

磁気圏非定常 MHD 過程とその磁気圏 - 電離圏結合過程

The realization of magnetospheric MHD processes: An idea based on the eigenmode decomposition in global MHD simulations

中溝 葵 [1]; 吉川 顕正 [1]

Aoi Nakamizo[1]; Akimasa Yoshikawa[1]

[1] 九大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.

磁気圏物理学において、MHD は第一義的な基本理論として採用されてきたが、我々は、磁気圏諸現象の力学とその磁気圏 - 電離圏結合過程を、MHD の文脈で完全に理解しているだろうか？線形理論では、あらゆる MHD プロセスは独立の MHD 固有モード (intermediate, fast, slow mode (+entropy mode)) の重ね合わせで記述され、それぞれのモードに付随する物理 (力のバランス、電磁・プラズマエネルギー収支) は明確に理解される。しかしながら現実の磁気圏では、複雑なトポロジーや著しい非一様性から、現象の物理を捉えることは困難となる。複雑な自然現象を捉えるのに、数値シミュレーションは有用な手段だが、磁気圏 MHD シミュレーションでこれまでに得られた理解は十分なものだろうか？

形式的には、磁気圏側沿磁力線電流のソースは回転性の運動中心および場の不均一領域から特定され、磁気圏 - 電離圏結合が課す基本条件は磁気圏 - 電離圏間におけるポテンシャル一致および電流クロージャ (沿磁力線電流と電離圏発散電流の連続性) のみである。よって、沿磁力線電流をつうじた磁気圏回転場と電離圏対流の一対一対応が描ければ、一見、磁気圏 - 電離圏結合系は理解できたかに見える。しかしこの形式論は、準定常状態は保証するが非定常過程の物理を含んでいない。非定常過程の考察には少なくとも以下の二点が必要である。

(1) 磁気圏側の沿磁力線電流の励起について: 磁気圏対流は基本的に、回転場 (非圧縮運動、準定常状態、静電場、intermediate mode、沿磁力線電流) と発散場 (圧縮運動、非定常過程、誘導電場、fast/slow mode、垂直電流) から構成され、沿磁力線電流は常に磁気圏側の垂直電流からもたらされる。よって、非定常過程において、沿磁力線電流の励起は垂直電流の盛衰と同義あり、沿磁力線電流系の物理「磁力管を通じて沿磁力線電流によってなされる、磁気圏ジェネレータから電離圏への応力伝達と電磁エネルギー輸送による、電離圏対流駆動とエネルギー消費」に立ち返れば、発散場に付随する応力とエネルギー収支がいかに沿磁力線電流励起に関わるか、を明確にする必要がある。

(2) 磁気圏 - 電離圏結合の記述について: 沿磁力線電流系の変動情報の電離圏への伝達は全て intermediate mode によって担われる。即ち、沿磁力線電流を通じて流出入する電磁エネルギー・応力を、電離圏における弱電離気体のジュール加熱・運動量変動と一対一に結びつけるためには、intermediate mode と弱電離気体の相互作用を矛盾なく記述する必要がある。

現在の磁気圏 MHD シミュレーションは、磁気圏対流については回転場・発散場といった分離の、磁気圏 - 電離圏結合については intermediate mode を通じた相互作用の観点を備えていない。準定常状態の観察には破綻はないだろうが、シミュレーションが本領を発揮する非定常過程において、磁気圏ジェネレータ側での沿磁力線電流生成の物理が見えておらず、磁気圏 - 電離圏結合に伴う各種物理量の保存が保証されていない。

以上から我々は、非定常現象の理解の第一歩は、磁気圏 MHD シミュレーションにおける回転場と発散場の分離、発散場・回転場の帰結としての沿磁力線電流系生成の記述、及び intermediate mode と弱電離気体の陽なる相互作用による磁気圏 - 電離圏結合の導入であると提案する。本発表ではまず、MHD シミュレーションにおける回転場・発散場分離 (モード分離) のアイデアと手法の詳細を紹介し、それが実現した場合に期待されることについて議論する。