

Landsat 5号 TMデータによる流域の植生分布量調査

Estimation of Spatial Distribution of Vegetation Amount in a Watershed
Using Landsat-5 TM Image Data

瀬 口 昌 洋

By Masahiro SEGUCHI

This paper discussed the method for indicating the spatial distribution of vegetation amount in a watershed by means of LAI (Leaf Area Index) from a TM image data of Landsat-5. First of all, the relationships between LAI and vegetation canopy spectra were investigated on the basis of the obtained experimental data. As a result, a high correlation between LAI and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) was found. Next, the LAI image of a study basin was obtained from a TM image data of Landsat-5 on the basis of the relationship between LAI and NDVI. The LAI image made it possible to estimate the spatial distribution of vegetation amount in a watershed.

Keywords : Landsat-5 TM, LAI, NDVI, Vegetation amount, Canopy

1. まえがき

流域における植生の分布状態は、雨水の流出や蒸発散などの水文現象、さらには雨水による土壌侵食や斜面崩壊などの土砂災害の発生に大きな影響を及ぼす。したがって、流域の植生分布に関するデータを収集することは、そこでの水文特性を明らかにしたり、また土砂災害の発生を予測、制御したりするうえで非常に重要である。しかし、特に複雑な地形からなる広大な山地流域において、植生分布に関するデータを現地調査によって直接収集することは、甚だ困難を伴う。

この研究は、広域的环境調査などにおいて大きな威力を発揮している地球観測衛星Landsat 5号 TMデータを用いて、流域の植生分布量を定量的に把握する方法について検討したものである。特にここでは、植生群落のスペクトル特性や植生指標と葉面積指標との関連性について実験的に明らかにし、さらにその結果に基づいてLandsat 5号 TMデータから植生分布量の推定を試みた。

2. 実験の概要

2.1 植生群落のスペクトル計測

植生群落のスペクトル特性を把握するために、図-1に示されるような装置を用いて、その計測を行った。すなわち、スペクトロラジオメータと光ファイバーで接続された望遠鏡を人工的に作成した植生群落

* 正会員 農博 佐賀大学助教授 農学部生物生産学科
(〒840 佐賀市本庄町1番地)

の直上約110cmの高さにセットし、植生群落から反射してくる光エネルギーを波長インターバル10nm毎に波長300nmから1,100nmの範囲にわたって測定した。そして、この計測を2回繰り返して得られたデータの平均値を反射輝度とした。また、反射率の計測の場合には、予め標準反射板の反射輝度を測定しておき、この反射輝度と植生群落の反射輝度との比をもって反射率とした。なお、今回の実験に供した植生は、後述する対象流域に広く分布している針葉樹のスギ、ヒノキと広葉樹のカシ、ナラの4種類である。

2.2 LAIの計測

この研究では、植生分布量を定量的に表すものとして、葉面積指標LAI (Leaf Area Index: 単位面積当りの地表面を被う葉面積) を採用した。ところで、LAIの一般的計測方法として直接採取した葉の葉面積測定による方法(直接法)¹⁾と植生群落のキャノピーを通過する光の透過率から間接的に算定する方法(間接法)とがある。ここでは、後者の方法に属するキャノピーアナライザーを用いた。図-2に示されるように、この装置はコントロールユニット、光センサー及びこのセンサーの魚眼レンズを被覆するための6種類のビューキャップより構成されている。また、この装置の計測原理はビーゲ・ブーゲー・ランバートの法則²⁾に基づいている。すなわち、5種類の視野角 θ_i ($i=1\sim5$)において透過率に相当するギャップフラクション $T(\theta_i)$ を計測し、(1)式よりLAIを求める。

$$LAI = -\sum_{i=1}^5 \ln T(\theta_i) \cdot \cos \theta_i \cdot w(\theta_i) \quad (1)$$

ここに、 $w(\theta_i)$ は各視野角の重み関数であり、表-1のように設定されている。ところで、実際にこの装置を用いてLAIを計測する場合、植生群落のキャノピーの上下における光学センサーの配置方法と使用するビューキャップの選択がLAIの計測精度を大きく左右する。ここでは本実験に先だって予備実験を行い、直接法によるLAIの測定値に最も近い値が得られるような光学センサーの配置方法とビューキャップの選択を行った。今回の場合、図-3の方法を採用した。すなわち、まず光センサーを植生群落のキャノピーの上方中央(図-3(a))に、次いでその下方5ヶ所(図-3(b))にセットして $T(\theta_i)$ を計測した。そして、この計測を2回繰り返した後、LAIを求めた。

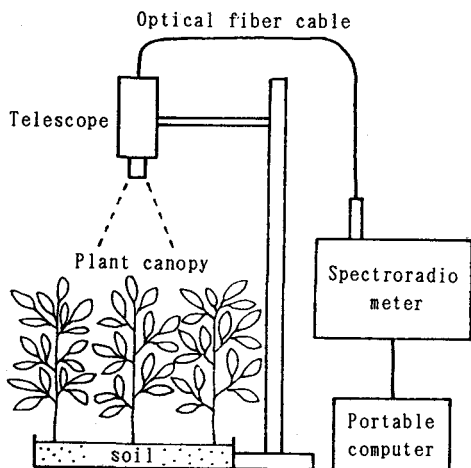


図-1 植生群落のスペクトル計測法

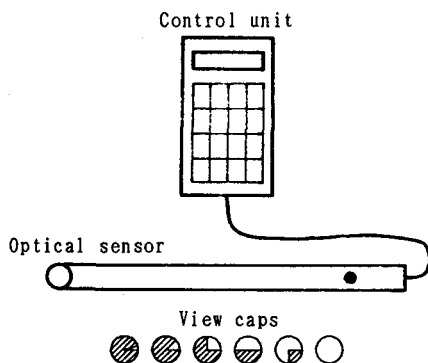


図-2 キャノピーアナライザーの概要

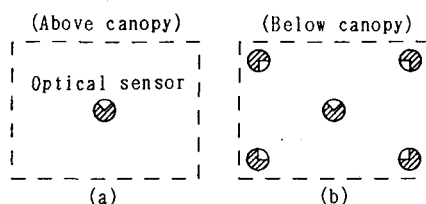


図-3 光センサーの配置方法

表-1 $w(\theta_i)$ の値

i	θ_i	$w(\theta_i)$
1	7°	0.034
2	23	0.104
3	38	0.160
4	53	0.218
5	68	0.494

3. 実験結果及び検討、考察

3.1 LAIとスペクトル特性

図-4は、実験時 k における太陽照度 $S_k(\lambda)$ と標準反射板の反射輝度 $W_k(\lambda)$ を示したものである。図示されるように、任意の波長 λ において $S_k(\lambda)/W_k(\lambda) \approx \pi$ が成立ち、標準反射板は完全拡散面に近いことがわかる。

図-5, 6は、それぞれスギとカシの群落の反射輝度 $R_k(\lambda)$ とLAIとの関係を波長700nmから1,100nmの範囲にわたって示したものである。なお、これらの反射輝度は、測定時における太陽照度の違いによる影響を避けるために、次式によって基準時 k' の値に補正されている。

$$R_{k'}(\lambda) = R_k(\lambda) \times \frac{W_{k'}(\lambda)}{W_k(\lambda)} \quad (2)$$

図示されるように、両植生とも群落のLAIが増加するに伴って波長700nm以下の可視域、特に波長400nmから500nmの青光部と波長600nmから700nmの赤光部で反射輝度は大きく減少し、逆に波長700nm以上の赤外域で増加している。これは、LAIの増加に伴って葉の密集度が高まるにつれて、葉（主にサク状組織）の中に含まれる葉緑素クロロフィル-aによる青光部と赤光部の吸収が増加し、また赤外域では葉の表皮や葉（主に海綿状組織）の中での光の散乱が増大したためによるものである。また、針葉樹であるスギと広葉樹であるカシの反射輝度の分布を比較した場合、両者の全般的な分布状況は類似している。しかし、特に赤外域においてカシの反射輝度のレベルは、スギのそれに比べて高い。これは、針葉の集合体であるスギのキャノピーと広い葉からなるカシのそれとの形状の違いや葉自体の組織構造の違いが大きく反映したものと考えられる。

図-7は、LAIの増加に伴って大きな変化を示したスギとカシの可視域の赤光部の反射輝度値RED及び近赤外域の反射輝度値NIRとLAIとの関係を示したものである。図示されるように、LAIの増加に伴って両植生のREDは急激に減少し、一定値に漸近している。また、NIRはほぼ直線的に増加し、その増加率についてはスギよりカシの方が大きい。

一方、図-8, 9は、図-5, 6に示されたスギとカシの群落の反射輝度を、標準反射板のそれで除して求

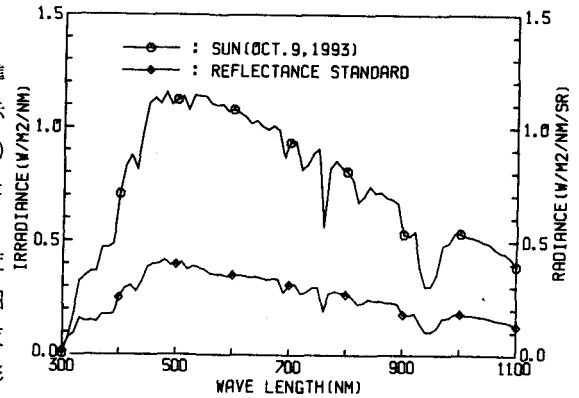


図-4 計測時の太陽照度と標準反射板の反射輝度

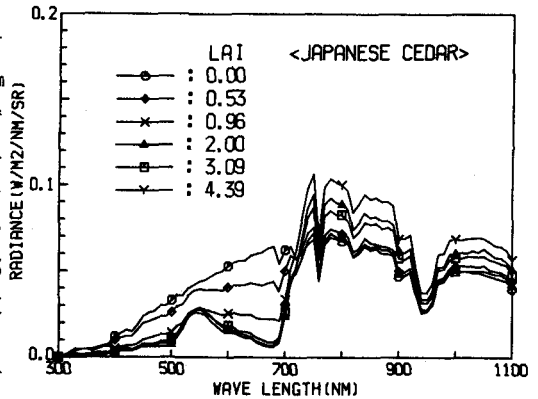


図-5 スギの群落の反射輝度

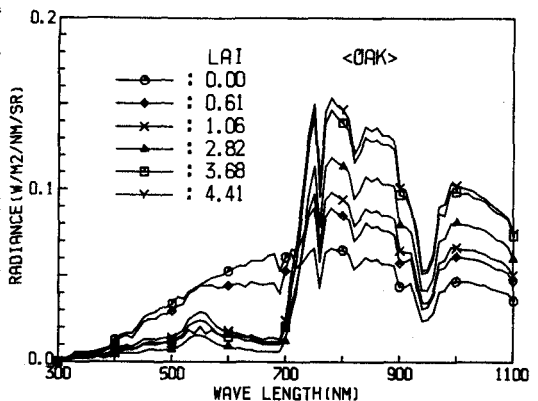


図-6 カシの群落の反射輝度

めた反射率を示したものである。図示されるように、反射輝度の場合と同様に両植生群落の反射率は、LAIの増加に伴って青光部と赤光部を中心とした可視域で減少し、逆に赤外域で増加している。また、カシの群落の赤外域における反射率は、スギのそれに比べてかなり高い。

3.2 植生指標とLAIとの関係

植生分布量や植生活性を定量的に示すものとして、種々の植生指標が提示されている^{3), 4)}が、いずれの植生指標もREDとNIRより算出される。これは、植生被覆率や植生活性あるいは土壌の種類と状態などの変化によって、REDとNIRが特徴的な変動を呈することによるものである⁵⁾。ここでは、植生指標として最も広く用いられている(3)式のNDVI(Normalized Difference Vegetation Index)を用いた。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3)$$

$$= \frac{RVI - 1}{RVI + 1} \quad (4)$$

ここに、 $RVI = NIR/RED$ である。RVIとNDVIは、ともにREDとNIRとの比演算によって植生のスペクトル特性を強調するものであるが、特にNDVIはRVIを正規化したものである。したがって、 $RVI = 1$ のときにはNDVIは0、RVIが十分大のときにはNDVI=1となる。

図-10は、ナラ、スギ、ヒノキ、カシの4種類の植生群落のLAIとこれらの反射輝度から算出したNDVIとの関係を示したものである。なお、ここではRED及びNIRとして、それぞれLandsat 5号 TMデータのBand 3(波長630nm~690nm)及びBand 4(760nm~900nm)の波長域に合わせて積分された輝度値を用いた。図示されるように、NDVIはLAI≒2までの範囲で急増している。しかし、さらにLAIが大きくなるに伴い、NDVIは0.96前後の一定値に漸近している。また、図-5, 6及び図-8, 9で示されたように、植生群落の反射輝度や反射率とLAIとの関係は、スギなどの針葉樹とカシなどの広葉樹との間でかなり大きく異なっていたが、LAIとNDVIの間には植生群落間の大きな差異は見られず、両者の関係は(5)式で近似される。なお、この式型は、Asrarら⁶⁾が春小麦について求めたものと類するものである。

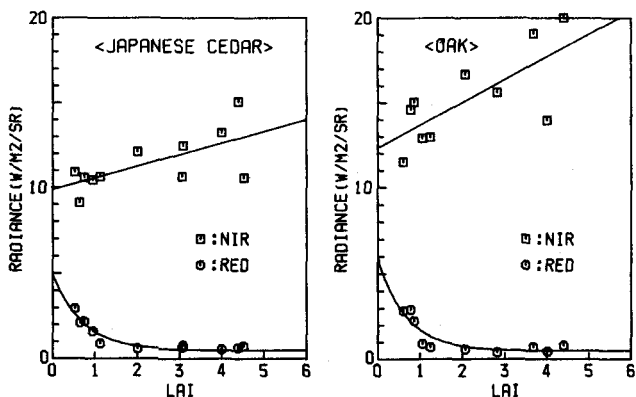


図-7 LAIとREDあるいはNIRとの関係

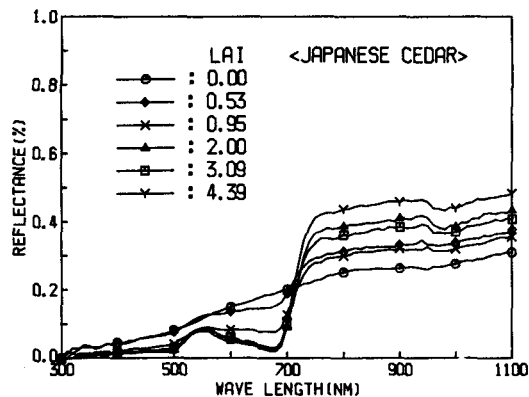


図-8 スギの群落の反射率

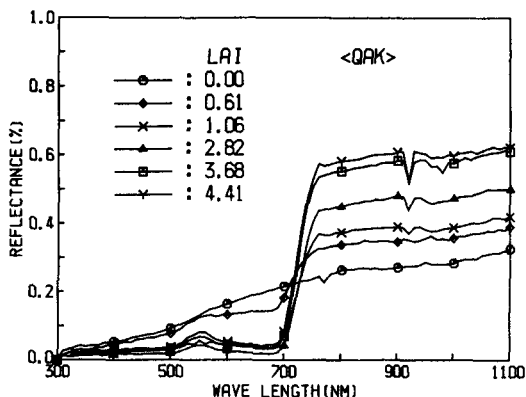


図-9 カシの群落の反射率

$$NDVI = 0.96 - 0.46 \exp(-1.10LAI) \quad (5)$$

3.3 LAI画像と植生分布量

上述の実験結果に基づいて、流域内の植生分布量をLAIで評価する。まず(3)式中のRBD及びNIRに対応するLandsat 5号 TMのBand 3,4のデータから(6)式に従って、それらの絶対放射輝度 R_3, R_4 を求め、さらに(3)式よりNDVIを算定する。

$$R_i = \frac{C_i}{255} (R_{max_i} - R_{min_i}) + R_{min_i} \quad (6)$$

ここに、 C_i はiバンドのCCT値、 R_{max_i}, R_{min_i} はそれぞれiバンドの最大及び最小輝度であり、Band 3,4の場合にはそれぞれ $R_{max_3} = 1.410$, $R_{min_3} = -0.0083$, $R_{max_4} = 2.660$, $R_{min_4} = -0.0194$ である⁷⁾。なお、これらの値の単位は $mW/cm^2/sr$ である。ついで、(5)式よりNDVIをLAIに変換し、LAI画像を作成する。

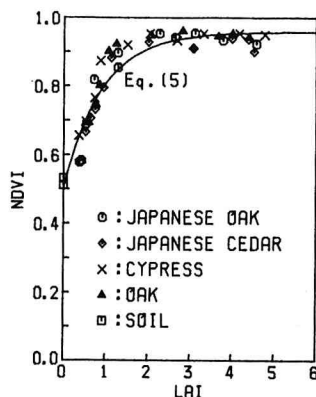


図-10 LAIとNDVIとの関係

図-11は対象流域（佐賀県松浦川水系の平山川上流域）のNDVI画像（1992年5月12日）を、また図-12はその流域のLAI画像を示したものである。さらに、図-13は、現地調査と地形図を基に作成した植生分布図及びLAIの実測値（[]の値）を示したものである。これらの図から明らかなように、この流域のNDVIは-1.5～1.0の広範囲にわたって分布している。ここで、水域（溜池）は負の値を、また河道や谷間の周辺部に分布している宅地、裸地、耕地は0.0～0.8の広範囲にわたる値を、さらに稜線や山腹斜面を中心に分布している林地は0.8～1.0の範囲の高い値を示している。特に林地のうち、八幡岳周辺部や南東斜面の広葉樹林地及び樹齢数10年を経過したスギ、ヒノキの植林地は0.9以上の値となっている。一方、LAI画像はNDVI画像にはば対応したものとなっている。しかし、特に林地では、NDVIの値に比べてLAIの値が細かく分類化されているために、植生分布量がより具体的に把握される。例えば広葉樹林地や樹齢の高い針葉樹植林地ではLAIは4～6の大きい値を示し、また樹齢の低い針葉樹植林地ではLAIは3前後の小さい値を示している。さらに、ここで求められたLAI

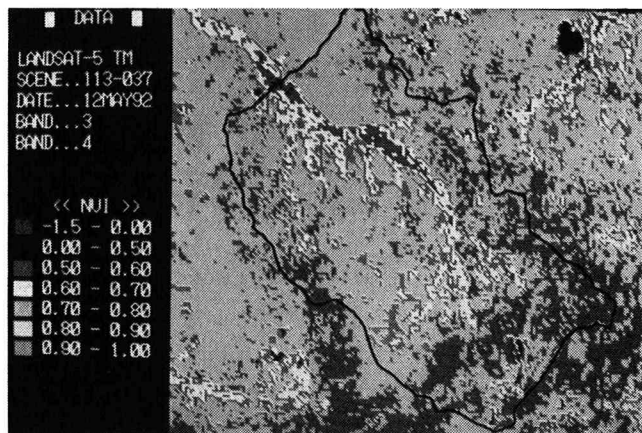


図-11 対象流域のNDVI画像

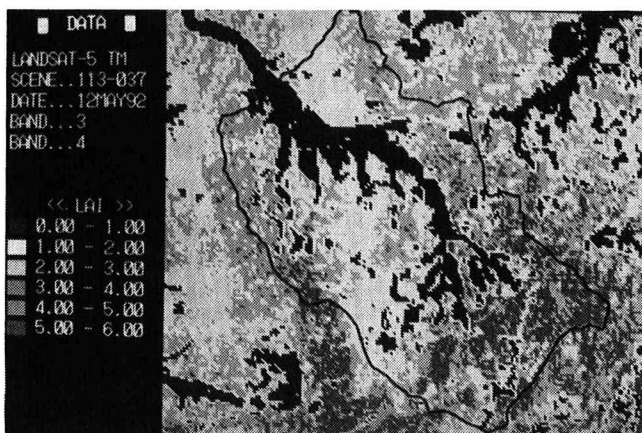


図-12 対象流域のLAI画像

画像の値は、ほぼ現地での実測値に対応しており、この画像は対象流域の植生分布量を比較的精度よく示しているものといえる。

4. まとめ

ここで得られた主な知見を要約すると、次のようになる。

1) LAIと植生群落のスペクトル特性との間には、高い相関性が認められる。すなわち、LAIが増大するに伴い、植生群落の反射輝度や反射率は可視域の青光部と赤光部で大きく減少し、逆に赤外域で増加する。しかし、このようなスペクトル特性の変化は、特に赤外域において針葉樹（スギ、ヒノキ）の群落と広葉樹（カシ、ナラ）のそれとで異なっている。

2) 針葉樹あるいは広葉樹に係わらず、植生群落のNDVIとLAIとの間には、(5)式で表される一義的な関係が認められる。すなわち、NDVIは $LAI \leq 2$ までの範囲で急増するが、さらにLAIが増大するに伴い、NDVIは0.96前後の一定値に漸近する。

3) 今回の方法により、Landsat 5 TMデータから求められた対象流域のLAI画像は、現地での実測値にほぼ対応するものであった。また、林地では樹林の種類や樹齢などの差異により、LAIの値に違いが現れた。特に広葉樹林地や樹齢数10年のスギの植林地のLAIは4～6の値を示した。

4) 植生分布量のみならず、その活性や分布状態さらには種類などの植生情報を総合的に捉えているNDVIに比べて、単位面積の地表面を被う植生の葉面積を表すLAIは、植生分布量を定量的に示す指標として優れている。したがって、流域の水文現象の解析や土砂災害の発生予測あるいは制御を検討する際、LAIは植生分布量に関する情報として有用と考えられる。

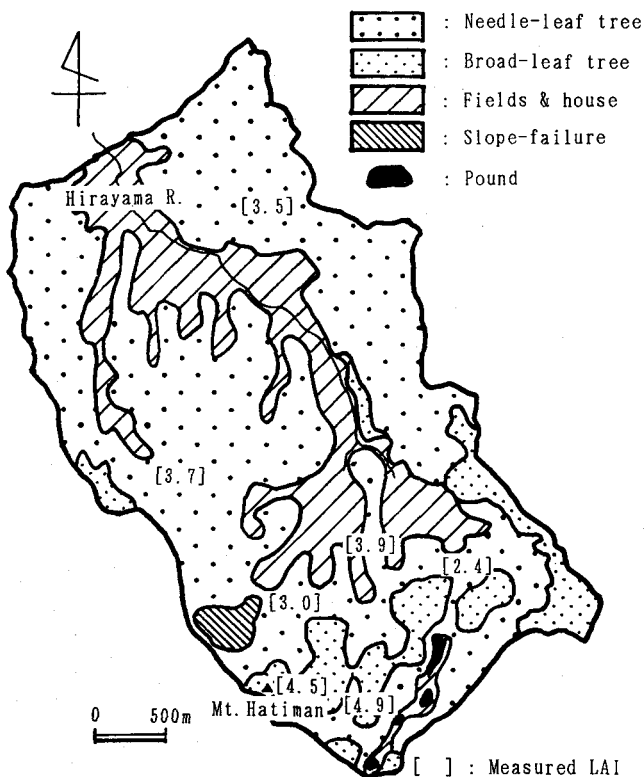


図-13 対象流域の植生分布とLAIの実測値

参考文献

- 1) 岩城英夫: 群落の機能と生産, 朝倉書店, 東京, pp. 37-48, 1984
- 2) 会田 勝: 大気と放射過程, 東京堂出版, pp. 78-79, 1982
- 3) Asrar G.: Theory and Applications of Optical Remote Sensing, John Wiley and Sons, pp. 119-129, 1989
- 4) Price J. C.: Estimating Vegetation Amount from Visible and Near Infrared Reflectances, Remote Sens. Environ., 41, pp. 29-34, 1992
- 5) 瀬口昌洋・渡辺 潔・林 稔人: リモートセンシングによる流域の土壌及び植生情報の収集に関する基礎的研究, 水工学論文集, 35, pp. 273-242, 1991
- 6) 前出3), pp. 262
- 7) リモートセンシング技術センター: 地球観測データ利用ハンドブック, pp. 6(2), 1987