

# 伊豆大島地球観測実習

—伊豆大島カルデラ内における自然電位観測—

丸山 岳朗

指導、協力：上嶋先生、小山先生、飯高先生

# 発表目次

## 伊豆大島カルデラ内の電位の観測

- 観測の手順
- 観測日時、場所
- 観測結果

今回の観測と2007年10月の観測とを比較し、大きく異なっている点を説明するためのモデルの作成

- モノポール電流源
- ダイポール電流源
- 地球物理的解釈

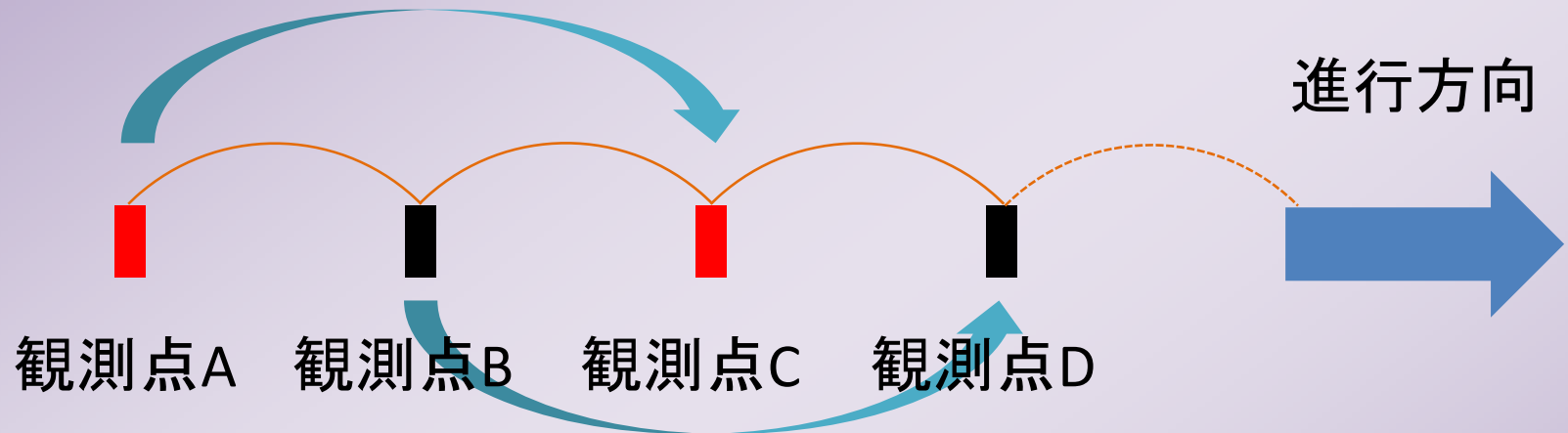
# 観測の目的

地電位測定、分布推定の基礎を学ぶ

伊豆大島で地電位分布並びにその変化を求める

地下水の流動によって電位分布が形成すると仮定して、電位分布変化の原因を探る

# 観測の手順

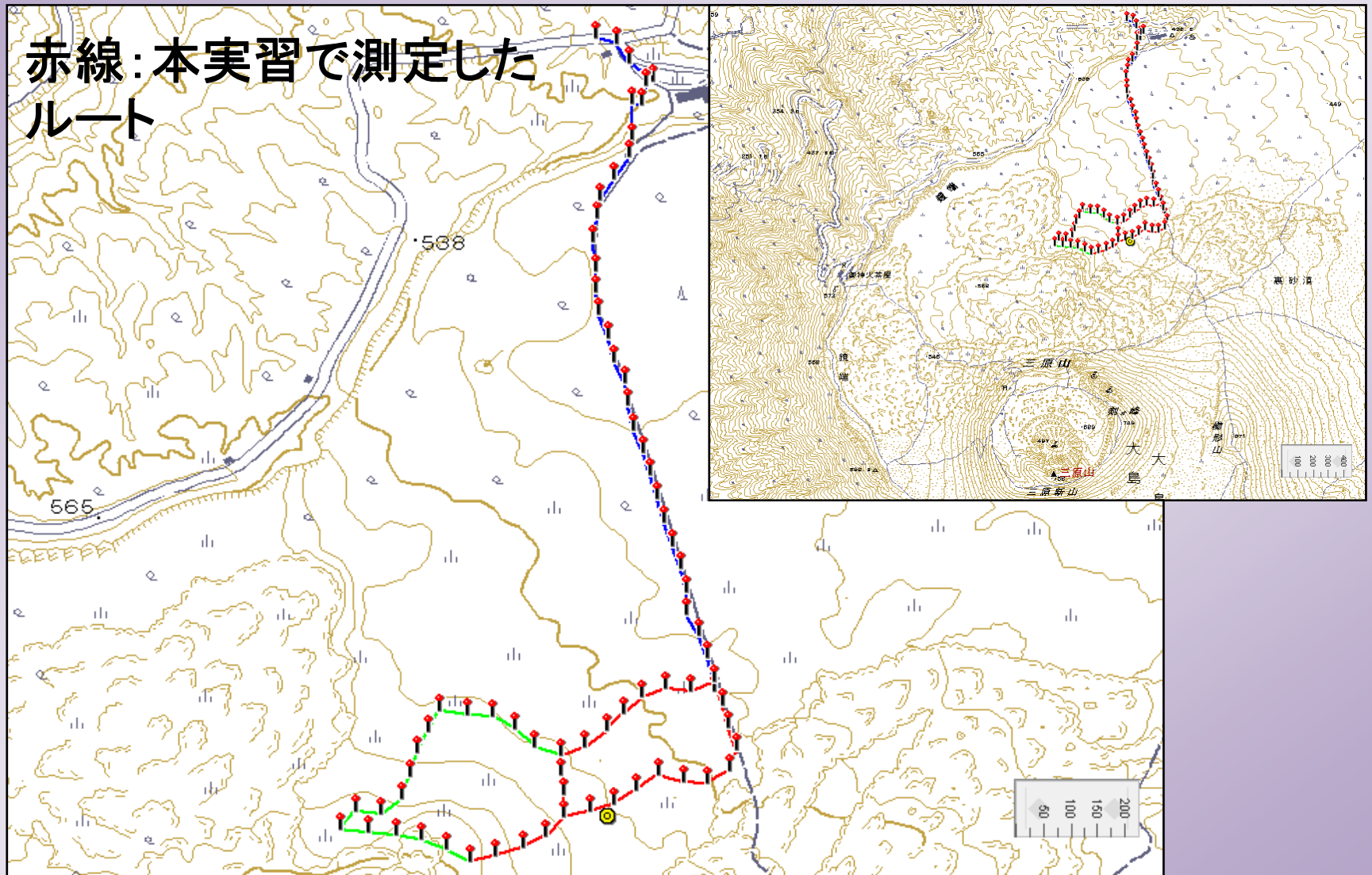


2つの電極を用意し、電極間の電位を測定する(キャリブレーション)

赤→黒→赤→黒→・・・と尺取虫的に電位を測定する

また、後方の電極は同一観測点で3か所測定する

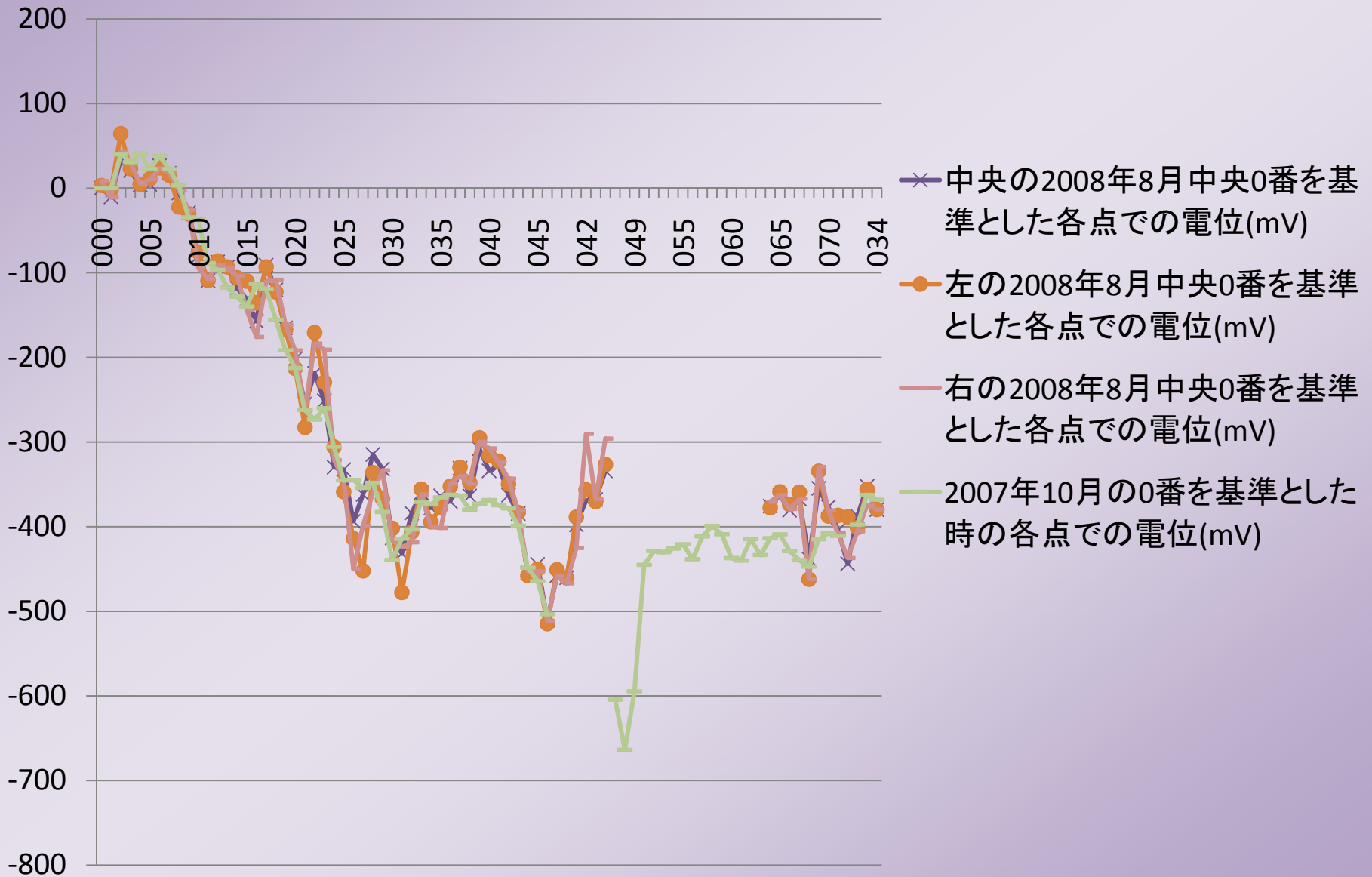
# 観測点地図



# 観測の様子



# 観測結果



# 閉合誤差の評価

ルートを一周すると始点と終点の電位差は理論的には0mVとなるはずである

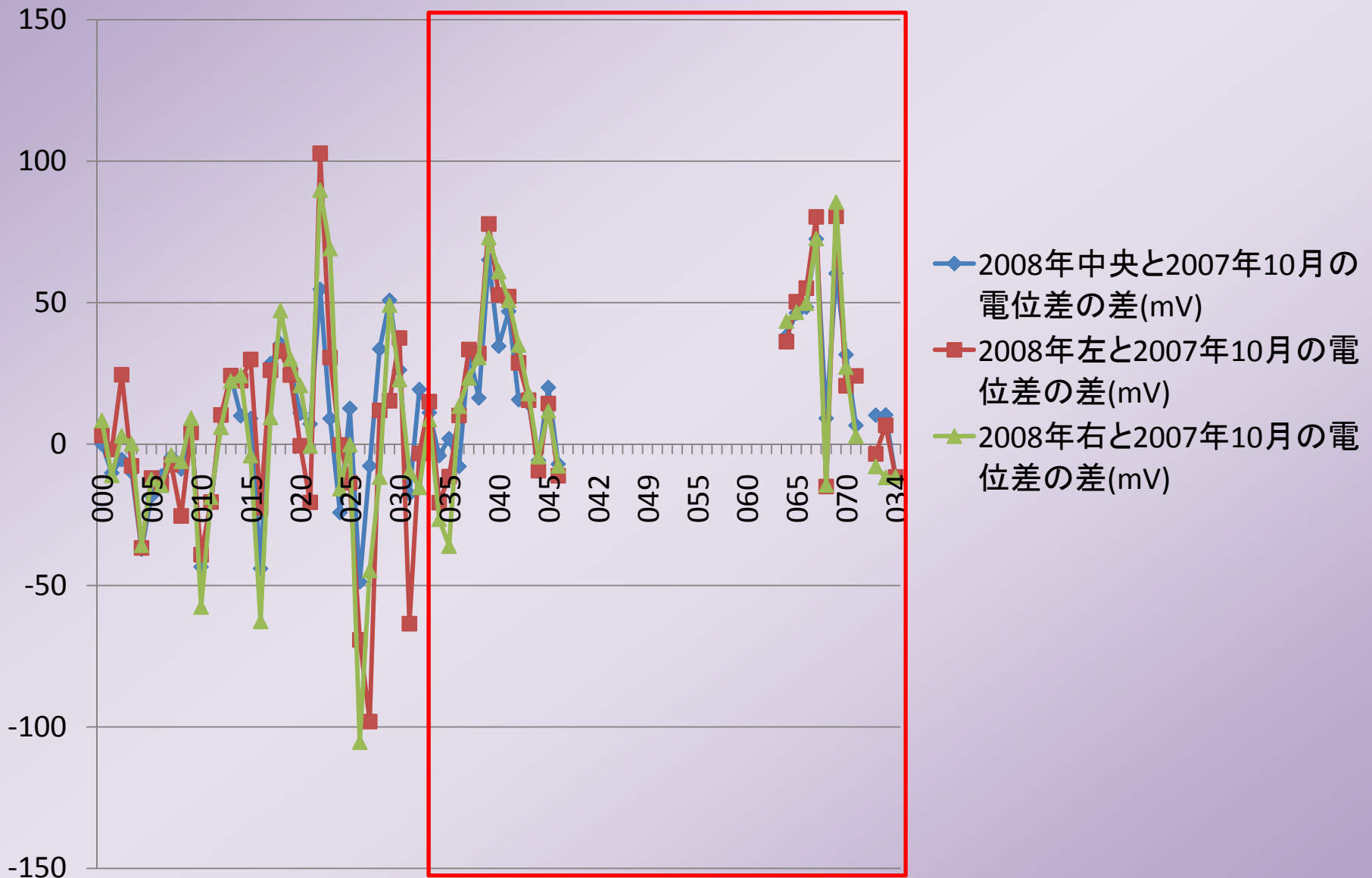
2007年10月のSP観測の周回誤差は5.5～8.3mVの範囲であった

本観測のSP観測の周回誤差は1.6～21.3mVの範囲であった

これらの値を大きく超えるような変化が2007年10月から2008年8月の間にあったか？

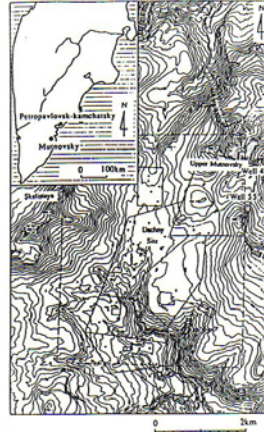


# 2007年10月との電位差の差

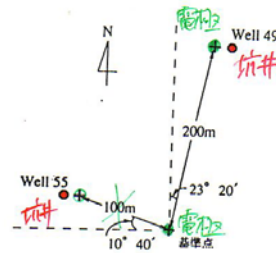


# ボーリング孔を用いた実験

松島 ほか (1996)



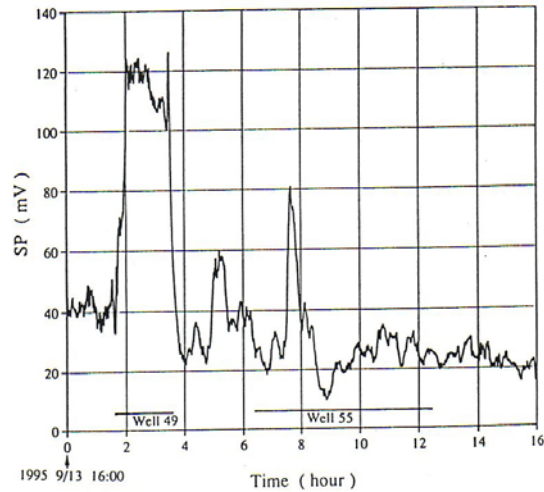
第1図 ムトノフスキー地域の地形と坑井分布 (田村他, 1995)。白丸が坑井を示す。  
Fig. 1 Topography of Mutnovskiy geothermal field and distribution of wells (open circle)



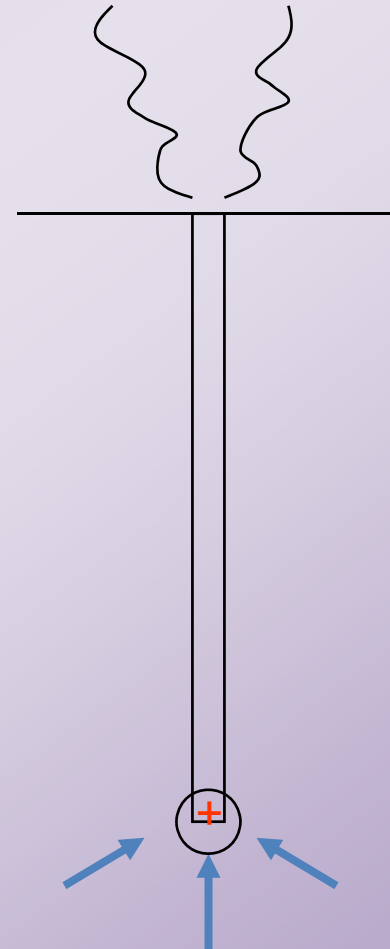
第2図 自然電位の測線配置。  
Fig. 2 Measurement lines of the self-potential monitoring.

- 231 -

坑井が湧きだした実験



第3図 自然電位の測定結果。図の下部の横棒はそれぞれWell49およびWell55の湧きを示す。  
Fig. 3 Result of the self-potential monitoring. Underlines indicate the periods of the well test.



# 理論的説明(モノポール電流源)

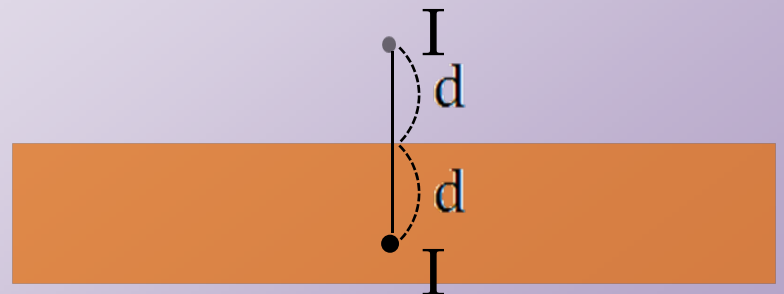
2007年10月から2008年8月の間にあるモノポール電流源が生成したと仮定する。

$$\begin{aligned} i &= \sigma E \\ 4\pi r^2 i &= I \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad \begin{aligned} E &= \frac{I}{4\pi\sigma r^2} = -\frac{dV}{dr} \\ V &= -\int \frac{I}{4\pi\sigma r^2} dr = \frac{I}{4\pi\sigma r} \end{aligned}$$

境界条件(地面に鉛直な方向の電場がゼロ)を満たすため、地面に対し等距離な点に仮想の電流源を置くと、

$$r = (x^2 + y^2 + (z \pm d)^2)^{1/2}$$

$$V = \frac{I}{4\pi\sigma r} + \frac{I}{4\pi\sigma r} = \frac{I}{2\pi\sigma r}$$



# 理論的説明(モノポール電流源)・続き

前述の式と、

$$\Phi \equiv \sum_i \frac{|d_i - f_i(r, I)|^2}{s_i}$$

$i$  : 観測点番号

$d_i$  :  $i$ での観測電位

$f_i(r, I)$  : 位置 $r$ 、強さ $I$ の電流源による $i$ での理論電位

$s_i$  :  $i$ での分散

を用いて、観測結果に合うように電流源の強さと位置を、分散を考慮した最小二乗法で求める

# 計算結果(モノポール電流源)



# 計算結果(モノポール電流源)・続き

また、最も二乗誤差が小さくなった時の電流源の強さと位置は、

$I=0.22$  A

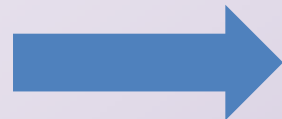
Latitude=34.7408

Longitude=139.4001

Depth=0 m

(位置としては観測点40番、41番から20～30m離れた場所)

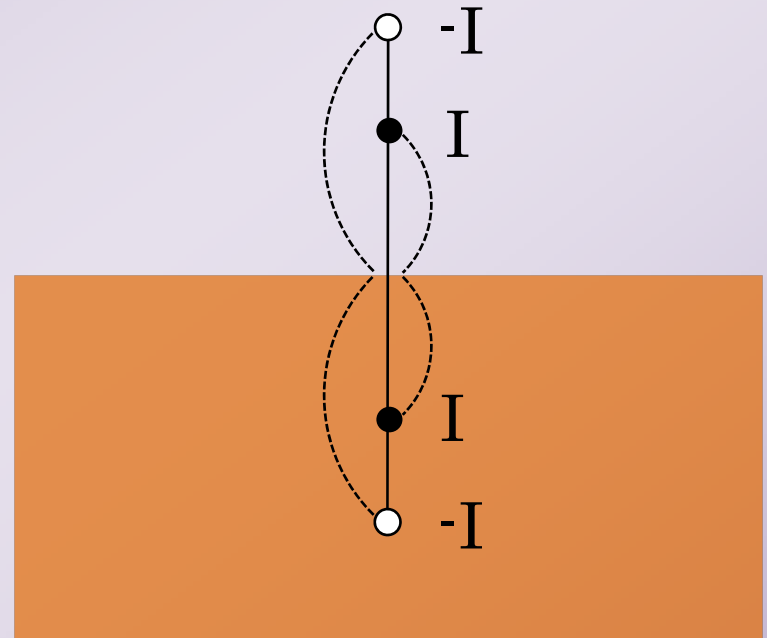
遠方の広がりを説明しきれていない



別の方法を考える

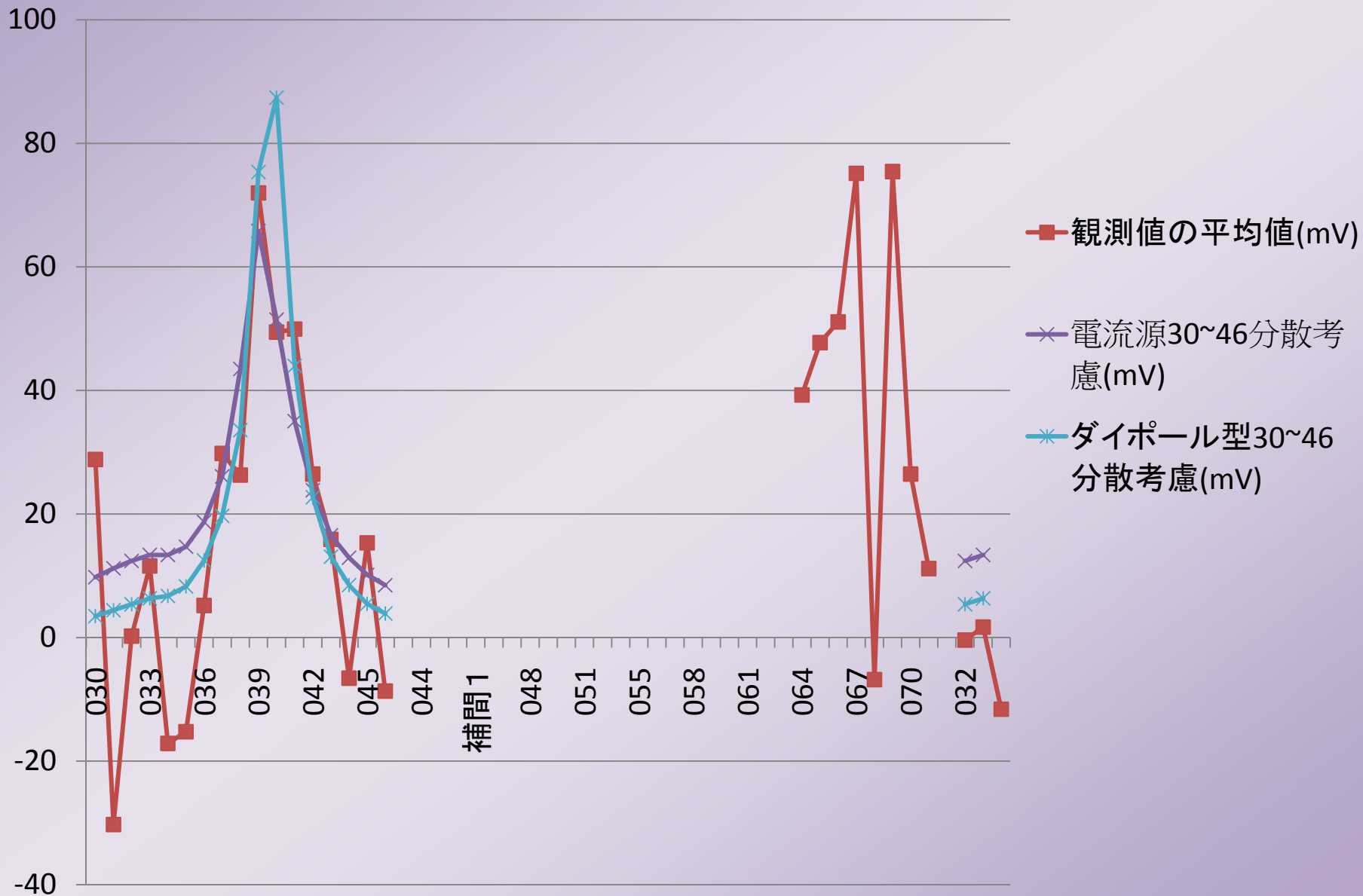
# 理論的説明(ダイポール電流源)

+Iの電流源が存在する緯度  
経度の真下に-Iの電流源が  
存在すると仮定して、この  
ダイポール電流源の強さ、  
位置を分散を考慮した最小  
二乗法で求める



それ以外はモノポールの場合と同じ考え方

# 計算結果(ダイポール電流源)





# 計算結果(ダイポール電流源)・続き

また、最も二乗誤差が小さくなった時の電流源の強さと位置は、

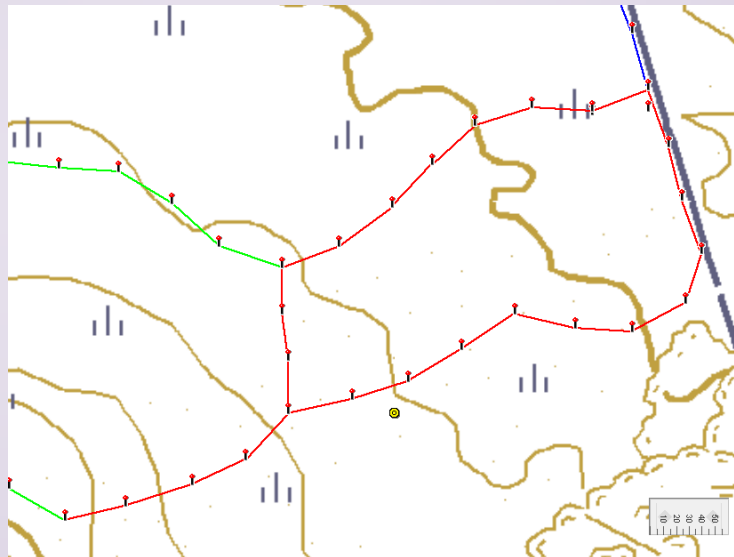
$I=0.25 \text{ A}$

Latitude=34.7408

Longitude=139.4001

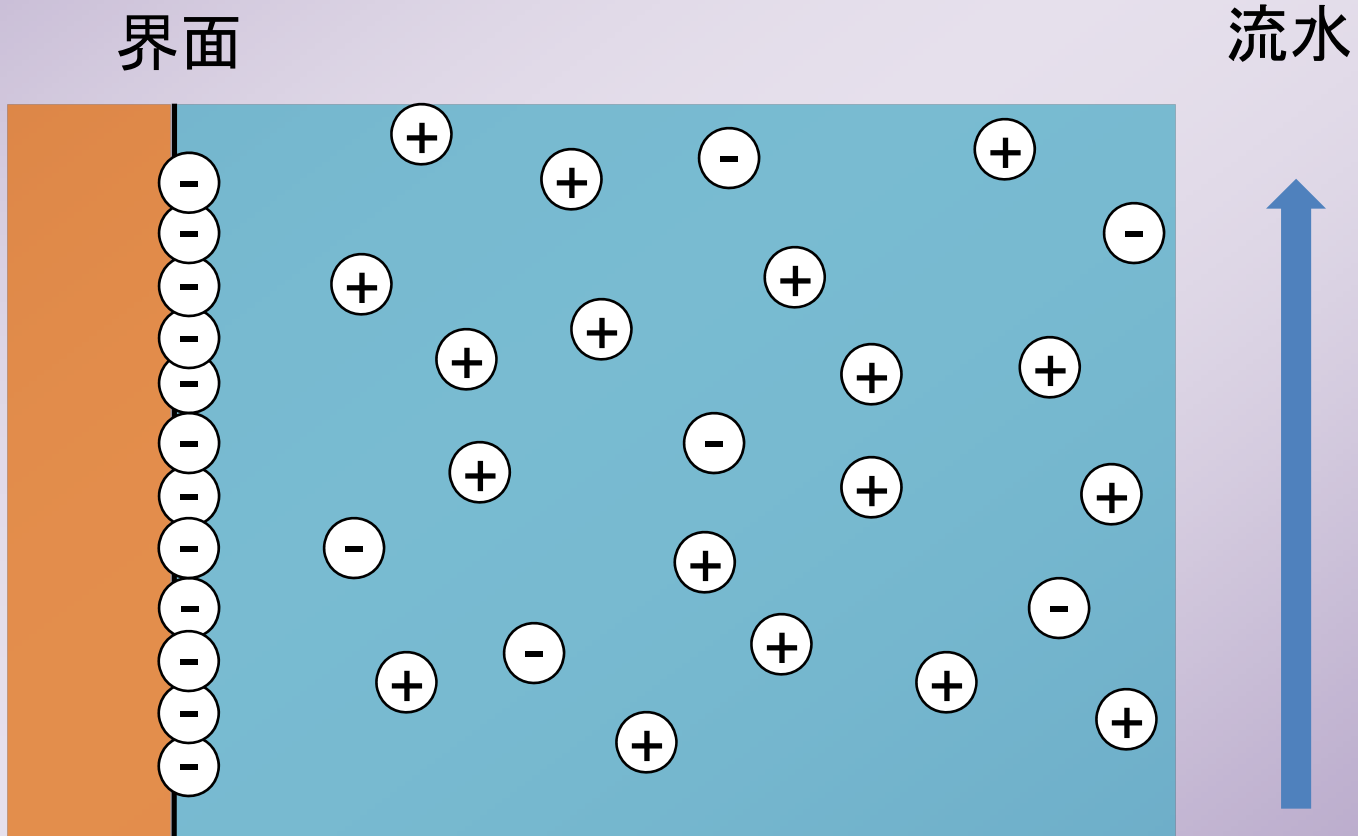
Depth=28 m (+), 317 m (-)

(位置としては観測点40番、41番から20~30m離れた場所)



# 地球物理的解釈・1

## SPの励起源 — 動電現象



# 地球物理的解釈・2

## 動電現象による電流

$$i = -\sigma_r \nabla \phi + \frac{\varepsilon \zeta}{F \mu} \nabla P \quad j = \frac{\varepsilon \zeta}{F \mu} \nabla \phi - \frac{k}{\mu} \nabla P \quad \sigma_r \approx \frac{\sigma_w}{F}$$

十分小さい



$$i = -\sigma_r \nabla \phi - \frac{\varepsilon \zeta}{F k} j$$

$$\nabla \cdot i = -\nabla \cdot [\sigma_r \nabla \phi] - \nabla \cdot \left[ \frac{\varepsilon \zeta}{F k} \right] \cdot j - \frac{\varepsilon \zeta}{F k} \nabla \cdot j = 0$$

$\phi$  : 電位ポテンシャル

$P$  : 圧力ポテンシャル

$i$  : 電流密度

$j$  : 流速密度

$\varepsilon$  : 水の誘電率

$\mu$  : 水の粘性

$\sigma$  : 電気伝導度

$k$  : permeability

$F$  : formation factor

## 地球物理的解釈・3

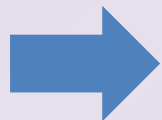
動電現象による電流を積分して総流量で換算すると、

$$J = -\frac{Fk}{\varepsilon\zeta} I$$

いま、 $I = 0.25 \text{ A}$  なので、

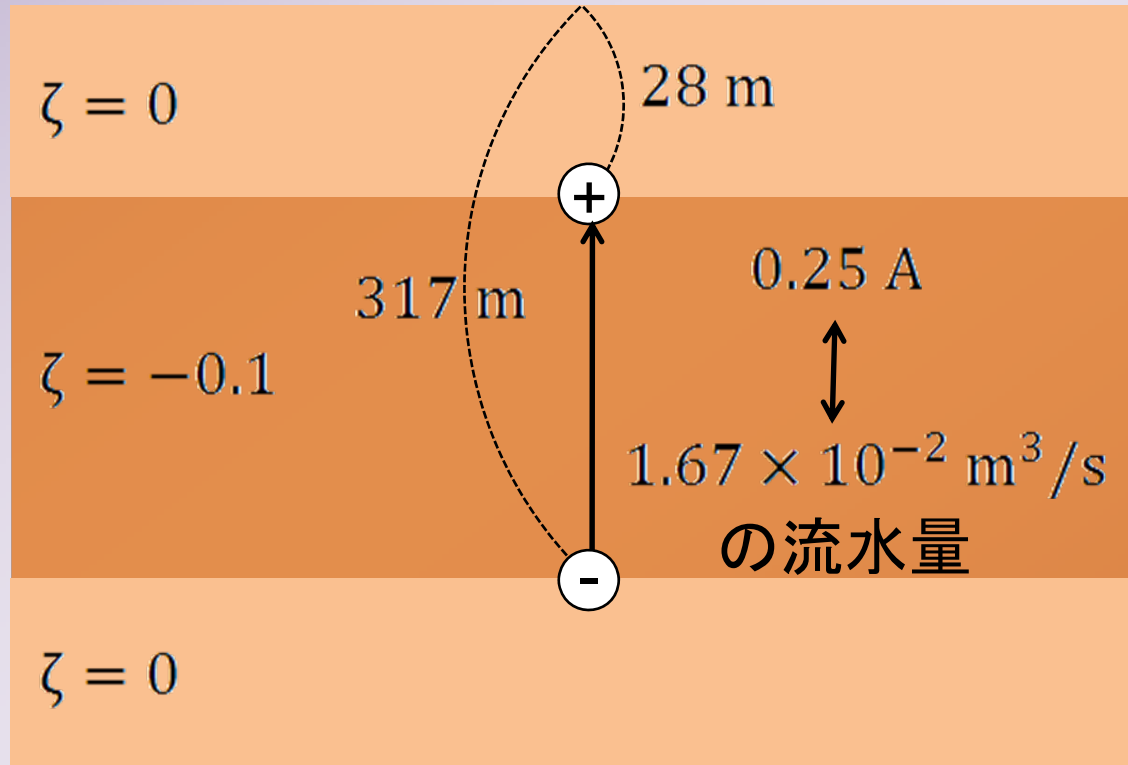
$\varepsilon = 3.0 \times 10^{-10}$ 、 $\zeta = -0.1$ 、 $F = 10$ 、 $k = 2.0 \times 10^{-13}$   
とすると、

$$J = -\frac{Fk}{\varepsilon\zeta} I = 1.67 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$



地下水流量が  $1.67 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$  増加したことに相当する

# 地球物理的解釈・4



# まとめ

地電位測定、分布推定の基礎を学んだ

伊豆大島で地電位分布並びにその変化を求めた

地下水の流動によって電位分布が形成すると仮定して、電位分布変化の原因を探った結果、モノポール電流源よりダイポール電流源の方がうまく説明できた

