

金子台付近における不圧地下水 —水質の空間分布と地形段丘面による差異—

A Study of Unconfined Groundwater at the *Kaneko Upland Area*

—Spatial Distribution of Water Quality for Different Terrace Surfaces—

檜山 哲哉¹⁾・宮岡 邦任¹⁾・嶋田 純²⁾・板寺 一洋³⁾

S. Dapaah-Siakwan¹⁾・辻村 真貴⁴⁾・島野 安雄⁵⁾・榎根 勇⁴⁾

Tetsuya HIYAMA¹⁾, Kunihide MIYAOKA¹⁾, Jun SHIMADA²⁾, Kazuhiro ITADERA³⁾

S. Dapaah-Siakwan¹⁾, Maki TSUJIMURA⁴⁾, Yasuo SHIMANO⁵⁾ and Isamu KAYANE⁴⁾

I はじめに

ある地域の水文学的情報，すなわち水文誌を記述することは，その地域における水資源問題と今後の水利用を考える上で非常に重要である。特に，不圧地下水の賦存状況に関する情報は，水文誌の中の一構成要素として非常に重要である。公共水道や簡易水道の未発達な地域において，地域住民の水資源として重要な不圧地下水については，その量的把握や質的把握とそれらに基づく地下水の涵養・流動機構の解明が必要である。不圧地下水の質的把握においては，地下水中の溶存イオン量の定量分析を行ない，帯水層への降水や河川水による涵養と，人為的な汚染水による涵養の双方の効果を踏まえた考察を行う必要がある。

本報では，人口密度の高い地域を涵養源にもつ不圧地下水の例として，東京都青梅市から埼玉県所沢市付近を取り上げ，地下水中の溶存イオン量を定量分析し，水質組成の観点から当該地域の不圧地下水の賦存状況に関する情報の提供を行う。研究対象地域はいわゆる武蔵野台地の一部にあたり，古くから

地下水調査や水文地質学的研究，地形学的研究がなされてきたところである。吉村（1940）は，武蔵野台地全域において約2,000もの井戸を調査し，地下水瀑布線や地下水堆，宙水の分布を明らかにした。貝塚（1957，1979）は武蔵野台地における地形学的研究を行ない，地形変位量や地形面区分を明らかにしている。また新藤（1968，1970）は本地域を含む武蔵野台地全域の水文地質を明らかにしている。一方，本地域の地下水の水質に関する研究としては，飯田（1984）による記載がある。

本報では本地域における地下水面の状況を明らかにし，電気伝導度やpH，水温といった基本的な水質に加え，地下水中の溶存イオン量を定量分析し，ヘキサダイアグラムやキーダイアグラム等により水質の空間分布を考察した。さらに，本地域におけるこれまでの地形学的研究（例えば杉原ほか，1972；山崎，1978；貝塚，1979；貝塚・東京都地学のガイド編集委員会編，1980；久保，1988等）に基づく地形段丘面に対応した不圧地下水の水質組成の差異について考察を行ない，地下水の涵養・流動機構の解明を試みた。

¹⁾筑波大学大学院・地球科学研究科 ²⁾筑波大学地球科学系・水理実験センター ³⁾神奈川県温泉地学研究所
⁴⁾筑波大学地球科学系 ⁵⁾宇都宮文星短期大学

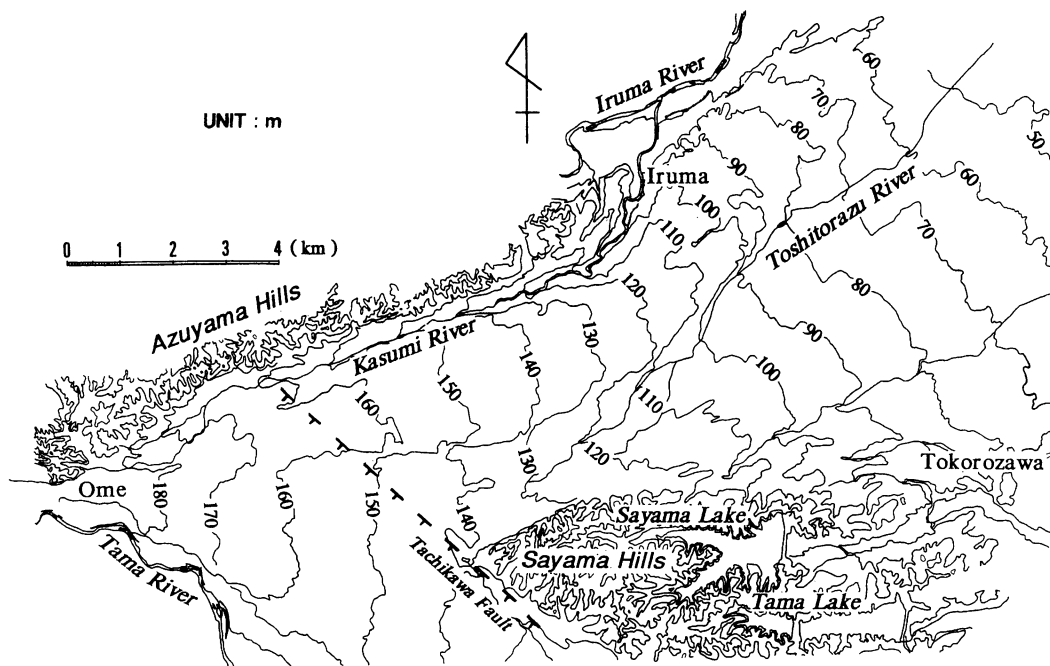
II 研究対象地域の概要

1) 地形

東京都と埼玉県の西部に広がる武蔵野台地は、一般に洪積台地として知られているが、一方で見方を変えれば、古多摩川により形成された古多摩川扇状地としてとらえることができる。この扇状地は東京都青梅市（海拔標高180m）を扇頂とし、海拔標高で約10m付近を扇端とする比高170m、平均勾配5.7/1000の、我が国の扇状地の中でも比較的規模の大きな扇状地である。扇端は北の埼玉県川越市から南の東京都大田区にまで達し、その規模の大きさが伺える。扇央付近のほぼ中央部に存在する狭山丘陵はこの扇状地面を北部分と南部分とに分断している。狭山丘陵は東京都瑞穂町の箱根ヶ崎（海拔標高で140m）付近を端とし、東西10km、南北4kmの孤立した丘陵である。この丘陵は古多摩川が扇状地を形成する際に、削り残し、埋め残した残丘であると言われている。

本研究で取り扱う地域は、上述した狭山丘陵で分断された扇状地面の北部分に相当する（第1図）。研究地域の北西部には阿須山丘陵が存在し、その丘陵端を霞川が西から東に向けて流下し、扇状地面と丘陵とを分断している。研究地域の扇状地面の海拔標高は180mから50mの間に位置する。阿須山丘陵中央部の東京都青梅市小會木（岩倉温泉付近）から、扇状地中央部の東京都瑞穂町箱根ヶ崎付近を経て、東京都国立市の矢川緑地にかけては、立川断層の存在が確認されている。立川断層は逆断層の形態を成し、いわゆる活断層と考えられており（活断層研究会編、1980）、東京都青梅市今井町付近（標高170m～160m）には、立川断層による北東側の隆起で比高約10m以上の逆傾斜ができている（榎根、1992）。

研究地域のほぼ中央部を地形面の傾斜方向に不老川が流れる。霞川は阿須山丘陵の東端で入間川と合流する。狭山丘陵上には山口貯水池（狭山湖）と村山貯水池（多摩湖）の2つの人工湖が存在する。研究地域の行政区分としては、西から東京都青梅市、



第1図 研究対象地域の概要 TTTTTTTTT (鍵線)は立川断層を示す。

瑞穂町，埼玉県入間市，狭山市，所沢市となっている。近年，いずれの市町も加速度的な住宅建設と人口増加の著しい地域である。

狭山丘陵も含めた広い意味での武蔵野台地は，いくつかの地形面からなり，それらの地形面は形成年代の古い順に，多摩面（T面），下末吉面（S面），武蔵野面（M面），立川面（Tc面），沖積面（A面）に分類されている（榎根，1992）。研究地域の地形面分類図を第2図に示す。図中の分類は国土地理院発行の2万5千分の1の地形図を基に，杉原ほか（1972），山崎（1978），貝塚（1979），貝塚・東京都地学のガイド編集委員会編（1980）や久保（1988）等を参考に行なったものである。扇状地面は古多摩川により複数の地形（段丘）面に区分される。段丘面は青梅市から埼玉県所沢市，川越市の方向（北東方向）に形成年代の異なる数列がほぼ平行に並んでいる。北西部の阿須山丘陵と南部の狭山丘陵は多摩ローム層をのせており，多摩面に相当する。金子台と所沢台は下末吉ローム層をのせ，下末吉面

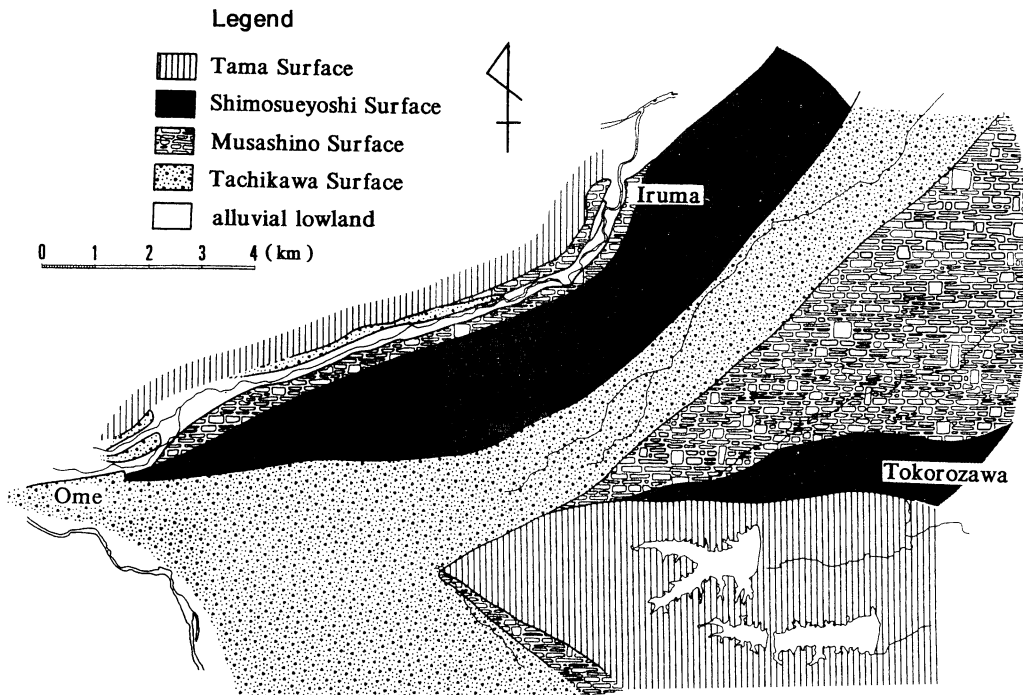
に相当する。所沢台の北側の狭山市狭山ヶ丘から所沢市下富，大井町亀久保にかけては武蔵野面が広がり，武蔵野面と金子台との間に立川面が存在する。各面には1～2本の小河川が存在する。多摩川と霞川の現河床氾濫原は沖積面である。

2) 地質

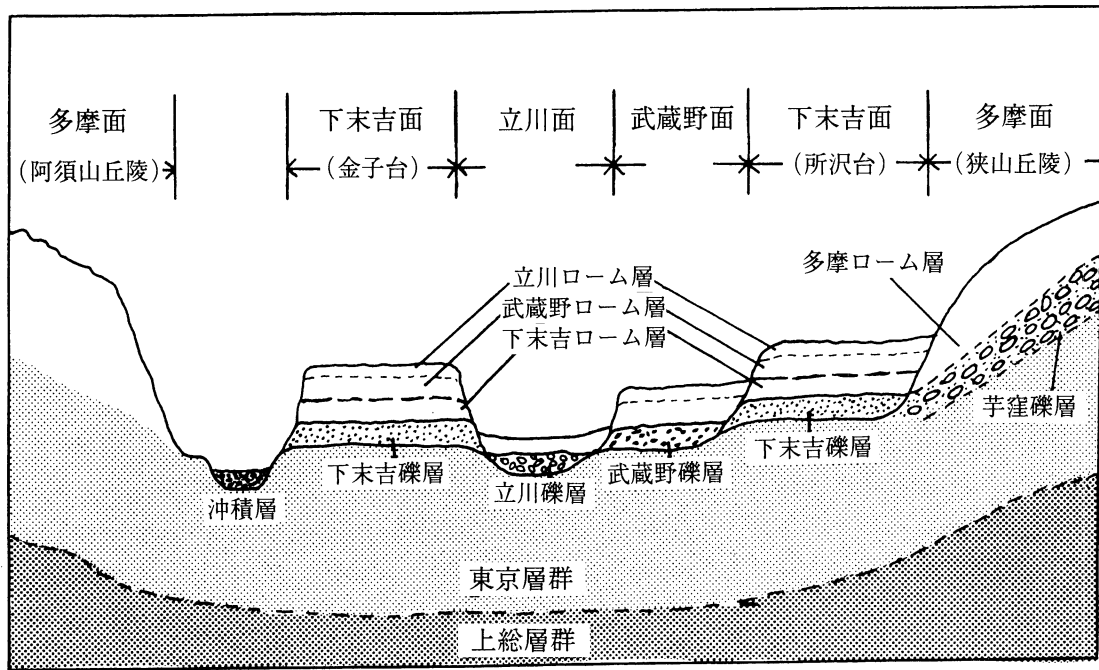
段丘の模式断面図を第3図に示す。研究地域は下層に基盤としての上総層群が存在し，その上位に西から東にかけて傾斜している砂礫層とシルト層の互層からなる東京層群がのっている。東京層群の上位層は各地形面で異なり，多摩面では芋窪礫層と多摩・下末吉・武蔵野・立川の各ローム層がのっている。下末吉面では下末吉礫層と下末吉・武蔵野・立川の各ローム層がのり，武蔵野面では武蔵野礫層と武蔵野・立川の各ローム層が，そして立川面では立川礫層と立川ローム層がそれぞれののっている。東京層群と各地形面上の礫層とは不連続である（榎根，1992）。

3) 土地利用と水利用の状況

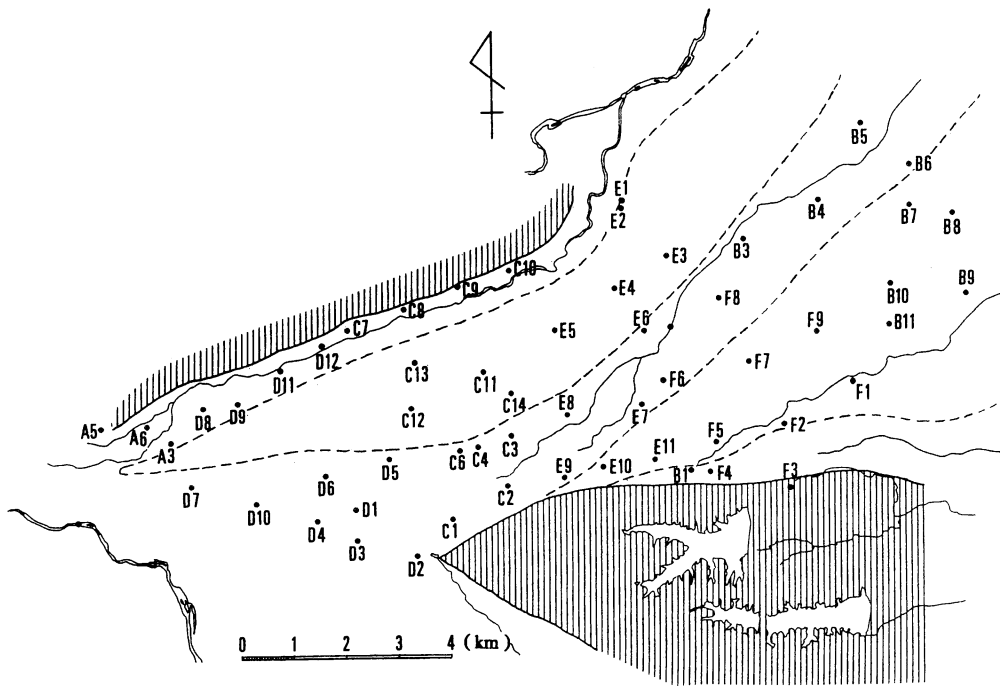
研究地域はほぼ全域で市街地・住宅地となってい



第2図 地形面分類図



第3図 金子台付近における段丘の模式断面図



第4図 調査地点分布図

..... (破線) は各地形面の境界を示す。

るが、市街地を除いては荒地や平地林も散在している。金子台上の標高170mから130mにかけては、いわゆる狭山茶を栽培している茶畑が広がっている。金子台の標高130m付近には武蔵工業団地が存在する。またこの近辺にはゴルフ場が2つ存在する。

研究地域の地下水のうち、被圧地下水は各地で水道水や工業用水として汲み上げられている（貝塚，1979）。一方不圧地下水は一部で農業用水として使用されているが、現在では農地・農家の減少により頻繁には使用されなくなっている。また地下水汚染等の顕在化により、井戸を有する民家においてさえも、不圧地下水は飲料水としては使用されなくなっている。つまり飲料水用の自家水としての不圧地下水の役割は、本研究地域においてはほとんど無くなってきている。研究地域における上水道の水源は各市町で異なるが、主に荒川・多摩川の河川水と不圧地下水や被圧地下水によっている。上水道普及率は100%に近いが、それに反し下水道の普及は遅れており、汚水を含む家庭用雑排水が不圧地下水にまで浸透している可能性がある。

Ⅲ 研究方法

本研究では、現地において測水・採水調査を行ない、採水したサンプルの水質分析を実験室において行なった。以下にそれらの概要を説明する。

1) 現地調査

現地調査は1991年5月21日から25日にかけて行ない、測水・採水は5月21日と25日の両日に行なった。

調査地点（観測井）の分布図を第4図に示す。調査の対象とした観測井は、主として民家の開放井である。調査は合計69地点で行なった。そのうち採水・分析を行なった地点数は、採水が可能で且つ採水深度が確認できた計58地点である（第4図）。これらの58地点を各地形面に対応させて区分すると、狭山丘陵で1地点、金子台で9地点、所沢台で2地点、武蔵野面で12地点、立川面で23地点、霞川沿いの沖積面で11地点となる。

2) 水質分析

水質のうち、水温・電気伝導度・pHは現地調査において測定した。これらの3者は横河電機社製の

伝導度計とpHメータを用いた。

陽イオン（ Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ ）及び SiO_2 濃度は筑波大学分析センターのICP（プラズマ発光分光分析装置：Jarrel-Ash Plasma Atomcomp 750）により分析した。

陰イオンのうち、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の濃度は、筑波大学分析センターのイオンクロマトアナライザー（横河電機：モデルIC-100）により分析した。 HCO_3^- 濃度はJIS K0101に基づき、MR混合指示薬でpH4.8アルカリ度（1/100N硫酸滴定）として実験室において滴定による定量分析から求めた。

Ⅳ 地下水面の形態

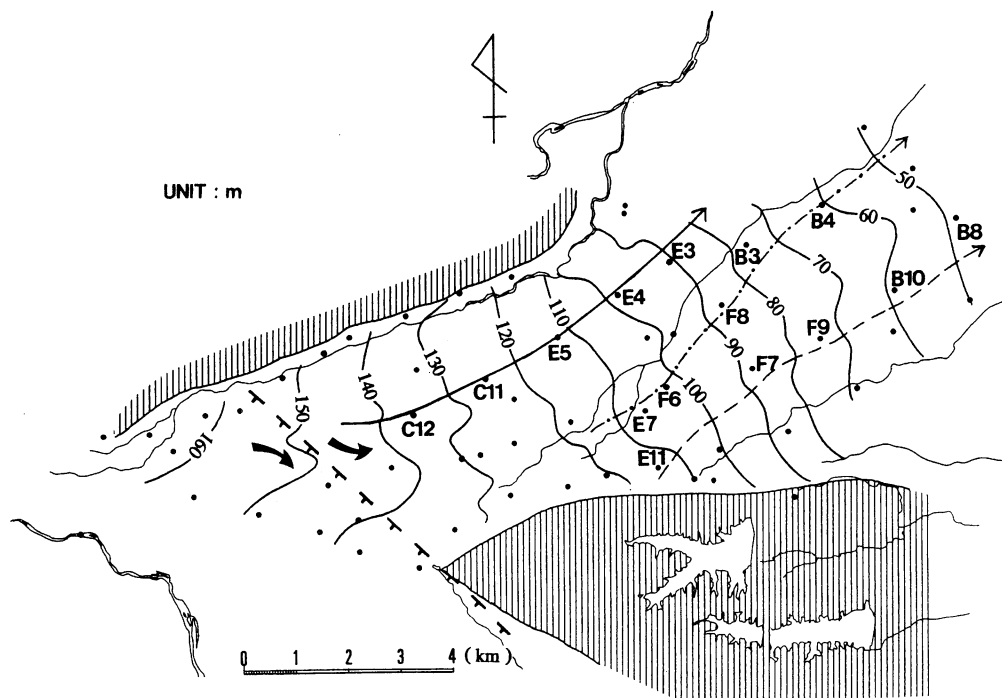
地表面から地下水面までの深さ（いわゆる地下水位）は沖積面で2m～5m、立川面で5～10m、武蔵野面で5～20m、下末吉面で15～20mとなっており、ローム層が厚く堆積する地形面ほど地下水位が深くなっている。この事実は飯田（1984）でも確認されている。

地下水面標高の等値線図を第5図に示す。3つの地形面（金子台・武蔵野面・立川面）における地下水流動方向をそれぞれ実線・破線・一点鎖線で第5図中に示した。これら3つの線に近傍する調査地点の番号もあわせて記載した。

第5図中の地下水面図には、各地形面の境界に不連続がみられない。第Ⅱ章の地質の項で述べたように、不圧地下水の帯水層はそれぞれの地形面における段丘礫層であることがわかっているが、これらの段丘礫層は、各地形面の境界では連続しており、結局1つの帯水層となっているものと考えられる。しかし第5図を詳細にみると、等値線には微妙な凹凸がみられる。地下水面の谷は立川面の不老川沿いにあり、北縁の金子台と南縁の武蔵野面より地下水が涵養される形態になっている。

霞川沿いの地域では、地下水面標高で約130mまでは霞川が地下水を涵養しているが、120m以下では地下水が霞川を涵養している。

第5図中の立川断層のラインと地下水面標高線を照らし合わせると、立川断層より西側では地下水流動が南東の方向に向いている。一方立川断層より東



第5図 不圧地下水の地下水面図

3本の矢印(——→:実線)・(-----→:破線)・(-·-·-→:一点鎖線)はそれぞれ金子台・武蔵野面・立川面における地下水流動方向を示す。TTTTTTTT(鍵線)は立川断層を示す。

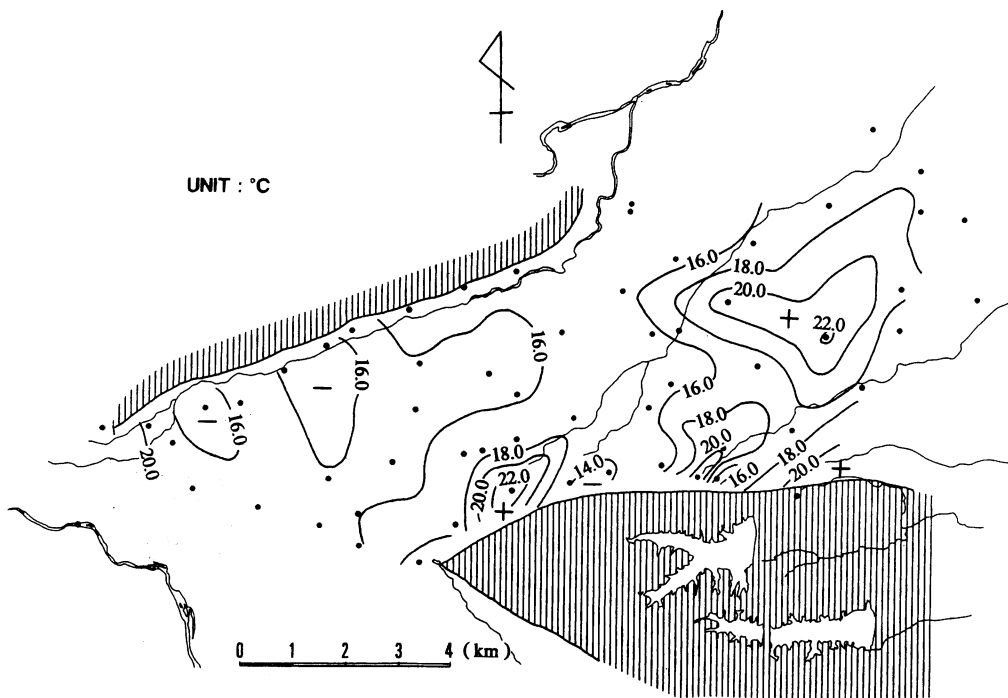
側では北東の方向に向いている(第5図中に、太線矢印で概略的に示した)。つまり、狭山丘陵が地下水流動の尾根境界ではなく、立川断層がその境界となっており、結果として立川断層と狭山丘陵の双方により、地下水流動線が分断されているものと推定できる。第I章で述べたように、立川断層は北東側が隆起している逆断層である。断層線を境に段丘礫層が一部不連続になっており、その結果断層の北西部方向から流動してきた不圧地下水は、断層の北東側に流動することができず、断層線の方向に沿った流動を呈するようになると推定される。立川断層により地下水流動がはばまれる事実については、被圧地下水に関して報告されている(榎根, 1992)が、不圧地下水に関してもこの現象が起こっている可能性が高い。地形形成年代の古い金子台では特に、この現象が生じているものと考えられる。今後、狭山丘陵の南側の扇状地面においても、立川断層線沿いに測水調査を実施し、上記の推定を検証する必要がある。

V 水質

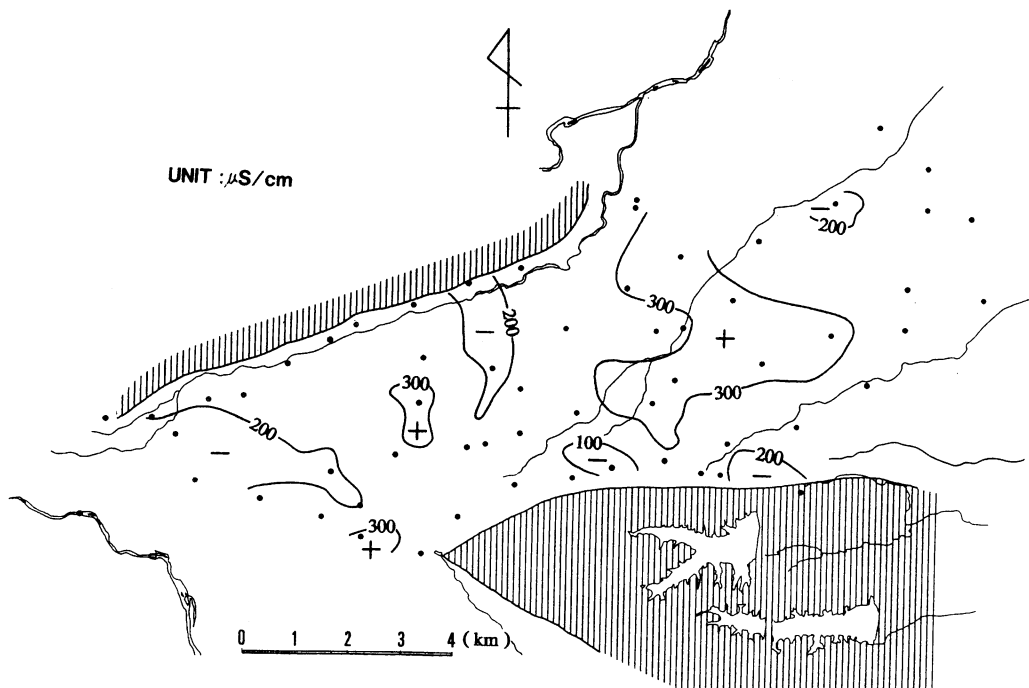
1) 水温

地下水の等値線図を第6図に示す。水温の分布は地下水の流動方向に対して規則性がみられない。しかし、水温の高まりがある場所と無い場所とが、地形面により異なることが読み取れる。つまり金子台では水温の極端な高まりは無いが、立川面の不老川付近と武蔵野面には存在している。水温の測定誤差の可能性はぬぐいきれないが、この水温の高まりは、局所的な排水による影響とも考えられる。立川面や武蔵野面においては、地下水位が下末吉面に比べて浅く、局所的な地下水汚染が発生しやすいことが考えられる。

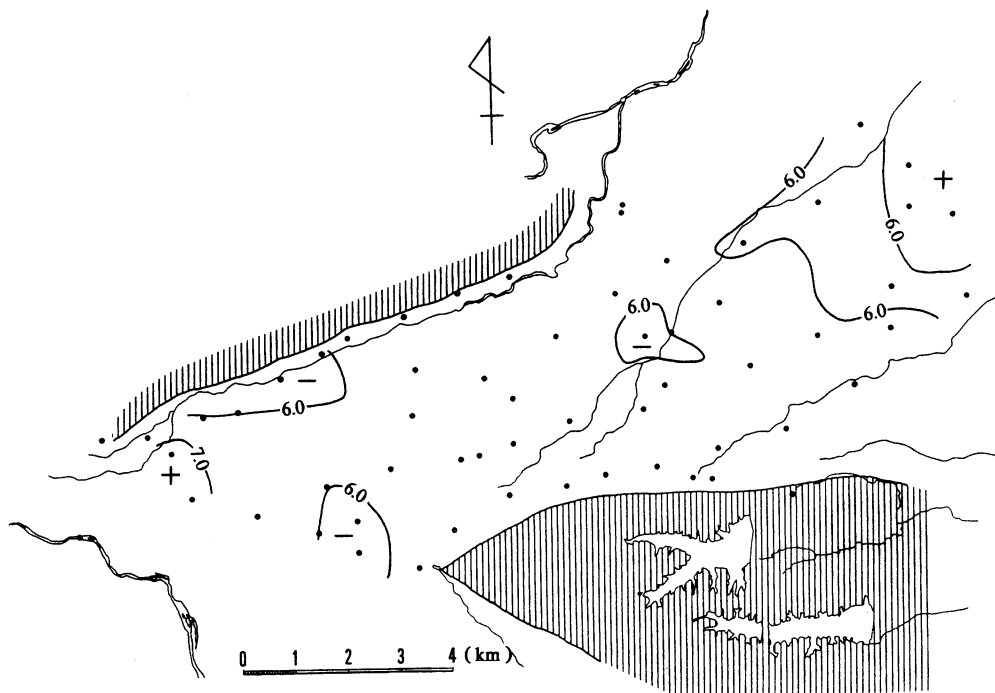
また、狭山丘陵付近にいくつか水温の高い地点が存在している。狭山丘陵の主たる帯水層である芋窪礫層中の地下水は、丘陵面からの地下水の自然涵養に加えて、多摩湖・狭山湖からの漏水により涵養されている可能性があるといわれている。上述の水温



第 6 図 地下水温の分布図



第 7 図 電気伝導度の分布図



第8図 pHの分布図

分布特性は、狭山丘陵から扇状地に向けて地下水が涵養されている事実を裏付けるものと推定されるが、芋窪礫層中の地下水が確認されていない現時点では、この推定を明解に断定することはできない。

2) 電気伝導度

電気伝導度の等値線図を第7図に示す。電気伝導度についても水温と同じく、地下水流動方向に対する規則性はみられない。しかし電気伝導度の高い地域は、主に立川面の不老川付近と武蔵野面にみられ、水温の分布から推定された局所的な地下水汚染が、電気伝導度の分布からも確認できる。

研究地域が、扇状地の扇頂部から扇中部に相当することを考えると、他の扇状地に対して電気伝導度が高く、地下水中の溶存物質量が比較的多いことが示唆される。

3) pH

pHの分布図を第8図に示す。ほぼ全域でpHは5.7~7.0の弱酸性を示し、不圧地下水特有のpHとなっている。地下水位が深い地点ほどpHが高くなる傾向がみられる。飯田(1984)は、立川面・

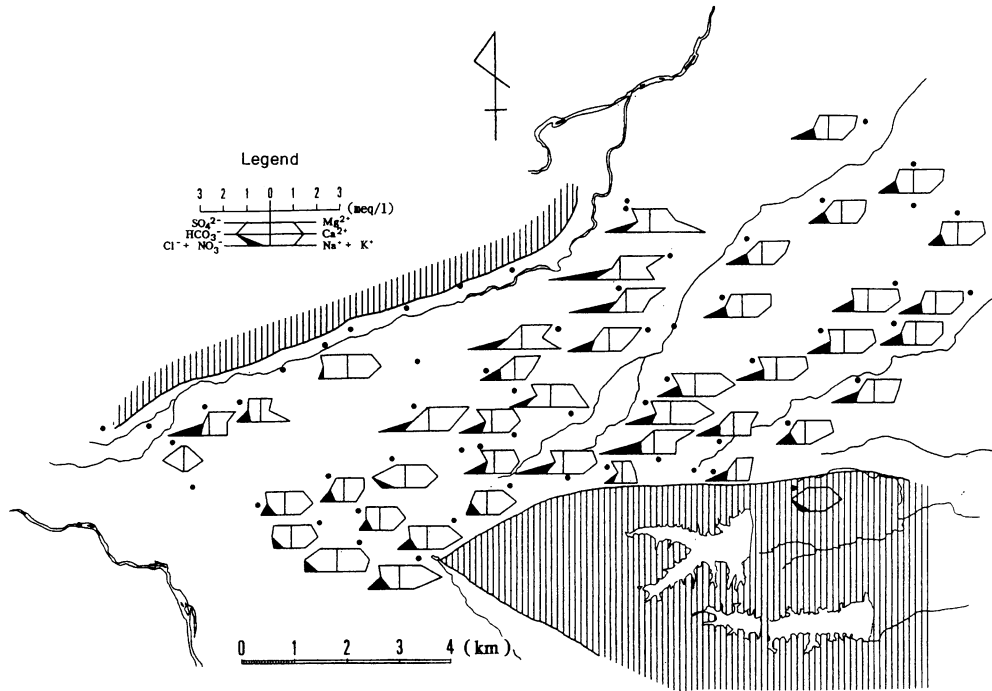
武蔵野面のように地下水位の浅い地形面ではpHが5.8を示し、下末吉面のように地下水位の深い地形面ではpHが6.0~6.8の範囲にあることを記載している。本研究では、飯田(1984)による上述した地形面ごとのpHの区分は、不可能であった。

4) 水質組成

不圧地下水のヘキサダイアグラムによる水質組成の分布を第9図に示す。扇頂部では NO_3^- 濃度の小さいいわゆる純粋な不圧地下水の組成を示すが、扇中部に流動するにしたがって Cl^- や NO_3^- 濃度の大きい汚染された地下水の形態となる。 NO_3^- 濃度は多いところで100(mg/l)を超え、下水処理施設が未発達である本研究地域において、人為的な地下水汚染の発生が示唆される。

金子台上に非常に汚染された水質組成を示すものがあるが、これは上述した2つのゴルフ場や武蔵工業団地がその起源となっている可能性がある。

所沢市糞谷や北野周辺の、狭山丘陵と扇状地面との境界付近には NO_3^- 濃度の大きい地点と小さい地点の両方が存在していることから、扇状地面におい



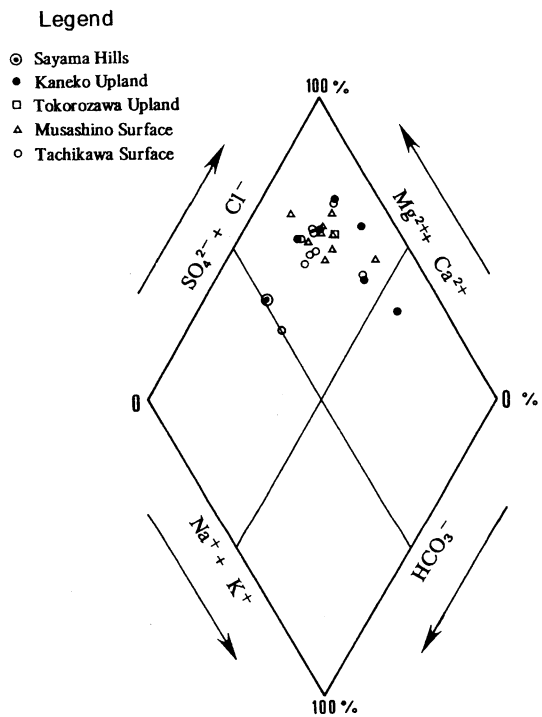
第9図 ヘキサダイアグラムによる水質組成

て局所的な地下水汚染が発生していることを明確にしている。

研究地域全体のヘキサダイアグラムから、 Cl^- や NO_3^- 濃度の大きい汚染された地下水では、それを補う陽イオンとして Na^+ 濃度が大きい地下水と、 Mg^{2+} 濃度が大きい地下水とに大別できる。しかし多くの地点で Mg^{2+} 濃度が大きく、研究地域特有の水質組成を成しているといえる。また SO_4^{2-} 濃度はほぼ全域で小さい。これらの水質組成を生じさせる原因は、帯水層を構成している礫層や土壌中の鉱物組成と、地表面から帯水層に混入する汚染水起源の2つが考えられるが、その両者の区分についての定量的把握は今後の課題としたい。

VI 水質の空間的変動と地形段丘面の関係

不圧地下水のキーダイアグラムによる水質組成を第10図に示す。特に、地形面の違いによる水質組成の差異を表現した。これをみると、狭山丘陵と一部の立川面の地下水に、アルカリ土類重炭酸塩型の水質組成を示すものがある。また金子台に一点だけア



第10図 キーダイアグラムによる水質組成

ルカリ非重炭酸塩型の地下水が存在する。しかし地形面を問わずに、ほぼ全域の地下水がアルカリ土類非重炭酸塩型の水質組成を示し、地形面の違いに対応した水質組成に、明瞭な差異がみられない。

地下水の流動方向に対するイオン濃度の変化とその地形面ごとの比較を第11図に示す。図中の調査地点名と水質データは、第4図における各地形面ごとの地下水流動線付近の地点を基に選定したものである。

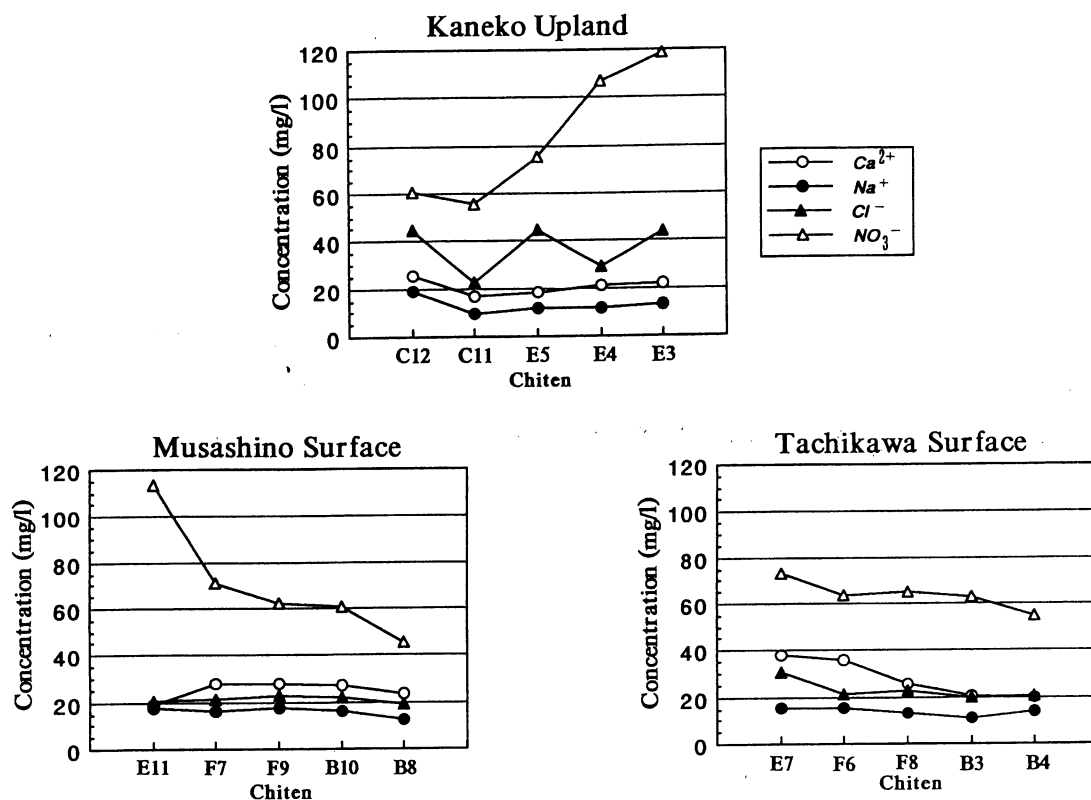
前述したキーダイアグラム（第10図）では、地形面による水質組成の差異がみられなかったが、地下水流動方向にイオン濃度の変化をみると、その濃度変化傾向には地形面区分に対応した差異が認められる。特に NO_3^- 濃度に顕著な変化がみられ、金子台（下末吉面）では流動方向に対して増加するのに対し、武蔵野面と立川面では減少する傾向にある。この原因については、単なる地域性に起因している可能性がある一方で、各地形面ごとの土地利用と水利

用の差異に起因しているとも考えられる。今後、硝酸イオン中の窒素の安定同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ 値）をトレーサーとした現象論的な調査・研究を実施することにより、上述した地下水流動にともなう水質の変化とその地形面による差異の原因について、詳細な検討が可能と思われる。

Ⅶ まとめ

以上、金子台付近における不圧地下水について、その水質を中心に考察を行なった。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 不圧地下水は、立川断層の東側と西側とでその流動方向が異なり、東側では北東に、西側では南東にそれぞれ流動する。このことから、立川断層は不圧地下水の流動の境界になっていると考えられる。



第11図 地形面区分に対応した地下水の流動方向に対するイオン濃度の変化

- (2) 地形面による地下水面の不連続はみられないが、地下水面の形態に、地形面の影響が現れる。
- (3) 水質組成は、地形面による明瞭な差異が見られない。しかし、地下水流動方向に対する NO_3^- 濃度の空間変動に、地形面による差異が認められる。
- (4) 水質組成に占める NO_3^- の割合がほぼ全域で大きく、下水処理の発達していない本地域において、人為的な地下水汚染の可能性が懸念される。今後は $\delta^{15}\text{N}$ 値の定量分析を行ない、人為的な汚染水の帯水層への混入状況等の把握をする必要がある。

謝 辞

本報は1991年度の筑波大学第一学群自然科学類の水文学野外実験（巡検）において現地調査をした結果と、その時の観測データに基づいて考察されたものである。測水調査において、快く自家井を観測させて頂いた現地の皆様に厚く御礼申し上げます。そして、巡検に参加された当時の学群生諸氏に御礼申し上げます。また、作図に際して協力して頂いた筑波大学地球科学研究科の鎌田祥仁氏に御礼申し上げます。

本調査の実施にあたっては、(財)とうきゅう環境浄化財団による助成の一部を利用した。

文 献

- 飯田貞夫 (1984) : 所沢付近の地形と地下水. 茨城キリスト教大学紀要, **18**, 19-36.
- 貝塚爽平 (1957) : 武蔵野台地の地形変位とその関東造盆地運動における意義. 第四紀研究, **1**, 20-30.
- 貝塚爽平 (1979) : 東京の自然史. 紀伊國屋書店, 239p.
- 貝塚爽平監修・東京都地学のガイド編集委員会編 (1980) : 東京都地学のガイド. -東京都の地質とそのおいたち-. コロナ社, 地学のガイドシリーズ, **13**, 291p.
- 活断層研究会編 (1980) : 日本の活断層, 東京大学出版会, 363p.
- 榎根勇 (1992) : 地下水の世界. NHK ブックス, No. 651, 221p.
- 久保純子 (1988) : 相模野台地・武蔵野台地を刻む谷の地形 -風成テフラを供給された名残川の谷地形-. 地理評, **61**, 25-48.
- 新藤静夫 (1968) : 武蔵野台地の水文地質. 地学雑誌, **77**, 223-246.
- 新藤静夫 (1970) : 武蔵野台地の地下地質. 地学雑誌, **78**, 449-470.
- 杉原重夫・高原勇夫・細野衛 (1972) : 武蔵野台地における関東ローム層と地形面区分についての諸問題. 第四紀研究, **11**, 29-39.
- 山崎晴雄 (1978) : 立川断層とその第四紀後期の運動. 第四紀研究, **16**(4), 231-246.
- 吉村信吉 (1940) : 武蔵野台地の地下水特に宙水・地下水瀑布線・地下水堆と聚落発達との関係. 地理教育, **32**, 271-282.