

Contents

Topics

● 高知市須崎市における地殻活動総合観測装置の埋設・設置作業について… 1

● 2009年12月の伊豆半島東方沖群発地震活動前後の伊東市周辺における地下水位変化… 5

外部委員会活動報告 (2010年1月) …



高知市須崎市における地殻活動総合観測装置の埋設・設置作業について

板場智史・梅田康弘 (地震地下水研究チーム)

1. はじめに

産業技術総合研究所 (産総研) 活断層・地震研究センターでは、東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点を2006年度より順次整備しています (図1)。2008年度末までに12点の整備を終え、地下水位・水温・地震に加えて歪・傾斜などの観測を行っています (図2, 小泉ほか, 2009)。2009年度は須崎観測点 (高知県須崎市)・安濃観測点 (三重県津市) の整備を行っています。同年12月に、歪計・傾斜計・地震計等を内蔵するデジタル式地殻活動総合観測装置 (例えば浅井ほか, 2007) を須崎観測点に埋設・設置し観測を開始しましたので、同装置およびその埋設・設置、観測について簡単に紹介します。

2. 歪計とは

須崎観測点に埋設・設置した総合観測装置は、石井式水平歪計および垂直歪計 (Ishii *et al.*, 2002)・傾斜計・地震計などの観測装置が一体となっています (図3)。600 mの井戸孔底部に埋設・設置する計器部の重量は約265 kg、直径は88 mm (一部117 mm) で、歪計・傾斜計・地震計・データ処理・通信ユニット等が連結されており、長さは約6.8 mもあります。

歪計とは、地面の伸び縮みを測定する計器です。総合観測装置に内蔵している歪計では、 10^{-9} (十億分の一) 程度の歪変化を検出する能力があります。ここで、歪変化を示す単位について簡単に説明します。長さ L の物体が、 D だけ伸びた (縮んだ) 場合の歪変化 S は下記の式によって表

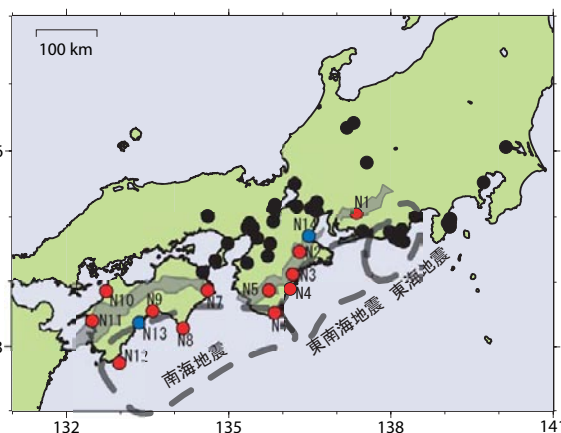


図1 産総研の地震予知研究のための地下水等観測網。黒丸は従来の観測点、赤丸：2006年度以降の新規観測点、青丸：2009年度整備を行っている観測点。N13は須崎観測点、N14は安濃観測点を示します。灰色の領域は、短期的SSE (短期的ゆっくりすべり) および深部低周波微動が定常的に発生していると考えられる地域。



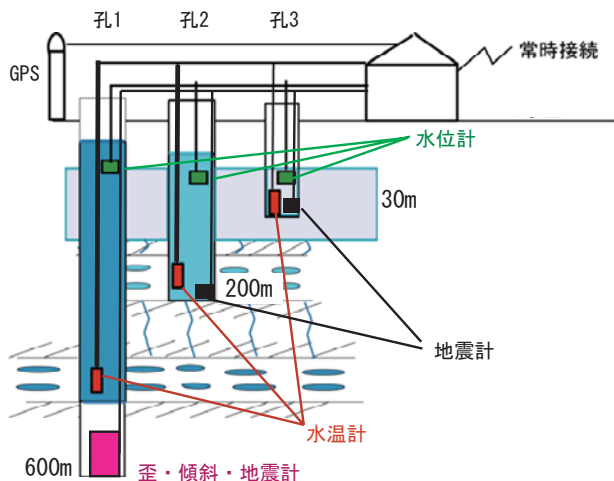


図2. 2006年度以降の地下水等総合観測点(図1のN1-N14)における観測概念図. 観測点によっては、200mの井戸(孔2)に歪計を置き、孔1は傾斜計・地震計のみの所もあります.

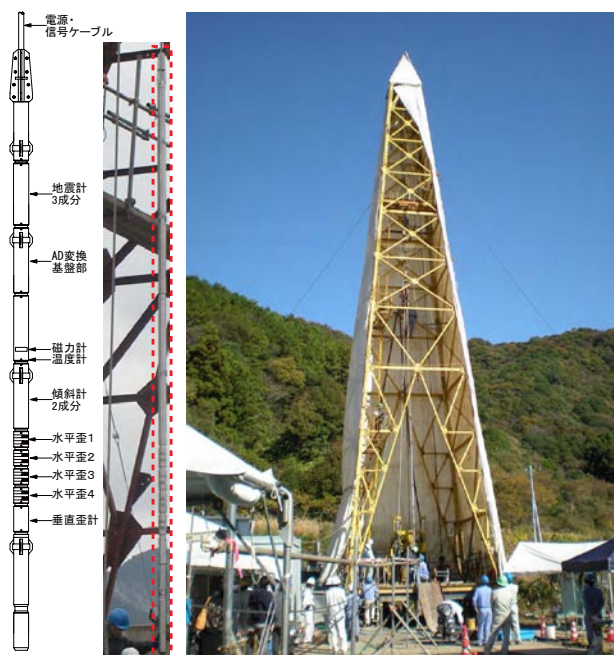


図3 (左) 須崎観測点に埋設・設置したデジタル式地殻活動総合観測装置の図と写真(赤点線部分). 全長6,844m, 歪計部の外径88mm, 総重量265kg. 浅井ほか(2007)に加筆. (右) 総合観測装置埋設・設置作業の様子.

現されます. 縮んだ場合は下記の括弧内のようにマイナスの符号をつけて表現します.

$$S = (-) \frac{D}{L}$$

例えば、10 mの長さの物体が0.01 m伸びて10.01 mになったときの歪変化量は0.001 (1×10^{-3})です. 10^{-9} という歪変化量はあまりピンときません

が、1,000 kmもの長さの物体がたった1 mm伸び縮みした場合の量に相当します. 1,000 kmというと、東京から鹿児島県の種子島付近までの直線距離に相当します. 実際には、総合観測装置に内蔵している歪計の直径は88 mmですから、 88×10^{-9} mm, 88 pm (ピコメートル, ピコは一兆分の一)という、気が遠くなる程微小な変位を検出できるようになります. 総合観測装置には、それぞれ異なる水平方向に4成分と鉛直方向の歪計が内蔵されています.

3. 総合観測装置埋設・設置に必要な技術

非常に微小な変位を検出することが出来る歪計ですが弱点もあります. 1つは、気圧変化や降雨、工場等による地下水汲み上げなどによっても地面が変形するのでそれが歪変化として記録されてしまうことです. これらについては、基本的に地表付近に原因があるものですから、地下深部のボアホール(井戸)に埋設・設置した上で、適切な統計処理によって概ね取り除くことが出来るようになっていきます. もう一つは、小さなセンサーで非常に微小な変位を測定していることに起因するのですが、センサー周辺の非常に局所的な変形(例えば岩盤の割れ目の中の地下水圧の変化による変形)を記録してしまうことで、この除去は容易ではありません.

私たちが現在整備を進めている観測網では、近年の研究によって存在が明らかになった、東海～紀伊半島～四国地方のプレート境界付近における継続時間数日の短期的ゆっくりすべり(短期的SSE: 図1の灰色の領域で主に発生)を精度良く検出することを当面の目的としています. さらに、東海地震や東南海・南海地震発生前に、震源域近傍で発生すると考えられているゆっくりすべり(前兆滑り)の検出も目指しています. これらの広域の微小な地殻変動を検出する際には、センサー周辺の局所的な変動(場合によっては $10^{-6} \sim 10^{-5}$ にも達する変動)は障害となります. 短期的SSEによって観測点で検出される歪変化は $10^{-7} \sim 10^{-8}$ と小さい一方、統計処理によって上述の局所的な変動の影響を取り除くのは非常に困難だからです. したがって、このような局所的な変動の影響を避けるためには、割れ目の少ない均質な岩盤中に正確に歪計のセンサーが来るように埋設・設置することが不可欠です. しかし、実際にボアホールを掘削してみると、多くの場合、多数の割れ目が存在してしまうのです(図4). そのため、割れ目の中の地下水圧変化の影響を事前になるべく小さくした上で、割れ目の少ない部分にピンポイントで装置を埋設・設置する、といった技術が必要となります.

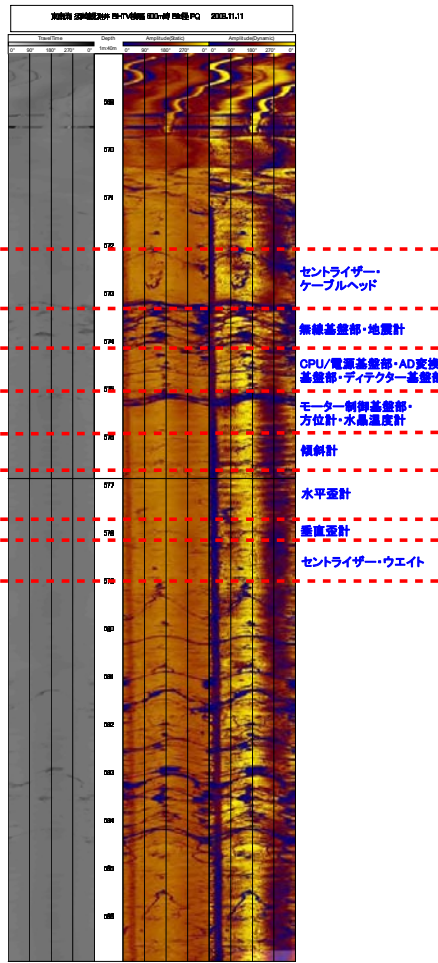


図4 須崎観測点の総合観測装置埋設・設置孔におけるBHTVの結果。孔の内側の円形の壁面を平面の形で表現しています。左から白黒の図が1つとカラーの図が2つありますが、処理の仕方をかえているだけで同じ壁面を表します。白黒の図の黒い部分やカラーの図の青色の部分が割れ目がある事を示しています。また、埋設・設置される総合観測装置の各ユニットの位置を併記しています。

ここで、総合観測装置の埋設・設置および準備作業について簡単に説明します。まず、装置を埋設・設置する埋設・設置孔を掘削します。掘削の際に採取したコアの観察や、孔内の温度や比抵抗、孔壁の割れ目の状態を超音波で測定するBHTV（ボアホールテレビューアー：孔の壁面の画像の取得）等の物理検層を行い、埋設・設置孔の状態を総合的に把握し、総合観測装置を埋設・設置する深度を決定します（図4, 5）。次に、割れ目中にセメントを浸透させる事によって地下水圧変化の影響を低下させる作業を行います。ここまでの作業で、埋設・設置孔の仕上げ作業、つまり準備作業が完了です。この埋設・設置孔にセメントを流し込み、そのセメントが固まる前に素早く総合観測装置を所定深度まで正確に降下させ、セメントが固まれば埋設・設置作業は完了です。

文章や図では単純な作業に見えますが、600 mもの井戸の底部には人の手は届きませんし、リアルタイムに孔内の映像を見ながら作業することも出来ません。そういった場所にセメントをムラ無く放出し、正確且つ迅速に計器を降下させるためには大変高度な技術が必要です。そのため、総合観測装置の埋設・設置やその準備作業では、産総研以外、例えば東濃地震科学研究所や東京大学、名古屋大学の観測点整備でも様々な試行錯誤が繰り返されてきました。2006年度からの産総研における観測点整備では、特に観測装置の事前動作確認方法、埋設・設置孔の仕上げ作業、埋設・設置深度の高精度化、埋設・設置に使用するセメント配合について多くの改良を行いました。例えば、埋設・設置深度については、所定の深度と実際に埋設・設置される深度には従来数十 cm の誤差がありましたが、事前試験や装置降下方法の改良により、誤差を数 cm まで低減することに成功しました。岩盤中の割れ目を避けてより環境の良い位置にピンポイントに埋設・設置する事ができるようになり、上述の局所的な変動の影響を小さくし、広域の変動をより精度良く捉える事が可能となりました。

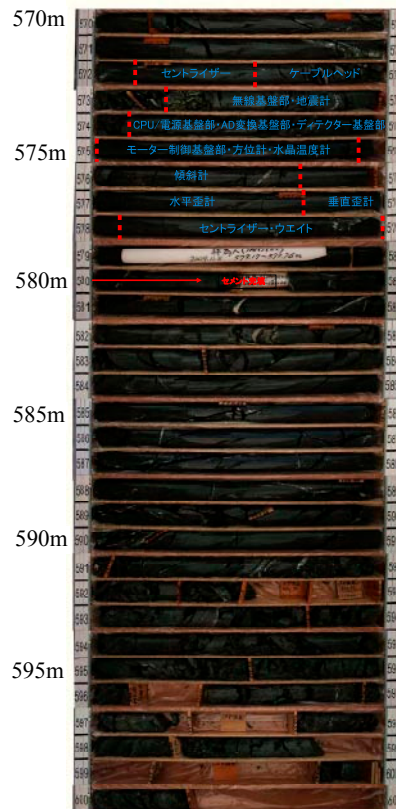


図5 須崎観測点の総合観測装置埋設・設置孔で採取されたコア写真。幅1mのコア箱に収納した状態です。コア箱の横に記載された数字は深度を表します。埋設・設置される総合観測装置の各ユニットの位置を併記しています。割れ目が非常に多く、割れ目の少ない場所に歪計を埋設・設置するには、高精度な深度管理が必要な事が分かります。

4. 歪観測の成果

2008年度までに整備・観測を開始した新規12観測点では、当初目標としていた成果を挙げ始めています。例えば、紀伊半島南部で従来確認されていなかった短期的SSEを複数観測点で検出することに初めて成功しました (Itaba *et al.*, 2010)。先に述べました短期的SSEは、傾斜計 (主に防災科学技術研究所) および歪計 (主に気象庁および産総研) により、四国と三重県中部～東海地方の広い範囲でその発生が確認されていました。一方紀伊半島南部では、傾斜計の観測でその発生は確認出来ていませんでした。紀伊半島南部で短期的SSEを検出する事が出来た事は、歪計が短期的SSEの検出・詳細な解析により有効である事を示しています。東海・東南海・南海地震の短期予測は、短期的SSEと同程度の規模・継続時間と想定されている前兆すべりを精度良く検出する事が不可欠なので、短期予測にも歪計による観測が非常に有効であると言えるでしょう。

須崎観測点に隣接する野見湾では、昭和南海地震 (1946年12月21日, M8.0) の発生前に海水や地下水の異変があった事が知られており、次の南海地震の予測のための観測の場として大いに期待されます (梅田・板場, 2009)。この地域における地下水変化と地殻変動の関係を把握し、昭和南海地震前におこった海水や地下水の異変から地殻変動を推定することによって、南海地震の短期予測モデルを向上させる事を目指しています。

なお、安濃観測点 (図1) では2010年2月に総合観測装置を埋設・設置し、観測を開始する予定です。

参考文献

- 浅井康広, 石井 紘, 青木治三, 2007, 研究所地殻活動総合観測点の整備, 東濃地震科学研究所報告 Seq. No.21, 85-97.
- Ishii, H., Yamauchi, T., Matsumoto, S., Hirata, Y., Nakao, S., 2002. In: Ogasawara, H., Yanagidani, T., Ando, M. (Eds.), Development of Multi-component Borehole Instruments for Earthquake Prediction Study: Some Observed Examples of Precursory and Co-seismic Phenomena Relating to Earthquake Swarms and Application of the Instrument for Rock Mechanics in Seismogenic Process Monitoring, *A.A. BALKEMA PUBL.*, pp. 365-377.
- Itaba, S., N. Koizumi, N. Matsumoto, R. Ohtani, 2010 (印刷中), Continuous Observation of Groundwater and Crustal Deformation for Forecasting Tonankai And Nankai Earthquakes in Japan, *Pure Appl. Geophys.*
- 梅田康広, 板場智史, 2009, 昭和南海地震前の高知県須崎における上下変動, 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター センターニュース, No.4.
- 小泉尚嗣, 高橋 誠, 松本則夫, 佐藤 努, 大谷 竜, 北川有一, 板場智史, 梅田康弘, 武田直人, 重松紀生, 桑原保人, 佐藤隆司, 今西和俊, 木口 努, 関 陽児, 塚本 斉, 山口和雄, 加野直巳, 住田達哉, 風早康平, 高橋正明, 高橋 浩, 森川徳敏, 角井朝昭, 下司信夫, 中島 隆, 中江 訓, 大坪 誠, 及川輝樹, 干野 真, 2009, 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備について, 地質ニュース, 662, 6-10.



2009年12月の伊豆半島東方沖群発地震活動前後の伊東市周辺における地下水位変化

小泉尚嗣（地震地下水研究チーム）

伊豆半島東部にある産総研の大室山北地下水位観測点（図1）は、1994年10月の観測開始以来、群発地震前に水位の低下を何度も生じており（Koizumi *et al.*, 2004）、群発地震の原因であるダイク（岩脈）の地下深部からの貫入による地殻変動（地盤の変形、ここでは体積変化）を、ダイクが群発地震を引き起こす前に検出していると考えたと説明できます（図2）。この場所では、10 km以深では、熱のために岩盤が柔らかくなっていてダイクの貫入があっても岩盤は変形するだけで破壊（地震）は生じないと考えられているからです。大室山北観測点が1994年10月に設置されてから2009年11月まで（今

回の活動以前まで）に比較的規模の大きな群発地震活動は4回あり、1995年9月、1996年10月、1997年3月、1998年4月が開始月でした。また、それ以外にも明瞭な水位低下が認められる規模の小さな群発地震活動が何回もありました。これらの活動では、気象庁の東伊豆体積歪観測点（図1）では、体積歪が一貫して減少（縮む）のに対し、大室山北では当初水位の低下（体積膨張）で始まるが、震源が浅くなって地震活動が活発化するとともに水位が上昇する（体積圧縮）傾向が認められます。これは、想定されている貫入ダイクの先端の深さに関係なく東伊豆は圧縮領域ですが、大室山北観測点の場合は、ダイクの先端深さが浅くなると体積膨張の領域から圧縮領域になることで説明出来ます（Koizumi *et al.*, 2004）。今回の活動でもそのような変化が認められました（図3, 4）。なお、これらの図では、便宜上、12月17日～21日を群発地震活動期間としています。

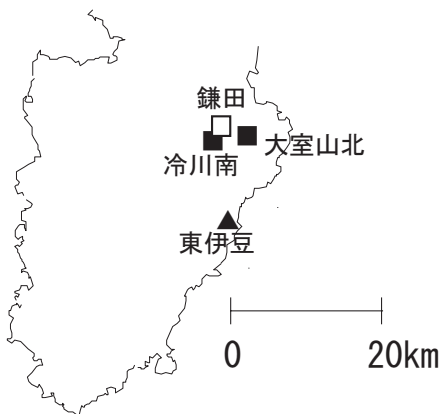


図1 観測点の位置。■：地下水観測点（大室山北・冷川南）、▲：気象庁の体積歪観測点（東伊豆）、□：気象庁の地震観測点（鎌田）。

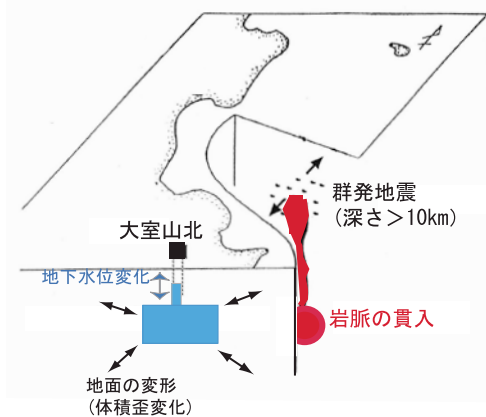


図2 ダイク（岩脈）の貫入と伊豆半島東方沖群発地震および大室山北における地下水位変化との関係を示す模式図。体積歪変化とは単位体積あたりの体積変化のことです。

2009年12月16日17時頃から大室山北観測井戸では、長期的な水位低下傾向を越える水位低下が始まりました（図4）。気象庁の東伊豆体積歪観測点では、それより数時間おくれて歪が減少し始めました。その後、17日午前11時頃から群発地震活動が始まりました。12月17日23時45分のM5.0の地震（伊東市で震度5弱）の6時間程度前から水位低下が緩和し地震活動が活発化しているように見えます。この時間帯は、震源の深さが当初の8 km程度から6 km程度にまで上昇した時期とも一致しています（図5）。M5.0の地震が発生した後水位は上昇しました。また、12月18日8時45分にM5.1の地震（伊東市で震度5弱）が発生し再び水位が上昇し20日の未明まで水位上昇を続けました。12月16日17時を基準とすると、17日23時45分の地震直前までの水位低下量は、（12月16日までの長期的な水位低下傾向：-1.5 cm/日も考慮して）約5 cm、20日16時までの水位上昇量は約39 cmです（図4）。大室山北の水位の体積歪変化に対する感度（約30 cm/ppm*）から単純に換算すると、それぞれ0.2 ppmの伸び、1.3 ppmの圧縮ということになります。他方、同時期の東伊豆の体積歪変化はそれぞれ0.06 ppmの圧縮、0.3 ppmの圧縮です（図4）。

12月20日0時頃から水位上昇が鈍り、東伊豆の体積歪変化の下降が穏やかになり、地震活動も沈静化しているように見えます。なお、2010年1月21日2時59分にM4.4の地震(伊東市で震度4)が発生し、地震直後に約1cmの水位上昇が認められましたが、その前後で特に大きな傾向の変化はなく新たなダイクの貫入等はないように思えます(図3)。

例年、この時期は、比較的降雨が少ない時期なので、長期的な水位低下があるのは特に異常ではありません。参考のために、大室山北と水位の季節変化が同様な冷川南の観測データを図6、7に示しています。冷川南の方には、群発地震期間中に大室山北のような変化は認められません。

図8-9に上述の大室山北の水位と東伊豆の体積歪変化を説明する簡単な開口断層モデルを示しました。震源分布に沿って鉛直な開口断層があるとして、それが下から上に移動しかつ開口幅が増えると考えると観測値を説明できるようです。図9では、

ダイクの先端の深さを1kmとしています。地震の震源の分布の深さは2kmより深いので(図5)今後の検討課題です。

*注: ppmとはここでは100万分の1の体積変化のこと。1立方mあたり1ccの体積変化を意味します。

参考文献

Koizumi N., Y. Kitagawa, N. Matsumoto, M. Takahashi, T. Sato, O. Kamigaich and K. Nakamura, 2004, Pre-seismic groundwater level changes induced by crustal deformations related to earthquake swarms off the east coast of Izu Peninsula, Japan, Geophys. Res. Lett.,31,L10606,doi:10.1029/2004GL019557.
内藤 宏人・吉川 澄夫, 1999, 地殻変動解析支援プログラム MICAP-G の開発, 地震 2, 52, 101-103.

AFERC NEWS No.10

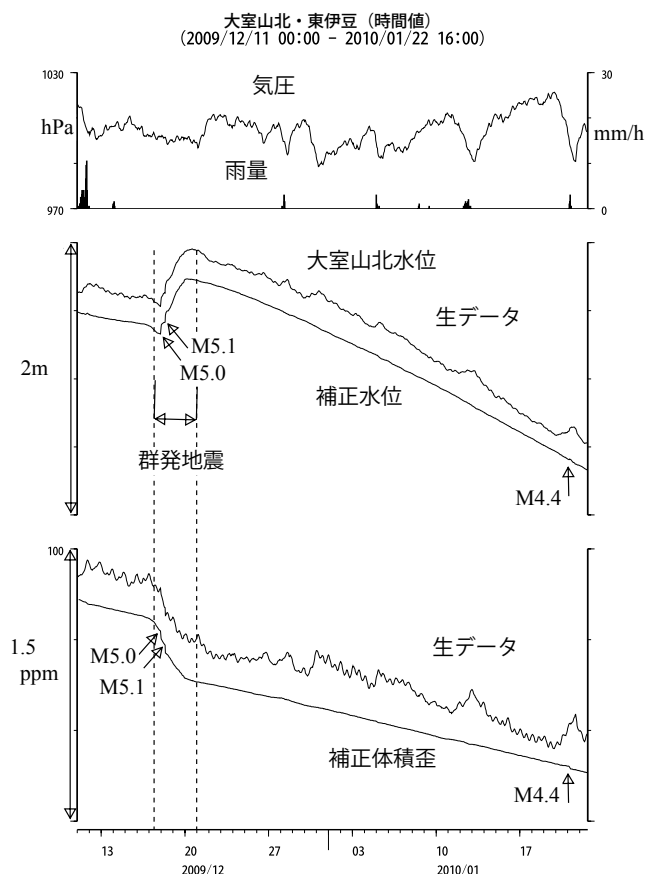


図3 2009年12月11日~2010年1月22日の大室山北の気圧・雨量・水位と東伊豆における体積歪の変化を示す図。M5.0, M5.1, M4.4とは、マグニチュード5.0, 5.1, 4.4の地震の事です。生データは観測されたデータそのもので、補正水位は気圧や潮汐・雨量の影響を生データから補正したものです。補正体積歪は、気圧や潮汐の影響を補正したものです。

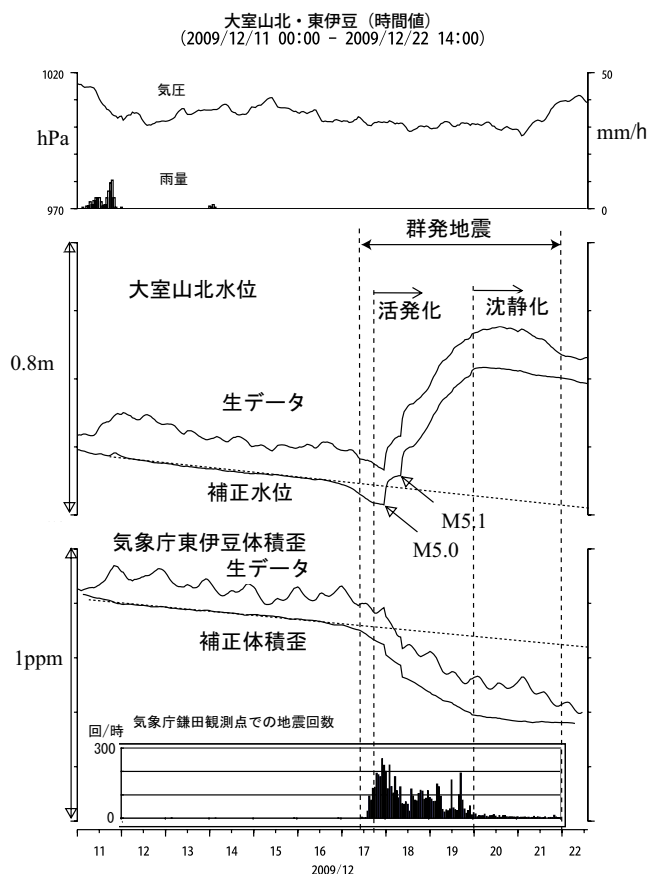


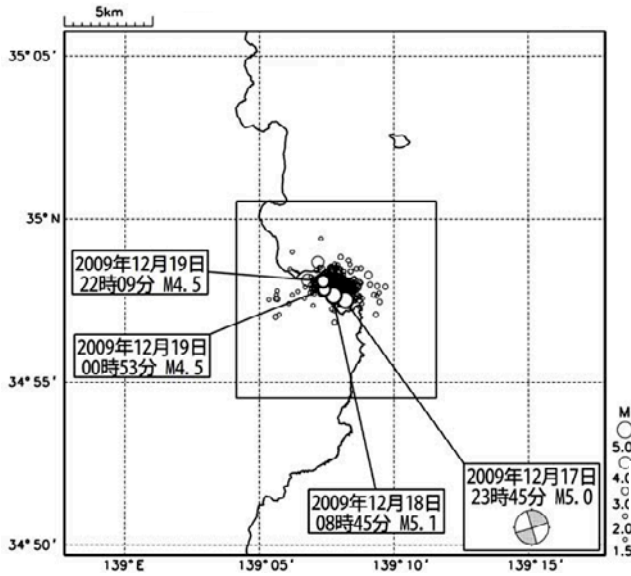
図4 2009年12月11日~12月22日の大室山北の気圧・雨量・水位と東伊豆における体積歪の変化および気象庁鎌田地震観測点での地震記録回数を示す図。

伊豆半島東方沖の地震活動

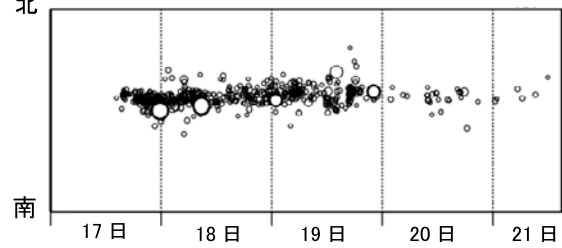
震央分布図

(2009年12月17日00時～21日15時、
深さ20km以浅、M1.5以上)

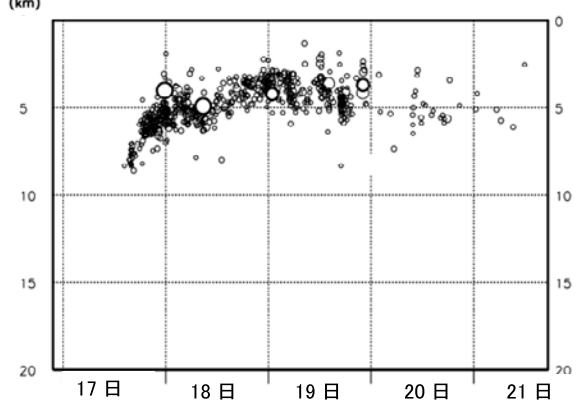
※一部未処理の期間を含んでいる



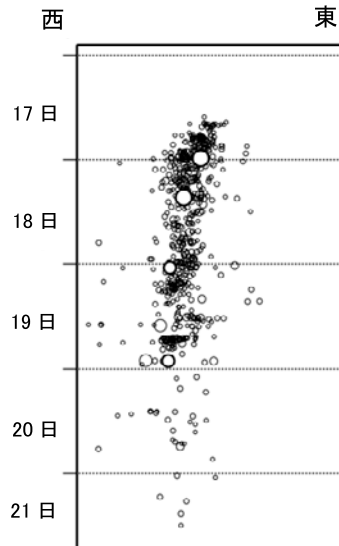
矩形領域内の時空間分布図(南北投影)



矩形領域内の深さの時系列図



矩形領域内の時空間分布図(東西投影)



矩形領域内の地震活動経過図

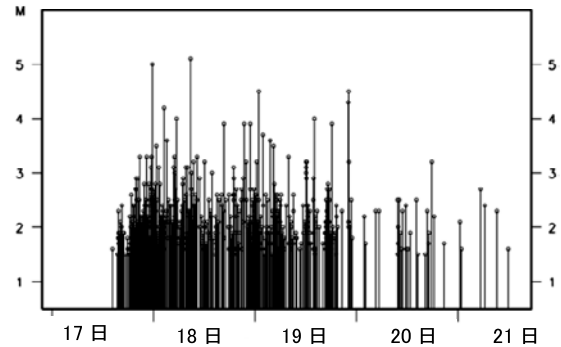


図5 2009年12月21日気象庁発表資料による伊豆半島東方沖の地震活動。

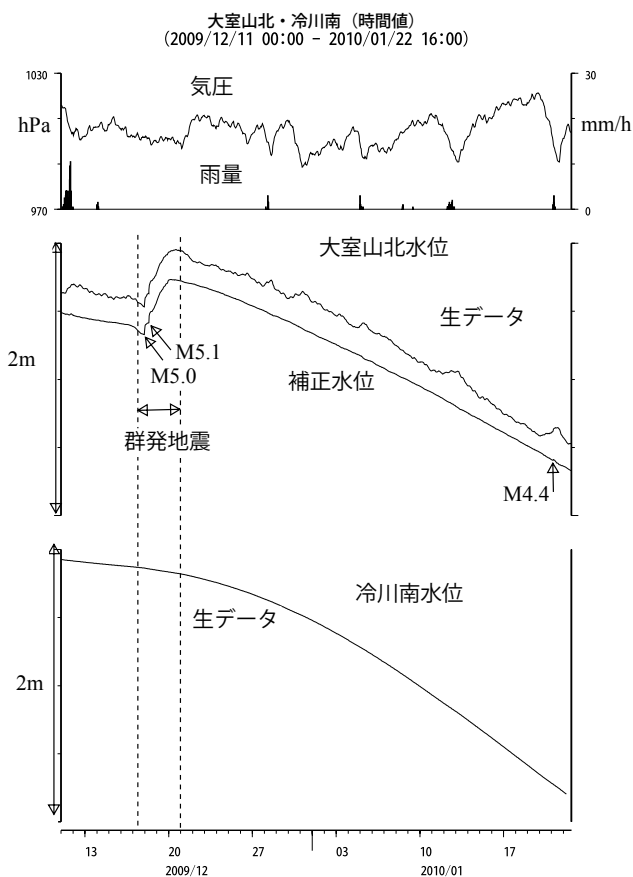


図6 2009年12月11日～2010年1月22日の大室山北の気圧・雨量・水位と冷川南の水位.

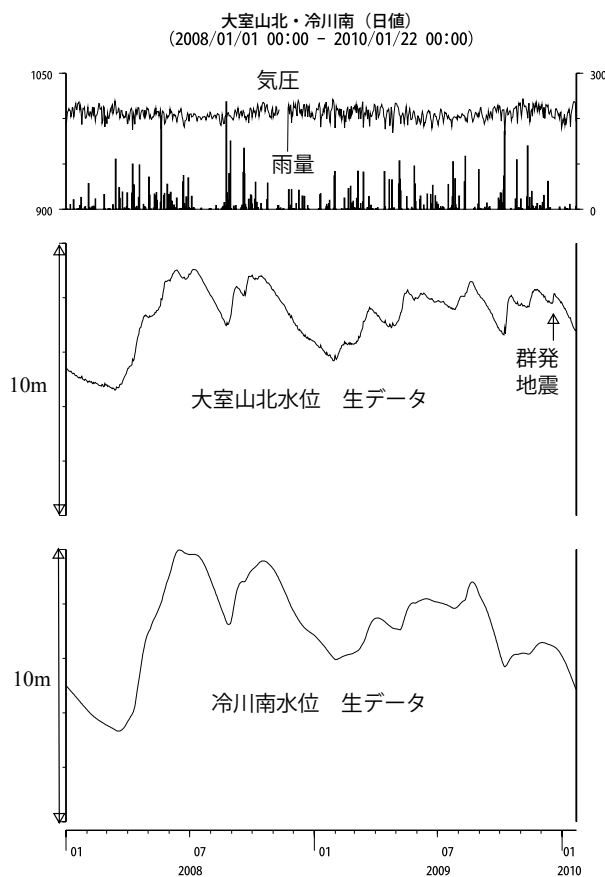


図7 2008年1月1日～2010年1月22日の大室山北の気圧・雨量・水位と冷川南の水位.

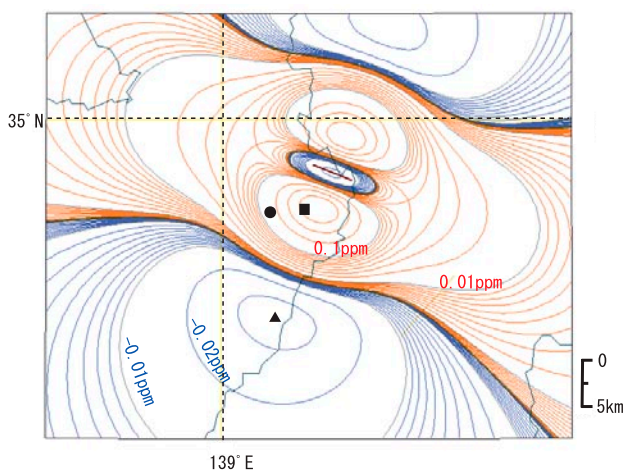


図8 2009年12月16日17時～17日23時の大室山北(■)の水位低下(5cm→0.2ppmの伸び)と東伊豆(▲)の体積歪変化(-0.06ppm: マイナスは縮みを意味する)を説明するモデルです。赤の等高線が伸びで青の等高線が縮みを示します。地震の震源分布を参考に、幅3km、長さ4.3km、先端深さ5kmの鉛直断層を考え、開口幅100mmを与えると、東伊豆の歪:-0.03ppm、大室山北の体積歪:0.4ppmとなっておおむね観測値を説明します。MICAP-G(内藤・吉川, 1999)を用いて計算しました。●は冷川南観測点です。

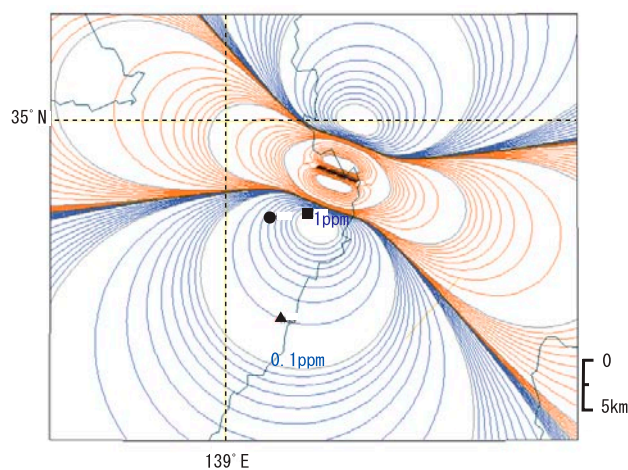


図9 2009年12月16日17時～20日13時の大室山北の水位上昇(39cm→-1.3ppm: 圧縮)と東伊豆の体積歪変化(-0.3ppm)を説明するモデルです。図8の断層が上に移動してさらに開くと考えます。結果的に、幅3km、長さ4.3km、先端深さ1.0kmの鉛直断層を与え、さらに開口幅200mmにすると、東伊豆の歪:-0.2ppm、大室山北の体積歪:-1.1ppmとなっておおむね観測値を概ね説明します。MICAP-Gを用いて計算しました。

外部委員会等 活動報告 (2010年1月)

2010年1月7日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会
WG3 第52回会合 (加瀬出席 / 東京)

四国電力株式会社 伊方発電所の基準地震動についての説明および質疑応答が行われた。

2010年1月12日

地震調査委員会 (岡村・小泉出席 / 文部科学省)

過去1ヶ月の日本の地震活動等について評価した。

2010年1月13日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会
WG3 第55回会合 (加瀬出席 / 東京)

四国電力株式会社 伊方発電所, 中国電力株式会社 島根原子力発電所の基準地震動についての説明および質疑応答が行われた。

2010年1月19日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会
WG3 第56回会合 (加瀬出席 / 東京)

四国電力株式会社 伊方発電所の基準地震動, および, 検討のまとめ(案)についての説明および質疑応答が行われた。

2010年1月22日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 第24回会合 (加瀬出席 / 東京)

四国電力株式会社 伊方発電所3号機の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果に関する検討状況, および, 耐震バックチェックに係る各ワーキンググループでの検討状況について, 説明および質疑応答が行われた。

2010年1月25日

地震防災対策強化地域判定会委員打ち合せ会 (小泉出席 / 東京)

最近1ヶ月の東海地方周辺の観測データについて議論し, 東海地震の発生可能性について評価する。

2010年1月27日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第155回長期評価部会 (吉岡出席 / 東京)

AFERC NEWS
No.10
January 2010

発行日 2010年2月5日

発行・編集 独立行政法人 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター
編集担当 黒坂朗子
問い合わせ 〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第7事業所
Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803
ホームページ <http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/index.html>