

## 太陽黒点崩壊解析のための磁場の追跡モジュールの開発 Development of magnetic field tracking module for analyzing a decaying sunspot

加藤 翔大<sup>1\*</sup>; 今田 晋亮<sup>1</sup>; 町田 忍<sup>1</sup>  
KATO, Shota<sup>1\*</sup>; IMADA, Shinsuke<sup>1</sup>; MACHIDA, Shinobu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所  
<sup>1</sup> Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

ひので衛星に搭載された可視光磁場望遠鏡 (Solar Optical Telescope: SOT) の観測データを用いて太陽表面における磁場構造を解析するために、磁気領域を自動で検出し各領域の時間変化を追跡するモジュールを開発した。このモジュールは強度、サイズ、移動距離の3つの閾値を持ち、この閾値に基づいて以下の3つの処理を行うことで磁場の時間変化を追跡する。

1. 強度閾値に基づいて磁気領域を検出する。
2. サイズ閾値により微小領域を削除する。
3. 時間変化による移動距離に基づいて同一領域を検出し追跡を行う。

単純な構造のサンプルデータを作成し追跡テストを行い、正しく追跡が行われていることを確認した。本研究では、開発したモジュールを太陽表面における磁気要素の起源の一つである黒点に適用し、黒点の崩壊過程について解析した結果を報告する。2009年12月29日から2010年1月2日まで5日間にわたって黒点を長期観測したデータを解析に用いた。本研究では、特に黒点崩壊過程の南北・東西非対称性について着目した考察結果も報告する。

キーワード: 太陽黒点, モジュール開発, 自動識別, 自動追跡  
Keywords: sunspot, development of module, auto detection, auto tracking

## 太陽表面磁気対流の研究における、観測・数値シミュレーションデータへの画像自動認識手法の利用 Application of feature recognition technique in the investigation of magneto-convection on the solar surface

飯田 佑輔<sup>1\*</sup>; 堀田 英之<sup>2</sup>  
IIDA, Yusuke<sup>1\*</sup>; HOTTA, Hideyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>宇宙航空研究開発機構/宇宙科学研究所, <sup>2</sup>HAO/日本学術振興会  
<sup>1</sup>ISAS/JAXA, <sup>2</sup>High Altitude Observatory/JSPS

太陽表面における磁気対流現象に関する、画像認識手法を用いた観測・数値シミュレーションデータの解析手法とその有用性について紹介する。

太陽表面磁気対流は、太陽フレア・太陽ジェット・X線輝点といった多くの太陽表面活動現象の起因であり、その理解は太陽物理学の基本的な重要課題であるのみならず、我々の地球の最も近くに位置する恒星であるため最も詳細に観測や数値シミュレーションを行うことができる天体磁気対流現象の一つとしても、興味深い。太陽表面での磁気対流の基本要素(対流セル構造とそれにより掃き寄せられた磁極構造)は、太陽半径のスケール(70万km)に対して非常に小さく(<1,000km)、これらの統計的性質の大規模構造への寄与が重要視されている。よって、太陽表面磁気対流をその基本要素から研究するためには、このような小さな構造を十分な数捉えるようなデータを取得しなければならず、観測・数値シミュレーションの両面から困難であった。2000年台後半からの衛星観測技術と計算機技術の進歩によって、これらの問題は解決されつつあり、ようやく太陽表面磁気対流の研究は探索の緒についたところであると言える。しかしながら、実際にこれらのデータの解析を行うに際して、「磁場要素・対流要素の統計的性質を如何にして取り出すか」という新たな解析の困難に直面している。

このような中で、画像自動認識手法の利用が着目され始めている。本発表では、発表者らが開発した太陽表面磁極・対流セルの自動認識・追跡コード、それを実際の観測・数値シミュレーションデータへ適用することにより得られた磁極・対流セルの統計性質を紹介する。本研究では、画像の自動認識を利用することで、先行研究と比べて莫大な数の統計解析が可能となったことを強調したい。また、今回3学会合同セッションを通して、他分野の研究において画像自動認識手法が有効であるかについて、積極的な相互議論を行いたいと考える。

キーワード: 太陽, 磁気対流, 画像自動認識  
Keywords: the Sun, magneto-convection, feature recognition

## 相対論的プラズマシミュレーションにおける数値チェレンコフ不安定の特徴とその抑制 On stability properties of the numerical Cherenkov instability in relativistic plasma flows

池谷 直樹<sup>1\*</sup>; 松本 洋介<sup>1</sup>  
IKEYA, Naoki<sup>1\*</sup>; MATSUMOTO, Yosuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup> Graduate School of Science, Chiba University

相対論的な速度を持つプラズマを扱う際の有効な手法のひとつとして、PIC (Particle-In-Cell) シミュレーション法が知られている。本計算法では、電磁場はシミュレーション空間内に定義されたグリッド点に入れ子状に配置され、格子間隔や時間間隔は有限な値を持つ。その電磁場の標準解法として知られる FDTD 法による数値シミュレーションでは、差分近似による数値分散が発生し、ナイキスト波数近くになるにつれ電磁波の位相速度は光速を下回る。そのため、相対論的な流れが支配する系を扱う際に、数値チェレンコフ放射と呼ばれる数値不安定性が発生することが知られている。この問題は相対論的なプラズマに対する数値計算における重要な問題の一つであり、様々な方面からアプローチがなされてきた。一つの方法として、数値分散がないマクスウェル方程式の解析解を与える擬似スペクトル法が挙げられるが、フーリエ空間で解く必要があるため、境界条件、超並列計算において大きな制約となるといった課題が残されている。一方、差分法による方法では電流に対するデジタルフィルタリングにより強制的に高波数領域を除去する方法が使われてきたが、これは物理的な波も同時に取り除いてしまうといった問題がある。しかし、近年、差分法によるテストによって、特定のクーラン数において数値不安定の成長率が落ち、数値不安定性が抑制されるという結果が報告された (Vay et al., 2011, Godfrey & Vay, 2013)。数値チェレンコフ不安定の分散関係が導かれ、成長率が特定のクーラン数において 0 となるためであると理解されている。また、この特定のクーラン数は電磁場の数値解法に依存することも明らかになっている。

本研究では、PIC シミュレーションパッケージ pCANS を用いて、数値チェレンコフ不安定の数値実験を行い、クーラン数による不安定の成長の特性を調べた。pCANS の特徴として、マクスウェル方程式を陽的な FDTD 法に対して陰的な形で解いていることにあり、その違いによる特性の変化を調べた。数値実験では、pCANS の 2 次元コードを用いて、1 方向に相対論的な速度を持ったプラズマを与え、励起された電磁場の波数空間上における特徴と時間発展から得られた線形成長率について、各クーラン数に対する依存性を調べた。その結果、クーラン数が 1.0 の値をとるときに成長率が著しく落ちていたことが明らかになった。また、インプリシット数を  $\alpha=0.5 \sim 0.51$  ( $\alpha=0.5$  でクランク・ニコルソン法) まで変化させた結果、成長が抑制される範囲が 0.9~1.0 まで広がることが明らかになった。本研究によって、数値チェレンコフ放射の対処法の一つである、クーラン数を適切に選ぶことによる成長の抑制は、pCANS を用いた数値実験でも認められた。また、従来結果において成長率の著しい低下はクーラン数が 0.5、0.7 のときに見られたが、pCANS で採用されている陰的スキームにおいては、この特徴がクーラン数が 1.0 のところで見られた。本公演では、上記の結果を踏まえた相対論的衝撃波への応用の結果も併せて報告する。

キーワード: 粒子シミュレーション, 相対論的プラズマ, 数値チェレンコフ放射, 衝撃波  
Keywords: particle-in-cell simulation, relativistic plasma, numerical Cherenkov radiation, shocks

## 動的負荷分散技法 OhHelp を適用した電子ハイブリッドコードの性能評価 Electron hybrid code simulations with OhHelp load balancer

加藤 雄人<sup>1\*</sup>; 三宅 洋平<sup>2</sup>; 中島 浩<sup>3</sup>; 臼井 英之<sup>2</sup>; 大村 善治<sup>4</sup>

KATO, Yuto<sup>1\*</sup>; MIYAKE, Yohei<sup>2</sup>; NAKASHIMA, Hiroshi<sup>3</sup>; USUI, Hideyuki<sup>2</sup>; OMURA, Yoshiharu<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, <sup>2</sup> 神戸大学大学院システム情報学研究科, <sup>3</sup> 京都大学学術情報メディアセンター, <sup>4</sup> 京都大学生存圏研究所

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Graduate School of System Informatics, Kobe University, <sup>3</sup>Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University, <sup>4</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

A spatially one-dimensional electron hybrid code has been developed for the study of the generation process of whistler-mode chorus emissions and relativistic electron acceleration in the Earth's inner magnetosphere [1-3]. In the electron hybrid code, we treat cold electrons as a fluid and energetic electrons as particles by the Particle-in-Cell (PIC) method. Since we assume an inhomogeneous background magnetic field in the simulation system so as to treat the bounce motion of energetic electrons along a magnetic field line, the distribution of energetic electrons in the system is non-uniform and energetic electrons move around the magnetic equator assumed at the center of the simulation system. While the electron hybrid code has been parallelized through the particle decomposition method, we need to improve the scalability of the electron hybrid code so as to use a large simulation system and billions of particles for simulations under initial conditions corresponding to the real magnetosphere.

In the present study, we have developed a spatially one-dimensional electron hybrid code domain-decomposed by OhHelp [4]. The OhHelp is a library which enables us to conduct PIC simulations by achieving both dynamic load balancing and scalability. The efficiency and scalability of OhHelp have been confirmed by a 3D full PIC simulations [5]. We show the efficiency and scalability of the developed code tested on the system A (Cray XE6) of Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University. We compare the performance of the developed code and those of the code with the particle decomposition.

[1] Katoh Y., Y. Omura, Computer simulation of chorus wave generation in the Earth's inner magnetosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L03102, doi:10.1029/2006GL028594, 2007.

[2] Katoh, Y., Y. Omura, and D. Summers, Rapid energization of radiation belt electrons by nonlinear wave trapping, *Ann. Geophys.*, 26, 3451-3456, 2008.

[3] Katoh, Y. and Y. Omura, Effect of the background magnetic field inhomogeneity on generation processes of whistler-mode chorus and hiss-like broadband emissions, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 118, 4189-4198, doi:10.1002/jgra.50395, 2013.

[4] Nakashima, H., Y. Miyake, H. Usui, and Y. Omura, OhHelp: A Scalable Domain-Decomposing Dynamic Load Balancing for Particle-in-Cell Simulations, *Proc. 23rd Intl. Conf. Supercomputing*, 90-99, 2009.

[5] Miyake, Y., H. Usui, and H. Nakashima, Development of a Scalable PIC Simulator and Its Application to Spacecraft-Plasma Interaction Problems, *Proc. JSST 2012, OS6-8*, pp. 262-267, 2012.

キーワード: 動的負荷分散技法, 粒子コード

Keywords: dynamic load balancer, PIC simulation