

極域における磁気圏観測への要請

西田 篤弘*

Proposal for Magnetospheric Research in the Polar Region

Atsuhiko NISHIDA*

Abstract: It is argued that the identification of the magnetospheric process that corresponds to individual phenomena observed on the ground is as yet a very important task that has to be pursued in order that we can properly combine ground and space observations to discuss physics of magnetospheric processes.

要旨: 極域における地上観測と飛しょう体による観測を比較し総合する努力は、すでに多年にわたって行われているが、地上で観測される現象と磁気圏に生起する事象との間の対応関係の確立は、今なお重点目標として掲げるに足ると思われる。

1. はじめに

ロケットや科学衛星による磁気圏観測が現象を *in situ* にとらえるという点に長所を有するのに対し、極域の地上観測点網は、磁気圏の活動を総合的かつ連続的に観視できるという点ですぐれている。この相補性は、すでにしばしば強調されてきたものであるが、それが磁気圏物理の解明に十分役立つためには、1つの条件が満たされていることが必要である。すなわち、地上で観測される現象と磁気圏で生起する事象の対応関係が明らかにされているという条件が成り立つということである。

この対応関係は、すでに多くの事例によって示されているところではあるが、極域における磁気圏観測の重点目標として今なおかかげる価値があるのではないかと思われる。極域における地上観測データを材料にして、磁気圏の3次元空間に展開する現象のパノラマを正確に描くためには、地上で観測される現象を磁気圏に投影する法則が確立していなければならない。このパノラマがより真実に近く、より詳細であればあるほど、*in situ* に観測された事象が、どのような環境において生起したものであるかがより適確に把握され、原因となるメカニズムにより鋭くせまることができる。あるいは場合によっては、地上観測のみに基づい

* 東京大学宇宙航空研究所. Institute of Space and Aeronautical Science, University of Tokyo, 6-1, Komaba 4-chome, Meguro-ku, Tokyo 153.

て、流動する磁気圏プラズマのダイナミクスを刻々ととらえ、その物理を論ずることが可能になる。

もちろん、後者のような試みは、飛しょう体出現に先立つ磁気圏物理学の黎明期からさかんに行われてきたものであり、可能になるという表現は、適当でないかも知れない。しかし、地上において観測される現象と磁気圏事象との間の関係にあいまいさがある限り、磁気圏ダイナミクスの問題点は、ぼやけてしまう。解像度のわるい顕微鏡で対象を見ながら、メスをふるおうとするようなものである。

地上現象と磁気圏現象の対応関係のうち、一層の明確化を必要とするものは数多いが、以下いくつかの例をあげてみよう。

2. 地上観測と磁気圏現象

2.1. 極光の“break-up”と磁気圏現象の関連

これは、磁気圏物理学の古典的課題である。現在のところ、磁気圏における急激な粒子加速の原因として2種類の電場が考えられている。その1つは、尾部磁場のリコネクションに伴う電場で、もう1つは極域の磁気圏底部に発生する磁力線沿いの電場 E_{\parallel} である。このいずれの電場についても、break-up との一対一対応はついていない。リコネクションと関連づけられた事例は、中程度の規模の比較的 isolate されたサブストームであり、小さなサブストームや break-up がくりかえし起きるような非常に荒れた状態に対応するリコネクションはまだはっきりしていない。一方 E_{\parallel} については、その存在がようやく確認された程度で、break-up の際にこの電場が本当に強まるものかどうか、直接観測による確認はまだ行われていない。

これら2種類の電場を組み合わせ、リコネクションは、高エネルギー (≥ 10 keV) 粒子の生成と convective flow の発生に寄与し、 E_{\parallel} は、keV 域のいわゆる極光電子の生成を行うという考えも可能である。さらにリコネクション電場と E_{\parallel} が必ずしも相伴わないものであるとすれば、break-up 現象に対応する磁気圏現象の全体像は常に同一のものであるとはいえなくなる。Break-up に伴う 100 keV–1 MeV 粒子の降りこみの有無を見ることによって、尾部における大規模な加速を伴う現象であるのか、あるいは磁気圏底部の局所的な E_{\parallel} のみによる現象なのかを見分けることができるかも知れない。

2.2. VLF 電波放射の占める位置

VLF 帯の電磁波放射も古くから知られた現象である。だが、この波動現象は極光粒子の

加速過程の中でどういう位置を占めるのだろうか。

ここにも2つの可能性がある。その1つは、すでに加速された粒子が各種の共鳴作用によって電磁波を発生するというものであり、他の1つは、加速メカニズムそのものに本質的に関与しているプラズマ乱流の一部がモードを変えて、地上に VLF 波として到達するというものである。静電的なプラズマ波動が、電磁波になるメカニズムには多くの問題が残されているが、 E_{\parallel} の発生に伴うプラズマ乱流を地上で観測しているのであるとすれば、VLF 波動現象のもつ意義は一層高くなる。とくに、オーロラヒスの発生領域と E_{\parallel} の存在が推測されている領域とが、共に極域の磁気圏底部であるという事実から、このような可能性を考えてみたくなる（本シンポジウムにおける巻田和男氏の講演参照）。

磁気圏底部における静電モードのプラズマ波動と VLF 電磁放射の相関解析は、今後さらに追究されるべき問題であろう。

2.3. 脈動のエネルギー源

地磁気脈動が、地球磁場の共鳴振動であることは疑いないにしても、そのエネルギー源（すなわち exciting agent）については未解決の問題が多い。とくに storm 時に夕方側に現れる Pc 5 や、Pc 1（とくに IPDP）などは、尾部から投入された高エネルギー粒子群のもたらすプラズマ不安定によって励起されるものと考えられているが、衛星観測データを用いた実証的研究は、いまだに乏しいようである。解決を要する問題には、storm-time Pc 5 に関する長谷川説（drift-mirror 不安定）の検証や、IPDP の周期変化に関する福西説（投入陽子のエネルギー分散）とトロイツカヤ他説（投入陽子の地球方向への侵入）の比較検討などがある。朝側の Pc 5 についてさえ、今回林幹治氏がレビューしたように、共鳴磁力線が極光オーバルにはほぼ一致することから、従来考えられていたように磁気圏境界面から侵入するエネルギーが直接に Pc 5 を励起するのではなく、磁気圏尾部と電離層を結ぶ3次元電流系のエネルギーが原因ではないかという提案が行われている。

Pi 現象については、多数のサブクラスへの分類が提案されているが、これらのサブクラス（Pi B, Pi C, Pi 1 etc.）はそれぞれどのような磁気圏現象に対応するものであろうか。理論的観点からは、西田・松本・木村説の示唆するように入射陽子ビームの不安定が Pi のような低周波数帯の波動現象に本当に寄与しているものかどうかという点にも興味もたれる。

2.4. 極光の形態とそのダイナミックスの起源

アークをはじめとして、極光にはさまざまな形態があり、そのダイナミックスは小口高氏

によって詳しく研究されている。このような形態とその変化は、磁気圏のどのレベルで作られているのであろうか。

極光の形態変化には、多分加速域の形状変化を反映するものと、極光粒子とプラズマの相互作用に起因する2次的な動きとが混在するのであろう。この2つの分離は困難な課題であろうが、将来 open 計画のような複数衛星による磁気圏の総合的観測が実現した際には、ぜひひとりあげたい問題のひとつである。極光の形や動きから、加速領域の構造や状態変化が読み取れるようになれば、その意義はきわめて大きい。

3. お わ り に

以上に述べた4つの例の他にも、地上で観測される現象と磁気圏で生起する事象との相互間の対応関係の確立が望まれる事例は数多いであろう。すでに多くの研究者によって研究されているのでここでは触れなかった例としては、極光スペクトルと入射電子のエネルギースペクトルの対応関係や、地上におけるじょう乱磁場の分布と磁気圏における3次元電流系の構造との関係などがある。これらの対応関係が一層洗練されるに従い、極域観測に基づく磁気圏研究は一層（永田教授の強調してこられた）*exakte Wissenschaft* としての姿を整えていくことであろう。

(1979年2月17日受理)