

ELF 帯電磁放射判別方法の開発

富澤一郎・齊藤真二

(電気通信大学菅平宇宙電波観測所)

System development for detection of ELF seismogenic electromagnetic emissions

Ichiro TOMIZAWA and Shinji SAITOH

(Sugadaira Space Radio Observatory, The University of Electro-Communications)

E-mail: tomi zawa@ee.uec.ac.jp

1. はじめに

地震に関連した電磁放射が地震発生前後に集中する可能性が報告されている(Yoshino et al., 1993)。しかし、その発生・伝搬機構を解明するために必要な情報を得る段階までに至っていない。そこで我々は、地震に関する電磁放射検出をより多くの電磁界情報を基に行う方向で開発を進めてきた。本報告では、システム開発の現状について述べる。

地表で観測する ELF 帯の電磁界変動には、自然発生の雷放電雑音と人工的な電磁雑音が殆どの部分を占めると予想される。この中に含まれる可能性のある地震に関連する電磁放射を検出するためには、大多数の他の要因による変動を確実に除去する必要がある。しかしながら、地震に関連した電磁放射自体の波形、スペクトル、強度、放射域、伝搬経路など観測すべき特徴が不明確な状態である。この様な状態においては、上記特徴を他の要因による変動と判別することから始めなければならない。したがって、下記に示すように雷放電雑音や人工雑音に関する既知の判別基準に基づいてこれらを除去し、残った異常な電磁界変動現象の特徴を明らかにするための観測システムを順次開発して行くこととする。さらに、これらの異常現象が、その発生前後に起こった相関判別基準を満たす地震(Yoshino et al., 1993; Rikitake, 1997)と位置的な対応付けを行い、関連性を判別する。

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) どのような波形・どのようなスペクトルを持った現象かを明らかにする。
- (4) 相関判別基準を満たす地震と電磁放射源の位置関係から関係の有無を判別する。
- (5) 観測によって誤って判別する確率を統計的に明確にする。

昨年度までに、(1) については、経験的なデータベースを作成し、これを基準として判別し、(2) については位置決定を行うことにより発生源と気象現象、人工雑音源との判別する方向の初期開発結果を述べてきた(富澤, 1997)。本年度は、(1) の経験的な判断データベースの構築経過とそれに基づく異常検出方法について、(2)

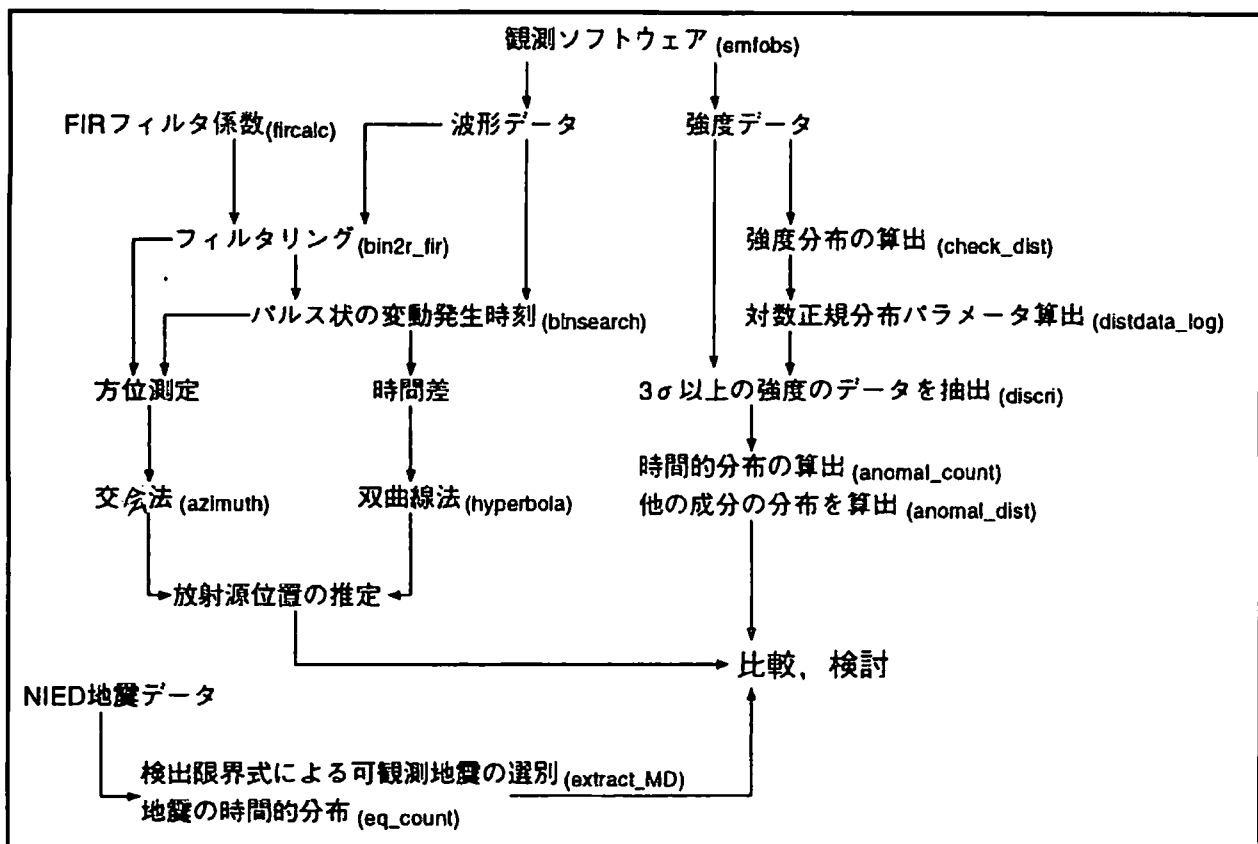
の位置決定方法を方向角から決定する交会法に、到来時間差から位置決定する方法を加えて相互比較をした結果について述べる。また、実際に連続観測を行った1997年11月1ヶ月間の判別実験例について述べる。

2. 地震に関連した電磁放射をいかに検出するか

異常検出と判別の基本手順は、次のように考えている。

- (1) 定常的な観測パラメータに統計的なしきい値を設定し、これを越える場合を異常とする。
- (2) 検出された異常現象が局地的な現象かどうかをデータベースに基づき判定する。
- (3) 異常現象が多地点で同時に観測されている場合は、位置決定を行う。
- (4) 異常現象が1点でしか検出されなかった場合は、他観測点の波形データを比較する。
- (5) 気象・地震データとの比較を行う。

この異常検出と判別の基本手順フローチャートを第1図に示す。

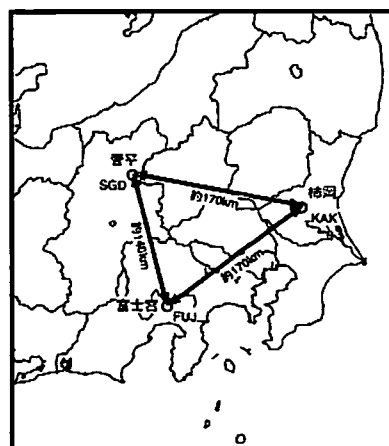


第1図 異常検出と判別の基本手順

3. 観測点位置と観測点設置システム

昨年までの菅平および柿岡の観測点に加えて、1997年9月より静岡県富士宮観測点を設置して、3地点同時観測を開始した。第2図に各観測点の位置を示し、また第1表には観測点位置のデータを示す。これらの観測点間距離は最も短い菅平・富士宮間で140kmで、他の観測点間距離は170kmとほぼ同じである。

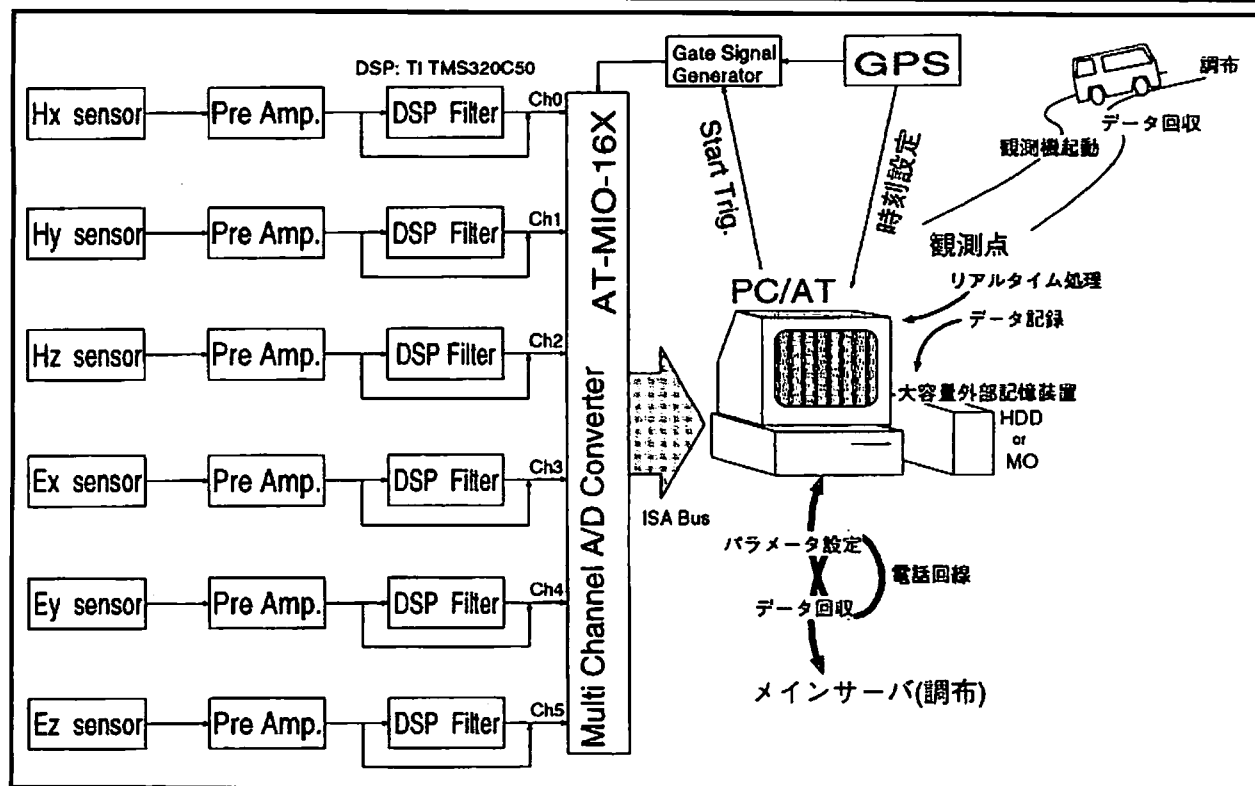
各観測点には第3図に示すように、ELF帯電磁界6成分のセンサとそれらの増幅部、データ収集用パソコン部、時刻同期用GPS部、およびデータ伝送部からなっている。観測点間の時間ずれはGPSにより1 μ s以下とした。



第2図 3つの観測点位置と相互距離

第1表 3観測点位置および設置時期

観測点名	緯度	経度	設置時期	略号
菅平	36.517° N	138.317° E	1996年9月	SGD
柿岡	36.219° N	140.185° E	1996年12月	KAK
富士宮	35.30° N	138.7° E	1997年9月	FUJ



第3図 各観測点の電磁界観測システムの概要

狭帯域観測は1525 Hz および36 Hzの二つの基本周波数と、他のスペクトルの静かな周波数を選んで5分間隔で行っている。

広帯域観測では観測データ量が1回5秒間の観測に各チャンネル当たり50 kBで合計300 kBデータとなり、1時間間隔で5秒間の観測であっても、一日の総伝送量は7.2 MBとなる。現在、どのような波形で、どのようなスペクトルが電磁放射かを判定する手段を持っていないため、全ての情報を残した形で相互比較する必要があると考えている。このため、現在のところデータ伝送速度に抑えられて、解析可能な時間幅は、僅かしか取れない。この点は、将来必要な情報が分かれば、不要部分を捨てることにより、また、伝送回線速度を高くすることにより改善できる。

第2表 観測システムパラメータ

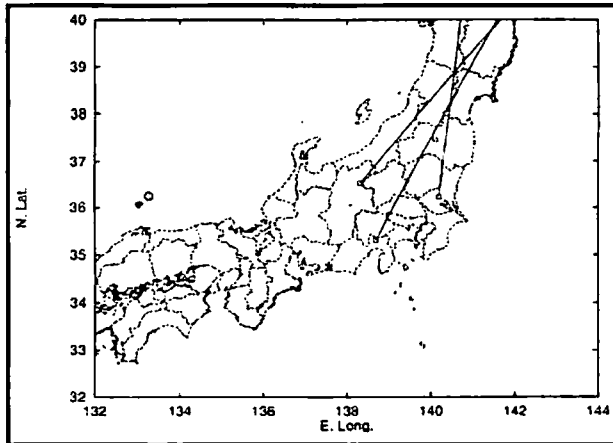
観測方法	観測周波数	観測間隔
狭帯域観測	1525 Hz, 36 Hz 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 500, 800, 1000, 2000 Hz	5分毎 1.5秒間
広帯域観測	10 Hz ~ 2 kHz	1時間毎 5秒間

5. パルス波形発生源位置決定例

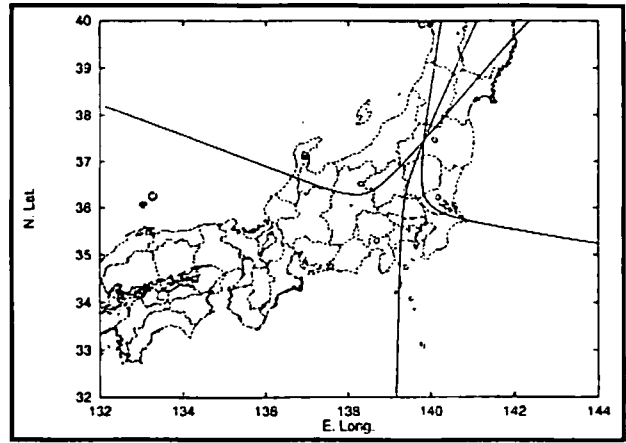
昨年度は、菅平と柿岡の2観測点の水平磁界成分を利用した方向探知法で電磁波の放射源位置を決定していた(富澤, 1997)。しかしながら、ELF帯では放射源位置が近傍域に入る場合には電磁界のモードが伝搬モード以外の近傍界成分が含まれ、伝搬方向と磁界方向が直交しない場合も起こる。また、方位角により位置を決定する場合は、その観測点間を結ぶ基線の方に近い方向では、非常に位置決定誤差が大きくなることが知られている。この点を考慮して富士宮観測点を1点増やした。

一方、パルスの信号波形の場合は、その伝搬遅延を測定可能であるので、この情報を利用して発生源位置を決定する方法も利用可能なシステムとした。ただし、伝搬遅延時間差を利用する方法は、観測点数を最低3点必要とし、また、この3点のなす3角形の形が正三角形に近いほど測定誤差が少なくなることが分かっているため、この様な位置関係に成る観測点に観測装置を設置した。

第4図に交会法と時間差法がほぼ一致する場合を示す。通常、観測点から300 km程度の範囲内で、二つの位置決定は50 km程度で一致することが経験的に分かってきた。この誤差と方向測定精度および時刻差測定精度との関係については、現在検討中である。

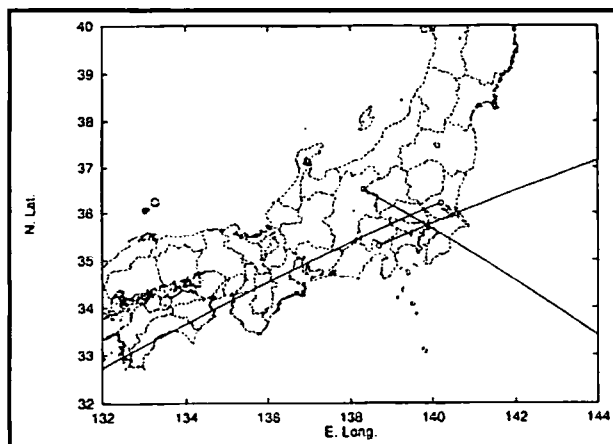


第4図a パルス波形を交合法で位置決定した例

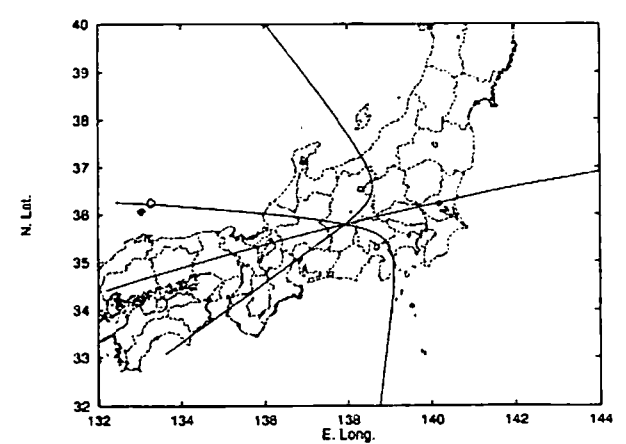


第4図b aと同じパルス波形を時間差法で決定した位置

しかし、必ずしもこの誤差範囲内で一致するとは限らない。実際に、第5図に交合法と時間差法が一致しない場合を示す。この場合は、放射源が富士宮及び菅平から距離的に近いことと、雷放電方向が垂直でない場合の二つの原因を考えることが出来る。今後、さらに解析を進めて、誤差の大きくなる条件について、明らかにして行く必要がある。



第5図a 観測点近傍のパルス波形の位置決定例

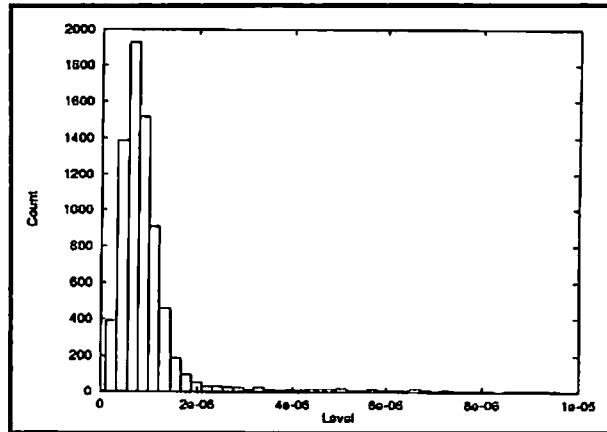


第5図b aの場合に時間差法で位置決定した例

6. 強度変動分布の変化

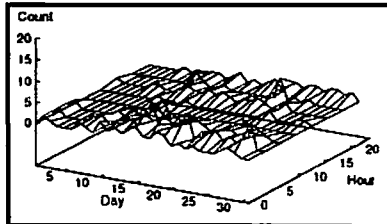
第6図に菅平における水平磁界強度の強度変動分布を示す。この分布は対数正規分布近似できることが分かった。このことから背景雑音的成分と時間的に短い強度の強い成分の重ね合わせであると推定できる。ただ、対数正規分布の統計量の時間変動も長期的には変動する可能性があり、今後、最適な統計区間の検討が必要であ。

しかし、他の観測点では対数正規分布関数で正確に表現できない場合があり、現在分布関数の適用可能範囲を調べている。言い換えれば、統計量の観測点間の差が大きいことが推測でき、これが異常検出レベルに大きな差となる可能性もある。この点は、3点の連続観測を積み重ねなければならない。

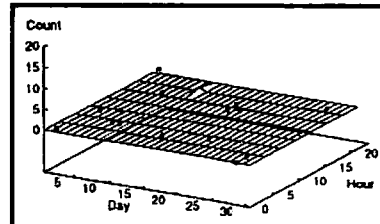


第6図 菅平の水平磁界強度分布—対数正規分布で近似できる

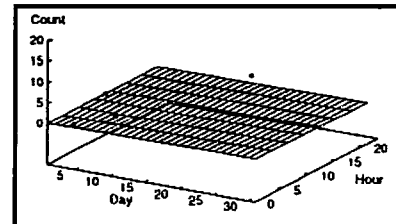
7. 異常検出法の実施例



第7図a 1997年11月1ヶ月間の菅平1525Hz磁界強度変動で、しきい値を越える事象を時間的に表示した。



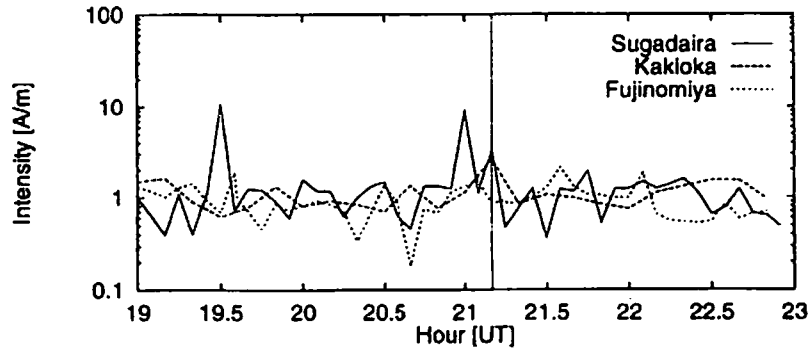
第7図b 1997年11月1ヶ月間の柿岡1525Hz磁界強度変動で、しきい値を越える事象を時間的に表示した。



第7図c 1997年11月1ヶ月間の富士宮1525Hz磁界強度変動で、しきい値を越える事象を時間的に表示した。

第7図a～cに、1997年11月1ヶ月間の菅平、柿岡、富士宮のそれぞれのしきい値を越える事象の時間的な分布を示した。このしきい値を同時に複数の地点で越える事象は見つからなかった。そこで、もう少し時間範囲を広げて3時間以内に複数地点でしきい値を越えたのは、第8図に示す11月10日19時から23時の範囲である。

この時間帯における異常変動は、菅平の場合30分毎の強度変動、柿岡の場合21時10分の強度変動に対応する。菅平の30分毎に発生する強度変動の異常は、菅平のみ存在し、柿岡および富士宮の強度変動には見られないことから、菅平観測点近傍の人工雑音であることが分かる。柿岡で異常と検出された強度変動は通常の変動の標準偏差の3倍を越えている数少ない事象である。この強度変動の相互対応を見ると、菅平で僅かに強度が上昇しているが、富士宮ではこの強度変動は存在しないことがわかる。この変動は3地点で同時に観測されていないことから菅平と柿岡を結ぶ基線に近い場所に放射源が存在する可能性がある。残念ながら、この時刻には2地点の強度変動のみしか観測されていないので、正確な位置の決定は不可能である。



第8図 1997年11月10日19:00-23:00 2点での異常検出部分の拡大

つぎに、Yoshino et al. (1992)の電磁放射が観測される可能性のある地震判定基準に基づき判定を行った結果、11月1ヶ月間に複数の観測点でこの基準を満足する地震は1つだけであった。この地震の概要は第3表の通りである。

第3表 1997年11月に関連地震判定基準を複数観測点で満足する地震
○は満足する場合、×は満足しない場合を表す。

発生時刻	マグニ チュード	経度 [° E]	緯度 [° N]	深さ [km]	菅平	柿岡	富士宮
1997.11.07 05UT	4.9	139.475	35.357	176.3	X	○	○

第8図の異常現象は、この地震発生から3.5日経過しており、しかも震央が富士宮に近い位置にあるのに富士宮で変動が観測されていないことから、相互の関係はないものと判断できる。逆に言えば、第8図の強度変動に対応し、比較判定基準に達する地震発生はなかったことが分かる。また、±1日の範囲の広帯域パルス波形観測で、地震震央に50km範囲で対応する現象は検出できなかった。ただ、異常検出のしきい値以下の弱い電磁界変動成分の存在の可能性もあり、今後広帯域背景雑音間の相関を実施する予定である。

8. まとめ

これまで地震現象の発生後に異常電磁放射検出を行ってきたが、この場合は異常電磁放射判別と対応すべき地震判別との独立性が明確でなかった。これは異常電磁放射の判別に明確な基準を設けて、しかも異常現象の発生確率を統計的に明確にすることが必要である、と我々は考えている。しかしながら、異常現象として判別すべき電磁放射の電磁界の特徴や発生源と震源の対応については、未だ確立されていない。したがって、この判別基準自体を経験的手順に従って確立しなければならない。以上の考えの下に、菅平・柿岡・富士宮の三地点で観測を開始し、ELF帯電磁界の強度変動から異常電磁放射を判別する手順を作成し、現在試験段階である。

この判別手順は、まず連続強度変動観測から強度変動統計量を求め、この標準偏差

などの統計量を基にしきい値を設定し、異常電磁界変動部分を抽出する。これらの異常電磁界変動が、雷放電雑音や人工的な電磁放射でないことを気象観測データや過去の経験データを基にして判別・除去し、残った異常現象について第2段階の判別に渡す。電磁放射が局地的な現象でないことを150 km程度離れた複数地点で観測される点から判別する。また、複数点からの方位探査を行い、発生源位置の推定を行う。

異常電磁放射判別とは独立に、過去の経験に基づいて電磁放射を観測される可能性のある地震を抽出する。

観測される可能性のある地震が複数観測点で満足され、その発生時刻前後に異常電磁放射が観測され、しかも震央位置が異常電磁放射源位置と関連しているかが最終的判定評価となる。

現在の所、電磁界変動統計量である分布関数、統計量の時間変化、統計量の観測点間格差に関する定常的な値が保証されていないので、今後改良が必要である。また、現在判別は、手作業で行っているため大量のデータの処理は不可能である。この問題を解決するため、単純な部分からシステムの自動化を計画している。

本研究経費の一部は、東京大学地震研究所一般共同研究(1995-G2-15)による。柿岡観測点の維持に関して気象庁地磁気観測所の協力を、また富士宮観測点の維持に関して東京大学地震研究所の協力に感謝する。

参考文献

- Tsuneji Rikitake: Nature of electromagnetic emission precursory to an earthquake, *J. Geomag. Geoelectr.*, **49**, 1153-1163, 1997.
- T. Yoshino, I. Tomizawa and T. Sugimoto: Results of statistical analysis of low-frequency seismogenic EM emissions as precursors to earthquakes and volcanic eruptions, *Phys. Earth Planet. Interi.*, **76**, no.1-2, 21-32, 1993.
- 富澤一郎: 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, 先行現象としての電磁界変動ワークショップ, 東京大学地震研究所, Feb. 4, 1997, pp.90-93, 1997.