

京都市近郊における大気境界層乱流 —冬季集中観測結果—
 Turbulence in the Atmospheric Boundary Layer in the Suburbs of Kyoto City:
 Results of Intensive Observations in the Winter Season

○堀口光章・吉田敏哉・竹見哲也

○Mitsuaki HORIGUCHI, Toshiya YOSHIDA, Tetsuya TAKEMI

Intensive observations of turbulence in the atmospheric boundary layer (ABL) during the winter season were conducted in the suburbs of Kyoto City. In the afternoon, strong winds in the lower ABL were intermittently observed by Doppler lidar. Radiosonde observations suggest that turbulent mixing in the ABL extends the high-speed layer, which is located in the upper levels, toward the lower position. Large-scale turbulence structures with temporal scales of more than 100 s were detected in the time series of the streamwise velocity component measured by sonic anemometer. The occurrence of large-scale structures is likely related to the intrusion of the high-speed layer toward the surface.

1. はじめに

京都市近郊に位置している京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーにおいて 2016 年 1 月 12 日から 2 月 12 日の冬季に境界層乱流の集中観測を行った。ここでは、特に安定度が中立に近い時の大気境界層構造と大規模乱流構造の関係について解析した結果を報告する。

2. 観測の概要

気象観測塔の中段、高さ 25 m に設置された超音波風速計により乱流観測を行うのと同時にドップラーライダー (Leosphere 社製 WINDCUBE WLS7) により 40 m から 220 m まで 20 m おきの高さにおける風速 3 成分を約 4 秒おきに測定した。接地層での安定度の指標 z/L (z は測定高度, L は Obukhov の長さ) は超音波風速計による測定から評価する。また、観測期間のうち 2 月 2 日と 3 日には、日中に 5 回ずつラジオゾンデ (明星電気製 GPS ゾンデ RS-11G) を飛揚し、大気境界層の鉛直構造を観測した。

3. 大気境界層の鉛直構造

北寄りの風が比較的強く吹いた 2 月 3 日についての観測結果を調べる。まず、超音波風速計による観測データから 30 分ごとの平均風向, z/L , 下向きの運動量輸送量の指標である摩擦速度 (u_*), 平均流方向風速成分 (u) を Fig. 1 に示す。風向について、朝には南寄りであり、京都盆地内に弱い

局地風が吹いていた可能性がある。その後、10 時 30 分からは北寄りとなり、多少不安定寄りであるが中立に近い状態が 19 時まで継続している。摩擦速度と平均流方向風速成分については共に日中午後になくなっていく。

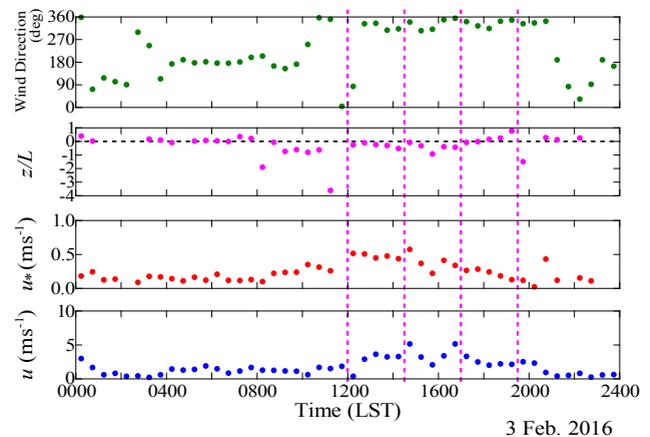


Fig. 1 Wind direction, surface-layer scaling parameter (z/L), friction velocity (u_*), and the streamwise velocity component (u) at 25 m for each 30-min data segments on 3 February 2016. Subcases are also shown by dashed lines.

ドップラーライダーによる 10 分間平均風速 (水平風速) の一日での変化を見ると、日中後に風速が断続的に観測全層にわたり強くなっている (Fig. 2)。特に、14 時 30 分ごろから 15 時ごろにかけて最も風が強い。

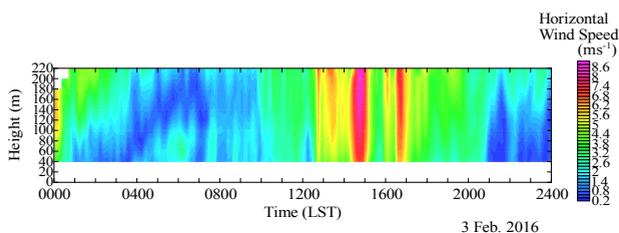


Fig. 2 Horizontal wind speed in 10-min average observed by Doppler lidar on 3 February 2016.

ラジオゾンデによる観測結果 (Fig. 3) を見ると、およそ 1200~1900 m の高さでは 10 時 30 分飛揚の時から常に強い風が吹いているが、高さ 9000 m 程度以下では午後の時間に風速が強くなっている。なお、午前中の時刻から気温の高度分布は高さ 2000 m 程度まで乾燥断熱減率に近く、(気温で見ると) 比較的良く鉛直混合されているように思われる。しかし風速についてはそれより遅れて、午後になり大気境界層が十分に発達し、その結果乱流混合により上空の強風層の運動量が下方へ輸送され、下層でも強風が吹くようになったものと考えられる。

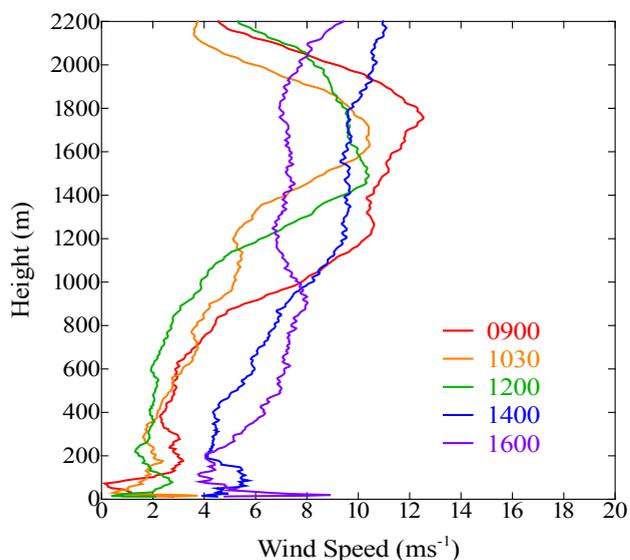


Fig. 3 Vertical profiles of wind speed observed by radiosondes on 3 February 2016.

4. 大規模乱流構造の出現状況

2月3日の12時以降を2時間30分ごとの時間帯に分けて検討する (Fig. 1 にその時間帯を示す)。

各時間帯での z/L の値は、それぞれ $-0.5 \sim -0.1$, $-0.9 \sim -0.1$, $-0.1 \sim 0.8$ の範囲であり、二つ目の時間帯 (14:30~17:00) までは中立に近いがやや不安定寄り、最後の時間帯 (17:00~19:30) ではほぼ中立からやや安定へと変化している。

乱流変動のスケール分布を調べるために Mexican Hat 関数を用いた連続ウェーブレット変換を行う。12時からと14時30分からの時間帯では、超音波風速計平均流方向風速成分 u に対するウェーブレット分散スペクトルに大きな時間スケール (100~300 秒) でピークは見られないが、17時から時間帯では 148 秒にピークがあり、大きなスケールの風速変動が卓越している。また、14時30分からの時間帯でもより大きな (300 秒以上) スケールでの風速変動の寄与が大きくなっており、ドップラーライダーによる観測で見られた強風の断続的な出現に関係していることが考えられる。ドップラーライダーによる約 4 秒おきの観測からこの時間帯での乱流変動を詳しく調べると、上昇する弱風域の後面に下降する強風域が伴うという時間スケールで 200 秒程度の大規模な乱流構造が見い出される。

以上のように、日中午後、大気境界層が発達し、乱流混合により大気境界層下層での風速の強化が起こることと関連して、大規模な乱流構造が出現していると考えられる。

5. おわりに

別の日の観測例も合わせて、大気境界層構造の変化と乱流構造との関係を詳しく検討する予定である。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 26282107 の助成のもと実施したものである。また、観測などについて、京都大学防災研究所附属流域災害研究センターその他の方々のご協力を得た。ここに記して謝意を表す。