

# 東北地方太平洋沖地震直後の流出量増加と 浅層地下水位の低下

——那珂川中流域低山帯での事例——

玉井 幸治 澤野 真治  
小林 政広 篠宮 佳樹  
大貫 靖浩

---

## 目次

- I. はじめに
- II. 観測流域と観測方法
- III. 観測結果
- IV. 地下水位と流出量の関係

## 要旨

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震直後の8日間で、茨城県内で震度が6弱と観測された地域にある山地小流域で流出量が1.56~1.70mm増加し、地下水位が約1m低下した。この流域の流出量と地下水位の関係を地震前後のそれぞれ1年間で比較したところ、地震により地下水由来の水が流出しやすくなる変化が生じたと考えられた。しかし地震直後の増水量は多くなく、小流域面積のせいぜい1.5%程度の面積での地下水位低下でまかなえるものと計算された。そのため地下水位の低下は、小流域内の極めて限られた範囲での現象であったと考えられた。その一方で、この小流域の下流地点における増水量の水高換算値は、この小流域における値とほぼ等しかった。そのため周

---

玉井：国立研究開発法人	森林研究・整備機構	森林総合研究所	森林防災研究領域長
澤野：国立研究開発法人	森林研究・整備機構	森林総合研究所	北海道支所主任研究員
小林：国立研究開発法人	森林研究・整備機構	森林総合研究所	土壌特性研究室長
篠宮：国立研究開発法人	森林研究・整備機構	森林総合研究所	震災復興・放射性物質研究拠点長
大貫：国立研究開発法人	森林研究・整備機構	森林総合研究所	東北支所地域研究監

辺にある他の小流域でも、地下水位の低下が観測された小流域と同様に、地震直後に流出量が増加したと考えられる。

キーワード：東日本大震災，地下水位，流出量，那珂川水系

## I. はじめに

大きな地震が発生した直後には、地下水湧出量の増加や地下水位の低下が生じることは広く報告されている。例えば、Rojstaczer et al. (1995) は1989年に米国カリフォルニア州で発生した地震後の河川流量の変化は、地下水が移動する部分の透水係数が増加したためと結論づけている。また1995年に発生した兵庫県南部地震後に淡路島北部で観測された地下水位の低下と多量の湧水発生は、岩盤や地表付近の帯水層の透水係数が5倍以上 (Tokunaga, 1999) や7倍程度 (Sato et al. 2000) 増加したためという報告がある。

森林総合研究所では、茨城県下の常陸太田試験地 (常陸太田市)、桂試験地 (東茨城郡城里町)、筑波試験地 (石岡市) の山地小流域において、流出量などの観測を行っている。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の直後には、そのいずれにおいても流出量の増加が観測され、その概要を坪山ら (2012) が報告した。本報告では、地下水位の観測を行っていた桂試験地を対象として地震前後の「地下水位-流出量」関係を比較し、震度6弱が記録された地域の山地小流域における事例として桂試験地における結果を報告した玉井ら (2016) に、新たな図表などを加えてより詳細に報告する。

## II. 観測流域と観測方法

2011年3月11日午後2時46分に発生した東北地方太平洋沖地震により、桂試験地 (東経140度31分、北緯36度53分) のある東茨城郡城里町では震度6弱が記録された。地震時に試験地内で積雪は観測されておらず、水路への落雪などは無かった。

桂試験地は那珂川水系の皇都川<sup>こうとがわ</sup>支流にあり、約59.9haの全体流域と、その一部である約2.3haの上流流域の2つの観測流域が設定されている (図1)。全体流域と上流流域の標高は、それぞれ180~302m、212~272mである。地

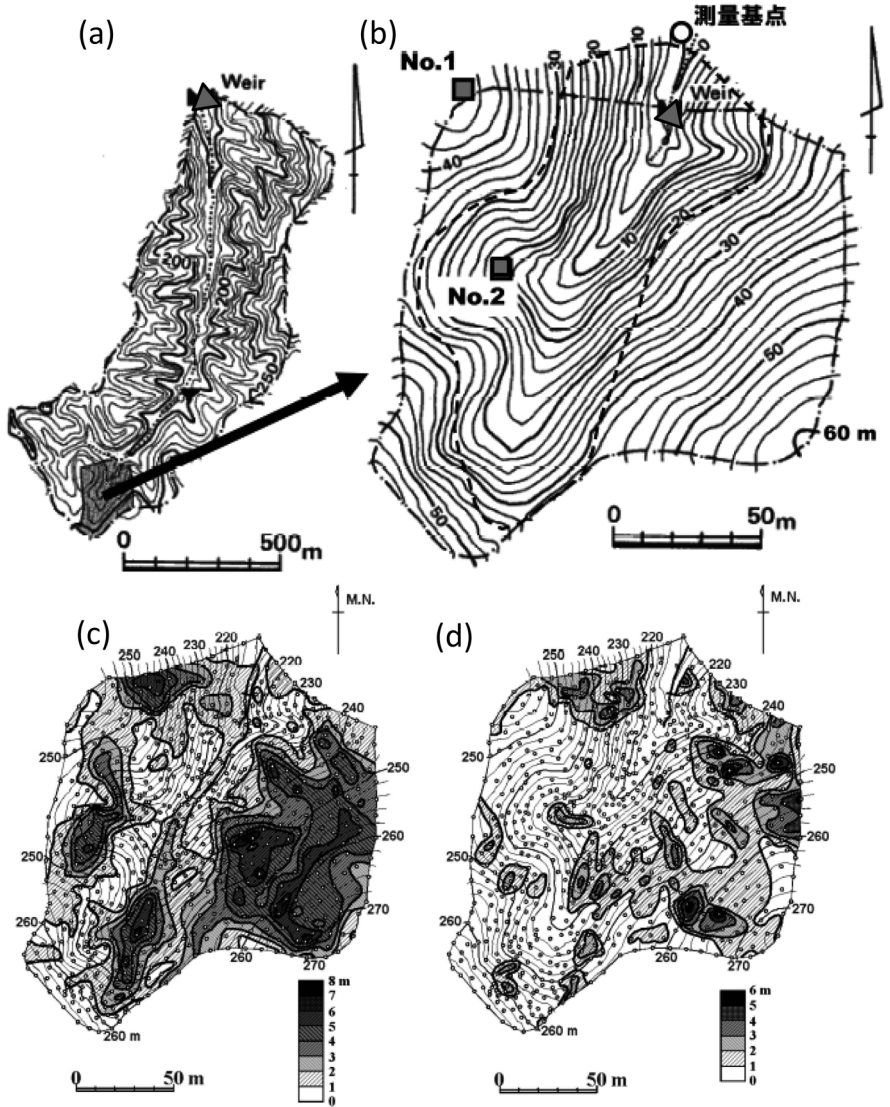


図1 桂試験地の地形図  
 (a) 全体流域 (b) 上流流域  
 △：流出量観測地点, □：地下水位観測地点  
 (c) 表層土層厚の分布 (大貫ら, 2014)  
 (d) 風化層厚の分布 (大貫ら, 2014)

質は中古生層の頁岩・チャートなどの上に関東ローム層が厚く堆積している。全体流域と上流流域の末端部にそれぞれ量水堰を設け、圧力式水位計を用いて10分間隔での流出量の観測を行った。全体流域の中央部で、降水量の観測を行った。また、上流流域内にある井戸で圧力式水位計による20分間隔の地下水位計測を行った。この井戸と流量観測を行っている上流流域末端との比高は約17mである。井戸を設置した際のボーリング調査では、深さ3.8mまで土壤層が確認された(大貫ら, 2014)。また、土研式貫入試験によって得られたその下の風化層の厚さは、2~3mと周囲よりも厚かった。

### Ⅲ. 観測結果

地震の発生した2011年3月11日の前後それぞれ約1年間の、上流流域からの流出量、上流流域内の井戸の地下水位、降水量の変動を図2に示す。矢印が地震発生時を表している。降雨による流出量増加に比べて地震発生直後の流出量増加は小さいため、この図では地震直後での流出量増加は明瞭にはわからない。それに対し地下水位の低下は明瞭に認めることができる。

地震発生時の前後である3月7日から同月27日までのみを拡大し、全体流域からの流出量も含めて図3に示す。矢印が地震発生時を表している。地震発生直後から流出量が増加し、3月17日または18日に地震発生前の流出量まで低下している。3月7日や21~23日の降雨による流出量の増加時には、先の尖ったピークが観測されている。それに対し11日の地震直後の流出量増加時のピークは先が丸まっており、降雨時の基底流出成分による流量の増加パターンに類似している。

図3(a), (b)の中に示している破線は、地震発生時の流出量を示している。これを上回った流出量を増水した量とすると、全体流域と上流流域の増水量は、それぞれ $35.9\text{m}^3$ 、 $1,018.0\text{m}^3$ であった。地下水位も地震発生直後から急激に低下し始めた。3月18日までの水位低下量は約1mであった。

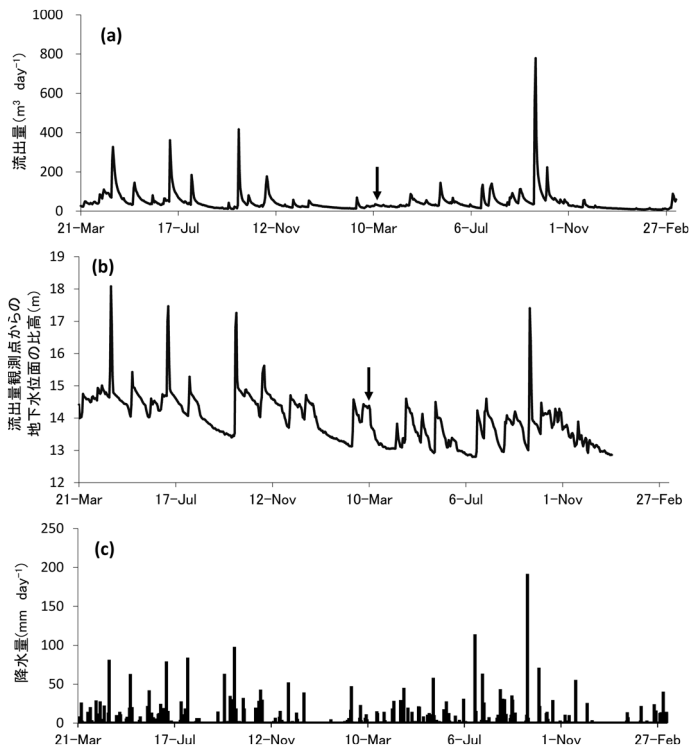


図 2 桂試験地における2010年3月21日～2012年3月10日の観測値  
(a) 上流流域の日流出量  
(b) 上流流域の井戸における地下水位  
(c) 日降水量

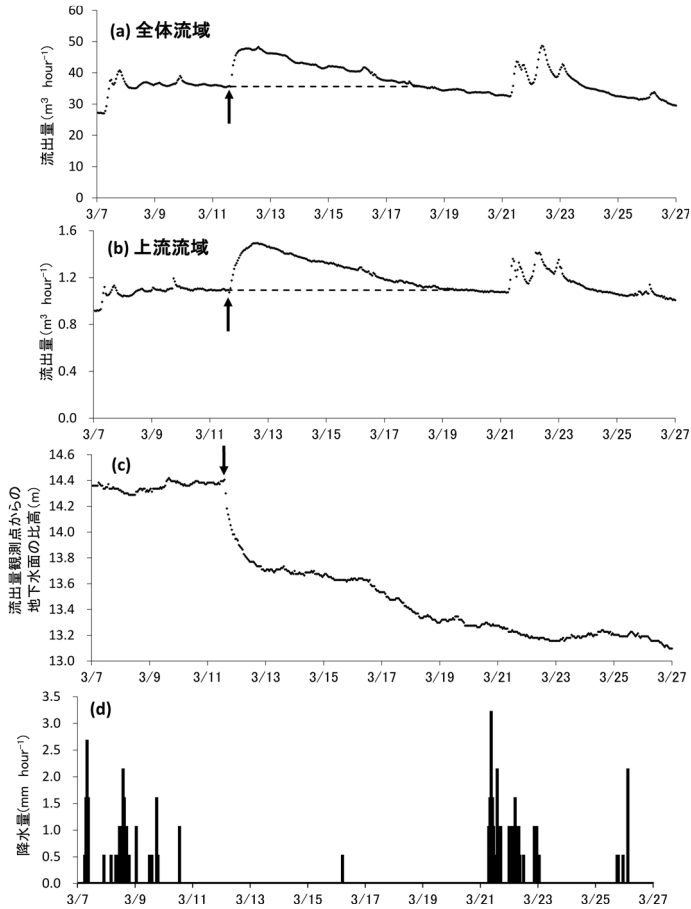


図3 桂試験地における2011年3月7日～27日の観測値  
 (a) 全体流域の時間流出量  
 (b) 上流流域の時間流出量  
 (c) 上流流域の井戸における地下水位  
 (d) 時間降水量

#### IV. 地下水位と流出量の関係

地震前の2010年1月1日～2011年3月10日，地震直後の2011年3月12日～20日，その後の2011年3月21日～12月31日における，上流流域の流出量観測地点

からの比高によって示した地下水位観測値と日流出量観測値の関係を、それぞれ図4 (a), (b), (c) に示す。図中に示した実線と破線はそれぞれ、図4 (a), (c) にプロットされているデータの下端部を直線で結んだものである。直線の傾きは、地下水位観測地点と流出量観測地点の間における地下水由来の水の流れやすさを示していると考えられる。これらの線と各プロットの差は、直接流出など、同地点の地下水位では説明できない要因に由来する水による流出量を示している。図4中における実線と破線の傾きは、それぞれ6と15であり、破線の方が約2.5倍になっている。なおかつ、地震直後の値を示すデータは、破線のごく近傍に沿ってプロットされている(図4〈b〉)。このことから、地震により、観測地点の地下水が流出量観測地点まで流出しやすくなったと考えられる。

地表面における流路には、地震の前後で大きな変化は認められていない。徳永(2003)は1995年に発生した兵庫県南部地震で震度7の揺れであったと判定されている淡路島北部地域で観測された地下水位の低下や地下水の湧出の中には、「地震に伴って岩盤の透水係数が増加したとすることによって適切に説明することが可能」な事例もあるとしている。本報告で対象とした桂試験地のある城里町での東北地方太平洋沖地震による揺れは、震度6弱と観測されている。徳永(2003)が対象とした兵庫県南部地震での淡路島北部地域に比べると地震による揺れは小さく、そのため徳永(2003)が述べているような「岩盤」の透水係数が増加したとは考えにくい。しかし土層中に亀裂が生じるなどして、地下水が流出量観測地点まで流出しやすくなったために、地震直後に地下水位が低下して流出量が増加したことは十分に考えられる。

図3 (a), (b) の中に示している破線は、地震発生時の流出量を示している。これを上回った流出量を増水した量とすると、上流流域からの増水量は $35.9\text{m}^3$ である(表1)。この増水は流域内の帯水層の有効間隙に含まれていた地下水に由来していると考えられる。井戸における地下水位の低下は約1mであった。地下水位1mの低下によって $35.9\text{m}^3$ の増水を発生させるために必要な面積は、有効間隙率を少なめに見積もって10%と仮定した場合には $359\text{m}^2$ となる。この面積は、上流流域の面積約2.3haの約1.5%でしかない。有効間隙率10%という仮定は小さな値である。したがって約1.5%という試算値も大きく見積もった値である。それでも約1.5%という小さな割合であることから、井戸において観測されたような1mもの地下水位の低下は、上流流域内の極

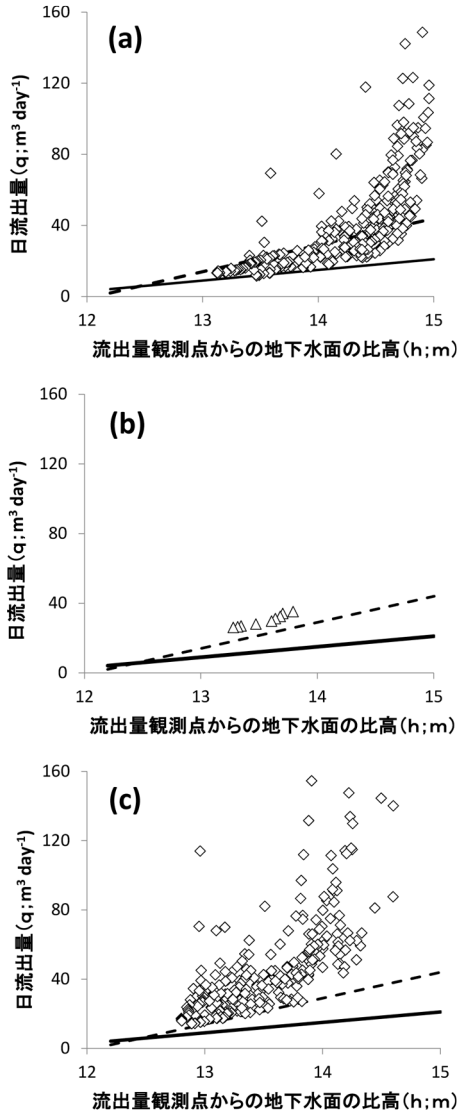


図 4 桂試験地上流域における地下水位と流出量の関係 (玉井ら, 2016)  
 (a)地震前 (2010年1月1日～2011年3月10日)  
 (b)地震直後 (2011年3月12日～20日)  
 (c)地震後 (2011年3月21日～12月31日)  
 実線:  $q=6h-69$  破線:  $q=15h-181$



表 1 各流域における流出増加量

	増水量 (m <sup>3</sup> )	流域面積 (ha)	増水量 (mm)
上流流域	35.9	2.3	1.56
全体流域	1018.0	59.9	1.70

めて限られた範囲でのみ発生したと考えられる。

一方で上流流域と全体流域における増水量の水高換算値がほぼ等しい(表 1)ことから、全体流域の中にある他の小流域でも上流流域と同様な現象が発生し、地震直後に流出量が増加したと考えられる。

### 引用文献

- 大貫靖浩・吉永秀一郎・釣田竜也・荒木 誠・伊藤江利子・志知幸治・松浦陽次郎・小野賢二・岡本 透 (2014) 桂試験地における土層厚の分布と土壤物理特性, 森林総研報, 431 : 43-59.
- Rojstaczer, S., Wolf, S., Michel, R. (1995) Permeability enhancement in the shallow crust as a cause of earthquake-induced hydrological changes, *Nature*, 373 : 237-239.
- Sato, T., Sakai, R., Furuya, K., Kodama, T. (2000) Coseismic spring flow changes associated with the 1995 Kobe earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 27 : 1219-1222.
- 玉井幸治・澤野真治・壁谷直記・清水貴範・小林政広・篠宮佳樹・飯田真一・大貫靖浩 (2016) 東日本大震災前後での「地下水位一流出量」関係の変化—那珂川中流域低山帯と筑波山地の山地小流域での事例比較—, 2015年度日本水文科学会学術大会発表要旨集, 45-48.
- 徳永朋祥 (2003) 地震に伴う地下水の変動, 地震発生と水 (笠原順三, 鳥海光弘, 河村雄行編, 東京大学出版会) 151-154.
- Tokunaga, T. (1999) Modeling of earthquake-induced hydrological changes and possible permeability enhancement due to the 17 January 1995 Kobe Earthquake, Japan, *J. Hydrol.*, 223 : 221-229.
- 坪山良夫・玉井幸治・清水貴範・久保田多余子・飯田真一・延廣竜彦・澤野真治 (2012) 東北地方太平洋沖地震の際に観測された山地小流域からの流出水量の変化について—茨城県の無積雪地における流域の場合—, 日本地球惑星連合大会予稿集, U05-07.

(原稿受付2020年10月30日, 原稿受理2021年3月30日)