九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

デジタルオルソフォトを利用した不成績造林地の抽出

光田，靖
九州大学農学部生物資源環境科学研究科

高田，佳夏
長崎県庁(現)

溝上，展也
九州大学農学部生物資源環境学科

吉田，茂次郎
九州大学農学部生物資源環境学科

他

https://doi.org/10.15017/14823

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 81, pp.13-29, 2000-03-30. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

九大演報（Bull. Kyushu Univ. For.），81：13-29，2000

論　文

デジタルオルソフォトを利用した不成績造林地の抽出*

光田　靖**・高田佳夏***・溝上展也****
吉田茂二郎****・今田盛生****

抄　録

GIS上でデジタルオルソフォトに対して画像分類の手法を用い，一定期間にわたり裸地化したまま放置されている不成績造林地を抽出する方法について検討した．

まず同一地点において，時点の異なる2枚のデジタルオルソフォトを用意し，それぞれについてGIS上で画像分類を行った．画像分類においてはオルソフォト画像に加えて，テクスチャ画像を用い精度の良い分類結果を得た．次に両時点において裸地であると分類された画素を抽出し，これを一定期間にわたり裸地化したまま放置されている林地であると定義した．この画像と小班界ベクターデータを重ね合わせ，造林地の中で裸地化したまま放置されている林地を抽出し，これを不成績造林地とした．さらに小班界ベクターデータを利用して2時点重ね合わせ分類画像を集計し，人工造林された各小班のなかで不成績造林地に判定された画素の割合を求めた．最後に対象小班が不成績であるかどうかの判定基準として，小班内での不成績造林セルの割合が35%以上であるという基準を用いると，その判定結果は現地踏査から得られるものに近づき，本研究で採った手法により不成績造林地の抽出を高い精度で行うことができることが分かった．

ただし今回の手法では，造林木の成長が悪く代わりに広葉樹が侵入して繁茂しているといった種類の不成績造林地は抽出することができず，本方法に不成績造林地抽出の限度があることも明らかとなった．

キーワード：デジタルオルソフォト，GIS，画像分類，不成績造林地

1．はじめに

九州山地の山岳地帯に存在した広葉樹林帯は，高度成長期の木材需要増大に伴い拡大造林によりスギ（*Cryptomeria japonica* D.Don）・ヒノキ（*Chamaecyparis obtusa* Endl.）

---

* MITSUDA, Y., TAKATA, K., MIZOUE, N., YOSHIDA, S. and IMADA, M.: Extractions of Unsuccessful Plantations by Image Classification Techniques Using Digital Orthophotos.

** 九州大学農学部生物資源環境科学研究科
Division of Bioresource and Bioenvironmental Science, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581

*** 現在　長崎県庁
Department of Agriculture and Forestry of Nagasaki prefecture, Nagasaki 850-8570

**** 九州大学農学部生物資源環境学科
Department of Bioresource and Bioenvironmental Science, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581

を主とする針葉樹人工林に転換されていったが，成長が悪く成立本数が大幅に減少したいわゆる不成績造林地化したところが多い（今田・増谷，1988）．この原因としては高冷地特有の気象害およびキュウシュウジカ（*Cervus nippon nippon Temminck*：以下シカとする）による食害が挙げられ（寺岡ら，1992），ことに近年シカによる食害が深刻化している．このような被害は九州のみならず日本全国で発生しており，早急な対応が求められている．しかしこれらの要因で不成績造林地化した林地は，近年の林業界を取り巻く厳しい経済状況のため裸地化したまま放置されてしまうところが少なくない．このような林地は土砂災害を引き起こす原因となり非常に危険視されているが，現段階では不成績造林地の面積および分布を把握するのもままならない（寺岡ら，1992）．

このような不成績造林地の現状把握には現地調査を行う必要があるが，現地調査には多くの労力および経費が必要とされ，広域にわたって十分な調査を行うことが不可能である場合が多い．そのため現地調査を補うデータソースとして，これまで空中写真や衛星リモートセンシングデータが利用されてきた（例えば，伊藤ら，1993；Holmgern and Thuresson，1998）．しかし空中写真は中心投影であるため幾何学的なゆがみを持ち，衛星リモートセンシングデータは解像度が低い（例えば LandsatTM は約 30 m，SPOT パンクロは約 10 m）といった欠点がある．近年これらの欠点を持たないデジタルオルソフォトが注目を集めている．デジタルオルソフォトは空中写真特有のゆがみを補正したオルソフォトを，コンピューター上で扱えるようにしたものである．デジタルオルソフォトでは画像を微小単元（画素）に分割し，色情報を数値化しているため，この数値を用いて統計的び処理・識別することができる（芝，1998）．このようにデジタルオルソフォトは空中写真と同等な地表面情報を持ち，リモートセンシングデータのように機械的に処理することができるという，空中写真とリモートセンシングデータの長所を併せ持った有用なデータソースである．

このような利点を持つデジタルオルソフォトを GIS と組み合わせて用いることで，問題となっている不成績造林地のモニタリングが可能であると考えられる．そこで本研究では，デジタルオルソフォトを GIS 上で解析することによる不成績造林地モニタリングシステム構築に向けて，不成績造林地抽出のための画像分類手法を開発することを目的とする．

2．対象地および資料

本研究の対象地は，九州大学農学部附属宮崎演習林 20 林班から 30 林班を含む約 750 ha である（図 1）．本演習林の大部分は標高 1000 m 以上にあり，地形は急峻である．また年平均降水量は 3500 mm で，九州でも雨の多い地域である．さらに地質的には延岡―紫尾構造線上の花崗岩地帯もしくは千枚岩地帯に属している．このような地形，降水および地質条件から，本演習林は地滑りや崩壊の多発地帯となっている．本研究の対象地には皆伐式皆伐作業法試験林があり，この試験林では天然生針広混交林を小面積（5 ha 以下）で皆伐し，輪伐期 60 年，標準年伐面積 10 ha で保続生産することを目標としたスギ・ヒノキ人工林への転換を行う細胞式皆伐作業法が 1978 年より適用されている（寺岡ら，1992）．しかし近年，主に気象害およびシカの食害が原因と思われる本数減少により，不

Fig. 1 Study area

図1 対象地

表1 空中写真の諸元
Table 1 Properties of aerial photos

	1989年撮影写真 photo in 1989	1994年撮影写真 photo in 1994
撮影日 Date	9, March, 1989	16, May, 1994
撮影時刻 Time	AM 11 : 45	PM 15 : 00
撮影縮尺 Scade	1/16000	1/16000
撮影高度 Altitude	4500 m	4700 m
焦点距離 Focal Lenght	208.29 mm	214.03 mm

成績造林地化している伐区が多く見受けられる.

本研究で用いた資料は九州大学宮崎演習林の林・小班図, 森林調査簿, 日本林業技術協会による1994年5月撮影のオルソフォト（以下, 1994年オルソフォトとする）および1989年3月撮影の空中写真をもとに自作したオルソフォト（以下, 1989年オルソフォトとする）である. オルソフォトの元となった空中写真の諸元を表1に示す.

使用したGISソフトは, アメリカMicroImages社のTNTmipsバージョン6.1である. 研究に先立ち, このGISソフトを用いて林・小班図および森林調査簿をGISデータ化した. さらに1994年オルソフォトをGISに取り込み, これと林・小班図をGIS上で重ね, オルソフォト画像を参考しながら林・小班界の修正を行った.

3. 方　　法

不成績造林地抽出の解析手順を図2に示す．なお，画像の最小単位（画素）をセルと称し，画像解像度を示す画素の大きさをセルサイズとする．まず，ノイズの除去，処理時間および後述する分類画像の重ね合わせ時のズレを考慮して，セルサイズ約1mのオルソフォト原画像をセルサイズ5mへとリサンプルし，さらに平均値フィルタ（Low Pass/Average Filter）を用いて画像を平滑化した（図3）．次にこれらの処理を経た1989年および1994年オルソフォトそれぞれについて，テクスチャ画像を作成した．テクスチャとは画像のある範囲にある小さな形状が半周期的，または規則的に配置されているパターンのことで，画像判読では滑らか，細かい，粗いという表現が用いられる（日本リモートセンシング協会，1992）．本研究ではTNTmipsの持つテクスチャフィルタの中で標準偏差

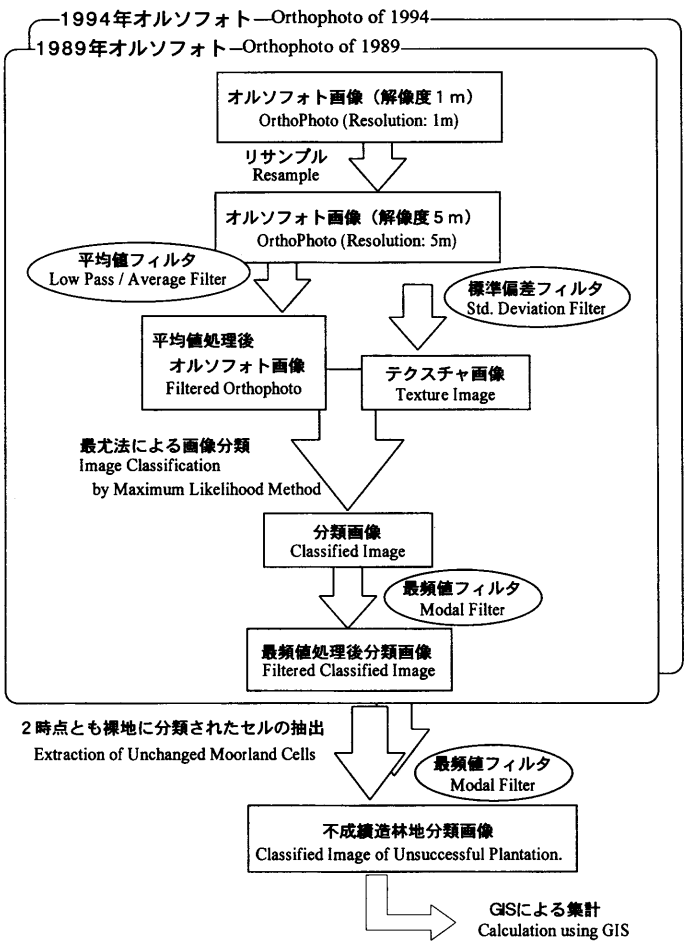


Fig. 2　Flow chart of analysis

図2　解析のフローチャート

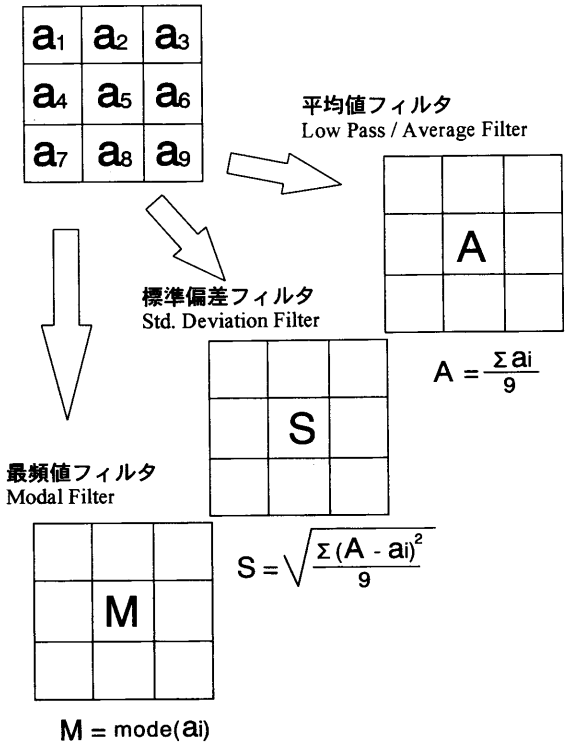


Fig. 3 Spatial filters

図3 空間フィルタ

フィルタ（Std. Deviation Filter）を用いた．この標準偏差フィルタは対象画素の周囲3×3セルについて，その標準偏差を計算するものである（図3）．

これらフィルタ処理したオルソフォト画像およびテクスチャ画像を用いて画像分類を行う．画像分類には教師付き分類の一つである最尤法（Maximum Likelihood Method）を用いた（例えば，粟屋ら，1983；渡辺ら，1986；加藤，1997）．教師付き分類はトレーニングエリアの選定により，結果が大きく変わってしまう可能性がある．トレーニングエリアの選定はオペレーターの主観的な判断で行われることが多いため，オペレーターに経験と対象地に関する多大な知識が要求される（増田ら，1994）．よって本研究では増田ら（1994）により開発された，GISデータを用いたトレーニングエリアの選定法を用いた．この方法により，まずスギ・ヒノキ人工林小班の境界線を画像上に表示させ，さらにテクスチャ画像において値が異常に高くなっているエッジ部分を避けて，裸地，広葉樹林および針葉樹人工林の3クラスについてトレーニングエリアを選定した．1989年および1994年オルソフォトについてそれぞれトレーニングエリアを選定し，これにより裸地，広葉樹林および針葉樹人工林の3クラスの分類画像を得た．また，ノイズの除去および分類画像重ね合わせのズレを考慮して，分類画像に最頻値フィルタ（Modal Filter）を用いて空間フィルタリングを行った．この最頻値フィルタは対象画素の周囲3×3セルについて，そ

の最頻値を計算するものである（図3）．さらに得られた1989年および1994年の分類画像を重ね合わせ，両時点で裸地と分類された箇所を抽出し，これ不成績造林地と定義して不成績造林地とそれ以外に分類された画像（以下，不成績造林地抽出画像とする）を得た．

最後にそれぞれの時点での分類画像および不成績造林地抽出画像について，林・小班界を重ね合わせ，各小班について分類結果を集計した．これにより各小班について1989年および1994年時における裸地，広葉樹林および針葉樹人工林それぞれに分類された画素の面積割合，および不成績造林地と分類された画素の面積割合を得た．

4．結果および考察

まず，1989年および1994年におけるオルソフォトならびにこれに平均値フィルタ処理後のオルソフォトを図4および5に示す．平均値フィルタを用いることにより画像が平滑化され，エッジ部がぼやける傾向が伺える．

1989年および1994年のテクスチャ画像を図6に示す．標準偏差フィルタを用いたため，

表2 各分類クラスにおける入力画像の代表値1989年
Table 2 Descriptive statistics of 1989

分類 Class	入力画像 Classification variables	
	オルソフォト画像 Orthophoto	テクスチャ画像 Texture image
裸地 MoorLand	212.71±19.69	15.42±9.20
広葉樹林 Bloadleaf Forest	145.32±25.88	27.62±9.98
針葉樹林 Coniferous Plantation	115.76±25.06	16.16±5.71

* 表中は平均値±標準偏差；mean ± standard deviation

表3 各分類クラスにおける入力画像の代表値1994年
Table 3 Descriptive statistics of 1994

分類 Class	入力画像 Classification variables	
	オルソフォト画像 Orthophoto	テクスチャ画像 Texture image
裸地 MoorLand	190.25±15.87	9.37±5.05
広葉樹林 Bloadleaf Forest	128.19±24.13	17.54±6.98
針葉樹林 Coniferous Plantation	103.77±13.66	9.95±3.29

* 表中は平均値±標準偏差；mean ± standard deviation

表4 検証用データによる画像分類の分類精度 1989 年
Table 4 Accuracy assessment by validation data of 1989

Class	Ground Truth 裸地 Moorland	広葉樹林 Bloadleaf Forest	針葉樹林 Coniferous Plantation	分類信頼度 Reliability
裸地 Moorland	793	4	2	99.25%
広葉樹林 Bloadleaf Forest	307	1048	285	63.90%
針葉樹林 Coniferous Plantation	18	27	752	94.35%
分類精度 Accuracy	70.93%	97.13%	72.38%	
分類精度 Over All accuracy	80.13%			

表中，単位はセル数

表5 分類参照データによる画像分類の分類精度 1989 年
Table 5 Accuracy assessment by classification reference data of 1989

Class	Training Data 裸地 Moorland	広葉樹林 Bloadleaf Forest	針葉樹林 Coniferous Plantation	分類信頼度 Reliability
裸地 Moorland	768	0	0	100.00%
広葉樹林 Bloadleaf Forest	25	744	56	90.18%
針葉樹林 Coniferous Plantation	0	38	765	95.27%
分類精度 Accuracy	96.85%	95.14%	93.18%	
分類精度 Over All accuracy	95.09%			

表中，単位はセル数

一様な面は値が低いため暗くなり，写真濃度が変化に富む箇所では値が高いため明るくなる．そのため林縁部の値が高くなり，画像中で林縁が明確になっている箇所もある．人が空中写真を見るとき裸地や針葉樹人工林は一様な面として捉えられ，広葉樹林はその林冠構造の複雑さからテクスチャの粗い複雑な面として捉えられる．テクスチャ画像においても，裸地や針葉樹人工林は標準偏差が低く一様な面として捉えられ，広葉樹林は標準偏差が高い複雑な面として捉えられている．

1989 年および 1994 年における最頻値フィルタ処理後の分類画像を図 7 に示す．1989 年では，全体の 9%が裸地に，75%が広葉樹林に，16%が針葉樹人工林に分類された．1994 年においては全体の 4%が裸地に，81%が広葉樹林に，15%が針葉樹人工林に分類された．表 2 および 3 に，各分類クラスにおけるオルソフォト画像およびテクスチャ画像の代表値を示す．ただし，これらの値は最頻値フィルタ処理後のものである．両時点ともオルソフォト画像の値が最も高くなっているのは裸地で，ついで広葉樹林，針葉樹人工林の順であっ

表6 検証用データによる画像分類の分類精度 1994 年
Table 6 Accuracy assessment by validation data of 1994

Class	Ground Truth 裸地 Moorland	広葉樹林 Bloadleaf Forest	針葉樹林 Coniferous Plantation	分類信頼度 Reliability
裸地 Moorland	1370	32	0	97.72
広葉樹林 Bloadleaf Forest	755	2082	512	62.17%
針葉樹林 Coniferous Plantation	9	236	513	67.68%
分類精度 Accuracy	64.20%	88.60%	50.05%	
分類精度 Over All accuracy	76.05%			

表中，単位はセル数

表7 分類参照データによる画像分類の分類精度 1994 年
Table 7 Accuracy assessment by classification reference data of 1994

Class	Training Data 裸地 Moorland	広葉樹林 Bloadleaf Forest	針葉樹林 Coniferous Plantation	分類信頼度 Reliability
裸地 Moorland	394	231	0	63.04%
広葉樹林 Bloadleaf Forest	26	7666	30	99.27%
針葉樹林 Coniferous Plantation	93.81%	495	1157	70.04%
分類精度 Accuracy		91.35%	97.47%	
分類精度 Over All accuracy	92.18%			

表中，単位はセル数

た．テクスチャ画像に関しては，最も値が高いのは広葉樹林であり，ついで針葉樹人工林，裸地の順であった．分類樹形図により分類の類似度をみると，最初に裸地と森林を分け，次に森林の中で広葉樹林と針葉樹人工林が分かれていた．以上のことから，オルソフォト画像中で明るい部分が裸地として分類され，裸地以外の部分で比較的明るく，テクスチャ画像で値が高くなっている部分が広葉樹に，またオルソフォト画像で暗く，テクスチャ画像で値が低くなっている部分が針葉樹人工林に分類されたものと考えられる．

ここで分類の精度について検討を加えるため，表4から7に分類精度を示す．画像分類の精度を検証するために，画像分類に用いたトレーニングデータと独立した地上評定データ（グランドツルースデータ）を用いる（加藤，1997；Duhaime et al., 1997）．本研究ではGISデータを利用しながら，各クラスについてグランドツルースデータを設定した．このグランドツルースデータおよびトレーニングデータを用いて分類精度の検証を行った．なお各表欄外にある全体の分類精度の値は，グランドツルースおよびトレーニングデータ

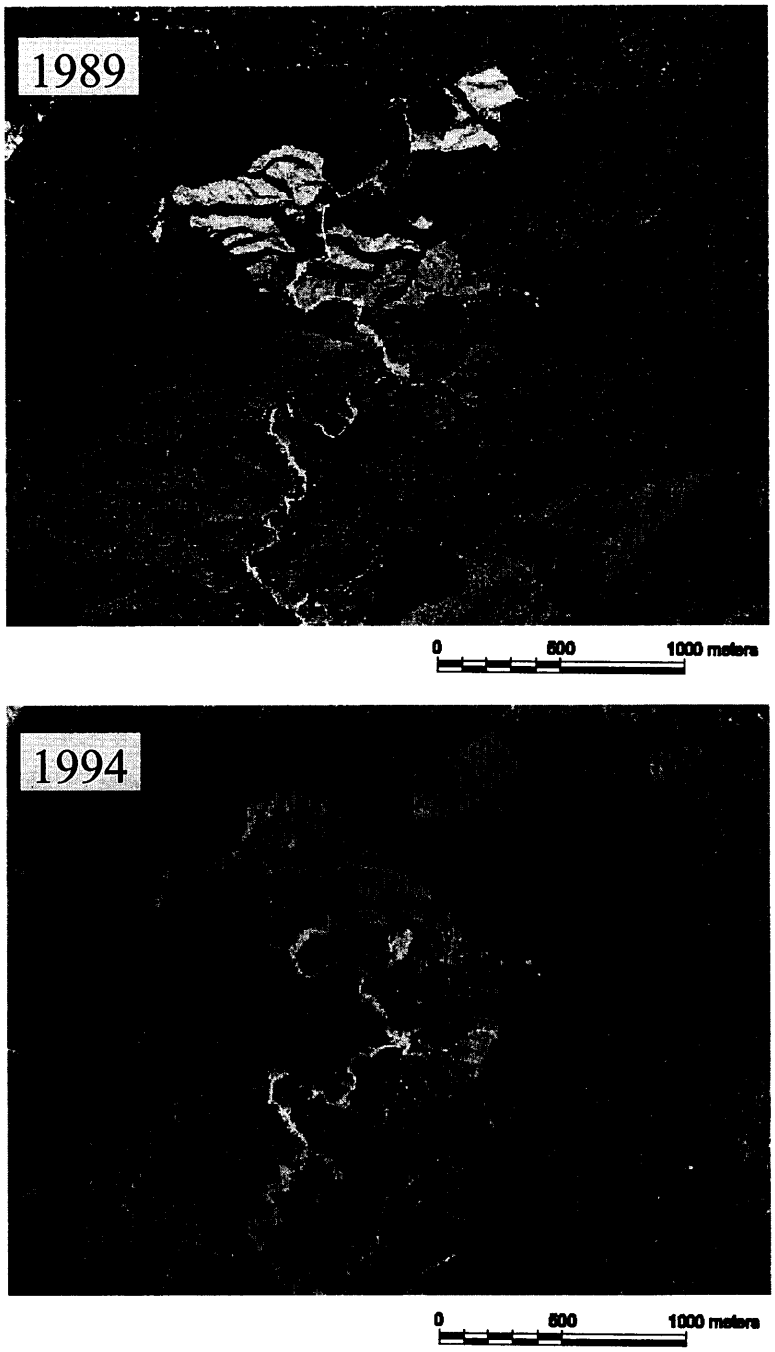


Fig. 4 OrthoPhotos of 1989 and 1994

図4 1989年 および 1994 年のオルソフォト画像

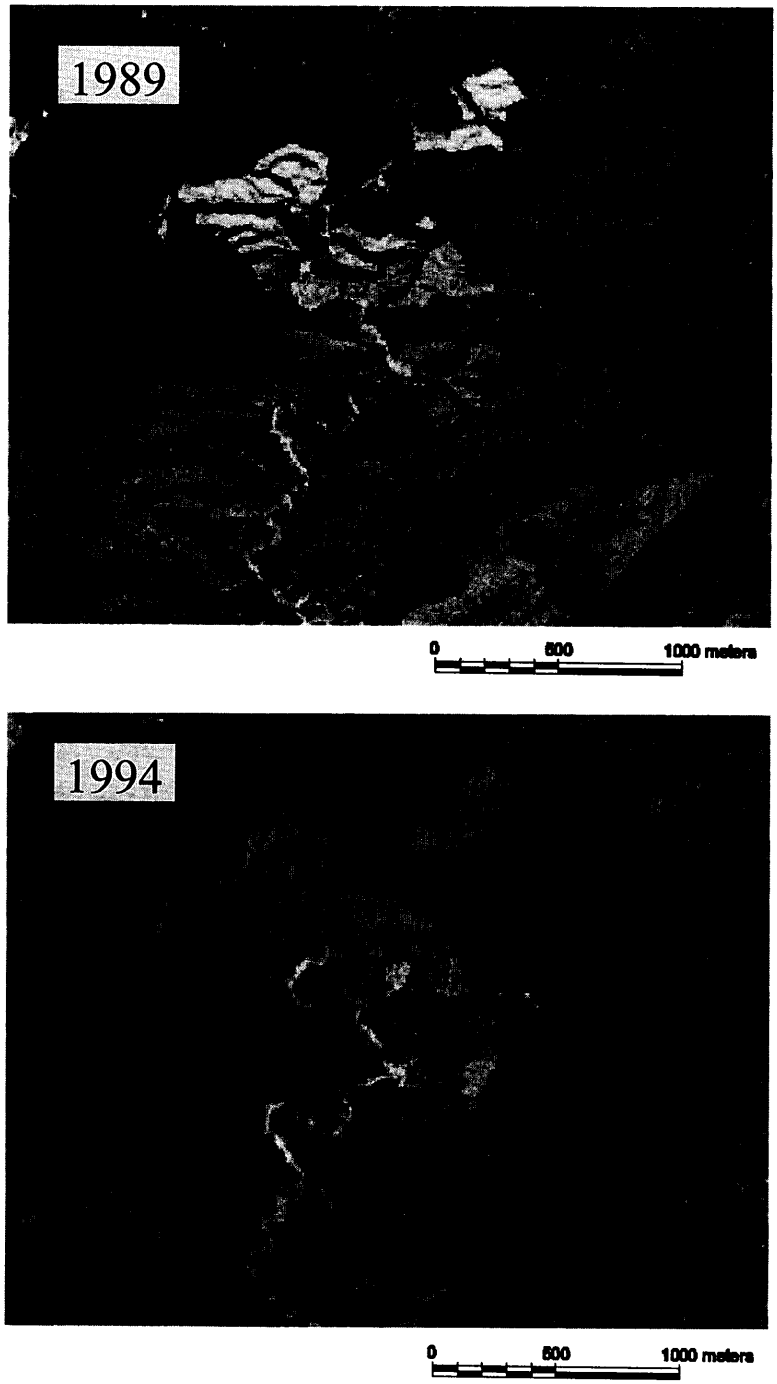


Fig. 5 OrthoPhotos after average filter of 1989 and 1994

図5 1989年 および 1994 年における平均値フィルター処理後オルソフォト画像

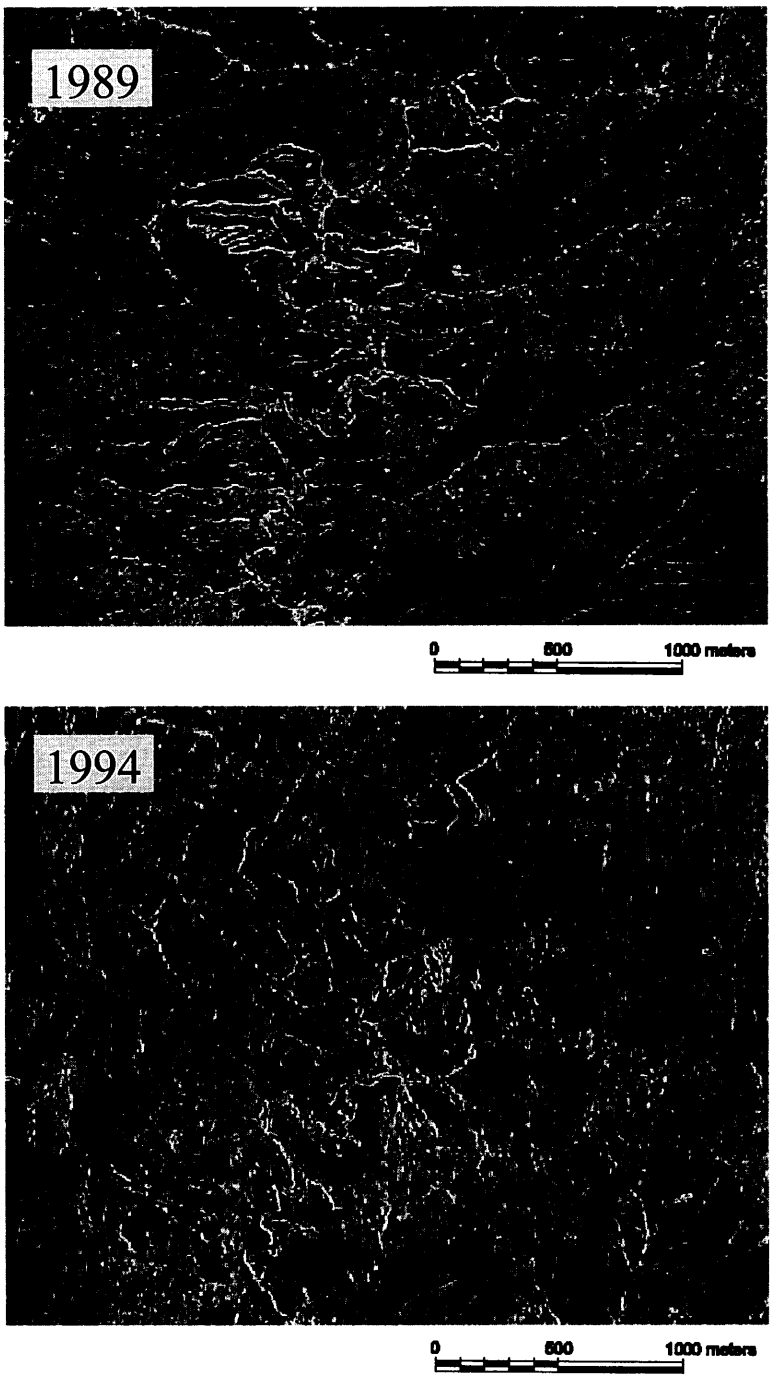
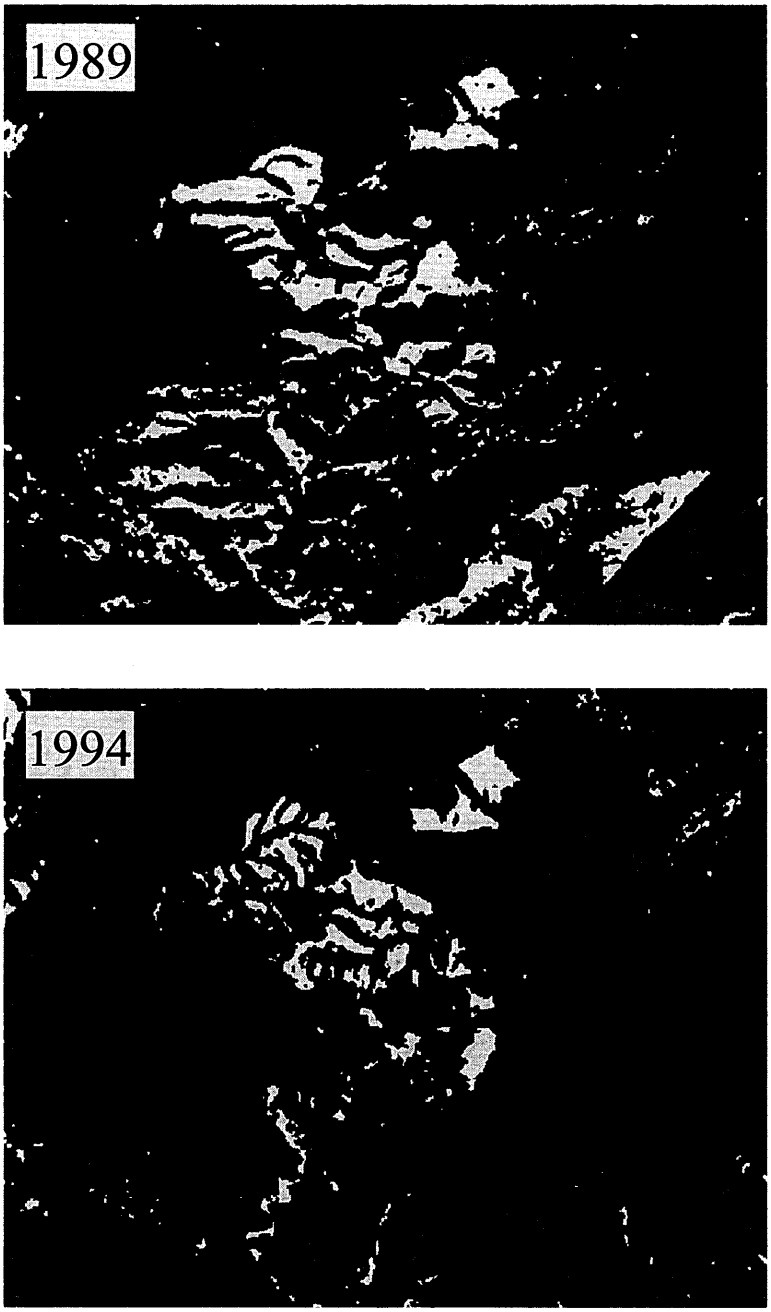


Fig. 6 Texture images of 1989 and 1994

図6 1989年 および 1994 年におけるテクスチャ画像



□ 裸地 Moorland　■ 広葉樹林 Bloadleaf forest　■ 針葉樹人工林 Coniferous plantation

Fig. 7　Classified images of 1989 and 1994

図7　1989年 および 1994 年における分類画像

で設定された全てのセルの内，正しく分類された割合を示す．全体の分類精度については，トレーニングデータを用いた精度検証の場合で両時点とも90%以上の値を示しており，良好な結果を得ている．またグランドツルースデータを用いた検証でも1989年で80%，1994年で76%と良好な結果を示している．これはデジタル化した空中写真を利用した加藤（1997）の例における62%と比較して良好な結果であるが，Leblon（1999）の報告にあるレーダー画像を用いたいくつかの例に多少劣る．レーダー画像を使った例より精度が劣ったのは，レーダー画像は日射による陰影の影響を受けることがないためであると考えられる．今回の分類結果をみると日射による陰影が出ており，その結果として両画像共に裸地であろうと考えられる地域に，針葉樹林と分類されたセルが少なからず存在した．これは日射による影の部分でオルソフォト画像が暗くなり，その部分のオルソフォト画像の値が小さくなったため，針葉樹林に分類されたと考えられる．また，その他の誤分類の種類についてみてみると，その大半が裸地を広葉樹林と判定してしまう誤りと針葉樹人工林を広葉樹林と判定してしまう誤り，逆に広葉樹林を裸地もしくは針葉樹人工林と判定してしまう誤りであった．これは広葉樹林クラスが3つのクラスの内で中間のクラスに当たるため，オルソフォト画像において比較的暗いところや明るいところ，テクスチャ画像において値の低い箇所が広葉樹林と誤分類されることが多いためであると考えられる．

ここで，1989年および1994年におけるオルソフォト画像の違いが分類精度に与える影響をみてみる．1989年オルソフォトは3月の午前11時において，1994年オルソフォトは5月の午後3時において撮影されたものである．対象地における当時の太陽高度は1989年で約51度，1994年で約50度であり，それほどの差はない．しかし太陽方位は1989年で約172度，1994年で約261度であり，かなり異なっている．このため対象地の地形により1989年オルソフォトには影が多く存在し，1994年オルソフォトには影があまり存在しない．この影の部分のために，1989年オルソフォトで本来は裸地であるのに針葉樹林と誤分類してしまう箇所が多く見られた．このような地形による影響を除去するために，リモートセンシングデータに適用される地形の影響の補正方法（村上ら，1998）を応用することが考えられる．また，全体の分類精度を比較すると，1994年の方が低かった．これは1994年オルソフォトが全体的に色調が暗く，ぼやけた感じになっているため，分類精度が下がったと考えられる．1994年オルソフォトは市販のオルソフォトをスキャナーにより取り込んだもので，それ自体が既に色調が暗く，ぼやけた感じになっていた．よって，オルソフォトを航空写真から自作した方が，より鮮明な画像を得ることができるため望ましいと考えられる．

図8に不成績造林地抽出画像を示す．画像中には，GISデータによると針葉樹人工林でないところに不成績造林地と判定された箇所が存在していた．これらの中には林道やスギ・ヒノキ以外の造林地が含まれているが，明らかに広葉樹林を誤分類した箇所もある．これらが数回ノイズ除去をしたにもかかわらず残っていたことは，各時点における画像分類の精度が大きく影響しているためであると考えられる．また各時点の分類画像と比較すると，誤分類以外でも1989年に裸地と判定されたが，2時点重ね合わせでは不成績造林地と判定されなかった箇所がある．これは1989年時において植栽からあまり時間が経過しておらず，地表が見えていたため裸地と判定された地点が，1994年時には植栽木が成長し林冠を形成し始め，地表面を覆い始めたので裸地と判定されなかったためであると考えられ

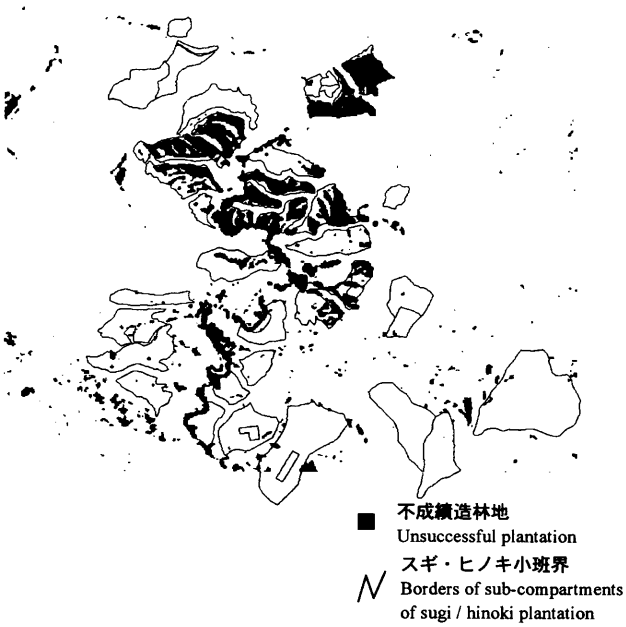


Fig. 8 Classified image of unsuccessful plantation

図8 不成績造林地分類画像

表8 不成績小班における画像集計結果
Table 8 Percentage of "moorland" cells for each unsuccessful stands

林班 Comp.	小班 Sub-comp.	全セル数 Number of cells	裸地率 Rate of moorland 1998	1994	2時点 Two temporal
22	り-1	613	55.63	69.49	46.66
22	り-4	666	52.70	93.69	46.55
23	は-1	1748	90.90	59.38	57.44
23	に-1	1007	78.55	78.45	61.97
23	と	628	90.29	71.97	66.08
23	ち	615	77.40	91.54	73.98
23	り	912	82.46	81.03	70.83
24	を	753	95.22	94.02	90.57
24	わ	1378	89.19	95.50	86.07
29	る	1793	78.30	46.46	37.37
29	を	2017	82.20	60.68	51.51
29	わ	1515	88.91	74.06	68.32
		(cells)	(%)	(%)	(%)

る．一方，1994年に裸地と判定されたが，2時点重ね合わせでは不成績造林地と判定されなかった箇所では，1989年から1994年にかけて皆伐が行われ地表面がむき出しになり，裸地と分類されたと思われる．本研究のように2時点の画像を解析することにより，一時点の画像を用いた解析では抽出できない一定期間裸地化したまま放置された不成績造林地を抽出することができると考えられる．

最後に各時点の分類画像および不成績造林地抽出画像について，林・小班界を重ねて各分類クラスの面積割合を集計した．なお，この時点でのセルサイズは5mである．各時点の分類画像の集計結果では，スギ・ヒノキ小班の中で大部分が広葉樹林と判定された小班が存在した．これはそれらの小班が幼齢であり，地表面が所々見えているなどの要因で，比較的明るく写っていたためではないかと考えられる． 次に不成績造林地抽出画像の集計結果に対し，スギ・ヒノキ小班について対象小班における不成績造林地と判定されたセルの割合が35%以上である小班を不成績小班として抽出したところ，12小班が抽出された．表8に不成績小班における分類画像の集計結果を示す．一方で現地踏査の結果，調査者の主観的な判断により不成績であると判定された小班は13であった．この両者を比較すると，画像分類集計から抽出された12小班はすべて現地踏査の結果でも不成績と判定されており，画像分類集計では残る1つの小班が抽出できなかった．この小班は植栽した針葉樹の代わりに広葉樹が侵入して繁茂している小班であり，そのため画像分類では裸地と分類されなかったと考えられる．GISデータを用いて本来はスギ・ヒノキであるはずなのに広葉樹林と判定されたセルが多い小班を抽出し，不成績造林地とする方法が考えられるが，先述のとおりスギ・ヒノキ造林地の中には広葉樹に誤分類されるセルが多く，この方法によってはこのような広葉樹の繁茂した不成績造林地は抽出できないのではないかと考えられる．本研究では方法上の制限から，不成績造林地を一定期間裸地化したまま放置されている林地と定義し，侵入広葉樹が繁茂しているというタイプの不成績造林地は抽出の対象から除外した．よって本方法を用いた不成績造林地抽出には制限があるが，制限内での一定期間裸地化したまま放置されているというタイプの不成績造林地については，精度良く抽出できると考えられる．

5．おわりに

本研究では不成績造林地抽出方法の開発を目的として，対象地に適用し精度の良い抽出結果を得た．また分類画像を小班単位で集計した結果は不成績造林地抽出に用いるだけでなく，森林簿の新たな属性情報の一つとして利用できるのではないかと考えられる．

しかしその利用には一定期間裸地化したまま放置されている不成績造林地のみ抽出するという制限があり，この点に関しては改良が必要である．また当然ながら，抽出には各時点における画像分類結果が大きく影響するため，本方法による不成績造林地抽出の精度を改善するためには画像分類技術の向上が必要である．本研究で用いたオルソフォトはいずれもモノクロであり，色の情報が乏しく，また他の研究（Duhaime et al., 1997）で用いられている赤外域の情報も使用されていない．モノクロ写真のみを用いた場合でも今回のようなある程度の成果を得られたので，今後カラー写真や赤外域の情報を用いることにより，不成績造林地抽出の精度向上が可能であると考えられる．また最近，高解像度（解像

度約1m）で高階調（2048階調）の衛星データが販売されるようになり，このような画像に本方法を適用することにより，より良い成果が得られることが期待される．さらに高解像度を利用した，単木単位での解析（例えば，Uttera et al., 1998 ; Gougeon, 1999）も視野に入れて不成績造林地抽出方法の改善を図って行く予定である．

引 用 文 献

粟屋善雄・大貫仁人・沢田治雄（1983）：リモートセンシングによる広域的な広葉樹資源の把握（I）．日林論 **94**：85-86

DUHAIME, R.J., AUGUST, P.V. and WRIGHT, W.R.（1997）：Automated vegetation mapping using digital orthophotography. PE&RS **63**(11)：1295-1302

GOUGEON, F. A.（1999）：Automatic individual tree crown delineation using a valley-following algorithm and a blue-based system. International Forum Automated Interpretation of High Spatial Resolution Digital Imagery for Forestry, Pacific forestry center, Victoria, pp.11-24

今田盛生・増谷利博（1988）：九州山地山岳地帯におけるスギ人工林への広葉樹の侵入状態．日林論 **99**：125-126

伊藤 哲・寺岡行雄・荒上和利（1993）：現地調査と航空写真判読による森林動態指標の比較．日林論 **104**：269-270

加藤雅人（1997）：衛星リモートセンシング技術による針葉樹人工林の樹冠粗密度の推定に関する研究．北海道林試研報 **34**：59-95

HOLMGERN, P. and THURESSON, T.（1998）：Satellite remote sensing for forestry — A review. Scand. J. For. Res. **13**：90-110

LEBLON, B.（1999）：Mapping forest clearcuts using radar digital imagery : A review of the Canadian experience. For. Chro. **75**：675-684

増田義昭・平田泰雅・沢田治雄（1994）：リモートセンシングとGISを併用した森林変化の抽出法（I）．日林論 **105**：163-164

村上拓彦・藤井秀亮・今田盛生（1998）：ランドサットTMデータにおける地形による影響の補正方法の比較―九州大学宮崎演習林内のスギ林分を対象として―．九大演報 **78**：13-28

日本リモートセンシング協会 編（1992）：図解リモートセンシング．日本測量協会，東京，pp.1-322.

寺岡行雄・増谷利博・今田盛生・溝上展也・荒上和利・椎葉康喜（1992）：細胞式皆伐作業法適用林における造林木の残存率と樹種，植栽年度及び立地因子との関係解析．九大演報 **65**：47-66

UTTERA, J., HAARA, A., TOKOLA, T. and MALTAMO M.（1998）：Determination of the spatial distribution of trees from digital aerial photographs. For. Ecol. Manag. **110**：275-282.

渡辺 宏・若林邦保・向井幸男（1986）：LANDSAT数値データによる樹種判別の精度．日林論 **97**：151-152

（1999年11月4日受付；2000年2月25日受理）

Summary

Many young planted sugi (Cryptomeria japonica D.Don) and hinoki (Chamaecyparis obtusa Endl.) trees in mountainous regions of Kyushu have been removed by deer's (Cervus nippon nippon Temminck) herbivory. Stands denuded by deer's herbivory have been endangered to the point of collapse. The forest status must therefore be monitored. Orthophotographs have map-like geometry and are useful as accurate image bases for geospatial analysis, so we proposed a monitoring technique with digital orthophotographs.

To monitor the forest status, we used an image classification method based on GIS. To increase the accuracy of the classification, we applied the following three steps. First, we calculated texture images as the standard deviation of a cell value within the neighboring nine cells and added these as input layers. Through this process, we classified digital orthophotographs into three classes, broadleaf forest, coniferous plantation and moorland. Second, we classified two-temporal digital orthophotographs and compared them to detect changes caused by forest operations. After this process, we extracted cells that were classified as moorland in both images as unchanged moorland. Third, using the GIS data, which had subcompartment boundary information and forest register information, we extracted cells including sugi or hinoki plantation subcompartments. Finally, we calculated the percentage of area classified as unchanged moorland in each sugi or hinoki plantation subcompartment, .

We applied these processes to a part of the Kyushu University forest in Miyazaki where natural forests had been cut and sugi or hinoki planted after 1978. If the percentage of area classified as unchanged moorland exceeded 35% for each sugi or hinoki plantation subcompartment, we defined these subcompartments as unsuccessful plantations. Judgements based on this rule agreed well with reconnaissance. However, these processes couldn't define unsuccessful plantations where invasive broadleaf trees had grown instead of sugi or hinoki, so we found this procedure was limited in use.

Key words : digital orthophotograph, GIS, image classification, unsuccessful plantation