

## 5. 河川汚濁の希釈機構の解明とその効果 に果たす流域地下水の役割および希釈 効果を増進させるための手法の検討

I はじめに	IV 流域地下水
1. 研究の視点	1. 観測井戸
2. 調査研究地域の設定	2. 地下水質の年間変化
II 後背流域の地形・地質・地下水環境	3. 河川をめぐる流域地下水の流動系
1. 地形環境	4. 河川と地下水の交流
2. 地質環境	5. 地下水と湧水の水質
3. 地下水環境	V 湧水機構調査
III 落合川の河川状況	1. 湧水量
1. 河岸状況	2. 湧水機構
2. 河川流量	VI まとめ
3. 河川水の水質	VII 結論
	VIII 参考文献

千葉大学理学部教授 新 藤 静 夫



## I はじめに

### 1. 研究の視点

多摩川のように開発地域の外に水源を有する大河川と異なり、開発地域内に水源を有する台地の小河川は、主として地下水を水源とするいわば自力の流量によって浄化機能が維持されているといえる。従って下記の条件が付加された場合には河川の汚濁が一気に進行することになる。

- ① 河川と地下水の交流が遮断された場合
- ② 地下水流出量が減退した場合
- ③ 地下水による希釈機能を上回る汚濁付加がなされた場合

汚濁河川の希釈に果たす地下水の役割については、これまでに多く研究され、論じられているが、流域一体の地下水環境を把握し、その上で河川と地下水の交流関係を明らかにするといった地域水循環系の立場からこれを検討した例は少ない。

云うまでもなく、台地河川の多くは台地地下水を排出する役割を担うものとして発達し、存在しているわけであるから、汚濁河川を中心にその希釈機構を捉えるのではなく、上記の立場からこの問題を検討する意味は大きいと考えている。このような主旨から、研究対象および研究地域を拡げ、またこの種の問題の一般化を意識して次のようなフレームワークのもとに調査研究を進めた。

- 1) 調査研究流域の設定のための調査
- 2) 調査研究流域の地形・地質・地下水環境の把握のための調査
- 3) 流域地下水の涵養機構調査
- 4) 河川状況調査
  - ① 河川の流出状況
  - ② 河川の水質状況
- 5) 河川と地下水の交流調査
  - ① 河床の地下水ポテンシャル
  - ② 河岸の地下水ポテンシャル
- 6) 湧水状況調査
  - ① 湧水の湧出機構
  - ② 湧水の水質状況

これらの結果に基づいて本課題の最終目的とも云うべき、河川汚濁の希釈効果を増進させるための手法を検討した。

### 2. 調査研究地域の設定

東京都東久留米市の落合川流域を本課題の調査研究対象地域とした。この地域は近年急速に都市化が進行し、河川汚濁が進んでいるが、竹松公園の湧水をはじめ、氷川神社周辺の湧水など各所に湧水が分布し、それらによって河川水が維持されていることもあって、武蔵野台地に水源を有する

他の河川に較べてまだ《自然の浄化能力を期待した汚濁化の進行阻止》が可能な段階にあるといえる。そこで当研究課題を重点的に進め、指針を得るためのモデル地域として、図1に示した当河川の源流域から西武池袋線鉄橋までの区間を設定した。調査は1990年12月に開始し、1993年3月に終了した。

先にも述べたように、調査研究地域のバックグラウンドとしての武蔵野台地の地形・地質・地下水環境を明らかにしておくことは重要である。ここでは既往の調査研究例を収集、整理するとともに補足調査を行ない、本研究課題に必要な基礎資料とした。

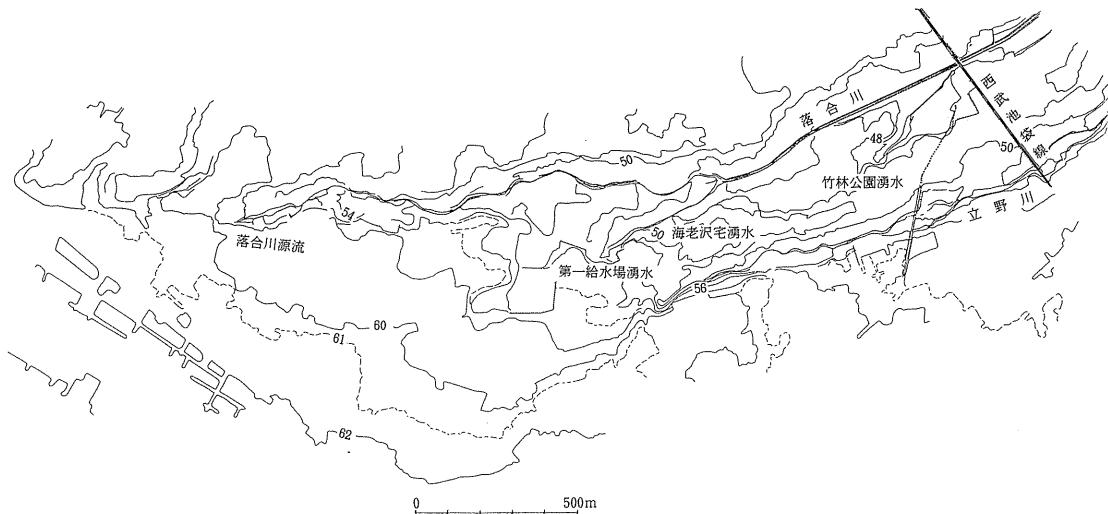


図1 調査研究地域

## II 後背流域の地形・地質・地下水環境

### 1. 地形環境

#### (1) 台地河川の特徴

武蔵野台地には台地に水源を有する河川が数多く存在する。それらをここでは台地河川と呼ぶこととする。このような河川は元々地下水の排出という役割をもって発達したわけであるから、地下水と台地河川との関係は密接である。そこでまずこのような台地河川の性格を明確にしておくこととする。

武蔵野台地の河川は発達史的に分類すると、大きく次のように分けることが出来る。

#### ① 現地形対応型河川

現在の地形を初期条件としてスタートしたと考えられるもの。谷は主として湧水による谷頭侵食の後退によって伸長する。

#### ② 古地形対応型河川

##### a. 扇端湧水を起源とするもの

武蔵野台地がかつては青梅市付近を扇頂部とする扇状地であったことは大方の認めるとこ

ろであるが、この時期に扇状地末端部に存在していた湧水を水源とする河川はその後の関東ローム層の堆積に埋もれることなく、河川であり続けたとするものである。

### b. 古多摩川

武蔵野台地北半部の地下には段丘礫層の下位に厚さ10m以上の、やや粘土質な礫層が分布している。筆者はかつてこれにA 8層（Aquifer 8の略）の名を与え、その下底部の地形を図2のように画いた。ここにはかつての多摩川の流路と思われる顕著な地下谷が認められるが、台地上にみる現在の比較的大きな河川系はこれらによって規定されている可能性が大きい。

本地域について云えば、落合川の支流にあたる竹林公園の谷、東久留米市第一給水場のある谷は①のタイプ、すなわち湧水の谷頭浸食によるものといえるが、落合川本流については従来の見解のように②のタイプ、すなわち単純に黒目川や柳瀬川などとともに古多摩川の「名残川」にあたるとするだけでは不充分である。すなわちこの地域の地下地質は大きく北東に向かう湾曲構造を示し、その形成にかかわる構造運動が継続して現在の地形形成に関与している可能性があるからである。

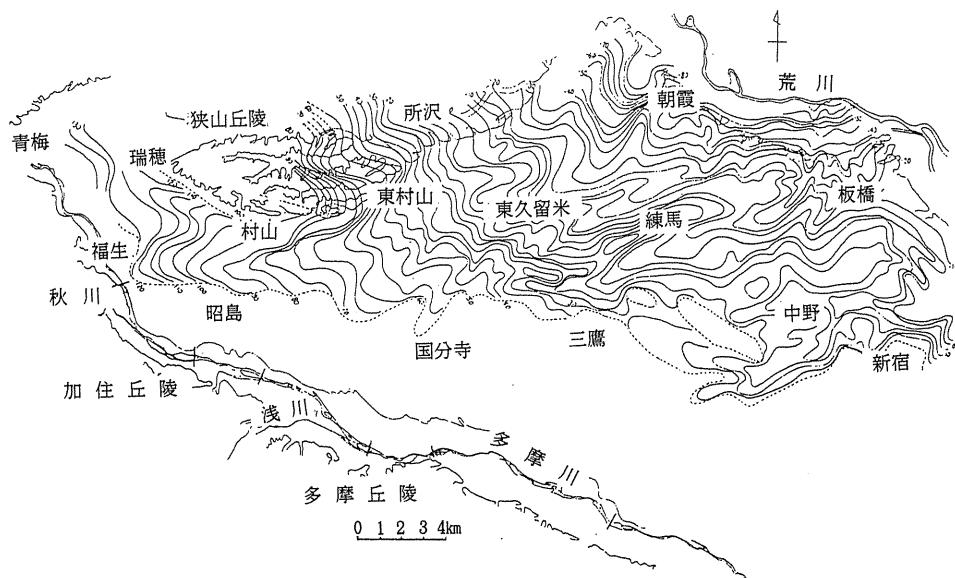


図2 武蔵野礫層下の地形（A-8層下底部の地形）

ところで武蔵野台地北部の台地河川の配置には図3にパターン化して示したように、いずれもその支流が右岸側から合流し、かつそれらの源流部がより西側、つまり武蔵野台地の上流側にずれているといった特徴がある。このような特徴は、かつて貝塚（1964）が台地面の地形的特徴から推論した。武蔵野台地の北東部の継続的沈降の考え方と大きく矛盾しない。強いていえば、沈降の中心の北への移動、あるいは台地面の北東方向への傾動を付け加えるのがよいかも知れない。

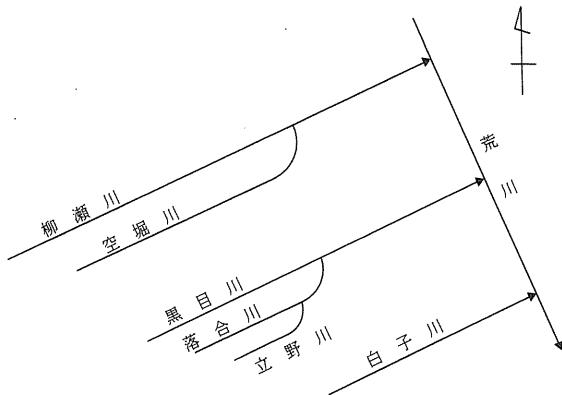


図3 武蔵野台地北部の水系パターン

## (2) 流域の地形特徴

図4に黒目川、落合川およびその支流群を含む流域全体の地形図を示す。また図5に河川を横断する地形断面図を示す。これらの図から判断されるように、両河川は幅2kmを越す大きな谷の中に収まり、谷中谷の様態を示す。以前から多摩川の名残川だと考えられてきた由縁である。しかしよくみると標高62m付近より上流側で谷は急に消滅するかたちとなり、その境はかなり明瞭である。また60m以下の等高線は流域を取り囲むように配置しているのも特徴的である。

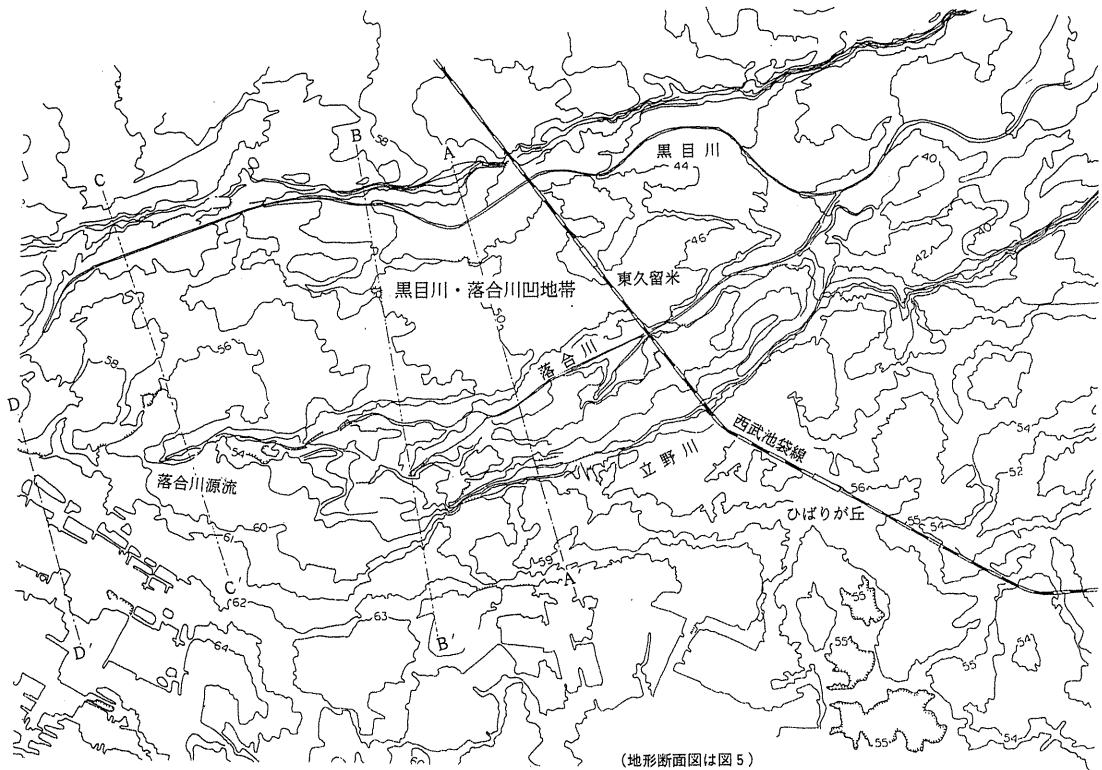
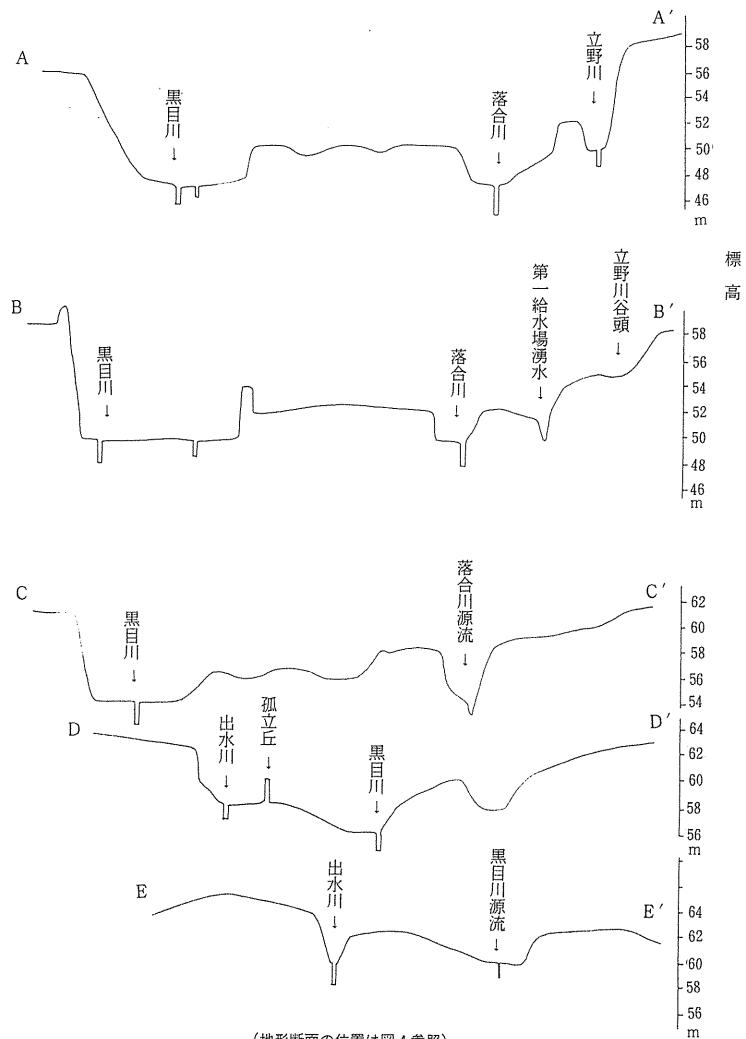


図4 黒目川、落合川流域の地形



(地形断面の位置は図4参照)

図5 黒目川、落合川の地形断面図

すなわち地域一体は大きなトラフ状の地形に収まるかたちになっている。このような地形上の特徴は、これまでの知見のように単に名残川や河川侵食によるものとするには議論の余地があるようと思われる。今のところ直接的な証拠はないが、筆者(1968)がかつて指摘したこの地域を包含する向斜状の地下地質構造をつくった運動と関係があるかも知れない。

### (3) 湧水の分布

図6に東京都環境保全局(1990)による「東京都湧水分布図」から抜粋した後背流域における湧水の分布状況を示す。湧水が落合川流域に集中し、しかも主なものが右岸側に位置しているのは、後に述べるこの地域の地下水の一般的な流動方向を反映したものといえる。これらのうち竹林公園、久留米市第1給水場、南沢緑地保全地域内、柳窪北原公園の湧水は日量 150 m<sup>3</sup>以上に達し、都下でも有数の湧出量を誇っている。

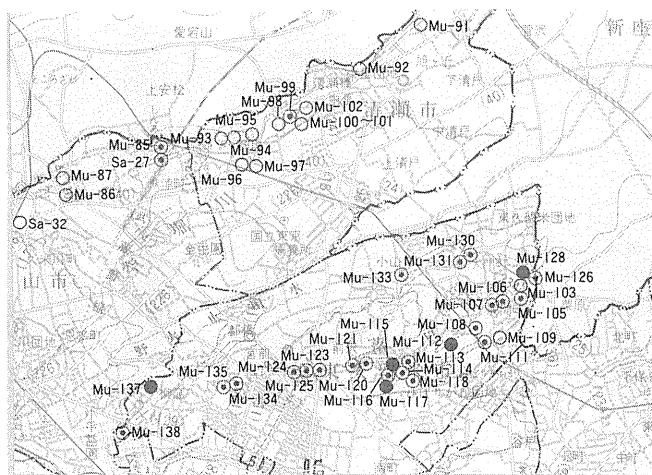


図6 黒目川、落合川流域の湧水分布  
(東京都環境保全局、1991による)

## 2. 地質環境

### (1) 関東ローム層の水理的特性

武藏野台地北部地域の関東ローム層の水理的特性について樋根等(1977)が詳しく調査しているので、これに基づいてその水理的特性を述べておく。

図7によれば、関東ローム層の間隔率は深部にいたるまでほぼ70%前後の値を示し、飽和度もごく表層部を除いて70~80%以上と常に高い値を維持している。このような水分プロファイルは表層部以深では年間を通じて大きな変化が見られないで、関東ローム層はきわめて保水性に優

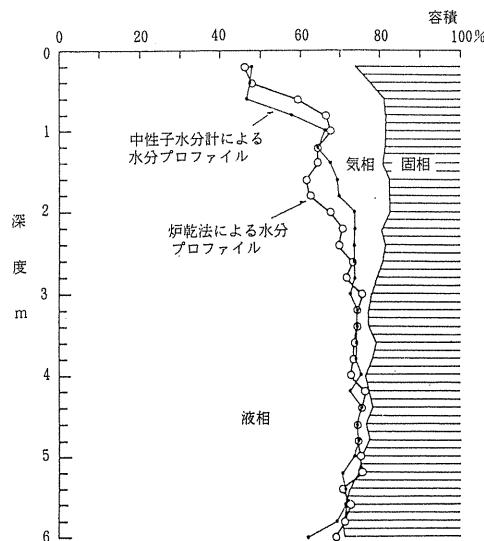


図7 ローム層の水分プロファイル  
(樋根 勇等、1977による)

れた性質を有していることが分かる。このように数年分の降水量に相当する水分を貯留し得る関東ローム層は、この下位にある武藏野礫層中の地下水の極端な変動を制御する緩衝機能をよく果たしているといえる。

関東ローム層中の地中水が重力排水される割合、つまり比産出率は一般に低く、10%以下といわれている。その移動様式は、数m／日程度の早い速度でパルス状に下方に移動する成分と、数m／年といった極めて遅い速度で移動する成分からなるようである。すなわち関東ローム層は、“降水の浸透に都合の良い大間隔”と、“降水の保留に都合の良い小間隔”からなる構造を有し、充分に湿潤な状態では前者が降水の素早い地下浸透のために機能し、乾燥状態では後者が地中水の長期間にわたる保留のために機能しているといえる。

図8はこのような関東ローム層の構造を示したものである。図中の白い部分が間隔であるが、脈状の間隔と斑状の間隔が混在した構造になっており、これらが上記の地中水の移動形式を支配しているものといえる。

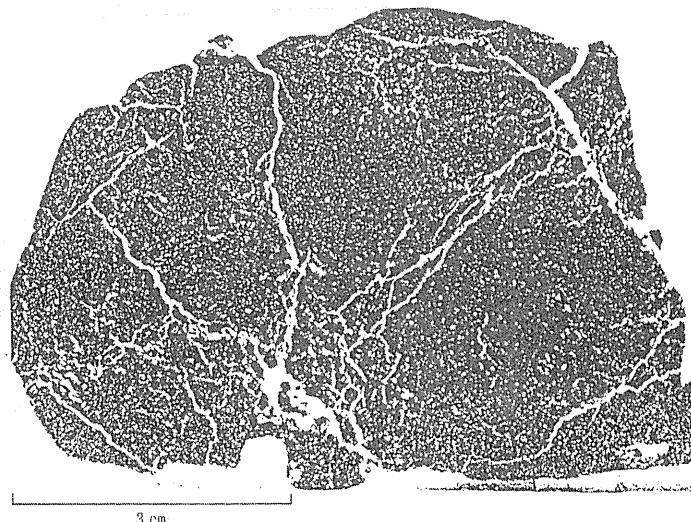


図8 関東ローム等の間隔構造

## (2) 武藏野礫層

武藏野台地を構成する段丘礫層を一括して武藏野礫層と呼んでいる。関東ローム層の下位にあり、平均的な層厚は10m前後であるが、厚いところでは20m以上に達する。一般の家庭用の堀り井戸はここから取水しているものが多い。透水係数は平均  $5 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$  程度、貯留係数は0.3前後で通常の段丘礫層の平均的な値を示している。

## (3) 武藏野礫層の下位置

武藏野礫層以深の地層は第四紀更新統に属する東京層群(=下総層群)として一括されているが、その最上部層は連続性のよい粘土質砂礫層が重なっている。層厚は西方に薄く、東方に厚い。武藏野礫層との区別は必ずしも明瞭ではないが、いわゆる“クサレ礫”が多いため、井戸掘削時の掘進速度が早いことなどが区分の目安になる。また場所によっては武藏野礫層との間に1m前

後のローム質粘土層が堆積していることがある。

この地層を東に追跡すると、所々に粘土層が介在するようになり、北東部の埼玉県志木市あたりでは粘土層と礫層の互層状態を示すようになる。この部分で厚さは70~90mに達し、その下底部の深さは-75~-90mになる。ボーリング資料から推定された本層の下底部の形状は、先に示した図2のようであって、図4の現地形と極めてよく一致しているのが注目される。このような傾向は北部の柳瀬川や、東部の白子川についても指摘でき、武藏野台地北半分の地形パターンがこの地層の堆積時代から継続していることを示唆している。

本層にある地下水は西部地域にあっては武藏野礫層にある地下水とともに不圧地下水の状態にあると考えられ、東部地域にあっては被圧性を示すものと考えられる。これらの地層の下位は、図9に示したように粘土・砂・礫の互層からなる地層が北東ないし北北東に向かって漸次層厚を増しながら堆積している。この地層群中には連続性のよい帶水層が数層準に発達しており、その被圧地下水が多く利用されている。

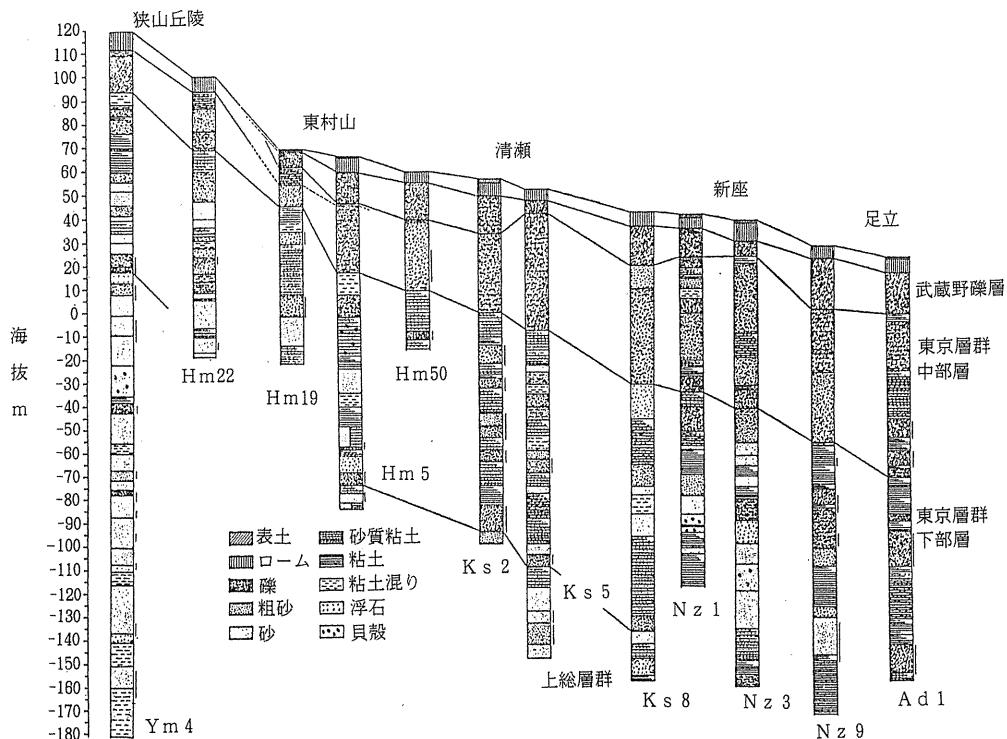


図9 武藏野台地北部の地下地質構造

### 3. 地下水環境

#### (1) 地下水位の変動特性

武藏野礫層中に存在する地下水は一般に不圧地下水としてとらえられる。細野（1971）によれば、武藏野台地の不圧地下水は地下水表面の位置と地質の関係、および地下水表面の変動特性から次

のように3つに分けることが出来るとしている。すなわち

① 関東ローム層に存在する地下水

年間での変動量は小さく、降水による水位上昇量は大きい。経年的な低下傾向はあまり認められない。

② 段丘礫層に存在する地下水

年間での変動量は大きいが降水による水位上昇量は小さい。

③ 段丘礫層下の地層に存在する地下水

後に述べるように、この地域の不透地下水水面は武藏野礫層と関東ローム層の境界付近に位置していて、季節あるいは降雨条件によってこの間を上下変動している場合が多い。しかし全体としては主として②の範疇にはいる地下水といえ、年間での変動は図10に示したように黒目川、落合川近傍で2m以内、その周辺で2~4mとなっている。

浅層地下水の長期的変動に関するデータはないが、付近に存在する東京都土木技術研究所の観測井（東久留米市神宝町一丁目、深度5m）の記録から推して、最近の15年間では大きな変化はなかったものと思われる。

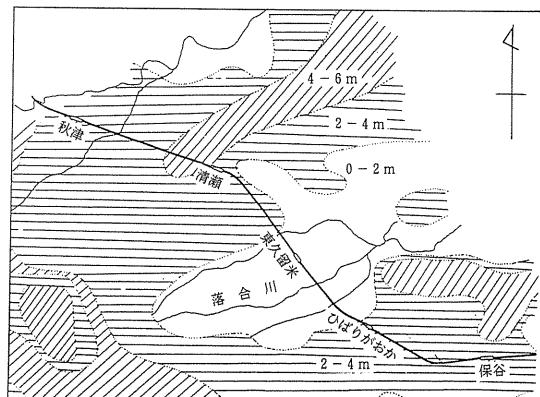


図10 地下水位の年間変動量の分布

(2) 地下水面形状

地下水水面の形状は図11に示したように地形にほぼ対応し、黒目川と落合川の流路を中心とした地域に流路が集中している。ここでは地下水水面までの深さは浅く、図12のように5m以浅となっている。

本課題にあって、河川水を維持している地下水の涵養域を明らかにすることは重要な意味があるが、今のところこれを明確にするには至っていない。しかし黒目川と落合川を合わせて概括すれば、図2、図4、および図11によっておおよその範囲は推定することが出来る。すなわち上流部は東村山市に至り、北縁は黒目川左岸沿い、南縁は小平市北部と田無市北部を結ぶ方向の地形的分水界にはほぼ一致するものと考えられる。

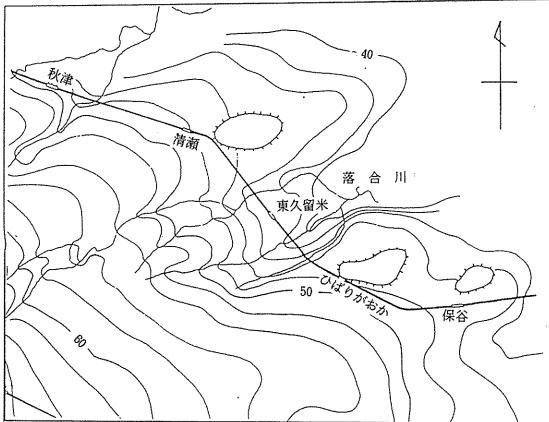


図11 地下水面図

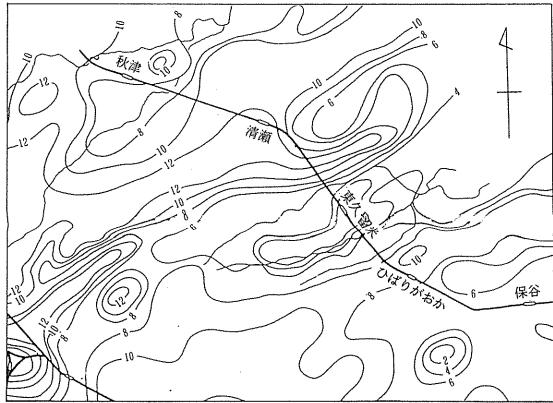


図12 地下水面までの深度分布

### (3) 不圧地下水と被圧地下水の関係

一般に武藏野礫層中に存在する地下水を不圧地下水とし、それ以下の地層中の地下水を被圧地下水としていることが多いが、大降雨によって地下水位が上昇して関東ローム層にいたると前者の地下水も被圧性を示すようになる。

1991年9月から11月の間にもたらされた異常降雨時には、多くの地区でこのような状態になった。一方地下水位が低下して武藏野礫層より下位の地層中に至ると、被圧地下水の不圧化が起こる。最近ではこのような状態になった地域が多い。

多くの場合、被圧地下水の水位は夏期における地下水揚水量の増大期に低下し、秋期以降に上昇するが、これは不圧地下水からの涵養を示唆する現象である。かなり大ざっぱな推定であるが、武藏野台地では夏期から冬期にかけて、少なく見積っても一日平均、0.8mm程度の水柱高に相当する浅層地下水が深部に涵養されているといえる。

### (4) 地下水質

流域地下水の電気伝導度は一般に  $100\sim 200\mu\text{s}/\text{cm}$  のオーダであるが、河川近傍の地下水は  $200\mu\text{s}/\text{cm}$  以上を示すものが多く、局所的には  $300\mu\text{s}/\text{cm}$  以上に及ぶものもある。全般に夏期の豊水期でやや高く、冬期の渇水期で低くなる傾向が認められる。一方pHは夏期で平均  $6.4\sim 6.6$  程度、冬期で  $6.0\sim 6.2$  前後を示す。

## III 落合川の河川状況

### 1. 河岸状況

落合川の源流は東久留米市八幡町付近にある。源流域では浸出の状態で地下水流出が始まるが、下流数10mまでの間に明確な湧水点を見ないまま河川流量が急増することから地下水は河床から一様に湧き出しているものと思われる。

落合川の河川長は埼玉県新座市との境付近で黒目川に合流するまでの約 3.4km である。このうち研究対象としたのは図13に示したように、源流から西武池袋線鉄橋までの 2.5km の範囲である。

落合川に面した南側の崖線は出入り富み、湾入部にはかつては多数の湧水が存在していたが、台地面の開発とともに姿を消してしまったものが多いという。落合川には東久留米市第1給水場のある支流、竹林公園のある支流、立野川と3つの支流が南から合流しているが、これらはいずれも湧水を水源としている。特に前2者の湧水は現在でも都内有数の湧水量を誇っている。

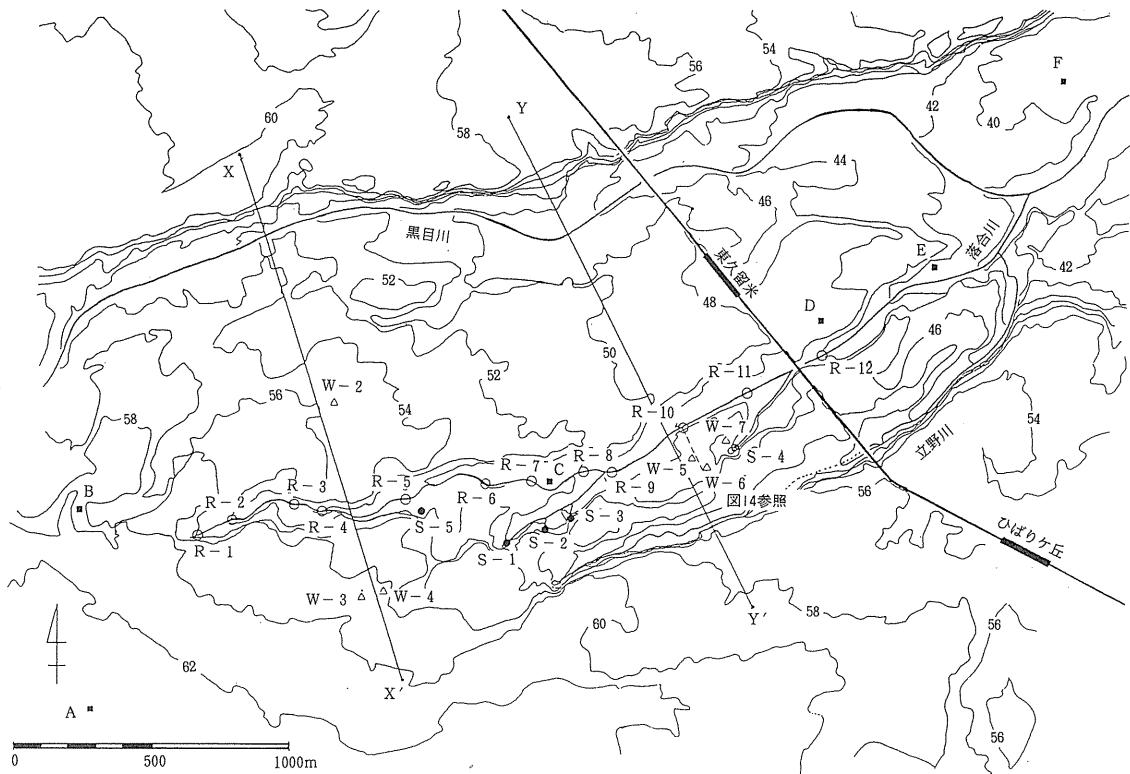


図13 調査・観測地点

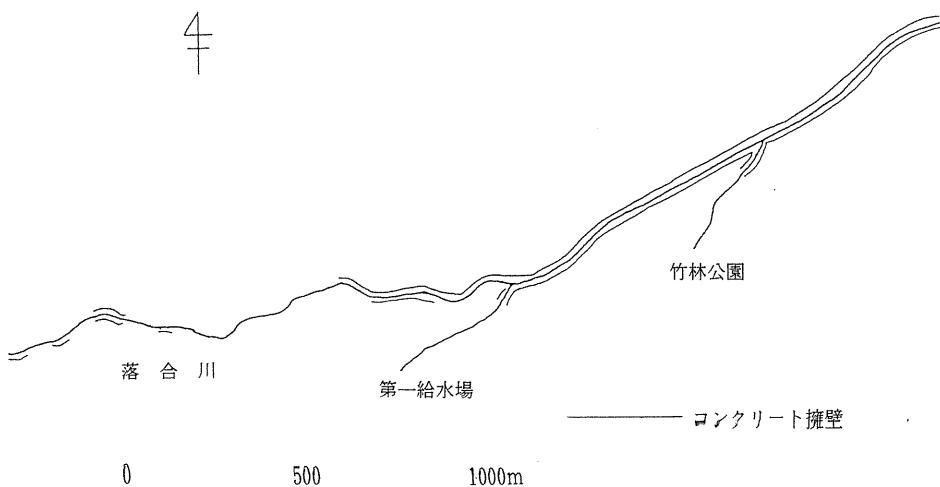


図14 落合川の河岸状況

河岸が直線化され、コンクリートライニングされた場所は図14のとおりで、ほとんどの河岸が改変されている。しかし河床にはやや粘土をマトリクスとする礫層が露出し、自然状態が維持されている。

## 2. 河川流量

河川の流況、汚濁状況を追跡調査するため図13のR-1からR-20の地点を定点とし、定期観測を行なった。図15に1991年8月、図16に1991年11月にそれぞれ実施した一斉観測結果を示す。後者は記録的な降雨が続いた後であったため（9月の総降水量 521.5mm、10月の総降水量 473.5mmが記録されている）河川流量が著しく増大している。

河川流量はいずれの時期においても下流部ほど増大しており、台地地下水の排水河川としての落合川の特徴がよく示されている。図から落合川の汚濁の希釈に果たす役割として、東久留米市第1給水場の湧水が大きく貢献していることは、その流量の大きさから理解できるが、本流にあって河床下から湧出する地下水も上下流を通じてコンスタントにあることが推察され、汚染の希釈に貢献していると予想される。今回の調査ではこの点に力を注いだ。

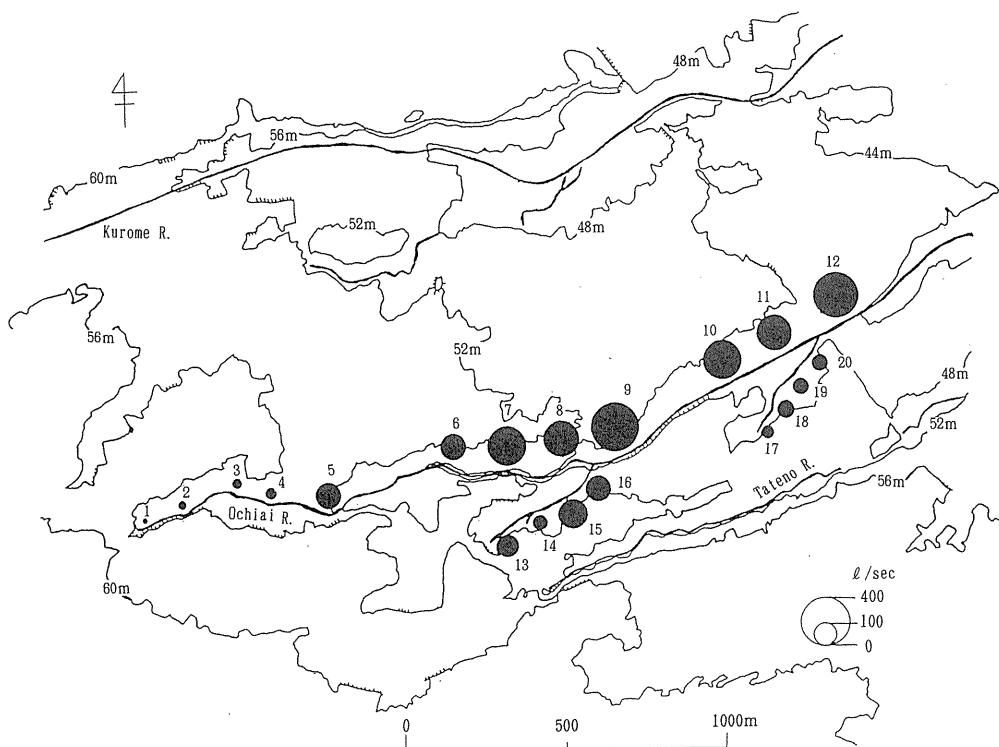


図15 落合川の流量(1) 1991年8月

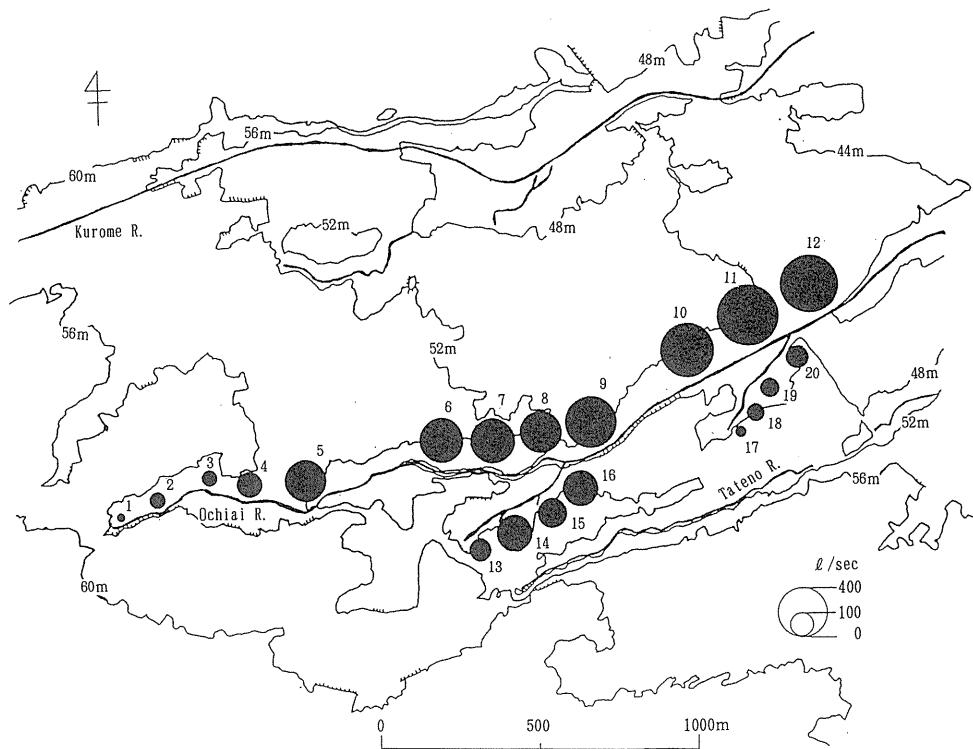


図16 落合川の流量(2) 1991年11月

### 3. 河川水の水質

#### (1) 電気伝導度

他の台地河川の例に洩れず、落合川流域の市街地化の進行は著しい。住宅は河川際にまで立ち並び、道路排水のみならず雑排水の流入も認められる。このような状況の割に、河川汚濁が他の台地河川にくらべてさほど著しくないのは、上に述べたように地下水の涵養による希釈効果によるものであるが、このことは図17、図18に示した河川水の電気伝導度が上下流を通じて大きく変わらないことから推測できる。

ところでこの図で注目すべき点が2つ指摘される。一つは流量が多かった11月のほうが少なかった8月に比べ、上下流を通じて電気伝導度が概して高くなっていることであり、他は表1に平均値で示したように、河川水の電気伝導度値が周辺の地下水のそれと大きく変わらないことである。前者について云えば、本流、支流とも $15\sim20\mu\text{s}/\text{cm}$ 程度高くなっていることがわかる。

電気伝導度の上昇は湧水や地下水についても認められ、後者の現象と合わせて、河川流量の増加をもたらした原因が地下水の河川への湧水量の増加に依るものであることは明らかである。なお、降雨量が多く、水位が上昇した折りに地下水の電気伝導度が高くなる現象については、同じ時期に武藏野台地の南部でも観測されている。この点については地下水の項で考察する。

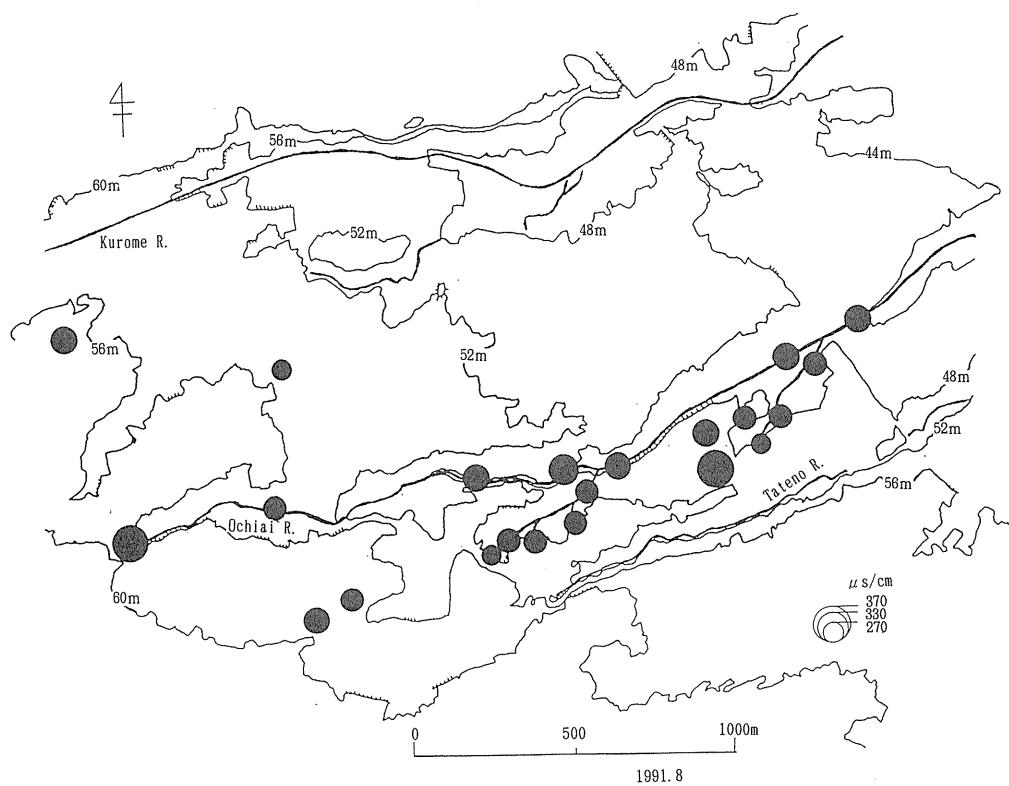


図17 落合川の電気伝導度(1) 1991年8月

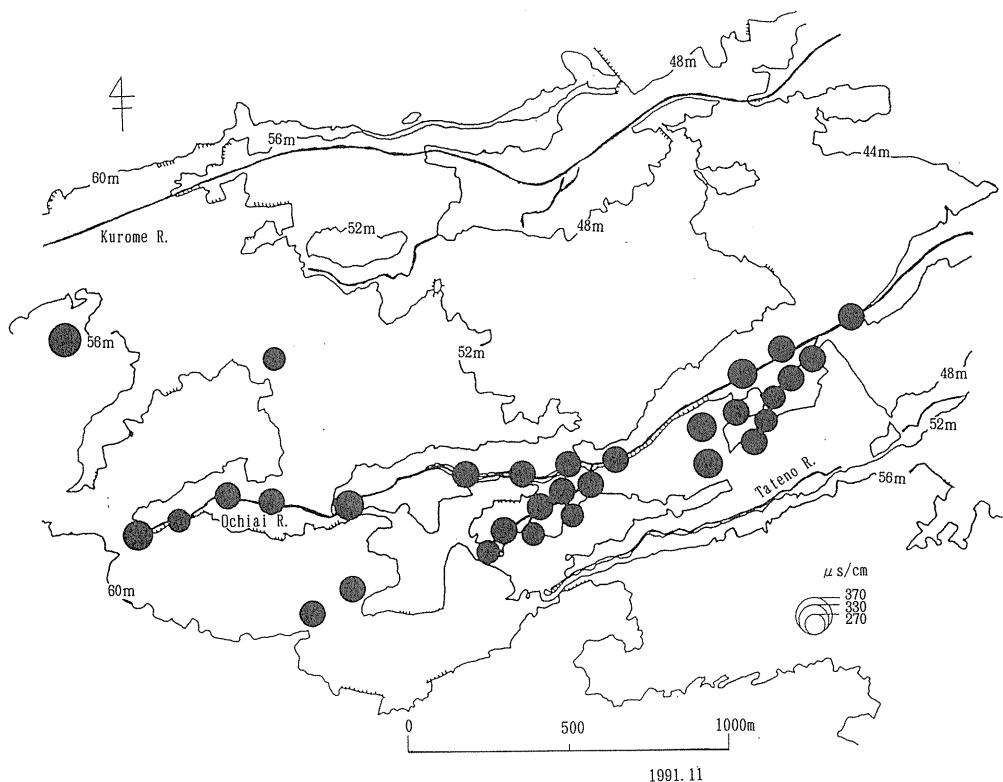


図18 落合川の電気伝導度(2) 1991年11月

表1 河川水、湧水、地下水の電気伝導度 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

	8月		11月	
	範囲	平均	範囲	平均
河川水	276～348	296	271～315	299
地下水	286～331	297	267～357	308
湧水	279～288	277	261～289	286

(2) pH

河川水、湧水、及びその周辺地下水のpH値の分布を図19に示す。またその値の範囲と平均値を表2に示す。河川水は平均6.5程度、湧水と地下水は6.0程度と河川水が常に高い値を示し、人為影響の程度を示唆している。しかしその値は上下流を通じ、また時期の違いに関わらず、ほぼ一定の値が維持されている。

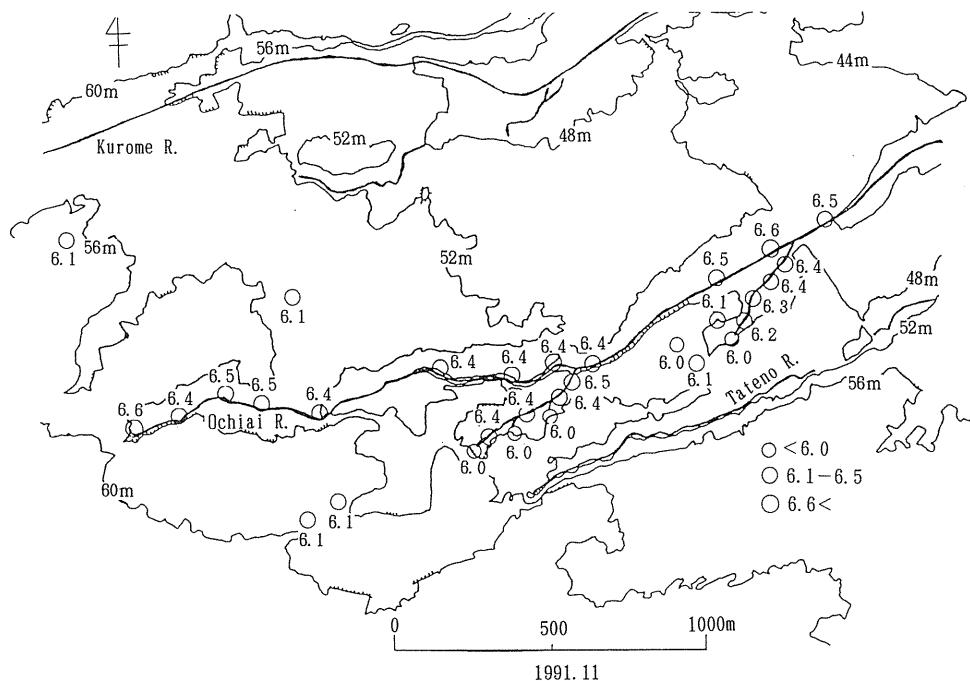


図19 落合川のpH

表2 河川水、湧水、地下水のpH値

	8月		11月	
	範囲	平均	範囲	平均
河川水	6.3～7.1	6.6	6.3～7.1	6.4
地下水	5.9～6.1	6.0	6.0～6.1	6.1
湧水	5.9～6.1	6.0	6.0～6.1	6.0

### (3) 硝酸性窒素

硝酸性窒素イオンの濃度は図20に示したように、流下にともなって上昇する傾向は認められるものの、際だったものではない。むしろ部分的には低下するところもあり、地下水の湧出による希釈の影響を示唆している。なお、いずれの地点においても11月の方が硝酸性窒素濃度が高くなっていること、これは先に電気伝導度について指摘した傾斜とも一致し注目される。この点については後に詳しく考察する。

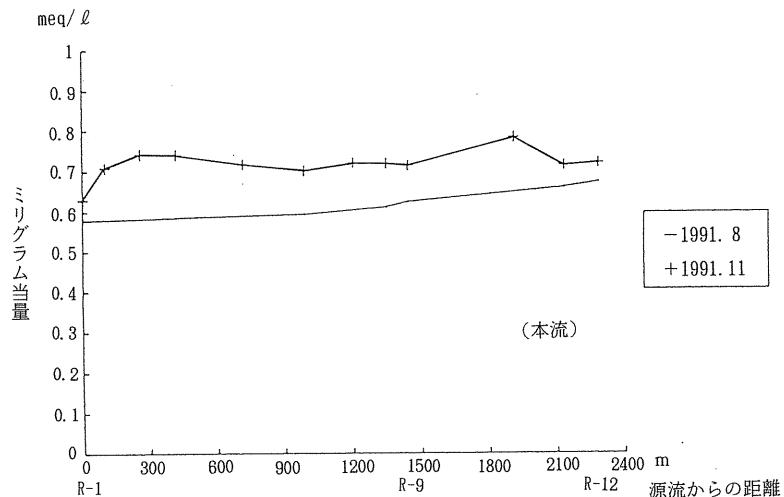


図20 落合川の硝酸性窒素イオン濃度分布

### (4) 重炭酸イオン

地中水の重炭酸イオンの濃度は一般に地中における水の滞留時間に比例して高くなる傾向がある。従って地下水の湧出が大きいところでは、河川水の濃度が高くなることが期待される。図21

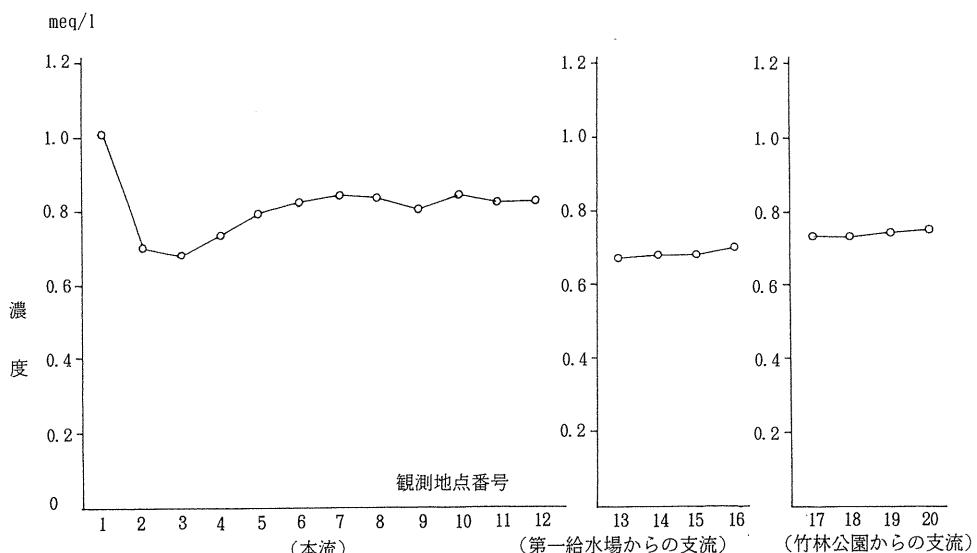


図21 落合川の重炭酸イオン濃度 (1991年11月)

は1991年11月の観測定点での測定値である。いずれも源流部で高い値を示すほか、R-7～R-8地点（源流部より1,000m～1,300m下流）で再度高い値が示され、この付近で地下水の湧水が比較的活発に行なわれていることが推察される。

時期による濃度の違いにどのような意味があるのかについては、検討の余地が残されているが、11月では8月期に比べて滞留時間の小さい地下水が湧出している可能性を示唆している。このことは先にも述べたように、この時期に大量の降雨がもたらされ、地下水の流出が活発となったことから考えて妥当な結果と云える。

#### (5) 河川流量と水質の日変化

河川流量の日変化と電気伝導度の関係について、調査地区の最下流部で連続観測を行なった。その結果を図22に示す。全体として河川流量は昼間で減少し、夜間で増加する傾向が認められる。また電気伝導度値は流量の減少する時刻で増大する傾向も認められる。

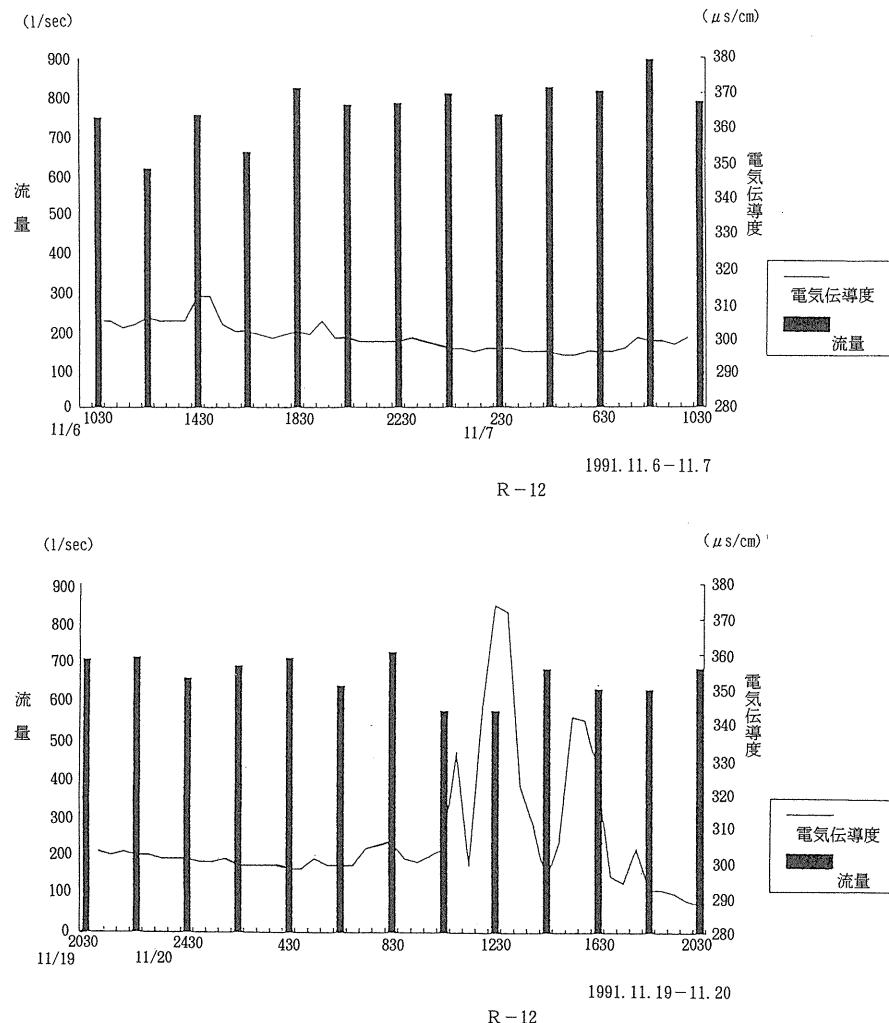


図22 落合川における流量と電気伝導度の日変化

これらについては、流量の減少が流域の地下水揚水の影響による、河川への地下水流出の減少に依るものであること、またこの時の電気伝導度値の上昇が、それに伴う希釈効果の減少に依るものと解釈するのが妥当である。

主要イオンの日変化については図23にあるように、陽イオンでは $\text{Na}^+$ 、陰イオンでは $\text{SO}_4^{2-}$ の著しい増加が日中に認められる。他の成分が比較的安定していることから、生活排水以外に工場排水が加わっていることが推察される。

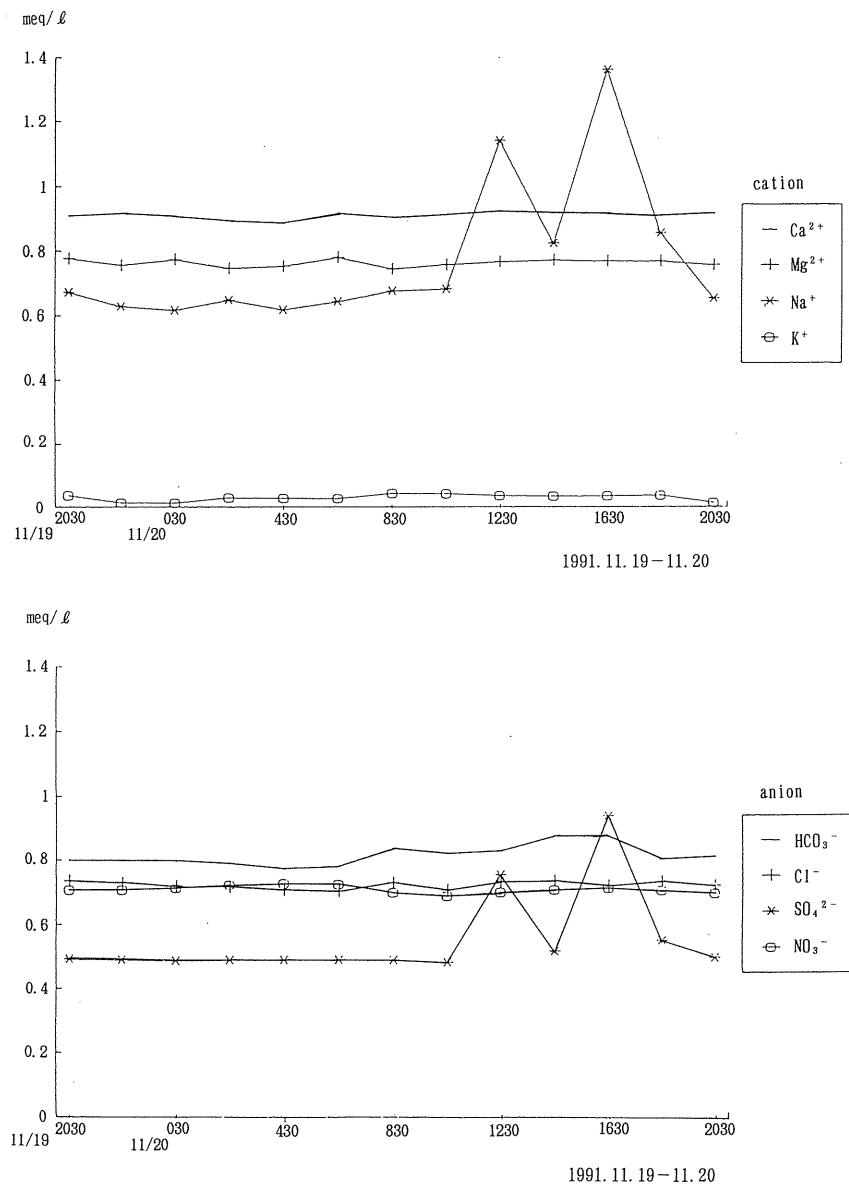


図23 落合川における主要イオンの日変化

## IV 流域地下水

### 1. 観測井戸

河川近傍の地下水状況を把握するため、図13の7箇所に観測井戸（いずれも民家の浅井戸）を配置し、水位と水質の定期観測を行なった。これらは上流図に位置するものと（W-1～W-4）、下流部にあって河川に近いところにあるもの（W-5～W-7）の2つのグループに分かれる。

（うち1箇所は自記水位計設置）これらの他、図13中の波線の位置（R-10地点）に、河川に直交する方向に図24に示したように、ピエゾメータ一群を設置し、河川水と地下水の交流関係を調べた。

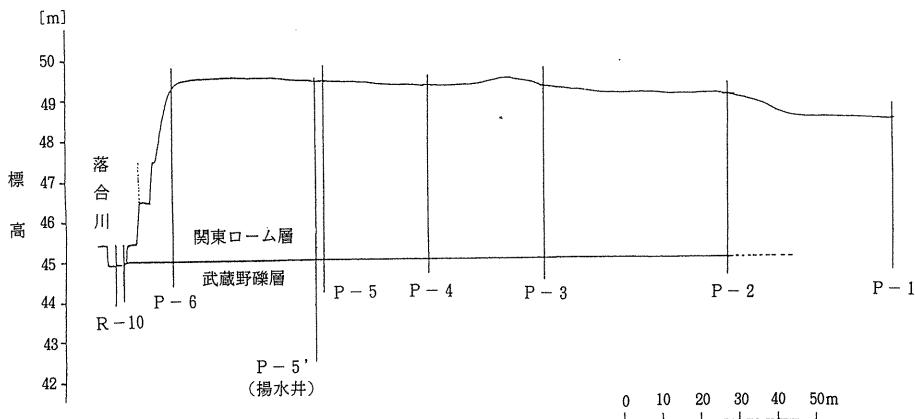


図24 ピエゾメータ設置状況（P-10地点の横断面）

### 2. 地下水位の年間変化

図25に示したように、年間変動量は2m以内で、比較的コンスタントに推移している。特に河川源流に近いところでは地下水位は年間を通じて殆ど変化がなく、湧水として地下水の排出が速やかに行なわれていることを示している。（W-5～W-7）

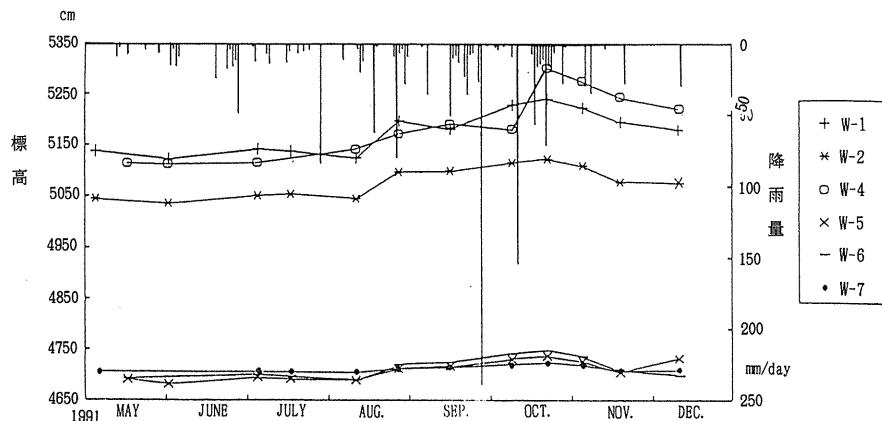


図25 降雨と地下水位の関係

### 3. 河川をめぐる流域地下水の流動系

#### (1) 地域的流動系

地域的な地下水の流動状況を検討するに足る資料は少ないが、先に述べたこの地域の水系・地形特性からその概要を推定することは可能である。

また地下水表面が地表面とパラレルであるとして、地形図から落合川を中心とし、隣接する立野川、黒目川の河床との比高差をとると、黒目川に対しては概してプラス、立野川に対してはマイナスとなり、全体として立野川流域→落合川流域→黒目川流域の方向に地下水の地域的な流れの場が形成されている可能性があることが推定される。

#### (2) 局地的流動系

図24に示したように、R-10地点を横断するかたちに設置されたピエゾメータ群により、圧力水頭の季節変化を追った。その代表例を図26に示す。なお、図中P-5'は農作物の灌水用の管

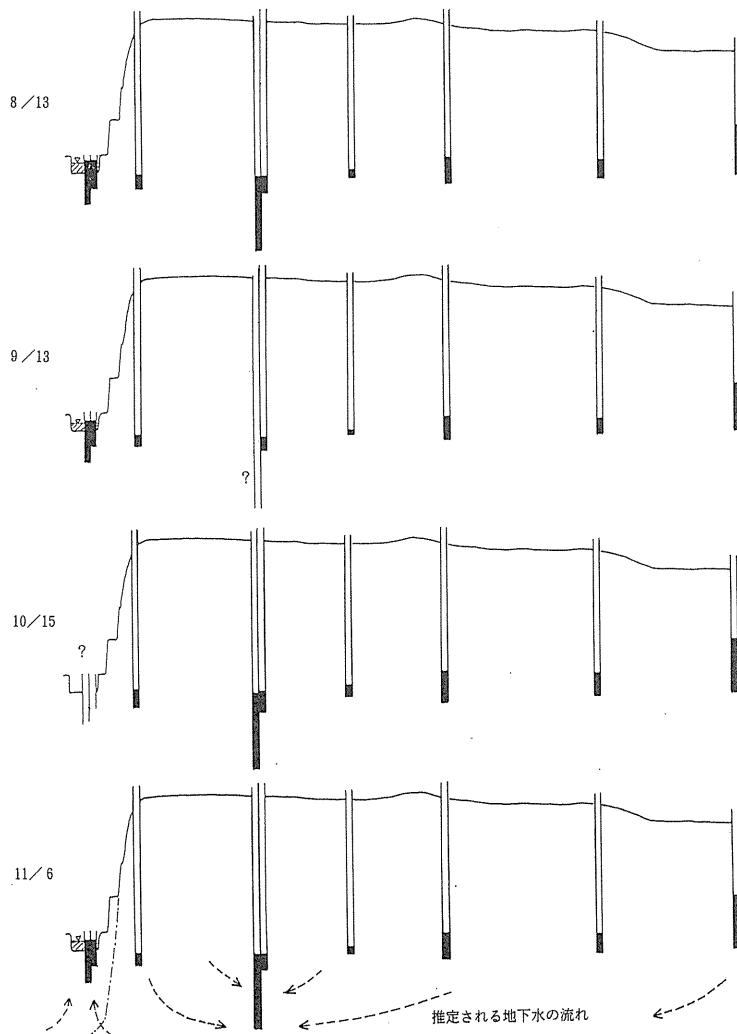


図26 ピエゾメータによる圧力水頭状況

井で、時々揚水されている。またR-10地点では河床中に直接ピエゾメータを打ち込んである。これらの結果から次のことが指摘できる。

- ① 河床下の地下水のポテンシャルは河水位より常に高い。つまり地下水が河床下から常に湧水するかたちとなっている。
- ② 一方、揚水井近傍では地下水のポテンシャル勾配が揚水井に向かうかたちとなっていることが多く（図中の“？”は水位低下のため測定不能だったことを示す。）、しかもポテンシャルの値は河床下のそれより低い。

関東ローム層と下位の礫層、および地形の関係は図24に示したとおりであり、また地下水位は年間を通じて、ほぼローム層と礫層の境界付近にある。台地部の関東ローム層下の礫層と河床下の礫層が同一のものとすると、上記の①と②の事実を矛盾なく説明するのは難しいようと思われる。現在のところ明確な論拠を欠くが、河床下の礫層は武藏野礫層とは不整合の関係にあり、地下水の流動系は図26に示したような状況にあるものと考えている。

#### 4. 河川と地下水の交流

地下水と河川水の直接的交流関係を把握するためピエゾメータ一群を図13に示した8箇所の河床下に設置した。いずれの点も設置深度は50cm、100cmの2深度である。これらのピエゾメータの水頭を時期をかえて前後8回測定した。図27、図28にその結果を示す。（この図では河床を基準として表示している。したがって水柱高のプラスは水流が見られることを示し、マイナスは水流が見られないことを示している。）

図から次の諸点を指摘することができる。

- ① 源流部では冬期で下向きのフラックスが卓越し、河川水が地下水を涵養するかたちになっている。
- ② 河川流量が増大するR-4～R-5地点付近では、これとは逆に上向きのフラックスが卓越し、常時地下水が河川を涵養しているかたちになっている。
- ③ 局部的にはR-9地点付近のように、河川水から地下水へのフラックスが認められるところもあるが、全体としては河川流量の増大が地下水からの涵養に基づくものであることが明瞭に示されている。（R-9地点ではその付近で掘削工事が行われており、その影響が及んだものである。）

#### 5. 地下水と湧水の水質

##### (1) 水温・pH・電気伝導度

図29～図31に示したように、地下水温については16°C～20°Cの範囲にあり、2°C前後の振幅を有する規則的な年変動が認められるが、湧水温では16°C前後で比較的安定した値で推移している。pH、電気伝導度については両者で大きな差は認められないものの、全体としてはやはり湧水の方が安定している。

これらの傾向は湧水が周辺の地下水と直接関係するものでなく、むしろさらに後背の、広域的

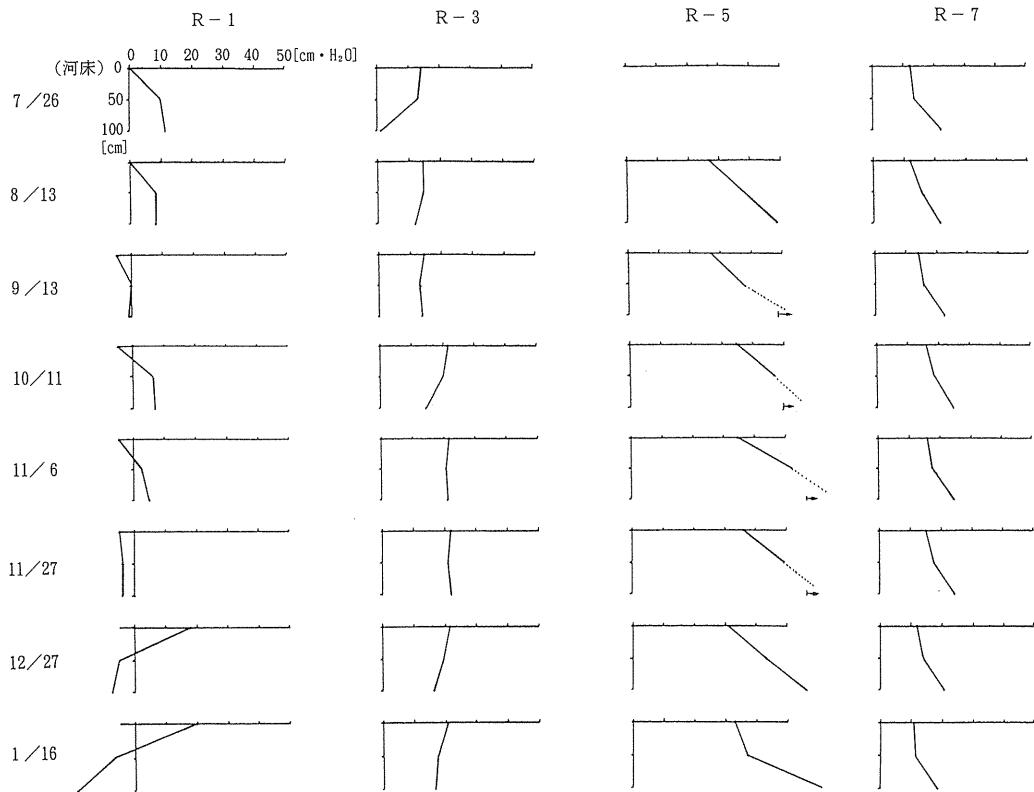


図27 河床下の水頭分布(1)

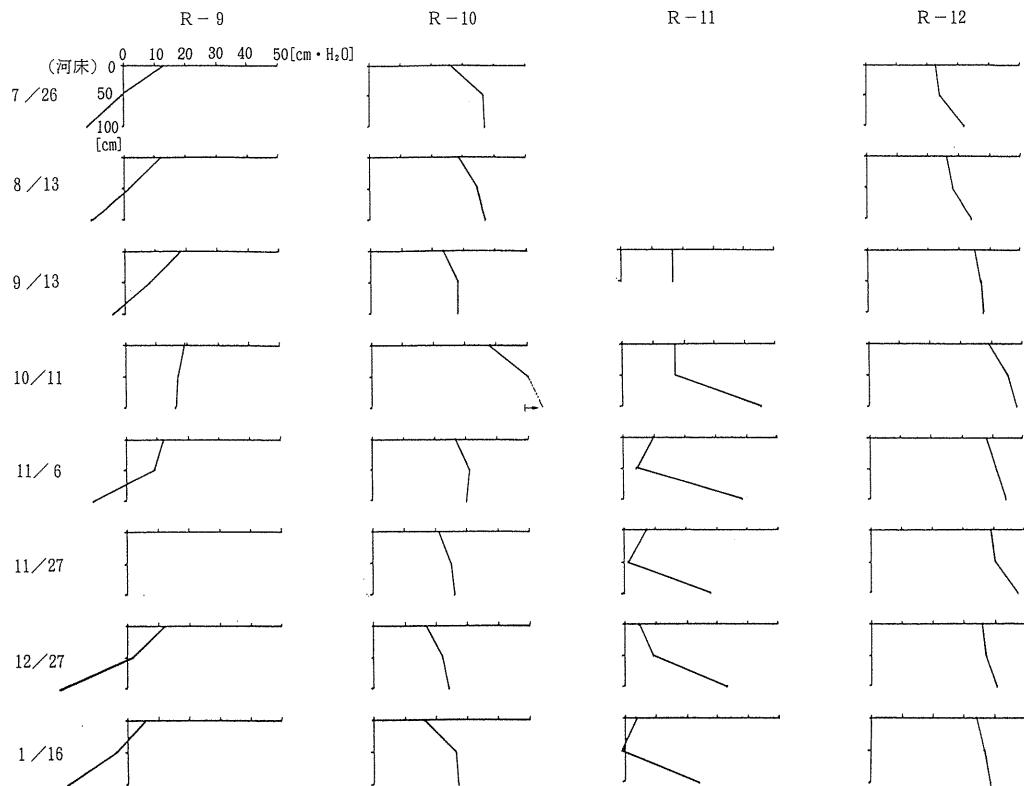


図28 河床下の水頭分布(2)

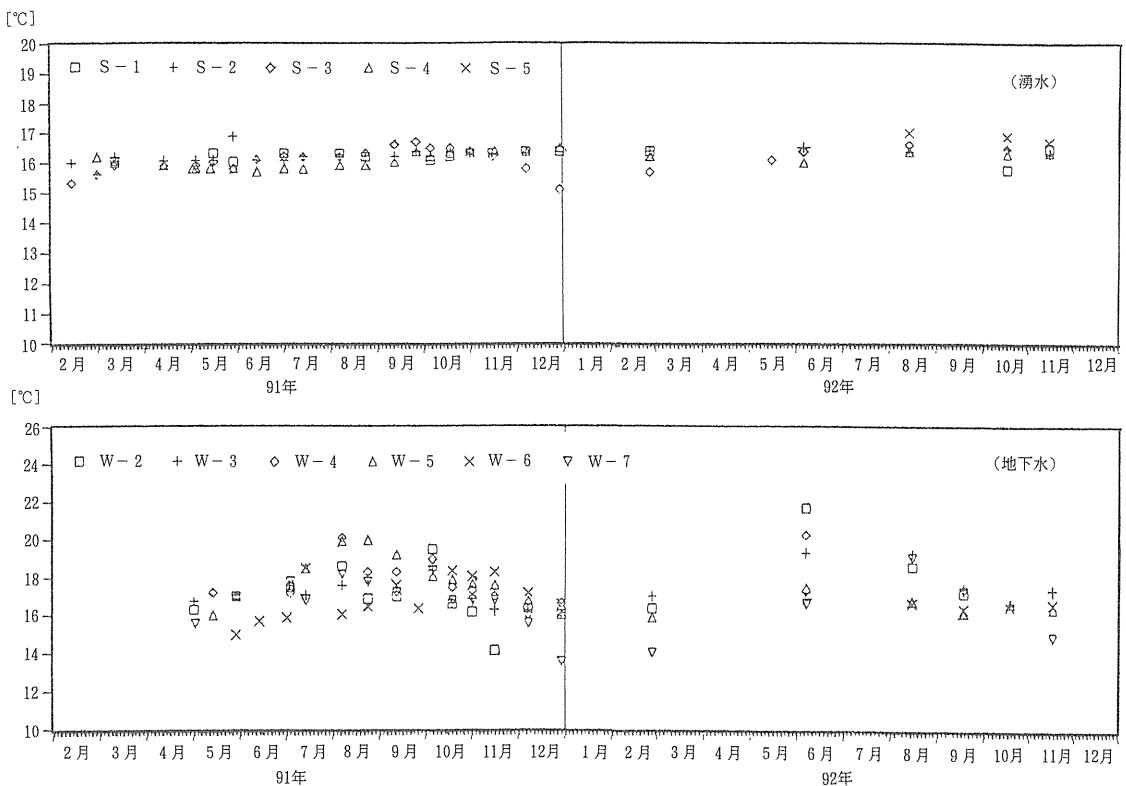


図29 湧水と地下水の水温変化

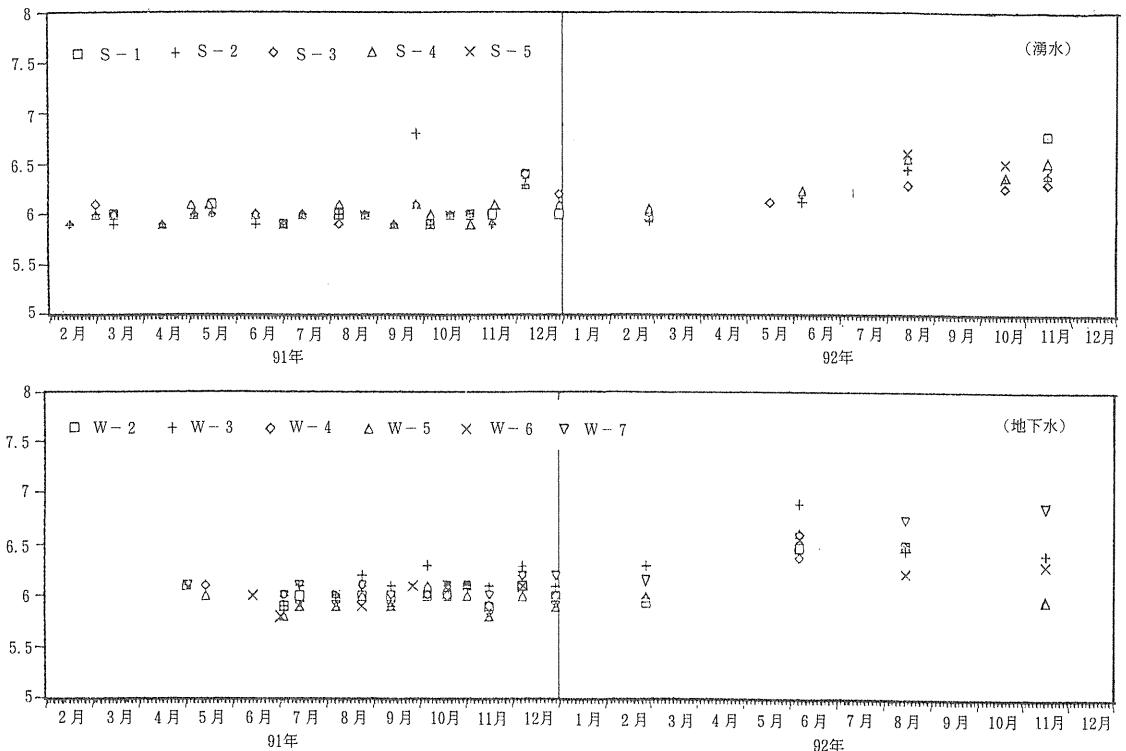


図30 湧水と地下水のpH変化

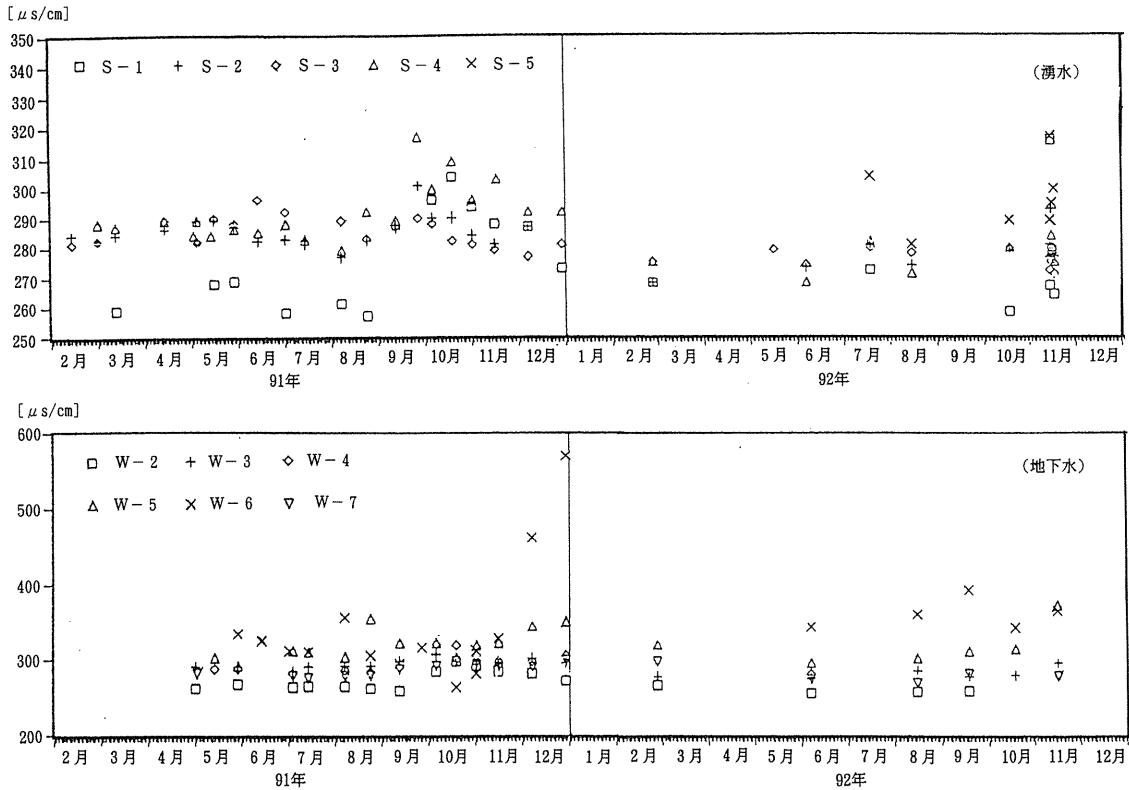


図31 湧水と地下水の電気伝導度変化

かつ滞留時間の長い地下水と関係していることを示唆している。

## (2) 一般水質

図32、33に地下水における一般水質の経時変化の代表例を示す。

1991年の9月と10月に集中的にもたらされた降雨（武蔵野地域で1,000mmに達する降雨が記録された）によって、地域一帯の地下水位が一様に数m上昇したが、この時地下水の水質にも変化が認められた。そのうち最も顕著なものは、陰イオンでは $\text{NO}_3^-$ で、 $\text{Cl}^-$ でも若干の上昇が認められる。陽イオンでは $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ に上昇の傾向が認められる。

このような傾向は同時期に調査をした武蔵野台地南部の地下水でも認められた。ここではこのような現象をつぎのように解釈した。すなわち、武蔵野地域の関東ローム層は、長年にわたる生活雑排水の地下浸透や農作物への施肥によって汚染物質が蓄積されており、これが降雨時に上昇した地下水に溶出し、その水質が影響したものと考えている。

図34、35に湧水の経時変化の代表例を示す。地下水の場合と同様に、上記の大降雨がもたらされた時期に陰イオンでは $\text{NO}_3^-$ が上昇し、 $\text{Cl}^-$ でも同様の傾向が認められた。

一方、降雨後比較的短時間での湧水の水質変化は図36のように、電気伝導度値と $\text{HCO}_3^-$ 濃度の上昇がいずれの湧水でも、大小の差があるものの、明らかに認められる。上に述べたように、降雨直後では停滞性の地下水の湧水が加わっていることを示唆している。その機構については次章で考察する。

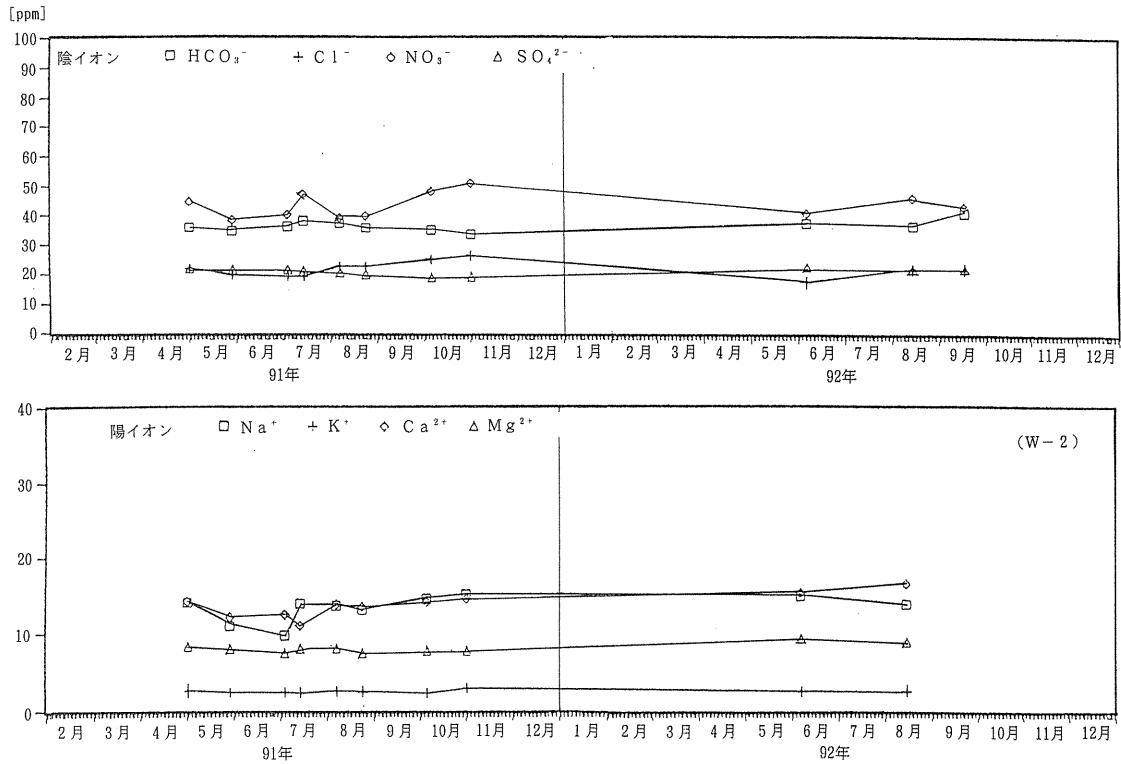


図32 地下水の水質変化(1)

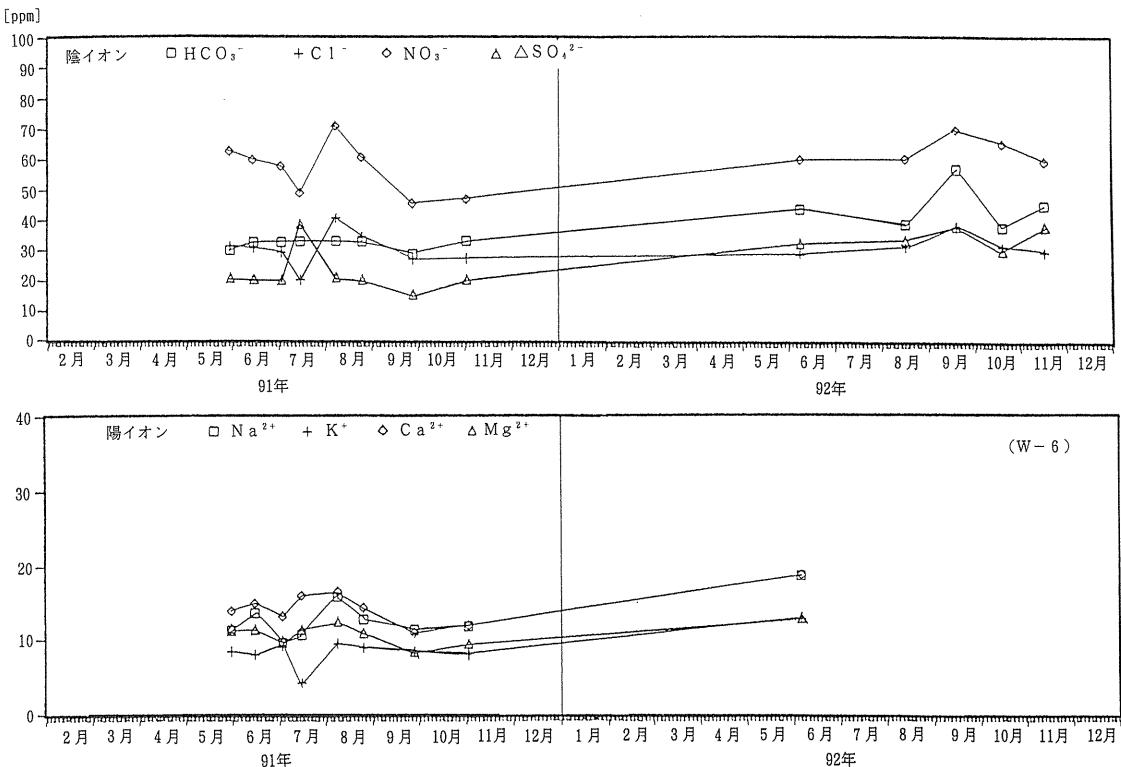


図33 地下水の水質変化(2)

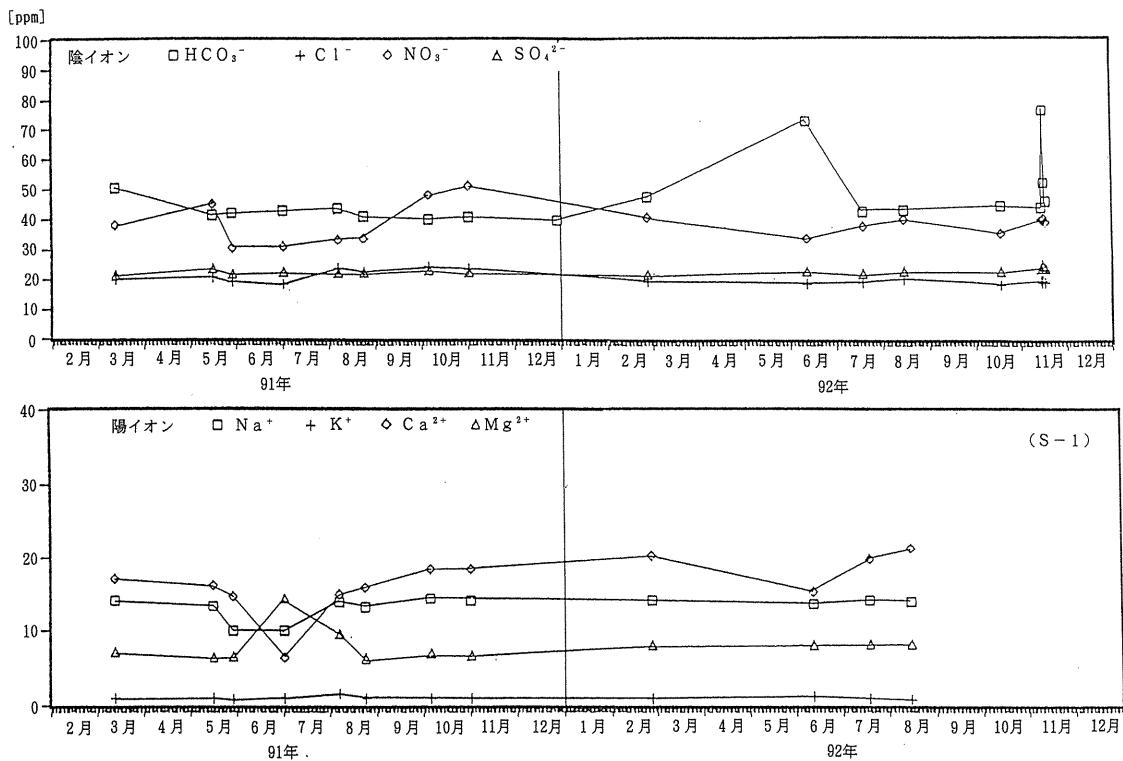


図34 漢水の水質変化(1)

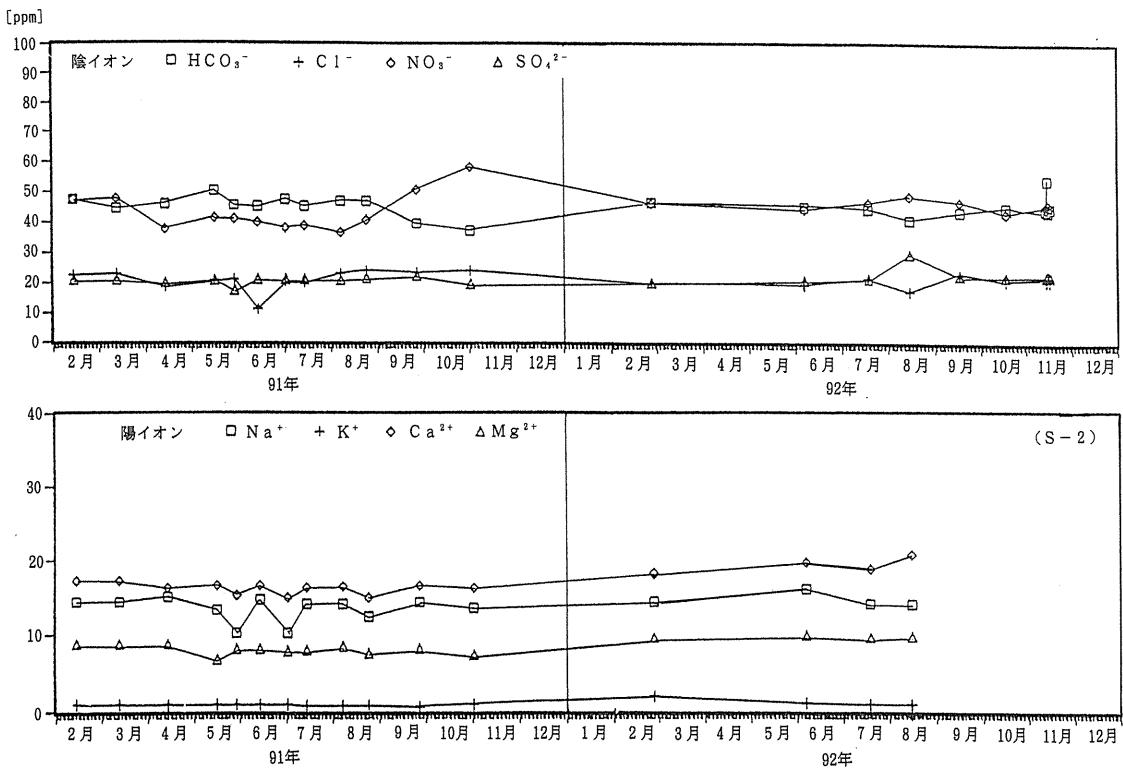


図35 漢水の水質変化(2)

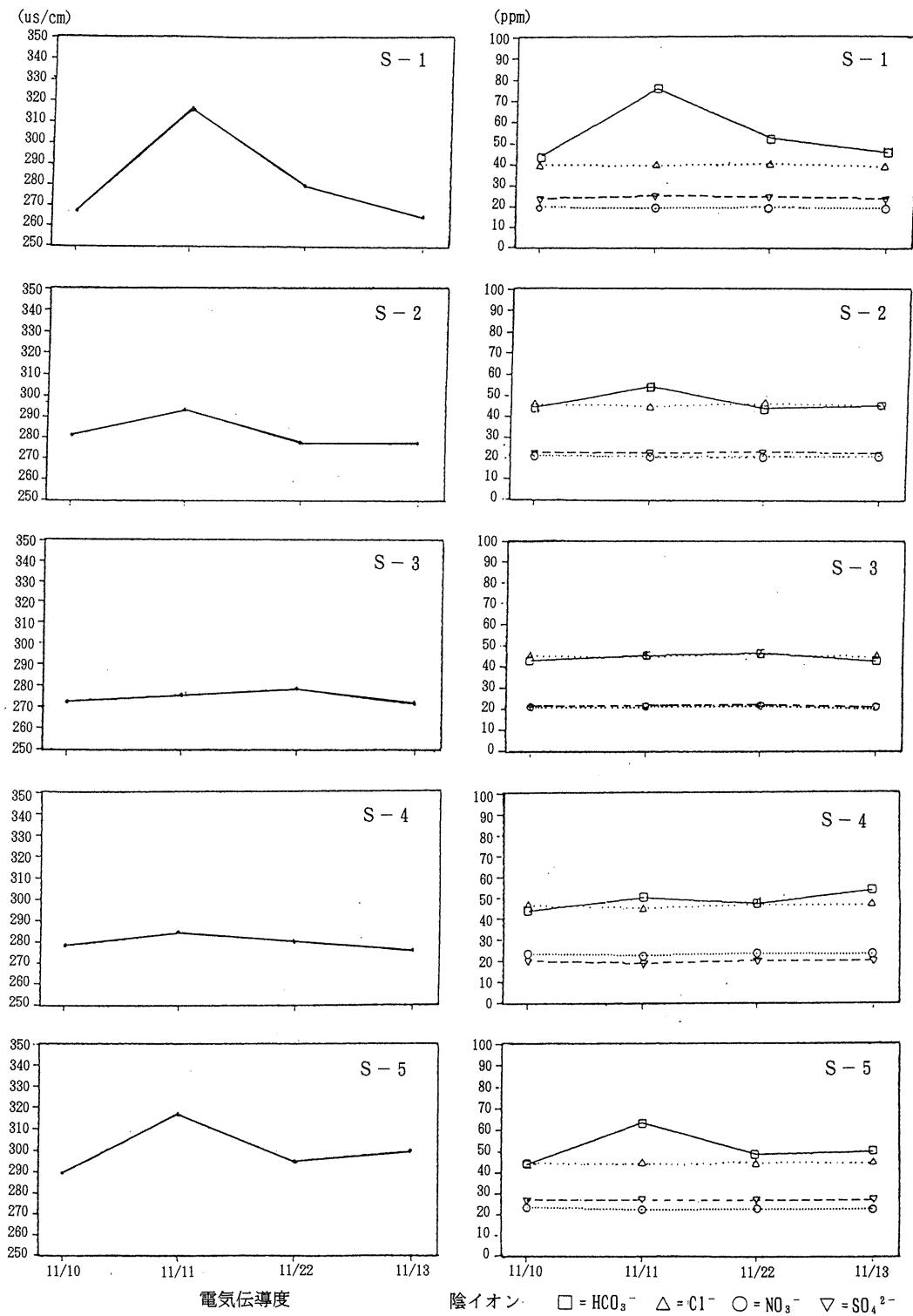


図36 降雨後における湧水の水質変化

## V 湧水量機構調査

### 1. 湧水量 (S - 3 湧水)

東久留米市南沢にある竹林公園 (S 4)、同3丁目の海老沢氏宅裏庭にある湧水に自己記録計を設置し、流量の連続観測を行った。図37は後者の記録である。

湧出量変化にみると、その特徴は比較的安定した流出を示す基底成分と、降雨時に一時的に増大する短期成分から成っている。

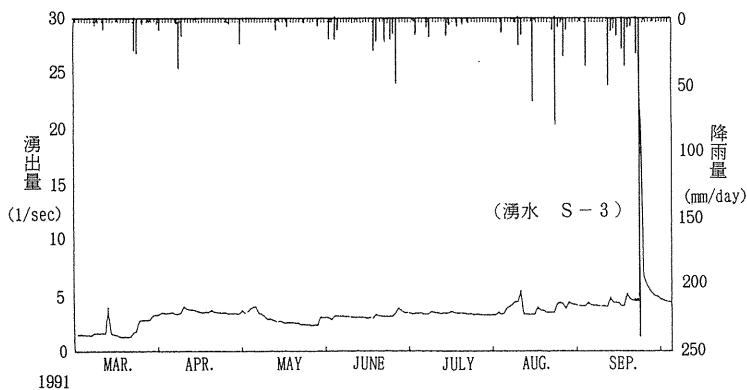


図37 降雨と湧水量の関係

後者の給源は、降雨後の地下水位の上昇によって押し出されるようにして加わった湧水また湧水地点近傍の地下水に求められ、前者の給源は広域的、かつ定常的な地下水流動に求められる。先に降雨後、一時的に電気伝導度値がやや上昇することを示したが、これは上記の短期成分に相当する地下水の水質が関与したものといえる。

湧水量と地下水位の関係は図38のように、概ねよく対応しているといえるが、詳細にみると、湧水量の少ない時では、ばらつきが目立つ。これは湧水に関与する地下水が湧水近傍の地下水のみではないことを意味し、上述の推定をサポートする事実と言える。

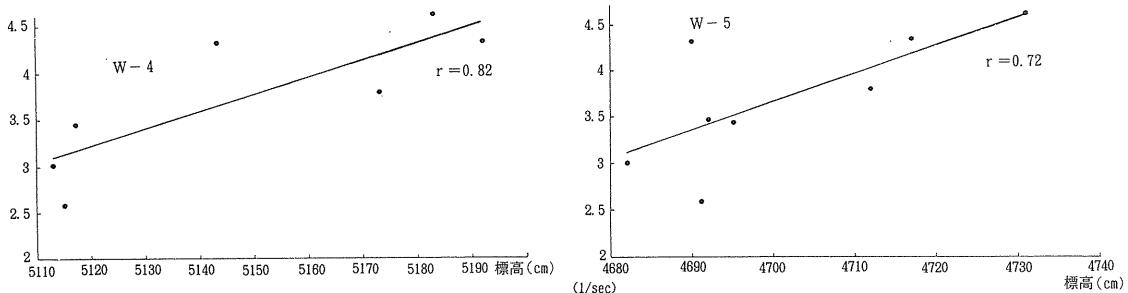


図38 地下水位と湧水量の関係

## 2. 湧水機構

湧水の湧出機構の詳細を検討するため、東久留米市南沢3丁目の海老沢氏宅の湧水（S-3）を取り上げ、湧水量の観測と周辺地下水のポテンシャル分布を調べた。図39に湧水近傍の地形（湧水量観測点の平均水面を基準面とした）ピエゾメータの設置地点を示す。また図40にピエゾメータ設置深度と地下水のポテンシャル状況の一例を示す。

この湧水は、降雨時には池底から砂が舞い上がるほどの勢いで地下水が湧出しており、当初から地下水のポテンシャルの高いことが予想されたが、この図はそのことを如実に示している。なおこの付近には各所に湧水が分布し、池をつくっているが、これらの池底から湧水した地下水は小川となって落合川の支流に合流している。この川の上流には先にも述べた東久留米市の給水施設が位置し、かつては湧水そのものを水道水源として利用していた。

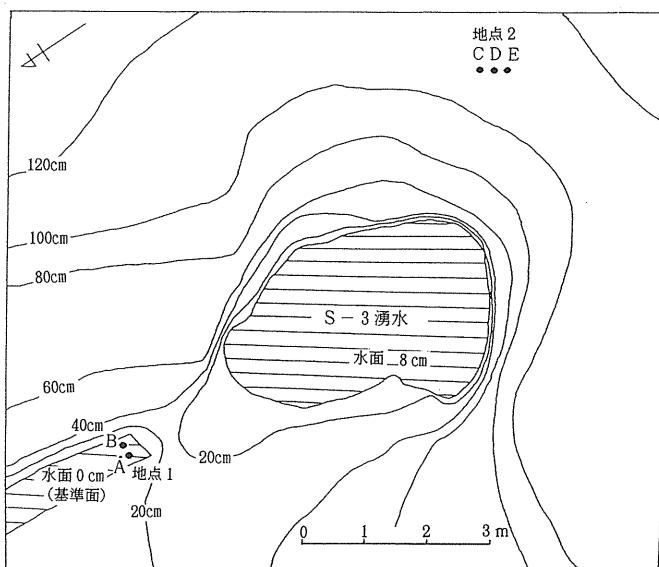


図39 湧水量観測地点の地形とピエゾメータ設置位置

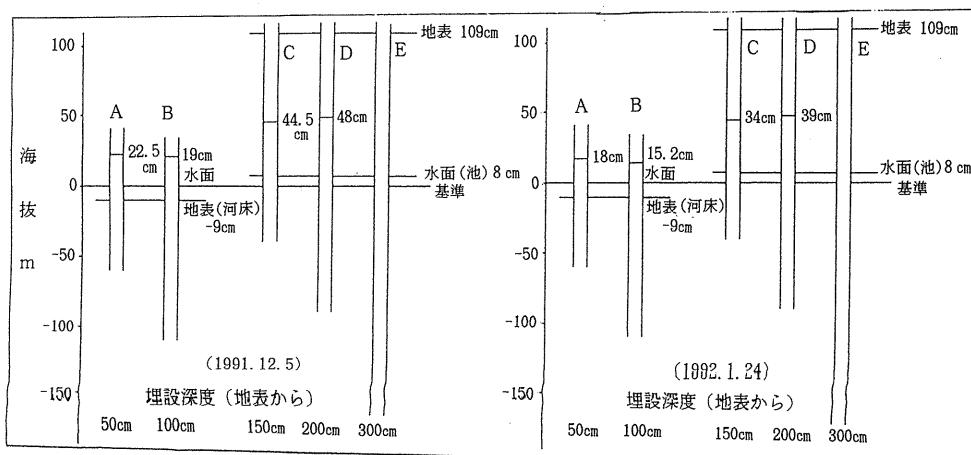


図40 湧水をめぐる周辺地下水の圧力水頭状況の一例

つぎに図41に湧水近傍における地下水ポテンシャルの垂直断面の一例を示す。この図から湧水が地下水の上向きの流出によって維持されていることがよくわかる。

このように落合川流域の湧水は河底からの湧き出しを含めて、いわば“地下水噴出型”として特徴づけられるとしてよい。これは武藏野台地南部に多く分布する“崖線湧水”と異なる特徴である。

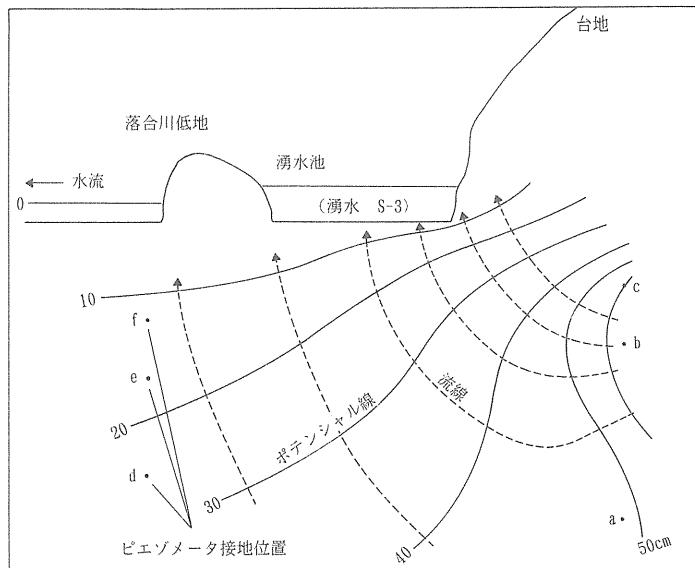


図41 湧水近傍地下水の圧力水頭の断面

## VIまとめ

### 1. 落合川の流域特性

- (1) 落合川はその北にある黒目川とともに、かつての多摩川の名残川に考えられているが、流域をカバーする大きな地形的特徴から、その原形は武藏野疊層下位層の堆積時に遡り、さらにいえば現在に続く地殻変動の影響を受けている可能性がある。
- (2) 落合川の水流を維持しているのは、このような構造に支配されて存在している流域地下水であるが、その涵養域やそれにかかる地下水は上述の地形・地質的背景を考慮してはじめて把握可能となる。

### 2. 落合川の河川特性

- (1) 落合川の本流はもちろん、支流も湧水によって維持されているが、ともに下流に向かって流量が急増する。このことは地下水位が低下した今日でも、本流域では河川環境の維持要因として、流域地下水の役割がなお大きいことを意味している。
- (2) このような河川状況はその水質特性の上によく現れている。すなわち河川水質が調査区間を通して比較的コンスタントに推移していること、河川推量の増大区間、つまり地下水涵養の多い区間で溶存成分の明らかな低下がみられること、また逆に地下水の利用によって河川流量が減退す

る時に電気伝導度の上昇が認められること、などは地下水と河川の交流がまだ活発であることを示している。

- (3) 河流を維持している地下水は、河川水の水質特性（重炭酸イオン濃度など）から平常時では広域的、かつ比較的滞留時間の長いものが、また降雨時では滞留時間が短く、かつ河川近傍のものが対応しているといえる。

### 3. 地下水特性

- (1) 落合川、黒目川の河流にかかる流域地下水は、地形・地質環境から上流部は東村山市に至り、北縁部は黒目川左岸沿い、南縁部は小平市北部と田無市北部を結ぶ方向の地形的分水界にはほぼ一致する範囲のものと考えられる。
- (2) この地域は都市化が進行し、農地や林地が宅地に改変されているとはいえる、なお土地被覆率は他に比べて低い。下水道の整備も遅れている。これらのため、地表汚染物質は容易に地下に浸透できる環境下にある。地下水汚染指標ともいえる  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  濃度が飲料水の基準を大きく越えている事実がこれを示している。
- (3) 地下水は平常時は関東ローム層と武蔵野礫層の境界部付近にあるが、降雨時にはローム層中にいたる。この時地層中にトラップされていた汚染物質を溶かしこみ、地下水質の成分濃度の上昇を来たし、結果として河川水の汚濁化をもたらす。

### 4. 河川と地下水の交流

- (1) 河床に打ち込んだピエゾメータの記録から、地下水が河床から湧水している状況が明らかとなつた。調査区内では全体として地下水が湧出して、河川水を補っている環境にあるといえるが、部分的に中立、あるいは河川水の失水が見られるところ、また季節によりこれらが逆転するところもある。いずれにしても、このような河川と地下水の交流を遮断するような河川工事は今後充分に見直す必要がある。なおこのような事実を確かめたものは今までなく、今回の最大の成果であったといえる。
- (2) ピエゾメータの観測結果から推定された落合川を横断する方向の地下水流動パターンから、上述の河床下の湧出地下水は平常時は武蔵野礫層の深部、あるいは下位層から流出している可能性が大きい。しかしこのことについては今後の詳細調査を要する。

### 5. 湧水の特性

#### (1) 湧水の水質

湧水の水質は地下水の場合と同様に、大降雨がもたらされた時に陰イオンでは  $\text{NO}_3^-$  濃度が上昇し、 $\text{Cl}^-$  でも同様の傾向が認められる。このことは降雨時では地下水位が上昇し、溶存成分濃度の高い停滞性の土中水が地下水に加わって湧出していることを示唆している。

#### (2) 湧出機構

落合川流域の湧水の“噴き出し機構”がピエゾメータによる観測から明らかにされた。このよ

うなタイプの湧水は、後背涵養域の地下水の減退の影響を強力に受けるので、このまま流域の開発が進行すれば“湧水の涸渇”という事態は避けられない。

## VII 結論 — 河川汚濁の浄化機能の増進に関して —

流域地下水の保全がもっとも基本になるのは言うまでもない。公園などの涵養緑地の保全、また雨水浸透などの対策は積極策として検討を進める必要がある。ただしこのような人工的涵養は、一方では汚染物質の地下への浸透の機会を増進させることも有り得るので、慎重に行うべきであろう。

地下水の湧出による河川流量の増加が明瞭になっている場合は、その河道整備はできるだけ河岸や河床の自然性を維持するようにすべきである。本地域では東久留米市第一給水場のある支流の合流点（東久留米市南沢三丁目）、竹林公園のある支流の合流点（東久留米市浅間町一丁目）がこのような地域として最も重要である。

落合川の場合、河床からの地下水流出がその汚濁の希釈に大きく貢献していることが明らかとなった。これを増進させる施設として河床に深さ50cm程度のマスを埋設し、地下水の湧き出しを増長させることは検討に値する手法といえる。このような施設は魚類や水鳥の生息にも都合がよく、水辺環境の維持の上でも意味がある。特にこれを強調して本研究の主要結論としたい。

## あとがき

本研究は平成2年度河川環境管理財団の研究助成によって進められたものである。研究の機会を与えて下さった財団に厚く御礼申し上げる。また現地調査に際しては東久留米市建設部、東京都環境保全局水質保全部から種々のご便宜を頂いた。併せて御礼申し上げる。

当初計画での調査期間は1年間であったが、これをさらに1年延長して成果の充実を図った。ここに印刷したものはそれらの一部である。地下水や湧水の水質組成などの詳細データ、その他の基礎データは資料として保存してある。もしそれらの利用を希望される方がおられる場合にはお申し出いただければ幸である。

## 参考文献

- 1) 雨宮 優 (1984) : 地下水涵養による都市河川水質の希釈 — 東京都久留米市落合川の事例 — 地域研究, 25, 5号, P.41-48.
- 2) 新井 正他 (1987) : 東京における河川環境と湧水, 地域研究, 28, 2号, 1-14.
- 3) 横根 勇, 田中 正, 嶋田 純 (1980) : 環境トリチウムで追跡した関東ローム層中の土壤水の移動, 地理学評論, Vol.53, No.4, 225-237.
- 4) 消防研究所 (1968) : 『武藏野台地における地表水及び地下水の測水資料』, 消防研究所技術資料, 第1号.
- 5) 消防研究所 (1970) : 『武藏野台地における帶水層の性状に関する調査資料』, 消防研究所技術資料, 第3号.
- 6) 新藤静夫 (1968) : 武藏野台地の水文地質, 地学雑誌, Vol.77, P.223-246.

- 7) 新藤静夫 (1970) : 武蔵野台地の地下地質, 地学雑誌, Vol. 78, P. 449-470.
- 8) 新藤静夫 (1980) : 武蔵野台地における深層地下水の動態, Vol. 89, P. 336-347.
- 9) 東京都土木研究所 (1968) : 『北多摩幹線排水路流域地下水調査報告書』.
- 10) 東京都環境保全局水質保全部 (1990) : 『東京の湧水』.
- 11) 東久留米市 (1978) : 落合川汚濁要因調査報告書.
- 12) 細野義純 (1971) : 自由地下水水面の変動の性状について — とくに武蔵野台地の場合 — , '71IAH国内シンポジウム論文集, P. 54-61.
- 13) 立正大学応用地理調査所都市水文研究会 (1986) : 東京都の中小河川流域の湧水と河川流量・水質.
- 14) 山田啓一 (1986) : 電気伝導度による都市河川の自流量の推定, 第14回環境問題シンポジウム講演論文集, 13-18.
- 15) 山田啓一 (1987) : 都市河川における水循環機能の評価 — 武蔵野台地落合川、野川流域を例として — 第15回環境問題シンポジウム講演論文集, 48-53.
- 16) 山田啓一 (1988) : 都市河川の水循環機能の評価 — 混合法による自流量の推定 — , 水利科学, 181, 1-19.



写真1 落合河の河岸状況

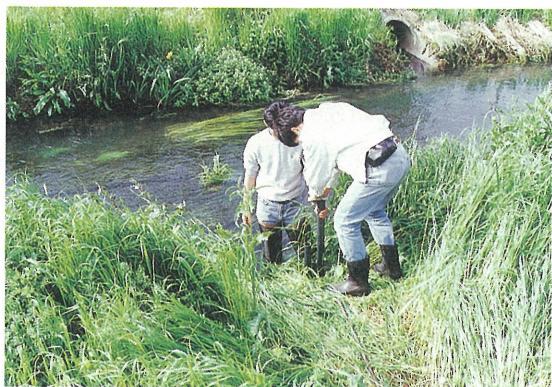


写真2 河床でのピエゾメータ設置作業



写真3 S-1湧水（第一給水場）



写真4 地下水の噴出による波紋に注目



写真5 S-3湧水（海老沢宅）



写真6 S-3湧水 パーシャル  
フリューム設置



写真7 S-3湧水 ピエゾメータは  
それぞれ深度が異なる

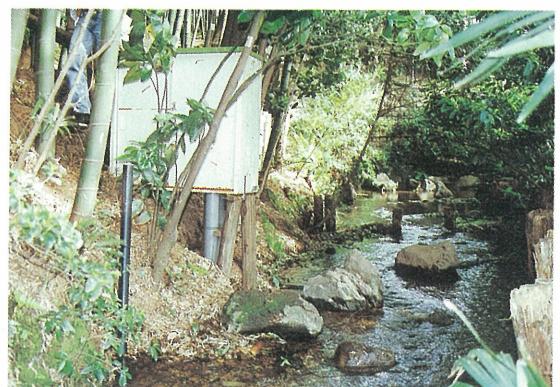


写真8 S-4湧水（竹林公園）流量計・  
電気伝導度設置



写真9 台地面におけるピエゾメータ設置作業  
(図24参照)



写真10 同 左