

1 2. 地下水研究 50 年史－武蔵野台地の地下水（4）－

8. 真実は現場にあり

地下水状態は地域特性を強力に反映し、また人為的・自然的要因のもとにあつて絶えず変動しているため、地下水研究ではこの両者を把握することは非常に重要である。前者は地域に密着した研究、後者は地下水現象の時系列記録が基礎になり、それらに基づいた要因分析を行うことによって、新しい事実の発見にいたることもある。このような仕事は、誠に地味なものであるが、極めて重要なことである。しかし最近の研究論文の傾向をみると、このことが疎かにされているのではないかと気になることが多い。今回の話題はこのことが基調になっている。

(1) 東京の自噴井

荒川や多摩川の低地帯、また台地を刻む大きな谷沿いには大正から昭和の初期まで自噴井が数多く存在していた。

大正 12 年（1923）、埼玉県川口町（現在の川口市）に日本麦酒釀造東京工場（現在のサッポロビール）が建設された時の鑿井記録によると深度 91m, 185m, 228m の深井戸でいずれも自噴したとの記録がある。その自噴は当時の鑿井記録によれば、大正 12 年から昭和 2 年ごろまで続いていた。自噴高は深いものほど大きく、鑿井完成時には 3m 以上に達したとある。

その他、板橋区浮間、北区赤羽から同王子を経て足立区金町にいたる荒川低地地帯では大正末期までは自噴井が存在していたが、昭和の初期までの間にその殆どは姿を消してしまった。

都下では昭和 7 年（1932）府中市の東京競馬クラブ（現在の東京競馬場）の深度 62m の深井戸で自噴高 1.8m が記録されている。またその対岸にあたる多摩市東寺方の多摩川低地の宅地造成地では、昭和 34 年の鑿井完成直後に一時的に自噴がみられたが短期間のうちに停止した。さらに日野市の多摩川低地にあった蚕業試験場（現在の仲田小学校、仲田公園敷地）の深度 96m の井戸（昭和 6 年施工）では 1m 弱の自噴高が記録されている。この対岸にあたる国立市谷保にあったゴミ・し尿処理場の清化園 1 号井（深度 80m）では昭和 34 年

の井戸完成時には 500m³/日の自噴をみたが、37 年に掘削された 2 号井（深度 100m）では自噴はみられなかった。



図 33 神田川を中心とした水系網

ところで図 33 はこのシリーズのはじめに掲載した、図 5 「武蔵野台地の地名・河川名」の一部を切り出したものであるが、筆者が関心を持っているのは妙正寺川が神田川に合流する地点（○印）を中心とするあたりの水系の特徴である。脚注 13) この地区は、かつては豊多摩郡落合村と称

脚注 13) これに関しては本題と離れる内容なので、話題を新たに別記に詳述する。

し、その名のとおり各水系はここに集中して、これより下流は谷幅の広い低地帯（谷底平野）が展開していた。

その様子は図 34 の明治 13 年に作成された 2 万分 1 フランス式彩色地図によく示されている。ここでは台地の浅層地下水に水源を持つ湧水のほか、多分江戸時代にまで遡る掘り抜き井戸が多く利用されていた。写真 9 は図 34 の中央部（赤丸）にある薬王院の古井戸（写真 9）で、お寺の方に聞くと時代は分からないが、かなり古いものだというのである。なおこの井戸は現在も池の水を維持するために使用されている。薬王院の東にある氷川神社にもかつて自噴井が存在していたことが知られている。

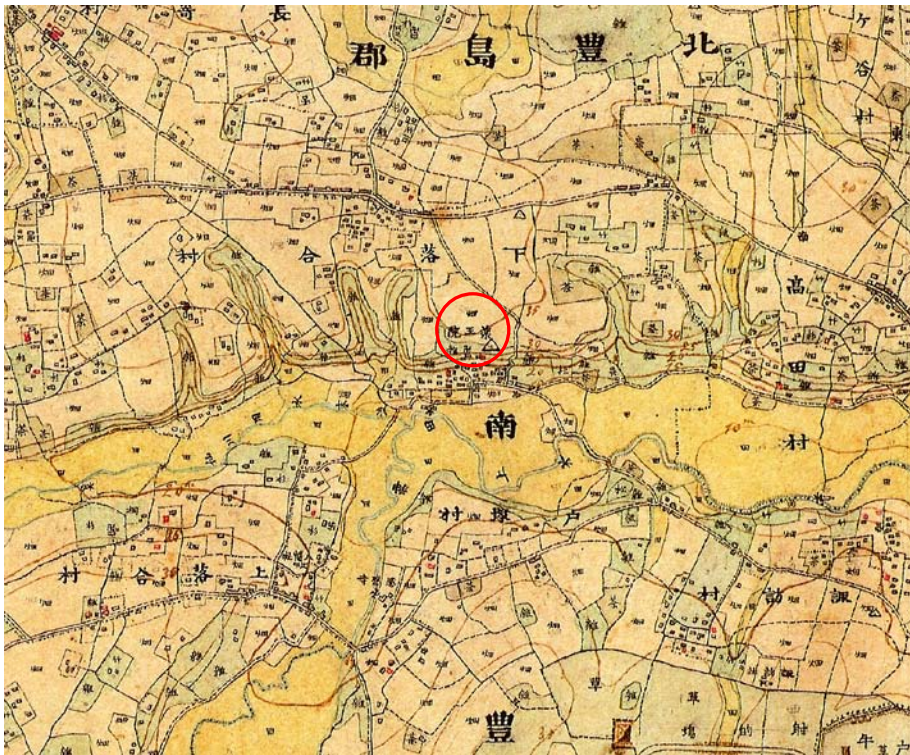


図 34 明治 13 年に作成された 2 万分 1 フランス式彩色地図



写真 9 薬王院の庫裡にある古井戸

わが国最初の機械掘りによる鑿井は大正 2 年(1913)にこの地ではじめて施工されたが（写真 10）、製氷用として良質かつ多量の地下水が期待できる場所としてこの地が選定されたのは、上記の恵まれた地下水環境にあったためと推察される。その工場（豊菱製氷）のあった位置が図 35 の大正 5 年の測図に示されていて、図には井戸の位置が # マークで示されている。現在の地図では、図 36 の●地点と特定される。次ページ脚注 14)

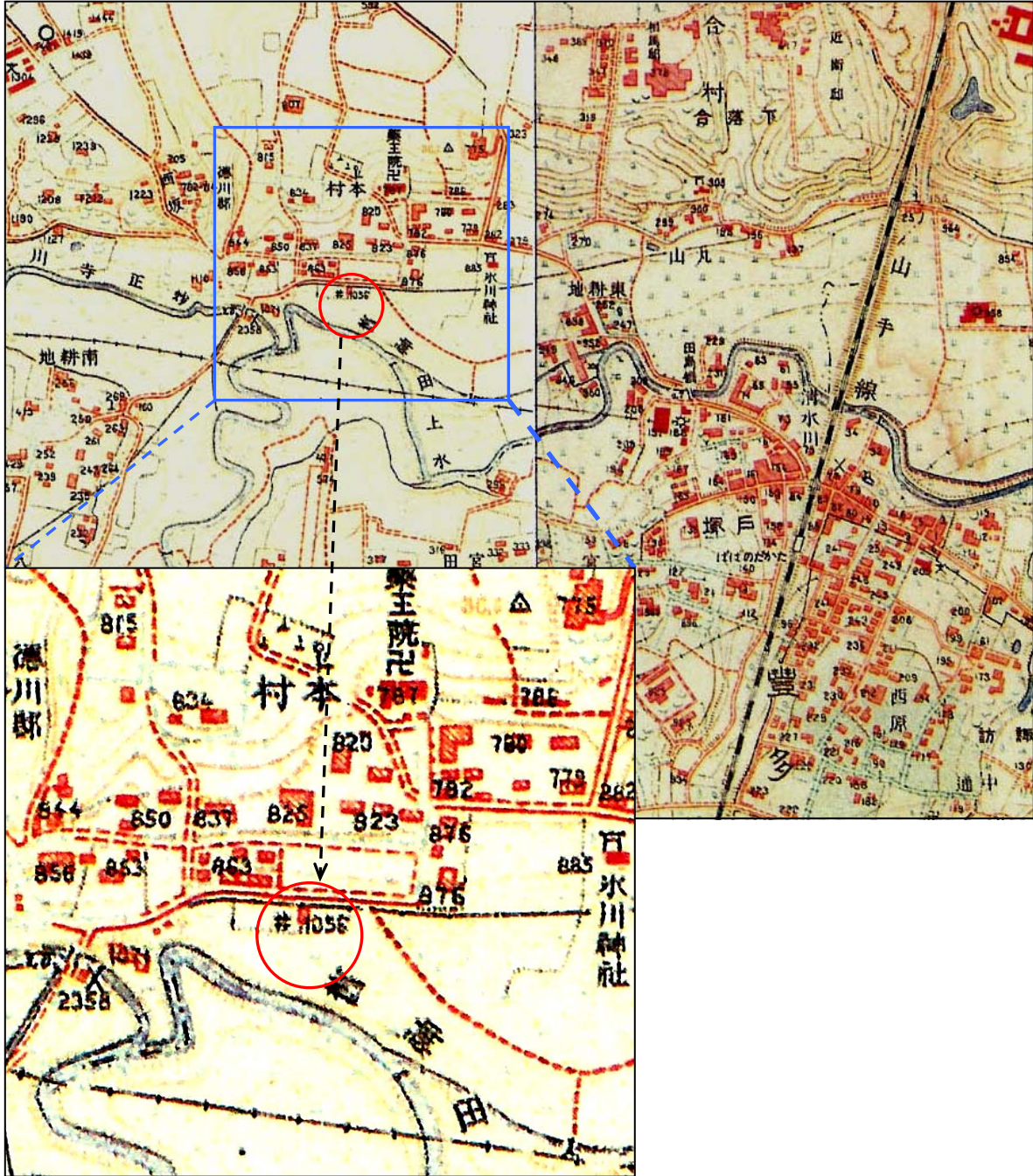


図 35 大正 5 年修正測図「戸塚・落合の地形図」(井戸のマークに注目)

脚注 14) この地域にはほぼ同時代にこの製氷工場の他に、城北製氷、山手製氷、また少し遅れて戸塚町に大日本製氷というのがあり、良質の地下水が得られたことが窺える。

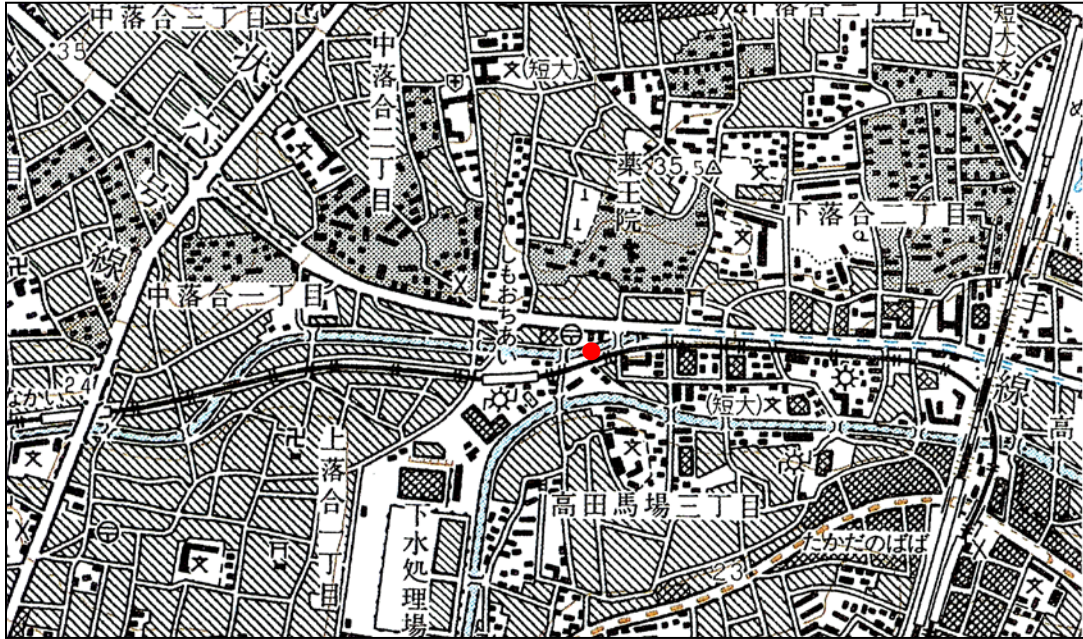


図 36 現在の下落合付近

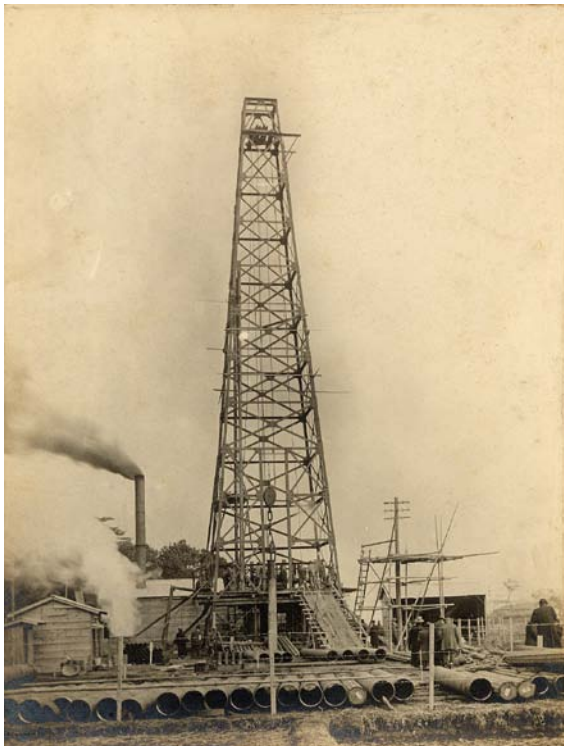


写真 10 わが国鑿井第1号とされる下落合豊菱製氷工場の工事現場 (背後の森は薬王院)
((株) 日さくのテレフォンカードによる)

(株)日さく、の社史「七十年史」によれば、この鑿井は深度 158mで仕上げられ、揚水量は日量 5,450m³ に達し、水質良好という結果を得たと記述されている。また井戸完成時には自噴し、その量は日量 54.5m³ を示したとある。しかし筆者が知る別の資料によれば、自噴はまもなく停止したものと思われ、竣工記録では自然水位が地下約 3mとなっている。さらに 25年後の昭和 13年(1938)の井戸改修時には自然水位が地下約 6mにまで低下していた。なおこの井戸のスクリーンは深度 100m以深の上総層中に設置されていた。

以上に述べてきたように、井戸完成後しばらくの間自噴していたが、その後間もなく停止したという例は多い。このような現象を説明するのに、単純に地下水位が下がったためと言うだけでは足りない。もっと深い意味がありそうである。以下にこのことを考察する。

(2) 深部地下水の動態

村下敏夫(1962)は、かつて濃尾平野の自噴帯を研究し、自噴帯には“荷重型自噴帯”と“落差型自噴帯”のあることを明らかにしている。前者は堆積物の圧密や弾性変形に関係し、後者は位置の水頭(標高)差に関係しているとしているが、上記の東京の低地におけるかつての自噴井の多くはどちらかといえば、前者の“荷重型”の範疇に入るものと考えられる。しかし上記のような地下水利用の比較的早期にみられた自噴の停止、およびその後の地下水位の低下状況を見ると、別の機構も考慮する必要がありそうである。やや難しい話になるが、これまで論じられることが少なかった深部地下水の動態に関わる問題なので、以下に筆者の持論を述べておく。

わが国の内陸堆積盆地のように、堆積速度が比較的速い場合には、堆積時に地中にトラップされた地層水が排出しきれずに封じ込められていることは充分考えられる。地層水のトラップに貢献する地質は云うまでもなく不透水性の粘性土層であるが、これは堆積後の上載荷重によって緻密になっているので、さほど層厚を要しない。なおトラップには不整合面も貢献していて、ともに石油地質学で云う“層位トラップ”の範疇に含まれる。このような機構は堆積盆地にはごく普通に存在し得るものと考えられるが、これまでの地下水学では地下水の駆動力は位置のポテンシャルのみに重点がおかれ、トラップされている地下水の圧力状態は殆ど考慮されていなかったように思われる。

トラップされている地下水の圧力状態には静水圧より高い水圧を有する“abnormal over pressure”状態と、その反対の“abnormal under pressure”状態があるが、このような状態を維持している水文地質構造は“pressure compartment”、あるいは“pressure cell”と呼ばれている。なおこの cell 中の流体圧の発生に関与する要因には、上記以外にも熱水による膨張や遊離ガスの発生、粘土鉱物の続成作用、cell 間の流体移動、cell の破断・閉塞、テクトニクス、泥火山など様々なものが考えられる。

このような現象がよく見られる場合の例として、岩盤の地下水があげられるが、これについてはこのシリーズの「山体地下水」の中で詳しく論じているので参考にして頂きたい。

石油地質学方面では石油の生成から移動、貯留の一連の過程に密接に関係するので、上述の圧力状態を把握することは石油開発上重要な情報となり、詳しく研究されている。それらの知見は堆積盆地の比較的深い地下水の挙動を知る上で大いに参考になる。

図 37 は中国河北平原にある“勝利油田”の中の東営盆地における深度-圧力関係を示したもので、圧力係数が 1 というのは静水圧状態にあることを意味している。そのライン 1.0 から乖離しているのは異常圧にあることを示しているが、深くなるにした

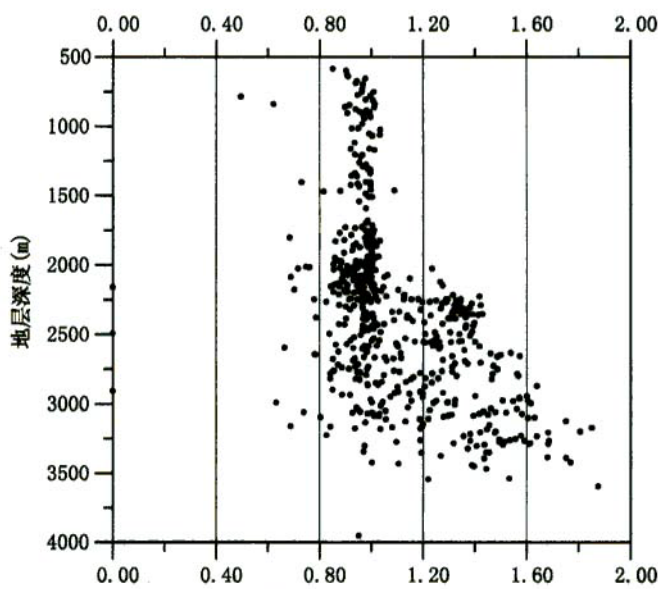


図 37 中国東営盆地における深度-圧力関係
符勇、龔振泉；2005, 水文地質・工程地質,
2005.No.5、31-35.

がってバラツキが大きくなる傾向が認められ、compartment 化が顕著になっていることが推察される。このような異常圧状態は普通の地下水を取り扱う場合には無視できるとして良いが、自噴といったような僅かな圧力変化を敏感に反映するような現象では無視できない。また圧力状態によっては深部地下水と浅部地下水の交流に関わることもある。

後者に関して、1975年に国土地理院によって報告された、図38の多摩川下流域の異常な地盤隆起の原因を主として地球化学的立場から追究した脇田宏(1976)は図39を示して、以下のような興味ある現象を指摘している。

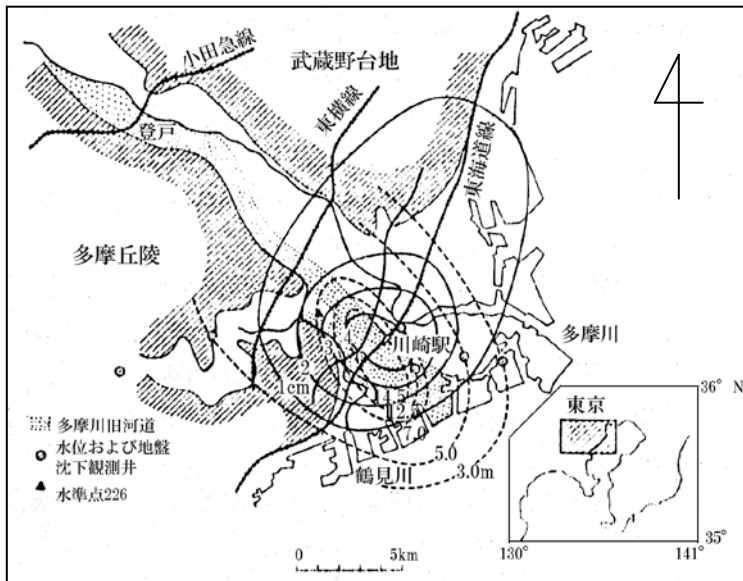


図38 多摩川下流域の地形および地盤隆起のコンター（1970～1975年：実線）と水位上昇コンター（1971～1974年：波線）（脇田宏；1976b）

元々この付近の地下水中の塩素濃度は50ppm以下と低く、多摩川からの涵養を受けていたものと推定される。しかし地下水利用量の増加と共に、図のように水位は急速に低下し、1966年頃には-45mに達した。この頃を境に水位の急激な上昇と、塩素濃度の増加が始まっている。一方川崎市の地盤沈下観測井は、いずれも管底部以深で隆起が始まったと報告されていて、これは深部の水が上昇し始めた時期と一致している。

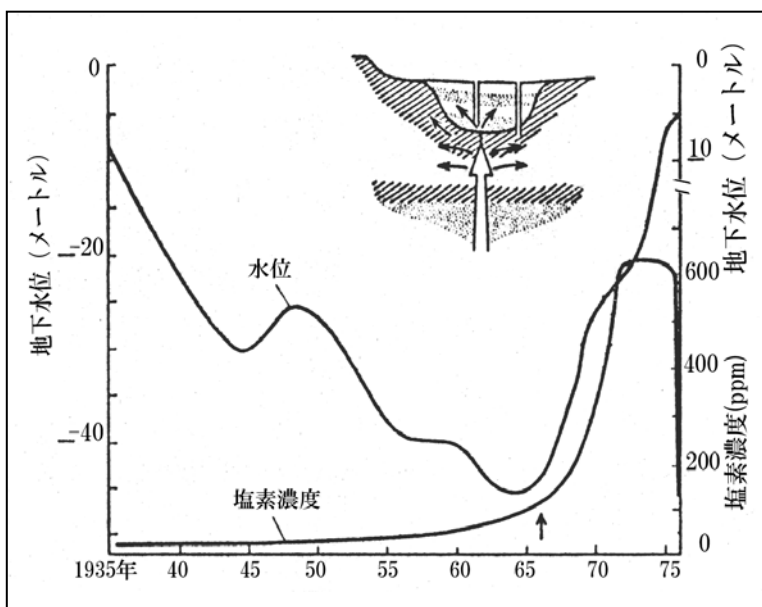


図39 多摩川河口部における地下水位と塩素濃度の経年変化及び深部の水の湧出モデル（脇田宏；1976b）

脇田は、“この時期に地下のチャンネルが開いたのであろう”と表現しているが、このような水圧差を解消するような深部地下水の動きは鑿井直後の自噴現象や地盤隆起に大きく関わっているといえる。図39にみる塩素濃度の急激な低下は浅層部地下水と深層部地下水の圧力差の解消によって、塩素濃度の低い浅層地下水が揚水されるようになったことを示している。

脇田が述べている、“深部の水が湧出するという現象は、

これまでは知られていなかっただけで、ごく自然な現象であるのかもしれない”という指摘は、上述の Compartmentalization concept からみて妥当な見解といえる。

圧力差による深部地下水の浅層部への“沸き上がり”現象は東京低地の地盤沈下観測井（下総層群中に設置）の水質記録からも読み取れる。かつて“東京ガス田”として知られていた江東、墨田、江戸川地区の上総層群中には塩分濃度の高い水溶性天然ガスの高ポテンシャル域が存在していて、盛んに採取された時期があったが、地盤沈下対策として実施された井戸の稼働停止とともに、図 40、41 にみるように、下総層群中の地下水塩分濃度の上昇、トリチウム濃度の低下がみられた。この頃、上総層群中の地下水の圧力は下総層群上部から沖積層下部にまで達しており、下部から上部に向かう顕著な圧力勾配を示していた。

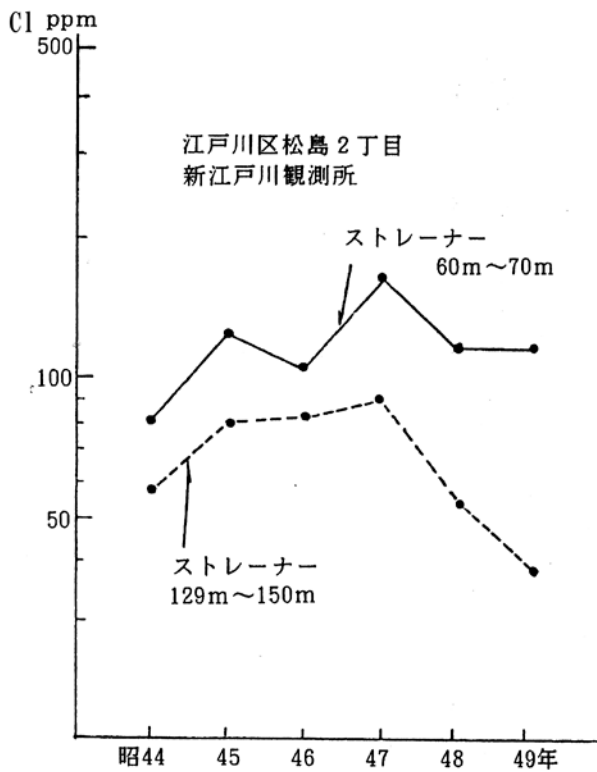


図 40 塩素イオン濃度の経年変化
(東京都土木技術研究所；1993)

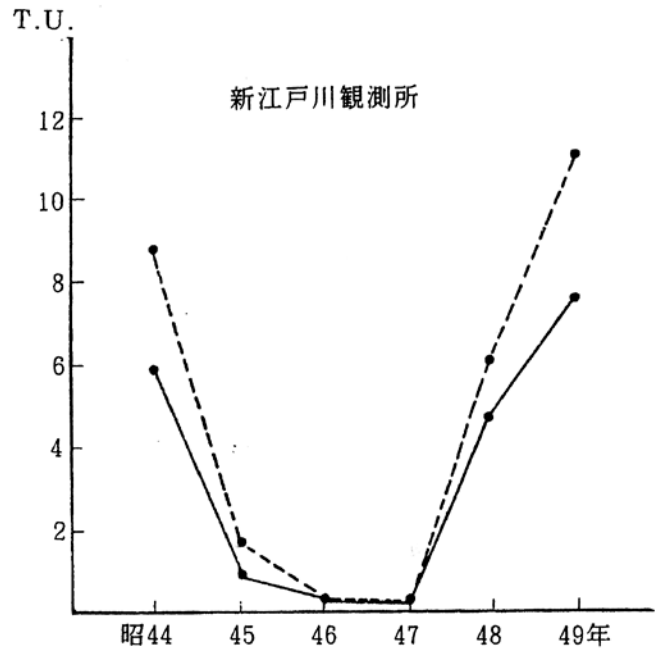


図 41 トリチウム濃度の経年変化
(東京都土木技術研究所；1993)

(3) 地下水位変動の復元

筆者はこれまで述べてきたような考えから、南関東地方地盤沈下調査会の折り、東京における地下水の初期状態を知る必要があるとし、鑿井記録に記載してある多数の自然水位の記録を図に落として図 38 を得た。これは大正中～末期（1920 年前後）の状態と考えると良い。図には先に述べた自噴帯の位置も示されている。

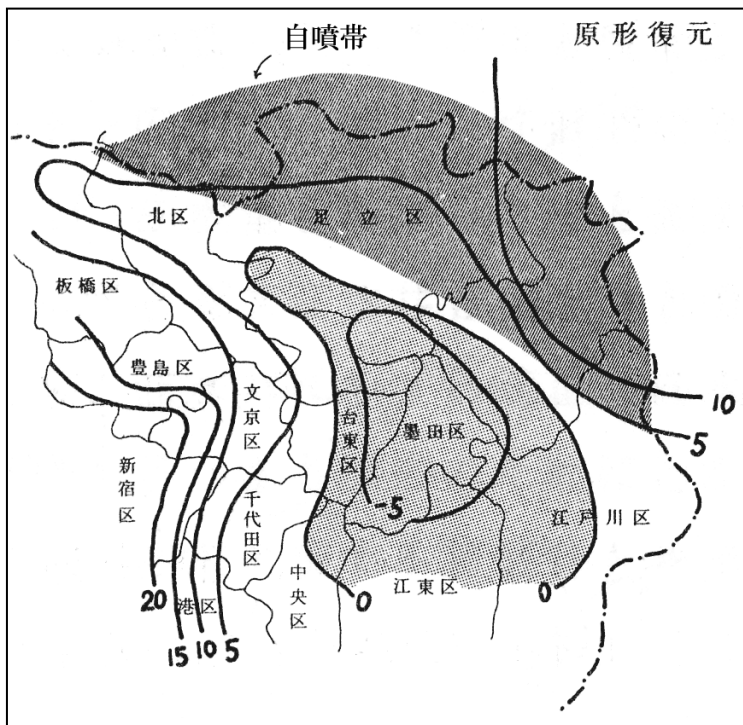


図 38 復元された東京都心部の地下水面と自噴帯
新藤静夫; 1972, 南関東の地下水、土と基礎、No.667.

ここでまず注目される点は、東京低地に認められる地下水面が海面下にある地帯の存在である。“金棒掘り”や“上総掘り”による掘り抜き井戸の利用は江戸時代末期から始まり、明治時代後期まで続いたということであるが、このような広範囲の水位低下が生じたのは、わが国で初めて機械式による深井戸が掘られるようになった大正初期以降であり、その後、急速に地下水位が低下したものである。

地下水位の時系列変化を示した図 39 の前半の 1920 年代から 1960 年代後半までが鑿井記録から復元されたもので、図の一つ一つの点は、個々の鑿井完成時の自然水位である。また図の右半分は東京都の観測井記録で、破線（青色）は両者のトレンドがスムーズに繋げられる記録（○印）を外挿したものである。

である。図 40 も同様の図であるが、ここでは後半の記録は埼玉県観測井記録が引用されている。このような復元作業は東京都区部と埼玉県南部の全域に及んだ（脚注 15）。

70 年にも及ぶ地下水位の変動記録は何を物語っているのでしょうか。各地の記録から幾つかの共通する特徴が指摘される。

- ① 戦前から戦後にかけての時期における緩やかな地下水位の低下と、それに続く緩やかな上昇。
- ② 戦後の高度経済成長期から地下水揚水規制期における急激な地下水位の低下とそれに続く初期の急激な上昇。
- ③ ①の変動パターンは地下水利用が早期から行われていた東京都心部のみに限られ、周辺地域では極めて軽微か、殆ど認められない。
- ④ 揚水規制後の水位変動パターンには地域差はなく、殆ど一斉に行われる。しかし規制後 40 年を経てなお元の状態にまでは回復していない。

上記は、云うまでもなく“地下水体”に対するインパクトの強弱を反映したものに他ならないが、その機構に関して、コンパートメント状態にある地下水層に“揚水”という人為営力が及んだ際の“地下水層の弾性応答”と、それに伴う地下水ポテンシャルが、深度に応じた正常圧に戻ろうとする過程で地下水流動の発生が促されると考えると理解し易い。その際、地下水流動はおもに垂直方向に行われるのはいうまでもない。

脚注 15) 南関東地方地盤沈下調査会(1974)；南関東地域地盤沈下調査総合報告書「地下水位、揚水量、沈下量に関する記録の整理と予測計算（新藤静夫分担）」

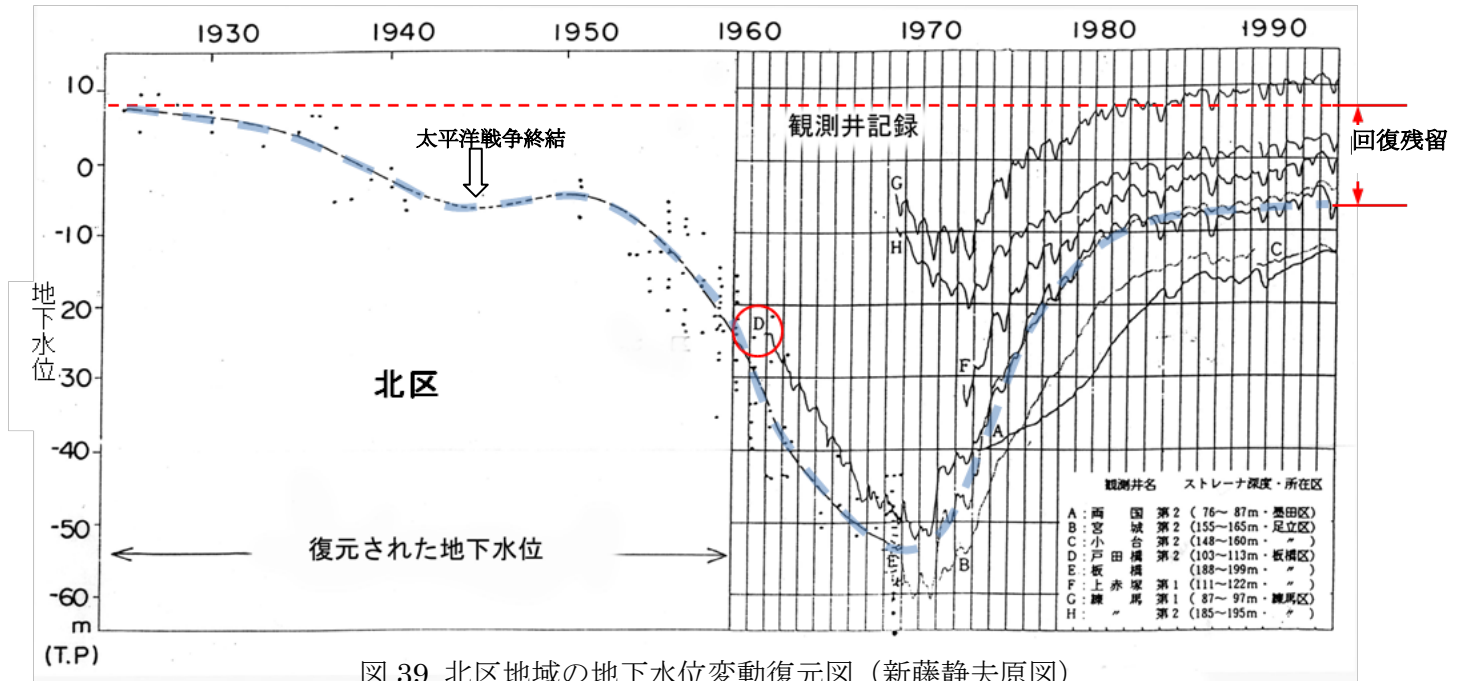


図 39 北区地域の地下水位変動復元図 (新藤静夫原図)

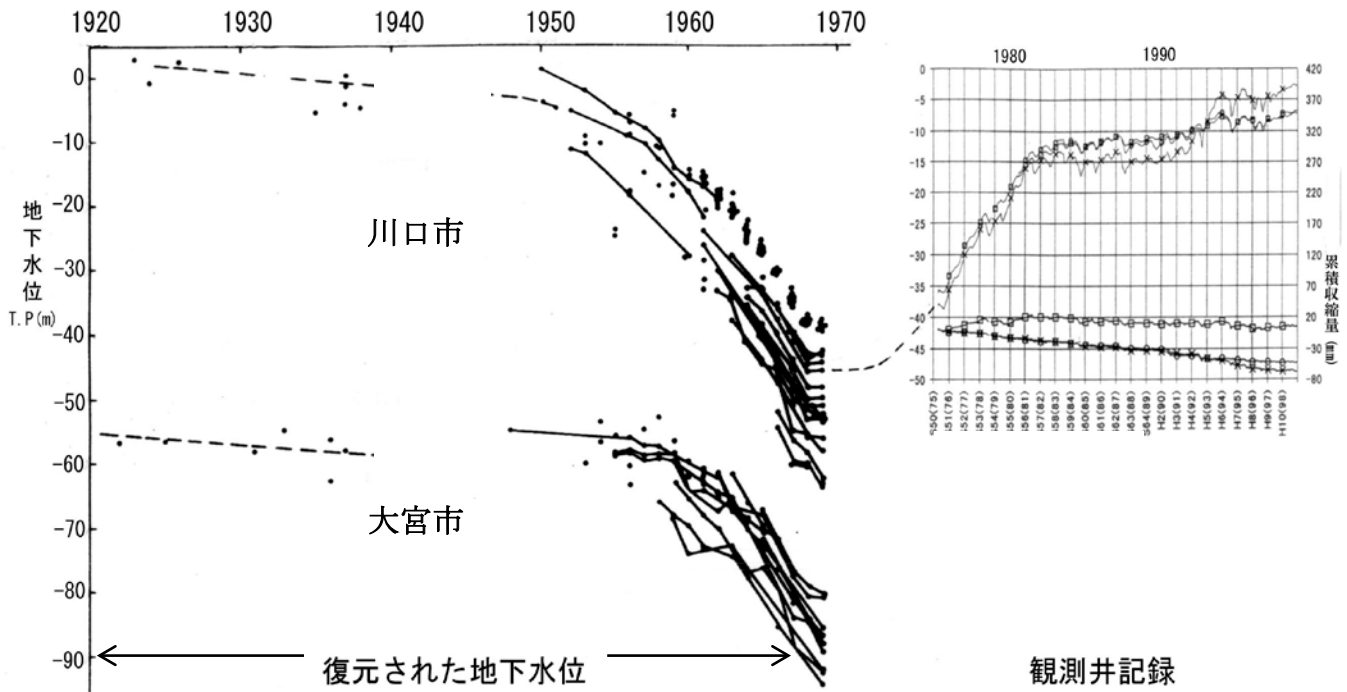


図 40 川口市、旧大宮市地域の地下水位変動復元図 (新藤静夫原図)
(直線は同一の深井戸の記録を結んだもの)

先にも述べたように、“Compartmentalization”に關与する地質は多くの場合、粘性土層であり、その発達は堆積環境を反映する。武蔵野台地の場合、揚水規制後の地下水位の回復状況は、台地西部の昭島市地域と、東部の小金井市地域とでは、図 41 のように、かなり異なったパターンを示しているが、その違いは上記の粘性土層の発達状態によると理解できる。

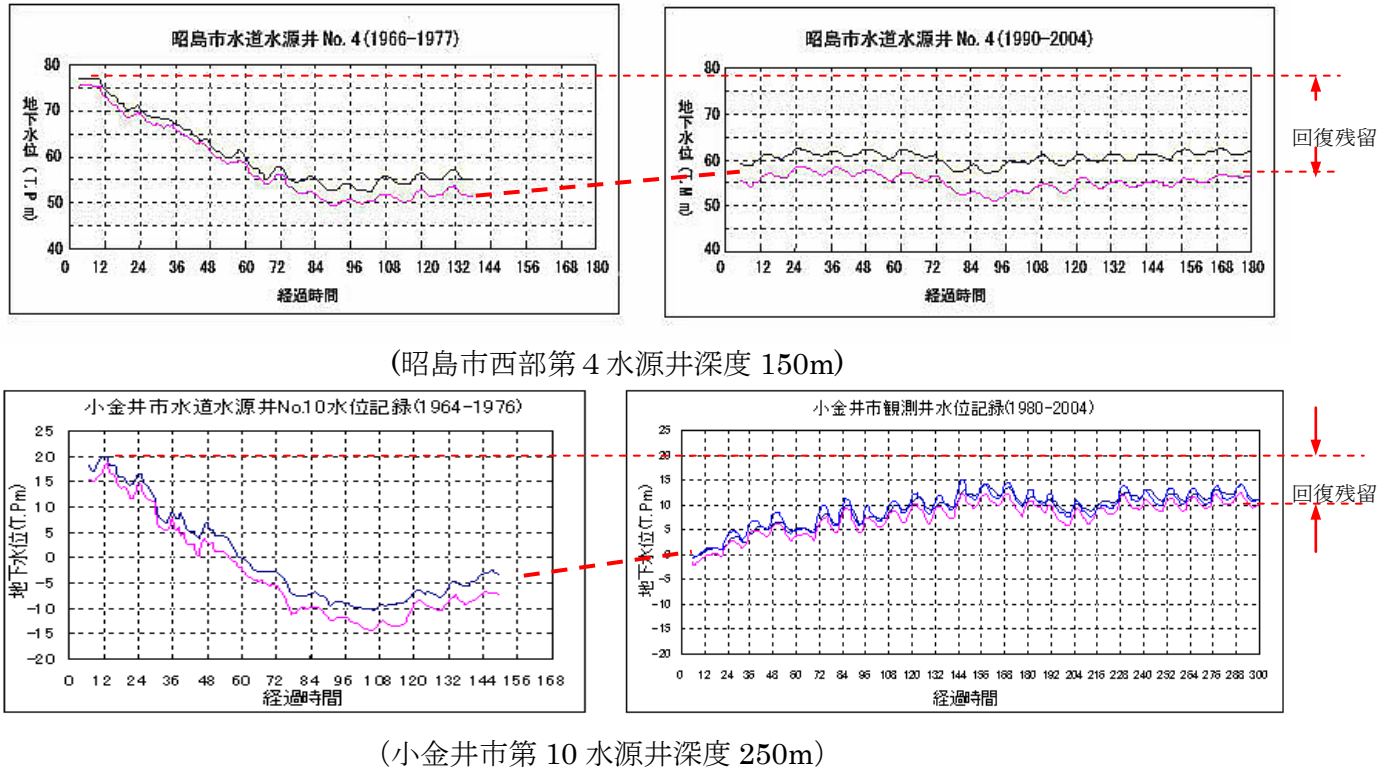


図 41 武蔵野台地地域における揚水規制前後の地下水位変動パターン

(以下次号につづく)