

遠隔測定した葉面温度情報による蒸発散量推定

Evapotranspiration Amount estimated with Information of Telemetered Temperature over leaves

秀島 好昭* 星 清** 児玉 正俊*** 中村 和正****

Yoshiaki HIDEHIMA, Kiyoshi Hoshi, Masatoshi KODAMA and Kazumasa NAKAMURA

北海道では、比較的大規模な畑作が営まれている。流域の水資源管理にとって、農地の蒸発散の面的分布は重要な要素である。ここでは、葉面温度と気温の差の非接触/遠隔測定を用いた蒸発散量の推定法とその精度について述べた。この手法の簡単さと精度の高さから、将来の衛星からの熱的情報の活用についても述べる。

〈蒸発散、LANDSAT、地表面温度、熱収支〉

Abstract

A relatively large scale upland farming is carried out in Hokkaido. The spatial distribution of evapotranspiration in agricultural land is an important factor to manage the water resources in basins. This paper describes a method to estimate evapotranspiration with uncontact/telemetered thermal difference between leaves and air and discusses the accuracy of this estimation technique. Because of high accuracy and simplicity of the proposed method, the application of thermal information telemetered by satellite in the near future is also addressed.

Keywords: evapotranspiration, LANDSAT Information, ground surface temperature, heat balance method.

1. はじめに

北海道では、比較的大規模な畑作が行われている。広大な農地の蒸発散量の観測は営農面から重要な点であり、また、蒸発散量の面的分布の把握は流域の水資源管理にも重要な要素である。

蒸発散量の観測法は、ライシメータ等による土壌水分減少量の直接的な計測法や熱収支法を応用する計測法など多様である。本報では、遠隔測定した葉気温差を使って蒸発散量（潜熱フラックス）を測定する方法とその精度について論じた。潜熱フラックスは、純放射量、地中熱流量、葉面温度、気温および風速がわかれば、葉気温差と境界層の熱伝導式を使って推量することができる。この簡易な手法で計算した蒸発散量は、計測値と精度良く符合することから、この手法を拡張した将来の衛星熱画像情報の適用についても論述した。

2. 調査位置および方法の概要

調査地は、図-1に示す枝幸郡枝幸町であり、広大な牧草畑の中に観測機器を設置した。図-2に示すと

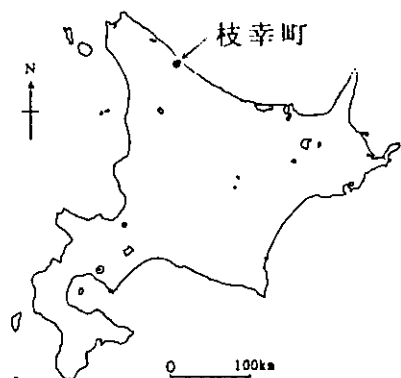


図-1 調査した草地の位置（枝幸町）

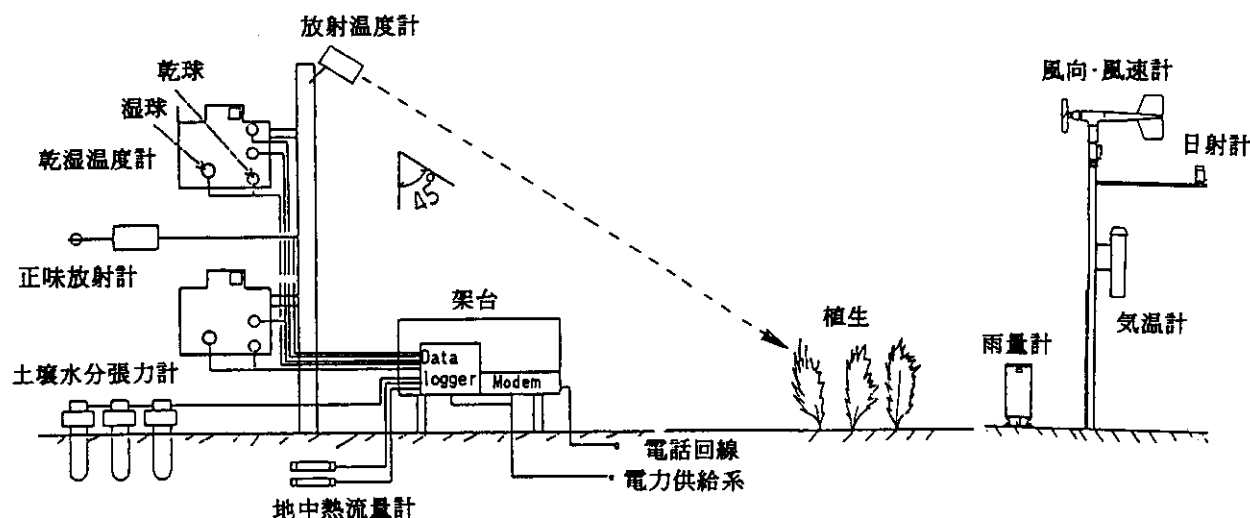


図-2 熱収支観測システムと放射温度計等の設置状況

おり、放射収支計・乾湿計・地中熱流計等を布設し、これら情報が電話回線にて即時に収集できる熱収支計測システムを設けた。さらに放射温度計により葉面（地表面）温度も同時に計測でき、また、近傍には気象ロボットを設置し、草地の蒸発散量を1993年より計測している。

3. 葉気温差による蒸発散量の計算法

葉気温差は、純放射と顕熱伝達・潜熱伝達に主に支配され、このことは、植物-土-大気系における熱収支の情報因子として逆に考えられることができる。いま、地表面が植物で被覆され、蒸発散が主に植物から成り立つものとすれば、植物葉面上では次の熱収支を表す(1)式が成立する。

$$R_n = H + LE + G \quad (1)式$$

ここに、 R_n ：純放射（葉面に向かう方向のエネルギーの流れを+）

LE ：潜熱フラックス（葉面から遠ざかる方向のエネルギーの流れを+）

H ：顕熱フラックス（葉面から遠ざかる方向のエネルギーの流れを+）

G ：地中熱フラックス（葉面から遠ざかる方向のエネルギーの流れを+）

また、顕熱フラックスは熱伝達に関する乱流拡散抵抗係数（ r_a ）を使って、(2)式のように表されることから、(1)式に(2)式を代入して、潜熱フラックスに関する(3)式が得られる。

$$H = \rho C_p [(T_c - T_a) / r_a] \quad (2)式$$

$$LE = R_n - G - C_p [(T_c - T_a) / r_a] \quad (3)式$$

ここに、 ρ : 空気密度、 C_p : 空気の比熱、 C_h : 空気の体積比熱 ($C_h = \rho C_p$)、 T_a : 空気の温度 (風速等を計測している高さ位置の温度)、 T_c : 葉面温度

境界層の伝達係数 $K_h (= C_h / r_a)$ を使って、(3)式は(4)式となる。

$$LE = R_n - G - K_h (T_c - T_a) \quad (4)式$$

境界層の伝達係数は、表面の粗さや熱成層の状態によって決まるが、境界層の伝達係数を与えるものとして、次の(5)式が提案されている(G.S.CAMPBELL,1977)。

$$K_h = \kappa C_h u^* / [\ln\{(z-d+z_m)/z_m\} + \phi_h] \quad (5)式$$

ここに、 κ : カルマン定数、 u^* : 摩擦速度、 z : 温度計測地点の表面からの高さ、 d : 地面修正量、 z_m : 熱に対する表面の粗度長、 ϕ_h : 熱に対する安定度補正量

摩擦速度は次のように定義される。

$$u^* = \kappa u / [\ln\{(z-d+z_m)/z_m\} + \phi_m] \quad (6)式$$

ここに、 u : 高さ z で計測した風速、 z_m : 運動量に対する粗度長、 ϕ_m : 運動量に対する安定補正量

地面修正量や粗度長は、植物の高さを指標とした次の実験式が与えられている(J.L.MONTEITH,1973)。

$$d = 0.77h, z_m = 0.13h, z_h = 0.2z_m \quad (7)式$$

ここに、 h : 植物(作物)の高さ

安定度補正量 ϕ_h 、 ϕ_m は、大気中の安定度を表すパラメータ Λ (A.S.MONIN and A.M.OBUKHOV,1954)、

あるいはパラメータ ζ を用いて表される。

$$\Lambda = C_h T_a (u^*)^3 / (\kappa g H) \quad (8)式$$

$$\zeta = -(z-d) / \Lambda \quad (9)式$$

ここに、 g : 重力加速度

ϕ_h 、 ϕ_m は ζ の関数であり、次の(10)、(11)式で与えられる(J.A.BUSINGER et al,1971)。

葉面温度(表面の温度)が気温より低い安定な状態では、 H は負値、 ζ は正値となり、

$$\phi_m = \phi_h = 4.7\zeta \quad (10)式$$

葉面温度が気温より高く、不安定な状態では、 H は正値、 ζ は負値となり、

$$\phi_h = -2 \ln [1 + (1 - 16\zeta)^{0.5} / 2], \quad \phi_m = 0.6\phi_h \quad (11)式$$

以上より、潜熱フラックスは、純放射・地中熱フラックス・葉面温度・気温・風速が既知となれば、(4)式により推算できる。

4. 推算法の精度

図-3は純放射量が少なかった日と多かった日の潜熱フラックスの状況を代表的に示している。観測した葉気温差の時間データや平均時間風速等から上述の諸式により計算した潜熱フラックスの経時変化を黒丸と点線により示し、実線は熱収支ボーエン比法により計測した観測値を示す。図-3によれば、潜熱フラックスの計算値と観測値はほぼ合致し、その時間的変化が葉面温度情報からうまく推算できていることがわかる。

図-4は、同様に日中(07:00~16:00)の蒸発散量の観測値と計算値の比較を、1993年(July, 3~Oct.,

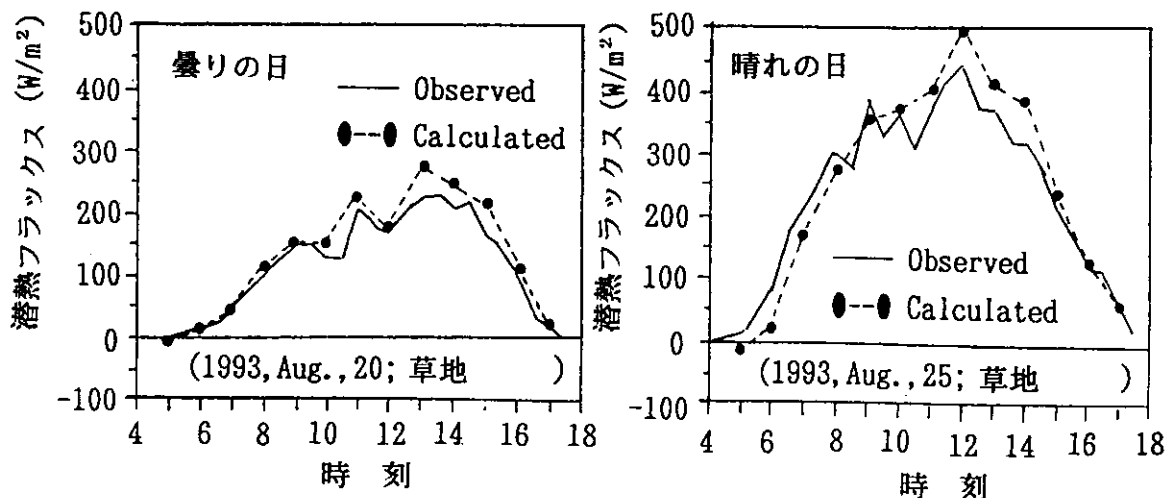


図-3 潜熱フラックスの観測値と計算値の比較例

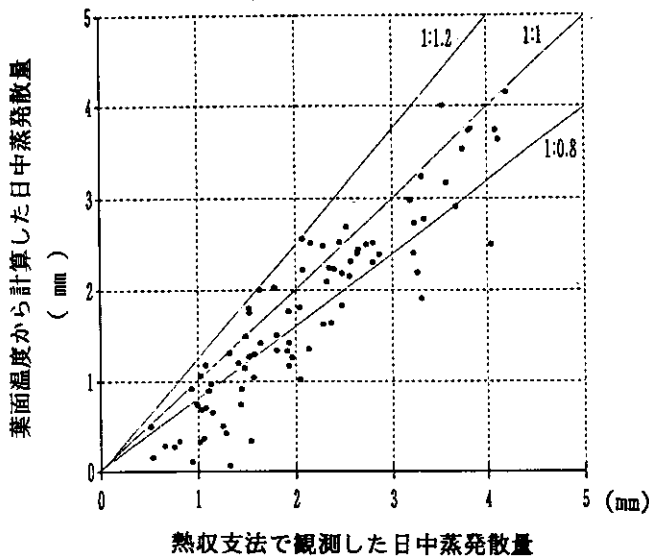


図-4 葉気温差から算出した日中蒸発散量 [07:00~16:00] の精度

15)について例示した。図には多少のバラツキがみられるものの、両者に線形な関係がみられると同時に、ほぼ1:1の線に沿って散布していることがわかる。この結果から、葉気温差情報を使っても実用的精度をもって日蒸発散量が計算できることがわかる。

5. 衛星熱画像情報の活用

前述までの潜熱フラックスの推定精度は、数mから十数m離れた位置からの遠隔観測情報を利用して確かめられた。このときの潜熱フラックスの時間量・日量が精度良く推定できたことから、同様に手法の適用が考えられる衛星画像についてその適用を当節で述べる。

(1) 蒸発散量の広域面的分布

図-5は、地上での蒸発散観測点に近傍する音標川流域(流域面積97K m²)の下流域をくりぬき、その地表面温度分布を衛星画像から判読したものである(LANDSAT TM,1993年8月9日)。図-5の下流域(白地)は草地として、それより上流では森林としての土地利用である。図-5のように草地では比較的地表面温度が高く、森林域では低いことなど、衛星画像から広い範囲の地表面温度分布がわかる。

図-6は、図-5の草地の部分のみ切り出して、その地表面温度分布と観測した正味放射量、地中熱流量、気温、風速および草丈を使って計算した時間蒸発散量の分布を示す(この領域に含まれる草地の地形は平坦であり、また、草地の状況は等しいことから、地表面

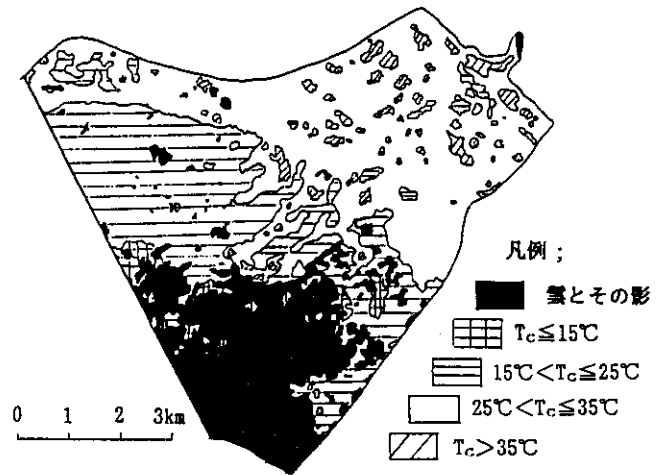


図-5 音標川下流域の地表面温度分布 (1993, Aug., 09:35)

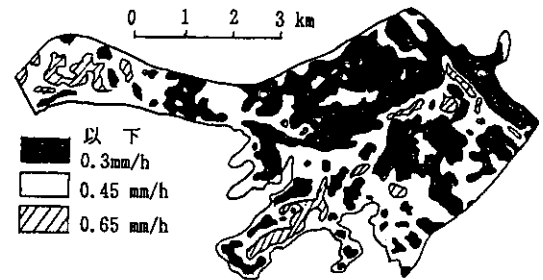


図-6 草地の時間蒸発散量の分布 (音標川下流域、1993, Aug., 9 09:00-10:00)

温度を除いて単一の観測点のデータを使用した)。

図-6のように蒸発散量(潜熱フラックス)の分布が地上気象と衛星熱画像情報を併用してただちに計算できる。

(2) 日中蒸発散量の推定

軌道衛星は周期を有し、その周期は、2週間から1日程度である。仮に周期を1日としても、日中蒸発散量の推定には、瞬時値から日量へ変換する作業方法を決定しなければならない。図-7は、地上で蒸発散量を観測した期間中の時間蒸発散量について、日中(約1日)の蒸発散総量に対する比率をパターン化したものである。1日の日射量の最大値500KW/m²を境に区分した、晴れの日と曇りの日いずれにも、そのパターンは類似し、全ての日で平均して、その比率を代表できそうである。

すなわち、図-7では、8時に観測された1時間当

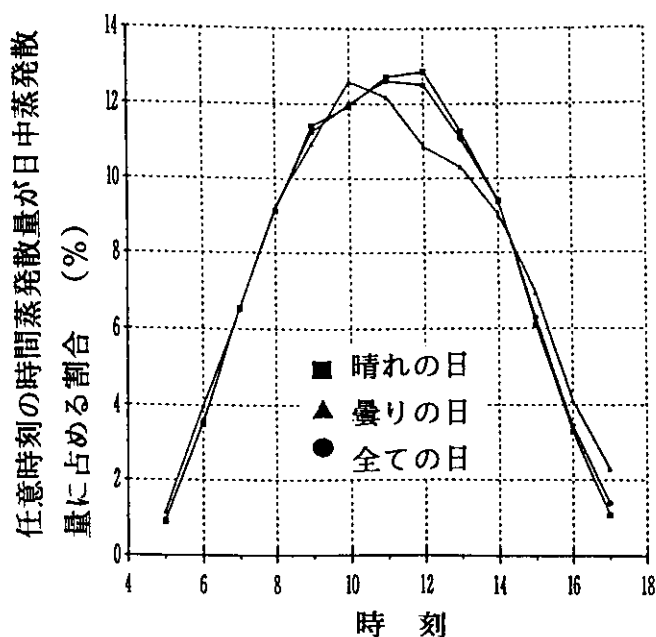


図-7 日中蒸発散量の時刻ごとのシェア

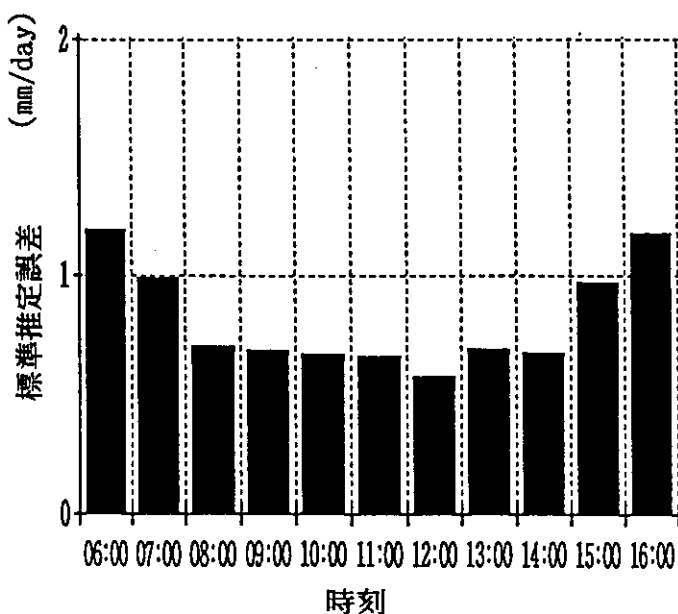


図-8 任意時刻の時間蒸発散量から推定した日中蒸発散量の推定誤差 (遠隔測定した葉面温度情報を利用)

たりの潜熱は、日中の約9%をしめる。換言すれば、この時刻の画像熱情報から推定された時間蒸発散量を0.09で除して日中の蒸発散量が推定されることになる。

この作業方法を使えば、仮に1日1回しか得られない画像情報でも十分に日中の蒸発散量が推定できる。

図-8は、任意の時刻に得られた放射温度計からの葉面温度と前述までの手法および図-7のパターン(すべての日の平均)を利用して計算した日中蒸発散量の計算値と測定値の標準推定誤差を示している。図-8によれば、早朝および夕刻では推定誤差は大きいものの、7時~15時までのデータでは、標準推定誤差は1mm/day以下と小さく、実用目的精度を有していることがわかる。すなわち、1日1回しか得られない画像からでも、1日の蒸発散量を推定できることを示唆する。

6. おわりに

本報では、遠隔測定で得た葉気温差と気象情報を併用して簡便に、また、精度よく蒸発散量が推定できることを論じた。

また、衛星画像情報から地表面温度の面的分布を判断し、このことから、蒸発散量の面的分布が推定できることを述べた。将来への課題は、蒸発散量の面的分布を情報化し、各農家ごとの情報として如何に伝達するか、その方法の開発と考える。

参考文献

Businger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, and E. F. Bradley (1971); Flux Profile Relationship in Atmospheric Surface Layer, J. Atmos. Sci. 28.

Campbell, G. S (1977); An Introduction to Environmental Biophysics, Springer Verlag, New York

Monin, A. S., and A. M. Obuknov (1954); Dimensionless Characteristics of Turbulence in the Surface Layer, Akad. Nauk. SSSR Geofiz. Inst, Tr. 24.

Monteith, J. L. (1973); Principles of Environmental Physics, Edward Arnold, London.

Hideshima, Y, Hoshi, K, Kodama, M, and Aoki, M (1996); Estimation of Evapotranspiration with Information of Telemetered Temperature over Leaves, Proceedings of International Conference on Water Resources Environment Research, pp. 165-172



秀島 好昭*

開発土木研究所
農業開発部
農業土木研究室長
博士(工学)



星 清**

開発土木研究所
研究調整官
工学博士



児玉 正俊***

開発土木研究所
農業開発部
農業土木研究室
研究員



中村 和正****

開発土木研究所
農業開発部
土壌保全研究室
主任研究員
博士(農学)