

## MM5 と LES のスケール相似則によるカップリング

清水建設(株) 正会員 ○野澤 剛二郎

### 1. はじめに

MM5 などのメソ気象モデルと局所地形などを反映した高解像度 LES を接続するとき、メソ気象モデルには LES の格子スケールに対応した高周波数成分の乱流変動が再現されていないだけでなく、平均風向や風速が時間的、空間的に変化していることが問題となる。メソ気象モデルの計算領域内に高解像度の LES を内包して計算する場合、局所地形の影響を受けない上空では LES 計算領域の境界だけでなく、内部も含めてメソ気象モデルによる平均風向や平均風速が反映されることが期待される。そのためには、LES 側では時間的、空間的に変化する平均成分を除く、変動成分（高周波数成分）のみを計算することが求められる。

我々が提案したスケール相似則による one-way カップリング<sup>1)</sup>は、粗格子から密格子への接続に際して、スケール相似則により粗格子では再現されない高周波数成分を密格子で再現し、その平均がゼロとなるように強制する手法である。このため、同手法を用いることによってメソ気象モデルで計算された時間的、空間的に変化する平均風向や風速を保ったまま、LES 格子スケールの高周波数成分を再現することが可能となる。そこで本検討では、スケール相似則による one-way カップリングを用いて水平方向に 330m まで解像したメソ気象モデルの結果を LES に接続し、LES でメソ気象モデルの平均風速と平均風向を保ったまま、高周波数成分が再現されるか確認する。

### 2. スケール相似則による one-way カップリング手法

スケール相似則を用いた one-way カップリング手法を用いてメソ気象モデルと LES を接続した場合、LES の変動成分  $\bar{u}$  は下式で求められる。

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} [\bar{U}_i \bar{U}_j - \tilde{U}_i \tilde{U}_j] = -\frac{\partial(\bar{P} - \tilde{P})}{\partial x_i} - \frac{\partial(\bar{\tau}_{ij} - \tilde{\tau}_{ij})}{\partial x_j} \quad (1)$$

ここで、 $\tilde{\tau}_{ij}$  はスケール相似則に基づいてモデル化された Bardina モデル<sup>2)</sup>による乱流応力、 $\bar{\tau}_{ij}$  は散逸性を良く再現する Smagorinsky モデルによる乱流応力、 $\bar{U}$  は LES フィルタで粗視化された流速、 $\tilde{U}$  はメソ気象モデルで求められた流速である。また、 $\bar{u} \equiv \bar{U} - \tilde{U}$  である。メソ気象モデルで得られた風速場を LES の空間的なフィルタと見なし場合に、そのフィルタ幅が LES フィルタに比べて十分に大きければ  $\tilde{U} \approx \bar{U}$  となる。一方、メソ気象モデルの平均風速、風向を LES で維持するためには、式(1)より求められた  $\bar{u}$  の時間平均がゼロとなるように Goldstein らの方法<sup>3)</sup>に準じて外力を加える。外力  $f$  は次式で与えられる。

$$f_i(t, x, y, z) = \alpha \int_0^t err(\tau, x, y, z) d\tau + \beta \cdot err(t, x, y, z) \quad (2)$$

ここで、 $err \equiv \bar{u}$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  はパラメータで、試計算の結果から本研究ではそれぞれ -2000 と -30 としている。

### 3. 解析条件

日本海側に沿って冬の低気圧が北上した 2008 年 1 月 23 日 15 時 (JST) に対して、日本海海上を中心に 657km × 630km の範囲を MM5<sup>4)</sup>により計算を行った。4 重のネスティングを行い、一番内側の領域 (32km × 32km, 水平解像度 330m) の流速データと LES の接続を行った。LES の格子解像度は MM5 の 1/4 としており、MM5 の流速データを LES に補間するときには 3 次スプライン<sup>5)</sup>を用いている。鉛直方向には標高 91m ~ 1023m の範囲で補間を行い、水平成分と同様に格子解像度が 1/4 となるようにしている。変動成分の境界条件はディリクレ条件で  $\bar{u} = 0$  としている。平均には MM5 の格子解像度の 6 倍程度のフィルタで粗視化している。移流項は Adams-Bashforth 法、空間は 4 次精度の中心差分で離散化している。

### 4. 解析結果

図 1 に MM5 から LES 領域に補間した風速分布 (南北成分) と、式(1) (2)により求められた変動風速成分  $\bar{u}$  と MM5 から補間された平均成分の和 ( $\bar{u} + \tilde{U}$ ) の水平方向分布を示す。横軸は東西、縦軸を南北としている。

キーワード メソ気象モデル, MM5, LES, Bardina モデル, 慣性小領域

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所総合解析 C TEL03-3820-8327

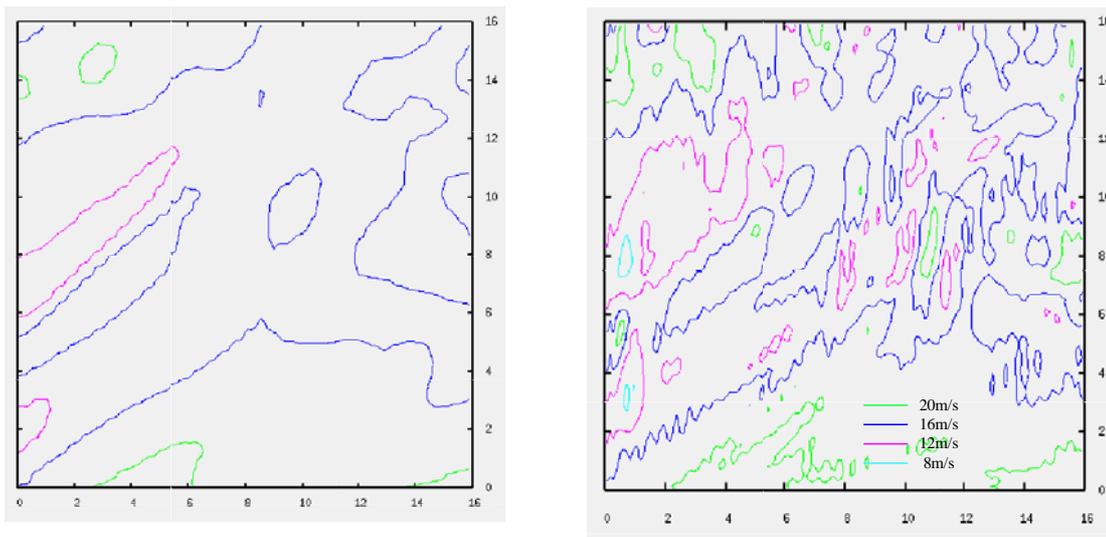


図1 LES領域における南北方向風速の水平方向分布(左:MM5から補間された平均成分, 右:変動成分+平均成分, 高度212m)

MM5から補間された風速分布に現れない高周波数成分が変動成分の分布には見られる。ただし、MM5から補間された平均成分は残っており、その平均成分まわりで変動していることも分かる。また、平均成分と変動成分それぞれの乱流エネルギーのパワースペクトルを求めたのが図2である。平均成分は波数0.05程度から慣性小領域である $-5/3$ 乗則から外れてくるが、変動成分が波数0.2程度まで回復させているため、平均成分と変動成分を合わせたものは、MM5から補間されたものに比べて4倍程度まで慣性小領域に従う領域が延びている。

5. まとめ

本研究ではスケール相似則による one-way カップリング手法を用いてメソ気象モデルMM5とLESを接続した。MM5の計算結果をLES領域に補間し求められた平均風速成分を用いて上記手法により変動成分を求めた。その結果、平均成分まわりに高周波数成分が発生し、乱流エネルギースペクトルでは平均成分に比べて4倍程度まで慣性小領域が広がった。

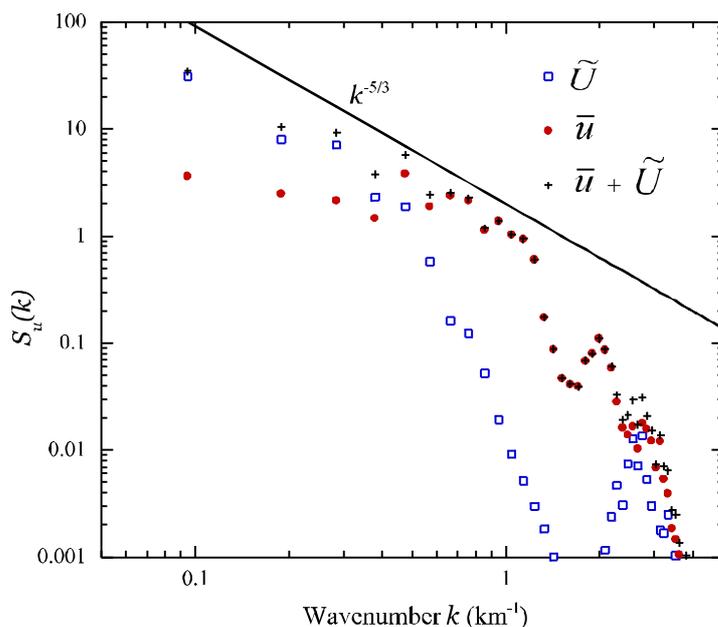


図2 LES領域の風速乱流エネルギースペクトル

参考文献

- 1)野澤 剛二郎, 田村哲郎, 第23回数値流体力学シンポジウム講演要旨集, pp.78, 2009.
- 2) J. Bardina, J. H. Ferziger and W. C. Reynolds, AIAA paper No.80-1357, 1980.
- 3) D. Goldstein, R. Handler and L. Sirovich, Journal of Comp. Physics, 105, pp.354-366, 1993.
- 4) J. Dudhia, Mon. Wea. Rev., Vol.121, pp.1493-1513, 1993.
- 5)市田浩三, 吉本富士市, スプライン関数とその応用, 教育出版, 3章, 1979.