

2001年度春季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会春季大会(東京)3日目(5月10日)のセッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会が東京大学理学部旧1号館166号室で行われた。出席者は約80名であった。前半はこの春に南極観測より戻られた方々より、得られた観測の速報や最新の成果について報告していただいた。後半は最近行われたオホーツク海観測プロジェクトの速報として、4人の方々より、冬季及び夏季の大気-海洋間の熱収支及びそれに伴う気団変質過程についての研究成果を報告していただいた。

以下に、発表内容について、発表者からいただいたアブストラクトを中心に報告する。

世話人:

平沢尚彦(国立極地研究所)

本田明治(地球フロンティア研究システム)

中村 尚(東京大学理学部)

高田久美子(地球フロンティア研究システム)

阿部彩子(東京大学気候システム研究センター)

佐藤 薫(国立極地研究所)

浮田甚郎(米国航空宇宙局)

1. 南極観測報告

第41次越冬隊報告

「ドロップゾンデによる大陸上の緯度断面観測」

和田 誠(国立極地研究所)

第42次夏隊報告

「昭和基地におけるMPL, Sky-Radiometer観測」

塩原匡貴(国立極地研究所)

ここでは、第41次越冬隊に参加した和田 誠氏(極地研)と、第42次夏隊に参加した塩原匡貴氏(極地研)から観測の様子を紹介していただいた。塩原氏は、昭和基地におけるMPL(Micro Pulse Lidar)観測の立ち上げ、及びしらせ船上におけるSky-Radiometer観

測を始めとしたエアロゾル分布や大気放射に関する観測を受け持った。一方、和田氏は航空機を用いた大気循環場、エアロゾル分布等に関する大陸上の対流圏下部の緯度断面を明らかにすることを目指した。

以下に、和田氏から寄せられた講演アブストラクトを掲載する。

1.1 「南極内陸域の航空機観測」

和田 誠(国立極地研究所)

これまでほとんど行われていない、南極大陸内陸部のエアロゾル、水蒸気量の測定を主とした航空機観測を2機の飛行機を用いて2000年2月17日から2001年1月19日まで実施した。みずほ基地(昭和基地から約300km)までの飛行をピラタス機16回、セスナ機18回、MD210地点(昭和基地から約500km)までの飛行を1回、実施した。機体搭載の温湿度計、露点計、気圧計、光学式パーティクルカウンター、凝縮粒子カウンターによる大気場、エアロゾル数濃度の観測をすべての内陸飛行で実施し、さらにほぼ月1回のドロップゾンデ観測システムによる緯度方向約150kmごとの大気場の断面観測、また月2回弱のエアロゾル粒子を観察するためのエアロゾル採取を実施した。取得データからは、沿岸から内陸までの粒径によるエアロゾル数濃度の変動の違い、水蒸気量とエアロゾル数濃度の関連、水蒸気量の沿岸域、内陸域の違いなどが示されている。今後さらに詳細な解析を行い原因を考える。

2. オホーツク海観測プロジェクトー夏と冬の気団変質一

2.1 「1998年~2001年に行われた観測から得られた新知見」

立花義裕(東海大学総合教育センター/地球フロンティア研究システム国際北極圏研究センター)

上記の一連のラジオゾンデを主に用いた観測は、次

らは文部省科学研究費及び、科学技術振興事業団戦略的基礎研究、そして宇宙開発事業団の研究費である。冬季4回、夏季1回の観測をオホーツク海上の船舶及び、北海道のオホーツク海沿岸で行なった。最初にこれら観測に関わった国内外の多くの研究者、研究行政機関そして学生などの研究支援者に感謝の意を表した。

近年気象関係の研究において、自ら観測を行うタイプの研究が減少傾向にあり、大学院生など若手研究者の観測的研究経験の機会が減ってきている。このような傾向があることから、観測的研究の将来に対して私は日頃危惧しているのであるが、本観測に関わった大学院生などにとって、自らの将来の研究の礎となれば、それは将来への投資として、あるいは教育的効果として、本観測は大いなる意義があったと自負している。誤解を招かないよう断っておくが、もちろん上述の意義は、本来の研究的目的の達成の中で得られた副産物である。

本観測の主目的は、オホーツク海という非常に特殊な海域の、気象・気候変動に対するインパクトを解明することにある。その特殊性の一例として、北半球で最南端の海氷域であり、その年々変動が非常に大きく(例えば Tachibana *et al.*, 1996; Ogi *et al.*, 2001), その大気大循環へのインパクトの大きさが大気大循環モデルによって示唆されている (Honda *et al.*, 1996, 1999)。一方夏季では、オホーツク海の海面水温は10°C未滿と非常に冷たく、周囲の大陸及び海洋との温度の水平勾配が非常に大きいという特徴を持っている。またオホーツク海周辺では梅雨期にはオホーツク海高気圧がしばしば発生し、日本などの極東域の気候に大きなインパクトを与えている。このような特殊な状況下におかれたオホーツク海が、大気に対して何をしているのか? それを解明するための観測が上記観測プロジェクトである。冬季においては、海氷上からのラジオゾンデ観測を行い、夏季にはオホーツク海のほぼ中心部のロシア領海内でロシアの観測船を用いてラジオゾンデ観測を行った。

夏季においてオホーツク海はほぼ毎日海霧に覆われる。これは、北極域の夏季にも同様の低層雲に覆われることにも類似している。霧が広範囲に恒常的に存在することから、それが大規模な大気の熱収支、さらにそれが誘引する大規模な大気の循環系に対する影響はこれまで未解明である。オホーツク海を覆う霧が果たす放射効果、及びその影響による大気海洋相互作用に

ついての直接観測を用いた研究は皆無であった。しかしながら今回の観測プロジェクトによって、オホーツク海高気圧発生時の気柱の熱収支及び放射収支を直接観測によって初めて見積もることができ、霧が存在する事がきわめて重要であることが認識された(小川ほか, 2001)。また、このラジオゾンデ観測結果は、GAME再解析プロジェクト(山崎ほか, 2000; 谷田貝ほか, 2000)時期と同期しており、再解析データに我々のラジオゾンデ観測が反映され、良質の再解析データの作成にささやかながら寄与している。

一方、冬季の海氷上のラジオゾンデ観測からも海氷による大気海洋間の熱交換の遮断効果を様々な条件下で見積もることに成功した。それら成果は Iwamoto *et al.* (2001) および Inoue *et al.* (2001) によって発表されており、次節以降(2.2~2.4)で詳説する。

2.2 「流跡線法による海水域の海面熱フラックスの見積もり」

岩本勉之(北海道大学低温科学研究所)

冬季オホーツク海南西部における3年分のラジオゾンデ観測データを用い、流跡線解析によって選び出した2地点間の湿潤静的エネルギー差から乱流熱フラックスの見積りを行なった(方法の詳細については Iwamoto *et al.* (2001) を参照のこと)。乱流熱フラックスの大きさは様々な要因によって決定されるが、ここでは特に気温、風速、海水密度度の3つに着目し、その中でも特に海水密度度がどの程度寄与するのかを調べた。

一般的には海水には熱の遮断効果があり、乱流熱フラックスを減少させる作用があるとされる。しかし、今回の結果では乱流熱フラックスは気温との相関が最も高く、海水密度度や風速への依存性はあまり大きくなかった。これは海洋と大気間の熱交換に関して、海水による熱の遮断効果は副次的なものであり、直接的にはあくまでも寒気の強さが支配的であることを示唆している。

一方、より物理的な考察を行うために、ある領域における乱流熱フラックスは気温と風速によって決まると仮定し、それを開水面上と海氷上とに分配する形で重回帰分析を行なった。その結果、気温・風ともに開水面上では海氷上に比べて重回帰係数が数倍~10倍程度の値になった。これは、例えば対象領域の全面が海水に覆われた場合には、海水が存在しない場合に比べて乱流熱フラックスが最大で10分の1程度に減少する

ことを意味する。なお、この解析においても風は気温に比べて寄与の割合は小さかった。

以上の結果から、冬季オホーツク海南西部の乱流熱フラックスは主に寒気の強さによって決まるが、一方で海水による熱の遮断効果も十分に寄与しうることが示された。

2.3 「熱収支法による海水域の海面熱フラックスの見積もり」

小野 純 (北海道大学地球環境科学研究科)

冬季、シベリア大陸からの寒気吹き出し時に季節海水域であるオホーツク海での大気-海洋間の熱の応答を調べるためにラジオゾンデ特別観測が1998~2000年冬季に北海道大学・東海大学のグループによって行われた。Iwamoto *et al.* (2001) および Inoue *et al.* (2001) は1998年のデータを用いて海面から大気への乱流熱フラックスを見積もり、海水密接度の増大に伴い乱流熱フラックスが減少し、海水の断熱材としての効果を示した。

そこで、本研究では、Inoue *et al.* (2001) が行った大気熱収支法を用いて、1998年のデータに1999~2000年のデータを加えて寒気吹き出し時におけるオホーツク海海水域での大気の大気熱および水収支解析を行い、乱流熱フラックスに影響を及ぼす気象因子を定量的に調べた。

熱収支に使用したデータはオホーツク海南西部に位置する北海道斜里町 (43.91N, 144.64E) で行われた3年間のラジオゾンデ観測による高層気象データに、サハリン南部のユジノサハリンスクおよび稚内のデータを加えた3地点の、気圧、温位、水蒸気混合比、風速の東西、南北成分である。また、SSM/I (Special Sensor Microwave Imager) の海水データを使用して解析期間中の時間解像度1日の領域平均の海水密接度を求めた。

はじめに典型的な寒気吹き出し期間を18事例選んだ。次にゾンデ観測データを用いて熱力学の式および水蒸気の連続の式から、3地点を結ぶ三角形で囲まれた領域内の気柱を鉛直積分した熱量の実質的な時間変化を求めた。熱収支をもたらず要因は海面および海水面からの乱流熱フラックス、そして大気放射であり、大気放射は鉛直一次元放射伝達モデル Streamer Ver. 2.6.2 (Key, 1999) を使用し求めた。熱量の実質的な時間変化と大気放射の残差として乱流熱フラックスを算出した。その結果、寒気の強さや海水密接度により

乱流熱フラックスは21~406 W/m²と見積もられた。

海水密接度と乱流熱フラックスとの相関係数は-0.47であった。これをもとに乱流熱フラックスに影響を及ぼす気象因子を調べるために単回帰・重回帰分析を行った。その結果、説明変量として、温位、風速、海水密接度の線形和で重回帰したモデルが最も相関が高く、850 hPa 面で0.85であった。しかし、海面と海水面からの熱の出方は異なるので、海面と海水面からの乱流熱フラックスを分けて回帰させてみたところ、海水面熱フラックスはほとんどの事例において負の値(遮断効果に相当)を示した。海水密接度の増大に伴いその値は大きくなった。このときの相関係数は高度925 hPa 面で0.86であり、考察した回帰式モデルの中で最も高かった。この結果から、乱流熱フラックスに影響を及ぼす因子は、寒気の強さと海水密接度であることが定量的に示された。

2.4 「海水上における気団変質の航空機観測」

猪上 淳 (北海道大学低温科学研究所)

寒気吹き出し時のオホーツク海では日本海と同様に風上の沿岸域あるいは氷縁域から筋状の雲が発生する。氷縁域から発生する雲はそこでの激しい気団変質が可視化された結果であるが、それは同時に風上に広がる海水域で大気海洋間の熱交換が著しく抑制されていることも意味する。オホーツク海の海水によって乱流熱フラックスが遮断される効果はローカルにもグローバルにも影響することが過去の研究によって示されているが、実際の観測から乱流フラックスを見積もる研究(例えば Inoue *et al.*, 2001) はまだ少ない。氷縁域では特に海水密接度が激しく変化するため、氷縁域での熱収支を明らかにするには海水密接度を考慮した乱流フラックスの見積もりが極めて重要になる。そのためには海水域に無数に存在する割れ目(リード)での気団変質を陽に扱う必要がある。なぜなら衛星画像を良く見ると海水上で既に雲が発生している場合が頻繁に観測されており、これは風上の海水域で乱流熱フラックスがある程度供給されていることを示しているからである。風上におけるリード上の気団変質は、風下の乱流熱フラックスを減少させ、さらに雲の生成を促進させることから、結果的に風下に位置する氷縁域での正味の熱フラックスは減少すると考えられる。

そこで本研究では、海水域に存在する数 km スケールのリードが風下の海水域および氷縁域に熱力学的にどのような影響を及ぼすのかを、海水域の気団変質と

その結果生じる降雪を伴う雲システムに着目しながら、オホーツク海南西部で行われた高層気象観測、航空機観測及び数値モデルを用いて明らかにする。具体的にはゾンデデータを使用した熱収支解析、可視・赤外カメラによる海水の画像解析、混合層内における流線熱収支解析、観測値を初期値とした数値計算により開水面を含む海水域の気団変質過程を調べた。

これらの解析の結果、風上の開水面では周りの海水域よりも10~100倍の乱流フラックスが供給され、その風下方向の変化は風上に存在する開水面の面積に依存することが明らかとなった。これは風上の気団変質によって風下では大気-海洋間の温度差が小さくなり、その結果顕熱フラックスが減少するためである。さらに、開水面が風上に存在すると雲がより風上の海水上でも形成され、その結果海水上では雲底からの長波放射の効果によって、海水域及び氷縁域で失われる正味の熱フラックスが減少することが明らかとなった。これは風によって海水域が拡大する際に生じるポリニア（海水域中の開水域）及び無数のリードが、氷縁での海水生成とそれによる海水域の拡大を抑制する効果があることを示唆する。

謝 辞

本会の開催にあたって、大会実行委員会、講演企画委員会には大変お世話になりましたので、お礼申し上げます。

参 考 文 献

- Honda, M., K. Yamazaki, Y. Tachibana and K. Takeuchi, 1996: Influence of Okhotsk sea-ice extent on atmospheric circulation, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 3595-3598.
- Honda, M., K. Yamazaki, H. Nakamura and K. Takeuchi, 1999: Dynamic and thermodynamic characteristics of atmospheric response to anomalous sea-ice extent in the Sea of Okhotsk, *J. Climate*, **12**, 3347-3358.
- Inoue, J., M. Honda and M. Kawashima, 2001: Air mass transformation processes over the southwestern region of the ice-covered Sea of Okhotsk during cold air outbreaks, *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 657-670.
- Iwamoto, K., K. Domon, M. Honda, Y. Tachibana and K. Takeuchi, 2001: Estimation of surface heat flux based on rawinsonde observation in the southwestern part of the Sea of Okhotsk under ice-covered condition, *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 687-694.
- Key, J. R., 1999: Streamer user's guide. Technical report 96-01, Department of Geography, Boston University.
- 小川寛子, 立花義裕, 塩原真由美, 岩本勉之, 竹内謙介, 若土正暁, 2001: オホーツク海高気圧の発達過程—海霧層による冷却効果について—, 日本気象学会2001年秋季大会講演予稿集, P365.
- Ogi, M., Y. Tachibana, F. Nishio and M. Danchenkov, 2001: Does the fresh water supply from the Amur River flowing into the Sea of Okhotsk affect sea ice formation?, *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 123-129.
- Tachibana, Y., M. Honda and K. Takeuchi, 1996: The abrupt decrease of the sea ice over the southern part of the Sea of Okhotsk in 1989 and its relation to the recent weakening of the Aleutian low, *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 579-584.
- 山崎信雄, 釜堀弘隆, 谷田貝亜紀代, 高橋清利, 植田宏昭, 青梨和正, 隈 健一, 竹内義明, 多田英夫, 福富慶樹, 五十嵐弘道, 藤波初木, 梶川義幸, 2000: GAME再解析データの公開, *天気*, **47**, 659-663.
- 谷田貝亜紀代, 山崎信雄, 釜堀弘隆, 高橋清利, 植田宏昭, 青梨和正, 隈 健一, 竹内義明, 多田英夫, 2000: GAME再解析について, *水文・水資源学会誌*, **13**, 486-495.

月例会「第46回山の気象シンポジウム」のお知らせ

日 時:平成14年6月15日(土)13時30分から
場 所:品川区立総合区民会館(きゅりあん)
5階第2講習室
東京都品川区東大井5-18-1
JR 京浜東北線大井町駅東口すぐ前

講演希望の方は演題に200字以内のアブストラクトをつけて4月末までに下記に郵送して下さい。

記

〒182-0036 東京都調布市飛田給2-26-25

小岩 清水気付 山の気象研究会