

## 報 文

## おろし風（やまじ風）発生時の大気の構造

依岡幸広\*, 牧田広道\*\*

The structure of the atmosphere on the occurrence of the downslope wind ("Yamaji-kaze")

Yukihiro YORIOKA and Hiromichi MAKITA

## 要 旨

JMANHM（格子間隔 2km, 鉛直 50 層）を用いて, おろし風（やまじ風）が発生した 5 事例, 発生しなかった 3 事例について, シミュレーションを行った. 解析の結果, 「おろし風」発生時に次の事が分かった.

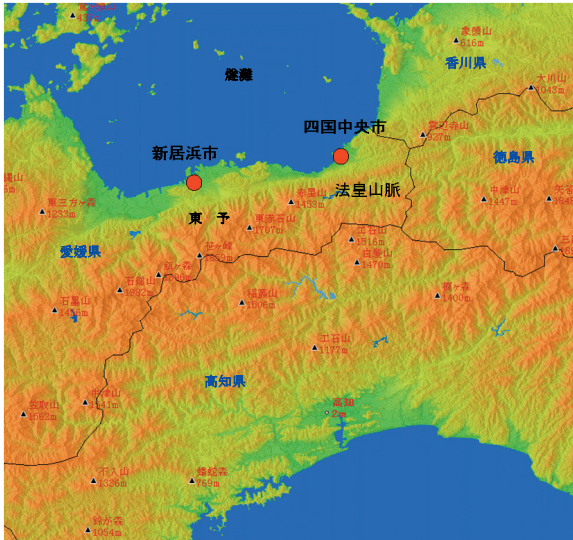
- ①風上側の高度 3000m 付近の鉛直シアアが数時間（約 8 時間）存在する若しくは下降する.
- ②「おろし風」は, 高度約 1000m の気塊が南風によって四国山地を越える他に高度約 2000m の気塊が南西風によって越える場合がある.

## 1. はじめに

愛媛県東部で発生するやまじ風は, 発達した低気圧や台風が日本海を東進する際に発生しやすいといわれている. 第 1 図は「おろし風」を発生させる四国中央部の地形である. 四国山地が緩やかな逆 U の字型に立ち並び, 四国山地の北側の燧灘に面する愛媛県東部の新居浜市から四国中央市付近で主にやまじ風は発生する. 高見 (2005) の部外観測所を用いた調査によれば, 香川県の西部でも「おろし風」の発生を確認している. 四国山地の南斜面は傾斜が緩やかで燧灘に面する北斜面は急勾配である事, 四国山地の西側から徐々に高度を下げ四国中央市付近の風上にあたる法皇山脈があん部になっている地形

が「おろし風」発生には好条件な地形ともいわれている (齊藤, 1994). 本調査では, 高層観測が希薄なため数値モデルから得られた計算結果を基に, やまじ風発生時の大気構造について解析を行ったので報告する. 本稿では, 「おろし風」の定義を便宜的に四国山地北側 (愛媛県東部) の地上風速の実況値が南寄り約 10m/s 以上とし議論を進める. なお, これまでの調査により「おろし風」の最盛期には, 風上側の高知市付近上空の高度 3000m 以上で西風, 高度 2000m ~ 3000m 付近で南西風, 高度 2000m 以下の層で南風が卓越し暖気移流の場となり, 高度約 3000m の鉛直シアアが高度約 2000m まで下降する事が分かっている (依岡, 2007).

\* 高松地方気象台 (現松江地方気象台), \*\* 大阪管区気象台  
(2008 年 5 月 7 日受領, 2008 年 12 月 12 日受理)

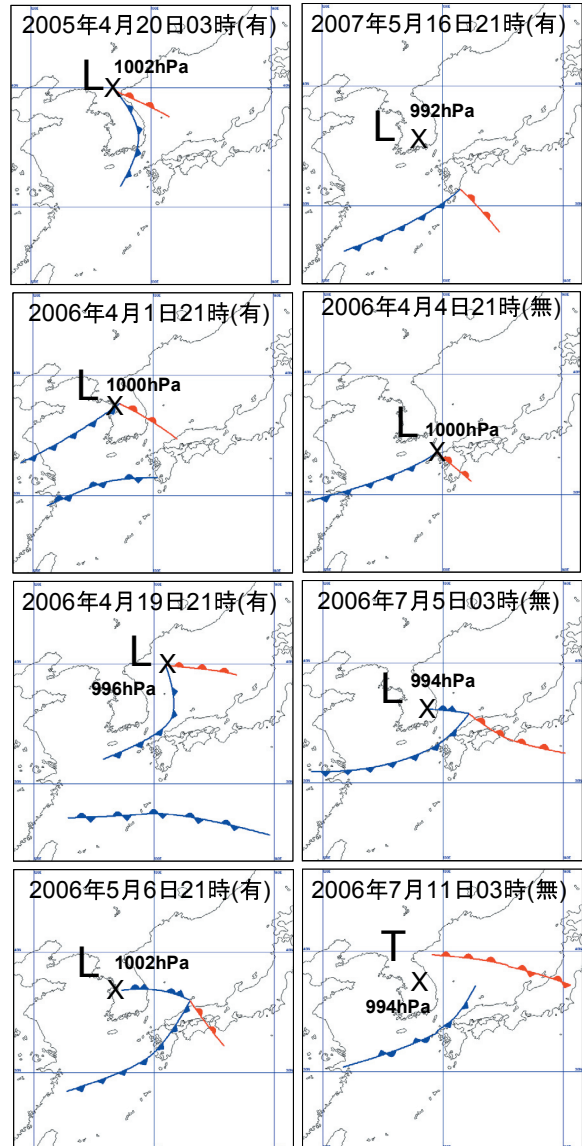


第1図 四国中央部の地形図

国土地理院の数値地図 25000 (地図画像) を利用。  
画像作成にはカシミール 3D を利用。

## 2. 気圧配置と風速

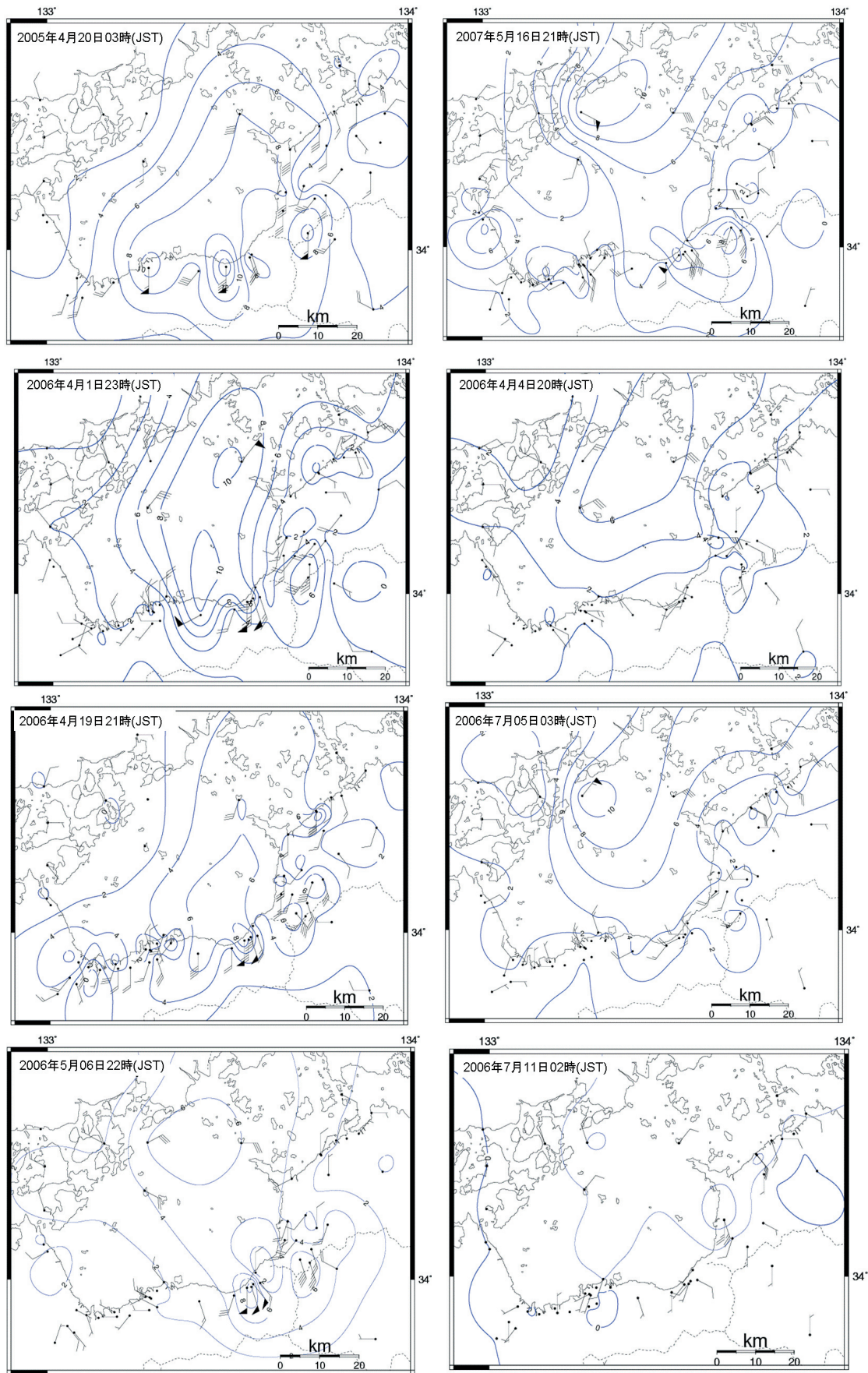
2005年4月～2007年5月までに日本海を通過した低気圧や台風によって「おろし風」が発生した事例のうち最大瞬間風速が約20m/s以上の南寄りの風を観測した5事例を抽出し、類似した気圧配置でも「おろし風」が発生しなかった3事例を加えて調査を行った。第2図にそのときの低気圧や台風、前線の位置を示し、第3図にアメダス15ヶ所の他に部外観測所43ヶ所を加えた「おろし風」最盛期の地上実況風速分布図を示す。第2図を見るといずれの事例も、低気圧や台風の中心気圧が約990hPa～1000hPa、その中心は朝鮮半島又は日本海西部にあり、南風が卓越しやすい環境場にある。中心気圧は、「おろし風」発生時よりも未発生時の事例がやや低い場合があり、低気圧の位置や中心気圧からは「おろし風」発生の有無についての判別が難しい事が分かる。第3図によると、強風域が愛媛県東予を中心にあり、燧灘や愛媛県の新居浜より西の地域で北風が観測されている。このような風の急変する線(図略)は、一般に「やまじ風前線」と呼ばれている(齊藤, 1994)。次節以降数値モデルでは、強風域の発生しやすい愛媛県東予の四国中央市付近を中心に解析を行う。



第2図 調査した事例の低気圧や前線の位置と中心気圧。  
時刻横の(有)、(無)は、「おろし風」の発生事例、未発生事例を示す。

## 3. 数値モデルの計算概要

数値実験に使用したモデルは、2007年5月16日までの現業メソスケールモデルに用いられたものと基本的には同じ気象庁の非静力学メソ数値予報モデル(以下「JMANHM」という)である。力学フレームはZ\*座標を用いた非静力学方程式系で、乱流クロージャーマodelにより乱流エネルギーを診断し、拡散係数を決定している。初期値にはメソ解析値、境界値には領域モデル予報値を用い、第1表に示す条件を基に駆動した。計算領域は第4

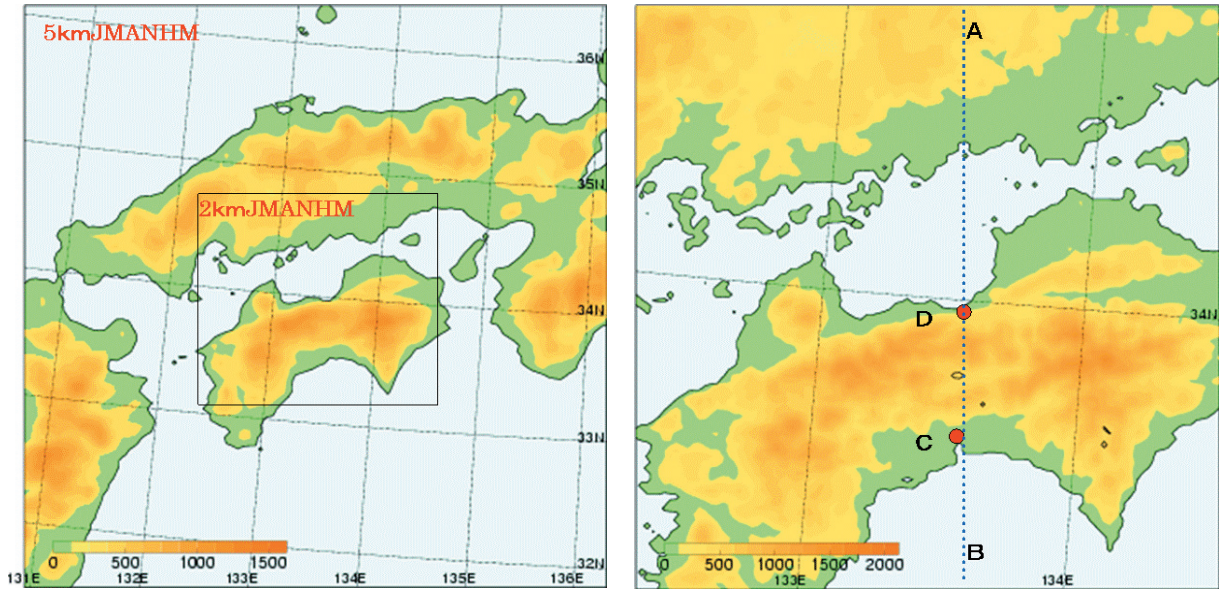


第3図 第2図と同日の部外観測データを用いた「おろし風」最盛期の風速分布図. 等風速線は2m/s 毎, 矢羽は2m/s.

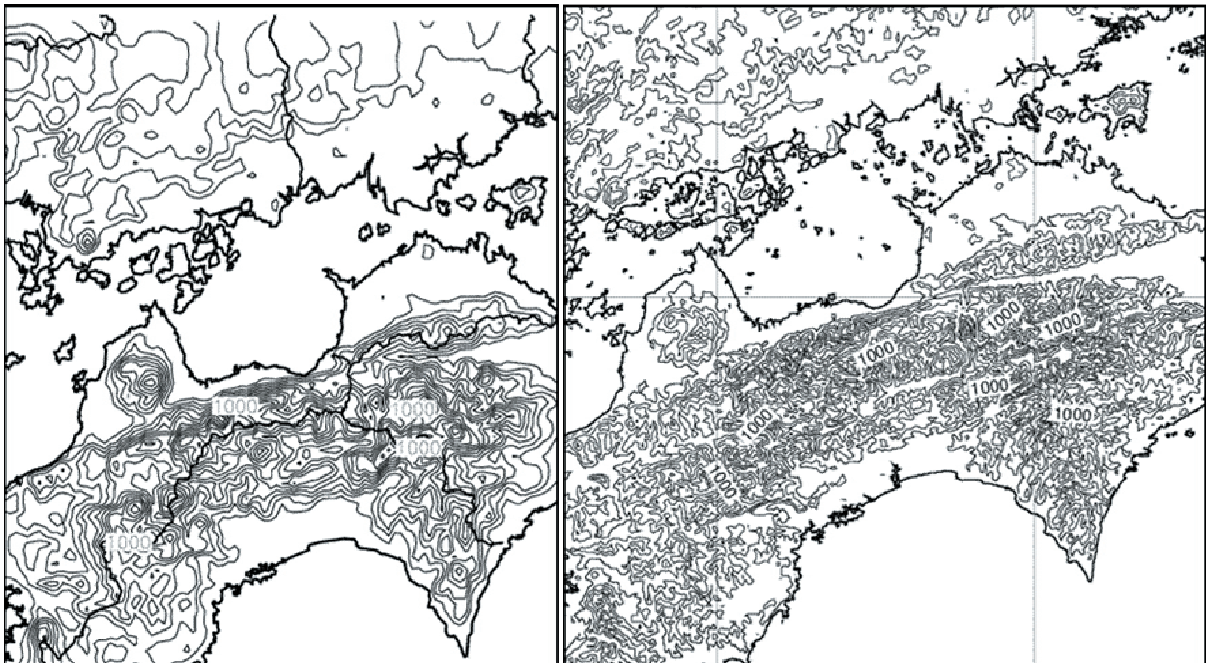


図 (a) に示すとおり、水平解像度 5km の JMANHM に 2km の JMANHM をネスティングした。初期値は、「おろし風」発生のおおよそ 3 時間前の時刻、鉛直層数は 50 層、予報時間は 12 時間とした。

JMANHM の詳細は、気象庁予報部 (2003, 2008) を参照されたい。第 4 図 (b) に JMANHM の地形と実際の地形を示す。両者を比較すると JMANHM に多少粗さはあるが、標高分布はおおむね一致する。



第 4 図 (a) 左図は 5km と 2km の計算領域と地形。右図は格子間隔 2km へネスティングした計算領域と地形を示す。AB は後に示す断面区間、C は高知市付近、D は四国中央市付近のデータ抽出地点を示す。



第 4 図 (b) モデル (左図) と実際の地形 (右図) の比較

左図は第 4 図 (a) 右側のモデルの等高度線図、右図は GTOPO30 (USGS: 米国地質調査所の 30 秒メッシュ: およそ 1km メッシュ) の等高度線図。いずれもコンターは 100m 毎に描画し、標高 1000m 以上にラベルを付加している。



第1表 2kmのJMANHMの主な設定

主要素	JMANHMの設定 (*は5kmのJMANHMと異なる設定)
・湿潤過程	・対流パラメタリゼーションと雲物理過程を併用
・雲物理過程	・氷相を含むバルクモデル
・対流パラメタリゼーション	・Kain-Fritschスキーム
・下部境界条件	・陸上の地表面fluxのbulk係数の計算方法: Louis, 海上の地表面fluxのbulk係数の計算方法: Kondo, 海面粗度の決め方: Kondo
・上部境界条件	・摩擦のない断熱壁+レーリー摩擦吸収層
・側面境界条件	・レイリーダンピングによる緩和をしない 緩和する*
・乱流、拡散	・乱流クロージャーモデル
・投影法	・等角投影(ランベルト)
・鉛直座標	・地形に沿った高度座標系(Z*座標)
・タイムステップ	・8秒 <span style="float:right">24秒*</span>
・南北東西方向の格子数	・102格子
・鉛直層数	・50層
・南北東西水平格子間隔	・2km <span style="float:right">5km*</span>

事例日に対するJMANHM初期時刻

事例日	JMANHMの初期値
2005年4月20日	2005年4月19日21時JST
2006年4月1日	2006年4月1日18時JST
2006年4月4日	2006年4月4日18時JST
2006年4月19日	2006年4月19日12時JST
2006年5月6日	2006年5月6日18時JST
2006年7月5日	2006年7月4日22時JST
2006年7月11日	2006年7月11日24時JST
2007年5月16日	2007年5月16日15時JST

初期時刻は2km、5kmJMANHM全て同じ、2006年7月11日のみ5kmの初期時刻が21時JST

4. 四国中央市の風速

第2表には本調査で用いた8事例の四国中央市の最大風速とモデル値等の一覧表を示す。第2表のモデル値は、風上側の四国山地があん部となり「おろし風」の強まりやすい地点の値を抽出した。実況値は、この地点に最も近い2格子(約4km)東の四国中央市消防署の値を用いた。両者を比較すると最大風速の誤差は-1.6~+6.6m/sにおさまっている(相関係数r=0.53)。誤差の大きい2006年4月1日は(実況値がモデル値よりも5.1m/s強い)、モデル

が3時間後に12.9m/sを表しており予想時刻がズれていた可能性がある。2007年5月16日は(実況値がモデル値よりも6.6m/s強い)、モデルが12m/sを超える風を予想したのは1時間だけである。この事例を詳細に解析するとモデルの強風(約15m/s)分布は、1~2格子西に出現していた。

以上からJMANHMは「おろし風」が発生した事例及び発生しなかった事例についておおむね良く再現していると考えられる。

第2表 8事例の最大風速(観測値は四国中央市消防署)とモデルの鉛直シアー高度等の一覧表

おろし発生の有無(10m/s)	事例日	観測値(起時JST)		モデル(起時JST)			
		最大風速と発現時刻	最大瞬間風速と発現時刻	最大風速と発現時刻	鉛直シアー高度と発現時刻	高知市付近の鉛直シアー高度下の平均風速	逆転層高度と発現時刻
無	20060711	0.9m/s(0010)	2.6m/s(0010)	4.8m/s(0000)	2000m(01~02)	5m/s	なし
無	20060705	6.7m/s(0231)	13.4m/s(0234)	9.4m/s(0300)	2500m(02~04)	7m/s	なし
無	20060404	3.6m/s(0040)	6.1m/s(0040)	3.0m/s(0000)	2000m(18~21)	13m/s	2500m(18~20)
有	20050420	12.4m/s(0600)	34.5m/s(0600)	15.8m/s(0600)	3000m(03~09)	17m/s	3000m(01~08)
有	20060401	9.8m/s(2300)	17.2m/s(2240)	4.7m/s(2300)	3000m(00~06)	19m/s	2500m(22~01)
有	20060419	13.4m/s(2247)	24.6m/s(2305)	9.3m/s(2300)	2000m(14~23)	12m/s	2500m(14~19)
有	20060506	14.4m/s(2226)	26.4m/s(2222)	16.0m/s(2100)	2000m(20~04)	13m/s	2500m(18~19)
有	20070516	18.8m/s(0027)	40.3m/s(0024)	12.2m/s(0100)	3000m(18~03)	15m/s	3000m(15~01)

## 5. 各種パラメータと地上風の関係

「おろし風」が発生する場合、ある特定な成層状態を成す風上側の大気が風下側の大気の流れを決定するのではないかと考え、風下側の四国中央市付近の地上風と風上側の高知市付近の物理量を、JMANHM を用いて 8 事例についてそれぞれ調べた。

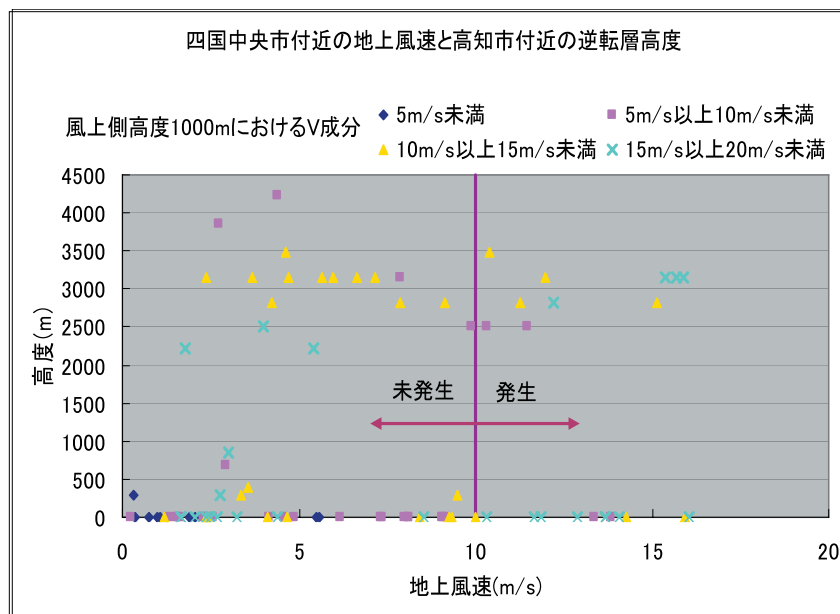
### 5.1 逆転層

高知市付近（第 4 図 (a)C 点）の高度 1000m（山越えの山頂高度とほぼ同等）の南北風成分（V 成分）の風速毎に「おろし風」が発生した場合と発生しなかった場合に分け、逆転層がどのくらいの高度に存在したかを調べた（第 5 図）。第 5 図中高度 0m は、明りょうな逆転層が存在しなかった事を示す。第 5 図から逆転層の有無に係わらず「おろし風」は発生し、風上側の V 成分の強弱に係わらず発生している事が分かる。齊藤・猪川（1990）は、逆転層の存在はやまじ風発生に必須ではないが、強いやまじ風の発生に重要であると報告しており、必須ではないという点については一致する。

### 5.2 鉛直シアー

中国山地の那岐山で発生する広戸風の調査によ

ると、広戸風発生時には臨界層（風速ゼロの層）が 600hPa 付近に存在する。広戸風発生後次第に臨界層が消滅すると、600hPa 付近のスコラー数が減少する。この低スコラー数の気層内で共鳴山岳波が発生し、地上の風速は弱まるのが特徴であると報告されている（筆保ほか、2006）。やまじ風のシミュレーション結果や高松、高知のウィンドプロファイラ観測値（以下 WPR）からは広戸風発生時に見られた南風と北風の間に見える臨界層は発現していない。ただし、2005 年 4 月 20 日（19 日 21 時 JST 初期値）の事例では、南風と西風による鉛直シアーが高度 4000m 付近（第 6 図水色囲み）に存在し、四国中央市付近の地上風速が強まる 05 時 JST (FT=8) 頃は風上側の鉛直シアーの高度が 4000m 付近から 3000m 付近へ下がるとともに強風域が地上に降りてきている。2007 年 5 月 16 日（16 日 15 時 JST 初期値）の事例（第 7 図）も同様に鉛直シアーの高度が下がっている。特に四国沖の海上で鉛直シアーの高度の低下が顕著である。また、2006 年 4 月 1 日の事例（図略）も同様に鉛直シアー高度の低下とともに強風域が降り「おろし風」が発生していた。以上の結果を踏まえ、第 8 図に高知市付近の鉛直シアー高度と安定層高度、そのときの四国中央市付近の地上風速を示す。ここでは、「お



第 5 図 四国中央市付近（第 4 図 (a)D 点）の地上風速と高知市付近（第 4 図 (a)C 点）の逆転層高度の相関関係

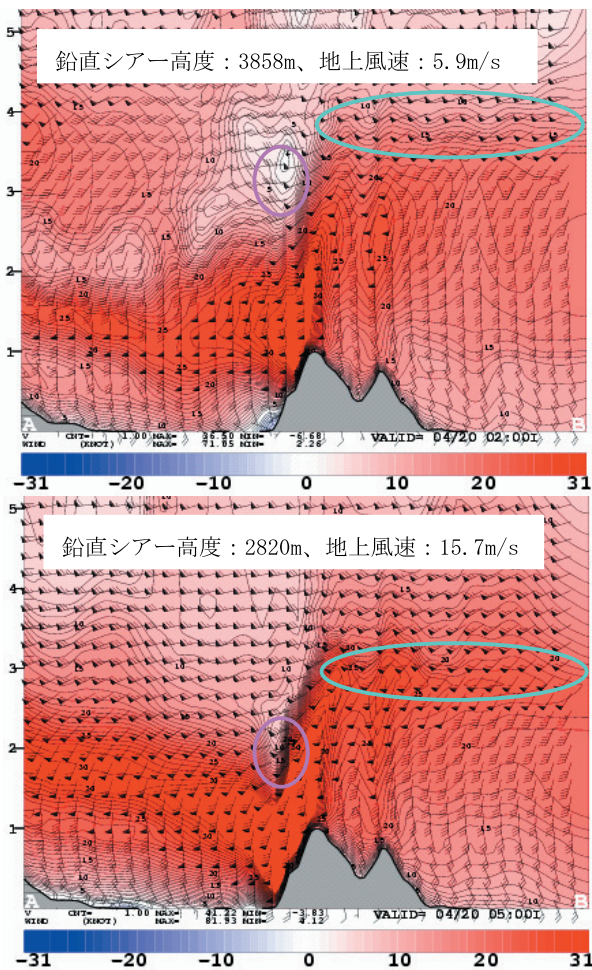


ろし風」未発生を含む8事例すべてを抽出し、「おろし風」発生前後の期間も対象としている。明りような逆転層が存在しなかった高度においては、気温減率の最小な高度を抽出した。

第8図より「おろし風」が発生する場合、鉛直シア一高度と安定層高度が同じ高さであり（「おろし風」の有無に関係なく鉛直シア一高度±800m内に約60%安定層高度が存在、「おろし風」発生時には92%が鉛直シア一高度±800m以内に安定層高度が存在する）、発生高度は約2000m～3500mに

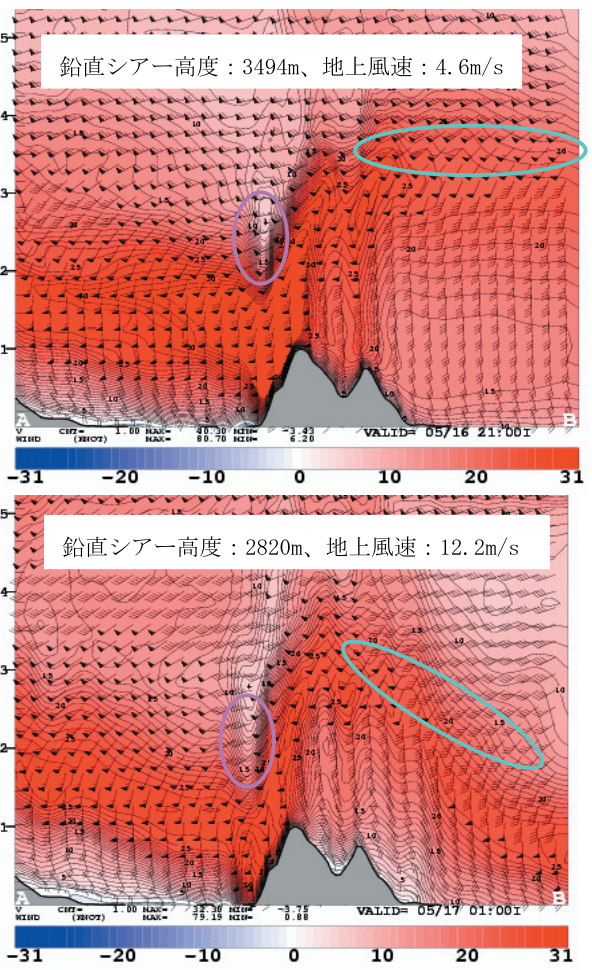
存在する。また、鉛直シア一高度の高い状態でも10m/s以上の強風が発生しており、先に示した鉛直シア一高度の低下時に強風域が下降する点と矛盾しているように見える。この背景には、鉛直シア一高度が上下に変動した際に「おろし風」が発生した2005年4月20日の事例が反映されている。

「おろし風」が発生しなかった2006年4月4日、7月5日、7月11日の事例は、鉛直シア一が2時間程度発現したが持続せず、さらに後者の2事例は、高度約2500m以下の平均風速が10m/s未満であった。



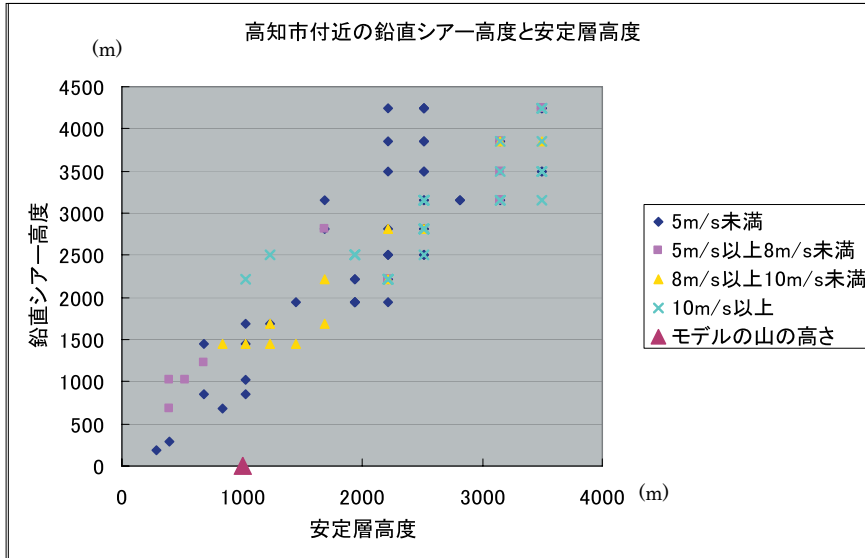
第6図 2005年4月20日の事例

初期値は4月19日21時JST, 第4図(a)のAB区間の南北断面図, 上段:02時JST(FT=5), 下段:05時JST(FT=8), 塗りつぶしは南北風成分(kt), 矢羽は水平風(kt), 水色囲みは鉛直シア一高度, ピンク囲みはよどみ層を示す。

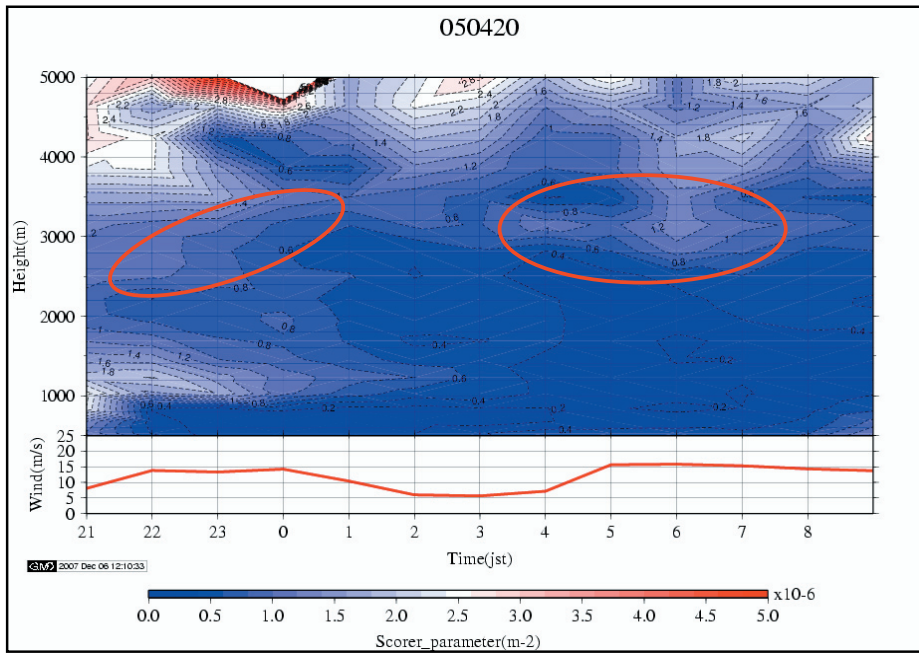


第7図 2007年5月16日の事例

初期値は5月16日15時JST, 第4図(a)のAB区間の南北断面図, 上段:21時JST(FT=6), 下段:01時JST(FT=10), 塗りつぶしは南北風成分(kt), 矢羽は水平風(kt), 水色囲みは鉛直シア一高度, ピンク囲みはよどみ層を示す。



第 8 図 四国中央市付近の地上風速と高知市付近の鉛直シアー高度及び安定層高度とその関係



第 9 図 2005 年 4 月 19 日～ 20 日の事例

19 日 21 時 JST 初期値とした JMANHM の計算結果から算出した高知市付近のスコラー数の二乗鉛直時系列断面図 (上段) と四国中央市付近の風速時系列 (下段). 赤囲みはスコラー数の二乗が  $1 \sim 2 \times 10^{-6} \text{ m}^{-2}$  の領域

### 5.3 スコラー数

スコラー数が大きい層があるとその層より上には山岳波が伝播できずに反射するため, その層より下層域の低スコラー数層内で共鳴山岳波が発生し, 下流に伝播されるといわれている (Durrant and Klemp, 1982).

本節では JMANHM の計算結果からスコラー数を計算し風下側の地上風速との関係を調べた. 非線形解によるスコラー数  $l$  は (1) 式で表される. (1) 式の  $N$  はブラント・バイサラ振動数,  $U$  は一般流の大きさを示しここでは風の南北風成分を扱った. 右辺の 2 階微分の項は計算の仕方 (特異点の



扱いや層の取り方等)で値が異なりやすい(齊藤, 1994)ため, 無視して算出した. このうち第9図には, 2005年4月19日~20日の事例で19日21時JSTを初期値としたJMANHMの計算結果から描画した時系列図を示す. 描画要素は, (1)式の第1項から求めた高知市付近のスコラー数の二乗(上段)と四国中央市付近の地上風速(下段)を示す. 地上風速が強まるときは, 高度3000m付近のスコラー数の二乗が $1 \sim 2 \times 10^6 \text{m}^2$ となり, その上空で高スコラー数が存在している. その他の例でも高度2000m~3000m付近より上層に高スコラー数, 下層に低スコラー数が存在する場合に「おろし風」が発生する傾向にあり, 前述の共鳴山岳波が発生し下流に伝播しやすい環境場になっている事を示唆しているが, スコラー数の値から「おろし風」の有無を判別する事は難しい.

$$l^2 = \frac{N^2}{U^2} - \frac{1}{U} \frac{d^2 \bar{U}}{dz^2} \dots\dots\dots(1)$$

5.4 まとめ

これまでの, 風上側の各種パラメータからみた「おろし風」の特徴として, 次の3点が挙げられる.

- ①「おろし風」の発生には, 風上側の逆転層の存在は必須ではない.

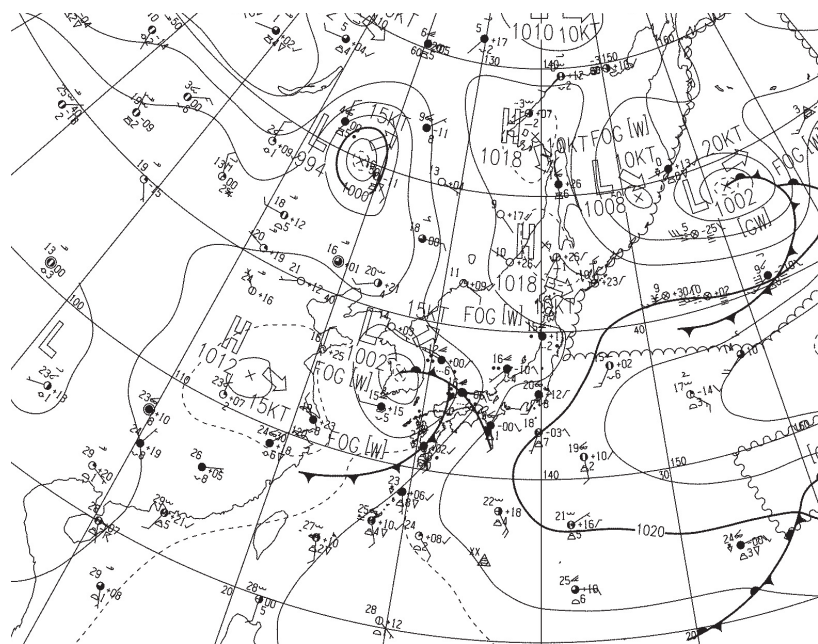
- ②「おろし風」の発生した5事例は, 高度2000m~3500m付近に南風と西風による鉛直シア一層が存在する. 「おろし風」が発生しなかった3事例は, 鉛直シア一層の出現が短時間であったり, 高度約2500m以下の風速が弱かった事である.
- ③風上側のスコラー数の値から「おろし風」の有無の判別は難しい事.

6. 事例解析

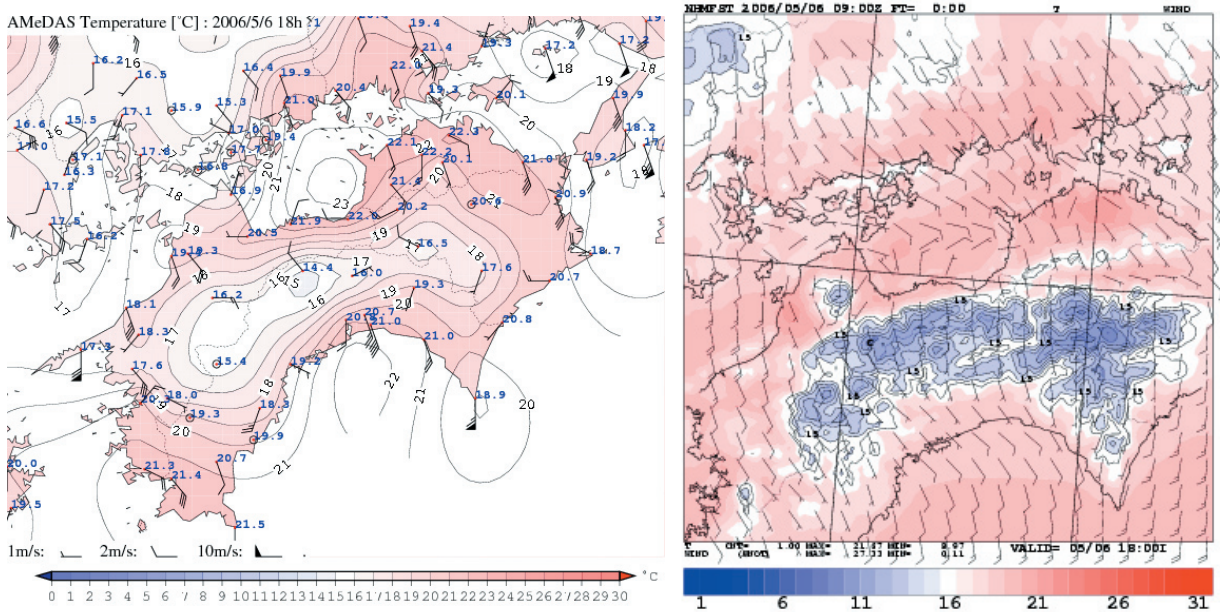
一般的に「おろし風」発生には逆転層の存在が重要であるといわれている. 5.1節では, 逆転層が不明りょうな時間帯においても「おろし風」は発生している事を確認している. 本章では特異な事例として, 風上側の逆転層が不明りょうでありながら約6時間「おろし風」を観測した2006年5月6日~7日の事例を中心に解析する. JMANHMの結果も約7時間「おろし風」を予測していた.

6.1 実況値とJMANHMの計算結果との比較

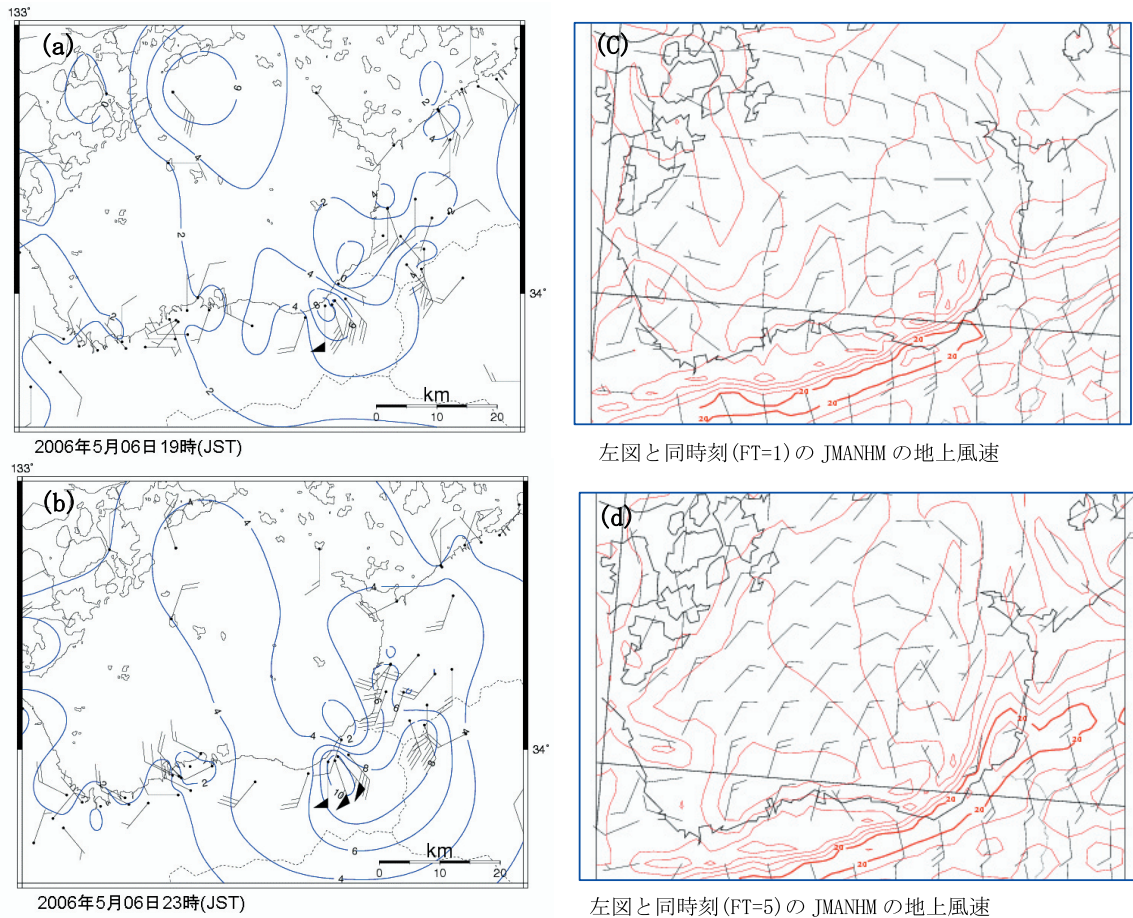
第10図は, 「おろし風」発生時の2006年5月6日21時JSTの地上天気図である. 朝鮮半島付近に低気圧があり, 四国は暖域内に入っている. 天気図からは四国は南風が吹き込みやすい環境場である事は分かるが「おろし風」の発生の有無について



第10図 2006年5月6日21時JSTの地上天気図

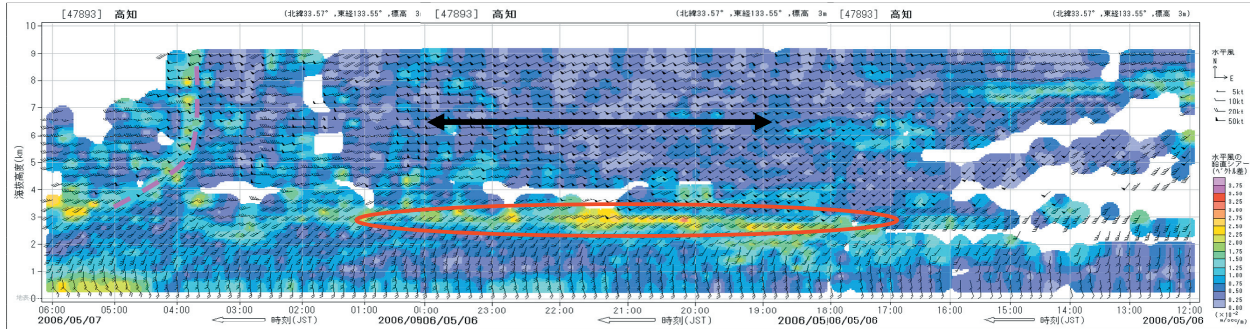


第11図 2006年5月6日18時JSTのアメダス気温・風分布図(左)と同時刻初期値の2kmJMANHMの気温・風分布図(右). 塗りつぶしは気温1°C毎, 風速はm/s(左), kt(右)



第12図 2006年5月6日19時, 23時JSTの風向風速分布図  
 (a), (b)は、アメダス及び部外観測所の風向風速分布図 矢羽は2m/s, 等風速線は2m/s 毎.  
 (c), (d)は同時刻の2kmJMANHMの地上の風向風速分布図(拡大), 矢羽は10kt, 等風速線は2kt 毎, 濃い赤は20kt



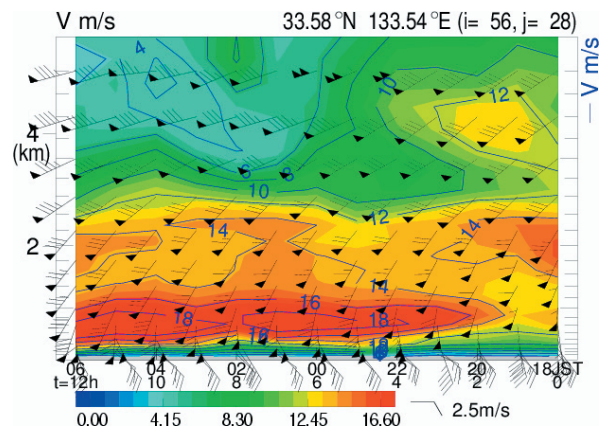


第13図 2006年5月6日12時～7日06時までの高知WPRの時系列  
 矢羽は水平風 (kt), 塗りつぶしは水平風の鉛直シアを示し, 暖色系が強く特に強い領域を赤囲み, ピンクはトラフを示す. 黒矢印は「おろし風」が発生していた時間帯を示す.

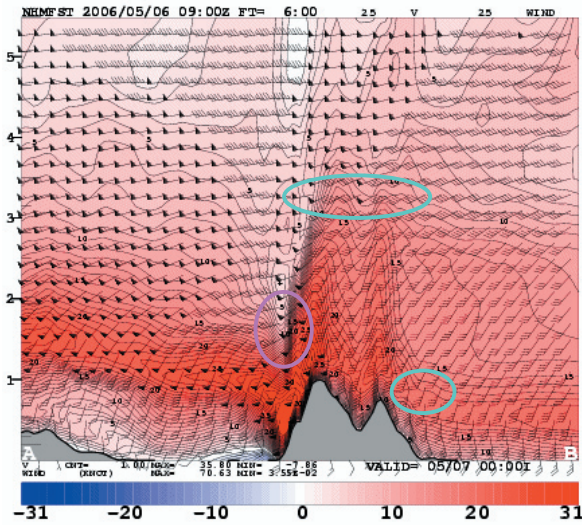
は検討を要する事例である. JMANHM の初期値は最盛期の現象発現4時間前の2006年5月6日18時JSTとした. 最初にJMANHMの初期値と同時刻のアメダス気温・風分布図について確認する(第11図). 四国山地の低温域はJMANHMの初期値が実況値に比べ顕著であるが, 全体的な気温分布は実況値とほぼ一致する. 風速についても全体的に南風が卓越し, 幡籬付近も風速が弱まり, 新居浜で北寄りの風に変化している点はほぼ一致する. 第12図(a), (b)は, 「おろし風」発生から最盛期の時間帯の地上実況風向風速分布図である. (c), (d)は同時刻のJMANHMによる分布図を示す. JMANHM, 実況ともに「おろし風」は, 19時JST(FT=1)から始まり, 最盛期もほぼ同時刻の21時～23時JST(FT=3～5)頃であった. 終息期は, JMANHMが7日01時(FT=7)に対し実況は7日00時頃であった. 強風域の位置関係を比較するとJMANHMはNE～SW方向に細長い強風域を予測しているのに対し, 実況では四国中央市付近に強風域が集中している. これは, 山頂付近に観測点がないためで, 実際には, JMANHMが予想しているように山頂にも強風が発生している可能性が高い. 最大風速は, JMANHMが約25kt, 実況値の最大風速は10m/sとJMANHMが約3m/s強い.

風上側の鉛直方向の風向風速分布について, 高知のWPR(第13図)から調べて見る. 「おろし風」発生前から最盛期にかけて, 高度2500m～3000m付近に鉛直シアの強い層(赤囲み)が見られる.

02時JST頃から次第に鉛直シアが弱まり, 04時JSTにトラフが通過する. 5.2節で述べた鉛直シア高度の下降はなかったが, 「おろし風」発生期間中に鉛直シア層の高度は変動する事なく, 約8時間高度2500m～3000m付近に存在していた. 第14図はJMANHMの計算結果による高知市付近のV成分の鉛直断面時系列図である. 高度1000m付近の16m/s以上の強風域の存在, 高度約3000m以上では下層と比較しV成分が弱い, 3000m付近に鉛直シア層が存在する点等実況とほぼ一致する. 以上よりJMANHMの初期値及び計算結果は実況値にほぼ等しいため, JMANHMが適切な計算結果を示しているものとして議論を進める.



第14図 2006年5月6日18時JST初期値のJMANHMの計算結果による高知市付近の鉛直断面時系列. 矢羽は水平風, 塗りつぶしはV成分を示す.

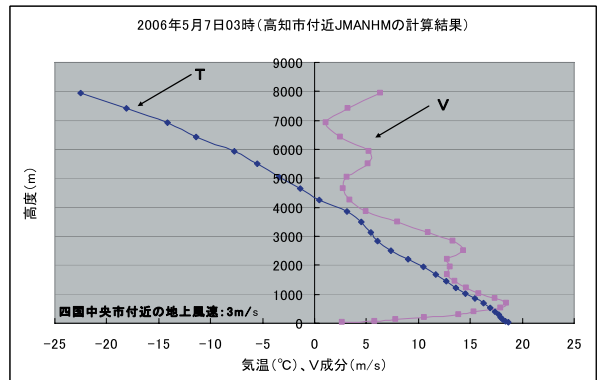
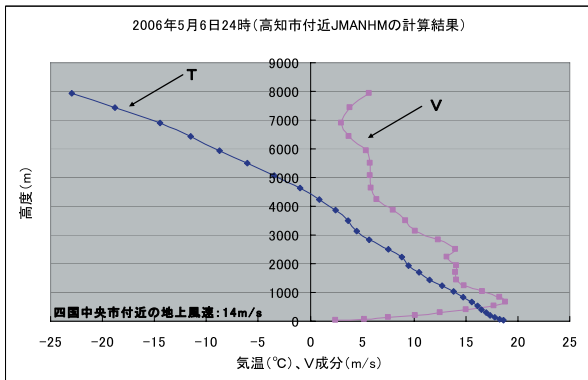
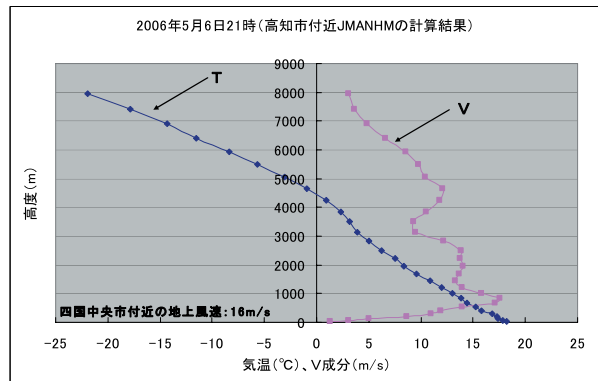
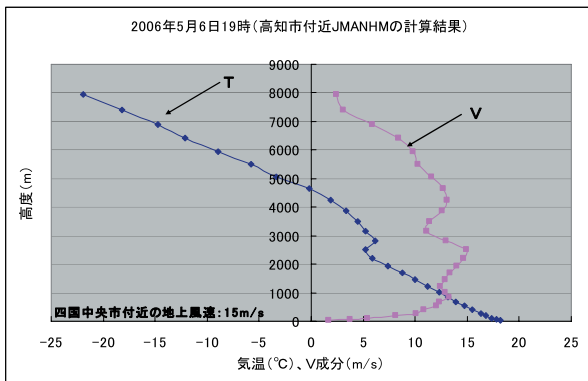


第15図 2006年5月6日18時JST初期値の第4図のAB区間の南北断面図, 00時JST(FT=6), 塗りつぶしは風の南北成分(kt), 矢羽は水平風(kt), 水色囲みは鉛直シアー高度, ピンク囲みはよどみ層を示す.

### 6.2 逆転層と鉛直シアー

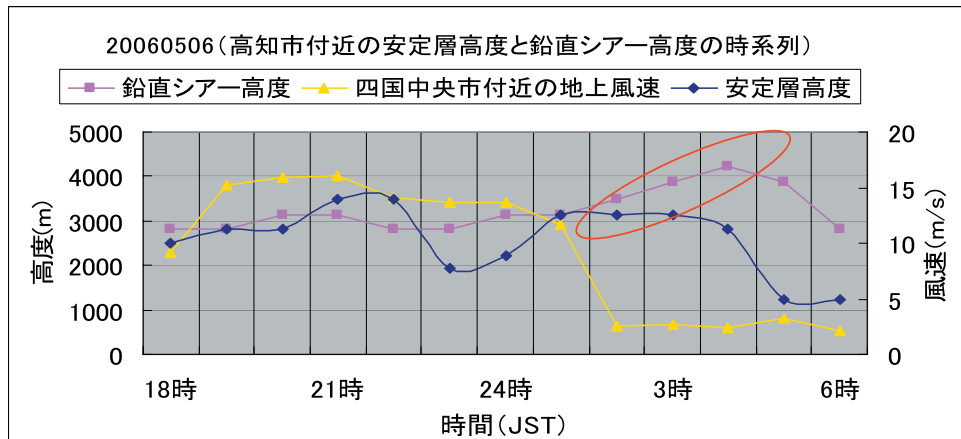
2006年5月7日00時JST(FT=6)の断面図(第15図)によると高度3000m付近と高度1000m付近にそれぞれ南西風と西風, 南風と南西風による鉛直シアーがある. 太平洋側の高度1000m以下の層には強風域が存在, 山頂では山岳波が発生し, 燧灘北側斜面では高度2000m付近から地上に向かって強風域が下降している.

JMANHMの計算結果から, 風上側の高知市付近の気温及び風のV成分の鉛直分布を示したのが第16図である. 18時JST(FT=0)~19時JST(FT=1)には高度2500m~3000m付近に明りょうな逆転層が見られるが, 20時JST(FT=2)以降は明りょうな逆転層は存在しておらず, 安定層も明りょうとはいえない. 風のV成分は, 高度1000m付近に約20m/sの強風域があるが, 「おろし風」発生時(19時JST(FT=1), 21時JST(FT=3), 24時JST(FT=6))と未発生時(03時JST(FT=9))に大



第16図 2006年5月6日18時JST初期値の高知市付近の気温と風の南北成分の鉛直分布図(JMANHMの計算結果) 左上19時JST(FT=1), 右上21時JST(FT=3), 左下24時JST(FT=6), 右下03時JST(FT=9), FT=1~7までは四国中央市で「おろし風」が発生していた.





第17図 2006年5月6日18時JST初期値の高知市付近の安定層高度と鉛直シア一高度，四国中央市付近の地上風速の時系列（JMANHMの計算結果）  
赤囲みは鉛直シア一高度の上昇を示す。

きな差異はない。

第17図には鉛直シア一高度と安定層高度の時系列などを示す。なお、山頂高度（約1000m）より上空の気温減率の最小高度を安定層高度として抽出した。「おろし風」が終息に向かう際には安定層高度はほぼ一定であるが、鉛直シア一高度が一時的に上昇している点が特徴的である。

### 6.3 スコラー数

第18図(a)に第9図同様に高知市付近のスコラー数の二乗鉛直時系列断面図，(b)にNの鉛直時系列断面図を示す。5.3節と同様に「おろし風」が発生している時間帯は、高度約3000m付近のスコラー数の二乗が $1 \times 10^{-6} \text{m}^2$ 以上 $2 \times 10^{-6} \text{m}^2$ で、その上空に高スコラー数が存在し、同高度のスコラー数の二乗が $1 \times 10^{-6} \text{m}^2$ 未満となって以降「おろし風」が終息している。(b)図によると、「おろし風」発生時は高度約3000m付近のNは相対的に値が大きくその付近では大気が比較的安定しているのに対し終息期には、高度2500mと4000m付近のNの値が小さく不安定となっている事が分かる。(a)，(b)図を比較すると終息期の高度3000m以上の高いスコラー数は鉛直方向の風速が弱まったためと考

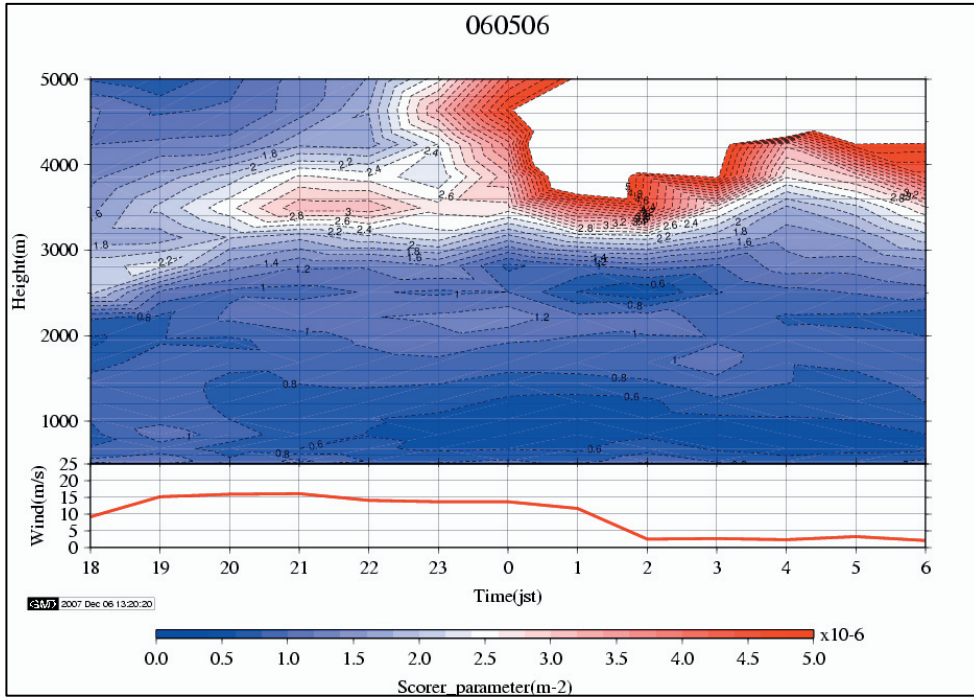
えられる。第14図の高知市付近のV成分の鉛直断面時系列と第18図(a)を比較（時刻軸は逆）すると、第14図のV成分の弱風域（緑～水色の部分）と第18図(a)の高スコラー数の高度はほぼ一致する。

## 7. 考察

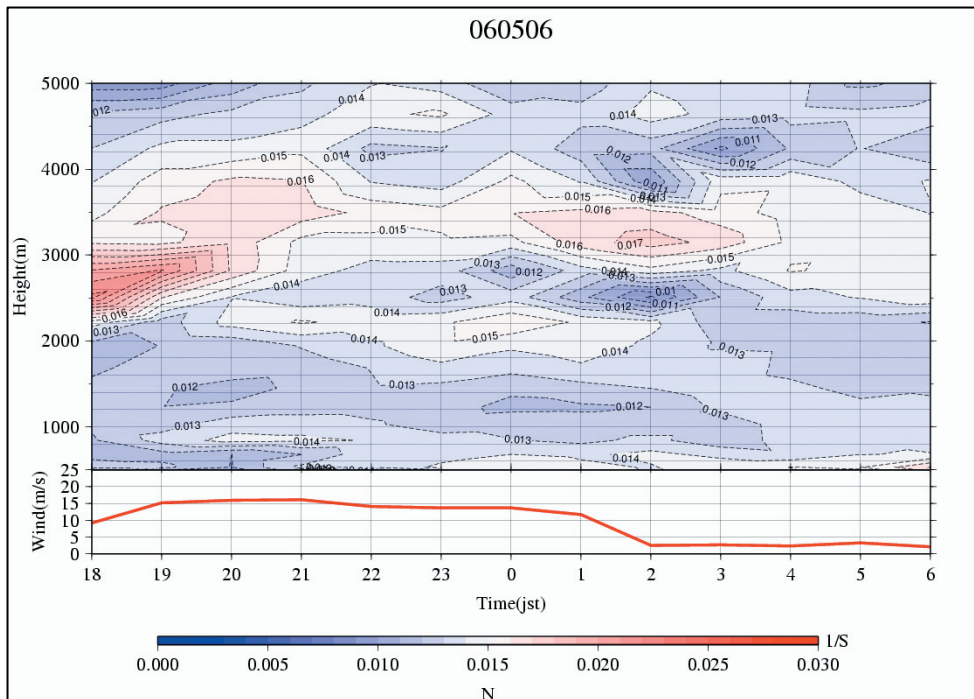
### 7.1 鉛直シア一高度

5.2節では、「おろし風」発生時には鉛直シア一高度が下がる事を述べたが、本節では6.2節第17図の03時JST(FT=9)以降の鉛直シア一層の高度上昇について考える。

5kmのJMANHMの計算結果では、低気圧の中心が日本海西部にあって東進しているように推測できる。四国地方は21時JST(FT=3)頃から暖域内の降水を予想、日本海側の地上では南～南西風が卓越する(図略)。第19図は、高度約4000mの風向風速及び流線等を示すが、総観スケールの環境場を概観視するため、水平解像度5kmのJMANHMの計算結果を用いた（初期値は5月6日12時JST）。山陰沿岸にトラフが存在し、位相を合わせるように豊後水道から高知県にかけてトラフが通過している。この事は、第14図の鉛直断面時系列図からも解析できる。01時JST(FT=7)頃から高度4000m付



第 18 図 (a) 2006 年 5 月 6 日 18 時 JST 初期値とした JMANHM の計算結果から算出した高知市付近のスコラー数の二乗鉛直時系列断面図 (上段) と四国中央市付近の風速時系列 (下段)

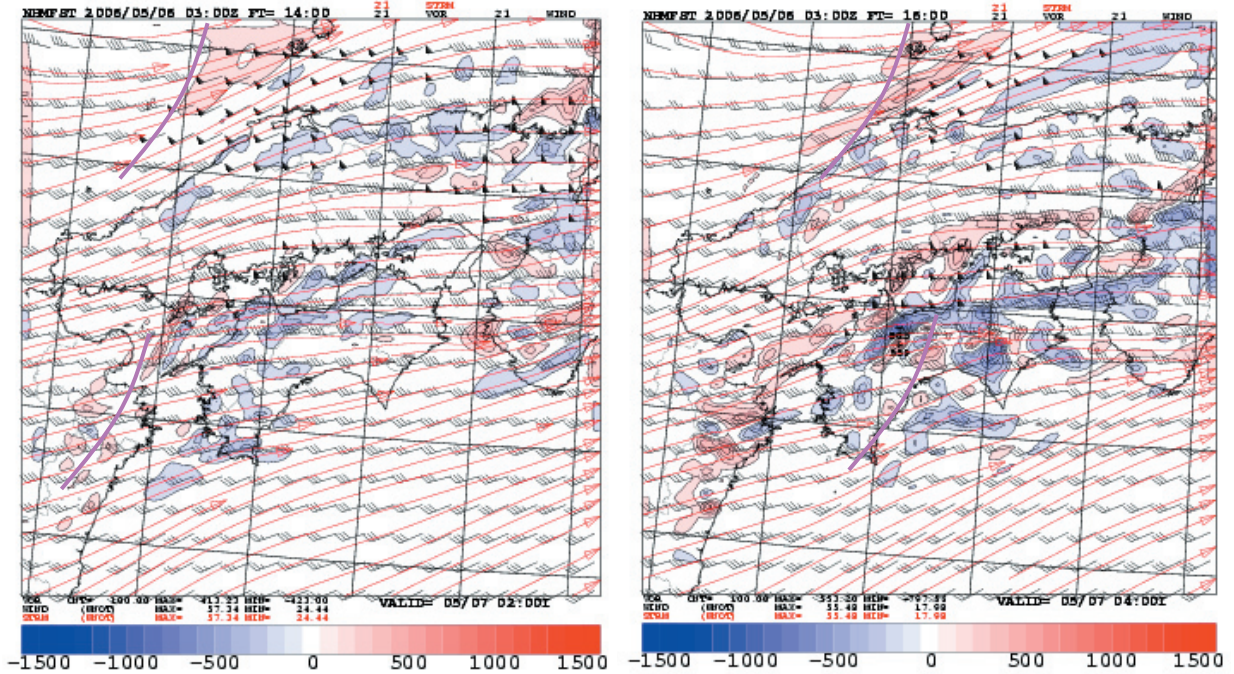


第 18 図 (b) 2006 年 5 月 6 日 18 時 JST 初期値とした JMANHM の計算結果から算出した高知市付近の N の鉛直時系列断面図 (上段) と四国中央市付近の風速時系列 (下段)



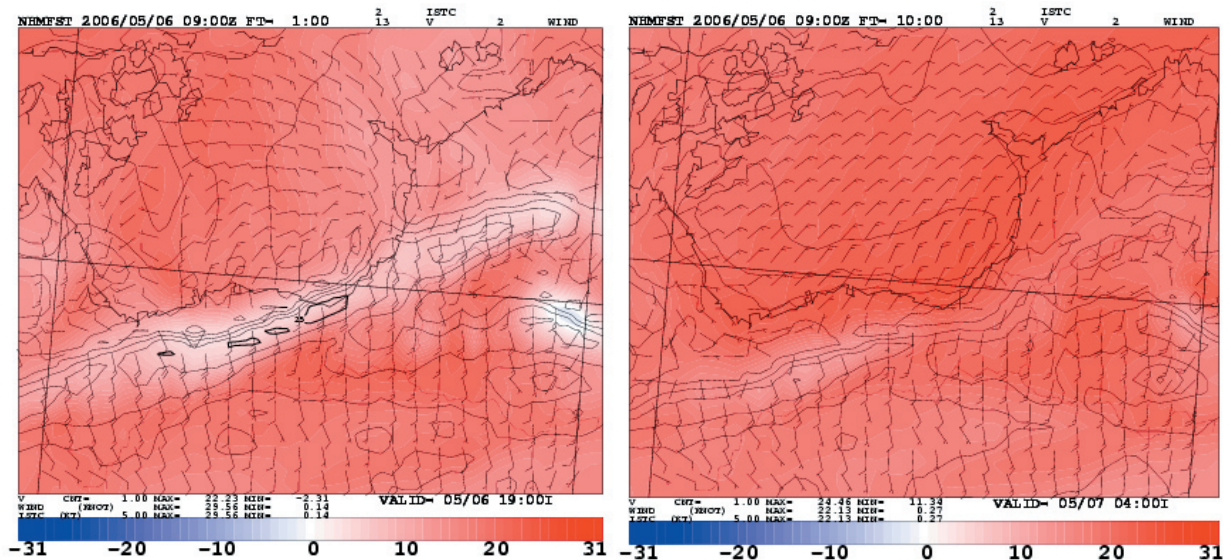
近の南成分は弱まるが，04時 JST(FT=10)頃には一時的に強まりトラフの接近を示唆している．これらの事から第17図の鉛直シア一高度の一時的な上昇は中層トラフの接近・通過によるものといえ

る．第13図のWPR実況からも04時 JSTに高度4000m以上でトラフ通過が確認できる．



第19図 2006年5月6日12時JST初期値，水平解像度5kmのJMANHMの計算結果

左図は02時 JST(FT=14)，右図は04時 JST(FT=16)のそれぞれ高度3858mの風向風速，流線，塗りつぶしは渦度を、ピンクの実線はトラフをそれぞれ示す．



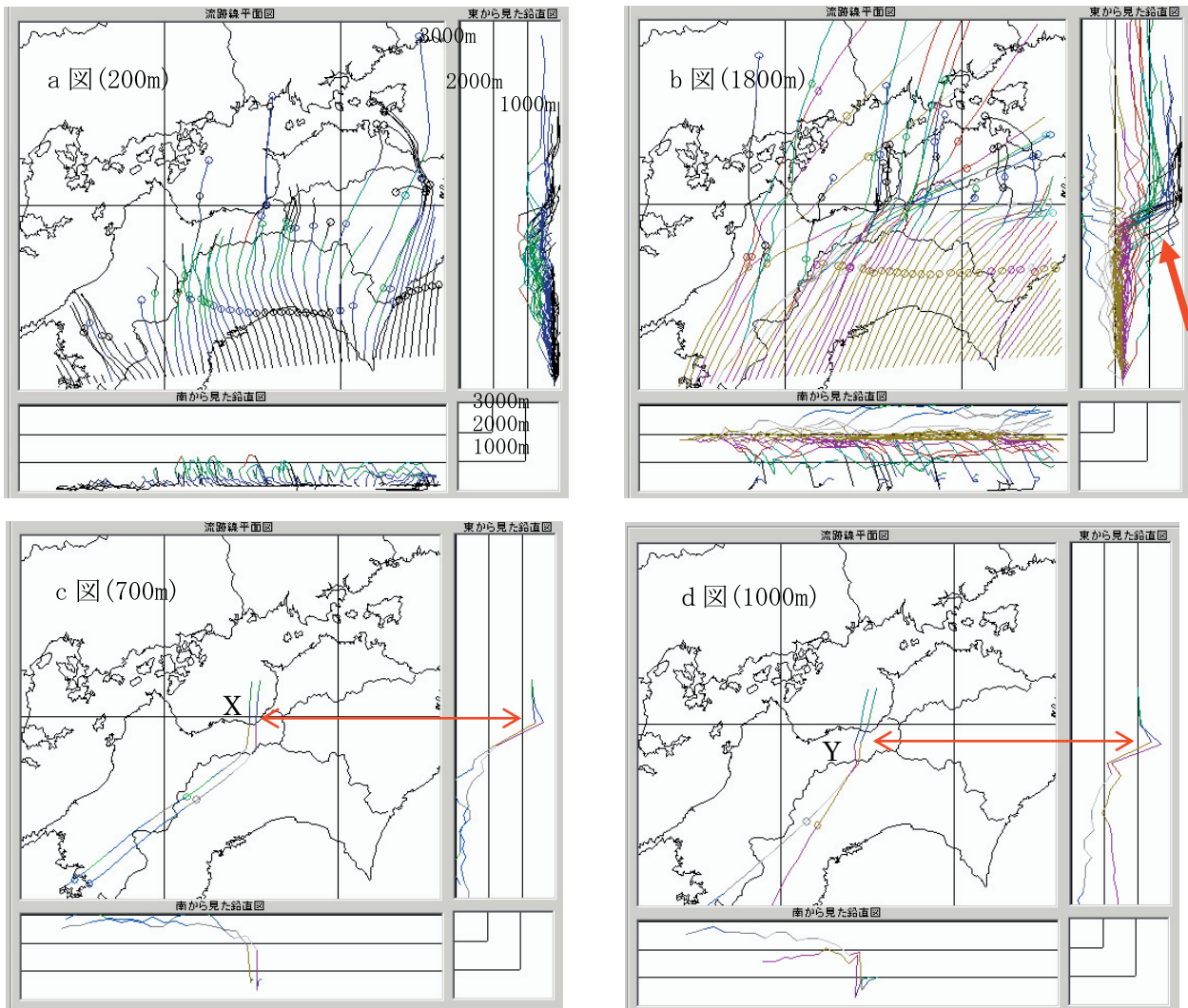
第20図 2006年5月6日18時JST初期値のJMANHMによる地上風速分布図に高度約1500mの風の南北成分を重ね合わせた図

左図：19時 JST(FT=1)，右図：04時 JST(FT=10)，塗りつぶしはV成分を示し弱風ほど白い，地上風速の等風速線は5kt毎，矢羽根は10ktを示す．太実線は25kt以上の領域を示す．

### 7.2 よどみ層

「おろし風」が発生した上空では、風のV成分が弱まるよどみ層（第6, 7, 15 図ピンク囲み）が発生している。第20 図には JMANHM の計算結果による高度約 1500m のよどみ層の動向を示す。砕波によって作られた四国山地の高度 1500m 以上のよどみ層の直下で地上風が強まっている事が分かる。地表面付近では砕波後に風下側の流速が増大する事は、Smith (1985) により論じられており、そのメカニズムが働いたと考えられる。各事例を調べて見ると、よどみ層の鉛直方向の厚さは高度

1500m ~ 3000m 以上に達する場合がある。よどみ層は高度が高くなるにしたがい南北に幅を持っており、地上の強風域と最も対応がよかったよどみ層の高度は約 1500m ~ 1700m であった。Durran and Klemp (1987) は、一般場にあらかじめ風速シアを与え事により砕波の生じる高さを調整したシミュレーションを行った。その結果、鉛直方向の風速分布によってよどみ層の高度は変化する事が分かっている。解析結果からも高度 2000m ~ 3000m 付近の鉛直シア層やよどみ層が、「おろし風」発生に深く係わっている事が分かる。



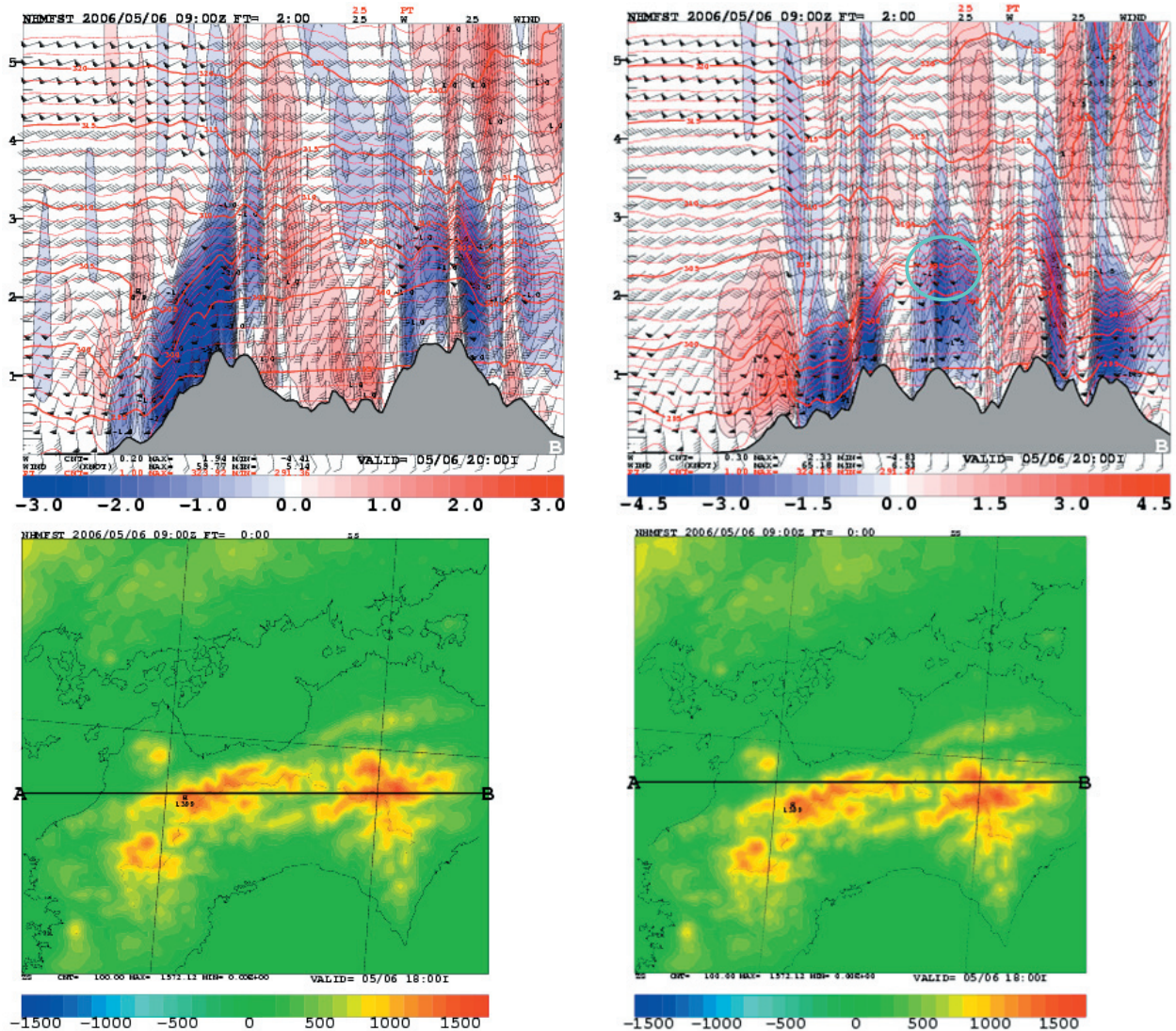
第21 図 流跡線解析. 高知県側に2 格子毎にトレーサーを50 個並べたときの2006 年5 月6 日18 時 JST 初期値 (FT=0) から3 時間後の軌跡 (上段). a, b 図は高度 200m, 高度 1800m から流した流跡線図. 下段 c, d 図は、懸灘海上の高度 700m (c 図), 高度 1000m (d 図) にトレーサーを置き、21 時 JST (FT=3) から3 時間遡った流跡線図. ○印は1 時間毎の気塊の位置を示し, a 図右の数値は高度を示す. b 図矢印は、1800m 付近から地上付近に鋭角的に下降する気流を示し, c, d 図の矢印は下降した最下点が平面図のどの付近かを示す補助線, X, Y はそれぞれ最下点を示す.



### 7.3 流跡線解析

本節では、金森ほか(2006)が開発した流跡線描画ソフトを用いて流跡線解析を試みた。第21図は、土佐湾の東西に2格子毎にトレーサーを50個置いたときの5月6日18時JST(FT=0)から3時間後の軌跡を示す。平面図右側は、東方向から西方向を見た鉛直図で平面図下側は南方向から北方向を見た鉛直図でそれぞれ1000m毎に目盛線を引いている。軌跡の線色は高度毎に異なる。a図は高度200mにトレーサーを置いたもので、四国山地の南側では斜面を這い上がるように上昇し、四国山地の中でもあん部にあたる法皇山脈を越えて四国中央市付近を抜ける気流が描かれており、あん部以外では

ほとんどが山頂を越えていない。b図は高度1800mにトレーサーを置いたもので、a図と同じ法皇山脈付近で収束し、四国中央市付近に向かって鋭角的に下降する軌跡(赤矢印)が描かれている。c、d図は、a、b図の「おろし風」発生地点の風下側の燧灘海上にトレーサー2個を高度700m、1000mにそれぞれ置き3時間遡った図である。c、d図では高度2500m~3000m付近の気塊が南西方向から下降し、b図同様2000m付近に達すると鋭角的に地表面に向かって下降している。3000mから下降する気塊は海岸付近で高度が最も低くなるのに対し(c図点X)、2500mから下降する気塊は山すそ付近(d図点Y)で高度が最小となる。微妙に最下点に達



第22図 2006年5月6日18時JST初期値の20時JST(FT=2)の東西断面図、上段の塗りつぶしは鉛直方向の速度成分を示し、矢羽は水平風(kt)、赤実線は温位(K)を示す。水色囲みは温位の込み合った層を示す。下段は断面区間と標高分布図を示す。







する場所には違いはあるものの最下点に達した後 c 図は約 200m 上昇し, d 図では約 500m 上昇しており, いずれもハイドロリックジャンプの流れを示している. また, 高度 2000m 付近から一気に下降している点は共通している. これまで, 南方向から山を越えてくると思われていた「おろし(やまじ)風」だが, 他にも 4 事例で南西方向から下降する軌跡が描かれていた. 第 21 図の流跡線によると四国中央市付近の風上にあん部にあたる地点で収束した軌跡が北方向に曲げられている. このあん部付近に着目し東西断面を切ったのが第 22 図である. 左図はあん部の南側で山越え前, 右図はあん部の北側で山越え後となる. 山越え前(左図)のあん部付近では上昇流(赤)が発生し, 標高の高い東西の剣山系, 石鎚山系では既に下降流(青)が生じている. 山越え後(右図)のあん部付近も下降流(青)に変わる. 温位(赤実線)に着目すると山越え後は山越え前に比べ高度 2000m 付近に温位の込み合った層が存在し, その高度以下に下降流が発生している. 温位集中帯の高度は, 第 21・b 図の流跡線解析による一気に下降する高度ともほぼ一致する. また, この下降流は放射冷却等で生じる斜面下降流とは異なり, 上空からの気塊が下降している事が断面図からも分かる.

第 23 図には, 20 時 JST(FT=2) の各高度別の鉛直流, 流線等を示す. 下降流(青)は高度 2000m 付近では四国山地の山頂付近にあり, 高度 1000m 付近では四国山地の北側斜面に強く現れ, 鉛直方向の下降流域は南側に傾いている. 高度 1688m や 1944m の図によると, 石鎚山系の北側の風向と他の地域のそれを比べると明らかに風向が異なり石鎚山系の山頂北側では西風が卓越している. これは, 碎波によって生じたよどみ層内で風速の南北成分が弱くなったために西風成分が強まった事が考えられる. 高度 2000m 付近の法皇山脈付近では西風と南南西風の気流がぶつかり, よどみ層を避けるように上下層へ発散した可能性が高い. 第 21・b 図(流跡線図)の東から見た断面高度の変化を見ても高度 2000m を境に下降する気塊と上昇する気塊が存在する. この高度 2000m 付近の強い下降流と,

第 21 図の高度 200m 付近の山越え気流との合流が四国中央市付近の地上風速を強めたものと推測する.

## 8. 結論

「おろし風」発生, 終息の模式図を第 24 図に示す. 解析の結果, 「おろし風」発生時には次の事が分かった.

- ① 広戸風とは異なり「おろし風(やまじ風)」発生時には明りような臨界層は出現していない.
- ② 風上側の鉛直シア一高度(3000m 以上)が下降, 又は, 2500m ~ 3000m で長時間継続して存在する場合に「おろし風」は発生する.
- ③ 風上側高度 1000m ~ 2000m の気塊が「おろし風」発生の起源となるが, 南方向以外にも南西方向から石鎚山系をう回するような軌跡を描き, 「おろし風」となる場合がある.
- ④ 風上側の高度 2000m ~ 3000m 付近より上層で高スコーラ数が, 下層で低スコーラ数が存在するときに「おろし風」が発生する共通点はあるが, スコーラ数の値からは「おろし風」発生の判別は見出せなかった.

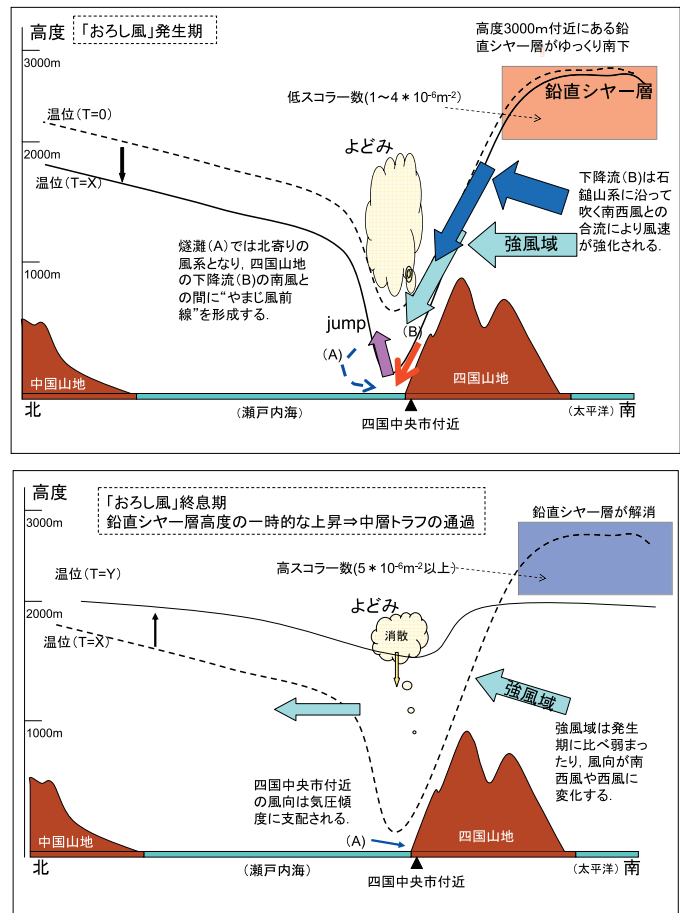
本調査では, 台風事例を取り扱っておらず, 南風が高度 3000m 以上まで卓越するような場合には②, ④については慎重に吟味しなければならない.

## 謝辞

調査にあたり, 斉藤和雄気象研究所予報研究部第二研究室長には多くの御助言を頂き, 四国中央市消防署の関係官には資料を提供して頂きました. この場を借りて深謝申し上げます. なお, 本研究は, 依岡(2007)の内容を加筆・修正したものである.

## 参考文献

- 金森恒雄, 栗原佳代子, 桑野富美子, 瀬古弘(2006): 気象庁非静力学モデルの計算結果を使った流跡線解析. 平成 18 年度広島県気象研究会



第24図 「おろし風」発生(上段)・終息(下段)の模式図

気象庁予報部(2003): 気象庁非静力学モデル. 数値予報課別冊, 49.

気象庁予報部(2008): 気象庁非静力学モデルII. 数値予報課別冊, 54.

Durrant, D. R. and J. B. Klemp,(1982): The Effects of Moisture on Trapped Mountain Lee Waves, J. Atmos.Sci., 39, 2490-2506.

Durrant, D.R. and J.B. Klemp,(1987): Another Look at Downslope Winds Part2: Nonlinear Amplification beneath Wave- Overturning Layers, J. Atmos.Sci., 44,3402-3412.

斉藤和雄, 猪川元興(1990): 「やまじ風」のシミュレーション. 平成元年度全国予報技術検討会資料, 気象研究所予報研究部, 1-36.

斉藤和雄(1994): 山越え気流について(おろし風を中心として). 天気, 41,731-750.

Smith,R.B.,(1985): On Severe Downslope

Winds, J. Atmos.Sci.,42,2597-2603.

高見佳浩(2005): 部外気象観測データを併用した強い山越風の調査-2005年4月20日に発生したやまじ風の事例解析-. 平成17年度大阪管区気象研究会誌(香川県)

筆保弘徳, 桑形恒男, 大橋唯太, 鈴木真一, 清原康友, 穂積祐(2006): 局地風広戸風の発生に対する台風の影響. 2006年秋季大会講演予稿集, 252.

依岡幸広(2007): JMANHMを用いたおろし風(やまじ風)のシミュレーション. 日本気象学会関西支部例会講演要旨集, 113,21-24.

第1図は, 国土地理院の数値地図25000(地図画像)を利用. 画像作成にはカシミール3Dを利用.

第4図の標高データは, USGS(米国地質調査所)のGTOPO30(30秒メッシュ: およそ1kmメッシュ)を利用.