

### 3 - 5 箱根の微小地震活動（2001年6月～）に伴う歪変化

#### Changes in strain associated with small seismic activity in Hakone from June to August 2001

気象研究所

Meteorological Research Institute

2001年の6月下旬から秋頃にかけて箱根芦ノ湖付近に起きた微小群発地震活動（最大規模M2.9）にともない，小田原観測点[35.27N, 139.09E]の2層式歪計で関連すると見られる変化が認められた。この歪変化と気象庁湯河原観測点[35.17N, 139.10E]で実施している地下水観測の結果について併せて報告する。ここで歪計は，いわゆる体積歪計を指しており，水平面内の面積歪変化を示すと考えられている。

第1図は群発地震活動が起きた箱根地域とその周辺の観測点の位置を示す。付近の国土地理院GPS観測点（裾野2，小田原，湯河原）の位置も示している。今回の群発地震活動の時間的推移を第2図に示す。最大規模の地震は7月下旬に起きているが，最も活発だったのは6月末から7月中旬にかけての期間であったことがわかる。活動域の拡大傾向は6月末に見られるが，7月以降ほぼ同じ地域および深さの範囲にとどまっている。地震活動に伴う地殻変動については，箱根を中心とする水平・上下変動（国土地理院），同じく傾斜変動（神奈川県温泉地学研究所），湯河原の歪変化（気象庁）などが報告されている。まず第3図上段に小田原と湯河原の歪計の歪変化を示す。両者とも地震活動開始に伴い顕著な膨張を示した後，活動の終息段階となる8月下旬から9月上旬にかけて収縮に転じていることがわかる。同図で，歪計との比較のため箱根を囲むGPS基線（裾野2 - 小田原 - 湯河原）の面積歪変化を見ると，6月下旬から8月下旬にかけて歪計と同様に膨張を示し，9月以降停滞する傾向が見られる。膨張の大きさは，湯河原歪計が約1マイクロストレイン，小田原2層式歪計が上下とも約0.3マイクロストレインであるのに対し，GPS面積歪では約3マイクロストレインである。

これまで歪計とGPSの併行観測の行われている他の観測点で両者の観測値が同程度の大きさを示した例はあまり知られておらず，特筆に値する。また，群発地震活動の規模が最大でもM2.9と小規模でありながらこのように大きな歪変化を示したことも異例である。1994年10月に今回の活動域付近で最大規模M4.9の群発地震活動が発生している（第2図左を参照）が，第4図に示すように，この地震活動の期間全体の湯河原で観測された歪変化はたかだか0.1マイクロストレインに過ぎなかった。次に注意すべき事柄は，第3図に示されるように，GPS面積歪が地震活動の終息段階にさしかかっても元のトレンドに回復せず，膨張したままの状態が継続していることである。

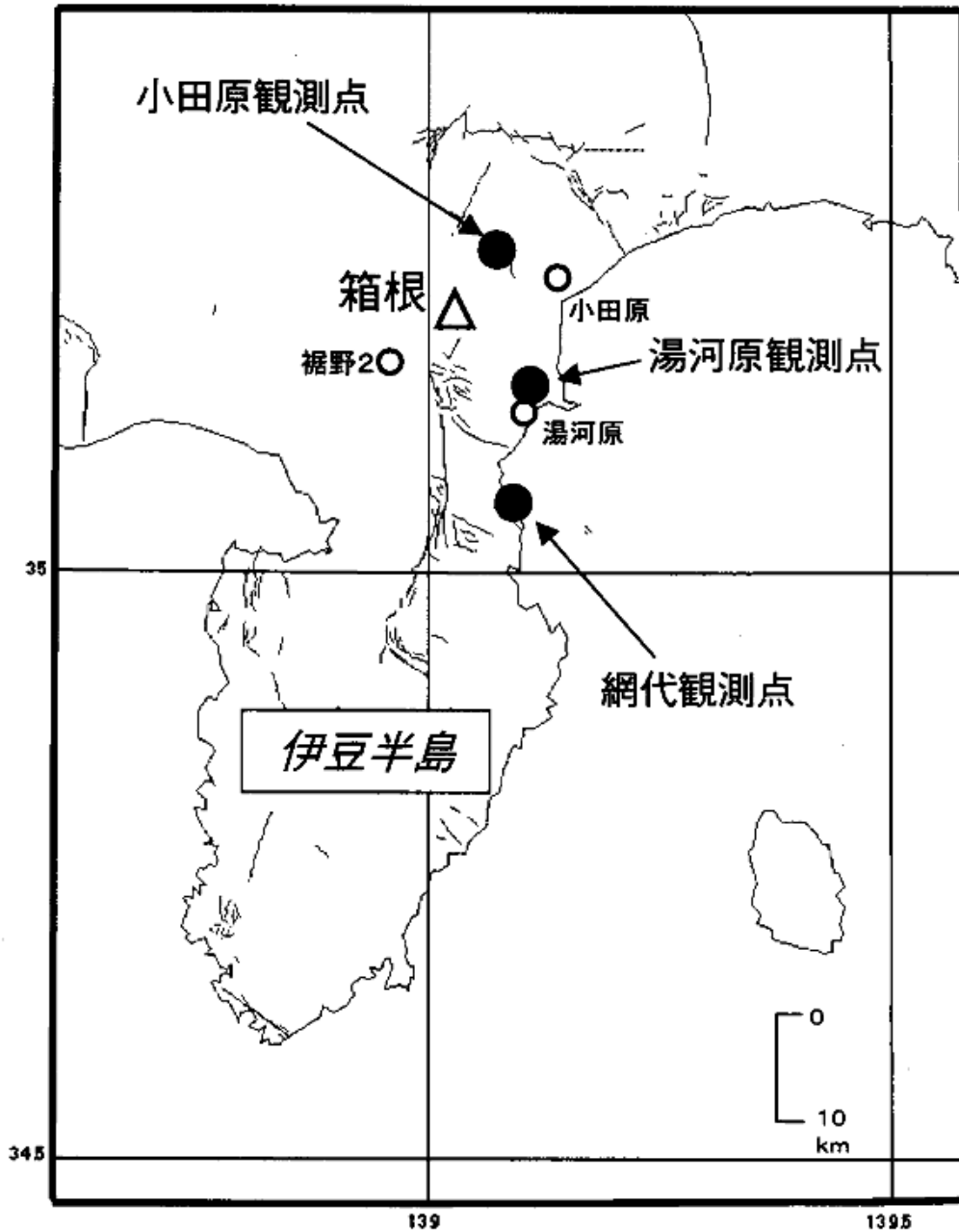
歪と地下水の長期的変化傾向を示したのが第5図である。小田原と湯河原の歪は今回の活動に伴う変化を示すまでは若干収縮傾向にあったことが見てとれる。GPS面積歪は安定した収縮傾向にあったことがわかる。湯河原の水温は1998年以降上昇傾向がやや増加する様子が見られるが今回の活動との関連は見られない。水位についても降雨を反映した変動を示すのみである。ただ，ここで注目すべきは，例年水位の上昇する時期には湯河原の歪に収縮変化が見られるのに対し，今回の地震活動の開始時期には水位の上昇にもかかわらず膨張に向かう様子が見られたことである。この事実は歪変化と地震活動の関連性を支持するものである。

今回の群発地震活動に伴う地殻変動を説明するソースモデルについては箱根火山直下に球圧力源と開口クラックを置くモデルなどいくつか出されている〔西村・他(2001), 吉川・他(2001)〕。最大でもM2.9 というごく小規模な地震活動でありながら数マイクロストレインに及ぶ膨張を生じたことは、通常地震活動に比べて大きな体積変化を伴う火山性の活動を想起させるが、地下水温などにも関連する変化が見られず、火山性起源と断定することは難しい。一方、歪計とGPSが地震活動開始時期には調和的な変化を示しながら、地震活動がほぼ終息した段階(2001年10月)になっても、後者に回復傾向が現れないことについては解釈の定まらないところであり、今後も引き続き変動の推移を注意深く見ていく必要がある。

謝辞：GPS データは国土地理院のご好意により使用させていただいた。湯河原観測井の水温観測は北海道大学地震火山研究観測センター島村英紀氏との共同観測により行われているものである。

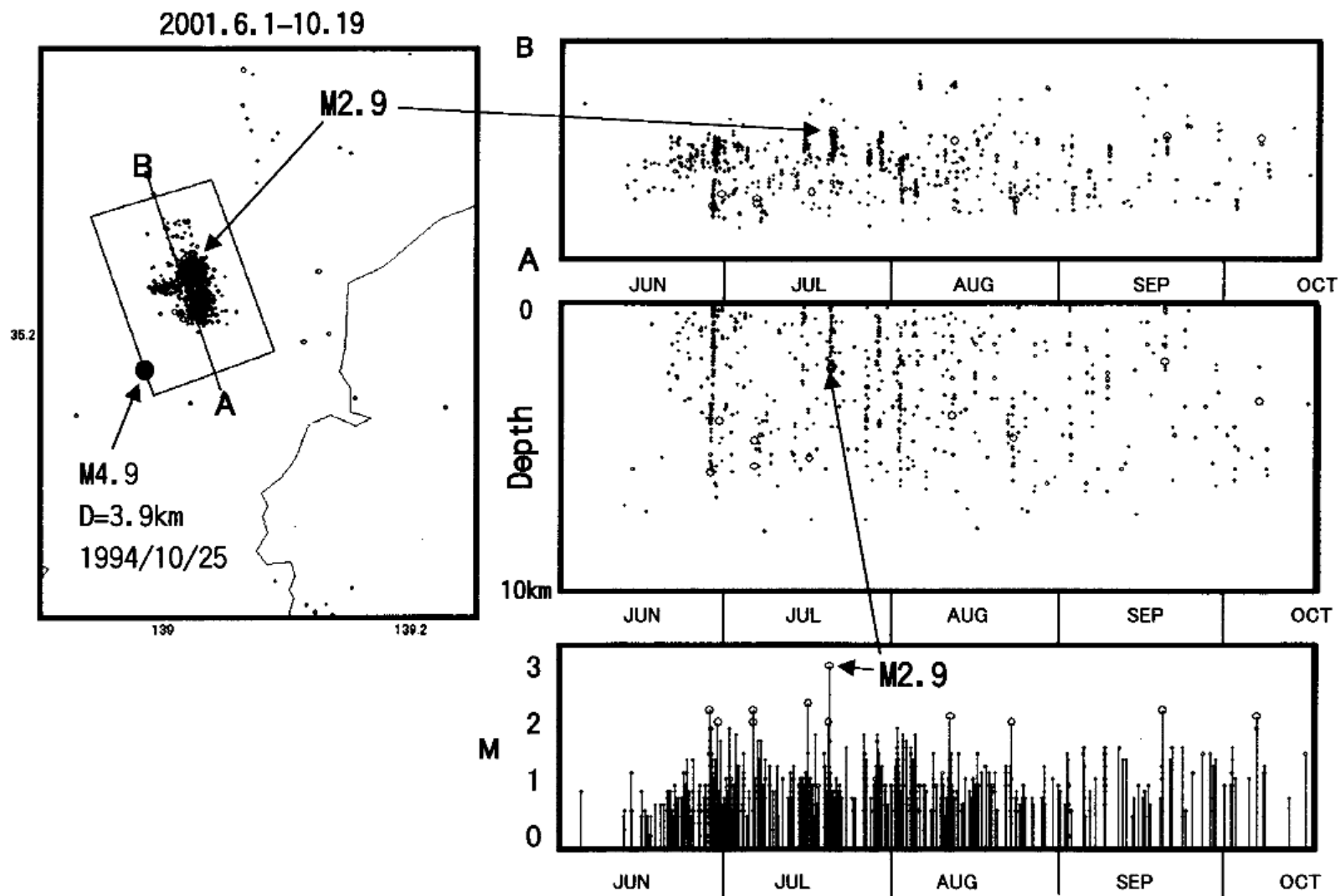
#### 参 考 文 献

- 1) 西村卓也・村上亮・棚田俊収(2001): 2001年6 - 8月の箱根火山の地殻変動, 日本測地学会第96回講演会要旨, 121-122.
- 2) 吉川澄夫・小林昭夫・山本剛靖(2001): 2001年6月からの箱根の地震活動と周辺観測点の歪・地下水変化, 日本地震学会2001年秋季大会講演予稿集, C20.



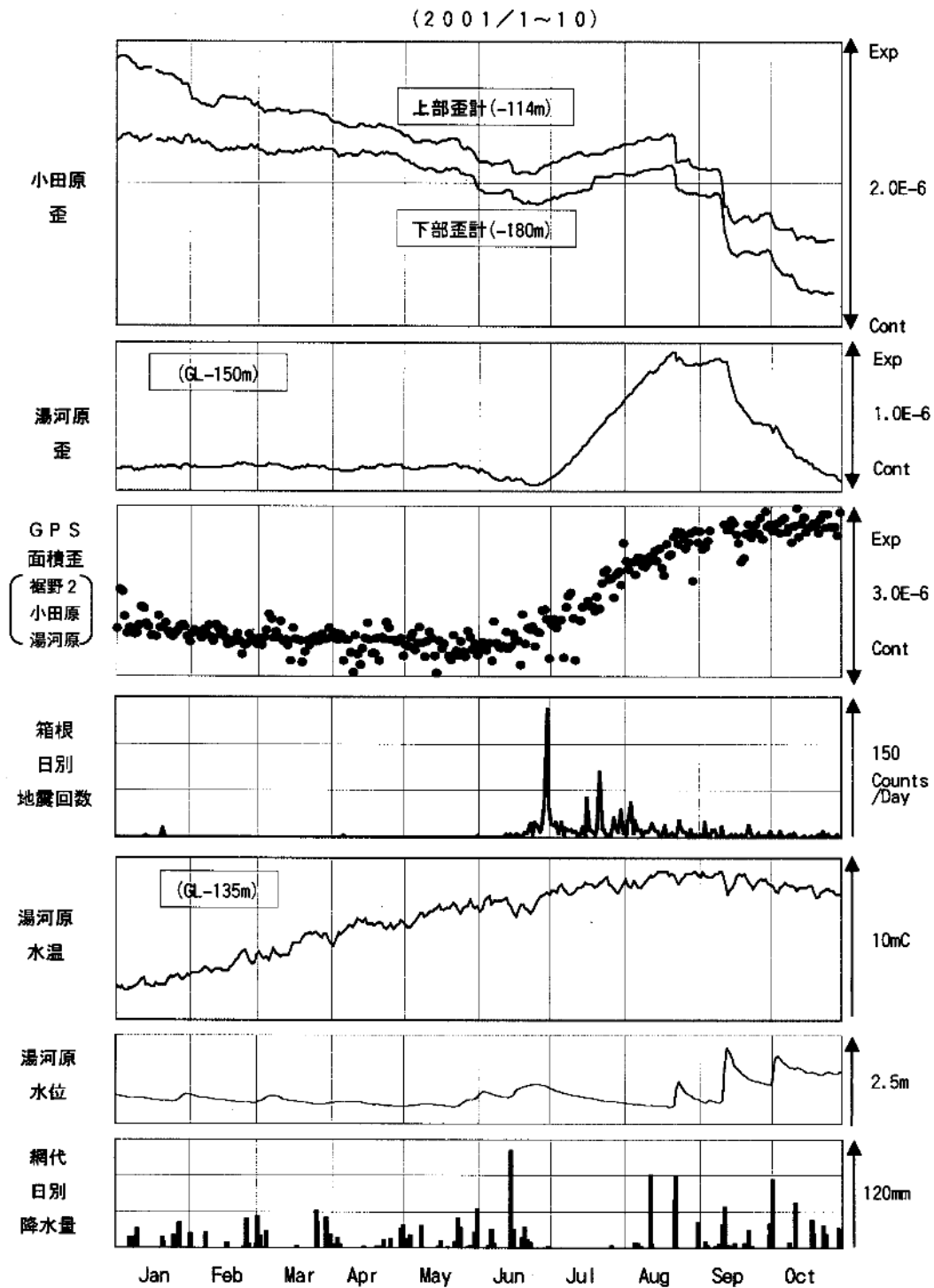
第 1 図 2001 年 6 月から 9 月にかけて群発地震活動が起きた箱根 ( ) と周辺観測点の位置。黒丸 ( ) は歪計観測点, 小白丸 ( ) は GPS の観測点をそれぞれ示す。

Fig.1 Location of Hakone(triangle) and peripheral stations(circles). Very small swarm activity occurred in Hakone region from June to September, 2001. Solid and open circles show the stations of volume strainmeters and the GPS stations of the Geographical Survey Institute, respectively.



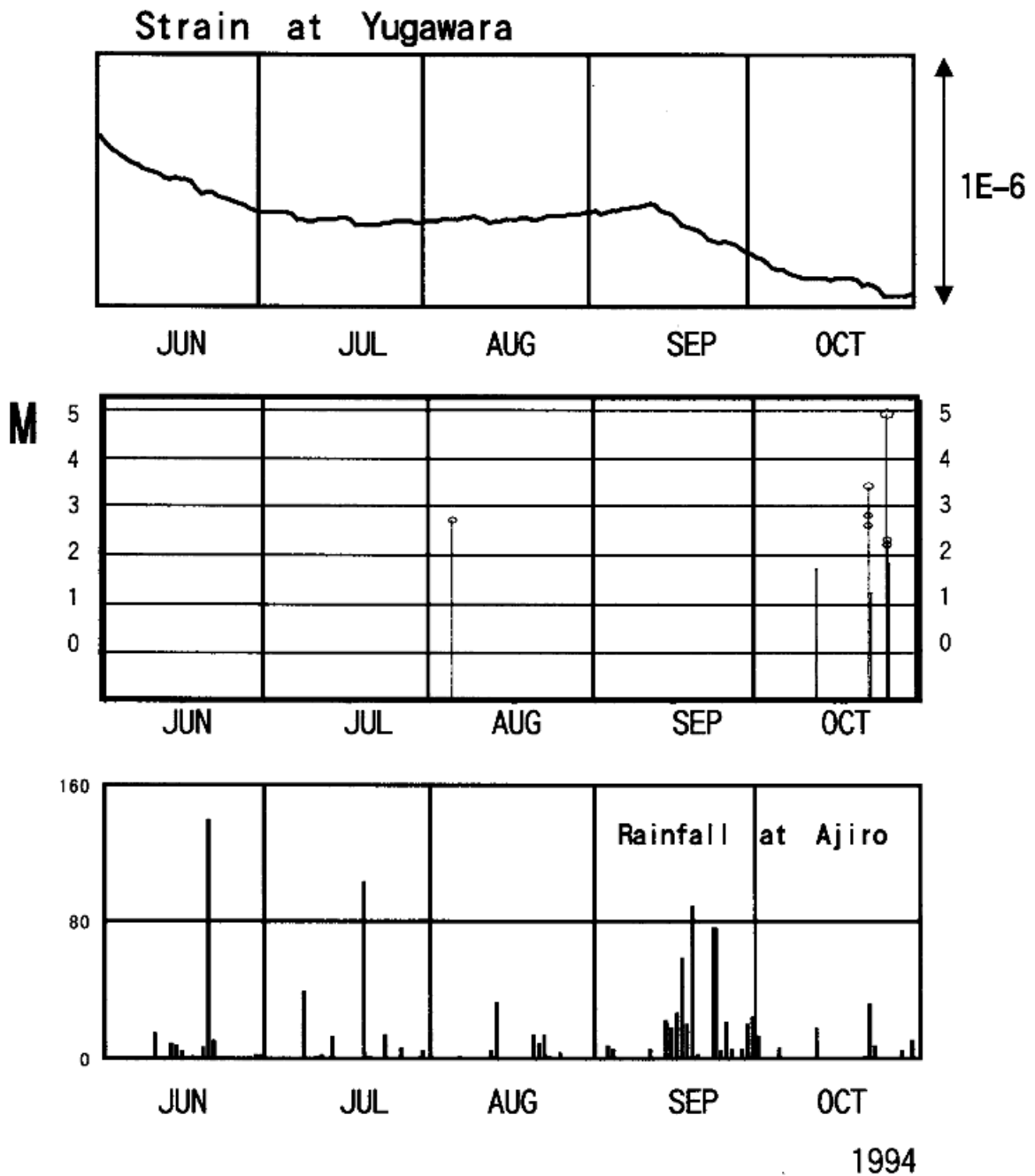
第 2 図 2001 年 6 月からの箱根群発地震の活動．左は震央分布図．右上は A - B 断面に沿う震源時空間分布図．右中は震源 D - T 図．右下は地震の M - T 図．震源は気象庁による．

Fig.2 Seismic swarm activity in Hakone from June 2001. Left: epicentral distribution, Right-top: space-time distribution along A-B, Right-middle: depth- time distribution, Right- bottom: M-T diagram. Hypocenters were determined by JMA.



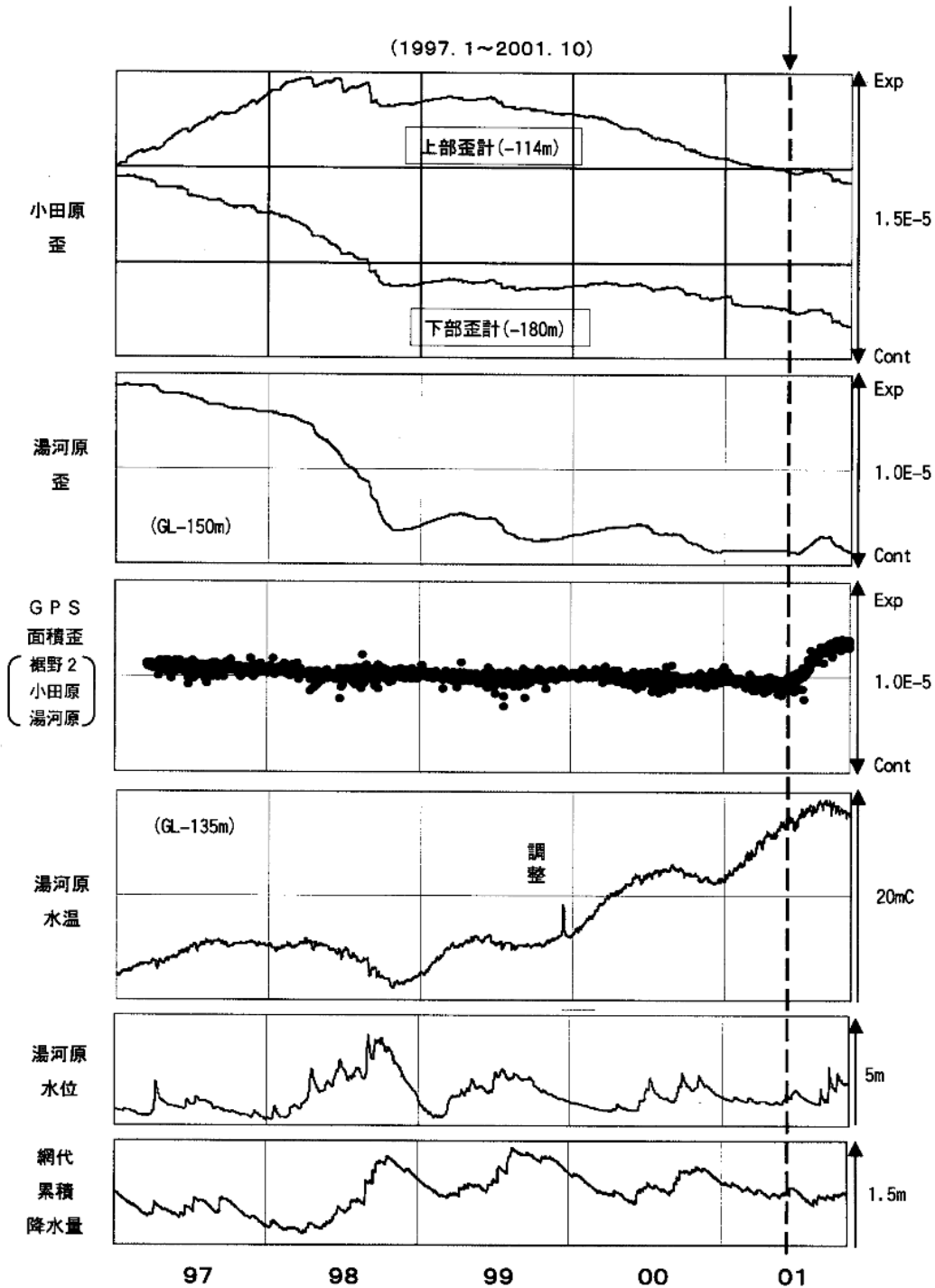
第3図 2001年1月から10月までの歪と地下水観測結果。上段は小田原2層式歪計出力，2段目は湯河原歪計出力，3段目はGPS面積歪，4段目は日別地震回数(気象庁)，5段目は湯河原観測井の水温計出力，6段目は同じく水位計出力，最下段は網代の日別降水量。

Fig.3 Observed results in strain and groundwater from January to October 2001. Top: outputs from Double Coaxial Borehole Strainmeters at Odawara, the second: output from strainmeter at Yugawara, the third: dilatation deduced from GPS tripartite, the fourth: daily number of seismic events (JMA), the fifth and sixth: outputs from thermometer and pressure gauge in the groundwater of Yugawara well, bottom: daily precipitation at Ajiro.



第4図 1994年6月から10月までの歪観測結果と地震活動。上段は湯河原の歪計出力，中段は箱根付近で起きた地震活動のM - T図，下段は網代における日別降水量。9月中旬に見られる縮み変化は降雨による。10月下旬の地震活動の前後に変化した歪量はたかだか0.1マイクロストレイン程度である。

Fig.4 Observed strain and seismic activity from June to October 1994. Top: output from strainmeter at Yugawara, middle: M-T diagram for the seismic activity in Hakone, bottom: daily precipitation at Ajiro. Clear decrease of strain in the mid-September was possibly influenced by rainfall. Apparent strain changes in the period of seismic activity in the late October amount to 0.1 micro-strain at most.



第 5 図 1997 年から 2001 年までの歪と地下水観測結果。上段は小田原 2 層式歪計出力，2 段目は湯河原歪計出力，3 段目は GPS 面積歪，4 段目は湯河原観測井の水温計出力，5 段目は同じく水位計出力，最下段は網代の累積降水量からトレンドを差し引いたもの。縦の破線は箱根の群発地震活動の開始時期を示す。

Fig.5 Observed results in strain and groundwater from 1994 to 2001. Top: outputs from Double Coaxial Borehole Strainmeters at Odawara, the second: output from strainmeter at Yugawara, the third: dilatation deduced from GPS tripartite, the fourth and fifth: outputs from thermometer and pressure gauge in the groundwater of Yugawara well, bottom: cumulative precipitation at Ajiro with trend subtracted. Vertical broken line shows the beginning of the seismic swarm activity in Hakone.