

第 2 回 SPARC Japan セミナー2015

「科学的研究プロセスと研究環境の新たなパラダイムに向けて
- e-サイエンス, 研究データ共有, そして研究データ基盤 -」

超高層大気研究のためのデータベース ～IUGONET プロジェクトの活動～

田中 良昌

(国立極地研究所)

講演要旨

地球温暖化に代表される地球環境問題は、様々な要因が複雑に絡み合ったグローバルな現象です。これらの現象を完全に理解するためには、極域から赤道まで全球的に得られた多種多様なデータを総合的に解析する必要があります。我々の研究分野である超高層大気は、高度約 60km 以上の地球大気から太陽までの広い領域であり、地上及び衛星から望遠鏡やカメラ、レーダー等の装置で観測された様々な物理量のデータが存在することが大きな特徴です。従って、研究を効率良く進めるためには、これら多様なデータを簡単に検索、取得、解析できる環境を整備することがとても重要です。2009 年よりスタートした大学間連携プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究」、通称 IUGONET では、超高層大気研究のための研究基盤を構築してきました。本講演では、IUGONET プロジェクトの取り組みを紹介します。



田中 良昌

国立極地研究所、及び、総合研究大学院大学複合科学研究科極域科学専攻特任准教授。2000年九州大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻にて学位（理学）取得。その後、九州大学ベンチャービジネスラボラトリー中核的研究機関研究員、情報通信研究機構電磁波計測部門専攻研究員、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、国立極地研究所特任助教を経て、2015年4月より現職。

本日は我々が行っている IUGONET プロジェクトという活動について紹介します。私は国立極地研究所に勤めており、中間的な立場ではあるのですが、どちらかというどメインの方に偏った研究者です。主にオーロラを十数年前から研究しており、北極や南極でオーロラのデータを取り、それをデータベース化して研究に使っています。また、今度の 57 次の日本南極地域観測隊の夏隊に参加して、12 月から 3 月まで 4 カ月という短い間ですが、昭和基地に行くことになっています。

イントロダクション

地球温暖化に代表される気候変動や地球環境問題は、地球全体で起こっているグローバルな現象であることは皆さんご存知だと思います。これらの現象の特徴はたくさんの複雑なファクターが絡み合って起こることであり、例えば、地球温暖化には人間活動による二酸化炭素などの温暖化ガスの増加だけではなく、大気の循環や火山活動も関係しています。気象の分野では、原因は主に二酸化炭素等の温暖化ガスだと考えられていますが、我々の分野では、太陽活動の変動も

重要な要因であるという指摘もあります。これら様々な要素が複雑に絡み合ってこのような現象が起きているということが大きな特徴になっています。

超高層大気という領域は、図1で示すように、大体高度 60km から太陽までの間の領域です。この領域は、対流圏、成層圏、中間圏、熱圏等が存在し、それぞれ物理量が大きく異なり、密度や温度が急激に変化する層状になっています。例えば、皆さんご存知の綺麗なオーロラは高度 100~200km で出現します。高度 90km には、極中間圏雲という綺麗な雲が出ることが知られています。昔はこのような雲は見られていませんでしたが、地球の気候変動の影響で出現するようになったのではないかとわれています。

地球温暖化が比較的低い高度で起こっているのに対して、我々が対象としている超高層大気には温暖化ではなく寒冷化している領域があるということも観測から分かっています。また、この領域は、層状になっているだけでなく、赤道から極まで緯度間のカップリングが非常に重要です。従って、超高層大気では、グローバルに様々な層を見ることが重要となります。

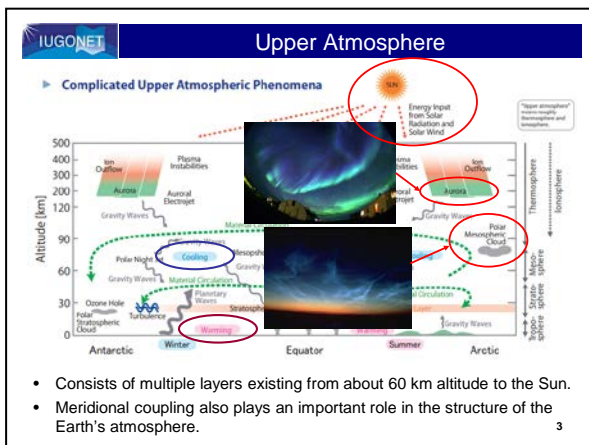
超高層大気の研究はどのような特徴があるか

超高層大気研究における特徴は、多くのデータセットがあることです。望遠鏡、イメージャー、レーダー、磁力計といった地上の装置で取られたデータもあれば、衛星からのリモートセンシングのデータもあり、バラエティーに富んでいます。大気の組成も、中性大気や

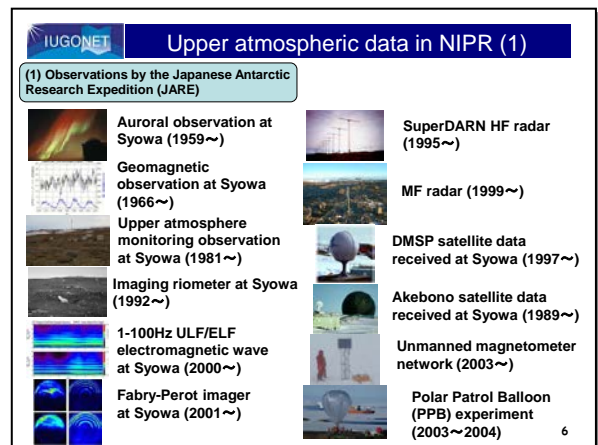
プラズマなどがあり、バラエティー豊かです。また、長期の変動が重要な分野で、例えば、地球がどんどん温暖化しているといっても、もっと昔を見るとより寒冷化した氷河期もあるので、短い期間のデータだけではなくて、長い期間のデータを集める必要があります。さらに付け加えると、世界規模での共同研究やデータシェアリングが必要不可欠な分野でもあります。

超高層大気研究の手法は最近どんどん便利になって変わってきています。昔は自分自身で取った1種類のデータ、例えば、地磁気などのデータを解析して研究すれば論文が書けたのですが、最近は大きく変わってきており、たくさんのデータを包括的に解析して、その現象の本質を見ることが必要になってきています。1種類のデータを使って論文を書いても、それ以外のデータはどうなっているのかとレフリーに突っ込まれるので、他人が取ったたくさんのデータを集めてくる必要があります。また、最近では、観測データとシミュレーションの比較も重要となっており、さらに近い将来には、データ同化といったステップも考えられます。さらに重要なことは、準リアルタイムでデータがどんどん入ってくることです。速報性が大事で、ある現象が起こったときに、すぐデータが集められるということも最近では重要になっています。

図2は極地研で観測しているデータをリストにしたものですが、オーロラの画像データ、地磁気データのデータ、複数のレーダーのデータ、無人磁力計のデータ、衛星データ、バルーンデータのデータといった、非常に多くのデ



(図1)



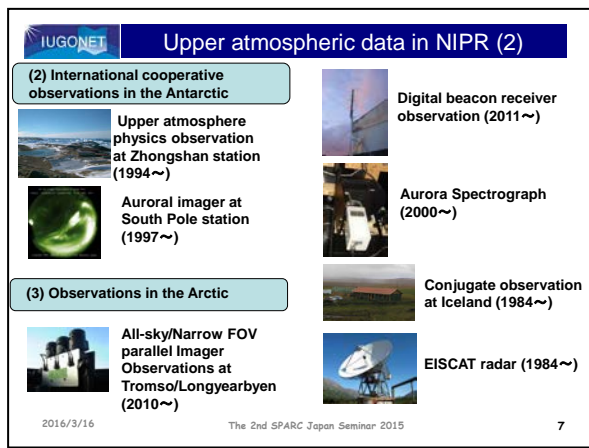
(図2)

ータがあります。南極での国際的な共同研究として、中国の中山基地や、南極点にある米国のアムンゼン・スコット基地での観測も長年行っています（図3）。また、昭和基地と磁力線を通じてちょうど反対側にあるアイスランドや、ノルウェーでも観測を行っていて、非常にたくさんのデータがあります。

極地研を含む、IUGONETというプロジェクトに加わっている五つの機関が持っている観測装置の場所をプロットすると、図4のようになります。多くの観測機が世界中に散らばっていて、グローバル且つ色々な種類のデータがあるということです。

超高層大気の研究における問題点を挙げます。

1点目は、データベースが大学や研究機関で独自に運用されてきたので、どこに何のデータがあるか、どうやってそれを取ってくればいいのかがよく分からないことです。



(図3)

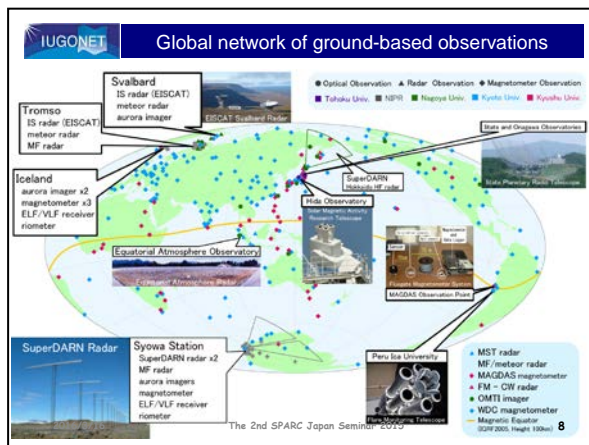
2点目は、データベースが基本的にドメインの研究者によって維持されていることです。自らの観測機を使って一人で観測を行い、そのデータベースも自らが作って、研究も行うというスタイルはかなり大変です。研究の時間を削ってデータベースを作る必要があるため、何となく損をした気分になってしまうわけです。

3点目は、データの種類がたくさんあるので、集めてくるだけでも時間がかかってしまい、ファイルフォーマットもばらばらということです。

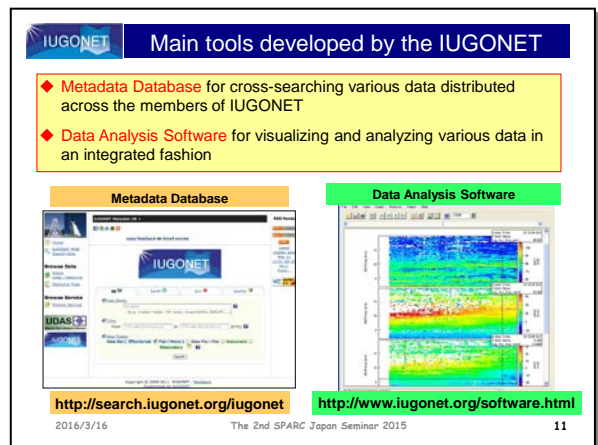
IUGONET プロジェクトの誕生

2009年度、IUGONETというプロジェクトが、文科省の特別教育研究経費の交付を受けて立ち上がり、2014年度まで特別経費の交付を受けていました。これは大学間連携のプロジェクトで、各大学に散らばったデータを自由に検索したり、データを同じソフトでプロットしたりできるインフラを作ることを目指しました。サイエンスの目的は、超高層大気の大変動のメカニズムを理解することです。

我々が開発してきたツールは二つで、メタデータ・データベースとデータ解析ソフトウェアです。これについて簡単にご説明したいと思います。IUGONETのメタデータ・データベースのウェブサイトは、トップページにおいて、フリーワードと、期間、緯度経度を入れて検索することで、IUGONETに参加している機関のメタデータが検索できます（図5・図6）。これまで1,000万件以上のメタデータを登録しており、例え



(図4)



(図5)

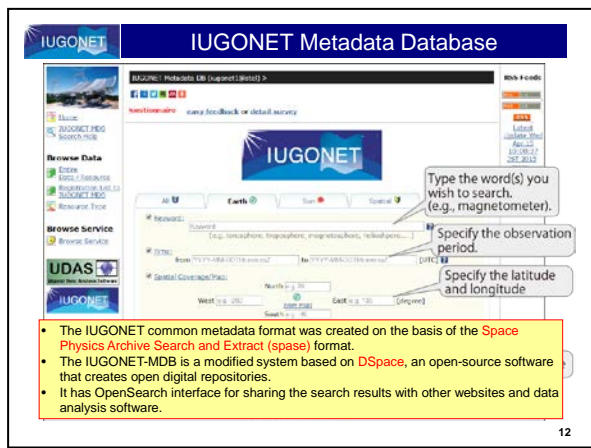
ば「aurora」と入れると、オーロラに関連したデータがリストとして出てくるという仕組みです。メタデータのフォーマットは、SPASE という米国の NASA で作成された、我々の分野の衛星観測データに使われるフォーマットを主に利用しています。それから、DSpace というフリーの学術情報リポジトリのソフトを利用しています。

もう一つはデータ解析ソフトです。今、SPEDAS と呼ばれるソフトを開発しています (図 7)。SPEDAS は Space Physics Environment Data Analysis Software の略で、草の根的に我々の分野で開発されているソフトです。もともとは UC Berkeley や UCLA のグループが、IDL という有料のソフトウェアを使ってこのソフトを開発しました。様々なプロジェクトのプラグインをそこに加えることで、様々なデータを読み込めるようにするというものです。例えば、時刻を指定する

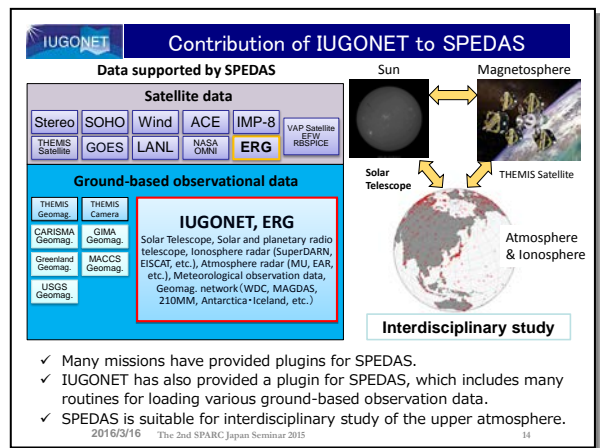
「timespan」、データをロードする「load_***_data」、データをプロットする「tplot」という三つのコマンドで簡単にデータがプロットされます。データは各々のデータサーバーに置かれていて、それらが各個人のパソコンに自動でダウンロードされ、IDL を使ってプロットされるという仕組みになっています。

SPEDAS では、様々な衛星ミッションがプラグインを提供しています。また、当初、地上観測データとしては地磁気やカメラのデータがメインだったのですが、IUGONET が多くのデータを提供することによって、太陽画像や大気レーダー、電離層レーダーといった様々な観測装置のデータを同じプラットフォーム上でプロットできるようになりました (図 8)。

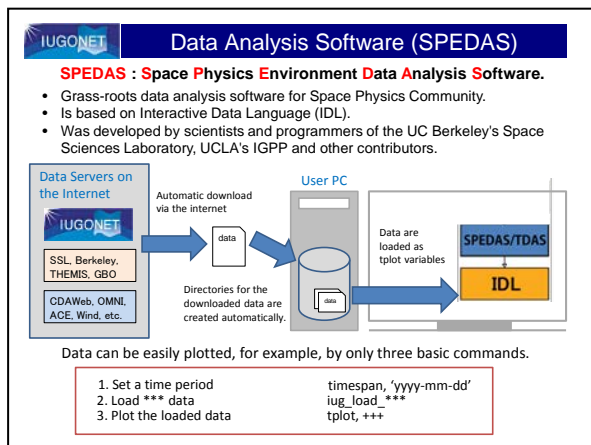
一つの例を紹介します。図 9 の右側のグラフは上から、太陽風の速度、太陽風の磁場、オーロラの指数 (京都 WDC 提供)、磁気嵐の指数 (京都 WDC 提供)、



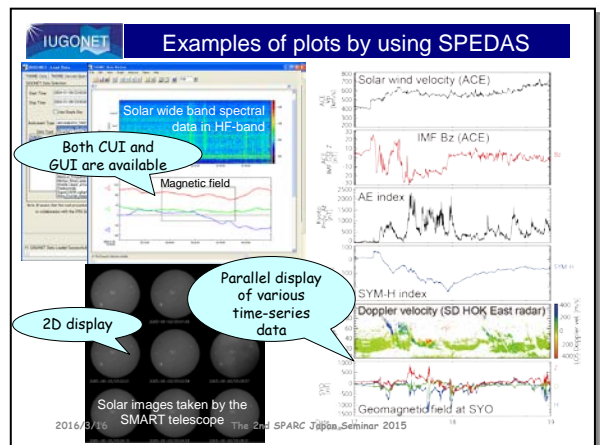
(図 6)



(図 8)



(図 7)



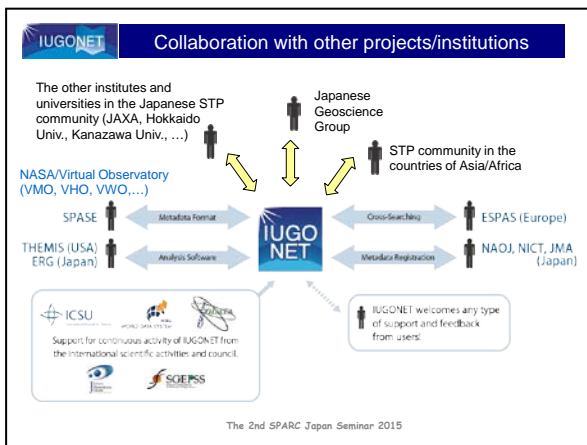
(図 9)

北海道の電離層のレーダー（名古屋大学提供）、昭和基地の磁場データ（極地研提供）です。このように、同じプラットフォーム上で複数の異なったデータを並べてプロットすることができます。また、2次元データについても、太陽画像、オーロラの画像などを描くこともできます。

びつけることができるようになりました。

これらのソフトは、基本的には国際的な共同研究で開発しています（図10）。メタデータ・データベースのフォーマットは、米国のNASAやVirtual Observatoryで作成されたSPASEを基にしています。データ解析ソフトは、UCLAやUC Berkeleyのグループが開発したソフトを基にしています。ヨーロッパの同様のグループであるESPASとも共同研究を行っていますし、アジアやアフリカのデータを取り込むなどの試みもあります。また、日本には衛星による内部磁気圏探査ミッション（ERG）があり、そのチームと協力しながらソフトウェア開発を行っています。このように、国際的に協力しながら活動を進めています。

まとめると、超高層大気は広大な領域で、多くのレイヤーがあり、様々な観測機を使って多種多様な物理量のデータが取られています。その結果、それらを取ってきて研究に利用することがこれまで難しい状況でした。しかし、我々が行ってきたIUGONETプロジェクトの活動の中でメタデータ・データベースや解析ソフトといったツールを開発することによって、全てではありませんが、これらの問題の幾つかが改善されつつあり、多種多様なデータを簡単に素早く研究に結



(図10)