

## 磁気圏電離圏結合電流系の包括的記述と理解：Alfvénic-coupling をベースとしたアプローチ

# 吉川 顕正 [1]; 田中 良昌 [2]; 中田 裕之 [3]; 中溝 葵 [4]  
[1] 九大・理・地球惑星; [2] ROIS; [3] 千葉大工; [4] 情報通信研究機構

### Description of magnetosphere-ionosphere coupled system using Alfvénic-coupling algorithm

# Akimasa Yoshikawa[1]; Yoshimasa Tanaka[2]; Hiroyuki Nakata[3]; Aoi Nakamizo[4]  
[1] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.; [2] ROIS; [3] Graduate School of Eng., Chiba Univ.; [4] NiCT

We propose an inclusive formulation of MI-coupled system applying Wallen-relation for non-linear and quasi-steady Alfvénic disturbance. By applying Wallen-relation to the Alfvénic disturbance near the ionosphere, arbitrary incompressible MHD fields of (b,v) can be separated into the incident part to the ionosphere and reflected part from the ionosphere. Separated incident field from (b,v) gives electromotive force (emf) for generation of ionospheric current system. This "emf" is propagating from the magnetosphere with the incident field-aligned current accompanied by the incident Alfvénic disturbances. Reflected fields are generated to cancel out the divergent part of ionospheric current produced by this "emf" from the magnetosphere, and thus, this formulation is very useful for describing and analyzing of MI-coupling process from viewpoint of Cause and effect.

This formulation clarify that induced charge in the ionosphere and their associated reflected electric field is composed by the direct reflection part for incident field and polarization part generated to cancel out the divergence part of ionospheric current caused by coupling of incident field to the gradient of ionospheric conductivities.

Clearly, both divergent part of primary Pedersen and divergent part of primary Hall current possibly become source of polarization field and their associated secondary ionospheric current system including reflected FAC. Therefore, we can expect to separate the MI-coupled current system into two orthogonal current system, the first is originating divergence of primary Pedersen current and the second is originating divergence of primary Hall current. We call the former current system as alpha-current channel and the latter current system as beta-current channel. The alpha-current channel is directly coupled to the magnetospheric source region, which supplies "emf" of ionospheric current system. A feed back Hall effect from the beta-current channel causes Cowling effect in the alpha-current channel. A dynamo of beta-current channel is polarization field generated by the Hall current divergence, and this current channel act as generator of feed back FAC to the magnetosphere.

Using Hall Conjugate Current Analysis (HCC) developed by Yoshikawa (2009), unique separation of MI-coupled current system into alpha-current channel and beta-current channel can be achieved under any ionospheric conductivity conditions. Thus, combination of the Alfvénic coupling analysis and the HCC is very useful for surveying of MI-coupling process from viewpoint of cause and effect between magnetospheric dynamics and ionospheric response.

磁気圏-電離圏間の電流及び対流の結合問題は、グローバルな太陽圏・地球超高層大気圏の結合ダイナミクスを理解する上で非常に重要な要素の一つである。特に近年のネットワーク観測やグローバルシミュレーションの発達によって、電離圏に於ける沿磁力線電流のクロージャーと対流の発達が磁気圏ダイナミクスを大きくコントロールすることが明らかになりつつあり、超高層物理学の積年の重要課題であるオーロラサブストームや、太陽風変動と地球電磁圏最深部：磁気赤道領域との結合までが計算機実験による具体的な研究ターゲットとして意識されるようになってきた。

一方、この磁気圏電離圏結合系の的確な再現と包括的理解にいたるまでには、未だ多くの課題が残されている。その根本的課題の一つとして、非一様非等方性伝導度を持つ系である電離圏と磁気圏間の自己無同着な電流/対流結合方式の確立、及びその結果形成される結合電流系の物理的意味と因果に基づいた記述が挙げられる。この課題の難しさは、電流・運動量・エネルギー全ての保存則を満たす結合則とは何であるのか？更にこれらの結合則を満たした、非一様非等方性電気伝導度系に於ける電流のクロージャーはどう実現されているのか？という問いに対する解答を用意しなければならないことにある。

本論文では、この問いに対する積極的な解答として、(A) 非線形 Wallen-relation を応用した Alfvénic-coupling による磁気圏電離圏結合系の定式化と、(B) Hall 共役電流法によって一意に抽出される  $\alpha$ -current channel と  $\beta$ -current channel による磁気圏電離圏結合系の記述を提唱する。それぞれの方法論の概要は以下の通りである。

(A) 非圧縮性擾乱に適用可能な Wallen-relation により分離された任意の Alfvénic 擾乱に付随する磁力線沿いの平行解と反平行解は、地球電離圏近傍では電離圏に入射する解と電離圏から反射してくる解とに一意に対応づけることが出来る。電離圏に入射する解は磁気圏ダイナミクスを反映しており、電離層電流系に対する起電力 (EMF) を与える。一方、電離圏から反射してくる解は磁気圏電離圏間のインピーダンス不整合による直接的な反射場と、EMF によって励起された電流発散を解消するように誘導される偏極場とに分けることができる。この方法によって求められる入射場と反射場は、理論的には完全に電流・運動量・エネルギーの保存則を満たすように決定可能である。

(B) (A) の方法によって求められる入射場は、磁気圏から電離圏の Poynting flux を運ぶ沿磁力線電流系を形成している。一方、反射場に関しては、電離圏から磁気圏へと Poynting flux を運ぶ電流系を形成している。このときインピーダンス不整合によって生じる反射場が励起する電流系は Pedersen 電流の発散から生じており、偏極場には Pedersen 電流発散起源の場と Hall 電流発散起源の場が存在する。EMF の投影によって生じる Pedersen 電流と Hall 電流はいつも互いに直交

しているので、これらの発散によって生じる偏極場も互いに直交していることが期待される。このように、磁気圏から流入する EMF と同じ経路を方向に流れる Pedersen 電流発散起源の電流系を  $-current\ channel$  と呼び、これと直交する Hall 電流発散起源の電流系を  $-current\ channel$  と名付けることとする。 $-current\ channel$  で生成した偏極場により励起される Hall 電流は  $-current\ channel$  に於ける Pedersen 電流と同じ向きに流れ、所謂 Cowling 効果の源となることがわかる。本論文で発表される Hall 共役電流法はこのような、磁気圏ダイナモと直結した  $-current\ channel$  と、これと直交する電離圏の Hall 電流発散起源の  $-current\ channel$  への一意の分離を可能とする手法である。