

2003年春季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会春季大会(つくば)3日目(5月23日)のセッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会がつくば国際会議場(大会会場)3階小会議室303にて行われた。出席者は約60名であった。今回は、南極に関する話題の特集を行い、実際に南極観測に携わった方々から、最新の成果を紹介して頂いた。前半では、2002年冬の43次隊(第VI期)の越冬報告が行われ、後半では、4名の方々に、第V期(1997-2001)南極観測隊の成果の報告をして頂いた。以下に、各講演者から寄せられた要旨を紹介する。

代表:

山崎孝治(北海道大学地球環境科学研究科)

世話人:

平沢尚彦(国立極地研究所)

中村 尚(東京大学理学部)

浮田甚郎(コロンビア大)

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)

本田明治(地球フロンティア研究システム)

齋藤冬樹(東京大学気候システム研究センター)

高谷康太郎(地球フロンティア研究システム)

1. 43次隊(第VI期)越冬報告

ラジオゾンデ集中観測・オゾンゾンデ比較観測について

吉識宗佳(京都大学)

43次気水圏部門の特徴的な観測の1つとして、気象定常部門の協力をいただき、季節ごとに10日間ずつのラジオゾンデ集中観測と計5回のオゾンゾンデ比較観測を実施した。

最初に、ラジオゾンデ集中観測の目的は、南極域下部成層圏重力波の詳しい性質を明らかにすることである。中緯度や低緯度と比べ、極域大気重力波の性質は未だ分かっていない点が多く残っている。しかし、最

近の研究から、北極域と南極域では重力波のエネルギー季節変化が異なり(Yoshiki and Sato, 2000)、南極域では波の励起過程の1つとして極渦からの励起が提案される(Sato *et al.*, 1999; Sato, 2000)など、南極域重力波は特徴的な性質を持っていることが明らかになってきた。そこで、本観測では、季節ごとの波の性質を調べるため各季節に3時間ごとのラジオゾンデ観測を実施し、高い鉛直分解能と時間分解能で波の詳しい位相伝播の様子を観測した。

また、昭和基地では、研究観測だけではなく、気象庁による定常観測も実施されている。このような環境の利点を生かし、気象庁で使用されている明星RS2-91型ラジオゾンデとパイサラRS80-15GH型GPSラジオゾンデの比較観測を同時に実施した。ゾンデのセンサーや測風方式の違いがデータ品質にもたらす影響など、高層気象観測データの検証をおこなうことが目的である。

観測は、秋・冬・春・夏の順に、それぞれ3月12~22日、6月20~30日、10月16~26日、12月5~15日に実施した。1日8回の放球のうち1回は、2つのゾンデが同時刻に同高度を観測するよう、明星RS2-91型ラジオゾンデとパイサラRS80-15GHを篠竹で連結して放球した。期間中、ブリザードの影響による欠測が何度かあったが、各季節約80回(うち連結飛揚約10回)の観測をおこなった。

取得したデータからは、下部成層圏において大気重力波が鉛直伝播する様子が明らかになった。たとえば3月の観測では、圏界面付近から重力波の波束が上方伝播し、位相が下方伝播している様子がみられる。また、10月の観測では、春の昇温に伴い成層圏西風が最大となる高度が下降するのに対応し、振幅の大きい重力波が現れる高度が時間と共に下降している様子がみられた。このように、観測された波の力学過程は季節によって異なり、周波数スペクトルも季節によって差異が存在するなど、それぞれの季節で特徴的な波が観測されている。さらに、相対湿度のデータが取得されており、極域成層圏対流圏物質交換を調べる上でも有

用なデータであることが期待できる。一方、データ品質の比較については、系統的な偏差の量や小規模擾乱の再現性の違いに注目して、現在解析を進めている。

次に、オゾンゾンデ比較観測では、世界で広く使われている ECC タイプのオゾンゾンデと気象庁で使用されている KC96 オゾンゾンデの比較観測を、5月27日、9月1日、9月30日、11月4日、12月4日の計5回実施した。こちらも同時刻同高度の観測を担保するため、篠竹で連結して飛揚した。2種類のオゾンゾンデ間の偏差は観測ごとにばらつきが見られるが、小規模構造はどちらもよく再現されていた。

本観測の実施にあたり、43次気象定常部門チーフ木津暢彦さんをはじめとし、上野圭介さん、長井勝栄さん、金濱晋さん、鎌田浩嗣さん、櫻庭俊昭さん、若林裕之さん、吉廣安昭さん、山田嘉典さん、吉井弘治さん、櫻勝巳さんなど、43次隊の多くの皆様のご協力をいただきました。また、国内準備から観測実施まで、佐藤薫先生をはじめとする国立極地研究所の先生方のご協力・ご尽力をいただきました。みなさまにお礼申し上げます。

2. 第V期南極観測隊の成果

2.1. 「南極大気・物質循環観測」のねらいと今後の課題

山内 恭 (国立極地研究所)

南極観測の第V期5か年計画として、第38次観測隊から42次隊まで、越冬年にして1997~2001年まで「南極大気・物質循環観測」が実施された。これは、南極域における大気中の微量物質の挙動と大気循環場の変動およびその関連を明らかにすることを目的としたものである。放射活性な温室効果気体やオゾン関連物質、エアロゾル等の微量成分、さらには水蒸気等が、低緯度から高緯度へ、南極沿岸から内陸へ、成層圏から対流圏へ、さらに大気圏から雪氷圏(氷床)へどのように輸送され、変質していくかという“物質循環”を、大気の流れ、大気循環場との関連で捕らえていこうという計画である(山内ほか, 1999)。

具体的には、長期的な観測を「大気微量成分モニタリング」と位置付け実施したほか、昭和基地での観測を継続し、重点的には、38次:ドームふじ観測拠点での越冬観測を中心に昭和基地でも同期した観測;39次:成層圏大気を採取する夏期の回収気球実験, 海洋一大気, 大気-雪氷間交換への注目, 定着水下の観測, 積雪層中の大気-フィルンエア-のサンプリング;40

次:継続的な観測;41次:航空機を使った内陸までのエアロゾル, 水蒸気観測およびドロップゾンデ観測;42次:リモートセンシングによるエアロゾル・雲の観測;を実施した。現地観測にあわせ、衛星データの解析, 客観解析データの解析を行った。

本計画に先立っては、「南極大気化学観測計画」や「南極域における気候変動に関する総合研究(ACR)」,さらには「南極中層大気」の総合研究計画(MAP)」が実施されている。これ以後、第VI期では「南極からみた地球規模変化観測」として、同様の課題についての観測が進められており、43次では高層ゾンデ集中観測, 44次ではオゾンホール回復期のオゾンゾンデ集中観測などが進められている。

今後、将来の課題として以下をあげる。大気循環のしくみを理解する事, 大気上下結合, 短周期擾乱の解明のための大型大気レーダ観測, 新しい観測を実現する観測手法や観測プラットフォームの開発, 南極域における水循環や気候影響を解明する「雪氷圏と気候」計画(WCRP/ChC 関連), 大気微量成分や放射量等の気候に重要な要素のモニタリングなどがあげられよう。

2.2. ドームふじ基地からみた南極氷床の大気循環と水の輸送

平沢尚彦 (国立極地研究所)

地球の大気を通して南極域にたどりついた水が、氷としてそこに集積した結果、南極氷床ができあがっている。地球の一般的な温度分布を考えれば、緯度の低いところにある水蒸気が、南極氷床上に漏れ込んでくるといえよう。ここでは、そうした一般場の下で、南極内陸における南極氷床(表面)と大気(境界層)との間の水の鉛直方向の移動について議論した。私が参加した第38次越冬隊(1997年2月~1998年1月)では、ドームふじ観測拠点でのゾンデ放球観測に加え、ゾンデ係留観測を行った。冬季には地上気温が -80°C にも達する低温環境において、ゾンデ観測で記録される気象データの幾つかの補正方法を発展させることもできた(例えば, Hirasawa *et al.*, 2003)。

南極氷床上に現れる大気下端の気温逆転層はよく知られるところであるが、実際にドームふじ観測拠点の測定では、極夜期に平均 21.5°C (逆転層トップと地上1.5m高度の気温差), 逆転層の厚さは平均384mであった(平沢ほか, 2002)。気温逆転層内では水蒸気の分布は上空ほど多い状況であり、水蒸気フラックスは

大気から氷床表面に向いていると推定される。ダイヤモンドダストとよばれる(晴天時)降水現象がほぼ絶え間なく続くことは、固体の水の輸送もまた大気から氷床表面に向いていることを示している。ゾンデの係留観測では、気温逆転層の内部で水飽和を超える水蒸気量をしばしば測定し、ダイヤモンドダストの生成(昇華)が気温逆転層の内部で盛んに起こっている可能性も見えてきた。

極夜が明け季節が夏に向かうにつれて、地上気温の日変化が徐々に明瞭になる。これは極夜期に維持されつづけた気温逆転層の変化をもたらす。盛夏期(12月、1月)には、約400 mあった気温逆転層は消滅し、約50 m程度の気温逆転層が夜間(日没時はない)にのみ現れる状況になる。日中には水蒸気は上空ほど少ない鉛直分布で、雪面から大気へ上向きの水の移動があることを示唆している。一方で日中に頻繁に観察されるダイヤモンドダストは、雪面から大気へ供給された水の一部を再び氷床に戻す役割をしているようである。この環流から漏れた水は、大気境界層を抜けて自由大気中に入りこみ、南極氷床の消耗をもたらしていると思われる。薄いながらも気温逆転層が発現する夜間は、氷床から大気への水の輸送経路に一時的に蓋をすることになるのであろう。

南極内陸での気温逆転層や水の循環についての知識を深める試みは、まだあまり為されていない。今回の我々の観測結果から、季節により異なる気温逆転層(境界層の気温分布)の特徴が明らかになり、それは大気-氷床間の水の輸送の季節変化にとって重要な役割を果たし得ることが分かってきた。そして、将来この方向で我々が貢献できることを予感した。例えば水の循環に関しては、まだ、精度を添えた量的な議論にまでは至っていない。観測のチャンスもそう多くはないだろうが、いつか訪れる時のために議論に堪える測器や観測プラットフォームの準備を進めたいと思う。

2.3. カタバ風帯の大気構造—航空機観測から

和田 誠(国立極地研究所)

2機の小型飛行機を用い、南極カタバ風帯の温度、湿度、風の季節変化を観測した。ドロップゾンデを飛行機から投下することによって約6 km 高度より下のほぼ同時の大気場のデータを取得した。また機上では温度、湿度の観測を行った。ドロップゾンデは沿岸から約250 km 内陸のZ40地点、昭和基地とZ40地点のほぼ中間のH212地点で投下した。昭和基地のデータと

しては、通常のレーウィンゾンデによる高層ゾンデ観測(現地時間14時30分)データを利用した。ドロップゾンデ観測は2000年2月から2001年1月まで、5、6、7月(暗い)と10月(天候不良)を除いた毎月1回おこなわれた。飛行機観測は、天候が良い昼間に行われるため、その状況での季節変化である。この観測により南極特有のカタバ風帯のほぼ6 km 高度までの大気場の状況が把握できた。得られた結果を報告する。

昭和基地上空、H212地点、Z40地点の3地点の同じ日の500 hPaの気温を比較すると、11月を除いてほぼ同じ値を示していた。この結果から、地面の影響が殆ど無い、接地境界層の上の層の状態の季節変化は、2月から9月までは昭和基地からZ40地点まではほとんど同じ大気場にあったと行うことができるであろう。次に11月の500 hPaの気温データ(沿岸から内陸まで5地点のドロップゾンデ観測が11月21日に行われた)を見ると、内陸域の3地点(Z40地点を含む)はほぼ同じ値を示した。また沿岸域の2地点はほぼ同じ値を示したが、Z40地点を含む内陸域の値より約5度C高温であった。すなわちZ40地点と沿岸域は別の大気場にあったと考えられる。さらに12月、1月の500 hPaの観測では、3地点の気温はほぼ同じであり、沿岸からZ40地点まで同じ大気場にあると考えられた。冬から夏への移行期である11月にZ40地点の気温が沿岸域と比べ低く、更に内陸の2地点とほぼ同じであったことを考えると、この季節を境に低緯度側からの影響がZ40付近の内陸部までも及び始めたのではないかと想像している。

飛行ルートに沿った水蒸気の観測では、内陸側が多くて沿岸側が少ないというケースが上空450 hPa 高度においてもかなり多くのケースで見られた。沿岸から内陸への水蒸気の輸送経路、内陸内での水蒸気循環の検討が必要である。

大陸斜面上のZ40地点の境界層内には、2~9月までは気温の逆転層が形成されるが、11~1月のケースでは逆転層ができていないことが観測された。11~1月の境界層内では水蒸気量は高度が下がるにつれて急激に増加している。雪面からの蒸発が活発に起きていることが示唆される。

今回は内陸250 km までの観測であったため、昭和基地と内陸との気温などの大きな差は殆ど無かった。しかし11月のケースで冬から夏への移行期の上空の様子が見えられたことは大きな成果である。

2.4. 昭和基地における温室効果気体観測

森本真司（国立極地研究所）

南極域は、温室効果気体の人為的及び自然起源の放出・吸収源から最も離れた地域であることから、地球大気のバックグラウンド状態を監視する上で最適の場所である。そのため、南極域において、長期間にわたり非常に高い精度で温室効果気体の観測を継続することによって、温室効果気体の放出源・吸収源強度の変動に関する情報を蓄積できる他、南極域への物質輸送に関する知見が得られると考えられる。我々は、昭和基地において1984年にCO₂濃度の高精度連続観測を開始して以来、CH₄、地上オゾン、CO濃度の高精度観測を順次開始し、現在まで連続観測を維持している。現地観測が困難な成分や同位体比測定用の大気試料採取も1984年から継続している。

昭和基地で観測されたCO₂濃度は、振幅が約1.1 ppmvの明瞭な季節変化を示しながら、化石燃料起源CO₂が大量に大気中に放出されていることを反映して経年的に上昇しており、1984年の年平均濃度342.5 ppmvから2001年には368.4 ppmvまで増加している。また、CO₂濃度のトレンド成分には、ENSOイベントに同期した2～3年周期の不規則な変動が観測された。CO₂濃度とCO₂の炭素同位体比の変動を詳細に比較することによって、大気と陸上生物圏間のCO₂交換量の変動がトレンドの不規則な変動に重要な影響を与えていることが明らかになった。

2000年から昭和基地での連続観測を開始したCO濃度については、季節変動や長期トレンドを議論するために十分な精度の時系列データが得られ始めた。これまで2年間のデータには数日スケールの細かい濃度変動が見られ、特に夏期間には昭和基地でのCO₂濃度変動と負の相関関係にあった。このような濃度変動の原

因について、今後、低緯度大気・物質の南極域への輸送という観点から解析を進めていきたい。

2003年秋に出発する45次南極観測隊では、南極成層圏大気を大量に採取して温室効果気体・オゾン破壊関連気体及び同位体比の精密分析を行うための回収気球実験（成層圏大気クライオサンプリング）を計画している。この実験により、39次（1997年）に実施した同様の実験結果と比較することで、南極成層圏における温室効果気体他の鉛直分布と経年変化が明らかになり、さらに南極域への物質輸送や南極成層圏での化学反応過程を解明する上で重要なデータが得られると考えられる。

参考文献

- 平沢尚彦, 林 政彦, 山内 恭, 2002: 南極内陸ドームふじ基地における気温逆転層の季節変化, 2002年度日本気象学会秋季大会講演予稿集, 61.
- Hirasawa, N., M. Hayashi and T. Yamanouchi, 2003: An examination of the humidity correction by Vaisala RS80-A radiosondes for experiments and measurements at an inland Antarctic station, *Polar Meteor. Glaciol.*, **17**, 94-102.
- Sato, K., 2000: Sources of gravity waves in the polar middle atmosphere, *Adv. Polar Upper Atmos. Res.*, **14**, 233-240.
- Sato, K., T. Kumakura and M. Takahashi, 1999: Gravity waves appearing in a high-resolution GCM simulation, *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1005-1018.
- 山内 恭, 平沢尚彦, 林 政彦, 1999: 「南極大気・物質循環観測」の開始, *天気*, **46**, 157-162.
- Yoshiki, M. and K. Sato, 2000: A statistical study of gravity waves in the polar regions based on operational radiosonde data, *J. Geophys. Res.*, **105**, 17995-18011.