

## 14. 野川流域における水文環境

### Environment of Hydrology along the Basin of No River

技術支援課 石原成幸、國分邦紀、川合将文

河川部計画課 向山公人（現第四建設事務所）、百瀬荘太郎、榎本亮二、青木大輔

#### 1. はじめに

現在、土木技術支援・人材育成センター（以下、「センター」という。）では、建設局河川部からの委任により、土木技術研究所の時代から、継続的に河川流量および湧水量の観測を実施している。

また、平成15年度からは、同所（現、センター 技術調査課 地下水・基準点情報担当係）において、「地下水の保全と活用に関する研究」の一環として、武蔵野公園付近における水文環境に関する調査・研究が行われた。

これに加え、平成17年度には「河川の水量確保等に関する検討」の一環として、地下水観測井を追加し、浅層地下水位の長期観測を開始している。

本報告では、これらの調査結果を総合的に検討す

ることにより、主に野川上流域における地下水と湧水の状況に関する考察を試みる。

次に、野川流域全体の水循環の動向を把握するため実施された、三次元シミュレーションモデルの解析結果の概要を報告する。

なお、平成20年における都内の浅層地下水位の観測記録、並びに地盤沈下・地下水位観測記録に関しては、本年報の資料編<sup>1)2)</sup>を参照願いたい。

#### 2. 調査地域

調査地域である野川の位置および地形・地盤の概要は図-1に、国分寺崖線上流部の状況は図-2に示すとおりである。

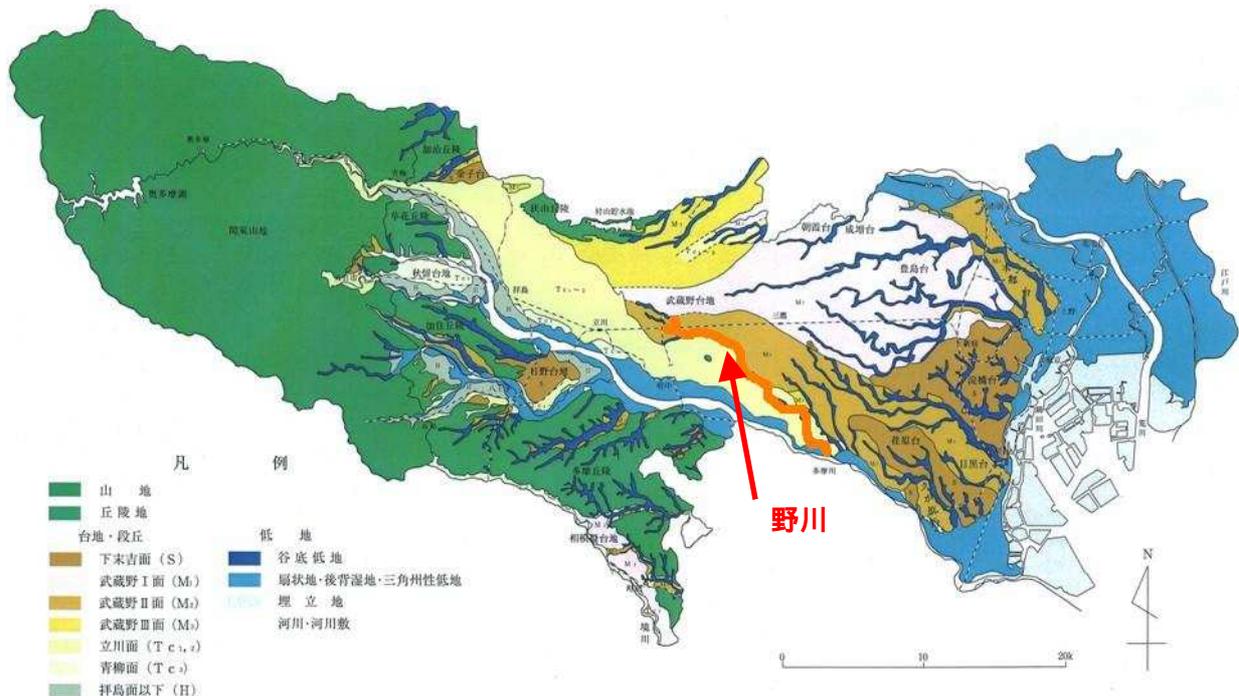


図-1 調査位置・地盤の概要

地形図を加工

野川は、武蔵野台地上の日立中央研究所内からの湧水や「東京の名湧水57選」の代表格でもある真姿の池湧水群の湧き水などを源水とし、武蔵野段丘面と立川段丘面の境をなす緑豊かな国分寺崖線に沿って流れ、途中で入間川と仙川を合せて、世田谷区の二子玉川付近で多摩川に合流する法定河川延長20.23km、流域面積が46.3km<sup>2</sup>の一級河川である。

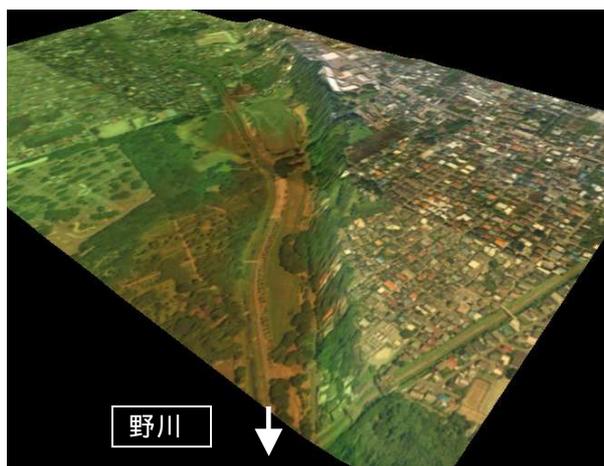


図 - 2 国分寺崖線（小金井市前原町・中町付近）  
航空写真(AIps) z方向×3 加工

このように野川は、豊かな自然が残る国分寺崖線と多くの湧水に恵まれ、多くの都民に親しまれているにも係らず、近年渇水期などに河川流量の減少に伴い、瀬涸れが発生するようになった。

これに対処するため行われた調査結果の詳細については、過去のセンター年報<sup>3)4)</sup>を参照願いたい。

本報では、上流域にある浅層地下水の観測井のうち、武蔵野段丘面および立川段丘面にあって比較的長期間の観測、または河川沿いで観測を行っている11井と国分寺崖線から流出する湧水2箇所の観測結果について報告する。なお、降水量は一部を除き、気象庁アメダスの府中データを使用した。

### 3. 浅層地下水の長期観測結果

当該観測井の設置位置は、図 - 3のとおりである。

武蔵野段丘面にある観測井6井のデータを図 - 4に、立川段丘面の5井については図 - 5に示す。それぞれの段丘面にある観測井の特徴は、次のとおりである。観測井の構造等については、過去のセンター年報<sup>3)4)</sup>に詳細があるため、紙面の都合から省略する。

#### (1) 武蔵野段丘面

武蔵野段丘面では、JR中央線から国分寺崖線までの一帯の観測井から6井を選定した。（図 - 3）

当該観測井の地下水位の変動傾向は、図 - 4にあるとおり1井を除いて非常に類似しており、降水に対して鋭敏に反応しているが、立川段丘面と比べて水位上昇の度合いは小さい傾向にある。

より具体的には、この5井は1日あたりの降水量が40mmを越える場合に上昇に転じ、同60mm超では水位が低下傾向にあった場合でも急激な上昇を示している。また、1日あたりの降水量が20mm程度であっても、前20日間程度の間継続して40 mm程度の降水がある場合には、水位が上昇する傾向にある。

次に、地下水位の下降時には、立川段丘面の観測井が若干の上向きの弧を描くのに対し、当該5井は直線的な下降傾向にあり、立川段丘面に比して水位低下の速度が早いことが判る。

例外となる1井は、現在の小金井市立はげの森美術館（従来の名称を踏襲し「美術の森」とする。）の背面崖上に位置している。当該観測井の直近の崖線では、湧水が流出しており、また日変動量が数センチメートルと他と比較して少ないことから、近傍での揚水も影響していると判断できる。（図 - 4）

ここで、M-16・S宅は他の水位観測井と異なり、雑用水として使用中の民間井戸を計測しており、判別に注意を要する。

なお、美術の森の地下水及び湧水の長期観測結果については、後に詳述する。

#### (2) 立川段丘面

立川段丘面の観測井は、野川沿いの5井を選定した。（図 - 3）

当該観測井の変動傾向については、5井ともほぼ類似した傾向を示しているが、上流側の観測井ほど降水の継続時間が大きくなるにつれ、水位上昇が顕著になる傾向を読み取ることができる。（図 - 5）

武蔵野段丘面の観測井と比較した場合には、降水に対する反応は遅いが、同一の降水量に対する水位上昇の度合いが大きいことは明らかである。

同様に、下降時にはゆっくりと低下することが読み取れる。

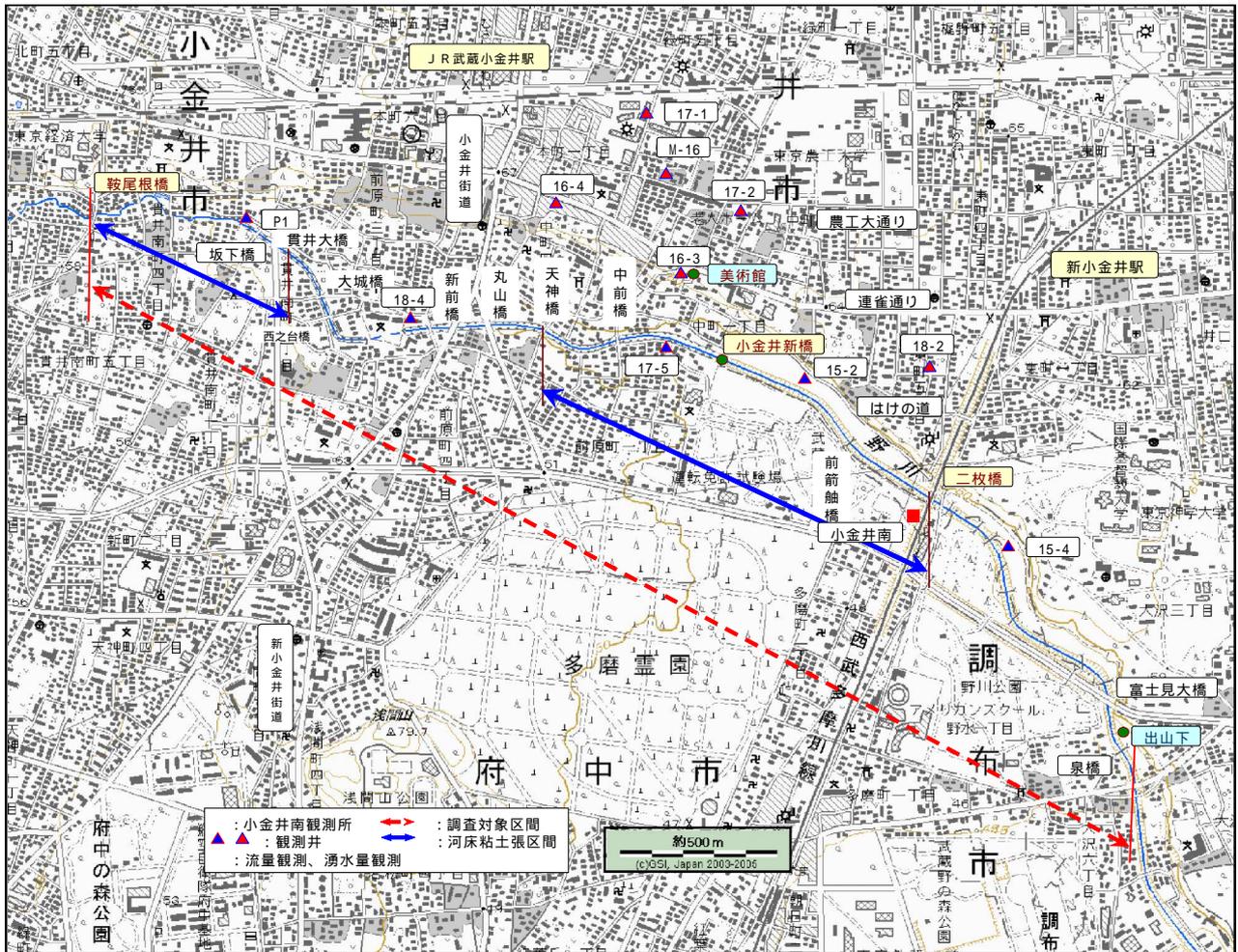


図 - 3 上流部 設置位置図

次に、立川段丘面の5井は、河川の下流側に位置する観測井ほど地下水水位が低くなっているが、15-2・野川調節池脇の観測井から下流の観測井では、通年で河川の河床高（約T.P.+44.0m：調節池付近）より地下水水位が高いことが判明している。<sup>5)</sup>

#### 4. 湧水の長期観測結果

国分寺崖線から流出する湧水については、美術の森と野川公園（出山下）の2点を選定し、調査結果を図 - 6および図 - 7に示す。

この観測値は、実測値との差異が大きい場合があることから判るように、増水時に流出水が三角堰の周辺へ廻り込み、改良しても全量の測定が困難な状況もあるため、当該観測値をほぼ最低流量に相当するものとして扱うこととする。

また、本表の降水量に関しては、水防災総合情報システムの野川公園観測所のデータを使用している。

美術の森の湧水は、最低流出量が2m<sup>3</sup>/day、平均流

出量が130 m<sup>3</sup>/day程度となっており、降水に対して敏感に反応している。

これに対して、野川公園（出山下）の湧水は、最低流出量が200m<sup>3</sup>/day、平均流出量が1,200m<sup>3</sup>/day程度となっており、こちらも降水に鋭敏に反応している。

この湧水量の相違については、湧水の涵養域の違いが大きいと考えられるが、注意点としては、都市計画道路3.2.2東京八王子線（通称「東八道路」）の整備に際し、湧出口付近に地下水の集水管が埋設されている影響を考慮する必要がある。

また、このように上流に比して多量な湧水が地下に浸透することにより、野川の河床高より高い浅層地下水水位を保つ地域となっていると考えられる。

#### 5. 湧水と地下水の関係

ここでは、国分寺崖線に係る観測結果のうち、特に美術の森湧水と地下水との関係の考察を試みる。

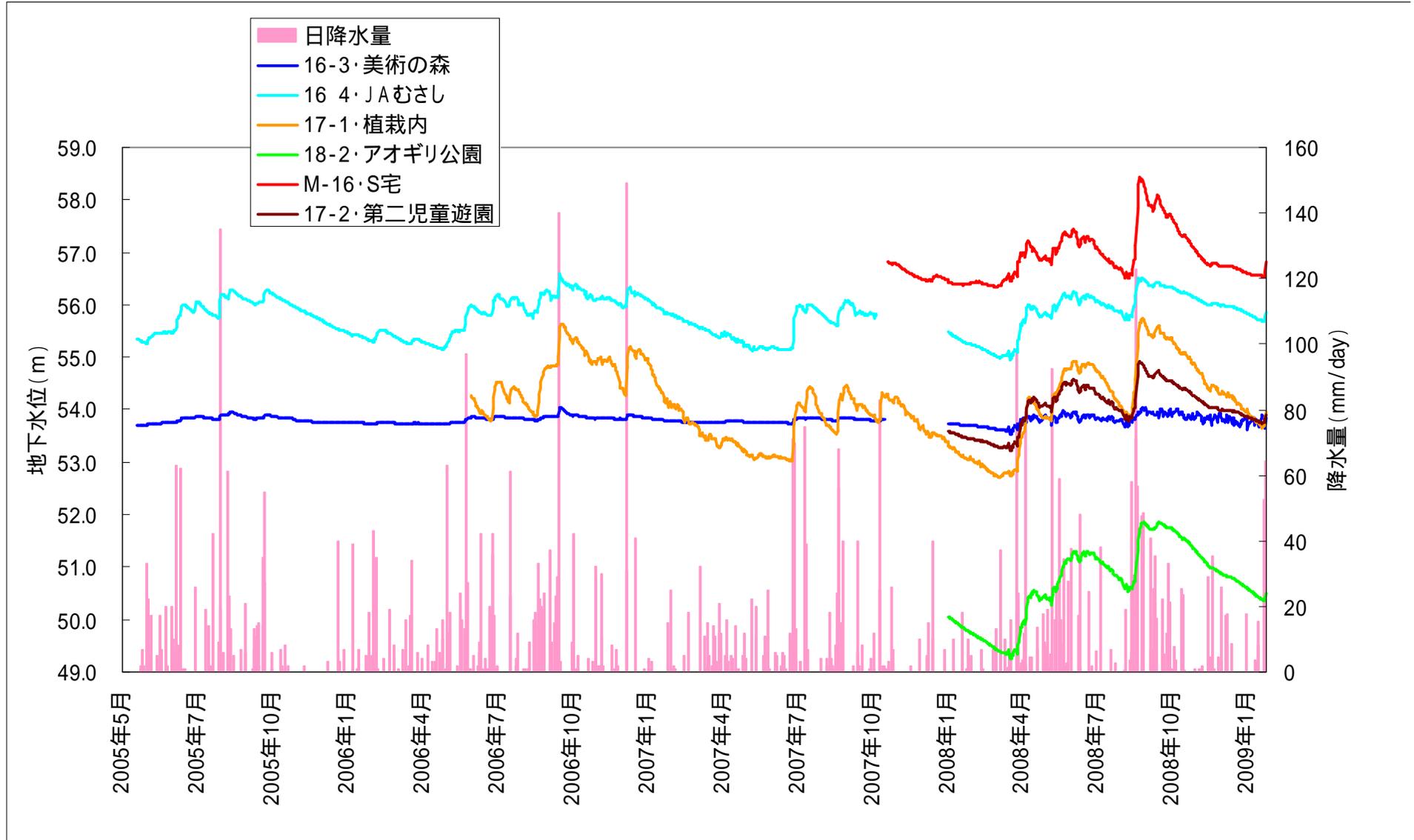


図 - 4 武蔵野段丘面 長期地下水観測結果一覧表

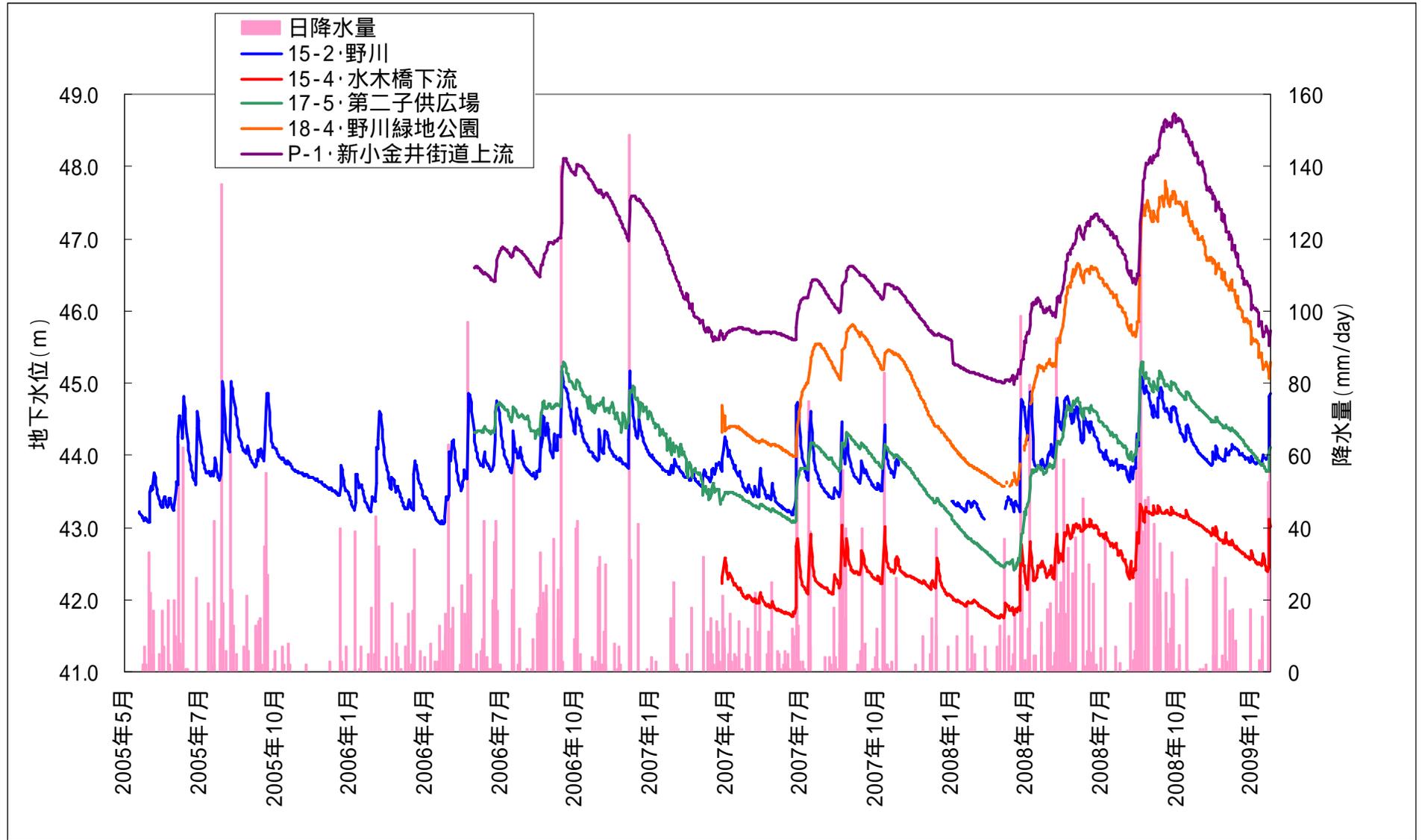


圖 - 5 立川段丘面 長期地下水觀測結果一覽表

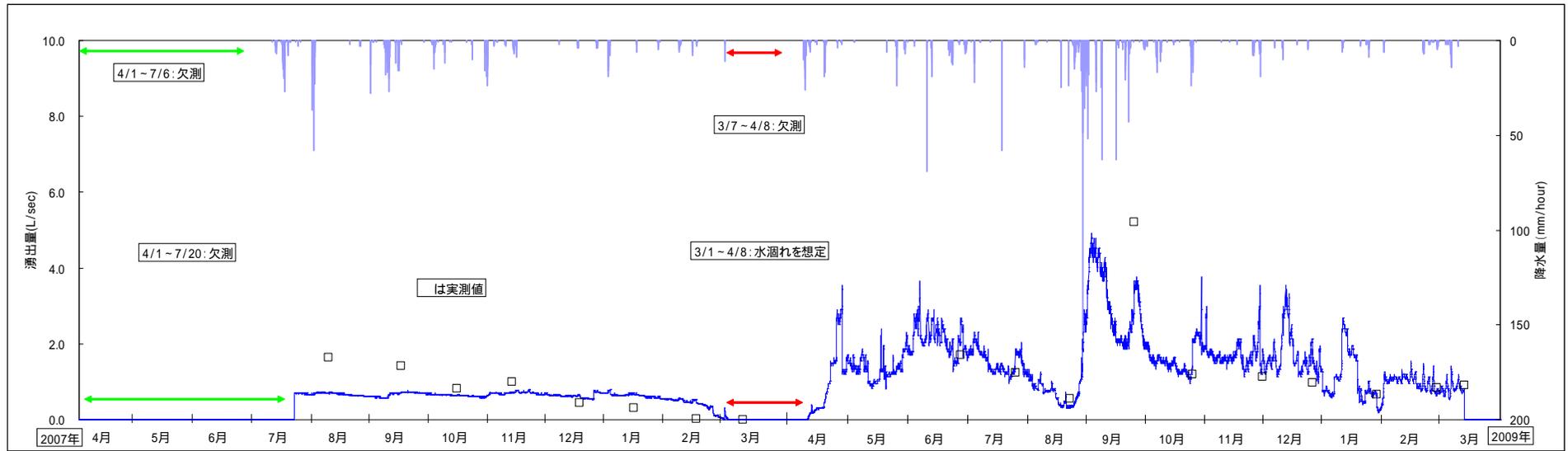


図 - 6 美術の森 長期湧水観測結果一覧表

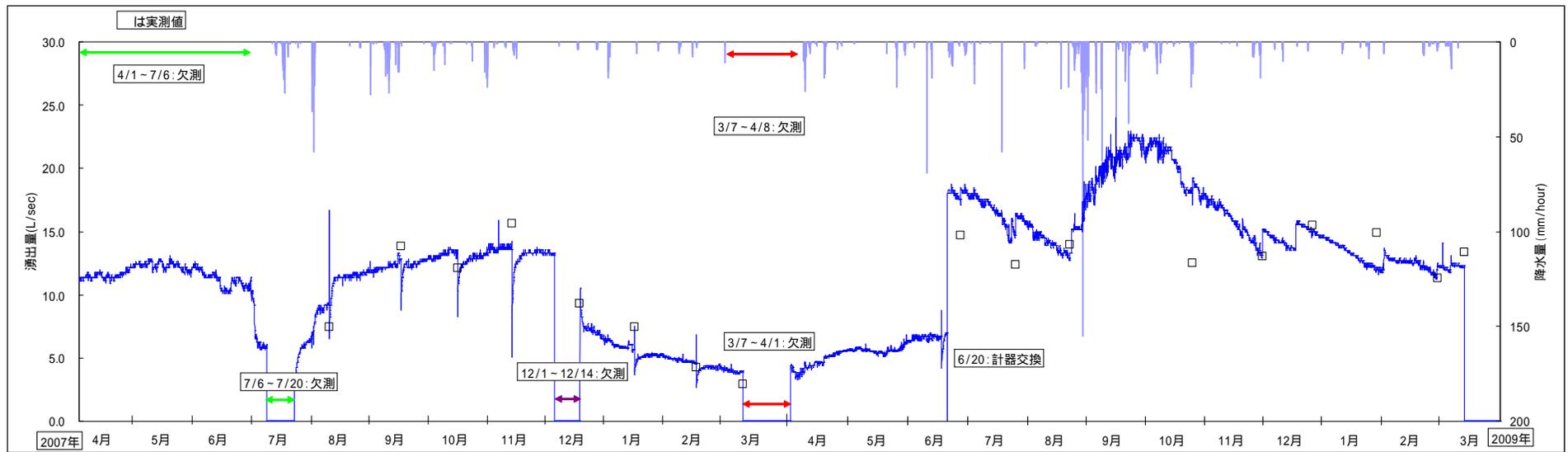


図 - 7 野川公園(出山下) 長期湧水観測結果一覧表

(1) 美術の森湧水と16-3・美術の森地下水

小金井市立はげの森美術館には、美術の森湧水が湧出している。また、同敷地内の北側斜面には、センターで設置した16-3・美術の森地下水観測井が位置する。これらの数年分（既報を含む）の観測データを整理し、その特徴を報告する。

当該湧水地点の地盤高は凡そT.P.+53mであり、観測井の地盤高はT.P.+63.4m、その比高差が約10mである。また、相互間の距離は20m強であることから、崖線の平均勾配は20～30度程度となっている。

観測井のある地点の地質は、次のとおりである。

表層から、約5m厚のローム及びシルト層、その下に層厚約4mの砂礫層（武蔵野礫層）、シルト質細砂層と続いており、浅層地下水の主帯水層は武蔵野礫層である。

図-8は、当該湧水と地下水位の日変動図である。

ともに降水の影響により変動していることが判る。地下水位は、最高値T.P.+54.04m、最低値T.P.+53.74mで、水位変動幅が約30cmと小さい点が特徴である。

また、約2年間の観測における湧水量の平均値は、1.53ℓ/sec、最大値4.61ℓ/sec、最小値0.02ℓ/secであり、湧水量が0.5ℓ/sec以下の渇水時期は2008年4月・8月、2009年1月・3月の計4回となっている。

さらに、図では明確でないが、湧水と地下水位のピークは、降水の状態によってピークの出現が前後しており、いずれが先か一定していない。

なお、観測データからは、湧水の降水に対する時間遅れの平均は約3日、地下水のそれは約5日である。

(2) 美術の森湧水と16-4・JAむさし地下水

次に、美術の森・地下水とJAむさし・地下水との関係について検討する

美術館から連雀通りを少し西に向かったJAむさし前に、16-4・JAむさし地下水観測井を設置していた。

図-9には、両観測井のデータを整理した。この表からは、同じ武蔵野礫層を主帯水層とする武蔵野段丘面の地下水であるにも拘らず、16-4・JAむさし観測井の方が16-3・美術の森観測井より常に2mほど、地下水位が高くなっている。

また、JAむさし観測井の水位の年間変動幅は、美術館観測井のそれよりも大きいことが判る。

この原因は、美術の森観測井の位置が崖線際にあつて、JAむさし観測井の地盤高よりも約2m低くなっていること、崖線の影響で地下水位が急激に低下する遷移面にあることなどによると推定される。

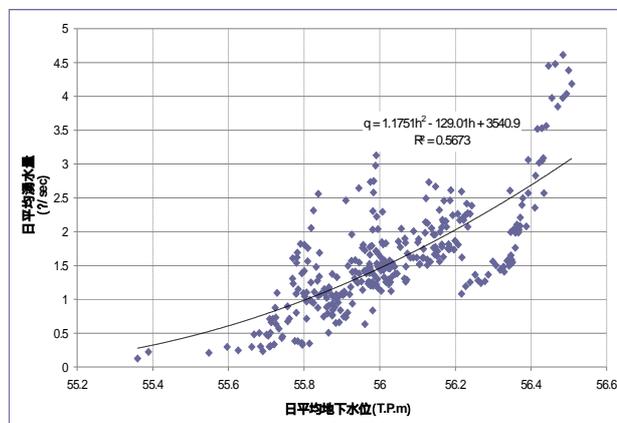
これらの検討結果に基づき、16-3・美術の森湧水と16-4・JAむさし観測井の地下水位の相関関係を整理したものが、図-10である。

当初は、美術の森湧水と16-3・美術の森観測井の水位の相関が良いものと推定していたが、明確な相関が得られなかった。その原因は、地下水位の遷移面に位置しており、水位が湧水等の影響を受けているものと考えられる。これに対し、崖線から少し離れたJAむさし観測井の地下水位との相関では、湧水と水位との間に二次曲線的な相関が明らかになった。

つまり、美術の森の湧水量  $q$  (ℓ/sec) とJAむさし観測井の地下水位  $h$  (T.P.+m) の二次回帰式は、以下のとおりである。

$$q = 1.1751 \times h^2 - 129.01 \times h + 3540.9 \quad \text{----- (1)}$$

湧水量は結果として、その涵養域の貯留量の変化として流出してくるものであるから、(1)式で表されることは当を得ている。上式から、湧水量がゼロ（枯渇の危険性がある）となるJAむさし観測井の水位を求めると、T.P.+55.1mとなる。当該水位は現在までのところT.P.+55.5m程度であり、危険水位まで低下していない。このように、湧水の枯渇を論じるにあたっては、涵養域の上流側の浅層地下水のモニタリングが有効であることが判る。



$R^2=0.5673$  ( $R=0.7531$ )・・・(1)式より

図-10 美術の森湧水量とJAむさし地下水位の相関

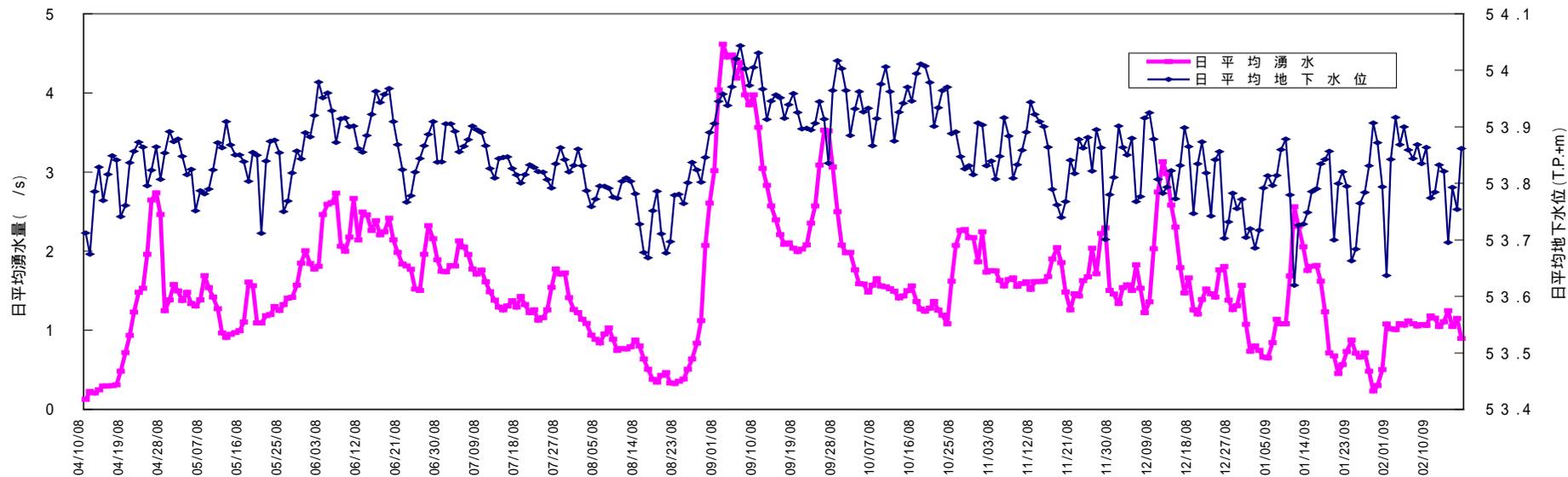


図 - 8 美術の森湧水量と16-3・美術の森地下水位 変動量

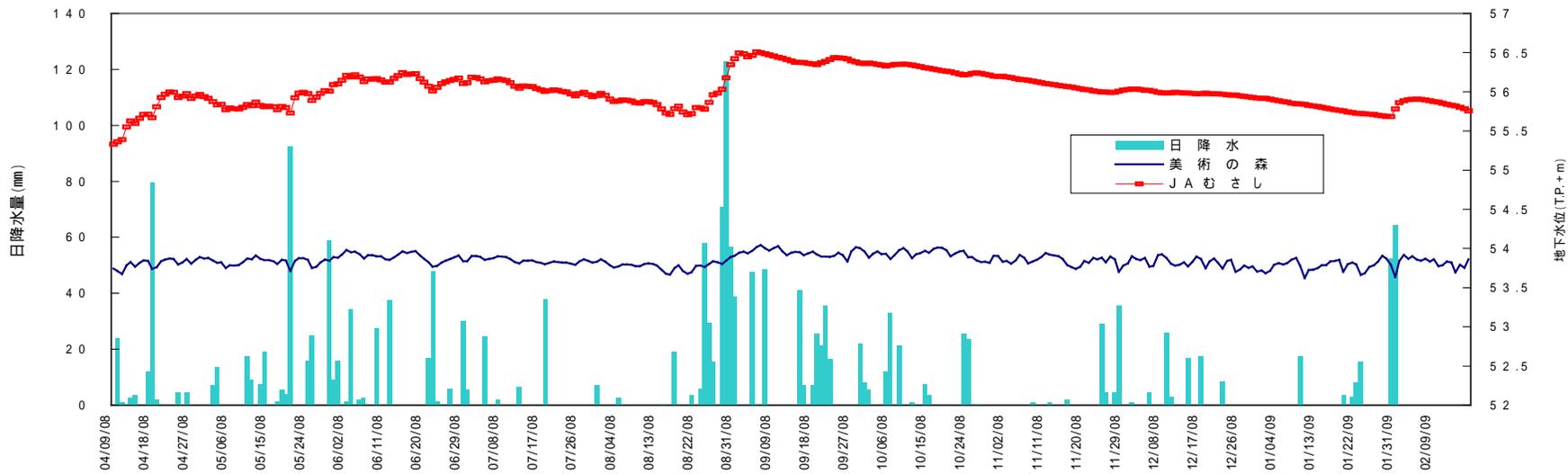


図 - 9 16-3・美術の森地下水位と16-4・JAむさし地下水位 変動量

## 6. シミュレーション解析

前述のとおり、野川における河川と地下水および湧水の関係などの調査・検討は、主に上流域を対象として行われてきている。これら調査は実地計測であり、精密かつ信頼性の高いデータを提供してくれるが、全流域を対象として実施するには、時間・労力に加えて費用も膨大なものとなる。

本項では、既存成果を活用することにより、野川の全流域を対象としたシミュレーション解析を試みた結果の概要を報告する。

### (1) 対象区域

本モデルで対象とした区域は、図 - 11に示す野川流域に隣接する地域を加えた東西方向35km、南北方向8kmの約284km<sup>2</sup>である。

このうち、モデルの再現性を検証するうえからも、重点地域（局所高解像）として既存資料が豊富な野川上流域を設定した。

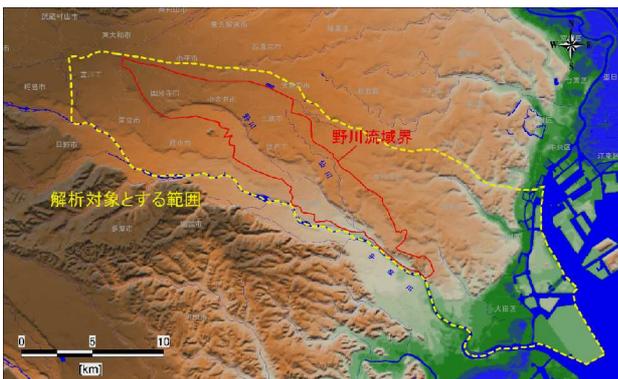


図 - 11 対象区域

### (2) 数値解析手法

今回の解析では、三次元および地下の水・空気の二層流れの解析が可能であり、通常であれば境界条件として入力する必要のある湧出量等を算出可能である地表水と地下水の連成解析が可能な流体シミュレーションモデルを使用した。

### (3) モデルの構築・設定条件

モデルの構築に際しては、時代変遷を大きく次の三つに区分したうえ、各種の条件を設定し再現を試みた。自然状態、高度経済成長期、現況  
三次元格子モデルとしては、深度5,000mまでを17分割し、総格子数で769,937とする。

ここで、自然状態の再現にあたっては、過去の河

道諸元や河川流量等において、信頼性の高いデータが不足していることから、現況の河道と同一条件と仮定したうえ、玉川上水からの流入を前提とした。

また、高度経済成長期等の利水状況なども、同様に実際の取水地点ではなく、各区内で均等に採水しているものと仮定した。

地形データは、標高を区部が国土地理院の5m数値地図、多摩部を50m数値地図により、河川諸元を河川部が所有するデータによった。

地質データは、東京都総合地盤図および産業技術総合研究所のシームレス地質図(1/20万)を主とした。

降水と気温データに関しては、流域の観測データに基づきティーセン分割して求めているが、データが降水5地点に対して気温2地点と相違があることから、分割域を合成して設定している。

降水の与え方では、今回のモデルは平均的な流況再現を目的とし、気象庁の降水記録にある降水量から蒸発散量を差し引いた可能浸透量に拠った。蒸発散量の算定は、ハーモン式に基づくものとした。

ここで、構築モデルに与える降水量に相当する可能浸透量の多年平均値は、2.55mm/dayである。

気温は東京と府中観測所、降水は東京、羽田、世田谷、府中、日吉の観測所のデータを採用した。

主な設定条件は、図 - 12～図 - 13並びに表 - 1～表 - 3のとおりである。

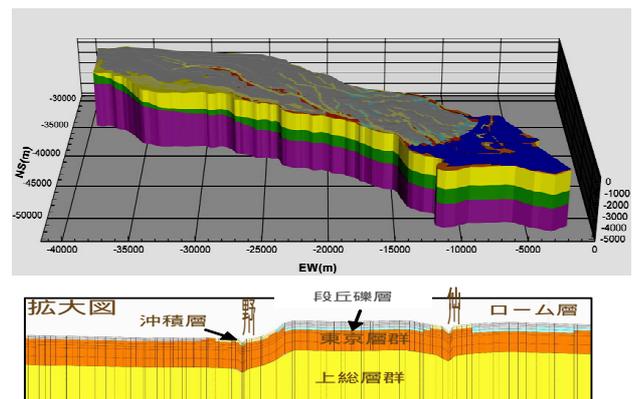


図 - 12 地盤・地質構造

### (4) 再現性の検証

初めに、対象領域の平均的な流況（平衡流動場）を再現するための領域初期化を実施した。

基本パラメータの初期設定では、地盤の透水係数

や粗度係数などについて、野川本川の流量や湧水量等の実測データと比較し、解析結果の再現性を確認しつつ見直しを行った。

1) 自然状態

自然状態に関しては、河川で古多摩川の流跡と考えられる流況を再現することができ、湧水が国分寺崖線部分で環境局資料とほぼ対応した結果を得たが、立川段丘面の一部について資料に乏しく不明な点が生じた。地下水位では、戦前(1938・冬季)の武蔵野台地の地下水位記録<sup>6)</sup>と比較し、武蔵野・立川段丘面の地下水位高、動水勾配は概ね一致傾向にあるが、全体的に実測水位より解析結果が高い傾向を示しており、人為的な影響を検討する必要がある。

2) 経済成長期および現況

流域の経済成長に伴う市街化の進展に関しては、河川環境の変化に大きな影響があると考えられる次の三つの要因を考慮することとした。

揚水量：環境局の公表値<sup>7)</sup>を市区単位で与えた

市街化率：土地利用形態ごとにマンシングの粗度係数を与え、面積に対応した市街化率を用いた

下水道整備率：分流式では処理量を無効水量とし、全体の処理水量から推定した。処理区ごとの処理量は、公表値<sup>8)</sup>から市区の面積に応じて算定した。

野川流域は、合流・分流式が入り組んでおり、合流式における雨水混入率は約30%と仮定した。

これらを時間変化に対応させて、平均的な数値を用いた非定常解析により、地下水位の解析結果を重

表 - 1 下水道処理量

処理区	下水処理量 約(千m <sup>3</sup> /年)	市区町村	下水流出量 約(千m <sup>3</sup> /年)
野川処理区	78,609	小金井	14,535
		武蔵野	5,237
		府中	1,195
		三鷹	8,721
		調布	37,970
		狛江	10,951
		計	78,609
森ヶ崎処理区	364,353	世田谷区	136,562
		目黒区	34,564
		品川区	53,421
		大田区	139,806
		計	364,353
北多摩一号	76,692	立川	1,043
		府中	37,031
		小金井	3,250
		小平	21,463
		東村山	710
		国分寺	13,195
計	76,692		
北多摩二号	19,466	立川	6,688
		国分寺	3,259
		国立	9,519
		計	19,466
錦町処理場	23,563	立川	23,563
東部処理場	8,637	三鷹	8,637

視して求めた結果、計算結果が観測結果と一致したのは、武蔵野・立川礫層、東京層群等の透水係数と有効空隙率が大きく、同様に段丘礫層で小さい値の場合であった。

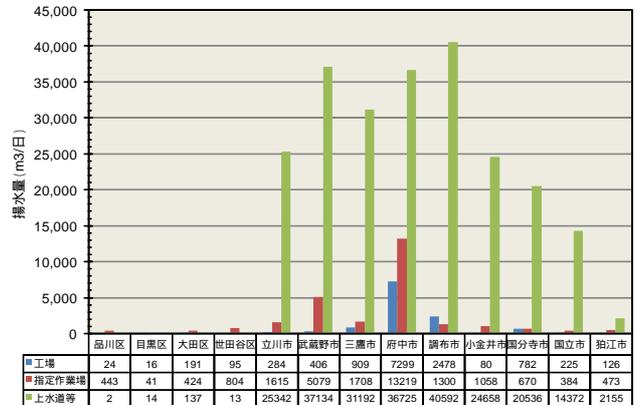


図 - 13 地下水揚水量

このため、長期的な事象の解析結果としては、ほぼ良好に再現できていることが読み取れるが、土質定数等に関しては、今後の課題に示す条件に基づき見直す前提である。

表 - 2 土質諸元

地質区分	記号	透水係数 (cm/s)		有効空隙率 (%)
		水平	鉛直	
表土	SF	1.0 × 10 <sup>-3</sup>		50
沖積層	Al	1.0 × 10 <sup>0</sup>		30
粘土層	cl	1.0 × 10 <sup>-4</sup>		5
ローム層	Lm	5.0 × 10 <sup>-3</sup>		20
武蔵野礫層	Mg	1.0 × 10 <sup>-1</sup>		30
立川礫層	Tg	1.0 × 10 <sup>-1</sup>		30
段丘礫層	Lc	1.0 × 10 <sup>-7</sup>		5
東京層群	To	1.0 × 10 <sup>-3</sup>	1.0 × 10 <sup>-5</sup>	30

戦前(1938・冬季)と自然状態の地下水位等高線を観測値と比較した図は、図 - 14のとおりである。

7. 解析結果

シミュレーション解析の結果からは、時間変化に対応した野川流域の地下水面形を再現することができた。

これによれば、図 - 15のように上流域における浅層地下水の水位低下は、現況を戦前と比較して凡そ3~5mである。図 - 16に示すとおり、自然状態における野川に流入する地下水の涵養域は、野川に沿った1km程度の範囲と想定される。当然のことながら、現況における実測結果は、より狭い範囲となっている。

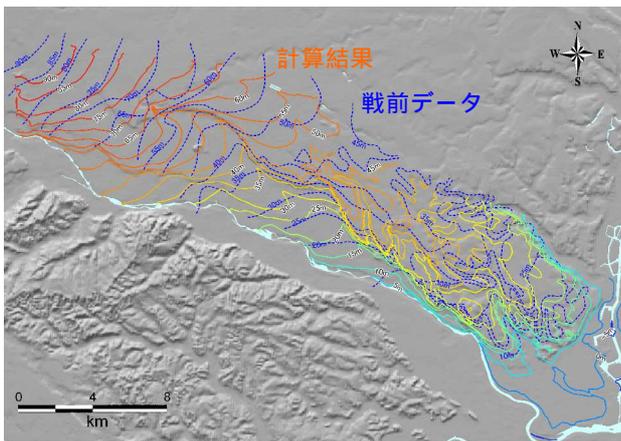


図 - 14 地下水位等高線図・自然状態

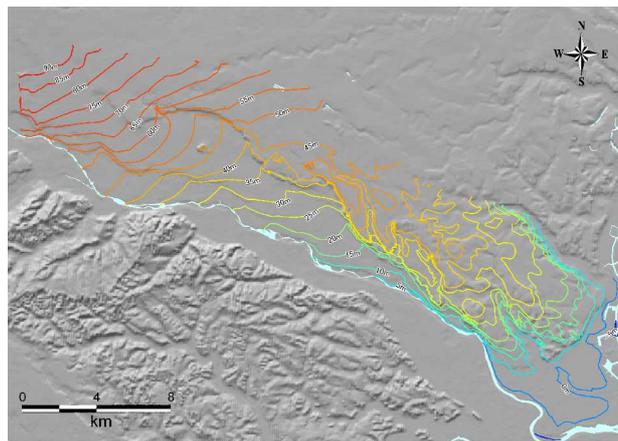


図 - 15 地下水位等高線図・現況

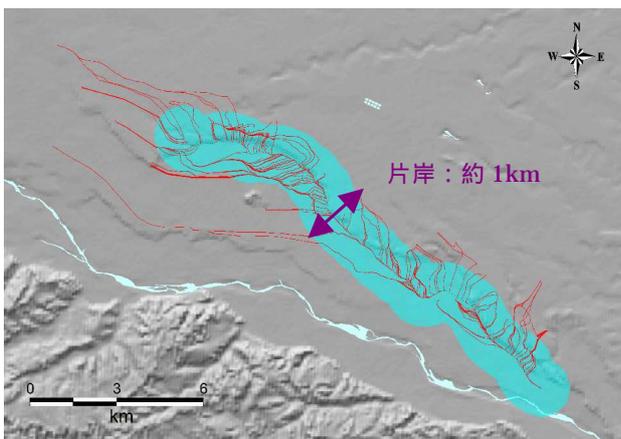


図 - 16 地下水涵養域・自然状態

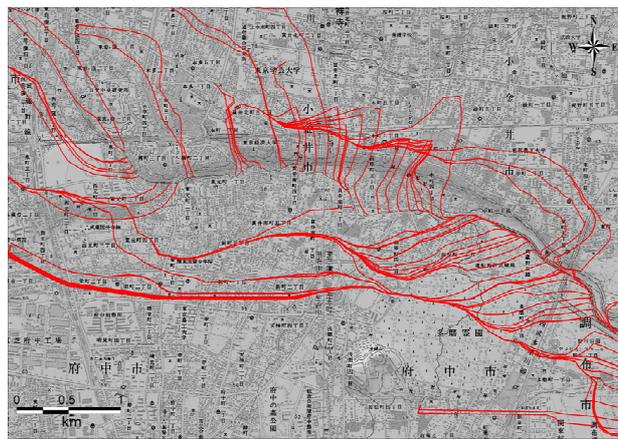


図 - 17 地下水経路概念図・上流域

表 - 3 諸元データ

分類	データ項目	データ仕様		出典、発行期間
		期間/発行	解像度、縮尺、位置等	
気象	降水量	1971~2000	府中、世田谷、日吉、羽田、東京	気象庁
	気温	1971~2000	東京、府中	気象庁
	日照時間	-	-	(緯度別の昼の長さから算定)
水文	河川流量・水位	1980~2008 1997~2008 (年数回一斉観測)	本川 6 地点 本川 43 地点	土木技術センター貸与データ 東京都北多摩南部建設事務所報告書等
	地下水	-	-	土木技術センター年報、地盤沈下調査報告書 国土交通省地下水マップ他、一般文献、論文等
地形	標高	2003	5m	国土地理院数値地図(東京都区部)
		2001	50m	国土地理院数値地図
	河幅、河床	-	-	河川部野川流域現況調査委託図面集、MIKE11 ネットワークデータ
土地利用	土地利用図	1974/1979/1984/1989/1994	10m	国土地理院数値地図
		1976/1987/1991/1997	100m	国土交通省港湾局国土数値情報
		1976/1987/1991/1997	1km	国土交通省港湾局国土数値情報
土壌・地質構造	平面	1987 2009	1/200,000	旧地質調査所 20 万分の 1 地質図(東京) 産総研統合地質図 20 万分の 1 シームレス地質図
	地下地質構造	1990	1km 間隔の東西地質断面図	土木技術センター東京都総合地盤図Ⅱ、一般文献、論文等
利水・人工系	利水、揚水量	1950(昭和30年代)~ 2007	東京都全域 東京都全域 関東平野全域	平成 18 年都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書) 平成 19 年度地盤沈下調査報告書 国土庁、地下水マップ付属説明書、千葉・東京・神奈川地域 国土交通省全国地下水台帳、等
	分水路	-	-	玉川上水、国分寺分水、小金井分水等

次に、市街化による要因別の水位低下への影響の度合いであるが、現況において三つの要因のうち、一つの要因だけ考慮しないで再現を試みた。

いずれの場合においても、現況の再現では自然状

態に比べて、30~40%程度の流量が減少する結果となったが、特に野川本川の流量低下の要因として地下水揚水量が大きく影響しており、これに下水道の整備に伴う河川への排水の減少等が相俟って浅層地下

水の水位低下を引き起こした状況を推測する結果となった。

また、6.(3)で示した降水条件を前提として、仮想的に継続的な無降水状態が生じさせ、野川本川の瀬涸れ発生状況の再現を試みたところ、無降水状態290日以降に瀬涸れ現象が発生した。これに可能浸透量に乗じると、凡そ740mm相当の値となる。

一方、平成19年のタンクモデルによる解析<sup>9)</sup>において、貯留高519mmより小さくなると河川流量がゼロとなり、瀬涸れが発生しやすいとの結果を得ている。

この差異は、今回のシミュレーションモデルの構築において、地下水水位および河川流量の非定常変化並びに空隙率に関する同定を行っていないことに起因していると考えられる。

最後に、図-17は、パーティクルトラッキング手法による地下水の流動軌跡を示している。これは、ある任意の1点を設定し、その点に位置する水の粒子の動きを時間的に進めるあるいは戻すことによって表される軌跡を、流線として表現したものである。

この軌跡が集中するほど、地下水が集まりやすい傾向にあることが想定される。

なお、この軌跡図は解析結果を二次元で表現して

いるため、またシミュレーションの特性から、流線が直角に曲がるあるいは崖線を連続するような表現になっていることを、念のため付記する。

## 8. 今後の課題

今回の解析では、種々の制約からモデルの構築と自然状態の再現を主な目的としたため、長期的な事象の検討を中心に、豊水期や渇水期などの季節変化に対する影響を考慮するには至っていない。よって、渇水期に表れる瀬涸れを評価するには、これまでに得られた実績値に基づく外力条件（降水・揚水など）を考慮して検討を行う必要がある。

今後は、瀬涸れの再現と検証を通して、短期間の流況変化への対応並びに精度向上を図ることにより、瀬涸れの発生予測や対策に資するモデルへ発展させることとしたい。

## 謝辞

野川の水循環に関するシミュレーション解析に際しては、多くの関係者のご理解とご協力を頂きましたこと、ここに記して謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 石原成幸、川合将文、川島眞一、國分邦紀(2009)：浅層地下水の観測記録(平成20年)、平21都土木技術支援・人材育成センター年報、243-252
- 2) 川島眞一、川合将文、石原成幸(2009)：地盤沈下と地下水位の観測記録(平成20年)、平21都土木技術支援・人材育成センター年報、259-294
- 3) 石原成幸、川合将文、川島眞一、高崎忠勝(2006)：野川上流域における地下水・湧水・河川環境、平18都土木技術センター年報、221-228
- 4) 川合将文、川島眞一、石原成幸、清水武博(2008)：野川上流域における河川水量確保に関する検討、平20都土木技術センター年報、39-50
- 5) 3) 226
- 6) 吉村信吉(1942)：地下水、科学新書20、河出書房、43-61
- 7) 東京都環境局(2008)：平成18年 都内の地下水揚水の実態(地下水揚水量調査報告書)
- 8) 東京都下水道局HP
- 9) 高崎忠勝、杉原大介、岩屋隆夫(2007)：野川流域における長期流出特性の解析、H19都土木技術センター年報、49-55