

# 都市気候に及ぼす河川水の影響

## ——広島市太田川の場合——

広島大学 福岡 義隆  
 広島大学大学院生 松浦 謙士  
 広島大学大学院生 成田 健一

### 1. はしがき

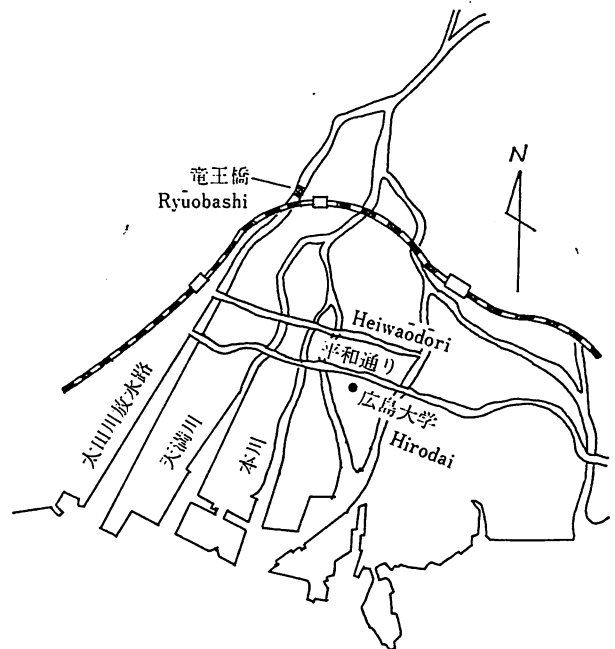
人間活動の中心地である都市域において、気温が周辺の郊外・田園地域にくらべて高い傾向にあるということが言われて久しい。都市を構成している主な物質であるアスファルトやコンクリートは、熱伝導率や熱容量が比較的大きく、貯熱物体として働き、加えて含有水分の量が少なく透水性も悪いため、蒸発散による熱交換をさまたげる作用ももつ。また、高層ビルによる乱流の増大や大気汚染による温室効果などもからみあって、都市内では加えられた熱エネルギーが都市周辺にくらべて、気温を高めることに使われる割合が大きくなっていると考えられる。このことが都市気温の形成の原因とされる。そのような状態にある中で、大きな水体（たとえば河川）や緑地が存在すれば、当然そこでは蒸発散による熱の交換がさかんになり、気温分布に影響を与えるであろうということは予測できるし、また、そのような現象の研究報告も少なくない。しかし、現実にとどの程度の影響をもつのかということ、定量的にとらえることは難しく、分布のパターンを論ずるだけに終わっている場合が多い。

現在、広島市は人口が100万に近いかなりの規模の都市である。その中には数条の河川が流れており、上記のような現象をみるには非常に格好の都市と言える。広島市を対象とした気温分

布の観測には、4半世紀前の設楽寛（1956）のものがあるが、筆者らもこのデルタ上の広島市を対象として、水面やアスファルトと言った異なった地表面において如何なる熱のやりとりが行なわれているのか、とくに河川水面における熱収支が都市の気温にとどのように影響するかを明らかにするために、数地点において定点観測を実施し、その特徴をとらえることを試みた。

### 2. 研究方法

地表面の性質の違いによって熱収支がどう異な



第1図 観測地点

るかをみるために、広島市内の数地点、すなわち河川面、アスファルト面、芝生面において定点観測を行なった。

観測項目は、気温、湿球温度、風速、地温（又は水温）、表面温度、正味放射量、直達日射量等であり、測定には次のものを用いた。温度計はいずれも白金抵抗温度計で、乾湿を対にした通風式、いずれも Pt 0°C~100.Ωで、時定数はシュルター型で20°C変化させて6秒（地温計で80秒）である。示差（正味）放射計は風防型放射収支計（銅—コンスタンタン熱伝対式）で、感度約 25 mV/cal·cm<sup>-2</sup>·min<sup>-1</sup>、内部抵抗約90Ω、応答速度約120秒（98%応答）、精度±5%である。風速計は3杯の光電風速計で積算式である。同時に熱線風速計（カノマックス）で瞬間風速の測定もしている。直達日射計は、農試電試型日射計で感度 7.17 mV/0.1 w/cm<sup>2</sup> である（以上、飯尾電気の総合気象セット）。表面温度の測定には、赤外放射温度計（ナショナル）を使用、測定精度は、-10°C~60°Cで±0.5°C、応答速度は0.7秒（95%）である。

観測地点は第1図に示した通りである。河川面としては、広島市の旧市内で太田川放水路にかかる竜王橋、アスファルト面としては、広島大学構内、そして芝生面としては平和大通り（100 m 通り）において行なった。観測時期は、河川、芝生面は夏季のみであり、アスファルトは春夏秋と実施しているが、水面や緑地面との比較のために夏における結果だけを、ここでは報告する。個々の観測状況の詳細はその都度ふれる。

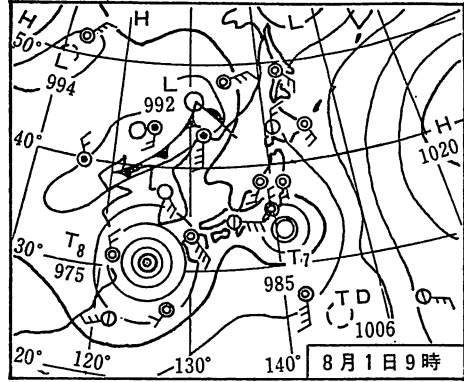
3. 研究結果とその考察

一般に、顕熱伝達量  $H$  と潜熱伝達量  $LE$  は、それぞれ次式で表わされる。

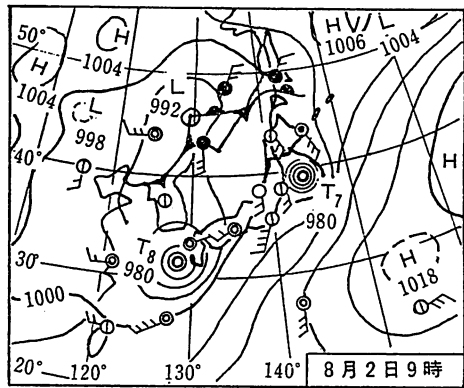
$$H = -\rho K C_p \frac{\partial \theta}{\partial z}$$

$$LE = -\rho L K \frac{0.623}{P} \frac{\partial e}{\partial z}$$

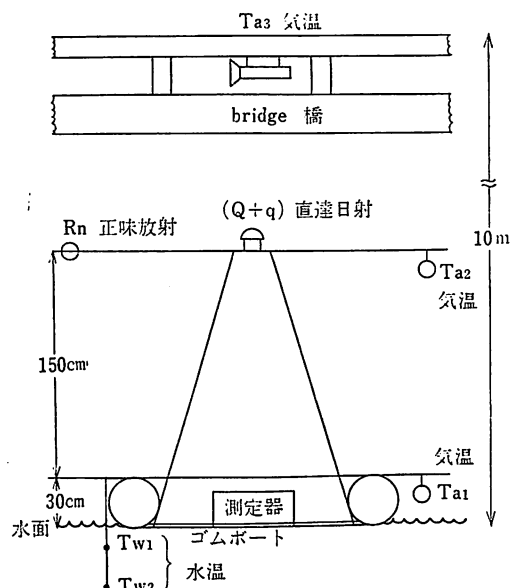
ここに、 $\rho$  は空気の密度、 $K$  は乱流交換係数、 $C_p$  は空気の定圧比熱、 $\partial\theta/\partial z$  は垂直温度傾度、 $P$  は気圧、 $\partial e/\partial z$  は垂直水蒸気圧傾度である。今回の観測時は、風速の変化がそれほど大きくないことなどから、 $H:LE$  の熱量が、地表面上 2 高度の気温差、水蒸気圧差に比例するものとみなし、そ



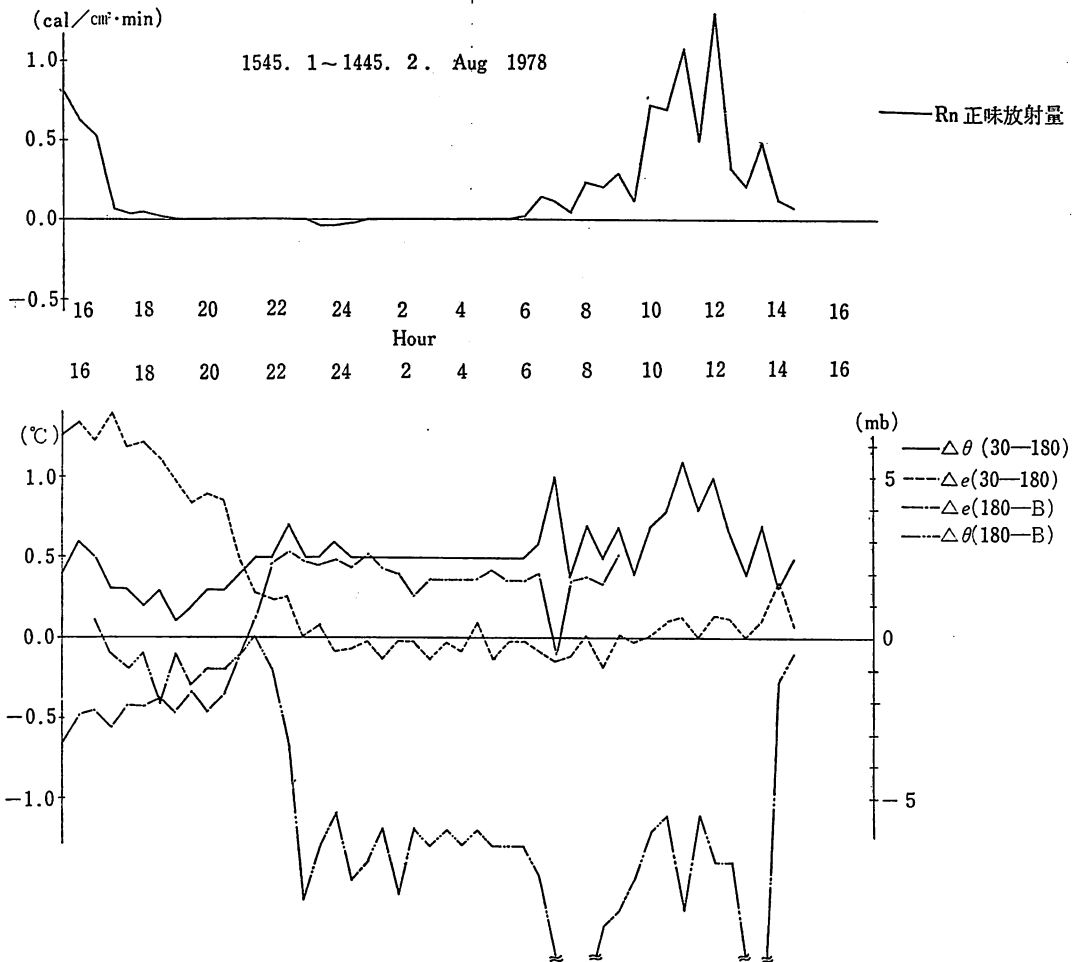
第2図 観測日の天気図 (1978・8・1)



第3図 観測日の天気図 (1978・8・2)



第4図 河川水面での熱収支観測装置



第5図 河川面における熱収支観測結果  
(1978・8・1~2, 広島市, 太田川)

これらの値を熱伝達量の大きさの指標として考察をすすめた。

### 3-(1) 河川面における熱収支

#### a. 観測概況

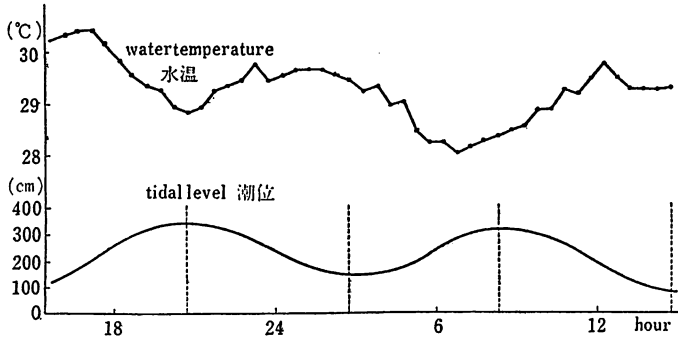
観測地点は前記の通り太田川放水路の竜王橋付近である。観測日時は1978年8月1日15時45分~8月2日14時45分の間、30分毎に行なった。観測日前後の天気は、8月1日9時と2日9時の天気図からも明らかのように、台風8号が東シナ海にあって、ゆっくりと東へ進んで来て居り、1日の昼間は好天気であったが、夜になって曇り始めた。翌2日は曇り時々晴れといった状態となり、観測終了直前にはわか雨さえ降った。また、竜王橋あたりでは、潮の干満の影響を受ける、事実満潮時には10数kmも上流へ侵入する。今回の観測

に関わる満潮は1日の20時23分と2日の8時26分であり、干潮は1日の14時6分、2日の2時45分および14時48分である。なお、この頃の干潮による水位の変動は竜王橋付近で約2mぐらいである。

観測項目と測定器についてはすでに述べたが、この場合、気温は水面から高さ30cm、180cmのものと約10mほどの竜王橋の上に設置した。水温は水面下5cmと30cmについて測定した。測定器はゴムポート上に設置し、ポートは流れないように重りで固定した。波による揺れはさほど大きくなく、観測値への影響はないものと思う。設置状況は第4図に示す通りである。

#### b. 観測結果

顕熱輸送量と潜熱輸送量はそれぞれ温度傾度



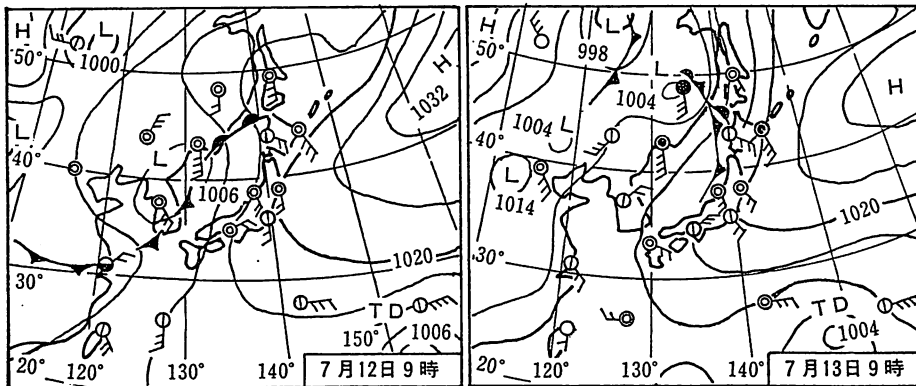
第6図 水温(上)と潮位(下)の時間変化 (1978・8・1~2, 広島)

とかなり異なっているのは、晴天から曇天への天気急変によるものであろう。

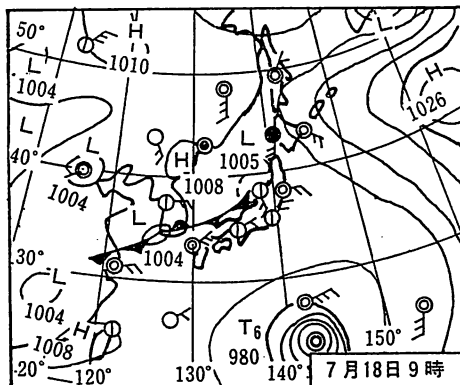
晴天であった1日は  $\Delta e_{30-180}$  の値がかなり大きい、それにくらべ  $\Delta \theta_{30-180}$  の値は小さく、水体の存在による潜熱交換の大きいことを示していると考えられる。しかし、天候が崩れ始めるにつれて  $\Delta e_{30-180}$  は急速に減少し、その方向が負の方向を示す場合も現われている。それに反して  $\Delta \theta_{30-180}$  の

$\Delta \theta$  と水蒸気傾度  $\Delta e$  の形で表現し、それぞれの時間変化と正味放射量の変化を示したのが第5図である。2日の昼間における正味放射の激しい変化は、雲によるものと橋の影によるものとの影響と考えられる。21時頃以後の変化がそれまでのもの

方は増加している。ポート上のものと、橋の上のものとの3つの温度計の値から考えられる熱の流れの方向は、一定のものではなく、水面と橋の高さでの間の熱の移動の複雑さを暗示する。 $\Delta \theta$  の傾度は見かけ上の熱流が常に水面と橋との中間に



第7図 観測日の天気図 (1978・7・12~13)



第8図 観測日の天気図 (1978・7・18)

集まるように向っているが、その大きさは晴天の時は小さく、天候が崩れると大きくなる傾向がある。

de の場合は、晴天時は水面と橋の中間に水蒸気が収束するようになり、天候が崩れると中間から上下へ発散するような傾度方向が支配的になる。

このように、河川水上での熱のやりとりは非常に複雑であり、鉛直方向だけのやりとりで考えることはむずかしい。たとえば、河川を道筋として風が吹きやすいこと（川風または山谷風）による空気の流れを考える必要があると思われる。

さきに、干満の影響が観測地点の竜王橋あたりでも、水位変化にして2mもあるということはすでに述べたが、水温の変化にもその影響が出ている。通常、水温（又は地温）と気温は、一定の time lag をもって、対応した変化が見られるものであるが、今回の観測では、これはあまり明確

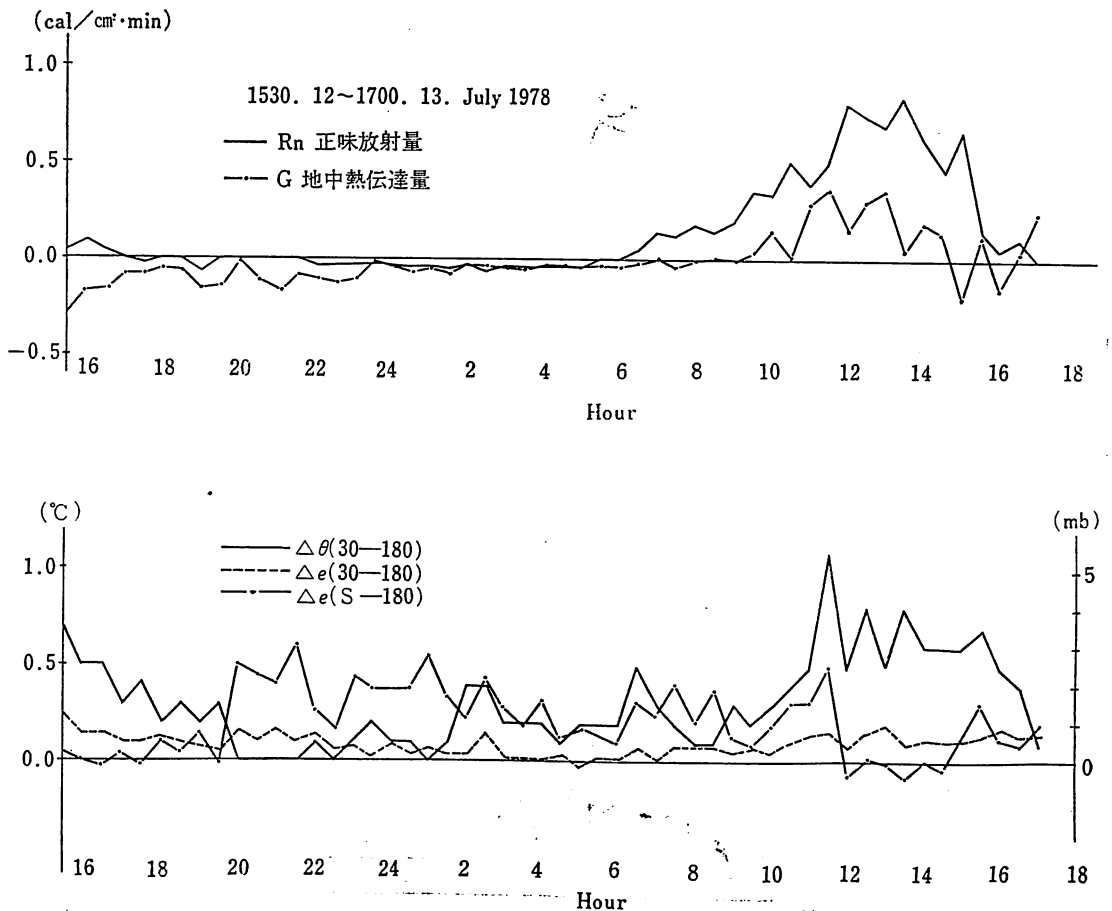
でなく、むしろ、水温の変化が干満の変化と6時間くらいの位相差でよく対応している。第6図は水位の変化と水深5cmの水温の時間変化を示したものである。河川水温よりも低温の海水の侵入によって、水温が低下しているのがわかる。

### 3-(2) アスファルト面における熱収支

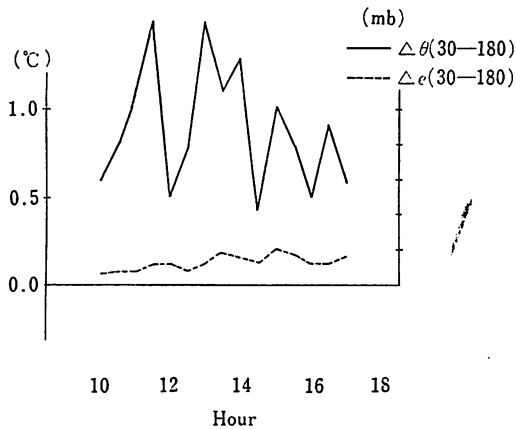
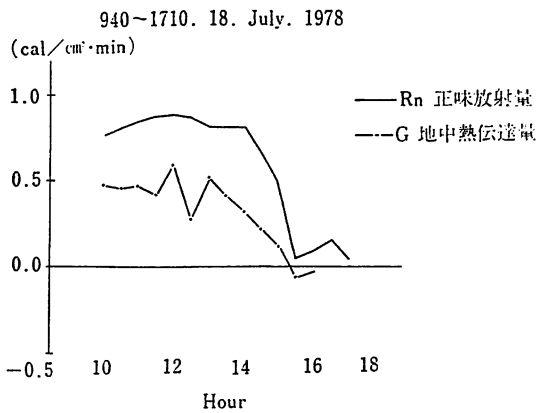
#### a. 観測概況

広島市の中心に近い位置に存在する広島大学の構内におけるアスファルト面で観測を実施した。測定内容は、上記の水温にかえてアスファルト面下の地温（2cmと12cmの2層）を除いては、前例と同じである。観測日時は7月12日15時から13日17時までと、18日の9時40分から17時10分までの2回である。

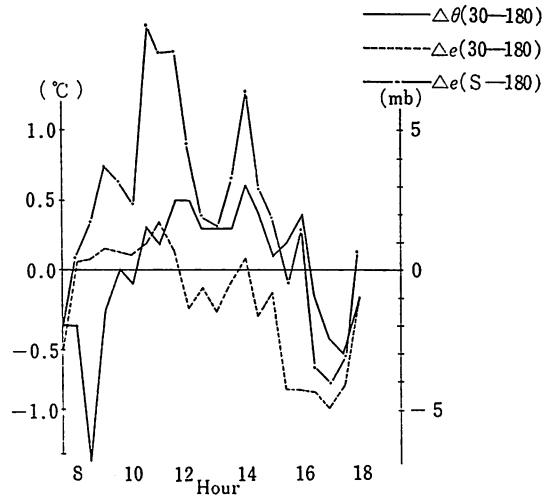
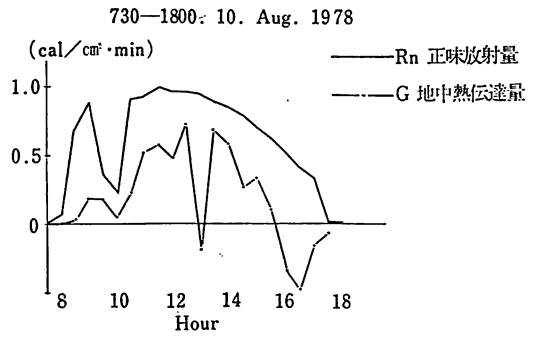
天気概況は第7～8図の天気図から明らかなように、全国的に非常に早い梅雨明けの日であったが、また朝鮮半島付近の低気圧の影響により、昼過ぎからくもり始め、夜には一時的に小雨も降っ



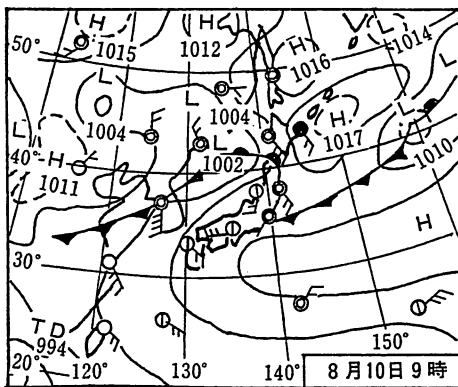
第9図 アスファルト面での熱収支観測結果  
(その1, 1978・7・12~13, 広島大学)



第10図 アスファルト面での熱収支観測結果 (その2, 1978・7・18, 広島大学)



第12図 芝生面での熱収支観測結果 (1978・8・10)



第11図 観測日の天気図 (1978・8・10)

た。13日もくもりがちであった。18日の方は、日本海に前線があるけれど、天気の大きなくずれはなく、晴れのち時々くもりといった状態であった。

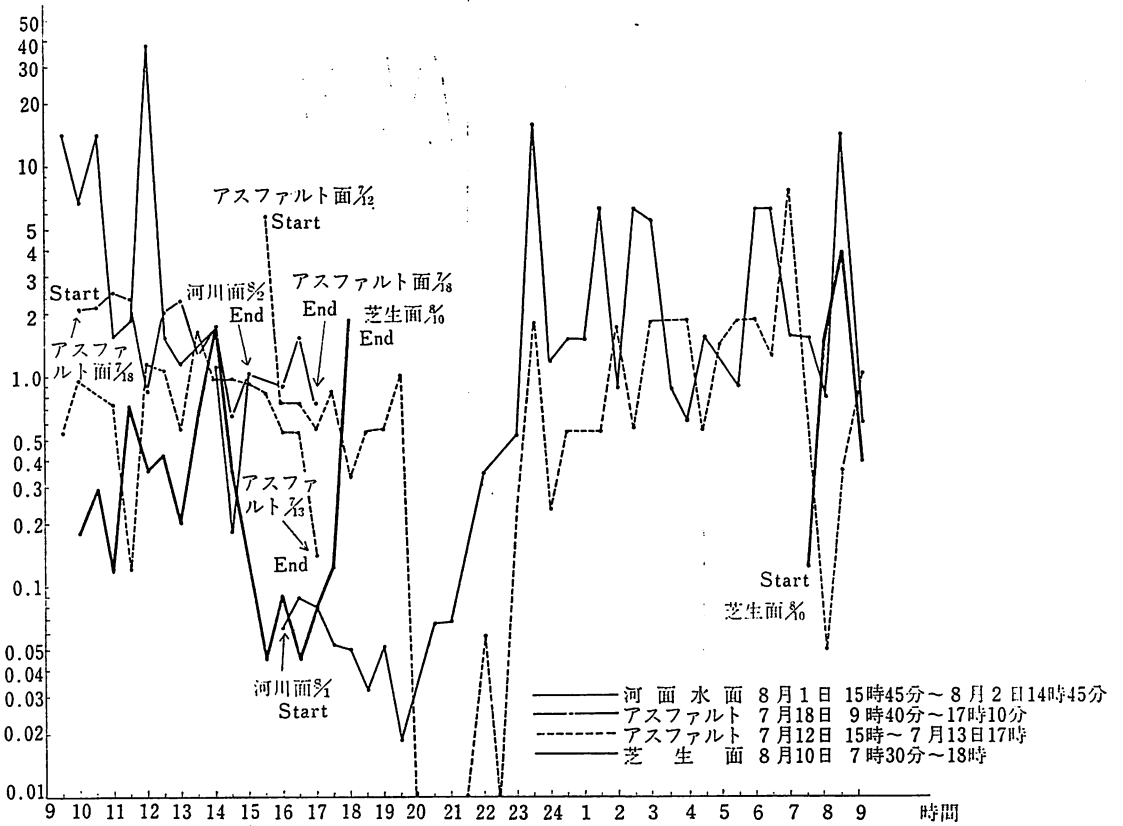
b. 観測結果

この場合も、同じように  $\Delta\theta_{30-180}$  と  $\Delta e_{30-180}$  の時間変化をグラフに示した(第9~10図)。正味放射量の変化に比し、 $\Delta\theta_{30-180}$  はかなりよく対応しているが、 $\Delta e_{30-180}$  はあまり対応はよくない。これは放射の変化に反応するほどの潜熱交換が行なわれていないことを示し、アスファルトの透水性の悪さを表わしている。12~13日の  $\Delta\theta_{30-180}$  の大きさくらべてみると18日の方が若干大きく天気の状態による差が表われている。しかし、いずれの場合も、 $\Delta e_{30-180}$  (顕熱交換)に比べ  $\Delta\theta$  (顕熱交換)が河川の場合よりも大きな値を示している。

3-(3) 芝生面における熱収支

a. 観測概況

観測地点は平和大通りで、道路間の緑地帯(芝生面)である。測定項目は上記2つのケースと同じである。実施日時は8月10日7時30分~18時で



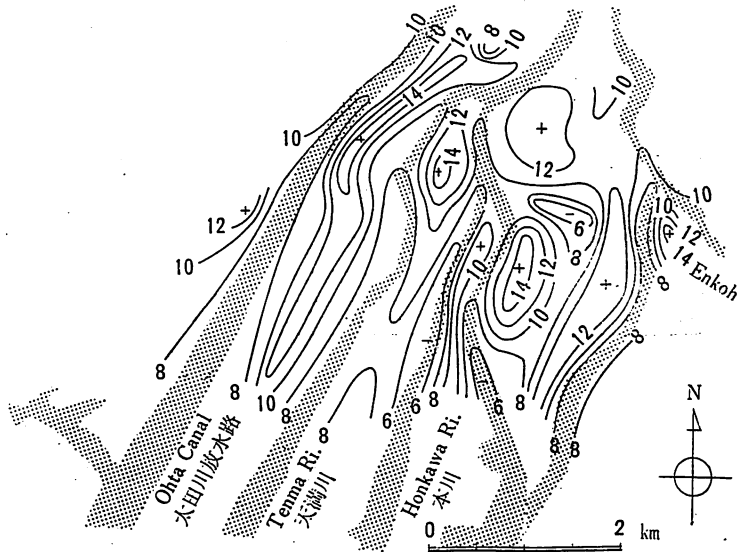
第13図 都市内、各表面における  $\Delta\theta_{30-180}/\Delta\epsilon_{30-180}$  の時間変化図

ある。

気象概況は8月10日9時の天気図からも明らかな如く、この日は中国地方は太平洋高気圧におおわれ、一日中晴天の良い天気恵まれ、暑い一日であった。

**b. 観測結果**

図に  $\Delta\theta_{30-180}$  と  $\Delta\epsilon_{30-180}$  の時間変化を示した。この場合は heat flux の方向の変化が、かなり複雑で鉛直方向でのみ考えるのは困難である。一つには、緑



第14図  $\Delta\theta_{0-180}$  の分布の一例 (1978・10・21, 13:54～16:09)

地と言ってもまわりがアスファルト道路でかこまれていることや、測器の設置高度より高い樹木がかなりの面積を占めていることなどが考えられるが、はっきりしたことはわからない。しかし、その大きさだけをみていくと、やはり  $de$  の値がアスファルト面に比べて大きく、潜熱交換の盛んなことを暗示している。

### 3—(4) 考察

以上、地表面の違いによる特徴をみてきたわけであるが、もう少し特性の違いをとらえるために、それぞれの場合の  $\Delta\theta$  と  $de$  の比  $\Delta\theta/de$  (およそ Bowen Ratio に比例) の時間変化を図に示した。 $\Delta\theta/de$  の変化が急激でやや読みにくい13図となったが、ある程度の特徴は出ているように思う。いずれも同時観測ではなく、天候状態などいろいろ条件が違うので、そのままくらべるには無理があることは否めない。しかし、だいたい晴天であった時間帯のものをくらべてみると、河川の場合は非常に小さい値を示し、0.1 以下の場合が多いのであるが、アスファルトの場合はそれよりも1桁以上大きい値を取っている。芝生の場合はその中間的な値を呈している。このことは、河川面における潜熱交換がもっとも大きく、次に芝生面であり、アスファルト面はもっとも小さいことを裏付けている。

河川面における  $\Delta\theta/de$  の値の変化には、天気の変化による影響を強くうけ、天気がかざれると値が急激に増加しアスファルト面と同じくらいの値になっている。それに比べ、アスファルトの場合は、雨が降れば  $\Delta\theta/de$  は小さくなり、曇りのときやや変動が見られるが、全般的には天気の違いによる変化は小さい。

なお、筆者らは別に、 $\Delta\theta$  と  $de$  の地理的分布を調べ河川水の影響をみるために、車による移動観測をも試みている(1978年の春・夏・秋・冬の各季3~6回、計21回実施)。詳細は1部すでに別稿で発表済みであるが、参考までに、 $\Delta\theta$  の分布観測の1例を紹介しておく。明らかに、河川近くで都市気温を緩和させる効果がみられる。(第14図参照)

### 4. あとがき

以上のように、本報では  $\Delta\theta$ ,  $de$ , あるいは  $\Delta\theta/de$  の時間的変化をみてきたわけであるが、いず

れの場合も実際の heat flux そのものを示したのではないので、熱収支そのものに関しては、定量的把握という当初の目的にはやや距離がある。しかし、河川や芝生上の気温がまわりより低い原因として、やはり潜熱交換がかなりのウェイトで効いているということは確かめられたと言える。

今後は、観測方法をもう少し検討し、とくに河川面においては、一点だけの観測ではなく、また海水の侵入による熱収支上の変化なども詳細を把握できるような測定が必要と思われる。また、今回、実際の heat flux ではなく  $\Delta\theta$  や  $de$  で終ったのは、顕熱交換係数や潜熱交換係数などを、地理的環境の違いにそくして決定することが、困難であったからで、今後に残された大きな課題である。

### 文 献

- 福岡義隆(1969) : 降水と地温の関係(第一報)——雨水による地表面の冷却効果(英文), 地理学評論, 42(12), 735~746.
- 大後美保・長尾 隆(1972) : 都市気候学, 朝倉書店.
- 菊地 立(1974) : 河川周辺の気温分布——名取川および阿武隈川下流部の調査, 東北地理 26(1), 22~29.
- 新井 正(1966) : 湖沼からの蒸発量, 水温の研究, 10(4), 39~47.
- 西沢利栄(1958) : 都市気温に及ぼす建築物の影響, 資源科学研究所彙報, 第48号, 40~48.
- 土屋 巖(1972) : 緑地と都市気候——都市における自然緑地・人工緑地・河川等の熱的特性, 水利科学, 16(1), 29~56.
- 河村 武(1964) : 熊谷市の都市温度の成因に関する二, 三の考察, 地理学評論, 37(10), 560~565.
- 設楽 寛(1957) : 広島市の冬季気温に及ぼす建築物の影響, 地理学評論, 30(6), 468~482.
- Fukuoka, Y., Narita, K., and Matsuura, K. (1980) : Urban Climate and Air Quality of Hiroshima City, Geographical Sciences, 32, 24~32.