

氏 名 鈴木 香寿恵

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1046 号

学位授与の日付 平成 19 年 3 月 23 日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 流跡線解析を用いた南極氷床への大気・水蒸気輸送

論文審査委員 主 査 教授 山内 恭
教授 和田 誠
助教授 東 久美子
教授 山崎 孝治（北海道大学）
助教授 藤田 耕史（名古屋大学）

博士論文の要旨

南極氷床は地球上の大きな冷源であり、貯水量は地球上の多年性雪氷総量の 90%以上を占める。その質量収支は、地球温暖化などの気温の変化によって海面高度に大きな影響を与えることがわかっているが、氷床の広大さや、遠隔地である点に加え現地観測や衛星観測のみでは情報が足りず、その全容が明らかにされていない。南極氷床を涵養する降雪は主に低気圧によるものだとされており、南極域周辺の低気圧経路は衛星データや流跡線解析を用いて既に得られている。しかしながら内陸部への総観規模擾乱による大気への侵入については低気圧経路では説明出来ておらず、沿岸部と内陸部における積雪をもたらす大気輸送についてその違いについての議論は進んでいない。

本研究は日本の観測拠点のうち、長期間観測データが蓄積されている沿岸部の昭和基地と、氷床コア掘削地点である内陸部のドームふじ基地を例にとり、それぞれに到達する大気輸送経路の特徴を調べ、さらに降雪時の水蒸気輸送経路の推定を行った。本研究の特色は、沿岸部と内陸部での大気輸送の違いに着目した点と、地上気象観測データを用いた降雪時の選別手法にある。大気輸送経路の算出には NIPR 流跡線モデルを用い、ECMWF 現業解析データと ERA-40 再解析データを入力データとした。気象観測データは天気概況による雲量、現在天気とレーウィンゾンデによる温度、気圧、相対湿度を用い、それぞれ天候データと可降水量を算出した。また、昭和基地については対流圏中層と下層による違いについても調べ、中層の代表として 500hPa、下層は 850hPa に到達する空気塊について調べた。

ドームふじ基地については 500hPa への大気輸送について調べた。

対流圏大気の南極氷床への輸送経路および起源の季節変化について、沿岸部と内陸部、また沿岸部における対流圏の中層と下層での違いを明らかにするため、5 日前の空気塊の位置を起源として、海領域ごとの季節変化を調べた。昭和基地上空 500hPa に到達する空気塊は、一年通じて海起源が約 8 割を占め、大陸起源は 2 割にとどまっていた。海起源の中では、中緯度から偏西風帯を横切る際に上昇し、その後大西洋上を南東方向へ移動する大西洋起源の空気塊が約 7 割となっていた。太平洋側から偏西風帯域を東向きに長距離輸送される空気塊は、高度方向の運動は少なく、インド洋側から急激に上昇した空気塊は、沿岸伝いに西向きに輸送されていた。昭和基地上空 850hPa へ到達する空気塊は、海起源と陸起源の割合はほぼ等しく、中層よりもインド洋側・内陸側から西向きの大気輸送が卓越していた。対流圏中層では下層の約 2 倍の速度で風が吹いているため、長距離を輸送された経路が比較的多くみられたが、下層ではほとんどなかった。

ドームふじ基地上空 500hPa へ到達する空気塊は、海起源と陸起源の割合は昭和基地の対流圏下層と同様に半々であるが季節変化がみられた。夏季は大陸を覆う高気圧に影響を受け内陸起源が優勢となるが、冬季には総観規模擾乱などによる大気への流入が増加する事で海起源が優勢となっている。大西洋、インド洋側から偏西風帯を横切る際に上昇し、その後も内陸部へ上昇しながら到達する空気塊と、ロス海側から南極点付近を通過して、中層域から下降して到達している空気塊がみられた。

昭和基地へ東向きに海上から大気が輸送されるのは、昭和基地の西側に低圧部がある場合であり、西向きに沿岸伝いに下降して大気が輸送されるのは昭和基地付近に高圧部、インド洋側に低圧部が発達する場合であった。ドームふじ基地へ大西洋およびインド洋上から大気が輸送される場合は、ドームふじ基地周辺が高圧部となっている場合であった。太

平洋上から南極点側を通過する大気の流入や南極氷床からの大気が輸送されるときは、ドームふじ基地周辺が低圧領域になって北西方向へ大気が輸送される状況になっていた。

さらに、地上気象観測データを用いて作成した天候データから、天候ごとの対流圏中層・下層における大気輸送経路の特徴を調べ、可降水量を用いた水蒸気輸送の推定を行った。天候別に平均した可降水量の季節変化は、全ての天候において気温に依存していたが、値は降雪時は全体の平均値よりも高く、快晴時の約2倍になっていた。降雪時には水蒸気量の多い大気が輸送されていることが示された。

昭和基地における降雪時の大気輸送経路から、水蒸気が多く含まれる大気は大西洋上の偏西風帯からプラネタリー波の蛇行によって転向され、到達直前に上昇して直接昭和基地に輸送されていた。快晴時の対流圏下層の空気塊は、海上からの流入は少なく、沿岸部を西向きに地形に沿って移動していたが、全体的に輸送距離が短かった。水蒸気量の多い大気が昭和基地に輸送される場合は、偏西風帯から蛇行して輸送された比較的水蒸気量の多い大気が直接昭和基地へ到達しており、総観規模擾乱に伴う移流によるものであると考えられた。

ドームふじ基地における降雪時の大気輸送経路の特徴は、水蒸気を多く含んだ大気が、プラネタリー波の蛇行によって生じたドームふじ基地の上空に侵入したリッジと西側に発達したトラフにより、内陸部まで直接流入していた。また、ウェッデル海側からも大気が流入しやすい状況にもなっていた。平均的な比湿の値は快晴時の2倍程度になっており、中緯度側から水蒸気量の多い状態を保ったまま大気が到達していた。

沿岸部の昭和基地では一定方向からの大気輸送が卓越している故、天候によって輸送経路の特徴が明確であるのに対し、内陸部のドームふじ基地においては様々な方向から大気輸送がされており、天候による大気輸送経路別の起源や到達する方向の特徴は明確には得られなかった。そこで積雪量の多い降雪をもたらす大気輸送経路について着目し、内陸氷床を涵養する総観規模擾乱の輸送経路の特徴を得る試みを行った。

1997年のドームふじ基地における現地気象観測データおよび雪尺データから特に降雪量が多いブリザード時を選別し、その大気輸送経路の特徴について調べた。水平輸送経路はほとんどが大西洋上を大きく蛇行しており、急激な転向を伴ってドーム基地のある内陸部へ侵入していた。2日前には50°Sから60°Sの間に収束し、その後1日ごと、緯度にして約10度程度移動しており、1日前では2000m以下の対流圏下層部にあった大気が1日で2000m以上上昇する様子が見られ、水蒸気量を多く含んだまま到達する空気塊が多かった。中緯度側から気温の高い大気が偏西風帯を通過して強い擾乱により移流され大陸上へ急激に侵入して、内陸部においても降雪をもたらすことが示された。

本研究では1990年から1999年における客観解析気象データを用いた大気輸送経路について、南極沿岸部と内陸部における違いについて調べ、さらに降雪時の大気輸送経路から降雪中の水蒸気起源の推定を行った。南極氷床を涵養する積雪は、沿岸部には主に低気圧によって、内陸部には発達した総観規模擾乱が侵入することによってもたらされていることに着目し、その水蒸気輸送経路と起源を推定する試みがされた。

論文の審査結果の要旨

南極氷床は地球の冷源であるとともに、貯水槽として地球上の固体淡水の90%以上を蓄えている。その盛衰は地球上の水循環に大きな影響を与えているとともに、その変動は世界の海面水位に影響を与えうるものであり、地球温暖化問題においても南極氷床の変動は鍵となっている。一方、大気中物質の変遷にとっても、南極域は一つのシンクとなっている可能性があり、物質循環を考える上でも要の場所となっている。従って、水や微量物質のふるまいを考える上で、大気や水蒸気の輸送過程を知ることは大変重要な課題になっている。最近行われている、氷床コアの解析を行う上でも大変重要な情報となる。しかし、これまで南極域では観測データが限られることもあり、十分な解析研究が進んでいるとは言い難い。

本研究は、南極氷床への大気中の輸送過程、特に水蒸気の輸送を明らかにすることを目的としている。南極域における我が国の観測基地であり、50年にわたる観測データが蓄積されている沿岸部にある昭和基地と、氷床コアの深層掘削が行われている内陸ドームふじ基地をとりあげ、それぞれに到達する空気塊の輸送経路を調べた。また、地上気象観測結果から、降雪のあるなしを判定し、降雪のある場合の水蒸気を多く含む場合の大気輸送経路を調べた。さらに、各々の輸送経路をもたらし大気循環場の特徴を抽出した。論文は全8章からなり、序論、解析手法、データの章の後、1997年の対流圏大気輸送を論じた第4章、10年間のデータから昭和基地およびドームふじ基地に到達する大気輸送の起源を論じた第5章、水蒸気の輸送に着目して輸送経路、起源を論じた第6章、7章、結論の第8章からなる。大気輸送経路の算出には国立極地研究所流跡線計算モデルを用い、入力データとしてはヨーロッパ中期気象予報センター (ECMWF) による気象の客観解析データ (現業解析データと40年再解析データ) を用いた。

まず、昭和基地上空対流圏中層の500hPa高度と下層の850hPa高度に到達する空気塊の後方流跡線解析を行い、1997年1年間の季節変化を示した。対流圏中層では、大半が大西洋上を移動、冬期は中緯度側から対流圏下層を通して到達している。輸送経路長は1月が極小、冬に増加して夏に減少していた。下層では、ほとんどが内陸側から到達し、夏期は東側から到達することが多かった。さらに、10年間のデータから求めた流跡線を、5日前の位置を起源とし大陸内および海上の海域毎に分類し、その経路の特徴、大気循環場との関係を示した。昭和基地上空500hPaに到達する空気塊は、南極大陸起源は2割にとどまり、8割は海上起源となり、その内7割が大西洋起源であった。850hPaに到達するものについては、大陸起源と海上起源の割合はほぼ等しく、インド洋側、内陸側からの西向きの輸送が卓越していた。ドームふじ上空500hPaに到達する空気塊は、大陸起源と海上起源が年平均では同じ位の割合であったが、季節によって異なり、夏期は大陸起源が優勢となるが、冬期は海上起源が優勢であった。これら比率の違いの季節変化が、風速東西成分の季節変化から説明され、昭和基地より低緯度側の西風の半年周期変動と大陸内の東風の1年周期変動の顕著な違いが変化をもたらしているという重要な結果が示された。さらに、起源毎の気圧高度場の偏差が特徴付けられ、昭和基地に東向きに海上から大気が輸送されるのは昭和基地西側に低圧部がある場合で、逆に西向きに沿岸伝いに下降して大気が輸送されるのは昭和基地付近に高圧部、インド洋側に低圧部が発達する場合であると明瞭に区分された。特に後者は、南半球の循環で卓越する南極域と中緯度との気圧の環状のシーソー的変動パ

ターンである南極振動が負のモードの場合と一致していることが示された。

地上気象観測データにより判別された降雪時の輸送経路が晴天時と比べられた。降雪時、水蒸気量の多い大気の輸送であり、昭和基地では大西洋上の極環低圧帯から直接、総観規模擾乱による移流によって輸送され、到達直前に上昇する形であった。昭和基地西側に気圧高度場負の領域が張り出し、東側に正の偏差がある大気循環場で特徴付けられた。ドームふじ基地への降雪時の輸送は、ドームふじ上空に進入したリッジと西側に発達したトラフによる大気の流入が特徴付けられているが、起源は大陸内、海上各海域と様々で、輸送経路の特徴は昭和基地ほど明確にはならなかった。これは、降雪が海からの直接輸送によりもたらされているものと、大陸上での局所的な水蒸気の凝結によるものを含んでいるためと示唆された。そこで、さらに、降雪量の多いブリザード時の輸送経路が抽出され、大西洋、インド洋から高緯度方向に急激な上昇を伴って到達していることが示された。

これまでの研究では平均的な輸送経路は示されたものの、平均ではない輸送・起源の個々は示されておらず、その点を示したことは重要な結果である。また、輸送経路をもたらし背景となる大気循環場を詳細に記述し、これらとの関係を論じたことは新しい成果である。さらに、各基地の現場で越冬して取得した地上気象観測結果から降雪条件を判定したことは貴重な解析であり、ユニークな点である。これらから、ドームふじ基地にもたらされる降雪のうち、大量の降雪をもたらし場合とダイヤモンドダストなど内陸域で生成され降雪をもたらし場合が異なった輸送場であるという新しい結果が得られた。

以上、大量のデータに基づき詳細な解析を積み上げた有意義な研究と認められる。南極大陸への大気輸送、南極氷床を涵養する水蒸気の輸送について、その経路、起源を明らかにし、大気循環場との関連を解明した興味ある結果を得たものとして評価でき、今後の研究にも寄与するところ大と期待される。これらをもって、極域科学専攻の博士論文として十分価値あるものと認められた。