

1 アラスカプロジェクトの成果から ～北極域大気観測技術の実証～

1 *Observed Results of "Alaska Project"* ～Developed Instrument Performance～

アラスカ・プロジェクトにおける北極域大気総合 観測システムの開発と成果

Comprehensive Arctic Atmosphere Observing System and Observed Results for System Performance Demonstration

村山泰啓 石井 守 久保田 実 森 弘隆 水谷耕平 落合 啓 笠井康子
川村誠治 田中良昌 増子治信 井口俊夫 熊谷 博 菊池 崇 佐藤 薫
リチャード L. コリンズ ブレントン J. ワトキンス マーク コンデ
ビル ブリストウ ロジャー W. スミス

MURAYAMA Yasuhiro, ISHII Mamoru, KUBOTA Minoru, MORI Hirotaka,
MIZUTANI Kohei, OCHIAI Satoshi, KASAI Yasuko, KAWAMURA Seiji, TANAKA Yoshimasa,
MASUKO Harunobu, IGUCHI Toshio, KUMAGAI Hiroshi, KIKUCHI Takashi, SATO Kaoru,
R. L. Collins, B. J. Watkins, M. Conde, B. Bristow, and R. W. Smith

要旨

地上高度約 10～100 km の大気層「中層大気」は地球環境や気候変動においても重要であり、特に北極域は地球温暖化が最も顕著に進行するといわれる地域であるが、一方、中層大気の観測手段が限られていた。「アラスカプロジェクト」は、北極域の大気環境の理解と対策に資する多面的な観測手段を電磁波技術で実現するためにアラスカ大学などと国際共同で進められてきた。本稿では、このプロジェクトの概要と成果の一部を紹介する。

The "middle atmosphere", defined as the atmospheric layer at altitudes from approximately 10 to 100 km, has been stressed as a region important in global environment and climate change studies; importance is also stressed on the Arctic region where the global warming is predicted to appear most predominantly. The "Alaska Project", an international joint research project with National Institute of Information and Communications Technology (NICT) and Geophysical Institute of University of Alaska Fairbanks, developed radio/optical instruments technology and instruments which are effective for global environment studies. Project overview and results are shown the article.

【キーワード】

地球環境, 北極域, 中層大気, 上層大気, 国際共同研究
Global Environment, Arctic region, Middle atmosphere, Upper atmosphere,
International cooperative research

1 はじめに

北極・南極を中心とする「極域」においては、オゾンホールや地球温暖化に代表されるように、特徴的に地球環境変動が現れることが知られている。中でも、オゾンホール問題などでもクローズアップされたように、地表から離れた上空の大気は地球環境問題の理解において重要な要素の一つである。地上からの高度がおおよそ 10 km から 100 km 程度の大気層は「中層大気」と呼ばれる。中層大気はオゾン層を含んでおり、また地球温暖化にも鋭敏に反応すると考えられている。

環境変動や関連する個々のメカニズムの解明はいまだ途上であるが、地球環境をトータルシステムとして理解していくためには、多面的で総合的なデータが重要となる。たとえばオゾンホールを例にとると、極回りの強い気流（「極渦」と呼ばれる）、極渦内部の低温条件、極渦内での塩素・臭素化合物の存在、化合物解離のための触媒となる大気中の微粒子（エアロゾル）、といったように多くの条件がそのメカニズムに関与する。このため、極域の中層大気や、その周辺領域でのこうした総合的な観測データは長く望まれてきたものといえる。

中層大気の状態は地球環境そのものと密接にかかわるとともに、逆に地球環境変動によって中層大気が敏感に反応して変化すると考えられている。また、いまだ大きな研究対象であるが、太陽活動の変化が中層大気に無視できない影響を及ぼすなど、地球環境の変化や気候変動に影響を与えている可能性も古くから指摘されている。こうした環境変動は特に極域で大きくクローズアップされ、あるいは強調されて現れる傾向がある。また北極は、大きな工業地帯や都市圏を多く抱えるユーラシア・北米大陸から近く、人為起源の環境変動との関連や、北極オゾンホールの発生など、注意すべき点が多い。

こうした極域中層大気研究の重要性に着目した幾つもの世界的な研究所、研究グループにより北極域ないしその近辺での観測・研究が行われている。北欧、グリーンランド、カナダなどでは、ヨーロッパ・アメリカのグループによる研究が推進されているが、アラスカ域での中層大気研究を推進する国際的活動はプロジェクト開始当時は大

きく推進される体制は必ずしも十分ではなかった。こうした環境・大気状態においては地域ごとの変化・差異は特に重要であり、アラスカ域の観測体制に日本の情報通信研究機構が関与することは、国際的にも他の研究グループから期待される活動となってきており、また十分な品質の測定データが得られ始めると測定点同士の相互比較・統合解析研究が進展し、これを通じて更に多国間の共同研究のコミュニティが醸成されてきたといえる。

また上述したように、極域ではオーロラや宇宙放射線などの宇宙空間からの大きなエネルギー流入があり大気環境を変化させると考えられているが、その定量的評価は現在、科学的な議論の途上である。アラスカ・プロジェクトは、プロジェクト発足前にはあまり顧みられなかったこの先駆的な課題に、真正面から取り組んだ数少ない活動となった。かつては、国際的な科学コミュニティにおいても、太陽活動や宇宙環境が地球大気に与える影響は考慮すべき価値はあまりなく、科学的に疑問視する声すらあった。

しかし、10年以上を経た今日の中層・上層大気の国際研究コミュニティにおいては、この課題は国際学術プロジェクトとして確立し、多くの研究者が取り組む重要な研究領域となった。地球環境変動評価においても、その影響の大小にはまだ議論があるが、科学的な評価が二酸化炭素影響などと並んで行われるようになった。

また、こうした地球大気と太陽活動・宇宙環境の関係の議論を進める上で、アラスカプロジェクトでは、可能な限り大気科学者と宇宙科学者の融合を図ってきた。これもまた先駆的な活動となった。上述したように、その関係が科学的に疑問視される中で、大気と宇宙の専門家集団の交流や連携は当時非常に限定的なものしかなかった。アラスカプロジェクトでは、両者の物理的な可能性を見通した上で、大気と宇宙の研究者間の個別の議論や学会レベルでの参加など、連携を進めてきた。

本プロジェクトにおいては、上述の中層大気を中心とした大気環境の多面的な観測技術開発、特に多くの大気パラメータの観測技術とそれに必要なシステム技術の研究開発を目的として、装置・技術の工学的研究と、その装置・技術を使ってもらうための有用性を実証するための、工学・科学

融合的研究とを精力的に行ってきた。2006年3月をもって開発計画が終了した同プロジェクトの、その成果の一部を以下に紹介したい。

2 環境計測技術の開発

本プロジェクトでは、アラスカ大学等と共同で、電波・光技術を応用した総合的な大気環境の計測技術を開発し、開発された装置を用いてアラスカを中心とした北極域での測定実験から大気環境や環境変動に関連した現象の科学的データを取得して、開発された総合的大気観測技術の実用性を実証することを目標とした。北極域での大気環境変動やその変動に関係するプロセスの解明に寄与することで、開発された装置・技術の科学的有用性を実証してきた。

情報通信研究機構では、旧電波研究所・旧通信総合研究所(CRL)時代から長年にわたり電波・光技術の利用研究を行ってきた。上述の大気環境変動の多面的な観測技術開発、特に多くの大気パラメータの総合観測技術とそれに必要なシステム技術の研究開発と利用技術について、国際的な競争力を持つ。

プロジェクトにおける開発対象は、北極環境の特性・変動調査活動に耐え得る統合計測システム技術の研究開発といえる。極域の中層大気特性の総合的把握のためには、大気の運動(力学;風、気温など)、化学組成(オゾンなど大気中の微量化学物質)、プラズマないし関連するオーロラなどの過程、と多岐にわたるものが測定対象となる

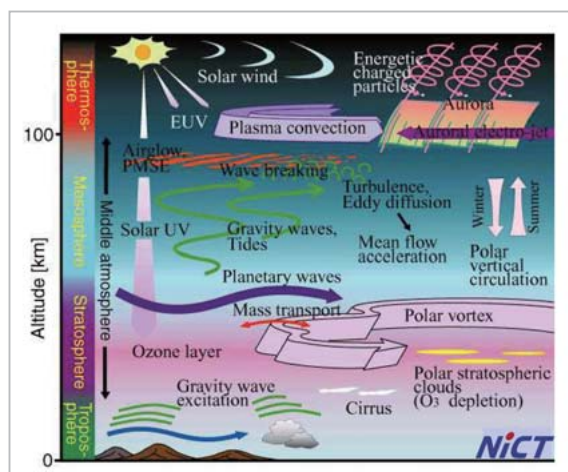


図1 極域中層大気の変動にかかわる種々の自然現象

(図1)。これらは単体のセンサーで一度に測定することは現実的でないため、多様な測定対象を分担し合いながら測定する9種類の地上設置型リモートセンサーを個別に動作させながら、これらの計測データを融合・相互利用することで、全体として有効に機能する統合計測システムとすることとなった。

実際には、原理・分解能・データ処理手法など、相互に大きく異なる個別センサー同士の測定結果を融合して新たな環境情報を抽出するためには、個別センサーの工学的特性と、測定対象となる大気環境特性を考慮して、データ処理手法やその解釈のための解析手法の開発研究が極めて重要となる。プロジェクト後半において個別センサーのデータが得られ始める段階においては、個々のセンサーの実証を行うとともに、電磁波工学の分野ではなく、測定系の調整及び大気科学的知見に基づいた、高度環境情報処理のためのソフトウェアシステムの開発に重点が移り、これにより多くの成果が得られた。開発された個別センサーを表1、図2に示す。

3 開発された技術・装置の実証研究

本プロジェクトでは、上述された個別センサーの測定結果を実証し、また相互に比較・癒合利用する技術を開発してきた。これらは、まず個別セ

表1 アラスカプロジェクトにおいて開発・製作された個別センサー

観測装置	観測項目	観測高度	観測形態
ミリ波ラジオメータ	大気微量成分濃度	成層圏、下部中間圏 (20-70km)	高度分布、昼夜連続
FTIR分光計	大気微量成分濃度	対流圏・下部成層圏(高度10-30km)	高度分布、昼間
多波長ライダー	大気中浮遊粒子	対流圏上部・下部成層圏 (5-40km)	高度分布、夜間
レーダー・ドップラー・ライダー	風向・風速、気温	成層圏、下部中間圏 (30-80km)	高度分布、夜間
分反射レーダー	風向・風速	上部中間圏、下部熱圏(高度60-100km)	高度分布、昼夜
フアブリ・ペロ干涉計	大気発光層高度の水平・鉛直風速、中性大気温度	上部中間圏、下部熱圏(静穏時:85,95,250km/オーロラ擾乱時:85,120,250km)	水平分布、夜間(新月期間)
イメージング・リオメータ	下部電離層による銀河電波輻射の吸収(CNA)	下部熱圏 (~高度80-90km)	水平分布、昼夜
SuperDARN HFレーダー	風向・風速	下部熱圏 (80-110km)	高度分布、昼夜
	電離層電場	中部熱圏 (~250km)	水平分布、昼夜
大気光イメージャ	大気発光層の発光強度、大気波動画像	上部中間圏、下部熱圏(静穏時:85,95,250km/オーロラ擾乱時:85,120,250km)	水平分布、夜間(新月期間)

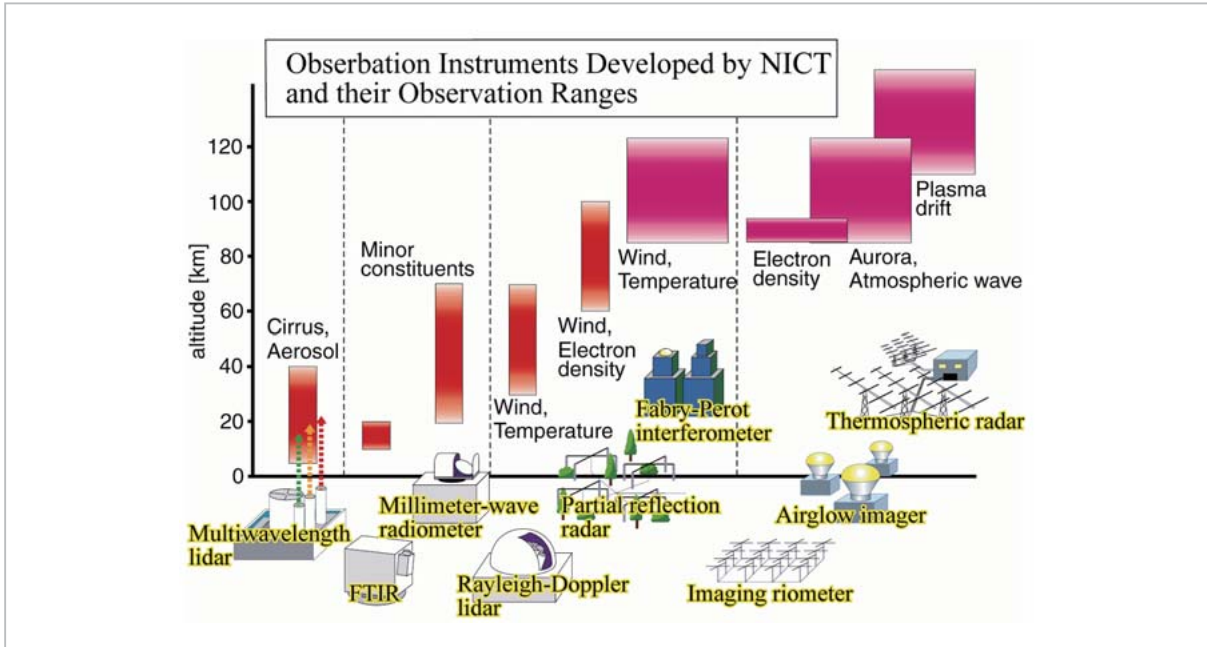


図2 アラスカプロジェクトの北極域総合計測システムを構成する個別センサー群

センサーの実証、さらに一つのセンサーから得られる複数の測定量同士を統合利用する、また、複数のセンサー測定量同士を統合して用いて新たな測定量を得る、などの研究により達成されてきた。そして、その過程で得られた計測結果は、これまで知られていなかった現象の発見や、大気科学・環境研究上の大きな成果をもたらした。以下ではそれらの結果の中から主なものを示す。

風速・化学物質輸送の計測実証

上空の風速は気象現象や気候変動を判断する上で大変重要である。図3の上段では、アラスカ上空で分反射レーダーで測定された東西方向の風速値と、英国気象局 (MetOffice) によるデータにより、地表～高度 100 km の広範囲をカバーする風速データを示している。また、図3の下段には北極域の気候変動の指標といわれる北極振動インデックス (AO 指標) を示している (Baldwin and Dunkerton, 2001)。AO 指標が正である青い領域は寒気を北極に閉じ込めるため中緯度は暖冬傾向であり、負である赤い領域は寒気を周辺へ吹き出し寒い冬をもたらす傾向がある。この北極全体を巻き込む気候の変化は図3上図では、高度 95 km 付近の風速反転から地表付近の変動までつながった変動であり、地球環境が 100 km 近く高度の離れた層同士で関係し合う複雑なものであることが分かる。

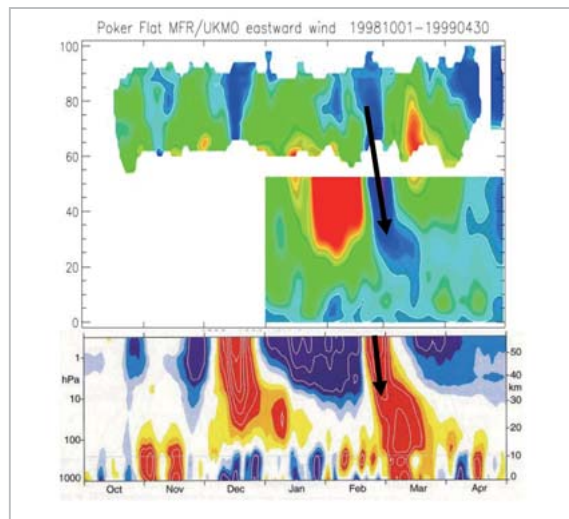


図3 地表から高度 100 km までの東西風速 (上段) と、北極域気候変動の目安となる北極振動インデックス (下段; Baldwin and Dunkerton, Science, 2001 より引用) 1998 年 10 月から 1999 年 4 月の期間のデータを示す。

図4は、地上設置のフーリエ変換型赤外分光計 (FTIR) の分光スペクトルから笠井らによって世界で初めて導出された、成層圏・中間圏中の一酸化炭素濃度である (Kasai et al, Adv. Space Res., 2005)。これを見るとこうした高高度の一酸化炭素は冬に多く、夏に少ないことが分かる。夏の減少は光化学反応による分解が主な原因であることが分かっているが、冬から夏にかけての過渡状態

では、上述の大規模な気流・循環が濃度の大小を支配していることが、アラスカでの観測から分かってきた (Jones et al, 2007)。NICT と共同で行われた Jones らの研究によれば、アラスカの分反射レーダーで計測された気流の年々の違いによって、赤外分光で得られた一酸化炭素濃度の違いが説明でき、こうした高高度での化学物質の輸送過程を明らかにする手段を、こうした装置は提供できることが示された。

こうした中層大気の気流の循環には、小規模な空気の横波現象 (大気重力波と呼ばれる大気波動) が重要であると言われている。これらの大気波動は下層の大気中で発生して、下層の大気を持つ運動量やエネルギーを高高度へ運び、運動量バランスを変化させて地球規模の循環を維持している。

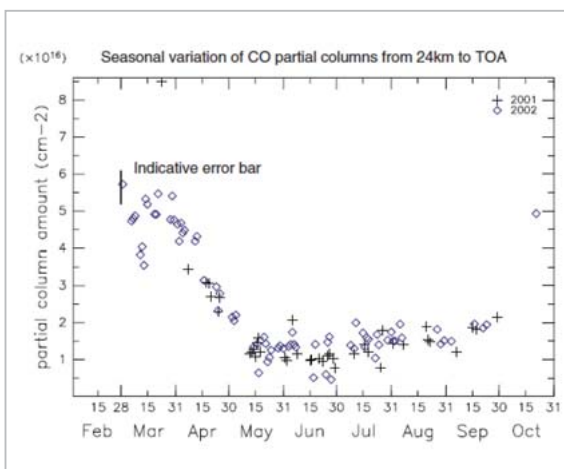


図4 中間圏 CO の存在量と中間圏風速 (FTIR と MF レーダー) (Kasai et al., 2005)

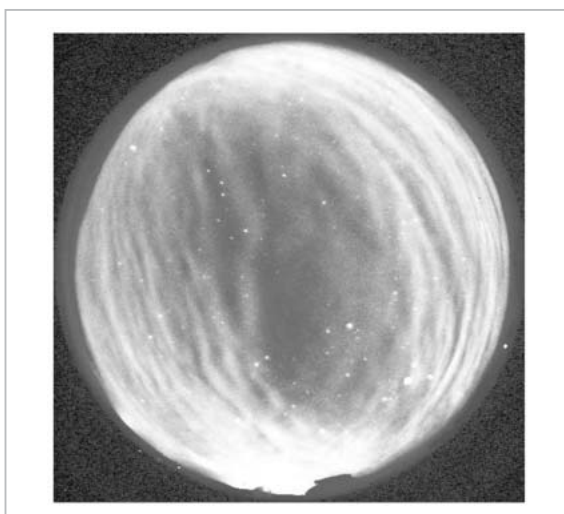


図5 オーロラ発生領域における大気重力波の水平構造の撮像

図 5、6 は、この大気重力波をアラスカに設置された全天イメージャで計測したものである。大気中の自然発光現象 (大気光) を大気重力波が変動させる様子を高感度カメラであるイメージャで撮影することができる。図 5 の CCD イメージでは何本ものうねった筋が見られるが、これらが大気重力波によって生じた現象である。これの天頂 (図 5 の円形イメージの中央) を通る南北線 (子午線) 上の値を、時間方向に並べたものが図 6 の最上段のパネルで、筋状構造の南北伝播が分かる。図 6 の 2 段目から下は、オーロラ撮影した結果を用いて、オーロラの存在しない領域について数値フィルターで種々の水平波長を持つ波動成分に分けたものである。これを見ると、ほとんど常時、種々の特性を持つ大気重力波が中層大気に満ち満ちていることがよく分かる。こうしたイメージ撮影データを使うことで縞縞 (大気重力波) の進行方向や伝播速度が導出でき、またこれを用いた、運動量輸送量などの推定が行われることから、大

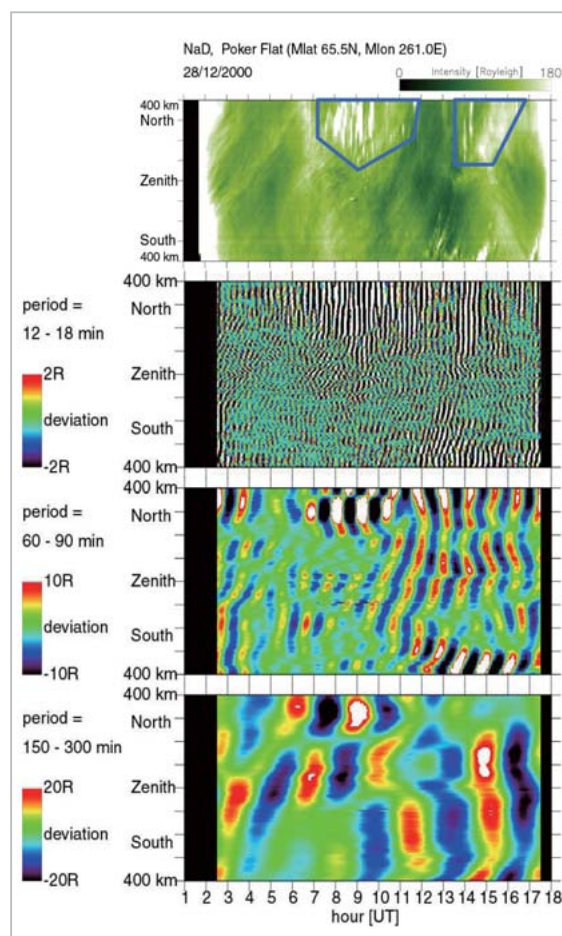


図6 オーロラ発生領域における大気重力波の水平構造観測

気中の運動量の変化と気候変動や地球規模循環のかかわりなどが将来的に解明できると期待される。

大気重力波はまた、中層大気をゆさぶることで様々な影響を周囲に与えている。図7では、分反射レーダーで測定された風速と電子密度の変動成分を示している。中層大気上部(中間圏)では電子密度はイオン化学過程によって支配される成分が無視できない可能性がある。測定結果に見られる電子密度変動は、通常のエ離層としての変動では解釈できず、簡単なイオン化学モデルで定量的に

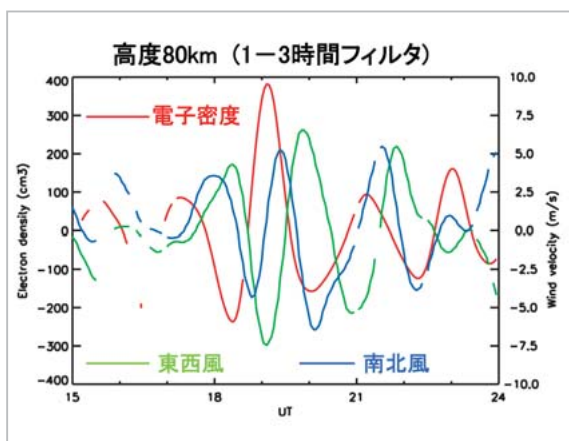


図7 中間圏における大気重力波とイオン化学過程の観測

説明できることから、図中に見られる正弦波状の波構造が風速変動だけでなく、これを引き起こす大気波動の2次効果としてイオン化学過程を変化させている可能性がアラスカの観測から初めて実データと共に示された。こうした結果から、将来の運動(力学)と化学反応の相互作用の理解や、中層大気上部での化学過程の解明につながる可能性がある。

また、これらの測定は、複数のセンサーデータを融合してオーロラ特性の調査に用いることもできる。オーロラは、地球の磁界(磁場)にとらえられた高エネルギーの捕捉宇宙線が大気中に飛び込んで、ちょうど希薄なネオンガスを用いたネオンサインが光るように、高高度の大気が発光する現象である。1回のオーロライベントで1万アンペアオーダーの電流が上空を流れるともいわれる。この大きなエネルギーによって地球大気は電離され、また化学反応が変化して、例えばオーロラに伴って上空で、自動車排ガスと同じ成分である窒素酸化物が大きく増加するとされている。

こうした大気環境を変化させるオーロラのエネルギーを、2次的に映像化することに成功したものが図8である。これは、イメージングリオメータと呼ばれるVHF帯の銀河電波を受信する

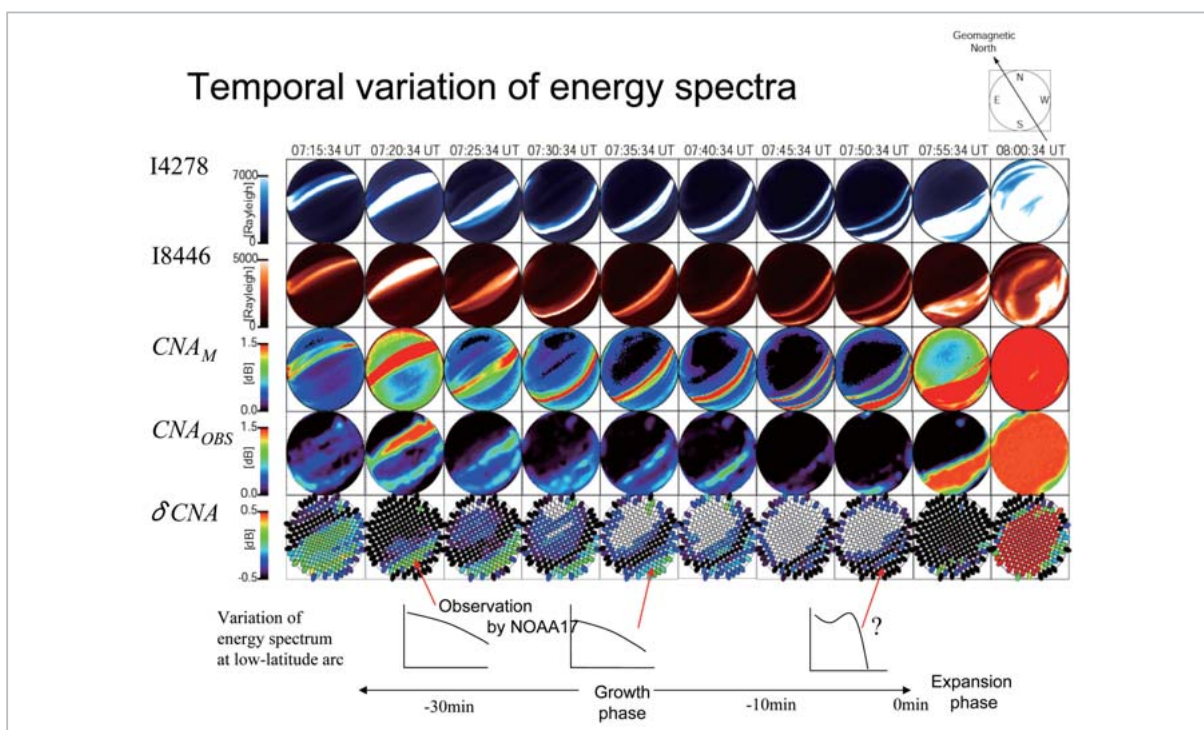


図8 イメージングリオメータと全天イメージャの同時測定実験によって得られた、オーロラのエネルギーの空間分布の連続測定結果

装置の電波信号の2次元マップと、全天イメージャの撮影画像を処理したもので、こうした面的な情報からオーロラのカーテン状構造のどの部分でどういうエネルギーが大気中に入ってきているか、など多くのこれまで得られなかった詳細な情報が得られることが分かった。

また、こうしたオーロラ測定を連続的に行うことで、予期しなかった自然現象の発見もあった。図9は、Nature誌にも紹介された図と同じものであるが、何十分にもわたって「動かない」オーロラを撮影したものである。オーロラの発生条件には通常、地球と太陽の相対位置関係が重要であることから、地球-太陽座標系の中で自転する地球の上からは、オーロラは1か所からとどまって見えることはほとんどない。図9は、近似的に地球と一緒に自転して、地上から見ると動かず、ほぼ

静止したように見える珍しいオーロラである。この特殊なオーロラから、地球と一緒に自転する磁界(磁場)に捕捉された宇宙線の特性など、地球近傍の宇宙環境調査にも役立つことが分かってきた。

このほか、ファブリペロー干渉計と呼ばれる超高分解能の分光器を開発し、オーロラ光の分光結果からそのドップラーシフトを求め、オーロラが発生している場所での風を測定することに成功した。これによりオーロラの大きなエネルギーによって、オーロラの発生高度周辺では風速数十m/sに及ぶ上下方向の風が生じることや、電離層(電離圏)中のプラズマ流(電離大気)の運動によって地球大気(非電離大気;中性大気)が引きずられて動くこと、など様々な科学的成果を通じたその有用性が実証されてきた(石井ほか、本特集号)。

また、大気圏外からの宇宙線の影響という点では、太陽が時折放出する非常にエネルギーの高い陽子(プロトン; H^+)も地球大気に飛び込んで、大気環境を変化させるといわれてきた。図10には、米GOES衛星でとらえた太陽プロトン量の増大と、大気中の風速変動が関係していることが示されている。風速変動の大きさは、図中の3か月間で10~20 m/s程度しかなかったが、この太陽プロトン増大時のみ季節平均の3倍近い強い風速振幅になっていることから、太陽プロトンが何らかの力学又は化学的影響を北極域中層大気環境に

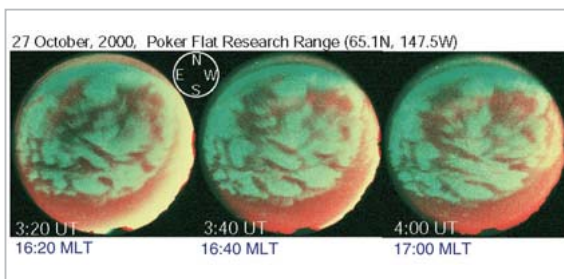


図9 全天イメージャで撮影された、「動かないオーロラ」(Kubota et al., Geophys. Res. Lett., 2003)。Nature誌でも紹介された。

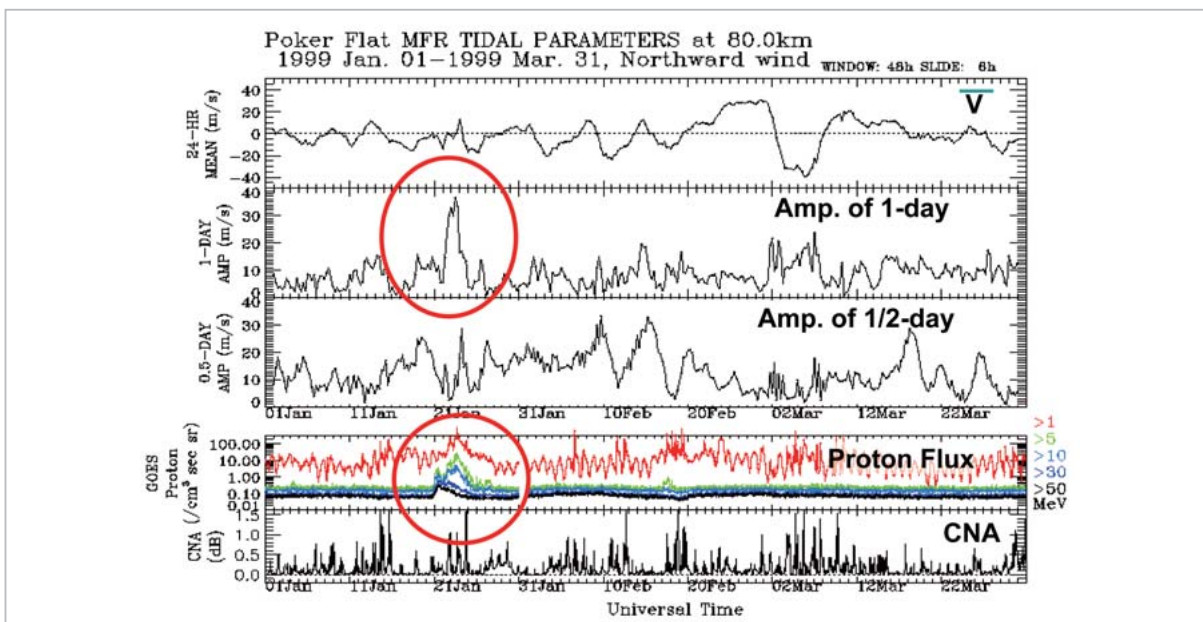


図10 太陽プロトンイベントと中層大気環境(風; アラスカ分反射レーダ測定)の変動

与えている可能性が示唆される。このメカニズムはまだ解明されていないが、太陽プロトンによって変化した大気中の化学反応により、化学物質量変動と風速変動(力学)の相互作用プロセスの研究に寄与すると期待される。

4 北極域環境情報データネットワークシステム「SALMON」

これまで紹介した装置は、現在ではほぼすべてが、計算機によって制御・データ取得されるため、実験継続中は連続的に大量のデータが取得され、蓄積される。一方、そうした膨大な量の数値データファイル群をハードディスクなどにためたままでは、データの有効利用は難しい。これを解決し、また自動で装置運用を監視し、自動に必要なデータ閲覧を可能にするため、我々は「北極域中層大気計測データネットワークシステム SALMON (System for Alaska Middle atmosphere Observation Data Network)」を開発し、運用を行ってきた(図 11)。

このシステムはネットワーク応用実験の側面も持っている。ネットワーク国際共同研究 APAN (Asia Pacific Advanced Network; 事務局 国際電信電話(株)、国内参加機関 KDD、慶応大、電総研(現産総研)、科技厅(現文科省)、農水省、NICT など)に参加、米側は次世代インターネッ

ト実験 TransPAC/vBNS や Abiline との接続を行い、多種実験の相互接続での長距離・高速伝送という、実験テストベッドでのアプリケーション研究といえる。また同時に、計算機技術でデータの有効利用を図り、さらにはオンライン・データ配布で他機関での利用もできるシステムとなった。

このシステムを用いて、海外の研究者も容易に我々のデータにアクセスが可能になり、国際的なデータ利用が大きく進んだ。また、それまで手作業で行っていたデータ処理を自動処理化する開発を行ったことで、新たな研究成果も生まれた。

これにより、論文など学術的成果も飛躍的に伸び、図 12 に示すように論文数は年々増加しつづけ、査読付き原著論文は 2006 年度後半で 116 件を数えた。

また、文科省サイエンス・パートナーシッププログラムやスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として、インターネット配信を用いた北極環境・オーロラ講義を、高校理科教員向け研修、高校生向け授業として行っている。これは好評なため、毎年申込みがある(図 13)。

5 まとめ

地上高度約 10~100 km の大気層「中層大気」は地球環境や気候変動においても重要であり、特に北極域は地球温暖化が最も顕著に進行するといわれる地域であるが、一方、中層大気の観測手段は限られていたため、その変動メカニズムの解明が待たれていた。「アラスカプロジェクト」は、北極域の大気環境の理解と対策に資する多面的な観測手段を電磁波技術で実現するためにアラスカ大学

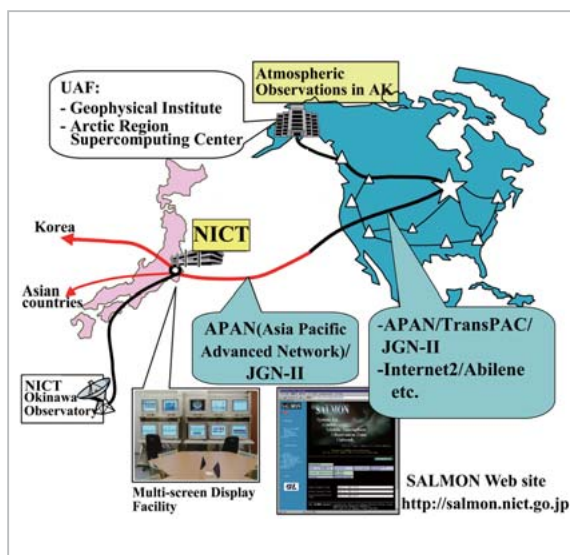


図 11 北極域中層大気計測データネットワークシステム SALMON (System for Alaska Middle atmosphere Observation Data Network) のネットワーク接続の概要

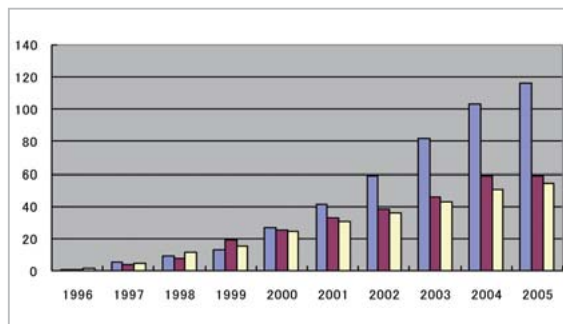


図 12 アラスカプロジェクトに関連して発表された研究成果数の推移

青は査読つき論文の累積数、赤は査読なし文献の累積数、白は 10 分の 1 にした累積口頭発表数



図13 文科省サイエンス・パートナーシッププログラムの一環として行われた、インターネット配信を用いた理科教員向け北極環境・オーロラ授業研修。NICT 研究員が研修講師を務めている。

などと国際共同で進められてきた。本稿では、このプロジェクトの概要とともに、得られた成果の一部を紹介した。

地球大気環境という、複雑な非線形複合系の将来を占う上では、計算機シミュレーションによる予測技術の向上は必須であるが、一方では計算の

基礎となる現象に関する実世界の情報を与える、いわばリアルワールドからの情報の取り込み系であるこうした計測技術が不可欠である。特に高機能リモートセンシング技術は、将来にわたって重要な日本の資産であり、国際社会に寄与する重要な技術であり続けると期待される。



むらやま やすひろ
村山泰啓

総合企画部企画戦略室プランニングマネージャー（前電磁波計測研究センター環境情報センシング・ネットワークグループ研究マネージャー）
博士（工学）
大気リモートセンシング、中層大気力学

くぼた みのる
久保田 実

情報通信研究機構（総務省情報通信政策局技術開発政策課研究推進室出向中）
電離圏・熱圏ダイナミクス



みずたに こうへい
水谷耕平

電磁波計測研究センター環境情報センシング・ネットワークグループ研究マネージャー 理学博士
レーザーリモートセンシング

いし い まもる
石井 守

電磁波計測研究センター宇宙環境計測グループ研究マネージャー
博士（理学）
電離圏・熱圏ダイナミクス

しん 弘隆
森 弘隆

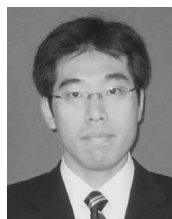
基盤技術研究促進部門基盤技術研究支援グループ有期技術員 博士（理学）
上層大気物理学

おち 啓
落合 啓

電磁波計測研究センター環境情報センシング・ネットワークグループ主任研究員
マイクロ波リモートセンシング

かさい やすこ
笠井康子

電磁波計測研究センター環境情報セン
シング・ネットワークグループ主任研
究員 博士(理学)
テラヘルツ波リモートセンシング



かわむら せいじ
川村誠治

電磁波計測研究センター環境情報セン
シング・ネットワークグループ研究員
博士(情報学)
大気物理学、レーダー工学

たなか よしまさ
田中良昌

情報・システム研究機構新領域融合研
究センター融合プロジェクト特任研究
員 博士(理学)
超高層大気物理学



ますこ ぼるのぶ
増子治信

首席研究統括 理学博士
マイクロ波リモートセンシング

いぐち としお
井口俊夫

電磁波計測研究センター環境情報セン
シング・ネットワークグループリー
ダー Ph.D.
電磁波リモートセンシング



くま谷 博
熊谷博

電磁波計測研究センター長 工学博士
大気リモートセンシング

きく池 崇
菊池崇

名古屋大学太陽地球環境研究所教授
理学博士
宇宙天気

さとう かおる
佐藤 薫

東京大学大学院理学系研究科教授
理学博士
大気力学・中層大気科学



Richard. L. Collins

アラスカ大学フェアバンクス校准教授
Ph.D.
超高層大気物理学、レーザーリモ
ートセンシング

Brenton J. Watkins

アラスカ大学フェアバンクス校教授
Ph.D.
超高層物理学

Mark Conde

アラスカ大学フェアバンクス校講師
Ph.D.
熱圏・中間圏ダイナミクス

Bill Bristow

アラスカ大学フェアバンクス校准教授
Ph.D.
超高層物理学

Roger W. Smith

アラスカ大学フェアバンクス校地球物
理研究所長教授 Ph.D.
熱圏・中間圏ダイナミクス