

# 打ち水によるヒートアイランド緩和効果の シミュレーション評価

## SIMULATION EVALUATION OF MITIGATION EFFECT OF URBAN HEAT ISLAND BY WATERING

平野勇二郎<sup>1</sup>・一ノ瀬俊明<sup>2</sup>・井村秀文<sup>3</sup>・白木洋平<sup>4</sup>  
Yujiro HIRANO, Toshiaki ICHINOSE, Hidefumi IMURA and Yohei SHIRAKI

<sup>1</sup>正会員 博(工) 名古屋大学研究員 大学院環境学研究科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 国立環境研究所上席研究員 社会環境システム研究領域  
(〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

<sup>3</sup>正会員 工博 名古屋大学教授 大学院環境学研究科 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

<sup>4</sup>博(理) 総合地球環境学研究所プロジェクト研究員 (〒603-8047 京都市北区上賀茂本山457-4)

The watering is known as a practical solution for mitigation of urban heat island, but its effect is not clear on different condition up to now. The research took Tokyo Metropolitan Area as case study to investigate the effects of watering. Numerical simulations of urban heat island were conducted by applying Colorado State University Meso-scale Model (CSUMM). At first, to examine the potential of evaporation under actual climate condition, the effects of watering were simulated without assuming the limitation of volume of water. As a result, the latent heat flux from ground surface was estimated 700 W/m<sup>2</sup> in the daytime under clear-sky condition and the decrease of air temperature was up to 1.5°C. On the other hand, with assuming limited volume of water, the mitigation effect of urban heat island in city and block scale was not significant.

**Key Words :** watering, urban heat island, meteorological simulation, surface heat balance

### 1. はじめに

深刻化する都市ヒートアイランド現象を緩和する一方策として、近年、打ち水が注目されている<sup>1~7)</sup>。とくにNPOにより運営される市民参加型イベント「打ち水大作戦」はWebページなどを通じた大規模な宣伝の効果もあり、毎年多数の市民が参加している。こうした打ち水が地域住民の都市熱環境に対する啓蒙の効果や、地域コミュニティにおけるイベント的な要素については、十分に価値があるものと考えている。例えば小山ほか<sup>8)</sup>は物理的效果だけではなく心理的效果の観点から打ち水の価値を分析しており、興味深い。ただし打ち水による実際の気温低下効果については科学的な立場から定量評価しておくことも、もちろん必要である。

打ち水の効果を検証する研究はすでになされているが、その多くは実験や観測に基づく評価である<sup>9~17)</sup>。こうした実測評価は特定の気象条件・地域条件の下で行わざるを得ないため、一般的な知見を得るには研究事例をさらに増やしていく必要がある。一方、攪乱要因が少ない系

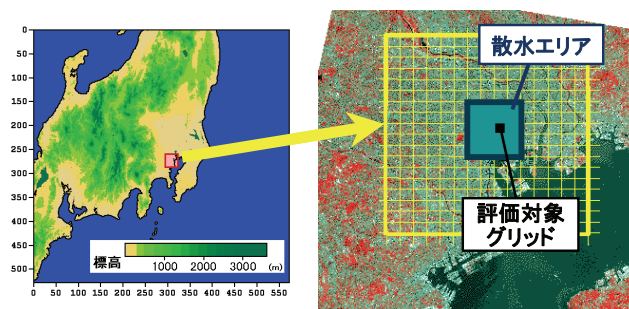
でメカニズムの解明や予測を行なうためには熱収支計算や大気シミュレーションなどの物理的な数値計算が有益であるが、現状では打ち水の効果についての数値的な検討事例は多くない。例えば、加藤ほか<sup>12)</sup>は実測データを用いて、バルク式に基づいた熱収支解析を行なっている。こうした検討により地表面が大気へ及ぼす影響をある程度検証できるため有益であるが、気温低下効果については気温観測値のみで議論されているため、気象条件への依存性を考慮すれば、さらなる評価事例の蓄積が必要である。また、狩野ほか<sup>10)</sup>は実測評価とメソスケール気象モデルによるシミュレーションを結びつけて打ち水の効果を検証している。気象モデルでは大気への影響についても物理的な計算に基づいているため、実測に比べて攪乱要因が少ないという点では信頼性がある。しかしながら計算結果は蒸発効率などのパラメータの設定値に強く依存するため、検証が必要である。またこれらの事例はいずれも、熱収支については精緻に計算されているものの、水収支については必ずしも十分な検証がなされているとは言えず、散水量と蒸発潜熱の整合性が必ずしも十分に示されていない。

そこで本研究は大気シミュレーションに基づいて打ち水の効果を検討することを目的とした。とくに打ち水を行なった地点の局所的な熱環境変化についてはすでに種々の観測事例があるため、本研究はこうした局所的な観測では検証しがたい都市・街区スケールでのヒートアイランド緩和効果についてメソスケール気象モデルを用いて検討を行なう。なお、本研究ではあくまで広域のヒートアイランド緩和効果のみに着目するが、打ち水にはこの他にも心理的な効果や生気象学的な効果などのさまざまな意義があることはここで念を押しておく。

## 2. 打ち水による温度低下のメカニズム

打ち水により温度が低下するメカニズムは、水の蒸発による潜熱の効果と、水が持つ顕熱の効果（すなわち、水が周囲より低温であるため温度が下がる効果）の2通りが考えられる。既往研究においてこれらを区別して議論した例が見当たらないので、若干説明を加える。例えば、岡本ほか<sup>18)</sup>が示したような散水した瞬間に生じる急激な表面温度の低下は、通常の蒸発が進む速度では説明しがたいので、主に顕熱の効果であると推察される。顕熱の効果については厳密には、散水による地面の熱容量の変化や、蒸発しきらなかった場合には流出する熱量なども考慮する必要がある。一方、蒸発により大気へ拡散した場合の気温低下効果は、多くの既往研究において蒸発潜熱の効果として説明されており、区別する必要がある。そこで、両者の効果を概算するために文献<sup>19)</sup>に従い水1[m<sup>3</sup>]あたりの熱量に換算してみると、例えば水温20℃、気温30℃ならば潜熱量は 2,452 [MJ/m<sup>3</sup>]であるのに対して、顕熱量は 41.7 [MJ/m<sup>3</sup>]にすぎない。このことから、時間的・空間的にマクロに考えれば、気温低下効果は蒸発潜熱の効果のみで検討して問題ないと判断できるため、本研究では以降の議論では顕熱の効果は無視する。もちろん、表面温度低下によるWGBT<sup>9)</sup>や放射温度<sup>12)</sup>の評価などの、より局所的な熱環境評価を行なう場合は、顕熱の効果も考慮することが不可欠である。

次に蒸発潜熱による気温低下効果について説明を加える。当然ながら、これは蒸発により地表面から大気への潜熱フラックスが増大する分、顕熱フラックスが減少し、気温上昇が抑制されるというメカニズムである。もちろん潜熱フラックスが増大すれば地表面温度が低下し、顕熱フラックスのみならず、長波放射や地中熱伝導も変化するが、一般に地表面からの長波放射は顕熱フラックスと比較して温度依存性が小さく、また地中熱伝導は一時的な蓄熱・放熱にすぎない。したがって、第一近似としては潜熱フラックスが増大する分、顕熱フラックスが減少すると考えてほぼ差し支えない。そして、蒸発による潜熱量は、若干の温度依存性があるが、蒸発量のみでほぼ熱量換算できる。一方、空気の体積熱容量もほぼ既知



計算領域(不等間隔格子) 対象地域(2kmグリッド)

図-1 評価対象地域

とみなせるので、拡散される大気の容積を設定すればこの熱量を温度換算することができる。したがって散水された水が全て蒸発するならば、散水量に対してどの程度の気温低下効果が生じるかは、大気の拡散の場のみ依存するということになる。このことは、いわば当然のことであるように思われるが、既往研究では意外にきちんと議論されていないようである。本研究ではこの点に着目し、大気の拡散を再現するためにメソスケール気象モデルを用いて打ち水の効果を評価する。

## 3. 気象シミュレーションの概要

本研究で用いた気象モデルはPielke<sup>20)</sup>を原型とし、Ulrickson and Mass<sup>21)</sup>によって改良が加えられたコロラド州立大学メソスケールモデル (CSU-MM) である。モデルの詳細はKessler and Douglas<sup>22)</sup>を参照されたい。このモデルはすでに数多くの都市気候シミュレーションに用いられている<sup>23~29)</sup>。また、本研究で用いたバージョンでは、都市の影響的確な再現のため、地表面パラメータと人工排熱の入力方法についての改良が行われている<sup>23)</sup>。地表面の物理特性および人工排熱は既往研究<sup>24)</sup>と同様に設定した。

本研究では対象地域は東京都心部とし、図-1の通りに東京23区を含むエリアは約2kmグリッドとした。ただし周辺の局地循環を再現するため、計算領域は不等間隔格子で約500km×500kmとした。散水エリアは東京都心部の約10km×10kmの領域とし、その中央付近に位置する大手町を含むグリッドを解析対象グリッドとした。また、鉛直方向は上空6km、地下50cmまでを不等間隔格子でそれぞれ17層、11層に分割した。

解析対象日は、本研究の目的では一般性のある気象条件を選択することが望ましい。そこで平野・柴崎<sup>30)</sup>がクラスター分析により関東平野の典型風系を分類した結果(図-2)に基づいて気象条件を選択した。夏季に出現頻度が高いのはE型、F型である。このうち、F型は太平洋高気圧に覆われた夏季晴天日に出現する典型的な夏型の風系であり、東京では季節風と海風の両方の効果で、強い南風となる。(以下、晴天条件とよぶ)。E型は曇

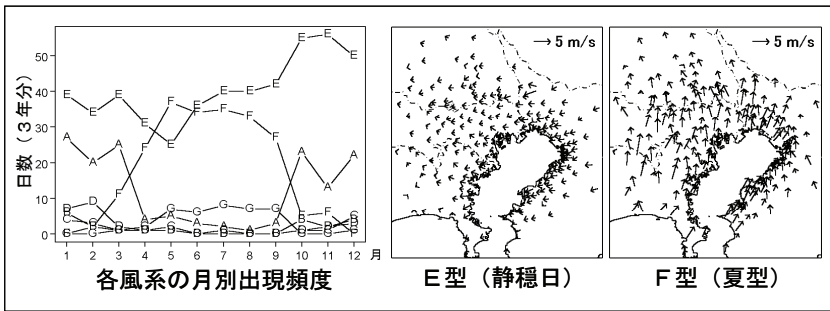


図-2 風系分類の結果と夏季の典型風系<sup>30)</sup>

表-1 初期条件の概要

	晴天条件	曇天条件
地上気圧 [hPa]	1006.4	1006.6
海面水温 [°C]	24.1	24.1
地上気温 [°C]	23.4	20.2
温位勾配 [K/m]	0.0044	0.0053
相対湿度 [%]	76.1	76.9
風向	S	ENE
風速 [m/s]	2.00	1.55

風向・風速は地衡風である。

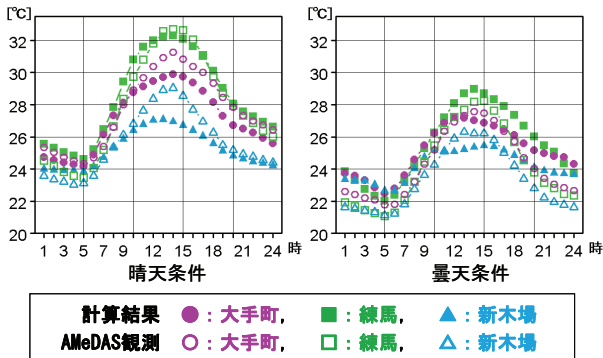


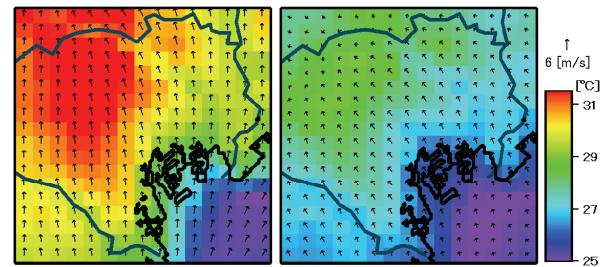
図-4 計算結果とAMeDAS観測データとの比較

天日を多く含む比較的静穏な日の風系である（以下、曇天条件とよぶ）。これらは、南関東における夏季の典型的な気象条件を代表しているものと考えられる。そこで日による気象条件のばらつきを軽減するため、平野・柴崎<sup>30)</sup>によりE型、F型のそれぞれに分類された日を平均化した仮想的な日を解析対象日とした。なお、本研究では晴天・曇天の気象条件は主に日射量の違いとして表現するが、モデルの性質上、雲による放射冷却の抑制は表現できていない。

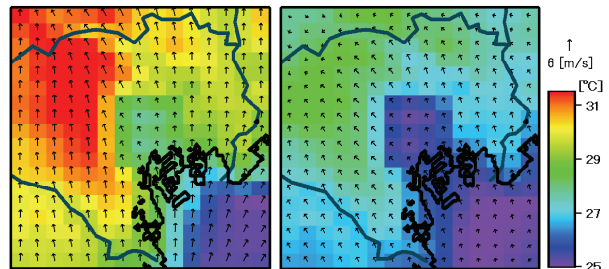
初期条件は地上気温、相対湿度および地上気圧は気象庁の地上観測データ、温位勾配および風向・風速（地衡風）は気象庁の高層気象観測データ、海面水温は日本海洋データセンターの水温統計により設定した。主な設定値を表-1に示す。また、初期条件では上空の相対湿度を一定として比湿勾配を設定している。ただし本研究では初期値の空間分布は与えておらず、単純化した初期条件から計算を開始し、1日分の助走計算を行った後、概ね現状に近づく2日目の値を解析に用いている。計算開始時刻は午前0時である。

#### 4. 現状再現計算

図-3に打ち水を行わない場合の現状再現計算の結果を示す。この計算結果から、対象地域西部を中心に内陸部へヒートアイランド現象が生じていることが読み取れる。晴天条件において強い南風となっているのは、気象モデルにより再現された海風と、一般風としてモデルに



晴天条件 曇天条件  
図-3 計算結果（15:00の例、散水なし）



晴天条件 曇天条件  
図-5 計算結果（15:00の例、散水あり）

与えている季節風との両方の効果によるものである。この計算結果の現状再現性を検証するため、新木場、大手町、練馬のAMeDAS気温データと、当該3観測地点を包含するそれぞれの2kmグリッドにおける計算結果を比較した（図-4）。この結果、本研究は特定の気象条件を再現することが目的ではないので初期値や一般風を単純化しているが、本研究の目的では十分に利用可能な精度が得られていると判断できる。なお新木場では晴天条件の日中に計算値と観測値の乖離が大きいが、これはこのグリッド内に海域が含まれるためである。すなわち、気象観測はグリッド内の地上部分で行なわれているのに対し、計算値は海域も含んだグリッド内の平均気温であるために生じた乖離である。

#### 5. 打ち水による気温低下効果

散水を行なった場合の気温のシミュレーション結果を図-5、散水の有無による気温差を図-6に示す。ここでは大気側の条件による蒸発や気温低下のポテンシャルを探るため、水量制約を考えず、図-1に示した散水エリアを



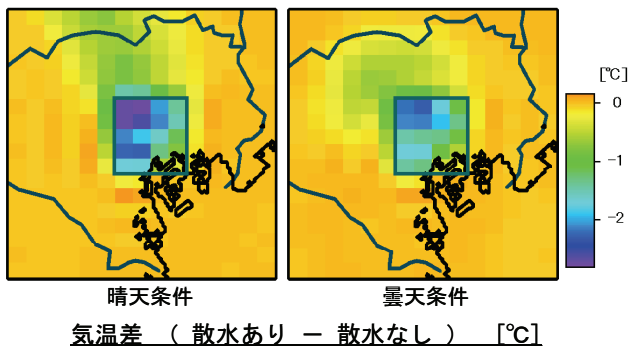


図-6 散水による気温低下効果 (15:00の例)

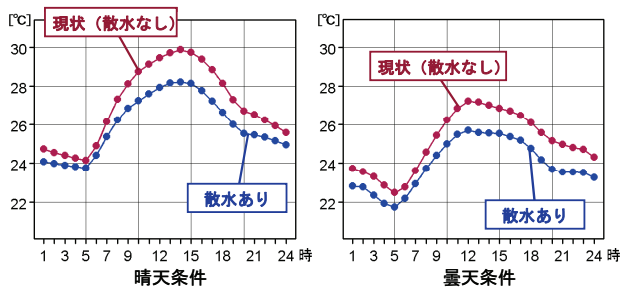


図-7 気温日変化

全て完全湿潤面 (蒸発効率  $\beta=1$ ) とした。図-5、図-6から、気温低下効果は曇天条件と比較し晴天条件の方が大きいことが分かる。また、晴天条件では海風の影響が強く、気温低下効果は埼玉県南部まで及んでいる。また、散水エリア内で比較すると、沿岸部より内陸部の方が気温低下効果が大きく生じている。この理由として、これは沿岸部は海の影響で気温が上がりにくいいため蒸発が抑制されることや、風下の方が風上からの気温低下効果が集積される効果などが考えられる。また、わずかであるが、散水エリアの周辺に気温が上昇しているエリアもある。これは散水エリアの気温低下により、海風の侵入が抑制されたためであると解釈できる。ただしこの気温上昇は最大で $0.13^{\circ}\text{C}$ であり、散水エリアの気温低下と比較すると非常に小さい。次に図-1に評価対象グリッドとして示した大手町のグリッドについて、気温の日変化を示した (図-7)。この結果、気温低下は夜間と比較し日中に大きく生じていることが分かる。ピークは晴天条件では14時に $1.66^{\circ}\text{C}$ 、曇天条件では13時に $1.59^{\circ}\text{C}$ となった。ただし今回は典型オフィス街区である大手町のグリッドを図化した。実際には大手町は東京湾に隣接しているため、終日南風となる今回の晴天条件では相対的に気温低下効果が生じにくい。例えば図-6において、より内陸のグリッドでは晴天日に最大 $2.74^{\circ}\text{C}$ の気温低下が生じている。したがって今後、さまざまな気象条件について同様のシミュレーション評価を行なうとともに、適切なロケーションについても検討する必要がある。

現状ケースと散水ケースにおける地表面熱収支の日変化を図-8に示す。現状ケースではボーエン比が $1.5\sim 2$ 程

度となっており、現実の都市における実測結果<sup>31)</sup>と比較し、矛盾しない値となった。一方、散水ケースでは日中であっても顕熱フラックスはほぼゼロとなり、正味放射の大半が潜熱フラックスとして大気に放出されるという結果となった。もちろんこれは散水エリアを全て完全湿潤面にするという極端なケースであるため、散水量とのバランスにより実現可能かどうかは別途に検討する必要がある。ここで図-8の散水ケースの潜熱フラックスから日積算蒸発量を算出すると、晴天条件で $8.4\text{ [mm/日]}$ 、曇天条件で $6.4\text{ [mm/日]}$ となった。水量に換算すると、 $2\text{ km}$ グリッド内では晴天条件で $33,600\text{ [m}^3\text{/日]}$ 、曇天条件で $25,600\text{ [m}^3\text{/日]}$ 、約 $10\text{ km}$ 四方の散水エリア全体では概算値として晴天条件で $84 \times 10^4\text{ [m}^3\text{/日]}$ 、曇天条件で $64 \times 10^4\text{ [m}^3\text{/日]}$ となる。既往研究における散水実験では加藤ほか<sup>12)</sup>では散水量は $6.3\text{ [m}^3]$ 、狩野ほか<sup>10)</sup>では散水車を用いた場合で $11\text{ [m}^3]$ であるから、明らかにオーダーが異なる。したがって、本章では散水エリアを全て完全湿潤面として計算したが、現実的な打ち水の散水量では全く及ばないことが分かる。そこで次章では、水量や散水可能面積の制約を考慮するため、散水量と気温低下効果の関係について分析する。

## 6. 散水量と気温低下効果の関係

前章では約 $10\text{ km}$ 四方の領域を全て完全湿潤面とした場合の計算を行なったが、実際の打ち水は水量や散水可能面積などの制約の下で行なわれているため、これは現実的とは言えない。ただし、完全湿潤面と見なせない場合に蒸発効率を厳密に設定することは難しい。例えば狩野ほか<sup>10)</sup>は蒸発効率  $\beta=0.7$  と設定して計算しているが、計算結果はこの設定値に強く依存するため、検証が必要である。また、散水可能面積にも制約がある。実際には散水できるのは道路やオープンスペースなどに限定されるが、気象モデルの $1\text{ グリッド}$ 内に散水面と非散水面が混在した時の扱いは難しい。本研究で利用している気象モデルのバージョンでは、グリッド内に複数の土地被覆が混在した場合は地表面の物理特性を表現するパラメータを平均化して設定しているが、これと土地被覆別に熱収支計算を行ない熱フラックスを平均化する場合とは、計算結果に違いが生じることも指摘されている<sup>32)</sup>。

そこで本章では蒸発効率を媒介変数とみなして変化させ、その結果として生じる蒸発量の変化と気温低下量の変化との関係を分析する。この方法ならば、気象モデルに要求されるのは大気の流れ場の再現性のみとなるため、蒸発量と気温低下効果の関係については確実な結果を導くことができる。すなわち、2章で述べた通り蒸発量はそのまま熱量換算が可能であり、熱量は大気の容積が決まれば温度換算できるので、蒸発量と気温低下量の関係は大気の拡散の場のみ依存する。したがって、散水さ

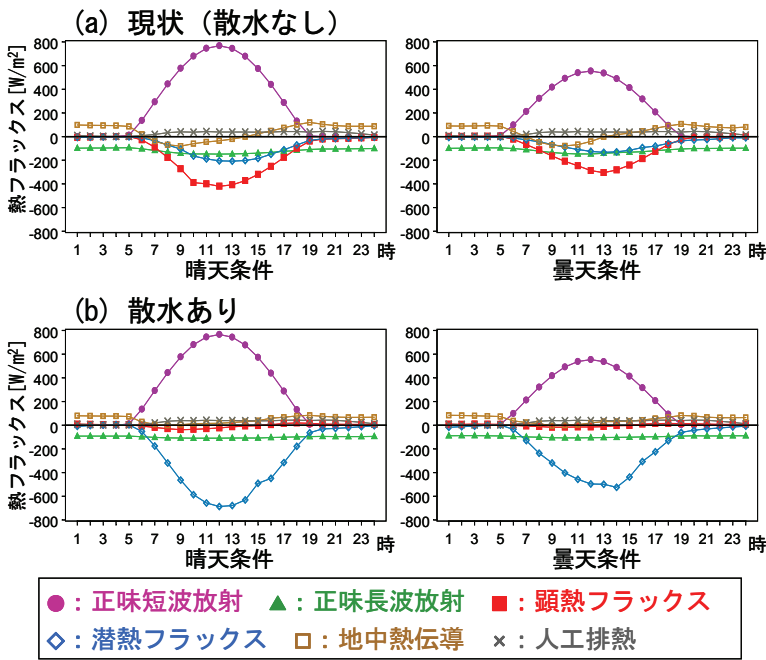


図-8 地表面熱収支の日変化

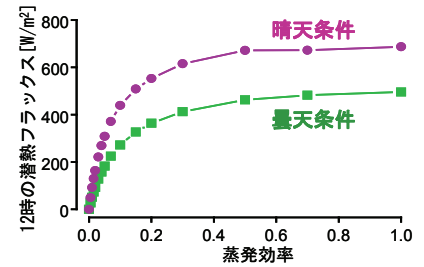


図-9 蒸発効率と潜熱フラックスの関係

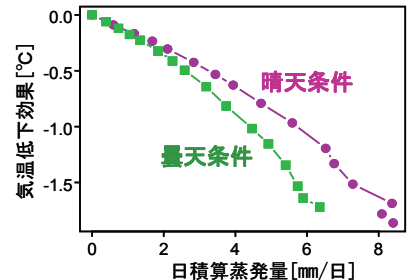


図-10 蒸発量と気温低下効果の関係

れた水が全て蒸発すると考えられるなら、地表面熱収支のスキームや蒸発効率のパラメタリゼーションに物理的な不明確さが含まれていても、蒸発量と気温低下効果の関係はよりロバストであると考えられる。

そこで、蒸発効率を変化させた場合の日中の潜熱フラックスの変化を図-9に示す。この結果、関係は曲線的になっており、潜熱フラックスは蒸発効率0.4程度でほぼ頭打ちになっていることが分かる。一般に蒸発効率は、地表面温度に対する飽和比湿と大気比湿の差と蒸発量との比例定数であるから、地表面温度が不変ならば蒸発効率と潜熱フラックスは比例するはずである。これに対し、実際には蒸発により表面温度が低下するため曲線的な関係になったと解釈できる。なお、Kimura<sup>32)</sup>はグリッド内に異なる地表面被覆が混在した場合に、熱収支のパラメータを平均する方法では、熱フラックスを平均する方法と比較し潜熱フラックスが過大評価となることを示している。図-9の曲線形からは蒸発効率を平均した場合に蒸発量が過大評価されることが理解できるため、Kimura<sup>32)</sup>の知見と整合性がある。

次にこの蒸発効率を変化させた場合の計算結果を用いて、日積算蒸発量と日平均の気温低下効果の関係を図-10に示した。この図から、両者の関係は概ね直線的であることが分かる。前述した通り、大気の拡散の場が変わらなければ蒸発量と気温低下効果は比例すると考えられるためリズナブルである。やや曲線的となっているのは、大規模な散水を行なった場合に気温低下により海風の侵入が抑制され、拡散が弱められるためであると推察される。なお、ここでは蒸発効率を変化させて実験した関係上、蒸発効率 $\beta=0$ との差を気温低下効果として示した。前章のシミュレーションでは現状ケースとの差を気

温低下効果としたため、値は若干異なっている。

図-10において晴天条件と曇天条件を比較すると、蒸発効率が等しければ晴天条件の方が蒸発が生じやすく気温低下効果が大きいことは、前章までの結果と矛盾しない。一方、蒸発量が等しければ、曇天条件の方が気温低下効果が大きいことは興味深い結果である。蒸発量が等しければ熱量の変化は等しいため、拡散が生じやすい晴天条件の方が当該グリッドの地表面付近の気温低下効果は小さく生じたと解釈できる。ここで文献<sup>10),12)</sup>を参考に打ち水の散水量を $10[m^3]$ と仮定し、 $2km$ グリッドに1日間、空間的・時間的に均等に散水すれば $0.0025[mm/日]$ となるので、図-10と比較して非常に小さい。したがって、打ち水により局所的な熱環境緩和効果が得られることはよく知られているが、通常の散水量ならば広域のヒートアイランドを緩和するほどのインパクトを持ち得ないことはこの結果からも明らかである。したがって今後、暴露人口なども考慮して効果的な時間・場所を選択するといった検討作業が必要であると考えられる。

## 7. まとめ

本研究では東京都心部を対象とし、大気シミュレーションに基づいて打ち水の効果を検討した。まず気象条件の制約による蒸発や気温低下のポテンシャルを調べるため、水量制約を考えずに約 $10km$ 四方を全て完全湿潤面としてシミュレーションを行なった。この結果、正味放射のほとんどが潜熱フラックスとして大気へ放出され、気温低下は $1.5^{\circ}C$ にも及んだ。しかしながら、現実的な散水量を想定した場合、都市・街区スケールで周辺の気

温を下げるほど効果は期待できないという結果となった。

実際には打ち水はより局所的に、また人が集まる時間帯に集中して行なうので、街路空間の暑熱環境緩和というスケールであれば効果的であることは疑いない。また、現状では打ち水は実際の気温低下効果以外にも心理的効果<sup>8)</sup>や教育的効果<sup>1)</sup>、林業の振興<sup>1)6)</sup>などの種々の副次的効果があるので、物理的な評価だけで批判的論調を強めることは望ましくないとされる。ただしその一方で、打ち水により期待できる効果として、例えば冷房用エネルギー消費の削減を挙げている資料もあり(例えば文献<sup>2)</sup>など)、広域的なヒートアイランド緩和について過度に期待されているという感も否めない。研究者が打ち水の効果を過大評価したために、熱心な活動家が必要以上に労力やコストを投じてしまうといったことは避けるべきであるから、今後、効果を評価することも結果を公表することも慎重に行なう必要がある。

**謝辞:** 本研究を進めるにあたり、東京大学の滝沢智教授、大岡龍三准教授にご指導を頂きました。本研究は、地球環境研究総合推進費「低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究」(研究課題番号:Hc-086)および文部科学省科学研究費補助金・若手研究(B)(課題番号:20710022)の支援により実施されました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 浅井重範: 打ち水大作戦—江戸の知恵を現代で、さらに世界へ—, 資源環境対策, Vol.42, No.11, pp.81-86, 2006.
- 2) 尾田栄章: 江戸の知恵"打ち水"で「冷」から「涼」へ, 省エネルギー, Vol.56, No.9, pp.46-49, 2004.
- 3) 渋谷川の復元 打ち水イベントで市民にPR, 日経コンストラクション, No.360, pp.16-17, 2004.
- 4) 浅井重範: 打ち水大作戦, 建設マネジメント技術, No.326, pp.30-34, 2005.
- 5) 浅井重範: 打ち水大作戦2005, 河川, Vol.61, No.11, pp.59-63, 2005.
- 6) 浅井重範: 昔ながらの打ち水でヒートアイランドを和らげよう, 日本ヒートアイランド学会 第2回全国大会, pp.39-40, 2007.
- 7) 浅井重範: 打ち水大作戦—そこにある笑顔の秘密, Re, Vol.30, No.1, pp.58-61, 2008.
- 8) 小山福栄, 吉田 聡, 佐土原 聡: 40327 打ち水による環境意識の変化の考察と最適な打ち水方法に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 D-1, pp.681-682, 2006.
- 9) 大橋唯太, 塚本 修, 重田祥範: 打ち水による熱中症指数 WBGT の変化, 2006年度日本気象学会関西支部例会要旨集, No.109, pp.87-90, 2006.
- 10) 狩野学, 手計太一, 木内豪, 榊茂之, 山田正: 打ち水の効果に関する社会実験と数値計算を用いた検証, 水工学論文集, Vol.48, pp.193-198, 2004.
- 11) 土屋修一, 加藤拓磨, 手計太一, 山田正: 打ち水による市街地の熱環境緩和効果, 水工学論文集, Vol.49, pp.367-372, 2005.
- 12) 加藤拓磨, 手計太一, 土屋修一, 山田正: 打ち水による熱環境緩和作用, 水工学論文集, Vol.52, pp.277-282, 2008.

- 13) 谷口玲子, 川端康弘, 塚本 修: C404 打ち水にともなう地表面熱収支変化, 日本気象学会2007年度春季大会講演予稿集, p.164, 2007.
- 14) 吉原誠士, 高橋忠司: P371 打ち水の研究, 日本気象学会2001年度春季大会講演予稿集, p.445, 2001.
- 15) 松本聡子, 須永修通, 深澤たまき: 40328 木造住宅密集地域における夏季の屋外熱環境に関する実測調査, 日本建築学会学術講演梗概集 D-1, pp.683-684, 2006.
- 16) 上條信一郎, 吉田 聡, 佐土原 聡: 40326 夏季における打ち水を利用した熱環境改善に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 D-1, pp.679-680, 2006.
- 17) 木内 豪, 神田 学, 栗城 稔, 小林裕明: 都市内散水による気候緩和効果の現地観測, 水工学論文集, Vol.38, pp.381-386, 1994.
- 18) 岡本忠治, 西村信哉: 水の蒸発効果を利用した大気冷却方法の体系化と熱工学的価値—散水による冷却効果の簡易予測モデルの検討—, 日本ヒートアイランド学会 第2回全国大会, pp.86-87, 2007.
- 19) 近藤純正(編著): 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—, 朝倉書店, 1994.
- 20) Pielke, R. A.: A three-dimensional numerical model of the sea breezes over South Florida, *Mon. Weath. Rev.*, Vol.102, pp.115-139, 1974.
- 21) Ulrickson, B. L. and C. F. Mass: Numerical investigation of mesoscale circulations over the Los Angeles Basin. Part I: A verification study, *Mon. Weath. Rev.*, Vol.118, pp.2138-2161, 1990.
- 22) Kessler, R. C. and S. G. Douglas: User's guide to the Systems Applications International Mesoscale Model (Version 2.0). Systems Applications International, SYSAPP-92/085, California, 1992.
- 23) Ichinose, T., K. Shimodozono and K. Hanaki: Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, *Atmos. Environ.*, Vol.33, pp.3897-3909, 1999.
- 24) 泉 岳樹, 岡部篤行, 貞広幸雄, 花木啓祐, 一ノ瀬俊明: 首都機能移転による熱環境変化の予測, 環境システム研究, Vol.27, pp.171-178, 1999.
- 25) 平野勇二郎, 安岡善文, 一ノ瀬俊明: 衛星リモートセンシングとメソスケール気象モデルを用いた都市緑地のヒートアイランド緩和効果の評価, 環境科学会誌, Vol.17, No.5, pp.343-358, 2004.
- 26) Hirano, Y., Y. Yasuoka and T. Ichinose: Urban climate simulation by incorporating satellite-derived vegetation cover distribution into a mesoscale meteorological model, *Theor. Appl. Climatol.*, Vol.79, pp.175-184, 2004.
- 27) Urano, A., T. Ichinose and K. Hanaki: Thermal environment simulation for three dimensional replacement of urban activity. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, Vol.81, pp.197-210, 1999.
- 28) Dhakal, S. and K. Hanaki: Improvement of urban thermal environment by managing heat discharge sources and surface modification in Tokyo. *Energy Build.*, Vol.34, pp.13-23, 2002.
- 29) 竹内智子・平野勇二郎・一ノ瀬俊明: 東京23区における公園緑地のヒートアイランド現象緩和効果. 日本造園学会誌ランドスケープ研究, Vol.66, No.5, pp.893-896, 2003.
- 30) 平野勇二郎, 柴崎亮介: クラスタ分析を用いた関東平野における地上風系の分類, 水工学論文集, Vol.45, pp.235-240, 2001.
- 31) 森脇 亮・神田 学: 都市接地層における放射・熱・水・CO<sub>2</sub>フラックスの長期連続観測, 水文・水資源学会誌, Vol.16, No.5, pp.477-490, 2003.
- 32) Kimura, F.: Heat flux on mixtures of different land-use surface: Test of a new parameterization scheme, *J. Met. Soc. Japan*, Vol.67, pp.401-409, 1989.

(2008. 9. 30受付)