

## 1 2 - 3 地下電気伝導度構造研究

### Surveys of Subsurface Electrical Conductivity Structure

上嶋誠 (東京大学地震研究所)

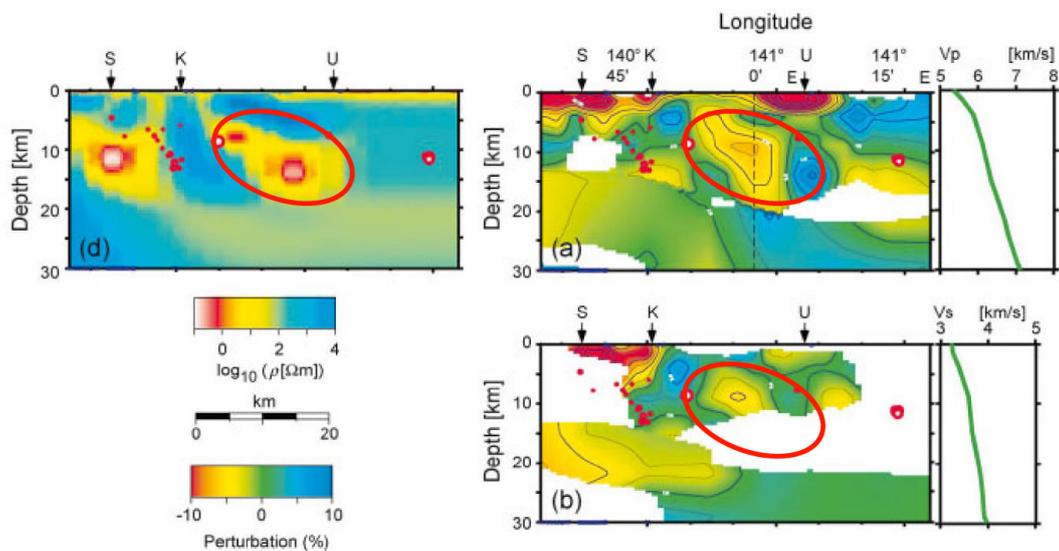
Makoto Uyeshima (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

電気伝導度 (あるいはその逆数である比抵抗) は物質の電気の流れやすさ (にくさ) を表し, 地殻程度の低温であれば水やメルトなどの間隙流体の存在やそのつながり方に敏感な物理量である. 近年, 観測機器の発達や, データ解析・インヴァージョン手法の洗練化をうけ, その探査手法の一つである magnetotelluric (MT) 法によって精度よく地殻の電気伝導度分布が求められるようになった. MT 法においては, 地表で電場 2 成分, 磁場 3 成分の観測を行い, 水平電場-水平磁場間の周波数応答関数 (インピーダンス), 鉛直磁場-水平磁場間の周波数応答関数 (磁場変換関数) から地下の構造を推定する. 磁気圏や電離層にある外部起源電磁場変動ソースを用い, それによって地中に誘導される電流を表す磁場と電場の比をとることで, 電気伝導度を求める. 電磁場は, 低周波ほど地中深くに浸透するため, 上記応答関数の周波数依存性をインヴァージョンにかけることによって, 地下の電気伝導度が推定できる. 地震発生帯やその下部にあたる, 地殻から上部マントルにいたる構造を求めるためには, 数 100Hz から数万 s 程度までの広帯域にわたって応答関数を決定する必要がある. 1 次元 (層構造) 問題においては解析解が存在し, 2 次元問題においては 2 つのモードに対するスカラーヘルムホルツ方程式を数値的に求める手法が確立されているので, 現状では, 観測データをもとに 2 次元走行方向を推定し, 2 次元構造を求めるのが主流となっている.

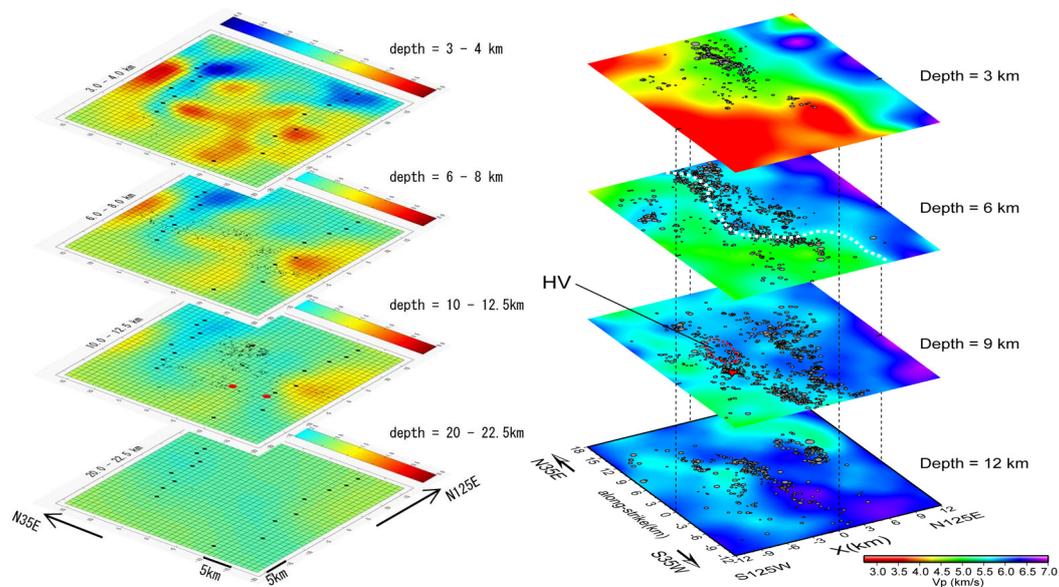
以上の探査手法の確立, 洗練化をうけ, この 10 年間に於いて, 活断層周辺域や被害地震震源域周辺, 新潟-神戸歪集中帯周辺域などで精力的に地下電気伝導度構造探査が行われた. その代表的な例として, 第 1 図に, (1896 年陸羽地震及び 1914 年仙北地震域を含む) 東北背弧活動帯における電気伝導度構造<sup>1)</sup> と同断面での地震波速度構造<sup>2)</sup> との比較を示す. 特徴的な構造として, 1) 地殻中部に高電気伝導度域が認められ, その上部の低電気伝導度域との境界付近に微小地震が分布している, 2) 千屋断層系の東側深部延長の下部地殻に高電気伝導度域が認められ, そこに地震波反射面や散乱体が分布している, 3) 高電気伝導度域と低速度域分布パターンに相関関係が認められる, ことがあげられる. 1962 年宮城北部地震震源域<sup>3)</sup>, 2004 年中越地震震源域<sup>4)</sup>, 2007 年能登半島地震震源域<sup>5)</sup> などにおいても同じような性質を持った構造が推定されている. また, 新潟-神戸歪集中帯 (Yoshimura et al., 準備中) や糸魚川静岡構造線周辺域<sup>6)</sup> でも同様の性質が認められるほか, GEONET から決められた, 歪レート集中域と中下部地殻に高電気伝導度帯が認められる地域との間に明瞭な対応関係があることが指摘されている. また, 紀伊半島非火山性低周波微動域には, それに対応するように高電気伝導度域が存在する<sup>7)</sup>. そのほか, 富士火山深部には低周波微動分布域の直下に高電気伝導度域が見出され, フィリピン海プレートに裂け目が存在する可能性や, それから富士火山の成因が考察された<sup>8)</sup>.

このように, 地下電気伝導度構造が地殻活動の空間パターンと有意に相関があり, また, 地震波速度構造との間にも有意な相関関係が認められるようになった. しかし一方で, 近接して平行する 2 測線で異なる描像が得られたり, 2 次元性に強いとされるモードを使って得られた直交する 2 側線での交差する点において食い違いが見られたりするなど, 2 次元性の仮定の妥当性が問題視される場合があった. このため, 今後の課題として, 3 次元解析手法をさらに発展させることが第一に挙げられる. 近年の研究により 3 次元解析も現実的なものになりつつあるが, その一例として 2004 年中越地震震源域で実施した広帯域 MT 法の 3 次元解析の結果例を第 2 図に示す (Uyeshima et al., 準備中). 図では P 波速度構造<sup>9)</sup>

をあわせて示している、ここでも、基盤の屈曲点に応力が集中して本震が発生したとする地震波速度構造との間に良い相関が認められる。このため、第二の課題として、地震波速度、電気伝導度構造などを総合して、温度、圧力、岩石水、間隙水などの地殻の物理物性にさらなる制約を与え、地下のレオロジー分布に迫ることがあげられる。現時点においては、地震波速度・電気伝導度構造を、それぞれ別々に求め、それらをあわせることで地下の流体の存在状況を推定することが試みられている<sup>10)</sup>。しかし、それぞれの解析上の誤差から、構造パターンは一致していても厳密にその位置や深さが異なっている場合がしばしばあり、それは、第1、2図で示した例でも認められる。このため、構造や物性に先見情報を課して、電磁気学データと地震学的データを同時にインバージョンにかける手法の開発が始まっている<sup>11)</sup>、今後の発展が期待される。



第1図 東北背弧活動帯における電気伝導度構造<sup>1)</sup> (左)と地震波速度構造<sup>2)</sup> (右上:P波, 右下:S波)との比較 (Matsubara et al., 2004<sup>2)</sup>より抜粋). 高電気伝導度, 低速度ほど, 暖色であらわしている。



第2図 2004年中越地震震源域における電気伝導度構造 (Uyeshima et al., 準備中) (左)と地震波P波速度構造<sup>2)</sup> (右)との比較. 高電気伝導度, 低速度ほど, 暖色であらわしている。

#### 参考文献

- 1) Ogawa, Y., Mishina, M., Goto, T., Satoh, H., Oshiman, N., Kawaya, T., Takahashi, Y., Nishitani, T., Sakanaka, S., Uyeshima, M., Takahashi, Y., Honkura, Y. and Matsushima, M., 2001, Magnetotelluric imaging of fluids in intraplate earthquake zones, NE Japan back arc, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 3741-3744.
- 2) Matsubara, M., Hirata, N., Sato, H. and Sakai, S., 2004, Lower crustal fluid distribution in the northeastern Japan arc revealed by high-resolution 3D seismic tomography, *Tectonophysics*, **388**, 33-45.
- 3) Mitsuhashi, Y., Ogawa, Y., Mishina, M., Kono, T., Yokokura, T. and Uchida, T., 2001, Electromagnetic heterogeneity of the seismogenic region of 1962 M6.5 Northern Miyagi Earthquake, northeastern Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 4371-4374.
- 4) Uyeshima, M., Ogawa, Y., Honkura, Y., Koyama, S., Ujihara, N., Mogi, T., Yamaya, Y., Harada, M., Yamaguchi, S., Shiozaki, I., Noguchi, T., Kuwaba, Y., Tanaka, Y., Mochido, Y., Manabe, N., Nishihara, M., Saka, M. and Serizawa, M., 2005, Resistivity imaging across the source region of the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake (M6.8), *Central Japan, Earth Planets Space*, **57**, 441-446.  
上嶋誠・小川康雄・中越地震震源域電気伝導度構造研究グループ, 2006, 2004年新潟県中越地震震源域における比抵抗構造イメージング, *月刊地球*, **53**, 70-74.
- 5) Yoshimura, R., Oshiman, N., Uyeshima, M., Ogawa, Y., Mishina, M., Toh, H., Sakanaka, S., Ichihara, H., Shiozaki, I., Ogawa, T., Miura, T., Koyama, S., Fujita, Y., Nishimura, K., Takagi, Y., Imai, M., Honda, R., Yabe, S., Nagaoka, S., Tada, M. and Mogi, T., 2008, Magnetotelluric observations around the focal region of the 2007 Noto Hanto Earthquake (Mj 6.9), *central Japan, Earth Planets Space*, **60**, 117-122.
- 6) Ogawa, Y. and Honkura, Y., 2004, Mid-crustal electrical conductors and their correlations to seismicity and deformation at Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, *Earth Planets Space*, **56**, 1285-1291.
- 7) Umeda, K., Ogawa, Y., Asamori, K. and Oikawa, T., 2006, Aqueous fluids derived from a subducting slab: Observed high <sup>3</sup>He emanation and conductive anomaly in a non-volcanic region, Kii Peninsula southwest Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **149**, 47-61.
- 8) Aizawa, K., Yoshimura, R. and Oshiman, N., 2004, Splitting of the Philippine Sea Plate and a magma chamber beneath Mt. Fuji, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L09603, doi:10.1029/2004GL019477.
- 9) Kato, A., Sakai, S., Hirata, N., Kurashimo, E., Iidaka, T., Iwasaki, T. and Kanazawa, T., 2006, Imaging the seismic structure and stress field in the source region of the 2004 mid-Niigata prefecture earthquake: Structural zones of weakness and seismogenic stress concentration by ductile flow, *J. Geophys. Res.*, **111**, B08308, doi:10.1029/2005JB004016.
- 10) Pervukhina, M., Kuwahara, Y. and Ito, H., 2004, Rock microstructure in the deep extension of the Nagamachi-Rifu fault revealed by analysis of collocated seismic and magnetotelluric data: Implication of strong deformation process, *Earth Planets Space*, **56**, 1357-1368.  
上嶋誠, 2005, 電気伝導度構造から探る地殻の水の存在, *地学雑誌*, **114**, 862-870.
- 11) Gallardo, L.A. and Meju, M.A., 2004, Joint two-dimensional DC resistivity and seismic travel time inversion with cross-gradients constraints, *J. Geophys. Res.*, **109**, B03311, doi:10.1029/2003JB002716.  
Gallardo, L.A. and Meju, M.A., 2007, Joint two-dimensional cross-gradient imaging of magnetotelluric and seismic travel time data for structural and lithological classification, *Geophys. J. Int.*, **169**, 1261-1272.