

衛星データを用いた森林管理システムの構築に関する基礎的研究

和歌山県紀南地方の針葉樹林でのケーススタディ

Primary Study for the Establishment of a Forestry Management System using Satellite Images : Case Study for the Coniferous Forests in the Southern Wakayama prefecture

仁和亮¹

Akira NIWA

谷川寛樹²

Hiroki TANIKAWA

法眼利幸³

Toshiyuki HOGEN

金子泰純²

Hirozumi KANEKO

Abstract : Poorly maintained coniferous forests lose not only ability to produce timber but also to resist natural disaster. In addition, the lowering carbon fixation of the forest is caused by blighting. The drought damage in the summer 1994 had a large impact on coniferous forests in Wakayama Prefecture. Therefore, a new management system for the forest is required. The purpose of this study is to specify the region in which coniferous forests were blighted by using Landsat TM(thematic mapper) image taken in 1995. As a sample, sound coniferous forest and blighted coniferous forest were examined in 5 sites. In each region, characteristics around obtained from satellite data were quantified. As a case study, Inami town in Wakayama Prefecture was examined, and the blighted coniferous forest around the town was specified. As the result, it was proven that 7% of the coniferous forest area around the town had been blighted.

KeyWords : remote sensing, landsat tm, forestry management, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), a coniferous forest.

1. はじめに

わが国の森林率（森林面積／陸地面積）は66.8%で、欧米などの先進地域の森林率28%¹⁾と比較して、森林に恵まれた国である。森林は、木材などの生産機能に加え、二酸化炭素の吸収・貯蔵などの地球環境保全機能、渇水や洪水を緩和し良質な水を育む多面的水源涵養機能、山地災害の防止機能、野生鳥獣の生息の場などの保健文化機能など多面的な機能²⁾を持っている。

本来、日本の植生の大部分は広葉樹だと言われ、特に昭和30年代での集落周辺の雑木林は、薪などの燃料として重要なものであった。しかし、燃料としての需要がなくなるにつれて、人の手を加えてきた雑木林の手入れが次第に行われなくなった。また住宅需要から建築用材をまかなうために造林が盛んに行われてきたが、現在、わが国の木材需要量を見てみると年間1億m³²⁾であるが、これらの必要な木材はコストと品質の面から7割以上外材に頼り、その結果、木材自給率は20%に低下している³⁾。また林業就業者の減少・高齢化などに起因し、日本の森林の4割を占める人工林に間伐などの維持管理作業が少なくなってきた。そのため、森林は健全性を失い、経済的価値の低い森

林となってしまったり、風害、被圧による枯死、獣害などによる被害を受け、森林は急速に荒れつつある。管理がされない森林は、土地がやせ、自然災害に弱くなり土砂崩れを起こす危険性が高くなる。

森林の維持管理作業の一つである間伐を行うと森林の材積は一時的に減少するが、残存木の成長が促進され、森林全体の材積は徐々に回復し、間伐を行わない場合の森林材積に近づいていく³⁾。また、間伐を行うことで森林は健全性を増し、炭素固定量を生み、さらに間伐材を有効利用することで、地球環境への負荷の低減が図れる。しかし、和歌山県林業センターの調査によると、このような維持管理されていない紀南地方の放置された森林（特に針葉樹林）では、1994年夏期の高温小雨が引き金となり、森林の大部分が干害被害を受け、枯死している地域が多数確認されているとの報告を受けている。

以上のような背景から広大な針葉樹林の管理が困難な状態にある。今後は行政による森林管理の必要性が問われることが予想される。行政による管理には、効率的かつ有効な管理作業が求められ、地域産業の活性化が期待される。このような管理に必要な基礎データとして、間伐推奨地域の特定を行わなければならない。間伐推奨地域を特定するには維持管理

¹⁾和歌山大学大学院システム工学研究科 Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

²⁾和歌山大学システム工学部環境システム学科 Department of Environmental Systems, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

³⁾和歌山県農林水産総合技術センター 林業センター Center of Forestry, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries

作業のされていないのが大きな原因の一つとされ枯死している地域を特定することが得策である。そのためには、広範囲を観測でき可視域以外からの情報も判読可能な衛星データを用い、解析を行うことが有効である。しかし、衛星データを用いる際に現地調査にもとづく詳細な比較を行うことにより、評価の信頼性が増すと考えられる。

これまでには人工衛星データを用いた森林評価についての研究⁴⁾がなされているが、詳細な現地調査に基づく評価は行われていない。そこで、本研究では、詳細な現地調査をもとに広域に適用できる衛星データを用い、間伐を行う地域を特定するシステムを構築することを目的とする。まず、枯死地域、健全地域の現地調査を行い、衛星データも加えて両地域の比較を行い、それぞれの特性を定量化する。さらに、その結果をもとに、地域全体での森林枯死地域の定量化を行う。具体的には、和歌山県紀南地方の東牟婁郡本宮町、日高郡龍神村、日高郡印南町付近の森林を対象として、現地調査を行った森林健全・枯死地域について、衛星データから得られる情報(単バンド特性、NDVI)により比較を行い、両地域でどのような特性があるのかを定量化する。さらに、それらの値から地域全体の枯死率ごとの枯死地域を推定する。また、推計結果を検証するため、時系列での土地被覆の変化からの検証と、現地における検証のための調査を行う。

2. 森林健全地域と枯死地域の現地調査

衛星データによる森林健全地域、枯死地域の特定を行うために両地域のサンプル地域の抽出を現地調査をもとに行う。

(1) 健全地域の抽出

森林健全地域とは、維持管理作業が適度に行われており、枯死木のない森林である。このような森林は間伐・枝打ちなど良質材生産のための施業がされ、病虫害、風雪害などに対して抵抗力の高い健全な森林である⁵⁾といえる。

そこで、和歌山県林業センターは過去に調査を行った地域のなかで、健全に森林が生育している地域を抽出した。抽出した条件は以下の通りである。

- ・植林時に、適地適木の概念のもとに植林している。
- ・植林後に、継続的に間伐などの手入れを行っている。

抽出作業を行った結果、東牟婁郡本宮町笠塔峰付近から2地域、日高郡龍神村柳瀬付近から2地域、同

じく日高郡龍神村広瀬付近から1地域が抽出された(表1)。これらの地域を管理する森林組合(西牟婁郡中辺路町、日高郡龍神村森林組合)によると、抽出された森林は、林齢30年～40年生の個人所有の針葉樹林で、特に維持管理作業を施している地域であるとの報告を受けている。また、抽出された地域の現地調査を行った結果、現在も健全な森林が育つ地域であることが確認された。

(2) 枯死地域における調査

枯死地域とは維持管理作業が行われていないため木々が混み合い、針葉樹林本来の緑色を有さず、枯れている地域⁶⁾のことである。枯死地域では、地表面に光が十分に届かないために、下草が生えず、表土の流出が激しくなり土砂崩れ等の危険性が大きくなる。

そこで枯死地域の増加から、その現状を把握するために、1995年に和歌山県林業センターが、枯死地域の目視調査および林内調査を実施⁶⁾した。調査対象の針葉樹の樹齢はいずれも20～30年程度のものである。

目視調査では、造林木の生育、枯損林分の立地環境、その地理的・地形的分布を把握した。この調査で、枯損した林分では、葉の褐変した衰弱木や枯死木が確認された⁷⁾。枯死していない林分については、球果の大量結実、また、生理的落葉に伴う変色葉の量が例年よりも多い傾向が見られ、全体として衰弱傾向にあることが分かった。

林内調査では、山の斜面における枯損林分を分類したうえで、方位、傾斜、土壌厚、土壌水分量、林床植生を調査した。

枯損林分の分類方法は、大槻らの調査⁸⁾をもとに、枯損林分を斜面における枯損発生部位により、

軽度枯損 : 枯死率20%以下

中度枯損 : 枯死率20～70%

重度枯損 : 枯死率70～100%

に分類する。大槻ら⁸⁾によると、各分類地域の特徴は以下の通りである。軽度枯損とは、谷筋の林縁が枯損することである。谷筋の樹木は、一般に水分条件が良好のため、根茎は浅く、地下部より地上部の生育が優れる傾向があり、比較的枯損しにくいと考えられる。中度枯損地域では、土壌厚が他地域と比べ比較的深いが土壌深部まで乾燥している。この地域では、岩石地であることが多いため保水力が低く、乾燥枯死する確率が高くなる。重度枯損地域は土壌厚が浅く、土壌が乾燥し、岩石地であるところが多いため谷部から尾根部にかけて全面乾燥枯死する確率が高いと考えられる。

また、林内調査から、サンプル地域として取り上

表1 サンプル調査地点の概要

	場所	名称	面積 (㎡)	生育状態/枯死率	緯度：北緯	経度：東経
健全地域	東牟婁郡本宮町笠塔峰付近	本宮1	10,800	健全	33° 50' 01" ~33° 52' 46"	135° 27' 40" ~135° 41' 01"
	東牟婁郡本宮町笠塔峰付近	本宮2	9,000	健全		
	日高郡龍神村柳瀬付近	柳瀬1	13,500	健全		
	日高郡龍神村柳瀬付近	柳瀬2	10,800	健全		
	日高郡龍神村広瀬付近	広瀬	10,800	健全		
枯死地域	日高郡印南町下小原付近	下小原	7,200	軽度枯損/20%以下	33° 50' 45" ~33° 52' 02"	135° 15' 50" ~135° 18' 24"
	日高郡印南町崎の原付近	崎の原	13,500	中度枯損/20~70%		
	日高郡印南町古井付近	古井	7,200	重度枯損/70~100%		
	日高郡印南町見影付近	見影	20,700	重度枯損/70~100%		
	日高郡印南町運道付近	運道	20,700	重度枯損/70~100%		

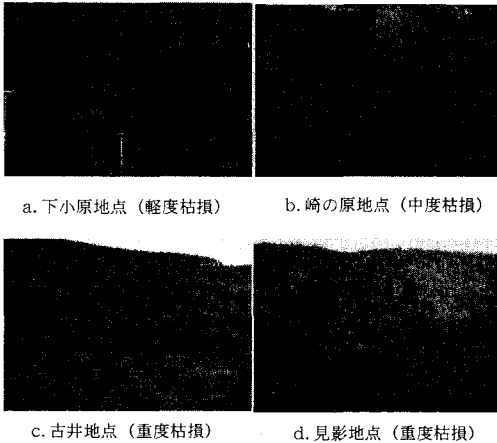


図1 サンプル地域の枯死状況

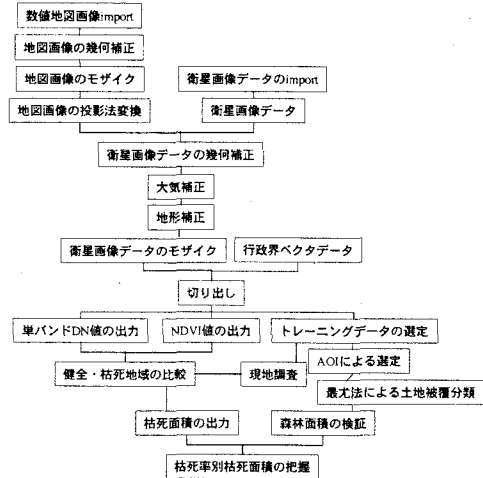


図2 分析の流れ

げた各枯死地域を表1のように分類し、調査地域の状況を図1に示す。

3. 衛星データを用いた解析

3.1 分析の流れ

本研究の分析の流れを図2に示す。マルチスペクトルデータには、データ収集時の衛星の姿勢の変化、地球の自転、地表面の比高等の様々な要因による幾何学的歪み（位置的歪み）が含まれており、リモートセンシングデータ上に表現される地表面の物体の位置は、実際の位置とは異なったものになっている。マルチスペクトルデータを有効利用していく上で地図座標系と整合をとるといった幾何学的歪みの補正処理を行う必要がある⁸⁾。また大気の状態などに起因する歪みを除去するためにアルゴリズムを用いた大気補正を行う。まず、紀南地方における状態別針葉樹に対してどのくらいの反射特性を示すかを比較するために単バンドごとのDN値を出力する。

同時に、土地被覆分類図及び植生指標の分類図を作成する。ここで、植生指標とは植物の活性状況を示す指標とされ、近赤外線と可視光領域での電磁波反

射の強さの違いに着目したものである。植生指標には、RVI、DVI、NDVIといったいくつかの指標⁹⁾が提案されている。

RVIはグリーンバイオマス量及び植被率を示し、一般式で表すと $RVI = NIR/Red$ ⁸⁾となる。

ここで、NIR：近赤外波長帯、Red：可視赤波長帯である。

DVIは葉面積指数を与えることを示し、式で表すと $DVI = NIR - Red$ ⁸⁾となる。

正規化植生指標としてのNDVIは正規化することにより場所、季節、大気補正効果等の観測条件の違いによる影響を小さくでき、式で表すと $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ ⁸⁾となる。

本研究では植生被覆率、活性度などの要素の特徴を反映し、さらに観測条件の違いを最小限にできるNDVI⁹⁾を用いて解析を行う。

2. で抽出した健全地域・枯死地域（各5地域）について、NDVIによる両地域の比較を行う。これらの特性をもとに、ケーススタディ対象地域の枯死地域の特特定を行い、枯死面積の推計を行う。また、これらの結果と現況とを比較することで枯死地域の整合性を検証する。

3.2 使用データ

前節で示した枯死地域は、1994～1995年に枯死したものであるため、この期間・地域を含む衛星データを用いて、解析を行う。利用したデータは以下の通りである。

- ・LANDSAT/TM : 1995/8/4 (解析用)
- ・LANDSAT/TM : 2000/10/4 (検証用)

解析を行うサンプル地域の緯度経度は、表1の通りである。

3.3 画像の補正

(1) 幾何補正

幾何学的歪みを補正するには、入力画像(観測収集された原画像)上の点と地図上に投影された出力画像(歪み補正の終了した画像)上の点との対応関係を知り、出力画像の各画素の位置を入力画像上で推定しなければならない⁸⁾。本研究では、緯度・経度座標系により定義づけるために、UTM (Universal Transverse Mercator) 投影法を用いる。

幾何的歪みの補正精度を向上させるためにGCP (Ground Control Point : 地上基準点)を利用した精密補正を行う。GCPを用いた幾何学的歪みの補正では幾何歪みを補正した数値地図¹⁰⁾上で道路、鉄道、橋梁などから選定し、歪みを有している座標系に対応させ、一次元多項式近似する。さらに出力画像系を原画像データに当てはめる最近隣内挿法により幾何補正を行う。変換誤差の解消のためにさらに以下の補正を行う。

(2) 大気補正

対象物から放射または反射された電磁エネルギーをセンサで用いて観測したとき、センサから得られる測定値は対象物の分光反射率あるいは分光放射輝度といった物理量と一致しない。これは薄い霧やもやといった大気の状態などに起因する歪みが含まれているため⁹⁾である。これらの歪みを除去するために今回はヘイズ・パラメータを使用したアルゴリズムを用いてヘイズを除去する。なおヘイズパラメータはCrist氏が作成しLavreau (1991)¹¹⁾がそのパラメータからアルゴリズムを作成したものである。このデータより画像を重ね合わせるモザイク処理を実行し、さらに森林健全・枯死地域それぞれの解析対象領域周辺を切り出す。

(3) 地形補正

受動型工学センサでは観測する対象物が被覆している斜面(傾斜角、傾斜方向)と太陽(太陽高度、太陽方向)との関係により、同じ対象物でも観測される反射エネルギーが異なる場合があるため、その影響を補正する必要がある⁹⁾。斜面における補正については、数値地図¹²⁾から数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)データを作成し、斜面補正を施

表2 単バンドから得られる情報⁵⁾

波長帯	LANDSAT/TM	単バンド画像から得られる情報
青 (0.45～0.52 μm)	BAND1	落葉樹と針葉樹の違い
緑 (0.52～0.60 μm)	BAND2	植物の活力度の推定
赤 (0.63～0.69 μm)	BAND3	植物のクロロフィル吸収率
近赤外 (0.76～0.90 μm)	BAND4	植物のバイオマス調査
中間赤外 (1.55～1.75 μm)	BAND5	植物の水分判定
熱赤外 (2.08～2.35 μm)	BAND6	植物のヒートストレス調査

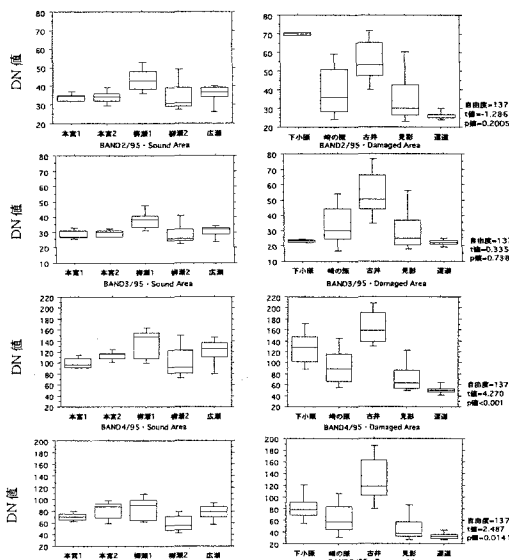


図3 単バンド画像による反射値の比較

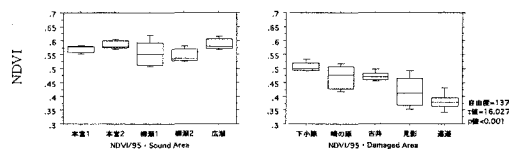


図4 NDVIによる比較

す。また太陽高度における補正については、画像撮影時の太陽高度、太陽方向¹³⁾それぞれを入力し、輝度補正を施す。

3.4 教師付き土地被覆分類図の作成

現地調査から得た森林健全・枯死地域について、衛星データ上から出力した反射特性で相違があるか検証を行うために本研究では教師付き土地被覆分類を用いる。

教師付き分類は、解析目的に応じて決められたクラスごとにトレーニングデータを抽出する方法⁹⁾である。本研究では、水域、針葉樹、広葉樹、草地、市街地、裸地の5つに分類する。分類するにあたって、以下の地点を各分類のトレーニングデータとする。

- 水域：日高郡印南町帆掛川池の水域 (10点)
- 針葉樹：日高群印南町小原付近 (25点)
- 広葉樹：日高郡印南町皆瀬川付近 (25点)
- 草地：日高郡印南町知掛付近のゴルフ場 (16点)

表3 サンプル地域から得られた健全地域、枯死地域（枯死率別）のNDVI

	名称	面積 (㎡)	ピクセル数	生育状態/枯死率	地点別NDVI			状態別加重NDVI		
					有効最小値	平均	有効最大値	最小値	平均	最大値
健全地域	本宮1	10,800	12	健全	0.568	0.569	0.585	0.547	0.566	0.588
	本宮2	9,000	10		0.577	0.583	0.600			
	柳瀬1	13,500	14		0.510	0.551	0.586			
	柳瀬2	10,800	12		0.532	0.548	0.563			
	広瀬	10,800	12		0.566	0.587	0.606			
枯死地域	下小原	7,200	8	軽度枯損/20%以下	0.494	0.507	0.511	0.494	0.507	0.511
	崎の原	13,500	15	中度枯損/20~70%	0.432	0.465	0.505	0.432	0.465	0.505
	古井	7,200	8	重度枯損/70~100%	0.462	0.472	0.468	0.373	0.410	0.430
	見影	20,700	23		0.353	0.415	0.452			
	運道	20,700	23		0.362	0.383	0.394			

市街地：日高郡印南町印南付近の住宅地（33点）

裸地：日高郡印南町浜西付近の造成地（24点）

以上のトレーニングデータをそれぞれAOI (Area of Interest: 解析対象領域) にて衛星データ上で囲み、さらにシグネチャとして保存する。それらを教師とし、最尤分類法にて推定する。分類処理後、土地被覆に応じ色づけを行う。

3.5 サンプル地域（健全地域、枯死地域）のバンド特性の定量化

(1) 単バンドでの特性

衛星データは、地表面の反射強度を前もって決められた波長帯ごとに観測し、数値情報として記録されたデータ⁸⁾である。そのため対象物から反射あるいは放射された電磁波はそれぞれのバンドに収められていることになる。植物に着目した各バンド画像から得られる植生評価に必要な情報を表2に示し、評価対象範囲のDN (Digital Number) 値を図3に示す。なおこの箱ひげ図ではDN値の10%目、25%目、50%目、75%目、90%目の各パーセンタイルを示す。またこのグラフから、DN値の分布を比較し、一つのDN値分布の全体像を把握する。この結果より健全地域、枯死地域について差があるかどうかを判断するため、t検定を行った。t検定の結果を図3に示す。ここで自由度：総ピクセル数、t値：2標本の平均値の比較、p値：観測における差の偶然性を示す。紀南地方において表2をもとにした図3からの結果では枯死地域、健全地域の判別が困難であった。

(2) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)での特性

生きた葉が示す可視光赤帯波長域の反射率は葉緑素の葉中含有量が多いほど低下し、近赤外波長域の反射率は葉緑素の活性が高いほど上昇する特性を有する¹⁴⁾。NDVIは-1~1までの値をとり、植生の密度が増すにつれて大きな値をとり、植物が健康かどうかを知る手がかりの一つとして考えられている⁹⁾。

本研究ではこれらの特性を用いた正規化植生指標NDVIで針葉樹林の生育状態を定量化するために、NDVIの算出を行う。

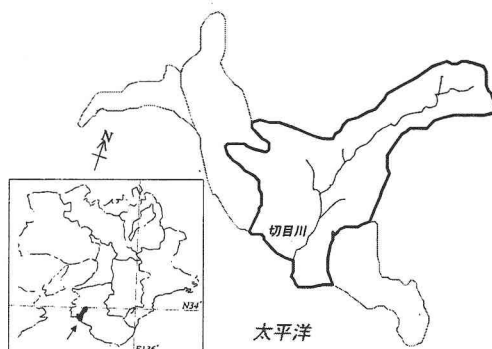


図5 ケーススタディ対象地域
(和歌山県日高郡印南町)

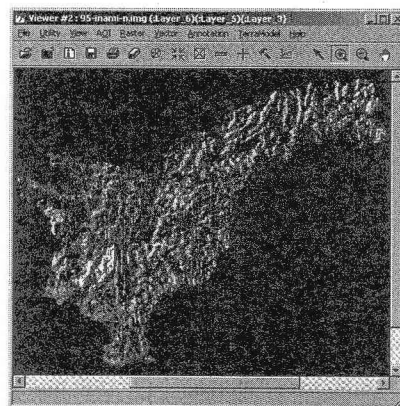


図6 印南町リサンプリング画像 (1995)

NDVIは植生の分布状況を把握するための指標として考案されたもので式に表すとLANDSAT/TMでは次のようになる。

$$NDVI = (BAND4 - BAND3) / (BAND4 + BAND3)$$

ここで、BAND4：近赤外波長帯、BAND3：可視赤波長帯である。

健全地域と枯死地域とのNDVIで比較した結果を図4に示す。

NDVIについてもt検定を行った。t検定の結果を図4に示す。結果より、定説となっている通り紀南地方においてもNDVIにおける健全地域、枯死地域差

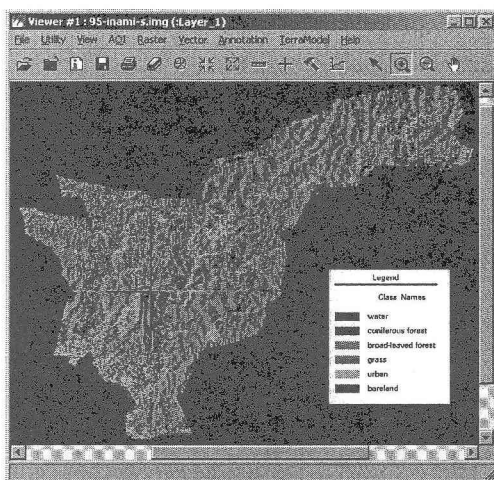


図7 印南町被覆分類図 (1995)

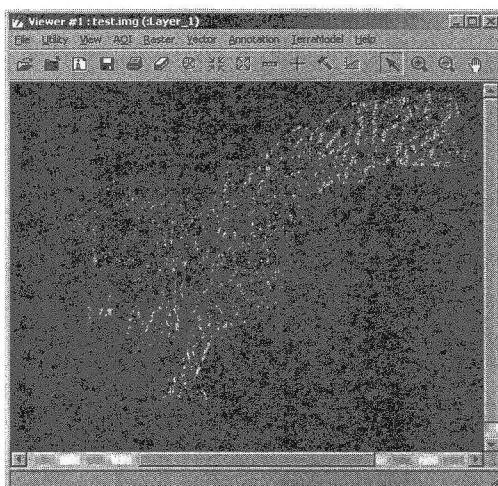


図10 印南町針葉樹のNDVI画像

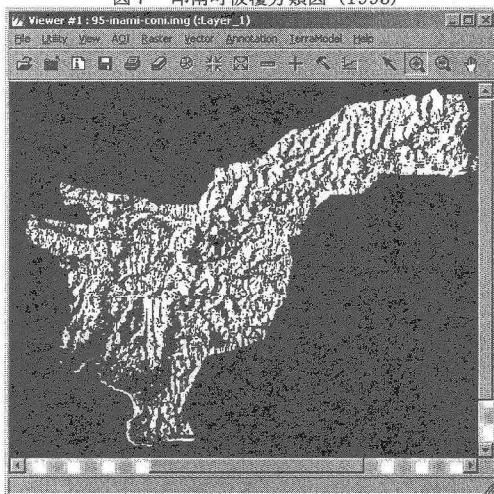


図8 印南町針葉樹分布図

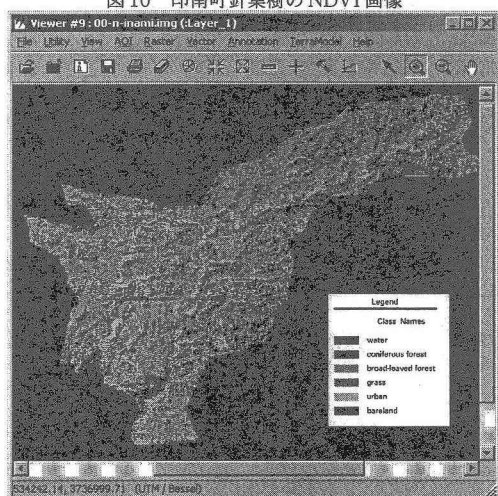


図11 印南町土地被覆分類図 (2000)

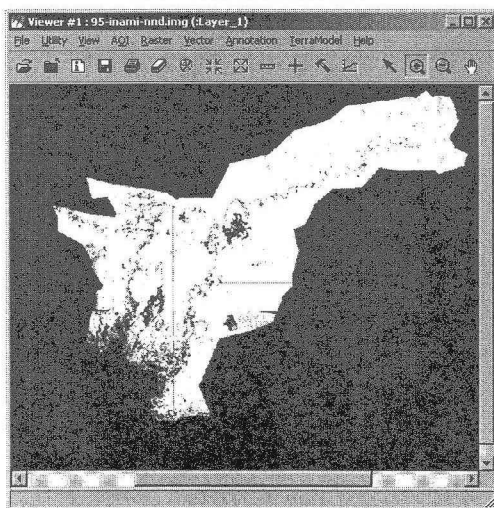


図9 印南町NDVI画像

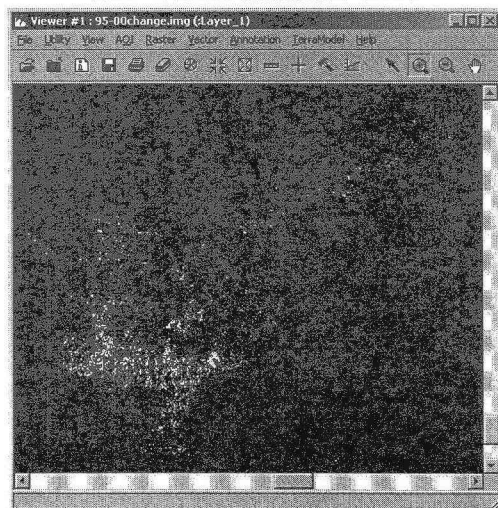


図12 1995～2000年の針葉樹域の変化

表4 状態別森林面積の推計（1995年）

	生育状態	NDVI最小値	NDVI最大値	面積率（%）
健全地域	健全	0.551	1	49.66
枯死地域	軽度枯損/20%以下	0.499	0.511	6.26
	中度枯損/20～70%	0.432	0.499	27.69
	重度枯損/70～100%	0.373	0.432	16.30

が確認された。よって枯死地域の判別には、NDVIを用い、解析を行う。

4. ケーススタディ対象地域における枯死面積の定量化

4.1 解析地域

紀南地方における枯死面積の定量化を行う上で本研究では枯死被害が広がっているとの報告のある印南町を解析対象地とする。（図5）

4.2 解析方法

LANDSAT/TM画像と行政界ベクタデータを重ね合わせ、印南町を切り出す。切り出し画像を図6に示す。またこのデータより教師付き土地被覆分類を作成し（図7）、針葉樹を被覆しているところのみ出力する（図8）。また切り出し画像からNDVIを算出し（図9）、枯死率別ごとに、森林面積を出力する（図10）。

4.3 枯死率別森林面積の推計

健全地域、枯死地域（軽度枯損、中度枯損、重度枯損）を示すNDVIの範囲をもとに、枯死率別森林面積の推計を行う。

サンプル地域から得られた健全地域、枯死地域（枯死率別）のNDVIを表3に示す。ここで、各サンプル地域ごとにNDVIの有効最小値、平均値、有効最大値を求めるが、有効最小値、有効最大値とは、中央値の75%の信頼区間をとったものである。

健全地域、軽度枯損、中度枯損、重度枯損地域ごとの面積を推計するため、各サンプル地域のNDVI範囲を4分類に統合する必要がある。そのため、各地域の面積により重みづけをした状態別加重NDVI範囲を算定する。

次に状態別加重NDVI値を用い、生育状態別に最大値、最小値を設定することにより、状態別NDVI範囲が算定される。まず健全地域については最大値を1とし、軽度枯損の加重NDVI最大値（0.511）を健全地域における最小値とする。その結果、中度枯損の最大値も決定される。次に軽度枯損NDVI最小値では軽度枯損加重NDVI最小値（0.494）と中度枯損加重NDVI最大値（0.505）の差の平均値を算定することにより決定した。その結果中度枯損NDVI最大値も決定される。同様にして中度枯損NDVI最小値も算

定し、重度枯損NDVI最大値も決定される。重度枯損NDVI最小値についてはサンプル地点における最小値を採用した。

以上のように状態別NDVI範囲をもとに推計した枯死率別の森林面積を表4に示す。1995年の印南町では、健全地域の面積割合は全針葉樹の約49.66%、軽度枯損は全針葉樹の約6.26%、中度枯損は約27.69%、全面枯損は約16.3%であった。

4.3 推計結果の検証

推計された枯死地域について、以下の通り2段階で検証を行った。

（1）衛星データを用いた2000年の被覆状態との比較

1995年8月4日に枯死状態であると特定された地域について、その地域が2000年の衛星データでどのような被覆に変化しているかを捉えることにより、推計結果の検証を行う。1995年に枯死状態であれば、5年間で裸地や草地に変化している場合もあるはずである。

まず、2000年10月4日に撮影されたTM画像から印南町を切り出す。1995年に用いられた輝度値を用い輝度補正を施し被覆分類図を作成する（図11）。次に4.1で得た枯死率別針葉樹分類図と重ね合わせ、さらに、2000年に裸地と草地に分類されている地点を抽出する（図12）。

この結果、印南町において森林が枯死し、裸地と草地に変化した地域は全針葉樹の1.31%と推計された。また地図画像をこのデータに重ねたところ、切目川沿いに枯死被害が広がっていることがわかった。

（2）現地における検証調査

（1）で得られた結果をもとに切目川沿いの森林について、検証のための調査を行った。衛星データより、1995年に枯死針葉樹と分類され、かつ2000年に裸地、草地と分類された地点の調査を行った。現地では、GPSより得た緯度経度情報をもとに、実際の状況と推計結果とのすりあわせを行った。調査では13地点と1995年の枯死地域サンプル地点の検証を行った。枯死により裸地化したと考えられる部分は11地点サンプル地点での検証は5地点中3地点であった。

検証調査により、推計結果のとおり、切目川下流域には枯死地域が広がっており、上流部については健全に保たれている森林が多いということが確認された。さらに林内調査を行ったところ、下流域に比べ上流部の森林は、比較的間伐や、枝打ちなどの維持管理作業が行われている地域が多く確認され、上流部、下流部において森林状態の相違があるのはこのような要因であると推測される。

5. まとめ

衛星データを用い、間伐を行う地域を特定するシステムを構築するための基礎的研究を行った。健全地域、枯死地域のサンプル地域の情報のもと、枯死率ごとの針葉樹面積を推計した。

推計を行うために、現地調査から森林健全地域、枯死地域を特定し、衛星データを用いて比較を行い、それぞれの特性を定量化した。さらに森林枯死地域については枯死率別に分類しそれぞれの針葉樹面積を推計し、以下の結果を得た。

- ①現地調査から得た森林健全・枯死地域について、衛星データから被覆分類図を作成し、両地域の比較を行ったが両地域とも針葉樹と分類されていたため、両地域の相違は確認できなかった。これにより両地域の相違を検証するためには単バンド及び複数バンドの反射特性を用いた検証が必要である。
- ②単バンド及び複数バンド (NDVI) の反射特性を用いた検証を行った。両地域において単バンドの情報からは相違が確認できなかったがNDVIを用いた比較については差があることが確認された。また枯死地域における枯死率別に検証した結果、枯死率別についても差があることが確認され、それぞれのNDVI値を定量化した。
- ③NDVI値の定量化をもとに日高郡印南町の生育状態別針葉樹面積を算定した。その結果健全地域の面積割合は全針葉樹の約49.66%、軽度枯損は全針葉樹の約6.26%、中度枯損は約27.69%、全面枯損は約16.3%であった。
- ④本研究では可視域以外からの情報を備えたりリモートセンシング技術を用い、比較的広範囲の森林の評価システムを構築する上での基礎を築くことができた。

また、今後の課題として以下の点が挙げられる。

- ①本研究では現地調査と衛星データを使用した解析及び検証を行ったが、今後は統計書なども利用し、森林面積の詳細な比較検証を行っていく必要がある。
- ②今回、使用した衛星データは1995年のものである。今後は他年のデータも使用した時系列変化を追い、枯死に至る森林の特定及び定量化を行っていく必要がある。しかし、撮影時期が変化することで衛星が判読する反射特性も変化しているため、条件を同様にするための補正技術も開発していくことも必要である。
- ③印南町を中心に検証を行ってきたが、今後はさらに範囲を広げ、集域レベルでの森林評価を行

うことが必要である。また、針葉樹に限らず広葉樹などについても評価手法の構築を行っていく必要がある。

- ④今回の解析では大気処理過程における大気浮遊物質の測定は行うことができず、ソフトウェア処理上において限界があった。今後はこのような処理を踏まえ、より精密な補正技術の構築を行っていく必要がある。

謝辞：本研究で用いたデータの所有は、米国政府、衛星データの提供は、SpaceImaging/宇宙開発事業団によるものである。また本研究はTAO（通信放送機構）により助成を受け、行ったものである。関係各位に深く感謝する。

【参考文献】

- 1) ㈱全国林業改良普及協会：日本の森林と林業、林野庁、2000
- 2) 林野庁：木材需給表、1999
- 3) ㈱全国林業改良普及協会：間伐のしおり、林野庁、2000
- 4) 小野 朗子：分光スペクトルによるマツなどの枯損動態の解析と枯損度を考慮した紀伊半島の植生解析、奈良女子大学修士論文、1998
- 5) ㈱日本治山治水協会：国土を守る森のはなし、林野庁、2000
- 6) 大槻国彦、小川晃史、橋詰平、萩原進、宮本健治：日高県事務所管内の造林木の枯損についての調査報告書、和歌山県農林水産総合技術センター 林業センター、1995
- 7) 大槻国彦：林業センターだより、和歌山県農林水産総合技術センター 林業センター、第45号、1996-7
- 8) 大林成行：実務者のためのリモートセンシング、フジ・テクノシステム、pp78, pp106, pp229, 1995
- 9) 日本リモートセンシング研究会：図解リモートセンシング、日本測量協会、pp.85, pp.170, pp.194, pp.206, pp.216, pp226 1998
- 10) ㈱日本地図センター：数値地図25000、国土地理院、和歌山、田辺、1999
- 11) Lavreau: Atmospheric correction of Landsat Thematic Mapper data using the HAZE model of Lavreau, 1991
- 12) ㈱日本地図センター：数値地図50mメッシュ（標高）、国土地理院、日本-Ⅲ、1999
- 13) EOIS: EOIS Browse Image/Detail Information、宇宙開発事業団、No.42, No.53, No.144, No.154
- 14) 石山隆、土屋清、岡山浩：葉の分光反射および偏光特性、日本リモートセンシング学会誌、Vol.4, No.4, pp.19-21, 1984