

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

SOCIAL EXPERIMENT OF WATERING AND NUMERICAL VERIFICATION

狩野学¹・手計太一²・木内豪³・榊茂之⁴・山田正⁵

Manabu KANO, Taichi TEBAKARI, Tsuyoshi KINOCHI, Shigeyuki SAKAKI and Tadashi YAMADA

¹ 学生員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 (〒112-8551 文京区春日 1-13-27)

² 正会員 工修 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ JST/CREST (〒305-8516 つくば市南原 1-6)

³ 正会員 博士 (工学) 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ 主任研究員 (〒305-8516 つくば市南原 1-6)

⁴ 正会員 Ms. Pub. Adm. 国土交通省 関東地方整備局 荒川下流河川事務所 調査課 課長 (〒115-0042 北区志茂 5-41-1)

⁵ 正会員 工博 中央大学教授 理工学部 土木工学科 (〒112-8551 文京区春日 1-13-27)

The large-scale social experiment, which many citizens including media representative participated for evaluating the effects of the watering on the "Heat Island Effect", was carried out in Tokyo Metropolitan in Aug. 25 2003. About 14000l. water were sprinkled for about 20 minutes from noon. Air temperature and humidity were measured by moving observation system and fixed observation system at watering area in Eastern Tokyo. After the watering, the air temperature difference between outside and inside of watering area increases, and its difference was about 0.5°C. Temperature of watering area is lower than the temperature of outside area of watering after the watering. The effect of the watering was verified using the numerical simulation based on MM5. As a result of this analysis, air temperature decreased 2-2.5°C in watering area after the watering.

Key Words : watering, irrigation, meso scale simulation, social experiment, heat island

1. はじめに

近年のヒートアイランドに代表されるような都市気候の変化が熱環境を悪化させ、突発性の集中豪雨を誘発させていると考えられている。そのヒートアイランド緩和のために様々な方法が考えられている。水辺や緑地の増加、アスファルト舗装の改良など、行政や研究機関などを中心に実験が行われ、さらには実際の施政として行われている。

例えば、武若ら¹⁾は都市内河川において係留気球を用いた気象観測を行い、気温の低下量は大気が河川上で交換した熱量と相関がある事、河川が気温低減に与える影響範囲は堤防から風下に約 150m までである事を明らかにしている。また、三上ら²⁾は東京都新宿区、新宿御苑内の御苑内外で温湿度計を用いた気象観測を行い、緑地の気温が夜間では周辺より約 3°C 低く、緑地からの冷気がにじみだす効果で、周囲は最大で 2.5°C 周辺の気温より下がる事を明らかにした。さらに、木内ら³⁾は新潟県長岡市において消雪パイプを用いた散水実験を行い、道路散水が路面温度の上昇を抑える事により熱環境の緩和に有効に機能すること等を明らかにしている。

欧米では芝生や庭園への散水という意味での irrigation の効果によって気温が低減することは一般的

に認識されており、それらに関する研究が進んでいる。

日本では、夏の暑い日に庭や道端、道路に水を撒き、その水が蒸発してその周辺の温度を吸収してくれるということは江戸時代から知られていた。さらに日中よりも朝や夕方水に水を撒く方が効果的であることも理解されていた。その頃から、江戸の人々は「水」の重要性に気づいていたため、「打ち水」には米のとぎ汁などの二次利用水を使用していた。さらに、江戸中に張り巡らされた側溝の水は、火災時の消火用水や洗い物などに使われるとともに打ち水にも使用されていた。「打ち水」は気温低減のためは然ることながら、神輿が通る際、神様が通る道に埃をたてないようにという意味もあった。

2. 「社会実験」としての大江戸打ち水大作戦

(1) 社会実験とは

「社会実験」とは、地域が抱えている問題を解決するため、市民が自分で新しい施策を考え、実際に体験することで、施策を実施するかどうかの判断をすることである。社会実験を実施することで、有効性が高いと思われる施策について、その効果が把握できるとともに問題や課題が明確となる。さらに、実験を通じて地域住民や関

表-1 打ち水開催場所における各参加者数と打ち水量

打ち水開催地区	参加者人数(人)	打ち水の量(リットル)	打ち水に使った水
大江戸温泉物語 (東京都江東区)	150	500	温泉の残り湯
大鵬部屋 (東京都墨田区)	40	60	雨水
金香通り (東京都中央区)	200	350	銭湯の残り湯
都庁前都民広場 (東京都新宿区)	180	600	雨水、下水再生水

係者が施策を体験することによって合意形成の促進に役立つことから、今後の施策展開を速やかに行うことが期待できる。

例えば、最寄駅の駐車場で自動車を駐車し、公共交通機関に乗り換えて通勤する「パーク・アンド・ライド」の社会実験は、日本のみならず世界各地で行われ、その実験結果を基に実際に施行されている例が多数ある。他にも交通の分野では、ライドシェアリング(相乗り)、ETC、ITSなどの社会実験が数多く行われている。

(2) 大江戸打ち水大作戦

2003年3月に京都で開催された第3回世界水フォーラムの閣僚宣言の中に「世界の水問題を解決する一つの重要な要素として、近隣社会の取り組みが大事である」と盛り込まれた。これを出発点として、NPO第3回世界水フォーラム事務局が主体となり、「ヒートアイランド現象の緩和」という目的のために、風呂の残り水や雨水や再生水など水の二次利用、再利用を促進させる試みとして「大江戸打ち水大作戦」が生まれた。主に5つのNPO団体が参加し、国土交通省、環境省、東京都などが後援となった。

「江戸の知恵に学ぶ」の号令の下、NPOを中心として、「みんなの手で灼熱の東京の気温を2℃下げよう」と100万人の参加者を目標にホームページの作成、ラジオ、テレビなどを通じてのPR活動、打ち水参加への呼びかけが約1ヶ月間行われた。

事務局がイベントとして主催した「打ち水」の開催場所は4箇所(表-1)、そして重点地区として東京都墨田区東向島1～3丁目(図-1、図-2)において集中的な気温と湿度の測定、サーモグラフィーを用いた地表面温度の測定を行った。本稿では特にその重点地区についての観測結果を示す。

本社会実験への最終的な参加者数については事務局が次のように算定した。まず無作為の電話による聞き取り調査を行い、「大江戸打ち水大作戦」を知っている人の割合22.2%、「大江戸打ち水大作戦」に参加した人の割合8.5%が算定された。この値を基に、東京23区内の世帯数3,995,219から打ち水参加者数を約340,000人とした。

このように、東京23区内という広大な地域、340,000人という多数の市民が参加した社会実験はこれまでには無かった試みであると思われる。

3. 実験概要

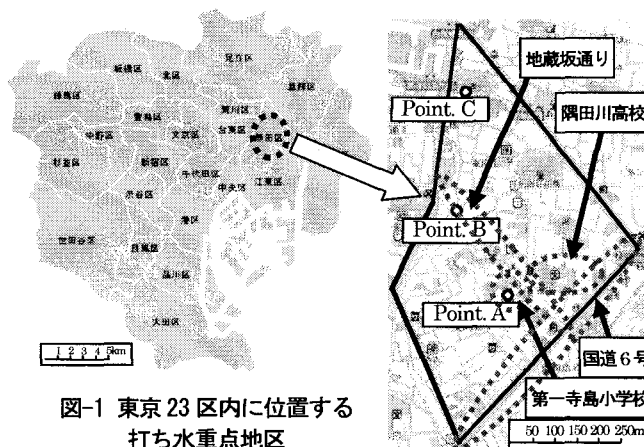


図-1 東京23区内に位置する打ち水重点地区

図-2 打ち水地区の地図(墨田区東向島1～3丁目)

本実験は、2003年8月25日11:00～13:00までの間、東京都墨田区東向島1～3丁目で行われた。観測対象域を図-1、図-2に示す。この地域は東京の23区内東部に位置し、いわゆる下町と言われる地域である。この地域では墨田区が雨水貯留施設の設置を推進・支援している。打ち水は二次水の有効利用手段の一つであるという理由から、この地域で実験を行うに到った。

打ち水は、図-2に示す黒線で囲まれている地区(東向島1～3丁目)で12:00より約20分～25分間行った。特に、第一寺島小学校と墨田川高校はイベントとしてそれぞれ500リットル、600リットルの水が撒かれ、地藏坂通りは商店街の協力により約1,700リットルの散水が行われた。また国道6号沿いでは、散水車を使い約600m間を20分程かけて11,000リットルの水を撒いた。打ち水に用いた天水の水温は、この地域の日平均気温(約27℃)とほぼ同じであった。このような場合、水は貯熱より潜熱効果の方が遙に大きいと考えられるため、水温の解析は行わなかった。観測は以下の3種類を行った。

(1) 定点観測

図-2に示す第一寺島小学校(Point.A)、地藏坂通り(Point.B)、白髭神社(Point.C)で定点観測を行った。各観測ポイントの地上から約1.5mの地点に通風式温湿度計を設置し、気温、相対湿度の計測を行った。また観測Point.Cでは風速計を設置し風速の測定も行った。

また、打ち水エリア外のデータとして、東京都台東区役所(打ち水地域から東南東方向に直線距離約3km、地上43m地点に器材設置)において計測している気温、相対湿度、風速を用いた。なお、今後台東区役所の気温を外気温、相対湿度を外相対湿度と本稿では定義する。

(2) 移動観測

打ち水区域を10分割し、各エリアにおいて気温、相対湿度の移動観測を行った。測定機器はサーミスタ式温湿度計(Onset社製)を用いた。直射日光を避ける事及び、観測機器のセンサー付近での空気の循環を目的として観測機材には強制通風措置を施した。また定点観測と同条

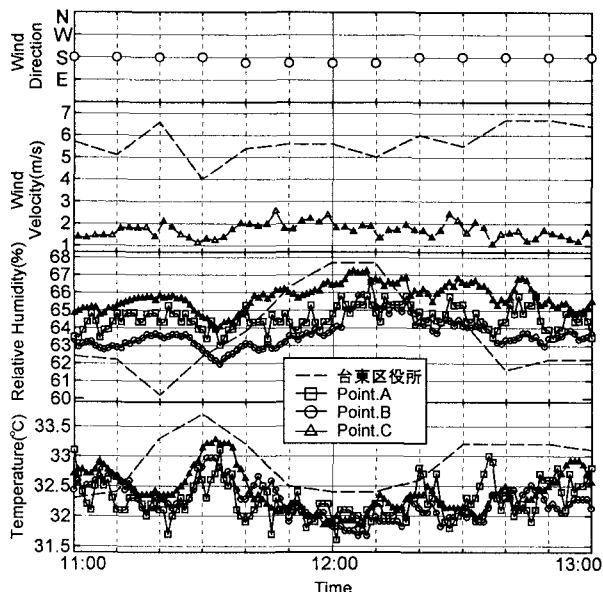


図-3 定点観測 Point における気温、相対湿度、風速、風向の時系列 (観測 Point. A~C, 台東区役所)

件下になるよう地上から 1.5m 地点で計測を行った。またサーミスタ式温湿度計は事前・事後検定を行い、校正したデータを解析に用いた。移動観測中に、打ち水箇所を地図上にプロットする作業、写真撮影も同時に行った。

(3) 熱画像観測

ヘリコプターを飛ばさせ、上空から熱赤外センサー(日本アビオニクス社製 TVS-600)で地表面温度の測定を行った。撮影は 15 分~20 分に 1 回行った。

4. 観測結果と考察

(1) 実験当日の天気概況

今夏は気温の低い日が続いていたが、観測日は関東地方を太平洋高気圧が覆い、日中 30°C を越す真夏日となった日であった。また、観測時間中は、7~8m/s の南風が吹く、海風の非常に強い一日であった。

(2) 定点観測における気温、相対湿度

Point. A, Point. B, Point. C, 及び東京都台東区役所における気温、相対湿度、風速、風向の時系列を図-3 に示す。11:30 頃から 12:00 にかけて打ち水地域の気温・外気温の減少、相対湿度・外相対湿度の増加が起こる。気温低下時に南方からの風速が上昇していることから、気温の減少、相対湿度の増加は海風による海上の湿った相対的に冷たい空気の流れによるのではないかと考えられる。

図-4 に外気温と打ち水地点の気温差、相対湿度の差(台東区役所の値から打ち水エリアの値を引いた)の時系列を示す。12:00 に Point. A における外気温との差が 0.5°C, Point. B における外気温との差が 0.1°C 大きくなっている事が分かる。また 12:00~12:05 までの間に外相対湿度差が Point. A, Point. B 共に 1.5% 程度下がっている事が分かる。この気温と相対湿度の変動が打ち水によるもの

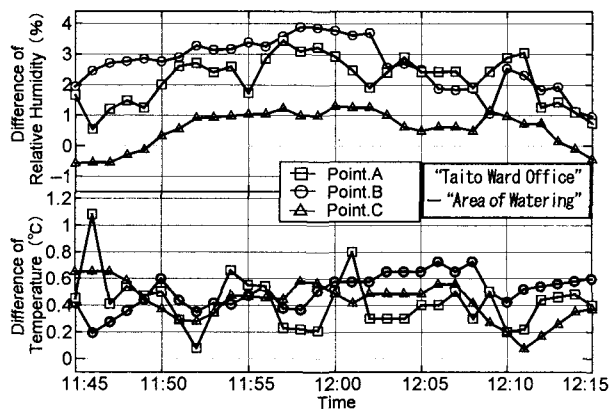


図-4 台東区役所と定点観測 Point における気温、相対湿度の差の時系列 (11:45~12:15)

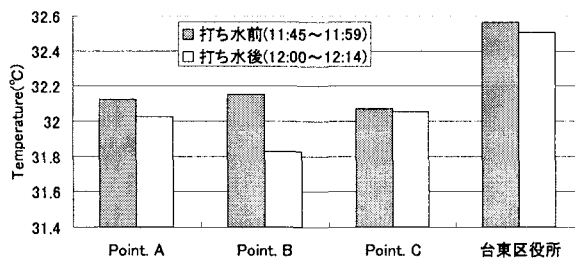


図-5 打ち水前後 15 分間の平均気温の比較

ではないかと考えられる。図-5 は打ち水エリア及び、外気温の打ち水前後 15 分間 (12:00 を境として前後 15 分間) の平均気温の比較を行ったものである。打ち水前に比べ、打ち水後では Point. B で約 0.3°C, Point. A で 0.1°C, Point. C で 0.01°C 程度気温が減少している事が分かる。台東区役所でも気温の減少は起こっており、総観規模で気温の減少が起きていると言える。しかし、打ち水エリアの気温低下量は外気温低下量より大きくこの差分が打ち水の影響ではないかと考えられる。Point. B が他の 2 地点に比べ気温の減少が大きいのは、通りであるため風が通りやすかった事、Point. B の通りでは打ち水量が 1,700 リットルと他地点に比べ多かったためではないかと考えられる。

(3) 移動観測による気温、相対湿度

図-6、図-7 は移動観測から得られた 11:00~11:09 と 12:20~12:29 における気温、相対湿度の分布を示している。打ち水前の 11:00~11:09 に比べ、打ち水後の 12:20~12:29 では重点地域の第一寺島小学校、地藏坂通り、墨田川高校付近では、気温の減少、相対湿度の増加が起こっている。気温は 0.8~1.0°C の減少、相対湿度は 2~3% 上昇していた。海風の影響を除去するために、打ち水前後で台東区役所との差を取ったのが図-8 と図-9 である。図-8 は気温、図-9 は相対湿度である。打ち水地域の気温は外気温より低い為、打ち水を行う前でも全体的に低くなっているが、打ち水後は低温部分が増えている事が分かる。相対湿度も、打ち水前は台東区役所に対して 5%~0% 低かったが、打ち水後は台東区役所より高くなる箇所もあった。

図-10 は図-8、図-9 それぞれについて差を取ったもの

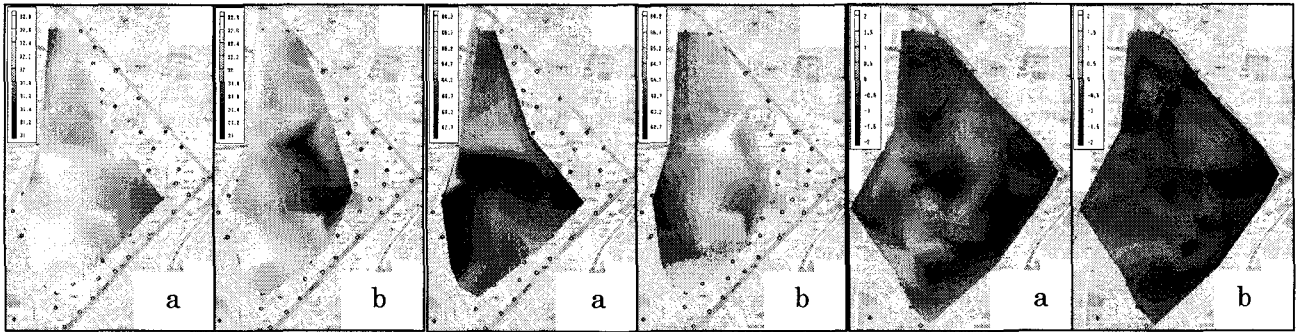


図-6 打ち水前後の気温の分布
〔 a: 打ち水前[11:00~11:09]
b: 打ち水後[12:20~12:29] 〕

図-7 打ち水前後の相対湿度の分布
〔 a: 打ち水前[11:00~11:09]
b: 打ち水後[12:20~12:29] 〕

図-8 打ち水前後の外気温
(台東区役所) との差の分布
〔 a: 打ち水前, b: 打ち水後 〕

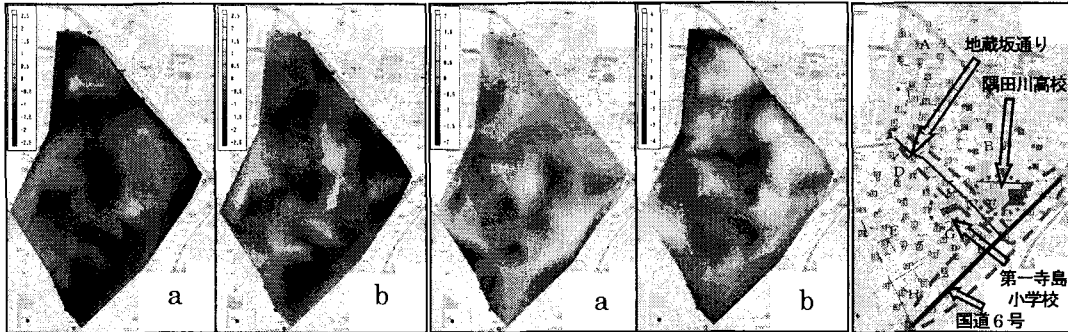


図-9 打ち水前後の外相対湿度
(台東区役所) との差の分布
〔 a: 打ち水前, b: 打ち水後 〕

図-10 図-8, 図-9の打ち水前後の差
〔 a: 気温, b: 相対湿度 〕

図-11 打ち水箇所

である。また図-11に移動観測班の調査から得られた打ち水箇所を示す。重点地域である第一寺島小学校、散水車を用いて打ち水を行った国道6号沿いでは打ち水前に比べて顕著に外気温との差が負に大きくなっている事が分かる。また、測定エリアHや、測定エリアAの⑨~⑪から測定エリアCにかけては満遍なく打ち水がされている為、外気温との差は負に大きくなっている。逆に測定エリアGから測定エリアEの南部では打ち水箇所が少なく、外気温との差は正に大きくなっている。打ち水箇所と外気温との差が負に大きくなった場所はほぼ一致しており、その平均温度差は約 -0.5°C であった。逆に、打ち水後の方が外気温との差が正に大きくなった地点の平均温度差は約 0.3°C であり、打ち水エリア全体での平均温度差は約 -0.27°C であった。

(4) 熱赤外センサーによる地表面温度の測定

図-12は航空機から熱赤外センサーを用いて計測した地表面温度の分布を打ち水前後で差を取ったものである(打ち水前が11:45, 打ち水後が12:20)。図の左上の道路(丸で囲ってある部分)は打ち水前より打ち水後の方が地表面温度は上がっているのに対して、図の右下の道路(一点鎖線の丸で囲ってある部分)は打ち水後の方が地表面温度は下がっている事が分かる。この温度が下がっている道路は、散水車を用いて大々的に散水を行った道路であり、打ち水により表面温度の減少が起きたと考える事が出来る。

5. メソスケールモデルを用いた打ち水効果の算定

打ち水を大規模に実施した場合のヒートアイランド軽減効果を試算するため、メソスケールモデルによるシミュレーションを行った。

(1) モデルの概要

本研究で用いたシミュレーションモデルは、米国ペンシルバニア州立大学で汎用の気象計算モデルとして開発され、その後、NCAR(米国大気研究センター)においてさらに改良されたMM5⁴⁾を基本にした。ただし、MM5を直接我が国のヒートアイランド現象のシミュレーションに用いるには不都合な点がいくつかあったため、下記の改良を加えた^{5) 6)}。

- 複雑な都市の土地利用に適した地表面フラックスの算定ができるように1計算メッシュ内の土地利用の混在をパラメータ化する手法を導入した。
- 土地利用情報として国土地理院が整備・発行する国土数値情報(KS-200-1, 土地利用分類ごとの面積率データを使用)と細密数値情報(首都圏1994年版, 解像度10m)を使用できるようにした。
- MM5バージョン2.12にNoilhan and Planton⁷⁾の地表面モデル(地表面の水分移動モデルと植物生理のモデル, 以下NPモデル)を新たに組み込んで地表面水分量の変化を予測し、地表面の水分量に応じた植生面からの蒸散量や裸地面からの蒸発量の算出ができるようにした。

・接地層下面に土地利用分類や時間に応じた量の人工排熱を潜熱フラックスと顕熱フラックスの形で与えられるようにした。

(2) 打ち水効果の算定条件

打ち水の対象範囲は東京23区全域とした。このうち、建物用地では敷地面積の40%相当分、道路用地のうち、不浸透面の50%相当分を打ち水可能域と想定した。また、植生面・裸地面では、70%の面積に打ち水が可能と設定した。残りの30%では打ち水は無く、刻々の土壤水分量に応じた蒸発散が生じると仮定している。この想定によれば、東京23区全体のほぼ40%の面積(約265km²)において打ち水が行われる勘定となる。

打ち水の時間帯は11:30~12:30と17:30~18:30の2ケースとした。打ち水された地表面においては、バルク式(β法)の蒸発効率βを一定値(=0.7)として与えた。

比較として、土壤水分量の多寡の影響を見るための計算も行った。条件としては、初期の土壤水分量が領域全体で飽和水分量の35%の場合、東京23区内のみで飽和水分量の52.5%とした場合(5割増)及び圃場容量にほぼ等しくなる場合(飽和水分量の約81%)の3ケースとした。地表面モデル(NPモデル)の蒸発効率と含水率の関係には次式⁷⁾を用いた。

$$E_g = \rho_a (1 - \text{veg}) \frac{H_u q_{\text{sat}} (T_s) - q_a}{R_a} \quad (1)$$

$$H_u = \begin{cases} 0.5 \left(1 - \cos \left(\pi \frac{W_g}{W_{fc}} \right) \right), & \text{if } W_g \leq W_{fc} \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

(3) その他の設定条件

土壤の種類は全域でローム層を仮定し、Noilhan and Planton⁷⁾の土壤パラメータを与える。ただし、ロームに対するパラメータのうち、飽和含水率、圃場容量、しおれ点の含水率については中野⁸⁾を参考に、それぞれ0.68, 0.55, 0.20と設定した。土地利用分類毎の緑被率(緑地面積中で植生により占められている面積の割合)は、東京23区を対象に東京都都市計画局が算出した値をもと

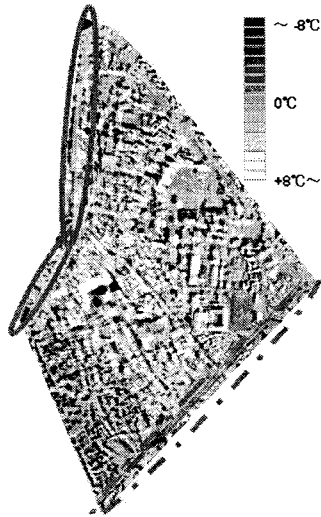


図-12 打ち水前後の地表面温度の差

上図は、熱赤外センサーを搭載したヘリコプターから打ち水エリアの地表面温度を測定し、打ち水前後でその差を取ったものである。破線内は散水車を用いて大量に散水した道路。実線内は散水を全く行わなかった道路。破線内は実線内よりも表面温度が下がっていることが分かる。

表 計算条件一覧

ケース	打ち水	打ち水域の蒸発散効率	θ_{in}/θ_{sat}
0	なし	-	0.35
W1	なし	-	0.525
W2	なし	-	0.809
U1	11:30~12:30	0.7	0.35
U2	17:30~18:30	0.7	0.35

θ_{in} : 初期含水率, θ_{sat} : 飽和含水率

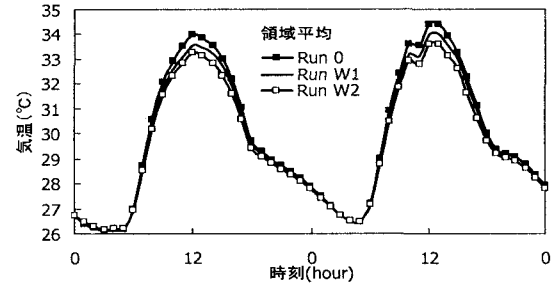


図-13 土壤水分の違いが地上気温に及ぼす影響

に土地利用分類ごとに推定し、対象領域全域に適用した。

(4) メソスケールモデルの適用結果

a) 計算条件

計算対象領域は関東平野を含む366km四方の母領域と東京23区を含む114km四方のネスト領域である。母領域の解像度は6km、計算メッシュ数は61×61、ネスト領域は2km、57×57とした。鉛直方向は100hPaの等圧面までを25層に分割した。この場合、モデル最下層の厚さはおおよそ15mとなる。母領域の初期条件、境界条件には計算対象日を含むNMC(National Meteorological Center)の全球解析データを用いた。ネスティングの手法には2-way nestingを用いた。雲モデルはなし、放射モデルには気温のみに依存した大気冷却率を用いるSimple coolingを用いた。土地利用条件としては、細密数値情報が整備されている地域では第5期(1994年版)の細密数値情報を使用し、それ以外の地域では国土数値情報(1992年版)を用いた。

以上の条件のもと、打ち水効果をシミュレートする。シミュレーションは、1995年8月23日21時~8月26日5時を対象期間とした。東京大手町地点(AMeDAS)では8月22日に降雨が観測されているが、計算対象期間中は好天で雲が少なかった。東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県的主要なAMeDAS地点における計算対象期間中の実測気温と計算結果(メッシュ平均値、地上1.5m)を比較したところ、各地点とも気温の絶対値や最高気温の発生時刻、日変動のパターンは概ね良好に再現されている⁹⁾ことから、以下においては、前述してきた条件設定により打ち水による気温低減効果および土壤水分の違いが地上気温に及ぼす影響について試算する。

b) 土壤水分の影響

東京のような大都市では蒸発面が少ないので土壤乾燥化の影響がそれほど大きくないと思われるが、結果としては図-13に示すように大手町のような都心であっても

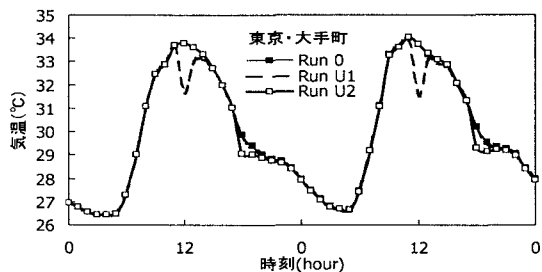


図-14 打ち水の有無による気温の違い（大手町）

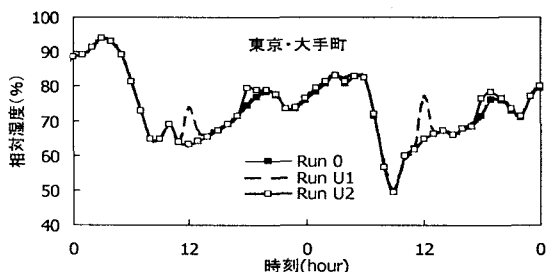


図-16 打ち水の有無による相対湿度の違い（大手町）

土壌水分量の多寡の影響を受けて地上気温（高さ 1.5m）に差が生じている。また、東京 23 区内の一定範囲（北緯 35.7 度～35.8 度，東経 139.75 度～139.85 度）の領域平均値でみると大手町地点以上の違いが生じることがわかる。また、相対湿度の違いは極わずかであった（図省略）。気温低下量は様々なヒートアイランド対策に比肩する程度⁹⁾に大きく、相対湿度の増加量は想像するほど大きくないことがわかる。

c) 打ち水の効果

図-14～16 には、打ち水の有無と打ち水時間帯の違いによる気温と相対湿度の違いを示す。正午の打ち水により気温低下量は大手町で約 2.2°C，練馬で約 2.4°C（いずれも 2 日分の平均）であった。また、正午打ち水よりは夕方の方が相対湿度の増加量が小さいことがわかる。

正午打ち水による気温低下量空間分布（Run U1 の気温 - Run 0 の気温）と Run U1 の風速ベクトルを図-17 に示す。基本的には打ち水範囲全域とその周縁部で大きな低下効果が確認できる。また、13 時には影響範囲が拡大している様子が見られる。

体感温度への影響という点で考えると気温の低下と湿度の上昇は相反する効果をもたらすことから、効果的な打ち水面の選択（高温化した地表面への打ち水）や気象条件（湿度条件）の違いと打ち水実施効果についての知見の蓄積が必要である。

6. まとめ

散水によるヒートアイランドの緩和を市民の手で行う事を目的とした社会実験が東京 23 区内で行われた。著者等は、重点地区として大々的に散水が行われた東京都墨田区東向島 1～3 丁目において気温・相対湿度の測定を行った。その観測結果と数値計算から、打ち水による気温低下効果の評価を行った。本研究により得られた主な知

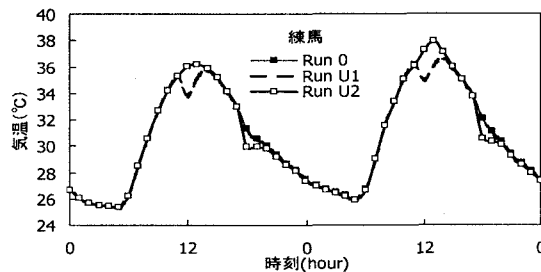


図-15 打ち水の有無による気温の違い（練馬）

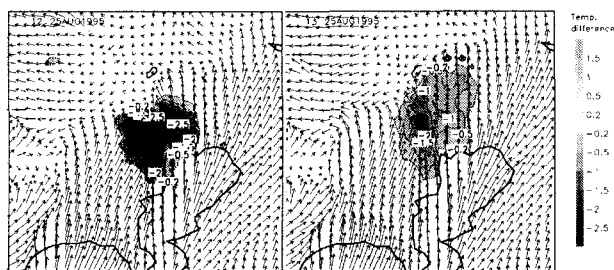


図-17 打ち水の実施による気温の変化

見を以下に示す。

(1) 打ち水された個所では、打ち水後に外気温との差が大きくなっていた。しかし同じ打ち水をされた個所であっても気温低下量は観測地点によって異なっていた。打ち水前後において、打ち水エリア全体の平均外気温差を比較すると打ち水後の方が 0.5°C 程度低かった。

(2) MM5 を用いた数値計算を行い、打ち水による気温低下効果の評価を行った。23 区内の約 40% の約 265km² で打ち水を行う条件下で計算を行った。その結果、打ち水後の気温低下量は 2～2.5°C 程度であった。

謝辞：本実験の実施にあたり、NPO 法人第三回水フォーラム事務局には多大な協力を得た。東京都環境科学研究所基盤研究部の安藤晴夫氏には気象データの提供を受けた。さらに移動観測では関東学院大学工学部土木学科宮村研究室の学生の協力を得た。合わせてここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 武若聡・池田駿介・平山孝弘・菅場祐一・財津知亨：都市河川による大気冷却効果—都市河川内外の夏期の熱環境および気象観測—，土木学会論文集 No.479 / II・25，pp.11-20，1993。
- 2) 本條 毅・菅原広史・三上岳彦・成田健一・桑田直也：新宿御苑のクールアイランド効果の実測，第 14 回環境情報科学論文集，pp.273-278。
- 3) 木内豪・神田学・栗橋稔・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 38 巻，pp.381-386，1994。
- 4) Grell, G. J. Dudhia and D. Stauffer: A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), NCAR/TN-398+STR, 1994
- 5) Kinouchi, T. and J. Yoshitani: Simulation of the urban heat island in Tokyo with future possible increases of anthropogenic heat, vegetation cover and water surface, Proc. of the Third Int. Symp. on Environmental Hydraulics with a special theme in Urban Fluid Dynamics, 2001.
- 6) 土木研究所水理水文チーム：ヒートアイランド現象軽減のための各種対策の提案とその効果，平成 14 年度土木研究所講演集，土木研究所資料第 3876 号，2003。
- 7) Noilhan, J and S. Planton, 1989: A simple parameterization of land-surface processes for meteorological models, Mon. Wea. Rev., 117, 536-549.
- 8) 中野政詩：土の物質移動学，東京大学出版会，187pp. 1991。

(2003.9.30 受付)