

「さきがけ」; 「すいせい」; IPS の観測した太陽風の立体構造

小島 正宜\*・柿沼 隆清\*・小山孝一郎・  
向井 利典・平野 孝文\*\*・三宅 亘\*\*\*

(1986年6月20日受理)

## Spatial Structure of Solar Wind Observed by SAKIGAKE, SUISEI and Interplanetary Scintillation

By

Masayoshi KOJIMA, Takakiyo KAKINUMA, Kohichiro OYAMA,  
Toshinori MUKAI, Takafumi HIRANO and Wataru MIYAKE

**Abstract:** A comparison of solar wind measurements by two spacecraft, SAKIGAKE and SUISEI, was made for a period of September to November in 1985. Significant differences of speed of up to 200 km/s were found at particular longitude. As latitudinal separation of two spacecraft in heliographic coordinates is about 4 degrees, the speed differences imply the existence of large latitudinal gradient of speed of 50 km/s/degree. SAKIGAKE observed plasma density enhancement at the longitude where this large speed gradient was found. We made a two-dimensional map of solar wind speed on the heliographic coordinates from observations of interplanetary scintillation. In this map, high-speed region in the northern hemisphere extended into the southern hemisphere crossing the equator over wide longitudinal range, and a leading edge of this stream had a rather small tilt angle against longitudinal direction. The large latitudinal gradient of speed and the density enhancement were observed in this leading edge. These facts imply the existence of large stream-stream interaction at this region.

---

\* 名古屋大学空電研究所

\*\* 東海大学航空宇宙学科

\*\*\* 東北大学理学部

## 要 旨

1985年9月から11月にかけて「さきがけ」と「すいせい」の観測した太陽風の速さを source surface に戻して比較して見ると、両者の間に特徴的な差が見られる。この差はある特定の経度において見られ、200 km/s の大きさである。この期間における「さきがけ」と「すいせい」の太陽赤道座標における緯度差は約4度であるので、この速度差は緯度方向に 50 km/s/deg の大きな速度勾配の有ることをしめしている。「さきがけ」はこの大きな速度勾配の観測された経度において又、大きな密度増加を観測している。惑星間空間シンチレーションの観測から求めた二次元速度図は、北半球の高速流領域が広い経度範囲に亘り赤道を越えて南半球にまで張り出しており、この高速流の前縁は経度方向に対しかなり小さな角度で傾いていることを示している。大きな速度勾配と密度増加は、この小さな角度で傾いた低速領域と高速領域の境界にあり、この領域では stream-stream interaction が発達していたと思われる。

## 1. 緒 言

惑星間プローブによる観測は、時間・空間分解能において優れている。しかし現在の所、観測は黄道面内に限られ、しかも数多くの惑星間プローブによる観測が同時に行える訳でも無いので、広い惑星間空間における太陽風の立体的な構造を知るには困難がある。一方、惑星間空間シンチレーション (IPS) は、異なる緯度・経度にある多くの電波源を観測することにより太陽風の大規模な立体構造を調べるのに適している。空電研究所で行われている周波数 327 MHz での IPS 観測は、太陽近傍約 0.1 AU から地球公転軌道付近までの距離を広い緯度範囲に亘りカバーしている。しかし、IPS で観測される太陽風の物理量(速度等)は、地球と電波源を結ぶ視線に沿っての荷重平均である為に観測の空間分解能は良くない (Readhead, 1971; Watanabe and Kakinuma, 1972; Harmon, 1975; Kakinuma and Kojima, 1985)。また、各電波源は、一日に一回南中時付近で数十分間観測されるだけなので時間分解能も良くない。そこで、惑星間プローブ観測と IPS 観測の協力により両者の長所を活し欠点を補い合うことができる。IPS 観測により太陽風の大規模かつ長期安定な立体構造を掴んでおけば、惑星間プローブが観測したものが、立体構造の中のどのような部分であったのかを推測することが出来、更に微細構造を研究する上で役立てることが出来る。

本論文では、1985年9月から11月にかけて得られた IPS 観測データから太陽風の立体構造を求め、この立体構造を考慮して「さきがけ」と「すいせい」の観測を説明する。

## 2. 観 測

解析は、1985年9月から11月にかけて得られたデーターに対し行われた。「さきがけ」

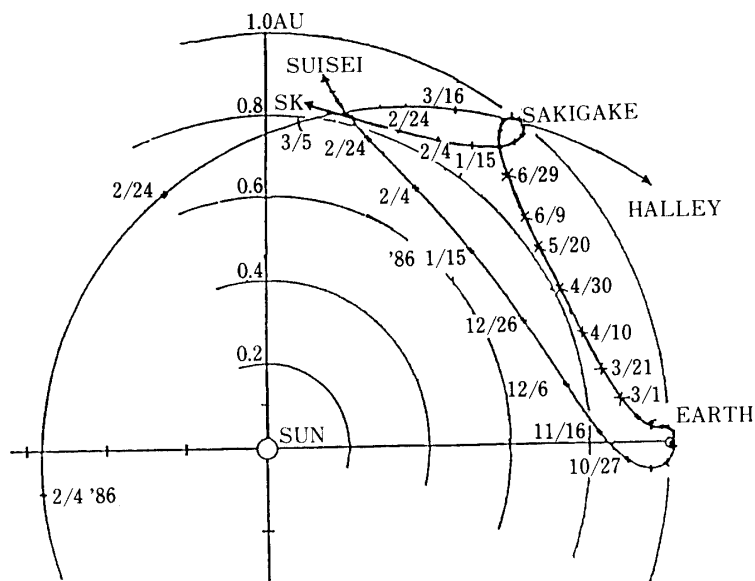


図1 「さきがけ」・「すいせい」の太陽-地球に対する相対位置関係。

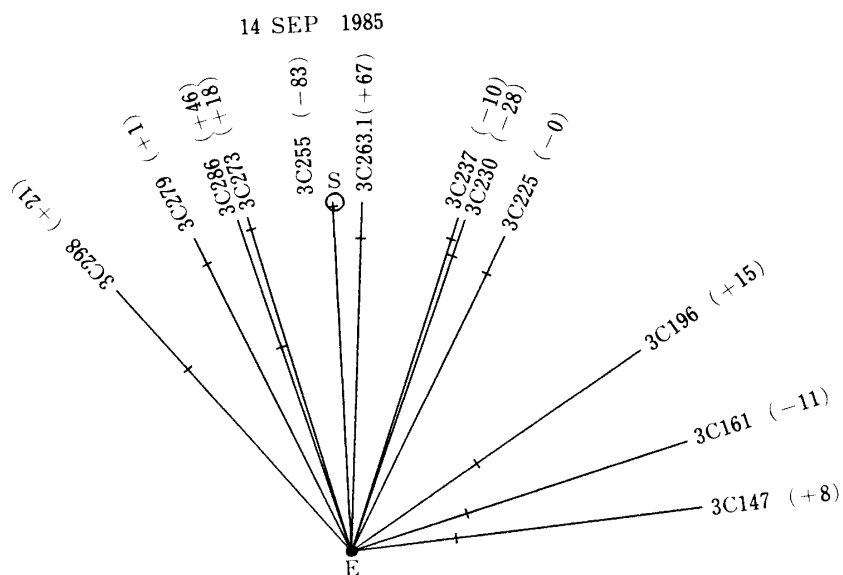


図2 IPSの観測で利用された主な電波源の9月14日における太陽-地球に対する位置関係の黄道面への投影。括弧内の数値は黄緯を表し、各電波源への視線上のチックはその電波源のIPSが観測する太陽風の概略の位置を示す。

と「すいせい」の太陽と地球に対する相対的な位置関係を図1に示してある。この期間、「さきがけ」は地球からほぼ50度西にあり「すいせい」は地球の東すぐ近くにあった。9月中頃にIPS観測に利用された主な電波源の位置関係を図2に示してある。地球と各電波源を結ぶ視線上のチックは、その辺りの太陽風が主にシンチレーションに寄与していることを示している。電波源の名前と共に括弧内に与えられた数値は電波源の黄緯である。図7に「さきがけ」と「すいせい」の太陽赤道座標における緯度及び太陽からの距離が示されている。この期間における両プローブの緯度差は小さく、「すいせい」が「さきがけ」の4度程北にあった。「さきがけ」の緯度は、rot # 1766 では平均約 N 4 度, rot # 1767 で N 1 度, rot # 1768 で S 3 度と, rotation ごとに南下し, rot # 1766 では両者共赤道の北にあり, rot # 1767 に於いて「さきがけ」が赤道を横切って南半球に入って来た。そして「すいせい」は rot # 1769 に於いて赤道を横切った。

### 3. 1985年の太陽風立体構造

1985年は太陽活動の減衰期にあり1~2年後には極小期を迎える。又この年は、斎藤(1984)のtwo-Hemisphere modelによると excursion phase に当たる。1985年の太陽風の構造の特徴は1984年の構造と比較することにより良く分かる。図3・4・5はIPS観測で得られた太陽風速を radial かつ constant velocity の仮定で source surface 上へ戻し、太陽赤道座標上で二次元カラー表示したものである。等速度線(白線)は、400 km/s 以上の速度に対して 100 km/s 置きに与えられている。カラースケールは、等速度線とは 50 km/s ずらして色分けしてある。これらの図は、数ローテーションのデータの重ね合わせによるものであり、また前節に述べたようにIPS観測で測られる速度は視線に沿っての荷重平均である。このようなデータの性質と作図方法の為に、太陽風中にシャープな構造や短時間変化をしている構造が有っても、それらは図中では平均されぼけてしまっている。図の作成方法の詳細は空電研究所報告(Kojima and Kakinuma, 1986)を見ていただきたい。図

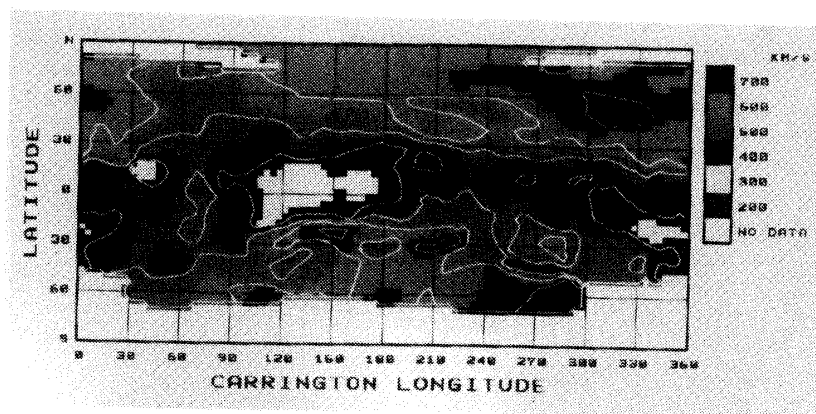


図3 1984年 Carrington rot # 1746 から 1755 における太陽風速の分布。等速度線(白線)は、400 km/s 以上の速度に対して 100 km/s 置きに与えられている。カラースケールは、等速度線とは 50 km/s ずらして色分けしてある。

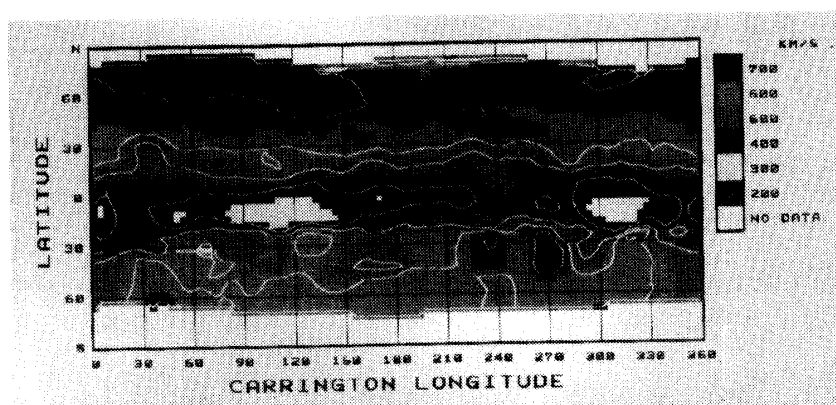


図4 1985年 rot # 1759 から 1764 における太陽風速の分布

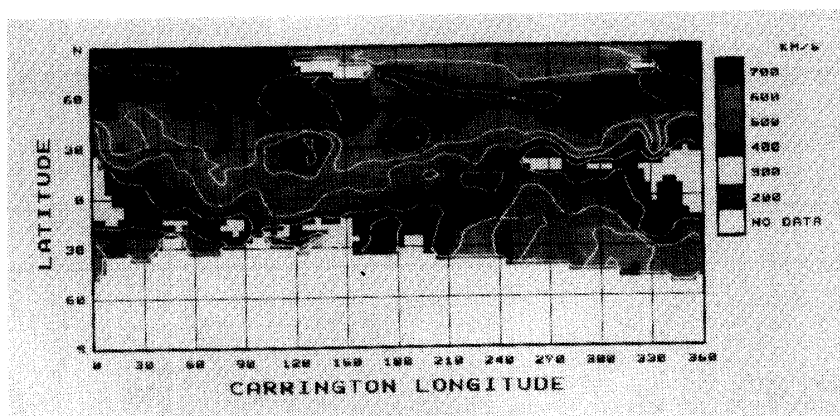


図5 1985年 rot # 1766 から 1768 における太陽風速の分布。

3は1984年のCarrington rotation number 1746から1755の観測の重ね合わせであり、図4、5はそれぞれ1985年のrotation number 1759から1764、1766から1768の重ね合わせである。図5の作成には、IPSのデータの他に「さきがけ」・「すいせい」のデータも用いた。1985年は1984年に比べ極域の高速領域が低緯度まで大きく張り出し、それに伴い低速領域と高速領域の境界が明確になり速度勾配が急に成って来ている。低速領域の分布に注目すると、1984年は太陽赤道に対し大きな角度をなした分布をしていたのに、1985年初め(図4)には赤道にほぼ平行な分布となり1985年後半(図5)において再び赤道に対し傾きを持ち始めたが、その角度は小さい。

また図5では北からの高速領域が経度120度を中心に広い経度幅に亘って赤道まで張り出しており、南からの高速領域も経度270度付近で赤道近くまで張り出している。しかし、南からの張り出しは北からのものほどは幅広くはない。

#### 4. 「さきがけ」・「すいせい」の観測した太陽風

「さきがけ」・「すいせい」により観測された太陽風の特徴を掴む為に、観測データを

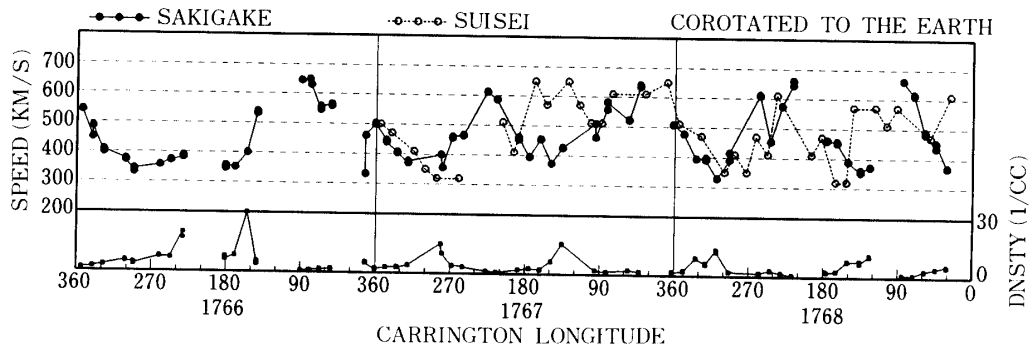


図6 「さきがけ」の観測した太陽風速、密度及び「すいせい」の観測した太陽風速。横軸（時間軸）は、両プローブの観測を地球へ共回転させて表示してある。時間は左から右へ進んでいる。

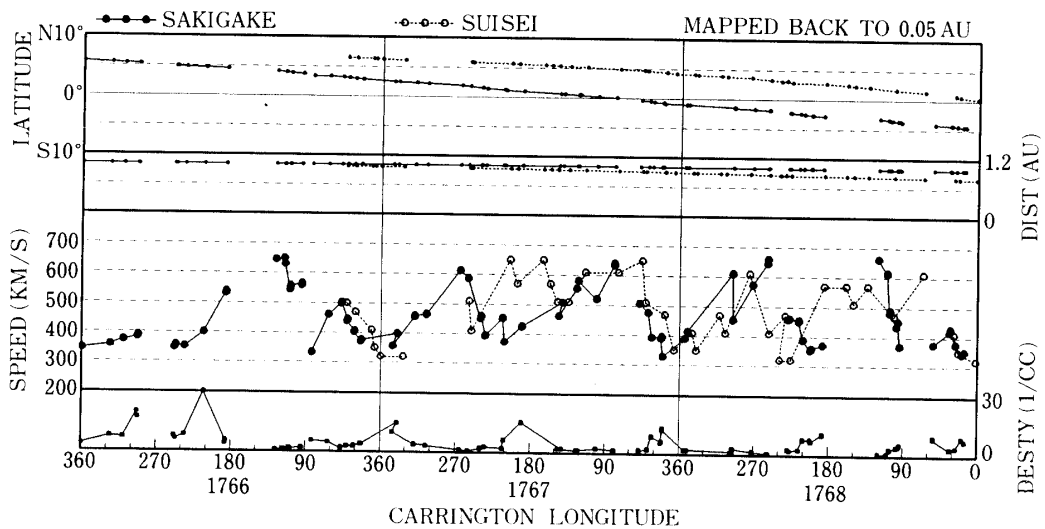


図7 図6と同じ太陽風速と密度データを太陽から0.05 AUのsource surfaceに戻して表示してある。時間は左から右へ進み、観測データ点相互は、観測実時間順に結んである。図に示した緯度は太陽赤道座標による。

地球へ corotate させ、観測データの時間軸を一致させる(図6)。両プローブの太陽からの距離は図1に見られるように地球公転軌道に近いので、地球へ corotate させることにより、速い stream が遅い stream に追いつき速度のプロファイルを大きく変えてしまうことはない。図6の横軸は、回帰性構造の特徴を掴む為に Carrington 経度で表してある。経度表示が反転しているのは、時間の流れを左から右にとった為である。図7は、constant かつ radial flow の仮定で source surface 上に戻してプロットしたものである。データ点相互は、観測ギャップが三日以内の場合は観測の実時間順に線で結ばれている。図6と図7を比較すると、以下の議論に於いて、どちらの図を用いても大きな差がないことが分か

る。そこで、図5の二次元速度図と比較検討するために以後の議論では図7を使うことにする。

図7に於いて、「さきがけ」と「すいせい」の観測した太陽風の速さに、以下のような特徴が見られる。(a)「さきがけ」は Carrington rot # 1766 で経度 120 度辺りを中止とする一つの高速流を観測し、rot # 1767・1768 では経度 270 度と 90 度にある二つの高速流を観測している。「すいせい」も、rot # 1768 でこれらの二高速流を明確に捕らえている。しかし rot # 1767 では観測のギャップのため経度 270 度における高速流は部分的にしか捕らえられていない。そして、(b)両者の観測には経度 180 度の辺りで 200 km/s 程の大きな差があり、経度 0-180 度に於いては、「すいせい」の方が幅広い高速流を観測しており、rot # 1768 の経度 180-360 度では逆に「さきがけ」の観測した高速流の方が幅広い。(c)経度 210 度近くで「さきがけ」の観測した密度増加は rot # 1766 で最高でその後 rotation ごとに減っている。

#### 5. 太陽風立体構造と「さきがけ」・「すいせい」の観測

惑星間プローブの観測した高速流は、初め北から張り出したもののみであったが、北半球から南半球へプローブが下りて行くに従い、南北両極から張り出した二つの高速流を観測している。これは、図5に見られる様に北からの高速流が赤道を越えて張り出している為である。そして南からの張り出しは、rot # 1766 では北からのもの程は大きく赤道を越えていなかった。rot # 1767・1768 に於いて両プローブは北からの高速流を経度 0-180 度の間で捕らえているがその高速流の幅は、「すいせい」の方が広い。これは、V字型に高緯度より赤道まで張り出したストリームを「すいせい」が「さきがけ」よりも4度程高緯度で横切った為である。この関係は、rot # 1768 で観測された南からの高速流に対しては反転する。南からの高速流に比べ北からのものに対する両プローブの観測の差が大きい。これは、この時期の低速領域と高速領域の境界の経度方向に対する傾き角が、図5に見られる様に北からの高速流が張り出している所は小さく、南からの高速流の張り出している所はより急角度である為である。更に両プローブの緯度差4度程でこのような大きな速度差があることは、高速流と低速流の境界での速度勾配が大きいことを示しており、最大 50 km/s/deg はある。

#### 6. Stream-stream interaction region

「さきがけ」は rot # 1766, 経度 210 度に於いて大きな密度増加を観測した(図7)。そして、この密度増加の程度はローテーションごとに小さく成っている。この密度増加は rot # 1766 において 1 AU の辺りの太陽風を観測していた電波源 3C 147 (図2) の IPS でもシンチレーションインデックスの大きな増加として観測されている(図8)。この電波源の IPS は、すでに rot # 1765, 緯度約 20 度でインデックスの増加を観測している。従って、少なくとも N 20-N 数度の緯度範囲で密度増加が起こっていたと思われる。この緯度及び経度に於いては、前節で述べたように大きな速度勾配があることを考えるとこの領域に於いて stream-stream interaction が発達していたと思われる(湯元他, 1986)。

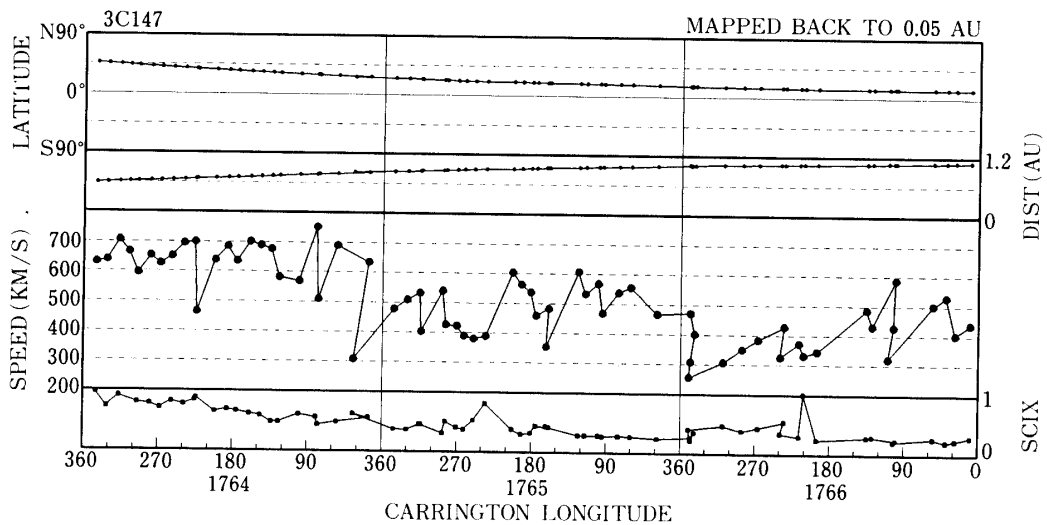


図8 電波源3C147のIPSで観測された太陽風速とシンチレーションインデックス。データは図7と同様source surfaceへ戻して表示してある。

## 7. ま と め

解析を行った1985年9月～11月はexcursion phaseに当たる。この時期、太陽風の構造は、かなり安定し磁気中心面は太陽赤道に対し小さな、しかし無視できない角度で傾きを持つことが予想されている(斎藤, 1984)。この予想のような速度分布が、前節までの解析で得られた。低速流の領域は、磁気中性面に沿って分布し、南北両極から張り出した高速領域は、この低速領域と大きな速度勾配を持って接していた。この境界は経度方向に対し小さな角度の傾きを持ち、そこではstream-stream interactionが発達していた。「さきがけ」と「すいせい」の観測データに見られる差は、この太陽風の立体構造と太陽赤道座標における両プローブの緯度差を考慮することで説明できた。

## 参 考 文 献

- Harmon, J. K.: Scintillation Studies of the density microstructure in the solar wind plasma, Ph. D. thesis, Univ. of Calif. at San Diego, La Jolla (1975)
- Kakinuma, T., and M. Kojima: 'Solar wind speed from IPS measurements, for Mar.-Dec. 1983', Res. Inst. of Atmosph., Nagoya Univ., Toyokawa, Japan (1985)
- Kojima, M., and T. Kakinuma: Three-station observations of interplanetary scintillation at 327 MHz - II: Evolution of two-dimensional solar wind speed structure during 1983 to 1985, Proc. Res. Inst. of Atmosph., Nagoya Univ., **33**, 1-18 (1986)
- Readhead, A. C. S.: Interplanetary scintillation of radio sources at metre wavelengths-II, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **155**, 185-197 (1971)
- Saito, T.: Solar cycle change of the structure of the heliosphere, in Extended Abstracts of Joint U.S.-Japan Seminar on Recent Advances in the Understanding of Structure and Dynamics of the Heliosphere During the Current Maximum and Declining Phase of Solar Activity, Kyoto, Nov. 5-9, 1984, pp. 35-38



Watanabe, T., and T. Kakinuma : The recurrent solar wind streams observed by interplanetary scintillation of 3 C 48, Publ. Astron. Soc. Japan., **24**, 459-467 (1972)

湯元清文, 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性感星間空間擾乱, 宇宙科学研究所報告特集第 14 号, pp. 33-45, (1968)