

京都市近郊における大気境界層乱流 —2019 年秋季における観測事例—  
Turbulence in the Atmospheric Boundary Layer in the Suburbs of Kyoto City:  
Observational Cases in the Autumn Season of 2019

○堀口光章・竹見哲也

○Mitsuaki HORIGUCHI, Tetsuya TAKEMI

Intensive observations of wind and turbulence in the atmospheric boundary layer (ABL) were conducted in the suburbs of Kyoto City during the autumn season of 2019. Under near-neutral conditions during the daytime, strong winds in the lower ABL were observed by a Doppler lidar and a sonic anemometer in the afternoon. Intermittent occurrence of the further intensification of wind speed was also observed. During the period of strong winds, large-scale turbulence structures of upward velocity or high speed with temporal scales of approximately 100–200 s were detected in the time–height cross sections by the Doppler lidar observation.

### 1. はじめに

科学研究費基盤研究 (B)「気候変動に伴う都市における暴風災害リスクの評価」の一環として、2019 年 8 月末から 10 月の始めにかけ、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー (京都市伏見区) において大気境界層の風と乱流についての集中的な観測を行った。

宇治川オープンラボラトリーは、京都市の市街地南端に位置しており、北寄りの風の場合、都市上空を通過した風の乱流特性を調べることができる。

### 2. 観測の概要

今回、Campbell Scientific 製 CSAT3 の超音波風速計を観測塔頂部高さ 55 m に新たに設置し、観測塔中段、高さ 25 m のカイジョー製 DA-600 の超音波風速計と同時にデータを収録する観測を行った。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) は高さ 25 m の超音波風速計による測定から評価する。

この観測では、接地層を越える高さまでの大気境界層での風の観測のために、鉄塔近くに設置したドップラーライダー (Leosphere 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 4 秒おきに測定した。今回使用したドップラーライダーでは、北、東、南、西方向へ天頂角 28 度で斜めに傾いたビームによる測定に加え、鉛直方向のビームによる測定を

行っており、より精度良い風の測定ができることが期待される。

### 3. 観測結果

ほぼ一日中北寄りの風が吹いた 9 月 16 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高度 25 m での 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。

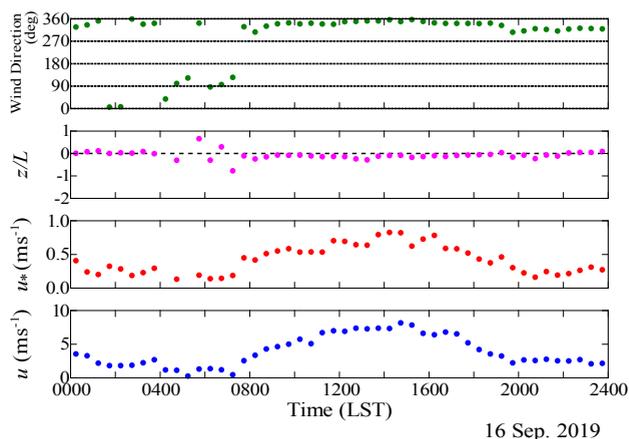


Fig. 1 Wind direction, surface-layer scaling parameter ( $z/L$ ), friction velocity ( $u_*$ ), and the streamwise velocity component ( $u$ ) at 25 m for each 30-min data segments on 16 September 2019.

朝方は風が弱く風向も東寄りであり、 $z/L$  は安定な値から不安定な値までばらつきが大きい。その後 8 時ごろより、やや不安定寄りではあるが中立に近くなり、その日中午後にかけて風速が強くなっている。最も風速（風速成分  $u$ ）が強くなるのは、14 時 30 分～15 時での  $8.1 \text{ m s}^{-1}$  である。

ドップラーライダーによる 10 分間平均水平風速の一日での変化を見ると、日中後に風速が観測全層にわたり強くなっている (Fig. 2)。その風速が強い時間帯において、断続的なさらなる風速の強化が見られ、最も風が強いのは、14 時 30～40 分における高度 200 m の  $12.6 \text{ m s}^{-1}$  である。この時には観測下限高度の 40 m でも  $10.3 \text{ m s}^{-1}$  の風が吹いており、超音波風速計（高さ 25 m）で風速が最も強い時間と対応している。

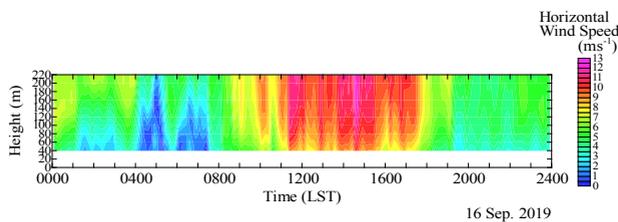


Fig. 2 Horizontal wind speed in 10-min average observed by the Doppler lidar on 16 September 2019.

このような日中後の風速の強化については、2016 年に宇治川オープンラボラトリーで行われた観測でも見られている (堀口ほか, 2016)。上空の比較的強く吹いている風の運動量が乱流により下方へ輸送され、下層でも風速が強くなることが考えられる。

ドップラーライダーによる 4 秒おきの観測により、夕方に近く中立に近い状態が続いた時間帯での乱流変動を調べる。16 時から 30 分間の時間において、 $z/L = -0.1$  と中立に近く、この時間における例を示す。Fig. 3 では上側にドップラーライダーと超音波風速計による鉛直方向風速成分 ( $w$ )、下側に両測器による水平風速 ( $U$ ) の値を示す。上下とも時間高度断面図はドップラーライダーによる観測、時間変化のグラフは超音波風速計による測定結果である。風速成分  $w$  については上向きの風速を正の値に取っている。

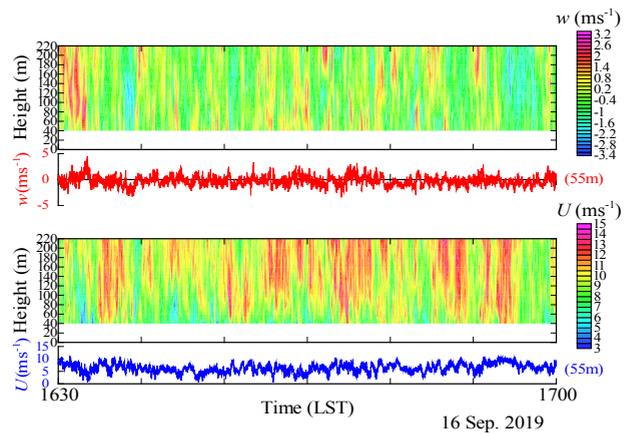


Fig. 3 Vertical velocity component ( $w$ ) and horizontal wind speed ( $U$ ) observed by the Doppler lidar (time–height cross sections) and the sonic anemometer at 55 m (graphs), obtained during 1630–1700 LST on 16 September 2019. The upper panel shows the  $w$  and the lower panel shows the  $U$ .

このドップラーライダーによる上空の観測より、時間スケールで 100 秒から 200 秒程度の大規模な上昇流、強風の乱流構造の通過が見られる。接地層内の超音波風速計でも、上空の構造と対応した風速変動が見られる。平均風速の強化が見られた時間帯の風速変動に大規模な乱流構造が埋め込まれていることが分かる。

#### 4. おわりに

別の日の観測例も合わせて、大気境界層の風の変化と乱流特性について検討する予定である。

#### 参考文献

堀口光章・吉田敏哉・竹見哲也 (2017) : 京都市近郊における大気境界層乱流—冬季集中観測結果—, 京都大学防災研究所年報, 第 60 号 B, pp. 491-501.

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 18H01680 の助成のもと実施したものである。また、宇治川オープンラボラトリーにおける観測について、京都大学防災研究所附属流域災害研究センター、気象・水象災害研究部門、技術室の方々のご協力を得た。ここに記して謝意を表す。