

都市気候に及ぼす河川水の熱的影響に関する実測研究 隅田川における熱収支と周辺影響の検討

OBSERVATIONS ON THE THERMAL EFFECTS OF RIVER WATER ON URBAN CLIMATE

Study on heat budget on water surface and its effects on
surrounding areas of Sumida River

成田 健一*, 植村 明子**, 三坂 育正***

Ken-ichi NARITA, Akiko UEMURA and Ikusei MISAKA

Water bodies in urban area have been expected to mitigate the urban heat island as well as green space. In this paper, we showed the results of observations about heat budget at river water and moving observations to clarify horizontal extent of its thermal effects.

Diurnal variations of sensible heat flux estimated by several methods corresponded closely with each other., though these values didn't exceed 100W/m^2 even in the peak about midday. Estimated heat storage term occupied more than 90% of net radiation during daytime. According to the numerical simulation, observed water temperature variation required equivalent heat conductivity for actual stirred water about forty times as much as that of stagnant water. This heat balance is completely different from that of green space characterized large latent heat flux. On the other hand, horizontal sensible heat flux from adjacent built-up area to the river space also estimated by eddy correlation method at riverside terrace. Turbulent heat flux across the river-edge amounted to 250W/m^2 in daytime, which greatly surpassed vertical sensible heat flux at water surface.

The horizontal limits of river-effect along the street crossing the river were about 300m from river-edge, and there was no clear relation between this limits and wind speed.

Keywords : heat island, urban rivers, sensible heat flux, advection, urban canyon, heat storage
ヒートアイランド, 都市河川, 顕熱流束, 移流, 街路空間, 蓄熱

1. 序

都市におけるヒートアイランド現象は、熱帯夜の増加や空調機器使用による人工排熱の増大など、様々な弊害をもたらしている。気温の変化に伴う空調エネルギー消費量の増減の感度は、冬季の暖房エネルギーよりも夏季の冷房エネルギーの方が大きく¹⁾²⁾、温暖化は省エネルギーや地球環境の観点からも望ましくない。気温差という観点で言えば、ヒートアイランド強度が最大となるのは一般に冬季夜間であるが、大気を加熱する顕熱フラックスに注目すれば、郊外との差が最大となるのは夏季日中である。混合層が発達するため地上付近の気温差としては現れにくい、大気加熱量は大きい。夏季における暑熱環境の緩和を図ることは、電力需要のピークカットをすすめる意味でも、急務の課題といえる。

このような暑熱環境の改善をはかる対策手法として、以前から提案されてきているのが、都市内に存在する水面や緑地を利用した気候改善である。緑地の効果に関する実測事例はすでに数多く存在し³⁾、近年は樹木のモデル化による数値シミュレーション手法も急速な進歩を遂げつつある。緑地の効果の評価や予測は、ヒートアイランド全体を再現するようなメソスケール⁴⁾のみならず、街区や団地スケールの屋外熱環境評価手法としてもにわかに現実味を帯びて

きている⁵⁾。それに対して、河川をはじめとする水面の効果を扱った研究は必ずしも多くない。

筆者らは、広島市を対象に河川が周辺市街地の温熱環境に及ぼす効果について系統的な実測を行い、河川効果の季節変化、影響範囲と気象要素や市街地構造との関連について明らかにした⁶⁾⁷⁾。また実測結果をふまえ、河川周辺の建物配列が河川効果の広がり及ぼす影響について風洞模型実験により検討した⁸⁾。片山らも福岡において詳細な実測を行い「風の道」としての河川の効果について報告している⁹⁾。しかしながら、これらの研究は気温や湿度の分布に重点がおかれ、河川における熱収支構造や熱輸送の詳細なプロセスについては十分明らかにされていない。河川や水路の熱収支は、地理学¹⁰⁾や農業気象の分野で古くから扱われてきたが、都市気候の観点から都市内河川の熱収支を評価した例は、わずかに卓越風向に直交する荒川中流部における報告例¹¹⁾⁻¹³⁾があるのみである。片山らはトラバース法を用いて大濠公園の池の熱収支を評価しているが、粗度の小さい水面上の方が周辺市街地よりも熱伝達率が大きくなるなど問題が残された結果となっている¹⁴⁾。

本研究では、東京都の隅田川を対象に水面における熱収支の把握を行い、あわせて周辺市街地への影響範囲について考察する。

*日本工業大学工学部建築学科 教授・工博

**大曲工業高校 工修

***竹中工務店技術研究所 学術修

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.

Technical High School of Ohmagari., M. Eng.

Research & Development Institute of Takenaka Co., M. Sc.

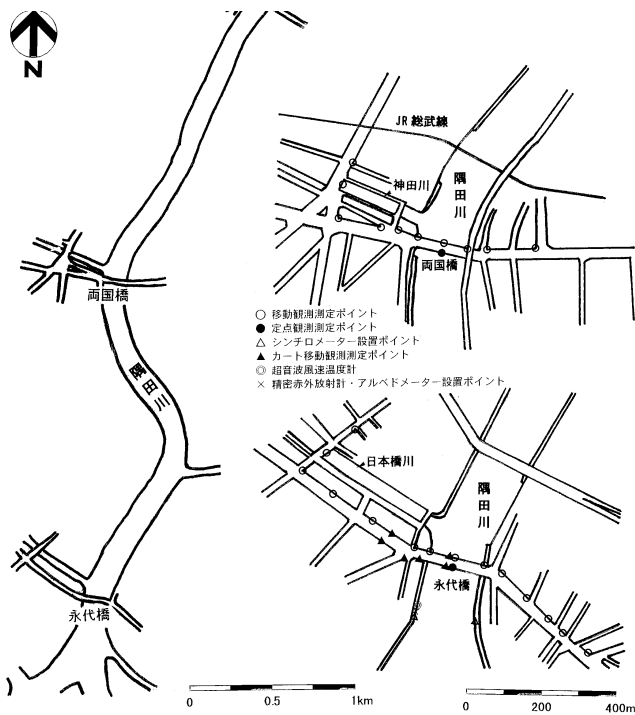


図1．実測エリアの概要

2．実測方法

実測対象エリアと測器の配置状況、ならびに移動観測の測定ポイントを図1に示す。主な実測対象エリアは、隅田川下流の永代橋周辺で、東京駅の東方約2kmに位置する。兩岸の親水テラスを含めた河道の幅は約200mで、河道軸はほぼ北北東-南南西方向となっている。平均水深は約4mで河口に近い感潮域のため、1m程度の水位変化がある。永代橋の上流側には西方より日本橋川が合流しており、また右岸側の箱崎地区では河川水を利用した地域冷暖房システムが稼働している。この永代橋エリアに加えて、その上流約2kmに位置する両国橋の周辺においても、補足的に実測を行った。なお、両エリアとも水上バスをはじめとする船舶の往来はかなり頻繁にある。

実測期間は、1999年8月19日6時～20日18時である。

(1)河道内における熱収支観測

永代橋の下流、約50mの右岸側の親水テラスにおいて、全日射量(Q)と反射日射量(Q_r)、下向き長波放射量(I)を測定した。QとQ_rは岸から水面上へ約1m突き出したアルベドメータで、Iはテラス上で精密赤外放射計で測定した。測定高度はテラス上約1.5mで、Qには水面からの反射の他にテラスからの反射も含まれる。ほぼ同じ位置の水際、高さ1.5mに5cmスパンの3次元超音波風速温度計を設置し、サンプリング周波数10Hzでデータを収録した。さらに、左右兩岸のテラス上2.50mにシンチロメータを設置し、河道と直交する方向にバスを設定した。バス間距離は190m、水面からのバス高さは3.07～3.90mである。

なお水温は、右岸テラスおよび永代橋中央から浮きにつけたサーミスタ温度計を水面に下ろして30分毎に測定した。また、流路内の水温分布をチェックする目的で橋上からの放射カメラ・スポット型放射温度計による測定も併用した。河川上の温湿度は、永代橋中央南側の定点(次項の移動観測の基準点を兼ねる)で測定した値を

代表値とした。橋上定点の高さは、水面から約10mである。

(2)影響範囲の把握を目的とした移動観測

河川効果の影響範囲を明らかにするため、橋上での定点観測と、自転車による移動観測を行った。測定項目は温湿度、風速と目視による風向である。温湿度センサはサーミスタと静電容量型で、日射遮蔽板付の二重通風筒に入れて測定、風速は無指向性の熱式風速計を用いた。サンプリング間隔はいずれも5秒、測定高度は温湿度が1.5m、風向風速は1.8mである。移動観測の測定ポイント数は永代橋エリアが14、両国橋エリアは10で、各ポイントで3分間測定、1分で移動した。1回の測定に要した時間は、永代橋では自転車2台で7ポイントずつを担当したため27分、両国橋では39分である。以上の測定を、深夜(21時～6時)は3時間毎、その外の日中の時間帯は1時間毎に行った。各ポイントのデータは、同一時刻の橋上定点のデータを用い、温度差・湿度差ならびに風速比に変換した。なお、風速については3分間の平均値を用いたが、温湿度に関しては測器の応答性を考慮し、移動直後の1分間のデータは除き、残り2分間の平均値を用いている。

以上の観測に加え、5cmスパンの3次元超音波風速温度計と赤外線吸収湿度変動計を取り付けた移動用カートを作成し、温湿度の瞬時変動と3次元的な気流の測定も試みた。センサ高さは1.8m、サンプリング周波数は10Hzとした。

3．測期間の気象概況

図2に、河岸テラスで実測された全日射量(Q)と下向き長波放射量(I)の変化、ならびにアルベドの時間変化を示す。19日はほぼ晴天であったが、20日は雲が多く、とくに正午前後の数時間は厚い雲に覆われた。なお両日とも14時過ぎから日射が激減しているのは、実測位置の右岸テラスが西側の建物の陰に入るためである。初日に比べ2日目の減衰が小さいのは、散乱日射の比率が高かったためである。Iの値は、420～430W/m²程度で安定している。水面のアルベドは通常0.06～0.08とされており、太陽高度が60度以下になると太陽高度依存性が現れ増大する。実測結果はあくまで参考値であるが、ほぼ妥当な変化を示している。

図3は、実測エリアの西約3kmに位置する大手町気象台、および永代橋中央定点における風向・風速、気温の変化を示したもので、気温については永代橋・両国橋の橋上定点と大手町との気温差を併示した。データはすべて30分平均値で表示している。風向は、実測期間を通じて終始南よりの風で、いわゆる海陸風循環は現れていない。風速は日中6～7m/s、夜間は2～3m/s程度である。永代橋の気温は、大手町に比べ日中は2程度低くなっているが、夜間の気温差は0.5以下と小さい。上流の両国橋では、終日永代橋よりも気温が高くなっており、同じ隅田川上でも河口からの距離の違いで明確な気温差が現れている。2日目の正午前に気温差が大きく変動しているのは、大手町で局所的な降雨があったためで、この間隅田川上の両地点では降雨は観測されていない。図には、永代橋における水温の変化も併せて示したが、25～27の範囲で、常に気温より低かった。なお、水温変化と水位変化との対応関係は、日変化に打ち消されてあまり明確には現れていない。日中の水温が1日目より2日目の方がわずかに高くなっているが、その原因は定かではない。

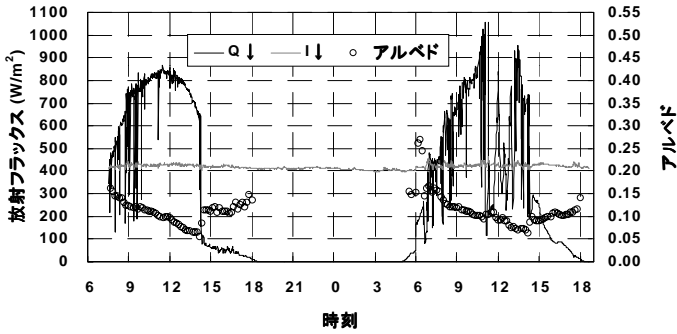


図2．放射フラックスの時間変化

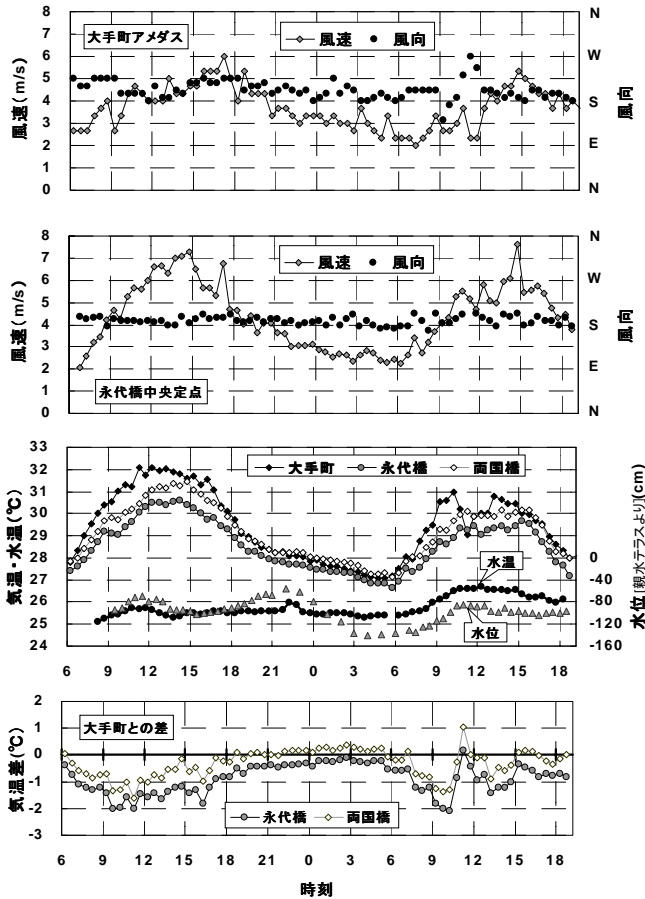


図3．実測期間の気象概況-アメダスと橋上定点の比較

4．水面における顕熱・潜熱フラックスと熱伝達率

右岸テラスに設置した超音波風速温度計による渦相関法、シンチロメータによるシンチレーション法、ならびに大気安定度を考慮したバルク法による顕熱フラックスを比較した。フラックスの評価時間は30分に統一した。なお、テラスにおける前者2つの測定に関しては、初日から2日目の早朝6時までの測定である。ただし、渦相関法に関しては、2日目の午前中のみ、移動カートに設置し直した測器を用いて、永代橋中央南側の定点ポイントでの測定も試みた。

渦相関法による顕熱フラックスは以下の式による。

$$H = c_p \overline{w't'} \quad (1)$$

ここで、 H ：顕熱フラックス (W/m^2)、 c_p ：空気の定圧比熱 ($J/kg \cdot K$)、 ρ ：空気の密度 (kg/m^3)、 t' ：温度の変動成分 (K)、 w' ：鉛直

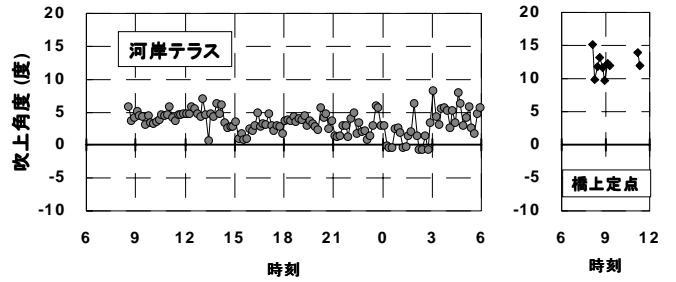


図4．超音波風速温度計測定点における平均流吹上角度

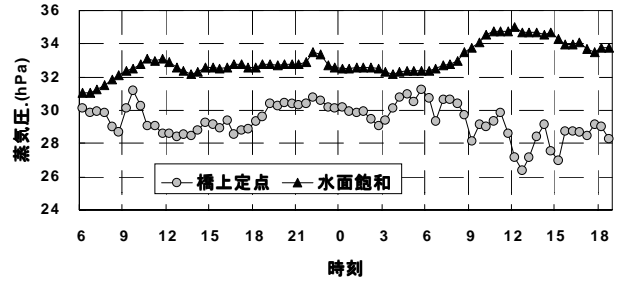


図5．蒸気圧の時間変化

風の変動成分 (m/s) をあらわす。渦相関法による鉛直フラックスの算定では、鉛直風の平均値がゼロになることが仮定されている。しかしながら多くの場合、無限平坦という理想的な場所は現実には望めないという設置場所の制約、およびいくら鉛直に注意して測器を設置しても現場では完全に鉛直とすることはほとんど困難であるという理由から、この仮定が十分満たされない。今回の実測では、テラス上では水平風向により多少変化するが0~5度程度、橋上定点では10~15度程度の吹上風となっている(図4)。以上の結果を考慮し、ここでは各評価時間毎に平均値がゼロになるよう軸回転を施し、乱流成分のみの値を算出した。このような座標変換による方法は、局所的な流線面に垂直な方向に w 軸を合せることを意味する。かなり一般的に行われている手法ではあるが、フラックスの推定に常に有効かどうかは検討の余地がある¹⁵⁾。

シンチレーション法は偏光面が直交する2本のレーザー光を用い、光のゆらぎの測定からフラックスを算出する方法である¹⁶⁾。渦相関法では測器の設置位置の通過フラックスしか評価できないのに対し、シンチレーション法ではパス間の空間平均フラックスが測定できるという特徴がある。発信される平行した2本のレーザーが光路中の乱流により屈折率の変動を起こすのを光の強度変動としてとらえ、その2つの相関と光路距離などから構造関数パラメータと乱れの内部スケールを測定する。構造関数から温度の構造関数を、内部スケールからエネルギー逸散率を算出し、これら2変数からモニン・オブコフ則を仮定して最終的に顕熱フラックスが算出される。750Hzでサンプリングしたレーザー受信強度から1分毎に顕熱を計算し、PCに収録した。

バルク法は、表面と1高度の温度・湿度、ならびにバルク係数からフラックスを求めるもので、バルク係数の妥当性がフラックスの算定結果を左右する。

$$H/\rho c_p = C_H U (T_s - T) \quad (2)$$

$$E/\rho = C_E U (q_s - q) \quad (3)$$

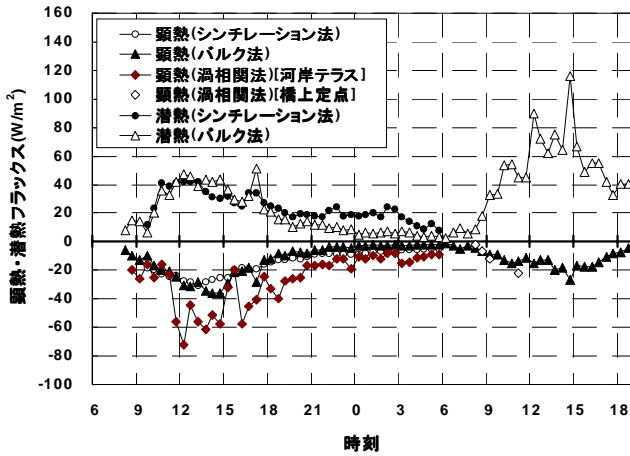


図6．各種測定法による顕熱・潜熱フラックスの時間変化

ここで、 C_H ：顕熱に関するバルク係数， C_E ：蒸発に関するバルク係数， T_s ：水表面温度（ $^{\circ}C$ ）， q_s ： T_s に対応した飽和比湿（kg/kg）
 E ：蒸発量（kg/m²・s）， U ：ある高度の風速（m/s）， T ：ある高度の気温（ $^{\circ}C$ ）， q ：ある高度の比湿（kg/kg）をあらわす。

バルク係数については、中立時の値を

$$C_H \doteq C_E \doteq 1.2 \times 10^{-3} \quad (4)$$

とし、安定度に関する補正には以下の近藤（1992）を用いた¹⁷⁾。
 すなわち、安定度を表す助変数として次式を用い

$$S = S_0 \{ |S_0| / (|S_0| + 0.01) \} \quad (5)$$

$$S_0 = (T_s - T) / [U^2 \{1.0 + \log_{10}(10/z)\}^2] \quad (6)$$

安定のとき、($T_s - T < 0$)

$$C_{HD} / C_H \doteq C_{ED} / C_E \doteq 0.1 + 0.03S + 0.9 \exp(4.8S) \quad (7)$$

$$-3.3 < S < 0$$

なお、 C_{HD} 、 C_{ED} は、安定度を考慮した場合のバルク係数¹⁾。 z は風速 U の測定高度(m)を表すが、ここでは橋上定点（水面上 10m）の値を用いた。

図6に、それぞれの算定法による顕熱フラックスの変化を示す。期間を通して顕熱フラックスは負の値、すなわち水体がヒートシンクとなっている向きである。シミュレーション法とバルク法の値は非常に良く一致しており、橋上定点の渦相関法の値もバルク法とほぼ一致している。それに対して、河岸テラスにおける渦相関法は他

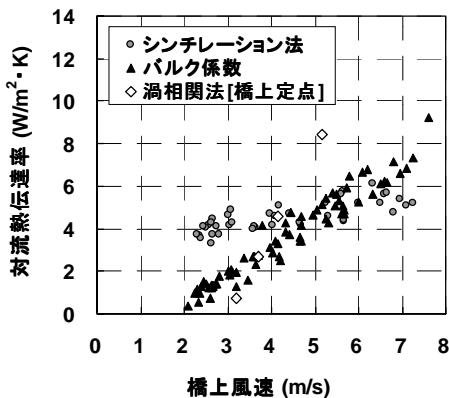


図7．対流熱伝達率と橋上風速の関係

の方法よりやや絶対値が大きく過大評価となっている。これは水際という測定位置による影響で、テラスや市街地からの暖気の流入で局所的に鉛直方向の温度勾配が大きくなっていることが原因と考えられる。なお、顕熱フラックスの絶対値は日中でも 50W/m² 以下で、放射フラックスに比べると非常に小さな値となっている。

図7は、シミュレーション法と渦相関法による顕熱フラックスから求めた対流熱伝達率と、使用したバルク係数を対流熱伝達率の形に変換した値を、各々風速に対してプロットしたものである。また、熱伝達と物質伝達のアナロジー²⁾を適用して、これらの熱伝達率から物質伝達率を求め、蒸気圧差の変化（図5）から潜熱フラックス（LE）を算出した。その結果は、先の図6に併せて示している。比較的曇りがちであった2日目のLEの方が1日目より大きくなっている原因は、図5からもわかるように2日目の水温がわずかながら高かったためである。

図7によれば、顕熱フラックスの変化では絶対値が小さかったため顕著に現れなかったが、熱伝達率で比較するとシミュレーション法による結果は風速に対する傾きが小さい。使用したバルク係数は、安定条件下では、弱風時に急激に小さくなる設定となっており、数の温度差でも風速 2m/s 付近で熱伝達率がほぼゼロとなる（付図）。風速の日変化を考慮すると、結果としてシミュレーション法はバルク法に比べ、日中は過小評価、夜間は過大評価する傾向となっている。シミュレーション法に関しては、ポーエン比が 0.5 以下となるような湿潤な条件下では、湿度の影響で日中のフラックスを過小評価、夜間のフラックスを過大評価する傾向があるとの報告がある¹⁸⁾。しかしながら、この湿度効果についてはまだ十分解明されていない。一方、都市内河川という今回のサイト条件を考慮すると、河川周辺に林立する建物の粗度効果により、広い水面を仮定したバルク係数に比べ、比較的弱風時でも伝達率が大きくなっていた可能性も考えられる。これらについては今後の課題である。なお、橋上の渦相関法による熱伝達率は、他の値に比べ強風時に大きくなる傾向が認められるが、算定に用いている顕熱フラックスの絶対値が 30 W/m² 以下と非常に小さくデータ数も限られるため、明確に議論できる精度ではないと考えられる。

5．河川の熱収支および周辺市街地からの移流フラックス

図8は以上の結果をふまえ、最終的に水面における熱収支各項の変化を算定した結果である。正味放射量(Rn)は(9)式により、 Q_{\downarrow} 、

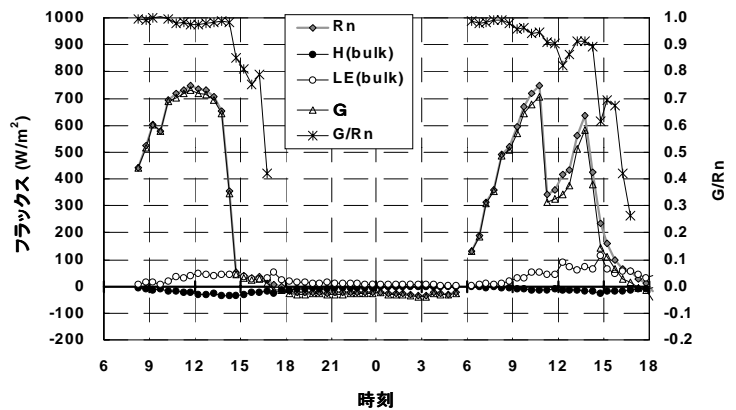


図8．水面における熱収支フラックスの時間変化

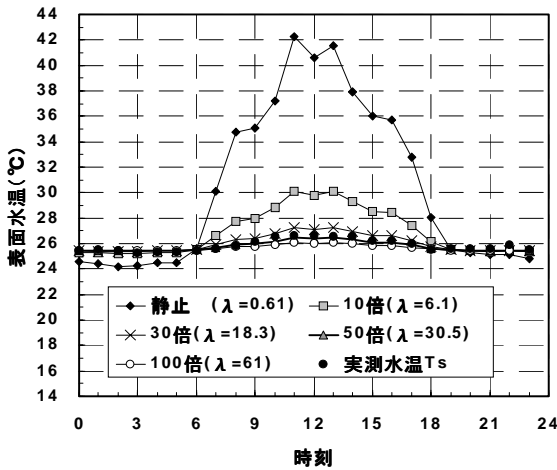


図9．河川における「見かけの熱伝導率」の推定

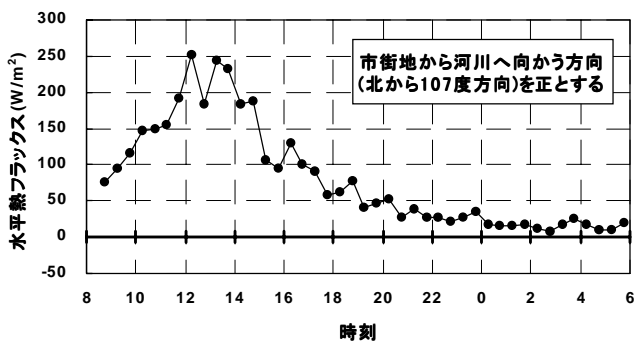


図10．市街地から河道への水平熱フラックス

$Q\uparrow$ 、 $I\downarrow$ と水温 T_s の実測値から $\epsilon = 0.96$ を仮定して算出、水体への貯熱量(G)は、バルク法の H と LE を採用し、(8)式の残差として求めた^{*)}。

$$Rn = H + LE + G \quad (8)$$

$$Rn = Q\downarrow - Q\uparrow + I\downarrow - \epsilon \sigma T_s^4 \quad (9)$$

顕熱・潜熱フラックスの値は正味放射量に比べ非常に小さく、結果的に正味放射のほとんどが水体への貯熱量となっている。その比率 G/Rn は、ほとんどの時間帯で 0.9 以上となっている。前述のように、14 時以降は Rn に局所的な建物影響が含まれていることを考慮すると、ほぼ日中を通して 0.9 以上、ほぼ 1 に近い値とみなせる。荒川の例¹¹⁾では Rn の 8 割以上が G に転換されているとしており、今回の結果は、それとほぼ同等ないしはさらに貯熱への比率が強調される結果となった。これは、主に蒸発散による潜熱フラックスの寄与で低温となっている緑地とは、表面温度が低く保たれるメカニズムが、河川では全く異なっていることを意味している。

以上のような大きな貯熱量が生じる理由は、水面では短波放射の一部が水中に透過し水体内部で顕熱に変換されること、もう一つは水体自身の混合により水体表層の熱が効果的に水体深部に輸送されることによる。通常の熱収支の取り扱いでは、水面においても日射は表面で完全に吸収されるとし、水体の温度変化を全て貯熱量 G で表現する。ここでは一つの試みとして、後者の水体の対流混合による効果を 1 次元熱伝導モデルで評価し、河川における対流混合を含んだ「見かけの熱伝導率」を求めた。結果を図9に示す。下端境

界を現地水深の 4m とし、下端では温度一定・断熱境界条件で実測値の温湿度・風速を与えて熱収支を解き、実測値の水面温度を再現する熱伝導率を推定した^{*)}。静止水体の $0.61 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ に対し、約 40 倍の値を設定した場合にほぼ実測水温が再現された。メソスケールのモデル等では、これまで河川は海洋と同じく水温一定という扱いをすることが多かったが、この値を用いれば他の地表面と同様の扱いが可能となる。ただし、算定に用いた境界条件の妥当性と他の河川への適用可能性については検討が必要である。

次に、河岸テラスの超音波風速温度計のデータを用いて、周辺市街地からの水平熱フラックスの評価を試みた。実測期間を通して、水平風速の平均流は概ね河道に沿った向きであった。従って、収録した水平直交 2 成分のデータから河岸に直交する水平成分を算出すると、その成分については平均値がほぼゼロとなる。そこで、この水平成分風速を(1)式の渦相関法の鉛直成分風速と置き換えることで、乱流による水平熱フラックスを算出した(図10)。水平フラックスの値は、日中 250 W/m^2 に達し、水面上における鉛直熱フラックスよりはるかに大きな値である。図3に示したように、河道内の気温は河口からの距離に従って上昇するが、このような現象は顕熱が負となっている河道内の熱収支だけでは説明がつかず、図10で示したような市街地からの大きな水平熱フラックスが寄与しているものと思われる^{*)}。

6．河川効果の影響範囲の把握

図11に、実測期間中の永代橋エリアにおける風速比と風配図を示す。円の大きさと風配図右下の数字が、各ポイントの橋上定点に対する風速比を表している。橋中央定点の風配図からもわかるように、期間中を通して橋上では河道に沿った南南西の風が吹いている。それに対し、河川と直交する通りでは街路に沿った南東風が吹いており、支流橋上 point 13 でも河道に沿った風が吹いている。point 14 においては、風速は弱いものの、河道を吹送する風とは逆向きの路地に沿った東北東風が卓越していた。全体的に風向は明確に定まっていたが、交差点に近くなると風向に乱れが生じている (point 11、12) なお、point 2 は水路上に位置するため、また point 9 は北側からの街路の出口に位置するため、他の地点とは異なる傾向を示している。移動カートによる街路内における 3 次元気流測定の結果 (point 9 ~ point 10 間: 図1参照) からは、街路北側で吹き降ろし、南側では吹き上げという循環流成分も観測されたが、上述の平行流成分に比べると相対的に弱いものであった¹⁹⁾。一方、図は省略するが、両国橋エリアにおいては、永代橋に比べ風向は明確には定まらなかった。街路を構成している建物の高さは両エリアともあまり変わらないが、街路の方位に若干の違いがあることが一因と思われる。

次に、河川効果の影響範囲について評価を行うため、河川効果を判定するための基準となる市街地代表気温・湿度を設定した。期間中の主風向が一定であり、また永代橋エリアでは、街路内の風向もほぼ一定であったため、冷却効果が認められなかった河川東側の平均値 (point 1 ~ 5) を市街地代表温度・湿度とした。両国橋エリアにおいても準じた形 (河川東側、point 1、2 の平均) とした。まず、市街地代表気温・湿度と橋上定点との温度差・湿度差を算定した (図12)。日中の温度差は永代橋では 2 日目の方が大きく 3 を

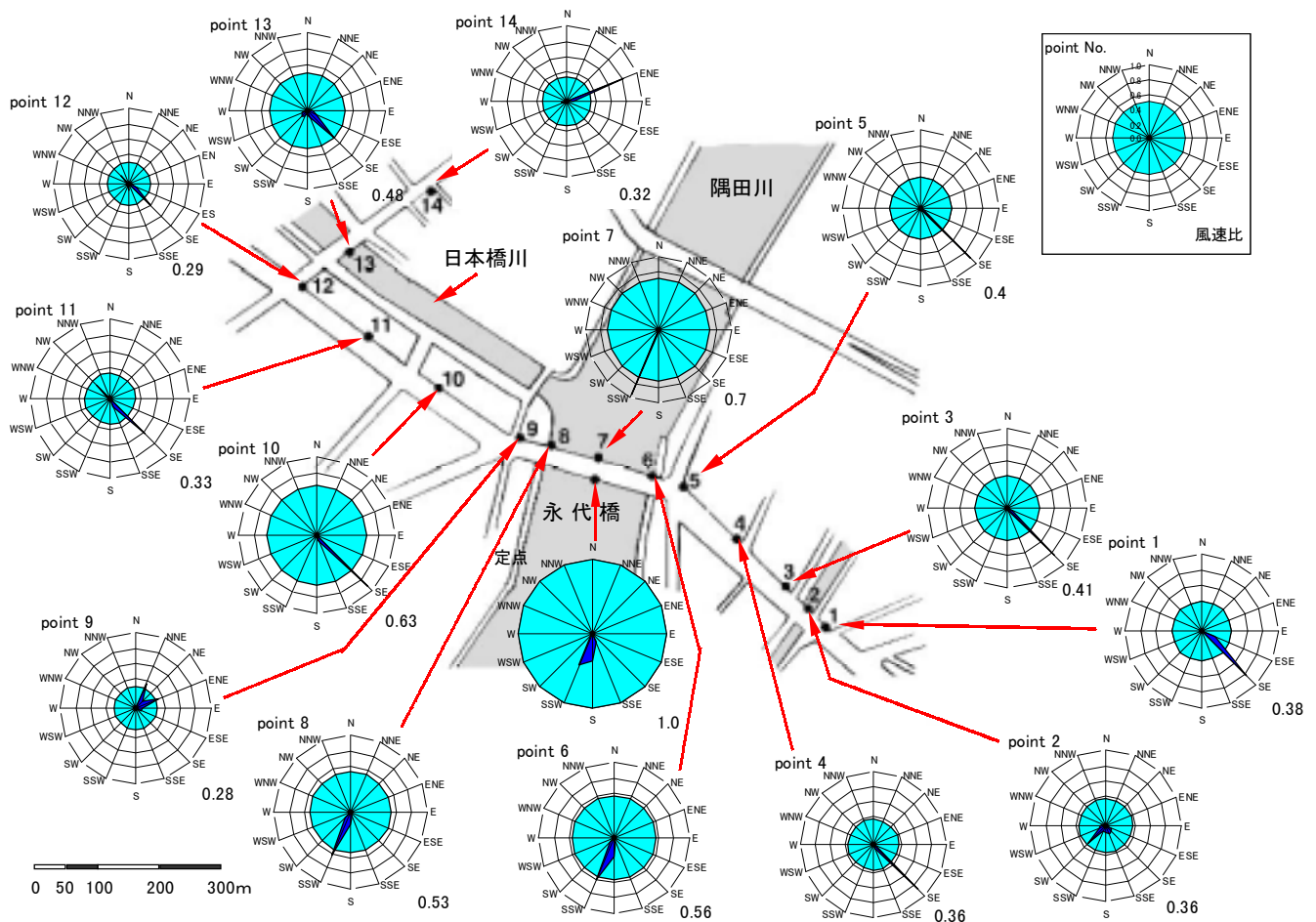


図 11．永代橋移動観測ポイントにおける期間中の風向頻度と橋上定点を基準とした風速比

を超えている。この値を基準として各ポイントの変化を温度差比・湿度差比で表し、日変化を除去した上で、風速階級別に温度差比・湿度差比の分布形状を比較した(図 13)。温度差比、湿度差比は以下の定義による。

$$\text{温(湿)度差比} = \frac{[\text{各地点の温(湿)度}] - [\text{橋上定点の温(湿)度}]}{[\text{市街地代表温(湿)度}] - [\text{橋上定点の温(湿)度}]}$$

なお、湿度差比については河川上で大きな値となるよう図 13 では符号を逆転した形で表現している。永代橋コース西側では、河川周辺の温度低下と絶対湿度の上昇が 300~400m 程度に及んでいる。

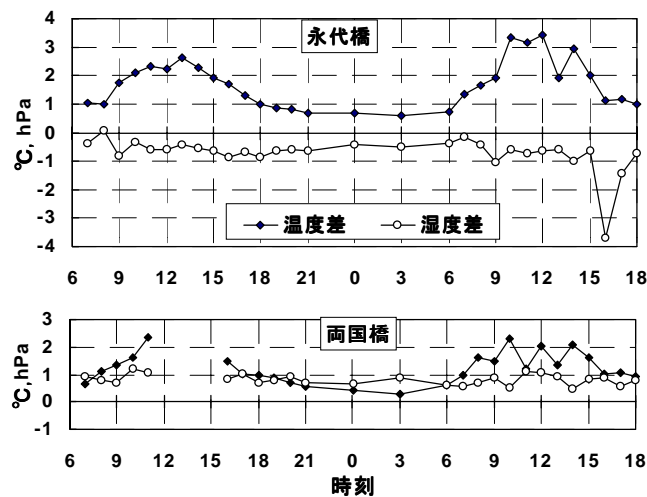


図 12．橋上定点と市街地平均との温湿度差

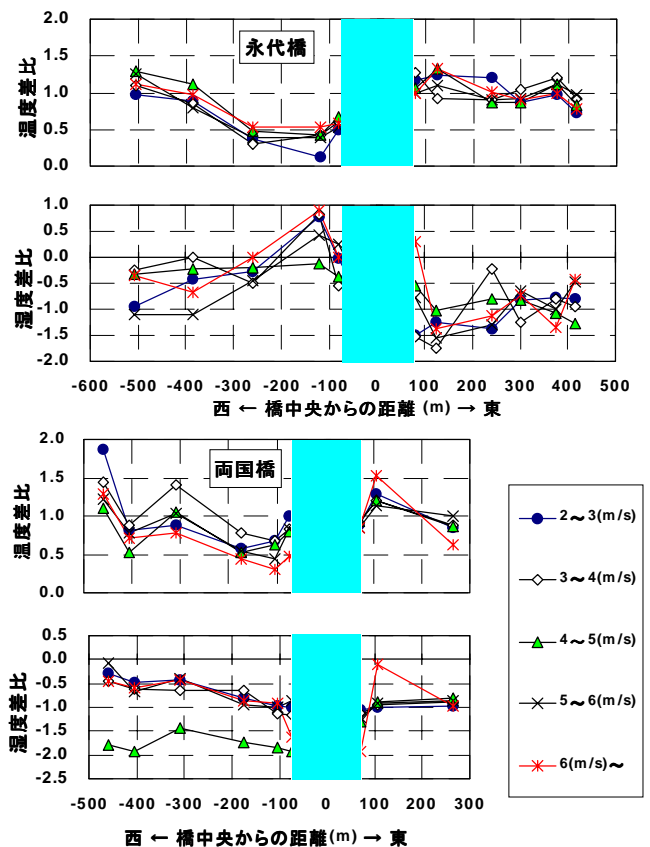


図 13．風速別の温度差比・湿度差比分布

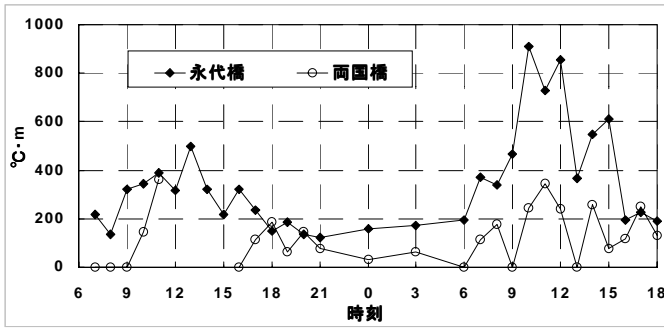


図 14 . 河川の気温低下総量の時間変化

風速が強くなるほど市街地の奥深くまで影響範囲が拡大するという変化を期待して風速階級別の解析を試みたが、風速 3m/s 以下のケースで気温低下のピークが河川近傍にやや近づくという点以外は、風速による分布形状の大きな変化は見られず、影響範囲の広がりには風速にかかわらずほぼ一定であった。

さらに、風下の西側市街地において、気温が市街地代表気温と同じ値になるまでの距離と温度差の積を用いて、風下方向に及ぼす影響総量を算定した(図 14)。これは、気温差を影響範囲に沿って積分した面積を表しており、河川の持つ冷却能力の大きさを表わす一つの指標になると考えた。比較的風通しの良い永代橋エリアの方が、河川効果の影響度も大きかった。

7. 結語

本報では、河川の位置づけを熱環境面から明確にすることを目的に、隅田川およびその周辺の実測を行った。得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1) 河川面の熱収支では河川水塊への貯熱量が大きい。これは、蒸発散による潜熱フラックスが卓越する植被面とは大きく異なる特徴である。
- (2) このような大きな貯熱は静止水体における熱伝導では説明がつかず、河川水自体の対流混合が大きく寄与している。
- (3) 市街地から乱流で河川上へ流入している水平熱フラックスは非常に大きく、河川上の気層は周辺市街地の影響を強く受けている。
- (4) 街路内の風に対して河川の風下となるエリアでは、温度低下と絶対湿度の上昇が 300~400m 程度に及んでいた。
- (5) 河川の影響範囲の広がり、風速によらずほぼ一定であった。
- (6) 河川の風下となる市街地において、気温が市街地代表気温と同じ値になるまでの距離と温度差の積で、風下方向に及ぼす影響総量を算定した。

< 謝辞 >

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(平成 12 年度、基盤研究 C: 課題番号 12650601)によるものである。なお、実測に際しては、日本工業大学の学生諸氏に多大な協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

註

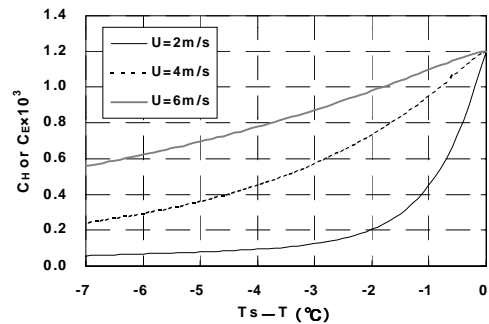
*1) 参考として、付図に式(4)~(7)で示されるバルク係数の変化を図示した。なお、今回の実測データにおけるパラメータ S は、-0.66~-0.04 となっており、式(7)の条件を満たしている。

*2) 物質伝達と熱伝達のアナロジーとしては、 $\rho_w / C = 0.83 k_w$ の関係²⁰⁾を用いた。ここで、 ρ_w : 熱伝達率[W/m².K], C: 湿り空気の比熱[J/(kg.K)], k_w : 物質伝達率[kg/(m².s.(kg/kg))]を表す。

*3) Q の実測値にはやや問題があるが、アルベドの値は今回の熱収支の結果に大きく影響しないため、ここでは実測値をそのまま用いた。また、顕熱・潜熱に関しては絶対値が小さく、いずれの推定方法を採用しても熱収支全体の考察には大きく影響しないため、ここでは 2 日間連続したデータが使用できるバルク法を採用した。

*4) 下端境界温度の設定値は 25.5 とした。はじめに実測表面温度の日平均値(25.9)を設定して計算した結果、計算値の表面温度が実測値とわずかにずれたため、両者が重なるように調整した。ここでは、見かけの熱伝達率を推定するという目的であるためこのような方法を採用した。

*5) 今回推定した乱流成分による熱輸送に対して、より大きなスケールの渦による熱輸送が全体の熱輸送にどの程度寄与しているかは不明であり、今後更なる検討が必要である。



付図 . 安定条件下でのバルク係数の変化

参考文献

- 1) 堀越哲美: 居住環境における体感と暖冷房エネルギー消費量の推定, 気候学・気象学研究報告, 16, 95, 1991
- 2) 酒井 均・中村圭一: 電力会社における気象情報の活用, 空気調和・衛生工学, 73-7, 39-45, 1999.7
- 3) 例えば、成田健一・清田誠良: 都市内緑地の環境調節効果に関する実測研究, 第 12 回環境情報科学論文集, 49-56, 1999.11
- 4) 例えば、村上周三・持田 灯・金 相進・大岡龍三: 関東地方における土地利用状況の変化と流れ場・温度場の関係 Mellor-Yamada 型の都市気候モデルによる局地気象解析, 日本建築学会計画系論文集, 第 491 号, 31-39, 1997.1
- 5) 例えば、吉田伸治・村上周三・持田 灯・大岡龍三・富永禎秀・金 相進: 対流・放射・湿気輸送を連成した屋外環境解析に基づく緑化の効果の分析, 日本建築学会計画系論文集, 第 529 号, 77-84, 2000.3
- 6) 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, 1988.11
- 7) 村川三郎・関根 毅・成田健一・西名大作・千田勝也: 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(続報) - 水平および鉛直の影響範囲の検討, 日本建築学会計画系論文集, 第 415 号, 9-19, 1990.5
- 8) 成田健一: 都市内河川の微気象的影響範囲に及ぼす周辺建物配列の影響に関する風洞実験, 日本建築学会計画系論文集, 第 442 号, 27-35, 1992.11
- 9) 片山忠久・石井昭夫・西田 勝・堤 純一郎: 海岸都市における河川の暑熱緩和効果に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 418 号, 1-9, 1990.8
- 10) 例えば、新井 正・西沢利栄: 水温論, 共立出版, pp.297, 1974.5
- 11) 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 - 都市内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, 第 479 号 / -25, 11-20, 1993.11
- 12) 武若 聡・池田駿介・平山孝浩: 数値モデルによる都市内河川の大気冷却効果のシミュレーション, 土木学会論文集, 第 479 号 / -25, 21-30, 1993.11
- 13) 鈴木智恵子: A Climatological Study of the Cooling Effects of River in Urban Heat Island (都市気候形成に対して河川の持つ冷却効果についての気候学的研究), 学位請求論文(東京都立大学), 2000.2

- 14) 片山忠久・石井昭夫・西田 勝・堤 純一郎・森川明夫・橋田光明：水面を有する市街地の熱環境に関する調査研究，日本建築学会計画系論文集，第 372 号，21-29，1987.2
- 15) Kaimal. J. C., J. J. Finnigan : Atmospheric Boundary Layer Flows, Oxford, pp289, 1994
- 16) Thiermann. V. H. Grassl : The measurement of turbulent surface-layer flux by use of bichromatic scintillation , *Boundary-Layer Meteorol.* , 58 , 367-389 , 1992
- 17) 近藤純正：水面のバルク輸送係数，水文水資源学会誌，vol.5 ,No.3 ,50-55 , 1992.
- 18) Green. A. E., Y. Hayashi : Use of Scintillometer Technique over a Rice Paddy , *J. Agric. Meteorol.* , 54(3) , 225-234 , 1998
- 19) 清田誠良・成田健一・吉原俊朗・戸田訓弘・中山昌尚・野々村善民：市街地における街路空間の気流性状に関する研究 - 広島市の東西街路における実測，日本建築学会計画系論文報告集，第 512 号，61-66，1998.10
- 20) 尾崎明仁，ほか 6 名：建物外表面の熱・水分伝達に関する実験的研究 - 風洞実験による水平試料上面の熱・水分伝達について - ，日本建築学会計画系論文報告集，第 407 号，11-25，1990.1