

## Halley 彗星最接近時の Sakigake/IMF による惑星間 空間磁場変動特性について\*

中 川 朋 子\*\*・斎 藤 尚 生\*\*・温 元 清 文\*\*

(1987 年 3 月 2 日受理)

## Characteristics of IMF Structures Observed by Sakigake at the Closest Approach to Comet Halley

By

Tomoko NAKAGAWA, Takao SAITO, and Kiyohumi YUMOTO

**Abstract:** Characteristics of interplanetary magnetic structures are investigated using the IMF data obtained by Sakigake on 11 March 1986 at its closest approach to comet Halley. IMF variations associated with multiple crossings of heliospheric neutral sheet can be detected on the same day. It is also found that two peculiar regions with (1) anomalously many tangential and neither, discontinuities, and with (2) predominant rotational discontinuities existed near the neutral sheet at cometary distance of  $7 \times 10^6$  km. The magnetic field is found to be weak and to change easily its strength in the former region, while to be steady and strong in the latter. Further studies are needed to clarify whether the structure indicates the solar plasmashet or the magnetic cloud.

### 要 旨

「さきがけ」の Halley 彗星最接近時 (1986 年 3 月 11 日) における惑星間空間磁場構造について、磁場不連続現象という観点から

---

\* 宇宙研特別事業費による研究論文

\*\* 東北大学理学部

調べられた。「さきがけ」はこの日、太陽磁気圏の neutral sheet を multiple crossing し、さらに(1) tangential 不連続と neither 不連続が異常に多く、磁場強度変動の卓越する領域と(2) rotational 不連続が多く磁場強度変化の少ない、IMF 磁場の強い領域とを横切っていた。この物理的解釈には、solar plasmashet あるいは magnetic cloud という描像が考えられる。

## 1. Introduction

日本初の惑星間空間探査機「さきがけ」は、1985年1月8日の打上げ後順調に飛行を続け、1986年3月11日、Halley 彗星の核からおよそ700万 km の距離まで接近した(Saito et al., 1986)。「さきがけ」に搭載された惑星間空間磁場観測装置(IMF)により、これまで、磁気嵐性惑星間空間擾乱(湯元他, 1986)や惑星間空間の磁場不連続現象(中川他, 1986)について調べられている。

この論文では、1986年3月10日～11日の0.8 AU における惑星間空間磁場の構造を、磁場不連続現象という観点から解析した結果を報告する。Halley 彗星接近時の惑星間空間磁場の状態を知ることは Halley 彗星の物理を考えるうえで直接的・間接的に重要な急務である。rotational 不連続: tangential 不連続: either 不連続: neither 不連続の1時間ごとの構成比が示され、磁場強度とあわせた考察から物理的描像が述べられる。

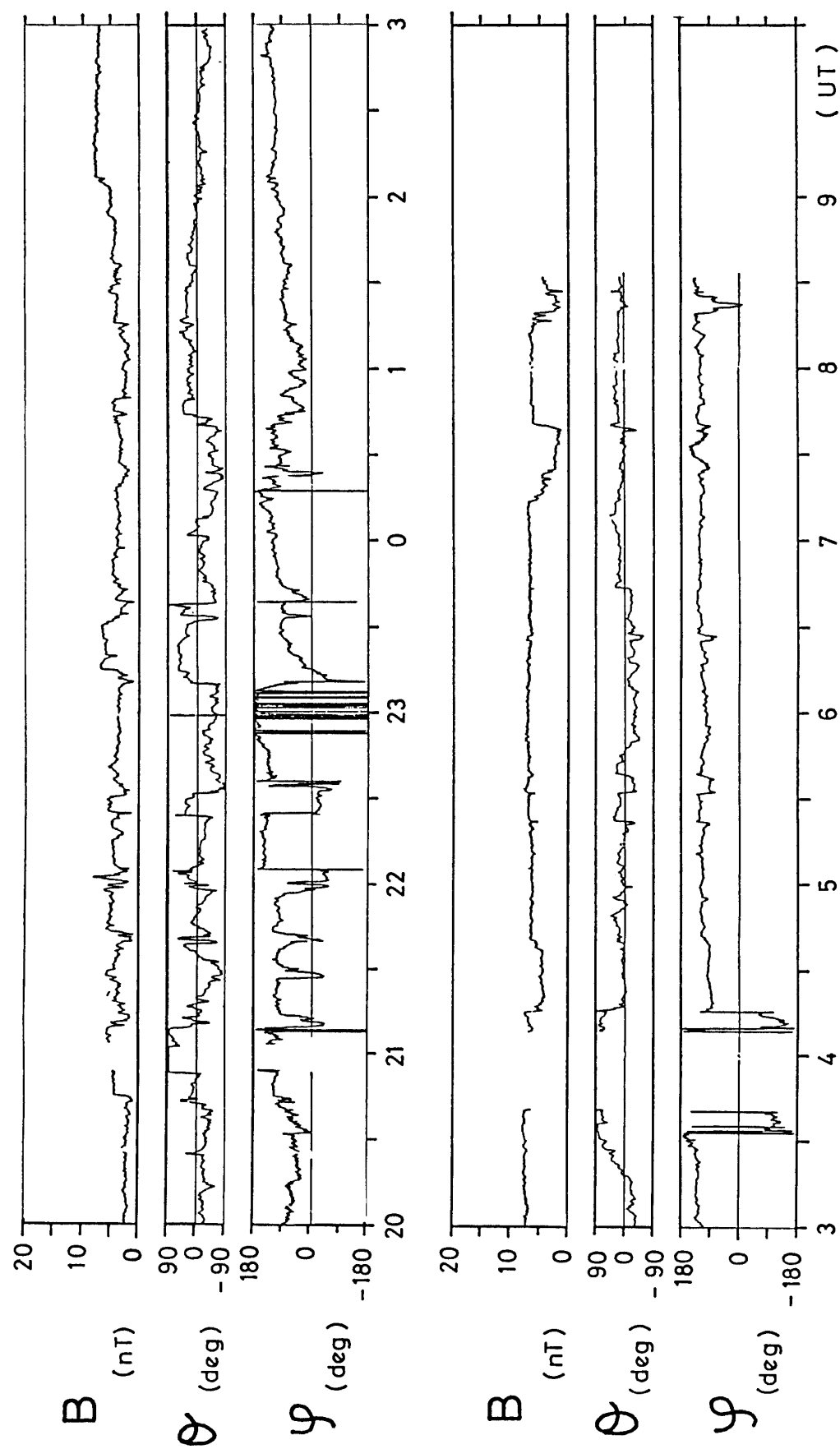
## 2. Data

解析に用いられたのは「さきがけ」によって得られた0.8 AU における IMF 磁場3成分の data である(第1図)。磁場強度の分解能は0.1 nT であり、40秒間の移動平均値として4秒ごとの data が得られる。図中、 $\theta$  は黄道面から測った磁場ベクトルの仰角(北向きを正とする)を示し、 $\phi$  は太陽方向を零とした黄道面内の磁場方向(公転方向と逆向きを正とする)を表す。

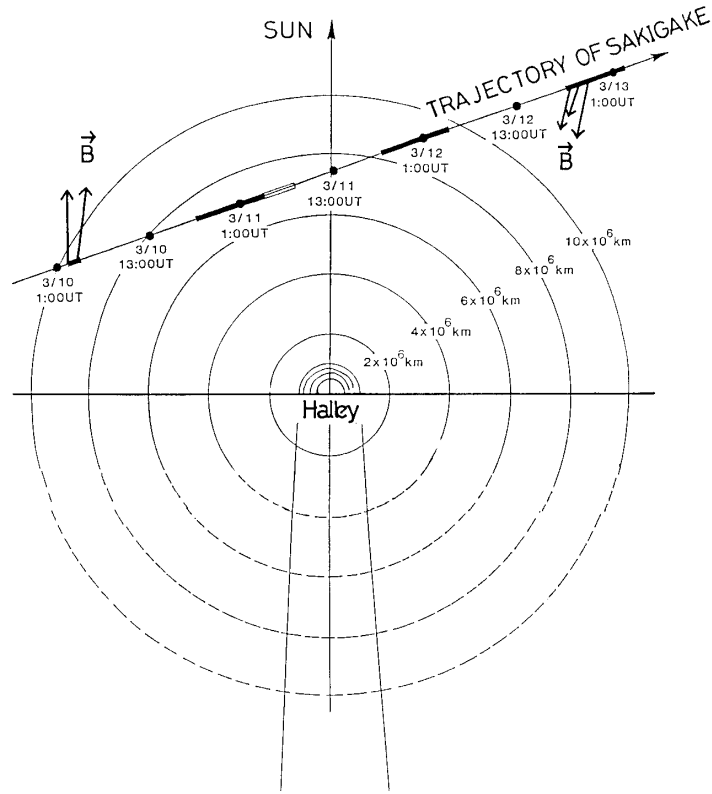
解析期間は1986年3月10日1940 UT から3月11日0839 UT である。この期間前後の「さきがけ」の軌道と磁場ベクトルの方向を第2図に示す。3月11日は、3月10日までの太陽向きの磁場から3月12日以降の反太陽向きの磁場へ、と太陽磁気圏の sector polarity が変わる時期にあたっていた。実際、3月10日の data 中には、太陽磁気圏の neutral sheet 通過が数例観測された(Saito et al., 1986)。第3図に neutral sheet 通過時の IMF 変化の典型例を示す。Parker's spiral に沿った反太陽方向の磁場から同 spiral に沿った太陽方向の磁場への180°の方向変化が見られ、同時に磁場強度が極小となっている。

## 3. Analysis

IMF data 中の磁場不連続現象の抽出および分類は以下のように行われた。まず data の中から、磁場ベクトル  $\vec{B} \equiv (B_x, B_y, B_z)$  が単調に変化し、かつ変動量  $(\Delta B_x^2 + \Delta B_y^2 + \Delta B_z^2)^{1/2}$  が1.0 nT を超える区間をすべて抽出し、磁場不連続現象とみなした。この場合の時間分解能は8秒である。分類方法は Neugebauer et al. (1984), 中川他 (1986) にもとづき、



第1図 Halley 彗星最接近時の、「さきがけ」により観測された惑星間空間磁場



第 2 図 Halley 彗星最接近時前後の「さきがけ」の軌道と惑星間空間磁場 vector

Rotational 不連続

$$\frac{B_n}{|B|} \geq 0.4, \frac{[|B|]}{|B|} < 0.2$$

Tangential 不連続

$$\frac{B_n}{|B|} < 0.4, \frac{[|B|]}{|B|} \geq 0.2$$

Either 不連続

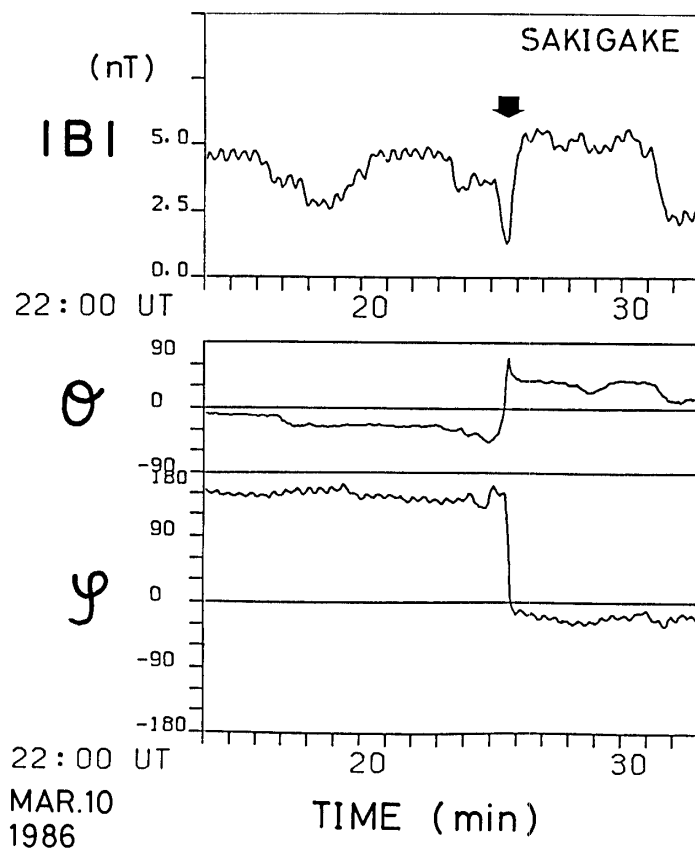
$$\frac{B_n}{|B|} < 0.4, \frac{[|B|]}{|B|} < 0.4$$

Neither 不連続

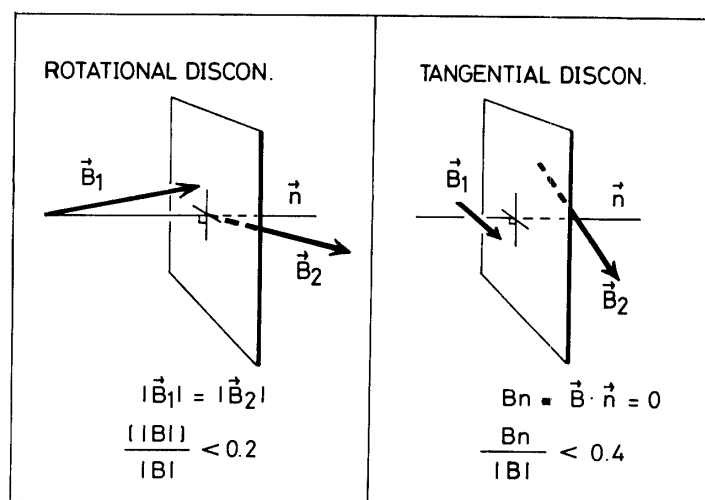
$$\frac{B_n}{|B|} \geq 0.4, \frac{[|B|]}{|B|} \geq 0.4$$

とした。ここで  $|B|$  は IMF 磁場絶対強度,  $[|B|]$  は不連続面通過による  $|B|$  の変化量,  $B_n$

# NEUTRAL SHEET CROSSING EVENT



第 3 図 太陽磁気圏 neutral sheet 通過時の IMF 磁場変化の典型例



第 4 図 rotational 不連続と tangential 不連続

$\equiv \vec{B} \cdot \vec{n}$  は不連続面法線方向の磁場成分である。不連続面の法線ベクトル  $\vec{n}$  は, minimum variance analysis (Sonnerup and Cahill, 1967) により決定した。(第4図)

### 3. Result

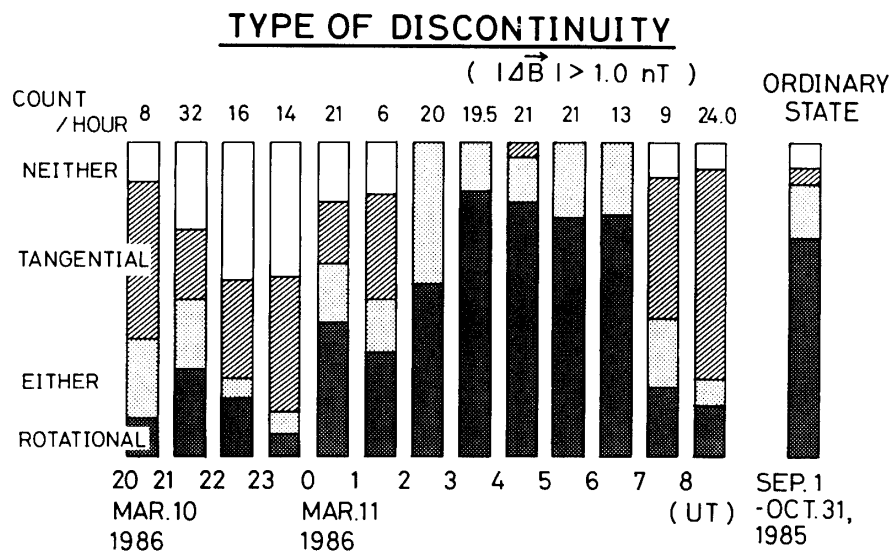
3月10日-11日の1時間ごとの rotational 不連続: either 不連続: tangential 不連続: neither 不連続の構成比率を第5図に示す。図中, 右端に惑星間空間での通常の構成比を示す。これは1985年9月~10月の707例の現象の統計結果である。通常は rotational 不連続が全体の7割以上を占めているのに対し, 3月10日~11日は明らかに異なり tangential 不連続や shock 性の neither 不連続が非常に多くなっている。さらに興味あることに, 11日02時UTを境に構成比の変化が見られた。2時以前の tangential 不連続・neither 不連続の多さに対し, 2時以降は rotational 不連続の割合が圧倒的であった。

2時を境とした変化は, 磁場強度(第1図)にもあらわれている。2時以前は5.0 nT以下の弱い磁場で, かつ細かな変動が多いが, 2時以降は7.5 nTに強度が上り, 構造的に変動の少ない状態に変化している。2時以前の微小な変動の空間規模は radial 方向で数十  $R_E$  であり, これに対し 0207-0416 UT 間の安定した磁場状態の空間規模は数百  $R_E$  に達するものと推察される。

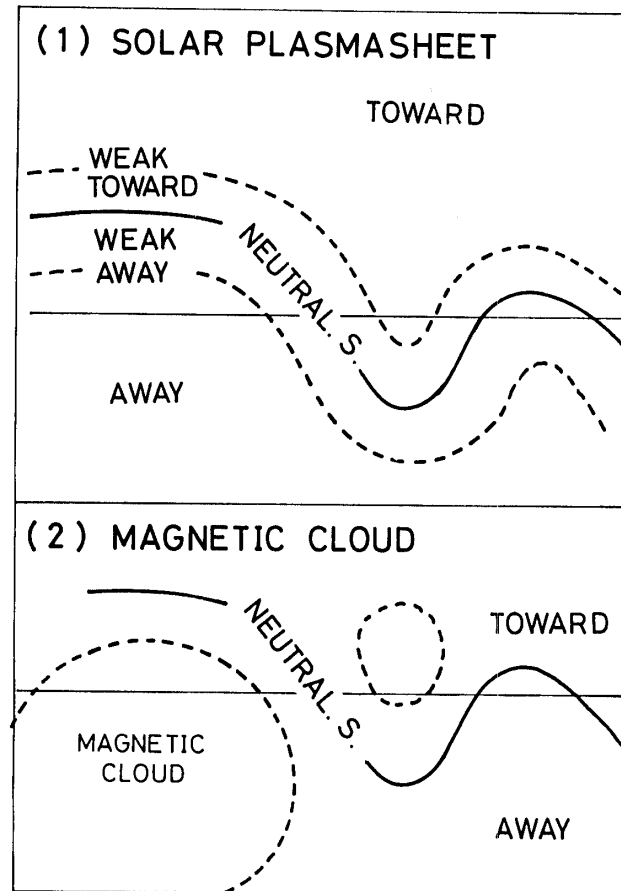
### 4. Discussion

これらの明らかに性質の異なる2つの領域には, いくつかの物理的描像が考えられる(第6図)。

ひとつの可能性として solar plasmashet という概念がある。これは, neutral sheet の



第5図 1986年3月10日~11日の惑星間空間磁場不連続現象の1時間ごとの構成比



第 6 図 1986 年 3 月 10 日～11 日の惑星間飛経間の磁場構造の描像

両側に存在する磁場の弱い領域である。solar plasmasheet 内では数  $R_E$  ないし数十  $R_E$  規模の tangential 不連続や shock-like 構造が存在し、solar plasmasheet 外に出ると、地球の tail lobe のように磁場の強い、構造的変化の少ない領域が広がっているという考え方である。

もうひとつの描像としては magnetic cloud がある。neutral sheet の近くの磁場の弱い領域中に、magnetic cloud が存在しており、その中に「さきがけ」が入ったとき、強い磁場で囲まれて外界と異なる状態を保っている領域を観測したものと考えられる。magnetic cloud の発生源については、Halley 彗星に関わるものなのか、それとも太陽磁気圏中の構造なのか、現時点では特定することはできない。

## 5. Conclusion

惑星間空間探査機「さきがけ」は Halley 彗星に最接近した 1986 年 3 月 10 日～11 日に太陽磁気圏の neutral sheet の multiple crossing を行ったもの、と IMF 磁場 data から推察される。neutral sheet 付近では、性質の異なる 2 つの領域、すなわち、磁場が弱く、tan-

gential 不連続や neither 不連続の異常に多い領域と、磁場が強く、構造的な変化の少ない領域とが観測された。この2つの領域は、solar plasmashet の内外の領域である可能性と考えられ、今後の大きな研究課題である。

### 謝 辞

「さきがけ」による惑星間空間磁場観測にあたっては宇宙科学研究所をはじめ関係大学、各メーカーの方々の御尽力により価値あるデータを得ることができましたことを感謝申し上げます。解析に際しては、宇宙科学研究所の計算機 M 360 および宇宙科学資料解析センターの大型電算機共同利用経費を使用させていただきました。重ねて感謝申し上げます。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Neugebauer, M., D. R. Clay, B. E. Goldstein, and B. T. Tsurutani, A reexamination of rotational and tangential discontinuities in the solar wind, *J. Geophys. Res.*, **89**, 5395, 1984.
- [ 2 ] Saito, T., K. Yumoto, K. Hirao, T. Nakagawa, and K. Saito, Interaction between comet Halley and the interplanetary magnetic field observed by Sakigake, *Nature*, **321**, 303, 1986.
- [ 3 ] Sonnerup, B. U. Ö., and L. J. Cahill, Jr., Magnetopause structure and attitude from Explorer 12 observations, *J. Geophys. Res.*, **72**, 171, 1967.
- [ 4 ] 中川朋子, 斎藤尚生, 温元清文, 「さきがけ」によって観測された太陽風磁気不連続の特性, 宇宙科学研究所報告, 特集第 14 号, 47, 1986.
- [ 5 ] 温元清文, 小山孝一郎, 斎藤尚生, 平尾邦雄, 平野孝文, 中川朋子, 「さきがけ」で観測された磁気嵐惑星間空間擾乱, 宇宙科学研究所報告, 特集第 14 号, 33, 1986.