 論文

ラジコン空中写真を用いた落葉広葉樹林の樹種判読

長澤 良太*・鈴木 茂之*・佐野 淳之*

長澤良太・鈴木茂之・佐野淳之：ラジコン空中写真を用いた落葉広葉樹林の樹種判読 森林計画誌 38：11～21, 2004 伯耆大山の南東麓に位置する鳥取大学蒜山演習林内の落葉性広葉樹林からなる林分を対象に、ラジコン双翼機を用いて大縮尺の空中写真撮影を実施した。本研究では、春季の開葉期と秋季の落葉期でそれぞれ3回、計6回撮影を実施し、季節による葉群の色調変化にもとづいて単木レベルで樹種区分を行う可能性について検討を行った。解析のために撮影した写真はデジタル画像化し、画像処理システムやGISなどのツールを最大限利用した。対象とした樹種は、ブナ、ミズナラ、コナラ、ホオノキ、ヤマザクラの5種である。解析の結果、樹種間での特徴抽出を行うためには明度（I）、緑（G）、彩度（S）のカラー合成画像が有効で、特に秋季の紅葉から落葉直前までの間に短い時間間隔で季節変化画像を用いることが重要である。

Ryota NAGASAWA, Shigeyuki SUZUKI and Junji SANA : Methodological Study on the classification of deciduous forest using large-scale aerial photos taken by radio-control plane. Jpn. J. For. Plann. 38 : 11-21, 2004 The methodology for classifying the deciduous broad-leaved forests using large-scale aerial photos taken by a radio control plane is discussed. For this purpose, the aerial photos were taken in both spring and autumn seasons, and the seasonal change of leaf color was digitally analyzed using an image processing system and GIS. The study area was in the Hiruzen Experimental Forest of Tottori University located at the south-eastern foot of Mt. Daisen, where deciduous broad-leaved forests (mostly secondary forests) are widely distributed. The color composition of intensity (I), green (G) and saturation (S) was found to be effective for discriminating each tree species. Especially, photos taken periodically, just before the defoliation in the autumn season should be useful for classifying the tree species.

I. はじめに

空中写真を利用した地表調査の歴史は古く、19世紀中葉には気球に搭載したカメラから地表の撮影が行われた。それ以降、一世紀半の間にさまざまなプラットフォームを用いてさまざまな空中写真の撮影が行われてきた。こうした歴史のなかで、森林資源調査の分野は空中写真の最大のユーザーであり、空中写真は森林の計測、判読、図化などの分野で積極的に利用されてきた（日本写真測量学会1980）。

今日では、光学系アナログ写真だけでなく、マルチスペクトルスキャナーを用いた多バンド画像、マイクロ波によるSAR画像に加えて、レーザープロファイラーなどのレーザー計測技術の開発によって、林分構造を空から測るという分野には大きな技術革新が見られた（日本写真測量学会2002）。しかしながら、これらの計測技術は高価な観測機器とデータ解析に関わる専門的な知識が必要であり、森林研究者が一個人で調

査・研究する材料として、いつでもどこでも使えるものではない。幸いにして、わが国においては、国土地理院や林野庁の国家機関や一部の民間航測会社によって撮影された空中写真を自由に利用できるシステムになっており、既存の豊富な空中写真から自らの研究対象地域を捉えた写真を購入するのが一般的な利用方法である。確かに、こうした空中写真は地形図とともに貴重な空間情報源であるが、縮尺や撮影時期などに特別な注文をつけることはできず、詳細な林分の解析を行うには必ずしも十分な情報源であるとは言い難い。

中北（1981, 1987）、小林（1982, 1987）、加藤（1989, 1990）は、林分構造の解析のためには大縮尺の空中写真が有効であるとし、気球やラジコンヘリコプターをプラットフォームとした簡易空中写真の撮影とその利用方法について報じた。撮影自体を森林研究者自らが行うことによって、対象地域の林分解析にとって都合のよい縮尺と季節を選択して行えるという点で大変有意義である。しかしながら、気球の場合、プラットフォーム

* 鳥取大学農学部 Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori 680-0945

ムの浮上に際して風の影響を受けやすく、カメラを対象林分の上空に誘導するのは至難の業である。一方、ラジコンヘリコプターは近年簡易空中写真の撮影にはよく用いられるが、プラットフォームの上昇は基本的にオペレータ（無線操縦者）の直上付近に限られ、上昇高度も100m以内であることから直下の視野は限定され、森林を広範に撮影することはできない。

そこで、本研究ではプラットフォームの操作性、安定性の優位からラジコン双翼機を採用し、撮影対地高度約150mから落葉広葉樹林の空中写真撮影を行った。落葉広葉樹林の季節的な色調変化をキーとして解析ができるようにするために、開葉期と落葉期にそれぞれ時系列的な画像を得た。本研究の目的は、このようにして撮影された時系列大縮尺空中写真データをもとに、落葉広葉樹の季節的な色調変化をキーとして解析ができるように、デジタル写真測量やGIS（Geographic Information System：地理情報システム）などのツールを最大限に活用し、落葉広葉樹の判読に有効な季節と判読による樹種判読の可能性を検討することにある。

II. 対象地域の概要

本研究では、岡山県真庭郡川上村、鳥取大学蒜山演習林を実験事例地域とした（図一1）。対象地域は、伯耆大山の南東麓の標高560～780mに位置している。本演習林の総面積は573haで、針葉樹林216ha、広葉樹林344ha、その他13haから構成されている。広葉樹林の主要樹種はコナラ、ミズナラ、ブナ、クリ、クヌギなどの落葉広葉樹で、一部には樹齢150年を超える大径木のブナやコナラも存在する。しかしながら、そ

の大半は火入れや伐採後に成立したコナラの優占する二次林である（佐野・大塚，1998）。一方、針葉樹林は主にスギ・ヒノキ・カラマツの人工林とアカマツの天然林で構成されている。今回の撮影地域は、同演習林内39林班のコナラを中心としてブナ、ミズナラ、ホオノキ、ヤマザクラなど多種多様な落葉広葉樹が出現する林分である（橋詰，1991）。

III. 調査方法とデータの準備

1. 撮影の機材と方法

表一1に撮影に使用した機体とカメラの諸元を示す。ラジコン双翼機はヘリコプターなどと比べて対地高度が高く、オペレータからの距離も比較的遠くなるため、撮影中に機体の位置を確定し難い。そこで、機体床面には空中写真撮影用のスチールカメラとともに小型CCDカメラを搭載した。ビデオ映像の信号はトランスミッターで地上に送信し、ナビゲータ（この場合は、森林研究者自身）が地上に設置しているビデオモニターで位置を確認しながら、オペレータに指示できるようにした（写真一1）。この方法によって、写真フレームの状態をリアルタイムで確認でき、撮影ミスを最小限に抑えることができる。また、撮影後、航跡をトラッキングデータとして記録できるように機体には小型のGPS（Global Positioning System：汎地球測位システム）とモバイル携帯端末を搭載した。

撮影は、ラジコン機材が安定して飛行できる条件、すなわち快晴もしくは雲が高い曇天で、風の弱い日を選んで行われた。山中の日陰を極力避けるために、太陽高度が高い午前11時頃に撮影した。本研究では、対

図一1 調査対象地域の位置図

撮影に用いたラジコン双翼機

搭載カメラと小型CCDカメラ

リアルタイム映像を用いた撮影誘導

CCDカメラからの映像受信装置

写真-1 空中写真撮影機材

表-1 空中写真撮影に使用した機材の諸元

撮影プラットフォーム			撮影カメラ		
全	長	2400mm	名	称	FUJIFILM GA645W Professional
全	幅	2500mm	型	式	6×4.5cm判 AF全自動カメラ
エ	ン	ジ	寸	法	W188×H110×D70 (レンズ装着時)
ン	ジ	ン	重	量	835g (電池を含まず)
2C/160 (グローエンジン)					
プロペラ	18×8 (ボーリー社)				
全総重量	7500g				
最大積載量	3000g				
飛行安定装置	GYA352 (2軸人工知能ジャイロ)				
RC装置	JR PCM 10S 73M用				
設計	(有)ビーフリー				

表ー2 ラジコン空中写真の撮影日時

回数	撮 影 日 時	撮 影 状 況
1	2002.04.29 AM 11:00	良 好
2	2002.05.09 AM 11:00	良 好
3	2002.05.29 AM 11:00	良 好
4	2002.10.02 AM 11:00	良 好
5	2002.10.29 AM 09:00	強風のため時間変更
6	2002.11.07 AM 12:00	強風のため時間変更

象地域で落葉広葉樹の開葉が始まる4月末から約2週間おきに3回、一方落葉が始まる10月上旬から落葉までの間に3回、計6回の空中写真撮影を実施した(表ー2)。

2. 歪みの検証

この撮影手法では、撮影時に機体が地表面に対してどれだけ傾いているかが未知である。そこで、撮影に先立ち、十字型(約4m大)の対空標識を4階建て建造物に隣接して設置し、屋上(約13m上空)から撮影の光軸の傾きを少しづつずらしながらシミュレート撮影を行った。ここでは、標識の対角線の比を歪みの大きさを表す指標として計測し、それと光軸の傾きとの関係を調べた。結果は、図ー2に示すように光軸の傾きの余弦が0.5(60°)以上で、歪みの指標値は0.9以上の値を示した。実際に撮影した空中写真に写った対空標識の対角線の比を計測すると、最小で0.914, 最大で0.947であった。これにより、今回の空撮では光軸の傾きが60°以上の角度から撮影されていることが検証された。

図ー2 撮影入射角と写真の歪みの関係

3. オルソ幾何補正

撮影した空中写真は、そのままでは座標もなく、縮尺も一定しないので多季節のデータを重ね合わせて解

析することができない。そこで、フィルムスキャナーを用いて600dpiで赤(R)、緑(G)、青(B)の3バンドカラー画像としてデジタル化し、Leica Geosystems社のERDAS Imagine Ver.8.6を用いて単画像オルソ変換処理を行った。幾何補正には、対空標識を設置した地点を基準点(GCP)としてディファレンシャルGPS測位で水平位置(UTM, 旧東京測地系)を求め、標高は10mメッシュの数値地形モデル(DEM, GISMAP Terrain: 北海道地図社製)の値を用いた。6時期すべての写真に対して精度検証を行い、GCPを得た地点における空中写真上での水平誤差は平均6.7mであった。なお、出来上がったオルソ空中写真の地表空間分解能は約13cmである。

4. 色調補正

多季節の空中写真を比較して解析するため、まず基準点等の人工物を用いて4月29日撮影のRGB各バンドの輝度値を基準として各時期の色調を補正した。現地調査の結果、指標木として選定したブナ、コナラ、ミズナラ、ホオノキ、ヤマザクラの5種について、色調補正された6時期分の画像データをもとに輝度値の読み取りを行った。この際、RGB値のみでは色彩変化傾向が直感的に把握しにくい(丸山1988)、各画像についてHIS変換を行い、H(Hue: 色相)、S(Saturation: 彩度)、I(Intensity: 明度)の値も求めた。以上の6つの値は、同一基準で比較ができるように0から100の値の中で正規化した(図ー3)。

5. 現地調査

撮影した空中写真の中心付近で、できるだけ多種多様な落葉広葉樹が混在する範囲に測線をおき、40m×20mの連続的なプロット(計13プロットで測線延長は260m)を設定した。測線は比高差40mほどの谷を交差している(図ー4)。現地踏査により、プロットごとに林冠を構成する高木層、亜高木層の樹種を同定し、樹冠数を計測した(表ー3)。

現地調査のもうひとつの目的は、指標木(空中写真と地上の両者から同定できる樹種)を選定することである。選定の基準は、林分で優占する高木種で、樹冠が際立って大きく、形状が特徴的で判読し易い樹種とした。これらの条件に該当する樹種を以下の5種に選定した。

- 1) ブナ……樹冠幅が約30mに達する大きさで、際立っている。開葉期が他の広葉樹より早く、周囲より濃い緑色を呈する。
- 2) コナラ……林分内で最も優占する種で、樹冠幅は10~15m程度で群生する樹冠をひとまとめにして指標木とした。

表-3-1 高木・亜高木の樹種一覧

プロット	科		属		樹		種		高 木	亜高木					
1	ブ	ナ	コ	ナ	ラ	コ	ナ	ラ	4						
2	バ	ラ	サ	ク	ラ	ウ	ワ	ミ	ズ	ザ	ク	ラ	1		
2	ブ	ナ	ク		リ	ク						リ	1		
2	ブ	ナ	コ	ナ	ラ	コ		ナ				ラ	1		
2	バ	ラ	サ	ク	ラ	ヤ	マ	ザ	ク	ラ			6		
3	ブ	ナ	ク		リ	ク		リ					1		
3	ブ	ナ	コ	ナ	ラ	コ		ナ				ラ	1		
3	マ	メ	イヌエンジュ			ハ	ネ	ミ	イ	ヌ	エ	ン	ジュ	1	
3	モクレン		モクレン			ホ		オ		ノ		キ	1		
3	ク	ワ	ク		ワ	ヤ		マ		グ		ワ	1		
3	バ	ラ	サ	ク	ラ	ウ	ワ	ミ	ズ	ザ	ク	ラ	2		
3	リョウブ		リョウブ			リ		ョ		ウ		ブ		4	
4	ミズキ		ミズキ			ヤ	マ	ボ		ウ		シ	1		
4	リョウブ		リョウブ			リ		ョ		ウ		ブ	1		
4	ミズキ		ミズキ			ミ			ズ			キ	2		
5	ヒノキ		ヒノキ			ヒ			ノ			キ	1		
5	モクレン		モクレン			ホ		オ		ノ		キ	1		
5	ブ	ナ	ク		リ	ヤ		マ		グ		リ	1		
5	バ	ラ	サ	ク	ラ	ウ	ワ	ミ	ズ	ザ	ク	ラ	2		
5	ウルシ		ウルシ			ヤ	マ		ウ	ル		シ		1	
5	ク	ワ	ク		ワ	ヤ		マ		グ		ワ		1	
5	マ	メ	フジ			ヤマフジ(ヤマグワを覆う)							2		
6	モチノキ		モチノキ			ア		オ		ハ		ダ	1		
6	ミカン		キハダ			キ			ハ			ダ	1		
6	カエデ		カエデ			オ	オ	モ		ミ		ジ		1	
6	ク	ワ	ク		ワ	ヤ		マ		グ		ワ		1	
7	モチノキ		モチノキ			ア		ワ		ブ		キ	1		
7	バ	ラ	ナナカマド			ウ	ラ	ジ	ロ	ノ		キ	1		
7	ブ	ナ	コ	ナ	ラ	コ			ナ			ラ	1		
7	ブ	ナ	コ	ナ	ラ	ク			ヌ			ギ	2		
8	ウコギ		ウコギ			コ	シ	ア		ブ		ラ	3		
8	ミズキ		ミズキ			ミ			ズ			キ	3		
8	モチノキ		モチノキ			ア		ワ		ブ		キ	4		
8	モチノキ		モチノキ			ア		オ		ハ		ダ	5		
8	ミズキ		ミズキ			ヤ	マ	ボ		ウ		シ	5		
8	ブ	ナ	コ	ナ	ラ	コ			ナ			ラ	12		
8	ク	ワ	ク		ワ	ヤ		マ		グ		ワ		1	
8	エゴノキ		エゴノキ			エ		ゴ		ノ		キ		7	
8	リョウブ		リョウブ			リ		ョ		ウ		ブ		15	

表-3-2 高木・亜高木の樹種一覧

プロット	科	属	樹	種	高 木	亜高木
9	モチノキ	モチノキ	ア	ワ ブ キ	2	
9	ウコギ	ウコギ	コ	シ ア ブ ラ	2	
9	カエデ	カエデ	イ	タ ヤ カ エ デ	3	
9	ブナ	ク	ク		3	
9	ブナ	コナラ	コ	ナ	5	
9	カエデ	カエデ	ヤ	マ モ ミ ジ	5	
9	クスノキ	クロモジ	ダ	ン コ ウ バ イ		2
9	モクレン	モクレン	タ	ム シ バ		3
9	リョウブ	リョウブ	リ	ヨ ウ ブ		12
10	カエデ	カエデ	ヤ	マ モ ミ ジ	1	
10	モチノキ	モチノキ	ア	ワ ブ キ	2	
10	ブナ	コナラ	ミ	ズ ナ ラ	3	
10	ブナ	コナラ	コ	ナ	16	
10	モクレン	モクレン	タ	ム シ バ		1
10	エゴノキ	エゴノキ	エ	ゴ ノ キ		4
10	リョウブ	リョウブ	リ	ヨ ウ ブ		5
11	ブナ	ク	ク		1	
11	ブナ	コナラ	コ	ナ	1	
11	カエデ	カエデ	ヤ	マ モ ミ ジ	1	
11	ブナ	コナラ	ミ	ズ ナ ラ	3	
11	モクレン	モクレン	タ	ム シ バ		2
11	エゴノキ	エゴノキ	エ	ゴ ノ キ		3
11	リョウブ	リョウブ	リ	ヨ ウ ブ		16
12	バラ	サクラ	ウ	ワ ミ ズ ザ ク ラ	1	
12	ブナ	ク	ク		1	
12	ウコギ	ウコギ	コ	シ ア ブ ラ	1	
12	カエデ	カエデ	フ	カギレオオモミジ	1	
12	ブナ	コナラ	コ	ナ	4	
12	モチノキ	モチノキ	ア	オ ハ ダ	7	
12	ウルシ	ウルシ	ヤ	マ ウ ル シ		1
12	モクレン	モクレン	タ	ム シ バ		2
12	リョウブ	リョウブ	リ	ヨ ウ ブ		3
12	エゴノキ	エゴノキ	エ	ゴ ノ キ		11
12	カエデ	カエデ	イ	ト マ キ イ タ ヤ	1	
12	バラ	サクラ	ウ	ワ ミ ズ ザ ク ラ ?	1	
12	ブナ	ク	ク		1	
13	ブナ	ブナ	ブ		1	
13			サ	ク ラ ?	2	
13	ブナ	コナラ	コ	ナ	2	
13	カエデ	カエデ	フ	カギレオオモミジ	3	
13	モチノキ	モチノキ	ア	オ ハ ダ	6	
13	ミズキ	ミズキ	ヤ	マ ボ ウ シ	7	
13	モクレン	モクレン	タ	ム シ バ		1
13	リョウブ	リョウブ	リ	ヨ ウ ブ		17
13			合	計	155	116

プロット番号は、図-3の優占種調査プロット位置図に対応する

図-3 RGBHSI値からみたブナ、ミズナラ、コナラ、ホオノキ、ヤマザクラの色調変化

図-4 優占種調査を行ったプロット位置図

- 3) ミズナラ……ブナに次いで樹冠幅が大きく約20mで、樹冠形状が特徴的である。
- 4) ホオノキ……枝振りなどの特徴が明瞭で、樹冠幅は約15mで、谷底内に優占する。
- 5) ヤマザクラ……際立った特徴はないが、高木層の林冠の隙間部分に明瞭に確認できることから指標木とした。樹冠幅は5～10mである。

IV. 結果および考察

1. 樹種ごとの色調の季節変化

図-3に示すように、RGBとHSIの各値のなかで、B（青）は全時期、全樹種にわたって輝度値は低く、樹種間に明瞭な差も見られず有効な変数とはならないと判断された。11月7日の画像では、ブナ、ミズ

ナラ、コナラのブナ科3種に明瞭なR値の差が読み取れた。特に、ブナは10月29日の画像でもR値に特徴的な値を示した。しかし、春季の開葉期には樹種間でのR値の差はほとんど認められなかったしたがって、R（赤）は秋季の紅葉に明瞭な指標値で、樹種間での紅葉、落葉の時間差によって樹種の差別化を可能にすると考えられる。これに対し、G（緑）の値は春季に上記3種の開葉の時間差を明瞭に捉え、特に4月23日の画像ではすでに開葉したブナに対して、ほとんど開葉していないコナラとの差が顕著であった。調査地域におけるコナラの開葉は5月中旬頃で、5月9日の画像では、コナラがGの最高値を示した。Gは春季だけでなく、秋季の紅葉期、落葉期においても樹種による明瞭な差を示しており、春季同様に樹種間の差別化に有効な変数として用いることができると考えられる。

Hはブナ、ミズナラでは春季、秋季を通じての変化量は小さく、樹種間の差もほとんど見られなかった。しかしながら、ホオノキとコナラは4月23日に極めて小さい値を、11月7日には同様にホオノキとヤマザクラの輝度値が著しく低下した。I値は、Rとほぼ同様な季節変化傾向をたどっている。S値は、ブナのみが4月23日と11月7日に大きな値を示した。ブナとヤマザクラで凹型の季節変化を示したのに対し、ホオノキ、コナラ、ミズナラでは凸型の季節変化を示した。

以上の検討結果に基づき、RGB値とHSI値の樹種別の季節変化特性は以下のようにまとめられる。

- 1) R値は、秋季の紅葉、落葉の時間差を明瞭に反映し、ブナ、ミズナラ、コナラなど高木層の特徴を差別化するのに貢献する。
- 2) G値は、春季の広葉樹種間での開葉の期間差を明瞭に反映するとともに、秋季においても今回対象とした5種すべてにおいて輝度値に差が認められた。
- 3) B値は、樹種による違いが小さく、樹種間の季節変化を把握するのに有用な指標にはならない。
- 4) H値は、ホオノキ（開葉遅く、落葉早い）の特徴的な季節変化をあらわすほか、春季のコナラ（開葉遅い）、秋季のヤマザクラ（落葉早い）に特徴的である。これは、H値が色相として樹木の葉の存否を敏感に捉えていることを示す。
- 5) S値より、ブナは開葉期と落葉期に高い彩度（鮮やかな緑色を呈する）を放ち、多種と容易に区別される。
- 6) I値は、R値とほぼ似たような季節変化の傾向をたどる。

2. 最適カラー合成画像の作成

RGBとHSIの各レイヤーの組み合わせから、判

表-4 RGBHSI値間の相関関係

	R	G	B	H	S	I
R	1.000	0.850	0.578	0.640	0.263	0.895
G		1.000	0.409	0.606	0.476	0.908
B			1.000	0.018	0.172	0.676
H				1.000	0.402	0.487
S					1.000	0.333
I						1.000

表-5 相観判読と現地踏査による優占樹種の比較

プロット	樹冠密度 (%)	相観判読による優占種	樹冠数	地上踏査による高木・亜高木の優占種
2	38	コナラ東向き・小	17	コナラ
3	65	コナラ東向き・小	16	ヤマザクラ
4	67	ホオノキ	8	ウワミズザクラ
5	54	樹種不明	6	ミズキ
6	84	樹種不明	16	ウワミズザクラ
7	74	樹種不明	14	無し
8	81	コナラ西向き・小	13	クヌギ
9	83	コナラ西向き・大	11	コナラ
11	87	コナラ西向き・大	12	コナラ
13	93	コナラ西向き・大	15	コナラ
15	83	樹種不明・濃緑	25	ミズナラ
17	75	樹種不明	17	アオハダ
19	67	ブナ	13	ヤマボウシ

読手法で単木レベルでの樹種区分が容易に行える最適なカラー合成画像について検討した。

瀬戸島ほか（2001, 2002a）は、九州北部の里山林を対象として時系列的なカラー航空写真を撮影し、R、H、Iの各値が樹種による差異をよく示していると報じた。瀬戸島らが対象とした樹種は、アラカシ、スダジイ、クスノキ、コナラ、クヌギ、サクラ、スギ、ヒノキおよびモウソウチクと多種で、常緑樹、落葉樹が混交した林分を扱っている。これに対し、本研究の対象林分はすべて落葉広葉樹で構成されており、優占種は主にブナ科の樹種であるといった違いはあるが、前節での検討からRGB値のなかではG値が有効なレイヤーであると判断した。

樹種区分を行うために、各レイヤーの輝度値の和、差、比演算による特徴抽出も行われているが（瀬戸島

図-5 IGS画像による季節変化の抽出

2002b), ここでは目視による判読に供する合成画像を作成するという目的から, 単純にすべての色合成の組み合わせを画像処理システムのディスプレイ上で試行した。この目的のために, 対象とした5樹種のトレーニングサンプルを抽出し, 各樹種の画素の平均値について相関係数を求めた(表一4)。これにより, すでに抽出されているG値に対して全体として相関の低いS値を選択した。S値は, 前節でも検討したように落葉広葉樹の開葉期, 落葉期の彩度を敏感に反映する指標として有効である。残るひとつのレイヤーには, S値に対して相関の低いI値を選び出した。こうして得たGSIの3レイヤーに対して, 赤, 緑, 青のフィルターをいかに配色するかを試行し, 最終的に赤, 緑, 青にI, G, Sを割り当てた画像が対象地域の樹種間の特徴を最も反映したカラー合成であると判断した(図一5)。

IGS画像では, 開葉期では明度(I値)が弱く緑の輝度値(G値)が低い箇所が青色で発色するという特徴を呈した(4月29日)。開葉が始まり, 木々が緑に色付いてくるとG値は高くなり緑色で発色されてき

た(5月9日)。開葉し終えた頃, 緑色の木々は彩度と明度が高まり, 結局IGS画像では白く発色するようになった(5月29日)。一方, 10月2日の画像は木々が紅葉前で全体としてコントラストの弱い画像になった。落葉が始まり, 木々の葉群に緑が失われてくると, 画像上では黄色が発色された(10月29日)。ただし, 樹種間で落葉に時間差が生じ, 葉群が残されているところではコントラストが強まり, 白色を呈するようになった(11月7日)。

以上のように, 落葉広葉樹を主体とした林分を対象とした場合, 多季節画像を用いることで, 判読から得られる情報は単時期画像に比べてはるかに大きいものとなる。こうしたなかで, 判読のベースとなる画像をひとつ選択する場合には, 樹種間でのコントラストが明瞭であった10月29日の画像が有用であると考えられる。

3. 写真判読と現地調査との比較

オルソ補正されたデジタル空中写真画像(10月29日撮影)を画像処理システムのディスプレイ上に表示

図一6 IGS画像を用いた植生判読の一例
(優占種調査プロット地点)

し、写真判読を実施した。これによって、指標木については樹冠形状や葉群の粗密などを観察することができた。指標木を基準に、測線を設定した周辺林分の判読図の作成を試みた（図－6）。

表一5は、側線上20mごとの調査プロットにおける植生と地上踏査による優占種とを比較したものである。高木層を構成する樹種の樹冠密度が高く、林冠に隙間のほとんどない林分では判読結果と優占種との対応は極めて良かった。例えば、プロット番号9, 10の場合で、高木層に優占するのはコナラであった。一方、高木層が少なく林冠の隙間が広い部分では、判読による優占種の把握が困難であった。例えば、プロット番号2, 3, 4では多種の亜高木が分布しており、特定の樹種を単木レベルで判定することができなかった。さらに、プロット13ではブナの巨樹が単木で分布したが、判読手法によって明確に樹冠投影できた。同プロットでは樹種としてはヤマボウシが数多く分布するが、樹冠面積占有率の大きいブナが優占種となっていた。

V. おわりに

本研究では春季・秋季にそれぞれ3回、計6時期のラジコン双翼機による空中写真撮影を行い、判読手法によって落葉広葉樹林の樹種区分を試みた。詳細な樹種区分のためには、秋季の紅葉から落葉直前までの間に短い時間間隔で時系列画像を得ることが有効であることがわかった。特に、落葉直前に撮影された写真では、樹種間でのコントラストが明瞭になり、大縮尺写真では単木レベルで樹冠を捉えることができた。

今日、空中写真による林相判読は一般に普及した技法である。判読の精度を向上させるためには、ひとつには大縮尺の空中写真を撮影して解像度を上げること、さらに判読対象に応じて撮影の時期を的確に選択するという配慮がとりわけ重要であると結論される。

本研究の一部には、科学研究費補助金（基盤研究A2）「メソスケールでの森林現象モニタリング技術の基盤確立（13356003）：代表：名古屋大学大学院教授山本進一」を使用させていただいた。記して感謝の意を表します。

引用文献

- 橋詰隼人（1991）二次林の再生過程に関する研究（Ⅱ）鳥取大学蒜山演習林の落葉広葉樹二次林の林分構成と樹齢構成について。広葉樹研究 **6**：17～30。
- 加藤正人（1989）ラジコンヘリコプターを使用した効果的な空中写真撮影方法。日林誌 **71**：23～25。
- 加藤正人（1990）ラジコンヘリコプターを使用した紅葉期における広葉樹林の樹種判読。日林北支論 **38**：171～173。
- 小林正吾（1982）気球写真による林分構成要素の判読。森林航測 **139**：9～12。
- 小林正吾（1987）模型ヘリによる簡易空中写真の撮影。森林航測 **153**：9～12。
- 丸山 宏（1988）樹木葉の色彩学的特性に関する研究（Ⅰ）。京都大学演習林報告 **60**。239～249。
- 中北 理（1981）簡易空中撮影。森林航測 **133**：3～8。
- 中北 理（1987）簡易空測写真の応用。森林航測 **153**：13～18。
- 日本写真測量学会編（1980）空中写真の利用と判読。357pp, 鹿島出版会, 東京。
- 日本写真測量学会編（2002）空間情報技術の実際。319pp, 日本測量協会, 東京。
- 佐野 淳之・大塚 次郎(1998) 鳥取大学演習林における落葉広葉樹二次林の樹種構成と種多様性 ―攪乱履歴の異なる2つのサイトの比較―。鳥取大学農学部演習林研究報告 **25**：1～10。
- 瀬戸島政博・赤松幸生・福井裕子・今井靖晃・朝廣和夫・重松俊則（2001）年間にわたる時系列カラー航空写真データから見た里山林の代表的な常緑広葉樹の色調変化。環境情報科学論文集 **15**：31～36。
- 瀬戸島政博・赤松幸生・今井靖晃・重松俊則・朝廣和夫・児玉滋彦（2002a）カラー航空写真上の季節の色調変化からみた里山構成樹種の識別に関する研究。ランドスケープ研究 **65**：679～684。
- 瀬戸島政博・赤松幸生・今井靖晃・朝廣和夫・重松俊則（2002B）時系列なカラー画像の色調変化に基づく里山構成樹種の区分について。情報科学論文集 **16**：177～180。

（2003年7月22日受付）

（2004年2月2日受理）