

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

NPP assessment in the eastern Japan

by using Digital National Land Information and the time integral NDVI

美濃 憲*・風間 聡**・沢本正樹***

By Ken MINO, So KAZAMA and Masaki SAWAMOTO

Abstract : Assessment of the vegetation activity is essential to assess ecological environment. It is characterized by Net Primary Productivity (NPP). The relationship between NPP and the time integral of Normalized Difference Vegetation Index(iNDVI) is studied. At first, land use is classified into some categories from Digital National Land Information. The value of NPP is compared with iNDVI derived from NOAA-AVHRR at each land use. Applying this method, distribution of NPP is derived in the eastern Japan.

Keywords: NPP, iNDVI, NOAA-AVHRR, Digital National Land Information

1. はじめに

近年、地球温暖化や異常気象などの環境問題が非常に重要な問題となっており、地球の諸環境の状況を把握し、評価することは人類にとって最重要課題の一つであるといえる。地球を監視する際、特に広範囲を対象とする場合は、衛星データを使用することが非常に有効である。そこで、ここではNOAA衛星のAVHRRデータを用いて地球環境を評価する方法を考える。

著者らは植物が気象条件、地理的条件そして人間その他の生物的要因などの諸条件によりその様相を大きく変化させるということより、植物の分布状況や活動状態に注目することで、間接的にその土地の諸環境を把握することを考えた。諸環境を定量的に評価するには植生による純一次生産力（NPP: Net Primary Productivity）を評価することが必要である。NPPが把握できると、植物の生産活動に伴うCO₂の吸収量や蒸散量などの推定が可能になる。清野ら¹⁾は日本のNPPの分布を気候学的に評価している。衛星データによる植生指標としては、Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) が最も広く用いられており、多くの研究、報告がなされている。NDVIは植生の状態をリアルタイムに評価することが可能である。しかしそれは定

* 学生員 東北大学大学院 工学研究科

** 学生員 修(工) 東北大学大学院 工学研究科

*** 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

(〒980 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉)

性的な評価にとどまり、定量的に判断するには至っていない。植物環境を定量的に評価する事の出来る指標として、integrated NDVI (iNDVI) が提案された。iNDVIはNDVIをある期間で積分する事によって得られる指標である。M.S.RasmussenはこのiNDVIときびの収穫量とが比例関係にあるという研究結果を報告している²⁾。また、iNDVIはその土地の植物生産力を評価しうることがわかっている³⁾。

以上のような観点から、我々は衛星データによるiNDVIからNPPを推定するモデルを開発する。本研究ではまず、NPPを推定する際に地覆状況を把握する必要があることから、国土数値情報を用いて地覆状況の分類を行った。次に、衛星データからiNDVIを計算し、その特性を調べた。そして、清野らによるデータを用いて東日本のNPPの分布と県ごとのNPPの総和を求めた。そして最後に、文献から得られたNPPとiNDVIとの相関関係を調べて、iNDVIによるNPPの推定モデルを構築し、NPPを推定して気候学的方法によるNPPの推定結果と比較、対照した。

2. 国土数値情報による地覆分類

国土数値情報は国土地理院から発行されている数値地図情報であり、様々な種類の数値地図が提供されている。NPPを推定する際に、地覆状況と土地利用面積を把握することが必要である。そこで、国土数値情報の土地利用データ (KS-202-1) を利用して地覆分類をおこなった。

土地利用データは15種類のカテゴリーに分類されている。ここでは、その中から植生生産力に関係のあるものとして森林、水田、畑、樹木畑の4種類のカテゴリーの土地利用面積を把握する必要がある。樹木畑とは、果樹園や桑畑などの樹木の畑のことである。ここで問題となるのは、国土数値情報とAVHRRデータのピクセルサイズの違いである。土地利用データのピクセルサイズは約100m四方である。それに対し、AVHRRデータのピクセルサイズは約1.1km四方である。さらに、南北で比較した場合、北に行くほどピクセルサイズが小さくなっていく。そこで、AVHRRデータの1つのピクセルに対応する土地利用データの総ピクセル数を1として、それに対する土地利用データの各カテゴリーのピクセル数の占める割合を百分率で表したデータを、各カテゴリーごとに作成した。これらのデータをAVHRRデータと併せて用いることにより、AVHRRデータのそれぞれのピクセルに対応する各カテゴリーの面積が把握できることになる。

3. 衛星データについて

東北大学では、NOAA衛星のHRPTデータを1988年4月から受信している。受信されたデータからはいくつかのデータベースが作成されているが、今回はその中の東日本の陸域を抜き出したN-LANDと、東日本に北海道と海域を含む0-TIDASを用いた。対象とした期間は、1989年4月～12月までで、雲量の少ないデータ33シーンを選び出した。データセットを表-1に示す。また、対象区域は東北6県と関東1都6県に新潟県を含めた1都13県である。

month	4		5							6		7				8	
day	25	29	4	8	9	10	14	21	31	9	13	6	23	24	27	9	11
month	8					9			10			11				12	
day	12	13	19	20	24	29	25	29	4	27	29	3	4	15	26	4	

表-1 衛星データのデータセット

3.1 NDVIについて

まず、これらのデータからそれぞれのNDVIを計算する。NDVIはAVHRRセンサのChannel 1とChannel 2によ

り、次式により計算される。

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Ch. 2} - \text{Ch. 1}}{\text{Ch. 2} + \text{Ch. 1}} \tag{1}$$

Ch. 1 (可視域 : 0.58~0.68 μm)

Ch. 2 (近赤外域 : 0.725~1.10 μm)

AVHRRのCh. 1は可視域の赤色光の波長帯に相当する。この波長帯は植物中のクロロフィルに良く吸収される。そのため、植物の活性度が高いほど反射率は低くなり、Ch. 1の値は低くなる。それに対して、Ch. 2は近赤外域に相当する。この波長帯はクロロフィルの活性度が高くなるほど良く反射され反射率が高くなり、Ch. 2の値は高くなる。そのため、上式からわかるようにNDVIは、植生活性度または植物の量に対応していることがわかる。また、NDVIはchannel間の差と比により計算されているため、大気や太陽高度の変化などの影響を受けにくいというメリットがある。

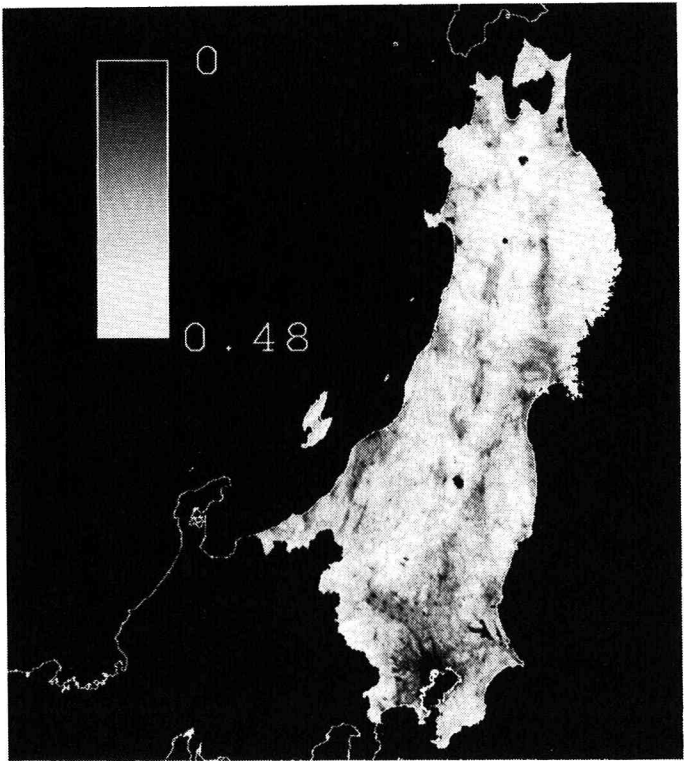
3.2 iNDVIについて

次に先ほど求めたNDVIからiNDVIを計算する。iNDVIは次式により計算される。

$$i\text{NDVI} = \sum \text{NDVI}_j * d_j / \sum d_j \tag{2}$$

ここで、NDVI_j : j 番目のNDVI

d_j : j 番目の観測日数



図－1 iNDVIの分布図

得られた衛星データの観測日の間隔は一定ではない。そこで、各データをその期間の代表値ととらえる。すなわちNDVIにその期間の日数を掛け合わせたものを積分して、さらにその積分値を総観測日数で割った値をiNDVIとした。ここで問題となるのは雲の影響である。Ch. 1, Ch. 2ともに反射率を測定しているの、上空に雲がかかっている場合は、地上の観測は不可能である。また、東日本全域のように広範囲を対象としている場合、すべてに雲のかかっていないデータを得ることは不可能に近い。そこで、NDVIと同日のCh. 1データを用いて雲の判別を行い、雲と判別されたデータを取り除いた。この時、同時に観測日数からも日数を取り除いた。

このようにして求められた東日本のiNDVIの分布図を図-1に示す。この図を見ると、地覆状況の違いによるiNDVIの分布がよくわかる。都市域では値は低くなっており、山地、森林では高い値を示している。新潟、庄内平野の穀倉地帯ではその中間の値を示している。このことより、iNDVIがその土地の植生生産力に相関関係があることがわかる。

4. iNDVIによるNPPの推定

4.1 NPPについて

純一次生産力NPPは、単位土地面積での1年間の植物による有機物生産量であり、乾燥重量/㎤²/yearで表される。一次生産力は緑色植物の光合成によっている。1年間の光合成総量を総一次生産力GPP（乾燥重量/㎤²/year）という。また、緑色植物は同時に、光合成によって作り出した有機物の一部を自分自身の呼吸によって消費している。1年間の呼吸量をR（乾燥重量/㎤²/year）とするとNPP, GPP, Rの関係は次式によって表される。

$$NPP = GPP - R \quad (3)$$

4.2 iNDVIによるNPPの推定

NPPの推定・評価については、多くの研究結果が報告されている。清野らはAMeDASデータを用いて、日本のNPPの分布と各県ごとの総量を評価している。県ごとの地覆状況ごとのTNP（Total NPP：NPPの総量）と各地覆状況ごとの面積とiNDVIが与えられると、それらの間には次式が成り立つと考える。

$$TNP_{ij} = \varepsilon_j * \sum A_{ij} * iNDVI_{ij} \quad (4)$$

ここで、 TNP_{ij} ：i番目の県のj番目のカテゴリーのTNP

ε_j ：j番目のカテゴリーの補正係数

A_{ij} ：i番目の県の各ピクセルのj番目のカテゴリーの面積

$iNDVI_{ij}$ ：i番目の県の各ピクセルのiNDVI

この式を各県、各カテゴリーごとに計算し、最小二乗法により補正係数 ε を求める。TNPは、清野らによって求められた各県のNPPの平均値を用いて計算した値である。この式の意味図を図-2に示す。NPPはカテゴリーごとにある値を持っている。そして、iNDVIはそのNPPに正の相関関係がある。したがって、iNDVIにその面積を掛け合わせることで、NPPが評価できるはずである。そこで、まず各ピクセルでカテゴリーごとにiNDVIと面積を掛け合わせる。すなわち、iNDVIをあるピクセルの代表値として、単位面積当たり

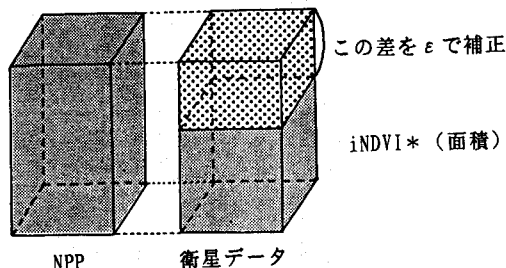
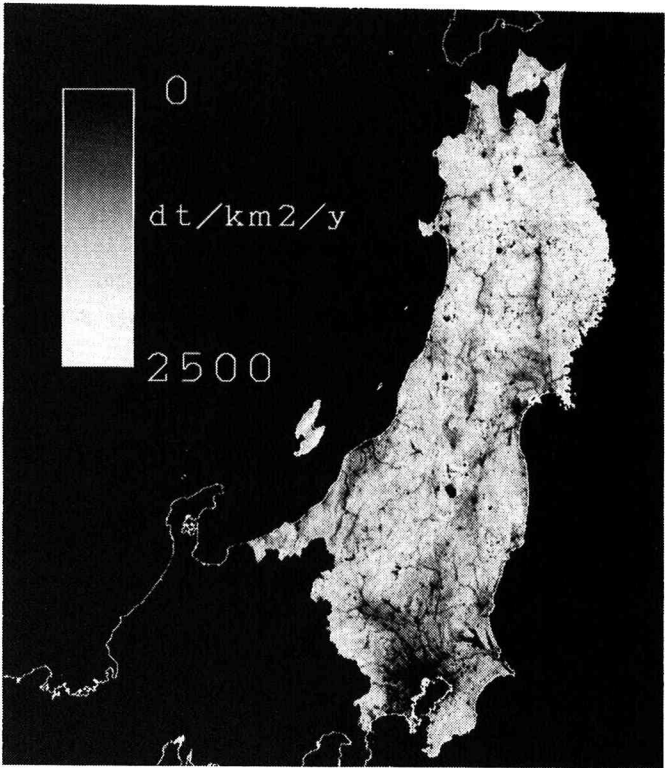


図-2 NPP推定モデルの概念図

の値ととらえているのである。しかし、iNDVIは表面の情報しか捉えていないので、樹種の違いを評価できない。そのため、iNDVIが同じでも地覆状況によりNPPが違うことがある。だから、ただiNDVIと面積とを掛け合わせるだけではNPPは評価できない。そこで、樹種によるNPPの違いを補正するために、各カテゴリーごとに違う係数 ϵ を掛け合わせる必要がある。

カテゴリー	NPP(dt/km ² /year)		ϵ	相関係数
	from Seino	from iNDVI		
森林	85634000	79293820	347.02	0.878
水田	16716000	16030830	435.90	0.778
畑	6923000	6568165	420.76	0.713
樹木畑	1967000	1855434	384.10	0.861
合計	111240000	103191500		0.832

表－2 補正係数 ϵ と相関係数



図－3 iNDVIによるNPPの分布図

各県、カテゴリーごとにおける文献からのTNPと上式による推定値と ε_i と相関係数を表-2に示す。カテゴリーごとの相関係数を見ると0.713~0.878と高い値になっている。森林、樹木畑に比べると水田、特に畑の相関係数が低くなっている。前2者が市街地から離れた場所に固まって広く分布しているのに対して、後2者、特に畑は市街地の近郊に分散して分布している。その結果として、畑が存在しているピクセルのiNDVIが極端に低い値となるためである。そのため、NPPの推定値も少し低い値となる。しかし、全体の生産量に占める畑の生産量の割合は低いために、全カテゴリーの合計値と比較すると、相関係数は0.832と高くなる。

次に、求められた ε_i を用いて計算した東日本でのNPPの分布図を図-3に示す。これを見ると、地覆状況の違いによる生産量の違いが非常によく表れている。森林では高く、都市部では低い値となっている。そして、水田地帯ではそれらの中間の値となっている。また、湖沼や河川には生産力はないが、その様子も非常によく見て取れる。以上より、今回用いた方法ではNPPの分布が非常によく表されることがわかった。また、県あるいは全体での総和で見ると定量的にもよく表されているといえる。

5. まとめ

今回はiNDVIを求めるのに、33シーンと非常に多くのデータを用いて雲の影響をより少なくした。これは、衛星データを用いる際に非常に重要である。そして、こうして得られたiNDVIが植物によるNPPを評価できることがわかった。さらに、国土数値情報と組み合わせることで地覆状況を考慮することにより、より精度よくNPPを評価できることがわかった。また、衛星データを用いているので、まだ気象観測などが十分に行われていない地域にも適用が可能である。今後の課題は複数の地覆状況が混在するピクセルのiNDVIの評価の仕方である。この問題が解決されると、さらに精度よくNPPを評価できるだろう。

はじめにも書いたようにNPPは植物の総生産量から呼吸に伴う消費量を引いたものである。したがって、植物のNPPと呼吸に伴うCO₂吸収量、Cの固定量そして蒸散量との間にはある関係が成り立つ。そこで、NPPと呼吸量の関係を定量的に評価することにより、広域場における植物による炭素循環や水収支を定量的に評価することが可能であろう。また、NPPの推定値はこのほかに、農業その他の分野にも広く応用が可能であろう。

本研究で用いているNOAAデータは東北大学と東北電力(株)との共同研究の一環として受信されたものである。本研究の実施に当たり文部省科学研究費補助金及び河川整備基金の補助を受けた。また、本研究の公表に当たり小川基金の援助を受けた。併せて謝意を表明します。

〔参考文献〕

- 1) 清野 豁・内嶋善兵衛：自然植生の純一次生産力の農業気候学的評価(2)日本における純生産量の評価，農業気象，Vol.41(2)，pp.139-144，1985。
- 2) M.S.Rasmussen, Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from the AVHRR, Int. J. REMOTE SENSING, Vol.13, No.18, pp.3431-3442, 1992.
- 3) 美濃 憲・風間 聡・沢本正樹：iNDVIを用いた環境評価について，環境システム研究，Vol.21, pp.40-45, 1993.
- 4) D.Lo Seen Chong, E.Mougin and J.P.Gastellu-Etcheberry, Relating the Global Vegetation Index to net primary productivity and actual evapotranspiration over Africa, Int. J. REMOTE SENSING, Vol.14, No.8, pp1517-1546, 1993.
- 5) R. J. Hobbs and H. A. Mooney編：生物圏機能のリモートセンシング，シュプリンガー・フェアラーク東京，397p, 1993.