

札幌で観測された大気境界層内の様々な流れ

～ 3次元走査型コヒーレントドップラーライダーによる観測 ～

* 山下和也 (北大院・地球環境)、藤吉康志 (北大・低温研)

1. はじめに

大気境界層内の3次元気流構造は、大気-陸面相互作用を調べる上で重要な要素である。境界層には、地面に近い接地境界層で発生するプルーム、混合層全体の対流に関わるより大きなスケールのサーマルやロール状対流などの組織的な流れが存在することが知られている。しかし、地上から上空数kmの範囲における、これらの乱流の時空間構造についてはこれまでほとんど観測されていない。また、積雲が境界層内のどのような気流場で形成されているのかについても、実はほとんど理解が進んでいない。

そこで我々は、雲とエアロゾル・地表面の相互作用プロセスを理解するために、三次元走査型のドップラーライダーを導入した。この装置は、ミラーを通して、エアロゾルを散乱体とする近赤外パルスレーザーを送信し、散乱波の強度、ドップラーシフト、ドップラー速度の分散を検出することで、上空のエアロゾル濃度や、風向風速の三次元分布を計測する装置である。

観測は2004年5月から開始し、これまで観ることのできなかつた大気境界層内の興味深い流れを数多く捉えたので、その一部を報告する。

2. 観測概要

ドップラーライダーの設置場所は、北海道大学創成科学共同研究機構棟の屋上(北緯43度05分05秒、東経141度20分07秒、地上28m・海拔約40m)である。送信波長は、 $1.54\mu\text{m}$ (アイセーフ波長帯)である。観測範囲は最大半径20kmであるが、通常は距離分解能25m(50,100m)(切り替え)の80レンジビン、即ち、2km(4,8km)で観測を行っている。走査速度は、水平鉛直共に約1rpmである。

3. 観測結果

3-1. 高層ビルによる後流

図1は、2005年3月15日6時に観測した、地上で約3m/sの南東風が吹いていた時の、ドップラー速度の水平分布(仰角2.2度)である。風の向きを、図中に矢印で示した。ライダーの南東方向には、a:高さ173mの札幌・JRタワー、b:ホテル等100m前後のビル2棟、c:北大病院、などの高いビルがあり、その風下でドップラー速度が遅くなっている。これは建物の風下で風が弱まっていることを示しており、建物の影響が風下数kmにも及んでいることが分かる。またこの後流域は波打っていることから、風向の時間変動が、他の場所に比べて大きいことが分かる。この結果は、高層建築物が、風の場合や乱流フラックス、したがって、ヒートアイランドの形成に重要な都市大気の熱輸送に大きな影響を与えている事を端的に示している。

3-2. 水平ロール渦

図2は、図1と同様な図であるが、2005年5月24日12時に、地上で6m/s前後の北西風が吹いた曇天時の事例である。ほぼ風の主方向に沿った縞状の構造が見られる。縞の間隔は、約600mである。これは水平波長約1.2kmの水平ロール渦と思われる。本ケース以外にも風が強い場合(地上風速5m/s以上の時)には、このような縞状構造が頻繁に見られ、縞の間隔は250mから1000mまで幅広い値をとった。

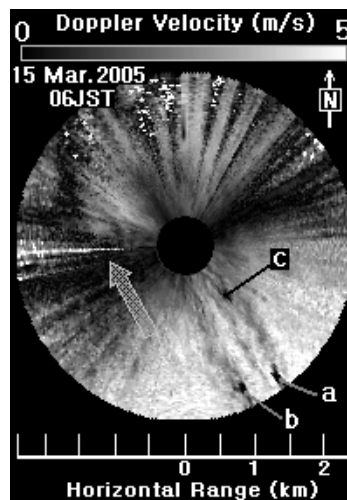


図1. 高層ビルの後流の観測事例。

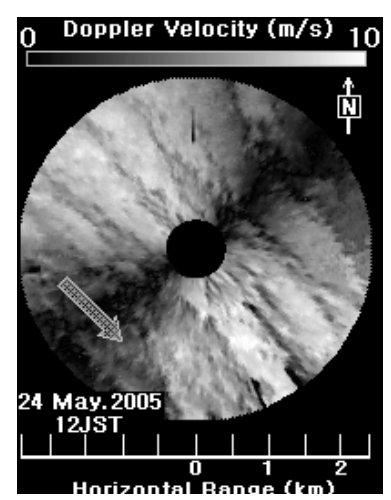


図2. 水平ロール渦の観測事例。

3-3. 快晴・弱風時の構造

風が弱く、日射によって地面が加熱された日には、セル状のプルームが観測された。図3は、2004年6月2日07時30分に、地上風速が1m/s程度で快晴時に観測した事例である。セルの直径は1km前後である。

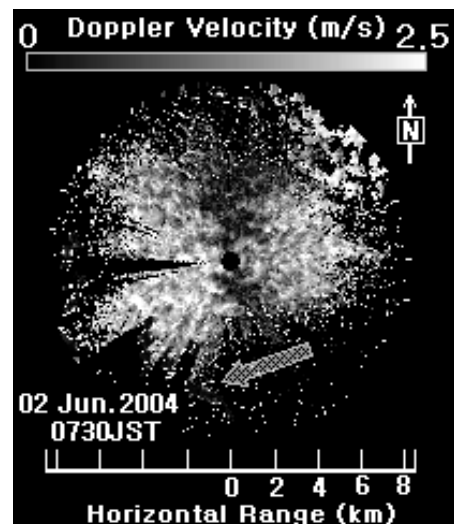


図3. プルームの観測事例。

図4は、2005年4月24日14時30分に、同じく快晴時で、地上風速は3m/s前後の時に観測した事例である。この構造は、水平ロール渦とも、プリュームとも異なっており、数km程のスケールをもつ水平風速のムラが見られ、この構造は、風と同方向に動いていた。

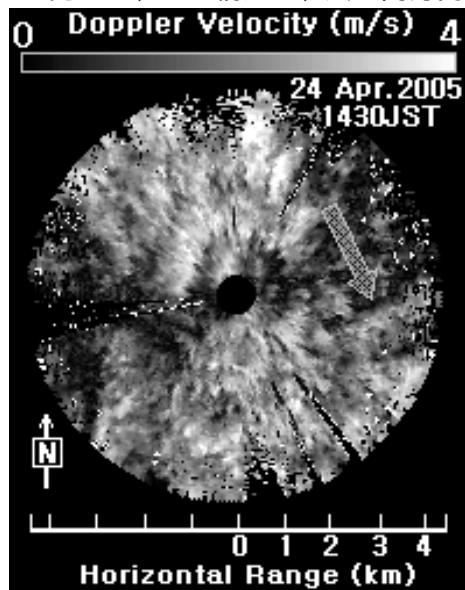


図4．快晴時の境界層に新たに見出された乱流構造。

3 - 4 . 晴天積雲の形成過程

図5は、2005年5月3日12時に、晴天積雲が発生していた時の鉛直断面である。a)はS/N(受信信号の強さに対応) b)はドップラー速度である。ほぼ主方向(西南西風)に沿った断面で図の左側が西(方位角263°)である。S/Nの値が大きい高度約2.5km付近の領域は、積雲の雲底部を示している。積雲より下層で比較的弱い散乱を示しているのはエアロゾルである。

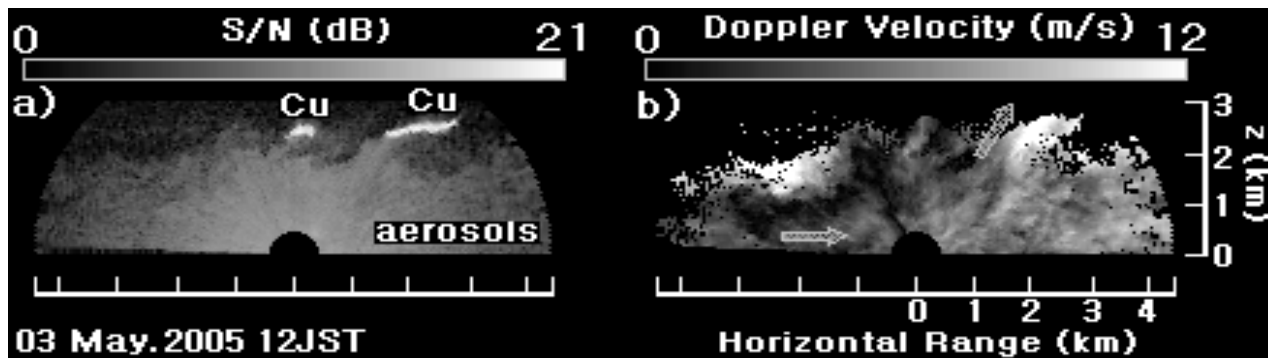


図5．晴天積雲の形成 東西鉛直断面(図の左側が西)、(a)S/N、(b)ドップラー速度の大きさ。図中矢印でドップラー速度の向きを示す。

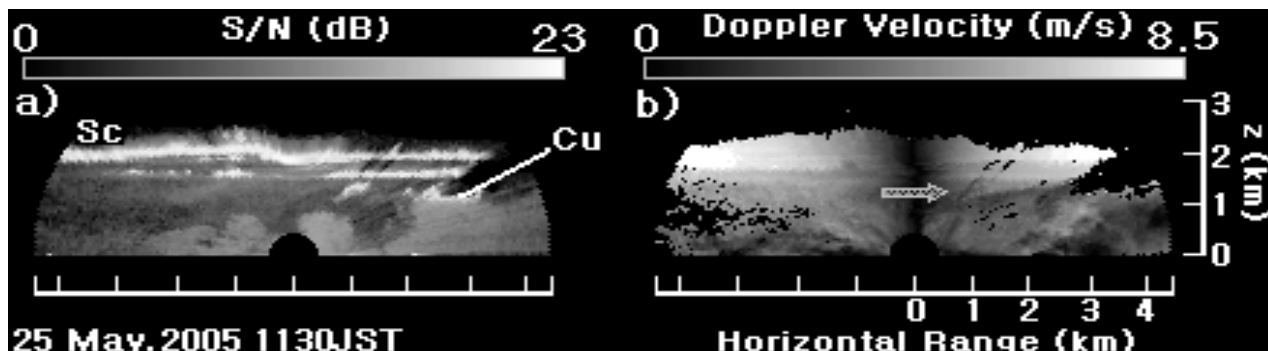


図6．積雲と層積雲 北西-南東鉛直断面(図の左側が北西)(a)S/N、(b)ドップラー速度の大きさ。図中矢印でドップラー速度の向きを示す。

る。地表からエアロゾルを含んだ湿った空気塊が上昇し、それが凝結高度に達した時に雲が発生している様子が捉えられている。ただし、雲凝結核の濃度、上昇速度、空気塊の初期の湿度の変動を反映して、形成される雲底高度は必ずしも一定では無い。

図6は、2005年5月25日11時30分に観測した、雲が3層(層雲2層+積雲1層)構造を示した事例である。図の左側が北西(方位角308°)で、高さ約1.2kmの混合層内の主方向(北西風)断面である。南東側、混合層上端付近に図5と同様に、積雲が形成されている。一方、この積雲の上空に、高度約1.5kmと1.9kmに雲底をもつ二層の層積雲が存在している。これらは直ぐ下層の積雲とは異なって、乱流境界層内ではなく層流内に形成され、雲底高度がほぼ一定である。ほかの数多くの事例と同様に、層雲あるいは層積雲は、風の鉛直シアアが大きい場所に形成されており、シアア層内に形成される乱れをトリガーとして生成されたと考えられる。図は省略するが、高層雲も全く同様な成因で形成されていることが確かめられている。

4. まとめ

- ・札幌・JRタワーによって発生したwake流を可視化することができた。それにより、建物が下層大気に及ぼす影響を定量化することができた。
- ・水平ロール渦やセル状対流、そして今回新たに見出された乱流構造など、大気境界層に出現する組織的な流れの観測に成功した。
- ・地表からエアロゾルが上昇し、凝結高度で積雲が発生する過程をとらえた。
- ・下層積雲と、層雲・層積雲の成因の違いを明らかにした。