

2020 年度 名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクト成果報告書

高解像度数値計算で探る太陽差動回転の謎

千葉大学 堀田英之

本研究では、大規模な太陽球殻の磁気流体数値計算を行うことにより、太陽の差動回転の謎を解明することを目的としている。富岳と不老を効果的に組み合わせることにより、研究を促進した。特に不老は富岳と同じ CPU を持っているために不老での早期のチューニングは富岳を利用する上でも非常に役に立った。

太陽は、緯度ごとに異なる速度で自転するいわゆる差動回転を持っている。太陽の差動回転の存在は 1600 年ごろから知られており、その後非常に長い観測の歴史を持っている。太陽の差動回転の中で、特に特徴的なのは、赤道が速く極が遅く回っていることである。これは、理論的には、太陽内部の熱対流が自転の影響により、角運動量を赤道方向に輸送することが原因と考えられている。しかし、近年の高解像度計算では、極が速く自転するような差動回転が得られることが問題となっていた。なんらかの効果により、数値計算で再現される熱対流速度が現実の太陽よりも速くなってしまうことが問題だと考えられていたが、その理由はわかっていなかった。

そこで、本研究ではこれまでにない高解像度の数値計算を実行することにより、この問題の解決を試みた。具体的には $96 \times 768 \times 1536$ (Low)、 $192 \times 1536 \times 3072$ (Middle)、 $384 \times 3072 \times 6144$ (High) の 3 ケースについて太陽の時間で 4000 日ほどの磁気流体力学計算をおこなう。その時の熱対流・磁場・差動回転の進化を見た。

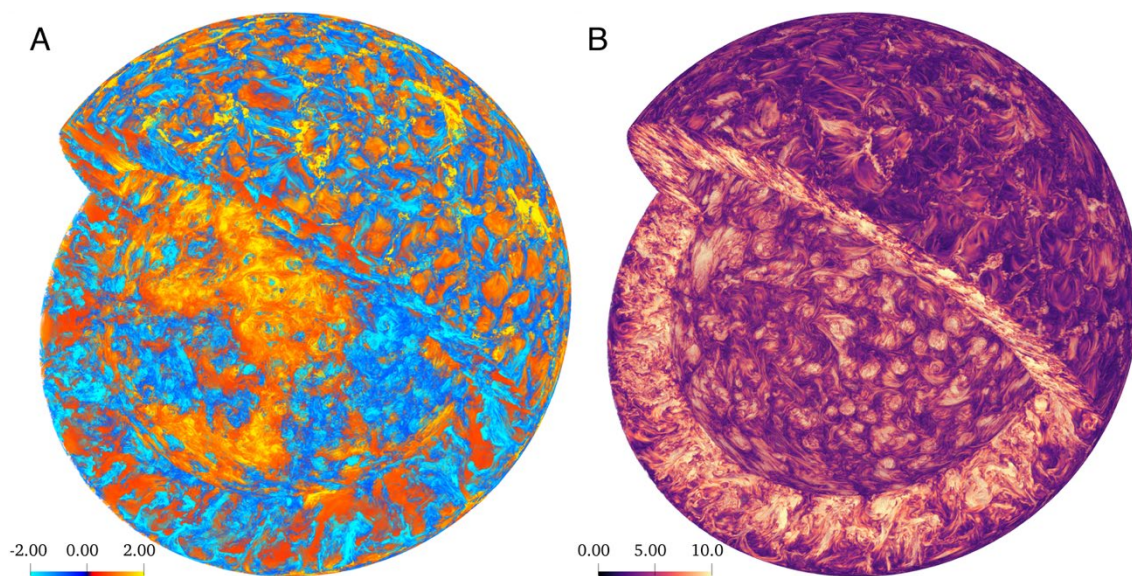


図 1 High の場合のエントロピー(左)と磁場強度(右)

その結果を図 1 に示す。左パネルに各高さで規格化したエントロピー、右パネルに磁場強度[kG]を示している。これまでになく非常に乱流的になっている状況を達成することができている。

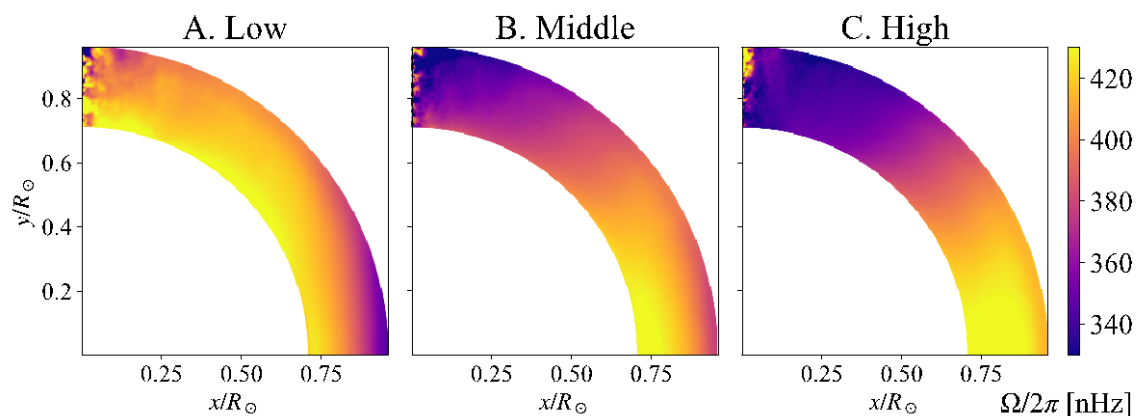


図 2 角速度の解像度への依存性

図 2 に達成された角速度分布の解像度への依存性を示した。解像度が低いときは、これまでの計算と同じく太陽パラメタでは赤道ではなく極が速くなる差動回転を示している(左パネル)。しかし、解像度をあげていくと徐々に太陽に近い差動回転となっていく、達成できたもっとも高い解像度では、太陽とほぼ同じ差動回転分布を再現することができた(右パネル)。

計算結果を詳しく解析すると、解像度をあげたことによって、乱流による磁場生成が非常に活発になっていることがわかった。この効果により、磁場から速度場への揺り返しが非常に効率的となり、これまでの数値シミュレーションのものと全く違う状況が達成できた。