

太陽周期活動の源に迫る



堀田 英之 Hotta Hideyuki

理学研究院特任助教

専門分野：太陽物理学

2014年、東京大学大学院理学系研究科にて博士課程修了。博士（理学）。日本学術振興会海外特別研究員として、アメリカ合衆国コロラド州のHigh Altitude Observatoryに滞在したのち、2015年より現職。主な研究テーマは、大規模シミュレーションによる太陽の研究。2018年アジア太平洋物理学学会・プラズマ物理学部門「若手研究者賞」受賞。

—— どのような研究内容か？

太陽の表面には、黒点と呼ばれる黒いシミがしばしば観測されます（図1：国立天文台/JAXA）。この黒点と呼ばれる領域は太陽表面の中で温度の低い領域で、暗くなっているために黒点と呼ばれます。黒点は、非常に強い磁場を持っている領域であることが知られています。1600年代の初頭からの黒点の観測結果を注意深く眺めると、太陽の黒点の数は11年の周期を持って変動していることがわかります。これほど、非常に長い期間継続した観測があるにも関わらず、太陽の11年周期を維持する物理メカニズムは、いまだに明らかになっていません。私の研究の最終目標は、数値シミュレーションを用いてこの謎を解明することにあります。

太陽は、その中心部分で核融合をしています。そこで生成されたエネルギーは中心から太陽半径の70%ほどまでは光によって、そこから半径の30%分は熱対流によって外側に運ばれていきます。また、太陽は非常に高温なので、プラズマという状態になっています。熱対流によって混沌と運動するプラズマと磁場の相互作用を数値シミュレーションによって再

現し、磁場の生成を再現することによって太陽の11年周期を理解しようという試みを行っています。

太陽内部はその巨大なスケールと粘性の低さのために非常に自由度の高い混沌とした状況になっています。そのためにできるだけ、太陽の状況を精密に再現するためにはスーパーコンピュータを用いて大規模な数値計算をする必要があります。我々のグループでは、スーパーコンピュータ「京」のような大規模計算機でも計算性能が出る方法を独自に開発し、これまでに大規模数値計算を行ってきました（図2：エントロピーという物理量を示している。明るい色が比較的暖かく、青い色が比較的冷たいと考えて良い）。そのような大規模数値計算の結果、太陽に存在する乱流を細かく分解すればするほど、却って太陽で観測されるような大規模な磁場を再現可能であることがわかりました。

また一方で、これまでの太陽内部の数値計算では、数値的負荷の大きさから、実際に観測される太陽表面を取り入れることができませんでした。我々は数値計算法をさらに改良し、世界で初めて熱対流がある層の底から太陽表面までを一貫して取り入れた数値計算に成功しました（図3：図2と同様に

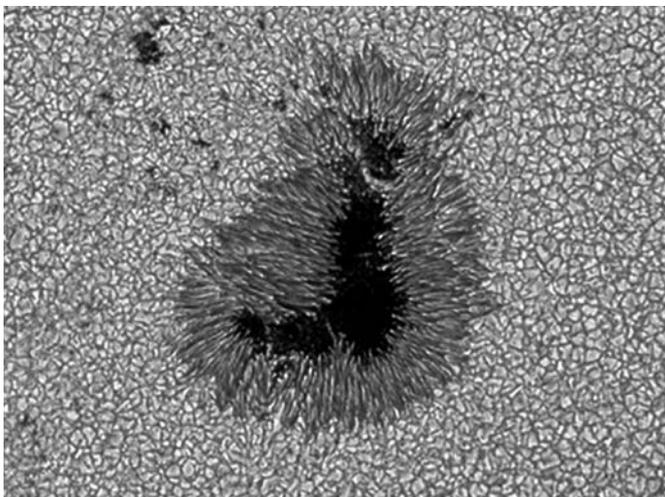


図1：©国立天文台/JAXA

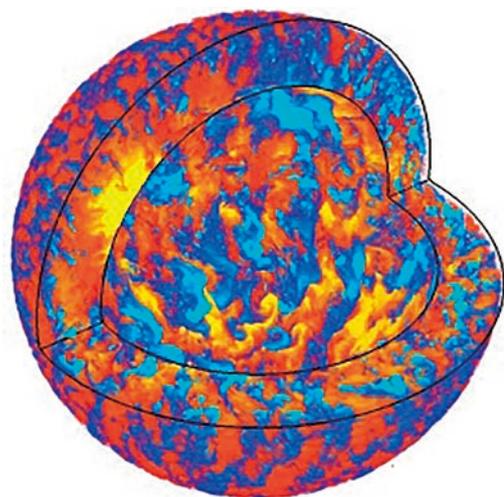


図2

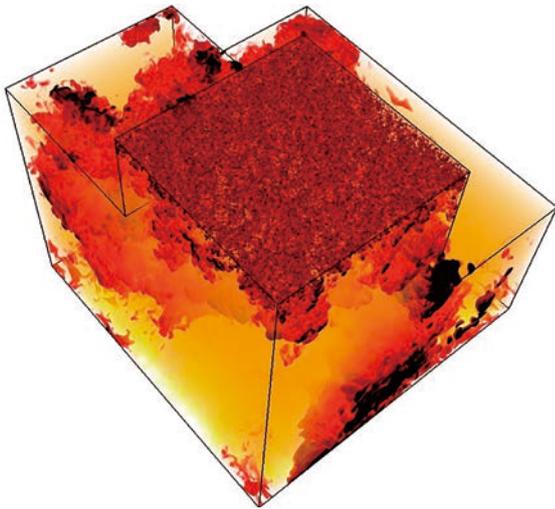


図3

エントロピーという物理量を示している)。

—— 何の役に立つ研究なのか？

天文学は、地球上の実験室や環境では実現不可能な極限状態の物理を調べ、人類の知識そのものを大きくすることにその面白さがあると思います。一方、多くの天体は地球からかなり離れていたり、時間スケールが非常に長かったりして、その詳細を観測することが困難なことがほとんどです。一方で太陽は我々の最も近くに存在するために極限状態の物理を実現しながらその詳細を観測することができます。周期が11年周期で起こるといっても人類が研究するのに適しています。私のグループが行っているような数値計算の結果も観測と比較することで、その妥当性が検証できるのです。ここが太陽物理学の最も面白い点であると考えています。

また、太陽は我々に多くの影響を及ぼしているのです。太陽の状態を理解することは人類の生活に直接の利益になることもあります。例えば、太陽表面ではしばしば太陽フレアと呼ばれる爆発現象が起こります。この爆発現象の結果、地球の極地方ではオーロラが見られるなど影響があります。非常に強いフレアが起きた時には、その結果地球に生じる強い電流により、発電所がダメージを受けた例が知られています。よって、太陽活動を理解することで、今後の太陽による地球への脅威も理解していこうと考えています。

—— 今後の計画は？

これまででは、スーパーコンピュータ「京」を使って計算してきましたが、数年内に次のスーパーコンピュータ「富岳」が完成します。このようなスーパーコンピュータを用いてさらに大規模な数値計算を行い、太陽11年周期の問題解決のために研究を続けていきたいと考えています。

—— 関連ウェブサイトへのリンク URL

堀田のホームページ

▶ https://sites.google.com/site/hideyukihotta/home_jp

—— 成果を客観的に示す論文や新聞等での掲載の紹介

論文

H. Hotta, Iijima, H., Kusano, H., 2019, Science Advances, 5, eaau2307, “Weak influence of near-surface layer on solar deep convection zone revealed by comprehensive simulation from base to surface”

H. Hotta, M. Rempel, and T. Yokoyama, 2016, Science, 351, 1427, “Large-scale magnetic fields at high Reynolds numbers in magnetohydrodynamic simulations”

新聞掲載：

日本経済新聞2016年3月27日

▶ <https://www.nikkei.com/article/DGXLZO98932620X20C16A3TJM000/>

産経新聞2018年6月4日

▶ <https://www.sankei.com/life/news/180604/lif1806040017-n1.html>

—— この研究の「強み」は？

太陽の計算ではこれまで、大規模計算機を使う上で不利となる計算手法を採用していましたが、我々は、独自の計算手法を用いて大規模計算機を有効に使うことができます。太陽内部を正確に再現するためには、非常に多くの計算資源が必要となり、現状でもまだ十分ではありません。今後のスーパーコンピュータの発展に伴って、さらに計算機を有効に使い問題解明に挑みたいと思います。