

航空機MSSデータによる樹木活力の評価について(2)

大嶋, 太市 / Oshima, Taichi / 竹内, 章司 / 力丸, 厚 /
Rikimaru, Atsushi / Takeuchi, Shoji

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

17

(開始ページ / Start Page)

103

(終了ページ / End Page)

112

(発行年 / Year)

1981-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004112>

航空機 MSS データによる樹木活力の 評価について(その2)

大 嶋 太 市*・竹 内 章 司**・力 丸 厚***

Environmental Evaluation of Forest Tree Vitality from Remotely Sensed Airborne MSS Data (Part-2)

Taichi OSHIMA*, Shoji TAKEUCHI** and Atsushi RIKIMAL***

Abstract

This paper describes the results of the experimental studies for the monitoring of tree vital change using airborne multispectral scanner (MSS) data. This part-2 report, which follows previous part-1 report, discusses an analysis method for the detection and the evaluation of local changes, while the part-1 discussed the evaluation of general changes within certain areas. This report also describes the results of basic experiments about the relationship between tree vital change and the spectral change of tree using some tree samples. These results provide the spectral evidence which indicates the change of tree vitality and also reveal the effective MSS channels for the detection of tree vital reduction.

§ 1. 緒 言

本報告は、先に報告した(その1)¹⁾に引き続き、航空機 MSS により森林地帯の経年データを収集し、樹木活力の経年変化を評価する方法について述べるものである。ここで用いる樹木活力の指標は、樹葉に含まれるクロロフィルの量あるいは樹葉の量に関する樹木の分光反射特性の変化である。(その1)の報告では、林相毎に、ある地域全体の平均的な活力変化について評価を行う方法について述べた。今回、(その2)では、場所的にミクロな領域を単位として、活力変化を抽出・評価する方法について述べる。

さらに、MSS データにより樹木の活力状況の評価するためには、まず樹木の活力と分光特性との関係を明らかにし、分光特性による評価モデルの確立を図る必要がある。(その1)の報告でもその概略は述べられているが、今回の報告では実際に標本木を用いて、その枯死していく過程で分光特性がどのように変化していくかを追跡測定する基礎実験を合わせて実施した。そこで、

* 法政大学工学部土木工学科

** (財)リモート・センシング技術センター

*** パシフィック航業株式会社

本報告の前半でこの基礎実験の結果について詳細に述べ、活力評価のための MSS データの適切な利用法を明らかにすることを試みた。

§ 2. 樹木の枯死過程における分光反射特性の計測実験

樹木の活力変化は、その生理機能の変化であり、樹木が生理過程で何らかの障害を受けると、次第に生理的機能が低下していく。生理的機能に影響を与える要因の主なものは、「色素(クロロフィル等)、葉の細胞組織の形態、有効水分の含有量」等といわれているが、分光情報と関連の強い要因としては、「色素」の情報の利用が有望である。樹木は、その成長、維持、再生産のために、太陽から放射される光エネルギーを吸収して光合成作用を営んでいる。この光合成作用において光吸収の役割を演じている物質が、クロロフィルやその他の色素体である。一般にクロロフィルの分光特性は、波長440 nm および680 nm 付近に極大の吸収率を示し、近赤外線領域では高い反射率を有することが、知られている。実験は、これらクロロフィルの特徴を主体とした樹木の分光特性が、その枯死していく過程でどのように変化していくかを、標本木を用いて分光反射率の追跡観測を実施し、活力評価のための MSS データの適切な利用を念願に置いて、結果をまとめたものである。

2.1 実験方法

本実験は、アカマツおよびカラマツの枝を採取し、標本試料をスペクトラル・ラジオメーターを用いて観測する形式で、約2ヶ月間実施した。実験は、比較実験の手法を用いたので、標本試料をそれぞれ2分割し、いっぽうには水分を十分に与え、他方には水分をいっさい与えない状態とし、双方の試料の経日変化を比較観測した。

2.1.1 標本試料

アカマツ(採取日 昭和54年10月11日, 10月23日, 12月11日)

カラマツ(採取日 昭和54年10月18日)

2.1.2 使用機材

- ・スペクトラル・ラジオメーター
- ・XY レコーダー
- ・システムコントローラー
- ・三脚
- ・標準白色板
- ・吸光筒(ブラック・ボディ)
- ・AC 用同軸コード30m

2.1.3 機材説明

(1) スペクトラル・ラジオメーター

- ・分光方式: 回折格子モノクロメーター
- ・測定視野角: $1^{\circ} \times 9^{\circ}$
- ・対物レンズ: 焦点距離50mm
- ・光電変換器: フォトマルチプライヤ
- ・ファインダー: 一眼レフ式, パララックスフリー

- ・測定波長範囲: 400 nm～900 nm
- ・記録方式: XY ペンレコーダー
- ・波長走査: モータードライブ100 nm/sec
- ・電源: AC 100 V, 50 Hz

(2) 標準白色板

硫酸バリウムのペイント（イーストマン・コダック社製）を半切の木製パネルの上に吹き付けた、ほぼ完全拡散の白色板を標準白色板として使用した。直達光および天空光による照明光量は、天候により日々刻々変化するので、試料の観測時点ごとに白色板の分光データを採取するのに用いた。

(3) 吸光筒（ブラック・ボディ）

試料を観測する際に、試料後方からの反射成分が多量に混入すると、データを分析する際に雑音成分となって、試料独自の特徴を抽出しにくくなる。そこで、試料後方からの反射成分の発生を防ぐために、吸光筒なるものを使用し、試料の観測精度の向上をはかった。

図1に示すように、円錐状の形状で内面部分はつや消しの黒色塗料が塗ってあり、入射光は理想状態では、円錐の内部へ内部へと反射し、筒の開口方向へは光がほとんどどらない構造をしている。このため開口方向から内部をながめると完全黒体（無反射体）に近い状態である。特に内面は反射率が1%程度であるから1回反射するたびに、光量は $1:10^{-2}$ に減衰していくので、円錐中心付近では極めて黒体に近くなる。

2.1.4 測定方法

(1) 図2に示すように、試料を吸光筒の前に置き、太陽に順光の状態に配置し、スペクトラル・ラジオメーターを作動させシステムコントローラーを介して、XYレコーダーにペンによる記録をした。

(2) 測定期間

10月25日～12月11日

(3) 天候条件

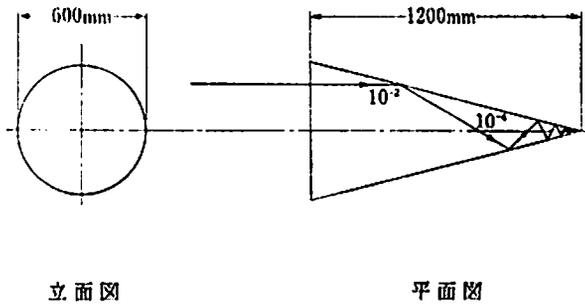


図1 吸光筒の構造

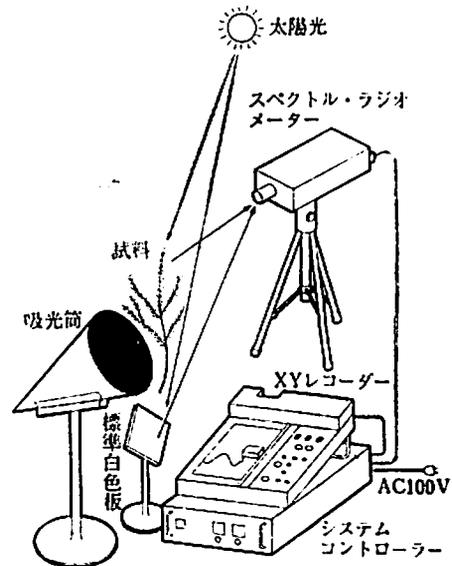


図2 観測模式図

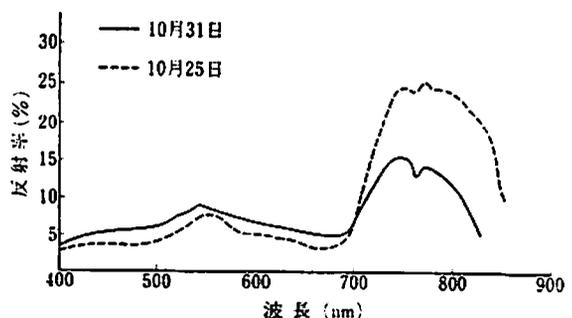


図3 カラマツの分光特性経日変化図

晴天もしくは薄雲りを原則とし、雨天および直達光が少ない日は、中止とした。

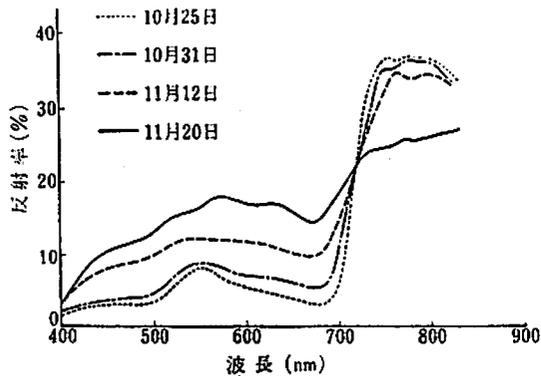


図4 アカマツの分光特性経日変化図

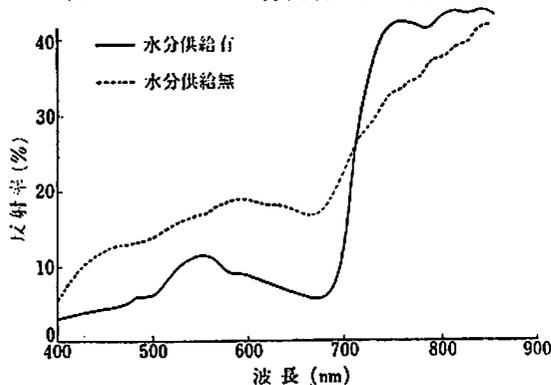


図5 アカマツの水分条件差による分光特性比較図

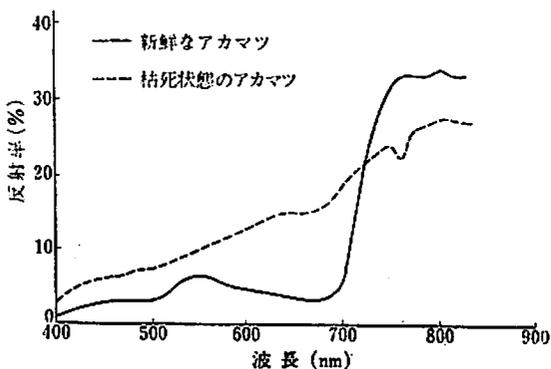


図6 アカマツの新鮮な枝と枯死状態の枝との分光特性比較図

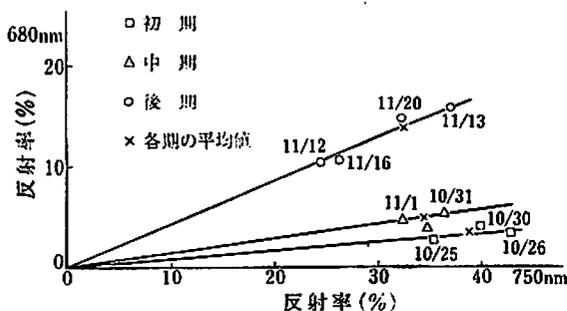


図7 アカマツの経日2波長特性図

(4) 測定時刻

毎回12時30分~13時の間を標準時刻とし、天候の具合により、前後にずらして観測を実施した。

2.2 測定結果

2.2.1 分光反射率の経日変化

(1) カラマツの場合

図3は、水を与えない枝の10月25日と10月31日の反射率を示したものである。700 nm を境にして値が逆転する様子が良く現われている。

(2) アカマツの場合

図4は、水を与えないアカマツの枝の経日変化を表示したものである。活力状態が減少するにつれて、波長720 nm 付近を中心に分光特性が変化している。720 nm 以下では増加の変化720 nm 以上では減少の変化となっている。

(3) 水分条件差の比較結果

10月23日に採取したアカマツの枝のうち水分を与えたものと、与えなかったものの比較を示したのが図5である。観測は11月13日である。水分の供給さえあれば、図4における10月25日の特性に近い状態が維持されている。これによって、水分条件の差によって図5における特性の差が発生していると考えられる。図6は、水分条件差を、より自然条件に近くするために、採取したアカマツを野外に放置したまま枯死させたものと、観測直前に採取した新鮮な枝を準備し、比較測定を実施した結果である。枯死枝は、10月19日に採取したアカマツで、新鮮な枝は観測当日の12月11日に採取したものである。この結果(図6)は、図5の結果によく類似している。

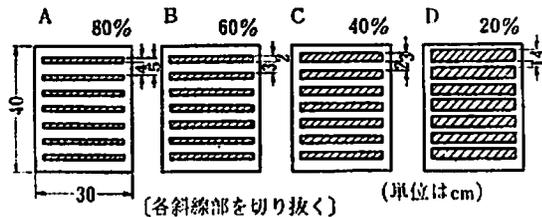


図8 視野内占有率チャート

(4) 2波長比較による枯死過程の検討

図3～図6に示した枯死過程の特性をみると、その共通した特徴として、720 nm 付近を境にして、その特性が逆転していることが挙げられる。つまり720 nm 以下ではより低い値の方が活力が高く、一方720 nm 以上では、より値が高い方が活力が高い。この特徴ある2つの波長域の反射率を、おのおの縦軸と横軸にプロットした(図7)。測定値を観測日によって初期、中期、後期に3分割し、それぞれの時期ごとに直線で回帰した。この直線の傾きが小さいほど活力が高い状態に相当する。採取日より日が経過するにつれて、回帰直線の傾きが大きくなり、活力が低下していく状況が読みとれる。

2.3 試料の視野内占有率変化に関する検討

スペクトラルラジオメーターで観測している値は、視野内のエネルギー量の総和を測定している。そこで視野内における対象物の占有率によって同じ状態の試料でも、測定値に差が生じる。この差がどの程度であるのかを検討するための基礎実験を実施した。

(1) テストチャートによる実験と結果

白色ケント紙を図8に示す形状で4種類作成した。これらの4つのチャートは、スペクトラルラジオメーターの視野内において、ケント紙の占める割合が20%～80%となるよう調整したチャートとなっている。これを試料として観測した結果は、図9のとおりである。この結果により、反射率の測定値は、対象物の占有率にはほぼ比例することがわかる。

(2) アカマツの疎密差による実験と結果

活力あるアカマツの枝を疎、中、密の3段階に分類して、それぞれの分光特性を測定した。疎密の分類の基準は、あくまで相対的なもので、絶対値の密度は設定していない。測定結果は図10に示すとおりである。アカマツの疎密によるデータへの反映は、2%以内であり、チャート実験によるほどの差は検出されなかった。チャートは平面構造であるので20%の占有率の場合、真正路20%であるが、アカマツの葉は立体構造で枝に付いており、密度が多少下がっても、その背

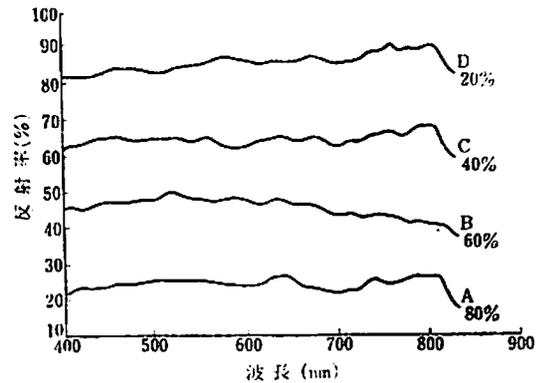


図9 占有率チャートによる反射率変化特性

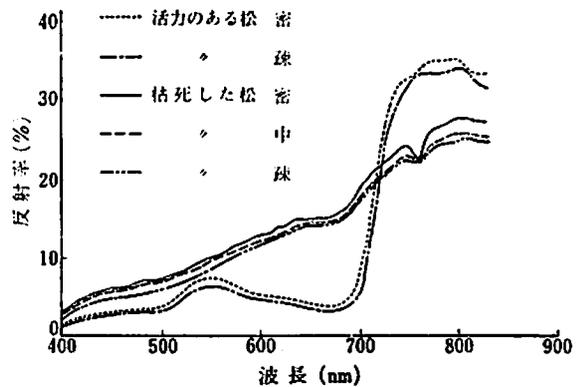


図10 アカマツの疎密差による分光反射率特性図

後にある葉が被写体となるため実効上の視野内占有率は、かなり安定して確保されていると考えられ、実用上はほぼ無視できることを確認した。

2.4 ま と め

本計測実験により、樹木の活力の解析上有効な波長帯域として、以下の3領域が挙げられる。

- ① 530~570 nm: 550 nm をピークとした山形パターンが明確なほど活力が高い。MSS*では4 ch に相当する。
- ② 670~690 nm: 680 nm 付近のクロロフィル吸収帯の特徴を反映し、低いほど活力は大、MSS*では7 ch。
- ③ 730 nm 以降: 730 nm 以降は近赤外線によるクロロフィルの強反射帯で高いほど活力は大。MSS*では9 ch。

(*ベンディクス社製の Modular Multiband Scanner (M²S) の場合である。)

§ 3. MSS データの解析方法及び解析結果

3.1 解析方法の概略

図11に、本研究における解析方法の概略的な流れを示す。撮影された MSS データは、最初に可視、近赤外領域のデータについてコース内のラジオメトリックな変動要素に対する補正が行われる。熱赤外データに対しては、地上測定データによる放射温度の較正が行われる。そのあと、経年データについて幾何学的補正を施し、互いに重ね合わせを行う。重ね合わされた経年データから各チャンネルの局所的な放射輝度変化を抽出する。一方、抽出された分光特性の変化と樹木活力変化との対応関係を調べるため、§ 2 に述べた標本木の枯死過程における分光特性の変化の測定実験を行う。最後に、抽出された可視、近赤外領域の分光特性の変化および放射温度の変化、樹木の分光測定の結果、さらに現地の航空写真の判読結果や地上調査の結果などを総合して、森林環境の経年変化の評価が行われる。なお、研究に用いた MSS データの諸元は、(その1)の報告と同様である。

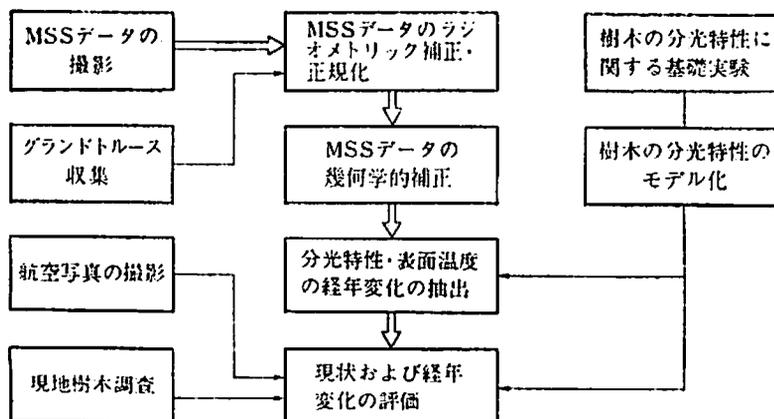


図11 航空機 MSS データを用いた森林環境のモニタリングの流れ

3.2 MSS データの補正・正規化

3.2.1 可視・近赤外領域の補正

航空機 MSS データでは、同一コース内の画像データが、照明光、パストラジアンズ等の時間的、空間的変動により歪をうけるので、それらの歪を除去するためのラジオメトリックな補正を行った。補正法の詳細は、(その1)の報告に述べられている。

3.2.2 熱赤外領域の正規化

MSS の11 ch データは、地表面の放射温度を表わすが、同時に途中の大気の影響を受けている。ここでは、観測と同時に地上で測定された放射温度データにより、11 ch データの較正を行い、温度データとして用いた。

3.2.3 幾何学的補正

経年データを幾何学的に重ね合わせるために、図12に示すような幾何学的補正を施した。この補正は LANDSAT データに対する補正と基本的に同じであるが、地形図に重ね合わせるのではなく、経年データのレジストレーションを行うのが目的であるため、初年度('77)を基準として、他の年度のデータ('78, '79)をそれに重ねるように補正変換を行った。地上基準点(GCP)の抽出は、各データのフィルム出力画像上で20~30点抽出した。画像の標定は、検討の結果、最も簡単なアフィン変換式を用いた。標定誤差は3ピクセル(ライン)程度であり、LANDSAT データの場合よりも多少大きな値である。これは、対象地域が山岳地域であるため、地形の起伏の影響が誤差を大きくしているものと考えられる。このため、重ね合わせによって経年変化を抽出する際には、7×7程度のウィンドウにより画像にスムージング処理を施している。最後の画像のリサンプリングは、最近接法を用いている。

3.3 経年変化の抽出

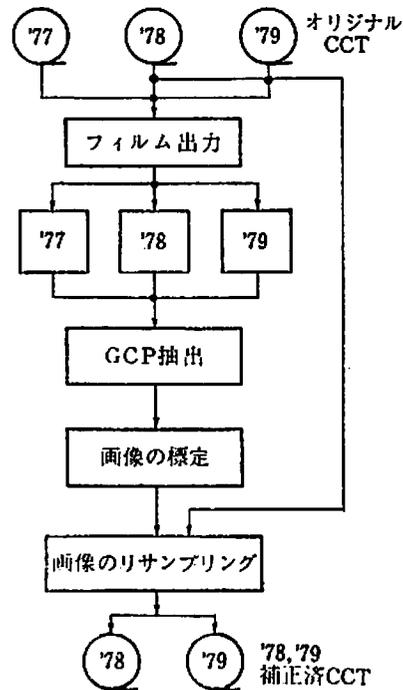


図12 MSS データの幾何補正の流れ

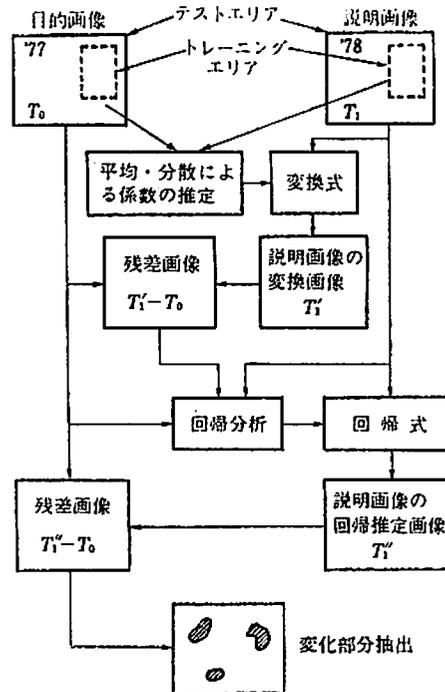


図13 MSS データによる経年変化抽出の流れ

このため、重ね合わせによって経年変化を抽出する際には、7×7程度のウィンドウにより画像にスムージング処理を施している。最後の画像のリサンプリングは、最近接法を用いている。

3.3.1 抽出方法

概略的な流れを図13に示す。MSS データは、一応ラジオメトリック補正や温度較正がなされているが、季節差による可視・近赤外領域の変動、気温差による絶対放射温度の変動などが考えられるため、図に示す2段階のステップを経て、各チャンネルの放射輝度、放射温度の空間的変動パターンが年度間で最適に対応するように補正を行う。このように補正された2つの画像間の差(残差画像)を求めることにより、経年変化部分の抽出が行われる。

実際の変化抽出においては、§2の基礎実験の結果に基づいて、MSSの7chと9chで相反的变化をした部分を抽出し、(7ch+, 9ch-)を活力低下、(7ch-, 9ch+)を活力上昇個所として抽出した。さらに熱赤外領域の11chでの+, -の変化部分も合わせて抽出した。ここで、+, -の変化とは、各チャンネルの回帰分析の結果得られた回帰誤差の標準偏差を σ_R としたとき、7chと9chの相反変化では各チャンネルで各々 $+\sigma_R$, $-\sigma_R$ 以上の変化、11chでは $+2\sigma_R$, $-2\sigma_R$ 以上の変化を指している。

なお、図13の変化抽出方法は、昭和54年度の科学技術庁委託の「データ解析研究」の成果によるものである。

3.3.2 経年変化の抽出結果とその評価

写真1と2には、今回のテスト地域における経年変化抽出の結果を示す。写真1は7chと9chの相反変化を用いた活力変化の抽出結果、写真2は11chによる樹木表面温度パターンの変化の抽出結果である。変化部分は画像の上に黒い領域として示されている。

写真1では、77年→78年の変化で森林地帯の中に活力低下個所として3ヶ所抽出されたが、そのうち2ヶ所は78年→79年の変化で逆に活力上昇個所として抽出されている。写真2では、写真1の活力低下個所は温度上昇、活力上昇個所は温度低下個所にそれぞれ対応している。このように、可視・近赤外による活力変化の抽出結果と熱赤外による温度パターンの変化の抽出結果とが規則的に対応することは興味深い。写真2では、写真1の抽出個所のほかに、いくつかの温度上昇、低下個所が抽出されている。

以上の変化抽出個所について、航空写真の実体視による判読を行った結果、ほとんどの個所が、下刈り、除材、間伐、伐採など何らかの人為的影響が加えられていることがわかり、この意味で、現実の問題とされる活力低下が起こっている個所はほとんどないことがわかった。しかし、温度上昇として抽出された個所の中に、航空写真の判読でも不明の個所が2, 3あり、これらについては、継続調査の必要があると言えよう。なお、航空写真の判読では、日林協の渡辺氏の御協力をいただいた。

§4. 結 言

本報告は、航空機 MSS データを用いて局所的な樹木活力の経年変化を抽出、評価する方法を

〈活力変化〉 上列 上昇箇所（7ch+ 9ch+） 下列 低下箇所（7ch+ 9ch-）

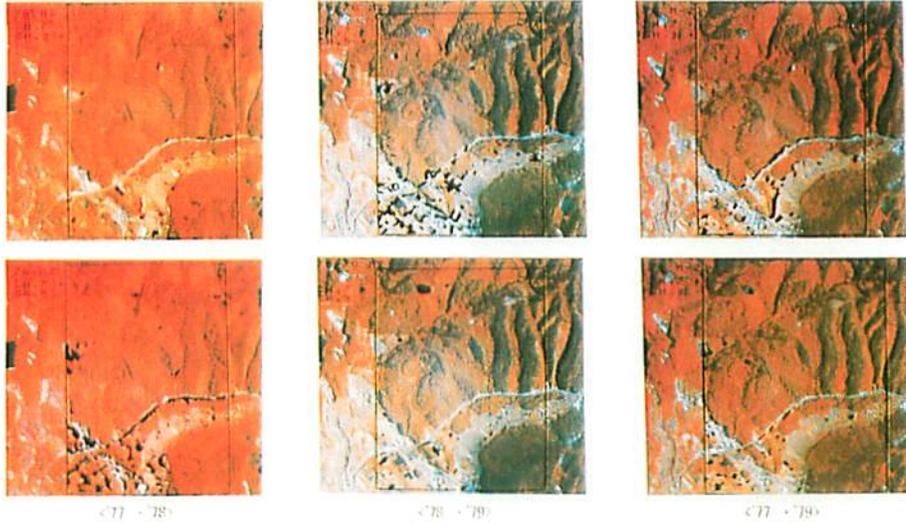


写真1 MSS データの7ch と9ch の相反変化による樹木活力の経年変化抽出箇所

〈温度変化〉 上列 上昇箇所（11ch+） 下列 低下箇所（11ch-）

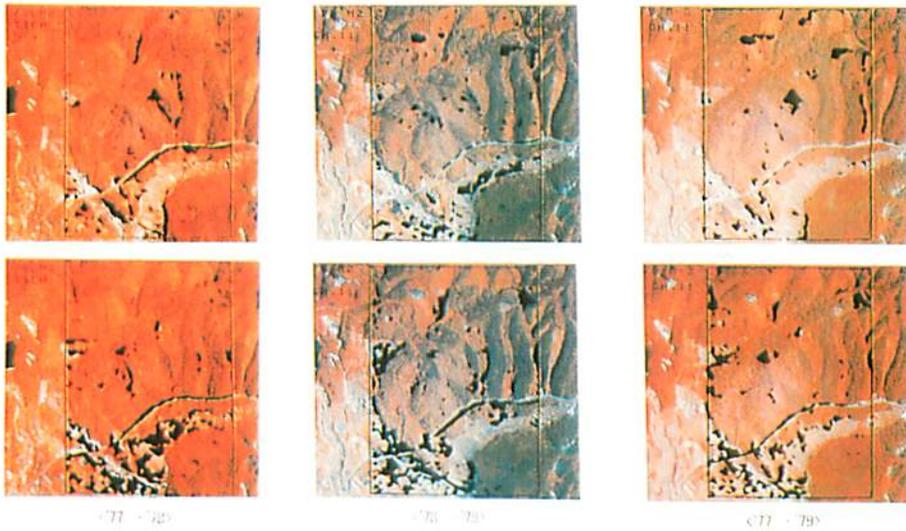


写真2 MSS データの11ch による樹木表面の放射温度のパタンの経年変化抽出箇所

述べるとともに、そのための基礎資料となる樹木の分光特性に関する基礎実験の結果について述べたものである。(その1)に述べた大局的な変化の評価と本報告で述べた局所的な評価とは、相互に関連をもつものであり、実際の調査にあたってはその両面から評価を行う必要がある。今後の検討課題としては、次のような項目が挙げられる。

- (1) (その1)、(その2)の報告ではいずれも相対的な評価を行っているが、樹木活力の絶対的評価を目指した解析手法の検討。
- (2) MSS データの幾何補正をより精密に行い、地図へのマッピングを可能にすること。これにより、現実の土地利用あるいは林相と MSS データの解析結果を個別的に対応させることが可能になり、たとえばメッシュをベースにした分光反射特性、土地利用、林相、地形データなどのデータベース化が可能になる。
- (3) 熱赤外領域の放射特性と樹木活力との関連について基礎実験を行い、熱赤外領域による活力評価の指標を得ること。

文 献

- 1) 大嶋, 力丸, 竹内: 航空機 MSS データによる樹木活力の評価について(その1), 法政大学工学部研究集報, 16, 103~113 (1980)