

統計モデルを利用したデータセット全探索と知識発見支援システム：地球大規模電流系の自動同定

Knowledge discovery from large-scale dataset: Automatic identification of large-scale field aligned current systems

樋口 知之[1]

Tomoyuki Higuchi[1]

[1] 統数研

[1] Inst. Stat. Math.

<http://www.ism.ac.jp/higuchi/>

地球の磁気圏には太陽風との相互作用の結果、大規模な電流系が構成されている。その規模、形態などは時間・空間的に変動の大きいものである。一日 10 数回絶えず極軌道を周回している人工衛星のデータから、この電流系の様相を自動的にかつオンライン処理で特徴づける手法を提案する。一回人工衛星が極域を通過するたび、主として磁気経度方向成分一変量にのみ、大きい磁場変動が観測される。このスカラー空間系列は、観測された 3 次元空間系列に対して、主成分分析から得られる情報をもとに座標変換を行うことで導出される。このスカラー変量に、可変ノードスプライン関数を最小 2 乗法であてはめ、その節点の位置と値で、電流系の特徴付けを行う。

太陽風は地球固有の内部磁場と複雑な相互作用の結果、地球磁気圏と呼ばれる磁場の領域が地球近傍の宇宙空間に形成する。これと同時に、地球の電離層と地球磁気圏の境界面をつなぐ巨大な電流系を生み出す。この大規模な電流系を Large Scale Field Aligned Current system と呼び、以後簡単に LSFAC と記す。LSFAC は、磁気緯度の絶対値で $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ の、その中心が夜側に系統的にずれたリング状に局在する。太陽風からのエネルギーは、境界面前面から直接流入したり、磁気圏の後ろ（磁気圏尾部とよぶ）から時間遅れをもって流入したりと、そのエネルギー流入の物理プロセスはかなり複雑である。本研究では、この物理プロセス上特に重要な役割をはたす LSFAC に注目する。

宇宙空間では電流そのものを測定することは難しいが、電流によって生じる磁場変動の測定は簡単である。そのため、人工衛星で観測された磁場データを解析し大規模電流系の 3 次元構造を推定する研究がこの 20 年来かなり精力的になされてきた。その結果、太陽風エネルギーの地球磁気圏への侵入メカニズムの大筋は少なくとも定性的には解明されたと理解されている。しかしながら一歩進んだ、太陽風活動が地球圏へ及ぼす影響の定量的な予測には、太陽風が input、低高度人工衛星で（あるいは地上で）観測される物理量を output とする信号処理的センスで粗視化した理解において、その両者をつなぐブラックボックスの数値モデルが必要である。

上述したように定量的な予測には、太陽風と地球磁気圏の複雑かつダイナミックな相互作用を、精緻にかつ柔軟に記述できる数値モデルの開発が求められる。モデル開発研究の大きな流れは、現象を理想化した物理モデルにもとづくシミュレーションを利用した演繹的なアプローチである。これとは逆の次のような帰納的なアプローチも有力であろう。さまざまな人工衛星によって蓄積されてきた超大量のデータからのすべての情報を有機的に統合することによって、データベースと非線型関数を組み合わせたような機能性をもつ数値モデルの構築をめざすものである。後者のプロジェクトの端緒として、人工衛星によって観測された約 5 年分の磁場データをすべて解析し、データから LSFAC の構造を自動的に抽出・分類する作業に取り組んだ。

LSFAC は、同緯度に沿ったシート状---カレントシートと呼ばれる---のものが数層重なった構造をもつことが知られている。LSFAC は同じタイプ（例えばシート数が同じ）の電流系であっても、その空間的位置や電流値は、時々刻々と変化する太陽風の影響や日照条件（極域地方の太陽となす角度）の違いなどさまざまな要因でかなり変動する。このため従来この作業は、解析に慣れた熟練した研究者の目による作業にほぼ依存していた。よって、LSFAC の空間的位置や電流値の変動性を容認しつつ、タイプ別に分類する柔軟な手法の開発が必須である。このような手法を開発し、新しいタイプの電流系の観測例を巨大なデータセットから組織的かつ自動的に探索することが本研究の目的である。本発表では、採用した統計モデルと物理モデルとの関係及び、モデル選択が LSFAC の自動同定においてどのような役割を果たしているのかについて重きをおいて概説する。