陰陽格子法を用いた全球・非静力学大気シミュレーションコードの開発

海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター 正会員 〇小峯 賢治 高橋桂子 渡邉 國彦

1. はじめに

地球シミュレータセンターでは、水平 1km から数 10km の風況等の気象・気候物理現象を研究する目的で、 全球非静力学大気シミュレーションコードを開発している.全球シミュレーションコードの水平格子には、地 球シミュレータセンター固体地球シミュレーショングループによって開発された陰陽格子⁽¹⁾を用いている (Fig. 1).本研究では大平他⁽²⁾の 2 次元での結果を踏まえて、力学部分の鉛直方向に境界適合格子を採用し、3 次元シミュレーションコードに拡張した.本稿ではその実装方法と大気シミュレーションコードのベンチマー クテストとしてよく用いられる山岳波実験、および簡単な外力を与えた場合の長期積分実験⁽⁷⁾の実験結果につ いて述べる.

2. 基本方程式

本稿では乾燥大気の状態を連続の式、3方向の運動方程式、圧力方程式、状態方程式で表現する.



ここで予報変数は運動量 ρ_{V} ,基本密度場からの偏差 $\rho'=\rho-\bar{\rho}$,基本圧力場からの偏差 $P'=P-\bar{P}$ である. f, μ,κ,γ,Φ,F はコリオリ係数,粘性係数,拡散係数,比熱比,加熱項,粘性項を表す.鉛直座標はz*座標系を採用した.水平方向はArakawa-C格子を,鉛直にはLorentz格子を使用した.空間的には<math>2次精度の中央差分,時間的には、3段階RungeKutta法を適用し⁽³⁾,鉛直積分スキームにはKlemp-Wilhelmson型のHE-VI法(horizontally explicit - vertically implicit scheme)を用いた.計算の安定化のために2次の数値粘性と発散抑制フィルタを加えている.大気上下端の境界条件には、剛体壁とfree slip条件を用いた.陰陽格子の部分領域間の補間には双3次Lagrange補間を使用し,Berger⁽⁷⁾の考え方に基づき全球の質量が保存するように境界における質量フラックスを調整した.

3. 山岳波の数値実験によるコードの検証

本3次元シミュレーションコードの基礎的な波の伝播特性を検証するために,格子の非直交性に起因するメトリック項の精度を検証でき,波動の伝播特性がよく知られている山岳波のシミュレーションを行った.水平 解像度は約200 km,大気の上端を40 km,鉛直24層とした. 地形は,(0N,180E)を中心としたベル型の山を 配置した⁽⁴⁾⁽⁶⁾.山の高さは1000 m,山の半値幅は1250 kmとし,初期場はBrunt-Vaisala振動数 $N = 0.0187 \, {
m sec}^{-1}$ 一定の成層場,初期速度場として $u = -40 \cos \rho m \, {
m sec}^{-1}$ の東風を与えた.

Fig.2(a) (b) は初期状態から一ヵ月後の赤道断面上の鉛直速度を示したものである.本実験においても時間の 進行に伴い山岳の直上に下層から上層に向かって山岳波が伝播する様子がとらえられている.

次に、本シミュレーションコードの検証すべき課題のひとつである部分領域間の接合境界部の影響を考察するために(ON, 45W)を中心としたベル型の山を配置し、山の配置以外をすべて同じ設定にして計算を行った.

キーワード 大気モデル,数値流体,非静力学,重合格子,風況

連絡先 〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173-25 海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター

e-mail: <u>komine@jamstec.go.jp</u> TEL045-778-5876

Fig.2(c)(d)は初期状態から一ヶ月後の赤道断面上の鉛直速度と高度10kmでの発散場を示したものである.山の中心は陰陽格子の重なり部分であるが, Fig.2の(a)(b)と(c)(d)の比較から,陰陽格子系の重なり部分の影響を受けることなく積分可能であることを検証した.



Fig.2. (a)1ヵ月後の赤道断面上の鉛直速度,山の中心は(0N,180E),(b)高度 10km での発散場. (c)鉛直速度,山の中心は (0N,45W), (d)高度 10km での発散場.

4. Held and Suarez 実験

完全に発達した大気大循環の統計的性質を検証するために Held and Suarez⁽⁷⁾の実験を行った.運動方程式 と圧力方程式に簡単な外力を与えて3次元モデルを1200日積分し,後半1000日の風速等の平均場を従来の結 果と比較する.Fig.3は帯状東西平均風の1000日平均を示したものである.Held and Suarez⁽⁷⁾の結果と比較 して強風軸の東西位置,最大風速,下層の風速の場が再現されていることがわかる.また重合格子の境界付近 である45°N,45°S付近においても重合格子に起因する組織的なノイズは見られない.1200日程度の長期積 分においても本シミュレーションコードが重合部分の境界の影響なく実行できることが示された.



Fig.3 (a)1000 日平均の帯状平均風[m sec⁻¹] Held and Suarez, (b)本シミュレーションコードの結果

5. むすび

紙面の関係上詳細は割愛したが、本シミュレーションコードの計算性能は、地球シミュレータ上で高い計算 性能が得られており、力学部分においては 60.0%のピーク性能値を達成した.

計算精度を改善するために彭他⁽⁵⁾の高精度高効率移流計算及び重なり格子の補間法を実装中である.また, 乱流モデルおよび壁法則の導入を進めており,現実的な地形の場合の風速場の再現性実験を行う予定である.

参考文献

- Kageyama and Sato, 2003: The "Yin-Yang Grid": An Overset Grid in Spherical Geometry, Submitted to Geochem. Geophys. Geosyst., E-print: physics/0403123.
- (2) 大平他, 2004:全球非静力学大気海洋シミュレーションコードの力学コアの検証, 2004 年度土木学会全国大会.
- (3) Wicker and Skamarock, 2002: MWR, 130, 2088–2097.
- (4) Qian et al., 1998: MWR, 126, 747-771.
- (5) 彭他, 2004: Yin-Yang グリッドにおける全球保存処理, 2004 年度日本気象学会春季大会.
- (6) Tomita and Satoh, 2004: Global Nonhydrostatic Dynamical Core on the Icosahedral Grid, Submitted to FDR.
- (7) Berger, 1987: On Conservation At Grid Interfaces, SIAM J. NUMER. ANAL., 24, 967-984.
- (8) Held and Suarez, 1994: JGR, 96, 10955-10980.