地表面散水によるヒートアイランド低減効果の微気象モデルによる検討

東京大学	学生会員	○吉岡	真弓
東京大学	正会員	登坂	博行
大阪市立大学	正会員	中川	康一

1. はじめに

近年、都市におけるヒートアイランド現象は世界中で認められ、現象の把握や緩和対策に関する研究が数多く進めら れている.その緩和対策として、屋上緑化、保水性舗装、風の導入、散水などが挙げられるが、著者らは、特に散水に 着目し、実験を行ってきた¹⁾.路面散水は現状の舗装面に行うことができ、即効性が高い対策になり得る.近年では「打 ち水大作戦²⁾」が日本各地や海外でも行われており、散水に対する市民の関心が高いことが伺える.しかし、市街地に おいて、いつ・どこで・どのくらいの散水を行えば気温が何 °C 低下するのか、と言った定量的かつシステマティック な評価法は未だ確立されていない.本研究の目的は、散水による地表面付近の微気象変化を定量化し、様々な形態やス ケールの散水スキームの有効性や優劣を評価することである.ここでは、散水を想定した地表面付近の1 次元大気一地 下連成熱・水輸送モデルを作成し、著者らが数年にわたって行ってきた散水実験の結果に適用し再現性を検討した.

2. 散水実験の概要

再現計算(4.参照)に利用する観測値は、2004年~2006年の夏期に計3回行われ た実験のうち、2006年に得られたものである.実験では、散水による地表面温度や気 温の変化を評価するために、多数の温度センサーを空間的に配置し、連続的に計測し た.温度センサーの配置図を図-1に示す.散水はスプリンクラーで断続的(一部連続 散水)に行い、その間の散水範囲内、散水範囲の風下側・風上側の気温変化を比較す ることで、散水の影響を抽出した.その結果、2006年の実験では、散水範囲内の高さ 1.5m地点の気温は風上側の同高さの気温に比べ、散水期間を通して平均的に0.8°C低 下したことが確認された、実験の詳細については、文献¹⁾を参照されたい.

3. 地表面付近の大気-地下鉛直1次元熱・水輸送モデルの概要

実験の条件を数理的に表現するため、地上数 m の大気層および地下 10m 程 度の恒温地盤層を解析項に含めた基本 1 次元モデルの作成を行った.このモデ ルには、側方からの熱および水蒸気フラックスを導入することも可能である. 本研究で対象とする大気の範囲は地表から数 m までの地表面ごく近傍である. そのため、解析対象範囲では乱流拡散が卓越し、運動量・熱・水蒸気輸送量が 高度によらず一定であると仮定できる.また、地下については、地下 10m 程 度に恒温面を設定し、地下の熱物性については、土壌粒子や水分、間隙などの 平均的な物性をもつ多孔質熱伝導体であると仮定した.

本モデルでは、大気層間での熱・水蒸気輸送を乱流拡散により表現し、地下 層間での熱移動を熱伝導方程式により表す.また、地表面では長・短波長放射 収支および大気層への顕熱・潜熱が発生する.顕熱・潜熱輸送に関しては、モ ニン-ーオブコフの相似則より決定した³⁾.モデルの概念図を図-2 に、計算フ ローチャートを図-3 に示す.ここでは、特に散水時の地表面の取り扱いについ て説明する. 非散水時 数水時 S: 短波長放射量[Wm²], L¹:長波長放射量[Wm²], H:顕熱輸送量[Wm²], <math>tE: 潜熱輸送 量[Wm²], σT_s^4 :赤外放射量[Wm²], λ :熱伝 導率[Wm⁻¹], $\lambda_{w,s}$:水層一地表層間の熱伝導 係数[W/m⁻¹], $K_{h,w}(z)$:散水地点の高さzにお ける乱流拡散係数[m²s⁻¹], $K_{h,d}(z)$:非散水地

すると仮定する (図-2). 散水時の地表面では、短波長放射量S ($S = (1 - ref)S^{\downarrow}$, ref: アルベド、 S^{\downarrow} : 全天日射量) は

キーワード ヒートアイランド現象, 散水, 微気象, 数値モデル,

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学系研究科 地球システム工学専攻





図-2 モデルの概念図

点の高さ z における乱流拡散係数[m²s⁻¹]

散水時の地表面について、本モデルでは滑らかな地表面上に薄い水層が存在

水を透過して地表層に入射するものとし、大気からの長波長放射 L[↓]は水層 に吸収されるものとした.また,顕熱*H*,潜熱*t* および赤外放射量 σT_s^4 は 水層から放出されると仮定した.水層一地表面間の熱収支は、水層がごく薄 い層と考えられることから、熱伝導が支配的であると仮定し、その熱伝導係 数 λ. ... には、水と地表面それぞれの熱伝導率の調和平均値を用いた. 大気中 への水蒸気輸送の計算には、地表面における比湿が必要となる. そこで、こ こでは、散水時の水層面においては飽和状態であると仮定し、非散水時には 地表面比湿を0とした.

4. 実験の再現計算

作成した熱・水輸送モデルを用いて 2006 年の実験(実験地:大阪)の再 現計算を行った.計算条件を表-1に示す.上部の境界条件として,高さ6m 地点の実測の気温変化を与え、入力気象データとして、実験と同じく8月 14日11時~18時までの大阪管区気象台の全天日射量,現地計測による風向 を与えた.長波長放射量は、高さ6mの実測気温を用いて推定した⁴⁾.散水 に関しては、実験と同じ時間にほぼ同量(230ml/s)・同水温(約20°C)の散 水効果を与えた.結果を図-4、図-5に示す.図-4は、地表面および地中温度 の時間変化を表しており、 散水・ 非散水時共に実験結果の傾向をよく再現し ている.図-5は散水時の気温の鉛直分布(1時間平均値)を示している.低 高度(0.8m~1.5m)においては、計算値が実測値より最大で1℃程度高く 計算されているが、全体の傾向としては実測値の再現は良いと言える.また、 図-4 でも見られるように、16 時頃以降に関して、実測値の地表面温度より 計算値が5℃程度大きい.実験ではこの時間帯に連続散水を行っており、長 時間の連続的な散水では、地下への水の浸透、アルベド変化等も温度に大き く影響してくると考えられる. 今後は, 全体的な条件を合わせた詳細計算, 側方熱流入出などを考慮し、モデルの妥当性・再現性などを検討して行く予 定である.

5. おわりに

本稿では散水によるヒートアイランド緩和効果の定量評価を目的として, 著者らが行ってきた散水実験を踏まえた1次元大気-地下連成熱・水輸送モ デルについて報告し、本モデルが実験結果を比較的よく再現できることを計 算例から示した.現実的な散水効果の評価では、熱・水蒸気の側方流入出の 要素が必要不可欠であり、本モデルにも組み込む予定である. 今後は、さら なる屋外実験および室内実験を行い、モデルの検証を進め、 ヒートアイラン ド緩和対策としての散水の有効性や評価手法の確立を目指したい.

参考文献

- 1) 吉岡真弓,中川康一,登坂博行:ヒートアイランド現象緩和のための都 市散水効果に関する実験的検討,土木学会論文集, vol.64, No.1, 2008. (掲載予定)
- 2) 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, pp81-86, 2006.
- 3) 竹内清秀, 近藤純正: 大気科学講座 1 地表に近い大気, 東京大学出版 会, pp.226, 1981.
- 4) 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, pp.350, 1994.



公 可异叹足					
格子数	51層(大気9層,地下42層)				
計算範囲	地上6m~地下10m				
計算ステップ	1min				
下部境界条件	20°C一定				
上部境界条件	実測値(高さ6m地点の気温変化)				
地表面アルベド	0.2(一定)				
粗度	0.001				
地下熱物性	深さ	熱容量	比熱		
		$[10^{6} J/m^{3} K]$	[W/mK]		
	0~0.1m	1.7	1.8		
	0.1~10m	3	1.2		

(a) 非散水地点



鉛直気温分布の比較

)と言う

2