

II-21

GSMAC-FEMを用いた 冬季石狩湾周辺の風場の推定

北海道大学工学部 学生員 中山 恵 介
北海道大学 正員 長谷川 和義
北海道大学 正員 藤田 睦博

1. はじめに

石狩湾周辺においてある条件が満たされた場合、高島岬端を跳ね出し点とするような特徴的な雪雲が発生する。その雪雲が発生するか否かにより、札幌における降雪量は大きな影響を受ける。著者等は、これらの特徴的な雪雲発生原因が地形の影響を受けた風の場合にあると考え、これまで差分法による風解析を求めてきた。その結果、地形効果により高島岬後方に Separation-flow が現れることなどを確認してきた。しかし、それは微弱なものにとどまり、期待したような雪雲の移動は表現できなかった。そこで、本論文では、これまで無視してきた温度の影響を考慮し、更に地形効果をより正確に表現するために有限要素法 (GSMAC-FEM) を用いることにした。

2. 温度の影響を考慮した基礎方程式

本論文で用いた基礎方程式、およびそのとき用いられた渦粘性係数を示す。

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{D\mathbf{v}}{Dt} + f\mathbf{k}(\mathbf{v}_g - \mathbf{v}) = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \alpha g\mathbf{k}\mathbf{v} + \nabla \cdot (\epsilon \nabla \cdot \mathbf{v}) \quad (2)$$

$$\frac{D\theta}{Dt} - \Gamma \mathbf{k}\mathbf{v} = \nabla \cdot (\kappa \nabla \cdot \theta) \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{v}$ =速度ベクトル、 θ =摂導分の温位、 p =摂導分の圧力、 $\mathbf{v}_g$ =地衡風風速ベクトル、 f =コリオリパラメータ、 ρ =密度、 α =体積膨張率、 g =重力加速度、 Γ =標準大気の温位勾配である。 ϵ は速度が対数分布する以下のような(式(4))直線分布を与えた。 κ はプラントル数が1になるよう $\kappa = \epsilon$ とおいた。

$$\epsilon = \kappa(z - h_t) \frac{v_g}{\ln\{(H - h_t)/k_s\}} \quad (4)$$

3. モデル地形へのGSMAC-FEM適用結果(地

上での温度分布が無い場合)

図-1に計算に用いたモデル地形とそのとき用いた有限要素メッシュを示す。メッシュの切り方については、地表面近くでの計算不安定を防ぐよう、地表面付近では相対的に細かなメッシュとした。モデルの計算領域条件は縦・横20 km、高さ4 kmであり、山の高さは頂上で500 mである。

境界条件は、以下に示す通りである。: $x = 0$ km,

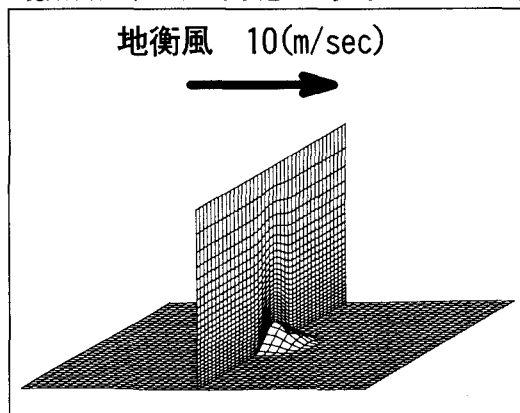


図-1 計算に用いたモデル地形と有限要素メッシュ

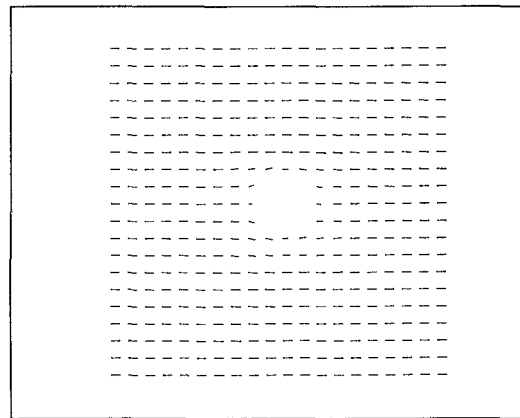


図-2 (a) x-y平面速度ベクトル(100m)

Analysis of Wind Field around Ishikari Bay in Winter by Using GSMAC-FEM

by K. Hasegawa, M. Fujita and K. Nakayama

$x = 20 \text{ km}$ において $\partial v / \partial x = 0, \partial \theta / \partial x = 0$ 、 $y = 0 \text{ km}$ 、 $y = 20 \text{ km}$ において $\partial v / \partial y = 0, \partial \theta / \partial y = 0$ 、 $z = \text{surface}$ において $v = 0, \partial p / \partial n = 0, \theta = \theta_o(x, y)$ 、 $z = 4 \text{ km}$ において $v = v_g, \partial \theta / \partial z = 0$ 。地上での温度分布を与えず、地衡風は図-1に示す通り左側から右側へと 10 m/sec の風を仮定した。

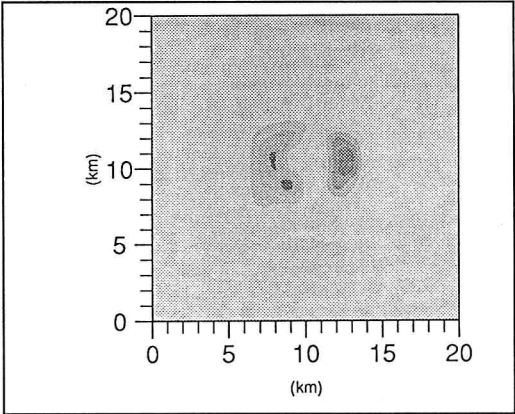


図-2 (b) x-y平面温位分布コンタ (100m)

図-2 (a) に計算で得られたx-y平面速度ベクトル ($z = 100 \text{ m}$) を、図-2 (b) にx-y平面温位分布コンタ ($z = 100 \text{ m}$) を示す。山の形状がかなり緩やかであるため、山の後方において渦は確認されない。しかし、山の前面において分岐流の発生、後方において風速の減少が見られる。これは、温度効果を考慮しなかった場合にも見られた現象であり、山の前面での分岐流は差分法では得られなかった結果である。温位分布については山の前面における分岐流上昇流で温位が減少させられ、後方における速度減少をとまなう下降流で温位が増加させられており、山周りの風の方がよく再現されているものと思われる。

4. モデル地形へのGSMAC-FEM適用結果 (地上での温度分布が存在する場合)

図-3に計算で用いた $z = \text{surface}$ における温位分布を示す。このときの温位分布の決定の方法は、岬周りの流れを模擬するため、地上側の温度を5度C海上よりも下げるよう設定した。境界条件は3. で述べたものと同様である。図-4 (a) にx-y平面速度ベクトル ($z = 100 \text{ m}$) を、図-4 (b) にx-y平面温位分布コンタ ($z = 100 \text{ m}$) を示す。地上面において温度差が生じているため、その温度境界付近において水平対流の発生が見られる。しかし、顕著な跳ね

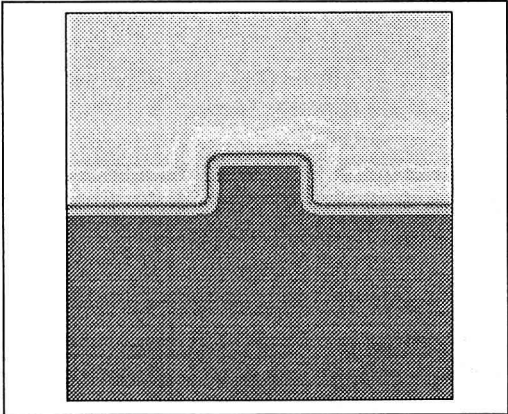


図-3 地表面温位分布

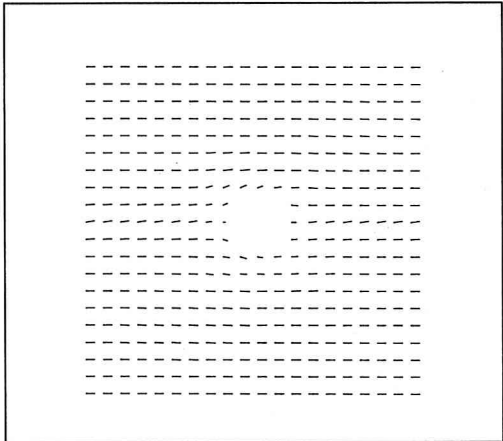


図-4 (a) x-y平面速度ベクトル (100m)

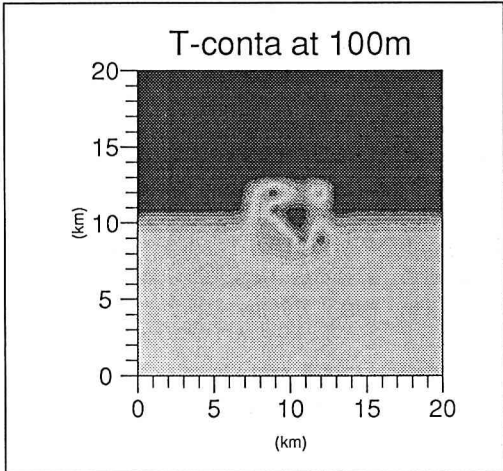


図-4 (b) x-y平面温位分布 (100m)

出し流れといったものは見られなかった。この現象は、温度分布形状、地形の形状等により大きく左右されるものと思われ、今後様々なパターンの計算を行う必要がある。温位分布については、図-4 (b) でも分かる通り、 $z = 100\text{m}$ の上空においても、地上の影響によるかなりの温位の減少が見られ、山の周辺では、地形の効果による特徴的な温位分布が見られる。

5. ソンデデータによる札幌における鉛直温位分布 (1993年1月28日午前9時)

本論文は、1993年1月28日における特徴的な雪雲の発生の解明のため、風の流れを求めるものであるが、計算結果の比較のため、同日における札幌市上空におけるゾンデによる鉛直温位分布を調べた。図-5に結果を示す。図に示す Γ は、標準大気における温位の傾きであり、実测温位分と比較のため表示した。それを下に考慮すると、地上付近は、海上と比較して低い地上温度の影響によって低くなっており、上空は、標準大気における温位勾配より大きな勾配を示している、比較的安定した大気の状態であることが分かる。

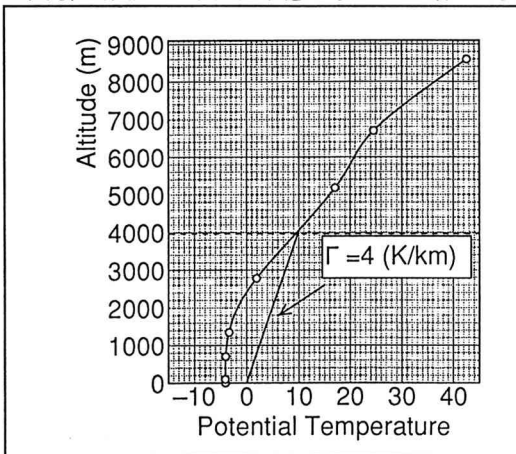


図-5 札幌市上空の温位分布

6. 実地形へのGSMAC-FEM適用結果

図-6に、計算に用いた実地形の鳥瞰図(縦・横: 120km , 高さ: 4km)と、 $y-z$ 断面における有限要素メッシュを示す。但し、計算に用いた地形は高周波数成分(波長 6.4km 以下)を、取り除いたものである。図-7に、計算に用いた $z = \text{surface}$ における温度分布を示す。本論文では、詳しく地表面での温度分

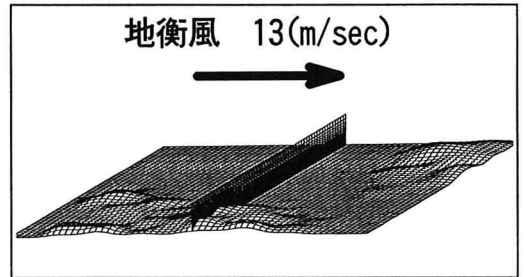


図-6 計算に用いた実地形と有限要素メッシュ

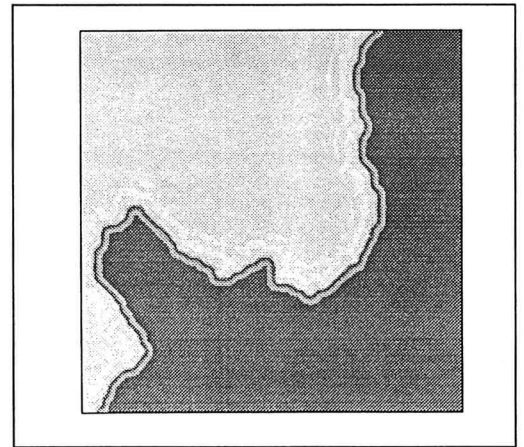


図-7 地表面温位分布

布が分からないため、一般的に用いられる程度、海上では 0°C 、陸上では -10°C とした。地衡風は、 $z = 4\text{km}$ で西から東へ 13m/sec の風とした。図-8 (a) に、 $x-y$ 平面における速度ベクトルを、図-8 (b) に $x-y$ 平面における温位コンタを示す。風の流れについては、地形効果による山後方の風の回り込みが見られ、温位コンタについては、山後方における温位の上昇現象が見られるが、海面・地面の温度差による風の流れの変化は、あまり見られない。これは、大気中での温位分布の初期条件を地上における温度の分布ほど大きく与えなかったため、地形の影響が大きく出たものと考えられる。このことは、図-9の $y-z$ 断面における速度ベクトル図において、地表面付近で海上に向かって風が吹かず、逆に回り込み効果によって、陸側に風が吹いていることから分かる。今後、初期状態を幾つか変化させて、計算を進めてゆく必要がある。

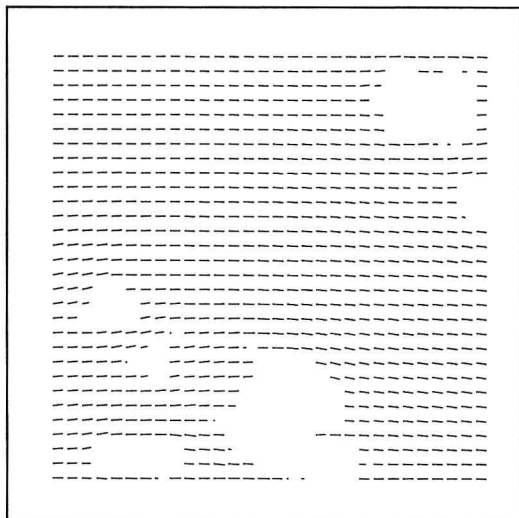


図-8 (a) x-y平面速度ベクトル (700m)

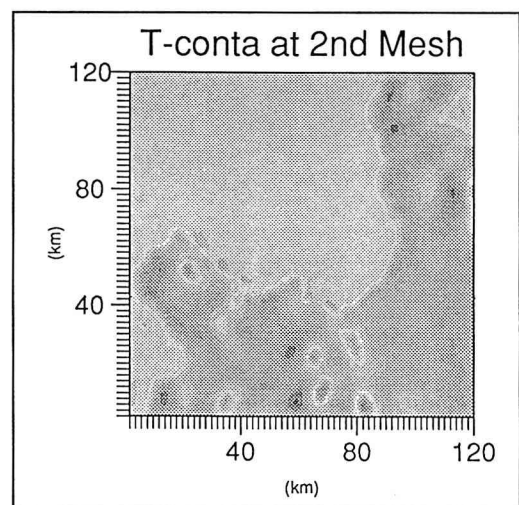


図-8 (b) x-y平面温位分布 (2階層目)

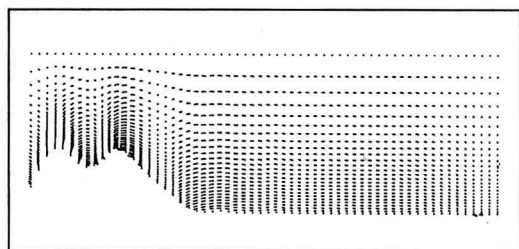


図-9 y-z平面速度分布

7. まとめ

- 1) モデル地形において、地表面で温度分布を持たない場合、風の場合は温度効果を考慮しなかった場合と、ほぼ同様の結果が得られた。しかし、上昇・下降流については、温度の影響により発生範囲が異なっていた。
- 2) 地表面で温度分布を持つ場合、かなり大きな水平対流が生じていた。これによりモデル地形の周辺における温位、上昇・下降流分布に大きな変化が現れた。
- 3) 実地形における計算では、初期状態の与え方の不備により、温度の影響を見ることが出来なかったが、地形による温位の増減ははっきりと現れていた。

8. おわりに

本論文では、様々な条件での計算を行うことが出来ず、Separation-flowの再現を行うことが出来なかった。今後は、どのような温度分布により発生するのか、ということ念頭に計算をすすめてゆくつもりである。

《参考文献》

- 1) 長谷川和義、藤田睦博、中山恵介：石狩湾の雪雲発生時における風の場の解析とレーダーエコーの推移の推定、平成4年度土木学会北海道支部論文集、p. 537～p. 542。
- 2) 中山恵介、長谷川和義：石狩湾における地形を考慮した風の場の解析とレーダーエコーの推移の推定、土木学会第48回年次学術講演概要集、p. 182～p. 183。
- 3) K. Nakayama, K. Hasegawa: Analysis of the Wind Field in Winter and Prediction of Snow Clouds When Characteristic Snow Clouds Appear, INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION, p. 549～p. 554。
- 4) 棚橋隆彦：「GSMA-C-FEM数値流体力学の基礎とその応用」、アイビーシー。

〔謝辞〕

本研究を進めるにあたり北海道開発局開発土木研究所の中津川氏、本学低温化学研究所の大学院生佐藤晋介氏にデータの入手等多くの助言を頂いた。更に、図の作成において開発土木研究所の河川研究室の援助を頂いた。記して感謝の意を表す次第である。