

平成21年 4月10日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19540473

研究課題名（和文） 太陽風加速統一モデルの検証と構築

研究課題名（英文） Verification and development of the unified solar wind acceleration model

研究代表者

小島 正宜 (KOJIMA MASAYOSHI)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・名誉教授

研究者番号：70023687

研究成果の概要：

①太陽から0.1 AUの距離においてはランダム速度の一因となる大きな波動が存在しない可能性がある、②高速太陽風は0.1 AU以遠においても加速が継続している、③加速効率を決定する磁場強度と流管拡大率の比は、コロナホール中で緯度と共に滑らかに変化し速度の緯度構造と似る、④今太陽極小期の太陽極磁場は弱く、前サイクルに比べ高速太陽風の占める領域の比率が小さい。高緯度高速風領域の発達に極磁場強度の影響が考えられる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：惑星間空間物理学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：太陽風，加速機構，惑星間空間シンチレーション

## 1. 研究開始当初の背景

## (1)加速プロファイル

コロナホールからの高速風は、その加速のほとんどを数太陽半径以内で完了しているのではないかと考えられるようになり、この加速を説明するために、幾つかの理論加速モデルが提案されている。しかし、これを証拠づける観測は充分ではない。また、図1に示すように加速は数太陽

半径以内で完了していないという観測結果も得られており、加速プロファイルは未だ確定していない。

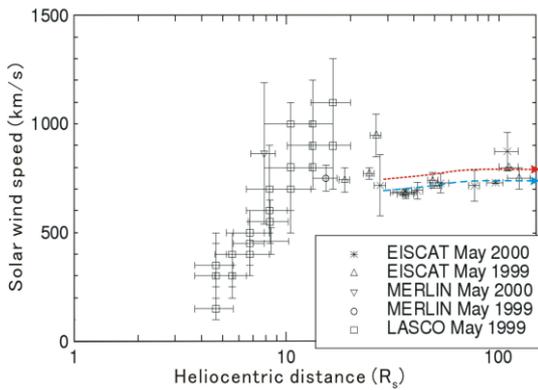


図1 STE 研と EISCAT が観測した高速太陽風の加速プロファイル。

## (2) 加速効率を決定する太陽コロナの物理量

経験則として、太陽光球面から惑星間空間へ太陽風の流管(磁束管)がどのように広がっていくか、その拡大率  $f$  が太陽風速度と反相関の関係にあることがよく知られている。また、加速のエネルギー源として再結合で開放された磁場エネルギーが考えられているが、まだ理論的な考察にとどまっている。これらの研究に対し、我々は、図2に示すように流管の拡大率  $f$  と磁場強度  $B$  を組み合わせたパラメーター  $B/f$  が速度と極めて良い相関があることを発見し、統一モデルとして提案している。

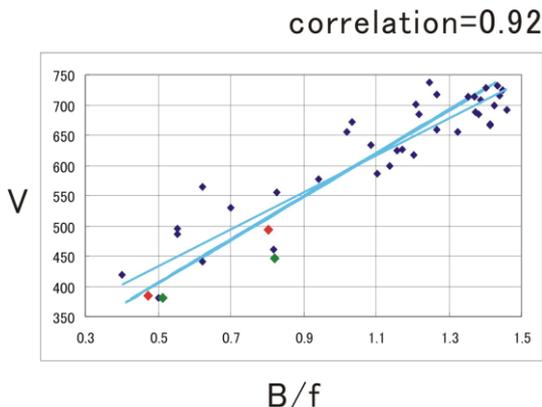


図2 STE 研の観測から得られた速度と流管の拡大率  $f$  と磁場強度  $B$  の比との相関。

## 2. 研究の目的

太陽風物理の最重要課題の一つである高速太陽

風の加速機構の解明のために、(1)理論モデルへの制約を与える加速プロファイルを明確にし、(2)加速効率を決定する太陽コロナの物理量と太陽風速度の関係の普遍性を確かめ、統一加速モデルを提案する。

### (1) 加速プロファイル

STE 研と EISCAT の観測結果を基にした研究(図1)で、高速太陽風の加速プロファイルが太陽近傍から 0.3AU までの距離で明らかとなってきた。しかし、太陽活動極小期の高緯度高速風と太陽活動極大期の低緯度高速風の観測結果が混在しているので STE 研と EISCAT の同時観測を行い加速プロファイルを検証する。

### (2) 加速効率を決定する流管の拡大率 $f$ と磁場

強度  $B$  を組み合わせたパラメーター  $B/f$  が速度を決めるとする我々の統一モデルを、太陽活動極小期の高緯度高速風の緯度構造の観点から検証する。また、太陽黒点がほとんど見られない極小期であるにも関わらず、他の極小期の太陽風の様相とは大きく異なる今サイクルの速度と磁場強度の関係を調べる。

## 3. 研究の方法

### (1) 加速プロファイル

太陽近傍における太陽風加速プロファイルを明らかにするため、当研究所(327MHz)と EISCAT(933MHz)の観測装置を用いて、2006年8-9月に実施された IPS 同時観測データを解析する。STE 研の観測から 0.3AU 以遠の太陽風立体構造を求め、その構造を元に、EISCAT 観測をシミュレートする。観測とシミュレーションの結果が一致するよう太陽風の 0.3AU 以内の立体構造を漸近的に変化させて最適の太陽風速度分布を求め、0.3AU 以遠の速度構造と比較する。

### (2) 加速効率を決定する太陽コロナの物理量

①太陽風速度は、全緯度領域にわたり観測が可能な IPS 観測トモグラフィー法から得られた速度データを用いる。そして、コロナの物理量として

は Kitt Peak で観測された太陽面磁場  $B$  と、それをポテンシャル解析したコロナ磁場形状から計算した磁束管の拡大率  $f$  を用いる。

②光球面磁場強度  $B$  とコロナ中の太陽風流管拡大率  $f$  の比 ( $B/f$ ) が太陽風速度  $V$  を決める加速モデルの普遍性を確かめるために Ulysses の軌道に沿う高緯度において  $B/f$  の緯度構造と速度の緯度構造に類似性があるか解析を行う。

③現太陽極小期(2008年)における特異な太陽風速度構造と太陽面磁場強度との関係を調べ、磁場強度が太陽風速度分布に及ぼす影響を調べる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 加速プロファイル

①太陽から 0.1 AU の距離において、これまで IPS 観測の解釈に必要とされていたランダム速度の大きな影響を考慮せずとも観測をほぼ完璧にシミュレートすることに成功した(図4)。このことは、ランダム速度の一因である大きな波動が 0.1AU あたりで存在しない可能性を示している、②高速風領域(図3の③-④、④-⑤、⑤-⑥の間)において 0.3AU 以遠の太陽風速度は 0.11-0.14AU 付近に比べて 100-150km/s 速く、0.1AU 以遠においても加速が継続している。

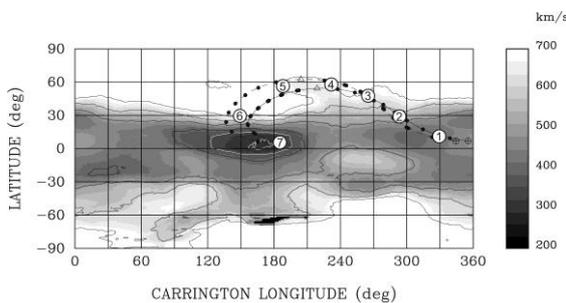


図3 2006年9月25-26日に実施された3C 273のIPS観測の観測視線をSTE研の太陽風速度分布図に投影したもの。

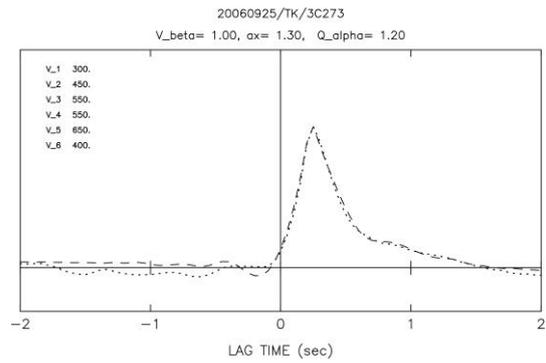


図4 観測をシミュレートした結果。点線が観測で、破線がシミュレーション結果。ランダム速度を用いなくとも速度分布を調整することにより観測をほぼ完璧に再現している。

##### (2) 加速効率を決定する太陽コロナの物理量

① 高緯度コロナホール中の  $B$  および  $f$  の変動は互いに逆位相のため(図5上段)、加速効率を決める両者の比である  $B/f$  はそれぞれの変動を打ち消し合い(図5下段)、IPS および Ulysses の観測した一様かつわずかに緯度依存性のある速度・緯度構造と似る。

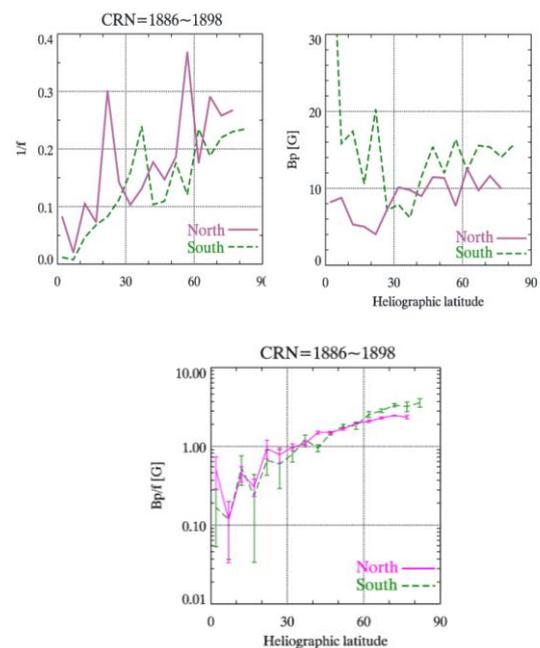


図5 Ulysses の軌道(緯度)に沿った  $1/f$  (上段左)、 $B$  (上段右)、 $B/f$  (下段)の緯度構造。

② 太陽活動極小期においては、太陽極磁場が強くなり、高速風領域が中低緯度近くまで張り出し、低速風は低緯度に帯状に分布する。しかし、第 24 太陽周期極小期の 2008 年は異常で、極小期であるにもかかわらず、高速風が両極に加えて赤道帯にも存在し、低速風はこれらの間の中緯度帯に分布している。そして、前サイクルに比べ、極磁場が弱く、高速太陽風の占める領域の比率が小さいことから、高緯度高速風領域の発達には極磁場強度の影響が有ることが考えられる。

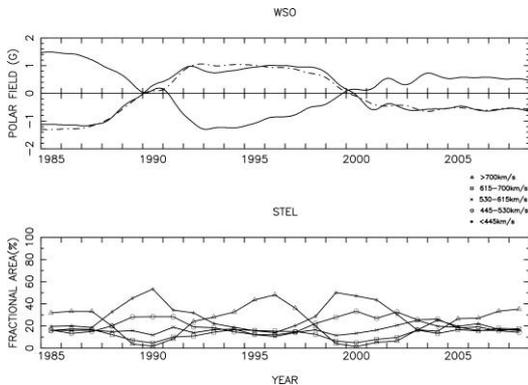


図6 極磁場強度(上図)と IPS 観測により得られた太陽風速度成分の流源面における面積比率(下図)。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① Tokumar, M., M. Kojima, and K. Fujiki, Interplanetary scintillation observations of the solar wind for space weather modeling, Space Technology Japan, Vol. 8, in press, 2009. (査読有)
- ② Tokumar, M., M. Kojima, K. Fujiki, and K. Hayashi, Non-dipolar solar wind structure observed in the cycle 23/24 minimum, Geophys. Res. Lett., doi: 10.1029/ 2009 GL037461, 2009. (査読有)
- ③ Tokumar, M., M. Kojima, K. Fujiki, K. Munakata, T. Kuwabara, and K. Marubashi, Relation between loop-shaped interplanetary disturbances and the magnetic flux rope, Advances in Geoscience (World Scientific Publishing Co., USA), Vol.3, in press, 2009. (査読有)
- ④ Bisi, M.M., B.V. Jackson, F.A. Fallows, G.D. Dorrian, P.K. Manoharan, J.M. Clover, P.P. Hick, A. Buffington, A. R. Breen, M. Tokumar, Solar wind and CME studies of the inner heliosphere using IPS data from STELAB, ORT and EISCAT, Advances in Geoscience (World Scientific Publishing Co., USA), Vol.3, in press, 2009. (査読有)
- ⑤ Eselevich, M. V., V. G. Eselevich, K. Fujiki, Origins and properties of the quasi-stationary slow solar wind, Astronomy Reports, Volume 52, Issue 7, pp.576-589, 2008 (査読有)
- ⑥ Janardhan, P., K. Fujiki, H.S. Sawant, M. Kojima, K. Hakamada, R. Krishnan, Source regions of solar wind disappearance events, J. Geophys. Res., Vol. 113, No. A3, A03102, 2008. (査読有)
- ⑦ Eselevich, M., V. Eselevich, and K. Fujiki, Streamer belt and chains as the main sources of quasi-stationary slow solar wind, Solar Phys., 240, 135-151, 2007. (査読有)
- ⑧ Tokumar, M., M. Kojima, K. Fujiki, M. Yamashita, and B. V. Jackson, The source and propagation of the interplanetary disturbance associated with the full-halo coronal mass ejection on 28 October 2003, J. Geophys. Res., 112, A05106, 2007 (10.1029/ 2006 JA012043). (査読有)
- ⑨ Kojima, M., M. Tokumar, K. Fujiki, K. Hayashi, and B. V. Jackson, IPS tomographic observations of 3D solar wind structure, Astronomical and Astrophysical Transactions, 26, 467-476, 2007. (査読有)

- ⑩ Jackson, B.V., P.P. Hick, A. Buffington, M.M. Bisi, M. Kojima, and M. Tokumaru, Comparison of the extent and mass of CME events in the interplanetary medium using IPS and SMEI Thomson scattering observations, *Astronomical & Astrophysical Transactions*, 26, 477-487, 2007. (査読有)
- ⑪ Kojima, M., M. Tokumaru, K. Fujiki, H. Itoh, T. Murakami, and K. Hakamada, What coronal parameters determine solar wind speed?, in "New Solar Physics with Solar-B Mission", ASP Conference Series, eds K. Shibata, S. Nagata, and T. Sakurai, Vol. 369, 549-555, 2007. (査読有)
- ⑫ Tokumaru, M., M. Kojima, K. Fujiki, M. Yamashita, and B. V. Jackson, The source and propagation of the interplanetary disturbance associated with the full-halo coronal mass ejection on 2003 October 28, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2006JA012043, 2007. (査読有)

[学会発表] (計 20 件)

- ① 伊藤大晃, 塩田大幸, 常田佐久, 徳丸宗利, 藤木謙一, 「極域コロナルホール・静穏コロナ・赤道域コロナホールの光球磁場構造とその中長期変動」, 天文学会 2009 年春期年会, 大阪府立大学, 2009/3/24-27.
- ② Tokumaru, M., M. Kojima, K. Fujiki, K. Hayashi, Unusual solar wind structure observed during the 2008 sunspot minimum, AGU 2008 fall meeting, Moscone center (サンフランシスコ・米国), 2008/12/16.
- ③ Ito, H., S. Tsuneta, D. Shiota, M. Tokumaru, K. Fujiki, Is the polar region different from the quiet region of the Sun?, AGU 2008 fall meeting, Moscone center (サンフランシスコ・米国), 2008/12/15-19.
- ④ Fujiki, K., M. Kojima, M. Tokumaru, Solar wind studies with multi-station interplanetary scintillation observation, International Symposium: Fifty Years after IGY - Modern Information Technologies and Earth and Solar Sciences, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, Ibaraki, Japan, November 10-13, 2008.
- ⑤ 徳丸宗利, 小島正宜, 藤木謙一, 伊藤大晃, 林啓志, 2008 太陽黒点極小期において観測された特異な太陽風構造, 第 124 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 仙台市戦災復興記念館(宮城), 2008/10/12.
- ⑥ 伊藤大晃, 塩田大幸, 常田佐久, 徳丸宗利, 藤木謙一, 「「ひので」と惑星間空間シンチレーション観測を用いた極域磁場と太陽風構造」, 天文学会 2008 年秋期年会, 2008/9/11-13.
- ⑦ Tokumaru, M., M. Kojima, K. Fujiki, K. Munakata, T. Kuwabara, and K. Marubashi, Relation between Loop-Shaped Interplanetary Disturbances and the Magnetic Flux Rope, AOGS 2008, BEXCO (釜山, 韓国), 2008/6/18.
- ⑧ Tokumaru, M., M. Kojima, K. Fujiki, Solar Wind Observations and Space Weather, The 26th International Symposium on Space Technology and Science, アクトシティ浜松(静岡), 2008/6/3.
- ⑨ 徳丸宗利, 小島正宜, 藤木謙一, 伊藤大晃, 「太陽圏イメージング装置 (SWIFT) の開発」, 2008 年地球惑星科学関連学会合同大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 2008/5/25.
- ⑩ 伊藤大晃, 藤木謙一, 小島正宜, 徳丸宗利, 大見智亮, 「惑星間空間シンチレーション観測を用いた太陽風予報精度の検証」, 2008 年地球惑星科学関連学会合同大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 2008/5/25-30.

- ⑪ Kojima, M., M. Tokumaru, and K. Fujiki, H. Itoh, Solar wind structure - origin and solar cycle dependence, International CAWSES Symposium, Kyoto, Japan, 23-27 October 2007.
- ⑫ Tokumaru, M., M. Kojima, and K. Fujiki, Propagation of coronal mass ejections in the interplanetary medium, International CAWSES Symposium, P1-047, Kyoto University Clock Tower Centennial Hall, Kyoto, October 23-27, 2007.
- ⑬ Fujiki, K., M. Kojima, M. Tokumaru, Solar wind observations with interplanetary scintillation at 327 MHz, International CAWSES Symposium, P1-047, Kyoto University Clock Tower Centennial Hall, Kyoto, October 23-27, 2007.
- ⑭ 徳丸 宗利, 小島 正宜, 藤木 謙一, 伊藤 大晃, 林 啓志, 「2008太陽黒点極小期において観測された特異な太陽風構造」, 第122回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会および講演会, 名古屋大学(東山キャンパス), 2007/10/12.
- ⑮ 藤木 謙一, 小島正宜, 徳丸宗利, 「国際共同による惑星間空間シンチレーション観測」, 第122回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会および講演会, 名古屋大学(東山キャンパス), 2007/10/11.
- ⑯ 徳丸宗利, 小島正宜, 藤木 謙一, 「惑星間空間における CME の伝搬」, 第122回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 名古屋大学(名古屋), B007-05, 2007/09/28-10/1.
- ⑰ Kojima, M., M. Tokumaru, and K. Fujiki, Solar cycle dependence of solar wind structure, AOGS 4th Annual Meeting, Bangkok, 30 July-4 August, 2007.
- ⑱ Kojima, M., M. Tokumaru, and K. Fujiki, Solar cycle dependence of solar wind

structure, IUGG 24th General Assembly, Perugia, Italy, July 2-13, 2007.

- ⑲ 小島正宜, 徳丸宗利, 藤木 謙一, 「惑星間空間シンチレーション新観測法を用いた太陽風研究」, 地球惑星科学関連学会 2007年合同大会, 幕張メッセ, 2007/05/19-24.
- ⑳ 徳丸宗利, 小島正宜, 藤木 謙一, 山下真弘, 「内部太陽圏における CME の伝搬 - 2003年11月2日イベントに対する IPS 観測結果」, 2007年地球惑星科学関連学会合同大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), E108-009, 2007/05/19-24.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小島 正宜 (KOJIMA MASAYOSHI)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・名誉教授  
研究者番号：70023687

### (2) 研究分担者

徳丸 宗利 (TOKUMAR MUNETOSHI)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授  
研究者番号：60273207  
藤木 謙一 (FUJIKI KEN-ICHI)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教  
研究者番号：20303597