

維持しており、国内外からのデータリクエストが常に絶えない状態である。

これまでの成果として主たるものは、全球雷放電の発生頻度分布を位置推定精度 0.5 Mm で求め、そこから全球の放電電荷モーメント分布を導出することに世界で初めて成功したことが挙げられる。この他にも、スプライトや、雷放電に起因する地球ガンマ線の全球発生頻度分布を推定することに成功しており、1-100Hz 帯 ELF データは、雷放電・スプライト研究にとってもはや無くてはならないデータとなっている。

### 2.3 大気電場観測

オーロラ現象に伴う電離圏変動が下層大気の大気環境に与える影響を観測的に明らかにすることを目的に、フィールドミル型の垂直大気電場観測装置を用いた観測を2008年より実施した。2010年には、より信頼性の高い新たな観測装置を導入した。

気象擾乱の影響の少ない日のデータから、地磁気静穏時には雷活動に起因する日変化が観測されること、また地磁気擾乱時には、オーロラ嵐の発達に伴った変動が観測され得ることなどを示し、英文誌に投稿した。

### 2.4 OH大気分光器による中間圏界面領域の大気温度観測

オーロラ帯での観測に特化したOH大気分光器を開発し、2008年2月より観測を開始した。装置は現在も運用中であり、冬季夜間における昭和基地上空の中間圏界面領域の大気温度データを順調に集積中である。これまでの成果として、昭和基地MFレーダーおよび衛星データとの比較により、中間圏界面領域における数日スケールの大きな温度変動が鉛直風と結びつくことや、活発なオーロラ発生時にOH発光層で大気光強度の減少とともに、回転温度が上昇する現象を観測した(図8)。この現象は、オーロラの下端高度である中間圏界面領域にも、降り込み粒子による擾乱が存在することを示すものである。

### 2.5 下部熱圏探査レーダー観測

流星エコーをターゲットとした下部熱圏観測専用レーダーとして水平風速と温度変動を観測するために計画された。南極での空輸中のトラブルで装置の一部が紛失したり、送受信システムの一部に不具合が発生するなどし、残念ながら計画通りの完全運用には至らなかった。その後、補修品・予備品を用意する予定であったが、本レーダーよりも格段に大きな能力を持つ大型大気レーダー(PANSY)が導入される事が決定したため、経費面から本レーダーを補修することはせず、研究目的は国際的にも期待の大きい大型大気レーダーに発展的に引き継がれるとして51次をもって運用を停止した。

なお、本レーダーのアンテナ装置と送受信機には大型大気レーダー用に開発されたものを採用して大型大気

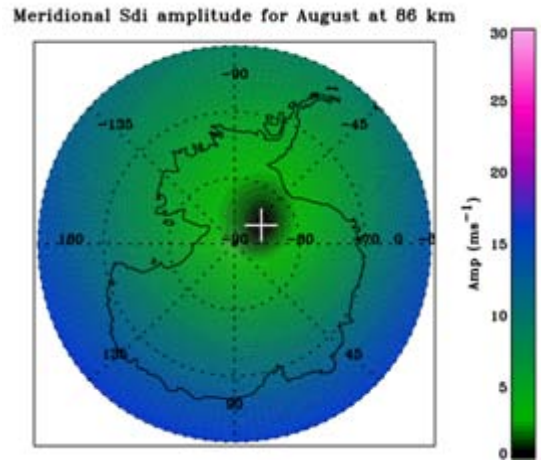
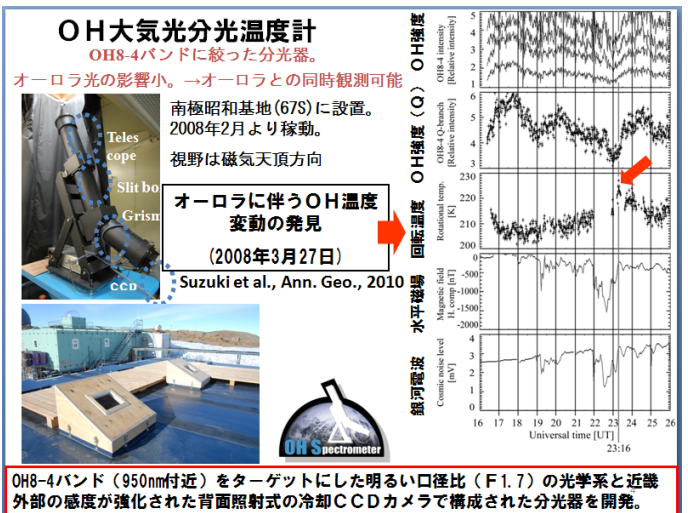


図7:南極大陸沿岸域のMF・流星レーダー観測から導出した8月の半日潮汐の振幅分布。白十字は振幅極小の場所を表す。振幅極小が南極にないという結果は、太陽同期の半日潮汐に加えて、極域では太陽非同期の半日潮汐が重要であることを示唆している。



OH8-4バンド(950nm付近)をターゲットにした明るい口径比(F1.7)の光学系と近畿外部の感度が強化された背面照射式の冷却CCDカメラで構成された分光器を開発。

図8:2008年3月27日に観測された非常に強いオーロラ発光下でのOH大気光変動。上からOH回転線強度、Qブランチ強度、回転温度、地磁気水平成分、銀河雑音レベルを示す。

レーダーの実証型パイロットシステムも兼ねた試験を実施し、他のレーダー装置などとの電波干渉の有無の確認試験も実施するなど次期計画の基礎作りに貢献できた。

## 2.6 レイリーライダーによる成層圏・中間圏の温度及び雲観測

レイリーライダーは、対流圏・下層大気と中間圏・熱圏・超高層大気をつなぐ高度領域の大気温度とその変動を観測する装置で、平成19年度から21年度にかけて国内での装置開発を行った。平成22年初めから立川で試験観測を行い、その後昭和基地に設置をして、2011年2月から晴天時夜間の成層圏・中間圏の温度観測、および対流圏から中間圏に至る領域の雲観測を始めた。成層圏、中間圏の温度の連続観測に成功したほか、気候変動のカナリアと言われる極中間圏雲(PMC)を昭和基地では初めて定量的データとして観測し高度を測定することに成功した(図10)。VII期で開発した同測器はVIII期でPANSYレーダー等との協同観測での観測成果が多いに期待される。

## 2.7 ミリ波放射計による大気微量成分の観測

成層圏から中間圏の大気分子の鉛直分布を測定することを目的に、昭和基地で運用可能なミリ波分光計の開発を行った。平成20年度から21年度にかけて開発を行ない、消費電力を従来機の1/3に抑え昭和基地の電力仕様に見合う省電力型の装置の実用化に成功した。平成22年には国内での評価実験を進め、目的のスペックが達成されていることを確認した。

その後昭和基地に設置し、平成23年2月より観測を開始、初期成果として248GHz帯のオゾンスペクトルを受信し鉛直分布の導出に成功している(図11)。太陽活動が極大期に向かうVIII期では、極域に振り込む高エネルギー粒子の影響を受けやすいNO<sub>2</sub>等の観測を加え、さらにレイリーライダーで取得された温度分布を鉛直分布解析に取り込むことにより解析精度を上げ、中層大気中の分子組成変動に新たな知見をもたらすことが大いに期待される。

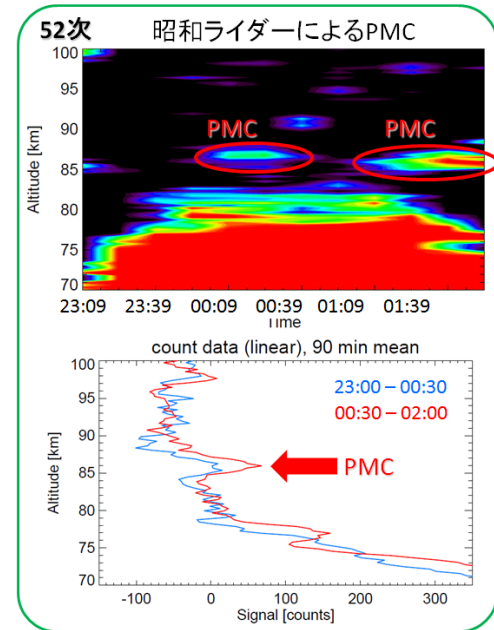


図 10: 昭和基地に設置されたレイリーライダーが初めて観測した極中間圏雲(PMC)のエコー(2011年2月)

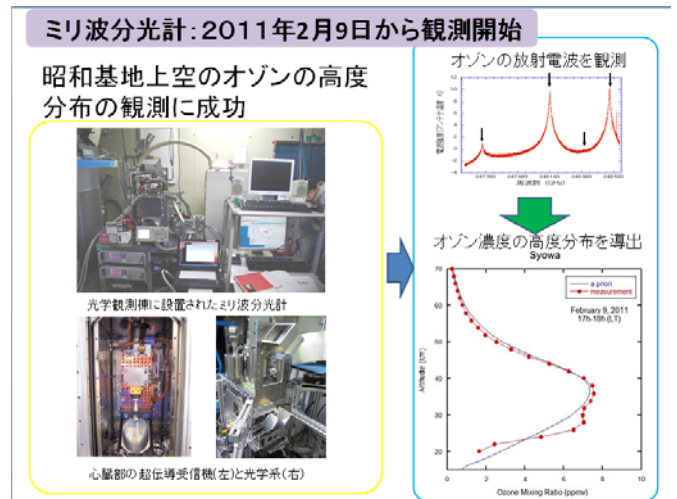


図 11: 昭和基地に設置されたミリ波分光計とオゾン濃度高度分布の初期観測

<p><b>観測の実績・成果が計画に照らしてどの程度得られたか。</b></p> <p><input type="checkbox"/> 計画以上あるいは、完璧に近い観測の実績・成果を得た。</p> <p><input type="checkbox"/> 計画通りの観測の実績・成果を得た。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ほぼ計画通りで、十分な観測の実績・成果を得た。</p> <p><input type="checkbox"/> 計画が不備であったため、観測の実績・成果が不十分であった。</p> <p><input type="checkbox"/> 天候等不可抗力による理由で、観測の実績・成果が不十分であった。</p>
<p><b>上記の判断をした理由</b></p> <p>十分な観測の実績・成果を得たと判断する理由：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・GS1の重要ミッションは、IPY2007-2008プロジェクトへの貢献(ネットワーク観測の充実)とⅧ期も視野に入れてジオスペースを含む超高層大気と中層・下層大気の上下結合研究を開始することである。</li> <li>・4年間という変則的な計画期間にもかかわらず、無人磁力計、オーロラ光学装置(南極点基地を含む)、OH大気分光器、レイザーレーダー、ミリ波放射計など多岐にわたる開発・製作、設置・観測をほぼ計画通りに遂行できた。</li> <li>・Ⅶ期以前から継続しているSuperDARNレーダー、MFLレーダー等も設備の維持とデータ解析の工夫と改良を重ね、国際連携の中で日本独自の研究成果を出すことができた。</li> <li>・GS1で整備した多くの観測設備は、次のⅧ期へ発展的に引き継がれ、さらに本格的な学術成果を生み出す研究基盤となっている。</li> </ul> <p>一方、完全に計画通りに進まなかった点は、下記の通り：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・Ⅵ期に導入し、Ⅶ期も継続する予定であったファブリーペロイメジャ(熱圏風の観測)について、装置の不具合(現地修理困難と判断)のため、初年度(48次)で観測を打ち切った。</li> <li>・Ⅶ期に開発した下部熱圏レーダーは、輸送事故(ケーブル紛失)により観測開始が遅れ、その後、目的が類似するより高性能の大型大気レーダー(PANSY)が予算化されたため、観測のための追加整備を中止し、基地内の電波干渉調査などに目的を変更した。</li> </ul>

<p><b>研究目的をどの程度達成したか：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・前項に記載した通り、一部の装置を除き、当初計画した現地観測と国内での機器開発をほぼ予定通り実施することができた。</li> <li>・「南北両極広域ネットワーク観測によるジオスペース環境変動の研究」に関しては、昭和基地-アイランド地磁気共役点や南極点基地でのオーロラ観測から、いくつもの重要な学術成果を報告した。</li> <li>・「熱圏・中間圏の観測から探る宙空間-大気圏の上下結合」に関しては、独自に開発したOH大気分光器により、オーロラブレイクアップに伴い中間圏界面領域の温度が顕著に上昇すること、また、MFLレーダーとの共同観測から、温度上昇と同期した鉛直下降流の存在も初めて示し、中間圏界面領域における大気上下結合の重要性を明らかにした。</li> <li>・観測データの解析と成果発表は現在精力的に進行中であり、今後1~2年以内に多くの論文発表が期待できる。</li> </ul> <p>以上の観点から、GS1プロジェクトは、その研究目的をほぼ達成したものと評価する。</p>
---

<p><b>国際共同観測にどの程度貢献したか：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・IPY2007-2008プロジェクト(ICESTAR/IHY)および国際共同研究計画CAWSESの一環として、昭和基地-アイランド地磁気共役点観測の強化、ならびに昭和基地を中心とする南極大陸無人磁力計ネットワークの整備(既存の3地点に加えて計8地点)を実施し、これらの観測計画の進展に大きく貢献した。</li> <li>・北極域を含む国際SuperDARNレーダー計画の一翼を担い、昭和基地の2基のレーダーによる準リアルタイムの南</li> </ul>
--

極域電離圏プラズマ対流データをSuperDARNデータベースを通じて内外の研究者コミュニティに提供した。また、Finland/Icelandレーダーとの同時観測、THEMIS衛星との全レーダー同時観測、南極域の他国のSuperDARNレーダーと共同で夏季のPMSE特別観測等を実施し、ICESTAR/IHY計画に貢献した。

・全米科学財団(NSF)及びシエナ大学との共同研究として南極点基地(米国)における全天単色イメージャ観測を強化・継続した。また、中国極地研究所との共同研究として、中山基地(中国)において全天TVカメラやイメージングリオメータによる観測を継続した。南極点基地のオーロラ観測に関する貢献に対し、海老原祐輔准教授(京大・生存圏研究所)がNSFよりAntarctica Service Medal of the United States of America(2010年)を受賞した。

・大気潮汐波のグローバルな構造解明や大気重力波の国際共同研究(オーストラリアほか)に関連して、昭和基地Mレーダーのデータを提供し、共著論文として成果発表に貢献した。

#### 他の研究にどの程度影響を与えているか:

・無人磁力計システムの開発と運用実績は、より本格的な内陸無人観測プラットフォーム開発の重要な技術的なステップとなる。

・オーロラによる背景光を最小限に抑える事ができるOH大気分光器を独自に開発し、従来の手法では難しかったオーロラ発光時のOH回転温度の導出に初めて成功した。これは、極域の下部熱圏温度を計測する手法として、今後、広く利用される可能性がある。

・雷放電から放射される1-100Hz帯ELF波動の連続波形観測は、他の追従を許さない世界トップレベルのクオリティを維持し、国内外からのデータリクエストが絶えない状態である。全球雷放電の発生頻度分布を位置推定精度0.5Mmで求め、そこから全球の放電電荷モーメント分布を導出することに世界で初めて成功した。また、スプライトや雷放電に起因する地球ガンマ線の全球発生頻度分布を推定することに成功しており、1-100Hz帯ELFデータは、雷放電やスプライト研究のコミュニティにとって無くてはならないデータとなっている。

・下部熱圏探査レーダーのアンテナと送受信機には大型大気レーダー(PANSY)用に開発された機材を使用し、大型レーダーの実証を兼ねた試験を行った。これらは、Ⅷ期の大型大気レーダー計画の成否に大きく貢献する。

・レイリーライダー及びミリ波分光計は、Ⅷ期の重点研究観測:「南極域中層・超高層大気を通して探る地球環境変動」(代表:中村卓司教授)の主要な観測装置となるもので、その完成は、Ⅷ期重点研究課題の推進に不可欠のものとなる。

この成果に関係する主要な論文:

①Kadokura, A., H. Yamagishi, S. Natsuo, K. Nakano, M.C. Rose, Unmanned Magnetometer Network Observation in the 44th Japanese Antarctic Research Expedition:Initial Results and an Event Study on Auroral Substorm Evolution, Polar Science doi:10.1016/j.polar.2008.04.002, 2008

44 次隊の 2003 年から 2004 年にかけて、昭和基地近傍3点およびドームふじ基地に設置された無人磁力計の観測器仕様、設置経過、初期観測結果についての報告と、昭和基地とドームふじ基地の全天 TV カメラとの同時観測による、オーロラサブストームの事例解析結果の紹介があり、サブストーム発達過程の研究を行う上で、こうした無人磁力計ネットワーク観測が非常に有効であることが示されている。

図の説明:(a)ドームふじ、(b)昭和基地で観測したオーロラのケオグラム、(c)昭和基地及び無人磁力計 4 か所の地磁気 H 成分

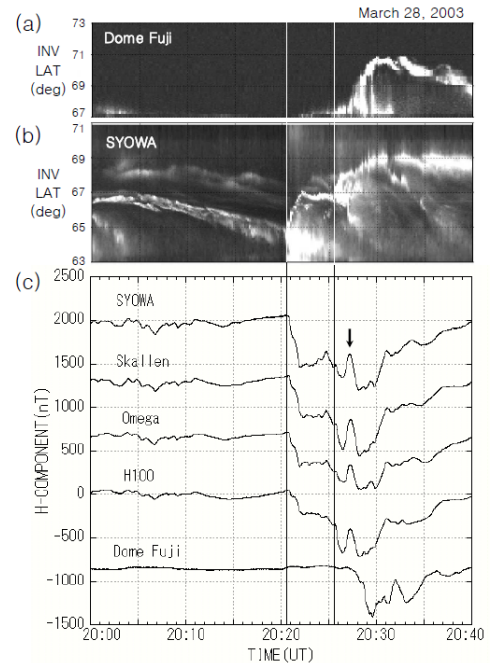
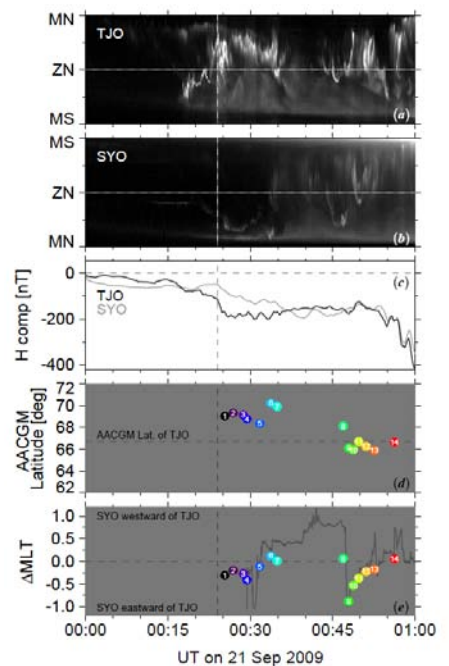


Fig. 8. Auroral Keogram at Dome Fuji (a) and Syowa (b), and magnetic H-component variation at Syowa and the four unmanned sites (c) during 20:00 to 20:40 UT on March 28, 2003.

②Motoba, T., K. Hosokawa, N. Sato, Kadokura, and G. Bjornsson, Varying IMF By effects on interhemispheric conjugate auroral features during weak substorm, *J. Geophys. Res.*, 115, A09210, doi:10.1029/2010JA015369, 2010.

昭和基地ーアイランドの南北地磁気共役点で同時観測された南北オーロラの動態比較から、サブストーム中において時々刻々変動する地磁気共役点の位置を同定し、更にその時の経度方向の時間変動が、太陽風磁場の東西成分の時間変動と高い相関を示すことを初めて見出した。この観測事実は、太陽風磁場の東西成分が磁気圏内に侵入し、南北共役点を結ぶ夜側磁気圏近尾部の磁力線の形状を変調していることを明瞭に示している。

図の説明:(a)アイランド、(b)昭和基地のケオグラム、(c)アイランドー昭和基地の磁場変化、(d)アイランドに対する昭和基地の北半球地磁気共役点の相対的な緯度方向のずれ、(e)経度方向のずれ



③Ebihara, Y., R. Kataoka, A. T. Weatherwax, and M. Yamauchi, Dayside proton aurora associated with magnetic impulse events: South Pole observations, *Journal of Geophysical Research*, 115, A04301, doi:10.1029/2009JA014760, 2010.

地球磁気圏が局所的に圧縮されると、磁気インパルス現象と呼ばれる突発的な地磁気擾乱が高緯度地方でおこる。南極点基地で実施したオーロラ観測により、磁気インパルス現象に伴って陽子オーロラが発光することを初めて捉えた。これは高エネルギー陽子が磁気圏から電離圏へ降下していることを意味する。陽子オーロラはパッチ状に現れ、殆ど動かない定在型と経度方向に動く移動型の二種類があることを明らかにした。

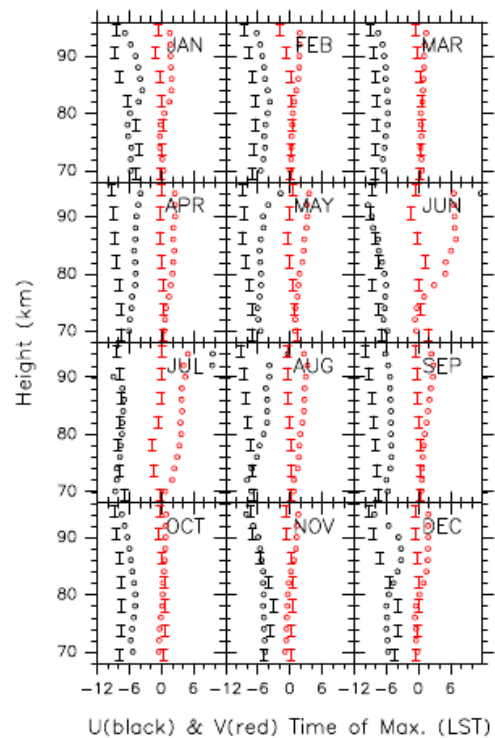
④Tsutsumi, M., A. S. Yukimatu, D. A. Holdsworth, and M. Lester, Advanced SuperDARN meteor wind observations based on raw time series analysis technique, *Radio Sci*, 44, doi:10.1029/2008RS003994, 2009.

SuperDARN レーダー網を利用した南北両極域を広くカバーする中間圏界面領域の流星エコーによる風速観測ネットワークの構築を目指し、Yukimatu and Tsutsumi[2002] で開発した SuperDARN 時系列観測手法をさらに発展させた。オーバーサンプリングおよび周波数領域干渉計の技法を取り入れた距離分解能向上の開発などを行い、従来の SuperDARN 観測よりも高度決定精度を大きく向上させた流星風速観測手法を確立した。

⑤Tomikawa, Y., and M. Tsutsumi, MF radar observations of the diurnal tide over Syowa, Antarctica (69° S, 40° E), *Ann. Geophys.*, 27, 2653–2659, 2009.

南極昭和基地における 10 年間(1999–2008)の MF レーダー観測結果を用いて、高度 70–94km の MLT(中間圏・下部熱圏)領域における 1 日潮汐の特徴を調べた。その結果、南極 MLT 領域における 1 日潮汐の振る舞いは、GSWM-02 モデルから得られる結果と異なる部分があることがわかった。これは、モデルの中で大気重力波に起因する消散プロセスが適切に表現されていないことに起因する可能性があり、潮汐と重力波の相互作用の重要性を示唆している。

図の説明：昭和基地における MF レーダー観測から導出した各月の 1 日潮汐の振幅の高度分布。黒が東西風、赤が南北風で、●が MF レーダー観測、I が GSWM のモデル計算の結果。冬季の GSWM の結果は観測と比較的よく一致するが、夏季についてはモデル(GSWM)と観測で大きく異なる。従って、現在のモデル(GSWM)では MLT 領域の潮汐を正しくは表現できていないと考えられる。

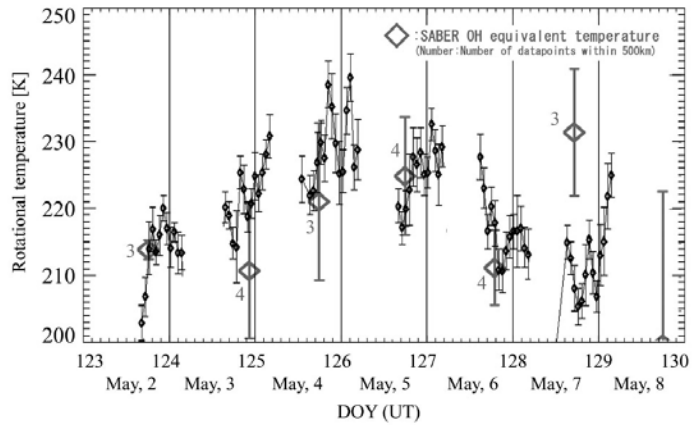


⑤Suzuki, H., M. Tsutsumi, T. Nakamura, and M. Taguchi, The increase in OH rotational temperature during an active aurora event, *Ann. Geophys.*, 28, 705–710, 2010.

オーロラによるコンタミネーションを最小に抑える事が可能な OH 大気光用分光器を 2008 年 2 月より昭和基地に設置し、観測を開始した。初年度のデータ解析から、地磁気の水平磁場変動が 1500nT にも達するオーロラ活動時に、OH 回転温度および大気光強度が急激に変動する現象を発見した。この現象は、オーロラの下端高度である中間圏界面領域においても、降り込み粒子による擾乱が存在することを示すものである。

⑥Suzuki, H., Y. Tomikawa, M. Taguchi, T. Nakamura, and M. Tsutsumi, Variations of OH rotational temperature over Syowa Station in the austral winter of 2008, Earth Planets Space, vol. 62, 655–661, 2010

2008年冬季におけるOH回転温度の変動を示した。この観測によって、高度85km付近の温度が秋から真冬にかけて上昇し、春に向かって再び下降する極域中間圏界面領域特有の温度変動が示された。また、数日スケールで平均温度が20K近くも上昇する現象が捉えられた。この温度上昇は、MFレーダーによる風速変動、およびTIMED衛星搭載のSABERによるデータとの比較により、昭和基地上空に存在した1.5km/day程度の下降流によるものであることが示された。



図の説明: 数日スケールで上昇を繰り返す極域中間圏界面領域の温度変動