

## 女満別・鹿屋における Pi 型地磁気脈動諸特性の 統計的解析 (I)

佐野 幸三・栗原 忠雄

### 概 要

女満別・鹿屋における 2 solar cycle (1958~1979 年期間) の Pi 型地磁気脈動の諸特性について、統計的な解析を行った。解析に用いた資料は地磁気観測所が業務として定期的に報告している現象報告資料である。本報告では Pi-脈動の出現・周期・振幅等の永年変化特性を、それらの太陽活動度依存性を中心にして解析した結果について述べる。

今回の解析結果からも、よく知られている Pi-脈動の出現数と太陽活動度(黒点数)との逆相関性が明瞭に見い出された。Pi-脈動の周期特性についても、太陽活動度に依存した比較的明瞭な永年変化が見られる。他方、振幅特性については、前期 solar cycle ではある程度の太陽活動度に依存した変動が認められるものの、後期 solar cycle では様相が一変し、振幅増大の異常ドリフトが見られる。この異常は現象報告観測基準の変動(変更)に大部分が原因しているようである。前述の周期特性にも各 solar cycle で細部ではかなりの差異がある。この差異は自然現象の本質的な特性なのか、上述の脈動現象報告における Quality A, B, C の観測基準の変動によるものかはっきりしない。なお、地磁気活動度(Kp)は両 solar cycle で全く異なった様相(後期 solar cycle では太陽活動度との相関性が大幅に乱れている。)を示している。

### 1. はじめに

地磁気観測所における地磁気脈動高感度早廻観測(微分型)は、大型空芯検出コイルによるいわゆる変化度観測装置により IGY (1957~1958) 時から女満別・鹿屋において開始され、その後検出コイルを有芯コイルに変更し、また記録方式の変更などを経て現在に至っている(詳細後述)。この脈動観測は現在すでに 2 solar cycle を過ぎたので、今回は Pi-脈動について、全期間を通したその諸特性の統計的解析を行なうことにした。なお、女満別・鹿屋の位置および観測所名の略名は次のとおりである。

	略名	磁気緯度	磁気経度
女 満 別	MMB	+34.2°	+209.7°
鹿 屋	KNY	+20.7°	+199.9°

以下本文中、両観測所名は上記略名(略号)で記述することにする。

Pi-脈動は 1912年に Angenheister が初めて、地磁気湾型変化(Bay)に伴って出現する脈動現象として注目した。その後いろいろな人達の研究を経て、1957年の IAGA 総会において、この一連の現象を Pt-脈動と呼ぶことになった。この現象は主として 20~30 sec 以上の不規則なバースト状の脈動で、その後これより短い周期の不規則脈動(例え

ば, spt, Yanagihara, 1959, ps, Matsushita, 1963等)の研究も進み, これらを総称して Pi-脈動 (irregular pulsation) とし, それらをさらに pi 1 および Pi 2 に分類するように, 1963年の IAGA 総会で決定され, 現在に至っている。ともかく, Pi-脈動は Bay または極域の Sub-storm に伴って出現する汎世界的な現象である。

中・低緯度の Pi-脈動についても, 過去に多くの人達により精力的に解析された。むしろ, 現在も研究されていることはいうまでもない。これらを詳細にレビューすることはできないが, 今回の解析に特に関係するものとしては次のような研究がある。Yanagihara (1957, 1960) は主として Pi-地磁気脈動と等価な Pi-地電流脈動 (1934~1953 年) について解析し, その出現数は太陽活動度と逆相関を示すことを報告した。その後, Saito and Matsushita (1968) は女川および Fredericksburg (U.S.A) の2地点の6,000個にもおよぶ Pi-脈動 (1957~1965 年) について, 詳細な解析を行ない, 次のような結果を報告している。(特に今回の解析に関係するもの。)

(1) Pi 2 の出現数は太陽活動度と逆相関があること。前述の Yanagihara の結果と同じ。

(2) Pi 2 の最大出現地方時にも太陽活動度に依存した 20 h~01 hLT までの変動があること。

(3) Pi 2 の周期特性にも太陽活動度依存性があり, 太陽活動度の極大・極小に周期の極大が現われ, 太陽活動度下降期に周期の極小を示すこと。Pi 2 の周期はそれに伴う Bay 変化の振幅にも依存しており, Bay の振幅が大きくなると Pi 2 の周期が短くなること。

今回もこのような観点から, MMB と KNY を対比して Pi-脈動を解析してみた。すなわち, Pi 1, Pi 2 (まとめた All Pi も含む) の各年出現数, 周期分布, 地方時分布, 振幅分布等について, 太陽活動度 (Sunspot Number) や地磁気活動度 (Kp-index) との相関性を中心に解析を行なった。

## 2. 解析データおよび脈動観測装置の概要

今回の解析データは, 地磁気観測所が IGY 以降定期的に報告している "Report of the Geomagnetic and Geoelectric Observations, (Rapid Variation)" に基づくものである。これらの報告では, Quality A, B の現象については振幅・周期の読取値を付けて報告されているが, Quality C については出現時刻のみの報告となっている。したがって, 今回の資料解析は主として, Quality A, B の現象に対するものである。Quality C のものは一部参考資料として示すに留める。前節で述べたように, Pi-脈動は IGY 当時は Pt-脈動といわれ, 現在のように Pi 1, Pi 2 と分類されたのは1964年以降である。この Pt-脈動は現在のほぼ Pi 2 に相当するもので, 1958~1963年の期間は Pi 1 にはあまり重点を置かずに現象報告がなされている。したがって, この期間の Pi 1 の資料は十分なものではなく, 統計結果にもほとんど意味がないものである。一応参考までに Pi 1 の資料についても, 全期間を通して解析を行なう。なお, 今回用いた各個所, 各 Pi-脈動の現象数は Table 1 のとおりである。

Table 1. Numbers of pi events used in this study.

	Pi 1		Pi 2		All Pi		
	A	B	A	B	A	B	C
MMB	69	529	128	3,110	197	3,669	19,522
KNY	57	646	143	3,184	215	3,962	23,446

解析結果を報告する前に、地磁気観測所での脈動観測装置の概要、変遷および Pi-脈動の Quality A, B, C の決定基準 (観測基準) などについて述べておく必要がある。

脈動観測装置については、前述したように IGY 当初は有効断面積  $10^3\text{cm}^2$  の大型空芯コイルによるガルバノメーター写真記録であった。その後、IQSY 観測開始とともに空芯コイルを、小型 High- $\mu$ -metal 有芯コイルに変更し (有効断面積は空芯コイルとはほぼ同じ)、磁気テープ記録がガルバノメーター記録と並行し、各種の機械的スペクトル解析を目的として採用された (Kawamura et al, 1965)。さらにその後、1975年 (KNY), 1976年 (MMB) よりガルバノメーター写真記録は廃止され、ペン書き記録が採用され現在に至っている。前述の現象報告資料は、写真記録紙またはペン書き記録紙上より読取ったものである。記録のチャートスピードは写真記録の場合 12 mm/min., ペン書き記録の場合 6 mm/min. である。また大体の記録感度は空芯コイルの場合、

MMB = X: 0.065 nT/sec/mm (40 sec), 0.060 nT/sec/mm (10 sec)

Y: 0.055 " ( " ), 0.045 " ( " )

KNY = X: 0.050 nT/sec/mm (40 sec), 0.045 nT/sec/mm (10 sec)

Y: 0.050 " ( " ), 0.045 " ( " )

有芯コイルの場合 (年々の変更が多く概略の値),

MMB = X: 0.068 nT/sec/mm (40 sec), 0.070 nT/sec/mm (10 sec)

Y: 0.068 " ( " ), 0.065 " ( " )

KNY = X: 0.050 nT/sec/mm (40 sec), 0.070 nT/sec/mm (10 sec)

Y: 0.040 " ( " ), 0.065 " ( " )

となっている。このように過去から現在までの観測装置は大なり小なりの仕様変更があり、特に記録様式の変更は観測基準に直接影響するもので十分注意すべきである。

Pi-脈動の Quality A, B, C の観測基準であるが、それは一義的に決られるものではない。その基準となる要素として、当然のことながら振幅の大きさと変化の形がある。この2つの要素を加味し、地磁気観測所では Pi-脈動の観測基準を一応次のように定めている。

形の良否	振 幅		
	>0.40 nT/sec	0.40~0.20 nT/sec	0.20~0.04 nT/sec
I (良)	A	B	C or B
II (普)	A or B	B	C
III (悪)	B or C	C	C or D

D=採用せず

この観測基準表でもわかるように、各 Quality へのランク付けはそれほど客観性があるわけではない。特に形の要素の評価には主観性が強く、観測者によって大なり小なり評価が違うのはやむをえないところである。振幅に関しても一見機械的に事は運びそうであるが、どだい Pi-脈動の振幅の定義または読取方もそれほど容易に決るものではなく、同一人でも観測基準を一定に保つことはむづかしいところである。なお、1974年頃この観測基準の一部変動（更）があったことおよび地磁気擾乱中の Pi-脈動は一般に形が複雑であり、静穏時の同じ程度の振幅の現象よりは一段階以上低い Quality にランク付けされていることを付記しておく。

Pi 1 と Pi 2 の分類は周期により機械的に、前者は 1~39 sec、後者は 40~150 sec のものと定義されている。または Pi 1 は 1~40 sec、Pi 2 は 40~150 sec とする場合もある。いずれにしても、Pi 1 と Pi 2 の境界付近の周期性を持つものは、本質的に Pi-脈動の周期が 1, 2 sec の精度で決められるものではなく、かなりのあいまいさがある。今回の解析ではこの Pi 1 と Pi 2 の境界は、周期特性を解析する場合は周期区分の連続性から、一応 Pi 1 は 1~40 sec、Pi 2 は 41~150 sec とし、他方、振幅特性を解析する場合は Pi 1 を 1~39 sec、Pi 2 を 40~150 sec として分類することにした。

Pi-脈動の振幅については X, Y, Z の 3 成分があるが、今回は 3 成分のうちの最大振幅をその脈動の振幅として取扱った。KNY の場合は最大振幅を示す成分はほとんど X-成分であるが、MMB では時間帯により Y-成分が最大振幅を示す場合がかなりある。とにかく、今回は各成分の振幅特性を無視して解析を行なった。

### 3. Pi-脈動の出現特性

#### 3.1 Pi-脈動の Quality A, B, C 別各年出現数の変動

Pi-脈動の出現特性は前節でレビューしたように、太陽活動度と逆相関性があることはよく知られている。Fig. 1 にこの特性に関する今回の統計結果を示した。Fig. 1 は Pi 1, Pi 2 を区別せず、All Pi-脈動について、1958~1979 年までの 22 年間の MMB および KNY の Quality A, B, C 別の各年出現数を同時にプロットしたものである。同図最下段には太陽黒点数および Kp の各年平均を示してある。（なお、各プロット要素の表示法は各図に示してあるので、その説明は全て省略する。）

Fig. 1 に見られるとおり、各種の Pi-脈動の出現数は、両地点とも大体において太陽黒点数と逆相関性を示している。特に Quality B のものは各年の不規則なバラツキも少なく、かなり高い逆相関性を示している。さらにその前期 solar cycle (1958~1968) のものは極めて逆相関性が高い。後期 solar cycle (1969~1979) のものは、出現数最大年が太陽黒点極小年より 2, 3 年早く出現しており、前期ほど両者の位相関係は良くない。この理由として、図に見られるとおり後期では太陽黒点数と地磁気活動との相関が極めて悪いことも関係しているかも知れない。また、後述する観測基準の変動による虚偽の特性かも知れない。

Quality A のものは、前期ではほぼ Quality B のものと同様であるが、後期では出現

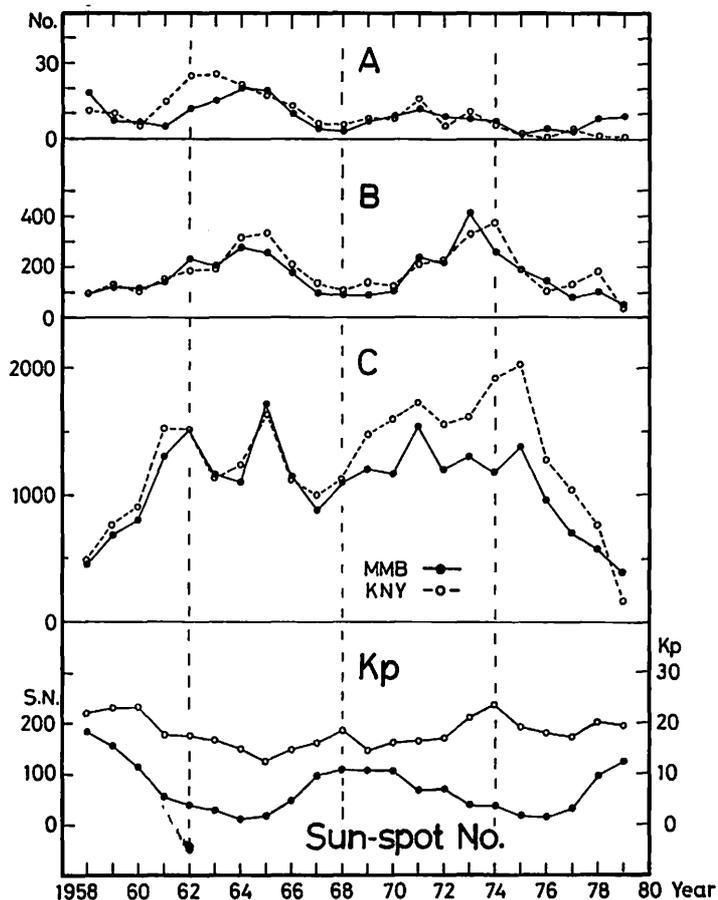


Fig. 1. Respective yearly occurrence frequencies of pi-pulsations of the qualities A, B and C at Memambetsu and Kanoya. (Not distinguished by pi 1 and pi 2.)

数が極端に減少し（これは自然な特性ではなく、観測基準の変動に主因がある。）、あまりはっきりしないが、太陽黒点数と逆相関というよりは正相関に近い。Quality C のものは各年の不規則な変動が目立つが、概略太陽黒点数と逆相関性を示している。しかし、1968年頃の黒点極大期に対応する Pi-脈動出現数の減少はあまり顕著ではない。また、近年急激に出現数が減少しているが、これも Quality A, B の場合と同様観測基準の変動がその主因である。但し、出現数が減少する傾向にあることは間違いのない事実と考えられる。なお、後でも議論するが、Pi-脈動の年合計出現数と年平均地磁気活動度 (Kp) とには密接な関係は見られない。

### 3.2 Quality A, B の各種 Pi-脈動の各年出現数の変動

Fig. 2 に Quality A, B のものを合計した Pi 1, Pi 2 および All Pi-脈動の各年出現数

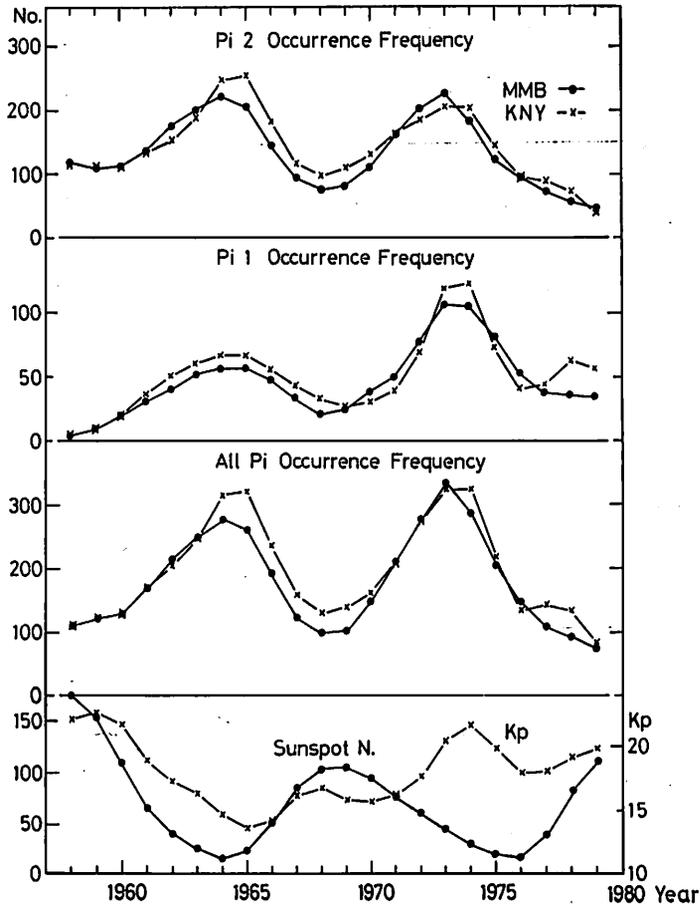


Fig. 2. Three-year running mean occurrence frequencies of pi 1, pi 2 and All pi-pulsations with the quality A and B at Memambetsu and Kanoya.

の変動を示した。但し、この場合は生の出現数ではなく、1:2:1の3年移動平均出現数をプロットしたものである(1958年と1979年は2:1または1:2の2年平均)。最下段には太陽黒点数とKpの同様の移動平均値を示した。Fig. 1よりも各プロットとも縦軸が拡大されている。

Fig. 2に見られるように、この場合の各種Pi-脈動の出現数はいずれも太陽黒点数と顕著な逆相関性を示している。Fig. 1でのQuality BのPi-脈動の出現特性とほぼ同じで、Fig. 2の各出現特性は前期では太陽黒点数と極めて高い逆相関性を示し、後期では出現数の極大年と太陽黒点数の極小年とに約3年のずれがはっきりと認められる。

その他の注目すべき特性として、次のことは興味あることである。Pi 2, Pi 1の3期の出現数極小値を比較すると、Pi 2はしだいに減少の傾向を、Pi 1は反対に増加の傾向を示していることである(したがって、All Pi-脈動のそれらはほぼ一定値を示している)。

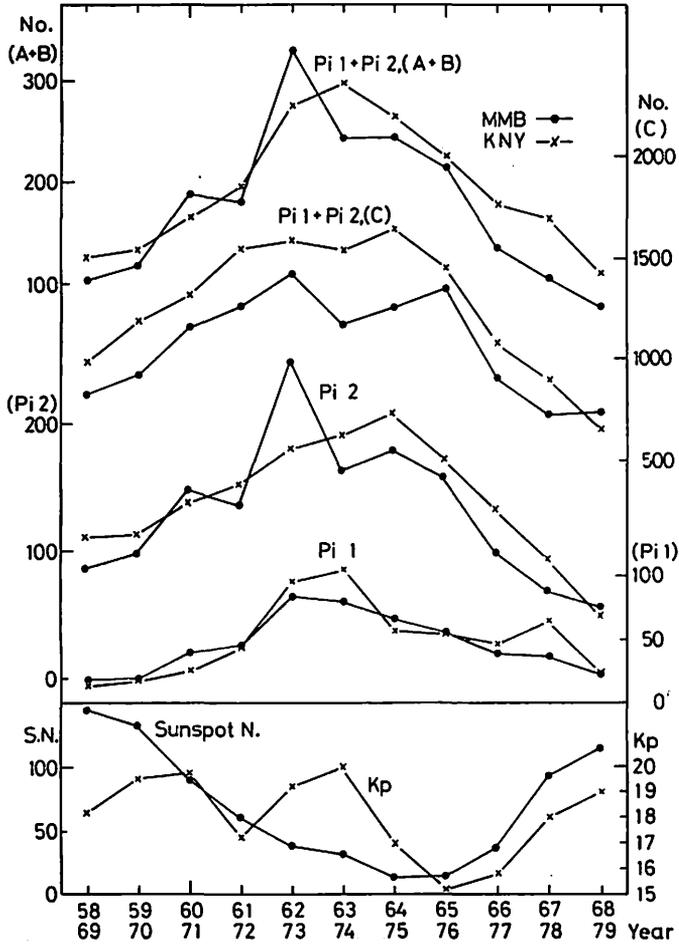


Fig. 3. Two solar cycle yearly means of occurrence frequency of various pi-pulsation groups at Memambetsu and Kanoya with respect to the sunspot number and the geomagnetic activity (Kp).

この特性は観測基準の変動と直接的に関係するもので、その有意性はなんともいえない。しかし、この特性は後述する Pi-脈動の周期特性とも関連するもので、Pi-脈動の周期がしだいに短周期側に全体としてシフトしていることに対応している (次節参照)。

### 3.3 Pi-脈動出現特性の2期平均11年太陽活動度依存性

前述したとおり、Pi-脈動の出現特性には太陽黒点数と総ての場合概略において、逆相関性が見られた。反面、詳細な特性については、各 solar cycle でかなりの違いがあることも指摘してきた (その有意性については問題もあるが)。そこで参考までにこの節のまとめとして、2期 solar cycle の平均の各種出現特性を Fig. 3 に示した。上段から All

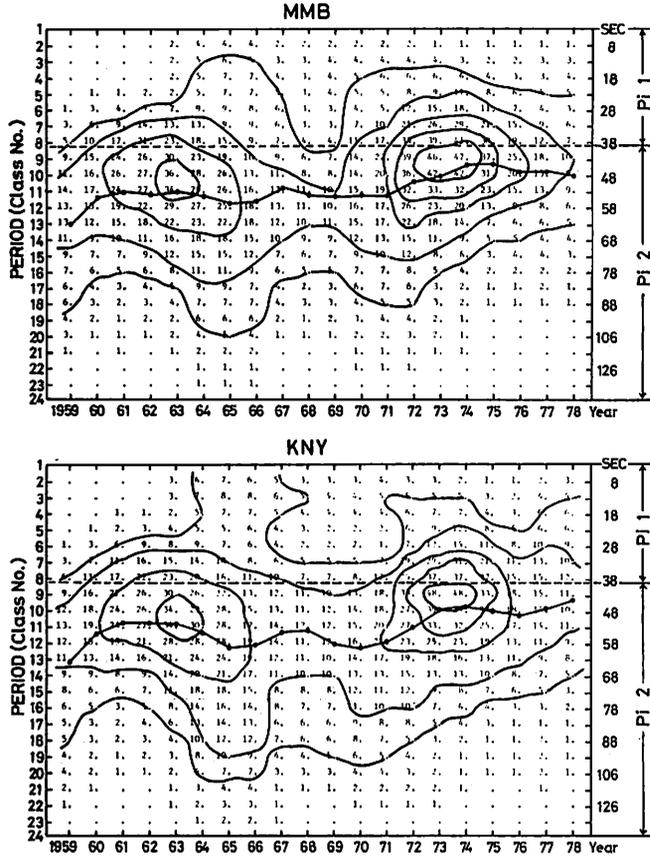


Fig. 4. Yearly distributions of running mean (3×3-lattice) occurrence frequencies of pi-pulsations (Quality A and B) at Memambetsu (upper) and Kanoya (lower) against their periods which are divided into 24 classes; 1, 2, ...24. These classes of the period are 1-5, 6-10, ...86-90 sec, and 91-100, ...141-150 sec, respectively (Refer to Fig. 7.). The dots show yearly all mean periods.

Pi-脈動の Quality A, B のもの, 同Cのもの, Quality A, B の Pi 2 および同 Pi 1 のものである。最下段は太陽黒点と Kp の同様の平均である。

Fig. 3 に示した各出現特性は再度議論するまでもなく、前述したことでつづいている。ただ、MMB と KNY を比較した場合、大きな差異はないが、一般に KNY の方が全体的には現象数が多く（特に Quality C のもの）、また各年の不規則な変動が小さいようである。このことは Pi-脈動が高緯度を中心とする汎世界的な現象であることからして、特別本質的な意味を持つものではなく、観測基準の両地点での違いまたはバックグラウンド擾乱の差を示すものであろう。

他方、地磁気活動度 Kp の変動は複雑で、太陽黒点数とも、Pi-脈動出現数とも相関が

良くない。しかし、Pi-脈動は本質的には地磁気擾乱に伴なうもので、個々には両者は相関性があり、その効果がないとはいえない。

#### 4. Pi-脈動の周期特性

##### 4.1 Pi-脈動の周期別出現分布とその変動

Pi-脈動のうち Quality A, B のものについて、周期別出現特性を解析してみた。その結果を Fig. 4 に示した。これらの図の縦軸は周期で、左側の数字は周期を区分した区間番号、右側は1区間おきの区間中央周期である。横軸は年である。周期区間は 1~90 sec までは 5 sec 区間幅で、区間番号 1=1~5 sec, ... 同 18=86~90 sec のように、91~150 sec までは 10 sec 区間幅で、区間番号 19=91~100 sec, ... 同 24=141~150 sec のように区分したものである。図中に示した数値は縦・横 3 項移動平均法 (3×3-lattice running mean method) により平均化した出現数である。コンターラインは、一番外側は 5、他は 10 単位の出現数である。実線で結んだ黒丸は各年の平均周期を、横破線 (周期 39 sec) は Pi 1 と Pi 2 の境界を示す。

図よりもわかるように、MMB・KNY とともに当然のことながらほぼ似たような周期別出現分布特性を示している。両地点とも系統的な変動を示し、前期 solar cycle と後期 solar cycle である程度の相違も見られる。全体として、Pi-脈動の周期別分布特性は solar cycle に依存した変動と短周期側に徐々にドリフトしている傾向があるようである (各年平均周期参照)。両地点とも Pi 1, Pi 2 別の出現特性は分離できず、周期 39, 40 sec あたりで Pi 1, Pi 2 に分割する特性上の理由はこの図を見るかぎりないようである。この点は後で再度議論する。なお、参考までに両地点での周期別出現数の差 (MMB-KNY) を Fig. 5 に示した。全体として、KNY で長周期側で出現数が大きい傾向が比較的顕著に見られる。

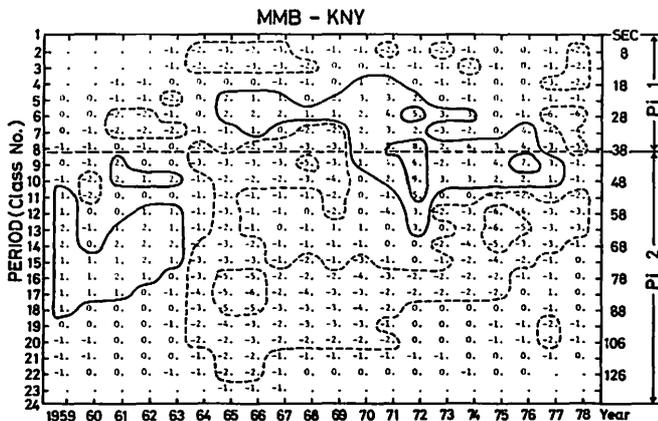


Fig. 5. Difference of the occurrence frequencies of pi-pulsations (shown in Fig. 4) between Memambetsu and Kanoya (MMB-KNY).

#### 4.2 各種 Pi-脈動の年平均周期の変動

Pi-脈動の周期特性を最っと定量的に分析するために、Pi 2, Pi 1 および All Pi-脈動の年平均周期を Fig. 6 に示した。この場合も生の値ではなく、3年移動平均値である。表示した誤差は標準誤差である。最下段は太陽黒点数および Kp の同様の平均値をプロットしたものである。

図よりわかるように、Pi 2 の年平均周期は位相関係はかなり違いが、全体として太陽黒点数と正相関性があることが明らかである。Pi 2 脈動の周期は太陽黒点減少期に最小になるという特性を示している（特に前期 solar cycle）。これらは Saito et al (1968) によって求められた1957~1965年期の結果と一般的傾向として良い一致を示している。ただ、Saito 等の結果では太陽黒点極小期で極大期とほぼ同じ周期か、むしろそれよりも大きい周期となっているが、今回の結果ではまだ周期上昇期の途中であり、かなり短い周期を示している。この点は Saito 等の結果と今回の結果の大きな違いであるが、解析法にも違

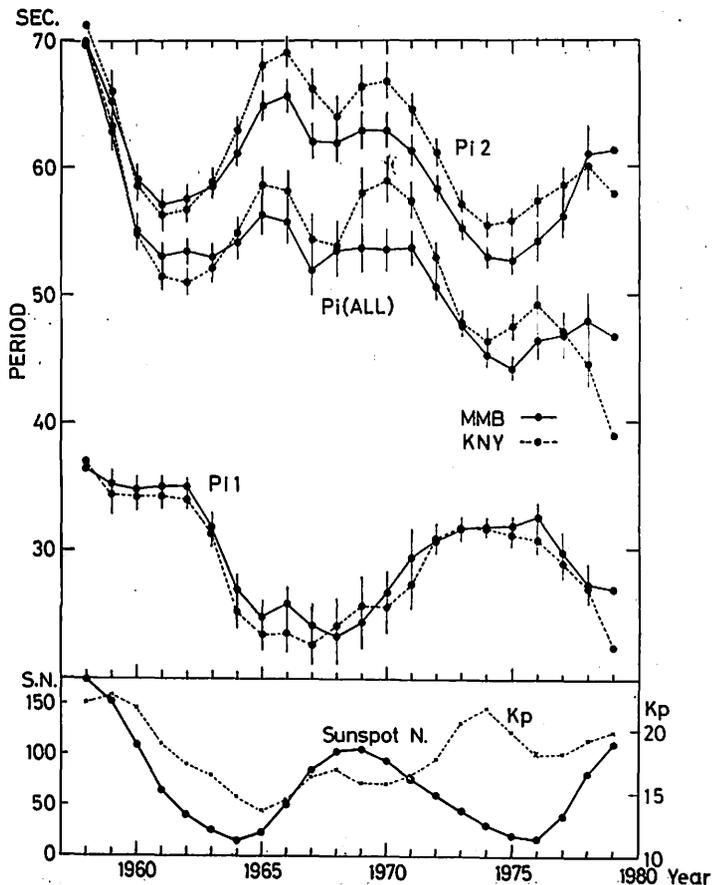


Fig. 6. Yearly mean periods of pi 2, pi (All) and pi 1 pulsations at Memambetsu and Kanoya.

いがあるのでこれ以上のことはなんともいえない。今回の結果で、1968年頃の太陽黒点極大期にやや周期の減少が見られるが、有意なものか、単なる偶発的なものか定かではない。

All Pi-脈動 (Pi (All)) についてもほぼ Pi 2 と同様の特性が見られる。特に、前にも指摘した全体的に周期が減少している傾向がより顕著に見られる。

一方、Pi 1 に関しては、1958~1963年あたりまでは Pi 1 という分類がなく、データ数が少なく不正確さがあるので除外して考えると、Pi 1 の周期特性は Pi 2 と全く反対の傾向を示している。太陽活動とは逆相関である。Pi 1 は Pi 2 ほど現象数が多くなく、その特性変化の信頼性に問題があるが、周期変動は Pi 2 以上に規則的であり、間違のない特性であると思われる。

4.3 Pi-脈動の周期別出現特性 (周期特性) のまとめ

Fig. 7 に今回の解析期間の Quality A, B の全 Pi-脈動の周期別出現数分布を示した。この図は一種の Pi-脈動のスペクトル構造を示すものである。図よりわかるとおり、Pi-脈動の最大出現の周期は 48 sec あたりで、これは Pi 2 の基本的な周期性であると考えられる。他方、周期 13 sec (Pi 2 の基本周期の約 1/3) および 96 sec (同周期の約 2 倍) あたりに極めて小さいが、出現数の山があるようである。この特徴は KNY の方が比較的顕著である。これは目立たない特性であるが、注目すべき特性であり、特に周期 13 sec のところの山 (MMB では山といえないが) は Pi 1 の基本的な周期性ではないかと考えられる。

したがって、この Pi-脈動の周期別出現分布から考えると、現在の Pi 1, Pi 2 の分類法、その境界周期に前述したような疑問が持たれる。すなわち、図で点線で示したところが Pi 1 と Pi 2 の境界であるが、この境界に妥当性・合理性があるのか、また現象論として物理的な意味があるのかどうかはなほ疑問である。逆に境界附近はまだ Pi 2-脈動とした方が、物理的な意味があるように思われる。したがって、周期 25 sec あたりで Pi

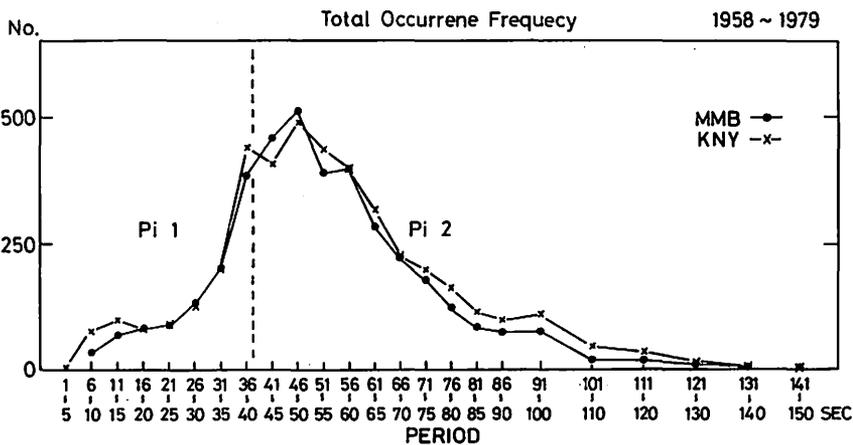


Fig. 7. Total distributions of occurrence frequency of pi-pulsations distinguished by the 24 classes of their period range (These classes correspond to the class number shown in Fig. 4.).

1 と Pi 2 を分けた方が合理的ではないかと考えられる。他方、周期 96 sec あたりを中心とするものは、この周期別出現分布特性から考えるかぎり Pi 3 とでもすべき別種の Pi-脈動かも知れない。

いずれにしても、この周期別出現特性は脈動のスペクトル構造に関する重要なかつ興味ある特性を示唆しているようである。むろん、Pi-脈動のスペクトル構造は簡単に求められるものではなく、詳細は最近の脈動解析手法であるスペクトル解析によらなければならないが、今回の資料から上述のような結果がえられたことは注目すべきである。なお、前述した Pi 1 周期の変動特性は、Pi 2 周期変動の裏り返しの特性であり、本来の Pi 1 脈動(周期 13 sec 付近)の特性ではないかも知れない。

### 5. Pi-脈動の地方時出現特性

前述したように、Pi-脈動は Bay 変化に伴なって出現する真夜中を中心とする汎世界的

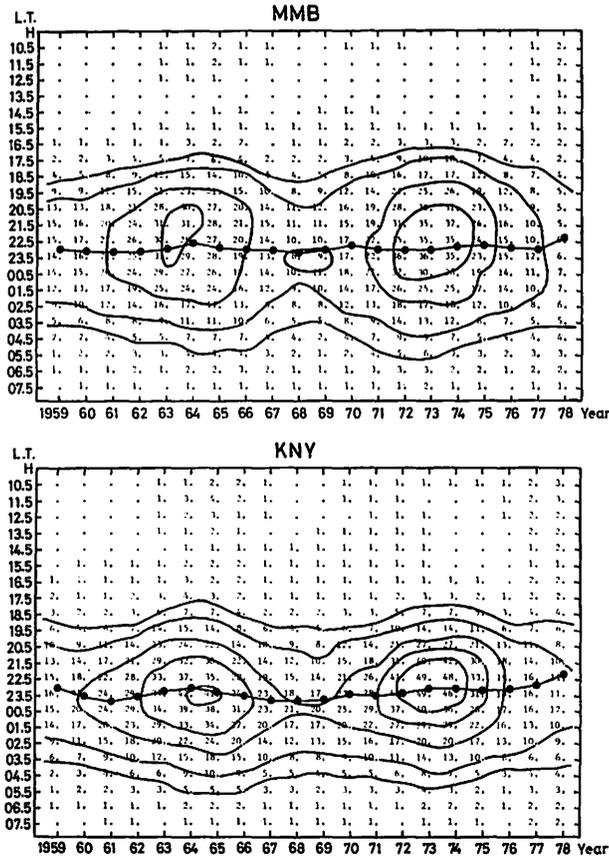


Fig. 8. Yearly local-time distributions of running mean (3x3-lattice) occurrence frequency of pi-pulsations (Quality A and B) at Memambetsu (upper) and Kanoya (lower) distinguished by hourly intervals.

な現象であることはよく知られている。さらに、最大出現地方時が太陽活動度に依存して、20 h~01 hL.T. 程度変動することが、Saito 等によって報告されている。本節はこの特性についての今回の資料の解析結果を報告する。

Fig. 8 は縦軸を1日の時刻、横軸を年に取り、All Pi-脈動の地方時出現分布を、Fig. 4 と同じ移動平均法により求め、プロット（出現数）したものである（上段=MMB, 下段=KNY）。黒丸は各年の出現最大平均時刻である。コンターラインは Fig. 4 と同じ形式のものである。なお、これらの出現数は Quality A, B のもののみで、Quality C のものは含まれていない。

今回の資料から解析する以上、Pi-脈動の地方時出現特性の太陽活動度依存性はそれほど顕著ではない。すなわち、コンタマップからは地方時出現特性の変動はもとより、太陽活動度依存性を検出することはほとんど不可能である。わずかに各年の出現最大平均時刻のプロットから、それらはこの期間を通して、1時間程度の変動が見られるものの、有意なものであるかどうかはよくわからない。特に MMB ではその変動が小さく、変動はないといった方が良いかも知れない。しかし、KNY ではわずかに太陽黒点極小期で Pi-脈動の出現地方時刻がやや早目になる傾向を示している。反面、太陽黒点極大期では KNY でも傾向がはっきりしない。これらの結果は Saito 等の結果とそれほど良くは一致しないものである。今回の結果は Quality A, B のものだけについてのものであり、また解析法も単純なもので、今後 Quality C のものも加え再解析を試みる必要もある。

他の特性として、1964~1965年期および1978~1979年期は、Pi-脈動の地方時出現分布がかなりブロードであるということがある。特に後期は全体数が激減しているにもかかわらず、そのような傾向が見られることは注目すべきことかも知れない。

## 6. Pi-脈動の振幅特性

### 6.1 Pi 2 の各年振幅別出現特性

ここでの Pi 2 は前述したように周期 40~150 sec のものである。この Pi 2 の振幅を、0.00 nT/sec から 0.79 nT/sec までは 0.05 nT/sec 幅の16区間、0.80 nT/sec から 2.09 nT/sec までは 0.10 nT/sec 幅の13区間、合計 29 区間に分け振幅特性を解析した。このように区分した Pi 2 の各年の区間出現数分布を Fig. 9(a) および (b) に示した (Quality, A, B 別)。各パネルの下段には各前・後期 solar cycle の総振幅別出現分布を示した。なお、全期間をまとめた Pi 2 の振幅別出現分布は Fig. 10(a) に示した。また、参考までに同様の Pi 1 のもの Fig. 10(b) を示しておいた。

Pi 2 の振幅特性についてはいろいろな問題を含んでいる。まず当然のことながら Pi 2 の振幅に、太陽活動度に関係した自然現象特性としての変動がありそうだということである。前期 solar cycle にはこの特性が比較的顕著に見られる。このことは後でも議論する。

他方の問題は観測基準に関することで、後期 solar cycle では振幅分布の様相が一変し、出現数がかかなり大振幅の方にシフトしていることが明瞭である。この傾向は MMB で特に顕著である。また、Quality A のものはさらに顕著である。これらの様相はもはや自然現象の本質的な特性を反映したものではなく、前述した観測基準の変動に原因するも

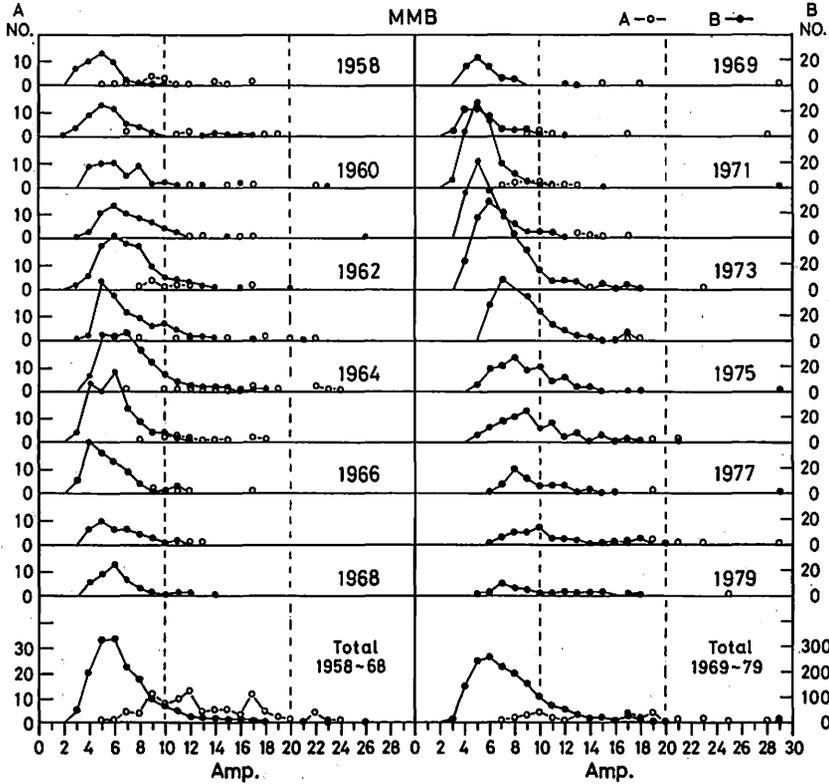


Fig. 9(a). Yearly amplitude distributions of pi 2 pulsations with the qualities A and B at Memambetsu. At each bottom are shown their respective total amplitude distributions for each solar cycle. The pi 2 amplitude is divided into 29 classes indicated by the class numbers such as 2, 4, ...28. These classes of the amplitude are 0.00-0.04, 0.05-0.09, ...0.75-0.79 nT/sec (16 classes with 0.05 nT/sec width), and 0.80-0.89, ...2.00-2.09 nT/sec (13 classes with 0.10 nT/sec width).

のである。例えば、Quality A のものに関しては、過去の A と現在の A とでは大きな差があり、現在の A は特大・特上現象に近いものである。ともかく、このような観測基準の変動（または変更）が、今回の解析期間の途中にあったことを指摘しておかなければならない。いうまでもなく、観測基準の変動は直接的に出現特性・振幅特性の解析結果を左右するもので、今回の結果もこのことを念頭において解釈しなければならない。

振幅特性については MMB と KNY でかなりの差が認められる。各年の差については後で議論するとして、Fig. 10(a) に示した全期間の平均特性から次のようなことがわかる。MMB の Quality B の Pi 2 は振幅 0.25~0.29 nT/sec (区間番号 6) あたりで出現数の最大が、KNY では MMB より 1 区間小さい 0.20~0.24 nT/sec 区間に最大が現われている。Quality A のものは KNY では 0.45~0.49 nT/sec (区間番号 10) に最大を持つが、MMB ではその分布は複雑である。他方、Fig. 10(b) より Pi 1 の振幅分布は、全体的に Pi 2 の場合よりも大振幅側にシフトしていることがわかる。両地点の差違は Pi 2 と大体

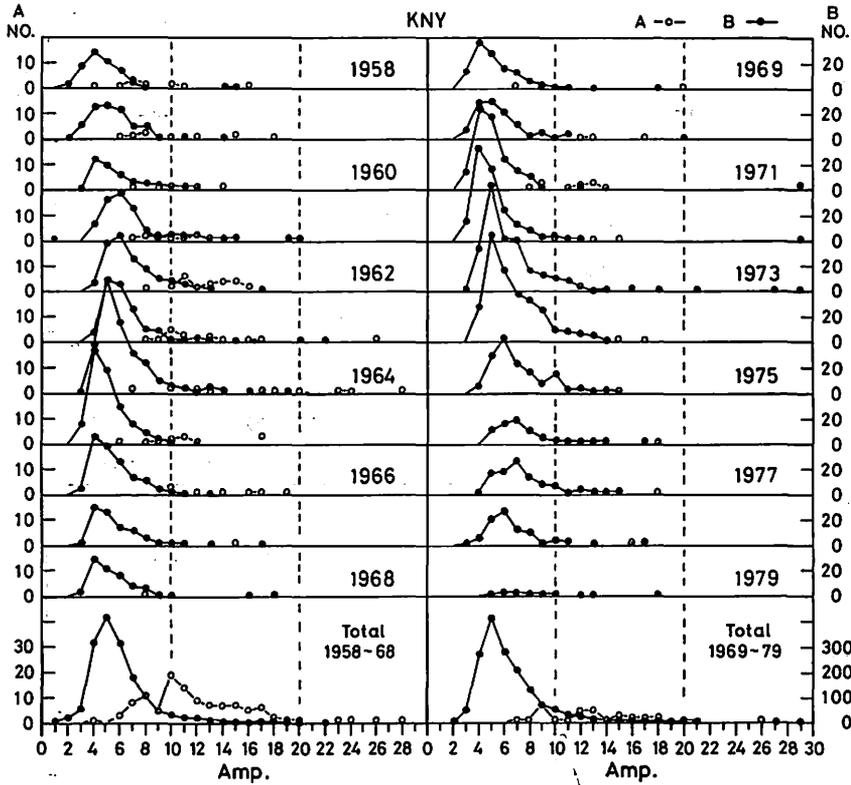


Fig. 9(b). The same plots as Fig. 9(a) at Kanoya.

同じ傾向を示している。一般に Pi 1, Pi 2 とも KNY の方が振幅分布曲線の山が高くシャープであることも大きな特徴である。このことは Pi-脈動の伝播に伴う減衰特性の緯度効果によるものと思われる。

## 6.2 Pi-脈動の各年平均振幅の変動

Fig. 11 に MMB および KNY の Pi 2 および Pi 1 (Quality A, B のもの) の各年平均振幅を太陽黒点数・Kp とともに示した。但し、この場合も 3 年移動平均 (1:2:1 の移動平均) をプロットしたものである。誤差は 95% の信頼区間である。

まず、Pi 2 についてみると、前述の各年振幅別出現特性より予想されるとおり、前期 solar cycle では両地点とも平均振幅と太陽黒点数とは概略において逆相関性を示している。少なくとも 1973 年あたりまでは、両地点とも平行したそのような変動を示している。MMB の方が平均振幅がやや大きいことは前述したとおりである。ところが 1974 年頃より太陽黒点数とは直接的に無関係な平均振幅の急激な増大が起きている。この傾向は特に MMB で顕著である。いうまでもなく、これは前述した観測基準の変動に大部分が対応するもので、残念ながら自然現象の特性とはいえない。

一方、Pi 1 については現象数も Pi 2 に比らばはるかに少なく正確なことはわからない

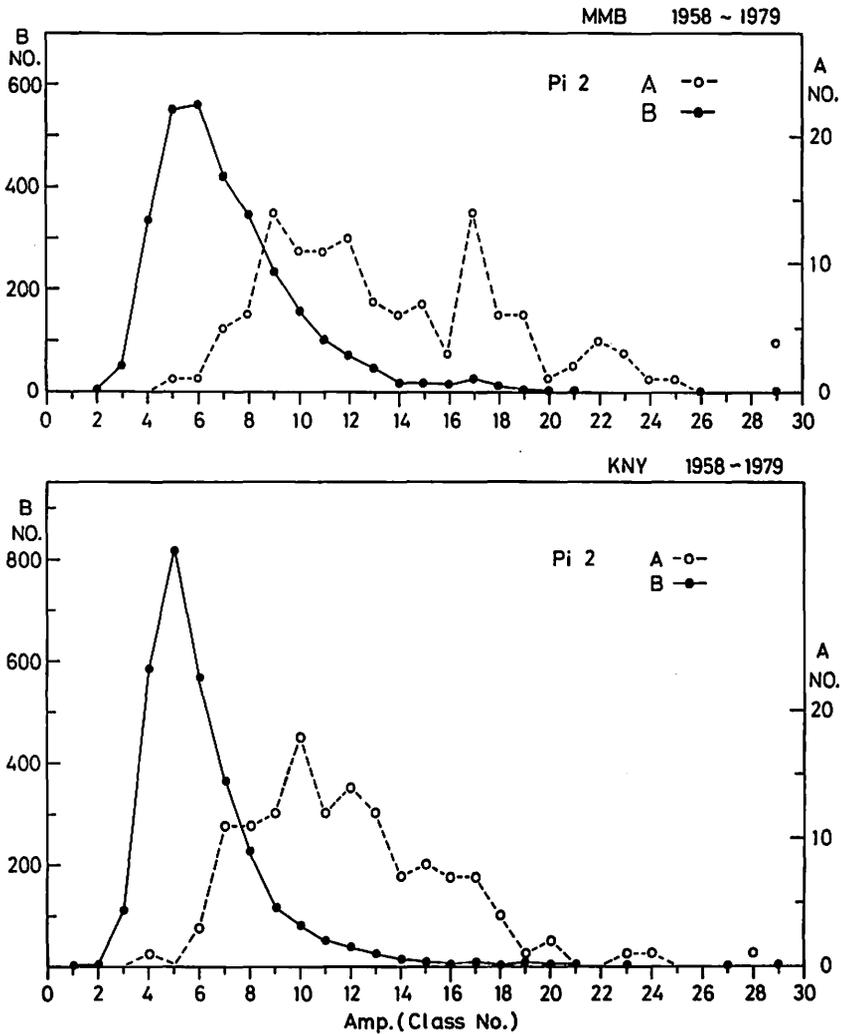


Fig. 10(a). Total amplitude distributions of pi 2 pulsations at Memambetsu (upper) and Kanoya (lower).

が、ともかく図に見られるとおり、複雑な変動をしている。概していうならば、Pi 1 の平均振幅の変動は太陽活動度と正相関の傾向があり、Pi 2 とは周期特性の場合と同様反対の傾向を示している。後半期における Pi 1 振幅の異常増大（特に MMB の場合）は、前述の Pi 2 と同じ理由によるものである。

### 7. 2, 3 の問題点とまとめ

MMB および KNY における Pi-脈動の各種の特性について統計的に解析した結果を報告した。第 6 節で示した各種 Pi-脈動の振幅特性で顕著に見られたとおり、残念ながら

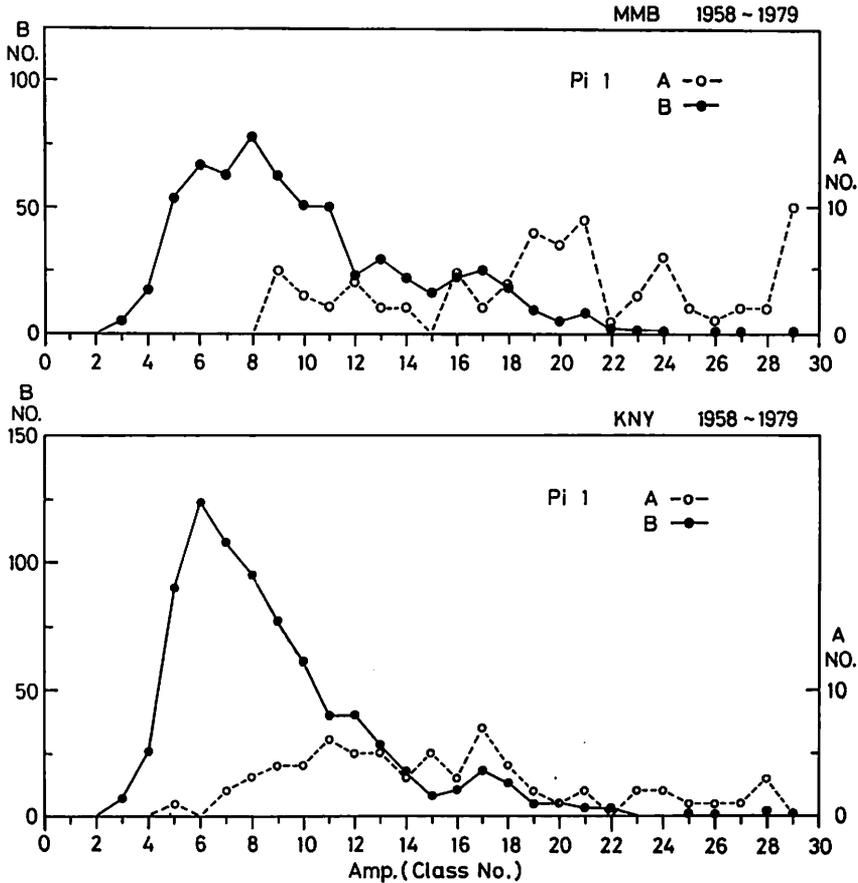


Fig. 10(b). Total amplitude distributions of pi 1 pulsations at Memambetsu (upper) and Kanoya (lower).

近年になって無視しえないやや大きな観測基準の変動または変更があり、各種特性の細部に関する議論は総て自然現象の特性であると結論するわけにはいかない。例えば、Pi-脈動の出現特性について、前・後期 solar cycle での違いをいろいろ議論してきたが、これらは観測基準の変動に起因している可能性が強く、再検討を要する。全期間同じ観測基準で脈動が報告されているとすれば、少なくとも1974年以降は最っと出現数が増大し、前期の出現特性に近づいてくるであろう。このことは前述した前・後期での出現特性の違いを無意味なものにする反面、Pi-脈動の出現と太陽黒点数との逆相関性を一層確固たる特性として受け入れられる結果をもたらす。その他の特性についても大なり小なりの変質があるかも知れないが、上記の各年出現特性と振幅特性を除いてどのように変質するか、具体的な推定はむしろ困難である。

このように Pi-脈動の主として太陽活動度依存性に関する各種特性の細部議論には誤差要因が多く、今後詳細な再調査が望まれるところである。しかし、Pi-脈動の一般的な興味ある特性として、次のようなことはかなりの信頼度を持って結論できるであろう。

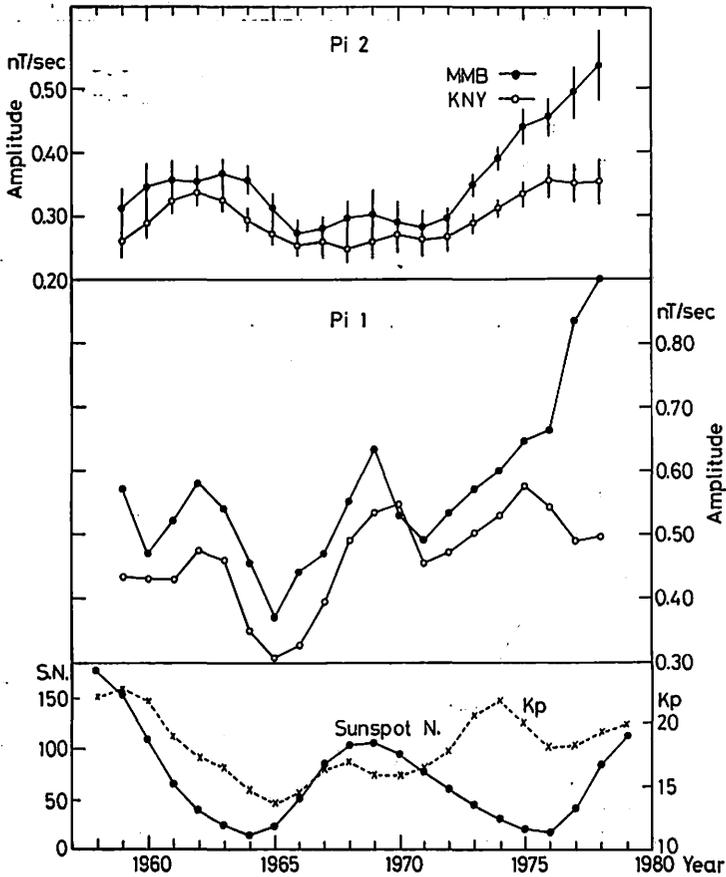


Fig. 11. Yearly mean amplitudes of pi 2 and pi 1 pulsations at Memambetsu and Kanoya. The error bars shown only for pi 2 are the 95% confidence interval.

(1) Pi-脈動は Pi 2, Pi 1 とも, また Quality A, B, C ともその年総出現数は太陽活動度と逆相関性があること。しかし, 地磁気活動度と極めて相関性が悪いこと。

(2) 最大出現地方時にも太陽活動度に依存したわずかな変動(1時間程度)が, 特 KNY において見られること。(MMB でははっきりしない。)

(3) Pi-脈動の周期特性は, Pi 2 では太陽活動度と概して正相関性があり, Pi 1 は反対の傾向を示すこと。

(4) Pi-脈動の振幅特性は Pi 2 と Pi 1 で概略反対で, Pi 2 は太陽活動度と逆相関, Pi 1 は正相関性を示すこと。

今回は Pi-脈動の諸特性の主として太陽11年周期と関連させた統計的解析結果を報告した。次号ではこれらの季節変化, 日変化およびその太陽周期変化特性に重点を置いた解析結果を報告する予定である。

最後に, この調査にあたり, その機会と助言をいただいた河村所長に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- Kawamura, M. and S. Kashiwabara (1965): Observations of geomagnetic and earth-current micropulsations with periods of about 1 cps (I), On the observing apparatus of geomagnetic micropulsations, Memo. Kakioka Mag. Obs., 12, 1-13.
- Matsushita, S. (1963): On the notations for geomagnetic micropulsation, J. G. R., 68, 4369-4372.
- Saito, T. and S. Matsushita (1968): Solar cycle effects on geomagnetic pi 2 pulsations, J. G. R., 73, 267-286.
- Saito, T. (1969): Geomagnetic pulsations, Space Science Reviews, 10, 319-412.
- Yanagihara, K. (1957): Earth-current pulsations observed at Kakioka, Memo. Kakioka Mag. Obs., 8, 49-67.
- Yanagihara, K. (1959): Some characters of geomagnetic pulsation pt and accompanied oscillation spt, J. G. R., Special No., 172-176.
- Yanagihara, K. (1960): Geomagnetic pulsations in middle latitudes, Morphology and its interpretation, Memo. Kakioka Mag. Obs., 3, 15-74.

## Statistical Analyses on Various Characteristics of Pi-geomagnetic Pulsations at Memambetsu and Kanoya (I)

by

Yukizo SANO and Tadao KURIHARA

### Abstract

Observational data of pi-pulsations at Memambetsu and Kanoya during two solar cycles from 1958 to 1979 are statistically analyzed. The data used are from the Report of the Geomagnetic and Geoelectric Observations (Rapid variations) published yearly by the Kakioka Magnetic Observatory.

In this paper, secular variations on various characteristics of pi-pulsations such as their occurrence frequency, period, amplitude and so on are mainly analyzed with respect to their solar cycle dependences. It is confirmed from the present study that there is the well-known inverse relation between the occurrence frequency of pi-pulsations and the solar activity. A distinct solar cycle dependence is found in the secular variation of the period. As for the amplitude, such a distinct solar cycle dependence is not seen so clear in the present analysis.

However, the above-mentioned features are considerably different between the two solar cycles. It is not well understood whether or not these differences are essential, because it will be pointed out that a great change of the observational bases at both stations has been taken place since 1974.