

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4512790号  
(P4512790)

(45) 発行日 平成22年7月28日(2010.7.28)

(24) 登録日 平成22年5月21日(2010.5.21)

(51) Int. Cl. F I  
 GO 1 V 3/38 (2006.01) GO 1 V 3/38  
 GO 1 V 3/12 (2006.01) GO 1 V 3/12 C

請求項の数 2 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-302772 (P2007-302772)</p> <p>(22) 出願日 平成19年11月22日(2007.11.22)</p> <p>(65) 公開番号 特開2009-128151 (P2009-128151A)</p> <p>(43) 公開日 平成21年6月11日(2009.6.11)</p> <p>審査請求日 平成20年8月27日(2008.8.27)</p> <p>特許法第30条第1項適用 平成19年5月28日 社団法人 物理探査学会発行の「社団法人物理探査学会第116回学術講演会論文集(2007)」に発表</p> <p>特許法第30条第1項適用 平成19年10月6日 社団法人 物理探査学会発行の「社団法人物理探査学会第117回学術講演会論文集(2007)」に発表</p>	<p>(73) 特許権者 505374783                  独立行政法人 日本原子力研究開発機構                  茨城県那珂郡東海村村松4番地49</p> <p>(73) 特許権者 507386759                  日鉄鉦コンサルタント株式会社                  東京都千代田区丸の内二丁目3番2号</p> <p>(74) 代理人 100074631                  弁理士 高田 幸彦</p> <p>(72) 発明者 根木 健之                  岐阜県土岐市泉町定林寺959番地31                  独立行政法人日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター内</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地磁気地電流法における観測データの処理方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

地磁気地電流法における観測データの処理方法において、  
 見掛比抵抗と位相差における見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間には相関関係があることを基に観測誤差を推定して推定観測誤差を求め、この推定観測誤差に基づいて重みを導出し、

スペクトル・データの加重スタッキングは、加重スタッキング後にスタッキング結果の信頼性評価指標を導出するとともに仮想曲線を計算し、再び推定観測誤差と仮想曲線の両者を考慮に入れた上で重みを再決定する処理を繰り返すようにして行い、

見掛比抵抗曲線および位相差曲線の平滑化は、見掛比抵抗と位相差における見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間には相関関係があることを考慮して両者同一の連立方程式内で制約条件を構成することによって平滑曲線を得ることを特徴とする地磁気地電流法における観測データの処理方法。

【請求項2】

地磁気地電流法における観測データの処理装置において、  
 見掛比抵抗と位相差における見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間には相関関係があることを基に観測誤差を推定して推定観測誤差を求め、この推定観測誤差に基づいて重みを導出する手段と、

スペクトル・データの加重スタッキングを、加重スタッキング後にスタッキング結果の信頼性評価指標を導出するとともに仮想曲線を計算し、再び推定観測誤差と仮想曲線の両

者を考慮に入れた上で重みを再決定する処理を繰り返すように行う手段と、

見掛比抵抗曲線および位相差曲線の平滑化を、見掛比抵抗と位相差における見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間には相関関係があることを考慮して両者同一の連立方程式内で制約条件を構成することによって平滑曲線を得る手段とを備えたことを特徴とする地磁気地電流法における観測データの処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、地熱資源探査、金属・石油資源探査、活断層調査等に用いる地磁気地電流法における観測データの処理方法及び装置に関する。

10

【背景技術】

【0002】

地磁気地電流法(Magnetotelluric Method: MT法)は、地下数十mの浅部から数十km程度の深部までの比抵抗構造を推定する物理探査方法の1つであり、従来から、地熱資源探査、金属・石油資源探査、地震・火山防災のための活断層調査等の分野で用いられている。

【0003】

しかしながら、このMT法は、自然の電磁波を信号源としていることから、直流電流を用いる鉄道網が敷設されている地域や、市街地のように社会生活に伴って発生する電氣的ノイズが多い地域においては、高品質な観測データを安定して取得することが困難である

20

【0004】

特に、近年では、市街地の拡大や交通網の発達に伴う人工的なノイズの影響が大きい地域で観測する機会が多くなり、高品質な観測データを取得することが一層困難になっている。

【0005】

人工ノイズの影響が大きい地域においてMT法を行う場合には、特に強い磁気擾乱に伴い信号強度が高くなる特殊な時期を除いて可能な限り品質の高いデータを得るために、長期間の観測が必要となる。数日間測定して得られたデータは、技術者の経験に基づき、ノイズに侵されていると考えられるデータを排除した上でスタッキングを行い、より良いデータセットを作成するようにしている。通常、MT法では、ノイズの少ない夜間に測定を行い、これらを数十分割してフーリエ変換を行う。

30

【0006】

スタッキングは、測定時間の分割数が20スペクトル、周波数が80周波数であるときには、1日当たり1600個ものスペクトル・データの良否を判別して行うことになる。ノイズの少ないデータでは、データの分散や電場と磁場との相関等を基にしたオート・エディット・プログラム(例えば、ロシアEMRC社&カナダPhoenix Geophysics社)により、データセットを作成することが可能であるが、ノイズの影響が大きい場合には、この手法を適用することができず、技術者の経験を基にしたマニュアルでスタッキングを行ってデータセットを作成するのが現状である。

40

【0007】

【特許文献1】特開平5-323038号公報

【非特許文献1】社団法人 物理探査学会 第112回学術講演会論文集 (2005)

第223~226頁 「MT法データの信頼性評価に関する一考察」 根木健之ほか

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

MT法において、技術者の経験に基づくマニュアルでのスタッキングでは、時間がかかる上に作業する技術者の技量によって結果と品質が大きく左右される問題がある。

【0009】

50

そのため、ノイズの影響の大きい地域であっても、技術者の高い技量を必要とせず、高品質なデータセットを効率的かつ定常的に作成することができる自動化されたスタッキング手法の開発が望まれている。

【0010】

本発明の目的は、MT法において効率的かつ定常的に可能な限り高品質なデータセットを作成することができる観測データの処理方法及び装置を提供することにある。

【0011】

特に、高品質なデータセットを作成することができるスタッキング支援方法及び装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の地磁気地電流法における観測データの処理方法は、

見掛比抵抗と位相差における見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間には相関関係があることを基に観測誤差を推定して推定観測誤差を求め、この推定観測誤差に基づいて重みを導出し、

スペクトル・データの加重スタッキングは、加重スタッキング後にスタッキング結果の信頼性評価指標を導出するとともに仮想曲線を計算し、再び推定観測誤差と仮想曲線の両者を考慮に入れた上で重みを再決定する処理を繰り返すようにして行い、

見掛比抵抗曲線および位相差曲線の平滑化は、見掛比抵抗と位相差における見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間には相関関係があることを考慮して両者同一の連立方程式内で制約条件を構成することによって平滑曲線を得ることを特徴とする。

【0013】

また、本発明の地磁気地電流法における観測データの処理装置は、

見掛比抵抗と位相差における見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間には相関関係があることを基に観測誤差を推定して推定観測誤差を求め、この推定観測誤差に基づいて重みを導出する手段と、

スペクトル・データの加重スタッキングを、加重スタッキング後にスタッキング結果の信頼性評価指標を導出するとともに仮想曲線を計算し、再び推定観測誤差と仮想曲線の両者を考慮に入れた上で重みを再決定する処理を繰り返すように行う手段と、

見掛比抵抗曲線および位相差曲線の平滑化を、見掛比抵抗と位相差における見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間には相関関係があることを考慮して両者同一の連立方程式内で制約条件を構成することによって平滑曲線を得る手段とを備えたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、MT法において、効率的かつ定常的に可能な限り高品質なデータセット、特にスタッキングデータを作成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

MT法では、東西、南北2方向の電場と、東西、南北、鉛直3方向の磁場を測定することで、地下数十mから数十kmまでの比抵抗構造を把握する。測定は、通常、夜間に自動測定で行い、電場、磁場の5成分の時系列データを取得する。また、通常、得られたデータのノイズを低減するために、比抵抗の情報を知りたい地点での測定の他に、数百km離れたノイズの少ない地点にて同一時間(時刻)に、東西、南北2方向の磁場の測定を行ってリファレンス・データ(参照データ)を取得する。リファレンス点を加えた時系列データ7成分は、フーリエ変換にて周波数領域に変換し、リファレンス・データとともに、各スペクトルを掛け合わせ、相互相関スペクトルと自己相関スペクトルを得る。これにより、対角項を自己相関スペクトル、対角項以外が相互相関スペクトルの実部と虚部で構成される7行7列のスペクトル行列を構成することができる。このスペクトル行列の各要素から一定の公式により、見掛比抵抗および位相差を求める。一般に、横軸に対数周波数、縦

10

20

30

40

50

軸に対数見掛比抵抗を示したものを見掛比抵抗曲線と呼び、横軸に対数周波数、縦軸に位相差を示したものを位相差曲線と呼ぶ。

【 0 0 1 6 】

本発明における処理方法は、ノイズの多い地域においても、効率的且つ安定的に可能な限りノイズを低減することを目的として、時間帯毎に得られたスペクトル行列に最適な重み付けを行ってスタッキングするものである。

【 0 0 1 7 】

図 1 は、本発明における処理方法の流れを示すブロック図である。この処理方法は、技術者が経験に基づいてマニュアルでスタッキングを行う際の論理思考を基にして構成している。

10

【 0 0 1 8 】

図 1 において、スタッキングの前処理段階である各観測用センサーからの観測時系列データの取得と、取得した観測時系列データから各時間帯・各周波数帯のスペクトル・データを算出して記憶保持する処理は、従来と同様な処理方法で実現することができるので、具体的な説明は省略する。

【 0 0 1 9 】

処理段階 ( 1 ) , ( 2 ) は、各時間帯の観測データの推定観測誤差を基にスタッキングすることにより、見掛比抵抗および位相差曲線の概形を得る処理である。

【 0 0 2 0 】

処理段階 ( 3 ) は、スタッキング結果を基にして仮想曲線を算出する処理である。

20

【 0 0 2 1 】

処理段階 ( 4 ) は、算出した仮想曲線と当初の推定観測誤差を基にして、再スタッキングを行い、妥当性、連続性ともにバランスのとれた見掛比抵抗および位相差曲線へと編集していき、最終的に、信頼性評価指標が最良の加重スタッキング結果スペクトル・データを出力する処理である。

【 0 0 2 2 】

ここで、各時間帯・各周波数帯の観測誤差を推定するとともに、スペクトル・データに乗じる重みを算出するプログラム〔処理段階 ( 1 ) を実行するプログラム〕を説明する。

【 0 0 2 3 】

一般に、MT法における観測誤差は、複数回観測した結果 ( 観測データ ) の分散や標準偏差により求められるが、このような方法では、人工ノイズ等によって誤差の分布に偏りが見られるような場合に精度が低下する。

30

【 0 0 2 4 】

このため、MT法においては、長期観測等によってほぼ真値と考えられるデータを取得することができない限り、観測誤差を正確に知る方法はない。しかし、真値に近い観測データが有するいくつかの性質、すなわち、

( 1 ) 見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の相関が高い ( 見掛比抵抗と位相差の離散関係 ) 、

( 2 ) 見掛比抵抗および位相差曲線の連続性が良い、

( 3 ) 見掛比抵抗および位相差曲線のエラーバー ( 個々のデータの標準誤差範囲 ) が小さい、

40

等に基づいて、データにどの程度の観測誤差が含まれるかを算出 ( 推定 ) することができる。

【 0 0 2 5 】

発明者らが、比較的ノイズの少ない地点においてほぼ真値と考えられる観測データが取得されている長期観測データを調べたところ、前記性質 ( 1 ) ~ ( 3 ) の項目をそれぞれ、推定位相誤差、不連続性、エラーバーレベルとして数値化したものと観測誤差との間には比例関係があることが認められ、特に推定位相誤差との相関が極めて高いという結果が得られた。

【 0 0 2 6 】

50



$\overline{s(t, f)}$  : スタッキング前のスペクトル行列の要素平均

【0032】

スタッキング結果については、全周波数帯の平均的な推定観測誤差を算出し、これを見掛比抵抗の線形百分率に換算したものを信頼性評価指標として取り扱うようにする。

【0033】

次に、最適解と推定される仮想の見掛比抵抗曲線と位相差曲線を算出するとともに各時間帯の観測データとのフィッティングからスペクトル・データに乗じる重みを算出する処理プログラムを説明する。

10

【0034】

得られた加重スタッキング結果を基にして仮想見掛比抵抗曲線と仮想位相差曲線を算出(推定)する。この算出には、見掛比抵抗曲線と位相差曲線が持つ以下の特性を参照して最小二乗法を行う。

【0035】

特性(1) 見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間には高い相関関係がある((数3)式中の(イ))。

【0036】

特性(2) 見掛比抵抗曲線と位相差曲線は周波数方向に連続に変化する性質を持つ((数3)式中の(ウ))。

20

【0037】

特性(3) 見掛比抵抗曲線の傾斜は両対数グラフ上で45度を越えることはない((数3)式中の(エ))。

【0038】

上記特性(1)~(3)を基に、(数3)式に示す連立方程式を構成し、最小二乗的に解く。(数3)式は、式中の(ア),(ウ),(エ)の制約条件から、基本的には、曲線の平滑化を行うものとなる。しかし、従来の見掛比抵抗曲線および位相差の平滑化とは異なり、本発明における処理プログラムでは、制約条件(イ)があることから、見掛比抵抗曲線と位相差曲線は個別に平滑化されることはなく、見掛比抵抗曲線の対数周波数微分値と位相差の間の相関関係をできるだけ維持しつつ平滑化される。

30

【0039】

【数3】

$$\begin{pmatrix}
 \text{(ア)} \\
 \hline
 E \cdot W_E \\
 \hline
 \begin{matrix}
 \text{(イ-1)} & \text{(イ-2)} \\
 a \cdot \frac{d}{df} \cdot W_P & -E \cdot W_P
 \end{matrix} \\
 \hline
 \text{(ウ)} \\
 \frac{d^2}{df^2} \cdot W_S \\
 \hline
 \text{(エ)} \\
 \frac{d}{df} \cdot W_F
 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \rho_{a,1} \\ \rho_{a,2} \\ \rho_{a,3} \\ \vdots \\ p'_1 \\ p'_2 \\ p'_3 \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_{a1} \cdot W_{E1} \\ \rho_{a2} \cdot W_{E2} \\ \rho_{a3} \cdot W_{E3} \\ \vdots \\ p_1 \cdot W_{E1} \\ p_2 \cdot W_{E2} \\ p_3 \cdot W_{E3} \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \dots\dots \text{(数3)}$$

40

ここに、

E : 単位行列      a : 比抵抗構造定数      d/df : 微分項行列      d<sup>2</sup>/df<sup>2</sup> : 2階微分項行

50

列  $W_E$  : データの重み (品質から導出)  $W_P$  : 妥当性の重み  $W_S$  : スムーズネスの重み  $W_F$  : フラットネスの重み  $a$  : 見掛比抵抗実データ (対数)  $P$  : 位相差実データ (45° を差し引いた値)  $a'$  : スムージング後の見掛比抵抗 (対数)  $P'$  : スムージング後の位相差 (45° を差し引いた値)

(数3) 式を最小二乗法によって解くことにより算出した仮想曲線 (仮想見掛比抵抗曲線と仮想位相差曲線) を基に、(数4) 式から重みを算出する。

【0040】

【数4】

$$W_f = \frac{1}{(10^k - 1)} \quad \dots\dots (数4)$$

10

ここに、

$$k = 66^2 \cdot (\log_{10} (x_{y_p} / x_{y_d}))^2 + 66^2 \cdot (\log_{10} (y_{x_p} / y_{x_d}))^2 + (P_{x_{y_p}} - P_{x_{y_d}})^2 + (P_{y_{x_p}} - P_{y_{x_d}})^2$$

$x_{y_p}$  : 推定した仮想見掛比抵抗 (XYモード)  $x_{y_d}$  : 各時間帯の見掛比抵抗 (XYモード)  $y_{x_p}$  : 推定した仮想見掛比抵抗 (YXモード)  $y_{x_d}$  : 各時間帯の見掛比抵抗 (YXモード)  $P_{x_{y_p}}$  : 推定した仮想位相差 (XYモード)  $P_{x_{y_d}}$  : 各時間帯の位相差 (XYモード)  $P_{y_{x_p}}$  : 推定した仮想位相差 (YXモード)  $P_{y_{x_d}}$  : 各時間帯の位相差 (YXモード)  $W_f$  : 仮想曲線から導出した重み

20

次に、最終的に使用する重みを決定し、各時間帯のスペクトルの加重スタッキングを行うとともに出力結果のスペクトル・データの信頼性評価指標を算出する処理プログラムを説明する。

【0041】

従来のMT法におけるスペクトル・データのスタッキングでは、スタッキング結果の評価を行い、重みを修正するという方式はとられていなかった。

【0042】

本発明における処理プログラムでは、処理段階(1)および(3)で算出した重みを基に、(数5)式により最終的に使用する重みを決定する。なお、(数5)式中、 $\gamma$  は推定観測誤差による重みと仮想曲線による重みの何れを重視するかを示すパラメータであり、 $x_e$  および  $x_f$  は、高品質データと低品質データの重みの格差を示すパラメータである。

30

【0043】

【数5】

$$W = W_e^{x_e (1-\gamma)} \times W_f^{x_f \cdot \gamma} \quad \dots\dots (数5)$$

ここに、

$W$  : 再導出した重み  $W_e$  : 推定観測誤差から算出した重み  $W_f$  : 仮想曲線から算出した重み

40

(数5) 式中のパラメータ ( $\gamma$ ,  $x_e$ ,  $x_f$ ) は、(数6) 式を可能な限り小さくする組み合わせを探索した上で決定する。誤った曲線への無理なフィッティングを避けるため、 $\gamma$  と  $x_e$  および  $x_f$  の探索は、(3) から (4) の繰り返しの過程で、前半は一定値もしくは概略的な探索とし、信頼性評価指標が十分に収束したのちに詳細な探索を行うようにする。

【0044】

## 【数6】

$$\begin{aligned} \Phi(\gamma, x_e, x_f) = & 66^2 \cdot (\log_{10}(\rho_{xyp}/\rho_{xys}))^2 \\ & + 66^2 \cdot (\log_{10}(\rho_{yxp}/\rho_{yxs}))^2 \\ & + (P_{xyp} - P_{xys})^2 \\ & + (P_{yxp} - P_{yxs})^2 \quad \dots\dots (\text{数6}) \end{aligned}$$

ここに、

$\rho_{xyp}$  : 算出した仮想見掛比抵抗 (XYモード)       $\rho_{xys}$  : スタッキング後の見掛比抵抗 (XYモード)  
 $\rho_{yxp}$  : 算出した仮想見掛比抵抗 (YXモード)       $\rho_{yxs}$  : スタッキング後の見掛比抵抗 (YXモード)  
 $P_{xyp}$  : 算出した仮想位相差 (XYモード)       $P_{xys}$  : スタッキング後の位相差 (XYモード)  
 $P_{yxp}$  : 算出した仮想位相差 (YXモード)       $P_{yxs}$  : スタッキング後の位相差 (YXモード)

決定した重みを基に (数2) 式によりスペクトル・データを加重スタッキングした後に信頼性評価指標を算出する。

## 【実施例1】

## 【0045】

図2は、本発明の地磁気地電流法による観測データ処理装置の実施例1を示す模式図である。

## 【0046】

地下の比抵抗に関する主たるパラメータは、見掛比抵抗と位相差である。この見掛比抵抗と位相差を算出するために、南北 (X) 方向の電場を観測するための南北方向電場観測用センサー1a, 1bと東西 (Y) 方向の電場を観測するための東西方向電場観測用センサー2a, 2bと、南北 (X) 方向の磁場を観測するための南北方向磁場観測用センサー3aと東西 (Y) 方向の磁場を観測するための東西方向磁場観測用センサー3bと垂直 (Z) 方向の磁場を観測するための垂直方向磁場観測用センサー3cとを地中に埋設する。

## 【0047】

電場観測用センサー1a ~ 2bは、それぞれ、図3に示すように、地面6に掘った埋設穴6aの底部にベントナイト7を敷き、その上に電場観測用センサー1a (~ 2b) を載置した後に埋め戻すようにして埋設する形態であり、南北方向に任意の間隔で設置し、東西方向に任意の間隔で設置する。

## 【0048】

磁場観測用センサー3a, 3bは、それぞれ、図4(a)に示すように、地面6に形成した横長の埋設穴6bの底部に磁場観測用センサー3a (3b) を南北方向と東西方向に水平状態に置いて埋め戻して埋設する形態であり、磁場観測用センサー3cは、図3(b)に示すように、地面6に形成した縦長の埋設穴6cに磁場観測用センサー3cを垂直状態に置いて埋め戻して埋設する形態である。

## 【0049】

各観測用センサー1a ~ 3cから導出した信号線1a<sub>1</sub> ~ 3c<sub>1</sub>は、信号処理装置8の信号入力端子に接続する。信号処理装置8は、自動車用蓄電池9から受電して稼動するような構成とすることにより観測地点を移動しての観測が便利になる。

## 【0050】

図5は、前記信号処理装置8の構成を示すブロック図である。この信号処理装置8は、パーソナルコンピュータを使用して構成したものであり、中央演算処理装置 (CPU) 801を中心にして、バス802で接続されたメモリ803, 入出力回路804, 表示装置805, キーボードやマウス等の入力装置806を備える。

## 【0051】

図6は、前記メモリ803の構成を示すブロック図である。このメモリ803は、ROMやRAM及び磁気ディスク記憶装置等で構成した記憶装置であって、処理プログラムや各種のデータを記憶する各種の記憶部を備える。



## 【 0 0 5 2 】

このメモリ 8 0 3 において各種のデータを記憶する記憶部において、8 0 3 a は観測データ記憶部、8 0 3 b は見掛比抵抗・位相差曲線データ記憶部、8 0 3 c は推定観測誤差データ記憶部、8 0 3 d はデータ重みデータ記憶部、8 0 3 e は加重スタッキングデータ記憶部、8 0 3 f はフィッティング結果データ記憶部、8 0 3 g は加重スタッキング結果スペクトルデータ記憶部、8 0 3 h は加重スタッキング後見掛比抵抗曲線・位相差曲線データ記憶部、8 0 3 i は信頼性評価指標データ記憶部、8 0 3 j は仮想見掛比抵抗曲線・仮想位相差曲線データ記憶部、8 0 3 k は仮想曲線参照重みデータ記憶部である。

## 【 0 0 5 3 】

この実施例 1 における観測データのスタッキング処理を図 7 a ~ 図 7 d を参照して説明する。このスタッキング処理は、主として、信号処理装置 8 の中央演算処理装置 8 0 1 とメモリ 8 0 3 が協働して実行する処理である。

10

## 【 0 0 5 4 】

## ステップ 1 0 1

観測データである対角項を自己相関スペクトル、対角項以外が相互相関スペクトルの実部と虚部で構成される 7 行 7 列のスペクトル行列をメモリ 8 0 3 の観測データ記憶部 8 0 3 a から読み出してこの処理ルーチンに入力する。

## 【 0 0 5 5 】

## ステップ 1 0 2

入力したスペクトル行列の各要素から一定の公式により、各時間帯の見掛比抵抗および位相差を求め、横軸に対数周波数、縦軸に対数見掛比抵抗を示した見掛比抵抗曲線と、横軸に対数周波数、縦軸に位相差を示した位相差曲線を作成する。

20

## 【 0 0 5 6 】

## ステップ 1 0 3

作成した各時間帯の見掛比抵抗曲線と位相差曲線のデータをメモリ 8 0 3 の見掛比抵抗・位相差曲線記憶部 8 0 3 b に記憶する。

## 【 0 0 5 7 】

## ステップ 1 0 4

性質 ( 1 ) ~ ( 3 ) の項目をそれぞれ、推定位相誤差、不連続性、エラーレベルとして数値化したものと観測誤差との間には比例関係があることが認められ、特に推定位相誤差との相関が極めて高いという結果が得られることから、これらの指標 ( 見掛比抵抗と位相差の離散関係 ) から各時間帯・各周波数の推定観測誤差を算出する。

30

## 【 0 0 5 8 】

## ステップ 1 0 5

算出した各時間帯・周波数帯の推定観測誤差をメモリ 8 0 3 の推定観測誤差データ記憶部 8 0 3 c に記憶する。

## 【 0 0 5 9 】

## ステップ 1 0 6

( 数 1 ) を実行して各時間帯・周波数帯のスペクトル・データの重み  $W_e$  を算出する。

## 【 0 0 6 0 】

## ステップ 1 0 7

算出した各時間帯・周波数帯のスペクトル・データの重み  $W_e$  をメモリ 8 0 3 のデータ重みデータ記憶部 8 0 3 d に記憶する。

40

## 【 0 0 6 1 】

## ステップ 1 0 8

重みを決定するための算出処理に使用する ( 数 5 ) 式のパラメータ ( 推定観測誤差による重みと仮想曲線による重みの何れを重視するかを示すパラメータ、高品質データと低品質データの重みの格差を示すパラメータ  $x_e$  および  $x_f$  ) を入力装置 8 0 6 からの入力に基づいて取得する。

## 【 0 0 6 2 】

50

ステップ 109

重みを決定する。この処理の具体的なルーチンを図 7 d を参照して説明する。

【0063】

ステップ 109 a

仮想曲線を基に算出したスペクトル・データの重み ( $W_f$ ) があるかどうかを確認して処理を分岐する。

【0064】

ステップ 109 b

(数 6) 式を可能な限り小さくする組み合わせを算出してパラメータ ( $\alpha$ ,  $X_e$ ,  $X_f$ ) を決定する処理の開始処理であり、1つの組み合わせを設定して以下の処理に移る。

10

【0065】

ステップ 109 c

各時間帯・各周波数帯のスペクトル・データを観測データ記憶部 803 a から読み出す。

ステップ 109 d

最適解と推定される仮想見掛比抵抗曲線・仮想位相曲線データ ((数 3) 式における左辺の  $a'$ ,  $P'$ ) を仮想見掛比抵抗曲線・仮想位相差曲線データ記憶部 803 j から読み出す。

【0066】

ステップ 109 e

推定観測誤差による重み  $W_e$  と仮想曲線による重み  $W_f$  と、重み決定パラメータを基に (数 5) 式を使用してスペクトル・データの重み  $W$  を算出する。

20

【0067】

ステップ 109 f

算出した重み ( $W$ ) をデータ重みデータ記憶部 803 d に記憶する。

【0068】

ステップ 109 g

スペクトル・データを (数 2) 式を実行して加重スタッキングして加重スタッキング結果スペクトルデータ ( $S_{(f)}$ ) を得る。

【0069】

ステップ 109 h

加重スタッキング結果スペクトルデータ ( $S_{(f)}$ ) を加重スタッキングデータ記憶部 803 e に記憶する。

30

【0070】

ステップ 109 i

加重スタッキング結果スペクトルデータ ( $S_{(f)}$ ) を一般公式により見掛比抵抗曲線及び位相差曲線に変換する。

【0071】

ステップ 109 j

変換した見掛比抵抗曲線及び位相差曲線データを見掛比抵抗・位相差曲線データ記憶部 803 b に記憶する。

40

【0072】

ステップ 109 k

仮想曲線と変換後の見掛比抵抗曲線及び位相差曲線とのフィッティング (数 6) を実行する。

【0073】

ステップ 109 m

フィッティング結果 ( $\alpha$ ,  $X_e$ ,  $X_f$ ) をフィッティング結果データ記憶部 803 f に記憶する。

【0074】

50

- ステップ 1 0 9 n  
 フィッティング結果は本処理ルーチンの中で最良かどうかを判定して処理を分岐する。
- 【 0 0 7 5 】  
 ステップ 1 0 9 p  
 算出した重み  $W$  を  $W_{b e s t}$  とする。
- 【 0 0 7 6 】  
 ステップ 1 0 9 q  
 ( 数 6 ) 式を可能な限り小さくする組み合わせを算出してパラメータ (  $\quad$  ,  $X_e$  ,  $X_f$  ) を決定するためのパラメータの 1 つの組み合わせの処理の終了であり、他の総ての組み合わせの処理が終了するまで処理ステップ 1 0 9 b に戻る。 10
- 【 0 0 7 7 】  
 ステップ 1 0 9 r  
 重み  $W_{b e s t}$  を重み  $W$  として決定する。
- 【 0 0 7 8 】  
 ステップ 1 0 9 s  
 推定観測誤差から算出した重み  $W_e$  を重み  $W$  として決定する。
- 【 0 0 7 9 】  
 ステップ 1 0 9 t  
 決定した重み  $W$  を出力する。
- 【 0 0 8 0 】 20  
 ステップ 1 1 0  
 決定した重み  $W$  をデータ重みデータ記憶部 8 0 3 d に記憶する。
- 【 0 0 8 1 】  
 ステップ 1 1 1  
 決定した重み  $W$  を使用して ( 数 2 ) 式を実行することにより各時間帯・周波数帯のスペクトル・データの加重スタッキングを実行する。
- 【 0 0 8 2 】  
 ステップ 1 1 2  
 加重スタッキング結果スペクトルデータを加重スタッキング結果スペクトルデータ記憶部 8 0 3 g に記憶する。 30
- 【 0 0 8 3 】  
 ステップ 1 1 3  
 加重スタッキング結果スペクトルデータを見掛比抵抗曲線と位相差曲線に変換する。
- 【 0 0 8 4 】  
 ステップ 1 1 4  
 加重スタッキング結果スペクトルデータの見掛比抵抗曲線と位相差曲線のデータを加重スタッキング結果後見掛比抵抗・位相差曲線データ記憶部 8 0 3 h に記憶する。
- 【 0 0 8 5 】 40  
 ステップ 1 1 5  
 信頼性評価指標を算出する。この信頼性評価指標の算出は、スタッキング結果スペクトルデータの見掛比抵抗と位相差を既知の手法 ( 社団法人 物理探査学会 第 1 1 2 回 学術講演会 論文集 ( 2 0 0 5 ) 第 2 2 3 ~ 2 2 6 頁 「 M T 法データの信頼性評価に関する一考察 」 ) に基づいて実行する。
- 【 0 0 8 6 】  
 ステップ 1 1 6  
 算出した信頼性評価指標を信頼性評価指標データ記憶部 8 0 3 i に記憶する。
- 【 0 0 8 7 】  
 ステップ 1 1 7  
 信頼性評価指標が十分に収束しているかどうかを判断して処理を分岐する。
- 【 0 0 8 8 】 50

## ステップ 1 1 8

加重スタッキング結果を基に、見掛比抵抗と位相差の離散関係を参照して、最適解として使用する仮想見掛比抵抗曲線と仮想位相差曲線（（数 3）式の左辺の（ $\alpha'$ ,  $P'$ ））を算出する。この算出は、見掛比抵抗曲線と位相差曲線が持つ特性（特性（1）～（3））を考慮し、最小二乗法で実行する。具体的には、特性（1）～（3）を基に、（数 3）式を構成して最小二乗的に解くことにより実行する。

【 0 0 8 9 】

## ステップ 1 1 9

算出した仮想見掛比抵抗曲線と仮想位相差曲線のデータを仮想見掛比抵抗曲線・仮想位相差曲線データ記憶部 8 0 3 j に記憶する。

10

【 0 0 9 0 】

## ステップ 1 2 0

仮想曲線と各時間帯の実曲線とのフィッティング（（数 4）式における  $k$  として使用）を実行する。

【 0 0 9 1 】

## ステップ 1 2 1

フィッティング結果（（数 4）式における  $k$  として使用）をフィッティング結果データ記憶部 8 0 3 f に記憶する。

【 0 0 9 2 】

## ステップ 1 2 2

フィッティング結果を使用して（数 4）式を実行することにより、各時間帯・周波数帯のスペクトル・データの重み（ $W_f$ ）を算出する。

20

【 0 0 9 3 】

## ステップ 1 2 3

算出した重み（ $W_f$ ）をデータ重みデータ記憶部 8 0 3 d に記憶する。

【 0 0 9 4 】

信頼性評価指標が十分に収束するまでステップ 1 0 9 ~ 1 2 3 を繰り返し、十分に収束した後に次のステップ 1 2 4 に移る。

【 0 0 9 5 】

## ステップ 1 2 4

加重スタッキング結果スペクトル・データを出力する。

30

【 0 0 9 6 】

このようなスタッキング処理を実行することにより、次のような結果が得られる。

【 0 0 9 7 】

図 8 に示す特性曲線は、ある測定点において取得されたスペクトル・データを単純スタッキングしたときの見掛比抵抗曲線図（a）と位相差曲線図（b）である。見掛比抵抗と位相差の離散関係、曲線の連続性はともに著しく低く、エラーバーも大きい。このときの信頼性評価指標は 5 4 4 % である。

【 0 0 9 8 】

図 9 に示す曲線は、従来のオート・エディット・プログラムによるスタッキング結果を示す見掛比抵抗曲線図（a）と位相差曲線図（b）である。単純スタッキング結果よりも若干改善しているが、信頼性評価指標は 4 6 2 % であり、改善幅は小さい。

40

【 0 0 9 9 】

図 10 に示す曲線は、本測定点のスペクトル・データに対して、本実施例の方法を適用したときのデータの改善状況を示す曲線図（見掛比抵抗曲線図と位相差曲線図）である。

【 0 1 0 0 】

（a）は、算出した推定観測誤差を基にして加重スタッキングを行った結果であり、図 1 に示した処理段階（1）、（2）の処理に対応する。見掛比抵抗と位相差の離散関係、曲線の連続性はともに改善が認められ、エラーバーも小さくなっている。信頼性評価指標は 3 9 7 % まで低減している。

50

## 【 0 1 0 1 】

( b ) は、得られたスタッキング結果を基に仮想の見掛比抵抗曲線と位相差曲線を算出した結果であり、図 1 に示した処理段階 ( 3 ) に対応する。

## 【 0 1 0 2 】

( c ) は、推定観測誤差と仮想曲線を参照して加重スタッキングを行った結果であり、図 1 に示した処理段階 ( 3 ) , ( 4 ) の処理に対応する。信頼性評価指標は 2 4 3 % まで低減している。

## 【 0 1 0 3 】

( d ) は、信頼性が向上したスタッキング結果を基に再度仮想の見掛比抵抗曲線と位相差曲線を算出した結果であり、図 1 に示した処理段階 ( 3 ) の処理に対応する。

10

## 【 0 1 0 4 】

そして、処理段階 ( 3 ) , ( 4 ) の試行を繰り返すことにより、最終的に ( e ) に示す処理結果が得られる。信頼性評価指標は 1 5 1 % まで低減され、当初の単純スタッキング結果と比して 3 分の 1 以下にまで低減することができた。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 1 0 5 】

【 図 1 】 本発明における処理方法の流れを示すブロック図である。

【 図 2 】 本発明の地磁気地電流法による観測データ処理装置の実施例 1 を示す模式図である。

【 図 3 】 電場観測用センサーの埋設状態を示す縦断側面図である。

20

【 図 4 】 磁場観測用センサーの埋設状態を示す縦断側面図である。

【 図 5 】 信号処理装置の構成を示すブロック図である。

【 図 6 】 メモリの構成を示すブロック図である。

【 図 7 a 】 スペクトル・データのスタッキング処理の一部を示すフローチャートである。

【 図 7 b 】 スペクトル・データのスタッキング処理の他の一部を示すフローチャートである。

【 図 7 c 】 スペクトル・データのスタッキング処理の更に他の一部を示すフローチャートである。

【 図 7 d 】 スペクトル・データの重みを決定する処理のフローチャートである。

【 図 8 】 ある測定点において取得されたスペクトル・データを単純スタッキングしたときの見掛比抵抗曲線図 ( a ) と位相差曲線図 ( b ) である。

30

【 図 9 】 従来のオート・エディット・プログラムによるスタッキング結果を示す見掛比抵抗曲線図 ( a ) と位相差曲線図 ( b ) である。

【 図 1 0 】 スペクトル・データに対して、本実施例の方法を適用したときのデータの改善状況を示す曲線図 ( 見掛比抵抗曲線図と位相差曲線図 ) である。

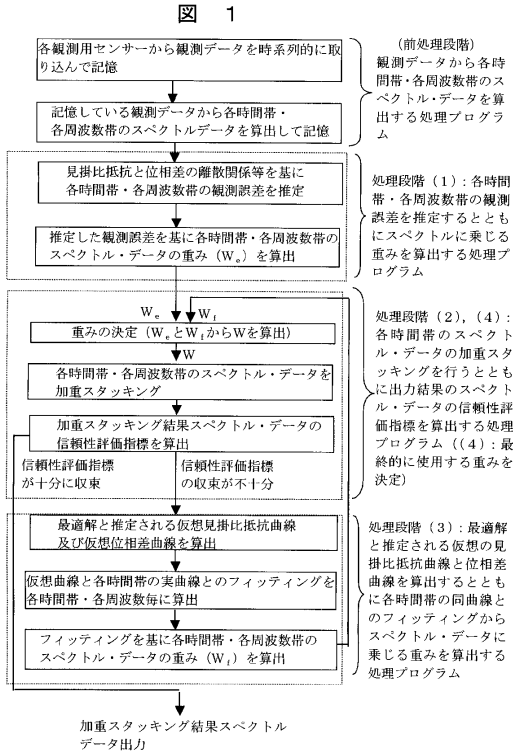
## 【 符号の説明 】

## 【 0 1 0 6 】

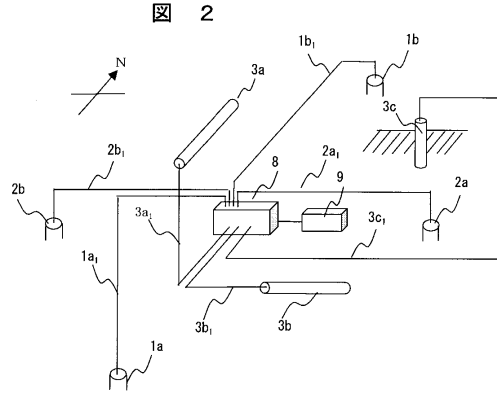
1 a , 1 b ... 南北方向電場観測用センサー、 2 a , 2 b ... 東西方向電場観測用センサー、 3 a ... 南北方向磁場観測用センサー、 3 b ... 東西方向磁場観測用センサー、 3 c ... 垂直方向磁場観測用センサー 3 c、 8 ... 信号処理装置、 9 ... 自動車用蓄電池、 8 0 1 ... 中央演算処理装置 ( C P U )、 8 0 2 ... バス、 8 0 3 ... メモリ、 8 0 4 ... 入出力回路、 8 0 5 ... 表示装置 8 0 5、 8 0 6 ... 入力装置、 8 0 3 a ... 観測データ記憶部、 8 0 3 b ... 見掛比抵抗・位相差曲線データ記憶部、 8 0 3 c は ... 定観測誤差データ記憶部、 8 0 3 d ... データ重みデータ記憶部、 8 0 3 e ... 加重スタッキングデータ記憶部、 8 0 3 f ... フィッティング結果データ記憶部、 8 0 3 g ... 加重スタッキング結果スペクトルデータ記憶部、 8 0 3 h ... 加重スタッキング後見掛比抵抗曲線・位相差曲線データ記憶部、 8 0 3 i ... 信頼性評価指標データ記憶部、 8 0 3 j ... 仮想見掛比抵抗曲線・仮想位相差曲線データ記憶部、 8 0 3 k ... 仮想曲線参照重みデータ記憶部。

40

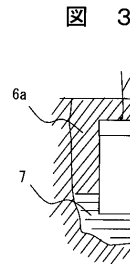
【図1】



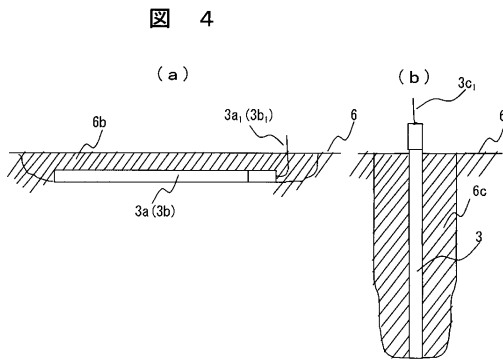
【図2】



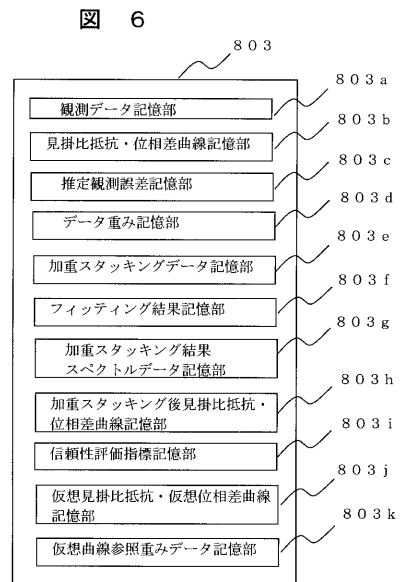
【図3】



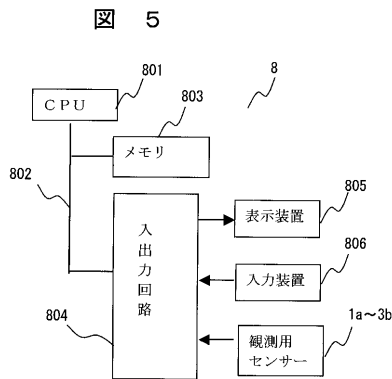
【図4】



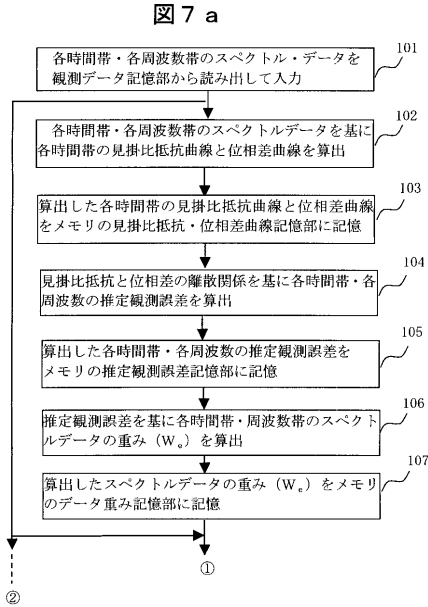
【図6】



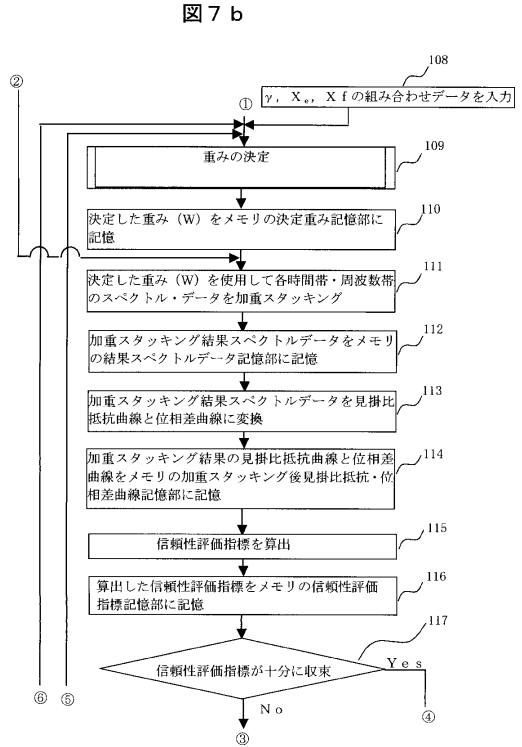
【図5】



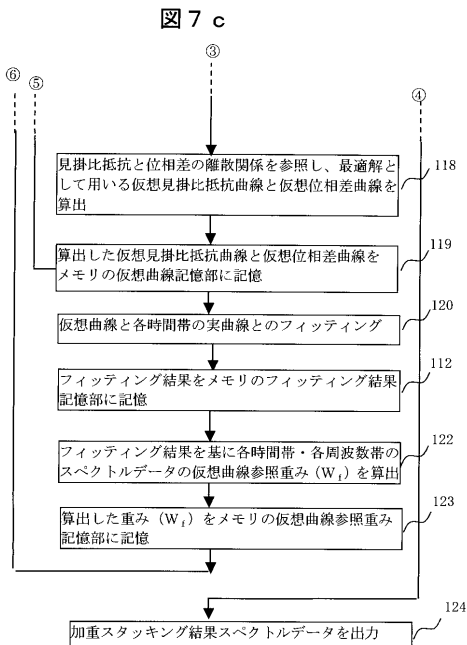
【図7a】



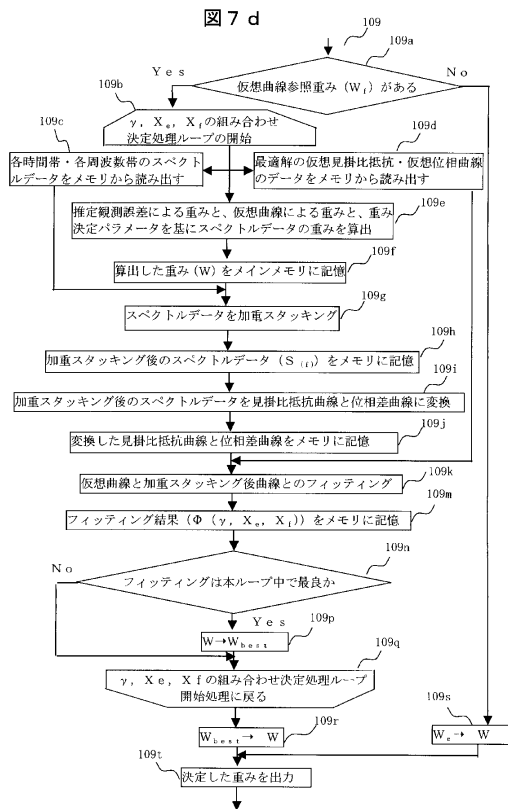
【図7b】



【図7c】

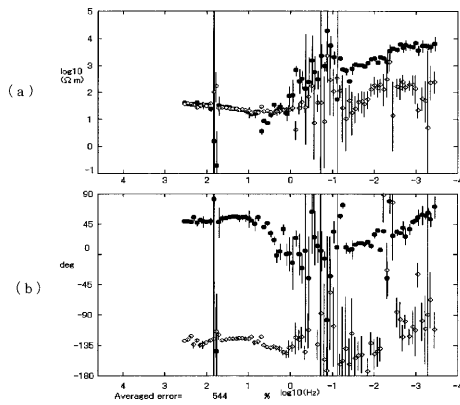


【図7d】



【 図 8 】

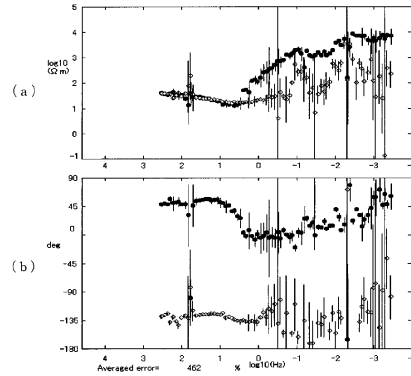
図 8



(a) : 見掛け抵抗曲線図 (横軸 : 対数周波数, 縦軸 : 対数見掛け抵抗)  
 (b) : 位相差曲線図 (横軸 : 対数周波数, 縦軸 : 位相差)  
 ● : XY モード (南北電場と東西磁場から算出した見掛け抵抗と位相差)  
 ○ : YX モード (東西電場と南北磁場から算出した見掛け抵抗と位相差)

【 図 9 】

図 9



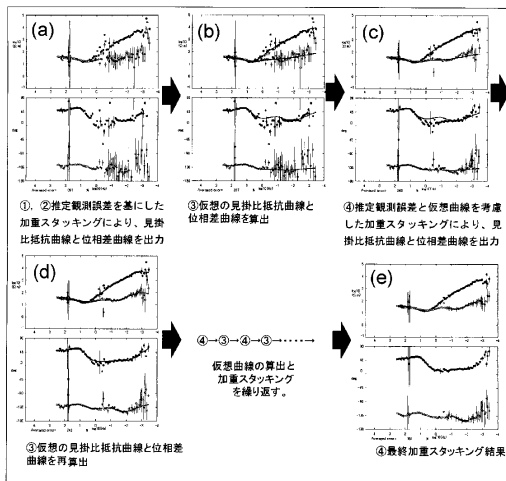
従来のオート・エディット・プログラムを用いたスタッキング結果

(ロシア EMRC 社&カナダ Phoenix Geophysics 社)

(a) : 見掛け抵抗曲線図 (横軸 : 対数周波数, 縦軸 : 対数見掛け抵抗)  
 (b) : 位相差曲線図 (横軸 : 対数周波数, 縦軸 : 位相差)  
 ● : XY モード (南北電場と東西磁場から算出した見掛け抵抗と位相差)  
 ○ : YX モード (東西電場と南北磁場から算出した見掛け抵抗と位相差)

【 図 10 】

図 10



処理の流れと結果

(a)~(e)各図上側 : 見掛け抵抗曲線図 (横軸 : 対数周波数, 縦軸 : 対数見掛け抵抗)  
 (a)~(e)各図下側 : 位相差曲線図 (横軸 : 対数周波数, 縦軸 : 位相差)  
 ● : XY モード (南北電場と東西磁場から算出した見掛け抵抗と位相差)  
 ○ : YX モード (東西電場と南北磁場から算出した見掛け抵抗と位相差)



## フロントページの続き

- (72)発明者 梅田 浩司  
岐阜県土岐市泉町定林寺959番地31  
機構 東濃地科学センター内 独立行政法人日本原子力研究開発
- (72)発明者 浅森 浩一  
北海道天塩郡幌延町北進432番2  
機構 幌延深地層研究センター内 独立行政法人日本原子力研究開発
- (72)発明者 松尾 公一  
東京都港区芝四丁目2番3号  
社内 日鉄鉱コンサルタント株式会社

審査官 高見 重雄

- (56)参考文献 特開平05-323038(JP,A)  
特開2004-347541(JP,A)  
特開2009-074953(JP,A)  
特開昭63-293486(JP,A)  
特開平04-174390(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01V 3/38  
G01V 3/12