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 -」

超高層物理学における研究データ共有

能勢　正仁
（京都大学大学院理学研究科）

講演要旨

超高層物理学は、高度 50km 辺りから月の軌道(高度 38 万 km)辺りまでの宇宙空間で生起する様々な物理現象を研究対象とする学問であり、1950 年代後半に人工衛星が登場して以来飛躍的な発展を遂げた。その研究対象が広大な空間に亘ることや、電場・磁場・プラズマ粒子・プラズマ波動といった様々な異なる物理量に現れることから、観測データを共有して国際共同研究を行うという研究文化が根付いている。物理現象は一過性のものであり、実験のようにその発生を人工的にコントロールできないため、受動的に観測データを取得するしかない。そこで何らかの現象解析を行うときには、その現象を記録していたデータをなるべく多く集めてこようとする心理が働くことも、データ共有を推進する動機となっている。講演では、具体例を示しながら超高層物理学における研究データ共有の実情を紹介する。

能勢　正仁

1998年に京都大学理学研究科で博士（理学）取得後、米国ジョンズホプキンス大学でポストドクトラルフェローとして3年間研究を行う。2001年帰国、現職。専門は、超高層物理学、地球電磁気学。主な研究テーマは、地磁気変動・脈動、内部磁気圏の高エネルギー粒子ダイナミクス、サブストーム、地磁気指数など。最近は、科学データへデジタルオブジェクト識別子を付与する活動にも積極的に関わっている。

私はこの中ではドメインサイエンティストに分類されると思いますが、solar-terrestrial physics（太陽地球系物理学）の研究をしています。所属は World Data Center for Geomagnetism で、データを管理しているところでもあるので、データのシェアやデータサイテーションに興味を持っています。

太陽地球系物理学とは

「太陽地球系物理学」という言葉を聞くのはほとんどの方は初めてかもしれません。これは地球の周辺、50km の高度から、月の軌道の辺り、36 万 km 高度の領域で起こるさまざまなプラズマの現象を研究する学問です。図 1 の真ん中が地球で、プロットに示している距離は 3 万 6,000km です。月の軌道はこの距離の約 10 倍のところにあるので、非常に広大な空間を対象としていることになります。普通、地球の周りの空間は真空ではないかと皆さん思われますが、実はそうではなく、地球は巨大な磁石なので、その周りには磁場が発生しています。その磁場が宇宙空間に張り出しているということになります。

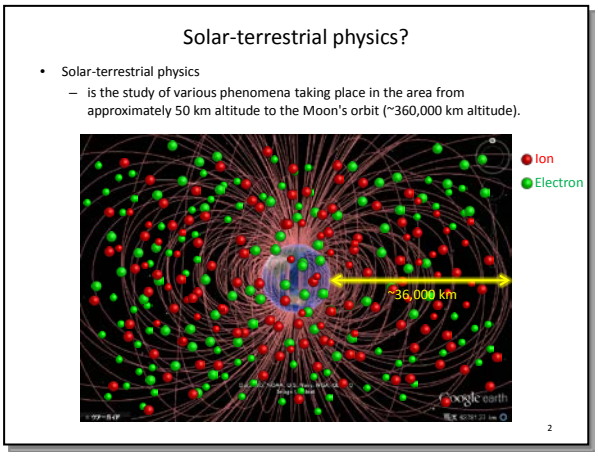
これに加えて、空間にはプラズマが充満されています。そのプラズマは、イオンと電子が飛び回っている空間です。このイオンと電子は、電荷を持っているので、磁場と相互作用を起こし、さまざまなプラズマの

現象が起こることになります。

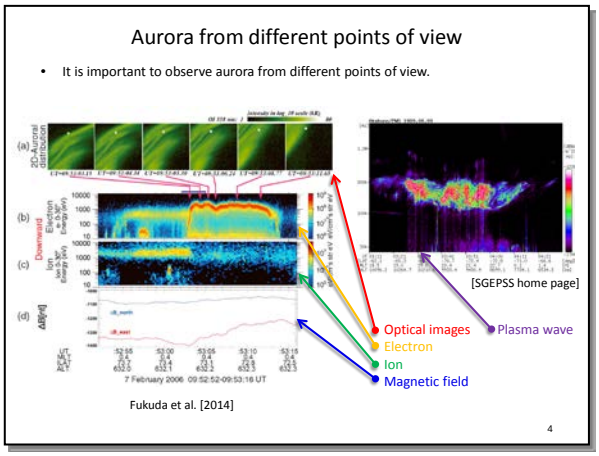
最も有名で、かつ人目を引く現象はオーロラです。図 2 はいろいろな高度から撮ったオーロラの写真です。左上は皆さんが最もよく新聞や雑誌などでご覧になる、地上から見たオーロラで、カーテンのような形で観測されます。オーロラが光っている高度は数百キロメートルなので、スペースシャトルやスペースステーションに乗ってオーロラを見ると、光っているところを横から見ることになり、右上のような写真が撮れます。さらに高度が上がって 830km になると、オーロラの全体の一部を見ることができます。左下の写真は、北アメリカにオーロラが発生したイベントで、ミネアポリス、シカゴ、デトロイト、モントリオール上空にオーロラがあるということが分かります。さらに高度を上げて 4 万 6,000km に行くと、オーロラの全体像を見ることができ、実はオーロラの形は楕円型をしているということが分かります。

今お見せした例は、写真で見た場合ですが、他の視点で見た場合でもいろいろなことが分かります。オーロラの中に電子もしくはイオンがどのように降り込んでいるか、その中で磁場がどのように変化しているかという視点でオーロラを見ることもできます（図 3）。もしくは、プラズマ波動でオーロラを観測することも可能です。われわれ太陽地球物理学分野における研究者は、いろいろな方法で、かつ、いろいろな場所や高度で観測を行っているということになります。

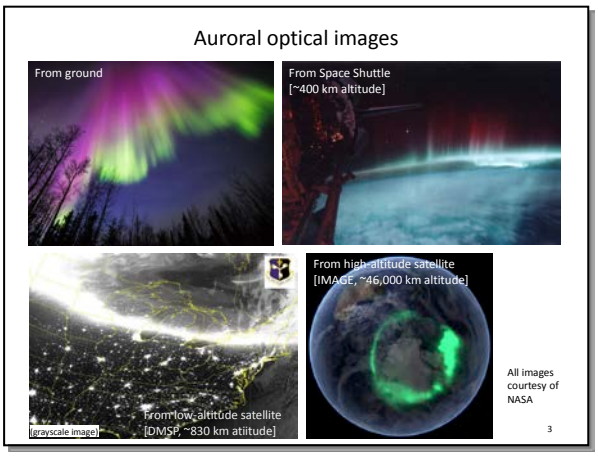
今は人目を引く例としてオーロラを挙げましたが、オーロラに限らず、いろいろなプラズマの現象が同様に光学画像やプラズマ波動で観測されます（図 4）。これらは波長や周波数によって、さまざまな表情を見せます。いろいろな粒子種があり、電子、イオン、プロトン、ヘリウム、ヘリウム 2+、酸素イオンといっ



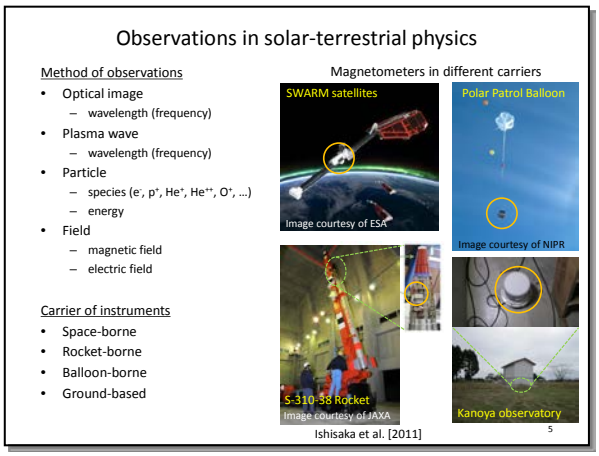
（図 1）



（図 3）



（図 2）



（図 4）

たものがありますし、どういうエネルギーで見るかによってさまざまな表情が得られます。場で言うと、磁場で見る、電場で見る、いろいろな見方があります。観測する場所は、衛星で見た場合、ロケットに観測器を載せて見た場合、バルーンに載せて見た場合、地上にそのまま置いて見た場合、いろいろな高度、方法で観測を行うことができます。右に示したのは、全て磁場の観測ですが、衛星で測ったもの、ロケットに搭載して測ったもの、バルーンに載せて測ったもの、地下に磁力計を埋めて測ったものの写真です。

ここでクイズをします。あなたは友人と一緒に真っ暗な暗闇の中にいます。何か動物が目の前にいるような気配がします。幸運なことに、皆さんは懐中電灯とマイクロホンをお持ちです。それらを使ってどういう動物がいるかを発見してください。最初、光を当てると、一部分が見えますが、それだけでは何か分かりません。別の友人がライトを当てても、まだ分かりません。また別の友人がライトを当てても、まだ分かりません。もう 1 人の友人はマイクロホンを持っていて、音声を取りました。音声もしくは一つ一つのイメージだけだとなかなか分からないのですが、全体のデータを集めて、音とライトで浮かび上がったところどころの点を集めると何となく何の動物か分かってきます。

答えは blue whale（シロナガスクジラ）です。このようなクイズを持ってきたのは、このシロナガスクジラを発見する方法は、太陽地球系物理学における研究と非常に似ていると思ったためです。ターゲットは、

Sharing observational results

	Quiz	Observational physics (Solar-Terr. Phys.)	Experimental physics
Target	Blue whale	Plasma phenomena in vast space	(Depend on research fields)
Size relative to observer	Huge	Huge	Small in most cases
Method of observation	Visual, auditory, tactile senses, …	Optical image, wave, particle, field, …	(Depend on research fields)
Attitude of observation	Passive	Passive	Active
Chance of observation	One-time-only	One-time-only	Multiple times
Strategy	Share observations	Share observations	Not share observations

8

（図 5）

クイズではシロナガスクジラ、太陽地球系物理学だとプラズマの現象なのですが、非常に巨大な空間に起こっている現象です。その大きさは、観測者と比べてとてつもなく大きいです。方法としては、本当にいろいろなものがあり、目で見たり、聞いたり、触ったり、また先ほどご紹介したようなさまざまな方法があります（図 5）。プラズマの現象は自然によって起こる巨大な現象なので、人間の力ではそれをコントロールすることはできません。こちらから何かアクションを起こして観測ができるわけではありません。従って、観測の方法は受け身になります。観測の機会はたった 1 回です。一度シロナガスクジラが行ってしまうと、また同じものに会うことはなかなか難しいですし、自然現象も 1 回起こると、全く同じ現象が起こることはまずありません。ですから、いろいろな観測の方法もありますし、巨大なものに対して小さな観測しかできないので、どのように研究するかを考えると、データを集めてきてみんなで一緒にやるという Share observations がストラテジーになります。

一方、experimental physics（実験の物理学）では、それは違っていて、ターゲットは試験管やモルモットといった小さいものを扱いますし、観測の方法もアクティブです。自分から何か試薬を加えたり、動物に何か薬を与えたりするのはコントロールができます。何回も繰り返し実験ができます。ですから、ストラテジーとしては、シェアするよりは、どちらかというと自分だけのものにしておいた方が有利ということになります。ですから、太陽地球系物理学の分野はこのような特徴から、観測データをシェアすることがカルチャーとしてずっと行われてきました。

データをシェアするというストラテジー

実は、データをシェアする文化は 50 年前に既にありました。1957～1958 年に国際地球観測年（International Geophysical Year）というものがありました。これは、67 の国が参加し、約 4,000 カ所の観測点で地球の観測を行うというものです。12 分野にお

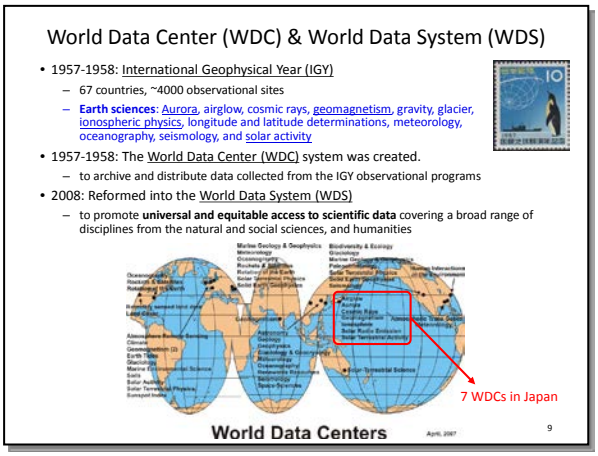
ける観測なのですが、傍線を引いたのは太陽地球系物理学に関係するところです（図 6）。これはかなり大きなプロジェクトで、日本ではペンギンの切手が発行されるほど非常に大きなイベントでした。

データはこの参加した機関でシェアされて、大きな成果が挙がったのですが、そのデータをそのままにしておくと散逸してしまうということで、ほぼ同時に、そのデータをアーカイブして、将来的に分配、配布するような形を目的として、ワールドデータセンターというシステムがつくられました。これは 50 年ほど続いていて、2007 年 4 月の時点で日本では七つのワールドデータセンターが存在していました。2008 年にワールドデータセンターはワールドデータシステムという形で再構築されました。地球科学だけではなく、もっと広い、自然や社会科学などいろいろな範囲の分野を含めて、かつ、データのユニバーサルで平等なアクセスという精神は引き継ぎました。

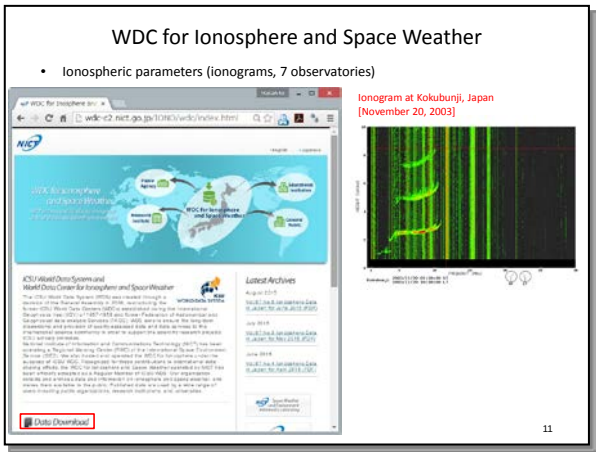
ワールドデータセンターの一例をお見せしたいと思います。図 7 は私が所属している WDC for Geomagnetism（地磁気世界データセンター）のウェブページです。「データサービス」というところをクリックすると、地磁気の地球の磁場のデータがプロットできます。150 カ所以上の観測所データが保管されていて、誰でも使えるような形でデータシェアがされています。

図 8 は別の例で、WDC for Ionosphere and Space Weather（電離圏・宇宙天気データセンター）のウェブページです。7 カ所の観測所からの電離層パラメーターのデータをリンクから自由にダウンロードすることができます。

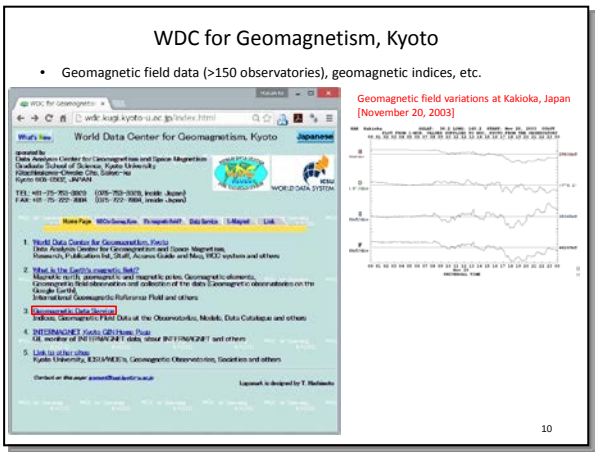
WDC だけではなく、他の観測機関でもデータシェアリングが一般的です。図 9 は NASA のホームページです。Coordinated Data Analysis Web というサービス



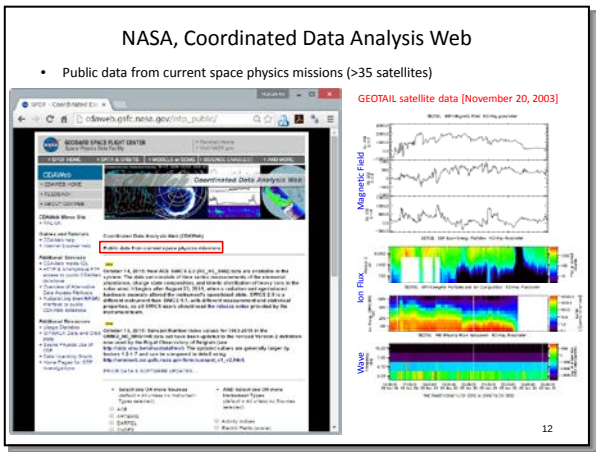
（図 6）



（図 8）



（図 7）



（図 9）

が行われており、これは非常に大きなデータベースで、35 以上の衛星のデータを自由にダウンロードしたりプロットしたりすることができます。これはその一例で、プロットしたものです。

NASA はアメリカですが、ヨーロッパでも同じようなサービスがあります。European Space Agency が Cluster Science Archive というものをサービスしていて、CLUSTER や DOUBLE STAR といった衛星からのデータが自由にダウンロードできるようになっています（図 10）。

太陽地球系物理学における論文として非常によく見るものは、たくさんの衛星を同時に使って何か解析をしたものです（図 11）。左は、五つの人工衛星を使って、宇宙空間の中で磁場がどのように空間的、期間的に変化していったかを調べた論文です。驚くべきことは、この五つの衛星はそれぞれ違う研究機関が開発したものであることです。GOES はアメリカの NOAA、TH-D は NASA と University of California、LANL-01A はロスアラモス国立研究所、VAP-B は NASA の Applied Physics Laboratory、ETS-8 は日本の JAXA が打ち上げた衛星です。全く違う研究機関が観測したデータなのですが、データはオープンになっているので、研究者はこのような論文が書けるということです。

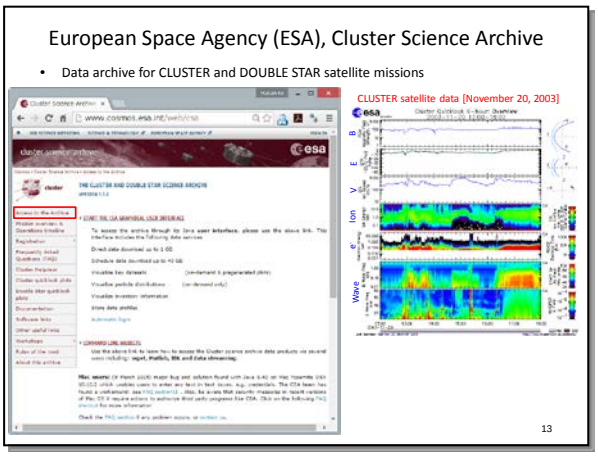
右も同様の例で、11 個の衛星を使って、宇宙空間で波面がどのように伝わっていったかを研究した論文です。

データがオープンになっていると、データの在りかを知っている人はこのようなことができるのですが、データの在りかが分からないということも十分あり得ます。そのような起こり得ることをどう解決すればいいのでしょうか。解決法の一つは、メタデータのデータベースをつくってそれをサーチするという方法です。現在、IUGONET（Inter-university Upper atmosphere Global Observa-tion NETwork）という、超高層大気物理学のメタデータデータベースをつくって、それを公開して、ユーザーはこれで検索すればデータがどこにあるかが分かるというサービスが既に始まっています。たくさんのメタデータが登録されています。

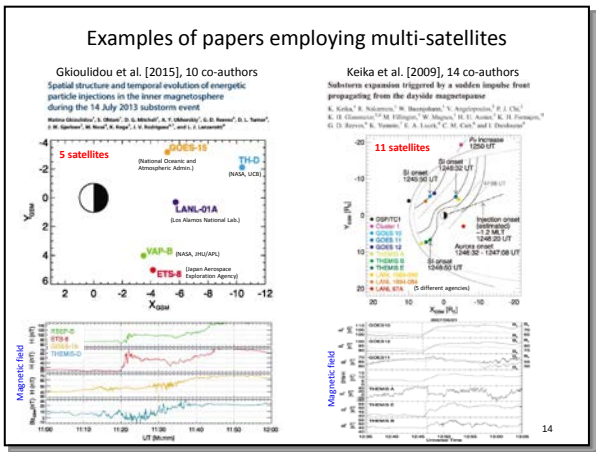
まとめ

太陽地球系物理学は、地球の近くの空間におけるプラズマの現象を研究する学問です。そのプラズマの現象は、自然によって励起されて、それは観測者によって人工的にコントロールできないので、観測は受け身的に行うしかないということになります。その現象は一時的に起こって、同じような現象は二度と起こりません。大きな空間的なスケールを持っているため、1～2 人の観測ではなかなか全てを捉えることができません。このような背景によって、太陽地球系物理学におけるデータはみんなでシェアすることが一般的なカルチャーになっています。それは 50 年ほど前からスタートして、現在でも続いています。

しかし、データの在りかを知らない人はデータにたどり着くことができないので、一つの解決方法として、



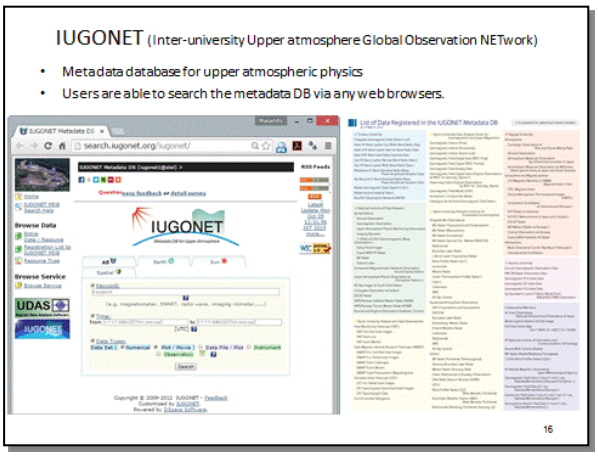
（図 10）



（図 11）

メタデータのデータベースをつくって、それをサービスするという方法が始まっていて、その一例がIUGONET です（図 12）。

太陽地球系物理学のデータは既にオープンになっていて、みんなでシェアしようという文化はあるので、データサイエンティストや情報科学者にとっては、オープンサイエンスデータやオープンリサーチデータの可能性やその実験をするのに、非常にいいショーケースであり、実験場であると考えています。



（図 12）