力学的ダウンスケーリングに基づく吹雪の発生可能性の事例解析
Case Studies of Drifting Snow Potential with Dynamical Downscaling

丹治星河（北海道大学大学院理学院），稲津將（北海道大学大学院理学研究院）
Seika Tanji, Masaru Inatsu

１．はじめに

吹雪とは，強風によって積雪粒子が巻き上げられるか，または強風によって降雪粒子が飛ばされる現象である．吹雪粒子の跳躍・浮遊は視界を悪化させ，交通障害を引き起こす．また，吹雪粒子の運搬・堆積により形成される雪庇は雪崩の原因となる．このように吹雪は人的被害をもたらしうる．一方，雪粒子の再配置は極域や山岳域の水循環に大きく寄与する．よって，吹雪研究は防災・自然科学の両面において重要である．

吹雪そのものは乱流によって変動する風速の影響を受けたマイクロスケールの現象である．とはいえ，吹雪の発生可能性は主にメソスケール現象により規定される降雪や地表面風速に強く依存する[1)]．よって，吹雪発生可能性は 1km 程度のメソスケール現象を解像する数値シミュレーションによって評価できるものと期待される．しかしながら，これまでこのような高解像度気象データに基づいて吹雪の発生可能性を評価した例はない．日本における現業の吹雪発生予測に用いられる気象データの解像度は高々5km にとどまる[2)3)]．

本研究の目的は，力学的ダウンスケーリング(以下，DDS)によって作成した 1km 解像度の気象データに基づいて吹雪発生可能性を評価し，DDS 境界条件とする 5km 解像度の気象データに基づいた吹雪発生可能性評価と比較することである．本研究ではマイクロスケール現象として吹雪を直接計算せず，あくまで 1km 解像度の気象データから雪粒子空間濃度と視程を推定する．また，DDS の計算負荷軽減のため，札幌周辺における 2 つの典型的な吹雪事例のみを扱うとする．

２．データと手法

⑴ 力学的ダウンスケーリング

本研究で使用したデータは気象庁提供のメソ数値予報モデル(MSM)の解析値（5km 解像度)である．DDS には，理化学研究所計算科学研究センター(R-CCS)が開発している気象・気候科学計算向けライブラリ SCALE(Scalable Computing for Advanced Library and Environment)[4)]を用いた．この際，水平格子数は 90×90，鉛直層数は 32 層，水平格子間隔は 1km，出力時間間隔は 1 時間，また，計算領域は札幌市近郊の北緯 42.7-43.4 度，東経 141.0-141.8 度とした．

⑵ 雪粒子空間濃度と視程（吹雪）の評価

ある高さz[m]における雪粒子空間濃度n[g/m^3]を

Copyright © 2018 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

$$n = \frac{P}{w_f} + \left(n_1 - \frac{P}{w_f}\right)\left(\frac{z}{z_1}\right)^{-\frac{w_b}{kU_*}} \quad (1)$$

(塩谷 1953[5])と，視程[m]を

$$\log(vis) = -0.773 \cdot \log\left(M_f\right) + 2.845 \quad (2)$$

(竹内・福沢 1976[6])の経験式によって評価した．ここで松澤・竹内(2002)[7]に従い，降雪粒子の落下速度w_fは 1.2m/s，吹雪粒子の落下速度w_bは 0.35m/s で一定と仮定し，ある高さz_1(0.15m)における雪粒子空間濃度n_1は 30g/m^3，カルマン係数kは 0.4 とした．また，降雪強度P [g/m^2 /s]，風の摩擦速度U_* [m/s]は DDS データを使用した．飛雪流量M_fは，$M_f = n_z \cdot U_z$により求めた．これら統計式による吹雪の定量的推定を，3 時間ごとの MSM 解析値と 1 時間ごとの DDS データそれぞれについて行った．

また，本研究では積雪粒子の巻き上がりに伴う吹雪が発生する条件を，氷点下，かつ高さ 10m における風速 5m/s 以上とした．この条件のうちどちらか一方でも満たさない場合は，式(1)の第 2 項を 0 とした．

⑶ 計算期間

本研究で対象とする事例は①2016 年 2 月 22 日 00:00UTC～25 日 00:00UTC の 3 日間と②2018 年 1 月 4 日 00:00UTC～7 日 00:00UTC の 3 日間の 2 つである．①の期間では，24 日 11 時 45 分ごろ，北広島市内の道央自動車道で，吹雪による視界悪化が原因と思われる交通事故が発生した．また，②の期間では，6 日 17 時半ごろから，道央自動車道札幌南 IC～恵庭 IC で吹雪に伴い通行止めとなった．

３．結果

⑴ ①の事例

図 1(b)～(e)は 2 月 24 日 10:00~12:00 の雪粒子空間濃度の推定値である．MSM(5km 解像度)に基づく雪粒子空間濃度の推定値は石狩市付近のみで大きい．一方，DDS データ(1km 解像度)に基づく雪粒子空間濃度の推定値によると，札幌市中心部や北広島市にも吹雪域が広がっている．また，24 日の事故発生現場近傍の格子における視程を推定した．MSM の解析値によると，交通事故直前である 10 時から 11 時までの間，視程は 1km 以上を保ったままだった(図略)．一方，DDS データによると，その間，視程が急激に小さくなり，約 100m となった(図 1(a))．

⑵ ②の事例

図 2(b)～(e)は 1 月 6 日 16:00~18:00 の雪粒子空間濃度の推定値である．MSM 解析値によると雪粒子空間濃度は一様に小さかった．一方，DDS データによると，石狩市，札幌市西部，恵庭市，および千歳市で雪粒子空間濃度は大きくなった．また，6 日の恵庭 IC 近傍の格子における視程を推定した．MSM の解析値によると視程悪化を見出すことはできなかったが，DDS データによると通行止め開始前後である 17 時～18 時の間で視程が急激に小さくなり，約 500m となった(図 2(a))．

Copyright © 2018 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

４．まとめ

本研究では 5km 解像度の MSM 解析値と 1km 解像度の DDS データそれ添えに基づき雪粒子空間濃度および視程を評価した．その結果，前者では判定できない吹雪発生可能性を，後者では判定できた．

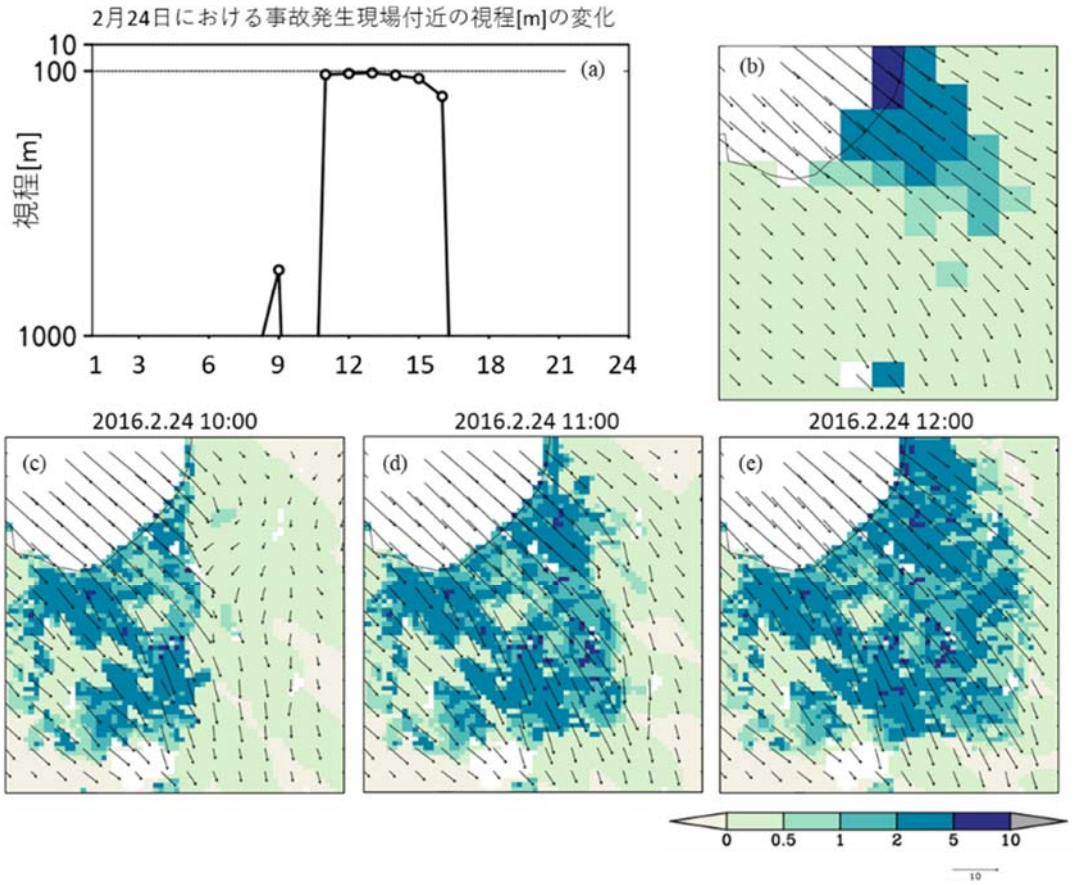

図 1　(a)事故発生現場付近における 2 月 24 日の視程[m]の時間変化を DDS データに基づき計算した結果．(b)～(e)2016 年 2 月 24 日 10:00～12:00 における雪粒子空間濃度n[g/m^3]を(上段，色影)MSM の解析値，(下段，色影)DDS データに基づき計算した結果．(矢印)高さ 10m における風向風速[m].

Copyright © 2018 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

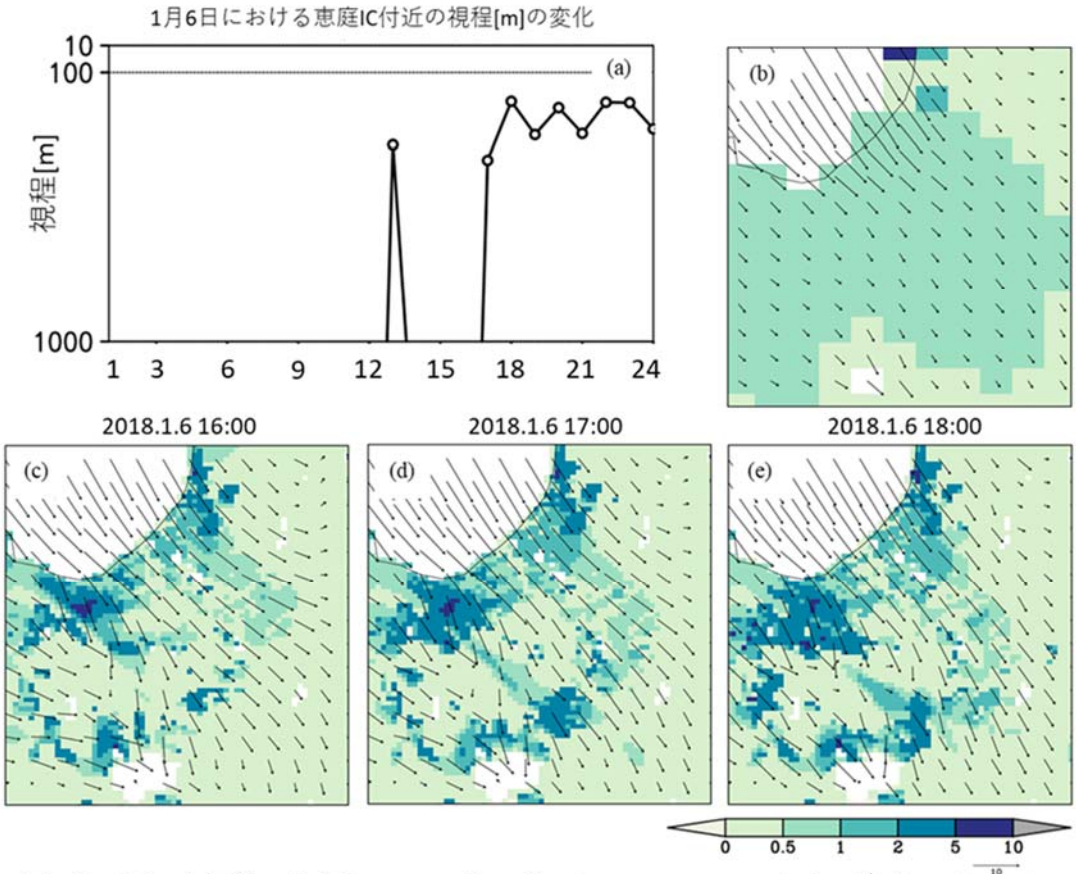

図 2　図 2 と同様．ただし，2018 年 1 月 6 日 16:00～18:00 および恵庭 IC における 1 月 6 日の結果.

【参考・引用文献】

1) 前野紀一，遠藤八十一，秋田谷英次，小林俊一，竹内政夫，2000: 『雪崩と吹雪』(基礎雪氷学講座第Ⅲ巻)，古今書院，236 pp.
2) 寒地土木研究所: “北の道ナビ【吹雪の視界情報 北海道版】- Northern-road.jp”．参照先:http://www.northern-road.jp/navi/touge/fubuki.htm (参照日:2018 年 6 月 25 日)
3) 防災科学技術研究所：“中標津町吹雪予測情報”．参照先：http://yukibousai.bosai.go.jp/nakashibetsu_open/ (参照日:2018 年 6 月 25 日)
4) 理化学研究所: “SCALE by RIKEN AICS“．参照先: https://scale.aics.riken.jp/ja/ (参照日:2018 年 1 月 26 日)
5) 塩谷正雄，1953：吹雪密度の垂直分布にたいする一考察．雪氷，15，**1**，6-9.
6) 竹内政夫，福沢義文，1976：吹雪時における光の減衰と視程，雪氷，**53**，309-315.
7) 松沢勝， 竹内政夫， 2002： 風速と降雪強度から吹雪時の視程を推定する手法について， 雪氷，**64**，7-85.

Copyright © 2018 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部