

都市大気境界層中の乱流スケール

Structure of turbulence in the urban mixed layer

小田僚子, 岩井宏徳, 村山泰啓, 石井昌憲, 関澤信也, 水谷耕平

Ryoko Oda, Hironori Iwai, Yasuhiro Murayama, Shoken Ishii, Shinya Sekizawa, Kohei Mizutani

情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology

Abstract: Turbulent motions in the atmospheric boundary layer (ABL) control the exchange process of momentum, heat and other scalars between the surface and atmosphere. The turbulent characteristics in mixed layer are considered to follow their scaling law, however, its validation might not be enough since the number of the direct measurement in mixed layer, especially in urban area, is much fewer than in the surface layer. Therefore, we conducted a Doppler lidar measurement to investigate the statistical and structural characteristics of ABL over urban area. A Doppler lidar (Ishii et al., 2010) is stationed on the rooftop of National Institute of Information and Communications Technology (NICT)'s building at Koganei, Tokyo. This experiment was carried out on 21 February 2010 during 12:50-13:30 JST. The vertical distribution of the vertical velocity was measured above 150 m from the ground with a constant interval of 76 m. The datasets of the vertical profile were output every 1 second. The potential temperature (PT) profiles were also measured by radiosonde on 12:00 and 14:00 JST. Then, clouds were covered at about 1.5 km above from the surface, and thermal instability was unstable. Vertical velocity spectra show two dominant time scales; one is about 14 minute which is observed from the ground surface to 1.8 km above, and another is about 1-4 minutes which is observed from the ground surface to 1 km above. Higher frequency motion would attribute to the individual thermals, whose vertical extent is corresponding to the ABL height determined by PT profiles. Lower frequency may be reflecting the impact of the organized structure of thermal cells, which propagates into the capping inversion as gravity wave.

1. はじめに

大気境界層中の乱流は運動量・熱・物質輸送を直接的に担っているため、その特性を把握することは重要である。これについて、接地境界層ではタワーを用いた乱流変動の時系列データが多数計測されており、その統計的性質について多くの知見が得られている。一方、混合層における乱流変動特性については、地上リモートセンシング技術の発達により乱流統計量を算出するための安定した時系列データが得られるようになったものの、観測事例は接地層と比較して多くない。とりわけ、深刻な大気環境問題を抱える都市部においては、観測場所・技術の制限から、観測事例はさらに少ないものとなっている。

そこで本研究では、2010年2月21日に東京都小金井市にある情報通信研究機構(NICT)において実施したドップラーライダーによる鉛直流観測結果およびラジオゾンデによる温位プロファイル計測結果から、関東都市域における大気境界層高度変化および境界層内乱流現象の関係性について検討する。

2. 観測概要

NICTが開発を進めている、パルスエネルギー

80mJ/pulse, パルス繰り返し周波数 30Hz の高出力差分吸収/ドップラーライダー (Ishii et al. 2010) を用いて、鉛直流の高度分布観測を実施した。鉛直流速の高度分布は、高度約 150m から高度分解能約 76m で 1 秒間隔のデータを取得している。

本報告では、2010年2月21日 12:50~13:30 JST の 40 分間における鉛直流統計量結果を示す。この時、地上付近の風速は東よりで約 2m/s, 気温は約 10°C であり、1.5km より上空には雲が存在していた。大気の状態は不安定であった。

なお、上記鉛直流観測時間の前後 (12:00, 14:00 JST) には、同じく NICT 敷地内でラジオゾンデ観測も実施しており、温位プロファイルが得られている。

3. 鉛直流変動成分の高度分布

Fig. 1 は、上記した 40 分間における鉛直流変動成分の高度断面図を示す。Fig.1 より、上空 2km より下層のほぼ全層に渡り、概ね 10 分間隔で上昇流・下降流が交互に存在している様子がわかる。また地上付近では、それよりも細かい数分周期の変動が見られる。さらに上空 1.2~1.3km を境に、下層では擾乱が激しく、それより上層では比較的擾乱の小さい大気状態であることがわかる。

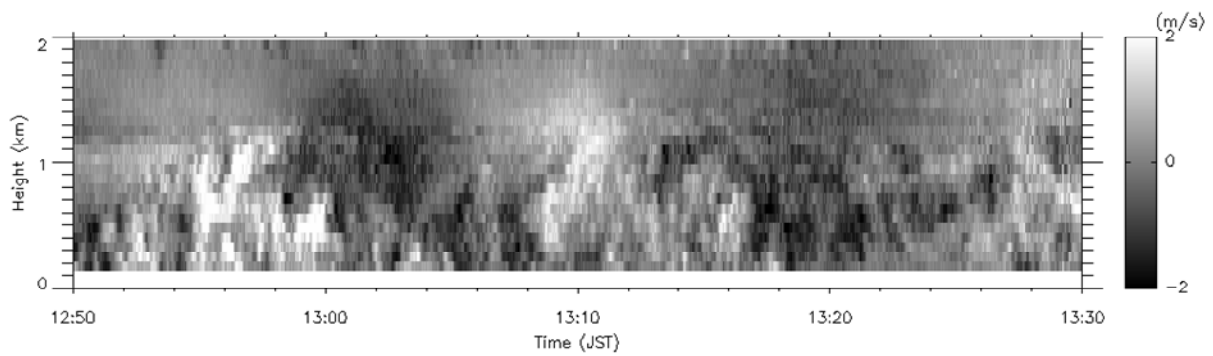


Fig.1 Time-height cross section of vertical velocity fluctuations on 21 February 2010 during 12:50 - 13:10

4. 境界層高度と境界層内乱流スケールの関係

3.で示した乱流変動をより詳細に見るために、各高度での時系列データについて、スペクトル解析を行った。そのうちいくつかの高度でのスペクトル解析結果を Fig. 2 に示す。横軸は周波数、縦軸は周波数重みづけをしたエネルギーである。なお、鉛直流の速度スケール w^* は、Lenschow et al. (1980) の航空機観測より推定された式(1)から算出した値を用いている。

$$\frac{\sigma_w^2}{w_*^2} = 1.8 \left(\frac{z}{z_i} \right)^{2/3} \left(1 - 0.8 \frac{z}{z_i} \right)^2 \quad \dots(1)$$

ここで、 σ_w は鉛直風速分散 (m^2/s^2)、 z_i は境界層高度 (m)、 z は測定高度 (m) である。

Fig.3 は、本観測による鉛直風速分散値の高度分布を式(1)にフィッティングした結果である。これより、 w^* は約 1.3 m/s、 z_i は約 1.8 km と推定された。

Fig.2 より、地上付近から高度 1.8km に渡って、約 14 分周期 (0.0012Hz) の変動が卓越していることがわかる。また、高度 1km より下層では、約 1~4 分周期の変動にピークが見られるが、そのエネルギー強度は既述した低周波側のそれよりも大きく、高度 1.3km より上方では急激に低下している。この高周波の変動周期はサーマルの影響と考えられ、その影響が及ぶ高度 (約 1~1.3km) は、ゾンデの温位勾配から推定される境界層高度 (1~1.5km 程度) とほぼ等しい。一方、低周波側に見られる変動周期は、個々のサーマルが組織化したものと考えられ、より上層まで変動が見られるのは、その影響が重力波として上層の安定層内に伝わったものと推察される。

5. まとめ

東京都小金井市で 2010 年 2 月に実施したドップラーライダーを用いた鉛直流観測を実施した。鉛直流変動成分のスペクトル解析結果から、地上付近から高度 1.8km に渡る約 14 分周期の変動と、高度 1km より下層における約 1~4 分周期の変動が確認された。高周波側の変動は個々のサーマルの影響と考えられ、その影響高度範囲は温位勾配から推定された境界層高度と

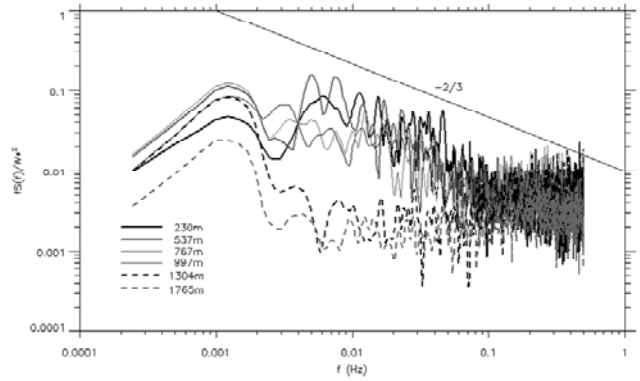


Fig.2 Spectrum of vertical velocity fluctuations

大方一致した。また、低周波側の変動は個々のサーマルが組織化した構造によるものと考えられ、その影響が重力波として上層の安定層内にまで伝わったものと推察される。

今後は、日変化や雲の有無など、大気条件の異なる場合も含めて、境界層高度と乱流変動の関係性をより詳細に検討する必要がある。

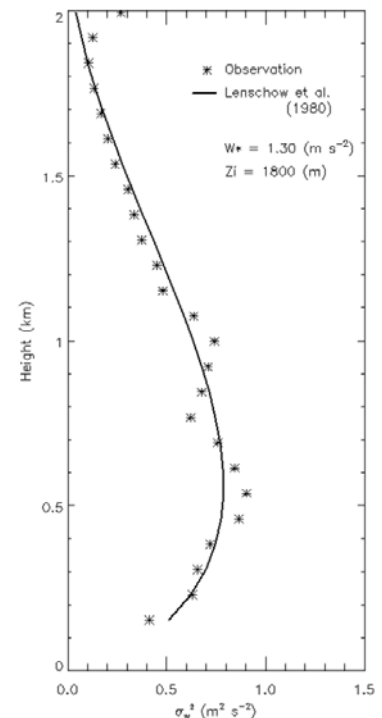


Fig.3 Vertical profile of vertical velocity variances

謝辞

本研究で用いたゾンデ観測システム一式は名古屋大学地球水循環研究センターよりご提供いただいた。関係の方々に記して謝意を表す。

* 参考文献 :

Ishii et al., 2010: *Appl. Opt.*, 49, pp.1809-1817.
 Lenschow et al., 1980: *J. Atmos. Sci.*, 37, pp.1313-1326.