

地下温度の計測による 地表面環境変動の影響評価

山野 誠

(東京大学地震研究
所)

地殻熱流量

地下から流出してくる熱量

(単位時間、単位面積あたり)

単位 $[J/m^2/s] = [W/m^2]$

典型的な値 $40 \sim 100 \text{ mW/m}^2$

熱流量 = 熱伝導率 \times 地温勾配

地下の温度構造を知るための境界条件

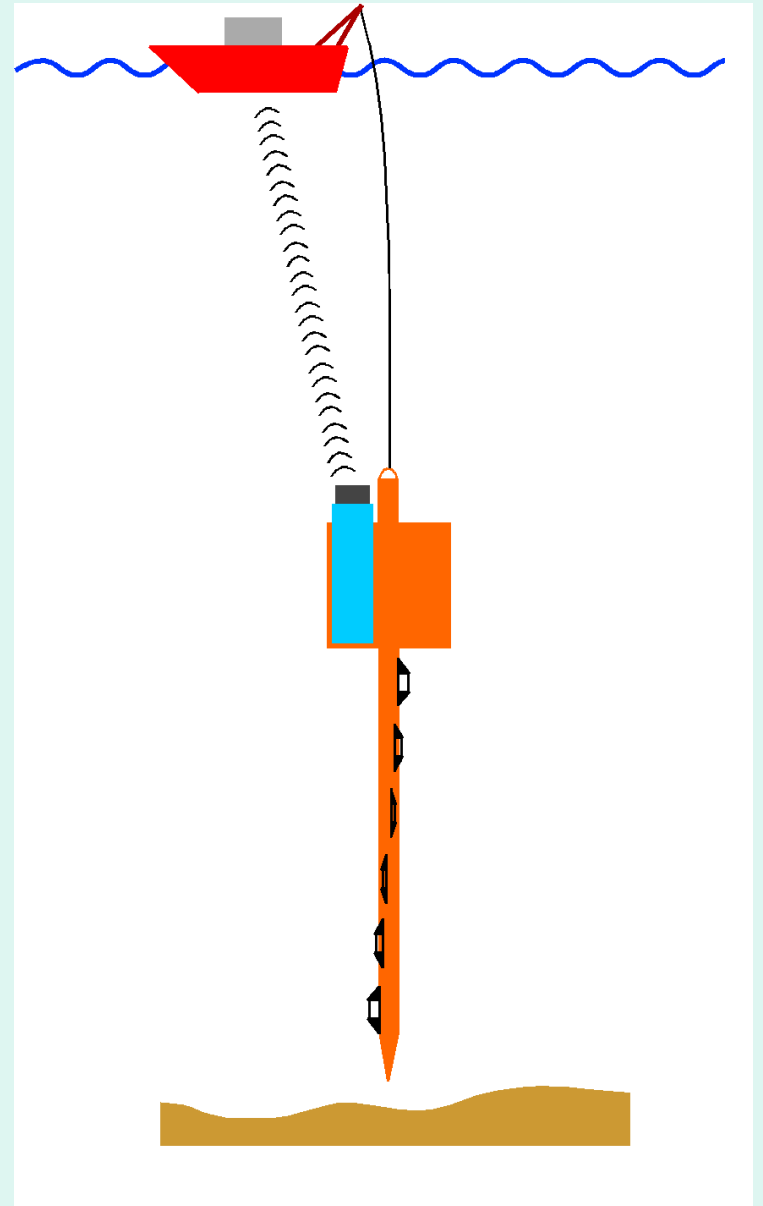
熱流量の測定方法

陸上

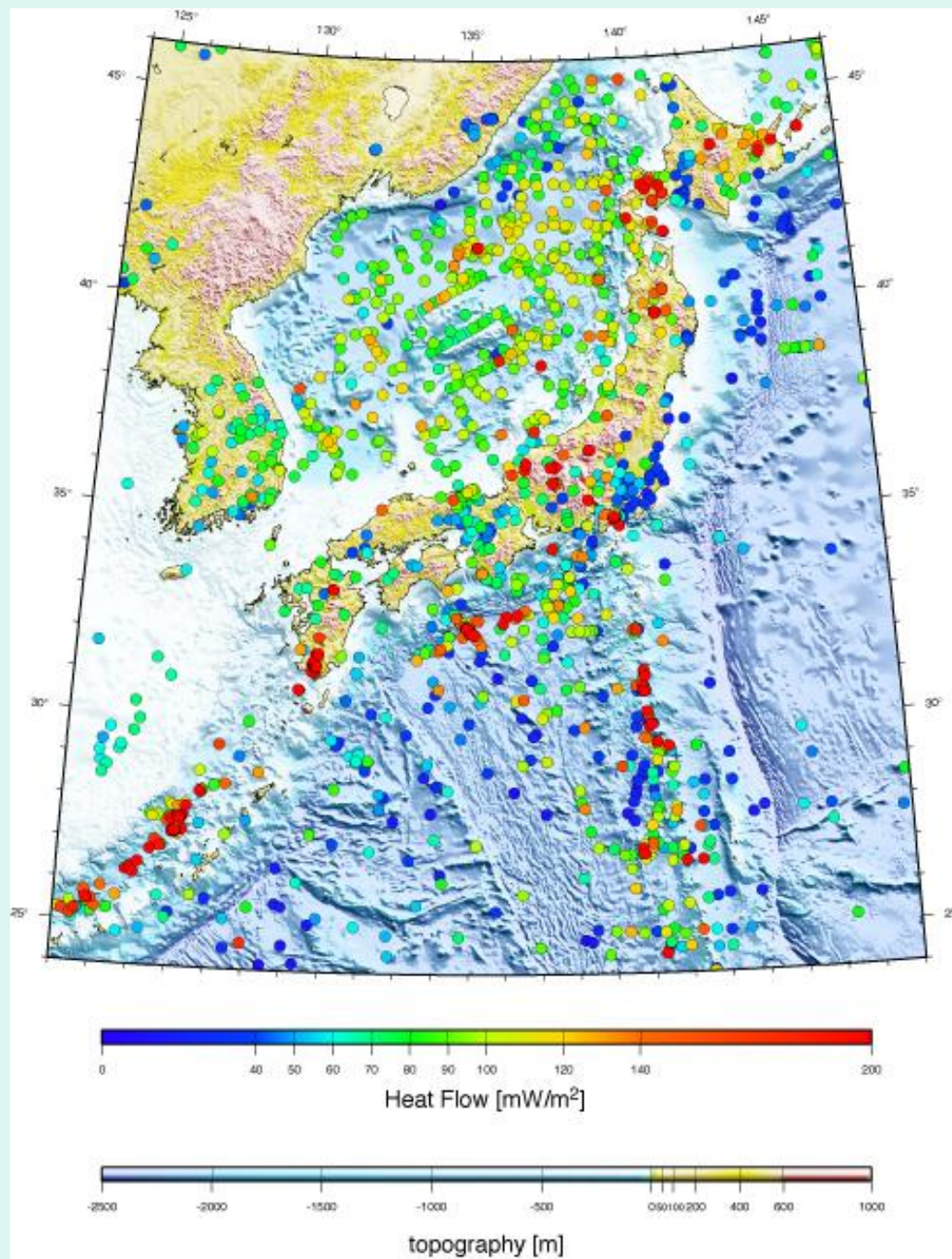
深い掘削孔内での温度分布測定

海底

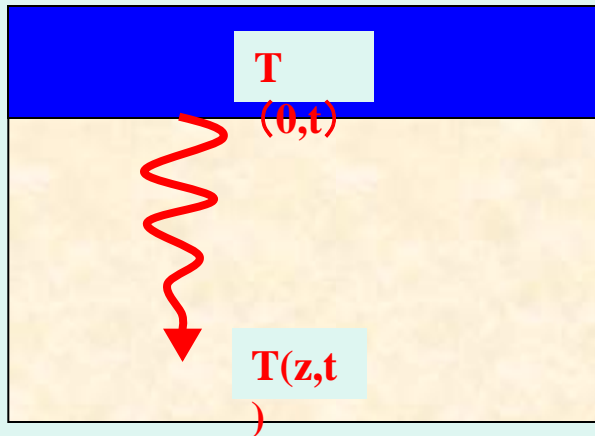
堆積物中に温度プローブを貫入



日本周辺の 熱流量データ



地表面温度変動の地下への浸透



熱拡散方程式

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

κ : 熱拡散率

地表面温度

$$T(0, t) = T_0 + \sum_i A_i \cos\left(\frac{2\pi t}{P_i} - \phi_i\right)$$



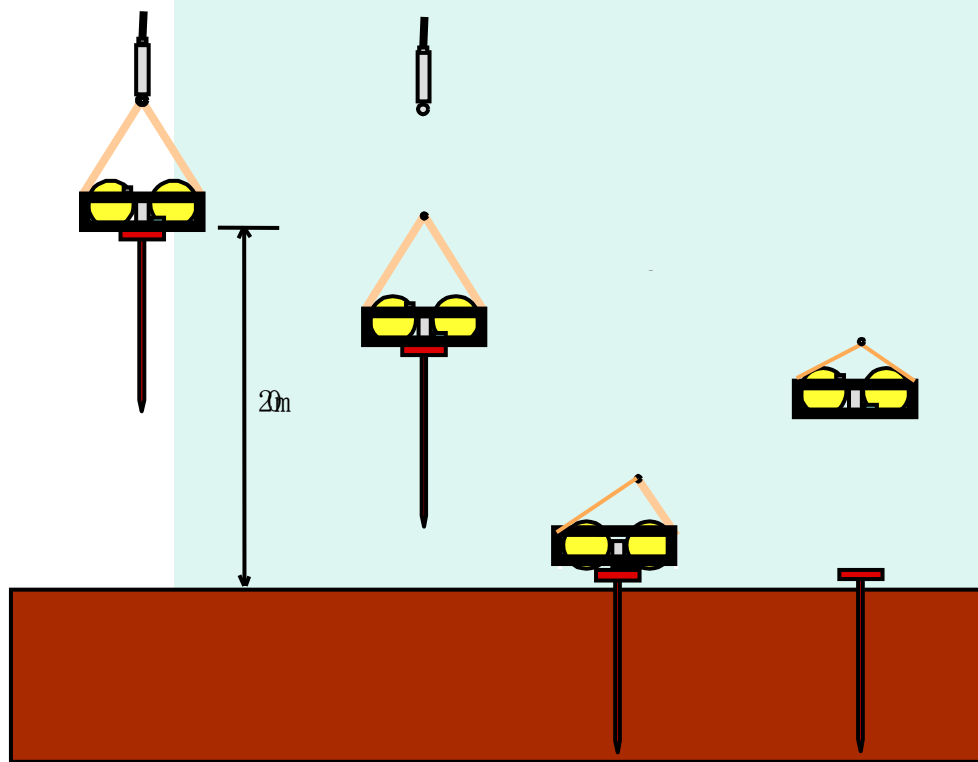
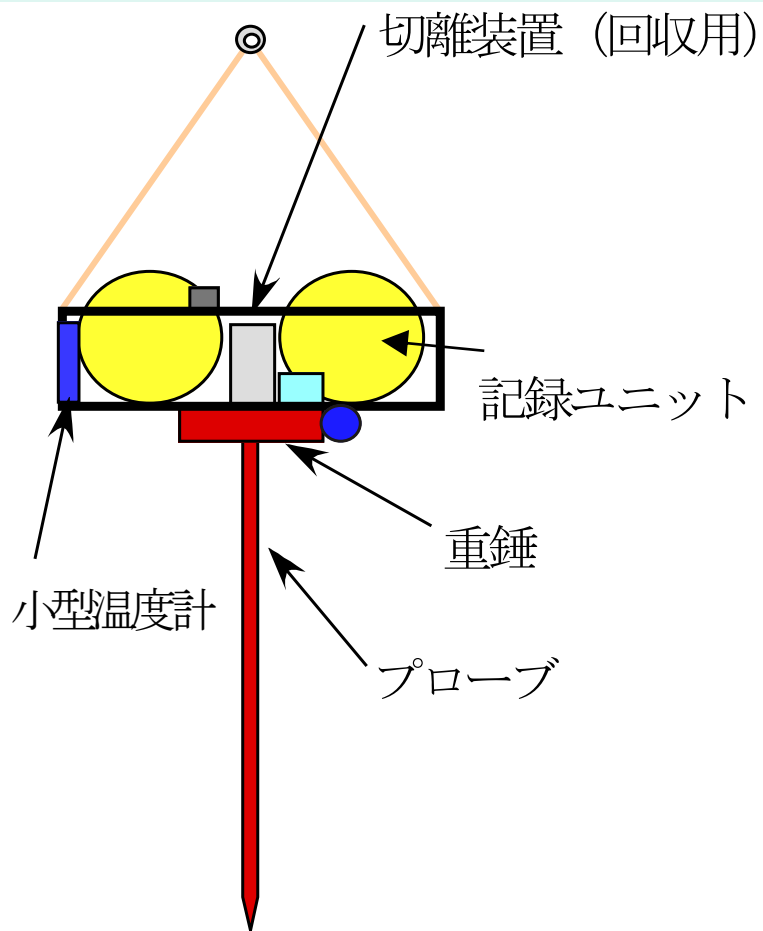
浸透

$$T(z, t) = T_0 + Gz + \sum_i A_i \exp\left(-\sqrt{\frac{\pi}{\kappa P_i}} z\right) \times \cos\left(\frac{2\pi t}{P_i} - \phi_i - \sqrt{\frac{\pi}{\kappa P_i}} z\right)$$

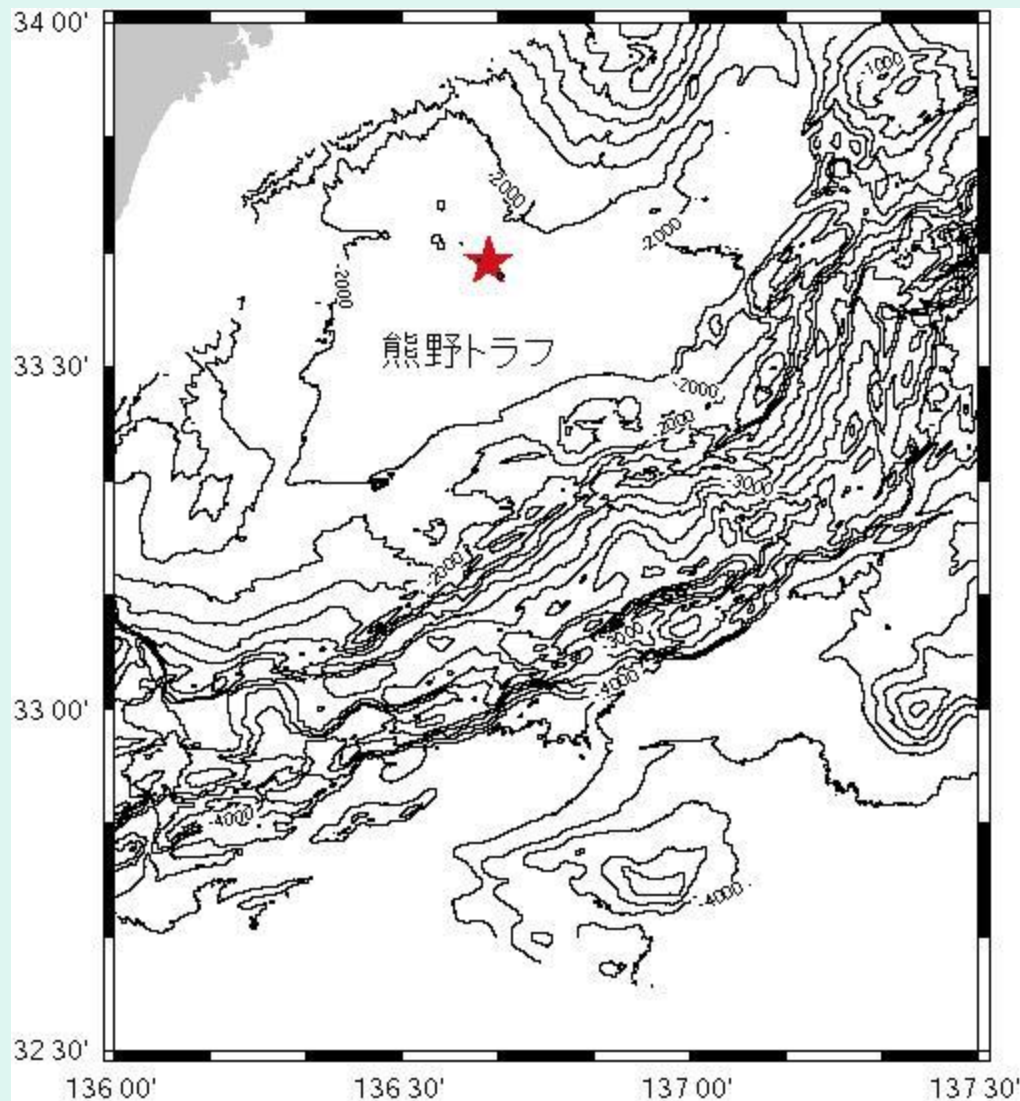
地表面温度変動の影響

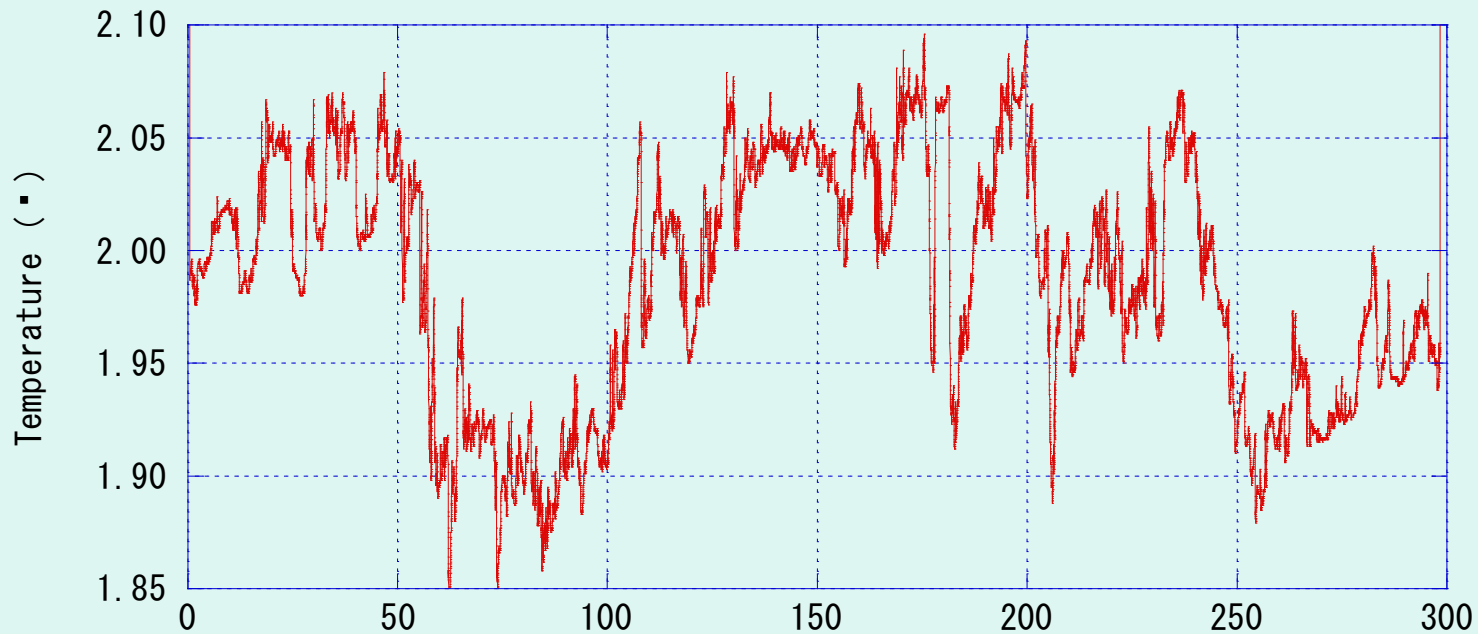
- 熱流量測定にはノイズ
 - 浅海域における熱流量測定の問題

自己浮上式海底熱流量計

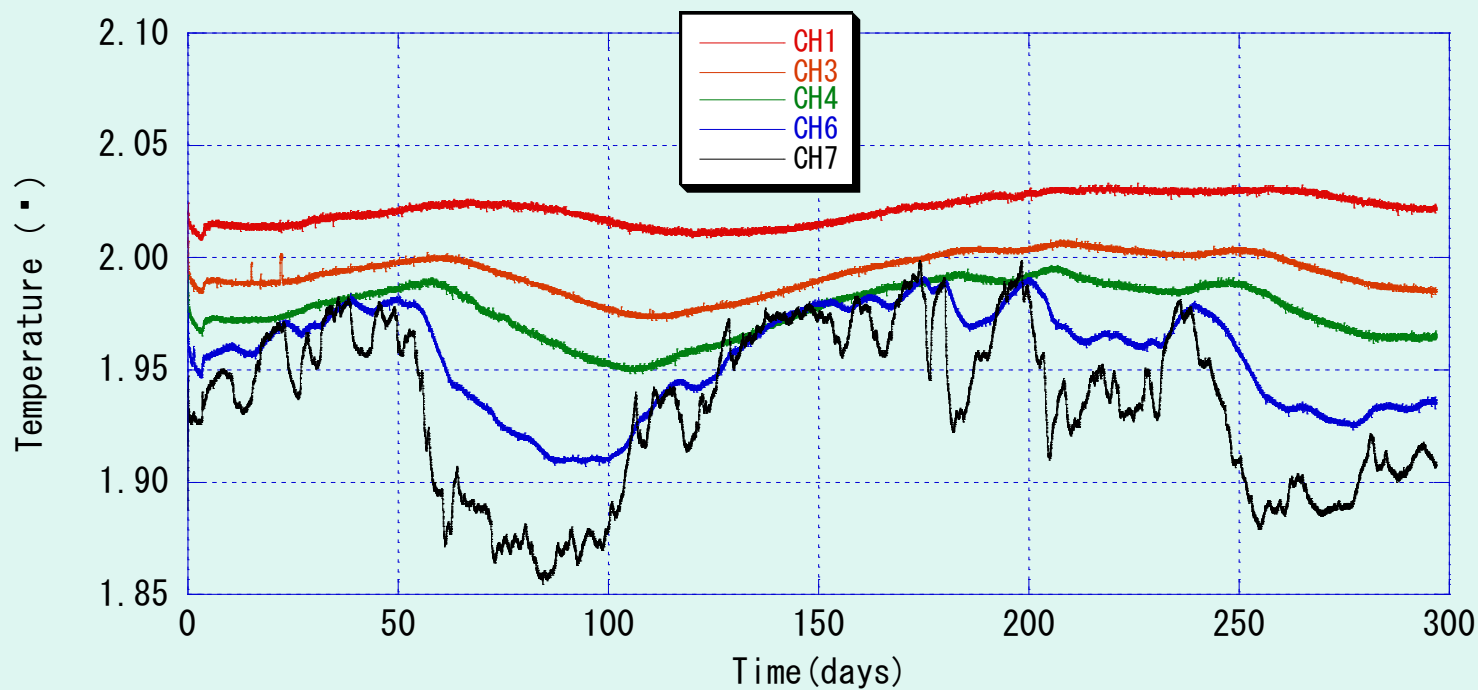


自己浮上式海底熱流量計 による観測点





海底水温



堆積物中の
温度

生データ

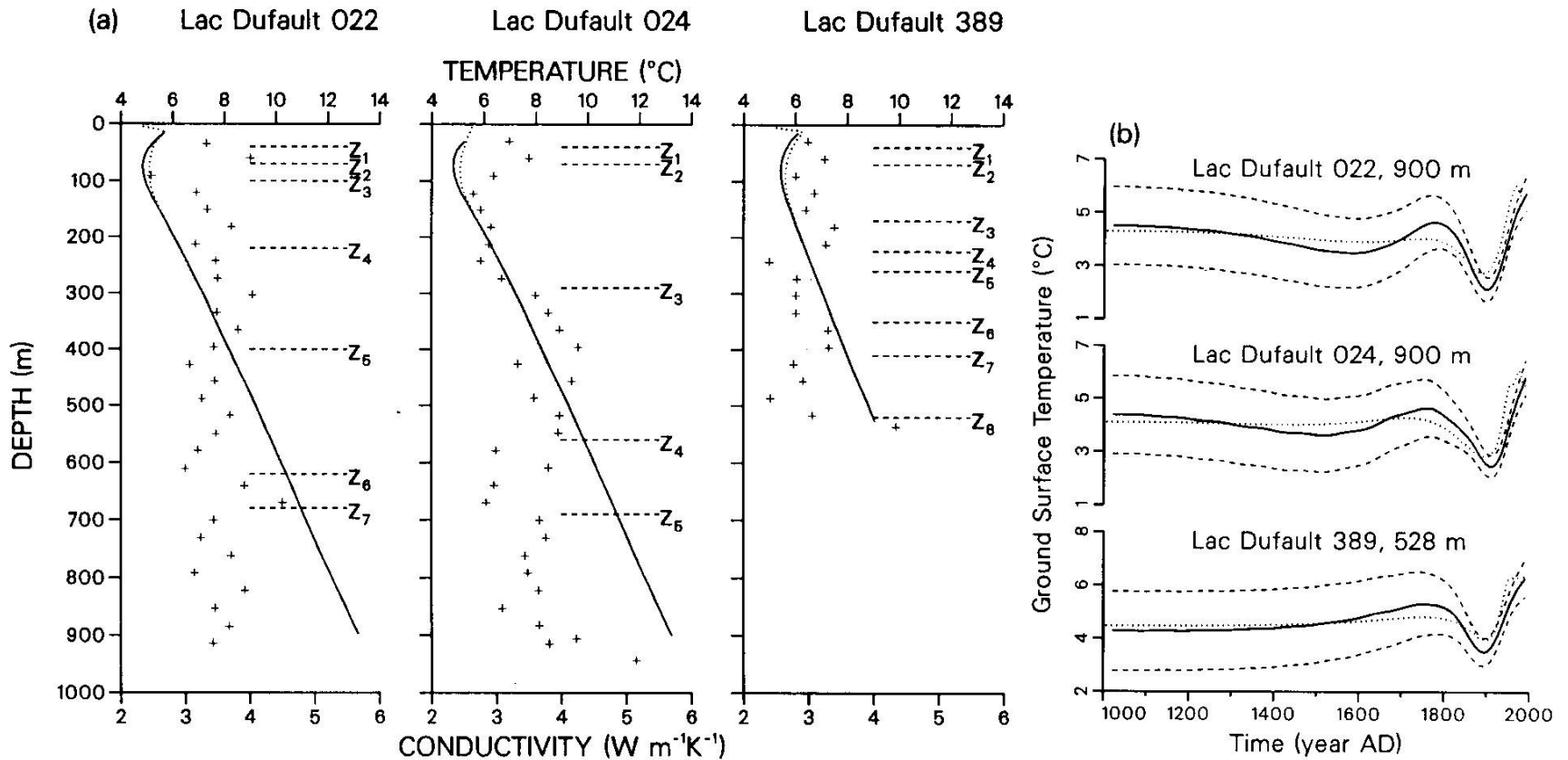
補正後

地表面温度変動の影響

- 熱流量測定にはノイズ
 - 浅海域における熱流量測定の問題
- 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
(北米・ヨーロッパが中心)

気候変動復元の例

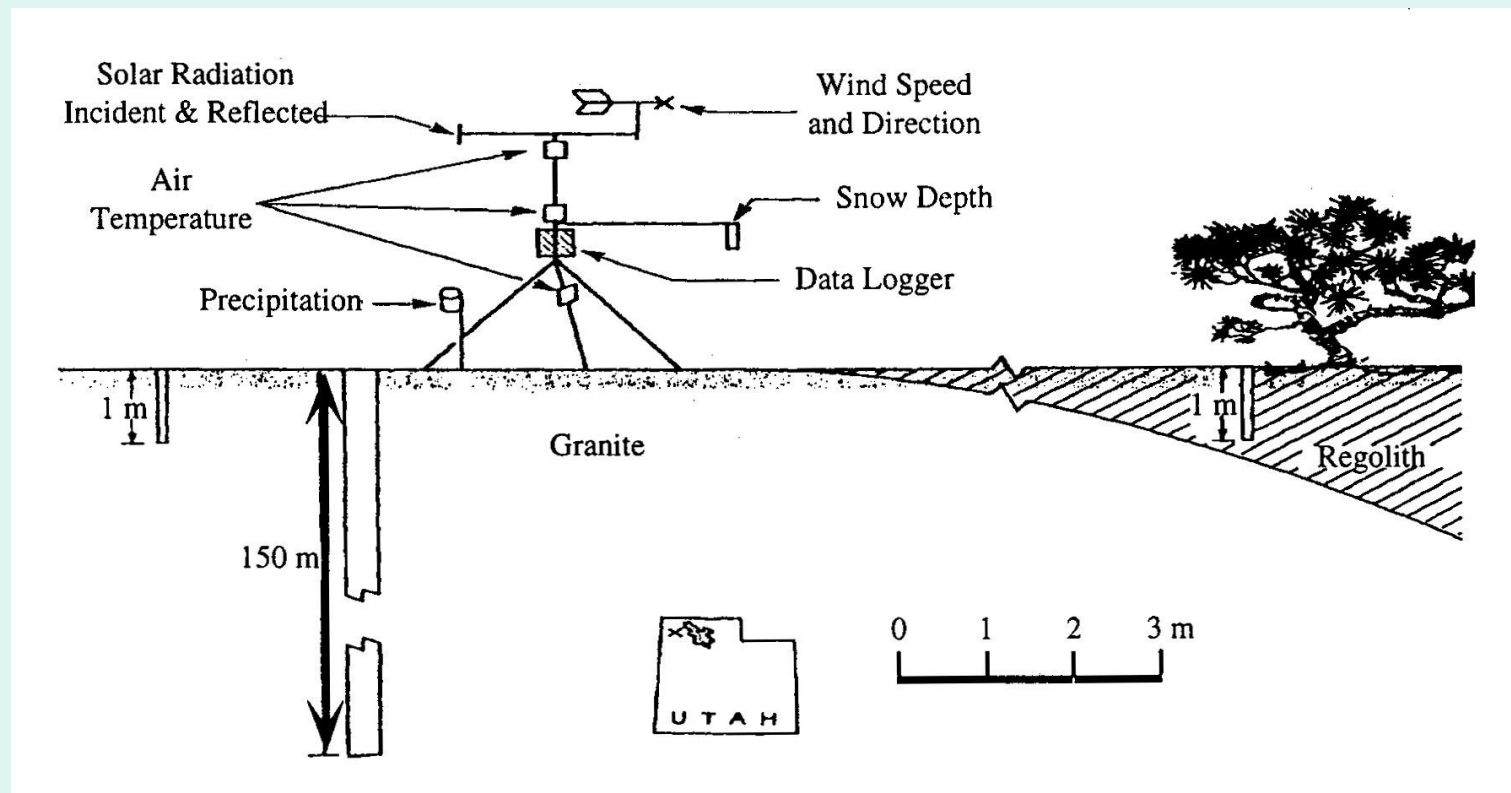
カナダ・ケベック州の近接した孔井



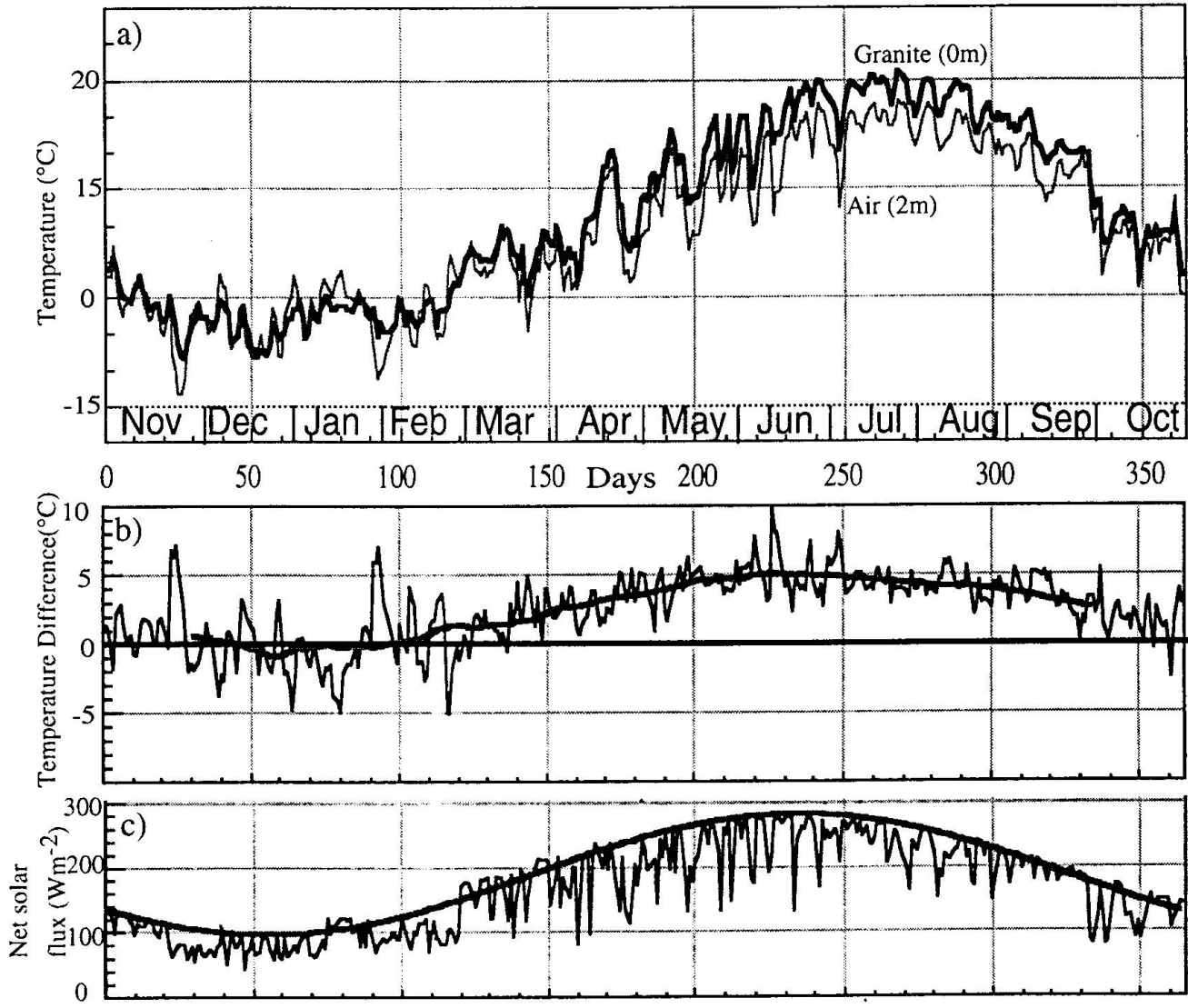
Wang et al. (1992)

地中温度と地表環境の関係を調べる試み

(1) Emigrant Pass Observatory (northwest Utah)



Putnam and Chapman (1996)



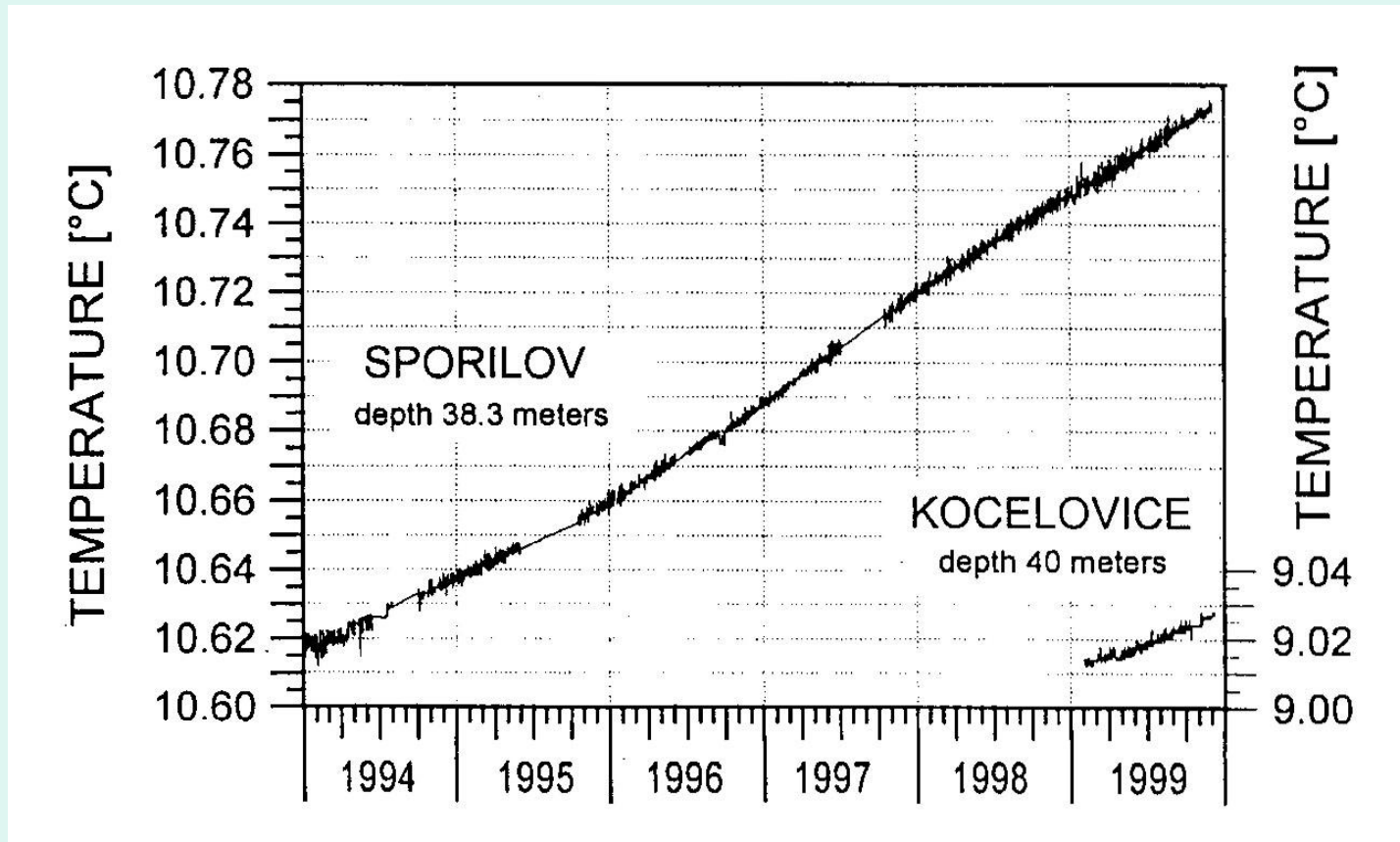
地表面温度（計算値）と気温

地表面温度 - 気温

日射吸収量

気温と地表面温度の差は、日射量とよい相関を示す

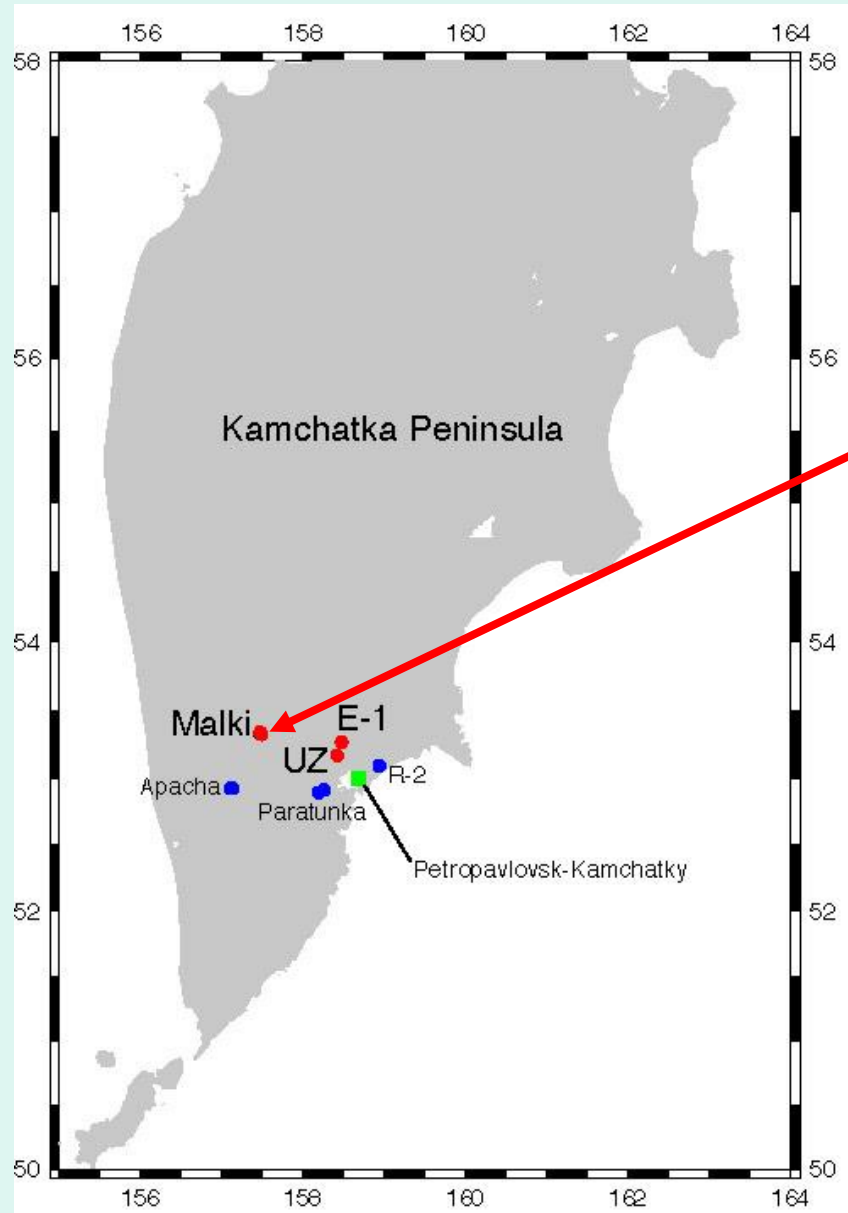
(2) 深さ40mまでの長期計測（チェコ）



Cermak et al. (2000)

長期的なトレンド（温暖化）のみが検出される

(3) カムチャツカ半島 (2000~2002年)



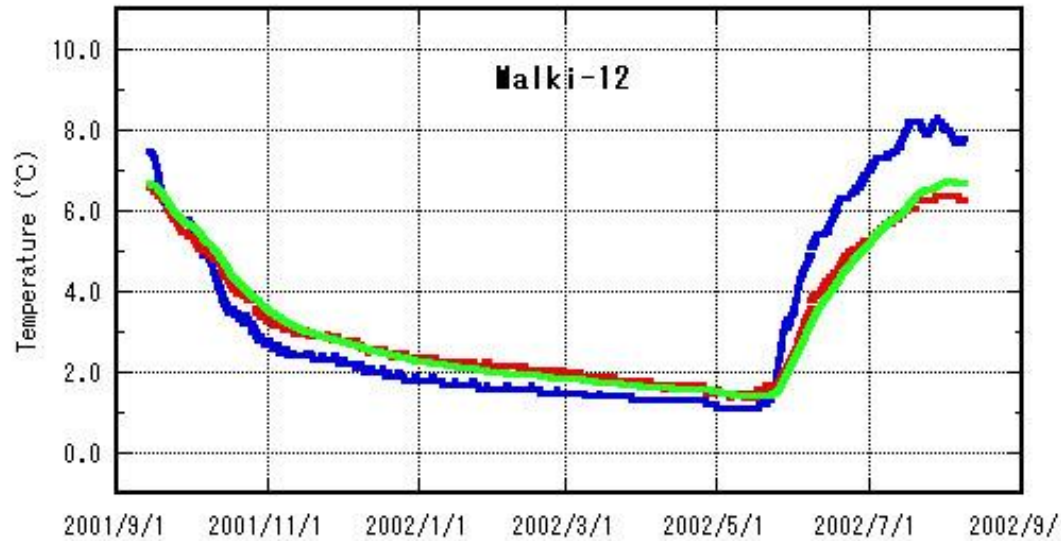
Malki



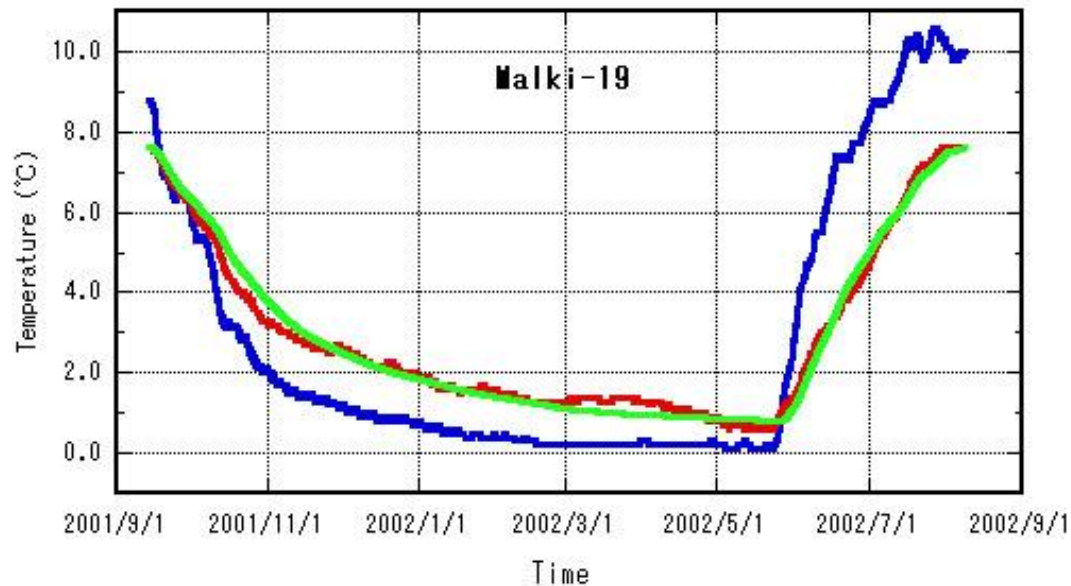
КАМЧАТСКИЕ ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ



深さ 0.5m、1m の温度記録



ほぼ熱拡散のみ



潜熱の影響？

高分解能の温度計による孔井内長期計測

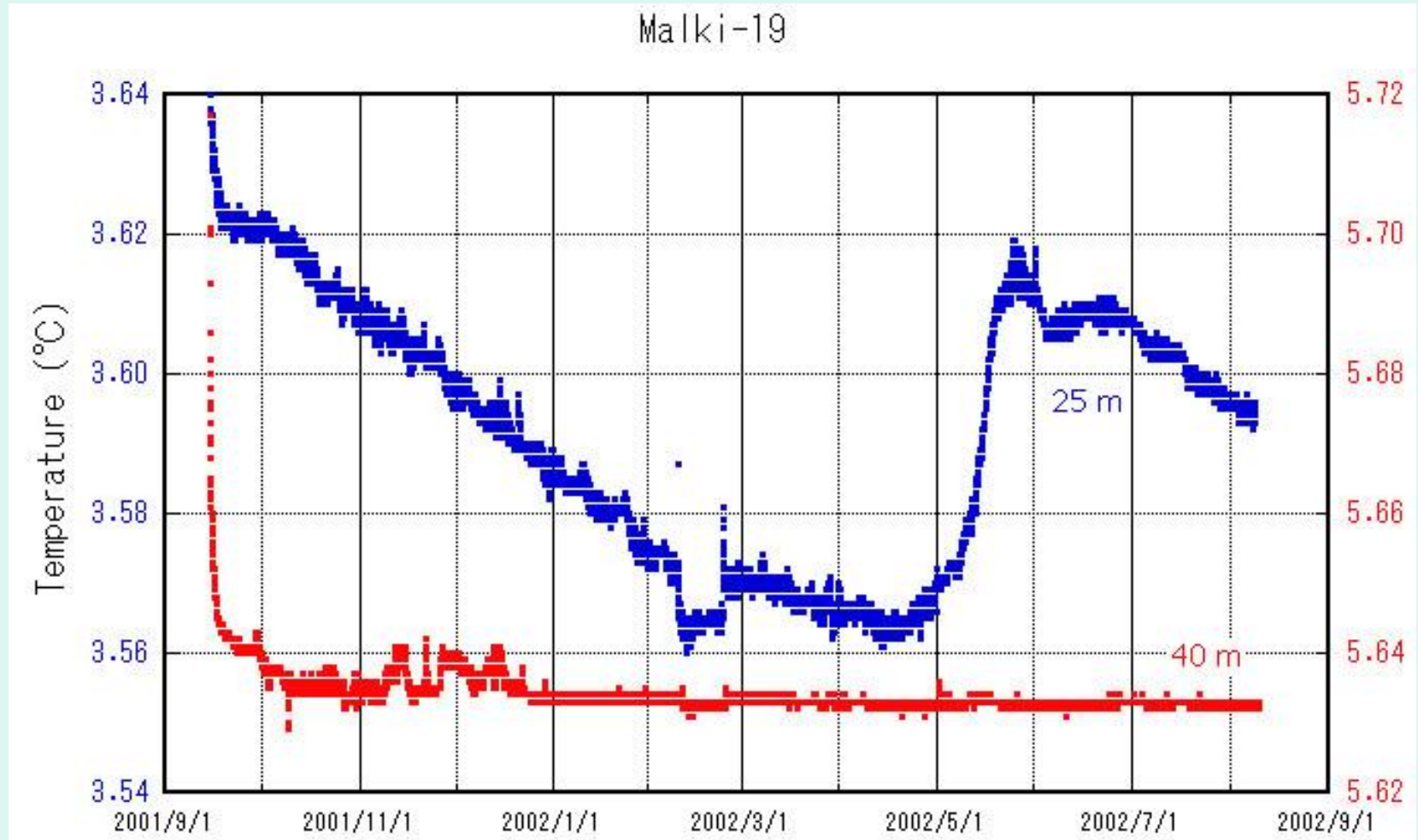
水温計

温度分解能：1 mK

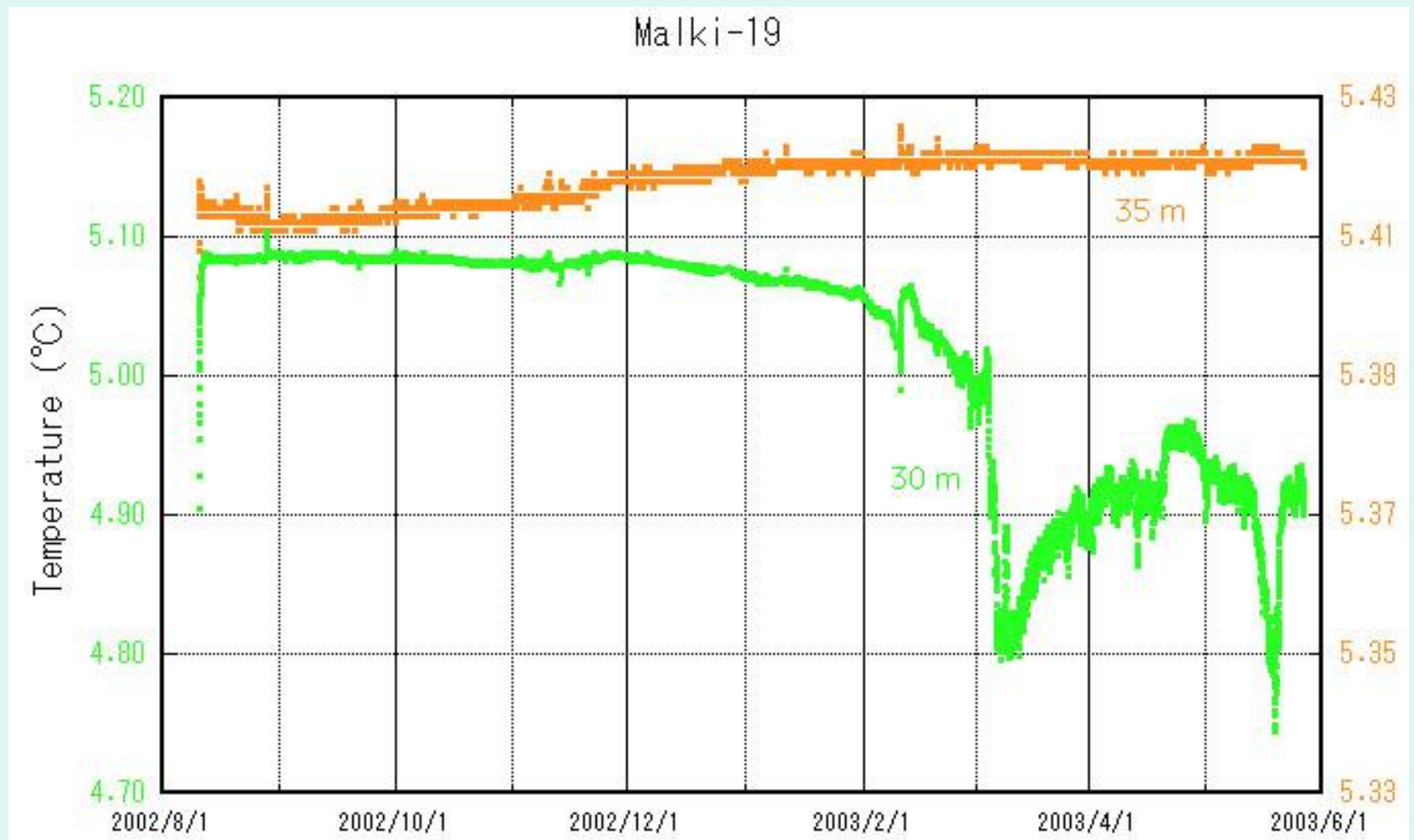
計測間隔：10分



深さ25m、40mにおける記録

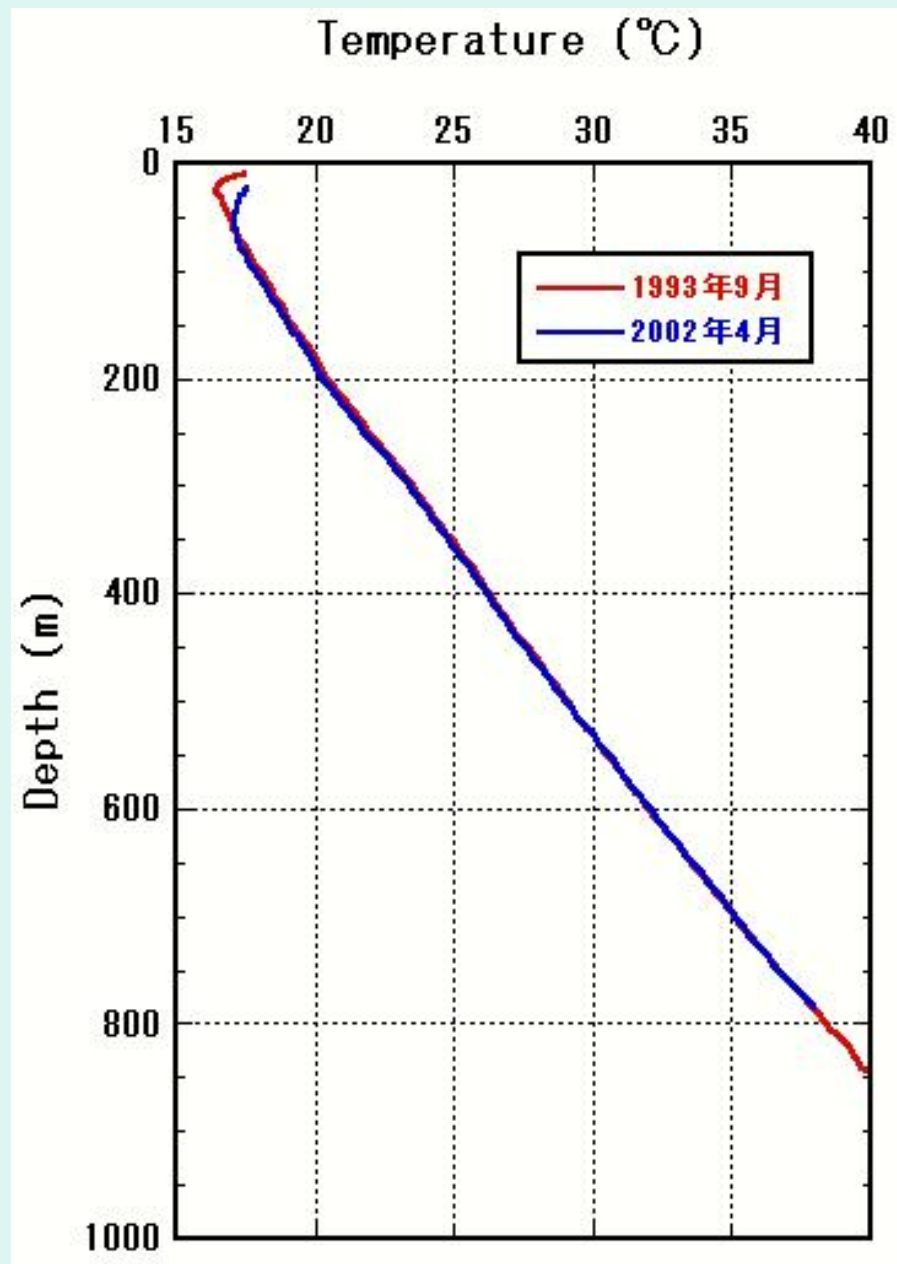


深さ30m、35mにおける記録

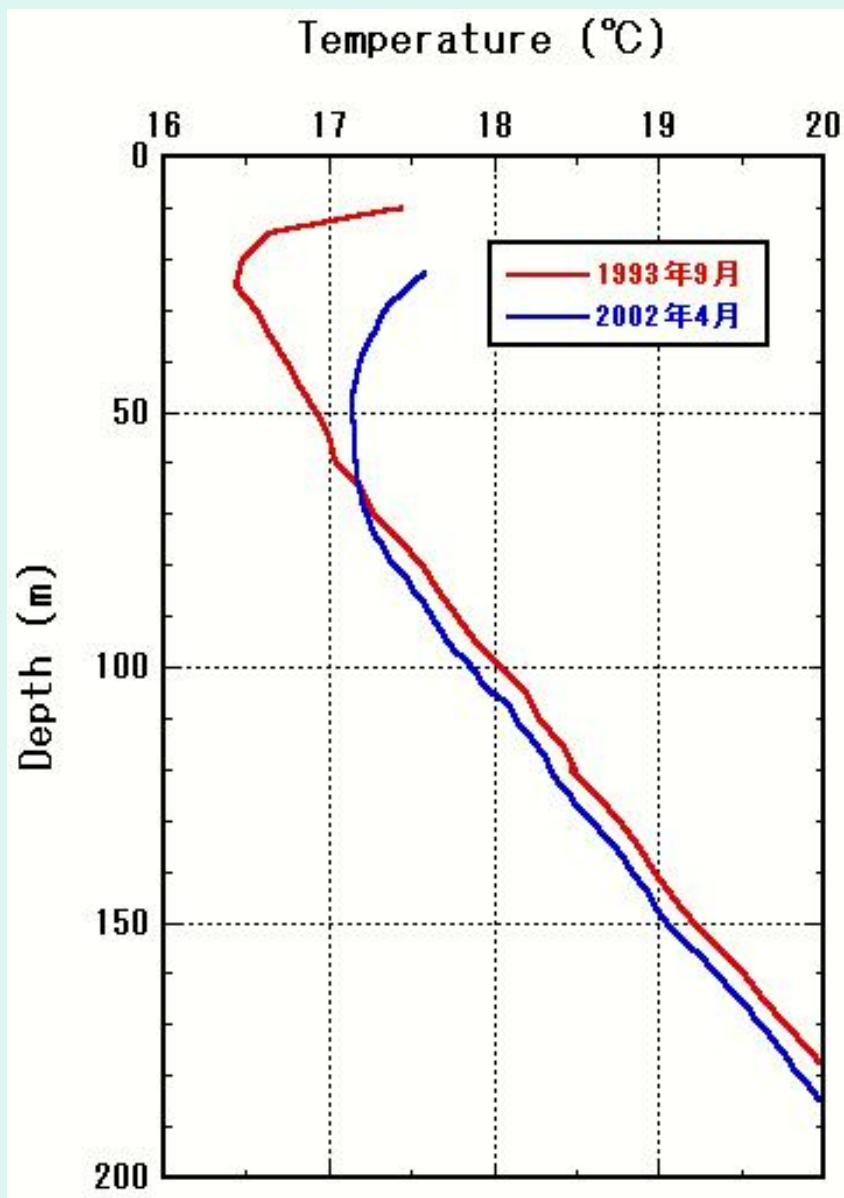


(4) 琵琶湖畔の孔井 (滋賀県立琵琶湖博物館)

1993年9月と2002年4月に
温度検層を実施



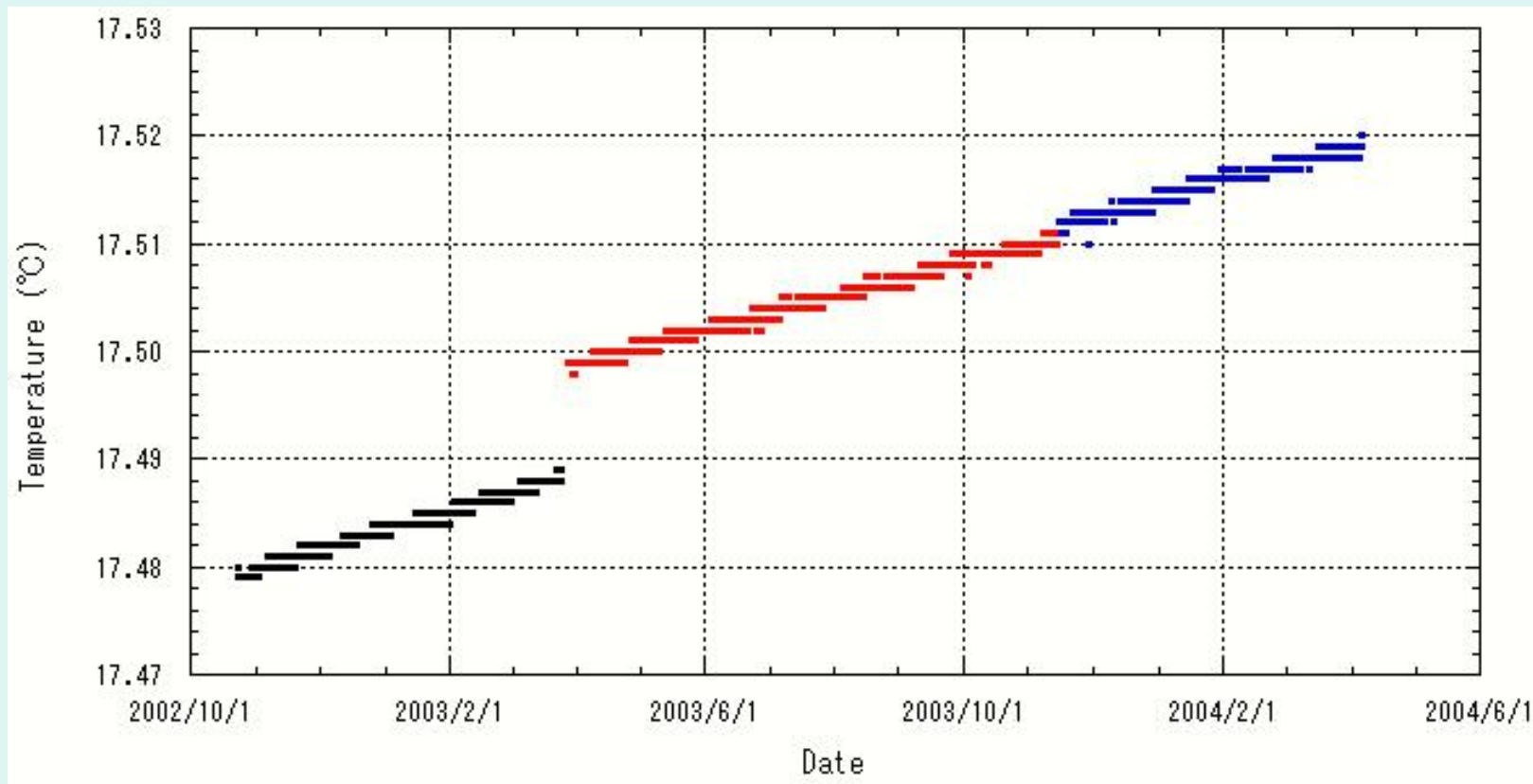
深さ70m付近より上で温度が上昇



地表面付近での
温度環境の変化
を示唆

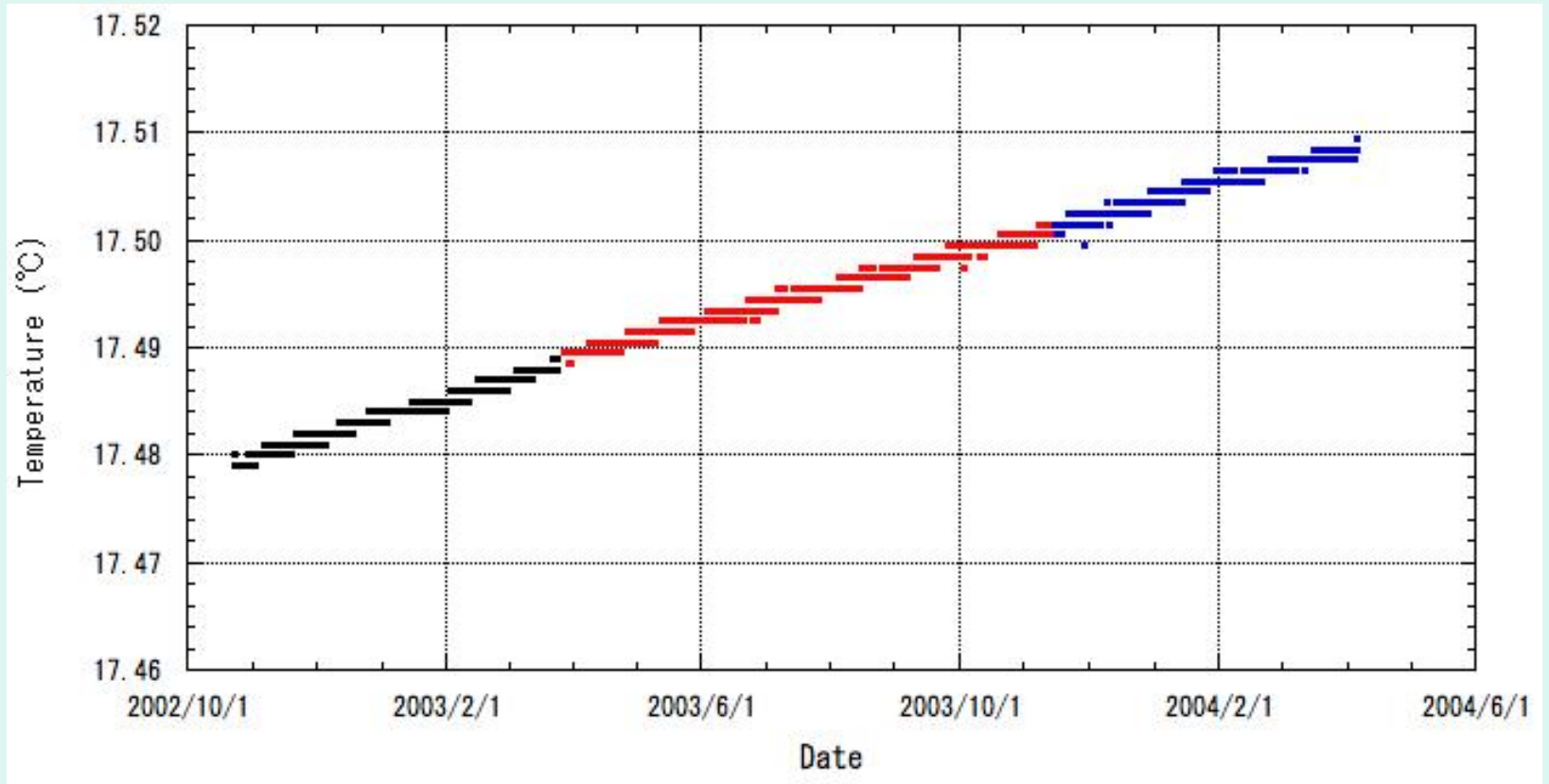
深さ30mで温度の
長期計測を実施

深さ30mでの温度変動 (2002年10月～2004年4月)



温度はほぼ直線的に上昇

深さの補正



温度上昇率：約20 mK/yr

温度上昇の原因として考えられるもの

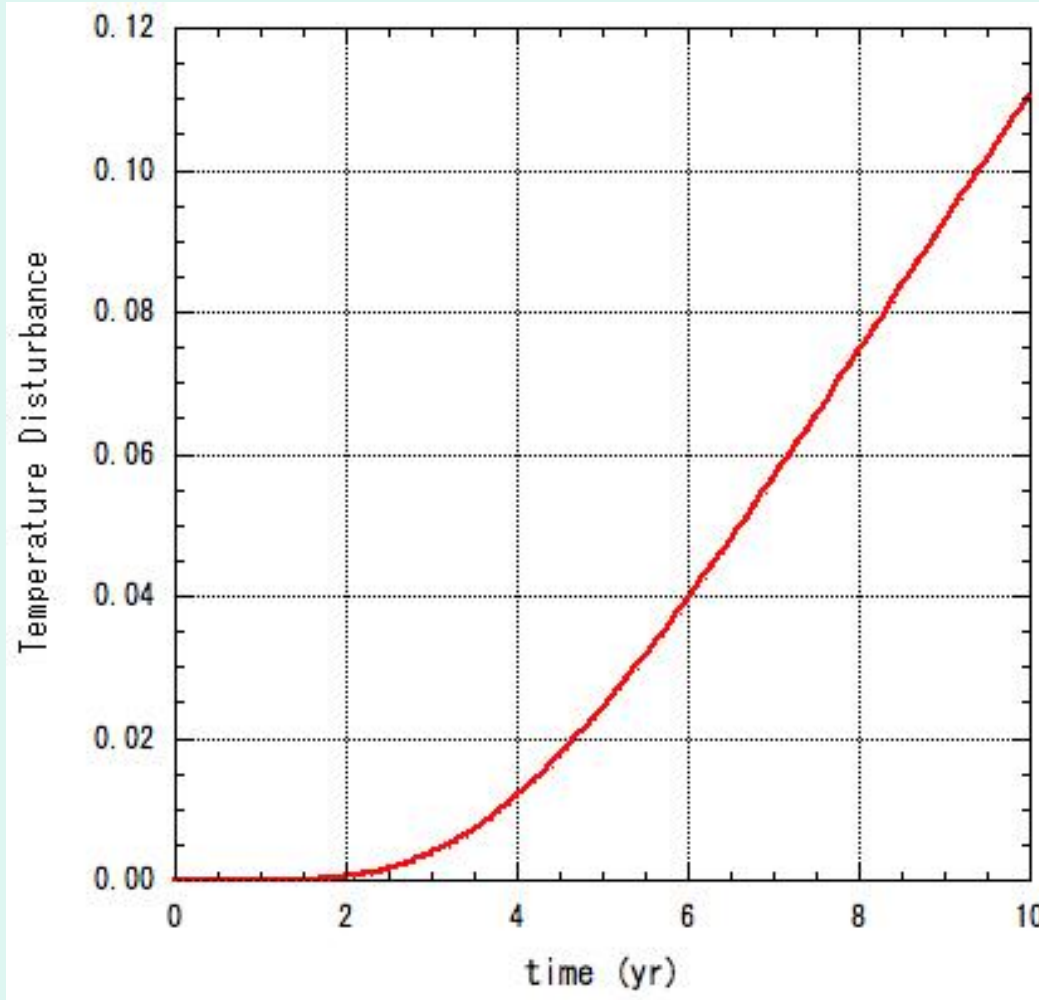
1. 琵琶湖博物館の建設（1996年）

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

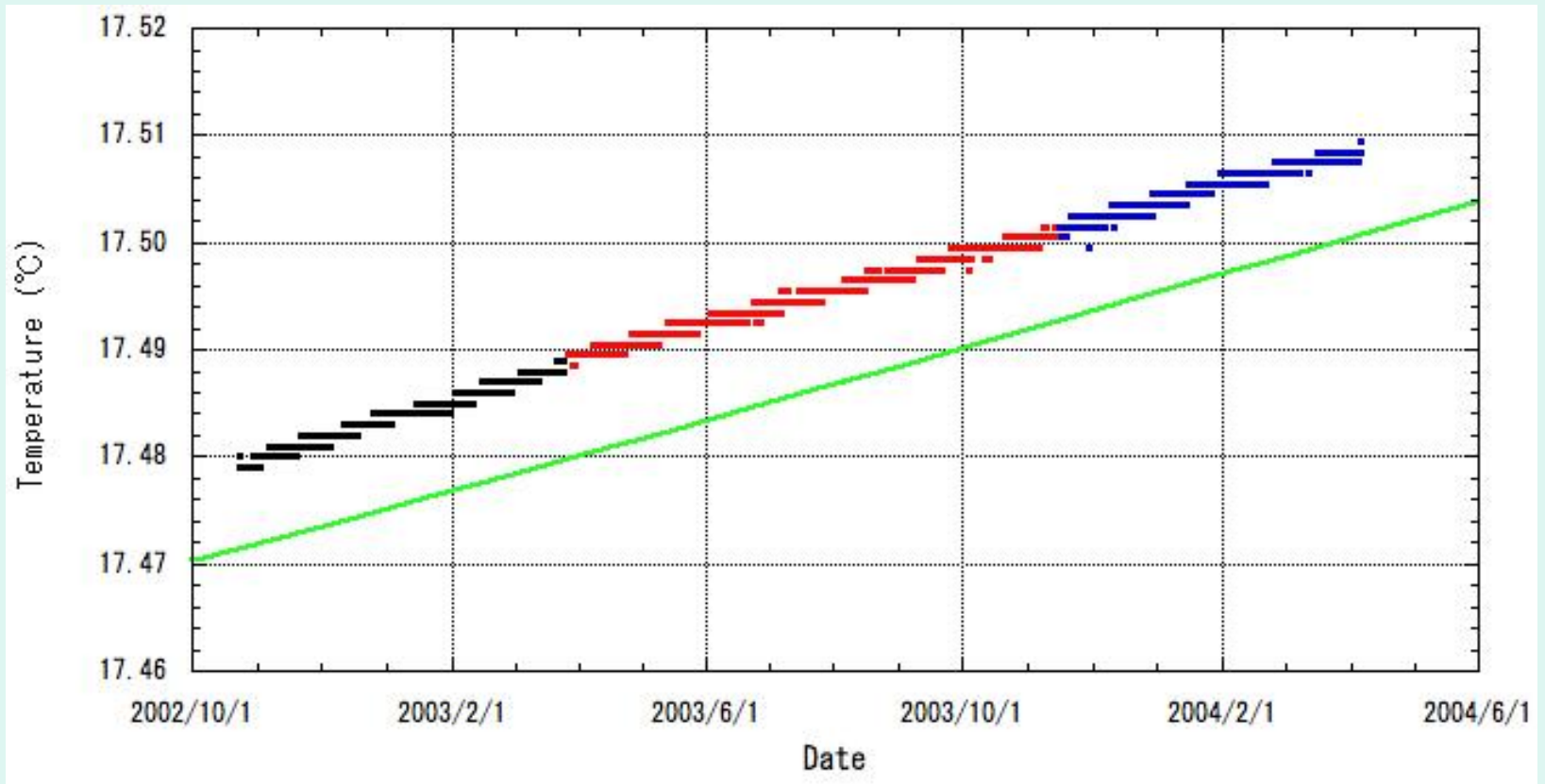
地表面温度のステップ状の上昇が 深さ30mの温度に及ぼす影響



ほぼ直線的な温度
上昇をもたらす

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

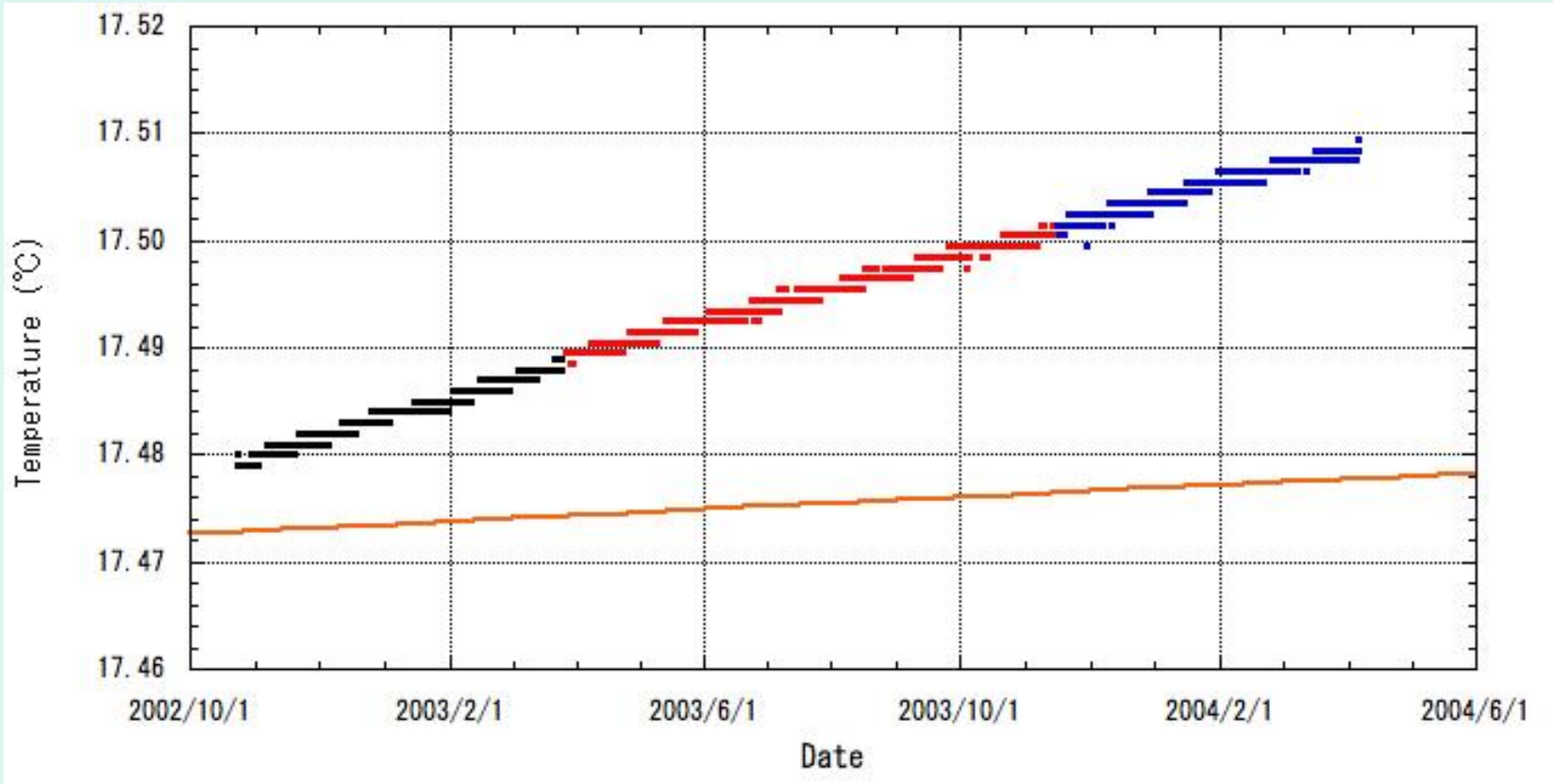
観測された温度上昇を説明できるモデルの例



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 : 5.6×10^{-7} m²/s

何ができる か？

- ・ 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

