

日本気象学会誌 気象集誌  
(Journal of the Meteorological Society of Japan)

「成層圏・対流圏結合」特集号

第80巻 第4B号 2002年9月 目次と要旨

レビュー論文

Theodore G. SHEPHERD: 成層圏-対流圏結合の諸問題 .....769-792  
R. Alan PLUMB: 成層圏における輸送 .....793-809  
余田成男・田口正和・内藤陽子: 対流圏-成層圏結合系の時間変動に関する数値実験 .....811-830

原著論文

Karen H. ROSENLOF: HALOE の水蒸気とメタンの測定から推測される輸送の変化 .....831-848  
William J. RANDEL, Fei WU, and Richard STOLARSKI: 成層圏の EP フラックス  
と相関のあるコラムオゾンの変化 .....849-862  
D. RIND, P. LONERGAN, N. K. BALACHANDRAN, and D. SHINDELL:  
二酸化炭素倍増と太陽活動変動が波-帯状流相互作用を通して  
対流圏に及ぼす影響 .....863-876  
渡辺真吾・廣岡俊彦・宮原三郎: GCM 中の大気大循環と極域成層圏オゾン減少  
の年々変動 .....877-895  
塩谷雅人・藤原正智・長谷部文雄・橋爪 寛・Holger VÖMEL・Samuel J. OLTMANS・  
渡邊朝生: 赤道東太平洋におけるオゾンゾンデ観測—照洋丸による調査— .....897-909  
A. GETTELMAN and P. M. de F. FORSTER: 熱帯対流圏界層の気候学 .....911-924  
津田敏隆・Klemens HOCKE: GPS 掩蔽データを用いた成層圏における温度変動の  
鉛直波数スペクトルの解析 .....925-938  
John F. SCINocca: 非地形性重力波ドラッグのパラメタリゼーションにおける  
反射の効果 .....939-962  
Karin LABITZKE: 成層圏における11年太陽黒点周期のシグナル: 北半球と  
南半球の夏の違い .....963-971  
黒田友二・小寺邦彦: 冬季南北半球における太陽活動の極夜ジェット振動に  
及ぼす影響について .....973-984  
内藤陽子: 南半球の極夜ジェットの減速に対する QBO の影響についての惑星規模波解析 .....985-995  
Darryn W. WAUGH and Ping-Ping RONG: 下部成層圏の北半球極渦の減衰  
に見られる年々変動 .....997-1012  
日尾泰子・廣田 勇: 冬季南半球成層圏プラネタリー波の年々変動 .....1013-1027  
Huang-Hsiung HSU and Shu-Ping WENG: 冬季成層圏南極季節内振動 .....1029-1050  
中村 尚・本田明治: アリュेशन・アイスランド両低気圧間のシーソー現象. 第3部:  
その成層圏循環への影響 .....1051-1067  
稲津 将・向川 均・謝 尚平: 熱帯域や中高緯度域の海面水温分布が中緯度  
ストームトラックに及ぼす影響 .....1069-1076

田口正和・余田成男：簡略化した全球循環モデルを用いた環状変動に関する  
 パラメータ走査実験 .....1077-1088

荒井美紀・向川 均：擾乱によるブロッキング現象の維持機構の有効性について .....1089-1102



**Theodore G. SHEPHERD：成層圏-対流圏結合の諸問題**

Theodore G. SHEPHERD：Issues in Stratosphere-Troposphere Coupling

成層圏と対流圏の結合に関する今日的な諸問題を概観する。対流圏界面領域、より一般に上部対流圏・下部成層圏は、大気物質交換が起こる直接接触の領域である。波動による角運動量輸送を通じた力学的結合は非局所的に生じ、普通、成層圏域に負のトルクを与え、赤道から極に向かう循環（すなわち地球の自転軸に近づく流れ）を駆動する。この波動に駆動される循環は、中高緯度域成層圏の季節内変動・年々変動の基本的メカニズムである。そのような変動は一般に力学的な原因によるが、重要な化学的および放射的フィードバックが存在する。対流圏界面の位置は、比較的短寿命の温室効果気体（オゾンと水蒸気）の分布に対する影響を通して、気候に対する放射強制と密接に関連している。ここでは今日的な理解の中で未解決の難問が何であるかを確認する。とくに、考えうる気候に敏感な要素に焦点をあてて、それらがどのように確かめられ、束縛されうるかをみる。放射・化学・力学が完全に相互作用する大循環モデルである、カナダ中層大気モデル（CMAM）で得られた結果を使って、これらのポイントのいくつかを説明する。

成層圏と対流圏の結合に関する今日的な諸問題を概観する。対流圏界面領域、より一般に上部対流圏・下部成層圏は、大気物質交換が起こる直接接触の領域である。波動による角運動量輸送を通じた力学的結合は非局所的に生じ、普通、成層圏域に負のトルクを与え、赤道から極に向かう循環（すなわち地球の自転軸に近づく流れ）を駆動する。この波動に駆動される循環は、中高緯度域成層圏の季節内変動・年々変動の基本的メカニズムである。そのような変動は一般に力学的な原因によるが、重要な化学的および放射的フィードバックが存在する。対流圏界面の位置は、比較的短寿命の温室効果気体（オゾンと水蒸気）の分布に対する影響を通して、気候に対する放射強制と密接に関連している。ここでは今日的な理解の中で未解決の難問が何であるかを確認する。とくに、考えうる気候に敏感な要素に焦点をあてて、それらがどのように確かめられ、束縛されうるかをみる。放射・化学・力学が完全に相互作用する大循環モデルである、カナダ中層大気モデル（CMAM）で得られた結果を使って、これらのポイントのいくつかを説明する。

**R. Alan PLUMB：成層圏における輸送**

R. Alan PLUMB：Stratospheric Transport

成層圏における輸送過程の理解は、成層圏力学の理解が深まるのと相まって改善されてきたし、また、成層圏での各種トレーサの分布やトレーサ間の相互関係を遠隔・現場観測した結果の蓄積により深まってきた。成層圏は4つの領域に分かれていると考えればよい。すなわち、夏半球、熱帯、冬の中緯度「砕波帯」、冬の極渦の4領域である。成層圏における輸送は、非断熱的な平均循環（熱帯で上昇し、砕波帯や極渦内で下降する循環）と、特に、砕波帯でのすばやく断熱的

な攪拌とによって支配されている。これらの特性がトレーサの全球分布を決め、トレーサ間の相互関係を決定している。これらの過程の理解は随分深まってきたにも関わらず、多くの化学輸送モデルは成層圏における輸送をシミュレートする上で依然として大きな問題点をかかえている。それは、成層圏大気の「年齢」がモデルでは小さめに見積もられる傾向からも明らかである。

**余田成男・田口正和・内藤陽子：対流圏-成層圏結合系の時間変動に関する数値実験**

Shigeo YODEN, Masakazu TAGUCHI, and Yoko NAITO：Numerical Studies on Time Variations of the Troposphere-Stratosphere Coupled System

ある気象要素の経年変動とは、気候学的な一年周期変動からの偏差として定義される年々の変動である。経年変動は大気循環システムの外部強制の変動によっても引き起こされるし、また、システムの内部で引き

起こされる。他方、季節内変動とは季節の時間スケール以下の長期変動であり、基本的には外部条件が一定でも存在しうる内部変動と考えられる。

この論文では、極域成層圏の季節内変動・年々変動

に関する観測的事実を紹介し、そのような変動を理解するための階層的な数値モデル群の利用について系統的なレビューを行う。数値モデルはその複雑さによっておよそ3つの階層に分けることができる。すなわち、簡単な低次モデル、中間の循環力学モデル、複雑な大循環モデルである。成層圏の時間変動を理解するために、対流圏に「従属した成層圏変動」あるいは「独立した成層圏変動」の仮定のもとで、これらの階層の成層圏モデルが用いられてきた。このようなモデル群での複雑な解の挙動を理解する上で、「パラメータ走査実験」は強力な手段である。パラメータ走査実験とは、実験パラメータの値を少しずつ変えて多数回の計算を繰り返し、解のパラメータ依存性を調べる実験である。

最近になって、成層圏の季節内変動・年々変動において対流圏と成層圏の結合した変動が重要であると指摘され始めた。我々は、対流圏-成層圏結合変動を理解するために、簡単モデルや複雑モデルを用いた数値実験に加えて3次元循環力学モデルを用いたパラメータ走査実験を行っている。結合系の内部変動に焦点を絞るためには、経年変動を起こしうる外部強制の影響のすべてを除外した数値実験を行えばよい。そのような実験で得られた季節内変動・年々変動は、ある現実的なパラメータ領域で現実大気に似た変動の特徴を示す。また、たとえ強制振幅が小さくても重要かもしれない外部強制の経年変動の役割についても議論する。

### Karen H. ROSENLOF : HALOE の水蒸気とメタンの測定から推測される輸送の変化

Karen H. ROSENLOF : Transport Changes Inferred from HALOE Water and Methane Measurements

この論文では1992年4月から2001年4月の期間の水蒸気とメタンの変化について議論する。 $2 \times \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$  が全球的に増加しているのは明らかであるが、10から100 hPaの間では顕著な空間構造が存在する。上部成層圏では逆相関係にあるメタンの減少と水蒸気の増加が明瞭に見られる。これは上部対流圏への質量フラックスが少なくなっていることと、同時に10 hPaより上での滞留時間が増加していることと関連している。メタンの地表付近での増加よりも大きいこの増加

は説明が難しい。ひとつの可能性としては、熱帯での上昇流域の拡大と関連して、中部および上部成層圏への水蒸気フラックスが変化していることがあげられる。もうひとつの可能性は、夏と冬の正味の上昇流の比の変化である。さらに解析期間の最初の3年については、多くの高さで同時的に偏差が大ききようである。これはデータ期間のはじまりで鉛直混合が強化されたためと推測される。

### William J. RANDEL, Fei WU, and Richard STOLARSKI : 成層圏の EP フラックスと相関のあるコラムオゾンの変化

William J. RANDEL, Fei WU, and Richard STOLARSKI : Changes in Column Ozone Correlated with the Stratospheric EP Flux

対流圏から成層圏へのプラネタリー波強制の変動は、成層圏のブリュワードブソン循環および渦混合の変動により、オゾン輸送の変化にもあらわれる。この研究では、1979年から2000年までの月平均データを用いて、コラムオゾンの時間変化傾向と下部成層圏に入るプラネタリー波のエリアッセン-パーム (EP) フラックスとの相関の時空間パターンを調べる。両半球ともに冬から春のあいだ強い相関があり、熱帯と中高緯度で逆位相のオゾン変化をする。春季の極域のオゾンは、

南北両極とも波強制に強く影響されている。オゾンの時間変化傾向と波強制の相関は、観測された EP フラックスの変動と結び合わされて、10年スケールの北半球オゾントレンドに対する力学的な寄与が見積られる。これらの計算によると、過去20年にわたって北緯35-60度で観測されたコラムオゾンのトレンドの約20-30%が EP フラックスの年々変動に依ることが示唆される。

### D. RIND, P. LONERGAN, N. K. BALACHANDRAN, and D. SHINDELL : 二酸化炭素倍増と太陽活動変動が波-帯状流相互作用を通して対流圏に及ぼす影響

D. RIND, P. LONERGAN, N. K. BALACHANDRAN, and D. SHINDELL :  $2\times\text{CO}_2$  and Solar Variability Influences on the Troposphere Through Wave-Mean Flow Interactions

様々な気候強制は、プラネタリー波の対流圏からの伝播に影響することにより、対流圏内のプラネタリー波の力学に影響を及ぼしようと考えられている。しかし、この伝播パターンは対応する帯状流の変化の詳細に敏感に依存している。本論文では、帯状流を変化させ、その結果対流圏の応答を変化させる2つの強制メカニズムを考える。すなわち、大気中の二酸化炭素濃度の変化、および、QBOと結合した太陽強制である。大気中の二酸化炭素濃度の増加は、プラネタリー波の屈折に影響し、亜熱帯下部成層圏域の残差子午面循環を強化させる（それは対流圏物質の成層圏への輸送を増加させる）ことが示される。我々の大気大循環モデル実験では、この低緯度の応答は、熱帯域の温暖化の度合にあまりよらず、定性的には再現され易い。もっとも、子午面循環の定量的な変化は、積雲対流と雲量の変化によって影響を受けた熱帯域の温暖化の度合に依存している：熱帯域の温暖化が三倍になれば子午面循環は三倍変化する。高緯度域では、このようなプラネタリー波の赤道向屈折が極域振動(AO)インデックスの正の位相の増加につながっている。モデル実験で

は、中・高緯度域の応答が対流圏の低緯度および高緯度の両領域での温暖化の度合に依存している。海面温度と海氷の変化は、ハドレー循環の弱化と高緯度温暖化の増大をもたらし、AOの位相変化が負になる可能性がある。

QBOは成層圏の帯状流の緯度勾配を変化させ、太陽加熱はオゾンの応答とともに帯状風の鉛直勾配を変化させる。これらの勾配は、熱帯域の東風/西風と太陽活動の極大/極小のそれぞれの組み合わせに対して、プラネタリー波の屈折特性に固有の影響を及ぼす。太陽活動の極小期に対比して極大期を考えると、我々のモデルでは、QBOの東風期(西風期)にはAOインデックスが相対的に高い(低い)状態となり、それと対応する温度変化となる。異なるQBO位相での太陽活動周期の極大極小間で計算された地表面大気温度の変動は、観測結果もモデル結果もともに、月平均データのAOへのリグレッションから得られる変動の大きさと同程度であり、ともに観測される年々変動のオーダーである。

### 渡辺真吾・廣岡俊彦・宮原三郎 : GCM中の大気大循環と極域成層圏オゾン減少の年々変動

Shingo WATANABE, Toshihiko HIROOKA, and Saburo MIYAHARA : Interannual Variations of the General Circulation and Polar Stratospheric Ozone Losses in a General Circulation Model

大気大循環および極域成層圏オゾン減少の年々変動について、九州大学で開発された大気大循環モデル(GCM)を用いて調べた。このGCMには簡略化されたオゾン光化学が導入され、放射場-力学場と相互作用を行うように結合されている。極域オゾン減少は、パラメタライズされたオゾン破壊項で表す。このモデルを用いて、北極・南極域で成層圏オゾン破壊を生じる「オゾン減少実験」と、そうしたオゾン破壊を伴わない「標準実験」を、それぞれ連続50年間行った。

オゾン減少実験の結果には、大気大循環と極域オゾン減少の大きな年々変動が見られた。それらは、とりわけ北半球の冬季から春季に顕著だった。成層圏-対流

圏結合年々変動は、力学的条件(例えば極渦の強さやプラネタリー波の活動度)のみならず、力学場とオゾン減少過程の相互作用メカニズムによっても生じていた。その結果、成層圏大気大循環の年々変動は、標準実験のものよりも大きくなった。さらに、晩春には、成層圏極夜ジェットの影響が対流圏にまで広がった。力学場の3次元的な年々変動パターンは、北極振動とよく一致していた。

一方、南半球に関しては、極夜ジェットに支配されるオゾンの子午面輸送と、極域下部成層圏の紫外線加熱との間に、顕著な相互作用が存在することが明らかになった。例年に比べて強く寒冷な極渦は、極域のオ

ゾン量を少なくさせる。それは、紫外線加熱の減少と低温をもたらすとともに、温度風の関係を通じて極渦自体を強化させる。その結果、標準実験においても、

極域下部成層圏のオゾン場・温度場の年々変動は、オゾン減少実験のそれと比較し得るほど大きくなった。

### 塩谷雅人・藤原正智・長谷部文雄・橋爪 寛・Holger VÖMEL・Samuel J. OLTMANS・渡邊朝生：赤道東太平洋におけるオゾンゾンデ観測—照洋丸による調査—

M. SHIOTANI, M. FUJIWARA, F. HASEBE, H. HASHIZUME, H. VÖMEL, S. J. OLTMANS, and T. WATANABE : Ozone-sonde Observations in the Equatorial Eastern Pacific—the Shoyo-Maru Survey—

赤道東太平洋において、観測船「照洋丸」からGPSラジオゾンデとオゾンゾンデ観測を実施した。これらの観測は、Soundings of Ozone and Water in the Equatorial Region (SOWER)/Pacific missionの一環として、1999年9月から10月にかけておこなわれた。平均的なオゾンの鉛直分布は、赤道東太平洋に位置するガラパゴス諸島のサンクリストバル (0.9 S, 89.6 W) での乾期 (9-10月) のものと類似している。対流圏における平均オゾン量は約40 ppbvで、中部対流圏に極大値をもつ。インドネシアのワトコセ (7.5 S, 112.6 E) における乾期の平均鉛直分布と比べると、この中部対流圏における極大値は照洋丸のものの方が大きく、対流圏界面より下に見られるオゾンの急激な増

加は照洋丸のものの方がより低い高度からはじまる。われわれは、オゾンと水蒸気とが逆相関となっている層をしばしば観測した。これらの層は、数kmから数百mの鉛直スケールを持っている。これらの層の水平スケールはおよそ1000kmで、船が1日に約500km進むことを考えると、その時間スケールは約2日に対応するともいえる。これらの層は北風と関連しており、航路の北側に位置する熱帯収束帯からの湿ってオゾンの少ない空気塊が運び込まれていると考えられる。同様の層構造はサンクリストバルやワトコセにおける乾期のオゾンデータにも見られ、このことは鉛直混合されないまま移流してきた大気層が存在することを示唆している。

### A. GETTELMAN and P. M. de F. FORSTER : 熱帯対流圏界層の気候学

A. GETTELMAN and P. M. de F. FORSTER : A Climatology of the Tropical Tropopause Layer

熱帯の対流圏界層 (TTL : tropical tropopause layer) は対流圏と成層圏の間の遷移領域である。この研究では TTL の鉛直方向の広がりについて、熱帯域におけるラジオゾンデとオゾンゾンデのプロファイルを使って調べ、この層の気候学について示す。また、TTL における放射バランスについても特徴を明らかにする。TTL は10-12 km 付近の気温減率が極小となる高度から16-17 km 付近の温度極小の対流圏界面 (CPT : cold point tropopause) の間に広がる領域として局所的に定義される。気温減率の極小は、対流の気温プロファイルに対する影響が最大となる高度をあらわし、オゾンが最小となる高度と密接に対応していることが知られる。この高度の変化は、衛星から測定した輝度温度と外向き長波放射 (OLR) によって見積もられる対流活動と関連している。温度極小点におい

て、TTL の高さは熱帯全域でほぼ一様であり、顕著な年周期を示す。TTL の下端の高度は地域的に変動している。TTL の年々変動は、たとえばエルニーニョ-南方振動 (ENSO) などにもなる対流活動の大規模な組織化された変動によって引き起こされる。過去40年にわたる記録によると、温度極小で定義される対流圏界面と温度減率が極小となる高さは (200-400 m) 増加している。TTL 内の鉛直輸送についてより詳しく理解するため、精巧な放射伝達スキームを用いて晴天放射加熱率を調べた。放射加熱がゼロとなる高度は CPT の約1 km 下にあり、このことは、空気が最終的に成層圏に入るとすると、対流によって TTL の下端から4-5 km 空気を持ち上げる必要があることを意味している。

### 津田敏隆・Klemens HOCKE : GPS 掩蔽データを用いた成層圏における温度変動の鉛直波数スペクトルの解析

Toshitaka TSUDA and Klemens HOCKE : Vertical Wave Number Spectrum of Temperature Fluctuations in the Stratosphere using GPS Occultation Data

米国が小型の低軌道衛星を用いて1995-1997年に行ったGPS掩蔽実験(GPS/MET)により収集されたデータを用い、独自のデータ解析ソフトウェアを用いて成層圏における微細な温度変動の高度プロファイルを解析した。特に良質のデータが得られた1995年6-7月、1995年10月および1997年2月の3期間について、成層圏における正規化された温度変動( $T'/T$ )の鉛直波数スペクトルを求めた。低緯度の高度20-30 kmで得られたスペクトルは、同時期にインドネシアで行われたラジオゾンデ観測の結果と、鉛直波長400 m程度の小さなスケールまで良く一致した。また、高波数にお

いてスペクトル密度が波数の-3乗に従って変化しており、飽和重力波を仮定したモデルと矛盾しない。3期間について、高度20-30 kmおよび30-40 kmにおいてスペクトルを緯度帯毎に求めた。全般にスペクトル形状はモデルと一致したが、エネルギー密度には緯度変化が認められた。観測されたスペクトルを波数について積分し、単位質量あたりの波動エネルギー(有効位置エネルギー)を求めたところ、赤道域で波動エネルギーが大きく増大しており、その傾向は高度20-30 kmで顕著であった。

### John F. SCINOCCA : 非地形性重力波ドラッグのパラメタリゼーションにおける反射の効果

John F. SCINOCCA : The Effect of Back-Reflection in the Parameterization of Non-Orographic Gravity-Wave Drag

Warner and McIntyreの非地形性非静水圧慣性重力波に伴うドラッグのパラメタリゼーションに対して、1つの効率の良い解法を開発した。回転と非静水圧効果を含む波力学を考慮した非地形性重力波ドラッグのパラメタリゼーションにおいて、この高速な手法により、初めて複数年の気候シミュレーションが可能となった。また、カナダの中層大気モデルにおいては、組み込み可能な二つの静水圧非地形性重力波ドラッグパラメタリゼーションのどちらを使った場合でも起こる中層大気風のバイアスの多くを緩和することもわかった。

非静水圧過程の1つである波の反射効果を加えることは、パラメタリゼーションスキームによって成層圏に入る運動量フラックス量に重要なインパクトをも

つ、この過程は自由に設定されるパラメータとなっており、時間や地理的な位置に無関係に与えられる。しかしながら、実際に成層圏に入る正味の運動量フラックスは、中層大気風の風や温度の季節及び緯度変化の結果、系統的な季節的、緯度的な変動を示す。これは、冬と夏の成層圏に入る正味の運動量フラックスの緯度分布の特徴に影響する。とくに中間圏ジェットを減速する方向に働く、中高緯度で入る運動量フラックスは反射により75%程度まで減少する。しかしながら、熱帯で成層圏に入る運動量フラックスは反射による影響は比較的小さい。これは大循環モデルにおける半年振動や準2年周期振動などの熱帯振動の駆動に対して重要な意味がある。

### Karin LABITZKE : 成層圏における11年太陽黒点周期のシグナル : 北半球と南半球の夏の違い

Karin LABITZKE : The Solar Signal of the 11-Year Sunspot Cycle in the Stratosphere : Differences between the Northern and Southern Summers

11年太陽黒点周期に起因すると考えられる成層圏に

おける高度場と温度場の変化の大きさに関し、特に夏

の季節に注目して議論する。そのシグナルは北半球の夏の季節に一貫して強く、南半球の夏(1, 2月)には弱い。この時期、北半球の冬は力学的に大変乱れており、太陽黒点周期の全球的なシグナルはQBOによる変調を受けている。

この論文は初期の研究により強固な根拠を与え、GCMを使って太陽活動にともなうシグナルを再現しようとするモデラーのコミュニティに対して、比較のための定量的な指標を与えるものである。

### 黒田友二・小寺邦彦：冬季南北半球における太陽活動の極夜ジェット振動に及ぼす影響について

Yuhji KURODA and Kunihiko KODERA : Effect of Solar Activity on the Polar-night Jet Oscillation in the Northern and Southern Hemisphere Winter

冬季における極夜ジェット振動(PJO)の太陽黒点周期による変調効果を1979年から1999年までの観測データで調べた。南北両半球の亜熱帯上部成層圏で共通して紫外線加熱が子午面方向で異なることに起因する東西風、E-Pフラックスの偏差が初冬に現われる。そして、この東西風の偏差は両半球ともに季節進行と共に極向き下向きに発達して伝播していく。このことから、

解析に用いたデータは限られているものの、太陽活動による信号は、初冬に太陽活動によって誘起されたPJOの時間進行として現われることが示唆された。晩冬における北半球と南半球の信号の違いは両半球間でのPJOの異なる特性によって説明される。南半球ではまた、太陽活動極大期に晩冬に有意な温度信号が現われる。

### 内藤陽子：南半球の極夜ジェットの減速に対するQBOの影響についての惑星規模波解析

Yoko NAITO : Planetary Wave Diagnostics on the QBO Effects on the Deceleration of the Polar-Night Jet in the Southern Hemisphere

南半球の成層圏-対流圏循環に対する赤道準二年周期振動(QBO)の影響における、惑星規模波の役割を調べるため、晩冬から春にかけての帯状平均帯状風とEliassen-Palm(EP)フラックスをQBOの西風相と東風相とに分けてコンポジット解析を行なった。

11月の下部成層圏での帯状風は、すでに示されるとおり、QBO西風相の年に比べて東風相の年の方が弱い。これは9月から10月にかけて、東風相の年の方がより急速に減速していることによる。このときEPフラックス収束はより大きく、対流圏からの上向きフラックスはより強く、成層圏での急速な減速と密接に関連していることが示された。また、上部対流圏の赤道向きフラックスはQBO西風相の方が強いという

ことも見出された。これらの結果は、回転体内部の大気の角運動量収支という観点で論じることができる。

対流圏から成層圏への上向きフラックスのコンポジット差においては波数1-3が卓越している一方、上部対流圏での赤道向きフラックスにおいては波数4-6が卓越している。両者のQBOコンポジット差の符号は相補的な関係になっていたが、ある特定の波成分がQBOによって活動度でなく伝播方向を変えられているという状況を考えてそのことを説明するのは妥当ではない、ということが卓越波数の違いから示唆される。むしろ、両方のスケールの波擾乱の活動度がめいめいQBOによって変えられているようにみえる。

### Darryn W. WAUGH and Ping-Ping RONG : 下部成層圏の北半球極渦の減衰に見られる年々変動

Darryn W. WAUGH and Ping-Ping RONG : Interannual Variability in the Decay of Lower Stratospheric Arctic Vortices

下部成層圏北半球極渦の年々変動を1958~2000年の

NCEP/NCAR再解析データを用いて調べた。極渦の

減衰における特徴には大きな年々変動が存在し、極渦崩壊の時期により大きく異なる特徴を示す。早期（2月～3月初め）の崩壊が起こる年には極渦の残骸は約2か月の間コヒーレントな渦位構造を持って生き残る。これに対し、晩期（4月遅くから5月）に崩壊が起こる年には、渦位の残骸は急速に消滅する。等値線移流計算による物質等値線の長さを用いて診断すると、極渦周りのかき混ぜの様子も早期と晩期に崩壊す

る年で対照的であることがわかった。早期に崩壊する年には、引き伸ばし率は冬季の大きな値から夏季の小さな値へと徐々に減少するのに対し、晩期に崩壊する年には、引き伸ばし率は晩春までほぼ一定であり、その後急速に減少する。これらのコヒーレントな渦構造の減衰、かき混ぜ効果の違いは、極渦内と周辺の中緯度の大気との混合が極渦早期崩壊年と晩期崩壊年とで大きく異なることを示唆している。

### 日尾泰子・廣田 勇：冬季南半球成層圏プラネタリー波の年々変動

Yasuko HIO and Isamu HIROTA : Interannual Variations of Planetary Waves in the Southern Hemisphere Stratosphere

南半球成層圏の準定常プラネタリー波は、北半球と異なって、真冬よりもむしろ晩冬（9月、10月）に最大の振幅を持つことが知られている。また、北半球成層圏波動が主としてヒマラヤ・ロッキーのような大規模山岳の効果により励起されると考えられているのに対し、大規模地形効果の弱い南半球では対流圏の非定常擾乱が励起源として作用する可能性が示唆されている。

本研究では、南半球における晩冬期のプラネタリー波について、最近の20年間（1979-1998）にわたる年々変動の特徴と上部対流圏循環、特に傾圧不安定波との関連をNCEP/NCAR再解析データを用いて統計的に調べた。

まず、準定常プラネタリー波動の変動の特徴を把握するため、10 hPaにおける月平均高度場についてEOF解析を行った結果、年々変動の特徴は主として東

西波数1成分の東西方向への位相変動と振幅の強弱で特徴づけられることが明らかとなった。

位相の東西変動は上部対流圏東西風の構造の変動とよい対応を示し、プラネタリー波の位相が西寄りの場合上部対流圏東西風は単一ジェット構造をとり、東寄りの場合は二重ジェット構造をとる傾向にある。また、波数別にEPフラックスを調べると総観規模スケールの波がその風系の違いを維持するように働いていることが示された。

一方、プラネタリー波の振幅の年々変動に伴い、成層圏東西風の風速だけではなく高緯度対流圏中層で惑星規模スケールの波のEPフラックス鉛直成分に顕著な違いが見られた。このことから成層圏プラネタリー波の振幅の変動は伝播性の違いだけではなくその励起段階での違いも重要であることが強く示唆された。

### Huang-Hsiung HSU and Shu-Ping WENG : 冬季成層圏南極季節内振動

Huang-Hsiung HSU and Shu-Ping WENG : Stratospheric Antarctic Intraseasonal Oscillation during the Austral Winter

イギリス気象局の成層圏客観解析データとTOMSオゾン全量データに基づき南半球成層圏の東向きに伝わる循環パターンが存在することを示した。季節内振動の時間スケールを持つこと、南半球高緯度に繰り返して現れることから、このパターンを成層圏南極季節内振動(SAIO)と呼ぶことにする。SAIOは波数1の構造を持ち、約30日で東向きに一周する（つまり周期は約30日）。この現象は上部対流圏から上部成層圏に広が

る深い鉛直構造をもち、振幅は5 hPaの高度レベル以下では高さと共に急激に増加、それより上では緩やかに減少する。パターンは5 hPaの高度レベル以下では鉛直に西に傾き、上では順圧的である。西に傾いた構造は東半球でより顕著である。この循環パターンとオゾン全量は密接に結びついており、オゾンホールへのSAIOの寄与が示唆される。

SAIOはジェット気流の外側の60 Eから東向きに90



W までの経度帯で活発であり、60 E から120 E までの経度帯で、エネルギーが平均流から順圧的かつ傾圧的に SAIO に変換されることにより、成長する。この領域以外では、SAIO は減衰し主に順圧プロセスによる平均流へエネルギーをフィードバックする。SAIO の波の活動度は南極の高い地形の下流側で、上部対流圏

から上部成層圏に向かって上向きに伝播する。この様子はおそらく、地形により励起されたプラネタリー波と捉えることができる。しかしながら、周期性はロスビー波の分散関係式では説明できない。考えられるメカニズムを議論する。

### 中村 尚・本田明治：アリューシャン・アイスランド両低気圧間のシーソー現象 第3部：その成層圏循環への影響

Hisashi NAKAMURA and Meiji HONDA : Interannual Seesaw between the Aleutian and Icelandic Lows. Part III : Its Influence upon the Stratospheric Variability

地上のアリューシャン・アイスランド両低気圧勢力間のシーソー現象の典型的な形成過程に伴う準停滞性の循環偏差の3次元構造を、過去30年間の再解析データを用いて調査した。解析に当っては、31日移動平均偏差場を東西非一様な気候平均の西風中を伝播する定常ロスビー波に伴うものと見なした。その結果、北太平洋のアリューシャン低気圧 (AL) 偏差からの遠隔影響としてアイスランド低気圧 (IL) の顕著な偏差が晩冬に形成され、主にそこからロスビー波の活動度が成層圏へと上方伝播することがわかった。なお、IL 偏差はちょうど下部成層圏の極夜ジェット入口の真下で発達している。ロスビー波の上方伝播に伴い、大西洋上空では気圧偏差は高度と共に増幅し、かつその位相は西に傾く。一方、北太平洋上空では、気候平均場において東西波数1成分の惑星波の存在によって極夜ジェットがあまりにも北偏しているため、AL 偏差の

影響が定常ロスビー波として上方伝播できないものと考えられる。

所謂「北極振動」あるいは「環状モード」が成層圏極渦の強さを変化させるのとは対照的に、AL・IL 両低気圧のシーソーの影響は成層圏惑星波の振舞を穏やかにではあるが変化させ、統計的に有意な循環偏差をもたらす。シーソーに伴い IL が強く AL が弱い晩冬には、下部成層圏で東西波数2成分が増幅して波数1成分を凌駕し、かつ極夜ジェットも強まる。反対に AL が強く IL が弱い晩冬には、下部成層圏で波数2成分が弱まって波数1成分に凌駕され、かつ極夜ジェットが弱まる。過去30年間に晩冬に起きた7つの大規模な成層圏突然昇温を調査したところ、両低気圧のシーソー関係の符号が、波数1・2どちらの惑星波成分が突然昇温時により重要な役割を担うかに若干の影響を与える可能性が示唆された。

### 稲津 将・向川 均・謝 尚平：熱帯域や中高緯度域の海面水温分布が中緯度ストームトラックに及ぼす影響

Masaru INATSU, Hitoshi MUKOUGAWA, and Shang-Ping XIE : Tropical and Extratropical SST Effects on the Midlatitude Storm Track

総観規模擾乱の活動性に対する海面水温分布 (SST) の東西変化の影響を、1月に季節を固定した水惑星の条件の下で、大気大循環モデルを用いて調べた。熱帯域の SST に東西変化がある場合、上部対流圏の東西風は大きな東西非対称性を示し、ストームトラックは西風が最大となる領域の下流に存在した。また、中緯度域だけで SST が経度方向に変化する場合に

は、上部対流圏の東西風はほとんど東西一様であるにもかかわらず、ストームトラックは SST の南北勾配が大きい領域で局在化した。後者の結果は、上部対流圏の西風の東西非一様性はストームトラックを経度方向に局在化させる効果を持つが、ストームトラックの局在化にとって必ずしも必須の要因ではないことを示唆している。

## 田口正和・余田成男：簡略化した全球循環モデルを用いた環状変動に関するパラメータ走査実験

Masakazu TAGUCHI and Shigeo YODEN: A Parameter-Sweep Experiment on the Annular Variability with a Simple Global Circulation Model

理想化された対流圏一成層圏結合系の低周波変動を環状変動の視点から調べた。永続的な冬の条件下での簡略化した全球循環モデルを用いた先の数値実験 (Taguchi et al., 2001) をより長時間 (10000モデル日) にわたり繰り返した。環状変動における強制惑星波の役割を調べるために、東西波数1の正弦波型の地表面地形の振幅  $h_0$  を0 m から1600 m まで変えて、15ランを実行した。

本パラメータ走査実験により環状変動の遍在性が明らかとなった。すなわち、第一経験的直交関数は全てのランにおいて強い東西対称成分を持つ南北のシーソーパターンを対流圏で示す。しかしながら本数値実験では、環状変動が詳細な空間構造や時間変動の点で地形振幅とともに定性的に変化することも明らかとなった；環状変動の性質は  $h_0$  により3つのレジームに分類される：レジーム (i)  $0 \text{ m} \leq h_0 \leq 300 \text{ m}$  では、環状変動はほとんど東西対称成分だけから成り、長い

時間スケールを持つ。レジーム (ii)  $400 \text{ m} \leq h_0 \leq 600 \text{ m}$  とレジーム (iii)  $700 \text{ m} \leq h_0 \leq 1600 \text{ m}$  では、環状変動は東西対称成分とともに東西波数1の東西非対称成分を示す。レジーム (ii) における時間変動は第一モードの時係数の小さい標準偏差と負の歪度によって特徴づけられる一方、レジーム (iii) では標準偏差は大きく、歪度は0に近い。

成層圏への環状変動のつながりも3つのレジーム間で異なっている。レジーム (i) では環状変動の痕跡は約20日の時間差で対流圏から成層圏にかなり浸透する一方、レジーム (ii) では対流圏に限られている。レジーム (iii) では、環状変動は約30日の時間差で成層圏突然昇温に至る。Thompson and Wallace (2000) が現実の南北半球における環状変動の強い類似性を指摘しているのとは対照的に、本結果はそれらが上記の点で異なっていることを示唆する。

## 荒井美紀・向川 均：擾乱によるブロッキング現象の維持機構の有効性について

Miki ARAI and Hitoshi MUKOUGAWA: On the Effectiveness of the Eddy Straining Mechanism for the Maintenance of Blocking Flows

ブロッキング現象が1週間以上にわたって維持されるメカニズムとして、Shutts (1983) が提唱した総観規模擾乱の変形に伴う eddy straining 効果の有効性について議論した。ここでは、Haines and Marshall (1987) (以下、HM) と同じく、順圧渦度方程式の非粘性定常解であるモドン解をブロッキングのモデルとした。ただし、南北剛体壁によるモドン解の変形を避けるために、数値計算に用いた  $\beta$ -チャンネルモデルのチャンネル幅を彼らの用いたその2倍とした。

解析的に求められるモドン解に相当する渦度強制を与えた場合、このモデルには一様な西風中で孤立構造を持つ2つの定常解が存在することがわかった。一つはモドン解と酷似した南北双極子構造を持つ「ブロッキング解」であり、もう一方は帯状風が卓越する「帯状解」である。次に、安定な定常解を基本場と仮定し、基本場の分流域のはるか上流で総観規模擾乱を模した

微小振幅の移動性擾乱を生成させた。この擾乱に伴うポテンシャル渦度 (PV) フラックスの収束発散によって励起される二次流れと基本場との類似性を調べることで、eddy straining 効果の有効性を検証した。

「ブロッキング解」を基本場としたとき、時間平均した擾乱に伴う PV フラックスの収束発散の分布は、HM の場合と同じで、基本場の分流域の上流側において、北と南で発散・収束する双極子構造を持っていた。しかし、計算された二次流れの場合は、モドン解の双極子構造を強化するという HM の結果とは異なり、基本場の双極子構造を下流に移動させるような四重極構造となった。基本場が「帯状解」の場合には、二次流れの場が弱い分流を持つ基本場を維持する傾向にあった。すなわち、eddy straining 効果の有効性は基本場に依存していることがわかった。さらに、「ブロッキング解」の場合、与える移動性擾乱の水平構造をわずか

に変化させたことによる PV フラックス分布の微小な変化によって、二次流れ場は大きく変形される。このことは、eddy strainig 効果の有効性は、総観規模擾乱の水平構造にも依存していることを示している。

従って、本研究の結果から、擾乱に伴う PV フラックスが、北で発散し、南で収束するという双極子構造

は、必ずしもブロッキングの南北双極子構造を維持するとは限らないことを示唆している。このことは、特に、データ解析によってブロッキングの維持にはたす総観規模擾乱の役割を評価する場合に注意しなければならない。



### 第4回「明日への環境賞」(朝日新聞社) 応募推薦募集

1. 賞の対象：環境保全に貢献する実践活動（NGO や自治体、企業などの活動、著作や映像など）、日本国内での活動および、日本人または日本に本拠を置く団体による海外での活動に限ります。個人・団体を問いません。
2. 表彰：5件前後に、それぞれ本賞（賞杯）と副賞100万円を贈ります。  
2003年4月の朝日新聞紙上で発表し、同月に贈呈式を行います。

#### 3. 資料請求・応募先：

〒104-8011 東京都中央区築地5-3-2

朝日新聞社事業本部メセナ・スポーツ部「明日への環境賞」事務局

応募要領の詳細は <http://mytown.asahi.com/event/> または日本気象学会事務局まで。

#### 4. 応募期限：2002年10月18日（金）必着



### (財)国際コミュニケーション基金平成14年度助成・援助募集

1. 調査研究助成：国際分野を主軸とし、また、国内も含めた通信の普及・発展、グローバル化、特に、マルチメディア時代を先取りする調査、研究（法律、政治、経済、社会、文化、技術の各分野あるいは各分野にまたがるもの）。
2. 国際会議開催助成：通信の普及・発展に寄与する国際会議。
3. 社会的・文化的諸活動助成：情報化社会の動向に即し、電気通信を通じて社会や教育等に貢献する各種の非営利団体（NPO）・非政府組織（NGO）の活動、「草の根」活動等。

募集内容や条件、募集方法の詳細については、下記ホームページまたは気象学会事務局（03-3212-8341内2547）まで。

募集期間：2002年10月1日（火）～10月18日（金）（必着）

申込先：〒163-0907 東京都新宿区西新宿2-3-1

新宿モノリス7F（私書箱7003号）

(財)国際コミュニケーション基金

Tel：03-3347-7094, Fax：03-3347-6439

E-mail：info@icf.or.jp

HP：http://www.icf.or.jp/