

速報

常緑広葉樹林における LAI と衛星リモートセンシングデータの関係^{*1}川上貴久^{*2} ・ 村上拓彦^{*3} ・ 吉田茂二郎^{*3}

川上貴久・村上拓彦・吉田茂二郎：常緑広葉樹林における LAI と衛星リモートセンシングデータの関係 九州森林研究 57：197-199, 2004 常緑広葉樹林における複数時期の LAI と衛星リモートセンシングデータの関係を季節変動の観点から検討した。対象地は九州大学福岡演習林内の常緑広葉樹林に設置した13点の固定プロットである。LAI の測定にはプラント・キャノピー・アナライザー (LAI-2000) を用いた。複数時期の LAI と SPOT/HRV データより算出した NDVI との関係性を調べた結果、季節ごとに異なる傾向を示すことが明らかとなった。

キーワード：LAI, LAI-2000, 衛星リモートセンシング, SPOT/HRV, 季節変動

Kawakami, T., Murakami, T. and Yoshida, S.: **The relationship between LAI and remotely sensed data in evergreen broadleaved forest Kyushu J. For. Res. 57 : 197-199, 2004** The relationship between the LAI and remotely sensed data was investigated by seasonal variation. The study areas are the 13 permanent plots of evergreen broadleaved forest in the Kyushu University Forest in Fukuoka. The Plant Canopy Analyzer (LAI-2000) was used to estimate LAIs. Seasonal changes were found in the relationships between multi-data NDVI calculated by SPOT/HRV data and LAI.

Key word : LAI, LAI-2000, remote sensing, SPOT/HRV, seasonal variation

I. はじめに

LAI (Leaf Area Index) は単位地表面積あたりの葉面積合計値である。LAI は植生の幾何学的構造を表す指数であると同時に、植物器官のエネルギー、H₂O、CO₂交換に直接的に関わる指数でもある。広域的な LAI の定量的評価により森林構造の空間的なパターンの解明、蒸発散量や一次生産量の推定、炭素固定量評価などが可能となる。広域的な LAI 推定には、広域的な資源量の把握に有効な手法である衛星リモートセンシングが用いられてきた。既往の研究より、LAI と NDVI には有意な関係があることが認められているが、これらは針葉樹林 (Nemani *et al.*, 1989; 石井ら, 1997) や落葉広葉樹林 (星ら, 2001) を対象としたものであり、常緑広葉樹林を対象とした報告例はない。そこで、本研究では、九州大学福岡演習林の常緑広葉樹林を対象にプラント・キャノピー・アナライザーにより算出された LAI と衛星リモートセンシングデータとの関係を明らかにすることを目的とした。また、本研究では複数時期の LAI と衛星データを用いることで季節変動についても検討する。

II. 対象地および使用データ

本研究では、福岡市東部の福岡県粕屋郡篠栗町と久山町にまたがる地域に所在する九州大学福岡演習林を対象地とした。対象地

内で主に常緑広葉樹から構成される林分に10~20mのラインプロットを13点設置した。各プロットではアラカシ、クロキ、ヒサカキ、シロダモ、ヤマモモ、クスノキ等の常緑広葉樹、リョウブ、コナラ、ハゼノキ、アカシデ等の落葉広葉樹が出現した。

解析に用いた衛星画像は1997年に観測された5時期の SPOT/HRV データである。表-1に SPOT/HRV データの観測日と観測角を示す。今回用いた SPOT/HRV データは SPOT グリッド・リファレンス・システムで313-283 (K-J) に位置する。

表-1. 使用した SPOT/HRV データ

観測日	観測角
1997/01/17	R 7.3
1997/05/27	R 7.3
1997/06/17	R 14.1
1997/10/25	R 15.2
1997/12/05	L 5.9

III. 方法

1. LAI の測定

LAI の測定には間接測定機器であるプラント・キャノピー・アナライザー (LI-COR 社製 LAI-2000, 以下 LAI-2000 と称す) を使用した。LAI-2000 の測定原理や算出理論は Welles ら (Welles and Norman, 1991) に示されているが、基本的に Beer-Lambert の法則に基づいている。LAI-2000 は5つの天頂角

^{*1} Kawakami, T., Murakami, T. and Yoshida, S.: The relationship between LAI and remotely sensed data in evergreen broadleaved forest

^{*2} 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Biores. Bioenvir. Sci., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

^{*3} 九州大学農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

(Z) を使用して精度を向上させていることが特徴で、15度の幅を持つ5つの天頂角における葉間隙（開度 T）を求め、次式より LAI 合計値を算出している。

$$LAI = -\ln(T \cdot z) W_z / S_z \quad (1)$$

W_z は面積の補正項、 S_z は通過距離の逆数である。

LAI-2000による測定は、センサーに直接光が当たらない曇りの日や朝夕の時間帯に行った。2センサーモードを使用し、林冠上部で測定したりファレンスデータと林内の5地点（地上高1.2m）で測定したデータをマッチングさせた。この測定を各プロットで3回繰り返して、平均化した。測定時期は、1月、2月、6月、7月、9月、10月、12月、である。LAI-2000で測定されたLAIは実測値と相関はあるものの、実測値より過小評価されるという報告例（石井ら、1997）があることから、今回は実測値と区別するため、LAI-2000で測定されたLAIをLAI-2000値と称することとする。

2. 衛星画像の前処理

衛星画像の解析に ERDAS Imagine Ver. 8.6 (ERDAS 社、米国) を用いた。衛星画像の前処理として幾何補正（地形歪み補正）を行った。その際、国土地理院発行の数値地図50mメッシュをDEM (Digital Elevation Model) として使用した。また、国土地理院発行の数値地図25000（地図画像）も同時に使用した。

3. 太陽入射角によるプロット選定

山岳地に位置する森林では陰影の発生、すなわち地形効果が衛星データを解析する上で最も大きな障壁となる。太陽位置に応じて陰影の影響の程度は変動するため山岳林が示す分光反射特性の季節変動を捉える上で地形効果は無視できない（村上、2000）。地形効果とは太陽位置と地形条件によって対象物の見かけの分光反射率が変動することである。本研究では、太陽入射角の余弦である $\cos i$ を次式より求め、季節変動による地形効果を考慮することとした。解析では地形効果を受けにくいとされる $\cos i > 0.5$ のプロットのみを使用した。

$$\cos i = \cos Z \cos \beta + \sin Z \sin \beta \cos(\alpha - \gamma)$$

ここで、 i は太陽入射角、 Z は太陽天頂角、 β は斜面傾斜角、 α は斜面方位角、 γ は太陽方位を表す。

4. 複数時期の衛星データと LAI-2000値との関係

5 時期の SPOT / HRV データから算出した正規化植生指数 (NDVI, Normalize Difference Vegetation Index) と同時期に測定された LAI-2000値との関係を季節変動の観点から検討した。NDVI は、バンド間の比演算処理であり植物の活性度、バイオマス評価や植物の識別を目的とするスペクトル指数である。SPOT / HRV データでは次式によって算出できる。

$$NDVI = \frac{\text{Band 3} - \text{Band 2}}{\text{Band 3} + \text{Band 2}} \quad (2)$$

Ⅲ. 結果と考察

1. NDVI と LAI-2000値の季節変動

NDVI と LAI-2000値の季節変動を図-1, 2に示す。NDVI の季節変動は、大気補正を施していない複数時期の衛星データによるものである。異なる大気条件のもとで観測された複数時期の衛星データを比較する際に大気補正が必要であるため、今回の結果から季節変動を捉えるには厳密さを欠くものの、広葉樹林で NDVI が夏季に増加し冬季に減少することを示した村上（2000）の結果とおおむね一致するものであった。LAI-2000値の季節変動は葉量の季節変動そのものであり、春～夏では新葉の展開により葉量が増加するため高い値を示す。NDVI は LAI-2000値と類似した季節変動を示すことから、NDVI の季節変動もまたある程度葉量の変化を反映していると思われる。しかし、プロットごとの NDVI の季節変動は LAI-2000値のそれとは多少異なっており、NDVI の季節変動には葉量の変化以外に下層植生の影響や葉や枝による散乱光の影響を受けているものと考えられる。

2. シーン別にみた NDVI と LAI-2000値の関係

5 時期の NDVI と LAI-2000値との関係を図-3に示す。また、今回はサンプル数が少なかったため、Spearman の順位相関係数を求めた。Spearman の順位相関係数のいずれも有意性を確認することができなかったものの、おおまかな傾向は捉えることができた。(b) 05/27, (c) 06/17では NDVI の増加につれ LAI-2000値の増加が認められた。石井孝ら（1999）はスギ・ヒノキ人工林で、星ら（2001）は落葉広葉樹林で LAI は NDVI の増加につれ LAI が増加すると報告しており、同様の傾向を示すことが認められた。ただし、(b) 05/27, (c) 06/17で得られた関係は LAI-2000により算出された LAI (LAI-2000値) を用いているため単純に比較はできないことを留意しなければならない。また、プロットごとで見ると (b) 05/27, (c) 06/17では NDVI が他の時期より変動幅が小さいものの高い値を示していた。これは5月から6月にかけて新葉の展開により反射率がピークに達し（村上、2000）、LAI-2000値に関わらず NDVI が上限に達するため差がでにくくなったと考えられる一方、(a) 01/17, (d) 10/25 (e) 12/05では NDVI の変動幅に対し LAI-2000値の変動幅は狭い。その理由として冬季では地形効果の影響を受けやすく、太陽入射角によるプロット選定がうまく行われなかったことが挙げられた。しかし、NDVI と太陽入射角の余弦 $\cos i$ の関係を調べたところ地形効果の影響を受けていたとは考えにくかった（図-4）。冬季における NDVI と LAI-2000値の関係については今後さらに検討していく必要があるだろう。

引用文献

- 星直弥ほか（2001）日林誌 83 : 315-321.
 石井孝ほか（1998）電力中央研究所報告, 23pp.
 村上拓彦（2000）九州大学博士論文, 128pp.
 Nemani, R. R. and Running, S. W. (1989) Agric. For. Meteorol. 44 : 245-260.
 Welles, J. M. and Norman, J. M. (1991) Agron. J. 83 : 818-825.

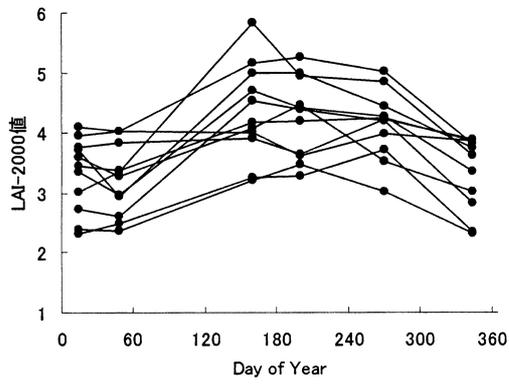


図-1. LAI-2000値の季節変動

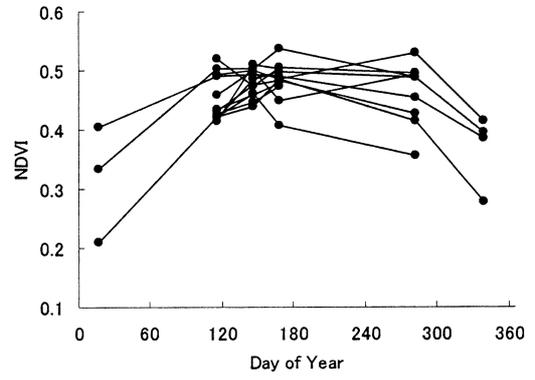


図-2. NDVIの季節変動

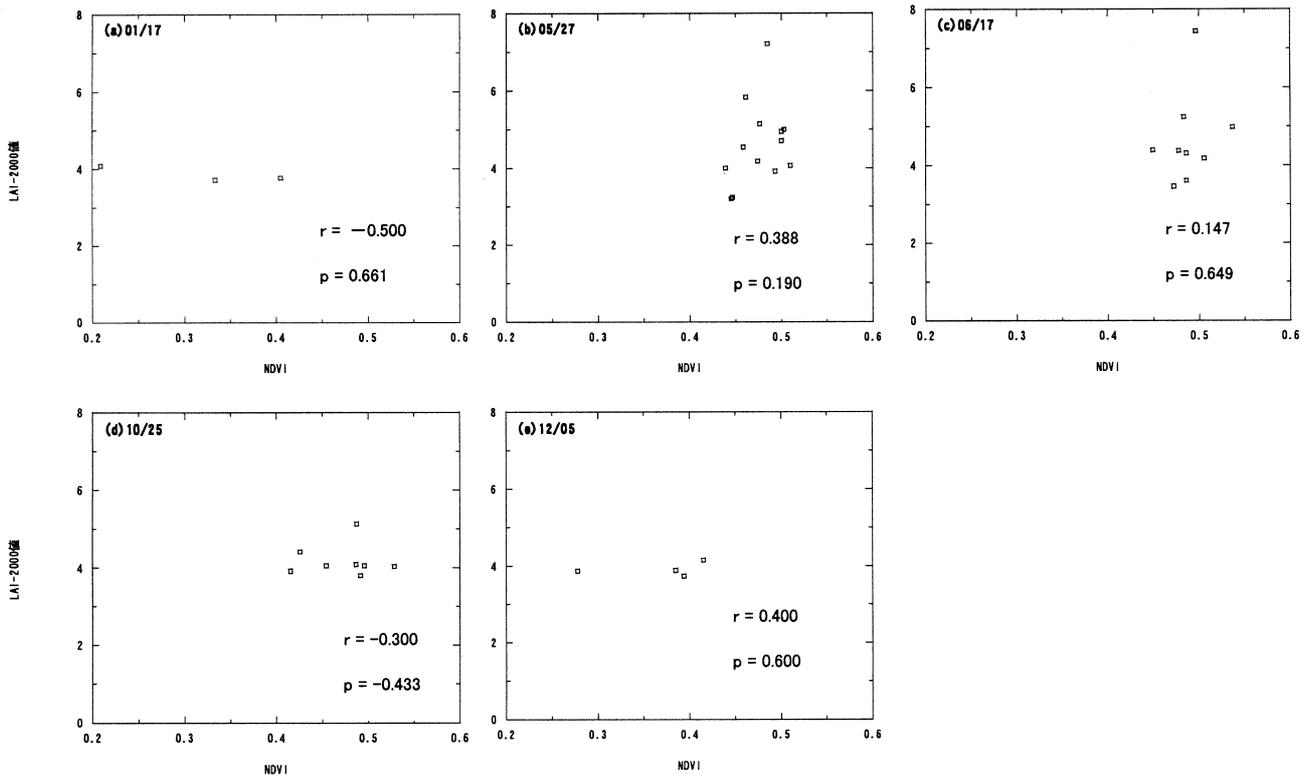


図-3. 各シーンのNDVIとLAI-2000値との関係

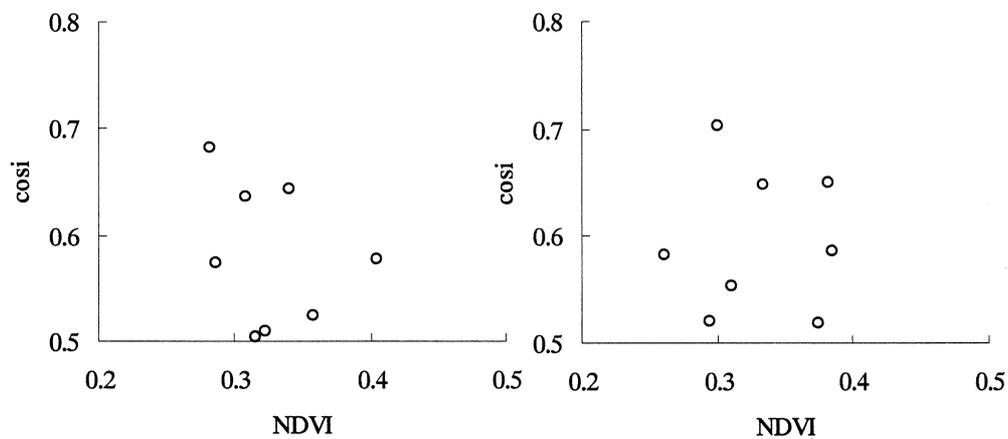


図-4. NDVIとcos iの関係

(2003年10月31日 受付; 2004年1月5日 受理)