

地球熱学と地下水

—種々の深度における人間活動の
地下水・熱環境への影響—

九州大学大学院工学研究院
地球資源システム工学部門
地球熱システム学研究室
江原幸雄

2004年3月10／11日 地球研インキュベーション研究打ち合わせ

「沿岸都市地下環境」

従来の研究の紹介

- ・地球熱学(陸上および海底熱流量)
- ・火山噴火予知(熱を含めた火山観測)
- ・地熱工学(地熱構造・熱水系の解明)
- ・地球熱システム学(地球内部の構造とその中における熱と水の流れのシステムを解明し、それを持続可能な循環型社会の形成に活かす)

具体的には、
火山システムを含めた地球熱システムの解明と地熱エネルギーの持続可能な利用と火山防災に関する研究

現在の関心

(1) 持続可能な地熱エネルギーの開発利用
(地熱系のモデリングとモニタリング)

高温地熱(>200°C、1-3km)・中低温地熱(-150°C、数100m)

(2) 浅層地中熱利用
(都市地域のヒートアイランド現象緩和)

常温地熱(10-25°C、<200m)

(3) 火山下の熱過程解明と火山エネルギー利用
(熱抽出と火山活動制御＝基礎的・将来的課題)

超高温地熱(>400°C、>5km)

本研究課題へのリンク

地球の熱水系への人間活動の影響評価

浅部から深部へ

これまでの研究で関連した事象を中心として

深度別：人間活動の地下水・熱環境への影響 (→残存する指標は何か?)

- | | 深 度 | 影響の原因 |
|----|------------|---|
| 1. | 0m レベル | (地球温暖化・ヒートアイランド・・・) |
| 2. | 1m レベル | (地球温暖化・ヒートアイランド・・・) |
| 3. | 10m レベル | (地球温暖化・ヒートアイランド・・・) |
| 4. | 100m レベル | (同上、地中熱利用・温泉開発・・・) |
| 5. | 1000m レベル | (温泉開発、地熱開発・ 気候変動 ・・・) |
| 6. | 10000m レベル | (マグマエネルギー・高温岩体・深部循環
熱水利用・ 気候変動 ・・・) |

浅部における人間活動の影響→global & 都市地域

深部における人間活動の影響→local & 非都市地域

(1) 0m レベルにおける残存指標

地球温暖化・ヒートアイランド現象の影響

- ・都市気温
- ・都市地表面温度(赤外映像、衛星・空中・地上)
→近年の都市化の影響の評価

地下への影響の境界条件を与える。

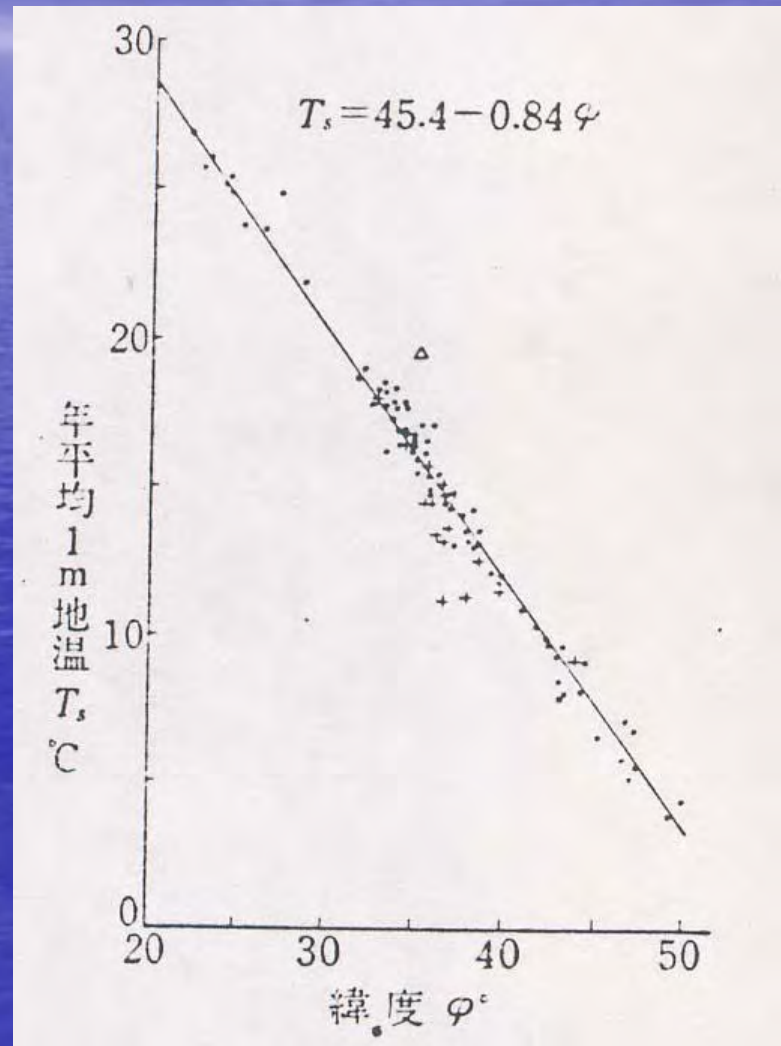
(2) 1m レベルにおける残存指標

地球温暖化・ヒートアイランド現象の影響

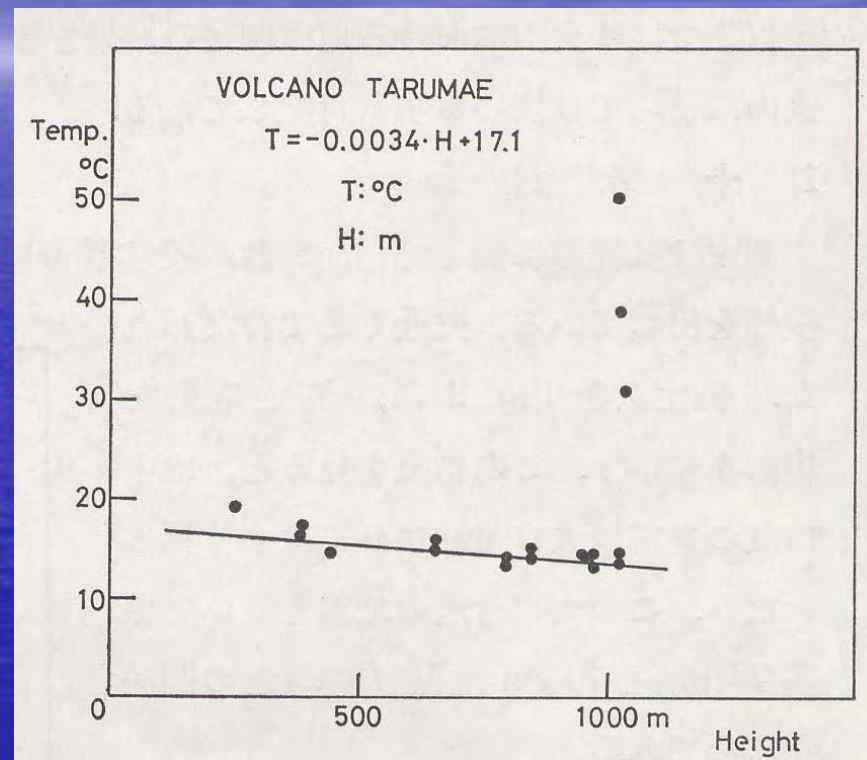
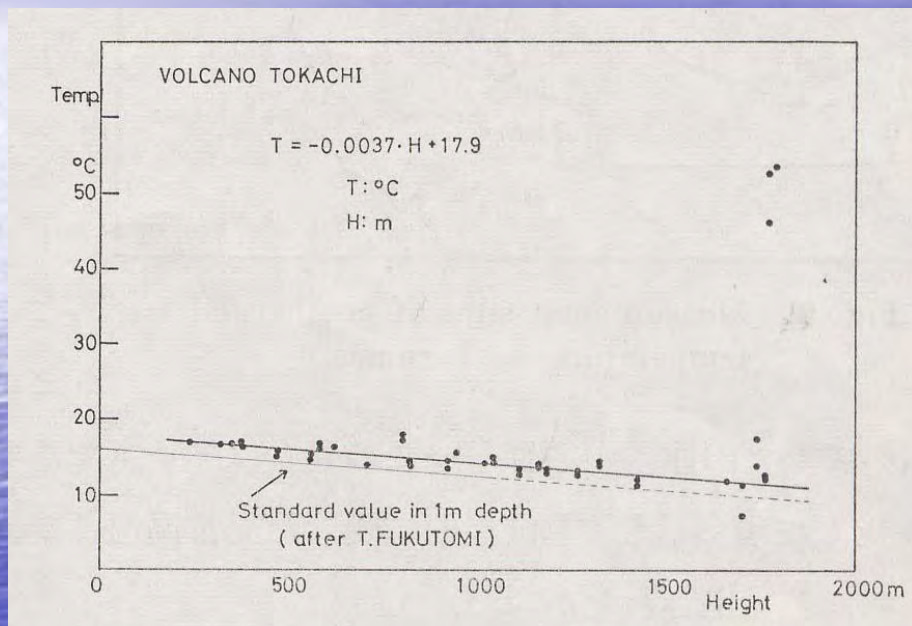
- ・都市化に伴う日本列島1m深地温の経時変化
(過去60年?程度にわたる変化)
- ・都市地域の1m深地温の「標高-1m深地温
関係」からのずれ(空間変化)

1m深地温と緯度の関係

(荒川・東、1951)



火山体の1m深地温(対標高)



(3) 10m レベルにおける残存指標

地球温暖化・ヒートアイランド現象の影響

恒温層への影響

- ・恒温層温度の変化＝気温の上昇を反映
- ・恒温層深度の変化＝気温変化振幅を反映
→恒温層深度が深くなる？

日本列島の恒温層の深度分布

木内(1949)



(4) 100m レベルにおける残存指標

・地球温暖化・ヒートアイランド現象の影響

$$d(\text{深さ}) = \{4\kappa(\text{熱拡散率})\tau(100\text{年間})\}^{1/2} \\ = 100\text{m}$$

・浅層地中熱利用による都市浅層地温の温暖化

→ヒートアイランド現象は抑えるが地中温度上昇

・温泉開発に伴う地中温度(帯水層圧力)の変化

→長崎県小浜温泉(利用抑制による回復)

・地下水(温泉水)利用に伴う地盤沈下

→明瞭なデータない(温泉)?

(5) 1000mレベルにおける残存指標

温泉開発・地熱開発の影響

→地中温度低下・圧力低下・地盤沈下

放射性廃棄物の地層処分の影響

→地下水の汚染(熱的汚染は?)

気候変動の影響

→地下温度変化

(6) 10000m レベルにおける残存指標

マグマ熱利用・高温岩体熱利用による影響

- 広範囲の温度低下(熱交換領域)
- 地殻の破砕(水圧破砕・熱応力破砕)
- 新たな流体流動系の形成

天水深部循環系の熱水利用による影響

- 広範囲の地殻の温度低下

気候変動の影響

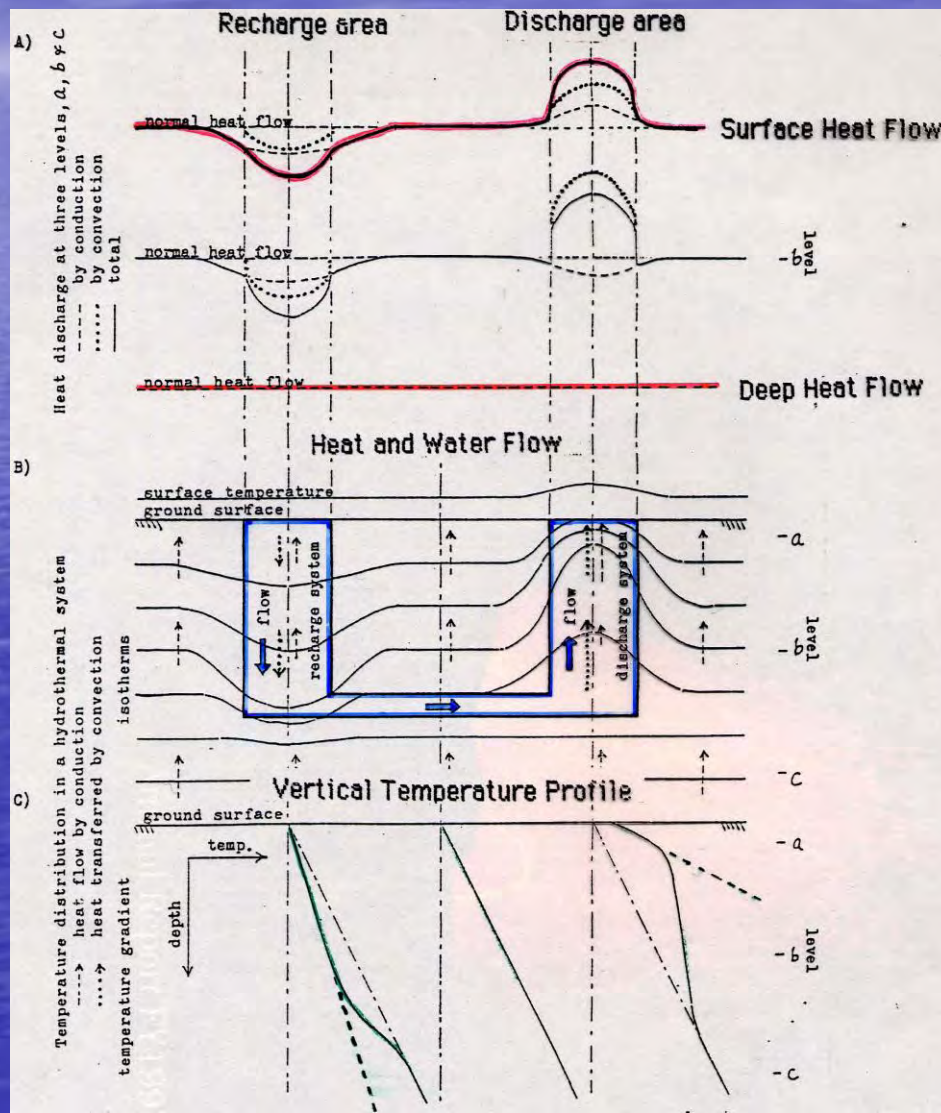
- 地下温度の変化

本研究とリンクできそうなテーマ？ 何が観測できるか？

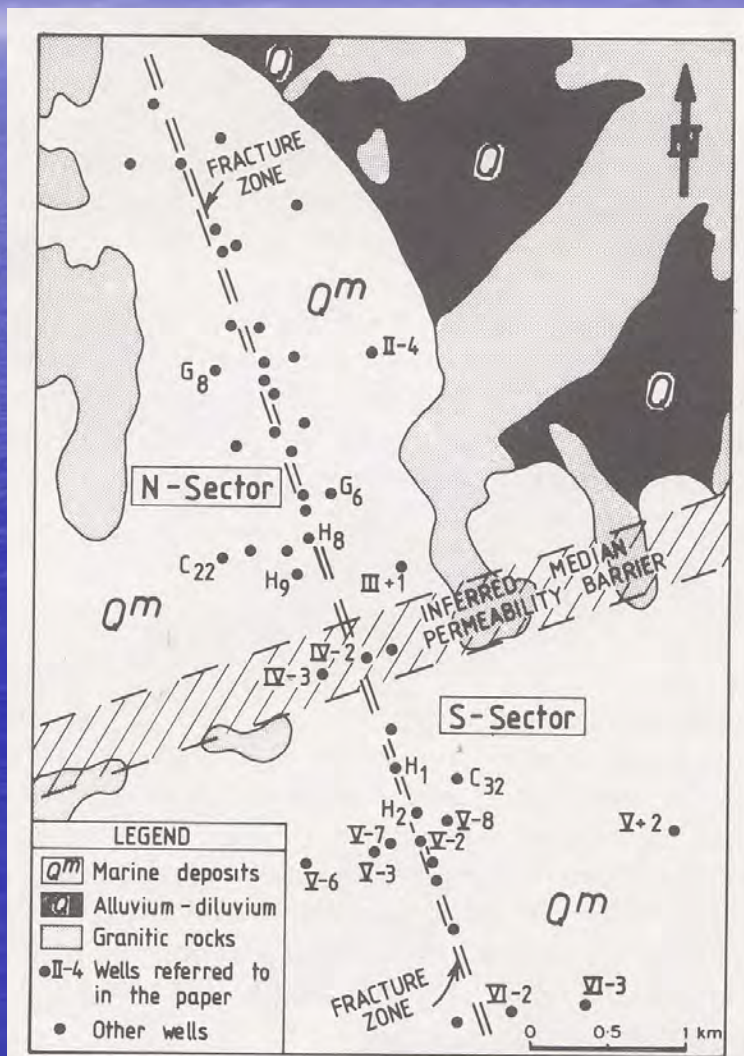
- (1) ヒートアイランド現象(地球温暖化)による
日本列島の「新」1m深地温変化マップ作成
- (2) 同上原因による都市地域の「標高-1m深地温関
係」からのずれ検出
- (3) 浅層地中熱利用に伴う地中温度変化の予測実測
- (4) 地熱開発・温泉開発に伴う地下温度・流体流動系
変化
- (5) 比較対象としての自然原因による地下水・熱環境
の変化(例:火山噴火に伴う変化)

以下でいくつかのケーススタディ紹介

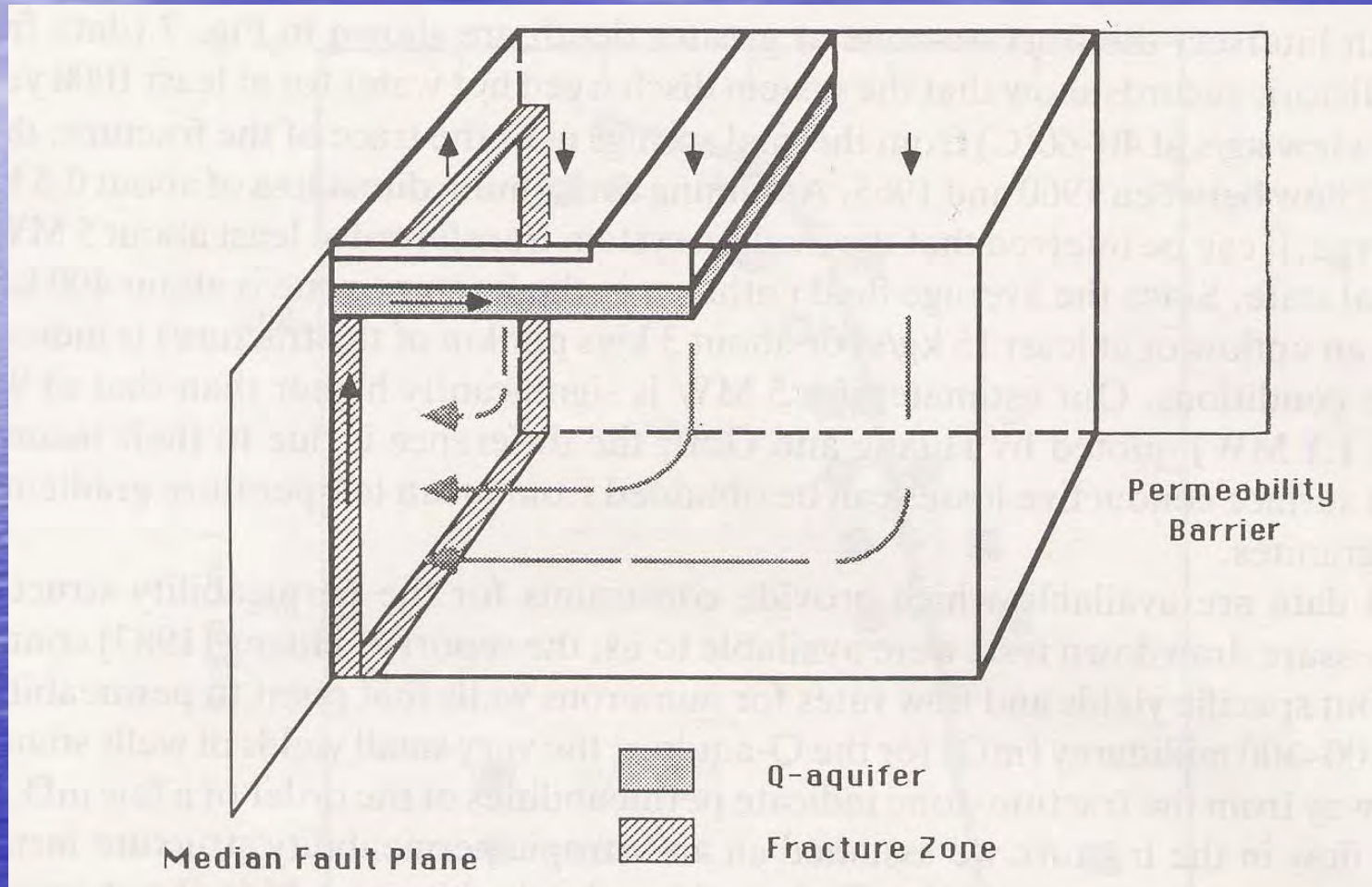
ケーススタディ(1) 熱水系の形成 地下温度に与える流体流動の影響



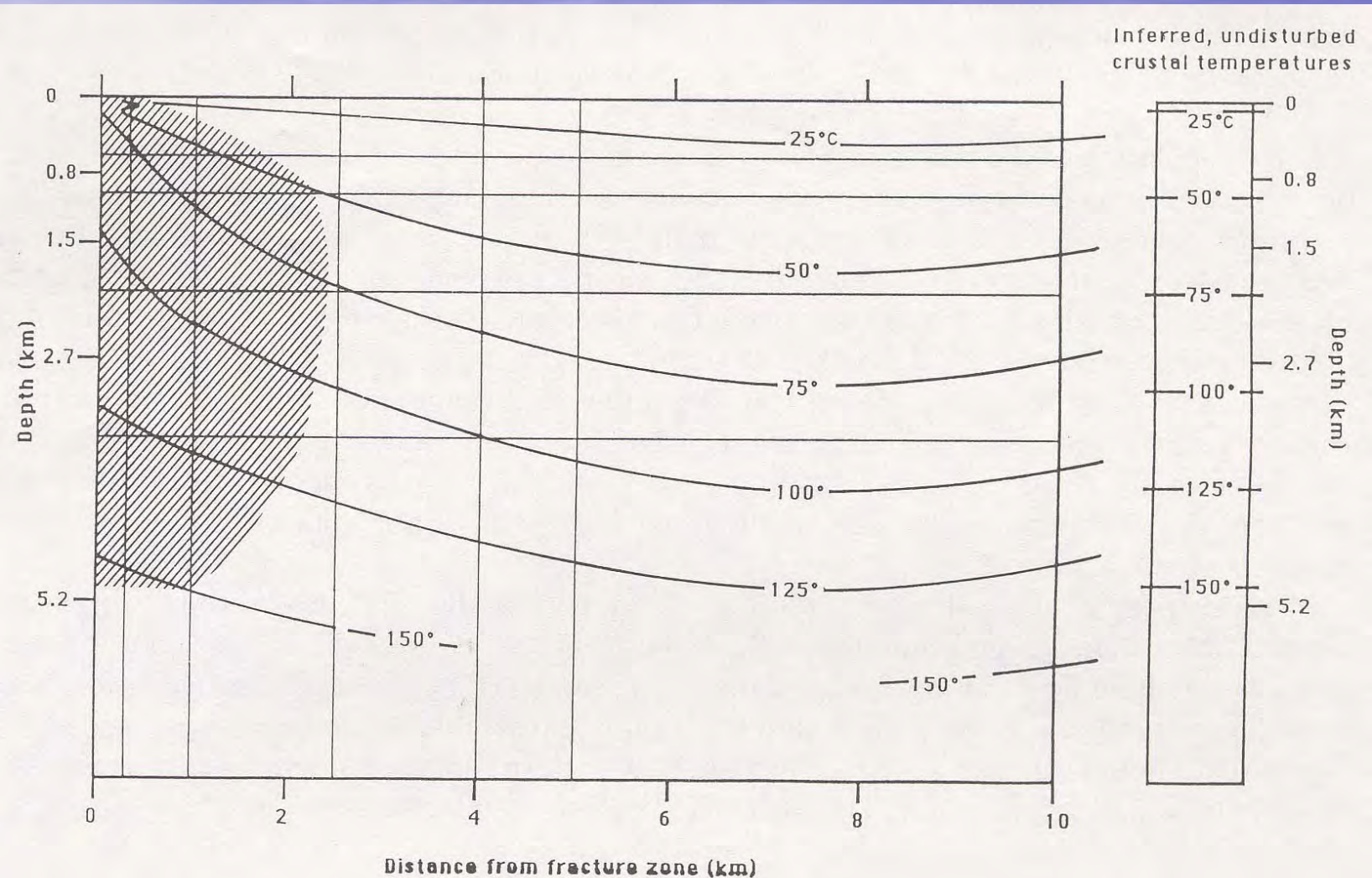
深部循環熱水系の熱と水の流れのシステム 中国福建省の例



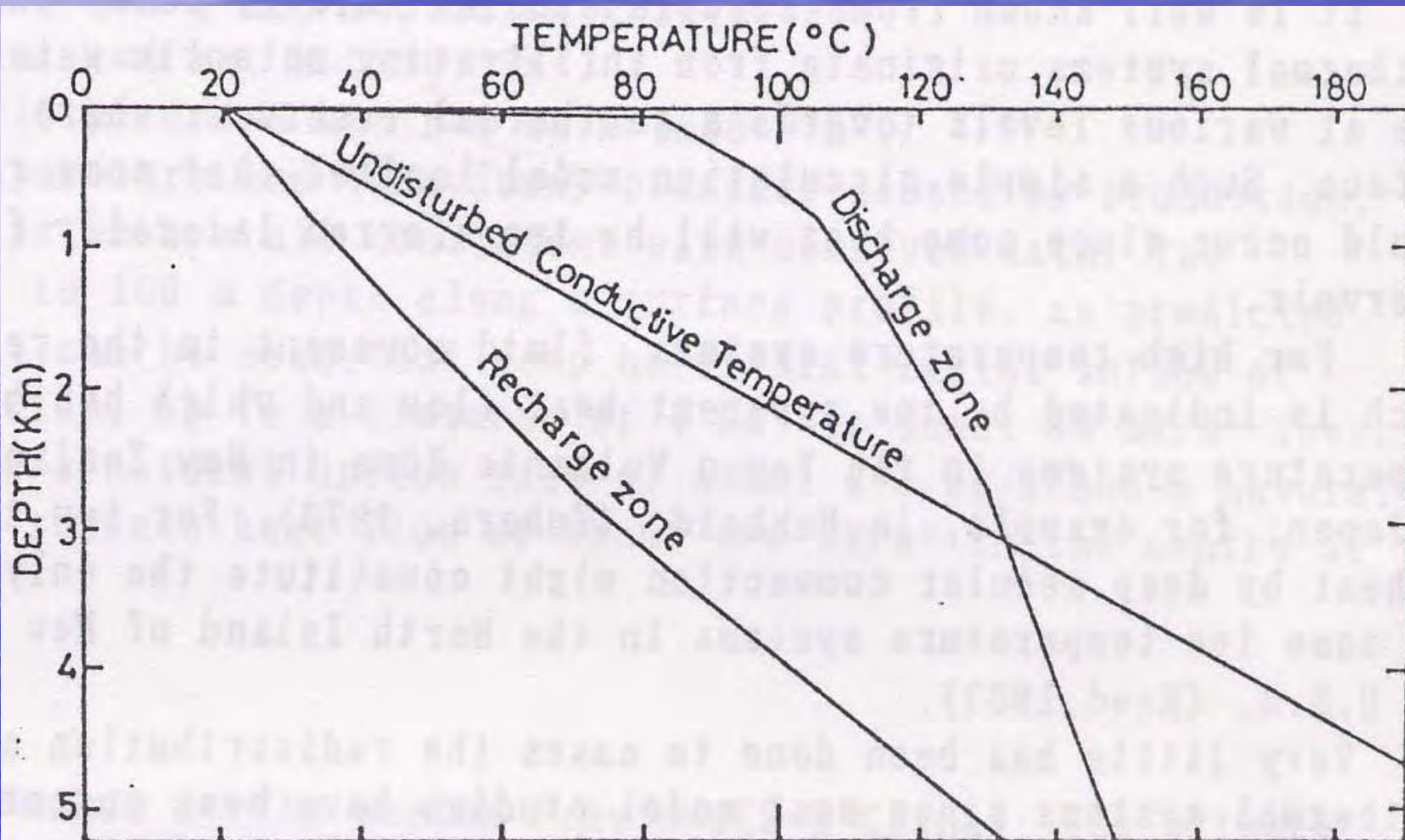
流体流動モデル



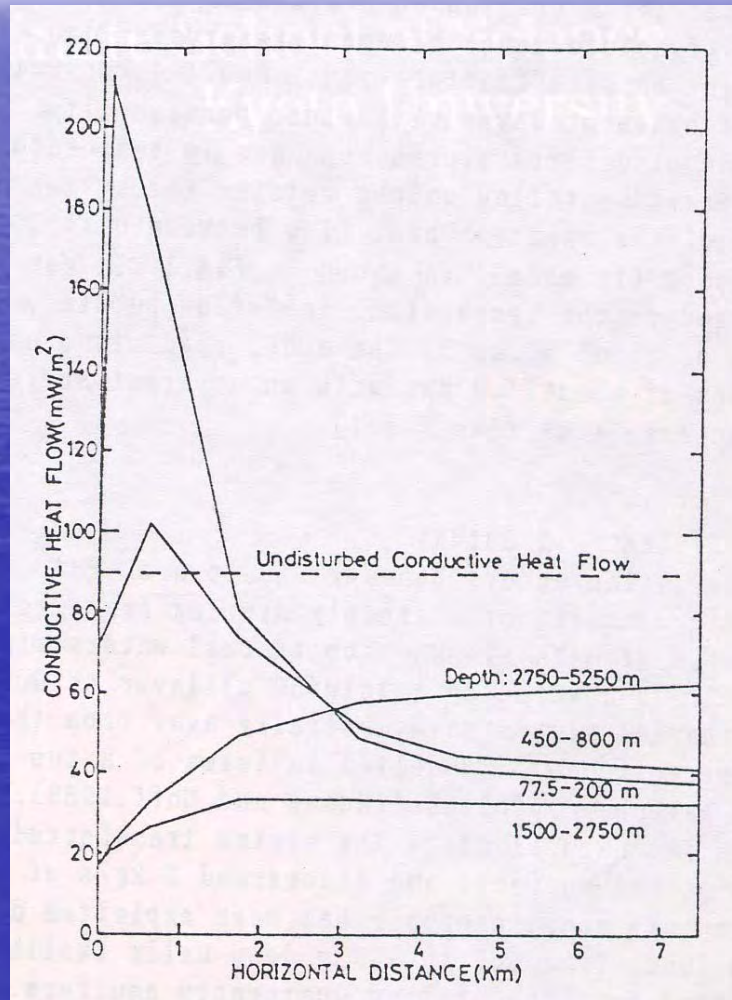
流体流動に伴う地殻内温度の変化



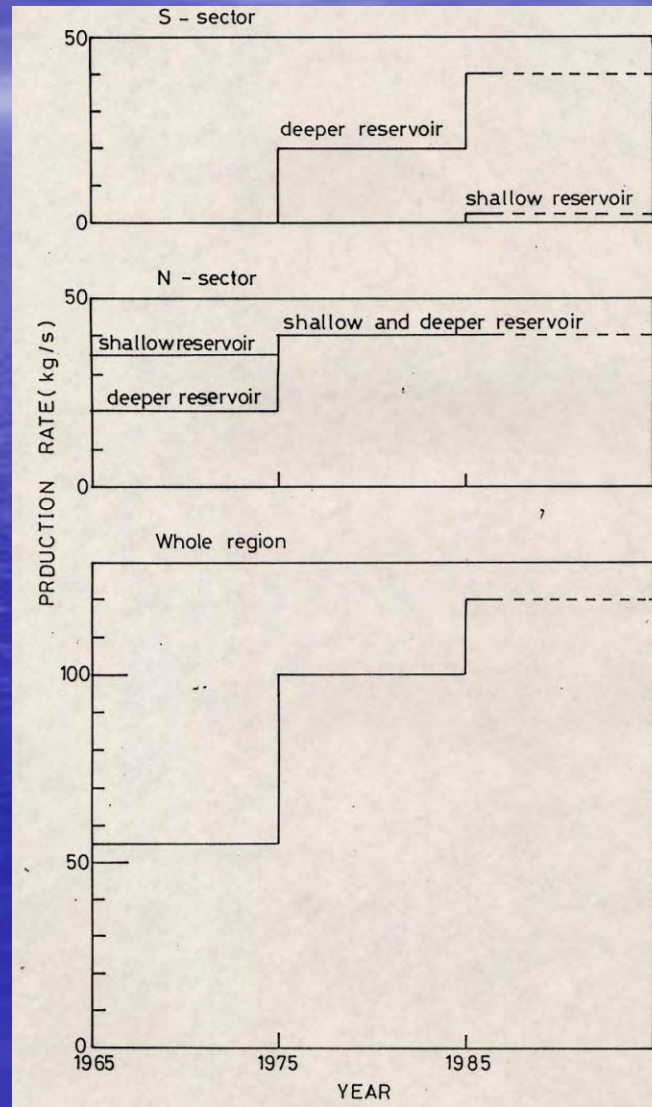
流体流動に伴う温度変化



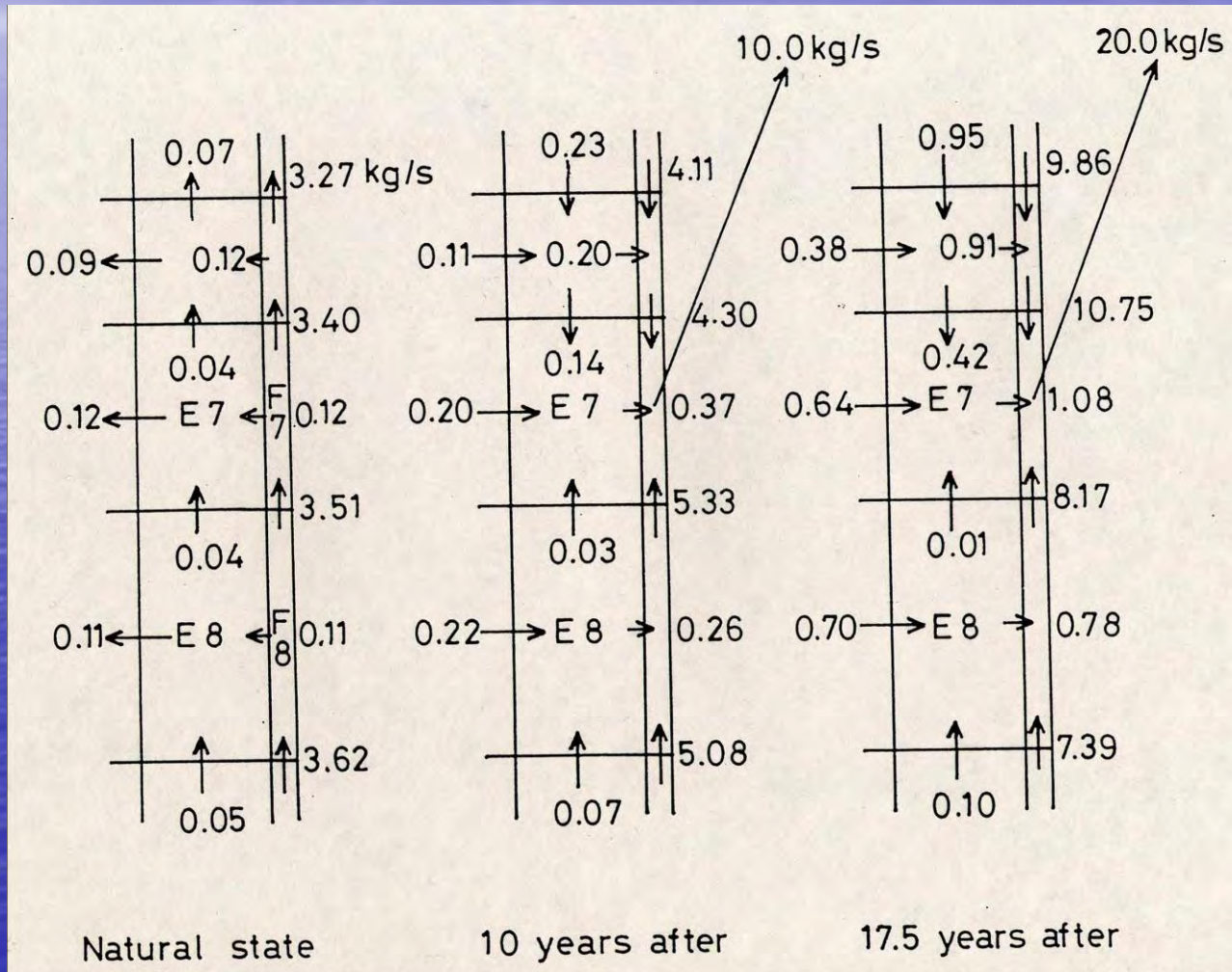
地殻熱流量の再配分



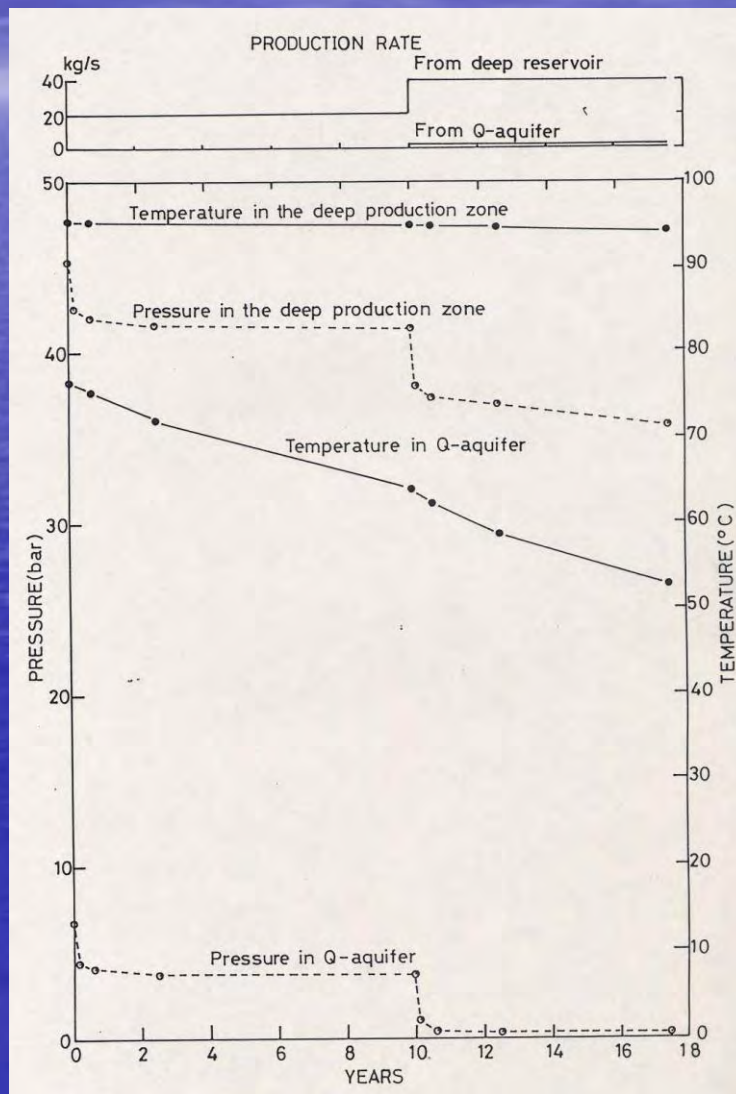
地熱流体生産モデル



生産に伴う流体流動の変化



生産に伴う温度・圧力の変化



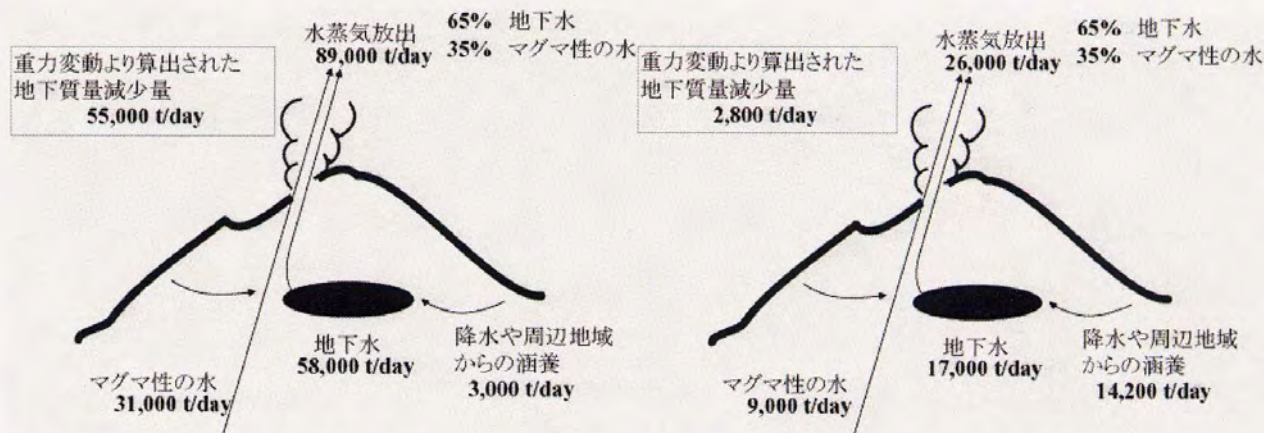
ケーススタディ(2)

大分県九重火山1995年水蒸気爆発直後

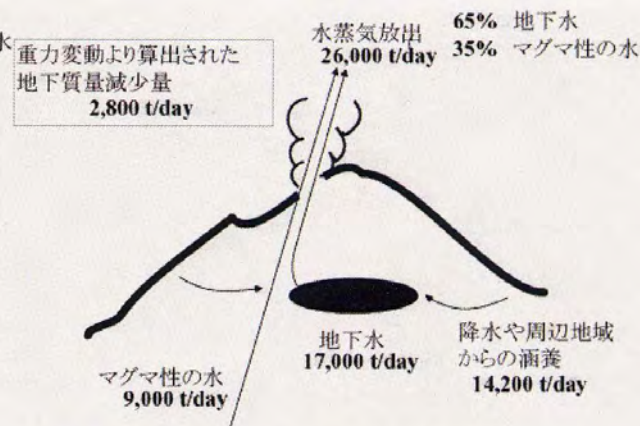


噴火(水蒸気爆発)に伴う熱水流動系の変化

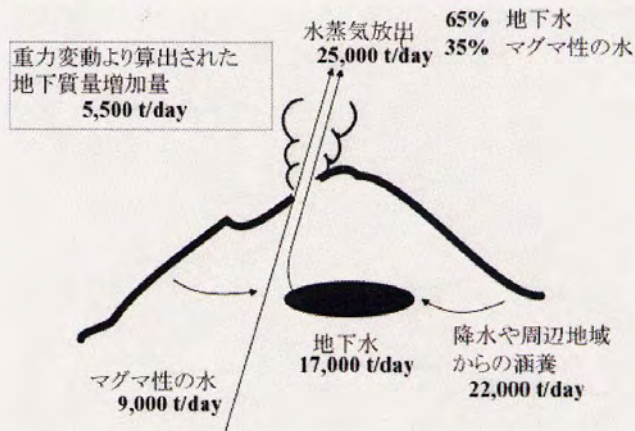
(Nishijima et al., 2002)



1995/10/19~1996/1



1996/2~1997/12



1998/1~2001/5

九重火山噴火前後の流体流動変化

(小澤、2004)

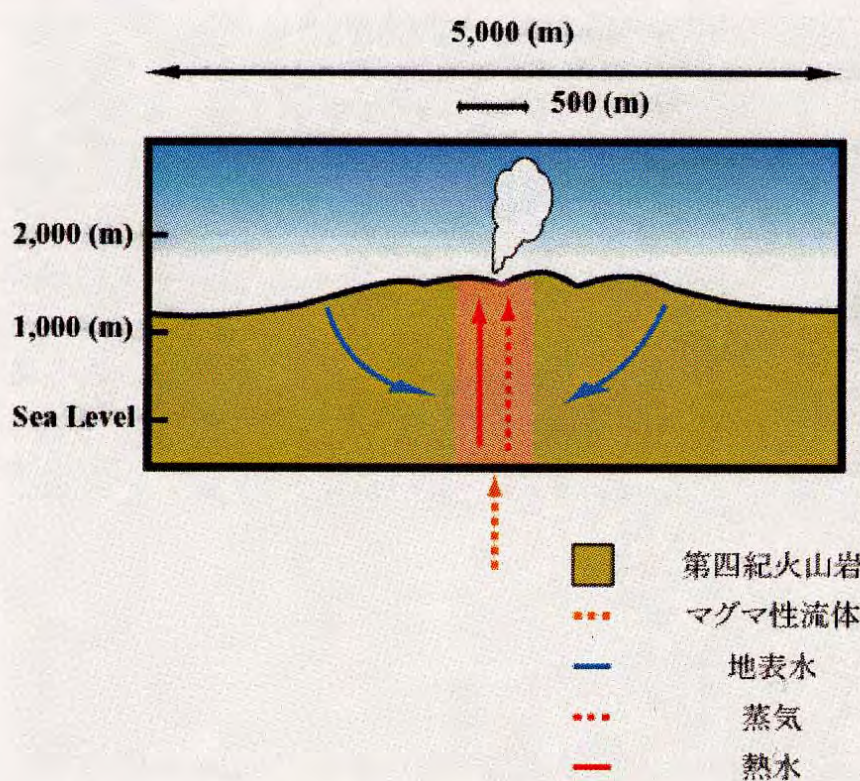


Fig. 7-1 水蒸気爆発前の概念モデル

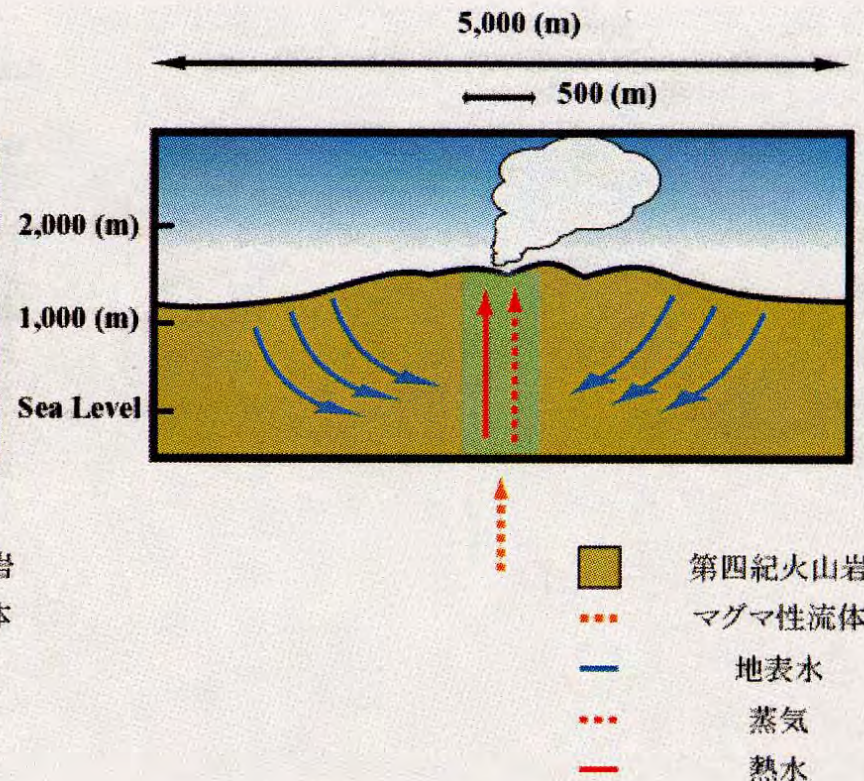
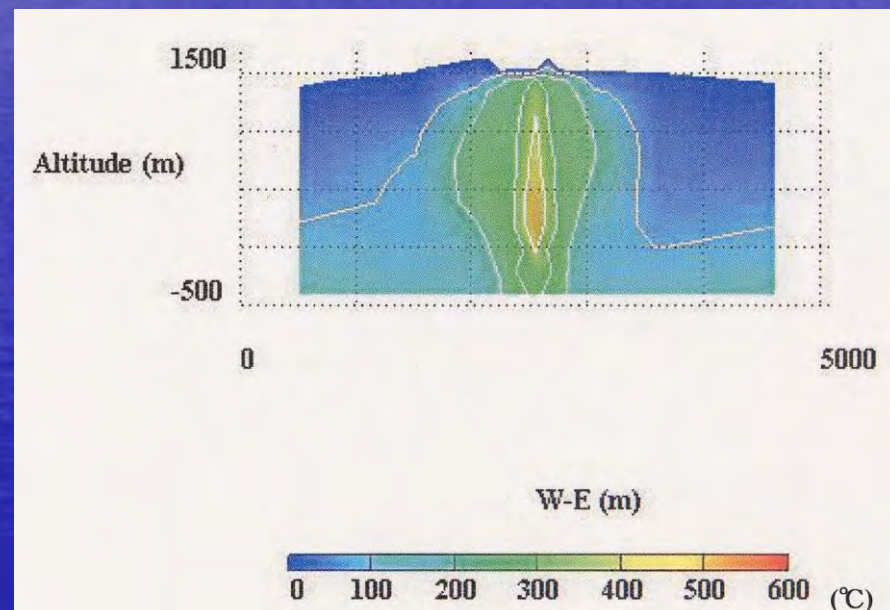
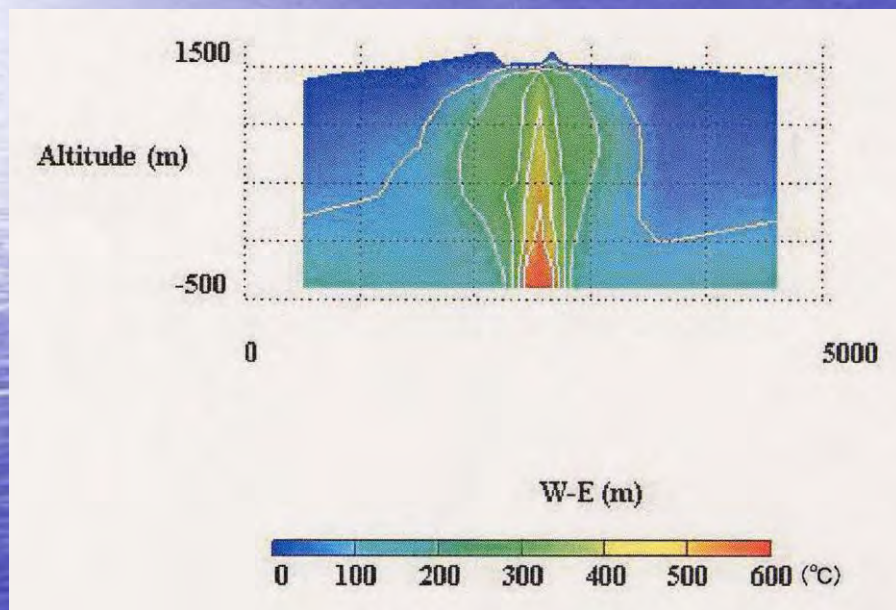


Fig. 7-2 水蒸気爆発後の概念モデル

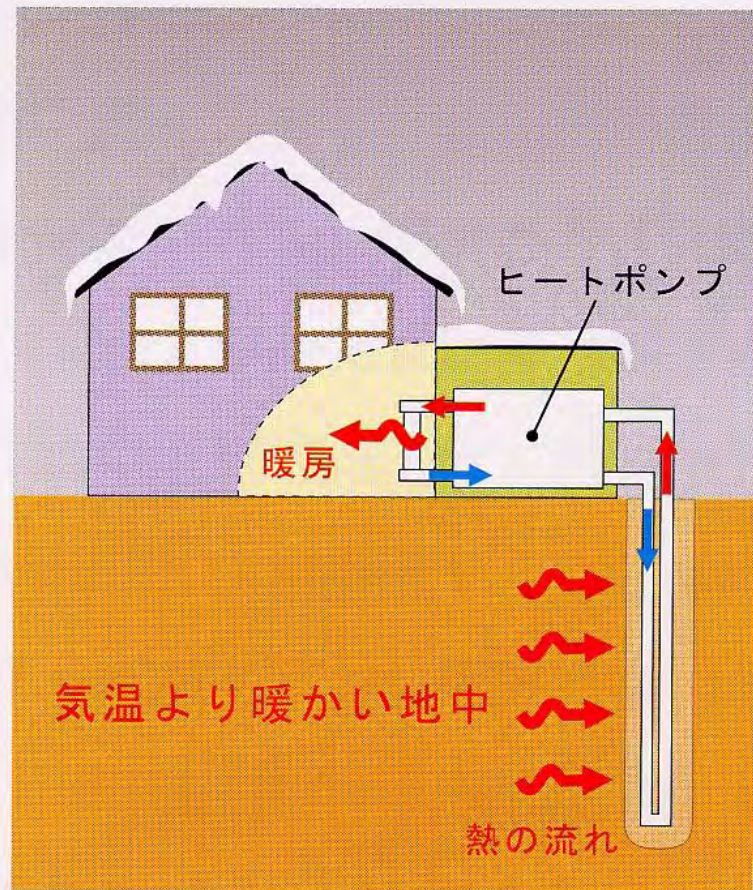
噴火前後での火山体の冷却

(小澤、2004)

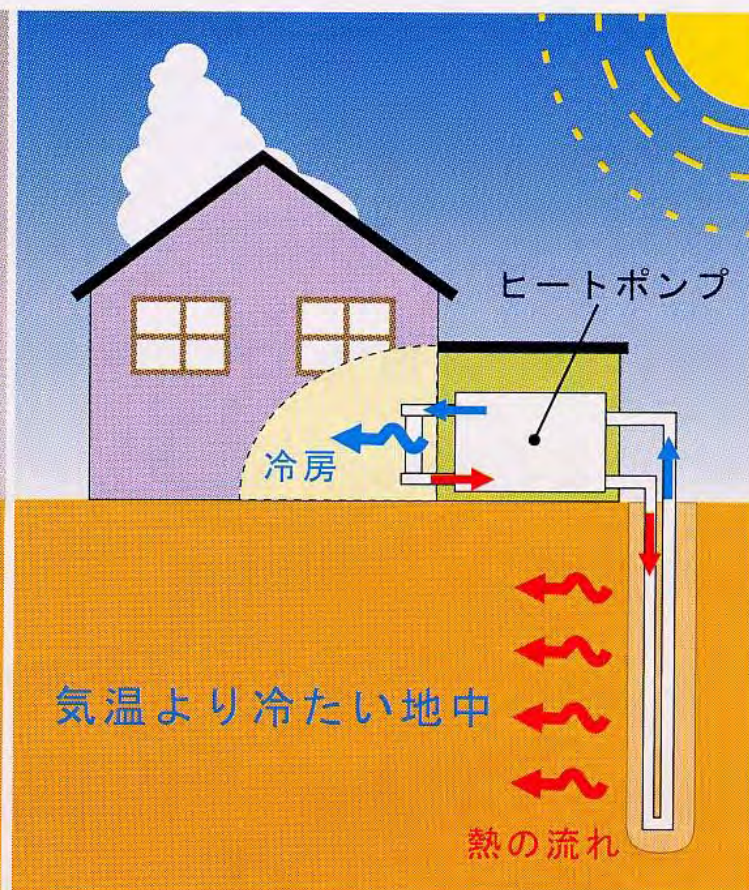


ケーススタディ(3)

地中熱利用に伴う地中温度の変化



冬季の熱の流れ

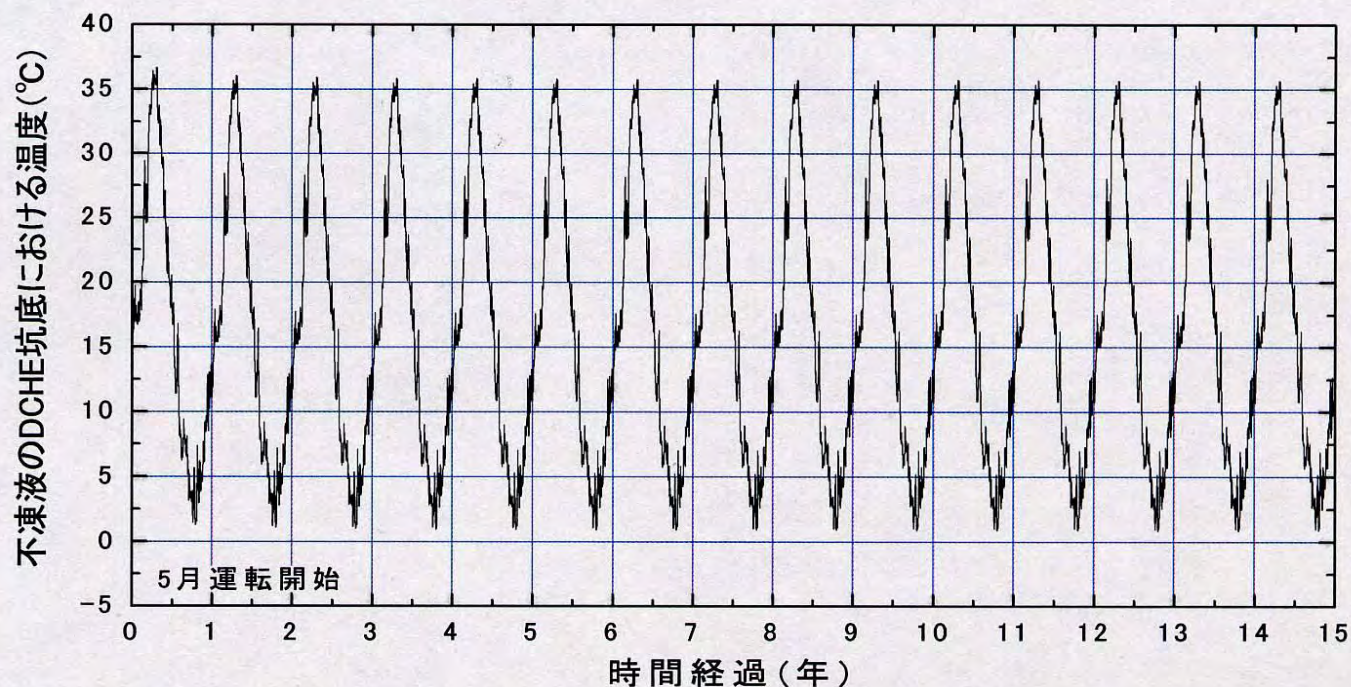


夏季の熱の流れ

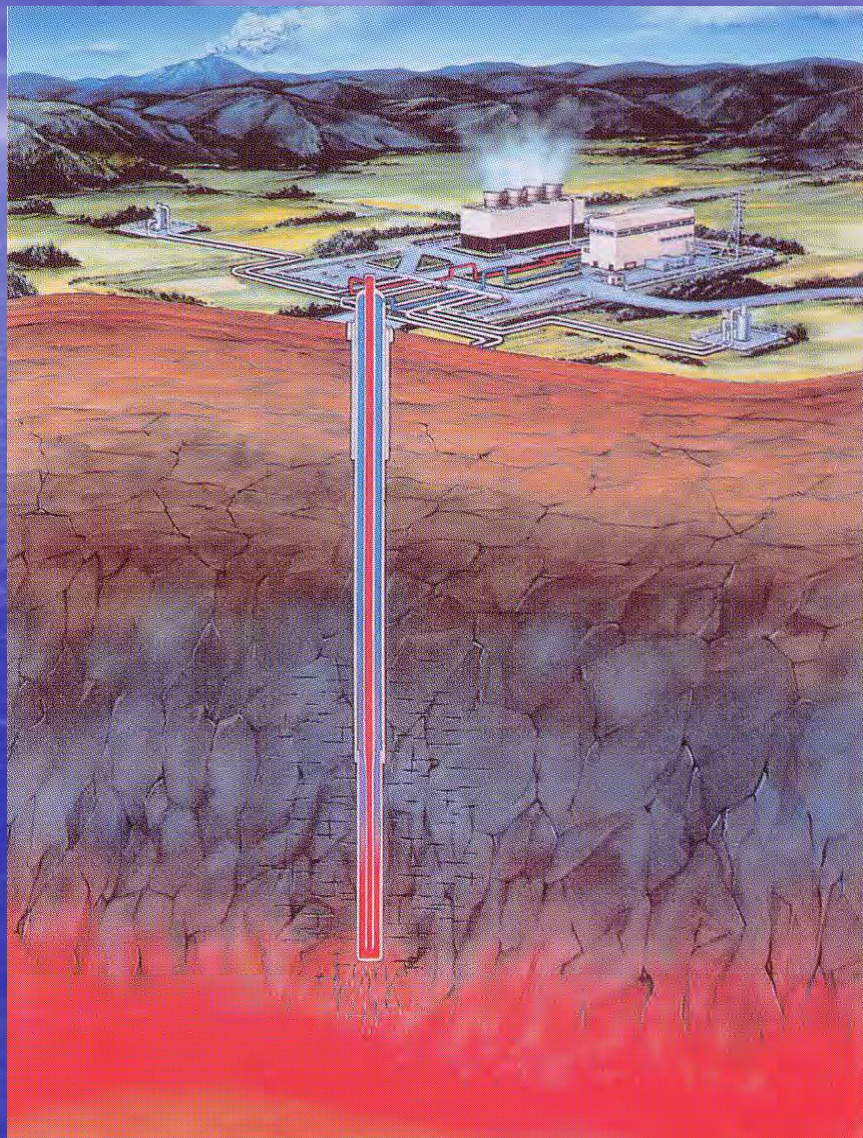
バランスした地中熱利用

— 恒温室設計時の孔底温度の経年変化 —

(黒田、2004)

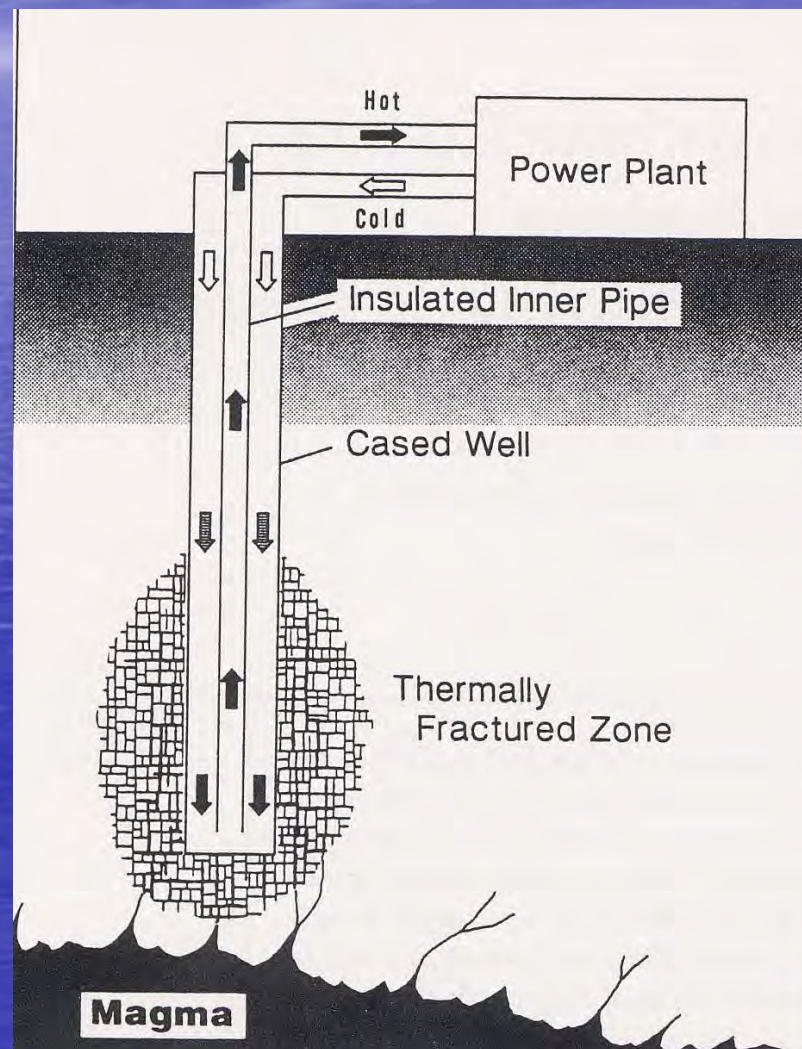


ケーススタディ(4) 火山からの熱抽出



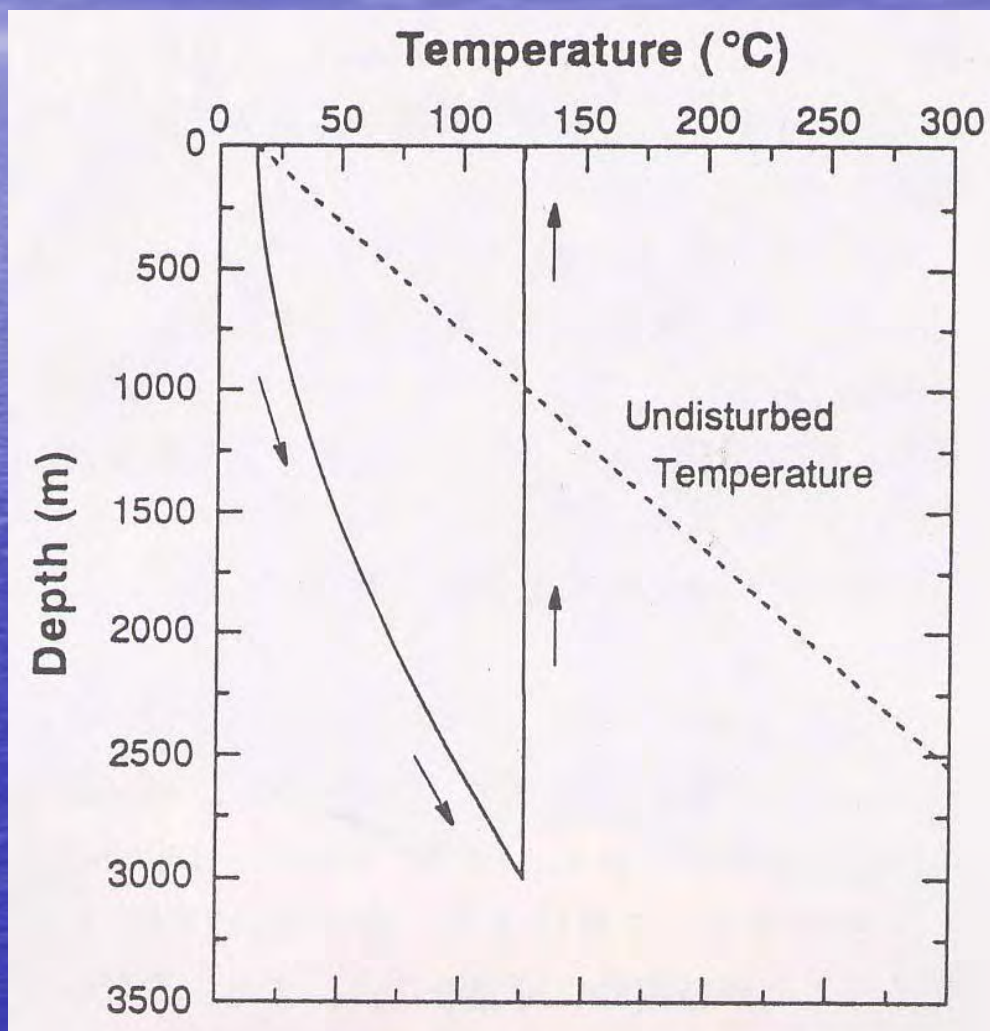
坑井内同軸熱交換器方式による熱抽出

(盛田、1994)



火山からの熱抽出

(3) 熱抽出による温度低下(盛田、1994)



アジア沿岸都市の1つのモデル としての福岡市

人間活動の影響の特徴

- ・熱環境

 - ヒートアイランド現象、……

- ・水環境

 - 渇水都市、……

- ・物質環境

 - 閉山炭鉱の影響、酸性雨(土壌)?、埋立地……