

陰陽格子の開発

The “Yin-Yang Grid”: A Chimera Grid for the Spherical Geometry

陰山 聡, 地球シミュレータセンター, 横浜市金沢区昭和町, E-mail: kage@jamstec.go.jp
Akira Kageyama, The Earth Simulator Center, Showa-machi 3173-25, Kanazawa-ku, Yokohama

An overset grid or a Chimera grid is proposed for the spherical geometry. It is named “Yin-Yang Grid” since it reminds us the Chinese philosophical symbol (or its three-dimensional version). The Yin-Yang grid is composed of two component grids. They are identical in the shape and the coordinates. The component grid is just the low latitude region of the usual spherical latitude-longitude grid. The grid spacing of the Yin-Yang grid is nearly uniform and it has no coordinate singularity. The Yin-Yang grid is applied to geoscientific three-dimensional simulations including geodynamo, mantle convection, atmosphere and ocean simulations.

1. はじめに：緯度経度格子の問題点

地球科学では球ジオメトリ（2次元球面や3次元球殻領域）で偏微分方程式を解く必要が多い。有限差分法や有限体積法を球ジオメトリで使う場合、格子系として球座標格子（あるいは緯度経度格子）を用いると、極近くに格子点が集中するため、経度方向にローパスフィルターをかける必要がある。（極上の座標特異点はロピタルの定理で解消できるので、問題ではない。）しかしこのフィルター法は、格子点をわざわざ極軸近くにたくさん集め（その分だけ赤道付近の分解能を悪くし）、その全ての格子点上で微分を計算し、そうして苦労して計算した結果の多くを、さらにまた苦労してフィルター処理をかけて捨ててしまうという非常に無駄の多い計算方法である。このような無駄は避けるべきであろう。そのための手段として、この論文では、陰陽格子と名付けた球ジオメトリ上での新しいキメラ格子の一種を提案する。

2. キメラ座標

キメラ格子(Chimera grid または overset grid または overlaid grid)とは、複数の要素格子を用いて計算領域全体を覆う複合型の格子の一種である。要素格子同士はその境界部分で部分的に重なり合っている。一つの要素格子の境界上の値は、他の要素格子の値から補間により求める。

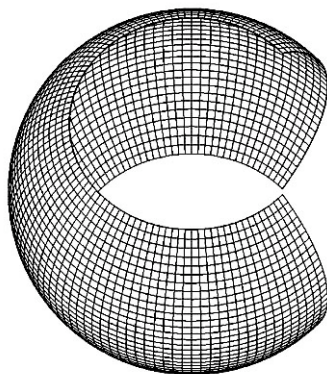


Fig. 1 The component grid of the Yin-Yang Grid

3. 陰陽格子

球の2次元表面を覆うキメラ格子には無数のバリエーションが考えられるが、要素格子の数が多いと補間計算の負荷が増えるので、要素格子の数は最低の二個が望ましい。二個の要素格子だけで球面を覆う方法もまた無数に存在するであろうが、全く同じ形の二つの要素格子で球面を覆うことができれば、プログラムが簡単になるし、何よりエレガントである。また、計算速度を考えると、要素格子は直交系であるべきだろう。そのようなキメラ格子

は存在するであろうか？

ここで提案する球面上の新しいキメラ格子「陰陽格子」は、上記の条件を満たしている。陰陽格子の要素格子は、通常の球座標の低緯度の一部分に他ならない。緯度方向には赤道付近の南北90度、経度方向には270度の領域を抜き出したものである(Fig. 1)。これは球座標の一部なので当然直交系であり、格子間隔の極端な不均一性は持たないので計算効率が高い。この要素格子を二つ用意し、互いに角度をずらして組み合わせたものが陰陽格子である(Fig. 2)。このような組み合わせ方は、野球のボールでも見られる。格子の形状と、二つの要素格子の相補的な役割が中国の陰陽思想のシンボル（あるいはその3次元拡張版）を連想させるので、陰陽格子と名付けた。陰陽と書いて「インヤン」と読む。要素格子の「カド」の部分を少し削れば、重複面積を最小化させることは可能だが、ここではベクトル・並列化の効率を優先させている。

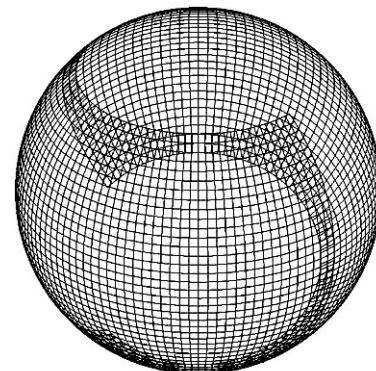


Fig. 2: The Yin-Yang Grid

地球シミュレータセンター(ESC)の固体地球シミュレーショングループでは、陰陽格子を使った地磁気ダイナモの3次元シミュレーションコード、及びマントル対流シミュレーションコードを新たに開発した。どちらも問題なく動いている。また、ESCのホリスティックシミュレーショングループでは、陰陽格子に基づいた大気・海洋シミュレーションコードを開発中である⁽¹⁻³⁾。

参考文献

- (1) 彭、肖、高橋、“球面上の高精度高効率移流計算”, 第17回数値流体力学講演論文集, (2003), C6-1,
- (2) 大平、高橋、陰山、渡邊、“陰陽格子上における浅水波方程式による力学的検証”, 第17回数値流体力学講演論文集, (2003), C6-2
- (3) 小峯、高橋、陰山、渡邊、“陰陽格子法を用いた全球・非静力学大気モデルの開発”, 第17回数値流体力学講演論文集, (2003), C6-3