

リモートセンシング画像と景観計数を用いた 景観変化の定量的評価に関する研究

高橋 俊 守¹⁾

A Study of Quantitative Evaluation for Landscape Change using Remote Sensing Imagery and Landscape Metrics

Toshimori Takahashi

【Abstract】

In this study, high spatial resolution Terra/ASTER satellite imageries were analyzed and the landscape metrics were calculated in order to evaluate the landscape change of rural landscape forest at Santome Shinden in Tokyo metropolitan area. There was no difference in forest area between the year of 2000 and 2004 imageries. However the value of Contagion index come down, on the contrary, the value of Fractal Dimension come up. The two dimensional conception using these two landscape metrics was useful for understanding landscape change of forest spatial pattern. Much more studies are necessary for finding the adequate methods in order to evaluate the fragmented rural landscape in Japan.

Key Words : Rural landscape forest, Remote sensing, Landscape change, Landscape metrics

1. はじめに

リモートセンシングは、衛星や航空機等に搭載されたセンサを用いて、対象に直接接触することなく、観測対象に関する情報を調査する方法の総称である。リモートセンシングでは、主として観測対象から反射あるいは放射される電磁波を様々な種類のセンサによって計測する。電磁波は、観測対象の物理化学的な条件によって固有の特性を持つのが一般的である。これらの性質を利用することにより、対象物の種類の識別を始め、表面温度や水分量の推定、生物量や生化学成分濃度の推定等を行うことができる。さらに、リモートセンシングは、広い観測対象範囲を同時かつ反復して観測することができることが特長である。これらの特長は、景観の分類や空間分布を把握する際にも利点となることから、景観の観測にリモートセンシングを用いた研究が数多く実施されてきた。

リモートセンシングデータから得られる情報は、主としてセンサの性能に対応した、空間分解能(ピクセルサイズ)、波長分解能(観測波長帯域におけるバンド数)、時間分解能(同一場所を再び観測できるまでの時間)、観測範囲(一度に観測できる面積)によって制約を受ける。我が国に一般的に見られる里山林をはじめとする人為的な利用圧を受けた景観においては、多様な土地利用

を背景として、規模の小さい景観要素によるモザイク化した景観が成立する。このような景観を観測するためには、小さな規模あるいはモザイク化した景観のそれぞれの構成要素についても観測可能な高い空間分解能が求められる。また、景観の変化をモニタリングするためには、観測の頻度を高めること、すなわち時間分解能が高い観測も要求される。

本研究では、人里周辺の里山林に見られるような、小規模な景観要素がモザイク化した景観構造を対象とした事例研究を実施する。このため、リモートセンシングセンサとして、対象物を比較的高い空間分解能で観測可能な Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)に着目した。ASTERは、NASAの地球観測計画(EOS: Earth Observing System)を担うセンサの一つで、人工衛星 Terra に搭載されている(Yamaguchi *et al.*, 1998)。ASTERは、1999年に打ち上げられ、可視域から熱赤外域を観測波長帯域とする合計14バンドのマルチスペクトルセンサで、その空間分解能は可視・近赤外域が最も高く、およそ15mである。ASTERは、直下視望遠鏡と後方視望遠鏡による同一軌道内で取得した画像を用いた立体視によって、Digital Elevation Model (DEM)を生成することが可能な特徴を備えている(Abrams, 2000)。ASTERが1度に観測できる範囲は約60km四方と広く、さらに1999年以降今日ま

¹⁾ (現) 宇都宮大学農学部

で、反復観測されたイメージデータが蓄積されている。

一方で、生態学的プロセスに対する景観パターンの効果を研究する学問分野として、景観生態学が発達してきた。景観生態学では、空間的パターンの計測と評価が基本的な課題として求められるため、景観の多様性、連続性、分断化等の空間的パターンを定量的に評価するための数多くの手法が提案されている。これらの指標は、景観指標あるいは景観計数といわれている。

本研究では、景観計数の中でも使用頻度が高い、Contagion 景観計数及び Fractal Dimension 景観計数に着目した。Riitters *et al.*(1995)は、因子分析によって 55 種類の景観計数の統計的な独立性を調べた。この結果、景観計数は互いに相関関係を示すものが多く、最終的には 6 種類の景観計数によって代表することが可能であることを示した。この中には Contagion 景観計数と Fractal Dimension 景観計数が含まれている。一方で、O'Neill *et al.*(1996)は、米国で実施した研究成果に基づき、Contagion 景観計数、Fractal Dimension 景観計数、Dominance 景観計数の 3 つの景観計数を用いた三次元空間による景観パターンの効率的な評価法を提案している。しかしながら、我が国に一般的に見られるような、断片化した景観において、リモートセンシングと景観計数の有効性を検証した研究は少ない。

以上を踏まえて本研究では、リモートセンシングを用いて景観パターンを把握すると同時に、これを景観計数によって評価することで、我が国の景観変化を定量的にモニタリングする手法の有効性を検証することを目的とした。このため、研究対象地として首都圏の埼玉県南部に位置する三富新田地区を選定した。この地区は、江戸時代の新田開発によって、武蔵野台地上にコナラやクヌギを主体とした落葉広葉樹林が、畑地や集落と組み合わせ整然と植林されており、特有の景観が形成されている。しかし、近年では農用林としての役割を失った林分が増加し、里山林の消失や荒廃による景観の変化が生じている。

2. 研究対象地の概要

三富新田の里山林は、首都圏 30km の都市近郊に位置している。この地域の里山林は、燃料革命以前までは、防風林、薪炭材や堆肥用の落ち葉の供給源等として維持管理されてきた。しかし、近年では林分の消失や、産業廃棄物施設、資材、残土置場、倉庫の設置等によって部分的に荒廃が進行して社会問題となっている。このため埼玉県では、三富新田地区の里山林を対象に、県自然環境保全地域、地域森林計画対象民有林、ふるさとの緑の景観地等の緑地保全制度を適用したり、「みどりの三富地域づくり懇話会」を設置する等、保全のための取り組

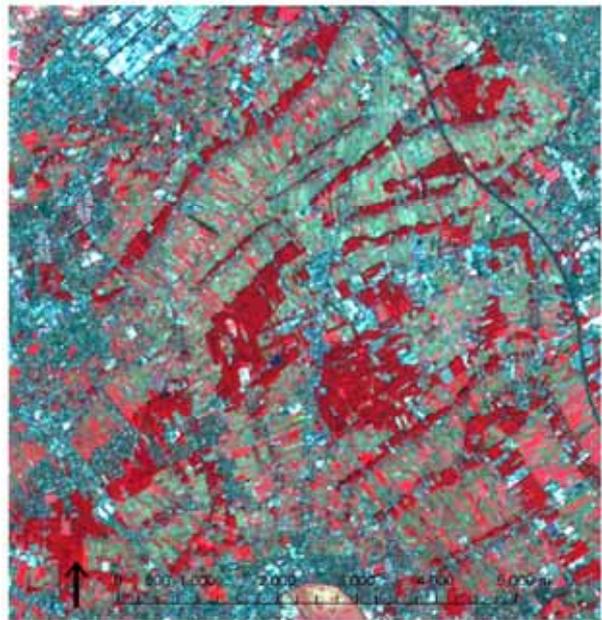


図1 ASTERによる三富新田の景観

みを実施している(埼玉県, 2005)。一方近年では、行政、地域住民、専門家、NPO等によって、平成14年に施行された自然再生推進法に基づく「くぬぎ山地区自然再生協議会」が設置され、失われた里山林を取り戻すための活動も始められている。

3. 研究の方法

3.1 リモートセンシングによる里山林の景観構造の把握

三富新田地区を観測した利用可能なASTERイメージ(図1)を、NASA Land Processes Distributed Active Archive Center(LP DAAC)のアーカイブから検索した。この結果、植生の繁茂期に観測され、4年間の間隔があった、2000年8月6日及び2004年9月16日の2時期のイメージデータを解析に利用することができた。これらの画像において、三富新田の典型的な里山林が残存する、川越市、所沢市、狭山市、三芳町にまたがる「くぬぎ山地区」を含む地域を対象として解析を実施した。

まず、一方のイメージデータを基準として、平方根平均二乗誤差(RMSE)が1ピクセル以下となるように幾何補正を実施した。次に、それぞれの画像を対象として、正規化植生指数(NDVI: Rouse *et al.* 1973)を算出し、NDVI画像を作成した。最後に、NDVI画像において任意の閾値を設定することで、里山林の空間分布を推定した。

3.2 景観計数による里山林の空間的パターンの評価

景観計数による空間的パターンの定量的評価には、以下に示すContagion及びFractal Dimension景観計数を用いた。景観計数の算出には、McGarigal and Marks(1995)

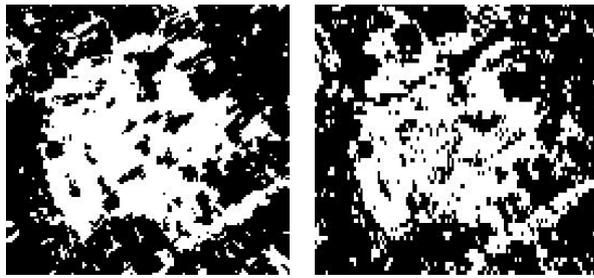


図2 ASTER 画像による「くぬぎ山地区」における里山林の景観構造（白色は里山林を示す）

による FRAGSTATS 3.3 を用いた。

(1) Contagion 景観計数

Contagion 景観計数は、O'Neill *et al.*(1988)によって提唱され、景観生態学ではパッチの伝播や凝集の指標として用いられている(e.g., Turner 1990)。さらに、この景観計数は、景観の分断化の指標としても用いられている。Contagion 景観計数は、式1で与えられる。

$$\text{Contagion } C = \frac{2\ln(t) + \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t ((n_{ij}/N) \ln(n_{ij}/N))}{2\ln(t)} \quad (1)$$

ここで、 n_{ij} はクラス*i*及びクラス*j*の間における共有するピクセル辺の数を示し、 N はピクセル全辺数の2倍、 t はクラス全数を示している。Contagion景観計数の値が低いときには、多くの小さなパッチが存在していることを示し、一方で値が1に近づく程、大きな集合パッチによって構成された景観であることを示している。(O'Neill *et al.* 1988)。

(2) Fractal Dimension 景観計数

Fractal の概念は、イギリスの海岸線を事例としたMandelbrot(1967)の研究によって紹介され、その後様々な分野に応用されて発展した。景観生態学におけるFractal Dimension 景観計数は、景観におけるパッチ形状の複雑さを示す指標として用いられてきた(e.g., Krummel *et al.* 1987, O'Neill *et al.* 1988)。

Fractal Dimension を決定する方法は複数存在するが、最も一般的な手法は、周辺長・面積比率からの回帰法による推定である。

$$\text{Fractal Dimension } D = \frac{2(\ln(P) - \ln(k))}{\ln(A)} \quad (2)$$

ここで、 P は周辺長、 A は面積、 D はFractal Dimension、 k は比例定数を示す。パッチが最も単純な形状の場合には、 D は1を示し、形状が複雑になるに従って、 D は2に近い値を示す(O'Neill *et al.* 1988)。

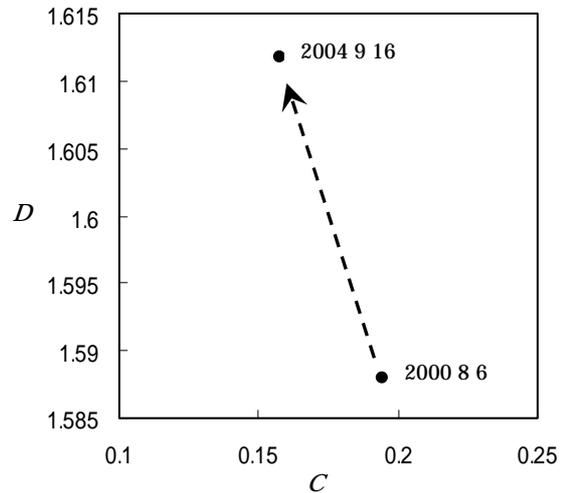


図3 里山林の景観変化を表す Contagion 及び Fractal Dimension 景観計数の二次元投影図(図中の矢印は景観変化の方向と大きさを示す)

4. 結果及び考察

4.1 里山林の景観構造

ASTER 画像の解析によって、里山林の景観構造が推定された(図2)。それぞれの画像から推定された里山林の総面積の比率は0.995:1.000を示し、面積的にはほぼ等しく変化は認められなかった。

4.2 景観計数による評価結果

里山林の景観パターンに対する Contagion 景観計数の値には、減少する傾向が認められた。したがって、里山林は細分化されて分散する傾向にあると評価された。一方で、Fractal Dimension 景観計数の値は増加する傾向が認められ、景観を構成する里山林のパッチの形状がより複雑化する傾向があることが認められた。これらの結果を統合し、Contagion 及び Fractal Dimension 景観計数それぞれの評価値を用いた2次元投影図を図3に示した。図中の破線矢印は、里山林による景観変化の方向性と大きさを図化したものである。Contagion 及び Fractal Dimension 景観計数の二つの指標を用いることによって、図に示すように景観の変化をより理解しやすい形で示すことができ、さらに散布図に示された2点間のユークリッド距離によって景観の変化量を定量的に表現することが可能になる。

リモートセンシングのイメージから求めた Fractal Dimension 等の景観計数の変化は、土地利用形態の変化

表1 Contagion 及び Fractal Dimension 景観計数による里山林の景観パターンの評価結果

Date	Contagion	Fractal Dimension
2000.8.6	0.194802	1.5880
2004.9.16	0.157620	1.6117

に伴う景観の変化と関係が有ることが知られている (O'Neill et al. 1988). 里山林においては, 部分的な伐採や建築物の設置等が進行することによって, 面積が減少することに加えて, 里山林がより分断化, 細分化され, 林分の形状はより複雑化するものと考えられる. Contagion 景観計数の減少や Fractal Dimension 計数の増加は, このような景観の変化を反映したものである可能性がある. しかし一方で, 対象地においては, ASTER 画像の二時期の観測が実施される間に, 埼玉県と関係市町村による自然再生事業が実施され, 苗木の植樹や移植等が実施されている. こうした自然再生の取り組みによって, Contagion 景観計数の増加や Fractal Dimension 景観計数の減少が予想されるが, これに関して本研究のみからは明瞭な傾向を認めることはできなかった.

なお, リモートセンシング画像による景観の分類では, 一定の誤差が生じることは避けられない. 土地利用が細分化され, モザイク化した景観においては, 一つのピクセルに対して複数の景観要素が含まれるいわゆるミクセルの問題も生じることが予想できる. これらの要因が景観計数の評価にも影響を与える可能性があることも考慮すべきであろう.

5. まとめ

首都近郊に位置する三富新田における景観の変化を定量的に評価するため, 空間分解能 15m の二時期の ASTER イメージと景観計数を用いた解析を実施した. 2000 年と 2004 年のイメージから推定された里山林は, 面積においては変化が認められなかったが, Contagion 景観計数では減少, Fractal Dimension 景観計数では増加の傾向があり, 景観の空間的パターンの変化が認められた. 二つの景観計数を用いた二次元投影図は, 景観変化の方向性や変化量を評価するための有効な手法であった. リモートセンシングと景観計数を組み合わせることによって, 景観の変化を効率的に評価することが可能になると言える. このような手法を適用して景観の変化を安定的に評価する手法を確立するためには, 里山林に見られるような, 我が国に広く見られるモザイク化した景観における事例研究を実施し, 観測に求められるセンサの空間分解能や, 景観の空間的パターンを評価するために適した景観計数の選定について, さらに研究を積み重ねることが必要となる.

謝辞

貴重な研究の機会を与えてくださった兵庫県立大学の一ノ瀬友博博士をはじめとする関係各位に篤くお礼

申し上げる. 本研究の大部分は, 筆者が東京大学大学院農学生命科学研究科附属緑地植物実験所助手として在籍中に実施された. 加藤和弘博士, 山浦悠一博士 (現森林総合研究所) には, 研究に際して常に適切な助言をいただいた. ここに記して心からお礼申し上げる.

引用文献

- Abrams, M. (2000) The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *International Journal of Remote Sensing* **21**, 847-859.
- Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., O'Neill, R.V., Colman, P.R. (1987) Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos* **48**, 321-324.
- Mandelbrot, B. (1967) How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *Science* **156**, 636-638.
- McGarigal, K., and B. J. Marks. (1995) FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351.
- O'Neill, R.V., Hunsaker, C.T., Timmins, S.P., Jackson, B.L., Jones, K.B., Ritters, K.H. and Wickham, J.D. (1996) Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. *Landscape Ecology* **11**, 169 - 180.
- O'Neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D.L., Milne, B.T., Turner, M.G., Zygmunt, B., Christenson, S.W., Dale, V.H. and Graham, R.L. (1988) Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* **1**, 153-162.
- Riitters, K.H., O'Neill, R.V., Hunsaker, C.T. Wickham, J.D., Yankee, D.H., Timmins, S.P., Jones, K.B. and Jackson, B.L. (1995) A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* **10**, 23-39.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. (1973) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: pp.309-317.
- 埼玉県総合政策部土地水政策課 (2005) 平成 16 年度版 さいたまの土地, 121pp.
- Turner, M.G., (1990) Spatial and temporal analysis of landscape patterns, *Landscape Ecology*, **4**, 21-30.
- Yamaguchi, Y., Kahle, A., Tsu, H., Kawakami, T. & Pniel, M. (1998) Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **36**, 1062-1071.