

石狩湾周辺の温度効果を考慮した風の場合 と雪雲推移の推定

北海道大学大学院 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

冬期札幌においては、様々なパターンの雪雲が石狩湾入り口から進入してくる。そのうち、最も特徴的な一つとして高島岬先を跳ね出しとする雪雲があり、札幌の降雪に非常に大きな影響を与えている。これまで著者らは、この種の雪雲の発生が高島岬周辺の地形効果による考え、風の場合を数値解析によって求めて雪雲移動の予測を行ってきた。本論文では、これまで階段状に扱ってきた地形を有限要素法を用いて実際に即したものとするとともに、温度効果を考慮して風の場合を推定し、雪雲移動の予測を行った。更に、予測時間をのばすために定量領域が、120kmの北海道開発局のピンネシリレーダを用いることとした。

2. 取り扱ったレーダデータ

使用したレーダデータは、グラウンドクラッタがすでに除去された降雪強度を用いた。走査法はPPIで、仰角0°、動系方向のデータ採取間隔3km、方向角分解能128であり、定量領域は120kmである。図-1に、石狩湾周辺の地形コンター(120km×120km)及びレーダの設置点を示す。計算で取り扱ったデータの日時は、1992年1月28日午前0～5時迄の間であり、図-2に例として午前3時の降雪強度コンターを示す。高島岬先及び積丹半島先において、弓状の雪雲の跳ね出しがはっきりと確認される。

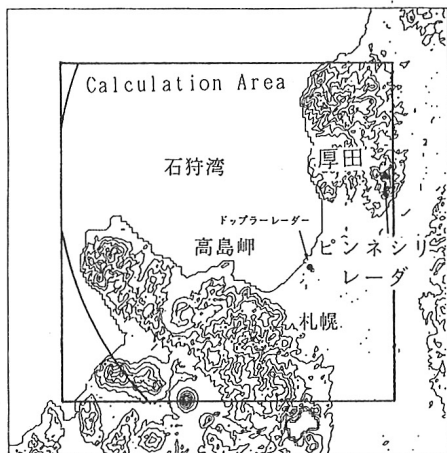


図-1 石狩湾周辺のコンタ図とピンネシリレーダ

3. 温度効果を考慮した風の場合の推定

計算に用いた地形の様子と計算格子を図-3に示す。計算領域は縦・横・高さ：120km×120km×4kmであり、計算の安定性を増すために、地形の波長成分12.8km以下の高周波成分は取り除かれている。地表面付近での計算を安定化するために、メッシュはそれより上空に比べ細かなものとした。式(1)、(2)、(3)に、ブシネスク系で表現された連続の式、運動方程式、熱輸送方程式を示す。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + f(\mathbf{u} - \mathbf{u}_g) = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \alpha g \theta \mathbf{k} + \varepsilon \nabla^2 \mathbf{u} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + (\theta \cdot \nabla) \mathbf{u} + \Gamma w = \kappa_\theta \nabla^2 \theta \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (3)$$

$$\varepsilon = \kappa_\theta = \kappa^2 (z - h_t) U / \ln \frac{H - h_t}{k_s} \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{u}$ ：速度ベクトル、 ρ ：大気密度、 p ：安定大気状態からの摂動分圧力、 θ ：安定大気状態からの摂動分温位、 Γ ：温位の鉛直勾配、 ε ：渦粘性係数(式(4))、 κ_θ ：熱拡散係数(式(4))、 κ ：カルマン定数、 k_s ：粗度高、 f ：コリオリ係数である。境界条件は、 z =地表面にて $\mathbf{u}=0$ 、 z =地衡風高度にて $\mathbf{u}=\mathbf{u}_g$ 、残り四方について解放条件、海上の温度が陸上の温度より10°高い条件とした。上空での境界条件である地衡風風速・風向はドップラーレーダにより得られた値の風速16.5m/sec・方向角270°を用いた。

図-4に、 $z=900\text{m}$ における風速ベクトル図を示す。高島岬西側において、地形効果及び陸上から海上への温位差による水平対流により大きな跳ね出しが発生している。石狩湾入り口付近においては、厚田山岳部前方での分岐流・手稲山東における風の回り込み作用により、風が南方に向けられている。

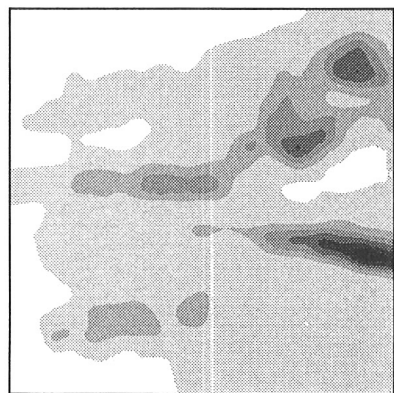


図-2 1992年1月28日午前3時00分における降雪強度

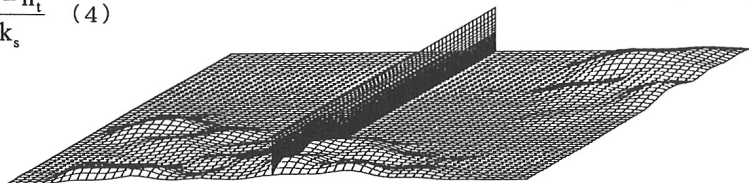


図-3 計算に用いた地形のメッシュの様子

4. 雪雲移動の予測

雪雲移動の予測には、最もシンプルな移流のみを考慮した予測法を用いた。式(5)に計算に用いた移流方程式を示す。

$$\frac{\partial r}{\partial t} + u \frac{\partial r}{\partial x} + v \frac{\partial r}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

ここで、 r ：降雪強度である。計算に用いた降雪強度の初期状態は、図-2の1992年1月28日午前3時00分である。図-5(a)・(b)に、30分後・50分後の実際の降雪強度及び予測強度を示す。僅かながら、予測された降雪強度が実際のものより北に位置している。風の場の計算において、厚田付近で南方風が表現されていたにも関わらず、更にそれよりも大きな南向きの移動が起こっていたと考えられる。これは、高島岬先を剥離点とする流れ、もしくは寒気の進入によるブロッキングにおいて再現される流れであり、今後それらを考慮した風の場の解析が必要とされる。

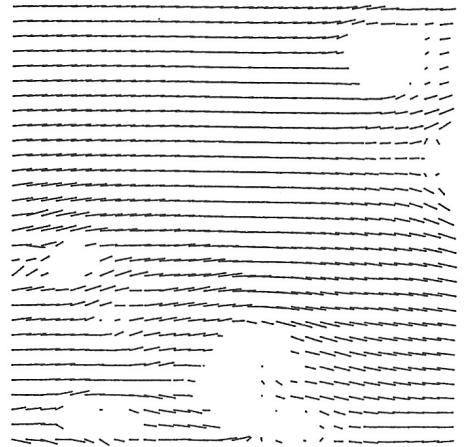


図-4 高度1500mにおける速度ベクトル

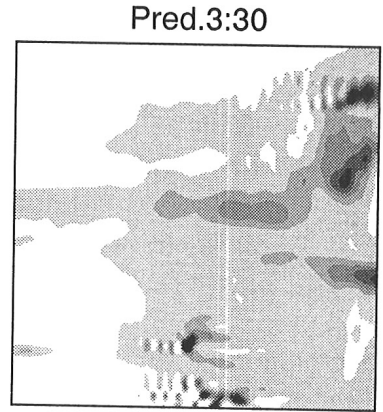
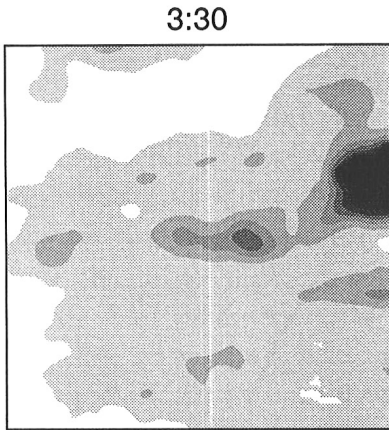


図-5 (a) 午前3時30分における降雪強度予測結果

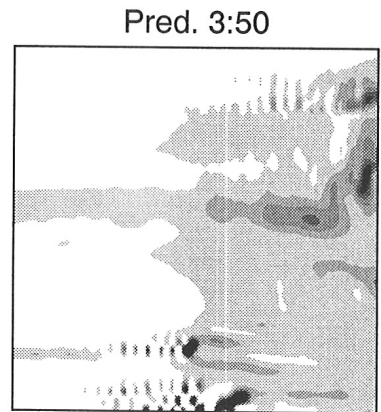
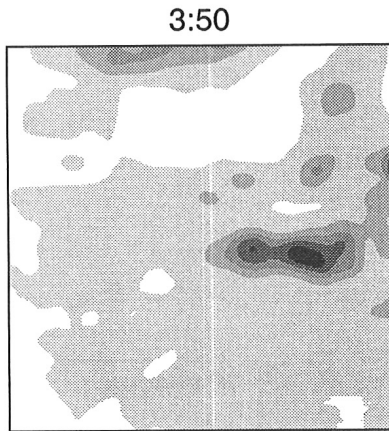


図-5 (b) 午前3時50分における降雪強度予測結果

5. まとめ

風のを求める際、有限要素法を用い温位効果を考慮したことにより、高島岬西側における跳ね出しをかなり良く表現することが出来た。降雪強度の予測は、ピンネシリレーダを用いることによりある程度長いリードタイムまで可能であるが、より正確な降雪強度予測を行うためには、風のを求めるに際して、鉛直方向の密度変化、および湿潤大気の運動を考慮する必要があると思われる。

【参考文献】①棚橋隆彦著：GSMAC-FEM・数値流体力学の基礎とその応用、アイビーシー、平成3年。②中山恵介・長谷川和義・藤田陸博：GSMAC-FEMを用いた冬期石狩湾周辺の風のを推定、土木学会北海道支部論文集。③中山恵介：冬期石狩湾における風のをと雪雲移動に関する数値解析、平成5年度修士論文、1994。