

1. はじめに

微気象のコントロールは、人類の生存においても、我々の日々の生存にとっても、また、農業、商業、工業などの産業活動にも欠かせない。そのため、人体や建物レベルでの微気象の制御は大きく進歩したが、近年社会問題となっている都市の高温化については、その原因が多様で広域にわたるとともに、地球温暖化の影響も受けるため、制御困難に陥っているという印象がある。

都市の高温化は、都市地表面の自然が失われ、代わって人工構造物で覆埋め尽くされてきたことが一因であり、自然の復元による問題への対処が考えられるが、都市全体にわたっての対処には多大な時間と労力を要することが想像される。したがって、まずは身近な空間からできることを始めることが必要であり、水資源や河川などを都市の貴重な環境資源と位置づけ、それらが身近な空間の微気象の改善にどの程度機能するのか、すなわち、「水による微気象改善効果」はどの程度あるのかを理解することが問題解決にもつながると考える。以下においては、水による微気象改善の原理と効果について、最近の研究データを交えながら説明する。なお、本テーマについては雨水技術資料「特集／都市域の熱環境」(Vol.35, 1999)や拙著¹⁾でも報告しており、本稿で紹介しきれなかった部分はこれらを参照して頂きたい。

ところで、微気象のことを英語では一般的に **Microclimate** (微気候) と呼ぶ。気象がある場所の気温、湿度、風、放射などの時間的変動を含む概念であるのに対して、気候はある領域において一定期間生じる特徴的な気象状態を意味することから厳密には両者は異なる。“微 (Micro-)” は微少の時空間スケールを表す接頭語だが、気象学でいう微少スケールは数 m～数 10m という記述もあれば、数 km 以下の現象という分類もあり、厳密な定義はあいまいである。微気象は「身近な気象」であると考えるのが一番わかりやすい。本稿においては、地面に水を撒いて周囲が少しの間涼しくなる数 10m 程度の時空間スケールの微気象から、沿岸域からの海風が河川上を流れて市街地に浸入するといった数 10km スケールの現象

(いわゆるメソスケールの範疇になる) までを対象とする。

2. 水による微気象改善効果

2. 1 原理

水は固体、液体、気体の中で相変化をする。その際、熱を外部から吸収または外部へ放出する。固体あるいは液体から気体へ変化するとき水が得るエネルギーは蒸発 (気化) の潜熱と呼ばれる。また、これとは別に水の相変化を伴わない温度変化による貯熱がある。水は光の透過性が高いので表面では反射されず水体内に熱として蓄える。特に、対流と混合で熱を運ぶことができるため効率的な蓄熱体である。また、流れのある場合には熱を移流させる。水の熱容量が大きいため多くのエネルギーを蓄え、かつ温度上昇が小さい。さらに、水面上では風が弱められることが少ないため、潜熱輸送が盛んである。このような特徴を活かした微気象改善の事例を以下で見てみる。

2. 2 水面による大気の冷却

水面上を吹送する大気の下層は、水面と大気の温度差に応じて冷却される (水温 < 気温の場合)。例えば、気温 33°C の大気が温度 26°C の広い水面上を風速 6m/s (気温、風速ともに水面上の高さ 10m の値) で吹送する場合、バルク式を用いた簡単な試算によると水体は顕熱約 30W/m² を大気から奪うため、大気の下層から上層へと徐々に温度が低下していく。30W/m² という数値は夏期晴天日の日射量 (800W/m² 以上にもなる) に比べると小さいように思われるが、荒川で実際に測定された結果²⁾ によると、午後 2 時において河川水面の顕熱輸送量は負の値で -35W/m² (大気から熱を奪う作用をする) であったが、河川を横断方向におよそ 220m 吹送することによって、その区間で大気下層 (高水敷面からの高さ 1～5m) の気温が 0.5°C 程度低下している。

このような大気の冷却効果は水面の大きさ、水温、気象条件に依存する。また、水温は水深や流量、気象条件の他、人為的な影響も受ける。図-1 と図-2 は東京の都市河川の水温実態について整理した結果である。夏期の日平均水温は、神田川

(支川の妙正寺川・御霊橋)で26.7℃、荒川で最大28.5℃(新荒川大橋地点)であった。測定年が異なり気象条件も違うので単純に比較出来ないが、東京湾の海水遡上の影響や沿川からの下水処理水の影響をより多く受けるため荒川でやや高めの水温となっていると考えられる。夏期は、平均気温に対しても水温が低くなっている(図-1)。また、夏期の日々の最高気温(大手町)と河川の日平均水温の差は非常に大きく(荒川で最大12℃)、日中の大気下層の冷却ポテンシャルの高さが伺える(図-2)。一方、神田川・万亀橋では冬期(12~2月)は日平均気温よりも平均で8℃以上高く、最低水温が11℃と他の地点よりも高めである。これは、上流に位置する落合処理場から放流される下水処理水の影響による。

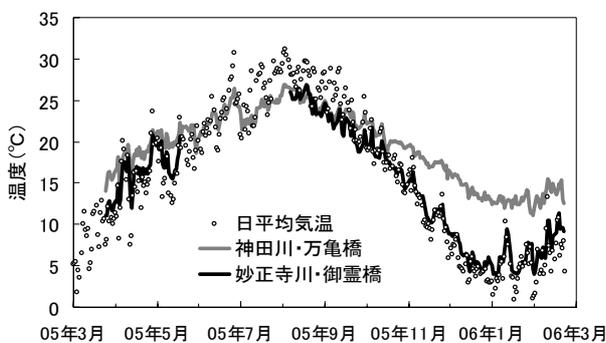


図-1 神田川(東京都)の水温と日平均気温

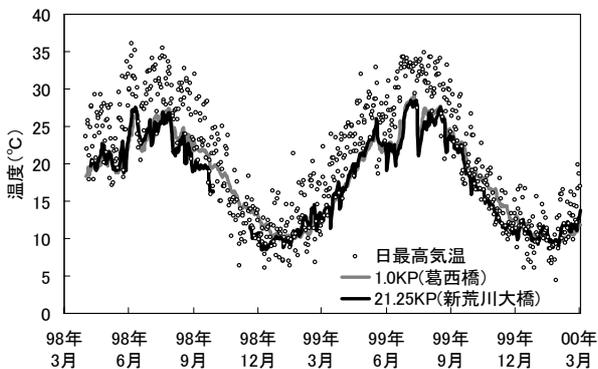


図-2 荒川(東京都)の水温と日最高気温

このように、河川の水面は、夏期においては特に日中の大気の冷源として、冬期においては大気の熱源として働き、気候を緩和する高いポテンシャルを有すると考えられる。しかし、掘込式の河道で水面と周囲地面との標高差が大きい場合や建築物に挟まれて風の通りが悪い場合などで、特に水面の規模が小さいときには、この気候緩和の働きが上手く機能しない場合もある。

河川等の水面による大気冷却効果の及ぶ範囲についての研究はこれまでも数多く行われている。荒川では、夏期、河川に直角に風が吹く場合に、河道内では地上から30m程度が水面の影響を受け、風下側市街地へは冷気が150m程度侵入するという調査結果が報告されている²⁾。また、隅田川河口付近での夏期の気象観測によると、河川に直交する街路において街路方向の風が吹き、河川から300~400mの範囲に温度低下域が及んでいる³⁾。河道断面内の気温を詳細に測定した事例によると、単断面の掘込河道では日中、河道側面を境に河道部分と両側の陸域との間に顕著な気温の違いが現われ、河川の冷却効果が及ぶ範囲は水際から10m程度に限られるが、川幅の大きい複断面河道では河川の周辺約100~150m程度まで気温の低下が見られると報告されている⁴⁾。また、ソウルの清溪川復元による周囲の冷却効果についての研究も行われており、河道の復元によって正味放射量(定義は2.5を参照)に対する顕熱量の比が低下したと報告している⁵⁾。

2.3 水面上の風道の確保

大都市においては、人工建造物の稠密な立地が熱のこもりやすい状況を作り出し、熱い都市の一因となっている。例えば、東京湾では沿岸域に建ち並ぶ高層建築ビル群が、海風の市街地への侵入を妨げていると考えられる。風の通りが悪いと体感的にも好ましくなく、寝苦しい夜の一因となる。海風などの気象現象が持つ莫大な自然エネルギーを有効に活用する上でも、大都市における建物の再構築・再配置を計画的に進めて風通しを良くするとともに、大気の加熱面にならない風の通り道を確保することが重要であると考えられる(道路などは風の道にはなるが、大気の加熱面でもある)。

河川は冷却面を有する開けた空間であるが、かつて、大都市では河川の多くが埋め立て・覆蓋化され、また高速道路等で覆われてきた。今後は、後述する目黒川のような残された中小河川の風道としての機能を把握し、風道として有効な河川沿いの再開発にあたっては、川沿いにビルを林立させるのではなく、河川上を吹送してくる冷気を周囲に効果的に運ぶ工夫が必要である。また、大河川沿いの市街地においては、水害対策として整

備が進められている高規格堤防（スーパー堤防）事業を活かした涼しい街作り⁶⁾も考えられよう。

2. 4 水の蒸発潜熱による地表面の冷却と人工排熱の削減

既報⁷⁾でも紹介したように土壌水分量の多寡によって都市の気温が 0.7°C も異なる。これは、大都市内にも、草地、裸地など人工構造物に覆われていない地面が存在し、そこでは土壌に保水されていた水分の蒸発や植物による蒸散によって地表面温度の上昇が抑制されることによる。晴天日が続くと、蒸発散で失われる水分を土壌深部からの水分移動によって補いきれなくなり土壌が徐々に乾燥して温度上昇を引き起こす。したがって、大きな気候システムの中で周期的に生起する降雨が土壌水分を補給することも都市の気候調節に役立っていると言える。

一方、アスファルトやコンクリートなどの人工構造物で覆われた地面では自然の蒸発散による温度抑制機能はあまり期待できない。しかし、打ち水のように短時間で少量の水を人為的に撒くことによって、水の蒸発が高温化した地表面を急速に冷却する。水の気化の潜熱は 20°C で $2.5(\text{kJ}/\text{kg})$ であるから、仮に 1mm の水膜が 1 時間で蒸発したのなら、潜熱量はおよそ $700\text{W}/\text{m}^2$ にも達する。この分の熱を地面から奪うことによって地表面温度は大幅に低下する。著者らがかなり前に現地観測を行った結果⁸⁾でも、打ち水直後の地表面温度の急激な降下と潜熱の増大が捉えられた。打ち水により周囲の微気象は一変し、打ち水を行わなかった B エリアに比べて打ち水を行った A エリアの気温は 1°C 、体感温度（黒球温度）は 4°C 近く低下し、それに先だって比湿（大気中の水蒸気量を表す指標）の顕著な違いがあらわれている（図-3、上）。また、局所的な気圧の変化をもたらした打ち水したエリアで風が強くなり、傾向が見られた（図-3、下）。

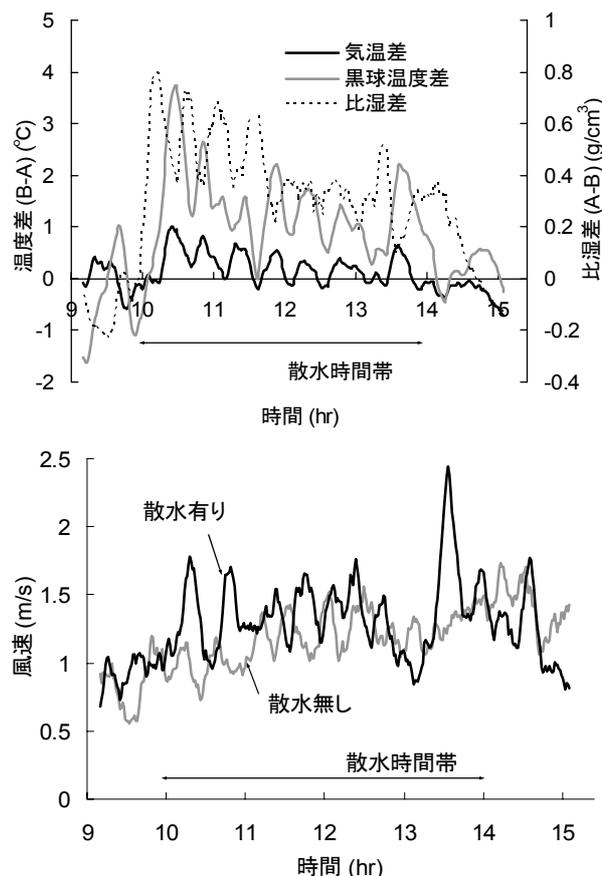


図-3 道路散水の微気象改善効果

ところで、冷房機器の普及に伴い、建物内部で生産される熱や建物外部から侵入してくる熱は冷房室外機を介して大気へ放出されることとなるが、水の蒸発潜熱は、この排熱（いわゆる人工排熱）によって大気が直接加熱されるのを軽減する。一般住宅のルームエアコンなどの冷房室外機の放熱方式は大気を直接加熱する「顕熱排熱型」であるが、大規模オフィスビルなどでは水の蒸発潜熱により熱を放出する「潜熱排熱型」の空調システムが利用されている。妹尾ら⁹⁾は東京都および関東地方を対象に、人工排熱を「顕熱排熱型」機器に由来する“人工顕熱”と「潜熱排熱型」機器に由来する“人工潜熱”に分け、それぞれの時空間分布を定量化し、都心では人工潜熱は人工顕熱量と同程度であることを示している。特に、大手町・新宿周辺では人工潜熱が $400\text{W}/\text{m}^2$ を超えているエリアもあり、人工顕熱に匹敵する量であった。妹尾らの結果を用いて試算すると、8月には東京都全体で1日あたりおよそ 3万 m^3 の水を“人工潜熱”の排出に利用していることになる。この量は東京都の1日あたりの都市活動用水使用量約

117万 m³ (H16年度) の約 2.6%に相当する。

2. 5 水の貯熱による顕熱輸送の抑制や人工排熱の吸収 (エネルギー源としての河川)

河川では、水面への入射エネルギーのうち、水面で反射される日射や水面から大気に放射される長波成分を差し引いて水面が正味受け取るエネルギー (正味放射量と呼ぶ) のうち、約 8 割が水中に貯えられている (日中平均の値)²⁾。それにもかかわらず河川水の温度が気温に比較して日変動が小さく安定している理由は、水体の熱容量の大きさと対流混合による。この能力があるからこそ、大気と水体の温度差に基づき大気を直接冷却できる。

このような水体の貯熱性能を積極的に活用したのが、ヒートポンプを用いた水熱エネルギー利用である。ヒートポンプは、建物内の熱を河川に運び出したり、逆に河川水から熱を汲み上げたりする機能を持つことから、夏期の河川水は主に冷源として、冬期は主に熱源として利用される。また、河川水に限らず、下水、地下水などでも実用化されている¹⁰⁾。ただし、図-1、2で示したように、河川水や下水の温度は 30℃ 近くになる場合もあるため、環境への影響を考えると無制限に利用できるわけではない。

3. 河川の風道効果—目黒川の事例—

河川の微気象改善効果や風道としての働きを実際に検証するため、目黒川を対象に行った観測について紹介する。

3. 1 目黒川の概要

目黒川は、世田谷区、目黒区、品川区を流れる延長 8.0km、流域面積 45.8km² の 2 級河川である。かつては玉川上水から取水された農業用水が流れ、昭和 30 年代でも流域には田畑が広がっていた。歌川広重「名所江戸百景」にもかつての目黒川の姿が描写されている。目黒川の下流部は、昭和初期には舟運路として整備され、現在も河川幅は 10m 以上ある。中流部 (図-4 の 5M と 7M の間より上流より高速 3 号渋谷線までの間、写真-1 はちょうど川幅の変化する場所で撮影された) の河川幅は若干狭いが、両岸には桜並木、遊歩道、住居、店舗等が続いている。一方、高速道路 (その下は国道 246 号線) よりも上流部は高度成長期

における都市河川の水質悪化問題への対処として覆蓋化され、現在はせせらぎ水路と一体となった遊歩道になっている。ここには落合処理場において高度処理した再生水が放流されて、かろうじて川の体裁を保っている。このように、目黒川は東京の発展とともに変貌してきた典型的な都市河川である。

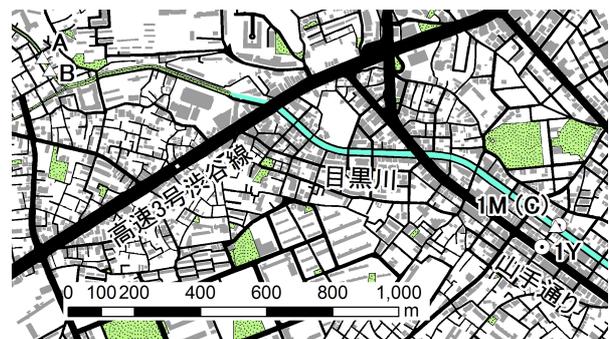


図-4 目黒川沿いの観測地点の配置

上：1 度目の調査地点 (A~D)、下：2 度目の調査地点 (1Y~10Y、1M~12M)。3 階以上の建物は灰色で、緑地・公園等は緑色で示した。

河道は、河口部では西から東に向かっているが、上流域では北西から南東に向かっている。東京都環境局の測定データによると、目黒川に近い品川区豊町における夏期 (7、8 月) の日中 (12 時~18 時) の風向は東~南と広い範囲に分布しており、河口から上流域まで、川に沿って流れる風 (いわゆる川風) が吹いて周辺市街地に河川の冷気を供給するポテンシャルを有すると考えられる。



写真-1 目黒川の様子（田楽橋から撮影）

3. 2 観測の概要と結果

調査範囲と計測地点の位置を図-4に示す。1度目は2005年8月11日で、2度目は2006年8月24日に実施した。また、2006年8月から9月にかけて、目黒川周辺地域13地点で気温、湿度、風速、風向をおよそ1ヶ月の間、連続観測した。これらのうち、ここでは2度の観測でわかった目黒川の微気象改善効果を紹介する。なお、目黒川の微気象観測に際しては(財)リバーフロント整備センター並びに目黒区の援助・協力を頂いた。

1) 2005年8月11日の観測

1度目の観測は図-4に示したA~D地点で行った。各地点では、気温、相対湿度、風速、風向や表面温度分布を測定した。観測当日における天気は曇り時々晴れで、気温は30℃を超えたものの、18時前に小雨がぱらついてきたためその時点で観測を打ち切った。また、観測時、東京・大手町では南西~東よりの風が吹いていた。

各地点における風速と気温の時間変化を図-5に示す。いずれも30分間の移動平均値である。風速は観測範囲の最下流地点に位置するD地点が他の地点に比べて明らかに大きく、目黒川上流の覆蓋部(A, B地点)および覆蓋化されていない河川上のC地点では大差ないことがわかる。気温は測定期間を通じて平均的にはC地点の水面上での計測値(橋から温度計をぶら下げて測定した値)が他の地点よりも低い。C地点の橋上では緑陰効果と風道効果が相乗的に現れることが期待されたが、実際にはB地点(遊歩道・日向)に近い気温であった。12時から15時の平均で、B地点、C地点(橋上)はD地点よりもそれぞれ約0.9℃と0.7℃気温が高かった。B地点は遊歩道ではあるものの、高速道路により南よりの風が遮られていることや日向であることにより、また、C地点はD地点に比べて川幅が狭く、兩岸の樹木に

緑が生い茂って路上における風通しを妨げていたため、D地点より気温が高かったものと考えられる。また、C地点において目黒川に直角な方向の風が確認されていることから、目黒川に平行して走る山手通りの相対的に暖かい大気が沿道の建物に誘導されるように目黒川上に流れてきたこともC地点で気温が高い一因だと推察された。

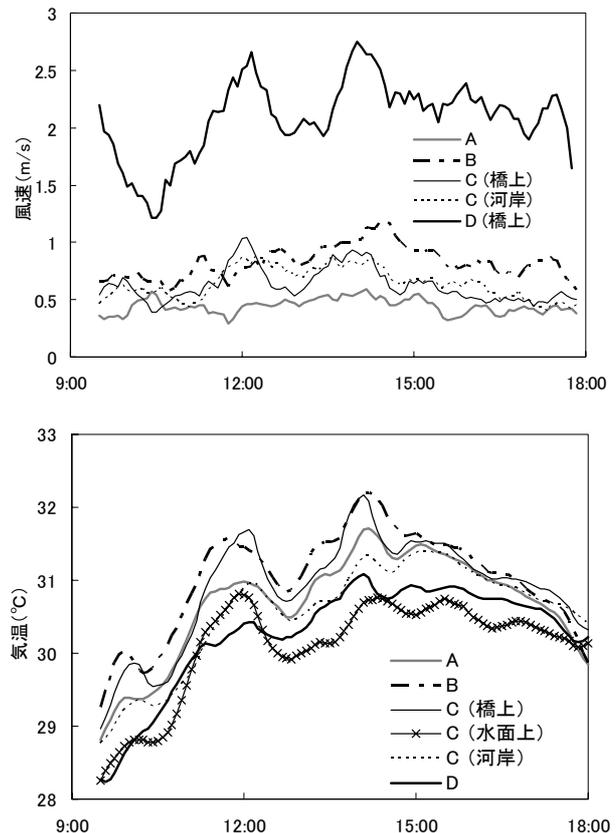


図-5 各地点の風速と気温の時間変化

2) 2006年8月24日の観測

1度目(2005年)の観測でD地点とその上流3地点の微気象に明確な違いが見られたことから、2度目の観測では、より詳細に現象を捉えるため、自転車による移動計測を試みた。移動観測の範囲は1度目より約1,100m下流の地点12M(目黒新橋)から1度目の観測地点C(2回目の地点番号を7Mと表す)までの川沿い(地点1M~12Mの区間)と、この区間内で川におよそ平行して走る山手通り沿い(地点1Y~10Yの区間)、及び地点10Y, 10Mを含む河川に直交する測線上、地点1Y, 1Mを含む河川に直交する横断測線上の4側線で、9時、12時、14時、17時、21時の5回実施した。川沿い、山手通り沿いの測線上では静止すること

なくほぼ一定の速度で移動した。地点1と地点10の測線上では、それぞれ9地点と10地点の測定点を設け、各地点で1分間静止し測定を行った。4測線を全て終了するのにおよそ1時間を要した。測定項目は気温と相対湿度のみで、強制通風筒付き温湿度センサー(Lufft社製Opus10)を自転車(地上より95cmの高さ)に固定して使用した。観測当日における天気は曇り後晴れで、最高気温は33℃を超えていた。また、観測日において、東京・大手町では南南西よりの風が卓越していた。

結果の例として、13時、17時、21時の移動観測により得られた山手通りと目黒川沿いの気温分布を図-6に示す。厳密には基準点における連続測定値を用いて時間経過の影響を補正すべきであるが、ここでは生データで表示した。13時の時間帯においては、山手通りの気温が目黒川沿いよりも常に高温となっており、都市の被覆面での加熱や自動車排熱等の人工排熱の影響が現れている。山手通りと目黒川沿いの気温差は地点7(田楽)より下流で大きい(地点10Mと10Yでは1.5℃の差)。目黒川沿いであっても、川幅が狭く街路樹と建築物に挟まれた地点7から上流の区間では気温が下流よりも高く、このことは2005年の測定結果とも整合している。また、この区間では山手通りとの気温差は0.4℃と小さい。一方、山手通りでは予想に反して地点7よりも上流に進むにつれて気温が低下する傾向を示し、地点7よりも下流地点で相対的に気温が高い。

17時の時間帯にも13時と同様の傾向が現れている。特に、地点4(中目黒駅)の少し下流から地点1(天神橋)までの区間では目黒川沿いとの気温差が0.2℃以下と小さいことから、山手通り沿いの建物の存在が水平方向の大気の混合を促していたことが伺える。このことは、2005年の観測で地点Cにおいて目黒川に直角な方向の風が確認されたこととも整合する。

21時の時間帯では、南風も弱まったことや、地表面温度が低下し、また、交通量も減少していたことから、縦断的に大きな変化は現れていないが、目黒川沿いでは、田楽より上流で気温が若干高い傾向にある。

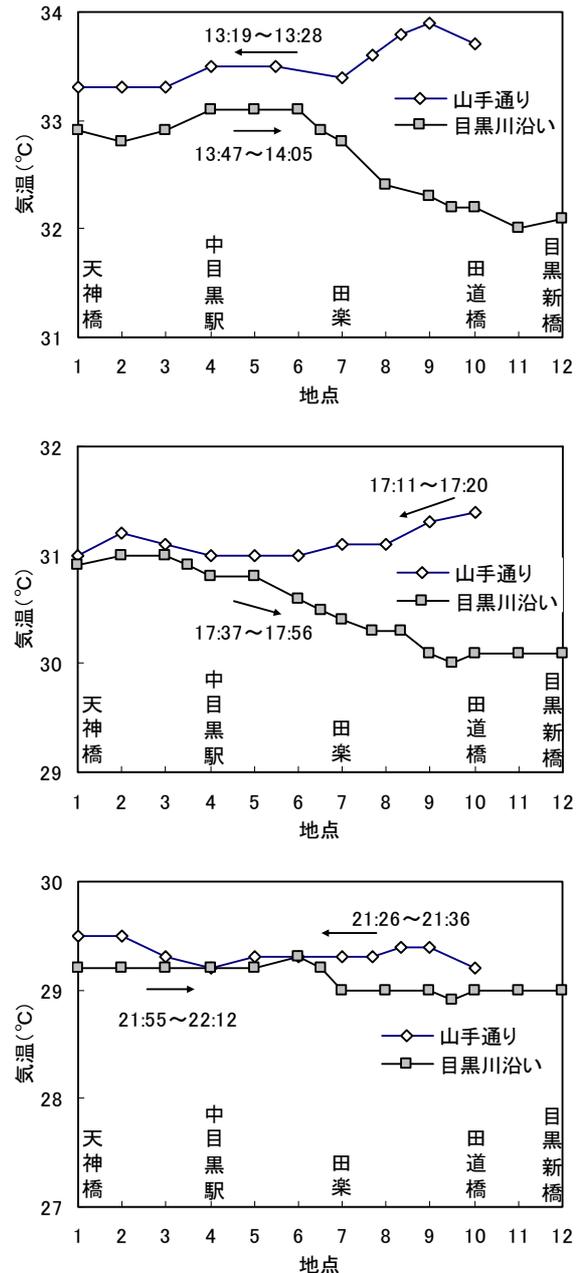


図-6 目黒川沿いにおける移動観測結果
矢印と時間は移動方向および測定開始から終了までの時間を示す。

以上のような特徴を示す理由を整理すると、地点7では山手通りが目黒川に最も近接し且つそこにはかつて舟運による物資の輸送に利用されていた舟入場を公園化した空間が広がっており、日中、目黒川上空を下流から吹いてきた風の一部が山手通りをさらに上流(北西)に抜けていき山手通りに涼風をもたらしていることによると推察される。今回の調査によって、目黒川は目黒区田楽橋地点までは大気を冷却する風道として機能

し、そこから上流では、街路と河川の位置関係等の条件により、川風の一部が山手通り沿いを吹送し、沿道の微気象を改善していることが示唆された。

4. 都市スケールの気候緩和効果

夏期の暑熱対策には水面の持つ微気象改善機能が有効であることは間違いない。しかし、個々の水面の影響範囲には限界があることから、都市スケールでの気候緩和を目指すには、大小様々な規模の複数の水面を配置する必要がある。そこで、仮に東京における過去100年のスケールで河川等や都市沿岸海域の埋め立て等によって消失した水面を復活させた場合、どの程度、夏期の熱環境の改善に寄与するのかを気象シミュレーションモデルにより定量化した¹¹⁾。

計算ケースとして、土地利用と海岸線に関する下記の3ケースを設定した。ここでは、ケース2とケース1およびケース3とケース1の差について紹介する。

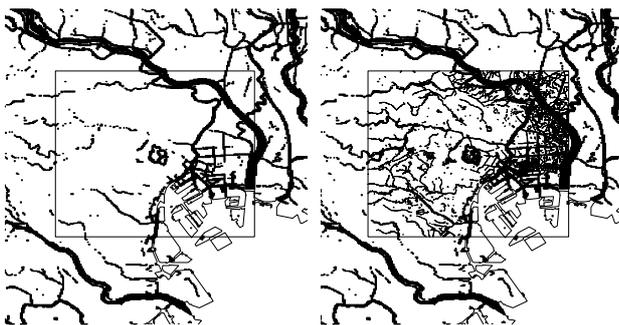


図-7 ケース1(右)とケース2(左)の水面分布
(□の範囲内のみ水面が異なる)

ケース1(現状):現状の土地利用(細密数値情報、国土数値情報を利用)と海岸線の場合(図-7)。

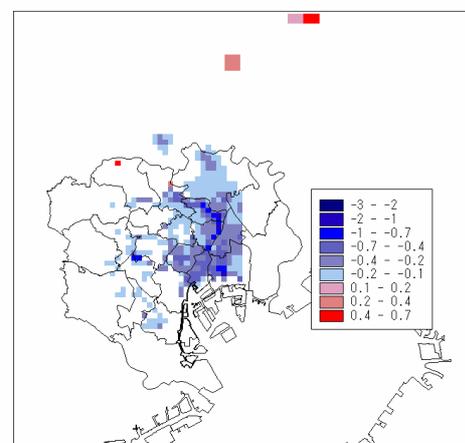
ケース2(内水面保全):河川等の内水面は明治期のままで、湾奥部の海岸線は現状のケース。河川等の内水面は1万分の1地形図(明治42、43年)より作成したデータを利用した(図-7)。

ケース3(内水面・沿岸海域保全):河川等の内水面と湾奥部の沿岸海域の両方とも明治期のケース。

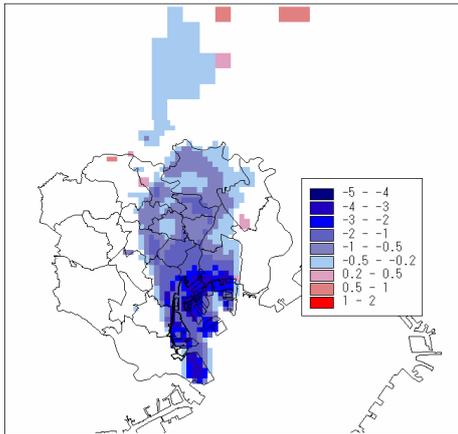
解析に用いた計算モデルはMM5を基本にしている。MM5は非静力学方程式等に基づいて3次元の大気流れと圧力、気温、水蒸気量分布等を解析する。ネスティングと呼ばれる大領域から小領

域へと計算領域とメッシュサイズを小さくしていく手法を用い、最終的には38km四方、0.67kmの領域まで再現した。鉛直方向は100hPaの等圧面までを25層に分割した。土地利用の違いの影響のみを見るため、人工排熱は、全計算ケース、全計算領域で発生しないと仮定した。初期条件、境界条件には計算対象日(1995年8月23日21時~8月26日5時までの間)を含むNCEPの全球解析データを用いた。

各ケースの計算結果を用いて、仮に全内水面が保全された場合における気温低減効果(ケース2-ケース1)と、仮に内水面が保全され且つ埋め立てがなかった場合における気温低減効果(ケース3-ケース1)を地上高さ1.5mの低減量分布として表した(図-8)。基本的に水面を再生したエリアとその風下に気温低減域が見られ、内水面のみを保全した場合でも気温が1℃以上低下するエリアが存在していた。全水面を保全した場合(ケース3-ケース1)、現状の埋め立て地の上での気温低減量は4℃を上回るとともに、東京都区部の広い範囲に気温低減域が広がり、都県境を超えて埼玉県南部にも効果が及んだ。内水面のみ保全のケースと、沿岸海域と内水面保全のケースで、同じ水面積増分に対する気温低減効果を整理したところ、内水面のみ保全で単位面積あたりの気温低減効果が大きかった。なお、これらの効果が出現するエリアは風向きとも関係するが、今回の計算では東京湾からの南よりの海風と相模湾からの南西よりの海風がぶつかり合う部分で、気温低減効果が急変するラインが形成されていた。



内水面保全(ケース2-ケース1)



全水面保全（ケース3-ケース1）

図-8 ケース間の地上気温差（8/25 12:00）

シミュレーションにより得られる地上 20mにおける水平風速ベクトルのケース間の変化量を図-9に示す。全水面保全によって東京湾からの海風がより強く内陸に侵入していくことがわかる。なお、内水面保全の場合にはそれほど強い海風の変化は見られなかったが、水面を多く保全した地域においては風にも変化が現れていた。

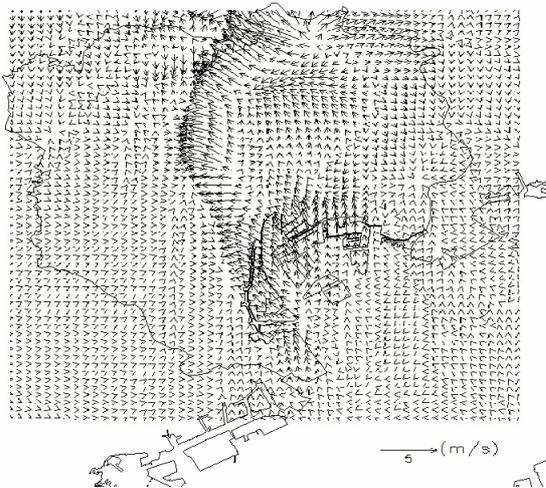


図-9 風速ベクトルの変化

（ケース3-ケース1の25日12時）

5. おわりに

急激な都市化と経済活動の発展は、川の姿や水の循環を大きく変えてきた。また、一方では都市の高温化問題となって、自然環境だけでなく、人々の生活環境にも大きな影響を及ぼしてきた。さらには、近年の異常気象に垣間見られる地球温暖化の進行が身近な微気象にも影響をもたらしていると考えられる。水辺や緑地を活用した微気

象の改善によって高温化問題の解決に少しでも役立てるとともに、単に水や緑の気候緩和機能を活用するだけでなく、ゆとりや潤いのある空間づくり、生活環境の改善、都市の防災といった様々な観点で水辺の価値の再構築が必要だと思われる。

参考文献

- 1) 木内豪：水辺と微気象，藤原宣夫編著“都市に水辺をつくる”第2章2節（p.64-88），技術書院，1999.
- 2) 武若聡、池田駿介、平山孝浩、萱場祐一、財津知亨：都市内河川による大気冷却効果，土木学会論文集 No.479/II-25，11-20，1993.
- 3) 成田健一、植村明子、三坂育正：都市気候に及ぼす河川水の熱的影響に関する実測研究，日本建築学会計画系論文集第545号，71-78，2001.
- 4) 村川三郎、関根毅、成田健一、西名大作：都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究，日本建築学会計画系論文集第393号，25-34，1988.
- 5) 一ノ瀬俊明、片岡久美：都市内大規模河川（ソウル市清溪川）の復元による暑熱現象改善効果の実証，国立環境研究所年報，205，2006.6.
- 6) 笹尾将登、土屋修一、加藤琢磨、山田正：大規模河川周辺部における都市熱環境の緩和効果，土木学会第61回年次学術講演会，2-057，2006年9月.
- 7) 木内豪：水循環とヒートアイランド対策，水循環 貯留と浸透，51，23-28，2003.
- 8) 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，水工学論文集第38巻，381-386，1994。（http://www.pwri.go.jp/team/suiri/heatisland/sansui_effect.htm にも紹介あり）
- 9) 妹尾泰史、神田学、木内豪、萩島理：潜熱割合を考慮した人工排熱時空間分布の推計と都市局地気象に対する影響，水工学論文集，Vol.48，2004年2月.
- 10) 宇梶正明：“都市の水”の熱エネルギー利用の現状と課題，雨水技術資料 Vol.19，27-35，1995.
- 11) 木内豪、前村良雄、水垣浩、深見和彦：東京都区部における河川等水面の消失と夏期高温化の関係について，土木学会第60回年次学術講演会，

2-012, 2005 年 9 月.