

彗星が太陽磁気圏中性面を通過する際の尾の変化  
—1910年出現時のハレー彗星その他—

齋藤 尚生\*・齋藤 馨児\*\*

(1986年6月20日受理)

Variation of Ion Tail of a Comet at the Time of its Crossing  
through the Heliospheric Neutral Sheet  
—Comet Halley in 1910 and Others—

By

Takao SAITO and Keiji SAITO

**Abstract:** Surveying 26 plates of Comet Halley during the last apparition in 1910, the ion tail with a distinct kink on May 13 is concluded to be the most specific throughout the 1910 apparition. The heliosphere was deduced from the analysis of its solar cycle variation to be in excursion phase. From the analysis of 27-day recurrence time pattern of geomagnetic activity index C 9 during 1909-1911, the inclination and the position of the heliospheric neutral sheet on the day is obtained and expressed on the two-hemisphere diagram. Superposition of the positions of the earth and the comet on the day on the diagram revealed that the comet was just on the neutral sheet on 13 May 1910. Considering the recent observation on the deflection of the solar wind near the neutral sheet, it is concluded that the kind of the ion tail was caused by a sector boundary crossing.

要 旨

HALLEY 彗星は前回 1910 年に回帰したが、その時の写真 26 枚が SURVEY され、中でも ION TAIL が際だって特異な様相を示

---

\* 宇宙研客員助教授，東北大学理学部

\*\* 法政大学

したのが5月13日 EVENT であることが確認された。その KINK 状様相を太陽風構造との関連で調べるために、先づ1910年は太陽圏が EXCURSION PHASE にあったことを突きとめた。次に地磁気活動度の27日回帰性から、太陽圏中性面の傾きと位置が求められた。そして地球と彗星の三次元的軌道位置を重ね合わせた結果、HALLEY 彗星はちょうどこの日に中性面を横切っていたことが判明した。太陽風向の中性面付近でこの変化に関する観測結果を適用して次のような結論を得た。1910年5月13日に HALLEY 彗星の ION TAIL に特異な KINK が生じたのは、ちょうどこの日に、太陽風向風速分布が急に変わる太陽圏中性面を、彗星が横切ったためである。他の2~3の彗星 ION TAIL に見られた KINK についても、同様な解析を行ない、結論の正しさを傍証した。

### 1. 緒 言

彗星が太陽圏中性面を通過する際の尾の変化については、KOHOUTEK の場合に NIEDNER et. al. (1978) が論じている。また彼は他の数多くの彗星についても、中性面

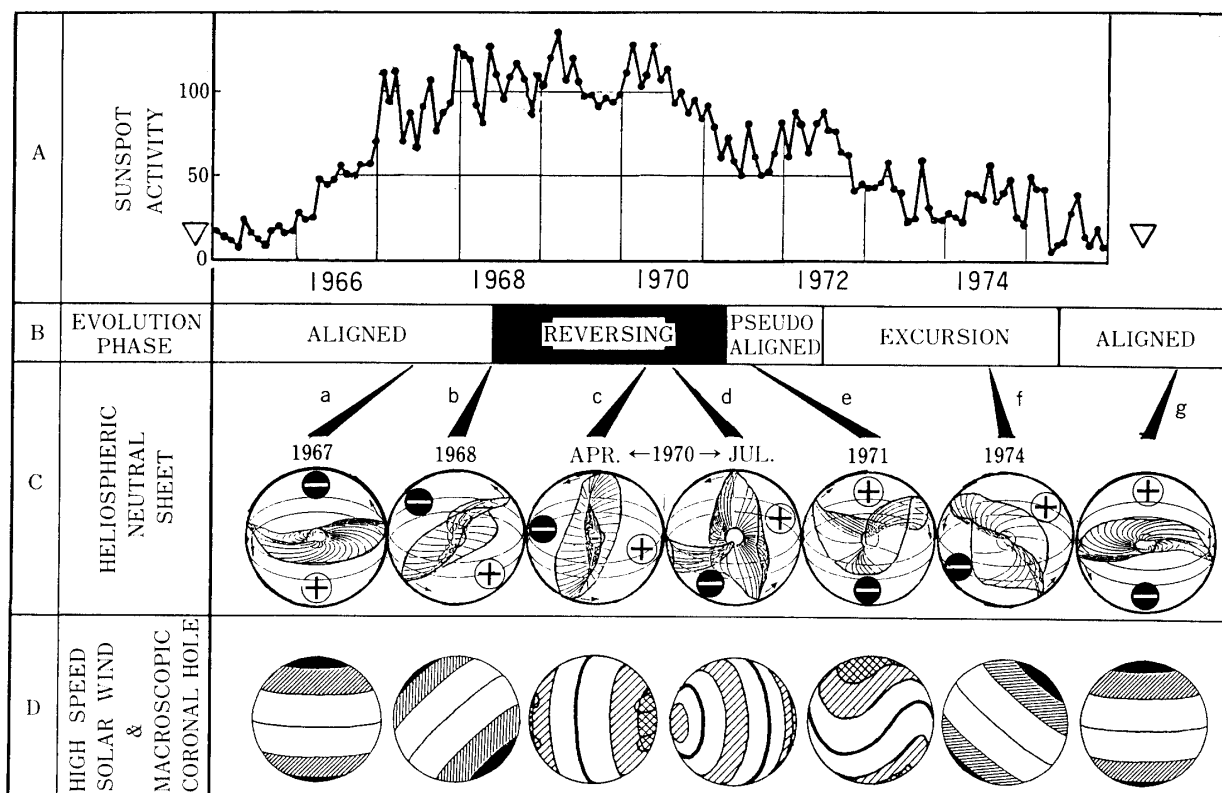


図1 太陽磁気圏の11年変化。(A)黒点相対数による SOLAR CYCLE. (B)太陽圏変化 PHASE から見た SOLAR CYCLE. (C)太陽圏磁気中性面の代表的な例。(D)太陽風速と CORONAL HOLE の分布。

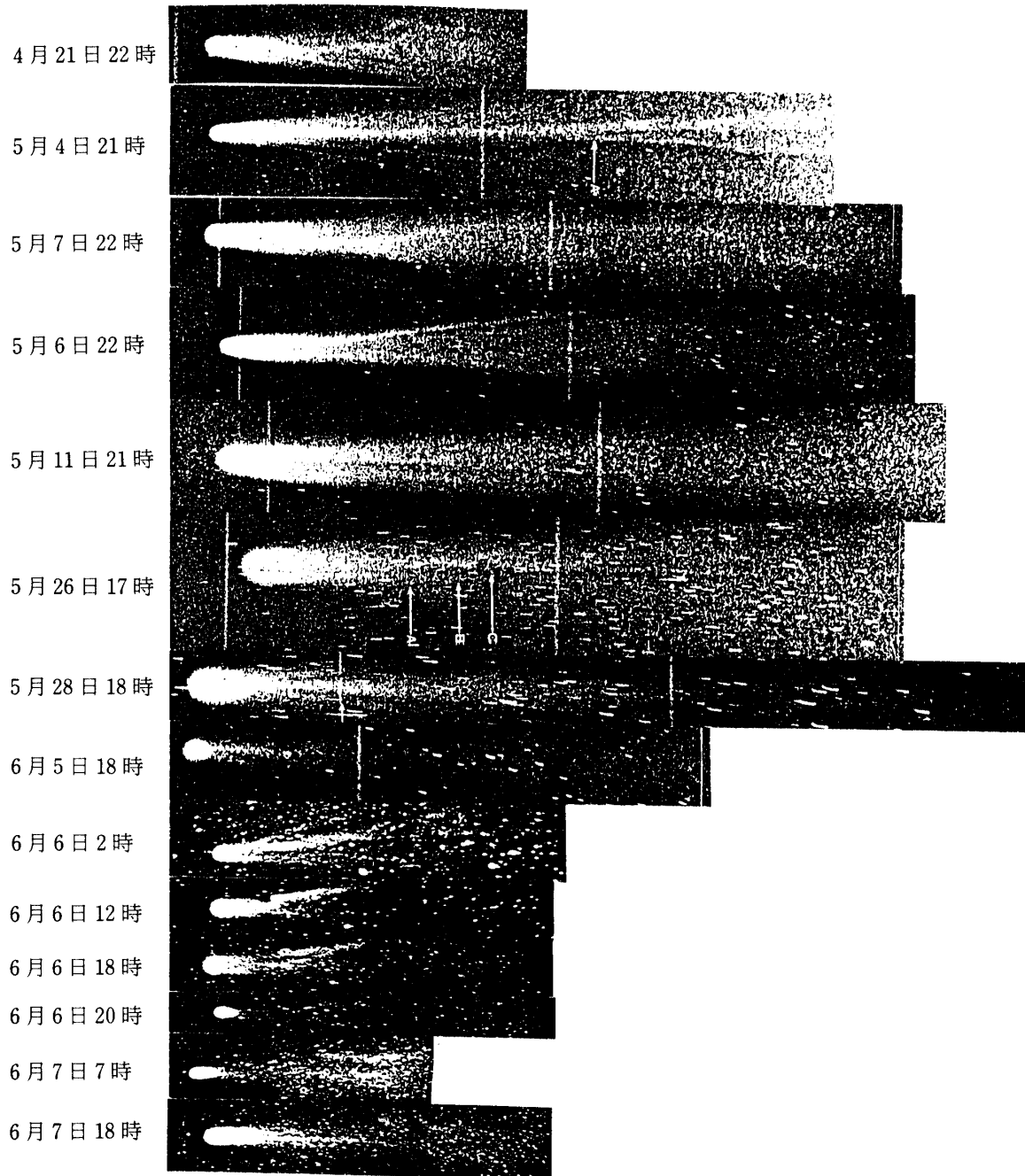


図2A 1910年回帰時の HALLEY 彗星 (BOBROVNIKOFF (1931) による)。6月6日の DE は NIEDNER 等により既に研究された。

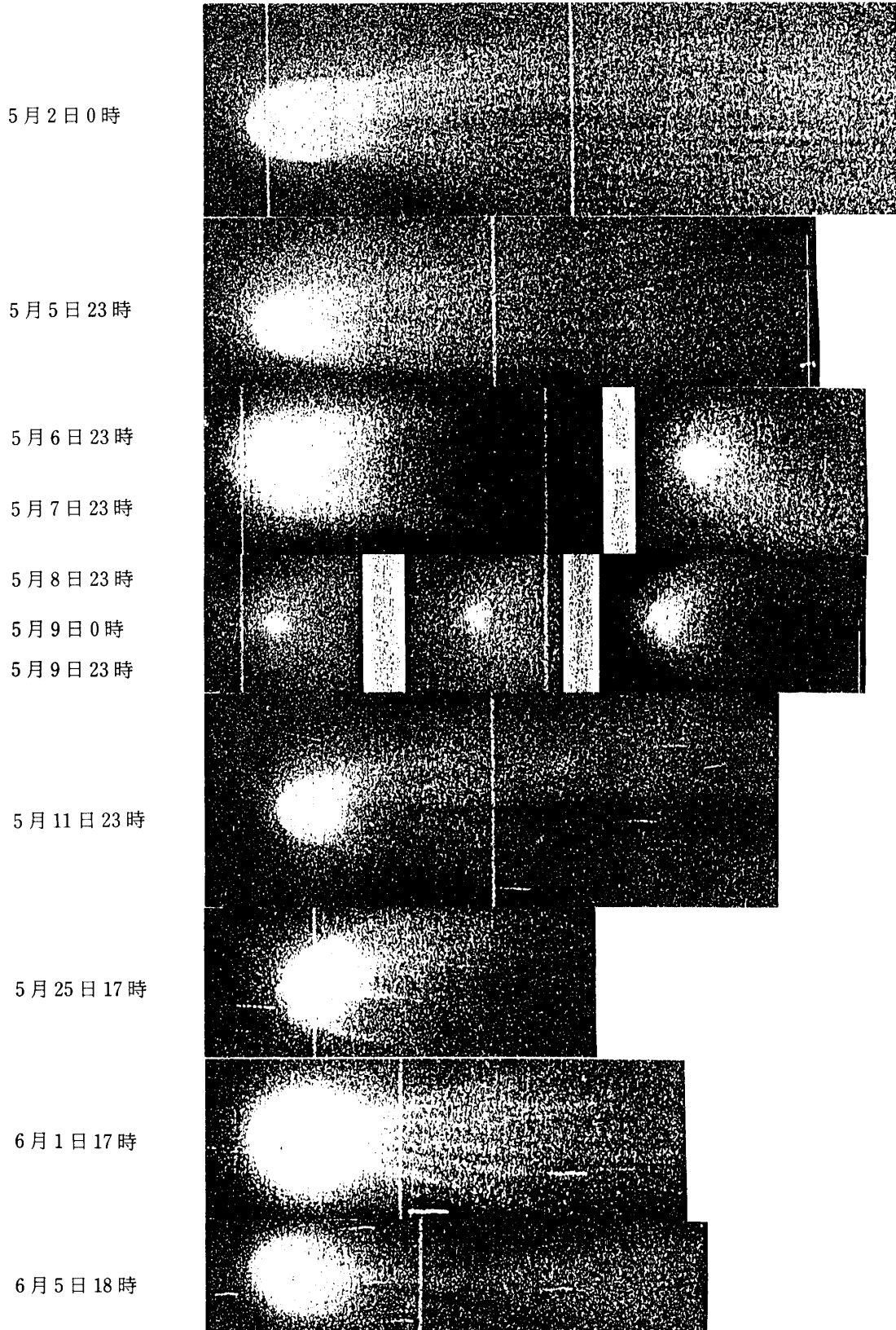


図2B 図2Aと同じ。これらに較べると、MAY 13, 1910現象(図3)がいかに特異であるかがわかる。5月2日と11日のBLACK TAIL(主軸付近)は、低緯度電流層と考えられる。

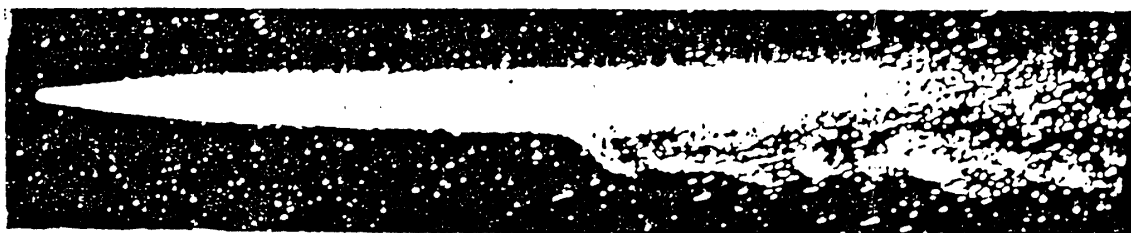


図3 1910年5月13日のHALLEY彗星. 見かけ上DUST TAILの下方(実際は恐らく紙面手前方向)に折れ曲ったION TAILがある。

通過日を CATALOGUE にして数えあげている (Niedner, 1981). ただし彗星がいつ中性面を通過したかは, 太陽風直接観測データがない限り, 余程太陽圏変化に関する知識がなければ推定は不可能である. 即ち中性面は一般に黄道面に垂直ではなく, しかも傾角は11年変化をする (図1, Saito et al., 1985) ので, 地球での観測をそのまま彗星との経度差だけ SHIFT しても誤った結果しか出てこないからである.

最近太陽圏の研究は急速に進歩したので, 太陽風磁場直接観測データや極域磁場変動から間接的に推定した IMF データ (これを PIMF データと呼ぶ) がない昔でも, 太陽圏の状態が推定できるようになった. 本研究では種々の知識を総合して, 1910年時の太陽圏の状態を推定し, その年に回帰したハレー彗星の尾の変化とその機構を調べることを目的とする.

## 2. 1910年5月13日の HALLEY PLASMA TAIL の KINK

1910年に回帰した HALLEY 彗星の沢山の写真は, BOBROVNIKOFF (1931) がよく整理して纏めている. それらは TYPE 1 TAIL のむこう側に TAPE 2 が重なっており, 共に見かけ上ほとんど真直ぐに伸びていて余り変化がない (図2).

それらの写真に比べると, LOWELL 天文台撮影の5月13日の写真だけは TYPE 1 TAIL が KINK している様子が極めて明瞭である (図3). この KINK は一体どのような状態と機構のもとで生じたものであろうか?そこで次に, この時の地磁気の様子から太陽磁気圏の姿を解き明かしてみよう.

## 3. 地磁気活動度 27 日変化の 22 年周期性とその機構

今回(1986年)のハレー彗星出現時には, 明瞭な 27 日回帰性も半年周期も期待できない. 何故なら図4でも示すように, 例えば1954年には典型的な SEMIANNUAL ACTIVITY が見られ, その ACTIVITY は 22 年周期で変化している傾向がある. つまり, 今回は明瞭な半年周期も 27 日回帰性も期待できないと思われる.

これらの理由は同図の右端に MODEL として示してあるので参照して頂きたい.

ところが, 今回に比して1910年の出現時には, 図5に見られるように 27 日回帰性が可成りはっきり出ていた. ハレー彗星の周期は 76.0 年なので 11 年の倍数に近いが, SOLAR CYCLE は今世紀に入ってむしろ 10 年程度の状態が続いたので, 前回は極小年の 3 年前に

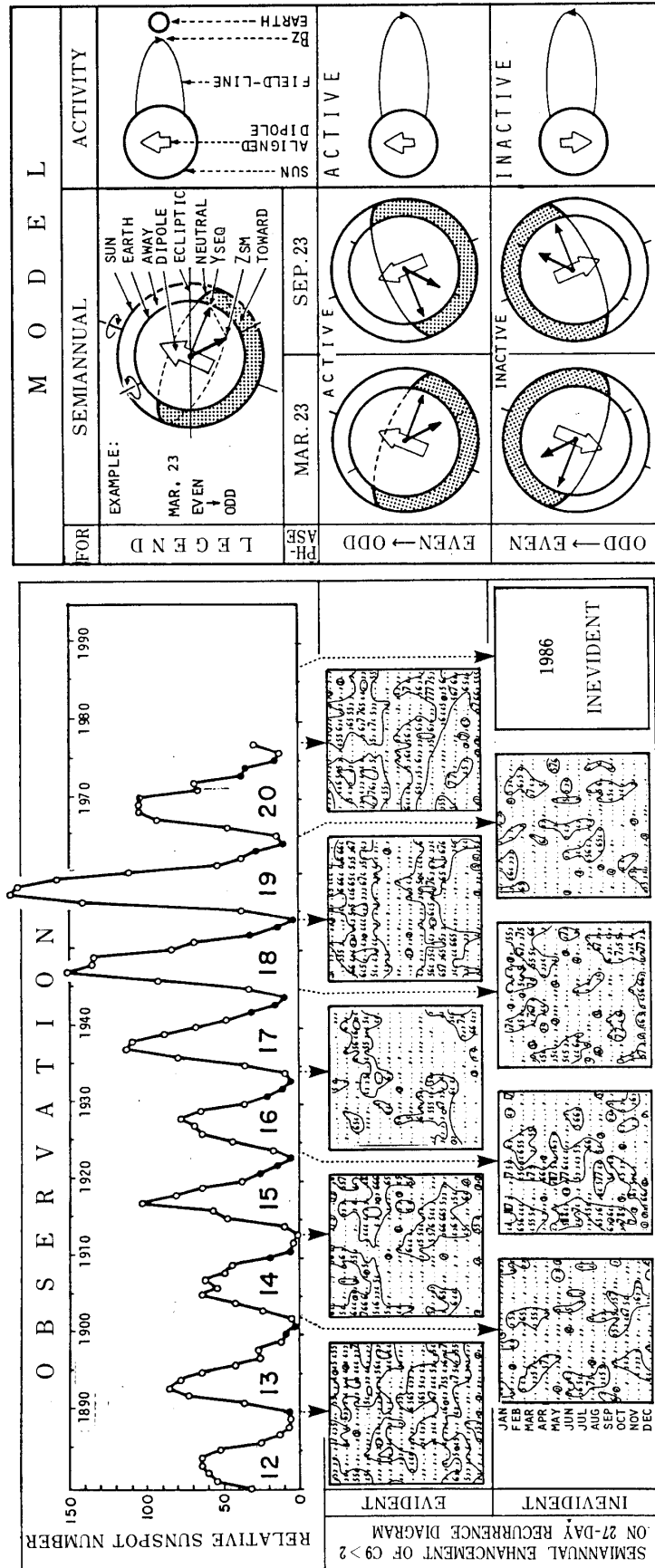


図4 太陽圏 ALIGNED PHASE における地磁気擾乱の季節変化、観測事実(左)とその解釈(右)。地磁気 C9 指数の半年変化に見られる 22 年周期が、一般化された ARS-SEQSM 効果 (SAITO, 1972) で説明されている。

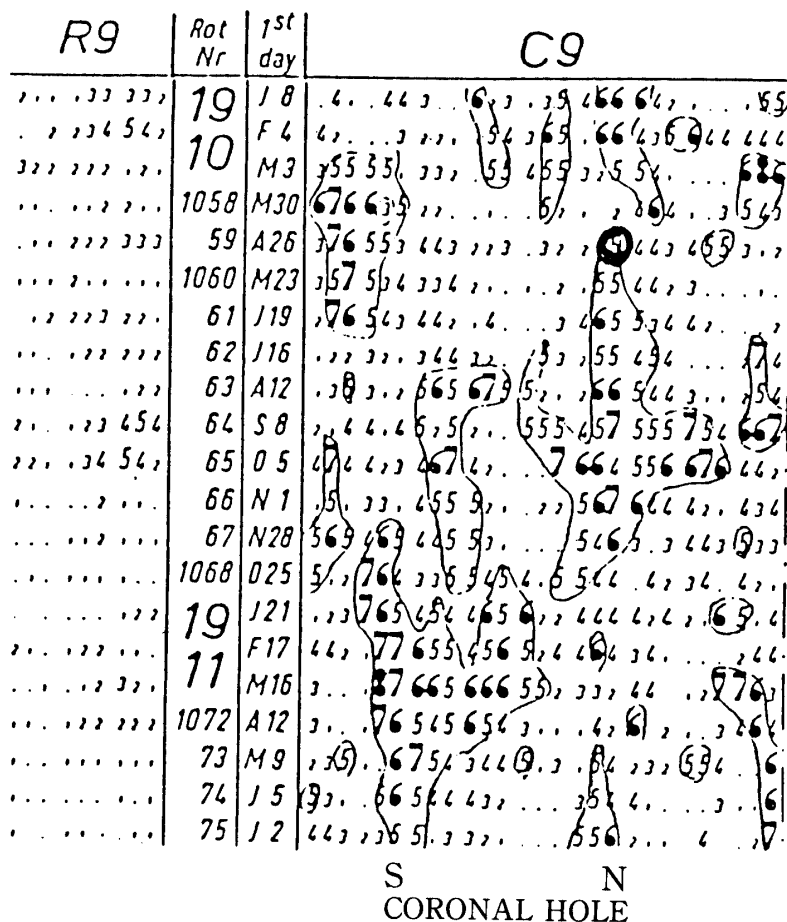


図5 1910-1911年の地磁気C9指数の27日回帰図。秋( $B_0 > 0$ )から春( $B_0 < 0$ )において回帰性擾乱のEPOCHが約27/2日前進している。これは高速太陽風を吹き出しているふたつのCORONAL HOLEが中性面を挟んで対蹠点にあることを示す。

出現した。3年という年数は太陽圏変化の中では見逃せぬ数で、今回の ALIGNED PHASE に対して EXCURSION PHASE に相当していた。これが回帰性を生じせしめた原因である。

#### 4. 1910年の太陽磁気圏を推定する

図5によると、回帰擾乱の特徴として、主に毎春におこる SERIES と毎秋におこる SERIES から成り立っている。地球の日面緯度  $B_0$  が季節変化をするから、春(秋)SERIES は太陽の南(北)半球の CORONAL HOLE から吹き出す高速太陽風によるものであることが知られている。(図1の Cf と Df 参照。)

これらの状態は 1974 年 EXCURSION 期と極めて似ており、1910 年には中性面が図6 のようであったことを示唆する。春秋 SERIES の中断の様子から、中性面傾角は  $30^\circ$  程度であったと推論される。また、SCANNING METHOD による解析 (SAITO, 1975) によ

ると、1974 EXCURSION 期に比べて幾分中性面の WARP が大きかったと推定できる。

そこで再度図5を見ると、問題の5月13日に、地球はちょうど北半球コロナルホールから吹き出した高速流に没入し、C9値が最高値(C9=5)に達していたことがわかる。C9値が最高になる日(換言すれば太陽風速が最高になる日)から何日前に地球が中性面をよぎるのは太陽周期の位相に依存する(SAITO, 1972, FIG. 5 参照)。これは中性面の傾き角が大きく影響するからである。そこで黒点下降期には2日であることを考慮して地球を図示したのが図6の黒丸Eである。地球の位置がこのように決まると、容易にHALLEY彗星の当日の位置が図中のCのように決まる。C点は丁度中性面上に位置するので、5月13日だけION TAILにKINKを生じた理由が、HALLEY彗星の中性面通過によるものである可能性が極めて高いことがわかる。

### 5. ION TAILがKINKした機構

では、中性面を通過する時にどのような機構でKINKを生ずるのだろうか。

いま、彗星の軌道運動を考えると、DUST TAILは紙面の裏側に曲がっている筈である。そのDUST TAILの見かけ上、下方にKINKが見える為には、PARKER SPIRALに沿う方向にKINKしていなければならない。

PARKER SPIRALの包絡面である湾曲した中性面の外側では太陽風速が遅く、内側では速い。内側の高速太陽風は、前方の低速風を押し一方、低速風を避けるようにして湾曲中性面に沿う方向に僅か向きを変える。この中性面付近での2~3°の方向変化は、さきがけ

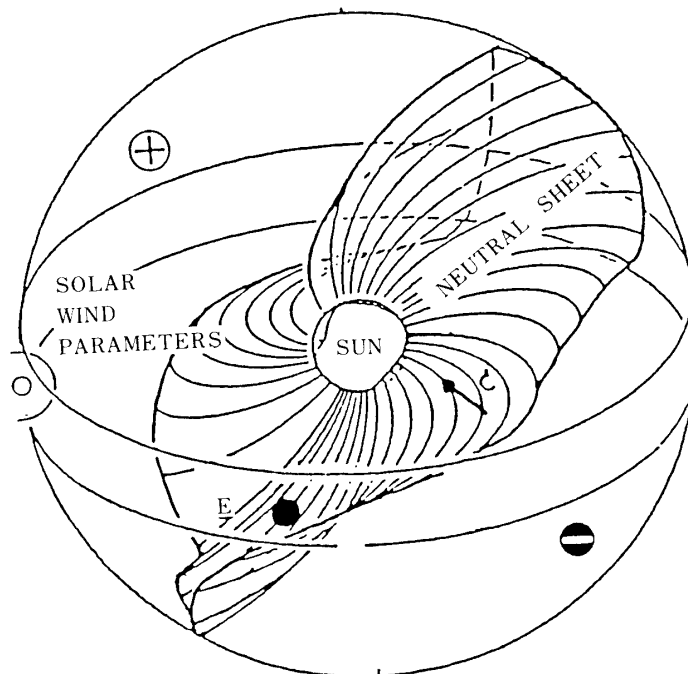


図6 図5から推定した1910年5月13日の太陽圏中性面と、地球(E)およびHALLEY彗星(C)の位置。



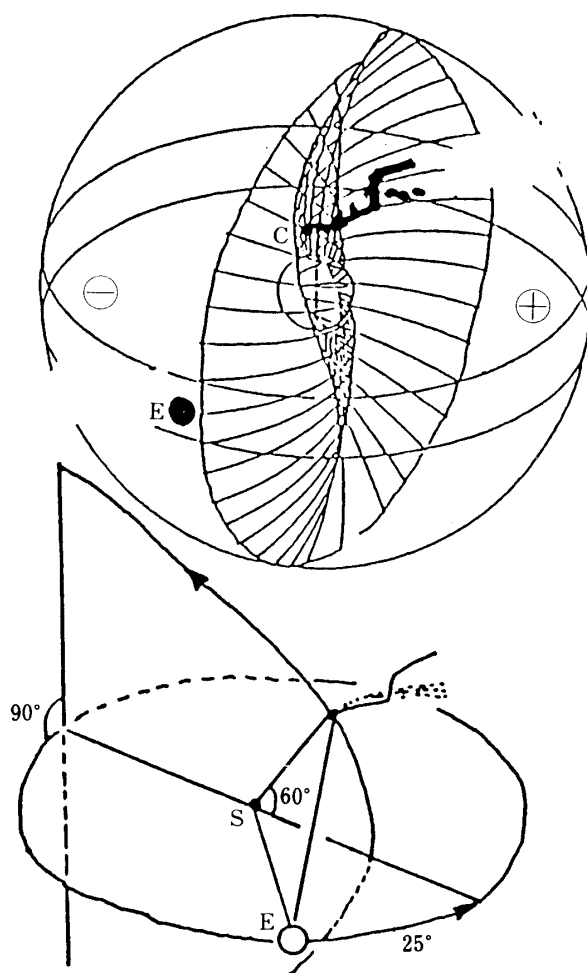


図7 1970年4月9日の Bennett 彗星(上)と, potential method で求めた当日の太陽圏(中), および彗星の軌道上の位置.

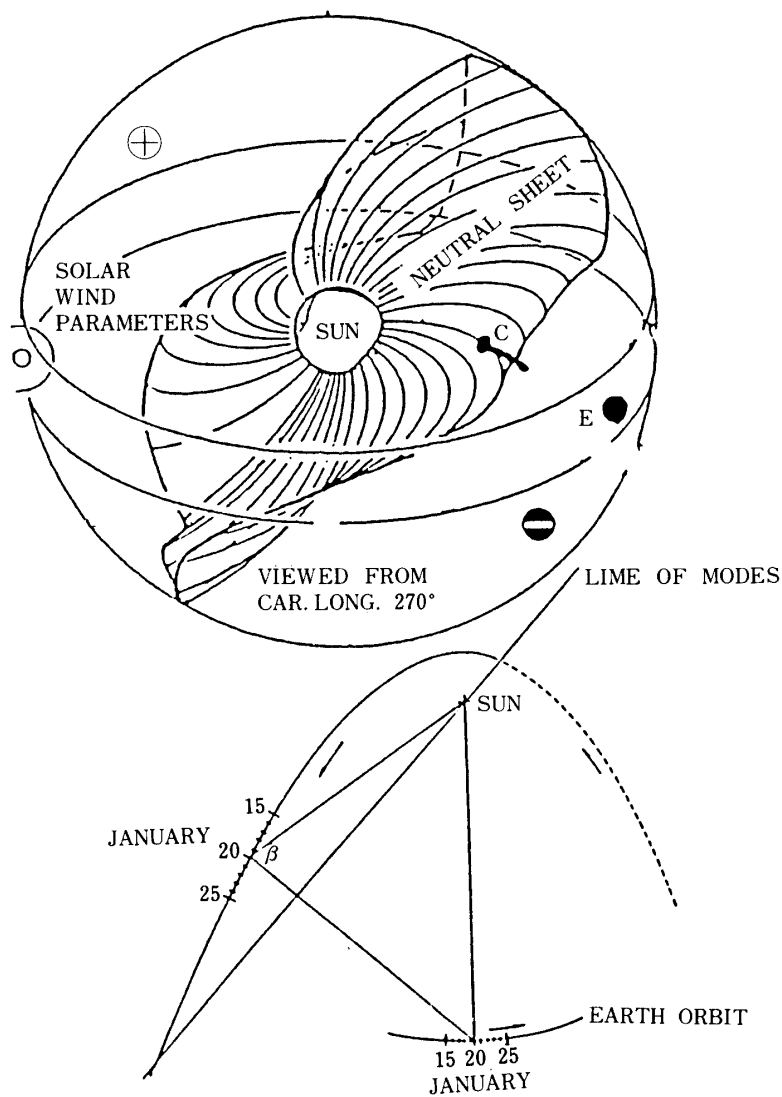


図8 1973年1月20日のKohoutek彗星(上)と, mid-line method  
で求めた当日の太陽圏(中)および彗星の軌道上の位置(下).

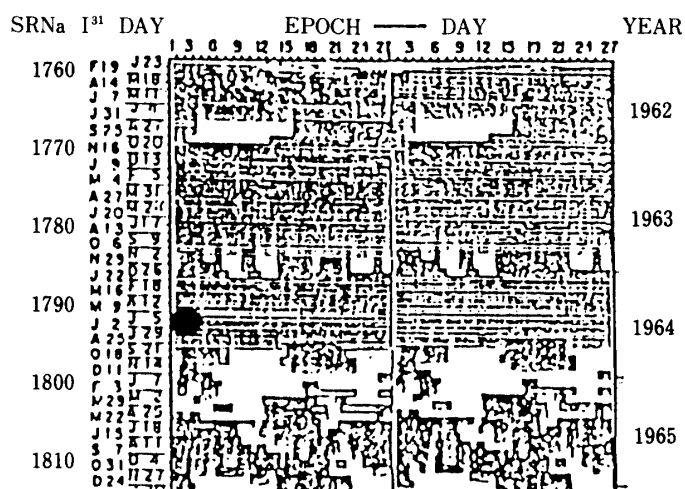
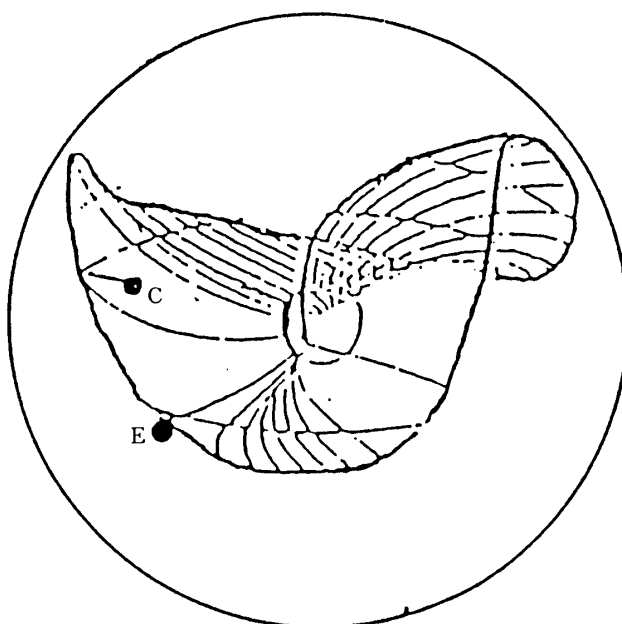


図9 1964年7月3日のTomita-Gerber-Honda彗星(上)と、scanning methodで求めた当日の太陽圏中性面(中)、およびその基礎資料として用いたIMFの27日回帰図(下)。

による太陽風観測 (小山, 他, 1986) でも検出し, BRANDT, et al. (1980) も報告している。

このような風速分布構造をしていた中性面に相対的に HALLEY 彗星が突入した為に, 5月13日のような KINK を生じたのだと考えると, 当日の変動がよく説明できる。

## 6. 他の3彗星の ION TAIL による傍証

前節の結論を裏付ける傍証として, 他の彗星にも同様な現象が起こった可能性を指摘しておく。これらは Saito et al. (1979) や, 丸橋ほか(1983) によって中性面が既に求められているものであり, 証拠立てていく論理は同じである (図7~9)。

## 7. 討 論

この論文によって1910年に見られた HALLEY 彗星の ION TAIL の KINK が太陽圏磁気中性面の通過によると述べたが, 中性面の通過で必ず KINK が生ずるとは限らない。仮に中性面が完全に黄道面に一致しているという理想的な ALIGNED STATE を考える。太陽風速は太陽磁場の DIP LATITUDE に比例するから, この場合には, 高緯度の高速太陽風は, 低緯度の低速太陽風に追いつくことはない。PARKER SPIRAL の角度が僅かに緯度変化をするだけである。PLASMA TAIL も中性面にほぼ平行のまま中性面を通過することになる\*)。

1986年の HALLEY 彗星は, 典型的な ALIGNED PHASE に通過することになるので, 前回までのような中性面の機構をそのまま当てはめることはできない。

但し, 次の効果を考慮する必要がある。

(1) ALIGNED PHASE には高速度層が安定に低緯度まで下ってくるので,  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  付近での速度勾配が大きい。

(2) 中性面は完全に黄道面と平行ではあり得ず, 僅かの WARP に(1)の効果が重なる為に, (EXCURSION PHASE 程顕著でないにせよ) 回帰性擾乱を生ずる。例えば1985年12月31日の HALLEY PLASMA TAIL の KNOT は, CARRINGTON 経度  $180^{\circ}$  付近の北半球から伸びた CORONAL HELE TONGUE からの高速太陽風によるものと解釈 (SAITO, ET AL., 1986) されている。

(3) 1986年2月2日に太陽東半球に現われた黒点が, SUNSPOT MINIMUM PHASE の只中であるにも拘わらず一週間で異常発達しながら FLARE を起こし続け, 遂

---

\*) この論文は SAKIGAKE の HALLEY 彗星最接近以前の1986年1月16日の太陽系科学 SYMPOSIUM で発表され, 執筆された。最接近日 (3月11日) にさきがけは SECTOR BOUNDARY を通過したが, その下流の COMET では DE が発生しなかった。この事実は本論文の予測を裏付けるもので, QUASI-PARALLEL MODEL として NATURE に発表された (SAITO, et al., 1986)。

また, この1910年5月13日にハレー彗星に現われた特異な kink が, 76年後の1986年3月17日にも同じハレー彗星で出現した。この日は sector boundary 通過時 Saito, et al., 1986 参照) なので, 本論文を裏付ける証拠となろう。

に肉眼で眼視できるまで巨大化し、CMPした2月6日には黒点相対数55となり、6時25 UTにほとんどDISC CENTERでWHITE LIGHT FLAREを起こした。

## 8. 結 語

今回のハレー彗星に際しては、各国の探査機による観測によって、彗星科学は飛躍的に増大したように見える。しかし、それらは瞬間直接探査の分野である。最接近時以外の百数十日間のion tailの構造・擾乱の研究については、飛翔体関係者と地上写真観測研究者との共同研究や、彗星天文学者(Niedner達)と彗星地球物理学者(Hones)との共同研究もほとんど進展していない状況である。最接近で得られたmodelの普適性を検証するためにも、この一世紀間に得られたぼう大な彗星写真資料を再検討して、「彗星磁気圏物理学」を確立する必要があると思われる。この問題は彗星ion tail擾乱の研究を通じて、auroral substorm物理学にもfeedbackされるべきものである。

## REFERENCES

- Bobrovnikoff, N. T. (1931) ; Halley's comet in its apparition of 1909-1911, Publications of the Lick Observatory, **17**, 304-482.
- Brandt, J. C., Hawley, J. D., and Niedner, Jr. M. B. (1980) : A very rapid turning of the plasma-tail axis of Comet Bradfield 19791 on 1980 February 6, *Astrophys. J.*, **241**, L 51-L 54.
- Hones, E. (1979) : Paper in Dynamics of the Magnetosphere, ed. by S.-I. Akasofu, Publ. by D. Reidel Publ. Co., p. 545.
- Marubashi, K. and S. Watanabe (1983) : Synoptic maps of open magnetic fields in the solar corona from August 1959 to January 1974. *Radio and Space Data*, No. 12, Rad. Res. Lab., Tokyo.
- Niener, M. B. et al. (1978) ; Evidence for magnetic field line reconnection at interplanetary sector boundaries ? *Astrophys. J.*, **223**, 655-670.
- Niedner, Jr. M. B. (1981) : Interplanetary gas. 27. a catalogue of disconnection events in cometary plasma tail. *Astrophys. J., Suppl.* **46**, 141-157.
- 小山孝一郎・平野孝文・平尾邦雄(1986) ; 「さきがけ」による太陽風観測・第7回太陽系科学シンポジウム論文集.1-2.宇宙研発行.
- Saito, T. (1972) ; Recurrent magnetic storms in relation to the structure of solar and interplanetary magnetic fields, *Rept. Jpnos. Space Res. Japan*, **26**, 245-266.
- Saito, T. (1975) ; *Sci. Rept. Tohoku Univ. Ser. 5, Geophys.*, **23**, 37.
- Saito, T. et al. (1979) ; *Proc. 12th Lunar Planetary Symp.* ISAS, p. 296.
- Saito, T. et al. (1985) : *Proc. 19th ESLAB Symp.* D. Reidel Publ. co., in press.
- Saito, et al. (1986) : Interaction between comets and the heliospheric neutral sheet in the past. *Proc. 7th Solar System Symp.* Publ. by ISAS, 23-24.
- Saito, et al., (1986) ; *Nature*, Lond., Vol. 321, No. 6067, 303-307.