

# 東海地域の能動的比抵抗連続観測の試み

中島崇裕・藤井直之（静岡大・理）・佐柳敬造（東海大・海洋）・長尾年恭（東海大・予知研）・熊澤峰夫（名古屋大・理）・里村幹夫（静岡大・理）

## Attempt of active monitoring of electrical conductivity in Tokai region

T. Nakajima, N. Fujii (Shizuoka U.), K. Sayanagi, (Tokai U.), T. Nagao (Tokai U.),  
M. Kumazawa (Nagoya U.), M. Satomura (Shizuoka U.)

We are trying to use Electro-Magnetic ACROSS to the active monitoring of the underground conductivity in Tokai region. As the first step of our approach towards realization of the monitoring system, we have installed a test transmitter (dipole moment =560mx10A) in Shizuoka University campus, and started the data acquisition synchronized with the transmitting signal at the observatory within 20km distance from the source dipole. In the trial observation in the frequency range 0.1-20Hz, the S/N of ~10 for the transfer functions has been reached by two weeks stacking for the electric field observation, and the S/N has reached about 4 by a month stacking for the magnetic field observation. Through the observation about two years, we can see the annual change in the amplitude of the transfer function. Although we need sensitive sensor array to monitor the details of these changes, the results of this observation were encouraging towards the routine methodology for the active monitoring of the underground states.

### 1. はじめに

本研究の目標は、地震発生や火山活動などに伴う地下の微小な状態変動を、能動的に人工電磁波を連続送信・観測を行うことによって、地下の電気伝導度を常時モニタリングする技術の確保と実用化である。その人工電磁波発信方法として、ACROSSを利用した送信装置を静岡市内に設置し、長期観測を通じて地下環境変化をモニタリングするシステムの検証を行っている。

ACROSS (Accurately Controlled Routinely Operated Signal System) は、振幅および位相を精密に制御した繰り返し信号を用いて、送受信点間の高精度の伝達関数（周波数領域）をその信頼度評価をつけて取得する（熊澤他，2000）。その伝達関数から、ray path 解析的に各地下構造面で反射や屈折してきた信号の到達時間を求める解析，あるいは mode 解析的に多重反射を考慮し観測信号の振幅・位相に整合させる解析を行い、地下の構造と状態を推定する。これまでに岐阜県東濃地域の日本原子力研究開発機構・東濃地科学センターにおいて、主に地下施設の建設に伴う地質環境の変化を捉える目的のために試験的な送受信が行われてきた。ただし、その調査スケールは 2~3km 程度の狭い範囲内に限られていた。

東海地域は、沈み込むフィリピン海プレートとの境界が固着している震源断層の真上に位置しているため、百数十年おきに発生する巨大地震の準備過程を探るための地殻変動，地震活動，電磁場変動等の観測を陸上で行える為，微小な変動の検出感度を上げるのに都合の良い観測サイトである。プレート沈み込みの詳細，とりわけ地下の H<sub>2</sub>O の状態や分布の変動を反映する比抵抗の監視観測が実現することが望まれる。しかし，東海地域は鉄道や高速道路などの交通量が多く，人為的ノイズが大きいため，雑音に強い ACROSS のような能動的なモニタリングによってのみ地下の変動情報が得られると期待されている。

本報では、比抵抗モニタリングのための試験観測試験として、(1) 静岡大学構内における電磁 ACORSS 送信装置の設置と運用による周辺における能動監視観測試験、および(2) 東海地域における電気伝導度の変動検出を目的にした試験観測結果について報告する。

## 2. 静岡大学構内の電磁場送信システム

高い S/N のデータ取得のためには、送信信号レベルを高くする必要がある。静岡大学構内に設置した送信システムでは、長さ 560m、最大電流 20A の電流ダイポールを実現した。これは東濃の電磁送信システム (Nakajima et al., 2010) よりもダイポールモーメントが 1 桁大きい (が、深さ 30~50km のプレート境界からの信号を実用的に検出するには、まだ 1 桁程度不足すると予想される)。送信用電極の接地抵抗はなるべく下げるように作業を行い、抵抗値はそれぞれ A (北西側) :  $9.0\Omega m$ , B (南東側) :  $9.2\Omega m$  となった。

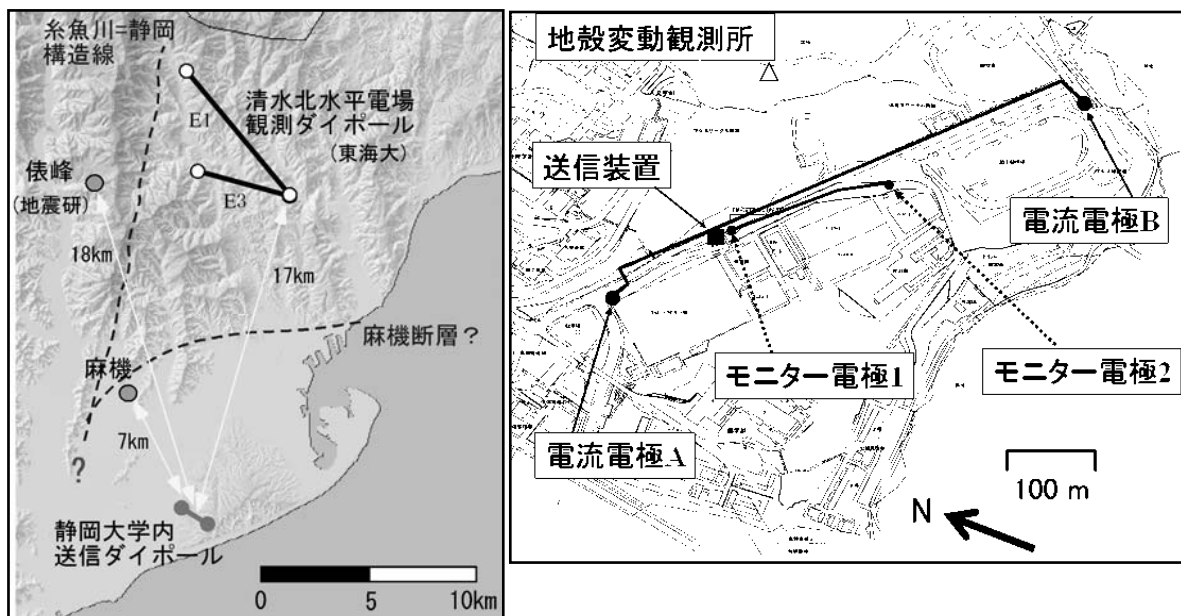


Fig.1 Location of the transmitter and receivers in Shizuoka (left), and current dipole in Shizuoka University campus (right).

送信装置は GPS 時計からのタイミング信号に同期した任意信号を作成でき、パワーアンプで増幅した電流を地下に流すことによって電磁波を発生させる。現在の送信機器では約 2 桁の周波数範囲の任意の信号を同時に発生させることが可能である (中島他, 2008)。

Fig.2 に、試験観測に用いた送信電流を示す。周波数範囲として 0.07~15Hz の 9 つの異なる周波数の信号を用いた。この周波数帯域は、アンプ性能の最大電流値に対して、距離 20km 程度範囲の観測点で、現実的な観測時間で検出可能と思われる範囲として採用した。数値としては、

信号周波数 :  $78.125\text{mHz} \times [1, 2, 7, 17, 31, 53, 83, 113, 157]$

信号周波数は、周波数二乗軸に対してほぼ均等に並ぶような系列になっている。また、時系列では 12.8 秒周期の信号となる。

## 3. 静岡市内の電磁場受信システム

静岡市内の観測点を Fig.1 左に示す。

清水北部水平電場観測は、東海大学地震予知研究センターで行っていた地震に関する電場変動観測のための、NTT 専用回線を用いた長基線電場観測に、電磁 ACROSS でもデータを使えるように GPS 時計に同期した記録を取るように変更したものである（佐柳他，2008）．2007 年 6 月より観測を開始した．

俵峰観測点では、東京大学地震研究所の Fluxgate 磁場 3 成分測定器の出力を分岐してもらい、GPS 時計に同期した記録をとるようにしたものである．2007 年 9 月より観測を開始した．

麻機観測点は、静岡大学・東海大学で、俵峰観測点のほぼ中間点に、新規に Fluxgate 磁力計を設置し、2009 年 8 月より観測を開始した．

各観測点での記録計は白山工業社製の LS7000 を用いている．また結果の一部については、予備的な考察とともに既に報告した（中島他，2008）．

## 4. 観測データ

### 4.1 平均的な受信電磁場

Fig.3 に、清水北、および俵峰での受信電磁場を 64 秒ごとに切り出して積み付けスタッキングをした後のスペクトルを示す．それぞれ観測期間は、清水北：2007/11/09～2007/11/22 のおよそ 2 週間、俵峰：2008/3/27～2008/4/25 のおよそ 1 ヶ月である．

清水北および俵峰観測データのスタック後のスペクトルについて、低周波数領域では、地磁気の変動成分によるスペクトルの増加により S/N が低下していることが共通している．しかし、清水北の観測データでは、0.5Hz 以上の領域では、2 週間程度のスタッキング時間で、S/N が 10 程度の信号が受信できている．それに対し、俵峰の観測データについては、Bz 成分は信号が明瞭でなく、スタッキング時間が十分ではなかったということが分かる．また、Bx, By 成分の 0.5～4Hz 以上の領域では、1 ヶ月程度のスタッキング時間で、S/N ≃ 3～5 程度の信号が受信できている．

このスタック後の ACROSS 信号成分を、送信電流値で除することによって、送信電流に対する受信電磁場の伝達関数（Green 関数）が求められる．

### 4.2 伝達関数の時間変動

S/N の良かった清水北の伝達関数について、ほぼ 2 週間ごとの平均値を観測期間中のデータとして並べて示したのが Fig.4 である．低周波数側はもともと S/N が悪かったので、変動幅が広がっている．しかし 0.5Hz より高周波数側では、安定した伝達関数が求まっているといえる．

この 2 週間ごとの伝達関数の変動が、観測期間中にランダムに起こったのか、観測時期について傾向があるのかを、Fig.5 のカラーマップで確かめた．Fig.5 の縦軸は周波数の違いを表し、上ほど高周波数、すなわち浅部の影響を見ていることになる．また、観測期間中の白抜きの部分は、観測機器や送信装置の不具合により、データがない期間を示す．

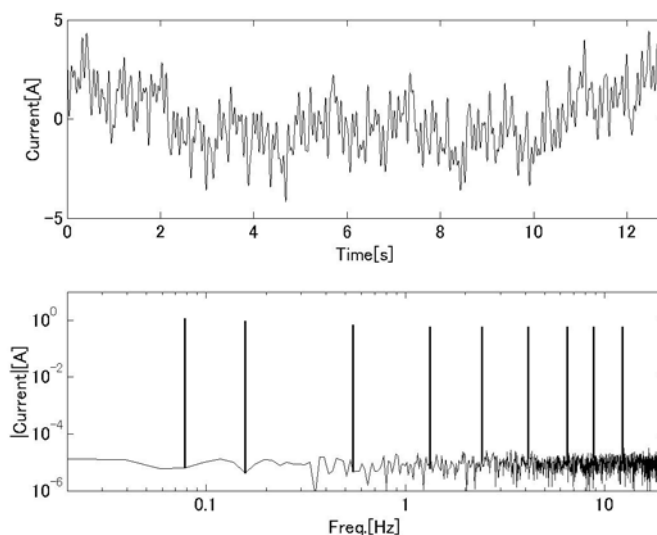


Fig.2 The transmitted signal during the test observation. Upper panel shows the signal in time domain, and lower panel shows its spectrum.

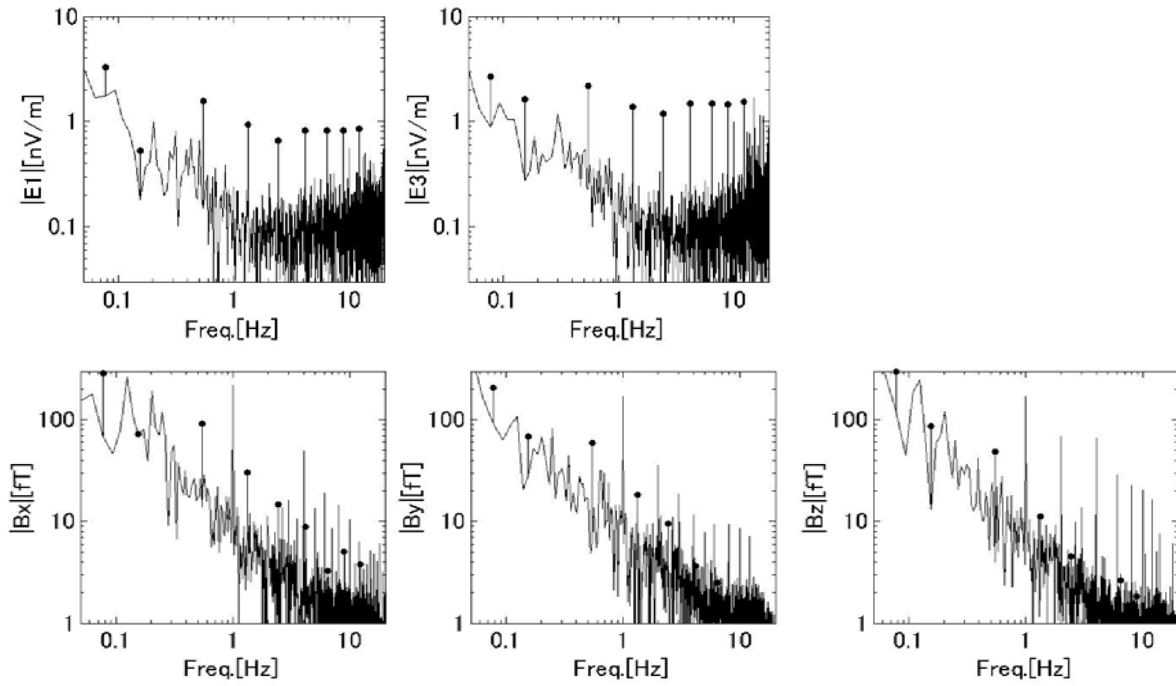


Fig.3 Stacked spectrum at Shizumu-Kita (upper), and Tawaramine (lower). The point in the figures are the signal components of ACROSS.

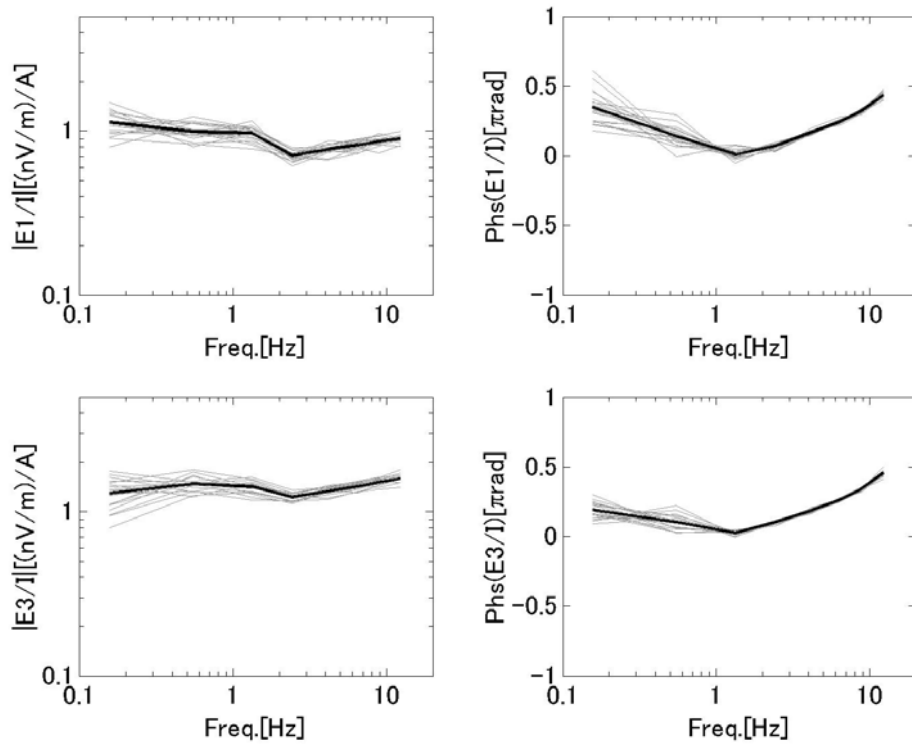


Fig.4 The transfer functions between the source current and electric fields at Shimizu-Kita. The dotted lines are the transfer function of 2 weeks average, and solid lines are the average of observation period. Left/right column is the amplitude/phase.

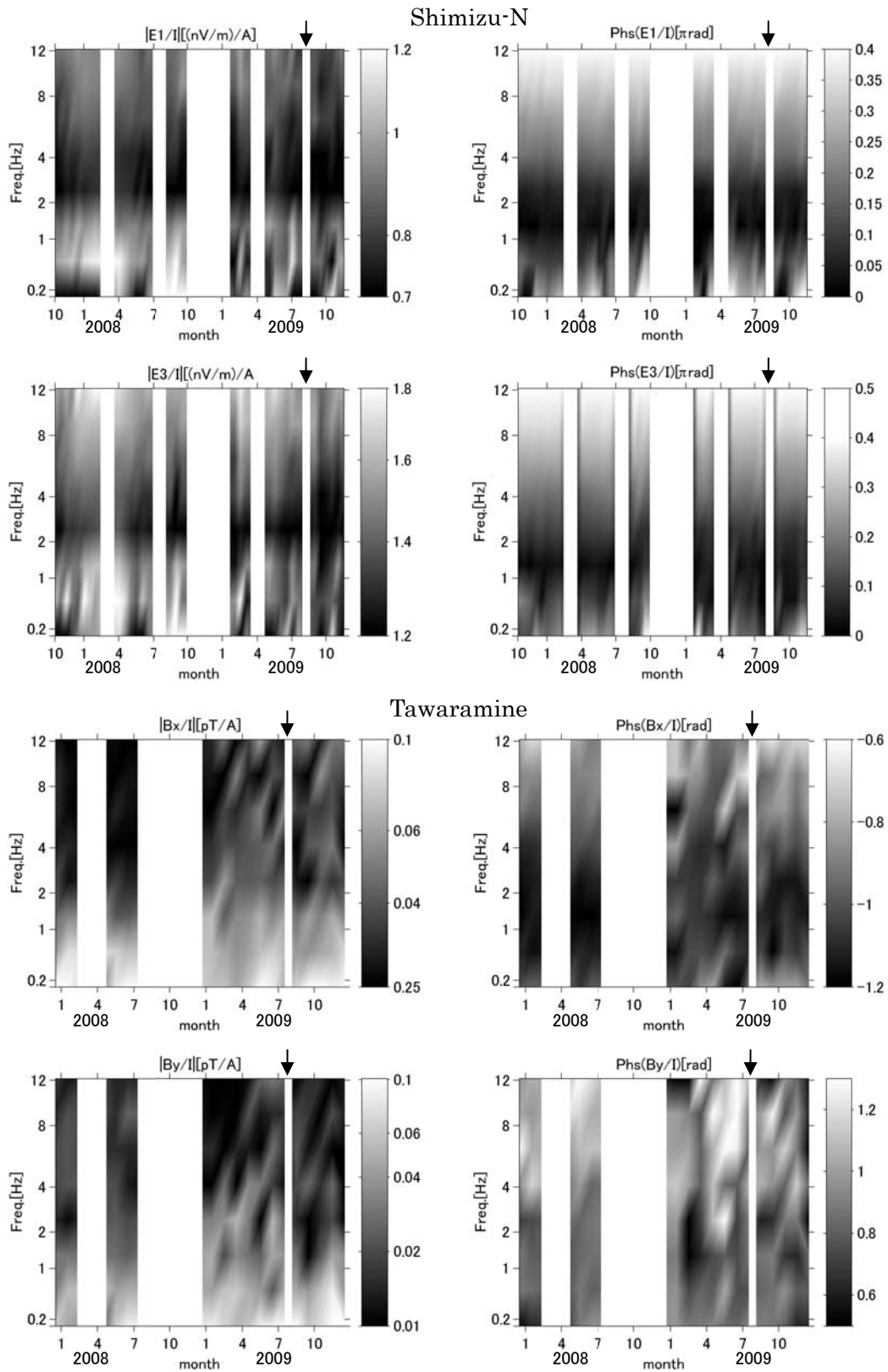


Fig.5 Temporal variation of the transfer function at Shimizu-Kita (upper 4 panels), and Tawaramine (lower 4 panels). Left/right columns show the amplitude/phase. Arrows express the date of Surugawan earthquake(2009/8/11).

Fig.5の上図では、清水北の電場2成分の伝達関数(振幅・位相)の変化を2週間ごとの平均をとったもので示している。特に振幅の変化に関して、年周変動と思われる変化(周波数範囲2~6Hz程度の領域で4月から7月にかけて振幅が小さくなる等)が見られた。また、2009年8月11日の駿河湾での地震後、伝達関数の振幅が減少した傾向が見られた。一方、位相に関しては地震に関係した変化は、現状の精度では見られなかった。Fig.5の下図では、俵峰の磁場水平2成分の伝達関数(振幅・位相)の変化を1ヶ月ごとの平均をとったもので示している。こちらのデータでは、2008年後半の長期の休止期間後に、変化が大きくなっている。これは、観測復旧後のノイズ環境悪化を示唆しており、観測機器などの問題であるかもしれない。

## 5. まとめ

能動的比抵抗モニタリング実現にむけて、静岡市内での電磁場送受信試験を、2007年以降続けてきた。清水北、俵峰および麻機で定常的に伝達関数を取得し、時間変動を確認できるようになってきた。その時間変動には、年周変動が明らかであった。この変動は、主に地表付近の変動の影響を表していることになるので、地下の変化の情報を見る際にノイズとなるので、今後この影響を取り除くなどの考慮は必要である。

また、今後の課題としては、これまでに得られたデータをもう少し詳しく精査する必要があると思われる。これまでに取得したデータに関しては、特に低周波数領域でS/Nが悪いので、地磁気変動に関する影響を取り除くための、ISTF (Harada et al, 2010)などを適用する必要がある。これらの解析を通して、年周変動の影響を明らかにしていく。また、本報告での結果は、観測点が3点しかなく、地下の不均質性等の影響が明確ではない。臨時観測や観測点網の拡充などを行い、より精密な地下モデルの構築し、得られた伝達関数の特徴が地下のどのような構造に対応しているのかを明らかにすること、変動が見られた部分がどの領域の影響を表しているかを明らかにしていきたいと考えている。

## 謝辞

本研究は、東京大学地震研究所共同研究プログラム(課題番号2008-B-02)の援助をうけました。また俵峰観測点に関しては、東京大学地震研究所の小河勉氏のご協力によりACROSS用のデータ収集を行うことができるようになりました。東京大学八ヶ岳観測所の小山茂氏、東海大学海洋研究所の原田誠氏、竹内昭洋氏、川畑広紀氏、静岡大学の國友孝洋氏、生田領野氏には、観測点設営およびデータ回収に関するご協力や、観測に際するアドバイスをいただきました。記してお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 熊澤峰夫, 國友孝洋, 横山由紀子, 中島崇裕, 鶴我佳代子 (2000), ACROSS: 理論と技術開発及び将来展望, サイクル機構技報, 9, p.115-129.
- 佐柳敬造, 中島崇裕, 小河勉, 藤井直之, 熊澤峰夫, 長尾年恭, 國友孝洋 (2008), 東海地域における精密電磁場観測網の構築にむけて, 日本地球惑星科学連合2008年大会予稿集, O135-006.
- Harada, M., K. Hattori, and N. Isezaki (2010), Signal Discrimination of external geomagnetic effects using the transfer function approach with continuous Wavelet transform, In: J. Kasahara, V. Korneev and M. Zhdanov, editors: Active Geophysical Monitoring, Elsevier, pp.237-252.
- 中島崇裕, 佐柳敬造, 藤井直之, 熊澤峰夫, 長尾年恭, 國友孝洋 (2008), 東海地域地殻内部電気伝導度の能動監視に関する研究—問題点の洗い出しと試験観測の結果—, 日本地球惑星科学連合2008年大会予稿集, O135-005.
- Nakajima, T., T. Kunitomo, H. Nagao, M. Kumazawa, and N. Shigeta (2010), EM-ACROSS system and corresponding tensor transfer functions in diffusion region, In: J. Kasahara, V. Korneev and M. Zhdanov, editors: Active Geophysical Monitoring, Elsevier, pp.177-191.