

## 相互情報量に基づく地上観測された Pi 2 型地磁気脈動の分類

# 徳永 旭将 [1]; 吉川 顕正 [2]; 魚住 禎司 [3]; 湯元 清文 [4]; 環太平洋地磁気観測グループ 湯元 清文 [5]

[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] 九大・宙空環境研究センター; [5] -

## Classification of ground-observed Pi 2 magnetic pulsations based on Mutual Information

# Terumasa Tokunaga[1]; Akimasa Yoshikawa[2]; Teiji Uozumi[3]; Kiyohumi Yumoto[4]; Yumoto Kiyohumi Circum-pan Pacific Magnetometer Network Group[5]

[1] Graduate School of Sci., Kyushu Univ.; [2] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.; [3] SERC; [4] Space Environ. Res. Center, Kyushu Univ.; [5] -

Pi 2 magnetic pulsations are observed on the ground as mixed signals of several independent components that are reflecting (1) propagations of fast and shear Alfvén wave, (2) resonances of plasmaspheric/magnetospheric cavity and magnetic field lines, and (3) transformations to ionospheric current systems [e.g., Yumoto et al., 2001]. However, it has been unclear how they coupled with each other and how their signals are distributed at different latitudes.

We have attempted to separate mathematically ground-observed Pi 2 pulsations by applying Independent Component Analysis (ICA). ICA is one of the multivariate statistical techniques that started to be used in the 1990s in the field of signal processing [e.g., Common, 1994]. With ICA, source signals are assumed to be non-Gaussian and statistically independent of each other and estimated by maximizing their statistical independence. It has been successful in resolving observed mixed signals including brain imaging data and voice signals into source signals.

As an initial stage of this study, we applied FastICA suggested by Hyvarinen and Oja [1997] to an isolated Pi 2 event on a quiet day observed at CPMN (Circum-pan Pacific Magnetometer Network) stations and successfully decomposed them into two components. One was the global oscillation that occurs from nightside high to equatorial latitudes with the common waveform and has an amplitude maximum at nightside high latitude. Another component was localized at nightside high latitudes. Its amplitudes were quite weak at low latitudes, but were enhanced near dayside dip equator [Tokunaga et al., 2007, GRL].

As a second stage of this study, we have attempted to classify ground-observed Pi 2 pulsations into some groups systematically. In this paper, MILCA (mutual information based least-dependent component analysis) suggested by Stogbauer et al., [2004] have been introduced, which are based on crude approximations for MI (mutual information). The numerical values of the MI can be used for (i) estimating residual dependencies between the output components; (ii) estimating the reliability of the output by comparing the pairwise MIs with those of remixed components; and (iii) clustering the output according to the residual interdependencies.

Pi 2 型地磁気脈動は、shear Alfvén mode wave や compressional mode wave の伝搬、磁力線やプラズマ圏における共鳴現象、サブストーム電流系の振動および高緯度電離層から低緯度電離層への侵入電場などを反映した、いくつかの成分の混合信号として地上で観測される [e.g., Yumoto et al., 2001]。過去の研究では、異なる緯度に対して異なる伝搬モデルが提案されて来たが [e.g., Olson, 1999]、それらが異なる緯度においてどのように分布し、また磁気圏および電離圏においてどのように結合しているのかは未だよく分かっていない。

我々は CPMN (環太平洋地磁気観測網) にて観測された Pi 2 型地磁気脈動に対し、独立成分分析 (Independent Component Analysis: ICA) を応用することにより、地上観測される Pi 2 型地磁気脈動の数学的分離・分類を試みる研究を進めて来た。ICA とは多変量解析の一種であり、原信号の情報論的相互独立性に基づき、混合信号である観測値のみから原信号を復元することを目的とした手法である。この研究の初期段階として我々は、CPMN で多点同時観測された比較的孤立性の高い Pi 2 event に対し Hyvarinen and Oja [1997] によって提案された FastICA と呼ばれる ICA アルゴリズムを適用した。その結果、地上多点観測された Pi 2 型地磁気脈動は、緯度分布特性の異なる 2 つのモードに分離された。そのうちの 1 つは夜側高緯度から夜側低緯度および昼側磁気赤道において同様の波形で存在する振動モードであり、もう 1 つは夜側高緯度および昼側磁気赤道にのみ存在する振動モードであった [Tokunaga et al., 2007, GRL]。

初期段階として我々は、地上観測される Pi 2 は前述の 2 つモードから構成されるとして解析および考察を行った。第二段階として我々が目指すのは、地上で観測される Pi 2 型地磁気脈動を情報論立場からより系統的に分類することである。そこで本研究では Stogbauer et al., [2004] による Mutual Information based Least-dependent Component Analysis (MILCA) を導入した。MILCA は相互情報量に基づいた ICA アルゴリズムの一種である。相互情報量は信号のエントロピーから算出される。信号のエントロピーとはその信号が持つ曖昧さ (乱雑さ) の尺度であり、信号が正規的であるほどエントロピーは大きくなる。ある事象 X と Y の相互情報量はエントロピー H を用いて  $I(X;Y)=H(X)-H(X|Y)$  と表される。ここで  $I(X;Y)$  は X と Y の相互情報量、 $H(X)$  は X の曖昧さ、 $H(X|Y)$  は Y を知った上での X の曖昧さを示している。このとき、もし X と Y が独立であれば  $I(X;Y)=0$  となる。MILCA では、推定すべき潜在成分間の相互情報量を最小にすることによって、情報論的に最大限乖離した成分 (Least-dependent Component) に分解する。さらに MILCA では相互情報量を基準にして、得られた成分を階層的にクラスタ化する。本講演では CPMN で観測された Pi 2 型地磁気脈動に対し、相互情報量に基づくクラスタ化を行った結果およびその妥当性について考察する。