

地下水位観測データの簡易な補正法と異常判定の基準について

板寺一洋*

A simple method of correcting groundwater level observation data and thresholds for determining anomalies

by

Kazuhiro ITADERA *

1. はじめに

温泉地学研究所(以下、当所)では地震・地殻変動の観測施設を整備し、神奈川県西部地震の予知研究を進めている。地下水位については県西部地域の6か所(図1)に専用の観測井を配置し、連続観測を行っている(神奈川県温泉地学研究所、1999)。これらの観測結果に異常が認められた場合、それが地震に結びつくものかどうかについては、複数の観測データを総合的に検討した上で判断する必要がある。したがって、日常の観測業務を地震防災に活用するためには、観測項目ごとの変化の特徴を十分に反映した基準を設定し、第一段階における異常の判定を迅速に行うことが求められる。

当所が行っている地殻変動観測項目のうち、光波測量については棚田ほか(2002a)が、また、GPS測量については棚田ほか(2002b)が、それぞれの項目で測定している基線長の変化とその周期性等の特徴について述べるとともに、通常時のノイズレベルを基準とした異常判定のための基準値についてまとめている。傾斜観測については、代田ほか(2002)が観測点ごとに降雨や気圧の影響

について検討を加えた上で、2001(平成13)年に箱根火山で発生した群発地震活動に関連して観測された傾斜変化について述べている。

地下水位観測については、横山ほか(1995)や板寺(1999)が観測井ごとの水位変化の特徴や水位に影響を及ぼす要因について整理し、主な要因のうち気圧や潮汐の影響を除去(補正)する方法について述べている。本稿では、これらを踏まえて、地下水位の観測結果の簡易な補正法と異常判定のための基準について検討したので、その結果を報告する。

2. 地下水位に影響を及ぼす要因とその特徴

板寺(1999)は、地下水位に影響を及ぼす主な要因として気圧変化、潮汐変化、降雨、揚水および水田への灌漑を挙げている。地殻変動に関わる異常の検出は、日常の観測結果からこれらの要因の影響を取り除いたトレンドについて検討することにより容易になる。

水位に影響する要因のうち、人為的に行われる揚水や灌漑にはある程度の規則性があるものの、地下水位に対する影響については定量的な評価が容易ではない。降雨の影響については、降雨のパターン(降雨量や降雨強度、先行降雨量、先行無降雨期間)に規則性が無いなど条件が単純ではない。一方、気圧と潮汐は絶えず水位に影響しており、特に潮汐には極めて周期性がある。これらの要因の特徴と当所の6観測井の各々に対する影響の度合いについては表1のとおり整理することができる。

3. 地下水位観測データの簡易な補正法

板寺(1999)は、常に作用している気圧と潮汐の影響のうち、後者に著しい周期性があることに着目した地下水位データの補正法について述べている。その概要は次のとおりである。

地下水位が気圧と潮汐のみの影響により変化するものと仮定すると、時間の経過に伴う観測水位の変化 H_0

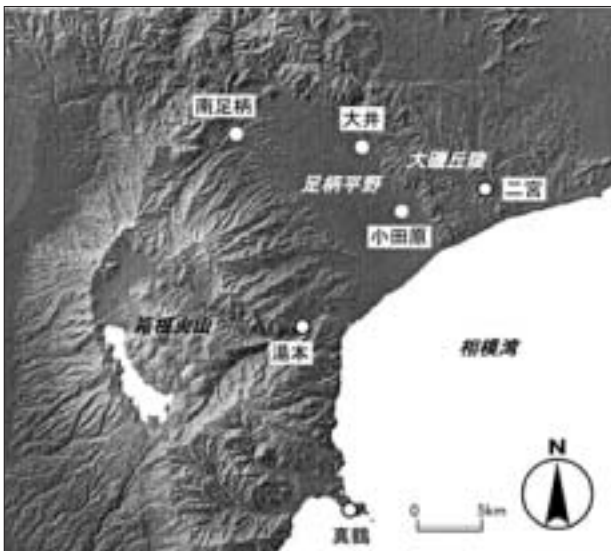


図1 温泉地学研究所の地下水位観測井

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第35巻, 47 - 52, 2003.

表1 各要因の特徴と観測井ごとの影響の度合い

	要因の特徴など				各観測井における影響の度合い					
	常時作用	周期性	人為的	影響の現れ方	二宮	南足柄	大井	真鶴	小田原	湯本
気圧変化	◎			気圧変化と逆相関	◎	◎	○	○	△	○
潮汐変化	◎	◎		潮汐変化と相関	◎	○	○	◎		
降雨				降雨に伴い上昇後低下	○	○	○	△	△	○
揚水		○ (日・週周期)	○	揚水により低下 揚水停止後に上昇			○		◎	
灌がい		△ (年周期)	○	灌がいにより上昇		○	○		△	○

◎顕著である ○認めることができる △場合によって認められる

は

$$H_o = H_p + H_e \quad (1)$$

と表すことができる。 H_p と H_e はそれぞれ、気圧および潮汐の影響による水位変化を示す。

ここでは1時間サンプリングされた地下水位および気圧のデータを扱うものとする。各々の変化を見る(階差をとる)時間間隔を潮汐の主な分潮の周期に近い時間である25時間に設定すると、潮汐の影響 H_e は見かけ上最小となり、気圧変化 P と水位変化 H_o が高い相関係数を示す。このとき、最小二乗法によって決まる一次式

$$H_o = C \cdot P + H_p \quad (2)$$

における定数 C は気圧変化に対する水位変化の割合(気圧効率)を示している。後述のとおり、実際には(2)式の C は必ずしも0とはならないが、ここでは簡単のために $C = 0$ とする。

地下水位と気圧をそれぞれ H 、 P とし、時刻 t および、その1時間後の時刻 $t + 1$ における観測データを添え字で示すものとすれば、(1)(2)式の組み合わせにより

$$H_{t+1} - H_t = C(P_{t+1} - P_t) + (H_{e,t+1} - H_{e,t})$$

が得られる。

さらにこれを変形することにより

$$H_{t+1} - \{H_t + C(P_{t+1} - P_t)\} = H_{e,t+1} - H_{e,t} = H_{e,t+1} \quad (3)$$

が得られる。(3)式の左辺第一項は時刻 $t + 1$ における実際の観測水位である。また、左辺第二項は時刻 t における観測水位と1時間あたりの気圧変化から見積もられる水位変化の和である。したがって(3)式は、時刻 $t + 1$ における観測水位から1時間あたりの気圧変化の影響を差し引いたものが、潮汐の影響に等しくなることを示しており、この計算によって観測水位から気圧の影響を取り除く(補正する)ことができることがわかる。

一方、潮汐はきわめて周期的な現象であるから、(3)式左辺によって算出される気圧補正した水位について、振幅や位相に着目すれば、目視によっても、異常な(気圧や潮汐の影響だけで説明できない)変化の有無が容易

に判断できるようになる。

さらに、潮汐の影響は、主な分潮の周期である25時間の移動平均処理によって簡易的に取り除くことができる。毎正時ごとの観測データを対象とし、ある日(d 日)の t 時における気圧補正後の水位の表記を H^d_t とすると、 $d + 1$ 日の0時における過去25時間の気圧補正後水位の移動平均値 MH^{d+1}_0 は

$$MH^{d+1}_0 = \frac{H^d_0 + H^d_1 + H^d_2 + \dots + H^d_{23} + H^{d+1}_0}{25} \quad (4)$$

と表すことができる。同様にその1時間後の $d + 1$ 日の1時における過去25時間の気圧補正後水位の移動平均値 MH^{d+1}_1 は、

$$MH^{d+1}_1 = \frac{H^d_1 + H^d_2 + \dots + H^d_{23} + H^{d+1}_0 + H^{d+1}_1}{25} \quad (5)$$

と表されるから、(4)(5)式より、

$$MH^{d+1}_1 - MH^{d+1}_0 = (H^{d+1}_1 - H^d_0) / 25 \quad (6)$$

(6)式より、移動平均の1時間階差(MH^{d+1}_1 と MH^{d+1}_0 の差)は、気圧補正後水位の25時間階差(H^{d+1}_1 と H^d_0 の差)の25分の1であることがわかる。すなわち気圧補正後水位の25時間階差の推移に注目することにより、気圧補正後水位から簡易に潮汐の影響を取り除いた傾向を把握することができる。

4. 補正法の適用例と基準値の検討

上述の補正法は、地下水位が気圧と潮汐のみの影響によって変化することを前提としている。表1に示したとおり、当所の6観測井は各々影響を受ける要因が異なっているため、この補正法をもとにした基準値の設定が適

する場合とそうでない場合とがある。個々の観測井について、この方法を適用し、異常判定の基準値について検討した結果は次の通りである。

4.1.1. 二宮観測井

図2に、二宮観測井における2001(平成13)年1月1日から12月31日の毎正時の地下水位データ(データ数8760)の25時間階差(データ数8735)の頻度分布と累積頻度分布を示した。図2によれば、地下水位の25時間階差は(ゼロ)付近をピークとして、±0.15mを超える範囲までの値をとる分布を示している。

上記(1)および(2)式で述べたとおり、同じ期間における地下水位および気圧の25時間階差の相関(図3)は極めて高く($R^2 = 0.8563$)、両者の関係を示す一次回帰式から気圧効率0.0054(m/hPa)が得られた。ここでy切片((2)式の()に相当)の値が0とならないのは、25時間階差処理では取り除けない分潮の影響のほか、気圧や潮汐の影響によらない経年的な地下水位変化を反映しているものと考えられる。

図4は、この気圧効率を用い上記(3)式に基づいて気圧補正した水位の25時間階差の頻度分布と累積頻度分布の状況を示している。図2と図4を比較すると、気圧補正後水位の25時間階差の方が、頻度分布のピークが極端に高くかつ値の範囲が狭まった分布をしており、異常判定のための基準設定に適していると考えられる。

そこで、気圧補正後水位の25時間階差について、累積頻度が0.1%から99.9%までの区間を通常示す値の範囲であるとした。さらに、その両端の値の絶対値を比較して、異常な変化を見落とさないという観点から、より小さいほうを判定の基準値として設定した。

図4に示した累積頻度曲線によれば、累積頻度が0.1%に達するのは-0.03m(累積頻度0.15%)付近であり、累積頻度が99.9%に達するのは0.10m(累積頻度99.9%)であった。これらを比較して、基準値を気圧補正後水位の25時間階差の絶対値で0.03mとした。

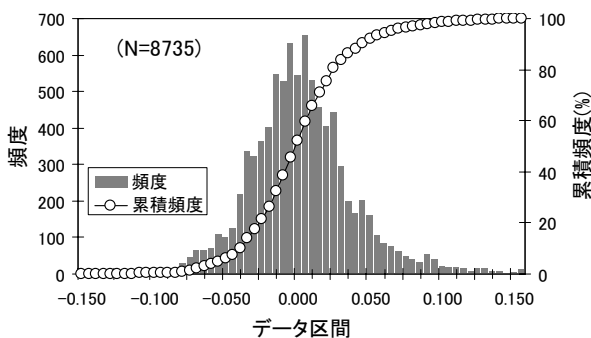


図2 観測水位の25時間階差の頻度と累積頻度の分布(2001(平成13)年 二宮観測井)

気圧補正後水位の25時間階差の絶対値が0.03mを越えたのは2001(平成13)年8月22、28日、9月10、11、12日、10月1日のデータ(8735件中51件)であった。気象庁(2001;2002)によれば、これらの日にはいずれも台風や低気圧・前線の通過ともなう大雨が記録されていることから、その影響を受けた地下水位変化によるものと考えられる。

4.1.2. 南足柄観測井

図5に、南足柄観測井における2001(平成13)年1月1日から12月31日の毎正時の地下水位データ(データ数8760)の25時間階差(データ数8735)の頻度分布と累積頻度分布を示した。図5によれば、地下水位データの25時間階差は(ゼロ)付近をピークとして、若干正(水位上昇)の側に偏った分布を示している。

図6は、同じ期間における気圧補正後水位の25時間階差の頻度分布と累積頻度分布の状況を示した図である。気圧補正は毎正時の地下水位および気圧の25時間階差

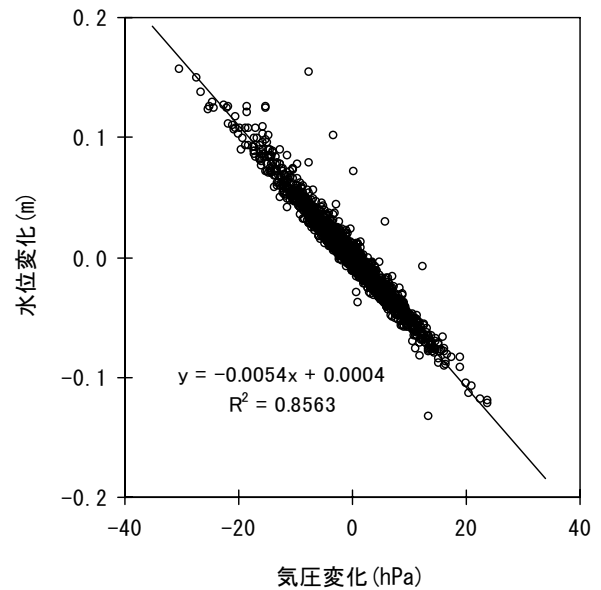


図3 地下水位と気圧の25時間階差どうしの相関関係(2001(平成13)年 二宮観測井)

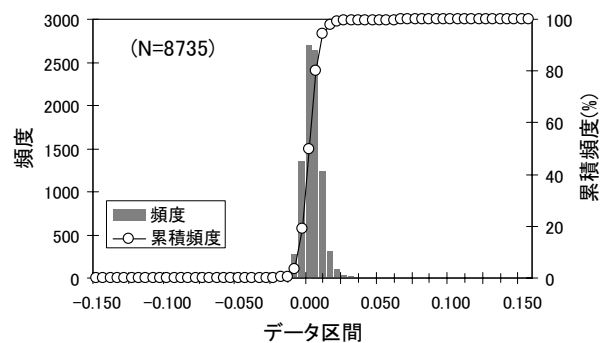


図4 気圧補正後水位の25時間階差の頻度と累積頻度の分布(2001(平成13)年 二宮観測井)

の相関関係を示す一次回帰式 ($R^2 = 0.7765$) から得られた気圧効率 0.0047 (m/hPa) を用いて行った。図5と比較すると、ピークが2倍程度の頻度となり値の幅もかなり狭まっていることがわかる。

図6に示した累積頻度曲線によれば、累積頻度が0.1%に達するのは -0.03 m (累積頻度0.05%) 付近であり、累積頻度が99.9%に達するのは 0.14 m (累積頻度99.9%) であった。これらを比較して、基準値を気圧補正後水位の25時間階差の絶対値で 0.03 m とした。

2001(平成13)年の結果によれば、気圧補正後水位の25時間階差の絶対値が 0.03 m を越えたのは8月21、22、23日、9月10、11、12、13、14、22日、10月1、2、3、10、11、18、29、30日、11月6日、12月8日のデータ(8735件中315件)であった。気象庁(2001;2002)によれば、いずれも、当日または1~2日前に台風や低気圧・前線の通過にともなう大雨が記録されており、その影響を受けた地下水水位変化によるものと考えられる。

4.3. 大井観測井

図7に大井観測井における2001(平成13)年1月1日から12月31日の毎正時の地下水水位データ(データ数8171)の25時間階差(データ数8146)の頻度分布と累積頻度分布を示した。図7によれば、地下水水位の25時間階差は0(ゼロ)付近をピークとして、 ± 0.1 m 程度の範囲の

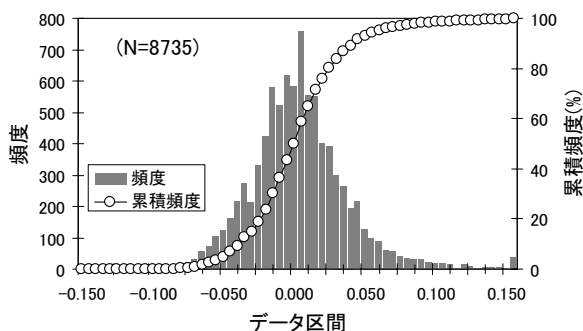


図5 観測水位の25時間階差の頻度分布(2001(平成13)年南足柄観測井)

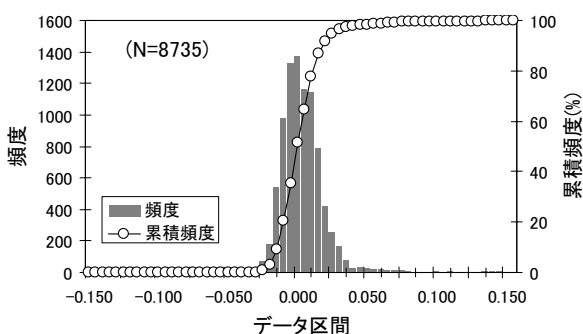


図6 気圧補正後水位の25時間階差の頻度と累積頻度の分布(2001(平成13)年南足柄観測井)

値をとる分布を示している。

図8は、同じ期間における気圧補正後水位の25時間階差の頻度分布と累積頻度分布の状況を示した図である。気圧補正は毎正時の地下水水位および気圧の25時間階差の相関関係を示す一次回帰式 ($R^2 = 0.6742$) から得られた気圧効率 0.0039 (m/hPa) を用いて行った。図8を図7と比較すると、ピークが若干高くなり、値の幅は幾分狭まっていることがわかる。

図8に示した累積頻度曲線によれば、累積頻度が0.1%に達するのは -0.06 m (累積頻度0.01%) 付近であり、累積頻度が99.9%に達するのは 0.09 m (累積頻度99.9%) であった。これらを比較して、基準値を気圧補正後水位の25時間階差の絶対値で 0.06 m とした。

2001(平成13)年の結果によれば、気圧補正後水位の25時間階差の絶対値が 0.06 m を越えたのは、2月2、3日、3月15日、5月20日、9月11日、12月8、9日のデータ(8146件中39件)であった。気象庁(2001;2002)によれば、いずれも当日または1~2日前に台風や低気圧・前線の通過にともなう大雨や大雪が記録されており、その影響を受けた地下水水位変化によるものと考えられる。

4.4. 真鶴観測井

図9は、真鶴観測井における2001(平成13)年4月1日から2002(平成14)年3月31日の毎正時の地下水水位

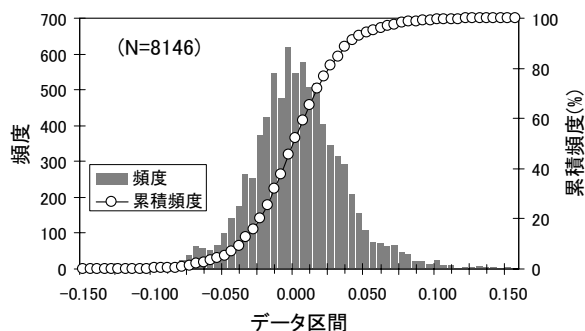


図7 観測水位の25時間階差の頻度分布(2001(平成13)年大井観測井)

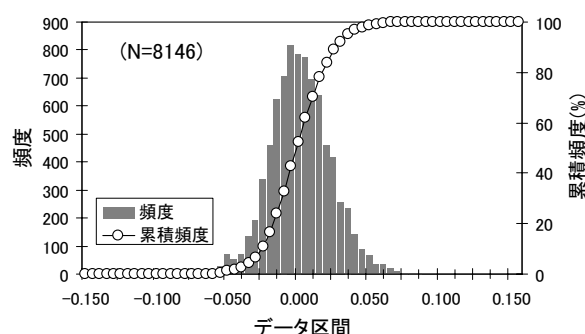


図8 気圧補正後水位の25時間階差の頻度と累積頻度の分布(2001(平成13)年大井観測井)

データ(データ数 8759)の 25 時間階差(データ数 8734)の頻度分布図である。

一方、図 10 は、同じ期間の気圧補正後水位の 25 時間階差(データ数 8734)の頻度分布図である。気圧補正毎正時の地下水位および気圧の 25 時間階差の相関関係を示す一次回帰式($R^2 = 0.427$)から得られた気圧効率 0.0089 (m/hPa)を用いて行った。

真鶴観測井の水位は潮汐の影響により大きく変化し、その振幅も数十 cm に及ぶため、(1)式で 25 時間階差を取っても H_E が十分小さくならない。そのため、地下水位および気圧の 25 時間階差の相関も高いとは言えず、(3)式では十分な補正ができない。図 9 と図 10 に若干の違いが認められるものの、真鶴観測井については気圧補正後水位に着目して異常判定の基準値を設定するのは適当ではないと考えられる。

4.5. 小田原観測井

図 11 は、小田原観測井における 2001(平成 13)年 1 月 1 日から 12 月 31 日の毎正時の地下水位データ(データ数 8760)の 25 時間階差(データ数 8735)の頻度分布図である。

図 12 は、同じ期間の気圧補正後水位の 25 時間階差(データ数 8735)の頻度分布図である。気圧補正は毎正時の地下水位および気圧の 25 時間階差の相関関係を示す一次回帰式($R^2 = 0.1069$)から得られた気圧効率 0.0047 (m/hPa)を用いて行った。

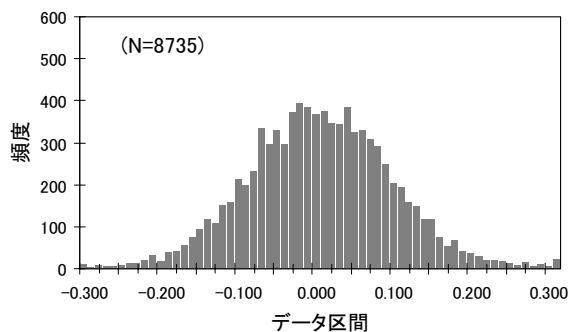


図 9 観測水位の 25 時間階差の頻度分布(2001(平成 13)年 真鶴観測井)

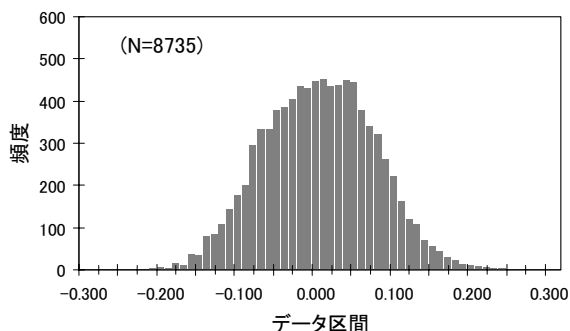


図 10 気圧補正後水位の 25 時間階差の頻度分布 (2001(平成 13)年 真鶴観測井)

小田原観測井の水位は近隣事業所による揚水の影響により大きく変化する。地下水位が気圧と潮汐のみの影響によって変化するという(1)式の仮定がなりたたず、地下水位および気圧の 25 時間階差の相関も低い。したがって、図 11 と図 12 にはさほどの違いが認められない。また、図 11 および 12 において両端の -0.015 m 以下および 0.015 m より大きい区間の度数が著しく大きくなっている。これは、事業所の操業状況に対応した地下水位の週変化(月曜から金曜にかけての水位低下、および土曜・日曜の水位上昇)成分が大きく影響していることによる。

以上のことから、小田原観測井についても気圧補正後水位に着目して異常判定の基準値を設定するのは適当ではないと考えられる。

4.6. 湯本観測井

2001(平成 13)年 1 月 1 日から 12 月 31 日の毎正時の地下水位データ(データ数 8760)の 25 時間階差(データ数 8735)の頻度分布を示した図 13 と、同じ期間の気圧補正後水位(地下水位および気圧の 25 時間階差の相関 $R^2 = 0.0309$ 、気圧効率 0.0011 (m/hPa))の 25 時間階差(データ数 8735)の頻度分布を示した図 14 にはさほどの違いが認められない。

湯本観測井の水位については、南足柄や大井と同様の年変化が認められるが、その他の要因による影響については規則性が見いだせない(板寺、1999)ことから、気圧補正後水位に着目して異常判定の基準値を設定するのは

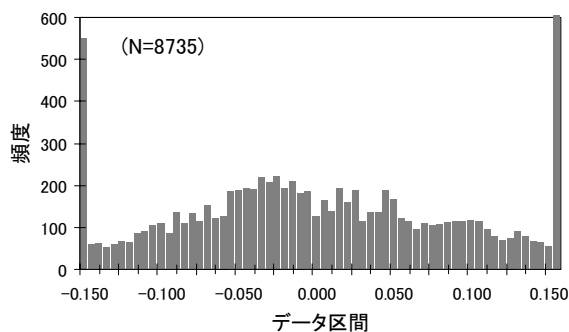


図 11 観測水位の 25 時間階差の頻度分布(2001(平成 13)年 小田原観測井)

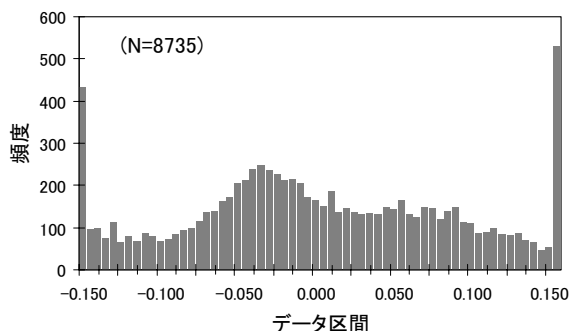


図 12 気圧補正後水位の 25 時間階差の頻度分布 (2001(平成 13)年 小田原観測井)

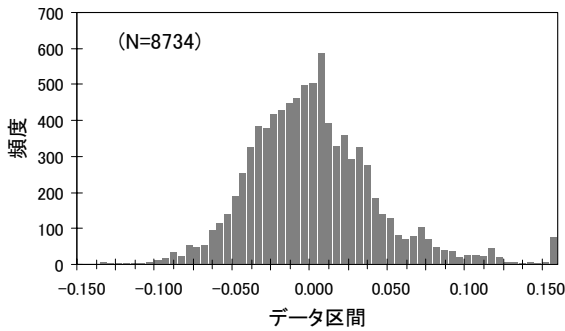


図13 観測水位の25時間階差の頻度分布(2001(平成13年)湯本観測井)

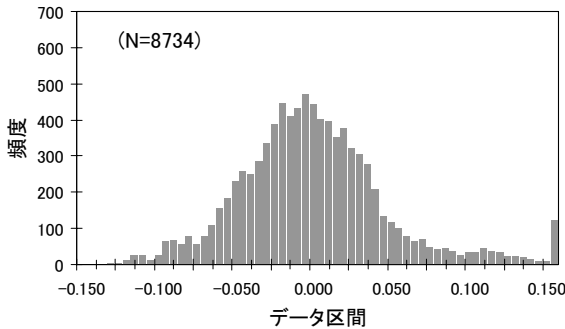


図14 気圧補正後水位の25時間階差の頻度分布(2001(平成13年)湯本観測井)

適当ではないと考えられる。

5. まとめ

地下水位に対する気圧と潮汐の影響を簡易に補正する方法と異常判定の基準値について検討した。補正法の概要は次の通りである。

地下水位および気圧の25時間階差の相関関係から求めた地下水位の気圧効率により地下水位を気圧補正する。

潮汐の影響を取り除いた傾向を把握するため、気圧補正後水位の25時間階差に注目する。

表2に、当所の地下水位観測井について、この方法の妥当性について検討した結果と、気圧補正後水位の25時間階差の頻度分布状況から決定した異常判定の基準値についてまとめた。

この方法は地下水位が気圧と潮汐のみの影響によって変化することを前提としているため、すべての観測井の地下水位に対して適用できるわけではなかった。しかし、気圧係数を求めるために最小二乗法を用いる以外は、簡単な四則演算の組み合わせで計算を実行することができ、市販の表計算ソフトなどによって容易に処理を行うこと

表2 気圧補正に用いた気圧効率と異常判定の基準値

	気圧効率 (m/hP)	基準値※ (m)	備考
二宮	0.0054	0.03	
南足柄	0.0047	0.03	
大井	0.0039	0.06	
真鶴	0.0089	×	潮汐の影響が大
小田原	0.0047	×	揚水の影響が大
湯本	0.0011	×	各要因の影響が不明瞭

※：気圧補正後水位の25時間階差

×：本報の方法が適当でないと判断

ができるというメリットがある。今後も事例を積み重ねることで、基準値の「確からしさ」を向上させつつ、他の観測項目や他の指標等にもとづく異常判定と組み合わせ、総合的な異常検出に取り組んでいくことが重要である。

参考文献

- 代田寧、棚田俊收、伊東博（2002）2001(平成13)年箱根群発地震活動に関連した地殻傾斜変動、温地研報告、34、35-44。
- 板寺一洋（1999）温泉地学研究所の観測井における地下水位変化の特徴とその補正について、温地研報告、29(1・2)、57-64。
- 神奈川県温泉地学研究所（1999）温泉地学研究所における「神奈川県西部地震」の取り組み、温地研報告、29(1・2)、3-40。
- 気象庁監修（2001）天気図日記 気象、No 527- No 536。
- 気象庁監修（2002）天気図日記 気象、No 537- No 538。
- 棚田俊收、伊東博、代田寧、板寺一洋（2002 a）神奈川県西部地域における光波測量結果とその特徴について、温地研報告、33、25-30。
- 棚田俊收、伊東博、代田寧、板寺一洋（2002 b）神奈川県西部地域におけるGPS観測結果とその特徴について、温地研報告、33、31-42。
- 横山尚秀、小鷹滋郎、板寺一洋、長瀬和雄、杉山茂夫（1995）神奈川県西部地震予知研究のための地下水位観測施設と地下水位解析、温地研報告、26(1・2)、21-36。