

3次元磁気対流数値シミュレーションで迫る太陽表面磁場輸送プロセス

飯田 佑輔 (関西学院大学)

利用カテゴリ XC-Trial

太陽活動には11年の周期があることが知られ、その周期性はダイナモという物理機構によって維持されていると考えられているが、その詳細は明らかになっておらず、「太陽ダイナモ問題」と呼ばれている。これまでは理論研究を中心として、磁束輸送ダイナモモデルが構築されてきた。磁束輸送ダイナモモデルは、太陽活動の起源である磁場を11年の周期で輸送することで、周期性を説明する。特に太陽表面に着目し、その磁場輸送を表したものを、表面磁束輸送モデル(Surface Flux Transport Model)と呼ぶ。そこでは、太陽表面に出現した黒点が、差動回転、赤道から極に向かう子午面還流、そして等方な太陽表面对流によって、輸送される。しかしながら、これら流れ場による磁場輸送について、観測検証はほとんど行われていなかった。特に、表面对流による太陽面水平方向への輸送は、Leighton(1964)で提案された古典拡散プロセスとしてのモデル化が、現在でも用いられており、本研究課題ではその妥当性を磁気流体数値シミュレーションから検証した。

本年度は、昨年度のコードとは異なる初期位置でラグランジュ粒子の輸送を始め、その依存性を調べた。昨年度に得られた準拡散性やラグランジュ粒子の停留領域は再現され、その性質はラグランジュ粒子の初期位置に依存しなかった。

1) 輸送の拡散性

Iida(2016)で報告されている、超拡散から準拡散へ輸送の拡散性変化が見られるかどうかを調べた。

図.1左は、それぞれのケースにおける全ラグランジュ粒子の、初期位置からの変位二乗平均である。横軸は、計算領域底面における対流速度 t_c で規格化し直している。また、図中の点線は傾き1の直線を示す。これを見ると、 $t_c \sim 1$ までは曲線であるものの傾きが1よりも急峻であり、超拡散の性質を示している。 $t_c > 1$ では、おおよそ直線となり、べきの依存性を示している。

次に図.1右は各ケースの全ラグランジュ粒子10,000個の変位二乗平均を、それぞれ $t_c=1$ の時を原点になるように、両対数グラフ上で平行移動したものである。2D-HDおよび2D-MHDは、3D-HDおよび3D-MHDに比べてガタつきが大きく見える。これは、ラグランジュ粒子の補足の効果によって、同領域に捕獲された粒子がともに動き、実効的な粒子数が少なくなってしまうためだと考えられる。一方で、どのケースも直線性がよい。この区間で最小二乗法により傾きを求めると、2D-HD: 0.81 ± 0.03 , 3D-HD: 1.16 ± 0.03 , 2D-MHD: 0.75 ± 0.03 , 3D-MHD: 1.03 ± 0.03 となった。エラーバーは、最小二乗法における 1σ を示す。

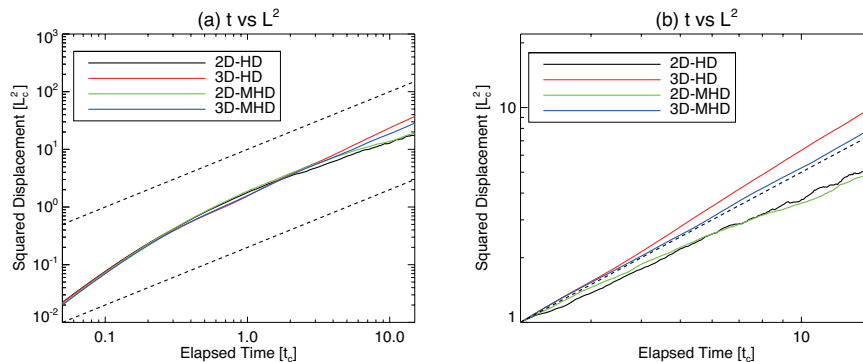


図.1 ラグランジュ粒子の変位2乗平均の時間変化

II) ラグランジュ粒子間距離

全ラグランジュ粒子間の水平距離を、図.2に示す。全てのペアについて、その水平距離を調べている。図.2左は両線形スケールでの水平距離分布、図.4右は両対数スケールのそれである。

まず、図.2左ではどのケースも $L_c \sim 20$ にピークを持ち、大きな空間スケールでは差がみられないことが分かる。このことは、どのケースにおいても、ラグランジュ粒子を掃きよせる大きな流れ場構造には差がないことが分かる。一方で、 L_c が小さいスケールでは、ラグランジュ粒子の鉛直運動の有無による差が見られる。特に、図.2右では $L_c < 10$ の領域において、3D-HDと3D-MHDの距離分布が L_c を小さい方向に進めた時に、単調に減少していつているのに対し、2D-HDと2D-MHDでは $L_c < 1$ から上昇に転じている。これは、磁場捕獲領域の存在とその空間スケールを示している。また、 $10^{-1} < L_c < 1$ において2D-MHDの方が2D-HDよりも数密度が大きくなっている。これは、磁場がある場合の方が、ラグランジュ粒子の捕獲領域が広がっていることを示している。

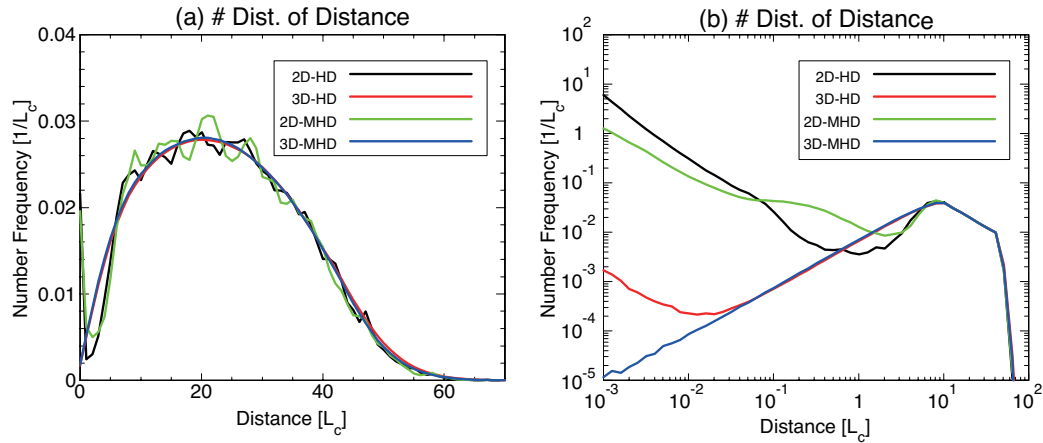


図.2 ラグランジュ粒子間水平距離の分布