

Pi 2 型地磁気脈動の生成・伝播機構解明に関する知見獲得のための独立成分分析の応用

An application of Independent Component Analysis to discover knowledge about the propagation mechanism of Pi 2 magnetic pulsations

徳永 旭将 [1]; 吉川 顕正 [2]; 魚住 禎司 [3]; 樋口 知之 [4]; 中村 和幸 [5]; 湯元 清文 [6]; MAGDAS/CPMN グループ 湯元 清文 [7]

Terumasa Tokunaga[1]; Akimasa Yoshikawa[2]; Teiji Uozumi[3]; Tomoyuki Higuchi[4]; Kazuyuki Nakamura[5]; Kiyohumi Yumoto[6]; Yumoto Kiyohumi MAGDAS/CPMN Group[7]

[1] 九大・理・地球惑星; [2] 九大・理・地球惑星; [3] 九大・宙空環境研究センター; [4] 統数研; [5] 統数研; [6] 九大・宙空環境研究センター; [7] -

[1] none; [2] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.; [3] SERC; [4] Inst. Stat. Math.; [5] ISM; [6] Space Environ. Res. Center, Kyushu Univ.; [7] -

[Pi 2 型地磁気脈動]

地上で観測される Pi 2 型地磁気脈動の解析に ICA (独立成分分析) を応用する試みを続けている。Pi 2 型地磁気脈動はオーロラサブストーム爆発相開始時に地上の広い範囲で地上観測される、突発的な地磁気変動である。過去 50 年に渡る Pi 2 研究においても、その生成・伝播機構は未だ部分的にしか解明されていない。Pi 2 は夜側磁気圏尾部に震源領域を持ち、磁気流体波 (磁気音波および Alfvén 波) として途中の磁気圏を伝播し電離層まで到達すると考えられている。過去の Pi 2 研究において、地上および人工衛星による磁気圏での観測からの帰納的アプローチは数多く行われて来た。衛星観測のメリットは、3 次元的な波動特性が得られることである。その一方で衛星観測には、磁気圏のスケールに対し非常に局所的な情報しか得ることができないというデメリットも存在する。地上観測のメリットは、グローバルに展開された多点磁場観測網により、比較的広域的な波動特性を捉えることができることである。その一方で、振動的な磁場変動として地上で捉えられる Pi 2 信号には、Pi 2 の生成機構に関する情報と (磁気圏での) 伝播機構に関する情報が全て積分されていると考えられるため、それらの情報を上手く切り分けて解析する必要がある。これら地上観測及び衛星観測のそれぞれのデメリットを上手くフォローできるアプローチを導入することが、Pi 2 の生成・伝播機構の全容を帰納的立場から解明するための重要課題であると我々は考える。

[ICA の応用: 問題の枠組み]

我々は上記の問題に対し、独立成分分析 (ICA) という視点から新たな枠組みを与える。地上で観測される Pi 2 は、オーロラサブストーム発生に伴い夜側磁気圏尾部で発生した爆発的な磁場擾乱が、磁気圏および電離圏という未知のシステムにおいて変換された後、地上磁場変動として出力された信号であると解釈できる。従って、地上観測された Pi 2 から伝播機構と生成機構に関する情報を切り分けることは、出力信号のみから未知のシステムと未知の入力信号を同時に推定する問題と捉え直すことができる。入力信号が複数存在する場合、この問題は Blind Source Separation (BSS) と呼ばれる。ICA はこの BSS を工学的に実現する手法として、近年様々な分野での応用されつつある。線形でノイズ成分が 0 の観測モデルを仮定すると、前述の問題は $x = As$ において x から A と s を推定する問題へ帰着する (ただし、 x は出力信号、 s は入力信号を表すベクトル、行列 A は s を変換する混合行列とする)。ICA では、複数の入力信号が優ガウスの相互独立であるという仮定のもと、数値的に入力信号間の独立性を最大化させることで入力とシステムを同定する。ただし A が定数行列の場合、磁気圏が「残響」の無い線形システムであると仮定していることになる。

[Pi 2 型地磁気脈動への適用]

Tokunaga et al., [2007] では、地上多点観測された Pi 2 型地磁気脈動に上記の瞬時混合の観測モデルを当てはめることで、ICA により有意な情報分離ができる可能性を示した。その一方で近年、Pi 2 の伝播機構について新たな描像が得られつつある。*Uozumi et al.*, [2004] は、地上多点観測された Pi2 信号の伝搬遅延の空間特性についての統計的な解析を行った。また、*Uozumi et al.*, [2007] では *Uozumi et al.*, [2004] で得られた結果をふまえ、磁気圏での Pi2 の伝搬時間についてのモデル計算を行った。彼らの一連の結果は、磁気圏を MHD 波として伝搬する Pi 2 には複数の伝搬経路が存在する可能性が高いことを示している。それゆえ、磁気圏での変換システムを表す混合行列 A は、有限な時間遅れを含むシステムを仮定して設計することが、我々にとってより現実的なアプローチであると考えられる。この場合、行列 A はいわゆるインパルス応答 (FIR) 行列であり、そのフーリエ変換は伝達関数である。一般に残響の効果が無視できない環境下においては、時間領域もしくは周波数領域で ICA を適用する方法がとられることが多い。本研究では、計算の簡便さから周波数領域で ICA を採用する。地上多点観測された Pi 2 信号から伝達関数として減衰係数と伝播遅延に関する情報を定量的に抽出することにより、Pi 2 の生成・伝播機構に関わる知見獲得を目指す。