

E L F 帯電磁界多成分・多地点同時観測による 電磁放射発生源特定システムの開発

富澤一郎（電気通信大学・菅平宇宙電波観測所）

Development of EM Source Locating System for Seismogenic EM-Emission
Research:

Multi-station, Wideband, and Multi-component ELF Observation System
Ichiro TOMIZAWA

Sugadaira Space Radio Observatory, The University of Electro-Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo 182, JAPAN (EMAIL: tomizawa@aurora.ee.uec.ac.jp)

1. 兵庫県南部地震時の観測から分かったこと分らないこと

筆者らは、兵庫県南部地震発生直後の E L F から L F 帯の長崎県島原観測点と長野県菅平観測点の強度観測から得られた電磁界変動の特徴について報告してきた（富澤・芳野，1996）。これまでの解析から、兵庫県南部地震発生時の電磁界変動は、36 Hz から 82 kHz より広帯域スペクトルを持っており、この電磁界が震源付近から放射され、大地と電離層の成す導波管内を T M 0 次モードで伝搬してきたと考えた。この導波管内の伝搬の周波数依存性を補正することにより、放射源の特性を推定した（富澤，1997）。

しかしながら、実際には島原観測点一局の電磁界到来方向データと因果関係から放射源の位置を推定しているため、電磁放射発生源の明確な位置と震源との関係を確定することはできていない。また、因果関係の明らかでない地震発生前の電磁界変動の発生源については、位置はさらに不明確になっている。この観測では、36 Hz、1525 Hz および 82 kHz の 3 つの狭帯域受信システムを使用しているため、波形に関する情報が得られていない。

2. 地震に伴う電磁放射の発生・伝搬機構を観測から明らかにするにはどうしたらよいか

地震に伴う電磁放射の発生源の特徴を考える前に、まず、電磁放射と人工雑音・雷放電雑音との判別を明確につけることから始める必要がある。つまり、電磁放射がどこから・どのように伝搬してきたのかを観測的に明らかにする必要がある。この判別が明確でなければ、これ以上の議論は意味を持たないからである。波源位置に、どのような波形・波高・スペクトルを持った電磁気現象が存在し、これが過去の経験に照らして電磁放射か、それとも人工雑音・雷放電であるかを明らかにしなければならない。

観測から放射源が地震起源と判別できれば、後は観測された波形・強度・スペクトルを、様々な放射・伝搬モデルに適用して地震発生源自体の電磁放射過程を推定する方法の使用が可能と思われる。

3. 電磁放射と人工雑音・雷放電雑音との判別方法

筆者は、この判別基準を次のように考えている。地震に伴う電磁放射現象が地表まで到達し、地表と電離層の成す導波管内に再放射されれば、E L FからL Fのスペクトル成分は大きな減衰を受けず遠方まで伝搬することが可能である。したがって、この放射を有る程度距離の離れた観測点で同時に観測し、その到来方向を逆に辿れば、再放射点位置を決定可能である。再放射点から受信点までの距離を基に、強度、波形、スペクトルについて、伝搬減衰を補償すれば、再放射位置での特性が推定できる。

まず、観測点ですべての電磁界を広帯域で観測し、この電磁界が導波管伝搬モードなのか、観測点近傍から発生したものなのかを判別する。また、同時に到来方向の推定を行う。この段階で、定常的に発生する局地的な人工雑音については判別可能である。これ以外の電磁界変動を、他の観測点と照合して発生源位置を決定する。

これまでの筆者らの観測データや室内での岩石破碎実験時の波形から、数時間くらい継続するようなゆっくりした波形から μ 秒程度のインパルス的な波形まで存在する可能性が地震や破碎固有の波形の存在が考えられる。一方、雷放電雑音は、V L F帯以上では数m秒程度のインパルスであるが、E L F帯では遠方雷にシューマン共振によるスローテイルを伴うこともある。人工雑音には様々な波形の存在が考えられるが、遠方まで伝搬する波源についての特性は分かっていない。

地震に伴う電磁放射の発生源自体のスペクトル特性及び地表までの伝搬路の周波数特性がほとんど分かっていない現状では、放射源のスペクトル特性の違いから判別する方法も確立できない。しかし、雷放電スペクトルや電力線などに起因する人工雑音スペクトルには、特徴的なスペクトルが存在すると考えられるので、これらは判別可能と予測できる。他の人工雑音については、スペクトルの特徴だけでは判別は難しい。

以上のように、地震に伴う電磁放射の特徴が明らかになっていない現状では、明確な判定基準自体が存在しないため、電磁放射の発生源位置・波形・強度・スペクトルを集積し、これらを基に総合的に判別する方法を採らざるを得ない。逆に言えば、判別を確実に行うためには、これらの電磁界の特徴を、同時に多地点で観測することが必要である。

4. E L F帯電磁放射発生源特定にはどのようなシステムが必要か

それでは、どのような観測システムを構築すれば、判別に必要な情報の収集が可能かを考えてみる。電磁界の伝搬モードおよび到来方向を求めるためには、全電磁界成分の観測が必要である。つぎに、到来方向からこの発生源位置を特定するためには、最低2局の観測点が必要となる。波形の時間差を利用する場合には、観測システム自体を広帯域化し、正確な同期時計による同時観測を最低3局で実施することが必要となる。スペクトル観測には、受信周波数の異なる狭帯域受信器を用意する方法と広帯域に波形データを取得後スペクトル解析する方法の二つが考えられる。狭帯域受信方式は、出力データの量を少なくでき、しかもL F帯まで含んだ観測ができる利点がある。ただし、短時間の強度変動現象の波形情報が失われる欠点がある。一方、広帯域波形データを取得する方式は、短時間変動波形情報の取得が可能である利点がある。ただし、データ量が狭帯域受信方式に比べて

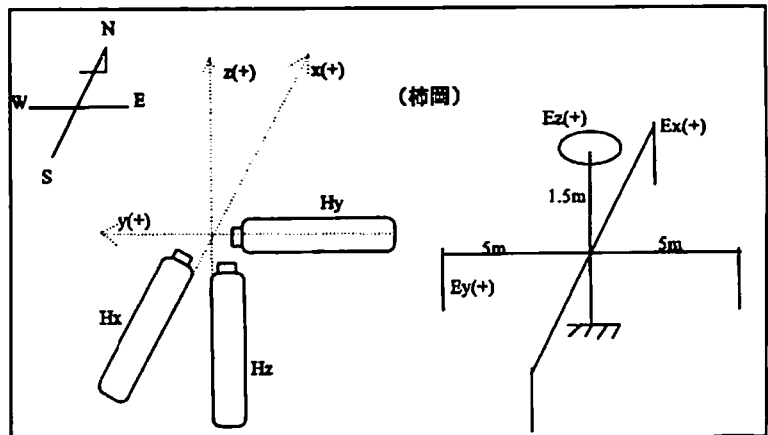
膨大となるため、後処理部およびデータ通信路の帯域幅が同じである場合は、受信周波数が低くなる欠点がある。何れにしろ、この発生源位置の特定を広範囲に行うためには、多数の観測点を配置する必要があることは明らかである。

5. 電気通信大学の E L F 帯電磁界多成分・多地点同時観測システム

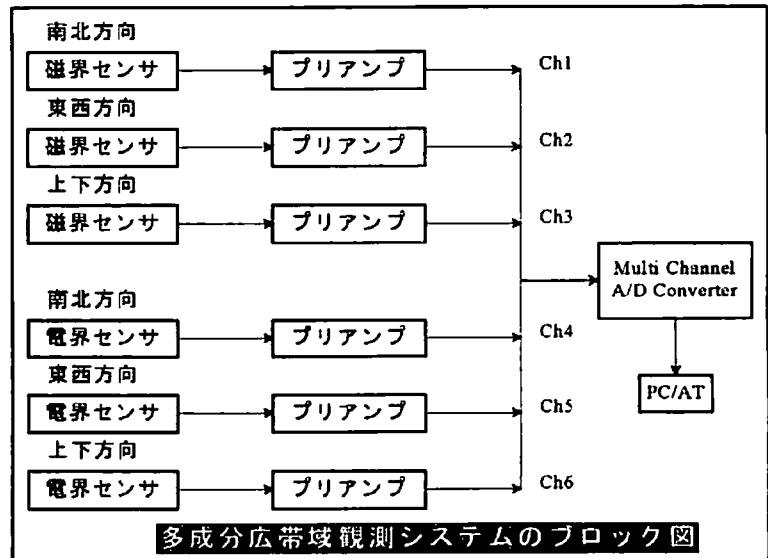
上の目的を達成するために、様々な観測システムの構成が考えられる。筆者らは、関東地方周辺の電磁放射現象の判別が可能なシステムの構築を第一の目標としている。現在、関東地方周辺では、E L F 帯の 36 H z と 1525 H z の狭帯域受信システムを運用している。この強度連続観測と相補的観測となるように、広帯域波形データ取得方式の観測システムの開発を進めている。第1図にこのセンサー部の概形を示し、また第2図にデータ収集部のブロックダイアグラムを示す。観測帯域は電磁界センサーシステムを共用することと、取得データ量の制限から 10 H z ～ 2.5 k H z とした。現在、この観測システムを、長野県菅平観測点および茨城県柿岡観測点に設置し、試験運用を開始した。

実際に、観測したデータの中で、明確に二つの観測点で同定が可能なのは、インパルス的な波形である。

この例を第3図に示す。この波形は、2 m s 程度の継続時間を持ち、垂直電界、水平磁界が卓越することから、導波管伝搬モードであることが分かる。この水平磁界の南北および東西2成分の波形から磁界の水平成分のベクトル軌跡を描いてみると、中段の図になる。E L F 帯の伝搬モードは T M 0 次モードで、水平磁界成分がほぼ直線偏波と見なせることから、この軌跡の描く長楕円の長軸に直交方向が波動の到来方向となる。これに垂直電界の極性を考慮すれば、到来方向が一意に決定できる。この図では、菅平および柿岡とも到来方向が 240 度方向となり、角度差が無いことから、菅平—柿岡基線の長さに対して十分遠方から到来した雷放電と考えられる。この方向を下段の地図に示す。



第1図. E L F 帯電磁界センサーシステム



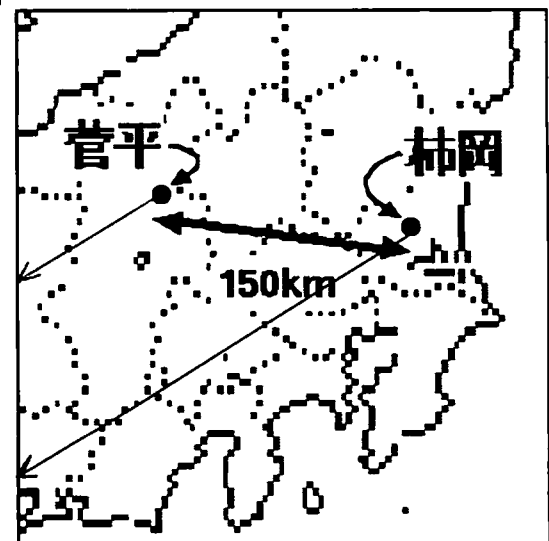
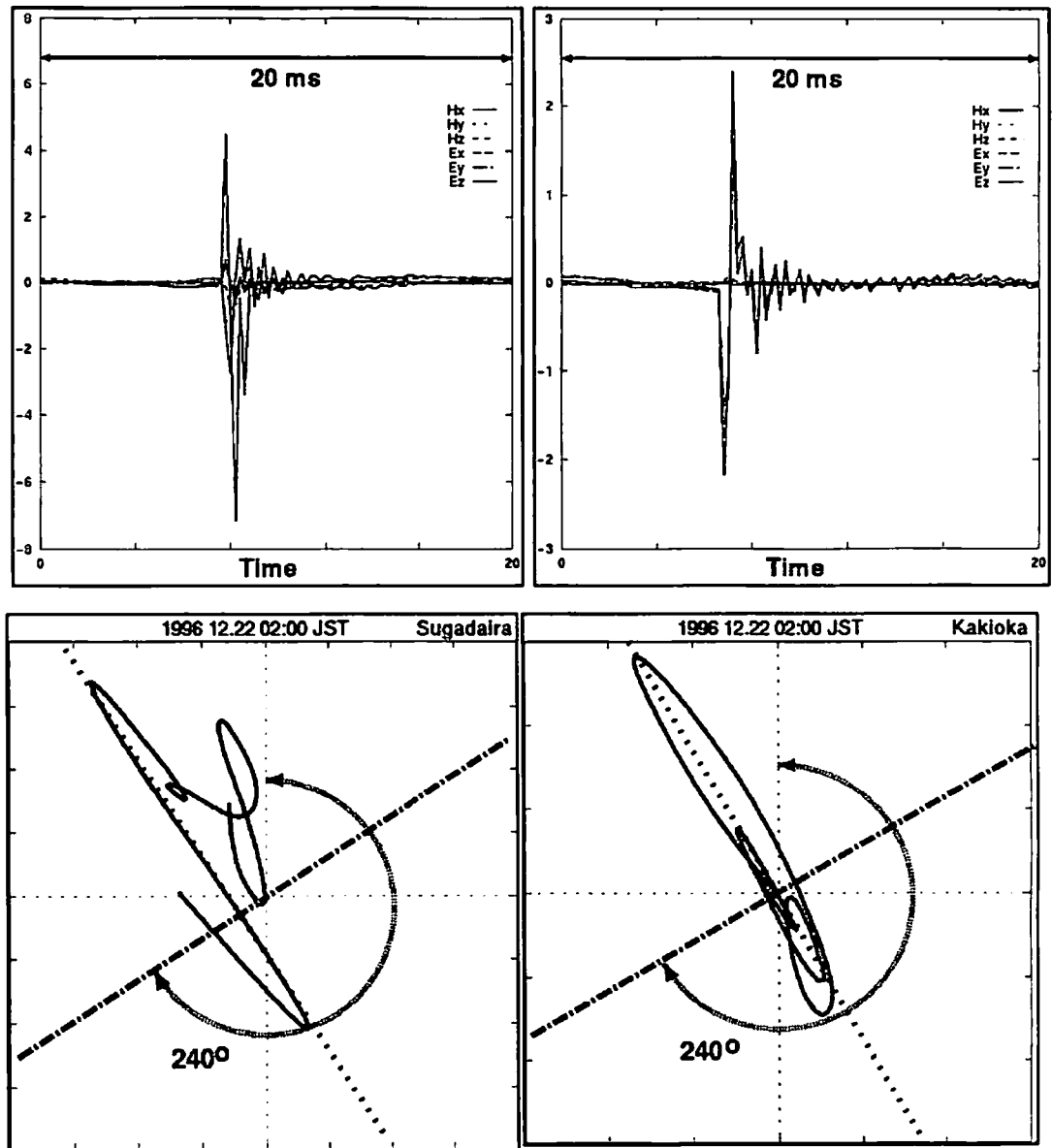
第2図. 多成分広帯域データ収集システムのブロックダイアグラム

右に示したように、強度の強いインパルスの電磁放射については、その発生源位置および波形特性から容易に発生源の判別が可能である。しかしながら、実際には、強度の弱いインパルスの電磁放射や時間的にゆっくりした電磁放射については、発生源の位置決定だけでも容易でない。

現在、様々な電磁放射について、この観測システムの判別方式の確立を目指している。また、第3の観測点として、静岡県富士宮または伊豆大島に観測システムの設置を計画している。

参考文献

富澤一郎・芳野赳夫:兵庫県南部地震発生時のE L FからH F帯までの電磁界変動現象の関連性, C A研究会1996年論文集, pp.208-214, 1996.
 富澤一郎:兵庫県南部地震に伴う電磁放射のスペクトル的特徴から推定した発生源モデル, 地球惑星科学関連学会1997年合同大会, 1997.



第3図. 観測点位置とインパルス波形の到来方向