

# 十勝・釧路沖における海底圧力変動と海洋傾圧性渦との関連 Relationship between Ocean Bottom Pressure Variations and Baroclinic Eddy off Kushiro-Tokachi

\*長谷川 拓也<sup>1</sup>、永野 憲<sup>1</sup>、松本 浩幸<sup>1</sup>、有吉 慶介<sup>1</sup>

\*Takuya Hasegawa<sup>1</sup>, Akira Nagano<sup>1</sup>, Hiroyuki Matsumoto<sup>1</sup>, Keisuke Ariyoshi<sup>1</sup>

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

本研究は、海底圧力変動と海洋気候変動との間に観られる関係を解明することを目的とする。そのために、十勝・釧路沖においてJAMSTECによって観測された長期海底圧力データ、衛星観測海面高度データ、船舶観測水温塩分データ（CTD）などを解析する。十勝・釧路沖に設置された二点（ステーションPG1およびPG2）の海底圧力データは、2004年から2013年の観測期間中、2006年から2007年を除く期間は良く似た変動を示した。両者が異なる変動を示す2006年から2007年に注目すると、PG1の海底圧力変動は海面高度変動と連動した振る舞いを示していたが、PG2は海面高度変動と連動していなかった。その理由を探るために、PG2の近傍で実施されている繰り返し海洋観測ライン（A-Line）の水温・塩分データを解析した。その結果、2006年から2007年には他の期間で見られないレンズ状の傾圧性渦が海洋中層1500dbarから2000dbarに存在することが明らかになった。この傾圧性渦の存在によってPG2の海底圧力が2006年から2007年にはPG1とは異なり、海面高度変動と連動しなかった可能性がある。この結果は、海底圧力変動の理解のためには海面高度に加えて、海洋内部の水温・塩分観測が必要であることを示唆する。

キーワード：海底圧力変動、海洋渦

Keywords: ocean bottom pressure variation, oceanic eddy

# GPS 音響結合方式による海底地殻変動観測で推定した平均海中音速の時間変化と CTD 等による実測値について

## Comparison between temporal variation of sound velocity derived from GPS/acoustic and CTD measurements

\*松井 凌<sup>1</sup>、木戸 元之<sup>2</sup>、本荘 千枝<sup>2</sup>、富田 史章<sup>1</sup>

\*Ryo Matsui<sup>1</sup>, Motoyuki Kido<sup>2</sup>, Chie Honsho<sup>2</sup>, Fumiaki Tomita<sup>1</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科、2. 東北大学災害科学国際研究所

1. Graduate School of Science and Faculty of Science, Tohoku University, 2. International Research Institute for Disaster Science, Tohoku University

GPS/音響測距結合方式 (GPS/A) は、GPS測位で船舶の位置を求めると同時に、音響測距で船舶と海底局の位置関係を求めることで海底地殻変動を検出する測位手法である。この手法では、3台以上の海底局で構成される海底局アレイの水平変位を音響測距1ショットごとに推定可能である。水平変位と同時に推定される往復走時残差の鉛直投影成分（鉛直走時遅延量=GNSS解析で使われる天頂遅延量に相当）は、海中平均音速の時間変化を反映する量である。鉛直走時遅延量は、海水温等の計測データから算出される海中音速のスローネスプロファイルを海面から海底まで積分することで実測値として得られる。Kido et al. (2008) では鉛直走時遅延量のGPS/A 推定値と実測値との比較を行い、少なくとも半日周期の変動については両者がよく一致することを示した。本研究では、その応用として次の2つの事例について調べた。

1つ目に、GPS/A 解析から推定される鉛直走時遅延量の短時間（～1 h）スケールの変動についても海中音速変化を反映するかどうかを検証した。まず、XBT 計測を6分間隔で計1時間程度連続で行う短時間集中観測を実施し、得られた温度プロファイルから鉛直走時遅延量を算出した。各XBTのバイアス誤差を適切に補正し、GPS/A 解析による推定値との比較を行ったところ、短時間変化についても両者が整合した。よって、GPS/A解析により海中平均音速の短時間変化も推定可能であることが確かめられた。

2つ目に、CTD計測で得られる高精度な海中音速プロファイルを用いた海底上下変位の検出可能性について検証した。GPS/A解析における鉛直走時遅延量の絶対値には海底局の深度不確実性が含まれる。しかし、この深度不確実性に相当する鉛直走時遅延量はキャンペーン観測間で不変である。つまり、正しい音速を与えれば、キャンペーン観測間の鉛直走時遅延量の絶対値変化は、上下変位があった場合にのみ生じると考えられる。そこで、各観測点でCTDのup-castとdown-cast時の鉛直走時遅延量とGPS/Aの推定との違いがどの程度一致するかをみることで上下変位検出精度の推定を行った。CTDの温度誤差と計測時間誤差（有限の計測時間内の海中音速変化による実測値不確実性）を考慮したところ、およそ15 cmの精度で上下変位を検出可能であることがわかった。

キーワード：海底測地、GPS/A 観測、海中音速、CTD 計測

Keywords: seafloor geodesy, GPS/acoustic observation, sound velocity, CTD measurements

## 海底地殻変動観測データを用いた

### Chen and Millero/Del Grosso海中音速算出式の評価

#### Evaluation of the sound speed equations for seawater proposed by Chen-and-Millero and Del-Grosso using GPS/Acoustic observation data

\*本荘 千枝<sup>1</sup>、木戸 元之<sup>1</sup>、富田 史章<sup>2</sup>

\*Chie Honscho<sup>1</sup>, Motoyuki Kido<sup>1</sup>, Fumiaki Tomita<sup>2</sup>

1. 東北大学災害科学国際研究所、2. 東北大学理学研究科

1. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 2. Graduate School of Science, Tohoku University

現在よく用いられる海中音速の算出式には Chen and Millero (CM) の式 (Chen and Millero, 1977) と Del Grosso (DG) の式 (Del Grosso, 1974) とがあり、前者は国際標準である UNESCO 式としても知られる。いずれも圧力、水温、塩分濃度を変数とする多項式で、CM式は42、DG式は19の係数で定義される。現実的な海水温と塩分濃度においてはDG式のほうがCM式よりも小さい音速を与える。両者の差は海面近くでは比較的小さいが、圧力(深度)とともに増大し、水深3000 m以深では0.6 m/s に達する。両式はともに実験に基づく経験式で、その後海洋での実測に基づく検証がなされてきた (Spiesberger and Metzger, 1991a; 1991b; Dushaw et al., 1993; Meinen and Watts, 1997)。これらの研究は、DG式のほうがCM式よりも精度が高いという同じ結論に至っているが、DG式の具体的な精度については評価が様々である。本研究では、2012年以降の東北沖における海底地殻変動検出を目的としたGPS/Acoustic観測データを用いて、両算出式の評価を行った。本研究の利点は、これまでの観測の蓄積により大量の走時データが利用できることと、観測点の水深が大きい(ほとんどの観測点で3000 m以上)ため、DG式とCM式とで音速に有意な差が生じる大水深部を通過した走時データが多いことである。

東北沖の20の観測点で2012~2016年に行われた計120のキャンペーン観測で得られたデータを使用した。各観測点では、海底に設置された3~6台のトランスポンダが三角または四角形のアレイを構成する。その各海底トランスポンダと船のトランスデューサとの間の往復走時を、10マイクロ秒の精度で測定する。測定は30-60秒間隔で行われ、1回のキャンペーンでの観測時間は平均15時間ほどである。解析は観測点ごとに行い、その観測点で期間中に行われた3-8回のキャンペーン観測のデータを同時にインバージョン解析した。解析においては、アレイ形状は不変であり、地殻変動による変位は全トランスポンダで共通と仮定し、初回キャンペーン観測時における各トランスポンダの座標値と、その後の各キャンペーン観測時におけるアレイ変位とを求めた。海中音速については、まず各キャンペーン観測中に実施されたXBTやCTD、XCTD観測のデータに基づき、CM式またはDG式を用いて基準となる海中音速の鉛直プロファイルをキャンペーンごとに作成する。そして解析では、水平成層構造を仮定したうえで、全深度にわたり同じ倍率で音速が変化するモデルを用い、潮流や内部重力波に起因する音速の時間変化を、基準音速プロファイルに掛けるべき倍率の時間変化として求める。結果的に、インバージョン解析から、アレイ位置とともに各キャンペーン観測中の音速の時間変化が得られる。CM式を用いた解析では、基準音速プロファイルに対する倍率は1.0よりかなり小さく求められた。キャンペーン観測ごとに時間平均した倍率は平均0.9994、標準偏差0.0001であった。これは音速に換算すると、全深度にわたる $-0.9 \pm 0.2$  m/sの補正に相当する。一方、DG式を用いた解析では、平均0.9997、標準偏差0.0001、音速補正量にして $-0.5 \pm 0.2$  m/sという結果を得た。DG式のほうがCM式より小さい補正量となったことは過去の研究と整合的である。しかし、DG式による音速も依然実測よりは大きめであり、CM式の場合の半分程度の補正が必要とされたことは、DG式の精度をこれまでの研究の中で最も低く評価する結果である。また、DG式を用いた場合に限り、音速倍率と観測点の深度との間に相関が認められ、深い観測点ほど

音速倍率が1.0に近づく傾向のあることが判った。このことは、DG式による音速の誤差が、深部ではなくむしろ浅部にあることを示唆している可能性がある。

※引用文献はいずれも*J. Acoust. Soc. Am.*より

キーワード：海中音速、GPS/Acoustic観測

Keywords: sound speed in seawater, GPS/Acoustic observation

# Sea-level records analysis with empirical mode decomposition and its variations: Boundary effect improvement and mode reconstruction method

\*李 漢洙<sup>1</sup>

\*Han Soo Lee<sup>1</sup>

1. 広島大学

1. Hiroshima University

## Sea-level records analysis with empirical mode decomposition and its variations: Boundary effect improvement and mode reconstruction method

Han Soo Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School for International Development and Cooperation, Hiroshima University.

1-5-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8529, Hiroshima, Japan

A common goal of most time-series analysis is to separate deterministic periodic oscillations in the data from random and aperiodic fluctuations associated with unresolved background noise (unwanted geophysical variability) or with instrument error. For many applications, the sea level records are treated as linear combinations of periodic or quasi-periodic components that are superimposed on a long-term trend and random high-frequency noise. The periodic components are assumed to have fixed or slowly varying amplitudes and phases over the length of the record. Fourier analysis is one of the most commonly used methods for identifying periodic components in near-stationary sea-level data. If the sea-level data are strongly non-stationary, then more localized transforms like Wavelet transform can be used. However, the sea-level is a naturally non-linear process and data with the non-linear interactions among the physical processes with different time scales causing sea-level changes.

Empirical Mode Decomposition (EMD) is an adaptive (data-driven) method to analyse non-stationary signals stemming from non-linear systems (Huang et al., 1998). It produces a local and fully data-driven separation of a signal in high and low frequency oscillations, called intrinsic mode functions (IMFs), and a monotonic trend (residual). Detailed information on EMD and EEMD are referred to Huang *et al.* (1998) and Wu and Huang (2009). The CEEMDAN is an important improvement of EEMD (Torres et al., 2011), achieving a negligible reconstruction error and solving the problem of different number of modes for different ensemble numbers with signal plus noise. The improved CEEMDAN is a further improvement of CEEMDAN for solving the problem of residual noise in modes and spurious modes (Colominas et al., 2014). For the sake of paper length, readers refer to the relevant literature above for detailed algorithms of EMD and its variations. For applications of EEMD, refer to Lee *et al.* (2012).

In this study, we illustrate two improvements in the signal decomposing and analysis process of EMD; the boundary effect and reconstruction method for decomposed intrinsic mode functions (IMFs). We use the mirror method for boundary effect and statistical significance test for reconstruction of IMFs to improve the statistical significance of each modes. The artificial signal test show that the proposed mirror method for boundary effect and the statistical significance test for reconstruction of IMFs improve the decomposing results dramatically compared to the original artificial signal components.

キーワード：経験的モード分解、境界効果、固有モード関数再構成法、海面観測データ

Keywords: empirical mode decomposition, boundary effect, mode reconstruction method, sea-level records