

## 都市近郊における大気境界層の観測

堀口光章

### 要 旨

宇治川オープンラボラトリーの局地異常気象観測解析装置において大気境界層の観測を実施した。この場所は京都市市街地の近郊に位置する。測定された風について、平均風速はそれほど強くなく、風向は北西と南西方向から吹く風が多い特徴的な分布を示している。日変化については、大きな気象擾乱による影響をあまり受けていないと思われる場合、一日のうちの昼間午後に気温上昇と共に風速が強くなるという傾向が一年を通じて見られる。

**キーワード:** 大気境界層, 都市活動, 局地循環

### 1. はじめに

都市の存在とさまざまな活動により地表面状態や熱的環境などがその周辺とは大きく異なるものとなる。そして地表に近い大気層である大気境界層中における運動量や熱の輸送・拡散などの過程に変化をもたらす。また大気境界層全体の構造に大きな影響を及ぼす。これに伴って都市活動は、ヒートアイランドを生じさせたり、局地循環に影響を及ぼしたりするなど、都市とその周辺にわたる規模でさまざまな気象現象を引き起こし、さらには雲の発生・維持と降水過程にも影響を与えていることが調べられてきている。

ヒートアイランド現象については、東京のような大都市から中小の都市までその規模は異なるものの出現していることが調べられてきている。例えば最近の研究として榎原・北原(2003)は、これまでデータが不足していた日本における小中規模都市において観測を実施し、最大ヒートアイランド強度(夜間におけるヒートアイランド強度の年間最大値)と人口(都市規模を示す指標)の対数との比例関係を調べ、一本の回帰線で表現されることを示した。今回の研究対象となる京都市は、人口約 147 万人(平成 18 年 4 月 1 日現在の統計による)の比較的大きな都市であり、ヒートアイランド現象も明瞭に現れることが予想される。その実態についての研究として、

気温の水平分布についての詳細な観測も行われている(飯澤ら, 2005)。

また、都市活動に関係する雲の発生・維持に関しては、東京都環状八号線道路上空の積雲列(「環八雲」として知られる)の形成についての研究などがなされてきている。「環八雲」については、糸賀ら(1998)により、東京湾からの南東から南南東寄りの海風と相模湾からの南から南南西寄りの海風が環状八号線道路付近で収束域を形成することと、環状八号線道路付近に顕著なヒートアイランドが形成されることの相乗効果によって上昇気流が発達するために発生すると推論されている。

さらに、降水過程への影響に関する研究として、例えば佐藤・高橋(2000)は、東京都都心での近年における強い降水の割合の増加について示し、その原因としてヒートアイランドの拡大による積雲対流の強化を考えた。

上記のような都市による気象への影響についての問題に関連して、ここでは京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーに設置されている局地異常気象観測解析装置により収集された観測データについて報告する。この場所は京都市伏見区に位置し(Fig. 1)、京都市市街地の南側近郊にあたり、都市による気象への影響を調べるのに適している。また、南西方向は、始め宇治川、下流に行くと他の河川と合流して淀川となる流れに沿って阪神地域方面に開

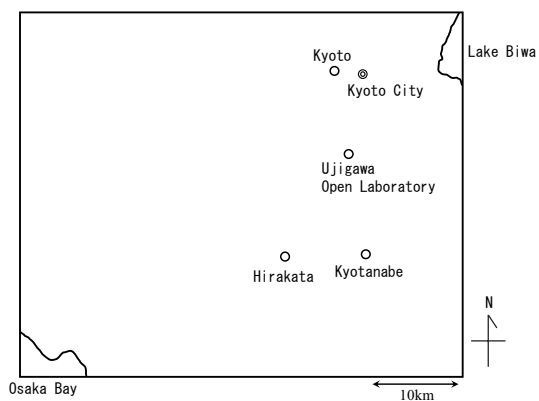


Fig. 1 Map around the Ujigawa Open Laboratory with stations of Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS)

けているという場所に位置している。

京阪神地域の局地循環については、大阪湾周辺での海陸風、平野・盆地と周辺山地との山谷風、琵琶湖から京都方面への湖風などが存在し、複雑な状況となっている。これらの自然的な要因による局地循環に加えて、都市の存在によるヒートアイランド循環の発達などがあるものと考えられる。これに関係した研究として Ohashi and Kida (2002) はメソスケール気象モデルを用いた数値実験により、沿岸と内陸の都市域が隣接して存在する時に“chain flow”と呼ぶ流れが沿岸の都市域から内陸の都市域に向かって形成されることを示した。これは京阪神地域については、大阪都市域から京都都市域に向かっての気流の存在を示唆している。

宇治川オープンラボラトリーの局地異常気象観測解析装置では、高さ 55m の気象観測鉄塔と地上気象

観測用の露場において風速、気温などの測定を継続して実施している。これまでに収集された観測データから、最近一年余りのものについて、大気境界層構造に関する風速、気温などについて報告する。

## 2. 平均的な風の状況

宇治川オープンラボラトリーは京都盆地のほぼ中央に位置しており、吹く風は平均的に見ればそれほど強くないと考えられる。なお、観測鉄塔に隣接して建物、道路などがあり、高いもので十数メートルの地上高を有するので、特に下方に設置された風速計の高さでの風にはかなり影響している可能性がある。したがって、そのような高さでの風の測定値は慎重に扱う必要がある。そのため風の高さによる変化などについては特に議論しないこととする。

実際に、高さ55、40、24mに設置された風車型風向風速計による10分間ごとのサンプリングに基づく平均風速値から2004年8月より2005年11月までの各月における平均を求めた。最も多い場合で一ヶ月の間に4日間の欠測があるが、そのような月は一月のみで、あとの月は欠測があっても1日のみであり、風の平均的な状況は把握できると考えられる。各月の平均についての結果を見ると (Fig. 2)、地上55mの高さで2.5~4.1m/s、高さ40mで2.1~3.5m/s、高さ24mで2.0~3.3m/sの範囲であり、それほど強くないことが分かる。

参考として、旧宇治川水理実験所 (現宇治川オープンラボラトリー) における観測について、1976年4月から1977年3月にかけての高さ50mでの測定による平均風速値は各月で2.7~3.5m/sという報告があり (田中ら, 1977)、それほど変わらない値である。

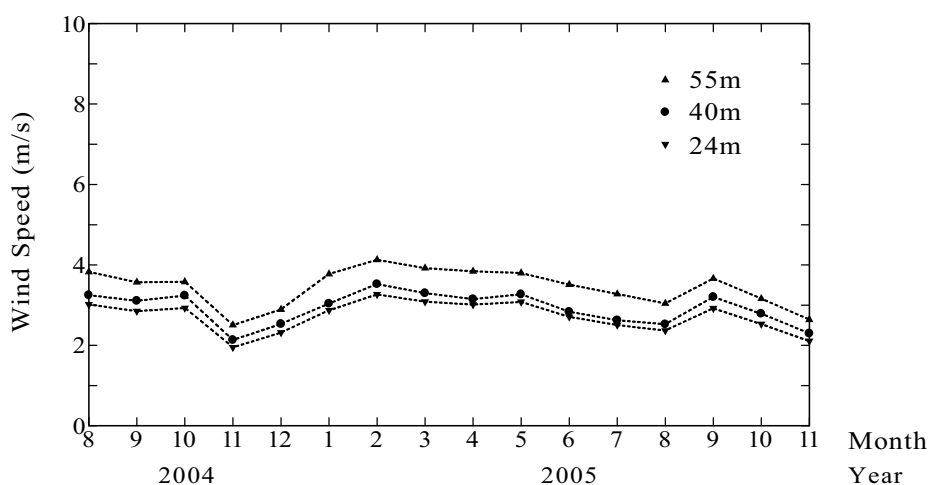


Fig. 2 Monthly mean wind speed measured at each height

Fig. 2の作成に用いた資料は1年と4ヶ月という期間であったので、季節的なかたよりを避けるため、2004年8月～2005年7月の一年間にしぼり、高さ55mでの平均風速値の度数分布を調べたものをFig. 3に示す。この図のように0.2m/sごとに区分けを行うと、1.4～1.6m/sの範囲の平均風速値であることが一番多く、10m/sを越えるような風が吹くことは非常に少ないということが分かる。

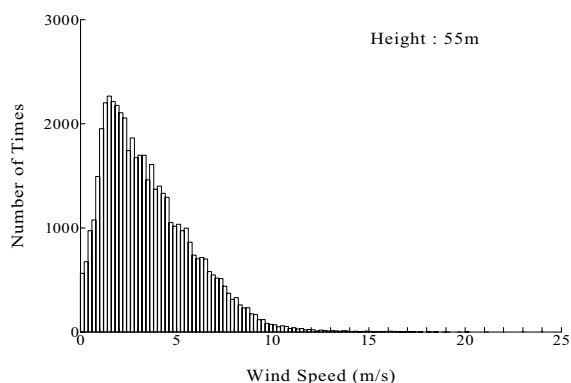


Fig. 3 Frequency distribution for wind speed measured at 55m in height

風向については、高さ55, 40, 24mに設置された風車型風向風速計による測定値を北から時計回りに北北西までの16方位に分けて、10分間ごとのサンプリングでの最多風向がデータとして記録されている。2004年8月～2005年7月の一年間における風向の度数分布を見てみると (Fig. 4), 西の方向からと東寄りの方向から風が吹くことが少なく、北西と南西方向から風が吹くことが多い特徴的な分布を示している。これは、季節風の卓越や周囲の地形にもよるが、大阪方面からの海風など局地循環の発達による影響があると思われる。

### 3. 日変化の特徴

低気圧や台風など大きな気象擾乱による影響をあまり受けていないと思われる場合に宇治川オープンラボラトリーにおける気象状況がどのような日変化を示すかについて調べる。そのため、太平洋高気圧に覆われ典型的な日変化を示すことが期待される真夏の日について調べることにし、2004年8月11日から15日にかけての期間についての例を以後示すことにする。調べた測定データは、高さ55, 40, 24mに設置された水晶式温度計による気温と風車型風向風速

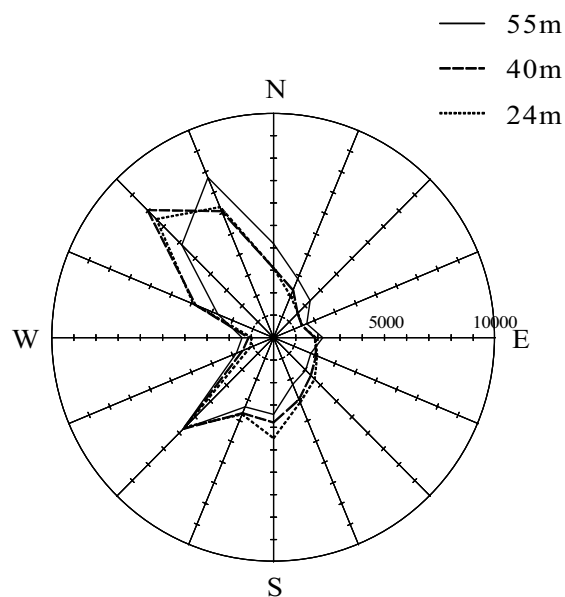


Fig. 4 Frequency distribution for wind direction measured at each height

計による風速および風向である。

気温の日変化を見るため、10分間平均値の時間変化をFig. 5に示す。天気概况としては、移動性高気圧が11日に通過し、12, 13日は太平洋高気圧に覆われた。この12, 13日は夏の日として典型的と考えられる気温の日変化を示し、昼間午後には最高となっている。その後、停滞前線が14日から15日にかけて南下して全体的な傾向としての気温の低下をもたらし、それまでの日とは異なる気温の日変化が見られる。

同じ日についての平均風速値の時間変化を見ると (Fig. 6), 前線の影響を受けた15日を除いて、気温と同様に昼間午後には風速が増加するという傾向が見られる。中でも13日は昼間午後には風速が強くなって夕方まで持続する場合の典型例であり、高さ55mでの風速が9時から9時10分までの平均で2.5m/sであったのが16時から16時10分までは6.7m/sと強くなり、18時から18時10分までの時間でも5.9m/sとまだ強い状態が継続している。

この例に限らず、低気圧や台風などの大きな気象擾乱による影響をあまり受けていないと思われる場合、一日のうちの昼間午後には気温と共に風速が強くなるという傾向が一年を通じて見られる。ここでは2004年8月について、10分間ごとの平均風速値である元のデータを30分ごとに平均し、その一ヶ月平均として日変化を調べたものをFig. 7に示す。平均的に見ても、昼間午後には風速値が増加しているということが分かる。

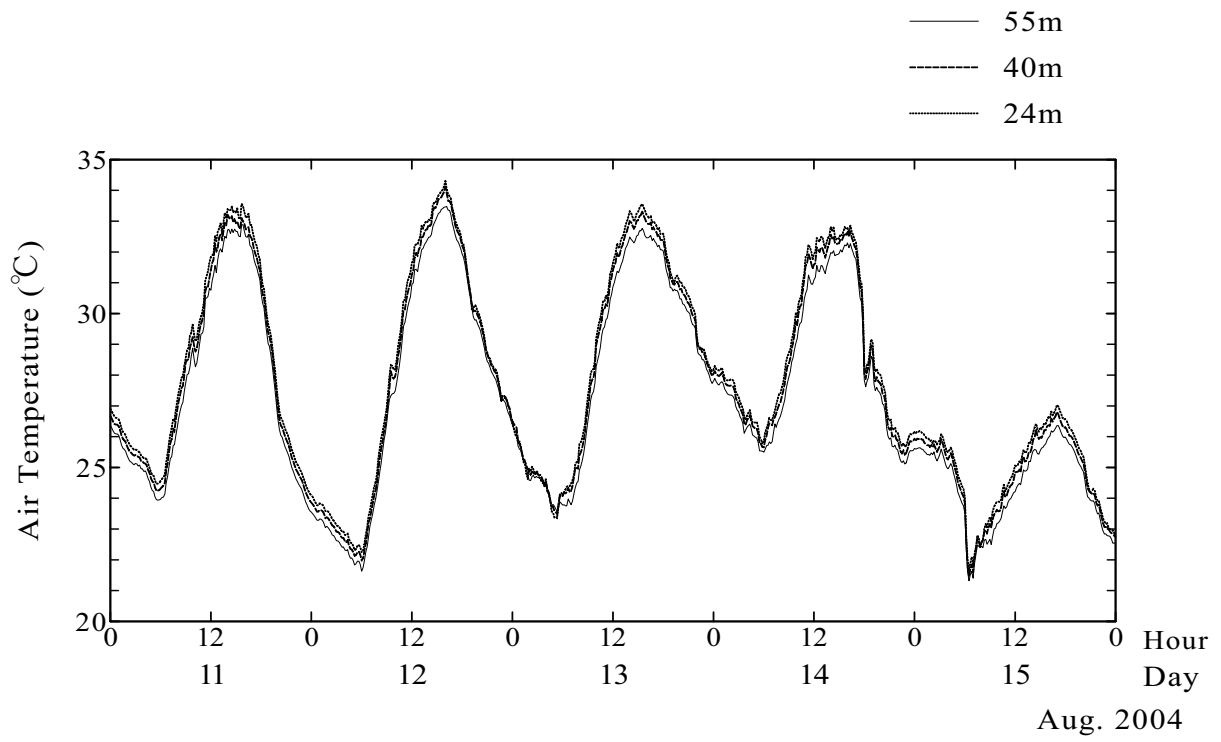


Fig. 5 Diurnal variations of air temperature on 11-15 Aug. 2004

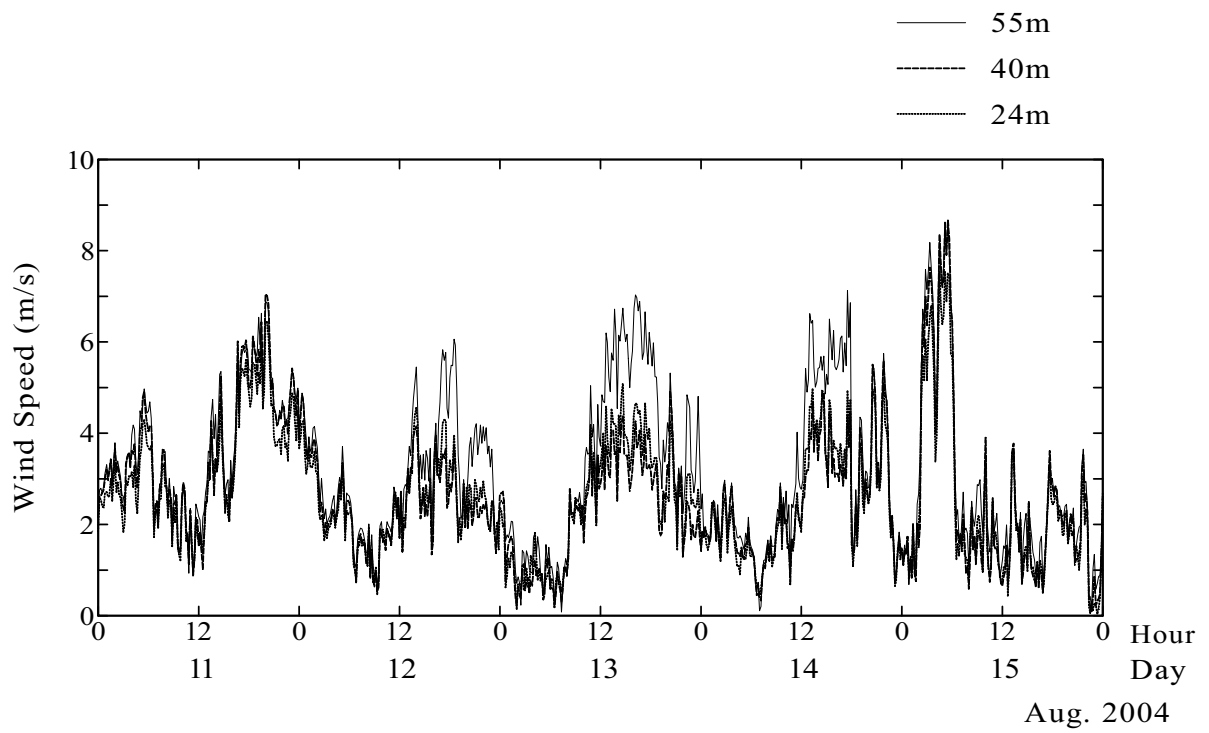


Fig. 6 Diurnal variations of wind speed on 11-15 Aug. 2004

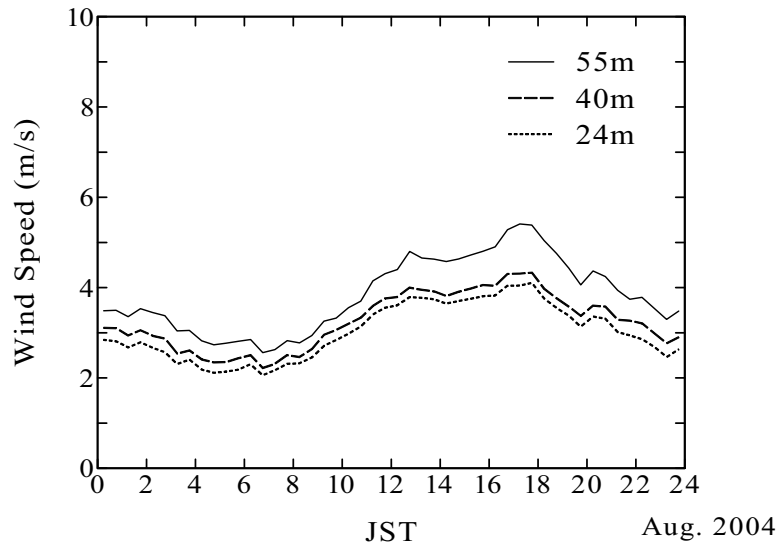


Fig. 7 Diurnal variation of wind speed averaged in Aug. 2004

昼間午後に風速が強くなるという傾向は、1976年4月から1977年3月にかけての旧宇治川水理実験所における高さ50mでの観測でも示されている（田中ら、1977）。

風の日変化に関して、次に風向の時間変化を調べる（Fig. 8）。元のデータは16方位に分けた10分間ごとでの最多風向であるが、見やすいように図においては一つおき（20分ごと）のデータについてのみ示

しており、また重なるのを避けるため高さにより少し点の位置を上下にずらしている。昼間午後に風速が強くなる典型例である13日については、正午前後の時刻でそれまでの南風から南西の風へと変化していることが分かる。風向の変動がやや大きくなっているが、この風向変化の傾向は12日や14日にも見られる。

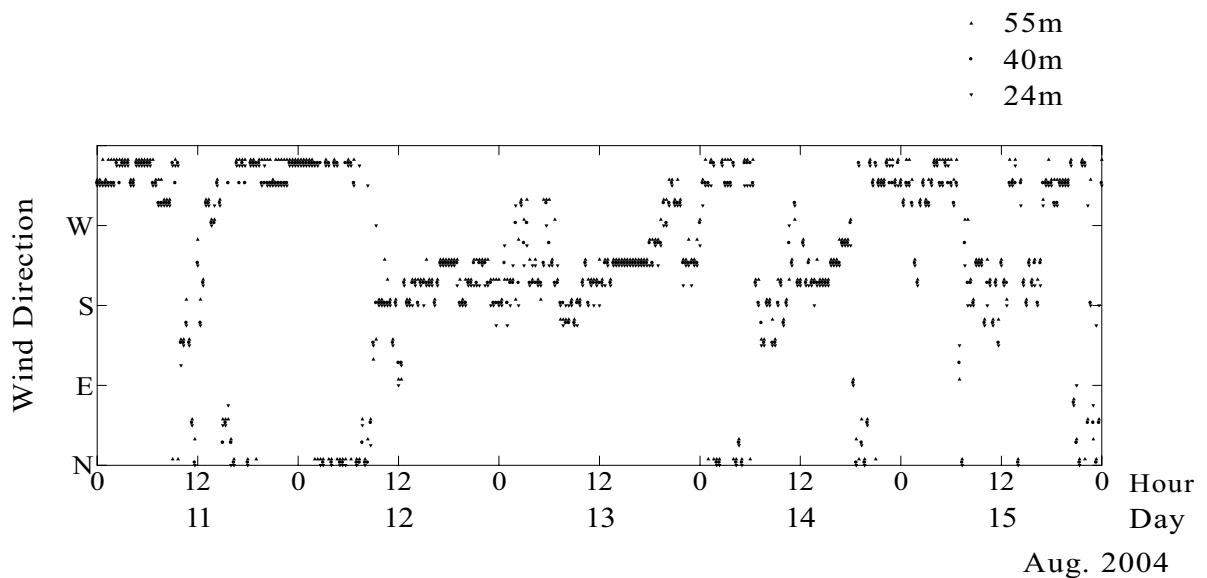


Fig. 8 Diurnal variations of wind direction on 11-15 Aug. 2004

上記のように昼間午後に風速が強くなることについては、以下のようにその理由を考えることができる。日中は大気境界層がより上方の高度まで発達し、それに伴って乱流と対流による鉛直混合が増大する。この結果、上空の速い風に伴う運動量が下層へと輸送され、大気境界層下部の風速が増加する。また、これに加えて、風速の増加と共に風向が変化していることから、日中での局地循環の発達もあわせて考える必要がある。

この宇治川オープンラボラトリーでの昼間における風については、ヒートアイランド循環の発達のような都市による影響もあると思われる。ヒートアイランド循環は、都市と郊外における加熱量の差の大きな晴天日の日中に強くなると考えられている。

宇治川オープンラボラトリー周辺の風の状況、特に局地循環の様子について調べるために、気象庁の地域気象観測システム（AMeDAS）地点よりこの場所に近い風の観測地点として京都（京都市中京区）、京田辺（京都府京田辺市）、枚方（大阪府枚方市）の3地点（Fig. 1）を選び、風向の時間変化を見たのがFig. 9である。宇治川オープンラボラトリーにおける風向と同様に、元のデータは10分ごとの16方位で表した平均風向であるが、見やすいように図においては一つおき（20分ごと）のデータについてのみ示している。また、その時の平均風速が1m/s未満の場合は静穏時としてデータで扱われ、図でも風向を示す点のない時間となっている。なお、観測地点の京都は宇治川オープンラボラトリーより見てほぼ北の方向、京田辺は南、枚方は大阪方面である南西方向に位置している。地域気象観測システムによる風の観測は周囲の建物などの影響を受けやすいので注意が必要であるが、風向変化の傾向については参考資料として使用できると考えた。

宇治川オープンラボラトリーにおいて昼間午後に風速が強くなる典型例である13日については、京都では昼間、南西方向近辺から風の吹くことが多い。

また、京田辺では午前中、南あるいは南東からの風であったのが正午頃以降は南西からの風へと変化している。一方、枚方では朝から午前中の早い時刻までは北方向近辺からの風であったのが、それ以降は南西方向近辺からの風へと変化している。

宇治川オープンラボラトリーでの観測結果とあわせ、上記の地域気象観測システム地点での風向変化から、京都周辺で日中、真昼の頃以降に、南西から吹く風系が発達していることが分かる。これは局地風である海風の侵入、あるいは広域海風と呼ばれるよりスケールの大きな風系が日中に発達していくことによると思われる。広域海陸風は、地表面の加熱による熱的低気圧（高気圧）や海陸風と山谷風の結合、一般風の効果などにより、通常海陸風より広い領域で強く吹く風系である。また、典型例として示した13日に前後する12日、14日については、14日に京都の観測地点で不明瞭になるが、それ以外では同様な風系の発達が見られる。なお、ここで見ている京都周辺というようなやや大きなスケールでの風についても都市による影響があるものと考えられる。

#### 4. おわりに

宇治川オープンラボラトリーの局地異常気象観測解析装置による大気境界層構造に関係する気象要素についての観測結果を報告したが、特に局地循環への都市による影響を調べるためには他の地点を含めたより詳細な観測結果の解析と気象数値モデルによる研究が必要である。これらについては今後の課題である。

宇治川オープンラボラトリーは京都市南部の市街地近郊に位置し、南西方向は大阪都市域方面に開け、都市の存在とその活動に伴う気象現象とその変動を観測するのに適した場所である。この場所での大気境界層に関する観測データの収集は重要であり、今後も長期的に継続していくことが必要である。

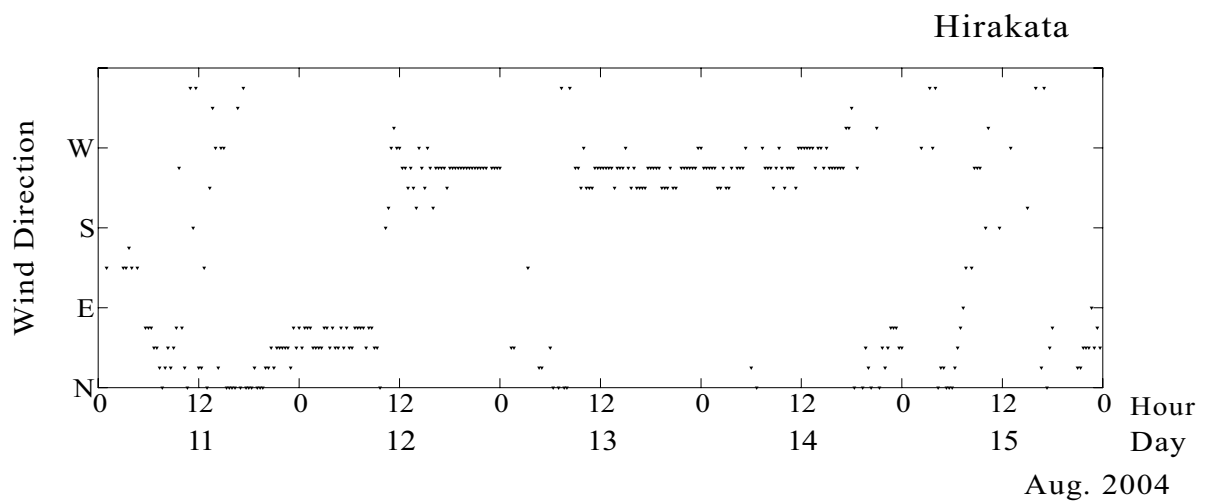
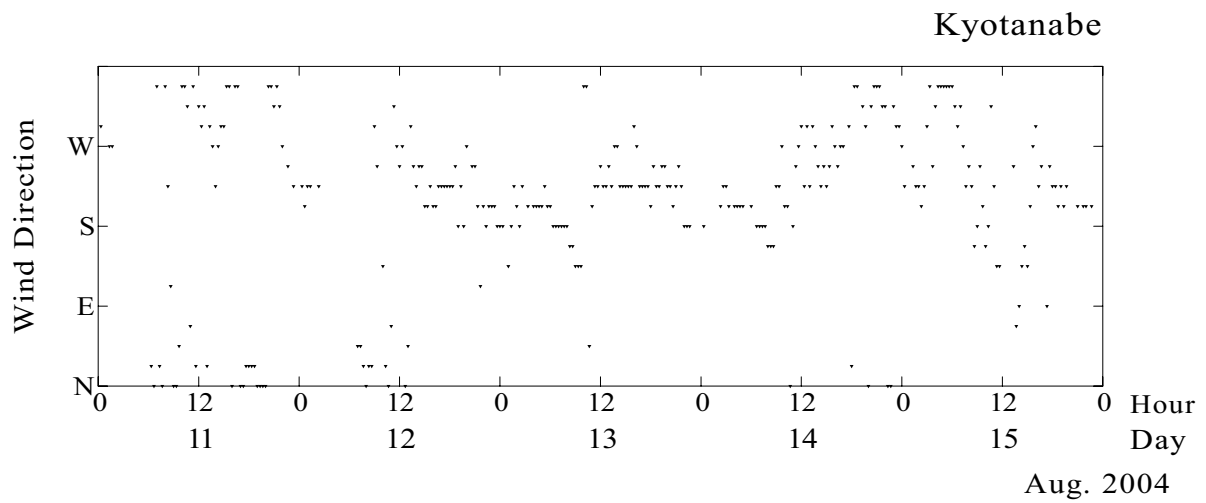
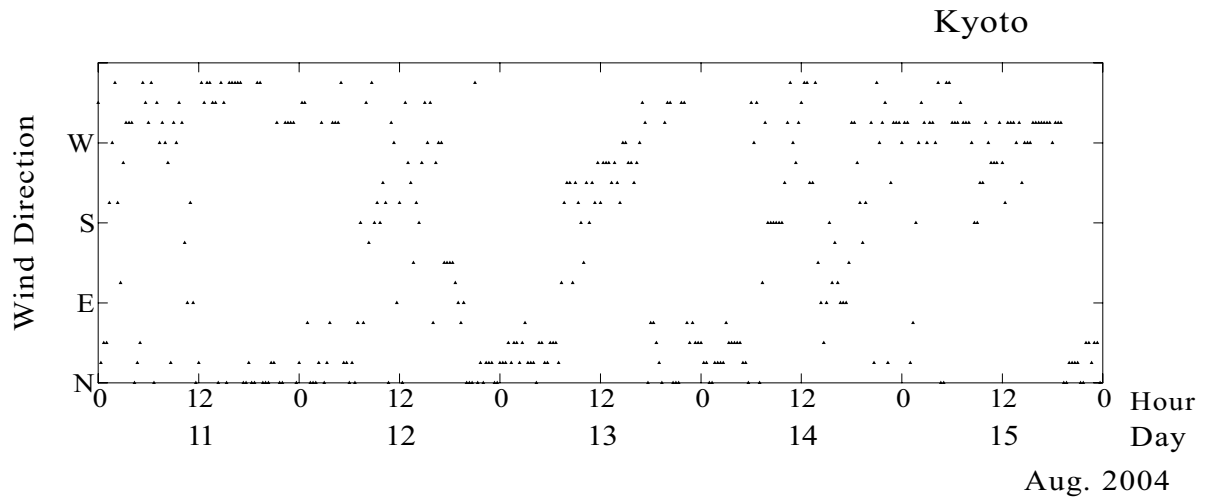


Fig. 9 Diurnal variations of wind direction at the Kyoto, Kyotanabe and Hirakata Stations of Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) on 11-15 Aug. 2004

## 謝 辞

宇治川オープンラボラトリーにおける観測，装置の保守などについては，京都大学防災研究所附属流域災害研究センターおよび気象・水象災害研究部門の方々のご協力，ご支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

飯澤 功・梅谷和弘・矢島 新・小野耕作・伊藤 文・西 憲敬・酒井 敏（2005）：京都都市気象観測気温の水平高密度観測，日本気象学会2005年度春季大会講演予稿集，pp. 412.  
糸賀勝美・甲斐憲次・伊藤政志（1998）：環八雲が発生した日の気候学的特徴－1989～1993年8月の

統計解析－，天気，Vol. 45，pp. 259-268.

榊原保志・北原祐一（2003）：日本の諸都市における人口とヒートアイランド強度の関係，天気，Vol. 50，pp. 625-633.

佐藤尚毅・高橋正明（2000）：首都圏における夏期の降水特性の経年変化，天気，Vol. 47，pp. 643-648.

田中正昭・中島暢太郎・多河英雄（1977）：宇治川水理実験所気象観測鉄塔による観測と解析（2）－風と気温鉛直分布の季節変化日変化－，京都大学防災研究所年報，第20号B-2，pp. 571-583.

Ohashi, Y. and Kida, H. (2002): Local circulations developed in the vicinity of both coastal and inland urban areas: a numerical study with a mesoscale atmospheric model, Jour. of Appl. Meteor., Vol. 41, pp. 30-45.

## Observations of Atmospheric Boundary Layer in the Suburbs of the City

Mitsuaki HORIGUCHI

### Synopsis

Observations of atmospheric boundary layer have been made using the Observation and Analysis System for Local Unusual Weather in the Ujigawa Open Laboratory. This place is located in the suburbs of the Kyoto urban area. Measured mean wind speed is not so strong and the wind direction shows the characteristic distribution whose prevailing wind blows from the northwest and the southwest. In the weather with little effect of the large meteorological disturbances, diurnal variations of wind speed have a common tendency to increase with the rise of air temperature in the afternoon of the daytime all the year round.

**Keywords:** atmospheric boundary layer, urban activity, local circulation