

第162回

# 地震予知連絡会資料

2005年2月21日



京都大学防災研究所  
地震予知研究センター

第162回地震予知連絡会提出資料

目 次

2005年2月 地震予知連絡会トピックス  
「南海地震の前の井戸水の減少について」 . . . . . 1

近畿地方の最近の地震活動  
～丹波山地における微小地震活動の静穏化～ . . . . . 6

近畿地方の地殻変動連続観測 . . . . . 9

2004年12月26日に発生したスマトラ沖地震にともなう地殻変動 . . . . . 11

## 南海地震の前の井戸水の減少について

京都大学 防災研究所 梅田 康弘

### 1. はじめに

昭和南海地震(M8.0)の前に、紀伊半島から四国の太平洋沿岸の地下水位に異常が見られたことが、当時の水路局(現在の海上保安庁海洋情報部)の聞き取り調査の結果として報告されている(水路局,1948)。地震の前に異常が報告されたのは図1に示すように15ヶ所あり、その内11ヶ所は井戸水が減少,3ヶ所は井戸水の濁り,温泉湧出量の減少が1ヶ所である。図1の縦棒は何日前に異常が現れたかを示している。早いところで1週間前、尾鷲の温泉は地震の6時間前に湧出が止まっている。

この現象を次の南海地震の予知につなげるためには、井戸水減少のメカニズムや、この現象が繰り返して起きるかという再現性についても検討しなければならない。メカニズムを考える上で、少なくとも次のふたつの疑問を解決する必要がある。

本震時にすべる領域よりやや深いプレート境界で、プレスリップがあったと仮定した場合、紀伊半島から四国の太平洋沿岸部で期待される土地の隆起または膨張域は井戸水が減少した地域とほぼ一致し、分布パターンとしてはよく合うことが示された(橋本,2003)。しかし、その量は、上記のプレスリップが本震時の滑りの10%あったとしても、地表では高々数cmの隆起、 $10^{-7}$ 程度の膨張である(橋本,2003)。この程度の変化で井戸の水位が目に見えて低下した、あるいは涸れたことを量的に説明できるかどうか。

また、異常が報告された地域は15ヶ所であるが、水路局が調査した地域は160ヶ所以上ある。人口も多く、当時はまだ多くの井戸が使われていたと思われる都市部での報告が全く無い。井戸水の減少が報告されたのは、いずれも小さな集落であり、その中でも限られた井戸の水位が減少したことが、現地調査でわかった。このように、井戸水が減少した地域もきわめて限定されているうえ、同じ集落内でもさらに限定されていることの説明も必要である。

### 2. 井戸水減少のメカニズム

15ヶ所の集落はすべて、三方が山に囲まれた小さな三角州であることが、現地調査でわかった。このような三角州の地下水分布を図3bに模式的に示した。海水が陸地の透水層(砂層・砂礫層)にしみ込んでおり、その上に淡水が浮かんでいる。海水と淡水のバランス関係はガイベン・ヘルツベルグの法則と呼ばれ、淡水の密度を  $f$ 、海水の密度を  $s$  とすると、 $sgH = fg(H + h)$  である。ここで  $f=1.000$ 、 $s=1.025$  とすると、 $H/h=40$  となる。この関係は水に浮かぶ氷と同じである。水面上の氷が少し高くなるためには、その何倍もの下支えの氷が必要なと同様に、隆起によって地下水面(淡水の上面)が  $h$  上昇するためには、

隆起上昇分の40倍 ( $H=40h$ ) の高さの淡水が下支えのために必要になる。

高知県佐賀町では利水のために水理地質構造調査が行われ、帯水層の厚さや海水と淡水の境界面（内部境界面）が実測された。その資料を基に同町の南北方向の地下水断面を図4に示した。同図は縦方向を強調して描いているが、内部境界面と水平線とのなす角( )は $1^{\circ}$  ~  $2^{\circ}$  である。帯水層の厚さは5m、境界面の下端は海岸線より380m付近に達している。海岸からこの付近まではガイベン・ヘルツベルグの法則によって地下水面（淡水の上面）としみ込んだ海水とがバランスしている。これより山手（図の右手）の400mから800mの間の不透水層と地下水面は実測ではなく模式的に描かれているが、この間の淡水の下支えは海水ではなく不透水層である。不透水層は海水よりはるかに密度が高いため、充分下支えする事ができ、地下水面は山手に向かって図のように上昇しうる。このことは、浅田等（2004）によって実測された。

地震前に土地が  $h$  隆起したとすると、前述のようにそれを支えるための多量の淡水は、図に示したように山手の地下水面の高い方から供給される。そうすれば、同図ではNo.4の井戸は涸れ、No.3の井戸の水位は減少する。No.2の井戸の水位の減少は少ないため気づかないかもしれない。No.1の井戸は変化なしということになる。

帯水層の淡水は河川からの伏流水として供給されているが、地震の前に井戸水が涸れた地域の河川は小さく、伏流水としての淡水の供給は乏しい。周りを山に囲まれているため、淡水のほとんどの移動は三角州内に限られていたと考えられる。

以上のように、僅かな土地の隆起によっても井戸水は涸れる、あるいは減少することが、図3b,図4に示したメカニズムで説明された。また井戸水が涸れた、あるいは減少したのは、大きな河川の流域にあって淡水の供給が豊富な都市部ではなく、大きな河川もなく三方を山に囲まれ淡水の供給が乏しい地形のところだったこともわかり、上述のふたつの疑問は解決された。

### 3. 次の南海地震の前にも井戸水は涸れるか

昭和の南海地震の前には井戸水が涸れたが、次の南海地震の前にも同じことが起こるかどうかは、次の地震が起るまでわからないが、過去にさかのぼって再現性を確認することは可能である。

和歌山県有田郡湯浅の住人、古田庄右衛門が書いた「安政聞録」には、「不思議なことに、今日、ところによって井戸水がすっかり涸れた家がある。井戸水が減少した家もあるが、変化の無い井戸もあって、まちまちだ」と記載されている。安政聞録は広川町の養源寺に所蔵されている。いなむらの火で有名な浜口梧陵は「安政元年海嘯の実況」で「(地震当日の)午後村民二名馳せ来たり、井水の異常に減少せるを告ぐ。予之に由りて地異の將に起こらん事を懼る。はたして七ツ時ごろに至り大振動あり」と記述している（重富國宏,2003）。

高知県土佐清水市中浜の住人、池道之助が書いた「今昔大變記」には、1854年安政南海地

震の前に井戸水の涸れたことが記載されている（重富國宏,2003）. 井戸水の涸れるのは地震の前であり，人々は気付かないという理由から，彼は墓石のようなモニュメントにそのことを刻んだ．モニュメントは土佐清水市街から中浜に至る峠に現存する．

以上のふたつの地域における3つの記述は，いずれも安政南海地震の前に井戸水が減少または涸れたことを示している．安政南海地震の場合は，その32時間前に安政東海地震が起きており，津波が押し寄せたと思われるが，古田庄右衛門や浜口梧陵の記述している井戸水の減少は安政東海地震から1日経過しており，津波の影響はすでに無かったと思われる．

#### 4．南海地震の予知

井戸水が涸れるまたは減少するメカニズムとして，プレスリップを前提に，ひとつのモデルを示した．この現象は安政南海地震の前にも起こっていることから，南海地震と同様，繰り返し起こる可能性が高いことを示した．

地震予知に向けた観測として，言うまでも無く井戸水の変化はノイズが大きく不適切である．可能な限りプレスリップを直接観測することが望まれるが，それが困難ならば，地表または地表近くでの隆起・沈降あるいは膨張・収縮の高精度な観測が望まれる．本震の滑りの10%のプレスリップというのは，まさに本震直前であろう．もっと早い段階では，一桁小さい数 mm の隆起・沈降，歪変化も  $10^{-8}$  以下であろうから，S/N を上げた高精度の連続観測をする必要がある．隆起量の40倍変化する内部境界面（塩水と淡水の境界面）の観測は有望と思われるが，その挙動についてはさらに知見を深める必要がある．

本震に至るまでのプレスリップの時間的推移は，Time-to-failure function で近似されるが，1週間前に井戸水が減少した地域もあることを考えると，単純な一方向の変化ではなく，Periodic time-to-failure function を考えなければならぬだろう．そうだとすれば，ここで述べたモデルも静的ではなく，動的モデルを考えていく必要がある．

#### 参考文献

- 浅田照行・他,2004, 高知県佐賀町における地下水のアレー観測, 京都大学防災研究所年報 第47号B,721-724
- 京都大学 防災研究所 地震予知研究センター(梅田康弘),2003, 南海地震の前の井戸水の減少についてー増幅のメカニズムー, 地震予知連絡会報 70 巻,423-428
- 京都大学 防災研究所 地震予知研究センター(重富國宏),2003, 安政南海地震の前の井戸水の減少, 地震予知連絡会報 70 巻,421-422
- 京都大学 防災研究所 地震予知研究センター(橋本 学),2003, 地下水変化に対する前駆的滑りの断層モデル, 地震予知連絡会報 70 巻,402-403
- 水路局,1948,昭和21年南海大地震調査報告 地変及び被害編 . 水路要報増刊号 1-117

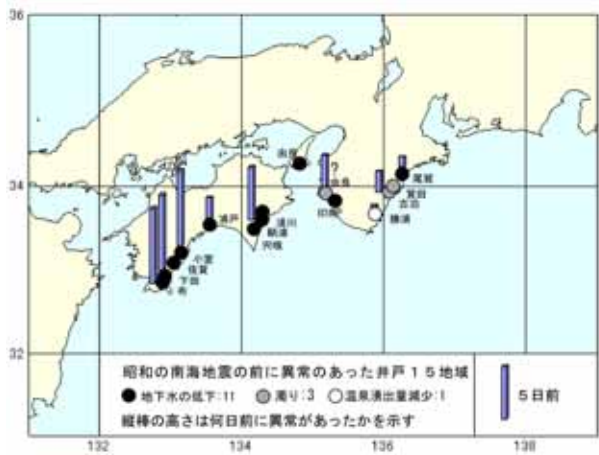
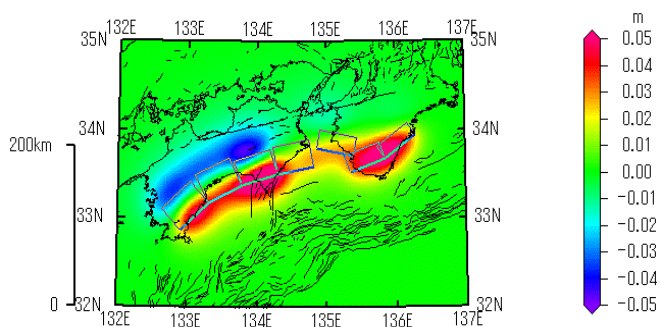


図 1



断層モデルによる地表の理論上下変動(橋本)

図 2

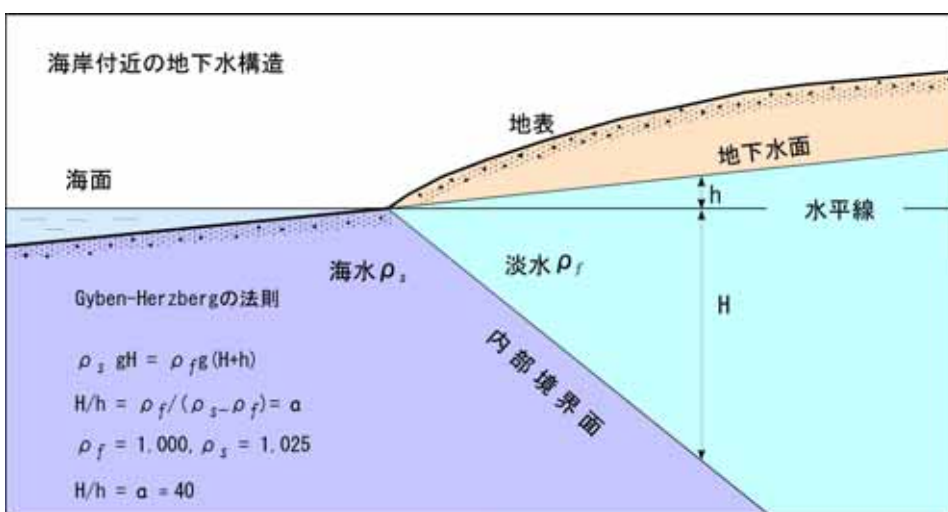


図 3 a

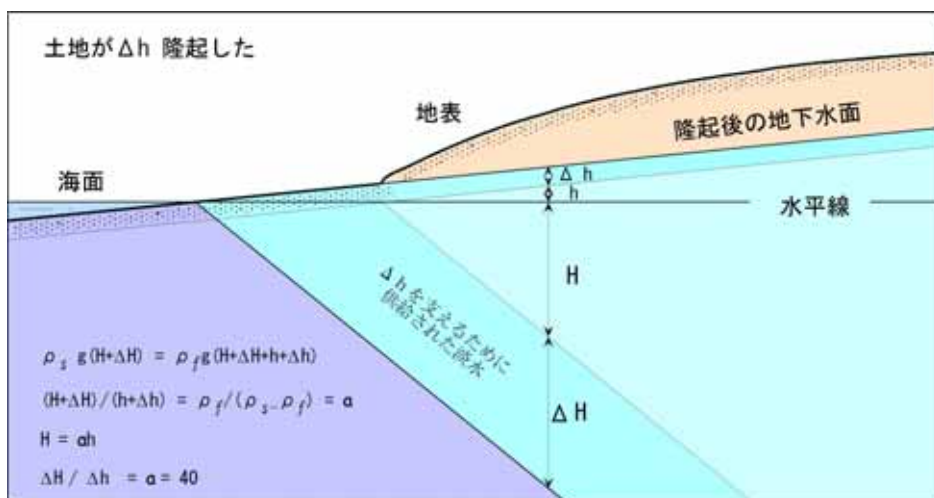


図 3 b

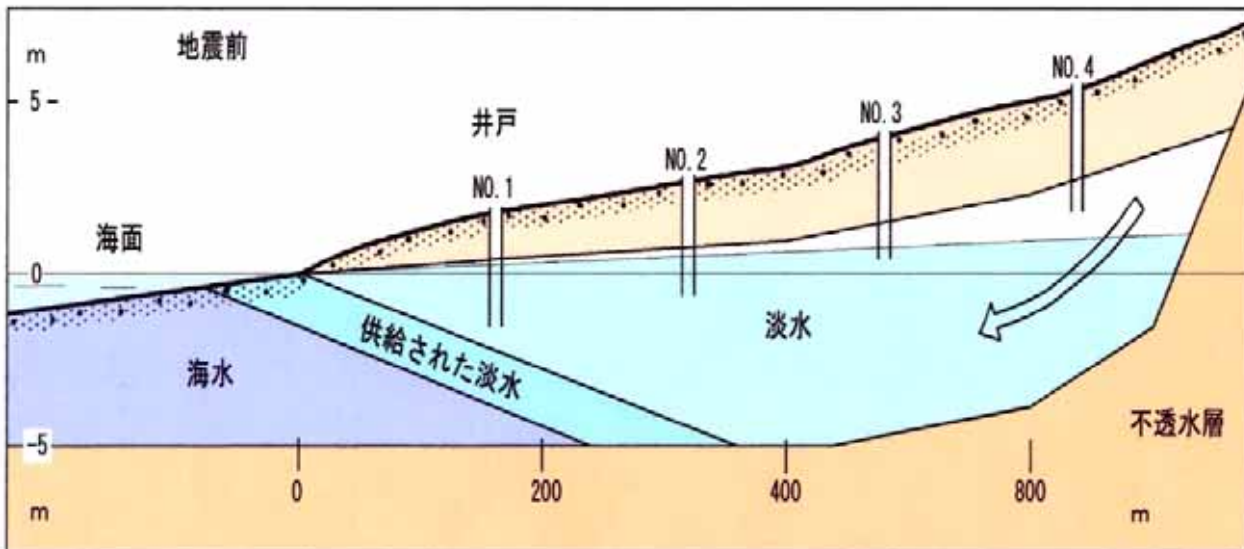


図 4

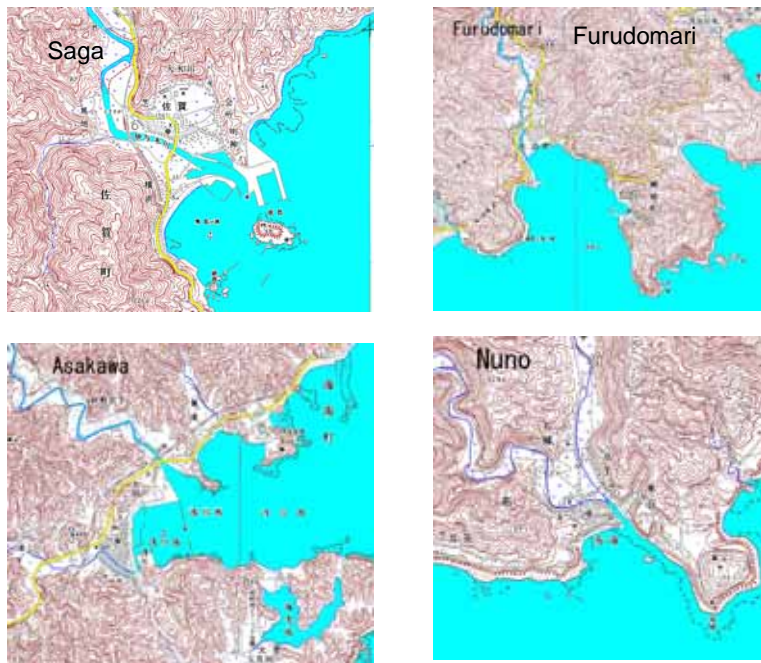
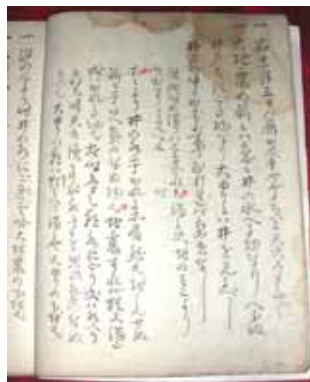


図 5



大地震の前には急に井の水が少なくなり……  
 所により井の水干しかれ有り、然れども地しんせぬ  
 前に干ゆえ気の付かぬ物也……

図 6

# 近畿地方の最近の地震活動 ～丹波山地における微小地震活動の静穏化～

京都大学防災研究所地震予知研究センター

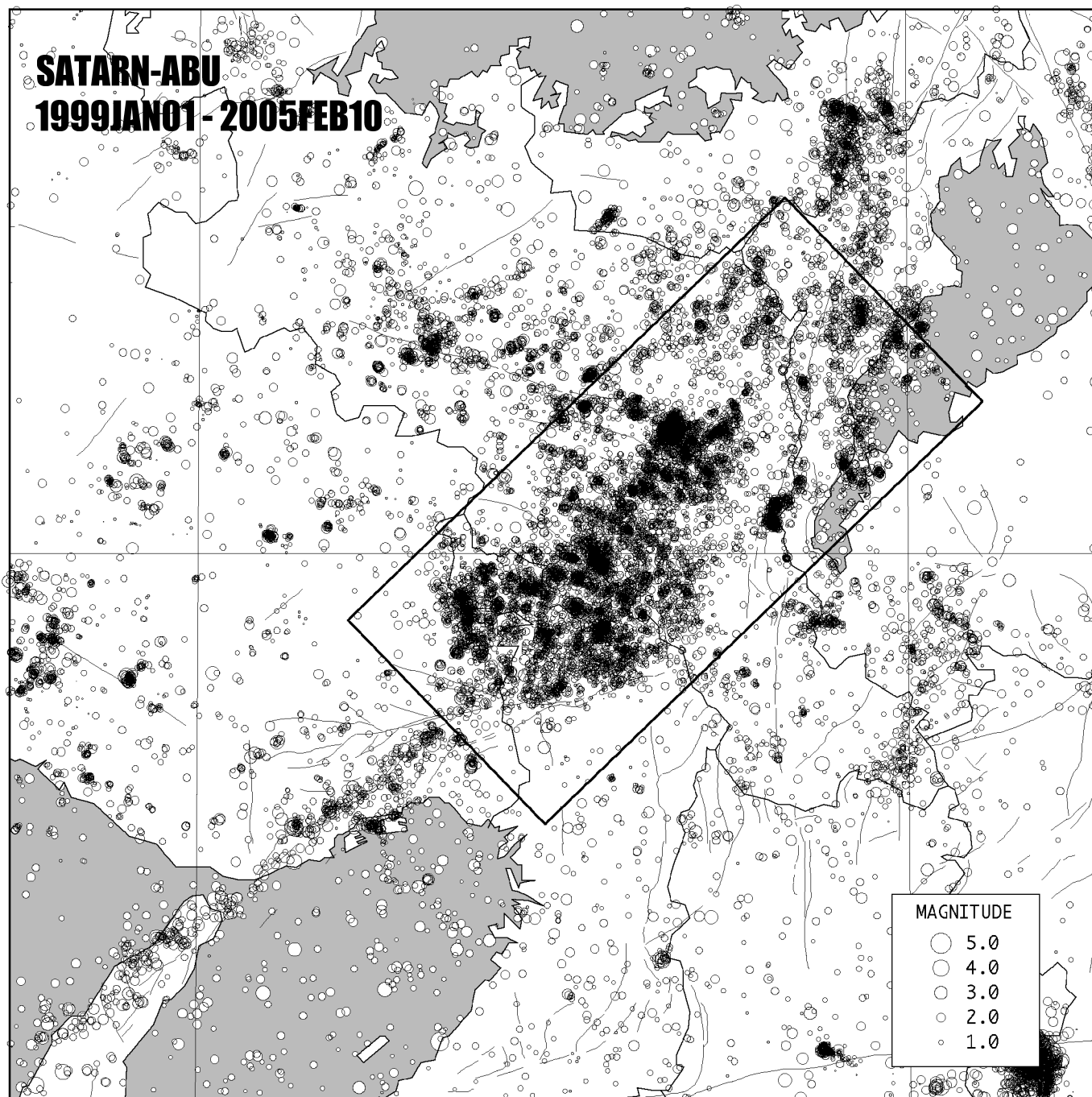


図1 : 1999年1月1日～2005年2月10日の震央分布 (30km以浅)。  
京都大学防災研究所地震予知研究センターによる。



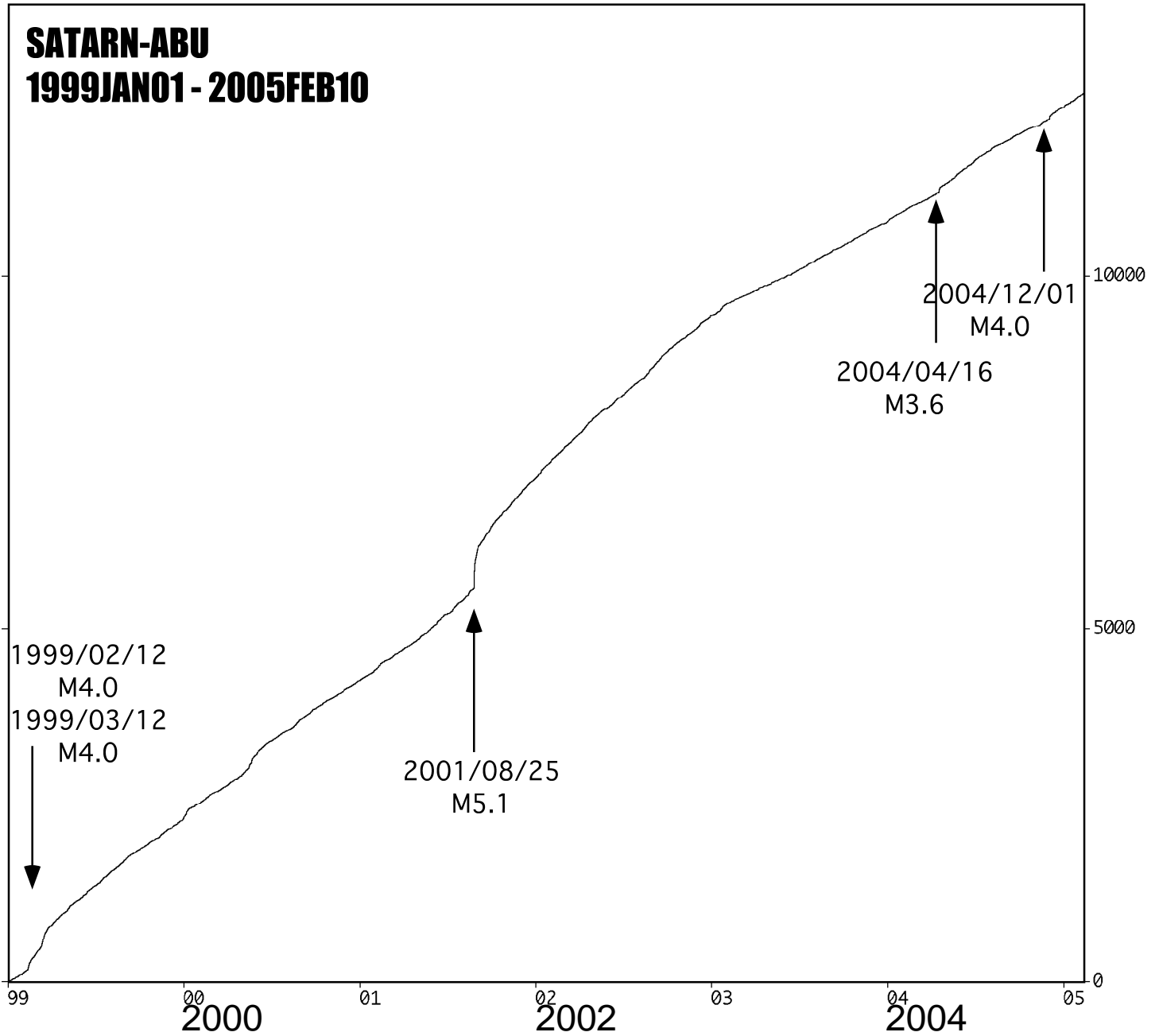


図2：図1に示す矩形範囲内の1999年1月1日～2005年2月10日の積算地震発生数。  
京都大学防災研究所地震予知研究センターによる。

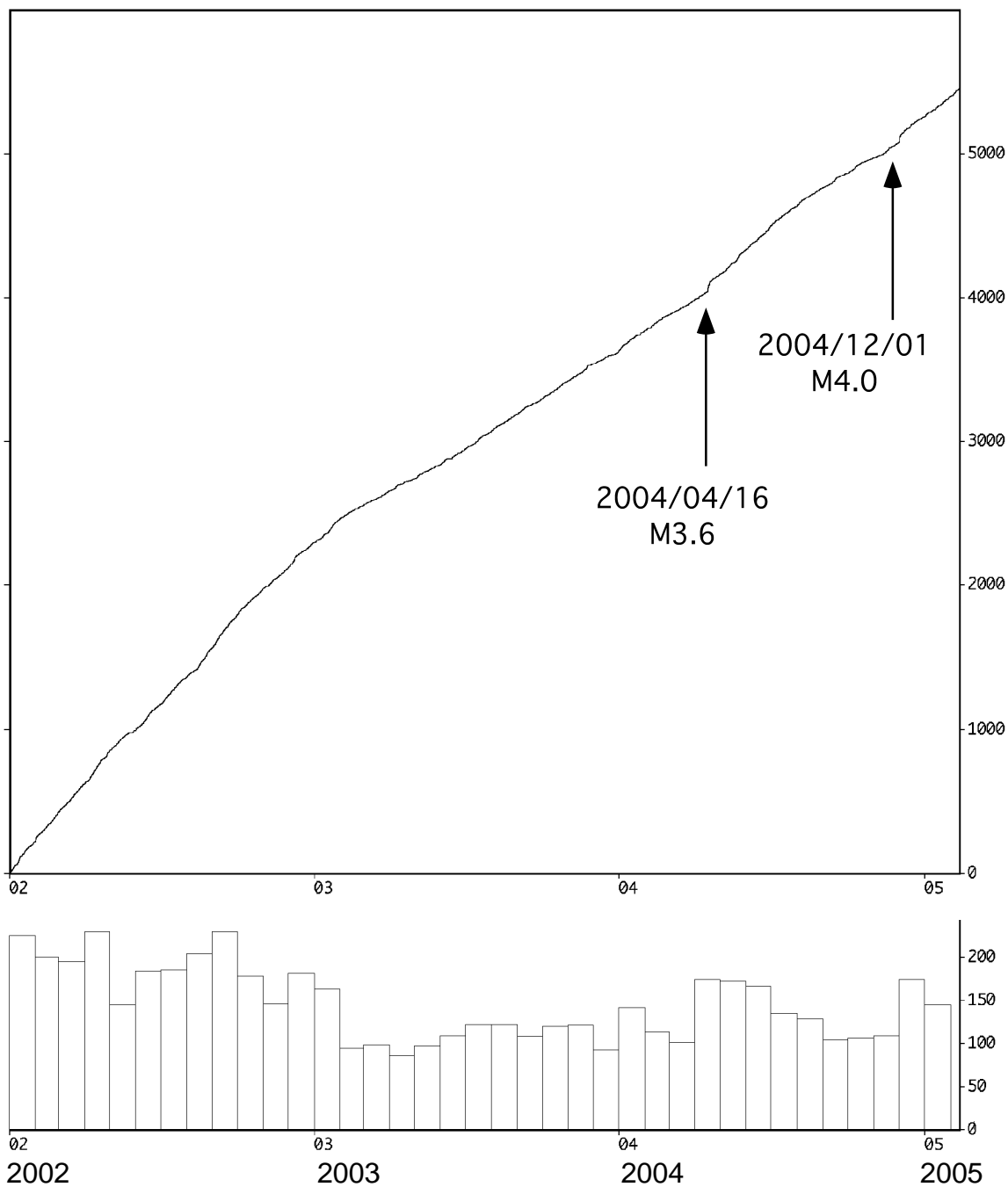
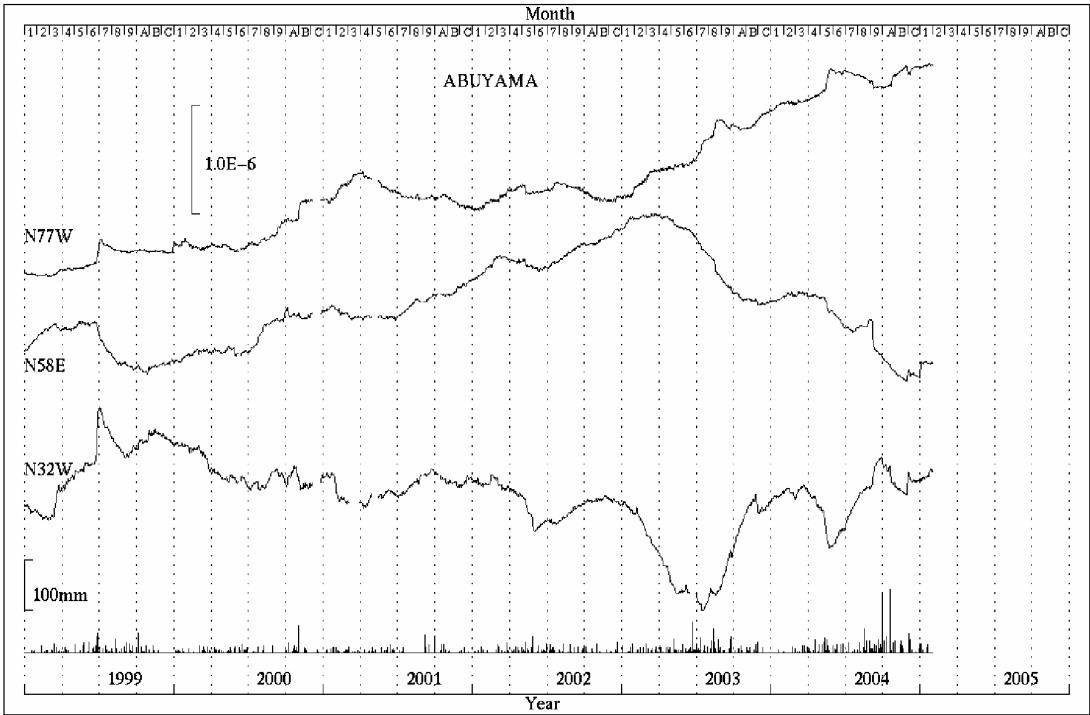
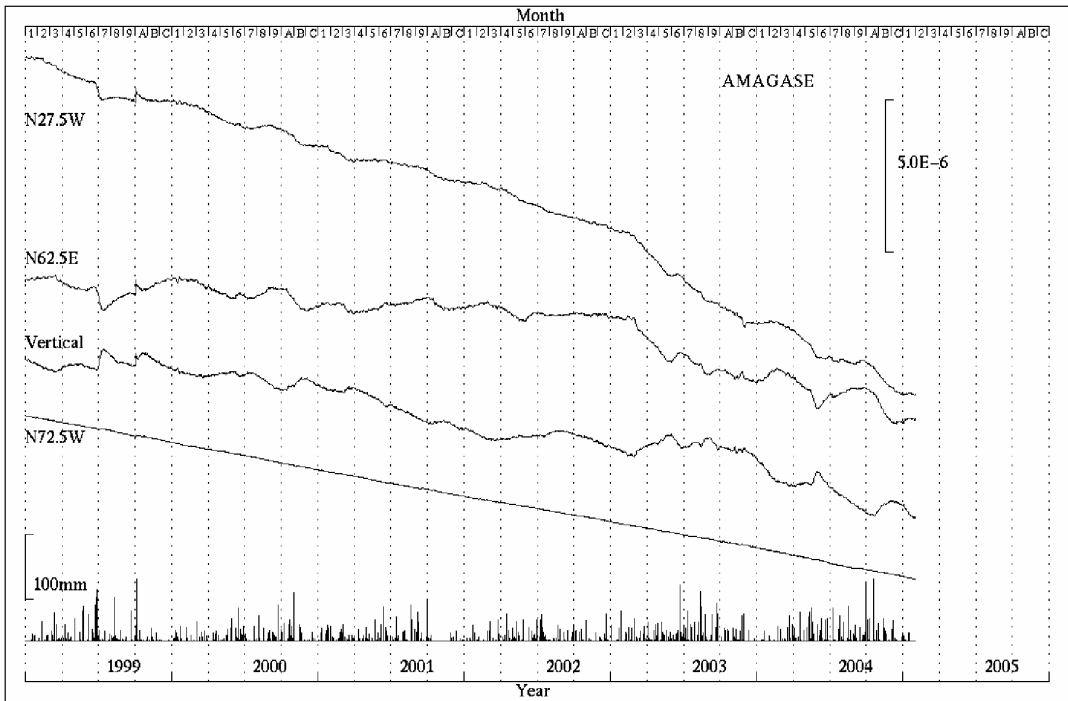
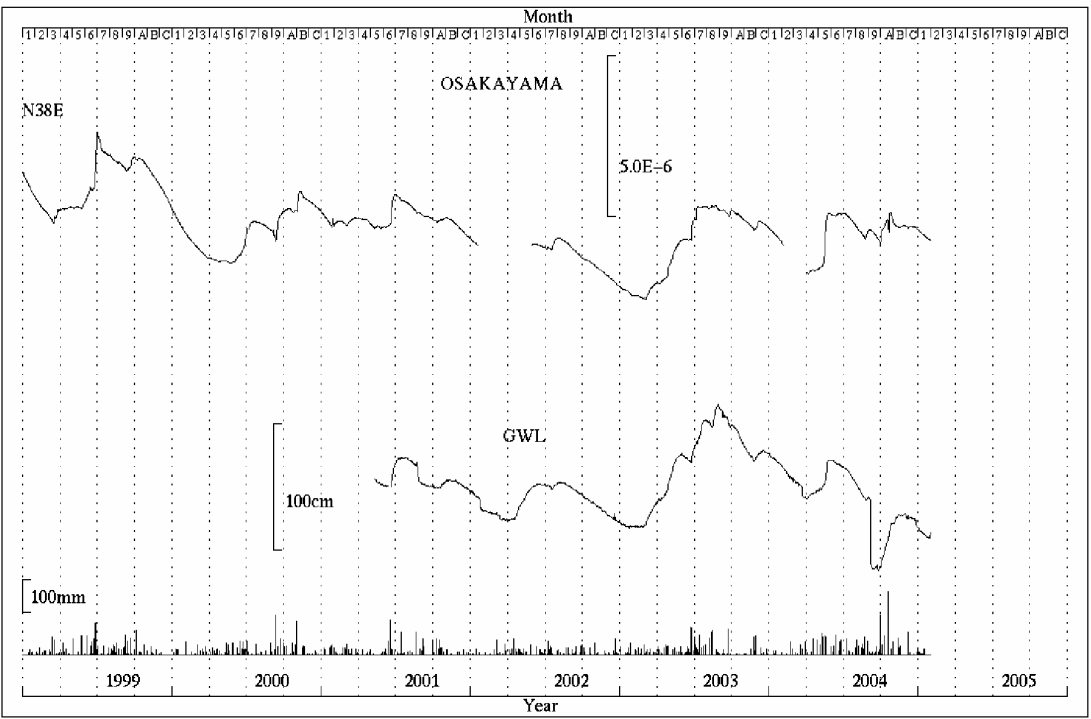
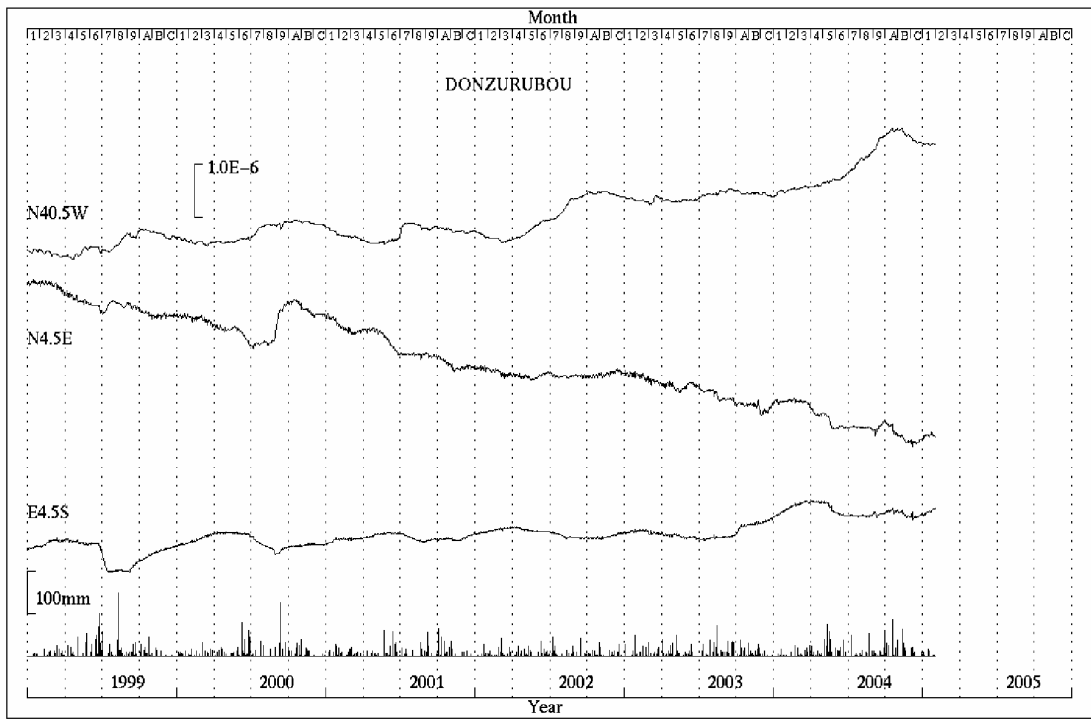


図3：図1に示す矩形範囲内の2002年1月1日～2005年2月10日の積算地震発生数。(上)と月別発生数(下)。京都大学防災研究所地震予知研究センターによる。2003年初頭からの丹波山地全体の静穏化に重畳して、2004年12月1日のM4.0の地震に先行する約2ヶ月間小規模の静穏化が起きていたように見える。





2005/02/21

2004年12月26日に発生したスマトラ沖地震にともなう地殻変動

京大防災研では、Scips 海洋研究所 SOPAC の website(<http://gsac.ucsd.edu/>)で公開されている IGS 観測点およびインドネシア国内の観測点の連続観測データを用いて、地震時変動および余効変動の検出を試みている。観測点および解析の詳細は以下のとおりである。

#### 【観測点】

COCO ココス島 (IGS) インド=オーストラリア・プレート内, 震源距離 ~ 1708km

NTUS シンガポール (IGS) スンダ・ブロック内, 震源距離 ~ 905km

BAKO ジャワ島西部 Cibinong (IGS) スンダ・ブロック内, 震源距離 ~ 1636km

SAMP スマトラ島内メダン近郊 スンダ・ブロック内, 震源距離 ~ 328km

#### 【解析方法】

使用ソフトウェアおよび解法: Bernese4.2, static

使用軌道情報および地球回転パラメータ: IGS Rapid 暦 + IGS Rapid 地球回転パラメータ

高度角マスク: 10 度

対流圏遅延量推定: 2 時間

整数値バイアス: fix

海洋潮汐荷重: なし

解析期間: 2004年12月15日 (DOY350) ~ 2005年1月23日 (DOY023)

#### 【解析結果】

##### (時間変化)

スマトラ島 SAMP で、12月26日に東西成分に 13cm 程度のステップが見られる (図1)。南北成分も 1cm 程度のステップが認められる。その後、余効変動が始まっており、2005年1月23日までの総計は、南に約 3cm、西に約 1cm と見られる。

シンガポール NTUS でも、東西成分に 12月26日にステップが認められる (図2)。12月28~29日 (横軸 14日あたり) の変動は BAKO にも同様な変化が見られることから、気象等の共通の影響が現れたもので、地殻変動ではないと考える。これを見ないことにすると、コサイスマックに 1cm ほど西に移動した。その後余効変動としてさらに 2cm ほど西に動いたように見えるが、コサイスマックな変動より大きいので、年周期的な変動を見ている可能性もある。

ジャワ島 BAKO では、東西成分には地震前後でステップがあるようにも見えるが、これについては地震前の長期間のデータに基づいた議論が必要である (図3)。

2005/02/21

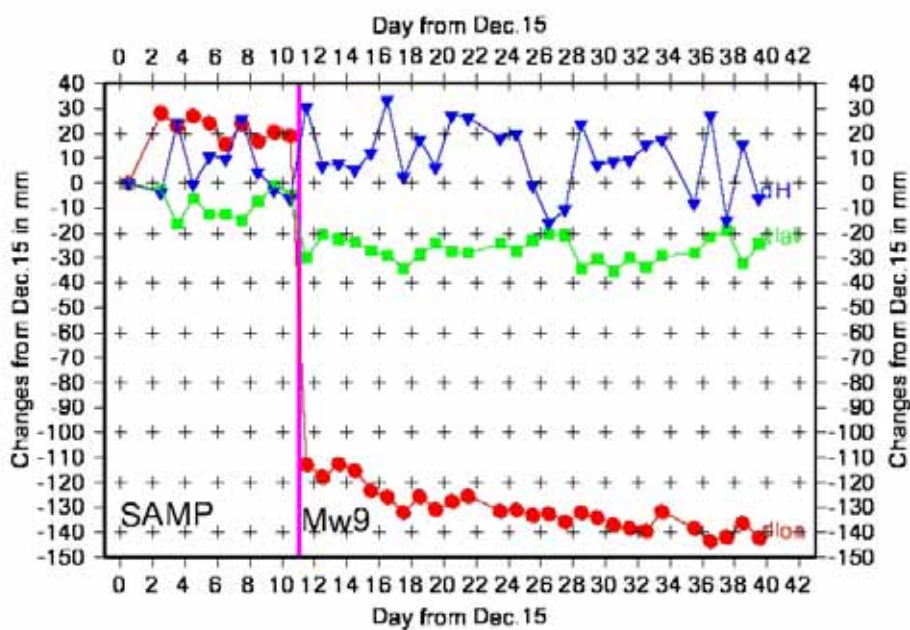


図 1 . スマトラ島 SAMP の座標 3 成分の時系列 (COCO 基準). 赤が東西, 緑が南北, 青が上下成分.

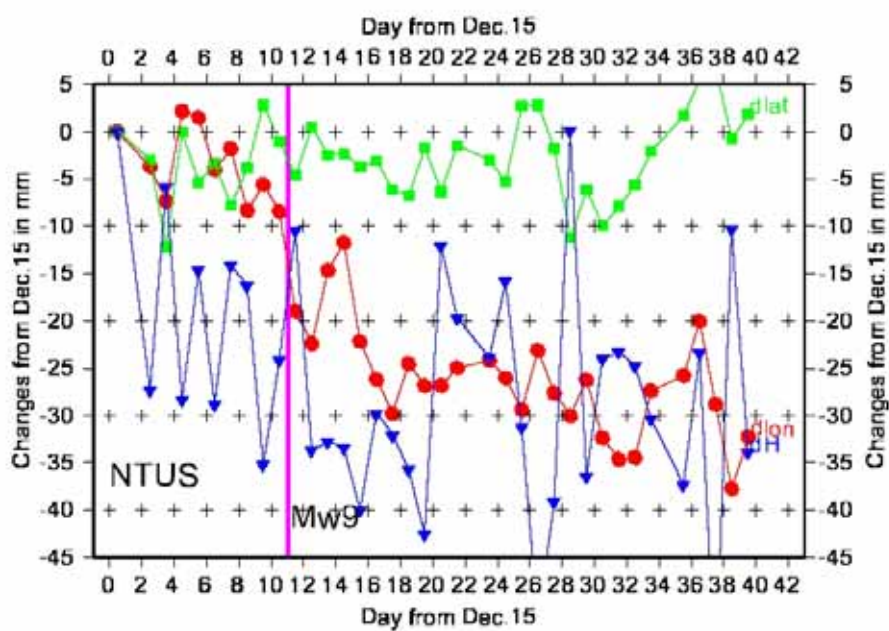


図 2 . シンガポール IGS 点の座標 3 成分の時系列 (COCO 基準). 赤が東西, 緑が南北, 青が上下成分.

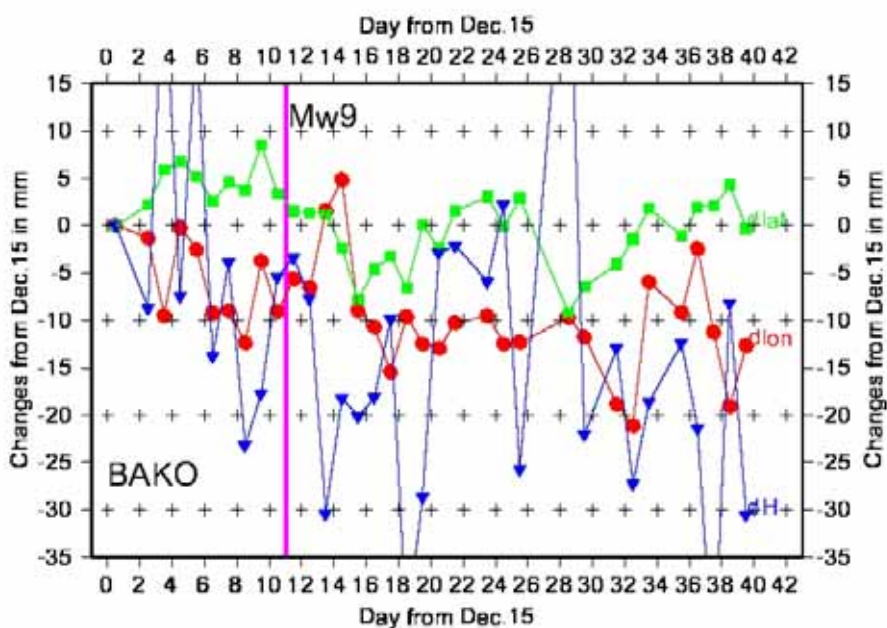


図 3 . ジャワ島 BAKO - IGS 点の座標 3 成分の時系列 (COCO 基準). 赤が東西, 緑が南北, 青が上下成分 .

(水平変位ベクトル)

12月31日までの座標の水平成分の地震前後の平均を取り, それらの差をコサインミックな変位としてベクトル表示をした(図4). SAMPは震源(印)に向かって10cm以上変位している. シンガポール(NTUS)も2cm程度西に変位している.

例えば, 越村(2004)が津波のデータに基づいて推定された断層モデル6(<http://www.dri.ne.jp/koshimuras/sumatra/#m6>)を用いて水平変位を計算すると図5のようになる. SAMPのすぐ南( $99^{\circ}\text{E}$ ,  $3^{\circ}\text{N}$ )で約22cm, シンガポールNTUSの近傍( $101^{\circ}\text{E}$ ,  $1^{\circ}\text{N}$ )で約5cmと, いずれも観測データより2倍近く大きい. 越村(2004)の断層モデルは2つの均一すべりのセグメントからなり, いずれのすべり量も11mである. SAMPについては, 断層の位置を多少北に動かすことによってあわせることも可能と考えるが, NTUSの小さい変位を説明する方は意外と困難なようだ. 断層の幅(150km)が小さい, あるいは傾斜( $15^{\circ}$ )が深部ではもう少し大きい, と考えたことが考えられる.

(橋本 学)

2005/02/21

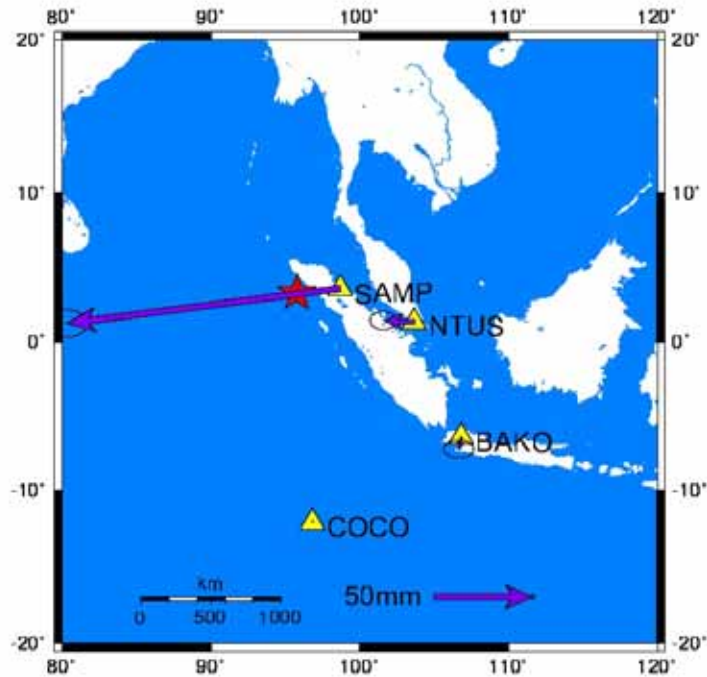


図4 .12月15日～25日および12月26日～31日の座標の平均値の差として求めた水平変位(紫矢印). COCOを基準としている. 赤い星印が震央.

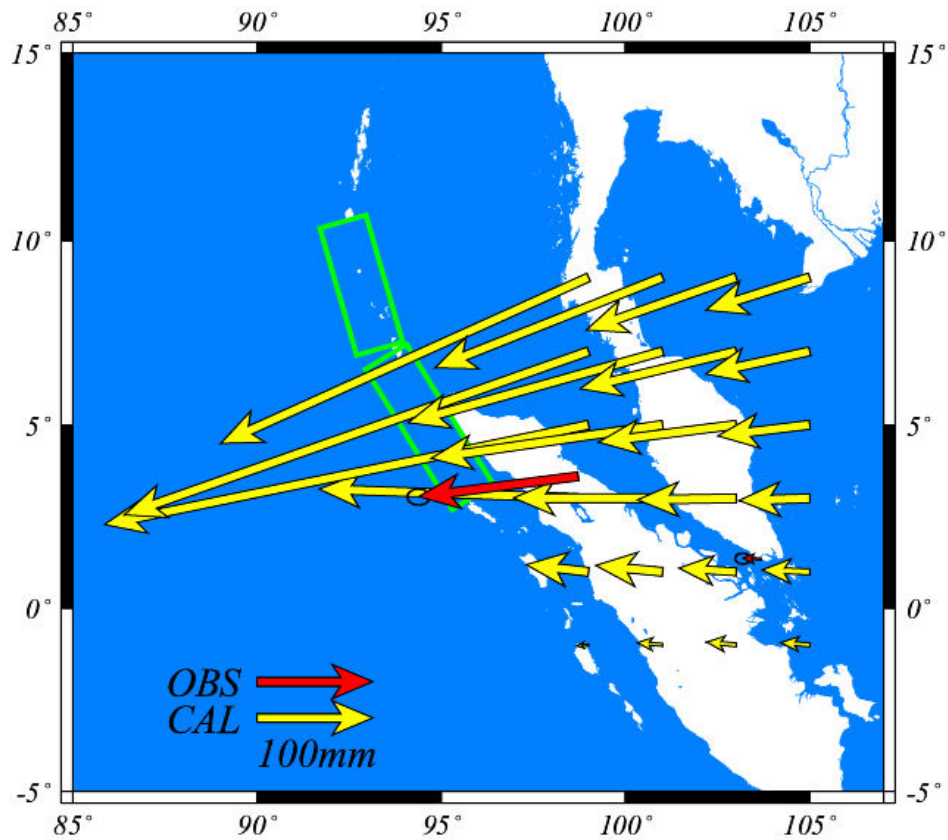


図5 .津波データに基づく越村(2004)のモデル6による計算変位(黄色矢印)と観測変位(赤矢印)の比較. 緑の四角が越村(2004)の断層モデルの地表への投影を示す.