

# 河川の気象緩和機能についての基礎的検討

研究第二部 主任研究員 森 貴 史

## 1. はじめに

近年、世界においては平成2年の「地球温暖化防止行動計画」、平成3年の「リオデジャネイロ・サミット」等の一連の動きに見られるように、環境に関わる問題は以前にも増して国民の注目を集めるものとなっている。

又、日本国内の各都市においても人口の一極集中による大気汚染、温暖化（ヒートアイランド現象）、酸性雨等の環境汚染が大きな問題として取り上げられ、身の回りから地球規模に至るまで、良好な環境の保持と創出に積極的に取り組むことは今後の社会において最重要の課題となっている。

この様な状況の中で最近、都市の中での水辺（海、河川、池等）や緑が都市環境の保全に大きな効果があることに注目が集まっており、各研究機関において様々な実験・研究がなされ、その成果が報告されている。

本検討においては特に都市の温暖化（ヒートアイランド現象）とその緩和に効果があるとされる都市河川に注目して、各研究機関、研究者の研究成果、資料を収集し、現在までの知見を整理するとともに、都市河川が都市の熱環境に及ぼす効果とその実態を明らかにし、また、今後の河川のありかた、課題を抽出することとした。

## 2. 都市の熱環境

### 2.1 ヒートアイランド現象

ヒートアイランド現象は都市を含む地域の気温の等値線を描くと、等高線で書いた地図上の島のように都市上に閉曲線の形態が表れるところからその名がつけられたものである。典型的なヒートアイランドは都市周辺部で気温が上昇し、都心部ではフラットな形状をとることが知

られている。晴れて風の弱い日の明け方には、大都市の都心と郊外では温度差10℃近くにも及ぶヒートアイランドが見られることもある。

### 2.2 ヒートアイランドの影響

北欧などのいわゆる先進国の多くの都市のように、夏はそれほど暑くなく冬の寒さが厳しい所では、むしろ都市の高温化は歓迎される側面もあり、ヒートアイランド現象は単なる知的興味の対象という一面がある。しかし、わが国のように夏の暑熱環境を有する地域では、ヒートアイランドは生活環境を悪化させる現実的な課題である。気温の上昇は冷房負荷（すなわちエネルギー消費）をほぼ線形に上昇させ、そのエネルギー消費が更なるヒートアイランドの助長に結びつく。

### 2.3 ヒートアイランドの発生メカニズム

#### (1) 発生要因の分類

ヒートアイランドを発生させる要因は、都市接地気層からより大きな環境へ熱が拡散するにあたり、拡散すべき熱量の増大に関する要因と拡散を阻害する要因に分けることができる。熱量を増大させる要因は、さらに2つに大別される。ひとつは、人間の使用するエネルギーの増大に伴う廃熱の増加である。もうひとつは、人間活動の結果生じる諸変化が自然の熱バランスを変革させる結果による間接的な熱量増加である。

表-2.1に都市の熱バランスに影響する因子の定性的な影響についての一覧を示す。

#### (2) 顕熱と潜熱

ヒートアイランド現象は都市接地気層での熱の増加が関係している。しかし、空気が保有する熱には顕熱と潜熱の両者がある。前者は文字通り気温を高めるが、後者は湿度増加の形でエネルギー保有形態であり気温上昇には関係し

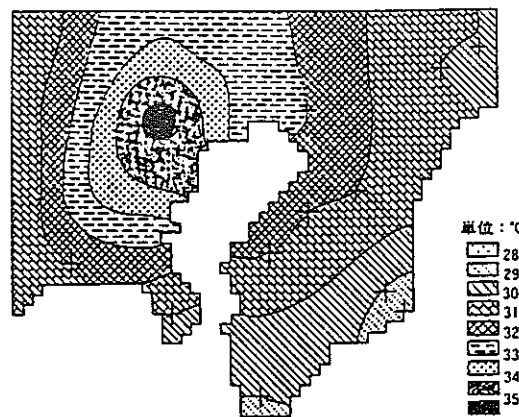
ない。例えば、緑地や水面近傍で気温が低いのは、植物の蒸散作用や水面での蒸発により大気中の顕熱を潜熱に変換する機構を有するからである。※参考・引用：「都市と環境－環境と対策－」中村英夫、ぎょうせい

表－2.1 都市熱環境変化の代表的要因

種別	要因	メカニズム	
		熱量増加	拡散低下
一次破壊系	地表面凹凸	日射吸収増加	建物のウエイク蓄熱容量増加 天空率の低下
	地表材質変化	日射吸収増加	蓄熱容量増加
	緑地・水面減少	潜熱変換減少	
	大気汚染	日傘効果(-)	温室効果
二次破壊系	人工廃熱	廃熱の増加(顕熱)	

〔出典：「都市と環境～環状と対策～」、中村英夫、ぎょうせい〕

図－2.1は、東京のヒートアイランド現象を表わすもので1983年から1987年の真夏（8月）の午後3時における地域的な平均気温変化を示したものである。



図－2.1 首都圏の真夏の都市環境気温の地域差

〔出典：環境総合研究所、首都圏広域大気動向調査、1992〕

### 3. 都市の熱環境緩和における河川の役割とその効果

#### 3.1 水空間の都市の熱環境緩和への可能性

##### (1) 地表でのエネルギーの変化

地表が天空から受け取ったエネルギーは、変化の仕方により3つの形態に分類することができる。

##### ① 地中や水中へ伝導するエネルギー

地中や水中へ直接伝わるエネルギーで、これが地表や水を温めることになる。地表や大気を構成する物質の熱容量を表－3.1に示す。

これをみると、水はどの物質よりも熱容量が大きく、土壌、コンクリート、アスファルトに比較し約2倍程度、空気に比較すると4,000倍もの容量を持っている。このため水は容易に温まることなく、河川水温も年間を通して比較的安定している。

表－3.1 地表や大気の物質の熱容量

項目	熱容量(J・m <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> ×10 <sup>6</sup> )
アスファルト	2.06
コンクリート	1.87
土壌(砂状、飽和)	2.96
水	4.18 (水温25℃)
空気	0.0012

〔出典：「建設省土木研究所環境部河川環境研究室資料」に一部加筆〕

② 顕熱

地表が温まるとその熱は地表の上層の非常に薄い気層を分子運動を通じて空気へと伝わり、それより上層では温まった空気の浮力や風によって周辺へと運ばれていく。

③ 潜熱

水の熱容量は大きい、気化熱は更に大きく、1 kgの水を蒸発させるのに必要な熱量(25℃時において582.8cal/g)は約6 kgの水を0℃から100℃まで昇温させるのに必要な熱量に匹敵する。したがって、水蒸気には我々が感じる事の出来ない莫大な熱エネルギーが貯蔵されており、熱エネルギーを貯蔵したまま大気に乗って熱を輸送する。

地表に達した正味のエネルギーは以上3つの熱のどれかに変わるわけであり、地表面における熱収支の関係は以下の様に表すことができる。

$$R_{net} = G + H + 1E$$

ここでR (Radiation heat) : 放射熱

G (Ground) : 地中もしくは水中へと伝導する熱量

H (Heat, Sensible Heat)  
: 顕熱輸送量

1E (Latent Heat, Evaporation Heat)  
: 潜熱輸送量

(2) 水面とアスファルト面における熱特性の違い

実際にアスファルト面と河川でこの熱収支がどの程度違うか以下に記す。図-3.1は14時におけるアスファルト面、河道内の高水敷および水面における熱収支を示している。高水敷、水面における熱収支は建設省土木研究所が荒川にて行った観測結果(1986年度測定)から、アスファルト面での結果は浅枝らの行った実験(1990年度測定)〔道路舗装の熱環境に及ぼす影響:1991〕を流用している。

まず、アスファルト面においては潜熱輸送はない。表面に水分が存在しないため当然であるが、熱容量、気化熱ともに大きい水に熱を託せないことは環境上極めて不利な条件となっている。この結果、顕熱輸送量は310w/m<sup>2</sup>に達しており、これはR<sub>net</sub>のおよそ80%にも当たることとなる。アスファルト面に立っている人はこのような顕熱輸送による熱気以外にも、高温になったアスファルト面からの長波放射も受け、これが夏のアスファルトを地獄のような世界にしている。

それに対し、河道内の高水敷面と水面については顕熱が小さく、高水敷面では50w/m<sup>2</sup>、水面に至っては水温が大気温度よりも低いために熱を大気から吸収している。また植物が存在する

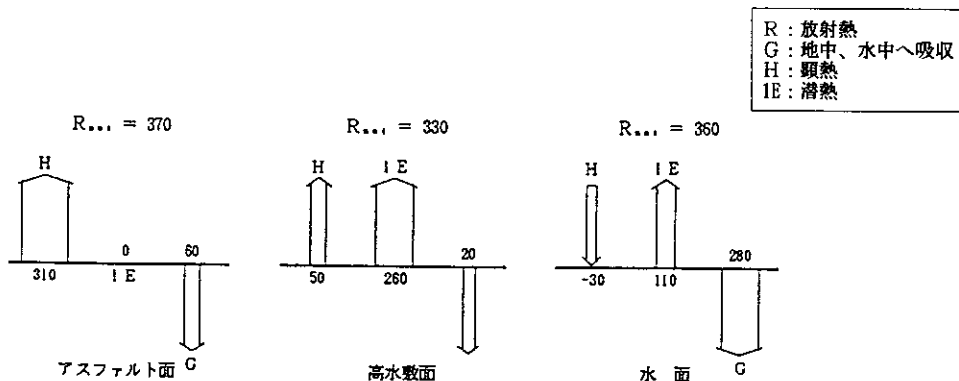


図-3.1 アスファルト面、高水敷面、水面における熱収支

〔出典:「建設省土木研究所環境部河川環境研究室資料」〕

高水敷面では盛んに蒸発散が行われ、 $R_{net}$  の79%が潜熱へと変換されている。潜熱は暑さを感じさせないため、夏場においては非常に好都合となっている。また水面では $R_{net}$  の78%が水中へと吸収されるが、熱容量が大きいため水温自体の変化はほとんどない。

以上のことから、河川周辺の地物の状況や地形的要素を考慮しない場合、河川は確かに水空間として気候快適化機能が認められ、都市の中での貴重な空間となると思われる。

※参考、引用：建設省土木研究所資料、島谷幸宏氏他「都市河川による気候の快適化機能に関する研究」

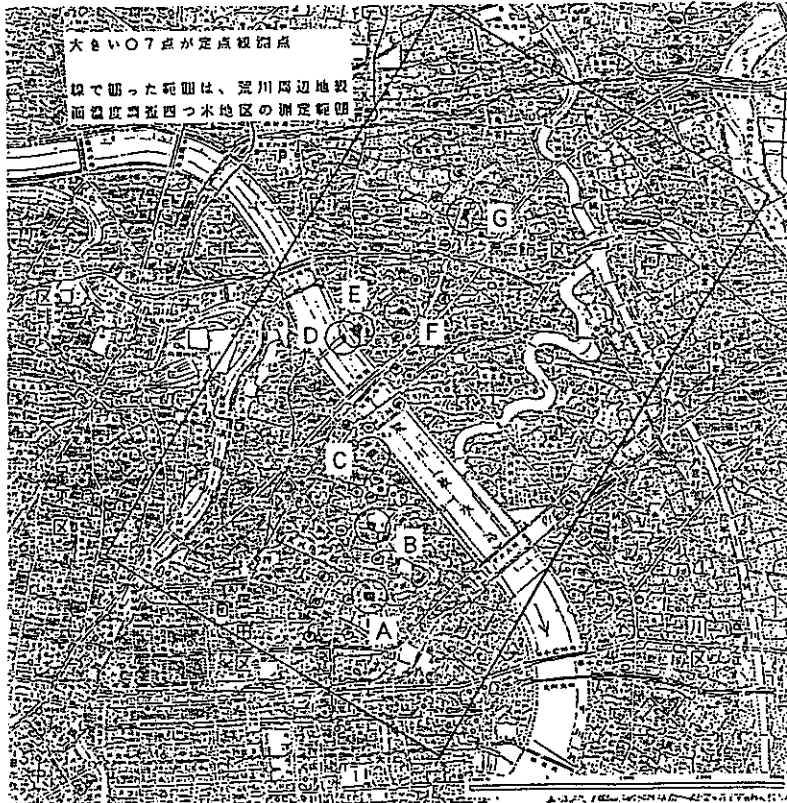


図-3.2 四つ木橋周辺観測地点および区域

〔出典：「都市河川による気候の快適化機能に関する研究」、建設省土木研究所〕

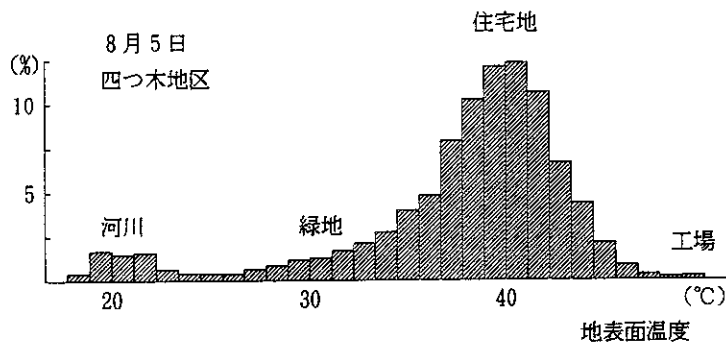


図-3.3 地表面温度分析ヒストグラム

〔出典：「都市河川による気候の快適化機能に関する研究」、建設省土木研究所〕

### 3.2 実測に見る河川周辺の熱環境

#### (1) 河川周辺の地表面温度および気温

昭和61年に建設省土木研究所都市河川研究室が行った荒川周辺の四つ木における地表面温度調査結果のヒストグラムを図-3.2に示す。それを見ると、最も熱いのは工場の屋根（トタン屋根等による大きな面積を持つ屋根）であり、その温度は46℃にも達するが、その面積はわずかである。住宅地においては地域のほとんどを占め、その温度は36～38℃程度である。これらの中で冷却源となっているものは、緑地と河川である。この地域では緑地より河川の占める割

合の方が多く、その温度も低いことから冷却源としての影響は水空間の方が大きいと考えられる。

それでは、実際に我々が感じる気温についてはどうであろうか。村川、関根他（1990）は広島市内の太田川下流部のデルタ地域で、河川周辺部における気温の状況を、自転車による移動観測を行っている。これらの結果には風や周辺地物の影響が多分に含まれ、解析も行われているが、ここでは河川周辺の気温の状況を示す。図-3.4において移動観測は比較的広い川幅を持つ太田川と中河川の天満川を横断し、周辺市

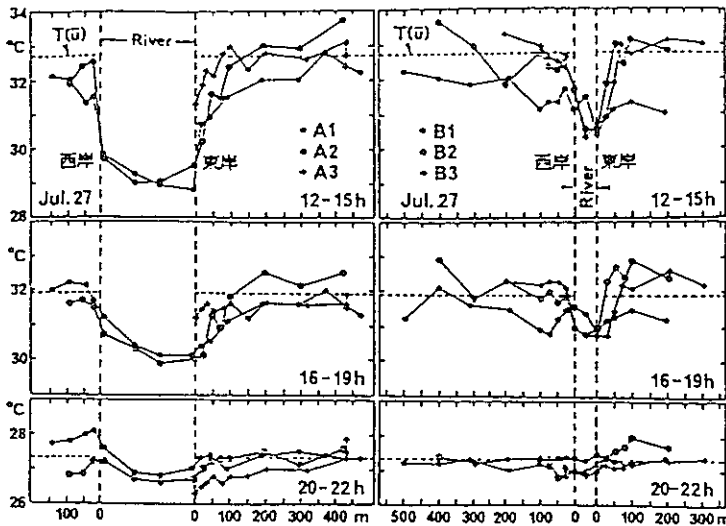
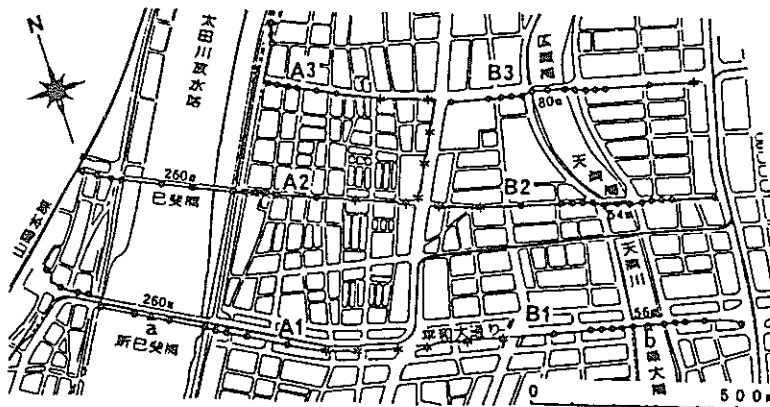


図-3.4 移動観測による各ルートでの温度分布

〔出典：「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）」、村川 他〕

街地までの各ルートで行われている。

河川上においては各ルートの橋上での気温であるが、それによれば河道周辺の温度は市街地と比較し、いずれも2～4℃程度の気温低下がみられる。また、このことは河道幅の広い太田川の方が顕著であり、流水による気温低下作用が大きいことがうかがわれる。

(2) 風の吹送による河道周辺市街地への影響

武若、平山らは建設省土木研究所河川研究室が1年間(1986年4月～1987年3月)に渡って荒川周辺(四つ木橋付近)にて行った定点観測を用いて、風向と気温の関係を表している。観測位置は図-3.2に示すC～E点であり、8月の日中の晴天日の時間を対象として、各風向による各観測点の気温分布パターンの出現頻度を表している。これには、風が河川を横断的に吹いた時には多くの場合に風下側の市街地の気温が低くなることが示されている。つまり、河道内の冷気が吹送により風下市街地へ移流されていたと考えられる。

(3) 風の通り道としての河川の機能

片山、石井らは海岸都市における河川の暑熱緩和効果について、福岡市内を流下する那珂川周辺の気候と博多湾から吹き込む海風との関係を、観測により明らかにしている。それによれば

海風が発達した際には周辺市街地に比較し、那珂川河道上における風速が最も大きく、温度の低下量についても周辺の測定点に比較し河川上が大きいことが判明している。つまり河川が風の通路の役割を果たし、海風による冷たい空気を都市内へスムーズに誘導していることを示していると考えられる。

3.3 河川の熱環境緩和に対する市街地形状の影響

また、村川、関根ら(1990)は広島市内の太田川下流部のデルタ地域で移動観測を行い、道路幅や家屋の密集度合い、堤体などの影響による河川の熱環境緩和効果の影響範囲を解析している。図-3.4において風は海風が安定して吹いており、ほぼ河川に平行して吹送している。なお、街路幅はA<sub>1</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>2</sub>の順に広がっている。

河川と直交する街路沿いの気温分布については、A<sub>1</sub> > A<sub>2</sub> > A<sub>3</sub>の順に河川による気温低下の範囲が広がっている。A<sub>1</sub>とA<sub>2</sub>の関係から直交する街路幅が広いほど影響範囲が広がると言える。またその点からみれば、A<sub>2</sub>とA<sub>3</sub>の関係が逆転しているが、これはルートA<sub>3</sub>が橋の無い街路で、比高4.3mの堤防に閉ざされているのが一因であるとしている。

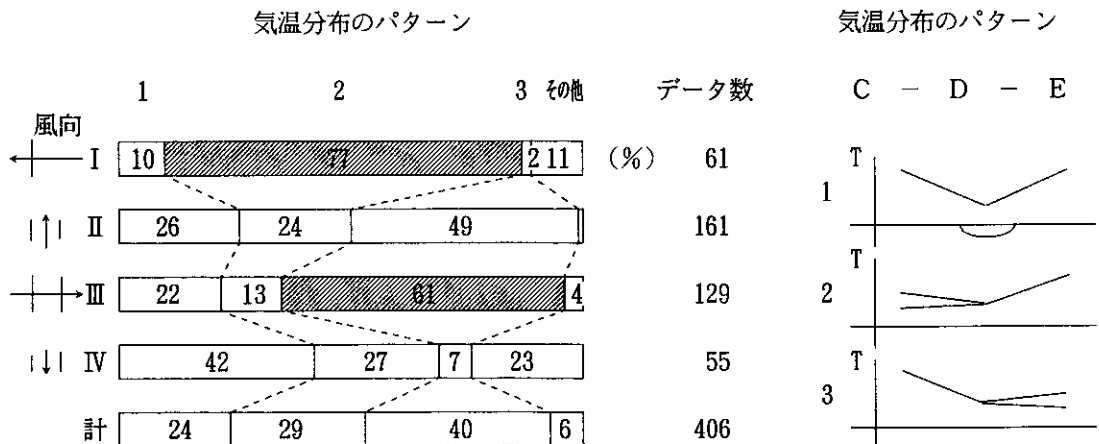


図-3.5 風向と気温分布パターンの関係

〔出典：「都市河川が周辺市街地の気象環境に及ぼす影響」、武若 聡 他〕

これらを裏付ける報告が、成田が行った河道周辺の建物配置についての風洞実験（1992）によってなされている。

成田は河道内の気温が周辺市街地へ及ぶ過程を湿度比と相対湿度の観点から様々な形態の市街地を想定し解析している。風洞には水路を設置し、気流を水路に並行して発生させた。また、水路の影響範囲を把握するため、測定点の蒸気圧と水路の水温に対する飽和蒸気圧の比（湿度比VP）と各測定点における容量型湿度計から出力される相対湿度（RH'）の2つの指標を設定した。模型を配置した各ケースにおける測線は水路と直行する代表的街路の中心としている。

それによれば、建物密度（建蔽率）を56%、36%、25%と低下させていくに伴い、河川による影響範囲が広がっている。

また、河道に直交する街路をつくり、街路幅を変える実験を行ったところ、街路幅を拡大するにつれ、河川の影響範囲は広がった。このことより、建物の平面的配列について、河川の

影響を市街地に取り込むには建物間の街路幅を確保し風通しを良くすることが有効であるとしている。

成田は同実験の中で堤体の高さについても解析を行っている。周辺建物の高さに対し、堤防高を1/3、2/3、1倍とした場合について比較をした結果、堤防が高くなるに従い、遮蔽効果が顕著となる傾向が明らかとなり、 $L/V$ （堤防高）=  $h$ （建物模型高）で完全に遮断された。これらのことより、堤防による遮蔽効果は大きい、堤防高さが1/3以下であればある程度の拡散は確保されると言える。堤防を低くするという事は現実には難しいことから、逆に周辺建物を積極的に高くするという対策も考えられるとしている。

### 3.4 総合所見

多くの研究者や研究機関において、河川の気象緩和機能の効果とメカニズムを模索する様々な研究、検討が行われているが、それらの研究結果の概要は、入手した報文・文献によると以下のようにまとめることができる。

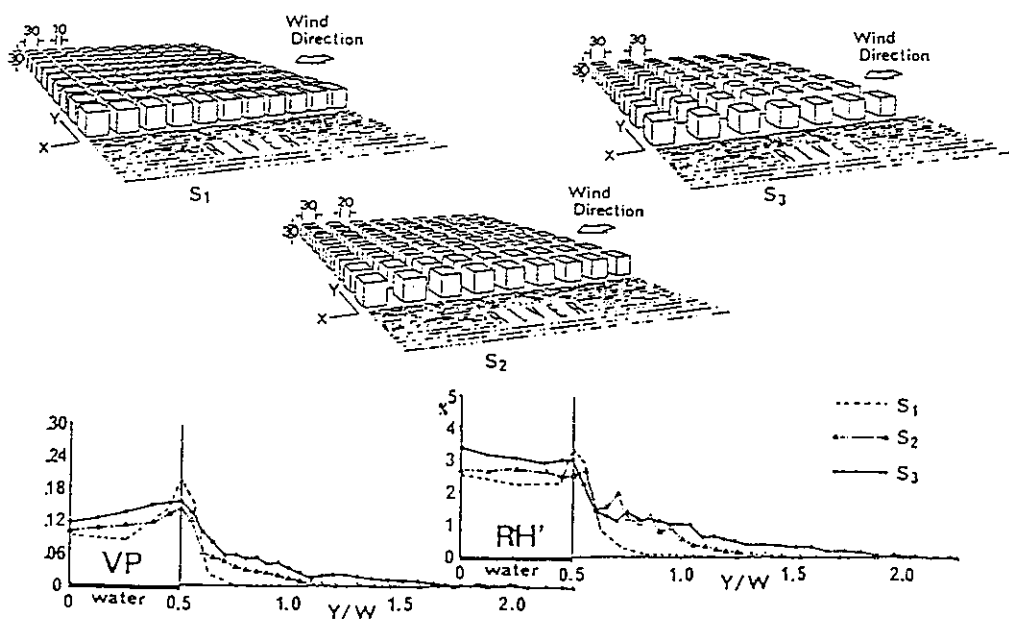


図-3.6 建物密度による影響（VP：湿度比 RH'：相対湿度）

〔出典：「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」、成田健一〕

- ① 水は比熱が大きいため、夏期には周辺の気温より水温が低く、冬期には周辺の気温よりも水温が高く、夏期には冷却源、冬期には熱源となる。また植生には蒸発散作用による熱の吸収があるため、都市域において気象緩和機能を有するものは水辺と緑地であり、これらには大きな期待が持てる。
- ② 河道横断方向の観測において、夏期には河道内には周辺より冷たい空気存在が明らかとなった。
- ③ 河道周辺においては、水辺空間の無い都市中心部に比較し、夏期には明らかな気温低下が認められ、その低下温度は概ね2～5℃程度と観測されている。
- ④ 周辺への気温低減効果は河道幅（水面幅）、風向、風速が大きく影響しており、河道の風下が気象緩和作用の影響を受け、気温の降下量は風速に比例する。また、都市内の小河川については夏期には河道内には冷たい空気は存在するものの、周辺への気象緩和作用は小さい。
- ⑤ 河道内においては水面はもちろんのこと、高水敷（特に植生が存在するもの）においても効果的な熱交換が行われている。
- ⑥ 河道内の風速は周辺都市部に比較し大きな値を示しており、卓越した風の通り道となっている。特に海岸部に位置する都市においては、海風を都市中心部へと取り込む風の道としての大きな役割を担っている。
- ⑦ 河川の周辺部への気象緩和効果の影響範囲は、河道周辺部の市街地形状（建築物形状や向き、街路幅等）にも大きく影響される。また、堤防は堤内地へ空気が移動する際に阻害要因となっている。
- ⑧ 河川には上記の物理的快適性要素のほかに、心理面に与える快適化機能があり、同じ気温、湿度であっても、水辺の方が快適と感じるという結果も得られている。  
現在のところ、各種研究、検討により以上のようなことが判明してきており、河川が気象緩

和機能を有していることが明らかとなった。これらより、都市部における温熱環境（ヒートアイランド現象）の改善の1つの要素として、河川には大きな期待が持てる。

### 3.5 今後の課題

河川や水辺空間の魅力には、親水活動や各種余暇活動など交流の空間、また解放感があり水音が聞こえる精神的安らぎの空間、様々な生物が息づく生態系豊かな空間など、多数の要素が含まれる。また、今回検討を行った河川の気象緩和機能は河川・水辺空間の総合的な快適性という観点にたてば、重要な要素の一つであると考えられる。

現在、各研究機関においては微気象的な視点での観測や熱収支的な視点での観測が数多く行われているが、河道内において冷却された空気の周辺市街地へ及ぶメカニズム（周辺市街地での挙動）は明らかとはされていない。これらが明らかとなったとき、河川の気象緩和機能の全体像が浮き彫りになると考えられる。

また、河川における効果的な大気の冷却（気象緩和）を行う方法の検討のため、河川の形状や護岸形態についての比較、つまり、

- ① 河道形状による大気冷却効果の観測・解析
  - ・有堤河道と掘込み河道による堤防の遮蔽効果の比較
  - ・直線河道と湾曲河道の水面積の差による比較
- ② 堤体形状による大気冷却効果の観測・解析
  - ・堤体高、堤体幅の違いによる比較
  - ・スーパー堤防化地区における観測、解析
- ③ 水面積の大小における大気冷却効果の観測・解析
  - ・水面幅（流れ幅）の拡幅による効果
  - ・ワンドの設置による効果 等
- ④ 河床形態および流水の状況による大気冷却効果の観測・解析
  - ・瀬、落差工などによる流水の液膜破断における冷却効果の検討
  - ・堰などによる停滞水域における観測、解析



(流速の違いによる比較)

- ⑤ 護岸材料による河川の 대기冷却効果の比較
  - ・コンクリートブロックと覆土護岸など、護岸材料による 대기冷却効果の検討
  - ・多自然型護岸による 대기冷却効果の検証
- ⑥ 高水敷の利用形態における 대기冷却効果の比較
  - ・河道の熱交換から見た場合の高水敷の利用形態が及ぼす影響

等の具体的な条件設定による検証や解析を行い、今後の微気象を考慮した河川空間の設計に役立てる必要があると思われる。

さらには、河川改修や河川空間の設計にあっても、今後、ますます過密する都市部におけるヒートアイランドなどの温熱環境の中にあり、河川の気象緩和機能が、水辺の魅力の重要な要素の1つであるという事実を念頭に、快適な川づくりを行っていくことが切望される。