

ドップラーライダーを用いた大気境界層の観測

The Observations of the structure of Boundary Layer using the Doppler Lidar

山下 和也¹, 藤吉 康志², 他 CAPS2003 参加者
YAMASHITA Kazuya, FUJIYOSHI Yasushi and CAPS2003 members

¹ 北海道大学大学院地球環境科学研究科

Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University

² 北海道大学 低温科学研究所

Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Abstract

Cumulus cloud that forms in the mixed layer, is a key element of atmosphere-land surface interaction. To clarify the mechanism of cloud growth and dissipating process, we need to observe three-dimensional structure of boundary layer under the cumulus cloud and cloud itself. But, it was never before possible using traditional instruments for observation. And so, we introduced a rapid scanning Doppler lidar System. The Doppler lidar measures range-resolved profiles of aerosol backscatter and radial velocity. It operates in the near-infrared and is sensitive to scattering from aerosol particles. We can observe aerosol distribution and air current in the boundary layer, by using this instrument. We participated in 2003 BIWAKO Project (CAPS2003), and make observations of the structure of fair weather cumulus and boundary layer by the Doppler lidar. And, we focused attention on the observation of the formation of stable boundary layer and local front which have a relation to lake/land breezes, during the project.

1. はじめに

混合層内で形成される積雲は、大気 - 陸面相互作用の重要な要素である。その発達・消滅過程の解明にあたり、積雲の下に位置する境界層も含めた三次元構造を観測する必要があるが、従来の測器では不可能であった。そこで我々は先に、高速走査型の三次元ドップラーライダーを導入した。このドップラーライダーは、高速走査可能なミラーを通して、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、散乱波の強度と、ドップラーシフトを検出することで、上空のエアロゾル密度分布や、風向風速の三次元分布を計測できる装置である。今回2003年琵琶湖プロジェクト(CAPS2003)に参加し、晴天積雲の観測に加えて、日の入り前後から形成され始めた安定境界層や湖陸風と関連する局地前線が観測サイトを通過した際の観測を行ったので報告する。

2. 観測概要

ドップラーライダー設置場所は、琵琶湖の北東、滋賀県高月町の伊香高校千田農場(北緯35度29分36秒、東経136度14分53秒)である。ドップラーライダーによる観測期間は2003年10月2日から9日までである。観測期間中はおおむね晴れで、期間前半(5日まで)は日中北よりの強い風が吹く時が多く、9日は日中琵琶湖からの弱い湖風が吹いた。

ドップラーライダーの送信波長は、1.5 μm帯である。最大レンジビンは80であり、今回は主に、分解能25m、探知距離幅2kmの観測を行った。仰角を一定にして、方位角方向に360度回転させる、PPI(Plan Position Indicator)スキャンと、方位角を一定にして、仰角方向に180度回転させ、鉛直断面を得るRHI(Range Height Indicator)スキャ

ンを組み合わせて観測を行った。今回の観測では、主に20分を一単位として観測スケジュールを組んだ。観測の一単位の内容を以下に示す。

仰角1度のPPI スキャンを連続2回
仰角3度、5度、20度のPPI スキャンをそれぞれ一回づつ
方位角150 - 330度、170 - 350度、190-10度、210-30度のRHI スキャンをそれぞれ一回づつ

スキャンスピードは、4.5deg/sとした。すなわち一回のPPI スキャンは約80秒、RHI スキャンは、約40秒で完了する。またドップラーライダーから450m以内の範囲は計測が出来ない。よって観測領域は、ドップラーライダーからの距離が450m～2450mの範囲である。

3. 結果と考察

3.1 積雲の観測

Fig1に10月4日16時14分～18分に観測した方位角毎のRHIを示す。図で散乱光のS/N比が高い高度1300m付近の領域は積雲の雲底部を示している。積雲より下層での比較的弱い散乱はエアロゾルによるものである。

Fig2に、Fig1の観測時間帯におけるドップラーライダーの真上のS/N比及び鉛直流それぞれの鉛直プロファイルの時間変化を示す。鉛直上方より5度の範囲(仰角85度から95度)のドップラー速度を用いて算出した。Fig2によると、高度1200mから1500mの領域で、上昇流は上空に行くに従って強くなっている。積雲内部でも上昇流が生じている事が確認できる。17分の時点では全体的に上昇流は弱まっている。

積雲と鉛直流の関係を詳細に調べる為、Fig3に16時16分におけるS/N比と鉛直流のプロファイルを改めて示した。S/N比のプロファイルに注目すると、高度1000m付近から上空でS/N比の値が増加している。それと対応して上昇流も同高度付近から急に強くなっている事が分かる。1100m位から上は漸増となっている。この上昇流が急激に強くなる高度は、積雲の発生高度を知る指標となるかもしれない。

3.2 安定境界層の形成

10月9日、日中、観測サイト付近は快晴となり、琵琶湖周辺で湖陸風が卓越した。観測サイトに設置した超音波風速計の一分間平均値の風向・風速によると、観測サイトでは日中琵琶湖の方角から吹く南～南西風であった事が確認できる。16時過ぎから風向きは徐々に西風、北西風に変わっていき、Fig4に示すように17時の時点では北北西の風となった。その後日の入り時刻(17時31分:大津)から約7分間の間に風向が北北西の風から南東の風に約150度変わった。Fig5に示すように、地上風速は日の入り時刻の10分程前から、1.8m/s程度から0.8m/sに弱く

なっている。この地上風の急変の際、上空や周囲がどのような風の間になっていたかをドップラーライダーの観測結果を用いて調べた。

Fig6に9日17時00分から18時14分までのドップラーライダーのドップラー速度の観測結果を示す。図最上段は仰角1度のPPI、以下3度、5度、20度のPPIである。最下段は方位角150度～330度のRHIである。図の右側が150度である。PPIのそれぞれの列の右端には図の南北・東西と高度を示した。仰角1度の場合、円の外縁は高度43mに、内縁は高度8m、中間は高度25mであることを示している。またRHIの断面の方位角に当たる150度～330度の方向も参考の為に示した。図は濃淡で視線速度(ビームに平行な風の成分)の大きさを示し、ドップラーライダーに近づく成分か遠ざかる成分かを区別する為、便宜的に矢印でその向きを示した。図中の白い線は視線速度0の場所を結んだものである。この線を挟んでドップラー速度の正負が逆転している。

17時11分までのPPIを見ると700mより下層ではほぼ一様に北西の風が吹いている。17時14分のRHIを見てもそれは確認できる。またRHIでは、それより上層では逆向きの風になっている事が分かる。17時20分～28分までの各PPIを見るとドップラーライダーの東の領域に弱い東風が入ってきているのが分かる。ドップラーライダー付近の風もこの時間帯で北西風から北風、また北北東の風へと変化しているのが分かる。地上での17時31分から38分までの急激な風向変化と対応して、17時40分～48分の各PPIでは最下層に南東の風が侵入し、それぞれ20分前とほぼ逆方向のパターンになっている事が確認できる。17時54分のRHIでは、500m以下の下層の南東風がはっきりと分かる。またドップラーライダーから北西に1800m付近に見られる風速が水平方向に不連続に変化している部分は、前線面、或るいは密度流のヘッド部かもしれない。最後の18時14分のRHIを見ると全層で南よりの風だが、3～4の層状になっていて複数回の変曲点をもつ風速/風向鉛直プロファイルをもっている事が分かる。

Fig7には、Fig6と同時間帯におけるRHIのS/N比を示した。17時14分の時点で目視により上空全体を覆う雲が見えていた。ドップラーライダーで高度1.5km付近にある強い散乱領域がその雲に当たる。目視観測では18時の時点で空は暗くなり始めているが上空は澄んだように見えていた。ドップラーライダーでは依然として1.5kmよりやや低い高度に散乱領域を観測している。また18時14分の図を見ると、先程の上空1.5km付近とは別に高度500m以下の下層でエアロゾルによる散乱領域が見られる。その中間ではエアロゾルの比較的少ない領域が存在し、安定境界層の特徴である層状な流れが形成されている事が確認できる。また下層のエアロゾルが多い層が18時前後を境に出現していることはFig8に示す地上の観測サイトに設置した凝縮核計(CNカウンター)が計測したエアロゾル数密度の結果と一致している。

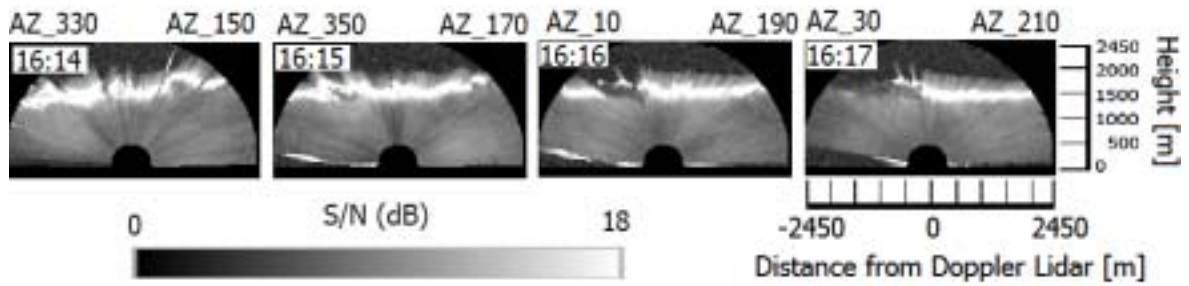


Fig1. Doppler lidar RHI S/N scans for 4 Oct 2003. The start time of scan is 16:14(JST)

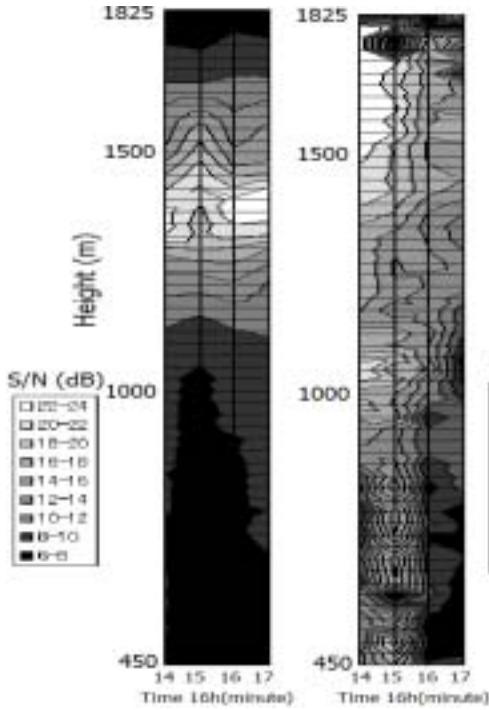


Fig2. S/N and vertical flow(positive is upward) profiles during a span of 4 minute

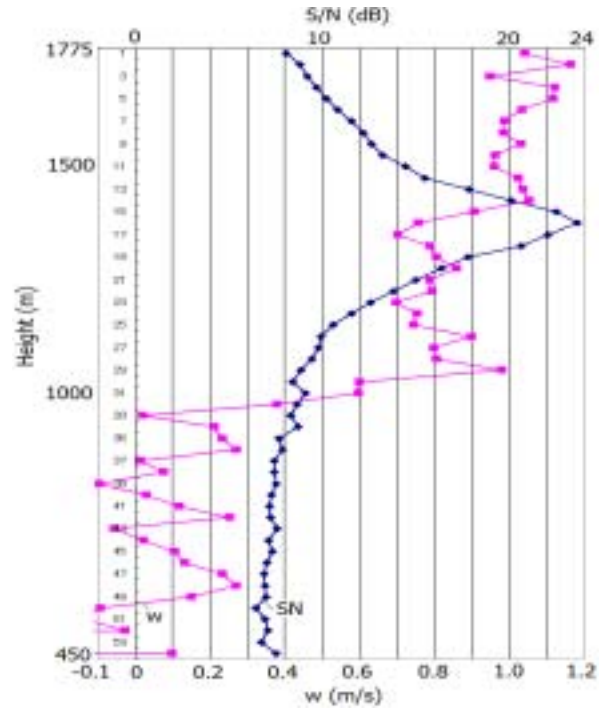


Fig3. S/N and vertical flow(positive is upward) profiles for 16:16

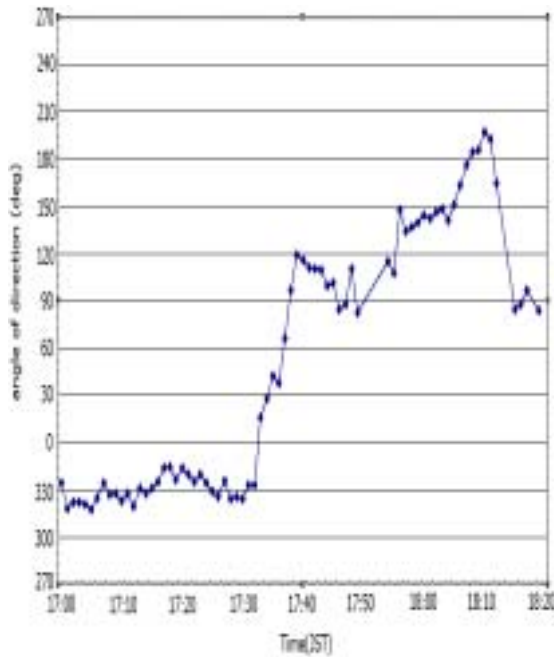


Fig4. Temporal variation of the wind direction on the ground on 9 Oct 2003

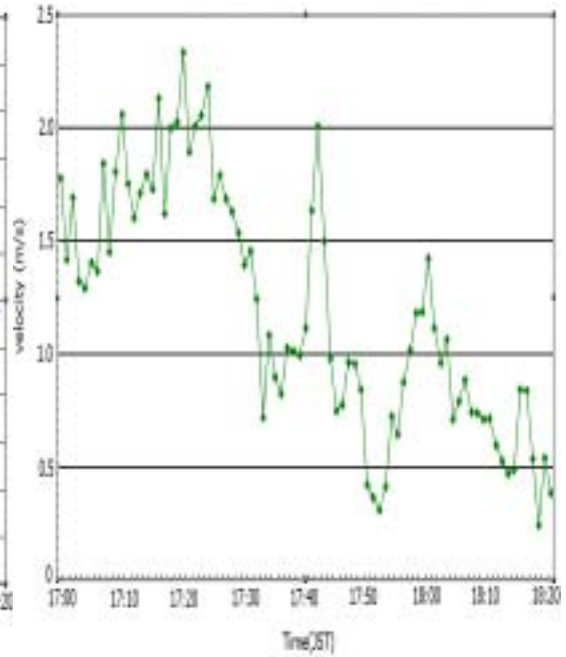


Fig5. Temporal variation of the wind velocity on the ground on 9 Oct 2003

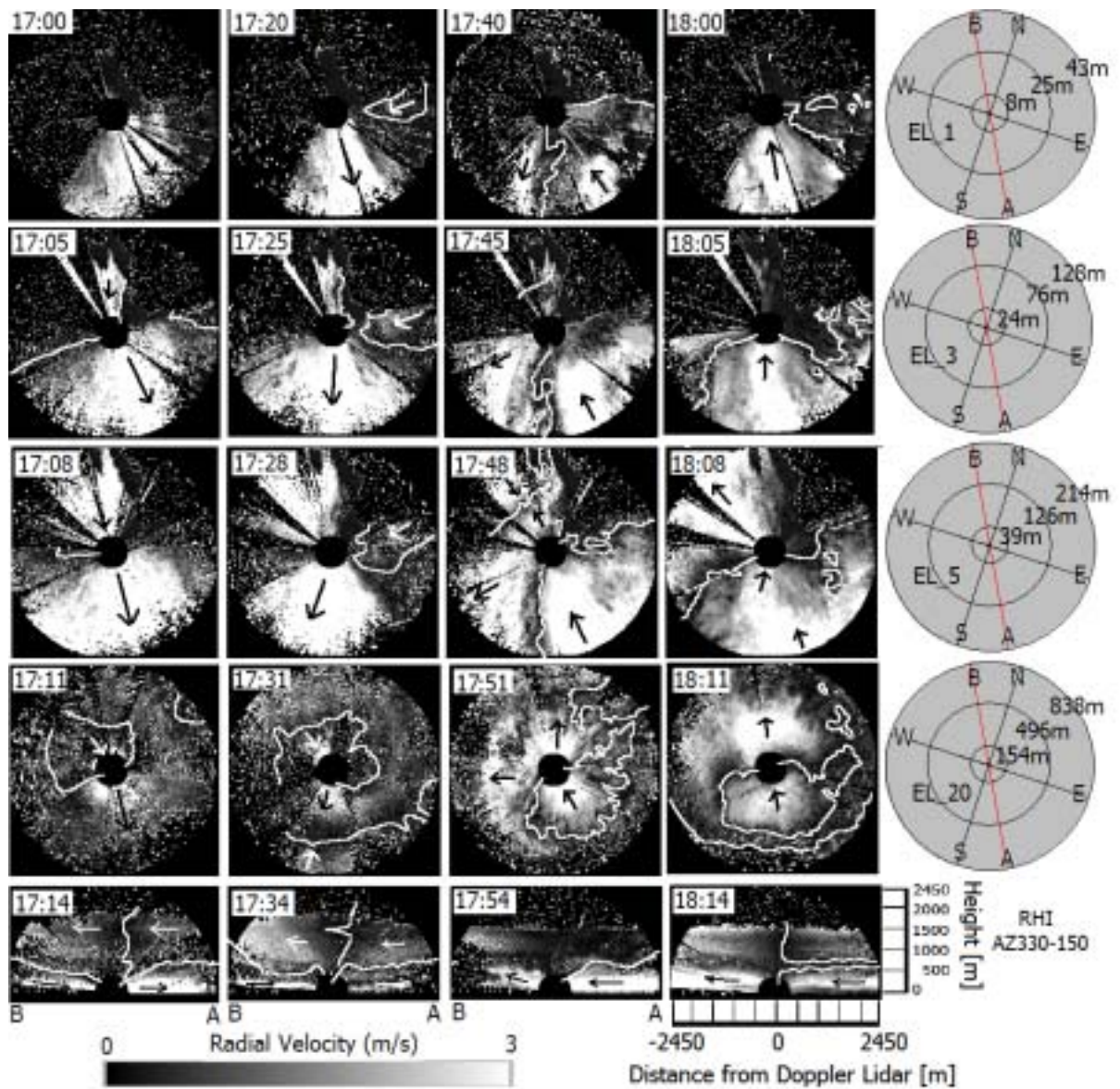


Fig6. Doppler lidar radial velocity scans for 9 Oct 2003

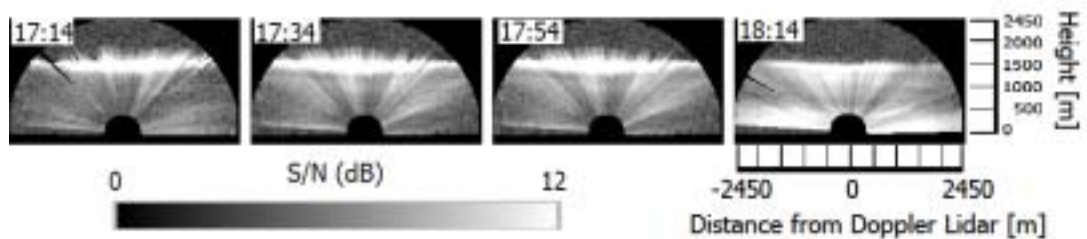


Fig7. Doppler lidar S/N scans for 9 Oct 2003

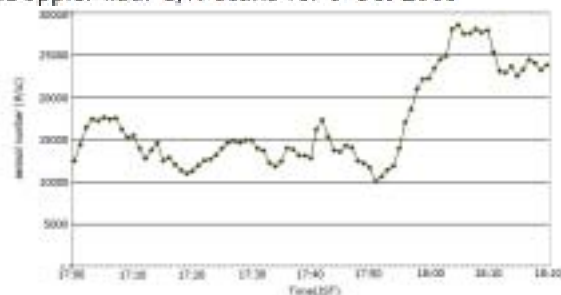


Fig8. Temporal variation of the aerosol number