

METROSデータを用いた土地利用種別及び地表面地物要素毎の蒸発散量推定

(株)建設技術研究所 正会員 ○古賀 達也
 首都大学東京 大学院都市基盤環境学域 正会員 河村 明
 首都大学東京 大学院都市基盤環境学域 正会員 天口 英雄

1. はじめに

浸透域において蒸発散量は明らかに土壤水分の影響を受けるが、蒸発散量の計算に一般的に用いられるHamon式、Thornthwaite式等を用いた手法は蒸発散に土壤水分は考慮されていない。さらにこれらの式は熱収支的側面についても考慮しておらず、地表面温度の算定を精度良く行うためには、熱収支式を用いて求まる潜熱・顕熱により蒸発散量の推定を行う必要がある¹⁾。これまで著者らは基礎的地物データGISをベースに浸透域に関する情報を新たに組み込み、都市を形成している土地利用を浸透特性で分類するGISを構築してきている²⁾。そして、高度な地物データGISを用いて地表面を浸透域と不浸透域に分類し、地表面地物要素毎の浸透特性と土壤水分量の違いによる蒸発散量を熱収支を考慮して表現できる蒸発散モデルであるTET(Tokyo EvapoTranspiration)モデルを提案している³⁾。本研究は都内に126カ所という高密度で設置されていた、首都圏環境温度・降雨観測システムであるメトロス(METROS: Metropolitan Environmental Temperature and Rainfall Observation System)データ⁴⁾を用いてTETモデルを神田川上流域に適用することにより、2004年の1年間の地表面地物要素毎の日蒸発散量の算定を行ったものである。

2. 蒸発散モデル(TETモデル)の概要

地表面の熱収支式の基礎方程式である式(1)~(3)を用いて、熱収支式により潜熱、顕熱を評価し、求められた潜熱より蒸発散量の推定を行う。式(4)は蒸発効率 β の算定式である。

$$R_n = H + \ell E + G \quad (1) \quad H = c_p \rho C_H U (T_s - T) \quad (2)$$

$$\ell E = \ell \rho \beta C_H U (q_{SAT} - q) \quad (3) \quad \beta = 1 - \frac{2}{1 + \exp(-k \times \lambda_x)} \quad (4)$$

ここに、 R_n : 正味放射量(W/m²)、 H : 顕熱伝達量(W/m²)、 ℓE : 潜熱伝達量(W/m²)、 G : 地中熱伝達量(W/m²)、 T_s : 地表面温度(K: ケルビン)、 c_p : 空気の定圧比熱(1005J/kg/K)、 ρ : 空気密度(kg/m³)、 C_H : 顕熱輸送のバルク係数(無次元)、 U : 観測地点の風速(m/s)、 T : 大気気温(K)、 ℓ : 水の気化潜熱(2.50×10⁶J/kg)、 β : 蒸発効率(無次元)、 q_{SAT} : T_s に対する飽和比湿(無次元)、 q : 大気の比湿(無次元)、 k : 土地利用種別毎に設定する蒸発散係数(無次元)、 λ_x : 土壤水分係数(無次元)である。TETモデルは、浸透域においては、土地利用種別毎の蒸発散係数および土壤水分量からバルク式における蒸発のしやすさを表す蒸発効率 β を算定し、これから求まる潜熱、顕熱を用いることにより土地利用種別の違いによる土壤水分を考慮した蒸発散量の推定を行うモデルである。土壤水分量評価については地表面地物要素の浸透特性と土壤水分量の違いによる蒸発散量を表現できる蒸発散モデルとしてSMPTモデルによる浸透域モデルを構築している。不浸透域においては窪地貯留を考慮した不浸透域モデルを構築している²⁾。建物、舗装地等の不浸透域の β については、可能蒸発散能 $E_p(t)$ に補正係数の0.6を乗じた量を蒸発散量とした。

3. 対象流域と計算条件

本論文では、神田川の井の頭池から善福寺川合流点までの上流域約11.5km²、流路延長約9kmを対象流域として設定した。図-1に対象とする神田川上流域の高度な地物データGISを示すが、本流域の全地物を20の土地利用種別に分類している。図-2に神田川上流域周辺のMETROS観測所の位置関係を示す。本論文では、図-2に示すティーセン分割を行い、各地表面地物要素毎に、観測地点のティーセンエリアに対象領域が含まれるSt.1~St.9の異なる気温データを与える事とした。

| | | | |
|------|-------|--------------|---------------|
| ● 農地 | ● 芝地 | ● 裸地 | ● テニスコート(浸透) |
| ● 池 | ● 草地 | ● 駐車場(浸透) | ● テニスコート(不浸透) |
| ● 道路 | ● 畑 | ● 駐車場(不浸透) | ● 鉄道 |
| ● 公園 | ● 舗装地 | ● グラウンド(浸透) | ● 河川 |
| ● 緑地 | ● プール | ● グラウンド(不浸透) | ● 建物 |

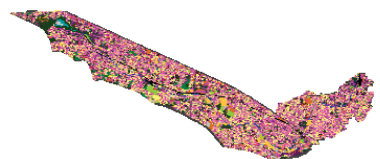


図-1 神田川上流域の高度な地物データGIS

4. 蒸発散量の推定

本論文では、2004年の1月～12月の1年間を対象に、TETモデルを用いて地表面地物要素毎の蒸発散量の解析を行った。パルク式に用いる日平均気温については、地表面地物要素毎の位置に応じて図-2に示したSt.1～St.9のそれぞれの観測値を用いた。高度な地物データGISは表-1に示す通り20の土地利用種別に分類しており、それぞれに浸透域または不浸透域(水域を含む)の設定を行っている。20の土地利用種別のグループ分類および蒸発散パラメータをうち浸透域である10種の土地利用種別について蒸発散パラメータを表-1に示す。なお、浸透域の各グループの土地利用種別毎のパラメータは同様とした。

図-3に、代表例として観測地点の支配面積が最大であるSt.5の気温を与えた領域における、可能蒸発散能と土壌水分量を考慮した実蒸発散量時系列をグループ毎に示している。St.5の日平均気温は、7月～8月が約30℃とピークであり、熱収支式より算定される可能蒸発散能は土地利用種別に関わらず最大で約7mm/dayとなっている。図-3より林地および畑では7月下旬の実蒸発散量は可能蒸発散能に対してかなり小さくなっている。これは7月に降雨が少なく蒸発により土壌水分が減少していくことにより、蒸発効率 β が小さくなるためである

2004年の年間総雨量は1,755mmであり、これに対し、TETモデルで算定された年間総蒸発散量の割合は約14%となる。一方、神田川全流域の流域平均雨量と年間蒸発散量は1,512mm/yearおよび231mm/year程度⁵⁾であり、雨量に対する蒸発散の割合は15%となりTETモデルで算定された14%の蒸発散割合は、妥当な値となっている。

5. むすび

本論文では、高度な地物データGISと熱収支式を用いて、地表面地物要素毎の土地利用種別の違いおよび土壌水分量の状態を考慮して潜熱、顕熱を算定できるTETモデル活用し、神田川上流域において2004年1年間の地表面地物要素毎の蒸発散量を推定した。その結果、地表面地物要素に与える気温を場所毎に変化させた場合に、気温により異なる地表面地物要素毎の蒸発散量を推定できることを確認した。今後は本論文で妥当性を確認したTETモデルを用いて、不浸透域である建物に対し屋上緑化等によるヒートアイランド対策を実施した場合のシナリオ想定およびその気温抑制効果の検証を行う予定である。

参考文献

- 1)古賀達也・河村明・天口英雄：高度な地物データGISを用いた都市流域における蒸発散モデルの構築とその適用，土木学会論文集B1（水工学） Vol.69, No.4, pp.I_1771-I_1776, 2013.
- 2)天口英雄・河村明・高崎忠勝：地物データGISを用いた新たな地物指向分布型都市洪水流出解析モデルの提案，土木学会論文集 Vol.63, No.3, pp.206-223, 2007.
- 3)古賀達也・河村明・天口英雄：熱収支及び土壌水分を考慮した地表面地物要素毎の蒸発散モデルの構築と実流域への適用，土木学会論文集B1（水工学） Vol.70, No4, pp.I_319-I_324, 2014.
- 4)三上岳彦・大和広明・広域METROS研究会：広域METROSによる首都圏高密度気温観測とその都市気候学的意義，地学雑誌 120(2), pp.317-324, 2011.
- 5)健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：神田川流域水循環系再生構想検討報告，p5, 2003.

キーワード：蒸発散，土地利用種別，地表面地物要素，土壌水分，METROSデータ

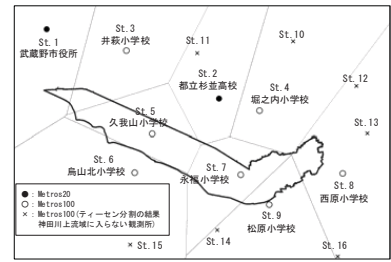


図-2 対象流域周辺の METROS 設置位置

表-1 土地利用種別毎蒸発散パラメータ

| No | 土地利用種別 | 浸透特性 | 面積 (ha) | 面積率 (%) | 飽和土壌水分量 S _{sat} (mm) | 最小土壌水分量 S _{min} (mm) | 地下水深さ (m) | 初期水蒸発定数 γ (1/日) | 蒸発係数 k | アルベド α | 定数 β (同種の区分※) |
|----|---------|-------|---------|---------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|------------------------|--------|---------------|---------------------|
| 1 | 建物 | 不浸透 | 3.38 | 23.39 | - | - | - | - | - | 0.12 | グループ1 |
| 2 | 駐車場(不透) | 不透 | 0.06 | 0.52 | 92 | 74 | 0.8 | 64 | 0.34 | 0.10 | グループ3 |
| 3 | 駐車場(不透) | 不透 | 0.21 | 1.80 | - | - | - | - | - | 0.12 | グループ3 |
| 4 | テラス(不透) | 不透 | 0.23 | 1.96 | 92 | 74 | 0.8 | 64 | 0.34 | 0.10 | グループ3 |
| 5 | テラス(不透) | 不透 | 0.03 | 0.23 | - | - | - | - | - | 0.13 | グループ3 |
| 6 | 林地 | 浸透 | 1.04 | 9.05 | 138 | 110 | 0.8 | 97 | 4.38 | 0.15 | グループ1 |
| 7 | 芝地 | 浸透 | 0.17 | 1.49 | 92 | 74 | 0.8 | 64 | 0.34 | 0.10 | グループ1 |
| 8 | 畑 | 浸透 | 0.19 | 1.64 | 104 | 83 | 0.8 | 73 | 0.55 | 0.23 | グループ1 |
| 9 | 公園 | 浸透 | 0.10 | 0.81 | 92 | 74 | 0.8 | 64 | 0.34 | 0.10 | グループ3 |
| 10 | 草地 | 浸透 | 0.07 | 0.61 | 92 | 74 | 0.8 | 64 | 0.34 | 0.10 | グループ3 |
| 11 | 舗装地 | 不浸透 | 0.38 | 3.30 | - | - | - | - | - | 0.12 | グループ3 |
| 12 | 鉄道 | 不浸透 | 0.15 | 1.30 | - | - | - | - | - | 0.12 | グループ3 |
| 13 | 開地 | 50%浸透 | 3.43 | 29.83 | 92 | 74 | 0.8 | 64 | 0.34 | 0.10 | グループ3 |
| 14 | 田畑(不透) | 不透 | 0.05 | 0.47 | 92 | 74 | 0.8 | 64 | 0.34 | 0.10 | グループ3 |
| 15 | 田畑(不透) | 不透 | 0.03 | 0.28 | - | - | - | - | - | 0.12 | グループ3 |
| 16 | 裸地 | 浸透 | 0.05 | 0.48 | 80 | 64 | 0.8 | 56 | 0.25 | 0.10 | グループ4 |
| 17 | プール | 不浸透 | 0.01 | 0.10 | - | - | - | - | - | 0.12 | グループ3 |
| 18 | 道路 | 不浸透 | 1.79 | 15.52 | - | - | - | - | - | 0.12 | グループ3 |
| 19 | 雪 | 不浸透 | 0.04 | 0.31 | - | - | - | - | - | 0.12 | グループ3 |
| 20 | 河道 | 不浸透 | 0.10 | 0.87 | - | - | - | - | - | 0.12 | グループ3 |

※グループ3は不浸透域(水域以外)で、直接流出開始高を2mmに設定

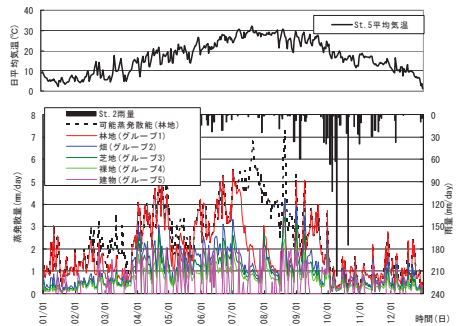


図-3 土地利用グループ毎の蒸発散量 (St.5の気温を与えた領域)