

6 各プロジェクトの研究成果等報告（詳細）

プロジェクト名： 地球環境データ

プロジェクトディレクター： 中村 卓司 教授（国立極地研究所）

[1] 研究プロジェクト

(1) 目的・目標

平成 21 年度補正予算で建設した南極昭和基地大型大気レーダー（PANSY）を活用する PANSY データ解析センターとしてレーダーの運用を国内からサポートし、観測データを解析・配信する共同利用を確立する。また、PANSY の観測データを始めとする地上観測・衛星観測のモデルへのデータ同化により、特に極域大気を強化した電離・中性全大気のデータベースを作成し、地球気候変化メカニズムの解明に迫る種々の研究の展開を図る。

(2) 必要性・重要性（緊急性）

南極での大型大気レーダーによる大気の運動やプラズマの詳細観測は、気候モデル改良の鍵を握るもので、多くの国際学術機関から推進が求められており、大気レーダー技術をリードする我が国が火急に取り組むべき課題である。現地の大型装置の予算は措置されたが、これを運用して観測データを解析してデータ配信して共同利用を推進したり、また観測データをモデルに同化してユーザに配信したり、また国内外のユーザとともに協同観測を行ったりといった、大型装置の観測データを活用した体制づくりが急務である。

(3) 期待される成果等（学問的效果、社会的效果、改善効果等）

地球大気循環の要所である南極上空をこれまでにない高精度な測器で観測することで、地球環境変動の予測精度の向上に貢献するほか、南極観測史上に我が国が大きな足跡を残して南極条約関係諸国中の存在感を高めるとともに、先端的な大型観測装置により若手研究者を育成する効果も得られる。

(4) 独創性・新規性等

南極での大型大気レーダー観測は、長らくコミュニティーの要望するところであったが、PANSY レーダーは我が国がやっと実現した南極大陸での初めての本格的大気観測レーダーであり、その観測の質は他の追随をゆるさずユニークである。南極にかぎらず南半球には同種の高性能な大型大気レーダーは存在せず、これを活用した共同研究推進は観測の質的に新規性が高い。

(5) これまでの取り組み内容の概要及び実績

過去十年来、厳しい自然環境と電源事情の南極昭和基地での大型大気レーダー観測に向けて、システム開発、技術開発を進めてきた。また、毎年 PANSY 研究集会を開く他、国内学会では PANSY に関する特別セッションを数度にわたって開催するなど、積極的なコミュニティーづくりに努めてきた。レーダー装置（備品）の予算措置後は厳しい天候や輸送条件などを克服して南極昭和基地に機器を展開して観測を開始し、2012 年からは全体の 1/4 のシステムながら南極最大の大気レーダーとしてほぼ連続的にデータを取得してきた。

(6) 国内外における関連分野の学術研究の動向

南極周辺の大気変動、とくに大気重力波などの気候モデル内でも重要な力学的働きをする現象の実態解明に向けて種々の観測が行われてきている。たとえば、衛星からの分光光学観測、地上からの種々のリモートセンシング観測が南極上空でも盛んになってきているが、PANSY レーダーは地表から超高層大気までを高精度で観測できること、大気力学量として極めて重要だが他の観測では計測不可能な鉛直風に関する情報が得られることなど群を抜いた情報量が得られる観測装置である。他の種々の地点・手法で得られる観測データは PANSY データとの共同観測でその重要性をさらに増すこともあり、また種々の気候モデル他大気大循環モデル（GCM）の検証上も重要なデータであり益々 PANSY のデータの配信の需要が高まっている。

[2] 研究計画

(1) 全体計画

以下の取り組みを、PANSY 研究センターを組織して実施する。国立極地研究所と東京大学とが連携して取り組む。京都大学他国内 17 機関が中心的に参加する予定である。気象学、超高層物理学、地球惑星圈科学をはじめ、天文学・宇宙物理学など国内外の幅広いコミュニティーに共同利用を展開する。具体的には下記 4 項目を掲げ、特任教員等を配置して実現する。

- 1) 平成 21 年度補正予算で設置した PANSY の安定運用を国内から支援し、南極域の地表から超高層大気に至る貴重な観測データを蓄積する。
- 2) PANSY 観測の多量のデータを高次解析処理して物理量データセットを整備し国内外の共同利用研究者に配信する。
- 3) 国際要請を受けて設置した PANSY の高性能を活用した新技術を開拓し、国際協同観測等で国際共同研究を推進する。
- 4) PANSY 観測データ等高度なデータセットをデータ同化する手法を開発し、数値予報や気候予測モデルの発展に資する。

(2) 各年度の計画

平成 26 年度

PANSY レーダーの多チャンネル観測の運転支援を行うとともに、データ蓄積を拡大する。PANSY 基本モードの観測データについてはデータベース整備を進めて気候モデルを含め各種のモデリングと比較するためのデータを公開して共同利用の進展をはかる。さらに、PANSY の多チャンネルの特徴を活かした新観測技術の開発を進めるとともに、レーダーデータ同化についての検討を進める。

平成 27 年度

データの範囲を拡大してのデータ配信を行う。さらに、ひきつづき観測データ取得のためのレーダー本体の観測制御ソフトウェア（リアルタイムデータ解析ソフトウェア）の機能向上と、PANSY の 55 群のアレイアンテナレーダーの特徴的機能である多チャンネル観測の実施を推進する。また、新たな物理量や不要電波の除去などのレーダーデータ向上に取り組む。これらにより、レーダーの運用およびデータ解析・蓄積の支援を強化する。また、レーダーの機能向上としてとくに地形や海氷との相互作用が注目される高度 1–2km 以下の地上付近の低高度観測への機能拡張を試験的に開発した付加装置によって観測・検証し、導入に向けた具体設計に必要なデータの取得を行う。

[3] 研究推進・実施体制

・研究代表者

[国立極地研究所] 中村卓司

・共同研究者

[国立極地研究所] 堤 雅基、富川喜弘、西村耕司

[東京大学] 佐藤 薫*、高麗正史

[京都大学] 佐藤 亨、橋本大志

*: プログラム・ディレクター

・運営委員会

佐藤亨（京大・情報）、斎藤昭則（京大・理）、堀之内武（北大・地球環境）、秋吉英治（環境研）、

三好勉信（九州大・理）、佐藤 薫（東大・理、極地研・客員教授）

[所内] 中村卓司、堤 雅基、富川喜弘、西村耕司

[4] 研究の進捗状況

1. 観測データの公開

PANSYにより連続的に実施している定常観測データの一部について、2014年9月よりWEBサイト <http://pansy.eps.s.u-tokyo.ac.jp/data/>にて一般公開を開始した。現在公開しているのは2012年4月の観測開始以降の対流圏・成層圏に関する風速データ（6時間値）である。公開する観測データの種類等については今後順次拡大する予定である。

The screenshot shows the PANSY website interface. At the top, there's a navigation bar with links for English, contact information, and site sections like HOME, About PANSY, Research Topics, Publications, Members, Installation, and Data (which is highlighted with a red box). Below the navigation is a large image of the aurora borealis over a scientific station. A sub-menu for 'Data' is open, showing options for '観測データ' (Observation Data) and '観測結果' (Observation Results). The main content area has a heading 'PANSY の観測データ' (PANSY Observation Data) and a sub-section for '2015年' (2015). It displays a grid of tables for each month from January to December 2015, with each table containing 31 days. The tables show numerical data for various parameters, likely wind speeds, with columns for date and values ranging from 1 to 10.

図1 PANSY データ配信サイト

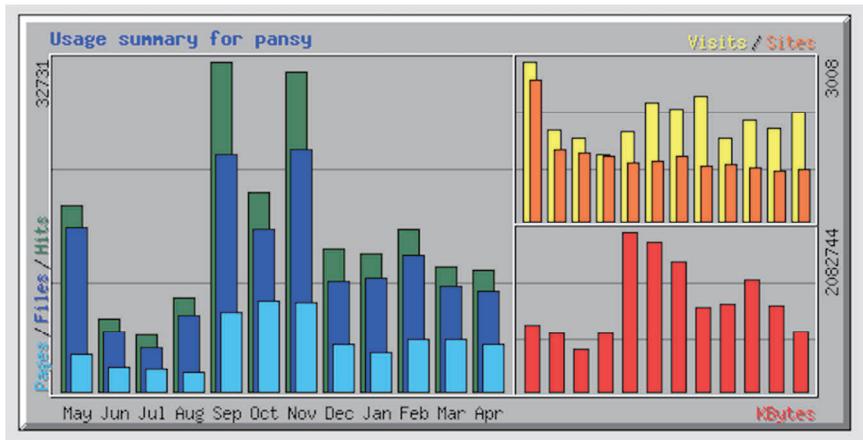


図2 WEB サイトのアクセス数の推移(2014.05－2015.04)

データを公開した9月以降暫くアクセス数は大きく伸び、その後も月次ベースでヒット数は12,000以上、訪問者数で2,000前後と順調に推移している。そのうち国内からのアクセス数は4～5割程度となっており、国内外からの関心の高さを伺わせる。

2. リアルタイム・アーカイブデータ表示システムの機能拡張（時間高度断面表示）

かねてより国立極地研究所内向けおよび共同研究機関向けに整備を行ってきたリアルタイム・アーカイブデータ表示システムについて機能の拡充を実施した。新たに追加したのは、対流圏・成層圏および中間圏の各定常観測データについて日／週単位での時間高度断面表示機能である。

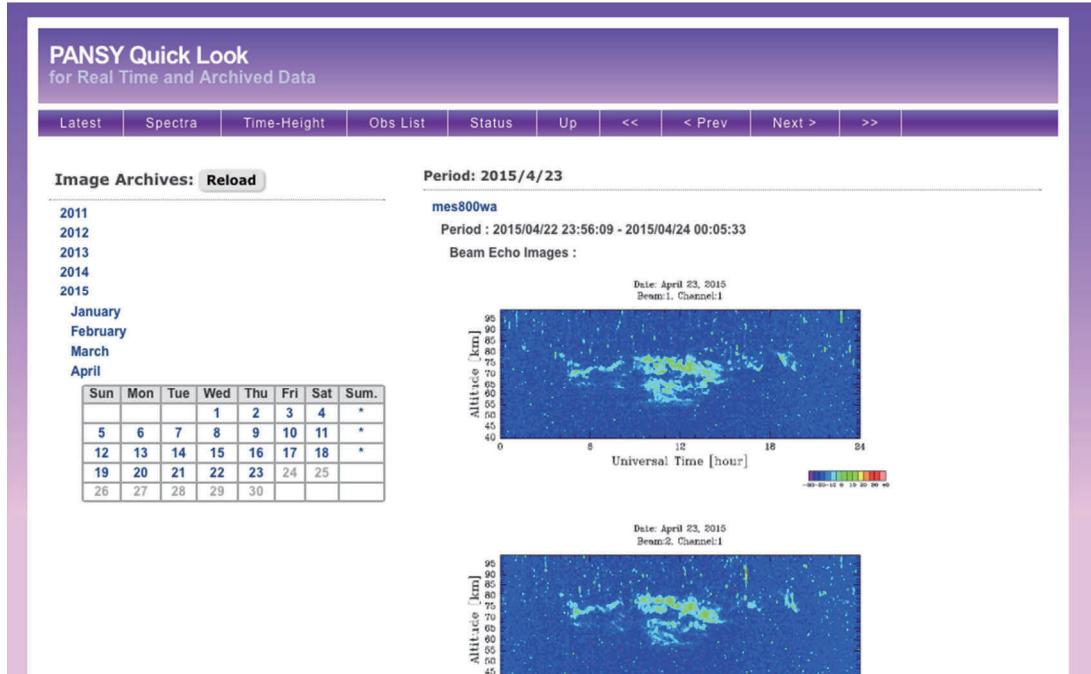


図3 リアルタイム・アーカイブデータ表示システム(時間高度断面表示)

これによりノイズレベルやエコー強度の日々変動の監視など、装置の基礎的なヘルスチェックが容易となりシステムトラブルなど不測の事態をいち早く発見することが可能となった。またサイエンス面においても、太陽フレアに伴う中間圏の応答などについて準リアルタイムにて監視が可能となり、希少イ

ベントの発生時など、すみやかに観測モードを最適化するなどの対応が可能となった。

3. 電波環境モニタリングシステムの開発

昭和基地では電波を送信する観測機器および通信機器が多数稼働しており、相互に影響を及ぼさないよう慎重な運用が行われているが、人為的なミスや不具合などにより場合によっては電波障害を引き起こすことがある。2014年4月18日に電離圏観測を行う短波帯のレーダーにおいて突発的な不具合が発生し、その高調波がPANSYレーダーに干渉する事案が発生した。しかし、この不測の事態に対して電波環境をモニタリングするシステムが整備されていなかったことから原因の究明まで数ヶ月を要し、その間PANSYレーダーでは観測データの品質が低下する影響を受けることとなった。

そこで、今後同様の事案が発生した場合にすみやかに原因を特定し、問題の解決を図るための道具として本プロジェクトでは電波環境モニタリングシステムの開発を行った。システムの概要は、2~100MHz(今後周波数帯域の拡張を予定)の広帯域アンテナによりPANSYレーダーアンテナ周辺の電波環境をモニターし、スペクトログラム表示により常時監視を行うものである。装置は昭和基地のPANSY観測制御小屋への設置を予定しているが、WEB経由にて国内より監視が可能なシステムとした。平成27年度(JARE-57次隊)において現地への設置を予定している。

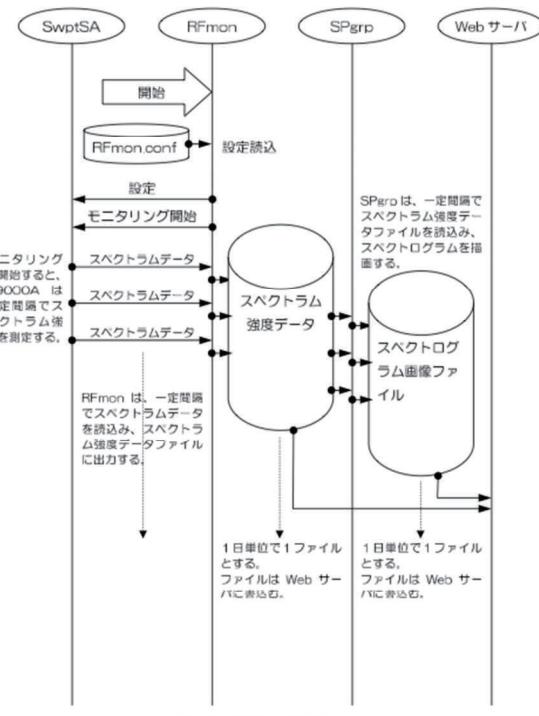
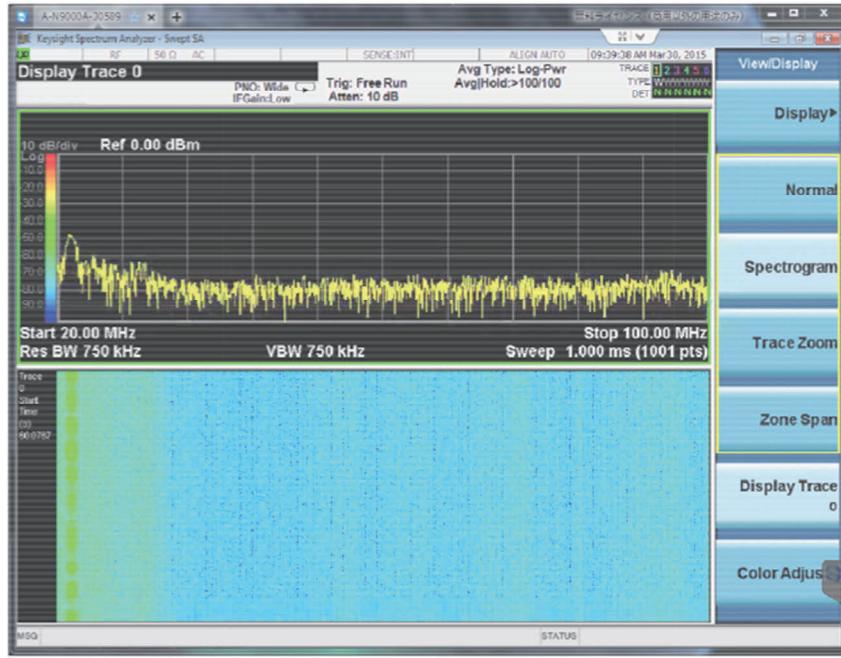


図4 WEBとの連携シーケンス



スペクトラムおよびスペクトログラムの表示パネル

図5 電波環境モニタリングシステムの基本表示機能

4. 観測技術開発（リアルタイムデータ解析ソフトウェア）

PANSY では多周波観測、多チャンネル観測などの拡張観測機能を有しているが、通常の観測においてはこれらの機能は使用されておらず、また、これらの機能を使用する特別観測等においては定常観測データが取得できない、などの制約があった。原理的にはこれらの拡張機能による観測データと定常観測データを同時に得ることが可能となる組み合わせも多数あり、これが実現すれば定常観測を中断することなく拡張機能観測によるより情報量の多い観測データを當時得ることが可能となる。そこで、本プロジェクトではこのような機能を実現するため、リアルタイムにて膨大なデータを処理し、複数の観測データセットを生成するソフトウェアプラットフォームを構築した。

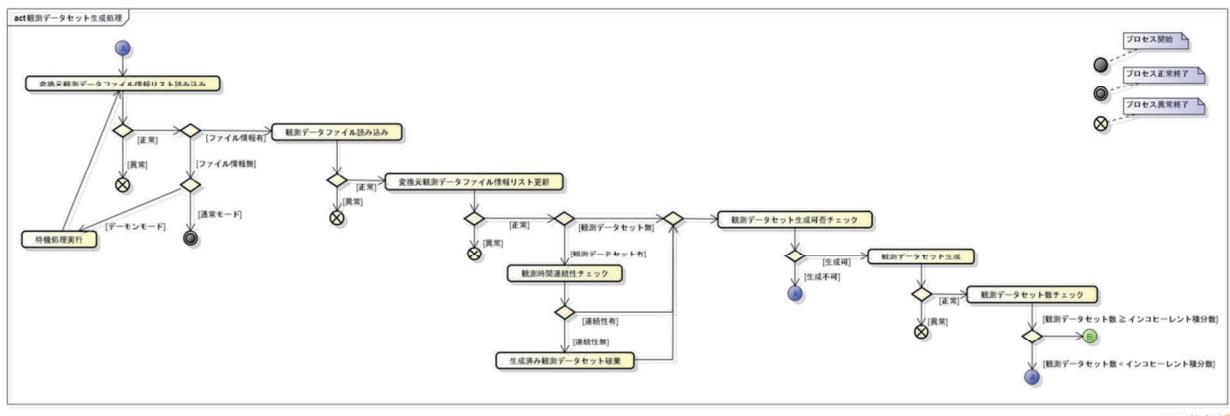


図6 リアルタイムデータ変換処理フロー

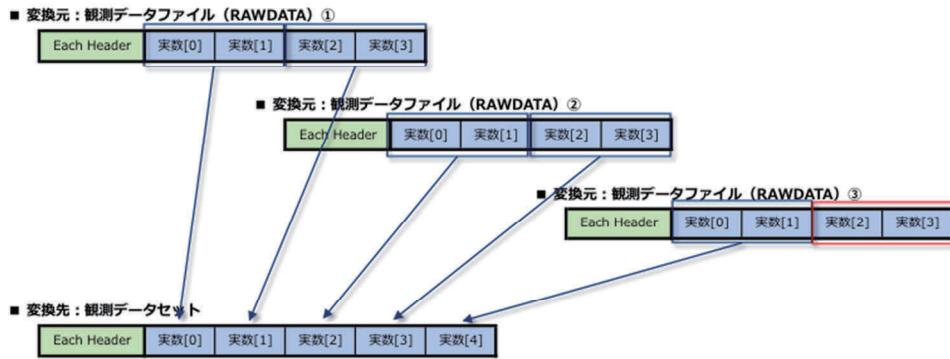


図7 複数の RAW データから 1 つの観測データファイルが生成される場合(例)

このソフトウェアの開発により、1時間当たり数 10～数 100GB ともなる全サンプリングデータを蓄積することなく、必要な処理を施された後必要に応じて圧縮された複数の観測データセットを生成することが可能となった。

5. 文部科学大臣表彰の受賞

PANSY レーダーは南極という過酷な環境での設置、運用を想定して設計された国産の大型レーダーであり、その計画、設計には 2000 年より約 10 年の歳月がかけられた。なかでも高効率送信アンプ、軽量高耐風アンテナ、分散配列アレイは PANSY レーダーのために特別に設計された。高効率送信アンプは電力供給量と燃料補給に制約のある昭和基地において大型レーダー観測を実現することに、また分散配列アレイは昭和基地をしばしば襲う猛烈な降雪を伴うブリザードにおいてもアンテナが埋もれないよう考慮され、その特徴的配列と適応信号処理アルゴリズムの組み合わせにより最適な推定を行うように考慮されている。これらの先進的技術開発が我が国の科学技術水準の向上に貢献したと評価され、PANSY (南極昭和基地大型大気レーダー計画) として平成 26 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 (開発部門) を受賞した。http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/26/04/1346090.htm

平成26年度 科学技術賞 開発部門



[5] 研究成果物

① 知見・成果物・知的財産権等

2014 年 4 月～2015 年 3 月までの PANSY 観測データを解析してデータセットを作成した。

② 成果発表等

<論文発表>

[学術論文]

1. Sato, K., M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, A. Saito, Y. Tomikawa, K. Nishimura, M. Kohma, H. Yamagashi, and T. Yamanouchi, Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar (PANSY), J. Atmos. Solar Terr. Phys., 118A, 2-15, 2014.
2. Hashimoto, T., K. Nishimura, M. Tsutsumi, and T. Sato, Meteor Trail Echo Rejection in Atmospheric Phased Array Radars Using Adaptive Sidelobe Cancellation, J. Atmos. Oceanic Technol., 31, 2749–2757, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JTECH-D-14-00035.1>, 2014.
3. Nishiyama, T., K. Sato, T. Nakamura, M. Tsutsumi, T. Sato, M. Kohma, K. Nishimura, Y. Tomikawa, M. K. Ejiri, and T. T. Tsuda, Height and time characteristics of seasonal and diurnal variations in PMWE based on continuous observations by the PANSY radar (69° S, 40° E), Geophys. Res. Lett., 42, 2100-2108, doi:10.1002/2015GL063349, 2015.
4. Shibuya, R., K. Sato, Y. Tomikawa, M. Tsutsumi, and T. Sato, A study of multiple tropopause structures caused by inertia-gravity waves in the Antarctic, J. Atmos. Sci., 72, 2109-2130, 2015.
5. Tomikawa, Y., M. Nomoto, H. Miura, M. Tsutsumi, K. Nishimura, T. Nakamura, H. Yamagishi, T. Yamanouchi, T. Sato, and K. Sato, Vertical Wind Disturbances during a strong wind event observed by the PANSY radar at Syowa Station, Antarctica, Mon. Wea. Rev., 143, 1804-1821, 2015.

[データベース]

1. PANSY 対流圏・成層圏風速 6 時間値データベース
(<http://pansy.eps.e.u-tokyo.ac.jp/data/>)
2. PANSY 対流圏・成層圏観測データベース（共同研究者向け）
3. PANSY 中間圏観測データベース（共同研究者向け）
4. PANSY WEB-クイックルックデータベース（共同研究者向け+極地研内公開）

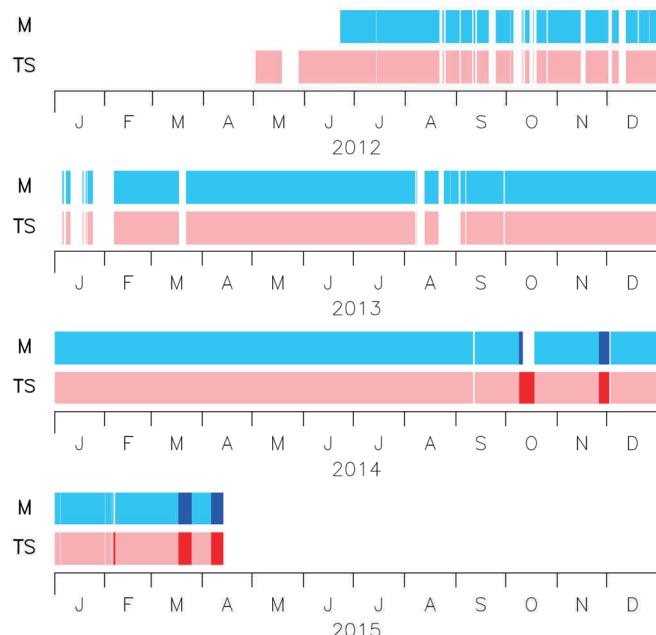


図8 データベースに実装されている PANSY 観測データ。M は中間圏、TS は対流圏成層圏。
濃色は、47 群または 55 群観測を表す。

<会議発表等>

[招待講演]

(国際発表)

1. Sato, K., M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, A. Saito, Y. Tomikawa, K. Nishimura, M. Kohma, H. Yamagishi, and T. Yamanouchi, Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 11th Annual Meeting, Sapporo, Japan, July 28-August 1 (July 28), 2014.
2. Sato, K., M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, A. Saito, Y. Tomikawa, K. Nishimura, M. Kohma, H. Yamagishi, and T. Yamanouchi, Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar, The XXXI URSI General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), Beijing, China, August 17-23 (August 20), 2014.
3. Nakamura, T., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Sato, A. Saito, Y. Tomikawa, K. Nishimura, M. Kohma, H. Yamagishi, and T. Yamanouchi, Program of the Antarctic Syowa MST/IS radar: Results from Continuous Observations, 40th COSPAR Scientific Assembly, Moscow, Russia, Aug 2-10, 2014.
4. Sato, K., M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, A. Saito, Y. Tomikawa, K. Nishimura, M. Kohma, H. Yamagishi, and T. Yamanouchi, Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar (PANSY), The 14th Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar MST14/iMST1, São Jose dos Campos, SP – Brazil, May 25-31, 2014.

(国内発表)

1. 佐藤薰, 南極昭和基地大型大気レーダー計画の現状, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 (神奈川, パシフィコ横浜, 2014.4.28~5.2(5.1))
2. 西山尚典, 中村卓司, 江尻省, 津田卓雄, 堤雅基, 富川喜弘, 西村耕司, 佐藤薰, 佐藤亨, 高麗正史, 磁気圏からの高エネルギー粒子の降り込みに対する中間圈の応答, 平成 26 年度 MTI 研究集会/ISS-IMAP 研究集会 合同ワークショップ, 情報通信研究機構(小金井), 2014 年 9 月 22 日~9 月 24 日.

[一般講演]

(国際発表)

1. Shibuya, R., K. Sato, M. Tsutsumi, Y. Tomikawa, and T. Sato, Dynamical Mechanisms of Multiple Tropopause Structure Observed at Syowa Station, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 11th Annual Meeting, Sapporo, Japan, July 28-August 1 (July 28), 2014.
2. Nomoto, M., K. Sato, H. Miura, M. Tsutsumi, Y. Tomikawa, K. Nishimura, T. Nakamura, H. Yamagishi, T. Yamanouchi, and T. Sato, A Study on the Dynamics of Severe Snow Storms in the Antarctic: Roles of Cyclones Over the Southern Ocean and Continental Topography, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 11th Annual Meeting, Sapporo, Japan, July 28-August 1 (August 1), 2014.
3. Nishiyama, T., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, K. Nishimura, M. Kohma, Y. Tomikawa, M. K. Ejiri, and T. T. Tsuda, Time variability of Polar Mesosphere Winter Echo observed by PANSY (Program of the Antarctic Syowa MST/IS) radar, 14th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, Middle Atmosphere Dynamics and Structure, INPE, São José dos Campos/SP, Brazil, May 25-31, 2014.
4. Nishiyama, T., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, K. Nishimura, M. Kohma, Y. Tomikawa,

- M. K. Ejiri, and T. T. Tsuda, Short- and long-termed variation of Polar Mesosphere Winter Echo observed by PANSY radar in Antarctica, 40th COSPAR Scientific Assembly, Moscow, Russia, 2-10 August 2014.
5. Nakamura, T, K. Sato, M. Tsutsumi, T. Yamanouchi, T. Sato, M. K. Ejiri, M. Abo, T. Nishiyama, H. Suzuki, Y. Tomikawa, T. T. Tsuda, A. Mizuno, Y. Isono, T. S. Matsuda, JARE VIII-th prioritized project: sub-theme I, The Middle and Upper Atmosphere Observations over Syowa Station (69S, 39E), the Antarctic, 40th COSPAR Scientific Assembly, Moscow, Russia, 2-10 August 2014.
 6. Nishiyama, T., K. Sato, T. Nakamura, M. Tsutsumi, T. Sato, M. Kohma, K. Nishimura, Y. Tomikawa, M. K. Ejiri, and T. T. Tsuda, Roles of energetic precipitating protons and electrons in the mesosphere: Multiple event studies based on the PANSY radar and MF radar, The 5th Symposium on Polar Science, IM-3, Tachikawa, Japan, 2-5 December 2014.
 7. Nakamura, T., K. Sato, H. Miyaoka, members of PANSY and EISCAT/JP, Bipolar large radar observations for the study of variability of the earth and geospace systems, The 5th Symposium on Polar Science, IM-3, Tachikawa, Japan, 2-5 December 2014.
 8. Nishiyama, T., K. Sato, T. Nakamura, M. Tutumi, T. Sato, K. Nishimura, M. Kohma, Y. Tomikawa, M. K. Ejiri, and T. T. Tsuda, Simultaneous observations of PMWE and CNA using the PANSY radar, The 13th PANSY workshop, Tachikawa, Japan, 12 March 2015.
 9. Nakamura, T., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Yamanouchi, T. Sato, Y. Tomikawa, K. Nishimura, M/ K. Ejiri, M. Abo, T. T. Tsuda, T. D. Kawahara, H. Suzuki, A. Mizuno, T. Nagahama, H. Yamagishi, A. S. Yukimatsu, M. Kohma, Y. Isono, T. Nishiyama, and T. Matsuda, Development of middle and upper atmosphere observations at Syowa Station toward JARE Phase IX, 第5回極域科学シンポジウム, 立川, 2014年12月.

(国内発表)

1. 潤谷亮輔, 佐藤薰, 富川喜弘, 堤雅基, 佐藤亨, 昭和基地で観測された多重圈界面構造のメカニズム, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 (神奈川, パシフィコ横浜, 2014.4.28~5.2(4.30))
2. 西山尚典, 佐藤薰, 佐藤亨, 堤雅基, 中村卓司, 西村耕司, 高麗正史, 富川喜弘, 江尻省, 津田卓雄, 南極昭和基地大型大気レーダーによって観測された極域冬期中間圏エコーの季節変動, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, PEM36-09, 横浜パシフィコ(横浜), 2014 年 4 月 28 日 ~5 月 2 日.
3. 西山尚典, 中村卓司, 佐藤薰, 堤雅基, 佐藤亨, 高麗正史, 西村耕司, 富川喜弘, 江尻省, 津田卓雄, 南極大型大気レーダーで観測された冬季中間圏エコーの変動特性, 第 8 回 MU レーダー・赤道レーダーシンポジウム, 京都大学生存圏研究所(宇治), 2014 年 9 月 16 日 ~9 月 17 日.

<受賞>

1. 平成 26 年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞 開発部門
南極大型大気レーダーの開発 (佐藤薰、佐藤亨、堤雅基、西村耕司)

③ その他の成果発表

1. 国立極地研究所・東京大学大学院理学系研究科共同プレスリリース、2015 年 4 月 10 日
南極最大の大気レーダー「PANSY レーダー」が可能にする南極大気の精密研究