

# ロケットおよび人工衛星による磁場観測

小 口 高\*

Magnetic Field Observations by Rockets and Satellites.

By  
Takashi OGUTI

**Abstract:** Number of recent observation of the distant geomagnetic field with the aid of artificial satellites, have given us new knowledges on the gross character of magnetosphere and its neighbouring region, for example, the characteristics of shock front, magnetopause and magnetic tail.

There are, of course, many problems still unknown on the physical nature of earth's environmental space. The fluctuation of magnetic field, would be one of these problems, especially in relation with the field fluctuation on the earth's surface, since it has not yet studied so far as systematically as the field configuration itself, except some partial findings of characteristic fluctuations.

Even on the problem, much more accessible for us, as to the electric current in the ionosphere, main effort devoted so far, limited on the study of its altitude distribution, and few experimental work deal with the physical mechanism of ionospheric current.

These problems mentioned above are reviewed in this paper in section 2 and 3 on those in the distant region and in the ionosphere respectively, and a proposal of magnetic measurement of three components are briefly given in section 4.

## 概 要

ロケットおよび人工衛星を用いて行なう地球およびその周辺の磁場の観測については既に数多くの研究成果が発表され磁場の分布についてはかなり明らかになってきた。一方磁場の変動やそれと地表における観測結果との比較などまだまだ必ずしも定説ができあがるまでの観測に乏しい研究面も沢山あるように思われる。このことは何も磁気圏と言った広い領域に限らず、たとえばロケットによる電離層内電流系の測定といった身近な問題についても言えることで、電流系の高さなどはわかっていてもダイナモ理論の検証のために風系、イオン密度などと同時観測を行なうと言った仕事はまだきわめて不十分である。以下に述べるのはこれらの問題について、1)磁気圏外部、2)磁気圏底部、3)電離層領域にわけて、それぞれについて現在までの測定結果を概説し、問題点を拾い出し、今後の研究の方向を探るための一つの試みである。

---

\* 東大理学部

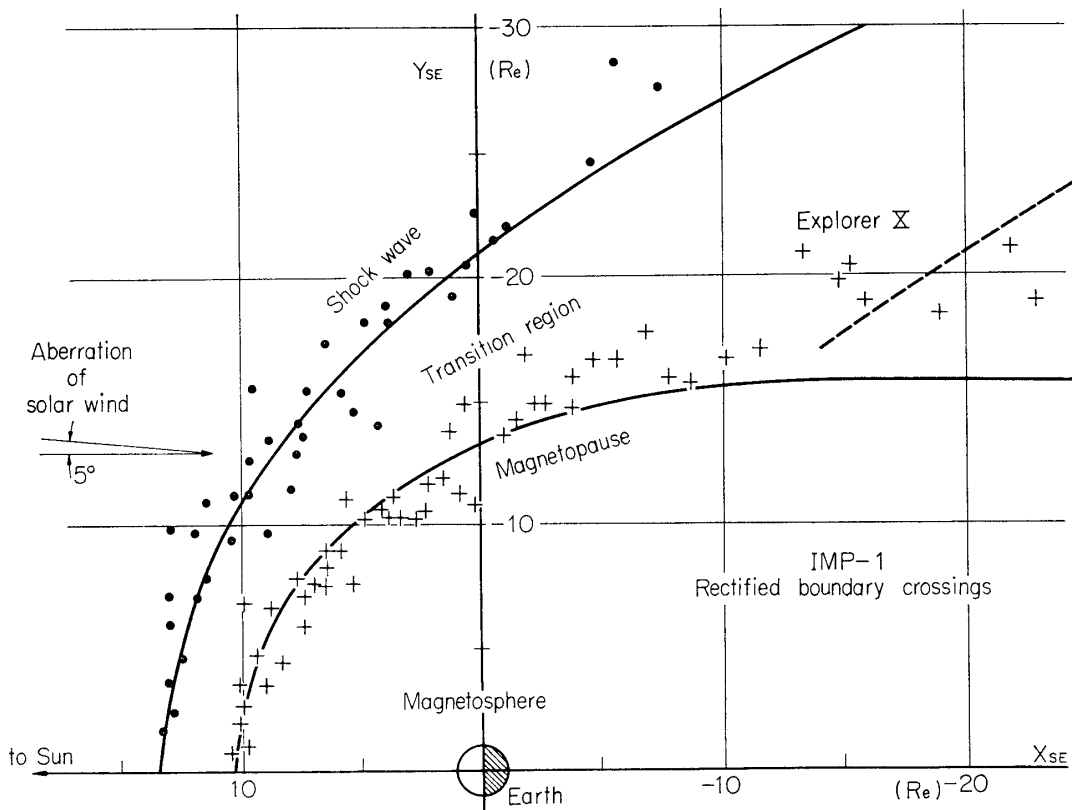
## 1. 序 論

ロケットおよび人工衛星を使用して行なう地球およびその周辺の磁場の観測はその目的および観測の領域から見て現在のところ三つに大別される。一つは主として細長い楕円軌道または脱出軌道の人工衛星によって地球磁気圏およびその外域の磁場を測定するものであり、一つは高さ数千kmあたりに円軌道に近い人工衛星を飛ばして地球内部磁場のサーベイであり、残る一つは主としてロケットによりいわゆるダイナモ領域の電流分布を測定するものである。Pioneer, Explorer Series, EGO などが1番目のものであり、Sputnik III, Vanguard III などが2番目の典型的なものであり、3番目に関しては Cahill, Meredith, Heppner 等の一連の実験があげられる。

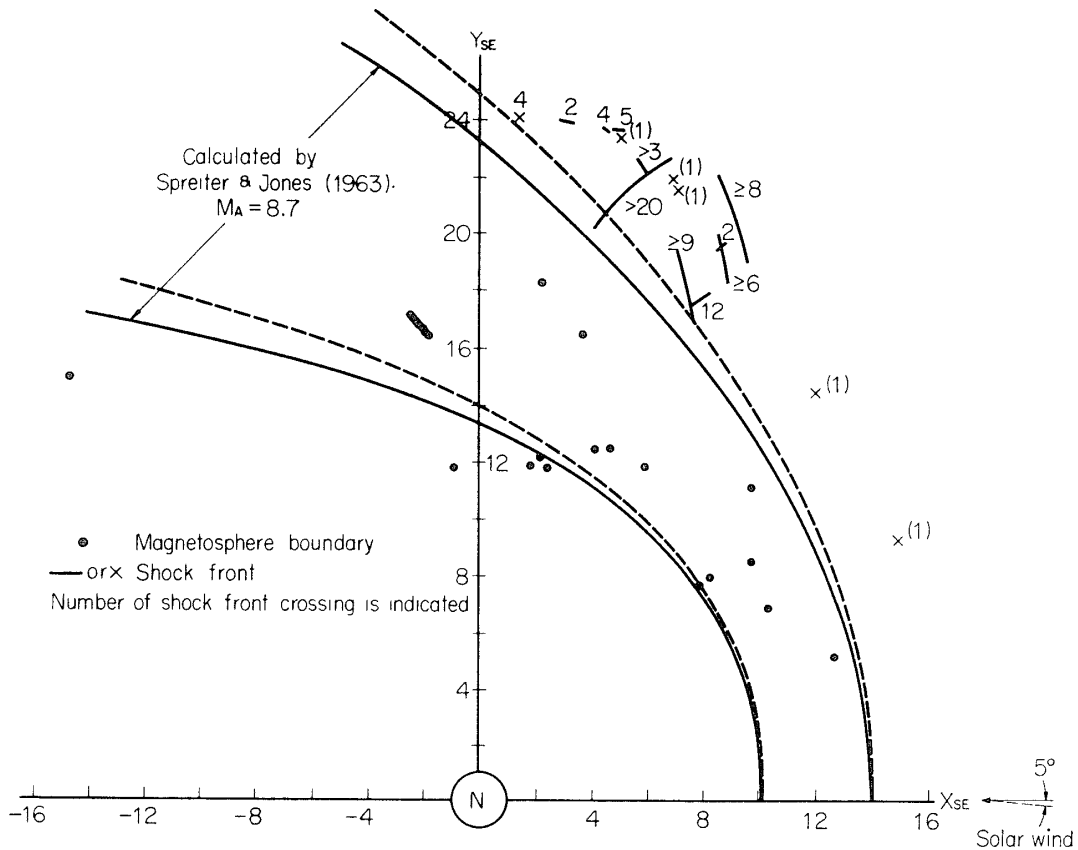
## 2. 磁気圏およびその外域の磁場観測

磁気圏における磁場の観測は主たる研究目的によって四つに分類できるであろう。

- (1) 磁気圏内の磁場分布, 特に Shock layer, Magnetopause, Magnetic Tail の構造に関するもの。
- (2) 磁気圏内の磁場の fluctuation に関するもの。
- (3) 惑星間空間の磁場の構造に関するもの。
- (4) 地上における擾乱現象との関係……………である。



第1図 IMP-1 で測定した Magnetopause および Shock front の位置の分布(暁方側) (after Ness et al)



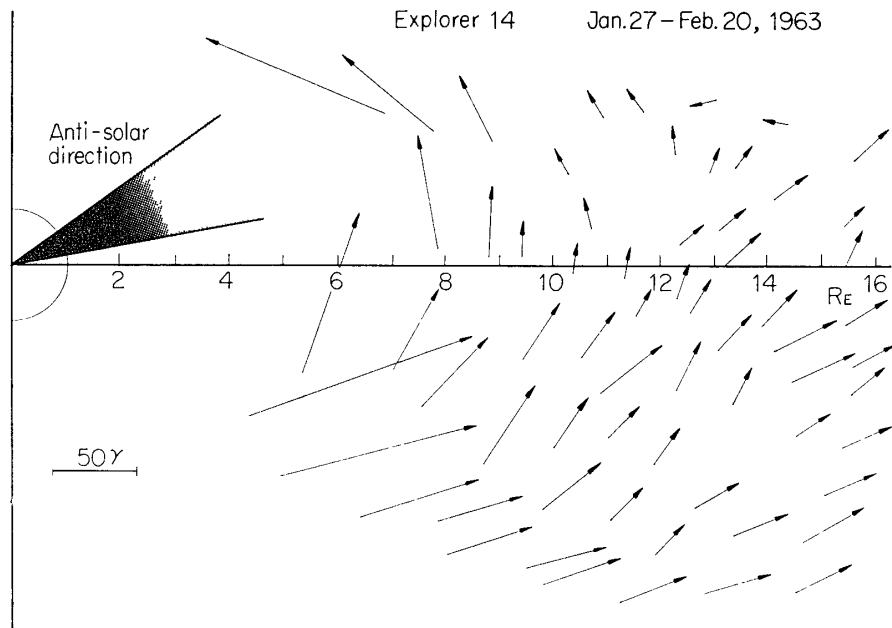
第2図 EGO で測定した夕方側の Magnetopause および Shock front の位置  
IMP-1 の結果よりやや大きいことに注意を要する。(after Heppner)

### 2.1. Shock layer, Magnetopause の分布

Lunik I, Pioneer I. などによって始められた磁気圏の境界の測定は, Exp 12, 14, 18 EGO などによってきわめて広汎な Survey となり, その分布について概略のイメージが得られるようになった. 第1図はよく知られた IMP-1 (Ness et al 1965) の測定に基づく 1963-64 の Shock front および Magnetopause の dawn side の分布を示すものである. これに対して第2図は Heppner (1965) の EGO による観測結果 —dusk side の— である. 一見して明らかなように多少のばらつきはあるとしても EGO の結果は IUP-1 の結果より全体として外側にふくれているように思われる. その差は Shock front, Magnetopause いずれも  $2R_E$  程度である. この差が何によるものか, 二つの測定時期の違いに対応して平均的な solar wind pressure が違うためなのか, それとも磁気圏自体の性質として dawn-dusk asymmetry が存在するのか, そのチェックには更に長期にわたっての Survey が必要である.

### 2.2. 磁気圏内の磁場分布

磁気圏内の磁場分布が系統的に行なはれるようになったのは Exp. VI あたりからである. Smith (1962) は Exp. VI および Exp. X の測定値から dipole field を抜き取り変化磁場だけをとり出した. 彼の結果には, すでに, 後に Magnetic Tail と呼ばれるようになったあたりの磁場分布の様子がはっきり現われており, その変化磁場が potential field ではあり得な



第3図 Exp. 14 により測定された夜側の磁場の膨張の様子 Antisolar direction に neutral sheet が認められる (after Cahill)

い。つまり sheet current が存在しているらしいことをも示している。

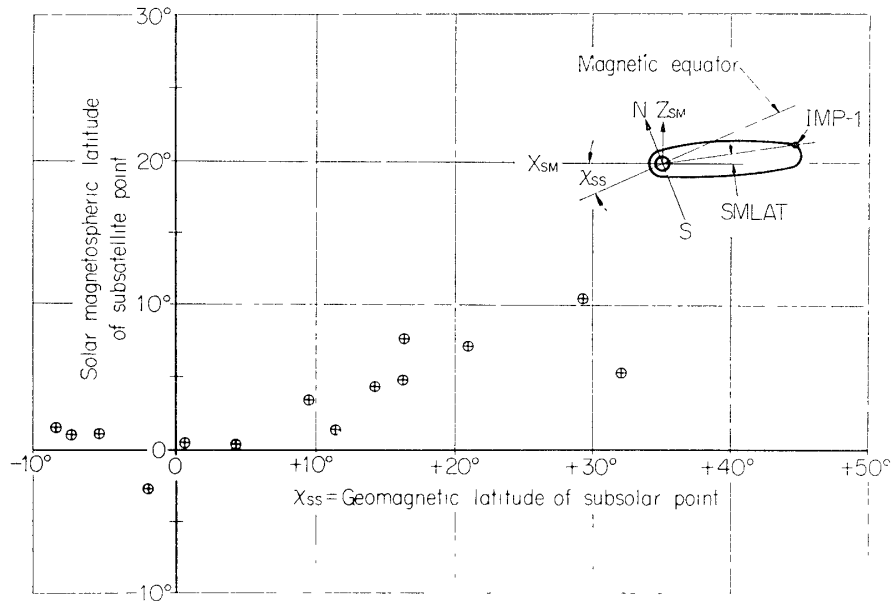
磁気圏内の磁場分布、特に夜側の分布についてまとまっているのは Cahill (1965) が報告した Exp. 14 の測定結果である。第3図に示すものは Exp. 14 の夜側の測定結果を同一 meridian plane に投影したものである。Cahill が inflation と呼んでいる夜側の磁場の膨張の様子およびそれにつながる Tail の磁場の様子を知ることができる。なお彼の結果によれば Inflation の起っている Tail 内縁は地磁気擾乱の大きいときは地球に近づき、静かな時は遠ざかる。この事実は Tail を構成する電流系が Dst の一部に寄与し、また DS や Bay をおこす粒子入射の領域と密接に関連していることを示すものと見てよい。粒子入射についてはまた後で触れるが、その機構を明らかにするためには更にその付近の磁場変動と粒子との同時観測を強化することが望まれる。

### 2.3. Neutral Sheet の位置およびその構造

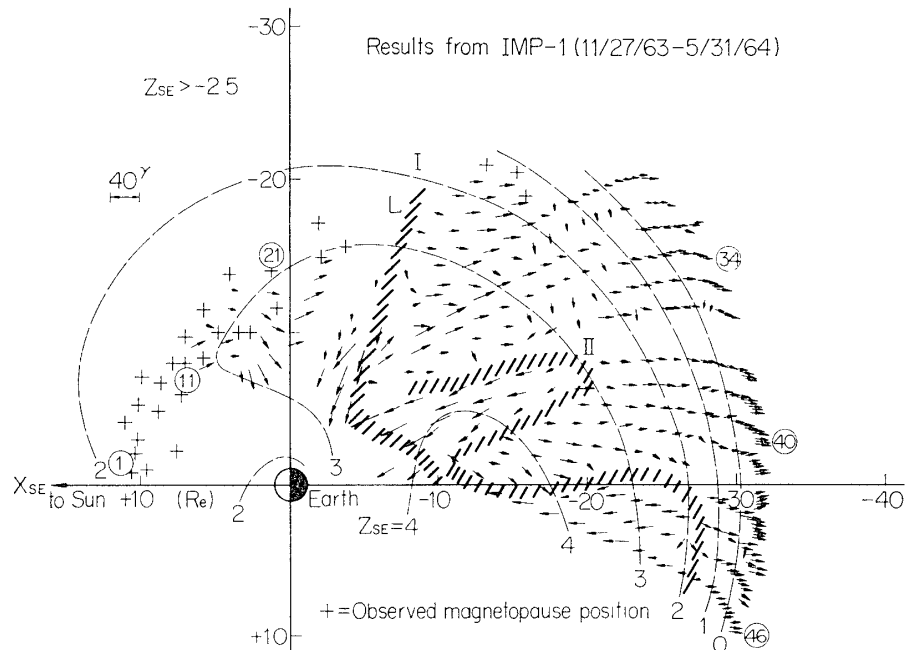
Neutral sheet の位置と構造に関しては IMP-1 の結果を用いて Ness (1965) が総合的な報告を行なっている。

彼の結果によれば平均的な Neutral sheet の位置は第4図に示すように magnetic equator と sun-earth line のほぼ中間、やや sun-earth line 寄りに現われるものようである。

磁場の逆転の現われるのは地球半径あるいはそれ以下のごく薄い領域であり、sheet 状に広がっている。ただしこの sheet がいつも安定に存在しているのか、もしそうでないとするればどの程度時間的変動をするのか、あるいは sheet は一枚と限られているのかと言ったような問題は依然としてよくわかっていない。第5図は IMP-1 が1963年12月から64年5月までに測定した結果の ecliptic plane (厳密には違う) への投影であるが、この中には Satellite が sheet を二度横切ったように見える時期 (Rot. No. 44-45 など) がある。sheet はかなり曲



第 4 図 neutral sheet の位置の分布, ほぼ antisolar direction に近いことがわかる. (after Ness)



第 5 図 IMP-1 によって求められた neutral sheet 近傍の磁場  
 斜線領域 I は Inflation zone の時間的また空間的変動  
 を示し, 斜線領域 II は Satellite の neutral sheet 通過  
 位置の変動を示す. (after Ness et al)

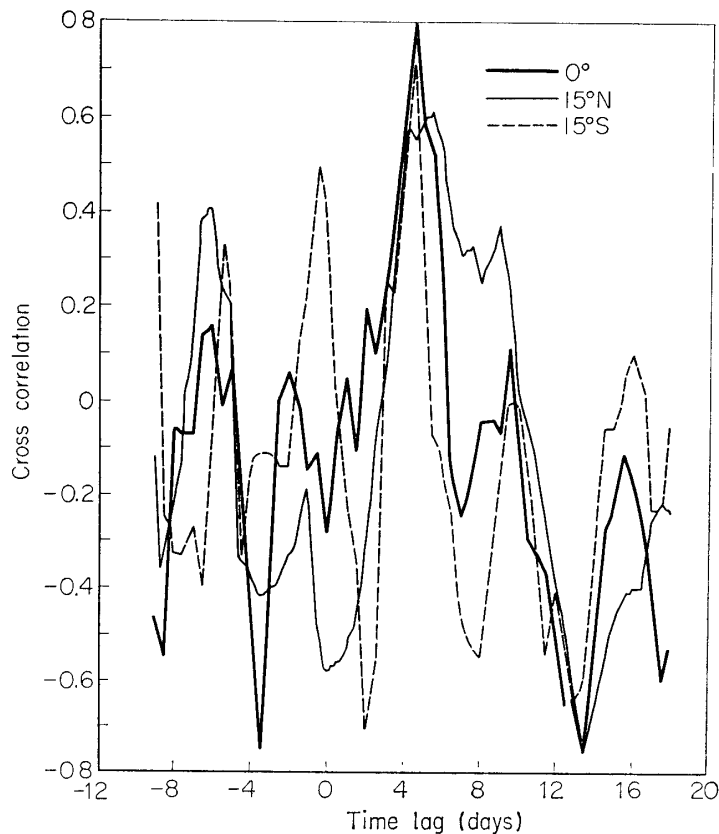
っているかあるいは時間的にその位置がかなり変り得る可能性を示している。

なお、第 5 図で斜線の領域 (I) は磁場の Z 成分から推定した inflation 領域の位置の変動を示しており、斜線の領域 (II) は Neutral sheet を横切った位置の時間的変動を示してい

る。前者はおそらく satellite の緯度にあまり関係なく neutral sheet 内縁の地球に対する距離の変動を与えるものであって、3月～4月に平均的に最も近づいていることから考えて、磁気じょうらんに関係のある変動と考えてよいであろう。これに対して後者はむしろ長周期の sheet の緯度変化に対応していると考えるのが妥当である。このような変動が、もっと短周期成分をも含めてどのように起っているかを知るためにはまだまだ多くの観測を必要とするようである。

#### 2.4. 惑星間空間の磁場

惑星間空間磁場はすでによく知られているように、太陽から Spiral 状に張り出しており、これが太陽磁場の延長であることは photosphere の磁場と IMP-1 の磁場の correlation (Ness et al 1965) によって明らかである(第6図)。correlation は4,5日後に最大となり、この期間における流れの平均値は 385 km/sec 程度であることが報告されている。



第6図 太陽の photosphere の磁場と IMP-1 で測定した磁場の cross correlation. 4,5日後に相関得致が最大となる。(after Ness et al)

#### 2.5. 磁気圏およびその近傍の磁場の fluctuation

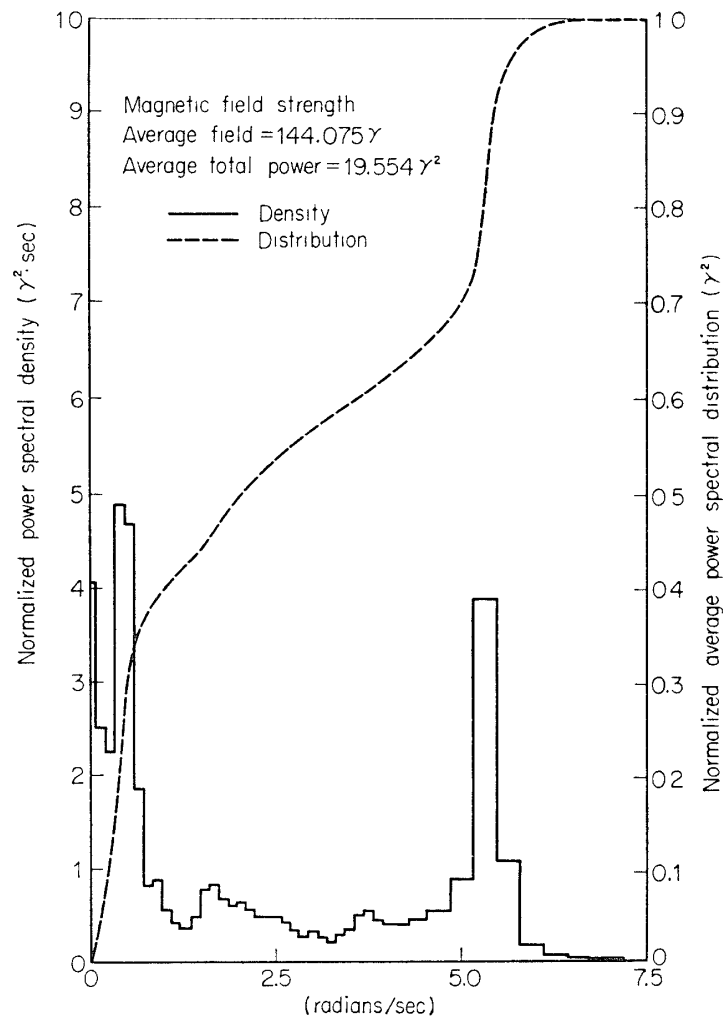
磁気圏内およびその近傍での磁場の変動の測定は Pioneer などによって始められ、Sonett 等の多数の報告がある。しかし Pioneer I, Pioneer V などの磁場測定は誘導磁力計によって行なわれたので Spin axis に垂直な成分だけしかはかることができず、そのため解釈に多くの ambiguity を残すことになった。分布そのものに比べて fluctuation の測定あるいは解

析はまだきわめて不十分であって必ずしも特性が十分明らかになったとは言い切れない。

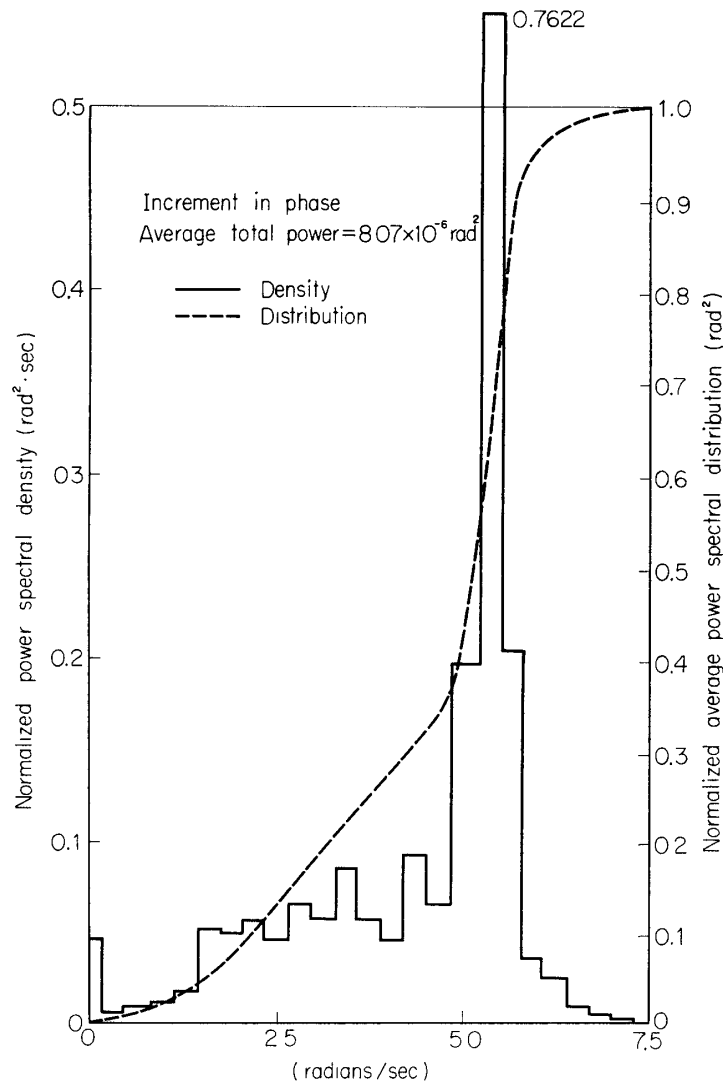
現在までに知られているおもな fluctuation は次表に示すようなものである。表でわかるように Shock front 近傍の特性的な fluctuation の周期は 1 秒程度であり Magnetopause 近傍での周期は 10 秒程度である。Transition layer 中にはこの二つが混在していることは Sonett 等 (1962) の結果 (第 7 図) に明らかである。これらの特性的な周期が何によって規定されているのかはまだよくわかっていない。

第 1 表

Cavity	Shock Layer	Inter planetary Space	
0.1 c/s <0.01 c/s and 0.15 <0.01 c/s	0.05 and 0.12 c/s 0.15 and 1.60 c/s 0.8~1.2 c/s	0.15 and 0.3 c/s	Coleman, Pioneer V Sonett et al. Pioneer 1 Patel Exp. 12 14 Heppner EGO.



第 7 図(a) Pioneer 1 で測定した磁場変動の振幅の Power Spectrum. (after Sonett et al)

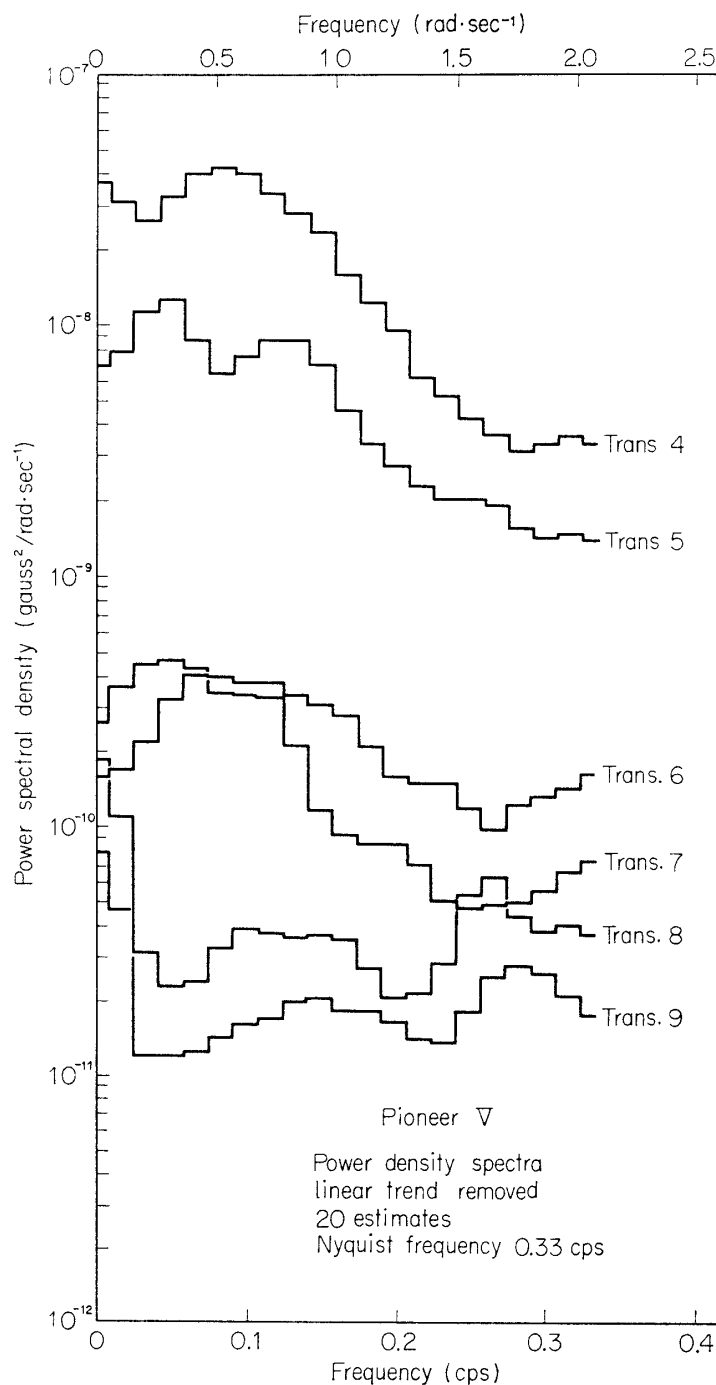


第7図(b) 同じく位相のpower spectrum

一方 Solar Wind の中にはたとえば Coleman (1964) の示すような変動が含まれている (第8図). 多分これらの変動が Shock front を横切る際 shock の形成によって波数空間のエネルギー再分配がおこり. Shock 構造に関係ある特性的周期が現はれるものであろう. なおまた Coleman の示すところによれば, Magnetosphere 内部では fluctuation の power は地球に近づくと急速に大きくなる成分がある. おそらく Ring Current の変動や ionosphere current の変動がその起源になっているものと予想される. また EGO の結果では, Shock front 近傍に見られる  $1 \text{ c/s}$  の変動は Transition layer 中で急速に減衰しこれが粒子の加熱に寄与しているものと考えられている.

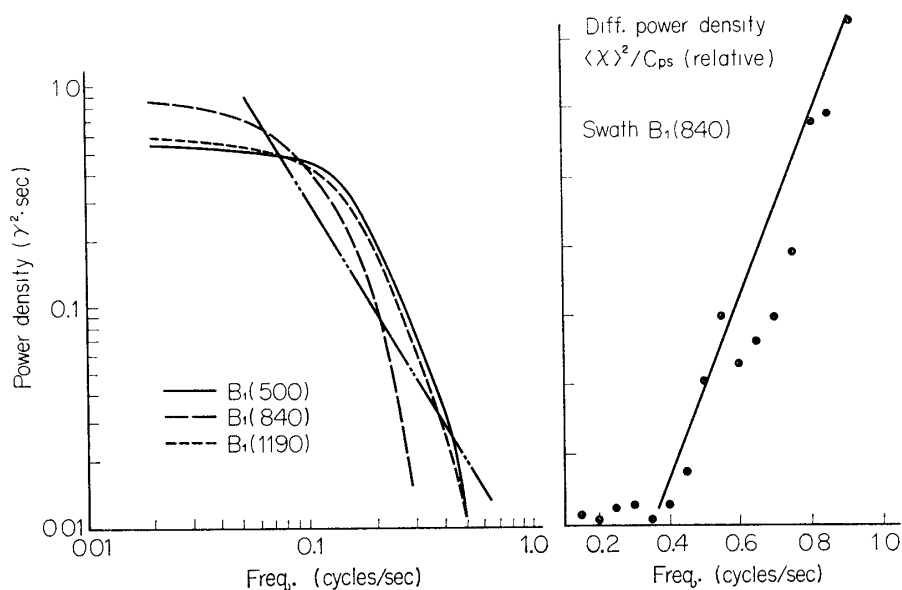
Transition layer 中の乱れがもし stationary turbulence に近いものであるならば, その内部でのエネルギーの流れは一般の turbulence と似たような形で波数の小さいものから大きいものに向いているであろう. Sonett (1963) の解析によれば, Transition layer 中の fluctuation は  $0.5 \text{ c/s}$  あたりを境としてそれより波長の長いものは isotropic mode の波であり, 短いも





第 8 図 Pioneer 5 で測定した磁場変動の振幅の power spectrum, 4 は magnetopause やや内側, 5 は transition layer の中, 6 ~ 9 は shock front の外側に対応する。(after Coleman)

のは Alfvén mode の波であることが知られる(第 9 図). もしこれが事実とすれば Transition layer の中では mode の変換を伴った energy transfer がかなり効果的に行なわれていることを示している. ただしこのような考えは Shock front 近傍に見られる 1 c/s の fluctuation の説明にはきわめて困難である. Transition layer 中の変動を stationary turbulence と見ることに



第9図 Pioneer 1で測定した (a) 振幅のpower spectrum および (b) 位相の power spectrum (after Sonett)

はかなり無理があるであろう。

なお、cavity 内部では時々周期 100 秒以上の Alfvén node の fluctuation が存在することが報告されている (Sonett, 1963 b). これは地上の pc-5 などと同一のものであろうと思われる。

## 2.6. 内部磁場のサーベイ

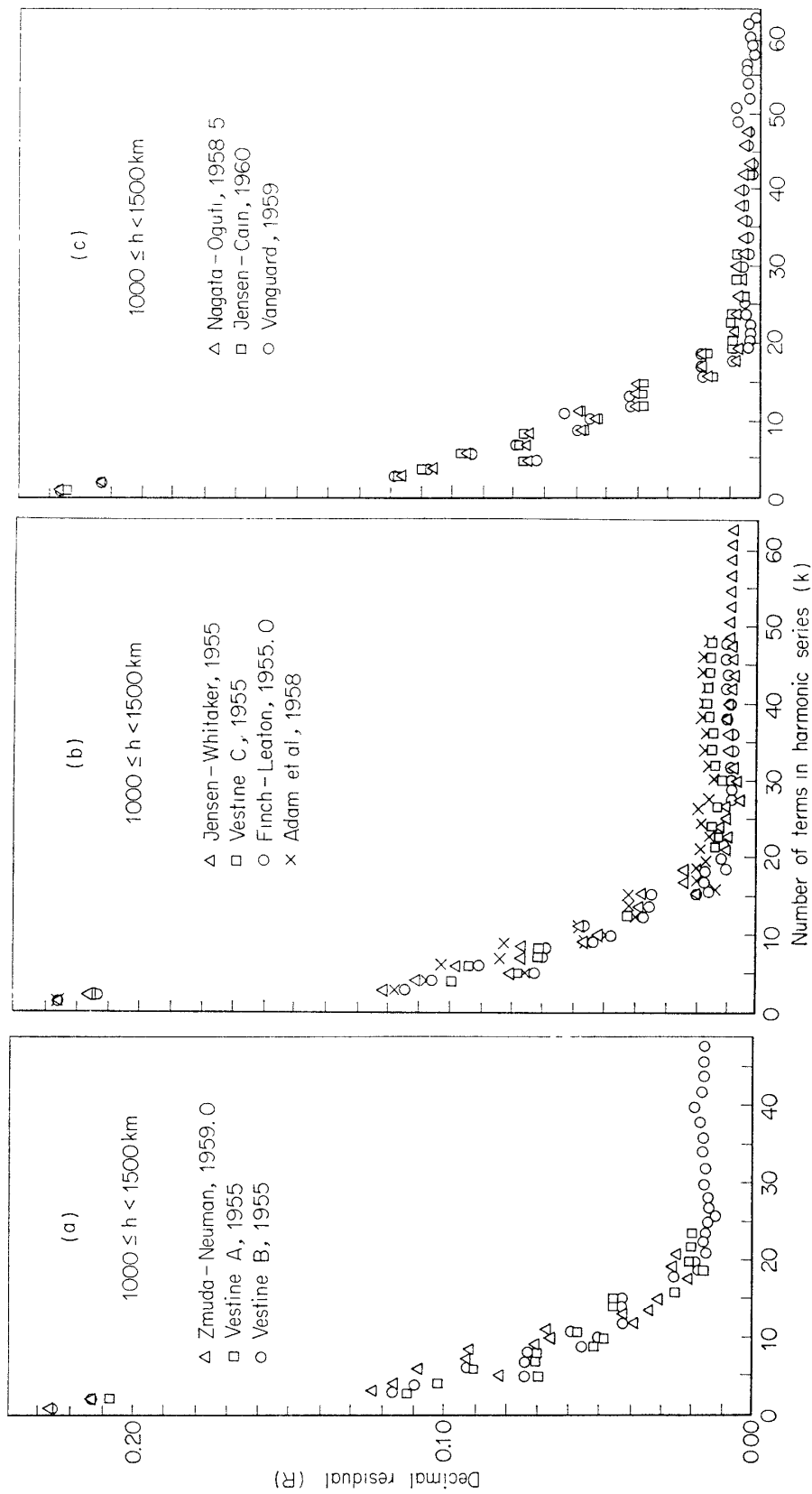
Satellite を使う磁場の観測の一つに内部磁場のサーベイがある。地表の観測を基にして内部磁場を決めるとき地表近傍の small scale anomaly の影響を受けやすいことや、また観測点の分布が一様でないことなどのために制約を受けるが、Satellite を使えば短時間で、Anomaly の影響の少ない一様に分布したサーベイの結果を得ることができる。第10図は Vanguard III の total force の測定結果と地表の値から計算したものとの比較であるが、全体的によく一致していることがわかる (Heuring, 1965)。ばらつきはやはり Satellite の結果の方が少ないようである。

この種の Satellite は上述のように主として field survey の目的に使うことができるが、さらに次のような用途に使えるであろう。それは、この種の衛星記録と地上の結果とを比較することによって電離層内の電流を算定し、これに基づいて地上の記録から電離層電流による部分と更に外側の Cavity 内の電流および Cavity Surface の電流による部分とを分離することである。

## 2.7. 地上観測と磁気圏内の磁場変動

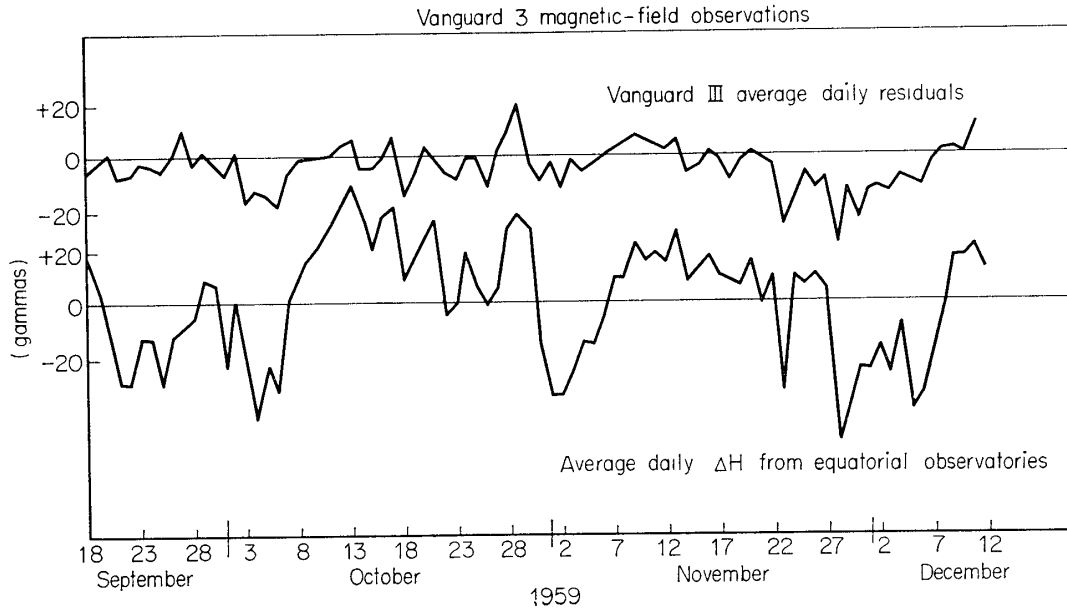
この問題は従来行なわれている磁気嵐の機構の研究に直接に関係のあるもので多くの事実が知られるようになった。

まず一般的に地上の activity の高いとき Solar Wind 中でも磁場の変動が起っていることは Pioneer V の Coleman(1964) の結果やまた Ness 等の IMP-1 の結果に明らかである。



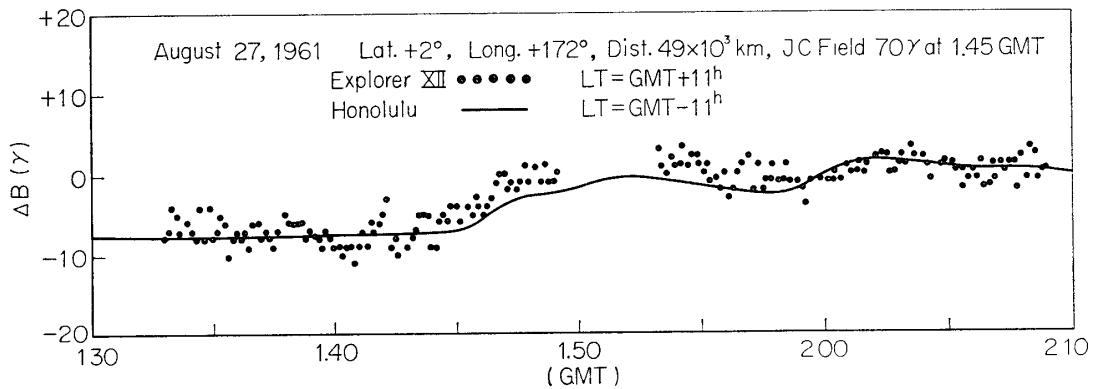
第 10 図 Vanguard 3 で測定した磁場と地上の値から計算したものととの比較 (after Heuring)

Vanguard III の結果(Cain et al 1962)によれば, 地上の Dst 成分と Satellite level での Dst 成分の変動はきわめてよい平行性を示し, 主たる origin が Satellite level の上にあることがわかる(第 11 図), なお継続時間が2~3時間程度の変動でも satellite level と地上とで parallel に変化するものがあり, これらが Dst 成分の短周期変動であることを示している. 彼らの結果には電離層電流の影響があまり出ていないようであるが実際 correlation を詳しく調べることによってそれを取り出すことは可能であらう.

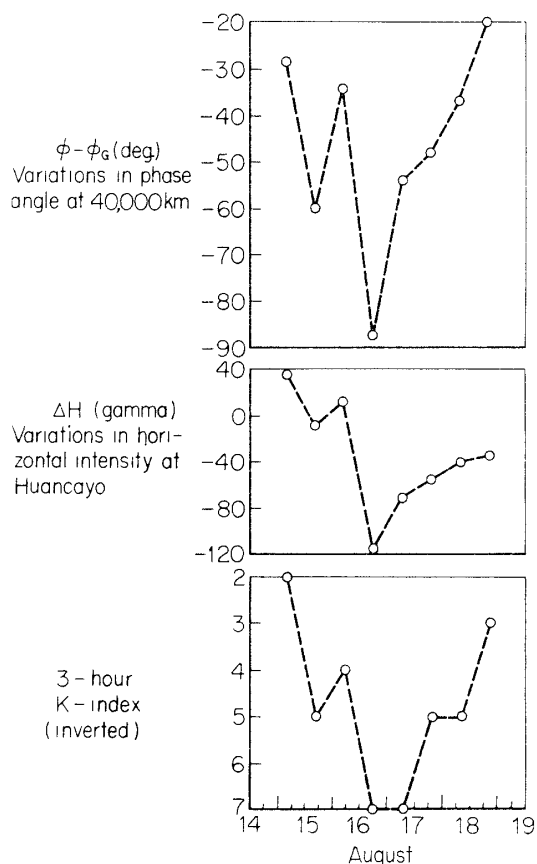


第 11 図 Vanguard 3 の高さにおける Dst と地上の Dst との比較 (after Cain et al)

Magnetopause の動き, あるいは cavity 内の磁場の膨張, 収縮と地球上での磁場変動の関係についてはこのほか Hirshberg, (1963), Nishida and Cahill (1964) らによって報告される種の地磁気変動, たとえば Si のようなものが cavity の収縮や膨張に対応することが示されている(第 12 図).



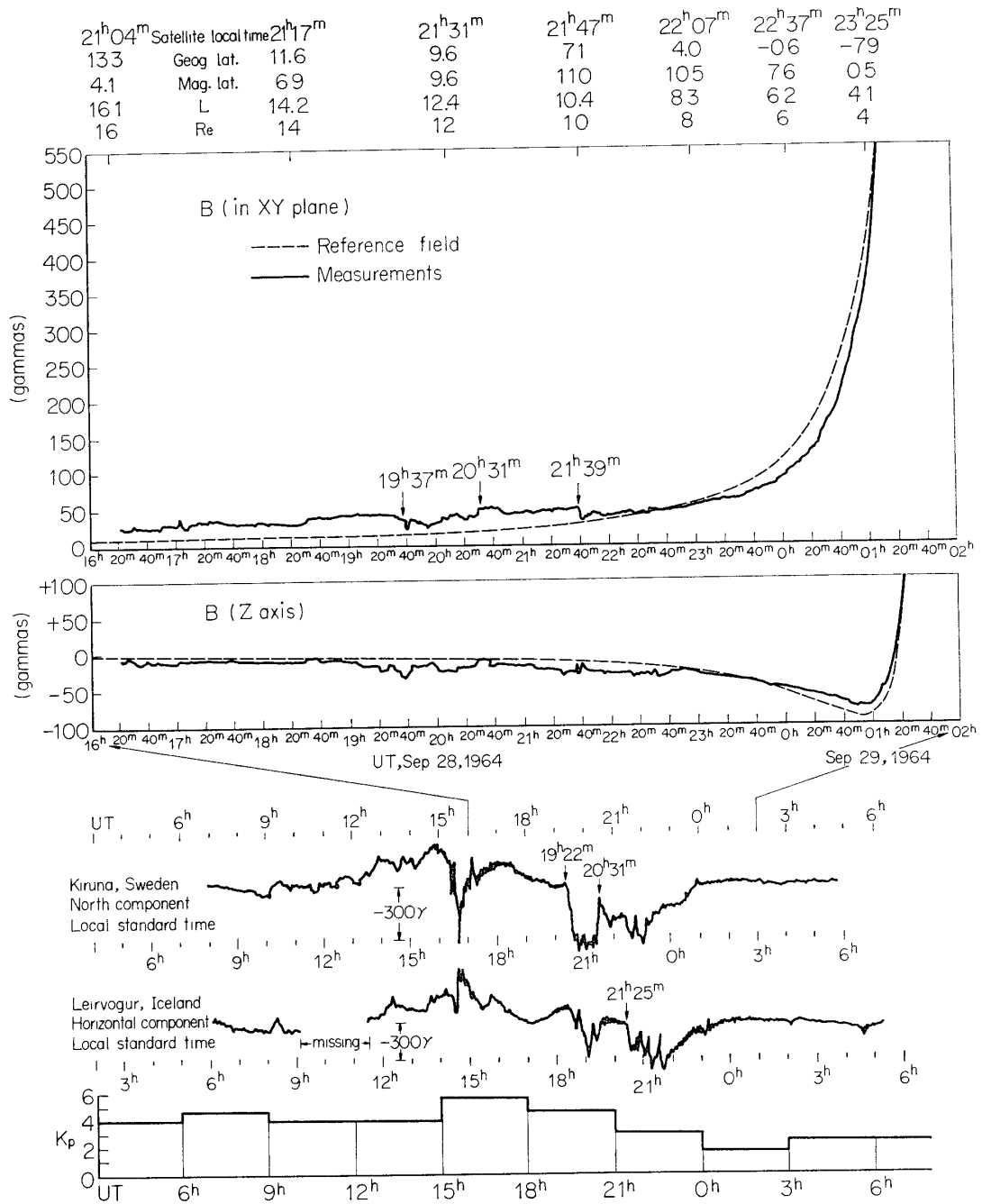
第 12 図 Exp 12 と地上 (ホノルル) における Si の比較 (after Nishida and Cahill)



第 13 図 Exp 6 の測定による磁場の向きの変動と地上(Huancayo)の  $\Delta H$  および  $K$  index の変動との対比 (after Smith et al)

一方 Smith ら (1964) は Exp. IV の資料から地上の Dst および  $K$  指数の増加に伴って magnetosphere 内部で磁場の分布が変わり、磁場の減少と同時に磁場の向きが大幅に sun-earth line に近づくことを示した (第 13 図)。この結果は明らかに  $S_1$  とは本質的に異なり、Cavity 内の plasma energy の増加に伴って Cavity surface からかなり効果的に momentum transfer が行なはれていることを示している。この際  $K$  または Dst の増大に伴って Cavity boundary の位置が地球に近づくことに注意を要する。つまり Cavity の頭部の体積は減少し、かつ Cavity 内部では地球近傍まで含めて磁場は弱くなっている訳である。flux の保存から言ってこの磁場は当然 Tail 中に流れ込んでいるのでなければならない。この間の事情は、EGO の測定結果 (Heppner 1965) に明らかである (第 14 図)。すなわち Cavity の頭で減少した磁場 Dst に対して Tail 内部には明らかに全体的な磁場の増加が見られ、かつその増加はおおむね Cavity の頭での減少に見合うものであることがわかる。

Bay と Tail 中の磁場の関係は Dst の場合と逆のようである。第 14 図に見られるように地上で Bay がおこるとき、つまり地表近傍へ粒子の入射が起っているときにはおおむね減少の傾向を示す。と言うことは Tail 中の粒子 flux が急速に増加するか、または sheet Current が急速に減少することに対応する。Tail 中で知られている粒子 flux と磁場の強さの逆相関



第 14 図 EGO の測定による Gcomagnetic Tail の磁場変動と地上の Storm および Bay との対比。一般的に Storm のときは Tail の磁場が強められ Bay のときに弱くなる様子がわかる。(after Heppner)

(Heppner, 1965) から判断すれば第一の考えが正しいように思われる。ただし、入射領域は狭い領域に限られており、したがって粒子 flux の増加も限られた領域でしか起らないとすれば、全体としては、相関はむしろ正になる場合の方が多いように思われる。今のところではまだ観測例が少くどちらとも言えない。いづれにしても入射粒子の加速には加速の効率などから推定して電場が本質的役割を果しているであろう。おそらく sheet の

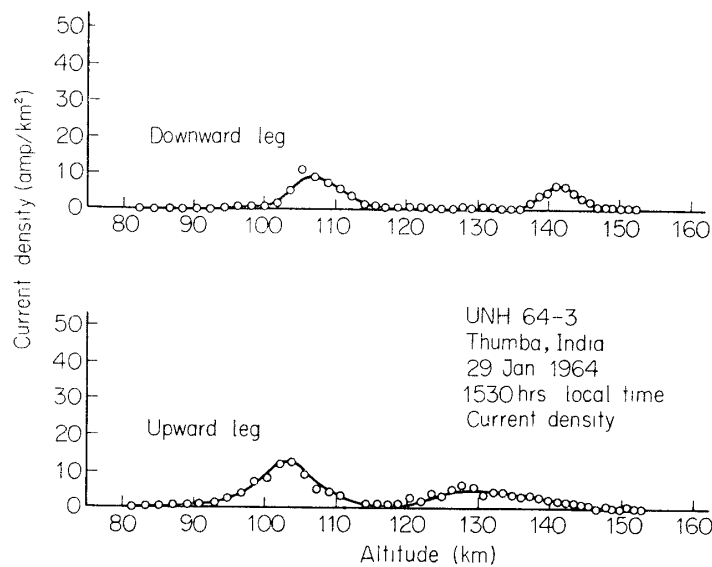
instability によって起る Transient な  $E_{//}$  があづかって力あるものと思はれる。

### 3. ロケットによる磁場の観測

2 に述べたものと異なり、この項目では主として電離層中の電流系の観測が主目的となる。先に述べた円軌道衛星もこの目的に使えるが、電流系の微細構造やその物理機構を明らかにするにはやはり依然としてロケットによる電離層中の磁場その他の諸物理量の測定が有効である。従来行なはれているこの種の磁場観測を地域的に分類すれば、(1)磁気赤道、(2)中低緯度、(3) Auroral zone、(4) Polar Cap にわけられる。いずれも従来の観測は電流系の高さ分布に焦点が絞られ、わづかに Maynard & Cahill (1965)、Davis et al (1965) などの観測が物理的機構に立入っているに過ぎない。

#### 3.1. 磁気赤道における観測

磁気赤道における磁場測定は 1951 年 Singer ら (1951) によって行なわれ、さらに Cahill (1951)、Maynard and Cahill (1965) 等が詳細に研究を続けた。Maynard & Cahill によれば磁気赤道付近の水平電流は二層存在する (第 15 図) ことがある。第一の層はいわゆるダイナ

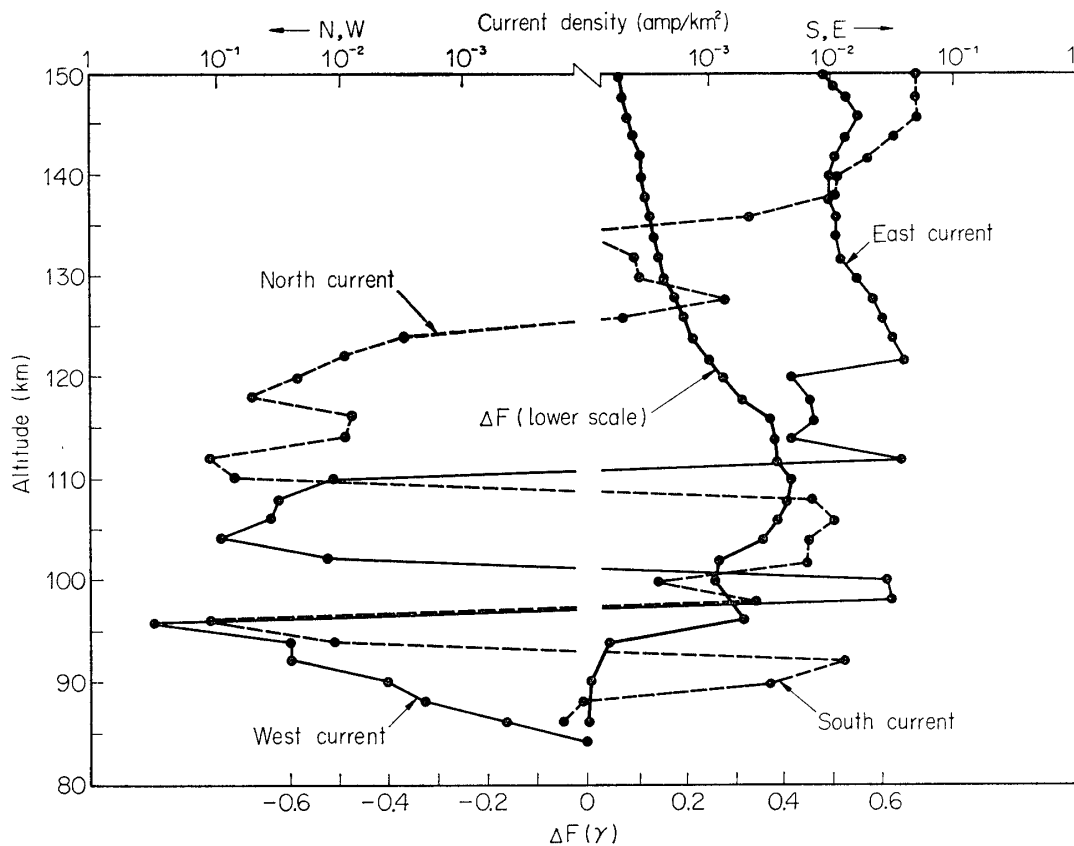


第 15 図 磁気赤道における電離層電流系の高さ分布  
(after Maynard and Cahill)

モ領域であって 100~110 km の高さに位置し、第二層は 130~160 km あたりに現われるもので、その高さは測定によってかなり変動する。この 2nd layer の存在は dip equator 近傍に限られ、その両側では消失し、1st layer が厚くなっているということである。かつまた 2nd layer は磁場変動の影響を敏感に受けて activity とともに大幅に変動すると報告されている。詳細の点はまだ不明であり 2nd layer の成因それ自身も必ずしも明らかでない。

#### 3.2. 中緯度地方の電流系

中緯度地方の電流系については Wollops 島や Woomera らにおける  $S_q$  の観測がある。Davis et al (1956) は磁場測定とはほぼ同時に行なはれた風の観測、イオン密度の観測から推



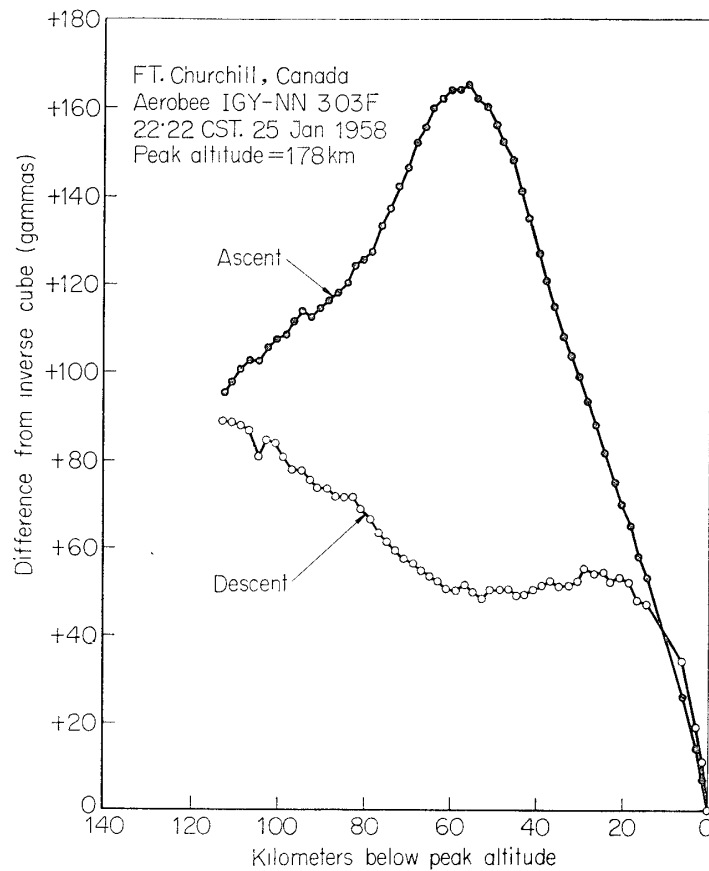
第 16 図 ロケットにより測定されたイオン密度，風速などから計算された磁場分布 (Wallops 島上空) (after Davis et al)

定される磁場変動と実際に測定した磁場とを比べているが (第 16 図)，この場合は不幸にもほとんど磁場変動のない時刻に対応し，推定値も観測値もいずれも観測にかからない程度と言うことで，それ自身 consistent ではあっても，積極的に風，イオン密度，電流系の強さの関係を示すことはできなかった。将来の電流系の観測としては，この線に沿って総合的観測を行ない，ダイナモ理論の検証と言う面に向うべきであると考えられる。3.1. に述べたように Dip equator 付近には高さの異なる二層の電流系が発見されているが，中緯度にはそのようなことはないのか，あるいは Sq と DS あるいは Bay current layer のは同一か否かなど問題は多数残されている。従来の測定はほとんど全磁力のみであるが，中緯度におけるこれらの研究には是非とも三成分の測定が必要である。

### 3.3. Auroral Zone での測定

Auroral Zone における観測結果は Meredith et al(1961) によって報告されている。Auroral zone における最大の特徴は他の地域と異なって電流が sheet と近似できないことである。このようすは第 17 図によって知ることができる。すなわち片方は高度に対する磁場変化がきわめて薄い領域の中でおこっており，他方 Auroral zone の結果ではその変化が既に地上から見られると言う事実を見ればよいわけである。したがって Auroral zone における磁場測定に関しては全磁力は問題にならず三成分以外のものは考えられない。三成分測定によって



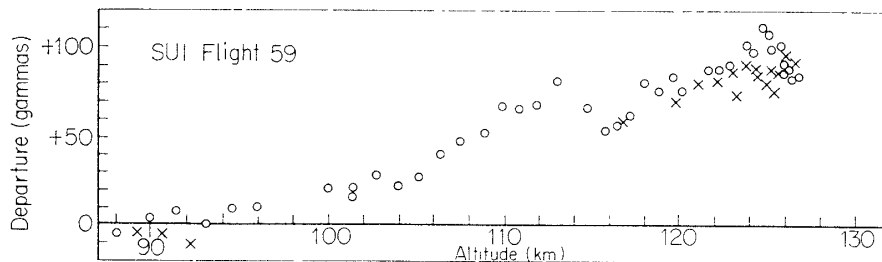


第 17 図 チャーチルにおいて測定された磁場の高さ分布  
このあたりの電離層電流が sheet current でないことはこの磁場の分布から一見して明らかである。(after Meredith et al)

Aurora 中の電流分布, 先ほど述べた  $E_{//}$  による Petersen current の磁場の測定なども始めて可能になるであろう。

### 3.4. Polar Cap の電流系

Polar Cap 中の電流系の測定としては Cahill (1959) がグリーンランド沖で行なった例がある。ここでは電流系は再び sheet 状に存在することが第 18 図で明らかである。



第 18 図 グリーンランド沖において測定された polar cap 内の磁場の高さ分布 (after Cahill)

## 4. ま と め

以上述べた事柄の中から特に近い将来の我々の研究につながってくると思われるものを拾ってみれば次のようなものであろう。

### 4.1. 円軌道 Satellite によるもの

Polar orbit の Satellite に三成分磁力計を搭載し、連続観測を行なう。この目的は前にも述べたように地上の観測結果と比較することによって、地上の地磁気変動の中から電離層中の電流に起因するものと、その外側に origin を持つものとを分離することである。従来ともすればきわめて機械的な方法で電離層中の電流の影響として地磁気変動を見るが多かったために我々は磁場変動の分類と言ったような全く初歩的な段階ですでに誤りを侵しているのではないかと言う疑念を晴らすことはきわめて重要であると思われる。それぞれの磁場の変動をそれぞれの origin に分離して独立に追求するためにこのような観測は必須条件と考えられる。なおこのような観測によれば、Petersen current の影響も測定することができるであろう。

### 4.2. ロケットによる観測

Auroral zone における電流の立体的分布を調べるのに三成分の測定が絶対に必要であることは前に述べたが、中緯度においても我々は三成分観測によってのみ電流の立体的構造を求めることができる。風の高さ分布、イオン分布などに対応した磁場の分布を合乗りで測定することによってダイナモ理論の検証を行なうことが中緯度における当面の問題であるように思われる。なお、赤道地方に存在するような 2nd layer は中緯度には存在しないのかどうか Ds の Bay の current sheet は Sq 系と同一 level にあるのかどうかなどもきわめて重要な問題である。

### 4.3. 三成分の観測法

三成分を測定するためには Reference として Solar Sensor および Horizon Sensor を併用する方法が考えられる。この場合たとえば flux gate core とこれらの Sensor のなす角の測定、および flux gate による Total force の測定と言う方法がおそらく最も考えやすい方法であろう。なぜならこの場合には、ロケットのスピンの Precession に関係なくこれらの角度はほぼ一定に保たれ時間的変動はゆっくりであって、その追跡は割合に精度よく行なわれるであろうと言うことと、さらにもし flux gate core を自動追尾にしておけば、Total force 自身の変化も時間的にはゆっくりしたものとなり Dynamic Range をあまりひろげる必要がなくなり精度を上げることができるという二つの点からである。ただしこの場合には現段階では各 Sensor および Flux gate core の response およびその pointing の精度が大きな問題になるであろう。さらにまた制限重量の中に二種の Sensor を積むことが可能かどうかと言う問題も起ってくるであろう。これらのことを考えあわせると将来の方法としては非常に便利であってもすぐに実行可能と言うわけには行かないかも知れない。

おそらく Sensor のかわりに単に Solar Monitor, Horizon Monitor を用い、ロケットの姿勢を精密に追跡することの方が現在の段階ではより実用的であろう。たとえば Horizon Monitor および Solar Azimuthal Monitor を併用して Spin 軸の Azimuth を求め Spin 軸に対する

elevation angle の異なった二組の Horizon Monitor の差から Spin 軸の elevation を求める  
 というような方法が精度の点からも搭載重量の点からも実現しやすい案であろう。ただしこの場合は Sensor を使う場合と異なり各成分は  $0 \sim F$  の間で変化する可能性があるので測定の精度を上げるためには Step-Reference を用意しなければならない難点はあるが、これは回路的にはさほど重量を増さずに可能であろう。

ロケット, Satellite いずれの場合にせよ地磁気の測定は従来の Total force だけでは結局 reduction の段階で大きな ambiguity を残すことになり、今後三成分観測の方に向って行かなければもはや進展が見られない段階に達しているように思われる。

1966 年 7 月 23 日

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Cahill, L. J. Investigation of the equatorial electrejet by rocket magnetometer, J.G.R. **64**, 489, 1959.
- [ 2 ] Cahill, L. J. Detection of an electric current in the ionosphere above Greenland, J. G. R, **64**, 1377, 1959.
- [ 3 ] Cahill L. J. Jr. Inflation of the Magnetosphere near 8 Re in the dark hemisphere, Univ. of new Hampshire, UNH-65-4, 1965.
- [ 4 ] Can, J. C., J. R. Shapiro, J. D. Stolarick and J. D. Heppner Vanguard III Magenetic field observations J. G. R. **67**, 5055, 1962
- [ 5 ] Coleman, P. J. · Jr. Characteristics of the region of interaction between the inter planetary plasma and the geomagnetic field, J. G. R. **69**, 3051, 1964.
- [ 6 ] Davis, T. N. J. D. Stolarick and J P. Heppner, Rocket measurement of Sq current at midl-atitude, J. G. R. **70**, 5883, 1965.
- [ 7 ] Heppner, J. P.: Recent measurement of the magnetic field in the outer magnetosphere and boundary regions, NASA, Rep X-612-65-490, 1965.
- [ 8 ] Heuring, F. T. · Comprarison of some recently defined geomagnetic models to the Vanguard III data. J. G. R. **70**, 4968, 1965.
- [ 9 ] Hirshberg, J. · Motions of the magnetospheric boundary and surface magnetic activity during the flight of Exp. X, J. G. R. **68**, 5917, 1963.
- [ 10 ] Maynard, N. C. and L. J. Cahill Jr. Measurement of the equatorial current from rocket experiments near the geomagnetic equator, J. G. R. **56**, 215, 1951.
- [ 11 ] Meredith, L. H., L. R. Davis, J P. Heppner and O. E. Berg · Rocket auroral investigations, Ann. E. G. Y. **12**, 631, 1961.
- [ 12 ] Ness, N. F. : The earth's magnetic tail, J. G. R **70**, 2989. 1965.
- [ 13 ] Ness, N. F., C. S. Scarce, J. B. Seek and J. M. Wilcox, A summary of results from the IMP-1 magnetic field experiments, NASA Rep. X-612-65-180. 1965.
- [ 14 ] Nishida, A. and L. J. Cahill. · Sudden impulses in the magnetosphere observed by exp 12, J. G. R. **69**, 2243, 1964.
- [ 15 ] Singer, S. F., E. Maple and W. A. Bowen Evidence for ionospheric current from rocket experiments near the geomagnetic equator J G. R. **56**, 265, 1951.

- [16] Smith, E. J.: A comparison of Explorer VL and Explorer X magnetometer data J. G. R. **67**, 1858, 1962.
- [17] Smith, E. J., C. P. Sonett, and J. W. Pungey: Satellite observations of the geomagnetic field during magnetic storms. J. G. R. **69**, 2669, 1964.
- [18] Sonett, C. P., A. R. Sims and I. J. Abrams: The distant geomagnetic field, J. G. R. **67**, 1191, 1962.
- [19] Sonett, C. P.: Microstructure of a disordered Hydromagnetic medium in the collisionless limit, J. G. R. **68**, 1265, 1963.
- [20] Sonett, C. D.: The distant geomagnetic field long period oscillations J. G. R. **68**, 6371, 1963.

#### 質 疑 討 論

- 大林: magnetic bay にさいして磁気圏内部および Tail 場の変化が地上変化と consistent であるか.
- 小口:  $AB$  変化の起る範囲のひろがりかわからないからはっきり言えないが, energy 的には大きな矛盾はないように思われる.
- 平尾: space vehicle の測定と地上の測定との間で現象のおきる時間差がかなり大きいと思われるが.
- 小口: 時間差は地上の現象を見ている場所および space vehicle の場所の違いで起り得る. 特に夜間側でのばらつきが著しい.  
現に cavity 内の inflation の例がある以上 bay が tail の inflation に伴うと言う Heppner の考えは疑わしい.