

大気大循環モデル中の中間規模東進波に伴う速度場擾乱とジオポテンシャルハイト場擾乱

中村, 彰呉
(株) 神戸製鋼所 | 九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

伊賀, 啓太
九州大学応用力学研究所 | 九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

伊ヶ崎, 英雄
日本気象協会

<https://doi.org/10.15017/16674>

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 24 (3), pp.323-326, 2002-12. 九州大学大学院総合理工学
府
バージョン :
権利関係 :

大気大循環モデル中の中間規模東進波に伴う 速度場擾乱とジオポテンシャルハイト場擾乱

中村 彰呉^{*1}・伊賀 啓太^{*2,†}・伊ヶ崎 英雄^{*3}

(平成14年10月31日 受理)

Velocity and Geopotential Height Disturbance Accompanied with Medium-Scale Eastward Travelling Waves in an Atmospheric General Circulation Model

Shogo NAKAMURA, Keita IGA and Hideo IKAZAKI

[†]E-mail of corresponding author: iga@riam.kyushu-u.ac.jp

The activity of the medium-scale eastward travelling waves simulated in an atmospheric general circulation model is investigated. The simulated waves have the same features as those of the observed medium-scale eastward travelling waves: the wavelength, the period, the horizontal structure with geostrophic balance, the vertical structure with hydrostatic balance trapped at the tropopause and so on. The area where the amplitude of this wave is large, is located east of 100°E along 40°N latitude line, which indicates that this wave is originated from Tibetan Plateau region. The region with active velocity disturbance extends more westward than that with active geostrophic velocity disturbance which is calculated from geopotential field. This means that the velocity disturbance develops first and that the geopotential disturbance follows it. It supports the possibility that this wave is excited through mechanical causes such as instability of the westerly jet.

Key words : *Medium-Scale Eastward Travelling Wave, General Circulation Model, Excitation Process, Tropopause, Tibetan Plateau, Heating, Jet, Instability, Geostrophic Balance*

1. はじめに

中間規模東進波は、滋賀県信楽にある MU レーダーの観測によってその存在が発見された大気中の波動である。周期約 26 時間、位相速度約 22m/s、東西波長約 2,100km の波で、上空 10km の対流圏界面付近に捕捉された構造を持つ。また、水平方向には風速場とジオポテンシャルハイト場がほぼ地衡風平衡、鉛直方向にはジオポテンシャルハイト場と温度場がほぼ静水圧平衡しており、南北方向にも鉛直方向にも顕著な位相の傾きがなく、基本場とのエネルギーのやりとりがない中立波であることが明らかになっている。¹⁾

この中間規模東進波がどのような時期・場所に多く見られるかについて、データ解析による研究がいくつかあり、その伝播メカニズムについても、この波がほぼ静水圧および地衡流平衡を保っていることに基づいて、準地衡流近似モデルを用いて明らかになってきている。²⁾

しかし、この波動は自ら発達する不安定波ではなく、振幅が増幅しない中立波であるので、この波が実際に存在するためには何らかの励起源がなければならないはずである。中間規模東進波の励起機構に関して、現在までにいくつかの研究がなされてきている。Yamamori et al.³⁾ は観測データを用いて日本付近で見られるこの波の振幅の分布を調べ、チベット付近から東の領域でこの波の振幅が大きくなっていることを示した。このような分布は大循環モデルで再現された中間規模東進波の振幅の分布でも見出されており、^{4,5)} この波の発生原因がチベット付近にあることが示唆されている。

この地域に存在する励起源として、大きく分けて 2 つの候補が考えられている。1 つは非断熱加熱による励起である。重久・松野⁶⁾ はチベットの加熱効果を念頭において、準地衡流系に加熱強制項を加えて励起される波の振幅を計算している。また児玉⁷⁾ は、チベット高原における対流活動が活発となる春季に、対流によって発生した雲が中間規模東進波と同じような性質を保って日本の方へ東進していく様子を GMS 雲画像から解析しており、チ

*1 大気海洋環境システム学専攻修士課程
(現在 (株) 神戸製鋼所)

*2 応用力学研究所, 大気海洋環境システム学専攻

*3 日本気象協会

ベトナム地域での加熱が励起源となっている可能性を示唆している。もう1つはジェット的不安定性など、流れ自体の不安定から発生する擾乱がこの波の発生につながるという可能性である。Sato et al.⁸⁾ はジェット的位置と中間規模東進波の振幅の関係について解析し、この波がジェットに伴って発生する可能性を示唆している。また、伊ヶ崎ら^{4,5)} は大循環モデルで中間規模東進波が再現できることを示した後に、モデルに与える放射強制力として、日平均して日変化を取り除いた太陽加熱を与える数値実験を行ない、この場合でも中間規模東進波がモデル上に現れることを示して、加熱が波の励起源となっている可能性は小さいと結論づけている。

このように中間規模東進波の励起機構に関しては、さまざまな研究がなされてつつある段階であり、まだはっきりした結論が出ていない。そこで、本研究ではこの波の励起源を特定するための情報の一つとして、大循環モデル上で再現された中間規模東進波について、特に速度場とジオポテンシャルハイト場の分布の違いに注目して解析を行った。

2. モデルと設定

シミュレーションで用いた大気大循環モデルはCCSR/NIES AGCM バージョン 5.4 である。このモデルは水平風速、気温、地表気圧以外に比湿、雲水混合比、地中温度、地中水分、積雪量を予報するスペクトルモデルで、物理過程として簡易型 Arakawa-Schubert の対流スキーム、大規模凝結過程、Mellor-Yamada レベル 2 の鉛直拡散、2 ストリームの短波および長波放射、重力波抵抗、バルク法による地表面フラックスなどが考慮されている。

シミュレーションは水平方向には T42 の分解能で行なった。これは約 250km の解像度に相当し、約 2,000km 水平波長を持つ中間規模東進波を十分に分解できる。鉛直方向には 20 層をとっているが、これも圏界面付近に捕捉されるこの波の構造を分解するのに十分な分解能である。地表面の分類と海面温度は外部条件として与え、特に海面温度は1ヶ月気候値を内挿している。等温静止状態を初期状態にとって2年間の時間積分を行ない、2年目のデータについて解析を行なった。

3. 解析結果

この節では、前節のような条件で行なったシミュレーションを解析した結果を示す。観測された中間規模東進波は二十数時間の周期を持つこと¹⁾ を考慮して、15 時間から 30 時間のバンドパスフィルターをかけたデータを解析する。

まず、中間規模東進波が見られた、3月のある時刻の波の様子を示す。Fig. 1 の上段は対流圏界面付近である 250hPa における南北風速 v 、下段はジオポテンシャルハ

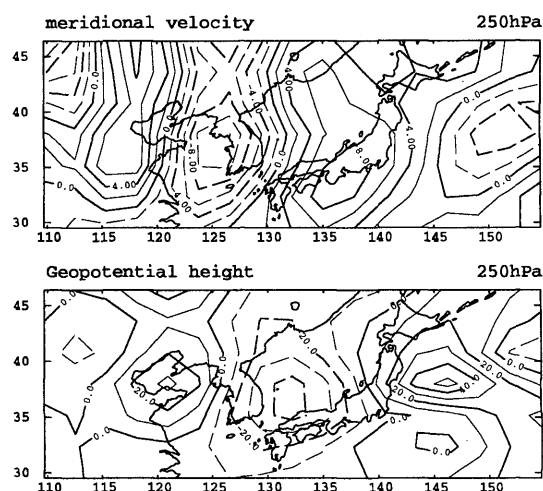


Fig. 1 Horizontal structure of the simulated medium-scale eastward travelling wave. The upper panel shows the isolines of the meridional velocity v at 250hPa level, and the lower one shows those of the geopotential height Φ (at 08Z on Mar. 20 in the model). The phase of the wavy pattern of Φ along the latitude zone 35 ~ 40°N is shifted eastward by $\pi/4$ from that of v , which indicates the geostrophic balance between these two quantities.

イト Φ である。日本付近に東西方向に連なる正負パターンが見られるが、その波長は約 2,400km であり、また v と Φ の位相のずれから (Φ の位相が v より $\pi/4$ だけ東にずれている)、両者が地衡流の関係にあることがわかる。それぞれの鉛直構造を Fig. 2 に示すが、250hPa 付近で振幅が大きく、圏界面に捕捉されていることがわかる。これらの特徴は典型的な中間規模東進波の特徴であり、このモデルを用いたシミュレーションによって波が再現されていると考えてよいであろう。

さて3月の1ヶ月間の $(\overline{v'^2})^{1/2}$ と $(\overline{v_g'^2})^{1/2}$ の等値線を描いたのが Fig. 3 である。ただし、

$$v_g \equiv \frac{1}{f} \frac{1}{a \cos \theta} \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} \quad (1)$$

は地衡風の南北成分を表す。南北風、南北地衡風のどちらに関しても擾乱は東経 90~100 度付近から東で大きくなっており、日本付近で見られるこの波の振幅の大きな領域はチベット付近から日本に向かって東方に広がっているという今までの研究³⁻⁵⁾ の結果と合致している。

さらに南北風と南北地衡風の両者を比較すると、波の振幅のピーク位置付近では両者の対応はよいものの、南北地衡風より南北風の方が西の方まで振幅の大きな領域が伸びていることがわかる。(Fig. 3 で北緯 50 度、東経 90 度付近を見よ。)

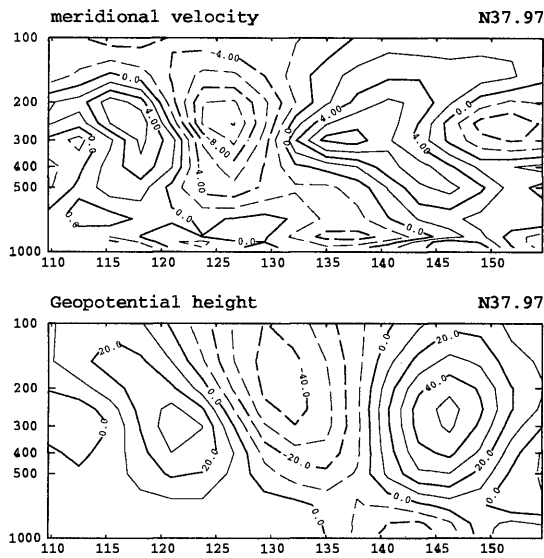


Fig. 2 Vertical structure of the simulated medium-scale eastward travelling wave. The upper panel shows the vertical section of the meridional velocity along the latitude 38°N at the same time as Fig. 1, and the lower one shows that of the geopotential height. The amplitude of the disturbance is trapped around the tropopause located at about 250hPa level.

4. 議 論

中間規模東進波を最も単純化して取り扱った理論によると、²⁾ この波の群速度は圏界面での基本流の流速に等しく、従って、この波は生じた場所から偏西風によって東の方に運ばれてくることになる。このことから、波に伴う擾乱の振幅の大きい領域の西端が、波の発生領域に対応するはずである。擾乱の振幅がチベット付近から東の領域で大きいことは、この波がチベット付近で発生・発達していることを示す。

次に、南北速度の擾乱とジオポテンシャルハイト場の擾乱の大きい領域のずれについて考察しよう。この波は基本的にほぼ地衡風平衡を保った波であるから、南北速度の擾乱の振幅が大きくなる場所では、同時にジオポテンシャルハイト場の擾乱の振幅も大きくなるはずである。(あるいはジオポテンシャルハイト場の代わりに、それから求めた地衡風場を用いても同じことが言える。)しかし、発生過程においてはまだ完全に地衡風平衡に到達しておらず、両者の擾乱のうち的一方のみが現れているという段階が存在するかも知れない。

もしこの波が加熱によって発生しているとするならば、まず加熱によって直接生じるジオポテンシャルハイト場の擾乱が発生し、それより遅れて速度場の擾乱も発達していくであろう。一方、この波が力学的な不安定によって引き起こされているなら、速度場の擾乱の発達の方が先行する

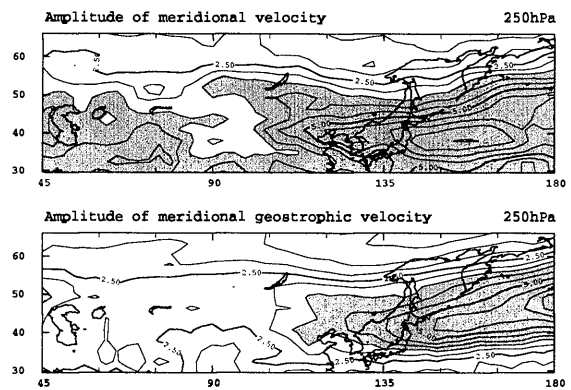


Fig. 3 Root mean square of meridional velocity at the level 250hPa (upper panel), and that of meridional geostrophic velocity (lower panel). The geostrophic velocity is calculated from the geopotential height data. The regions where the root mean square of the amplitude is larger than 3.5m/s are shaded. The area where these quantities are large spreads along the latitude of 40°N eastward of 100°E including the area over Japan. The amplitude of v already begins to become large at around the point (50°N , 90°E), but v_g is not yet amplified in this area.

可能性が高い。

中間規模東進波の励起源を特定するにはより詳しい解析を必要とするが、今回解析した事例では、南北風場の擾乱の方が先行しており、この波が力学的不安定など、ジェットそのものに伴って生じている可能性が高いことを示している。

5. 結 論

大気循環モデルでシミュレートされた中間規模東進波の振幅の分布、特に、速度場擾乱とジオポテンシャルハイト場擾乱の分布の広がりの違いを解析することによって、以下の結論を得た。

1. 速度場の擾乱の方がジオポテンシャルハイト場擾乱より先行して、西の方からその振幅が大きくなりはじめている。
2. この結果は、中間規模東進波が加熱よりも流れの不安定性などを励起源としている可能性が高いことを示唆する。

ただし、以上の結論は2つの物理量の擾乱の分布から間接的に推測したものであり、今後は、より直接的に中間規模東進波の発生時における励起過程を調べていく必要がある。

謝 辞

本研究のシミュレーションには CCSR/NIES 大気循環モデルを使用させて頂きました。開発者の方々に感謝

致します。論文中の図を描くのに NCARG ライブラリー
を用いました。

参考文献

- 1) Sato, K., Eito H. and Hirota I.: Medium-scale traveling waves in the extratropical upper troposphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, **71**, 427-436 (1993).
- 2) Sato, K., Yazawa H. and Matsuno T.: Trapping of the medium-scale waves into the tropopause, *Rosby-100 Symp., Vol. II*, Stockholm, Sweden, Stockholm University, 302-304 (1998).
- 3) Yamamori, M., Sato K. and Hirota I.: A study on seasonal variation of upper tropospheric medium-scale waves over East Asia based on regional climate model data, *J. Meteor. Soc. Japan*, **75**, 13-22 (1997).
- 4) 伊ヶ崎 英雄: 大気大循環モデルを用いた中間規模東進波に関する研究, 九州大学大学院総合理工学府大気海洋環境システム学専攻修士論文, pp.35 (2001).
- 5) 伊ヶ崎 英雄, 伊賀 啓太: 大気大循環モデルを用いた中間規模東進波の研究, 2001 年日本気象学会春季大会講演予稿集 P315, 389 (2001).
- 6) 重久 陽亮, 松野 太郎: 加熱源による上層 Eady モードの励起, 1999 年日本気象学会春季大会講演予稿集 C161, 125 (1999).
- 7) 児玉 安正, 高橋 美奈子, 江川 普子, 中井 専入: GMS 赤外雲画像にみられる中間規模東進波, 2000 年日本気象学会秋季大会講演予稿集 C369, 221 (2000).
- 8) Sato, K., Yamada K. and Hirota I.: Global characteristics of medium-scale tropopausal waves observed in ECMWF operational data, *Mon. Wet. Rev.*, **128**, 3808-3823 (2000).