

草津観測実習—熱学—

指導 山野先生・飯高先生



M1 長岡 優

M1 渡邊 俊一

D1 楠田 千穂

D3 富士 延章



実習の目的

- ☀️ サーミスターセンサー温度計を用いた、
地温鉛直分布・地殻熱流量、地表での
地温日変動・熱特性の測定



実習の概要

- 場所：地震研小諸火山化学研究施設
- 日時：2009年7月28日～29日



観測手法

I. 地下水温の深度分布測定

- 地殻熱流量の推定

II. 地温・気温の日変動測定

- 熱拡散率の推定

III. 土壌, 水の熱伝導率・熱容量測定

- 熱拡散率の算出



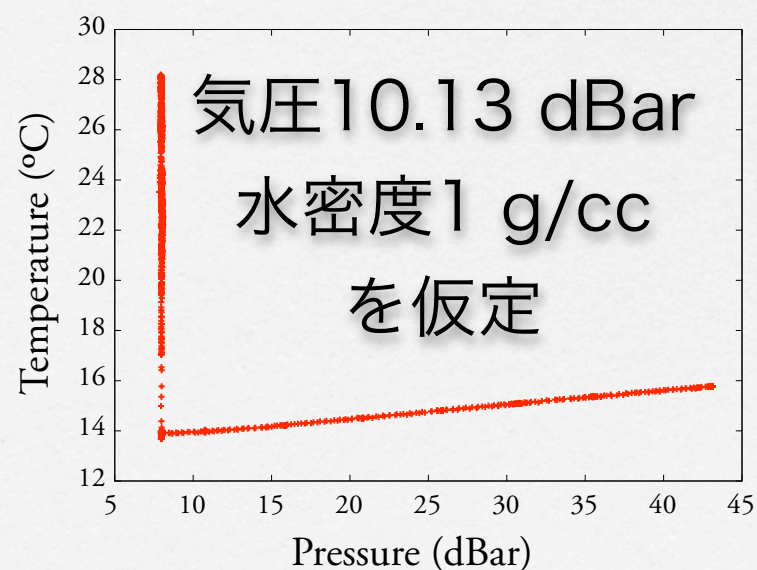
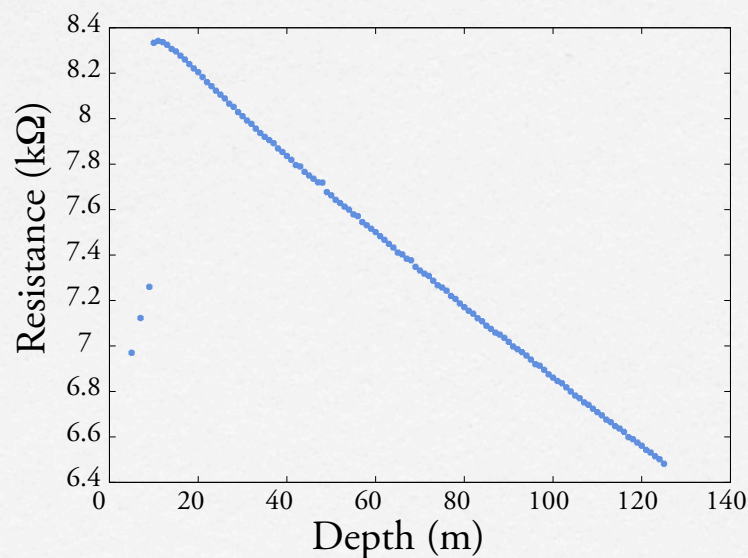
1. 地下水温の深度分布測定

- 小諸観測井にて地下水温を測定
 - 測定深度 地下水面(10m)~125m
 - 測定機器 サーミスターセンサ・
温度圧力ロガー



解析 地殻熱流量の推定

- 水温の深度分布から熱流量を推定
 - 抵抗値 v. 深さ (サーミスターセンサ)
 - 温度 v. 圧力 (圧力温度ロガー)



解析 抵抗値から水温算出

□ 多項式近似

$$\frac{1}{T} = \sum_{i=0}^n \alpha_i \ln(\text{Resistance})$$

□ 共役勾配法&赤池情報基準

CG (共役勾配法)

$$p_0 = A^T \delta d$$

$$\delta m = \sum_{j=1}^J \alpha_j p_j$$

AICによるカットオフ

PROBLEM SPECIFIC

$$\alpha_j = \frac{p_j^T (A^T A) A^T \delta d}{p_j^T A^T A p_j}$$

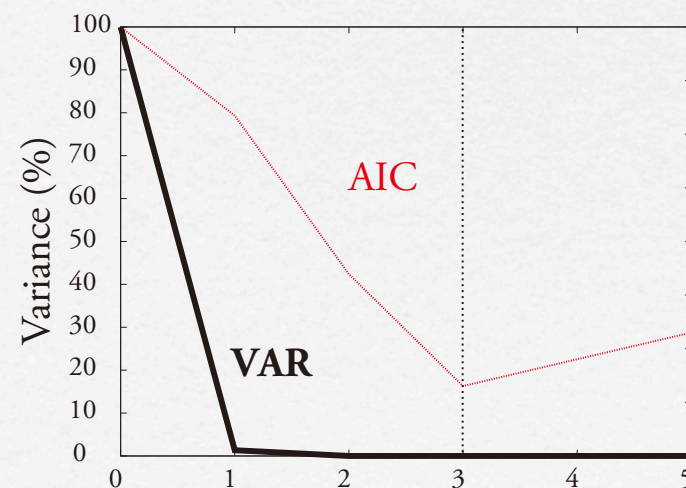
• 直交基底でモデル空間とデータ空間を結ぶ写像

$$p_{j+1} = r_j - \sum_{i \leq j} \frac{p_i^T A^T A r_j}{p_i^T A^T A p_i} p_i$$

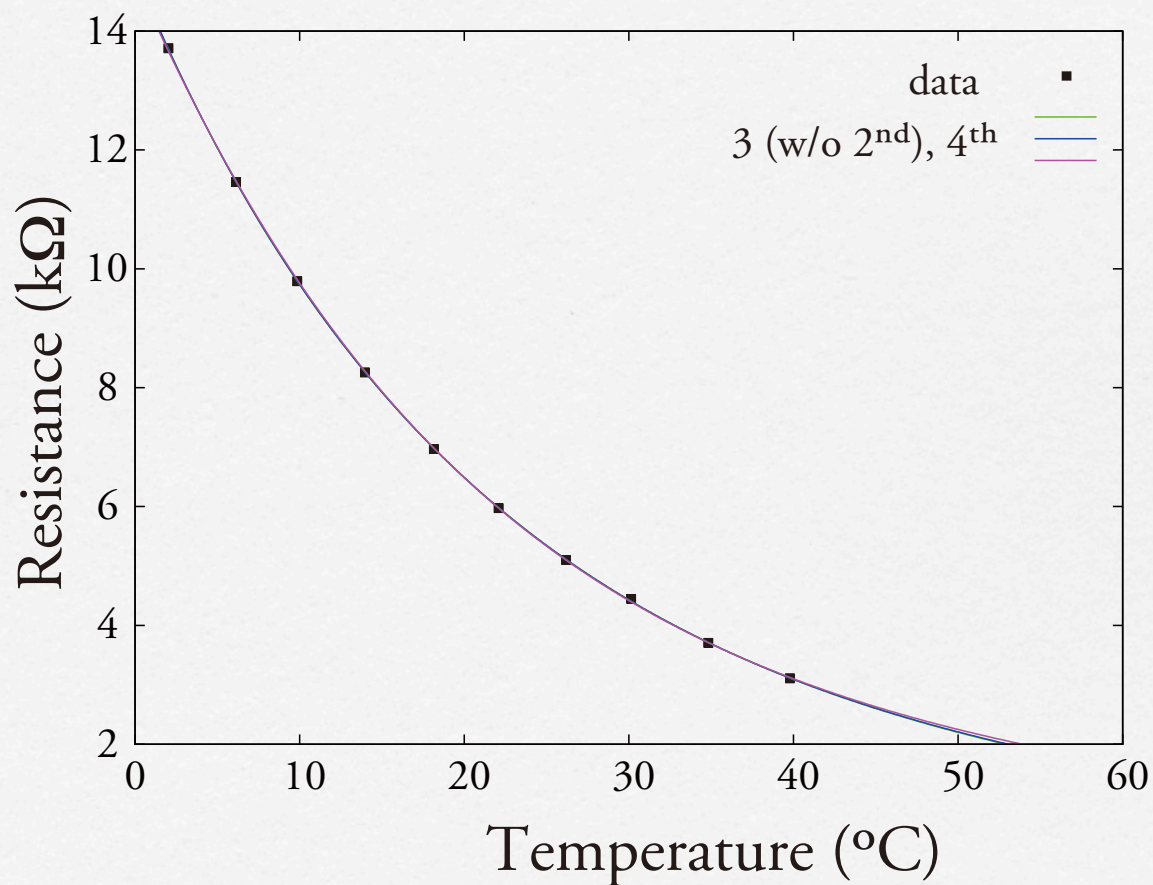
• 残差ベクトル $A^T d$ に平行なベクトルから始めて、逐次的に直交ベクトルを探索する

12

$$AIC_J = \frac{1}{\alpha} ND (\ln 2\pi + 1 + \ln(\text{VAR}_J)) + 2(J + 1)$$

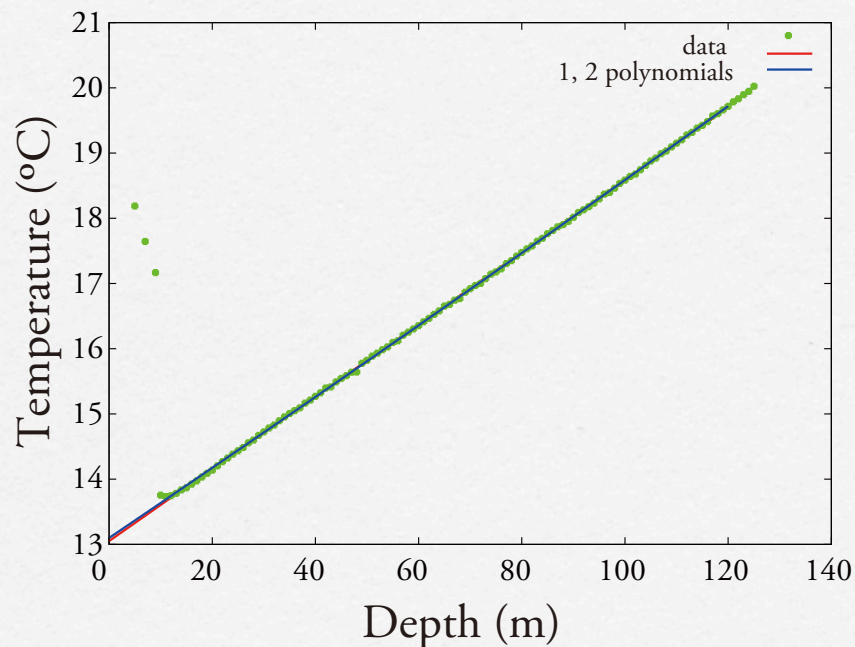


解析 抵抗値から水温算出



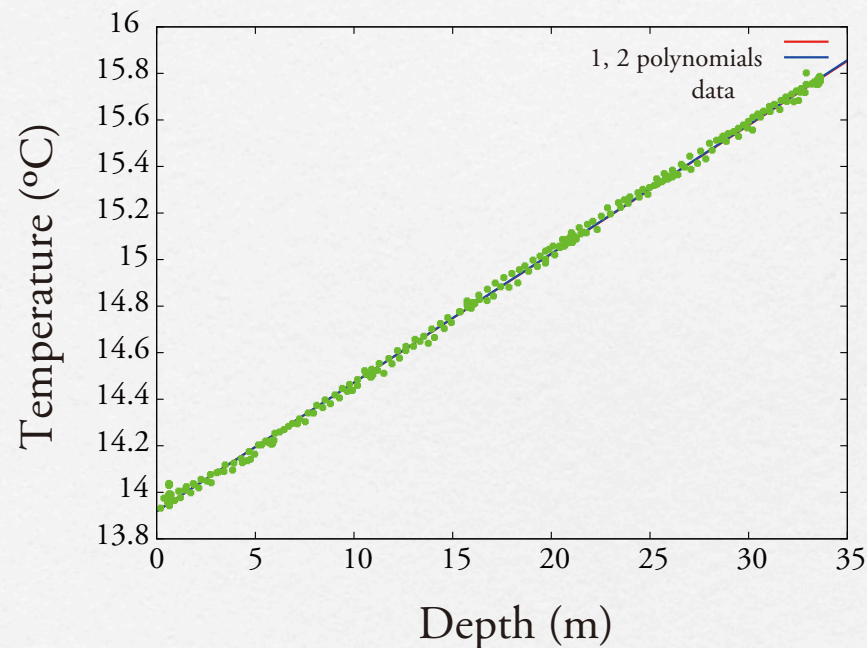
7/16

地温分布と1次・2次近似



$$\Delta T / \Delta z = 5.54e-2; 5.35e-2 \text{ [K/m]}$$

サーミスターセンサ



$$\Delta T / \Delta z = 5.53e-2; 5.53e-2 \text{ [K/m]}$$

温度圧力ロガー

1. まとめ 地殻熱流量

- CG&AICを使い、適切に水温分布・地温勾配を推定

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} \simeq 5.5 \times 10^{-2} [\text{K/m}]$$

$$K \simeq 2.0 \pm 0.5 [\text{W/K/m}]$$

$$Q = K \frac{\Delta T}{\Delta z}$$

$$\simeq 100 [\text{mW/m}^2]$$

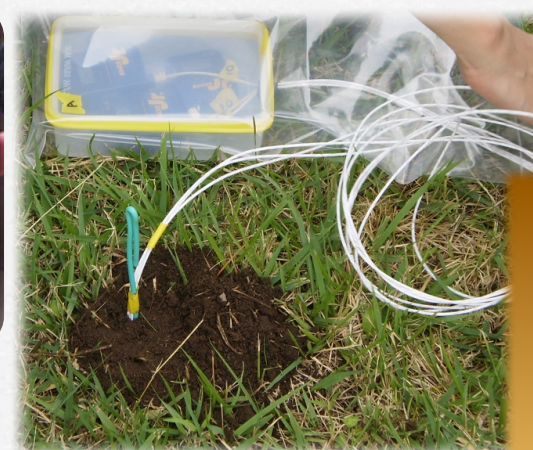
大陸地殻では、
だいたい 69
[mW/m²]らしいので、
浅間山効果でちょっと
ほかほか！



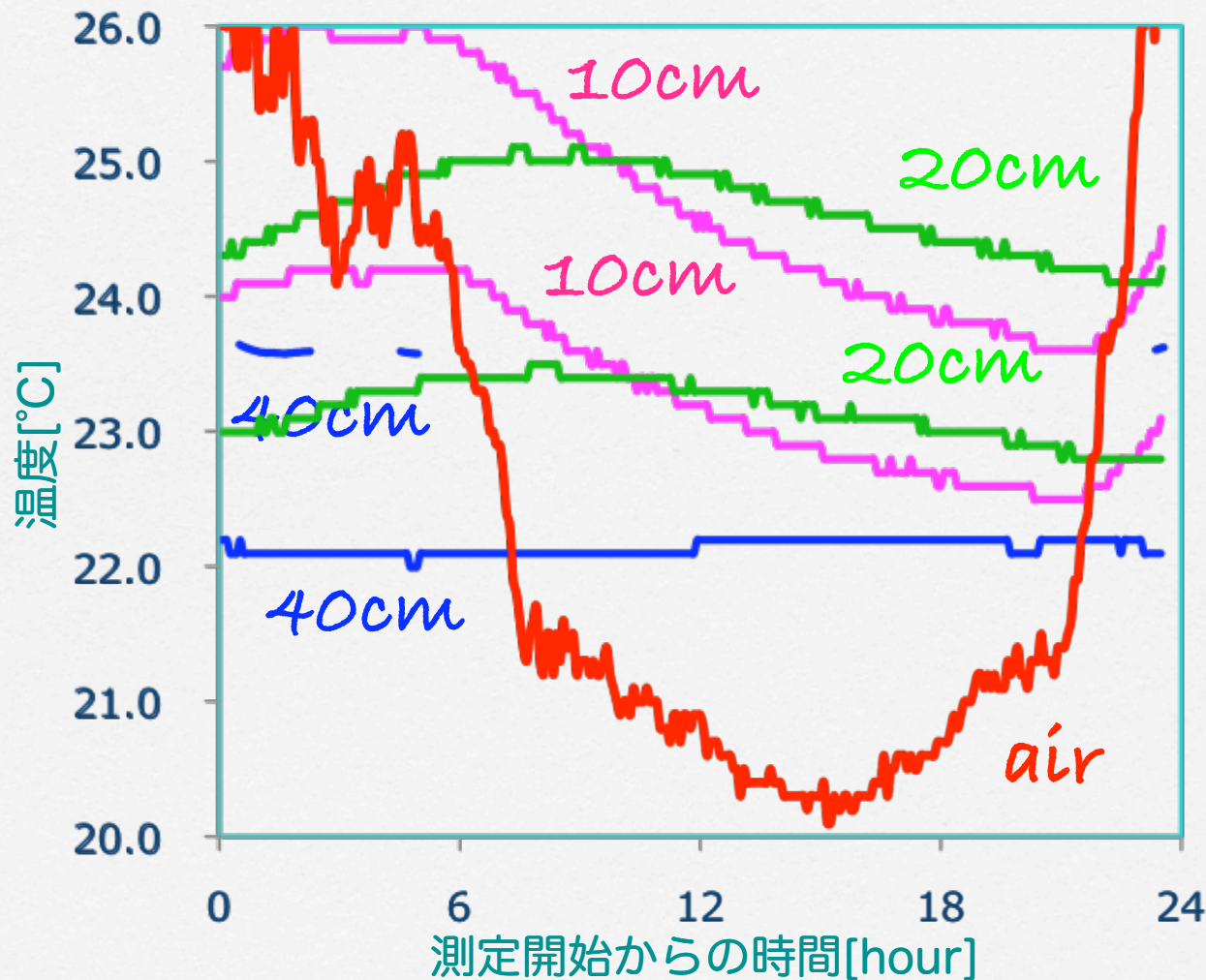
9/16

II. 地温・気温の日変動測定

- 気温の測定
- 地温の測定
- 深度 10, 20, 40 cm
- 場所 日なた・日陰
- 期間 7/28 11:20 ~ 7/29 10:50
- 測定機器 サーミスターセンサ



地温・気温の日変動測定結果



深くなる程,

- 振幅が減少
- 位相がずれる

日陰た

解析 熱拡散率の推定

- 原理 深さに依る温度振幅・位相のずれから求められる

- 熱拡散方程式:
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

- 地表での摂動:
$$T_s = T_0 + \Delta T \exp(i\omega t)$$

- 解:
$$T(z, t) = T_0 + \Delta T \exp\left(-z\sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}}\right) \cos\left(\omega t - z\sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}}\right)$$

- 位相差より,

$$\omega \Delta t = \Delta z \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}}$$

$$\kappa = \frac{1}{2\omega} \left(\frac{\Delta z}{\Delta t}\right)^2$$

II. まとめ

- 地下40cmまでの地温の日変動を測定
- 日なたと日陰を比較すると, 収束温度は異なるが, 深さに依る温度振幅・位相差はほぼ同じ
- 位相差から求めた土壌の熱拡散率は,

$$\kappa = 0.2 \times 10^{-6} [m^2/s]$$

おまけ

$$\kappa = 0.17 \sim 0.27 \times 10^{-6} [m^2/s]$$

III. 土壌, 水の熱拡散率

- 土壌の熱伝導率と熱容量を測定
- 寒天で水の熱伝導率と熱容量を測定
- 測定機器
ニードルプローブ



解析 熱拡散率の算出

- 測定値(熱伝導率, 単位体積あたり熱容量)から算出

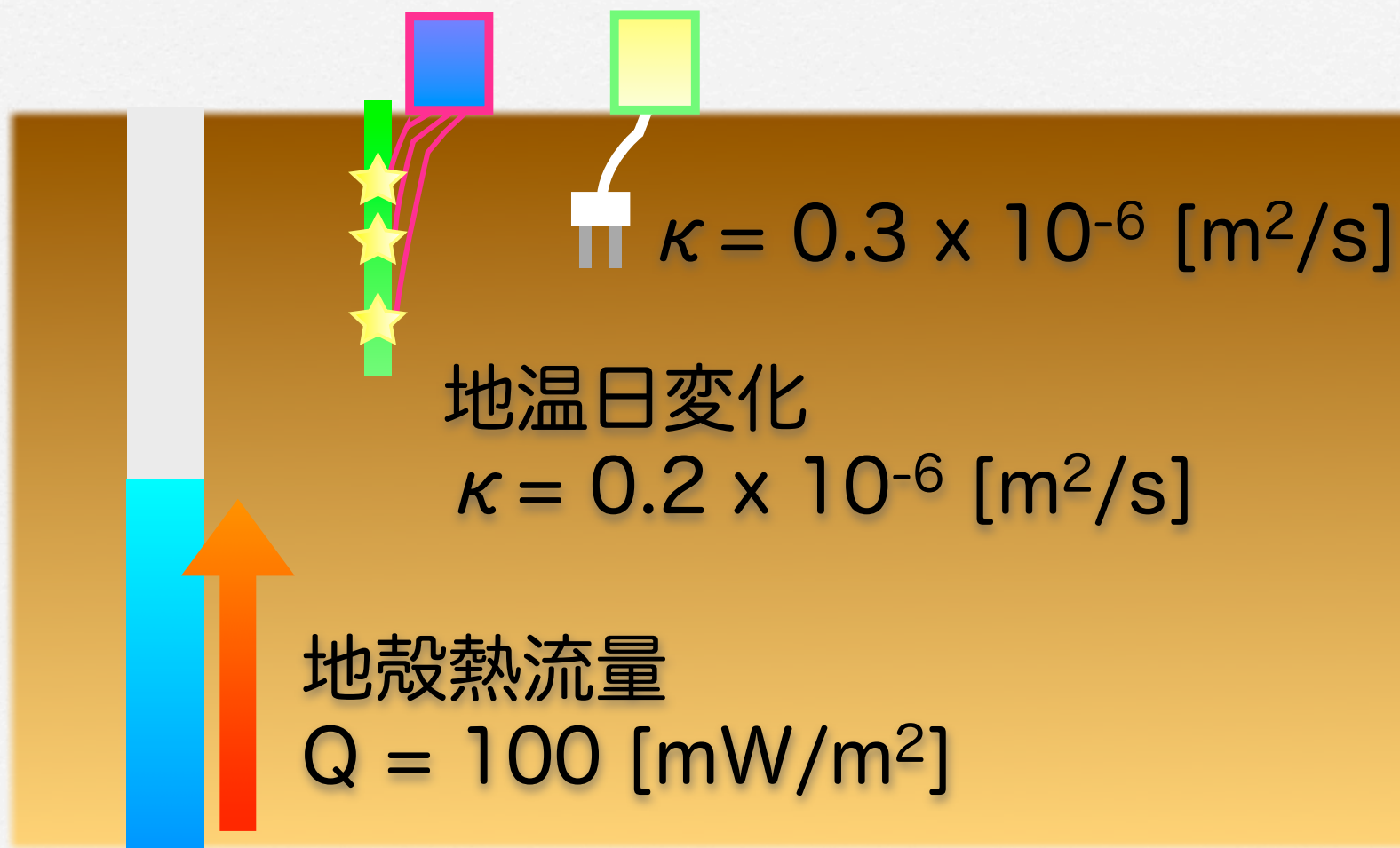
$$\kappa = \frac{k}{\rho C}$$

	±①	±②	±③	寒天
熱伝導率 k (W/mK)	0.576	0.588	0.720	0.601
熱容量 ρC (MJ/m ³ K)	2.162	1.984	2.752	4.017
熱拡散率 κ (10 ⁻⁶ m ² /s)	0.266	0.296	0.262	0.150

III. まとめ

- 土壌, 水の熱拡散率を求めた
- 土壌 $\kappa \sim 0.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- 水 $\kappa \sim 0.15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- 鉱物 $\kappa \sim 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (理科年表)
- II の $\kappa \sim 0.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ とだいたい一致
- 土壌は鉱物と水の混合物

観測実習 熱学班のまとめ



thank
you

観測を通して、チームワークと
テーブルワークを学びました。

草津セミナーハウスにて 2009.7.28.-29.

