

Study on the classification of typical tree species in rural satoyama forests based on seasonally changed leaf color and canopy height by aerial survey

瀬戸島, 政博

<https://doi.org/10.15017/459025>

出版情報 : Kyushu University, 2005, 博士 (芸術工学) , 論文博士
バージョン :
権利関係 :



第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

21世紀は「地球環境の世紀」と言われている。これは、前世紀における技術革新による近代化が、かつての自然と人間との有機的な関係を分断し、深刻な環境問題をもたらせたことから、再び自然と人間の共存を模索していくことが大きな課題となったためである。

このような地球環境の危機に対して、1992年6月に環境と開発に関する国連会議（いわゆる地球サミット）がブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された。この地球サミットで規範となったのが、「持続可能な開発」であった。また、1997年12月には地球温暖化防止京都会議（気候変動枠組み条約第3回締約国会議＝COP3）で京都議定書が採択され、2005年2月16日に発効し、これにより、先進国では二酸化炭素(CO₂)などの温室効果ガスの人為的な排出量を1990年レベルまでに戻すことを目標とする取り組みが開始された。

このように、地球環境危機の時代を迎え、有限な地球資源の持続可能な開発や生態系のバランスに配慮した自然資源の活用などが重要な課題となっている。そのためには、持続的な国土環境の保全や循環型社会の形成が求められ、自然と共存する豊かな人間生活の模索が必要とされている。

われわれの身近にある里山は、かつてはこのような自然を持続的に活用し、多様な動植物と人間が共存する場であった。里山はつい40～50年前まで、薪炭林として、あるいはその落葉を堆肥として利用され続けてきた。すなわち、里山は、循環利用できる再生産可能な自然資源の宝庫である。人間が長い間手を加えることにより保全がなされ、利用性が増し、森林環境が成り立っていた。

しかし、1960年代に薪炭から石炭・石油をはじめとする化石燃料に代わるエネルギー革命が起き、加えて、高度経済成長に伴う都市人口の集中による農山村の過疎化と林業の担い手不足、輸入材の影響による国内材の価格下落とそれに伴う林業離れ、高齢化などのさまざまな要因が関与して、里山の荒廃が顕在化した。

本来、里山には水源涵養や生物多様性をはじめとする多岐にわたる多面的（公益的）機能がある。さらに、里山では春季にさまざまな草本類やサクラ、ツツジなどの木本類が開花し、秋季にはモミジ・カエデやコナラなどの紅葉・黄葉が楽しめるなど、四季折々の美しい自然の変化や自然とのふれあい、地域独自の景観などをわれわれに与えてくれる。

里山が持っているこのような多面的機能は、豊かな緑量、季節感、文化・伝統などの個別要素が複合した里山の森林景観全体としてわれわれは見ることができ、さらに、面的に、広域的に、このような里山の森林景観を捉えることで、里山の潜在的な能力や今日的な意義も知ることができる。

里山の森林景観を形づくる重要な要素になるのが樹種構成である。すなわち、樹種構成は里山の種多様性や季節感、郷土景観などを享受できる要素となるためである。里山を構成する多種多様な樹種からなる里山林を面的に、しかも広域的に識別、区分していくには、

航空からの空間情報技術の利用が有効と考えられる。

そこで、本研究では、より複雑な構成要素からなる里山林を対象にして、季節的に航空上から観測した航空オルソ画像に写る葉色の色調変化や落葉期間に観測した航空レーザスキャナデータによる樹冠高の比較など、空間情報技術を活用した解析を通じて、里山林を構成する代表的な樹種を区分することを目的とした。なお、今後、普及と利用が急速に促進される高分解能衛星データの利用も念頭に置いて研究を進めた。

1.2 里山林の樹種区分に関する研究の意義

図-1.1 には、里山林の現状から、里山林の今日的な意義(里山林の潜在的な能力)、トータルな里山森林景観を通じて里山林の潜在的な能力の評価、さらには、そのための面的・広域的な里山林の樹種区分情報整備の必要性までをまとめたものである。

1.2.1 里山林とその現状

(1) 里山林について

一般的に、里山と里山林は明確な区分をせずに用いられている。これは、里山を構成する一つの要素が里山林のためである。山本(2001)は、里山と里山林を農村の生物相保全に関する歴史的経緯により区分している。すなわち、歴史的に農村の住民の薪炭、肥料、飼料やその他の生産資材の供給源として利用、管理してきた林野を、その地形的特性や植生の違いに拘わらず「里山」と呼び、里山の土地利用のうち森林であるものを「里山林」としている。

そこで、本研究では、里山林を農山村の集落近くに位置し、農業のもとで利用されてきた薪炭林や農用林である雑木林として捉え、さらに、人間が生活していくために絶えず人手(干渉)を加え続けてきた結果として生み出された二次的自然(半自然)として捉えることとした。

(2) 里山林の課題

里山林の今日的な課題として、孤立化、遷移の進行、マツ枯れ、高木林化、モヤシ林化、ツル植物の繁茂、ササ類の繁茂、竹林の拡大、獣害による影響、人による影響、種多様性への影響、植栽植物種の侵入などを挙げることができる(服部ら、1995; 重松、2002b)。

都市化に伴う各種開発によって大面積の里山林が失われ、公園・緑地としてその後に残存している里山林は孤立化している。このような孤立化した里山林では生物の種多様性がかなり低下すると考えられる。

放置された里山林は潜在自然植生に向かって遷移し、とくに里山林の大部分の分布を占める常緑広葉樹林域では長期的には常緑広葉樹林化することになる。また、マツ枯れによる樹冠ギャップでは、下層にあったコナラやアカマツが発達して遷移が進行する。

薪炭林や農用林として利用されてきた雑木林は、概ね 15~20 年で伐期(南関東では 10~17 年伐期)とされ、萌芽更新を繰り返してきた(中川、2001)。そのため樹高の低い低林であり、最大でも樹高 10m 以下に押さえられていた(四手井、1993)が、里山林が放置され

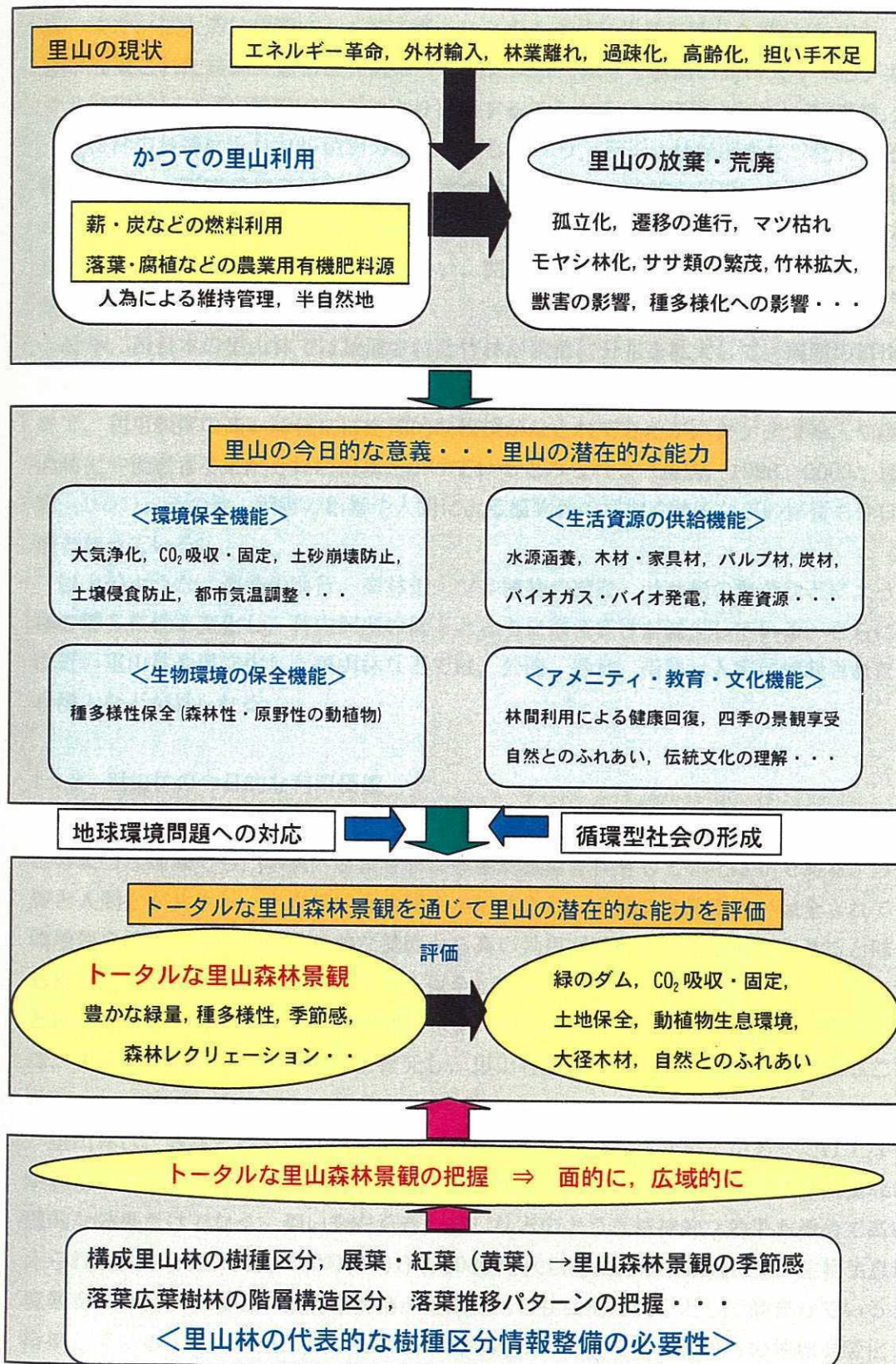


図-1.1 里山林の樹種区分に関する研究の意義

長い年月を経過すると 20m を越える高林がみられるようになり、組成的に多様性が低くなる。また、拡大造林政策によってスギ・ヒノキ人工林に樹種転換した植林地では、間伐管理が放棄された結果、過密と林冠のうっ閉により、痩せて樹高の高いスギ・ヒノキ林（モヤシ林化）がみられ、風雪害などにより折損することが多いと指摘されている(重松, 2002b)。

里山林の放置によりツル植物の繁茂が著しくなり、とくに林縁部やマツ枯れなどによる樹冠のギャップでの生育は旺盛で、樹木の幹に巻き付いて締め付け、また樹冠部を被って高木に大きな被害を与えている(服部ら, 1995)。また、放置された里山林の低木層では、繁殖力旺盛なササ類が繁茂することが多い。関東地方ではアズマネザサ、近畿地方ではネザサなどの生育が目立つ。

近年、西日本の里山林では放置された竹林が次第に分布を拡大して、周囲の耕作地や二次林、人工林へ侵入するようすが見られる。自然に分布を拡げているのは主にモウソウチクで、利用頻度の高い時代には定期的な伐採がなされてきたが、タケノコ輸入や農山村の過疎化や後継者不足がそれに拍車をかけているとみられる(鳥居, 1998, 2003; 鳥居・井鷲, 1997)。その他、獣害の影響や人間による植物種の採取や踏圧などの影響も今日的な課題となっている。

以上のような、遷移の進行、高林化、ツル植物の繁茂、ササ類の繁茂などによって里山林の種多様性も変化し、林内照度の低下とともに種多様性が減少している。さらに、都市に近い里山林や孤立化した里山林などでは、公園、緑地、街路、人家に植栽された植物種の侵入などが見られる。

1.2.2 里山林の今日的な利用価値

里山林は、生産的役割が失われ、農業構造の変化などから放棄されている場合が多いが、このような地域でも、本来、さまざまな多面的機能を保有していたはずである。以前は自然と人間とが共生し、半自然的な生態系が形成され、多様な自然環境が保全されていた。環境保全的な側面や保健休養的な側面から高い効用が期待される地域であることは今日でも変りはない。里山林を利用しながら保全していくといった過去にわれわれの先人が営々と続けてきた、持続的な利活用を図るべく、里山林の手入れや管理を施し、利用に努めれば、再び、以前のような里山林を復元し、里山林のもつ多面的な効用を享受することができる。

里山林は、森林そのものが存在することによる効果（存在効果）があるだけでなく、人が利用してはじめて効果を発揮する利用効果がある。また、土地保全や水源涵養などの物理的な効果だけでなく、潤いや安らぎ、癒しなどのような精神的な効果も極めて高いと考えられる。さらに、大住・深町(2001)は 1980 年代以降に緑地・景観保全、生物生息地、環境教育・社会参加などの機能や役割が里山林への社会的な関心として高まっていることを指摘している。また、里山林のもつ将来的な潜在力として、これからの地球温暖化を軽減する一環として、里山林から得られる収穫物をバイオガスやバイオ電力として活用するな

ど、クリーンな代替エネルギーの供給の場として里山林のもつ機能も指摘されている(重松, 2002a, 2002b)。

1.2.3 航空からの樹種区分の必要性

以上のような里山林が潜在的な能力として持っている今日的な利用価値は、豊かな緑量、多様な季節感、神秘さ、多様な林相、種多様性、身近な自然、散策の場、教育の場、森林レクリエーションの場など、里山の全体的な森林景観としてわれわれの目に映っている。このような森林景観を個別に構成しているのが、樹種、樹高、樹木被覆、樹冠の広がり、樹冠疎密度、樹木本数、樹冠ギャップ、階層構造、落葉推移などの林相に関するさまざまな要素である。図-1.2には、このような里山森林景観の構成要素とわれわれが認識する里山森林景観との関係、さらには、本研究の目的でもある航空から広域的かつ面的な葉色変化と樹冠高変化から、里山森林景観の構成要素のうち、樹種・落葉推移・階層構造などの区分情報の必要性をまとめた。

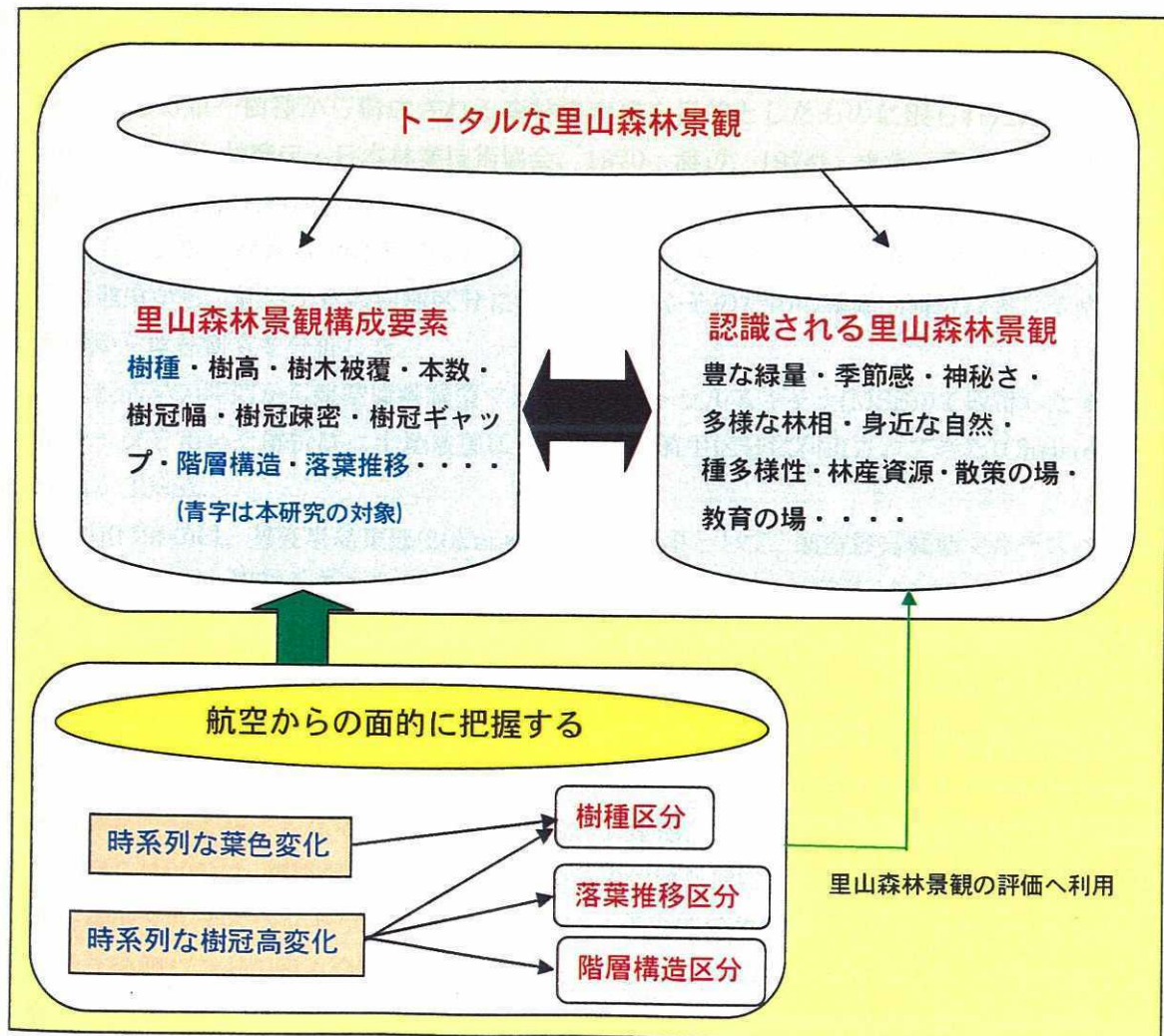


図-1.2 航空からの樹種区分の必要性

樹種や樹冠に関する情報は、里山林の緑量の豊富さ、季節感、豊富な構成樹木、開花の美しさ、野生動植物の生息環境など種多様性を評価する基本要因となる。加えて、神秘性、精神安定、情操培養、思索、教育などアメニティを評価する基本要素となる。さらには、高林化による大径木材の用途（建築材や家具材等として利用）を評価する基本要素ともなり得る。このような樹種や樹冠に関する情報を面的に、広域的に整備していくには、航空からの空間情報技術が有効である。空間情報技術を駆使して樹種や樹冠に関する情報を面的に、かつ広域的に取得し、さらに地理情報システム（GIS）と関連する他の地理情報を併用して里山林の持つ潜在的な能力を評価することで、里山林の今日的な利用価値の把握に繋げることができる。

1.3 航空からの樹種区分に関する既往研究

1.3.1 各種航空センサを用いた樹種区分に関する研究

本研究の対象である里山林の構成樹種を区分するために航空からの観測手法を適用した研究は極めて少ない。その主たる理由は、林業経営の一環として効率的な管理を進めていくために早い時期から航空写真の利用を図ってきたが、スギ・ヒノキ植林地のように木材価値のある単一樹種から構成される森林の育成を目的としたものに限られたためである（中島，1951；林野庁・日本林業技術協会，1970；渡辺，1974）。また、里山林のように多種多様な樹種から構成され、複雑な構成要素からなる森林においては、航空写真判読やリモートセンシングからの研究アプローチがみられなかった。そのため、ここでは上記のような理由から、航空からの樹種区分に関する研究やそのための基礎的研究など、やや広い範疇から既往研究を分析した。

比較的早い時期から航空機搭載型マルチスペクトラルスキャナ(MSS)で取得した多波長帯データを用いた解析は、土地被覆区分を含めた植生区分に利用されてきた(Christensen et al., 1988)。

妹尾(1990)は、丹後半島東部(20km×30km)を対象として、航空機搭載型マルチスペクトラルスキャナの観測とその取得データによる林相区分と活力区分を試みている。これによると、林相区分の場合、混交状態の林分と新植地の分類精度が低かったが、全体で80%以上の正解率があり、縮尺1/50,000地形図と重ね合わせた分類図は、広く丹後半島の植物地理学的特徴および植物社会学的特徴をよく表していることを指摘している。同様に、宮坂ら(2000)も航空機搭載型マルチスペクトラルスキャナを用いて愛知県内の里山(海上の森)を対象に、シイ林、アカマツ林、落葉広葉樹、針葉樹、竹林などの樹種区分を試みている。

山形ら(1995)は、釧路湿原について湿原植生の生育初期にあたる6月下旬に取得した航空機搭載型マルチスペクトラルスキャナを用い、代表的植生群落6クラスを分類するために有効な観測バンドの組み合わせについて報告している。小熊ら(1996)は、この研究をさらに発展させ、6月下旬の取得データに加えて8月下旬に取得した航空機搭載型マルチスペクトラルスキャナデータを併用し、湿原植生群落10クラスを分類するための有効観測バンドの

組み合わせを求め、多時期データ利用の有効性について検証している。その結果、2 時期の全 22 バンドから 9 バンドを用いたデータによる分類が最大の分類精度を示し、多時期データの有効性が確認されている。

航空機搭載型 SAR²⁾を用いた樹種区分に限った研究事例は少ないが、三塚ら(2000)によって、高分解能で多偏波の航空機搭載型 SAR データを用いた樹種区分の可能性についても研究が試みられている。その結果、X バンド画像では樹冠上部表面のテクスチャーなどから樹種が判読されたこと、L バンド画像では偏波特性から樹種が、画像の明るさから相対的なバイオマスが判読されたこと、L バンドの散乱係数と常緑針葉樹の実測値との間に相関関係が認められたこと、などが報告されている。

航空機搭載型ハイパースペクトラルセンサ³⁾などの超多波長データを用いた植生区分に関する研究も試みられている(沖ら, 2000 ; 中村ら, 2002, 山形ら, 1996a ; 小熊ら, 2002 など)。山形ら(1996a)の研究では、釧路湿原において航空機搭載型スペクトラルイメージャー(compact airborne spectral imager : casi)で観測した 10 バンドのデータ(地上分解能 2m)と現地測量によって得られた微細標高データのオーバーレイ解析から植生区分にリモートセンシング画像が有効であることを確認できたとともに、ミズゴケが乾燥状態にあるところではハイイヌツゲ等の侵入があり、全体の地形がやや低く湛水し易いところではハリミズゴケが分布し、湿原周辺の水田との境界部にはアカマツの分布が把握できたことを指摘している。小熊ら(2002)は、森林のモニタリングの一環として、森林樹冠部分の連続分光画像の取得を自動収録し、リモートセンシング手法の研究やアルゴリズム開発に資する目的で、ハイパースペクトラルカメラの開発をしている。これにより今後、森林の季節的なフェノロジー観測に期待される。

航空機やヘリコプターなどに搭載された航空レーザスキャナ⁴⁾を利用した森林パラメータの計測については急速に研究が進展し、多数の論文が発表されている(例えば, Means et al., 1999 ; Lefsky et al., 1999 ; 田村ら, 2000 ; 大政ら, 2000 ; 米ら, 2002 ; 杉盛ら, 2003 ; Holmgren et al., 2003 ; 平田, 2004 など)。これらの論文の多くは、森林下の地盤高や樹高(正確には樹冠高)の把握のための精度検証やデータ処理(フィルタリング処理)に関する研究が多く、直接、樹種区分に利用された事例は少ない。そうした多くの研究のなかで、武田ら(2003)、平田ら(2004)は樹種区分に関連する階層構造の把握をねらいとする研究を試みている。武田ら(2003)は、広域で群落構造を測定するねらいから、ヘリコプターに搭載したサイドルッキングライダを用いてカラマツ林での葉面積密度(LAD)と平均葉群傾斜角(MTA)を計測する手法開発を試みている。平田ら(2004)は、森林の多面的機能や野生生物の生息環境保全のために航空機搭載型レーザスキャナから下層植生の把握を試みている。

1999 年 9 月以降は、商業用高分解能衛星の IKONOS データが利用できるようになり、航空写真並の地上解像度からの樹種区分の研究がなされるようになった。

加藤(2002)は、北海道岩見沢経営区林班内のトドマツが優占してイタヤカエデ、ミズナラ、

シナノキ、カンバ類等の広葉樹が混交する天然林を対象に IKONOS データを利用して樹種区分を実施している。この研究では、パンクロマティックバンド・データ、マルチスペクトラルバンド・データ(バンド 1~4)と4種の植生指数(NDVI⁷⁾等を組み合わせた9バンドのファイルを作成し、最尤法⁵⁾分類による樹種区分を実施している。その結果、トドマツ(74%)、カラマツ(70%)、ミズナラ(62%)の精度であり、種数の多い広葉樹の分類精度は27~50%であった。反射特性の近似する種を同一グループとして分類することに精度向上などの必要性を指摘している。鈴木ら(2003)は、京都市市街地北部地域を対象にして、IKONOS データを用いて、NDVI を指標とした活力度が高く単木レベルでの特定が可能な樹木の葉の色彩評価を HSV 変換⁶⁾によって検討している。画素レベルでは、色彩から樹種を判別することは困難であり、樹種ごとに画素の平均値をサンプルとしたときは、色彩がより類似したカテゴリーに分類でき、クスノキとトウネズミモチ、クスノキとヒマラヤスギは色彩の差が大きいグループであることを報告している。

以上のように、航空からリモートセンサを用いて樹種区分を試みた研究段階のものが多く、実用段階には至っていないのが現状である。加えて、里山林のように多種多様な樹木から構成される複雑な林相からなる森林では、ほとんど研究がみられない。しかし、最近では、新しいセンサ(例えば、航空機搭載型ハイパースペクトラルセンサ、航空機搭載型レーザスキャナなど)の出現により、これらのセンサの融合利用による研究が進展しており(ISPRS, 2004)、里山林の樹種区分にもその応用が期待されるところである。

- 1) : 航空機搭載型マルチスペクトラルスキャナ(MSS: Multi-Spectral Scanner)は、航空機に搭載した可視~熱赤外域まで反射光を複数の波長帯に収録するためのセンサ。
- 2) : 航空機搭載型 SAR (Synthetic Aperture Radar: 合成開口レーダ)は、航空機に搭載され、昼夜にかかわらず観測でき、雲に覆われていても地表を観測できる特徴がある。
- 3) : 航空機搭載型ハイパースペクトラルセンサ(Hyper-Spectral Sensor)は、航空機に搭載した超多波長バンドの光学センサで、数百バンドのデータが取得できる(ただし、空間分解能とトレードオフになる)。
- 4) : 航空レーザスキャナは、航空機搭載型とヘリコプター搭載型のものとに大別される走査式のレーザ測距計である。Light Detection And Ranging: LIDAR と呼ばれ、レーザ光を透明媒質中に出し、散乱・反射光を検出して距離を計測する装置。
- 5) : 最尤法(maximum likelihood method)は、リモートセンシングの代表的な分類手法の一つとして用いられている。観測値 X が得られたとき、観測値が x をもつ「尤もらしさ」を与える尺度を尤度といい、尤度は、一般にある変数 θ の関数として定義されるため、尤度関数とも呼ばれている。最尤法は、尤度関数を最大にする θ を求める方法である(日本リモートセンシング研究会編, 1989)。
- 6) : HSV 変換は、合成画像を色表示する際に、画像の有する色彩の属性(H: 色相, S: 彩度, V: 明度)を用いて、RGB 色空間から変換表示する方法の一つ(日本リモートセンシング研究会編, 1989)。

1.3.2 季節的な葉色変化に関する研究

季節的な葉色の変化に関する研究は、樹木の葉色に関して色彩学的視点から樹種特性の類型化を試みている研究、衛星や航空機からのリモートセンシングデータを用いて樹種区分する場合の基礎となる樹種の季節的生理的变化に伴う分光反射特性の研究、地球環境の変動を樹木フェノロジー¹⁾(樹木の開芽・開葉、紅葉(黄葉)・落葉など)現象を通じて長期的に把握するために試みられている研究、などに大別される。

樹木の葉色に関する色彩学視点から樹種特性の類型化を試みている研究では、造園植物のもつ色彩の重要性や都市的環境圧下にある造園樹木の環境指標として、その葉色変化を捉えることなどを目的にしている(新田, 1952; 丸山, 1988; 鈴木ら, 1991; 大西ら, 1993; 小橋, 1994; 三浦ら, 1995; 三島ら, 1998)。

とくに、丸山(1988)や大西ら(1993)の研究は、葉色の色彩の変化はある意味で自然環境の変化の反映と捉え、葉色の色彩学的視点から樹種特性を類型化している。丸山の研究では京都大学芦生演習林内の41樹種を対象に色彩色差計を用いて葉色の季節変化パターンを計測している。その結果、葉色変化は開葉期、紅葉期に顕著で、夏季は安定状態を示し、この開葉期、紅葉期の変化度合いから15タイプの組み合わせが認められることを報告している。

大西ら(1993)の研究では、丸山の研究と同様の目的から、京都大学農学部構内に植栽されている24種について、紅葉期の落葉樹・常緑樹の色彩的特性を色彩色差計で観測した。その結果、落葉樹は常緑樹に比べ3軸(明度・彩度・色相)とも紅葉期の変異が大きく、常緑樹は夏季の明度・彩度の変移が紅葉期より大きいものが12種中8種に及んでいたことを報告している。

また、小橋ら(1994)は、天然林の四季の色彩変化が豊富であり、そのすぐれた森林景観の保全にモニター画像解析が必要とされ、京都大学芦生演習林内を対象として半年間毎日1回写真撮影を継続し、それらの画像から樹木の色彩の季節変化を解析している。

衛星や航空機からのリモートセンシングデータを用いて樹種区分する場合の基礎となる樹種の季節的生理的变化に伴う分光反射特性の研究は、比較的早い時期から草地や樹木などを対象に数多くなされてきた(例えば、高畑, 1972; 大貫ら, 1985; 内藤ら, 1990; 伊藤ら, 1996など)が、現在では樹木フェノロジー(樹木の開芽・開葉、紅葉(黄葉)・落葉など)現象を詳細に把握しておくことが、衛星や航空機からのリモートセンシング手法を用いて樹種区分していく上で重要とされ、長期的に継続した樹木フェノロジー観測とその分析のための研究が主流となっている(例えば、吉村ら, 1991, 1994; 吉村, 1998, 2001; 吉川ら, 1994; 土田ら, 2004など)。

吉村ら(1991)の研究によれば、衛星データを用いた解析においては、植物の反射特性が樹種や季節的な植物生理の変化で左右されるために、植物の分光反射特性の把握がなされてきたが、これまでは近赤外域での反射の差に注目され、可視域に注目した研究が少なかった。この研究の結果、今後、リモートセンシングデータを利用して、樹葉の可視域での分光反射特性の変化を基にした樹種区分が可能になることを指摘している。

さらに、吉村ら(1994)は、秋季に黄葉するエノキ、紅葉するイロハモミジ、常緑樹のコジイ、タブノキ、スギについて、樹葉の季節的な可視域分光特性変化を分光光度計を用いて計測し、同時に、可視域の樹葉分光特性に影響を及ぼしているクロロフィル²⁾、カロチノイド³⁾、アントシアン⁴⁾の植物色素についても算出している。落葉広葉樹葉の秋季の分光特性変化は、樹種群に共通な生理的变化によるものであり、今後、衛星リモートセンシングデータの利用において、森林域の生態的解析に利用できることを指摘している。同様に、吉村(1998)の研究によれば、秋季に黄葉するエノキ、ダンコウバイ、紅葉するイロハモミジ、常緑広葉樹のクスノキなどを用いた分光反射測定では、緑葉と比較して黄葉・紅葉の分光スペクトルの最も顕著な変化は近赤外域よりも可視域においてであったこと、また、樹葉が重なることにより近赤外域および可視域の反射スペクトル変化が増幅されることが報告されている。したがって、今後、衛星リモートセンシングにより紅葉現象を利用した樹種群判別を行う場合には、可視域バンド値の変化を利用することが指摘されている。さらに、吉村(2001)の研究では、可視域(青緑域)は、緑葉、秋季の黄葉・紅葉、さらには枯葉でもカロチノイド類が関与する吸収域であり、今後リモートセンシングによる植生域解析において、その利用性の高いことを指摘している。

Dennis et al(1994)は、コナラ、クヌギ、ケヤキ、ヤブツバキ、ヤマモモについて樹冠内での葉のクロロフィル含量の季節的变化を研究している。その結果、葉の SPAD 値⁵⁾と葉面積当りの全クロロフィル(クロロフィル a+クロロフィル b)含量には正の相関がみられたこと、葉の SPAD 値は葉の厚さ、樹齡、樹冠の位置によって影響されていたことを報告している。

また、最近の動向として樹木フェノロジーのモニタリングの必要性が高まるなか、土田ら(2004)によって、自動撮像型魚眼デジタルカメラを主体にした観測サイトを全国的に配置する計画が進めている。

1) : フェノロジー (Phenology) は生物季節(学)と和訳され、季節的に起こる自然界の動植物が示す諸現象の時間的变化およびその気候あるいは気象との関連を研究する学問。例えば、植物の発芽、開芽(芽吹き)、開花、紅葉、落葉などの時期の調査から、それぞれの地方の気候が比較できる(八杉ら編, 1996)。

2) : クロロフィル (chlorophyll) は葉緑素と訳され、植物の葉緑体に存在する光合成色素の一種、クロロフィル a, b, c がある。

3) : カロチノイド (carotenoid) は色素の一種、黄葉にするキサントフィルなどがある。

4) : アントシアン (anthocyan) は花青素で、赤、紫、紫黒色などを呈する花や果実の色。

5) : SPAD (Soil and Plant Analyzer Development) 値は葉の緑量を表す。

1.4 既往研究結果の本研究への適用

ここでは、1.3 の既往研究の結果(考え方や解析方法など)を踏まえて、本研究への適用性を検討した。

(1) 時系列データ解析の適用

妹尾ら(1983)が LANDSAT/MSS を利用した林相区分の研究において早い時期から指摘されてきたことであるが、樹種区分においては時系列に観測されたりリモートセンシングデータの解析が必要とされる。この考え方は、使用センサが変わっても LANDSAT/TM の複数データを用いた内藤ら(1990)や山形ら(1996b)の研究においても適用されている。さらに、時系列に観測されたりリモートセンシングデータは、村上ら(1999)が指摘しているように、年間にわたるリモートセンシングデータを利用して樹種区分できる場合には一層分類精度を向上させることができる。したがって、本研究においては、時系列にわたって観測されたりリモートセンシングデータの利用とその解析を基本に置いた。

(2) 樹葉のフェノロジー現象を樹種区分の要素として活用

丸山(1988)や大西ら(1993)らの研究から、葉色変化は開葉期、紅葉期に顕著であり、夏季では安定状態を示すことから、この開葉期、紅葉期の葉色変化の大きい時期データを利用していくことが樹種区分には有効となるとともに、明度・彩度・色相といった面からの解析も有効とされる。したがって、本研究でも樹葉の年間にわたる葉色変化を解析の要素として研究を進めることとした。

(3) 高解像度のリモートセンシングデータの利用

LANDSAT や SPOT などの中分解能衛星データに比べて、航空写真並の高分解能衛星データであれば、より細かい林分単位での樹種区分が可能とされる。また、加藤(2002)や鈴木ら(2003)の研究のように高分解能衛星データを用いた樹種区分(画像判読とデジタル画像解析を問わず)は精度の向上が図れる。ただし、現状は IKONOS データの観測開始が 1999 年 9 月からであり、(1)あるいは(2)で触れたような時系列データの整備が不十分と考えられる。

そこで、本研究では今後、このような高分解能衛星の時系列なデータが十分に利用していけるようなことを前提とし、航空機上から年間にわたって時系列に撮影したカラー航空写真をデジタル画像化(カラー航空オルソ画像)したものを利用することとした。

(4) 可視域のデータの利用

吉村ら(1991,1994)は指摘しているように、リモートセンシングデータを利用して樹葉の可視域での分光反射特性の変化を基にした樹種区分が可能になること、また、衛星リモートセンシングにより紅葉現象を利用した樹种群判別を行う場合には、可視域バンド値変化が利用できることを指摘している。さらに、吉村(2001)の研究では、可視域(青領域)は、緑葉、秋季の黄葉・紅葉、さらには枯葉でもカロテノイド類が関与する吸収域であり、青領域の低い反射特性が重要となる。本研究では、可視域を捉えた年間にわたる時系列なカラー航空オルソ画像を利用するため、吉村らのこのような指摘について検討することが可能となる。

(5) 航空レーザスキャナとのデータ融合による解析手法の利用

平田ら(2004)の研究のように、航空機搭載型レーザスキャナは樹林内の下層植生や階層構造を把握するのに有効な手段となる。とくに、落葉期間を時系列に観測した航空機搭載型

レーザスキャナデータを用いることにより、階層構造だけでなく、落葉のパターンも把握できる。そこで、本研究でも落葉期間を時系列に観測した航空機搭載型レーザスキャナデータを用いて、階層構造や落葉パターンを解析するとともに、カラー航空オルソ画像による葉色変化の解析と融合させながら樹種区分を進めることとした。

ただし、航空機搭載型ハイパースペクトラルセンサによる観測データの利用については、山形ら(1996a)による研究などがあるが、まだ研究事例が少ないことも事実である。そこで、本研究においては、航空機搭載型ハイパースペクトラルセンサによる観測データの樹種区分への適用性については事前に検証を実施することとした(この検証の詳細は巻末の補足資料Ⅰにまとめた)。

1.5 超多波長帯センサデータを用いた樹種区分と課題

ここでは、里山林を構成する代表的な樹種(スダジイ・アラカシ・スギ・ヒノキ・ケヤキ・コナラなど)について、独立行政法人森林総合研究所多摩森林科学園を対象に、航空機搭載型のハイパースペクトラルスキャナ(使用した航空機搭載型ハイパースペクトラルセンサは、カナダ Itres 社製 Compact Airborne Spectrographic Imager : CASI-1 で 288 バンドが観測できるが、記録容量との関係でその場合には低解像度となり、今回は解像度約 1.25m としたため 24 バンドに限定)による観測を 2002 年 9 月 20 日 10:53 ~ 11:00 に実施した。さらに、取得された超多波長帯データ上での各樹種の分光反射特性を検討し、その特性を用いた樹種区分の可能性について考察した。

その結果、スギとその他 5 樹種、スギ・ヒノキとその他 4 樹種の分離が可能で、762nm (band16) と 739nm (band15) の差分を組み込んだ合成画像が、これらの樹種区分に対して有効であった。しかしながら、広葉樹の細分(スダジイ、アラカシ、ケヤキ、コナラ)については必ずしも十分な判別精度と言えない。さらに、樹葉の葉色変化が最も少ない夏盛期(今回は 2002 年 9 月 20 日)の観測データでは、このような樹種区分が不十分であるとすれば、葉色変化の大きい春季ないし秋季に観測したデータを利用することになる。その場合には、本研究の時系列なカラー航空オルソ画像による葉色変化に基づく樹種区分方法(第 3 章に記述)で精度的にも十分と考えられた。詳細は補足資料Ⅰを参照のこと。

1.6 研究の構成

本研究は、航空から季節的に観測した葉色および樹冠高の変化に基づき、里山林の代表的な樹種区分について検討したものである。本研究では、季節的に時系列にみた樹葉の微妙な葉色変化を重視した樹種区分の可能性と、落葉前後の時系列な樹冠高の変化パターンを重視した落葉広葉樹林の細分化の可能性とを検討した。加えて、樹冠高の変化パターンから落葉広葉樹高木林内の階層構造の把握についても検討した。これらの研究アプローチを総合化することによって、里山林の樹種区分の試みとその適用性を検討した。

本研究では、林分単位での樹種区分の可能性についての検討を目的としているが、その研究プロセスのなかでは単木単位での検討も必要とされるため、地上解像度の高い航空機から観測した空間データを用いて研究を進めた。したがって、航空写真並みの解像度を有する高分解能衛星データを用いた検討は、上記のように航空機から取得した空間データを用いているため、本研究での検討範囲に包含されるものと考えられた。

本研究の構成は図-1.3に示すとおりである。

- (1) 序論(第1章)
- (2) 適用手法(第2章)
- (3) 季節的な葉色変化に基づく里山林の代表的な樹種区分に関する研究(第3章)
- (4) 時系列な樹冠高の変化から落葉広葉樹林の階層構造と落葉推移を把握するための基礎的研究(第4章)
- (5) 落葉前後の樹冠高変化による落葉広葉樹林の階層構造の区分に関する研究(第5章)
- (6) 季節的に観測した葉色および樹冠高の変化に基づく混交林の樹種区分とその検証に関する研究(第6章)
- (7) 結論(第7章)

なお、第3章～第6章までの研究をまとめる際に用いた参考論文を補足資料Ⅱに示す。

(1)序論(第1章)

ここでは、研究の背景と目的、里山林の樹種区分に関する研究の意義、航空からの樹種区分に関する既往研究、既往研究結果の本研究への適用、研究の構成などについて述べた。

(2)適用手法(第2章)

ここでは、航空から葉色変化を把握するための適用手法と、航空から樹冠高変化を把握するための適用手法について述べた。

(3)季節的な葉色変化に基づく里山林の代表的な樹種区分に関する研究(第3章)

ここでは、春季における里山林を構成する代表的な樹種の葉色変化を時系列なカラー航空オルソ画像上の色調変化から捉え、その特性を用いた樹種区分の可能性について基礎的な検討をした。さらに、春季と秋季の時系列なカラー航空オルソ画像上の葉色変化から里山林を構成する代表的な樹種であるアラカシ・スダジイ・クスノキ・コナラ・クヌギ・ケヤキ・スギ・ヒノキ・モウソウチクの区分の可能性について検討した。

(4)時系列な樹冠高の変化から落葉広葉樹林の階層構造と落葉推移を把握するための基礎的研究(第4章)

ここでは、樹冠高を計測する目的や面的に樹冠高を計測していくための方法について触れるとともに、樹冠高の変化から落葉広葉樹林高木林下の階層構造の把握や落葉推移パタ

ーンを把握するための事前検討として、落葉前後に観測された航空機搭載型レーザスキャナデータを用いた樹冠高計測とその精度を検証した。その結果から、時系列な樹冠高変化から落葉広葉樹林内の階層構造や落葉推移パターンを把握するための基礎的知見の取得を図った。

(5)落葉前後の樹冠高変化による落葉広葉樹林の階層構造の区分に関する研究(第5章)

ここでは、自然状態のケヤキ林と管理されているサクラ林を対象として、落葉期間中を時系列に観測した航空機搭載型レーザスキャナデータを用いて、落葉前・落葉中・落葉後のDSMの変化量(差分量)を算定し、その変化量から落葉広葉樹林下における亜高木・低木・草本類の生育や被覆状況などを捉え、階層構造の把握を試みた。

(6)季節に観測した葉色および樹冠高の変化に基づく混交林の樹種区分とその検証に関する研究(第6章)

多種多様な樹種から構成される里山林における林分単位での樹種区分をめざし、里山林の林相に近い常緑広葉樹と落葉広葉樹が混在し、スギ・ヒノキが分布する混交林を対象に、季節的な葉色変化と落葉広葉樹林の階層構造および落葉推移パターンから総括的に樹種区分を試みた。さらに、現地検証やカラー航空オルソ画像を用いた目視判読結果と比較照合し、本研究手法の妥当性と実用性を把握した。

(7)結論(第7章)

以上のうち、本研究の基幹をなす第3章から第6章までの研究結果とその考察をまとめるとともに、里山林を構成する代表的な樹種区分に、航空から季節的に観測した葉色および樹冠高の変化が有用であることを結論づけた。さらに、今後、より一層の実用化を図ることを目的にして、衛星データを利用した広域的な里山林の樹種区分方法についても展望した。

＜補足説明＞

本研究論文では、季節あるいは時期を表わす語として、「季」と「期」を用いている。

藤堂明保編「学研漢和大字典」(1989.3 第26刷発行)によれば、

「季」・・・三ヶ月。(pp.343)

「期」・・・とりきめた日時。また、一定の時間。(pp.620)

そこで、本研究論文では、便宜的に次のように使い分けをした。

「季」・・・季節などの漠然とした長い期間を表現する場合の語として用いた。

例) 春季, 秋季など

「期」・・・「季」に対して、比較的短い期間を表現する場合に用いた。

例) 落葉期(落葉の始まりから終わりまでの期間), 紅葉期, 展葉期など。

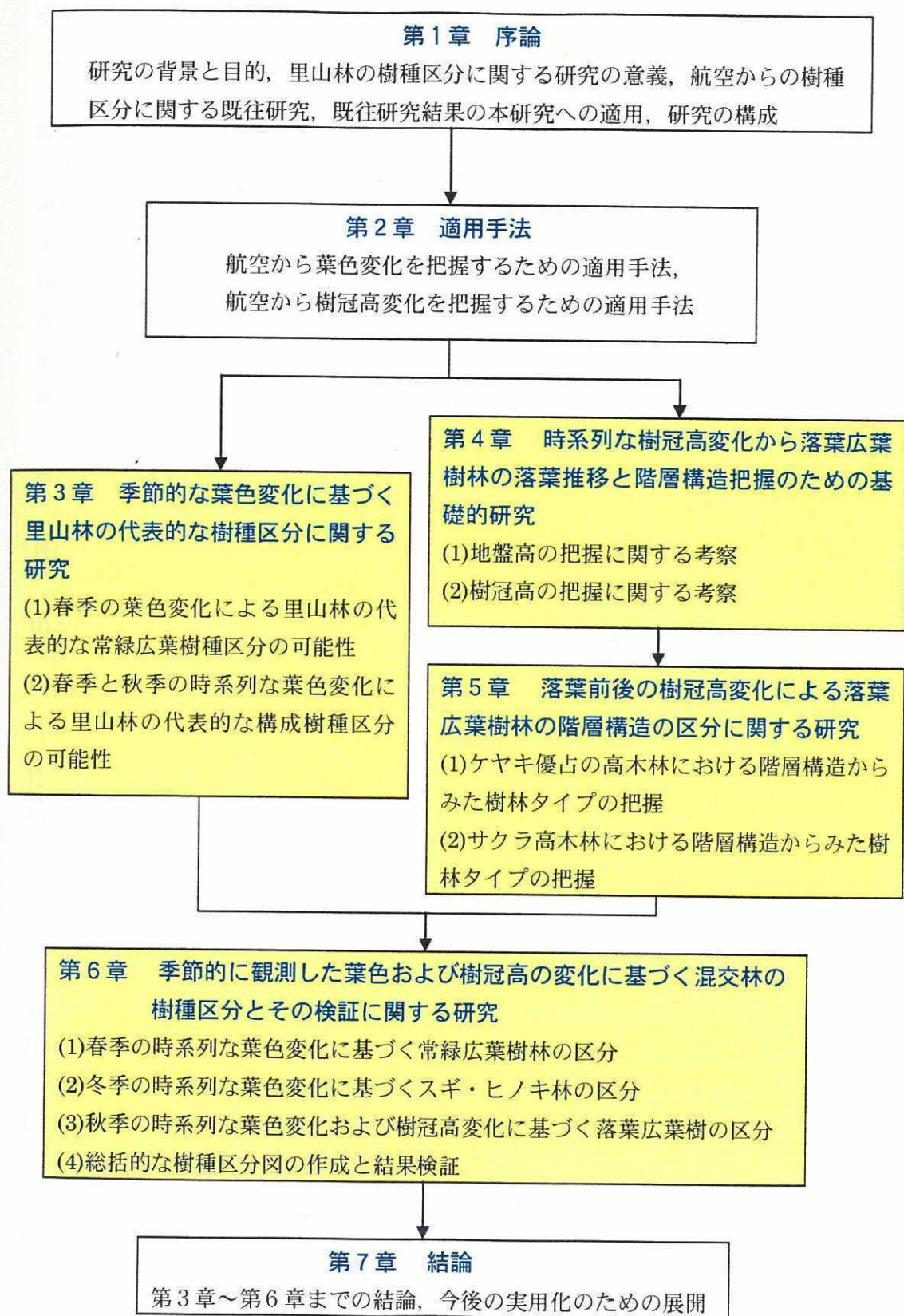


図-1.3 本研究の構成と各章の関連性

参考文献 (第1章) アルファベット順に表記

[1.2]

- 服部保, 赤松弘治, 武田義明, 小舘誓治, 上甫木昭春, 山崎寛(1995): 里山の現状と里山管理, 人と自然, (6), pp.1-32.
- 中川重年(2001): 雑木林, 全国雑木林会議編, 現代雑木林事典, pp.150-151, 百水社, 東京
- 大住克博, 深町加津枝(2001): 里山を考えるためのメモ, 林業技術, 707, pp.12-15.
- 四手井綱英(1993): 森に学ぶーエコロジーから自然保護へ, 241p, 海鳴社, 東京
- 重松敏則(2002a): 環境保全と里山, 農業と経済 3月号, pp.53-60.
- 重松敏則(2002b): 里山の現状と潜在力及び市民保全活動の展望, 芸術工学研究, (5), pp.1-11.
- 鳥居厚志(1998): 空中写真を用いた竹林の分布拡大速度の推定ー滋賀県八幡山および京都府男山における事例, 日本生態学会誌, 48, pp.37-47.
- 鳥居厚志(2003): 周辺二次林に進入拡大する存在としての竹林, 日本緑化工学会誌, 28(3), pp.412-416.
- 鳥居厚志, 井鷲裕司(1997): 京都府南部地域における竹林の分布拡大, 日本生態学会誌, 47, pp.31-41.
- 山本勝利(2001): 里地におけるランドスケープ構造と植物相の変容に関する研究, 農業環境技術研究所報告(20), 106p.

[1.3]

[1.3.1]

- Christensen.E.J.,Jensen.J.R.,Ramsey.E.W.and Mackey.H.E.Jr(1988): Aircraft MSS Data registration and vegetation classification for Wetland change detection, International Journal Remote Sensing, 9(1), pp.23-38.
- 平田泰雅, 柴田銃江, 佐藤香織, 酒井敦, 倉木恵生, 古家直行(2004): 航空機レーザスキャナによる下層植生の把握, 第115回日本林学会大会学術講演集, pp.447.
- 平田泰雅(2004): 航空機レーザスキャナによる森林の3次元計測, 土木学会誌, 89(1), pp.28-30.
- Holmgren.J., Nilsson.M.and Olsson.H.(2003): Estimation of tree height and stem volume on plots using airborne laser scanning, Forest Science, 49(3), pp.419-428.
- International Society for Photogrammetry and Remote Sensing(2004): ISPRS 20th Congress Resolutions, 20p.
- 加藤正人(2002): 高分解能 IKONOS 衛星による針広混交林の樹種分類, 森林航測, 198, pp.6-9.
- Lefsky.M.A.,Cohen.W.B.,Acker.S.A.,Parker.G.G.,Spies.T.A.and.Harding.D.J.(1999): Lidar Remote Sensing of the canopy structure and biophysical properties of Douglas-Fir Western Hemlock Forest, Remote Sensing Environment, 70, pp.339-361.
- Means.J.E.,Acker.S.A.,Harding.D.J.,Blair.J.B.,Lefsky.M.A.,Cohen.W.B.,Harmon.M.E.and

- McKee.W.A.(1999) : Use of large-footprint scanning Airborne lidar to estimate forest stand characteristics in the Western Cascades of Oregon, Remote Sensing Environment, 67, pp.298-308.
- 三塚直樹, 沢田治雄, 川端幸蔵, 穴沢道雄, 永谷泉, 中園悦子, 小林達治, 浦塚清峰, 梅原俊彦, 灘井章嗣, 若林裕之(2000) : 高分解能多偏波
- 宮坂聡, 徳村公昭(2000) : 航空機搭載型マルチスペクトラルスキャナによる里山の解析, 日本リモートセンシング学会誌, 20(4), pp.107-110.
- 中島巖 (1951) : 森林航測概要, 265p, 地球出版, 東京
- 中村良介, 渡辺征春, 佐野琢己, 山本泰志, 青木輝夫(2002) : 航空機多色センサーAMSS の輝度校正, 日本リモートセンシング学会誌, 22(3), pp.229-305.
- 日本リモートセンシング研究会編(1989) : リモートセンシング用語辞典, 321p, 共立出版, 東京
- 小熊宏之, 山形与志樹(1996) : 二時期航空機 MSS データを用いた湿原植生分類に有効な観測波長帯の研究, 写真測量とリモートセンシング, 35(1), pp.36-45.
- 小熊宏之, 土田聡, 藤沼康実(2002) : 森林モニタリング用ハイパースペクトラルカメラシステムの開発, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5), pp.588-597.
- 沖一雄, 船越裕哉, 稲村實(2000) : ハイパースペクトルデータによる画素内特定被覆率推定に関する研究-植生被覆率の推定, 日本リモートセンシング学会誌, 20(3), pp.17-33.
- 大政謙次, 秋山幸秀, 石神靖弘, 吉見健司(2000) : ヘリコプター搭載の高空間分解能 scanning Lidar システムによる樹冠高の3次元リモートセンシング, 日本リモートセンシング学会誌, 20(4), pp.34-46.
- 林野庁監修・日本林業技術協会編(1970) : 森林航測ハンドブック, 491p, 日本林業技術協会
- 妹尾俊夫(1990) : 森林植生のモニタリングによる環境評価, 日本リモートセンシング学会誌, 10(3), pp.119-129.
- 杉盛啓明, 恩田裕一, 村手直明, 徳村公昭, 大森博雄(2003) : 樹高の空間分布を考慮した航空機レーザスキャナデータからの地表面推定法, 写真測量とリモートセンシング, 42(1), pp.4-11.
- 鈴木悠里, 柴田昌三, 田中和博, 酒井徹朗(2003) : 京都市市街地北部地域における活力度が高い樹木葉の色彩の評価, 日本緑化工学会誌, 29(1), pp.68-73.
- 武田知己, 小熊宏之, 藤沼康実, 米康充(2003) : サイドロッキングライダーによる森林の LAD 計測技術の開発, 日本リモートセンシング学会第 35 回学術講演会論文集, pp.53-54.
- 田村正行, 高槻幸枝(2000) : 航空機レーザスキャナによる樹高計測, 写真測量とリモートセンシング, 39(2), pp.8-13.
- 山形与志樹, 安岡善文, 宮崎忠国, 小熊宏之, 森山隆, 中谷幸広(1995) : 航空機 MSS 実験による湿原植生判別に有効な波長帯の選定と植生分類画像の作成, 日本リモートセンシング学会誌, 15(3), pp.26-35.
- 山形与志樹, 安岡善文, 岩熊敏夫(1996) : casi 画像と微細標高データの重ね合わせ解析による湿

- 原モニタリング, 日本リモートセンシング学会誌, 16(4), pp.33-40.
- 米康充, 小熊宏之, 山形与志樹(2002): 京都議定書に関わる吸収源計測システムの開発—航空機 Lidar によるカラマツ林の樹冠計測と材積・炭素重量計測精度の検証, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5), pp.531-543.
- 渡辺宏(1974): 森林航測テキストブック, 236p, 日本林業技術協会
- [1.3.2]
- 伊藤健吾, 大槻恭一, 神近牧男(1996): 分光反射特性を用いた植生の植被率と活性度の分離, 日本リモートセンシング学会誌, 16(4), pp.41-49.
- 小橋澄治, 中島皇(1994): 芦生天然林における樹木の色彩の季節変化, 日本緑化工学会誌, 19(3), pp.185-192.
- 丸山宏(1988): 樹木葉の色彩学的特性に関する研究(I)—葉色の季節変化のパターン, 京都大学農学部演習林報告, 60, pp.239-249.
- 三島孔明, 三島宙美, 藤井英二郎(1998): 緑葉期における樹木の葉色の特性に関する研究, ランドスケープ研究, 62(2), pp.168-176.
- 三浦利夫, 飛岡次郎(1995): 樹木外観の季節変化と活力度の関係, ランドスケープ研究, 58(3), pp.328-333.
- 内藤健司, 青木均(1990): 森林植生のランドサット TM データ反射分光特性の季節変化, 日本リモートセンシング学会誌, 10(3), pp.47-53.
- 新田伸三(1952): 造園植物の測色学的研究(I—III)—三色色度計の試作, 造園雑誌, 16(2), pp.23-30.
- 大西健司, 丸山宏, 柴田昌三, 吉田博宣(1993): 樹木葉の色彩学的特性に関する研究(II)—紅葉期の葉色の変化について, 京都大学農学部演習林報告, 65, pp.277-288.
- 大貫仁人, 栗屋善雄(1985): 樹木の野外分光反射特性測定装置の開発, 写真測量特集号 I, pp.54-57.
- 鈴木雅和, 渡辺達三(1991): 緑地植物の色彩データベース, 造園雑誌, 54(5), pp.125-130.
- 高畑滋(1972): 植物の反射スペクトル特性について, 写真測量, 10(1), pp.1-6.
- 土田聡, 西田顕郎, 岩男弘毅, 川戸渉, 小熊宏之, 岩崎晃(2004): リモートセンシングデータ地上検証研究のための Phenological Eyes Network(PEN), 日本リモートセンシング学会 第37回学術講演会論文集, pp.245-246.
- 八杉龍一, 小関治男, 古谷雅樹, 日高敏隆編(1996): フェノロジー, 岩波生物辞典第4版, pp.1194, 岩波書店, 東京
- 吉川賢, 井上雄介, 嶋一徹, 千葉喬三, 坂本圭次(1994): 樹木の葉のクロロフィル濃度の季節的变化, 日本緑化工学会誌, 19(4), pp.215-222.
- 吉村晴佳, 小橋澄治, 大手桂二, 妹尾俊夫(1991): 樹葉の分光反射特性変化およびその色彩の数値的解析についての研究, 日本リモートセンシング学会誌, 11(2), pp.5-17.

- 2 吉村晴佳, 石田雅士, 小橋澄治, 大手桂二(1994): 樹葉の季節的可視域分光特性変化におよぼす植物色素の影響, 日本緑化工学会誌, 20(2), pp.99-110.
- 21 吉村晴佳(1998): 葉齢による樹葉の近赤外域分光特性と重なりの効果, 日本リモートセンシング学会誌, 18(1), pp.42-56.
- 211 吉村晴佳(2001): キサントフィル・サイクル色素とスペクトル変化, 日本リモートセンシング学会誌, 21(4), pp.332-329.

ではばい

もに [1.4]

- 9 平田泰雅, 柴田銃江, 佐藤香織, 酒井敦, 倉木恵生, 古家直行(2004): 航空機レーザスキャナによる下層植生の把握, 第 115 回日本林学会大会学術講演集, pp.447.
- 加藤正人(2002): 高分解能 IKONOS 衛星による針広混交林の樹種分類, 森林航測, 198, pp.6-9.
- 丸山宏(1988): 樹木葉の色彩学的特性に関する研究(I)ー葉色の季節変化のパターン, 京都大学農学部演習林報告, 60, pp.239-249.
- 村上拓彦, 斎藤元也(1999): 多時期 SPOT/HRV データからみた九州北部地域に分布する森林植生の季節変化, 日本写真測量学会秋季学術講演会論文集, pp.217-220.
- 内藤健司, 青木均(1990): 森林植生のランドサット TM データ反射分光特性の季節変化, 日本リモートセンシング学会誌, 10(3), pp.47-53.
- 大西健司, 丸山宏, 柴田昌三, 吉田博宣(1993): 樹木葉の色彩学的特性に関する研究(II)ー紅葉期の葉色の変化について, 京都大学農学部演習林報告, 65, pp.277-288.
- 妹尾俊夫, 岩浪英二, 田中総太郎, 杉村俊郎(1983): 比演算を施した 2 季節のランドサット MSS データによる広域山地の林相区分, 日本リモートセンシング学会誌, 3(3), pp.55-65.
- 鈴木悠里, 柴田昌三, 田中和博, 酒井徹朗(2003): 京都市市街地北部地域における活力度が高い樹木葉の色彩の評価, 日本緑化工学会誌, 29(1), pp.68-73.
- 山形与志樹, 小熊宏之, 富士田裕子(1996): 多時期のランドサット TM 画像を用いた湿原植生分類, 写真測量とリモートセンシング, 35(4), pp.9-17.
- 吉村晴佳, 小橋澄治, 大手桂二, 妹尾俊夫(1991): 樹葉の分光反射特性変化およびその色彩の数値的解析についての研究, 日本リモートセンシング学会誌, 11(2), pp.5-17.
- 吉村晴佳, 石田雅士, 小橋澄治, 大手桂二(1994): 樹葉の季節的可視域分光特性変化におよぼす植物色素の影響, 日本緑化工学会誌, 20(2), pp.99-110.
- 吉村晴佳(2001): キサントフィル・サイクル色素とスペクトル変化, 日本リモートセンシング学会誌, 21(4), pp.332-329.