

空撮画像の同質領域判定による九州北部里山林の樹冠抽出に関する研究

The Analysis of Forest Crowns by Determining Same Color Regions in Aerial Photograph Images of a Northern Kyushu Satoyama Rural Forest

朝廣 和夫* 井上 光平** 上原 三知* 重松 敏則* 瀬戸島政博***

Kazuo ASAHIRO Kouhei INOUE Misato UEHARA Toshinori SHIGEMATSU Masahiro SETOJIMA

Abstract : This paper attempts to extract data for forest crowns analysis by the determining same color regions method of image processing. For the analysis of crown size aerial photographic RGB images of broad leaved forest, also of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtuse* forest, of a Northern Kyushu Satoyama Rural Forest were utilized. The Image color distribution was used as an image feature. At first, the circle was calculating at every pixel less than the range of the determined standard value (h) of the color. Next, diffuseness information such as shadow areas and overlapping circles were eliminated from images. Remaining dot images were the processing data for the crown. In each of the research plot, verification data of crown width and number was ascertained by observations, and then compared with processed data. As a result, broad leaf forest was determined have the best accuracy for extracting crown width at h: 40, and *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtuse* forests were h: 15 to 20. However crown numbers were counted at less than 50% of the original images, because of the characteristics of this image processing method.

Keywords: Crown, Aerial Photograph, Image Processing, Satoyama, Forest Environmental

キーワード：樹冠，空中写真，画像解析，里山，森林環境

はじめに

地域環境の保全や生物多様性の見地から、身近な里山林の保全・利活用が重要視されている。一方、経済的に管理の進まないスギ・ヒノキ林では、風倒木や土壌浸食などの被害が増えつつある。これらの諸問題に取り組むには、多種多様な樹種が混ざり合った里山の樹林分布や、スギ・ヒノキ林の実態把握が課題である。

里山林の実態把握は、広域性や季節・年次変化の特性から、航空写真や衛星画像、レーザープロファイラを用いたデジタルデータの解析による研究アプローチが進められている。樹種構成¹⁾や樹林高²⁾、そして、立木密度^{3) 4) 5)}に関する研究が多数なされている。樹冠形状と樹冠幅の抽出に関する研究^{6) 7)}も多くなされているが、その抽出精度は「よく抽出されている」という考察に留まり、数量的な検証は課題として積み残している。その中で、小村ら⁷⁾の研究は、空撮画像の画像解析により半径値を抽出し、樹冠円を描画するという点で特徴的である。金沢の紅葉した落葉広葉樹林を対象に、地上解像度約 20cm の空撮画像を用いて解析している。この解析法は樹冠の色の広がりに着目し、色の同質領域を円形に判定する手法である。この研究の結論は、同質と判定する基準値との許容幅が 40 階調のとき、原画像の樹冠の大きさとほぼ一致する結果が得られるというものである。この手法が、植生帯や季節に関係なく樹林の樹冠幅抽出に適用できるならば、里山林の現況把握に大きく寄与すると期待される。

そこで、本研究は小村らの同質領域判定手法を用い、九州北部里山林の常緑系広葉樹林及びスギ・ヒノキ林において追試し、原画像の樹冠の大きさと最も一致する同質判定基準値を明らかにする。また、試験過程でみられた解析方法の問題点を指摘し、解析手法の課題について提案を行う。以下に、その研究方法を示す。

1. 研究方法

(1) 対象地域及び使用した空撮画像

対象地域は福岡市北西に隣接する新宮町の野地区の里山林に設定した。林分の相観植生は、スギ・ヒノキの人工林に加え、シイ、タブ、クスなどが発達した常緑広葉樹林、ならびにコナラなどが混交する常緑・落葉広葉樹混交林であり、九州北部のヤブツバキクラス域にみられる典型的な里山林である。

カラー航空写真は、1999 年 5 月 12 日に撮影（撮影縮尺：約 1/10,000）したもので、常緑広葉樹の開花・新葉の美しい時期である。これをデジタル画像に変換し、数値地図 50m メッシュ標高データ（財団法人日本地図センター発行）を用いて、中心投影の航空写真画像から正射投影画像（オルソ画像）を作成した。本研究に使用した空撮画像（図-1：カラーページ）は RGB256 階調で、地上解像度 45cm に処理したデータである。

次に対象地域の中から、解析を行う調査区の選定を行った。まず空撮画像の目視判読により画像が明瞭で、十分な樹冠数を含む面積を有し、そして、若齢から壮齢までの林分を候補にあげた。最終的に、樹冠幅階の異なる調査区を抽出し、広葉樹林とスギ・ヒノキ林についてそれぞれ 15 区ずつ、合計 30 の調査区を決定した。本研究の解析対象を「広葉樹林」と「スギ・ヒノキ林」の相観植生で分けた理由は、樹冠幅抽出手法の開発目標を、モザイク的な林分の面的な処理に設定しているからである。

次に、各調査区の現地調査を行い、樹冠を形成する高木の樹種名と胸高幹直径を計測し、平均幹直径階を計算した。樹冠幅は幹直径と相関が高いため、調査区群を平均幹直径の大小順に並べ、樹冠階大・中・小の 3 グループに分類した（表-1）。解析対象は 5 サンプルずつにそろえた。

(2) 空撮画像の解析方法

本研究の解析は三段階に分かれている（図-2）。STEP1 とし

表-1 調査区の代表的な樹種及び林分構造データ

相親植生と代表的な高木樹種*	対象区数	対象区面積(m ²)	平均樹高(m)*	平均幹直径(cm)*	平均樹冠幅(m)*	樹冠階
コナラ・ヤマモモ、シイ・ハゼノキ、シイアラカシ	5	625~900	10.8	20.6	1.8	小
クスノキ・シイ、シイ・コナラ、シイ、アカマツ・コナラ	5	625~900	12.8	29.4	2.2	中
シイ、シイ・クス、クス・ヤマモモ、クス	5	900~1600	17.6	52.0	4.4	大
スギ	5	400	12.8	14.9	1.5	小
ヒノキ	5	400	13.4	20.4	1.6	中
スギ、ヒノキ	5	400	18.5	27.5	2.0	大

*: 代表的な高木樹種、樹高及び幹直径は現地調査により計測。樹冠幅は空撮画像の目視判読により計測。

て、画像処理による解析データを検証するため、空撮画像の目視判読により、樹冠幅と樹冠数を計測し検証データを作成した。次にSTEP 2として、小村らの手法による画像処理を進め、この解析データとSTEP 1の検証データとの比較を行った。最後にSTEP 3として、新たな冗長情報除去手法を加えて画像処理を行い、再び検証データとの比較を行うという流れである。

まず、STEP 1の空撮画像の目視判読による樹冠幅の抽出は、GISソフトウェア上で、視認できる全ての樹冠に直径線のベク

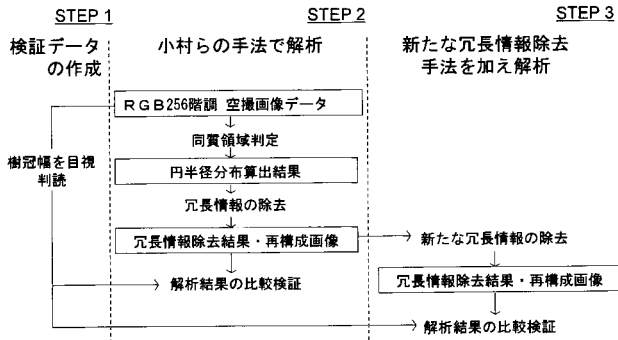


図-2 解析フロー

タラインを描画した。ただし、解析データは、同質領域判定により抽出した樹冠の幅であることから、目視により選択した樹冠の幅は楕円の短径とした。そして、調査区ごとに直径線の長さを求積し検証データを作成した。

次に、STEP 2の小村らによる解析法について、概要を説明する。この処理方法は、一つの画素 p に注目し、 p のRGB値を R, G, B とする。また p を中心とする半径 r の円を考え、円内のある画素 p' のRGB値を R', G', B' とする。このとき輝度値の許容範囲 h を設定して $|R-R'| < h$ かつ $|G-G'| < h$ かつ $|B-B'| < h$ ならば p' は p と同質とする。円内の全ての画素 p' が中心の画素 p と同質ならばその円を同質領域とする。円の半径を徐々に大きくしながら同質領域円の半径の最大値を求める。以上を全ての画素について行う。そうすると各画素に同質領域円の半径の最大値が格納された円半径分布算出結果が得られる(図-3)。

この円半径分布算出結果画像の大きな円の内部には、小さな円が多数含まれている。これを冗長情報として取り除く。まず最大の半径をもつ画素を探し出し、その円内に含まれる他の円を取り除く。次に残った円の中から半径が最大のものを探し出し、その円内に含まれる他の円を取り除く。このような操作を半径の最大値が45cm(1画素)になるまで繰り返す。除去されずに残った円の位置を点で表示したものが冗長情報除去結果である。樹冠抽出結果の画像として、各円の内部を中心の画素の色で塗りつぶして円の位置、大きさ、色を一つの画像に表示した再構成画像を作成した。また併せて、判定した樹冠の境界を示すために抽出樹冠

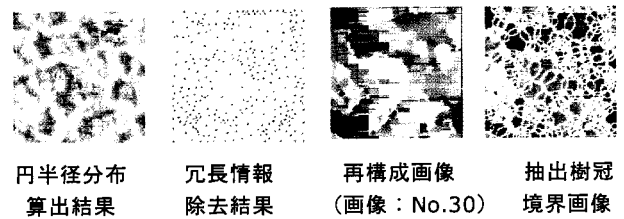


図-3 小村らの同質領域判定による樹冠抽出過程

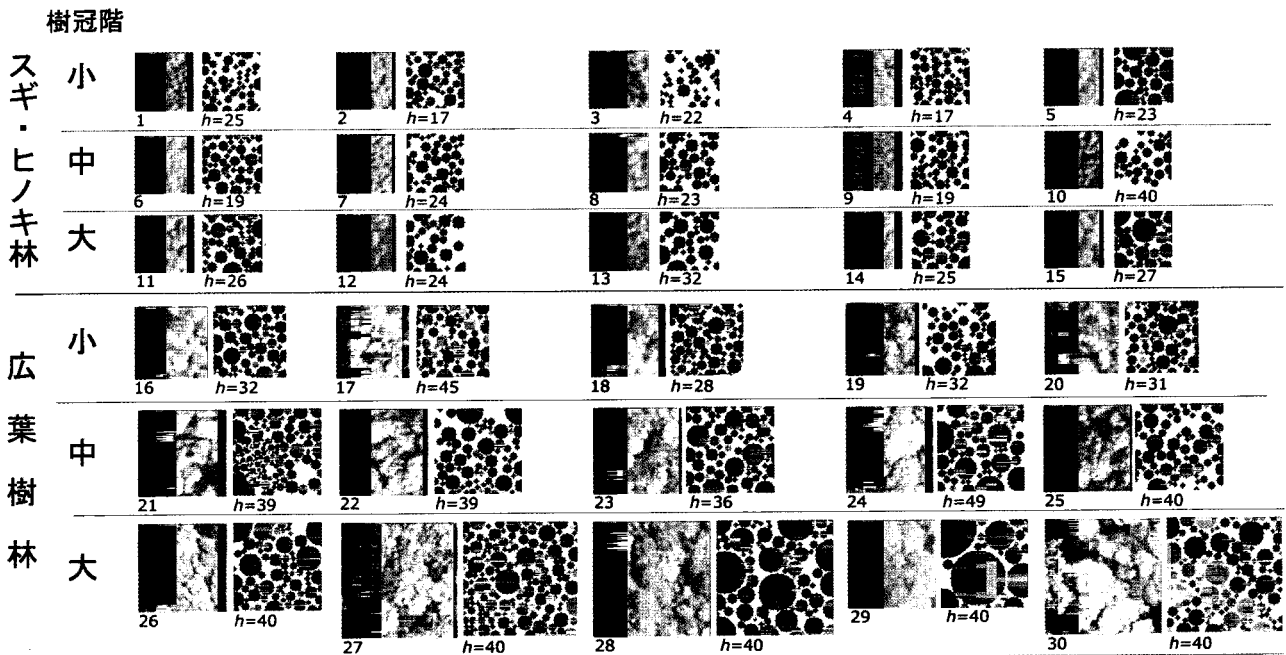


図-1 空撮画像と同質領域判定手法による再構成画像

(調査区番号及び判定基準値 h)

境界画像（図-3）を作成した。なお、検証データと比較する樹冠幅 $2r$ と判定樹冠数の計算も行い解析データを作成した。

(3) 解析結果の検証方法

この解析法により現実に即した樹冠幅を描画させるには、樹冠幅の推定を行う最適な輝度値の許容範囲 h を決定する必要がある。そのため、複数の判定基準値（以下、値は h : 階調と示す）を設定し、試験を重ねる。本研究では広葉樹林の判定基準値を h : 20 ~ 60 階調まで 10 階調間隔で 5 通り、スギ・ヒノキ林は h : 15 ~ 35 階調まで 5 階調間隔で 5 通りとした。

検証データと解析データの検証は、樹冠数と樹冠幅について、誤差率（式 1）を計算し判定基準値別にグラフ化した。

$$(\text{誤差率}) = \frac{(\text{解析データの平均値}) - (\text{検証データの平均値})}{(\text{検証データの平均値})} \quad (\text{式 1})$$

誤差率は 0% に近ければほとんど誤差がなく、100% であれば解析値は検証値の 2 倍あり、-100% に近ければ解析値は 0 に近い。

2. 解析結果と考察

図-4 に広葉樹林とスギ・ヒノキ林の樹冠数と樹冠幅について、判定基準値と誤差率の関係を線グラフで樹冠階別に示す。この 4 つのグラフに共通する傾向として、樹冠数は右肩下がり、樹冠幅は右肩上がりの線が描かれている。これは判定される同質領域円の大きさが、判定基準値が小さい場合は一本の樹木の小さな枝まで分割されるが、判定基準値が大きくなるにしたがい、樹木の樹冠に近似し、ある値から樹木間の谷を越えて隣の樹木と連担して拡大していく。そのため、判定基準値を大きくするに従い樹冠数は減少し、樹冠幅は拡大する傾向を示すのである。

さて、広葉樹林の樹冠数の結果は、樹冠階小が h : 30 階調、樹冠階中が h : 40 階調、そして樹冠階大が h : 60 階調で検証データと近似した。一方、スギ・ヒノキ林の樹冠数は、 h : 20 階調を頂点にどの樹冠階も検証データと近似した。しかし、樹冠階大の 100~300% の誤差率は、樹冠階小・中にくらべて乖離が大きい。これは、検証データの作成時に一本の樹木と判定した樹冠の中を、解析時には判定基準値が小さいほど多数の樹冠に判定されたからである。また、樹冠数が多めに判定される原因として 2 つの解析法

の問題があげられる。1 つは、図-3 の再構成画像を観察すると、樹木間の影の領域を樹冠と判定している。2 つ目は、抽出樹冠境界画像より明らかなように、判定された樹冠のほとんどが重なりあっている。これは、円の外に中心のある比較的隣接している描画円によるものである。現実に即した樹冠幅を抽出するには、この 2 点を新たな冗長情報として除去する必要がある。

次に、樹冠幅は、広葉樹林の樹冠階小・中が h : 40 階調、樹冠階大は 60 階調で検証データと近似した。スギ・ヒノキ林は樹冠階小・中が h : 15~20 階調、樹冠階大が h : 25 階調である。樹冠階大については、どちらも小さめに判定されている。これも、樹冠数で触れたように、樹冠面が分割されて判定されているからである。小村らは落葉広葉樹林の試験で h : 40 階調で近似すると報告している。本追試の結果から、常緑系の広葉樹林でも同様な傾向が見られ、スギ・ヒノキ林では h : 15~25 階調と小さめの判定基準値で一致する傾向にあることが明らかとなった。

3. 新たな冗長情報の除去による解析と考察

(1) 影及び重なり樹冠の除去方法

より現実に即した樹冠情報の取得を行うため、次の冗長情報除去の手法を組み入れた。樹冠として抽出されていた影の領域については、しきい値により各調査区のマスク画像を作成し、その領域は同質領域判定の処理を行わないようにした。なお、しきい値の設定は、スギ・ヒノキ林の全ての画像について輝度値の中間値を計算し、その平均値 77 を適応した。次に、円の外に中心があり重なり合う描画円について、これを冗長情報として除去する。まず円半径分布算出結果から最大の半径を持つ画素を探し出し、その円に重なる他の円を取り除く。このような操作を重なり円がなくなるまで繰り返す。除去されずに残った円について、円内部の中心画素の色で塗りつぶした再構成画像を図-1 に示す。先の図-3 の再構成画像は、樹冠色の構成や配置が空撮画像と酷似している特長をもつのに比べ、図-1 の再構成画像は白い隙間と描画された円で構成されている。

先の検証と同様に、図-5 に判定基準値と誤差率の関係を線グラフで樹冠階別に示す。広葉樹林の樹冠数は樹冠階大が h : 40 階調で検証データと近似したが、樹冠階小・中は 3~5 割程度しか判定できていない。スギ・ヒノキ林も全ての樹冠階で判定数の

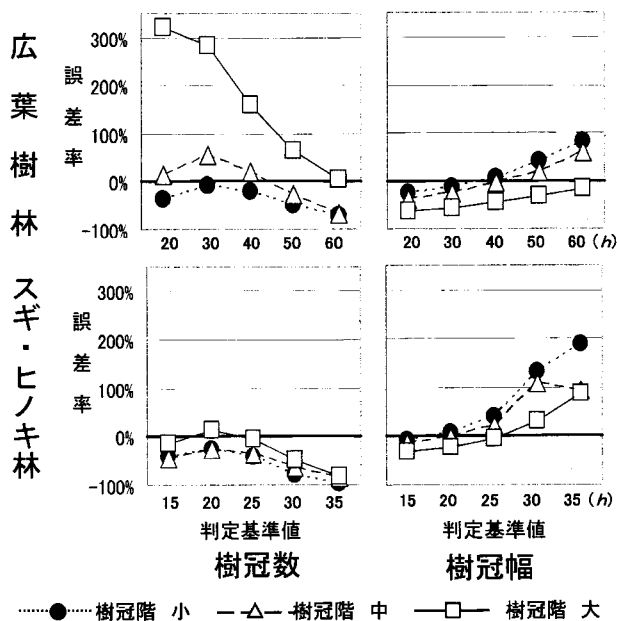


図-4 小村らの方法による解析結果

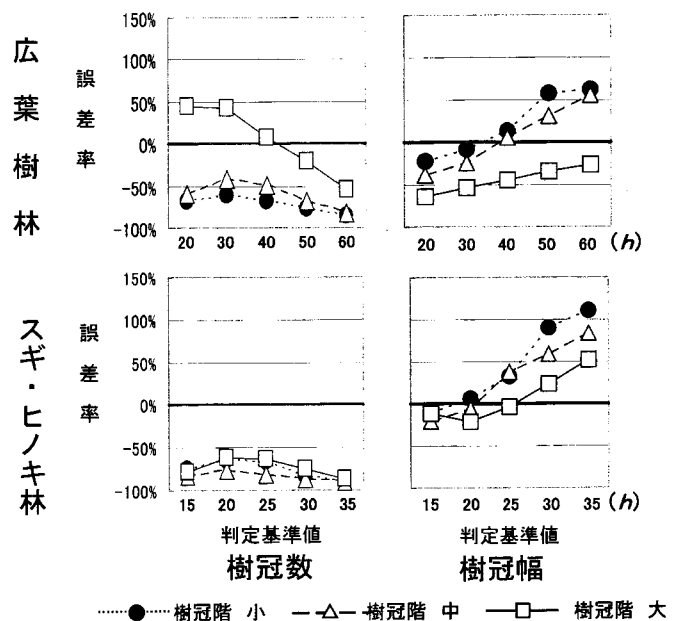


図-5 新たな冗長情報除去手法を加えた解析結果

表-2 判定された樹冠幅の判定基準値別誤差率 (%)

樹冠階	No.	判定基準値 (h)				
		15	20	25	30	35
スギ・ヒノキ林	1	-18	-9	1	34	56
	2	-4	26	65	56	110
	3	-12	-2	8	13	26
	4	-3	19	70	151	101
	5	-16	-4	18	197	261
	6	-19	8	72	101	96
	7	-18	-12	8	50	104
	8	-23	-13	16	84	182
	9	-21	10	116	82	56
	10	-	-24	-24	-22	18
	11	-32	-10	-4	18	47
	12	-34	-20	6	45	-
	13	-31	-27	-15	-6	15
	14	76	-23	3	31	88
	15	-37	-26	-7	30	60
広葉樹林	No.	20	30	40	50	60
	16	-15	-5	28	72	81
	17	-28	-24	9	12	36
	18	-20	6	20	103	68
	19	-29	-5	64	58	69
	20	-18	-2	22	64	60
	21	-36	-23	8	38	79
	22	-30	-16	6	38	68
	23	-27	-11	15	53	108
	24	-45	-34	-24	5	22
	25	-54	-48	-34	1	-
	26	-60	-55	-43	-17	-
	27	-66	-59	-51	-40	-26
	28	-59	-48	-31	22	-32
	29	-71	-49	-47	-	-
30	-63	-57	-50	-45	-37	

少ない結果となった。これは、多くの樹冠円が、隣接する大きな円と重なったため、冗長情報として除去されたからと考えられる。次に樹冠幅は、広葉樹林の樹冠階小・中が $h:30\sim40$ 階調で検証データと近似した。樹冠階大は、右肩上がりのグラフを描くものの近似する結果が得られなかった。この、乖離が繰り返されている樹冠階大の問題は、一本の大木の樹冠を「1つ」と検証データで直径を描画したことによる。調査対象地域の里山林は、かつて薪炭林として利用されていたため、残存する広葉樹林の高木の多くは萌芽林である。株立ちの幹数が数本に減少した壮齢の樹木は、幹同士の樹冠が擦れ合い、それぞれが一本の樹木のような樹冠を形成する。したがって、この解析方法は萌芽林の樹冠群を一本と計測するには不向きである。一方、スギ・ヒノキ林の樹冠幅は樹冠階小・中が $h:15\sim20$ 階調、樹冠階大が $h:25$ 階調で近似した。

新たな冗長情報の除去結果は、小村らの結果と比べ樹冠数が大幅に減少したものの、検証データと近似する判定基準値はほとんど同様であった。

(2) 調査区ごとの検証

前節で得られた樹冠階毎の判定基準値の適切性をみるため、表-2に調査区ごとについて、樹冠幅の判定基準値別誤差率を示す。広葉樹林の樹冠階小・中は、No.25以外、何れも誤差率0を持つと推察され、その推定範囲は $h:28\sim45$ 階調と、樹冠階の近似値よりも幅広い。一方、広葉樹林の樹冠階大は、検証データとの乖離のため何れも誤差率0を持たなかった。スギ・ヒノキ林の樹冠階小・中・大は、No.10以外、全て誤差率0を持つと推察され、その推定範囲は $h:17\sim32$ 階調である。

ここで、後先になるが図-1に示してある再構成画像は、表-2より推定した誤差率0の判定基準値を用いた画像である。ただし、誤差率0の得られなかった調査区については、 $h:40$ 階調で作成した。それぞれの再構成画像を観察すると、多少のずれがあるものの、適切に樹冠の抽出できているものが少なくない。しかし、大きすぎたり小さすぎたりと、個々の樹冠の一致率には大分差があるようである。これには、大きく2つの原因が考えられる。1つは、この推定した誤差率0の判定基準値は、ある調査区内の平均樹冠幅によるものである。したがって、再構成画像に描画された樹冠円の精度は、適切なものもあれば大小の誤差のある円も多数含まれているのである。2つ目は、中心が円の外にある重なり円の冗長情報除去手法により、大きな円を優先して周囲の重なり円を除去していく手法が影響している。大きな樹冠が少しでも大きめに判定されていると、隣接する適切な円は重なり円として除去されることになる。結果的に小さな円が目につく画像構成になっている。

4. まとめ

本研究は、小村らの同質領域判定手法を用い、表-1に示す九州北部里山林の常緑系広葉樹林及びスギ・ヒノキ林の調査区を対

象に追試し、最も原画像の樹冠の大きさと一致する同質判定基準値を明らかにすることを目的とした。その結果、小村らが金沢の落葉広葉樹林で報告した $h:40$ 階調に対し、図-4に示す樹冠階小・中における誤差率0に近似する判定基準値は、常緑系の広葉樹林は $h:40$ 階調、スギ・ヒノキ林は $h:15\sim20$ 階調であった。但し、樹冠階大については、検証データの目視判読の際、萌芽林の樹冠群を1つとして作成したため、適切な結果が得られなかった。次に、小村らの手法による追試過程で、樹木間の影の領域を樹冠として判定していることや、円の外に中心のある隣接円が重なり合い描画されていることが確認された。これらを新たな冗長情報として除去する手法を加え、図-5に追試と同様な検証を行った。その結果、樹冠数は5割以下の判定数しか得られず、樹冠階小・中における誤差率0に近似する判定基準値は、広葉樹林が $h:30\sim40$ 階調、スギ・ヒノキ林は $h:15\sim20$ 階調と本追試結果と同様の結果が得られた。

最後に、表-2で各調査区の誤差率0の判定基準値を推定し、再構成画像を図-1に個別の解析結果として示した。その結果、広葉樹林は $h:28\sim45$ 階調、スギ・ヒノキ林は $h:17\sim32$ 階調と幅があり、それぞれの解析結果は、多少のずれがあるものの適切に樹冠の抽出できているものが少なくなかった。

これらの結果を踏まえ次のような解析手法の問題点が指摘できた。判定樹冠に大小のバラつきができるのは、誤差率0の判定基準値が調査区範囲よりさらに狭い樹木毎、もしくは画素毎に異なるためと考えられる。また、大きな円を優先し、それに重なる小さな円を冗長情報として除去する方法上、樹冠が大きめに判定されると周囲の適切な樹冠が除去されてしまうことになる。その為、実際の樹冠幅よりも小さな円が目につく画像構成になる傾向を持つといえる。

おわりに

本研究は、里山林の実態把握に資する樹冠抽出手法の開発を目的に、九州北部里山林の空撮画像を用い、同質領域判定による樹冠抽出を試みた。この技術を一般化し精度の高い画像処理を行うには、適切な判定基準値 (h) をどのように設定するかが課題になる。また、画素毎に判定基準値を設定しうるアルゴリズムの開発が必要であり、面的に森林の空撮画像を処理するには、森林の特徴に加えデジタル画像の色彩的特性との関係性を明らかにする必要がある。

補注及び引用文献

- 1) 瀬戸島政博・赤松幸生・今井靖晃・重松敏則・朝廣和夫・児玉茂彦 (2002) : 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(5), 679-684
- 2) 瀬戸島政博・赤松幸生・船橋学・今井靖晃・天野正博 (2002) : 航空機レーザースキャナによる森林域の計測とその適用性 : 写真測量とリモートセンシング 41(2), 15-26
- 3) 平田泰雅・秋山幸秀・宮本麻子・福田未来・西園朋広・岩村一紀 (2002) : LIDAR 計測による森林構造の把握 : 日本林学会学術講演会論文集, 608pp.
- 4) 石川知明 (2001) : 航空写真による立木本数測定の可能性 : 中部森林研究 49, 137-138
- 5) 高橋興明・山本一清・竹中千里・杉盛哲明・恩田裕一・徳村公昭・村手直明 (2002) : 航空機搭載型レーザー・スキャナによる林分構造の把握 : 日本林学会学術講演会論文集, 600 pp.
- 6) 石川知明・芝正己 (2001) : 画像解析による空中写真からの詳細な林分情報抽出の試み : 日本林学会学術講演会論文集 112, 531 pp.
- 7) 小村良太郎・久保守・村本健一郎 (2001) : 空撮画像を用いた植生形態の定量的解析 : 電子情報通信学会, 信学技法 9, 23-28