

第Ⅶ期計画

【重点プロジェクト研究観測】「極域における宙空－大気－海洋の相互作用からとらえる地球環境システムの研究」

サブテーマ(2)：極域の大気圏－海洋圏結合研究

計 画	実 績・成 果	自己点検 【評価結果 S・A・B・C】	評価意見 【評価結果 S・A・B・C】
	<p>る可能性が示唆された。 このプロセスは南極内陸域への物質輸送メカニズムの一つとして提案される。また、エアロゾル濃度の大きな大気境界層の詳細構造の時間変化を把握することは、大気境界層と対流圏自由大気との間の物質交換を理解する上で必要であるが、有人航空機での観測は難しい。</p> <p>今回、S17からの無人飛行機観測によって、大気境界層の厚さが日中から夕方にかけて薄くなることを捉えることに成功した。日本隊での無人飛行機観測は、次の第49次隊において昭和基地の海氷上からの試験観測が成功しており、大気境界層の詳細観測や航続距離1000km程度の長距離・長時間観測への足掛かりができた。国際的にも同様の歩調で南極域での無人飛行機観測が導入されてきたが、ここ1、2年は、イギリス隊などで大規模な経費をかけた大気科学観測が成功している。今回、独自の技術によって、国際的にみて最も経済的かつオペレーション負荷の軽い無人飛行機観測の基盤を作った。今後、この特徴を生かして、大気科学だけでなく多くの方面で無人飛行機観測を活用すべきであろう。</p> <p><b>3. 大気圏と海洋圏の二酸化炭素および硫化ジメチルの交換過程に関する研究</b></p> <p>我が国の南極地域観測隊が活動する南大洋インド洋区、氷縁ブルームが起こっている海域、定着氷域で、二酸化炭素および硫化ジメチル(DMS)の大気下層と海洋表層および海水との交換過程、大気下層での変質過程(DMSのみ)を明らかにするための観測を行った。第49次および第50次観測において、東京海洋大学「海鷹丸」をプラットフォームとして、氷縁ブルームが起こっている海域での二酸化炭素の大気－海洋間における交換量と交換過程を明らかにするとともに、DMSの海洋での生成過程及び海洋からの放出過程と大気中での変質過程を明らかにした。一方、第48次観測および第51次観測においては、「しらせ」をプラットフォームとして定着氷・流氷帯において、DMS/DMSPの生成過程を明らかにした。観測はほぼ計画通り実施することが出来た。</p> <p><b>3.1 海洋表層の二酸化炭素観測</b></p> <p>海洋表層の二酸化炭素濃度の観測は29次隊からふじ・しらせの航路に沿って行われてきた。二酸化炭素濃度の増加率は海域によって異なるが、大気中の二酸化炭素濃度の増加率(2.0ppmv/yr)より小さく、大気海洋間の二酸化炭素交換以外の海洋中のプロセスが強く関与していることが示唆された。インド洋セクター南緯60度近傍の観測に基づき、pHの変化を見積もったところ、0.04/decadeの有意な減少が確認された。</p>		



第Ⅶ期計画

【一般プロジェクト研究観測】(1)「氷床内陸域から探る気候・氷床変動システムの解明と新たな手法の導入」

計画

南極氷床の拡大と縮小は、地球規模の気候変動ともなう海水準変動を直接決定づける。このため、大気中の温室効果ガスの増大にもなる。全球的な温暖化に起因する南極氷床の変動は、海と常に関連した沿岸域に暮らす人類にとって生活・社会環境に直接の影響をもたらし、南極氷床は地球気候システムに重要な要素である。こうした気候変動そのものに重大な影響をもたらす。こうした気候変動には、氷床内陸域や海氷変動を物理・化学の機構と過去の氷床変動に関する知見が不可欠である。さらに、南極大陸は過去の気候変動史の情報を凍結保存する記録庫の役割をもち、内陸ドーム地域や尾根地域で層序記録として最高質のものを得ることができ、これらの知見を高度化することは、地球環境の将来予測や、それに対応した政策決定に必要な知識を提供することになり、人類および国際社会にとり極めて重要である。

こうした背景に基づき、東南極内陸域に設定した測線を一様な質の高度観測手法・装置でカバーする内陸広域踏査を行う。以下の項目を決定づける境界条件、(1)「南極氷床」存在システムを決定づける境界条件、(2)「南極氷床」内部を支配する物理化学機構、(3)「南極氷床」が保持する気候信号アーカイブの高度化や複雑な環境情報の伝達、(4)表層・氷床内陸域・氷床内陸域環境生物の潜在性。主要観測手段として、氷床内陸域探査レーダー観測、気象要素や表層部試料の採取をはじめとした大気雪氷相互作用の観測、それに氷床試料の採取採用する。特に、氷床内陸域探査レーダーとして、ポラリメトリック技術やマイクロ波を利用した新手法を導入し、観測情報の質と量の革新的な増大をはかる。また、第Ⅶ期計画の下で始まった第Ⅱ期ドームふじ氷床深層掘削計画の掘削孔を複層することにより、氷温の精密測定、掘削孔の傾斜測定等を実施し、最深部の氷が解けているかどうかを明らかにし、地熱の熱流量を推定する。上述の測線として、昭和基地、ドームふじ基地、コーネン基地(ドイツ)、ワサ基地(スウェーデン)を結ぶものを設置する。

この計画は、IPY2007-2008のTrans-Antarctic Scientific Traverses Expeditions - Ice Divide of East Antarctica計画として提案されている。

実績・成果

1. 南極氷床存在システムを決定づける境界条件の解明

1.1 氷床表面堆積の空間分布と時系列変化  
観測の実施から、これまででデータの極めて乏しかった南極内陸部の現在や過去の堆積量を複数の手法で明らかにした。そして、過去約15年間の年間平均の堆積量が、過去千年スケールの平均の年間堆積量を有意10-15%上回ることを明らかにした。地球温暖化に対応する南極での応答を検出した可能性があり、今後特に注視を要する。

1.2 氷床内陸部反射層の分布の解明  
南極内陸部の広域で、レーダー電波反射層の空間分布を明らかにし、ドームふじコアに照らして年代決定を実施した。顕著な年代層が距離2000kmをこえて分布することを明らかにし、東南極氷床の動力学的環境の解明や氷床コア掘削の際に、基準層として取り扱いができることを明らかにした。また、南極氷床が保持する気候信号アーカイブの高度化や複雑な環境情報の伝達をおこなった。

2. 南極氷床の層位の形成やその後の変態機構等の観測および研究  
南極内陸部での積雪観測から、化学物質の堆積過程と、堆積後の時系列変化過程を明らかにした。特に、(1) 夏季の日射が、夏至を中心とする数週間の短期間に積雪の変態を著しく進行させることを明らかにした。(2) 氷床内陸部の酸素同位体の層位が、堆積後の水蒸気の移動プロセスに大きく支配されることを明らかにした。(3) 層位の形成過程を、氷床コア解析の手法を用いて明らかにした。

3. 表層・氷床内陸部・氷下の極限環境生物の潜在性調査を実施  
バクテリア採取用の雪試料や、花粉の採取を実施した。更に、氷床下湖の分布調査を実施し、ドームふじ既知近傍約50kmの距離にある湖を同定した。

その他、氷床内陸部探査レーダー観測、気象観測や表層部試料の採取をはじめとした大気雪氷相互作用の観測や試料採取を実施した。氷床ポラリメトリック技術やマイクロ波放射計などの新手法を導入し観測情報の質と量の革新的な増大を実現した。

第Ⅶ期計画では、その初年度(48次隊)において第Ⅵ期計画の下で始まった第Ⅱ期ドームふじ氷床深層掘削計画の掘削孔を完遂し、そして、48次夏季、49次夏季、51次夏季の3度にわたり国内への氷床コアの輸送を実施した。これにより順次全国に輸送したコアに基づき、国内において氷床コア研究の進捗があった。また、第Ⅱ期ドームふじ氷床深層掘削計画の掘削孔を複層することにより、氷温の精密測定、掘削孔の傾斜測定等を実施し、最深部の氷が解けているかどうかを明らかにし、地熱の熱流量を推定するとともに、氷床流動についての情報を得る観測を48次隊で実施した。さらに、49次隊のレーダー観測では、深層コア掘削地点であるドームふじとコーネン基地で、底面が融解状態にあることを明らかにした。

自己点検

【評価結果 S・A・B・C】

**評価結果：S**

南極内陸部の氷床環境の空間分布、特にドームふじ周辺や更に広域の内陸について、多国間協力で広大な地域の観測をIPY期間に1シーズンで実現し、多大な知見を得たことは特筆すべき成果である。ドームふじでの深層掘削の成功によって、過去70年を越える古環境復元の道を開いた画期的な成果と合わせ、総合的に見て十分な成果であり、国際的な評価も高い。

評価意見

【評価結果 S・A・B・C】

**評価結果：S**

氷床探査レーダーの故障による欠測という軽微な問題はあったものの、国際的な共同観測も含めて全体的に周到に準備され、量にも十分な観測を実施したと評価できる。なにより、広範な観測結果を積み重ね総合的に解釈することにより、当初の期待以上の科学的知見を得たことは特に高く評価でき、今後の発展も期待できる。よって計画の達成状況は特に優れていると評価した。

過去15年間の年間平均堆積量が過去千年スケールの年間平均堆積量を有意に10-15%上回る結果を見出すなど、広域の観測と複数の手法により、特筆すべき成果を上げた。

第Ⅶ期より始められたドームふじ氷床深層掘削を完遂し、氷床コアの研究により、年代決定の基礎となっている日射強度による酸素・窒素比率の変化メカニズムを明らかにするなど、氷床に記録された過去の気候変動解析に関して国際的にインパクトのある新たな知見を与えている。今後とも過去70年間の氷床コアを用いた研究の発展が期待できる。

スウェーデン等との多国間の国際協力により、海から陸地山岳部への標高差4000m、水平距離2km以上のトランスレーダー観測に準備の元や氷床内陸部への観測を周到に準備し、国際極年の活動としても顕著な観測結果を得ている。公表過程の論文への国際的な高い評価が期待できる。

なお、一部観測機器の破損による計画変更は、極地であることを考慮すれば今後もあり得ることであり、次期計画における課題としていくことが望まれる。

S：特に優れた実績・成果を上げている。  
A：計画通り、又は計画を上回った実績・成果を上げている。  
(達成度100%)  
B：計画を若干下回っているが、一定の実績・成果を上げている。  
(達成度70~100%)  
C：計画を大幅に下回っており、改善が必要である。  
(達成度70%未満)

第七期計画

【一般プロジェクト研究観測】 (2) 「新生代の南極氷床・南大洋変動史の復元と地球環境変動システムの解明」

S: 特に優れた実績・成果を上げている。  
 A: 計画通り、又は計画を上回った実績・成果を上げている。  
 (達成度100%)  
 B: 計画を若干下回っているが、一定の実績・成果を上げている。  
 (達成度70~100%)  
 C: 計画を大幅に下回っており、改善が必要である。  
 (達成度70%未満)

計 画	実 績 ・ 成 果	自己点検 【評価結果 S・A・B・C】	評価意見 【評価結果 S・A・B・C】
<p>新生代における南極大陸周辺の氷床や海水・棚氷の形成とその拡大・縮小は、アルベドの変動、海洋熱塩循環の変化、風化・侵食率の増大や海洋構造と生物生産量の变化を通じて、地球上のエネルギー分配や温室効果気体を含む大気組成・物質循環に大きな影響を与えたことが予想される。このため、新生代の地球環境変動システムに対する南極氷床・南大洋の役割を明確にし、地球環境変動メカニズムに対する将来の地球環境変動の予測に貢献することを目的とし、(1) 南極氷床は過去にいつどの程度変動したのか、(2) 南極氷床の変動をもたらした内的原因は何か、(3) 南極氷床の変動をもたらした外的原因は何で、南極氷床が変動すると海洋環境にどのような影響をもたらしたのか、などの手がかりを得るため、野外調査による南極内陸山地及び周辺海底の堆積物採取と解析を行う。この計画は、IPY2007-2008へ日本が提案した計画、Studies on Antarctic Ocean and Global Environment (STAGE) (ID No: 806) の一部をなし、国際的にはOcean Circulationの力子ゴリーに属している。</p>	<p>現在、地球上で最大の氷の塊である南極氷床は約4000万年前頃に誕生し、その後、何度も拡大と縮小を繰り返してきた。陸上に存在する南極氷床の拡大と縮小は、大気の流れを変え、海水量の変動をもたらすことで、海水準や海洋の塩分・水温、気温にも大きな影響を与える。そのため、過去に生じた南極氷床の歴史を明らかにすることは、将来の地球の環境変動を予測するうえで必要不可欠の研究である。</p> <p>南極氷床が拡大し、縮小する過程では、氷床の流動によって、地球表面に顕著な地形や堆積物を残す。この時に形成された地形や堆積物の形成順序を明らかにし、その具体的な年代を決めることで、過去の氷床の拡大規模や縮小過程を明らかにすることができる。</p> <p>氷床表面高度の変化は、現在の氷床高度より高い山地が存在すれば、過去に氷床高度が高かった時代には、山地の高い位置に地形や堆積物が残される。古いものほど風化が進んでいるため、相対的に四つの風化ステージを区分するとともに、これらの地形や堆積物から得られた宇宙線照射年代測定試料を採取した。</p> <p>測定が終了したベリリウム10を用いた露出年代では、南極内陸部のセーランドーネ山地では、約200~130万年前には現在の氷床表面に比べて約400~700m高かった(風化ステージ4)が、約100~20万年前には100~300m(風化ステージ3)なり、過去10万年間では50m以下(風化ステージ2と1)で変動して化ステージ1)になった。特に顕著な氷床高度の変動が生じた風化ステージ4と3の境界の年代は、氷期-間氷期の周期が4万年から10万年に変化した時期にも相当することから、南極氷床の高度変化と地球の環境変動システムの変動との間に何らかの関係があることが推定される。</p> <p>一方、氷床の面的拡大範囲の変化は、現在の海底下にある大陸棚に証拠が残されている。マルチビームを用いたリュットホルム湾の海底地形調査からは、過去に明らかに氷床に覆われたことを示す地形が見いだされた。海水状況により広範囲の海底地形の様子をまた明らかにされていないが、今後は、さらに広い範囲で海底地形調査を進めるとともに、それらが形成された時代を確定するために海底堆積物コアの掘削を実施するための準備を進める必要がある。</p> <p>今後は、上記で示した内陸山地に記録された氷床表面高度の変動史と大陸棚に記録された氷床の面的拡大範囲の変動史および海岸地形に記録された相対的な海水準変動史と固体地球の粘弾性特性を組み合わせたGIA (Glacial Isostatic Adjustment) モデルを用いることによって、より精度の高い南極氷床体積の変動の歴史とグローバルな海水準変動の歴史を見積もることが可能になる予定である。</p>	<p>第七期4カ年計画の4年目に夏期1シーズンのみ本課題の研究は実施された。研究計画の達成度におくとBと評価される。</p> <p><b>評価結果: B</b></p>	<p>南極氷床の拡大・縮小過程を明らかにすることにより、地球環境変化への影響を予測しやすくなる。当初の目的は国際貢献という意味でも当てであり、評価する際には時期尚早であるが、ベリリウム10を用いた風化ステージの解明が進んできており、陸域および周辺海域での観測を今後展開することにより、更なる進展を期待する。</p> <p>自己点検通り、荒天、予算状況等の理由により、当初計画に照らすと一部達成できなかった部分もあるが、今後の研究に資するデータはとれている。</p> <p>セール・ロンドン・ネーランドの氷河地形学的調査とリュットホルム湾海底大陸棚の氷河地形の画像取得調査は当初の目的をほぼ達成されるレベルで行われた。したがって、計画を若干下回っているが、一定の実績・評価を上げている。</p>