

1 はじめに

地殻活動の前兆として、電磁波の異常放射があるとの報告がなされている。地殻活動予測するためには、この異常放射の発生源を推定することが必要と考え、我々は異常放射を観測する目的で全国約 40ヶ所において ELF 帯の環境電磁波観測を行っている。

本稿では、ELF 帯異常電磁波は伝播距離の 2 乗に従って減衰すると仮定し、その発生源の推定を行い、その推定結果の信頼性について検討する。

2 従来の発生源推定法

各観測点では、 pT/\sqrt{Hz} という単位で $223Hz$ の磁束密度を 6 秒毎に観測している。一般に、波のエネルギーは振幅の 2 乗に比例するため、観測値の 2 乗をエネルギー密度の大きさと考える。本稿での推定には、東西方向と南北方向の観測値から全国で一様なレベルで観測される雑音を除去した後、2 乗し加えたものを用いている。

電磁波のエネルギー密度は発生源からの距離の 2 乗に反比例して減衰すると仮定する。この時、発生源 O から単位距離にある地点でのエネルギー密度 A_0 と、 O から距離 R_i にある地点 $P_i(x_i, y_i)$ において受信されるエネルギー密度 A_i との関係は式 (1) で表す事ができる。ここで距離 R_i は式 (2) で表される。

しかし、実際にはこの理論値 A_i と観測値 \hat{A}_i の間には雑音などの影響による誤差が生じる。このため、式 (3) で表す各観測点の観測値と理論値の誤差の 2 乗和 f の最小値を与える A_0 と、電磁波の発生源 (x_0, y_0) を最良の推定値とする。

A_0 の推定値は解析的に求める事が可能であるが、 x_0, y_0 を解析的に求める事が困難なため、 (x_0, y_0) の候補を正方形の格子に多数用意し、その中で式 (3) の最小値を与える点を探索する手法を採った。さらに選ばれた点の近傍を微小な格子に分けて探索し、徐々に範囲を狭めていく。

$$A_i = \frac{A_0}{R_i^2} \quad (1) \quad R_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (2)$$

$$f(x_0, y_0, A_0) = \sum_i (\hat{A}_i - A_i)^2 \quad (3)$$

3 推定方法の問題点と改善策

従来の推定方法には、誤差の 2 乗和 f の計算を行う際に全ての観測点を用い、信頼性の高いと考えられる誤差計算を行う地点に近接した観測点の観測値と、信頼性に欠けると考えられる誤差計算を行う地点の遠方に存在する観測点の観測値を同等に評価するという問題点がある。そこで、誤差計算を行う地点の周辺 R [km] の領域内にある観測点のみを用い計算を行う方法を提案する。また推定を行う際に最も重要な値と考えられる最大観測値を誤差計算の際に有効なものとするため、推定位置の候補点を最大観測値を受信した観測点の周辺 r [km] の領域内の格子点に限定する。本稿では $R = 200km$ 、 $r = 100km$ として推定を行う。また推定を行う際にその都度使用する観測点数が変化するため、誤差の評価式には式 (3) の値を使用した観測点数で除算した式 (4) を用いる。

$$f(x_0, y_0, A_0) = \frac{\sum_i (\hat{A}_i - A_i)^2}{n} \quad (4)$$

4 推定結果

提案法での推定結果を示す。推定対象には過去に実際に発生した中部、近畿地方における雷放電を用いた。発生時間帯は雑音の影響が小さい午前 5 時～午後 6 時までのものである。誤差は放電地点と推定位置の直線距離を表す。

表 1: 推定誤差の分布

誤差 [km]	放電数
~ 50	74
50 ~ 100	10
100 ~ 150	5
150 ~ 200	10
200 ~	8

5 推定結果の信頼性

本推定法には、推定を行う都度で使用観測点数が変化する特徴がある。推定結果を示した 107 サンプル中観測装置が精度良く作動し、実際の放電地点から 100km 以内の領域に最大観測値を受信した観測点が存在した 92 サンプルについて図 1、図 2 にそれぞれ推定位置から 100km 以内、200km 以内の観測点数と推定誤差との関係を示す。

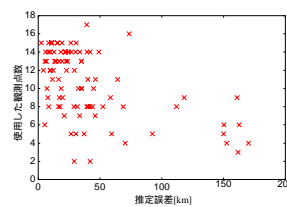
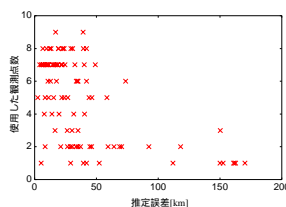


図 1: 100km 以内の観測点数と推定誤差の関係 図 2: 200km 以内の観測点数と推定誤差の関係

6 信頼性の指標

図 1、図 2 より信頼できる推定結果を誤差 50km 以内と考えた場合、推定結果の信頼性を示す指標として“推定位置より 200km の範囲に観測点が 7 個以上かつ 100km の範囲に観測点が 3 つ以上存在する”という条件が適切だと考えられる。またこの条件を満たすサンプルで推定誤差が 50km 以上だったものは 2 サンプルだけであった。この指標を用いた場合、2004 年 2 月 1 日現在で我々が有する正常に動作する観測点を用いて信頼できる推定結果を得られるのは図 3 に示す範囲である。またこの指標を満たすよう観測点を配置した場合、図 4 に示すような配置が理想的と考えられる。図 4 の配置で日本全土をカバーする場合、正方形の各頂点に配置した場合には約 100 個、正三角形では約 90 個の観測点が必要となる。

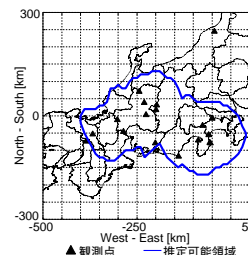


図 3: 推定可能領域

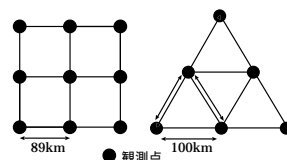


図 4: 理想の観測点配置

7 まとめ

本稿では推定方法の改善策を提案すると共に、推定を行う際に使用した観測点数と誤差の関係から推定結果の信頼性についての指標を示した。