

平成15年度 地球観測実習 電磁気観測

桑野修、黒川将、大石裕介

教官：上嶋誠、鍵山恒臣

自然電位の計測

- 電極としてCu-CuSO₄電極を 2つ用意(A,B)。
- まず, 電極固有の性質によって生じる電極電位差を測定しておく。
- A(テスター) → B(テスター) → A(テスター) → ...
という要領で, 尺取虫的に電位差を測定し,
GPSで位置を記録する
- 最後に, 最初の点に戻る. 電位差を積算し,
地電位分布を計算するとともに,
閉合誤差(元の点に戻ったときの電位)を知る。

Cu-CuSO₄電極

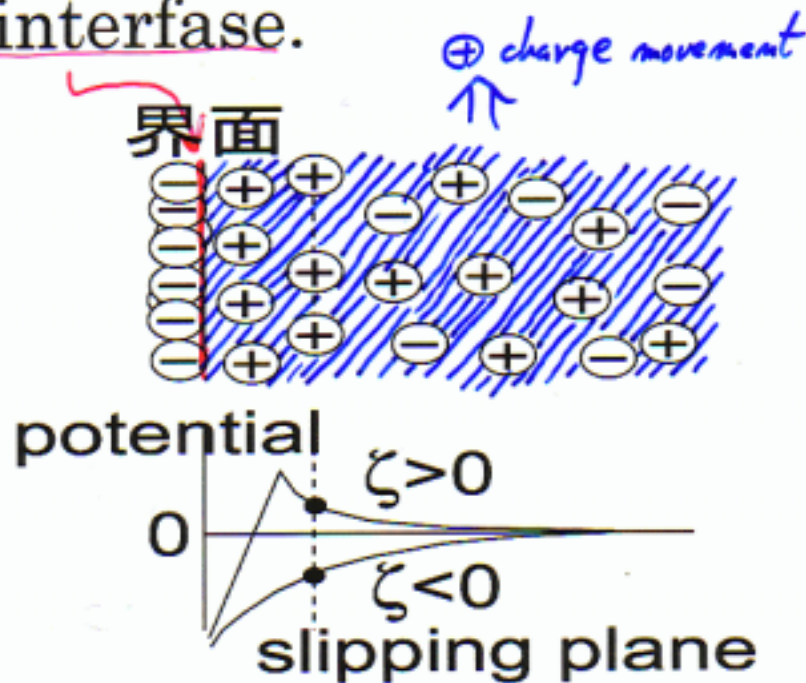


測定風景



Electrokinetic Phenomenon

- (normally minus) Charges are bound to the liquid-solid interphase.



ζ (Zeta-Potential) >0 : - charge motion

ζ (Zeta-Potential) <0 : + charge motion

- ・点電流源を考えた場合，半無限均質媒質中では，

$$\phi(r) = \frac{I}{2\pi\sigma_r} \frac{1}{r} = C \frac{1}{r} \quad \dots (1)$$

$$I = \frac{\varepsilon\zeta}{Fk} J \quad \dots (2)$$

(1)のような電位分布となる(r は電流源からの距離[m]).

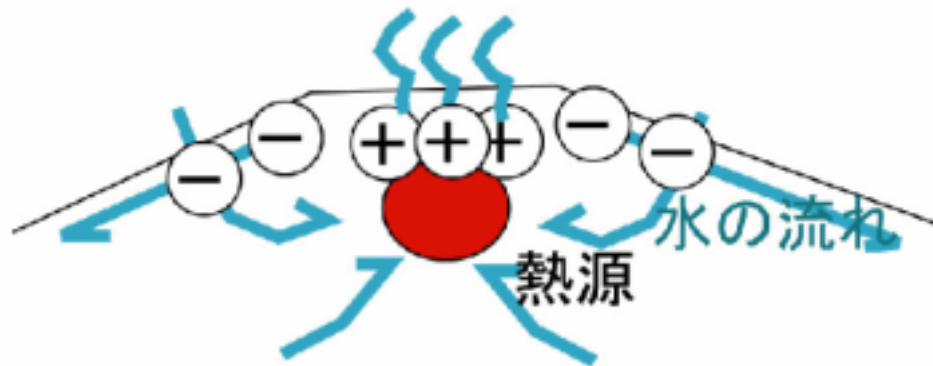
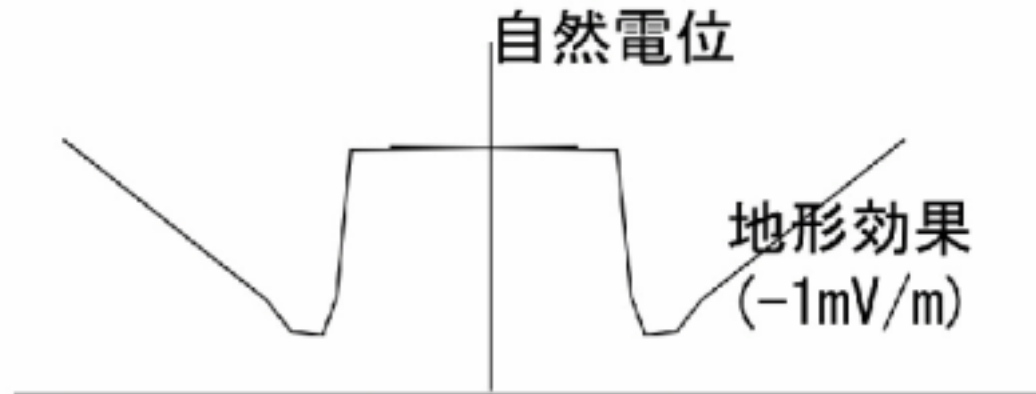
- ・測定された電位分布から電流源の位置を推定し，電気伝導度 σ_r [S/m]を推定したうえで，電流源 I の大きさを見積もる.

- ・(2)の関係式から，(1)で求められた電流を担う地下水の流量を推定する.

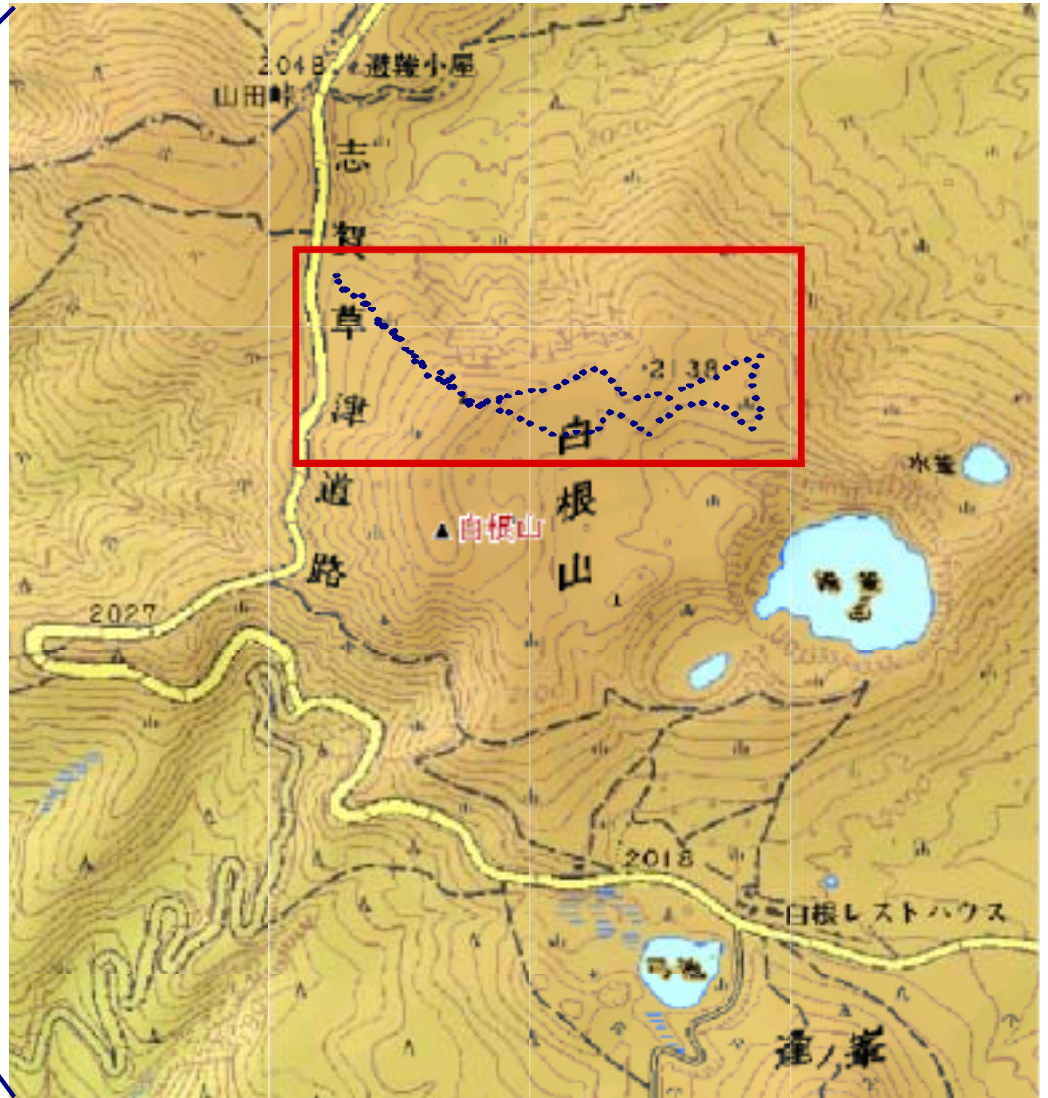
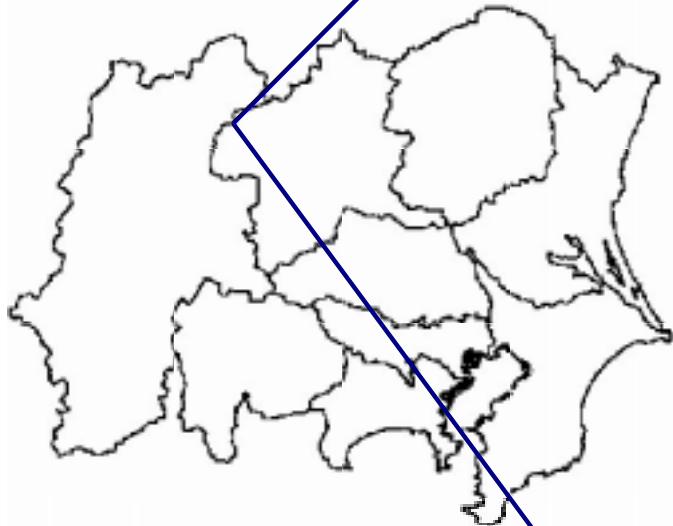
$$J = \frac{Fk}{\varepsilon\zeta} I = 2\pi\sigma C \frac{Fk}{\varepsilon\zeta}$$

地形効果と噴気による異常

自然電位分布モデル

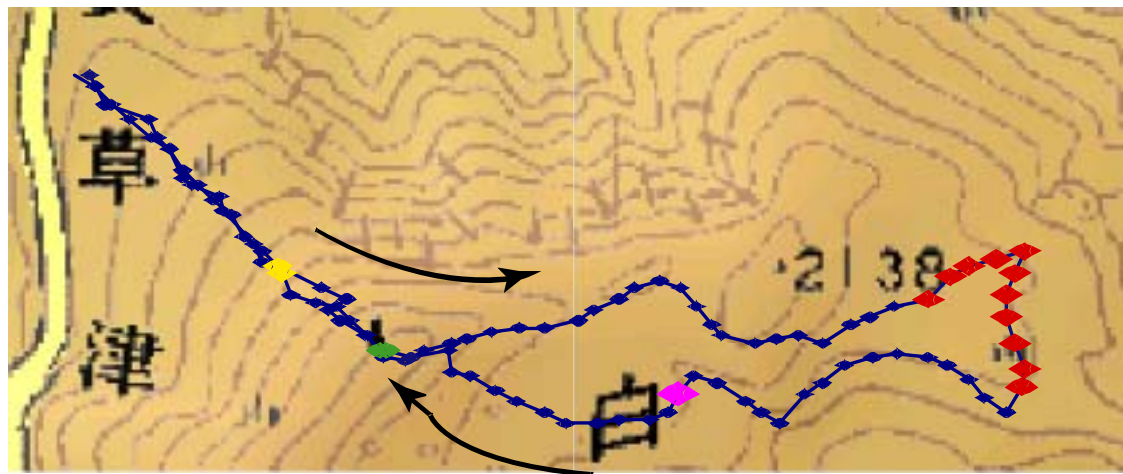
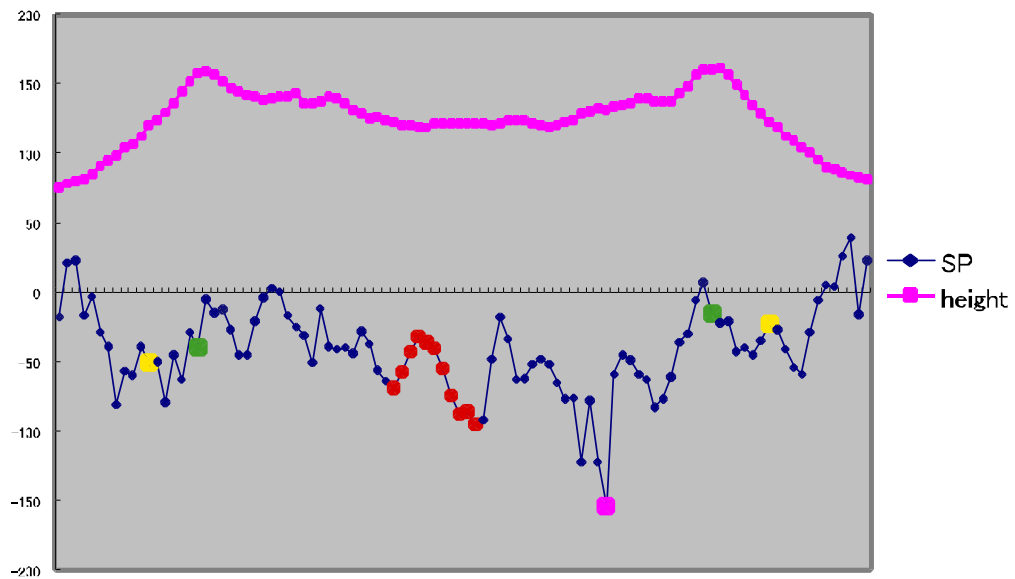


観測地域

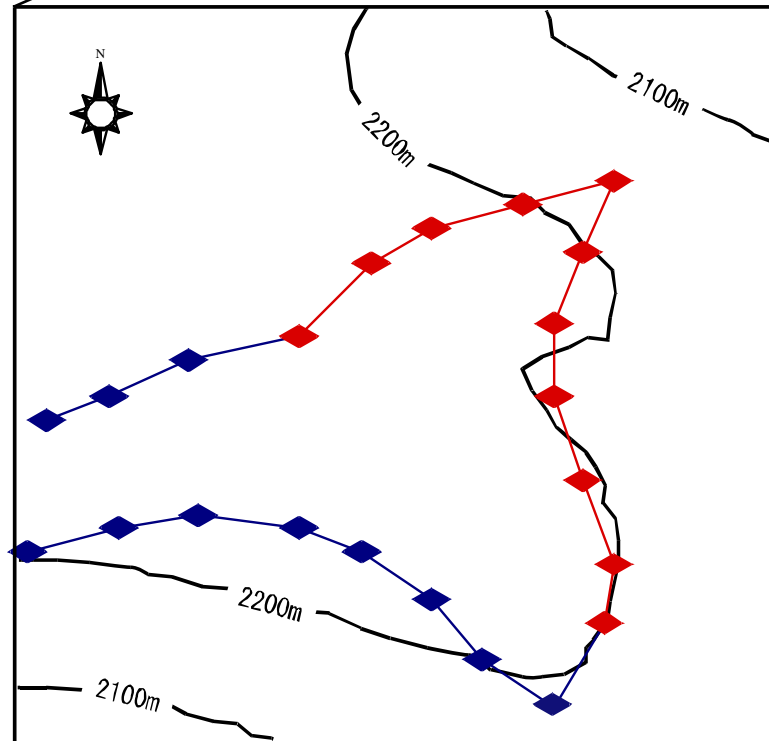
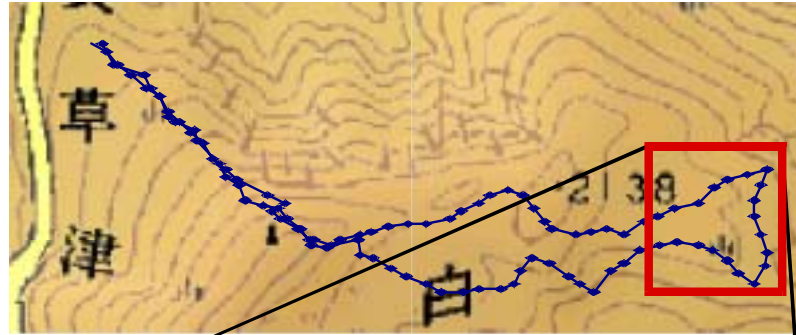


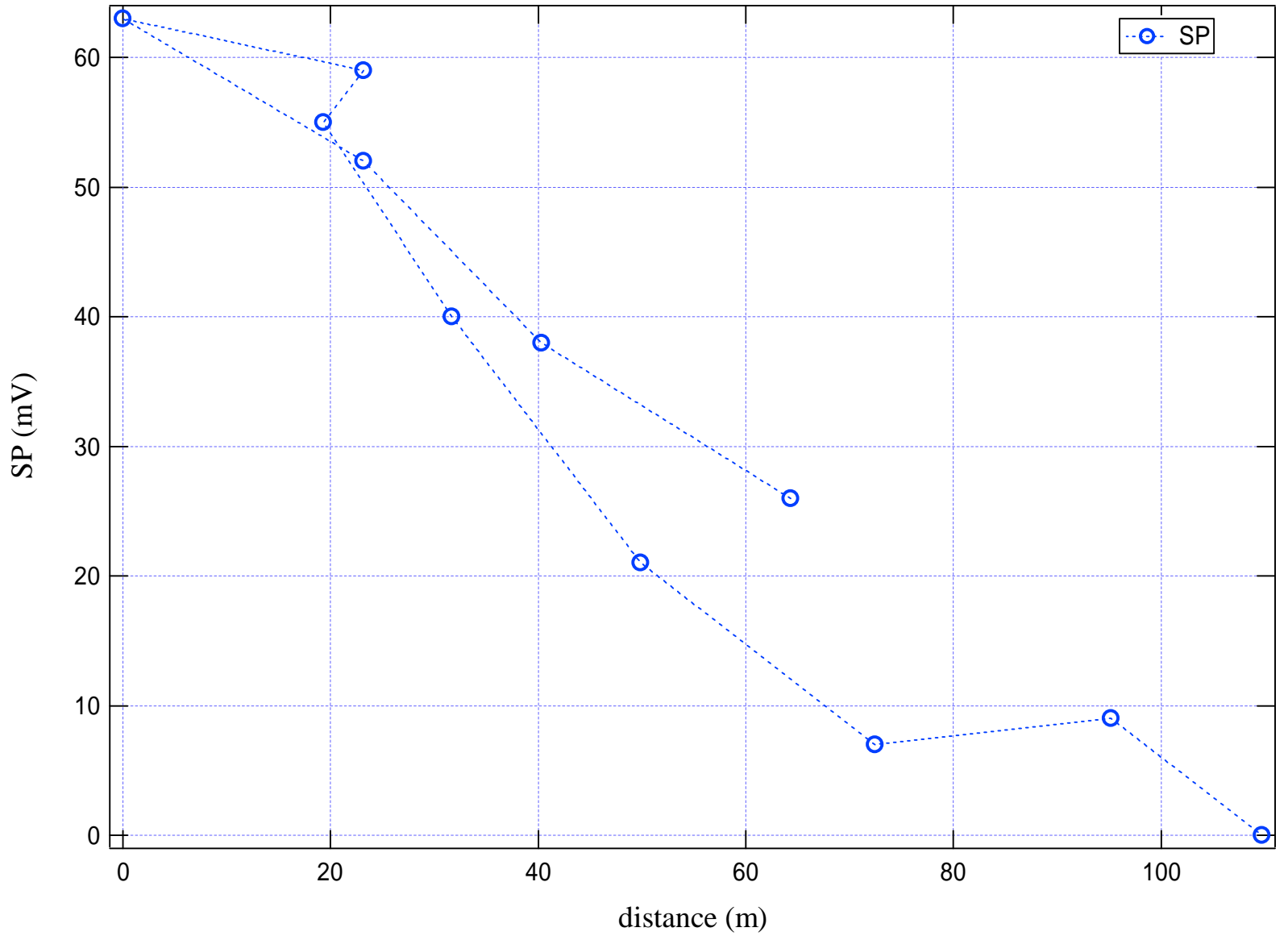
<i>site</i>	SP補正	<i>site</i>	SP補正	<i>site</i>	SP補正	<i>site</i>	SP補正	<i>site</i>	SP補正
<i>0</i>	0	<i>20</i>	-15	<i>40</i>	-56	<i>60</i>	-48	<i>80</i>	7
<i>1</i>	-18	<i>21</i>	-12	<i>41</i>	-64	<i>61</i>	-52	<i>81</i>	-15
<i>2</i>	21	<i>22</i>	-27	<i>42</i>	-69	<i>62</i>	-65	<i>82</i>	-22
<i>3</i>	23	<i>23</i>	-45	<i>43</i>	-57	<i>63</i>	-77	<i>83</i>	-21
<i>4</i>	-17	<i>24</i>	-45	<i>44</i>	-43	<i>64</i>	-76	<i>84</i>	-43
<i>5</i>	-3	<i>25</i>	-21	<i>45</i>	-32	<i>65</i>	-122	<i>85</i>	-40
<i>6</i>	-29	<i>26</i>	-4	<i>46</i>	-36	<i>66</i>	-78	<i>86</i>	-45
<i>7</i>	-39	<i>27</i>	3	<i>47</i>	-40	<i>67</i>	-122	<i>87</i>	-35
<i>8</i>	-81	<i>28</i>	0	<i>48</i>	-55	<i>68</i>	-154	<i>88</i>	-23
<i>9</i>	-57	<i>29</i>	-17	<i>49</i>	-74	<i>69</i>	-59	<i>89</i>	-27
<i>10</i>	-60	<i>30</i>	-25	<i>50</i>	-88	<i>70</i>	-45	<i>90</i>	-41
<i>11</i>	-39	<i>31</i>	-31	<i>51</i>	-86	<i>71</i>	-49	<i>91</i>	-54
<i>12</i>	-51	<i>32</i>	-51	<i>52</i>	-95	<i>72</i>	-59	<i>92</i>	-59
<i>13</i>	-50	<i>33</i>	-12	<i>53</i>	-92	<i>73</i>	-63	<i>93</i>	-29
<i>14</i>	-79	<i>34</i>	-39	<i>54</i>	-48	<i>74</i>	-83	<i>94</i>	-6
<i>15</i>	-45	<i>35</i>	-41	<i>55</i>	-18	<i>75</i>	-77	<i>95</i>	5
<i>16</i>	-63	<i>36</i>	-40	<i>56</i>	-34	<i>76</i>	-61	<i>96</i>	4
<i>17</i>	-29	<i>37</i>	-44	<i>57</i>	-63	<i>77</i>	-36	<i>97</i>	26
<i>18</i>	-40	<i>38</i>	-28	<i>58</i>	-62	<i>78</i>	-30	<i>98</i>	39
<i>19</i>	-5	<i>39</i>	-37	<i>59</i>	-52	<i>79</i>	-6	<i>99</i>	-16
								<i>100</i>	23

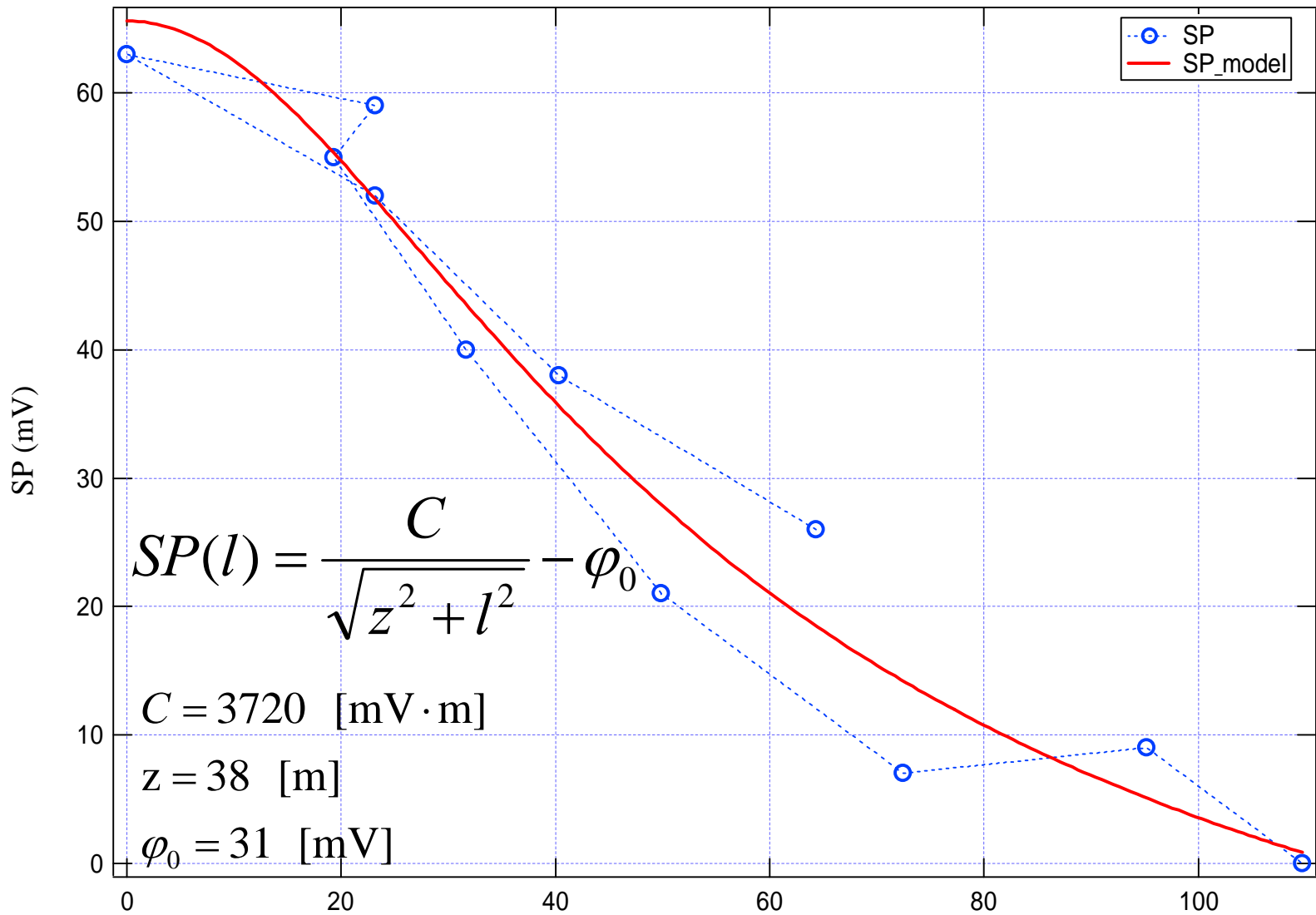
SP分布



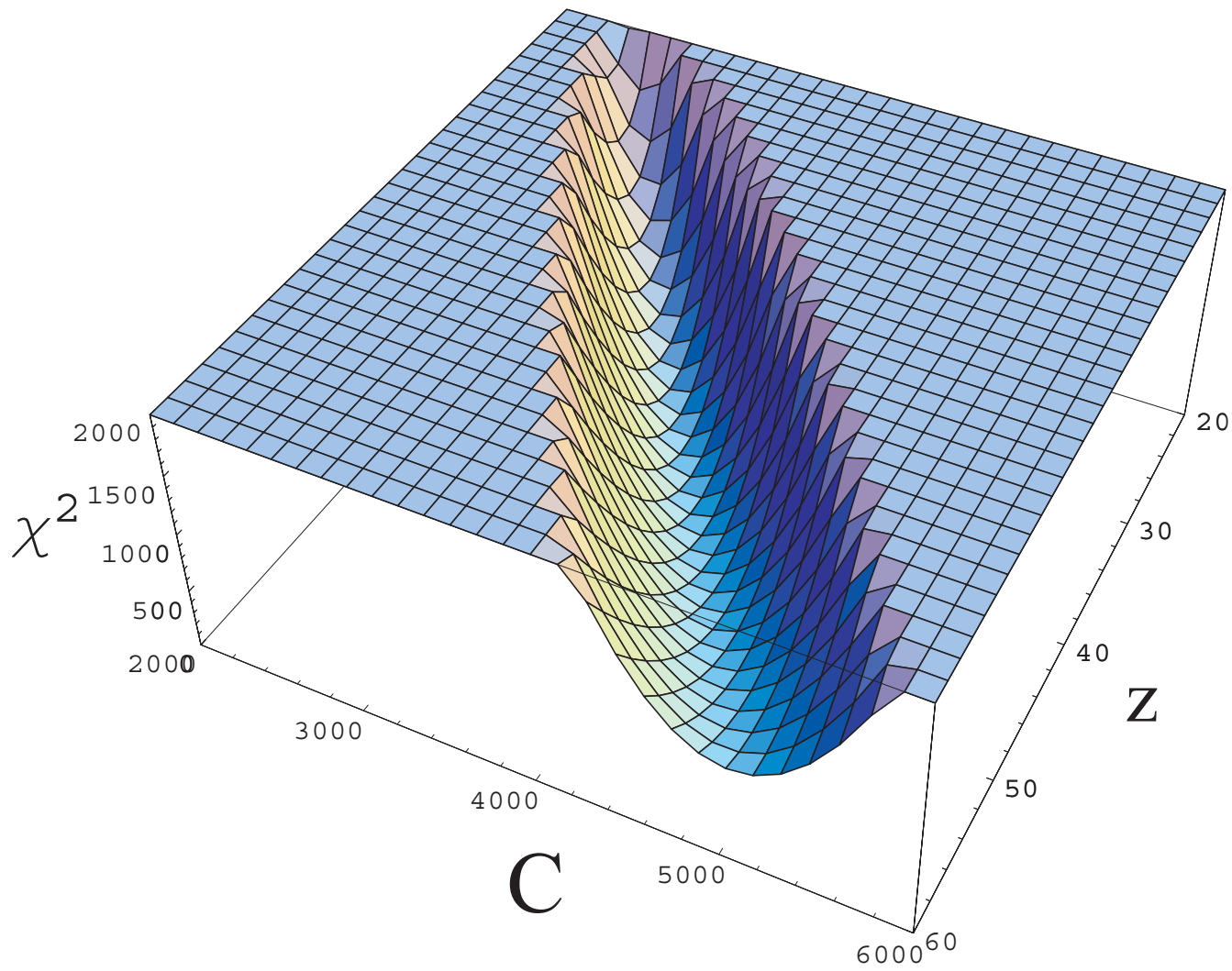
噴気による異常

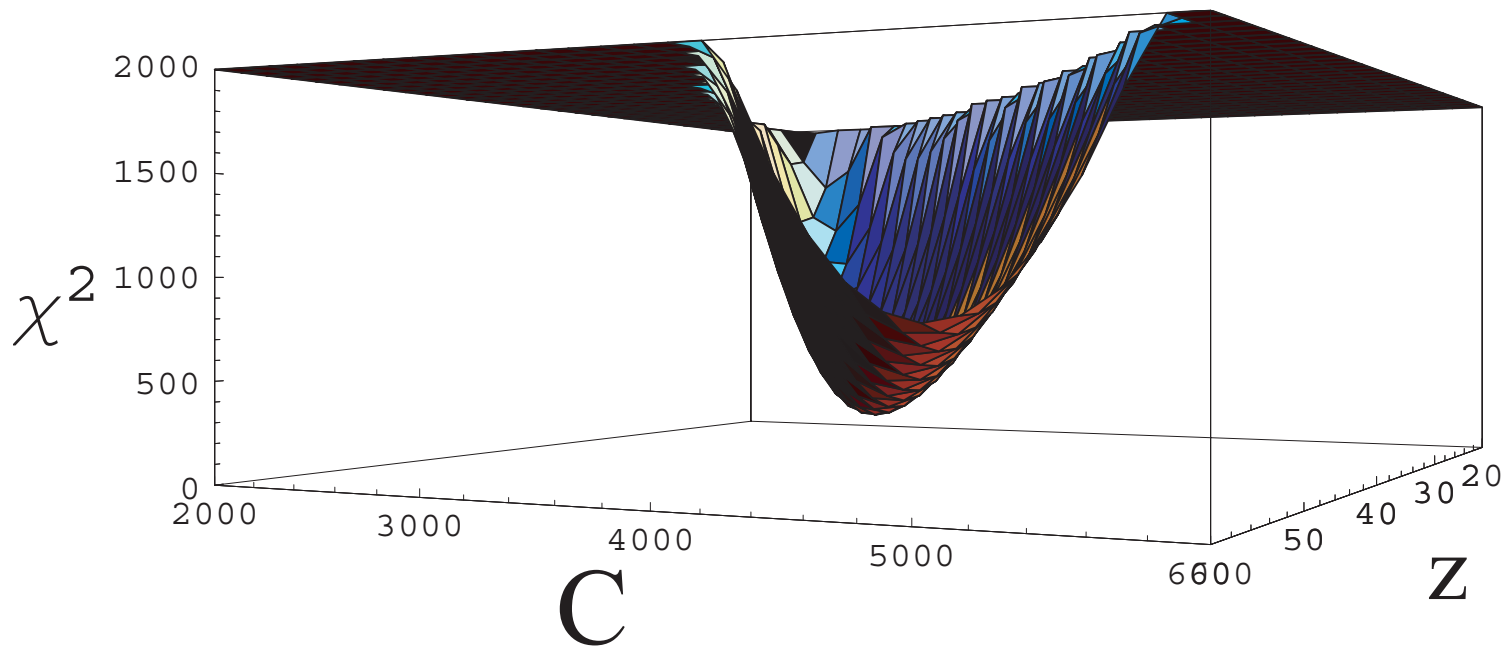


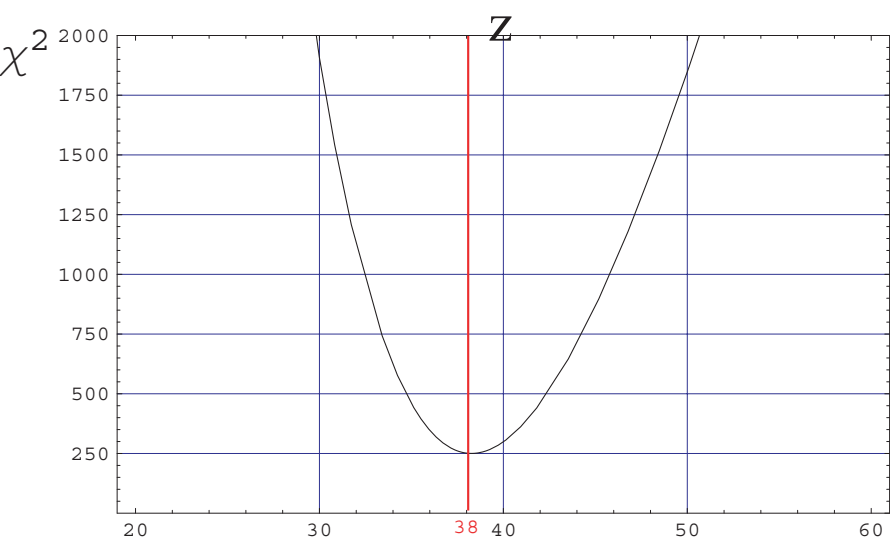
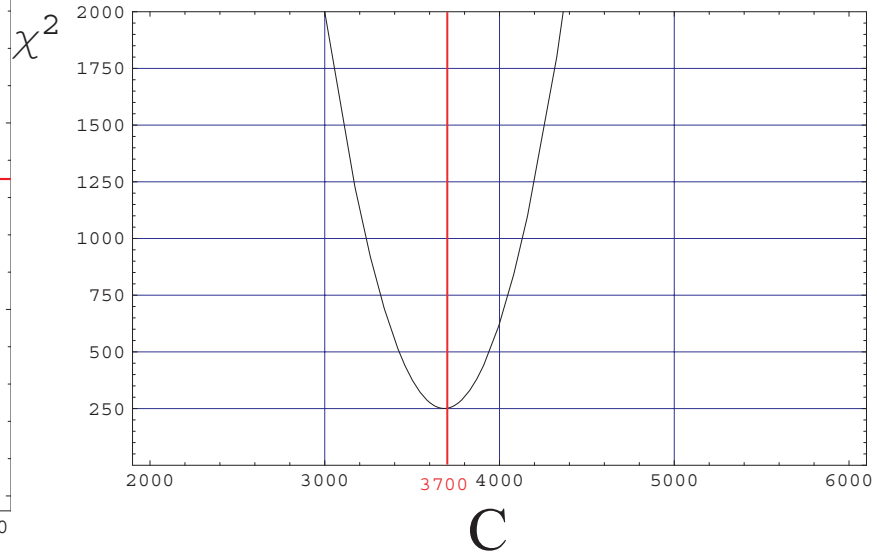
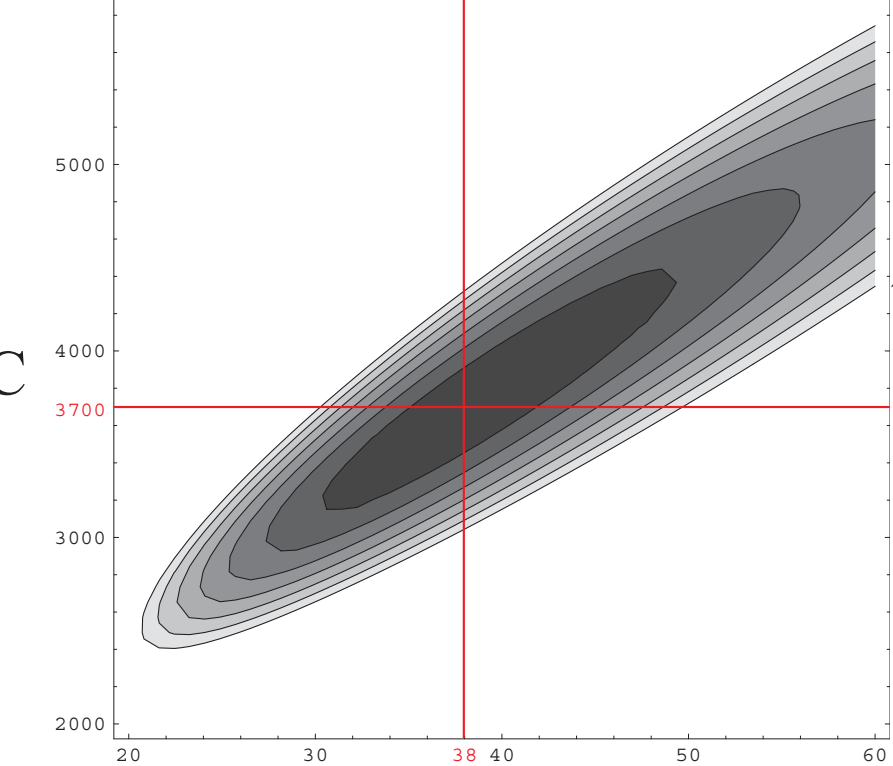




$$\chi^2 = \sum_{\text{distance (m)}} (\text{SP_model} - \text{SP})^2 = 251$$







VLF-MT観測

宮崎県えびの市のVLF局から送信されている
22.2kHzの電磁場を観測し見かけ比抵抗を
推定した。



site	ρ ($\Omega \cdot m$)
0	151
2	294
4	297
6	237
8	462
10	396

平均値 $\rho \sim 300(\Omega \cdot m)$

見かけ比抵抗

マクスウェル方程式

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = -i\omega\mu\mathbf{H} \\ \nabla \times \mathbf{H} = \sigma\mathbf{E} \end{cases}$$

$$\mathbf{H} = -\frac{\nabla \times \mathbf{E}}{i\omega\mu}$$

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

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

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

インピーダンス $Z_{xy} = E_x/H_y$

$$Z_{xy}(z) = \frac{E_x}{H_y} = \frac{E_x(0)e^{-kz}}{\frac{k}{i\omega\mu} E_x(0)e^{-kz}} = \frac{i\omega\mu}{k} = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma}}$$

見かけ比抵抗

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\omega\mu} |Z_{xy}|^2$$

測定値

site	ρ ($\Omega \cdot m$)
0	151
2	294
4	297
6	237
8	462
10	396

$$\rho \sim 300(\Omega \cdot m)$$

$$\sigma \sim 3 \times 10^{-3}(S/m)$$

探査深度の目安となるskin depth

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = -i\omega\mu\mathbf{H} \\ \nabla \times \mathbf{H} = \sigma\mathbf{E} \end{cases}$$

$$\mathbf{H}(t) = \mathbf{H}_0 e^{i\omega t}$$



$$\mathbf{E} = i\omega\mu\sigma\mathbf{E}$$

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}_x}{\partial z^2} = i\omega\mu\sigma\mathbf{E}_x = k^2 \mathbf{E}_x$$



$$\mathbf{E}_x = \mathbf{E}_0 e^{-kz}$$

振幅が1/e(約37%)になる深さ: skin depth

$$d_{skin} = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\sigma}} = \frac{\sqrt{10T\rho}}{2\pi} \text{ (km)}$$

$$\sim \frac{\sqrt{10 \cdot \frac{1}{22.2 \times 10^3} \cdot 300}}{2\pi} \sim 50 \text{ (m)}$$

- σ : 電気伝導度 (S/m)
- $\rho (= 1/\sigma)$: 比抵抗 (Ωm)
- ε : 誘電率 (F/m)
 - 真空の誘電率 $\varepsilon_0 \sim 8.854 \times 10^{-12}$
- μ : 透磁率 (H/m)
 - 真空の透磁率 $\mu_0 \sim 4\pi \times 10^{-7}$
- ω : 角速度 (rad/s)
- $T (= 2\pi/\omega)$: 周期 (s)

$$\varepsilon = 3 \times 10^{-10} \quad [\text{F/m}]$$

$$\zeta = 0.1 \quad [\text{V}]$$

$$F = 10$$

$$k = 2 \times 10^{-13} \quad [\text{m}^2]$$

$$C = 3700 \times 10^{-3} \quad [\text{Vm}]$$

$$\sigma = 3 \times 10^{-3} \quad [\text{S/m}]$$

$$J = \frac{Fk}{\varepsilon\zeta} I = 2\pi\sigma C \frac{Fk}{\varepsilon\zeta} \cong 5 \times 10^{-3} \quad [\text{m}^3/\text{s}] = 5 \text{ [liter/s]}$$

まとめ

- 自然電位及び比抵抗の観測を行った.
- 噴気による電位異常はそれほど大きくなかった.
- 噴気へと集まる水量は5l/sと推定された.
- より正確に噴気口を特定するにはさらに多くの観測が必要.