

# 地下温度分布計測による 地表面温度環境の復元

地下熱グループ

- ・ 孔井内温度プロファイルの測定
  - 地表面温度変動の復元
- ・ 浅部での長期温度計測（多点）
  - 温度変動の拡散過程を捉える



1年～数百年の時間スケールの地表面環境変動を調べる

気温、土地利用の変化、地下水の流動、等

- 原理

  - 熱拡散現象

- 解析手法と実例

  - 孔内温度プロフィール

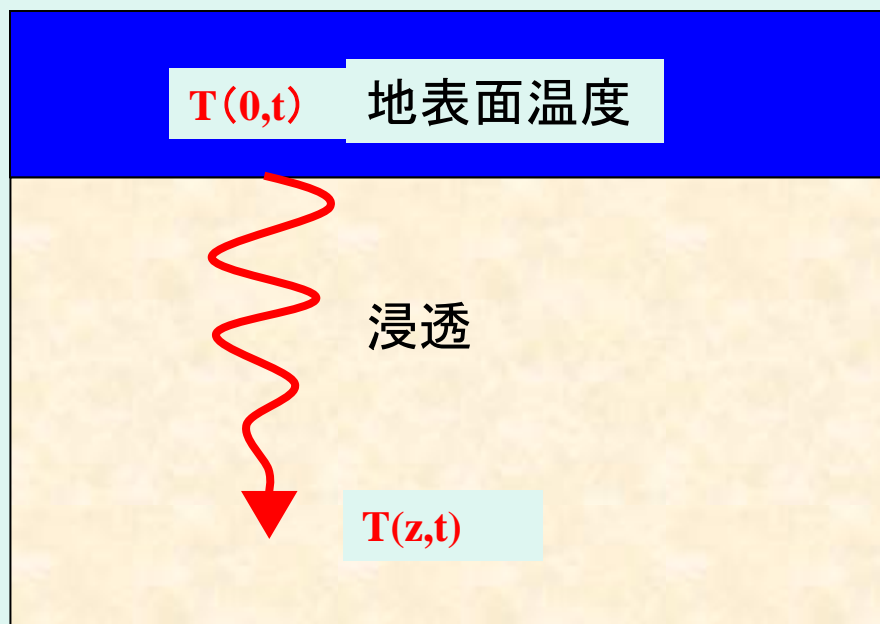
  - 長期温度計測

- 対象地域の地下温度データ

  - 熱流量、孔内温度

# 基本原理

## 地表面温度変動の地下への浸透



### 熱拡散方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

$\kappa$ : 熱拡散率

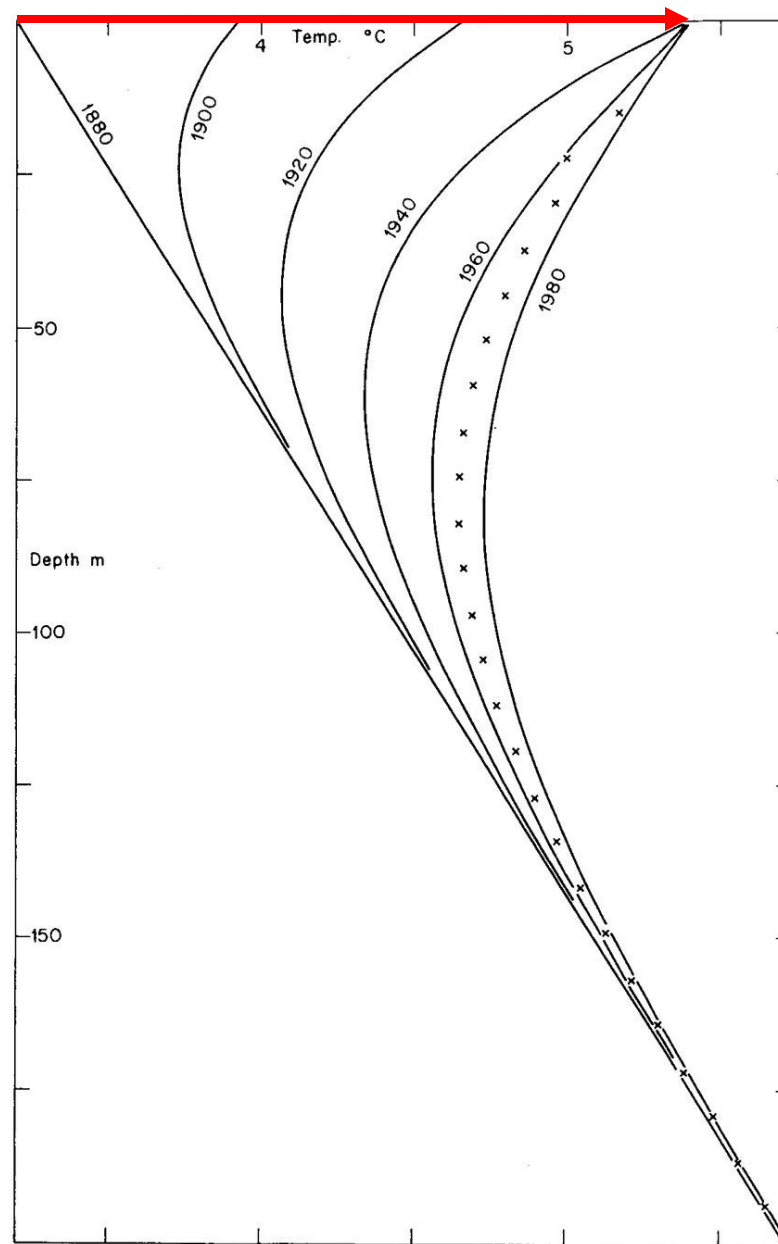
# 熱拡散現象の特徴

- 伝搬に時間を要する  
過去の情報を記憶
- シグナルが拡散  
分解能が時間とともに低下
- 解の重ね合わせが可能  
ステップ状の変動  
周期変動

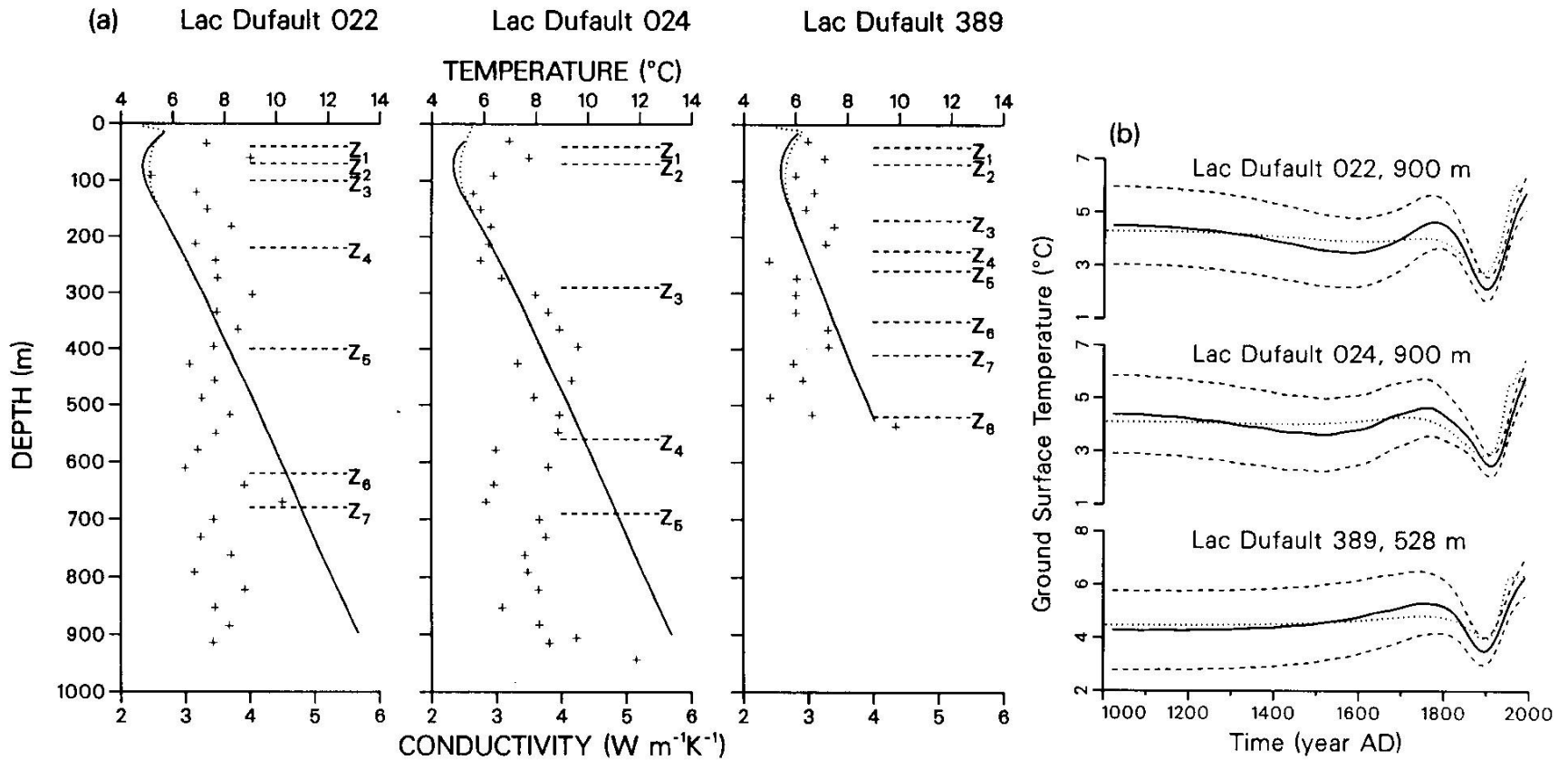
# 温度変動の影響

- ・ 熱流量測定（地下深部の温度を知る）には  
ノイズ
- ・ 過去の地表面温度についての  
シグナル  
→ 気候変動復元の研究

# ステップ状変動 の影響



# 気候変動復元の例

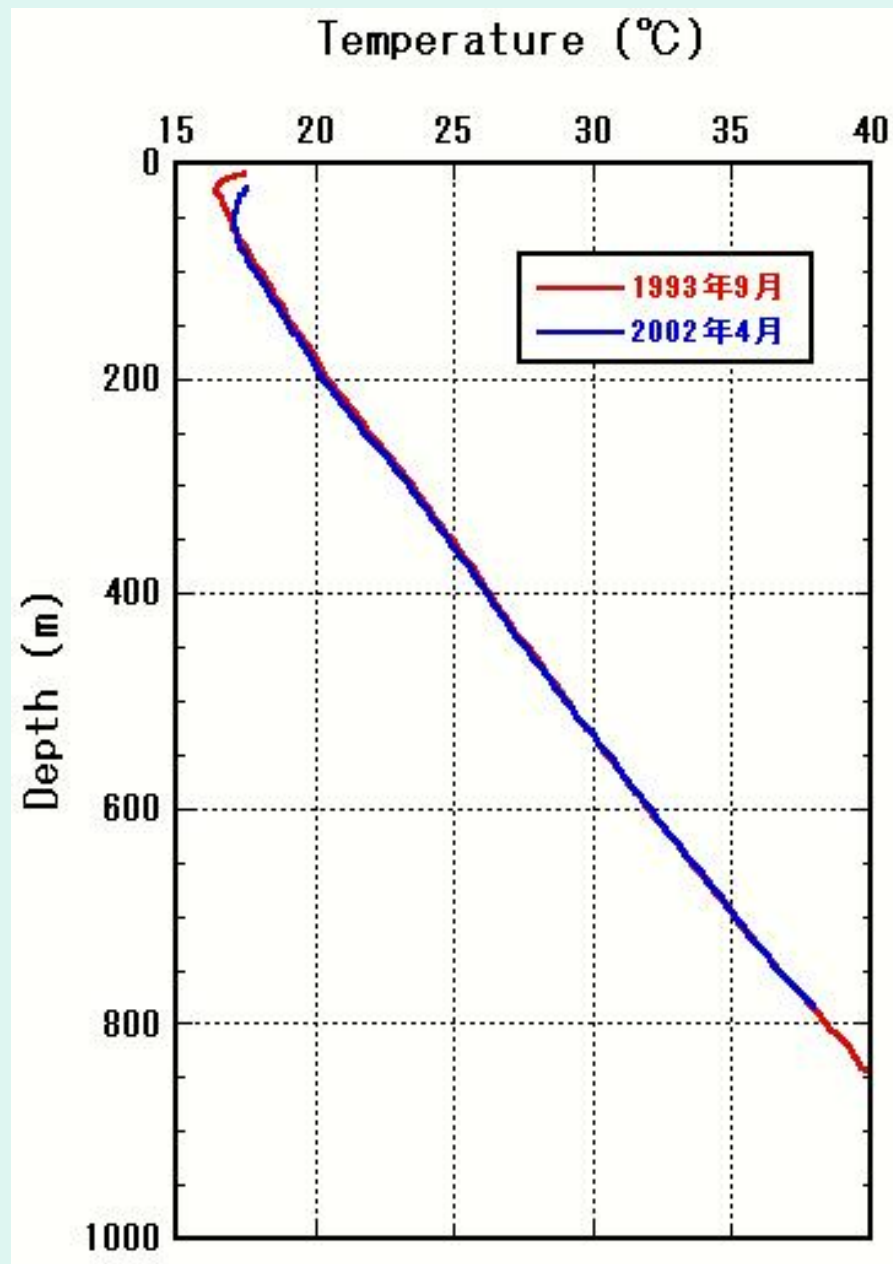


Wang et al. (1992)

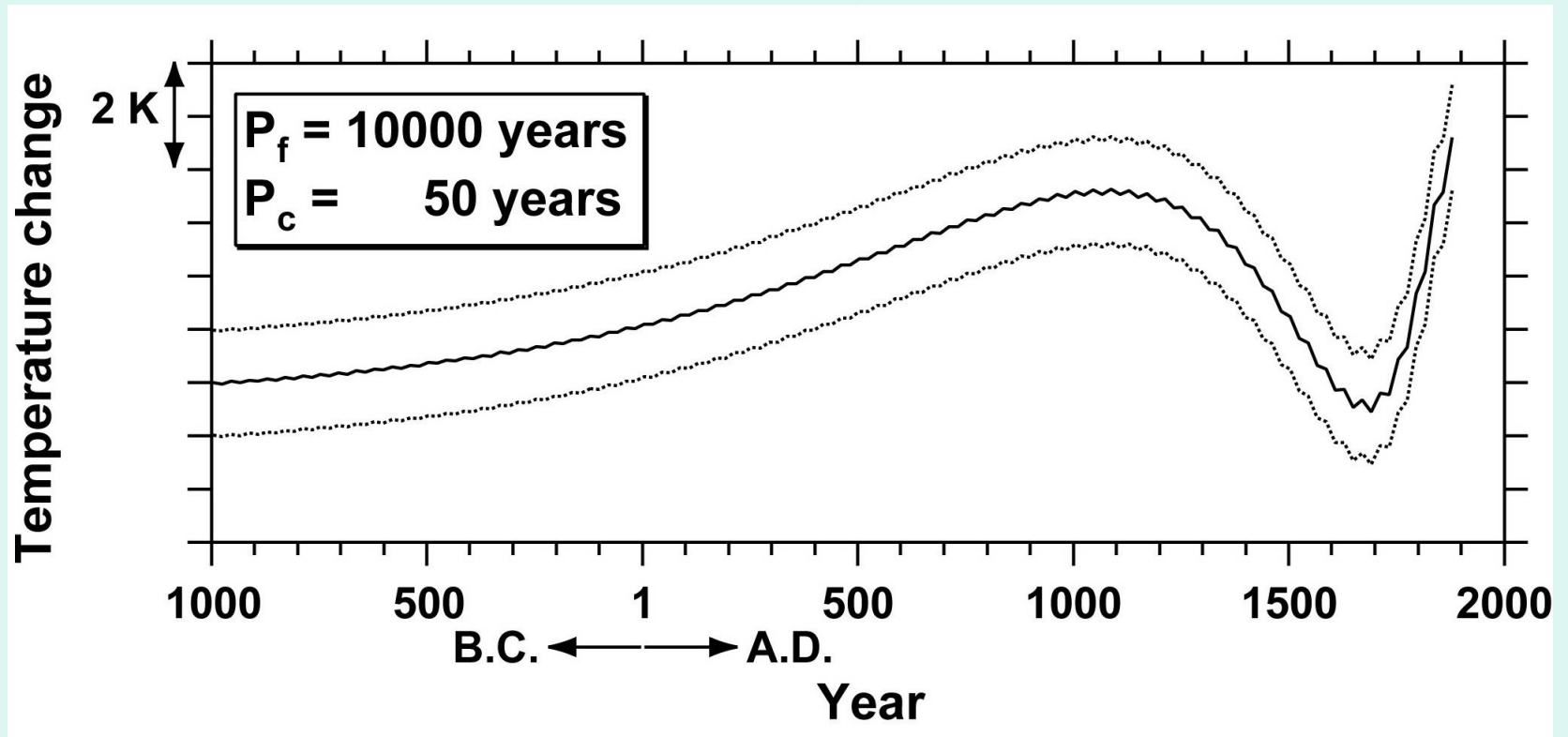
# 琵琶湖畔の孔井

(滋賀県立琵琶湖博物館)

1993年9月と2002年4月に  
温度検層を実施



# 地表面温度の復元結果



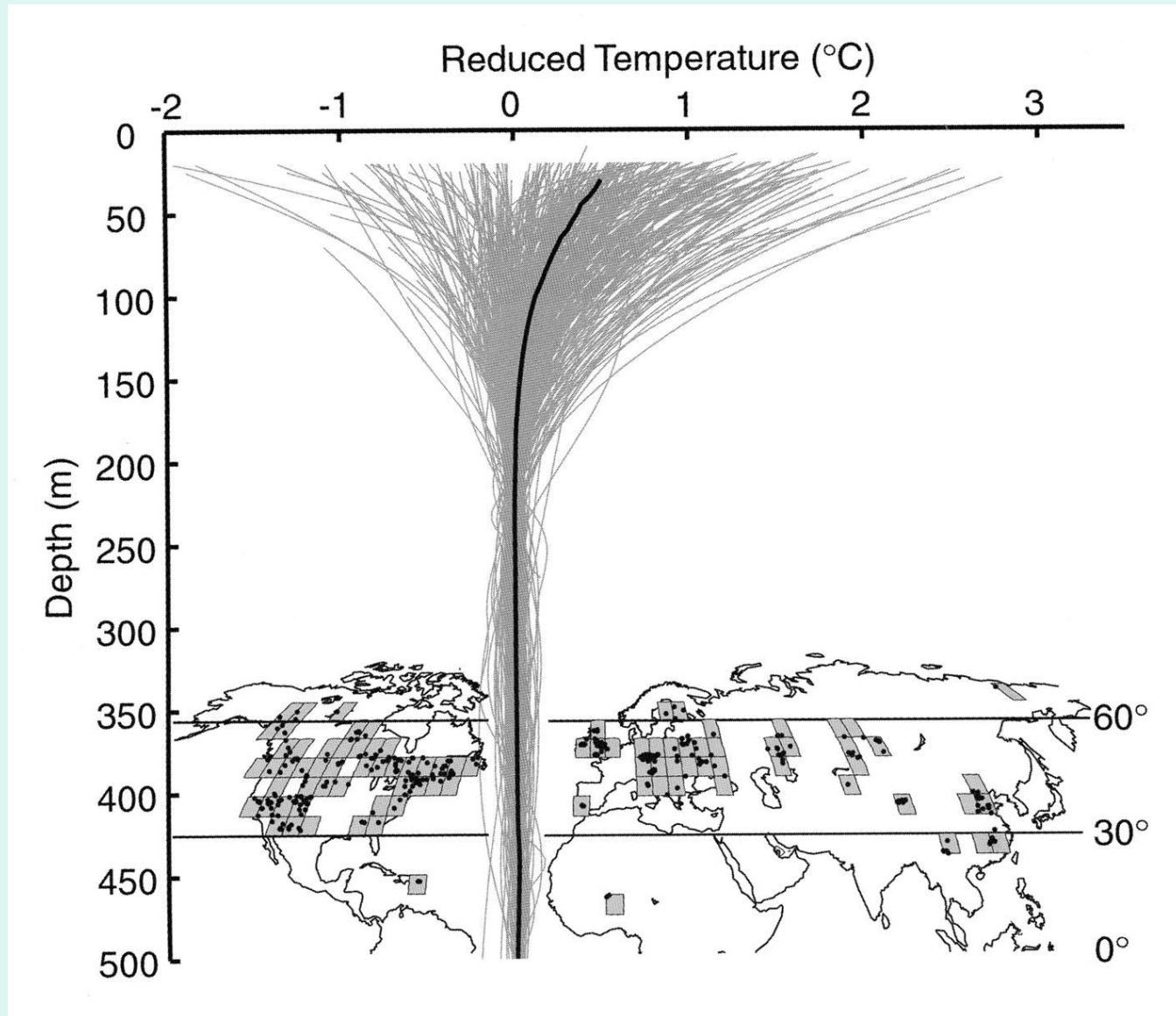
# 地球規模での解析

気候変動復元のための孔井温度データベース  
(IHFC)

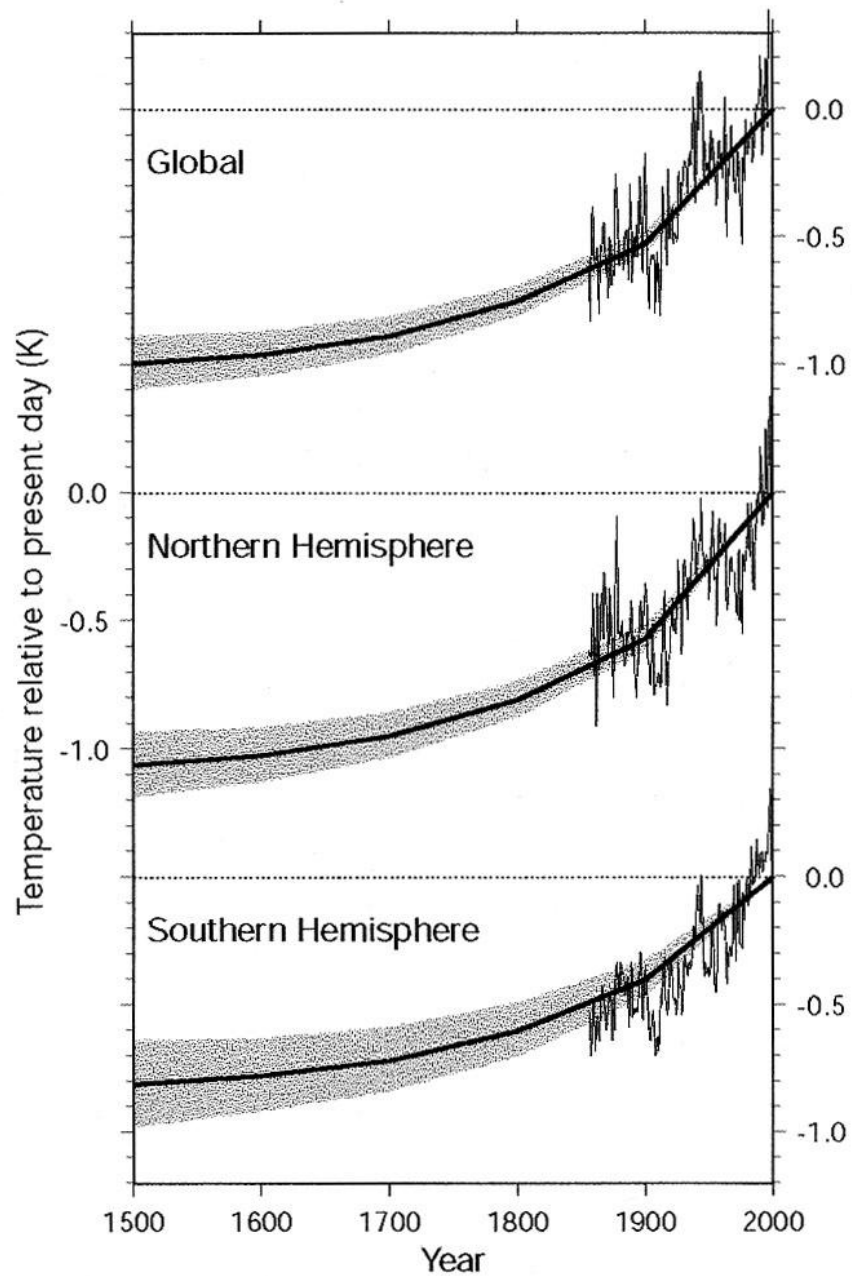


統計的な解析処理

# 北半球で観測された温度プロファイルの異常

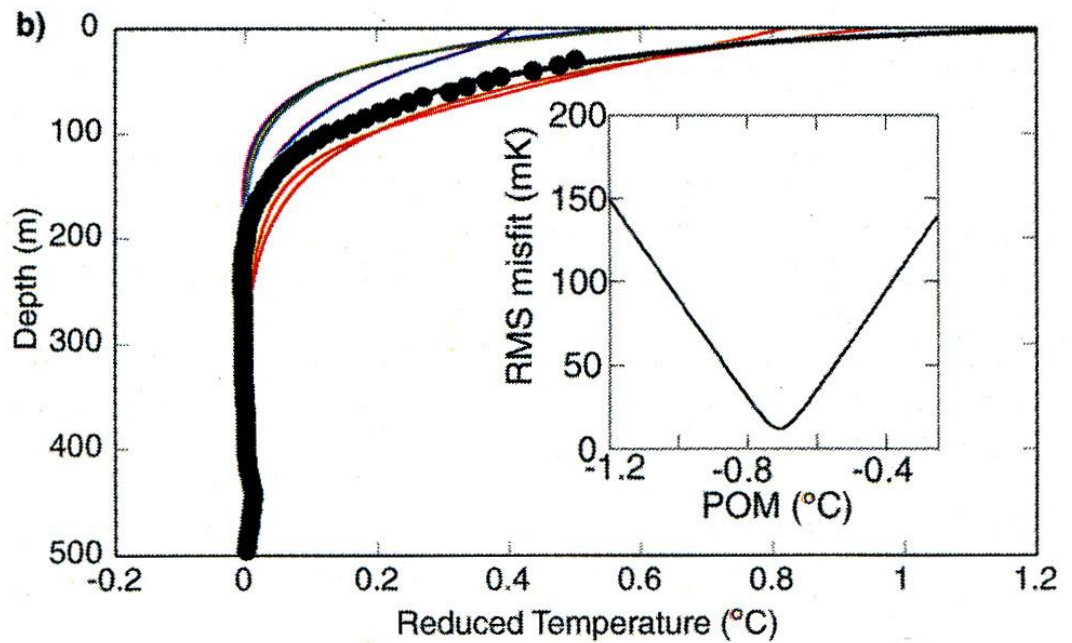
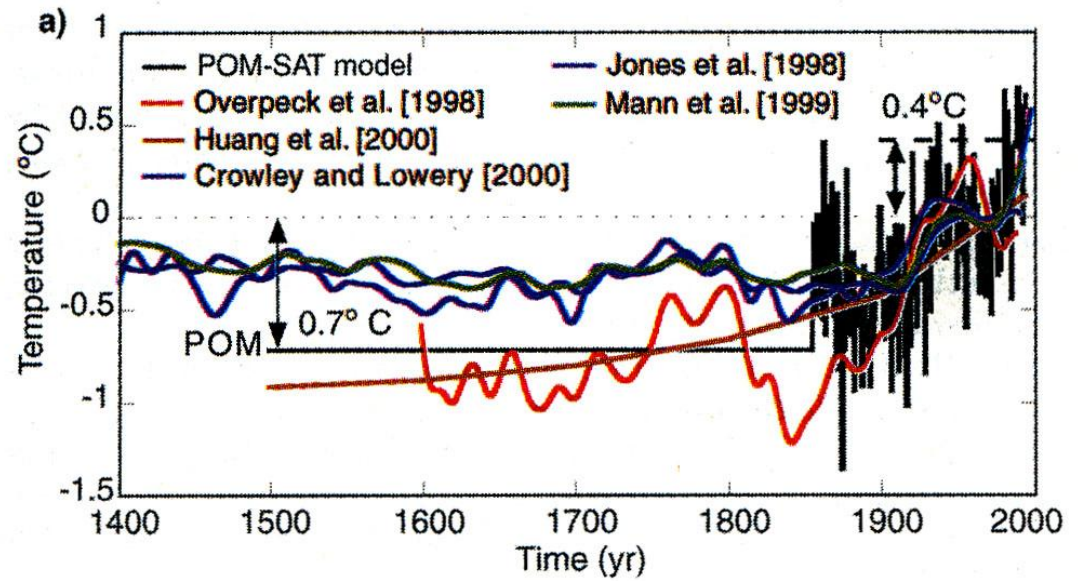


# 復元結果の平均と 気象データの比較



Huang et al. (2000)

# POM-SATモデル



Harris and Chapman  
(2001)

# より複雑なモデル

- 多層構造モデル

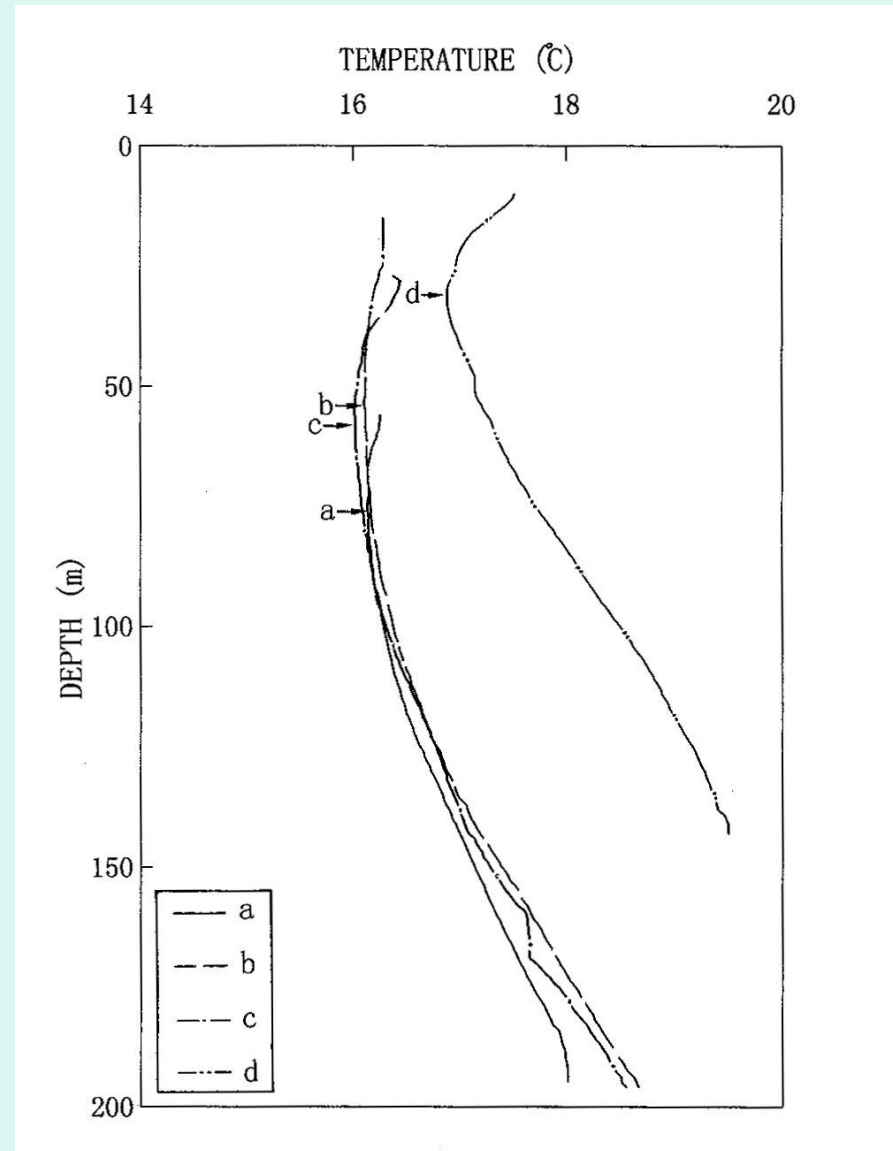
熱伝導率の違いを考慮

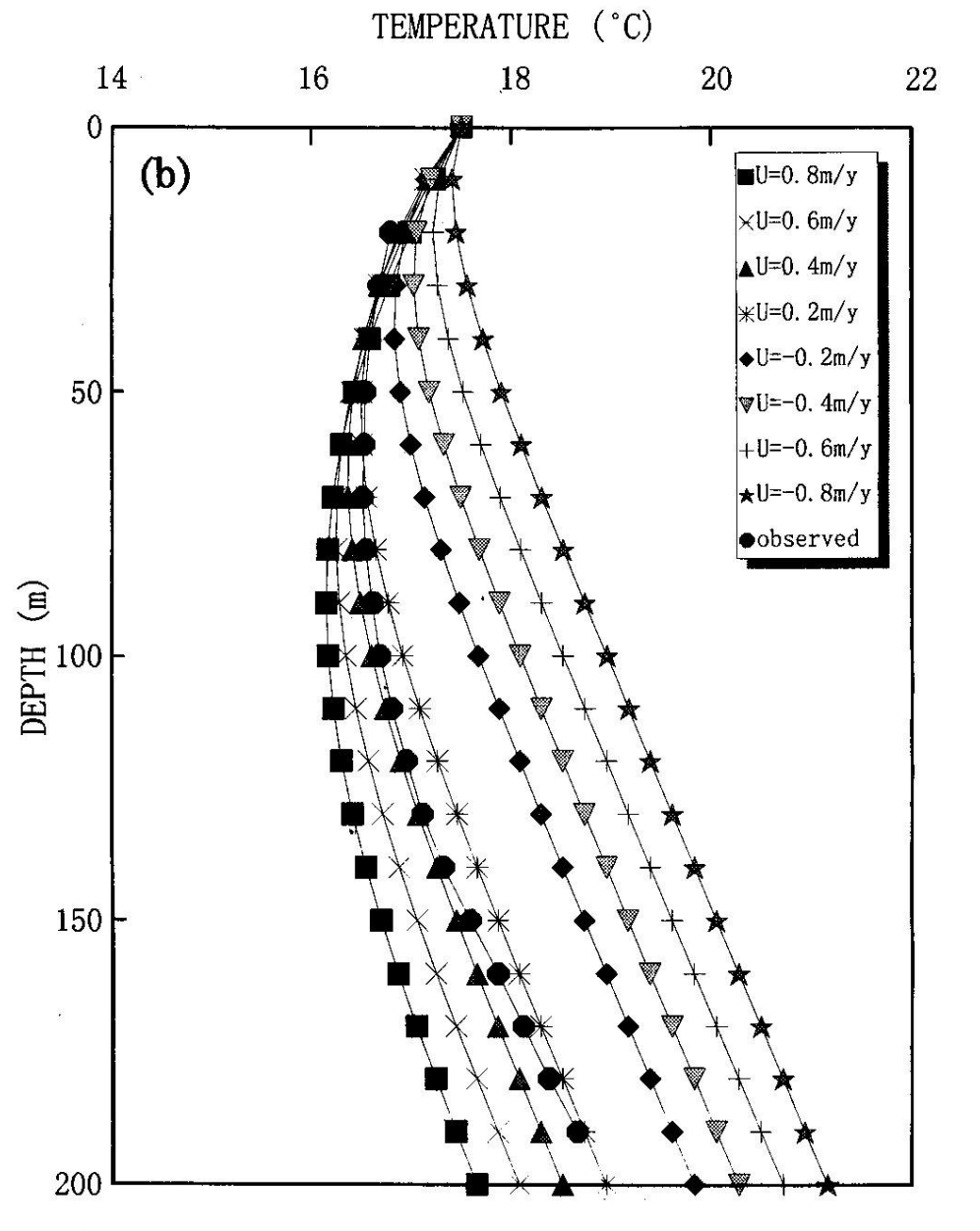
- 地下水流動の影響

水の流れによる熱輸送

地表面温度変動との組み合わせ

# 地下水流動を 含めた解析





# 計測方法

## 1. 温度ロギング

### 繰り返し測定

温度分布の安定性の確認

違う時点のデータを合わせての解析

過去の測定データがあることが望ましい

例えば10～20年前

## 2. 長期計測

複数の深度での温度モニタリング

# 長期計測により捉えられるもの

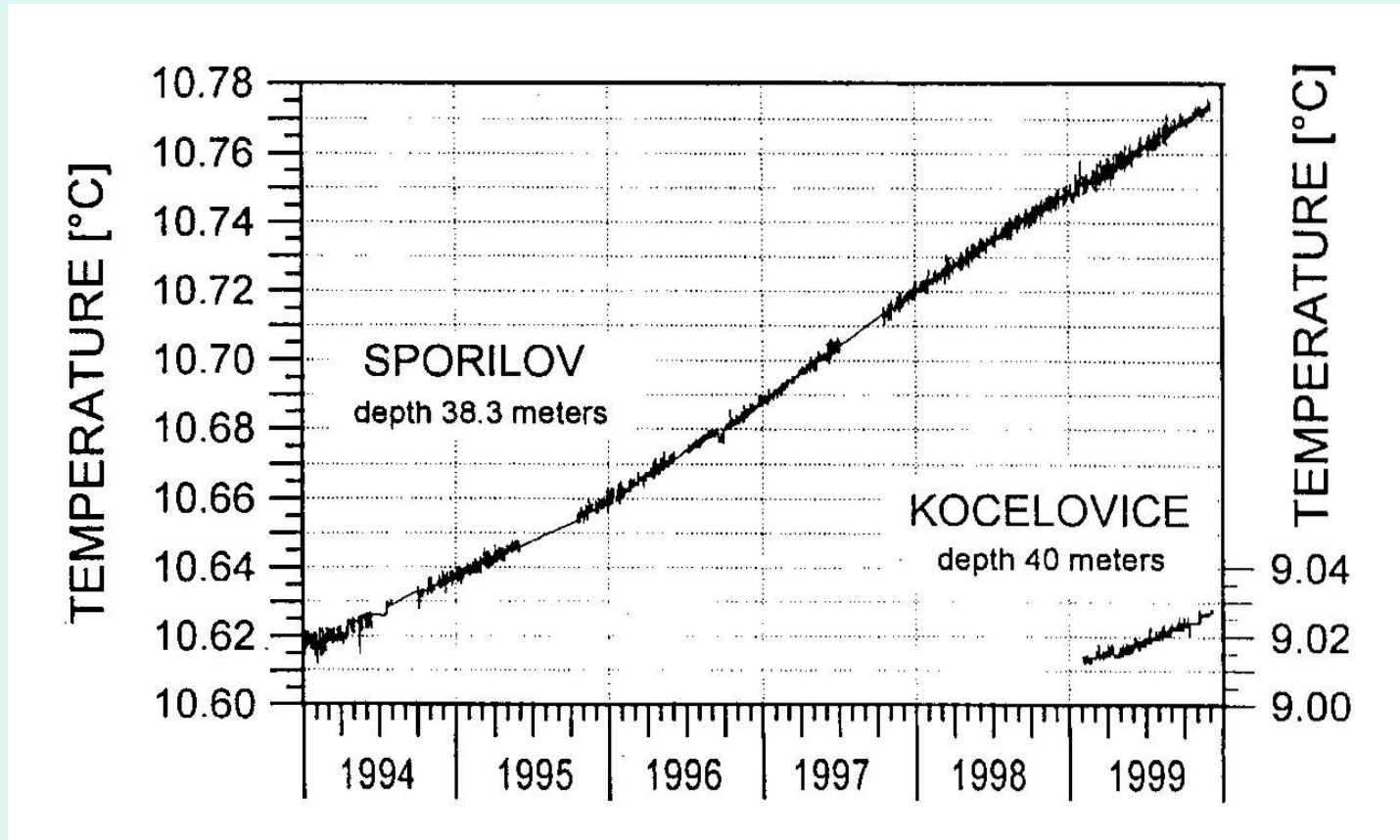
## 地表面での温度変動が浸透する過程

- ・ 熱輸送のメカニズム
  - 熱伝導 vs. 移流（地下水、堆積）
  - 熱拡散率の推定
- ・ 変動の原因
  - 複数のモデルの判別？

# 長期計測の実例

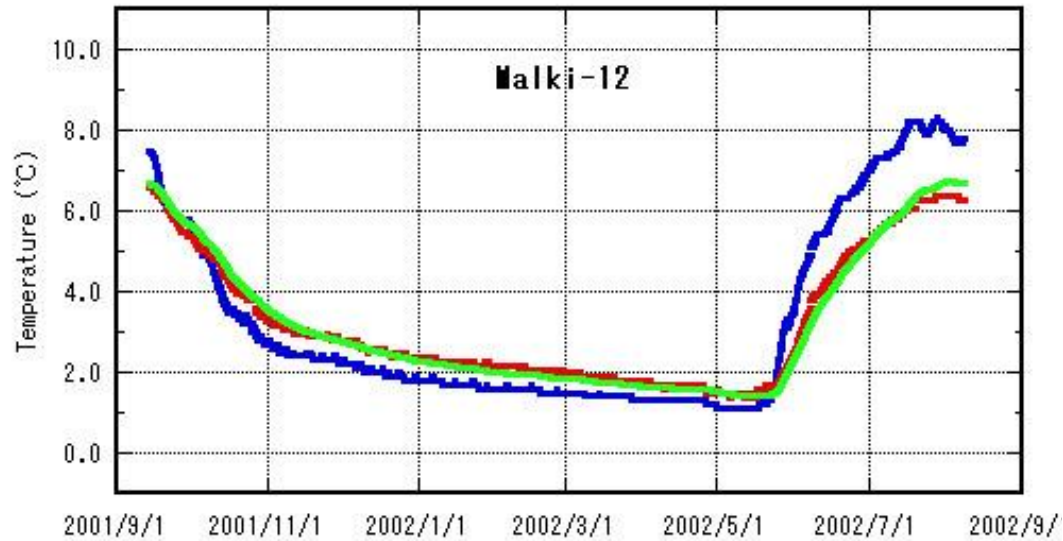
深さ40mまでの長期計測（チェコ）

Cermak et al. (2000)

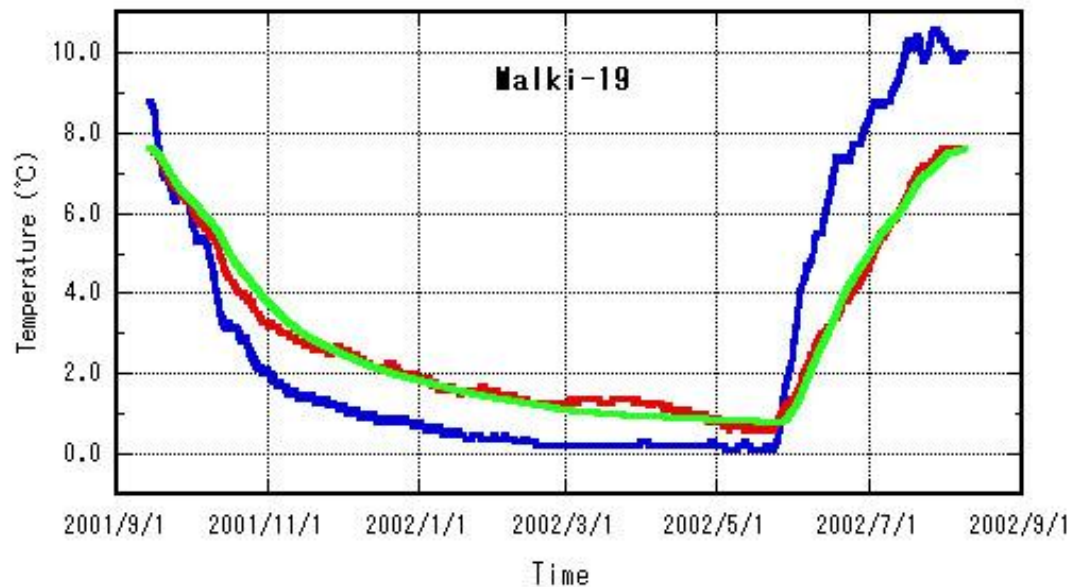


長期的なトレンド（温暖化）のみが検出される

# 深さ 0.5m、1m の温度記録(カムチャッカ半島)

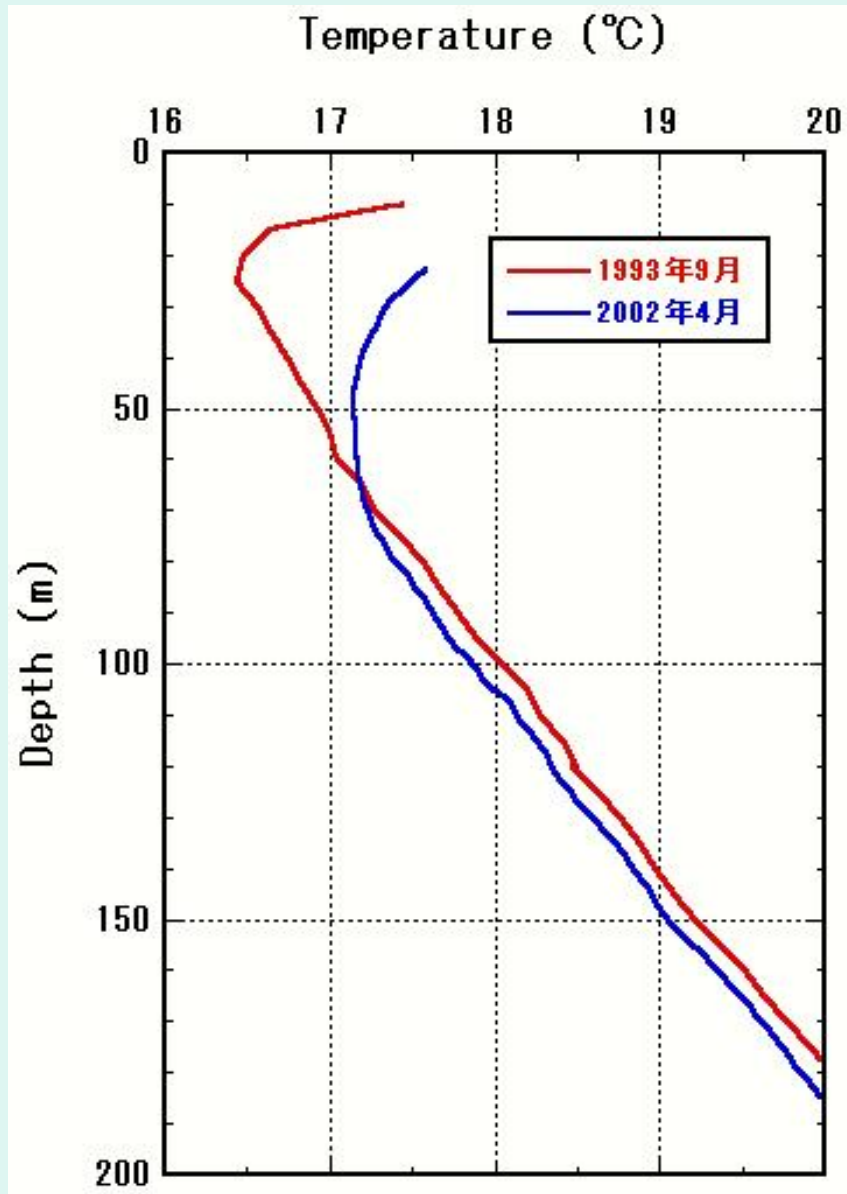


ほぼ熱拡散のみ



潜熱の影響？

# 琵琶湖畔の孔井

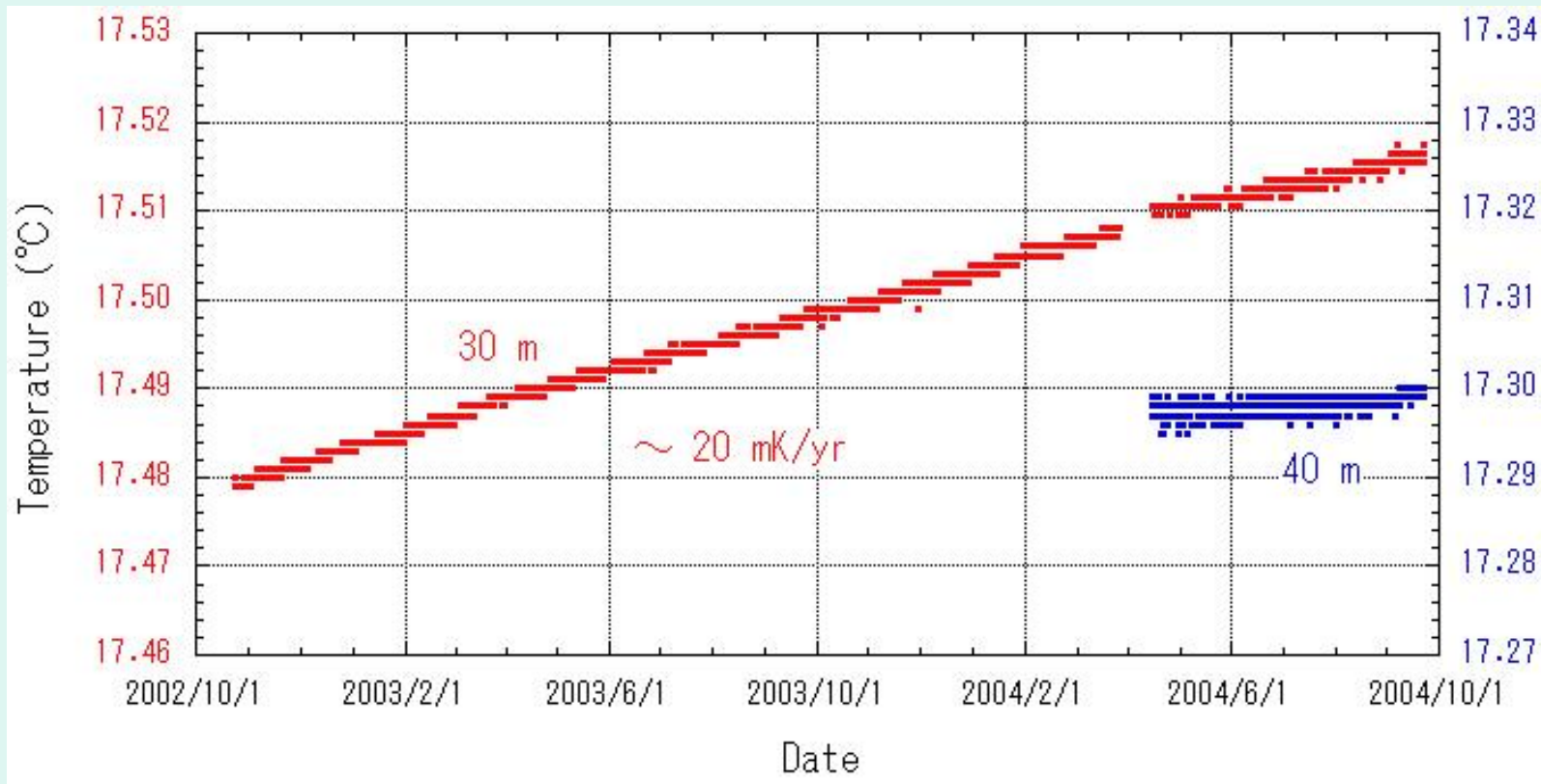


深さ70m付近より  
上で温度が上昇

地表面付近での  
温度環境の変化  
を示唆

温度の長期計測を  
実施

# 深さ30m、40mでの温度変動 (2002年10月～2004年9月)



温度はほぼ直線的に上昇

# 温度上昇の原因として考えられるもの

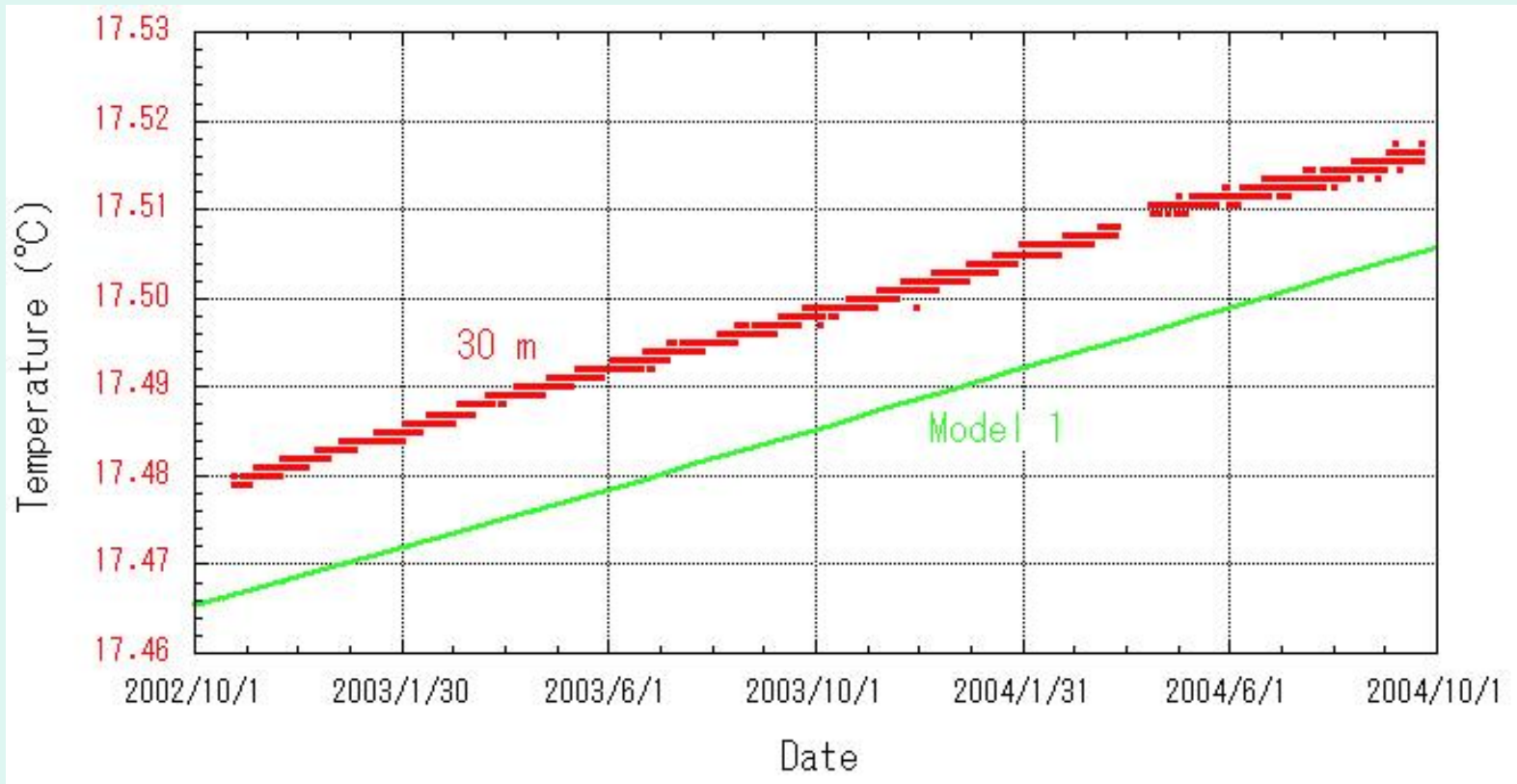
## 1. 琵琶湖博物館の建設（1996年）

孔口が建物で覆われ、**地表面の平均温度が上昇**

## 2. 浚渫した土壌の盛り土（1982年～1991年）

**地表面からの深さの増加**（6.7m）による  
温度の上昇

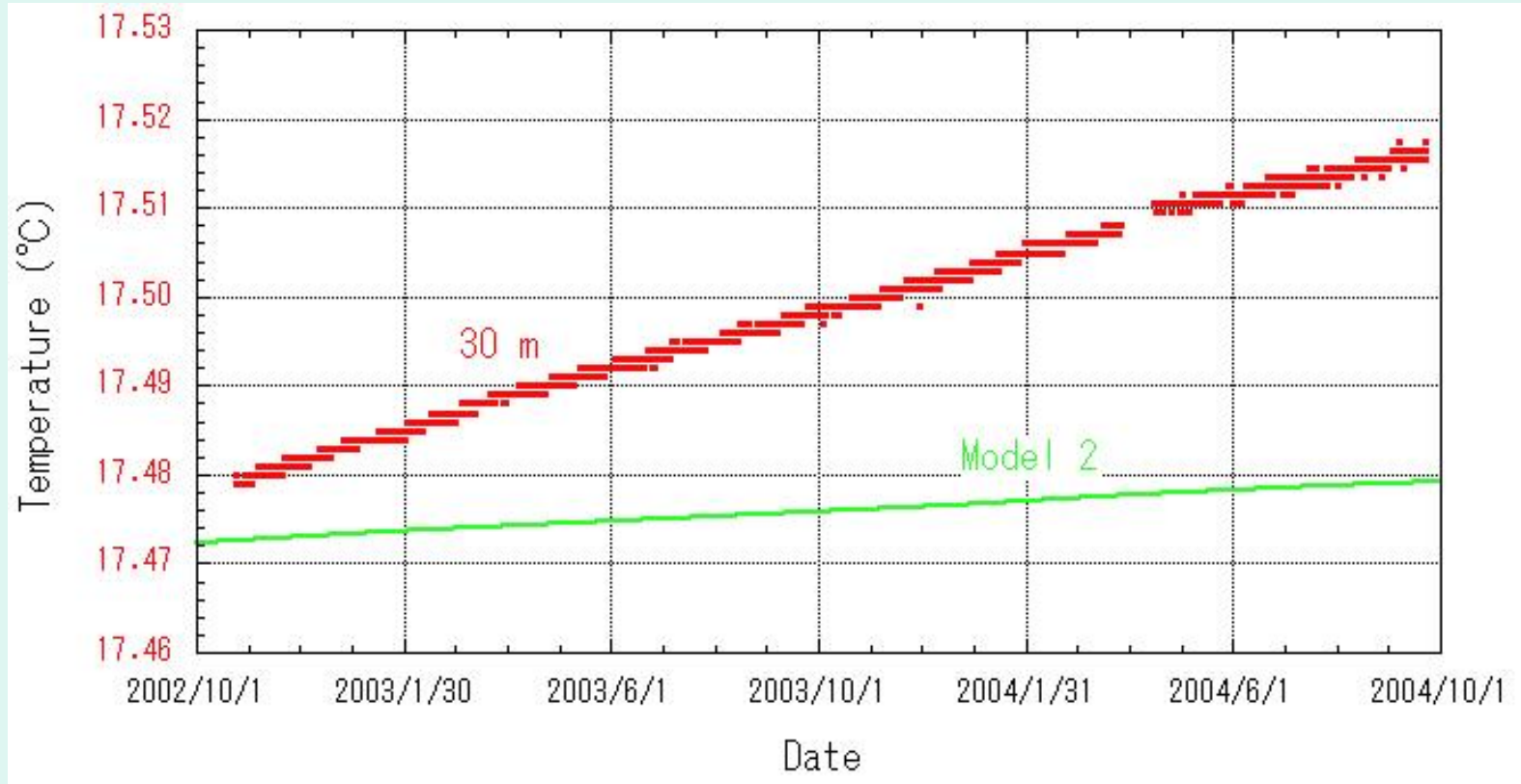
# 博物館の建設（ステップ状の変動）



地表面温度の変動幅：1.15 K

熱拡散率： $5.6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

## 6. 7mの盛り土による温度変動の例



地温勾配 : 37 mK/m

熱拡散率 :  $5.6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

# 孔内温度・熱流量データベース

## 国内

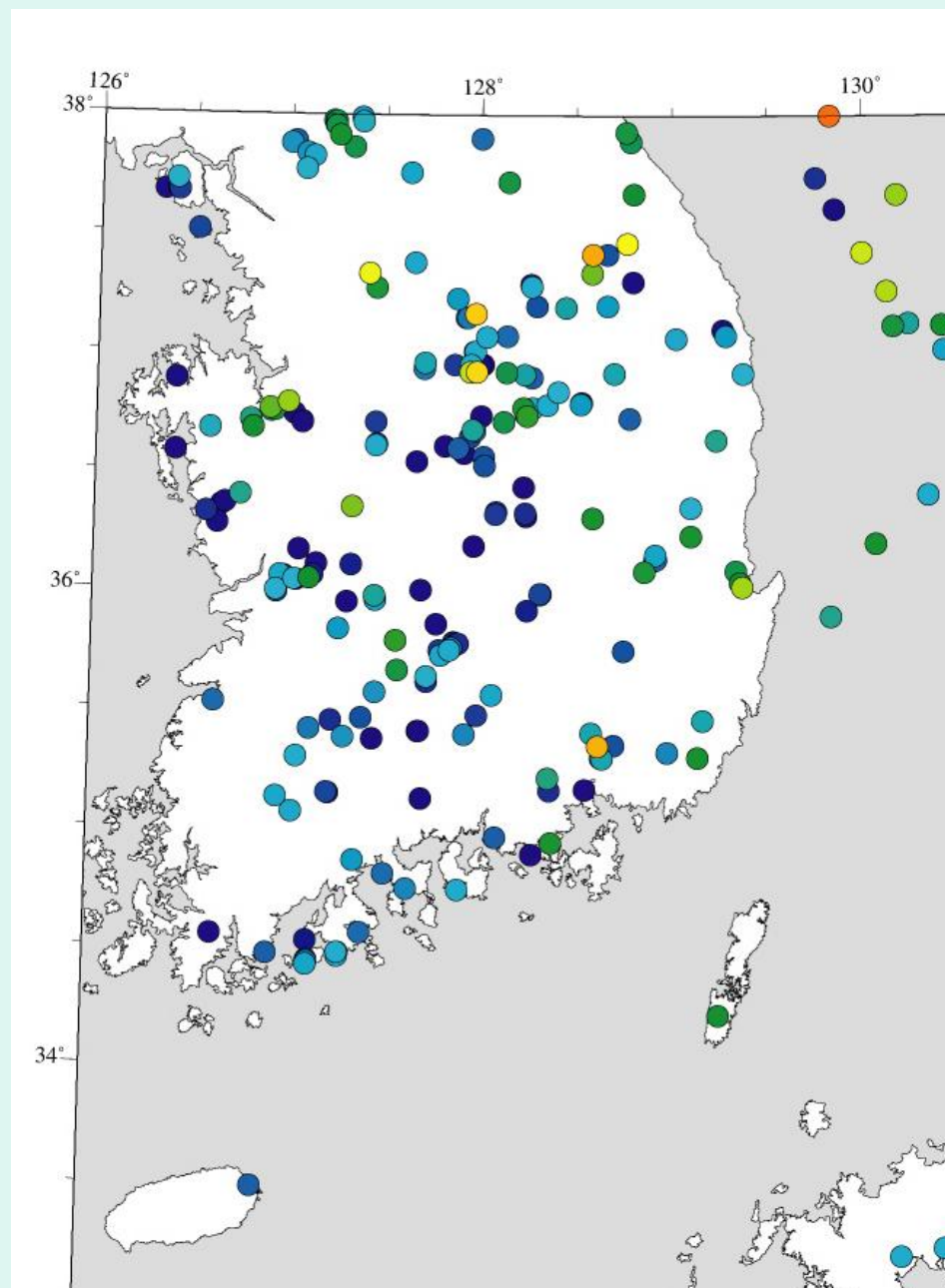
- ・ 地下温度データベース（谷口他，2003）
- ・ 日本の坑井温度プロファイルデータベース（坂川他，2004）
- ・ 地温勾配及び地殻熱流量データベース（GSJ, 2004）

## 国外

- ・ Heat flow map of east and southeast Asia (GSJ, 1997)
- ・ Geoscientific maps of southern part of Korea, western part of Japan and their adjoining seas (GSJ and KIGAM, 2002)

# 韓国

## 熱流量データ

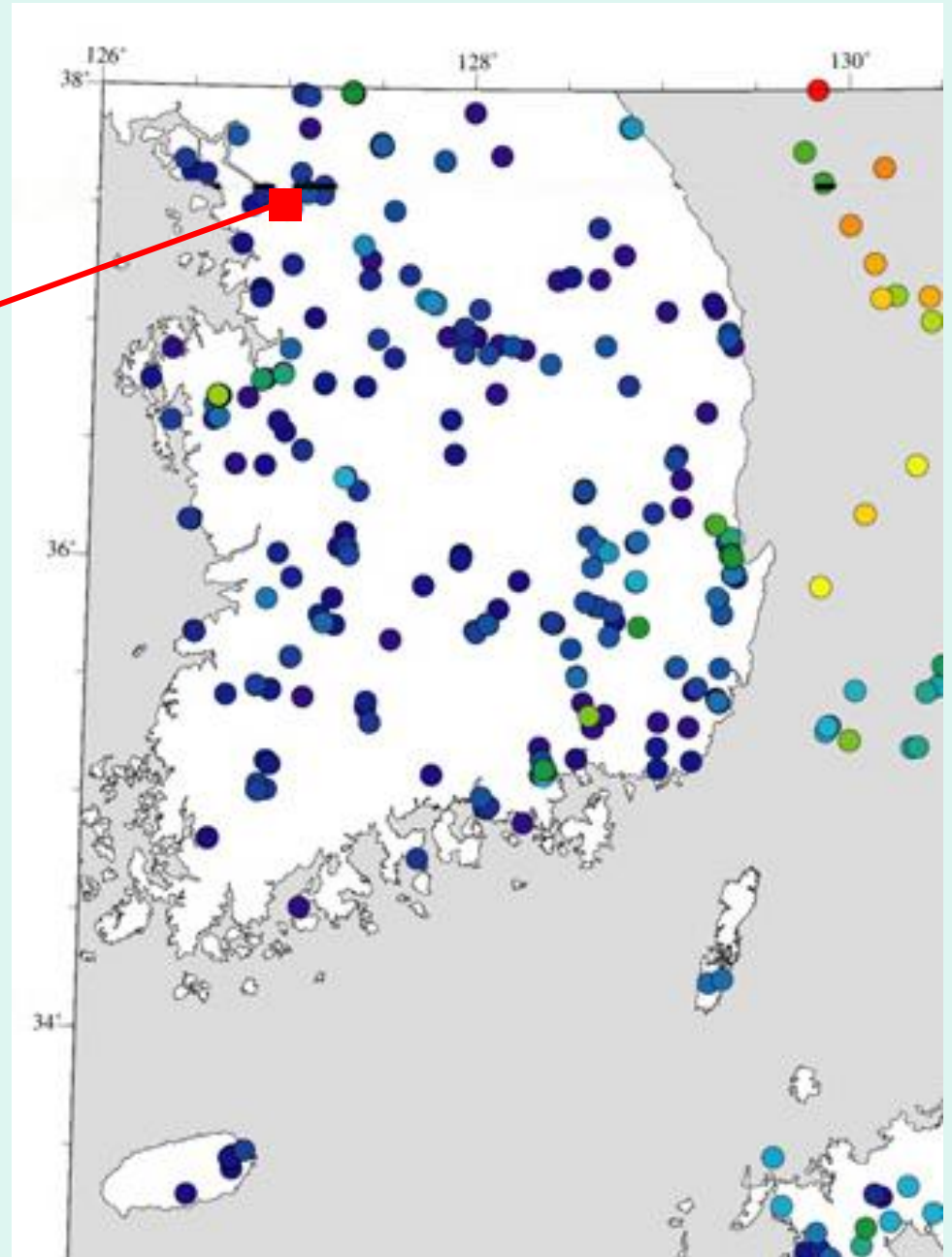


GSJ and KIGAM (2002)

# 温度勾配データ

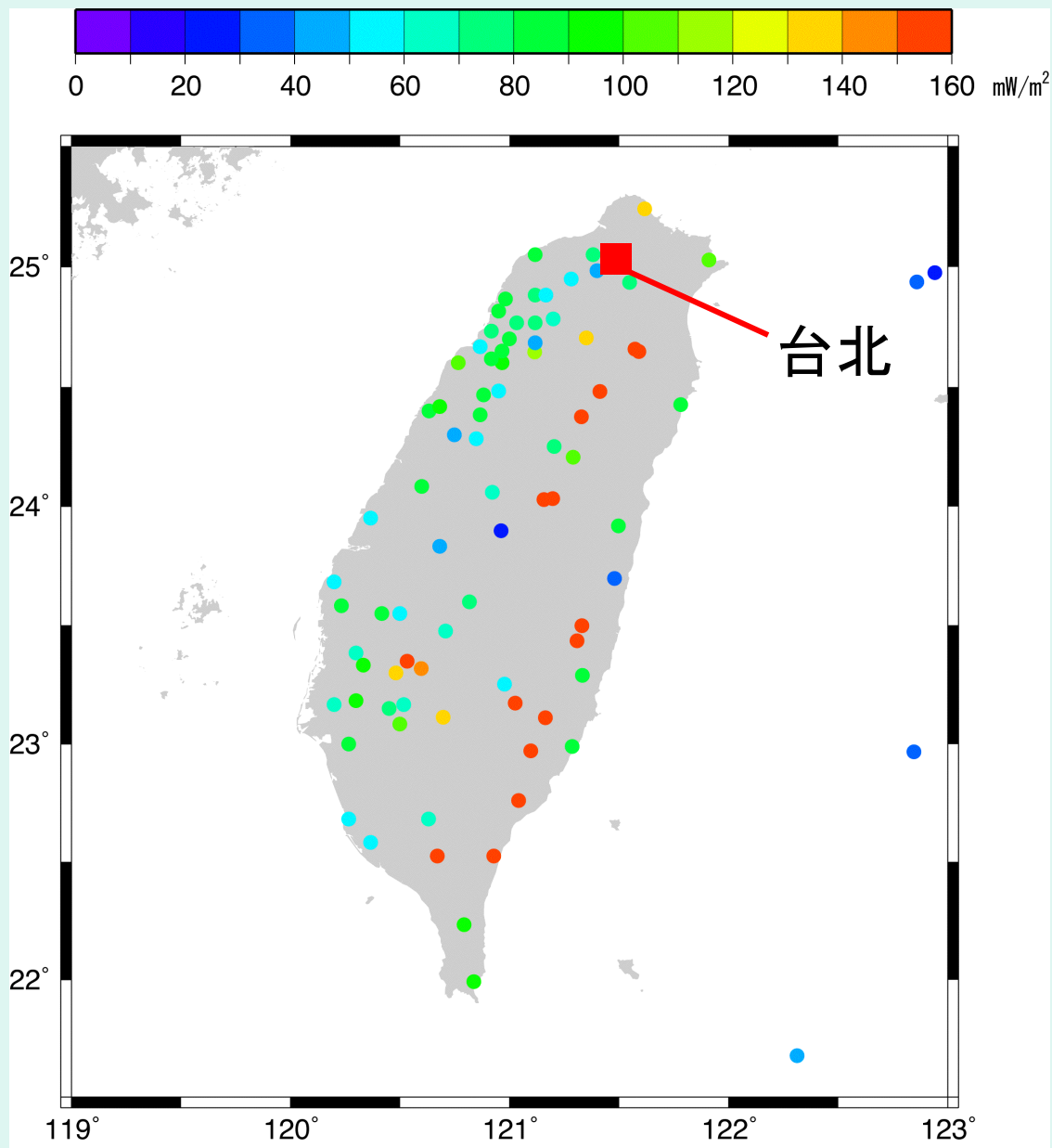
ソウル

日韓共同で再計測  
を行いつつある

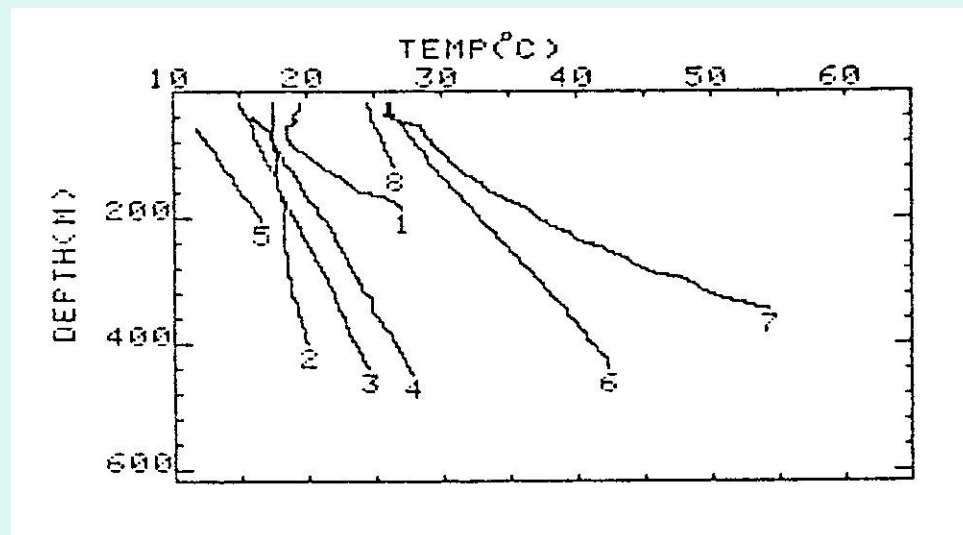
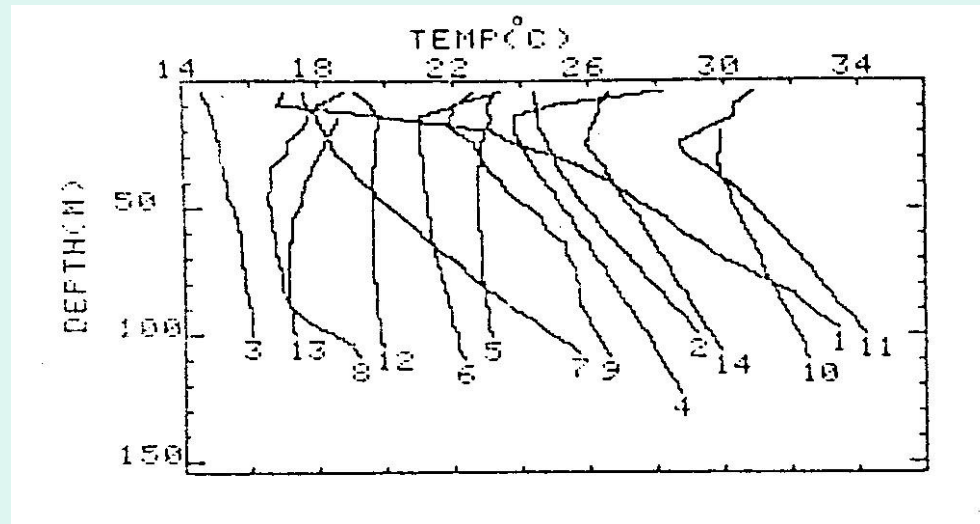


# 台湾

## 熱流量データ



# 温度プロファイルの例

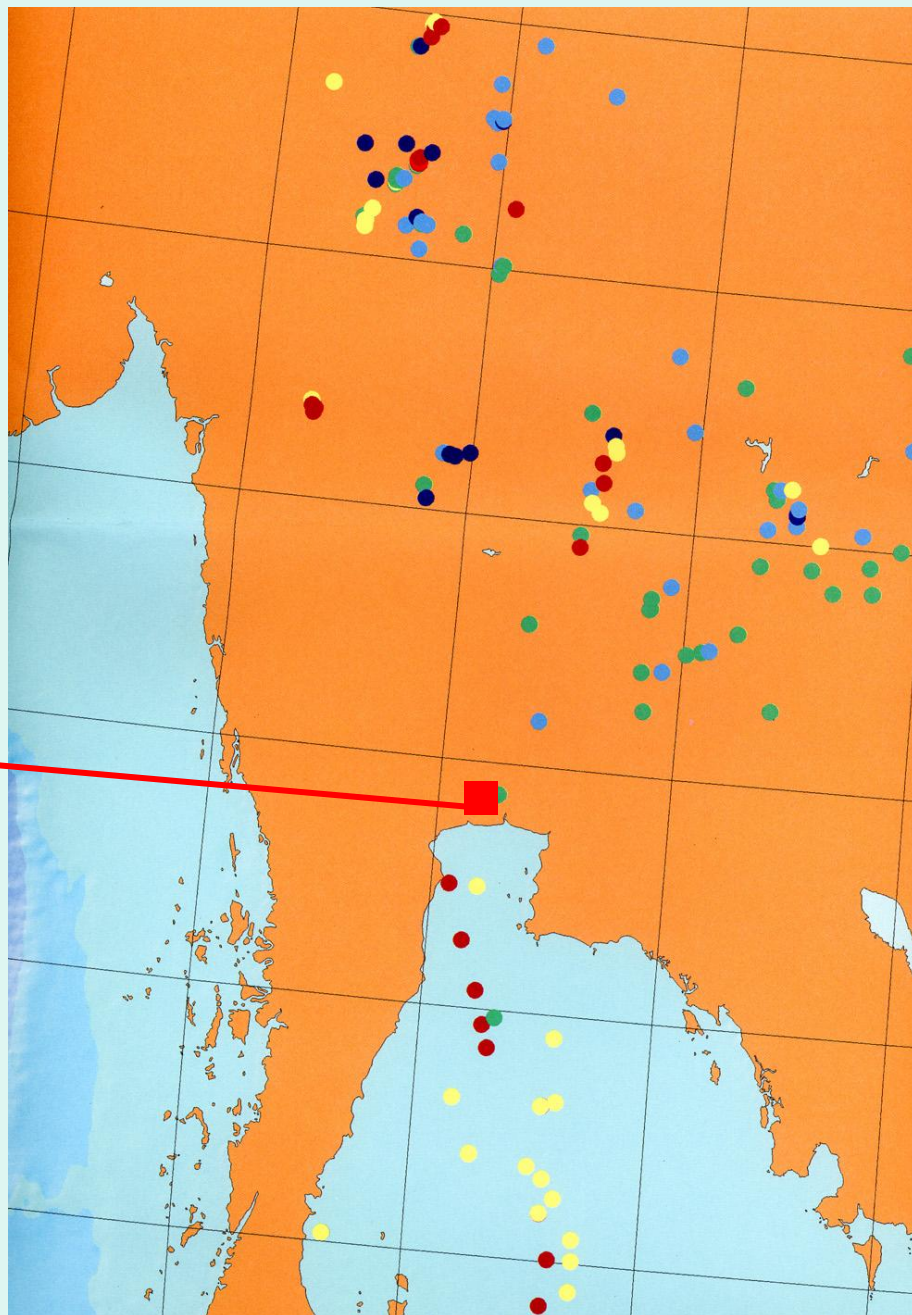


# タイ

## 熱流量データ

バンコク

GSJ (1997)



# 何ができそうか

## 地表面温度変動の復元

過去10年～数百年

### 気温の変動

気象データの無い部分を復元できる

### 土地利用の変化、盛り土、削剥、等

時期を推定できる

仮説検  
証？