

7 - 4 近畿地域の地下水位観測結果 (1998年5月～1998年10月) (2)

The Variation of the Groundwater Level Observed by Telemetry System in the Kinki District , Japan (1998.5-1998.10) (2)

地質調査所
Geological Survey of Japan

1998年5月～1998年10月の近畿地域におけるテレメータによる地下水位の観測結果を報告する。地質調査所では、平成7年度および平成8年度補正予算で近畿およびその周辺地域に28箇所 - 34観測井(1カ所に2つ以上の観測井がある場合や、1つの観測井でも2カ所のストレナ位置の水位を個別に測定しとくがあり、それぞれを個別にカウントしている)の地下水観測施設を整備しており^{1),2)}。今回結果を報告するのはそのうちの19箇所(22観測井)である(第1図,第1表,hks・kwnはケーシングを二重にして内管(hks-i, kwn-i)と外管(hks-o, kwn-o)で別々の深さの地下水を図っている。obkには観測井が2つあってobk1, obk2と名付けている)。第2図～第6図は1時間値の生データと補正値を示してある。補正値は潮汐解析プログラムBAYTAP-G³⁾によって、気圧・潮汐・不規則ノイズの影響を取り除いた後のトレンドである。なお、tkz, obk2, yskは地上より上に水位が来るので、井戸口を密閉して水圧を測定しそれを水位に換算している。

1998年5月～7月の1時間値を主に用いて、各観測井の潮汐成分をBAYTAP-Gで計算した。O₁とM₂分潮で1mm以上の振幅が得られたのは上記22観測井中16観測井である(第1図,第7図)。また第8図には、地球潮汐による理論体積歪変化からの位相差を示した。体積歪の縮みと水位の上昇が一致したときの位相差を0度としている。また、理論潮汐を計算するプログラムGOTIC⁴⁾を用いて、地球潮汐だけでなく海洋潮汐による加重変化も加味した、各観測井における体積歪の潮汐変化の振幅と位相(地球潮汐による理論体積歪変化からの位相のずれ)をM₂分潮とO₁分潮で計算した(第9図,第10図)。ただし、淡路島海岸沿いのhrb,ikh, sedについては、GOTICが瀬戸内海の潮位を太平洋の潮位で代用している等の理由で正確に計算できないので算出していない。第9図・第10図から水位の体積歪変化に対する感度(以降、単に歪感度とする)と位相のずれを求めたのが第11図・第12図である。

歪感度に関して(第11図)、水位変化が単純に体積歪変化に比例するならば、 Δh と $\Delta V/V$ は一致する筈であるが必ずしもそうはならない。帯水層の被圧が不十分だと、M₂の振幅の方が大きくなるし(1種のハイパスフィルターの効果)、透水係数が十分大きくないと逆にM₂の振幅が小さくなるのである(1種のローパスフィルターの効果)。位相に関しては(第12図)、水位変化が単純に体積歪変化に比例するならば、 Δh と $\Delta V/V$ は一致して0度の所に並ぶ筈であるが必ずしもそうはならない。位相が遅れるケースが多いのは、帯水層から井戸に水が出入りするのに時間がかかるため、これが上述のローパスフィルターの効果を生み、M₂の方が位相の遅れが大きくなる。逆にハイパスフィルターの効果が生じると位相が見かけ上進む⁵⁾。

第11図から歪感度は0.2～6mm / 10⁻⁹strain であり、水位計の分解能が0.2mm程度(tkz, yskは1mm程度)なので、これら13観測井では潮汐の周波数帯で10⁻⁹～10⁻¹⁰またはそれより大きい体積歪変化

を検出できることがわかる。他方、潮汐変化の振幅が 1mm未満の観測井は、体積歪変化の M_2 分潮の振幅が 10^{-8} 程度であることを考慮すると、歪感度は $0.1\text{mm} / 10^{-9}\text{strain}$ 未満であることがわかる。

1998年3月～10月に第1図の範囲で、M4以上で深さ30kmより浅い地震は、4月22日20時32分に三重県北部に発生したM5.4の地震だけである(第1図)。この地震について、11の観測井(kwn-i, kwn-o, hks-i, hks-o, hts, knm, obk1, obk2, ohr, tkz, ysk)でコサイスマック～ポストサイスマックな水位変化が観測された(第13図・第14図)。このうち、ステップ状の水位変化があると判断される9つの観測井について、久家(1998)⁶⁾による同地震の点震源モデルと岡田(1992)⁷⁾の歪計算プログラムで観測井毎のコサイスマックな体積歪ステップを計算し、歪感度を求めたのが表2である。さらにhtsにはボアホール型の水平3成分歪計があるので、観測されたコサイスマックな面積歪変化に $2/3$ を乗じて体積歪変化を算出し、歪感度を求めた(第3表)。htsでは理論体積歪値と観測値のセンスが逆で値も大きく変わるが、これは、歪計算プログラムが均質な半無限の岩盤に相当する弾性体を想定しているのに対し、htsの歪計が堆積層に設置されているのが主因と考えられる。

潮汐周波数帯における歪感度は、 $\text{knm} \cdot \text{kwn-i} \cdot \text{obk1} \cdot \text{obk2} \cdot \text{ohr}$ で $0.2 \sim 1\text{mm}/10^{-9}$ (第11図)および $\text{hks-i} \cdot \text{hks-o} \cdot \text{hts} \cdot \text{kwn-o}$ で $0.1\text{mm} / 10^{-9}\text{strain}$ 未満であることを考慮すると、第2・3表における地震時の歪感度は潮汐の周波数帯のそれより数倍～数千倍程度に見積もられることがわかる。またそのセンスもkwn-iでは負(つまり体積縮小時に水位増加、体積増大の時に水位減少)とはならない。これについては、htsにおけるような理論体積歪変化値と実際の値との違いや、体積歪変化以外の要因(透水係数変化、液状化)による水位変化が重なっている等の理由で説明できると思われる。(小泉尚嗣・佃 栄吉・高橋 誠・佐藤 努・松本則夫・伊藤久男・桑原保人・長 秋雄・佐藤隆司)

参 考 文 献

- 1) 佃 栄吉：変動解析研究室の現在の研究内容と今後の展望 - 東海地域の地震予知研究及び内陸活断層の活動モニタリング - , 地質ニュース, 523 (1998), 29-34 .
- 2) 地質調査所:近畿地域の地下水位観測結果(1998年3月～1998年4月)(1), 連絡会報, 60(1998), 533-536 .
- 3) 石黒真木夫・佐藤忠広・田村良明・大江昌嗣:地球潮汐データ解析 - プログラム BAYTAP の紹介 - ,統計数理研究所彙報, 32 (1984), 71-85 .
- 4) Sato, T., and H. Hanada : A Program for the Computation of Oceanic Tidal Loading Effects 'GOTIC', Publ.Int. Latti.Obs.Mizusawa, 18 (1984), 29-47 .
- 5) 小泉尚嗣：地殻歪と地殻内流体, 火山, 39 (1994), 169-176 .
- 6) 久家慶子: 強震計波形データを用いた地震の震源パラメタの自動決定、平成7～9年度科学研究費基盤研究(A)(1)研究成果報告集「地震防災を目的とした地震情報の即時伝達システムに関する研究」(研究代表者:入倉孝次郎) (1998), 10-30 .
- 7) Okada, Y.: Internal Deformation due to Shear and Tensile Faults in a Half-space, Bull. Seism.Soc.Amer., 82 (1992), 1018-1040 .

第1表 データを紹介した19観測点(22観測井)のリスト

Table1 List of the 19 observation stations and 22 wells

Station Name	Well Name	Height (m)	Depth (m)	Depth of screen (m)	Depth of water level meter (m)
bnd	bnd	25	500	419~430	9
goj	goj	236	334	313~330	22
hks	hks-i	116	511	491~511	11
		116	511	100~110	29
	hks-o	116	511	184~215	
		116	511	258~269	
hrb	hrb	30	747	630~650	5
hts	hts	125	600	338~360	12
ikd	ikd	35	800	540~561	32
ikh	ikh	80	1000	224~246	34
ing	ing	85	1000	700~823	10
knm	knm	110	250	178~195	6
kry	kry	40	600	412~434	45
kwn	kwn-i	76	300	264~280	49
	kwn-o	76	300	67~84	34
ngr	ngr	90	500	402~446	85
nnn	nnn	12	458	427~442	13
obk	obk 1	52	389	357~374	13
	obk 2	59	122	96~113	2
ohr	ohr	217	272	256~267	12
sed	sed	3	250	210~225	10
tkz	tkz	82	1000	188~210	0
tnn	tnn	10	600	447~464	45
ysk	ysk	150	150	132~137	1

第2表 1998年4月22日の三重県北部の地震(M5.4)のコサイスマック~ポストサイスマックな水位変化と地震モデルから計算されるコサイスマックな体積歪変化から見積もられる水位歪感度

Table.2 Observed coseismic and/or postseismic well water level changes caused by an earthquake(M5.4) in the northern part of Mie Prefecture on April 22, 1998 and strain sensitivity of the well water levels estimated from theoretical coseismic volumetric strain changes which is calculated from the fault models for the earthquake.

Well Name	TCV* ¹ 10 ⁻⁹	OCW* ² mm	Error mm	SS* ³ mm/10 ⁻⁹
hks-i	-0.53 ~ 8.59	-61.5	0.5	116.01 ~ -7.22
hks-o	-1.44 ~ 8.70	655	20	-467.30 ~ 77.60
hts	0.72 ~ 2.05	292	1	408.97 ~ 142.07
knm	0.08 ~ 0.66	-8.9	1	-117.91 ~ -11.92
kwn-i	-6.95 ~ -13.25	-1.6	0.5	0.30 ~ 0.08
kwn-o	-7.32 ~ -14.19	4.5	0.5	-0.68 ~ -0.28
obk 1	0.08 ~ 0.17	-2.4	0.5	-38.58 ~ -11.44
obk 2	0.08 ~ 0.17	-5.2	1	-82.28 ~ -25.20
ohr	0.13 ~ 0.37	-16.5	0.5	-126.62 ~ -43.06

*1. Theoretical coseismic volumetric strain changes.

*2. Observed coseismic and/or postseismic well water level changes.

*3. Strain sensitivity.

第3表 hts における，三重県北部の地震（M5.4）の際に観測されたコサイスマックな体積歪変化と
コサイスマック～ポストサイスマックな水位変化から計算される歪感度

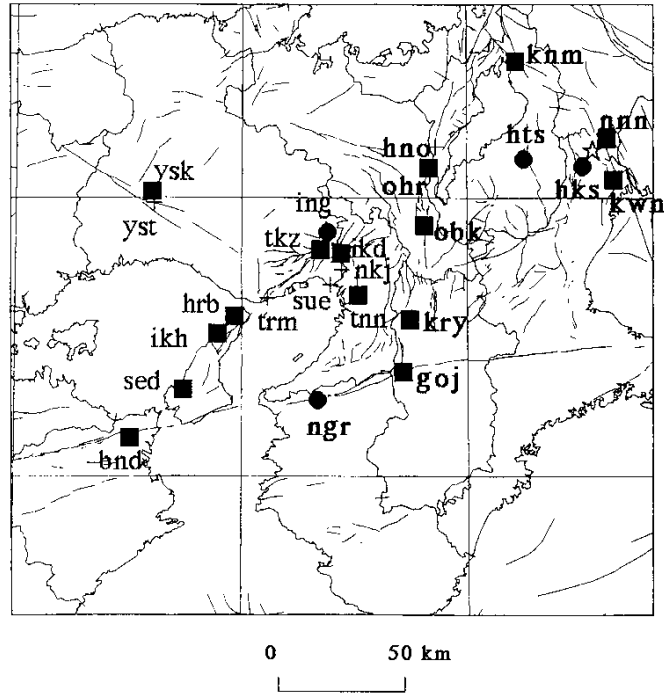
Table.3 Observed coseismic and/or postseismic well water level change caused by the earthquake(M5.4) in
the northern part of Mie Prefecture and the strain sensitivity estimated from observed coseismic
volumetric strain change at hts

Well Name	OCV* ¹ 10 ⁻⁹	Error ₉ 10 ⁻⁹	OCW* ² mm	Error mm	SS* ³ mm/10 ⁻⁹	Error mm/10 ⁻⁹
hts	-18.700	3.300	292	1	-15.6	2.8

*1. Observed coseismic volumetric strain changes.

*2. Observed coseismic and/or postseismic well water level changes.

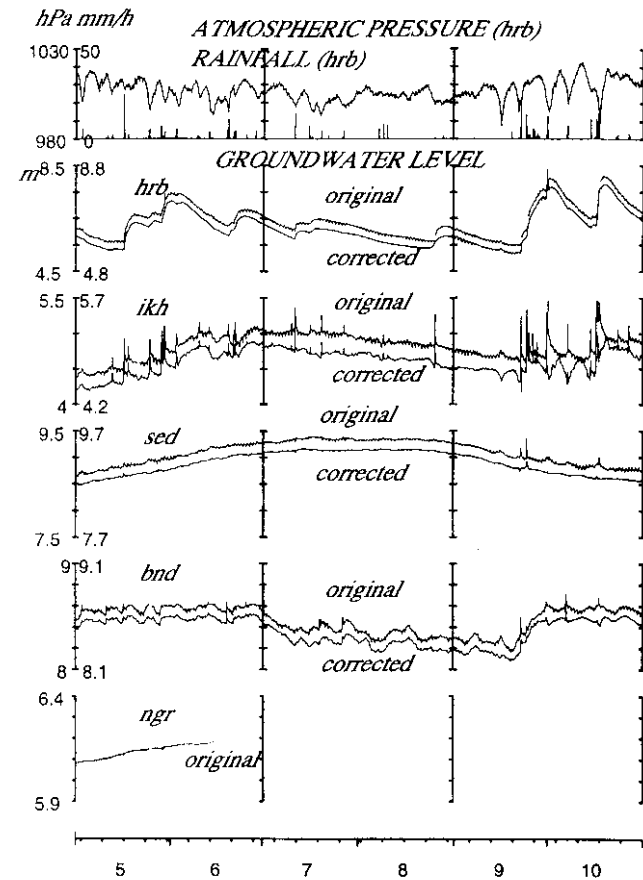
*3. Strain sensitivity.



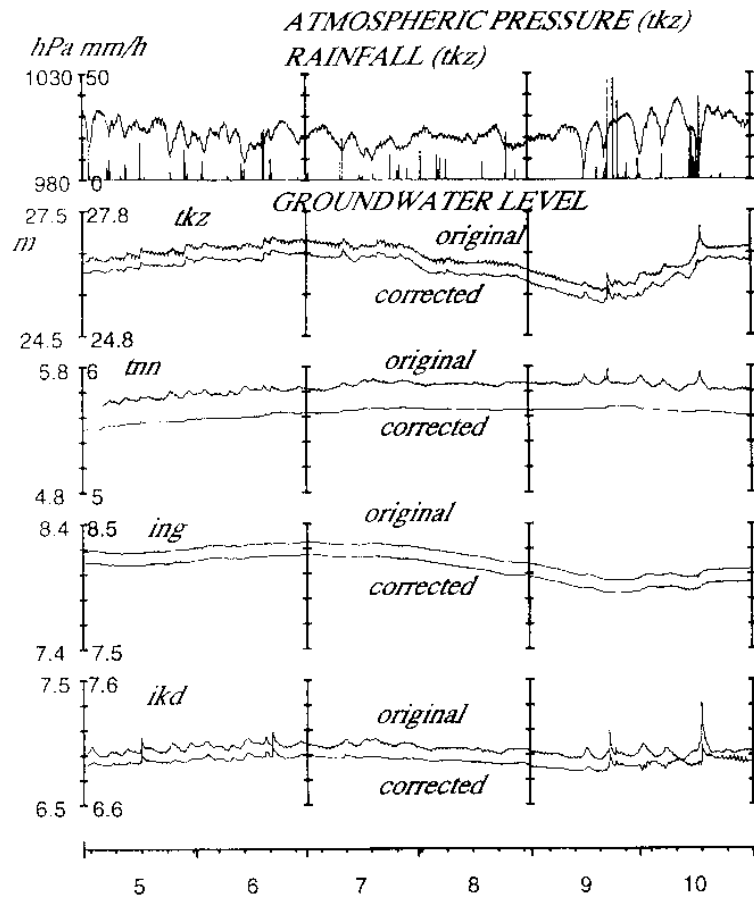
第 1 図 地質調査所の地下水観測点の分布 (• • +) と活断層。
印は 1998 年 4 月 22 日の三重県北部の地震 (M5.4) 。 • の
観測点の観測井の結果を今回紹介している。 ■ は水位に M2 と
O1 分潮において 1mm 以上の振幅で潮汐変化が認められる点。

Fig.1 Distribution of active faults and observation stations of Geological Survey of Japan (+ , • , •). Solid circles and squares show the stations where the observed data are shown in this report. Especially at the stations expressed by the solid squares, there are tidal oscillations of the groundwater level whose amplitudes are 1mm or greater at O1 and M2 components.

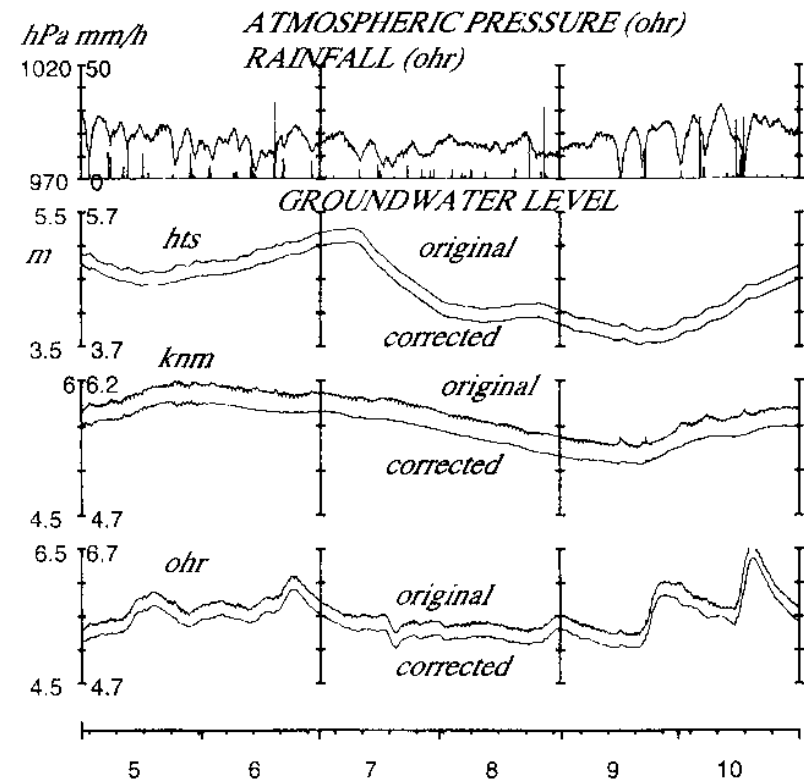
• :Epicenter of an earthquake(M5.4) occurring in the northern part of Mie Prefecture on April 22, 1998.



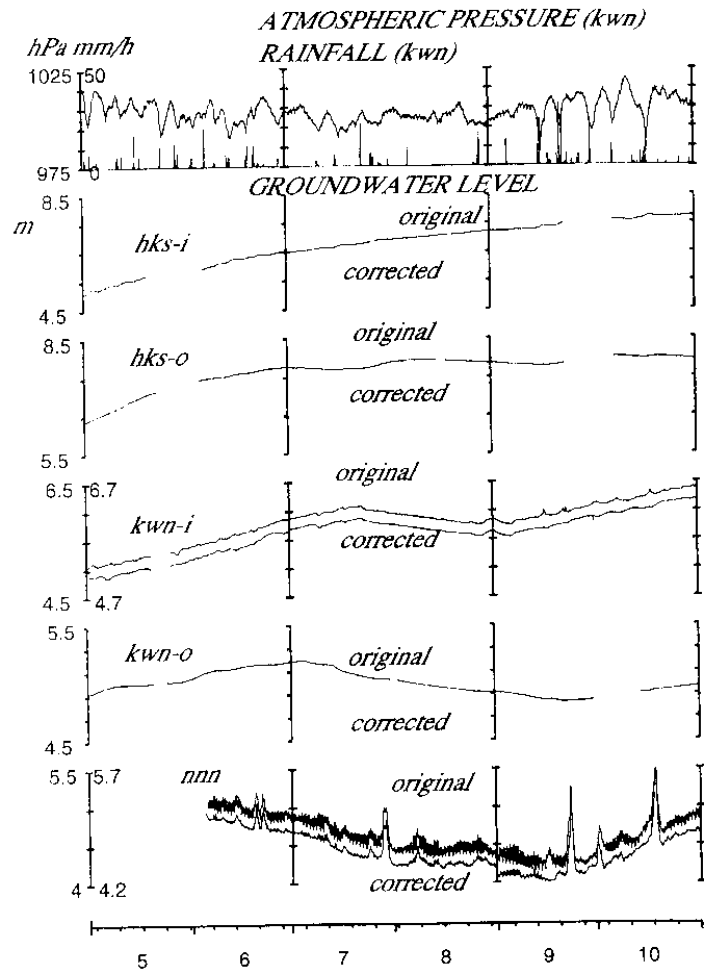
第 2 図 hrb・ikh・sed・bnd・ngr の 1998 年 5 月～10 月の観測結果
Fig.2 Observational results at the wells of hrb, ikh, sed, bnd and ngr from May 1998 to October 1998.



第3図 tkz・tnn・ing・ikdの1998年5月～10月の観測結果
 Fig.3 Observational results at the wells of tkz,tnn,ing and ikd.

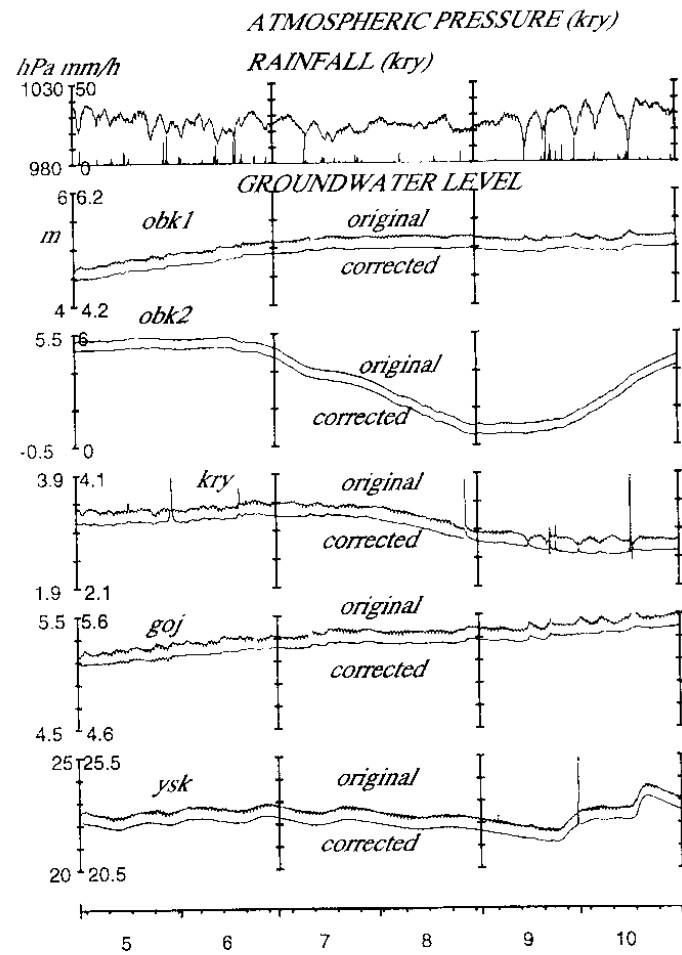


第4図 hts・knm・ohrの1998年5月～10月の観測結果
 Fig.4 Observational results at the wells of hts, knm and ohr.



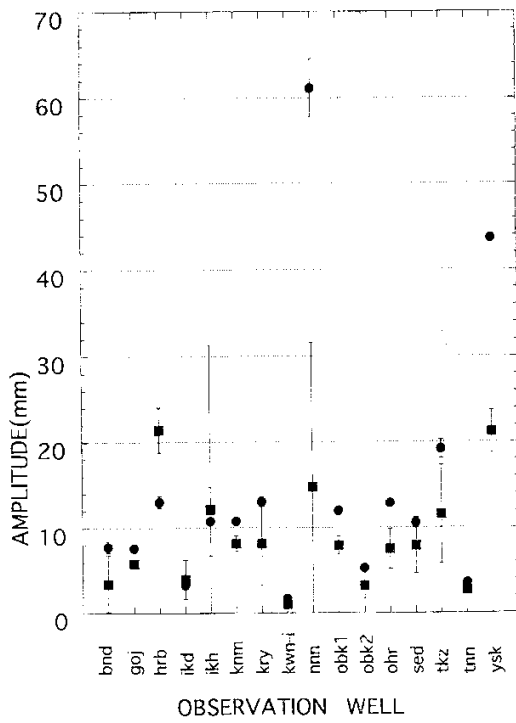
第5図 hks-i・hks-o・kwn-i・kwn-o・nnn の1998年5月～10月の観測結果

Fig.5 Observational results at the wells of hks-i, hks-o, kwn-i, kwn-o and nnn.



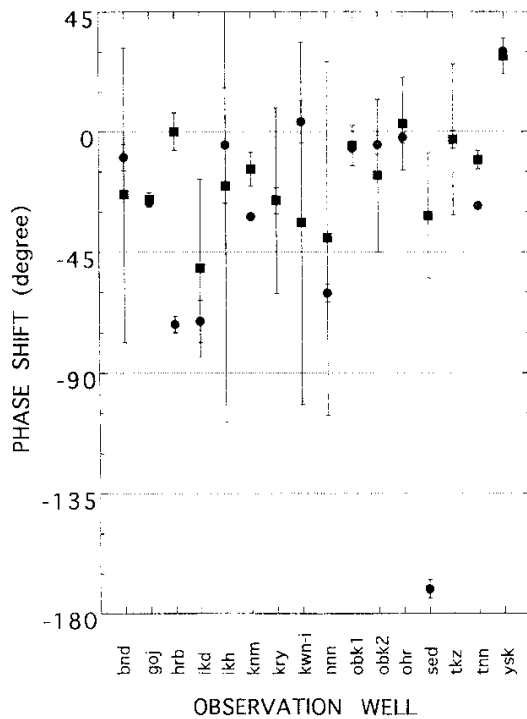
第6図 obk1・obk2・kry・goj・ysk の1998年5月～10月の観測結果

Fig.6 Observational results at the wells of obk1, obk2, kry, goj and ysk.



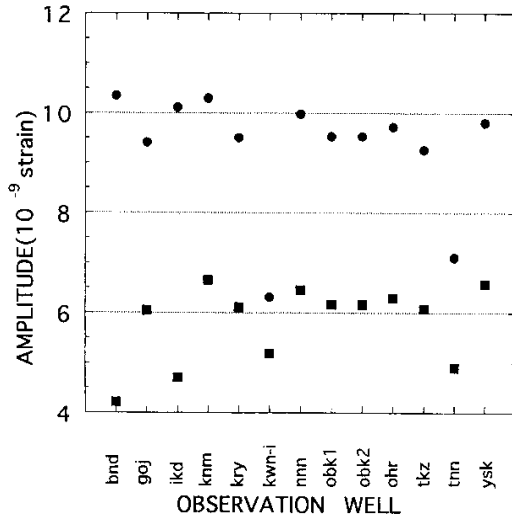
第7図 M_2 分潮と O_1 分潮で1 mm以上の振幅が認められる16井戸の個々の分潮における水位の振幅。誤差はBAYTAP-Gから算出される標準偏差の2倍。

Fig.7 Tidal amplitudes of the 16 well water levels which are 1mm or greater at O_1 and M_2 components. The error bars show twice the respective standard deviation estimated by BAYTAP-G. \bullet : O_1 component, \blacksquare : M_2 component.



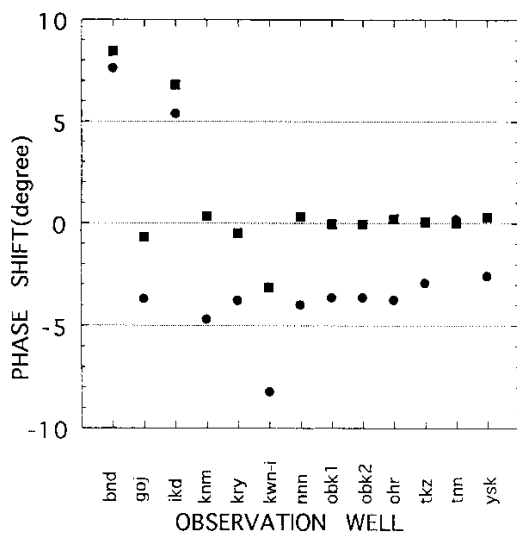
第8図 上述の16の井戸における M_2 分潮(\blacksquare)と O_1 分潮(\bullet)の地球潮汐による理論体積歪変化からの位相のずれ。大部分の井戸水位は理論体積歪変化より遅れていることが分かる。誤差はBAYTAP-Gから算出される標準偏差の2倍。

Fig.8 Phase shifts of the 16 well water levels from theoretical tidal volumetric strain changes caused by Earth tides. Most of them are delayed from the theoretical tidal volumetric strain changes. The error bars show twice the respective standard deviation estimated by BAYTAP-G. \bullet : O_1 component, \blacksquare : M_2 component.



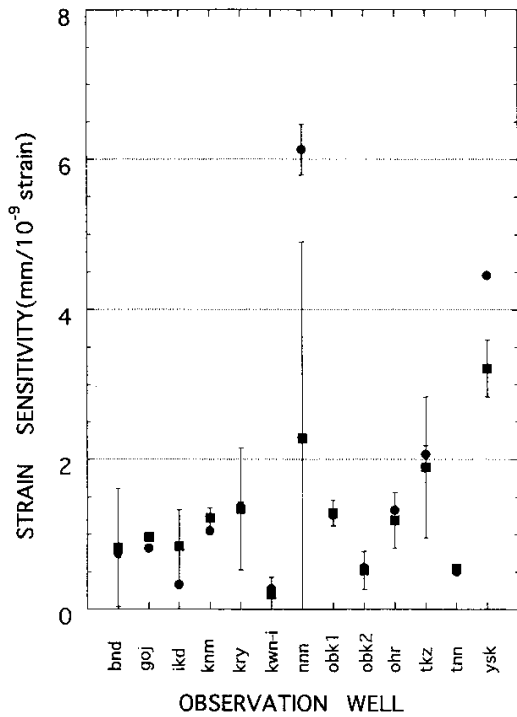
第 9 図 GOTICによって求めた各観測井における体積歪の潮汐変化の振幅（ \bullet : M₂分潮, \blacksquare : O₁分潮）

Fig.9 Tidal amplitude of volumetric strain changes estimated by GOTIC. \bullet : O₁ component, \blacksquare : M₂ component.



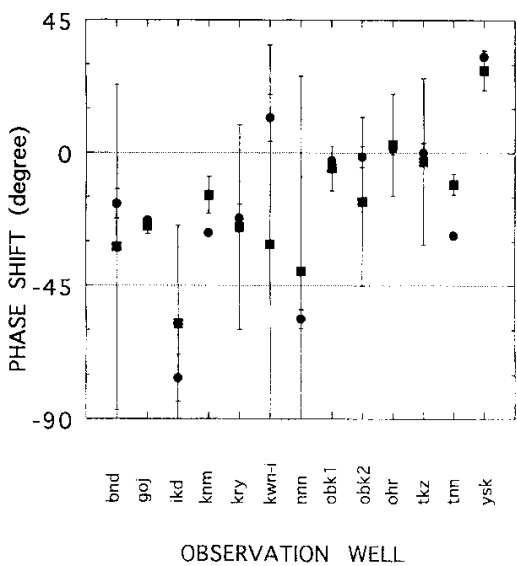
第 10 図 GOTICによって求めた各観測井における体積歪の潮汐変化における（地球潮汐による体積歪変化からの）位相差（ \bullet : M₂分潮, \blacksquare : O₁分潮）

Fig.10 Phase shift of volumetric strain changes estimated by GOTIC from theoretical volumetric strain changes caused by Earth tides. \bullet : O₁ component, \blacksquare : M₂ component.



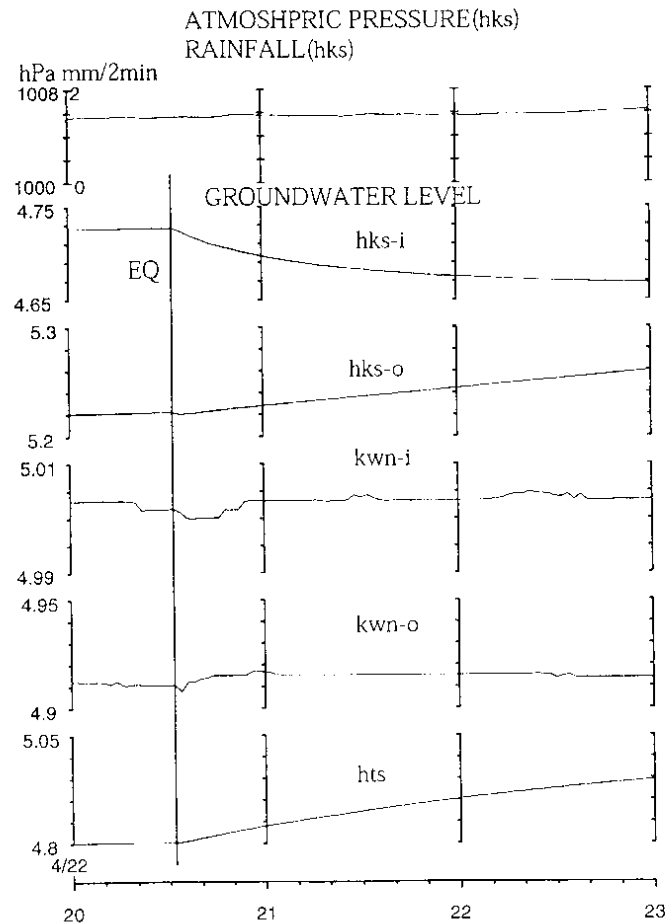
第 11 図 第 7・9 図の結果から計算した水位の体積歪感度 (: M2 分潮, : O₁ 分潮)

Fig.11 Strain sensitivity of the well water levels calculated from the results shown in Figs. 7 and 9. : O₁ component, : M2 component.



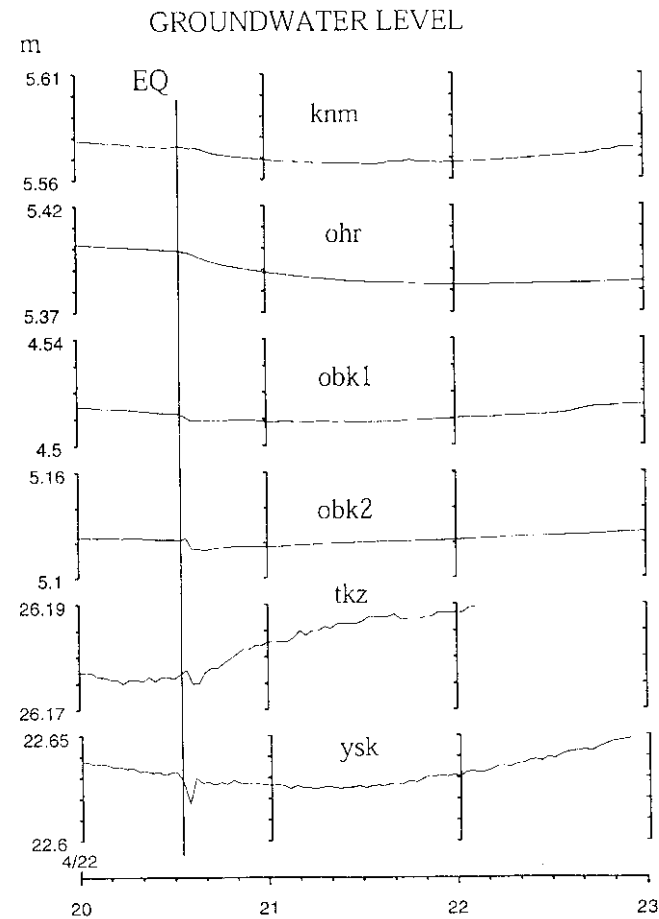
第 12 図 第 8・10 図の結果から計算した水位の体積歪変化からの位相のずれ (: M2 分潮, : O₁ 分潮)

Fig.12 Phase shift of the well water levels from tidal volumetric strain changes estimated by the program GOTIC, which was calculated from the results shown in Figs.8 and 10. : O₁ component, : M2 component.



第 13 図 hks-i, hks-o, kwn-i, kwn-o, hts における三重県北部の地震直前直後の変化 (2 分値生データ) 。 「EQ」という添字のある長い直線が地震の発生時刻を示す。

Fig.13 Well water level changes at hks-i, hks-o, kwn-i, kwn-o and hts just before and after the earthquake(M5.4) occurring in the northern part of Mie Prefecture at 20:32 on April 22, 1998. A long bar with 'EQ' shows the earthquake occurrence (2-minute original values) .



第 14 図 knm,ohr, obk1, obk2, tkz, ysk における三重県北部の地震直前直後の変化 (2 分値生データ) 。 「EQ」という添字のある長い直線が地震の発生時刻を示す。

Fig.14 Well water level changes at knm, ohr, obk1, obk2, tkz and ysk just before and after the earthquake(M5.4) occurring in the northern part of Mie Prefecture at 20:32 on April 22, 1998. A long bar with 'EQ' shows the earthquake occurrence (2-minute original values) .