特集

都市空間の温度管理 (ヒートアイランド)

水辺が市街地の熱環境に与える影響

加藤 拓磨*・土屋 修一*・山内 格*

江花 亮*・山田 正**

キーワード：打ち水、河川、スーパー堤防、ヒートアイランド、気化熱

1. はじめに

地球温暖化現象の主な原因は産業革命後の温室効果ガスの大量排出によるものといわれている。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) 第3次評価報告書¹⁾によると世界の平均気温は20世紀の100年間で約0.6℃気温上昇している。気温上昇により集中豪雨や干ばつの局地化、雪解け量の増加による海面の上昇、砂漠化など地球規模で気候環境が変化する可能性が指摘されている。気候変動枠組み条約第3回締約国会議では京都議定書が採択され、気候変動に向けた対策が採られることとなった。2005年2月27日から5年間で日本は90年度比排出量6%削減することが義務付けられた。行政は温室効果ガス排出量削減の目標数値到達のため人工蒸発の抑制やクールビズの普及による活動に取り組んでいる。

都市部では地球温暖化とともにアスファルトやコンクリートの都市被覆の増加、森林、水辺の減少を主因としたヒートアイランド現象も重なり熱環境はさらに悪化している。気象庁²⁾によると、東京は100年間で気温が約3℃上昇し、世界で最もヒートアイランド現象が顕著な都市になっている。ヒートアイランド現象は積乱雲の発達を促進させ集中豪雨を引き起こすとの指摘もあり、早急な解決が求められている。東京都³⁾はヒートアイランド現象対策として屋上緑化やポケットパークの設置、かつてあった河川を復活させようという活動や打ち水をして気温上昇を抑えようという

活動も活発に行っている。都市の熱環境を緩和に水辺や森林が大きな役割を果たしていると考えられているが、それらの定量的な評価は困難であるのが実情である。

本研究では気化熱を利用したヒートアイランド現象緩和策として期待される「打ち水」と「河川」について観測・解析を行っている。人工的に水辺を作り出す「打ち水」と常に水辺として存在する「河川」が私たちの温暖な生活に対してどのような影響を与えるか定量的評価を行う。

2. 打ち水による熱環境緩和作用

2.1 観測概要

本研究では2004年8月18日から25日までの8日間、東京都墨田区東向島1～3丁目の約0.3km²で行われた打ち水実験を観測対象とした。この地域はいわゆる下町と呼ばれる地域で、町会、商店街組合を中心として、打ち水に意欲的に参加・協力している。墨田区はこの地域に雨水貯留施設(天水樽)の設置を推進・支援し、雨水などの2次水を利用した防火用水が蓄えられており、打ち水を行うのに適した地域である。

観測項目は日射量、風向・風速、気温、湿度である。特に気温・湿度計は打ち水実験地域内の86ヶ所に温湿度計を設置して気温と湿度の変動を詳細に捕らえることを試みた。温湿度計は人間が体感できる高さとして地上より1.5mとなるように設置している。打ち水実験地域内では散水量、散水場所、散水温度のヒアリング調査を行った。

Mitigation effects of thermal environment of urban area by "Waterbody"

* 中央大学大学院理工学研究科 Takuma KATO, Shuichi TSUCHIYA, Kaku YAMAUCHI, Ryo EBANA

** 中央大学理工学部 Tadashi YAMADA

2.2 観測結果

2.2.1 打ち水による気温変化

日射量の変動により気温は大きく変化する。その影響を避けて打ち水の気温低下効果を評価するため、日射量が打ち水開始前後1時間ほぼ一定であった2004年8月18日について解析を行う。この日の打ち水は12:00頃より開始された。ヒアリング調査から得られた散水面積は約8504㎡、散水量は約6.287㎡、散水に使用した水の温度は平均で約30.0℃であった。実験地域内面積に対しての散水面積の割合は約2%、実験地域内道路面積に対しては約10%であった。

打ち水開始1時間前から開始後1時間30分後までの日射量、風向・風速、気温、比湿（湿度を単位空気質量中の水蒸気の質量として算出した値）の時系列を図-1に示す。気温、比湿は打ち水地

域内の86地点のうちのある3地点の観測値を示している。日射量はほぼ一定で、風向は南西風、風速は約4 m/sであった。気温低下開始時刻が各地点で異なるが、打ち水開始直後から気温の低下が始まり5～15分間程で気温低下開始時の気温に戻ることがわかる。この他の温湿度観測地点でも、気温の低下量、気温低下の継続時間に差があるが、打ち水開始直後に気温の低下がみられた。また、打ち水開始前後に比湿の増加が見られ0.005～0.015kg/kg増加した。

場所により打ち水による気温変動が異なるため、打ち水実験対象エリア全体でどの程度気温が低下したかを評価する。打ち水実験対象エリア内（全86地点）と打ち水対象エリア外（全4地点）で計測した気温をそれぞれ平均し比較する。図-2に打ち水エリア内外の平均気温の差と日射量の時系

図-1 日射量、風向・風速、気温、比湿の時系列（2004/8/18 11:00～13:30）

気温は打ち水開始の時刻よりも早い地点もあれば遅い地点もある。また気温が低下する地点、気温上昇を妨げる地点、気温が低下しない地点など気温変動は観測場所により大きく異なる。比湿（湿度を単位空気質量の水蒸気の質量として算出した値）は打ち水により顕著に上昇している。

図－2 打ち水エリア内外の平均気温の差と日射量の時系列 (2004/8/18 11:00～13:00)

打ち水エリア内とエリア外で計測された平均気温の差と日射量である。日射量で12:45以降に乱れが生じるのは雲の影響である。つまり12:45までは雲ひとつなく非常によい天気である。打ち水がなされた12:00頃より平均気温の差が0.5℃ほど低下している。この約0.5℃の低下が打ち水による効果である。

打ち水5分前の表面温度

2004/8/18 11:55

打ち水20分後の表面温度

2004/8/18 12:20

図－3 打ち水前、打ち水後の人と地面の表面温度 (サーモグラフィ)

打ち水をすることによって人の表面温度は約36℃から約30℃、地面の表面温度は約50℃は約39℃へと変化した。これは打ち水をして地表面の温度を冷やすことにより、地表面からの熱エネルギー(長波放射量)が抑制されたためである。

(カラーの図を環境技術学会ホームページ (<http://www.jriet.net/>) に掲載)

列を示す。打ち水をした12:00頃より打ち水エリア内外の平均気温の差は小さくなり最大で約0.5℃である。この間に日射量に大きな変化はないため打ち水を主因として約0.5℃低下したといえる。

2.2.2 打ち水による輻射熱の変化

図－3にサーモグラフィで観測した打ち水前、打ち水後の人と地面の表面温度を示す。熱画像は小学校の屋上から校庭に向けてサーモグラフィで撮影したものである。熱画像右上の低温で四角いのはプールである。グラウンドはラバー上の材質で

あり、薄く見える線はトラックの線である。打ち水前、地面は約50℃、人の表面温度は約36℃である。打ち水後の状態を見ると地面の温度が約39℃、人の表面温度は約30℃となり、地面の温度が10℃、人の表面温度が6℃以上低下していることがわかる。打ち水により人の表面温度が低下した。これは地面からの輻射(赤外線)が低下したことが要因である。

あらゆる物質は赤外線(長波放射)を放出し、その物質の温度が高ければ赤外線の放出量も大き

い。赤外線は長波の電磁波であり、その物質に触れなくとも熱エネルギーを受け取ることができる。炭火、ハロゲンヒータ、遠赤外線のサウナなどはそれを利用したものである。地面からの長波放射量は σT_g^4 から求めることができる。ここで、 σ はステファンボルツマン定数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)、 T_g は地表面温度 [K] である。打ち水前の地面の長波放射量は約 620 W/m^2 、打ち水後の地面の長波放射量は 510 W/m^2 となり、その差は 110 W/m^2 となる。つまり水を撒くことにより地面から放出される熱エネルギーを抑制し、人の表面に与える熱エネルギーが減少したことにより人の表面温度が低下したと考えられる。

2.3 打ち水による熱環境変化

打ち水のメカニズムを図-4に示す。打ち水による熱環境緩和作用として大きく分けて「気温の低下」と「輻射の抑制」の2つが挙げられる。打ち水をするにより地表面での水の蒸発が行われる。水が蒸発するには熱エネルギーが必要であるため蒸発する瞬間に周りの大気・地面から熱を奪い、それに伴い気温が低下する。熱を奪われた地面と大気の熱交換が小さくなり気温上昇の抑制作用となる。また冷えた地面は輻射熱の放出が小さくなる。これらの様々な作用が相まって熱環境緩和の効果が生まれる。

3. 河川による熱環境緩和作用

3.1 観測概要

観測対象地域は東京都江戸川区小松川、荒川右

図-4 打ち水のメカニズム

打ち水をするによる熱環境緩和作用は気温の低下と輻射の抑制の大きく2つの効果がある。

岸の河口より3～5km地点付近の約2km²である(図-5、写真)。この観測対象地域の下流側は高規格堤防(スーパー堤防)が整備され、堤内地側は公園、高層住宅地となっている。高規格堤防とは極めて大きな洪水でも決壊しないように幅を広くした堤防である。上流側は高規格堤防未整備の地域であり、堤内地側の土地利用は低層密集住宅地となっている。高規格堤防に整備することによりならかな形状となり、河川からの風の流入しやすくなっていると考えられる。

観測項目は、温湿度、風向・風速、日射量、地表面温度である。観測対象地域と設置した観測機材の配置を図-5に示す。温湿度は合計29地点で地上から1.5mの高さで計測し、図中Sで示している地点は、高層ビル屋上において風向・風速、日射量を計測した。温湿度計は河川から堤内地側に線上に設置し、土地利用状況から、河川上流から高規格堤防未整備、高規格堤防整備(高層住宅)、高規格堤防整備(公園)、橋・高架道路上の計4地域に配置した。地上付近の風向・風速及び降雨量として図中W1で示す国土交通省小名木川出張所のデータを用いている。

3.2 観測結果

快晴日であった2005年9月1日における高規格堤防未整備地域と高規格堤防整備地域の気温の時系列を図-6(40頁)に示す。高規格堤防未整備地域の堤内地側の気温は河川敷の気温よりも日中、夜間ともに高温になっていることがわかる。高規格堤防整備地域の気温は、河川敷の気温とほぼ同じであることがわかる。特に日中においては高規格堤防未整備地域と河川敷を比較して最大約4℃、整備地域と比較して最大約3℃の気温差があり、高規格堤防整備によって気候緩和効果があることが示された。

河川敷と高規格堤防整備、未整備地域における各日の平均最高気温の関係について図-7(40頁)に示す。高規格堤防整備地域の最高気温は、河川敷の最高気温と対応していることがわかる。しかし、高規格堤防未整備地域は河川敷よりも気温30℃以上で約1～2℃高いことがわかる。河川周辺の気温について、土地利用形態により異なる熱環境であることが示された。高規格堤防未整備地域の各日の最高気温は河川敷より高くなっている

図－5 観測対象地域と観測機材の配置

実線で示すのは観測対象地域、破線で示すのは高規格堤防整備地域である。観測は高規格堤防整備地域と未整備地域の両方に行い、熱環境の差を評価する。

写真 スーパー堤防整備前（左）とスーパー堤防整備後（右）

高規格堤防に整備をすることにより洪水に対する防災能力を上げるとともに低層密集住宅地域が20～30階建てのマンションを中心とした高層住宅と0.24km²の広大な公園に変わった。

（カラーの図を環境技術学会ホームページ（<http://www.jriet.net/>）にて掲載）

が、整備地域では河川敷とほぼ同じ気温であった。高規格堤防を整備し、建蔽率や堤防形状が変わり、河川上の冷涼な空気が浸入しやすくなったためである。最低気温では、地表面状態が整備地域（高層住宅）、未整備地域でアスファルトであることから、夜間は地表面からの影響により気温がほぼ同じである。日中の気温差は、地表面状態の違いの影響も受けているが、海風卓越時間の午前9時

頃から気温差が生じ始めていることから、河川上の冷涼な空気が日中の海風とともに侵入する影響が大きい。

4. ま と め

著者らは水辺が熱環境に与える影響について「打ち水」と「河川」の観点から気象観測を行ってきた。本論文では気温の低下量に着目し、その

図－6 高規格堤防未整備、整備（高層住宅）の気温の時系列

図は高規格堤防未整備地域と整備地域で顕著に気温の差が現れた日の時系列である。高規格堤防未整備地域の気温は河川敷と高規格堤防整備地域の気温と比較して高い。日中、高規格堤防未整備地域を整備地域と比較すると約2～4℃高く、高規格堤防整備により熱環境が改善されていることが示された。

観測結果について解析を行った。

打ち水を行うことにより気温は約0.5℃低下し、地面からの輻射（長波放射量）は110W/m²低下した。打ち水による効果は気温低下と輻射抑制の2つからなることが示された。

高規格堤防整備地域は未整備地域と比較して常に気温は低く、観測期間中、最も顕著であった日では約2～3℃の気温が低かった。高規格堤防整備地域では土地利用状況が緑などを中心としていることと地形がなだらかなため河川からの風の流入がしやすいためである。

水辺のある環境は水が蒸発する際に周りの熱エネルギーを奪うことから気温を低下させる。水環境の整備はヒートアイランド現象緩和する上で非常に重要であるといえる。

謝辞：本研究の遂行にあたり、国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所、東京都墨田区東向島中町会、南町会、宮元町会、地藏坂通り商店街振興組合の協力を得た。併せてここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) IPCC：IPCC 地球温暖化第三次レポート－気候変化2001－、中央法規出版(株)（2002）
- 2) 気象庁：20世紀の日本の気候、財務省印刷局（2002）
- 3) 東京都：ヒートアイランド対策組方針～環境都市東京の実現に向けて～、東京都ヒートアイランド対策推進会議（2003）

図－7 河川敷と高規格堤防整備、未整備地域における各日の最高気温の関係

最高気温が30℃以上となる日に高規格堤防未整備地域の気温は河川敷の気温よりも顕著に高くなる。整備地域においては河川敷と同様の値である。このことより整備地域は未整備地域よりも河川から風の流入がしやすくなり気温上昇を抑制していると考えられる。

- 4) 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、第48巻、pp.193-198（2004）
- 5) 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、第49巻、pp.367-372（2005）