

2. 東京大学気候システム研究センターでの 成層圏モデリング*

高橋 正明**

1. はじめに

東京大学・気候システム研究センター (Center for Climate System Research, CCSR) において, 1995年春に国立環境研究所 (National Institute for Environmental Studies, NIES) との共同の大気・気候 (大循環) モデル (CCSR/NIES Atmospheric General Circulation Model, AGCM) の第1バージョンが完成した (Numaguti *et al.*, 1995). その気候モデルを成層圏・中間圏も含めたモデルに拡張した. このモデルをもとに, 以下のことを研究する予定である.

- 1: 力学的立場から成層圏が気候にどのように影響しているかを考察すること.
- 2: オゾンを中心とした化学反応を気候モデルに組み込み, 化学物質の気候への影響を考察すること.

2. 成層圏モデル

気候を研究する CCSR/NIES AGCM は, 標準的には対流圏・下部成層圏を含む鉛直20層のモデルである. ここでは鉛直30層の上部成層圏・中間圏を含むモデルを走らせてみた. 成層圏で約 2.5 km 程度の鉛直分解能のモデルである. 水平分解能は T21 (水平間隔, 約 600 km) を用いている. おおよそ, ほかのグループの対流圏・成層圏大気大循環モデルと同程度の結果を得ることが出来た (第1図). 中・低緯度で平均的に 5°C 程度の下部成層圏でのクーリング・バイアス, 上部成層圏では 5°C 程度のウォーミング・バイアスになっている (第2図). ただしこの程度のバイアスは GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, 地球流体力学研究所) の SKYHI-GCM でも存在する

(Hamilton *et al.*, 1995). 第1バージョンとしてこの程度の誤差なので, これからこの気候モデルを用いてさまざまな問題を考察出来ると思われる. また他のモデルと同様に, 15°C 程度の高緯度・下部成層圏にクーリング・バイアスが存在する. さらに北半球・冬の高緯度の上部成層圏・中間圏の大きな温度バイアスは重力波による Drag の問題に起因していると思われる. これらの解決は今後の問題である.

3. 半年振動

このモデルで, 熱帯域の成層圏界面付近に存在する半年周期振動の振舞いをみてみた. 観測と, かなりよい一致を示す平均東西風の半年周期振動が再現された (第3図). 鉛直分解能はそれほどよくないにも関わらず, 20 ms⁻¹ 程度の西風が春・秋分に現れている. 半年振動の西風は Kelvin 波と東向き重力波によって生成されると言われているので, このような波がよく再現されていると思われる. 結果は NCAR (National Center for Atmospheric Research, 国立大気科学センター) のモデルと比べて非常によい (Sassi *et al.*, 1993). おそらく対流スキームの差によるものと思われる. 我々のモデルでは Prognostic Arakawa-Schubert スキームを, NCAR のモデルでは Hack のスキームが使われている. どちらがよいスキームか一概にはいえないが, かなり我々のモデルはいいのではないかと思われる. 一方 GFDL の SKIHI-GCM では対流スキームとして湿潤対流調節を用いており, 半年振動の西風の振幅は NCAR のモデルより現実的な値になっている (Hamilton *et al.*, 1995).

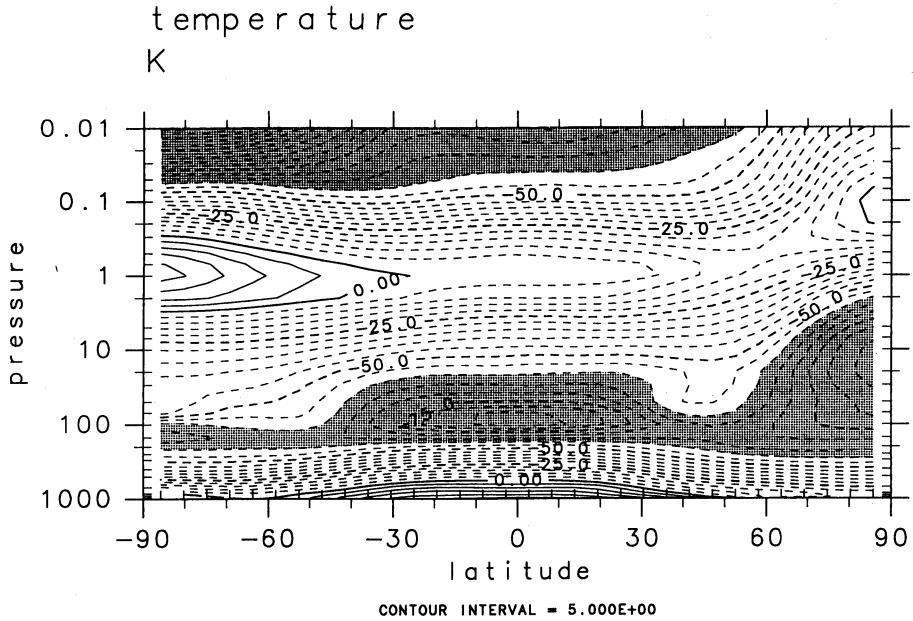
4. 準2年振動

我々のグループは気候モデリングでは後発隊である. そこで, これまでどこのグループも気候モデルで再現出来なかった興味ある結果を示すことで特色をだ

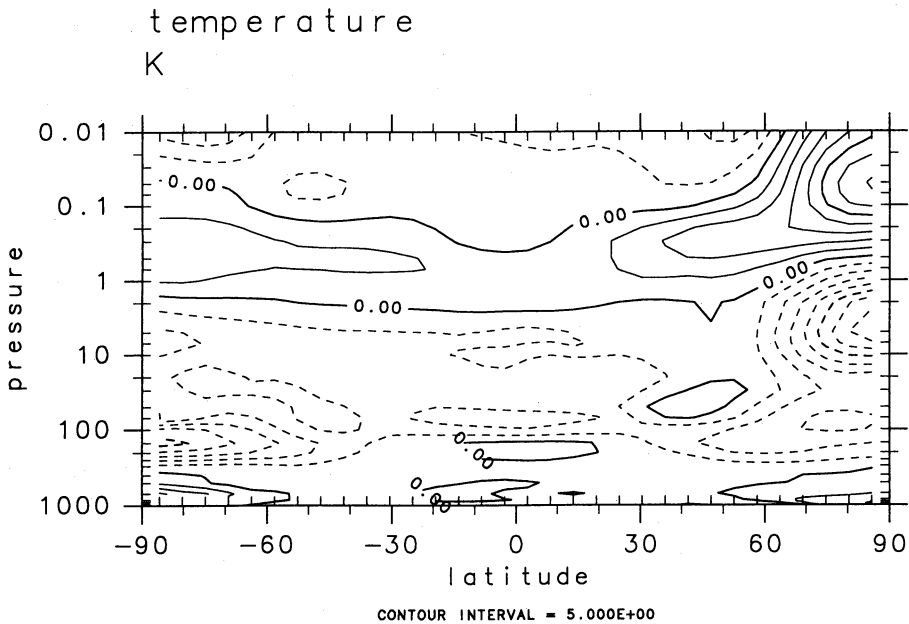
* Stratospheric modeling at CCSR, University of Tokyo.

** Masaaki Takahashi, 東京大学気候システム研究センター.

© 日本気象学会



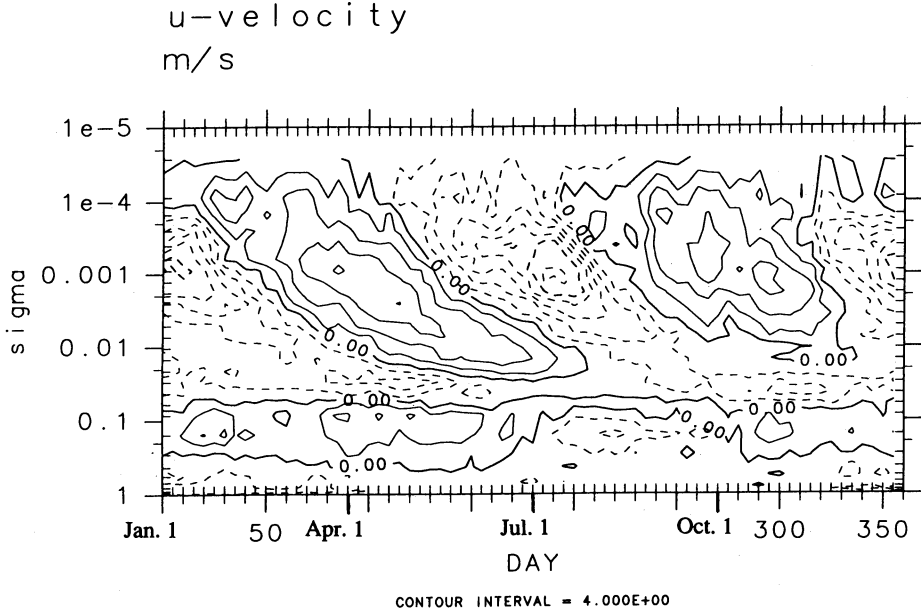
第1図 モデルで再現された、北半球冬（1月）の東西平均した温度分布. 等値線は5°Cおき, -60°C以下は影になっている.



第2図 上の結果の観測 (CIRA 86) で得られた温度からのずれ. 負はモデルが低温バイアスになっていることを示す. 等値線は5°Cおき.

してみたい. それは赤道・下部成層圏に存在する準2年振動 (Quasi-Biennial Oscillation, QBO) の問題で

ある. 成層圏 QBO は Holton and Lindzen (1972) の仕事以来, 力学的には解決されていると思われる

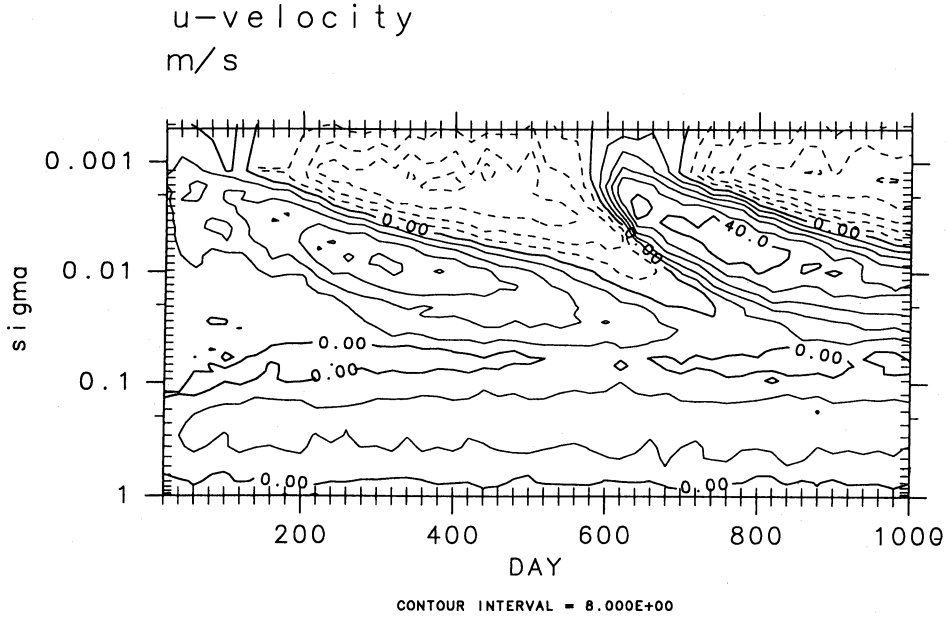


第3図 赤道上の平均東西風の時間—高度分布. 等値線は 4 ms^{-1} おき. 破線は東風を示す. 1月1日が day=0 で1年間を示す. $\text{sigma}=0.001$ は約 1 hPa .

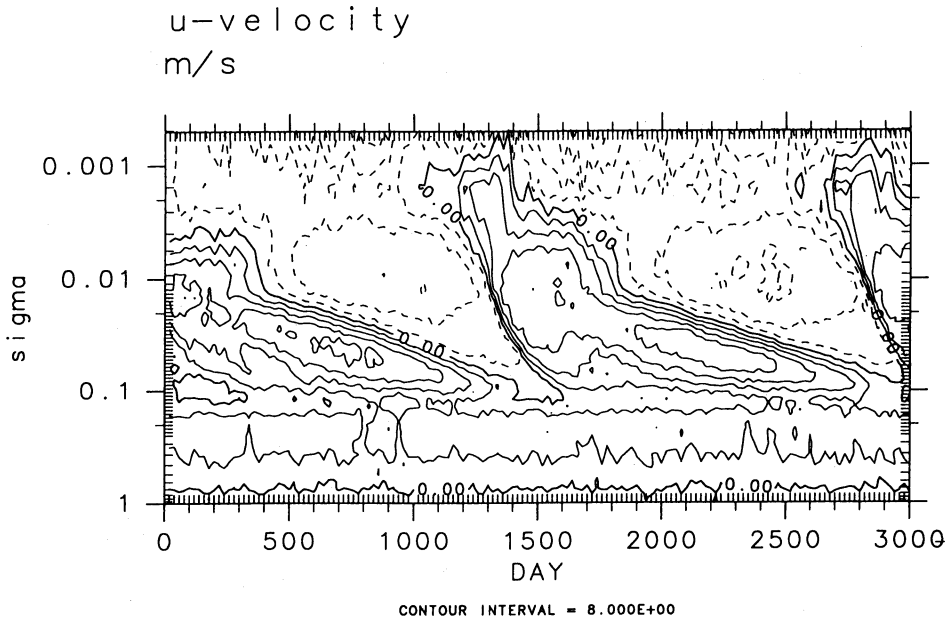
る. 原理的には波と平均流の非線型相互作用として QBO の現象は理解されるであろう. しかし不思議なことは, この QBO がどこの大気大循環モデルまたは気候モデルで再現されていないことである. この問題をここでは考察した. そして, 我々が世界で初めて現実的な QBO を気候モデルで再現した (Takahashi, 1996).

まずは, GCM を力学モデル (GCM のように全てのプロセスを入れるのではなく, 力学と必要なプロセスのみを入れたモデル) として用い, 初めは重力波が QBO に重要であろうことを推測し (cf. Takahashi and Boville, 1992; 高橋正明, 1995), T106 (水平間隔, 約 100 km) の東西 $1/5$ セクターモデル (全球のうち東西方向に $1/5$ セクターをとりだし, あとの部分は周期的とする. だから, 最小の東西波数は 5 となる) で QBO の再現実験を試みた. 対流スキームは湿潤対流調節を用い, 山岳などは入れずに全球を水で覆われた (AQUA-PLANET) モデルにして実験をおこなってみた. また, この実験ではオゾン太陽光吸収による非断熱加熱, および年振動も入っていない. 鉛直分解能は 1 km 程度で 45 層 (L45) モデルである. 結果は“上部”成層圏に 400 日程度の QBO 的な振動が再現された (Takahashi and Shiobara, 1995). この QBO 的な振動では, 赤道波の南北構造が meridional mode num-

ber $n=1$ の西向き赤道重力波が振動の東風を, かなりランダムな重力波が振動の西風を引き起こしている (Takahashi and Kumakura, 1995). これと同様な実験を, 下部境界などの条件を同じくした T21L45 の全球モデルでおこなうと振動が起らない. この結果はこれまでの GCM 実験と同じである. しかしながら, GCM で普通に使われている値より, 1桁ほど小さい値の水平拡散係数を用いると, 成層圏の波動の活動度が大きくなり (対流圏ではそれほど違わない), T21L45 のモデルでも, T106 の $1/5$ セクターモデルと同様に, 上部成層圏に 500 日程度の QBO 的振動が再現された (第4図). この QBO 的振動では, 西風は Kelvin 波や重力波が作っている, 振動の東風は $n=1$ の西向き赤道重力波が作っている. これまでの Holton and Lindzen (1972) の理論によると, QBO の東風は Rossby-gravity 波が作っていると思われていたが, 実際には Rossby-gravity 波はマイナーな役割しかはたしていないようである (シグナルはあるが, Rossby-gravity 波による平均流加速はほとんどない). さらに鉛直分解能を 500 m にした T21L60 (鉛直 60 層) のモデルで数値実験をおこなうと, 波動がよりきちんと分解されることにより, 波動による波の加速がきちんと表現されて, 4 年程度の QBO 的振動が中部および下部成層圏に再現された (第5図).



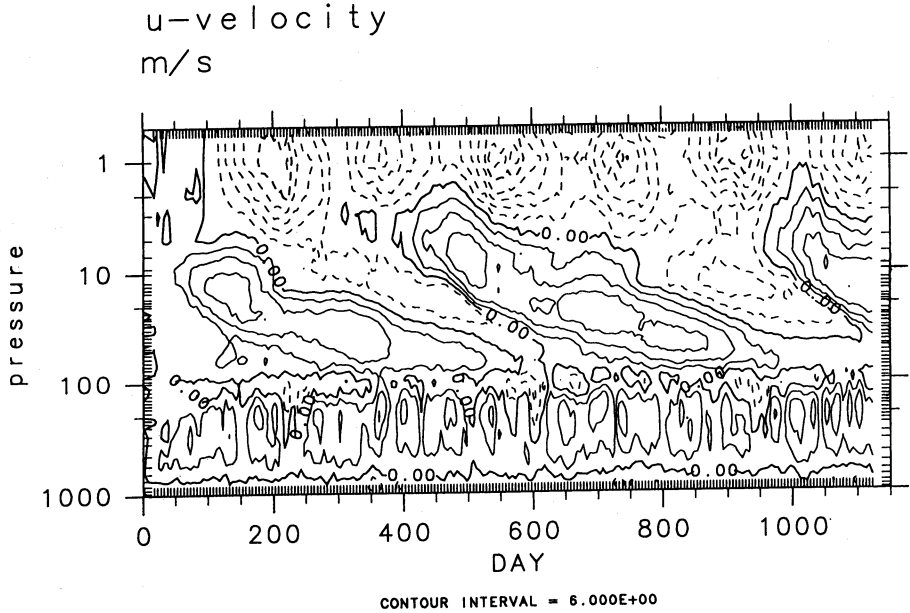
第4図 T21L45 力学モデルにおける赤道上の平均東西風の時間-高度分布. 等値線は 8 ms^{-1} おき. 破線は東風を示す.



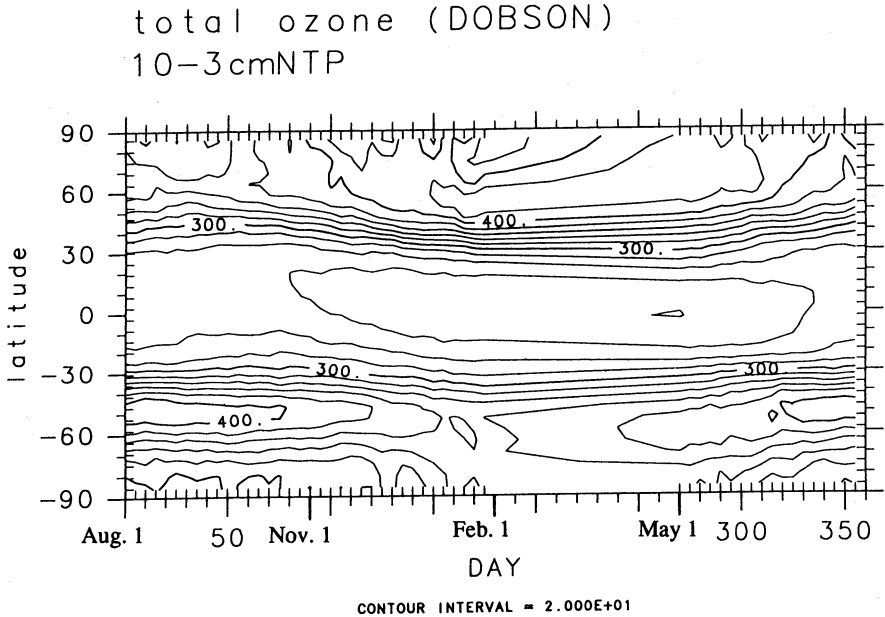
第5図 T21L60 力学モデルにおける赤道上の平均東西風の時間-高度分布. 等値線は 8 ms^{-1} おき.

次に、新しく出来た第1バージョンの CCSR/NIES AGCM を用いて、T21L60 の分解能のモデルで QBO の再現実験をおこなった (ここでは GCM だから当然のことながら、前の実験で落としていた、山岳や年振

動もきちんと入っている。また水平拡散の値は GCM で普通に使われているものより1桁小さい)。周期が1年半程度の QBO 的振動が再現された (Takahashi, 1996) (第6図)。前の力学モデルと比較するために、



第6図 T21L60 GCM における赤道上の平均東西風の時間-高度分布. 等値線は 6 ms^{-1} おき. Day=0 (1月1日) から day=1122.5 まで.



第7図 トータル・オゾンの1年間の時間変動. 単位はドブソン・unit である. Day=0 (8月1日) から1年間を示す. 等値線は20ドブソンおき.

ここでも対流スキームは湿潤対流調節を用いている. 現在, このモデルの結果の解析を進めている. 赤道波による加速については上に述べた T21L60 の力学モデルの結果と同様である. さらに冬の北半球から赤道域

に伝播してくる Rossby 波が東風加速に役割をはたしている. また 500 m の鉛直分解能にしたことにより, 5°C くらいは高緯度下部成層圏のクーリング・バイアスが解消されている.

ここで興味あることは、これまで GCM で QBO が再現されなかったので、成層圏・突然昇温などと QBO との関係が GCM で研究出来なかったが、これからそのような問題が考察出来るようになったことである。また対流圏とのカップリング等の問題を GCM で考察する段階に入ったと思われる（これまでそのような問題は考察されていたが、QBO を GCM で再現したことで、よりはっきりと問題が考察出来ると思われる）。

5. 化学モデル

最後に、オゾン化学の Chapman 反応のみを GCM に組み込み、放射ときちんとカップルさせてみた。一応トータル・オゾンの年変動の結果を得ることが出来た（第7図）。北半球の振舞いや、夏のトータル・オゾンの減少があまりうまく再現されていないが、それほどおかしくはないようである。これからより複雑な化学反応を組み込む。気候へのオゾンの影響の問題等に取り組む準備が出来たと思われる。

謝辞

沼口敦氏はじめ CCSR/NIES 気候モデル作成グループのメンバーの方々に感謝します。

参考文献

- Holton, J. R. and R. S. Lindzen, 1972 : An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1076-1080.
Hamilton, K., R. J. Wilson, J. D. Mahlman and L. J.

Umscheid, 1995 : Climatology of the SKYHI troposphere-stratosphere-mesosphere general circulation model, *J. Atmos. Sci.*, **52**, 5-43.

Numaguti, A., M. Takahashi, T. Nakajima, and A. Sumi, 1995 : Development of an atmospheric general circulation model. Reports of a new program for creative basic research studies, Studies of global environment change with special reference to Asia and Pacific regions, **1-3**, 1-27.

Sassi, F., R. R. Garcia and B. A. Boville, 1993 : The stratopause semiannual oscillation in the NCAR community climate model, *J. Atmos. Sci.*, **50**, 3608-3624.

Takahashi, M., 1996 : Simulation of the stratospheric quasi-biennial oscillation using a general circulation model, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 661-664.

Takahashi, M. and B. A. Boville, 1992 : A three-dimensional simulation of the equatorial quasi-biennial oscillation, *J. Atmos. Sci.*, **49**, 1020-1035.

Takahashi, M. and T. Kumakura, 1995 : Equatorial wave behavior in a three-dimensional sector model : Relation to the simulated QBO-like oscillation and comparison with a T21 general circulation model, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 1011-1027.

Takahashi, M. and M. Shiobara, 1995 : A note on a QBO-like oscillation in a 1/5 sector three-dimensional model derived from a GCM, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 131-137.

高橋正明, 1995 : 数値実験による準2年振動の研究—1994年度日本気象学会賞受賞記念講演—. *天気*, **42**, 69-78.