

2008.7.17

# 「陸域における地殻熱流量と地震活動の相関性」

防災科学技術研究所  
松本 拓己

## はじめに

### 地震と熱の関係

地殻内地震発生層の分布が地殻熱流量、すなわち温度構造と相関関係がある。(小林 1976)

- 概ね200°Cから400°Cの間で岩石は脆性破壊を引き起こす。
- 地殻内地震の発生層には下限深度が存在する。

熱構造は地震発生場の物性状態を規定する重要な情報！！

地震発生層の深さが内陸地震の断層サイズと関係

～地震に関する基礎的調査観測計画 (H9.8.28 地震調査研究推進本部)より抜粋～

発生する内陸地震の規模は、通常、破壊する断層面の大きさ(長さ×幅)及び変位量に対応する。このうち、長さ×変位量が推定できない場合でも、**高感度地震計による地震観測により内陸地震の発生する深さの限界を把握できれば、経験的に、断層面の最大の幅を評価し、その地域における地震の最大規模の推定に資することが期待される。**このような観点から、陸域における高感度地震観測網の密度を決めていくことが適切である。(以下略)

### Hi-netの建設目的の1つ

しかし日本列島周辺の地殻熱流量データは陸上では地熱地帯に集中しており面的に不均質なデータセットしか存在しない。

Hi-net掘削井を利用して均質かつ高密度な地殻熱流量計測を行い、日本列島全体の熱構造を明らかにする。

Hi-net建設開始から約10年、以前に比べ震源深さの決定精度が向上し、地震発生層の下限についての知見が得られつつある。

地殻内地震発生層と温度構造の関係を調べる

地殻熱流量(mW/m<sup>2</sup>) = 熱伝導度 × 地温度勾配

$$Q = K \frac{dT}{dz}$$

地温勾配の測定

→ 地中の温度を測る

- 陸域:石油・天然ガス・温泉・地熱調査用掘削坑などの温度検層
- 海域:深海掘削坑における温度検層・堆積物表層でのヒートプローブ法・反射法探査データを利用したBSR法

熱伝導度の測定

→ 地中の温度が測定された地層の岩石コアの熱伝導率を測定

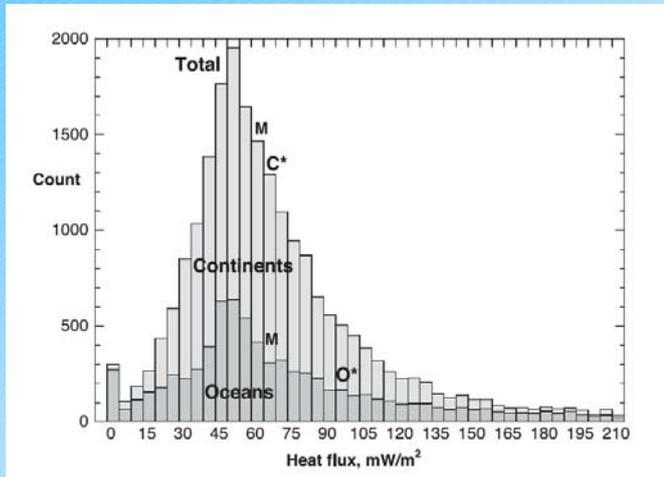
- 熱線法
- レーザーフラッシュ法

## 温度検層(サーミスタ使用)



## 全地球における地殻熱流量平均

Hofmeister and Criss 2005



陸域:  $61 \text{ mW/m}^2$

データ数: 14089

海洋:  $63 \text{ mW/m}^2$

データ数: 7961

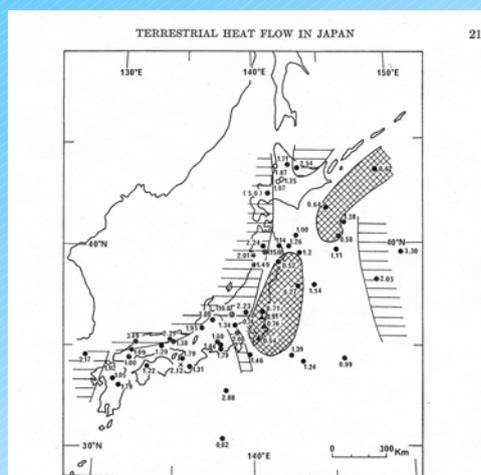
全地球の放熱量

**$31 \pm 1 \text{ TW}$**

日本の総発電能力の約300倍

## 日本列島における地殻熱流量分布

Uyeda and Horai 1964



計測地点

陸域: 39カ所

海域: 19カ所

合計58カ所

沈み込む太平洋プレートに  
対して

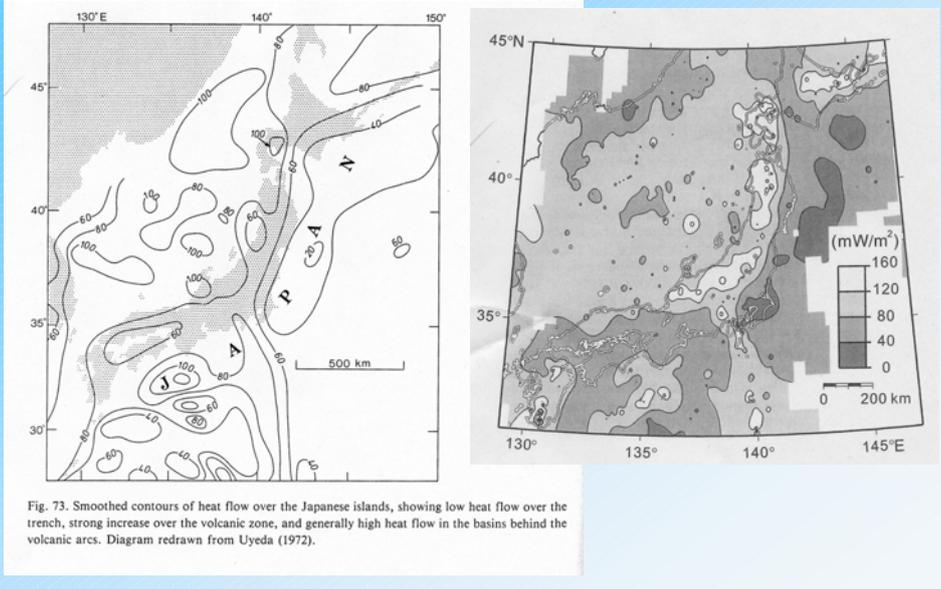
- ・前弧側で低熱流量
- ・背弧側で高熱流量

Fig. 7. Distribution of heat flow in and around Japan. Heat flow values are in  $10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ .

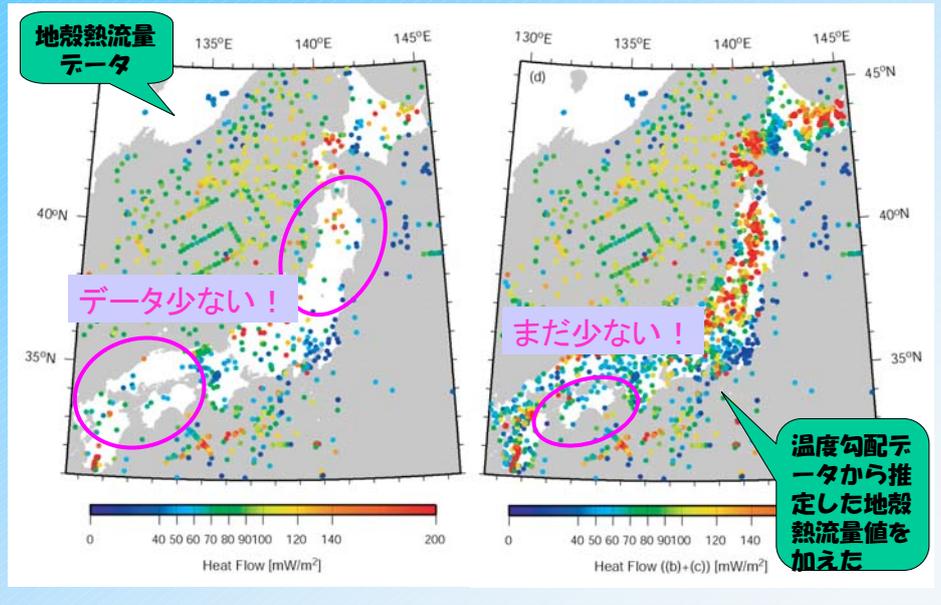
- .... metal mine
- ▲ .... gas field
- # .... oil field
- .... coal mine
- ⊙ .... railway tunnel
- × .... other sites
- ⊗ .... geothermal area

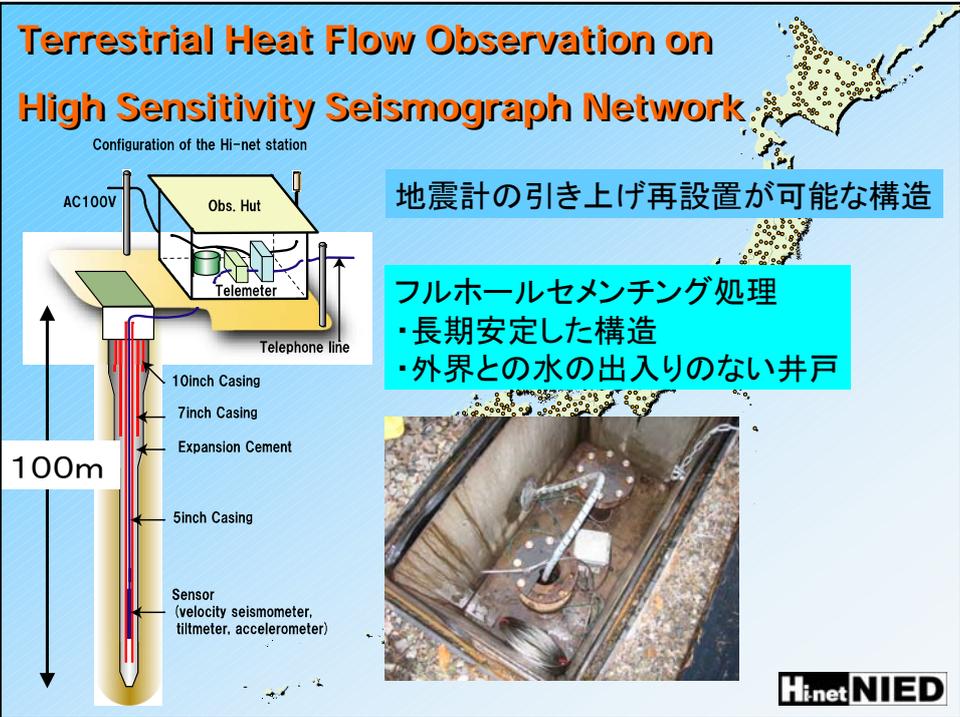
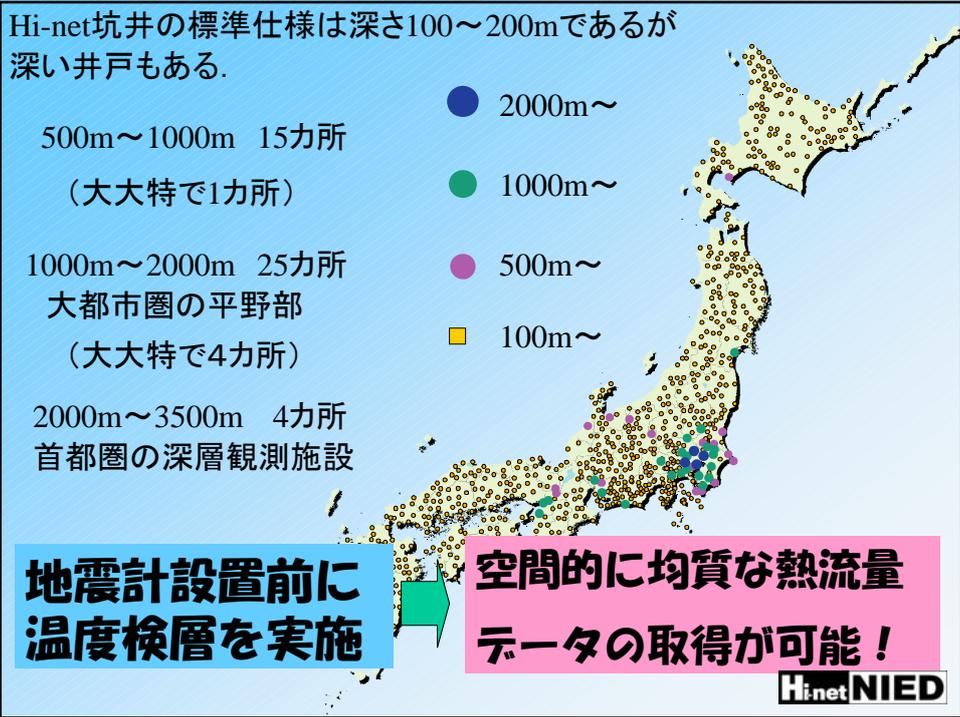
The station giving heat flow value of  $15.0 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$  is in Matsukawa geothermal area. (By permission of the Research Development Corporation of Japan.) These data are not included in the text and Table 1.

日本列島における地殻熱流量分布  
 Uyeda 1972 Yamano 1995



日本列島における地殻熱流量分布  
 Tanaka et al., 2004

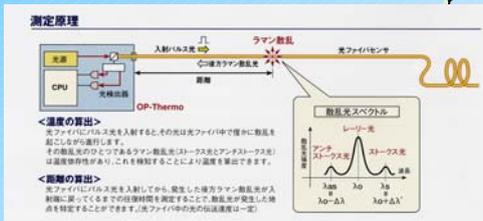




## 光ファイバー式温度検層



● 光ファイバー式  
温度検層実施点

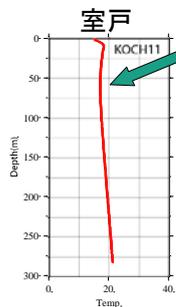


本来業務である地震観測を中断せずに  
温度検層が可能.

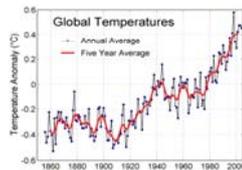
## Terrestrial Heat Flow Observation on High Sensitivity Seismograph Network

100m程度の坑井では気候変動の影響大.

### Climatic change in temperature profile



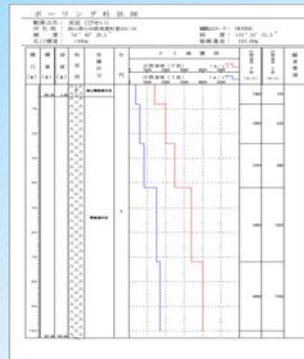
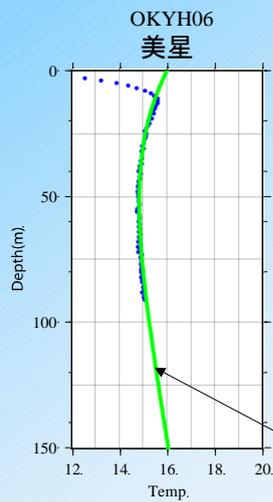
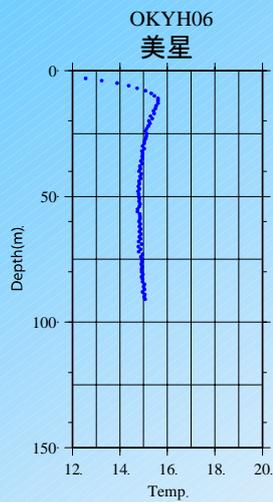
Temperature inversion  
caused by climatic change



The most recent major climatic change, the rapid warming of 1860 - 2000 A.D., has caused a temperature inversion in many part of South West Japan. This is the evidence that Hi-net borehole return to equilibrium temperature profile, there is no drilling disturbance.

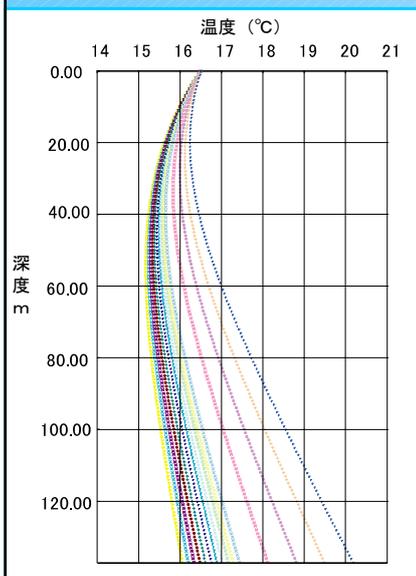
Hi-net NIED

最近50年間で2.5度の地表気温上昇を仮定すると  
温度プロファイルの復元が可能となる...

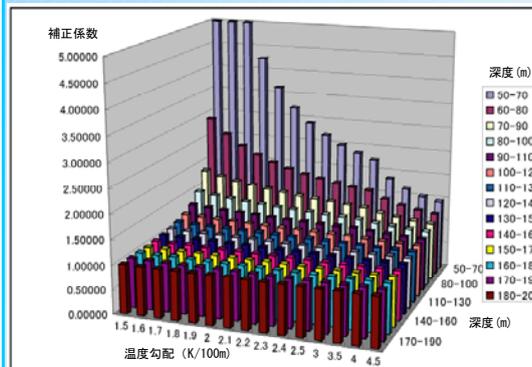


Synthetic Profile

最近50年間で2.5度の温度上昇率を仮定して  
温度勾配を補正

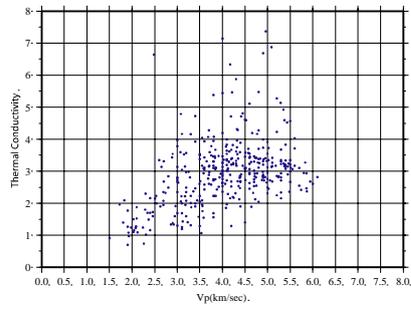


補正係数テーブルを作成



## 岩石コアの熱伝導率計測

### Masurement of Thermal conductivity



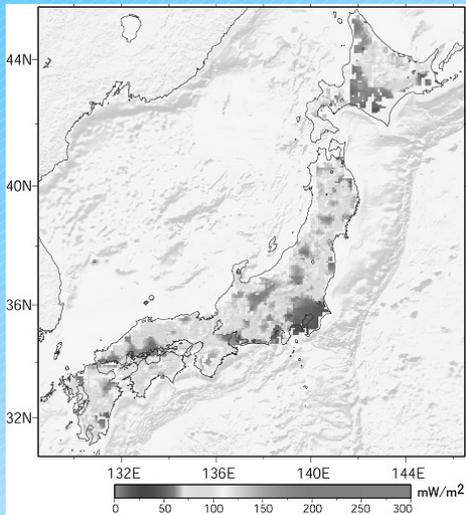
core on the bottom of Hi-net borehole

**We have core samples taken from bottom of all Hi-net boreholes. Thermal conductivities of about 75 percents core samples were measured using the box probe method or laser flash method.**

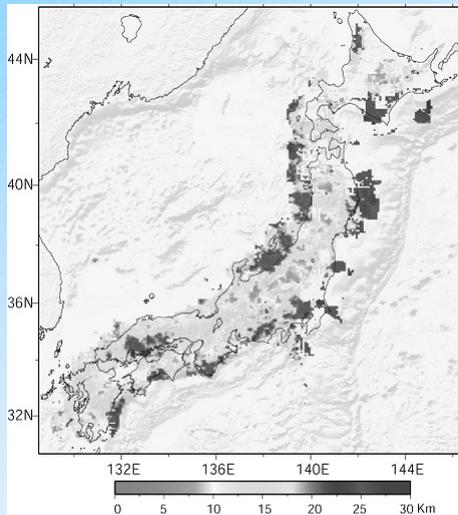
## 解析結果



**地殻熱流量分布 (Hi-net)**

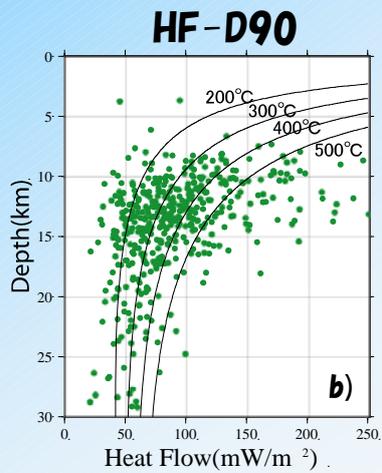
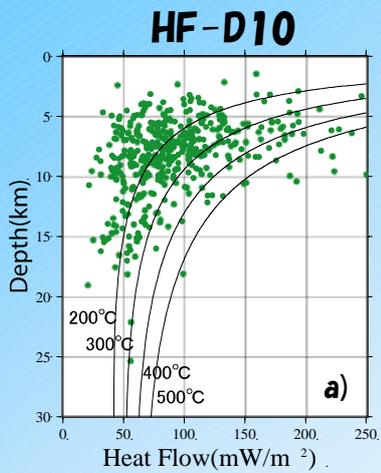


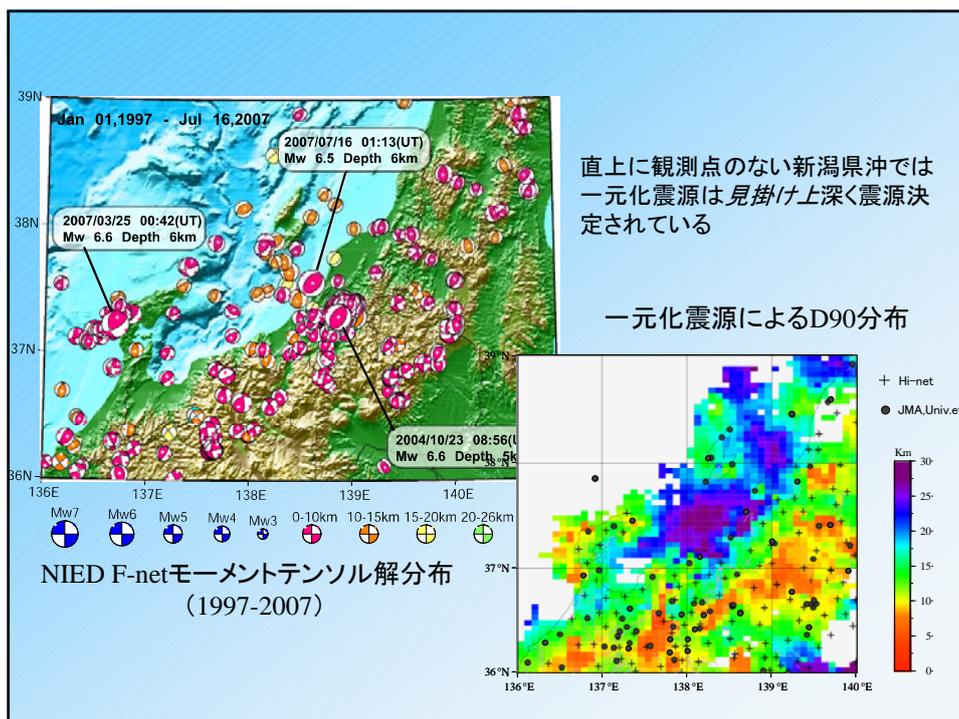
**地殻内地震下限分布 (D90分布)**



気象庁一元化震源(1997.10~2007.9)

**地震発生層の上限(D10)・下限(D90)と地殻熱流量の関係**





## まとめ

### Hi-net坑井地殻熱流量分布

- ・火山フロントに沿って高熱流量域が分布
- ・東北日本では前弧側で低熱流量域が分布
- ・西南日本では紀伊半島・四国など前弧側にも高熱流量地域が存在 (深部低周波微動の発生域と重なる?)

### 地震発生層下限(D90)分布と地殻熱流量の関係

- ・D90が深い地域において地殻熱流量は小さく、浅い地域においては地殻熱流量が大きい、という相関が見られる。ただし $150\text{mW/m}^2$ を超える地域では解析精度の問題もあり相関は不明瞭。

### 地震の規模(Mw)とD90, 地殻熱流量の関係

- ・D90が深くなるにつれて地震のMwが大きくなる傾向が見られ、D90が地震の規模を規定するパラメータの1つの可能性あり。
- ・地殻熱流量が低いほど概ねMwが大きくなる傾向が見られる?