

北海道西岸沖に形成される層雲の空白域に及ぼす地形効果

藤 吉 康 志*¹・岸 寛 人*²・大 竹 秀 明*³・川 島 正 行*⁴

要 旨

1998年から2002年の暖候期の「ひまわり」の可視画像を調べたところ、日本海上を層雲域が北東方向に移動する際、北海道西岸沖にのみ雲が存在しないという再現性のある雲分布が見出された。この特異な水平分布には、奥尻島によって発生するフェーンの局所的効果に加えて、北海道全体で作られる気流系の影響が大きいことが、WRF (Weather Research and Forecasting) -ARW を用いたシミュレーション結果から示唆された。

1. はじめに

霧は陸上では盆地霧や川霧のように局地的な現象である。一方、日本の周辺海域、北極海、北太平洋や北大西洋上などに発生する海霧を含む層雲は、高々1 km 程度の鉛直スケールにも拘わらず、1000 km 以上の水平スケールに達することもある大規模な現象であり、かつ持続時間も長い。従って、海難事故の防止のみではなく、局地スケールからグローバルスケールの放射収支、それに伴う気候への影響も無視できない。

霧および層雲は、他の雲に比べて発生高度が低いため、地表面過程や人為起源の汚染物質の影響を受けて、物理特性や放射特性が変化しやすい。沢井 (1982, 1990) も指摘しているように、霧は様々な物理過程のいくつかが複合して発生し、どのメカニズムが優勢であるかは、発生地域の地形・地理、気象条件や大気環境により異なる (例えば、Gultepe *et al.*

2009; Haeffelin *et al.* 2010; Niu *et al.* 2010)。

Wang (1985) の教科書は、海霧に関する多くの項目 (例えば分類法、全球分布、物理特性、予測など) を網羅しているが、特に、東アジア域はもとより日本各地で発生する海霧の分布に及ぼす地形効果について詳細に記述している。一方、イギリスやアメリカに発生する海霧に関しては、Lewis *et al.* (2004) が研究レビューを行っている。

我が国では道東の霧や東北地方の「やませ」が有名であり、数多くの研究が行われてきた (例えば、上田・八木 1984; Uyeda and Yagi 1984; 海霧研究グループ 1985; 沢井 1988; 三品 1992; 川村 (編) 1995; Kodama *et al.* 2009)。霧の物理特性に関しては、北海道林務部 (1950, 1952)、北大低温研 (1951, 1953)、Hori (ed.) (1953) によって行われた研究を嚆矢として、ミリ波レーダーを用いた海霧の鉛直および水平構造の観測も行われ (例えば、柳沢 ほか 1986; Hamazu *et al.* 2003; Uematsu *et al.* 2005a, b)、釧路空港では2000年3月から2007年3月まで空港気象霧観測レーダーを用いた調査が行われた。

日本海北部やオホーツク海における海霧の発生と海流・海面温度との関係についても、これまで数多くの研究がある (例えば、原見 1965, 1966; 堀口 1976; 大川 1995; Tachibana *et al.* 2008; Tokinaga *et al.* 2009)。しかし、同地域に発生する海霧や層雲の水平分布 (あるいは消滅) に及ぼす地形の影響を考察した

*1 北海道大学低温科学研究所。

E-mail: fujiyo@lowtem.hokudai.ac.jp

*2 北海道大学大学院地球環境科学研究科 (現: 土木研究所寒地土木研究所)。

*3 北海道大学大学院地球環境科学研究科 (現: 気象研究所)。

*4 北海道大学低温科学研究所。

—2010年11月30日受領—

—2011年5月25日受理—

研究は少ない（例えば、Wang 1985）。

霧や層雲の水平分布と時間変化を調べるには、現時点では静止気象衛星の可視画像が最適なデータである。日本近海の霧あるいは層雲は、気温が海面温度より高い4～8月の暖候期に発生しやすいことから（肥沼 1952）、我々も4～8月の「ひまわり」の可視画像を用いて、北海道周辺に発生する霧を含む層雲の水平分布の特徴を調べた。

2. 北海道西岸沖に見られる層雲の水平分布の特徴

1998年～2002年の期間中、東北地方も含む北海道周辺および日本海中部から北部にかけて、厚い中層雲や上層雲で覆われておらず、霧を含む層雲が数時間でも肉眼で判別できたのは175日であった。これらのうち判別時間が比較的長く、衛星画像を動画化できた85日（事例）を対象として、日本海中部から北部に層雲が確認できた日数を層雲域の移流方向別に調べた（第1表）。堀口（1976）によると、日本海の霧の最盛期は暖候期の6～7月であるが、我々の結果では6月の次に5月の事例数が多かった。これは、層雲の発生頻度が高い6月と7月には上空にも雲が発生し、今回の統計から除外される割合も高かったためである。

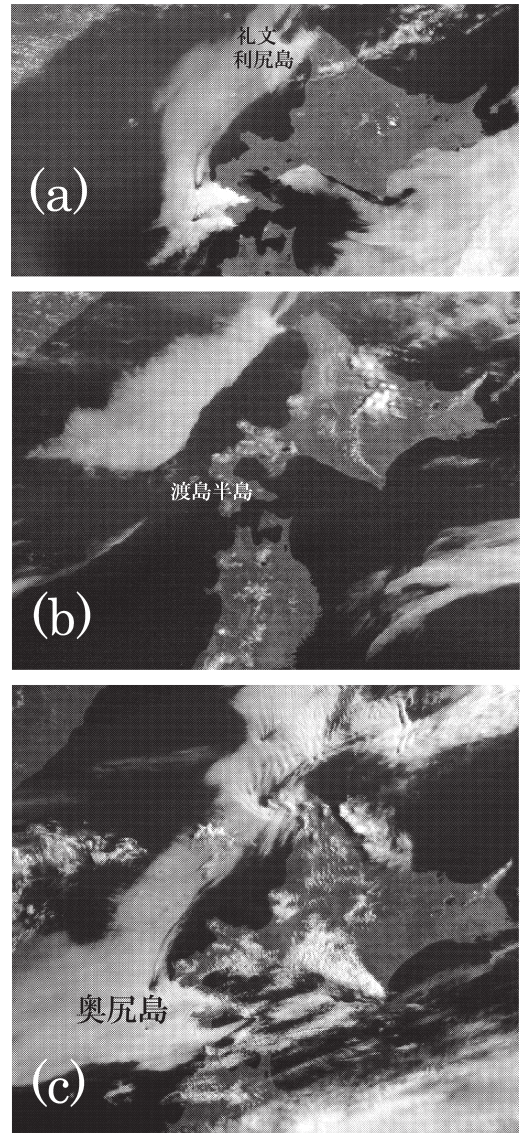
また第1表に示したように、北海道西岸沖合の沿海州付近では、北東方向に移動する層雲の出現頻度が一番高く（約60%）、この結果は堀口（1976）の解析結果と一致する。このように、層雲域が北海道西岸沖を北東方向に移動する際、奥尻島、渡島半島、積丹半島の風下に雲の空白域ができやすいことは従来から知られていた（Wang 1985）。その典型例を、第1図（(a) 1998年5月15日13時、(b) 2001年4月18日09時、そして最近の (c) 2009年5月4日12時）に示した。第2図に2001年4月18日09時の地上天気図を示した

第1表 1998年～2002年における、日本海上に霧および下層雲が見られた日数と下層雲の主な移動方向。沿海州の列に示した数字は、沿海州沖にも出現した日数である。

移動方向	出現月					合計	沿海州
	4月	5月	6月	7月	8月		
北東	5	10	20	9	8	52 (61%)	40
南西	2	9	3	7	2	23 (27%)	19
北西	0	1	2	2	0	5 (6%)	5
南東	1	2	0	0	2	5 (6%)	3
合計	8	22	25	18	12	85 (100%)	67

が、第1図に見られるような層雲域が出現する時は、日本海上をゆっくりと移動する高気圧に広く覆われるか、等圧線の間隔が広い時であり、北海道付近の等圧線の向きは南西から北東方向であった。また3事例とも陸上はほぼ快晴で、日中石狩平野部の気温は20°Cを超えていた。

この特異な雲の空白域は、日本海上を北東方向に移



第1図 ひまわり可視画像。(a)1998年5月15日13時、(b)2001年4月18日09時、(c)2009年5月4日12時。（高知大学気象情報頁提供）

動する層雲域が北海道に近づいた際にはほとんど常に見出され、全く異なった年に撮影された第1図の各衛星画像を比較して分かるように、分布の再現性が極めて高い。そこで、この空白域の成因に対する地形効果について、数値モデルを用いて考察した。

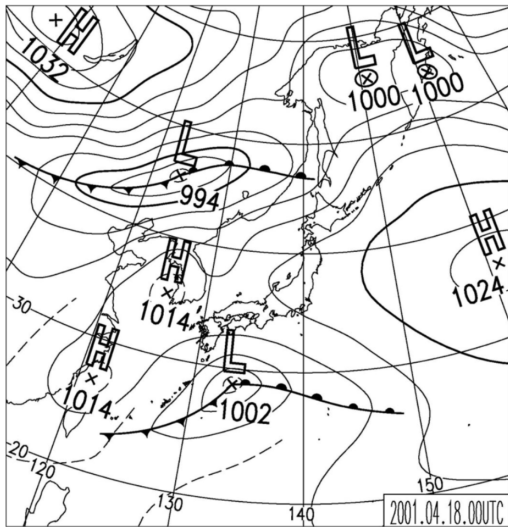
3. 北海道西岸沖に見られる層雲の特異な水平分布に及ぼす地形効果

第1図に示した雲の特異な空白域は、Wang (1985)の第4-21図(1978年6月23日09時の衛星画像)とも酷似している。彼は、礼文島や利尻島および奥尻

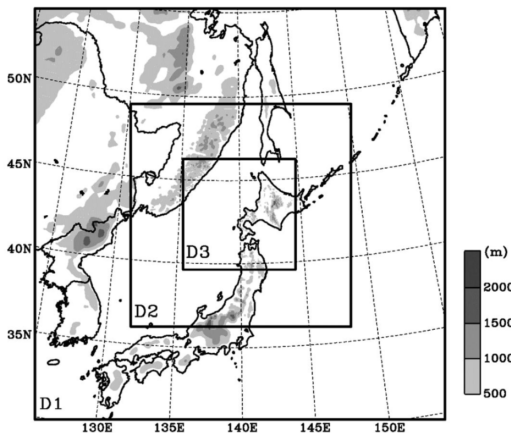
島の風下に見られる雲の空白域は、それぞれの島が引き起こすフェーンとそれに伴う雲の消散が原因であると述べている。しかし、奥尻島の風下の空白域は利尻や礼文島の空白域に比べて面積も広く、奥尻島単独のフェーンのみでこの層雲の水平分布が説明できるかについては、再検討の余地がある。

そこでメソ気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting)-ARW Ver.3.2 を用いて、層雲の再現実験を行うと共に空白域の形成に果たす地形の役割について調べた。数値実験は、第3図に示したように、水平格子間隔18 km (領域 D1, 水平格子数151×151), 6 km (領域 D2, 241×241), 2 km (領域 D3, 361×361) のモデルを用いて two-way-nesting で行った。初期値と境界値はそれぞれ、NCEP Final Analysis (格子間隔1°×1°, 6時間間隔)と NCEP Real-time sea surface temperature data (RTG-SST; 格子間隔0.5°×0.5°, 1日間隔)を用いた。地形は、USGS (United States Geological Survey) の緯度・経度30秒間隔の数値標高データ (GTOPO30)を用いた。鉛直層数は地上から50 hPaまでの36層で、下層ほど鉛直格子間隔は小さい。その他の設定については第2表に示した。

実験は第1図に示した3事例について行ったが、いずれの実験においても北海道西岸沖に沿った層雲の空白域が再現された。以下では、2001年4月18日の再現結果を用いて、層雲の空白域の形成に及ぼす地形の影響について考察する。時間積分は、領域 D1については初期時刻2001年4月17日00UTC (09JST) から30時間行い、領域 D2 と D3 については、領域 D1の積分



第2図 2001年4月18日09時の気象庁地上天気図。



第3図 計算領域と地形。

第2表 数値モデルの設定。

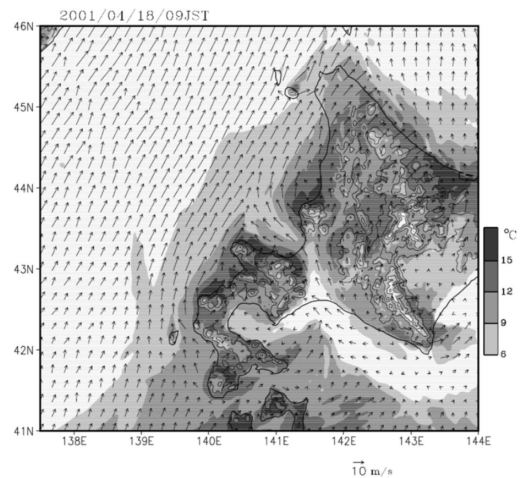
領域名	D1	D2	D3
水平格子間隔 (km)	18	6	2
水平格子数	151×151	241×241	361×361
鉛直格子数	36	36	36
タイムステップ (秒)	120	40	13.3
積分時間 (時間)	0-30	6-30	12-30
積雲対流スキーム	Kain-Fritsch		未使用
雲物理スキーム	WSM 6-class scheme		
接地層スキーム	Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino		
境界層スキーム	Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino		
地表面過程モデル	Unified Noah land surface model		
長波放射モデル	Rapid radiative transfer model		
短波放射スキーム	Dudhia scheme		

開始時刻からそれぞれ6時間後と12時間後に積分を開始させた。

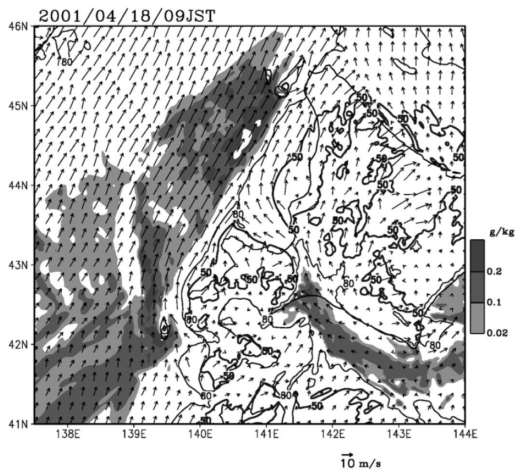
第4図は、2001年4月18日09時における水平2 km 格子のモデル最下層（地表からの高さ約40 m）の水平風と、モデル下部3層における平均雲水混合比、および相対湿度の分布である。雲水は、利尻島・礼文島に風が当たると狭い領域を除き、4層目（地表からの高さ約300 m）以上には殆ど存在しない。図から明らかなように、渡島半島を迂回した風が吹く海岸沿いと、石狩平野から海に吹き出た風が北上する領域は、層雲の空白域と極めて良く一致する。これらの海岸沿岸部や風が陸から海へ吹いている領域では、相対湿度が低い。また、第1図では利尻島・礼文島の風下で筋状に層雲が消えているが、こうした特徴も数値実験で再現されている。第5図は、同時刻のモデル最下層の気温の分布を示したもので、陸上、特に山岳の風下で局所的に気温が高い。水蒸気混合比自体も陸上では小さいが、第4図と比較して分かるように、山岳風下の昇温により相対湿度がより低くなっている。

第6図は、奥尻島・利尻島・礼文島の標高をゼロとし、地表面を海に変えた実験である。当然島の風下の筋状の雲分布は出なくなるが、全体として雲の分布は第4図と変わらない。この結果は他の2事例についても同様である。すなわち、ここで議論している層雲の

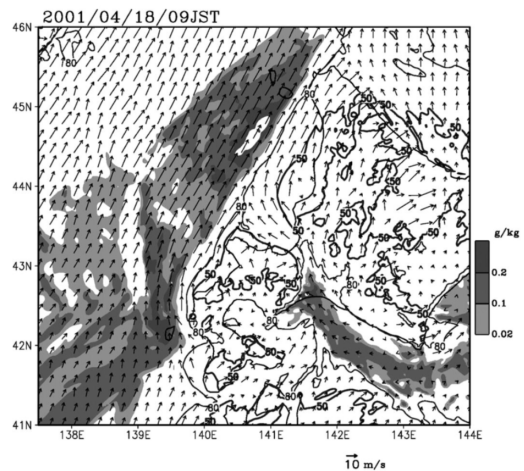
空白域は、奥尻島単独の影響というよりは、北海道全体で作られる気流系によって、北東進してきた日本海上の層雲域を含む空気塊が沿岸に近付くことができず、かつ、北海道の海岸部に沿って吹く風や、陸から日本海に向けて吹く相対湿度の低い暖かい風によって沿岸部で雲が消滅したために形成されたものと考えられる。ただし、数値計算の結果では、利尻島・礼文島・奥尻島、さらには北海道の日本海沿岸の山岳風下に強い下降流と低混合比域が示されており、Wang



第5図 2001年4月18日09時の、モデル最下層（地表からの高さ約40 m）の気温と水平風。標高の等値線の間隔は300 m。



第4図 2001年4月18日09時の、モデル最下層（地表からの高さ約40 m）の水平風と、モデル下部3層（地表からの高さ約40, 130, 200 m）における平均雲水混合比（陰影： g/kg^{-1} ）および相対湿度50%と80%の等値線（灰色の線）。



第6図 第4図に同じ。ただし奥尻島、利尻島、礼文島を海面に変えた実験。

(1985) が指摘したフェーンの効果も限定的ではあるが層雲の消散に寄与していることが示唆された。

謝 辞

本研究を進めるに当たって、霧に関する様々な情報を提供していただいた山本 哲 (気象庁観測部)、橋口浩之 (京大生存圏研)、林 泰一 (京大防災研) の各氏、また、有益なコメントをいただいた査読者に厚く御礼申しあげます。

参 考 文 献

- Gultepe, I., G. Pearson, J. A. Milbrandt, B. Hansen, S. Platnick, P. Taylor, M. Gordon, J. P. Oakley and S. G. Cober, 2009: The fog remote sensing and modeling field project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **90**, 341-359.
- Haefelin, M., T. Bergot, T. Elias, R. Tardif, D. Carrer, P. Chazette, M. Colomb, P. Drobinski, E. Dupont, J.-C. Dupont, L. Gomes, L. Musson-Genon, C. Pietras, A. Plana-Fattori, A. Protat, J. Rangognio, J.-C. Raut, S. Remy, D. Richard, J. Sciare and X. Zhang, 2010: PARISFOG: Shedding new light on fog physical processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 767-783.
- Hamazu, K., H. Hashiguchi, T. Wakayama, T. Matsuda, R. Doviak and S. Fukao, 2003: A 35-GHz scanning Doppler radar for fog observations. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, **20**, 972-986.
- 原見敬二, 1965: 日本海の霧 (昭和40年4~8月). *天気*, **13**, 187-190.
- 原見敬二, 1966: 1965年5月の日本海中部の霧について. *研究時報*, (18), 240-244.
- 北海道大学低温科学研究所, 1951: 防霧林に関する研究 (第2輯). 339pp.
- 北海道大学低温科学研究所, 1953: 防霧林に関する研究 (第4輯). 299pp.
- 北海道林務部, 1950: 防霧林に関する研究 (第1輯). 171 pp.
- 北海道林務部, 1952: 防霧林に関する研究 (第3輯). 276 pp.
- Hori, T. (ed.), 1953: Studies on fogs —In relation to fog-preventing forest—. *Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.*, 399pp.
- 堀口善一, 1976: 日本海の霧について. *研究時報*, (28), 421-426.
- 川村 宏 (編), 1995: ヤマセ. *気象研究ノート*, (183), 179pp.
- Kodama, Y.-M., Y. Tomiya and S. Asano, 2009: Air mass transformation along trajectories of airflow and its relation to vertical structures of the maritime atmosphere and clouds in Yamase events. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 665-685.
- 肥沼寛一, 1952: 日本近海の海霧について. *研究時報*, (4), 特別号, 1-24.
- Lewis, J. M., D. Koračin and K. T. Redmond, 2004: Sea fog research in the United Kingdom and United States: A historical essay including outlook. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **85**, 395-408.
- 三品 博, 1992: 釧路・根室の霧について. *技術時報*, (119), 18-25.
- Niu, S., C. Lu, H. Yu, L. Zhao and J. Lü, 2010: Fog research in China: An overview. *Adv. Atmos. Sci.*, **27**, 639-661.
- 大川 隆, 1995: オホーツク海の霧と北海道のヤマセ. ヤマセシンポジウム「'93年ヤマセ」とその周辺 Extended Abstract 集, 東北大学理学部附属大気海洋変動観測研究センター, 133-138.
- 沢井哲滋, 1982: 霧の理解のために. *天気*, **29**, 731-747.
- 沢井哲滋, 1988: 釧路の海霧. *天気*, **35**, 555-566.
- 沢井哲滋, 1990: 霧の Nowcasting. *天気*, **37**, 509-518.
- Tachibana, Y., K. Iwamoto, H. Ogawa, M. Shiohara, K. Takeuchi and M. Wakatsuchi, 2008: Observational study on atmospheric and oceanic boundary-layer structures accompanying the Okhotsk anticyclone under fog and non-fog conditions. *J. Meteor. Soc. Japan*, **86**, 753-771.
- Tokinaga, H. and S.-P. Xie, 2009: Ocean tidal cooling effect on summer sea fog over the Okhotsk Sea. *J. Geophys. Res.*, **114**, D14102, doi: 10.1029/2008JD011477.
- Uematsu, A., M. K. Yamamoto, H. Hashiguchi, K. Hirashima and S. Fukao, 2005a: Shear-induced roll structure of fog observed by a millimeter-wave scanning Doppler radar. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L14824, doi: 10.1029/2005GL022423.
- Uematsu, A., H. Hashiguchi, M. Teshiba, H. Tanaka, K. Hirashima and S. Fukao, 2005b: Moving cellular structure of fog echoes obtained with a millimeter-wave scanning Doppler radar at Kushiro, Japan. *J. Appl. Meteor.*, **44**, 1260-1273.
- 海霧研究グループ, 1985: 釧路地方における海霧の観測. *天気*, **32**, 41-52.
- 上田 博, 八木鶴平, 1984: 北海道釧路市における市街地と郊外・海岸での海霧の観測. *天気*, **31**, 137-145.
- Uyeda, H. and T. Yagi, 1984: The character of sea fog in the urban area of Kushiro City, eastern Hokkaido. *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 917-928.
- Wang, B., 1985: *Sea Fog*. China Ocean Press, 330pp.

柳沢善次, 石原正仁, 沢井哲滋, 1986: ミリ波レーダーによる海霧の観測. 天気, 33, 603-612.

Effect of Topography on Dissipation of Low-level
Stratus off the West Coast of Hokkaido Island

Yasushi FUJIYOSHI*¹, Hiroto KISHI*², Hideaki OHTAKE*³
and Masayuki KAWASHIMA*⁴

*¹ (*Corresponding Author*) *Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ., Sapporo 060-0819, Japan.*
E-mail : fujiyo@lowtem.hokudai.ac.jp

*² *Graduate School of Environmental Earth Sci., Hokkaido Univ., Sapporo 060-0810, Japan*
(Present affiliation : Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Sapporo 062-8602, Japan).

*³ *Graduate School of Environmental Earth Sci., Hokkaido Univ., Sapporo 060-0810, Japan*
(Present affiliation : Meteorological Res. Inst., Tsukuba 305-0052, Japan).

*⁴ *Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.*

(Received 30 November 2010 ; Accepted 25 May 2011)
