

東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後 1 日間での地下水位・地下水圧・自噴量変化

Changes in groundwater levels, groundwater pressures and discharge rates a day after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0)

北川有一¹・小泉尚嗣¹

Yuichi Kitagawa¹ and Naoji Koizumi¹

¹ 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault and Earthquake Research Center, y-kitagawa@aist.go.jp)

Abstract: The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake (M9.0) occurred on March 11, 2011. At many of groundwater observatories of Geological Survey of Japan, AIST in Tokai, Kinki and Shikoku, changes in groundwater levels, groundwater pressures or groundwater discharge rates were observed associated with the earthquake. Most of the changes a day after the earthquake were drops and they were consistent with the static coseismic strain changes due to the fault slip of the earthquake. On the other hand, some of them were rises and they were not consistent with the static strain changes. These observed rises suggest that the rises by causes except for the static coseismic strain changes are larger than drops by the static coseismic strain changes.

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地下水位, 地震後の変化, 体積歪変化

Keywords: the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, groundwater level, postseismic change, volumetric strain

1. はじめに

西暦 2011 年 3 月 11 日, 東北地方太平洋沖で巨大地震 (M9.0) が発生した。この地震は宮城県沖のプレート境界から破壊を開始し, 地震の破壊は岩手県沖から茨城県沖までの広範囲に伝播した。この地震直後には大津波が沿岸各地に押し寄せ, 甚大な被害をもたらした。また, この地震の断層変位によって, 日本列島の広い範囲で大きな地殻変動が生じた。産業技術総合研究所活断層・地震研究センターは東海・近畿・四国に多くの観測井を持ち, 地下水の観測を行っている。多くの観測井において, この地震に伴う地下水位・地下水圧・自噴量変化が観測された。本論文では, 全ての観測結果を掲載し, 地震の断層変位による静的な地殻歪変化と地震後の地下水位・地下水圧・自噴量変化との関係を整理した。

2. 観測概要

産業技術総合研究所活断層・地震研究センターは, 主に日本の東海・近畿・四国に地下水等総合観測施設を 2011 年 3 月時点で 57 点持ち, 地下水・地殻変動・地震計の総合的な観測を行っている (小泉ほか, 2009)。本論文では, 2011 年 3 月 11 日~12 日にデータを取得できた 52 観測点の観測井 87 本の地下水位・地下水圧・自噴量を調査した (第 1 図, 第 1 表)。29 観測点には 1 本の観測井が, 23 観測点には深度が異なる 2 本か 3 本の観測井がある。複数の観測井が

ある観測点では, 観測点ごとに深い観測井から順に 1, 2, 3 と通し番号を付けている。観測井の深度は 30~1200 m の広い範囲にわたり, ストレーナの深度は 10~1200 m の広い範囲にわたっている。

これらの観測井では, 観測井内の地下水位または観測井内の地下水圧を測定している。地下水圧のデータは, 水圧を水の密度と重力加速度で割ることで水柱の高さ (水位) に換算できるので, 水位の単位に変換して使用している。地下水位と地下水圧は, 測定方法に違いはあるが, 基本的には同等のデータである。3 本の自噴観測井では, 自噴する水量を測定している。データは, 51 観測井では 1 秒間隔で, 30 観測井では 2 分間隔で, 3 観測井では 0.05 秒間隔 (20 Hz) で, 3 観測点では 10 分間隔で記録されている。本論文では, 1 秒間隔と 0.05 秒間隔 (20 Hz) のデータは 1 分間隔にリサンプリング (平均化処理なし) して使用している。

3. 観測結果

第 2 図に全ての観測井の観測結果を示す。東北地方太平洋沖地震 (M9.0) に伴い, 以下の 4 種類の現象が観測された。一つ目は地震波によるダイナミックな振動である (代表例: 高知県に位置する 44-1:SSK1 (第 2j 図))。二つ目は地震波振動中のステップ状の変化である (代表例: 愛媛県に位置する 46-1:UWA1 (第 2j 図))。三つ目は地震直後からの継

続的な上昇あるいは低下である（代表例：静岡県に位置する 7-1:KNG1（第 2b 図））。四つ目は、海岸沿いの観測井で見られたが、大津波に伴う振動で、地震発生数時間後から一日間以上継続する（代表例：北海道に位置する 1-1:DTE1（第 2a 図））。

地震後 1 日間での地下水位・地下水圧・自噴量変化を以下の方法で計算した。まず、地震直前の値を 2011/3/11 14:35-14:45 (JST) の平均値とする。地震後 1 日目の値を 2011/3/12 14:35-14:45 (JST) の平均値とする。そして、地震後 1 日間での変化は地震後 1 日目の値と地震前の値との差とする。本論文では、地下水位・地下水圧では変化量が 10 mm 以下（自噴量では 10 L/min 以下）の場合は変化なしとした。

第 1 図と第 1 表に地震後 1 日間での地下水位・地下水圧・自噴量変化を示す。上昇した観測井が 18 本、低下した観測井が 57 本、変化なしの観測井が 12 本であった。最も水位が上昇した観測井は愛媛県に位置する 34:ODG（第 2f 図）で 403 mm 上昇した。最も水位が低下した観測井は静岡県に位置する 7-2:KNG2（第 2b 図）で 926 mm 低下した。伊豆半島では全て上昇した。それ以外の地域では低下の割合が非常に大きかった。複数の観測井がある観測点では、最も深い観測井で水位が上昇している傾向が見られた。

国土地理院による矩形の断層モデル（国土地理院, 2011）を用いて、地震の断層変位による静的な体積歪変化を MICAP-G（内藤・吉川, 1999）によって計算した（第 1 図, 第 1 表）。北海道に位置する 52:CRI は収縮の領域、それ以外の観測井は膨張の領域にあることが分かった。体積歪が収縮すれば、帯水層の間隙水圧の増加により自噴量の増加が期待される（例えば、湯原・瀬野, 1969）。52:CRI は自噴量が増加であり、収縮の領域であることと矛盾しない。それ以外の観測井での地下水位・地下水圧変化は多くが低下であり、膨張の領域であることと矛盾しない。体積歪変化の大きさは、52:CRI では 1.2×10^{-7} の収縮、それ以外では $0.2 \sim 4.8 \times 10^{-7}$ の膨張と推定された。仮に、被圧の帯水層の体積歪感度が 10^{-8} あたり $1 \sim 10$ mm 程度と想定すると（例えば、北川ほか, 2004 ; Kitagawa *et al.*, 2006）、地下水位・地下水圧変化は、小さい場合で 2 mm 程度、大きい場合には 480 mm 程度変化すると予想される。地下水位・地下水圧の低下量が $10 \sim 200$ mm の範囲の観測井が 42 本、 $200 \sim 400$ mm の範囲の観測井が 13 本、 400 mm 以上の観測井が 2 本であった。地下水位・地下水圧の低下は体積歪変化から予想される範囲におおむね入っている。ただし、帯水層が不圧の場合、体積歪感度が極めて小さいと予想され、地下水位・地下水圧は変化しないと考えられる。

4. 考察

地震後の地下水位・地下水圧・自噴量変化を計算する際に地震発生直後のデータを使用しなかった理由は以下の 2 つである。一つは地震波に対応した地下水位の振動である。地震発生直後では振動の影響を十分に除去できない事例があった。もう一つは地下水位が変化するには帯水層と観測井との間の水の移動が必要なことである。これは井戸貯留効果と呼ばれ、透水性が低い帯水層ほど効果が大きく、水位変化が現れるのに長い時間を必要とする。

地震後 1 日間での地下水位・地下水圧・自噴量変化の計算では、降雨・潮汐・大気圧変化に対する応答・長期トレンドなどを除去していない。地震後 1 日間で観測地域に降雨は殆ど無かったので、降雨の短期的な影響は無視できる。潮汐に対する応答は、丁度 1 日後のデータを使用しているため、影響は小さいと考えている。大気圧変化に対する応答に関しては、大気圧が 1 日間で $4 \sim 9$ hPa 程度上昇したため、観測井によっては最大 50 mm 程度の地下水位・地下水圧低下をもたらす可能性があると考えている（例えば、北川ほか, 2004）。長期トレンドは、季節変化・年周変化・経年変化を含む長期でゆっくりと変化する成分である。降雨量の長期変動が原因の一つと推測される。長期トレンドの様子は、観測井毎に異なり、その観測期間によっても異なる。地震後 1 日間での変化量の推定にバイアスを与えるかは不明である。しかしながら、地震後 1 日で地下水位・地下水圧が 50 mm 以上低下した観測井は 40 本あり、伊豆半島を除く地域では、やはり低下の割合が大きい。多くの観測井では、大気圧変化に対する地下水位・地下水圧の応答と地下水位・地下水圧の長期トレンドの影響が地震による地下水位・地下水圧変化よりも小さいことを示唆する。

第 2 表に観測井のストレーナ深度と地震後の地下水位・地下水圧・自噴量変化を整理した。体積歪が膨張の領域に位置する観測井のうち、地震後 1 日間で上昇した観測井は 17 本あった。伊豆半島では浅い観測井から深い観測井までの 6 本全てで上昇であった。その他の地域の観測井では 11 本が上昇であった。300 m より浅い観測井では地震後に上昇する割合は非常に小さい。600 m より深い観測井は数が少ないものの、500 m 以深の観測井では地震後に上昇する割合が大きい傾向が見られる。

伊豆半島では全ての観測井が上昇であり、これは地震の断層変位から推定される静的な体積歪変化とは逆センスである。過去、OMR では伊豆半島東方沖で発生する群発地震活動時の地殻変動に整合した地下水位変化をすることが示されていた（Koizumi *et al.*, 2004）。しかしながら、今回の地下水位変化は地震の断層変位から推定される体積歪変化に一致しなかった。

複数の観測井をもつ観測点における、観測井ごとの上昇/低下の関係は以下であった。一番深い観測井が地震後 1 日間で低下した観測点のうち、より浅い観測井で上昇した観測点は無かった。一方、5 つの観測点では、一番深い観測井が地震後 1 日間で上昇し、より浅い観測井では低下あるいは変化なしであった。これらの中には、地震直後には一旦低下した後、上昇に転じた観測井が 2 例含まれる。一般に、深い帯水層ほど被圧が良く、体積歪変化への感度が大きいと考えられる。そのため、水位上昇は膨張の体積歪変化では説明できない。

全体として、地下水位・地下水圧・自噴量の低下の主な原因は東北地方太平洋沖地震 (M9.0) の断層変位による静的な体積歪変化であるとの解釈で良いと考えている。これらの低下の中には、体積歪変化による低下に加えて、他の原因による低下が重なっている場合も含まれることが考えられる。一方、一部の観測井での地下水位・地下水圧・自噴量の上昇は、体積歪変化による低下よりも他の原因による上昇が大きいことを意味する。地震の断層変位による静的な体積歪変化以外にも、地震後の地下水位変化の原因はいくつか考えられてきた。考えられた原因には、地震動による膨張 (Bower, 1978)、液状化 (例えば、Wang *et al.*, 2001)、地殻全体の透水性増大 (Rojstaczer and Wolf, 1992) などがある。これらの原因はどちらかという浅部の地下水に顕著に影響すると考えられるため、深部ほど上昇する傾向を説明できない。他方、Brodsky *et al.* (2003) は地震波による地下水流が割れ目内の沈殿物バリアを一時的に除去することで遠地地震時にコサイスマックな地下水位変化が発生するモデルを提案している。また、Asai (2006) は、地震に伴って繰り返し観測された地下水位変化が 3×10^{-7} を超える歪地震動の通過後に発生したことを示し、観測井周辺の水理地質構造モデルに調和的な地下水位地震応答発生メカニズムを提案している。これらのメカニズムは透水性変化の一種ではあるが、特定の構造部分だけで透水性が変化することを想定している。以上のメカニズムは、水理地質環境と観測井の位置次第で、地下水位の上昇・低下のどちらも起こし得る。今回の地震では、非常に大きな地震波が発生し、ダイナミックに 10^{-5} を超える大きな歪地震動が観測されている (板場ほか, 2011)。この大きな歪地震動が、Brodsky *et al.* (2003) や Asai (2006) の場合と同様に、観測井周辺の水理地質環境に影響を与え、大きな地下水位変化を引き起こした可能性があると考えている。歪地震動による地下水位変化が大きな上昇の場合には、場所によって、地震の断層変位による静的な体積歪変化から推定される水位低下を越えるケースが生じたのではないかと推測している。

5. まとめ

2011 年東北地方太平洋沖地震に伴い、地下水位・水圧・自噴量変化が日本の広い範囲で観測された。地震後 1 日間での地下水位・地下水圧・自噴量変化の多くは低下であり、地震の断層変位による静的な体積歪変化と矛盾しない。したがって、これらの低下の主な原因は体積歪変化と考えることができる。しかしながら、一部の観測井では上昇であり、静的な体積歪変化と矛盾する。上昇した観測井は伊豆半島に位置する全ての観測井とそれ以外の地域の深い観測井の一部であった。これらの上昇の有力な原因のひとつは大きな地震波 (大きな歪地震動) と考えられるが、原因を特定するには、観測井ごとに水理特性を把握し、他の地震による地下水位変化の再現性を確認する必要がある。

謝辞 新たな観測施設の整備および従来の観測施設の維持管理にあたっては、産総研の職員をはじめ、国・地方自治体・民間の多くの関係者に協力を頂いています。ここに記して感謝の意を表します。

文献

- Asai, Y. (2006) Study on the mechanism of co-seismic groundwater level changes, Ph.D dissertation, Graduate School of Science, Hokkaido University.
- Bower, D. R. and Heaton, K. C. (1978) Response of an aquifer near Ottawa to tidal forcing and the Alaskan earthquake of 1964, *Can. J. Earth Sci.*, 15, 331–340.
- Brodsky, E. E., Roeloffs, E. A., Woodcock, D. and Gall, I. (2003) A mechanism for sustained groundwater pressure changes induced by distance earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 108, 2390, doi:10.29/2002JB002321.
- 板場智史・松本則夫・北川有一・小泉尚嗣 (2011) 歪ステップから推定した 2011 年東北地方太平洋沖地震の断層モデル, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, MIS036-P25.
- 北川有一・小泉尚嗣・高橋 誠・松本則夫・佐藤 努・桑原保人・伊藤久男・長 秋雄・佐藤隆司・佃 栄吉 (2004) 近畿地方及びその周辺における産業技術総合研究所地下水観測点での地下水位の大気圧応答, 地質調査研究報告, 55, 129-152.
- Kitagawa Y., Koizumi, N., Takahashi, M., Matsumoto, N. and Sato, T. (2006) Changes in groundwater levels or pressures associated with 2004 off the west coast of northern Sumatra Earthquake (M9.0), *Earth Planets and Space*, 58, 173-179.
- Koizumi N., Kitagawa, Y., Matsumoto, N., Takahashi, M., Sato, T., Kamigaichi, O. and Nakamura, K. (2004) Preseismic 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.

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 (2009)
地下水等総合観測による東海・東南海・南海地
震予測, 地質ニュース, 663, 29-34.
国土地理院 (2011) 平成 23 年 (2011 年) 東北地方
太平洋沖地震に伴う地殻変動と震源断層モデ
ル, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic110422-index.html>.
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.

Rojstaczer, S. and Wolf, S. (1992) Permeability changes
associated with large earthquakes: An example from
Loma Prieta, California, *Geology*, 20, 211-214.
Wang, C. Y., Cheng, L. H., Chin, C. V. and Yu, S. B.
(2001) Coseismic hydrologic response of an alluvial
fan to the 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan,
Geology, 29, 831-834.
湯原浩三・瀬野錦蔵 (1969) 温泉学, 地人書館,
293pp.

(受付: 2011 年 7 月 11 日, 受理: 2011 年 10 月 4 日)

第 1 表. 観測井のストレーナ深度と地震後 1 日間での変化量と地震の断層変位による静的な体積歪変化。
Table 1. The screen depths of the observation wells, the groundwater changes a day after the earthquake and the
static coseismic strain changes due to the fault slip of the earthquake.

観測井番号	観測点名と観測井名	コード	ストレーナ深度 [m]	備考	測定項目 注1	地震後1日	体積歪
						間での変化 [mm] or [L/min]	変化 [1e-6]
1-1	伊達 孔1	DTE1	136	175		-96.8	0.17
1-2	伊達 孔2	DTE2	80	114		-52.8	0.17
2	冷川南	HKW	130	147		104.9	0.17
3	大室山北	OMR	130	146		14.6	0.17
4-1	伊東1号井	AKZ1	620	779	自噴量	35.8	0.15
4-2	伊東6号井	AKZ6	584	620	自噴量	110.9	0.15
5	江戸屋	EDY		深度85m		288.1	0.19
6	松原174号井	174		深度88.7m		76.0	0.19
7-1	静岡栗原 孔1	KNG1	309	320		-328.1	0.21
7-2	静岡栗原 孔2	KNG2	224	235		-926.5	0.21
7-3	静岡栗原 孔3	KNG3	9	20		-136.4	0.21
8	榛原	HAI	71	154		-165.2	0.15
9	小笠	OGS	128	145		-57.4	0.13
10	御前崎	OMZ	104	164	水圧	-33.9	0.12
11-1	掛川 孔1	KKZ1	95	128		-20.7	0.15
11-2	掛川 孔2	KKZ2	15	26		-9.9	0.15
12	大東	DIT	145	222		-103.1	0.13
13-1	浜岡 保育園	HMO	154	265		-21.3	0.12
13-2	浜岡 公民館 孔1	HMZ1	156	200		-32.9	0.12
13-3	浜岡 公民館 孔2	HMZ2	17	29		-418.5	0.12
14-1	豊橋 孔1	TYH1	182	198		-326.9	0.14
14-2	豊橋 孔2	TYH2	134	150		-216.4	0.14
15	豊橋多米	TYE	186	208		-184.4	0.14
16-1	豊田神殿 孔1	TYS1	405	427		3.0	0.18
16-2	豊田神殿 孔2	TYS2	149	154		-255.3	0.18
16-3	豊田神殿 孔3	TYS3	27	32		0.6	0.18
17-1	北勢 内管	HKS _i	429	439		-68.9	0.16
18	愛荘香之庄	HTS	338	360		212.0	0.15
19	花折	HNO	235	246	水圧	-150.8	0.14
20	大原	OHR	256	267		-348.8	0.13
21-1	黄檗 孔1	OBK1	357	374		-124.9	0.12
22	広陵	KRY	412	434		-139.5	0.09
23	五條	GOJ	313	330		-66.6	0.08
24	岩出東坂本	NGR	402	446		-7.8	0.07
25	天王寺	TNN	447	464		-29.8	0.09
26	池田	IKD	540	561		83.4	0.10
27	猪名川	ING	700	823		-31.3	0.10
28	宝塚	TKZ	188	210	水圧	-113.0	0.10
29	平林	HRB	630	650		-183.3	0.08
30	西淡	SED	210	225	水圧	-16.1	0.07
31-1	安富 孔1	YST1	254	265	水圧	109.2	0.09
31-2	安富 孔2	YST2	144	150	水圧	-189.1	0.09
31-3	安富 孔3	YST3	144	150	水圧	-13.9	0.09
32	安富北	YSK	132	137	水圧	-112.7	0.09
33	鳴門大麻	BND	419	430	水圧	-2.4	0.06
34	奥道後	ODG		深度392m		403.2	0.04
35-1	津安濃 孔1	ANO1	503	514	水圧	-396.5	0.12
35-2	津安濃 孔2	ANO2	198	209	水圧	-354.8	0.12
35-3	津安濃 孔3	ANO3	12	23		-6.8	0.12
36-1	松阪飯高 孔1	ITA1	548	559	水圧	-48.8	0.09
36-3	松阪飯高 孔3	ITA3	11	16		-19.2	0.09
37-1	紀北海山 孔1	MYM1	419	430	水圧	-381.7	0.07
37-2	紀北海山 孔2	MYM2	140	151		-136.7	0.07
37-3	紀北海山 孔3	MYM3	20	25		1.5	0.07
38-1	熊野磯崎 孔1	ICU1	523	533		-25.1	0.06
38-2	熊野磯崎 孔2	ICU2	96	107		-259.5	0.06

第 1 表. 続き
Table 1. Continue.

観測井番号	観測点名と観測井名	コード	ストレーナ深度 [m]	備考	測定項目 注1	地震後1日	体積歪
						間での変化 [mm] or [L/min]	変化 [1e-6]
38-3	熊野磯崎 孔3	ICU3	13	19		-26.3	0.06
39-2	田辺本宮 孔2	HGM2	181	192	水圧	150.2	0.05
39-3	田辺本宮 孔3	HGM3	24	30		-39.6	0.05
40-1	串本津荷 孔1	KST1	509	520		-201.9	0.04
40-2	串本津荷 孔2	KST2	133	144		-68.3	0.04
40-3	串本津荷 孔3	KST3	20	31		-99.6	0.04
41-1	阿南桑野 孔1	ANK1	489	516	水圧	148.6	0.05
41-2	阿南桑野 孔2	ANK2	90	101		-121.2	0.05
41-3	阿南桑野 孔3	ANK3	16	22		-252.1	0.05
42-1	室戸岬 孔1	MUR1	408	418		-3.8	0.03
42-2	室戸岬 孔2	MUR2	130	141		-0.9	0.03
42-3	室戸岬 孔3	MUR3	20	31		-1.6	0.03
43-1	高知五台山 孔1	KOC1	486	507		-87.9	0.04
43-2	高知五台山 孔2	KOC2	169	174		-79.5	0.04
43-3	高知五台山 孔3	KOC3	21	25		-198.2	0.04
44-1	須崎大谷 孔1	SSK1	356	372	水圧	47.6	0.03
44-2	須崎大谷 孔2	SSK2	91	102		-248.3	0.03
44-3	須崎大谷 孔3	SSK3	16	22		-225.9	0.03
45-1	松山南江戸 孔1	MAT1	512	529		12.6	0.04
45-2	松山南江戸 孔2	MAT2	170	181		-6.9	0.04
45-3	松山南江戸 孔3	MAT3	17	23		-16.6	0.04
46-1	西予宇和 孔1	UWA1	446	457	水圧	-191.5	0.03
46-2	西予宇和 孔2	UWA2	69	80		-3.9	0.03
46-3	西予宇和 孔3	UWA3	13	18		-13.2	0.03
47-2	土佐清水松尾 孔2	TSS2	239	244		-144.2	0.02
47-3	土佐清水松尾 孔3	TSS3	129	135		-23.2	0.02
48	宮川	SGR	257	268		-30.0	0.44
49	跡津川	ATS	645	676	注2	185.0	0.48
50	本宮	HNG	794	997		117.4	0.05
51	勝浦	KTU		深度450m		210.7	0.04
52	忠類	CRU	871	1190	自噴量	20.7	-0.12

注1: 記述無しは地下水位の測定を意味する

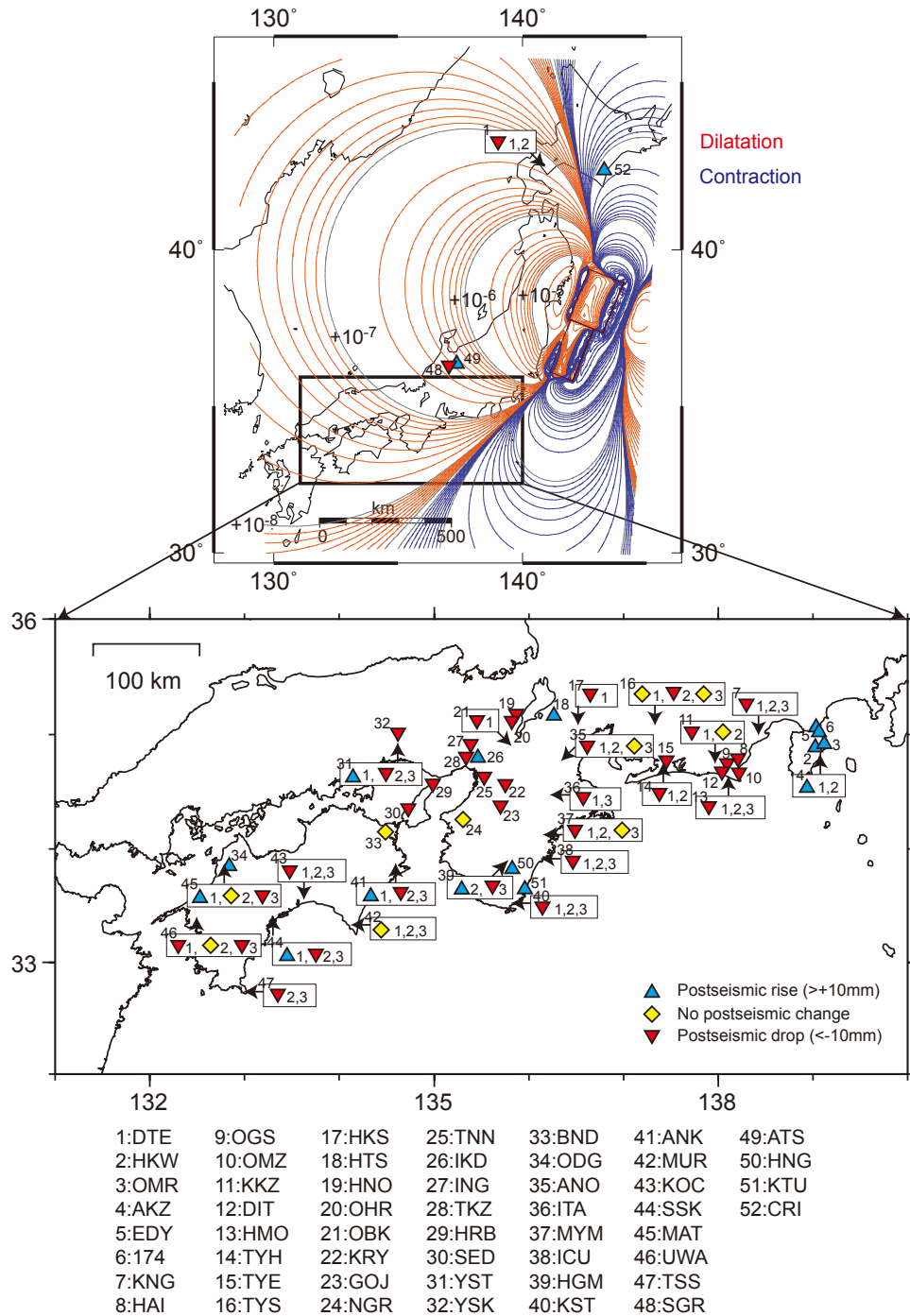
注2: ストレーナ深度は自然地形の地表面を基準とした値を使用した

第 2 表. 地震後 1 日間での変化と観測井のストレーナ深度の関係.
Table 2. The relationship between groundwater changes a day after the earthquake and screen depths of the observation wells.

ストレーナの最深部[m]	体積歪が膨張の領域で地震後1日間の変化が上昇した観測井 (そのうち伊豆半島の観測井の数)	地震後1日間の変化が無い観測井	体積歪が膨張の領域で地震後1日間の変化が低下した観測井	体積歪が収縮の領域で地震後1日間の変化が上昇した観測井
0-100	2(2)	6	11	0
100-200	3(2)	2	19	0
200-300	1(0)	0	12	0
300-400	3(0)	0	3	0
400-500	1(0)	4	5	0
500-600	3(0)	0	5	0
600-700	2(1)	0	1	0
700-800	1(1)	0	0	0
800-900	0(0)	0	1	0
900-1000	1(0)	0	0	0
1000-1100	0(0)	0	0	0
1100-1200	0(0)	0	0	1

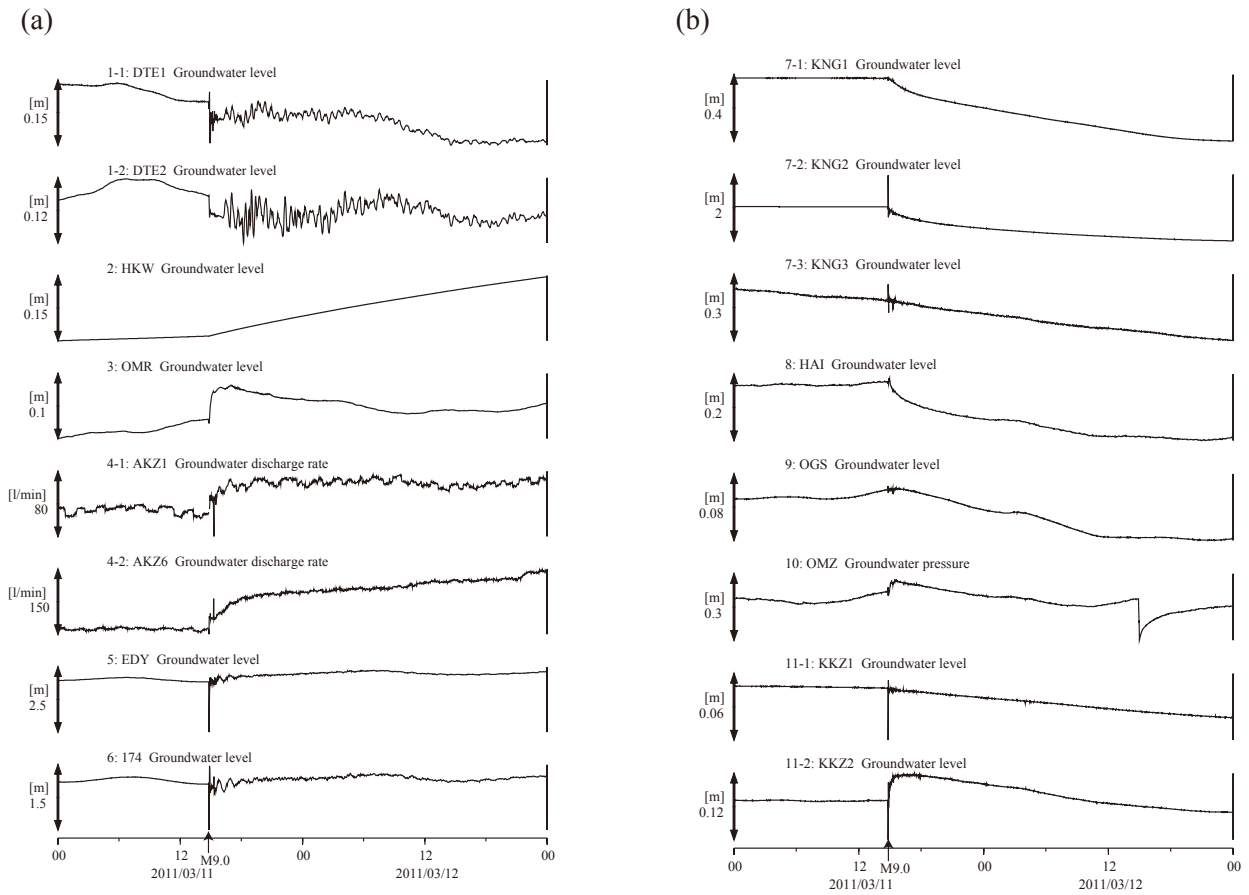
ストレーナ深度は自然地形の地表面を基準とした値を使用した

ストレーナ深度が不明の場合、観測井の深度で代用した



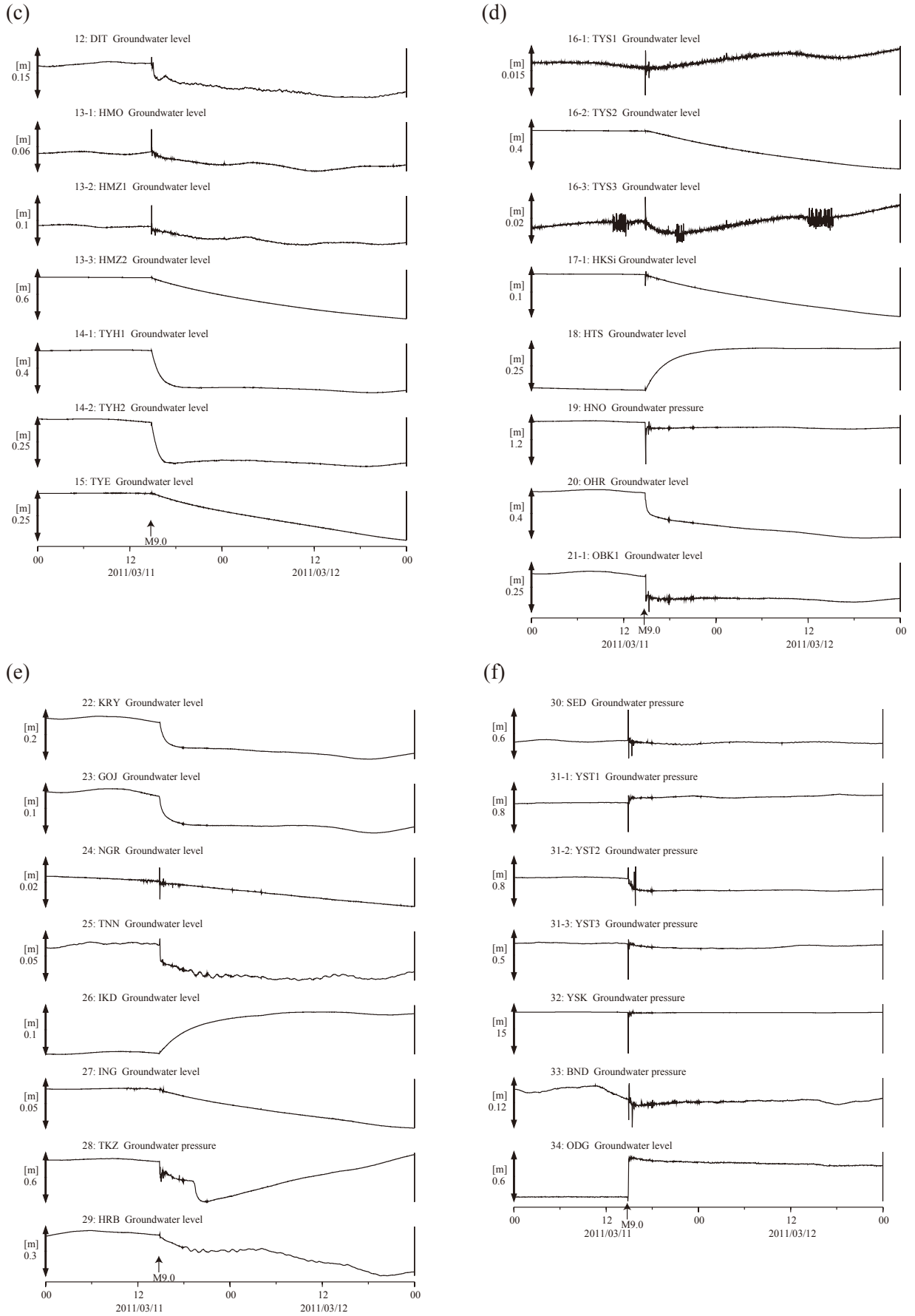
第1図. 産総研の観測井における、東北地方太平洋沖地震後1日間での地下水位・地下水圧・自噴量変化。上図には、地震の断層変位による静的な体積歪変化の分布と4観測点(5観測井)での地下水位・自噴量変化を示す。下図には東海・近畿・四国の48観測点(82観測井)での地下水位・地下水圧・自噴量変化を示す。複数の観測井がある観測点では、観測点ごとに深い観測井から順に1,2,3と通し番号を付けて、観測点番号を付けた矩形の中にそれぞれの観測井での変化を示している。

Fig. 1. Distribution of observed changes in groundwater levels, groundwater pressures and discharge rates a day after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake at the observation wells of Geological Survey of Japan. The upper map shows distribution of the static coseismic volumetric strain changes due to the fault slip of the earthquake and observed changes in groundwater levels and discharge rates at five observation wells of four observatories. The lower map also shows observed changes in groundwater levels, groundwater pressures and discharge rates at 82 observation wells of 48 observatories in Tokai, Kinki and Shikoku. At the observatories with two or three observation wells, the wells are serially numbered in order of depth from the deepest to the shallowest at each observatory. The change at each of the wells is shown in the rectangle with the observatory number.



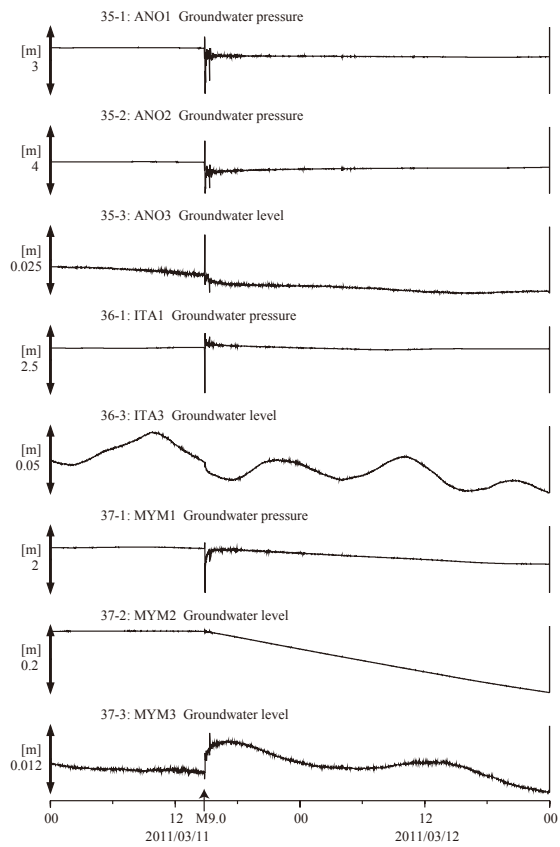
第 2 図. 地震前後の地下水位・地下水圧・自噴量の変化の観測結果. 各グラフには, 観測井番号, 観測井コード, データの種類 (地下水位・地下水圧・自噴量) を記している. 1つの観測点に1つの観測井がある場合, 観測井番号は観測点番号と同じである. 1つの観測点に複数の観測井がある場合, 観測井番号は観測点番号に観測井の通し番号 (1, 2 or 3) をハイフンでつないだものである. 地下水圧のデータは水位のように m で表示している.

Fig. 2. Observed changes in groundwater levels, groundwater pressures and discharge rates related to the earthquake. In each graph, well number, well code and data type (groundwater levels, groundwater pressures or discharge rates) are shown. At the observatories with one observation well, well number is the same as the observatory number. At the observatories with two or three observation wells, the well number links serial number of the well (1, 2 or 3) to observatory number by a hyphen. The groundwater pressure is also expressed in meters like groundwater level.

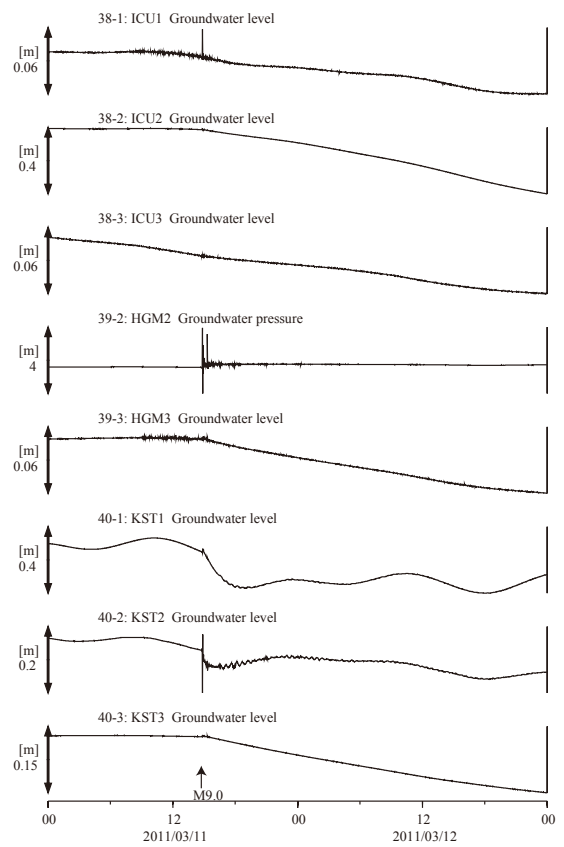


第2図. 続き.
Fig. 2. Continue.

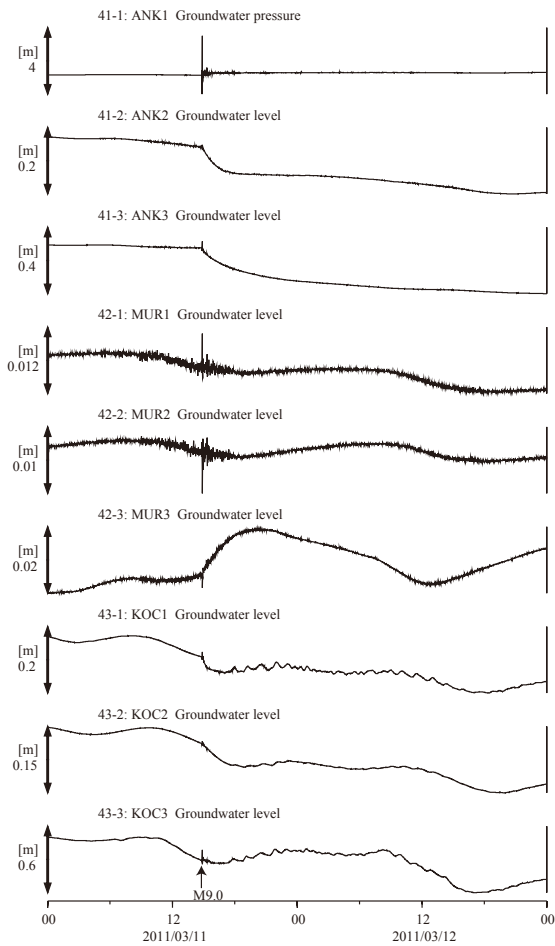
(g)



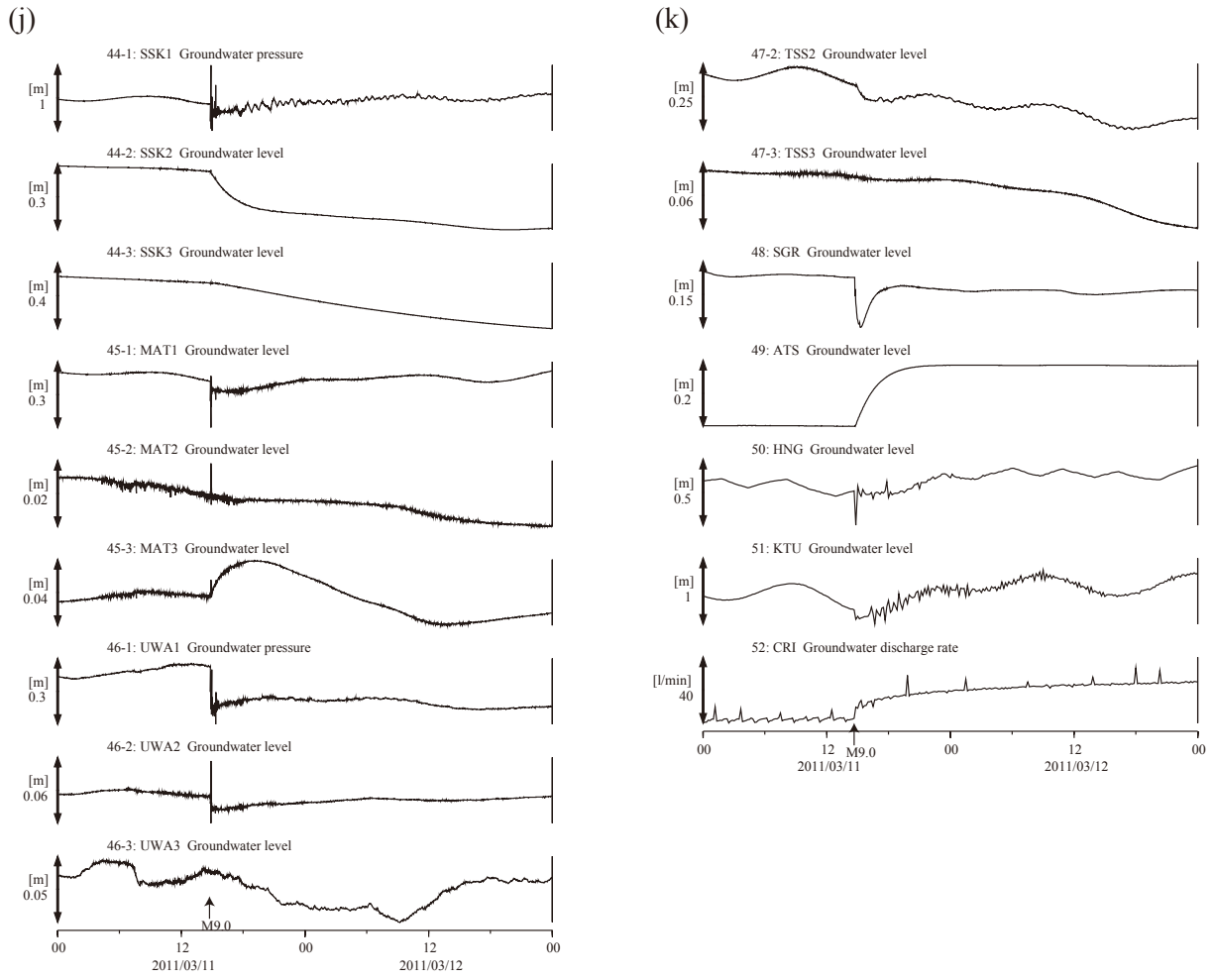
(h)



(i)



第 2 図. 続き.
Fig. 2. Continue.



第2図. 続き.
Fig. 2. Continue.