

13. 野川上流域における主な湧水と地下水の水循環解析

Hydrological Analysis of several Spring-basins at the upper stream of the No-River

技術支援課 國分邦紀、石原成幸、川合将文

1. はじめに

昨今、「ゲリラ豪雨」と呼ばれる突発的な集中豪雨が都市河川流域で頻発し、治水対策がクローズアップされている。その一方、武蔵野台地を流れるいくつかの中小河川で、春先から夏季にかけて流水が絶える「水涸れ」がしばしば発生し、河川水量確保が課題となっている。それには湧水量の減少や地下水位の低下などが原因として考えられるが、対策をたてるには地下地質、帯水層の構造を明らかにし、水循環メカニズムを解明することが重要である。

当センターでは、維持流量対策として数年前から北多摩地域の野川や空堀川を対象に地質構造、地下水や水量のモニタリング調査を行ってきた。昨年まで、地下水の特徴や流動方向、河川水の浸透量などを明らかにしてきたが、水循環の定量化については不十分であった^{1, 2, 3)}。本報は、過去の水文観測資料から降雨と地下水の関係性を解析、また野川のいくつかの八ヶの湧水域について水循環解析を試みた結果についての報告である。

2. 降雨と地下水の関係

水循環解析を行うには準備が必要となるため、前段で降雨～地下水位特性について述べる。自然状態の自由面地下水の場合、地下水位はほぼ降雨により支配されて変動している。したがって、降雨と地下水位の関係性を整理することによって対象地域の地下水理特性についてかなりのことを解明できる⁴⁾。詳

細は以下のとおりである。

通常は連続した降水量 R と地下水位上昇量 H の関係を整理し、その一次回帰式から回帰式の傾き a と切片 b を把握する ($H=a \cdot R - b$) ことにより行う。回帰式の傾き a は、表面流出率 f や帯水層の有効間隙率 Pa に、また切片 b は土壌の圃場容水量に関係するとされ、これによって有効間隙率 Pa や土壌

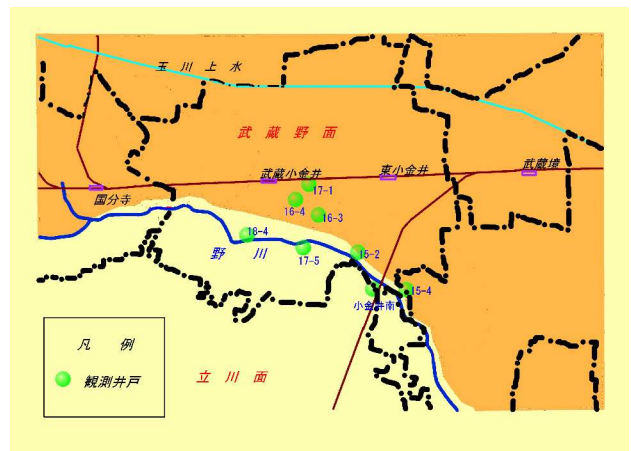


図 - 1 観測井位置図

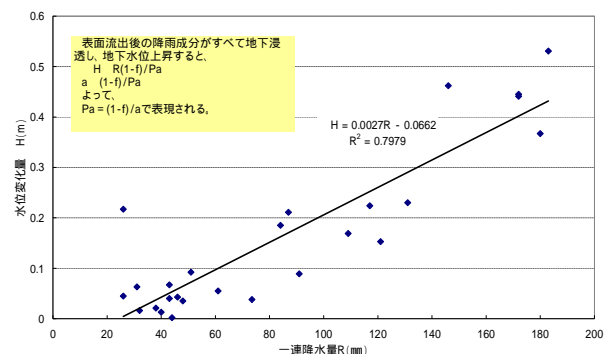


図 - 2 降雨と地下水位上昇の関係の事例

の圃場容水量をおおまかに推定することが可能となる（図 - 2 に小金井市 JA 武蔵での事例を示す）。この場合、連続した降水量 R の期間を地下水位の上昇開始以前の何日間にとるかは、降雨形態によって実際どこまでとるかに決まりがなく、どちらかといえば恣意的であった。モデルに使う帯水層の有効間隙率 P_a や土壤の圃場容水量などの初期水理パラメーターはこうして求めた。

しかし、年間をとおして地下水位変動図を見た場合、降雨がないにも係らず水位が一方向的に上昇傾向にあったりするケースがときどきみられる。この原因を土壤帯の存在にあると考え、次の通り整理した。関東ローム層が厚く堆積する武蔵野台地の地下水を対象とする場合、土壤保留水分が地下水位に及ぼす影響が長期にわたるので、考える水位の前の降雨期間を何日間にとるかで、降雨と水位の相関係数が異なってくると考えられ、最適降雨期間を求めることにした。ここでは、対象日 3 日前、5 日前、10 日前、15 日前、30 日前、60 日前、90 日前、120 日前、150 日前までと、累積降雨期間を長くにとっていき、その累積降雨期間雨量と水位の一次直線回帰を行うことにより整理した。

野川流域では数箇所浅井戸観測井を設けて自記水位測定を行っている（図 - 1）。いずれも小金井市内で、武蔵野面に 3 箇所、立川面に 5 箇所の観測井である（うち立川面の 1 箇所は小金井南地盤沈下観測所内の浅井戸）。図 - 3 は、横軸に累積雨量、縦軸に水位をとって散布図を作成したものの一つである。この事例は小金井市中町の「はげの森美術館」の地下水位についてである。累積降雨期間を長くするにしたいが、回帰直線式は図の右側にシフトし、しかも直線式の勾配は小さくなる。回帰式の相関係数 r が最も高かったのは、30 日間累積降雨の場合で $r=0.84$ であった。したがって、小金井市美術館の井戸の例では、30 日前までの累積降雨が地下水位を支配しているといえる。

野川流域の他の観測井についても同様に整理し、今度は、累積降雨日数を横軸に、縦軸に回帰式の相関係数をとって図化すると、図 - 4 に示すように累積降雨日数が 100 ~ 140 日で水位の相関が高い傾向を

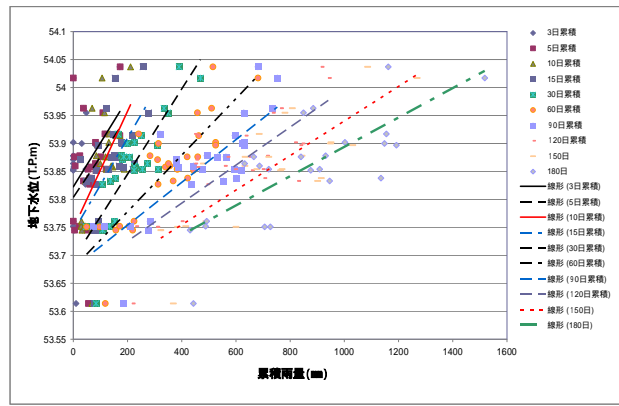


図 - 3 累積降雨と地下水位の散布図（野川流域）

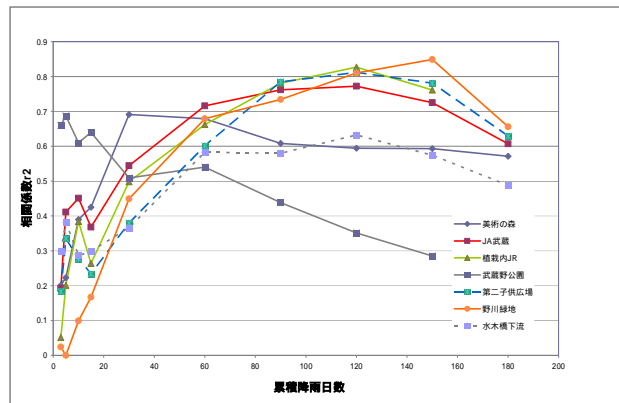


図 - 4 累積降雨日数と回帰式の相関係数

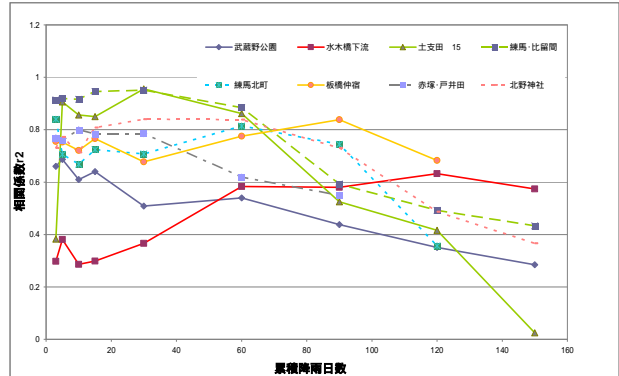


図 - 5 累積降雨日数と回帰式の相関係数（鋸歯型）

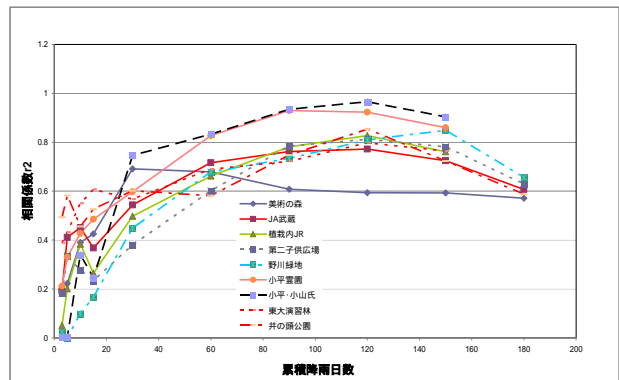


図 - 6 累積降雨日数と回帰式の相関係数（腕伏せ）
示す井戸が多かった。3 ヶ月 ~ 5 ヶ月前までの降雨量

が水位に影響を及ぼすことを示唆している。これは想定外の結果であった。同様のことは、永翁らも真姿の池の解析において指摘している⁵⁾。また観測井は武蔵野面に3井、立川面に4井であるが、段丘面の違いは相関性の差に現れなかった。

次に、水位変動形態の違いによる相関性の変化について整理した。見かけ上であるが、武蔵野台地の浅井戸水位変動は、水位上昇・下降が急で波形がギザギザ型の「鋸歯型」と、水位上昇・下降が緩慢でゆっくりとした波形がお椀状の「椀伏せ型」の大きく2タイプに分類される^{6,7)}。「鋸歯型」の井戸は台地の谷筋や低地に多く、井戸深さが一般に浅い。一方、「椀伏せ型」井戸は台地の地盤が高い場所でローム層が厚い地域に多く井戸深さが深い傾向にある。なお、整理した浅井戸は野川流域だけでなく、武蔵野台地全般についてである。その結果、以下のことが明らかとなった。

図-5の鋸歯型の水位変動を示す井戸では、累積降雨日数が短いほうが水位との相関性がよい。また図-6に示すように、椀伏せ型の水位変動を示す井戸は、水位も深く、累積降雨日数が一般に60日以上と長くなるほど、降雨との相関性が良い。

3. 湧水と地下水の水循環解析

つぎに、「野川」の主な八ヶの湧水と地下水の水循環について長期水収支結果の報告をする。対象とした湧水は、三鷹市および国分寺市にかけての国分寺崖線の代表的な3湧水、「野川公園湧水」、「はけの森美術館湧水」、「真姿の池湧水」である。国分寺崖線は西は立川市北東部から、東は世田谷区野毛まで比高差約10数メートルで続く、段丘（河岸段丘）崖線である。崖線は武蔵野台地の武蔵野面と立川面の二つの段丘面を分ける。この崖線下に分布する数多くの湧水（八ヶ）が野川の主な水源である。「野川公園湧水」、「はけの森美術館湧水」、「真姿の池湧水」の涵養域面積は、それぞれ約1.8 km²、0.45 km²、0.62 km²である。図-7に主な湧水域を示す（ただし、真姿の池湧水については図示していない）。

(1) 対象とした湧水の概要

野川公園の湧水は三鷹市大沢2丁目付近を中心と

する地域で野川公園、国際基督教大学を含む比較的流域の広い流域である。湧水は、武蔵野礫層が国分寺崖線により切られて露出している地点から湧出している。はけの森美術館湧水は小金井市中町1丁目の旧中村研一美術館敷地を中心とする比較的小規模流域の湧水である。真姿の池湧水は国分寺市西元町

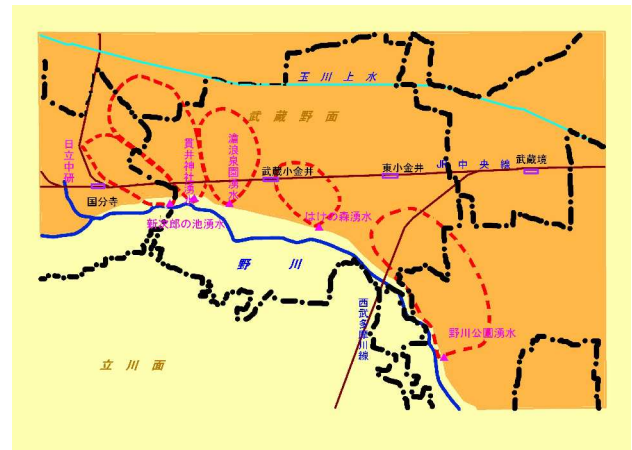


図-7 野川上流域の主な湧水

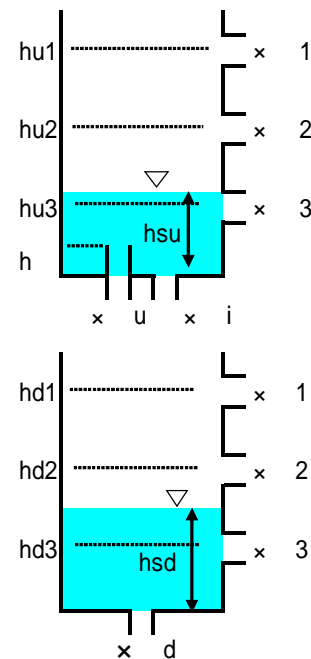
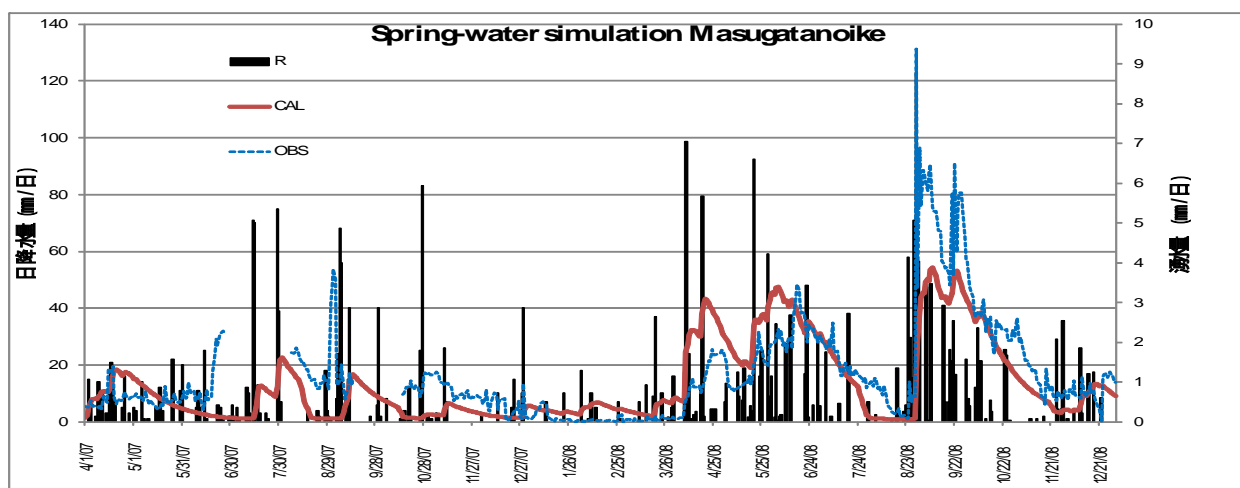
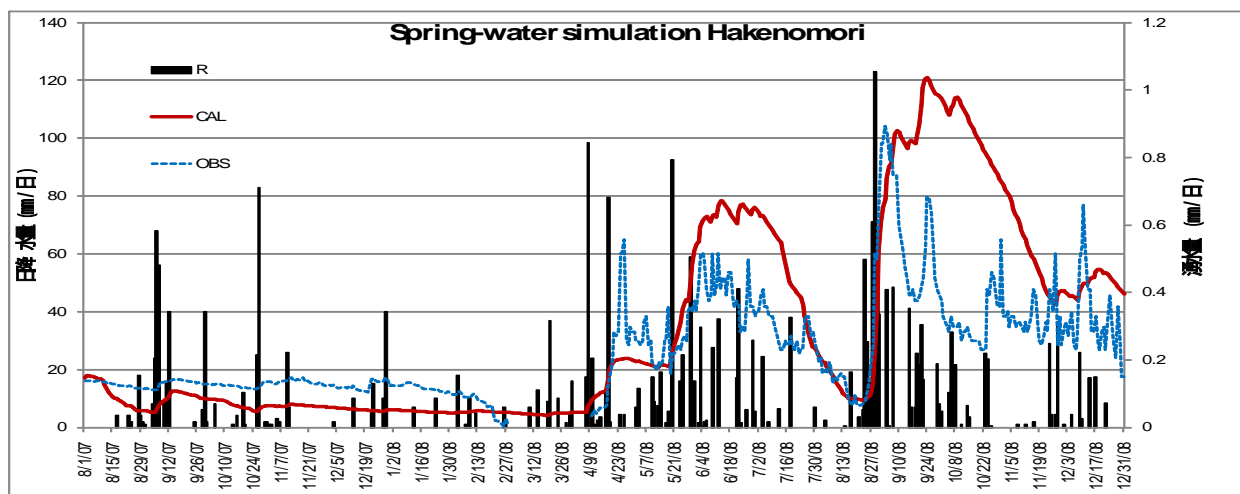
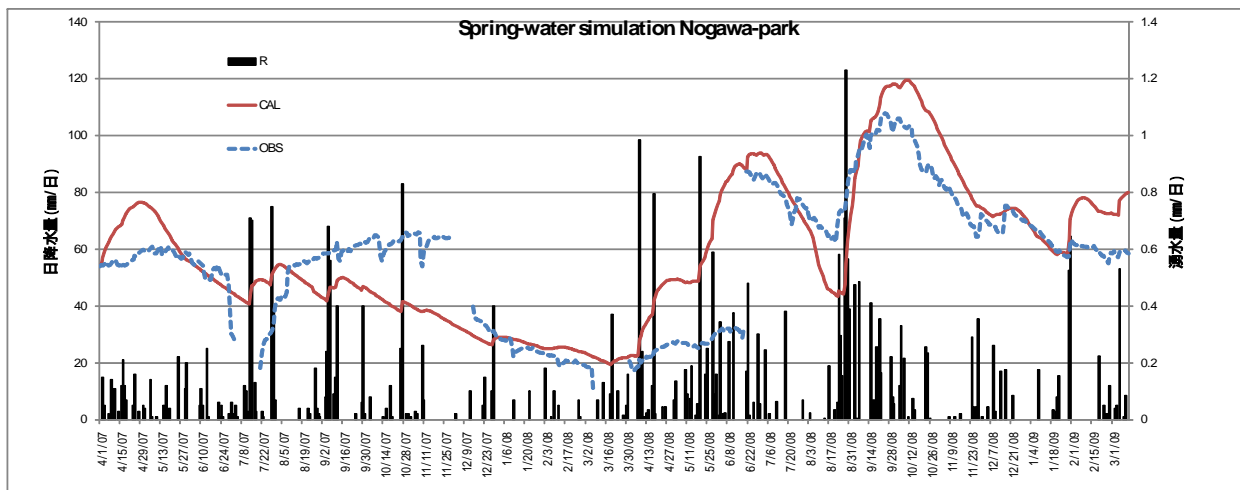


図-8 水循環モデル

にある全国名水百選に唯一選ばれた名水で、湧水から流れ出るお鷹の道沿いの元町用水や隣接する武蔵国国分寺と並んで豊かな自然環境を創出している。



図の凡例 R：降水量、CAL：計算値、OBS：実測値

図 - 9 日湧水シミュレーション結果

以上、いずれも段丘崖線下の湧水である。崖線湧水はこの他にも数多く、小金井市貫井南町には滄浪泉園や貫井神社の湧水、国分寺市内に姿見の池や殿ヶ谷戸庭園湧水、東京経済大(新次郎の池)さらに野川の源頭水源である日立中央研究所構内の湧水な

どが点在し、野川の貴重な水源を形成している。

(2) 水循環モデルについて

このように、湧水はいったん武蔵野面に降った雨水が武蔵野礫層まで浸透、段丘崖線下から湧出したものである。そこで湧水の水循環モデルは、図 - 8

のように土壌帯部と帯水層部の上下 2 段構造とした。湧水量は地下水タンクの横流出孔からの流出量に対応させた。土壌タンクは底に浸透孔を二つ設け、通常の浸透と急速な浸透(日量で 40 mm以上の涵養があった場合のみ)の二重構造を採用した。浸透孔は拘束水を考慮し、下部の地下水タンクへ浸透も流出もしない部分を設けて、タンク底から嵩上げ構造とした。入力データは、降水量、蒸発散量である。上下水道漏水はごくわずかと考えて無視した。

計算では、ほかにもいくつかの仮定がある。各タンクの高さ、初期貯留量の設定の際、ローム層や砂礫層の平均厚を考慮にいった。土壌タンクへは、表面流出を除く降雨成分を入力し、蒸発散については日降水量が 10 mm以上の日は無いものと仮定した。対象地域の表面流出率 f は、被覆率から「はけの森湧水」が $f=0.6$ 、「野川公園湧水」 $f=0.5$ 、「真姿の池湧水」 $f=0.55$ とした。表面流出については、5 mm/day以上の降雨があったときのみ起きると仮定した。なお、蒸発散の算定は、Thorntwaite 式によって得た値を季節補正して使用した。

(3) 地下水・湧水の日単位シミュレーション

日単位のタンクモデル長期流出計算を上記の 3 湧水について行った。期間は 2007 年～2008 年の約 2 カ年である。両年とも欠測期間があるものの、湧水量の連続観測値があり計算値と比較しやすい^{8,9)}。

実測値と計算値の系列相関係数 r が最大、年総量の差が最小になるように計算を行った。結果を図 - 9 に示す(上段：野川公園、中段：はけの森、下段：真姿の池湧水)。湧水量の急激な増減を十分に再現できないものの、概ね良好な結果を得た(相関係数 r は、はけの森：約 0.77、野川公園：約 0.78)。同定されたタンクの孔の高さ、乗数など定数結果を表 - 1 に示す。

4. 結果についての考察

長期水収支の概念は図 - 10、また水収支計算結果は表 - 2 のとおりで、以下のようなことが明らかとなった。

年降水量 R のうち約 42～52%が地下水涵養、表面流出成分 D は 26～36%、蒸発散 E が約 22%と、表

表 - 1 タンク定数結果

	はけの森			野川公園			真姿の池					
	乗数	高さ	高さ	乗数	高さ	高さ	乗数	高さ	高さ			
上段タンク	1	0	80	1	0.1	250	1	0.03	80			
	2	0	60	2	0		2	0	0			
	3	0	45	3	0.05	70	3	0.01	60			
	u	0.35	h	20	u	0.1	h	50	u	0.4	h	30
下段タンク	i	0.2	hsu	40	i	0.2	hsu	100	i	0.25	hsu	50
	1	0.005	hd1	300	1	0.003	hd1	350	1	0.04	hd1	300
	2	0.002	hd2	250	2	0.002	hd2	250	2	0	hd2	250
	3	0.0012	hd3	170	3	0.0018	hd3	150	3	0.001	hd3	200
d	0.0015	hdsd	260	d	0.0015	hdsd	340	d	0	hdsd	290	

孔の高さの単位: mm

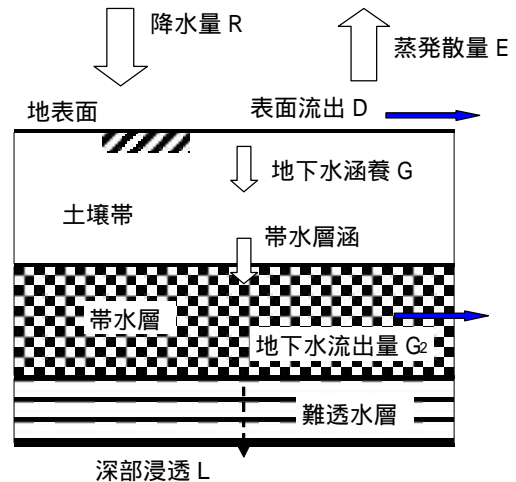


図 - 10 水収支概念

表 - 2 水収支計算の結果(2008年)

対象湧水	降水量 R	蒸発散量 E	地下水涵養 G	表面流出 D	地下水流出 G ₂	深部浸透 L
野川公園	1,994	453	1,032	509	234	192
はけの森	1,994	446	840	708	136	160
真姿の池	1,994	446	936	612	487	0

2008年1年間の水収支、単位: mm

面流出 D と蒸発散 E がやや小さい。

地下水流出量は、年降水量に対する比率にして、「はけの森湧水」が約 7%、「野川公園湧水」が約 12%で、「野川公園湧水」の流出量は単位面積あたり「はけの森湧水」のほぼ倍の量である。また「真姿の池湧水」流出量は約 24%で流出率ははるかに大きい。さすがに、名水百選に選ばれるだけのことがある。またいずれの湧水も、流出地下水のほとんどが観測湧水量に近似した値である。

武蔵野礫層からより下位の砂礫層へ転化する浸透量(被圧地下水転化量)が年間降雨の約 8～10%と計算され、日量で 0.44～0.52 mmと大きい結果となった。

第 2 節(降雨と地下水の関係)で既述したように、地下水位、湧水ともに、1～2 日で急激に変化する場合もあれば、何カ月も後に降雨の変化が現れるケースがある。図 4 に示したように、武蔵野台地の地

下水の場合、約 100～120 日後にピークがある。湧水の場合も同様な傾向と考えられる。

なお、求められた地下水タンクの水位変化は対象流域の地下水位変化も表す。紙面の都合ですべて紹介できないが、図 11 の真姿の池の上流部の井戸水位計算事例のように、域内の水位観測井の実測水位と本計算のタンク水位変化は相関性が良かった。

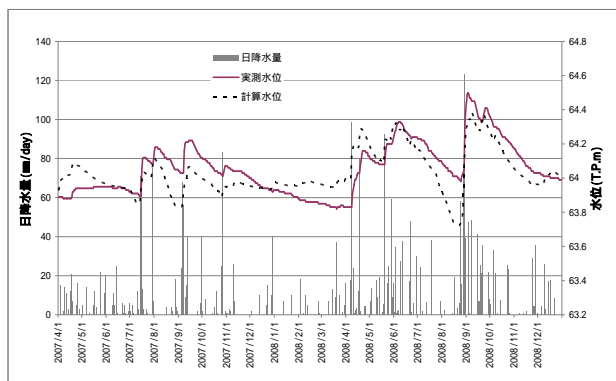


図 - 11 真姿の池上流部地下水位計算結果

天口らは、真姿の池の水循環解析を分布型水循環モデルを使用して行っているが¹⁰⁾、今回、われわれが行った、より単純な集中型水循環モデルでも野川のハケの水循環地域特性が十分に明らかにできるこ

とがわかった。

5. おわりに

野川上流域の長期にわたる水文観測調査を総括する意味で、いくつかの湧水域単位で水収支計算を行い、この地域の水循環特性を明らかにすることができた。また、この結果を用いることによって雨水浸透ます設置による湧水増加等の将来予測も可能となるなど非常に有効である。以前から言われていることであるが、北多摩地域の河川が東京の地下水の主要な涵養域であり、逆に平常時の河川流量を維持するのは容易でないことを、改めて再認識する計算結果となった。

なお、現地での水位観測や湧水観測は現在も行っており、関係する建設事務所の技術支援を継続していく考えである。最後に、調査にあたりご支援ご協力いただいた関係者の方々に深く感謝するとともに、忌憚のないご意見をいただければ幸いです。

参 考 文 献

- 1) 川合、石原、川島、国分(2006):野川上流域の水文環境の考察、平 18. 都土木技センター年報、131 - 142
- 2) 川合、川島、石原、清水(2008):野川上流域における河川水量確保に関する検討、平 20. 都土木技センター年報、39 - 50
- 3) 石原、國分、川合、向山、百瀬、榎本、青木(2009):野川流域における水文環境、平 21. 都土木技術支援・人材育成センター年報、191 - 202
- 4) 國分邦紀、中山俊雄、中嶋庸一(2000):練馬区土支田・大泉地区の地下水と湧水、平 11. 都土木技研年報、203-212
- 5) 永翁一代、森川和子(2001):都市湧水・真姿の池における従属栄養細菌群集の動態におよぼす降雨の影響、陸水学雑誌、Vol.62、p169-175
- 6) 中山俊雄、國分邦紀、中村正明、松延隆志(1998):武蔵野台地西部の浅層地下水と水文環境、平 10. 都土木技研年報、211-222
- 7) 國分邦紀、中山俊雄(1999):武蔵野台地西部の地下水変動解析、平 11. 都土木技研年報、191-196
- 8) 国分寺市都市建設部(2008):湧水地等の水量・地下水位調査委託報告書、平成 19 年度版
- 9) 国分寺市都市建設部(2009):湧水地等の水量・地下水位調査委託報告書、平成 20 年度版
- 10) 安藤義久、天口英雄、堀部将和(2003):野川上流域の真姿の池湧泉の水循環解析、総合都市研究、第 82 号、p45-55。