

WAVE2004キャンペーン期間中に山川及び八王子で観測された Na層変動の初期解析結果

吉村 玲子¹・阿保 真²・柴田 泰邦²・長澤 親生²
村山 泰啓¹・川村 誠治¹・五十嵐 喜良¹

Simultaneous observations of sodium layer over Yamagawa and Hachioji using lidar system during WAVE2004 campaign: initial results

By

R. YOSHIMURA¹, M. ABO², Y. SHIBATA², C. NAGASAWA²,
Y. MURAYAMA¹, S. KAWAMURA¹, and K. IGARASHI¹

Abstract: Sodium layer was observed simultaneously at Yamagawa and Hachioji using a lidar system during WAVE2004 campaign. The observed sodium layer profiles were processed with the band pass filters of several altitude bandwidths. The results showed large day-by-day variations and suggested existence of multiple waves. The rocket experiment was carried out on January 18, on which sodium layers showed particularly complex behavior. Neutral winds were also observed by MF radar during the campaign. The diurnal component of the neutral wind supported the steadily downward propagation of sodium layers seen during the nights of day 14 and 19. The neutral wind behavior also showed complicated appearance around the time of the rocket launch.

概 要

WAVE2004キャンペーン期間中、山川及び八王子にてライダーシステムによるナトリウム層観測を行い、ナトリウム層鉛直構造の時間変化について解析を行った。観測は2004年1月14, 17, 19日3日間の夕方から翌日明け方にかけて行われた。観測結果に鉛直方向のバンドパスフィルタを施して解釈した結果、3日とも全く異なる様相を呈し、冬季中間圏・熱圏下部付近における波動場の日日変動は大きく、14日及び19日の夜間には定常的に下方伝播するピーク構造が現れているのに対し、ロケット実験が行われた17日の夜間は周期の短い波動が頻発し、非常に複雑な波動場であったことが窺えた。また、山川MFレーダ観測による中性風の24時間周期成分にも同様の構造が見られた。

1. 序 論

ナトリウムは中間圏界面付近 (90 ~ 100 km) における大気構成粒子の微量成分であり、通常高度90 km付近で最大密度1000 ~ 2000個 cm⁻³程度となるゆるやかなピーク構造を持ち、その鉛直構造の時間変化を追うことによ

¹情報通信研究機構, 184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1

¹National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukuikita-machi Koganei, 184-8795 Tokyo Japan

²東京都立大学 192-8654 東京都八王子市南大沢1-1

²Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minamiosawa Hachioji, 192-8654 Tokyo Japan

って中間圏・下部熱圏領域での大気波動の挙動を間接的に捉えることができる (e.g., Gardner and Shelton, 1985; Hecht et al., 1993). WAVE2004キャンペーンは2000年に行われたWAVE2000キャンペーン (Iwagami et al., 2002) の続編にあたるロケット・地上総合観測であり, WAVE2000では得られなかったパラメータである大気波動鉛直構造の時間変化を高分解能で捉えることを目的として, ライダーシステムを用いたナトリウム層観測を行った.

2. 観測概要

ライダー観測は山川 (31.2 N, 130.6 E) 及び八王子 (35.6 N, 139.4 E) で行われた. 観測ロケットは2004年1月18日0:30JSTに内之浦宇宙空間観測所 (31.3 N, 131.1 E) より打ち上げられたが, ライダー観測はロケット打ち上げ前後及び当日の2004年1月14 - 15日, 17 - 18日, 19 - 20日の3晩に行われた. 14 - 15日及び19 - 20日は山川と八王子で同時観測が行われたが, ロケット打ち上げのあった17 - 18日は天候不良のため八王子での観測は見送られた. また同期間には山川にてMFレーダによる中性風の観測も行われた (川村他, 本特集). 観測点の位置関係を図1に示す.

観測に用いた測定器は東京都立大学のライダーシステムで, 送信系 (Nd: YAGレーザ), 受信系 (Schmidt-Cassegrain式望遠鏡, 光電子増倍管), 制御系から成る (Nagasawa and Abo, 1995). 山川, 八王子それぞれの測定系のスペック及び観測期間を表1に示す.

3. 観測結果

Na密度高度分布の観測結果を図2に示す. 上から2004年1月14 - 15日, 17 - 18日, 19 - 20日における, 八王子 (左) 及び山川 (右) での観測結果であり, 横軸には観測開始日を基準とした地方時をとる. つまり, 例えば25時とは観測開始日翌日の午前1時のことである. またNa密度は時間軸の1目盛を 1000 cm^{-3} として示した.

2004年1月14 - 15日 (図2上) において, 八王子では20:00頃から, 高度98 km付近に現れた密度ピークが発達しながら約10時間かけて高度90 km付近まで下降してくる様子が見られる. 山川では21:00 - 24:00頃までデータ欠損があるが, 観測開始時 (18:00頃) より八王子同様高度98 km付近にピーク構造が現れ, 24:00頃には下降して来たと思われるピークが92 km付近に見られる. 他, 八王子で20:00 - 22:00頃高度90 - 82 km付近に下方伝播する鉛直波長5 km程度の波状構造や, 八王子, 山川で28:00 - 30:00頃高度90 km - 100 km付近に上方伝播する鉛直波長5 km程度の波状構造などが見られる.

2004年1月17 - 18日 (図2中) は, 八王子では天候不良により観測を行わなかった. 山川では, 前後の観測日 (14, 19日) と比較して全体的に複雑な構造を示している. 19:00頃 (観測開始時) から95 km付近に小ピークが現れ, 幅広になりながら2時間程の間に5 kmほど高度上昇を見せ, 22:00過ぎからゆるやかに下降した後25:00頃には95 km付近で拡散する. 22:00過ぎには102 km付近にも小さいピークが現れ, 26:00頃まで下降を続け, 拡散する. 他, 23:00 - 24:00 (90 - 82 km), 25:00 - 26:00 (90 - 85 km), 27:00 - 30:00 (94 - 88 km) など, ピーク密度の小さい複数の波動が短時間に異なる位相速度で異なる高度領域に現われた. なお, 観測ロケットは24:30に内之浦より打ち上げられた.

2004年1月19 - 20日においては, 八王子, 山川とも, 18:00頃 (観測開始時) より95 km, 90 km, 82 km付近に小さなピークが現れ, 22:00頃にかけてほぼ同じ高度に停滞している様子が見られる. 八王子ではその後95 km付近のピークが発達しながら26:00頃まで下降し, 92 km付近で拡散する. また, 八王子では観測開始から25:00頃にかけて層の厚みが減少し (半値幅最小5 km程度), その後高度100 km付近の密度が増すことによって層の厚みが回復している (半値幅10 km以上).

4. フィルタ解析

各観測結果に鉛直方向のバンドパスフィルタを施し, それぞれの特徴について評価を行った. 図3 - 5 は, 各観

測日におけるフィルタ処理後の結果で、上からフィルタのバンド幅 (A) 2 - 5 km, (B) 5 - 15 km, (C) 10 - 20 km であり、左図が八王子、右図が山川のものである。また、図6に、山川MFレーダによって観測された東西及び南北風の30分値における潮汐の24時間周期成分を示す。時間はいずれも地方時である。

4.1 200年1月14 - 15日 (図3)

バンド幅2 - 5 km, 5 - 15 km, 10 - 20 kmすべての帯域で、山川、八王子とも90 km付近から下方伝播するピーク構造が卓越している。山川では若干の位相の遅れが見られ、例えば (C) (バンド幅10 - 20 km) で20:00頃から30:00にかけて下方伝播するピークの場合、山川では八王子の結果に対して1/5 ~ 2/5波長程度遅れている。風速の24時間周期成分は14日から15日にかけて強く、山川・八王子の両地点で見られる90 ~ 80 km付近を下降するピークは南北成分のシア領域にほぼ一致する。

4.2 2004年1月17 - 18日 (図4) (山川のみ)

他の2日間の観測と比較して特長的な点は、観測時間を通して下方伝播するような構造が見られないことである。バンド幅2 - 5 km 及び 5 - 15 km では、1 ~ 数時間程度でピーク構造が現れ、消散している様子が見られる。バンド幅10 - 20 km では、19:00頃からピーク構造が現れるが、23:00付近で振幅は小さくなり、その後より早い位相速度を持つ下方伝播する構造が見られる。中性風の24時間周期成分は、東西風でほとんど位相伝播がなく、南北風は24:00頃高度90 km付近で北向き成分が弱まり、その後下降しながら再び強まるような様子を呈している。また、24:00以降は高度90 km付近のシアを境に上下で風速場が異なっている。なお、18日00:30に観測ロケットS-310-31号機が打ち上げられている。

4.3 2004年1月19 - 20日 (図5)

14 - 15日のデータに見られるような、高度90 kmから89 km付近まで下降するピーク構造が、八王子の5 - 15 km, 10 - 20 km フィルタ、及び山川の10 - 20 km フィルタを施した結果に見られる。山川での振幅は小さく、八王子でも26:00以降は小さくなっている。中性風の24時間周期成分は、東西風は位相の鉛直伝播がほとんど見られず、南北風は24:00付近で振幅がほぼ0になっている。また、バンド幅2 - 5 kmの結果は山川・八王子とも卓越するピーク構造がなく、比較的穏やかな波動場であったことがうかがえる。

5. まとめ

以上の結果を見比べると、観測の行われた3日間はそれぞれ異なる様相を呈し、特にロケット実験の行われた17 - 18日の夜は、中性風観測結果で見られる潮汐場が他の観測日で得られたものと比べて著しく異なったパターンを見せており、周期の短い複数の波動が重畳していたと推測される。ロケット打ち上げ前後の14 - 15日及び19 - 20日の観測では、MFレーダによって観測された風速場の24時間周期成分と対応する構造が見られた。ただし、Naライダーの高度分解能が75 m (八王子) 及び150 m (山川) であるのに対しMFレーダは7 kmであるため、鉛直方向に7 km以下の構造は比較できない。ライダーシステムによるNa密度変動観測によって、大気波動鉛直構造の微細変化を間接的に捉えることができたといえる。また本観測によって、WAVE2000キャンペーンでは観測することができなかった、大気光波状構造の生成要因であると思われる大気重力波の鉛直成分を得ることができた (久保田他, 本特集)。天候に左右されるという欠点はあるが、ライダーによるNa密度観測は大気波動の間接的な観測手法として非常に有用であることがここでも示された。

表1 3.0 μ mフィルムの引っ張り試験特性

	山川 (130.6E, 31.2N)	八王子 (139.4E, 35.6N)
観測器 スペック	レーザー出力：100 mJ / pulse レーザー線幅：1.5 μ m 望遠鏡口径：35 cm 高度分解能：150 m 時間分解能：145 sec	レーザー出力：60 mJ / pulse レーザー線幅：2.5 μ m 望遠鏡口径：60 cm 高度分解能：75 m 時間分解能：95 sec
観測日時	2004/01/14 18:08 - 28:52	2004/01/14 17:16 - 30:27
	2004/01/17 18:19 - 30:39 (24:30ロケット打ち上げ)	2004/01/17 観測なし
	2004/01/19 18:24 - 29:00	2004/01/19 17:33 - 30:23

参考文献

- [1] Gardner, C. S., and J. D. Shelton, Density response of neutral atmospheric layers to gravity wave perturbations, J. Geophys. Res., 90, 1745-1754, 1985.
- [2] Hecht, J. H., T. J. Kane, R. L. Walterscheid, C. S. Gardner, and C. A. Tepley, Simultaneous nightglow and Na lidar observations at Arecibo during AIDA-89 campaign, J. Atmos. Terr. Phys., 55, 409-423, 1993.
- [3] Iwagami, N., T. Shibaki, T. Suzuki, Y. Yamada, H. Ohnishi, Y. Takahashi, H. Yamamoto, H. Sekiguchi, K. Mori, Y. Sano, M. Kubota, Y. Murayama, M. Ishii, K. -I. Oyama, R. Yoshimura, M. Shimoyama, Y. Koizumi, K. Shiokawa, N. Takegawa, and T. Nakamura, The WAVE2000 campaign: overview and preliminary results, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 64, 1095-1104, 2002.
- [4] Nagasawa, C., and M. Abo, Lidar observations of a lot of sporadic sodium layers in mid-latitude, Geophys. Res. Lett., 22, 263-266, 1995.

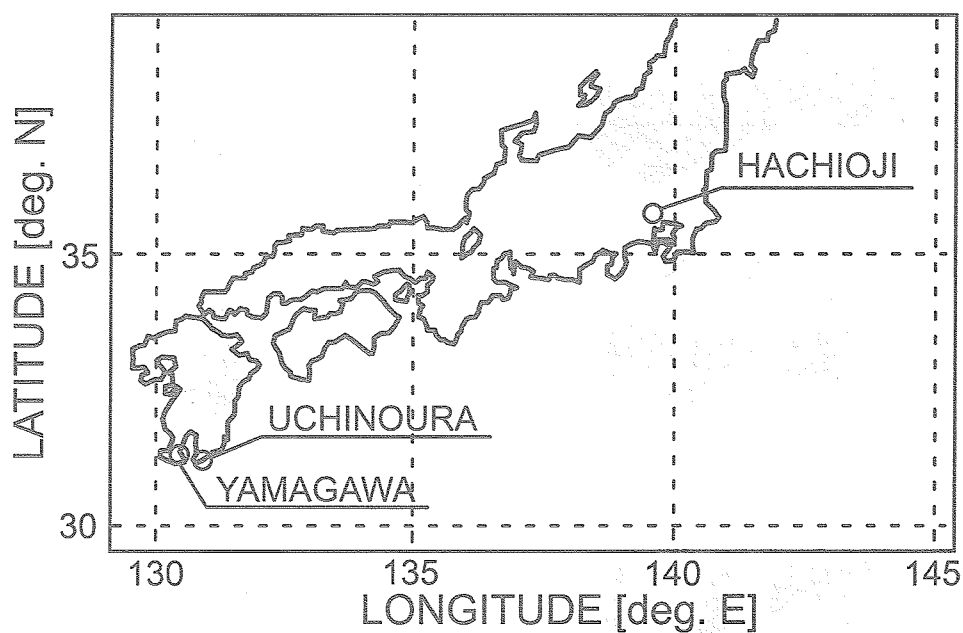


図1 観測地点の位置関係。山川 (31.2 N, 130.6 E) ではNaライダー及びMFレーダ観測，八王子 (35.6 N, 139.4 E) ではNaライダー観測が行われた。また観測ロケットは内之浦 (31.3 N, 131.1 E) より南東に向けて発射された。

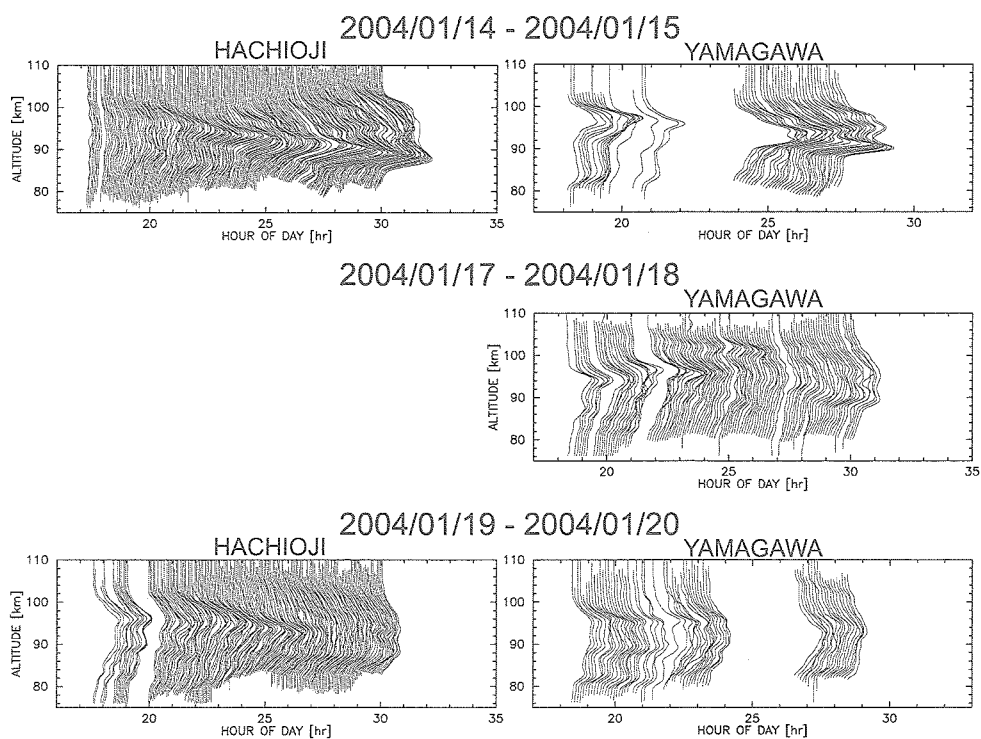


図2 ライダーシステムによるNa密度高度分布の時間変化。上から2004年1月14 - 15日，17 - 18日，19 - 20日で，左図が八王子，右図が山川の観測結果である。縦軸が高度，横軸が観測開始日を基準とした地方時である。Na密度は1目盛り 1000 cm^{-3} となっている。17 - 18日の八王子は天候不良のため観測を行っていない。

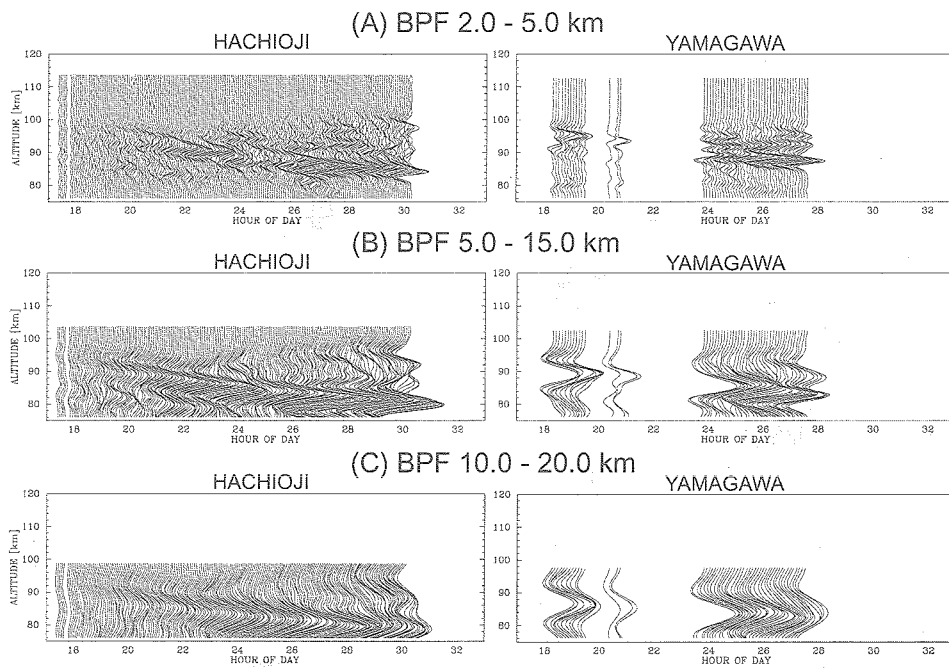


図3 2004年1月14 - 15日の観測結果に鉛直方向のバンドパスフィルタを施したもの。上からバンド幅2.0 - 5.0 km, 5.0 - 15.0 km, 10.0 - 20.0 kmで、左図が八王子、右図が山川である。

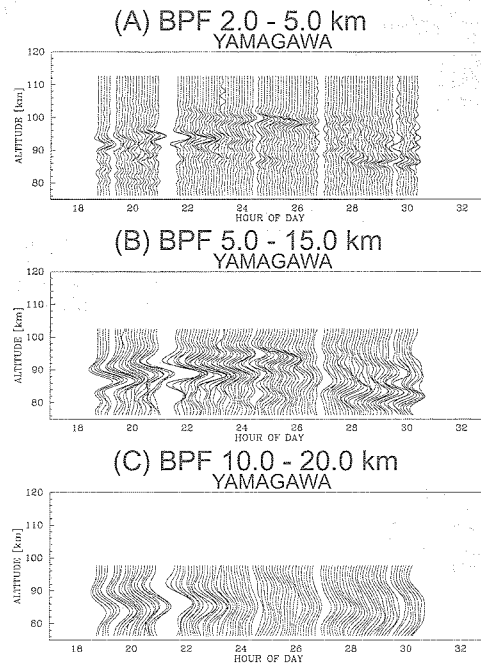


図4 2004年1月17 - 18日の観測結果に鉛直方向のバンドパスフィルタを施したもの。上からバンド幅2.0 - 5.0 km, 5.0 - 15.0 km, 10.0 - 20.0 kmで、山川のデータのみである

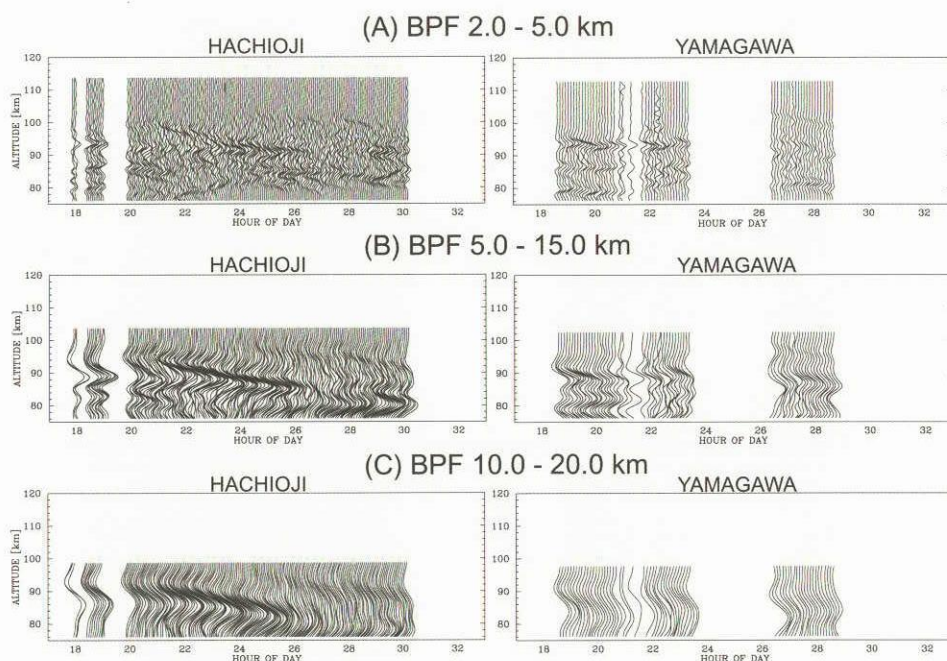


図5 004年1月19 - 20日の観測結果に鉛直方向のバンドパスフィルタを施したもの。上からバンド幅2.0 - 5.0 km, 5.0 - 15.0 km, 10.0 - 20.0 kmで、左図が八王子、右図が山川である。

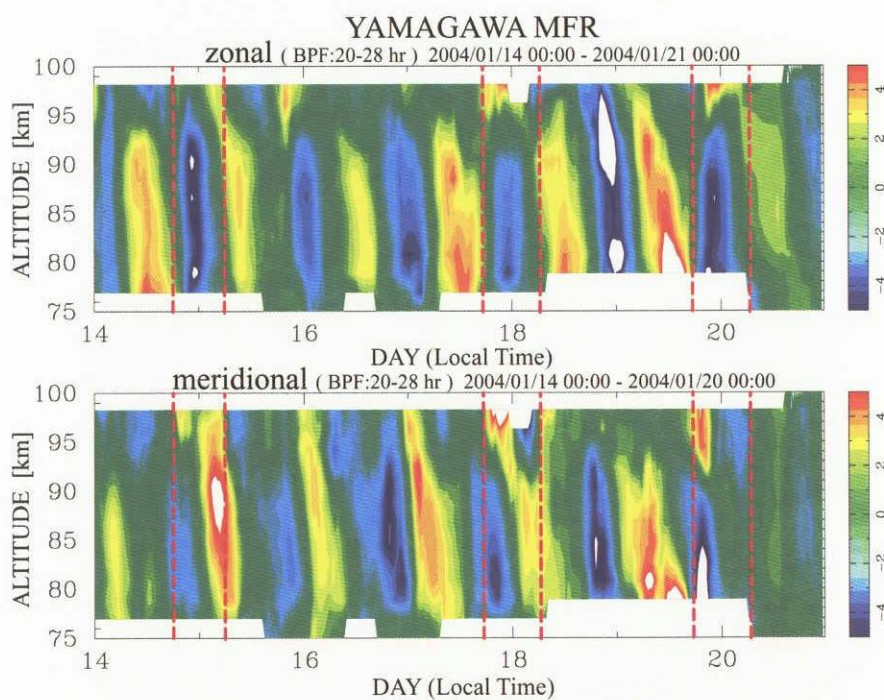


図6 山川のMFレーダで観測された中性風の鉛直分布に時間方向のバンドパスフィルタを施して得られた24時間周期成分（バンド幅20 - 28時間）。上が東西風（西向き正）、下が南北風（北向き正）であり、縦軸に高度、横軸に日にち（地方時）をとっている。赤の点線で区切られた領域はNa密度観測を行った時間帯である。