

2013年度 観測実習 電磁気

修士1年 荒諒理, 高木悠, 山内初希
上嶋先生, 小山先生



電磁気班集合写真

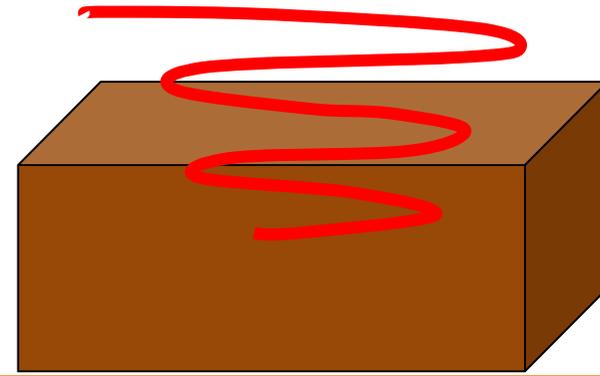
目的

- MT法の基礎(1次元比抵抗構造の推定法)を学ぶ。
- 観測の手順を学ぶ。
- 実際に火山域でMT観測を行い、電磁場データを取得する。
- 取得したデータを解析して、電場と磁場の周波数応答(インピーダンス)を求める。
- 1次元構造から計算される理論周波数応答と観測値を比較することによって、構造推定を試みる。
- 得られた結果について考察する。

MT法の原理

概要

1. 電離層や磁気圏などを起源とする電磁場変動を地上で観測。



$$E_x(\text{地表}) \quad H_y(\text{地表})$$

2. 電磁場間周波数応答関数 Z_{xy} を求める。

$$Z_{xy}(\text{地表}) = \frac{E_x(\text{地表})}{H_y(\text{地表})} = f(\omega; \rho(z))$$

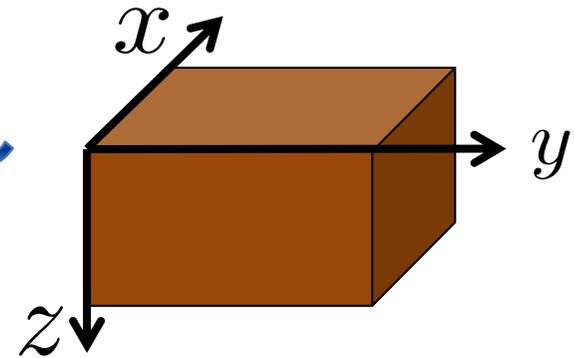
$\rho(z)$: 比抵抗

3. 大地の比抵抗を推定する。

逆問題

$$\rho_{\text{推定}}(z)$$

Z_{xy} の具体的な形 ～一様大地～



- 基礎方程式

$$\nabla \times \mathbf{H} = (i\omega\epsilon + \sigma) \mathbf{E} \quad : \text{アンペールの法則}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -i\omega\mu\mathbf{H} \quad : \text{ファラデーの法則}$$

↓

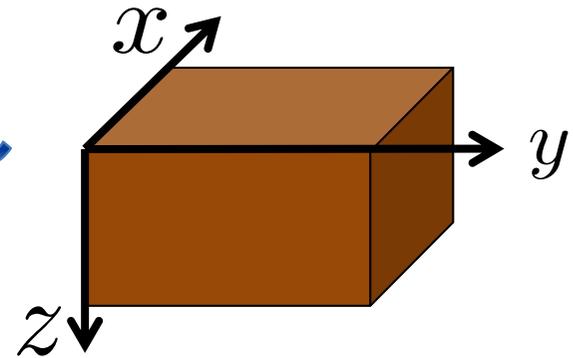
$$\nabla^2 \mathbf{E} = i\omega\mu\sigma \mathbf{E}$$

- E_x について書き下すと... $\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = i\omega\mu\sigma E_x$

- 一般解

$$E_x(z) = A [Re^{kz} + e^{-kz}] \quad k = \sqrt{i\omega\mu\sigma}$$

Z_{xy} の具体的な形 ~一様大地~



- 一般解 $E_x(z) = A [Re^{kz} + e^{-kz}]$
- 境界条件 $z \rightarrow \infty$ で $E_x \rightarrow 0$



$$E_x(z) = E_x(0)e^{-kz}$$

$d_s = 1/\text{Re}[k]$ で 1/e に
周期 1s、比抵抗
100Ωm で 5km くらい

- 磁場 $H_y(z) = -\frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial E_x}{\partial z} = \sqrt{\frac{\sigma}{i\omega\mu}} E_x(0)e^{-kz}$

- インピーダンス

$$Z_{xy}(0) = \frac{E_x(0)}{H_y(0)} = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma}} = \sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}} e^{i\frac{\pi}{4}}$$

- 見かけ比抵抗

$$\rho_a = \frac{|Z_{xy}(0)|^2}{\omega\mu}$$

電場と磁場
は位相が
45° ずれる

Z_{xy} の具体的な形 ~ 多層構造 ~

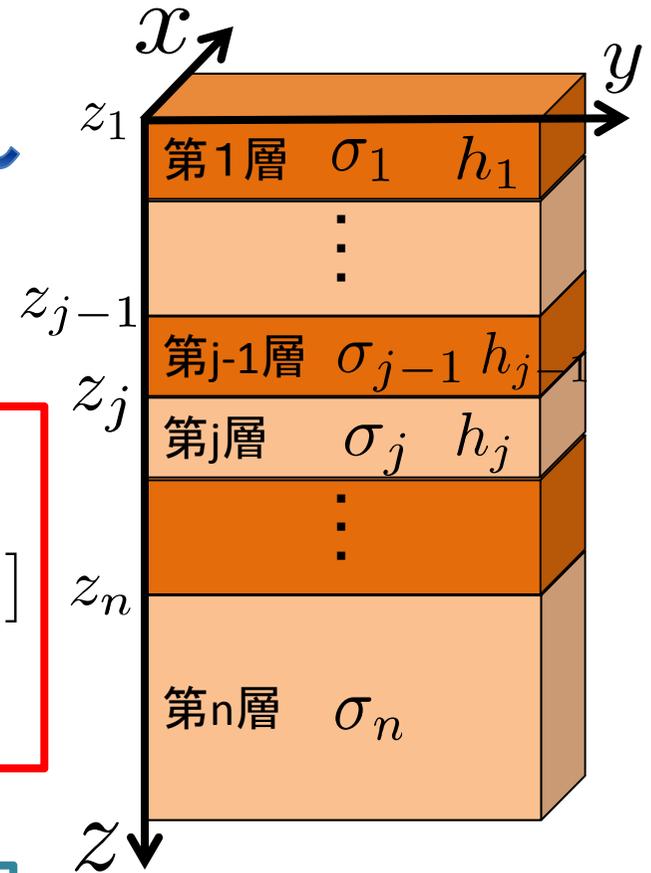
- 方程式 (第j層) $\frac{\partial^2 E_x^{(j)}}{\partial z^2} = i\omega\mu\sigma_j E_x^{(j)}$

- 一般解

$$E_x^{(j)}(z) = A_j [R_j e^{k_j z} + e^{-k_j z}]$$

$$H_y^{(j)}(z) = -\frac{k_j}{i\omega\mu} A_j [R_j e^{k_j z} - e^{-k_j z}]$$

$$k_j = \sqrt{i\omega\mu\sigma_j}$$



- 境界条件

$z \rightarrow \infty$ で $E_x \rightarrow 0$ \longrightarrow $R_n = 0$

$z = z_j$ でインピーダンスが等しい ($Z_{xy}(z = z_j^+) = Z_{xy}(z = z_j^-)$)



$$R_{j-1} = e^{-2k_{j-1}h_{j-1}} \frac{k_{j-1} - k_j + R_j(k_{j-1} + k_j)}{k_{j-1} + k_j + R_j(k_{j-1} - k_j)}$$

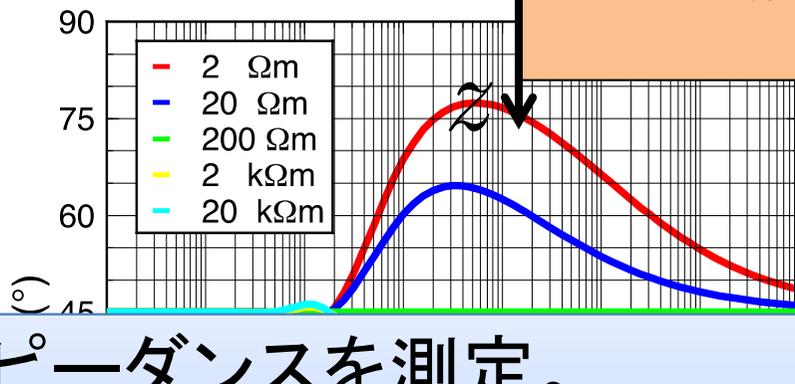
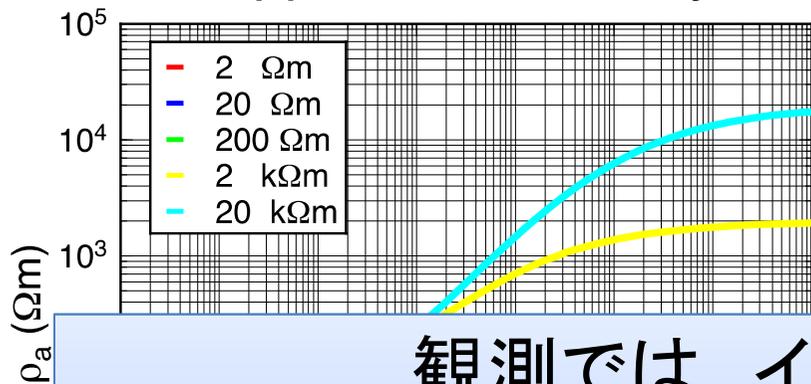
2014/7/9 $n, n-1, \dots, 1$ と順に R_j が求まる。

Z_{xy} の具体的な形 ~多層構造~

- インピーダンス

$$Z_{xy}(0) = \frac{E_x^{(1)}(0)}{H_y^{(1)}(0)} = \frac{1}{k_1} \frac{1 + R_1}{1 - R_1}$$

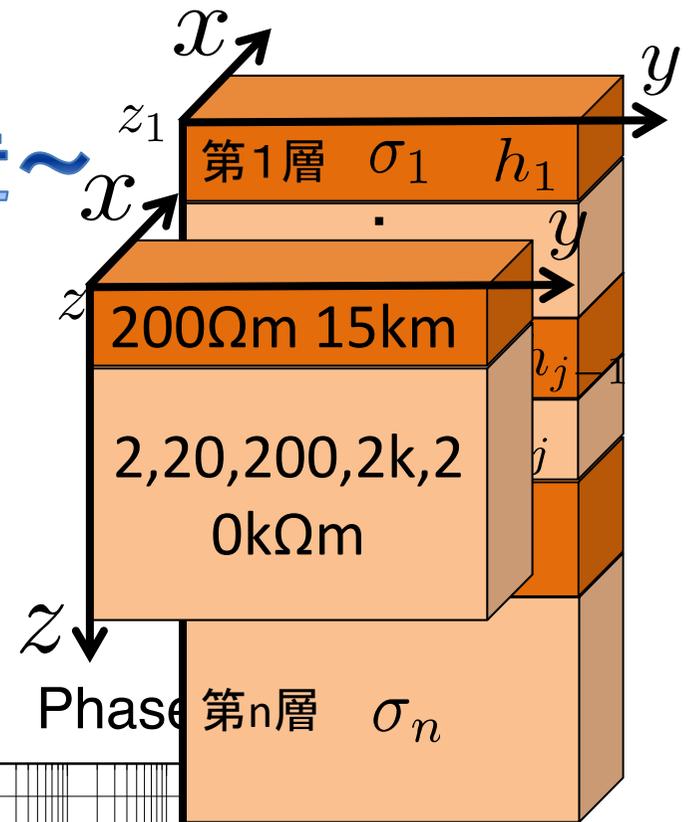
- 例えば、2層構造では、
Apparent Resistivity



観測では、インピーダンスを測定。



逆問題を解いて、地下構造(比抵抗、層の厚さ)を推定。



f (s)

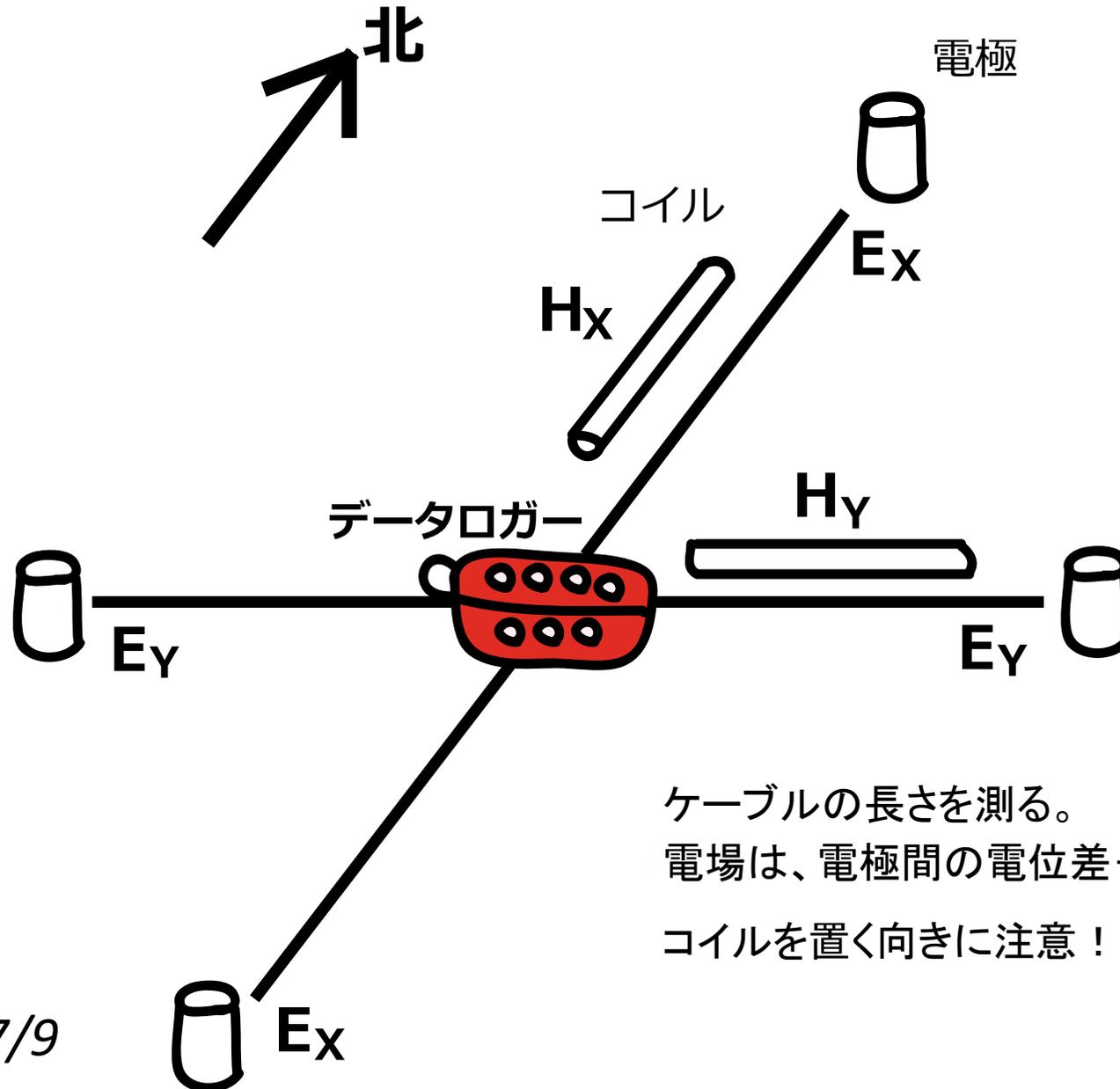
f (s)

観測

手順

- ① 電極とコイルを埋める場所を決める。
- ② 電極とコイルを埋める。
- ③ 各端点からの電位コネクタを、データロガーに間違えないように接続する。
- ④ 接地抵抗と自然電位を測る。
- ⑤ 本体を起動させて、観測を開始する。

MT観測の概念図



ケーブルの長さを測る。
電場は、電極間の電位差÷距離で測る。
コイルを置く向きに注意！

実際に観測へ行ってきました①

2013年7月31日～8月1日の間
群馬県草津白根山でMT観測を
行いました。



実際に観測へ行ってきました②

1. 東工大観測所そば



2. 噴気そば



背負子を背負って
てくてく移動・・・

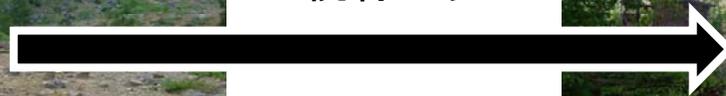
2014/7/9

実際に観測へ行ってきました③

電極を埋める位置決めのようす



視線の先

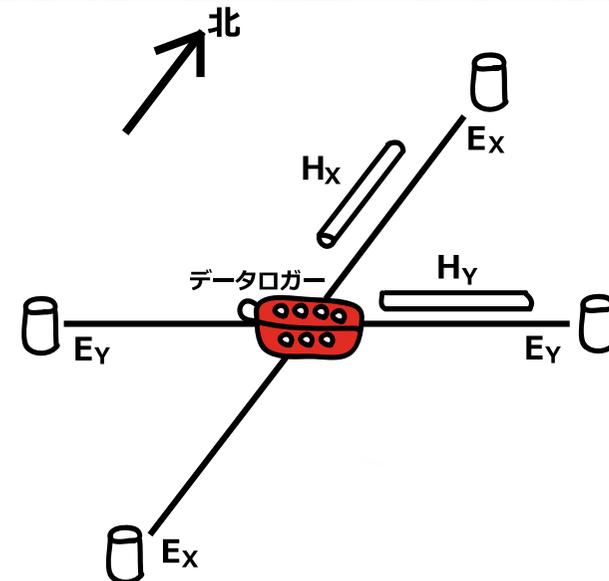


距離は20mです

コイルを埋める位置決めのようす

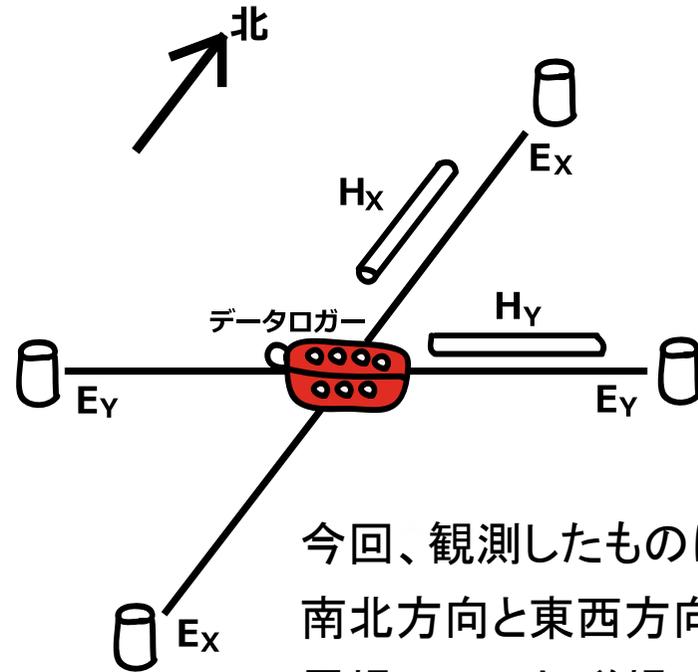


水平に



実際に観測へ行ってきました④

電極を埋めているようす



今回、観測したものは
南北方向と東西方向の
電場 E_x , E_y と磁場 H_x , H_y

サンプリング周波数	観測時間
32kHz	7/31 15:53:00 ~ 15:55:00
512kHz	7/31 15:57:00 ~ 15:57:10
1024Hz	7/31 16:00:00 ~ 8/1 11:00くらい

2014/7/9

解析

解析手法

・解析の流れ

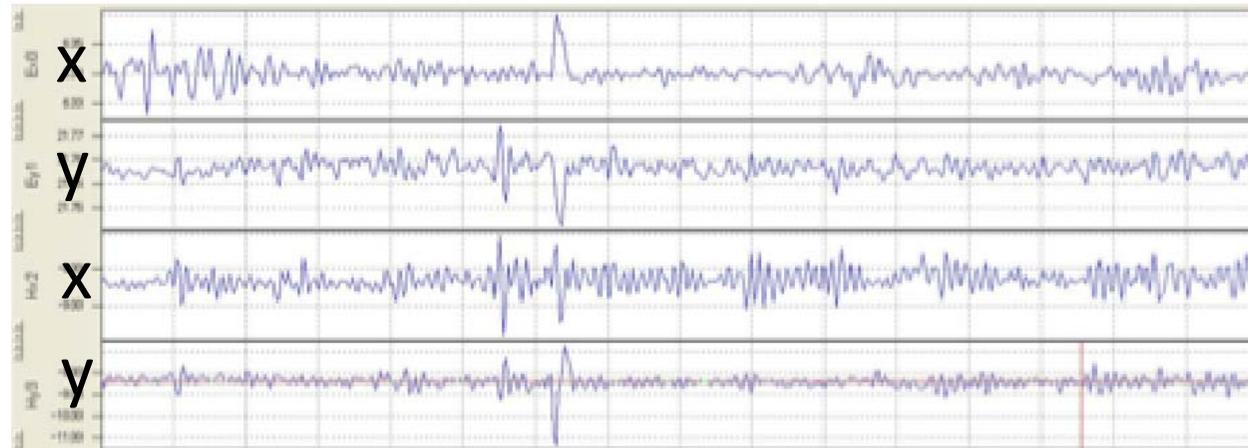
1. 電場と磁場の時系列データをフーリエ変換し、比の値 Z (インピーダンス)を計算。
2. 1.で求めた Z の値から見かけ比抵抗 $\rho_a(\omega)$ と位相 $\phi(\omega)$ を計算。
3. 2.で求めた $\rho_a(\omega)$ と $\phi(\omega)$ に合うような地下の一次元比抵抗構造を見つける。

解析手法

1. maprosというMT法用解析ソフトを用いて、観測で得られた時系列データをフーリエ変換。
→電場と磁場の比からインピーダンス Z を求める。

電場

磁場



時系列データ

時間

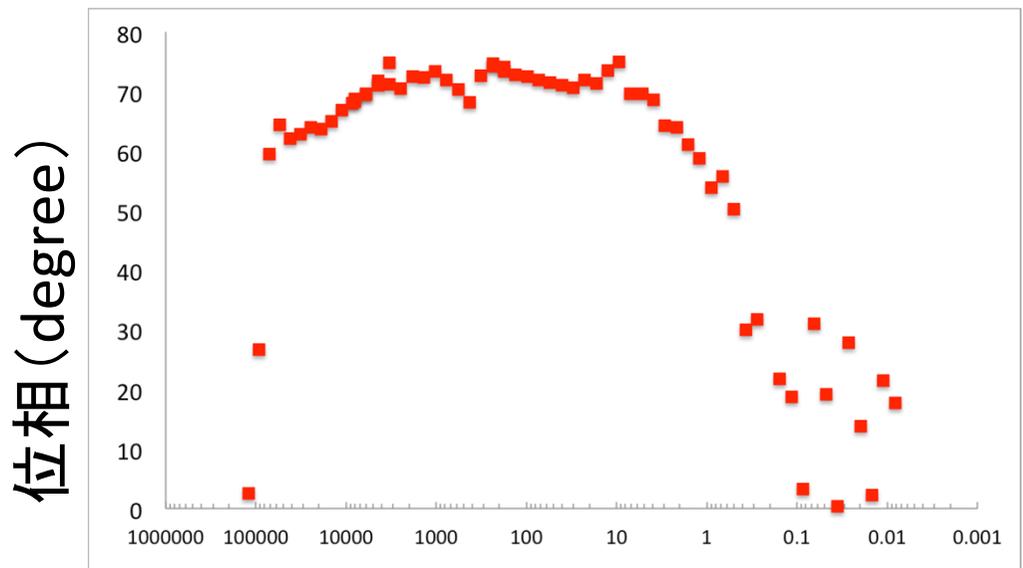
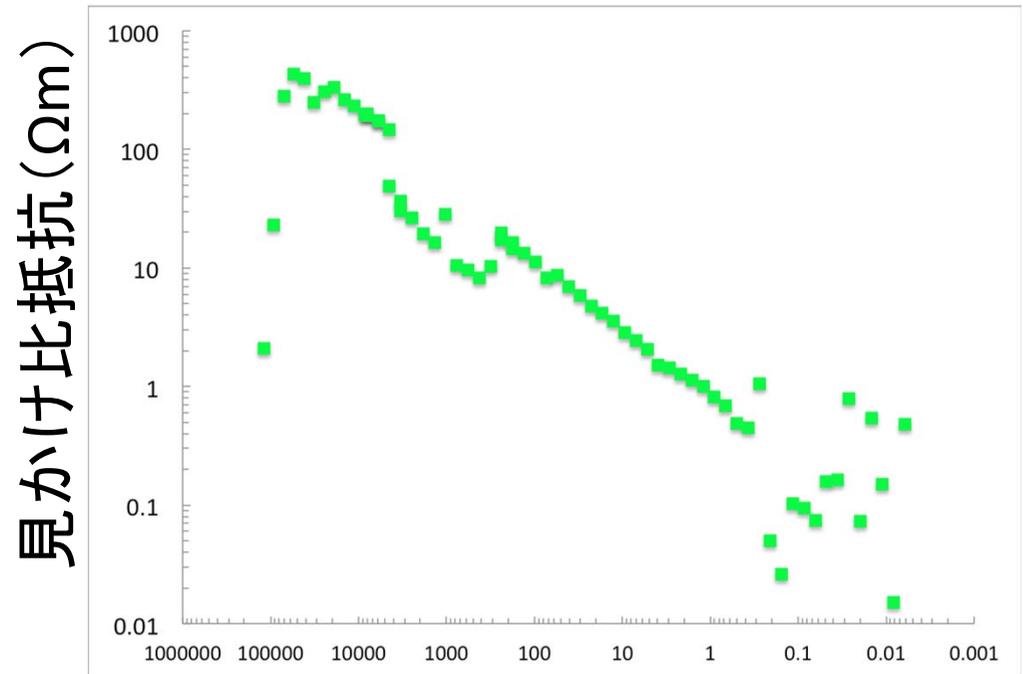
2014/7/9

解析手法

2.

$$\rho(\omega) = 0.2T|Z|^2[\Omega m]$$

の式から、見かけ比抵抗が得られる。



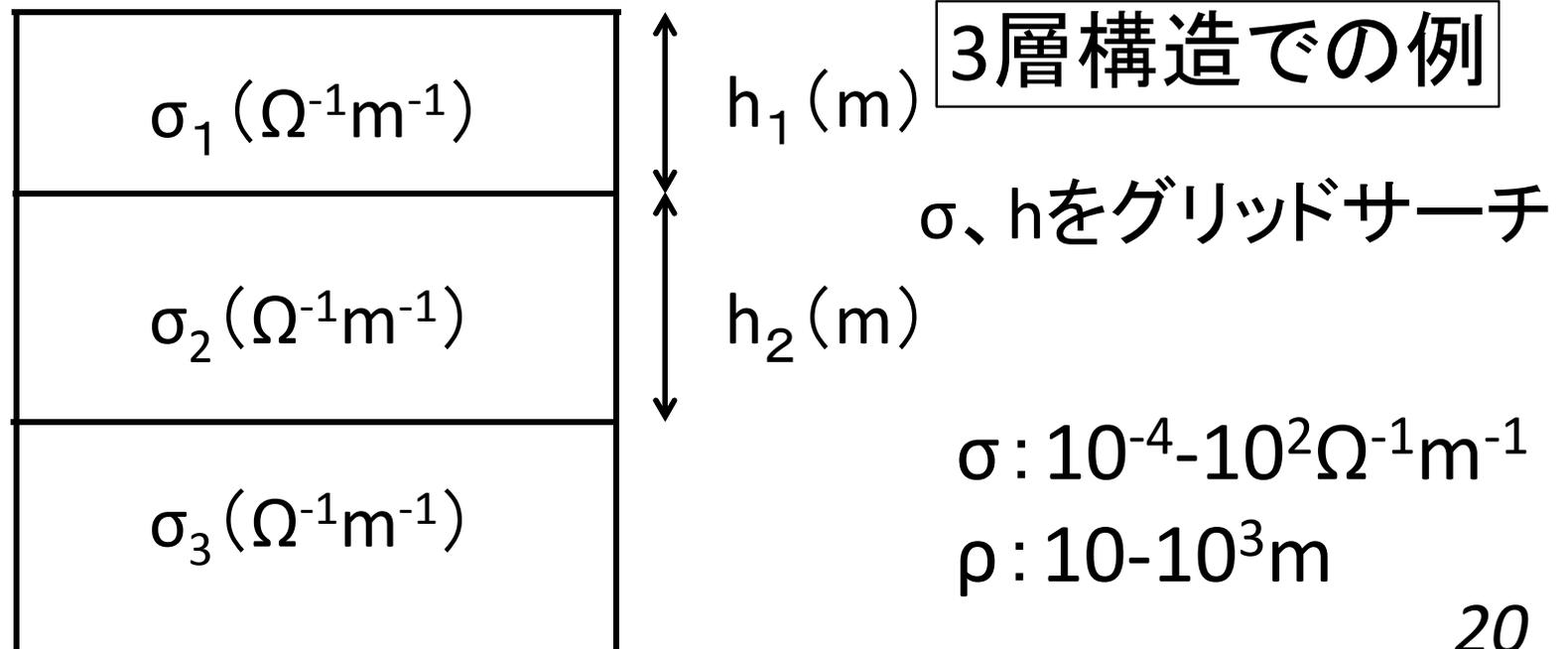
2014/7/9

周波数(Hz)

解析手法

3. 1次元比抵抗構造の推定。

地下の比抵抗構造を様々に仮定し、観測で得られた応答曲線に合う(観測値と計算値の二乗残差が小さくなる)構造を見つける。



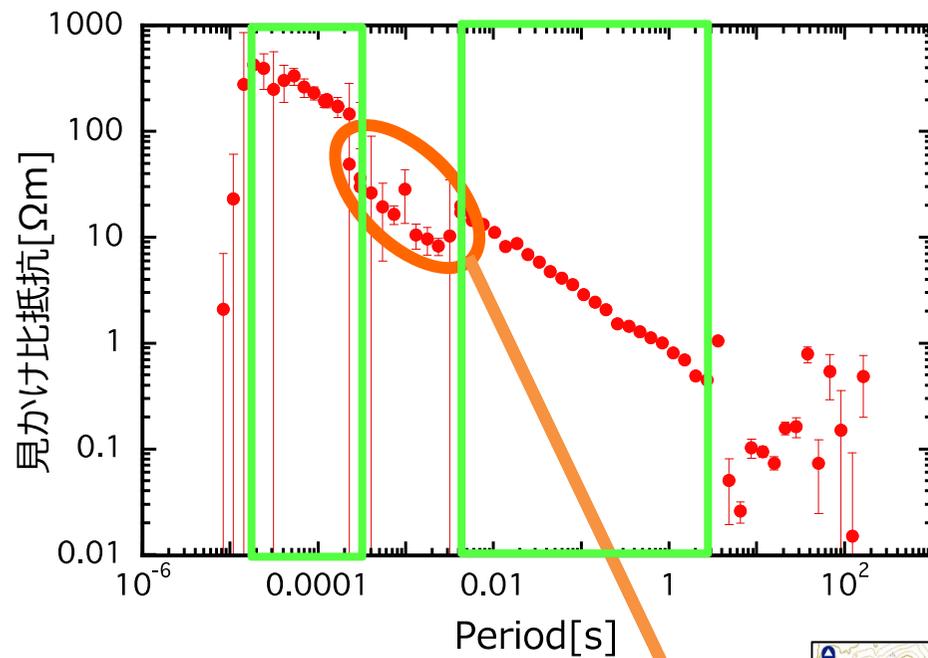
インバージョンの方法

	Ara	Takagi	Yamauchi
使った観測値	見かけ比抵抗 ρ_a	インピーダンス Z	インピーダンス Z
二乗誤差の計算方法	$\sum_j (\rho_a^{calc}(\omega_j) - \rho_a^{obs}(\omega_j))^2$	$\sum_j \frac{ Z^{calc}(\omega_j) - Z^{obs}(\omega_j) ^2}{\sigma^2(\omega_j)}$	$\sum_j \frac{ Z^{calc}(\omega_j) - Z^{obs}(\omega_j) ^2}{ Z^{calc}(\omega_j) ^2}$

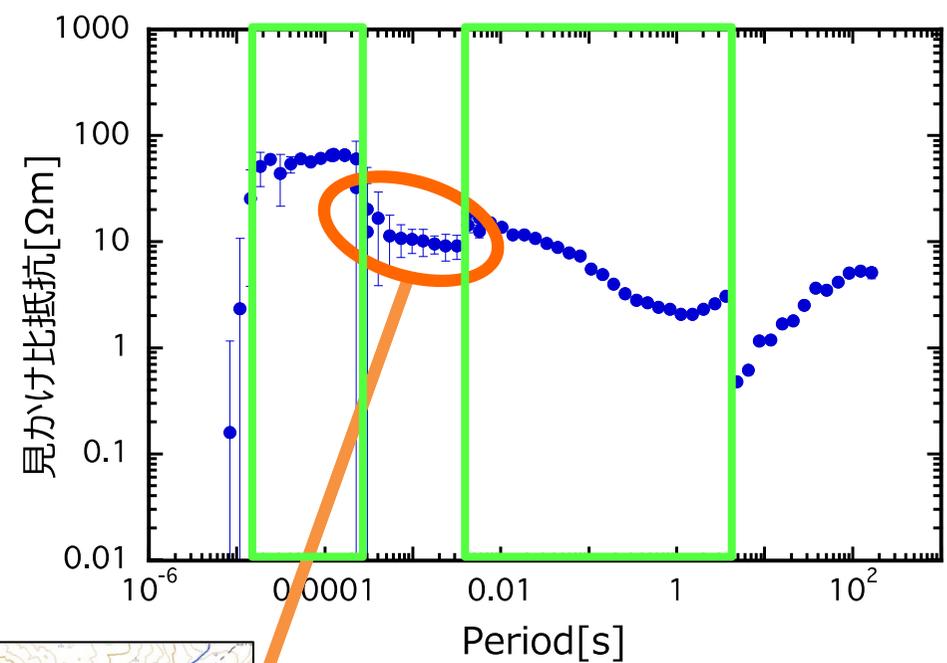
結果

②見かけ比抵抗

見かけ比抵抗: 東工大そば



見かけ比抵抗: 噴気そば



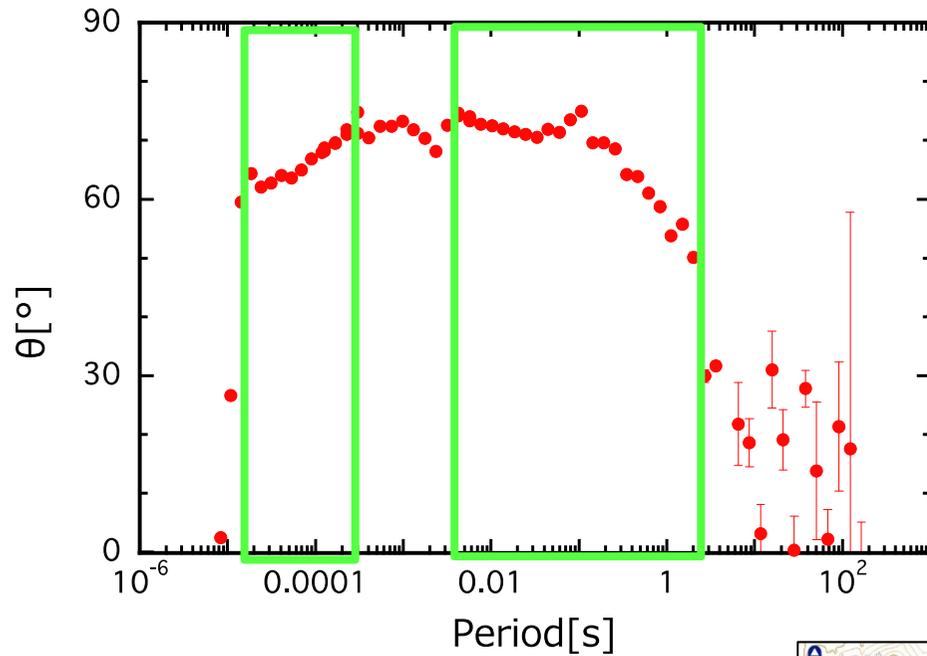
おかしい値

信号のパワーが小さいことが原因か？

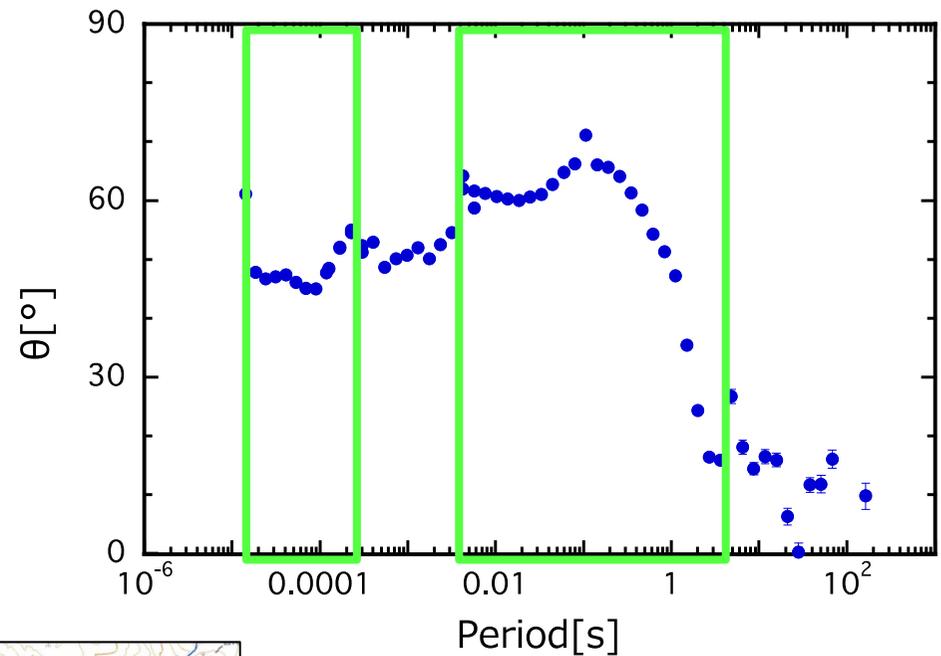
→ インバージョンをする時には除いた

②位相

位相: 東工大そば



位相: 噴気そば

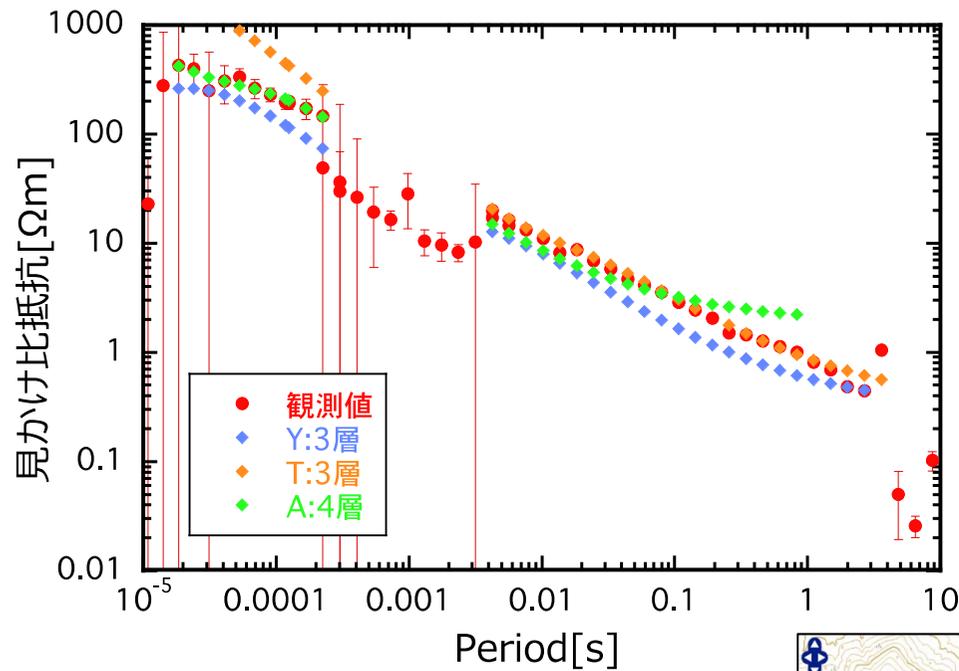


SRN002 噴気そば

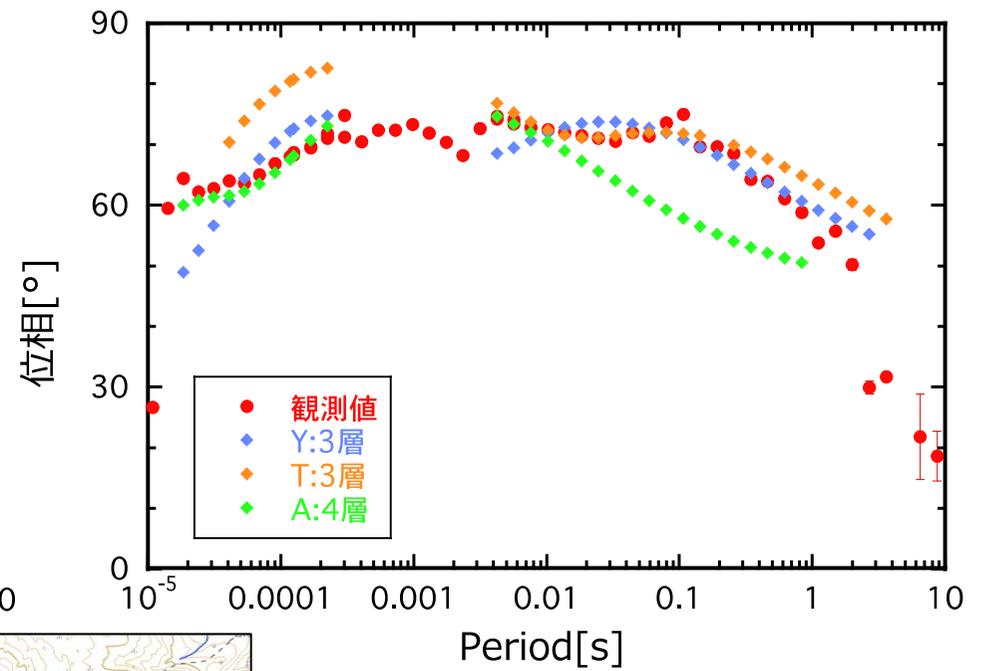
SRN001
東工大観測所そば

③インバージョン結果

見かけ比抵抗: 東工大そば



位相: 東工大そば

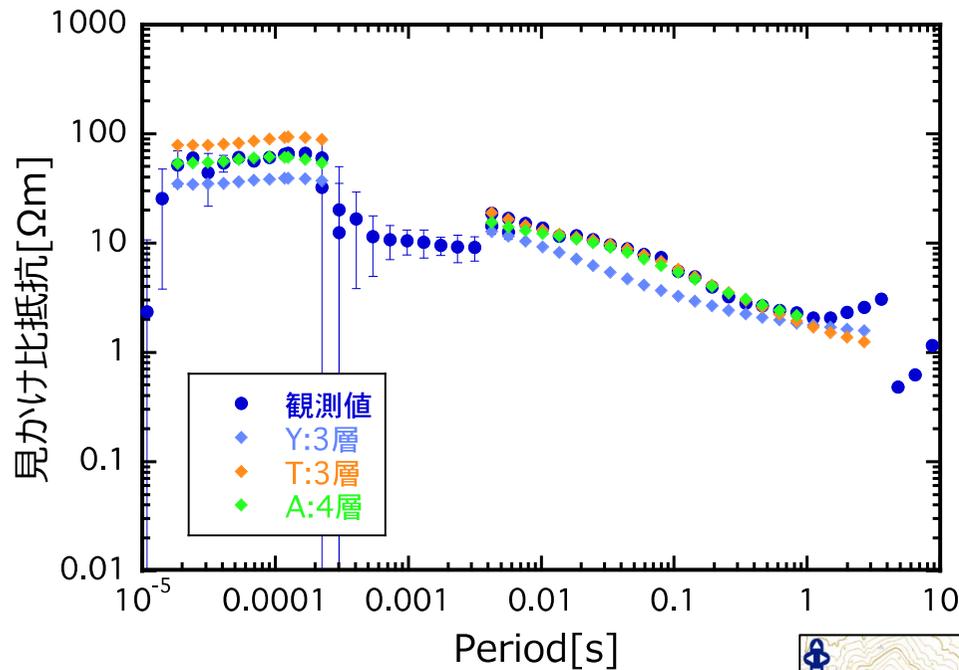


SRN001
東工大観測所そば

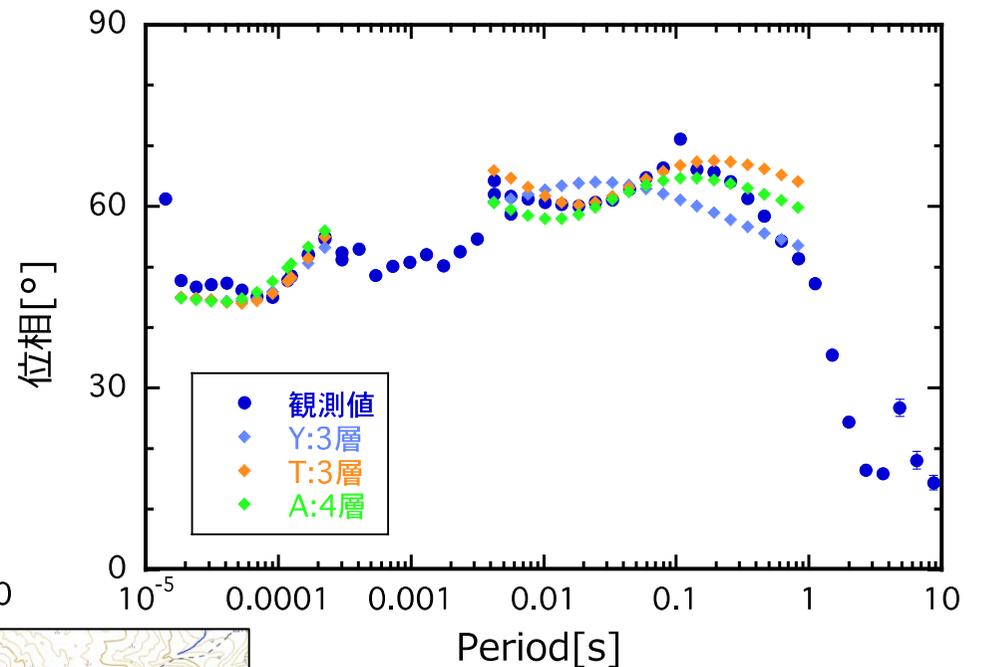
2014/7/9

③インバージョン結果

見かけ比抵抗: 噴気そば



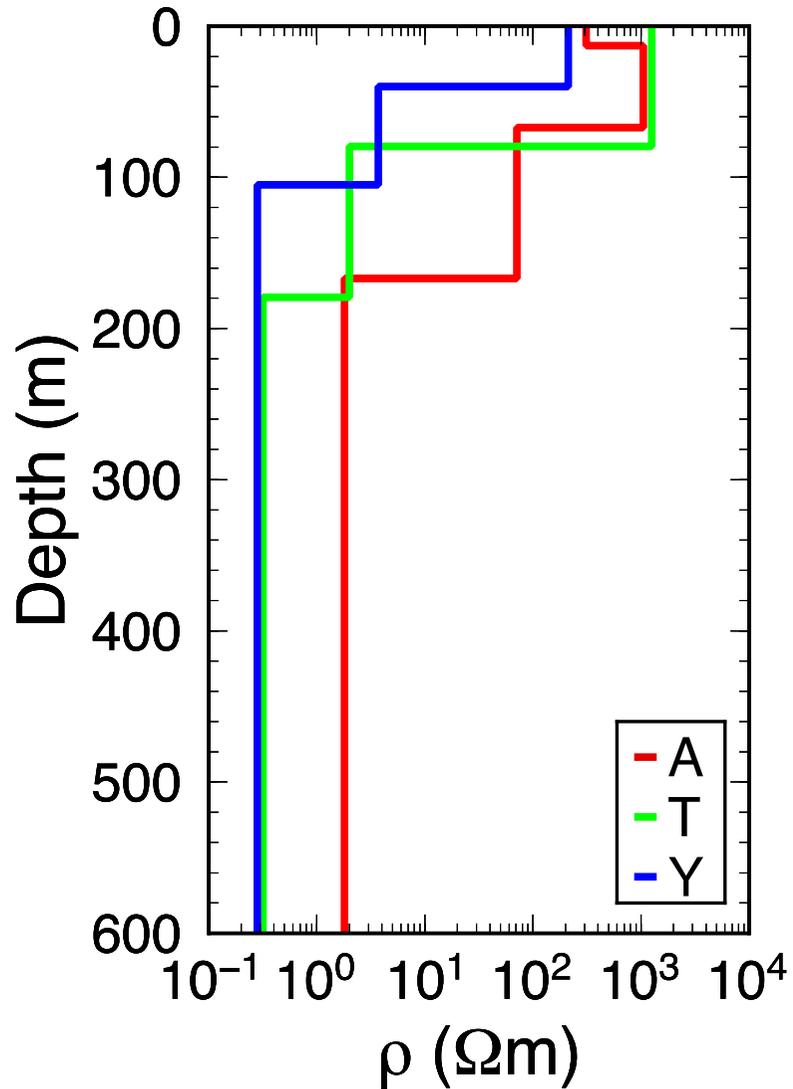
位相: 噴気そば



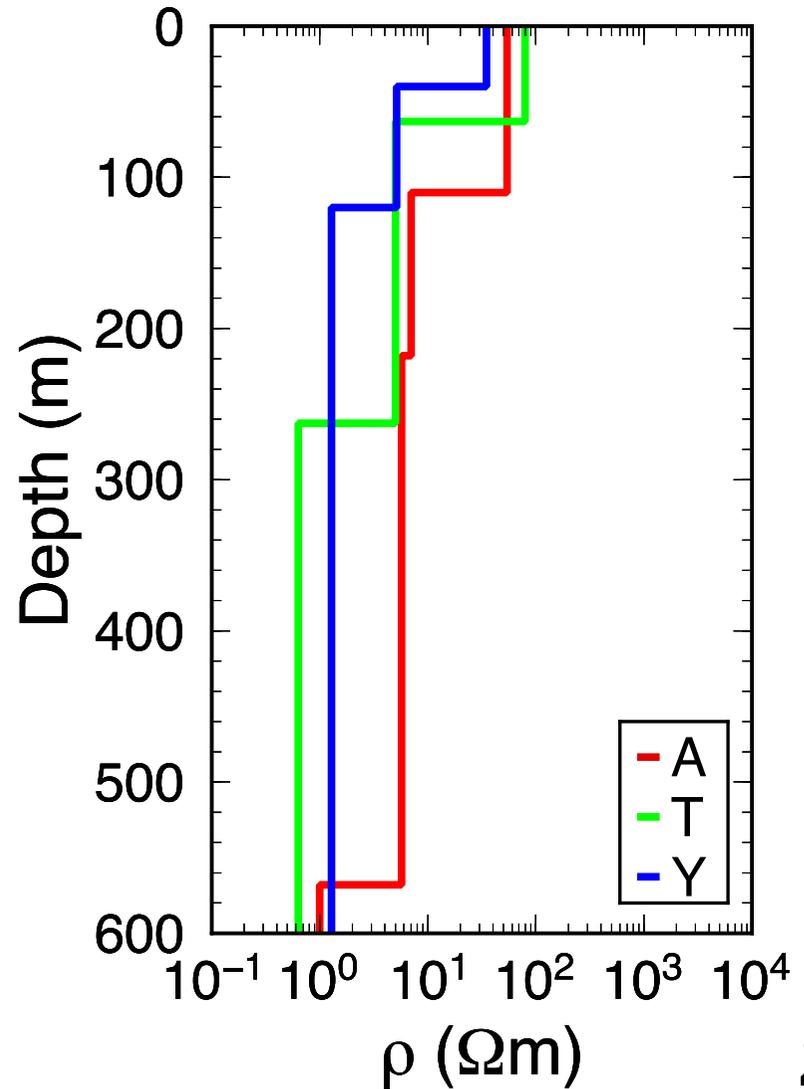
SRN002 噴気そば

推定した地下構造

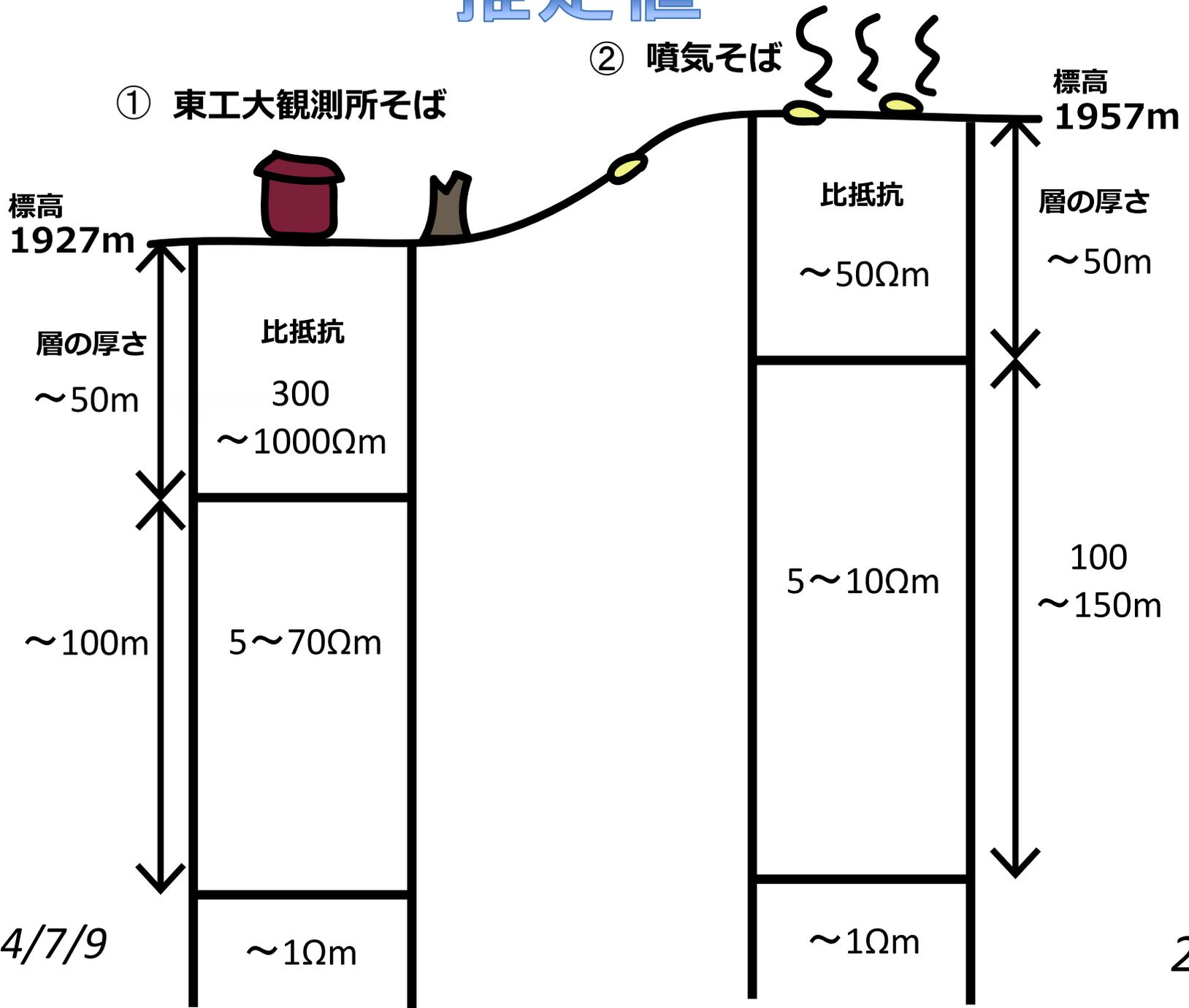
東工大そば



噴気そば



推定値

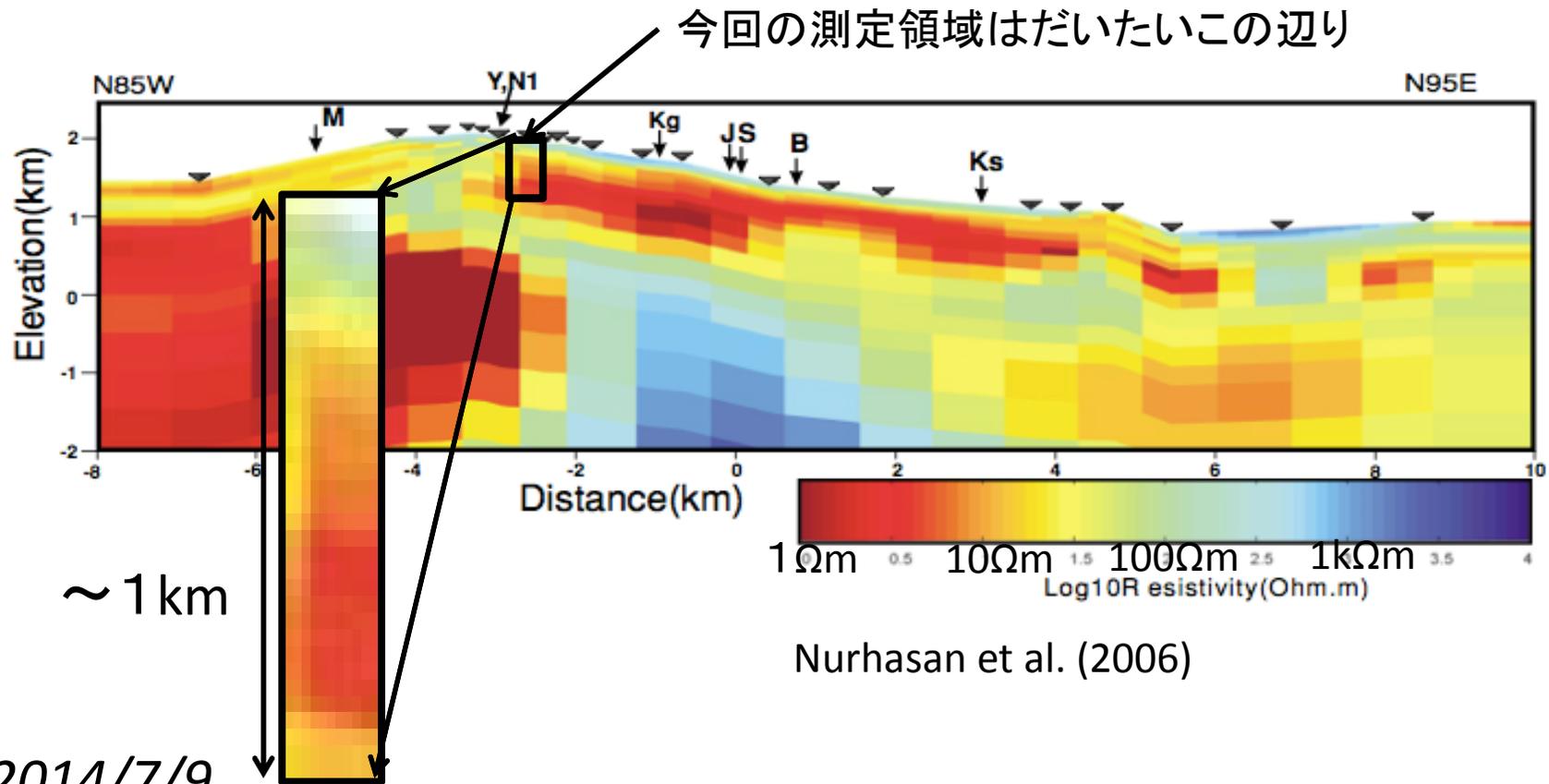


2014/7/9

考察

観測点1、2ともに浅部で高比抵抗、深部で低比抵抗という傾向が見られた。

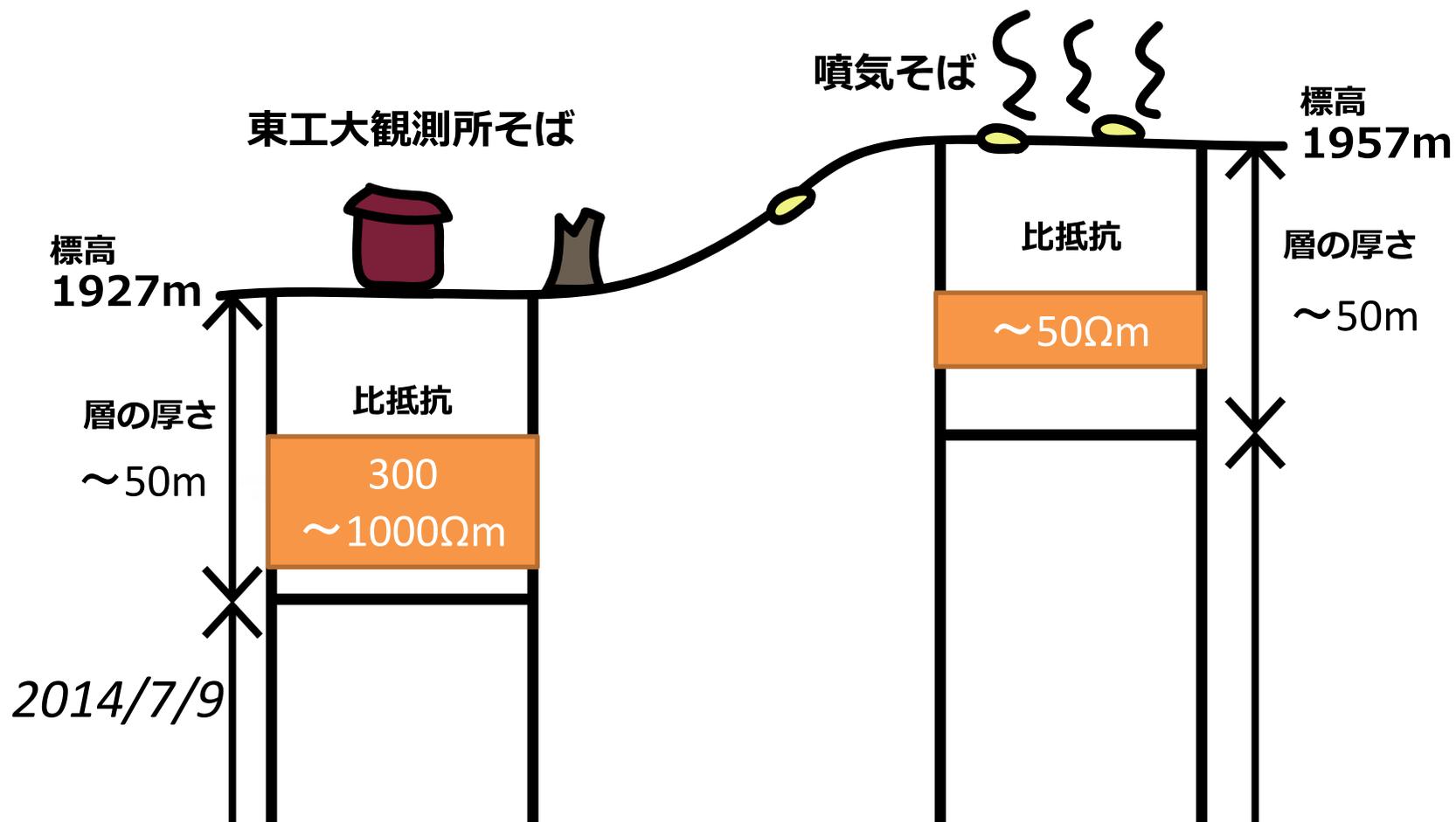
Nurhasan et al.(2006)と整合的。



2014/7/9

観測点1（東工大観測所そば）の比抵抗構造と観測点2（噴気そば）の比抵抗構造を比較すると、浅部での値に違いがある。

→噴気のそばには水が多いため、観測点2の方が浅部の比抵抗が小さくなっていると考えられる。



まとめ

- 実際に草津白根山でMT観測をおこなった。
- 取得したデータを解析して、電場と磁場の周波数応答を求めた。
- 1次元構造から計算される理論周波数応答と観測値を比較することによって、構造推定をおこなった。
- 構造推定値は、先行研究とほぼ整合的であった。
- 噴気に含まれる水による影響で、観測点2のほう
が浅部で低い比抵抗値であると考えられる。