

## 東濃鉦山地下坑道閉鎖に伴う鉦山およびその周辺域での地下水／地殻歪変化

浅井康広・石井 紘

公益財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

## 概要

東濃鉦山(日本原子力研究開発機構;JAEA)坑道内に BH-1 観測点がある。この観測点には陸域地下構造フロンティア研究の一環として整備、鉦山坑道内から掘削した深さ 50m のボアホールがあり、その孔底(土岐花崗岩中)に地殻活動総合観測装置(石井式ボアホール歪計 3 成分、傾斜計 2 成分、温度計)が埋設・設置されている。

東濃鉦山では閉山措置が進められており、2012年3月から地下坑道の充填作業(埋め戻し)が行われ、2014年12月9日に坑道内の排水ポンプ停止、坑道内の冠水が始まった。12月27日19時頃からBH-1歪計各成分に急激な歪変化が始まり、急激な変化が終息の傾向となった2015年5月21日までにBH-1 N347Eが約 $5 \times 10^{-6}$ 、BH-1 N107Eが約 $3.6 \times 10^{-5}$ 、BH-1 N107Eが約 $4.9 \times 10^{-5}$ の縮み変化が観測された。旧調査立坑の充填作業時に設置された塩ビ管内における水位観測(JAEAによる)から2015年5月21日までに約90mの水位上昇が観測された。この水位記録とBH-1における歪変化を比較した結果、BH-1での歪変化は水位上昇によって生じていることが明らかとなった。これらの変化と同期して、賤洞地殻活動観測点のSN-1およびSN-3観測点では水位が急激な変化を始め、2015年5月21日までにそれぞれ約3.5m水位が上昇した。この水位上昇に同期して97FT01では歪N111E成分が縮み、N351E成分とN231E成分が伸びの変化が観測された(それぞれ $10^{-6}$ オーダー)。これらの記録は東濃鉦山周辺の水位上昇の影響が北へ約400m離れた賤洞地殻活動観測点に及んでいることを示している。

歪解析の結果、BH-1では最大主歪 $-1.075 \times 10^{-6}$  strain、最小主歪 $-5.448 \times 10^{-5}$  strain、面積歪 $-5.556 \times 10^{-5}$  strainと求まった(マイナスを縮み)。特に東北東-西南西方向に縮みが卓越する。この縮みの卓越は次の定性的モデル(①~③)で説明可能である; ①BH-1の歪計が二つの「北北西-南南東走向に長軸が向く楕円クラック状の破砕帯/クラック」に挟まれた領域にある。②冠水が進行し(地下水位が上昇)土岐花崗岩中の間隙水圧が上昇、二つの破砕帯/クラック内の間隙水圧が上昇(約1MPa)することで破砕帯/クラックが開き、③それらに挟まれる領域にあるBH-1の歪計では東北東-西南西方向に卓越する縮みとなる。

一方97FT-01では、最大主歪 $+2.658 \times 10^{-6}$  strain、最小主歪 $-4.692 \times 10^{-6}$  strainであり北北東-南南西方向に伸び、西北西-東南東方向に縮みの変化である。変化量はBH-1よりオーダー1小さい。面積歪としては縮みの場であり( $-2.035 \times 10^{-6}$  strain)これはBH-1と同様、97FT-01の歪計周辺の土岐花崗岩中の間隙水圧上昇が原因である。今後はこれらの定性的モデルを踏まえ、歪変化を説明する定量的モデルの構築を目指す。

## 東濃鉱山地下坑道閉鎖に伴う 鉱山およびその周辺域での地下水／地殻歪変化

浅井康広・石井 紘

公益財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

はじめに：

東濃鉱山は平成22年度に閉山措置開始。2012年3月に地下坑道の充填作業（埋め戻し）が始められ、2014年12月の排水ポンプ停止以降、坑道内の冠水が始まった。この冠水に伴ってBH-1およびその近傍の観測点（97FT-01, SN-1, SN-3）での顕著な地下水位・歪変化が観測された。

### 本研究の目的

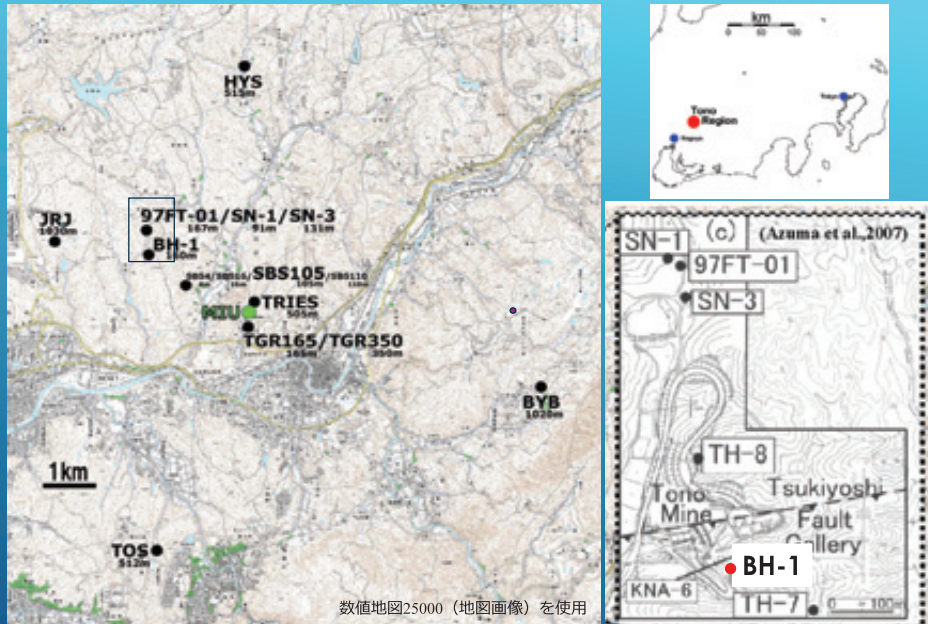
東濃地震科学研究所（TRIES）は、岐阜県瑞浪市と土岐市に9箇所のボアホール観測点（深度105m～1030m）を整備し、地下水流動と地殻活動の関連性に関する研究を行っている。

- ・横坑観測（伸縮計・傾斜計）に見られる降雨レスポンス
- ・瑞浪超深地層研究所近傍における間隙水圧変化に伴う歪変化  
(浅井・石井, JpGU2015)

※最終目標：ボアホール歪観測記録に含まれる地下水擾乱の除去

東濃鉱山地下坑道の冠水に伴う歪変化が観測された。  
その記録を解析する。

## TRIESボアホール十字アレイ観測網 観測点位置図



### 東濃鉱山 (日本原子力研究開発機構東濃地科学センター; JAEA)

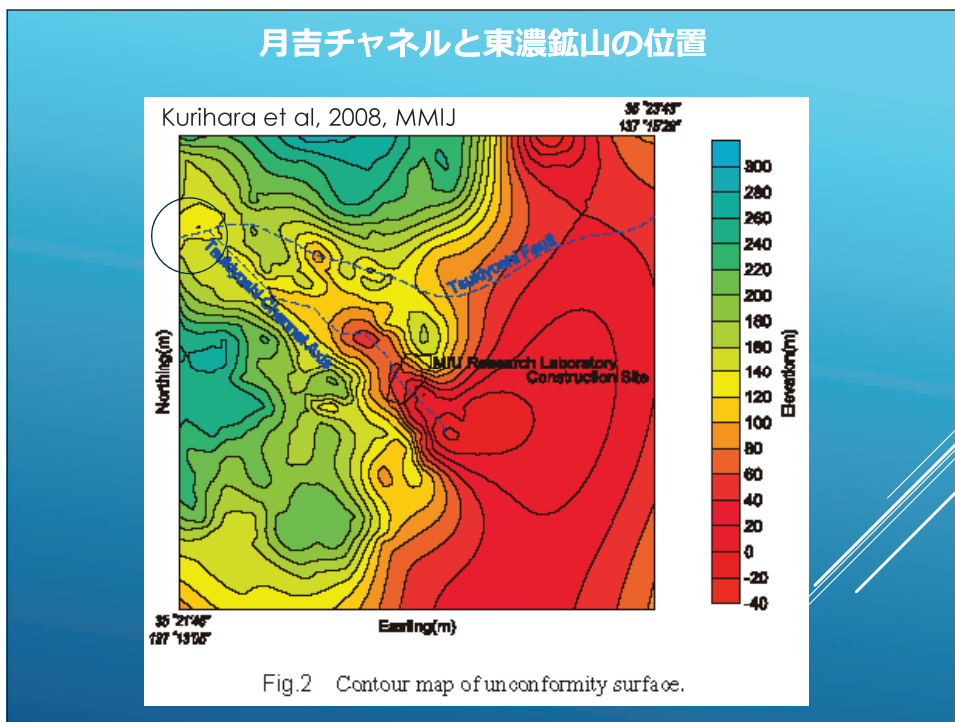
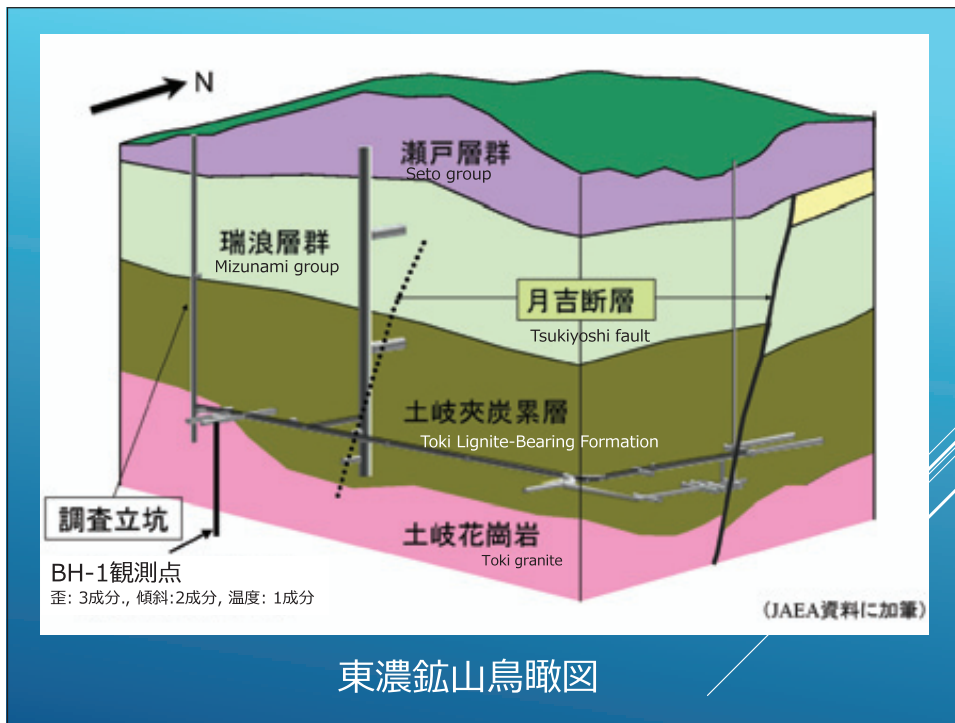
#### ○目的

- ・ウラン探鉱のための事前調査。  
1972年～73年にかけて堆積岩中に深度125.7mの調査立坑と調査坑道が掘削される。

#### ○水理地質構造概要 (岩月・他,1999, サイクル機構技報)

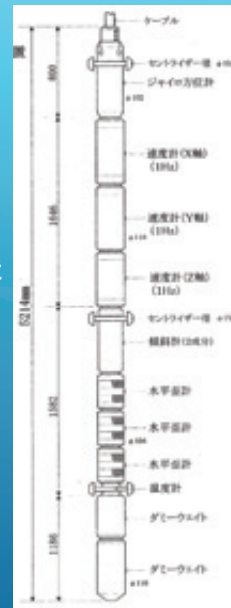
- ・白亜紀 (約70Ma) の土岐花崗岩を基盤岩として、新第三紀の瑞浪層群 [15～20Ma; 下部より土岐夾炭累層 (上部層と下部層), 明世累層, 生依累層; 層厚約200m)、第四紀の瀬戸層群。土岐夾炭累層下部層にウラン鉱床が分布。
- ・土岐夾炭累層下部層中、標高約200mに低透水層が存在。帯水層が2分されている。
- ・鉱山周辺の堆積岩は基盤花崗岩のチャネル構造 (河川跡) の上に堆積。
- ・大局的に地下水は北西から南東に向かって流れる。
- ・坑道の存在による地下水流動場の擾乱がある。
- ・月吉断層 (地質断層; 東西走行) の存在。断層は低透水帯の役割。  
調査坑道は上盤側。
- ・上盤側と下盤側の水頭差は～100m。
- ・土岐花崗岩のクラックの卓越する配向はN-S, NNW-SSE, NW-SE (例えば 高木他, 2008, 地質学雑誌)

- ・ King et al (1999, JGR) や北川・吾妻 (1999, サイクル機構技報), Azuma et al (2007, TERRAPUB) による地震に伴う地下水位変化の研究もおこなわれている。

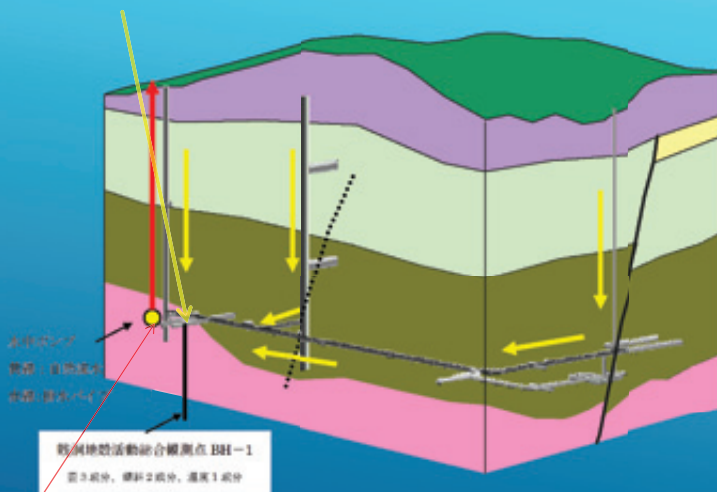


## BH-1 観測点：

- ・ 陸域地下構造フロンティア研究の一環として1996年12月に整備完了。
- ・ 30m南延坑道から掘削した深さ50mのボアホール孔底付近（土岐花崗岩中）に地殻活動総合観測装置（石井式ボアホール歪計3成分、傾斜計2成分、温度計）が埋設・設置されている。
- ・ 2011年度にJAEAよりTRIESに観測施設が譲渡され、地上での電源供給・データ取得を行えるよう観測システムの変更を行った。



2014年9月23日  
地殻活動総合観測装置 埋設・設置孔 奥の30m南延坑道充填作業

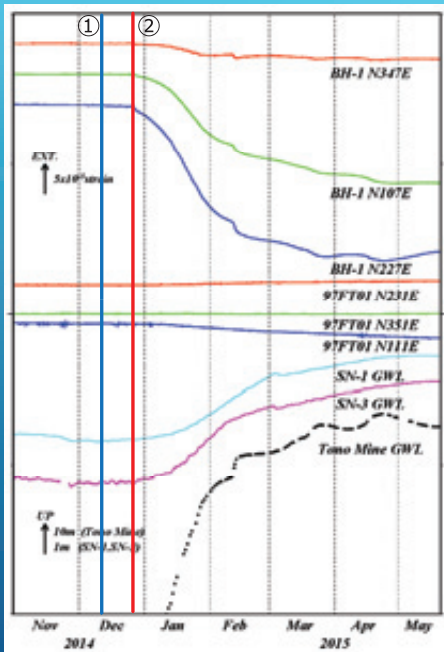


2014年12月9日AM  
調査立坑坑底の排水ポンプを撤去  
⇒ 坑道内冠水開始

東濃鉱山鳥瞰図

JAEA資料に加筆

## 歪記録 (BH-1, 97FT01) と水位記録 (SN-1, SN-3, Tono Mine GWL)



### BH-1

- ・2014年12月9日、東濃鉱山坑道内に設置されていた排水ポンプを停止、坑道内の冠水が始まった (図中①青縦線)。
- ・12月27日18時50分頃 (図中②赤縦線) BH-1歪計各成分に急激な歪の縮みが始まる。急激な変化が終息の傾向になった

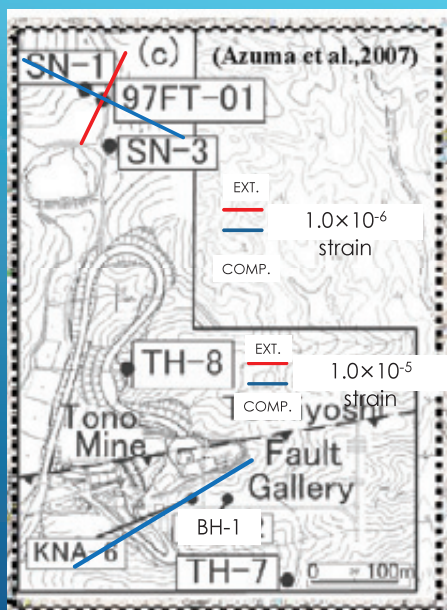
2015年4月末までにBH-1 N347Eが約 $5 \times 10^{-6}$ 、BH-1 N107Eが約 $3.6 \times 10^{-5}$ 、BH-1 N107Eが約 $4.9 \times 10^{-5}$ の縮み変化が観測された。

- ・2015年1月12日に旧鉱山立坑内での水位観測が可能になった時点での水頭はGL-98.4m、5月21日現在約GL-35.7mに水頭が位置している (水位上昇90m)。

### 97FT-01

- ・12月27日18時頃 (図中②赤縦線) SN-1およびSN-3の水位記録が急激な変化を始め、5月21日現在約3.5mの水位上昇が観測されている。
- ・水位変化と同期して、97FT01の歪記録97FT01 N111Eが縮み、97FT01 N351Eと97FT01 N231Eが伸びの変化が観測されている。

## BH-1と97FT-01の歪解析結果



### BH-1

最大主歪  $-1.075 \times 10^{-6}$  strain (N329.5E)  
 最小主歪  $-5.448 \times 10^{-5}$  strain (N59.5E)

主歪は東北東-西南西の縮みが卓越する。

(解釈) これは排水ポンプを停止したことにより坑道内の冠水が進行しBH-1の歪計周辺の土岐花崗岩中の間隙水圧が上昇したことが原因と考えられると観測事実を説明することが出来る。

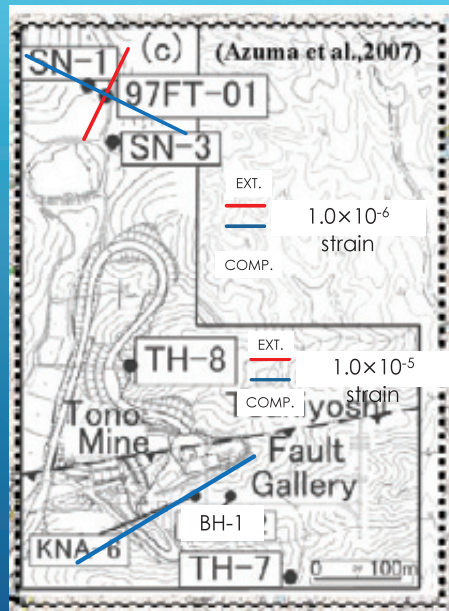
### 97FT-01

最大主歪  $+2.658 \times 10^{-6}$  strain (N26.2E)  
 最小主歪  $-4.692 \times 10^{-6}$  strain (N116.2E)

主歪は北北東-南南西方向に伸び、西北西-東南東方向に縮み。  
 変化量はBH-1よりオーダー1小さい。  
 面積歪としては縮みの場。

(解釈) BH-1と同様、97FT-01の歪計周辺の土岐花崗岩中の間隙水圧が上昇が原因と考えられる。

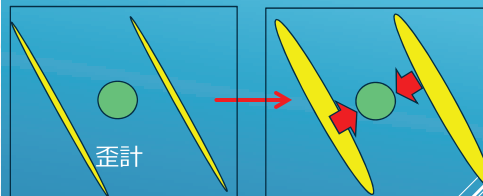
## BH-1の歪 = 東北東 - 西南西の縮みが卓越するメカニズム (現案)



BH-1歪計周辺の土岐花崗岩中のクラック・破碎帯等の配向  
 NNW-SSE, NW-SE (Takagi et al, 2008)

坑道冠水前

坑道冠水後



土岐花崗岩中の間隙水圧が上昇  
 ※被圧, 非排水状況

⇒ クラック・破碎帯が拡がり、  
 挟まれる領域は縮む

長軸方向 (北北西 - 南南東) は変形し難い  
 短軸方向 (東北東 - 西南西) は変形可能

### 〇まとめ

・ 東濃鉱山の地下坑道の埋め戻し、排水ポンプ停止以降、坑道内の冠水が始まり、冠水に伴うBH-1およびその近傍の観測点 (97FT-01, SN-1, SN-3) において顕著な歪変化、地下水位変化が観測された。

・ 歪解析の結果、BH-1と97FT-01では面積歪が縮みの場であること。特にBH-1では東北東 - 西南西の縮みが卓越していることが判明した。

・ BH-1で観測された東北東 - 西南西の縮みが卓越する面積歪の縮みは、歪計周囲のクラックの配向と歪計の位置関係を考慮することにより定性的な説明が可能である。

### 〇今後の課題

・ 今後は観測点周辺の水理地質構造等との対比を更に進め、水位変動と歪変化の関連性に関する定量的モデルの構築を目指す。

謝辞：東濃鉱山担当者の日々の地下水位 (手測り) 記録を提供していただきました。  
 ここに感謝いたします。