

地下水位に検知されたチリ中部沿岸地震 (M8.6) の地震動および津波

板寺一洋 (神奈川県温泉地学研究所)

はじめに

日本時間の平成 22 年 2 月 27 日 15 時 34 分ごろ、南米チリ西部で巨大地震が発生しました。気象庁 (2010) によれば震源の位置は南緯 36.1°, 西経 72.6°, 深さ 60 km, 地震の規模を示すマグニチュードは 8.6 とされています。

この地震により津波が発生し、日本の太平洋沿岸地域を中心に大津波警報や津波警報が発表されました。実際に、地震発生から 20 数時間後に到達した津波および、その後続波により、各地で浸水や漁業施設の損壊などの被害が発生しました。

神奈川県沿岸では、この津波による被害の報告はありませんが、三浦市、横須賀市、横浜市で、それぞれ 2 月 28 日の 14 時 26 分、14 時 48 分、14 時 58 分に津波の第一波が観測され、その後、最大で 0.4m の潮位の変動が観測されました (3 月 1 日神奈川県記者発表資料)。この地震および津波の影響は、温泉地学研究所が地震・地殻変動観測の一環で観測を行っている地下水位にも認められました。その状況については、すでにトピックスとして、当所のホームページ上で公表しましたが、今回、その詳細について検討したので報告します。

チリ地震にともなう水位の変化

地下水位観測点の位置や観測の概要については原田・板寺 (2011) を参照してください。

図 1 に、地震が発生した平成 22 年 2 月 27 日 (日本時間) から 4 日間の、各観測点における地下水位の推移を示しました。チリ地震に関連した水位の変化が観測されたのは、6 か所の観測点のうち、小田原、南足柄、真鶴、二宮の 4 観測点でした。これらの観測点では、地震発生時刻から約 1 ~ 2 時間後に、数 mm から数 cm 程度の振幅で地下水位が上下動している様子が認められます。グラフ上では分かりにくいのですが、いったんその上下動が収まってから 4 ~ 5 時間後にも、さらに小さい振幅で、再び地下水位が上下動していました。こうした地下水の上下動は、地震により発生し、地球を周回した表面波 (大木、2010) の影響を受けたものと考えられます。同様の变化は、平成 16 年 12 月のスマトラ島西方沖の地震 (M9.0) の後にも観測されています (板寺・伊東、

2005)。

一方、真鶴と小田原の各観測点では、地震発生後およそ 22 時間後から、1 ~ 2 時間程度の周期で地下水が上下に変動している様子がわかります。これらは日本各地の沿岸に津波の到達した時刻と対応しています。このうち、真鶴の地下水位は 0.1m 程度の振幅で変化しており、津波の影響が顕著に現れています。これは、真鶴の地下水位が海水と水理学的に連続しており、潮位変化の影響が直接現れる (板寺, 1999) ためと考えられます。津波の影響と見られる地下水位の変動は 2006 年 11 月に発生した千島列島東方の地震 (M 7.9) の後に、やはり真鶴で観測されました (板寺・伊東、2007)。

地震の影響による地下水位の変化

図 1 に示した地下水位そのものの

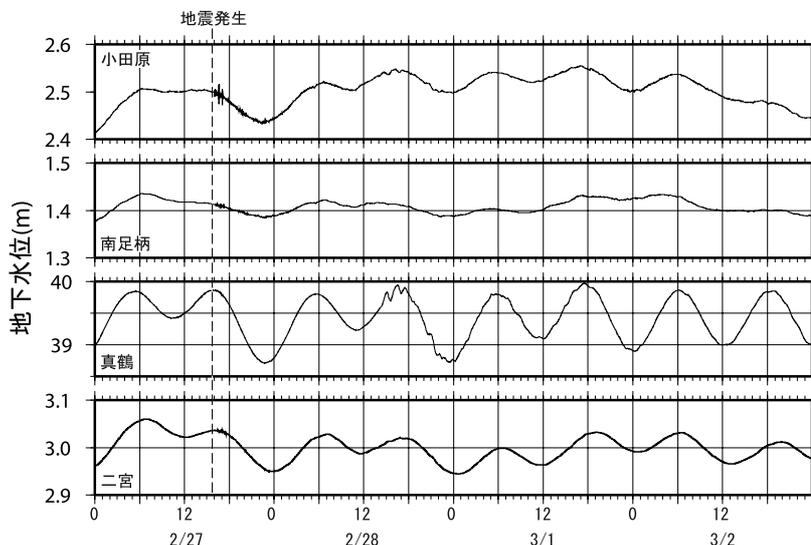


図 1 チリ中部の地震 (2010 年 3 月 27 日) の影響による地下水位の変動

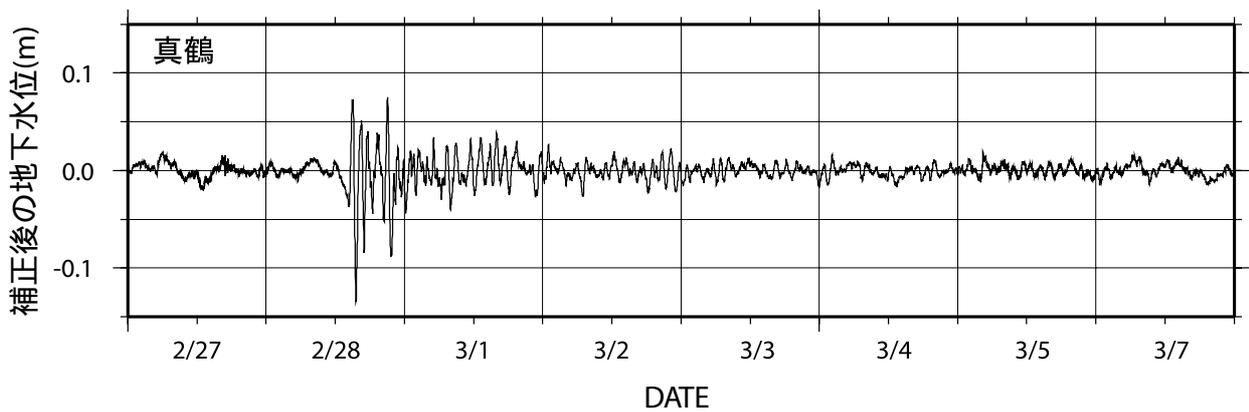


図2 BAYTAP-Gによる補正処理後の真鶴観測点の地下水位変化(2010/02/27-03/07)

変化には、一日2回のピークを持つ潮汐変化の影響などが含まれており、表面波や津波によって地下水位がどれだけ影響を受けたかを見極めるのは難しくなっています。そこで、次の方法で、潮汐などの影響を取り除くことにしました。

毎正時のデータについて、潮汐解析プログラムBAYTAP-G(田村、1995)により潮汐成分、気圧応答成分、トレンド成分などを計算する。

なお、潮汐成分等の計算には、産業技術総合研究所地質調査総合センター活断層・地震研究センターの運用するホームページ「地震に関する地下水データベース“Well Web”」(<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/gxwell/GSJ/index.shtml>)上で公開されているユーザデータの解析プロ

グラムを用いました。

解析する期間を6時間ごとに分割し、で計算された各成分の和(潮汐成分+気圧応答成分+トレンド成分)の時間変化の様子を4次の多項式で近似する。

この近似式は、地震や津波の影響がなかったとしたら地下水位がどのように変化したかを示すと考えられます。分割した各期間において、多項式による近似式の相関係数は概ね1に近い値であったことから、近似式は妥当なものだと考えられます。

で求めた近似式により、一分ごとの地下水位を計算し、これを実際の観測値から差し引くことにより、潮汐、気圧等の影響を取り除く。

図2に、津波の影響が最も顕著であった真鶴観測点の観測結果につい

て、上記の手順により潮汐や気圧の影響を取り除いた水位の変化を示しました。図2から、津波の影響による地下水位の変動が、2/28の14時台から始まっていることや、その周期が約2時間であること、振幅が約10cm程度と実際に観測された潮位の変化と同程度であったことなどがわかります。また、この変動がいつ終息したかについては明瞭ではないものの、少なくとも地震発生から4日後の3月3日ごろまでつづいていたことを読み取ることができます。

図3には、地震が発生した2月27日から3月1日までの3日間について各観測点の水位データを上記の処理により補正した後の水位変化の状況を示しました。図3からは、

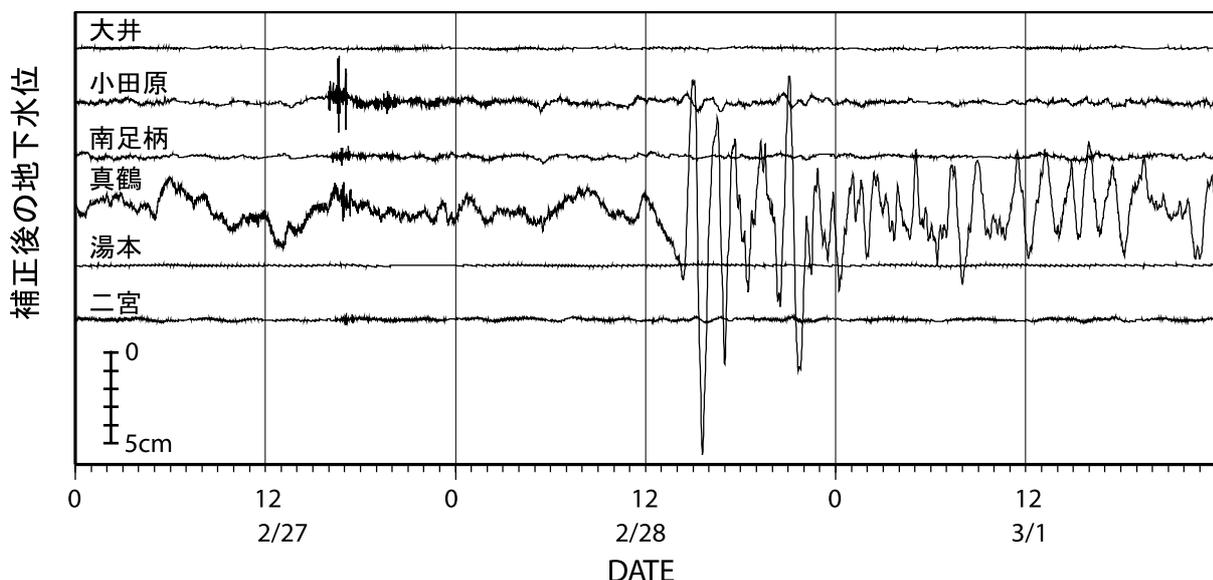


図3 BAYTAP-Gによる補正処理後の地下水位変化(2010/02/27-03/01)

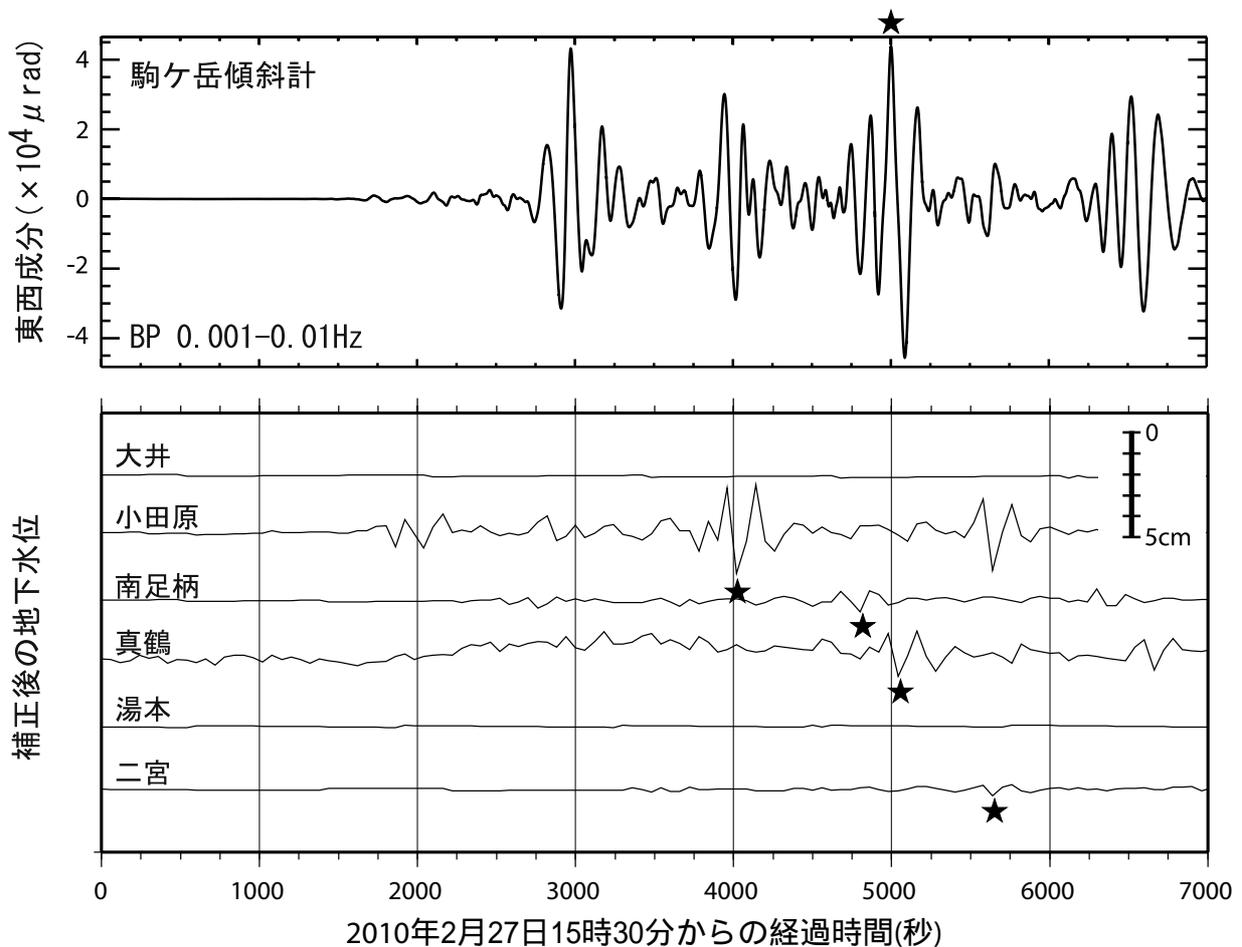


図4 傾斜計データを基準とした補正後水位の時刻のズレ

小田原、南足柄、真鶴および二宮の各観測点で、上述した表面波の影響を明瞭に読み取ることができます。特に、地震発生から約1～2時間後の16時台から17時台にかけて、地下水位が1cm程度の振幅で上下動しています。これらは、地震により発生した表面波(レイリー波)のうち、震源から観測点に近い円弧を通過してきたR1、続いて、遠い円弧を通過したR2の影響が現れているものと見られます。津波の影響によると見られる水位の上下動は、すでに図1で示した真鶴や小田原のほかにも、二宮観測点でも認められ、その振幅が数mm程度であったことがわかります。

地下水位に対する津波の影響の出現時刻

ところで、地震波は毎秒数kmの速度で伝わってきます。6カ所の地下水位観測点はおよそ20km四方の範囲に設置されていますので、表面波の到達時刻の観測点間の差は最大でも数秒から十秒程度であると考えられます。これに対して地下水位観測では1分間隔のデータを収録していることから、表面波の直接的な影響が現れる時刻の観測点ごとの差を、観測結果により見極めることは困難なはずですが、図3には、表面波による地下水位の変動の出現時刻が、観測点によって異なっている様子が現れていますが、これは、地下水位データに付加された時刻データが観測点毎に設置された時計によって管理されており、その精度が観測点によって異なってい

たことによる見かけのものだと考えられます。注)

そこで、表面波による水位変動と、データの時刻精度が保証されている傾斜計のデータとを比較することにより、各観測点における時刻のズレの推定を試みました(図4)。実際に、どのような仕組みで表面波が地下水位に影響するのか明らかではありませんが、駒ヶ岳傾斜計の東西成分(フィルター処理後)の変化と補正後の水位変化のパターンに、概ね逆相関が認められることから、図4に示した星印のピークの出現時刻を比較しました。その結果は表1に示したとおりです。

さらに、傾斜データとの比較により求めた時刻のズレを考慮し、補正水位に最初に極大値が観測された時刻を読み取り、津波の影響の出現時刻として表1に示しました。その

結果、真鶴、小田原、南足柄の各観測点における津波の影響の出現時刻は、潮位計による津波第一波の到達時刻(上述)とほぼ同じであることがわかりました。

気象庁(2010)によれば、神奈川県相模湾沿岸における津波到達予測時刻は、概ね西側ほど遅くなっています。これに対して、表1に示した津波の影響の出現時刻は、6観測点中最も東側に位置する二宮よりも、西側の小田原、真鶴の方が早くなっています。横山ほか(1995)によれば、二宮観測井は大磯丘陵を構成する固結レキ層中に掘削されています。そのため、沿岸部に到達した津波の影響が、数km内陸にある二宮観測点まで到達するのに時間を要した可能性が考えられます。同じく海岸線から数kmの地点に掘削された小田原観測井では、海水との連続性が良いと考えられる真鶴とほぼ同時に津波の影響が出現しています。このことは、津波の影響が、実際の地下水の移動ではなく圧力変化によって伝搬していることを示唆しています。地下水位に津波の影響が出現する時刻の違いは、足柄平野の地下水と海水との連続性や、足柄平野と大磯丘陵の地下水帯水層の特性の違いを考慮する上でも、興味深い結果であると考えられます。

まとめ

温泉地学研究所が地震・地殻変動観測の一環で行っている地下水位観測により、平成22年2月27日15時34分ごろ、南米チリ西部で発生した地震(M8.8)による表面波および津波の影響が捉えられました。

潮汐解析プログラムにより潮汐や気圧等の影響を補正した結果、津波の影響による地下水位の変動は、真鶴で、振幅が約10cm程度と実際に観測された潮位の変化と同程度

表1 傾斜データとの比較により推定した各観測点の時計のズレと、それを考慮して読み取った津波の影響の出現時刻。×は変動を読み取れなかったことを示す。

	傾斜データを基準とした時刻のズレ(分)	津波の影響の出現時刻
大井	×	×
小田原	+18	2010/3/28 14:52
南足柄	+6	×
真鶴	+1	2010/3/28 14:54
湯本	×	×
二宮	-9	2010/3/28 14:59

であり、少なくとも地震発生から4日後の3月3日ごろまでつづいていたことがわかりました。

また、傾斜データとの比較により、観測点ごとの時刻のズレを補正した結果、地下水位に対する津波の影響出現時刻が観測点によって異なっており、足柄平野の地下水と海水との連続性や、足柄平野と大磯丘陵の地下水帯水層の特性の違いを考慮する上で、興味深い結果が得られました。

注) 観測点ごとに設置されている時計は毎日少しずつ狂っていきまます。このため、現地に職員が赴き、手動で時刻合わせをする必要がありました。実際には、定期点検等の限られた機会にのみに時刻修正を行っているため、時刻のズレは数分程度となることもあり、しかも観測点ごとに、その程度が異なっていました。平成22年度に実施した観測システムの一部更新により、こうした時刻精度管理上の問題点は解消されています。

参考文献

原田昌武、板寺一洋(2011) 神奈川県西部地域における2010(平成22)年の地殻変動観測結果、観測だより、60, 41-48。
板寺一洋、伊東博(2005) 神奈川県西部地域における2004(平成

16)年の地下水位観測結果、観測だより、55, 19-22。

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, 57-64。

板寺一洋、伊東博(2007) 神奈川県西部地域における2006(平成18)年の地下水位観測結果、観測だより、57, 19-24。

気象庁(2010) 2010年2月27日15時34分頃にチリ中部沿岸で発生した地震について、報道発表資料。

大木聖子(2010) 地球表面を周回する地震波、東京大学地震研究所ホームページ(http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/2010/02/201002_chile/#SurfaceWave)

田村良明(1995) 地球潮汐データの解析、時系列解析の実際II(赤池・北川編)、pp.150-165, 朝倉書店。

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, 21-36。