



12 - 20 プレート境界における電磁気学的地下構造探査 Electromagnetic imaging of subsurface structure around the subducting plate boundary

京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
Graduate School of Engineering, Kyoto University
後藤忠徳
Tada-nori Goto

1. はじめに

近年、沈み込み帯で発生する巨大地震発生域の周辺には深部低周波微動（DLT）や超低周波地震（VLF）が発見されており、これらは巨大地震発生予測において重要な役割を果たすと考えられ始めている。DLTやVLFの発生においては、地殻内流体の寄与が指摘されてはいるが、DLT・VLF発生域における地殻内流体の存在は確認されてはいない。一方で、地殻の比抵抗構造は地殻内流体の有無により大きく変化することが知られている。そこで本稿では南海トラフ～紀伊半島において実施された広域電磁気観測に基づく地下構造探査の結果等を紹介して、DLT・VLF発生域の地殻内流体の有無について考える。電磁探査には多くの種類があるが、ここでは地表や海底で自然の電磁場変動を測定し地下深部の比抵抗構造を得ることができる Magnetotelluric (MT) 探査の結果を示す。

2. 紀伊半島における地下比抵抗構造

京都大学・海洋研究開発機構・神戸大学・東京大学は合同で、1944年東南海地震の高速滑り域（アスペリティ：第1図の黄色地域）やDLT域（赤帯）の内外で電磁気探査を実施してきた。陸上では広帯域MT観測・長周期電磁気観測・ネットワークMT観測が実施されており、海底については海底電位差磁力計（OBEM）を用いた海底電磁気観測が実施されている。

DLTが発生している紀伊半島下のマントルウェッジ内は、低比抵抗としてイメージされており、地震波トモグラフィによれば高 V_p/V_s 地域として特徴づけられる¹⁾。第2図に示した両者の対比から、マントルウェッジは沈み込むプレートからの供給される水によって蛇紋岩化している可能性が示唆され、これがDLT発生に影響を及ぼしていると考えられる。一方、DLT域上部の下部地殻に注目すると、比抵抗は $10\Omega\text{m}$ 以下と非常に低く、この低比抵抗域内では微小地震はほとんど発生していない。仮に $0.1\Omega\text{m}$ の地殻内流体が間隙を満たしているとするれば、この下部地殻の低比抵抗は間隙率約5～20%で説明できると思われる。今後より定量的な議論が必要ではあるが、仮説として、蛇紋岩化後の余剰の地殻内流体がマントルおよび下部地殻に流体として分布しており、流体そのものもDLT発生に寄与していることが推測される。

3. 南海トラフ海底下の比抵抗構造

次にOBEMによって取得されたデータに対してMT法を適用し、地下比抵抗構造を求めた例を示す。第3図の比抵抗構造は、沈み込むフィリピン海プレートの上面で比抵抗が急変する条件を取り込んだ、新たなインバージョン解析法²⁾による結果である。地震波速度構造³⁾と比較すると両者の特徴はおおむね一致しており、海底面に近いところは低比抵抗・低速度であり、地下深くに行く

ほど高比抵抗・高速度になっている。ただし、VLF が発生する地域＝プレート境界と分岐断層に挟まれた付加体ウェッジ部分においては、比抵抗は特に低い値を示している（ $2\Omega\text{m}$ 以下：地殻内流体を $1\Omega\text{m}$ の場合、間隙率にすると約 14～20%）。このことから、付加体ウェッジ内では、沈み込むプレートから供給される大量の水が分布しており、これが VLF 発生に影響を及ぼしていると考えられる。

最後に、南海トラフ～紀伊半島下の広域比抵抗構造を求めるために、海域～陸域の長周期電磁気データを用いた試験的なジョイント解析の例を示す⁴⁾。第4図は6観測点から求めたものであるが、第2図・第3図とも整合的な結果である。第2図のより深部に注目すると、沈み込むフィリピン海プレートの海洋地殻部のみが低比抵抗を示しており、第3図のより深部ではフィリピン海プレート全体が低比抵抗を示している。このことから、海洋地殻や海洋マントルからは沈み込みに伴う段階的な排水・脱水が起きており、これらが島弧地殻・マントルの低比抵抗域や DLT・VLF 域を形成しているのではないかと考えられる。また 1944 年東南海地震のアスペリティー域については、フィリピン海プレートは $100\Omega\text{m}$ 以上の高めの比抵抗を示すことが分かった。このことから、アスペリティー形成と海洋プレートからの脱水の有無の関連性が示唆される。

4. まとめ

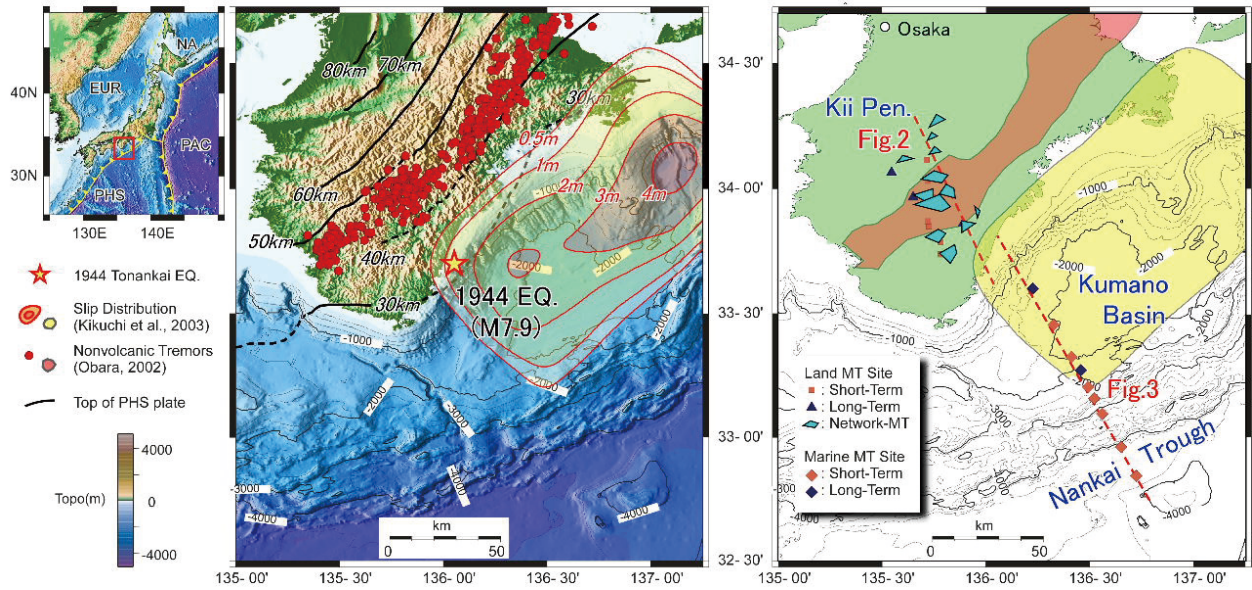
以上で紹介したように、南海トラフ～紀伊半島下の DLT 域・VLF 域には低比抵抗域が分布しており、これらはフィリピン海プレートからの水の供給を反映していると考えられる。このような特徴は、東海地域で行われている地震波探査・トモグラフィの結果とも整合的である。また海外の探査では、例えばコスタリカ沈み込み帯では DLT 域付近に低比抵抗域が分布している⁵⁾。一方、DLT が見られないとされるニュージーランド北島では、マントルウェッジなどには低比抵抗域は認められない⁶⁾。

今後の電磁気探査の課題として、近年急速に普及しつつある 3 次元インバージョンなどの新たな解析方法の導入や、海域での石油探査において最近頻繁に用いられるようになった人工電流源電磁探査（CSEM）の導入による高精度イメージ化が挙げられる。また地震波速度と比抵抗の双方からより定量的に地殻内流体の量を推定するために、物性値測定例の増加や、岩石モデルの構築が必要である。これらを通じて、地殻内流体のより高精度な分布を求めて、DLT や VLF 発生における地殻内流体の役割と、巨大地震の歪蓄積・解放過程と DLT・VLF の関係を明らかにすることが求められている。

参 考 文 献：

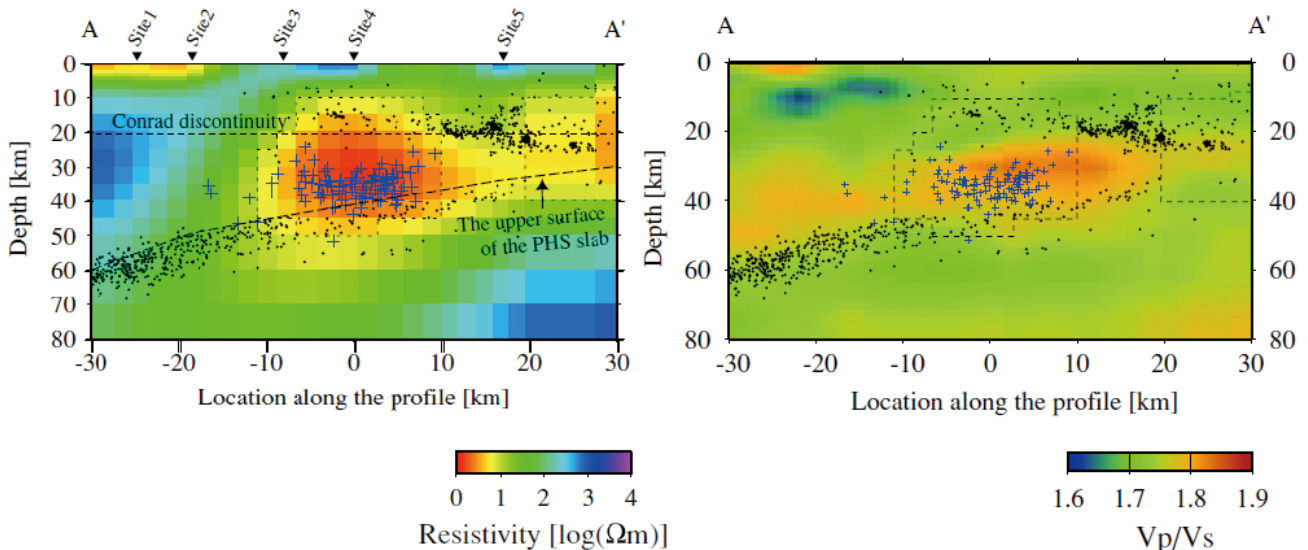
- 1) M. Uyeshima, H. Murakami, S. Sutoh, D. Tanigawa, T. Ogawa, N. Oshiman, R. Yoshimura, K. Aizawa, I. Shiozaki, and T. Kasaya, Modification of the Network-MT method and its first application in imaging the deep conductivity structure beneath the Kii Peninsula, southwestern Japan, *Earth Planets Space*, 61, 957-971, 2009.
- 2) 木村俊則・後藤忠徳・笠谷貴史・岡本拓・三ヶ田均・真田佳典・渡辺俊樹・芦田譲, 構造境界面を組込んだ MT 法の 2 次元インバージョン, *物理探査*, 63, 185-196, 2010.
- 3) Nakanishi, A., S. Kodaira, S. Miura, A. Ito, T. Sato, J. O. Park, Y. Kido and Y. Kaneda, Detailed structural image around splay-fault branching in the Nankai subduction seismogenic zone:

- Results from a high-density ocean bottom seismic survey, *J. Geophys. Res.* 113, B03105, doi:10.1029/2007JB004974, 2008.
- 4) Kasaya, T., T. Goto, H. Mikada, K. Baba, K. Suyehiro, and H. Utada, Resistivity image of the Philippine Sea Plate around the 1944 Tonankai earthquake deduced by Marine and Land MT surveys, *Earth Planets and Space*, 57, 209-213, 2005.
 - 5) Brasse, H., G. Kapinos, L. Mutschard, G. E. Alvarado, T. Worzewski, and M. Jegen, Deep electrical resistivity structure of northwestern Costa Rica, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L02310, doi:10.1029/2008GL036397, 2009.
 - 6) Heise, W., H. M. Bibby, T. G. Caldwell, S. C. Bannister, Y. Ogawa, S. Takakura, and T. Uchida, Melt distribution beneath a young continental rift: The Taupo Volcanic Zone, New Zealand, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L14313, doi:10.1029/2007GL029629, 2007.
 - 7) Honda, S. and I. Nakanishi, Seismic tomography of the uppermost mantle beneath southwestern Japan: Seismological constraints on modeling subduction and magmatism for the Philippine Sea Slab, *Earth Planets Space*, 55, 443-462, 2003.

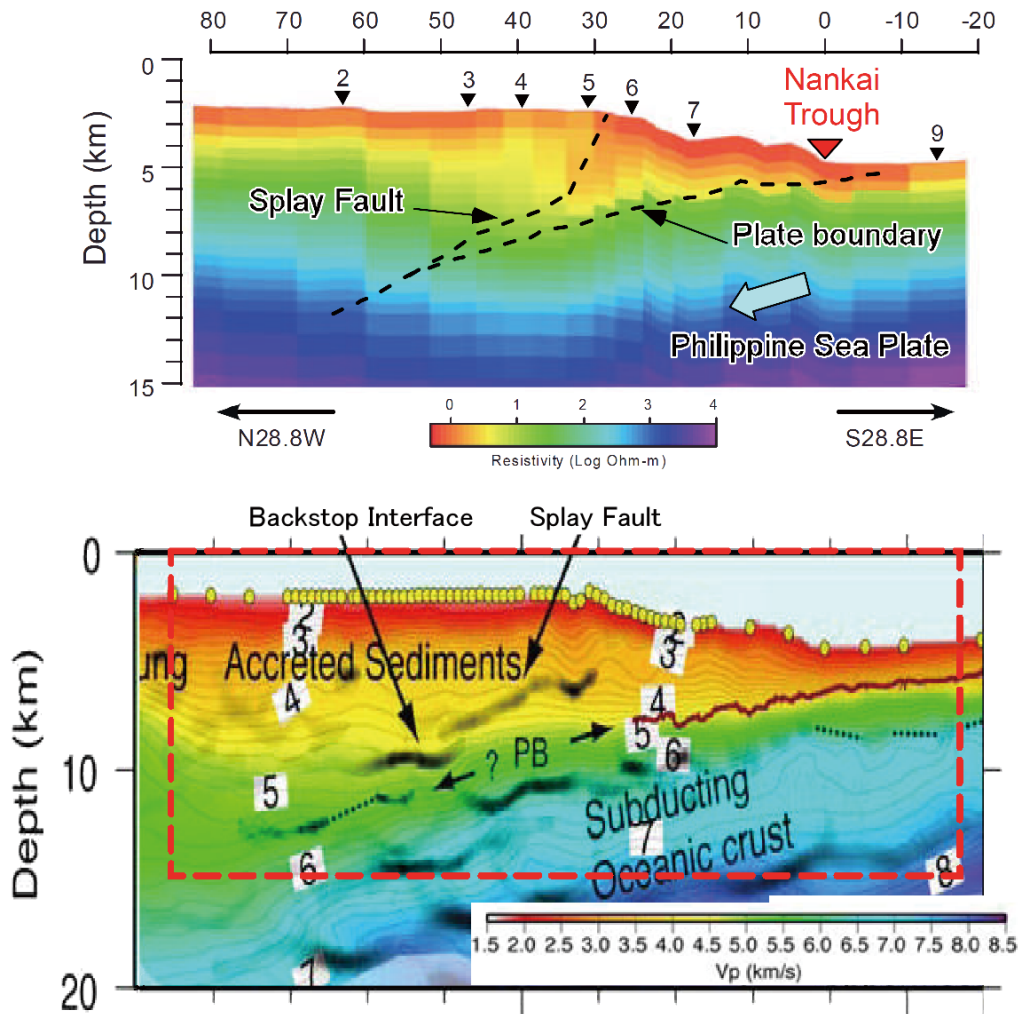


第1図 左：1944年東南海地震の震源域（黄色）および深部低周波微動の発生域（赤）。右：陸上および海底でのMT探査地点および測線配置（赤点線）。

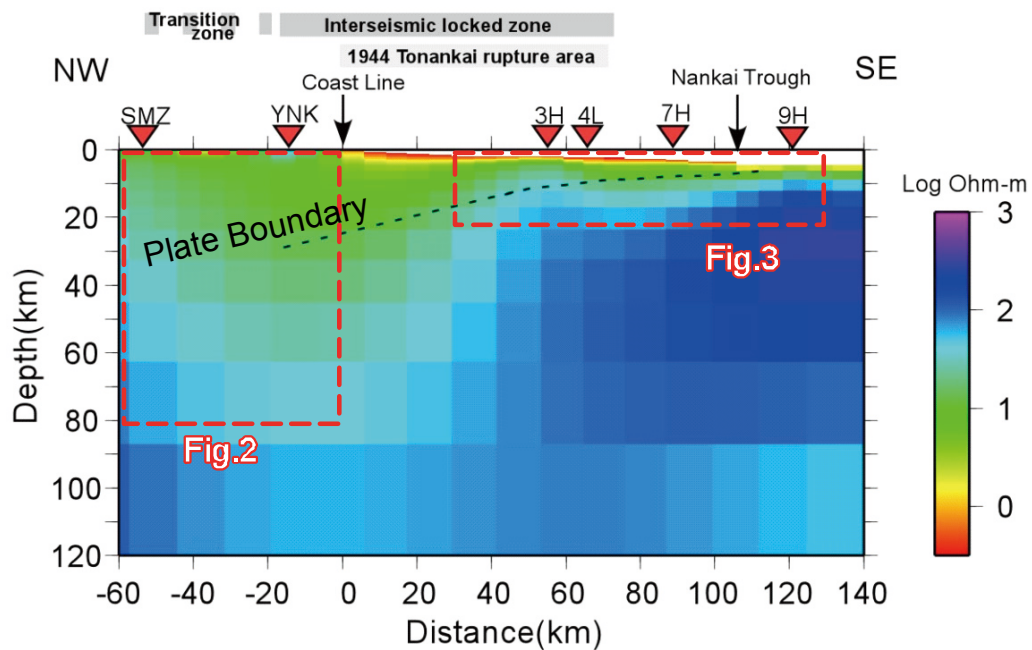
Fig. 1 Left: high-speed rupture area at the 1944 Tonankai earthquake (yellow zone) and deep low-frequency tremors (red circles). Right: Land and marine magnetotelluric (MT) sites along survey lines (red lines).



第2図 左：紀伊半島下の地下比抵抗構造¹⁾。右：同地域の地震波 V_p/V_s 構造⁷⁾。DLTを青い+で示した。
Fig. 2. Left: resistivity structure below the Kii peninsula¹⁾ obtained by land MT survey. Right: subsurface distribution of V_p/V_s -ratio below the same profile as the land MT survey.



第3図 上：南海トラフ沈み込み開始直後の地殻比抵抗構造²⁾。下：同地域の地震波P波速度構造³⁾。
 Fig. 3 Upper: resistivity structure below the Nankai trough by ocean bottom electromagnetometers²⁾.
 Lower: Vp structure by ocean bottom seismometers³⁾.



第4図 海陸合同データ解析による、南海トラフ～紀伊半島下の広域比抵抗構造⁴⁾。赤枠が第2図・第3図の地下構造解析部に相当する。
 Fig. 4. Resistivity structure of crust and mantle below the Kii peninsula and the Nankai Trough obtained by land-marine joint inversion⁴⁾. Red broken frames indicates zones shown in Figs. 2 and 3.