

自然流域における都市の水・熱の収支・循環に関する研究

Studies on balance and circulation of water and heat at the urban area situated in a natural basin

- 代表研究者 広島大学総合科学部教授 福岡 義隆
Prof., Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima Univ.
Yoshitaka FUKUOKA
- 協同研究者 四国農業試験場気象科長 林 陽生
Leader, Department of Meteorology, Shikoku National Agric. Exper.
Station
Yosei HAYASHI
- 筑波大学地球科学系講師 田瀬 則雄
Lecturer, Institute of Geosciences, Univ. of Tsukuba
Norio TASE
- 東京都立大学理学部助手 近藤 昭彦
Res. Assoc., Faculty of Sciences, Tokyo Metro. Univ.
Akihiko KONDO
- 広島大学総合科学部助教授 開発 一郎
Assoc. Prof., Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima Univ.
Ichiro KAIHOTSU
- 広島大学工学部助教授 成田 健一
Assoc. Prof., Faculty of Engineering., Hiroshima Univ.
Kenichi NARITA
- 広島大学総合科学部助手 高橋 日出男
Res. Assoc., Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima Univ.
Hideo TAKAHASHI

The purpose of this study is to clarify the structure and its variation of atmosphere and hydrological circulation in the intensively urbanized drainage basin consisting of Ohta-gawa Delta and its surroundings, Hiroshima City.

On the basis of three-dimensional field measurements including instrumented wiresonde observations of meteorological elements, it is concluded that the thermal structure of urban atmosphere in the near surface layer is different from that in the layer above rooftop level. Dividing height between the layers can be specified from observed vertical wind profiles. Though the heat island at the surface level develops in the early evening, the thermal effect of the urban area to the layer above the rooftop level is striking during the daytime. Development of the daytime elevated heat island is mainly caused by the upward sensible heat flux from the heated urban surfaces such as rooftop due to the mechanically induced turbulence under moderate sea-breeze condition.

Respecting the hydrological circulation, the water budget in the urban area located in Ohta-gawa Delta was obtained by means of the remote-sensing method, the field measurements and the isotope analysis. The investigations are mainly made up of the rainfall-runoff process analysis both at the urbanized area and the non-urbanized one, the regional evapotranspiration

using land classification obtained from Landsat data, etc. Especially, it is noteworthy to tell that the ratio of the evapotranspiration and surface runoff in the hydrological cycle inside the urban area is totally large, namely, 86%.

研究目的

本研究は広島市太田川デルタ流域を例として、都市の形成・肥大化に伴う都市域を含む自然流域の大気・水文環境の構造と変容を熱と水の循環を基本として調べ、都市と自然環境のあり方の指針となることを目的としている。

大気環境に関しては夏季に広島市市街地を対象として高度 80 m までの気温と風速の繫留気球による多点同時観測を実施し、その観測資料をもとに都市大気の立体構造を明らかにする。その上で、日中において市街地上空に認められた高温域に注目し、立体構造を持つ都市ヒートアイランドの形成プロセスに関する考察を行う。また、市街地を流れる河川の流路が海陸風の風向と平行しており、海陸風が粗度や熱的特性の異なる市街地上と河川上とを吹走する。そこで、接地層に与える市街地の影響をより鮮明に捉えるために両者の比較を行う。

さらに、都市域（広島市太田デルタ市街地）と非都市域の相互作用的な自然系水循環の実態の把握と量的な評価を試みる。

研究経過（方法）

繫留気球の観測地点は図 1 に示した 7 地点で、海陸風の主風向である南南西から北北東方向に配列した。このうち、地点 DJM は海岸部、地点 GON は内陸部郊外の観測点、また、地点 MTM と SMY は太田川本川の河川敷上の地点で、これらを結ぶ GON-MTM-SMY-DJM を河川沿い測線とする。さらに、地点 HRU は市街地南部、地点 NBR は市街地中心部の北側に隣接する地点で、これらを結ぶ GON-HKS-NBR-HRU-DJM を市街地測線とする。

繫留気球による観測は 1990 年と 1991 年のそれぞれ 7 月下旬に行った。1990 年の観測では市街地測線と河川沿い測線における気温・風速鉛直分布の実態を捉えることに解析の重点をおい

た。1991 年の観測では市街地測線に限定したが気温観測に関するトラブルが多く、結果として測線に沿った風速プロファイルの解析ならびに建築物の表面温度と気温との関係に関する解析に重点をおくことになった。1991 年の観測では地点 HRU において建築物の表面温度および屋上面上での気温の測定も併せて行い、都市建築物の熱的役割を考察するための資料とした。

都市域地表面の土地利用の実態と広域熱環境を調べるために、人工衛星によるリモートセンシングを行った。使用したリモートセンシングデータは地球観測衛星ランドサット 5 号搭載のセンサーである TM によって得られた画像データである。この TM の熱赤外域のバンド 6 の画像を幾何補正および統計処理をして地表面の温度分布を 120 m の分解能で捉えることにした。

本研究において水循環の研究対象となっている基本試験流域は図 1 に見られるように広島市太田川デルタとそのまわりの自然林地からなる破線で示された EB1 である。自然林地では地表面を土壌が覆い、その下に花崗岩が見られる。デルタ市街地は大半がビル、家屋、被覆道路などで地表面が覆われ、その下には干拓の名残の砂層が少なくとも約 1 m から数 m 下まで存在している。

試験流域内の都市化および非都市化地域での水循環の基本的な経路や水収支計算の基礎パラメータを求めるために、三つの観測点を設けた。まず、都市域内での裸地-草地における水循環観測のために広島市太田川デルタ EB1（各デルタの集合体）内の広島女子大学グラウンド GMHS（図 1）において気象・地中水文連続観測を実施した。観測項目は風速、風向、気温・湿度、土壌水分、地下水位、地中温度などであった。また、広島大学（図 1 の HRU）グラウンドにおいても集中観測に従って接地境界層の気象観測（風速、気温・湿度）と土壌の水文観測（雨量、水分量、地中温度、地下

水位)を行った。観測は1990年に行った。

非都市化域での水循環の実態および水文パラメータを知るために広島市の西に隣接している府中町の榎川流域 EB2 (図1) で降雨時に1991年に不定期に河川水文観測を行った。原則として週に1度河川の流量、水温、pH、電気伝導度を測定し、さらに採水を行って水質分析を Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- の7項目について実施した(定期観測)。また、降雨による河川流出特性を知るために秋季に降雨中およびその後において時間単位で前述と同様の測定項目と雨量を測定す

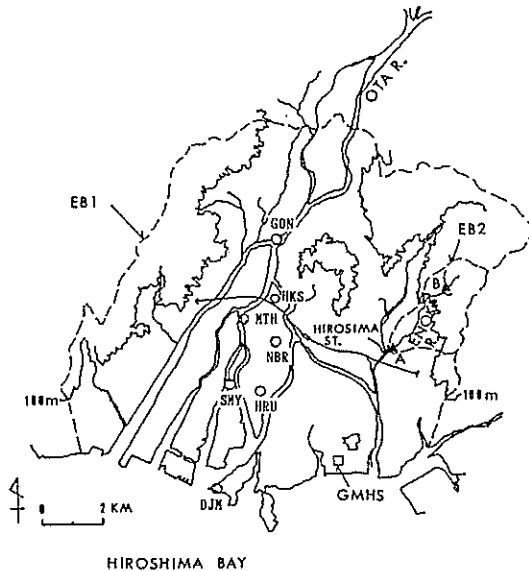


図1. 基本試験流域 EB1 (GMHS: 広島女子大学, HRU: 広島大学) と榎川試験流域 EB2

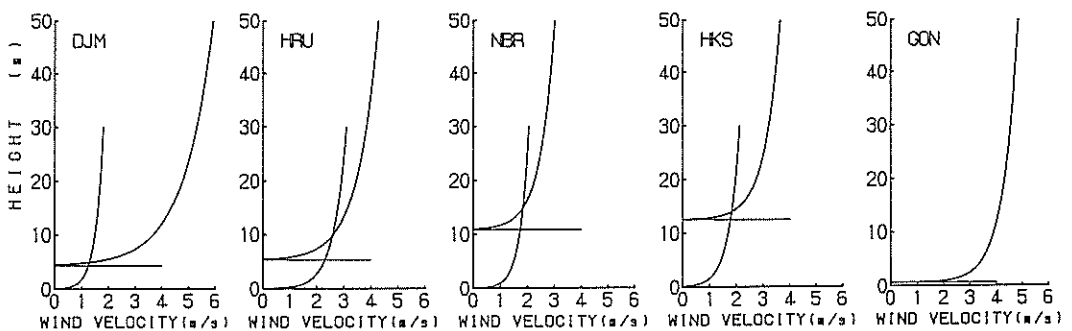


図2. 対数式で近似された各地点の風速プロファイル
細線は上側の風速プロファイルにおけるゼロ面変位の高度を示す。

る集中観測をした。いずれの観測地でも土壌の水文特性試験を実施した。EB1 では都市化された市街地の熱・水環境を主に大気環境学的に、EB2 では都市化と非都市化地域での熱・水環境を主に水文学的立場から比較検討しながら研究することとした。都市内の非人工被覆地の水収支計算パラメータの同定を行うために鉛直一次元の降雨-土壌水の数値シミュレーションを有限差分法(クランク-ニコルソン法)を用いて実施した。

研究結果

1. 都市域における風速の鉛直構造

風速の鉛直分布は大気の安定度とも関連するため、日中と夜間の差異も検討を要する課題である。しかし、夜間に卓越する陸風は特に夏季に風速が小さく風向の安定度が良くない。夜間については風向が必ずしも測線に沿っているとみせない場合が多いため、ここでは風向が比較的安定している日中の海風時に限定して解析を行った。観測では繫留気球を高度80mまで上昇させ、そこから順次高度を下げながら指定高度で滞留させて、2分間の風程を測定した。この方法では風速のように時間変動の大きい気象要素の場合、高度方向の観測値の同時性を仮定することが困難で、1回の観測による風速プロファイルには代表性が乏しいと考えられる。そこで、日中海風時の平均風速プロファイルを議論の対象とした。

地点GONを除く各地点の平均風速プロファイルに共通した特徴として、縦軸に高度の対数をとった場合に下層ではプロファイルは直線に近い

のに対して、ある高度でプロファイルが屈曲し、その高度以上ではプロファイルが下に凸となっていることが挙げられる。プロファイルが屈曲する高度を境に、その上下層について風速の対数式(1)を各高度の平均風速にあてはめ、最小二乗法によって地点ごとの各係数の値を求めた。これにより、各地点における上下層それぞれの平均風速プロファイル $U(z)$ の形態が記述される(図2)。

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z-d}{z_0} \quad (z \geq d+z_0), \quad (1)$$

ここで、 z : 高度、 u_* : 摩擦速度、 d : ゼロ面変位、 z_0 : 粗度、 κ : カルマン定数(=0.4)とする。

上側のプロファイルに関するゼロ面変位の高度を上層風に関する見かけ上の地表面、あるいは上側と下側のプロファイルの交点を風速が従う対数分布の移行点と考えれば、これらの高度付近に風速の鉛直構造に関する不連続面、すなわち下側の都市キャノピー層と上側の都市境界層との界面を想定することができる。

図3には建築物高度の断面に、実線で上側(都市境界層下部)の風速プロファイルに関するゼロ面変位の高度を、破線で二つの風速プロファイルの交点の高度を重ねて示した。これらは共に建築物の高度にほぼ対応して推移しており、都市キャノピー層の高度は都市中心部(地点NBR)あるいはそのやや風下側(地点HKS)において最も高さを増していることがわかる。また、地点NBRに

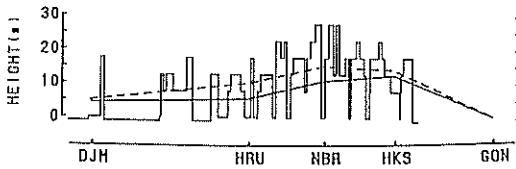


図3. 市街地域測線に沿う都市キャノピー層高度の変化
実線と破線はそれぞれ都市境界層下部風速ゼロ面変位高度と上下プロファイルの交点を示す。

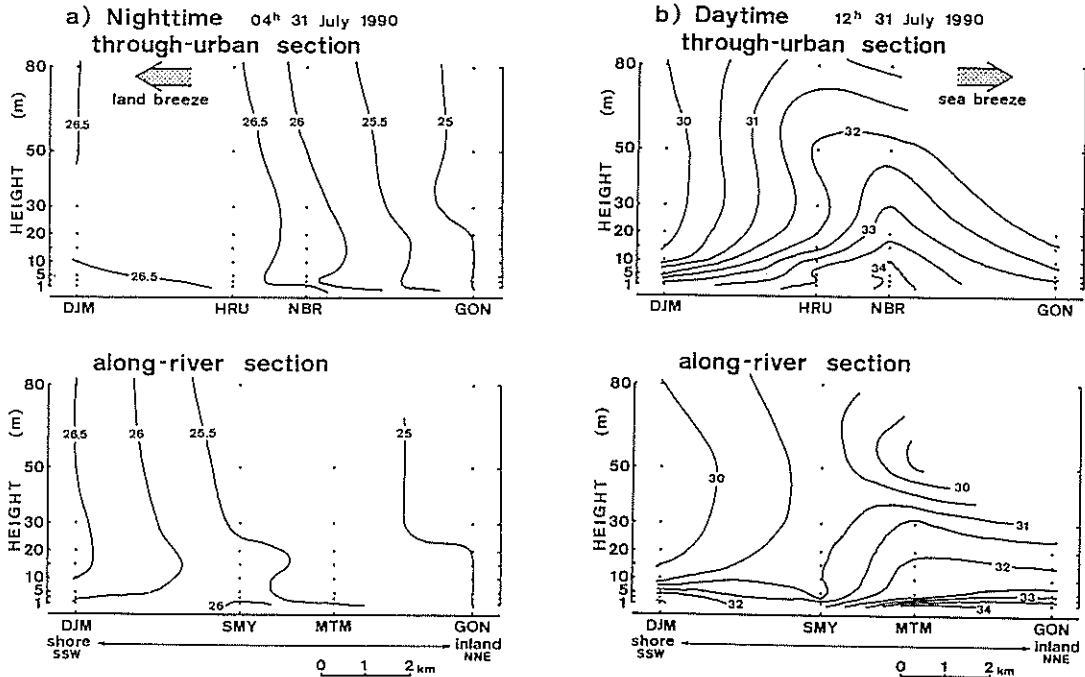


図4. 気温の鉛直断面(°C)
a: 夜間(1990年7月31日04時); b: 日中(1990年7月31日12時)
上図と下図はそれぞれ市街地域測線と河川沿いを示す。

おけるゼロ面変位および交点の高度は広島市における平均建築物高度 (17 m) の 7~8 割程度であり、都市キャノピー層の高度が屋上面の平均高度と同等かやや低いとした Oke (1976) の推定と符合している。

2. 都市ヒートアイランドの立体構造

以下では都市キャノピー層から都市境界層下部における気温分布の実態を捉え、それをふまえて立体構造を有するヒートアイランドの成因について考察を行う。

陸風の卓越する深夜から早朝には、市街地域・河川沿い測線ともに、鉛直方向にはほぼ等温で、陸側から海側に向けてしだいに昇温している (図 4-a)。この時には都心域を中心とするヒートアイランドは明瞭には認められない。これに対して海風が発達する日中 (図 4-b) には市街地域測線において上空へ延びる高温域 (以下ヒートドームと呼ぶ) が顕著に現れており、このときヒートドームの中心は市街地中心部付近にある。一方、河川沿い測線では、下層において高温域が風下側に流されていることを示唆する気温分布を示しており、ヒートドームの形成は明瞭ではない。風速の鉛直プロファイルによると市街地域では河川沿いに比べて都市キャノピー層内で風が減速されており、市街地域では移流による顕熱の損失が少ないと考えられた。

都市キャノピー層と都市境界層とでヒートアイランドの形成プロセスが異なっているならば、都市キャノピー層と都市境界層におけるヒートアイランド強度の時間変化は平行する必然性はない。それゆえ、両層におけるヒートアイランドのふるまいに関する時間変化の比較はヒートアイランドの形成要因を考察する上で重要な意味を持つ。そこで、高度 20 m (都市境界層下部) と 1 m (都市キャノピー層) について市街地域測線上における最高気温と最低気温との差をヒートアイランド強度と定義し、それぞれの時間変化を求めた。これによると都市境界層下部のヒートアイランド強度は日中に大きなピーク (約 4°C) があり、夜間には小さい値 (1.5~2°C) で安定している。これに対して、都市キャノピー層内では夕刻から日没後に

おいてヒートアイランド強度の極大 (約 3°C) が現れ、日の出後に極小 (約 1°C) となる日変化をする。さらに、都市キャノピー層内の高温の中心は都市中心部にほぼ固定されているのに対して、都市境界層下部の高温域は風向によって位置を変えることがわかった。このように都市キャノピー層と都市境界層下部とではヒートアイランド強度の時間変化などが異なっており、両層におけるヒートアイランド形成のメカニズムが異なっていることを示唆している。

気層の昇温量からヒートドーム形成に要する熱量を算定した結果、昇温層の厚さが約 50 m であった正午頃には $85 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 程度の顕熱フラックスの収束が必要で、これは都市的構造物から大気中へ向かう顕熱フラックス ($250 \sim 300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) の 30~40% に相当する。しかし、時間帯によっては気層の昇温に必要な熱量が、都市的構造物から大気中へ向かう顕熱フラックスを上回る場合があり、より上空の高温位層からの熱輸送を想定する必要が示唆された。

このようなヒートドームは日中において顕著に現れるが、その時間帯には市街地中心部とその風上側との気温差は都市キャノピー層内よりもその上空においてより大きかった。すなわち、日射によって加熱されている都市構造物、特に、上空に存在し日陰になりにくい屋上面がヒートドーム形成に対して重要な熱的役割をはたしていることが予想される。地点 HRU において赤外放射温度計で測定した屋上面温度、道路面温度および平均壁面温度によると、屋上面温度は道路面温度より約 8°C、平均壁面温度よりも約 15°C 以上高温である。これに対応して屋面上 3 m の気温は地上 3 m の気温に比べて日中では 2~3°C 高温になっており、ほぼ同高度の地上 20 m の気温と比べて 4~5°C 高温になっている。また、都市境界層下部のヒートアイランド強度が正午過ぎに顕著な極大を持ち、屋上面温度と同様な時間変化を示すことは、都市境界層下部の気層に対して屋上面が重要な熱源になっていることを意味していると考えられる。

一方、都市キャノピー層内のヒートアイランド

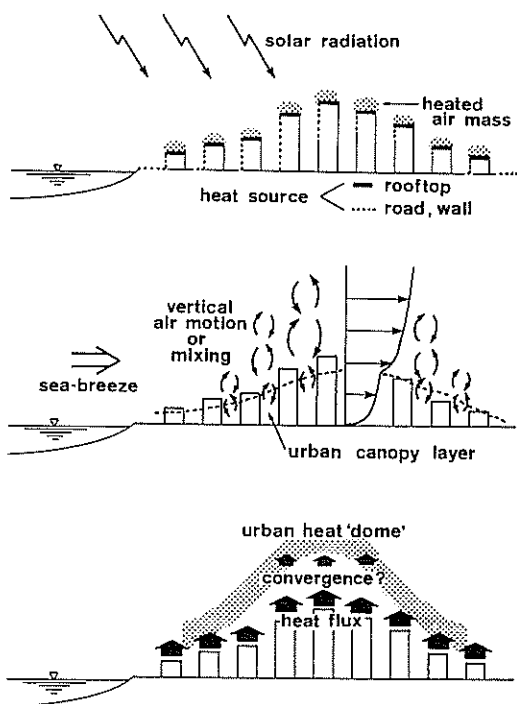


図5. 日中海風時におけるヒートドーム形成過程の模式図

は夕刻から日没後において発達しており、高温域が都市中心部にほぼ固定されていることから、建築物群の幾何的特性に起因する都市キャニオン内空気の保温に関わる長波放射収支の場所的差異(Oke and Maxwell, 1975)にその形成の主要因が求められよう。

観測結果から想定された都市境界層下部のヒートドーム形成過程を図5に模式的に示した。日中、日射を受けている建築物表面は気温より高温になるため、そこを熱源として近傍の空気が加熱される。なかでも屋上面は都市域に特有な「上空」の熱源であり、他の表面に比べても特に高温になることから、都市境界層下部に対して重要な熱源になっていると考えられる。また、水蒸気圧の高度分布から間接的に都市域における空気の鉛直混合の存在が捉えられ、海風が都市域を通過する際に大きな地表面粗度によって空気の鉛直混合が生じると考えられる。これにより、屋上面付近および都市キャノピー層内の熱が上空に運ばれ、都市

境界層下部で顕熱フラックスの収束があることにより、顕著なヒートドームが形成されると考えられる。

3. 都市化および非都市化地域の降雨-流出過程

地中水文観測の結果、デルタ内の土壌は粗砂から中砂であった。その水文特性を見ると、飽和透水係数は平均して 1.97×10^{-2} から 1.24×10^{-3} cm/sec、間隙率は約 35%、最小水分容量は約 5% であった。これらの結果から、デルタ内の土壌は透水性は高く、水分保持能力が低いことがうかがえる。

広島大学構内およびその周辺での人工被覆面での降雨時の表面流出観測から、降雨水は降雨後直ちに排水されてしまうことがわかった。降雨後の地表面の窪地に残る水は面積的には 1~2% あるが、自動車等の往来によって結果として排水されてしまった。また、デルタ内の裸地面や草地面では共に土壌の高い浸透性に加えて平坦でもあったため、降雨水は地中へ入ってしまうことが明らかとなった。

非都市域である林地での降雨-流出過程を知るには河川流出がポイントになるが、観測の結果、本試験流域では降雨時の河川への地下水流出が重要であり、同位体分析 ($\delta^{18}\text{O}$ 分析) から地下水流出の河川流出に占める割合が 73~87% であることがわかった。また、年流出率は 1990 年の 4 月から 12 月までの月流出率の平均をとってみると約 53% であった。

裸地、草地面での大気-地中間水分移動の数値シミュレーションを行うとともに、前年度以降に実施した広島女子大学研修センター内圃場での観測結果との比較検討も行った。地表面での蒸発散量の入力条件設定に問題を残しながらも移動パターンや日単位フラックスに関して精度的には十分であった上、降雨後の地中の水分移動が数値シミュレーションでも確認された。したがって、蒸発量を求める際にやはり地中熱量を考慮する必要がある。本研究では後述の広域蒸発散量計算のために、正味放射量から地中熱流量を求める換算パラメータ C_r が得られた。得られた C_r は裸地-草

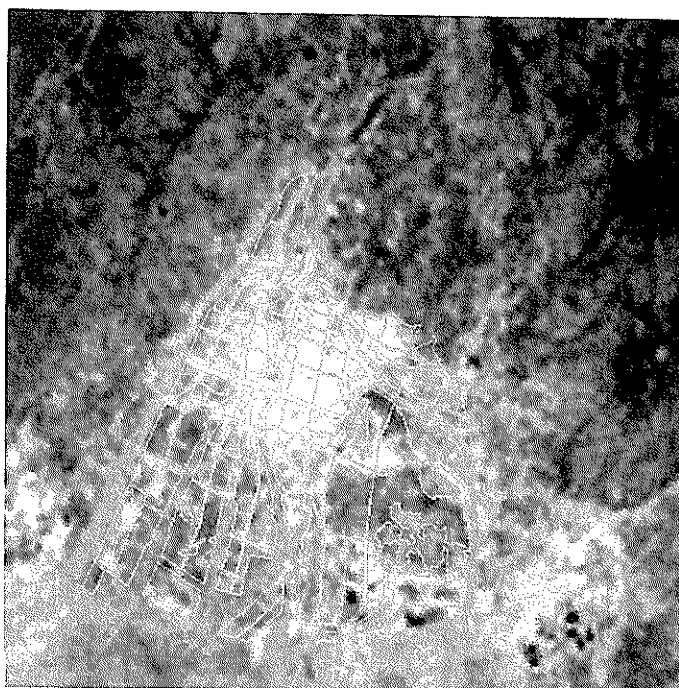


写真1. 広島市太田川流域のランドサットデータによる熱映像（写真中央は太田川デルタ，向かって左から4番目と5番目の太田川支流に囲まれたデルタが国泰寺デルタ）

地で0.1，畑で0.2であった。また，アルベドは裸地で0.16から0.32，草地で0.15から0.29であったが，いずれも太陽高度と土壌水分量に依存した。

4. 衛星観測による土地利用と広域温度分布

実験地の地表面を国土数値情報に基づいて田，畑，果樹園，荒地，森林，裸地，草地，建築用地，幹線交通用地，湖沼，河川，海などに区分した。さらに，現地調査を行って土地利用を調べた結果，試験流域の中で林地が全体の49.4%，人工被覆地（建築用地，幹線交通用地）が24.6%，水田が9.3%，裸地が7.4%，畑が2.3%，草地が0.9%，河川・湖沼が6.1%を占めることが明らかとなった。

ランドサットの熱映像の解析を行って実験地のヒートアイランドを写真1（市街地デルタの輪郭と道路を実線で示してある）のように明らかにした。解析に要するデータが周回軌道や天候のため限られた日時のものしか入手できなかったため，ここに示したものは1987年3月3日

9:00PMのものである。国泰寺デルタ（市街地中央の大きなデルタ）の中央部が最も白く高温（黒くなればより低温）であることがわかる。この地域は明らかに人工被覆地であり，この高温の要因として挙げられる。また，注目すべき点は太田川

表1. 試験流域の広域蒸発散量の計算結果

| 月 | 月蒸発散量 (mm) | |
|----|------------|-------|
| | 1990年 | 1991年 |
| 1 | 27.6 | 34.4 |
| 2 | 37.5 | 34.2 |
| 3 | 77.5 | 52.1 |
| 4 | 75.6 | 70.5 |
| 5 | 89.9 | 72.5 |
| 6 | 93.0 | 60.9 |
| 7 | 105.4 | 80.3 |
| 8 | 123.1 | 104.2 |
| 9 | 75.6 | 87.2 |
| 10 | 61.4 | 78.2 |
| 11 | 44.1 | 50.1 |
| 12 | 34.4 | 32.6 |
| 計 | 845.1 | 757.2 |

表 2. 水収支計算結果 (単位は mm)

| 年 | 降水量 | 蒸発散量 | 表面流出量 | 浸透量 |
|------|------|-------|-------|-------|
| 1990 | 1848 | 845.1 | 748.7 | 254.2 |
| 1991 | 1627 | 757.2 | 646 | 223.8 |

デルタ周辺の森林域でも白い部分がかかなり見られるが、今後、森林気候学的な立場からの解析が必要と思われる。

5. 土地利用別の広域蒸発散量

試験流域の広域熱環境を定量的に明らかにするために、前述の土地利用区分の結果を用いて土地利用区分別の蒸発散量を Kotoda (1986) に従って計算した。蒸発散量そのものの計算方法は Penman 式である。本試験地域のための C_r とアルベルトはそれぞれ、水田で 0.15 (0.8: 夏期) および 0.08~0.28, 畑で 0.2 と 0.23~0.25, 果樹園で 0.18, 0.16, 0.15 (夏期) および 0.15~0.17, 林地で 0.4 および 0.09~0.12, 人工被覆地は 0.4 (市街地), 0.3 および 0.23~0.32, 河川・湖沼で 0.1, 0.2 および 0.06~0.2 であった。その他の気象データは広島地方気象台のものを用いた。計算結果を示すと表 1 となった。月別の広域蒸発散量がこの表に示されているが、やはり夏に蒸発散が盛んであることがわかる。

6. 試験流域の自然系水循環と収支

基本試験流域内での自然系水循環に従って水収支式を立てると以下ようになる。

$$P = E + R + I + \Delta S \quad (2)$$

ここで P は降水, E は蒸発散, R は表面流出, I は浸透, ΔS は土壌水分変化を表している。

前述の土地利用区分を浸透性に基づいてさらに裸地, 草地 (水田, 畑を含む), 林地, 水域, 人工被覆地 (前 4 者以外のすべて) の 5 種類にまとめ、それぞれについて各地表面についての水収支を考える。この時、年間を通じての ΔS をゼロおよび降水は平面的に一様であると仮定し、観測結果から非浸透面積率を 69.3%, 林地の流出率を 0.52, 裸地と草地の浸透率 (浸透量/降水率) をそれぞれ算出して本試験流域の水収支計算を実施した。本試験流域の自然系水循環は降水-蒸発散-表面流出-浸透と考えてよいため、その計算結果を

示すと表 2 のようになる。1990 年, 1991 年いずれの場合も蒸発散が降水量の約 46%, 表面流出が 40% であり、本試験流域内での自然系水資源の利用が低いと考えられる。

今後の課題と展望

本研究では都市キャノピー層と都市境界層との相互作用の実態については言及することはできなかった。具体的には都市キャニオン上端付近における熱・運動量輸送の把握が必要になるだろうが、観測の困難さとともに個々のキャニオンの特性をどのように一般化するかという問題もあり、今後に残された課題である。

また、広島市都市域での人工系水循環に基づく水収支計算と自然系水循環との相互作用が未解明であり、今後取り組まねばならない課題の一つである。

参考文献

- Kotoda, K. (1986): Estimation of river basin evapo-transpiration. *Environmental Res. Center Papers (Univ. of Tsukuba)*, 8, 66 p.
- Oke, T.R. (1976): The distinction between canopy and boundary layer urban heat island. *Atmosphere*, 14, 411-437.
- Oke, T.R. and Maxwell, G.B. (1975): Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmos. Environ.*, 9, 191-200.

発表論文リスト

学会誌等

- 1) 田瀬則雄: 水文プロセスとトレーサー—課題と展望—。ハイドロロジー (日本水文科学会誌), 23, 83-89 (1993).
- 2) 福岡義隆, 高橋日出男, 開発一郎: 都市気候環境の創造における水と緑の役割. 日本気象学会誌, 29, 101-106 (1992).
- 3) 横山卓生, 開発一郎, 田瀬則雄, 宮下雄次: 降雨に伴う自然流域都市河川の流出特性と水質. 環境科学会誌, 6, 111-119 (1993).

口頭発表

- 1) 開発一郎, 坂井紀之, 福岡義隆: 土壌水分, 太陽高度, 粗度の砂質土壌草地面のアルベドに及ぼす

- 影響（1992年日本気象学会春季大会）。
- 2) 近藤昭彦，開発一郎：ランドサット衛星で捉えた広島市市街地の温度分布について（1993年度日本地理学会春季大会）。
 - 3) 高橋日出男，福岡義隆，開発一郎：広島市における都市気候の立体構造（第2報）—夏季日中海風時における風速の鉛直分布について—（1992年度日本地理学会春季学術大会，東京）。
 - 4) 高橋日出男，張一平，福岡義隆，開発一郎：都市域の屋上面上における気温・風速プロファイルと顕熱フラックス（1992年度日本地理学会秋季学術大会，仙台）。
 - 5) 高橋日出男，福岡義隆，開発一郎，山根高志：広島市における都市気候の立体構造（序報）（1991年度日本地理学会春季学術大会，東京）。
 - 6) 張一平，福岡義隆，高橋日出男：都市キャノピー面の風と温度の特徴（1993年度地理科学学会春季学術大会，広島）。
 - 7) 張一平，福岡義隆，開発一郎，高橋日出男：都市内外における気象要素の垂直分布の違い（平成3年度日本農業気象学会中国・四国支部大会，倉敷）。
 - 8) 張一平，福岡義隆，開発一郎，高橋日出男：都市における熱収支の特徴（第1報）（1992年度地理科学学会春季学術大会，広島）。
 - 9) 成田健一：樹林によるアーバンクールスポットの形成手法（その3）—エッジ効果の実測（1993年度水文・水資源学会）。
 - 10) 成田健一：緑のアトリウムによるクールスポットの形成手法に関する研究—その4。スケール効果の把握を目的とした詳細実測（1993年度日本建築学会大会）。
 - 11) 成田健一，松下嘉宏：建物屋上面の熱収支と風環境に関する実測研究（その1）（1992年度日本建築学会中国支部，165-169）。
 - 12) 萩原良俊，福岡義隆，高橋日出男：都市気温分布の立体構造に関する気候学的研究（1992年日本気象学会関西支部例会，広島）。
 - 13) 福岡義隆，高橋日出男，山崎洋一：広島市における都市キャノピー層の気温分布（1990年日本気象学会関西支部例会，広島）。
 - 14) 福岡義隆，高橋日出男，開発一郎，山崎洋一：広島市における都市キャノピー層の気温分布（1991年日本地理学会春季学術大会，東京）。
 - 15) 福岡義隆，高橋日出男，山根高志，開発一郎，成田健一，清田誠良，林陽生：広島市市街地における係留気球観測（1990年日本気象学会関西支部例会，広島）。
 - 16) 横山卓生，開発一郎，田瀬則雄，宮下雄次：地下水の河川の自浄作用に果たす役割（1991年環境科学学会）。
 - 17) Fukuoka, Y., Takahashi, H. and Kaihotsu, I.: Air temperature of urban canopy layer and thermal structure of heat dome in Hiroshima city. 2nd Tohwa University International Symposium, CUTEST '92. Fukuoka, 1992.
 - 18) Kaihotsu, I., Fukuoka, Y. and Sakai, N.: Observations on evapotranspiration and soil water movements in reclaimed land with the grass surface after rainfall, 27th International Geographical Congress. Washington D. C., 1992.
 - 19) Takahashi, H., Fukuoka, Y. and Kaihotsu, I.: Urban heat "dome" and thermal behavior of the urban canopy layer in Hiroshima. 27th International Geographical Congress. Washington D. C., 1992.