

磁気圏 ULF 波動

林 幹 治*

ULF Waves in the Magnetosphere

—A Review for 1978—

Kanji HAYASHI*

Abstract: Pc 3–5 geomagnetic pulsations which are currently considered to be generated in the magnetosheath and resonated to a matched period of toroidal oscillations in the magnetosphere have added an advanced recognition of azimuthal wave characteristics propagating from the noon meridian in the magnetosphere, based upon multipoint observations both along the geostationary orbit and along the auroral zone on the ground.

Examples supporting a local field line resonance model are found for Pc 4 within the plasmasphere. Another class of micropulsations which are generated within the magnetosphere associated with ring-current proton and auroral zone disturbances are also reviewed.

要旨: その発生が磁気圏の外部の環境に強く依存している Pc 3–5 について、静止軌道上ならびに地上の極光帯での経度方向の多点観測に基づいた解析がなされ、経度方向の波数 5–15 ($1/2\pi$ rad) の波が正午付近を起点に朝方、夕方方向へ L-shell に沿って伝わっていることが示された。さらに plasmopause の内側の Pc 4 については磁気子午面に沿った多点観測により磁力線の局所的共鳴の実例が示された。さらに磁気圏内部に発生原因を持つ Pc 1, P1 脈動その他について最近の観測結果、現況を述べる。

1. 序

原因論としての地磁気脈動の研究は領域的に、(1) magnetosheath を中心とした magnetosphere の外部、(2) plasma sheet とその延長上にある夜側の auroral zone, ring current 領域等の外部磁気圏に現在向けられている。これらの領域は多くの観測事実が示すように、波動の原因となり得る動力学的特性においても、プラズマの内部状態においてもきわめて活動的である。このような「原因領域」では、しかし、波動の原因となる諸特性と波動現象の結合が大きく、観測結果の解釈、理論的モデル化の上での困難が一般に大きい。

* 東京大学理学部地球物理研究施設. Geophysics Research Laboratory, University of Tokyo, 3–1, Hongo 7-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 113.

一方、上のような原因領域に隣接あるいは離れた磁気圏、電離圏の諸領域には、伝わる波動に対して受動的特性が顕著になり、経過論的アプローチが可能な領域が存在し、観測、モデル化の上の困難は前者における場合より少なくなる。

前回のこのシンポジウムでは、原因論的立場からは主に Pc 3, Pc 4 の solar wind control という観点で、経過論的側面からは Pc 3-Pc 5 についての toroidal mode による localized

field line resonance の観測的裏付けを中心に review がなされた (国分, 1979).

今回は、主に 1978 年中に発表された結果を中心に、Pc 3-Pc 5 の field line resonance model に関係するその後の観測的進歩、Pc 1, Pi 脈動についての現況について述べる。全体的に見て、以下に見られるように人工衛星、地上観測ともに多点観測による結果が中心となってきたことが印象的である。

2. Pc 3, Pc 4, Pc 5

地上、磁気圏内での経度方向の多点観測の結果が出始め、波の L-shell に沿った特性が明らかになり始めた。

HUGHES *et al.* (1978) は ATS-6, SMS-1, SMS-2 の 3 つの静止軌道衛星の観測データを使い、Pc 3, Pc 4 の相互相関スペクトル解析を行った。図 1 は SMS-2 が ATS-6 の 4° 西にある場合 (10-11 h LT) の経度方向の磁場の解析結果で、36 mHz, 23 mHz, 6 mHz の Pc 3, Pc 4 に良い coherence が認められる。36 mHz での位相についていえば、ATS-6 の方が 64° 進んでいて、経度方向の波の波長が 34.2° (波数 10.5) の西方

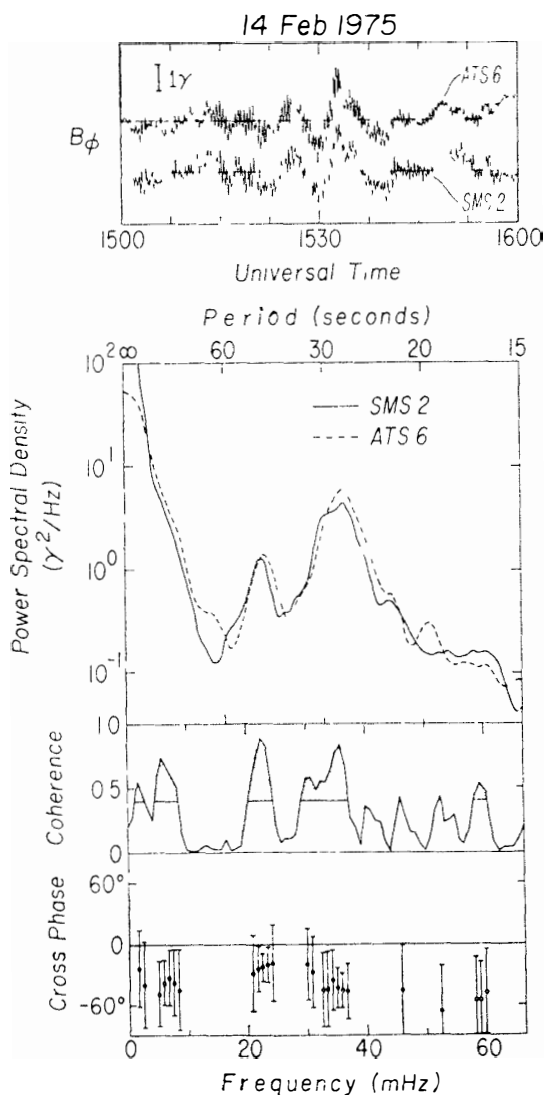


図 1 ATS-6 と SMS-2 とによって得られた経度方向磁場変動のパワースペクトルおよび相互スペクトル (HUGHES *et al.*, 1978).

Fig 1 An example of autospectra and cross-spectra of azimuthal magnetic field measured by ATS-6 and SMS-2 (HUGHES *et al.*, 1978)

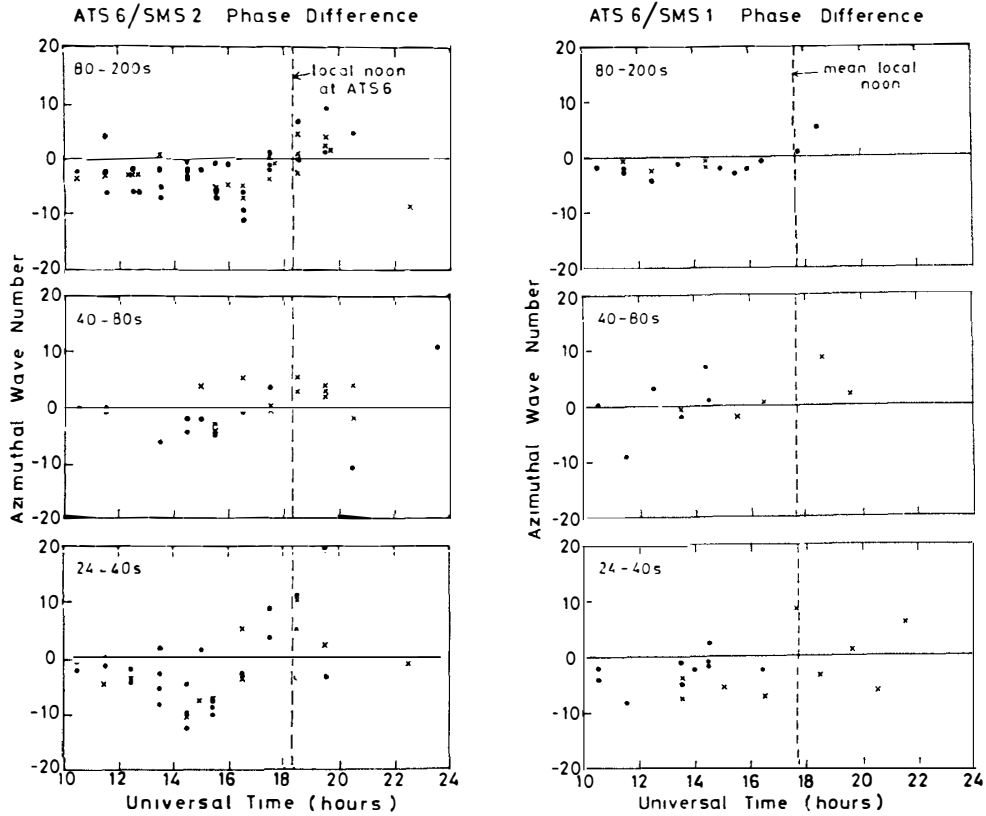


図 2 経度方向の波数の時間帯による変化。人工衛星の正午の時間は破線で示されている (HUGHES *et al.*, 1978).

Fig. 2. The variation of the azimuthal wave number as a function of time observed at the geostationary orbit. Dashed lines indicate local noon (HUGHES *et al.*, 1978).

(朝方) に伝わる波であることがわかる。このような結果を local time に対して統計したのが図 2 で、24-40, 40-80, 80-200 (秒) の周期帯に分けられている。波数はほぼ正午を中心に符号が逆になっていて、その値は 5 内外で明け方の時間帯の値が小さい傾向を示している。これらの結果は、magnetopause での Kelvin-Helmholtz 不安定性による波の励起というモデルに対しては定性的に具合の良い結果ではあるが周期 100 秒の典型的な波数 5 を magnetopause 上に換算してみると 900 km/s というかなり大きな位相速度を与える。2 つの衛星の経度差が数度程度の場合、磁場の経度方向成分の空間的 coherence が良い (図 3) のは午前側の sector で午後側では悪くなる (図 4)。2 つの衛星が午前側で経度差 0.5° 、L-shell 差 0.1 と接近したとき動径成分の磁場変動の coherence が良くなり位相差はほぼ 0° になったが経度方向の成分間には 30 mHz, 7 mHz で 70° , 30° という位相差が残った。これを共鳴 shell を動径方向に横切る場合に生じる位相差と解釈して共鳴領域の厚さをそれぞれ $\sim 0.25R_e$, 0.6

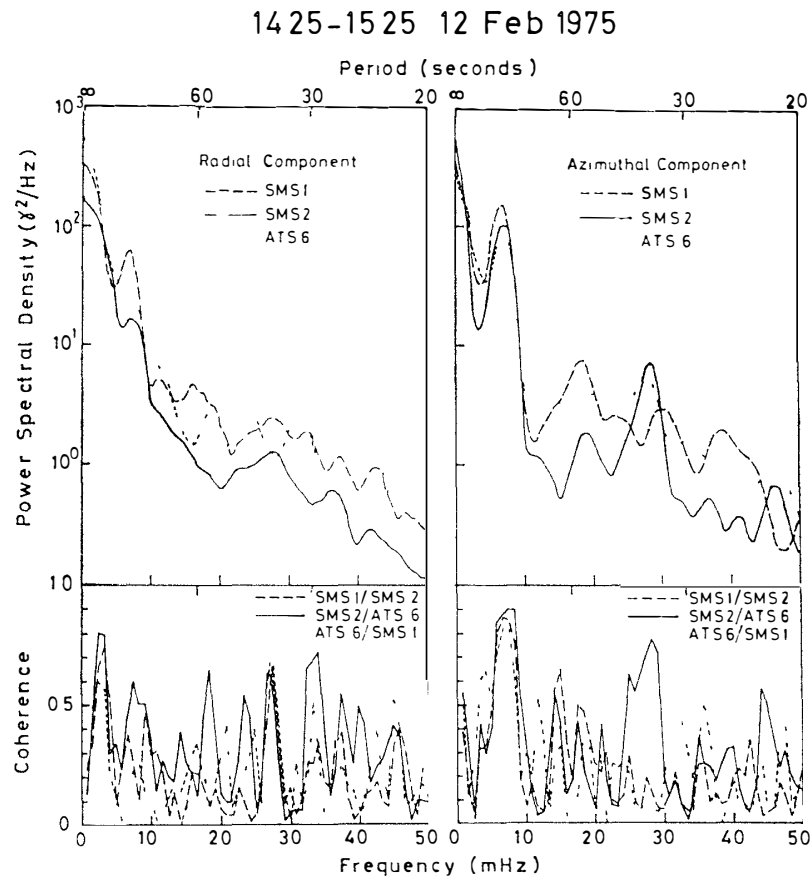


図 3 3 静止軌道衛星によって午前側で観測された地磁気脈動の経度方向成分，動径方向成分のパワースペクトルと相互コヒーレンシー (HUGHES *et al*, 1978).

Fig 3. Spectra and cross-spectral coherency of the radial and azimuthal magnetic fields obtained by the three spacecraft on the geostationary orbit during a typical morning pulsation event (HUGHES *et al*, 1978)

Re と求めている。静止軌道で見た場合午後側の脈動については空間的 coherence が悪く，磁場変動の経度方向の振幅が小さく，経度方向の波数は非常に大きいらしく，storm-time Pc 5 (BARFIELD and MCPHERRON, 1978) の特性と似ている。

上の結果と定性的によく似た結果が auroral zone の東西にほぼ 5° 間隔で並んだ観測点の Pc 4, Pc 5 について得られている (OLSON and ROSTOKER, 1978)。図 5 は波数解析の結果で H 成分， D 成分ともに似た傾向を示し，周波数 ($f \cdot \text{mHz}$) と波数 (m) は $m = (1.4 \pm 0.4)f + 0.26$ という直線関係になる。波数の local time に対する関係は図 6 のように 18-19 UT (10-11 MLT) に符号が変わる。

扱っている周波数帯が少し違うこともあるが，HUGHES *et al* (1978) と OLSON and ROSTOKER (1978) の結果には多少の相異が認められる。静止軌道上で空間的 coherence が良

21:00-22 00 16 Feb 1975

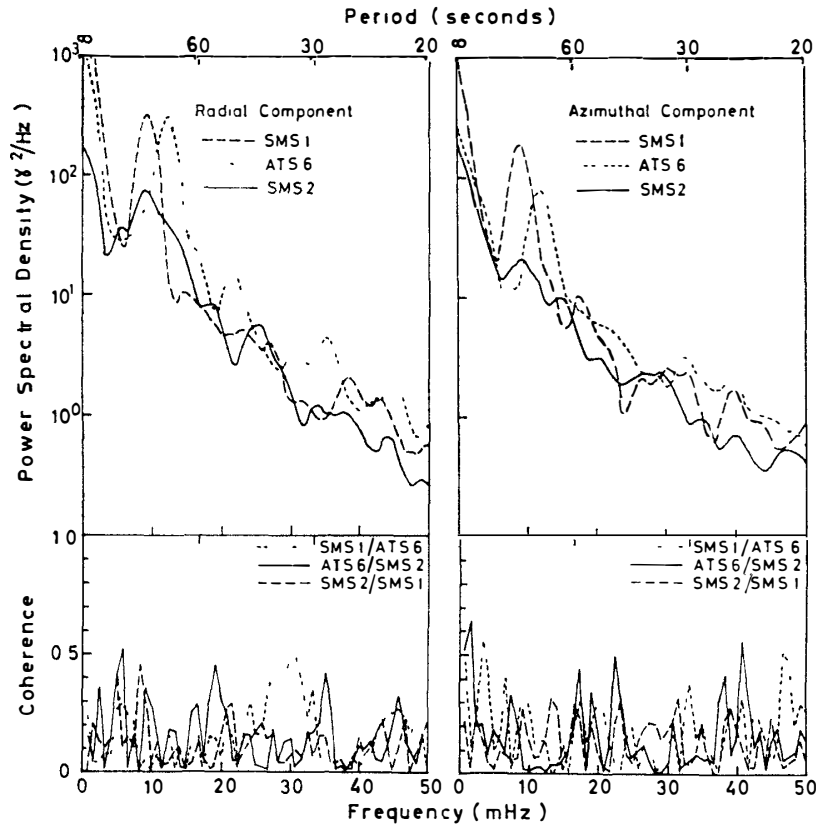


図 4 3 静止軌道衛星によって午後側で観測された地磁気脈動の経度方向成分，動径方向成分のパワースペクトルと相互コヒーレンシー (HUGHES *et al.*, 1978).
 Fig. 4. Same as Fig. 3 but for a typical local afternoon event (HUGHES *et al.*, 1978)

いのは経度方向の磁場変動であるのに対し，地上では H, D 両成分で同じ値の波数が得られている。これは電離層での Hall current の効果による偏波軸の回転 (HUGHES, 1974) が原因と考えられる。波数の値については，Pc 4 帯で見ると地上では 8-15 (図 5)，静止軌道上では 0-10 (図 2) と少なめでばらつきも大きい。周期 100 秒，波数 5 から得られる magnetopause 上に換算した位相速度 900 km/s という値は magnetosheath 中の solar wind 速度よりはかなり大きく，Kelvin-Helmholtz 不安定性を考える上からは具合が悪い。静止軌道上の観測については L-shell のすれによる位相ずれの効果が誤差として含まれている可能性が考えられる。

しかしながら，以上の結果は CUMMINGS *et al.* (1978) によって得られた Poynting vector の結果とも相まって，Pc 3-Pc 5 の波動に正午付近を起点として朝方，夕方へ伝わる mode が存在することを現実的なピクチャーとした。

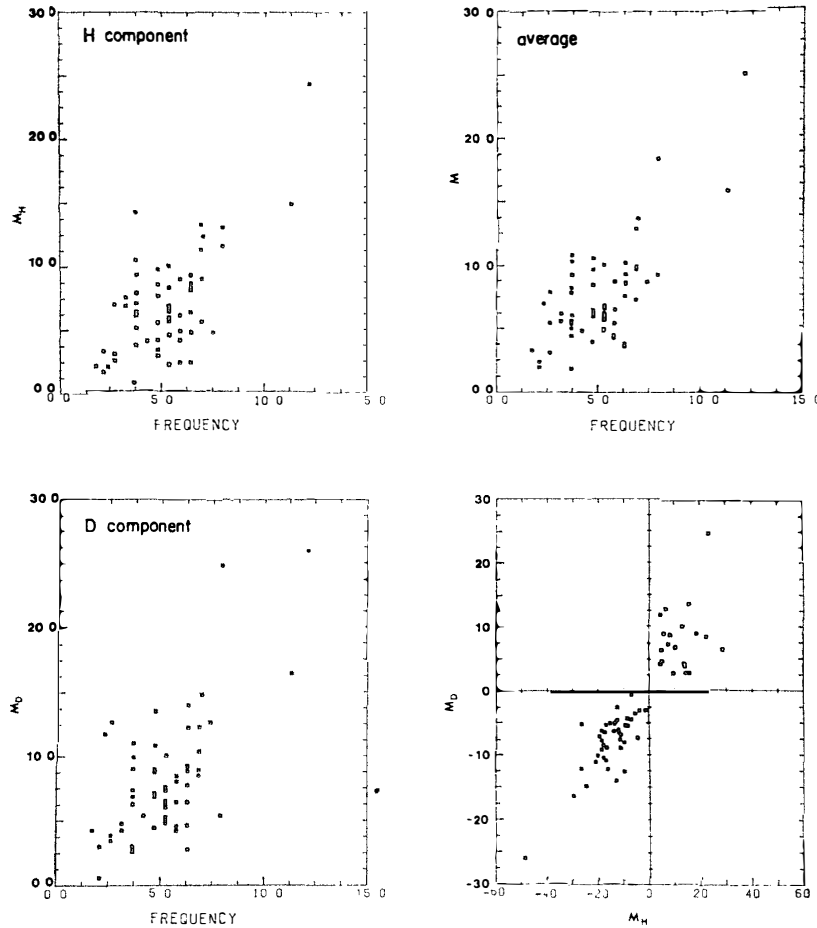


図 5 周波数に対する経度方向波数 (m_H , m_D) の変化と m_H , m_D の相関. m_H , m_D は $m \approx (1.4 \pm 0.4)f + 0.26$ mHz に従う (OLSON and ROSTOKER, 1978).

Fig. 5. Azimuthal wave number versus frequency, and correlation between m_H and m_D . All three panels show $m \approx (1.4 \pm 0.4)f + 0.26$ mHz (OLSON and ROSTOKER, 1978).

Toroidal mode の field line resonance という観点では、磁気圏外よりの伝搬性である isotropic mode の波との結合が大きい plasmopause が、当初より注目されて大きな成功をおさめた (国分, 1979) が、両 mode の結合は磁気圏のような不均一な場では一般的に期待されることであり、GREEN (1978) は plasmopause より低緯度側で観測される Pc 4 について経度線に沿った多点観測によって、local field line resonance を示す結果を得た. 図 7 は地磁気緯度 60° – 52° の 5 点でのフィルター分けした (133–117 秒, 105–87 秒, 80–69 秒) Pc 4 の振幅分布である. H 成分を見れば長周期成分が高緯度, 短周期成分が低緯度の地点で局在的に振幅が大きくなっていることがわかる. それぞれの周期は, 最大振幅となる緯度を plasmasphere の内側と考えた場合の共鳴周期によく合う. 同じ現象について, 各周波数成分の

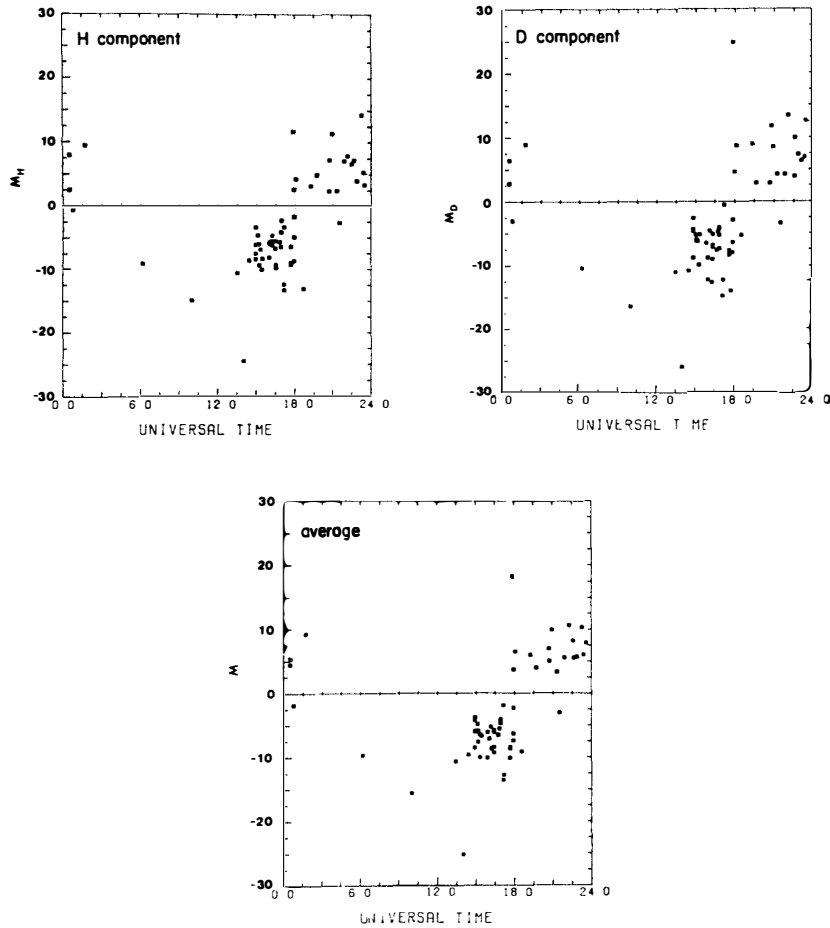


図 6 経度方向波数の UT 依存性. 磁気的正午は 2015 UT 頃, 1800 UT 付近で符号が変わり, この時間から離れるにしたがって生ずる位相の変化が認められる (OLSON and ROSTOKER, 1978).

Fig. 6. Azimuthal wave number as a function of universal time. Local magnetic noon is near 2015 UT. Note the change in sign near 1800 UT, indicating a change in apparent phase motion. The data indicate apparent phase motion away from 1800 UT toward the terminators (OLSON and ROSTOKER, 1978).

位相を高緯度側を基準にした遅れとして緯度に対する変化を見たのが図 8 である. H 成分についての傾向を見ると, 振幅最大の地点で位相の変化率が最大となり resonance model の特徴をよく表している. Polarization はどの周期でも振幅最大の緯度で主軸は南北を向きほぼ直線に近く toroidal oscillation に電離層の効果を考慮すると理論とよく合う.

地上でも観測されるような Pc 3-Pc 5 については以上見てきたように経過論的意味でのかなり明確な理解ができつつあるのに対し, 地上では直接には観測しにくい, いわば resonance model の裏舞台の担い手である伝搬性の mode の波については衛星観測によって断

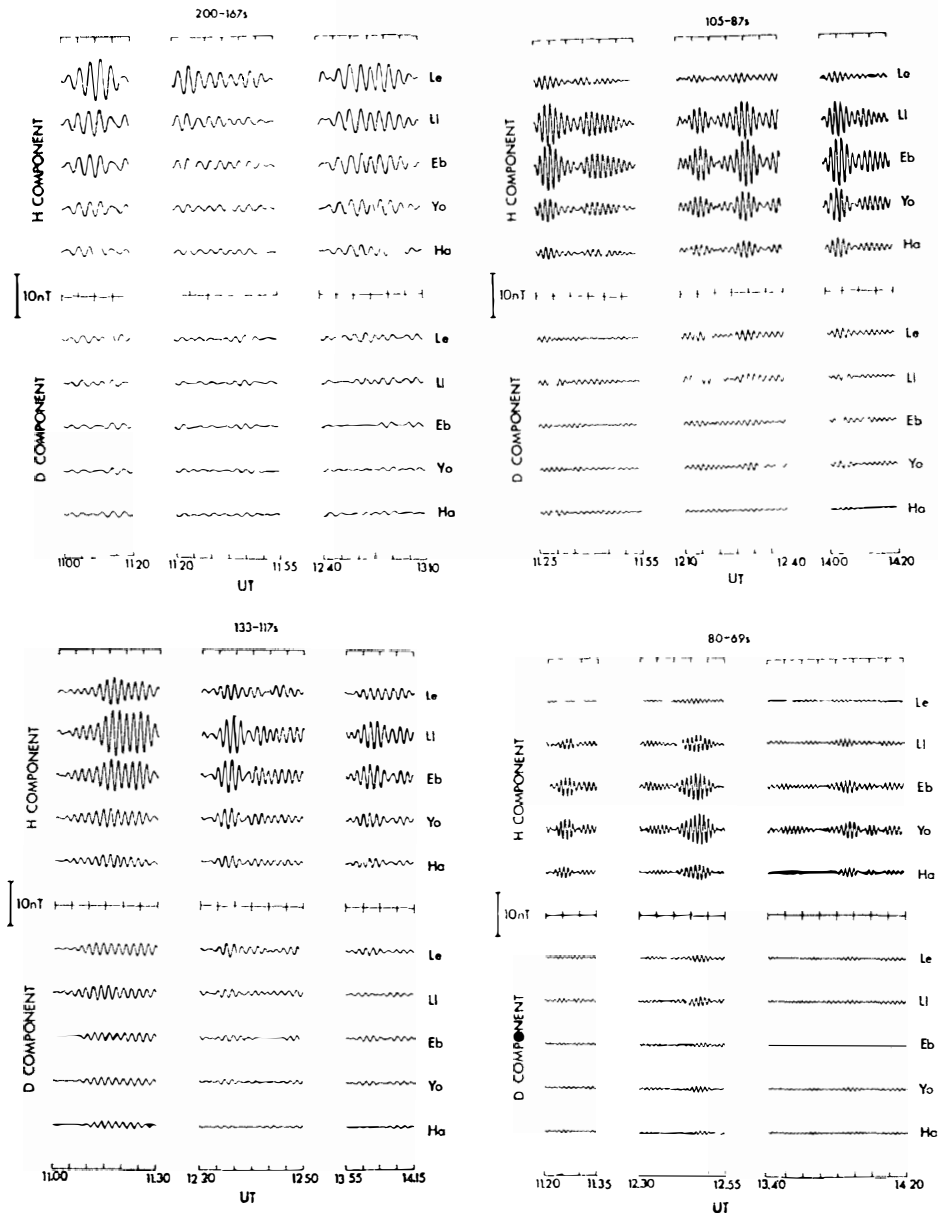


図7 磁気緯度 60° - 52° の間の5地点で観測された Pc4 を色々な周期帯のフィルターを通した場合の波形の分布. H成分で長周期が高緯度側, 短周期は低緯度側で振幅最大になっている (GREEN, 1978)

Fig 7 Examples of filtered wave packets in various frequency ranges for Pc4 events observed at 5 stations distributed in the geomagnetic latitudes between 60° - 52° (the upper corresponds to the higher latitudes) (GREEN, 1978)

片的にその存在が知られているだけで今後のデータの蓄積と解析に待つ点が多い. 理論的には TAMAO (1978) によりこのような波の mode の解析が行われている.

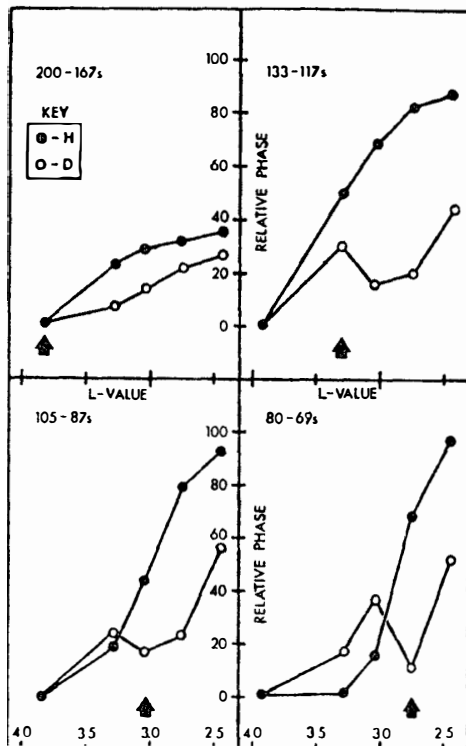


図 8 図 7 の例につき，高緯度側を基準とした位相の平均の L に対する分布．矢印は振幅最大の地点を示す (GREEN, 1978).

Fig. 8. Average wave phase obtained from the data used for Fig. 7, relative to the phase at the highest latitude station vs. L -value. Arrows indicate amplitude-maximum locations (GREEN, 1978)

3. 磁気圏内を発生源とする脈動

3.1. Storm-time Pc 5

午後側の外部磁気圏で静止軌道衛星によりよく観測される。磁気嵐の主相，partial ring current の発達と密接に関連している (BARFIELD and MCPHERRON, 1978)。磁場の変動成分は子午面内に卓越する compressional な波で経度方向の波数が大きい (HUGHES *et al.*, 1978)。

3.2. Pc 1

Ring current proton により励起され，その際低エネルギープラズマの密度が重要なパラメーターになるということで，plasmisphere との関係で近年詳しいモデル計算が試みられた (CORNWALL *et al.*, 1970) が，ROTH and ORR (1975) は Pc 1 の発生と plasmopause の関係を緯度の異なる 4 地点のデータを使い Kp を指標として詳しい統計を行った結果，pearl type の Pc 1 の発生源が plasmopause 付近であることを示した。

Pc 1 の電離層 F 層 (Alfvén 速度極小域) wave guide 伝搬に関して (1) 伝搬路に沿っての減衰特性 (2) 伝搬速度 (3) polarization (4) 子午面から外れた伝搬の有無などへの興味から多点観測が実施されてきた。FRASER (1975a) は auroral zone を東西に伝搬する例を解析し，伝搬速度として 500–2500 km/s を得た。Pc 1 の polarization に関して，auroral zone (2 地点)

と中緯度 (1 地点) の観測結果により発生源に近いと思われる auroral zone では, 40-50% が左回り偏波であり, polarization の状態が急変するようときそのような変化は全観測点で同時に現れると報告されている (FRASER, 1975b).

ALTHOUSE and DAVIS (1978) は $L=1.88-3.2$ の間の 5 点に観測点を置きテレメトリーにより精度の高い観測と解析を行った. Group velocity を平面波 model と点波源 model とに

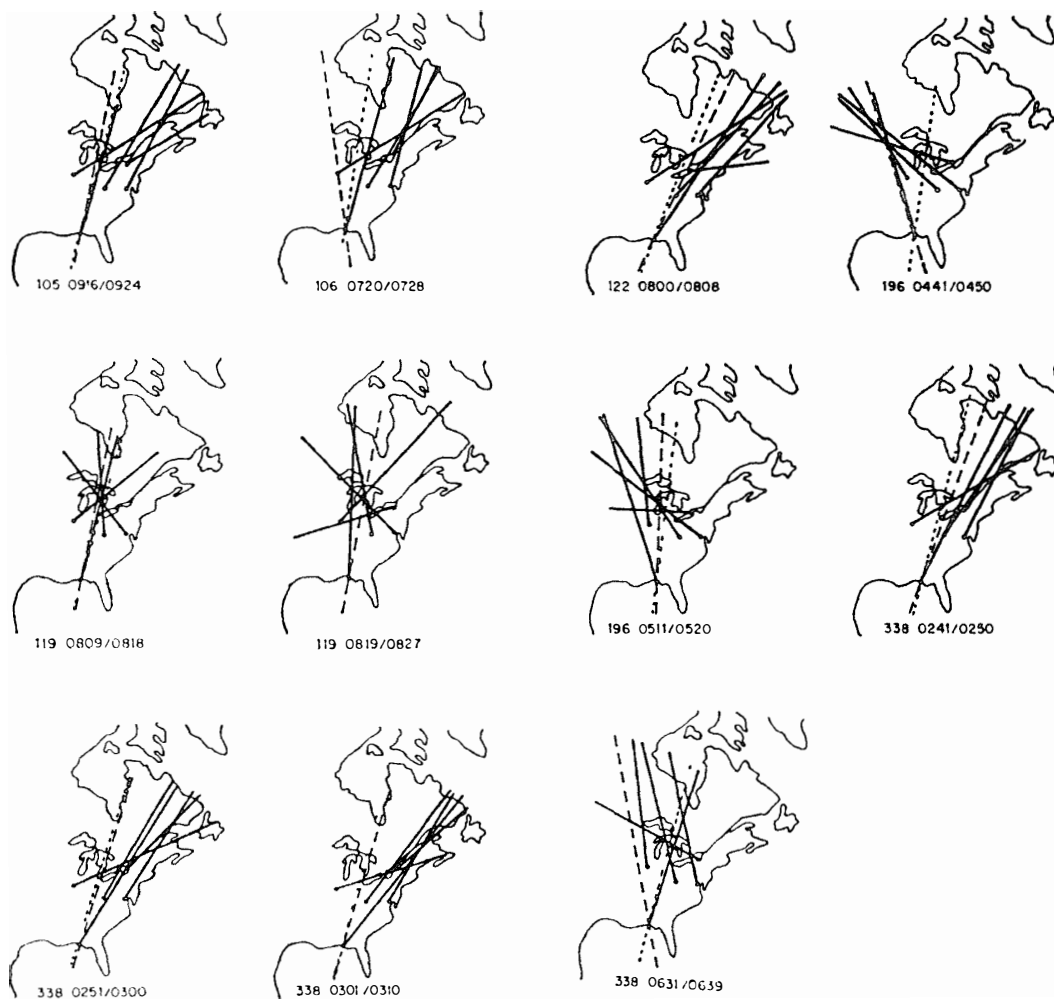


図 9 偏波の主軸 (実線) と平面波と平坦地面を仮定した場合の Pc 1 の伝搬方向 (破線) の比較. 点線は Pc 1 の発生源を点と仮定した場合の伝搬方向 (ALTHOUSE and DAVIS, 1978).

Fig. 9. Polarization major axis projection compared to computed direction of arrival for plane wave, flat earth and source location models. The average inclination of the polarization ellipses at each site is projected to test the hypothesis that the projections point to the secondary source region. For comparison, the direction of arrival for the group wave solution is shown for the plane wave, flat earth method (dashed line) and for the source location method (dotted line) (ALTHOUSE and DAVIS, 1978)

ついて解析してみた結果後者の方が具合が良く、伝搬方向は子午面から大きく外れることはなく、偏波の主軸の方向に近いが必ずしも一致しない(図 9)。伝搬速度は 444-1523 km/s, 最大の減衰率は 13 dB/1000 km, 偏波の右左については一般的傾向が無いという結果が報告されている。

図 10, 図 11 は東京大学, University of British Columbia, University of Victoria が 1976 年カナダのマニトバ州で実施した際、観測された Pc 1 の緯度に対する振幅変化と polarization の統計結果である。振幅分布中最大の減衰率は 70 dB/1000 km に達し、最大振幅地点では左回りの偏波であり、Pc 1 の発生源につながる磁力線の直下に近かったことを示すと考えられる。Polarization (P) を右 (R) 左 (L) の円偏波成分の振幅の割合として $P=(R-L)/$

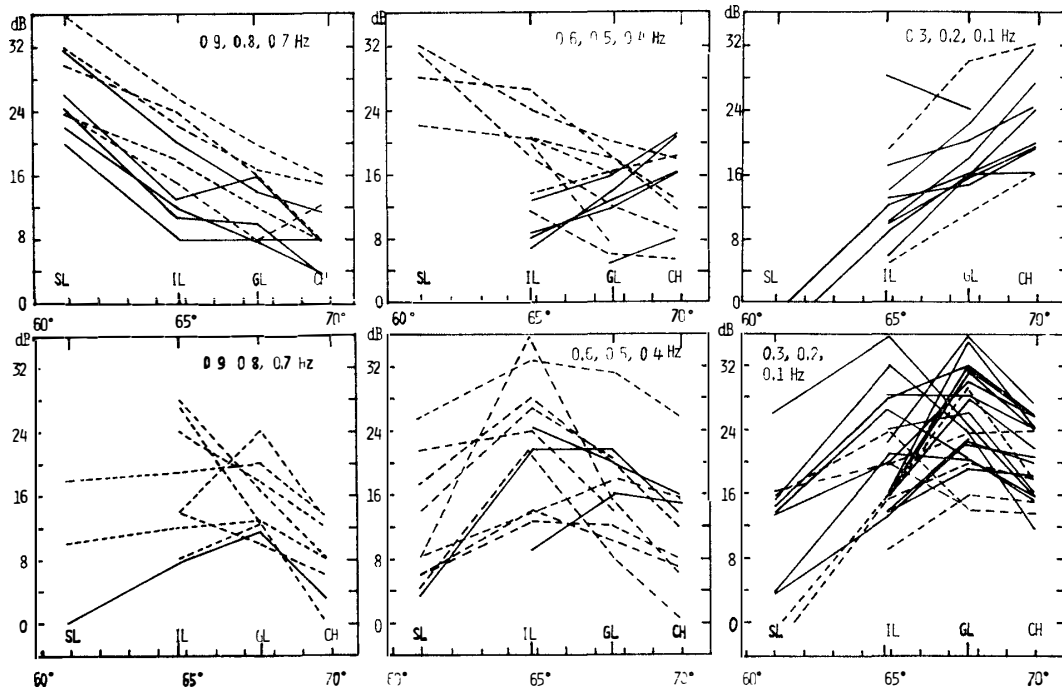


図 10 IMS 期間中 (1976 年 9 月), 東京大学, U.B.C., U. Vic がカナダのマニトバ州で実施した共同観測によって得られた Pc 1 の振幅の緯度分布。実線は $f-t$ スペクトルで見たとき構造の無い現象, 破線は主にパールタイプの構造を有するもの。周波数および緯度に沿って見た場合の振幅の極大の有無にしたがって分類されている。水平成分の振幅の絶対値 $0.2 \gamma_{rms}$ が 36 dB に相当する。

Fig. 10. Amplitude distribution of Pc 1 events observed in Manitoba, Canada, in Sept. 1976, during IMS joint campaign of U. Tokyo-U.B.C-U.Vic. Dashed line indicates pearl type structured emissions and solid line indicates unstructured emissions. Emission events are plotted separately according to the frequency range and to the criterion whether an amplitude maximum is found or not in the latitude coverage. Horizontal vector magnitude of $0.2 \gamma_{rms}$ at 1 Hz is scaled to the value of 36 dB.

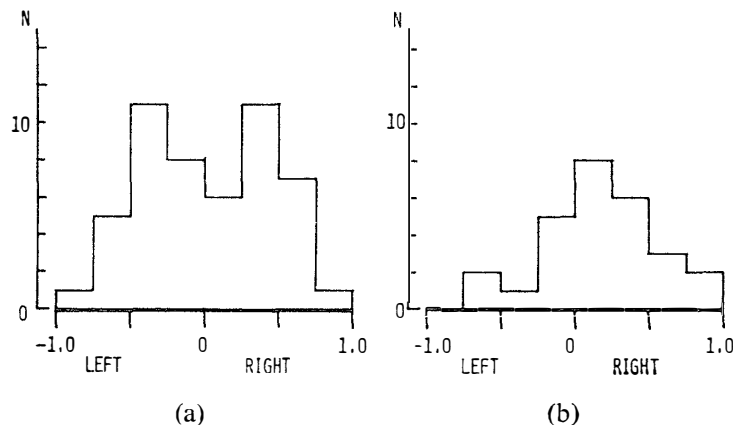


図 11 極域の Pc1 の偏波. 偏波 P を振幅 R, L の左右の円偏波成分により $P=(R-L)/(R+L)$ で表した場合. (a) 振幅最大地点での P の頻度分布. (b) 振幅最大地点より 500 km 以上離れた地点での P の頻度分布.

Fig 11. Occurrence of polarization, P , which is defined by two opposite circular polarizations with amplitudes, R and L , as $P=(R-L)/(R+L)$ (a) Occurrence of P at the place where latitudinal maximum in amplitude is found. (b) Occurrence of P at the place more than 500 km distant from the amplitude-maximum place

$(R+L)$ と表し, 最大振幅地点と最大振幅地点より 500 km 以上離れた地点とにつき統計がなされている. 最大振幅地点では右回り左回りがほぼ同数で, 最大振幅地点より離れた地点では右または直線偏波が卓越する. これらの結果は, 高緯度地方の Pc1 が near source の問題と本質的にかかわっていて, その構造を解明するためにはより密度の高い多点観測が必要であることを示している.

Pc1 に関しても 経度方向の多点観測がなされていて, 発生領域の動きが議論されている (GLANGEAUD *et al.*, 1978)

3.3. Auroral activity と関連した Pc 5

Auroral zone の Pc 5 も統計的には field line resonance model の枠の中で議論されてきた. 一方, auroral zone は種々のじょう乱現象が常時発生する活動的な地域であり, 特に夜中から朝方にかけてその傾向が強く, この時間帯に発生する Pc 5 に対しては原因論的視点が出てくるのは自然である. LAM and ROSTOKER (1978) は朝方の Pc 5 につき, 磁気子午面に沿った観測点群のデータから決めた auroral electrojet の詳しい時間・空間変化との関係を調べた. 磁場変動の各成分の最大振幅は, jet current の流れている緯度幅の中に含まれ (図 12), その高緯度および低緯度の限界は Pc 5 の周期で幅数度にわたって振動する (図 13). この場合その振動の周期は高緯度で長く低緯度で短くなっていて, field line resonance model

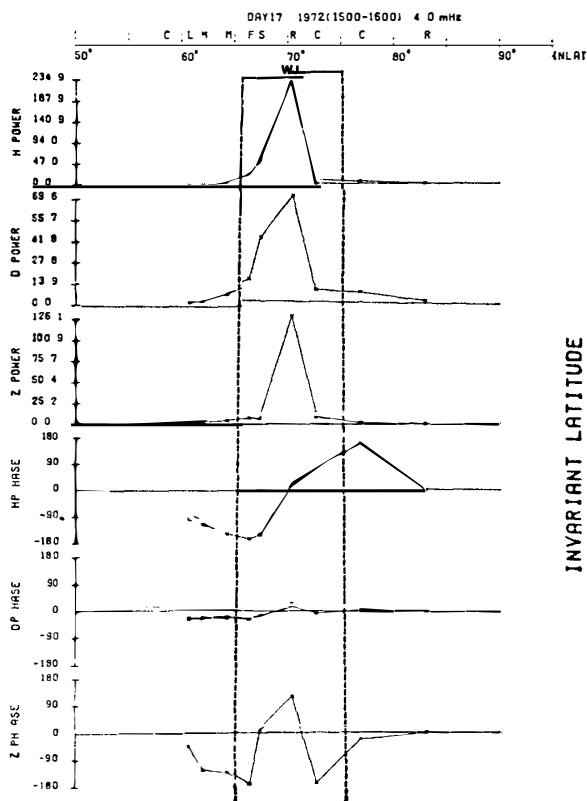


図 12 朝方の Pc 5 の振幅位相の緯度に対する分布と westward electrojet (破線ではさまれた領域) (LAM and ROSTOKER, 1978).

Fig. 12. The example of latitudinal profile of power and relative phase changes for Pc 5 event associated with westward electrojet (the region indicated by WJ) (LAM and ROSTOKER, 1978).

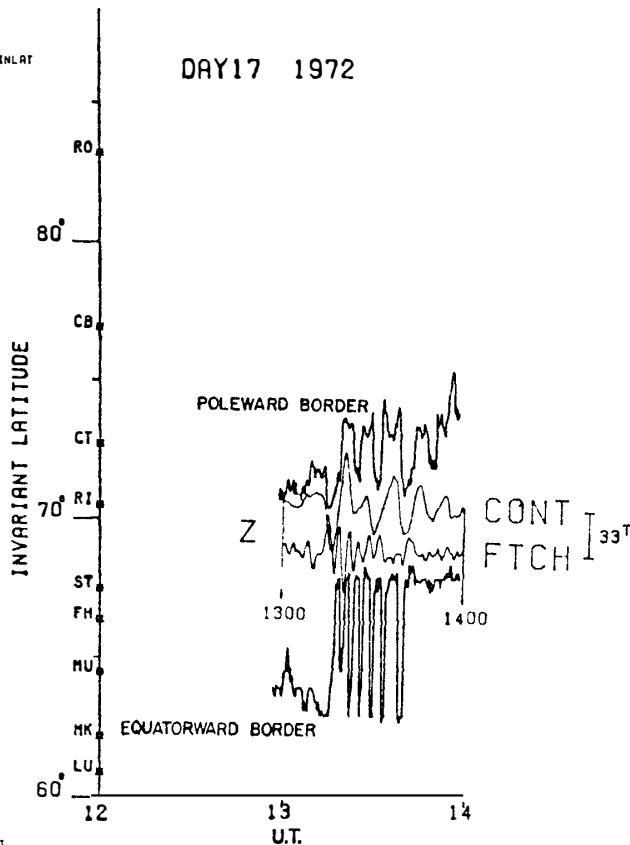


図 13 Westward electrojet の流れている領域の境界の変動とフィルターを通した Z 成分の磁場変動の比較. 観測点 CONT と FTCH の実際の緯度は左の軸上の CT および FH (LAM and ROSTOKER, 1978).

Fig. 13. Location of the convection westward electrojet and the filtered magnetograms (Z) for the observation sites, CONT and FTCH. (latitudinal locations are found on the vertical axis as CT and FH) (LAM and ROSTOKER, 1978).

との結びつきが生まれてくることを示している。これらの結果と polarization の緯度変化のパターンを説明するために、彼らは磁気圏電流系と jet current の 3 次元的結合系の振動として Pc 5 の model 化を試みている (ROSTOKER and LAM, 1978).

3.4. Auroral zone の Pi 1 と pulsating patch

ARTHUR and McPHERSON (1977) によれば地上で観測される Pi 1 に相当するものは静止軌道上ではほとんど観測されないということであり、一方地上では Pi 1 は aurora, VLF emis-

sion 等の活動を伴った朝方のきわめて顕著な現象である。極光帯を横切る ULF の観測点群と高感度 TV による aurora の映像により、朝方の不定形の pulsating patch と Pi 1 脈動の関係が調べられ、aurora の pulsating region の直下では磁場変動と aurora 変動との coherence が良いが磁場変動には同時に存在する複数の pulsating region からの寄与がその大きさ、距離の荷重が掛かった形で存在する。Pulsating region の広がりには 100 km 程度なので、一般にこのような Pi 1 は 300 km 以上離れた地点の間では coherence が悪くなる (OGUTI *et al*, 1979)。Pi 1 が降下粒子による電離層電流の変化であるにしても、その準周期的 (~10 秒) 粒子降下の由来をとどこに求めるかが問題であろう。

3.5. Substorm の expansion に伴う長周期脈動

このカテゴリーに含まれる Pi 2, Ps 6 (Pi 3) は substorm を背後に据える限り原因論的には明快な脈動である。

Pi 2 は substorm の onset と良い対応があり (SAKURAI and SAITO, 1976), 今後とも substorm 開始期の dynamics (SAITO *et al*, 1976) との関係でその構造が研究される現象であろう。Pc 4 に近い周期成分を含むこの現象は経過論的立場からの研究もなされていて、isotropic mode と toroidal oscillation の結合が大きいと考えられる plasmopause, auroral-electrojet current の中心で振幅が極大となり、そこを境として緯度方向および真夜中付近を境にしての polarization の逆転が認められることが示されている (FUKUNISHI, 1975; KUWASHIMA, 1978)。

Ps 6 (Pi 3) は、auroral electrojet 自体の波長 800 km 周期 10–30 分の蛇行的運動という morphology が確立された (SAITO, 1978; SAITO and YUMOTO, 1978)。変動の領域は jet current 内に局在するが、電離層、jet current の driving source, 両者を結ぶ空間のかかわりあった model が必要になるろう。

3.6. その他

WANG *et al*. (1978) は、中緯度で見ると pre-substorm に周期 30 分の脈動が朝方から正午にかけて発生し、さらに substorm 中に夜側の sector (90°–100°) で周期 2 時間の変動があり、それぞれ plasmopause の poloidal 振動と tail の振動ではないかとしている。

4. 結 び

以上ながめてきたように、Pc 3–Pc 5, あるいは Pi 2, Pi 1 の経過論的扱いが可能な部分については地上あるいは衛星による多点観測は、現象の構造の解明にはきわめて効果的であ

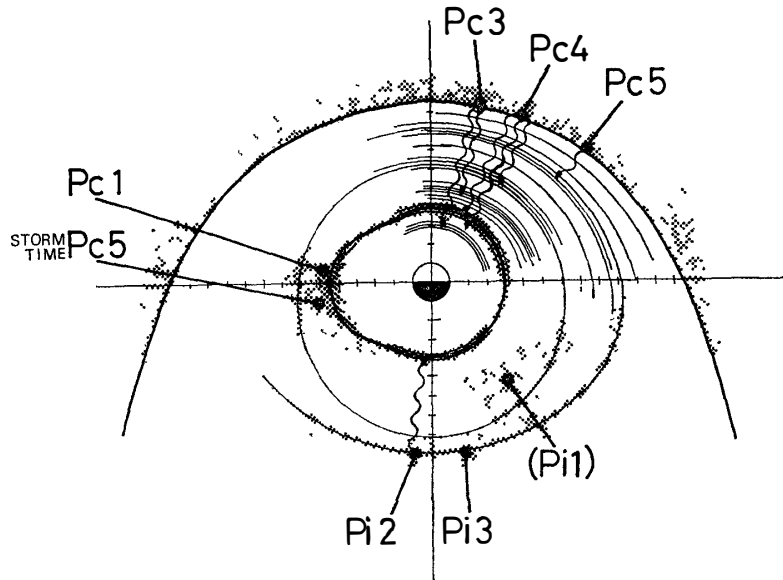


図 14 各種の地磁気脈動の発生源(網目)と伝搬共鳴領域(〜))を磁気圏赤道面上で示した模式図。Pi 1 は赤道面上では観測されないということ括弧してある。

Fig. 14. Schematic illustration for source regions (dotted) and propagation and resonance regions (〜)) of various geomagnetic pulsations. Pi 1 is bracketed because it is rare by observed in the equatorial plane.

り、今後ともこの傾向は続くと考えられる。

一方、Pc 3-Pc 5 の driving source が magnetosheath bow shock の空間にあることは、bow shock の upstream での波動と地上の脈動の開始の時間差からも (upstream に実際に達するのは加速された粒子) 結論される (PLYASOVA-BAKOUNINA *et al.*, 1978) ことで、磁気圏の中をも含めてこれらの原因領域の構造の解明が待たれる。

最後に代表的な脈動について、原因領域と resonance 領域について概念図を描いてみれば、図 14 のようなものになる。

文 献

- ALTHOUSE, E. L. and DAVIS, J. R. (1978). Five-station observations of Pc 1 micropulsation propagation. *J. Geophys. Res.*, **83**, 132-144.
- ARTHUR, C. W. and McPHERRON, R. L. (1977). Micropulsations in the morning sector, 3. Simultaneous ground-satellite observations of 10- to 45-s period waves near $L=6.6$. *J. Geophys. Res.*, **82**, 2859-2866.
- BARFIELD, J. N. and McPHERRON, R. L. (1978). Stormtime Pc 5 magnetic pulsations observed at synchronous orbit and their correlation with the partial ring current. *J. Geophys. Res.*, **83**, 739-743.
- CORNWALL, J. M., CORONITI, F. V. and THORNE, R. M. (1970). Turbulent loss of ring current protons.

- J Geophys. Res , **75**, 4699–4709
- CUMMINGS, W D , DEFORREST, S. E and MCPHERRON, R L (1978): Measurements of the Poynting vector of standing hydromagnetic waves at geosynchronous orbit. J Geophys. Res , **83**, 697–706
- FRASER, B J (1975a): Ionospheric duct propagation and Pc 1 pulsation sources. J Geophys Res , **80**, 2790–2796.
- FRASER, B. J. (1975b): Polarization of Pc 1 pulsations at high and middle latitudes. J Geophys Res , **80**, 2797–2807
- FUKUNISHI, H. (1975)· Polarization changes of geomagnetic Pi 2 pulsations associated with the plasmopause. J Geophys. Res , **80**, 98–110.
- GLANGEAUD, F , KNOB, A , LACOUME, J. L , TROITSKAYA, V A , KRILOV, S and GORBINE W. (1978) Movement and distribution of the energetic particles with generate Pc 1. J Atmos Terr. Phys , **40**, 379–387.
- GREEN, C A. (1978): Meridional characteristics of a Pc 4 micropulsation event in the plasmasphere Planet Space Sci , **26**, 955–967.
- HUGHES, W. J. (1974) The effect of the atmosphere and ionosphere on long period magnetospheric micropulsations Planet Space Sci , **22**, 1157–1172
- HUGHES, W. J , MCPHERRON, R L and BARFIELD, J N. (1978): Geomagnetic pulsations observed simultaneously on three geostationary satellites J. Geophys Res., **83**, 1109–1116.
- 国分 征 (1979) 磁気圏内の ULF 波動. 南極資料, **64**, 83–99
- KUWASHIMA, M (1978): Wave characteristics of magnetic Pi 2 pulsations in the auroral region-spectral and polarization studies. Mem Natl Inst. Polar Res , Ser. A (Aeronomy), **15**, 79 p.
- LAM, H.-L. and ROSTOKER, G (1978)· The relationship of Pc 5 micropulsation activity in the morning sector to the auroral westward electrojet. Planet Space Sci , **26**, 473–492.
- OGUTI, T , HAYASHI, K., KOKUBUN, S , TSURUDA, K , WATANABE, T. and HORITA, R E. (1979): Auroral and magnetic pulsations. Proceeding of International Workshop on Selected Topics of Magnetospheric Physics, Tokyo, March 1979, 111–115.
- OLSON, J. V. and ROSTOKER, G. (1978): Longitudinal phase variations of Pc 4–5 micropulsations. J. Geophys. Res , **83**, 2481–2488.
- PLYASOVA-BAKOUNINA, T. A , GOLIKOV, Yu. V , TROITSKAYA, V. A and HEDGECOCK, P C (1978). Pulsations in the solar wind and on the ground Planet Space Sci , **26**, 547–553
- ROSTOKER, G. and LAM, H-L (1978): A generation mechanism for Pc 5 micropulsations in the morning sector. Planet. Space Sci , **26**, 493–505
- ROTH, B. and ORR, D. (1975)· Locating the Pc 1 generation region by a statistical analysis of ground based observations. Planet Space Sci., **23**, 993–1002
- SAITO, T. (1978): Long period irregular micropulsation, Pi 3. Space Sci. Rev., **21**, 427–467
- SAITO, T. and YUMOTO, K. (1978): Comparison of the two-snake model with the observed magnetic pulsations Ps 6 J. Geomagn. Geoelectr , **30**, 39–54.
- SAITO, T., SAKURAI, T. and KOYAMA, Y. (1976): Mechanism of association between Pi 2 pulsation and magnetospheric substorm. J Atmos. Terr. Phys , **38**, 1265–1277.
- SAKURAI, T. and SAITO, T (1976)· Magnetic pulsation Pi 2 and substorm onset Planet. Space Sci , **24**, 573–575.
- TAMAQ, T (1978): Coupling model of hydromagnetic oscillations in nonuniform finite pressure plasmas, two-fluid model. Planet. Space Sci , **26**, 1141–1148.
- WANG, C S , LEE, T. and KIM, J S (1978). Longitudinal extension of the substorm-associated long-

period hydromagnetic waves. J. Geophys Res , 83, 210-214.

(1979 年 6 月 11 日受理)

追 記

当シンポジウムの後, 3 月に International Workshop on Selected Topics of Magnetospheric Physics, Tokyo, March 1979 が開催され, 地磁気脈動に関し 20 編の論文が発表されている. このシンポジウムでも発表された日本での仕事, D. ORR による review, GEOS 衛星の結果等最新結果を含む.

'Magnetospheric ULF Waves' in Magnetospheric Study 1979, Proceeding of the International Workshop on Selected Topics of Magnetospheric Physics, Tokyo, March, 1979, Japanese IMS Committee, 85-188.