

電気伝導度構造の能動的観測に向けた周波数領域電磁探査法の開発研究 Development of a frequency-domain electromagnetic sounding method for active monitoring of conductivity anomalies

大谷隆浩 (名大情報科学研究科), 熊澤峰夫 (東工大地球生命研究所),
小川康雄 (東工大火山流体研究センター)

Takahiro OTANI (Graduate School of Information Science, Nagoya University),
Mineo KUMAZAWA (Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology) and
Yasuo OGAWA (Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology)

ACROSS (Accurately Controlled Routinely Operated Signal System) [1]は、人工的に生成した電磁波や弾性波を複数の送信点から探査目標に対して常時発信し、複数の受信点でその応答を測定することで送受信点間の周波数領域伝達関数を測定する能動的な観測システムである。送信点から送信される信号は位相が極めて正確に制御されており、また各送受信点が GPS 時計を利用して数十ナノ秒からマイクロ秒の精度で同期していることから、伝達関数を極めて正確に、さらにその信頼度評価をつけて測定することができる。

ACROSS システムの送信点から送信される信号は位相を精密にした周期信号であり、その振幅スペクトルは信号周期の逆数の幅ごとにラインスペクトル (シグナルチャンネルと呼ぶ) が立つ形となる (図 1)。このラインスペクトルが稠密に (弾性波の場合、帯域幅約 10Hz 内に 0.02Hz の間隔) 配置されており楕状の形に見えることから、これを我々は周波数コム信号と呼んでいる。なお、光領域の周波数コムはレーザ光で行うスペクトル計測において開発された斬新な信号形式であり、その高い性能と広い汎用性により開発者には 2005 年のノーベル物理学賞が与えられた[2]。このような信号により、以下のことが実現できる。

i) シグナルチャンネル近傍の信号送信を行っていない周波数 (ノイズチャンネルと呼ぶ) の振幅から、周波数依存性と時間依存性を考慮して信号に含まれる雑音のレベルを評価できる[3]。

ii) 送信される信号の周波数をシフトすることで、各送信点のシグナルチャンネルが互いに重複しないような信号設計ができる。これにより、広い周波数帯で混信しない多点同時観測が可能となる[4]。

iii) 雑音スペクトルを考慮して、受信信号の SN 比を各周波数で一定にするような信号設計ができる。簡単な数値例は[5]で報告されているが(図 2)、実際の観測では、[6]に示されているような自然電磁場変動振幅を考慮して送信信号を設計することになる。

これらの特徴は精密なマルチアレイ常時監視観測システムの構築のために必要不可欠なものであり、我々はこの信号形式を用いた観測手法を「ACROSS 信号論」として体系化することを試みている。

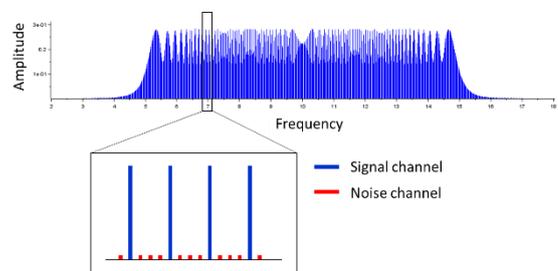


図 1. 周波数コム信号の振幅スペクトル

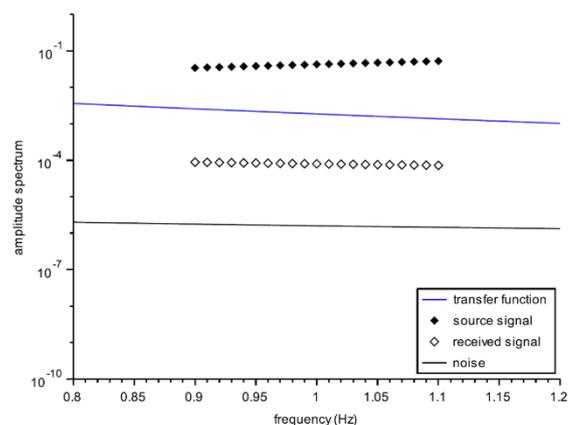


図 2. 受信信号 SN 比が一定となる信号設計の数値例[5]。雑音振幅と伝達関数の特性に合わせて送信信号振幅を調節する。

弾性波 ACROSS においては、偏心錘回転型の弾性波送信装置と Hi-net 地震計の組み合わせにより、数十 km 以上離れた送受信点間での伝達関数計測が既の実現している。電磁 ACROSS については静岡大学において送受信試験が行われてきたが、今後は東京工業大学地球生命研究所と火山流体研究センターとの連携により、草津白根山をフィールドに実用化研究を行う予定である。混信しない送受信点アレイによる一定地域の常時監視観測システムの開発がねらいである。

参考文献

- [1] 熊澤峰夫, 國友孝洋, 横山由紀子, 中島崇裕, 鶴我佳代子, “アクロス：理論と技術開発, 及び将来展望,” 核燃料サイクル開発機構技報, No. 9, pp. 115 - 129, 2000.
- [2] John L. Hall and Theodor W. Hansch, “History of optical comb development,” In Jun Ye, Steven T. Cundiff, Femtosecond optical frequency comb, Springer, 2004.
- [3] 長尾大道, 中島崇裕, 熊澤峰夫, 國友孝洋, “最適重みつきスタッキング法による最大 SN 比アクロス受信信号の取得,” CA 研究会論文集, 2004.
- [4] 國友孝洋, “弾性波アクロス送信規約試案 -中部地域における送信周波数の割り当て-,” 日本地震学会講演予稿集, C027, 2006.
- [5] 横山由紀子, 熊澤峰夫, 國友孝洋, 中島崇裕, “精密に制御された電磁波を用いた 3 次元精密構造探査のためのデジタル信号波形の設計,” 地震研究所彙報, Vol.74, pp.375-392, 2001.
- [6] 小川康雄, “地磁気変動観測による地下構造探査,” 日本 AEM 学会誌, Vol. 9, No. 4, pp.429-434, 2001.