

市街地の熱環境に及ぼす河川の効果†

植村 明子*

Cooling Effects of the River in Urban Area

Akiko UEMURA

1.はじめに

水辺は多様な機能を有し、都市の空間形成にとって大変重要な構成要素となっているが、中でも微気象の緩和機能は悪化傾向にある都市の熱環境の改善と省エネルギーに有効であると考えられる。また、都市域に残された数少ない自然空間の一つである都市内河川に関しては、いわゆる“親水”機能をも含めた総合的な管理計画の策定が重要な課題となっている。そこで本研究では、今後の都市計画を進める上で、河川の位置づけを熱環境面から明確にすることを目的とし、隅田川およびその周辺の熱環境の観測を行った。

2.ルーチンデータによる季節別の河川の位置づけ

都市計画を進める上では年間のデータが必要である。そこで、断片的な短期間の観測を補うために、气象台（大手町）で測定した気温と、東京都で測定している水温から、年間を通して河川の状態をみる。水温データは、両国橋と永代橋の間地点で、西岸の水面から70cm下の河川水をポンプで採取して測定したものである。このデータを使用して、夏季と冬季の気温と水温の温度差を日変化で表したのが Fig.1 である。全体としては、水体が夏は冷源に、冬は熱源になっていることがわかる。しかし、夏季の夜間においてはほとんどの日でむしろ水温の方が高くなっており、天候によっては日中でも水温の方が高い時間帯が存在する。

気温と水温の温度差に影響を及ぼす主な要因は、天候の他に潮汐がある。潮汐・気温・水温の時間変化を月別に表すと、季節によって潮汐による影響の有無がみられる (Fig.2)。3月下旬から9月上旬にかけては、満潮時の水温低下、干潮時の水温上昇が見られる。12月から2月中旬の間は、僅かながら逆の傾向があったが、10・11月は潮汐の影響はあまり見られない。これは、河川水に比べ海水は熱容量が大きいため、水温の年間変動が小さいことが要因となっている。また、潮汐の影響を受けている時期でも、大潮になると水温の昇降は大きく、小潮では小さくなることわかる。

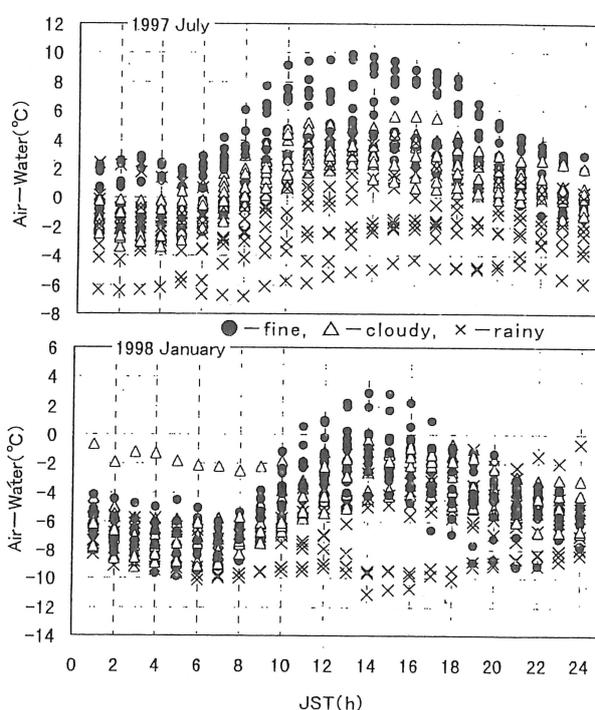


Fig.1 Diurnal variation of air-water temperature difference.

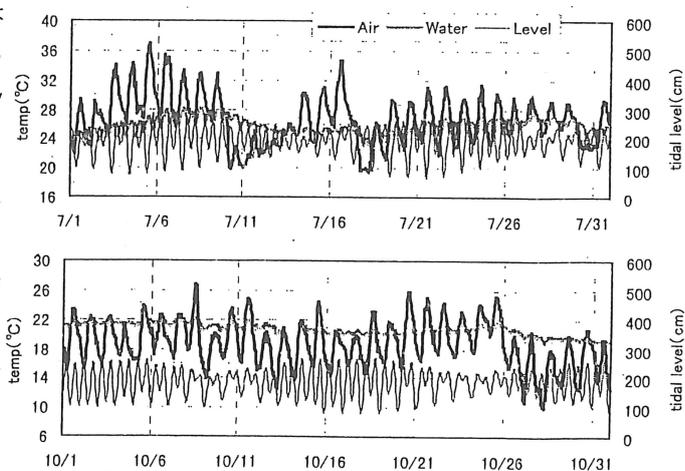


Fig.2 Time variations of air and water temperatures and tidal level.

†本研究の一部は2000年度日本建築学会大会（東北）において発表予定である。 *建築学専攻

3. 河川効果の影響範囲の観測

1) 観測概要 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。対象地域を Fig.3 に示す。測定項目はともに、温湿度、風速と目視による風向である。移動観測は各ポイントごと 3 分間測定を行い、1 分で移動した。風向は 3 分間で最も頻度の多い方向とした。移動観測と同一時間帯の定点観測のデータを用い、温度差・湿度差・風速比を求めた。

2) 街路の風系 1999 年夏季 (Fig.4) は、期間中を通して橋上では河道に沿った南風が、河川と直交する通りでは街路に沿った東風が吹いており、支流橋上でも河道に沿った風が吹いていた。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北風が卓越していた。風速比を見ると、西側の市街地が比較的大きい値を示している。全体的に風向が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)。point 10 と point 11 の間で風向の変化がみられるが、これは街路を構成している建物の高さの違いも一因している。このことから、市街地構造の違いにより河川効果の影響範囲は変化するものと判断できる。一方、両国橋コース (図は省略) においては、永代に比べ風向は明確に

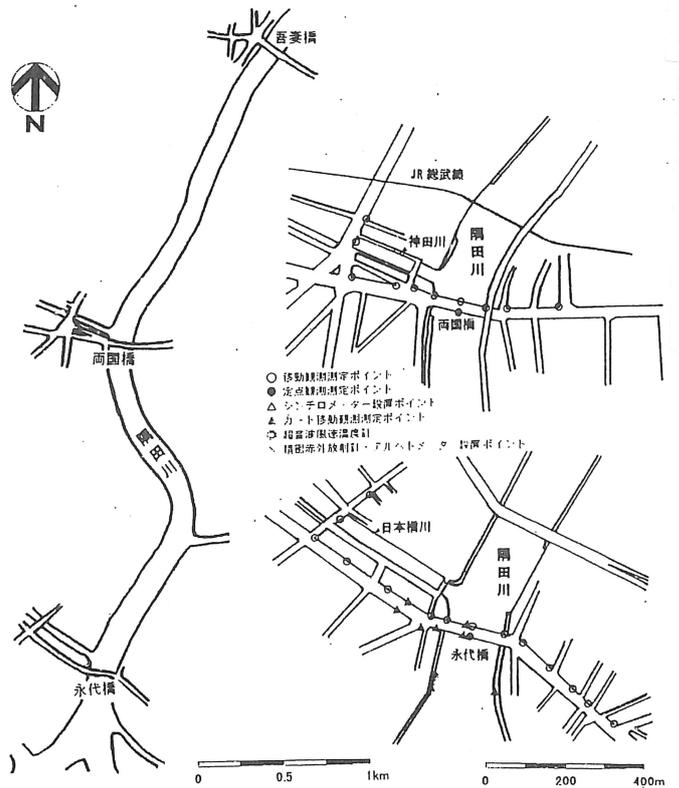


Fig.3 Observation site.

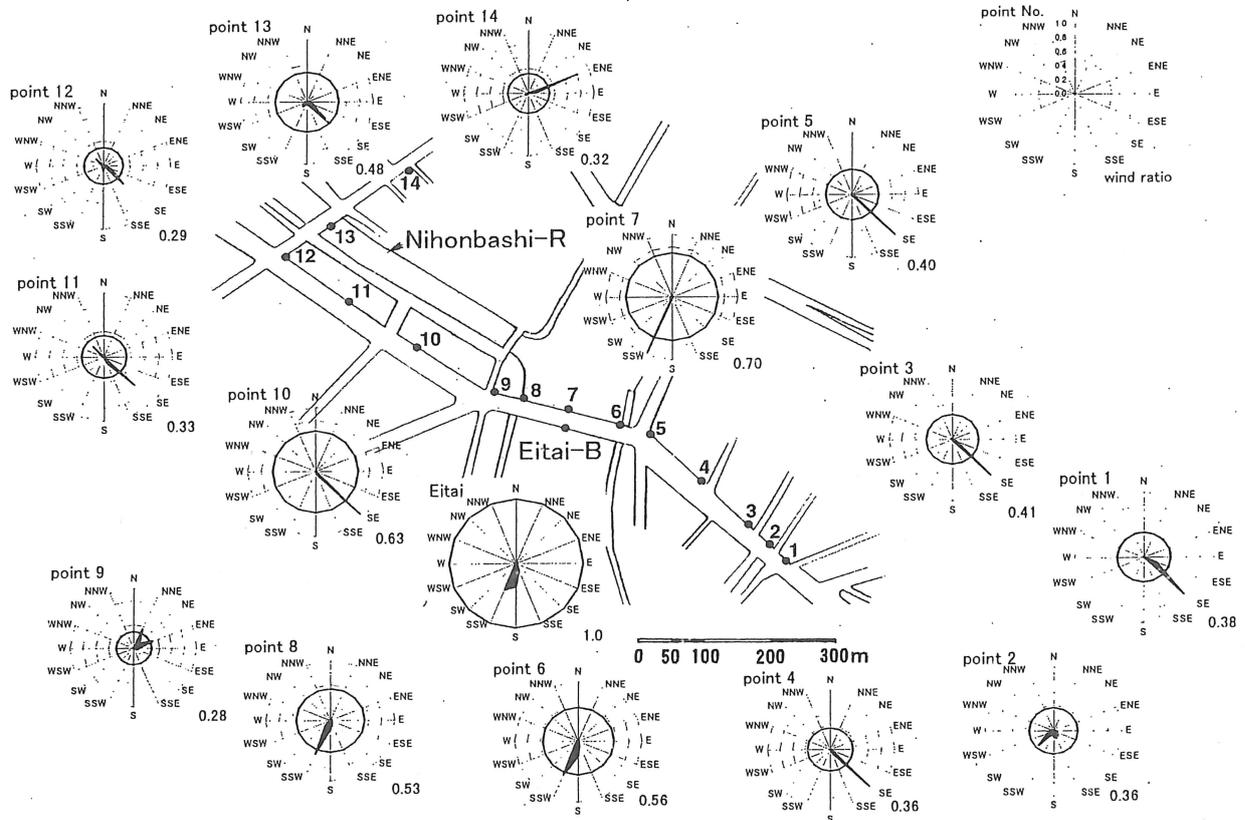


Fig.4 Wind rose and wind speed ratio along the crossing street over the Sumida river.

は定まらなかった。街路を構成している建物の高さは両コースともあまり変わらないが、街路の方位に違いがある。両国橋コースの方が河川と直交した街路であり、永代橋コースの街路は河川上を吹送する風が侵入しやすい方向へ伸びていることが一因している。

3) 街路の温湿度分布 河川効果の影響範囲について客観的な評価を行うために、河川効果を判定するための基準温度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、また永代橋コースでは、街路内の風向もほぼ一定であったため、冷却効果があまり見られなかった河川より東側の平均値 (point1~5) を市街地代表温度・湿度とした。両国橋コースにおいても準じた形 (河川東側、point1, 2 の平均) とした。まず、同時刻における市街地代表気温と橋上との温度差ならびに市街地代表湿度と橋上との湿度差を算定した。さらに、これを基準に各ポイントの変化を温度比・湿度比で表した。この方法で、日変化を除き、風速ランク別に温度比・湿度比の平均をとった分布形状を比較した。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 程度に及んでいることが明らかになった (Fig.5)。次に、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・湿度差の積で風下方向に及ぼす影響総量を算定した (Fig.6)。比較的風通しの良い永代橋コースの方が、河川効果の影響度も大きいことが明らかとなった。

4) 瞬時変動を用いた影響範囲の解析 河川効果の影響範囲を決定するための別法として、街路空間における気温・湿度と風の瞬時変動を、0.1s で追従できる応答性の良い測定器 (超音波風速温度計・赤外線吸収湿度変動計) をカートに設置し、気温・湿度の変化はどの方向からの風起因しているのかを移動観測により検討した。その結果、湿度に関しては明確な変動が見られなかったが、河川方向からの気流に伴い市街地内の気温が低下することが確認できた。

4. 河川上の熱収支観測

これまでに検証してきた河川効果の形成要因を明らかにするために、バルク法、渦相関法、シンチレーション法による河川上の熱収支を検討した。

バルク法とは、ある高度における風速、気温、湿度と水面温度ならびにバルク係数 (乱流拡散係数の積分値) を用いて顕熱量、潜熱量を求める方法である。渦相関法とは、乱流による実在量の鉛直フラックスを評価する方法で、瞬時的な状態に基礎をおいている。測器をおいたレベルを通過する渦の特性を測り、流束を

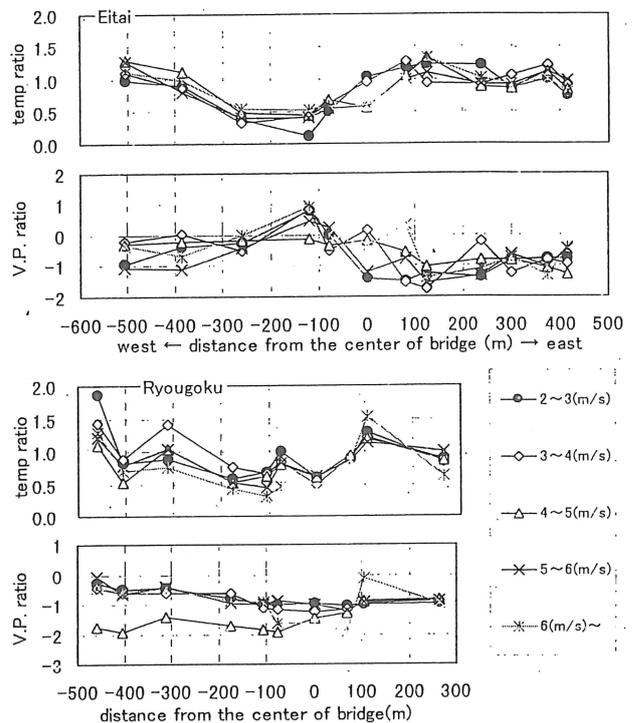


Fig.5 Distributions of temperature ratio and vapor pressure ratio.

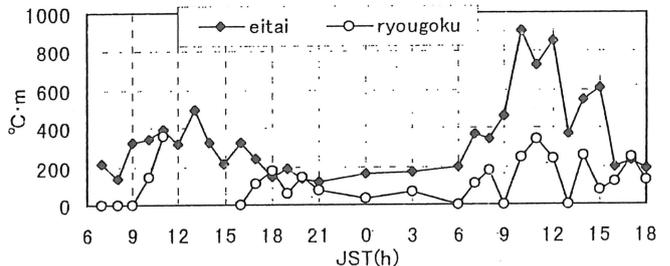


Fig.6 Time variation of total cooling amount around the river. 直接測定する方法である。シンチレーション法とは、レーザー光を用いた乱流計測計を用い、レーザーの発信器・受信器間の光路で空間平均化された乱流変動値を求める。領域平均値を算出するため、渦相関と比較して時間変動の少ない安定した結果が得られる。

なお、熱収支式は次式の通りである。

$$R_n = H + LE + G$$

$$H = \alpha_c (T_s - T_a)$$

$$LE = k_x (q_s - q_n)$$

R_n : 正味放射量 (W/m²), H : 顕熱フラックス (W/m²)

LE (L : 水の気化熱, E : 蒸発量): 潜熱フラックス (W/m²)

G : 水中への伝導熱フラックス (W/m²)

α_c : 熱伝達率 [W/(m²·K)], T_s : 水面温度 (°C), T_a : 気温 (°C)

k_x : 物質伝達率 [kg/m²·s·(kg/kg)]

q_s : T_s に対応した飽和比湿 (kg/kg), q_n : T_a の絶対湿度 (kg/kg)

Fig.7 をみると、シンチレーション法・バルク法・橋

上での渦相関法による顕熱フラックスの値はおおよそ一致している。この結果から、水面上における顕熱は日中を通して負の値をとり、周辺空気を冷やしていることが確認できる。対流熱伝達率と橋上の風速との関係を Fig.8 に示す。シンチレーション法やバルク法で求めた値は、弱風時以外ではおおよそ一致している。

次に、潜熱フラックスを求めるために、物質伝達率と熱伝達率のアナロジーとして次式を用い、物質伝達率 (k_y) を求めた。

$$\alpha_c / C = 0.83 k_y$$

C : 湿り空気の比熱 [J / (kg · K)]

上式で求めた k_y から算出した潜熱フラックスの絶対値は、顕熱フラックスよりも若干大きい値となった。

以上で求めた値を熱収支式に代入し、残差として得られる水中への伝導熱量を求めると、正味放射量とほぼ同程度の量に達している (Fig.9)。これは、河川の水塊の貯熱量が大きいことを示し、水面では蒸発による潜熱よりも、水中への貯熱により周辺空気層の加熱を抑制する (あるいは冷却する) 機能が大きいことがわかる。

Fig.7 では、河岸テラスの渦相関による顕熱フラックスのみが他の測定法による値と異なっていた。そこで、河岸テラスで測定した超音波風速温度計のデータを用い、水平面内で主風向に直交する方向の乱流による熱フラックスを算定した (Fig.10)。市街地から乱流で河川上に流入している水平熱フラックスは、鉛直方向の顕熱フラックスよりもはるかに大きい値となり、無視できる値ではないことがわかった。

5.まとめ

河川と直交する街路における河川効果の影響範囲を移動観測により検討した。その結果、河川周辺の温度低下と絶対湿度の上昇が 300~400m 程度に及んでいることが確認できた。しかし、この影響範囲は周辺市街地の構造により大きく変化した。

冷却効果の影響範囲を決定するための別法として、街路空間における気温・湿度と風との関係を調べた。気温・湿度の変化はどの方向からの風に起因しているのかを検討した結果、湿度に関しては明確な変動が見られなかったが、河川方向からの風に伴って市街地内の気温が低下することが確認できた。

河川上の熱収支については、水中への貯熱が熱収支を支配していることが明らかとなった。また、周辺市街地から河川上への乱流による水平熱フラックスは鉛直方向の熱フラックスより大きく、河川上の微気象に大きく影響していることが明らかとなった。

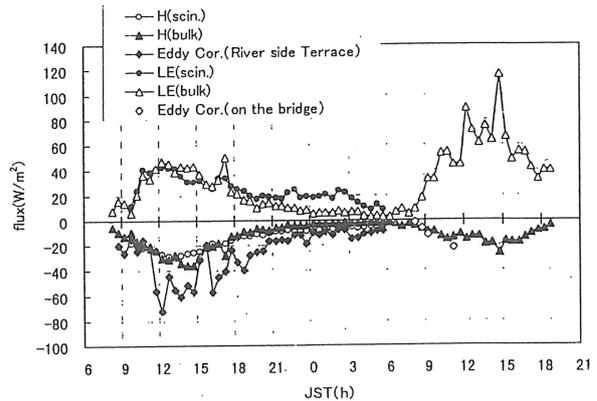


Fig.7 Sensible and latent heat flux over the water surface by several estimation methods.

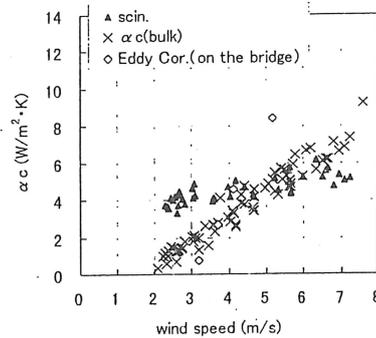


Fig.8 Relation between convective heat transfer coefficient and wind speed.

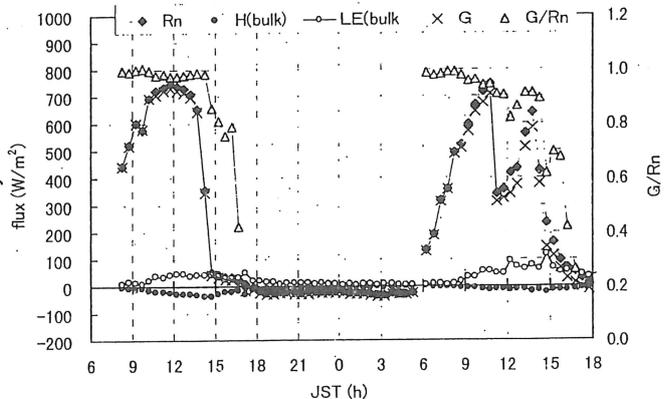


Fig.9 Heat budget over the water surface.

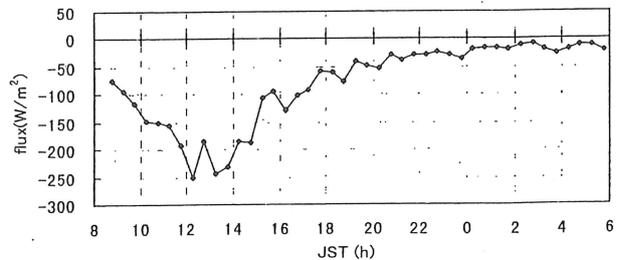


Fig.10 Horizontal sensible heat flux at river side terrace.

審査委員 (主査) 助教授 成田 健一
 審査委員 (副査) 教授 市橋 重勝
 審査委員 (副査) 教授 伊藤 庸一