

都市流域の地表面地物要素へのヒートアイランド緩和策に対する実流域シミュレーション評価

SIMULATION FOR ASSESSMENT OF MITIGATION MEASURES FOR INDIVIDUAL LAND-SURFACE FEATURES AGAINST HEAT ISLAND IN URBAN WATERSHED

古賀達也¹・河村明²・天口英雄³

Tatsuya KOGA, Akira KAWAMURA and Hideo AMAGUCHI

¹正会員 工修 (株) 建設技術研究所 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

²正会員 工博 首都大学東京教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

³正会員 博(工) 首都大学東京助教 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

The promotion of heat island mitigation measures is an urgent need in Tokyo. This study simulated evapotranspiration, land surface temperature, and watershed averaged land surface temperature for each individual land-surface feature in the Upper Kanda River Watershed, implementing a water-permeable pavement for roads and green roofs as heat island mitigation measures. The simulation took an advantage of TET model that can express the amount of evapotranspiration, accounting for changes in soil moisture and permeable characteristics of individual land-surface features. As a result, it was found that the state of the soil moisture had a significant effect in the impact assessment of urban heat island mitigation measures.

Key Words : *heat balance, evapotranspiration, individual land-surface features, soil moisture, heat island mitigation measures*

1. はじめに

都市部において周辺部より高温域になるヒートアイランド現象は世界の大都市部での喫緊の課題であり、東京都においても過去100年の間に約3.0°Cの気温上昇が観測¹⁾されている。ヒートアイランド緩和策の推進は急務であり、東京都の「東京における自然の保護と回復に関する条例」では1,000m²以上の敷地における新築時は屋上緑化計画の義務づけを実施するなど、ヒートアイランド緩和策を推進している。これらのヒートアイランド緩和策を推進していくためには、行政部局による都市流域におけるヒートアイランド対策として屋上緑化等を行う場合の施策評価を実施する必要がある。そのためには、道路や建物の建設状況など、具体的な都市化の進展状況ができる限り忠実にモデル化することが可能で、屋上緑化等による蒸発散量の変化に伴う気温上昇抑制効果を個々に検証・予測できるシミュレーションモデルによる評価が重要である。

しかしながら、ヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価はこれまで多く行われているが、そ

の多くはグリッド型の土地利用情報を用いた広域での緩和策評価（たとえば神足ら²⁾, Ashie and Kono³⁾）や詳細な街区単位の緩和策評価（たとえば田村ら⁴⁾）、または実証実験による局所的な評価等である。著者らが知る限り、個別の土地利用種別の特性を表現した地表面地物要素毎のヒートアイランド緩和策評価とこれらの流域単位へのヒートアイランド緩和効果を同時に評価した事例は見あたらない。

著者らはこれまでに、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⁵⁾。なお、「高度な地物データGIS」とは著者らが基礎的地物データ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データであり、分布型洪水流出モデルに適用できる地物形状を忠実に反映したGISデータのことである⁶⁾。TETモデルは表層土壌への浸透過程を表現するSMPTモデル(Soil Moisture Parameter Tank Model)⁷⁾による浸透域モデル

と、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から構成されており、浸透域に対しては地表面地物要素毎の土地利用の違いおよび土壌水分量の状態を考慮し、バルク式による熱収支式を用いて潜熱・顕熱を算定できるモデルである。さらに、算定された潜熱・顕熱を用いて地表面地物要素毎の蒸発散量時系列と同時に地表面温度変化を表現できるモデルである。TETモデルを用いることにより、個別地物に対するヒートアイランド緩和策を実施した場合の個別地物および流域全体に対する気温上昇抑制効果を表現することが可能である。本論文の目的は、このTETモデルを用いて、個別地物のみならず流域全体に対するヒートアイランド緩和策実施前後の流域気温変化の相対評価を行うことである。詳細な街区単位の評価では都市キャノピーモデルによる建物街区特有の熱蓄積効果（熱慣性）が必須であるが、本論文で目的とする流域単位で評価を行う場合には、その立体構造を表現するためのデータ取得が課題であるため、本論文では街区表面温度解析にあえてバルク式を用いている。

以上の背景・目的のもと、本論文では高度に都市化の進展した神田川上流域において個別の地表面地物要素の土地利用種別を用いることにより、建物の屋上緑化および道路の保水性舗装化のヒートアイランド緩和策を実施したシナリオを想定し、1年間の地表面地物要素毎の日蒸発散量および日平均地表面温度の算定を行った。これより、地表面地物要素の土地利用種別の改変による地表面地物要素毎の地表面温度変化および流域平均気温の変化を算定するとともに、屋上緑化および保水性舗装が都市流域の地表面地物要素へのヒートアイランド緩和策に対して与える影響についてシミュレーション評価した。神田川流域への適用にあたっては、神田川上流域内および近傍には気象庁アメダス観測所が存在しないため、本論文では（公財）東京環境科学研究所が首都大学東京と共同で東京都区内に126カ所という高密度で設置していた、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）⁸⁾の観測気温データを用いた。

2. 蒸発散モデル(TETモデル)の概要⁵⁾

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。

$$R_n = H + \ell E + G \quad (1)$$

$$H = c_p \rho C_H U (T_s - T) \quad (2)$$

$$\ell E = \ell \rho \beta C_H U (q_{SAT} - q) \quad (3)$$

$$\beta = 1 - \frac{2}{1 + \exp(-k \times \lambda_x)} \quad (4)$$

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 ：土壌水分係数(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壌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壌水分を考慮した蒸発散量の推定を行うモデルである。土壌水分量評価については地表面地物要素の浸透特性と土壌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。建物、舗装地等の不浸透域の β については、 $\beta=1$ の場合の蒸発散量である可能蒸発散能 $E_p(t)$ を実蒸発散量 $E(t)$ とするが、窪地貯留の水量がそれより小さい場合は窪地貯留の水量を実蒸発散量 $E(t)$ とした。また、河川、池およびプール等の「水域」（高度な地物データGISにおいては不浸透域として扱う）の β に関しては、水域については $\beta=1$ であるため、 $\beta=1$ として算定した可能蒸発散能を実蒸発散量としている。

3. 神田川上流域の流域特性

(1) 神田川上流域の概要

本論文では、図-1に示す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-2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。

(2) 高度な地物データGISの特性⁹⁾

表-1に高度な地物データGISによる地表面地物要素数および面積率を示す。表-1より、地表面地物データの要素数は104,342個であり、面積率では間地と建物がそれぞれ約30%を占めており最も多く、次いで道路の約16%、林地の約9%の順となっており、間地、建物、道路および林地の4土地利用種別で全体の約84%を占めている。

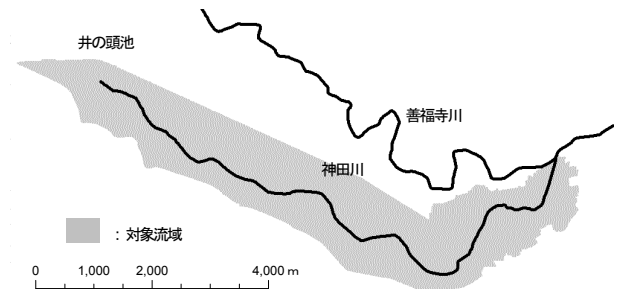


図-1 対象とした神田川上流域位置図

(3) METROSデータ

METROS (メトロス) は東京都環境科学研究所と首都大学東京が共同で都内126地点に設置している気象観測機器・システムであり、METROS20とMETROS100の2種類の観測システムに分けられる。METROS20は都区内20ヶ所のビルの屋上部等で、風向、風速、気温、湿度、降水量、気圧を計測しており、METROS100は、23区内106ヶ所の小学校の百葉箱内に設置された小型の温湿度データロガーによる観測システムで温度、湿度が記録されている⁹⁾。このMETROSデータについてはLANDSAT-TM熱画像による輝度温度との比較が行われており、そのデータの妥当性が確認されている¹⁰⁾。METROSは2002年～2004年度のプロジェクトで観測が実施されており、一方、神田川の高度な地物データGISの基礎となっている基礎的地物データGISは2004年時点の土地利用のGISデータであるため、本論文ではMETROS観測データの2004年の気象データを用いる事とした。

図-3に神田川上流域周辺のMETROS観測所の位置関係を示す。神田川上流域周辺ではMETROS20の観測地点は2地点、METROS100の観測地点は14地点の計16地点が存在している。本論文では、図-3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。厳密には時々刻々の等気温線図により地表面地物要素の位置に応じた気温を与える事が望ましいが、本論文では簡単のためティーセン分割による行うこととした。なお、図-3の範囲内には気象庁アメダス

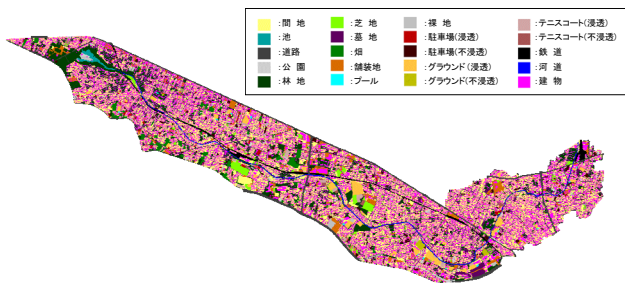


図-2 神田川上流域の高度な地物データGIS

表-1 高度な地物データGISによる要素数及び面積率

No	高度な地物データGISによる土地利用種別	要素数	面積 (m ²)	面積率 (%)
1	建物	34,054	3,382,235	29.39
2	駐車場(浸透)	177	60,351	0.52
3	駐車場(不浸透)	635	207,213	1.80
4	グラウンド(浸透)	568	225,656	1.96
5	グラウンド(不浸透)	48	23,288	0.20
6	林地	3,185	1,041,020	9.05
7	芝地	409	171,526	1.49
8	畑	483	188,587	1.64
9	公園	310	104,735	0.91
10	墓地	171	70,392	0.61
11	舗装地	1,157	379,521	3.30
12	鉄道	570	149,388	1.30
13	間地	16,765	3,432,446	29.83
14	テニスコート(浸透)	108	54,613	0.47
15	テニスコート(不浸透)	62	30,383	0.26
16	裸地	117	52,714	0.46
17	プール	27	11,750	0.10
18	道路	45,104	1,785,662	15.52
19	池	85	36,205	0.31
20	河川	307	99,704	0.87
	計	104,342	11,507,390	100.00

観測所は存在しておらず、METROSデータの活用により地域毎に異なる気温状況を表現することができている。

表-2に9観測地点の2004年の月平均および年平均気温を示す。観測地点毎に大きな気温変化は見られないが、表-2の月平均気温よりSt.8が夏場に最も高温でSt.1が最低となっており、年間平均気温で見るとSt.8が17.36℃に対し、St.1の年間平均気温は16.37℃であり約1℃の差がある。この差はSt.8が位置する下流域では密集低層住宅地等が多く市街化が進んでいるのに対し、St.1が位置する上流域では公園・緑地等が多いため¹¹⁾と推察される。

4. ヒートアイランド緩和策評価

(1) 計算条件

本論文では、2004年の1月～12月の1年間を対象に、TETモデルを用いて日単位の潜熱、顕熱の算定および、それらを用いて算定できる地表面地物要素毎の地表面温度および蒸発散量の解析を行った。バ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-3に示したSt.1～St.9のそれぞれの観測値を用いた。風速についてはMETROS100の観測地点では観測されていないため、風速が観測されているMETROS20のSt.2における観測値を用いた。バルク式では高度補正を行った土地利用粗度に応じた風速を用いる必要があるが、本論文では地表面は平面として扱っているため、ここでは一般的な裸地の地表面粗度(0.005)¹²⁾を用いて全地物に対し同様の高度補正を行った風速を用いた。全天日射量についてはMETROS100およびMETROS20では観測されていないため、アメダス「東京」における観測値を用いた。な

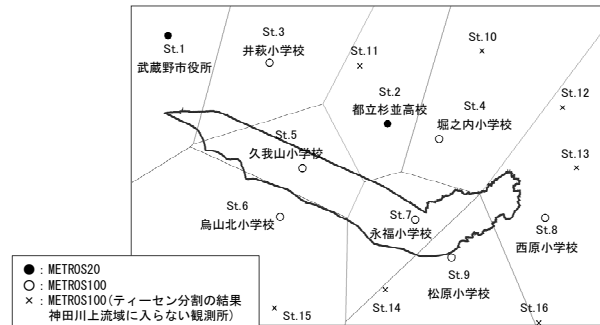


図-3 対象流域周辺のMETROS設置位置

表-2 観測点毎の月平均および年平均気温

月	観測地点								
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9
	日平均気温の月平均(°C)								
1	5.17	5.39	4.99	5.55	5.59	5.61	5.13	5.90	5.66
2	7.43	7.61	7.28	7.77	7.81	7.82	7.36	8.27	7.92
3	8.88	9.13	9.29	9.59	9.50	9.11	9.33	9.79	9.29
4	15.51	15.80	16.04	16.32	16.09	15.94	16.12	16.60	16.05
5	18.87	19.17	19.53	19.73	19.51	19.34	19.68	19.94	19.52
6	23.11	23.33	23.68	23.83	23.50	23.45	23.68	24.01	23.52
7	27.73	28.15	28.57	28.83	28.35	28.35	28.55	29.01	28.46
8	26.19	26.62	26.97	27.21	26.85	26.89	26.94	27.43	26.90
9	24.21	24.61	24.81	25.13	24.89	24.96	24.93	25.38	24.94
10	16.44	16.75	16.78	17.05	16.75	16.88	16.73	17.34	16.87
11	14.40	14.69	14.34	14.85	15.14	14.61	14.23	15.21	14.80
12	8.47	8.80	8.47	8.76	8.98	8.60	8.21	9.32	8.87
年平均(°C)	16.37	16.68	16.74	17.06	16.92	16.80	16.75	17.36	16.91

お、全天日射量は数kmの範囲で大きく異なる値ではない¹³⁾ため、蒸発散量の推定に与える影響は無視できると考えられる。大気放射量については、近藤の提案する手法¹⁴⁾により算出した。

高度な地物データGISでは、表-3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。なお、間地（戸建て敷地内の建物以外）については、サンプル調査の結果をもとに50%を浸透域として設定した。これらの土地利用種別において、土壌水分を考慮した蒸発散モデル適用のために蒸発散係数 k 、飽和土壌水分量 S_{sat} を設定する必要があり、ここでは流域全体の蒸発散量が妥当なものとなることを確認している古賀ら⁵⁾の値を用いて、20の土地利用種別のうち浸透域である10種の土地利用種別についてパラメータを設定した。なお、土地利用種別は10種存在するが大きくは4グループに分類され、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。グループ1は林地、グループ2は畑、グループ3は駐車場（浸透）、グラウンド（浸透）、芝地、公園、墓地、テニスコート（浸透）、間地（浸透域分）の7種別、グループ4は裸地とした。また、不浸透域の水域以外である建物、駐車場（不浸透）、グラウンド（不浸透）、舗装地、鉄道、間地（不浸透域分）、テニスコート（不浸透）、道路の8種別はグループ5とし、直接流出発生高（窪地貯留高）は一般的な値¹⁵⁾を採用し2mmと設定した。不浸透域の水域であるプール、池、河道の3土地利用種別についてはグループ6とした。以上6グループの蒸発散パラメータを表-3に示す。また、アルベドについても同様に6グループに分類し、土地利用種別毎に表-3に示す一般的な値¹⁶⁾を採用した。

(2) ヒートアイランド緩和策シナリオの想定

地表面地物要素へのヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価を実施するにあたり、表-4に示す4ケースの緩和策シナリオを想定した。現実的な緩和策を検討するためには、現行で実施可能なヒートアイランド

表-3 土地利用種別毎面積、面積率、蒸発散パラメータ

No	土地利用種別	浸透特性	面積 (km ²)	面積率 (%)	飽和土壌水分量 S _{sat} (mm)	最小容水量 S _s (mm)	地下水涵養定数 γ (1/s)	初期水量 S(0) (mm)	蒸発散係数 k	アルベド α	定数が同値の区分※
1	建物	不浸透	3.38	29.39	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
2	駐車場(浸透)	浸透	0.06	0.52	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
3	駐車場(不浸透)	不浸透	0.21	1.80	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
4	グランド(浸透)	浸透	0.23	1.96	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
5	グランド(不浸透)	不浸透	0.02	0.20	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
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3
8	畑	浸透	0.19	1.64	104	83	0.8	73	0.55	0.23	グループ2
9	公園	浸透	0.10	0.91	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
10	墓地	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5
12	鉄道	不浸透	0.15	1.30	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
13	間地	50%浸透	3.43	29.83	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
14	テニスコート(浸透)	浸透	0.05	0.47	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
15	テニスコート(不浸透)	不浸透	0.03	0.26	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
16	裸地	浸透	0.05	0.46	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6
18	道路	不浸透	1.79	15.52	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
19	池	不浸透	0.04	0.31	-	-	-	-	-	0.12	グループ6
20	河道	不浸透	0.10	0.87	-	-	-	-	-	0.12	グループ6

※グループ5は不浸透域(水域以外)で、直接流出開始高を2mmに設定

対策の最大効果を把握することが肝要であるため、屋上緑化および保水性舗装化のシナリオ想定では全建物および全道路に対して対策が実施された場合を想定した。case00を現状の土地利用状況とし、case01は全建物地表面地物要素の屋上緑化対策のみを実施したシナリオとした。case02は全道路の保水性舗装化対策のみを実施した場合を想定し、case03は全建物の屋上緑化と全道路を保水性舗装としたシナリオとした。屋上緑化の想定時は、最大のヒートアイランド緩和効果となるように、土地利用種別が建物である地表面地物要素についてグループ1の林地の蒸発散パラメータを適用することとした。保水性舗装化時の想定では、保水性舗装の空隙として9cmを想定し¹⁷⁾、この値を直接流出発生高（窪地貯留高）として用いることにより蒸発散量の増加によるヒートアイランド緩和効果を表現することとした。なお、シナリオにもとづき地表面地物要素の土地利用が変化した場合が実現象としては入力条件である気象場（気温、風速）は変化するが、本論文の目的は土地利用を改変した場合の地表面温度の相対変化を把握することを目的としているため、入力的气象場条件は全シナリオともに同様とした。

(3) シミュレーション結果の評価

上記の計算条件および想定シナリオをもとに、対象流域である神田川上流域において2004年の1年間の日単位計算による地物毎の蒸発散量の算定を行った。図-4に、代表例として現状土地利用状況時(case00)の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。なお、図-4には入力条件として与えたSt.2の日雨量、St.5の日平均気温の時系列変化も併記している。St.5の日平均気温は、7月～8月が約

表-4 ヒートアイランド緩和策シナリオの想定ケース

case	想定シナリオ	対象面積	適用
case00	現状土地利用	-	-
case01	建物屋上緑化(全建物)	3.4km ²	建物屋上を林地と想定
case02	保水性舗装化(全道路)	1.2km ²	窪地貯留高9cm
case03	全建物屋上緑化+全道路保水性舗装化	4.6km ²	case01+case02

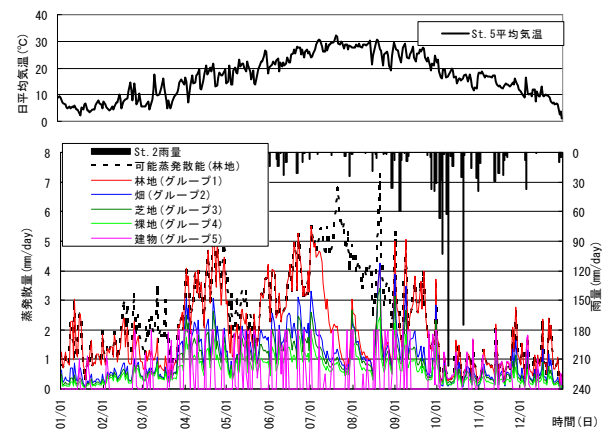


図-4 土地利用グループ毎の蒸発散量 (St. 5の気温を与えた領域：case00)

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-4より林地（グループ1）および畑（グループ2）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。一方、不浸透域では建物等（グループ5）については、窪地貯留高を2mmと設定しているため、それ以上の降雨が発生した場合は直接流出となり、最大蒸発散量は2mm/dayとなっている。

TETモデルでは、個別地物毎の潜熱・顕熱輸送量および蒸発散量の他に、地物地表面温度の算定も同時に行っている。図-5にはどの観測地点においても最も気温が高かった7月21日における各地表面地物要素毎の地表面温度を、観測気温との差として表-4に示す想定シナリオ別に示している。図-5a)において、St.8の観測値を用いて蒸発散量を算定している領域では、地表面温度が気温より低い（値がマイナス）地表面地物要素が多い。これは、St.8の気温は表-2より9観測地点中で最も平均気温が高く、この観測値を用いて蒸発散量を算定している領域では潜熱輸送量が大きく蒸発散も大きくなり、特に林地の蒸発散量が大きくなるため、地表面温度が下がるからである。また、St.8の観測値を用いている領域では、地表面温度が気温より高い（値がプラス）地表面地物要素も見られる。これらは不浸透地物に対応しており、その差は7℃～8℃であり8℃以下である。なお、St.8およびSt.9の領域以外において地表面温度と気温の差が-0.5℃～0.5℃とほぼ等しい地表面地物要素はグループ1の林地土地利用種別であることを確認している。図-5b)のcase01よりcase00と比較して地表面温度と気温の差が-0.5℃～0.5℃

の地表面地物要素が増えている事が分かる。これは建物を屋上緑化することにより地表面気温が低下したことによる。なお、地表面温度と気温の差が7℃以上となっている箇所は道路やグラウンド（不浸透）等の不浸透域である地表面地物要素である。図-5c)は全道路を保水正舗装化した場合の地表面温度であるがcase00と大きな違いは見られない。これは図-4より7月21日は最高気温だが、無降雨期間が続き土壌水分が小さくなっており蒸発散量が少ないためである。図-5d)は全建物屋上緑化と全道路全道路保水性舗装化した場合の地表面温度であるが、7月21日は道路部の蒸発による地表面温度低下が見られないため、建物の屋上緑化のみの対策を行ったcase01とほぼ同様の結果となっている。表-5に最高気温である7月21日と蒸発散量が最大となる7月1日の流域平均地表面温度および年平均の流域平均地表面温度を示す。また、表中には流域内全地表面地物要素からの年間蒸発散量も併記している。なお、流域平均地表面温度は地表面地物要素毎の地表面温度と面積を用いた加重平均により算出している。表-5より7月21日はcase00とcase02の流域平均地表面温度は同じであり、これよりも道路部において蒸発散量が増加していないことが分かる。しかし、蒸発散量が最大となる7月1日ではcase02はcase00と比較して1.3℃

表-5 流域平均地表面温度(日および年平均)と年間総蒸発散量

項目	月日	case00	case01	case02	case03	備考
日平均地表 面温度(℃)	7月1日	30.7	28.2	29.4	26.9	蒸発散量最高時
	7月21日	37.8	35.4	37.8	35.4	気温最高時
年平均地表面温度(℃)		17.9	17.2	17.6	16.9	
年間総蒸発散量(m ³)		2,957,272	4,775,409	3,871,106	5,689,243	

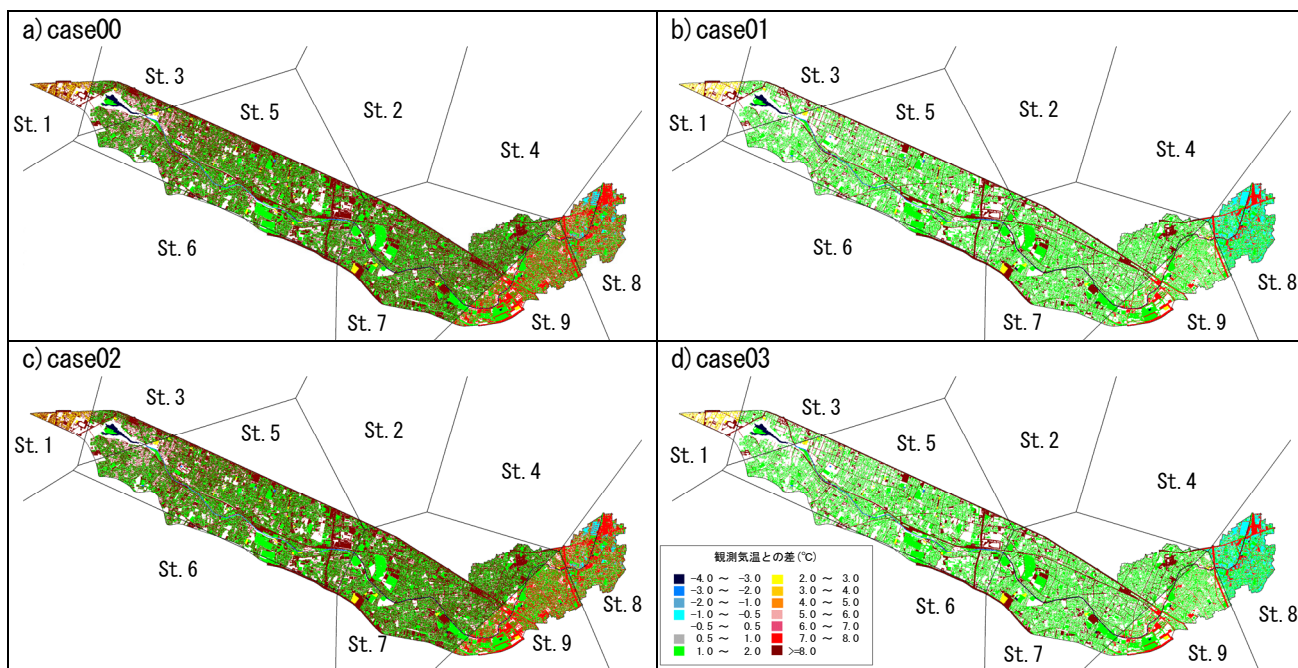


図-5 7月21日の地表面地物要素毎の地表面温度と観測気温の差

の流域平均地表面温度の低減が生じており、道路の耐水性舗装化による地表面温度低減効果が表れている。これより、道路耐水性舗装化による蒸発散効果は地表面の水分状態に左右され、無降雨期間が続くと地表面の水分量が減少し気温抑制効果が低減することが分かる。表-5の年間総蒸発散量のcase00とcase01およびcase02の比較より、屋上緑化が保水性舗装より蒸発散量が多くなり、結果として地表面温度低減効果が高いことが分かる。また、現状(case00)とcase03の比較では7月1日の地表面温度低下効果は3.8℃、年間総蒸発散量は約2倍の蒸発散量となっており、年平均の流域平均地表面温度は約1℃低下する可能性があることが分かる。

5. むすび

本論文では、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ヒートアイランド緩和策の複数の想定シナリオ（屋上緑化、保水性舗装化）に対し 2004 年 1 年間の地表面地物要素毎の潜熱、顕熱、蒸発散量、地表面温度および流域平均地表面温度を推定した。この場合、流域内外に密に存在している METROS 観測所の気温データを有効に活用することにより、同じ土地利用種別でも気温により蒸発散量が異なる現象を表現することが可能となった。その結果、地表面地物要素の土地利用の改変により個別地物および流域全体の地表面温度の低減を表現可能であることが表現でき、改変を行わない場合との相対比較が評価できることを確認した。また、ヒートアイランド緩和策の影響評価においては、土壌水分の状態が蒸発散量に大きく影響し、気温低減効果が異なるという特性を把握した。本論文では最大のヒートアイランド対策効果を把握するため、全建物および全道路に対策を実施したシナリオを想定したが、今後は建物形状や道路幅員等の条件を踏まえ、現実的に実行可能なシナリオにもとづくヒートアイランド対策効果を検討する必要がある。また、入力条件として LANDSAT-TM 熱画像との検証が行われている METROS データを用いているが、ヒートアイランド緩和策による気温抑制効果についてもこれら熱画像等との比較検証がその手法を含め検討が必要である。さらに本論文では流域全体を対象とするため地表面を平面と扱っており、「屋上緑化」と「建物→緑地への改変」の両者で異なる放射特性と風の抵抗や屋上緑化に伴うエアコン使用率の減少等の効果を表現していないが、これらを表現するための流域全体の建築物立体構造等のデータ取得方法が今後の課題である。

謝辞：本研究を遂行するにあたって、東京都アジア高度研究「アジア都市圏における水問題解決のための適応策に関する研究」（代表：河村明）の補助を受けました。

また、METROSデータについて、東京都環境科学研究所よりデータ提供頂きました。ここに記して深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 東京都環境局：ヒートアイランド対策ガイドライン, p.2, 2005.
- 2) 神足洋輔, 村上和男, 伊藤一正：気象モデルWRFを用いた関東平野における土地利用が夏期の都市気象に与える影響, 水工学論文集, 第52巻, pp.229-234, 2008.
- 3) Ashie Y., Kono T.: Urban-scale CFD analysis in support of a climate-sensitive design for the Tokyo Bay area, *International Journal of Climatology*, Vol. 31, pp.174-188, 2011.
- 4) 田村英俊, 平口博丸：都市街区内の部分緑化による地上気温低減効果に関する数値実験, No. 804, VII-37, pp.804_51-804_63, 2005.
- 5) 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, No.4, pp.I_319-I_324, 2014.
- 6) 荒木千博, 河村明, 天口英雄, 高崎忠勝, 須藤正大：神田川流域の地物データGISを用いた地下水涵養モデルの構築とその適用, 河川技術論文集, 第15巻, pp.371-376, 2009.
- 7) 安藤義久, 虫明功臣, 高橋裕：丘陵地の水循環機構とそれに対する都市化の影響, 第25回水理講演会論文集, pp.197-208, 1981.
- 8) 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), 317-324, 2011.
- 9) 天口英雄・河村明・高崎忠勝・中川直子：個別の地物情報を考慮した密集市街地におけるTokyo Storm Runoff Modelの提案, 水工学論文集, 第55巻, pp.S517-S522, 2011.
- 10) 巖網林, 三上岳彦：ランドサットTM熱画像による輝度温度と地上気温との関係の分析, 地学雑誌, 111(5), pp.695-710, 2002.
- 11) 古賀達也, 河村明, 天口英雄：神田川上流域における高度な地物データGISを用いた10mメッシュ土地利用区分の浸透面積率に関する研究, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.68, No.4, pp.I_505-I_510, 2012.
- 12) 近藤純正：地表面に近い大気科学, p.143, 2000.
- 13) 13)に同じ, p.141, 2000.
- 14) 13)に同じ, p.305, 2000.
- 15) 「都市小流域における雨水浸透, 流出機構の定量的解明」研究会：都市域における水循環系の定量化手法－水循環系の再生に向けて－, 第二編 技術解説, p.58, 2000.
- 16) 13)に同じ, p.41, 2000.
- 17) 株式会社ファイナルマーケット 2014. “透水性舗装T.N.ベースの特長”, <http://www.fm-tnbase.co.jp/about/index.html>. (参照:2014/09/01) .

(2014. 9. 30受付)