

## 神岡鉦山における歪・傾斜・地震計測

荒木英一郎

北田数也

木村俊則

(海洋研究開発機構 地震津波防災研究プロジェクト)

### 概要

神岡鉦山に掘削した孔内に設置した体積歪計、傾斜計、水晶温度計、サーミスター温度計、間隙水圧観測装置および壕内設置の広帯域地震計から構成される地殻変動観測システムの構築をおこなった。

### 1. 背景

100年から150年の間隔で大地震を起こしている南海トラフの東南海地震での震源域の地震発生のメカニズムを調査するために、我々は、震源域の直近に地球深部探査船「ちきゅう」を用いて掘削した孔内に高感度な地殻変動観測システムを設置する計画(図1)で、これまで、孔内の設置手法・観測システムの計画と構築・観測センサーの開発などを行ってきた。

海底孔内への高感度な地殻変動観測センサーを設置するにあたり、すでに陸上で観測の実績のあるものは、海底孔内の大きな水圧や船舶による設置作業の際の大きな振動に耐えうるような変更して用意をしてきたが、いくつかのセンサーについては、基本構造から海底孔内への設置に適したシステムとして開発する必要があった。その一つである、孔内体積歪計は、海洋研究開発機構が気象庁などが陸上での体積歪観測に用いられている歪計の動作原理を元に、海底の大水圧に耐え、設置後にリモート制御によって観測が行えるように開発を行ったものである。

開発の一環で、陸上に海底孔内に設置する観測システムとほぼ同等の観測システムを設置して機器の動作試験を行う必要があった。このため、神岡鉦山内に海底のシステムと同等の孔内観測システムを構築し、機器の動作試験を行うとともに、神岡の地殻変動計測を実際に行って、開発した観測センサーの性能を確認することとした。

### 2. 設置した孔内観測システム

神岡鉦山内-500m 準 石灰向に約22m長直径約20cmの掘削孔を掘削し、そこに、開発した孔内体積歪計、傾斜計および間隙水圧観測ポート2点、水晶温度計2点、サーミスター温度計2点を設置し、セメントによって固定した(図2、図3)。設置作業は2010年12月に実施した。近傍の壕内内地上には広帯域地震計の設置を行った。

孔内体積歪計および傾斜計からは、データは直接RS422のデジタル形式で得られる。

他のセンサーは、壕内のデジタルタイザーでそれぞれデジタル化される。これらデジタルデータを壕内の Linux 稼働の PC を用い、収集蓄積する。センサーおよび PC は無停電電源で神岡鉱山内で停電が発生したときにも観測を継続できる構成となっている。

観測の時刻については、PC が外部と NTP 同期しており、PC が各センサーおよびデジタルタイザーに時刻同期信号を発信することにより、各センサーのデータが同期されるようになっている。

設置後順次センサーの立ち上げ作業を行っていき（図 3）、2011/4/25 には連続的な観測の実施のために宇宙線研 LAN への接続を行った。観測装置のデータを収集する壕内の Linux 稼働の PC から約 800m の光ファイバー LAN をスーパーカミオカンデコントロールルームまで敷設し、宇宙線研究所 LAN に接続をすることによって Linux 稼働 PC への壕の外部からのアクセスを可能とし、データの収集を行うとともに、観測装置の制御を行えるようにした。現在、データは約 10 分に 1 度の頻度で、海洋機構に転送を行ってデータの準リアルタイムの監視を実施している。

オンライン化されているため、観測の継続のためには、特に神岡鉱山に訪問することは必要ないが、年に 1～2 回の頻度で、神岡鉱山に訪問し、孔内観測システムを用いて、間隙水圧と歪の間の関係を調べるための能動的な実験を実施している。

### 3. 孔内観測システムの観測データ

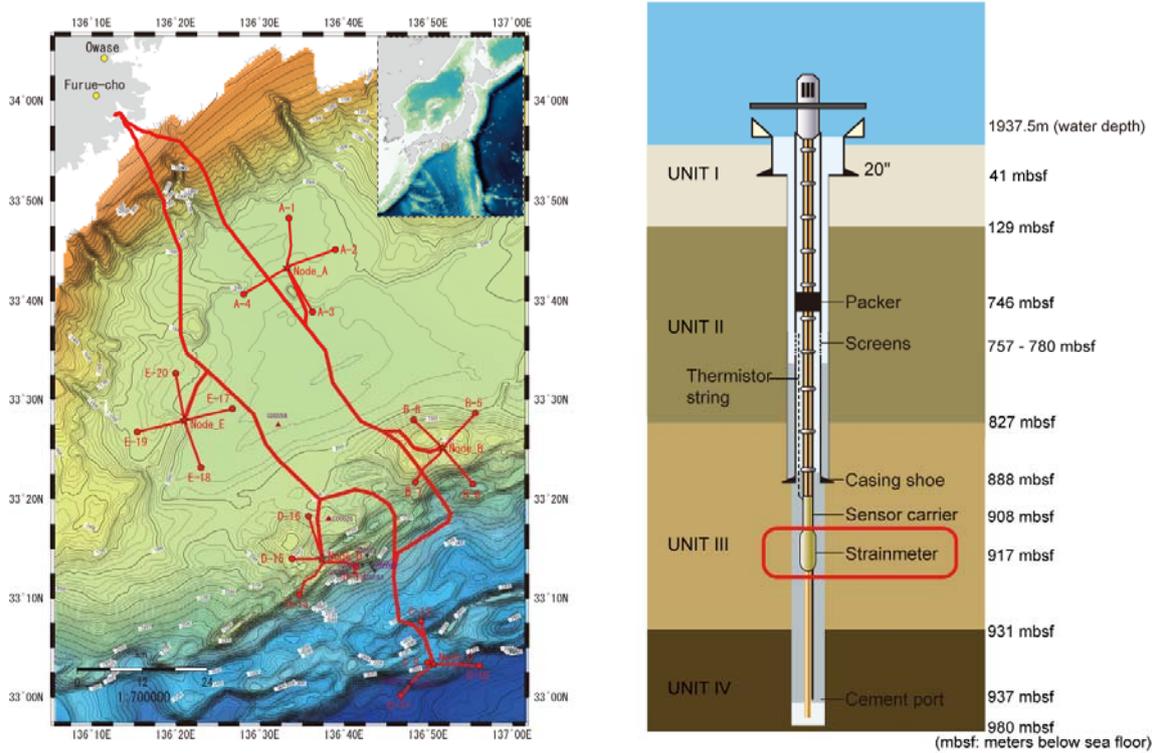
神岡鉱山の掘削孔に設置された、海底孔内用の体積歪計に記録された、地球潮汐を図 4 に示す。観測された地球潮汐による体積歪はおおむね理論的に期待される地球潮汐と、振幅・位相ともに調和的であり、体積歪計が十分に設置された地殻と結合しており、地殻の歪変化を計測できていることが示唆される。体積歪計に見られる長周期のノイズは、神岡鉱山の結果によれば、おおむね数 10n 歪であった。このノイズを減少させるための対策を実施し、今後試験を行っていく予定である。

歪計には、潮汐のほかに、地震発生時には歪変化が見られる。2011 年 3 月 11 日には、東北太平洋沖で M9 の大きな地震が発生した。この地震に付随して、周辺で多数の余震が発生した。また、岐阜県・長野県・静岡県で多数の誘発地震とみられる地震がいくつか発生した。このうちの 1 つ、2011/2/27 2:19 UTC Mw4.8 の地震（図 5）を神岡鉱山の孔内観測システムで観測した結果を図 6 に示すが、歪計、傾斜計、広帯域地震計すべてで明瞭に地震波を記録できており、今後歪計の地震波に対する感度について検討を実施する予定である。

### 4. 今後の計画

今後神岡鉱山に構築した孔内地殻変動観測システムで地震・地殻変動計測を継続するとともに、今後改良開発する孔内歪計の動作試験などに活用していきたいと考えている。

# C0002 Long Term Borehole Monitoring System

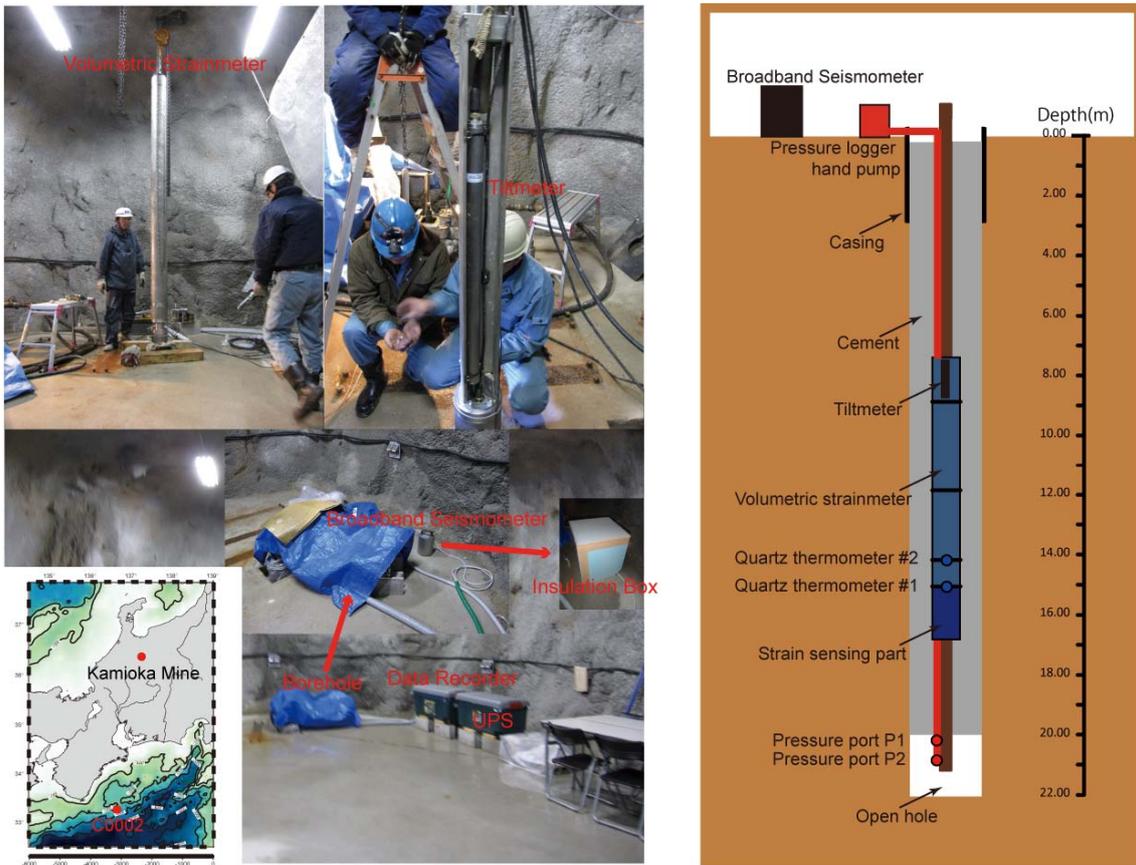


C0002 Long Term borehole Monitoring System in Nankai Trough.

図 1 南海掘削計画における海底孔内長期孔内観測システム 概要図

(左) 観測システムの設置位置および南海トラフ海底に展開された海底地震津波ネットワーク (DONET) : 赤線 (海底ケーブル) および点 (観測点)

(右) 海底下に設置されたセンサーの配置断面図



Volumetric strainmeter installation in Kamioka observatory (Gifu, Japan).

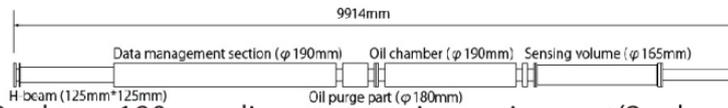
図 2 神岡鉱山内に設置された、海底孔内観測点を模擬した陸上孔内地殻変動観測システム

(左) 歪計および傾斜計の孔内設置作業および設置状況

(右) 孔内地殻変動観測システム断面概要図

1. Borehole: 22m depth, 216mm diameter
2. Cementing depth: 0m - 20 m
3. Observatory Sensors:

- (a) Volumetric strainmeter (JAMSTEC)  
Sampling rate: 5Hz



(9.9m long, 190mm diameter, strain sensing part(2m long, 165mm diameter))

- (b) Tiltmeter (Applied Geomechanics Inc.)  
Sampling rate: 5Hz
  - (c) Broadband seismometer (CMG3T, Guralp Systems Ltd.)  
Sampling rate: 250 Hz
  - (d) Quartz thermometer (DENKO Co., Ltd.)  
Sampling rate: 0.1Hz  
Num: 2
  - (e) Thermistor strings (Kaiyo-denshi Co., Ltd.)  
Sampling rate: 0.1Hz  
Num: 2
  - (f) Pressure logger (Paro Scientific Inc.)  
Sampling rate: 1Hz
  - (g) Pressure port  
Num: 2
4. Kamioka observatory operation logs

Date	Operation
2010/12/24	Sensors Installation (Cementing) (Strainmeter, Tiltmeter, Quartz thermometers and thermistor strings)
2010/12/25	Start data recording (Tiltmeter, Quartz thermometers and thermistor strings)
2011/1/24	Start data recording (Strainmeter)
2011/2/24	Set broadband seismometer and start data recording.
2011/4/25	Connect to the network for real time monitoring.

図 3 神岡鉱山に設置された孔内地殻変動観測システム 仕様および作業概要

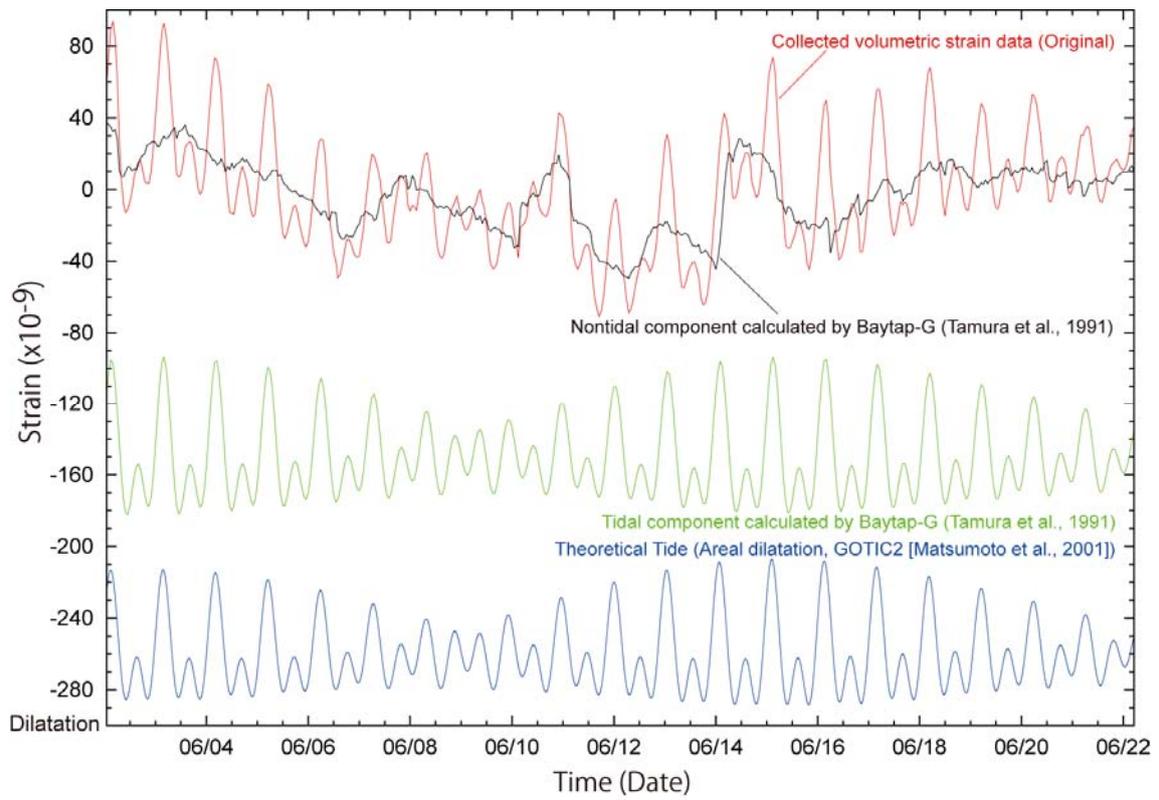


図4 神岡鉦山に設置された孔内地殻変動観測点の体積歪計から得られた歪記録(赤線)。緑線は歪記録から BAYTAP によって抽出された潮汐成分、青線は GOTIC2 によって計算された当地での理論地殻歪。

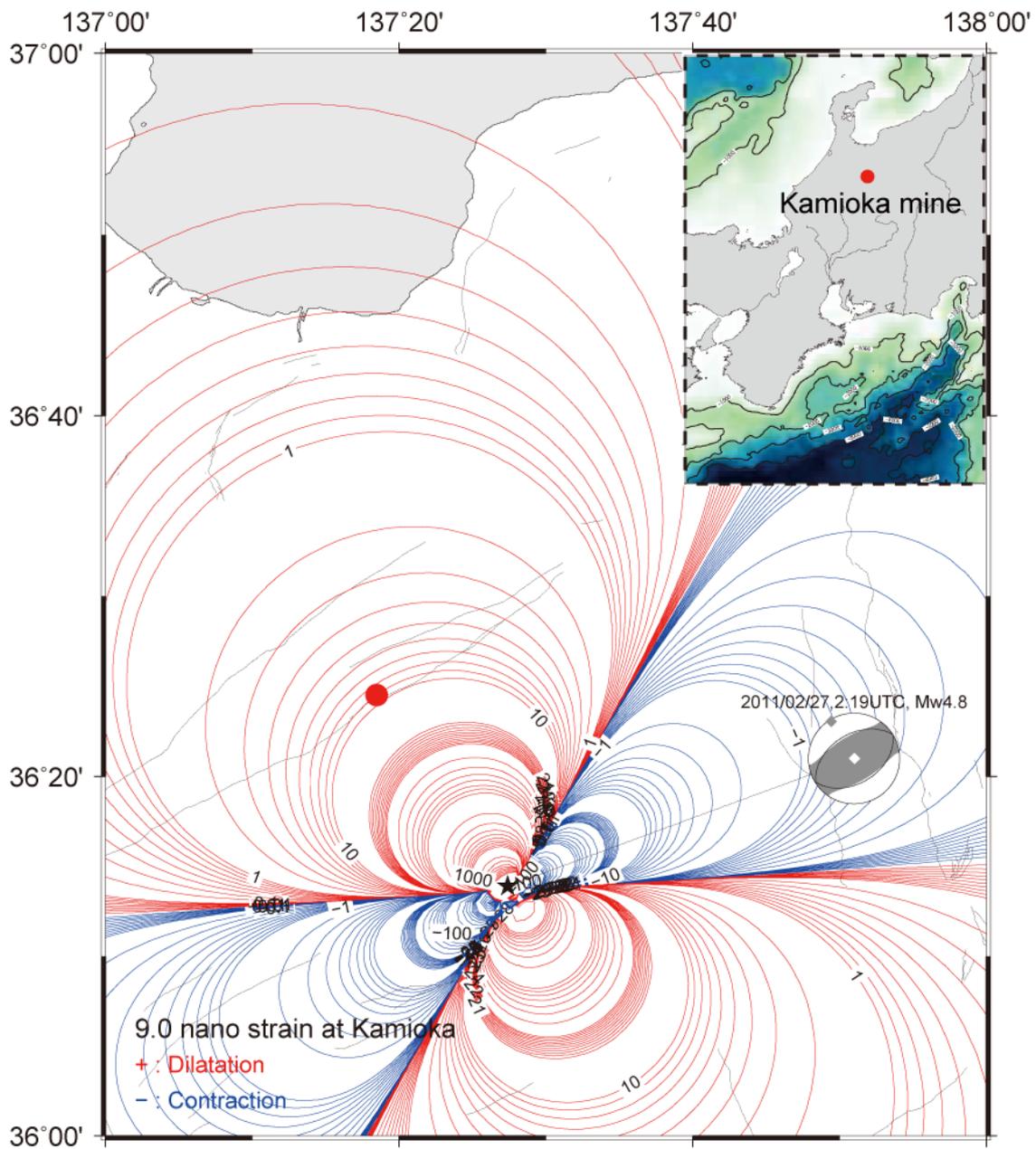
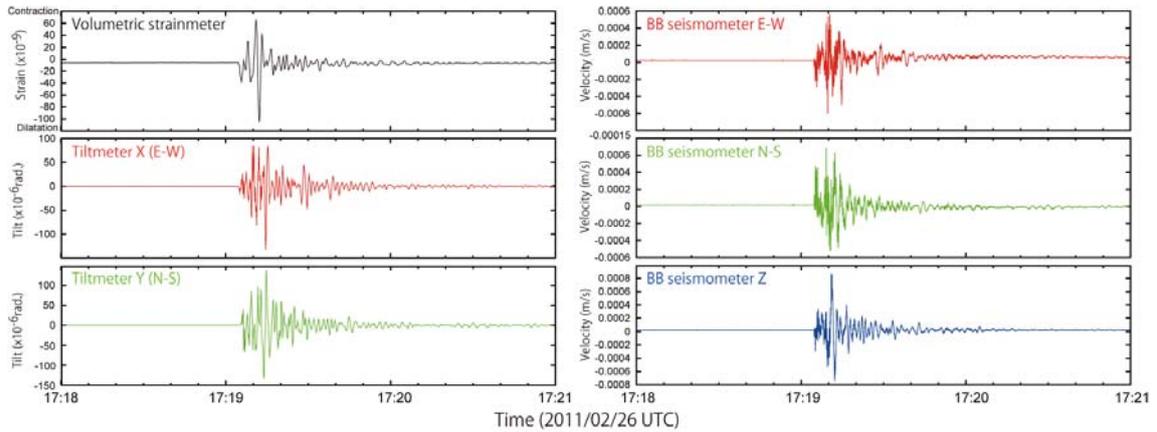


図 5 孔内地殻変動観測システムによって観測された近地地震(2011/2/27 2:19 UTC Mw4.8)の震源と理論歪変化量(コンター)。赤丸に神岡鉱山の位置を示す。



(a) Coseismic strain field calculated from elastic half-space model (Okada, 1992). (b) Seismic waves of near earthquake event (2011/02/26 02:19UTC,  $36^{\circ}13.9\text{N}$ ,  $137^{\circ}27.4\text{E}$ , depth=10km, Mw4.8) recorded by volumetric strainmeter, tiltmeter and broadband seismometer in Kamioka observatory.

図6 2011/2/26 2:19 UTC に起こった神岡鉱山の近地地震に伴って、孔内地殻変動観測システムによって観測された地震時の体積歪変化、X, Y 傾斜、3成分広帯域地震動。