

土地利用を考慮した時空間蒸発散解析

SPATIAL AND TEMPORAL ANALYSIS ON EVAPOTRANSPIRATION WITH LAND USE DATA

渡辺 浩明¹・風間 聡²・多田 毅³・沢本 正樹⁴・岡崎 新太郎⁵

Hiroaki WATANABE, So KAZAMA, Tsuyoshi TADA, Masaki SAWAMOTO, Shintaro OKAZAKI

¹学生員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

²正会員 工博 東北大学大学院助教授 工学研究科

³正会員 工博 防衛大学校講師 建設環境工学科

⁴フェロー 工博 東北大学大学院教授 工学研究科

⁵正会員 国土交通省東北地方整備局仙台工事事務所

To establish a method estimating evapotranspiration by NDVI, cloud free images were made by a new algorithm using interpolating function and land use data. The NDVI data set was used for the estimation of evapotranspiration, which was compared with single layer model as meteorological method. The distribution was quite similar and it was concluded that NDVI method could estimate evapotranspiration.

Key words : Satellite, Singlelayer model, Evaporation efficiency, NOAA, NDVI

1. はじめに

環境破壊による気候の変化や、異常気象などを監視把握するために水収支、エネルギー収支を理解することは重要である。加えて近年問題になっている水不足に対する水資源評価についてもその知識は貢献できる。水収支、エネルギー収支を解明するためには、蒸発散量を正確に把握することが不可欠である。蒸発散は地表面から大気中へ失われる水蒸気の輸送過程の総称である。蒸発と蒸散とを現場で厳密に区別することが困難であるため両者を一括して扱った呼称である。実際の蒸発散は水面や土壌面からの蒸発、樹冠遮断された降水の蒸発、植物による蒸散の3過程がある。蒸発散という現象を直接測定する事は極めて難しく、これまではその収支から残差として算定されていたが(ペンマン・モンティース¹⁾、鈴木雅一²⁾), 水収支、エネルギー収支を解明するために必要な蒸発散量を、その収支から算定しなければならないことは問題と言える。これまで蒸発散量は、さまざまな水文要素の中で、最もその精度の保証が困難なものの1つであった。水収支、エネルギー収支に依らない乱流理論に基づく水蒸気輸送量の推定式(渦相関法³⁾)も提案されているが、そのような手法は、局所的な現象のモデル化であり、厳密な気象条件の測定値が必要であるため、気候学的な蒸発散量を推定する目的には適合しにくい。

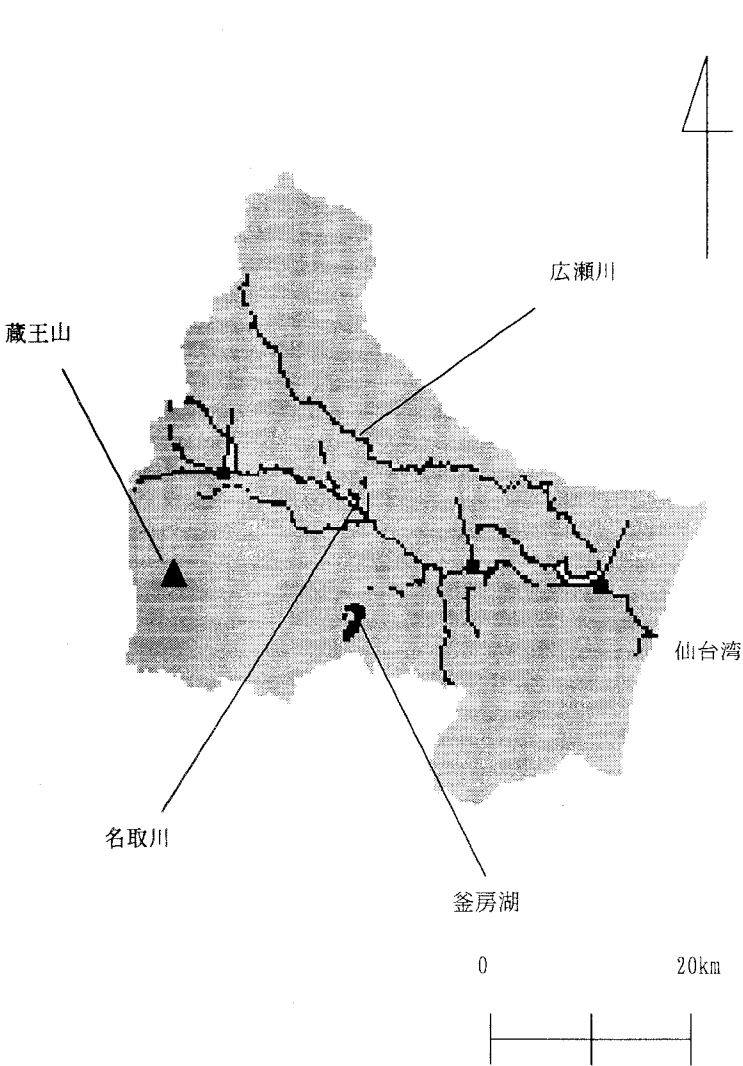
そこで、広域の蒸発散を推定するため、リモートセンシング技術の利用と、植生と蒸発散の相関に着目し、実用的な蒸発散の推定を試みる。植生は人工衛星データから計算されるNDVI(Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指標)を用いて評価された。このNDVIからの蒸発散推定手法を検定するため、熱収支の解である蒸発散推定法の単層モデル法でも推定を行った。両方法の比較により、より実用的で簡易な流域蒸発散量の推定手法の開発を本研究の目的とする。

2. 対象地域およびデータセット

(1) 対象地域の概要

対象地域の名取川水系(図-1)は、宮城県中央部に位置し、主流である名取川は水源の蔵王山系から仙台平野を流れて仙台湾へと注ぐ。幹線流路延長は55km、流域面積は939km²(山地675.1km²、平地245.1km²、河川区域20.7km²)で、その下流域には東北地方の中心都市である仙台市を有し、仙台市民をはじめとする約43万人の生活用水の取水源として利用されている。さらに仙台平野に広がる水田地帯等への農業用水、港湾周辺の工業地域への工業用水と、その用途と使用量は莫大である。上中流域はそのほとんどが森林に覆われており、名取川

水系全体で見ても約 70%は森林である。流域内の植生面積は大きいものとなっている。



図－1 名取川水系図

(2)データセット

本研究で用いるデータベースとして、人工衛星 NOAA の AVHRR センサを基に作成された日本画像データベース (JApan Image DAtabaSe, JAIDAS) の東日本画像を利用した。また、国土数値情報を基に名取川水系の標高分布図、土壌土地利用分布図を作成した。土地利用型の分類については国土数値情報の分類を基に、各区分の定義や内容を参考に再区分 (表－1) して、土地利用マップを作成した。解析データとして、単層モデル法に用いる仙台管区気象台の気象情報を気象庁月報⁴⁾の 1999 年分より用意した。

表－1 本研究での土地利用区分

国土数値情報区分	区分の内容
TR1	水田
TR2	畑
TR3	果樹園
TR4&TR5&TR6	森林
TR7～TR10	都市
TR11～TR15	水域

国土数値情報区分 TR : 1:水田, 2:畑, 3:果樹園, 4:その他の樹木畑, 5:森林, 6:荒地, 7:建物用地(A), 8:建物用地(B), 9:幹線交通用地, 10:その他の用地, 11:内水地, 12:河川地(A), 13:河川地(B), 14:海浜, 15:海水域

3. NDVI 分布図の作成方法

NDVI は Normalized Difference Vegetation Index の略であり、正規化植生指標と訳される。NDVI は JAIDAS の Channel1 と Channel2 より、次式によって計算される。

$$NDVI = \frac{Ch . 2 - Ch . 1}{Ch . 2 + Ch . 1} \tag{3. 1}$$

問題点としては、快晴日のデータが少ないため、画像上に雲が残ってしまい良好な植生データが作成できないことが挙げられる。そこで以下の方法で名取川水系の植生時系列データを作成した。まず、1 ヶ月分の NDVI データの中から最大値を選び出すことで 2000 年の 4 月から 11 月までの月単位 NDVI 分布図を作成する。次に、各土地利用の各月 NDVI 最大値を抽出し、7 月下旬期に最大を示すように高次関数で回帰した。これを最大値関数と呼ぶ。図－2 に、例として森林の最大値関数を示す。そして、名取川水系における各画素の季節による N

DVI 変化を関数として表すために、この最大値関数を利用する。まず、各画素のNDVI の季節変化、および土地利用を調べる。ある画素の土地利用が水田であった場合、NDVI の季節変化と水田の最大値関数の比較を行う。4 月～11 月のNDVI をそれぞれ比較し、その差が最も小さかった月について、下記のような式を作り、その画素のNDVI 変化関数とする。

$$F(i,t)=F_{max}(i,t)\times \frac{NDVI(M_{min})}{F_{max}(i,M_{min})} \tag{3.2}$$

i：土地利用区分
t：時間（4 月～11 月）
M_{min}：最大値関数との値の差が最小となるNDVI 値を記録した時間

同様の手法で、すべての画素のNDVI 変化関数を作る。ただし、本研究は陸域からの蒸発散量の推定なので、水域については変化関数の値を一律 0 とした。これらの関数を基に名取川水系のNDVI 時系列分布データを作成した。図-3 にオリジナルの 7 月のNDVI 分布図を、図-4 に最大値関数によって推定された 7 月のNDVI 分布図を示す。推定の前後を比較すると、雲などによって実際よりも低い値を示したり、欠けてしまっていた上流の森林域等が補われていることが分かる。また、釜房湖や河川が黒く抜き出せていることが見て取れる。

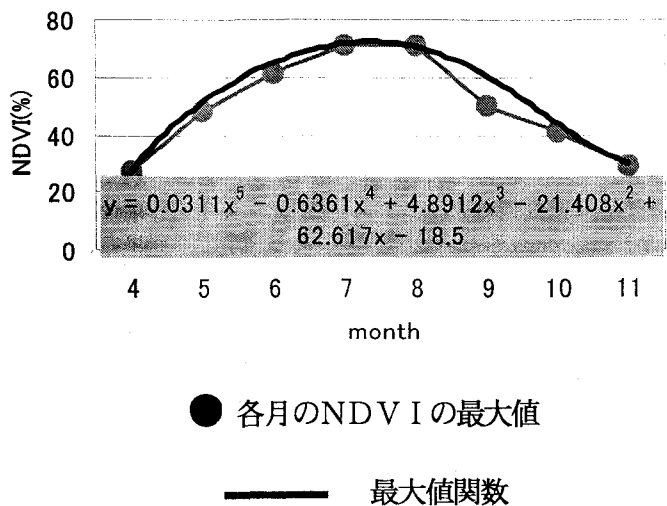


図-2 森林の最大値関数

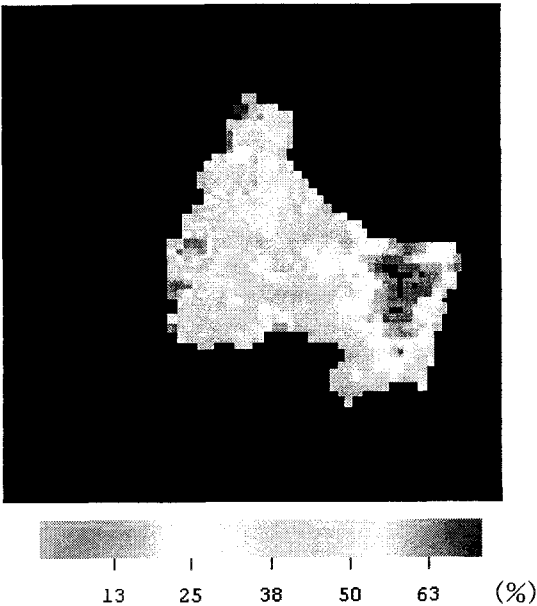


図-3 推定前の7月のNDVI 分布図

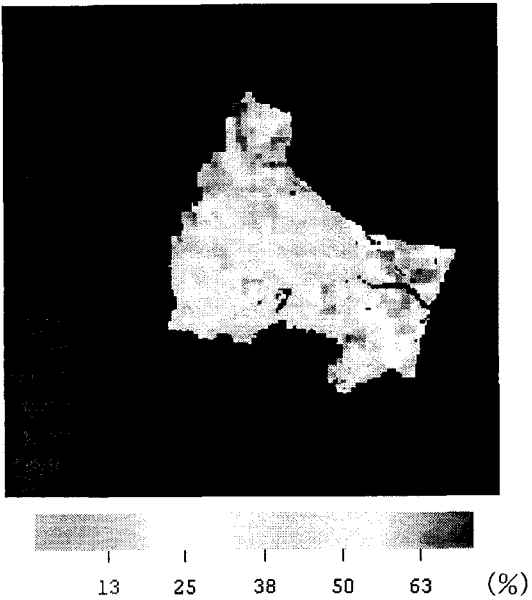


図-4 推定後の7月のNDVI 分布図

4. 解析の方法

(1) NDVI による蒸発散量の推定

多田⁵⁾ が推定した、釜房ダム流域におけるNDVI と蒸発散量との関係(図-5) を名取川水系すべてに適用して蒸発散量推定を行った。多田はこの関数を、水収支から得た蒸発散量から得ている。ただし水田に関しては、5 月～9 月の耕作期には稲からの蒸散が卓越し、田植え

前や田植え直後は田に張られた水面から蒸発、非耕作期には裸地となり地表面からのみの蒸発となるため、水田の蒸発散量は植生によらない。よって、図-6に示された実測による仙台市街地近郊の水田からの蒸発散量のデータと、名取川水系の標高分布図(図-7)の2つを使用して、後述する手法で水田の蒸発散量を推定した。また本研究では、4月にすべての水田において水面に水が張られていると仮定した。

水田は可能蒸発散量に近い値、温度により補正を行う。図-6の蒸発散量を標高0m地点の値とする。標高0m地点の画素とそれ以外の標高を示す画素との温度差が+5℃あると、蒸発散量差は一月辺り+0.3mmあると仮定する。標高が100m上昇すると温度は0.6℃下がる。それらを考慮し、標高上昇に応じて蒸発散量が減少すると考え推定を行った。

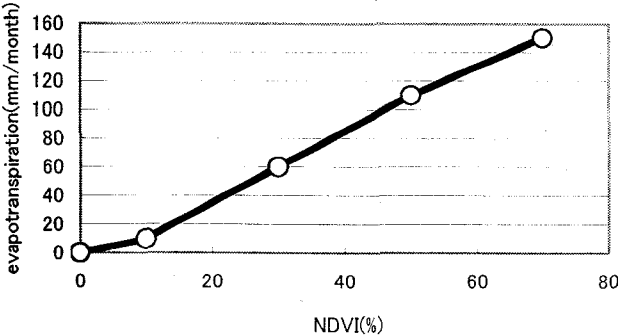


図-5 釜房ダム流域におけるNDVIと蒸発散量との関係

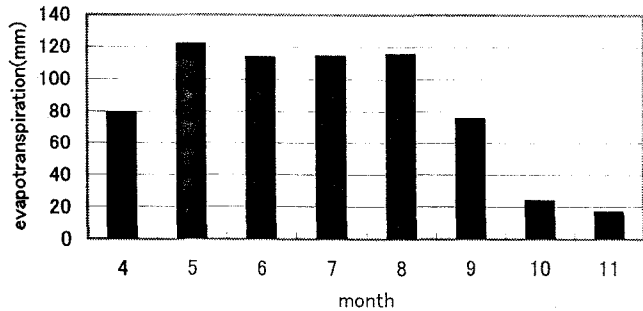


図-6 仙台市街地近郊の水田からの蒸発散量

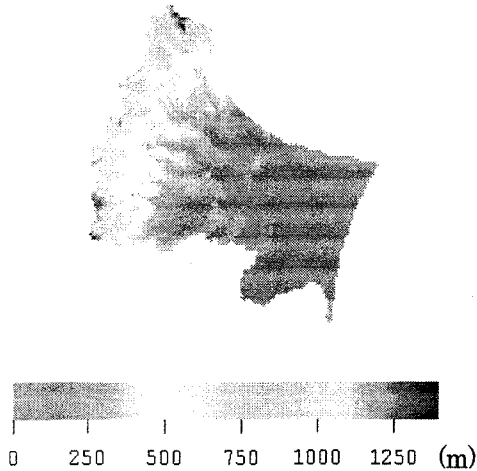


図-7 名取川水系の標高分布図

(2) 単層モデル法による蒸発散量の推定

NDVIによる蒸発散量の妥当性を検討するために、熱収支の解である蒸発散推定法の単層モデル法と、気象庁月報の1999年のデータを水系全域に均一に用いて蒸発散量の推定を行った。NDVIによる蒸発散量の推定においては2000年のデータを使用したが、2000年の気象庁月報のデータがすべて揃わなかったため、1999年のデータを使用した。わずか1年で植生が大きく変わることとは考えにくいので、1999年のデータ使用は可能であると考えた。

単層は(4.1)式に(4.2)式、(4.3)式を代入して、逐次近似法によって地表面温度 T_e (K)を求める。ここで得られた T_e (K)を(4.2)式に代入して、月蒸発散量を推定した。種々のパラメータについては一般的な値⁶⁾を土地利用毎に利用した。ただし、地中伝導熱 G は微少な値なので、本研究においては $G=0$ と仮定した。また、全天日射量 $S\downarrow$ 、風速 U 、比湿 q は仙台のデータを水系全域に均一に適用した。長波放射量 $L\downarrow$ は日照時間と緯度経度から推定された⁶⁾。

$$(1 - \text{ref}) S \downarrow + L \downarrow - G = \sigma T_e^4 + LE + H \tag{4.1}$$

$$E = \rho \beta C_H U [q_{SAT}(T_e) - q] \tag{4.2}$$

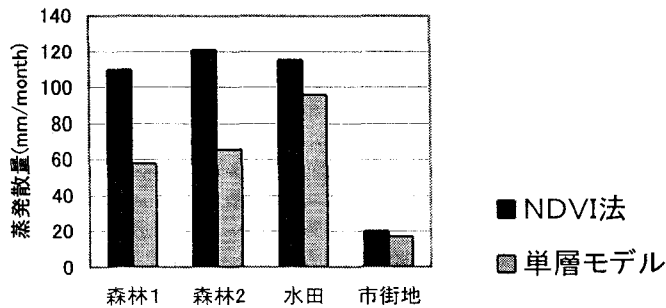
$$H = c_p \rho C_H U (T_e - T) \tag{4.3}$$

α : 地表面のアルベード(無次元)
 $S \downarrow$: 全日射量(W/m^2) $L \downarrow$: 長波放射量(W/m^2)
 σ : $5.67 \times 10^{-8} (\text{W/m}^2\text{K}^4)$ IE : 潜熱フラックス(W/m^2)
 l : 水の蒸発の潜熱(J/kg) E : 蒸発量($\text{kg/m}^2\text{s}$)
 H : 顕熱フラックス(W/m^2) ρ : 空気密度(kg/m^3)
 β : 地表面の蒸発効率(無次元)
 C_H : バルク輸送係数(無次元) U : 風速(m/s)
 q_{sat} : 飽和比湿(無次元) q : 比湿(無次元)
 c_p : 空気の定圧比熱(J/kgK)

5. 結果と考察

NDVIを用いた蒸発散分布(図-9)と、単層モデル法より推定した蒸発散分布(図-10)を比較すると、市街地では近い値を示した。だが、それ以外の場所に関しては都市域に比べNDVI推定値の方が大きい。この事はどの月に関しても言え、特に森林ではその差が大きい。単層モデルを流域で積分した値は、水収支から得られたNDVI法より少なく、分布パターンの類似から蒸発散量としてNDVI法が正確であると言える。

前述のように、2つの推定値はその値に違いはあるのだが、分布の形状には良い一致が見られ、NDVI法の物理性の確かさが確認された。値に違いが生じた原因としては、単層モデル法に用いた様々な変数、蒸発効率やバルク係数などに一般的に推奨されている値を利用した点にあると思われる。しかし、森林域では、都市域に比べ複雑な気象条件が絡んでくるため、特に風速の推定が精度に大きく影響する。この問題については今後の課題である。



森林1: 笹谷峠 森林2: 釜房湖周辺
 水田: 市街地近郊

図-8 8月の推定された蒸発散量の比較



図-9 NDVI法による蒸発散分布図

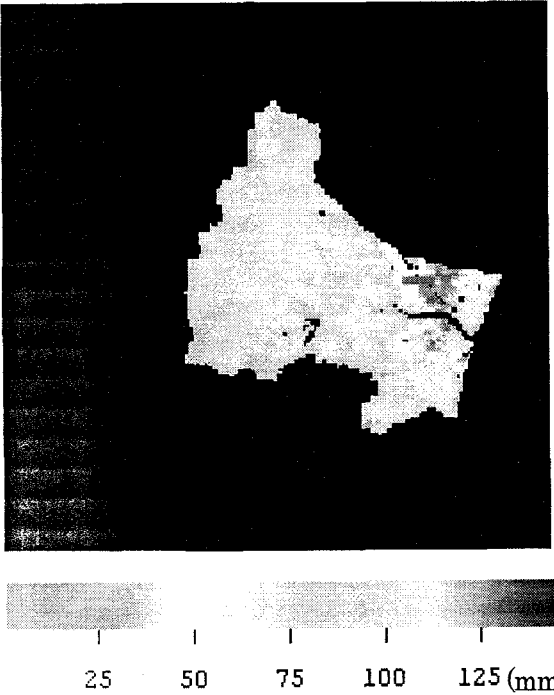


図-10 単層モデル法による蒸発散分布

6. 結論

本研究において、NDVIの任意時間、任意地点の推定手法が確立され、同時に蒸発散の推定も可能になった。その推定手法は、単層モデルとの比較から妥当性が示された。本手法は従来の手法のように多くの気象データを必要としない、リモートセンシングを用いた簡便かつ実用的な手法である。今後の予定は仙台の気象データだけではなく、名取川水系の上流域等のデータも活用してより精密な比較検討を行うことである。

謝意：本研究は、土木学会と国土交通省との共同研究であり、河川懇談会および東北大学情報シナジーの援助を受けた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Monteith, J.L. : Evapotranspiration and environment. In 'The state and movement of water in living organs' (Fogg, G.E., ed.), Soc. Exp. Biol. Symp., 19, Cambridge University Press, 1965.
- 2) 鈴木雅一：短期水収支法による森林流域からの蒸発散量推定, 日林誌, 67, 115-125, 1985.
- 3) 塚本良則：森林水文学, 文永堂出版, 1992. P61-P68
- 4) 気象庁：気象庁月報, 1999.
- 5) 多田毅：衛星データによる東北地方の蒸発散推定手法の開発, 東北大学修士論文, 1995.
- 6) 近藤純正：水環境の気象学, 朝倉書店, 1994.

(2002. 4. 15 受付)