

# リモートセンシングによる環境モニタリング

## —衛星データを用いた高隈演習林の蓄積量調査—

石黒悦爾\*・兵頭 薫\*・柏木純孝\*\*・池田日出男\*\*・佐藤宗治\*\*\*・  
岩崎浩一\*・馬田英隆\*\*\*\*・前田利盛\*\*\*\*・藤田晋輔\*・宮原隆和\*\*\*\*\*

### 抄 録

リモートセンシングによる環境モニタリングの一環として、CO<sub>2</sub>濃度に影響を及ぼすと考えられる森林の蓄積量の推定の可能性を Landsat-5/TM と NOAA データを用いて検討した。

NDVI 処理を行うと、L-5/TM および NOAA のいずれのデータも観測時期による NDVI 値の変動がみられ、この値の変動は樹木の活性度に起因することが示唆された。NDVI 値と蓄積量には明確な相関は認められなかったが、これは地形効果に起因し、蓄積量の推定には、観測エリア内の地形および観測時期による NDVI 値の変動を考慮する必要があることが示された。また観測周期が頻繁な NOAA データの使用の有効性が示唆され、時系列解析の可能性が示された。

キーワード：リモートセンシング、Landsat-5/TM データ、NOAA/AVHRR データ、蓄積量

### 1. はじめに

耕地の砂漠化による食糧危機、CO<sub>2</sub>濃度の上昇による気温の上昇など、地球規模における環境変化が重要な問題となっている。環境をモニタリングする手法として、同時に広域を調査でき、しかもデータの蓄積による時系列解析が可能なりモートセンシングの技術が、近年用いられるようになってきた。筆者らも Landsat, MOS-1 等の衛星データを用いて桜島の降灰量の推定、霜害茶畑の検出、森林被災地域抽出等の研究を行い、リモートセンシングの環境モニタリングに対する有効性を検討してきた<sup>1,2,3,7,12)</sup>。

森林の蓄積量の調査は、対象地域での現地調査を原則としており、広範囲の森林では人手や手間がかかるうえに、傾斜地などでは危険を伴う。また、航空写真を用い

た推定も行われることがあるが、立体判別など目視で行わねばならず、しかも熟練が要求される。鹿児島大学では95年11月に衛星画像受信・解析システムを設置し、極軌道衛星 NOAA/AVHRR のデータ解析が可能となった。また、同大学農学部附属高隈演習林（以下、演習林と略記）では約3,000haの演習林を37の林班に分割し、それぞれの班の面積、林種、林相等のデータベースを作成している<sup>13)</sup>。本研究は、これを機会に Landsat と NOAA データを用いた環境モニタリングの一環として演習林の蓄積量の推定の可能性を検討した。

### 2. 衛星データおよび解析手法

1) 衛星データの概要ならびに使用データ

Landsat-5 (以下 L-5/TM と略記)、MOS-1、SPOT 等の人工衛星が米国の NASA、日本、フランスより打上

ISHIGURO E., HYODO K., KASHIWAGI S., IKEDA H., SATO M., IWASAKI K., UMATA H., MAEDA T., FUJITA S. and MIYAHARA T.

#### Environmental Monitoring with Remote Sensing

#### Estimation of Stand Volume in Takakuma Experimental Forest Using Remote Sensing Data

\* 鹿児島大学農学部生物環境学科

Department of Environmental Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890

\*\* 鹿児島大学農学部技官室

Technician Office, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890

\*\*\* 鹿児島大学農学部生物生産学科

Department of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890

\*\*\*\* 鹿児島大学農学部高隈演習林

Takakuma Experimental Forest, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Tarumizu, Kagoshima 891-21

\*\*\*\*\* 株式会社エルム 897加世田市武田15248-11

ELM Ltd. 15248-11 Takeda, Kaseda 897

げられている。これらの衛星は極軌道衛星と呼ばれ、南極から北極にかけて軌道上を16日から18日の周期で同一地点を観測している。衛星は、可視域から赤外域までの観測波長帯が異なるセンサー（空間分解能：30m～120m）を5～7個搭載している。これらのデータは観測地域を指定（PathとRow）することによりリモートセンシング技術センター（RESTEC）から購入できる。

また、NOAA衛星（以後NOAAと略記）は5つのセンサー（空間分解能：1,100m）を搭載し、同一地点の観測データを一日に4回以上提供している。しかもこのデータは、受信装置を設置することにより、任意にデータを取得できるシステムとなっている。

南九州を観測したL-5/TMのフルシーン（Path：112, Row：38）データから雲の少ない89年3月10日と90年12月10日のデータを、またNOAAでは95年11月11日、96年2月28日と96年5月13日のデータを使用した。Table 1にL-5/TMとNOAAの各センサーの観測波長帯を示す。

## 2) 解析方法

### 2-1) データの切り出し

L-5/TMデータは、5インチのMO-disk（640MB）に収録されており、このままではデータ量が大きすぎてパソコンでは解析できない。そこで、画像切り出しソフトREMOTE10（RESTEC製）を用いて演習林周辺を切り出した。その後、R-Dコンバータ（ELM, Ltd.）を用いてデータフォーマットをMS-DOSフォーマットに

変換し、画像解析処理装置SPICCA（Avio Ltd.）で解析できるようにした。

一方、NOAAデータはNOAA解析装置にインストールしているSrK850（ELM, Ltd.）を用いて、演習林周辺を切り出し、画像データとした。Fig. 1に解析対象地域の演習林周辺と林班区分図を示す。

### 2-2) 画像処理

L-5/TMとNOAAの各観測波長帯（以後Band-nと略記）は地上対象物からの電磁波の反射・放射特性を示しており、地上対象物によって分光特性は異なる。植物の生育モニタリング等に赤色域（R）と近赤外域（IR）の反射特性の差異を利用したVI [= IR / R], NDVI

Table 1 Wavelength of satellite data.

Satellite	Band	Wavelength ( $\mu$ m)
Landsat-5/TM	1	0.45～0.52
	2	0.52～0.60
	3	0.63～0.69
	4	0.74～0.90
	5	1.55～1.75
	6	10.40～12.50
	7	2.08～2.35
NOAA/AVHRR	1	0.58～0.68
	2	0.72～1.10
	3	3.55～3.93
	4	10.30～11.30
	5	11.50～12.50

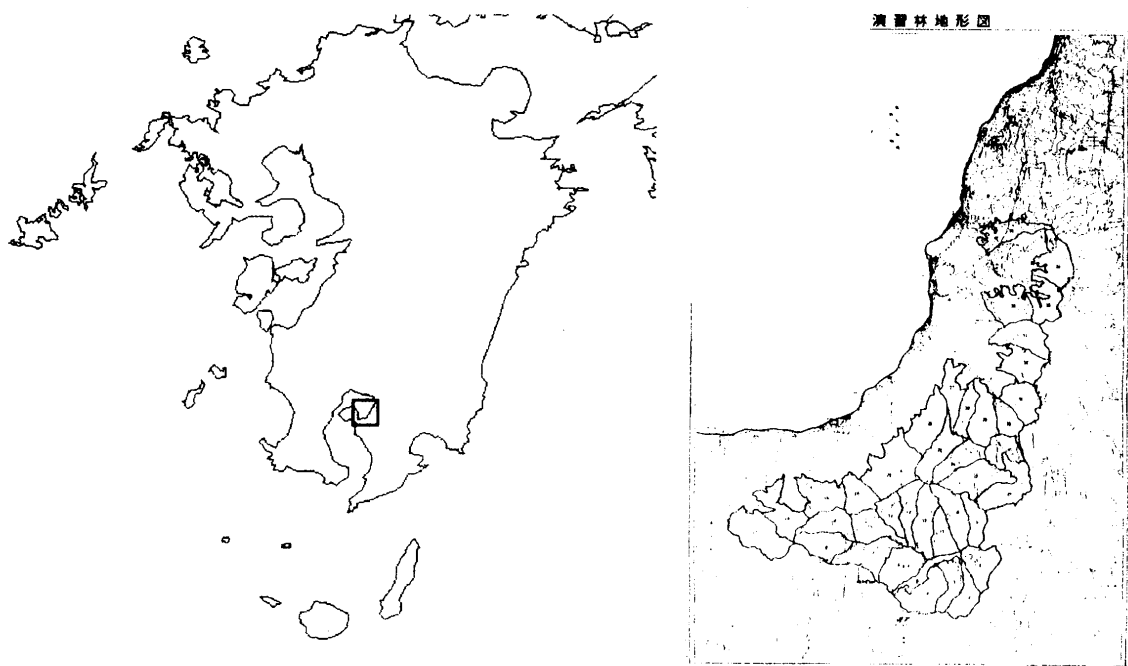


Fig. 1 Analyzing zone and a part of forest in Kagoshima Univ.

$[(IR - R) / (IR + R)]$  等, 様々な解析指標が考案されているが<sup>4,6,8-11)</sup>, 筆者らが行った台風による森林の被災地の抽出には NDVI が有効であった<sup>3)</sup>。そこで, R と IR に対応する観測波長帯, L-5/TM では Band-3 と Band-4, NOAA では Band-1 と Band-2 のデータを用いて演算処理を行い NDVI 画像を作成した。

### 2-3) 現地データとの対比

NDVI 画像に, 演習林の林相区分図を重ね合わせ, 各林班毎の NDVI 値を算出した。さらに, 森林調査簿より各林班の単位面積当たりの蓄積量を求め, NDVI 値と蓄積量の関係を検討した。

## 3. 結果および考察

### 3-1) L-5/TM の NDVI 画像

Fig. 2 に89年3月10日の L-5/TM の NDVI 画像を示す。NDVI 値は各画素によってあまり変化せず, 濃淡の

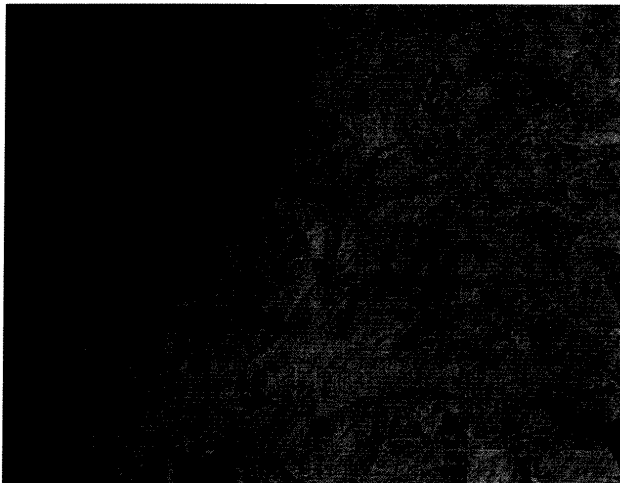


Fig. 2 NDVI image of L-5/TM. ('89 3/10)

差が少ない画像となった。Fig. 3 は90年12月10日の NDVI 画像を示す。Fig. 2 に比べると, 濃淡の差が明瞭, すなわち NDVI 値が各画素により大きな差の画像となった。電磁波が大気中を通過する際の散乱・反射は大気中の水蒸気・ゴミ等の含有量等, 観測時の大気状態ならびに波長によって異なる。衛星に搭載されたセンサーに検出される地上対象物からの電磁波特性に及ぼすこれらの影響をできるだけ少なくする手法として, R と IR の波長はほぼ同じ散乱・反射の影響を受けると仮定した NDVI が提唱されている。また, NDVI の値が大きければ植物の活性度は高い<sup>4,6,11)</sup> ことにより, Fig. 2 の3月よりも Fig. 3 の12月の方が樹木の活性度が高いことが示された。

### 3-2) NOAA の NDVI 画像

Fig. 4, 5 と6 に95年11月11日, 96年2月28日と96年5月13日の NOAA の NDVI 画像を示す。L-5/TM に比

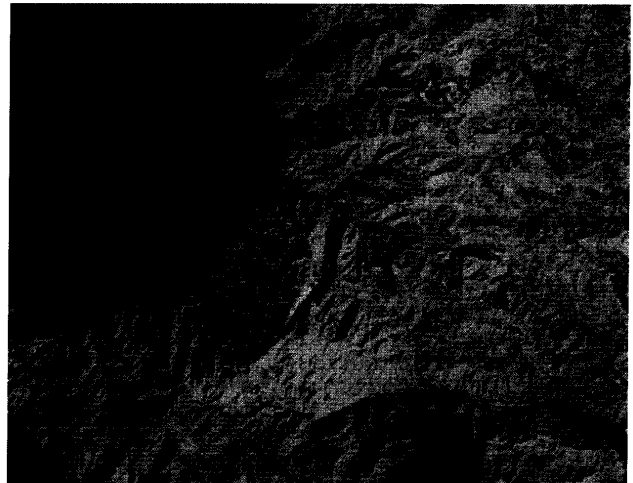


Fig. 3 NDVI image of L-5/TM. ('90 12/10)

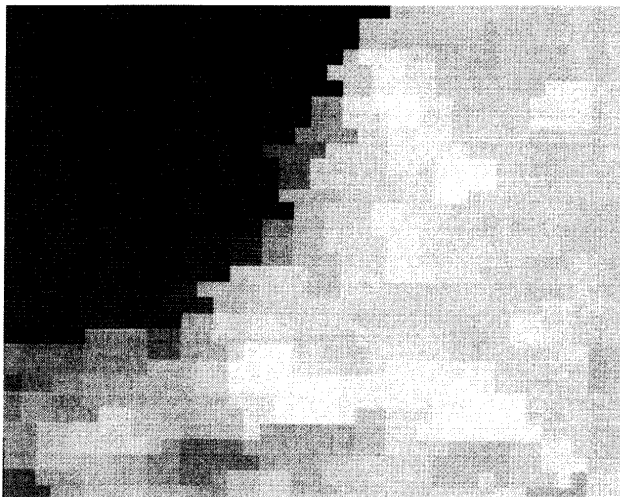


Fig. 4 NDVI image of NOAA/AVHRR. ('95 11/11)

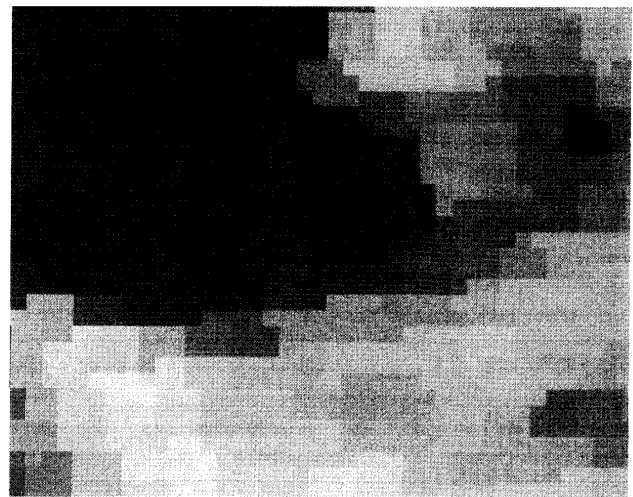


Fig. 5 NDVI image of NOAA/AVHRR. ('96 2/28)

べて空間分解能が劣るため、画面はモザイクとして示された。ここで、演習林全体の平均NDVI値はそれぞれ、96.7、50.5と138.6となり、L-5/TMと同様に、NDVI値が季節により変化する。すなわち樹木の活性が高い春はNDVI値も大きく、活性が低い冬ではNDVI値が低くなり、空間分解能が悪くても、樹木の活性を調査できる可能性を示していると考えられる。

### 3-3) NDVI値と蓄積量

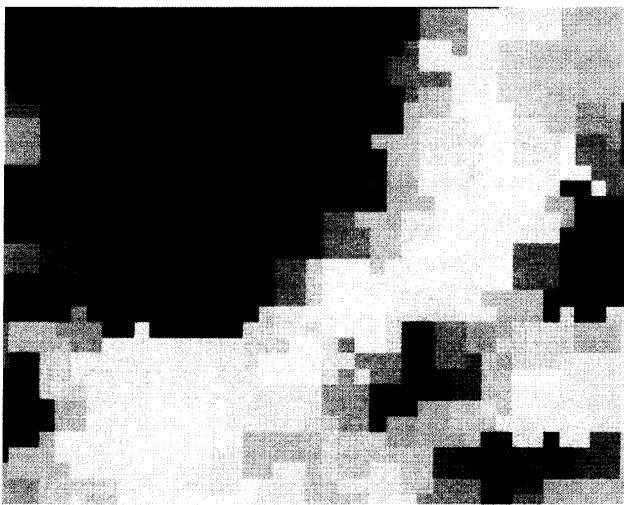


Fig. 6 NDVI image of NOAA/AVHRR. ('96 5/13)

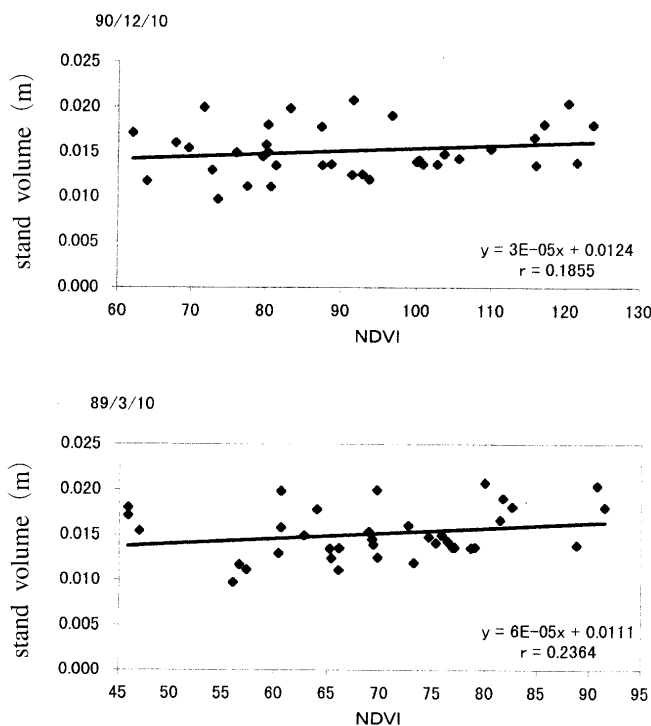


Fig. 7 Relationship between the stand volume and calculated NDVI with L-5/TM.

Fig. 7とFig. 8に演習林の各林班のL-5/TMとNOAAの平均NDVI値と蓄積量の関係を示す。検定の結果、NDVI値と蓄積量の相関係数は満足する値とはならなかったが、96年5月のNOAAデータを除いて蓄積量が多くなるとNDVI値も大きくなる傾向がみられる。

石黒ら<sup>3)</sup>が報告しているように衛星データの輝度値は森林の日向と日陰で大きく異なる。木下ら<sup>5)</sup>は起伏の大きい森林を解析の対象とする場合には、地形による分光反射強度の補正を行うことを提唱している。

衛星データを用いて森林の蓄積量の推定の可能性を検討した結果、蓄積量と解析に用いたNDVI値とは満足すべき結果が得られなかったが、NDVIが季節により変動している可能性があることを実証できるなどの成果を得ることができた。今後は、日向と日陰というように地形による分光反射強度の差異の補正等を加味し、森林の種類ごとに解析を行うことにより、衛星データによる蓄積量の推定精度の向上を計りたい。

## 4. 要 約

L-5/TMとNOAAデータを用いて演習林の蓄積量の

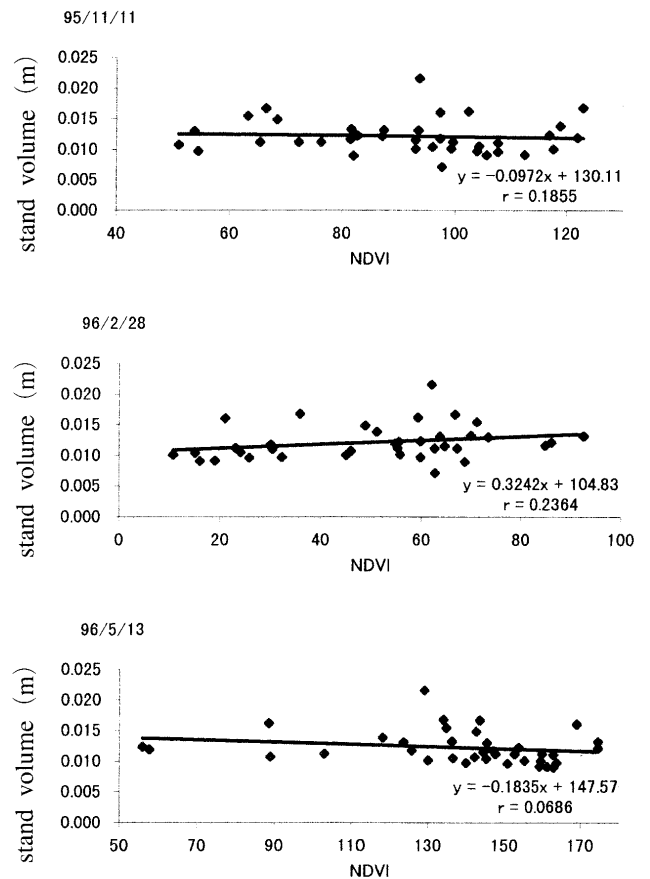


Fig. 8 Relationship between the stand volume and calculated NDVI with NOAA/AVHRR.

推定の可能性を検討し、以下の知見を得た。

- 1) 解析指標として NDVI 処理を行うと、L-5/TM および NOAA のいずれのデータも観測時期による NDVI 値の変動がみられ、この値の変動は樹木の活性度に起因することが示唆された。
- 2) L-5/TM と NOAA データは空間分解能が大幅に異なるため、処理した画像の明瞭さに差異を生じたが、いずれの画像も NDVI 値を算出することが可能であった。
- 3) 解析に用いた NDVI 処理の値と蓄積量には明確な相関は認められなかったが、これは地形効果に起因することが示唆された。
- 4) 蓄積量の推定には、観測エリア内の地形および観測時期による NDVI 値の変動を考慮する必要があることが示された。

## 謝 辞

鹿児島大学演習林の森林調査簿は、演習林の長 正道教授に提供していただいた。また、教育学部を平成8年に卒業した前山 隆氏は卒業論文の一環として、また当研究室の田畑智廣、宝楽 裕、米村龍一氏は解析に協力していただいた。ここに記して謝意を表します。

## 参 考 文 献

1. E. Ishiguro, K. K. Mishra, Y. Hidaka, M. Miyazato: A Study on the Effects of Mt. Sakurajima's Falling Ash over Crop and Forest Area Using Image Processing for LANDSAT-5, MOS-1 and JAFSA Digital Data, Proc. 5th International Colloquium - Physical Measurements and Signature in Remote Sensing, France, 509-512 (1991)
2. 石黒悦爾・小川幸春・宮里 満・陳介余: リモートセンシングによる霜害茶畑の検出, 鹿大農学術報告, 44, 35-41 (1994)
3. 石黒悦爾・岩崎浩一・守田和夫: Landsat-5/TM データによる森林被災地域抽出の可能性—台風9119号による日田市周辺部の被害について, 農業機械学会誌, 57(5), 65-73 (1995)
4. H. Kawamura and Y. Edamatsu: Seasonal Variations of the Vegetation Index of the Rice Field and Forest in the Tohoku Area of Japan. Proc. of the IGARSS'93 Spons. by IEEE, Tokyo, Aug. 18-21, Vol.3, 1143-1145 (1993)
5. K. Kinoshita and S. Kubo: 山岳画像データに対する簡易で効果的な地形効果補正法, 日本リモートセンシング学会第14回学術講演論文集, 57-60 (1994)
6. 美濃憲・風間聡・沢本正樹: 国土数値情報を利用した東日本における iNDVI による NPP の評価, 水工学論文集, 38, 1-6 (1994)
7. 難波直彦・石黒悦爾・長勝史・若松千秋・三輪晃一: 衛星データとカラー航空写真データを用いた1993年豪雨被災地

- の検出, 農業土木学会論文集, 177, 1-8 (1995)
8. 尾形康恵・梶原康司・建石隆太郎: グローバルな土地被覆変化抽出法の検討, 日本写真測量学会平成8年度年次学術講演会論文集, 43-46 (1996)
9. 岡本勝男・福原道一・岡野千春: ランドサット TM データによる小麦畑面積と収量の推定, 日本写真測量学会平成8年度年次学術講演会論文集, 25-28 (1996)
10. 斉藤和也・織田和夫・武田有紀子・山本巖: ランドサット TM-NVI による植生パラメータの推定, 日本写真測量学会平成8年度年次学術講演会論文集, 221-226 (1996)
11. 斎藤元也・美濃伸之・安田嘉純・後藤あずみ: ノア植生指数の時系列変化パターンによる日本の農作物作付様式の比較, 日本写真測量学会平成8年度年次学術講演会論文集, 43-46 (1996)
12. M. Sato, E. Ishiguro, K. Iwasaki, E. T. Kanemasu, I. D. Flitcroft, K. K. Mishra, K. Hirata and T. Masumizu: Estimating Volcanic Ash Deposits and Their Effects on Leaf Optical Properties Using Satellite Data, Proc. Int. Colloq. Photosynthesis and Remote Sensing, 28-30 August 1995, Montpellier (France) (1995)
13. 吉田茂二郎・小林孝幸: 高隈演習林における森林情報システム, 鹿大農演習林報告, 17, 37-109 (1989)

Environmental Monitoring with Remote Sensing  
— Estimation of Stand Volume in Takakuma Experimental  
Forest Using Satellite Data —

## Summary

As a part of the environmental monitoring program using remote sensing technology, this study investigates the possibility of using Landsat-5/TM and NOAA satellite data in order to estimate the stand volume, which are considered to have an effect on the density of carbon dioxide.

A Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) was applied, and the results seemed to suggest that since there were fluctuations in both the NOAA and L-5/TM data which accorded with the observation seasons, the fluctuations were caused by changes in the extent of forest activity. A correlation between the NDVI and stand volume could not be proven, however, largely because the effects of the area's topography were not taken into account, and it became clear that in order to estimate stand volume, it is necessary to consider both the topographical features of the area being observed and fluctuations in the NDVI connected to making observations at different times of year. At the same time, it was strongly suggested that making use of the NOAA data, which results from frequent observation cycles, is quite valuable, and that serial analyses are possible.

**Key Words:** remote sensing, Landsat-5/TM data, NOAA/AVHRR data, stand volume