

皇居の衛星リモートセンシング

日大生産工（院）
日大生産工

朝香智仁 日大生産工
藤井壽生 国立科学博物館
西川 肇
近田文弘

1.はじめに

皇居は、北側の代官町通りで北の丸公園に接し、千鳥が淵、半蔵濠、桜田濠、二重橋濠、蛤濠、桔梗濠、大手濠、平川濠に囲まれた独立した植生域であり、豊かな自然林が残されている。全体の面積は 1.15km² である¹⁾。

森林は、葉の蒸発散に伴う表面温度の低下により周辺気温の上昇を抑える効果があり、蒸発散量については、衛星リモートセンシングによる推定が可能である。本研究は、皇居の植生が周辺市街地の熱環境に与える影響について、衛星データから得られる情報を利用して解析した。研究対象地域を Plate1. に示す。

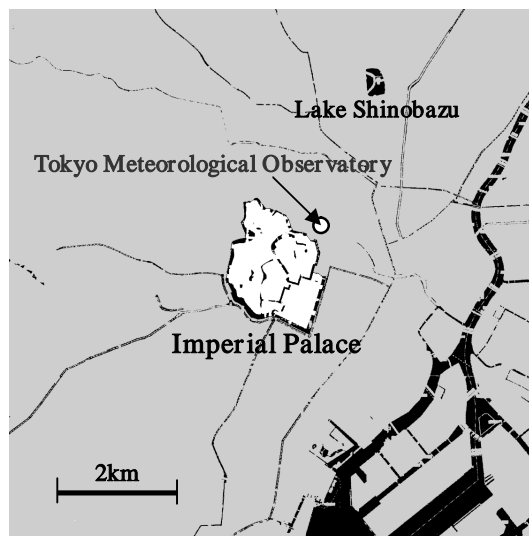


Plate1. This shows study area

2. 研究方法

2-1. 蒸発散量の推定

蒸発散は、液体の水が潜熱エネルギーをもつ水蒸気となるエネルギー変換現象であるとともに、地表の水分が大気へと運ばれる水の移動現象である²⁾。蒸発散量は、エネルギー変換という視点から成り立つエネルギー収支式(1)式と、分水界としてくぎられた流域を対象とした水の移動現象という視点から成り立つ水収支式(2)式から推定される。

$$R_N = H + \lambda E + G \quad (1)$$

$$P = Q + E + \Delta S \quad (2)$$

ここに、 R_N は正味放射量、 λE は潜熱輸送量、 G は地中伝道熱、 P は降水量、 E は蒸発散量、 ΔS はある期間における流域内の貯留量である。両式より、エネルギー収支と水収支が蒸発散量を媒介として結びついていることがわかる。

Penman-Monteith 法³⁾は、エネルギー収支と微気象学原理に基づいて一般気象要素から蒸発散量を推定する方法であり、現在、もっとも広く用いられている。本研究では、皇居を取り巻く森林域からの蒸発散量を推定するため、Penman-Monteith 法を簡略化して利用しやすくした McNaughton 法⁴⁾を用いた。

Penman-Monteith 法は、(3)、(4)式で表される。

$$\lambda E = \frac{(R_N - G) + \rho C_p (e_s(T_a) - e_a) / r_a}{1 + r_c + r_a} \quad (3)$$

$$\lambda = 2.501 - 0.002361 \cdot T_s \quad (4)$$

ここに、 λE は潜熱フラックス、 Δ は飽和水蒸気圧曲線の傾き、 ρ は空気の密度、 C_p は空気の定圧比熱、 γ は乾湿計定数、 r_a は空気力学的抵抗、 r_c は群落抵抗、 T_a は気温、 $e_s(T_a)$ は気温 T_a に対する飽和水蒸気圧、 e_a は水蒸気圧である。また、 λ は水の潜熱、 T_s は地表面温度である。 r_c は主として気

Satellite Analysis for Assessing the Natural Environments at the Imperial Palace.

Tomohito Asaka, Hajime Nishikawa, Hisao Fujii, Fumihiko Konta

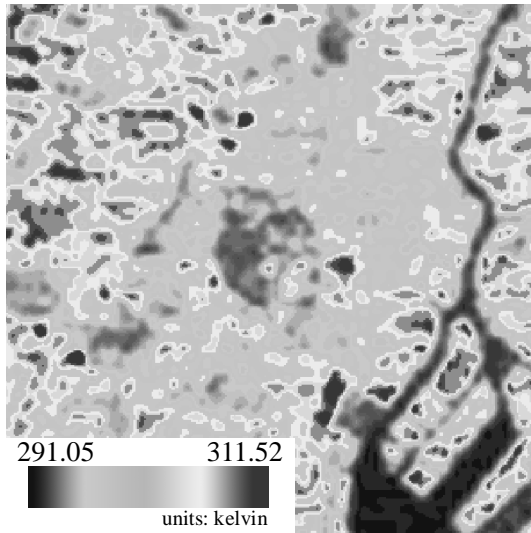


Plate2. Land surface temperature in 1985/8/3, which was estimated by Landsat TM of Band6 data

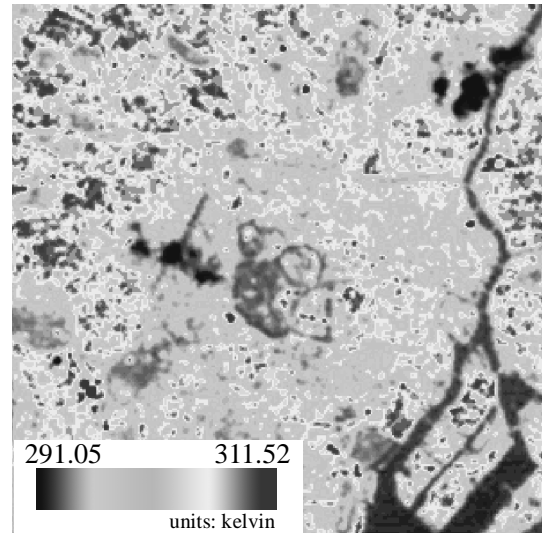


Plate3. Land surface temperature in 2002/8/10, which was estimated by Landsat ETM+ of Band6 data

孔の開閉をパラメータ化したものである。森林は、空気力学的に粗い林冠をもつため、一般的に r_{ca} と表すことができるため、(5)式のように簡略化することができる。

$$\lambda E = \frac{\rho C_p \cdot (e_s(T_a) - e_a)}{\gamma + r_c} \quad (5)$$

上式は、蒸発散が飽差と群落抵抗 r_c で決まることを示している。 r_c は、林床面からの蒸発散量が限りなく少ないと仮定すると、全葉を並列に配置して得られる抵抗として近似でき、以下(6) (7) (8) (9) (10)式で表すことができる。

$$r_c = r_{st} / LAI_e \quad (6)$$

$$LAI_e = LAI / 2 \quad (7)$$

$$r_{st} = R_{smi} \cdot R_s \cdot S_s \quad (8)$$

$$S_s = 1 - 0.0016 \times (298.0 - T_a)^2 \quad (9)$$

$$R_s = (1 + S_{rd} / 30) / (S_{ra} / 30 + R_{sn} / R_{sx}) \quad (10)$$

ここに、 r_{st} は単葉の気孔抵抗平均値、 LAI_e は有効葉面積指数である。 S_{rad} は全天日射量、 S_s は気温 T_a による活動性の低下を表現し、 R_{sn} は最小気孔抵抗、 R_{sx} はクチカラ抵抗である。 r_{st} は、 r_c と同様に温度、日射、飽差などの影響を受けるが、石井ら⁵⁾の研究報告を参考に BATS(Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme)^{6,7)}モデルを適用した。

2.2. Landsat データの解析

McNaughton 法のパラメータに、衛星データから算定した LAI と地表面温度を用いた。衛星データは、シーン Path:107-Row:35 の 1985 年 8 月 3 日観測の Landsat TM データと 2002 年 8 月 10 日観測の Landsat ETM+ データを利用した。解析には、対象地域である皇居を中心とした、300px × 300px の範囲を切り出したデータを用意した。

大気上面の反射率(Top-Of-Atmosphere ; TOA) は、大気上面の単位面積の反射率であり異なる衛星センサや異なる季節に観測された放射輝度値を同じ条件で相互比較できる利点がある⁸⁾。本研究では、二時期の異なる衛星データから NDVI を媒介として LAI を算定するため、TOA 反射率に変換したデータから NDVI(11 式)を算定した。LAI(12)式は、Nemani et al.,⁹⁾によって針葉樹林に対して良好な相関関係が認められている経験式を用いた。

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \quad (11)$$

$$LAI = 0.64 \cdot \exp\left(\frac{NDVI}{0.34}\right) \quad (12)$$

地表面温度は、以下の観測放射輝度値(13)式から経験式(14)式によって算定した。

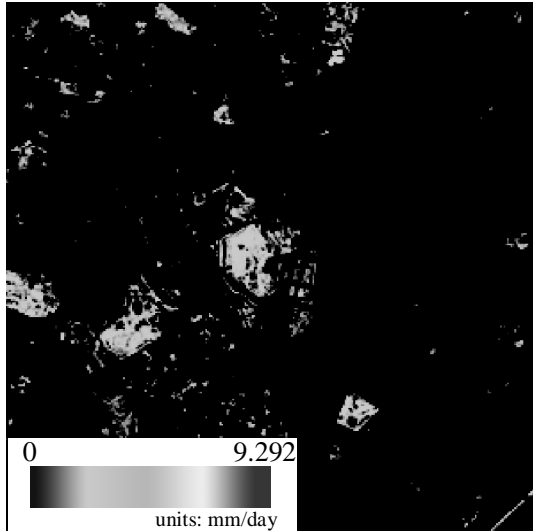


Plate4. Results of Estimated Evapotranspirations/day around the study area in 1985/8/3

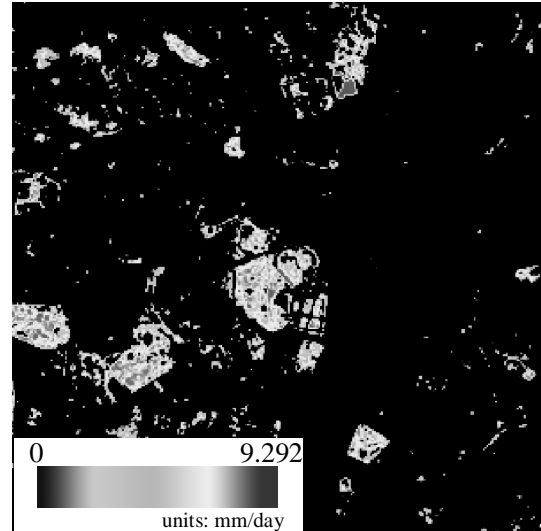


Plate5. Results of Estimated Evapotranspirations/day around the study area in 2002/8/10

$$L_k(j,i) = \frac{L_{\max}(k) - L_{\min}(k)}{255} \cdot X_k(j,i) + O_k \quad (13)$$

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{k1}{L_k} + 1\right)} \quad (14)$$

ここに、 $L_k(j,i)$ は k バンドにおける j ライン i 列目の画素の観測放射輝度値、 L_{\max} 及び L_{\min} はスペクトル放射輝度の上限と下限、 O_k はバンド k のオフセット値である。 T は地表面温度、 $K1$ 及び $K2$ は校正係数である。

3. 結果と考察

McNaughton 法により、二時期における各日の可能蒸発散量を推定した。 LAI を算定するにあたり、石井ら⁵⁾の研究報告を参考に NDVI 値の 0.4 を閾値に森林域とその他の地域と区分け下。 気象条件の各パラメータには、気象庁東京管区気象台・東京観測所（千代田区大手町）のアメダスデータを利用し、気温、現地気圧は日平均値を用いた。 全天日射量は日合計量値を用いた。 空気の密度、乾湿計定数、飽和水蒸気圧、水蒸気圧は、現地気圧、気温、平均相対湿度をもとに算定した。

Plate2,3 は、対象地域の地表面温度分布を示した画像である。 1985 年当時のほうが 2002 年より全体的に地表面温度が低いことがわかる。 アメダス

データによると、1985 年 8 月 3 日の気候は、最高気温 32.1、最低気温 25.7、平均気温 28.3、相対湿度 73%、風向はほぼ南南西、平均風速は 4.2m/s、全天日射量 23.3MJ/m²、日照時間 12.5 時間でありほぼ快晴である。 2002 年 8 月 10 日の気候は、最高気温 34.7、最低気温 28.1、平均気温 30.7、相対湿度 57%、風向はほぼ南西、平均風速は 5.9m/s、全天日射量 26.2MJ/m²、日照時間 12.5 時間であり、気象条件は 1985 年 8 月同じであった。 地表面温度分布における差異は、気象条件から、全天日射エネルギー量が大きい事に起因していると思われる。

Plate4,5 は、McNaughton 法により推定した蒸日可能蒸散量分布画像である。 皇居及び赤坂御所、新宿御苑、上野公園では他の地域に比べ蒸散量が多いと推定される。 分布については、経年的な変化は大きくないが 2002 年時の方が全体的に蒸発散量が多い傾向を示した。 推定結果は、日可能蒸散量の分布であり、2002 年時の気象条件では飽和蒸気圧が高く、加えて全天日射量も大きいことが原因として考えられる。

4. おわりに

McNaughton 法のパラメータに、衛星データから得られた情報を適用して日可能蒸発散量を推定し

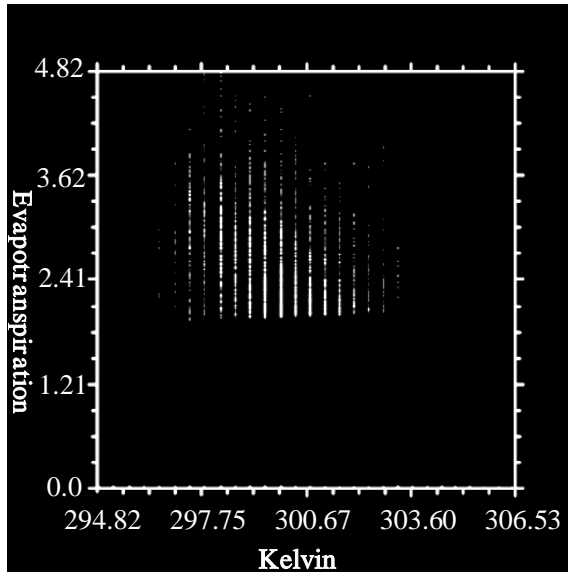


Fig.1. This figure shows correlation between LST and Estimated Evapotranspirations in 1985/8/3

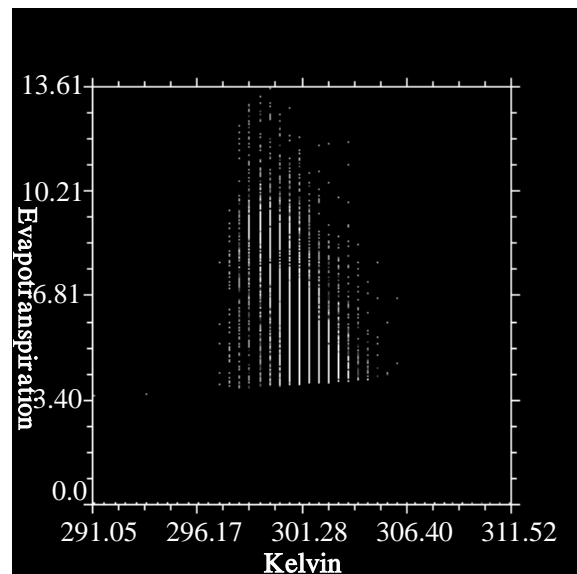


Fig.2. This figure shows correlation between LST and Estimated Evapotranspirations in 2002/8/10

た．既往研究¹⁰⁾より，日本における森林域からの月蒸発散量は，地域差はあるが夏場では120mm程度となる．従って，一日当たりの蒸発散量に換算すると4mmとなる事を考慮すると，本研究で算定した推定値は妥当であったと思われる．日可能蒸発量分布画像のなかで，10mm以上という大きい蒸発散量を示した場所について解析したところ，上野公園内の蓮池，皇居内の蓮池であることがわかった．McNaughton法は森林域から野蒸発散推定モデルであることや，最小気孔抵抗並びにクチカラ抵抗のパラメータに森林の一般値を取り入れたことその原因として考えられる．

Fig.1及びFig.2は，地表面温度画像と蒸発散量画像の散布図を示したものである．蒸発散量が多く且つ地表面温度が低い場所を分析したところ，皇居周辺や新宿御苑が該当地域であった．従って，蒸発散による温度上昇抑制効果を空間分布として確認する事ができた．

[参考文献]

- 1) 国立科学博物館，皇居吹上御苑の生き物，凸版印刷(2001)，pp.236-251
- 2) 水文・水資源学会，水文・水資源ハンドブック，朝倉書房(1997)，pp.50-56
- 3) Monteith, J.L. , Evaporation and environment , S

ymp. Soc. Exp. Biol.19 (1965), pp.205-234

- 4) McNoughton, K.G. and T.A. Black , A study of evapotranspiration from a Douglas fir forest using the energy balance approach , Water Resource Research Vol.9 (1973) , pp.1579-1590

- 5) 石井 孝, 梨本 真, 下垣 久, 森林からの蒸発散量を考慮した流出量算定手法の開発，電力中央研究所報告 U01050 (2002) , pp.1-18

- 6) Dickinson, R.E., A.Henderson-Sellers and P.J. Kennedy , Biosphere Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to the NCAR Community Climate Model, NCAR Tech.387(1993)

- 7) Hinckly, T.M., J.P. Lassoie, and S.W. Running , Temporal and spatial variation in the water status for forest trees , Forest Science Monograph.20 (1978) , pp.72

- 8) 高木幹雄, 下田陽久, 新編画像解析ハンドブック, 東京大学出版 (2004) , pp.1122-1133

- 9) R. Nemani, L. Pierce, S. Running , Forest ecosystem processes at the watershed scale: sensitivity to remotely-sensed Leaf Area Index estimates , Int. J.Remote Sensing Vol.14, No.13 (1993) , pp.2519-2534

- 10) 近藤純正, 水環境の気象学, 朝倉書房 (1994) pp.323-337