

— 4. 平成20年度第1回支部研究発表会要旨 —

日 時：平成20年6月9日（火）13時40分～15時00分

場 所：北海道大学・百年記念会館 大会議室

1 GPVデータを用いた突風関連指標の調査 ······ 26

札幌管区気象台	大橋 康昭
仙台管区気象台	安久津 俊幸
	村上 雅規
	佐々木 幹夫

2 INCLを用いた小規模温帯低気圧が気候に及ぼす影響(1)小規模渦の効果 ······ 28

北海道大学大学・院理学研究院	稻津 將
東京大学・気候システム	木本 昌秀

3 オホーツク海沿岸に設置した2台のXバンドドップラーレーダーを  
用いた海氷と雪雲の観測(3) ······ 30

北海道大学低温科学研究所	藤吉 康志
	川島 正行

# 1. GPV データを用いた突風関連指数の調査

大橋 康昭 (札幌管区気象台技術部観測課)

安久津 俊幸、村上 雅規、佐々木 幹夫 (仙台管区気象台技術部予報課)

## 1. はじめに

近年、竜巻や突風によって引き起こされたと見られる災害が発生し、社会的関心も高まっている。気象庁では、防災の観点からドップラーレーダーの全国展開を進めているほか、平成20年3月26日から竜巻注意情報の提供を開始した。また、竜巻や突風による災害が発生するおそれがある際には、従来の気象情報に「竜巻などの激しい突風のおそれ」を明記して、一層の注意を呼びかけることとした。これらの情報の提供開始に先立ち、過去の突風関連指数のGPVデータを用いて、指標の特徴について調査した。

## 2. 使用データ

### 2.1 突風関連指標とは

突風関連指標とは、積乱雲に伴い発生する竜巻や突風を対象に、突風が発生しやすい状態であるかどうかについて大気の環境場を指標化したものである。突風関連指標について主なものを表1にまとめる。米国では、各指標についてシビア現象発生の目安となる値がわかっているが、これを日本において用いることが可能かどうかはまだはっきりしていない。

表1. 主な突風関連指標の説明

記号	名前	解説	説明
EL	平衡高度	対流の発達程度	地上付近の空気塊を断熱的に上昇させた時、自由対流高さ(LFC)より上で浮力が0になる気温(0K)。
VGP	渦生成パラメータ	竜巻の発生しやすさ	積乱雲の上界近くによる水平風度の狭きと引き伸ばしの傾向を検定するパラメータ。
CAPE	対流有効位置エネルギー	大気の対流安定度	地上付近の空気塊を断熱的に降ら上げた時、LFC～ELの間で浮力が空気塊にならず仕事。
SREH	ストームに相対的なヘリシティ	スーパーセルの発生しやすさ	積乱雲に直入・上昇する空気塊が重び込む回転(度)の大きさの目安。
EHI	エナジー・ヘリシティ・インデックス	スーパーセルまたは竜巒の発生しやすさ	絶縁的に、スーパーセル(や竜巒)の発生しやすさをCAPEとSREHを用いて複雑化したもの。 EHI=(CAPE × SREH)/100,000
TVP	電着風速パラメータ	竜巒が発生した場合の風速関連	地上からLFC高度の距離シアによる水平風度が立ち上がり、LFCより上の外縁(上界風流)により風が引き伸ばされて電着が生じるとして、電着の水平風速を計算したもの。風の引き伸ばしにはLFC～ELの距離シアの場所を取り入れられている。
SSI	ショワルターの安定指標	大気の対流安定度	500hPaにおける気温と対流の空気塊を断熱的に持ち上げ蒸発高さまで持ち上げ、そこから凝縮断熱的に500hPaまで持ち上げた時の空気塊の重量との比。 SSI=1.0× max((T-6550°C),0.0)+200×max((T- 48,000)+2.0×41.125hPa+1500+1250× shear × 1.125×250hPa×風速(hPa), shear × 1.125×250hPa×風速(hPa), shear × 1.125×250hPa×風速(hPa)) -0.2)
SWEAT	シビアウェザーラン	激しい雷雨の発生しやすさ	

表1などから指標は以下のように大別される。

- ・大気の不安定度や収束線に関する指標  
(EL, SSI, CAPE, VORsfc)
- ・鉛直シアに関する指標 (SREH)
- ・大気の不安定と鉛直シアの複合指標  
(EHI, VGP, TVP, SWEAT)
- ・ダウンバーストの発生に関する指標  
(DCAPE, EPTdif)

## 2.2 使用データ概要

調査に使用したデータは以下のとおりである。

### DVD収録の突風関連指標 GPV データ

(lat. 0.1° × lon. 0.125° )

期間 : 2004年1月～2007年3月までの毎正時

要素 : EL, VGP, CAPE, SREH, EHI, TVP, SSI, SWEAT, VORsfc, EPTdif, DCAPE

各要素は、当該時刻に最も近いMSM初期時刻からの予報値を用いて計算したものである。MSM初期時刻が6時間毎の時期(2006年2月まで)はFT=0～5の予報値を、3時間毎の時期(2006年3月以降)はFT=0～2を使って全時刻に当てはめている。

なお、調査対象地域は東北地方6県とした。

## 3. 調査

### 3.1 統計分析

前節で述べたように、米国では竜巒などのシビア現象発生の目安となる各指標のしきい値は経験的にわかっている。しかし、それらを「日本」の「東北地方」にそのまま適用するには、現象のスケールや頻度の違いもあるため無理がある。本節では、まず始めに東北地方における各指標の特徴(夏季と冬季の違いなど)を把握するために、各県における各時刻の指標の極値を全期間抽出してヒストグラムを作成した。なお、ELとSSIは値が小さい方が、それ以外の指標は値が大きい方が突風などのシビア現象の発生する可能性が高いことを示している。

図1は、宮城県におけるELのヒストグラムである。夏季と冬季では分布に大きな違いが見られる。夏季は背の高い対流となるため、ELも小さな値の頻度が多いことがわかる。夏季に低ELの頻度が多い傾向は、東北各県ともに共通した特徴であった。

また、複合指標にも特徴的な分布が見られた。図

2に宮城県のEHIのヒストグラムを示す。夏季は冬季よりも大きな値となる頻度がかなり多いことがわかる。頻度は少ないが、EHIが1.0以上になることもあった\*。過去の竜巻事例と指標の分布を調べたところ、EHIがポテンシャルを最もよく表している指標であるとの報告もある。しかし、調査期間中に宮城県では竜巻災害の報告はなかった(気象庁HPより)。

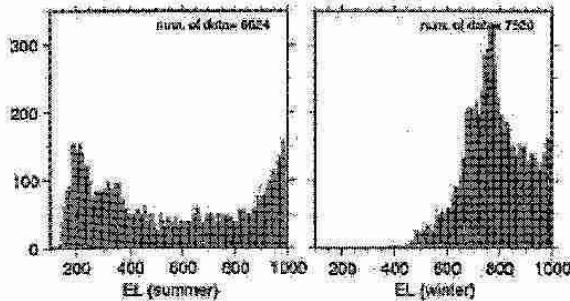


図1. 宮城県におけるELのヒストグラム。横軸: 指数値(hPa)、縦軸: 頻度。左図: 夏季(6~8月)、右図: 冬季(12月~2月)。

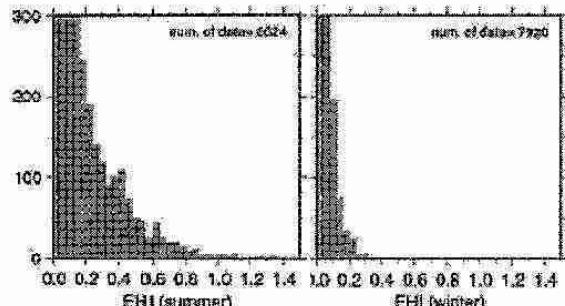


図2. 図1と同じ。ただし、指標はEHI。

### 3.2 事例調査

本項では、竜巒などの突風データベース(気象庁HP)に記載されている2005年12月25日19時10分頃山形県酒田市で発生した突風事例について、現象発生時刻頃の指標の水平分布や時系列の特徴を調べた。突風発生時刻付近でのEHIの分布を図3に示す。図3(a)(b)を見ると、沿岸付近を中心にEHIが大きな値となっており、19時にはかなり大きな値となって、シビア現象のポテンシャルがあることがうかがえる。図3(c)(d)は前時刻からの指標値の差を示している。指標が発生時刻に近づくにつれて次第に増大していることがわかる。他の指標についても、おおむね大きな値となっていたが、大きな値となるエリアと突風発生場所に位置ずれのある指標もあった。図4に、この日の山形県内のEHI最大値の時系列を示す。19時に値が最大となっているとともに、前時刻からの差(変化量)を見ると、発生時刻頃までは5時間程度増大を続け、その増分

がかなり大きくなっていることがわかる。翌日11時10分頃秋田県峰浜村で発生した事例についての同様の時系列を図5に示す。EHI値そのものは夜にも大きな値がある一方、前時刻からの変化量に注目すると、発生時刻2~1時間前には増分が急に大きくなっていることがわかる。このように、指標値そのものだけでなく、前時刻からの変化の度合いについて注目すると、突風などのポテンシャルを把握することができる可能性がある。

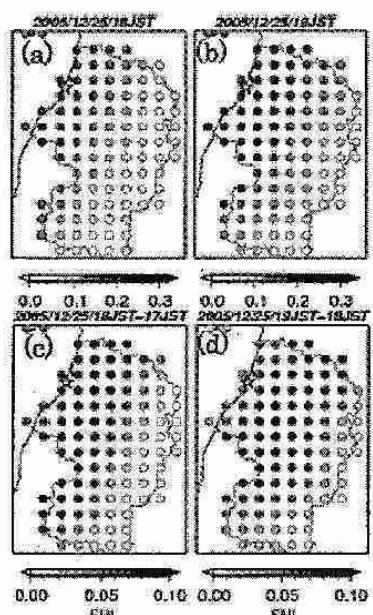


図3. 2005年12月25日の山形県におけるEHIの分布。(a)18時、(b)19時、(c)17時と18時の差、(d)18時と19時の差。☆は発生地点を示す。

ものだけでなく、前時刻からの変化の度合いについて注目すると、突風などのポテンシャルを把握することができる可能性がある。

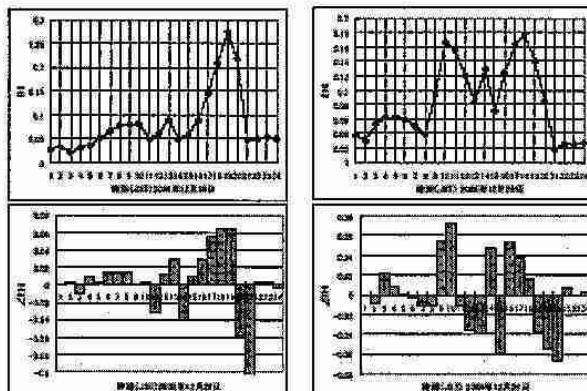


図4. 2005年12月25日の山形県内のEHI最大値の時系列。上:EHI値、下:前時刻との差。

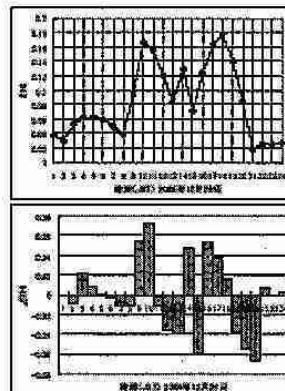


図5. 図4と同じ。ただし、2005年12月26日の秋田県。

### 4.まとめ

突風関連指標のGPVデータを用いた統計分析と事例調査によって、指標の分布や時系列の特徴を把握した。また、前時刻からの指標の変化量に注目すると、ポテンシャルがよりはっきりする例もあることが示唆された。ただし、指標が高いからといって必ず竜巒や突風が発生するわけではない。総観規模での起りやすさのパターンと比較検討することで、よりポテンシャルの高い場を判断することが可能になるだろう。

\* 米国での目安:EHI>1.0の時はスーパーセル発達の可能性あり。

## 2. インタラクティブネスティングシステム (INCL) を用いた 小規模温帯低気圧が気候に及ぼす影響 (1) 小規模渦の効果

稻津 将 (北大院理)、木本 昌秀 (東大気候システム)

### 1. はじめに

近年、超大規模計算を可能にする計算機の出現と相俟って、気候モデルは高解像度化が進んでいる。しかし、そのような計算は莫大な計算コストを費やすので、単一の科学的目的のために安易に利用することは難しい。そこで、われわれは通常の研究で用いる大気モデルの格子間隔 280 km 相当の大循環モデル(GCM: General Circulation Model)に、格子間隔 40 km の領域大気モデル(RAM)をネストし、双方向に情報をやり取りすることで、一部の領域だけではあるがモデル中で高解像度化された効果を GCM に反映するインタラクティブ=ネスティングシステム(INCL)を開発した。INCL 内では、GCM と RAM が同時に時間積分を行っており、如何なる INCL 実験であっても常に GCM と RAM の結果が出力される。また、INCL をオンラインの仕様で実行すると、GCM のダウンスケーリングが自動的に行われることになる。

われわれは、この INCL システムを使って、北半球冬季の日本付近の小規模低気圧がより大規模な気候にどのような影響を及ぼすかという問題について調べた。日本付近には、日本海の北と南に低気圧が好んで通過する経路が存在する(Yoshida and Asuma, 2004)。しかし、少なくとも MIROC の中解像度版(大気モデル格子間隔 280km)では日本の南を通過する低気圧は過小評価気味であった(図略)。本研究では INCL を使って、日本の南を通過する低気圧が過小評価気味であると、大規模な気候にどのような影響を与えるかを調べる。

### 2. モデルと実験

本研究で開発した INCL の両翼を担うのが GCM と RAM である。GCM 部分は CCSR/NIES/FRCGC<sup>1</sup>で開発された大気海洋結合モデル MIROC であり、RAM 部分は

JMA/MRI NHM<sup>2</sup>である。われわれは INCL を用いてオンライン実験とインタラクティブ実験をそれぞれ適当な 10 個の初期値から 12 月から 2 月を含む 105 日分の積分を行った。RAM は東アジアから北西太平洋を含む領域(東経 100 度から 180 度、北緯 20 度から 60 度を概ね含む)についてネストした。両実験とも小規模な地形の効果について考えないため、RAM に与える

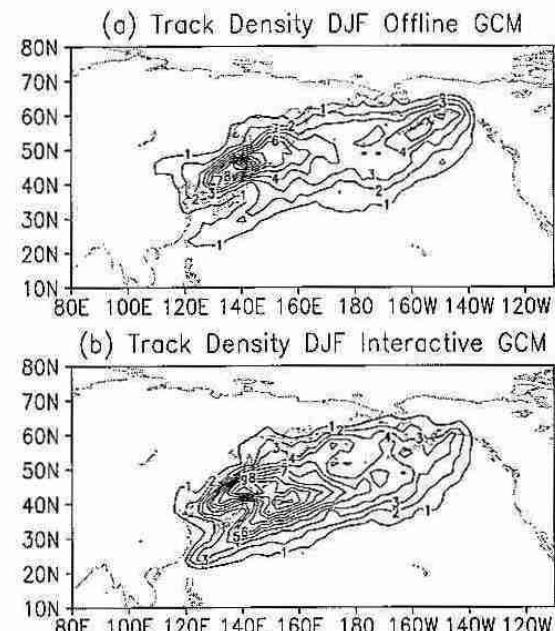


図 1 : 12 月から 2 月までに出現した低気圧をもとに計算した低気圧掃過密度(回/季節)。(a) オフライン実験と(b) インタラクティブ実験。

境界条件は GCM に与えるそれと同一のものである。また、両実験とも、RAM の側面、上面、及び海面の境界条件は GCM の大気モデルから内挿して与えた。インタラクティブ実験では、GCM の各時間ステップごとに、ネストした領域内で GCM の予報変数の時間増分を RAM で見積もられる時間増分とそれとの平均値に置き換えた。

<sup>1</sup> 東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所、及び独) 海洋開発研究機構地球環境フロンティア研究センター

<sup>2</sup> 気象庁及び気象研究所の非静力学モデル

### 3. 結果

図1はオフライン実験とインタラクティブ実験での低気圧の掃過密度<sup>3</sup>である。オフライン実験、つまり通常の気候モデル実験では、日本の北を通過する温帯低気圧が強調され、日本の南を通過する軌跡は過小評価ぎみである。それに対して、インタラクティブ実験では観測のように日本の北と日本の南の両方を通過する軌跡が再現されている。これは明らかに領域モデルで表現されたサブシノブティックスケールの渦が温帯低気圧に成長して、気候モデルに情報が救い上げられた結果であると考えられる。

サブシノブティックな渦の効果がGCMに返されることで、インタラクティブ実験のGCM側では太平洋ストームトラック軸が、オフライン実験に比べ南にずれた(図2)。これにより上空の非定常渦の形状に違いを生み、運動量をより南に輸送した。この作用の結果、太平洋上の気圧場に影響を与える(図2)、翻って日本の南での低気圧発達に有利な場を作るという正のフィードバックが働いた。

### 4. まとめ

本研究ではINCLを使って、日本の南に冬季に発達するサブシノブティックスケールの渦が気候にどのような影響を与えるかを調査した。その結果、通常のGCMでは過小評価していた日本の南岸を通過する低気圧を、INCLのインタラクティブ実験ではより現実に近く再現した。さらに、ストーム軸が南にずれることで、非定常渦の作用として太平洋上の気圧場に影響を与え、日本の南での低気圧発達に有利な場を作るという正のフィードバックが働いた(2008年6月現在、Mon. Wea. Rev. 投稿準備中)。

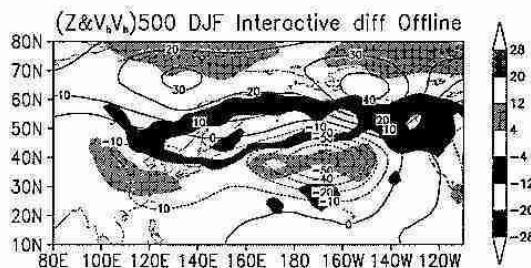


図2：12月から2月まで平均した500hPa面における(陰影)ストームトラック活動と(等値線)等圧面高度(間隔10m)のインタラクティブ実験とオフライン実験の差。ストームトラック活動は2日から8日の周期帶の南北風の分散( $m^2 s^{-2}$ )で定義した。

### 謝 辞

INCL開発に際し、斎藤和雄博士(気象研究所)、井上孝洋氏(理化学研究所)、三浦裕亮博士(コロラド州立大学)、並びに斎藤冬樹博士(海洋開発研究機構)に技術的科学的な多くのご助言を頂きました。本研究は、科学研究費若手(B)によりシステム開発が、環境省推進費S-5-3によりネスティング実験が行われています。

### 参考文献

- Yoshida, A., and Y. Asuma, 2004: Structures and environment of explosively developing extratropical cyclones in the Northwestern Pacific region. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 1121-1142.

連絡先：〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目  
北海道大学大学院理学研究院

自然史科学部門：

Tel:011-706-3549

E-mail:inaz@mail.sci.hokudai.ac.jp

<sup>3</sup> 6時間ごとの海面気圧のデータから極小点を選び、低気圧は約10m/sで東進すると仮定して、隣接する極小点同士を繋いで軌跡とした。軌跡データから1季節あたり何個の低気圧が通過したかを密度として計算した。

### 3. オホーツク海沿岸に設置した 2 台の X バンド ドップラーレーダーを用いた海水と雪雲の観測 (3)

藤吉 康志、川島 正行（北大低温研）

1. はじめに

オホーツク海沿岸に発生する雪雲は背が低いため、気象庁のレーダー観測網ではとらえきれず、これまで冬のオホーツク沿岸はレーダーデータ空白域であった。そこで我々は、2005年11月～2006年6月まで、紋別市郊外の大山にX-バンドドップラーレーダーを設置して、海氷と雪雲の観測を行った。2007年12月にはもう1台のX-バンドドップラーレーダーを雄武に設置し、紋別に再設置したレーダーとで、2008年1月からデュアルドップラーレーダー観測を再開した。

図1に2台のレーダーの設置点と、観測範囲を示した。旧流水レーダー3台による観測範囲と比較すると、網走から知床にかけて観測範囲が狭くなっている。

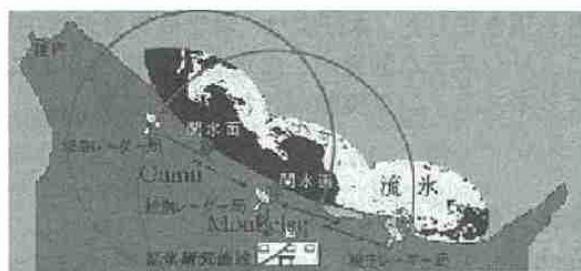


図1 2台のX-バンドドップラーレーダーの設置場所  
(雄武、紋別)と、観測範囲。

## 2. 觀測毛一T。

X-バンドドップラーレーダーは旧流氷レーダーとは異なり、3次元走査が可能である。そのため、海氷のみではなく、上空の雪雲の3次元構造を同時に観測できる。アンテナの走査モードは、紋別のレーダーは、海氷観測用として仰角-0.5度、0度、+0.5度の3仰角、雪雲観測用に更に高い仰角までの3次元走査を行い、6分間隔で繰り返している。ただし、地球の曲率のため、海氷は、60km遠方までが観測限界である。雄武のレーダーは、設置高度が低いため、仰角0度以上でのみ観測を行っている。

レーダーの制御は、札幌の北大低温研から電話回線を通じて行っている。観測データは30分間隔で札幌の北大低温研に送られ、24時間動画を作成し、WEBに公開中である。ただし、通信回線の速度が遅いため、紋別の画像は、海氷観測モードの-0.5度と雪雲観測用の1.0度のPPI画像、雄武の画像は、仰角0

度のPPI 画像のみである。

(<http://okh-radar.lowtem.hokudai.ac.jp/>)

### 3. 衛星とレーダーの海水分布比較

前回の 2006 年の観測時には、レーダー観測範囲内の流氷量が少なかったため、衛星画像との比較が困難であった。2008 年は、早くから流水が接近したため、衛星画像との比較が容易であった。図 2 は、2008 年 1 月 23 日 12 時 53 分の衛星可視画像（上段）と同じ時間のレーダー画像（下段）である。両者の画像を比較して明らかのように、レーダーによって、海氷の細かい構造までとらえられている。また、衛星画像で白く映っている海氷は、レーダー画像でも反射強度が強い。このことは、レーダー画像から海氷の密接度（厚み）も或る程度見積もることが可能であることを示唆している。更に、衛星画像では、海岸付近にかかっている雲が、レーダーでも明瞭に映っている。このことは、衛星では薄い雲のように見えるが、実際には降雪をもたらしている雪雲であったことが分かる。

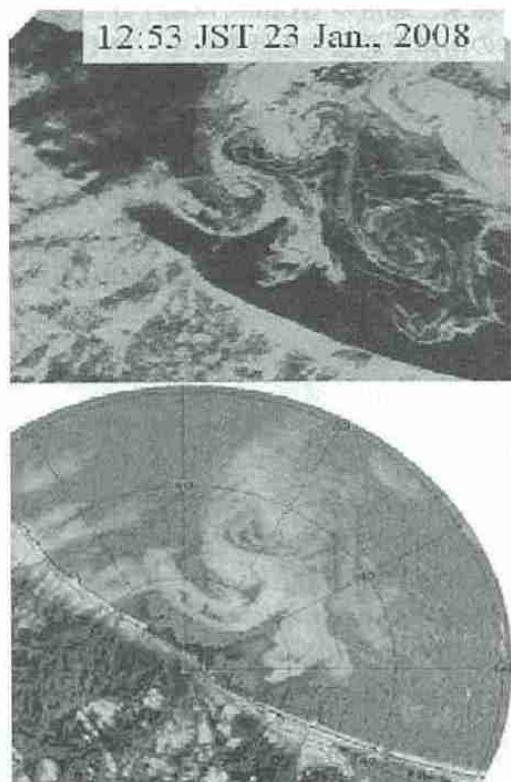


図2 MODIS（上段）とレーダー（下段）でとらえた  
海氷の水平分布の比較。

#### 4. 典型的な雪雲エコー、渦状エコー、波状エコー

オホーツク海沿岸に沿って、幅約10km程度、長さ数100kmの細長い雪雲が長時間（時には数日）形成される（図3）。エコー頂高度は、2.5km以下である。このエコーは、陸から吹き出す風と北西の季節風の間で、海岸線に沿って形成される長大な収束域によって形成される。この雪雲は寿命が長いため、沿岸に沿った海の流れと、海水の成長（特に、シーディングによる海水成長）に大きな影響を及ぼす可能性がある。

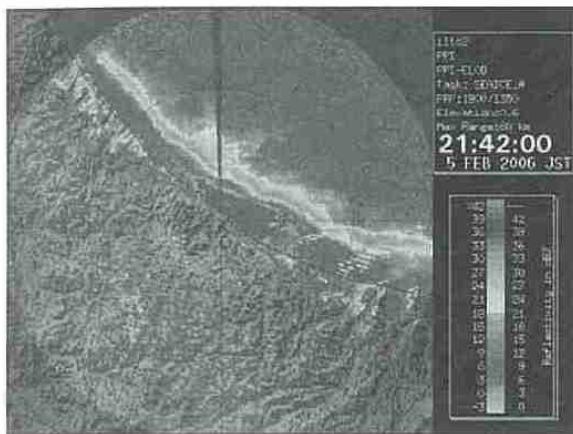


図3 2006年2月5日に観測された、海岸に沿って形成される長大なバンド状エコー

また、若狭湾や石狩湾などの冬季の日本海沿岸と同様に、オホーツク海沿岸にもメソックスケールの渦状擾乱がしばしば発生していることも分かった（図4）。

更に、より小さい渦状エコーも海岸に沿ってたびたび形成される。このような渦状エコーは、上記の沿岸エコーとは異なって、短時間に急激な動きを海水に生じさせる点で、重要である。

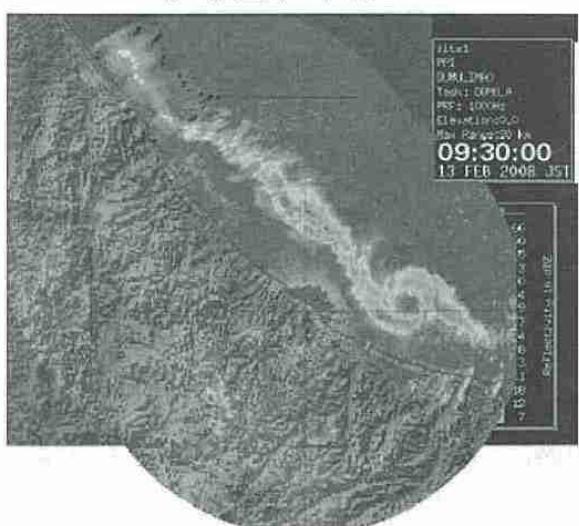


図4 2008年2月13日に観測された、メソックスケールの渦状擾乱。



図5 2008年2月15日に観測された、波状エコー。

また、2007年の秋の支部会で報告した山岳波の事例（浜元・藤吉、2007）とは明らかに異なる、波状エコーが新たに観測された（図5）。その成因としては、内部重力波が考えられる。

#### 5. 今後の展開

今後は、より高次なデータとして、「デュアルドップラーレーダーを利用した風の3次元分布のリアルタイム作成、レーダー強度を降雪強度、吹雪量、視程、積雪量などの物理量に変換、観測データを数値モデルに同化した降雪予報システムの構築、レーダーデータから海水域を抽出するアルゴリズムの作成、海水の移動ベクトルの作成と公開、海洋レーダーのデータと海水のデータを同化した海水予測システムの構築」などを考えている。

そのためには、高速通信回線（光ファイバー）の確保と、関係機関（気象庁、海上保安庁、道府、紋別市、網走市、開発局、漁業組合といった産官学）と連携して、データ利用コンソーシアムの立ち上げ進めていきたいと考えている。

#### 謝 辞

ドップラーレーダーの設置、運用には、北大低温研の技術部の皆さんにご尽力いただきました。記して感謝いたします。また、雄武の設置に際しては、網走土木現業所興部出張所、興部町役場の皆様には大変お世話になりました。厚く御礼申し上げます。