

都市河川，運河が周辺市街地の熱環境に及ぼす効果

The Cooling Effect of the River and the Canal on
the Micro-climate in Urban Area

菅 和利*，河原能久**

By Kazutoshi KAN and Yoshihisa KAWAHARA

To evaluate the effect of river and canal on thermal environment, we performed the field observation at the Tama River and the Shibaura Canal. The detailed measurement of vertical temperature distribution within the river and the canal and measurement of urban temperature along the street crossing the river and the canal were carried out and horizontal extent of cooling effect were confirmed by these observation. In the Tama River, the cooling effect is restricted in day time, while in the Shibaura Canal, this cooling effect appeared in night time.

Keyword: thermal environment, cooling effect, urbanization

1. はじめに

都市の中に残されたオープンスペースとしての河川，運河は貴重な親水空間であり，都市化の進展の激しい地域においては総合的な整備の対象として注目されている。河川に近い地域では夏季の涼しい風を享受でき，また郊外は都心に比べて数度の気温の低下が見られるなど，熱環境は都市の構造，緑，水域の存在によって強く影響されている。人口エネルギーの消費が集中する東京のような都市においては，舗装面積の増加も相まってヒートアイランド現象が出現し，夏季の熱帯夜の継続日数を増加させるなど，熱環境は悪化している。都市の中に残された水域に海風を呼び込める都市河川は，水空間の視覚的，心理的效果に加えて，夏季の冷源としての働きを有しており，広い河道空間を吹く風によって周辺地域の気温緩和をもたらすことが観測によって指摘されている。著者らが行った河川周辺の気温分布の測定によっても，河道付近では気温が低い結果を得ており，熱環境への河川の効果を示している。しかし，この効果は周辺部の地形，都市構造に影響されており，従来の観測においても必ずしも十分な観測データが蓄積されているとは言えない。都市の中に残された水域の微気象への効果を積極的に評価し，これを都市環境の改善の方策に生かせるため

* 正会員 芝浦工業大学助教授 工学部土木工学科
(〒108 東京都港区芝浦3-9-14)

** 正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科
(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

には、色々なタイプの水域での熱的効果を定量的に評価する事が必要である。

本研究では水域が周辺市街地の夏季微気象に及ぼす効果を現地観測によって定量的に評価するために2種類の気温観測を行った。

①周辺部の気温に与える水域の効果を把握するために、河道のすぐそばまで住宅地が密集している河川鶴見川と、ビル街の中に掘り込み河川のような芝浦運河を対象に、周辺部での気温分布を測定した。

②冷源として働く水面、高水敷の効果を評価するために河道横断内の温度分布測定を実施した。広い高水敷と自然河川の様相を多く残している多摩川と、また芝浦運河で運河に沿って公園が整備された地点とを対象に行った。

いずれの観測も24時間実施し、水域の効果の時間変化について検討を行った。

2. 現地観測の概要

鶴見川流域での面的な観測では、道路網を利用して数ルートを4台の自動車で移動しながら、車に固定したサミスター温度計により定点観測を行った。発砲スチロール製の円筒内にセンサー部を固定し、日射を遮蔽して、自動車のルーフから突き出した棒に固定し、各点1時間間隔で測定した。芝浦運河の測定では、自転車による移動定点観測を行った。鶴見川と同様のセンサーを用い、地上から0.5mと1.5mの高さで気温を測定した。

多摩川での河道内と芝浦運河の断面内の鉛直温度分布は上記の遮蔽円筒サミスター温度計を塩ビパイプに固定し、橋の上から吊して移動しながら測定をした。測定点の高さは水面あるいは高水敷から0.3m, 0.8m, 1.5m, 2.5m, 3.5m, 4.5m, 5.5m, 6.5mとし、多摩川では河道内20測線、芝浦運河では22測線での測定を行った。多摩川の観測地点は河口から10.5kmの感潮区間にあり、潮汐と共に橋からの距離が変化するが、平均約11mあったために水面から橋の高さまでは測定出来なかった。高水敷上では地上0.3mから橋の高さまで測定が可能であった。河道内の測定に併せて橋上0.5mと2.0mの高さでも同時に測定を行った。さらに河道の影響範囲を測定するために橋に沿った道路での定点観測を同時に行った。測定間隔は3時間とし24時間観測した。運河の測定は運河に沿って階段護岸、公園が整備されている区間の橋を利用して運河部分の測定を行った。また、運河部分以外は塩ビ管を鉛直に立てて測定を行った。

運河の観測では赤外線熱画像装置(日本アビオニクス TVS-2000ST)を用いて地表面、道路面の温度分布をも測定した。またこの気温測定とは別に、多摩川高水敷の整備に伴う地表温度の変化を熱画像で測定した。

これらの一連の現地観測は、色々なタイプの水域の熱的効果の測定結果を比較することにより、今後の水域の整備の在り方への資料を提供する事を目的としている。ここでは紙面の都合で、冷源とし働く水面、高水敷の効果を測定した河道内、運河内の鉛直気温分布についての結果を示すこととする。

3. 観測結果

(1)河道、運河断面内の気温分布

冷源として働くであろう河道内の温度分布についてまず検討する。観測日の1992年9月2日、3日は終日強い海風が河道に沿って吹いていた。図-1は多摩川での日中、夜間の代表的な温度分布を示したものである。13時の温度分布によると低水路部分はほぼ一樣な分布をし、高水敷、水際では温度勾配が急で複雑な形をしている。他方夜間は高水敷も含めて河道内はほぼ一樣な分布をしている。日中、夜間での平均の効果を見るために、5~17時を日中平均、19~3時を夜間平均として温度分布を示したのが図-2である。図-2は橋に沿って600m市街地に入った地点での気温を市街地気温の代表値(T_s)と仮定し、この気温との偏差 $T - T_s$ の気温コンタを示したものである。日中平均での河道内低水路部分の水面に近い領域での気温は周辺市街地

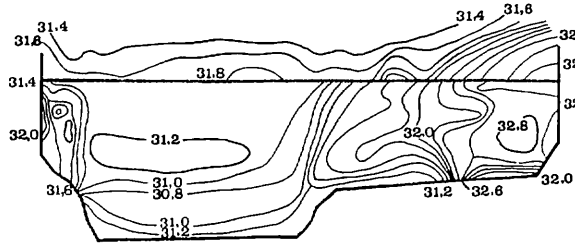


図-1 (a) 多摩川気温分布 (13時)

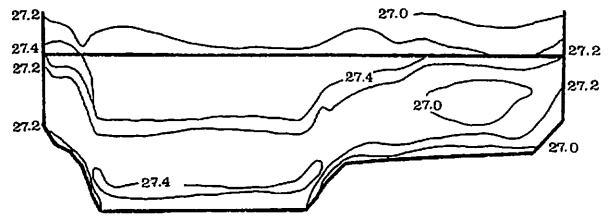


図-1 (b) 多摩川気温分布 (0時)

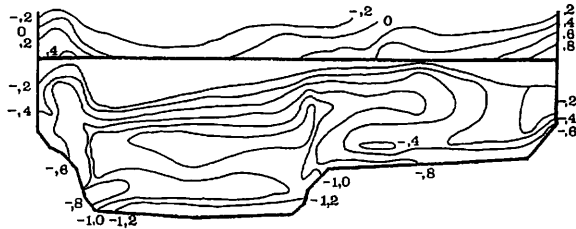


図-2 (a) 市街地気温との偏差 (日中平均)

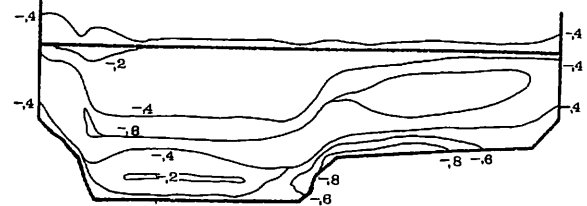


図-2 (b) 市街地気温との偏差 (夜間平均)

に比べて $1.2 \sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 低く、高水数でも $0.8 \sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 低く、河道内全体が市街地より低温である。このように河道内の気温は市街地に比べて低く、冷源として作用していることが分かる。また夜間平均では日中平均ほどの低温効果は見られず、特に低水路部分の気温と市街地との気温差が小さくなり、むしろ高水数の地表近くに低温部分が広く存在し、冷源としての効果大きい。一日平均においても河道内は $0.8 \sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 低かった。

次に芝浦運河での日中平均の気温分布を示したのが図-3である。図-4は運河にかかる橋の中央、橋上 2.0m の地点の気温 T_{bs} との偏差 $T - T_{bs}$ の日中、夜間平均を示したものであるが、日中は運河部分とそれに隣接する公園、道路部分では気温が大きく異なることを示している。運河部分は橋上気温に比べて低いが、公園部分は高く、水域の効果よりも地表面温度に支配されていることを示している。観測日の1992年9月4日、5日に風が弱かったことがこの結果となった一因と思われる。水際の階段護岸の部分が高温であったのは意外であった。タイルを張った構造は景観的には優れているが、熱環境的には劣っていることを示している。夜間には一様分布に近くなる。

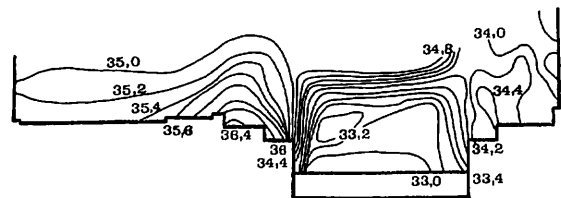


図-3 芝浦運河気温分布 (日中平均)

広い高水数と海風の通り道となる多摩川と比べ、都市内のビルに囲まれた運河では海風を呼び込む能力が低い、冷源としての効果を有している。しかし、この効果は運河に近接した領域に限られようである。

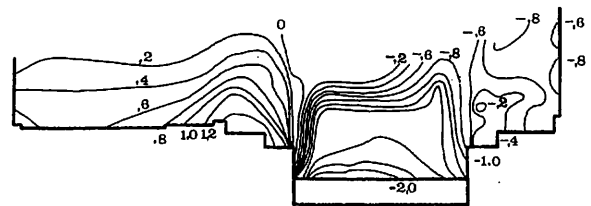


図-4 (a) 橋上と運河内との気温偏差 (日中平均)

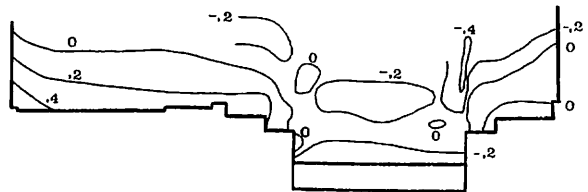


図-4 (b) 橋上と運河内との気温偏差 (夜間平均)

(2) 河道内気温の構造

多摩川、芝浦運河にかかる橋中央地点での鉛直温度分布の時間変化を示したのが図-5である。上段は各高さでの気温の橋上気温 T_{bs} からの偏差を示し、下段は水面温度 $T_{us} - T_{bs}$ を示したものである。図中の▲の記号は負の偏差を表わし、三角形が大きいほど橋上気温からの偏差が大きいことを示している。多摩川、芝浦運河共に、水面温度が橋上気温に比べて低くなるに従って鉛直気温分布も橋上気温より低くなることを示している。芝浦運河の方が水面温度と橋上気温との偏差が大きく、それに従って運河内気温は水面温度の

偏差が逆転する夜間以外は低温を示している。また、多摩川の高水敷での同様な分布を示したのが図-6(a)である。高水敷の気温も水温の変化につれて同様な変化を示している。他方芝浦運河に沿った公園での分布を示した図-6(b)では、気温の変化は水面温度の変化に追従しておらず、公園には運河の熱的効果が直接作用していないことを示している。水面温度、水面直上の気温、橋上気温の相関を見るため $T_{ws} - T_{bs}$ を横軸に、 $T_{0.3} - T_{bs}$ を縦軸にして各時刻のデータをプロットしたのが図-7である。図中○は日中、●は夜間を表わしている。多摩川の場合には、水面温度と橋上気温との偏差が 2°C を越えるまでは水面直上の気温の変化が出現しないが、この値を越えると水温の低下と共に直上の気温が低下し、水面の冷源としての効果を示している。他方、芝浦運河では水温の変化に直上の気温が直接対応して変化している。高水敷、運河沿い公園での同様な整理を図-7(b)、(d)に示した。この図では縦軸が地表面上0.3mの地点の気温と橋上気温との偏差である。多摩川高水敷では低水路と同様な結果が得られたが、運河沿い公園では全く異なっていた。これは前述したように、水温偏差の大きくなる日中に公園のタイルが高温になるためである。

データをプロットしたのが図-7である。図中○は日中、●は夜間を表わしている。

多摩川の場合には、水面温度と橋上気温との偏差が 2°C を越えるまでは水面直上の気温の変化が出現しないが、この値を越えると水温の低下と共に直上の気温が低下し、水面の冷源としての効果を示している。他方、芝浦運河では水温の変化に直上の気温が直接対応して変化している。高水敷、運河沿い公園での同様な整理を図-7(b)、(d)に示した。この図では縦軸が地表面上0.3mの地点の気温と橋上気温との偏差である。多摩川高水敷では低水路と同様な結果が得られたが、運河沿い公園では全く異なっていた。これは前述したように、水温偏差の大きくなる日中に公園のタイルが高温になるためである。

(3)冷源としての市街地への効果

水面温度の変化に伴って水面、地表近くの気温が変化することが分かったが、この冷源効果が堤防を越えて市街地にどの程度影響しているかを検討するために、橋上中心2mの高さの気温と市街地気温との偏差の日変化を示したのが図-8である。多摩川では橋上を通過して吹いている風の温度は終日市街地に

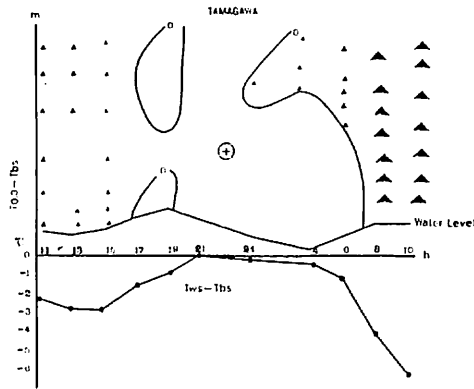


図-5(a) 鉛直温度分布の時間変化
多摩川低水路

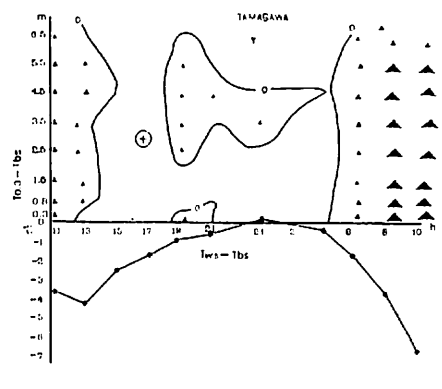


図-6(a) 鉛直温度分布の時間変化
多摩川高水敷

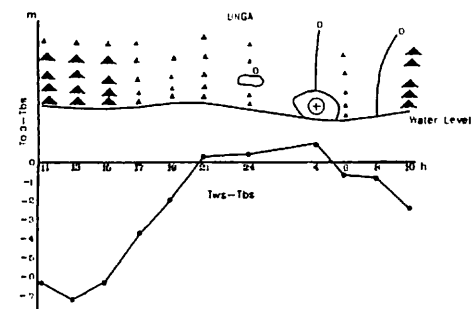


図-5(b) 鉛直温度分布の時間変化
芝浦運河水路部分

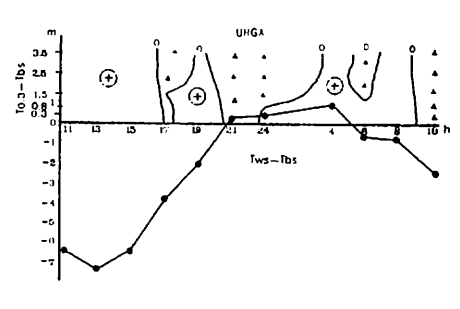


図-6(b) 鉛直温度分布の時間変化
芝浦運河沿い公園

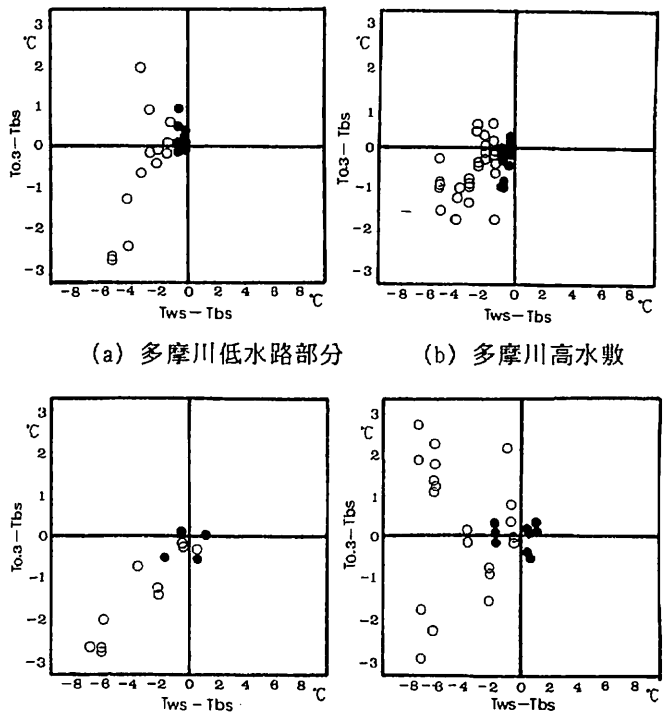
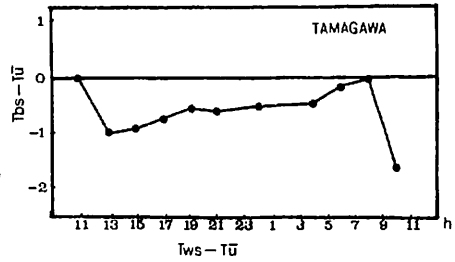
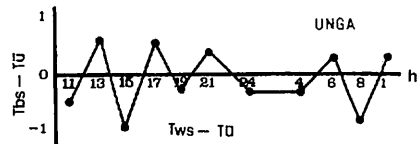


図-7 水面温度と直上気温との相関
(a) 多摩川低水路部分 (b) 多摩川高水敷
(c) 芝浦運河水路部分 (d) 芝浦運河沿い公園

比べて低温で、河川の冷源効果が風によって市街地に運ばれていることが分かる。この効果は強い海風の吹く日中の方が弱い陸風の吹く夜間に比べて相対的に大きくなることを示している。芝浦運河では卓越した海風は観測されず風が弱かったために、橋上が周辺に比べて卓越的な低温には成らなかった。図-7(c)に見られるように運河も冷源としての効果を有しているが、その効果が橋の上まで及ばなかったのは風が弱かった為と思われる。このように冷源効果が市街地にまで及ぶためには風の存在が重要であり、市街地に海風を導く都市構造の重要性を示している。図-8と同様の内容を視点を変えて見たのが図-9である。横軸は市街地気温と水面温度との偏差で、縦軸は橋上2mの気温と市街地気温との偏差を示したものである。多摩川の結果では、市街地気温が水面温度に比べて低温の場合には、橋上の気温が市街地温度に比べて低いことを示しているが、芝浦運河では水面温度の偏差と橋上気温との相関が低く、市街地への冷源効果の影響が低いことを示している。図-10は赤外線熱画像装置で測定した日中と夜間での運河と周辺の表面温度の横断分布を示したものであるが、日中には公園のタイル部分が高温で、気温が地表面温度に支配されていることを示している。また、夜間には大きな天空率による放射冷却によりこの部分の温度低下が大きく、横断的に一様化している。



(a) 多摩川



(b) 芝浦運河

図-8 橋上気温と市街地気温の偏差

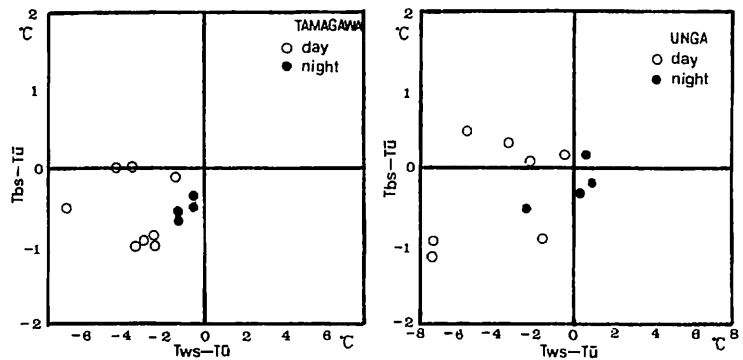


図-9 橋上気温と水面温度の相関 (a)多摩川 (b)運河

(4)河川、運河の冷源効果の影響範囲

以上示したように広い高水敷を有する多摩川は市街地気温と比べて河道内、橋上共に低温で、市街地に対して冷源としての効果を有している。またこの効果は日中の方が大きいことが分かった。この効果が市街地のどの距離まで及んでいるかを知るために、鉛直温度分布を測定した橋に沿って河川に交わる道路を自転車で移動しながら定点で気温を測定した。日中平均、夜間平均の各定点での気温を示したのが図-11、12である。多摩川日中平均では、左岸、右岸の交差点では周辺より気温が高くなっている。左岸側の道路は歩道に木が植わっており、各測点は木陰に位置するため右岸に比べて低温であるが、河川に近づくに従って気温が低下している様子が知られる。日中は河川から市街地に向かって風が吹いており、河川の影響は測定範囲の600m以遠にまで及んでいた。他方、右岸側は風が河川に向かって吹いていたために、河川の冷源効果が伝わっていない結果となっている。運河では公園部分の高温が目立ち、冷源効果はこの部分には影響していない。夜間平均での同様な効果を示した図-12によると、多摩川では冷源効果の市街地への効果は低くなり、影響範囲も河川にごく近い200mの範囲に限定されている。これは夜間の弱い陸風と、市街地気温と水面温度の偏差の減少によるものと思われる。他方、芝浦運河では日中とは反対に公園部分の気温が低下し、公園部分に冷源効果の影響がみられる。

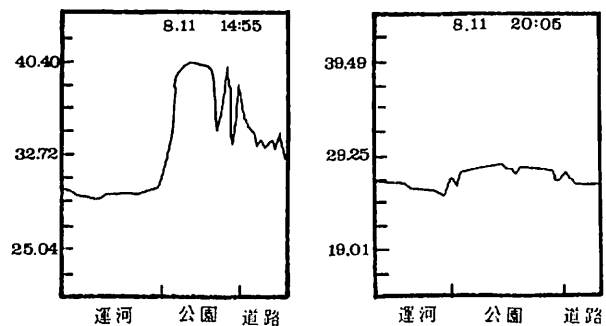


図-10 運河での表面温度(赤外線熱画像)

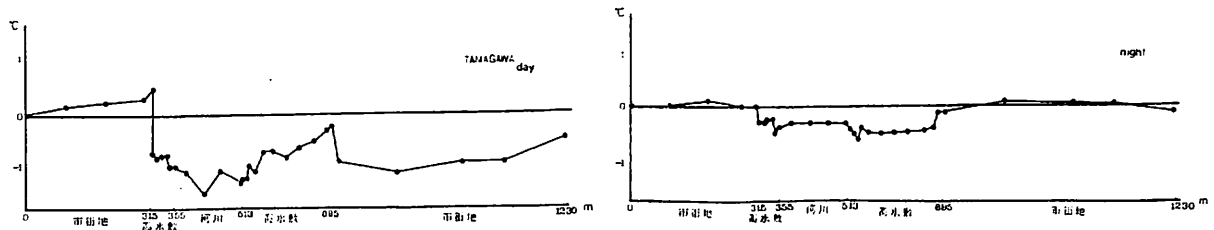


図-1 1 市街地との気温偏差の横断変化 (多摩川) (a)日中平均 (b)夜間平均

4. 結論

河川、運河の有する夏期の冷源としての効果を定量的に把握することを目的として、タイプの違う水域である高水敷の広い多摩川とビル街に残され運河において気温の鉛直分布、熱画像

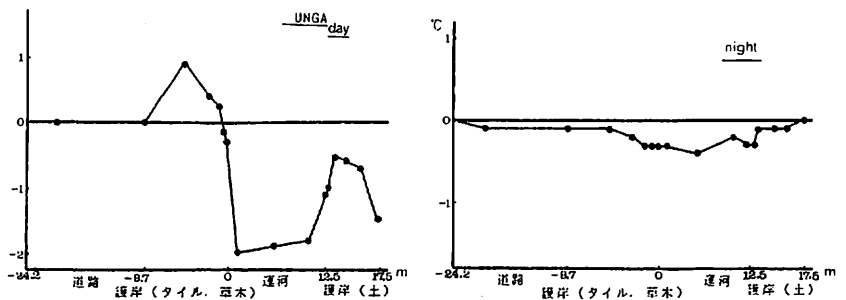


図-1 2 気温偏差の横断変化 (芝浦運河) (a)日中平均 (b)夜間平均

の測定を行った。その結果として以下のことが得られた。

- 1) 高水敷の広い多摩川の河道内気温の日中、夜間それぞれの平均は市街地気温に比べて低く、河川が市街地に対して冷源として働いている。この効果は海風の影響を強く受けている。
- 2) ビル街の芝浦運河でも運河内は周辺に比べて気温が低い、海風の効果が小さく、日中は水際を離れるとすぐに高温になり影響範囲が運河内に限られていた。
- 3) 多摩川、芝浦運河ともに水面温度、水面直上0.3mの気温の橋上気温からの偏差は正の相関を示しており、水面が冷源として作用していると判断できる。高水敷上0.3mの地点の気温と水面温度との関係も同様に正の相関を示した。
- 4) 水面の冷源効果は水面温度から、河道内、橋上、市街地の気温へと影響が伝播しており、その効果の強さは海風の強さ、風向に大きく影響される。
- 5) 運河では運河沿いの公園のタイル部分の気温が高く、日中の冷源効果が見かけ上消滅していた。
- 6) 多摩川では冷源効果が市街地に及ぶのは日中に限られ、河川からの風を受ける市街地方向では道に沿って600m以遠まで効果が及んでいた。芝浦運河では夜間にのみ冷源効果が見られ、その影響範囲は運河沿いの公園部分に限られていた。

謝辞 現地観測では園部、甲斐、川又、秋山君を始めとする芝浦工業大学、東京大学の学生諸君に多大の協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 村川三郎, 関根 毅ら: 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報告集, Vol. 393, pp. 25-34, 1988
- 2) 村川三郎, 関根 毅ら: 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), 日本建築学会計画系論文報告集, Vol. 415, pp. 9-19, 1990
- 3) 片山忠久ら: 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報告集, Vol. 418, pp. 1-9, 1990
- 4) 武若 聡, 池田駿介ら: 都市河川が周辺地の気候に及ぼす効果, 環境システム研究, Vol. 20, pp. 33-40, 1992
- 5) 北川 明ら: 河川周辺の気候の快適性, 土木技術資料, Vol. 31, No. 10, pp. 38-43, 1989