

バルク式を用いた熱収支モデルによる広域地表面熱収支の推定 Estimation of regional surface heat flux using bulk transfer method-based energy balance model

○中道丈史・諸泉利嗣・三浦健志

NAKAMICHI Takeshi・MOROIZUMI Toshitsugu・MIURA Takeshi

1. はじめに 現在までに、リモートセンシングによって地表面熱収支を推定する試みが多数行われている。しかし、水平様な水田などではフラックスの観測値を用いて推定値の検証も可能であるが、様々な土地利用が混在した場所を対象にした場合にはその評価は難しい。ただし、潜熱フラックスについては流域水収支から求めた蒸発散量と比較することによって、少なくとも長期的な場合の評価は可能である。流域水収支との比較からリモートセンシングにおける広域の潜熱フラックス推定の有用性を検討する前段階として、本研究では、衛星データを用いて様々な土地利用が混在する領域における地表面熱収支の推定を試みた。この際、熱収支の推定モデルには熱収支式にバルク式を組み入れたものを用いた。モデル中のパラメータは熱収支の地上観測値を用いて同定した。

2. バルク式を用いた熱収支推定モデル 顕熱フラックスはバルク式で推定した。有効地表面温度は Troufleur et al., (1997)を参考に地表面放射温度から求めた。

$$H = \rho C_p \frac{T_s - T_a}{r_a}, \quad G = C \cdot R_n, \quad LE = R_n - G - H, \quad T_s = f(T_r)$$

H: 顕熱フラックス(W/m²), LE: 潜熱フラックス(W/m²), T_s: 顕熱フラックスに対する有効地表面温度(°C), T_a: 気温(°C), G: 地中熱フラックス(W/m²), ρC_p: 空気の体積熱容量(J/°C /m³), r_a: 顕熱フラックスに対する抵抗(s/m), R_n: 純放射量(W/m²), T_r: 地表面放射温度(°C), C: 地中熱流量係数, f(T_r): T_rを説明変数とする温度補正関数

なお、湛水の貯熱は考慮していないため、水田の潜熱フラックスには貯熱変化量が含まれる。地中熱流量係数と温度補正関数は地上観測値を用いて同定した。

3. 使用したデータ 地表面熱収支のデータは、図1に示す真瀬水田(MSE: 水田)、筑波大学陸域環境研究センター(TERC: 草地)、富士吉田森林気象試験地(FJY: 森林)、川越気象森林試験地(KWG: 森林)、久が原気象観測タワー(KMT: 市街地)の観測値を用いた。衛星データはLANDSAT 7 ETM+で2001年4月1日、5月19日、6月4日、7月22日、9月24日の午前10時に得られたものを用いた。

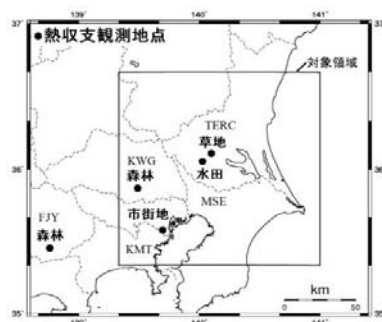


図1 地表面熱収支観測地点
Location of heat balance measurement points.

4. 地上観測値を用いた場合のモデルの推定精度

地上観測値を用いた場合のモデルの推定精度を表1に示す。推定精度の指標には二乗平均平方根誤差 RMSE, 平均相対誤差 MRE を用いた。市街地では潜熱フラックスのオーダーが小さく、他の熱収支項の誤差の影響が大きいため、潜熱フラックスの誤差は大きくなった。森林では r_a の値が小さく、T_s-T_a の誤差の影響を強く受けるため、RMSE は大きくなった。その他については比較的良く推定できた。

岡山大学大学院環境学研究科 Graduate School of Environmental Science, Okayama Univ.

キーワード: リモートセンシング, 実蒸発散, 水収支, 地表面熱収支

5. 衛星データを用いた場合のモデルの推定精度 同定したモデルと衛星データを用いて観測地点の地表面熱収支を推定し、推定値と観測値を比較した(表 2)。水田の潜熱フラックスおよび草地の顕熱、潜熱フラックス、市街地の顕熱フラックスについては相対的な誤差は小さく、衛星データを用いた場合でも十分に推定可能であった。森林ではモデルの同定地点(FJY)と検証地点(KWG)で植生が異なり、顕熱フラックスが過大に評価され、熱収支の誤差は大きくなった。

6. 広域地表面熱収支の推定 図 1 に示す対象領域の地表面熱収支を推定した。推定例として 6 月 4 日の顕熱、潜熱フラックスの分布図をそれぞれ図 2, 3 に示す。市街地では顕熱フラックスが大きい部分が見られ、潜熱フラックスが周辺の草地や水田に比べて小さくなった。また、利根川沿いの水田地帯で潜熱フラックスが大きいなど、推定モデルは対象領域の土地利用分布を考慮できていると言える。

7. まとめ 本研究では衛星データを用いてバルク式を用いた熱収支推定モデルにより広域の地表面熱収支を推定した。その結果、水田の潜熱フラックスや草地の顕熱、潜熱フラックス、市街地の顕熱フラックスについては衛星データを用いた場合でも十分に推定可能であった。また、推定した顕熱、潜熱フラックスの分布図から、推定モデルは土地利用分布を考慮できていることが分かった。今後は曇天日や雨天日の推定方法について検討し、水収支式から求めた蒸発散量との比較を行っていきたい。

謝辞 本研究にあたり、農業環境技術研究所、筑波大学陸域環境研究センター、森林総合研究所、神田学東京工業大学教授の観測データを利用して頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献:Troufleur et al., 1997, Journal of Hydrology 188-189, 815-838

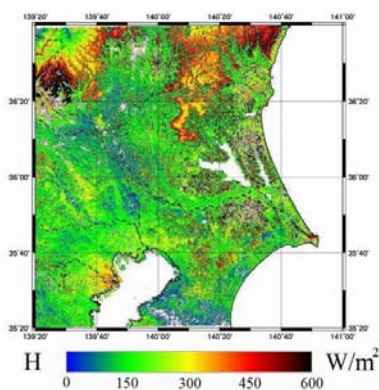


図 2 対象領域における顕熱フラックスの分布図
Distribution of sensible heat flux in objected area.

表 1 地上観測値を用いた場合の熱収支モデルの推定精度。
RMSE: 二乗平均平方根誤差, MRE: 平均相対誤差。
Estimation accuracy of surface heat flux estimation model using ground based data. RMSE: Root Mean Squared Error. MRE: Mean Relative Error.

	熱収支項	RMSE(W/m ²)	MRE(%)
水田	H	22.5	53.8
	LE	34.2	5.2
	G	27.0	23.1
草地	H	35.2	19.5
	LE	36.4	8.4
	G	10.7	46.3
森林	H	91.6	34.9
	LE	89.4	17.1
	G	-	-
市街地	H	62.3	20.2
	LE	86.1	62.8
	G	75.6	21.3

表 2 衛星データを用いた場合の熱収支モデルの推定精度。
RMSE: 二乗平均平方根誤差, MRE: 平均相対誤差。
Estimation accuracy of surface heat flux estimation model using satellite based data. RMSE: Root Mean Squared Error. MRE: Mean Relative Error.

	熱収支項	RMSE(W/m ²)	MRE(%)
水田	H	47.4	73.0
	LE	78.2	13.8
	G	44.8	32.3
草地	H	39.6	29.2
	LE	90.2	18.1
	G	18.0	81.0
森林	H	338.4	162.7
	LE	433.2	110.0
	G	-	-
市街地	H	48.4	17.4
	LE	158.3	127.4
	G	83.1	24.8

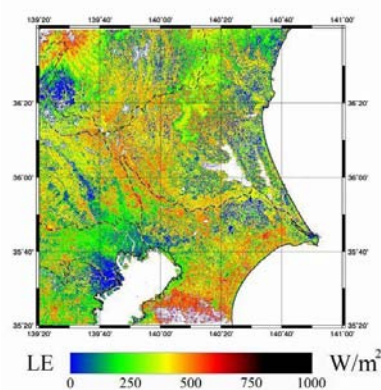


図 3 対象領域における潜熱フラックスの分布図
Distribution of latent heat flux in objected area.