

11. 野川流域における低水流量観測結果

Results of Low-flow Surveys in No-Gawa Basin, 1999-2004

技術部 増田信也、高崎忠勝、大久保誠一

1. はじめに

東京都では、河川事業の実施において1時間当たり50ミリメートルの降雨を対象に河道計画や調節池などの治水施設計画を策定し、治水事業を実施している。現在、野川では川づくりにおいて周辺環境と一体となった整備や河道内の多自然型の整備を実施している。

一方、平成16年度において2月から9月まで野川、石神井川、残堀川、空堀川等の武蔵野台地にある中小河川において流水の枯渇または著しい減少が発生し、河川環境の悪化、魚類を初め生物の生息環境の悪化、流水の不足のため河床材料の砂礫が高温化することによる周辺気温の上昇を引き起こした。

野川では、近年流水の枯渇または著しい減少が2年から3年おきに発生していること、平成11年度から概ね毎月低水流量観測と湧水流量観測を実施していることから野川の降雨量と流量および湧水量の関係を調べるのが可能である。



写真-2 流量のない野川・小金井新橋付近

そこで、河川部からの依頼で実施した野川流域で低水流量観測結果¹⁾と湧水流量観測結果¹⁾をもとに降雨と流量、降雨と湧水量に係わる事項を中心に統計的手法を用いて解析し、流量の減少および枯渇原因について検討したものである。

2. 調査概要

(1) 対象河川

検討対象とした野川は国分寺市恋ヶ窪に源を発し、武蔵野台地南端、国分寺崖線下を東南に流下し、小金井市、三鷹市、調布市を貫流して、狛江市に入り、狛江・世田谷の市区境で入間川を合流させ、世田谷区の西部を流下して、同区鎌田三丁目では仙川を合流させて同区玉川三丁目でも摩川に合流する一級河川である。流域は流域面積が70km²であり、流域内には世田谷区および東京都23区に隣接する武蔵野市、三鷹市、調布市、狛江市を有することから70万人を超



写真-1 流量のある野川・小金井新橋付近

える流域人口を有している。流域全体が市街化されており、下水道の整備率は平成9年度に概ね100%となっている。野川の改修は、昭和50年頃から1時間当たり50mmの降雨に対応する改修に着手し、野川周辺の自然環境を損なわないように環境保全と緑化を考慮しながら、現在小金井市と国分寺市の市境にある鞍尾根橋まで改修が進んでいる。

(2) 流量観測箇所

野川の流量観測および湧水量観測箇所は表-1に示すとおり、3箇所の河川流量観測と4箇所の湧水量観

測を実施している。

(3) 調査方法

観測手法については、国土交通省水文研究会著「水文観測」(全日本建設技術協会)²⁾、国土交通省河川砂防技術基準(案)³⁾等を参考にした。観測方法を以下に示す。

河川地点では、観測所近傍の流れの安定した地点を定め、横断測量を行い、河川に直角に水面幅を測定し、等間隔に水深を測定した。流速測定はCM-10S流速計を使用した。

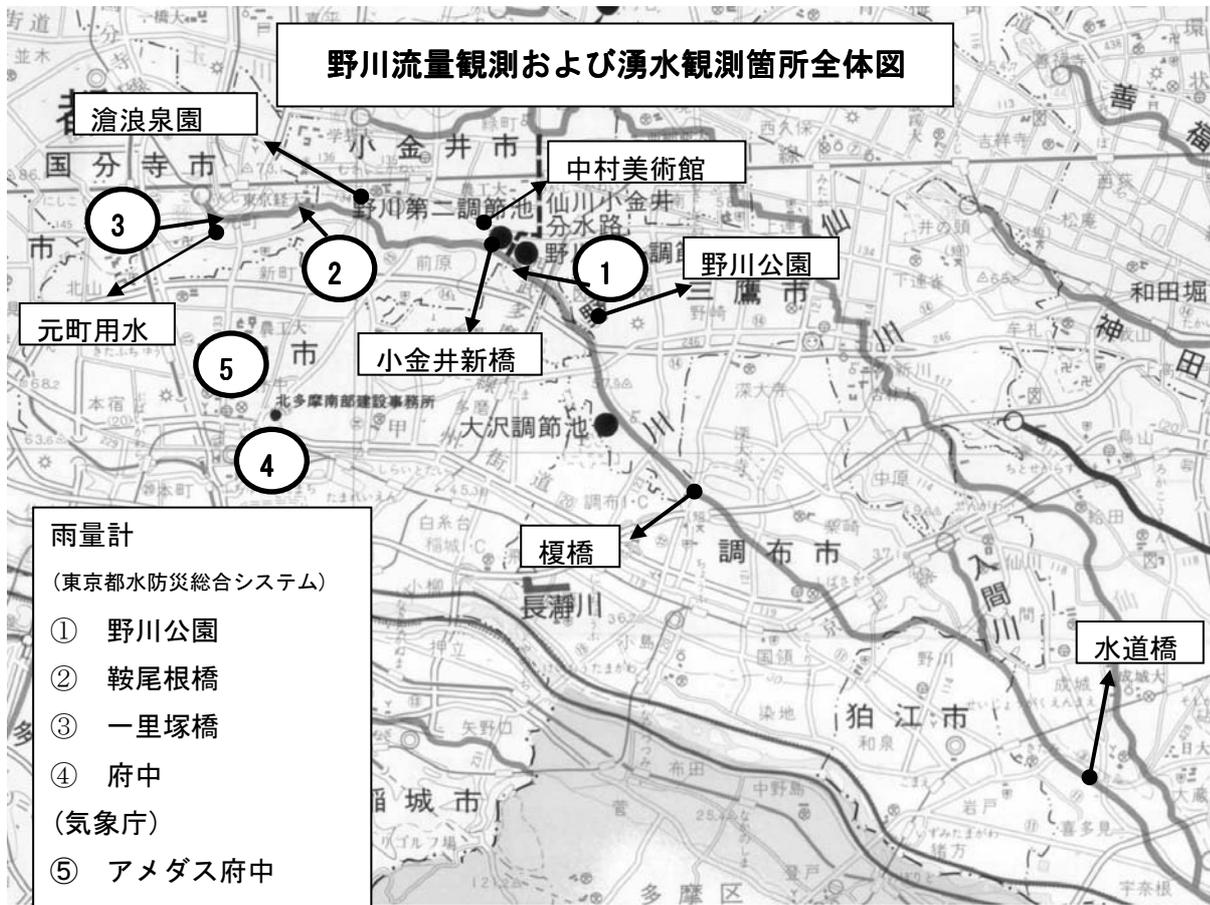


図-1 野川の流量観測および湧水量観測箇所全体図

表-1 野川の流量観測および湧水量観測場所と観測項目

種別	観測所名	場 所	雨量観測	低水流量観測
河川流量	小金井新橋	小金井市中町一丁目2番地先	○	○(河川)
	榎橋	調布市佐須三丁目40番地先	○	○(河川)
	水道橋	世田谷区喜多見六丁目16番地先	○	○(河川)
湧水量	野川公園	三鷹市大沢二丁目15番地先	×	○(三角堰)
	中村美術館	小金井市中町一丁目15番地先	×	○(三角堰)
	滄浪泉園	小金井市前原三丁目15番地先	×	○(三角堰)
	元町用水	国分寺市東元町三丁目36番地先	×	○(矩形断面)

○・・・実施 ×・・・実施せず

湧水地点では、三角堰の越流部分の水深、水面幅及び流速を測定し、断面積と流速から流量を求めた。流速測定にはCM-10S 流速計を使用した。

三角堰及び矩形断面において流量が少ない時は、バケツ等により取水し、取水量と所要時間により流量を算出した。

(4) 観測結果

平成11年度から同16年度までの降雨量、低水流量および湧水量の経年変化は図-2、図-3のとおりである。

3. 降雨量と流量・湧水量の相関に関する検討

野川流域および周辺には当研究所の雨量計をはじめ

め都水防災総合システムの雨量計、気象庁アメダスの雨量計が設置されている。ここで、様々な雨量計の降雨記録を検証した。

(1) 降雨記録の検証

当研究所の雨量計は、河川の流量観測箇所には3箇所設置されているが、維持管理が途切れる年度末、年度始めの降雨データに欠測が多く時系列的な解析には精度が劣ることがわかった。このことから、水防災総合システムと気象庁アメダスの降雨データを検証した。

都水防災総合システムの雨量計は、流量観測箇所付近に4箇所設置されている。これらの日雨量の相関を見てみると図-4のとおりとなる。

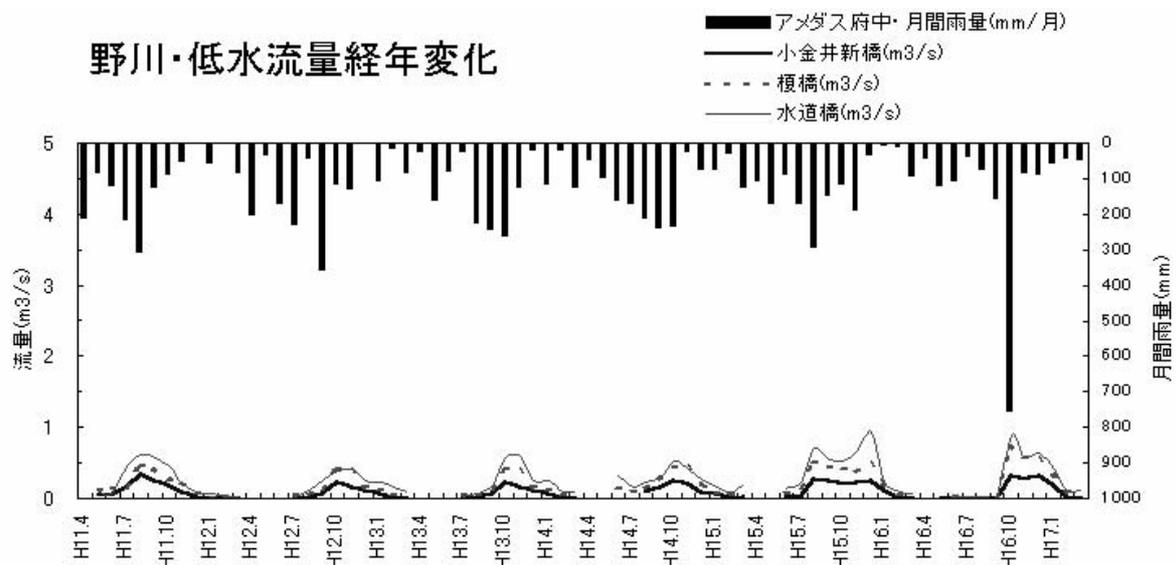


図-2 野川低水流量の経年変化

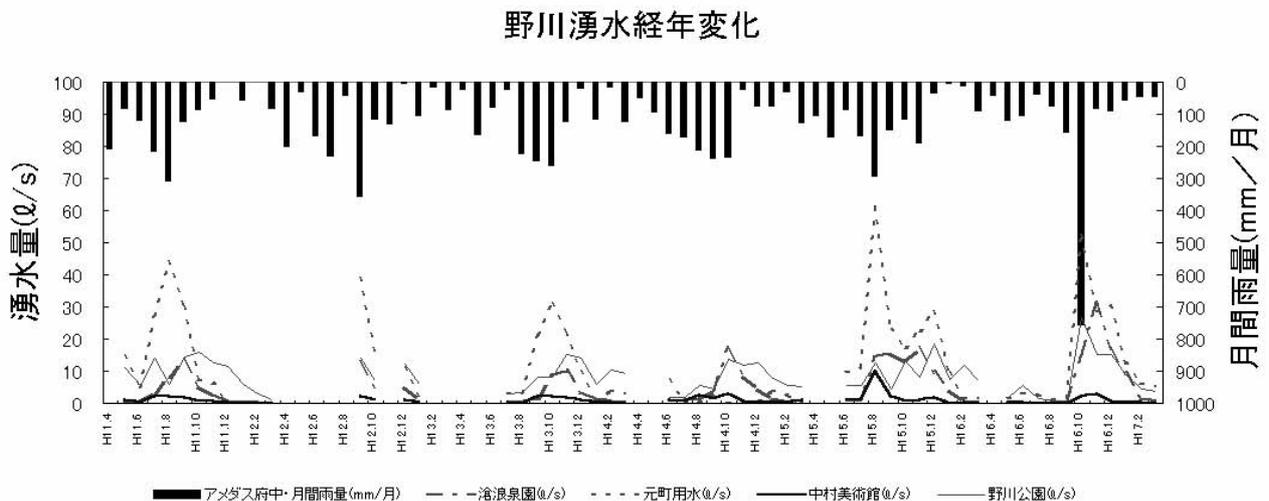


図-3 野川湧水量の経年変化

野川周辺の都水防災総合システム雨量計の相関

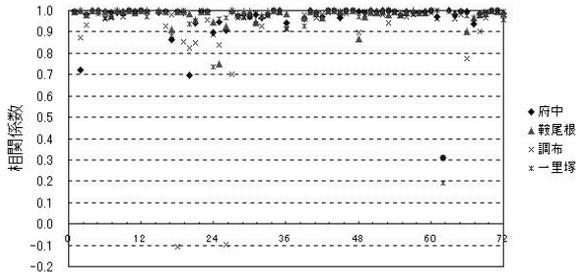


図-4 雨量データの相関

ここで、横軸は平成11年4月から平成17年3月までの72ヶ月を表している。都水防災システムの雨量はシステムの更新時期である横軸の13から25の平成12年度、と各年度の補修点検が実施される毎年2月から3月の相関が低いことが判る。これは、システムを停止して補修点検を行っており、欠測が多いことから生じたものである。一方、これらの欠測期間を除く雨量は相関係数が0.9以上であり、ほぼ野川流域の日雨量は同一と見なしてよいと考えられる。

また、都水防災システム雨量計4箇所にて囲まれて気象庁アメダス雨量計が府中に設置されている。このアメダス府中の雨量と都水防災システム4箇所の雨量と相関を比較したものを図-5に示す。

雨量計の検証(アメダス府中雨量計との相関)

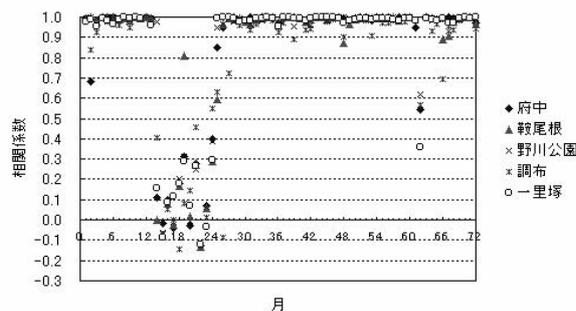


図-5 気象庁アメダスデータとの雨量相関

欠測期間を除く雨量は相関係数が0.9以上であり、野川流域の日雨量を欠測のない気象庁の府中アメダス日雨量データを採用する。雨量は表面貯留、付着を考慮して日雨量2mmまでを減じ、最大日雨量を200mmまでの有効雨量とした。以下は有効雨量である。

(2) 降雨量に対する流量・湧水量の相関

流量・湧水量と府中アメダスの観測日前5日から前

80日まで降雨量の相関を決定係数(相関係数の二乗)と比較すると図-6、図-7、図-8のとおりとなる。

観測日前雨量と野川流量の相関

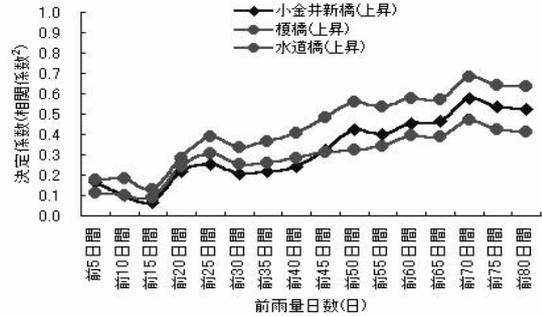


図-6 観測日前雨量と野川流量の相関(上昇)

観測日前雨量と野川流量の相関

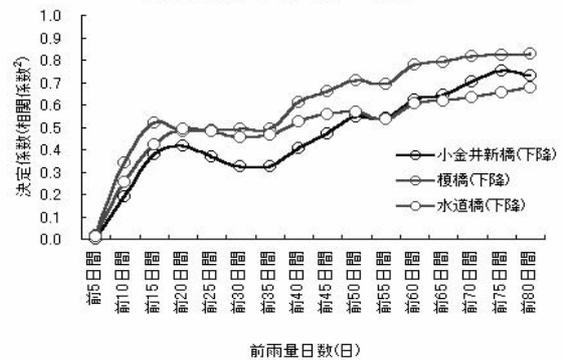


図-7 観測日前雨量と野川流量の相関(下降)

観測日前雨量と湧水量の相関

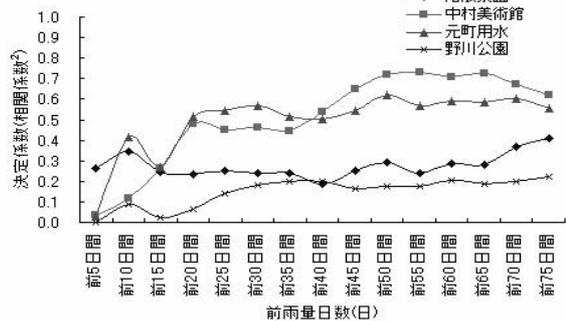


図-8 観測日前雨量と湧水量の相関

野川の流量と降雨の相関は、図-6 のグラフから雨季の5月から8月の流量上昇時において、小金井新橋、榎橋、水道橋のいずれも前25日間雨量のときと、前70日間雨量のときに2つの山が生じている。

また、図-7 から10月から翌年3月の水位降下時において、小金井新橋は前20日間雨量のときと前

75日間雨量のとき、榎橋は前15日間雨量のときと前75日間雨量のときに2つの山が生じている。なお、水道橋は前20日間雨量のときに1つの山が明確になっている。

これらから、野川の河川流量は、短期的な前15日間から前25日間の雨量と、長期的な前70日間から前80日間の雨量に支配されていると考えられる。

これは、水文学的に一次(短期)流出の洪水流出の外に、二次流出、三次流出と呼ばれる長期流出と考えられる。また、河川流量は上昇時と下降時を合わせて解析したときに明確な相関が得られなかった為、上昇時と下降時に分けて解析した。

ここに、上昇時に比較して下降時の相関が高くなっている。これは、下降時においては河床付近の地下水高が高く安定していること、上昇時には地下水高が低く河川流量が降雨量のみで決定されず、地下水高を含めた解析を進める必要があることを示唆している。

また、観測箇所が最も下流である水道橋の相関が小金井新橋や榎橋に比べて低くなっているのは、河床付近の地下水高の影響が大きくなり相関が低くな

っていると考えられる。

湧水量については、図-8から元町用水、滄浪泉園、中村美術館は前10日間雨量のときと前50日間雨量のときの2つ山が生じている。これは、河川流量と同じ二次流出、三次流出と考えられるが、湧水の流域は河川に比較して小さいため河川流量に比較してその日数は小さくなっている。これは、流域が小さくなる程、低水流出における到達時間が短くなるためと考えられる。

野川公園については、他の湧水と違い明確な相関が得られていないことから、野川公園は他の要因から低くなったものと考えられる。

(3) 野川流量の低水流出特性

ここで観測日前雨量の相関が高いものについて観測箇所毎に降雨量と流量と相関をグラフに作成して低水流量・湧水量の流出特性を検討した。

野川流量の相関を図-9～図-14に示す。

小金井新橋における水位上昇時の前25日間雨量と前70日間雨量のグラフから、流量が回復するのは、前70日間雨量が129mmに達したときとなる。

榎橋における水位上昇時の前25日間雨量と前70

① 小金井新橋

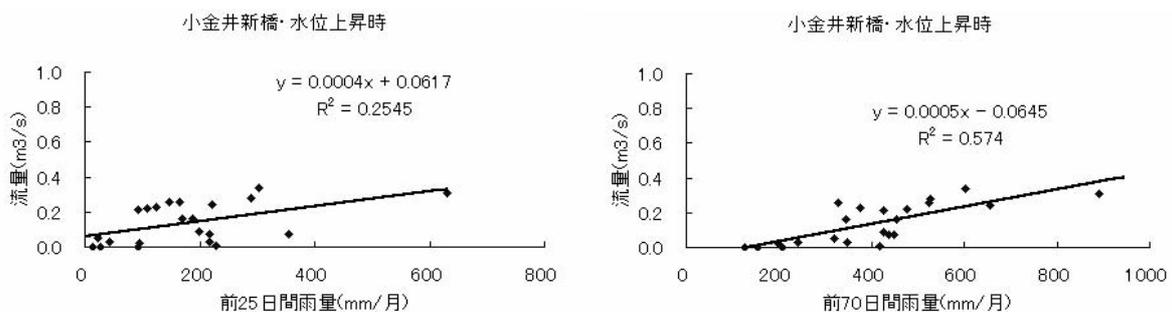


図-9 観測日前雨量と小金井新橋流量の相関(上昇)

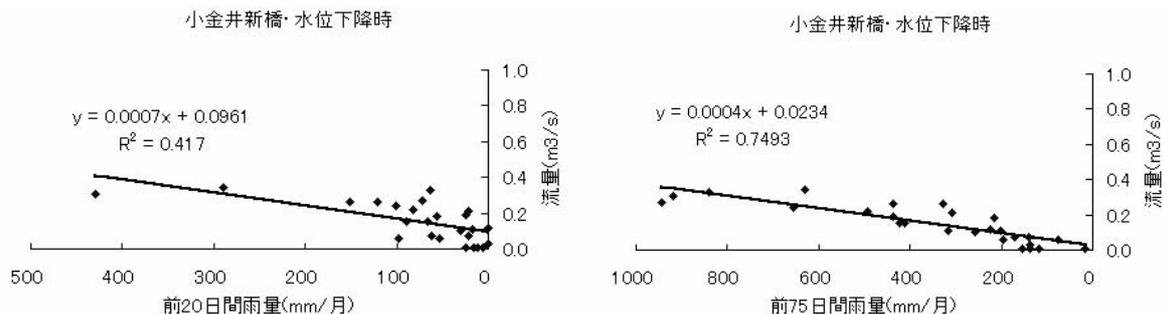


図-10 観測日前雨量と小金井新橋流量の相関(下降)

② 榎橋

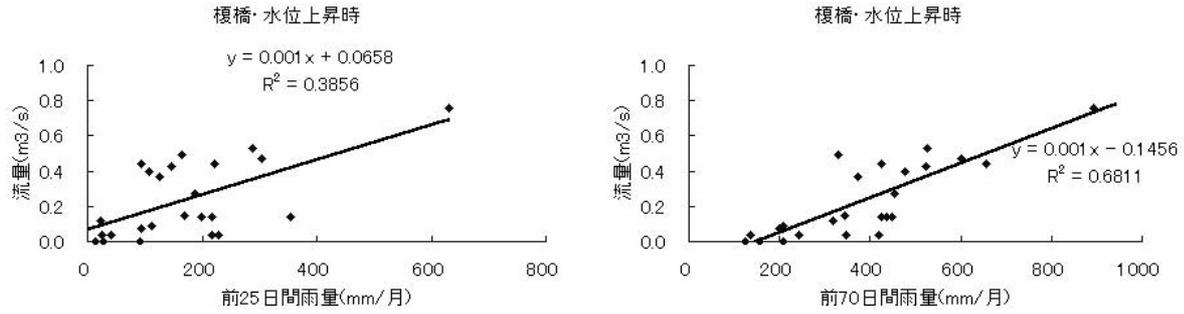


図-11 観測日前雨量と榎橋流量の相関(上昇)

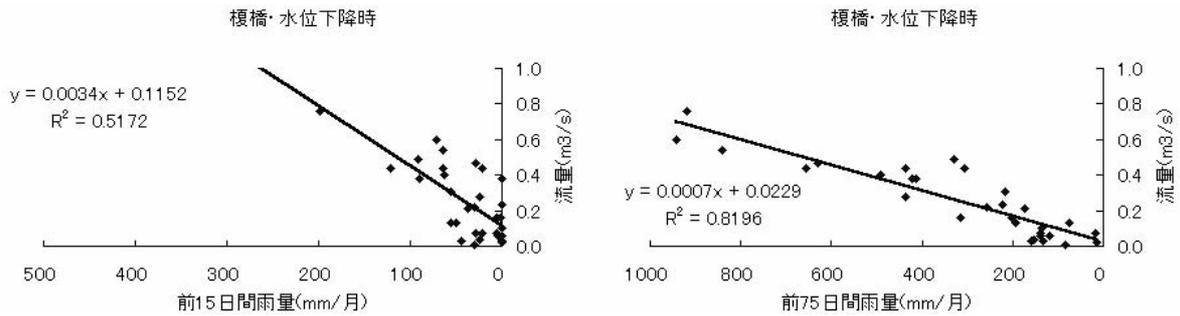


図-12 観測日前雨量と榎橋流量の相関(下降)

③ 水道橋

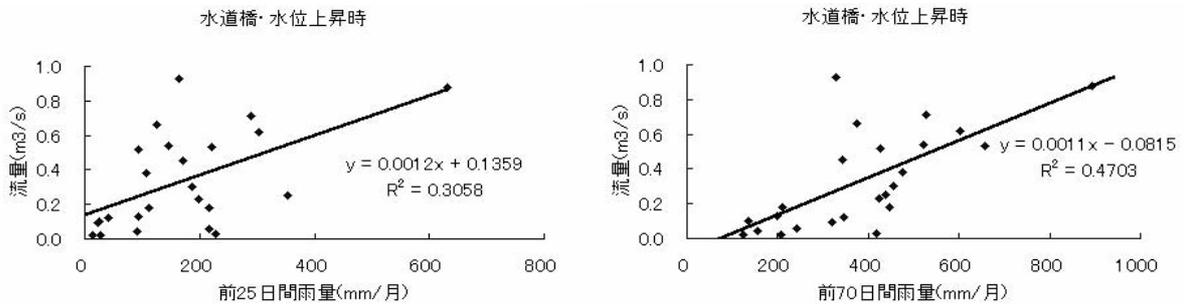


図-13 観測日前雨量と水道橋流量の相関(上昇)

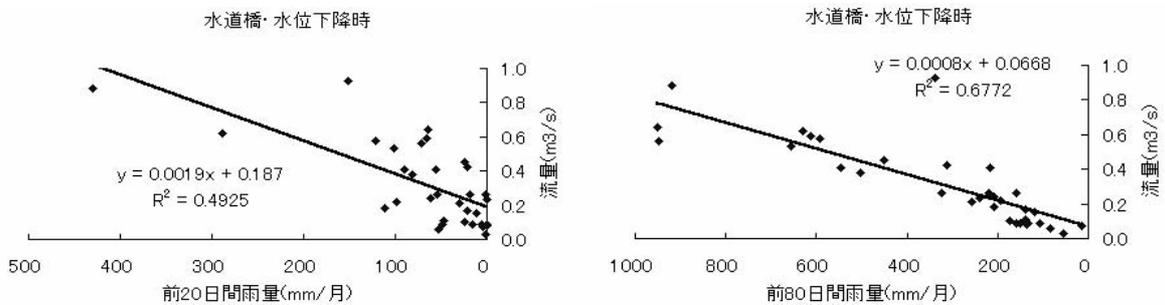


図-14 観測日前雨量と水道橋流量の相関(下降)

日間雨量のグラフから、流量が回復するのは、前 70 日間雨量が 145.6mm に達したときとなる。

水道橋における水位上昇時の前 30 日間雨量と前 75 日間雨量のグラフから、流量が回復するのは前 75

日間雨量が 74.1mm に達したときとなる。

このことは、河川水量が河床付近の地下水の高さに影響され、流量が $0.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上に回復するためにはまとまった雨量が必要であることを示している。

さらに、榎橋、小金井新橋、水道橋の順に河床付近の地下水位が高くなり流量の回復に必要な雨量が少なくてすむことを示している。

一方、水位降下時には、前 20 日間雨量と前 80 日間雨量から流量が減少するが枯渇することは少ないことが分かる。

これらのことから、野川の流量は降雨量によって影

響され、前 15~25 日間雨量と前 70~80 日間雨量が目安となる。

(4) 野川湧水地点の湧水量特性

同様に、湧水量についても降雨量と相関の高い観測日前雨量について、降雨量と湧水量の相関をグラフにして検討した。湧水量の相関を図-15~図-17に示す。

湧水量が回復するためには、元町用水は前 70 日間雨量が 30.0 mm、滄浪泉園は 17.8mm に達したときとなる。中村美術館は湧水が枯渇することが少ない。言い換えると元町用水は前 70 日間雨量が 30.0 mm

① 元町用水

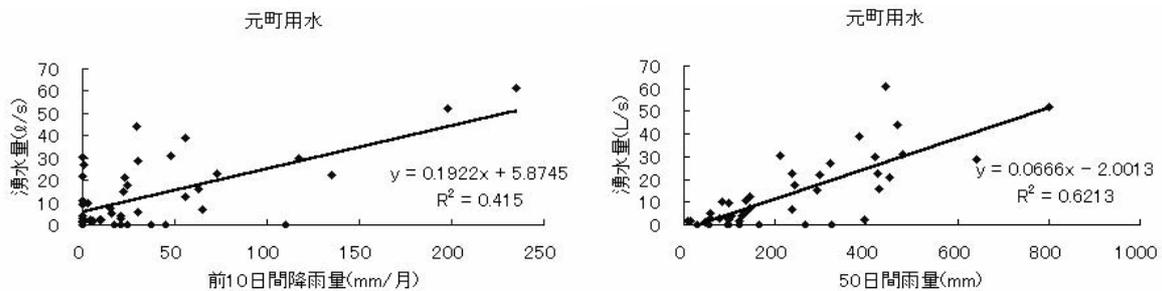


図-15 観測日前雨量と元町用水湧水量の相関

② 滄浪泉園

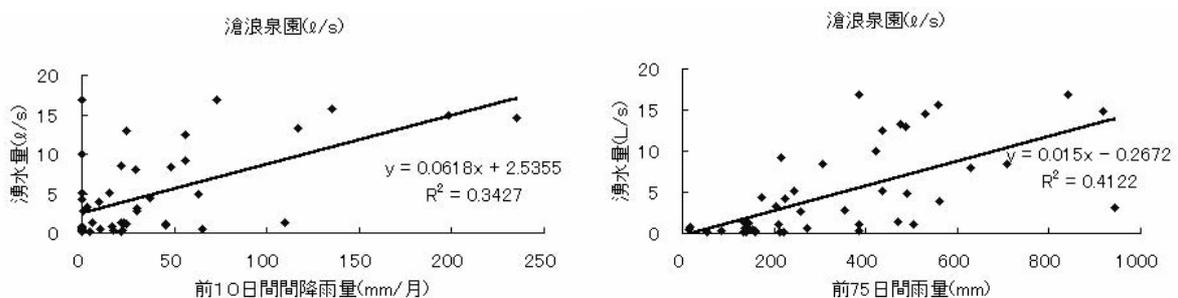


図-16 観測日前雨量と滄浪泉園湧水量の相関

③ 中村美術館

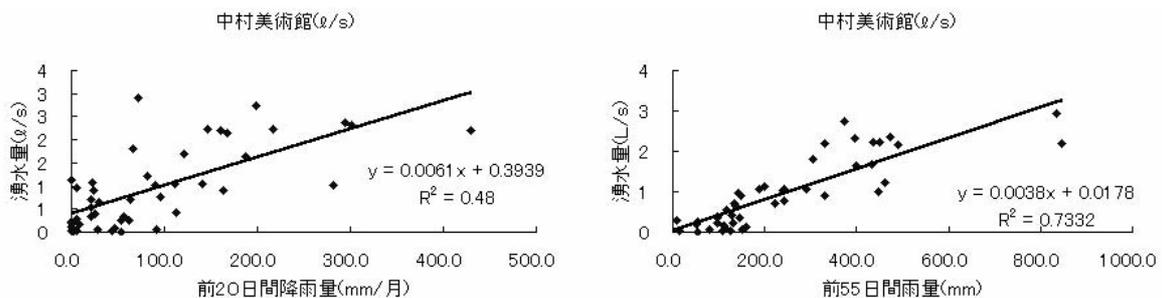


図-17 観測日前雨量と中村美術館湧水量の相関

以上、滄浪泉園は17.8mm以上でないと湧水が枯渇すると推測される。

4. 野川の河川流量・湧水量の推定

野川の河川流量は、統計的に見て降雨量によって影響され、前15～25日間雨量と前70～80日間雨量によって流量の減少、または回復について予測することが可能なものとする。同様に湧水量は前10～20日間と前35～75日間雨量によって流量の減少、または回復について推定することが可能なものである。ここで、これらの雨量と流量の関係をグラフにしたものを以下に示す。

(1) 野川流量の推定

① 小金井新橋

水位の上昇時は、水位降下時に比較して期待される流量が小さくなっている。一方、水位降下時は、推定される流量が前20日間雨量と前75日間雨量が上昇時に比べて約半分の降雨である。

② 榎橋

榎橋も小金井新橋と同様であるが、小金井新橋より前日間雨量が少なく済んでいる。これは、流域面積が大きくなると共に、河床付近の地下水位が小金井新橋より高くなっていることに起因していると考えられる。

③ 水道橋

水道橋についても、同様な結果が得られた。

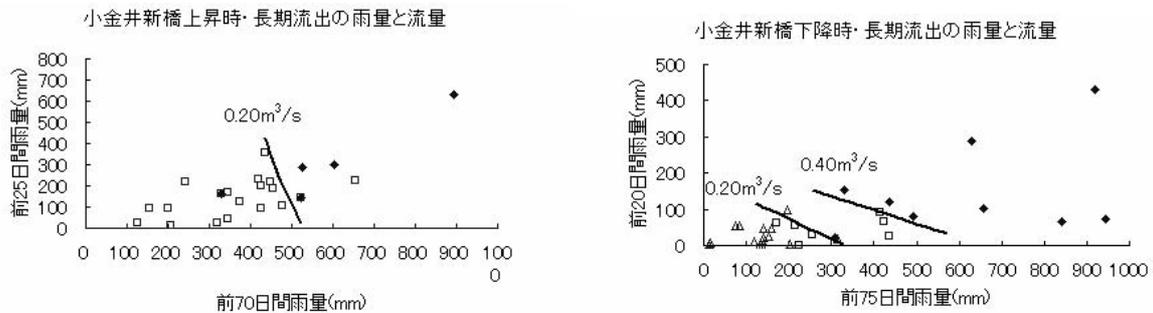


図-18 小金井新橋の流量の推定

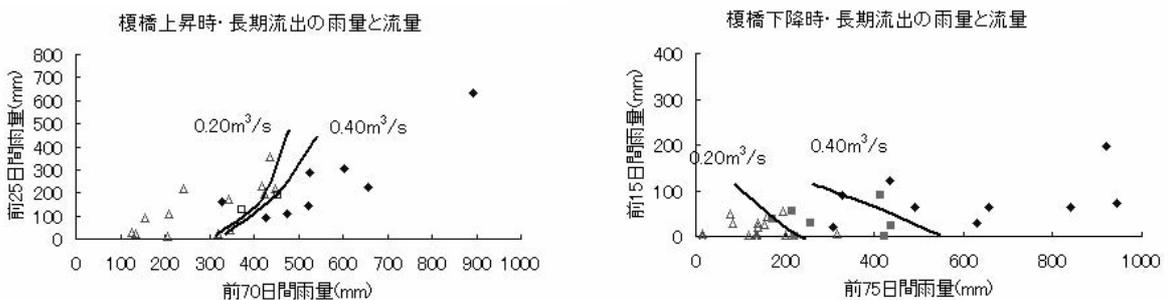


図-19 榎橋の流量の推定

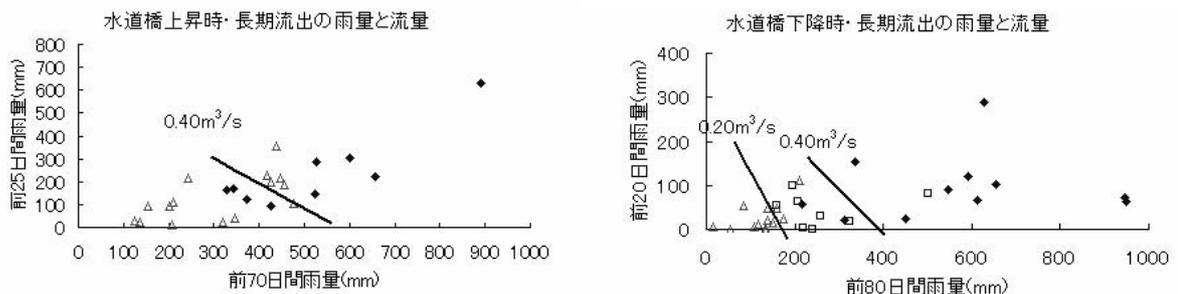


図-20 水道橋の流量の推定

これらの分析から、野川の下降時は上昇時の半分以下の降雨量で流量が期待されると判断できるので、流量は流量上昇時において河床付近の地下水高さを維持する前70日間雨量と流量規模を左右する前25日間雨量との関係から求められるものと考えられる。

これまで野川の湧水回復対策として左岸側「はけの道」の台地部に雨水浸透施設を設置し、地下水を涵養して湧水の回復を実施している。

しかしながら、今回の解析では河床付近の地下水の高さが野川の流量枯渇を左右させている。

① 元町用水

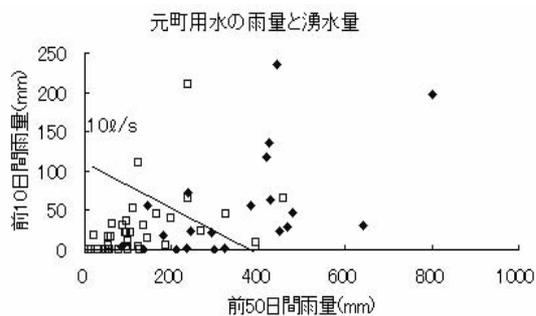


図-21 元町用水の湧水量の推定

② 滄浪泉園

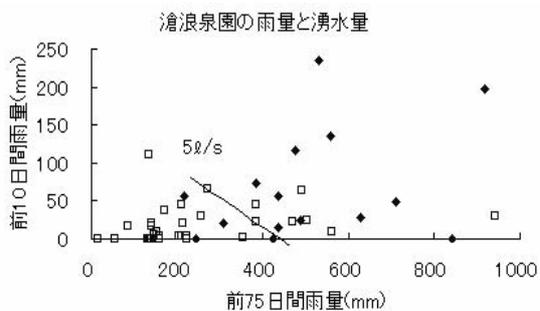


図-22 滄浪泉園の湧水量の推定

③ 中村美術館

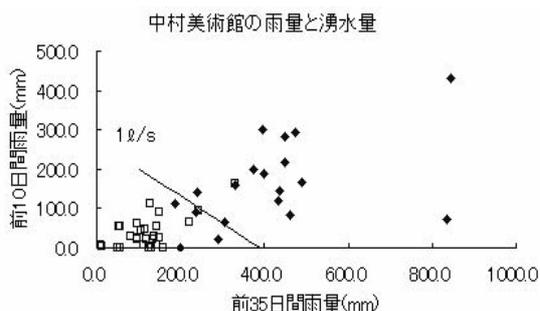


図-23 中村美術館の湧水量の推定

(2) 湧水量の推定

湧水量については、図-21～図-23に示すとおり、元町用水、滄浪泉園、中村美術館とも同じ傾向を示しており、前10～20日間雨量と前35～75日間雨量に対して期待される湧水量はそれぞれ10l、5l、1lであり、これは湧水の流域面積の大きさや帯水層の厚さによるものと考えられる。

5. 野川の河川流量・湧水量の経年変動

(1) 野川流域の土地利用

野川流域の関係市の土地利用状況⁴⁾は、図-24に示すとおり、宅地が50%～60%を占めている。また、道路が15%程度となっており、宅地と合わせて全体の7割から8割をしめている。さらに、農用地が野川周辺に存在し、1割程度となっている。

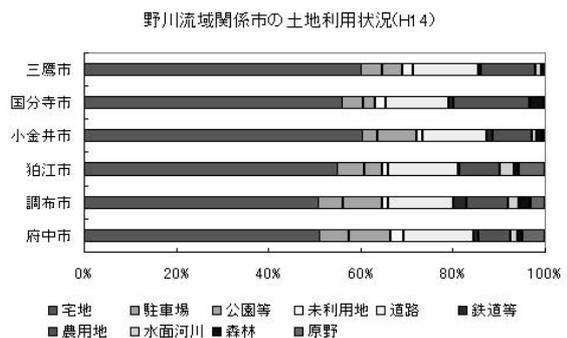


図-24 野川流域関係市の土地利用状況

(2) 野川流域の雨水浸透施設整備状況

野川流域では平成初期から雨水貯留浸透施設や湧水回復のための地下水涵養施設の整備を進めてきており、その整備状況は図-25に示すとおりである。

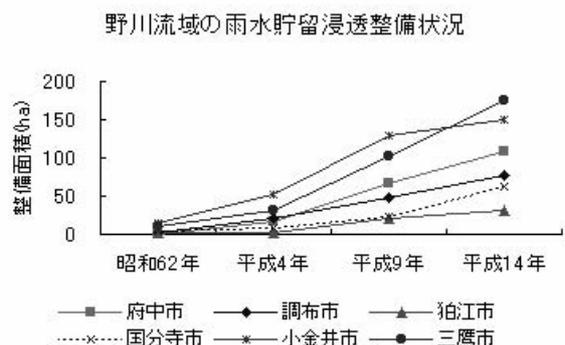


図-25 野川流域の雨水貯留浸透施設の整備状況

雨水貯留浸透施設の対象面積が流域各市の行政面積に対する整備率は、小金井市、三鷹市が10%を超え、国分寺市、狛江市が5%前後、府中市、調布市が4%前後となっている。

ここで、関係6市の土地利用状況を経年的に不浸透率の変化で表すと図-26となる。

ここで、不浸透率は屋根、道路、駐車場など雨水の地下浸透が困難なものを行政面積の比率で表したものである。

この図から、関係市の不浸透率は平成4年を底にして再び不浸透率が増加していることがわかる。

平成14年度には、貯留浸透施設の整備に着手したところの昭和62年の不浸透率水準を超えた市が多くなっている。

一方、貯留浸透施設を考慮して不浸透域から浸透域に変化するものとする図-27のとおりとなる。しかしながら、貯留浸透施設の対象面積を浸透域に換算したとしても、流域各市の不浸透率は平成4年度から平成9年度を底にして再び上昇しており、不浸透域の増加が野川の低水流量や湧水量

の減少をもたらしているものと推定される。

そこで、降雨量と河川流量および湧水量の相関関係について経年的な検証を行った。

(3) 河川流量の経年変動

先に述べたように、雨水貯留浸透施設の整備を考慮にいた流域の土地利用と合わせた不浸透率は全ての市において平成9年度から平成14年度にかけて微増の傾向がある。貯留浸透施設の整備が低水および湧水に効果をもたらしていないとすると、低水量および湧水量は徐々に減少していることになる。

そこで、降雨量と河川流量の相関について、経年的な変動があるのかどうかを検討するため、観測箇所毎に観測期間を平成11～13年度と平成14～16年度の2つの期間に分けて降雨量と河川流量の相関の高い観測前の期間雨量について比較を行った。

これらを比較した図-28から図-33に示すとおり実線で示す平成11～13年度の相関曲線の勾配に比べて、破線で示す平成14～16年度の相関曲線勾配変化している。特に、前15～25日間雨量については平成14～16年度の勾配が平成11～13年度の勾配に比べ、降雨量が大きくなるにつれて流量が増加する割合が大きくなっている。さらに、前70～80日間雨量の相関曲線は水道橋を除き降雨量が少ないときでも流量があるように変化している。

この2点から、野川において平成初期から進められている総合治水事業等による雨水貯留浸透施設の整備や地下水涵養施設の整備により、これまで不浸透域であった屋根や舗装などから雨水が小降雨であっても貯留浸透施設により地下に涵養されている結果と考えられる。

(4) 湧水量の経年変動

湧水についても、平成11～13年度の相関曲線と平成14～16年度の相関曲線を比較したものを図-34～図-36に示す。

ここで、図-35に示す滄浪泉園は平成11～13年度の相関曲線の勾配と平成14～16年度の相関曲線の勾配は、ほぼ同一で変化がない。しかしながら、図-34と図-36に示す元町用水と中村美術館は平成14～16年度の勾配のほうが緩くなり湧水が減少している。

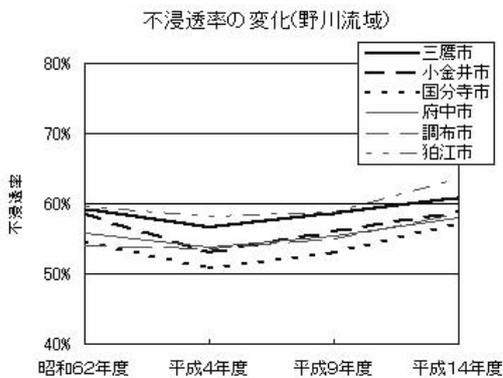


図-26 野川流域の不浸透率の経年変化

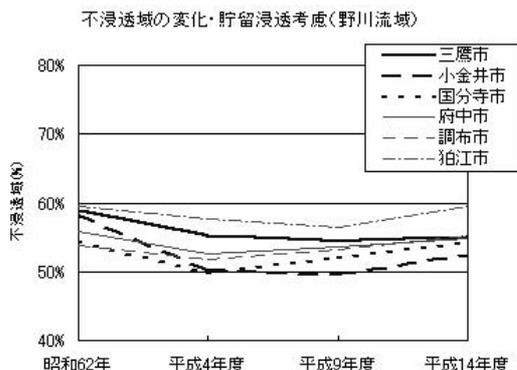


図-27 貯留浸透施設を考慮した不浸透率の経年変化

①小金井新橋

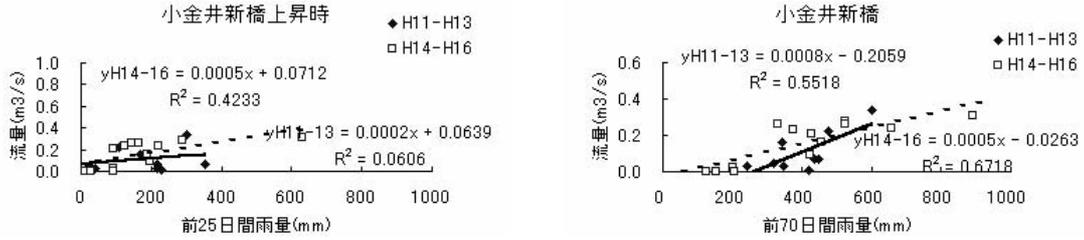


図-28 小金井新橋の流量上昇時の経年変動

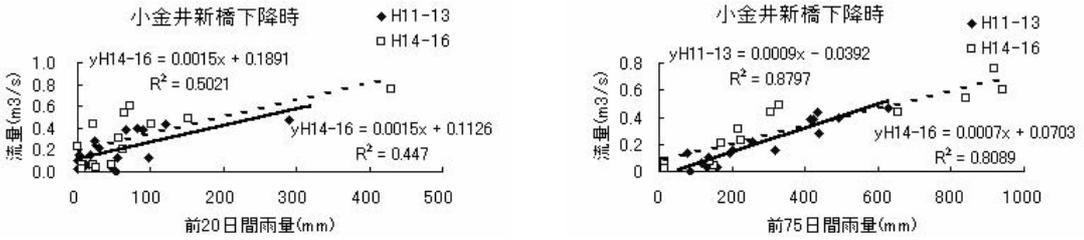


図-29 小金井新橋の流量下降時の経年変動

②榎橋

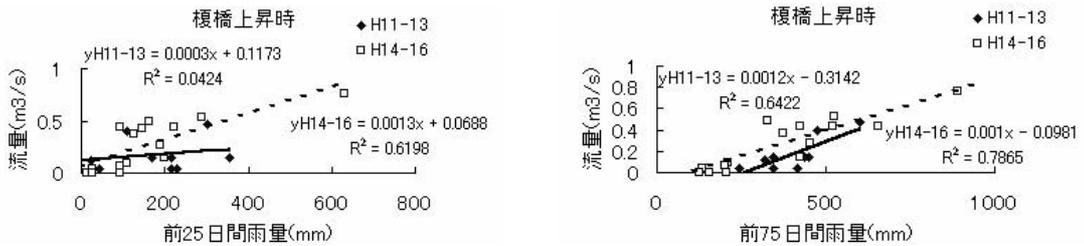


図-30 榎橋の流量上昇時の経年変動

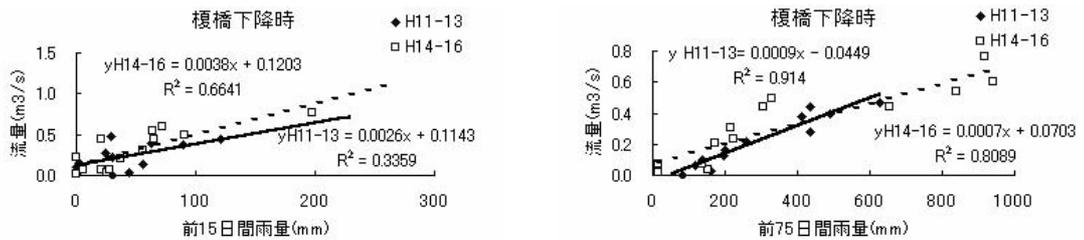


図-31 榎橋の流量下降時の経年変動

③水道橋

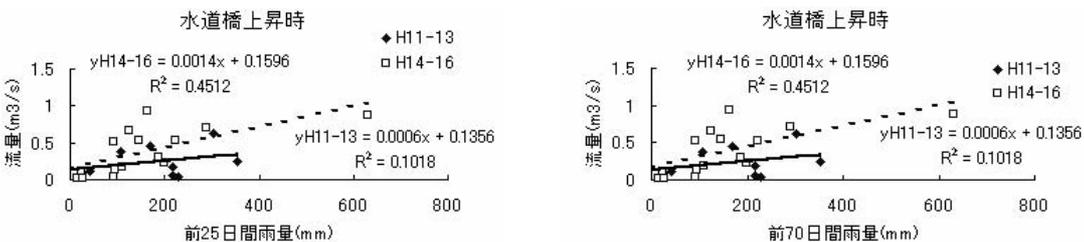


図-32 水道橋の流量上昇時の経年変動

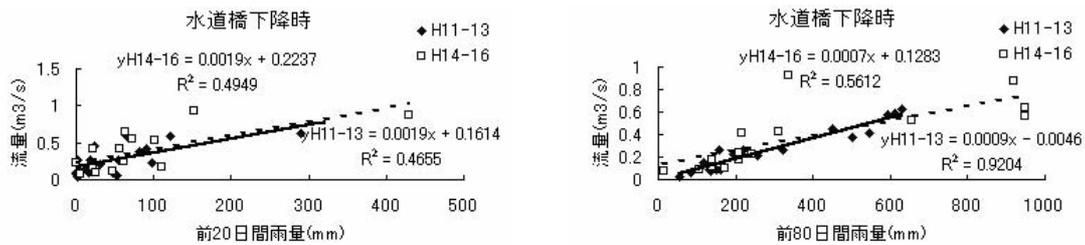


図-33 水道橋の流量下降時の経年変動

湧水量

①元町用水

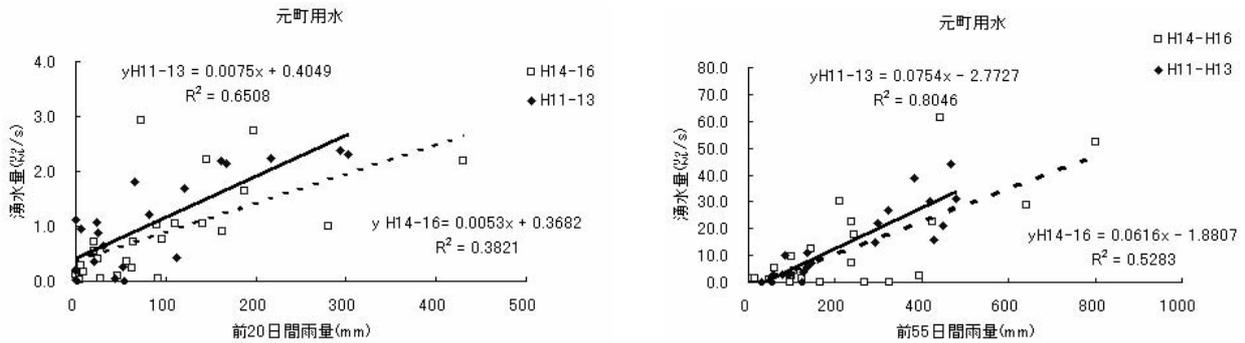


図-34 元町用水湧水量の経年変動

②滄浪泉園

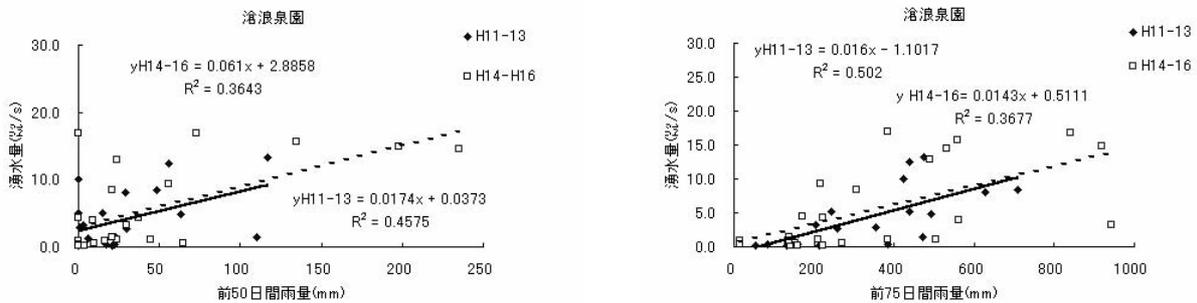


図-35 滄浪泉園の経年変動

③中村美術館

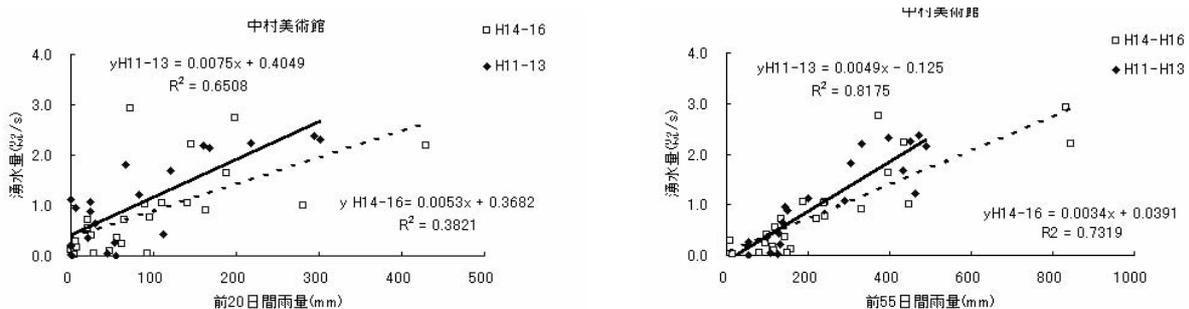


図-36 中村美術館の経年変動

この要因としては、前述したとおり野川流域の貯留透施設を考慮した不浸透率の経年変化から、不浸透域が微増していることを示したが、元町用水と中村美術館の湧水小流域では不浸透域の増大が顕著に現れたものかどうかは今後詳細な検討が必要であると考える。

(5) 降水量の経年変動

これまでの検討で、雨水貯留浸透施設の整備が不浸透率の増大に追いつかないと考えられるのは、小流域の元町用水と中村美術館の2地点のみであった。



図-37 アメダス府中降雨量の経年変化

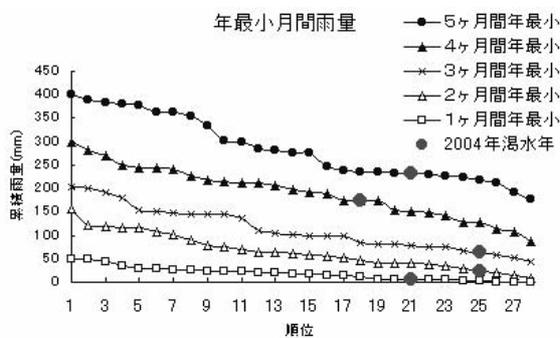


図-38 年最小月間雨量の順位

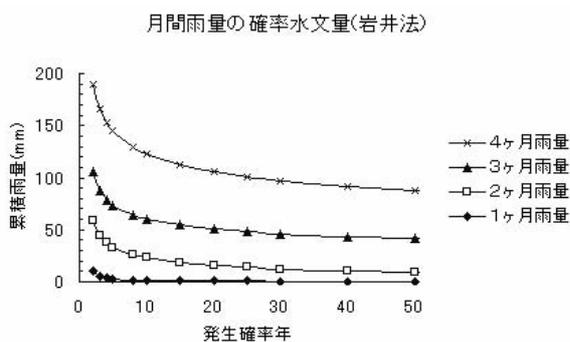


図-39 月間雨量の確率水文学(岩井法)

前述したとおり、河川低水流量や湧水量に影響を与えるのは、短期的には前10日間から前25日間の有効降雨量であり、長期的には前50日間から前80日間である。ここで気象庁アメダス府中雨量計の1ヶ月間から5ヶ月間までの、累計雨量の最小値の年変動を調べてみると図-37となる。

この図から判るように平成16年度の流量の枯渇は2ヶ月間と3ヶ月間の雨量が極端に少ないことが分かる。

さらに、この月間雨量の年最小値を大きい順に並べたものが図-38である。これから分かるように2ヶ月間と3ヶ月間の最小雨量が平成16年度の流量の枯渇は28年間の低いほうから4番目に相当する。これは、長期的な前50日間から前80日間の雨量が低水流量、湧水量に影響を与えている期間とほぼ同期間と考えて良い。さらに、年最小月間雨量を岩井法による確率水文学を求め、グラフにしたものが図-39である。

これから、2ヶ月間雨量を対象に図-39から平成16年度の野川の湧水は概ね8年～10年の生起発生確率が求められた。また、平成11年度から平成16年度までの流量観測結果から平成11年度、平成15年度、平成16年度に流水の枯渇が発生していることから、生起発生確率は概ね2～3年に1回発生していることとなる。

6. 野川の河川流量・湧水量のまとめ

野川流域における流量および湧水量の考察で得られた知見をまとめると次のとおりである。

- ① 野川の流量は降雨量によって影響され、前15～25日間雨量と前70～80日間雨量の有効雨量が目安となる。
- ② 湧水量は、前10日間雨量のときと前50日間雨量の有効雨量が目安となる。
- ③ 小金井新橋の流量が回復するのは、前70日間雨量の有効雨量が129mm、榎橋は前70日間雨量が145.6mm、水道橋は前75日間雨量が74.1mmにそれぞれ達したときである。
- ④ 湧水量が回復するのは、元町用水は前70日間雨量の有効雨量が30.0mm、滄浪泉園は前75日間雨量

が17.8mmである。

⑤ 野川の低水流量観測結果からは、雨水貯留浸透施設の整備による流量増加の効果が現れている。しかしながら、湧水量観測からは湧水量が近年減少している傾向がある。

⑥ 野川の流量が枯渇する生起発生確率は、岩井法による確率水文学の計算から2～3年に1回である。

⑦ 流量や湧水量を統計的に解析する方法は、タンクモデル等は解析プログラムが必要であるのと違いパソコン上のエクセルによる簡単な計算で可能であり、有効な解析手法である。

7. あとがき

野川の低水流量観測および湧水量観測結果の検討から、野川は河床付近の地下水高さを高く安定させる方法が平常時の流量回復のために重要であり、府中市、調布市、狛江市など野川右岸側流域において雨水浸透施設の設置による地下水涵養を行い、河床

付近の地下水位を高く維持することが望まれる。

さらに、野川流域関係市の土地利用現況から算出した不浸透域の増加と総合治水対策である雨水貯留浸透施設の整備による浸透域の増加に対して、野川の流量に寄与していることがわかった。しかしながら、湧水枯渇の危険性が増していることから雨水浸透施設の設置をさらに推進していく必要がある。

今後の検証のためには、現在実施している月1回の流量および湧水量の観測を継続していく必要がある。

さらに、これらの観測と検証から適切な雨水貯留浸透施設の配置や規模の検討をすることによって、野川の流水や湧水の確保につながっていくものと考ええる。

謝辞

本検討の実施にあたり、河川部、北多摩南部建設事務所工事第二課の方々には多大な協力をいただきました。この場を借りて感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 東京都土木技術研究所(1999)：野川・善福寺川雨量水位観測委託報告書、平成11年3月
東京都土木技術研究所(2000)：野川・善福寺川雨量水位観測委託報告書、平成12年3月
東京都土木技術研究所(2001)：野川・善福寺川雨量水位観測委託報告書、平成13年3月
東京都土木技術研究所(2002)：野川・善福寺川雨量水位観測委託報告書、平成14年3月
東京都土木技術研究所(2003)：野川・善福寺川雨量水位観測委託報告書、平成15年3月
東京都土木技術研究所(2004)：野川・善福寺川雨量水位観測委託報告書、平成16年3月
東京都土木技術研究所(2005)：野川・善福寺川雨量水位観測委託報告書、平成17年3月
- 2) 建設省水文研究会(1996)：水文観測、(社)全日本建設技術協会(平成8年11月)、142-167
- 3) 建設省河川局監修、(社)日本河川協会編(1997)：改訂建設省河川砂防技術基準(案)同解説、山海堂(平成9年11月)、調査編46-48
- 4) 東京都都市整備局編(1999)：東京の土地利用平成9年多摩・島しょ地域、(平成11年8月)
東京都都市整備局編(2004)：東京の土地利用平成14年多摩・島しょ地域、(平成16年11月)