

北極 通信



GRENE北極気候変動研究事業では、二つの研究課題で航空機を利用した大気観測を実施しています。一つは太陽放射を吸収し雪氷への沈着により融解を促進するブラックカーボン・エアロゾル観測、もう一つは温室効果気体の動きを捉える観測です。

どちらも人間活動の影響を強く受けていると考えられていますが、特に上空（境界層上部や自由対流圏）の観測が限られているため、未知の部分も大きい分野です。

2013年夏の本格的な観測シーズンを前に、すでに始まっている航空機観測の研究内容とこれまでにわかってきたことをご紹介します。

アジアから北極へのエアロゾル輸送を追う

小池 真・東京大学
近藤 豊・東京大学

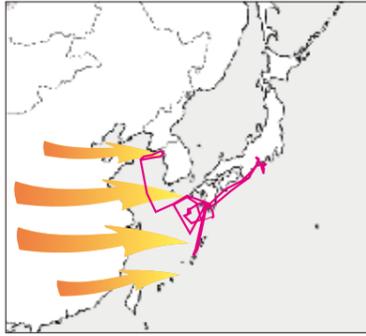
太陽放射を強く吸収するブラックカーボン・エアロゾル（以下BC）は、北極の雪氷面に沈着するとアイスアルベド・フィードバックを助長する働きがあります。このため北極温暖化を加速する一つの要因となっている可能性があります。研究課題「北極温暖化のメカニズムと全球気候への



日本では大気観測を行えるチャーター航空機は数が限られています。キャビンの客席を取り外し、各種測定器を搭載した特別機で観測を実施します。機体上部にはエアロゾルや気体の取り込み用インレットがつけられるとともに、両翼下にはエアロゾル・雲測定器や風速を測定する装置などが搭載されています。（撮影：小池）



影響：大気プロセスの包括的研究」（研究代表者：浮田甚郎・新潟大学教授）では、北極圏のBCの動態を正確に理解するために地表付近の大気中のBC濃度の高精度測定と、降水・降雪や雪氷中のBC濃度測定を、他の課題と連携して実施しています。しかしこの北極圏のBCがどこからやってくるのかはよくわかっていません。地面に沈着するBC量は地上付近の濃度だけでは決まらず、上空から降水・降雪により落ちてくるものも含まれるため、上空を含めた大気中のBCの起源を知ることが鍵を握っています。



2013年2月~3月にかけて行われたフライトの軌跡（ピンク色の線）。大陸からのエアロゾルの輸送（矢印）を捉えるために、鹿児島を拠点に東シナ海と黄海で観測フライトを実施しました。（資料提供：小池）

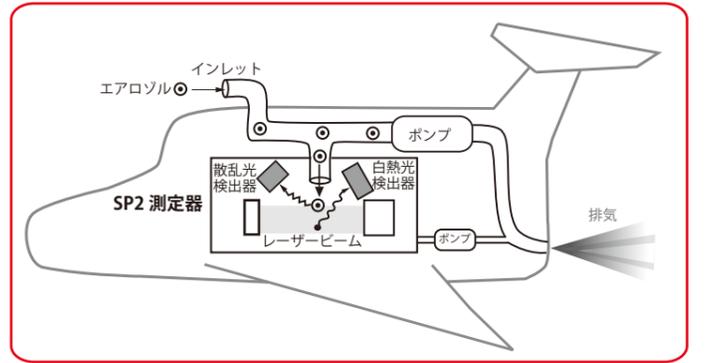
研究の狙い

NASAのARCTAS航空機観測の結果、北極上空のBCの動態が少しずつ分かってきました。そしてBC濃度の増大イベントの解析などから我々はロシアの森林火災が少なからぬ寄与があることを突き止めました。しかし一方で、同じデータとグローバル数値モデルを使った別のグループの研究からは、アジアの人為起源BCの北極への輸送が、ロシアの森林火災と同程度の寄与をもつことが報告されていま

す。アジアからの輸送については近年、いくつかの研究でその重要性が指摘されていますが、統一的な見解は得られていません。

GRENE北極事業では、アジアから北極へ輸送されるBC量を定量化するために、航空機によるBC観測を行っています。アジアはBCの大発生源です。このため、その一部でも北極へと輸送されると大きな影響を持つ可能性があります。アジアからの温暖な空気は寒冷な北極域へ輸送される過程で上昇し、しばしば降水を伴うことになります。この大気の上昇輸送や降水によるBCの除去過程を正確に理解することが、アジアからの影響を定量化する鍵となります。

BCは燃焼過程で生成しますが、同時に一酸化炭素（CO）も発生します。降水を伴った上方輸送でBCの一部は除去されてしましますがCOは除去されません。したがってCOとの比率を取ることで、BCの除去率を推定することができます。このようなBC除去過程を正確に再現できるモデルを使って、アジアから北極へのBC輸送の定量化を目指しています。



SP2測定器
外気中のエアロゾルを、特別なインレットとポンプの組み合わせにより途中で損失することなくキャビン内に取り込みます。そして個々のエアロゾルの全体の大きさとその中に含まれているBC質量の両方を、散乱光と白熱光を測定することにより求めています。機外にとりつけられた測定器により雲の微物理量も測定し、エアロゾルの雲への影響も調べています。（資料提供：小池）

航空機観測の概要

本プロジェクトでは2013年の2~3月に鹿児島を拠点に東シナ海・黄海でフライトを実施しました（左頁地図）。黄海の観測では韓国の協力を得て実施しています。フライトプランは事前に十分に検討されていますが、実際に翌日にどこのエリアのどの高度を観測飛行するかは気象場の予測に基づいた大気物質場予測を見て、毎日実施される観測会議で決定します。観測は海上150 m位から上空7 km位

の高度領域で実施し、定点での高度分布を得るためにスパイラル下降もします。観測機には研究者が2人乗り込み、リアルタイムで取れるデータを見て、さらに観測高度を微調整したりします。今回の観測ではすべてのフライトで高精度のデータの取得に成功しました。現在、そのデータを解析中です。次回は雨の多い梅雨にあたる6~7月に観測を予定しており、冬の乾燥期のデータと比較していく予定です。

温室効果気体の変動を捉える

町田敏暢・国立環境研究所
笹川基樹・国立環境研究所
澤 庸介・気象庁気象研究所

研究課題「北極域における温室効果気体の循環とその気候応答の解明」（研究代表者：青木周司・東北大学教授）では、温室効果気体の発生源と吸収源の分布や変動を明らかにするため、地上観測、船舶観測とともに航空機観測を実施しています。

航空機観測は国立環境研究所と気象研究所のメンバーが進めています。一つはシベリア上空のチャーター航空機による観測、もう一つが今回ご紹介する日本と欧州を結ぶ民間航空機の定期便を利用した二酸化炭素（CO₂）やメタン（CH₄）等の大気採取観測です。チャーター航空機によるサンプリングは高度7km位までですが、民間航空機の定期便ではそれよりも上空の高度10km付近の観測データが取得できます。

2年目を迎える欧州定期便

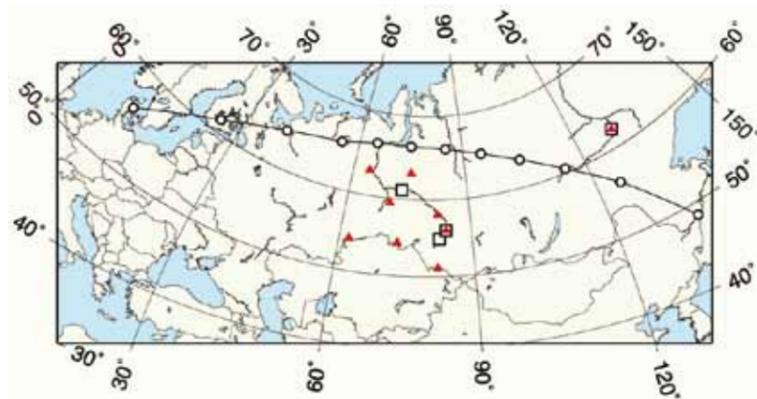
2012年4月から日本航空の欧州便で月に

一度観測を行っていますが、ここまでに至る道のりは簡単ではありませんでした。1993年から日本-オーストラリア間のフライトで温室効果気体の南北分布を観測してきましたが、GRENE北極事業でシベリア上空のデータを取得するチャンスが巡ってきました。しかし空気を自動で採取する装置を載せられる飛行機は2機、装置自体も3つしかないため、運行スケジュールと装置搭載の調整には苦心しており、年度途中には欧州便の路線変更による再調整も経験しました。しか

し、関係者の協力のおかげで昨年度合計12回のシベリア大陸上空の観測を実施でき、今年度も引き続き観測を実施しています。

一年間のフライトデータから

今回、対流圏と成層圏の境界付近での大気採取を行い、CO₂だけではなくCH₄、一酸化二窒素（N₂O）、六フッ化硫黄（SF₆）を分析できたことにより興味深い空気の動きをみる事ができました。まずCO₂は、対流圏では地上植物の光合成・呼吸の影響で比較的大き



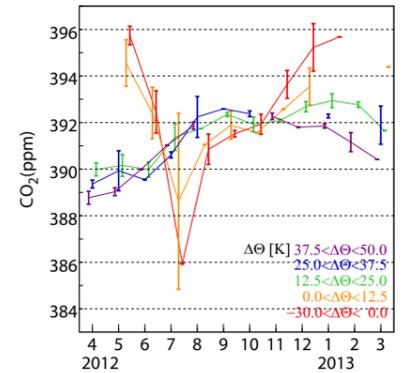
シベリア上空で行われている温室効果気体観測。季節変動は地上付近の振幅が大きく、上空ほど小さいことがわかってきました。
○-○：日本航空定期便による大気採取観測。2012年4月から2013年1月まではパリー羽田間、その後はモスクワ-成田間で観測を行っています。
▲：地上におけるタワー観測 □：チャーター航空機観測



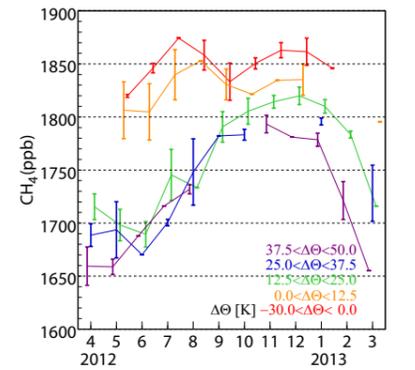
日本航空777-200型に搭載されている2つの観測装置。ジェットエンジンから取り込まれた空気が機内空気と混合する前に採取装置に入るようになっています。ASEは日本に到着した翌日には環境研に送付され分析が行われます。（写真提供：日本航空）

な季節変化が観測されましたが、上空10kmの振幅は地上のおよそ半分程度です。一方、成層圏では濃度変動は小さいものの夏季に濃度が高く全く別の季節変化を示します（右図上）。CH₄は対流圏に比較して成層圏で大きな季節変化が観測されました（右図下）。成層圏では春にはより高高度の空気が降りてきているためCH₄濃度は低く、夏には濃度の高い低緯度対流圏の空気が成層圏へ入り易くなるため高濃度になっていると考えられます。また、CO₂やSF₆がシベリア上空でも地

上観測とほぼ同じ速度で増加していることなども明らかになっています。過去のデータも含め北緯25度から60度ぐらまでのデータを得て、北半球の温室効果気体の季節変化がわかるようになってきました。上空の大気はよく混ざり合うため広い領域の人間活動や自然の影響を反映しています。今年一年の観測でさらにデータが増え、より正確な季節変化、年増加速度など一層研究が進むものと期待しています。



二酸化炭素濃度の成層圏（紫色）と対流圏（赤色）での季節変動。対流圏界面からの温度差ごとに色別に表示。対流圏では夏に最小値を示し季節変動が大きくなっていますが、成層圏では変動は小さいものの夏に濃度が高く、全く別の動きをしています。



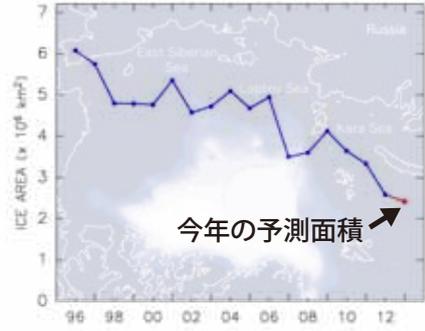
メタン濃度の成層圏と対流圏での季節変動。成層圏では春先に低く、夏になると高くなっています。これに対して上部対流圏の季節変動は非常に小さくなっています。成層圏でCO₂以外の温室効果気体のデータが高頻度で取得されるのは世界でも初めてのことでです。

2013年夏の北極海氷分布予報を公開

「北極海航路の利用可能性評価につながる海水分布の将来予測」(研究代表者:島田浩二・東京海洋大学准教授)に参加している研究サブ課題「北極航路利用のための海水予測および航行支援システムの構築」(研究サブ代表者:山口一・東京大学教授)のグループが、2013年5月31日、今夏の北極海の海水分布予報を発表しました。

今夏の北極海の海水は

- ①海氷面積は最小記録を更新することが予想され、
- ②ロシア側、カナダ側ともに航路が開通し、ロシア側は7月21日頃、カナダ側は8月6日頃に開通すると見込まれています。



9月11日の海水面積の経年変化(青線)と2013年度の予測面積(赤線)、及び海水分布の予測図(背景)

なお、山口研究室のHPで今年7月1日から11月1日までの海氷分布推移をアニメーションで紹介すると同時に解析手法も紹介しています。

日本語版 <http://www.1.k.u-tokyo.ac.jp/YKWP/2013arctic.html>
 英語版 http://www.1.k.u-tokyo.ac.jp/YKWP/2013arctic_e.html

ADS : Arctic Data archive System 北極域データアーカイブ

ADSとは

日本の地球環境科学におけるデータシステム事情は、各機関が個別に行っているだけで広く公開されておらず、特定のデータを関係者だけが使っているという状況です。データを保管・管理する恒久的なデータサーバーも存在しません。ADSはこのような状況を打破し、誰もが使えるデータシステムとして日本における北極域の「モデル」と「観測」の研究を繋げるツールであり、恒久的なプラットフォームとなることを目指しています。

データ公開は評価基準になる

日本ではデータセットを作成し、公開することに対する評価基準がなく、データを取って提出しても成果として認められませんが、昨今、グローバル化の世界で研究が進むにつれ、お互いの持っているデータを利用するためにアーカイブ化しておきたいという機運が高まってきています。しかし現状ではデータセットの作成・公開は評価基準として認められないので、同時にデータセット作成・公開提出が評価基準となるような地位を築きあげる必要があります。これは国立極地研究所だけでなく、研究コミュニティの意識改革、さらには資金提供機関等の法整備も必要かもしれません。

このような背景で誕生したのがADSです。現在はGRENE北極事業内を中心にデータ整備を進めており、データセットを公開すると同時に提出されたデータセットを評価基準と結びつけるためのツールとしても運営を行っています。将来的には事業を越えた北極域データ公開の場として運用し、そして地球全体の寒冷域データセンターにしていきたいという抱負を持っています。

矢吹伯裕

国立極地研究所(特任准教授)/
海洋研究開発機構



データは共有財産

地球温暖化が進むなか、観測データを取れるのは今です。使いたい時に欲しいデータが存在していることが理想的です。データを取った人しか使えないのではなく、将来、皆が使えるものにすることが大切であり、そうすることでデータの価値も高まってきます。

極域観測はこれまでもデータに関して新しい発想を生む場として何度も登場しています。1957年~1958年の地球観測年の後に、地球観測年に取得したデータを残そうということで世界データセンター(WDC)という構想が生まれて実施されてきました。その50年後の2007年3月~2009年3月の2年間にわたり、国際極年(International Polar Year)が行われ、それを契機に世界データシステム(WDS)へと発展しました。このように極域観測をきっかけとしてデータ公開は発展してきました。我々もこの事業を契機に日本のデータ公開を発展させていこうと考えています。

InformationからIntelligenceへ

ADSではデータを検索しやすくして国際的に流通が可能なシステムへの整備を進めています。ADSを育てるのはデータをとってきた研究者自身であり、それがまた自分たちの研究を加速させるものと確信しています。単なるInformationツールではなくIntelligenceを生むツールとなることを期待してADSを充実させていきたいと考えています。



<https://ads.nipr.ac.jp/>

研究代表者が語る「私のチーム」



浮田甚郎 (新潟大学)

北極温暖化のメカニズムと
全球気候への影響: 大気プロセスの包括的研究

私たち大気グループの中には4つのチームがあり、分担者17人、特任研究員5人を中心に研究協力者も含め、総勢55人程度の構成です。

ブラックカーボン(BC)・エアロゾルチームは、中高緯度のBC・エアロゾルの放出、輸送、沈着、放射への影響を含む全体像について、多角的なアプローチを用いて追っています。また雲・放射チームでは、雲レーダーの観測をもとに、さらには既存の衛星観測との比較をベースとして広域での雲に関する実態の把握を目指しています。

これら2つのチームが、エアロゾル・雲・放射サブグループを構成していますが、もう一方の大気循環サブグループでは、既存データの解析および数値実験によって、北極で何故温暖化が急激に進んでいるのか、また大気が海洋、陸域と関係してどのように現在の温暖化が進んでいるのかを理解しようとしています。特に、これまで学問分野として別途に扱われていることが多かった下層大気と中層大気を結び付けて総合的に北極大気のプロセスを理解しようとしている事が大きな特徴です。

このように我々の研究課題では、北極をキーワードに海洋上層から大気中間圏まで、さらに熱帯・中緯度を含む半球規模あるいは全球規模での物質循環の視点からのアプローチを取り入れたところがユニークなところだと思っています。また研究方法についても、地上での観測とともに航空機を用いた観測、さらにはスーパーコンピュータを駆使した数値実験が本グループの売りだと思っています。そして社会との繋がりが言うと、北極の

変動がどのようにして日本の気象気候変動・変化へ影響を与えるのかという事の理解を深めるとい点がとても重要だと考えています。

2013年度では、以下の3点を重点的に進めています。まず地上でのエアロゾル観測ですが、大西洋側(ニーオルスン)と太平洋側(ポイント・パロー)で連続観測をしており、通年のデータが蓄積されようとしています。さらにエアロゾルの輸送・沈着過程をより明らかにするため航空機観測が予定されています。2点目は雲レーダーの観測ですが、紆余曲折を経てようやく入口までたどりつきました。3点目はこれもようやく軌道に乗ってきた大気大循環モデルを用いた感応実験です。

マネージャーとしての苦心は、限られたリソースの中でどのように個と集団のバランスをとるか、人間的な感情とサイエンスとしての問題が絡み、日々格闘しています。とにかく、組織として全体を俯瞰すること、バランスを保つこと、長期的な視点に立つこと、そして何よりサイエンスとして志を高

く持つことが重要だと思っています。プロジェクトが動き出してから1年半がたち全体像が見えてきたところですが、多くの方の有形無形の援助、協力を、この紙面を借りて改めて感謝していることをお伝えしたいと思います。

研究代表者の横顔

時間の許す限りといってもあまりありませんが、水泳、スキーにそいでいます。小さい頃からとにかくスポーツに夢中でした。学問的な興味を持つようになったのは、どちらかというと大人になってからで典型的な体育会系、というよりそのままの青春をすごしました。ただ、友人のご家族に大学で教鞭をとられていた方がいて、なんとよく良き職業かな〜、と子供ながらに思ったことを記憶しています。しかし、後から考えるとその方は文系で、今の私とは似ても似つかぬことをしていたようです。