

北陸地域の地形の水平解像度特性の評価と局地気象モデルへの応用

水文気象研究室 松浦 祐樹

指導教員 熊倉 俊郎

1. 研究背景

わが国は国土の半分が豪雪地帯に指定されている多積雪国である。降雪による被害は雪崩、路面凍結、視界不良など多岐に渡り、その防止については直接的に雪害の予防や防護を行うハード対策、間接的に被害を防ぐソフト対策それぞれ様々な方法が考案されている。ソフト対策の1つとして、防災気象情報の予測を行うためのメソ数値予報モデルの開発が1996年気象庁で開始され、現在に到るまでに様々な改善が成され、天気予報などで現業利用されている。数値予報モデル(以下NHM)は気象庁が開発した気象予測モデルであり、初期値、境界値、予報時間などを設定して実行することで降雨、降雪、風速分布など様々な要素を予測するモデルである。図1.1にNHMによる関東地域の計算結果の図例を示す。数値予報モデルは水平格子間隔の選択によって計算速度や結果表示の精度が決まるが、その最適なサイズについては明確な定義されることなく決定されることが多い。用いた水平格子間隔が地形に対してどの程度の解像力を持っているか検証することは精度や計算効率の上昇にもつながる。

2. 研究目的

地形の特徴を示す空間スケールは波数空間を用いることで定量的に捉えることが可能である。水平格子間隔は対象とする領域の大きさやモデルの実行に用いる地形データに左右され、解像力が変化する。水平格子間隔はモデルの実行において大きな影響を及ぼす要素であるから、対象領域においてどの程度の格子間隔が必要であるかについてよく検討する必要がある。本研究では北陸地域に焦点を当て、数値地図50mメッシュから得られた標高データを2次元フーリエ変換することで地形を代表するエネルギーを導き、その水平解像度特性を評価する。対象とした地域は関東地域、北

陸地域、長岡地域、山古志地域の4つである。関東地域については気象庁予報部が行った関東地域のスペクトル解析に対する検証用として用いた。北陸地域については関東地域との比較用として用いた。また、長岡市の雪氷防災研究センターでは主に新潟県を対象にNHMを実行している。そこで本研究でも同領域を対象として解析を行い、雪氷防災研究センターが用いている格子間隔がどの程度の解像力を持っているのかを評価した。さらに本研究で行うモデル計算のため長岡領域の内さらに狭い領域として山古志地域を設定し、解析を行った。標高データには国土地理院発行の数値地図50mメッシュ標高データを用いた。

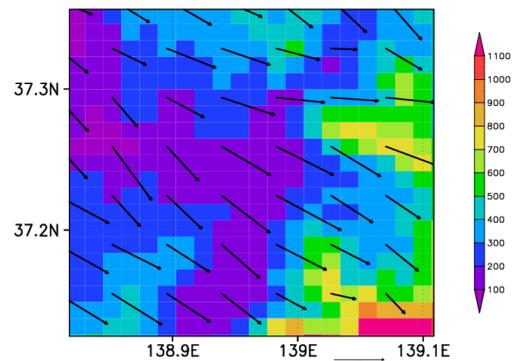


図1.1 NHMによる風速水平分布の計算結果。

3. 手法

3.1 地形のスペクトル解析

地形のスペクトル解析には2次元フーリエ変換を用いた。地形のような画像データをスペクトル解析するためには2次元フーリエ変換を用いて解析するのが一般的である。2次元フーリエ変換の式は以下のようなになる。

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i2\pi(ux+vy)} dx dy$$

ここに、 $f(x, y)$ は元の関数、 $F(u, v)$ はフーリエ変換後の関数、 u, v を x, y 方向の波数である。プ

ログラム上では無限大を取り扱うことができず、連続の値もとることができないため、実際の計算にはフーリエ変換に離散を取り入れた離散フーリエ変換を行う必要がある。離散フーリエ変換は以下の式で表わされる。

$$F(u, v) = \sum_{y=0}^{N-1} e^{-i\frac{2\pi}{N}vy} \sum_{x=0}^{N-1} f(x, y) e^{-i\frac{2\pi}{N}ux}$$

ここに、 N はデータ数、 k は波数、 $x(n)$ は実数、 $X(k)$ は複素数である。

3.2 地形エネルギー比 R

3.1 より、地形データに対しフーリエ変換を行うことで、本研究で対象とした地域のパワースペクトルを解析することができた。この結果から、波数 $k_1 \sim k_2$ に含まれる地形の総エネルギー $E(k_1, k_2)$ を求める。地形の総エネルギーは東西、南北方向に対象領域のパワースペクトル $S(k_x, k_y)$ について積分を行うことで求めた。計算式は以下のようなになる。

$$E(k_1, k_2) = \int_{k_1}^{k_2} \int_{k_1}^{k_2} S(k_x, k_y) dk_x dk_y$$

数値予報モデルが解像することのできる最少波長は格子間隔の 2 倍であるが、表現できる最小波長を 4 倍とし、水平格子間隔ごとに数値予報モデルが表現できる地形の総エネルギーおよび数値地図が表現できる地形の総エネルギーを求めた。 L_x, L_y を対象領域の幅、 $\Delta x, \Delta y$ をモデルの水平格子感覚 $\delta x, \delta y$ を数値地図の格子間隔とすると、数値地図格子間隔が表現することのできる対象領域の総エネルギーと各モデル格子間隔が表現することのできる総エネルギーの比である R は、

$$R = \frac{\int_1^{L_x/(4\Delta x)} \int_1^{L_y/(4\Delta y)} S(k_x, k_y) dk_x dk_y}{\int_1^{L_x/(2\delta x)} \int_1^{L_y/(2\delta y)} S(k_x, k_y) dk_x dk_y}$$

と表わすことができる。本研究では上記の R をモデルが表わすことのできる表現力と定義し、モ

デルの水平格子間隔が変化することによる地形の表現力の推移について検証した。

3.3 NHM による風速計算

本研究ではモデル実行時における地形の影響を検証するために、実際に山古志地域においてモデルによる風速計算を行った。計算に用いた地形データは 1km, 3km, 5km グリッドのデータである。1km グリッドのデータを元に 3km, 5km グリッドのデータを作成し、バイリニア法を用いて内挿して地形データとした。モデル実行時には側面の境界値は雪氷防災研究センターで計算した値を設定し、対象領域内の最外部 5 グリッドは領域外部との緩和領域として計算結果には用いないものとした。また、予報時間は 2008 年 2 月 12 日午後 8 時から 3 時間とし、1 時間毎に結果を出力するものとした。実行結果については風速を用いて比較するものとした。

4. 結果および考察

本研究で対象とした各地域においてフーリエ変換を行ったことで、各地域において領域内に存在するパワースペクトルが得られた。図 4.1 に関東地域におけるパワースペクトルの分布を示す。関東地域のパワースペクトルは波長が短いところではスペクトルは小さく、波長が大きくなるにつれてスペクトルが増大しているという特徴がみられる。また、波長 20km 以上でスペクトルが集中している。尚、関東以外の地域でスペクトル解析を行ったところ、スペクトルの形や値は各地域に依存するが、波長が短い場合はスペクトルが小さく、長くなるにつれて大きくなるという傾向は同じになった。また、パワースペクトルのピークは 2 波数目にあるということが分かった。

4.2 地形エネルギー比

4.1 より、標高データに対してフーリエ変換を行ったことで、各地域の地形に対するパワースペクトルを求めることができた。その結果から各地

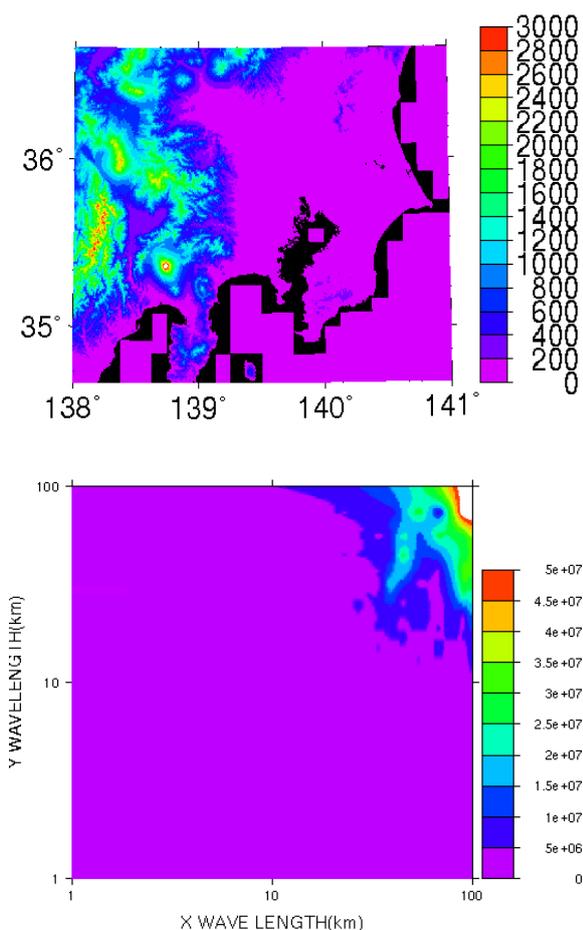


図 4.1 関東地域の標高データ(上)およびパワースペクトル分布図(下)。

域のスペクトルを積分し、数値地図、モデル双方の総エネルギー量の比を求めた。図 4.2 に関東地域におけるエネルギー比の推移の結果を示す。また、本研究における対象地域毎の地形エネルギー比の推移の結果を表 4.1 に示す。本研究における関東地域の解析結果より、水平格子間隔 5km までは 5%/km、5~7.5km までは 11%/km の傾きで表現力が減少していくという結果となった。また、関東地域では水平格子間隔が 5km 以上になると表現力の減少が大きくなるという結果となった。

4.3NHM による計算結果

本研究では山古志地域において地形データのみを変更してNHMによる風速計算を行った。図 4.3 にその結果を示す。計算結果より、風速は特に山

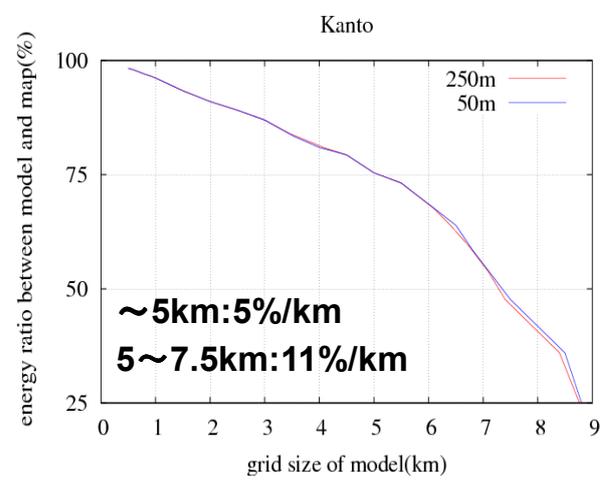
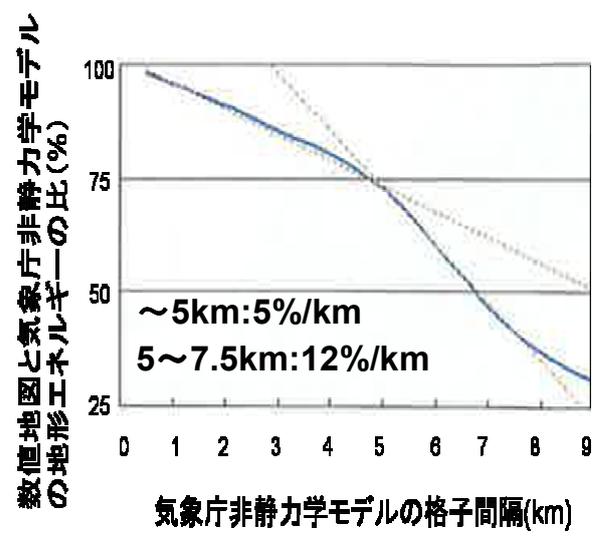


図 4.2 気象庁予報部(上)と本研究の(下)の地形エネルギーの比。

表 4.1 各地域における地形エネルギー比の概要

地域	関東	北陸	長岡	山古志
変曲点	5km	4km	4km	3km
最大勾配	11%/km	11%/km	13%/km	7%/km

地においてその差がより顕著に表れた。また、1km と 3km の地形データで風速の差について比較したところ最大で約 2m/s、1km と 5km の地形データで比較したところ風速の差は最大で約 3m/s となった。

5.まとめ

本研究では2次元フーリエ変換を用いて対象地域の標高データをスペクトル解析し、その結果を地図とモデルそれぞれについて地形の表現力を比較した。その結果は以下のものである。また、山古志地域に関して地形データを変化させてNHMによる風速計算を行った。その結果をまとめる。

1.対象とした各地域においてスペクトル解析を行ったところ、パワースペクトルは波長が長くなるにつれ増大していく傾向にあるが、その形、特徴については各地域に依存する。

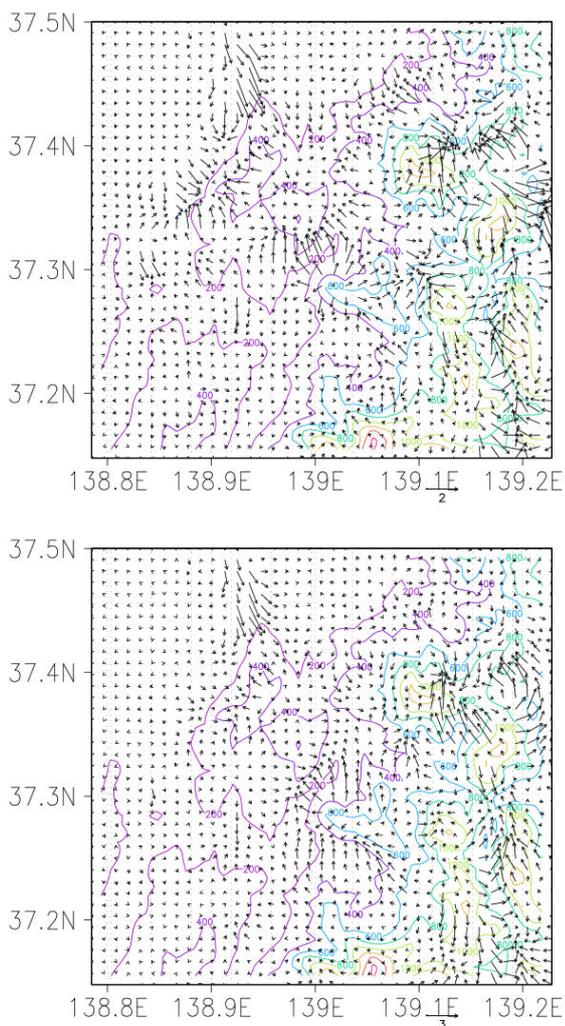


図 4.3 NHM における風速の実行結果。上の図は 1km と 3km の地形データ、下の図は 1km と 5km の地形データにおいて風速を比較したもの。

2.地形エネルギー比はどの領域も格子間隔が大きくなるにつれ一定間隔で減少していき、ある点を超えると傾きが大きくなる。また、数値地図の標高データの格子間隔を変化させ、それぞれの格子間隔についてエネルギー比を求めた結果、概ね同じ値が得られたため、地形のエネルギー比は数値地図の格子間隔には依存せず、地形にのみ依存する。

3.山古志地域において地形データを 1km グリッド、3km グリッド、5km グリッドの3種類に変化させてNHMを用いた風速計算を行ったところ、地形が変化する場所、特に山地において風速の差が大きく現れた。このことから、NHMによる計算結果に地形データが大きな影響を及ぼすことが見出せた。

以上より、NHMでの計算において正確な結果が必要である時は地形解像度をより高精度にすること、ひいては地形をよりよく表現できる水平格子間隔を設定する必要があると言える。

参考文献

- (1) 笠原順三,友田好文:コンピュータ地球科学,67-83pp,東京大学出版会,1993
- (2) 気象庁予報部数値予報課:気象庁非静力学モデルⅡ,数値予報課報告・別冊第54号,2003
- (3) 熊倉俊郎,大気と地表面の相互作用における陸面の影響と挙動について,69-72pp,2004
- (4) W.h.H.Press,B.P.Flannery,S.A.Teukolsky,W.T.Vetterling:NUMERICAL RECIPES in C,438-442pp 技術評論社 1993
- (5) Rosa Salvador,Josep Calbo,Millan M.Millan :Horizontal Grid Size Selection and its Influence on Mesoscale Model Simulations ,1999