

# 独立成分分析を用いた海底電場データの ノイズ除去法の開発と実データへの適用

佐藤真也\*・後藤忠徳\*・笠谷貴史\*\*・川田佳史\*\*\*

## Noise reduction method of marine electric field data by independent component analysis

Shinya Sato\*, Tada-nori Goto\*, Takafumi Kasaya\*\* and Yoshifumi  
Kawada\*\*\*

\*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management,  
Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2-216, Kyoto  
615-8540, Japan. E-mail: sato.shinya.27s@st.kyoto-u.ac.jp (Sato)

\*\*海洋研究開発機構 Jamstec, 2-15, Natsushima town, Yokosuka 237-0061, Japan

\*\*\*東北大学災害科学国際研究所 International Research Institute for Disaster Science,  
Tohoku University, 468-1 Aoba, Aramaki, Aoba-Ku, Sendai 980-0845, Japan

キーワード：自然電位，ノイズ除去，独立成分分析，海底熱水鉱床，沖縄トラフ

Key words : Self-Potential, Noise Reduction, Independent Component Analysis,  
Hydrothermal Deposit, Okinawa Trough

### 1. はじめに

金属鉱床では酸化還元反応により直流的な電位が自然状態で発生していることが知られている。そこで、地表における自然電位分布を調べることににより、潜頭性の鉱床を発見することが可能である。このような手法は自然電位探査と呼ばれ陸上では古くから行われてきた（例えば Sato and Mooney, 1960）。鉱床周辺の自然電位異常に着目して、近年は海底電場観測による海底熱水鉱床探査も行われつつある。

しかし、測定した海底電場データにはノイズが混入しており、ノイズの振幅が自然電位の信号に匹敵する場合は海底下の構造解析が困難となる場合がある。そこで、測定データからノイズを適切に抽出および除去し、海底下からの電場信号を抽出する必要がある。

従来の海底電場観測では、複数の並行観測データを足し合わせるという手法（スタッキング）によってノイズの低減がなされてきた（例えば Heinson et al. 1999）。しかし、並行観測データ中に、互いに相関が認められるノイズが含まれる場合、スタッキングによりこのようなノイズを除去することは困難である。そこで本研究では、あらたなノイズ除去の手法として独立成分分析（Independent Component Analysis : ICA）に注目した。ICA は近年、脳波や音声の解析に用いられており、多成分の混合信号を独立な信号（分離信号）に分解できる手法として知られている。近年は地震波データの処理へも適用されており（津野・岩田, 2015）、物理探査のデータ処理への幅広い応用が期待される。

この ICA を海底電場データへ適用し、スタッキングでは除去が困難なノイズの抽出および除去の可能性を検討した。

### 2. 手法

ICA は多変量解析の手法の一つで、互いに独立な信号が線形的に結合した混合信号を複数点で観測される場合に、それらの混合信号から原信号を分離および復元する手法である（根元・川勝, 2005）。混合行列  $\mathbf{H}$  と原信号  $\mathbf{S}$  を用いて、観測可能である混合信号  $\mathbf{X}$  は式 (1) で表される。

$$\mathbf{X} = \mathbf{H}\mathbf{S} \quad (1)$$

ICA では混合行列  $\mathbf{H}$  が時間によらず一定で正則行列であり、原信号が互いに独立でガウスノイズではないという前提条件が必要である。ICA により式 (2) となる混合行列  $\mathbf{H}$  の逆行列に相当する行列  $\mathbf{W}$  を求めることで、原信号に相当する分離信号  $\mathbf{Y}$  を求める。混合した信号は、中心極限定理によりその統計学的性質がガウス分布に近づくため、ICA により求める行列  $\mathbf{W}$  は式 (2) で与えられる分離信号の非ガウス性を最大化するような行列となる。本研究では、式 (3) で表されるエントロピーを最小化することで非ガウス性を最大化した。

$$\mathbf{Y} = \mathbf{W}\mathbf{X} \quad (2)$$

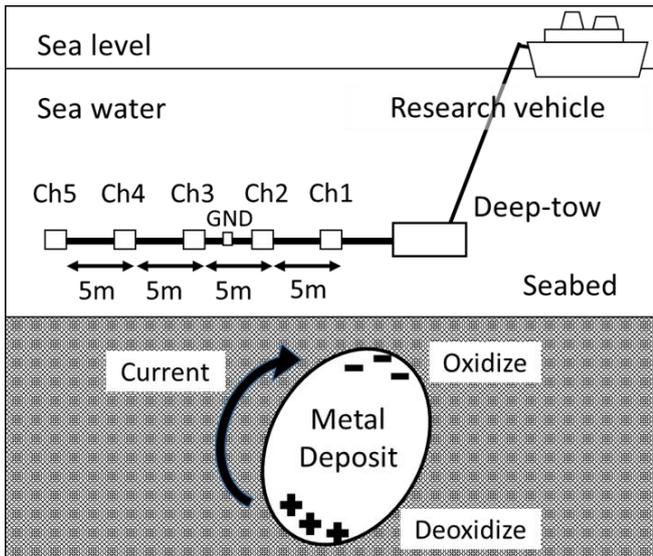
$$H(x) = E\{-\log p(x)\} \quad (3)$$

ICA には前処理として、混合信号の振幅の平均を 0 とする中心化や、混合信号の無相関化が必要であり、本研究では、最小二乗法により直線近似したトレンドを除去することで中心化を行い、無相関化には主成分分析を用いた。

3. 仮想信号を加えた実データの解析および結果

海洋研究開発機構の調査船「よこすか」YK15-06 調査航海において、沖縄トラフ伊是名海穴（水深約 1000 m）の海底面付近で、深海曳航体（Deep-tow）を用いた深海曳航方式の海底自然電場観測が行われた（第 1 図）。このうち、2015 年 4 月 29 日 09:23:20~09:25:40 の時間帯に取得したノイズ成分のみと考えられる電場データに対し、海底下からの自然電場信号と似通った仮想的な信号を足し ICA を適用しノイズの抽出および除去、信号の抽出を試みた。この時の曳航高度は 10-50m であり、海底下のある一地点（例：深さ 50m）からの各チャンネル（Ch）までの距離は概ね等しいといえる。そこで本研究ではまず、海底下で発生した自然電場信号は各 Ch 間で同時かつ概ね同じ振幅で記録されると仮定する。

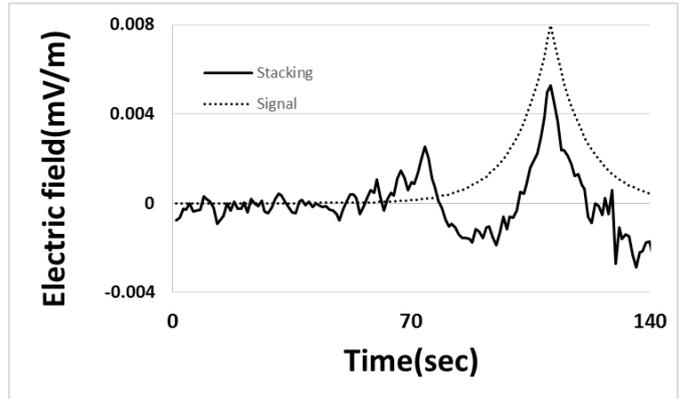
仮想信号を与えた、各 Ch で観測した 5 つの電場データに対し ICA を適用した結果、5 つの分離信号が得られ、分離信号の中から与えた信号に相当するものを抽出した。その結果、スタッキング処理を適用した信号と、ICA により抽出した信号はそれぞれ第 2 図、第 3 図のようになった。これらの電場データの平均二乗誤差（RMS）はスタッキング処理では  $1.79 \times 10^{-3}$  mV/m であったが、適用後は  $1.69 \times 10^{-3}$  mV/m となり、RMS は約 5.6% 低下した。またスタッキング処理では仮想的に与えた信号部以外にも電場データが増減する部分が見られたが、ICA により抽出された電場信号には認められなかった。



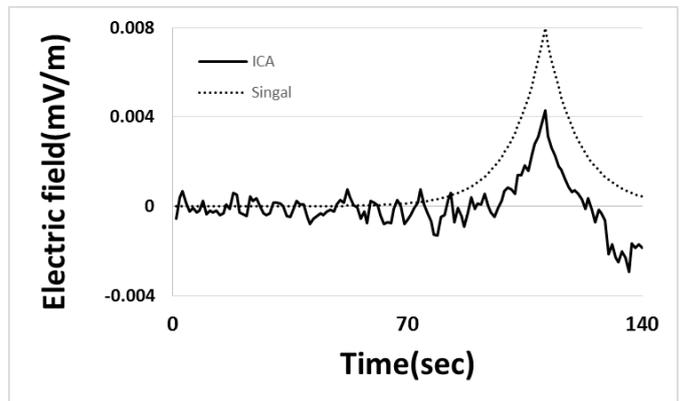
第 1 図 伊是名海穴における深海曳航体を用いた自然電位探査

4. 仮想信号の抽出に関する考察

第 3 章で述べたように、ICA を適用することで平均二乗誤差が減少することが明らかとなった。さらに第 2 図、第 3 図に示したように、ICA を適用することで、点線部の  $5 \mu\text{V/m}$  程度のノイズを除去することができた。スタッキングによる処理ではこの海底電場ノイズを除去することが困難であるため、そのままでは地下に信号源が複数存在するという誤った解釈を導く可能性があるが、ICA によりそのノイズを除去することで正確な数の信号源（鉱体数）を推定することができると思われる。



第 2 図 スタッキングを適用した結果



第 3 図 ICA を適用した結果

5. まとめ

観測データに対して、地下からの自然電場信号を模した仮想的な信号を付加したのに対して ICA を適用した結果、信号を明瞭に抽出できており、スタッキング処理で見られたような電場ノイズを取り除くことができた。従って、ICA を適用することで海底自然電位探査におけるノイズ低減が期待される。今後は本手法を、実際の海底自然電場マッピングのデータ処理に適用していく予定である。またその他の海底電気・電磁探査に応用を目指す予定である。

謝辞

本研究で使用した電場データは深海潜水調査船支援母船「よこすか」YK15-06 航海において取得されたものです。船長ほか乗組員の皆様、支援員の皆様に感謝いたします。

文献

Heinson, G., White, A., Constable, S., and Key, K. (1999): Marine self potential exploration\*. *Exploration Geophysics*, 30(1/2), 1-4.  
 根元幾・川勝真喜 (2005): 詳解独立成分分析, 東京電機大学出版局, 532p  
 Sato, M., and Mooney, H. M. (1960): The electro-chemical mechanism of sulfide self-potentials. *Geophysics*, 25(1), 226-249  
 津野靖士・岩田裕一 (2015): 独立成分分析を用いた複合信号の波形分離に関する検討: 地震動と列車振動の混合波形を対象として. *物理探査*, 68(1), 39-47.