樹高、林分蓄積などの森林情報を半自動で求めるものである。本章では、プログラムに搭載した解析手法を詳述する。

「1.3.解析・開発の方針」で述べたとおり、手法の開発にあたっては、5年毎に策定する森林計画に活用することを前提とし、行政利用可能な範囲のコストで継続取得できるデータとして、主に空中写真を利用する手法とした。解析結果の精度を高めるためには、樹種や地域に適合した手法が必要と想定されるが、簡易な操作性を優先し、プログラムは全国で利用可能なものとした。

一方で、高精度なレーザ計測データによる解析も行い、コストと求める精度に応じてデータを選ぶことができるような複数の手法を提示している。

3.2. 現地調査による蓄積算出

現地調査は「2.3.現地調査」に示した方法で実施した。本数、樹高や蓄積などの推定を行うにあたり、現地調査の実測値を用いて推定手法を検討した。

プロット内で胸高直径は全立木を計測するため、現地調査結果の本数は実測値である。樹高はプロット内で 20 本のみの計測であるため、未計測木の樹高については胸高直径から樹高を推定することとなる。

林分蓄積の求め方には様々な方法がある。ここでは次項に示す「(1) 単木材積からの算出手法」「(2) 林分密度管理図からの算出方法」の 2 通りの手法により求めた。単木の直径、樹高から単木材積を求め、積上げて林分蓄積とする「(1) 単木材積からの算出手法」が最も実測値に近いと考えられる。一方、解析プログラムにおいて蓄積を推定するためには、デジタル撮影空中写真から求められる要素を用いて推定することが必要である。そこで、「(2) 林分密度管理図からの算出方法」を採用することとし、この手法の検証を行った。

3.2.1. 手法概要

(1) 単木材積からの算出手法

現地調査データから蓄積を算出する手順は、森林生態系多様性基礎調査と同様である。

はじめに、樹高未計測木の樹高推定を行う。標準地調査では、胸高直径は全対象木、樹高は 20 本について計測しており、樹高未計測木は樹高曲線（ネスルンド式）(式 1) により推定した。

$$H = 1.2 + \{ D / (a + b \times D) \}^2 \quad (\text{式 1})$$

(H: 樹高、D: 胸高直径、a 及び b: パラメータ)

20 本の樹高測定木の胸高直径と樹高の実測値から、最小二乗法により (式 1) のパラメータを求める。ここでは、樹種の違いは考慮しない。求めた樹高曲線式に樹高未計測木の胸高直径をあてはめ、それぞれの樹高を求める。

次に、胸高直径と樹高を材積式に当てはめ、単木材積を求める。当てはめる樹高は、計測木は実測値、未計測木は推定値を適用する。適用する材積式は「立木幹材積表」(林野庁計画課編、1970) に記載されているものとし、樹種及び地域により適切な材積式を選択する。

最後に ha 当たり蓄積へ変換する。標準地では、胸高直径が 1cm 以上 5cm 未満の立木は小円 (0.01ha)、5cm 以上 18cm 未満は中円 (0.04ha)、18cm 以上は大円 (0.1ha) において計測しており、直径階ごとに異なるサンプルサイズとなっている。このため、直径階別に重みを付けた本数を単木材積に掛け合わせ、プロット内の総蓄積を求める。プロット面積 0.1ha でプロット内総蓄積を割り、ha 当たり蓄積を求める。

このようにして求めた蓄積を本解析における蓄積の真値とする。

(2) 林分密度管理図からの算出方法

林分密度管理図は、植物の密度と成長の関係（密度理論）や主要な樹種の保育形式の解析を基に、同齢・単純・単層林の間伐による密度管理を行うために作成されたものである。林分での密度効果の法則、自然枯死線、幹材積に関する 2 分の 3 乗則が一つの図に組み合わされている。林分密度管理図の優れた点は、実際に林分で計測可能な、樹高、胸高直径、林分密度、材積の相互関係を理論的に結合させて、実務にも使えるように図化した点にある。さらに、林分の混み具合を客観的に表す収量比数 (Ry)

が示されることにより、間伐の必要性の判断が可能となった。例えば図 3.2.1 の例では本数密度 2,000 本/ha、胸高直径 18cm、樹高 18m の林分があった場合、 R_y は 0.9 で過密であることがわかる。そこで間伐し 1,500 本/ha まで減らすことにより、この線に沿って成長することが予想できる。

林分密度管理図には多くの曲線が示され、一見複雑な図であるが、2 つの要素（例えば本数、樹高）の値を定め、その要素を示す曲線の交点から他の曲線をたどると他の推定値（例えば材積）を求めることができる。密度管理図に示される 5 種の曲線とその意味は表 3.2.1 のとおりである。

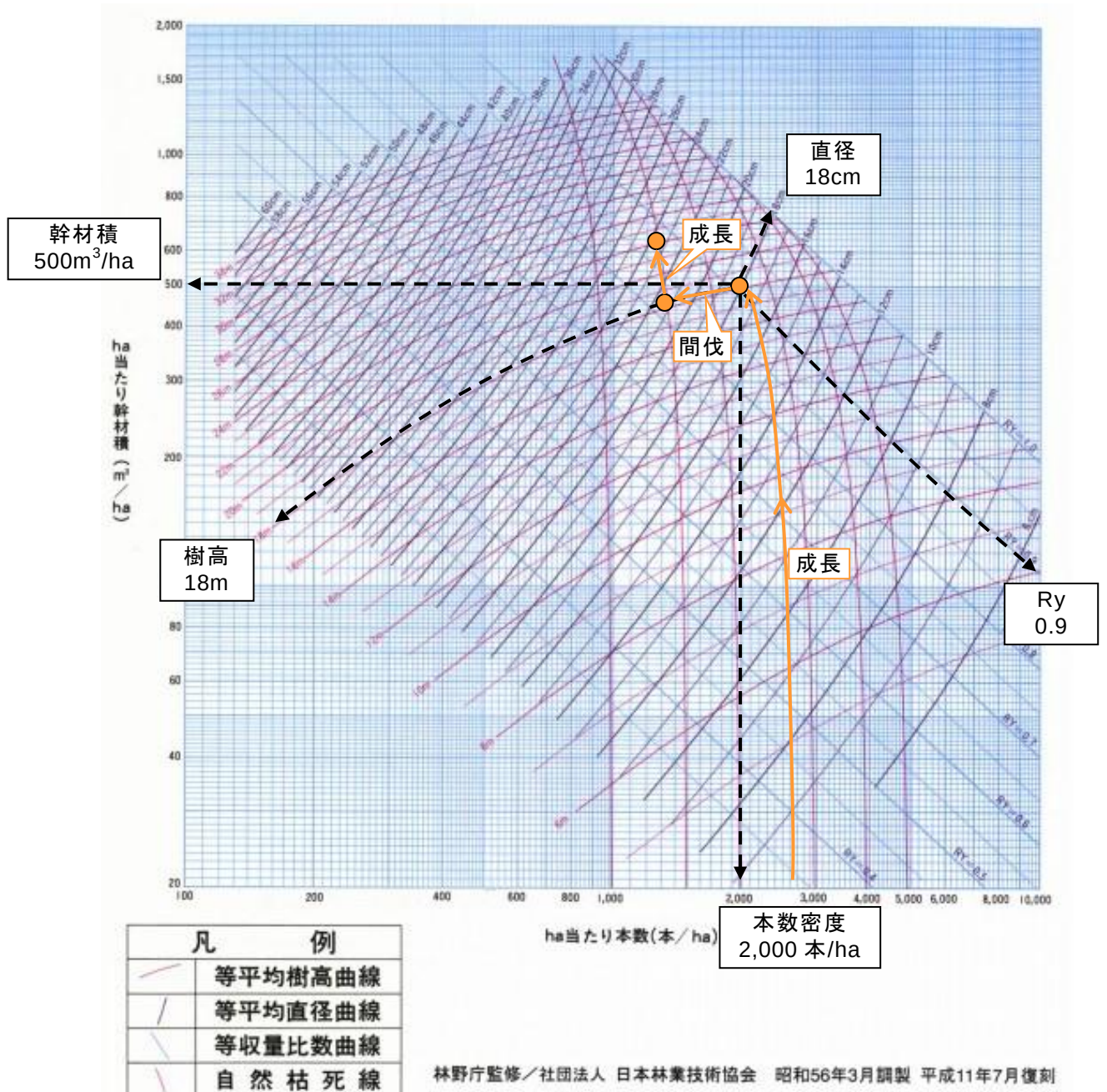


図 3.2.1 林分密度管理図の例（南関東・東海地方 スギ林分密度管理図）

表 3.2.1 林分密度管理図に示される曲線

名称	内容
等平均樹高線	立木密度と材積との関係で、立木密度の影響を受けない上層木平均樹高ごとに引かれた線で、上層樹高ごとに林分の密度と材積との関係が読みとれる。
等平均直径線	立木密度と材積との関係で、平均直径ごとに分けて引かれた線で、等樹高線上で平均胸高直径が読みとれる。
自然枯死線	密度の高い林分では、生育に従って盛んに枯損を生じ、材積を増やしながら密度を減らし、最終的には最多密度線上を動いていく。この最多密度線までの経過を表す曲線。
最多密度(曲)線	ある立木密度でこれ以上材積が増加しない限界を表す線。この線は2分の3乗則線と同じ式で表わされる。
収量比数線 Ry (管理基準線)	最多密度線に対して、常に一定の混み具合を表す指標。これは林分の生育の段階にかかわらず、最多密度との相対的關係を示すもので、最多密度線と並行な線で示される。Ry が 0.7 とは等樹高線上の最多材積(最多密度線と等樹高線との交点の材積)の 70%に当たる幹材積の位置を示す。

出典：日本林業技術協会（2001）森林・林業百科事典

林分密度管理図における樹高、林分密度（ha 当たり本数）、林分材積の關係に着目し、写真判読により求める樹高、ha 当たり本数から材積の推定が可能である。林分密度管理図には、等平均樹高曲線式（下例）が示されており、これに写真判読により計測した樹高、ha 当たり本数を代入することで材積を求めることができる。

南関東・東海地方 スギ林分密度管理図の等平均樹高曲線式 $V = (0.082249H^{-1.372921} + 3681.6H^{-2.867826} / N)^{-1}$ V: ha 当たり材積 H: 上層樹高 N: ha 当たり本数
--

現地調査で求めた立木本数と、上層樹高を等平均樹高曲線式に代入することで材積を求める。ただし、標準地調査では胸高直径 1cm 以上の立木から計測していることから、計測木の中から上層木の本数と樹高を抽出する必要がある。全国多様な林相の標準地調査を対象とし、上層木の抽出方法として樹高を高い順から 5%、10%、20% 選ぶ方法、樹高 10m 以上を選ぶ方法を検討した。各方法で抽出した上層木の本数と樹高から林分密度管理図により材積を求め、前項「(1) 単木材積からの算出手法」で求めた材積と比較し、最も近い値となった方法が適切であると考えられる。この結果、樹高 10m 以上を上層木とする方法が妥当であると結論付けた。

3.2.2. 密度管理図の検証

(1) 目的

林分密度管理図は、全国をカバーする地域別、主要樹種別に作成されていることから、これを立体視機能、分析機能、両方の蓄積推定に用いることとしている。蓄積推定には林分密度管理図を用いている。ただし、「平成 20 年度森林資源調査データによる動態変化解析事業報告書」（林野庁、平成 21 年）において指摘されているように、林分密度管理図自体にも誤差が含まれていることを考慮しなければならない。

そこで、解析プログラムにおいて蓄積推定をする際に考慮すべき密度管理図の精度を確認することを目的として、前項「(1) 単木材積からの算出手法」で求めた材積（以下「積上げ材積」という）と「(2) 林分密度管理図からの算出方法」で求めた材積（以下「密度管理図材積」という）を比較し、林分密度管理図の精度検証を行うこととした。

(2) 方法

全標準地調査地点の中から、スギ林の 38 プロットを対象として、前述の 2 つの方法で蓄積を算出して比較を行った。

(3) 結果・考察

38 プロットの積上げ材積と密度管理図材積を図 3.2.2 のとおり比較した。積上げ材積が $900\text{m}^3/\text{ha}$ 以上のプロットは、魚梁瀬、佐渡の天然林や金山、吉野の老齢人工林である。これらの林分では、密度管理効果は期待できないと考えられる。一方、図 3.2.3 のとおり、積上げ材積が $900\text{m}^3/\text{ha}$ 未満のプロットでは密度管理図材積の方がやや過小であるものの、ほぼ精度が確保された。なお、一般的なスギ人工林の材積範囲である $600\text{m}^3/\text{ha}$ 未満では、より精度が高い（赤い直線上にのっている）が、地域等を考慮した詳細な検討が必要であろう。

$900\text{m}^3/\text{ha}$ 未満のプロットにおける積上げ材積に対する密度管理図材積の関係式は $y=0.79x$ である。密度管理図の補正用としてこの関係式を用いることも考えられるが、厳密には地域毎、樹種毎等を配慮した補正式を求める必要がある。したがって、今回の解析プログラムには補正式を組み込まず、マニュアル等で現地調査による補正式の作成方法を提示することにより利用者の便宜を図った。

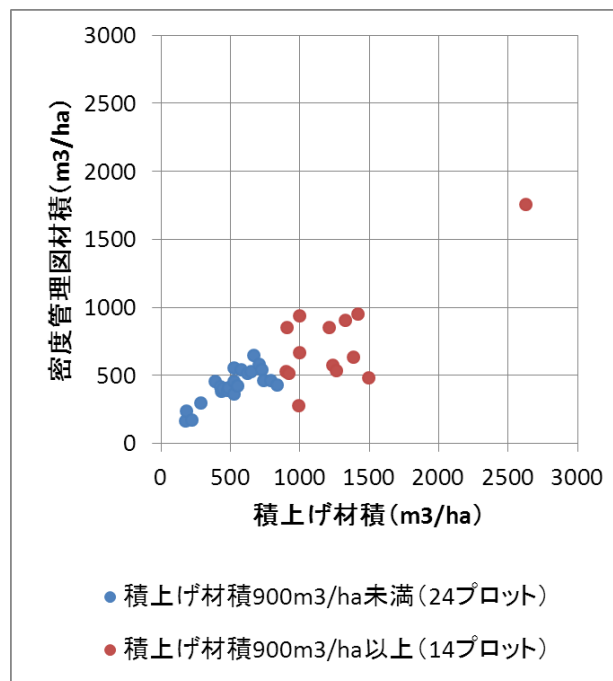


図 3.2.2 38 プロットの積上げ材積と密度管理図材積の比較

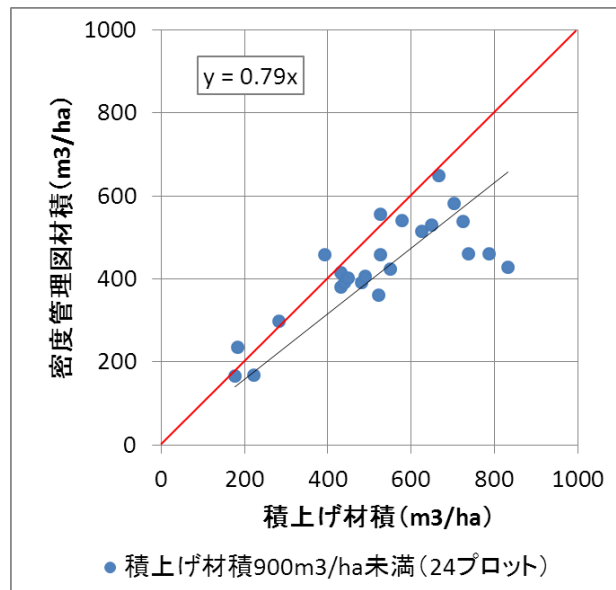


図 3.2.3 900m³/ha 未満の 24 プロットにおける積上げ材積と密度管理図材積の比較

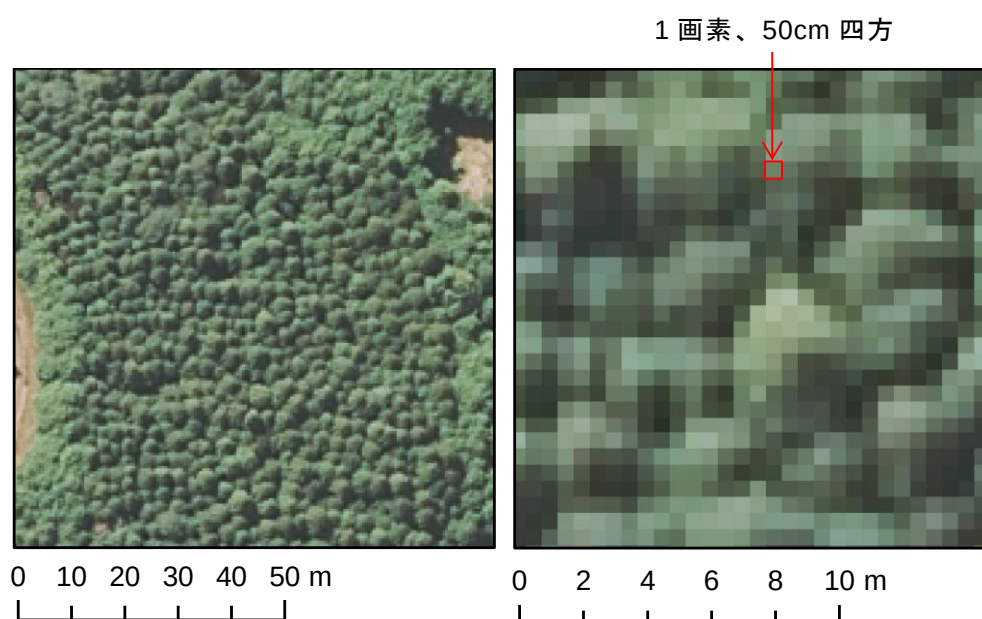
3.3. 林相区分・樹種分類

以下に述べる林相区分・樹種分類の手法及び各種の検証の詳細については、巻末資料を参照されたい。

3.3.1. 手法概要

地上解像度の低い人工衛星リモートセンシング画像を用いた林相分類においては、ピクセル（画素）ベースの画像分類手法が一般的に用いられてきた。これは画像の各画素（図 3.3.1）に対して樹種等を推定する手法である。1 画素の中に異なる要素が含まれる場合は、画素内を平均化して推定することになる。

一方、地上解像度の高いデジタル撮影空中写真にこのピクセルベース手法適用する場合は、同一林相内の樹冠の影までを画素ごとに分類することになるため、地上解像度が高いことによる誤分類箇所の多さが実用上の問題であった。



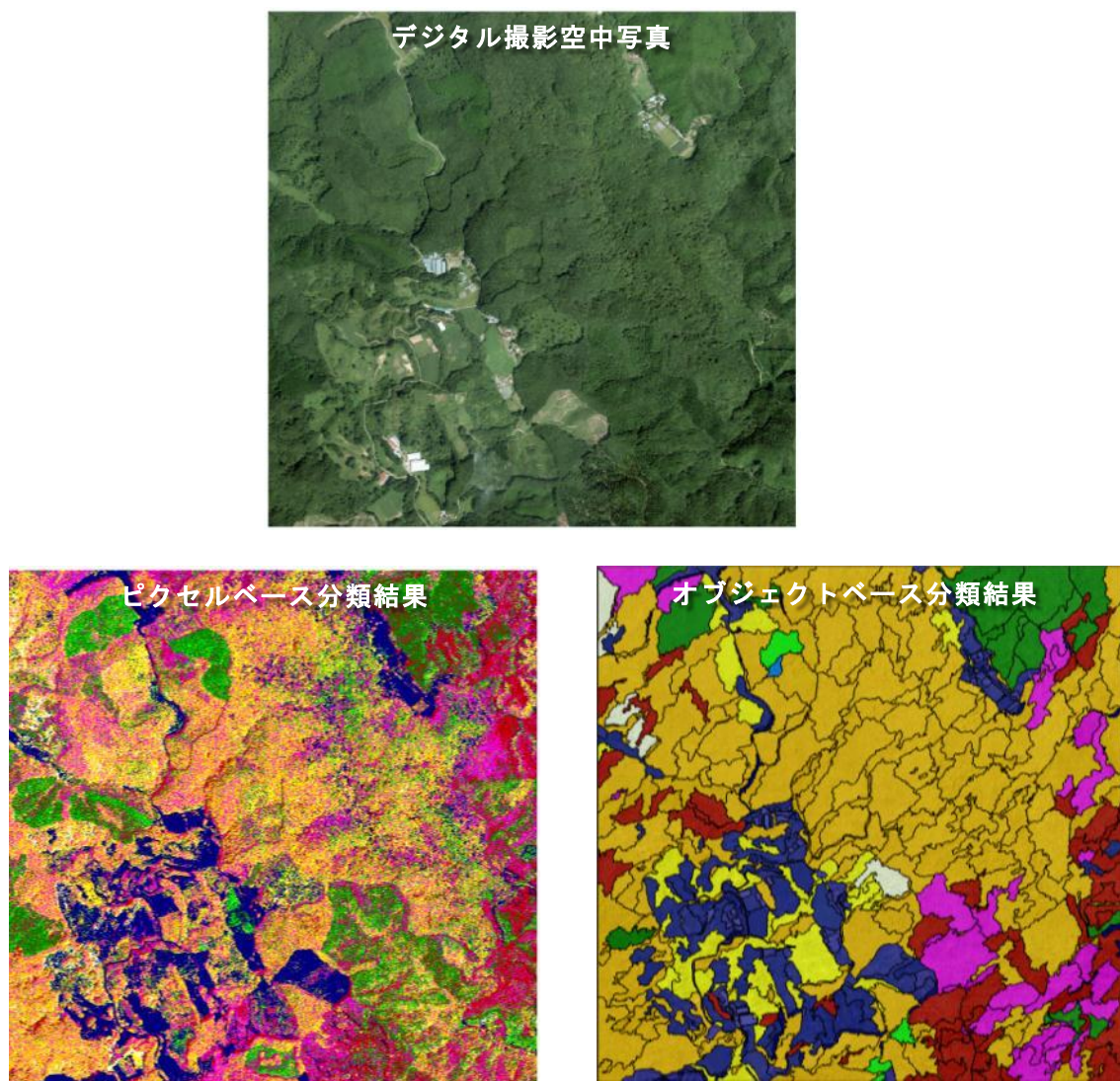
詳細に見える写真も拡大していくと画素から構成されていることがわかる。

図 3.3.1 デジタル撮影空中写真の画素

オブジェクトベース画像解析は、このような問題を克服することを目的として開発された画像分類手法である。本解析手法は、樹冠の色情報をもとに林相区画線をあらかじめ自動生成し、区画線内で集計された色情報やテクスチャを基に樹種进行分类するものである。自動生成された区画線内の平均統計量を分類に用いることから、デジタル空中写真の高い地上解像度に起因する問題を克服することができる（図 3.3.2）。本事業においては、地上解像度 50cm のデジタル空中写真を用いることを想定し、オブジェクトベースによる林相分類の手法を採用した。

さらに、森林の分類において誤分類の要因となる樹冠の影と日向の差をテクスチャ（画像のきめ）情報として利用する手法や、日向部分のみのスペクトル（色、波長）情報を利用する手法といった森林に適した分類手法を開発している。

林相区分までの流れは図 3.3.3 のとおりで、はじめに林相区画を自動生成し、次いで区画内の諸統計量に基づき林相进行分类するというものである。以下、手法について述べる。



ピクセルベース：画素ごとに分類され、林相が細かく入り混じっている。
 オブジェクトベース：区画内を平均化して分類するため、林相のまとまりをもつ。

図 3.3.2 画像分類手法の比較

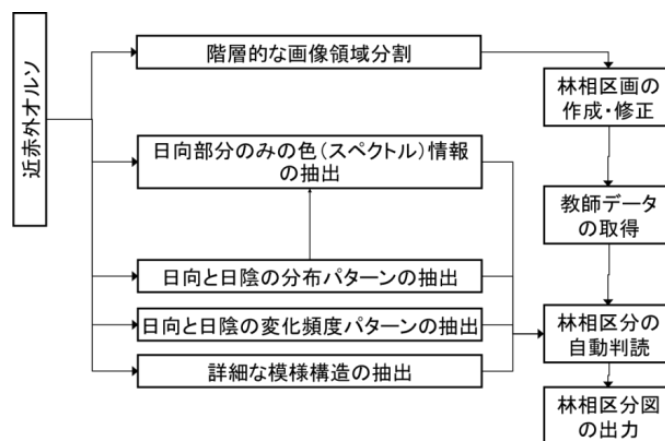


図 3.3.3 林相区分の流れ

3.3.2. 林相区画の生成

(1) 林相区画の生成手法

林相区画の生成とは、画像のスペクトル情報（色情報）をベースとして、1枚の画像を類似した特徴を有する複数の小領域に分割することである。森林を対象とする場合、異なる林分間の特徴の違いがそれほど顕著でないことや、反対に同じ林分内における日向領域と日陰領域の違いによる画像の特徴のばらつきが大きいこと、使用する画像データの撮影状況（撮影時期、バンド数など）も処理結果に影響を与えることなどが課題となっていた。

そこで、これらの課題に対応した新たな手法を開発した。これは階層的に画像領域分割を行う手法であり、図 3.3.4 にそのフローを示す。

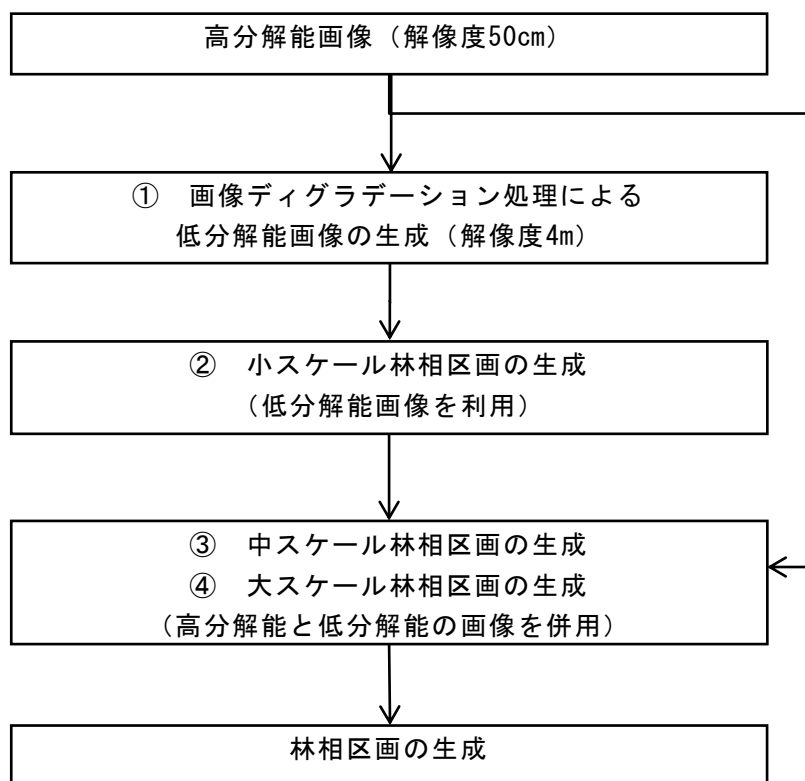


図 3.3.4 開発した林相区画自動生成のフロー

この手法による林相区画自動生成のフローは、以下のステップから構成される。

- ① 最初に高分解能画像を用いて、画像ディグラデーション処理により低分解能画像を生成する。
- ② 次に、低分解能画像を用いて、小スケールの画像領域分割を行う。
- ③ 小スケールの画像分割の結果に基づき、低分解能画像と高分解能画像の両方を用いて、中スケールの画像領域分割を行う。
- ④ 最後に、中スケールの画像分割の結果に基づき、低分解能画像と高分解能画像の両方を用いて、大スケールの画像領域分割を行う。

画像ディグラデーション処理により、同じ林分内における日向領域と日陰領域の違いによる画像のばらつきを軽減させる低分解能画像が生成可能である。森林の場合は、林分の大きさにばらつきが大きいため、画像領域分割の際に小さなスケールパラメー

タと、中間的なスケールパラメータ、さらに、大きなスケールパラメータを別々に設定してマルチスケールでの領域分割処理を行うことで、サイズの小さい林分と大きい林分を含めた様々な林相を抽出することが可能となる。図 3.3.5 と図 3.3.6 には、新たな林相区画の生成手法による小スケールの画像領域分割の結果と、大スケールの画像領域分割の結果をそれぞれ示している。大スケールの結果では、小さな林相も維持しつつ、まとまりを持った大きな林相も区画していることがわかる。このようにして得られた林相区画の自動抽出結果をもとに、人間が確認・修正作業を行うことで、より効率的に適切な林相区画を生成することが可能となる。

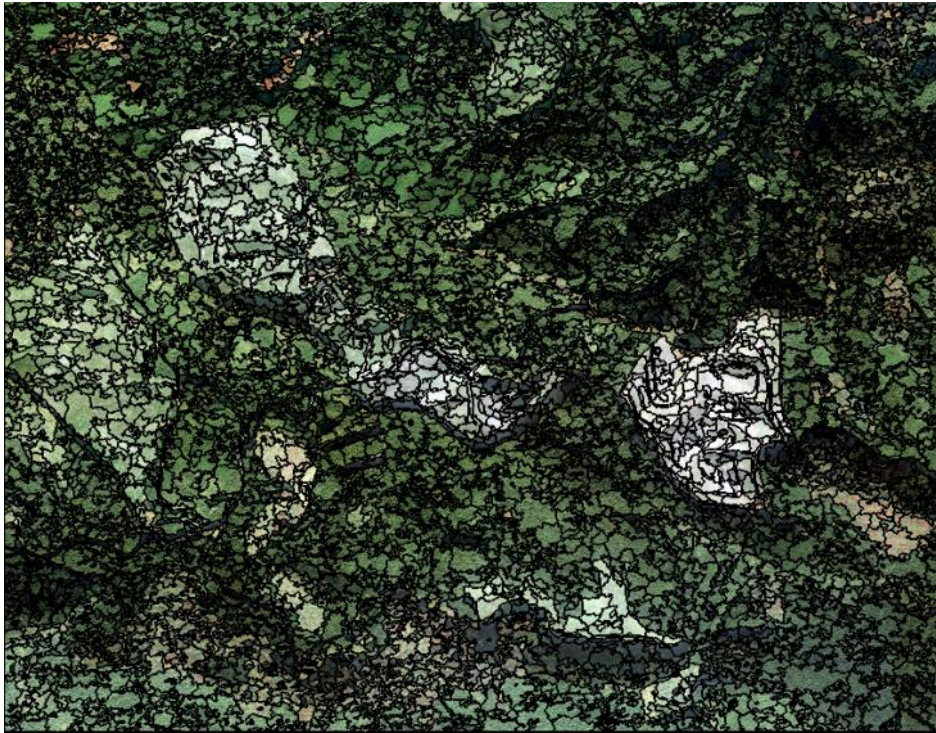


図 3.3.5 新たな林相区画の生成手法による小スケールの画像領域分割の結果



図 3.3.6 新たな林相区画の生成手法による大スケールの画像領域分割の結果

(2) スケールパラメータの検討

林相区画生成においては、生成される林相区画の大きさはスケールパラメータにより変化する。本手法では、小スケール、中スケール、大スケールのそれぞれにおいてスケールパラメータを設定する。

現時点でスケールパラメータの設定には決定論的、または定量的な方法がないため、使用する画像の解像度と抽出するオブジェクトの特徴を考慮して経験的に定める必要がある。林相区画の生成の場合、下記の2つの原則に従ってスケールパラメータを設定する必要がある。

- ① 同じ林分内でも画像の特徴のばらつきが存在するため、そのばらつきを網羅するように、できるだけ大きなスケールパラメータを設定することが望ましい。
- ② 林相区分・樹種分類はオブジェクトの単位で行うため、1つのオブジェクト中に異なる林相が混在しないように、スケールパラメータを設定することが望ましい。

検討の結果、本手法を適用する解析プログラムのスケールパラメータは、初期値として小スケール：6、中スケール：60、大スケール：80とした。ただし、得られた林総区分が適切でない場合は、小スケールのスケールパラメータを1刻みで変化させていく。スケールパラメータが大きくなれば林相区画も大きくなり、スケールパラメータを小さくすれば林相区画も小さくなる。

3.3.3. 樹種区分

(1) テクスチャ情報による樹種判別の検討

森林画像の樹種判別では、基本的に画像のスペクトル情報を利用して、異なる樹種のスペクトル反射特徴の違いから判別するのが一般的である。空中写真などの高分解能画像を利用する場合には、画像の色調だけではなく、樹種の違いによって画像に表れる“きめ”、すなわち、テクスチャの特徴が樹種ごとにそれぞれ異なっていることに着目することが重要である。図 3.3.7 に、異なる樹種のパターン画像を示しており、その違いが明らかであることが確認される。

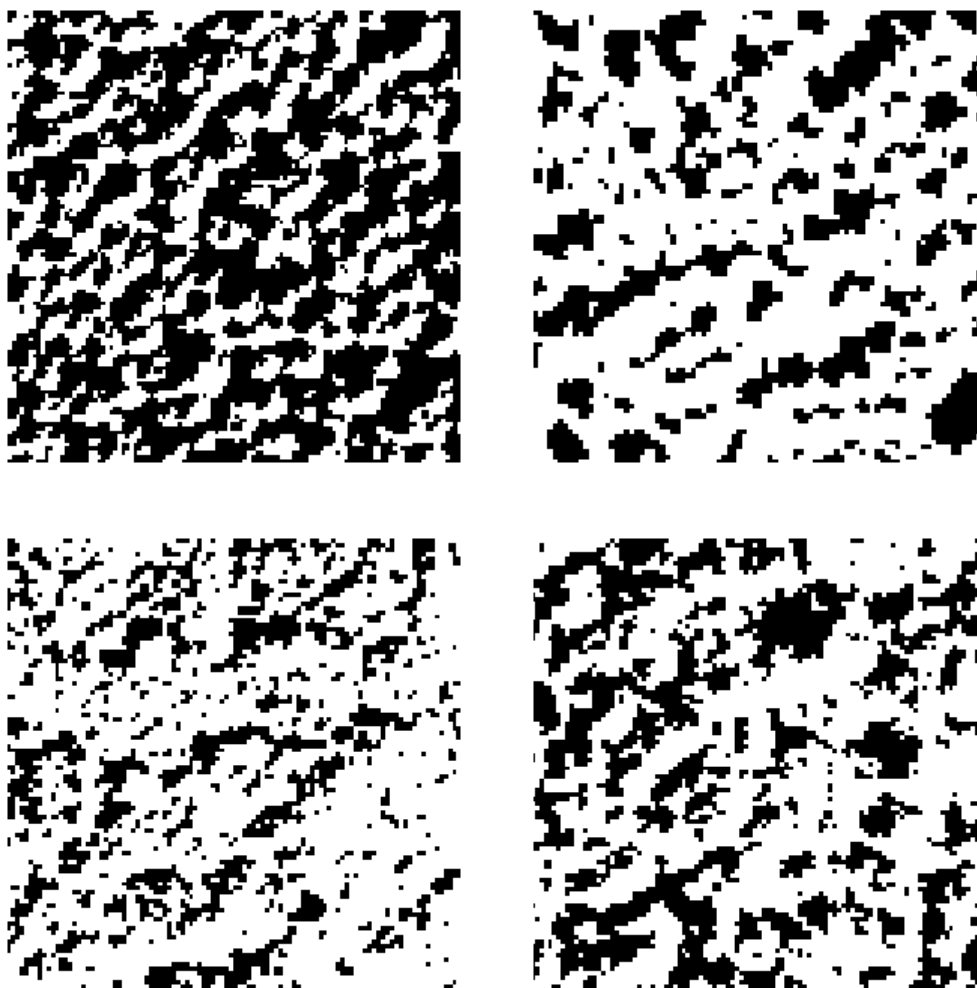


図 3.3.7 異なる樹種のパターン画像
(左上：スギ、右上：ヒノキ、左下：広葉樹、右下：混交林)

画像からは様々な形でテクスチャの構造情報を抽出することが可能であるが、様々な手法を検討した結果、樹種分類に有効な森林画像のテクスチャ構造情報を記述するための特徴量として、最終的に下記に示す3つの情報量が最適であるとの結論に至った。

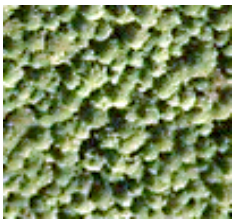
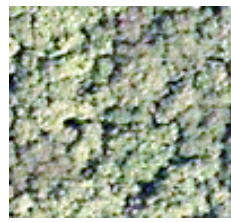
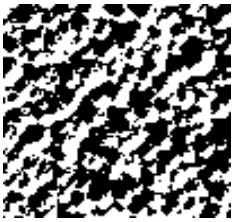
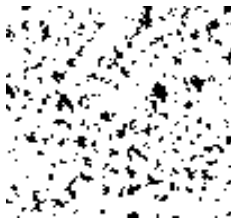
- ・ 画像の2値化による日向／日陰部分のパターン抽出
- ・ 画像勾配の2値化による日向／日陰の境界線のパターン抽出
- ・ 局所二値パターン（LBP）による詳細な構造パターン情報の抽出

1) 日向／日陰部分の分布パターン抽出

日向と日陰の部分に対するパターンの抽出には、画像処理の分野でよく知られている「大津の自動判別手法」を利用した。大津の手法は、「判別分析法」（Discriminant analysis）とも呼ばれ、画像の2値化を行う場面で広く活用されている非常に優れた手法である。

大津の手法を用いて、画像の2値化によって自動抽出した異なる樹種の日向と日陰の部分のパターンを表 3.3.1 に示している。スギ、ヒノキ、広葉樹、および、非森林領域について、日向と日陰の部分がそれぞれ異なったパターンの特徴として現れていることが確認できる。

表 3.3.1 異なる樹種の日向部分と日陰部分のパターン

スギ	ヒノキ	広葉樹	非森林領域
			
			

2) 日向／日陰の変化頻度パターン抽出

画像の勾配は、各画素値の変化の度合いを示すものであり、注目点の画素が周囲の画素の輝度に比べてどの程度変化したかを記述するものである。勾配情報の算出には様々な手段があるが、1次微分フィルタとしてSOBELフィルタを採用した。

画像勾配の2値化によって抽出した日向と日陰の境界線のパターンを表 3.3.2 に示した。スギ、ヒノキ、広葉樹、および、非森林領域について、日向と日陰の境界線の領域がそれぞれ異なったパターンの特徴として現れていることが確認される。

表 3.3.2 異なる樹種の日向と日陰の境界線のパターン

スギ	ヒノキ	広葉樹	非森林領域
			
			

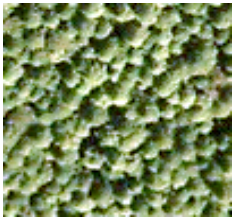
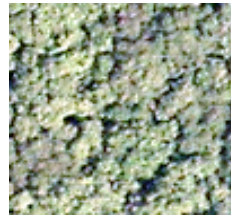
3) 詳細な構造パターン情報の抽出

森林の場合には、日照や写真の撮影角度、地形などの要因により、場所ごとに画像の明るさやコントラストが変動するため、これらの因子は樹種分類の結果に多大な影響を及ぼす。局所二値パターンであるLBP情報は、濃淡画像のテクスチャ分析と分類を目的として、画像の明るさやコントラストの変動に対して頑健な特徴の抽出を行うために提案された解析手法である。LBPによる解析の特筆すべき利点として、抽出される特徴量が画像の濃度変化に対して不変となることから、安定した画像テクスチャの抽出が可能となる点が挙げられる。また、LBPの演算は簡便であるため、計算コ

ストが少なく処理速度が速い。さらに、LBP 解析では、画像の詳細な構造パターンが抽出されるので、異なる対象が持つテクスチャの細かな違いを捉えることができる。

画像の局所二値パターンは、画像の詳細な構造的なパターンを反映しており、しかも、画像の明るさの変動の影響を受けにくいいため、画像のテクスチャ解析に適している。LBP によって抽出した画像の詳細な構造パターンの例を表 3.3.3 に示す。スギ、ヒノキ、広葉樹、および、非森林領域について、LBP によってそれぞれ異なった構造的なパターンとして特徴の抽出が行われていることが確認される。

表 3.3.3 異なる樹種の詳細な構造パターン情報

スギ	ヒノキ	広葉樹	非森林領域
			
			

上述した 3 種類の画像テクスチャ構造情報は、森林画像における日向領域と日陰領域のパターン特徴を低周波域から高周波域までの 3 つのレベルで提供しており、画像に出現する異なる樹種の樹冠の大きさや、樹冠構造、樹木密度などの幾何的な特徴の違いを反映するものとなっている。

(2) スペクトル情報による樹種判別

スペクトル情報による樹種判別では、フォルスカラーオルソ RGNIR 画像、またはトゥルーカラーオルソ RGB 画像を使用する。デジタル撮影では、植物の活性をよく表す近赤外 (NIR) の波長帯の画像も撮影しているが、これまで実務的に活用された事例は少ない。森林分野でのリモートセンシングにおいては、近赤外の波長帯の活用は一般的であることから、本事業ではフォルスカラーオルソ RGNIR 画像の使用を推奨するものである。

高解像度の森林の画像では樹冠の影の影響が大きいことから、前項「(1) テクスチャ情報による樹種判別の検討 1) 日向／日陰部分の分布パターン抽出」を利用し、日向部分のみのスペクトル情報を分類に使用することとした。

(3) 画像分類手法

樹種の分類には、画像分類アルゴリズムの中で最も基本的な手法である k 近傍法 (k Nearest Neighbor) を利用する。k 近傍法は、ノンパラメトリック (Nonparametric) な手法であるため、使用するデータの母集団の分布について一切の前提を設けなくてもよいという特徴を持っており、オブジェクトベースの画像分類に適したものである。

3.3.4. 林相区分結果・考察

(1) オブジェクトベース分類とピクセルベース分類（従来手法）との比較

表 3.3.4 には、オブジェクトベース分類と従来用いられてきたピクセルベース分類の精度検証結果を示している。使用データと教師データが同じである場合、RGNIR 画像と RGB 画像を使用したオブジェクトベース分類の精度はそれぞれ 65.8%と 66.3%である。それに対して、ピクセルベース分類精度はそれぞれ 63.0%と 58.5%となっている。ピクセルベース分類に対するオブジェクトベース分類手法の優位性が示されていると言える。

表 3.3.4 オブジェクトベース分類とピクセルベース分類との分類精度の比較

画像	ケース	スギ	ヒノキ	広葉樹	非森林	全体
RGNIR	ピクセルベース	43.2	66.1	66.9	59.4	63.0
	オブジェクトベース (日向／日陰両方のスペクトル情報)	62.6	72.4	63.9	72.1	65.8
RGB	ピクセルベース	34.7	68.5	60.9	59.9	58.5
	オブジェクトベース (日向／日陰両方のスペクトル情報)	78.3	68.9	61.5	76.1	66.3

(単位：%)

(2) スペクトル情報とテクスチャ情報の分類結果の比較

表 3.3.5 には、スペクトル情報のみによる分類、テクスチャ情報のみによる分類、および、スペクトル情報とテクスチャ情報の併用による分類精度の結果を示している。日向と日陰のスペクトル情報のみを使用した場合、RGNIR 画像と RGB 画像を使用したときの分類精度はそれぞれ 65.8%と 66.3%であった。それに対して、テクスチャ情報のみを使用した場合の分類精度はそれぞれ 72.1%と 72.2%となっている。テクスチャ情報を用いた場合の分類精度はスペクトル情報の場合に比べ、5～6%程度高くなっている。この結果から、空中写真などの高分解能画像の場合には、スペクトル情報よりもテクスチャ情報の方が有効に機能していることが分かる。同時に、今回提案した 3 つのテクスチャ構造情報が樹種分類に対して非常に有効であることが確認された。なお、スペクトル情報とテクスチャ情報を併用した場合、RGNIR 画像と RGB 画像を使用したときの分類精度はそれぞれ 74.4%と 74.7%となっており、スペクトル情報とテクスチャ情報の併用により、さらに精度の向上が図られることが見て取れる。

表 3.3.5 スペクトル情報とテクスチャ情報による分類精度の結果

画像	ケース	スギ	ヒノキ	広葉樹	非森林	全体
RGNIR	日向／日陰両方のスペクトル情報	62.6	72.4	63.9	72.1	65.8
	テクスチャ情報	65.5	70.6	73.3	72.5	72.1
	日向／日陰両方のスペクトル情報／ テクスチャ情報	69.0	73.5	75.4	74.5	74.4
RGB	日向／日陰両方のスペクトル情報	78.3	68.9	61.5	76.1	66.3
	テクスチャ情報	79.0	56.4	72.9	72.7	72.2
	日向／日陰両方のスペクトル情報／ テクスチャ情報	76.9	65.8	75.2	75.9	74.7

(単位：%)

(3) 日向／日陰両方のスペクトル情報と日向のみのスペクトル情報の分類結果の比較

高分解能の森林画像では、樹冠領域の日向部分と樹木間の隙間や樹冠領域の日陰部分との色調がかなり異なるため、画像分類による樹種判別の際に、全領域のスペクトル情報を使用すべきか、あるいは樹冠領域の日向部分のみを使用すべきかについての結論は得られていない。

表 3.3.6 には、日向／日陰両方のスペクトル情報による分類、日向のみのスペクトル情報による分類、およびスペクトル情報／テクスチャ情報併用による分類精度の結果を示した。日向／日陰両方のスペクトル情報の場合、RGNIR 画像と RGB 画像を使用したときの分類精度はそれぞれ 65.8%と 66.3%である。それに対して、日向のみのスペクトル情報を使用したときの分類精度はそれぞれ 70.1%と 68.2%とやや高い値となっている。また、スペクトル情報／テクスチャ情報の併用の効果について見ると、日向／日陰の両方を使用した場合は、RGNIR 画像と RGB 画像の分類精度はそれぞれ 74.4%と 74.7%である。一方、日向のみを使用した場合の分類精度はそれぞれ 79.5%と 76.6%となっている。スペクトル情報のみの場合と、スペクトル情報／テクスチャ情報併用の場合のいずれの結果も、日向のみのスペクトル情報を使用した方が高い分類精度となっていることが分かる。

上記の結果のみでは、日向のみのスペクトル情報を使用した方が妥当であるという結論を得るまでには至らないが、日陰の情報は太陽高度や地形の影響を受けやすいため、スペクトル情報としては日向部分のみを使用するのが適切であるという仮説が立てられる。なお、日向／日陰両方のスペクトル情報の場合でも、日向部分のみのスペクトル情報の場合でも、テクスチャ情報を加えることにより、RGNIR 画像と RGB 画像の双方において、8%以上の分類精度の向上が見られることから、提案したテクスチャ構造情報が有効であることと、スペクトル情報／テクスチャ情報の複合的な利用が効果的であることが改めて確認された。

表 3.3.6 日向／日陰両方のスペクトル情報と日向のみのスペクトル情報による分類精度の結果

画像	ケース	スギ	ヒノキ	広葉樹	非森林	全体
RGNIR	日向／日陰両方のスペクトル情報	62.6	72.4	63.9	72.1	65.8
	日向のみのスペクトル情報	63.4	69.6	69.8	76.3	70.1
	日向／日陰両方のスペクトル情報／テクスチャ情報併用	69.0	73.5	75.4	74.5	74.4
	日向のみのスペクトル情報／テクスチャ情報併用	73.3	71.9	82.9	74.3	79.5
RGB	日向／日陰両方のスペクトル情報	78.3	68.9	61.5	76.1	66.3
	日向のみのスペクトル情報	57.1	67.7	67.7	78.5	68.2
	日向／日陰両方のスペクトル情報／テクスチャ情報併用	76.9	65.8	75.2	75.9	74.7
	日向のみのスペクトル情報／テクスチャ情報併用	80.5	67.5	77.6	74.8	76.6

(単位：%)

(4) 教師データの選定方法について

表 3.3.7 には、教師データの数を变化させたときの分類精度の変化を示している。この表から、教師データの取得数が樹種分類の精度に影響を与えていることが分かる。教師データの数を変えた場合、樹種によっては分類精度が大きく異なる結果となっている。教師データの数が同一で、かつ、ある程度の個数を取得した場合、各樹種の分類精度はほぼ同程度の値となっている。しかしながら、教師データの数が同一の場合であっても、教師データの数を 7 から 5、3 と減らしていくと、RGNIR 画像、RGB 画像の双方において、樹種による分類精度のばらつきが生じている。これは、教師データの数が同一であってもその個数が少なすぎると、同一の樹種に含まれる微細な特徴の違いを十分に反映させることができないことから、一部の樹種が他の樹種クラスに誤分類されやすくなるためであると考えられる。このことは、同じ樹種であっても樹種の微細な特徴の違いを十分に反映させるために、ある程度の数の特徴の異なる教師データを取得する必要性があることを示唆している。

また、個別の樹種の教師データの数を变化させた場合にも分類精度に大きな違いが生じている。スギのみの教師データの数を 7 から 5、3 と減らしていくと、RGNIR 画像、RGB 画像の双方とも、スギの分類精度が大きく低下していく傾向が読み取れる。さらに、スギとヒノキの教師データの数を両方とも減らしていくと、RGNIR 画像、RGB 画像の双方で、同様にスギとヒノキの両方の分類精度が大きく低下していく様子が確認できる。従って、教師データの選定方法による樹種分類への影響を可能な限り軽減させるためには、各クラスに対する教師データの数をなるべく同一にすることが重要であると考えられる。

表 3.3.7 教師データの数と分類精度との関係

画像	ケース	スギ	ヒノキ	広葉樹	非森林	全体
RGNIR	①教師データ数が全て同一（各 7）	73.3	71.9	82.9	74.3	79.5
	②教師データ数が全て同一（各 5）	78.0	72.2	76.5	74.9	76.0
	③教師データ数が全て同一（各 3）	78.6	65.4	80.6	61.6	76.0
	①でスギを 2 減らした場合	70.6	72.7	83.1	74.2	79.4
	①でスギを 4 減らした場合	64.2	74.5	83.2	74.2	78.9
	①でスギを 4、ヒノキを 2 減らした場合	67.7	71.9	83.8	74.6	79.6
	①でスギを 4、ヒノキを 4 減らした場合	68.4	63.9	87.6	74.6	81.4
RGB	①教師データ数が全て同一（各 7）	80.5	67.5	77.6	74.8	76.6
	②教師データ数が全て同一（各 5）	85.0	63.3	71.1	74.6	72.5
	③教師データ数が全て同一（各 3）	86.6	59.7	64.3	58.9	65.5
	①でスギを 2 減らした場合	69.7	71.5	78.6	74.7	76.4
	①でスギを 4 減らした場合	63.3	77.3	78.6	74.7	76.1
	①でスギを 4、ヒノキを 2 減らした場合	68.0	71.9	80.2	75.8	77.4
	①でスギを 4、ヒノキを 4 減らした場合	68.2	66.5	82.1	75.8	78.2

(単位：%)

(5) 林相区分・樹種分類のまとめ

上述してきたように、空中写真を用いて林相区画を自動的に生成し、林相・樹種区分図を効率的に作成可能な手法の検討と実利用を可能とする技術開発を行った。また、教師データの選定方法や、パラメータの設定、テストサイトの実データの検証などを経てより具体的な解析の流れを確立し、利用者が効率的かつ簡便に処理を実行可能な処理フローとしてまとめた。開発した手法では、撮影時期による影響を軽減し、より安定かつ高精度な林相分類を行うことが可能であり、林相区分図の作成・更新作業をより効率的に実施することができる。

まず、林相区画の自動生成技術の開発では、画像のディグラデーション処理によって生成した低分解能画像と高分解能画像を併用する階層的な画像の領域分割を新たに導入することにより、同一の林分内における日向領域と日陰領域の違いによる画像の特徴のばらつきを軽減させ、林相区画をより正確に抽出することが可能となった。また、林分の大きさのばらつきに対し、異なるスケールパラメータを個別の階層の画像に対して設定するマルチスケールの領域分割処理を行うことで、サイズの小さい林分と大きい林分を含めた様々な林相を柔軟に抽出することが可能となった。

次に林相・樹種の自動区分技術の開発では、高分解能画像において観察される樹冠の日向と日陰のパターン特徴を重視し、日向と日陰の分布パターン、日向と日陰の勾配変化のパターン、および、詳細な局所構造パターンといった3つの画像テクスチャ構造情報を抽出することにより、画像の撮影時期に影響されにくい分類情報を生成した。画像の領域分割により生成された林相区画をベースとし、画像のスペクトル情報と抽出したテクスチャ構造情報とを複合的に利用することで、より精度の高い林相・樹種の自動判読を行うことが可能となった。また、画像の正規化処理の導入により森林画像の目視判読が行いやすくなり、樹種分類もさらに正確に行うことが可能となった。

最後に、開発した林相区画の自動生成技術と林相・樹種の自動区分技術をフォルスカラーオルソ RGNIR 画像、および、通常広く用いられているトゥルーカラーオルソ RGB 画像に適用して樹種判別を行った結果、非常に良好な樹種分類精度が得られることを確認した。小川試験地における検証では、開発した林相・樹種の自動区分技術は従来のピクセルベースの手法に比べ、RGNIR 画像と RGB 画像のいずれの場合にも15%以上の精度の向上が見られた。また、画像のスペクトル情報に対してテクスチャ情報を複合的に用いることにより、8%程度の分類精度の向上を図ることができた。加えて、画像の正規化処理の導入により、さらに4%程度の分類精度の向上が図られた。

3.4. 蓄積

3.4.1. 手法概要

(1) 蓄積推定における高さデータの重要性

解析プログラムにおける蓄積推定の方法は、大きく 2 つある。デジタル撮影空中写真等から本数、樹高を求め、林分密度管理図により求める方法と、デジタル撮影空中写真等から求めた樹冠容積から樹高を求め、現地調査結果との関係式により求める方法である。立体視機能では林分密度管理図、分析機能では林分密度管理図と容積関係式の両方を用いている。

林分密度管理図については、「3.2.現地調査による蓄積算出 3.2.1.手法概要 (2) 林分密度管理図からの算出方法」に詳述した。立体視機能では目視で本数、樹高を判読し林分密度管理図に当てはめる。分析機能では写真解析により本数を、高さデータにより樹高を推定し、林分密度管理図に当てはめる。

いずれの方法においても、樹高が必ず必要となる。デジタル撮影空中写真等から樹高を求める方法は、立体視機能においては目視判読、分析機能においては高さデータからの推定である。

分析機能における高さデータを用いた樹高とは、図 3.4.1 のとおり表層高 (Digital Surface Model : DSM) と地盤高 (Digital Terrain Model : DTM) の差分として求めることができる。表層高の作成方法は、レーザ計測データから、空中写真データから、と 2 通りがある。地盤高もレーザ計測から作成する方法と、国土地理院のデータを利用する方法の 2 通りがある。それぞれを組み合わせると図 3.4.2 の 3 通りが考えられる。

最も精度が高い組み合わせはレーザ計測であるが、データの取得コストから考えて 5 年ごとの継続的な取得は現実的ではない。ただし、1 度レーザ計測により地盤高を取得しておけば、災害等で大きく地形が変化しない限り、継続的に取得可能な空中写真の表層高データとレーザ計測の地盤高データにより樹高を推定することができる。空中写真の表層高と国土地理院地盤高データの組み合わせは、国土地理院の地盤高データは全国分が無料で利用可能なことから、最も安価に利用できる。

立体視機能における樹高判読は、地表面と梢端の位置を目視判読し、その標高差を樹高とするものである。このため、アナログ写真の目視判読においては梢端とその根元付近の地表面が視認できなければ樹高を判読することができなかった。解析プログラムの立体視機能では、樹冠が鬱閉し地表面が視認できない場合には、地盤高データを読み込み、判読した梢端と地盤高データの差分を樹高とすることができる。このため、立体視機能においても地盤高データの精度が樹高に影響することとなる。

なお、レーザ計測による地盤高も国土地理院から 5m メッシュとして無料で公開されているが、全国整備には至っていない。

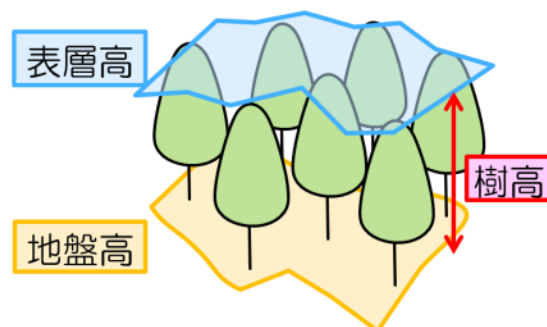


図 3.4.1 分析機能における樹高推定の概念図

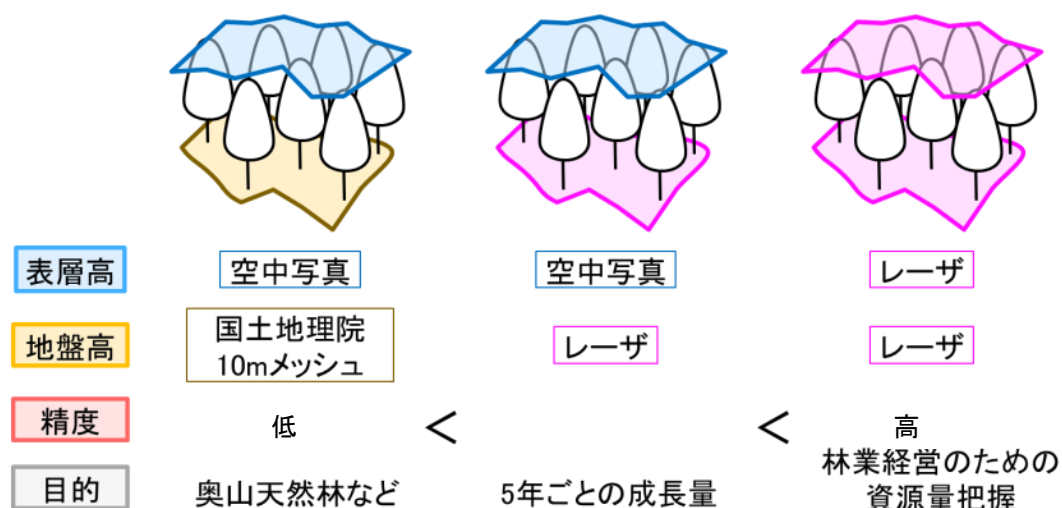


図 3.4.2 高さデータの組み合わせ

(2) 分析機能における 2 通りの蓄積推定手法

林分密度管理図からの蓄積推定方法の概念図は図 3.4.3 のとおりである。写真画像から頂点を抽出することで立木本数を推定、表層高データと地盤高データの差分から樹高を推定し、林分密度管理図から蓄積を求める。

現地調査との関係式から蓄積を推定する方法の概念図は図 3.4.4 のとおりである。表層高と地盤高の間の樹冠容積が蓄積と関係を持つと考え、樹冠容積から平均樹高を求める。現地調査から求めた蓄積と、高さデータから求めた平均樹高の関係式に当てはめる。

なお、それぞれの方法において材積を求める式は、図 3.4.3、図 3.4.4 に示すとおり、林分密度管理図では樹高、本数の他に係数が 5 つ必要であるが、現地調査からの関係式は樹高の他の係数は 1 つのみである。従来の森林調査においては、胸高直径の計測は容易であるが、樹高は梢端が視認できないなど、計測は困難であったため、直径を基本とする材積推定の方法が主体であった。林分密度管理図も本来は胸高直径、本数を指標として利用するものである。

一方、本事業で開発している手法は空中写真を活用したリモートセンシングであり、胸高直径の推定より高さの推定の方が精度よく、容易である。このため、高さを主体とした直接推定である現地調査からの関係式を用いる手法が合理的であると言える。

林分密度管理図が作成されたのは昭和 50 年代であり、現在では間伐遅れの過密林分や、列状間伐、大径化した広葉樹林など、林分密度管理図の適用範囲が理論上困難な林分も増えている。これに対し、現地調査からの関係式を用いる手法は、地域毎に必要な関係式を作成することも比較的容易であり、多様な林分に対応可能であると言える。

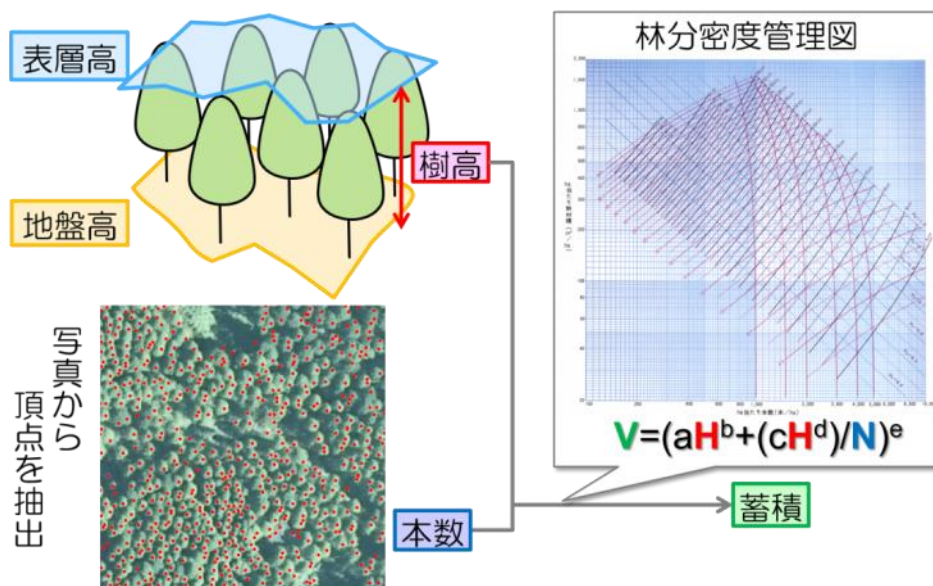


図 3.4.3 分析機能における林分密度管理図からの蓄積推定方法概念図

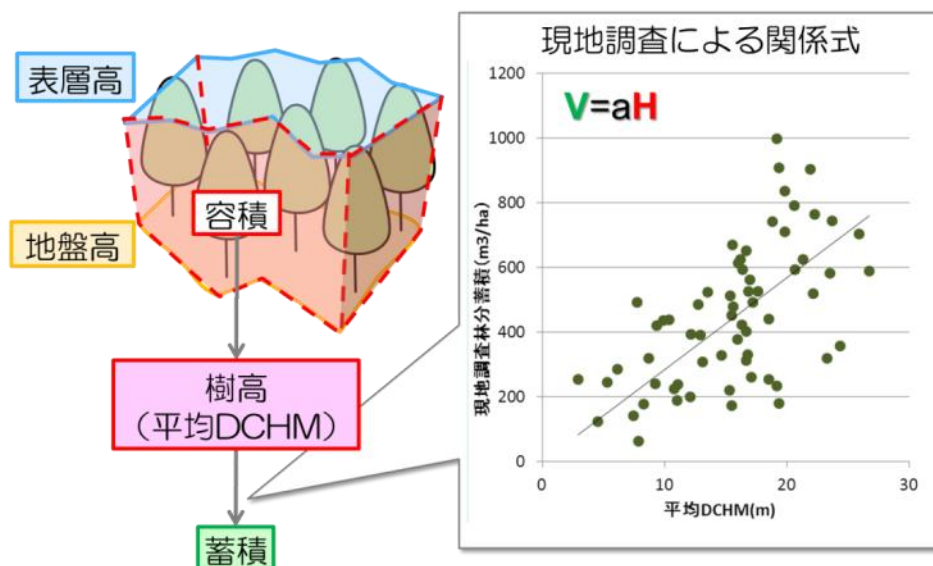


図 3.4.4 分析機能における現地調査による関係式からの蓄積推定方法概念図
※DCHM: Digital Crown Height Model

3.4.2. 立体視判読による推定

立体視機能での蓄積推定は、目視判読により樹高、立木本数を求め、林分密度管理図に基づき蓄積を推定するものである。アナログ空中写真においては、樹高判読は地表面と梢端の双方が目視確認できる場合のみ、両方の標高を判読し差分を樹高とすることができた。デジタル化することにより、樹冠が鬱閉し地表が見えない場合でも外部の地盤標高データを読み込むことで梢端のみの判読でも樹高を計測することができるようになった。

本数は、面積 0.1ha の方形区を表示し、方形区内の立木を数えることで求める。

3.4.3. 本数・樹高からの推定

本数・樹高を用いた蓄積推定手法の概要を図 3.4.5 に示す。

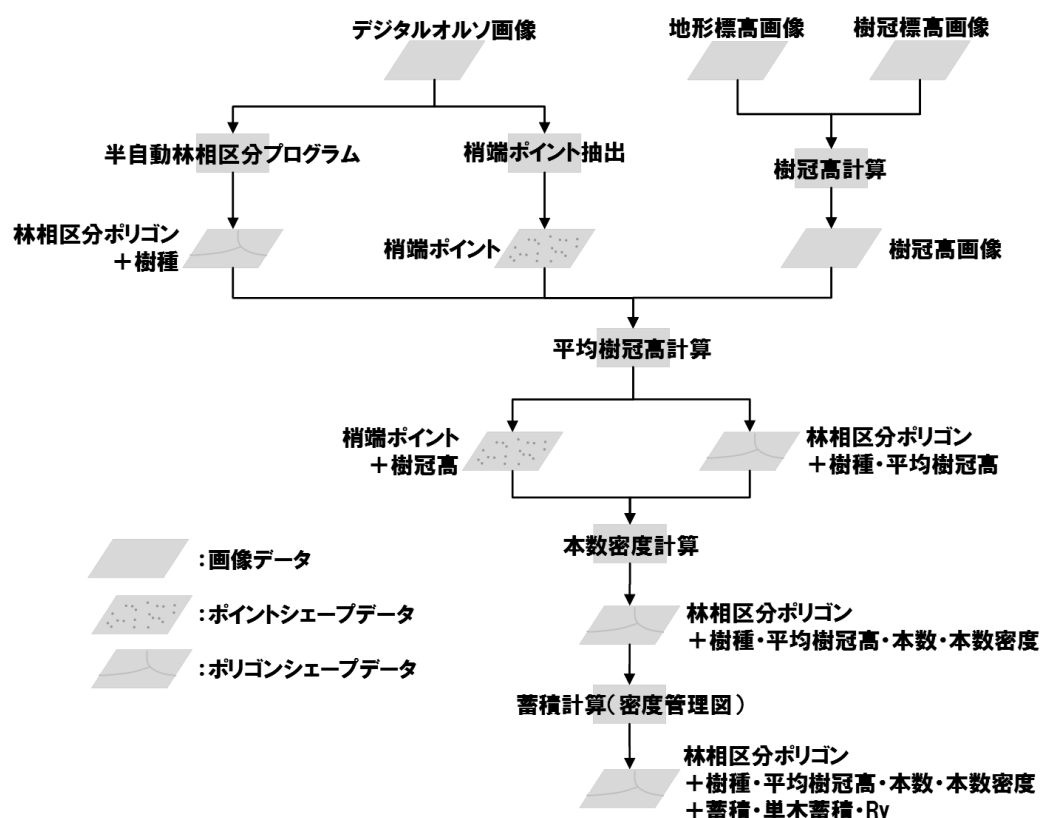


図 3.4.5 本数・樹高を用いた蓄積推定の流れ

デジタル空中写真における森林のテクスチャは、主に上層木の空間配置様式や樹冠サイズ・立体形状の違いに起因する輝度値の明暗によって生じる。デジタル空中写真に見られる樹冠梢端には輝度の局所最大値が、樹冠の境界には輝度の局所最小値が含まれるとし、輝度頂点を抽出することによって立木位置と相対的な関係がある梢端位置を特定することができる。そこで本事業においては、図 3.4.6 に示すように、デジタル空中写真上を N ピクセル×N ピクセルのオペレータ（まとめて読み取る範囲）で走査し、オペレータの中心が最大画素値のときにはオペレータの中心座標を計測することによって輝度頂点を抽出することによって、梢端位置を推定することとした。ここで、輝度頂点はギャップの影のなかにも生成されるため、後述する樹高情報を用いて梢端と分離する必要がある。このようにして作成した梢端ポイントの事例を図 3.4.7 に示す。そして、林相区分ごとに抽出した梢端ポイント数を集計することによって、林相内本数密度を計算することができる。

次に樹冠標高画像から地形標高画像を差し引いた樹冠高画像を作成し、梢端ポイントの位置にある樹冠高を抽出することによって梢端の樹冠高を推定することができる。樹冠高画像の事例を図 3.4.8 に、同じ場所のデジタル空中写真を図 3.4.9 に示す。ここで、濃い茶色の領域は皆伐によって森林が消失しているか、もともとの樹冠高が低い領域や牧草地などを表しており、緑色が濃くなるほど樹冠高は高くなる。そして、梢端の樹冠高を推定した事例を図 3.4.10 に示す。ここで梢端の樹冠高を林相区分ごとに集計し、平均値を計算することによって、林相内平均樹冠高を得ることができる。

これらの処理を経ることにより、林相内本数密度と林相内平均樹冠高の情報を得ることができる。最後に、林分密度管理図の等平均樹高曲線式に林相内本数密度と林相内平均樹冠高を当てはめることにより、ha 当たりの蓄積を計算することができる。推定した蓄積の事例を図 3.4.11 に示す。ここではスギとヒノキの蓄積についてのみ推定している。これは樹冠の立体形状が複雑な広葉樹は、ひとつの樹冠内に多数の輝度頂点が分布するために輝度頂点と梢端位置の関係がスギ・ヒノキほど明瞭でなく、輝度頂点が必ずしも梢端ポイントであるといえないことによるものである。

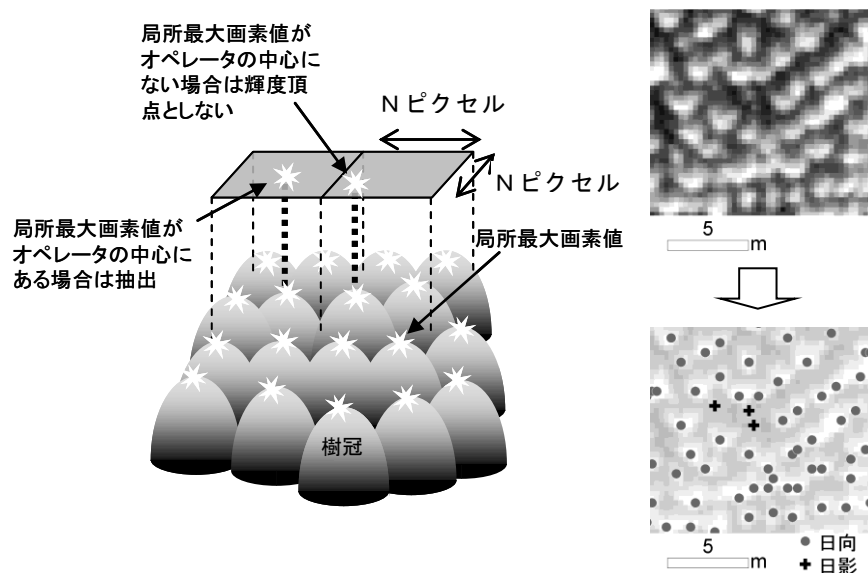


図 3.4.6 デジタル空中写真から梢端を抽出する方法

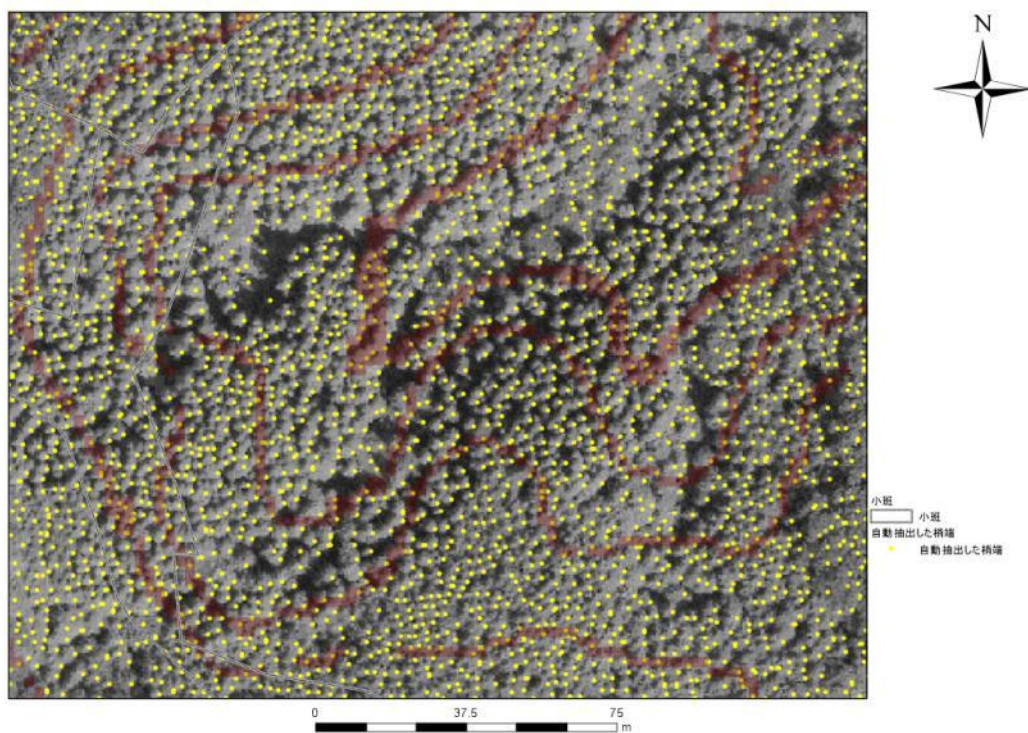


図 3.4.7 梢端ポイントを抽出した事例

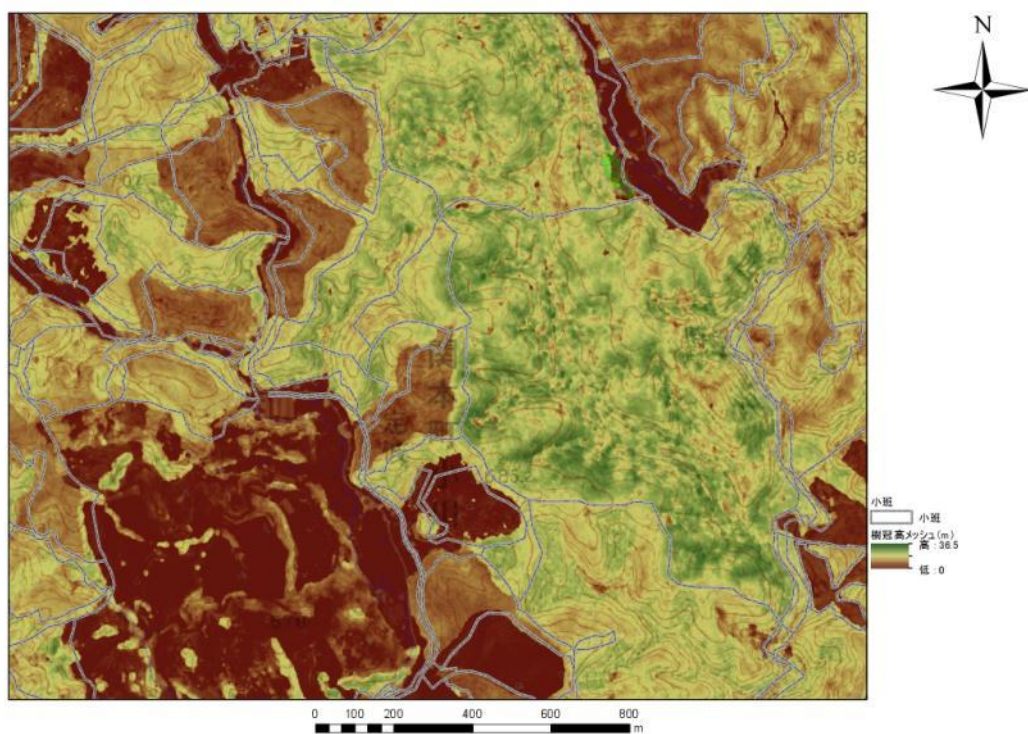


図 3.4.8 樹冠高画像の事例

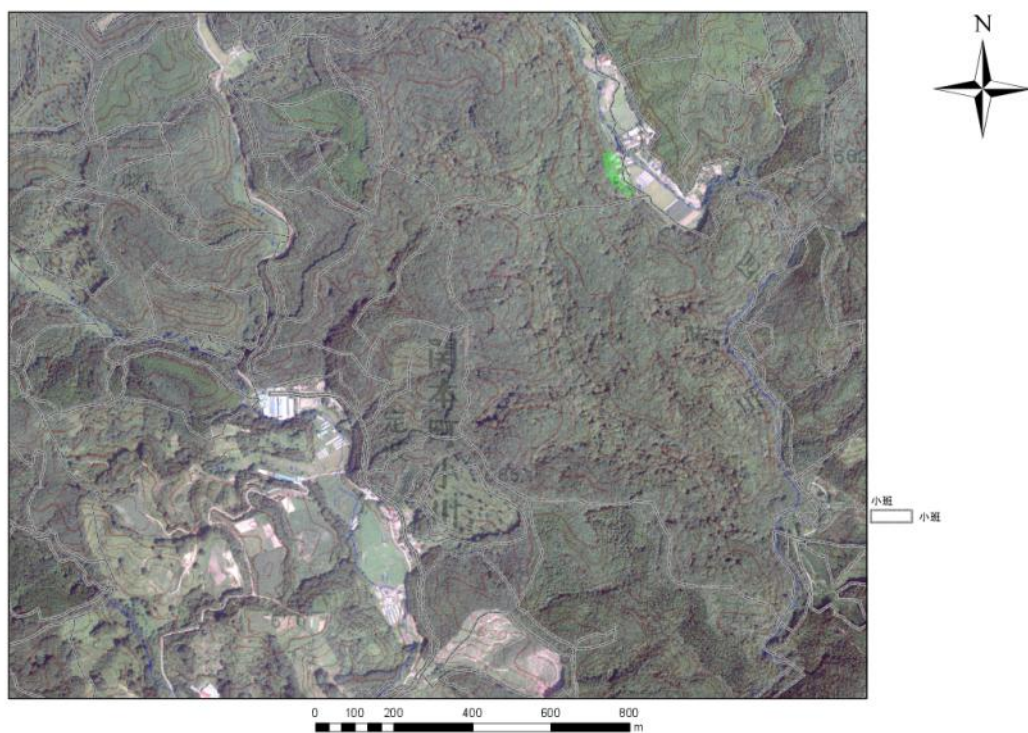
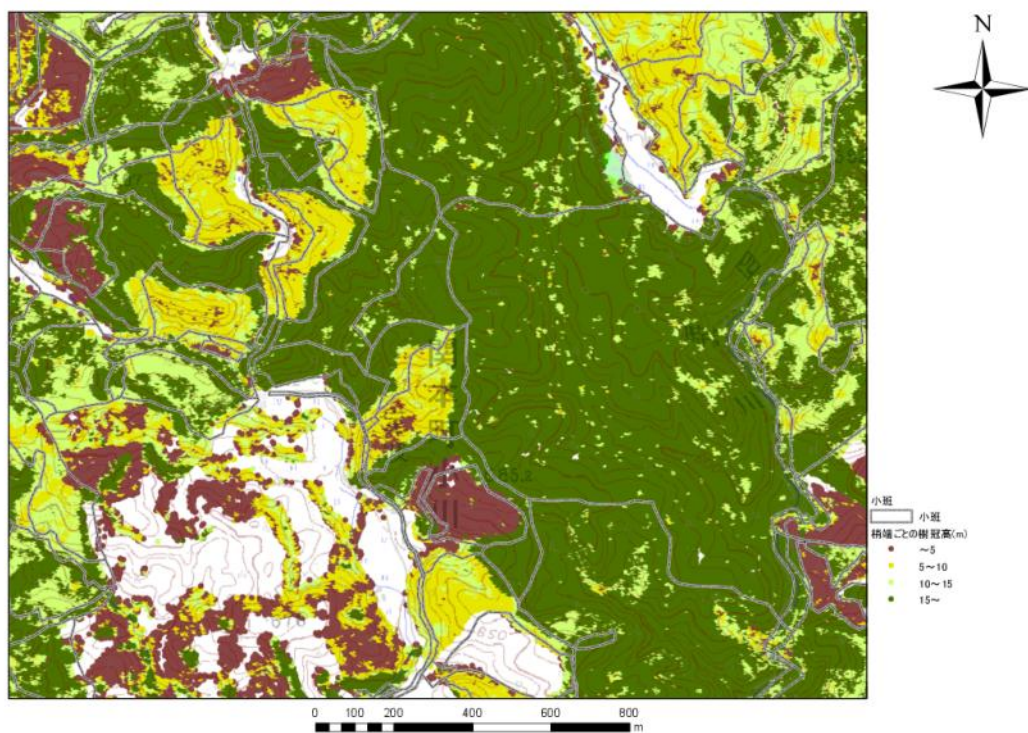
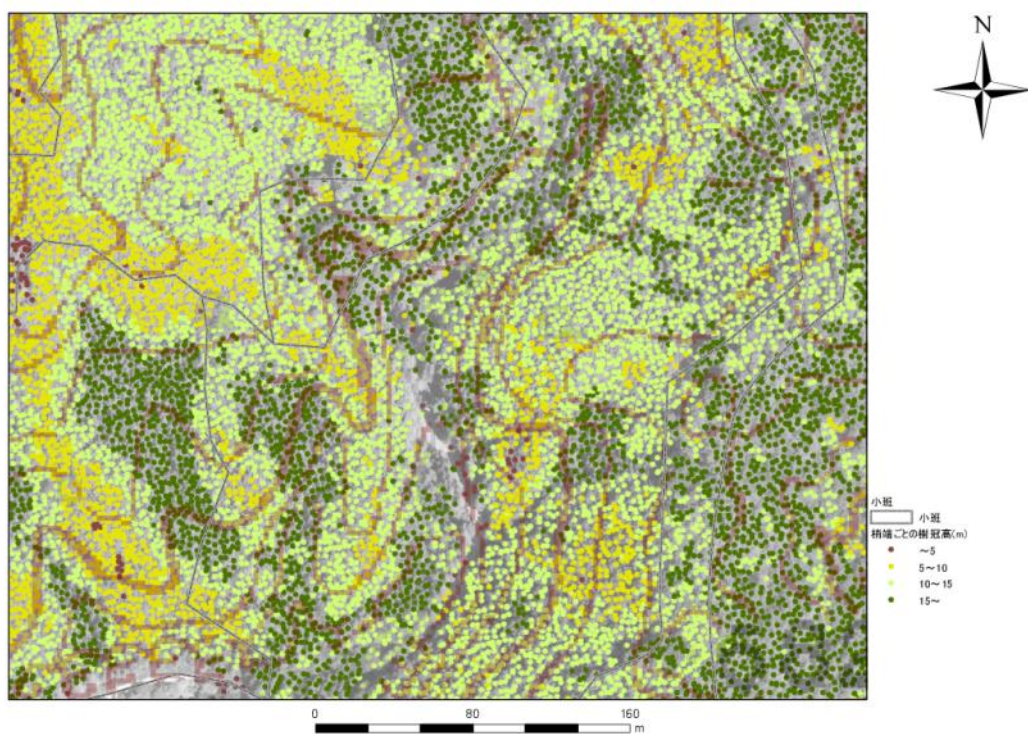


図 3.4.9 デジタル空中写真



(a) 全体



(b) 拡大

図 3.4.10 梢端の樹冠高を推定した事例

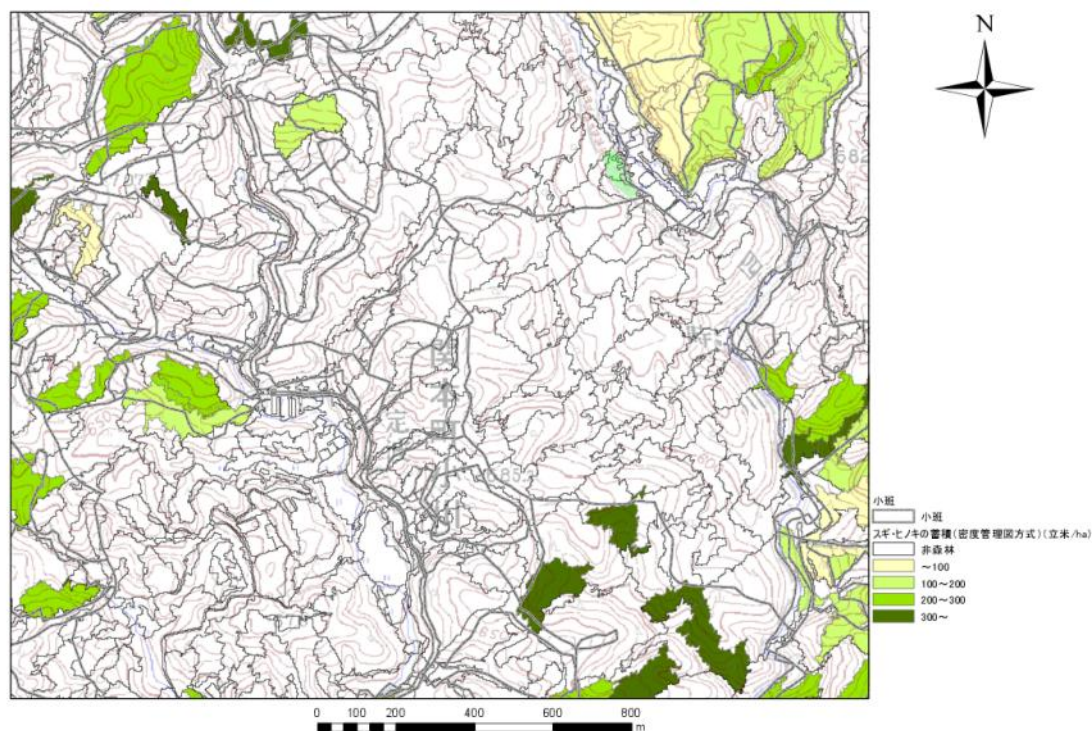


図 3.4.11 推定した蓄積の事例

3.4.4. 容積からの推定

(1) 概要

空中写真を用いる林分蓄積推定法には立木密度・樹高から林分密度管理図を用いる手法があるが、樹高および密度の各要素とも推定する際に誤差を持ち、これら要素を使って得られた蓄積は誤差が累積していることになる。そこで、空中写真や航空レーザ計測から得られる DSM と地盤高の差分から算出できる樹冠高モデル (digital crown height model、以下 DCHM) から蓄積を推定する手法を開発した。

本事業では、空中写真撮影範囲のうち、一部にて高精度の航空レーザ計測も実施しており、両者を用いた回帰モデルを作成するとともに、各モデルの誤差を算出した。回帰モデルは、図 3.4.2 に示した 3 通りの高さデータの組み合わせで作成した。

(2) 調査地域

対象地は、2.1.2 相観区分に基づく対象地域選定に基づき調査した 50 余りの地域で、北海道から沖縄までをカバーする (図 3.4.12)。各調査地点では、2.3 現地調査にて記載した標準地調査手法に基づき、直径、樹高の計測および樹種同定が調査された。赤丸で示した地域は、空中写真撮影に加えてレーザ計測がなされた箇所である。

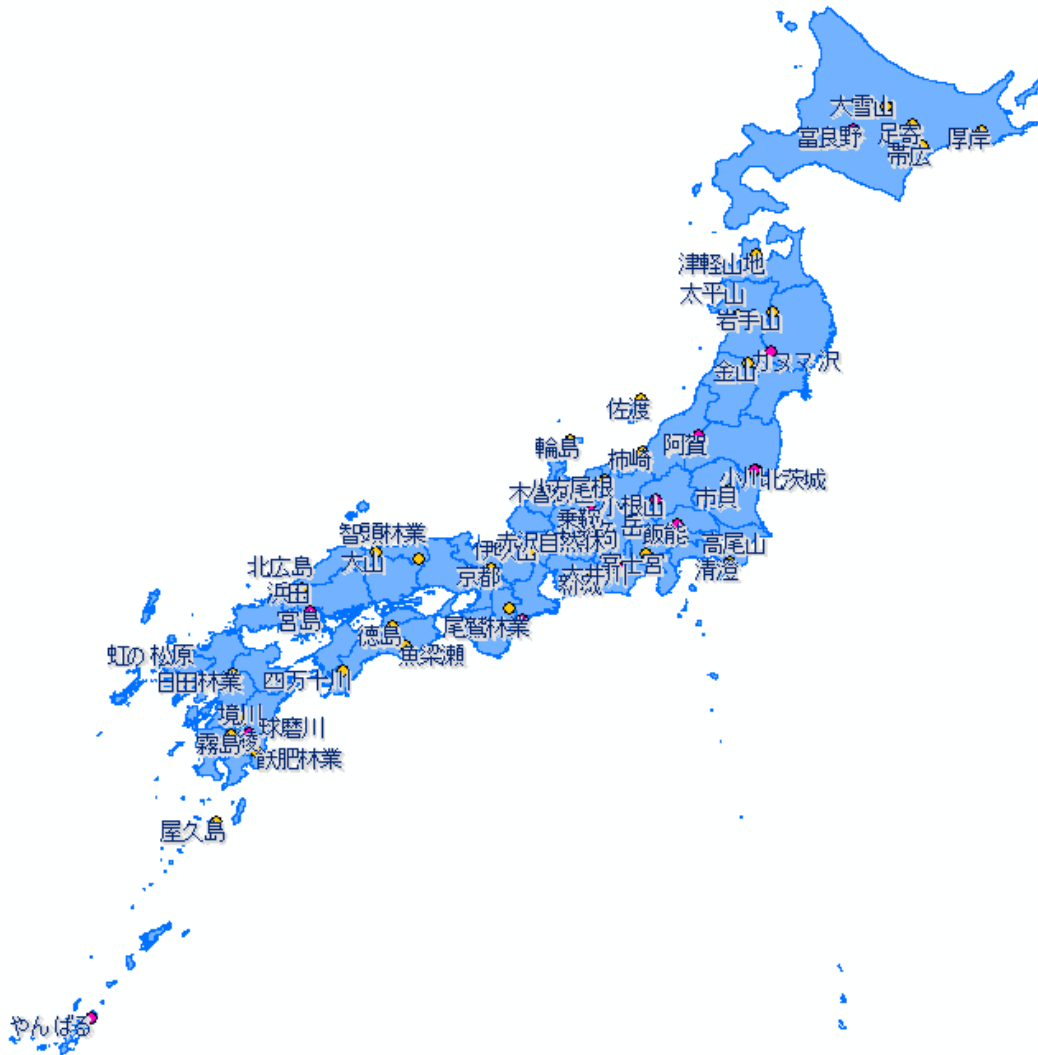


図 3.4.12 空中写真の撮影対象地
(黄色：空中写真撮影地、赤丸：空中写真撮影・レーザ計測地)

(3) 手法

林分の蓄積は一般的に立木の密度と木のサイズに比例する。DCHM は、立木密度が高ければ林冠面の高さを取得するセルが多く、また逆に密度が低ければ地面付近と高さが低いセルが増加する。樹高が高い木があれば、その地点の DCHM も高くなり、樹高が低ければ DCHM も低くなる。このように DCHM が林分の立木密度と樹高を反映していることから、DCHM から得られる樹冠容積と林分蓄積に比例関係があると考えられる (図 3.4.13)。

なお樹冠容積とは、林冠表面から地面までの空間体積であり、DCHM の場合は各セルの樹高を積み上げて面積で割った数値、つまり DCHM の平均値として算出した (式 1)。なお、 h_{m_dchm} は DCHM の平均値、 h_i は各セルの DCHM、 N はデータ数である。

$$h_{m_dchm} = \frac{\sum h_i}{N} \quad (\text{式 1})$$

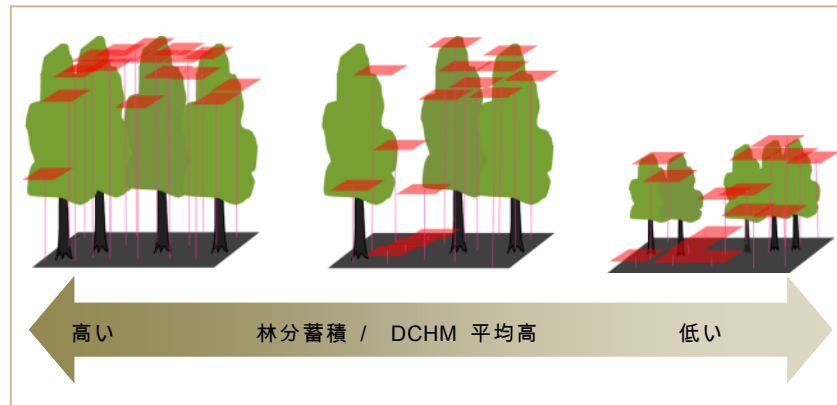


図 3.4.13 DCHM と蓄積の関係の概念図

DCHM と蓄積の関係については、両者とも三次元をもつことから、直線回帰式で示すこととした。また、DCHM が 0 m の場合は蓄積も $0 \text{ m}^3/\text{ha}$ であると仮定し、切片ゼロの回帰式を作成した。

(4) データ

空中写真とレーザ計測のデータ仕様は 2.2 に記載したとおりである。

DCHM は図 3.4.2 に示した組み合わせによる DSM と DTM の差分から算出した値である。使用したデータは、DSM に 2m メッシュの空中写真および 1-4 点/ m^2 のレーザ計測データ、DTM には国土地理院 10m メッシュの数値標高データおよびレーザ計測データである。10m メッシュデータは 10m 間隔の等高線から生成された標高データで、精度は劣るが汎用性が高いことから使用することとした。航空レーザ計測データからは、図 3.4.14 に示したような点群データが得られる。この DSM データから地面の部分の点をつなげて DTM が作成される。

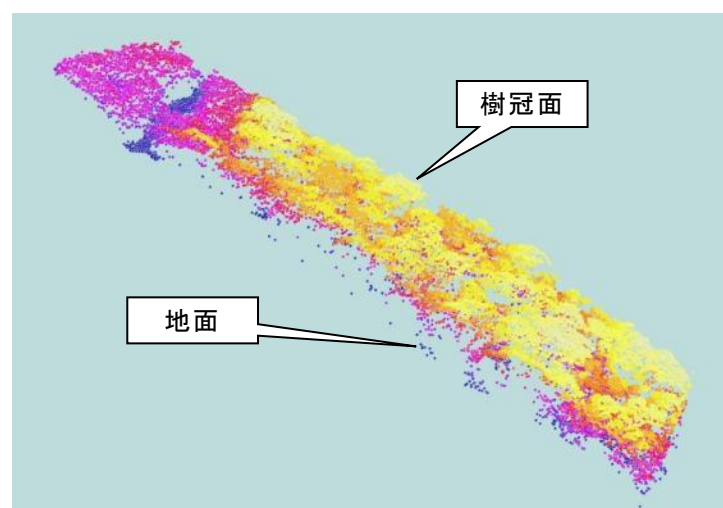


図 3.4.14 航空レーザ計測による DSM データ

回帰モデルの従属変数の林分蓄積については、標準地で計測した胸高直径・樹高を適用し、独立変数の DCHM はこの標準地と対応する範囲の区画を切り出して算出した。国土地理院の DTM は、実際の地盤高より数メートルから数十メートル高さがずれることがある。このため、林分 DCHM の最小値がマイナスになった調査地点については、平均 DCHM からマイナスとなった最小値を引くことで補正した。

(5) 結果

a. 空中写真 DSM と国土地理院 DTM による DCHM と林分蓄積の関係

図 3.4.15 に全ての調査林分における空中写真 DSM・国土地理院 DTM から求めた DCHM と現地調査から求めた林分蓄積との関係を示した。また、針葉樹林と広葉樹林別のグラフを図 3.4.16、図 3.4.17 にそれぞれ示した。独立変数を DCHM、従属変数を林分とした直線回帰式の傾きは全林分の場合 26.3 であった。データ数は 100 で平均誤差率は 31.9 %、平均誤差 $129.7\text{m}^3/\text{ha}$ となった。針葉樹林ではデータ数は 64 で、回帰式の傾きが 28.4、平均誤差率は 31.1%、平均誤差 $141.0\text{m}^3/\text{ha}$ 、また広葉樹林ではデータ数が 36、傾き 21.8 で、平均誤差率 27.9%、平均誤差 $90.7\text{m}^3/\text{ha}$ となった。

針葉樹林と広葉樹林では回帰式の傾きが異なり、同じ蓄積である場合、針葉樹の方が DCHM は低くなるという結果が得られた。これは葉群が林冠部分に平坦分布する広葉樹林の方が空間の容積が大きいと考えられる。

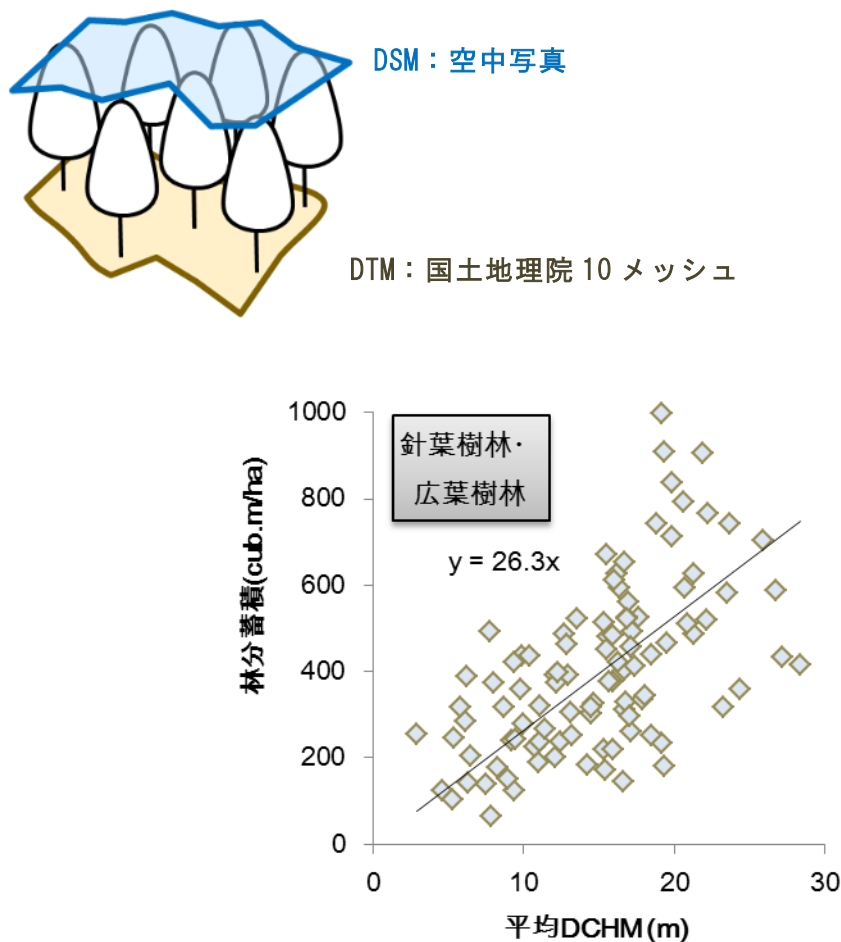


図 3.4.15 全ての調査林分の DCHM と林分蓄積との関係

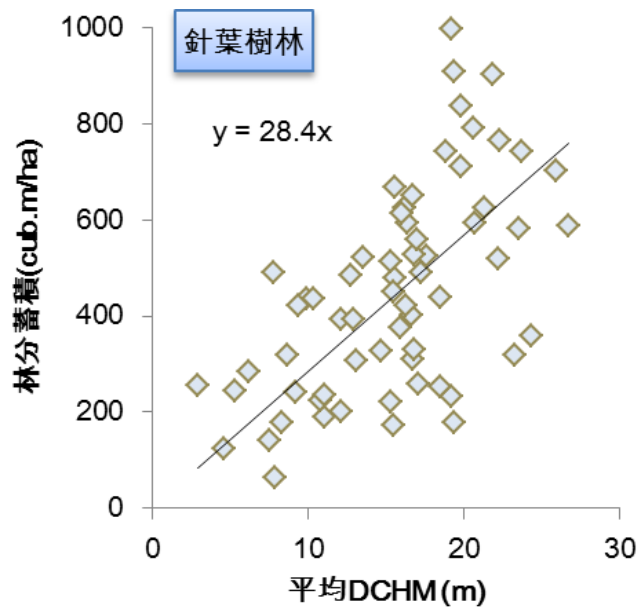


図 3.4.16 針葉樹林の平均 DCHM と林分蓄積との関係

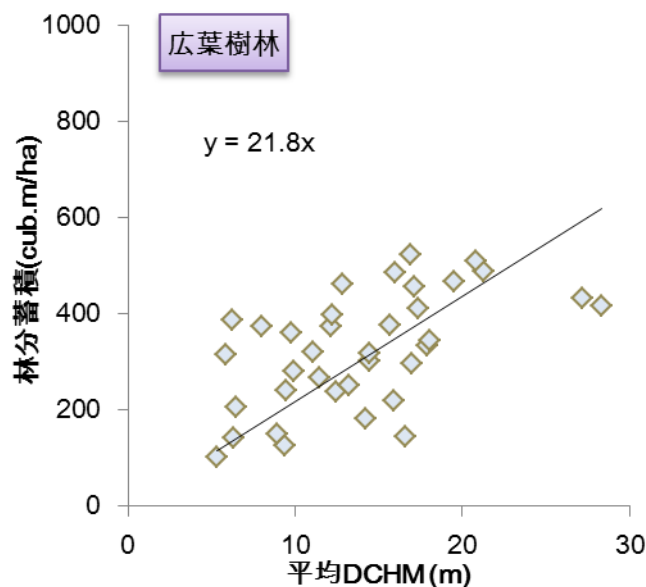


図 3.4.17 広葉樹林の DCHM と林分蓄積との関係

散布図のばらつきについて、切片を固定しない場合の相関係数は全体が 0.58、針葉樹林が 0.60、広葉樹林が 0.55 で、広葉樹林より針葉樹林が最も高い値となった。相関係数はいずれも 0.55～0.60 と中程度の相関を示した。

この中程度のバラツキになった理由として、国土地理院の 10m メッシュ数値地図の精度が挙げられる。10m メッシュ DTM は国土地理院 1/25000 地形図の 10m 間隔の等高線から作成されており、その等高線の高さ精度は等高線間隔の 1/2、つまり 5m 以下しかないと考えられること、さらに 10m の間隔内に含まれる局所的な地形を表現することは難しいと考えられる。

図 3.4.18 に国土地理院 10m メッシュ DTM を使用した場合の誤差要因の概念図を示したように、微地形が凸であれば DCHM が過大となり、凹であれば DCHM が過小となる。

地形が凹の場合は、DCHM がマイナスの値になることから、標準地内の DSM の最小値から DTM を差し引いた値（マイナス値）を DTM の平均値から引くことによって、関係式に使う DCHM を補正することとしたが、地形が凸の場合は、補正ができないことから、DCHM と蓄積の関係を散布図で示すと、地形が回帰線の下側のデータがよりばらつく結果となる（図 3.4.19）。

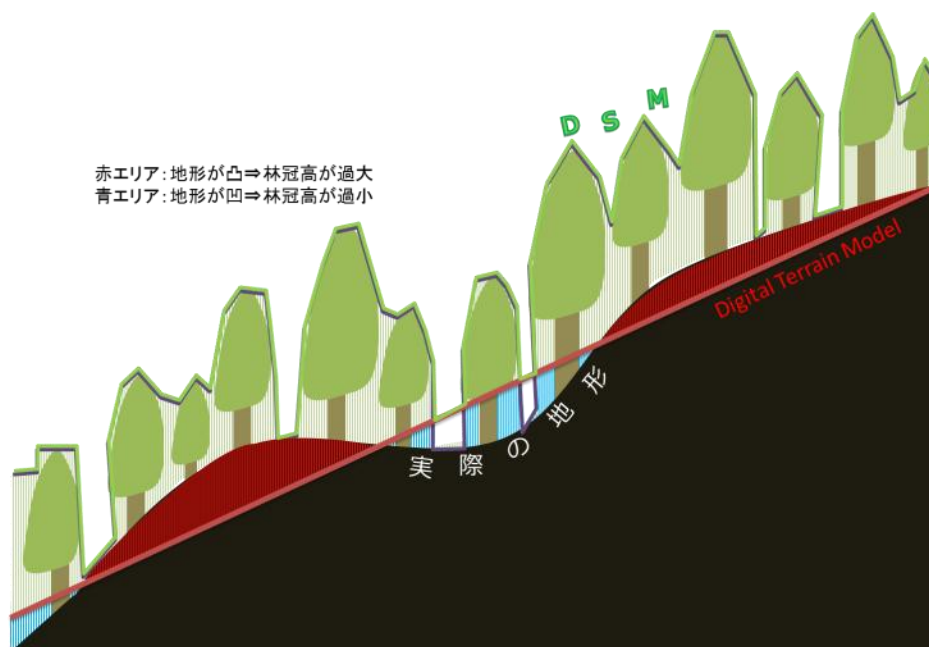


図 3.4.18 国土地理院 10m メッシュ DTM を使用した場合の誤差要因

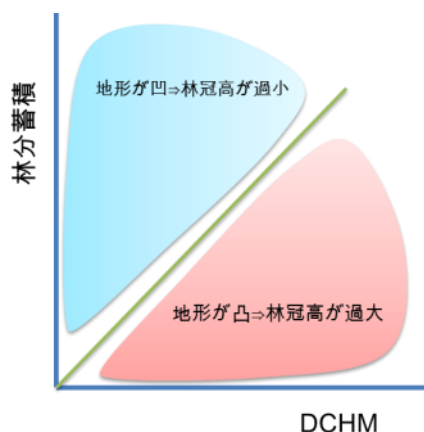


図 3.4.19 地形別の DCHM と林分蓄積の関係における誤差の傾向

b. 空中写真 DSM とレーザ計測 DTM による DCHM と林分蓄積の関係

針葉樹林・広葉樹林を併せた全調査林分の空中写真 DSM・レーザ DTM による DCHM と林分蓄積の関係を図 3.4.20 に、針葉樹林については図 3.4.21、広葉樹林については図 3.4.22 に示した。平均 DCHM と林分蓄積の直線回帰式の傾きはそれぞれ、全体が 20.7（データ数 54）、針葉樹林が 27.8（データ数 22）、広葉樹林が 14.9（データ数 32）で、国土地理院 DTM を使用した場合と同じく、広葉樹林より針葉樹林の傾きの方が大きく、その傾きは倍近く異なる結果となった。

誤差は、全林分では平均誤差率が 34.6%、平均誤差が $115.4\text{m}^3/\text{ha}$ 、針葉樹林で平均誤差率 17.8%、平均誤差 $83.9\text{m}^3/\text{ha}$ 、広葉樹林で平均誤差率 18.9%、平均誤差 $45.4\text{m}^3/\text{ha}$ で、いずれも空中写真 DSM と国土地理院 DTM による推定よりも、空中写真 DSM とレーザ計測 DTM による推定が、誤差は小さくなった。

針葉樹林と広葉樹林のバラツキを比較すると、針葉樹林の原点を固定しない場合の相関係数は 0.85 と高く、広葉樹林の場合は 0.71 とやや高い相関を持つという結果を示した。地盤高にレーザ計測を使用することにより、より精度の高い蓄積推定が可能である結果を示した。

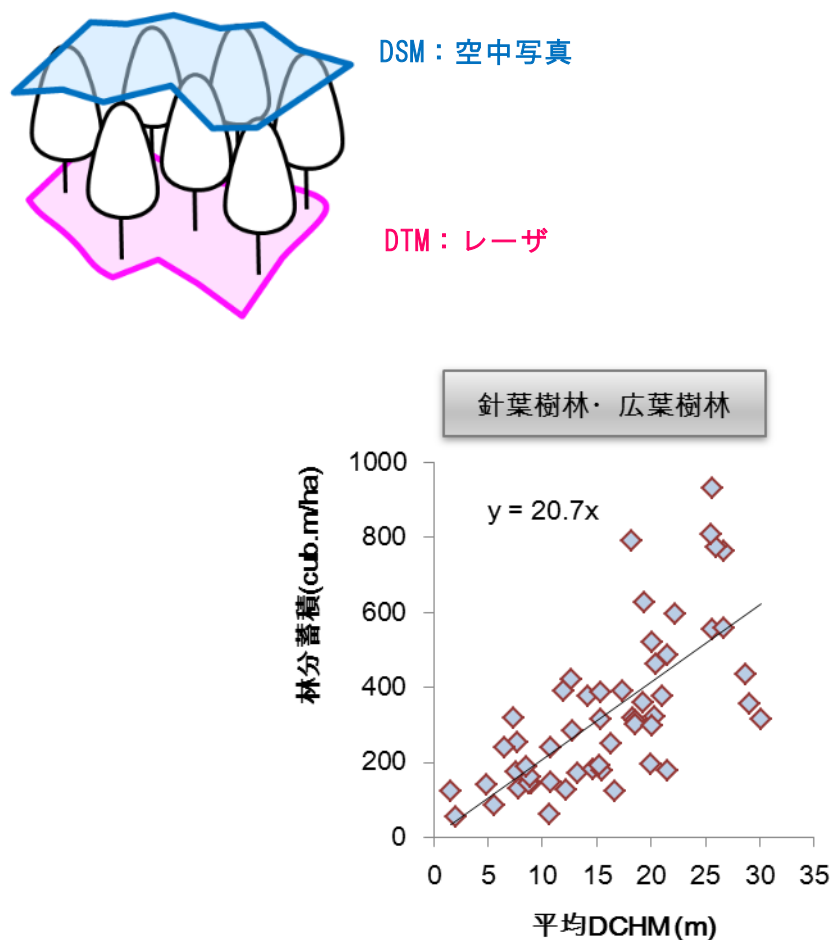


図 3.4.20 全調査林分の DCHM と蓄積の関係

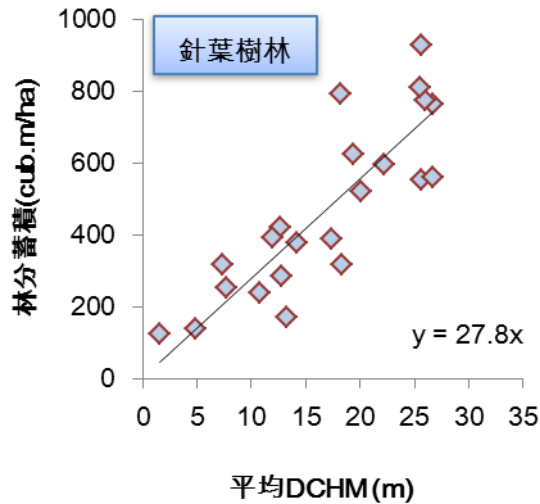


図 3.4.21 針葉樹林における DCHM と蓄積の関係

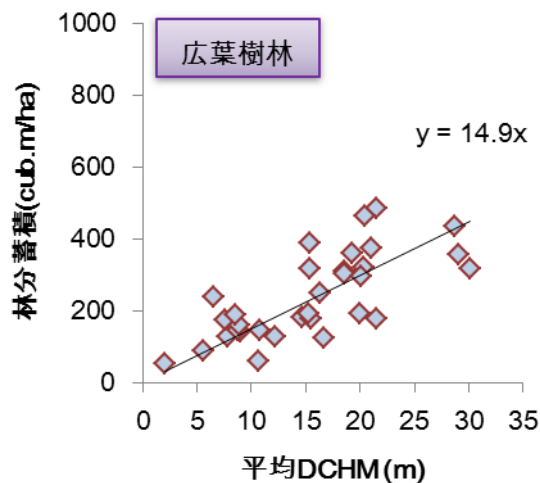


図 3.4.22 広葉樹林における DCHM と蓄積の関係

c. レーザ計測 DSM・DTM による DCHM と林分蓄積の関係

針葉樹林・広葉樹林を併せた全調査林分のレーザ計測 DSM・DTM による DCHM と林分蓄積の関係を図 3.4.23 に、針葉樹林については図 3.4.24、広葉樹林については図 3.4.25 に示した。平均 DCHM と林分蓄積の直線回帰式の傾きはそれぞれ、全体が 25.5（データ数 56）、針葉樹林が 35.3（データ数 23）、広葉樹林が 18.2（データ数 33）で、空中写真の DSM を使用した場合と同じく、広葉樹林より針葉樹林の傾きの方が大きい結果となった。

誤差は、全林分では平均誤差率が 36.5%、平均誤差が 121.0m³/ha、針葉樹林で平均誤差率 18.9%、平均誤差 88.2m³/ha、広葉樹林で平均誤差率 26.2%、平均誤差 62.0 m³/ha で、いずれも空中写真 DSM・レーザ DTM からの DCHM との関係と同程度の誤差となった。

針葉樹林と広葉樹林のバラツキを比較すると、針葉樹林の原点を固定しない場合の相関係数は 0.87 と高く、広葉樹林の場合は 0.75 とやや高い相関を持ち、空中写真

DSM・レーザ DTM による相関よりも高い結果を示した。広葉樹林の相関を低くしている原因として、照葉樹林とコナラ林は葉群が密に分布することから地面からのレーザ反射が得られにくいと想定され、その傾向を示す結果となった。また一般的に天然の広葉樹林は人工林よりも地形条件が厳しい場所に存在しており、DTM の精度がより低くなると考えられる。これらの理由から、広葉樹林でも地形条件が厳しいエリアや一部の森林タイプでは精度が低くなる可能性がある。

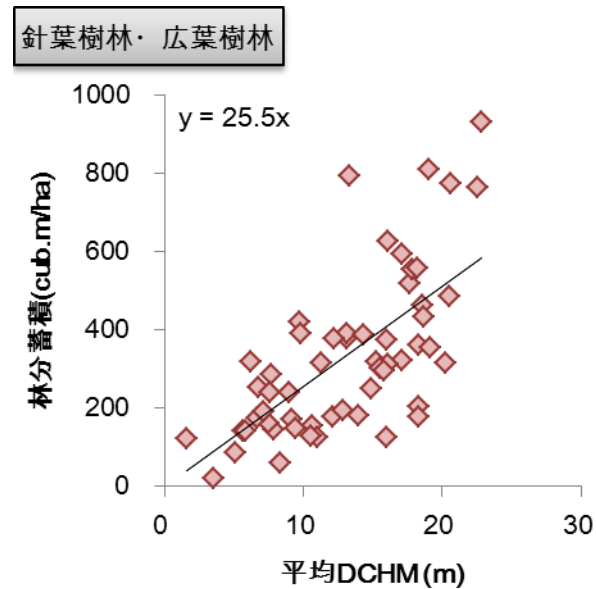
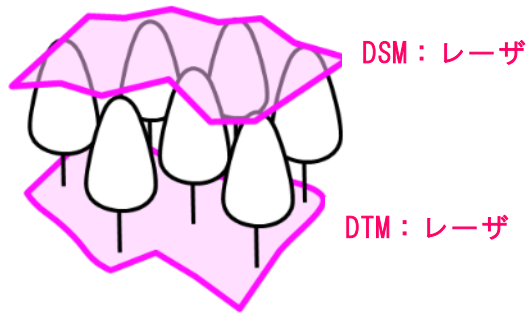


図 3.4.23 全調査林分の DCHM と蓄積の関係

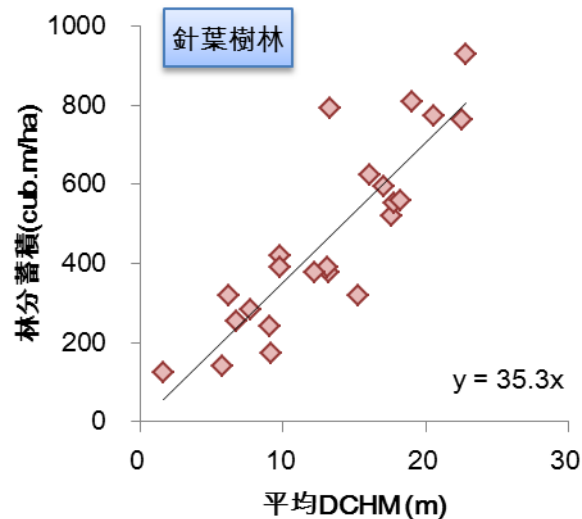


図 3.4.24 針葉樹林における DCHM と蓄積の関係

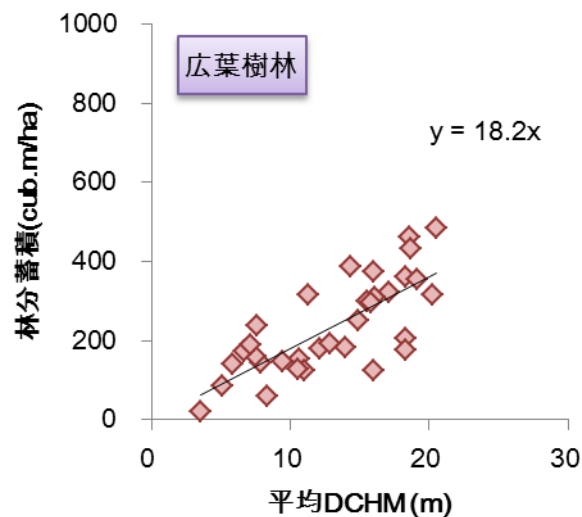


図 3.4.25 広葉樹林における DCHM と蓄積の関係

以上、三つの回帰モデルの結果を表 3.4.1 にまとめた。

回帰式の傾きはいずれの組み合わせも広葉樹林より針葉樹林の方が大きく、レーザ計測データを DTM として用いた場合は倍近い違いがあった。これは針葉樹と広葉樹との樹形の違いによると考えられる。

精度の点では、DTM にレーザ計測データを用いることで、蓄積の推定誤差が小さくなることが明らかとなった。また広葉樹林より針葉樹林の推定誤差が小さく、これは照葉樹林といった林分ではレーザ計測が地面まで到達しにくいという傾向によるものと考えられる。さらに天然広葉樹林は一般的に人の活動が困難な土地、つまり急峻な地形に多く残っていることから DTM の精度が低くなると推測される。

現在、全国規模の DTM データは、国土地理院の 10m メッシュの数値地形図が整備されているが、DTM にレーザ計測データを使用することで蓄積の推定精度が高くなることから、今後、森林域におけるレーザ計測データ DTM の全国的な整備が望まれる。

表 3.4.1 空中写真・レーザ・国土地理院データを用いた DCHM と林分蓄積の回帰モデルの傾きと平均誤差

使用データ		回帰モデルの傾き			平均誤差 (m ³ /ha)		
表層高	地盤高						
林分タイプ		全林分	針葉樹林	広葉樹林	全林分	針葉樹林	広葉樹林
空中写真	地理院 10m	26.3	28.4	21.8	129.7	141.0	90.7
空中写真	レーザ計測	20.7	27.8	14.9	115.4	83.9	45.4
レーザ計測	レーザ計測	25.5	35.3	18.2	121.0	88.2	62.0

3.4.5. 蓄積推定の精度検証

(1) 目的

解析プログラムの蓄積推定方法は、これまで詳述したように「3.4.2.立体視判読による推定」、「3.4.3.本数・樹高からの推定」、「3.4.4.容積からの推定」の3つの方法がある。現地調査結果と比較し、それぞれの蓄積推定の精度を示す。また、森林簿の蓄積と比較することで、解析プログラムの蓄積推定手法が実利用可能であることを検討する。

まず、全国のデータを用いて立体視による蓄積推定精度の検証を行い、次に九州地方スギ林のデータを用いて前記の3手法及び森林簿の蓄積の検証を行う。

(2) 立体視判読による蓄積推定の精度検証

1) 方法

全国の現地調査（標準地調査）のうち、人工林 18 地点、天然林 17 地点について立体視判読と現地調査結果の比較を行った。現地調査では胸高直径 1cm 以上の立木を計測対象としているが、空中写真の立体視では上層木のみが判読可能なため、ここでは樹高 10m 以上の立木のみを集計対象とした。

なお、樹高は、国土地理院の標高データと判読した梢端の標高差とした。

2) 結果・考察

本数密度及び平均樹高の判読結果と現地調査結果の比較を図 3.4.26、図 3.4.27 に示す。本数密度は、天然林の場合に立体視判読が過小傾向となっている。天然林は林分構造が複雑で、現地調査結果で樹高 10m 以上の立木とした場合でも空中写真からは確認できない立木があるためと考えられる。

樹高はばらつきがあるが、立体視判読の精度のほか、標高データの誤差も含んでいるものと考えられる。次項「(3) 3 手法及び森林簿による蓄積推定の精度検証」では、レーザ計測による標高データを使用して立体視を行っており、誤差は小さくなっている。

判読による蓄積の推定結果と現地調査結果の比較を図 3.4.28 に示す。天然林の判読による蓄積が過小傾向を強く示している。本数密度の判読精度が低いことの影響のほか、天然林（広葉樹）の林分密度管理図の精度が低い可能性が考えられる。

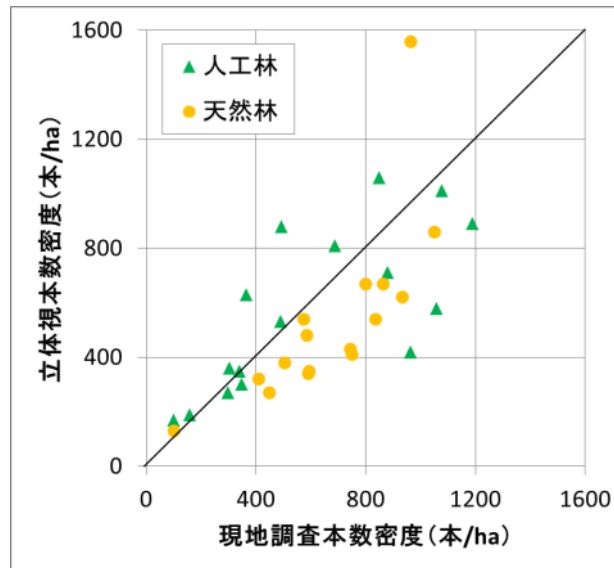


図 3.4.26 本数密度の立体視判読と現地調査の比較

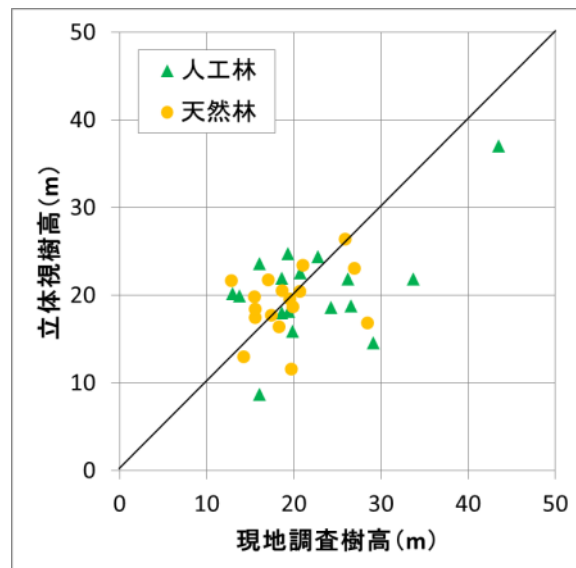


図 3.4.27 樹高の立体視判読と現地調査の比較

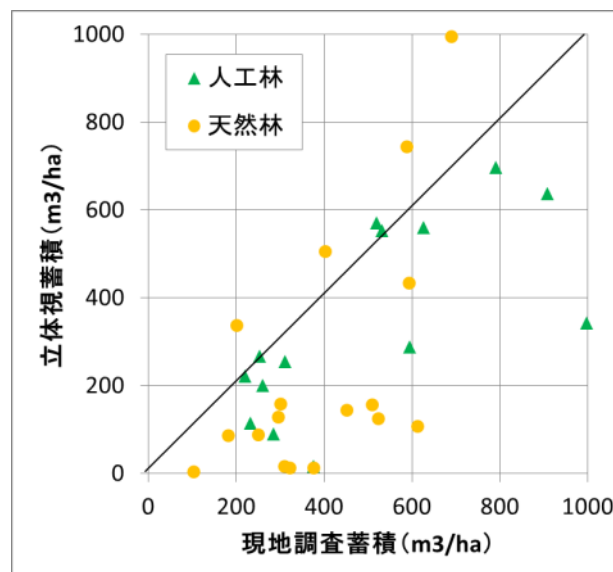


図 3.4.28 蓄積の立体視判読と現地調査の比較

また、誤差率をみると本数密度が人工林、天然林とも 30%程度、樹高は人工林の方が誤差率が 10%程度低く 26.7%、天然林が 35.4%となっている。蓄積の誤差率は高く、人工林で約 40%、天然林で 70%に達する（表 3.4.2）。

次項「(3) 3 手法及び森林簿による蓄積推定の精度検証」では、レーザ計測による標高データを使用して立体視を行っており、誤差が小さくなっていることから、標高データの精度が影響していると考えられる。

天然林の蓄積誤差率が高いことは、広葉樹の林分密度管理図の精度の影響を受けていると考えられる。天然林の蓄積推定においては、樹冠容積から蓄積を推定する手法「3.4.4.容積からの推定」が適していると考えられる。

表 3.4.2 平均誤差率 (%)

林種	本数密度	樹高	蓄積
人工林	31.0	26.7	39.1
天然林	29.5	35.4	75.5

誤差率＝絶対値（立体視－現地調査）÷ 現地調査

(3) 3 手法及び森林簿による蓄積推定の精度検証

1) 方法

九州地方のスギ現地調査プロット 23 箇所（標準地調査及び簡易調査）を対象とした。現地調査では胸高直径 1cm 以上の立木を計測対象としているが、空中写真の立体視、分析では上層木のみが対象となるため、ここでは樹高 10m 以上の立木を集計の対象とした。比較対象とする蓄積推定手法は表 3.4.3 のとおりである。以下、本項目において、空中写真の立体視と分析の方法を指す場合は、それぞれ「立体視」、「分析」と略称する。

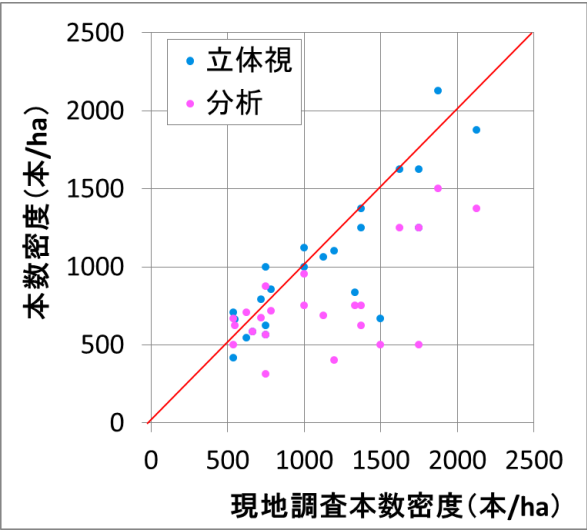
表 3.4.3 蓄積推定手法

方法		Ha 当たり蓄積の推定方法
現地調査積上げ		・ 樹高 10m 以上の立木を対象 ・ 直径・樹高から単木材積を推定 ・ 単木材積の総計より算出
空中写真の立体視		・ 単木の樹高を 10 本判読し、平均樹高を算出（地盤高はレーザ） ・ 梢端を目視で判読し本数密度を算出 ・ 平均樹高、本数密度から密度管理図により求める
空中写真の分析	密度管理図	・ 写真表層高とレーザ地盤高から平均樹高を算出 ・ 写真から本数密度を算出 ・ 平均樹高、本数密度から密度管理図により求める
	容積	・ 写真表層高とレーザ地盤高から平均樹高を算出 ・ 現地調査結果との関係式により求める
森林簿		・ プロットを含む地番（枝番）内の樹種がスギである林分の総材積から算出（地番がプロットに対し大きい、森林簿の林相単位的位置は特定できない）

2) 結果・考察

蓄積推定の要素となる本数と樹高の推定結果を現地調査結果と比較したものを図 3.4.29、図 3.4.30 に示す。樹高推定の対象プロットは、推定が困難な若齢林の 1 プロットを除いている。本数の誤差率（現地調査結果に対する現地調査との差の割合）は

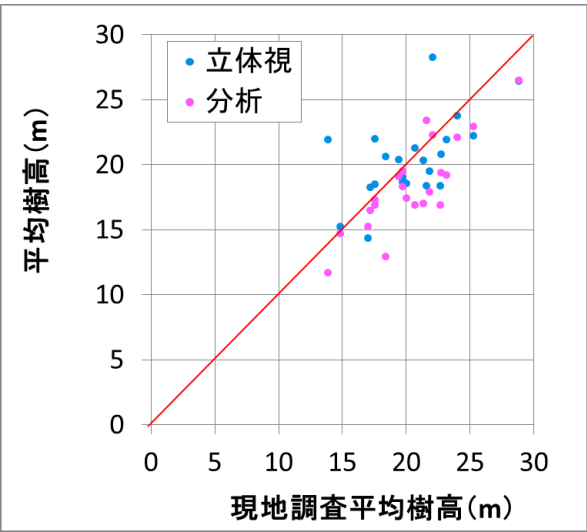
平均で「立体視」が 16.6%、「分析」が 30.8%、樹高の誤差率は平均で「立体視」、「分析」とともに 10%程度である。「分析」による本数の推定精度がやや低い結果となった。



誤差率（％）
＝絶対値（値－現地調査）÷ 現地調査

誤差率	立体視	分析
平均	16.6	30.8
最大	55.6	71.4
最小	0.0	4.5

図 3.4.29 本数密度の推定結果と現地調査の比較（N=23）



誤差率（％）
＝絶対値（値－現地調査）÷ 現地調査

誤差率	立体視	分析
平均	11.9	10.9
最大	57.8	29.9
最小	1.2	1.0

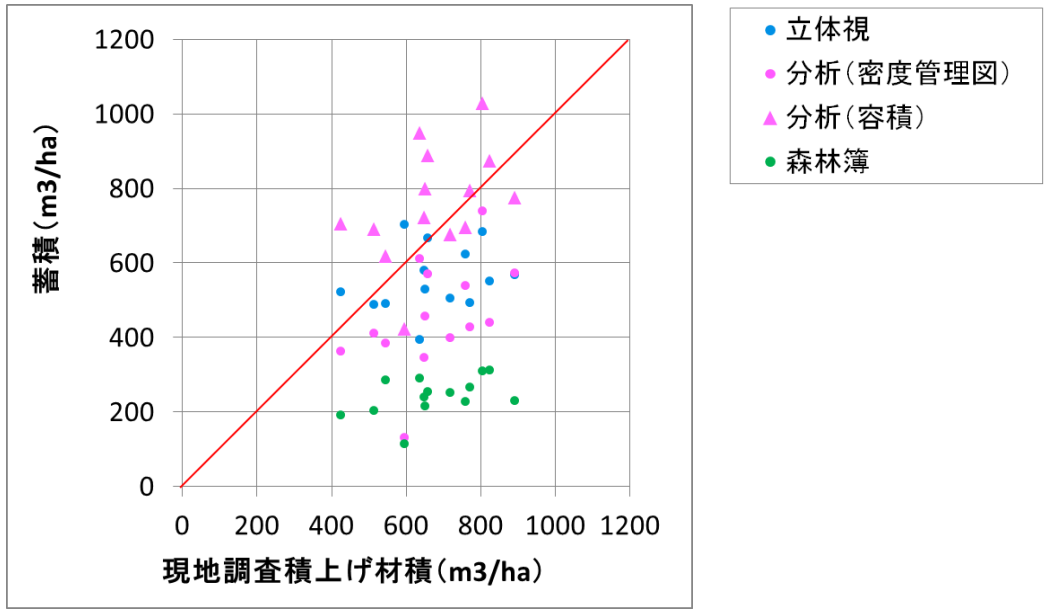
図 3.4.30 樹高の推定結果と現地調査の比較（N=22）

蓄積の推定結果と現地調査結果の比較を図 3.4.31 に示す。誤差率が低く、精度が比較的よかったのは「立体視」と「分析」の容積からの推定であった。「分析」の密度管理図からの推定は誤差率が 30%程度であった。森林簿の誤差率は 6 割近くあり、過少な値となっている。

「分析」の本数と樹高から林分密度管理図により推定する方法は、本数の誤差率が約 30%と高いことが蓄積の誤差率にも影響していると考えられる。一方、「分析」の容積と現地調査結果の関係式から推定する方法では、精度が比較的高い樹高の値のみから蓄積を推定することから、蓄積の推定精度も高くなっている。地域毎、樹種ごとの推定を行えば、より高い精度が期待できる。

以上より、解析プログラムの蓄積推定機能は 7 割から 8 割の精度が期待できる。森林簿の誤差が大きいことを考慮すれば、実利用可能な精度である。ただし、前項「(2) 立体視判読による蓄積推定の精度検証」で示したように、レーザ計測による標高デー

タを用いない場合は蓄積の精度は 6 割程度となる。



誤差率 (%) = 絶対値 (値 - 現地調査) ÷ 現地調査

誤差率	立体視 (密度管理図)	分析 (密度管理図)	分析 (容積)	森林簿
平均	21.0	31.9	23.1	63.5
最大	38.2	78.3	65.5	80.9
最小	1.1	4.4	2.9	47.9

図 3.4.31 蓄積の推定結果と現地調査の比較 (N=15)

3.5. 樹冠疎密度（日向率）

3.5.1. 手法概要

樹冠疎密度は、林地面積とそこに生立する立木の樹冠投影面積との比率であり、その大小によって林分の疎密を判定する指標である。空中写真を用いた樹冠疎密度の判読には、点格子板等を使って林地内の樹冠部面積を測定し、その割合を計算することが行われている。ここでは、デジタル空中写真の林地を樹冠の明部と暗部に区分し、明部の面積を測定することにより樹冠疎密度と関係性の高い日向率を計算することとした。

3.5.2. 計算事例

日向率の計算事例を以下に示す。計算に用いたデジタル空中写真を図 3.5.1 に示す。ここで、赤い境界線は半自動林相区分によって生成されたポリゴンデータである。

図 3.5.1 の林相区分ごとにデジタル空中写真を切り出し、画素値のヒストグラムを用い大津の方法によって明部と暗部に分割した。分割した結果の事例を図 3.5.2 に示す。ここで赤い領域は明部を表しており、林相区分の面積に対する明部の面積比を計算することにより日向率を計算することができる。ただし、図 3.5.2 中の樹冠による明瞭な影が生成されないような伐採跡地においては、ほとんどが明部に区分されていることがわかる。このことから、日向率が高い林相には樹冠がうっ閉してギャップがほとんど見られない林分と、伐採跡地のように樹冠の影が生成されないような土地被覆も含まれることに注意する必要がある。林相区分ごとに計算した日向率を図 3.5.3 に示す。ここで暖色から寒色になるほど日向率は高くなり、日向率が高いほど樹冠はうっ閉した林分となる。

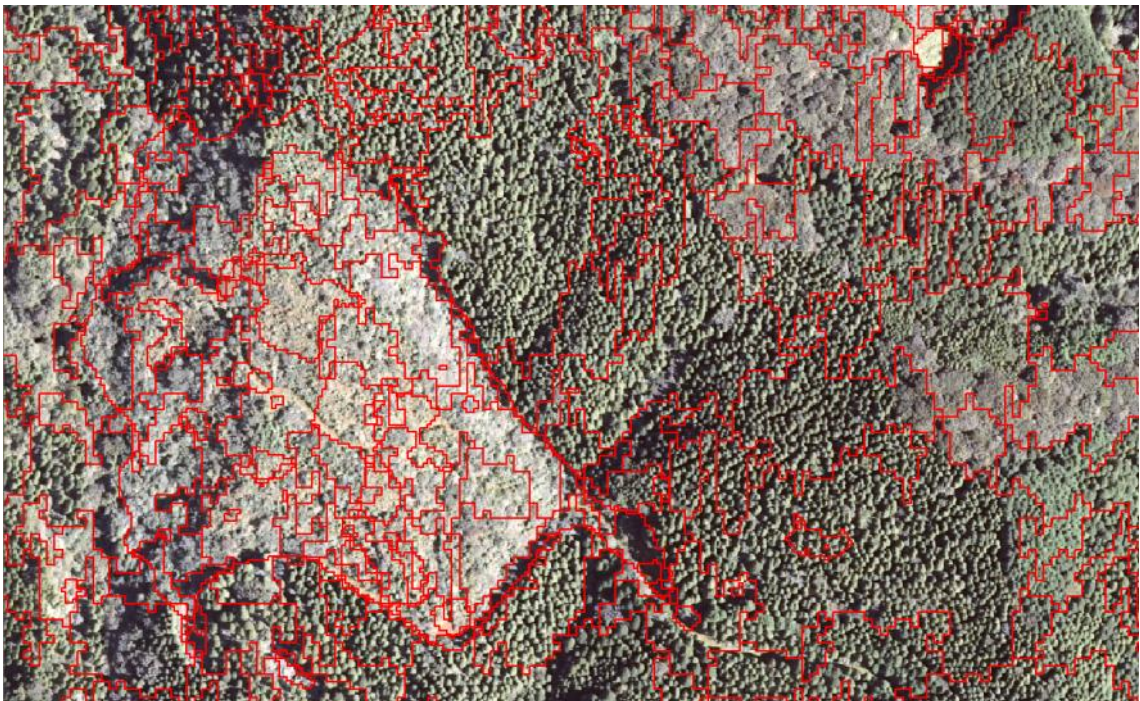


図 3.5.1 日向率の計算に用いたデジタル空中写真

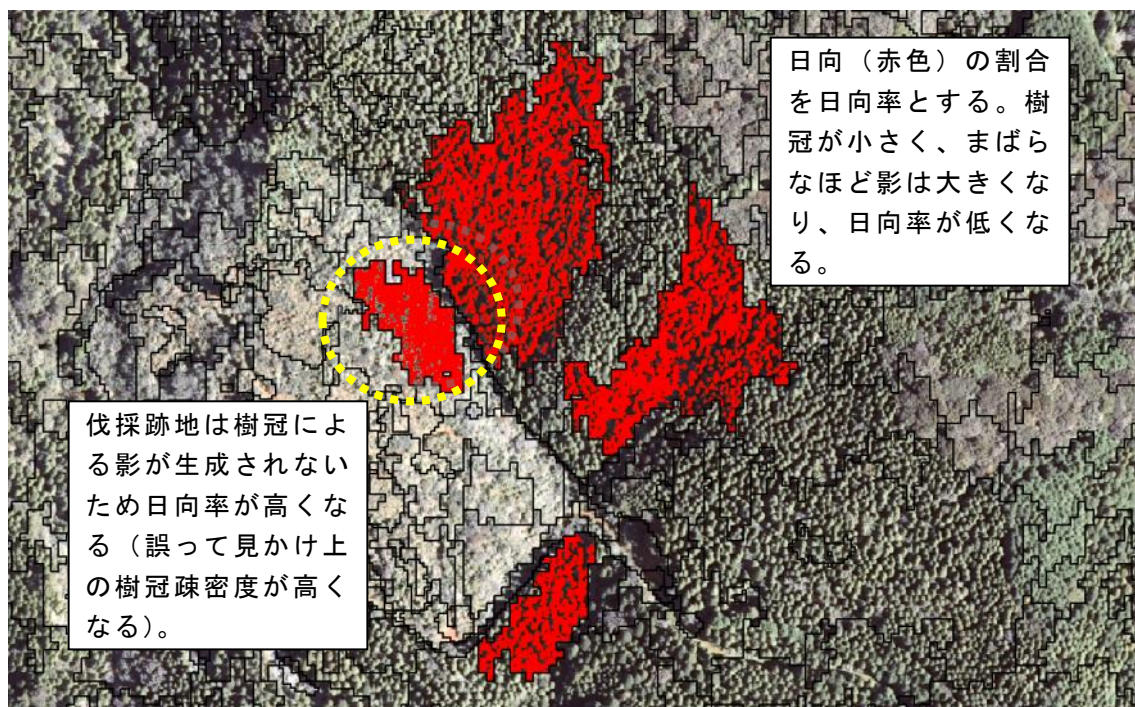


図 3.5.2 大津の方法によって明部と暗部に分割した事例

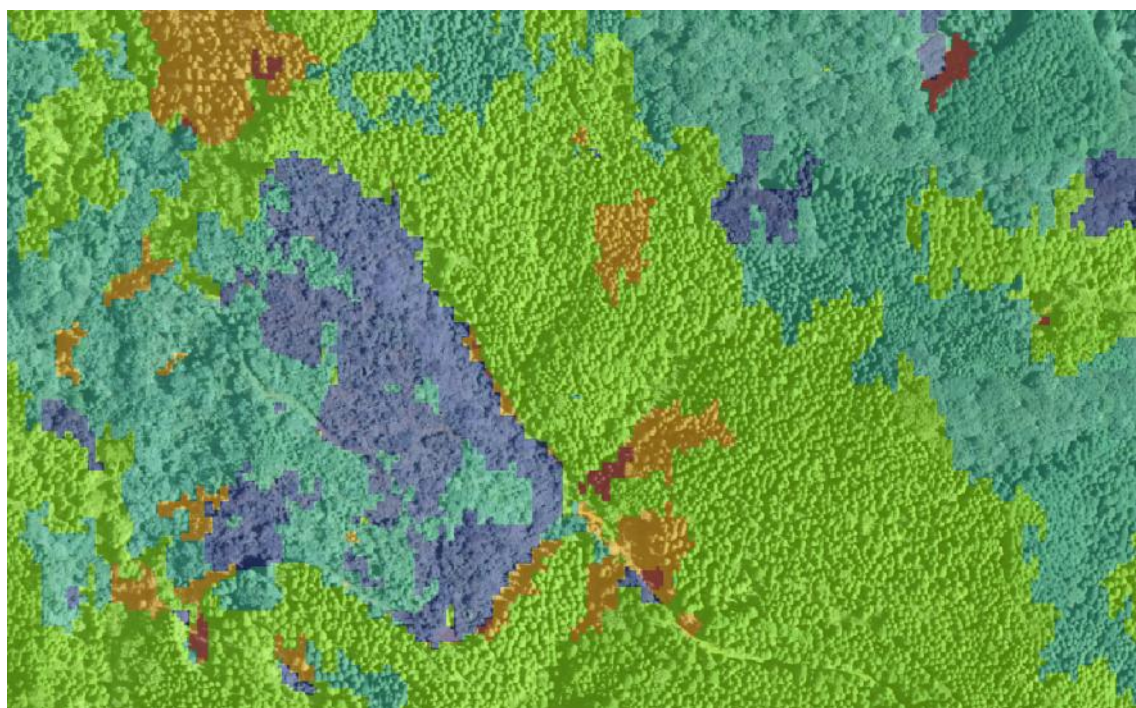


図 3.5.3 日向率の計算事例

この計算方法を九州地方スギ林データに適用し、計算結果である日向率と、オルソ画像を目視判読して得た樹冠疎密度とを比較したところ、次の結果を得た。

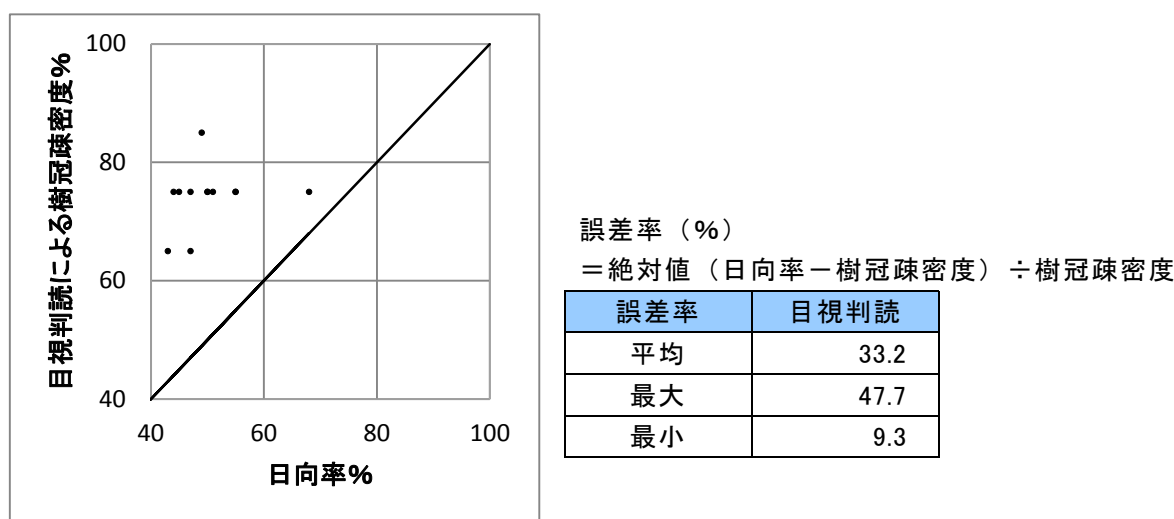


図 3.5.4 日向率と目視判読による樹冠疎密度の比較 (N=13)

この結果から、樹冠疎密度に対して日向率は、平均で約 3 割低い。日向率は樹冠疎密度の指標となるものの樹冠投影範囲の割合そのものを示すものではない。目視判読による樹冠疎密度は、樹冠の形状を円形で想定し、これらの日陰部分の樹冠を含めて樹冠投影範囲とするためである。

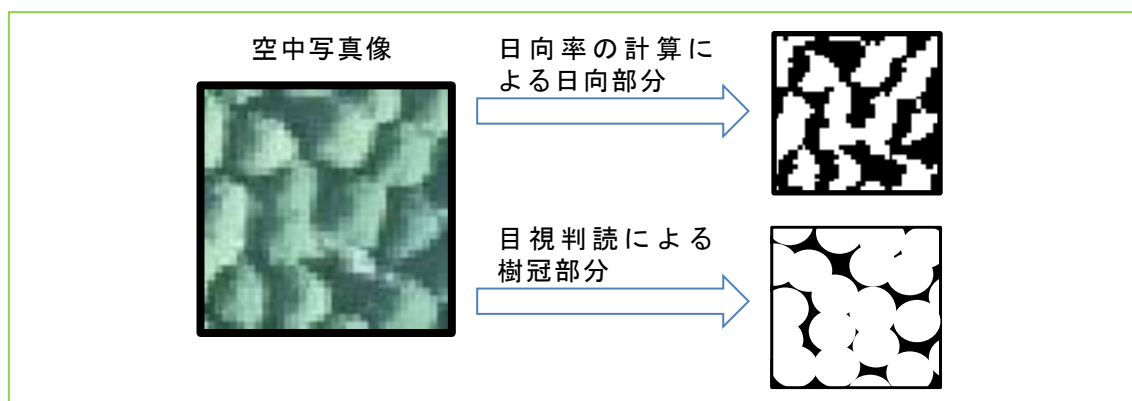


図 3.5.5 樹冠の日陰の日向率と目視判読による樹冠疎密度の比較イメージ

現地調査や空中写真の目視判読から求めた樹冠疎密度と日向率の関係式を作成し、日向率から樹冠疎密度を推定する（巻末資料「成果活用マニュアル」参照）ことは可能である。樹冠疎密度が 80%以上（間伐が必要）林分を求めることを考えると「樹冠疎密度 80%が日向率の何%に相当するか」ということを求める必要がある。もっとも単純には、オルソ画像の目視判読により樹冠疎密度 80%の地点を 10 箇所程度抽出し、その地点の日向率の平均値を閾値として間伐の必要性を判断するという利用が考えられる。

ただし、日陰の状況は、撮影条件、対象林分の地況、林況に大きく影響を受けてばらつくことが考えられる。補正結果の精度を上げるためにも、できるだけ日陰が生じる条件を揃えることが望ましい。日陰が生じる条件は、①太陽光線（または撮影時期・時刻）、②地形、③樹冠の位置・形状が主として考えられる。個々の特徴は次のとおり

であり、これらが相互に関係して日陰が生じ、日向率に影響する。

- 1) 太陽光線（撮影時期・時刻）： 太陽光線により生じる日陰は撮影の時期や時刻に影響される。例えば、低い太陽高度となる冬期や朝・夕の時刻は、他の時期・時刻に比べて日陰が多くなり、日向が減る。この関係は地形だけでなく、樹木にも該当する。
- 2) 地形： 地形による暗影部は傾斜、斜面方位に影響を受ける。時期や時刻にもよるが、例えば北側であること、急斜面であることなどが想定される。その組合せにより日陰が増え、日向が減る。
- 3) 樹冠の位置・形状： 樹冠が閉鎖していても、樹冠が地形の日陰に含まれる場合は樹冠が日向として計算されない。また、樹冠長が長い場合は、樹冠自体による日陰が増えて日向部分が減ることが想定される。また、伐採跡地などは判読対象から外すべきであろう。

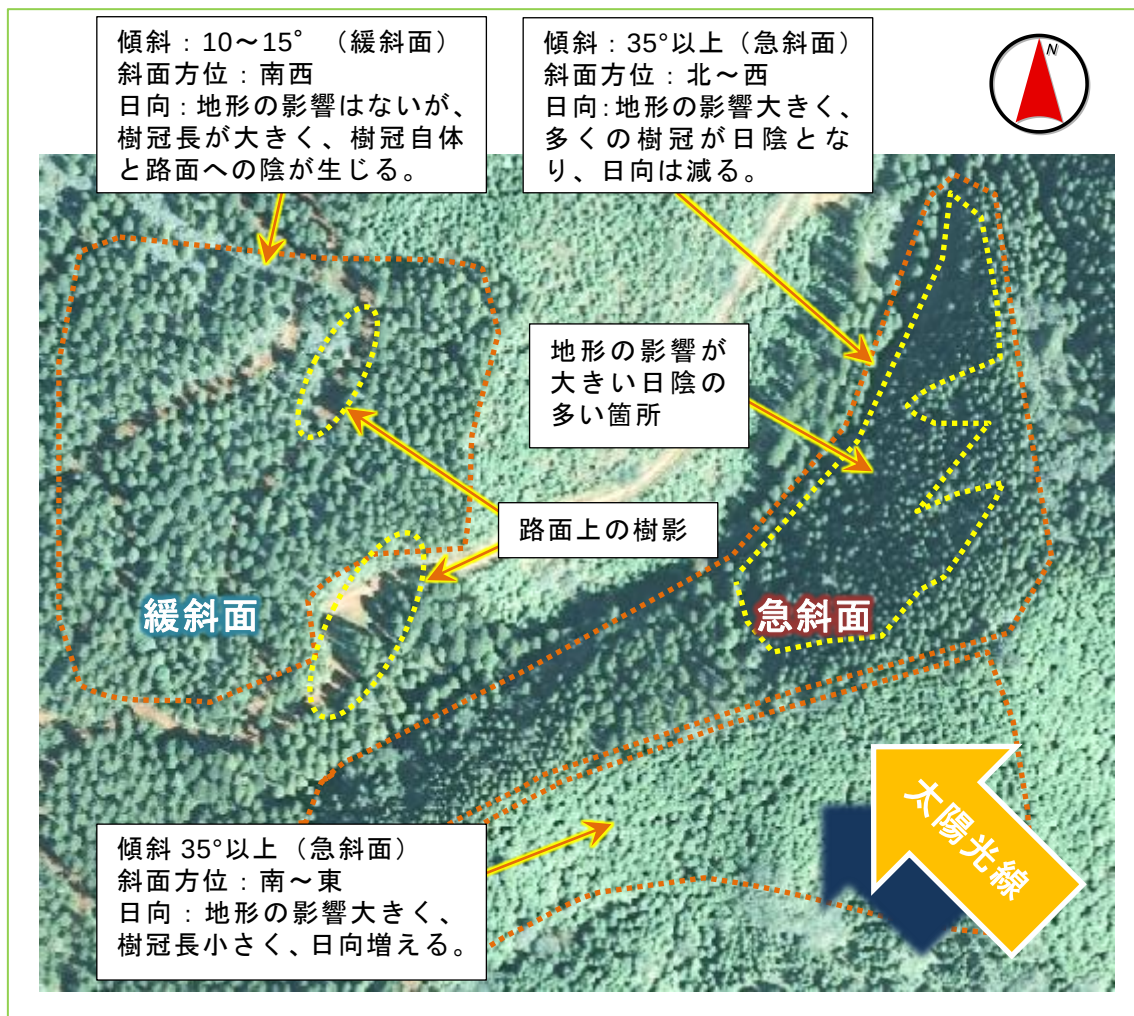


図 3.5.6 日陰の状況の事例（九州地方スギ林）

計測対象地域の空中写真は、太陽光線は撮影時刻・時期により共通の条件となるが、地形、樹冠の位置・形状については、異なる状況が多様に混在することも想定される。これらの条件をできるだけ一様にすれば、精度の高い補正が可能となる。

3.6. 被害可能性

3.6.1. 手法概要

樹木を含む植生の健康状態を、リモートセンシングによって得られたデジタル画像データを用いて表す指標は多数提案されているが、代表的な指標として NDVI（正規化差植生指標）を用いることとした。NDVI の計算式を以下に示す。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

ここで、NIR は近赤外線バンドの画素値を、RED は赤バンドの画素値を表している。

3.6.2. 計算事例

ナラ枯れ被害地における NDVI の計算事例を以下に示す。図 3.6.1 はナラ枯れ被害地のデジタル空中写真である。図 3.6.1 は通常の RGB 画像として表示しており、ナラ枯れ被害木は赤色に変色している。図 3.6.2 は NDVI を計算したものであり、NDVI が小さな画素が黒色に、大きな画素が白色になるようにグレースケール表示したものである。図 3.6.1 において赤く変色したナラ枯れ被害木は NDVI が小さくなっていることがわかる。図 3.6.2 から NDVI の低い画素を抽出した事例を図 3.6.3 に示す。ここで赤い領域は NDVI が低い領域であり、図 3.6.1 に示されたナラ枯れ被害木の分布と一致していることがわかる。図 3.6.1 においてもナラ枯れ被害木は目視によって十分に判読することができる。しかし、図 3.6.3 のような処理を施すことによって、ナラ枯れ被害領域の面積を計測することができ、ナラ枯れ対策における基礎的な資料として活用することができるようになる。



図 3.6.1 ナラ枯れ被害地のデジタル空中写真

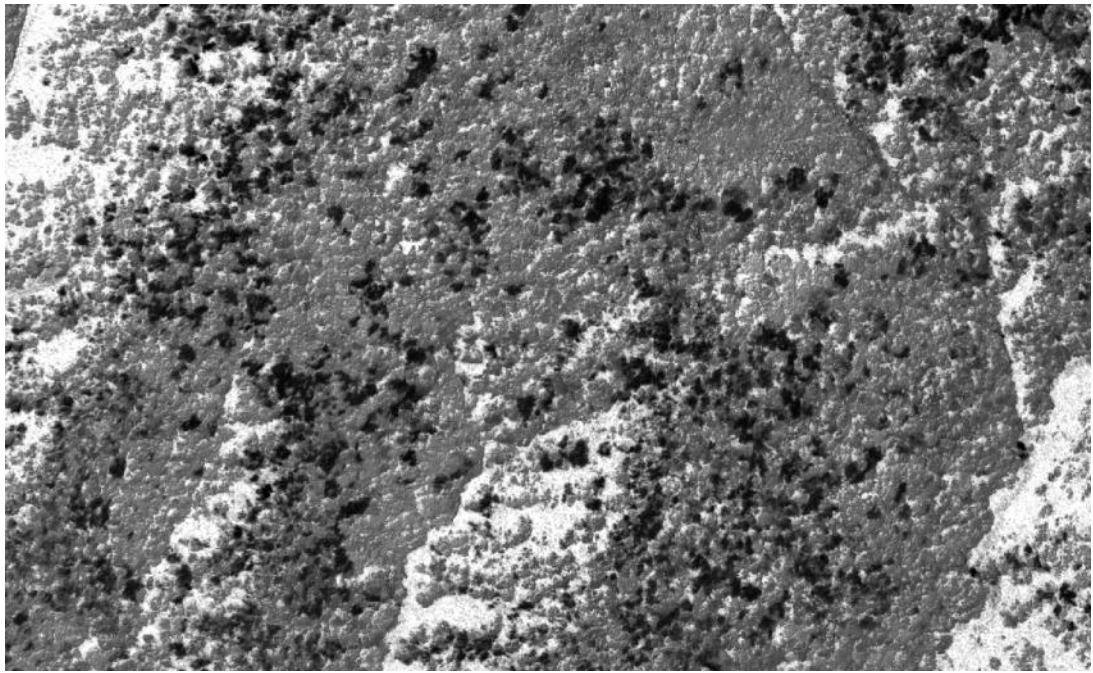


図 3.6.2 グレースケール表示した NDVI 画像



図 3.6.3 NDVI の小さな領域（ナラ枯れ被害木の可能性が高い木）を抽出した事例

3.7. 地形要因（谷尾根指標）

3.7.1. 手法概要

数値標高モデル（DEM）を用いた地形表現には、人工的な光源を仮定して陰影図を作成する手法や標高値や傾斜角などにカラー段彩やグレースケールを施して表示する手法がある。また最近では、陰陽図や赤色立体地図といった地形表現手法が、複数の航空測量会社によって提案されている。しかし、赤色立体地図などの地形表現手法は開発元によって特許が申請・取得されていることや、複雑な計算処理を必要とするため、これらの地形表現手法を活用して地形判読のための基図画像を作成することは、それほど容易ではない。

そこで本事業は、カメラ画像中の物体認識処理などで一般的に用いられてきた Laplacian of Gaussian（LOG）フィルタを適用することにより、陰陽図や赤色立体地図といった地形表現手法と同等の効果を実現できる簡易な手法を開発した。

3.7.2. 谷尾根指標

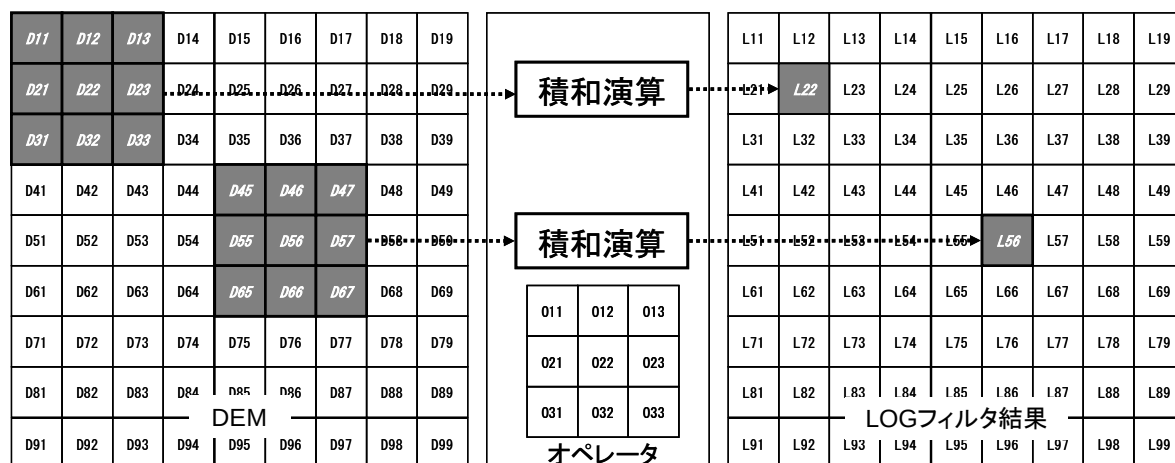
谷尾根指標は LOG フィルタにより求める。LOG フィルタは、DEM 上のある地点を中心とした局所領域の標高値 z に正規関数（ガウス関数）の重みをつけて局所積和の重畳計算をしたのち（これは空間平滑化処理に相当する）、二次微分オペレータ（まとめて読み取る範囲）との局所積和によって傾斜量の空間変化を計算するものである。ここでオペレータとは重畳計算をする際の数値をまとめた行列であり、LOG フィルタのオペレータ例を表 3.7.1 に示す。

表 3.7.1 オペレータの例

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
3	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.000
4	0.000	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0.000
5	0.001	0.001	0.002	0.002	0.000	-0.004	-0.006	-0.004	0.000	0.002	0.002	0.001	0.001
6	0.001	0.002	0.003	0.001	-0.004	-0.012	-0.015	-0.012	-0.004	0.001	0.003	0.002	0.001
7	0.001	0.002	0.003	0.001	-0.006	-0.015	-0.020	-0.015	-0.006	0.001	0.003	0.002	0.001
8	0.001	0.002	0.003	0.001	-0.004	-0.012	-0.015	-0.012	-0.004	0.001	0.003	0.002	0.001
9	0.001	0.001	0.002	0.002	0.000	-0.004	-0.006	-0.004	0.000	0.002	0.002	0.001	0.001
10	0.000	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0.000
11	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.000
12	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000

LOG フィルタは、DEM 上のある地点を中心に表 3.7.1 のオペレータを重ね合わせ、DEM 標高値と表 3.7.1 のオペレータ数値を掛け合わせた数値の合計値を、ある地点の数値として、全 DEM 地点について計算することによって行われる（図 3.7.1 参照）。

LOG フィルタの計算結果では、凸・尾根地形は負の数値として、凹・谷地形は正の数値として出力され、尾根・谷が深くなるほど、数値の絶対値の大きさが大きくなる。またオペレータの大きさを小さくするほど局所的な地形特徴を強調し、大きくするほど大局的な地形特徴を強調することができる。



$$L22=O11 \cdot D11+O12 \cdot D12+O13 \cdot D13+O21 \cdot D21+O22 \cdot D22+ \cdots +O33 \cdot D33$$

$$L56=O11 \cdot D45+O12 \cdot D46+O13 \cdot D47+O21 \cdot D55+O22 \cdot D56+ \cdots +O33 \cdot D67$$

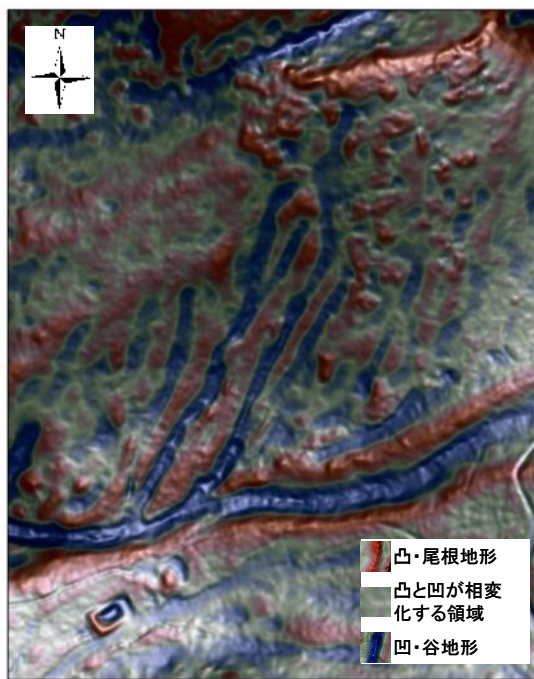
図 3.7.1 DEM とオペレータの重畳計算

3.7.3. 計算事例

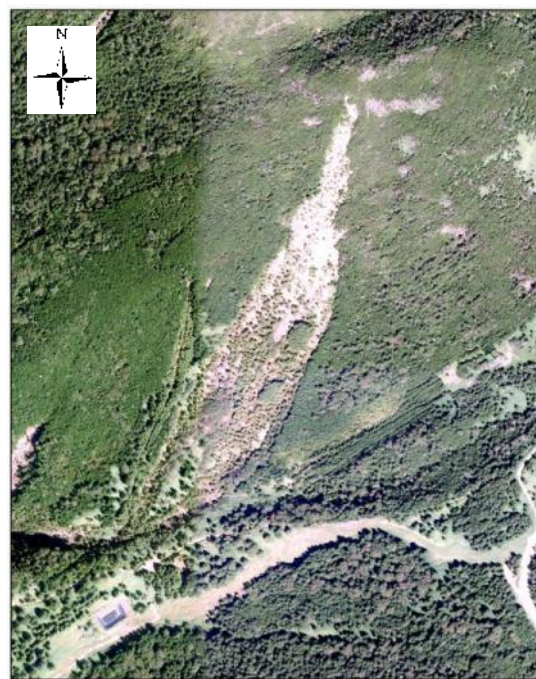
LOG フィルタ計算事例(レーザ計測による DEM を用いた事例)を図 3.7.2 に示す。ここで図 3.7.2 は、フィルタリング処理結果の数値が 0 から増加するに従って白色から青色に連続変化するように、そして 0 から減少するに従って白色から赤色に連続変化するように色度を割り付けた画像を、傾斜角画像上に透過表示したものである。したがって、凹・谷地形は青色系統に、凸・尾根地形は赤色系統に、両地形特徴が相変化する領域は白色・グレー系統で表示されている。そして、画像の明度は傾斜角の大きさを示し、同じ色相で明度の大きな領域は傾斜角が小さく、明度が小さな領域は傾斜角が大きいことを示している。図 3.7.2 では背景に傾斜角画像を用いたが、判読の目的や対象物に応じて、重ね合わせる地形特徴を変更することが効果的である。

図 3.7.2a) は表層崩壊跡を含む領域における計算結果である。図 3.7.2a) に含まれる表層崩壊跡は比較的小規模なものであることから、オペレータは小さいサイズのものを採用した。図 3.7.2a) によると、NE-SW 方向に幾条もの表層崩壊跡(図中の青い筋状の構造)を見て取ることができる。図 3.7.2b) のデジタル空中写真を見ると、表層崩壊跡の一部は裸地面として確認することができるが、それら以外にも植生に覆われている表層崩壊跡があることがわかる。

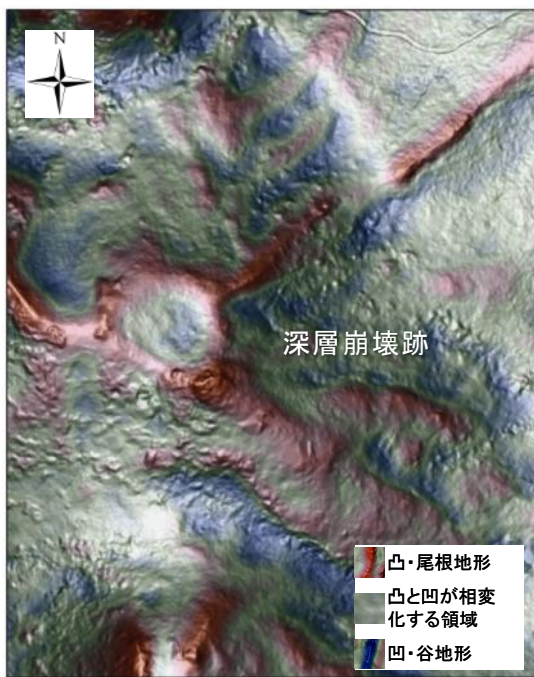
図 3.7.2c) は深層崩壊跡を含む領域における計算結果である。図 3.7.2c) に含まれる深層崩壊は表層崩壊よりも大規模地形変化を示すことから、小規模な地形特徴を無視し、大規模な地形特徴を強調するために大きなサイズのオペレータを採用した。図 3.7.2c) によると、W-E 方向に大規模な深層崩壊跡を見て取ることができる。図 3.7.2d) のデジタル空中写真を見ると、この領域は植生が繁茂しておりデジタル空中写真だけでは深層崩壊跡を把握することはできないことから、本手法によって表現した特徴が地形判読に有効であることがわかる。



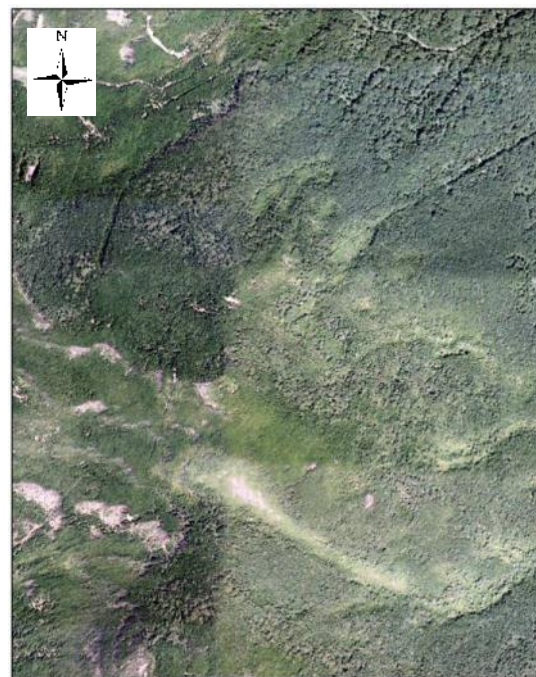
a) 表層崩壊跡 ($\sigma=8m$)



b) 表層崩壊跡のデジタル空中写真



c) 深層崩壊跡 ($\sigma=20m$)



d) 深層崩壊跡のデジタル空中写真

図 3.7.2 LOG フィルタの計算事例

※ σ : オペレータサイズ

地形表現の事例としては、長野県林業総合センター考案の手法もある。詳細は同センターホームページ（ホーム > 研究の成果 > 成果の普及・啓発 > 数値地形データを用いた「微地形図」の作成方法）のとおりである。ここで示されている「傾斜レイヤ」を本事業のプログラム出力の「傾斜角」、「曲率レイヤ」を「谷尾根指標」に読み替えると、本事業のプログラム出力を同センターホームページの方法に合わせて表現

することが可能である。ただし、「曲率レイヤ」と「谷尾根指標」では正負（谷尾根の表現）が逆となっていることに注意を要する（図 3.7.3）。

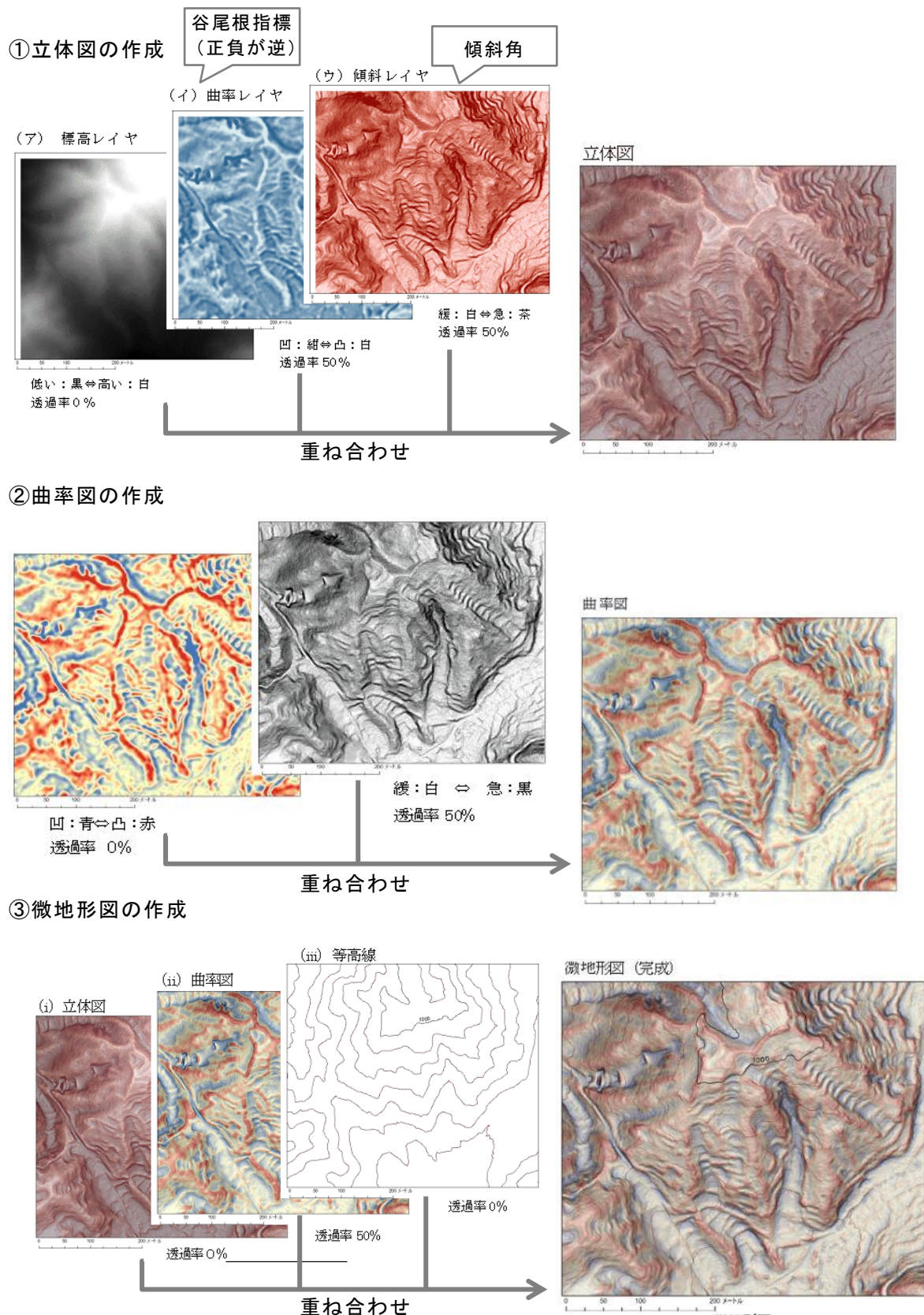


図 3.7.3 長野県林業総合センター考案立体図法(同センターホームページより調整)

参考文献：砂防学会誌、第 65 巻 第 2 号(通巻 301 号) 2012 年 7 月、p.51-55

「航空レーザ測量データを用いた微地形図の作成」戸田堅一郎

3.8. 生物多様性

3.8.1. 空中写真による広葉樹林率

(1) 手法概要

生物多様性の指標として、広葉樹林率を取り上げる。広葉樹に対する選好性としては、森林総研未発表資料において、北茨城地方の秋季鳥類調査について広葉樹林率が高い地域ほど種数が多いという知見が得られている。

図 3.8.1 のとおり、タイルサイズを変えながら 1 タイル当たりの広葉樹林率を求めていく。分断化が進んでいる地域では、タイルが大きく（粗く）なるにつれ 1 タイル内の広葉樹林率が低いタイルが増加する。広範囲に連続した広葉樹林の地域では、タイルサイズを大きくしても常に 1 タイル当たりの森林率が 100% となる。

なお、タイルサイズは 200m、500m、1000m とした。

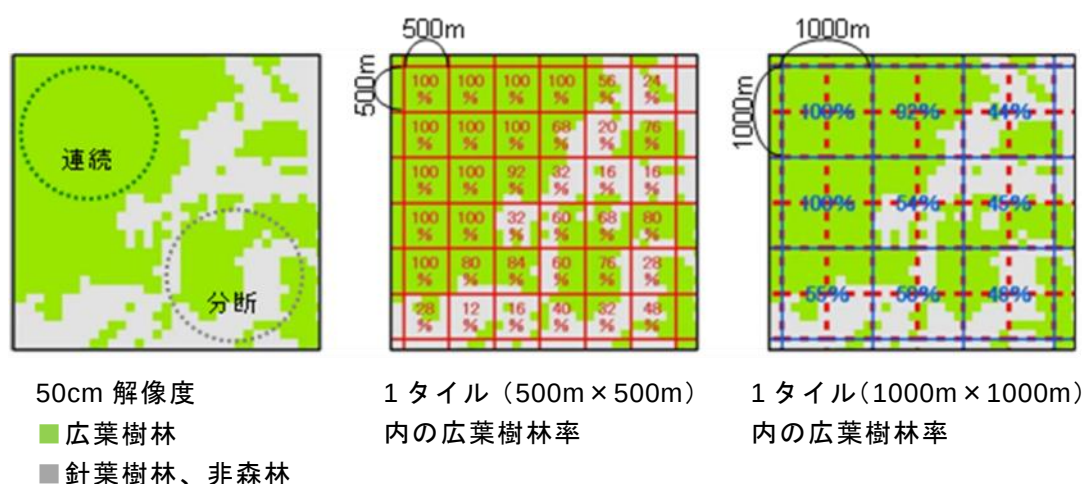


図 3.8.1 広葉樹林率の考え方

(2) 計算事例 (図 3.8.2)

広葉樹林率は、図郭の左側ではタイルサイズが小さいうちから広葉樹林率が低いタイルが多いことから、元から広葉樹林が少ないことがわかる。一方、図郭の右側のゴルフ場周辺ではタイルサイズが小さいうちは広葉樹林率が高く、タイルサイズを大きくするにつれ広葉樹林率が低くなることから、分断化された広葉樹林地域であることがわかる。広葉樹林を選好する種で、行動圏が小さな種はこのゴルフ場周辺でも生息可能であるが、行動圏が大きな種は困難である、とみることもできる。

このように、本手法は異なるスケールを考慮できること、広範囲にも適応可能なことが特徴としてあげられる。

飯能 広葉樹林率（図郭 9KC37, 9KC38）

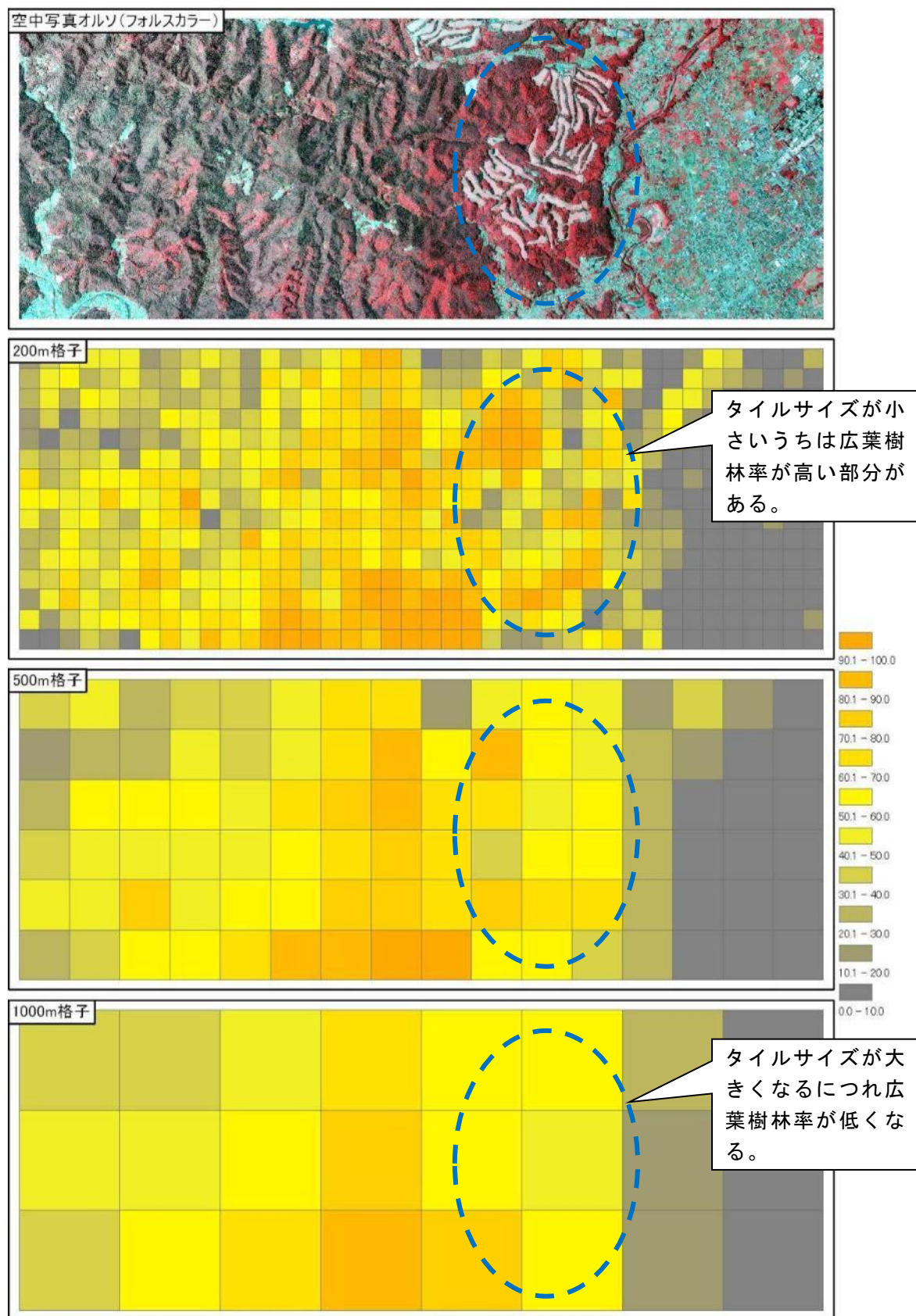


図 3.8.2 広葉樹林率

3.8.2. レーザによる林分構造

(1) 手法概要

生物多様性の評価には、一般的に多様度指数が多く用いられるが、単一樹種の人工林が多い日本の森林では、種数に基づくこの指標では十分評価できるとはいえない。樹種が少ない林分でも、階層構造が複雑であれば様々な生物の生息・活動域となると推測されることから、林分の垂直構造の複雑さが多様性の指標の一つになると考えられる。航空レーザ計測データには樹冠表面、樹冠内部の葉、枝、幹、地面からの反射が高さ情報として含まれており、林分の垂直構造の把握が可能である。そこでレーザ計測データから、林分の複雑さをモデル化する手法について検討した。

なお、複雑さを表す際、樹木のサイズが均一である森林、つまり若齢段階では単純、逆に老齢段階では複雑と考え、各現地調査地点を初期段階、若齢段階、成熟段階、老齢段階の四段階に分けた。なお、それぞれの段階については現地調査にて判断したもので、その基準は藤森（2006）による。

(2) 計算事例

レーザ計測データから得られる林分構造の複雑さを表す統計値には、最大高、平均高、標準偏差、歪度、地面付近（高さ 2m 以下）からの反射割合等が挙げられ、発達段階を従属変数とした回帰分析の結果、最大高、歪度、地面付近からの反射割合を使用して、林分構造の複雑さを算出した。それぞれの発達段階に対して、初期を 1、若齢を 2、成熟を 3、老齢を 4 とした。

複雑さを表す式を（式 2）に示した。ここで、 $I_{complexity}$ は複雑さ、 H_{max} は最大高、 S_k は歪度、 R_{low} は地面付近の反射の割合である。

$$I_{complexity} = 0.03H_{max} + 0.20S_k - 1.66R_{low} + 2.55 \quad (\text{式 2})$$



図 3.8.3 サンプルサイトの DCHM

サンプルとして、DCHM を図 3.8.3 に示した小川試験地の一図郭を用いて林分構造の複雑さを算出した。牧草地などの非森林域は黒色で、森林域の樹高が高い林分は白

色である。DCHM 図の中央付近では列状間伐がなされており、間伐地や林道が黒く表示されている。

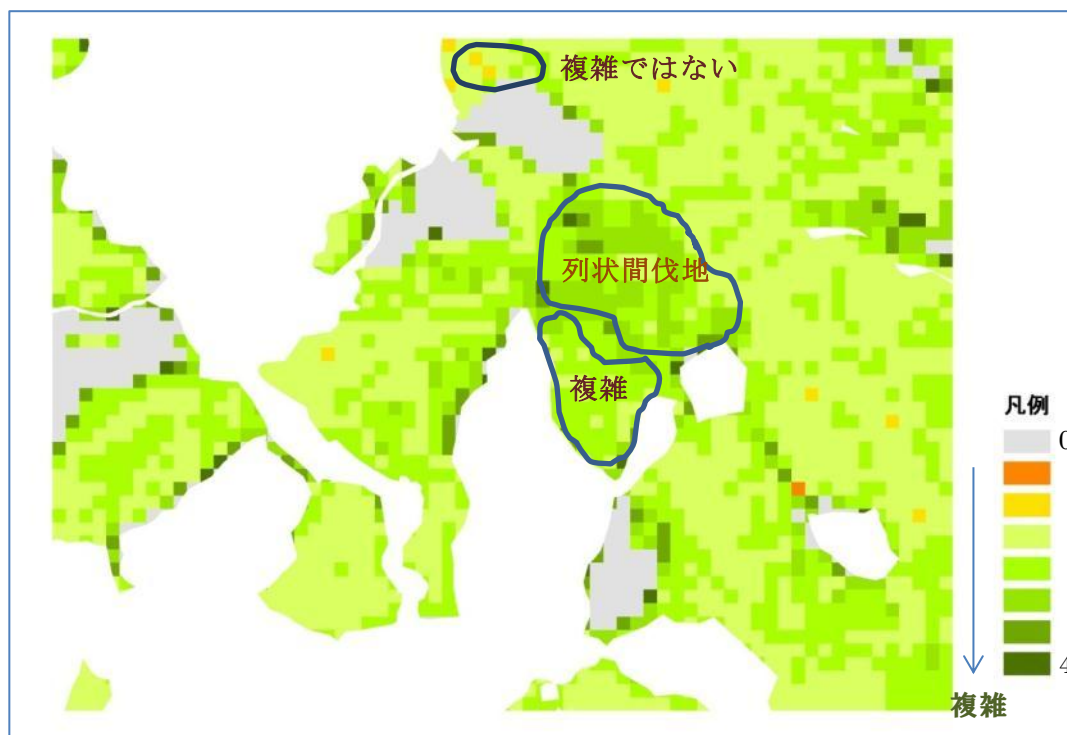


図 3.8.4 レーザデータを用いた林分構造の複雑さ

図 3.8.3 の DCHM を使い、30m メッシュで算出した林分の複雑さの結果を図 3.8.4 に示す。対象は小班ポリゴン内とし白いエリアは対象外である。灰色は非森林で、森林域は橙色から緑色で表示しており、濃い緑に向かって複雑であるとした。複雑と推測される画像中央付近では、緑が濃い結果を示した。また、樹高も低く画像のキメが均質であることから複雑ではない林分と推測される箇所では（画面上部）、計算結果についても橙色から薄い黄緑であり複雑さが低い。ただ、列状間伐のエリアは高さの差が大きいことから複雑さが高い値となっている。なお、林縁部分も緑が濃いですが、これは林内・外のデータがあることでバラツキが大きくなったためと考えられる。

以上、レーザ計測からの DCHM の統計データを用いることにより、間伐地や林縁部分では難しいものの林分構造の複雑さをある程度表現可能であるという結果が得られた。

引用文献

藤森隆郎. 2006. 森林生態学. 全国林業改良普及協会, 東京.

4. プログラム開発

4.1. 開発方針

プログラムを開発するに当たっては以下の3点を考慮した。

継続的なデータ取得を前提とした手法
行政利用可能なコスト・操作性
全国で利用可能な手法及びプログラム

森林計画は5年毎に策定するものであり、行政利用可能な範囲のコストで継続取得できるデータとして、主に空中写真を利用するプログラムとした。解析結果の精度を高めるためには、樹種や地域に適合した手法が必要と想定されるが、簡易な操作性を優先し、プログラムは全国で利用可能なものとした。

一方で、高精度なレーザ計測データを必要に応じて活用したり、地域ごとに独自に求めたパラメータを入力できるようにしたりと、応用可能な余地を持ったプログラムとしている。また、大容量の空中写真を大量に解析することを前提とし、複数ファイルに対し自動処理をかける機能を持たせている。

プログラムは、図4.1.1のとおり、大きく立体視機能と分析機能に分かれる。立体視機能は現地調査に近いレベルでの森林情報の把握、分析機能はより広範囲の森林概況の把握に適している。このように対象とする空間スケールが異なる機能を組み合わせて利用することにより、事業体から市町村、都道府県と幅広い利用が可能となる。

分析機能で出力されるデータは、前章「3.森林基礎情報の解析」の手法に基づいたものである。

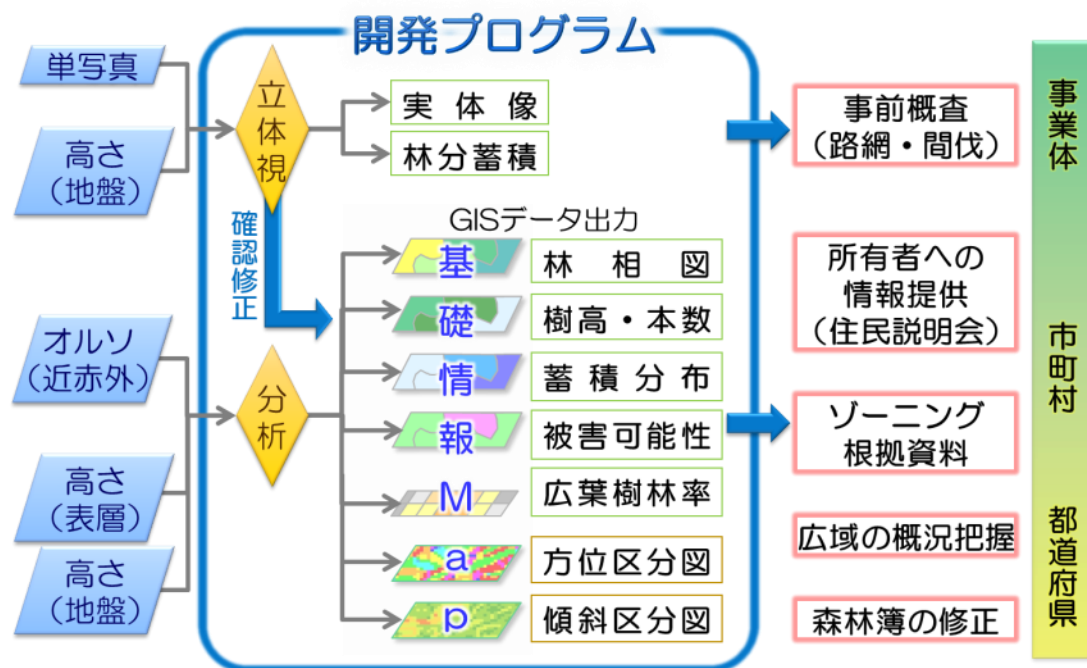


図 4.1.1 解析プログラムの概要

4.2. 機能概要

以下では、開発したプログラムの機能概要を示す。詳細は、巻末資料、綴じこみ DVD に表 4.2.1 の資料を添付しているので活用されたい。

表 4.2.1 プログラム関連のマニュアル等資料（巻末資料、綴じこみ DVD）

資料	概要
プログラムインストラ	プログラムのインストラ
操作マニュアル	プログラムの基本的な操作方法を示したマニュアル
成果活用マニュアル	分析機能の出力結果を実務的に活用する方法を示したマニュアル。GIS での基本的な利用方法から、現地調査によるデータ補正、路網データとの組み合わせ解析など。GIS 操作が必要。
立体視練習キット	立体視により樹種の判別、高さ計測などをするための練習用データと、テキストのセット。答えが分かっている立木の樹高を立体視計測するなど。
データ仕様	プログラムで使用するデータの詳細

4.2.1. 入出力データ概要

プログラムの利用に必要なデータは、表 4.2.2 のとおり立体視用と分析用の 2 通りに大きく分かれる。また、分析機能のメニューごとにもデータの要不要が分かれている。それぞれのデータ仕様については、概要は表 4.2.3 プログラムに必要なデータ仕様のとおりであり、詳細は巻末資料、綴じこみ DVD の「データ仕様」を参照されたい。

表 4.2.2 プログラムに必要なデータ

データ		立体視機能	分析機能				
			林相区分	蓄積推定	地形解析	植生指数	広葉樹林率
立体視用	デジタル空中写真画像データ	要					
	プロジェクトファイル	要					
	地形標高データ（立体視用）	要					
分析用	デジタルオルソ画像データ		要	要		要 (近赤外 RG)	
	樹冠標高データ			要			
	地形標高データ（分析用）			要	要		
	林相区分ポリゴンデータ （林相区分の出力データ）			要			

表 4.2.3 プログラムに必要なデータ仕様

データ		立体視機能
立体視用	デジタル空中写真画像データ	・地上画素寸法：任意 ・画像サイズ：任意（但し PC のメモリーに依存） ・カバレッジ範囲：任意（但し PC のメモリーに依存） ・バンド数：3 バンド（近赤外線：R：G または R：G：B のいずれかの組み合わせによる 3 バンド画像とする。） ・フォーマット：TIFF 形式 ・ワールドファイル：不要 ・色深度：各色 8bit ・圧縮/非圧縮：非圧縮または JPEG 圧縮 ・ピラミッド：要（詳細は操作マニュアル参照）
	プロジェクトファイル	XML 形式で・座標系・索引図・カメラ情報及びレンズのキャリブレーション値・ステレオモデル・画像ファイル名 等を記述。
	地形標高データ（立体視用）	地表 0.4 秒（約 10m）間隔で区切った方眼（メッシュ）中心点の標高データで、1 つのファイルに 1,125 行×750 列で 843,750 個の標高値が格納されている。（詳細は操作マニュアル参照）
分析用	デジタルオルソ画像データ	・地上画素寸法：0.5m ・画像サイズ：8000 カラム×6000 ライン ・カバレッジ範囲：1/5000 森林基本図図郭 ・バンド数：3 バンド（近赤外線：R：G または R：G：B のいずれかの組み合わせによる 3 バンド画像とするが、近赤外線：R：G を推奨する） ・フォーマット：TIFF 形式 ・ワールドファイル：要 ・色深度：各色 8bit ・圧縮/非圧縮：非圧縮 ・ピラミッド：要（詳細は操作マニュアル参照）
	樹冠標高データ	・地上画素寸法：2.0m ・画像サイズ：2000 カラム×1500 ライン ・カバレッジ範囲：1/5000 森林基本図図郭 ・バンド数：1 ・フォーマット：TIFF 形式（GeoTIFF 可） ・ワールドファイル：要
	地形標高データ（分析用）	・色深度：16bit ・圧縮/非圧縮：非圧縮 ・ピラミッド：規程なし ・標高値のスケール方法：画素値=10×標高値+10000
	林相区分ポリゴンデータ（林相区分の出力データ）	林相区分メニューの出力 SHP または、属性に樹種を持つ SHP ファイル

また、プログラムの分析機能の各メニューから出力されるデータは表 4.2.4 のとおりである。ベクタデータ（シェープ形式（SHP））の場合とラスタデータ（ジオティフ形式（TIFF））の場合がある。

表 4.2.4 プログラム分析機能からの出力データ

機能（メニュー）		出力ファイル〔属性〕
林相区分	林相分割(領域分割)	林相区画 SHP〔区画内の画像の統計量〕
	林相区分	林相区分 SHP〔樹種〕
蓄積・地形 解析・その他解析	蓄積解析	樹冠高画像 TIFF
		梢端ポイント SHP〔樹高〕
		林相区画 SHP〔日向率、平均樹冠高、本数密度、本数、蓄積（密度）、Ry、樹冠容積、面積、蓄積（樹冠容積）〕
	地形解析	傾斜区分画像 TIFF
		傾斜方向画像 TIFF
		谷尾根指標 TIFF
	植生指数解析	植生指数画像 TIFF
	広葉樹林率解析	広葉樹林率(200m メッシュ)SHP〔広葉樹林率〕
		広葉樹林率(500m メッシュ)SHP〔広葉樹林率〕
		広葉樹林率(1000m メッシュ)SHP〔広葉樹林率〕

4.2.2. 立体視機能

(1) 特徴

アナログの空中写真の立体視においては、習熟に時間がかかる、地図への移写には高度な技術が必要、等の理由から森林・林業の現場ではほとんど利用されなくなっている。その一方で、立体視は詳細な林相を立体像として確認できることから、施業実施の事前概査などに有効である。

3D ゲーム等の普及により、パソコンで立体視をすることが安価に可能となったことから、本プログラムを開発した。従来の立体視とパソコンを使用した立体視には、表 4.2.5 のような特徴の差がある。

表 4.2.5 パソコンを使用した立体視と従来手法の特徴の比較

項目	実体視鏡 (従来手法)	パソコン・モニタ
解像度	撮影時の解像度 30～40cm 程度（オルソは 50cm 程度）	
判読・計測が可能な項目	・ 樹種 ・ 材積	・ 樹冠疎密度 ・ 健全度 ・ 樹高 ・ 立木本数 ・ 樹冠径 ・ 地形
必要機材	・ 実体鏡 ・ 視差測定桿	・ 汎用 PC ・ 3D 対応モニタ ・ 3D メガネ ・ 3D 対応グラフィックボード
必要なスキル	高い専門性	初心者でも OK
立体視の範囲	接眼レンズの範囲	モニタ全体の広範囲
拡大縮小	限度がある	任意
モデル間移動	写真を交換・標定	シームレスに移動
同時に立体視ができる人数	1 人	・ 同時に複数人 ・ 見ながらの協議
情報共有	地形を判読し、地形図に手書き	・ 写真上にデータ作成 ・ GIS データとして出力可能



図 4.2.1 アナログ写真の立体視（左）と PC モニタ上の立体視（右）

（２） 機能概要

立体視機能は、3D ゲーム用のメガネで立体視するモードと、簡易な赤青メガネにて立体視が可能なモード（アナグリフ立体視）がある。

基本的な機能は表 4.2.6 のとおりである。

操作方法及び機能の詳細は巻末資料、綴じこみ DVD の「操作マニュアル」を参照されたい。

表 4.2.6 立体視機能の概要

機能	概要
SHP ファイルの追加	立体視画像上に既存の SHP ファイルを重ねて表示できる。GPS で取得した現地調査地点や森林 GIS の小班界など。
印刷	「アナグリフ印刷（赤青メガネ）」および「裸眼立体視印刷」の 2 つのスタイルで印刷可能。印刷し、現地に持ち出すことができる。
SHP ファイル（画層）の作成	立体視をしながら、3D SHP（画層）を作成する。
SHP ファイル（画層）の表示	ラベル表示、色設定、透過表示が可能。色表示は数値分類表示にも対応している。
面積、距離、高さ計測	立体視をしながら、面積（水平投影）、距離（斜距離、水平距離）、高さを計測する。
蓄積推定 （図 4.2.2）	0.1ha の方形区を設定し、樹高と本数から、林分密度管理図を用いて蓄積、収量比数（Ry）を推定する。方形区は SHP ファイルとして出力され、属性値に計測した樹高、本数、蓄積を持つ。

蓄積推定の樹高計測においては、樹冠が鬱閉し、地表面が見えない林分において、外部の標高データを読み込んで、判読した梢端との差分を樹高とする機能がある。従来のアナログ空中写真判読では、地表面が見えない場合は樹高計測ができないという問題があったが、デジタル化により解決している。

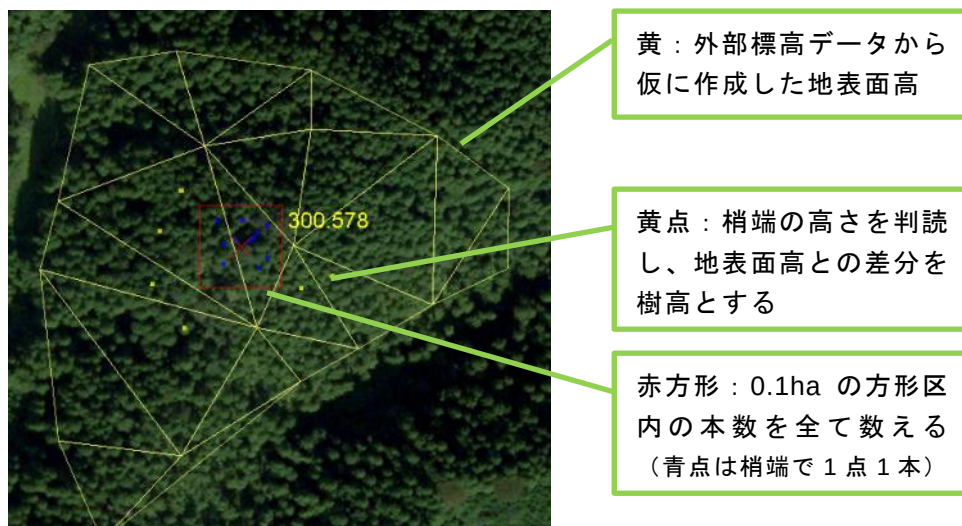


図 4.2.2 蓄積推定機能の画面

(3) 活用方法

立体視は、単木レベルの詳細な空間スケールで現実に近い立体像を把握できるため、現地の標準地調査の代替から、現地調査の事前概査などに活用できる。複数の人が同時に立体視が可能のため、習熟者からの指導や、会議での利用に適している。

次章「5.モデル地域における検討」において、事業体での活用や、市の住民説明会での活用を実際に行っている。

4.2.3. 分析機能

(1) 特徴

分析機能では、半自動で林相区画を生成し、林相区分までを行う。従来は高額な画像処理ソフトで行っていた機能であり、さらに本プログラムは「3.3.林相区分・樹種分類」で詳述したように、森林に適した手法を採用している。

また、一般の画像処理ソフトでは複数のメニューを組み合わせる必要があった本数推定、蓄積推定などが単一メニューから実行できる。

ただし、林相区画、林相区分が適切に実施されているか否かを目視で判断し、試行錯誤する過程が必要である。出力結果の本数、蓄積などの数値についても、誤差を含むものであり、3 区分程度に区分して利用するなど、適切な活用には留意が必要である。

(2) 機能概要

分析機能には、大きく分けて「林相区分」と「蓄積・地形解析」の二つのメニューがある(図 4.2.3)。それぞれの機能の概要は表 4.2.7 のとおりである(図 4.2.4、図 4.2.5)。操作方法及び機能の詳細は巻末資料、綴じこみ DVD の「操作マニュアル」を参照されたい。



図 4.2.3 分析機能のメニュー

表 4.2.7 分析機能の概要と出力ファイル

メニュー		機能概要	出力ファイル〔属性〕
林相区分	林相分割 (領域分割)	オルソ画像にもとづき、林相区画を生成する。	林相区画 SHP〔区画内の画像の統計量〕
	サンプルウィンドウ	林相区画を林相（樹種）に分類するための教師データ取得ウィンドウの表示	－
	林相区分	教師データに基づき林相区画进行分类	林相区分 SHP〔樹種〕
蓄積・地形解析・その他解析	蓄積解析	立木の梢端位置をオルソ画像からポイント SHP として抽出する。属性値は樹冠高画像の画素値。	梢端ポイント SHP〔樹高〕
		樹冠高画像を DSM（表層高画像）と DEM（地盤高画像）の差分から作成する。	樹冠高画像 TIFF
		林相区画内の樹冠の日向率（％）をオルソ画像から算出する。	林相区画 SHP〔日向率、平均樹冠高、本数密度、本数、蓄積（密度）、Ry、樹冠容積、面積、蓄積（樹冠容積）〕
		林相区画内の平均樹冠高（m）を梢端 SHP の樹高から算出する。	
		林相区画内の本数密度（本/ha）を梢端 SHP から算出する。	
		林相区画内の本数（本）を梢端 SHP のポイント数から算出する。	
		林相区画内の蓄積（m ³ /ha）を密度管理図に基づき算出する。	
		林相区画内の平均樹冠高（m）と本数密度（本/ha）から収量比数（Ry）を算出する。	
		林相区画内の樹冠容積として樹冠高画像から樹冠容積を算出する。	
		林相区画の面積を算出する。	
		林相区画内の樹冠容積による蓄積（m ³ /ha）を樹冠容積（平均樹冠高）に基づき算出する。	
	地形解析	DEM（地盤高画像）から傾斜角を算出する。	傾斜区分画像 TIFF
		DEM（地盤高画像）から傾斜方向を算出する。	傾斜方向画像 TIFF
		DEM（地盤高画像）から谷尾根指標を算出する。	谷尾根指標 TIFF
	植生指数解析	オルソ画像（近赤外必須）から植物の活性度を示す植生指数を算出する。	植生指数画像 TIFF
	広葉樹林率解析	林相区分 SHP からメッシュサイズを変えながら一定面積メッシュ内の広葉樹林率を算出する。 ※広葉樹林率は、「樹種」属性が「広葉樹」である図形面積のメッシュ内に占める面積率により算出します。	広葉樹林率(200m メッシュ)SHP〔広葉樹林率〕
			広葉樹林率(500m メッシュ)SHP〔広葉樹林率〕
			広葉樹林率(1000m メッシュ)SHP〔広葉樹林率〕

いずれの機能も、基本的には入出力ファイルを指定し、初期設定のパラメータにより自動で解析結果を求めることができる。パラメータは、解析結果に応じて初期設定の値から変更すべき場合がある。

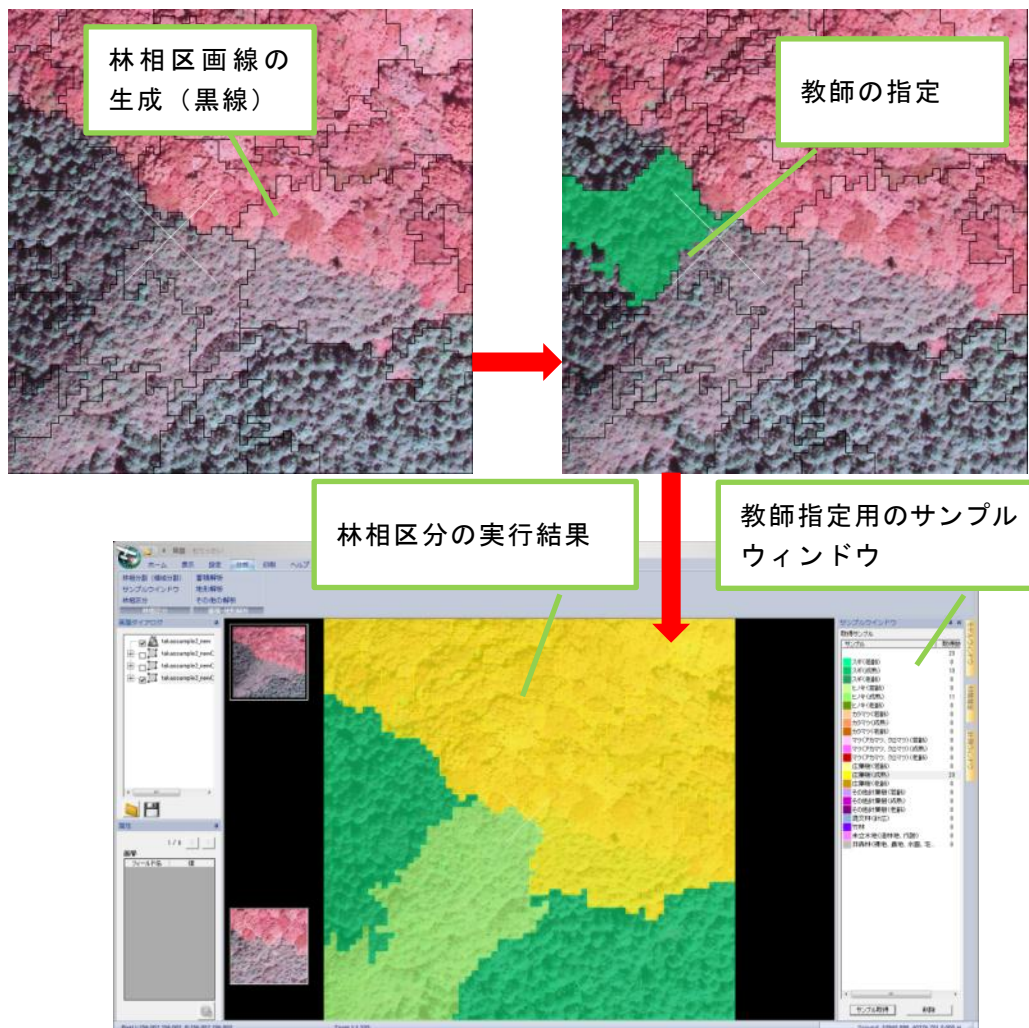


図 4.2.4 林相区分の実行画面

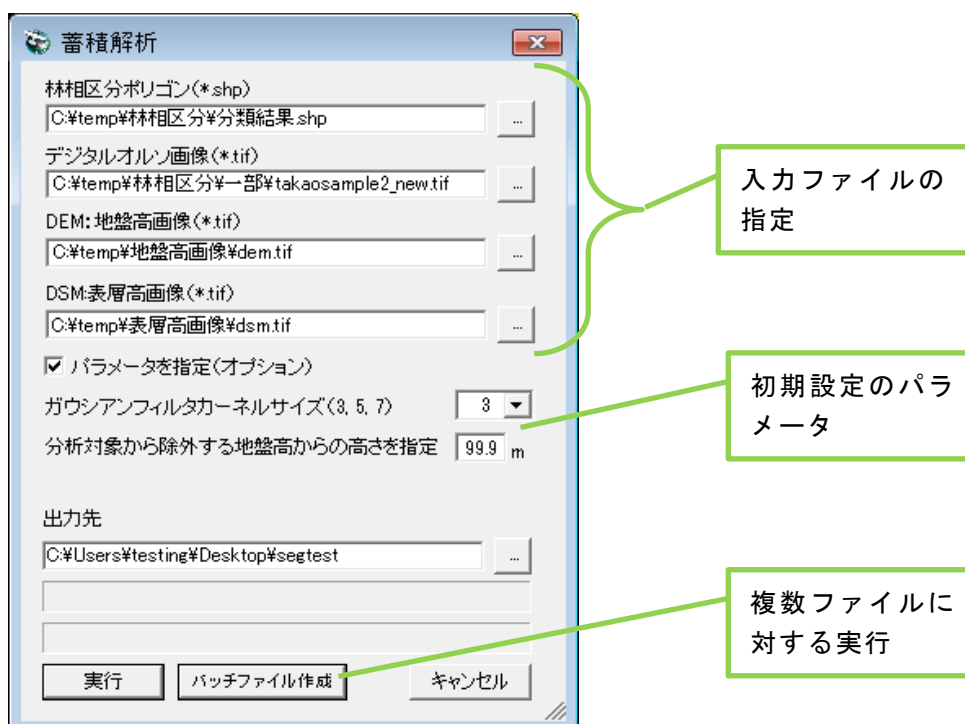


図 4.2.5 蓄積解析のメニュー

（３） 活用方法・留意点

分析機能の出力結果より、資源量、要間伐などについて広域の森林概況を把握することができる。次章「5.モデル地域における検討」において、事業体での間伐対象地の選定や、市の森林整備計画（ゾーニング）での活用を実際に行っている。また、出力結果を GIS 上で表示・解析することも可能であり、巻末資料、綴じこみ DVD の「成果活用マニュアル」にその方法を示している。

本プログラムでは、空中写真に基づき解析を行うため、空中写真には写らない樹冠下の情報については考慮できないこと、数値には誤差を含んでいることに留意が必要である。現地調査を実施して、地域別、樹種別等の誤差の補正や、推定式の作成を行うことも可能であり、詳細は「成果活用マニュアル」を参照されたい。

5. モデル地域における検討

5.1. 検討方針

本事業の解析プログラムによる林相区分や森林資源情報は、森林経営計画などの策定や実施における実用を想定している。

資源情報の活用が想定される森林計画制度は、平成 23 年の森林法改正に伴い改正され、市町村と事業体により重要かつ主体的な役割を期待する内容となった。

市町村においては、市町村森林整備計画策定を通じたマスタープラン作成やゾーニング、そして事業体の施業に対する伐採中止・造林命令などを含む制度運用などが求められ、市町村全体のレベルから、各事業体の個々の施業のレベルまでをカバーする情報が求められている。

事業体においては、森林経営計画策定を通じた計画対象森林の面積の明確化、路網整備や森林保護などの配慮の必須化、計画事項の図示などが求められ、最新かつ位置情報付きの森林情報が求められている。

このような森林計画制度の動向を踏まえ、本事業では、市町村レベルと事業体レベルで、実際の計画策定作業を支援する機会を得て、計画策定における成果活用を検討することとした。

また、支援の機会を提供していただくに当たっては、本事業の成果に関心を示され、本事業の成果活用にご協力いただくことを必須条件とした。以上から、市町村レベルと事業体レベルとで、次の組織より機会を得ることができたので、それぞれについて報告する。

- 市町村レベル： 愛知県新城市役所（市町村森林整備計画）
- 事業体レベル： 田島山業株式会社（森林経営計画）

5.2. 市町村森林整備計画

5.2.1. 検討目的

市町村森林整備計画策定に係る本事業の成果の活用方法を明らかにすることを目的として、次の作業を行った。

- 1) 概況把握
- 2) 計画策定業務フローの把握
 - (ア)業務の要素化
 - (イ)各要素において森林 GIS に適用できそうな事項の把握
- 3) 各要素における森林 GIS の活用方策検討
- 4) 活用方策の整理・提案

5.2.2. 地域概要

愛知県新城市は、古くから三河林業地域の一部であり、豊川用水の水源である宇連ダムや大島ダムの流域を含む、東三河地方の平野部・半島部の水源地域となっており、総土地面積の 8 割を林野が占める。

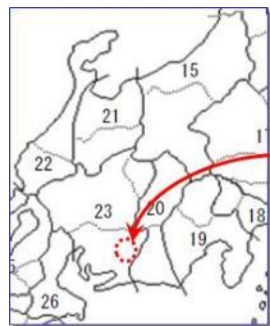


図 5.2.1 愛知県新城市の位置図

モデル地域である山林は、新城市北側に集中しており、総面積は約 41,648ha である。森林計画制度では、広域流域が木曽川であり、東三河森林計画区に属する。

新城市の森林情報は次のとおりであり、樹種別では、針葉樹ではヒノキが 39%、スギが 33%、マツが 8%であり、広葉樹は 20%となっている。

モデル地域の森林情報（愛知県新城市）

- 面積： 約 41,648ha（標高約 10～900m） うち市有林は 992ha
- 林種： 人工林：30,592ha（75%）、天然生林：9,708ha
- 樹種： スギ（33%）、ヒノキ（39%）、マツ（8%）、広葉樹（20%）
- 蓄積量： 10,683 千 m³（262m³/ha）
- 路網： 林内路網密度（公道＋林道＋作業道）21.4m/ha

出典：新城市（2010 年 8 月）新城市森づくり基本計画

新城市 HP <http://www.city.shinshiro.lg.jp/index.cfm/9,8927,143,655.html>

山林の齢級構成は、H20 時点で 10 齢級がピークとなり、拡大造林期の林分が 4 割

以上を占めている（林齢 36～55 年生：43.3%）。（図 5.2.2）

新城市の標準伐期齢はスギが 40 年（材の生産目標による伐期の幅 25～70 年）、ヒノキが 45 年（材の生産目標による伐期の幅 45～80 年）であり、人工林のほとんどが伐採に適した林齢を迎えつつある。

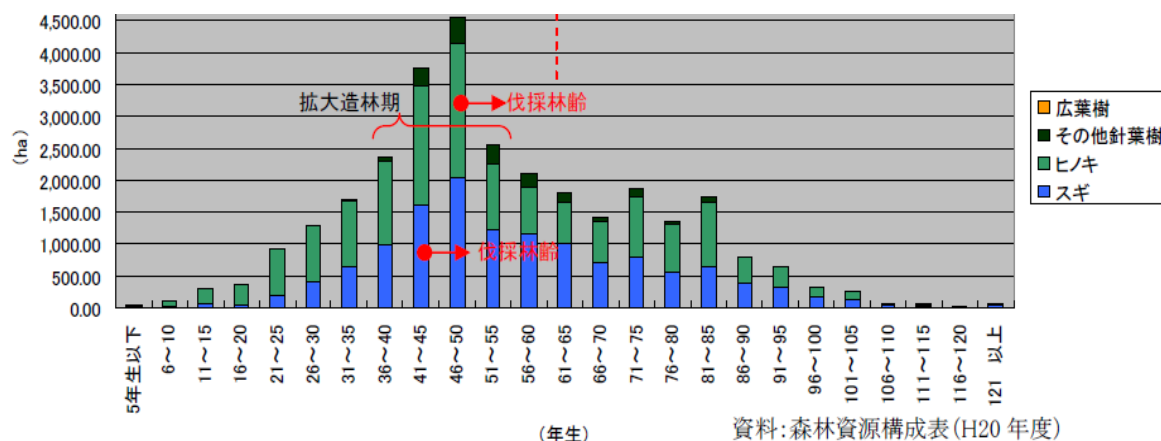


図 5.2.2 新城市の人工林の齢級構成

出典：新城市（2010 年 8 月）新城市森づくり基本計画

森林の所有形態は私有林が約 86%であり、3ha 以下の小規模林家が約 56%を占め、1ha 未満の所有者を加えて、零細所有者の比率は高いと考えられている。これとともに、森林所有者の高齢化や森林境界を知らない所有者の急増が懸念されている。

これらの課題解決のため、新城市は平成 22 年に「新城市森づくり基本計画」を策定しており、平成 23～32 年度の間に、次の主要事項を予定している。

- 経営林と環境林の区分け
- 間伐が必要な全ての人工林を健全化

また、20 年後、50 年後を見据えた齢級構成の適正化による木材生産の安定供給を目指している。

市町村森林整備計画については、平成 23 年森林法改正を受けて変更計画を平成 20 年度～平成 29 年度について作成している。平成 25 年度以降は改正後の森林計画制度により適合した実効性のある計画策定が予定されている。

新城市の森林管理における GIS は、平成 24 年度にその導入準備が始められたが、本事業の成果活用の検討時に GIS は完成していなかったため、本事業の解析プログラムの作成データを用いて検討を行った。

5.2.3. 実施内容

改正後の森林計画制度に基づく市町村森林整備計画の策定における本事業の成果の活用のポイントについて、住民説明会での資料作成支援、新城市役所職員へのヒアリングを通じて把握した。

住民説明会では、主としてゾーニングの説明資料と関連する山林の立体像の提供を通じて活用のポイントを検討した。また、新城市役所職員へのヒアリングでは市町村森林整備計画の各作業要素について活用のポイントについてご意見などをいただき検討をした。

新城市での現地調査は、平成 24 年度に行い、その概要は表 5.2.1 のとおりである。

表 5.2.1 新城市での現地調査

作業項目	時期	主な事項
1) 概況把握	第 1 回 (H24/7/3～7/4)	● 本事業の説明（「もりったい」、GIS デモ） ● 山林の見学
2) 計画策定業務フローの把握 3) 業務の各要素における森林 GIS の活用方策検討	第 2 回 (H24/12/10～12/12)	● 計画業務の要望把握 ● 住民説明会での「もりったい」、GIS の活用
4) 活用方策の整理・提案	第 3 回 (H24/3/8)	● 解析データの提供 ● ゾーニングへの活用

5.2.4. 現状と課題

(1) 現状

▼計画状況

新城市における森林計画は「森づくり基本計画」などがあり、既に入手可可能な森林情報を用いて既に具体化している。平成 23 年の森林法改正に伴う改正後の森林計画制度の運用については、変更計画の作成、担当職員の関連研修参加などを通じて準備が進められている。改正後の制度に対応した市町村森林整備計画は、平成 25 年度～平成 34 年度の 10 年間を計画期間とし、平成 25 年 4 月 1 日の発効を予定している。

▼GIS の利用状況

新城市の森林 GIS は、「森林に関する様々な図面、空からの写真データ、文字・数値データを一元的に管理し、分析・処理」する機能を有するものとしている。ただし、平成 24 年に導入が始まり、現地調査時点では準備段階にあった。

また、市役所として提供する森林情報は、特定団体の営利目的に資するものではなく、公益目的の範囲での基礎情報や方針・計画関係の情報の提供に重点が置かれる。

▼その他

新城市内には市有林がいくつかあり、それぞれについて森林経営計画を策定しているが、そのうち 1 つの地区の市有林について施業履歴、林齢といった情報が不足していた。計画策定に資するため、施業が必要な林分や施業が容易な立地箇所の情報等が必要とされている。

(2) 課題

▼計画面

市町村森林整備計画策定に係る課題は、次の事項が考えられる。

1) 方針等の提示

行政的な方針や計画は、「森づくり基本計画」とともに、市町村森林整備計画などにより示される。特に、ゾーニング、路網整備においては、事業体等への説明責任が求められ、最新かつ位置情報付きの森林の基礎情報が必要となり、さらにこれらの基礎情報を踏まえた方針・計画の策定能力が求められている。

2) 情報提供

行政機関が森林情報を提供する対象は、森林経営計画を策定する事業体等や住民

である。したがって、提供内容は、森林経営計画策定の制度要件に対応したものが求められる。

3) 調整

市町村森林整備計画におけるゾーニングや森林経営計画の集約化には、合意形成を支える説明情報が必要となる。関係者は一般住民から事業体関係者まで多様であり、だれもが簡単にわかるような説明力を備えた情報とその伝達方式が求められる。

4) 確認

森林経営計画の認定や伐採や林地取得に係る届出等において、提出される文書について、対象地の特定、届出確認の際の裏付け参照といった場所の確認作業が生じ、位置情報付きの森林情報が必要となる。

▼GIS の利用状況

当初の導入目的に沿って、提供する情報の種類や構成を、調達可能な情報の範囲で設計する必要がある。

森林情報のレベルとしては、市町村レベルといったゾーニングのようなレベルだけでなく、事業体レベルまで対応可能な情報が有用と考えられる。

▼その他

市有林の森林経営計画策定において、間伐施業の要否判断、施業が容易な立地の判断に係る森林情報が必要とされている。

新城市においては、レーザ計測による地形データや正確な林道の GIS データが不足している。レーザ計測による地形データは国土交通省の地形データで代用できるが精度が粗く、資源量の推定精度も落ちるため、レーザ計測による精密な地形データの入手が望まれている。土場や林道の GIS データについては、GPS による簡易な測定により作成が可能であり整備が望まれる。

5.2.5. デジタル森林空間情報の活用

(1) 住民説明会における活用

1) 住民説明会

市町村は、市町村森林整備計画策定及びゾーニングにあたり、学識経験者からの意見聴取や住民との合意形成に努めることとなっている。住民説明会において、GIS、空中写真立体視を効果的に用いて住民の理解促進を図ることを目的に、新城市が開催する森林整備計画説明会のサポートを行った。

本事業が参加した住民説明会の概要は表 5.2.2 のとおりで、各地区の市内位置、ゾーニングは図 5.2.3 のとおりである。

表 5.2.2 住民説明会開催概要（本事業参加分のみ）

対象地区	池場、川合、名号	大野、睦平、細川
月 日	H24 年 12 月 10 日	H24 年 12 月 11 日
時 刻	19 時～21 時	19 時～21 時
会 場	池場老人憩いの家	大野中央集会所
参 加 者	15 名	10 名
説 明 者	市担当者 5 名 県准フォレスター 1 名	市担当者 5 名 県准フォレスター 1 名
参 加 者 概 要	自伐林家 1 名、他は山林を所有しているものの積極的な施業は行っていない	多くの参加者が区有林の管理を共同で実施、林道近くでは間伐を実施している。境界確認等を行っている NPO から参加

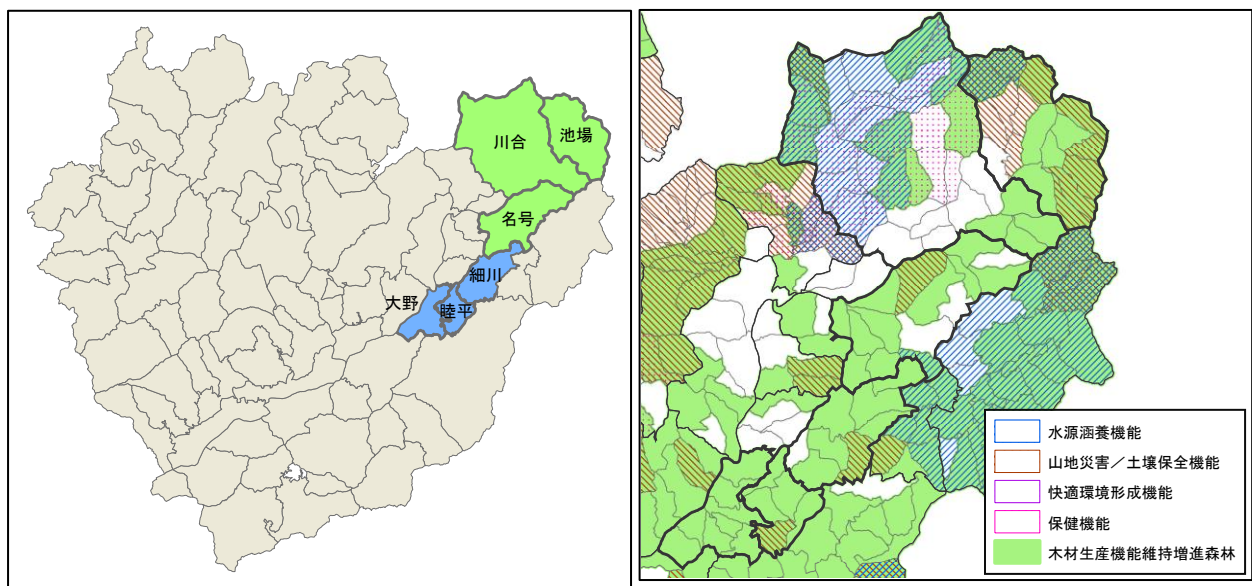


図 5.2.3 住民説明会開催地区

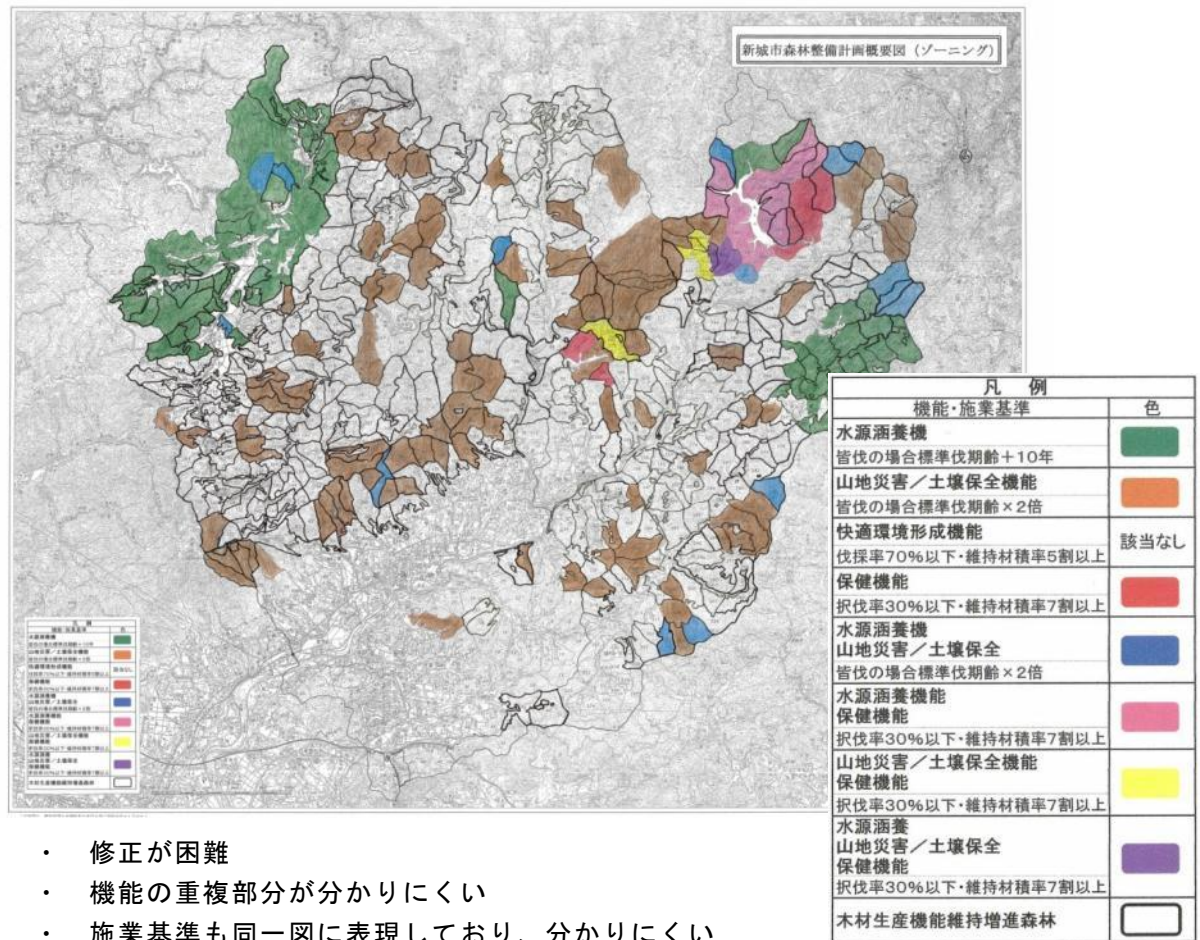
2) 活用のポイント

住民説明会は、森林整備計画とゾーニングを説明し、理解を得ることを主目的としている。ゾーニングの結果のみならず、その根拠となった保安林率なども示すことにより理解を促すものとする。

市の従来手法では、紙に色鉛筆で着色したゾーニング図（図 5.2.4）と、ゾーニング根拠の集計表を資料とすることとなる。紙のゾーニング図では、機能の重複部分などが分かりにくく、配布資料の作成（縮小コピー等）も不便である。またゾーニング根拠の集計表では、結果である図面との対照が分かりにくい。

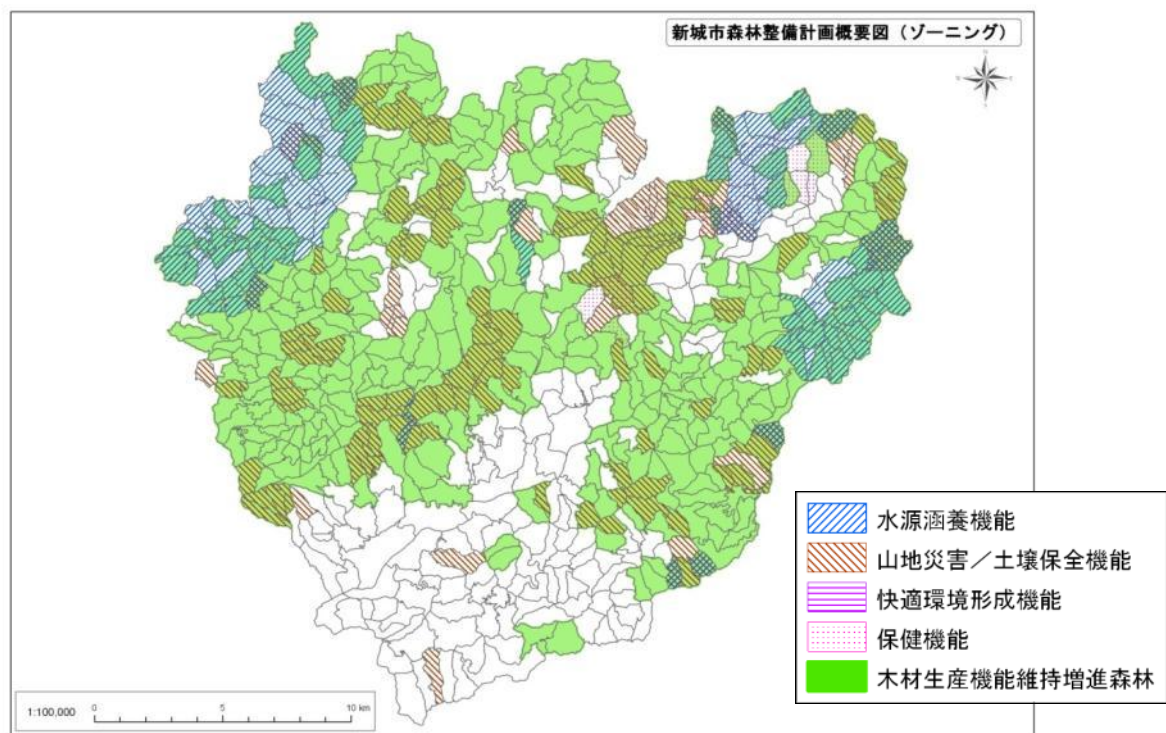
そこで、ゾーニング図とゾーニング根拠を GIS で可視化する（図 5.2.5）ことにより、住民の理解を促進することができると考えた。

また、所有山林の現況を把握するため、「もりったい」による地域の立体視も実施した。



- ・ 修正が困難
- ・ 機能の重複部分が分かりにくい
- ・ 施策基準も同一図に表現しており、分かりにくい

図 5.2.4 紙図面による新城市森林整備計画概要図（ゾーニング）



- ・ 修正が容易
- ・ 機能の重複を表現可能
- ・ 拡大表示が可能
- ・ 施策基準は別の図面として作成可能

図 5.2.5 紙図面の GIS への置き換え

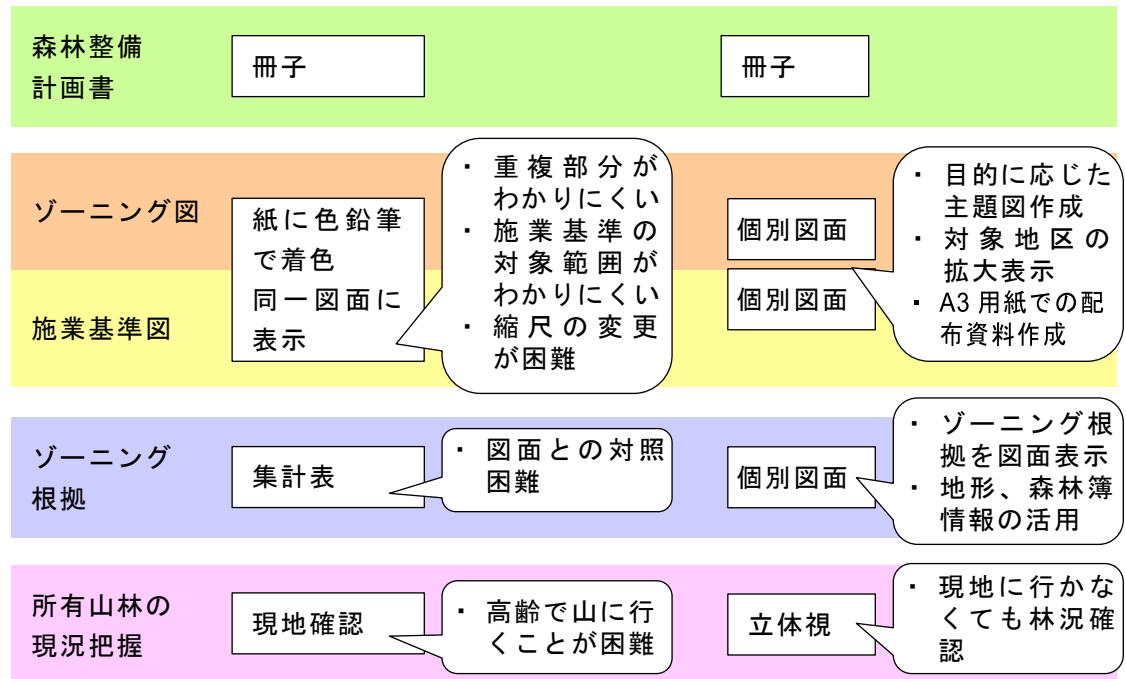


図 5.2.6 説明会資料における従来手法と GIS・「もりったい」の活用比較

初回の住民説明会（池場、川合、名号地区）におけるゾーニングの説明では、はじめにゾーニング図、次にゾーニング根拠、施業基準図、森林簿、傾斜区分の順に示した。参加者から、行政が勝手にゾーニングを決めて個人の山林に規制をかけている、という意見が強く出された。新城市担当者と打合せた結果、ゾーニングありきではなく、保安林などを根拠に設定されており、また所有者の意見により変更していくことを伝えるため、図面を提示する順を変更することにした。

次の住民説明会（大野、睦平、細川地区）では、まず森林簿、傾斜区分により地域の森林を示し、次にゾーニング根拠、最後にゾーニング図、施業基準図を示すという順に変更した。森林行政に理解の深い参加者が多かったこともあり、ゾーニングへの異議はなかった。

説明会の作業要素に応じた従来手法の課題に対する GIS と「もりったい」の活用方法は、図 5.2.6 のとおりである。

GIS 利用の効果としては、以下のようにまとめられる。

- ・ スクリーンに映写した図面を全員で確認することにより、参加者が目的（ゾーニングの確認）に集中することができる。
- ・ ゾーニングの根拠、ゾーニング結果の図を切り替えながら説明できる、対象地区の範囲を拡大表示できるという GIS の特性により、ゾーニングの理解が進んだ。

1 回の住民説明会当たり 30 分程度の時間をとり、参加者に地域の森林を写した空中写真を立体視してもらった。立体像上に県の森林 GIS の地番界を重ね、地番をラベル表示した状態で所有山林が特定できるようにした。

高齢の参加者がストレスなく利用できるか、見えすぎるために所有界などの問題が指摘されないか、という点が事前に懸念されたが、大きな問題はなく、興味を持って立体視をしてもらうことができた。

表 5.2.3 「もりったい」の利用状況

検証点	結果
高齢者の利用	のべ 25 人の参加者全員が問題なく立体視をすることができた。むしろ、開始前に映写しているときから、「3D だ」と興味を持って見ている人も多かった。
所有界などの指摘	市担当者によれば、計画図の地番は森林計画のための区画であり、所有界とは異なることの理解が浸透しているとのことである。 「線は、地籍なのか」という質問に対し、計画図の地番と回答したところ、納得したようであった。
山林の現況把握	主に地区で管理している区有林の場所を確認した。川合地区では、区有林の中で「沢の奥の方を見せて欲しい」という要望に応えたところ、スギの成育もよく、普段は行けない場所の現況が確認できた。睦平地区では、新規開設された林道の周辺を確認し、間伐が行き届いている林分の状況、開設林道から到達できそうな範囲の森林の成育状況などを確認できた。 個人の山林については、住民説明会の場の話題として取り上げにくいようである。市に「もりったい」があるので、各自で確認してもらうこととなった。

「もりったい」の利用の効果としては、以下のようにまとめられる。

- ・ 普段行けない地域の森林を確認し、今後の施業、林道開設などのイメージを得ることができる。
- ・ 森林に関心が低い所有者が、関心を持ち、施業のきっかけとなる可能性がある。
- ・ 説明の合間のお楽しみの要素となり、最後まで説明会に集中してもらう効果がある。

説明会終了後も新城市森林課に「もりったい」を利用できる PC を設置したところ、所有山林の状況を確認したいと訪問する所有者があった。所有者の窓口となる市町村に常設することができれば、所有者へのサービスとして有効であると考えられる。

(2) 市町村森林整備計画への活用

森林計画制度における市町村の対応範囲は、市町村森林整備計画の策定とともに、集約化を通じた市町村森林整備計画並びに森林経営計画の策定への支援が見込まれる。

これらの業務を要素化し、従来の情報源と、本事業の成果である「もりったい」や GIS によりもたらされる情報源とを比較した。

1) 市町村森林整備計画

改正後森林計画制度における市町村森林整備計画策定の作業要素について、本事業の成果の活用のポイントを、ゾーニングにおけるデータ利用のデモンストレーション、新城市役所の職員の方へのヒアリングを通じて把握した。

ゾーニングにおけるデータ利用のデモンストレーションでは、わかりやすい事例として新城市北端の明神山周辺を選び、木材生産機能維持増進森林について検討した。

森林簿から得たデータを GIS 上に展開したものが図 5.2.7 の左側で、右側はフォーリスカラーのオルソ画像である。緑色の点線内で比較すると、図 5.2.7 左側にみられるとおり、これらは木材生産機能維持増進森林とされ、ほとんどがスギ、ヒノキで構成されている。しかし、右側の写真上では広葉樹や裸地と思われる箇所がかなり存在することが目視判読によりわかる。

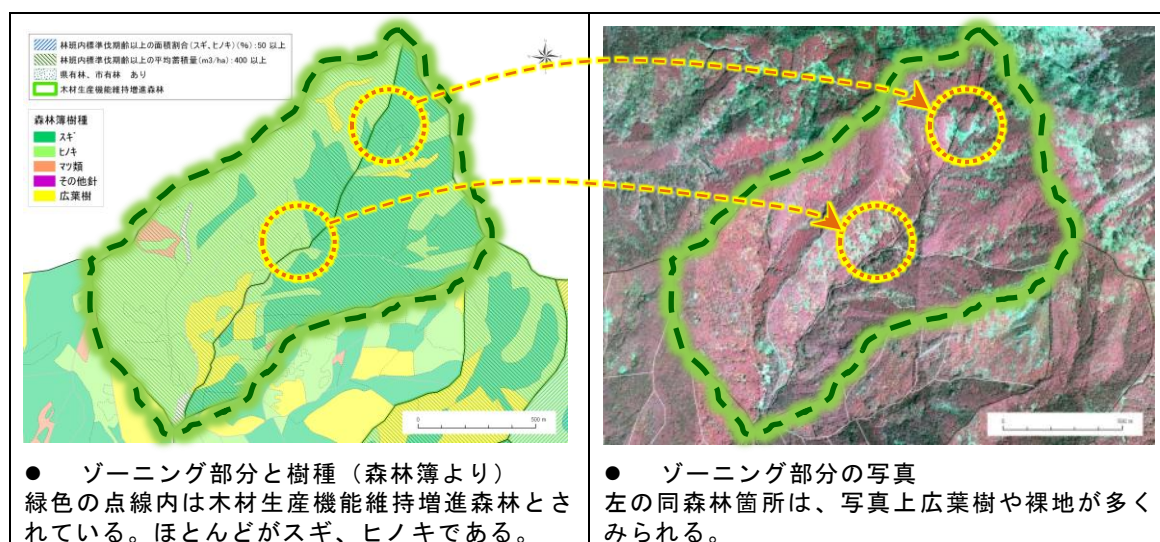


図 5.2.7 ゾーニングと空中写真の比較

次に本事業の解析プログラムの林相区分機能による林相区分結果と蓄積量の推定結果を図 5.2.8 に示す。これより、林相区分と蓄積量の分布がよりきめ細かくわかり、施業の中心をより絞り込むことができる。図 5.2.8 の右側の赤い点線部分は施業の中心となるであろうより大きい蓄積が集中する範囲を示している。

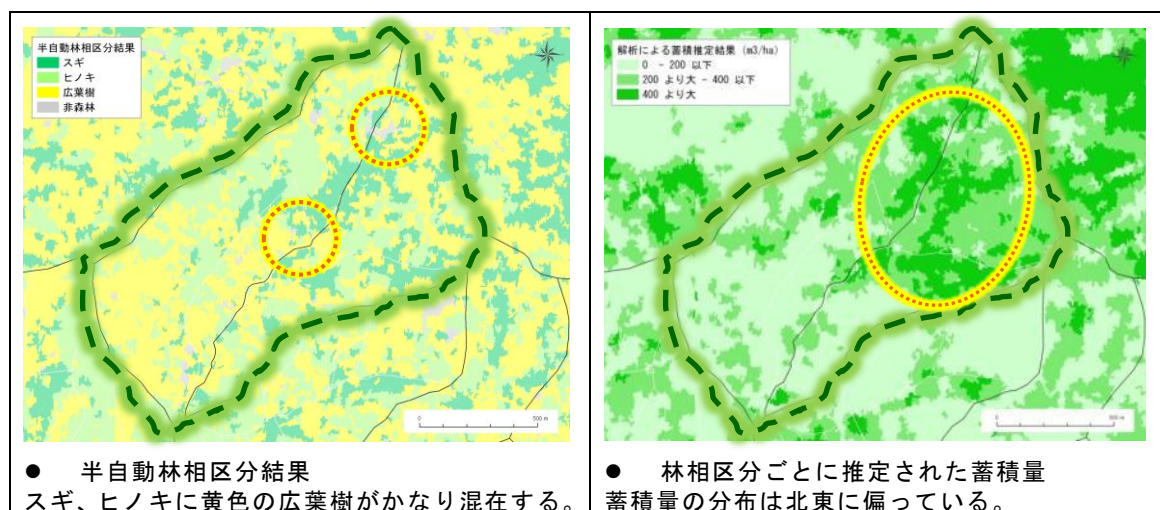


図 5.2.8 林相区分と蓄積区分の分布上の把握

このようなデモンストレーションを通じて、ゾーニングにおけるデータの活用方法を確認した。

市町村森林整備計画の内容はこのようなゾーニングにとどまらない。市町村森林整備計画全体に関するヒアリングの結果は、次のとおりである。

※ヒアリング時に用いた資料は巻末資料のとおりである。

計画策定作業の大きな流れは、次のとおりである。

▼基本的流れ

- ① データの収集
- ② 森づくり構想の作成
- ③ 森林施業の標準的な方法の決定
- ④ ゾーニングと施業方法の選択
- ⑤ 路網整備の構想
- ⑥ 森林の保護に関する事項
- ⑦ 案の決定（関係者への説明・合意形成）

この流れにおける作業要素について、従来の情報源と、本事業の成果活用を「提案の情報源」として、活用のポイントを検討した。

活用のポイントの要点は次のとおりである。

▼活用のポイント

- ① 森林情報：材積、本数密度、樹高、収量比数（Ry）、林相区分
- ② 路網の計画：路網状況の評価（平均集材距離と平均傾斜）
- ③ 間伐対象林の抽出（収量比数（Ry）による）
- ④ 写真情報：デジタルオルソ画像と立体像であり、一次的情報として常に参照できる他、説明会で共有、だれもが一見してわかる。

これらの活用のポイントを支えるデータの特質として、①森林情報の新しさ、②範囲の広さ、に活用価値が認められた。特に、後者は森林と路網の関係において重要であり、周辺状況も含めた計画策定を可能にする。

市町村森林整備計画の作業要素のうち特に活用できるポイントは表 5.2.4 のとおりである。作業要素と従来の情報源に対して、本事業の解析プログラムにより作成される情報とその活用のポイントについて比較した。

※この表に至る前の作業資料で、すべての作業要素の検討結果は巻末資料に示した。

表 5.2.4 市町村森林整備計画の作業要素に応じた活用のポイント

凡例： [オ]デジタルオルソ画像 [立]PC 上の立体像

表頭の「提案の情報源」とは本事業の解析プログラムによる情報源

市町村森林整備計画	作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
1) データの収集				
	(ア)地域における森林資源などに係る情報			
	① 森林 GIS の活用	—	林相、Ry、林分材積、本数密度、樹高 森林の写真像[オ][立]	最新の森林情報 さまざまな森林情報を裏付ける、または確認する一次的情報としての活用可能
	② 空中写真等の地図情報活用	空中写真 (印画焼付)	森林の写真像[オ][立]	空中写真の高度活用（専門性・習熟

市町村森林整備計画	作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
				性の要求度低く誰でもすぐにできる) 材積推定、Ry 表示 林相区画 (属性付) の GIS への持込
	③ 過去の事業実施状況の資料 (図情報)	伐採届等記録文書	――	GIS 上で統合的利用が可能
	(イ) 公益的機能発揮に係る情報		――	懸案箇所の林況、地況の確認に活用可能 GIS 上で統合的利用が可能
	2) 森づくり構想の作成			
	3) 森林施業の標準的な方法の決定			
	(ア) 伐採の標準的な方法	紙情報	――	――
	(イ) 造林の標準的な方法	紙情報	――	――
	(ウ) 間伐の標準的な方法	紙情報	――	――
	(エ) 保育の標準的な方法	紙情報	――	GIS 上で統合的利用が可能
	(オ) 生物多様性の保全方法 (営巣木の保残や郷土種の活用)	紙情報	――	〃
	4) ゾーニングと施業方法の選択			
	(ア) 公益的機能別施業森林の設定	森林簿、森林基本図 (計画図)	――	ゾーニング基準内容により、本事業のデータを利用可能
	(イ) 木材等生産機能の維持増進を図る森林の設定	〃	林相、林分材積、本数密度、樹高 森林の写真像 [オ][立]	資源構成情報を提供
	(ウ) 森林施業方法の設定	〃	〃 森林の写真像 [立]	施業方法の設定条件により、本事業のデータを利用可能
	(エ) 原案に関する地域との協議			
	① 説明会での説明用ツール (図情報)	関連情報 森林基本図 (計画図)	住宅地 森林の写真像 [オ][立]	計画図から常に裏付けとなる一次情報として立体像を表示可能
	5) 路網整備の構想			
	(ア) 林道、林業専用道の整備計画策定	森林基本図 (計画図)	諸森林情報 森林の写真像 [オ][立]	GIS 上で統合的利用が可能 森林資源の分布に応じて路網を検討
	(イ) 路網整備等推進エリアの策定	〃	平均集材距離 平均傾斜区分	平均集材距離が長く平均傾斜区分が小さければ新設検討
	(ウ) 路網密度目標の設定	〃	傾斜	作業システムの適用範囲に応じた路網密度の設定

市町村森林整備計画	作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
6) 森林の保護に関する事項		紙情報	——	——
7) 決定				
(ア)学識経験者からの意見聴取		紙情報	森林の写真像[オ][立]	GIS上で統合的利用が可能 位置付の情報をあらゆる縮尺で提示できる。また、誰でも共有できる立体像により森林の状態を表示可能
(イ)公告・縦覧		紙情報	〃	〃
(ウ)都道府県知事への協議		紙情報	〃	〃
(エ)市町村森林整備計画の公表		紙情報	〃	〃

これに加えて、特に留意すべき計画要件として、次の事項を別途検討した。

▼特に留意すべき計画要件

- ① 地域の森林・林業の有識者などへの意見聴取
- ② 市町村森林整備計画の図示化
- ③ 生物多様性への配慮
- ④ 森林所有者、地域住民との合意形成

各事項の詳細については、表 5.2.5 のとおりである。

表 5.2.5 市町村森林整備計画において特に留意すべき計画要件

凡例： [オ]デジタルオルソ画像 [立]PC上の立体像

表頭の「提案の情報源」とは本事業の解析プログラムによる情報源

作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
1) 地域の森林・林業の有識者などへの意見聴取	紙情報	諸森林情報 森林の写真像[オ][立]	一次的情報を伴う 位置付情報の提示
2) 市町村森林整備計画の図示化（必須項目のみ）			
(ア)地域森林計画対象森林（人工林、天然林）	紙情報	林相、林分材積、本数密度、樹高	最新の森林情報
(イ)ゾーニング	紙情報	——	ゾーニングの適用基準が本事業のデータで適用可能であれば、利用可能
(ウ)計画期間（10年）内に間伐等の施業が必要な森林	紙情報	——	Ryにより間伐の必要性を傍証 立体像を一時的情報として用いて傍証
(エ)植栽によらなければ適確な更新が困難な森林	紙情報	——	——

作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
(オ)路網整備等推進区域	紙情報	平均集材距離 平均傾斜区分	平均集材距離と平均傾斜区分により評価
(カ)林道、林業専用道(既設、開設予定)	紙情報	〃	作業システムの適用範囲に応じた路網密度の設定
(キ)必須以外 ① 市町村界 ② 旧市町村界 ③ 土地利用（森林原野（国有林、民有林（公有林））、農地） ④ 森林経営計画作成森林 ⑤ 保健機能森林区域 ⑥ 制限林（保安林、他法令による地区指定箇所） ⑦ 基幹路網 ⑧ その他必要な事項（活動拠点施設、林産物の生産・流通加工販売施設、生活環境施設、森林の総合利用施設）	紙情報	――	GIS 上で統合的利用が可能
3) 生物多様性への配慮			
(ア)多様な遷移段階・タイプの森林のバランス良い配置	紙情報	林相 森林の写真像[オ][立]	林縁率、連結性などの配置特性を算出可能
(イ)森林施業上の留意事項の策定	紙情報	諸森林情報 森林の写真像[オ][立]	GIS 上で統合的利用が可能 保全対象に応じたスケールの調整と属地的対応が自在に可能
(ウ)自然環境を知悉する団体との協働	紙情報	森林の写真像[オ][立]	共有できる情報基盤の提供
4) 森林所有者、地域住民との合意形成			
(ア)学識経験者の意見聴取	紙情報	諸森林情報 森林の写真像[オ][立]	「もりったい」による林況、地況に関する一次的情報を提供
(イ)地域の篤林家等への意見聴取	紙情報	〃	〃 ※立体像により誰でもわかり、関心を喚起しやすい。
(ウ)集落単位での説明	紙情報	〃	〃 ※ 〃

ここで、GIS の統合的利用とは、紙ベースまたは経験上の知識がデジタル化され GIS データの属性に追加され、GIS データ全体として位置情報を伴い、参照、検索、比較、分析、表示が可能となることを指すこととする。

2) 集約化

集約化の作業要素は、計画行為と支援制度において、次の事項が含まれている。

▼集約化の作業要素

- 1) 市町村森林整備計画
(ア) データの収集
- 2) 森林経営計画
(ア) 森林情報の収集
(イ) 計画策定
- 3) 森林整備地域活動支援交付金
(ア) 「森林経営計画作成促進」に対する支援
(イ) 「施業集約化の促進」に対する支援
(ウ) 「作業路網の改良活動等」に対する支援

これらの事項における本事業の成果活用のポイントは、表 5.2.6 のとおりである。
この表に至る前の作業資料であり、すべての作業要素の検討結果は巻末資料に示した。

表 5.2.6 集約化の作業要素に応じた活用のポイント

凡例： [オ]デジタルオルソ画像 [立]PC 上の立体像

表頭の「提案の情報源」とは本事業の解析プログラムによる情報源

集約化 作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
1) 市町村森林整備計画			
(ア) データの収集			
① 地域における森林資源などに係る情報	森林基本図（計画図）、地籍図、森林簿	林況、路網、森林の写真像 [オ][立]	林況などの傍証データを提供 履歴情報の保管
② 木材生産に係る情報			
1. 集約化推進のための情報（所有、境界明確化）	森林基本図（計画図）、地籍図、森林簿	林況、路網 森林の写真像 [オ][立]	林況などの傍証データ提供 境界の参照情報（林相区分線との一致）
2) 森林経営計画			
(ア) 森林情報の収集			
① 林班内の森林所有者の構成	森林基本図（計画図）、地籍図、森林簿 既存の GIS	地況、林況、路網など	計画策定者が、核となる計画範囲をまず決めた上で、 <u>その周囲の林況も含めて</u> 、集約化すべき範囲を戦略的に検討可能
(イ) 計画策定			
① 伐採及び造林計画【計画の最重要事項】			
1. 主伐 5 年間の実施総量と各年度の内訳	森林基本図（計画図）、森林簿 GIS	林況 森林の写真像 [オ][立]	総量の把握 立体視機能でスポット的把握
2. 間伐	〃	〃	森林法上の間伐条件 適合地把握 ※間伐履歴情報は森林簿などに頼ることとなる。
3. 間伐・更新伐面積・搬出材積の要件 ※森林管理・環境保全直接支払制度	事業体の経営情報・予定 森林基本図（計画図）、森林簿、GIS	〃	面積、材積、本数情報提供 図示情報作成
② 集約化施業の実施状況	経験	――	――
③ 作業路網その他の施設の設置に関する計画	経験 森林基本図（計画図）、森林簿	森林資源の分布 森林の写真像 [オ][立]	森林資源の分布状況に応じた、平均集材距離、平均傾斜による路網等整備推進区域の把握 ※既設路線データを GPS 測位により入手 林道等の延長算出

集約化 作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
3) 森林整備地域活動支援交付金	※集約化のた補助にできなかった。補助金制度の維持も入る。		
(ア)「森林経営計画作成促進」に対する支援			
① 対象森林	行政情報		森林経営計画対象外などの要件の確認
② 対象行為（地域活動）			
1. 森林情報の収集：	森林簿、森林基本図、登記簿 林齢	区域の面積、成立本数、平均胸高直径、平均傾斜角、傾斜方向、境界の状況、林道からの距離、作業道の有無 森林の写真像 [オ][立]	既存の情報の補足 机上で森林情報の概要把握 信頼度高いデータによる計画の質向上 計画・実施に係る自治体の監視力の向上 ただし、林齢については森林簿の情報が不可欠
2. 森林調査：	現地調査	樹高 路網の線形検討に必要な地形 森林の写真像 [オ][立] ※胸高直径、樹種は現地確認が必要	かなりのレベルまで森林調査内容を補足 ただし、空中写真の立体像で判読不能な森林情報、特に施業方法変更のための検討情報、さらに、露岩などの地況については現地調査が必要
3. 合意形成活動：	地域のネットワーク	森林情報、説明会の参加者への説明情報 森林の写真像 [オ][立]	計画案のための情報に加え、 立体像は一次的情報として、説明会参加者で共有でき、信頼度の高い情報として提示可能
4. 境界の確認：	地域のリーダー確保 地域住民との問題意識共有 行政の支援確保 当事者による立会確認 現地での合意形成、杭打ち、測量	森林の写真像 [オ][立] ※当事者の記憶に近い情報	林相による森林のまともりは境界線検討の参考情報 誰でも見てわかる情報
(イ)「施業集約化の促進」に対する支援			
① 対象	行政情報（認定）	森林の写真像 [オ][立]	GIS 上の統合的利用の一環として地理的範囲を確認
② 対象行為（地域活動）			

集約化 作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
1. 森林調査：	※「森林経営計画作成促進」に対する支援とほぼ同様。	同左	同左
2. 合意形成活動	〃	同左	同左
3. 境界の確認	〃	同左	同左
③ 留意事項： 交付単価の適用積算基礎森林での間伐の条件は次のとおり。			
1. 搬出材積を施業面積当たり平均 $10\text{m}^3/\text{ha}$ 以上として実施する。	森林基本図（計画図）、森林簿、GIS	林相、林分材積 森林の写真像 [オ][立]	GIS による材積、本数情報提供 図示情報
(ア) 次の 2 つのどちらかの作業であること。 ①適正な密度管理 ②長期育成循環施業の対象森林における適正な密度管理	森林基本図（計画図）、森林簿、GIS	林況 収量比数（ R_y ） 森林の写真像 [オ][立]	R_y を適切な密度管理のための指標として活用 ※齢級は森林簿から
(イ) 次の 3 つの要件のいずれかを満たすもの。 ①施業面積 ②施業面積と森林所有者構成 ③不在村森林所有者を含む施業面積	森林基本図（計画図）、森林簿、GIS 森林所有者名簿 不在村森林所有者名簿	森林の写真像 [オ][立]	GIS 上の統合的利用の一環として地理的範囲の確認可能
(ウ)「作業路網の改良活動等」に対する支援			
① 対象	行政情報（認定）		GIS 上の統合的利用の一環として地理的範囲の確認
② 対象行為（地域活動）			
1. 作業路網の改良活動：	現地情報	既設の作業道などの路網情報 森林の写真像 [オ][立]	空中写真での作業道の状況把握は林冠に覆われ見えなくなる場合があるが、レーザ計測によれば微細な地形の変化で作業道を把握可能 谷部、脆弱地盤など、路体維持に特に配慮すべき箇所は把握可能であり、路網設計で有用

集約化 作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
			潜在的な危険個所の情報（谷部、急斜面、崩積土部分）と合わせて活用可能 ※崩積土部分は防災科学技術研究所サイトよりダウンロード可能
2. 施業実施箇所の林分の確認調査等：	現地情報	傾斜、立体視機能による崖錐、間伐対象林分の把握 森林の写真像 [オ][立]	作業システムの種類に応じた林地の平均傾斜を GIS 上で把握可能 分析機能で、梢端位置（樹幹位置）と平均傾斜の分布状況の位置関係を把握可能 露岩などの地況については現地調査により情報収集が必要
③ 留意事項：	現地情報	立体視機能による森林の所在、面積の把握 森林の写真像 [オ][立]	傾斜と森林の所在との位置関係からより適切な森林作業道の路線を計画可能 ※林齢は森林簿による。

集約化における本事業の成果の活用による業務の改善事項としては、「1」市町村森林整備計画で前述した事項とほぼ重複するが、特に集約化において重要となるメディアとしての役割から、円滑なコミュニケーションに貢献すると考えられる。その効果は、住民説明会でも明らかであった。また、新城市全体の森林資源状況や路網状況の位置関係がわかれば、より集約化に向けた動機付けにつながると容易に想像できる。

また、集約化の大きな課題である境界の明確化については、地籍情報が GIS 上で利用可能なデータ形式で提供されれば、その立体像と材積などの森林情報を確認できる。このようなデータがない場合、立会いによる現地確認、GPS レシーバーによる測位と合わせ、本事業の立体像や林相区画線は参照情報として有用である。

3) 活用のポイントのまとめ

上述したの活用のポイントから、従来の業務の流れにおける解析プログラムの作成データの役割としては、従来の情報と同種である場合、「代用」「参照」「補強」といった活用が考えられる。この場合、樹高、材積などの資源情報が主体となる。

資源情報の精度は、広域のスケールでは、分析機能の林相区分により、広域相応の精度でデータを入手できる。詳細のスケールでは、立体視機能の画面上での測定により、より高い精度で局所的なデータを入手できる。両者とも、GIS 上で利用可能なデータであるとともに、ユーザーのニーズに弾力的に応じることができる選択肢となる。

一方、従来の情報と異なる場合においても、他の情報と共に使うことにより統合的な活用が可能となる（他の情報の例：災害、交通網、送電網など）。森林地域における位置付けを常に確認でき、森林資源との関係に示唆を与える情報として、他の情報と統合的な活用が可能である。このような素地となる情報として、最新の森林の写真像（デジタルオルソ画像（単画像）、立体像）が、樹高、材積などの資源情報に加わる。また、

森林の写真像は、一次的利用を通じて利用者の幅を広げうる。

解析プログラムの利用は GIS を伴うものである。一般的な GIS の利点としては、次の事項があげられている。

- 1) データベース作成： 情報の蓄積、編集、そして図示が柔軟かつ容易
- 2) 情報解析： 分析・評価、選択肢の検討、モデル利用による推測が容易
- 3) 情報提供・共有化： わかりやすく共有しやすい情報内容と表現力を具備
- 4) 意思決定支援： 豊富な情報量、統合・解析・共有が容易

解析プログラム利用の利点は、GIS 導入の効果を分ちがたく、それを含めた上で、表 5.2.7 のように整理される。また、新しい空中写真情報の入手も考慮に入れる。

表 5.2.7 市町村での活用による改善事項

関係者と関連作業	解析プログラム	
	分析機能によるデータ	立体視機能によるデータ
1) 市町村森林整備計画の策定 ①ゾーニング ②路網計画 ③森林経営計画の認定 ※また合意形成の説明用ツールとして	● 広域な森林情報の更新 ● 位置情報、関連する立地因子による包括的説明力の向上 ● 検索機能等による計画作業の効率化 ● 森林経営計画策定支援のための情報提供（ゾーニング、路網計画、計画認定）	● 詳細な森林情報の入手 ● 立体像による見た目による直接的な説明力の向上 ● 森林経営計画策定支援のための情報提供（局所的情報）
2) 伐採・造林行為の把握	● 対象箇所の資源状況把握による説明力の向上	● 詳細な森林情報の入手による説明力の向上
3) 要間伐森林の把握	● //	● //
4) 施業に必要な土地権設定手続き	● 位置情報による説明力の向上	● 立体像による見た目による直接的な説明力の向上
5) 人材育成	● 位置情報による説明情報の共有、説明力向上	● 立体像による見た目による一次的な情報の共有、説明力向上

これらの改善事項の実施により発揮される効果は、次のとおりである。

- 1) 資源情報の提供は、従来の現地調査などの経費節減の効果がある。
- 2) 長期間、実測による確認がなされていない情報の確認や修正は、より適切な資源管理に貢献する。
- 3) 施業方法や路網配置について、選択肢を容易に作成、比較検討することができ、資源の有効利用に貢献する。
- 4) 森林資源の情報が行政区域を広くカバーすることにより、その行政機関で分野横断的共有に値する素地となる情報がもたらされる。（共有先の例：農業、観光など）

これらの改善事項は、位置付情報に係る行政機関の能力向上の範囲にある。これらの改善が実現すれば、行政サービスを享受する側の事業者や住民にとっては、関心喚

起、知識普及、情報照会にかかる労力節減などがもたらされ、行政サービスの満足度の向上につながる。

これまで、新城市は紙情報により計画策定を含む行政業務を遂行してきた。GIS が導入され、本事業の成果が活用されれば、これらの活用のポイントによる業務の改善効果が期待できる。

解析プログラムと GIS の導入に当たっては、より有効利用ができるような段階的な導入が望ましい。図 5.2.9 は、必ずしも本事業の新城市のケースと一致しないが、一般的な GIS の導入初期から運用までのイメージをらせん状に表している。ここで、「試行モデル」では主要機能による業務上の実効性確認が主体となる。GIS の有用性、適用可能性を含む実効性の確認に続き、「調整モデル」では、業務のニーズに対して GIS が何をするかを把握し、適用できる範囲を明確にする。「詳細モデル」では、その適用範囲の完成度を向上し、システム上の運用が開始される。これらの各モデルの段階での作業として、情報の取得、分析、体系化が行われる。体系化では、情報を扱う手順、出力様式などが決定される。

本事業の場合、図 5.2.9 の「試行モデル」の段階にあると考えられ、新城市の住民説明会を通じて、解析プログラムによる森林情報の業務上の実効性を確認できた。今後、GIS への組み込み、実際の業務における「調整モデル」を経て、「詳細モデル」として定着し、システム運用が開始されることが望ましい。また、詳細モデルに近づくにつれ、システム運用に必要な専門性、ツール、作業の要素が明確になるので、それに応じた直営・外注の仕分けも容易となる。

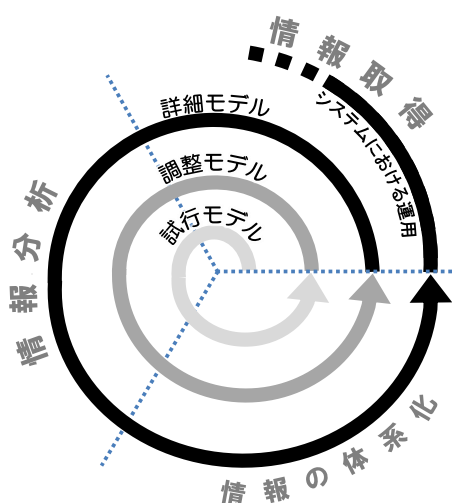


図 5.2.9 模式図：GIS 導入に伴うモデルと作業の関係

4) 森林情報の提供

新城市は、改正森林計画制度の下での計画策定、GIS 導入の最適化がこれからの段階にあり、関連業務における解析プログラムや GIS の使い方や情報提供のあり方はこれから構築される。新城市の予算も確保されており、森の未来づくり事業（森林として GIS 導入）が図られており、本事業による基礎的な森林資源情報は十分に活用され相乗的な効果が期待される。

今後、計画実施、GIS 導入が進めば、林業関係者とのやり取りを通じて、さまざまなニーズが浮上すると思われる。住民説明会という集団対応や、その後の個別対応は、これらのニーズを把握する絶好の機会であり、それらの検討を通じて、行政対応の範

囲や仕組みをより適切に構築し続けることが可能となる。

本事業として提示したデータの種類の種類は、次のとおりである。

表 5.2.8 新都市に提示したデータの種類の種類

情報の種類	備考
1) 地形（標高データ）	国交省データ使用（解像度 10m）
2) 路網	
(ア) 平均傾斜区分図	国交省データ使用（解像度 10m）
(イ) 尾根・谷区分図	国交省データ使用（解像度 10m）
3) 森林	
(ア) 林相区分図	森林区画の最小単位
(イ) ゾーニング図	住民説明会で利用
(ウ) 蓄積図	DEM データの影響から誤差増える。
① 樹高	国交省データ使用（解像度 10m）
② 本数密度	
(エ) 参考情報	
① 傾斜区分（35° 以上）	国交省データ使用（解像度 10m）

5.3. 森林経営計画

5.3.1. 検討目的

森林経営計画の策定に係る本事業の成果の活用方法を明らかにすることを目的として、次の作業を行った。

- 1) 概況把握
- 2) 計画策定業務フローの把握
(ア)業務の要素化
(イ)各要素において森林 GIS に適用できそうな事項の把握
- 3) 各要素における森林 GIS の活用方策検討
- 4) 活用方策の整理・提案

5.3.2. 地域概要

大分県日田市は、九州最大の河川である筑後川の上流域にある盆地であり、筑紫平野の重要な水源となっており、総土地面積の 8 割を林野が占める。著名な伝統的林業地である。

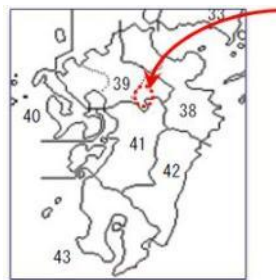


図 5.3.1 田島山業の山林の位置図

モデル地域となった田島山業保有の山林は、この日田市の南にある旧中津江村を中心として分布し、総面積は 1,000ha を超える（図 5.3.1）。森林計画制度では、広域流域が筑後川の最上流部となり、大分西部森林計画区に属する。

本事業の対象地域は、この旧中津江村の山林とした。

モデル地域における森林情報は次のとおりであり、ヤブクグリスギなどからなるスギ林で主に構成され、路網密度は高い。

モデル地域の森林情報（大分県日田市旧中津江村）

- 面積： 約 1,000ha（標高約 500～1100m）
- 林種： 人工林：9 割
- 樹種： スギ：9 割、 ヒノキ：1 割
- 林齢： 4 年生～91 年生
- 施業区分：約 1,140 区分
- 路網： 林道 30km、作業道 200m/ha 車道を土場として利用

※H17 大分県西部地域森林計画変更計画書

林道 4.13m/ha 作業道 10.44m/ha

- 作業システム：車両系（ハーベスタ、フォワーダ）
- 年間施業面積：30～40ha/年
- 森林施業計画（H25.5.22 まで）あり。※森林経営計画を準備中

山林の齢級構成は、8～10 齢級が約 7 割を占め、その中でも 9 齢級が 44%と最多であり、標準伐期齢（スギ 35 年、ヒノキ 40 年）を超えている（図 5.3.2）。

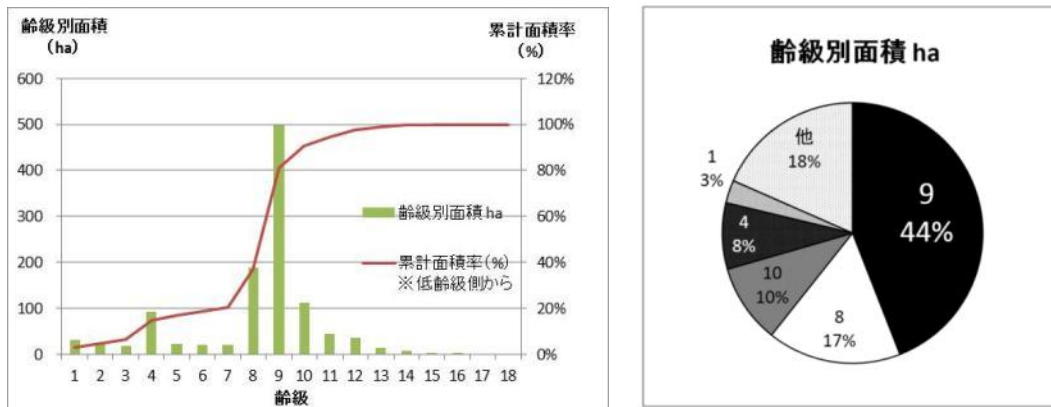


図 5.3.2 田島山業の山林の齢級構成

出典：田島山業の森林施業計画書（H25.5.22 まで）の H20 時の林齢を H24 時に修正

田島山業は、森林施業計画を H20～25 について作成している。それについては、改正後の森林計画制度に沿った森林経営計画策定が予定されている。

田島山業の GIS 導入は、Quantum GIS を用いた試行が行われていた。本事業の成果活用の検討時では、ソフトの機能性を重視して、本事業の解析プログラム及び作成データとともに ArcGIS を用いて検討を行った。

5.3.3. 実施内容

改正後の森林計画制度における森林経営計画策定において、本事業の成果の活用のポイントを、田島山業へのヒアリング、データ作成を通じて把握した。

作業は、森林経営計画の各作業要素における活用のポイントについて検討した後、田島山業の事情に沿って基礎的な計画事項について具体的に検討した。

田島山業での現地調査内容は、表 5.3.1 の工程で行った。

表 5.3.1 現地調査内容

作業項目	時期	主な事項
1) 概況把握	第 1 回 (H24/6/18～6/20)	● 本事業の説明（解析プログラム、GIS のデモ） ● 計画業務の要望把握 ● 山林の見学
2) 計画策定業務フローの把握	第 2 回 (H24/8/27～8/29)	● 森林区画の状況 ● 林相区分などの資源データ説明 ● 計画業務の概要検討（制度要件含む）
3) 各要素における森林 GIS の活用方策検討	第 3 回 (H24/10/16～10/17)	● 計画における選択肢の検討
4) 活用方策の整理・提案	第 4 回 (H24/11/28～11/30) 第 5 回 (H24/12/19～12/21) 第 6 回 (H25/1/28～1/30)	● 計画における選択肢の比較 ● 計画を支援する資源情報、その活用方法の検討

5.3.4. 現状と課題

（１） 現状

▼計画状況

森林施業計画を H20～25 について作成している。それについては、改正後の森林計画制度に沿った森林経営計画策定が進められている。

森林計画関係の情報構成は、次のとおりであった（本事業開始前）。

- 森林情報：森林簿
- 施業履歴：伐採届などの提出書類
- 位置情報：森林基本図、地籍図など

▼GIS の利用状況

GIS の利用では、Quantum GIS を用いた試行が行われていたが、実務上の利用はほとんどなかった。

▼その他

現場担当者による試行の範囲で、簡易な GPS レシーバーを用いて、伐採作業前の現地踏査などの軌跡データを記録し、GIS 上で確認されることがあった。

（２） 課題

森林計画関係の情報を更新し、GIS 上で整備することが課題とされた。

基本的に現況把握を最優先させることとし、その上で GIS による計画策定支援を行うこととした。

この情報整備に伴う田島山業のニーズに対する本事業の対応は、表 5.3.2 のとおりとした（詳細については後述）。

表 5.3.2 森林経営計画に係るニーズと本事業による対応の概要

森林経営計画に係るニーズ	本事業による対応の概要
● 計画制度との連動性	改正後森林計画制度への適合を目標として、計画に必要な森林属性を把握可能にする。
● 経済林と非経済林、用材生産林と用材以外生産林の区別	ヒアリングを通じて基準を作成し、GIS 上で区分した情報を提供する。
● 収穫量最大の施業計画	投入資源をできるだけ少なくして最大の収益をもたらすよう、森林資源状況と集材距離を検討する。
● 需要を見越した経営のための適地把握	資源構成情報、集材距離情報を提供する。
● 材積ベースでの計画策定（せめて大中小の3区分）	材積などの資源構成情報により林地を分類し、情報提供する。
● 施業履歴の記録	施業履歴記録のための機能を GIS データに加える。
● 路網のルート選定（集材距離 1km を超えると採算割れ）	集材距離に応じて林地を分類する。

本事業では森林簿のみから得られる地位、林齢、施業履歴の情報は使用していないが、森林経営計画の届出には必要となる。

5.3.5. デジタル森林空間情報の活用

（１） 森林経営計画の作業要素における活用

１） 活用のポイント

計画策定作業の大きな流れは、次のとおりである。

▼計画策定の基本的流れ

- ① 森林情報の収集
- ② 実施体制側の状況判断
- ③ 計画策定

この流れにおける作業要素について、従来の情報源と、本事業の成果活用を「提案の情報源」として、活用のポイントを検討した。

活用のポイントの要点は次のとおりである。基礎的な情報作成に加え、制度要件、事業体固有の要件を踏まえたデータの活用方策についても検討した。

▼活用のポイント

- ① 地形情報：標高データ（航空レーザ測量、空間解像度 2m）
- ② 資源情報：
 1. 樹高、本数密度、材積、収量比数（Ry）
 2. 林相区分
 3. 解析プログラムによる立体視、測定
- ③ 参考情報： ※これらについては次項で説明
 1. 経営区分（経済林と非経済林の区分）

2. 複数属性による立地評価（蓄積状況と林地の生産力）
 3. 傾斜区分図（傾斜 35° 以上の斜面（施業困難地）の表示）
 4. 採算可能な集材範囲（路網からの到達距離）
 5. 間伐対象林の抽出（収量比数（Ry）による）
- ④ コミュニケーション・ツールとしての役割：資源情報の検討作業に加え、利用するデータの正確さ、整合も確認・共有（田島山業側の GIS における能力向上を含む）

これらの活用のポイントに加え、森林情報の新しさと周辺の林分も含めた広域さに活用価値が認められた。

森林経営計画策定の各作業要素における活用のポイントは、次のとおりである。

※作業時に用いた資料は巻末資料のとおりで、このうち特に活用のポイントとなる作業要素に絞り込んだのが表 5.3.3 である。

表 5.3.3 森林経営計画の作業要素に応じた活用のポイント

凡例： [オ]デジタルオルソ画像 [立]PC 上の立体像

表頭の「提案の情報源」とは本事業の解析プログラムによる情報源

森林経営計画 作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
1) 森林情報の収集			
(ア) 林班内の森林所有者の構成	事業体保有	境界情報を重ねて示す関連情報	GIS 上で統合的利用が可能
(イ) 人天別の面積・蓄積	森林簿	林相区分	高い正確性で同等情報を提供
(ウ) 齢級構成	森林簿	齢級を重ねて示す関連情報	森林簿の林齢は不正確な場合あり、確認が必要
(エ) 市町村森林整備計画のゾーニング	森林簿	ゾーニングを重ねて示す関連情報	計画対象林分と重ね、ゾーニングに係る要件を確認 森林経営計画書のゾーニングの表示の修正処理 明確なゾーニングがない場合は管理当事者が検討する際の情報源として有用
2) 実施体制側の状況判断			
(ア) 自身の森林面積	森林簿 登記簿・地籍簿	面積、地理的範囲 森林の写真像[オ][立]	面積情報の確認 図示情報を作成
(イ) 自己の経営能力	――	――	※資源情報の提供
(ウ) 計画策定主体の単独・受託・共同の選択	――	樹高、材積、地理的範囲	共同相手候補の資源情報の

森林経営計画 作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
		囲、位置関係 森林の写真像[オ][立]	提供
(エ) 属地・属人の選択			
① 属地的計画	▼森林経営計画の作成の進め方の例	～間伐等の予定地を中心に作成する場合～	
1. 当面の間伐等を予定しているなど、間伐等の必要な森林を選定（過去5年以内を除外、過密林分を選択） ※標準伐期齢未満	森林簿 間伐調査（選木） 森林基本図（1/5千）	Ry、林分材積 森林の写真像[オ][立]	Ryの情報提供による適合森林の抽出提供 施業履歴に基づく除外する林分の範囲情報提供 図示情報作成 間伐材積の推定情報提供
2. 前項1.を含む林班について間伐等の実績のある森林を全て抽出（過去10年以内） ※標準伐期齢以上	施業履歴 森林簿 森林基本図（1/5千）	〃	〃
3. 計画を作成する林班又は隣接する複数林班を決定	森林簿 森林基本図（1/5千）	――	GISによる抽出（1.から2.の条件に適合）結果提示 図示情報作成
4. 周辺の森林所有者へ働きかけ			
(ア) 当該林班内で、対象森林の周辺の森林所有者への働きかけを実施	地縁情報 森林簿 森林基本図（1/5千） 現地確認（立会）	樹高、材積、地理的範囲、相互の位置関係 森林の写真像[立]	該当する森林所有者の比較・選択情報提供 他の森林所有者の資源状況確認のための資源情報提供
(イ) 面積規模の基準（林班の面積の1/2以上）の確認【不適合な場合→4.に戻る】	森林簿 森林基本図（1/5千）	面積	GISによる面積情報提供 図示情報作成（前述）
5. 森林経営計画書に施業の計画を記入 認定基準への適合確認	施業履歴 森林簿 森林基本図（1/5千）	面積 材積 Ry	施業履歴からの図情報提供 対応可能な指標 ・面積 ・伐採率（材積） ・Ry 量的適合とともに配置の調整も可能
② 属人的計画	▼森林経営計画の作成の進め方の例	～間伐等の予定地を中心に作成する場合～	

森林経営計画 作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
1. 森林所有者が単独で100ha以上の森林を所有する場合	森林簿 森林基本図(1/5千)	面積	選択面積の合計情報提供
2. 同一林班内に森林を持つ者等が属地的計画をたてる場合、このような林班では属地的計画と重複してたてることになる。	——	※属地的計画と同様	※属地的計画と同様
3. 森林経営計画の策定～間伐計画を中心～	——	〃	※2)(エ)①4.(イ)以外の属地的計画と同様の作業
3) 計画策定			
(ア) 伐採及び造林計画【計画の最重要事項】			
① 主伐 5年間の実施総量と各年度の内訳	森林簿 収穫予想表 森林基本図(1/5千)	樹高、林分材積 森林の写真像[オ][立]	主伐箇所の選択支援 主伐範囲の図示情報提供 主伐の実施総量 ※通常、林齢、地位、収穫予想表を活用 ※本事業では選択支援情報として本事業では林分材積と林地の生産力を検討
② 間伐 〃	〃	Ry、林分材積 森林の写真像[オ][立]	間伐箇所の選択支援 間伐範囲の図示情報提供 ※間伐量の予想は林齢、地位、収穫予想表を活用 ※本事業では選択支援情報として傾斜と土場からの到達距離の組合せにより施業容易度の判定情報を検討
(イ) 森林環境保全整備事業の対策			
① 間伐・更新伐	▼森林管理・環境保全直接支払制度		
1. 計画策定者等が経営計画等に基づき行うものであって、事業規模の要件を満たすもの	森林簿 森林基本図(1/5千)	面積、林相の配置 森林の写真像[オ][立]	該当部分の抽出 ※広葉樹林化の候補地の検討情報提供

森林経営計画 作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
2. 面積要件 実施面積 5ha 以上	森林簿 森林基本図 (1/5 千)	面積	該当区 の 面積集計
3. 搬出材積要件は、間伐及び更新伐それぞれで 10m ³ /ha 以上	森林簿 森林基本図 (1/5 千)	材積	搬出材積の集計
② 人工造林・樹下植栽等	▼森林管理・環境保全直接支払制度		
1. 伐採造林届出書があり、かつ、計画策定者等が経営計画等に基づき行うもの	森林簿 森林基本図 (1/5 千) 計画	——	育成複層林対象地：該当部分の抽出 (環境保全機能に重点を置いた高齡林など)
(ウ) 保育計画			
① 保育	▼森林管理・環境保全直接支払制度		
1. 除伐等以外 計画策定者等が経営計画等に基づき行うもの	森林簿 森林基本図 (1/5 千) 現地踏査	林相、Ry 森林の写真像[オ][立]	該当部分の抽出 除伐等以外の対象林分の確認 [立]による林況精査
2. 除伐等			
(ア) 計画策定者等が経営計画等に基づき行うもの	森林簿 森林基本図 (1/5 千) 現地踏査	林相 森林の写真像[オ][立]	該当部分の抽出 除伐等の対象林分の確認 [立]による林況精査
(エ) 集約化施業の実施状況	——	——	——
(オ) 作業路網その他の施設の設置に関する計画	森林基本図 (1/5 千) 森林簿 計画	森林資源の分布 森林の写真像[オ][立]	森林資源の分布状況に応じた、平均集材距離、平均傾斜による路網等整備推進区域の把握 ※既設路線データを GPS 測位により入手 林道等の延長算出
(カ) 森林保護【新規】			
① 森林巡視、境界管理の取組	現地踏査	写真上の境界 森林の写真像[オ][立]	GIS 上で境界線と写真を参照しながら、GPS レシーバーによる現在位置を表示させて境界を確認

森林経営計画 作業要素	従来の情報源	提案の情報源	活用のポイント
② アセスメントまたはモニタリング調査（予定がある場合）	――	森林の写真像[オ][立]	定点観測位置の初期状態の把握、位置の正確な保持

2) 活用のポイントのまとめ

これらの比較から、従来の業務の流れにおける解析プログラムの作成データの役割は、「5.2 市町村森林整備計画」で述べた内容とほぼ同じであるが、より詳細なスケールでの利用になる。また、実際の施業を伴うので、実施面も活用の射程に入る。

解析プログラム活用による改善事項は、本事業の調査結果において表 5.3.4 のように整理される。

表 5.3.4 事業体での活用による改善事項

関係者と関連作業	解析プログラム「もりったい」	
	分析機能によるデータ	立体視機能によるデータ
1) 森林経営計画	● 広域の森林情報（樹高、本数密度、蓄積）の入手 ● 検索機能等による計画作業の効率化 ● 施業履歴の記録	● スポット的に詳細な森林情報（樹高、本数密度、蓄積）の入手
2) 路網計画	● 地形情報	● 既存の路網、木々と地形の関係を立体像により把握
3) 集約化適地選定・合意形成	● 計画対象林分の周辺の林況、路網状況などの把握	● 立体像上のランドマークの把握
4) 境界確認・測量	● 地籍データ、測量データの表示・参照	● 立体像上の地籍・測量データの参照
5) 提案型施業プラン	● 計画対象林分の位置図作成	● 計画対象林分の立体像による計画内容の確認
6) 人材育成	● 位置情報による計画事項の共有	● 立体像による具体的な計画事項などの共有

これらの改善事項の実施により発揮される効果は、市町村森林整備計画の場合と類似するが、次のとおりである（下線部分が異なる部分）。

- 1) 資源情報の提供は、従来の現地調査などの経費節減の効果がある。
- 2) 長期間、実測による確認がなされていない情報の確認や修正は、より適切な資源管理に貢献する。
- 3) 施業方法や路網配置の選択枝の比較検討において、所有林分の状況に合わせたきめ細かい条件や目標を設定できる。
- 4) 森林資源の情報が保有山林周辺の山林も広くカバーすることにより、森林管理の集約化や請負契約を検討する情報が提供される。

以上は計画面の改善事項であるが、施業の実施面においては、現地情報をフィードバックして、データとその利用の両方を改善することが期待される。

※PDCA サイクル： マネージメント手法のひとつで、「計画（Plan）、実施（Do）、評価（Check）、反映（Action）」の流れを次の計画に活かしていくプロセスのこと。

(2) 基礎的計画事項における活用

資源把握、適地選択などの流れは、次のとおりとした。

- 1) 状況把握： 境界、資源状況（蓄積、生産力）、施業実施に係る関連情報の把握（作業システムと傾斜の関係、公益的制約、地域的事情など）
- 2) 候補地選定： 制度的要件、技術的要件、実施主体の要件への適合
- 3) 候補地の評価、配分
- 4) 集計： 本事業のデータによる立木材積の推定

143

森林経営計画関係の人工林における間伐の適地選択については、解析プログラムとGISを用いてデータを作成することとした。一方、広葉樹林化の適地選択、市場動向に備えた情報については、手順のみを検討するにとどめた。

▼活用方策を検討した計画事項

- 1) 基本情報
 - (ア) 森林区画
 - (イ) 経営区分
 - (ウ) 資源状況（現在蓄積、林地の生産力の面で有望な箇所への把握）
- 2) 森林経営計画関係
 - (ア) 人工林における間伐の適地選択
 - (イ) 広葉樹林化の適地選択
- 3) 市場動向に備える（安価、迅速に供給できる主伐範囲）

これらのデータの作成手順などについて、次項より述べる。

すべての事項について、田島山業との協議や共同作業を経てデータを作成した。

なお、計画事項の全体的枠組みは、図 5.3.4 のとおりである。

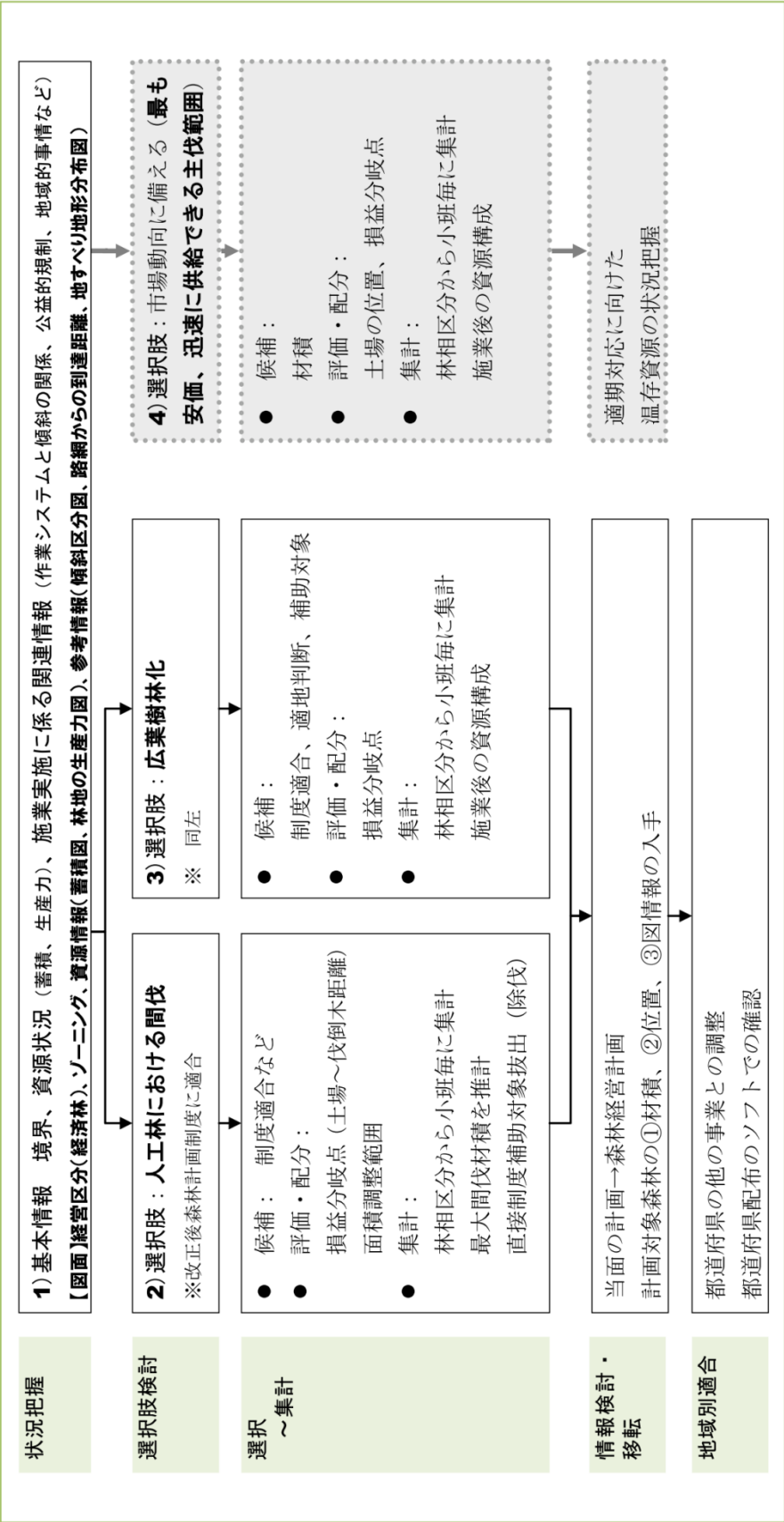


図 5.3.4 計画事項の全体的枠組み

1) 森林区画

林班のような森林区画は、本事業の直接的な成果ではないが、本事業の成果を活用する情報基盤としては不可欠なもので、参照されるデータの対応関係、境界線の一致などのデータ間の整合が求められる。

田島山業の場合、森林区画の情報源としては、地籍、森林簿、森林施業計画のものがある。これらの整合状況は、表 5.3.5 のとおりである。これに、本事業による林相区画が加わることとなった。

既存の森林施業計画は大分県の森林簿の GIS データと一致している。しかし、これらの森林簿のデータは、地籍や現在の林況とは必ずしも一致しない。そこで、地籍の区画の GIS データを大枠として、それを細分する形で「施業区画」を設定した。

表 5.3.5 森林区画の情報源の状況と森林区画の構成

情報源	地籍	計画図	施業計画	空中写真
情報作成者	日田市	大分県	事業体	本事業
区画名	字		施業区画 (通し番号)	林相区画
	地番	林班、小班	※地籍を細分	
	枝番、カナ番	枝番		
データ種類	GIS データ	GIS データ	紙	GIS データ
整合状況	GIS の区画形状ほぼ同じ 内容は森林簿と一対一では 整合しない		手作業で GIS データ作成 森 林 簿 と 一 対一で整合	写真から半自 動生成
森林区画	地籍の区画		施業区画	林相区画

施業区画は、森林基本図（縮尺 1/5,000）上の手書きされた区画線をデジタル化したものをベースとし、地籍情報、施業経験、空中写真オルソを参照して必要に応じて修正された。計画作業の最小単位は施業区画とされ、施業区画を構成する林相区画の属性データを積み上げ、施業区画のデータとして代表させた。

本事業の解析結果である林相区画は、4m メッシュで構成され、最小単位 0.002ha 程度となっている。必要とされる区画のスケールに応じて合併させる必要があるが、局所的な森林情報の把握も可能となっている。

2) 経営区分

森林の施業を継続する上で、経済林と非経済林といった区分により計画を策定する要望が田島山業からあり、傾斜を主体とする立地区分を行うこととした。

「経済林」を傾斜の範囲 0～35° を超える斜面を含む全ての林地とした。

一方、「非経済林」は、林地周辺の人家、国道、県道などの上部斜面、また地域的事情から特に配慮すべき箇所とし、木材生産の範囲から除外することとした。

以上から経営区分内容は、次のとおりである。

▼経営区分

- 「経済林」 木材生産を継続する場所とした箇所
- 「非経済林」 木材生産活動が与える影響を避けるべき箇所
 - 林地周辺の人家、国道、県道などの上部斜面
 - また地域的事情から特に配慮すべき箇所

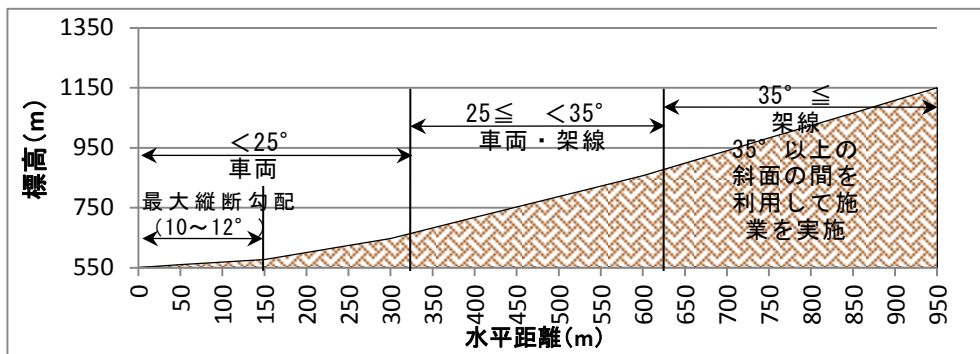


図 5.3.5 模式図：経済林における作業システムと傾斜区分

田島山業は車両系作業システムを採用している。一般的な作業システムとその適用可能な傾斜区分は、図 5.3.5 のとおりである。車両系作業システムの一般的適用範囲は、 25° 以下が主体となり、 35° 未満で架線系作業システムと混在する。

しかし、作業システムの実態として、 35° 以上の斜面は車両系作業システムの適用範囲外となるが、実際には断片的に分布する 35° 以上の斜面の間に作業道を配置するなどして、 35° 以上の斜面が 8 割以上の箇所においても施業が行われている。このため、車両系作業システムの一般的適用範囲である $0 \sim 35^{\circ}$ を超える斜面を含めた全ての斜面を「経済林」とした。

非経済林の対象として国道、県道の上部斜面については、隣接するか、道路からの距離が 50m 未満・以上の林分について、図 5.3.6 のデータを作成した。

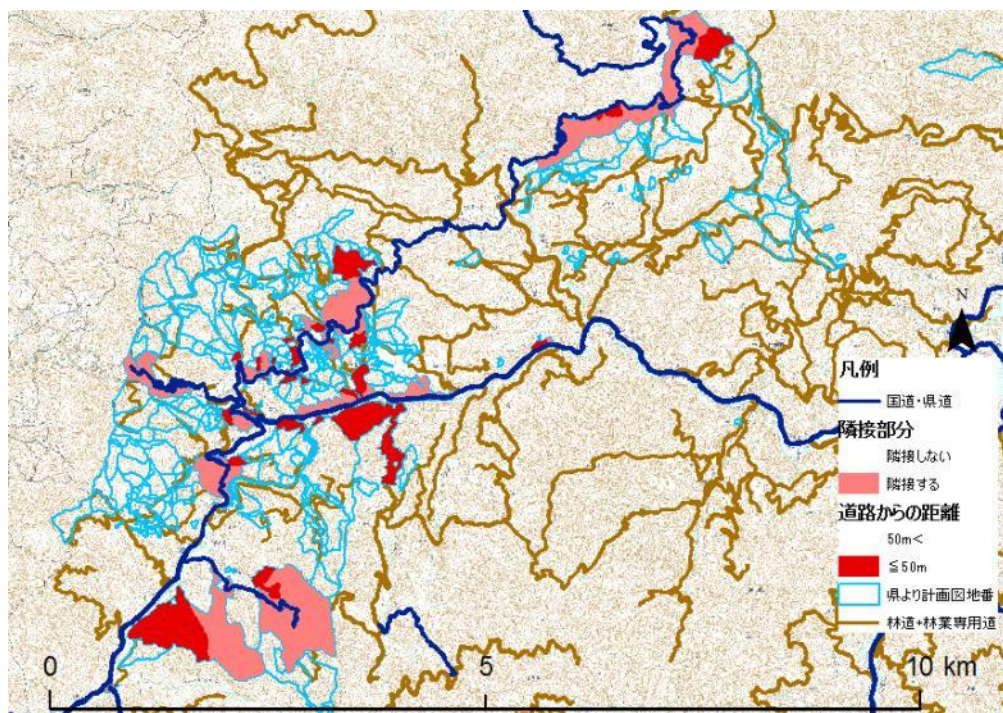


図 5.3.6 非経済林に該当する林分（国道、県道の斜面上部）

3) 資源状況（蓄積、林地の生産力）

基本情報として蓄積状況と林地の生産力について把握することとした。この2つの情報の組合せを、主伐・更新後木材生産を継続すべき箇所を選択するための参考情報として、高蓄積かつ林地の生産力が高い箇所を把握した。

ただし、現在は木材価格低迷により、主伐後の更新費用を負担できる状況にないため、今後のための参考情報として作成することとした。来年度以降の間伐を中心とする森林経営計画に用いるわけではない。

以下の蓄積状況と林地の生産力のデータは、GIS上の林相区画ごとの属性情報として把握した。

▼蓄積状況

蓄積状況については、林分材積を本数密度で除して得た単木材積を表5.3.6のように区分した（これ以降の単木材積とは林分材積を本数密度で除した値とする）。

胸高直径、樹高を次の3つとし、この組合せに応じた単木材積を区分値とする。この区分値を閾値として、単木材積の4つの区分を得ることとした。

この他、森林の属性情報には、単木材積（平均値）の他に、ha当たり材積、本数密度、樹高、Ryで構成した。

表 5.3.6 資源構成における単木材積の区分

区分	1>	≥2>	≥3>	≥4
	区分値 1	区分値 2	区分値 3	
胸高直径 (cm)	30	20	10	
樹高 (m)	20	15	10	
材積 (m ³) スギ	0.66	0.23	0.04	
〃 ヒノキ	0.67	0.24	0.04	

参考文献：日本林業調査会（1988）立木幹材積表 九州（スギ）

▼林地の生産力

林地の生産力の推定データについては地位情報がない中で、樹高の成長曲線が大分県のヤブクグリスギについて存在した。この樹高の成長曲線を用いて、森林簿の林齢と本事業の樹高の情報から、林地の生産力を三区分することとした。

方法は、林齢について森林簿の平成20年のデータから平成24年の値を推定し、樹高は樹頂点におけるデジタルオルソ画像のDSMとレーザ計測のDEMとの差分から推定した（デジタルオルソ画像は平成24年撮影）。これらのデータの個数（林相区画の数）を三つに等分割するように、成長曲線による樹高に定数を乗じた。図5.3.7に示すとおり、2つの成長曲線により、林相区画のデータをほぼ三等分した。

※ここでの区分は、当事業体の対象森林内での三区分である。

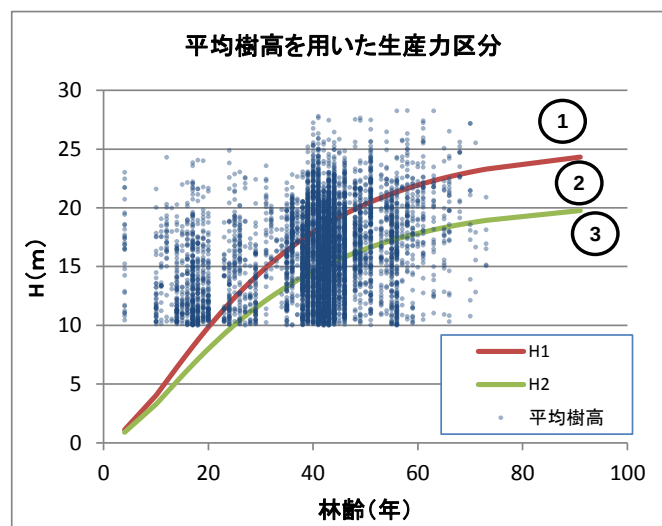


図 5.3.7 林地の生産力区分

林地の生産力の区分は次式を用いた。

$$H = 1.2 + 26.2(1 - e^{-0.0407(age-4)})^{1/2(1-0.638)}$$

胸高：1.2m age：林齢（年） e：自然対数の底 胸高に達する林齢を4年

参考文献：伊藤達夫：Richards 生長関数に基づく同齡單純林の生長モデル(IV)暫定的標準地と樹幹解析木のデータを用いたパラメータの推定 70：95-103, 1988

（データは大阪府のヤブクグリスギ。本調査では40年生のパラメータを適用した）

これらの情報から、高蓄積状況にあり、林地の生産力が高い箇所を把握するため、蓄積情報と林地の生産力を次のように組合せたデータを作成した。

蓄積情報については単木材積の区分により、区分1が最大で区分4が最小の関係にある。林地の生産力は区分1が最大で区分3が最小の関係にある。これらの組合せは表 5.3.7 のとおりであり、最も高蓄積かつ林地の生産力が高い箇所は両区分の1の組合せ（赤い枠）となる。

表 5.3.7 単木材積と林地の生産力の組合せ

		単木材積			
		1	2	3	4
林地の 生産力 の 生	1	赤 1,1	黄 1,2	青 1,3	青 1,4
	2	黄 2,1	黄 2,2	青 2,3	青 2,4
	3	青 3,1	青 3,2	青 3,3	青 3,4

※枠内数値の組合せは GIS 上の演算用

※単木材積＝林分材積÷本数密度

この組合せの色付けを林相区画に適用したのが、図 5.3.8 である。

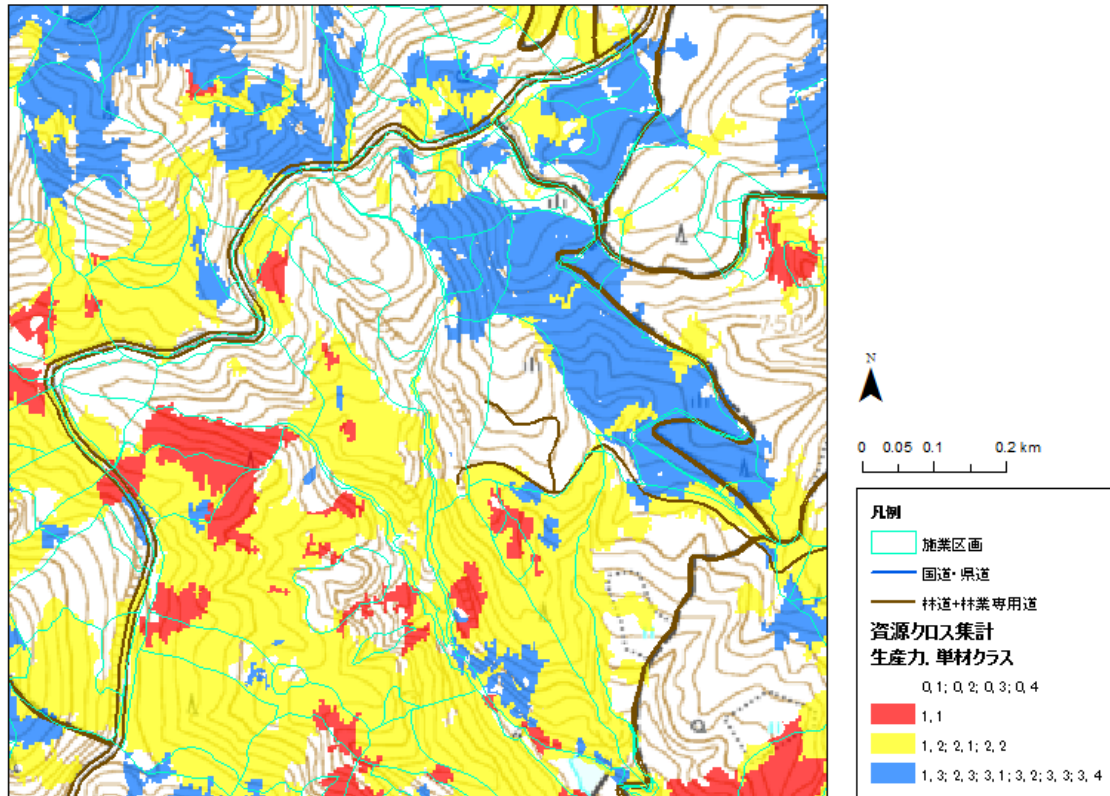


図 5.3.8 単木材積と林地の生産力の組合せによる評価図

経営的には、市場が求める規格に応じて、潜在的に林地の生産力が高い林地で優先的に施業を行うことが、資源活用を最大にする方策の一つと考えられる。

森林簿の林齢は実態を必ずしも反映しておらず、伐採作業における林齢の実測値に照らして林齢を修正するなどの方策が今後望まれる。

4) 施業の参考情報

施業の参考情報としては、次の 3 種類の主題図を作成した。

- 傾斜：
2m メッシュで傾斜角 35° 以上の箇所を、車両系システムの適用範囲外として表示した。
- 路網からの到達距離： 土場からの集材距離における採算可能な距離は 1km との現時点での経験則と林道を土場としている実態から、路網を土場と想定して距離を推定することとした。その結果、計画対象林分のほとんどが 1km の範囲でカバーされ全体的に採算可能な範囲にあることが判明した。さらに、距離の傾度を得るため、0.5km、0.3km の閾値で分けて把握することとした。
距離の推定に当たっては、斜面の傾斜及び森林作業道の縦断勾配に応じた最短に相当する距離を想定し、ArcGIS のコスト距離機能を用いて算出した。大分県の指針から森林作業道の最大縦断勾配は 12 度 (21%) とした。
上記の採算可能な距離は、現地のアクセス状況とともに、当該時点での木材価格、燃料費により実態的に決まるもので、状況変化に応じて変更する必要がある。
- 地盤状況等からみた作業システムの適地選定： 森林作業道の配置を考える上

で必要な地盤状況に係る情報として、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図を参考情報として紹介した。

これらの参考情報のうち傾斜、路網からの到達距離、地すべり地形分布図を重ねて表示したものが、図 5.3.9 である。

最下部のレイヤーには林分材積を表示し、高蓄積の部分は赤く表示されている。

この GIS データにより、高蓄積の箇所からの路網への遠近がわかる。また、森林作業道の配置を避けるべき箇所として、急傾斜部分（灰色 傾斜 35° 以上）、地すべりの滑落崖（黒線部分）が示されている。これらの結果、蓄積とアクセスの両状況を踏まえた判断が可能となる。

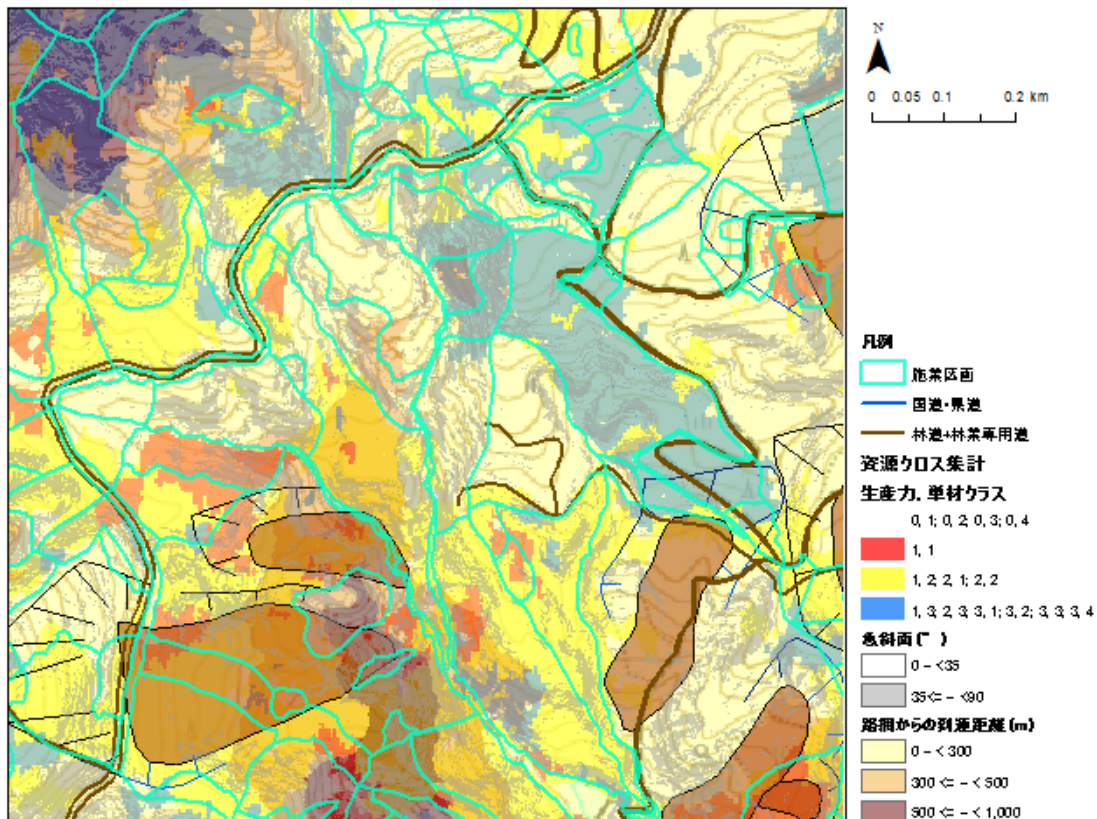


図 5.3.9 参考情報（傾斜、到達距離、地すべり地形分布）の部分例

路網からの到達距離について、実際の施業においては路網すべてが土場となりうるわけではない。むしろ限られた箇所が、土場の候補地として存在し、経験的に知られているはずである。このように絞り込まれた範囲からの到達距離の方が、より現実的な施業情報となる。

また、施業の参考情報として、施業履歴は間伐、主伐の適期判断上重要と考えられる。このような情報の記録機能は、GIS に備わる便利な機能であり有効活用が望まれる。一方、林齢、地位に関する地上での観察結果も、施業情報として貴重である。そのためにも、GPS レシーバーによる測位結果とともに GIS データに蓄積することが望まれる。

5) 人工林における間伐

森林経営計画策定における主要な選択肢として人工林での間伐が想定された。

間伐候補地の選定、参考情報を用いた間伐計画地の選定は、表 5.3.8 の手順で行った。

表 5.3.8 間伐の候補地、計画地の選定にかかる情報源と作業内容

項 目	情報源と作業内容 ※本事業の成果活用部分は【活用】と表記
1) 候補地の選定 (ア) 選択：標準伐期齢未満、過去 5 年以内の間伐無 (イ) 選択：標準伐期齢以上、過去 10 年以内の間伐無 (ウ) 選択：樹冠疎密度 $\geq 80\%$ または、 $R_y > 0.9$	森林施業計画（森林簿）の林齢、施業履歴情報を用いて該当する間伐済箇所を除外 〃 【活用】本事業による本数密度と樹高を用いて、林分密度管理図から $R_y > 0.9$ の箇所を過密な林分として間伐対象として選択
2) 計画地の選定 (ア) 参考：傾斜区分：平均傾斜で $< 25^\circ$ 、 $25^\circ \leq < 35^\circ$ 、 $35^\circ \leq$ で区分 (イ) 参考：路網からの到達距離区分 (ウ) 参考：施業容易度：傾斜区分 $\times$ 路網からの到達距離の組合せで把握	【活用】標高データから得た傾斜を 3 区分 【活用】4) 施業の参考情報で述べたとおり。 【活用】上記の 2 つのデータの組合せで評価（方法は表 5.3.9 の組合せによる）。選定された候補地から、施業容易な範囲を参照して、より容易な候補地を選んで間伐計画地とする。
(エ) 選択：計画対象地の面積目標を年 30~40ha（5 年間で 150~200ha）として、施業容易な範囲から、施業しやすい箇所を選択	田島山業の実態に応じた目標設定

表 5.3.9 施業容易な範囲：傾斜区分 $\times$ 路網からの到達距離の組合せ

		路網からの到達距離		
		$< 300\text{m}$	$300\text{m} \leq < 500\text{m}$	$500\text{m} \leq$
傾斜	$< 25^\circ$	赤 1,1	黄 1,2	青 1,3
	$25^\circ \leq < 35^\circ$	黄 2,1	黄 2,2	青 2,3
	$35^\circ \leq$	青 3,1	青 3,2	青 3,3

※枠内数値の組合せは GIS 上の演算用

間伐の適否を判断する指標である樹冠疎密度の半自動判読がオルソフォトを用いて試行されたが、日向は抽出できたものの、樹冠の日陰部分を抽出できず、判読結果は過小評価となった。このことから、本数密度と樹高から求めた収量比数（ R_y ）を密度管理の指標として用いることとした。なお、本事業による本数密度と樹高により得られた R_y は地上調査による結果に比べ全体的にやや低い値となったため、地上調査結果を目的変数とした回帰分析を暫定的に行い、補正値を求め適用した。

間伐の候補地の選定は、まず、スギ、ヒノキ以外の林分を除外し、過去 5 年間の間伐箇所を除外した。GIS 上では、両箇所をグレーの色でマスキングした。マスキングされなかった箇所が間伐の候補地となり、このうち赤い範囲（ $R_y > 0.9$ ）が特に間伐を要するところとなる。また、黄色い範囲（ $0.8 < R_y \leq 0.9$ ）は間伐を検討すべき箇所とした（図 5.3.10）。

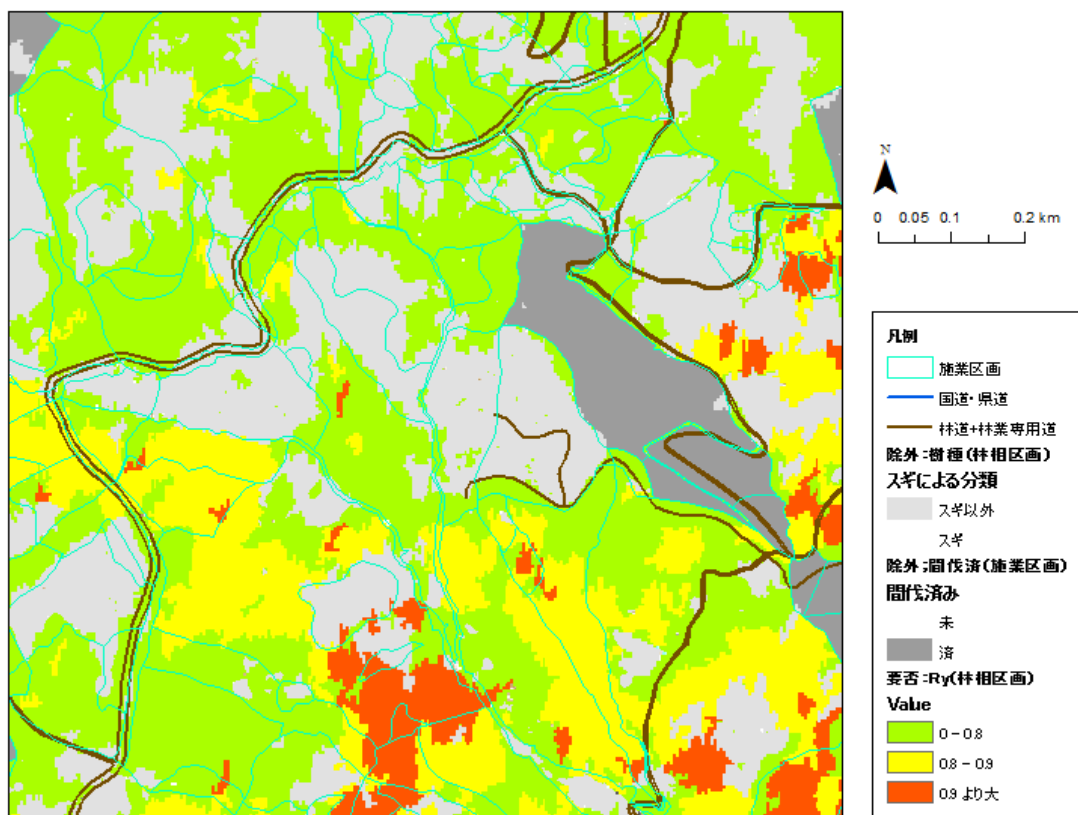


図 5.3.10 間伐の候補地の選定

次に、施業容易な範囲を参照して、間伐の候補地を絞り込むこととした。

施業容易な範囲は、傾斜が緩く、路網からの到達距離が短いほど、高く評価されることとした。図 5.3.11 では、ハッチングされた斜線の密度がより低いほど、高い評価となる。これらのうちから計画対象箇所を選定し、上述した面積目標に到達するまで選定作業を繰り返すことになる。

田島山業では山林全体について林況や施業履歴が経験的に知られており、それに基づいて間伐計画地の選択などが行われていた。本事業の成果としては、その経験知に加え、最新かつ正確な森林情報の参照を通じて、より選択結果の妥当性を上げる効果が期待される。

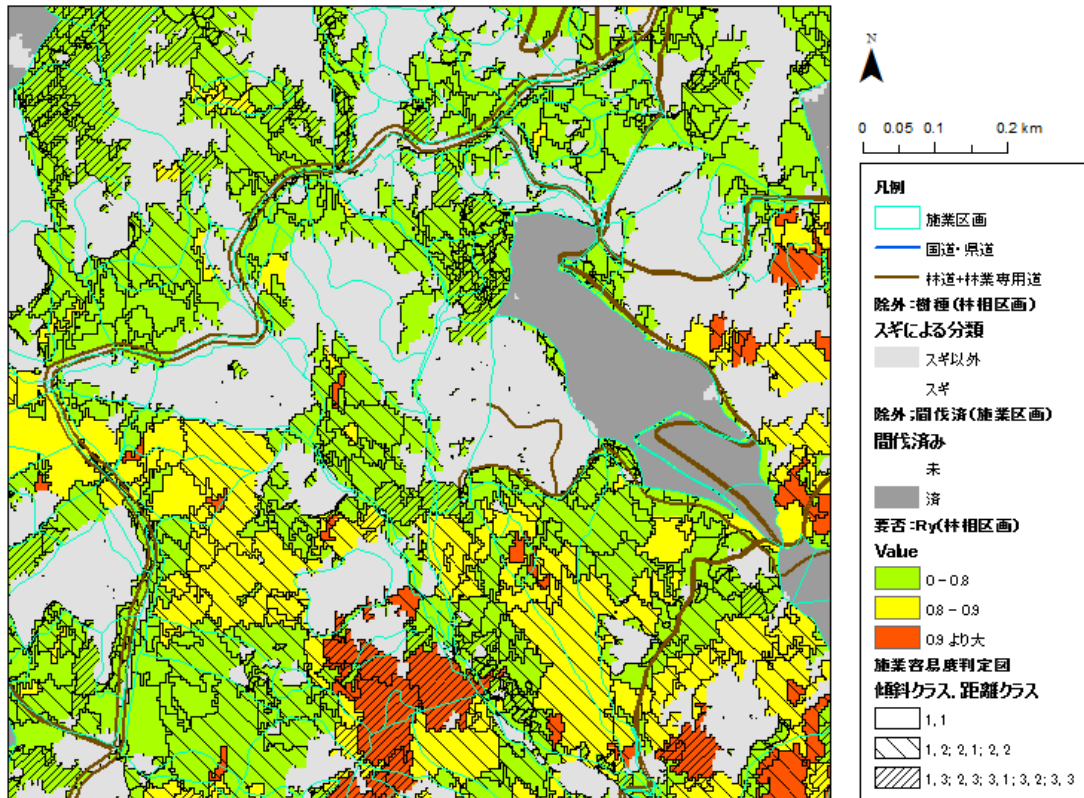


図 5.3.11 施業容易な範囲：傾斜区分×路網からの到達距離の組合せ

6) 広葉樹林化

森林経営計画の施業の選択肢の一つとして、広葉樹林化を検討した。

広葉樹林化について GIS を利用する方法については、下記の文献を参考にした。

同文献によれば、適地の判定例として表 5.3.10 の判定結果が示されている。本調査では、人工林のスギ林が中心であり、「針葉樹林等」が該当する。

表 5.3.10 広葉樹林化に適した場所の判定例

不適地	判定	過去の土地利用形態	広葉樹林からの距離			
			≦30m	30 < ≦ 100m	100m <	
	1	荒地			●	
	2	荒地		●		
		針葉樹林等			●	
	3	荒地	●			
		針葉樹林等		●		
		広葉樹林・針広混交林			●	
	4	針葉樹林等	●			
		広葉樹林・針広混交林		●		
	適地	5	広葉樹林・針広混交林	●		

出典：森林総研（2010）森林総合研究所（2010年2月）広葉樹化ハンドブッカー人工林を
広葉樹林へと誘導するために、33p、5-3 森林 GIS を利用する方法

本事業の成果を活用した候補地選択の手順は、表 5.3.11 のものが想定される。

表 5.3.11 広葉樹林化の候補地の選定にかかる情報源と作業内容

項 目	情報源と作業内容 ※本事業の成果活用部分は【活用】と表記
1) 候補地の選定	
(ア) 選択：100m 以内の斜面上方に広葉樹林が存在	【活用】林相区分により広葉樹林の位置を把握し、そこから斜面下方 100m 以内に位置する林分を選択する。
(イ) 除外：尾根、谷（生物多様性、水土保持上の配慮）	【活用】標高データから尾根・谷を判断して除外する。
(ウ) 対象比較：広葉樹林からの距離等により適性判断 ① 広葉樹林からの距離の細分：≤ 30m、30 < ≤ 100m ② 検討：林床に更新樹種（高木性）が存在する《地上調査結果》 ③ 検討：伐採翌年から 5 年後までに更新完了	【活用】広葉樹林からの距離に応じて潜在的適性の評価指標とする。近い方がより潜在的適性が高いことが考えられる。 【活用】更新樹種の確認情報は、適性判断の手掛りとなる。地上調査時に GPS レシーバーで測位し GIS 上に蓄積しておけば、類似箇所での適性判断に役立つ。 【活用】既往の伐採跡地の確認情報を蓄積すれば適性判断の根拠となる。ただし、更新のしやすさは、先行する人工林としての世代数に影響されることから慎重を要する。
(エ) 検討：天然更新完了基準との照合	県別の作成内容に適合するように検討する。
(オ) 選択：対象：林齢 90 年生以下	林齢は森林簿などで確認する。
(カ) 選択：主伐できる林分（林齢 > 標準伐期齢）	〃

これらの候補地から計画地を選定する方法については、間伐計画地の選定方法と同様の参考情報の活用が考えられる。また、計画地の選定を支援する情報として、林床の更新樹種の存在状況、伐採後の更新状況などは、地上調査によって得られるものであり、GPS レシーバーによる測位結果とともに GIS データに蓄積され活用されることが望まれる。

また、森林区画の最小単位である林相区画は、4m メッシュで構成され、0.002ha 程度であり、局所的な森林情報がもたらされる。このような情報は、帯状・群状択伐などの小面積皆伐のような、モザイク状の植生状況をもたらす施業にも有用であろう。

7) 市場動向に備える

森林経営計画の選択肢ではないが、今後の市場のニーズへの適時対応をサポートすることを想定した。資源情報として、単木材積（林分材積÷本数密度）、本数密度により、具体的な資源の大きさと量を示す。

また、即応できる箇所として、林道等から 0.3km の範囲にある条件を想定した。この条件については、路網からの到達距離で対応可能である。

これらについても、本事業の成果を活用して、GIS 上で算出が可能である。

(3) 施業における活用

森林経営計画の策定における本事業の成果活用とともに、実際の施業における活用についても想定した。計画から計画実施を含め森林管理全体での活用機会を把握するためであり、田島山業へのヒアリング結果から施業履歴情報の GIS への蓄積に関する要望があったためである。

解析プログラムと GIS は、森林情報や計画情報の表示、情報の記録に係る機能はもとより、デジタルオルソ写真と立体視を通じて、木々や地物をそのまま誰でも視認できる。特に、立体視では縮尺 1/500 程度（画面上 4mm は地上 2m に相当）までのリアルな拡大視が可能である。このような森林の写真像は、地形データとともに、一次的な情報として現場担当者の多面的なニーズに応えることが可能である。

これらの情報や記録機能を用いて、計画実施における現場作業の事前・事中・事後を通じて、位置情報を踏まえた作業や観察の記録が可能となり、PDCA※サイクルを内在化することができる。

GIS と「もりったい」を導入していない業務状況を＜従来＞とし、導入後の業務改善案を＜提案＞として並べたのが表 5.3.12 である。両者の大きな違いは、経験知の共有状態にあり、導入後は、GIS というメディアを通じて、その経験知が示す場所、資源状況などを容易に確認できるようになり、より質の高い情報共有が可能となる。

また、導入当初はもとより、次の同じ箇所での作業において、より多くの位置情報の記録の蓄積と比較を通じて業務改善の機会を得ることができる。特に効果があるのは、現地踏査前に行う事務所内業での仮想的事前踏査による計画、林況の精度の高い把握であり、この実施により後の作業が改善される。さらに、施業履歴等の関連する追加情報を蓄積する情報基盤として GIS は活用される。

※PDCA サイクル： マネージメント手法のひとつで、「計画（Plan）、実施（Do）、評価（Check）、反映（Action）」の流れを次の計画に活かしていくプロセスのこと。

表 5.3.12 GIS・「もりったい」の活用方策：施業における従来と提案の比較

作業要素	<従来> ※GIS 活用なし	<提案>	
		当初作業時	次回作業時
事前 事務 所内 業 	情報整理 ・ 計画図 (1/5 千) ・ 森林簿	情報整理 ・ 計画図、森林簿 ・ 立体視、GIS 仮想的事前踏査 ・ 立体視、GIS による事前踏査 立体像は縮尺 1/500 程度まで拡大可能	情報整理 ・ 計画図、森林簿 ・ 施業履歴 ・ 立体視、GIS 仮想的事前踏査 ・ 前回の作業履歴を参照 ・ 隣接地の記録参照 ・ 立体視、GIS による事前踏査 立体像は縮尺 1/500 程度まで拡大可能
現地 踏査 	・ 計画図と現地観察結果から作業設計の最適化	・ 計画図、現地観察結果から作業設計の最適化 ・ GPS による対象林分の境界確認、作業経路把握	・ 計画図、現地観察結果から作業設計の最適化 ・ GPS による対象林分の境界確認、作業経路把握
現地 作業 	・ 作業設計に沿って作業実施 ・ 想定外事項への対処	・ 作業設計に沿って作業実施 ・ 想定外事項への対処 ・ GIS と GPS による作業範囲の限定 ・ GPS による作業経路記録	・ 作業設計に沿って作業実施 ・ 想定外事項への対処 ・ 同左 ・ 同左
事後 事務 所内 業	・ 伐採届作成	・ 立体視、GIS による GPS 測位データの確認 ・ 伐採届作成 ・ 予想と実績の差の把握 (→今後活用) ・ 定点観測地点の選択	・ 立体視、GIS による GPS 測位データの確認 ・ 伐採届作成 ・ 予想と実績の差の把握 (→今後活用) ・ 周辺小班、類似小班への応用検討

注： 太字部分は GIS を活用する作業

ヒアリングを通じて得た GIS 活用のポイントは、次のとおりである。

- 1) 現場での森林作業道作設については、安全と作業効率のバランスが重視され、地形情報（斜面傾斜）や地盤情報は、路体等の作り込みの加減を調整するのに有用である。
- 2) 伐採作業では、他者の所有林で作業を行わないことが求められ、次の方策が考えられる。この方策は、作業範囲の狙い定めや限定にも応用できる。ただし、GPS の測位上の精度に応じた安全サイドでの活用が求められる。
 - (ア) 事前事務所内作業の仮想的事前踏査において、解析プログラムを通じた立体視により目安となる地物、沢、林相界により、現地でわかりにくいと思われる作業地（所有地）の境界を把握し、GIS 上の位置座標を求める。GPS レシーバーにその位置座標を登録する。
 - (イ) 登録情報の利用法は、次の 2 通りが考えられるが、GPS レシーバーの機械性能に応じて選択できる。
 - ① 林地の所有界を測位結果とともに表示できる GPS レシーバーがある場合、

現地踏査で不明瞭地点に標識テープを目印として付ける。現地作業時にその標識テープを確認しながら作業することにより、誤伐等を回避できる。

- ② 林地の所有界を測位結果とともに表示できる GPS レシーバーがない場合、GPS レシーバーで登録した不明瞭地点付近に近づくとアラームが鳴るよう設定し、現地踏査では上述のようなマーキングを行う。

また、施業以外の面で、巡視や災害発生時にも、解析プログラムと GIS は、情報提供と記録を通じた関連行為の改善をもたらすと考えられる（表 5.3.13）。

巡視事項としては、①林木の生育状況、②病虫害の発生状況、③林道など施設の維持状況などが考えられ、これらの情報が位置付で蓄積される。

災害発生時の事項としては、①台風被害、②山火事被害などが考えられ、上記と同様に蓄積される。

位置付の情報は、迅速かつ効果的な対策の検討に役立てることができ、蓄積された情報による発生傾向の分析などに有効である。

表 5.3.13 GIS・「もりったい」の活用方策：巡視、災害対応

作業要素	巡 視	災害対応
事前 事務所内業 ↓	近隣での作業時 ・ 立体視、GIS 事前踏査 ・ 定点観測地点、懸案の地点の状況把握 ・ 立体視、GIS による事前踏査、作業履歴を参照 立体像は縮尺 1/500 程度まで拡大可能	災害等発生時 ・ 立体視、GIS 事前踏査 ・ 立体視、GIS による事前踏査 立体像は縮尺 1/500 程度まで拡大可能 ・ 過去の作業履歴を参照 ・ 周辺状況、アプローチの経路を検討 ・ 類似した林分など被災予想の範囲・規模を想定
現地 踏査 ↓	・ 対象地点での観察、計測 ・ GPS による作業経路把握	・ 被災範囲の把握 ・ 被災予想との違いを検討 ・ GPS による作業経路把握
現地 作業 ↓	—	・ 被災状況の把握 ・ 災害発生要因の検討 ・ GPS による作業経路把握
事後 事務所内業	・ 懸案事項の検討 ・ 場合により事案発生と判断	・ 被災状況の検討 ・ 対応検討 ・ 関係団体への連絡（位置付情報の提供）

注： 太字部分は GIS を活用する作業

本事業実施時点では、これらの GIS・「もりったい」を利用するツールは屋内での利用の域を出ず、モバイル仕様になっていない。今後、技術開発等によりツールの現場での利用が可能となれば、現場での即時の対応力が改善される。

これらの施業を通じたデータの蓄積は、データベースの構築と類似しており、ツール側の都合に応じたデータの入手、入力の方法を慎重に検討し、全体を設計する必要がある。

6. デジタル森林空間情報を活用した森林計画支援

6.1. デジタル森林空間情報の活用

我が国においては、全森林において悉皆データである森林簿が整備され、ほとんどの都道府県において森林 GIS として森林簿がデジタル化されている。しかしながら、間伐遅れや列状間伐・長伐期など施業の多様化から、森林簿と現況との乖離が大きいことが課題となっている。

一方で人工林資源が成熟を迎え、国産材自給率 50%を目指して積極的な施業・収穫が求められている。森林経営計画がスタートしたが、経営基盤となる森林情報の不確実性により、計画策定が実態どおりとならない場合も懸念される。長く続いた林業不振の時代から再度経営に立ち返ることを目指すには、早急な森林現況の把握が必要である。

しかしながら、森林は広大な面積に多様な林相が成立し、その実態を正確に把握することが難しい。これまで様々な計測手法、蓄積推定手法が開発されている。計測手法には、現地で直接的に直径、樹高を計測する手法と、空中写真、衛星画像などを利用するリモートセンシングがある。

本事業では、デジタル森林空間情報としてデジタル撮影空中写真とレーザ計測のデータを用い、3 年間をかけてリモートセンシングによる森林現況把握の手法を開発した。さらに、その手法が簡単に適応できるプログラムを作成し、プログラムの出力図を森林計画制度の中でどのように活用できるかをモデル地域において検証した。

その結果、空中写真の立体視機能は詳細に森林の現況を把握することができ、事業体の施業、路網選定の事前概査など現場に近いレベルでの利用に活用できることが確認できた。半自動で広域を林相区分し、蓄積推定を行う機能は、都道府県が広域で概況を把握し、森林簿の修正等に活用できると考えられる。また、森林計画制度の中核を担う市町村においては、森林現況に基づくゾーニングに広域概況を活用する一方、所有者への現況説明として立体視を活用することも効果的である。

以上をまとめると、森林計画制度における本事業の成果は図 6.1.1 のように情報源として位置づけられる。

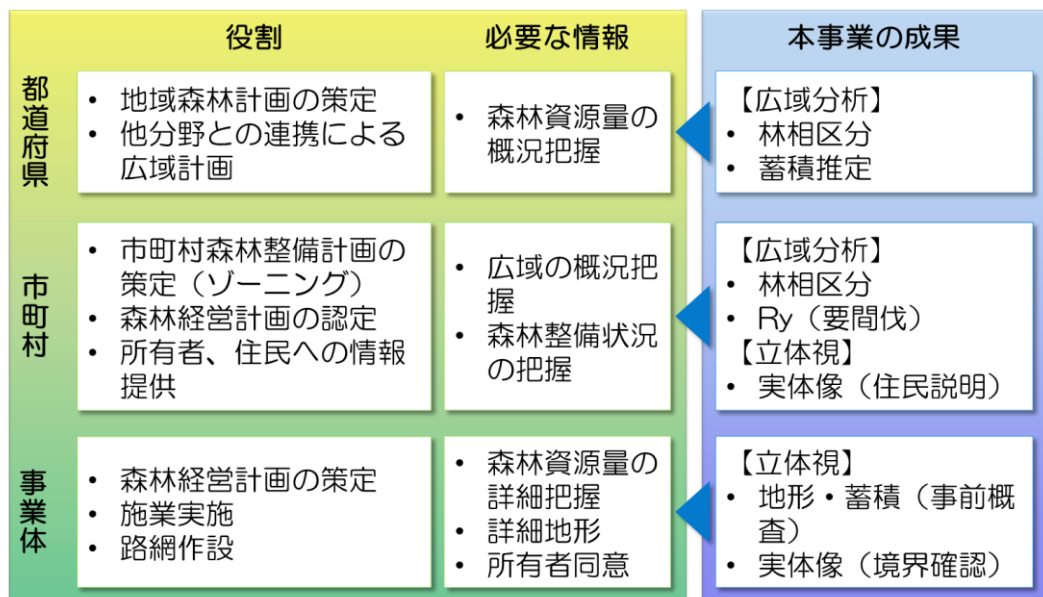


図 6.1.1 森林計画への本事業成果の寄与

6.2. 今後の展望

以下の取組みにより、デジタル撮影空中写真及び本事業の成果を実際の森林計画に活用することを目指す。

(1) 推定式の精度向上

本事業では、汎用性を重視し、全国に適応可能な推定式を採用している。地域毎、樹種毎の推定式を作成することで、より精度を向上させることが可能である。推定式の作成については、地域における現地調査の積み重ねが必要であり、行政、研究機関の協同が求められる。

(2) データの共有体制

デジタル撮影空中写真は、市町村、事業体が直接取得することはコスト面から困難であり、都道府県が整備したデータをそれ以下のレベルでも利用できる体制が望まれる。現在ではインターネットを介して大容量のデータをやり取りする技術も確立されており、空中写真データ等を都道府県がサーバに保管し、市町村、事業体が必要なデータにアクセスすることも可能となっている。

デジタル撮影空中写真及び本事業の解析プログラムを有効に活用するためには、データ利用のためのシステムを構築する必要がある。

(3) 事業成果の普及

撮影・計測データ及び解析プログラムは、無償又は低価格の使用料により利用可能とする。解析プログラムについては、表 6.2.1 に示す計画でサポートを行う予定としている。平成 25 年度は無償で普及を図り、要望等を収集・分析して今後の改善に資する。

解析プログラムの適正な利用のためには、リモートセンシングの基本的な考え方を理解すること、出力結果を GIS で組み合わせることなども必要であり、講習会等が必要と考える。

表 6.2.1 解析プログラムサポート

項目	無償サポート	有料サポート	業務受託
内容	ホームページ FAQ 練習キット マニュアル（操作・活用） バグ修正	メール問合せ対応 講習会 1 人 1 日/年 バージョンアップ	「もりったい」用データ 作成 解析結果活用に関するコ ンサルティング等
金額	0 円	10 万円/年	内容如何で変動
開始	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 25 年度

利用者は都道府県の行政・研究機関、市町村、事業体を想定し、本事業においては都道府県担当者による解析プログラム検討会の開催、市町村、事業体レベルではモデル地域を設定して活用検討を行った。今後も各レベルでの活用を支援する。

市町村森林整備計画の策定においては、フォレスターが重要な役割を果たすが、現在育成途上であり、本事業においては対象としなかった。フォレスターが解析プログラムを活用することで効率的に市町村の支援が可能となると考えられることから、フォレスターへの普及にも取り組みたい。

卷末資料

1. 操作マニュアル
2. 成果活用マニュアル
3. データ仕様書
4. 相観区分
5. 撮影地域一覧
6. 林相区分・樹種分類の手法及びその検証
7. 現地調査結果（標準地）
8. 計画に係る作業要素の検討結果
9. 担当者一覧

1. 操作マニュアル

2. 成果活用マニュアル

3. データ仕様書

4. 相観区分

5. 撮影地域一覧

6. 林相区分・樹種分類の手法及びその検証

7. 現地調査結果（標準地）

8. 計画に係る作業要素の検討結果

9. 担当者一覧

平成 24 年度
デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうち
現地調査及びデータ解析・プログラム開発事業報告書

平成 25 年 3 月

代表者：株式会社パスコ
〒153-0043 東京都目黒区東山 1-1-2 東山ビル コンサルタント事業部
TEL：03-6412-2517
担当者 洲濱智幸

共同提案者：一般社団法人日本森林技術協会
〒102-0085 東京都千代田区六番町 7 番地 TEL：03-3261-5281（代表）
担当者 おおがや 大萱直花