

# 冬季日本海上に発生するメソ $\alpha$ スケール擾乱のマルチスケール解析

\*前島康光<sup>1</sup>, 吉岡真由美<sup>1</sup>, 榊原篤史<sup>2</sup>, 坪木和久<sup>1</sup>

1. 名古屋大学地球水循環研究センター, 2. (株)中電シーティーアイ

## 1 はじめに

日本付近で冬型の気圧配置が強まると、朝鮮半島の付け根にある山脈の影響により、日本海上に日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) とよばれる強い収束帯がしばしば形成され、それに伴って渦状の擾乱が現れることがある。このうち、比較的発生頻度が高いメソ  $\beta$  スケール (直径 50km~100km) の擾乱の他に、メソ  $\alpha$  スケールの擾乱 (直径 500km) が発生することがある。

メソ  $\beta$  スケールの擾乱は高度 2km より下層に形成された強い水平シアーによる順圧不安定が主要な成因の一つとして指摘され (Nagata 1993), 様々な事例解析においても順圧不安定の重要性が確認されている (加藤 2000, 前島ほか 2008)。

一方、メソ  $\alpha$  スケールの擾乱ではこれらとは異なった特徴を持つことが観測データの解析により示されている (大久保 1995)。しかし非静力学モデルを用いた詳細なシミュレーションによる解析は十分に行われていない。

本研究では 21 世紀気候変動予測革新プログラム・チーム雲解像で開発を進めている全球-雲解像結合モデルを用いてメソ  $\alpha$  スケールの擾乱のシミュレーションを行い、大気の大局的な運動を全球モデルで、対流が活発な擾乱付近の詳細な運動を雲解像モデルを用いて一貫して再現することを目指す。そして各々の階層の大気が擾乱の発達に果たす役割や、各階層間の相互作用を調べるマルチスケール解析を行う。

## 2 数値計算の設定

本研究では、2008 年 2 月 3 日に隠岐諸島付近で発生したメソ  $\alpha$  スケールの擾乱を対象事例とし、全球モデル AFES ver.4.0 及び雲解像モデル CReSS ver.3.0 を動的にネストした数値モデル (前島ほか 2009) を用いてシミュレーションを行う。

AFES から CReSS へは一定の時間ごとに Juang et al.(1997) の手法にならってデータ通信を行う。具体的には、第  $n$  ステップにおける AFES の予報値を  $A^{(n)}$ , CReSS の予報値を  $C^{(n)}$ , AFES と CReSS の差を  $c^{(n)}$  とおくと、 $c^{(n+1)} = c^{(n)} + (C^{(n+1)} - C^{(n)}) - (A^{(n+1)} - A^{(n)})$  とすることで、CReSS は AFES との差を更新する。一方、CReSS から AFES へは、「雲水量、雲氷量、雲量」「気温、水蒸気量、雲水量、雲氷量の時間変化」を渡して、CReSS がカバーする領域では AFES の積雲パラメタリゼーションを使わずに計算を行う。

本シミュレーションにおける、それぞれモデルの設定を以下に示す。2008 年 2 月 2 日 00UTC の気象庁全球客観解析データを AFES の初期値として与え、12 時間 (~2 日 12UTC) スピンアップを行う。スピンアップ後の 2 日 12UTC のデータを改めて AFES, CReSS 両モデルの初期値として与えて計算を実行する。モデル間のデータ通信は 1 時間ごとに行った。

表 1: 全球モデル AFES の設定

空間解像度	T213 L48
地形データ	GTOPO30
SST データ	全球日別海面水温解析 (MGDSST)
初期時刻	2008 年 2 月 2 日 00UTC
初期値	気象庁全球客観解析 (GANAL)

表 2: 雲解像モデル CReSS の設定

モデル領域	水平:512km×552km, 鉛直:15.7km
格子点数	水平:1027×1107, 鉛直:83 層
空間解像度	水平:1km, 鉛直:50m~407.5m
雲物理過程	氷相を含むパラメタリゼーション
初期時刻	2008 年 2 月 2 日 12UTC

## 3 結果

擾乱最盛期の 2008 年 2 月 3 日 18UTC における赤外画像と CReSS のシミュレーション結果を示す。中心に目の構造を持った渦状擾乱が 35.9°N, 132.1°E に再現されていることがわかる。擾乱の中心、空間スケール、進路ともに赤外画像から見積もられたものと良く一致していた。

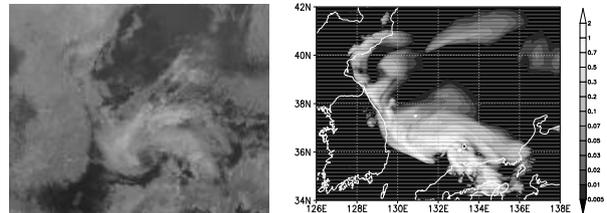


図 1: (左)2008 年 2 月 3 日 18UTC における赤外画像。(右)CReSS でシミュレートされた鉛直積算凝結水量 [kg/m<sup>2</sup>].

### 3.1 全球モデルによるシミュレーション結果

全球モデルでシミュレートされた 500hPa 面および 850hPa 面のジオポテンシャル高度と温度場をそれぞれ示す。2 月 2 日から 3 日にかけて、45°N~60°N 140°E~150°E に-40°C 以下の寒気を伴った深いトラフが存在した (図 2(a),(b))。ここから吹き込む寒気の影響を受け、本州南岸を通過した低気圧が本州の東で急発達して冬型の気圧配置となった (図 2(d))。これに伴い日本海上に強い寒気が吹き出し、日本海西部に収束帯を形成した。

また 2 日 18UTC には 500hPa 面の 39°N, 118°E 付近に波長 500km 程度の寒気を伴ったトラフが東南東に移動しており、擾乱最盛期の 3 日 18UTC では日本海上の 37°N, 131°E に達していた。この位置は、海面気圧で判定される擾乱の中心位置から 80km 西北西にずれた場所で

あった。この上層のトラフと、収束によって形成された下層のシアーとの相互作用が擾乱の発生・発達に寄与していると考えられる。

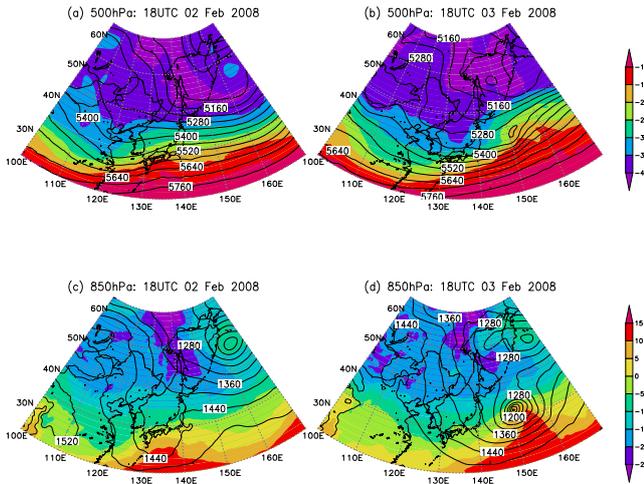


図2: (a)2008年2月2日18UTC, (b)2008年2月3日18UTCにおける500hPa面の図. (c)2008年2月2日18UTC, (d)2008年2月3日18UTCにおける850hPa面の図. カラーシェードは温度場 [°C], コンターはジオポテンシャル高度 [m] をそれぞれ表す.

擾乱最盛期から3時間前の大気不安定度 ( $S \equiv N^2/f^2$ ,  $N$ : ブランドパイサラ振動数,  $f$ : コリオリパラメータ), さらに比較のために, 2005年1月31日にメソ $\beta$ スケールの擾乱が発生したときの大気不安定度をそれぞれ示す(図3). 高度1000mまでは潜熱フラックスの影響で混合が進んでいるため両事例ともほぼ同じ値であるが, 高度1000m~5000mを見ると, メソ $\alpha$ スケールの擾乱発生時の方が全層にわたって安定度が小さく, 鉛直方向に相互作用しやすい環境場が形成されていることがわかる.

Maejima and Iga(2011)では, 前線不安定の観点から研究を行い, 概ね  $S \lesssim 3.0 \times 10^3$  の時にメソ $\alpha$ スケールの擾乱が発生しやすいと結論付けているが, 本事例もその結果と整合的である.

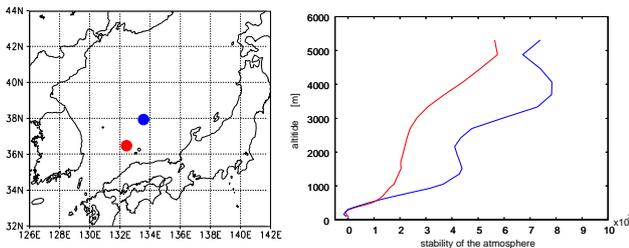


図3: 擾乱最盛期3時間前における大気不安定度の鉛直プロファイル. 赤線は本研究の対象事例であるメソ $\alpha$ スケールの擾乱が発生時. 時刻は2008年2月3日15UTCで全球モデルのシミュレーション結果より値を算出した. 青線はメソ $\beta$ スケールの擾乱発生時. 時刻は2005年1月31日06UTCで気象庁MSMのデータより値を算出した. 地図上の丸は鉛直プロファイルを計算した位置を示す.

### 3.2 雲解像モデルによるシミュレーション結果

CReSSで再現された擾乱の, 35.9°Nにおける東西-高度断面を図4に示す. 132°Eの地表面~高度1000mと, 131.5°Eの高度4500m付近に気圧偏差が極小となっている領域が存在している. 高度4000m~5000mは水平・鉛直両方のシアーによる渦位勾配が存在し, 「この領域から励起される波, 及び図2で指摘した上空のトラフ」と「高度1km以下の強い水平シアーから励起された波」との相互作用が擾乱の強化に寄与していると考えられる. また擾乱の東面に正の温位偏差と南風, 西面に負の温位偏差と北風があり, 傾圧不安定波の典型的な特徴を示している.

エネルギー変換項を計算すると, 擾乱の成長期である3日00UTC~06UTCにかけて擾乱の有効位置エネルギーが擾乱の運動エネルギーへの変換量が, 全エネルギー収支の70%を占めており, 傾圧不安定が擾乱の主要な成因であることを示唆している. ただし, 擾乱が成長して渦状の構造が見て取れるようになる3日03UTC以降は, 対流活動に依る鉛直方向への運動量輸送や潜熱の開放が徐々に目立ってきた. 上層のトラフや成層が比較的不安定な場合など大規模場の影響による傾圧不安定は特に擾乱の発生期から成長期において重要であり, 渦状の構造の強化や維持には, 擾乱内部における対流活動による機構にシフトすると言える.

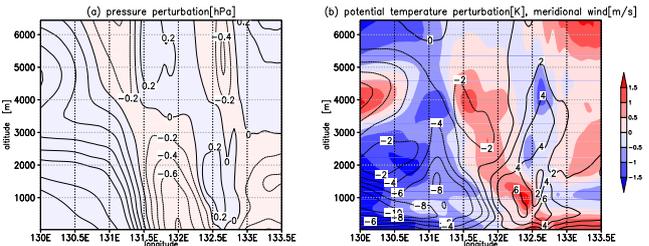


図4: 35.9°Nにおける東西高度断面図. (a) コンターは気圧偏差 [hPa], シェードは負値の領域を示す. (b) コンターは南北風 [m/s], シェードは温位偏差 [K] をそれぞれ示す.

### 4 まとめ

2008年2月3日に日本海西部に発生したメソ $\alpha$ スケールの擾乱を全球-雲解像モデルを用いてシミュレートを行った. 全球モデルによって冬季日本海上に寒気の吹き出しをもたらした総観規模の低気圧とその強化に寄与した大規模場の特徴, さらに擾乱の発生に直接関わった上空のトラフが再現された. また雲解像モデルによって対流活動やそれに伴う積乱雲を解像した擾乱の微細構造が再現され, 擾乱の発生期から最盛期にかけて重要な機構がエネルギー変換の観点から示された.

### 謝辞

本研究は文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム及び名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクトの補助を受けて行われました. 本稿に掲載した衛星画像は, 高知大学気象情報頁 (<http://weather.is.kochi-u.ac.jp>) より提供されました. ここに感謝の意を表します.