

7.3. 玉川上水“水喰らい土”の謎を追う(2)

(1) バックグラウンドとしての武蔵野台地の水文地質環境

武蔵野台地は広くかつ、一様に関東ローム層によって覆われている。その厚さは5mから8mと場所によって異なる。これが透水性と保水性を兼ね備えた性質を有することは、林地や畑地では余程の降雨でない限り地表流は発生しないことや、余程の乾燥が続かない限り、農作物への被害が生じることは少ないことからよくわかる。

関東ロームは土質工学の分野では、高有機質土、まさ土、シラスとともに「特殊土」の一つに含まれ、「在来の土質工学の手法だけでは設計施工ができず、また数式が適用できない土」とされている。

一方、農業土木や水文学の分野では、その保水性や水循環における時空間特性、さらには間隙中の物質保留や移動がおもな研究課題となってきた。

関東ローム層の地中水の保留と移動に関する特質は図12に集約されているといってもよい。すなわち、

- ① 固相部分の体積に比べて液相部分の体積が圧倒的に大きい。ローム層の厚さを6mとしてその水分貯留量をみると4,000mmに達する(榎根 勇等(1980)による)。
- ② この貯留水は固相である武蔵野礫層の上に“懸垂水”状態で保持されていることが多い。
- ③ 武蔵野礫層中の地下水位^{脚注}の降雨応答が一般に早いのは植物の根系痕や土中の裂隙、ソイルパイプなどの“大管隙”が水分の移動や水圧伝達の上で効果的に機能しているためと考えられる。

ここで筆者がさらに注目している点は関東ローム層以下の地下水状態である。武蔵野台地中央部の地質は図13にあるように、全体として礫質で良好な帯水層が発達している。戦後この地域の急速な産業や市民生活の復興を支えてきたのは、その豊かな深部地下水といってもよい。しかしこれがその後、急速な水位低下をもたらしたことは周知のとおりで、それは地層の深さごとの地下水位に現れている。すなわちこの時代以降の地下水状態は以下のようなものである。

関東ローム層下の玉石層は武蔵野礫層に相当し、地下水位はこの層までは地下8~10mで、台地中央部の民家の浅井戸は深いものでは15mを超えるものがあり、他地域に比べて深い傾向がある。地下水位は井戸の深さと共に深くなり、武蔵野礫層以下の砂礫層では、深度100m前後で30~40m、さらに深くなると図の例のように、50m以上と深くなる。この記録は深部地下水の揚水量が盛んだった昭和40年代のもので、地下水揚水規制が行われだした

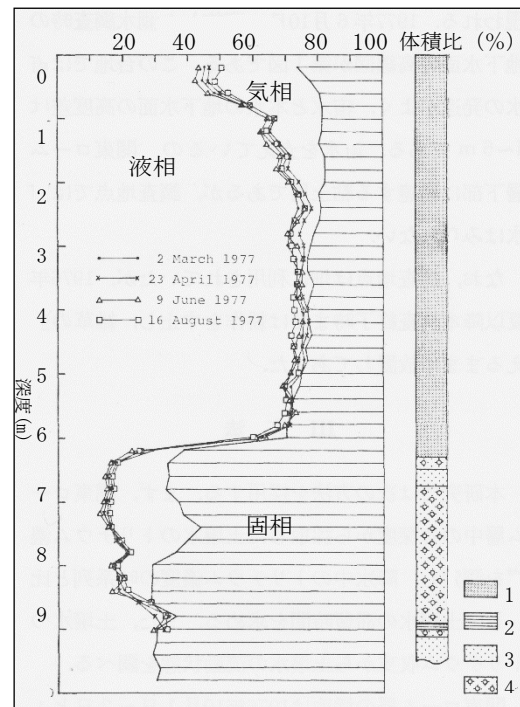


図12 関東ローム層の土壤水分プロファイル
1: 関東ローム 2: 粘土 3: 砂 4: 砂礫

〔出典: 榎根 勇他(1980)環境トリチウムで追跡した
関東ローム中の土壤水の追跡、地理学評論、53-4.〕

脚注: 帯水層の深さから地下水面までの高さ(圧力水頭) プラス帯水層の標高(位置水頭) で全水頭としてあらわすと場所ごとの比較がしやすい。

頃のものであるが、現在でもその後遺症は残っていて、水位は完全には元に戻らずに、なお全体的に下向きのポテンシャル勾配のもとにある。

以上を踏まえて要点を絞ると以下のようなものである。

- ① 玉川上水、及びその分水網は上記の特徴が典型的にみられる武蔵野台地中央部を流れている。
- ② 関東ローム層には元々風成層に特有な縦方向の亀裂が発達しており、また根系の侵入に起因した管隙網が発達していて、関東ローム層下の砂礫層への地下水の効果的な浸透に貢献している。
- ③ 関東ローム層の下位にある武蔵野礫層は上部から浸透してきた水を一旦貯え、それを下位の砂礫層に供給する役割を演じている。
- ④ このように地下水は横方向だけではなく、同時に下向きの動水勾配のもとにもある。
- ⑤ 水文地質学的見地から見た“水喰らい土現象”が存在するとすれば、武蔵野台地中央部がその典型といえる。
- ⑥ 玉川上水の工事において、相当の労苦が払われたとすれば、おそらくこの地域の“水喰らい土現象”すなわち用水からの“漏水(Leakage)”対策だったのではないかと思われる。

筆者はこのようにして地下に供給された地下水の多くは台地を刻んで流れる黒目川、落合川などの源流域の湧水としてふたたび地表に顔を出しているものと考えている(図14)。これに関しては後に詳述する。

(2) 武蔵野台地中央部の地下水の動き

ところで図15はこの地域の不圧地下水の年変化の典型例で、青梅街道沿いの武蔵野礫層から取水する農家の深さ15m以上の掘り井戸^{脚注}の水位記録である。その水位の年変化は5m以上に達し、この例では冬季には涸渇してしまった。筆者が調査した昭和40年代初期にはまだ釣瓶が存在していて、中には水位低下のため、井戸底からさらに鉄管を打ち込んで湧水期に備えているところもあった。

玉川上水の分水である小平用水(写真9)とその分水網はこのようなところを流れていて、地下水涵養に貢献している可能性が大きいと考えているが、それにもかかわらず、上記のような水位低下現象が生じるのは、地下水が涵養されても出て行く量が多いためである。

脚注：調査当時(1966)この地域で最も深い農家の掘り井戸は19.2mに達するものがあった(小平市仲町)。

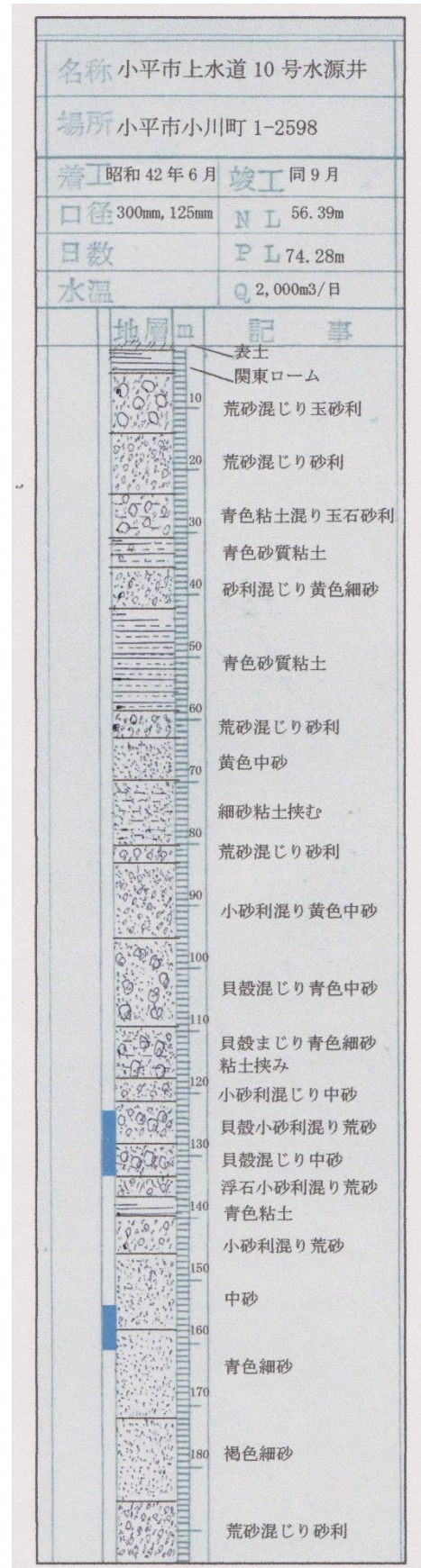


図13 武蔵野台地中央部の鑿井柱状図例



写真9 小平用水

図14 武蔵野台地北部の湧水 (●: 東京の名水57泉)
(出典: 東京の湧水マップ(2013) 東京都環境局 一部抜粋)

さて、この項の核心ともいえる図16をご覧ください。これは当時「北多摩幹線排水路」と呼ばれたもので、現在の「流域下水道北多摩二号処理区」の範囲にあたる。なおこれとあわせて図17に注目していただき

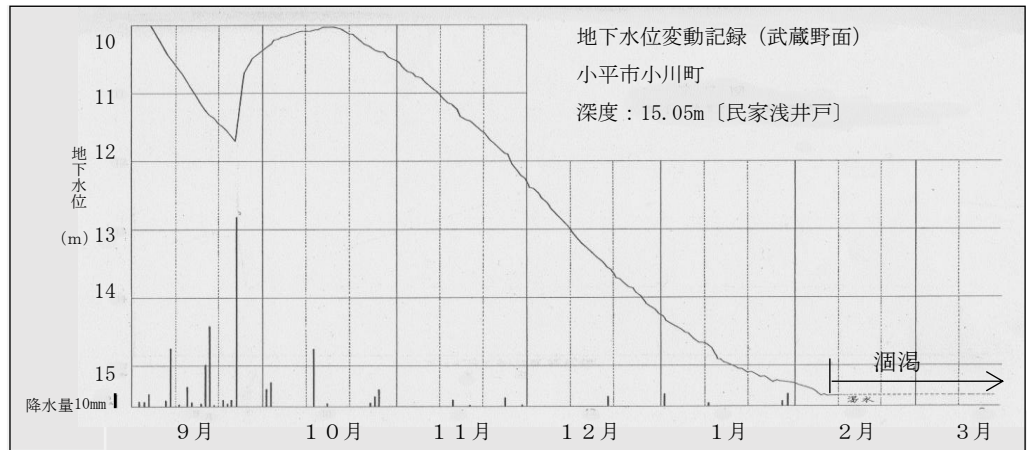


図15 武蔵野台地中央部における不圧地下水の水位変動パターン

たい。この図は武蔵野礫層の下位に堆積する段丘礫層とは異なる厚い礫層の基底部の地形で、武蔵野台地南半部ではこれを欠き、小平地域はその分布限界にあり、これより北東方

向に向かう地下谷の谷頭ともいべき位置にある。

さて図 16 中に示したように揚水試験によって得た透水量係数は他地域より一桁も大きい点が注目される。筆者が実施した揚水試験当時、200V 電源の大馬力ポンプを用意したが、水位低下は 10 cm を越えることはなかった。このような現象には用水網からの誘発的な涵養が大きく関与しているためと考えるとよく、翻ってこれは“水喰らい土現象”の一つの現れとも言えよう。因みに当時上水工事の際、三和土（たたき）^{脚注 1}によって水路を固め、そこからの漏出を克服したと言われている。

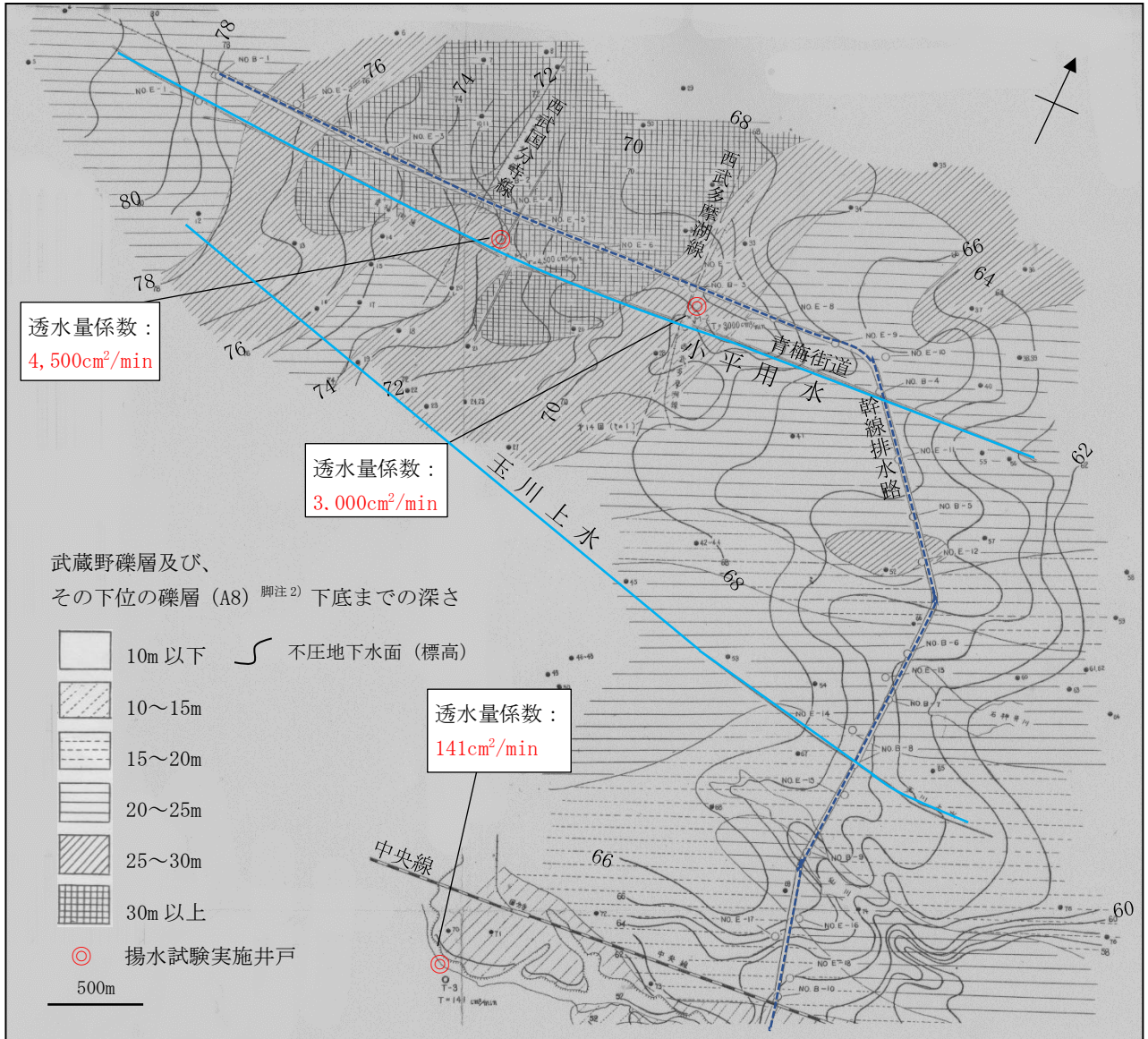


図 16 武蔵野台地中央部北多摩幹線排水路沿線の地下水水面及段丘礫層+下位礫層^{脚注 2}の深度分布図

(出典：東京都土木技術研究所 (1968)：北多摩幹線排水路流域地下水調査報告書 (東洋大学工業技術研究会受託調査))

脚注 1：土、石灰、苦汁（にがり）の 3 種類の材料を調剤し、板等で叩いて固く仕上げたものを指す。これら 3 種類の材料を合わせるので「三和土」（たたき）という。かつては農家の土間などで普通に見られた。

脚注 2：新藤静夫 (1968)：武蔵野台地の水文地質、地学雑誌 Vol. 77, No. 4 参照

この地域の主帯水層を下位から順に 8 層に区分したもののうち、最上位の帯水層を仮称したもの。

A は Aquifer の頭文字

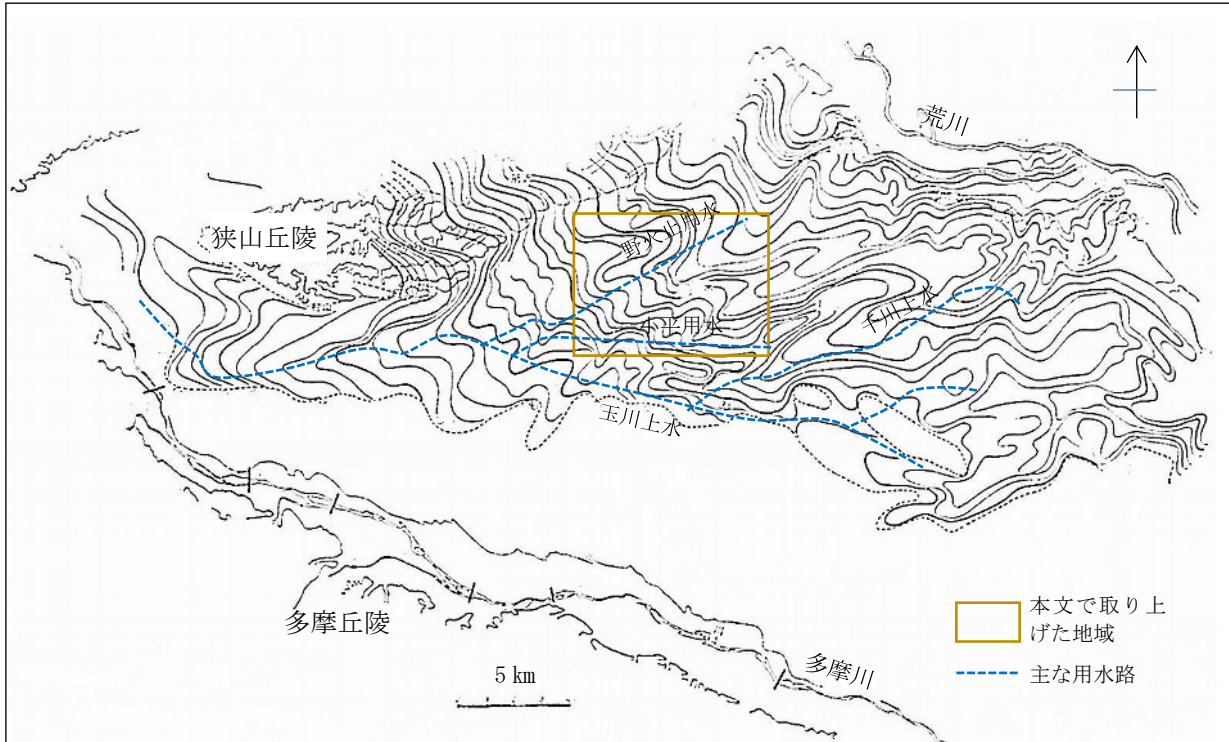


図 17 武蔵野礫層下位の礫層（A8 層）下底部の地形
 (出典：新藤静夫(1968)：武蔵野台地の水文地質、地学雑誌 Vol. 77, No. 4)

(3) 小平用水と“水喰らい土現象”

さて、入り口があれば当然出口がある。その出口となっているのは、多くは黒目川流域や落合川流域にあることは上述の図 17 からも推定できるが、図 18 の 5m メッシュ等高線図はこれと整合し、より詳細な情報を示唆する。すなわちこの図で赤色の閉曲線で示した窪地群の多くは地域の中央部に集中し、北東方向に配列しているのが注目される。

小平市役所の東にある“平安窪”（写真 10）はこの地域最大の窪地で東西 500m を越え、深さは 3m を超える。その他にも、“さいかち窪”、“山王窪”、“大沼”、“ぐみ窪”、“天神窪”、“アクスイ^{脚注}窪”といった規模の大きい窪地が存在する。このような窪地の成因については昔から地下水の吹き出し、風蝕等の諸説があるが、筆者が考える地下水流動による地下浸食と、それに起因する陥没とする考えはあまり聞いていない。しかし筆者は中国黄土高原での調査の結果から地下水流動に伴う地下浸食による陥没が最も説得性が高いものと考えている。詳しくはコラム 40～44 で取り上げているので参照していただきたい。



写真 10 小平市の窪地（平安窪）

脚注：悪水のこと。これは利用に耐えない水、つまり廃水或いは排水を意味する。

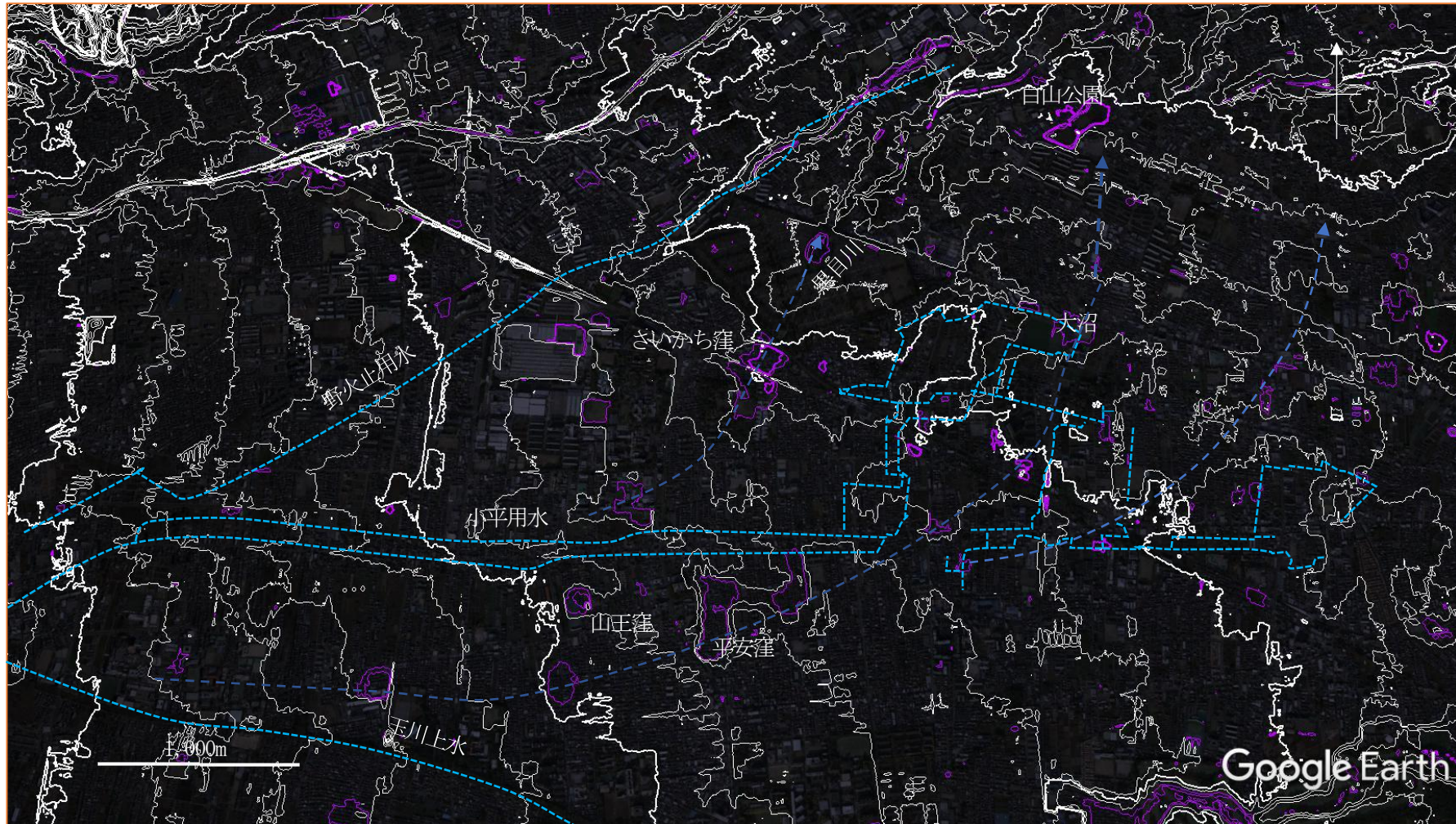


図18 小平市周辺の地形と水路網

注1：赤色の閉曲線は凹地形（窪地）、青色破線は用水路、濃青色破線は規模の大きい窪地の配列

注2：水路網は小平市資料による。

筆者が携わった北多摩幹線排水路流域の地下水調査では夏、冬の2季に武蔵野台地全域の地下水の一斉観測を行っている。以下の各図はその内から当地域に関する部分を切り出したものである（用水路は主なものを記入）。

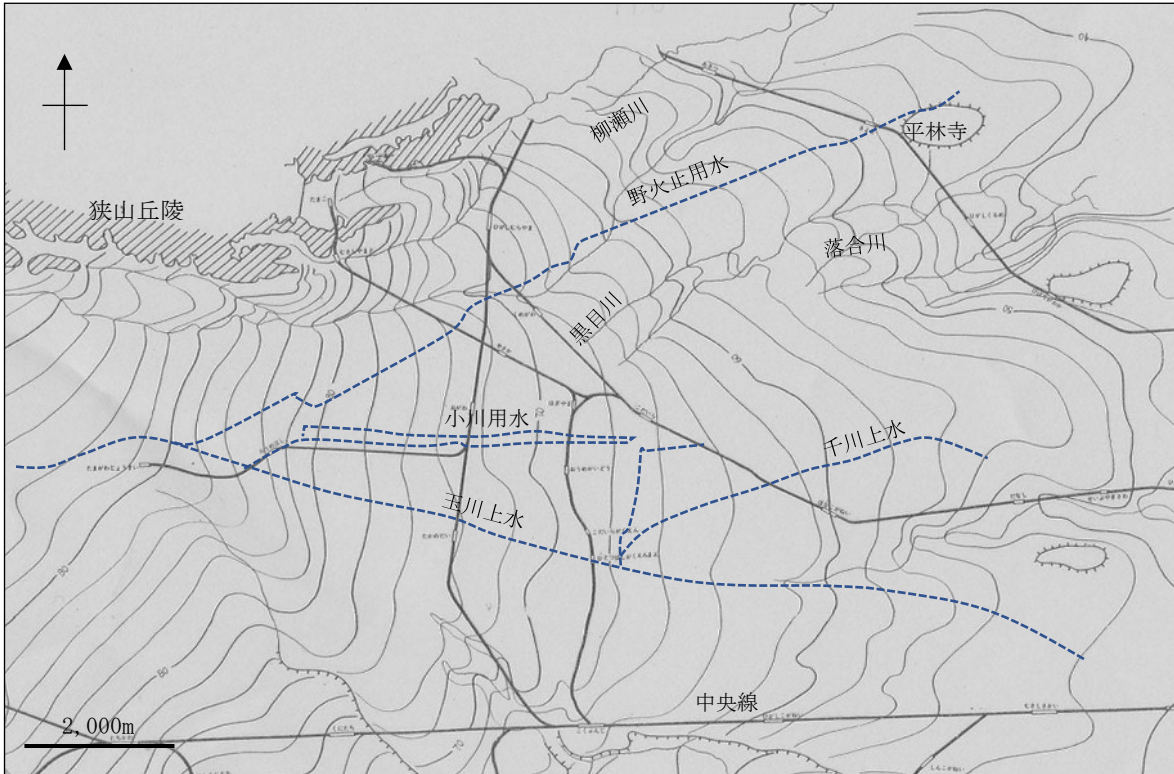


図 19 夏季の地下水面図 (1966年8月測定)

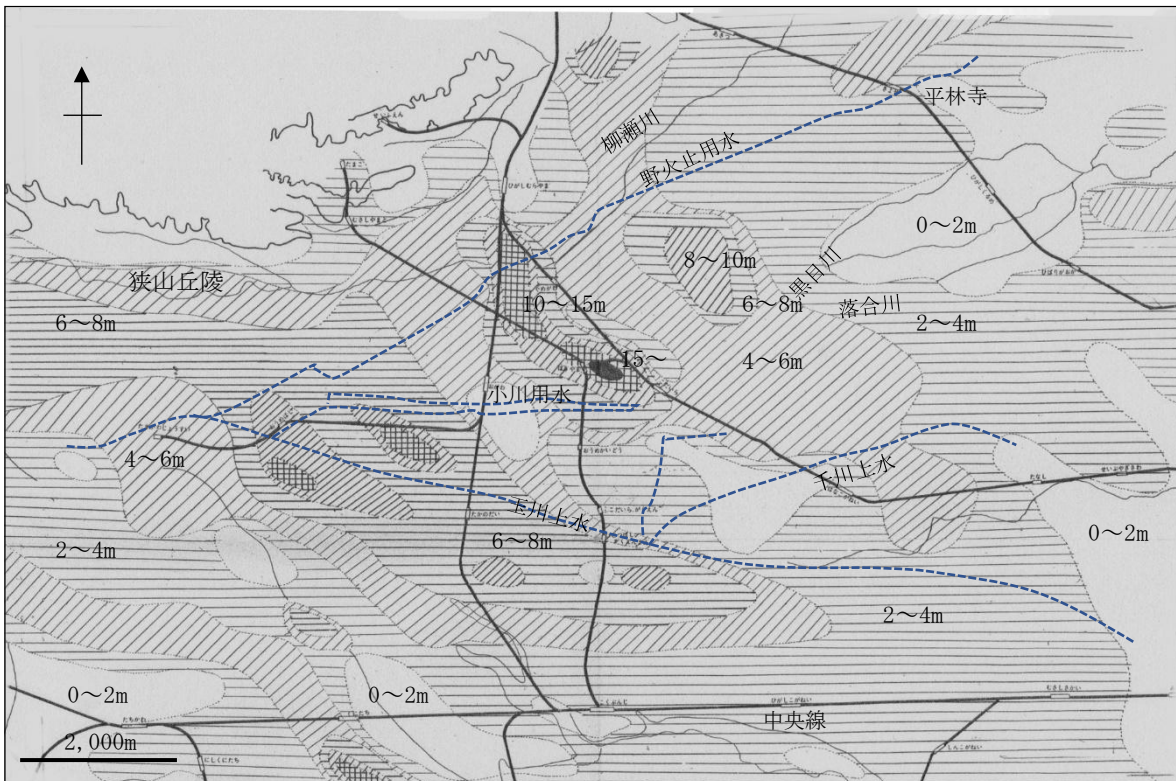


図 20 夏季-冬季の地下水位変動量 (1966年8月-1967年2月)

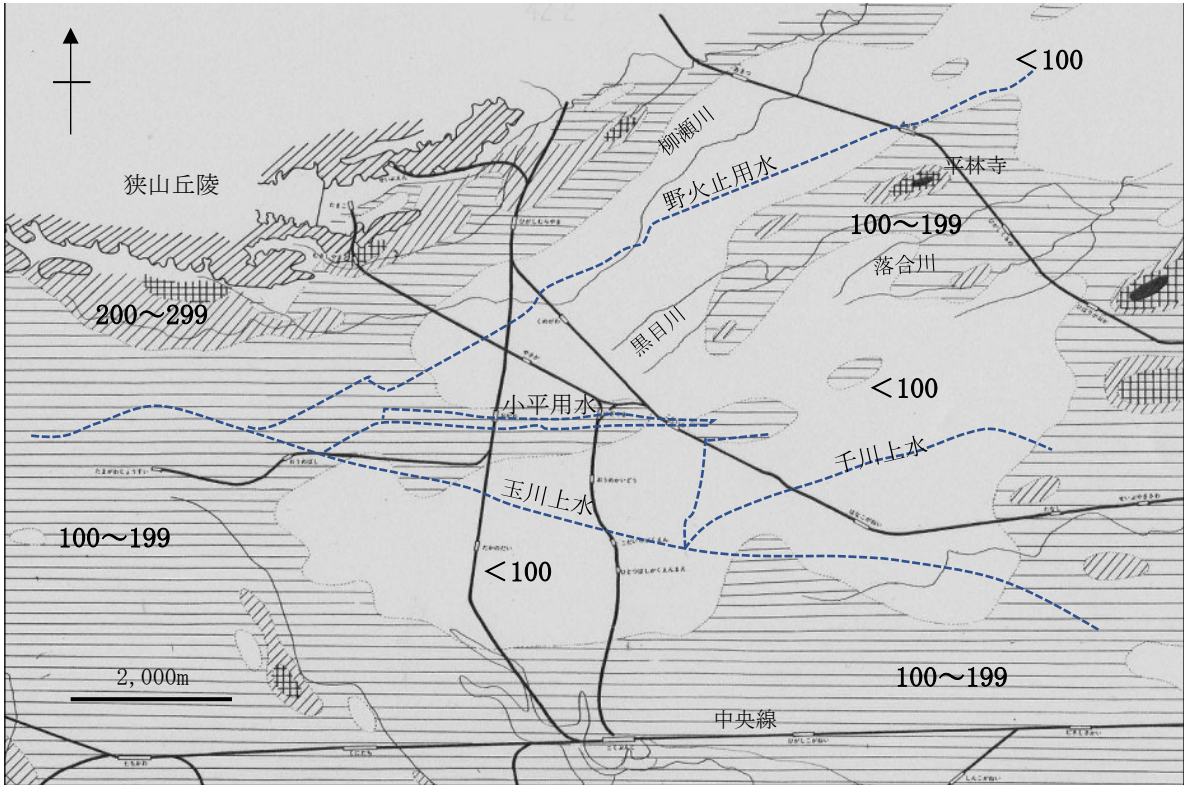


図 21 冬季における地下水の伝導率の分布 (単位は (ms/cm)
(1967 年 2 月測定)

図 18 と併せてこれらの図をみると、以下の点が注目される。

- ① 用水網がカバーする地域の地下水の伝導率は一般に低い。→用水網からの浸透涵養を示唆。
- ② 同上地域の冬季（乾期）と夏季（雨期）の地下水位の変動量が大きい。
→地下水流出量^{脚注}が大きい。
- ③ 地下水分水界より北東方向の動水勾配が大きい、特に黒目川、落合川源頭部地域で顕著。また流線はこの方向に向かって収斂している、当地域の地下水の流出域がおもにこの両川にあることを示している。→地下の透水帯の存在を示唆。
- ④ 地下水の動水勾配は夏季の方が冬季のそれより大きい。
- ⑤ 夏季、冬季間の水位低下量の特に大きい地域は段丘礫層の下位の地質構造を反映している可能性がある。図 20 にみる変動量が異常に大きい地域では図 22 のシンクモデルが想定され、まさに“水喰らい土”そのものといえる。

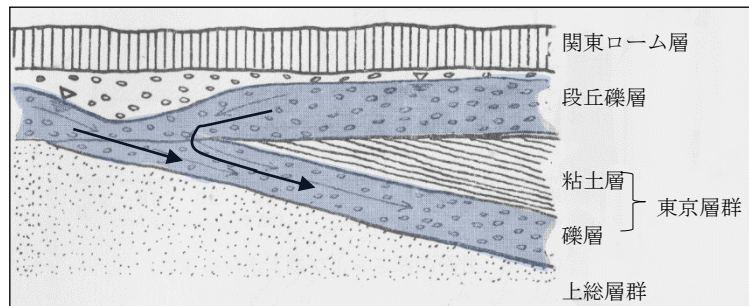


図 22 浅部帯水層から深部帯水層への浸入モデル

脚注：(地下水流入量－地下水流出量) / 面積

武蔵野台地中央部において実際に“水喰らい土現象”が何処に、どの程度、どの様に生じたのかについては分かっていないが、記録によると上水の完成後、通水が充分におこなわれなかったため、上述の三和土（たたき）による漏水防止を施したところ 1 日で末端の四谷大木戸まで水が届いたとあるので、この現象つまり漏水があったことは間違いないものと言える。そしてその場所は限定的な水文地質環境のもとにあったことは本文で詳しく述べてきた通りである。

(4) 結び

小平市を中心とする武蔵野台地中央部は地域水循環の上では一つの涵養域になっていて、地下地質構造と相まって“水喰らい土現象”をつくり出したといえる。この地域は図 19 のように、谷頭地形と窪地、およびそれから発する水流が対をなして、地下には一つの透水帯が形成されていると言えるからである。このような特徴は、Hillslope Hydrology の分野ではよく研究されていて、丘陵地や山地の谷頭部の伸長に先立つ地下浸食のプロセスはすでに解明されているが、同じ現象が台地でも生じていて、上に述べたように地表水からの誘発涵養の場、つまり“水喰らい土”に関わっているとすれば、それを用水の水収支や水質などによって直接裏付ける必要がある。これは新しい研究課題になるものと云え、筆者最後の仕事としてぜひ実行してみたいものと考えている。

さて小平用水がカバーしてきた地域は近年都市化が急速に進み、かつての用水を中心とした農村風景は写真 11 にみるように激変した。新住民はこの流水が多摩川から流れてくるのだと認識している人は少ないのではないかと思われる。

ところで昭和末期から平成初期に始まる東京都の清流復活事業によって、かつての用水路に下水処理水を流して水流を復活させ、河川のないこの地域の景観に潤いを与えようと計画されているが、写真に見るような、住宅地に囲まれた閉じた環境になるようでは充分とは言えない。

また小平霊園や白山公園に見る水辺景観、さらには黒目川や落合川に見る景観も同様の状況にあるのは残念である。

いうまでもなく、都市化の拡大は不浸透面積の増大とともに、排水路による雨水排除も進み、さらにこれに関連して河道の直線化や 3 面張りなどの河川改修も進んでいて、地下水への自然涵養を阻害するようになることは明らかである。武蔵野台地における“水喰らい土現象”はこの課題への一つの解決策を示しているような気がする。

最後に図 19 に大縮尺の 5m メッシュ DEM による谷頭～源流地形（特に黒目川に注目のこと）と、これを補足する写真、参考図を加えておく。



写真 11 小平用水の現在
(小平市仲町付近)

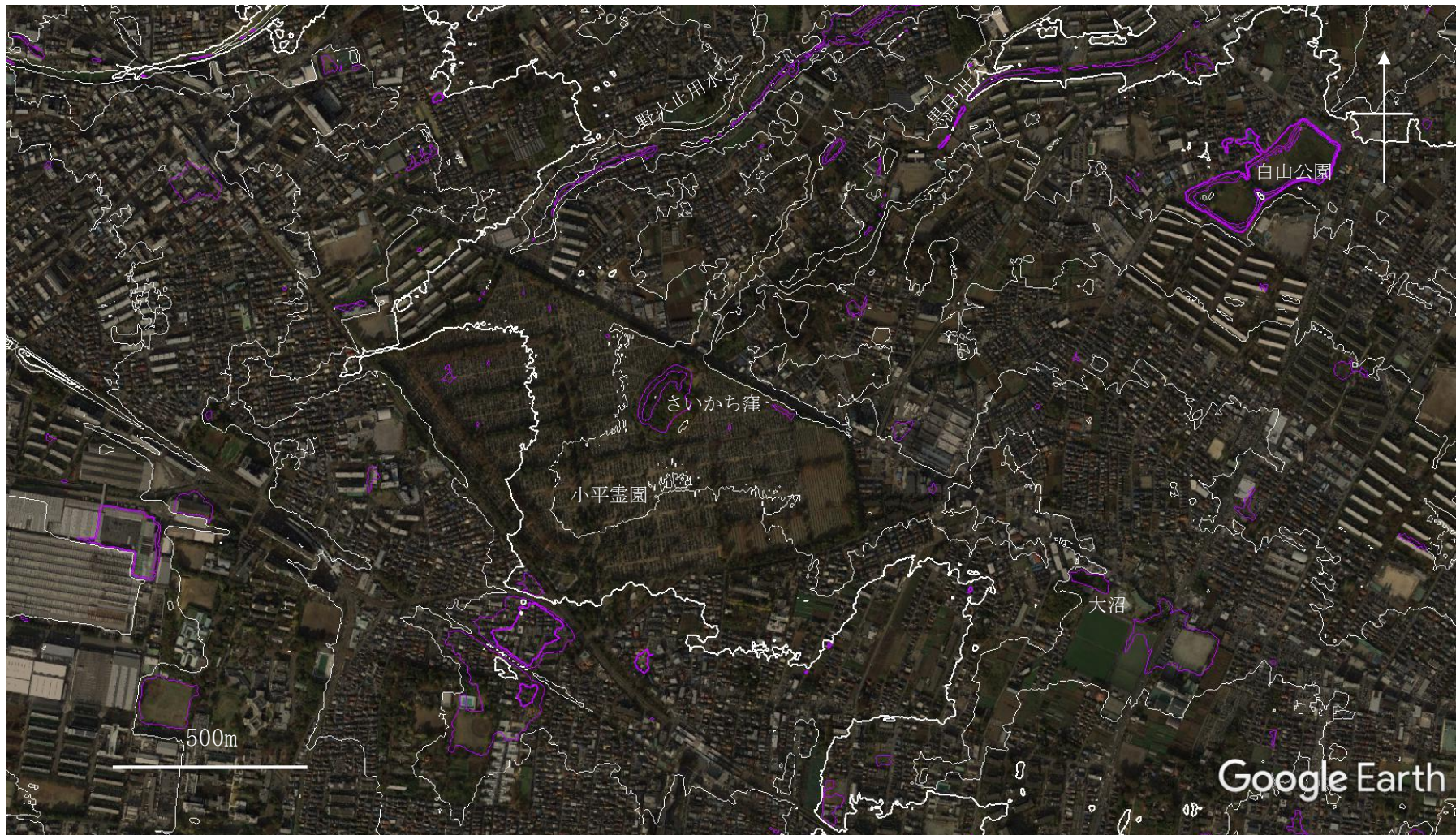


図 19 流出域の地形



小平霊園北部、通称“さいかち窪”
(乾季は枯渇し、雨季にのみ湧水がみられる)



↑ 乾季の黒目川上流
黒目川源流の生活雑排水 →



東久留米市白山公園
(雨季はグラウンドが水浸し、乾季との水位差は2m以上)



見るも無残な落合川の源流

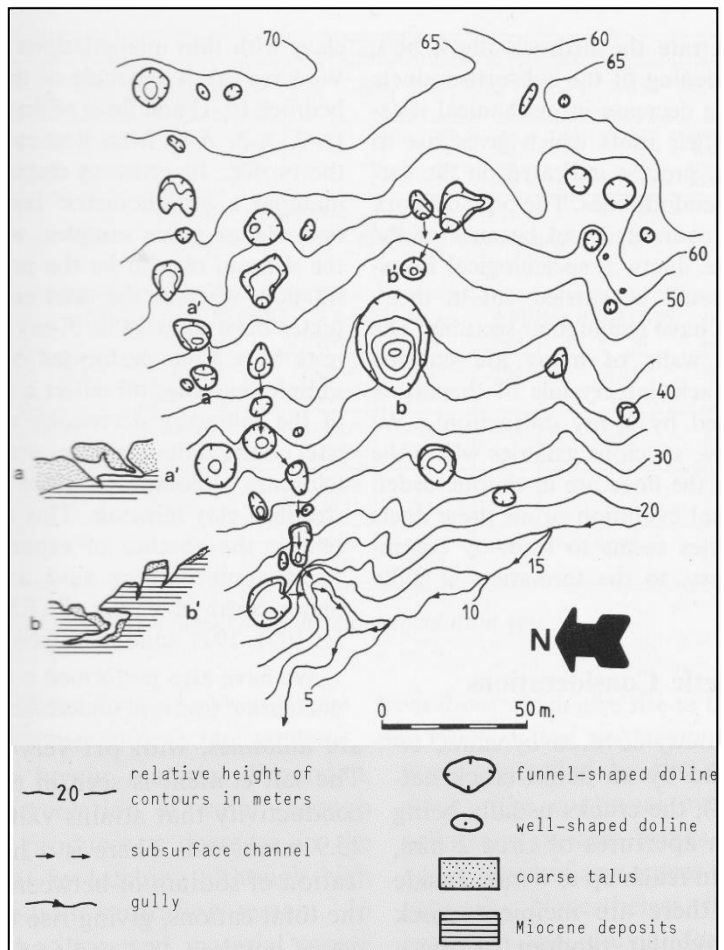
流出域における谷の伸長について

地下水流によって土層材料の溶流、浮流による運び出しが進行し、遂には表層の陥没を惹き起こす。

このようにして生じた陥没孔は下の図のように、一列に並び、上流へと伸長する。

斜面末端部では地下水流が顔を出し、地表流となってV次型の切込みが生じ、浸食がさらに進む。この例と図 19 を比較してみると、武蔵野台地の場合とよく対応しているのが分かる。

私事で恐縮であるが、筆者が尊敬する故羽鳥謙三氏とはこのことについてよく議論したものであるが、意見は分かれたままであった。内心では認めていたものと思われるが、議論が収斂する前に永眠されてしまったのは誠に残念なことであった。



Map of pseudolines developed in coars talus

(Geomorphic Systems Vol. II 1986)

(以下次号)