

# 複合系の科学としての磁気圏物理学

## Magnetospheric physics as the science of compound system

# 田中 高史[1]

# Takashi Tanaka[1]

[1] 九大

[1] Kyushu University

磁気圏形成の第 1 近似は、太陽風の動圧と地球磁場の磁気圧とのバランスです。これは Chapman-Ferraro モデルで、それがある程度正しい理由は、太陽風では運動エネルギーが卓越するからです。この場合、太陽風プラズマと磁気圏プラズマは混合せず、静かな磁気圏が実現されます。これは現実と反しますので、第 2 近似として Dungey モデルが考えられたわけです。そこではリコネクションを含む非理想 MHD 過程を通じ、太陽風プラズマの侵入が発生し、さらに運動量とエネルギーも侵入し、磁気圏プラズマは電離圏プラズマも巻き込んで、大規模な対流運動を開始します。電離圏ではオームの法則と電流の連続性から FAC の closure は、 $\sum \mathbf{j} = \mathbf{j}$  となりますから、ポテンシャル即ち対流と沿磁力線電流は 1 対 1 対応です。ここでは FAC がなければ対流もないことがよく理解できます。一方磁気圏では沿磁力線電流の磁気圏 closure が不明確で、FAC と対流がすぐに結びつきませんでした。しかし数値シミュレーションの登場によって、領域 1 FAC はカスプに、領域 2 電流はプラズマシートに、NBZFAC はローブにマップされるのが分かってきました。その結果からは、( 1 ) FAC が FAC であるのは低ベータ領域での性質であり、高ベータ領域では磁場と直角方向の電流( 即ち、力のバランスに関係する電流 )に繋がる、( 2 ) 違った種類の FAC は磁気圏中でお互いに住み分けるような形で磁気圏 closure を行う、( 3 ) FAC はそれ程深いテイル領域と繋がるわけではない、ことなどが見られます [Tanaka, 1995, 2000]。

沿磁力線電流の磁気圏 closure では、ダイナモとの結合が不可欠です。なぜならば、電離圏は電磁エネルギーを消費する負荷であり、対流が定常的に励起されるためには、磁気圏対流内にエネルギー変換過程が組み込まれており、電離圏に電磁エネルギーを供給するメカニズムが働かなければならないからです。このプロセスを考察するには、まず対流システム内の力のバランスを知り、次にその力が対流という物質移動を通じてする仕事を求めることが必要です。その結果では磁気圏では圧力と磁気張力がほぼ釣り合っており、リコネクションにより発生する磁気張力が内部エネルギーを増加させ、その内部エネルギーがダイナモを駆動するというモデルとなります。これにより、磁気圏と電離圏で自己無撞着性を満たす対流が構成できます [Tanaka, 2004]。

沿磁力線電流は既に 1970 年代に発見されましたが、そのグローバルな力学的意味を理解するまでに 20 年以上掛かりました。この問題が磁気圏物理学の最も本質的な点であるのに理解が遅れたということで、これは “Iijima ギャップ” と呼ばれるものでしょう。“Iijima ギャップ” は磁気圏物理学の停滞で、宇宙はプラズマの実験室であるという錯覚を振りまいた期間でした。今やっと磁気圏物理学が正しい道に復帰したことになります。最近では、対流システムの構造を理解することは、SC やテーターオーロラのような一見独立した現象を理解する上でも、不可欠なことが認識され、“全く異なった性質を持つ磁気圏と電離圏からなる複合系は、沿磁力線電流を介してお互いの運動を認識する系であり、それが太陽風の変動に対しどのように自己無撞着性を維持回復するかを解明することが、磁気圏物理学の主要課題である” となりました。対流はトポロジーを持った系での現象です。物理学では、普遍的原理から現象を説明することが発見ですが、地球惑星科学では形(トポロジー)の効果が重大であり、分解により本質が失われます。複合系の科学とはこの点を強調した表現です。