

- 学会誌, 10, 329-336.
- 神田 学, 森脇 亮, 鈴木 譲, マティアス ロート, ティム オーク, 2000: 住宅街の接地境界層における乱流フラックスの実測ーシンチロメータの利用ー, 天気, 47, 453-462.
- Katayama, J., Tsutsumi, A., Ishii, M. Nishida and M. Hashida, 1989: Observations of heat flux in an urban area with a large Pond by kytoons, J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 32, 41-50.
- 川原 誠, 2002: 都市キャニオン上端における熱輸送係数の推定, 防衛大学校修士論文, 148pp.
- 亀卦川幸浩, 2001: 熱環境と空調エネルギー需要の相互作用を考慮した都市高温化対策の評価, 東京大学学位論文, 205pp.
- 木村富士男, 1992: 都市の熱汚染, 大気汚染学会誌, 27, A87-A94.
- Kusaka, H., H. Kondo, Y. Kikegawa and F. Kimura, 2001: A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: comparison with multi-layer and slab models, Bound.-Layer Meteor., 101, 329-358.
- Masson, V., 2000: A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models, Bound.-Layer Meteorol., 94, 357-397.
- 水谷孝一, 小泉智也, 永井啓之亮, 原川健一, 釜田裕介, 1998: 音響波プローブを用いる空間温度モニタリング, 電気学会論文誌, 118-E, 154-160.
- Narita, K., 1997: Annual observation on the temperature field in Hiroshima city, Proc. the Second Japanese-German Meeting, 243-246.
- Oke, T. R., 1973: City size and the urban heat island, Atmos. Environ., 7, 769-779.
- 榊原保志, 1999: 長野県小布施町におけるヒートアイランド強度と郊外の土地被覆との関係, 天気, 46, 567-575.
- Schmid, H. P., 1994: Source areas for scalars and scalar fluxes, Bound.-Layer Meteor., 67, 293-318.
- 菅原広史, 近藤純正, 1995: 都市における各種地表面温度の敏感度解析, 天気, 12, 813-818.
- Sugawara, H., 2001: Heat exchange between urban structures and the atmospheric boundary layer, Doctoral Dissertation Tohoku Univ., 145pp.
- Sugawara, H., K. Narita and T. Mikami, 2001: Estimation to Effective thermal property parameter on a heterogeneous urban surface, J. Meteor. Soc. Japan, 79, 1169-1181.
- 植松 康, 野口満美, 2002: 東北地方における風観測, 風工学会誌, 92, 55-64.
- 山添 謙, 一ノ瀬俊明, 1994: 東京およびその周辺地域における秋季夜間の晴天時と曇天時のヒートアイランド, 地理学評論, 67A, 551-560.
- Voogt, J. A. and C. S. B. Grimmond, 2000: Modeling surface sensible heat flux using surface radiative temperatures in a simple urban area, J. Appl. Meteor., 39, 1679-1699.

109:501 (ヒートアイランド)

3-2. 「観測から見た熱帯夜の形成機構」に関するコメント

ー都市の大気物理環境把握に向けた3つの試みー

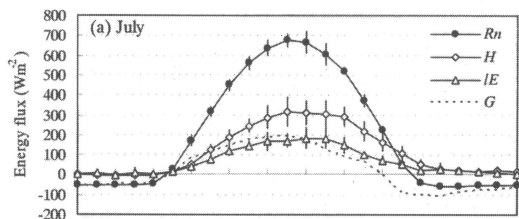
神 田 学*

1. はじめに

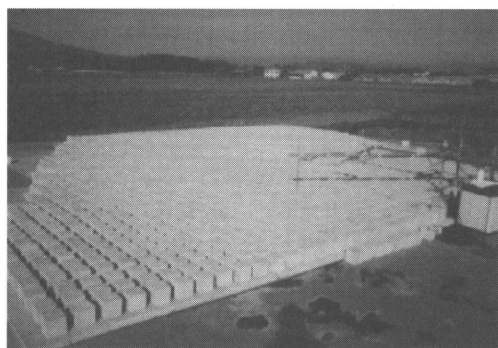
都市気象は近年大きな社会的関心をよび活発な研究

* 東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻,
kanda@ide.titech.ac.jp

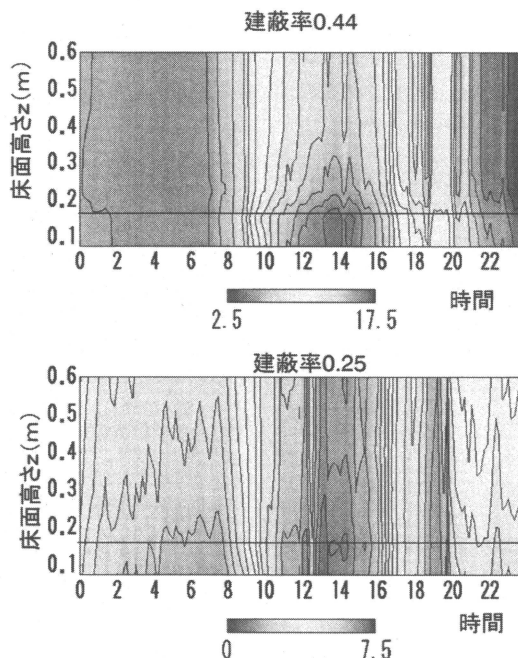
が行われている。本論では、菅原の観測面から見た研究動向を踏まえて、今後どのような研究が必要であるか、あくまで筆者の私見として前向きな視点に立って3つの提案を行うものである。ただし、熱帯夜に限らず、都市気象全般を対象とする。



第1図 世田谷住宅街（久が原タワー）における夏季晴天日の熱収支アンサンブル平均。Rn, H, LE, G は、それぞれ正味放射、顕熱、潜熱、蓄熱を表す。



第2図 屋外スケールモデル実験の試み。



第3図 屋外スケールモデル都市の気温分布時系列。建坪率によってキャノピー（図中実線が屋根面）内と上空の気温差に顕著な違いが現れる。

ルーチンデータを利用した都市気温の水平面分布や長期トレンドなどの資料解析は非常に充実し、ヒートアイランドの気候学的側面が明らかにされる反面、キャノピーモデルの構築・検証に資するような熱流体力学的な物理データが不足しているというのが筆者の考えである。放射・乱流過程という物理的側面に焦点を絞ったデータの取得が不可欠である。

2. 都市のフラックス観測網（提案1）

地表気温など平面データに比べて、都市域での熱・水蒸気フラックスの観測は世界的に見ても驚くほど少ない（Kanda *et al.*, 2002）。地球環境分野では世界中の様々な自然地でフラックス観測網が展開され、その数は数百に及ぶのに比べ、寂しい状況である。非一様性の強い都市で如何に代表的なフラックスを得るかという技術的問題もあるが、都市の幾何構造や人的活動の違いを踏まえて、熱・水フラックスのための観測ネットワークの構築がなされるべきである。

都市域におけるフラックス観測例を以下に示す。第1図は世田谷区の密集住宅街（久が原タワー）における連続フラックス観測データである。夏季に蒸散量が

最大200 (w/m²) 程度と多いことがわかる。緑被面積率から1次元植生モデルで単純に推定される蒸発散量よりも1.5倍から2倍も大きい。都市材料からの蒸発などいろいろな原因が考えられるが、孤立した庭木などは3次的に高温・乾燥した都市空気に曝されているわけであり、かなりのオアシス効果が働いていることが想像される。とすれば、土地利用の面積比率で蒸散量を割り振る既存のやり方ではうまくないだろう。工学上重要な「緑化政策」の評価に対してもこのようなオアシス効果の把握は本質的に重要となろう（森脇・神田, 2003）。

また銀座で計測した夏季のフラックス計測例によると顕熱を凌駕する潜熱が記録されている（図略）。これは、地域冷房システムにより、ビル屋上面で多量の潜熱が使用されることによるもので、場所・季節によっては膨大な人工水蒸気も放出されている（神田ほか, 1997）。

3. 大気安定度・放射環境を考慮した実験（提案2）

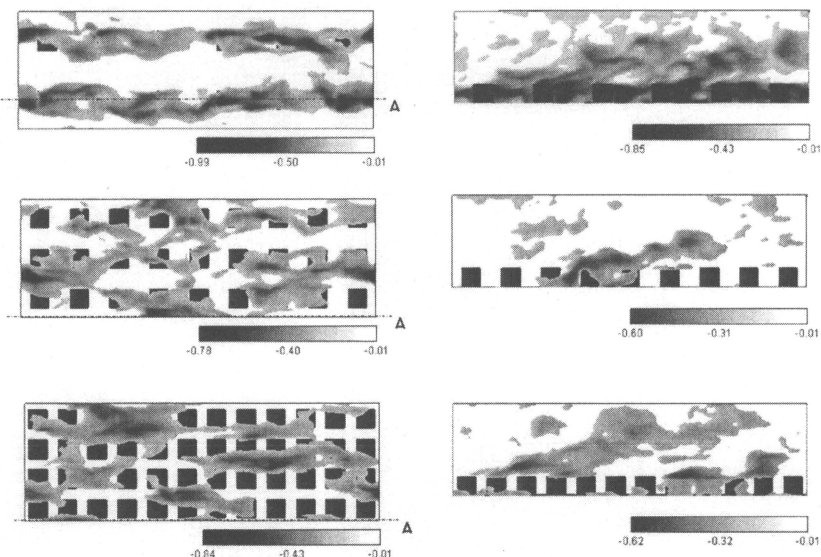
風工学や流体力学分野における数多くの風洞実験から、都市キャノピー層内外の乱流構造について多くの

知見が得られてきたが、その多くは中立大気のものであり、大気安定度の影響を論じた実験データは極めて希である (Uehara *et al.*, 2000). 都市気象の知見をヒートアイランド以外の各種の大気環境問題、例えば、道路面からの汚染物質拡散などに応用していくのであれば、鉛直方向の気温・乱流計測、とりわけ物質輸送に及ぼす大気安定度や日射環境の影響が重要になるだろう。屋外観測は都市の幾何構造など実験パラメータを制御することが難しく、また室内実験では大気安定度や日射環境を制御することが難しい。そこで、第3の方法として「屋外におけるスケールモデル実験」を

提案したい。第2図は松阪市の広大な休耕田上に作成された都市気象のためのミニチュア実験施設を示す。コンクリート製15 cm 立方体の模型を15 m 四方の領域に規則的に配列し、3次元的な都市キャノピーを模擬している。実験では東西南北の鉛直壁および屋根面・床面それぞれについて熱収支解析を行うことが可能である。また、建坪率を変化させると、熱交換効率が変化し、気温の鉛直分布がドラスティックに変化する(第3図)。屋外実験の最大の欠点は、実スケール都市との間に熱慣性の相似が満たされない点である。この点を克服するため、模型を10倍に拡大した「準実スケール屋外実験」を開始する予定である。これによりキャノピーモデルの構築・検証のための物理データセットの取得を目指す(科学技術振興事業団CREST「水の循環系モデリングと利用システム」)。

4. 間欠的な乱流構造の把握 (提案3)

都市キャノピー内の流れは幾何構造に応じていくつかのパターンに分類出来ることが知られている。しかしながら、これらは時間平均後に残る循環流であり、実際の都市内でこのような定在渦が存在している訳ではなく、乱流はもっと間欠的でダイナミックなもので



第4図 LESによる建物群内外の大規模組織構造。建坪率(上段:0.11, 中段:0.25, 下段:0.44)によって大規模乱流構造の時空間構造が変わる。左列が真上から見た図, 右列が真横から見た図(流れは左から右)。図中ハッチングは流下方向風速の水平断面平均値からのずれが負の領域(低速域)を表している。これは低速ストリークと呼ばれる筋上の大規模な乱流構造である。このような大規模構造の通過に伴いキャノピー内の運動量・物質も強い間欠性を有する。

ある。このような乱流のダイナミズムは物質や熱の輸送において大変重要であるが、あまり理解されていない。乱流数値解析法の1つである Large Eddy Simulation (LES) による都市キャノピー内外に形成される組織構造の解析例を示す(第4図)。ここで乱流構造とは単に建物の Wake Turbulence を意味するのではない。平坦な平板乱流境界層においても形成されるヘアピン型の縦渦などと同様、建物スケールの何倍にも及ぶ大規模で組織的な構造で、流体の自己不安定で生成されるものを意味している (Kanda *et al.*, 2004)。建築分野では建物単体周りの流れの詳細な LES 解析などが盛んであるが、建物を群として陽的に扱い、都市境界層の乱流構造に着目した研究は少ない。

参考文献

- 神田 学, 高柳百合子, 横山 仁, 森脇 亮, 1997: 銀座オフィスビル街における熱収支特性, 水文・水資源学会誌, 10, 329-336.
Kanda, M., R. Moriawaki, M. Roth and T.R. Oke, 2002: Area-averaged sensible heat flux and a new method to determine zero-plane displacement length over an urban surface using scintillometry,

Bound.-Layer. Meteor., 105, 177-193.
Kanda, M., R. Moriwaki and F. Kasamatsu, 2004 :
Large eddy simulation of turbulent organized structure within and above explicitly resolved cube arrays, Bound.-Layer. Meteor., (印刷中).
森脇 亮, 神田 学, 2003 : 都市接地層における放射・熱・水・CO₂フラックスの長期連続観測, 水文・水資源

学会誌, 16, 477-490.
Uehara, K., S. Murakami, S. Oikawa and S. Wakamatsu, 2000 : Wind tunnel experiments on how thermal stratification affects flow in and above urban street canyons, Atmos. Environ., 34, 1553-1562.

304 : 1052 (ヒートアイランド ; 都市の降水)

4-1 ヒートアイランドが降水におよぼす影響

—夏の対流性降水を中心にして—

藤 部 文 昭*

1. はじめに

都市の気候変化の1つとして、降水の変化の可能性が指摘される(大後・長尾, 1972; Landsberg, 1981; 原田, 1982; 藤部, 2001). 日本の大都市ではここ数年, 100 mm/時を超える豪雨のため地下室が浸水するような災害も起こり、ヒートアイランドによる豪雨増加の可能性が論じられるようになってきた。

しかし、降水の分布や頻度は自然要因によっても変動するので、都市の影響の有無については慎重な見極めが必要である。アメリカでは1970年ごろ、シカゴ郊外の降水の増加傾向が都市化(工業化)の影響なのかどうかをめぐって活発な論争が行われた(原田, 1982; Landsberg, 1981). 最近の日本では、都市の豪雨に対する社会的関心の高まりに実態確認が追いつかず、「ヒートアイランドの影響で、市街地を突然襲う“都市型豪雨”が激増している・・・」というイメージが独り歩きするような状況も生まれてきている。

本稿では、夏の対流性降水に焦点を当て、「本当に都市化が降水の増加をもたらしているのか」について論じてみたい。前半では一般論として、アメリカを中心とする国外の研究を概観し、都市が対流性降水の増加をもたらす得るメカニズムを考えてみる。後半では東

京の夏の降水について、実態と問題点を議論する。

2. 国外の研究

大後・長尾(1972)は都市の降水に関する研究例を紹介し、まとめとして次のように書いている。

比較的高緯度の地方では層雲系の雲によって都市に雨が多くなる傾向があり、これは凝結核の増加と関係があるらしい。また緯度が低くなるにつれて、層雲系の雲による都市の多雨はめだたなくなり、かわって対流性の雲による都市の雨が多くなる傾向がある。そしてこのような対流性の雲による雨は夏期に多く、かつ大陸性気候のいちじるしいアメリカなどで顕著にみられ、これは都市気温の上昇とも関係があるらしい。

このうちアメリカの話は1960年代のChangnonらの研究によるところが大きく、その中には論争の種になったシカゴ郊外のものも含まれていた。都市気温の上昇による対流性降水の増加というシナリオは近年よく話題になる「ヒートアイランドによる豪雨増加」に通じるものであり、30年前にすでにこのような認識が生まれていたことが分かる。しかしChangnon(1969)などを見ると、当時一般的にはヒートアイランドの効果よりも凝結核の効果が重視されていたことがうか

* 気象研究所予報研究部, ffujibe@mri-jma.go.jp