

中国・黄土高原南部において混合層発達時に観測された鉛直風の特徴

*西川 将典¹・檜山 哲哉¹・高橋 厚裕²・李 薇¹・樋口 篤志³・福嶋 義宏²

(1: 名大・地球水循環研究センター, 2: 総合地球環境学研究所,

3: 千葉大・環境リモートセンシング研究センター)

1. はじめに

ウィンドプロファイラレーダ (Wind Profiler Radar, 以下 WPR) を用い、地表面フラックス観測を併用した日中の対流混合層 (以下、混合層) に関する初期の研究成果は、主に北米の平坦かつ均一な地表面状態下で、基本的には高気圧に覆われた総観気象場において得られている (Angevine et al., 1998)。しかし、これらの条件と異なった地表面状態や総観気象場における上記のような WPR を用いた混合層の観測は、現在あまり報告されていない。

このような背景から本研究グループは、2004 年 6 月から中国・黄土高原南部において大気境界層の観測を行っている。本観測は黄土高原特有の複雑な地形条件下で観測を行っていることや、黄土高原はユーラシア大陸の内陸部に位置し夏季に熱的低気圧が発達し易いこと等、混合層の発達に対する様々な影響が予想され、新たな知見が得られると期待される。本発表では 2005 年の春から夏にかけて黄土高原・長武試験地で行った集中観測のデータを基に、黄土高原における混合層の発達過程の特徴について報告する。

2. 観測とデータ

2.1 観測サイト

本観測は中国科学院・長武試験地の圃場 (35° 12N, 107° 40E, 標高 1200 m) において行っている。観測サイトは黄土高原の平坦な台地上に位置しており、時計回りに見て北西-東側には比較的平坦な地形が、東-北西側には険しい谷が広がっている (図 1)。観測サイト周辺には、冬小麦 (6 月下旬に収穫)、トウモロコシ (9 月下旬に収穫)、リンゴ畑が不規則に分布している。

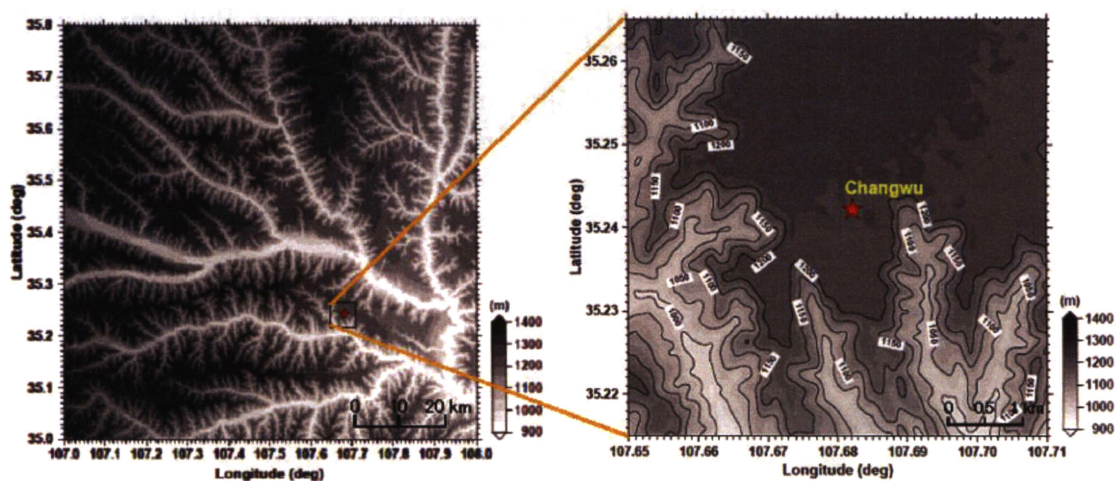


図 1 観測サイト周辺の地形*

2.2 観測の概要

混合層の観測は、1290MHz-WPR (L-28, 住友電工) を用いて行った。さらに、本年度から設置したマイクロ波放射計 (TP/WVP-3000, Radiometrics) を用いて、上空 10 km までの気温と水蒸気量の鉛直分布の測定を行った。また、地表面付近の乱流熱輸送量、放射量、及び気象データを得るために、陸面接地境界層観測システムから得られたデータを利用した。システムは、フラックスタワー (高さ 30 m)、地上部、地下部センサーから構成されている。本観測システムの利点は、WPR により上空の大気屈折率や 3 次元風速を、マイクロ波放射計により上空の気温と水蒸気量を連続的に観測できることである。観測条件が良い場合には、上空 8 km 程度までこれらデータの高時間・高鉛直分解能の鉛直プロファイルを取得可能である。

マニュアル観測を含む集中観測は、2005 年 5 月 11 日から 7 月 13 日にかけて行った。本報告では集中観測期間中の WPR の解析結果を主に報告する。

3. 結果及び考察

3.1 総観気象場の解析

64 日間の集中観測期間中、雨などの場合を除き計 46 日間で明瞭な混合層の発達を観測された。6 月 19 日 06UTC (北京時間 14 時) 850 hPa 面の NCEP/NCAR 再解析データのオメガ値の分布 (図 2) によると、観測サイト周辺ではオメガ値が約 -0.100 Pa/s と負であった。ここで、負のオメガ値は、上昇流場にあったことを意味している。図 2 に示した例と同様に、計 46 日間の明瞭な混合層の発達を観測された日における同時刻・同高度 (06UTC・850 hPa 面) のオメガ値は、すべて 0 Pa/s 以下と負の値を示していた。従って、観測サイト周辺は、日中、熱的低気圧が発達しており、基本的に上昇流場であったと考えられる。

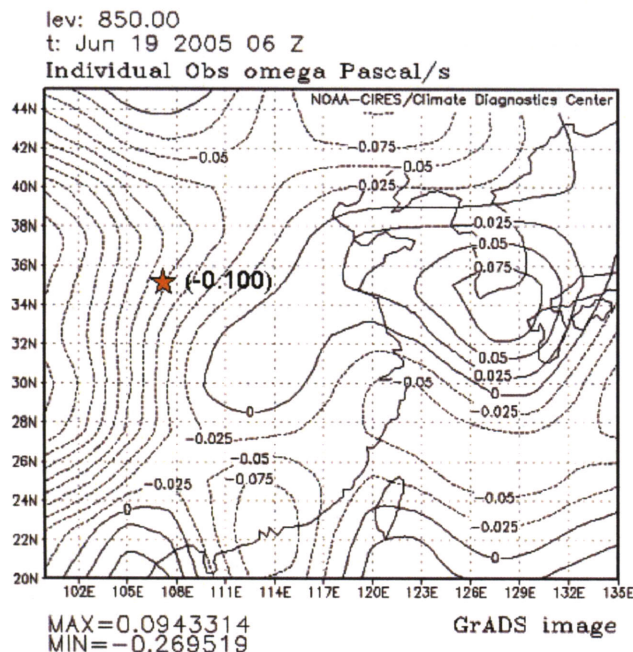


図 2 NCEP/NCAR 再解析データ 850 hPa面のオメガ値の分布 (2005 年 6 月 19 日 06UTC)[†]

3.2 黄土高原における混合層の発達過程と鉛直風の特徴

明瞭な混合層の発達が観測された計 46 日間の中で、既存の研究 (混合層が発達後、徐々に衰退する事例) と類似しない黄土高原特有の混合層の発達が、計 6 日間観測された。6 月 19 日の事例をその代表として図 3 に示す。この日は日中風が弱く、顕熱が潜熱よりも卓越していた。混合層が昼過ぎに急速に高度 3000 m 程度まで発達し、午後にプリュームが数個観測された。プリューム内の上昇流の風速は大きく、最大 6.4 m/s であった。また、プリュームは高度 3000 m 以上まで達しているのもあり、一部は混合層上端を突き抜けていた。マイクロ波放射計により観測された 6 月 19 日の温位の鉛直分布 (図 4) は、地表面付近を除き高度 3000 m 位まで温位勾配が小さく、不安定な状態であった。黄土高原が夏季には基本的に熱的低気圧の発達により上昇流場となり、上空の温位勾配が小さくなり易いことが考えられる。また、前日の 6 月 18 日も 19 日と同様に高度 3000 m 程度まで混合層が発達していた。従って、高度 3000 m 程度まで温位勾配が小さいという観測事実は、residual layer (残余層) の影響も考慮しなければならないことを示している。つまり、プリュームは顕熱が大きいため発達し、上昇流場や residual layer の影響により温位勾配が小さい高度 3000 m 近くまで容易に上昇していく。しかし、プリュームが強く、高度 3000 m 上空の温位勾配もそれ程大きくないので、混合層高度を突き抜けてさらに上空までプリュームが達するということが、観測結果から推測できた。

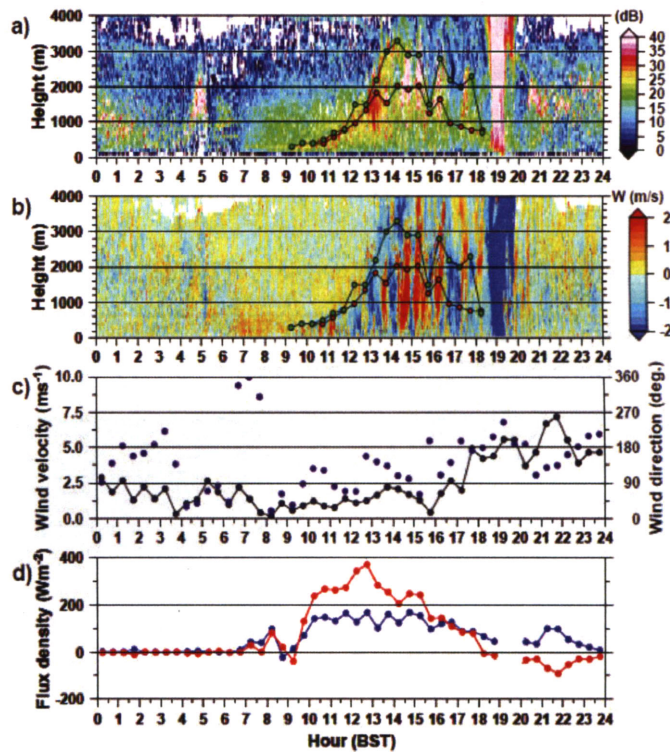


図 3 WPR により観測された a) エコー強度の高度時間断面図 (緑丸: 30 分平均のエコー強度の屈曲点から求めた混合層高度, 赤丸: median 法 (Angevine at al., 1994) により求めた混合層高度), b) 鉛直風速の高度時間断面図 (緑丸, 赤丸は a) と同じ), c) 高度 30 m における風速 (黒丸と実線), d) 風向 (青丸) の日変化, 高度 10 m における顕熱 (赤丸), 潜熱 (青丸) の日変化. (2005 年 6 月 19 日 (日の出 5:34, 日の入 20:07))

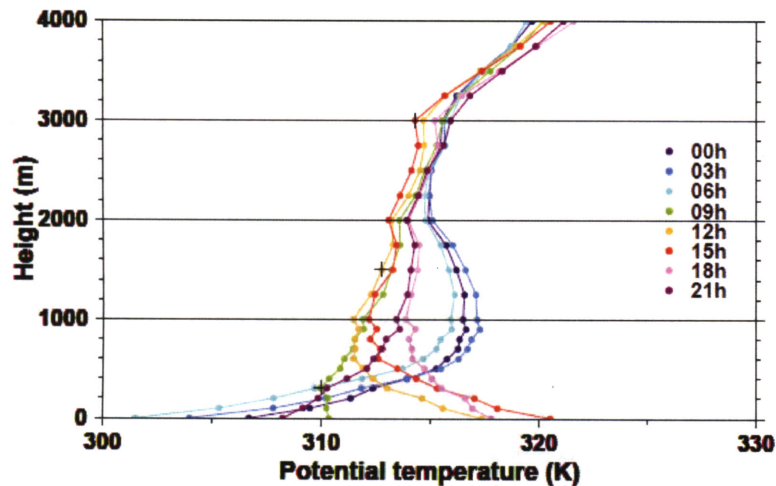


図4 マイクロ波放射計により観測された3時間毎の温位 (2005年6月19日)
(十印: エコー強度の屈曲点から求めた混合層高度)

4. まとめ

黄土高原特有の混合層の発達過程が、集中観測の観測結果の解析を通じて得られた。特に、混合層が昼過ぎに急速に発達し、その後午後にプリュームが発達するのが特徴である。プリュームは熱的低気圧場のもと、風が弱く、顕熱が大きい場合に観測された。日中風が強い場合や、地表面が湿潤な場合 (潜熱が卓越する場合) には、上記のような黄土高原特有の混合層の発達過程は観測されなかった。この場合、混合層の発達過程はむしろ既存の研究と類似していた。つまり、黄土高原特有の混合層の発達過程は、様々な条件が重なり合った結果、混合層と総観気象場及び陸面との相互作用の結果生じた特殊なケースであると結論付けられる。ただし、この混合層の発達過程は必ずしも黄土高原特有、という訳ではない。熱的低気圧場の条件下で、地表面が乾燥し、顕熱が大きいような条件下、例えば沙漠等の乾燥地や半乾燥地などでは同様に観測されると推測される。実際、中国の内陸部の沙漠で行われたライダー観測においても、混合層上端を突き抜けるようなプリュームの発達を示唆する結果が報告されている (Yasui et al., 2005)。

一連の解析を通じて、混合層の発達過程に対する地形の効果に関しては、観測結果のみから定量的な結果を導き出せなかった。黄土高原上の混合層の発達過程に対する地形の効果の大小を明らかにするためには、非静力学数値モデルを用いて、混合層の発達過程に関する再現実験を行う必要がある。

参考文献

*<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

†<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

Angevine et al. 1998: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 419-431.

Angevine et al. 1994: *Bound.-Layer Meteor.*, **68**, 375-385.

Yasui et al. 2005: *J. Meteor. Soc. Japan*, **83A**, 149-171.