

## 6.6. “水文地質” のフレームワーク (その2)

はじめに：前号に掲載した表1は本課題の骨子ともいえるものなので、一部修正したものを併せて再録する。

表1 水文地質のフレームワーク

地下水流動場のスケール		局 所 的	局 地 的	地 域 的
ディメンジョン		10 <sup>1</sup> ~ 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>		10 <sup>4</sup> ~ 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
自然 的 要 因	地質的要因	キーワード：堆積相 比較的小単元の堆積古環境、たとえば蛇行河川の寄州堆積物や海岸の沖浜堆積物などにみるポーラスメディアの異方性は汚染物質の局所的な動態に関わる。(図1, 2, 写真1参照)	キーワード：帯水層単元・層序 堆積相解析やシーケンス層序に基づいた帯水層単元という概念が水文地質構造の把握に必要。また地表地質と地下地質の対比が重要。 その際、電気検層記録などの各種検層資料が活用される。(図3参照)	キーワード：堆積盆地 堆積盆地の成因には鉛直方向の構造運動に起因するものやプレートの水平方向の圧縮に伴う構造運動に起因するものが考えられている。近年はプレートの引っ張り、圧縮に起因した半地溝構造（ハーフグラーベン）も提案されている。重力探査、弾性波探査などの各種物理探査は堆積盆地の構造解明に活用される。
	地形的要因	キーワード：微地形 地表の起伏は堆積物の性状を反映していることが多く、特に扇状地などのように河川が頻繁に氾濫して堆積層の多重性がみられるようなところでは浅層地下水は其々これに規定されて存在している。このような場合、小メッシュのDEMによる微地形解析は有効。 (図4, 5参照)	キーワード：地形単元 山地、丘陵地、台地、低地といった明確な地形境界に限られた地域を指す。但しそれぞれの地形形成過程に地域差が存在し、それが水循環系の在り様を強く規制しているような場合にはそれに対応した“水文地形単元”が必要となる。(図6~11 写真2, 3, 4参照) なお現在目にする地形はそれより前のステージの地形を引き継いでいる場合が多いことに注目。	キーワード：地下水流域 未固結堆積層からなる台地、丘陵地などにみる高次の谷は地下地質を反映していることが多いので、地下水流域の第一近似として水系網図、接峰面図は有効(図12, 23参照)。また最近では立体衛星画像による地形解析が可能となり、その活用機会が増加(写真6参照)。なお地盤沈下地帯の変遷や沈下パターンは地下水盆地像を反映していることが多いので参考になる。
地下水の動態にみる注意すべき現象	地層の異方性、不均一性を反映した選択流、いわゆる“水みち”の存在は重要。これが表層部に存在する場合は降雨・流出の過程で成長し、大間隙～ソイルパイプに成長することがある。いわゆるパイピングと呼ばれるこのような現象は“地下浸食”を促し、水系発達に貢献する。	層準を異にする帯水層の水頭差によって生じる漏水現象など。また水頭差によっては下部から上部への流れも生じる。地層の連続性を欠く場合、汚染物質はそこから深部に浸入する。 (写真〇参照)(図〇参照)	地下水流動系の範囲や性格は堆積盆と重なることが多いが、地下水盆地を特定する場合には、涵養域、流動域、流出域あるいは滞留域といった地下水流動系を明確にする必要がある。 (図20, 21参照)	
解 説	詳細な露頭観察により、堆積サイクルを基準とした堆積時間面の枠組みのもとに堆積相や堆積システムなどの成因論的な観点から地層を解析する「堆積相解析」、「シーケンス層序」が重視されている。			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>同一層準の地層でも方向によって透水性が著しく異なることがある。</li> <li>最初ランダムに発生したフィンガリング現象は降雨滲透の繰り返しとともに固定化する。</li> <li>これは汚染物質の浸透過程の上で注目すべき現象。当初ランダムに発生したその浸透経路は繰り返し浸透の後固定される場合が多い。(写真〇参照)</li> <li>汚染物質に起因する地層の変質が水の移動に影響することがある。(写真〇参照)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形的分水界では不透水性の地層を横切る下方への水の流れが観察される。</li> <li>流出域ではこれとは逆に顕著な上向きの流れが観察される。</li> <li>不圧地下水の場合、流速は一般に流線が集中する流出域で速く、涵養域で遅い。</li> <li>上記の現象は灌漑水の導水などの人為的要因が加わって誇張されることがある。</li> <li>層準を異にする地層間の漏水現象は特定帯水層からの過度の揚水によって惹起される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>巨視的にみて地下水面は地形と対応していることが多い。この際、地下水盆地の規模の第一近似として切峰面図が有効である。</li> <li>地下水流動系の詳細は基本的に堆積盆の水文地質構造を踏まえたものでなければならない。</li> <li>往々にして地下水の水理水頭（全水頭）や水温などの情報だけで地下水流動系を特定している例がみられるが、それは妥当とはいえない。</li> </ul>	

(着色部は本号の話題、青字は本文に掲載した鍵図)

e) 地下水流域

未固結堆積層からなる台地、丘陵地などにみる高次の水系はその原形が地質構造や岩質を反映している可能性が高く、水系網図は地下水流域の第一次近似の特定に有効といえる。また最近各方面で多用されるようになった立体衛星写真の活用は本課題の上でも有力な情報をもたらしている。ここでは一例として多摩丘陵を取り上げてみる。

まず写真5の多摩丘陵西部にみる高次谷のパターンに注目していただきたい。いずれの谷も東南東に延びるこの丘陵の方向を横切るかたちにも多摩川に注いでいるのが目を惹き、その傾向は図12の大栗川と程久保川の水系網からも読み取れる。これらの谷を分ける稜線部には御殿峠礫層と称する風化の進んだ礫層が分布し、その発達方向は図13のように高次谷の方向と整合している。

御殿峠礫層の北東への延長は多摩川に切られていて直接これを追うことはできないが、武蔵野台地の地下では東京層群の下部に続いているものと考えられる(図14)。



写真5 多摩丘陵西部の航空写真(昭和36年)

御殿峠礫層の特徴は安山岩、閃緑岩、緑色凝灰岩などの風化礫をまじえることで、明らかに丹沢山系から供給されたものであることが分かり(羽鳥謙三、寿円信吾, 1936)、それをもたらした河川は関東盆地の中心域に向かって流れていたことが示される。

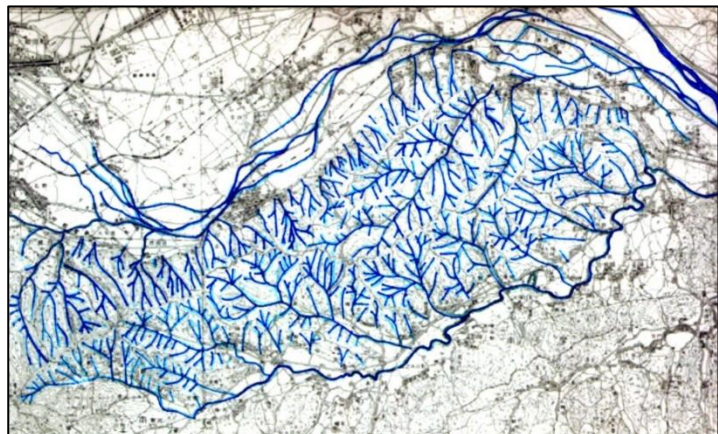


図12 多摩丘陵西部 大栗川流域の水系網

多摩丘陵の地質に関しては徳永重元、郷原保真、桑野幸夫(1945)によるものが知られているが、その後これには大きな訂正を要する点のあることが増田富士夫(1970)や関東第四紀研究会(1970)によって明らかにされた。その要点は、前者によって区分された地層の多くは、実際には上下の関係ではなく、交指

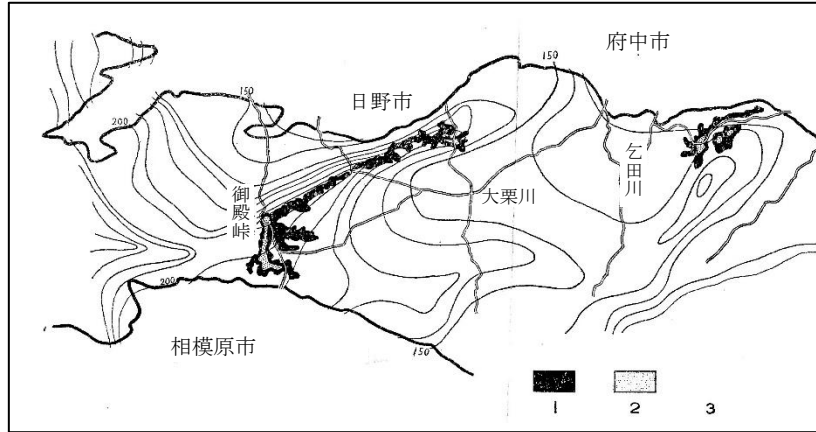


図 13 隆丘陵西部の稜線に発達する御殿礫層

[出典：羽鳥謙三、寿円晋吾(1958)：関東盆地西縁の第四紀地史，] Vol.64, No.751]

状に西部から東部に向かって漸移するものであること(図15)、また地層の傾斜は上記の徳永らによるものと異なって、丘陵西部では北東～東北東、つまり関東平野の中心部に向かい、丘陵東部ではその方向を漸次、東～東南方向に変えるというものである。

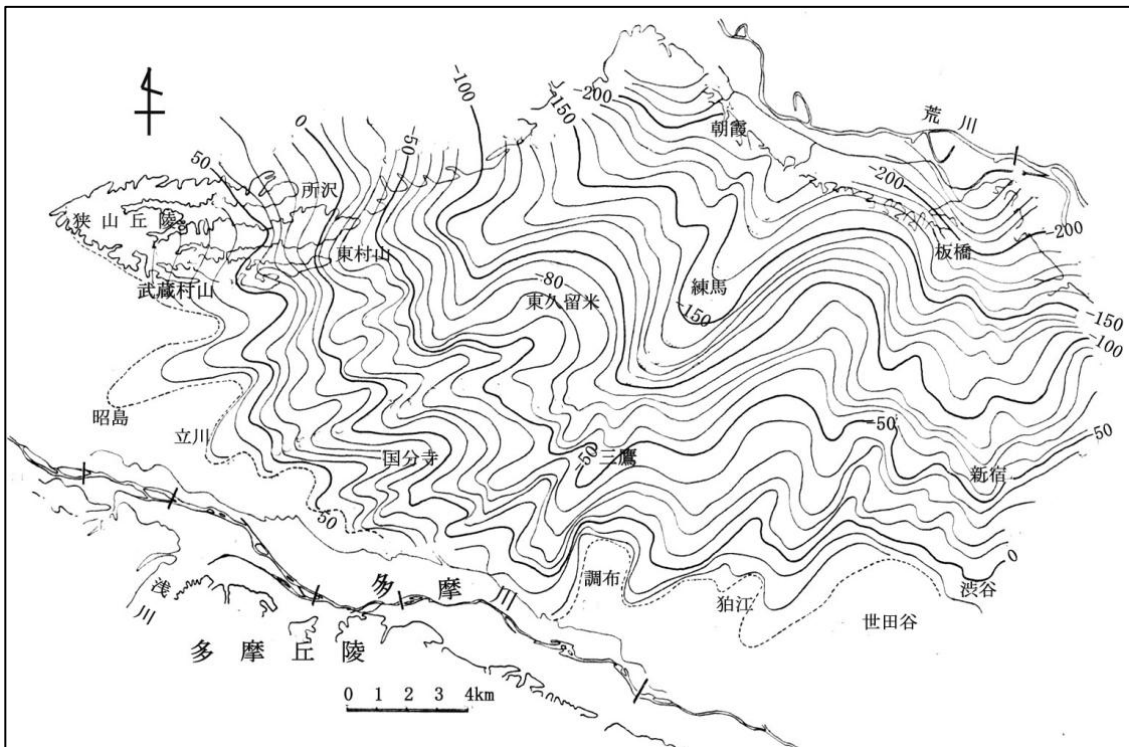


図 14 東京層群下底部の形状

(出典：新藤静夫(1968)：武蔵野台地の地下地質、地学雑誌 Vol.77.No.4)

図16はそれを模式的に示したものであり、図17は、ほぼこれに対応すると思われる多摩丘陵側と武蔵野台地側の地下構造を対比したものである。大栗川や勾田川流域に分布する連光寺層上部層相当層の基底は武蔵野台地の地下にそのまま繋がる可能性が示されている。

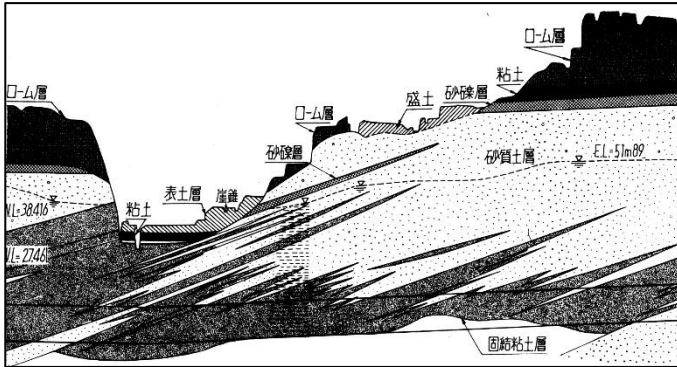


図 15 武蔵野南線生田トンネルに見る交指構造  
(出典：生田鉄道建設所記録(1973))

生田トンネルは上流側から細山工区、菅工区、生田工区の3工区からなる。左の図はそのうち、生田工区の坑内図に基づいたもので、位置は小田急線の生田駅付近に当たる。図の砂質層は徳永等(1945)の稲城砂層に相当し、トンネル掘削時に大量の被圧水の湧出と流砂の発生を見た。さらにトンネル直上の民家の井戸群が涸れるという障害が生じた。渡部景隆(1974)によると、トンネル掘削時の地下水湧出量は毎分3000lに達した。またこの付近に存在する民家の自噴井(深度63m)の地下水のTU値は0.2と、きわめて低いものであった。

さて、ここでこれまでの知見を以下に整理しておく。

- ① 大栗川、乞田川流域はゆるやかな波状構造をなす基盤地質(上総層群)の向斜部に当たる。
- ② 増田(1971)によると一般にその向斜部では岩相は泥質で地層も厚くなる。
- ③ このような多摩丘陵地域の地質構造は、そのまま武蔵野台地の地下へ追跡することができる

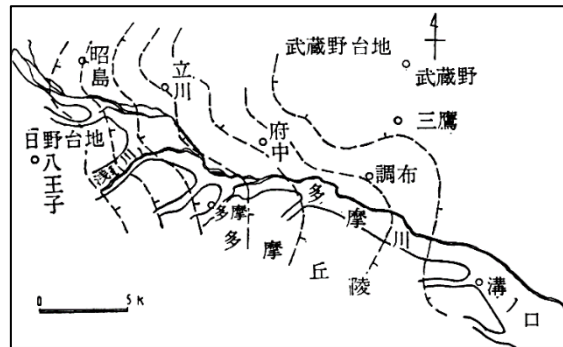


図 16 上総層群の構造を示す模式図  
(出典：図 14 に同じ)

なお加えて言えば、上記の地質的背景は写真6に示したこの流域の立体衛星画像にみる特徴とよく対応していて、現地形は基盤地質の性格を反映したものであることを示唆している(図18)。

武蔵野台地  
A3層(上総層群上部)の基底  
新藤静夫(1968)

多摩丘陵  
連光寺層上部層相当層の基底  
増田富士雄(1971)

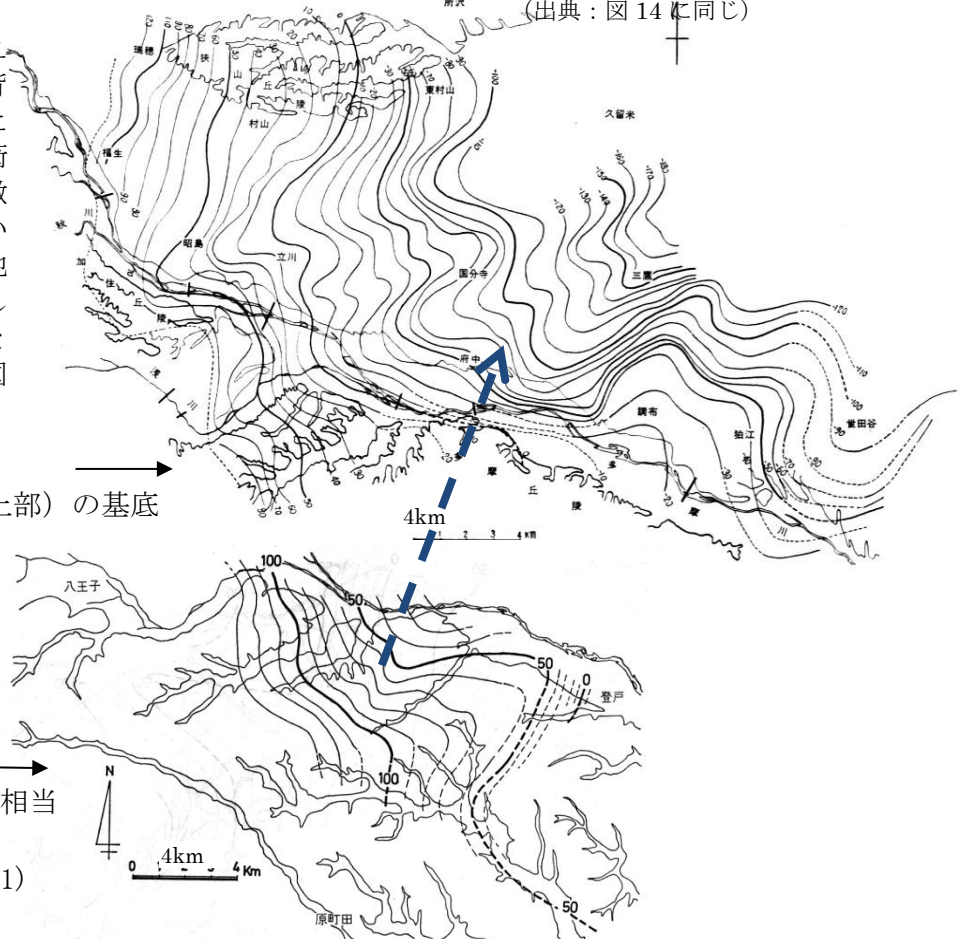


図 17 想定される多摩丘陵と武蔵野台地の関係

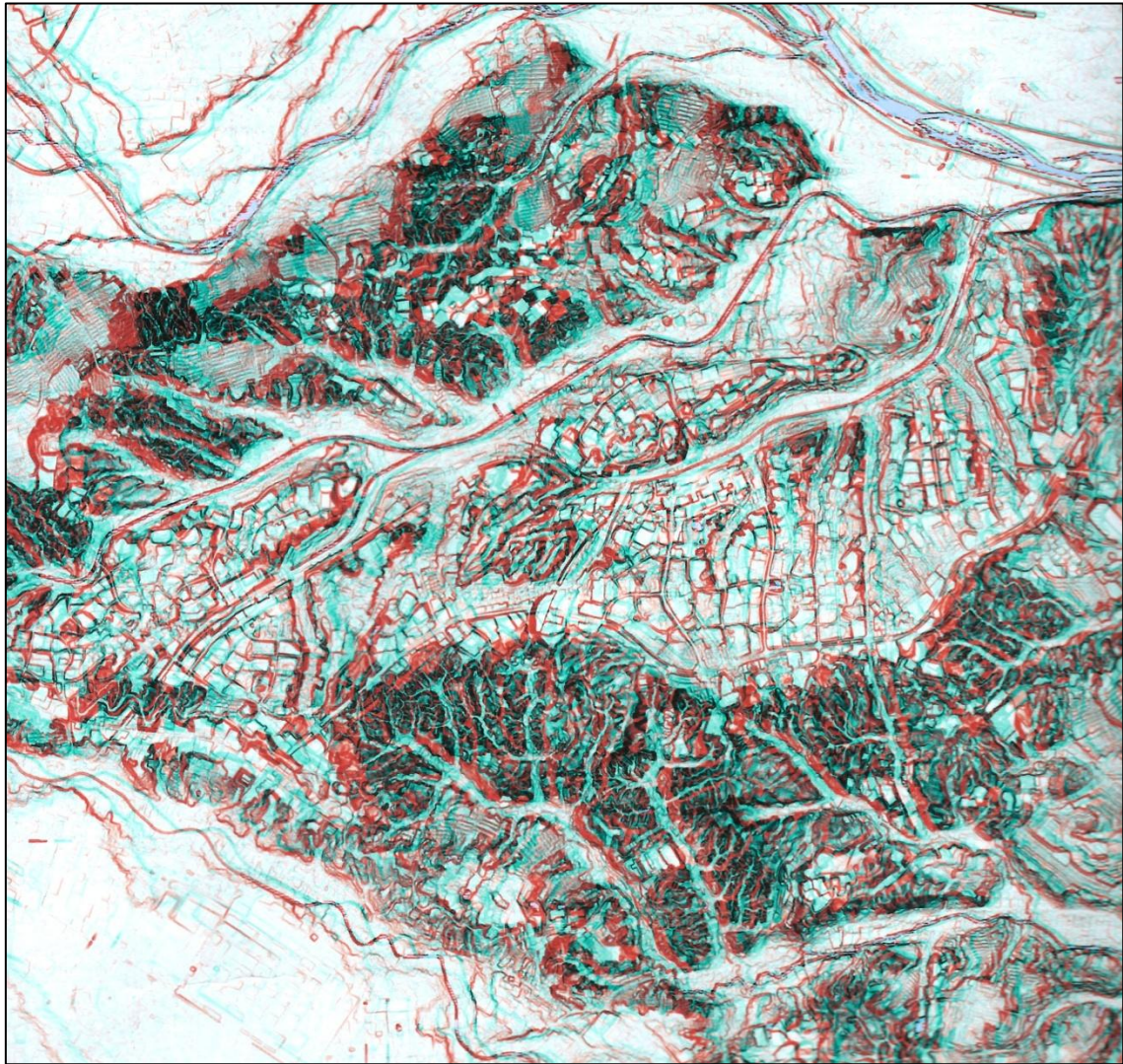


写真6 大栗川、乞田川流域の立体衛星画像（横山空間情報研究所提供）

（赤青メガネを使用のこと）

注記：この流域は多摩ニュータウンの建設によって大きく改変されているが、全体としての地形の特徴がかえって浮き彫りされたかたちになっている。なお南側に隣接する谷は鶴見川水系である。

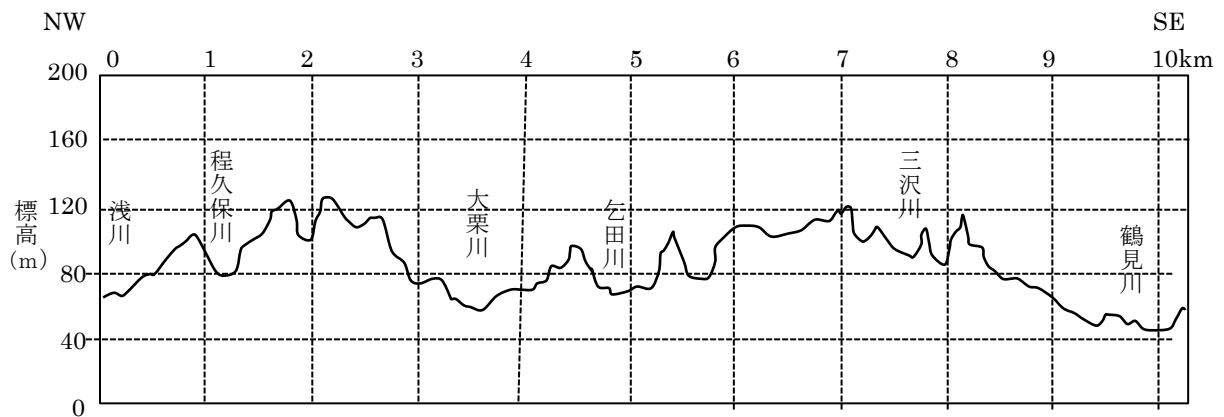


図18 大栗川、乞田川流域をNW-SE方向に切る地形断面

さて以上に述べてきた地形・地質環境はこの地域の地下水に重要な関わりを有している。その最も顕著な現象は自噴で、昭和 30 年代初期までは写真 7、8 にあるような灌漑用の自噴井が各所で見られた。また写真 7-3 のように深いものでは 100~150m 前後に達する管井で、井戸底は基盤の上総層群に達し、自噴量は数 10m<sup>3</sup>/day 程度であった。なおかつて筆者が関わった京王線聖蹟桜ヶ丘駅周辺の住宅地の専用水道として掘られた鑿井では 100m<sup>3</sup>/day 以上の自噴をみた。

この流域の地下水に関しては、かつて立正大学のグループが詳細な調査を行い、貴重な資料を残している。図 19 に引用した調査井戸分布図は殆ど悉皆調査に近いもので、その結果は全数が一覧表に纏められている<sup>脚注</sup>。

この図の○印は調査当時自噴していたもの、●印は調査当時自噴を停止していたものを区別して加筆したものである。これらの小規模の自噴井の多くは鉄管を地中に打ち込んだ掘り抜き井戸で、かつては自噴高が地上 1.5m に達していたという。

図 19 から次の点を読み取れる。

- ① 自噴井は流域下流部の低平地に集中する。
- ② 自噴が停止した井戸は上流部に多い。
- ③ これらの現象は基盤地質の向斜構造と整合する。



写真 7-1 灌漑用の掘り抜き井戸

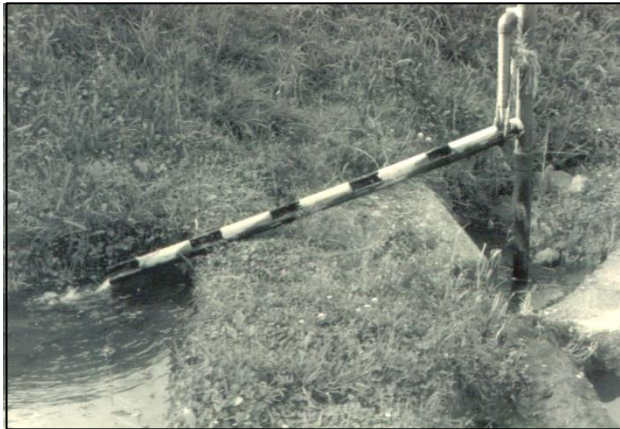


写真 7-2 同上近接



写真 7-3 自噴水を利用した釣り堀

地下水揚水規制が行われた結果、この地域でも自噴が回復してきたところがある。写真 8 はその例で、現在日野市七尾中学校の教材用のビオトープの水源として利用されている。

← 写真 8 復活した自噴

(日野市七尾中学の自噴井昭和 40 年掘削)

脚注：調査は昭和 42 年の 5 月、6 月、9 月の 3 回にわたって行われ、対象井戸は 399 に達した。

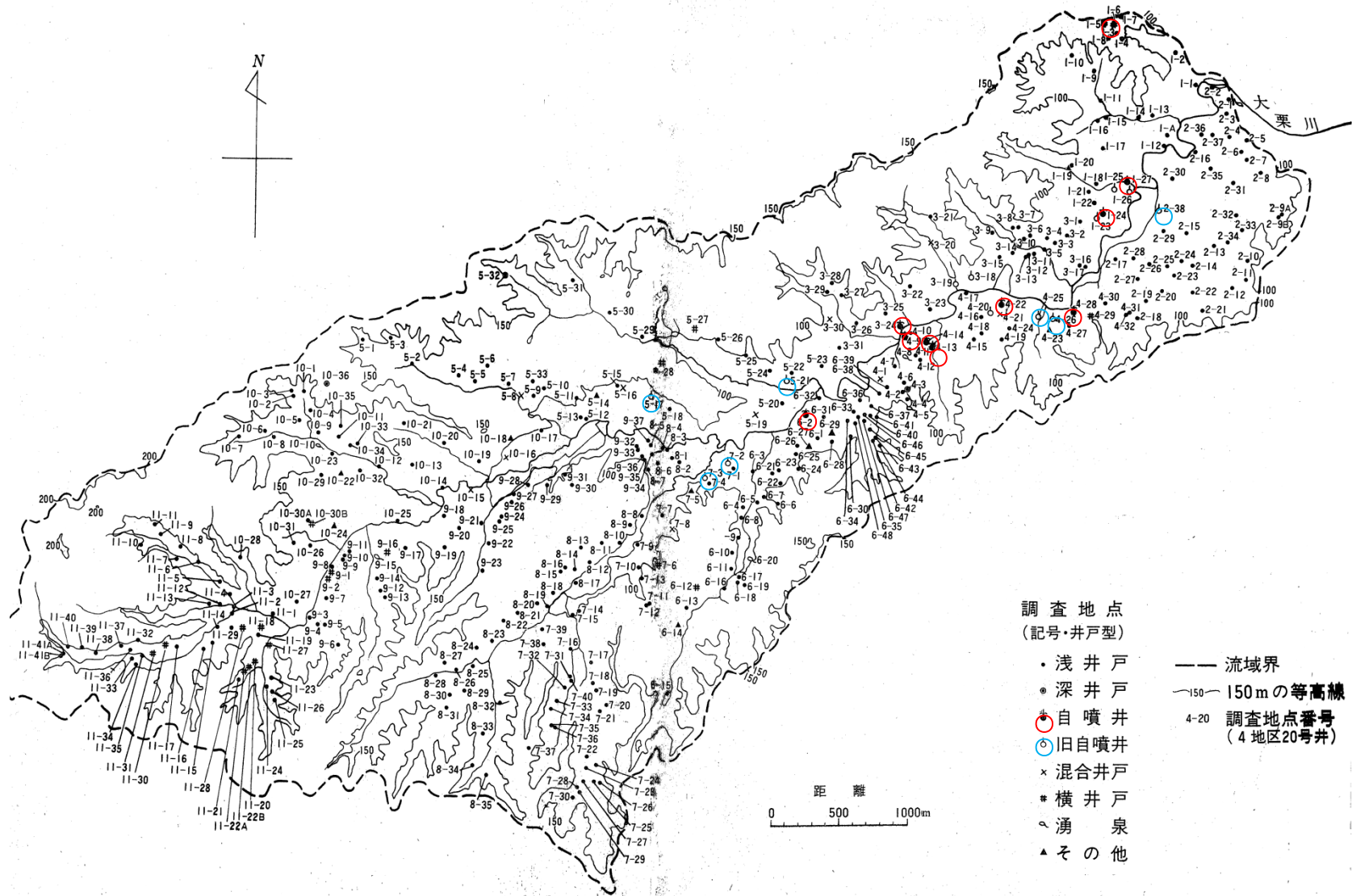


図 19 大栗川流域の浅井戸分布図

(出典：石川与吉他(1968)多摩丘陵大栗川流域の地下水 (第一報)、立正大学文学部論叢第 32 号)

さて、当然のことながら複数の帯水層から成る地下水盆（堆積盆）では、その層準毎に異なる地下水流域が存在することになる。しかしこの点を重視して詳細に図化したものは筆者の武蔵野台地における研究以外にあまり見当たらない。桑原 徹(1875)の濃尾平野における研究、東北農政局の「山形県水文地質図集」(1977)程度であろうか。

武蔵野台地の例を図 20 に示す。この図で“A”とはAquifer のことで、武蔵野台地では大きく  $A_1 \sim A_8$  と、8 層準の帯水層が識別される。なお、この図では段丘礫層を除いた場合、また  $A_8$  層分布地域では  $A_8$  層までを取り除いた場合の各帯水層の分布限界、つまりそれぞれの涵養域が示されている。帯水層群は大きく  $A_1 \sim A_4$  層、 $A_5 \sim A_7$  層、 $A_8$  層の 3 群<sup>脚注</sup> に分類され、いずれも北東方向に傾斜し、全体としてこの方向に開いた弧状の配列をなしている。

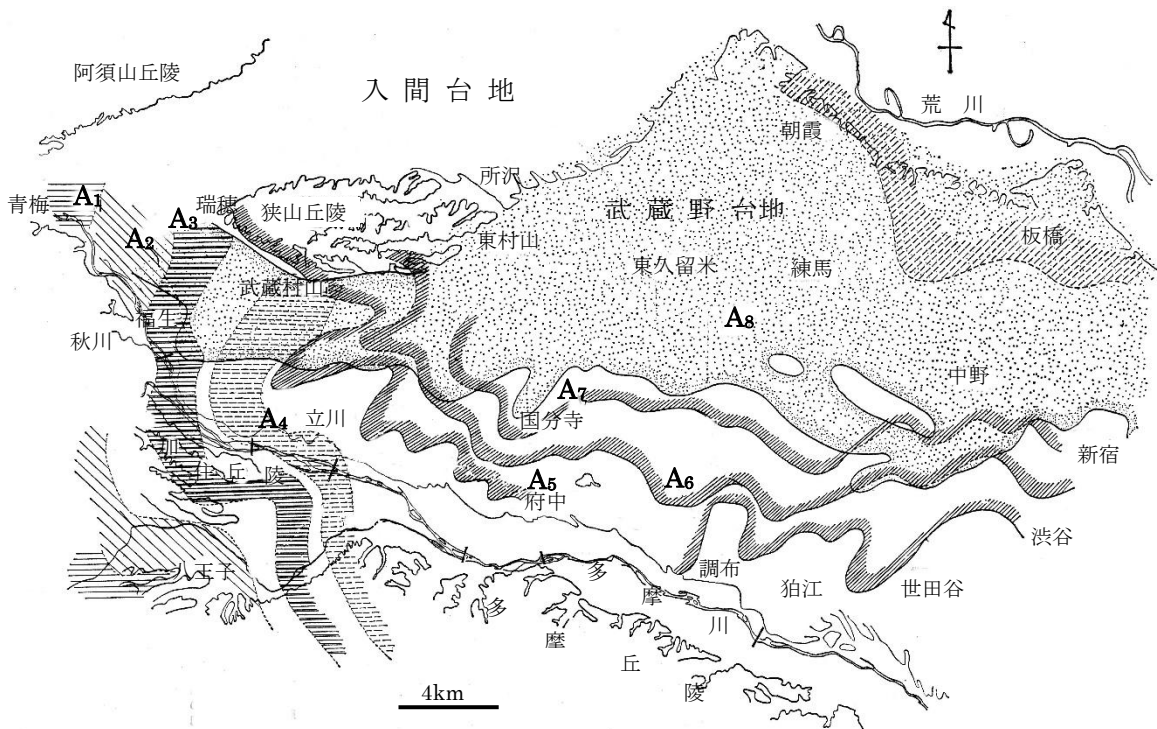


図 20 武蔵野台地における帯水層の区分と分布  
(出典：新藤静夫(1968)：武蔵野台地の水文地質、地学雑誌 Vol.77, No.4)

ここで取水帯水層とその涵養域の関係について注目すると、

- ① 多摩川、秋川、浅川等の河川は  $A_1 \sim A_4$  層を横断して流れていて、河床にはこれが直接露出しているところや、河床礫の直下に伏在しているところがあって、河川からの地下水涵養が示唆される（付録写真参照）。
- ②  $A_3 \sim A_7$  層はその分布限界において、段丘礫層と、また  $A_8$  層分布地域では  $A_8$  層と直に接していて、浅層地下水からの涵養が期待される。段丘礫層と  $A_8$  層が接しているところでは、一連の厚い帯水層が発達していると誤認することがある。
- ③ 図 21 に示したように、地域によって採水の対象としている帯水層の層準が異なる。

脚注：筆者は、 $A_1 \sim A_4$  は上総層群、 $A_5 \sim A_7$  は東京層群下部、 $A_8$  層は東京層群中～上部に対応すると考えているが明確な論拠は有していない。



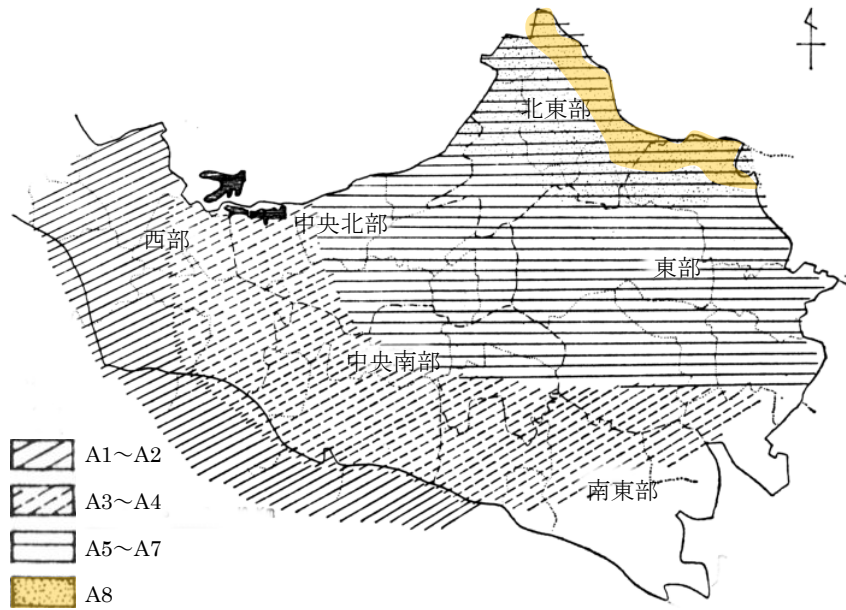


図 21 主たる開発対象帯水層の地域分布  
(出典：図 12 に同じ)

最後に付言するが、地下水流域を明確、かつ詳細に記述するのは実は容易ではない。そこでその第一近似として、以下の 2 点を提案する。どちらも比較的得やすい資料を基としている。

① 比湧出量分布図

比湧出量とは揚水量を水位降下量で割ったもので、地層の透水性や貯留性を反映している。この 2 つデータは鑿井の竣工時には必ず実施されるもので、どちらも得やすい資料である。なおこれは透水量係数とディメンションは同じである。

図 22 は多数の揚水試験の記録から画いた武蔵野台地の比湧出量分布図で、例えば図 14 の東京層群下底部の形状とよく重なり、地下水流域の概況の把握に有効と言える。

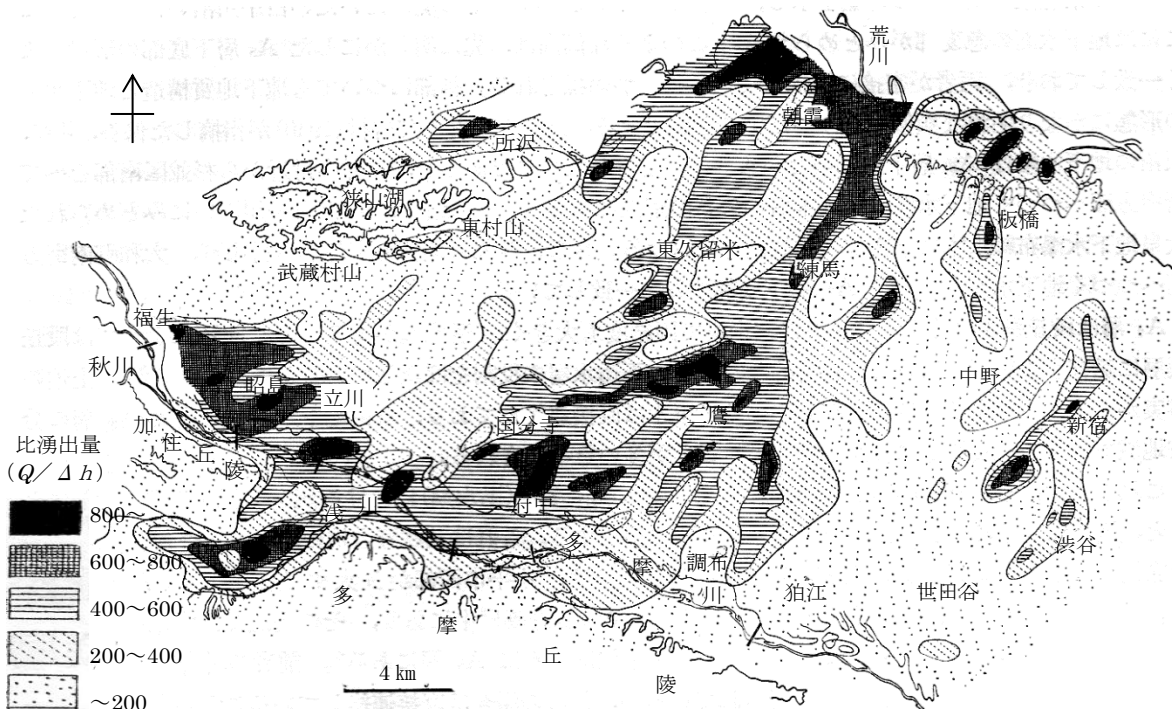


図 22 武蔵野台地の比湧出量の分布  
(出典：図 12 に同じ)

## ② 接峰面図

接峰面図と地下水流域を共に同一軸の空間領域として捉え、地下水の涵養域までをカバーするかたちの接峰面図を地下水流域の最大域として活用することは地下水管理上意味のあることと考える。

図 23 は中部地方を例として、10 kmメッシュの DEM から描いた中部地方の接峰面図である。特に山岳地帯に見る小規模な閉曲線部は地下水盆の分布や規模を把握するうえで有効である。その際入手できる DEM の情報量によってはより詳細な検討が可能である。

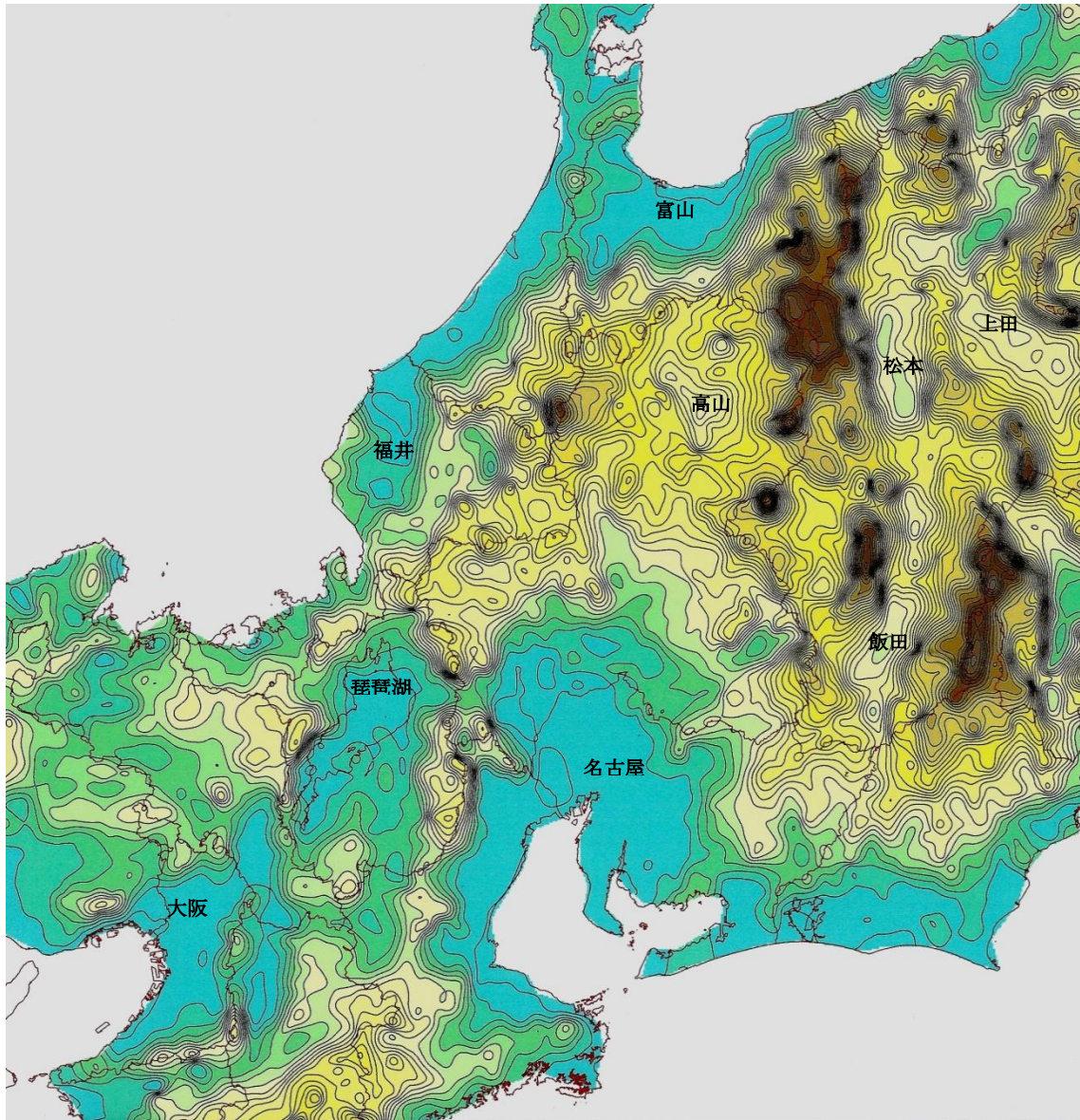


図 23 中部地方の接峰面図

## 付録：上総層群と河川

本文に述べたように、多摩川、秋川、浅川などの河川は武蔵野地域の地下水に対して重要な関わりを有する。それらの河川は昭和30年代以降の大がかりな川砂利採掘によって河床が2~3mも低下した(場所によってはそれ以上)。

このため各所に基盤の上総層群の露頭が出現し、就中、八王子、昭島、日野市付近の河原では、埋没林が出現し、またゾウの足痕化石、またその牙や歯などの化石が発見された。

これらの露頭の多くは砂利採掘の禁止や、河床改修が進められて、当時の悲惨な状態は、多少は改善されたが、場所によってはまだ上総層群の露頭を観察することができる。



八王子市浅川大橋下流右岸

これは河川改修でできた高さ5mほどの人工露頭。上部半分は現河床礫。その下の茶褐色部分は上総層群の礫層、下部の黒色部分は俗称土丹と称する泥質層、これらの地層は5度以上の急角度で地中に潜っているのが観察される。



↑ 多摩川と秋川の合流点から秋川沿いに遡ったところに架かっていた東秋留橋。砂利採掘によって橋脚が抉られて低下したため、通行不能になった(現在は復旧)。



↑ 上の写真の近接。上総層群の礫層。飯能礫層に相当(下部の礫は上から崩れてきた現河床礫)。折尺の傍らに断層が認められる。



← 昭島市多摩大橋付近  
上総層群の地層中に浸透した河水が下流で湧き出している。