

# 局所的ロスビー波束の鉛直伝播による 対流圏成層圏間の局所的な力学結合

西井和晃(東京大学理学系研究科)  
中村尚(東京大学理学系研究科)

## 1.はじめに

プラネタリー波の上方伝播は、冬季の中高緯度地方の対流圏成層圏間の力学結合にとって重要なプロセスの一つである。プラネタリー波に関する多くの研究においては伝統的に擾乱は東西平均場からのずれとして定義され、波の鉛直、南北方向の伝播と、東西平均流との相互作用が主に着目され研究されてきた。この研究においては、東西方向に伝播する局所的なロスビー波束を強調するために上記の伝統的な枠組みとは異なり、擾乱を時間平均場からのずれによって定義した。この様に擾乱を捉えることにより、対流圏から伝播してきた成層圏のロスビー波束の源を、もし存在するならば、対流圏の局所的な循環偏差に求めることが可能になる。この枠組みを用いた研究としてはRandel (1988) があげられ、南半球冬季において対流圏から成層圏へ伝播する波束を一点相関関数の手法を用いて示した。我々の研究においてはNakamura and Honda (2002) で行われた様に、基本場の東西非一様性を考慮して、南半球の1997年冬季における季節内変動について事例解析を行った。

## 2. データと解析手法

データはNCEP/NCARの再解析データを用いた。移動性擾乱の変動の寄与を取除くために8日間の低周波フィルターを施した。また31日間の移動平均場を差し引くことにより、季節内変動をする偏差場を得た。この偏差場は準定常のロスビー波に伴う変動と考えられる。そしてこの波は31日間の移動平均場を基本場として伝播すると考えられる。波動の伝播を調べるためにTakaya and Nakamura (2001) によって定義される波の活動度フラックスを用いた。このフラックスは東西非一様場中を伝播する定常ロスビー波の群速度に3次的に平行であり、また波の位相に依存しない。そして、波の伝播の基本場依存性を評価するためにいわゆる屈折率を求めた。この屈折率はKaroly and Hoskins (1982) において東西一様場で定義されたものを東西非一様場に拡張して定義したものである(Nishii and Nakamura 2004)。この屈折率の局所的な極大はそこで西風が十分大きいときに、基本場の局所的な導波管構造に対応していると考えられる。

## 3. 1997年8月の準定常な地表低気圧の発達

1997年8月の8日から10日にかけて大規模で準停滞性の地表低気圧がオーストラリアの南の南極沿岸で発達し、中心気圧は950 hPaまでに達した(図1)。また、この低気圧は対流圏で発達中の順圧的な低気圧性偏差の一部であった(図2)。この低気圧性偏差の発達中には上流側からのロスビー波の伝播は顕著ではなく、移動性擾乱の渦度輸送による高度場への強制も十分発達するまでは顕著でなかった。同時期に、この対流圏の低気圧性偏差の上流にあたるインド洋上空の下部成層圏において、局所的な高気圧性の循環偏差が存在し、この高気圧性偏差から対流圏の低気圧性偏差へ波の活動度フラックスが下向きに流入していた(図3)。このことはロスビー波束が下部成層圏の高気圧性偏差から下向きに伝播し、対流圏の低気圧

性偏差を発達させたことを示唆している。この時、下向き伝播がみられた領域において位相線は高度とともに東に傾き、ロスビー波が下向きに伝播していたことと無矛盾である(図4)。

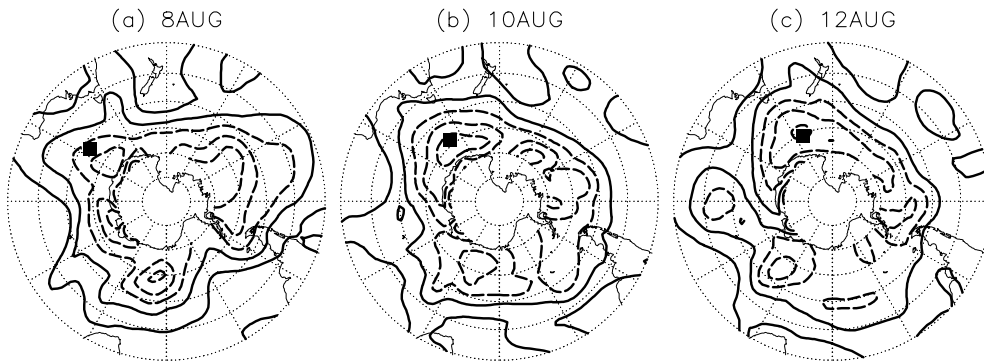


図1: それぞれ、1997年8月、(a)8日、(b)10日、(c)12日の時間フィルターを施していない、海面気圧。実線は1050 hPa、1020 hPaであり、破線は960 hPa、975 hPa、990 hPaを表す。四角の点是对流圏上層の低気圧性偏差の中心。

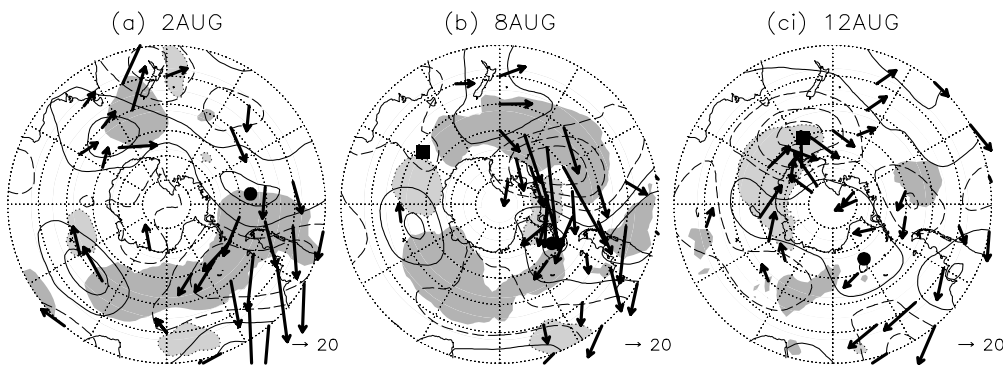


図2: それぞれ1997年8月(a)2日、(b)8日、(c)12日の低周波フィルターを施した、400 hPa面のジオポテンシャル高度場偏差(等値線:  $\pm 50$ ,  $\pm 150$ ,  $\pm 250$  m)と対応する波活動度の水平フラックス(矢印)の図。実線と破線はそれぞれ、高気圧性と低気圧性の偏差を表す。フラックスのスケールは図の右下に表し、単位は  $m^2/s^2$  である。濃い影と薄い影はそれぞれ150 hPa面における上向きと下向きの波活動度フラックスの  $0.02[m^2/s^2]$  より大きな領域を表す。

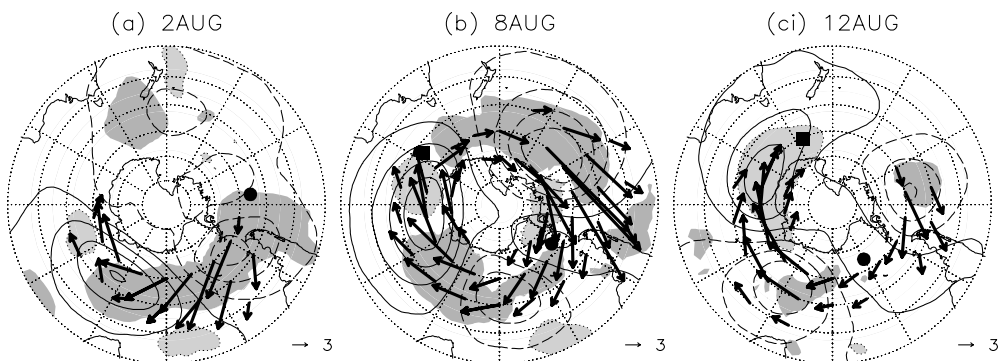


図3: ジオポテンシャル高度(等値線:  $\pm 60$ ,  $\pm 180$ ,  $\pm 300$ ,  $\pm 420$  m)と波活動度フラックスが50 hPa面であること以外は図2と同様。

下向きに伝播したロスビー波の波源となった成層圏の高気圧性偏差は、下部成層圏を伝播す

るロスビー波束の先端に位置している。このロスビー波束は極夜ジェットの最大域に沿って東向きに伝播しており、また、ドレーク海峡上の対流圏で発達していた高気圧性偏差を波源としていることが、上向きフラックスの分布から分かる。極夜ジェットの最大域はロスビー波にとっての導波管構造となっていることが屈折率の分布から示唆されている(図5)。圏界面より下では屈折率が局所的に極小になっており、導波管構造がなくなっている。これは対流圏の亜寒帯ジェットが赤道側にずれていることに対応すると考えられる。これらの解析結果により、8月の初めにドレーク海峡上で発達した、対流圏の高気圧性偏差から、局所的な波の活動度フラックスが下部成層圏へ入射し、そこで極夜ジェット中を東西に伝播するロスビー波束を形成した。そして極夜ジェットの最大の出口にあたる波束の先端で、対流圏への下向き伝播する波の活動度フラックスが存在し、この入射を受けて地上低気圧を伴う低気圧性偏差が対流圏で発達したと考えられる。

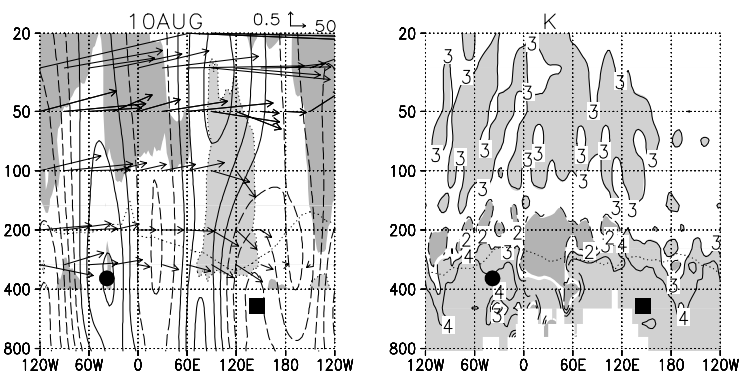


図4(左): 1997年8月10日南緯60度における高度場偏差場(等値線:  $\pm 30, \pm 90, \pm 150, \pm 210$  m)とそれに伴う波活動度フラックスの東西高度断面図(矢印:  $m^2/s^2$  矢印のスケールは図の右上に示す。濃い影と薄い影はそれぞれ上向きと下向きの、気圧で標準化されたフラックスを表す。ただしそれぞれ、 $0.2 m^2/s^2$  を超える領域のみを示す。点線は圏界面を表す。  
 図5(右): 1997年8月10日を中心とする1ヶ月平均場を元に作成した、定常ロスビー波に対する屈折率( $\kappa_s$ )の南緯60度における東西高度断面図。屈折率は緯度60度での東西波数によって規格化している。薄い影は  $\kappa_s > 3$  かつ  $U > 25 m/s$  の領域を表し、導波管構造を示している。また、濃い影は  $\kappa_s < 2$  の領域を示す。点線は圏界面を示す。

#### 4. 議論とまとめ

この研究で用いたWKB近似の確かさは先験的には検証することができない。しかし、それぞれこの近似を用いて導出した波の活動度フラックスと屈折率の分布は良い一致をすることから、この近似の確かさが後験的に確認できる。この事例解析で示した対流圏と成層圏の間の上向きと下向きの波の活動度フラックスの伝播の事例は1997年の冬から春にかけてしばしば見られる。対流圏からのフラックスの上向き伝播はしばしば東西方向に伝播するロスビー波束を形成する。上向きに対しては事例が少ないが、下向きフラックスもまた存在し、極夜ジェットの出口かその直下にあたる、インド洋の東や、オーストラリアの南に特によく見られる、これらの領域は、7月中旬から8月中旬にかけて、時間平均場でみても圏界面付近の高度で下向きフラックスが見られた。ロスビー波束が対流圏成層圏間を鉛直伝播する導波管構造(煙突構造)は東西方向に局所的に存在して、極夜ジェットと亜寒帯ジェットの上下の重なりに対応している。この煙突構造を現実的に再現することが、中長期予報モデルにおける大規模低気圧や、ブロッキング高気圧の予報にとって重要であると考えられる。

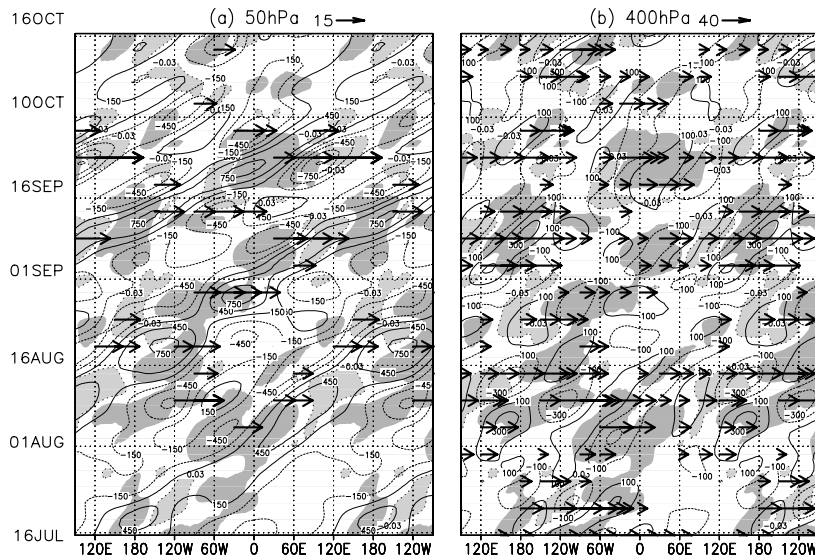


図6: 1997年7月16日から10月16日の期間の、南緯55度から60度で平均をとった高度場の偏差場とそれに伴う東向きの波活動度フラックスの時間経度断面図。(a)は50 hPaで(b)は400 hPa。実線と破線はそれぞれ高度偏差場の正と負を表し、(a)では $\pm 150, \pm 450, \pm 750, \pm 1050, \pm 1350$  mで(b)では $\pm 100, \pm 300, \pm 500$  mである。

#### 参考文献

- Karoly, D. J., and B. J. Hoskins, 1982: Three dimensional propagation of planetary waves. *J. Meteor. Soc. Japan*, **60**, 109-123.
- Nakamura, H. and M. Honda, 2002: Interannual seesaw between the Aleutian and Icelandic lows. Part III: Its influence upon the stratospheric variability. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 1051-1067..
- Nishii, K. and H. Nakamura, 2003: Upward and downward propagation of quasi-stationary Rossby wave trains across the tropopause: A new aspect of the troposphere-stratosphere linkage. *Quart. J. Meteor. Soc.*, *submitted*.
- Nishii, K. and H. Nakamura, 2004: Lower-stratospheric Rossby wave trains in the Southern Hemisphere: A case study for the late winter. *Quart. J. Meteor. Soc.*, *in press*.
- Randel, W. J., 1988: The seasonal evolution of planetary waves in the Southern Hemisphere stratosphere and troposphere. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **114**, 1385-1409.
- Takaya, K. and H. Nakamura, 2001: A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasi-geostrophic eddies on a zonally basic flow. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608-627.