

(7) iNDVIを用いた環境評価について

AN APPLICATION OF THE TIME INTEGRAL NDVI FOR ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

美濃 憲*・風間 聡*・沢本正樹**

Ken MINO*, So KAZAMA* and Masaki SAWAMOTO**

ABSTRACT; Recently the problems for ecological environment has become serious. Especially, monitoring of quantity and distribution of vegetation is important. Satellite remote sensing data is useful in this field. Analysing satellite data, influence by meteorological condition and human activity on ecological environment can be assessed. In this study, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) derived from NOAA AVHRR data is used for monitoring vegetation. The time integral of NDVI (iNDVI) is also calculated to estimate of vegetation, i.e. the amount of CO₂ with photosynthesis, and water resources storage.

Firstly, the difference of reflectance between vegetation and sand are confirmed. Secondly annual variation and range of NDVI evaluated for four kinds of land use category; urban area, paddy area, forest and coastal zone. Lastly, the characteristics of iNDVI were studied for each land use categories. From these results, applicability of NDVI and iNDVI to environmental assessment is discussed.

KEYWORD; NDVI, iNDVI, NOAA AVHRR, 植生活性度

1. はじめに

今日、環境問題は様々な角度、分野で評価されており、社会的にも関心の高い重要な課題の1つである。そして、地球環境を監視する上で衛星リモートセンシングの役割が非常に重要になってきている。地球環境の現状を把握する際、植物の量やその分布状況などを知ることが必要不可欠である。植物は気候状況や人間の生活活動などの影響を受けて、大きくその様相を変化させていくため、植物の諸状況を知ることによって環境の変化を間接的に知ることが可能であるためである。衛星データを用いて植物量や植生の活性度を知るための植生指標としては、Normalized Difference Vegetation Index(NDVI)が、広く用いられており、多くの研究、報告がなされている。有名なものにC. J. Tuckerらによるアフリカの植生についての研究などがある。これに代表されるNDVIの応用は広範囲の植生状況をリアルタイムに判断するといったものであった。しかし、これらは定性的な判断にとどまり、定量的な判断というのはあまり多く行なわれてこなかった。M. S. Rasmussen は、きび畑において、ある期間のNDVIを積分することによって得られる値、the time integral of NDVI(iNDVI)が、その土地のきびの収穫量と比例関係があるという研究結果を報告しており、NDVIによる定量的な解析を行なっている。そこで、われわれは東日本という比較的広範囲を対象として、NDVIおよびiNDVIの環境評価の適応性について検討した。年間を通じてiNDVIを求めることにより、東日本の代表的な地覆状況での植生活性度を年スケールで把握し、これを環境評価に利用しようと試みた。これは、ある期間の iNDVIの値が植物の生命活動と正の相関があるという考えから、炭酸ガスの取り込みや、吸水量、気候緩和の効果を iNDVIが表わすという仮定に基づいている。

本研究ではまず、対象物によりNDVIの差があることを確認し、各々の対象物のNDVIの値を把握するため

* 東北大学大学院 Graduate Student, Tohoku Univ.

** 東北大学工学部 Dept. of Civil Engineering, Tohoku Univ.

に、室内において砂および植物のNDVIを測定した。次に、地上被覆状況の違いによるNDVIの特性の違いを把握するために、都市、水田、森林域、そして沿岸域の特徴のある4種類の地覆状況を選びだし、それぞれのNDVIの値域、季節変化などの特性を比較、対照した。そして、それぞれの地覆状況においてNDVIを積分したiNDVIを用い、それぞれの値を比較、検討した。そして、これらの結果より、NDVIおよびiNDVIの環境評価への可能性について考察した。

2. NDVIの特性

2.1 NDVIについて

NDVI (植生指標) はNOAA衛星のAVHRRセンサのChannel 1とChannel 2により、次式より計算される。

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

Ch. 1 (可視域 : 0.58~0.68 μm)
Ch. 2 (近赤外域 : 0.725~1.10 μm)

AVHRRのChannel 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よく吸収される。そのため、植物の活性度が高いほど反射率は低くなり、Channel 1の値は低くなる。それに対して、Channel 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よく反射され反射率が高くなり、Channel 2の値は高くなる。そのため、上式でわかるように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。すなわち、NDVIが大きいほど植生活性度が高く、植物量が多いということになる。また、NDVIはChannel間の差と比により計算されている。そのため、NDVIは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。

2.2 NDVIの室内測定について

NDVIの特性を把握するために、室内において数種類の対象物の分光反射率を測定し、それよりNDVIを計算した。

測定には分光反射率の測定に利用されているポータブルフォトメーター (阿部設計製, 2703型) を用いた。今回は、無機物の代表として砂、そして針葉樹、広葉樹について測定した。針葉樹は松を、広葉樹は楓など3種類を測定した。これらはすべて、仙台市の東北大学工学部内に生息しているものを採取した。採取したのはいずれも3月上旬である。

測定された反射率よりそれぞれの対象物のNDVIを計算した。計算方法は、測定した波長のうちAVHRRのChannel 1とChannel 2のそれぞれの観測波長帯に当てはまるものを選び、各Channelに対応する測定値の平均値を求め、その平均値をそれぞれのChannelの反射率としてNDVIを計算した。その結果を表-1に示す。まず、砂は可視域(0.268)と近赤外域(0.280)の反射率に差がないためにNDVIは0.023となり、0.0に近い値を示している。次に植物はすべてNDVIは0.60以上と非常に高い値を示している。しかし、針葉樹と広葉樹には明らかに違いが認められる。広葉樹の反射率の方が可視域は低く、近赤外域は高い。そのため、NDVIは針葉樹が0.661であるのに対して、広葉樹はすべて0.70以上である。このように、同じ植物でも針葉樹と広葉樹とではNDVIに明らかな違いのあることがわかった。従来から草地やサバンナ地帯、熱帯雨林などの植生区分の分類が可能であることは示されていたが、日本のような広葉樹 (落葉樹) と針葉樹 (常緑樹) の区分に対しても有効であることが確認された。

表-1 室内観測による各可視、近赤外反射率とNDVI値

category	visible region (%)	near infrared region (%)	NDVI
sand	26.8	28.0	0.023
needle leaved trees	10.8	52.9	0.661
broad leaved trees 1	8.9	70.1	0.775
broad leaved trees 2	10.5	69.7	0.737
broad leaved trees 3	10.0	66.6	0.739

3. 東日本のNDVIについて

3.1 データセット

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データベースを用いた。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を選びだした。また、対象区域は代表的な地覆状況である都市、水田、針葉樹林帯、広葉樹林帯そして沿岸域の5種類を選んだ。選んだ地域を図-1に示す。また、それぞれの対象区域は表-2に示すような画素数になっている。画素数に対する平均値の誤差についても検討した。各対象区域

表-2 各領域の画素数

urban area		coastal zone		
Yokohama	Tokyo	Mutsu Bay	Sendai Bay	Tokyo Bay
81	81	81	81	81

paddy area			
Yokote Basin	Shonai Plain	Echigo Plain 1	Echigo Plain 2
81	81	81	81

broad leaved trees		needle leaved trees	
Okutadam		Mt. Iwaki	Mt. Zao
49		25	25

表-3 対象期日

1989年													
month	4		5				6	7		8	9	10	11 12
day	25	29	9	14	21	31	13	6	23	27	11	20	29 4 29 26 4

における画素数を変化させ、それぞれにおけるNDVIの平均値及び分散を求めてそれぞれの分散を比較したところ、表-2に示されている画素数が最適であった。

また、各データで雲の全くかかっていないデータは存在しないため、他の観測データより線形補間を行なった。これは地覆状況が同じような晴れた地域をはかに選び、その変化率を対象地域の前シーンに乘じる方法である。使用データの観測日を表-3に示す。4月～12月にかけての17シーンを使用しているため、季節変化を見ることができる。

3.2 各対象区域のNDVIの特性

各対象区域のNDVIの平均値を求め、その値について各対象区域のNDVIの値や季節変化などの特性をつかんだ。対象区域は都市域、沿岸域、水田域そして森林域（針葉樹林帯、広葉樹林帯）である。

都市域は、神奈川県横浜市と東京都内が対象区域である。都市域の特徴として、植物が少ないだけでなく様々な地覆状況が混在していることがあげられる。都市域のNDVIを図-2に示す。横軸は月を、縦軸はNDVIを表わしている。これを見ると、多少ばらつきがあるもののNDVIは0.0を中心として分布している。これは、室内測定における砂の結果と同様に、クロロフィルが少なく、無機物が多いためこのような結果になっている。また、横浜の方が緑が残っているため、少し高い値を示している。

沿岸域は東京湾、仙台湾そして陸奥湾を対象としている。Channel 2は水によく吸収されるという特性を持っている。そのため、NDVIはすべて負の値を示している。沿岸域のNDVIの変化を図-3に示す。NDVIはばらついてはいるが、全体としては-0.30～-0.10という非常に低い値をとっていることがわかる。本解析

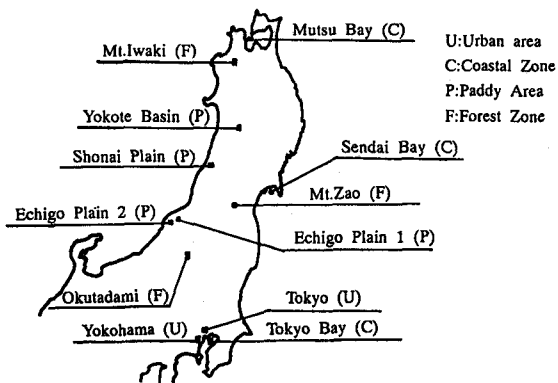


図-1 対象区域位置

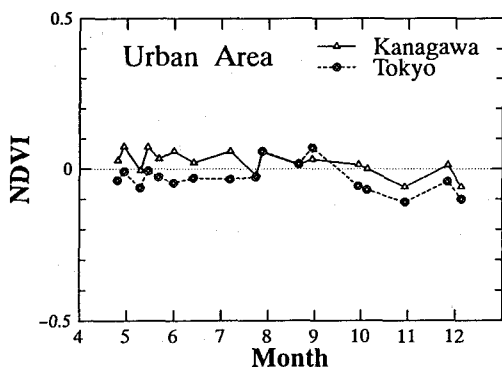


図-2 都市域のNDVI

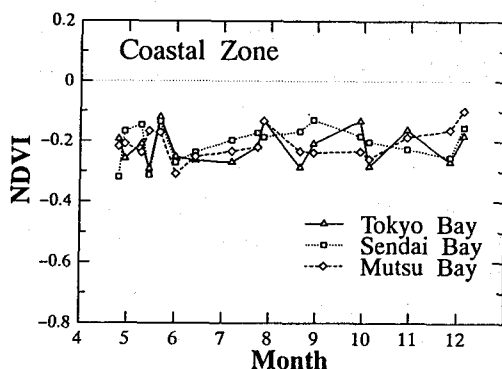


図-3 沿岸域のNDVI

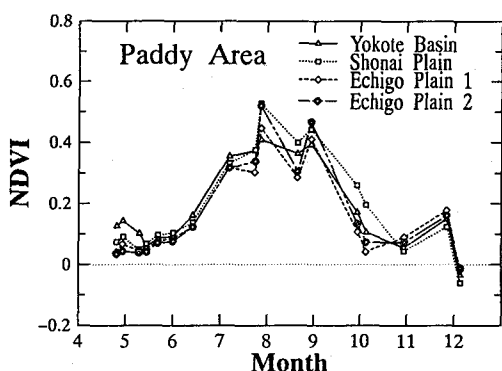


図-4 水田域のNDVI

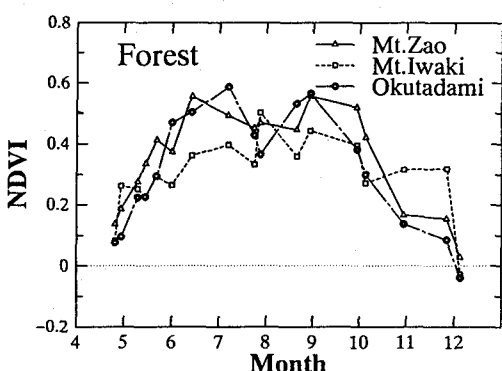


図-5 森林域のNDVI

ではみられなかったが、藻類の活動が盛んであればクロフィルの反射によりNDVIは0.0に近い値になることが予想される。全体的には、東京湾と仙台湾において8～9月に比較的高い値を示している。

水田域は、横手盆地、庄内平野そして越後平野が2カ所の合計4カ所が対象区域である。水田域のNDVIの変化を図-4に示す。これを見ると、NDVIが稲の成長に合わせて増減していることがわかる。5月半ばの田植直後の時期には、NDVIはかなり低い値を示している。しかし、6、7、8月と季節が進んでゆくにつれて稲も成長するが、それに合わせてNDVIも大きく増加していき、ピーク時には0.50を越えている。しかし、秋になるとNDVIも減少し、9月の収穫後は水田は裸地となるためNDVIは0.0付近の低い値を示している。12月が負の値を示しているのは積雪のためである。雪は可視域、近赤外域ともに同じような反射値を示すために、雲と同様にほぼ0.0に近い値をとる。

つぎに、針葉樹と広葉樹とを比較のために合わせて図-5に示す。針葉樹は青森県の岩木山と蔵王の2カ所が対象区域である。そして、広葉樹は福島県の奥只見地区を対象としている。これを見ると、夏場は広葉樹の方がNDVIが高い。それに対して、4月はまだ十分に葉が成長していないためと、11月には葉が落ちてしまうために広葉樹のNDVIは低い値を示しているが、針葉樹のNDVIは比較的高くなっている。広葉樹は気温との相関がよく、針葉樹は相関があまり良くないことがわかる。4月と12月のNDVIが低いのは、共に積雪のためである。

この様に地覆状況によってNDVIは値域も季節変化にも違いが認められた。NDVIを用いると針葉樹と広葉樹の判別も始め、日本の地覆状況を分類するのに有効であると考えられる。しかし、地覆分類についてのみ考えると、都市域や雲、積雪などは共に低い値を示すため分類が困難である。これらはChannel 1(可視域)やChannel 4(熱赤外域)の単独波長の組合せが効果的であると考えられる。今回は図面にしていないが全体の画像を通してみると低緯度から高緯度の地域へとNDVIの高い値が移動していく様も見て取れる。

また、標高の違いもはっきりとわかる。

以上より、NDVIはその地域の植生状態を端的に表わし、一年を通して変動を見ることにより樹種の選定も可能な指標であるということがわかる。さらに、衛星データのため、1度に広範囲を見れるという利点が生かされていることも確認された。

4. iNDVIを用いた環境評価について

ここでは、iNDVIを用いた環境評価の方法について考察する。ここで用いたiNDVIとは、先ほど用いた各対象区域ごとに計算されたNDVIの平均値を対象区域ごとにすべて積分した値、すなわち各データをその期間の代表値とし、そこでのNDVIと日数を掛け合わせた値を積分したものである。M. S. Rasmussenはきびの生長期の35日間を積分区間としているが、われわれは1年間を対象期間とし、4月～12月の晴れた日のデータの加算値となっている。また、同時にiNDVIを日数で割った平均値も計算した。各対象区域のiNDVIを表-4に示す。

都市域のiNDVIは非常に低いものとなっている。iNDVIの平均値はやはり0.0に近い値を示している。このことから、都市域のNDVIは一年を通じて0.0付近に分布しており、植物の活性度が極めて低いことがわかる。

沿岸域では、iNDVIは負の大きな値を示している。平均値は-20付近である。水域については、陸域と同等に扱うことはできないが、場所によってわずかではあるが差があることがわかる。これが何を表わしているのかは、考察中である。

水田域のiNDVIは4000～5000の値をとる。そして、平均値は20前後の値をとる。

森林域は、iNDVIは非常に高い値を示している。水田域に比べても2倍近い値をとっている。また、平均値を見ると積算期間が4月～12月であるが、広葉樹と針葉樹とはあまり差がみられない。これより、1年を通した場合、積雪がない地域では広葉樹よりも針葉樹の方がiNDVIは高くなるだろう。

上でも述べた通り、NDVIはそのときの植物量や植生活性度を的確に表わすことができる指標である。すなわち、NDVIを用いるとそのときの植物の状況を把握することができる。また、NDVIを長期間積分することにより、その土地のその期間の植生活性度の積算値を知ることができる。つまり、その土地の植物生産

表-4 対象地域別 iNDVI 値

category	area name	iNDVI	
		total(・DAY)	average
urban area	Yokohama	350.820	1.573
	Tokyo	-671.910	-3.013
coastal zone	Tokyo	-4895.250	-21.952
	Sendai	-4446.610	-19.940
	Mutsu	-4861.150	-21.799
paddy area	Yokote Basin	4550.170	20.404
	Shonai Plain	4933.740	22.124
	Echigo Plain 1	4089.209	18.337
	Echigo Plain 2	4344.580	19.482
needle leaved trees	Mt. Iwaki	7548.862	33.850
	Mt. Zao	8687.081	38.956
broad leaved trees	Okutadami	7900.090	35.426

量を評価できるということになる。すなわち、iNDVIが大きいほどその土地の植物生産量が多いということになる。ここでいう生産量というのは、植物の生産量すなわちバイオマスの量はもちろん、植物の生産活動にともなうCO₂の消費量やO₂の生産量なども含んでいる。このことをふまえると、iNDVIより年間のCの固定化について、都市域は森林域の1割以下で、水田域でも約5割程度ということになる。以上のようなことから、iNDVIは環境評価の1つの指標となり得るということがわかる。

5. まとめ

衛星データより得られるNDVIが植物量や植生活性度を的確に表わしていることがわかった。また、代表的な地覆状況におけるNDVIの特性の違いを把握することができた。このことを利用すると地覆状況の分類が可能であることが予想できる。さらに、NDVIだけでなく単独のChannelでのデータを用いることにより、さらに正確な地覆分類が期待される。東日本において4月～12月にかけて17シーンの有効なデータが手に入ったため、時系列データとしても扱えることがわかった。

また、iNDVIを用いることによりその土地の植物生産性を評価できることもわかった。さらに、この指標は環境を植物の生産性という面から定量的に評価する1つの指標となり得る可能性を示した。そして、これらはCの固定化や気候の緩和作用に強い関連を持っていると思われる。今後の課題として、iNDVIとCの固定化や気候緩和作用との結びつけが問題となってくるだろう。これらが解決されれば、広域場でのエネルギー循環においての植物の効果やCの固定化が理解されるだろう。

謝辞：本研究で用いてるNOAAデータは東北大学と東北電力との共同研究の一環として受信されたものである。また、データ処理に関しては、東北大学理学部木津昭一助手、工学部M1多田毅君の助力を得た。併せて感謝します。本研究の実施に当たり科研費（特別研究員奨励費）の援助を受けた。ここに謝意を表明します。

《参考文献》

- 1) 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.
- 2) C. J. Tucker, J. R. G. Townshend and T. E. Goff, African land-cover classification using satellite data, *SCIENCE*, Vol. 227, pp. 369-375, 1985.
- 3) 村井俊治・本多嘉明：衛星による地球生物環境の変動解明，衛星による地球環境の解明，第2回シンポジウム，pp. 93-101, 1992.
- 4) S. Hong, Y. Matsumae, K. Fukue, H. Shimoda and T. Sakata, Global vegetation monitoring using NOAA GVI data, Application of Remote Sensing for Resources Monitoring and Vegetation Mapping, pp. 57-69, 1991.