

平成 22年 5月 28日現在

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：2007～2009
課題番号：19403007
研究課題名 (和文) 台湾集集地震が残した温度異常の時間変化
研究課題名 (英文) Time Decay of the Temperature Anomaly from the Chi-Chi
Taiwan earthquake

研究代表者

MORI James Jiro (MORI JAMES JIRO)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：50314282

研究成果の概要 (和文)：我々は、車籠埔断層を横断する温度プロファイルを観測するために、深さ 250m のボアホールを掘削した。この掘削場所は 1999 年集集地震による温度異常が 2000 年に観測された場所のごく近傍である。2008 年と 2010 年の温度測定では、温度異常は観測されなかった。このことは、2000 年に観測された温度シグナルが地震による摩擦発熱による真のシグナルであったことを示している。

研究成果の概要 (英文)：We drilled a 250 meter borehole to measure the temperature profile across the Cheleungpu fault. This is very close to the location where a temperature anomaly was measured in 2000 following the 1999 Chi-chi Taiwan earthquake. For measurements in 2008 and 2010, we no longer see a temperature anomaly. This suggests that the signal measured in 2000 was a real result of the fault friction during the earthquake.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
総計	9,700,000	2,910,000	12,610,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：温度、摩擦熱、集集地震、台湾、掘削

1. 研究開始当初の背景

大地震によって発生する摩擦熱の量は、長い間、地震学の重要な問題であった。断層摩擦は地震を引き起こす絶対応力レベルを規

定する。それは地震のプロセスの基本的な (しかもほとんどわかっていない) 部分であり、何十年もの間、議論され続けてきた。たとえば、米国のサンアンドレアス断層周辺の

地殻熱流量の矛盾は 1970 年代からこの問題に注意を集めてきた。摩擦係数を室内実験から得た値である 0.6 から 0.8 と仮定すると、計算ではサンアンドレアス断層には明らかな温度異常が存在するはずであるが、そういう事実はまったく観測されていない。

台湾で行われた温度測定 1999 年の台湾・集集地震の後、車龍輔断層においてこのような温度測定を行った。その結果、約 0.06 度という非常に小さな温度異常が見られ、摩擦係数は約 0.1 というたいへん低いものだった (Kano et al., 2006)。これは驚くべき数字で、その後、断層の温度と摩擦の関係を論じたいくつもの論文に引用されることになった (著者以外の 21 の論文に引用された)。南投市近郊で地震直後に掘削された別のボアホールにおいても同様の温度異常がみられていた。この観測結果から示唆される摩擦係数は 0.5 というより高いものであった、これらの摩擦熱の推定にはいくつかの問題があり、再測定によって確かめる必要があった。

2. 研究の目的

この研究計画の目的は以前に温度異常がみられた場所で、温度測定を繰り返し実施することである。温度異常が摩擦熱によるものであるか、岩石の熱物性や地下水の流動などの他の原因によるものであるかを確かめるためである、繰り返し温度測定により温度異常がみられなければ、元の温度シグナルは地震による摩擦発熱であるといえるだろう、摩擦熱による温度異常は時間とともに減衰し、地震から 10 年後にはみえなくなると予想されるからである。温度異常が今だに観測されるようであれば、これは岩石の熱物性や地下水の流動によるものであるといえる。

3. 研究の方法

我々は台湾の南投市近郊の千秋小学校 (千秋國民小學) に深さ 250 m のボアホールを掘削した (図 1) (掘削作業は Groundmat (台北市) による)。このボアホールは 2000 年に掘削されたボアホールから 10 m 離れた場所に位置する。掘削は 2008 年 2 月から 3 月にかけて実施された、前深度で 4 インチの鉄管によるケーシングを設置した (図 2)。掘削泥

水に関するデータも取得した。



図 1. 千秋小学校 (千秋國民小學) の掘削現場のようす。



図 2. ケーシングに使用された鉄管。

我々は、ボーリング掘削による温度分布のじょう乱が落ち着くのを確認するために、まず温度計を設置しボアホール内の温度分布を連続的に観測した。

その後 2008 年 5 月と 10 月、2010 年 2 月に温度の深度方向のプロファイルを取得した (図 3)。観測には、Antares 社の温度計 (MTL) と In-situ 社の水圧計 (LevelTroll500) を使用した。この温度計は、0.002 度の分解能をもち、水位計は 4 mm の分解能をもち、10 個の温度計を 1-3 m の間隔でワイヤーに取り付けて温度プロファイ

ルの測定を行った、水圧計はセンサーの深度を与えるために使用した。これまでの研究（例えば Kano et al, 2006）により、よい温度プロファイルを得るためには、(1)ボアホール内で、温度計を非常にゆっくりと、しかも同じ速度で下降させ、その後引き上げる、もしくは、(2)温度計の下降と引き上げの間に、数メートルおきに1分程度停止しながら測定するのがよいことがわかっている。それぞれの観測において、少くとも2回の下降と引き上げを繰り返して温度プロファイルを取得した。



図3. 温度測定の様子。



図4. 温度計の取り付け状況。

4. 研究成果

(1) 連続モニタリング

図5に2008年の連続モニタリングの結果を示す。20個のセンサーを使用した。最初の50日間にはわずかな温度の低下がられる。これは、掘削により乱されたボアホール内の温度分布が周囲の温度に安定していくためと考えられる。この期間ののちは、温度は安定している。100日後には温度分布完全に安定しており、掘削の影響はなくなったと考えてよい。

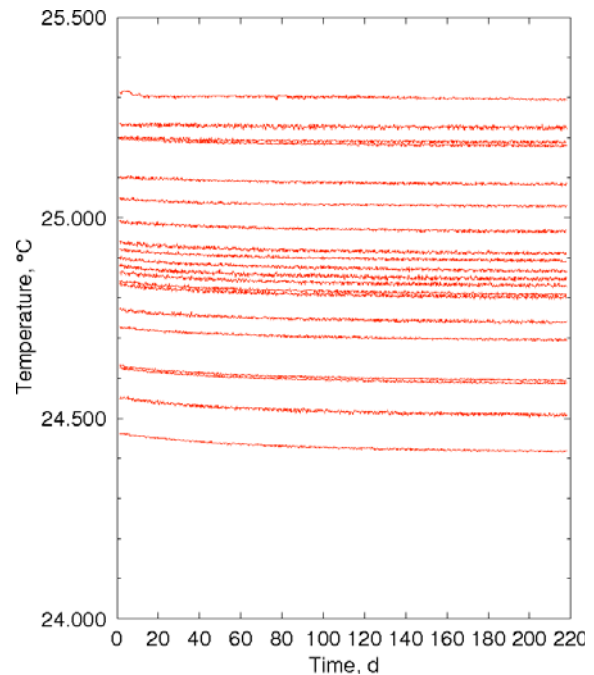


図5. 連続モニタリングの結果。

(2) 温度プロファイル

図6, 7, 8はそれぞれ2008年5月7-8日, 10月14-15日, 2010年26-27日に実施した温度測定によって得られた温度プロファイルである。

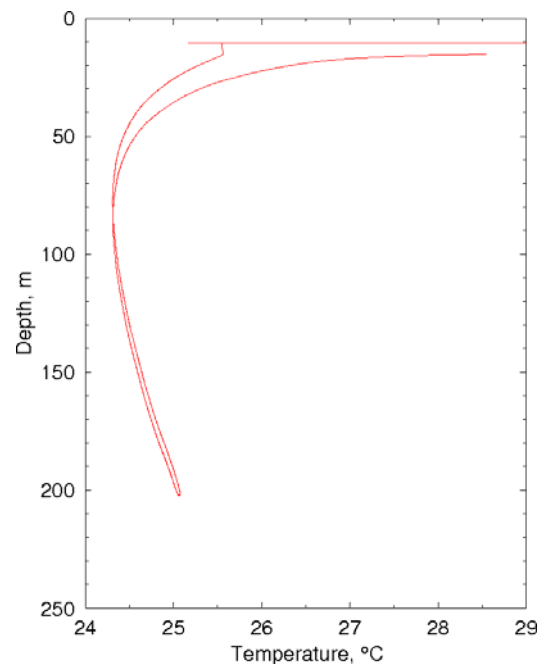


図6. 2008年5月8日に取得した温度プロファイル

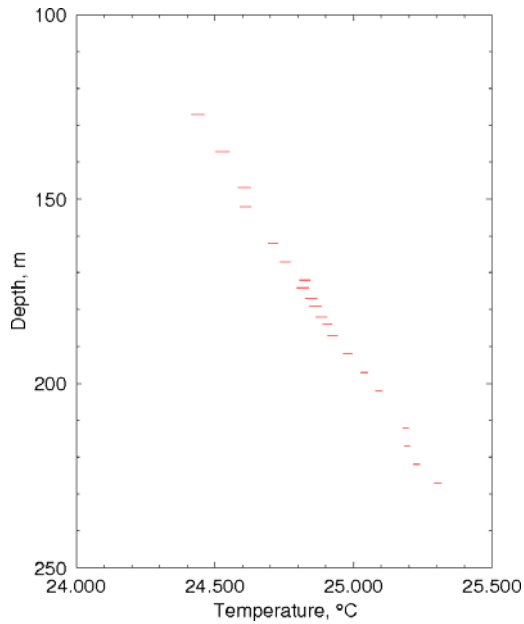


図 7. 2008 年 10 月 1-2 日に取得した温度プロフィール

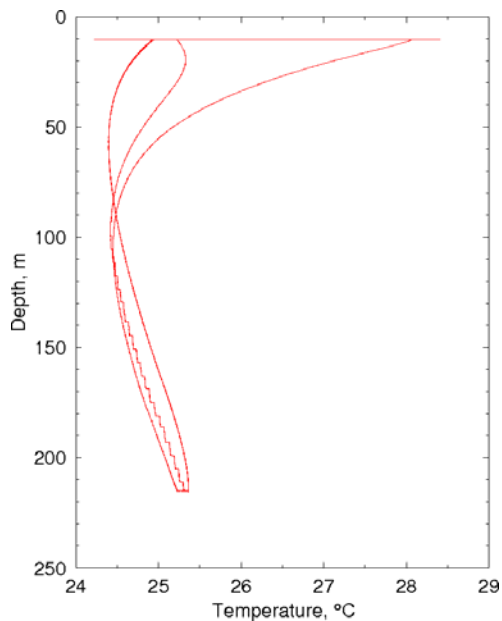


図 8. 2010 年 2 月 26-27 日に取得した温度プロフィール

これらの観測のもっとも重要な結果は、断層近傍に明瞭な温度異常がなかったことである。2000 年には、このボアホールから 5m 離れたボアホールで温度異常が観測されたので、この温度異常の変化は時間の経過によるものと考えられる。これは、2000 年に観測された温度異常が断層の摩擦熱によ

るものであることの証拠である、2000 年に観測された温度異常が地下水の流動や岩石の熱物性によるものであれば、温度異常は、我々の観測によっても検出されたはずである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1. Mori, J., Y. Kano, J. McGuire, Ocean Transform Fault Drilling and Water Injection: An Active Experiment to Trigger a Moderate Earthquake, *Gekkan Chikyu*, 32, 86-88, 2010 (in Japanese). (査読：無)
2. Mori, J. and Y. Kano, The 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake (Mw=7.6) and Fault Zone Temperature Measurements to Determine Fault Friction, *J. Japan Soc. Natural Disaster Sci.*, 28, 151-159, 2009 (in Japanese). (査読：無)
3. Brodsky, E. E., K. F. Ma, J. Mori, D. M. Saffer, Rapid Response Fault Drilling: Past, Present, and Future, *Scientific Drilling*, No. 8, doi:10.2204/iodp.sd.8.11.2009, 66-74, 2009. (査読：有)
4. Mori, J., Fault Characteristics, Energy Estimates, and Earthquake Recurrence: What one Seismologist Wants from Fault Drilling, *Scientific Drilling*, Special Issue No. 1, doi:10.2204/iodp.sd.s01.42.2007, 18-19, 2007. (査読：無)
5. Kano, Y., J. Mori, R. Fujio, T. Yanagidani, S. Nakao, H. Ito, O. Matsubayashi, K.-F. Ma, Precise Temperature Measurements and Earthquake Heat Associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake, *Scientific Drilling*, Special Issue No. 1,

doi:10.2204/iodp.sd.s01.40.2007,
94-96, 2007. (査読:無)

6. Kano, Y., T. Yanagidani, Y. Kitagawa and F. Yamashita, Monitoring of pore pressure changes using closed borehole wells: Interpretations based on poroelasticity, *Geodynamics of the Atotsugawa Fault System, Edited by M. Ando*, 163-171, 2007. (査読:有)

[学会発表] (計5件)

1. Mori, J. and Y. Kano, Temperature Measurements for Boreholes, ICDP/SCEC Workshop Rapid Response Drilling of Faults: Past, Present and Future, November 17-19, Tokyo, 2008.
2. Kano, Y. and T. Yanagidani, Pore pressure measurement in the Kamioka mine, central Japan, 水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての第6回日台国際ワークショップ, 2007年9月25日 - 30日, 台湾.
3. Kano, Y., H. Ito, O. Matsubayashi, and J. Mori, K, Methods for analysis of high resolution temperature logs in deep boreholes, IUGG2007 XXIV General Assembly, July 2-13, Italy, 2007.
4. Kano, Y. and T. Yanagidani, Poroelastic observation of seismic phenomena using closed borehole well, IUGG2007 XXIV General Assembly, July 2-13, Italy, 2007.
5. T. Yanagidani and Kano, Y., Free oscillations of the earth observed by closed borehole wells, IUGG2007 XXIV General Assembly, July 2-13, Italy, 2007.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

MORI James Jiro (MORI JAMES JIRO)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 50314282

(2) 研究分担者

伊藤 久男 (ITO HISAO)
(独) 海洋研究開発機構地球深部探査センター・調査役

研究者番号: 10356470

(H19→H20, H21: 連携研究者)

柳谷 俊 (YANAGIDANI TAKASHI)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 00259128

松林 修 (MATSUBAYASHI OSAMU)

(独) 産業技術総合研究所・研究グループ長

研究者番号: 70358034

(H19→H20: 連携研究者)

加納 靖之 (KANO YASUYUKI)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号: 30447940

(3) 連携研究者

木下 正高 (KINOSHITA MASATAKA)

(独) 海洋研究開発機構地球内部変動研究センター・グループリーダー

研究者番号: 50225009

(H20, H21)

(4) 研究協力者

Kou-Fong Ma

台湾国立中央大学・教授

(H21)