

56. 地下水研究 50 年史

ーコンピュータが雲の上の存在だった頃の地下水シミュレーションー

(その 2)

(3) 南関東地域の地下水利用と地盤沈下^{脚注 1)}

a) ある回想

筆者が日本鑿泉探鉱株式会社（現在の㈱日さく）に入社したのは昭和 33 年のことであるが、その時の上司であった早川松五郎^{脚注 2)} という方が、“鑿井の揚水量は粘性土層が適度に発達しているようなところの方が、そうでないところより勝っていることが多い。”と言っていたことがある。この言葉を裏返せば、礫や砂ばかりのところでは持続的な地下水の産出は思ったほど期待できない“ということになるが、これがすべての場合に当てはまるとは限らないにしても、真理は突いているように思われる。同一の間隙率なら粒径が小さく、かつ均一性が高い粘性土層の方が砂礫質層より保留される水分量は大きく、”状況^{脚注 3)} “によつては、この水分が地下水の産出に加わるからである。今回の話題はそれに関わるところが多い。

さて、江戸時代の掘り抜き井戸のあと、明治末期に我が国に初めて導入された機械式による鑿井は、大正期から昭和初期に至る間に東京都心部を中心として急速に増加した。その様子をつぶさに見ると、図 10 に見るように、蟻が砂糖を探し当てて集まってくる現象とよく似ている。成功と失敗の積み重ねが井戸の集中に繋がった、という訳である。

東京の地下地質の詳細が分かってきたのは戦後のことで、それ以前にはそのような情報は浅層部を除いて殆ど無く、地下水を求める試行の積み重ねが、結果的に地下構造を反映していたということになる。

本文では“南関東地下水盆”の中心部を構成する粘性土層に焦点を当てて考えてみる。

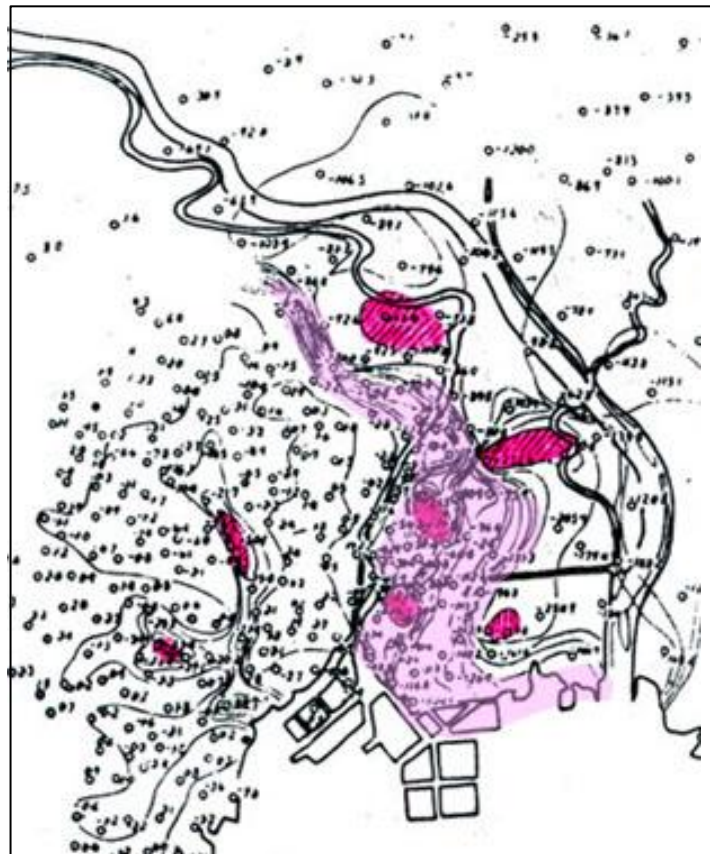


図 10 昭和 13 年 3 月より同 15 年までの間の変動量の分布（筆者加筆：虫食い状の沈下地帯に注目）
（出典：宮部直己(1941)：地盤の沈下，河出書房）

脚注 1：本題は筆者が昭和 45 年から 49 年の 5 年間にわたり「南関東地域地盤沈下調査会」の調査員として参画した時の分担作業の成果の一部をまとめたもので、出典はおもに新藤静夫(1976)：地学雑誌 Vol.85 ,No.2「南関東地域の地下水利用と地盤沈下」にある。

脚注 2：この方は晩年に「地下水の水理地質学的研究」と題する論文で北海道大学から学位を取得されている。これは氏の長年の経験を踏まえた知見をまとめたもので、筆者の新入社員時代、調査旅行に同行した折に、その話をよく聞かされたもので、得るところが大きかった。

脚注 3：“状況”とは次節に述べる多層準帯水層の圧力状態と、そのもとでの水の動態を総括した現象を意味する。

b) 組織体としての地層の水理

透水性の異なる地層が多層準に堆積している場合の地層の水理に関して初めて論じたのはオランダの水文地質学者や技術者達である。これらの知見はその後、JacobやHantushらに引き継がれてきた。図11はその水理モデルで、“Leaky artesian aquifer” や “Plain potential flow of groundwater” といった用語と共に、多く引用されている。

図には上から下への流れだけが示されているが、Hantushらは地下水の圧力状態によっては逆に下方から上方への流動が生じること、また上下方向の流れの量は、接触面積の大きさや導水勾配の大きさから、地下水盆と言う大きな單元からみれば、水平方向のそれより遥かに大きいとしている。

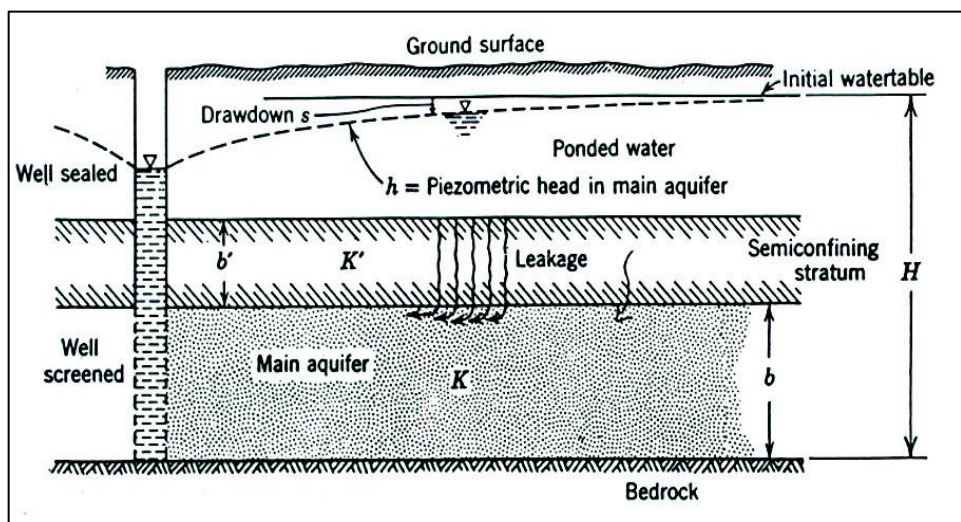


図 11 漏水モデル(Leakage model)

(出典：Hantush,M.S(1949);Plain potential flow of groundwater with linear leakage)

会社を辞めて東洋大学に移ってからの筆者の30代は、この問題に関する室内実験と野外データの解析に明け暮れた。当時の農林省を中途退官したばかりの先輩のT.S氏は筆者の実験室にしばしば訪ねて来てはその実験の経過に強い関心を示していた。

この一連の研究成果は東洋大学工学部研究報告^{脚注1)}に掲載されたが、当時はこの出版物の頒布範囲は限られており、同学の研究者にはあまり知られなかったようである。しかしTóth^{脚注2)}が広域地下水流動に関する研究を発表したのが、1963年ごろで、筆者の“多層準地下水流動”つまり組織体としての地層の水理に関する一連の実験とその結果の現場への適用に関するレポートはそれとほぼ同時代にあたる^{脚注3)}。なおその一部は本シリーズの「1 1. 地下水研究 50年史—武蔵野台地の地下水(3)—」で紹介したところなのでこれを参照していただければ幸いである。

脚注 1：新藤静夫(1970)：被圧地下水の補給機構に関する研究，東洋大学工学部研究報告，第6号。

脚注 2：Tóth,J (1963)：A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins, J.Geophys.Res., vol.68, no.16, pp.4795-4812.

脚注 3：これらの現象を明確に捉えたのは我が国では筆者以外には居なかったとみている。農林省出身の某国立大学教授だった故 T.S 氏が理解していた程度である。しかしこの方は筆者の図のタイトルを変え、また原図に加筆、改変して公にしている。先輩が筆者の原図を利用いただいたことに謝意を表すべきであろうか？参考までに筆者の原図(図12)と、その方の改変図(図13)を下に並置しておく。是とするか非とするかの判断は読者にお任せする。

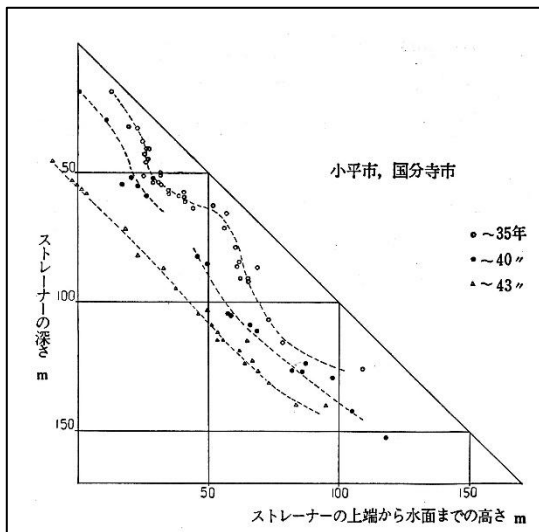


図 12 帯水層の層準別水頭変化

出典：新藤静夫(1970):被圧地下水の補給機構に関する研究、東洋大学工学部研究報告 No.6

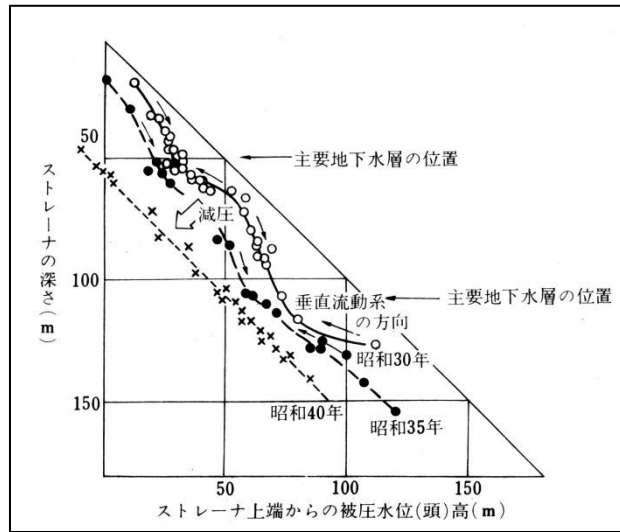


図 13 被圧地下水の深度による水圧変化

出典：T.S(1976):○○○○○○○○○、○○書館 (年代が左の原図と異なっている！)

ところで図12は地下水流動の1次元的な表現であるが、T.S氏らはこれを発展させて水理水頭断面図として2次元的に“見事”に表現し、その著書や講演等でこれを発信している。この業績は評価できるものであるが、他方その2次元図を画く際には数多くのデータの取捨選択があることを忘れてはならない。またこの断面図の縦横比が40倍というように大きく、かつ使用したデータが限られているので細部に関しては評価できず、場合によってはそのために錯覚や誤解すら与える危険性もある。

c) 南関東地方の地下水履歴

筆者はこのように選ばれたデータだけではなく、過去の井戸データを可能な限り多数収集して図14の地下水復元図^{脚注1)}を作成し、次いでデータが豊富に得られるようになった戦後の高度経済成長期から地盤沈下最盛期に至る年代別の南関東地方の詳細な地下水水面図(図15①②③)^{脚注2)}を作成した。

これらの図によると、東京都北部の荒川沿いから埼玉県南部の川口市にかけての地域は、かつては自噴帯になっており、1920年代までは東京都心部とは別の地下水盆をなしていたことが分かる^{脚注3)}。また地下水位の低下は最初、江東地区を中心とする地域にみられ、つぎにその周辺にひろがり、さらに続いてその周辺というように、いわば蚕食するかたちで地下水位低下域が四方に拡がって行った様子も示されている。その広がり都市域の拡大、つまり地下水利用域の拡大と軌を一にしており、またそれらは地盤沈下域の拡大とも一致している。つまりこの地域の地下水利用は多くは“更新し難い涸渴性の地下水”を食いつぶしつつ、周辺地域に拡大していったということが出来る。その過程はT.S氏等が画いているような単純なものでは決してない。

脚注 1：この図や、次の図 15 を作成する際には膨大な数の鑿井記録を用いたが、その大半は以前の筆者の勤務先だった日本鑿泉探鉱株式会社のご好意により提供されたものである。なおこの図については故和達清夫先生から大変なお褒めの言葉を頂いた。

脚注 2：これらの図に加えて 1960 年、1965 年のものを作成し、土質工学会誌「土と基礎」に公表した。

脚注 3：この地域の自噴井に関してはこのシリーズの「1 2. 地下水研究 50 年史—武蔵野台地の地下水(4)—」に詳しいのでぜひご覧いただきたい。

なお図15にある着色部分は地下水面の位置が海拔0m以下にある範囲を示したものである。

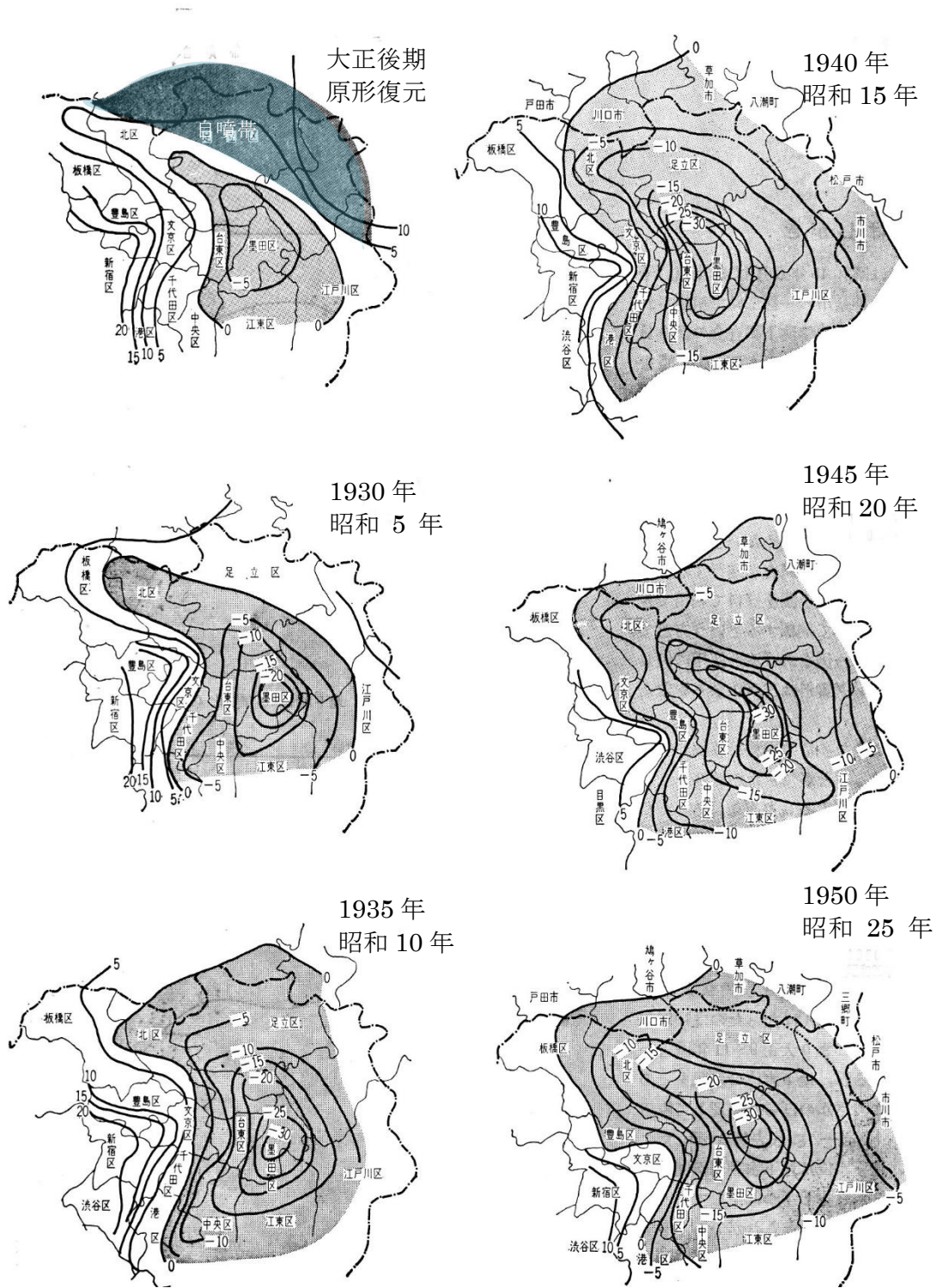


図14 南関東地方の地下水面の経年変化

(出典：新藤静夫(1871)南関東地域地盤沈下調査会 南関東地域広域地盤沈下調査報告書)

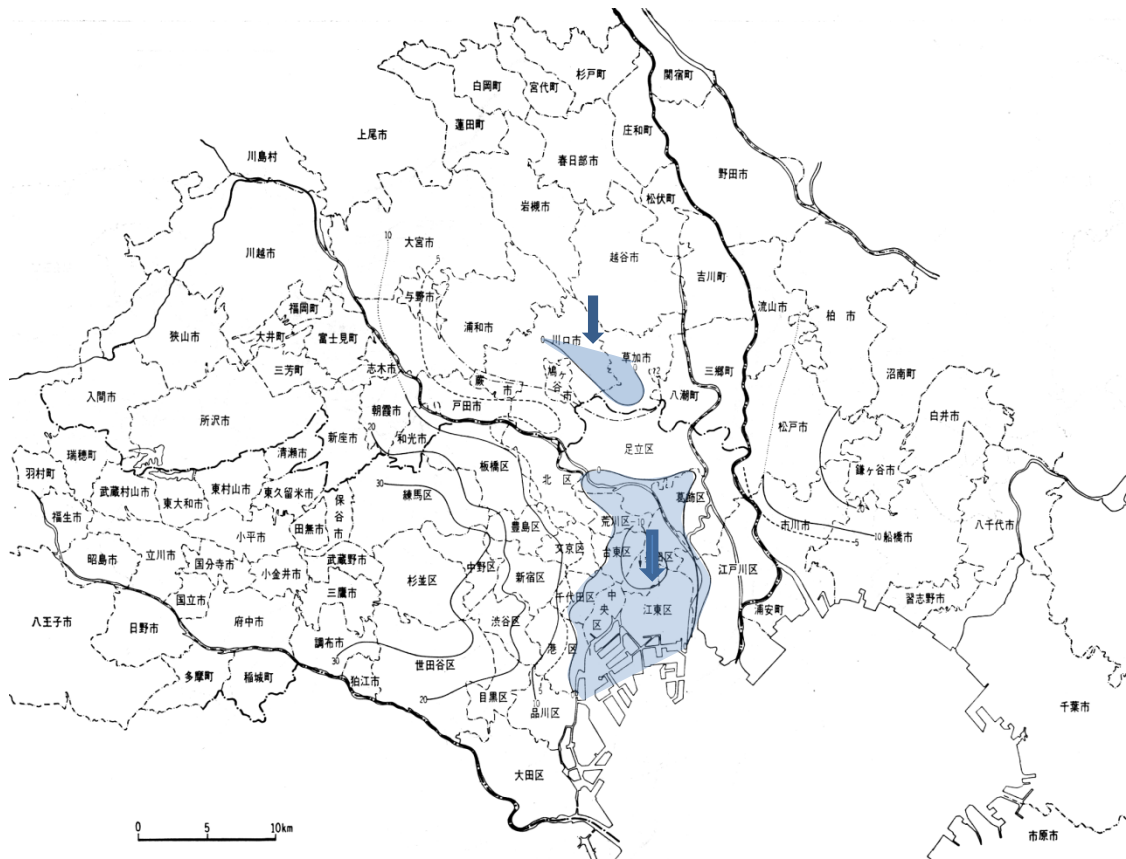


図 15 ① 南関東地方の 1920 年前後の地下水面
(出典：新藤静夫(1972):土と基礎、20-5 土質工学会)

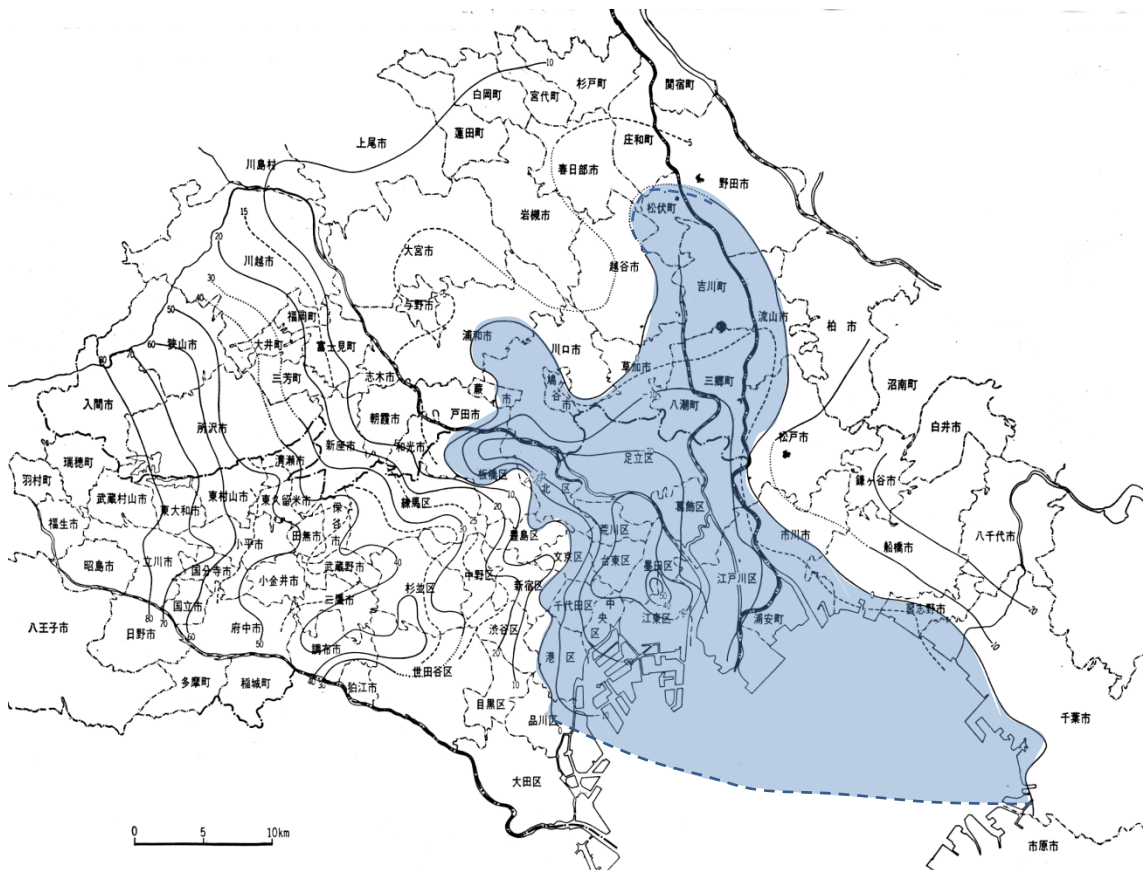


図 15 ② 南関東地方の 1955 年の地下水面
(出典：新藤静夫(1972):土と基礎、20-5 土質工学会)

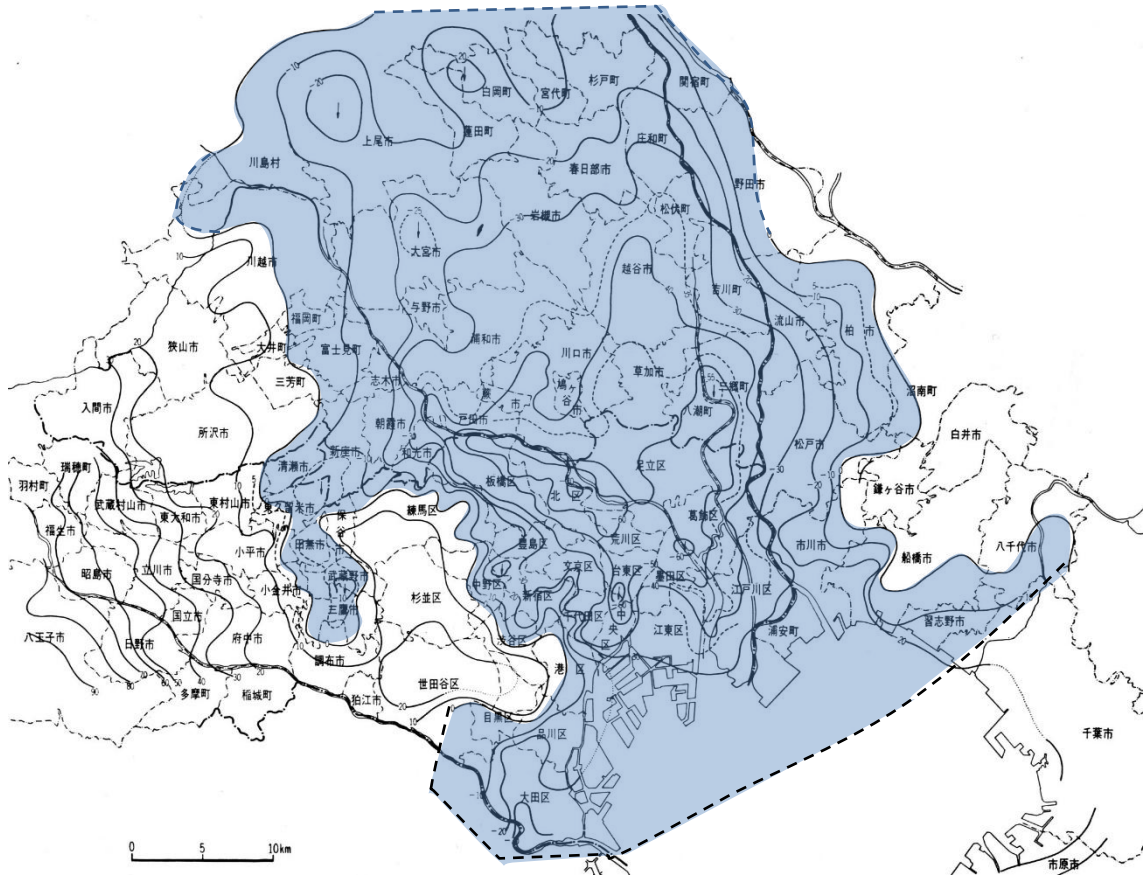


図15 ③ 南関東地方の1969年の地下水面図
(出典：新藤静夫(1972):土と基礎、20-5 土質工学会)

図16は各期の地下水面図にもとづいて画いた東京都心部を中心とした東西方向の地下水断面で、上述のように蚕食状に地下水位低下域が広がってゆく様子が示されている。すなわち水位低下は都心部でいち早く進行し、その後昭和30年～35年ごろにいたって周辺地域に向かって広がっていった様子が読み取れる。この頃は周辺地域の各自治体の水道事業、新興住宅団地の専用水道、さらには工業用水としての地下水開発が盛んに行われるようになった時期にあたる。また図17は昭和45年次の地下水揚水量の分布を示したもので、武蔵野地域や埼玉県南部での地下水揚水量が著しい。また埼玉県側では東上線、高崎線、東武伊勢崎線沿線部での地下水利用が大きい点が注目される。

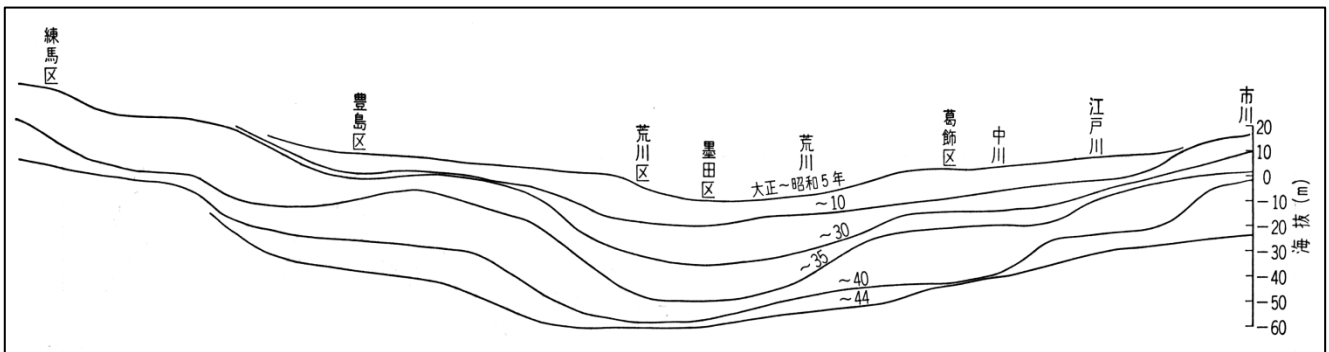


図16 地下水面断面図
(出典：新藤静夫(1972):土と基礎、20-5 土質工学会)

次いで図18は図17ととともにすでにこのシリーズで以前取りあげたもので、同時期における水位低下量の分布を示したものである。この時期は地下水の揚水規制が進んで、都心部での揚水量は減少し、水位低下が終息から回復に向かってのに対して武蔵野地域や埼玉県中央～北部の周辺部ではなお低下を続けているのが指摘される。

これらの情報は地下水の多くが、涸渇性のもの、すなわち堆積盆地内に貯留されていたもので有限な地下資源と同列に考えるべきものであることを示している。しかし以前にこのシリーズで紹介した様に、漏水(Leakage)という現象を通して他

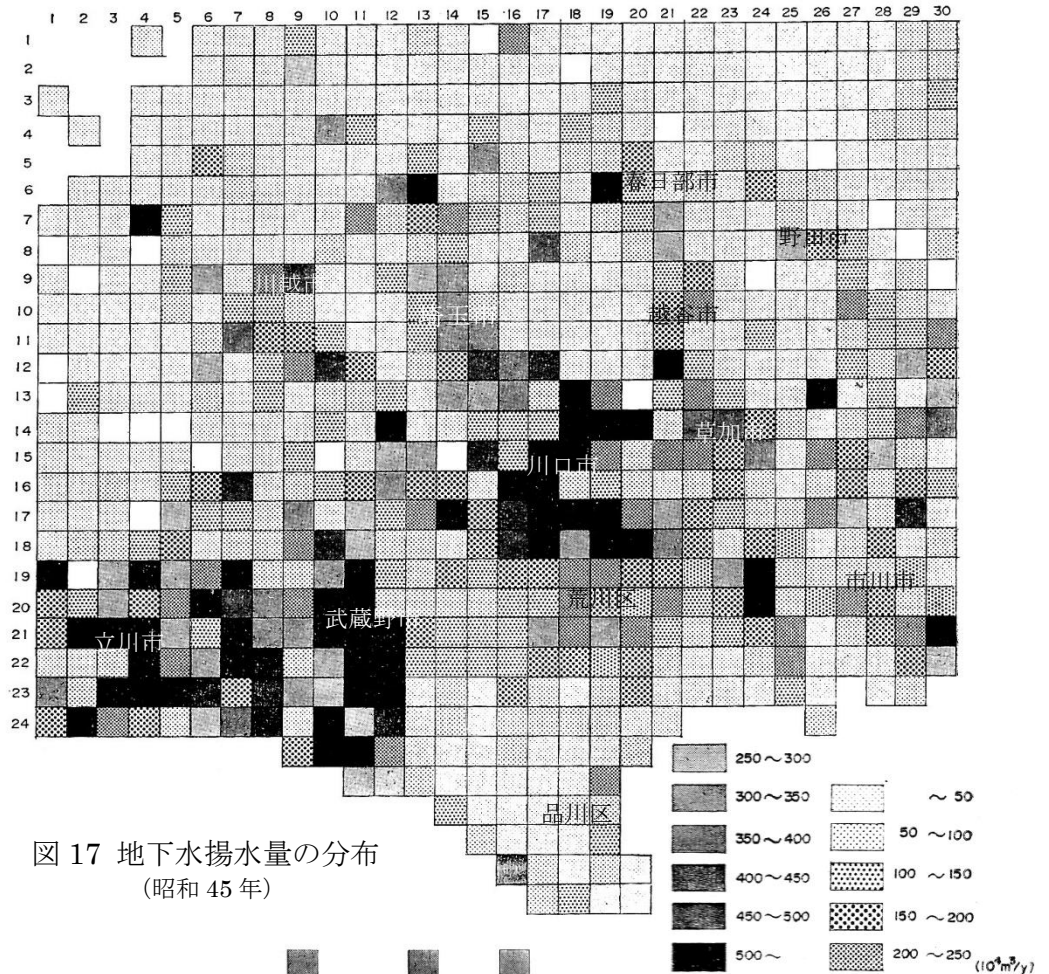


図17 地下水揚水量の分布 (昭和45年)

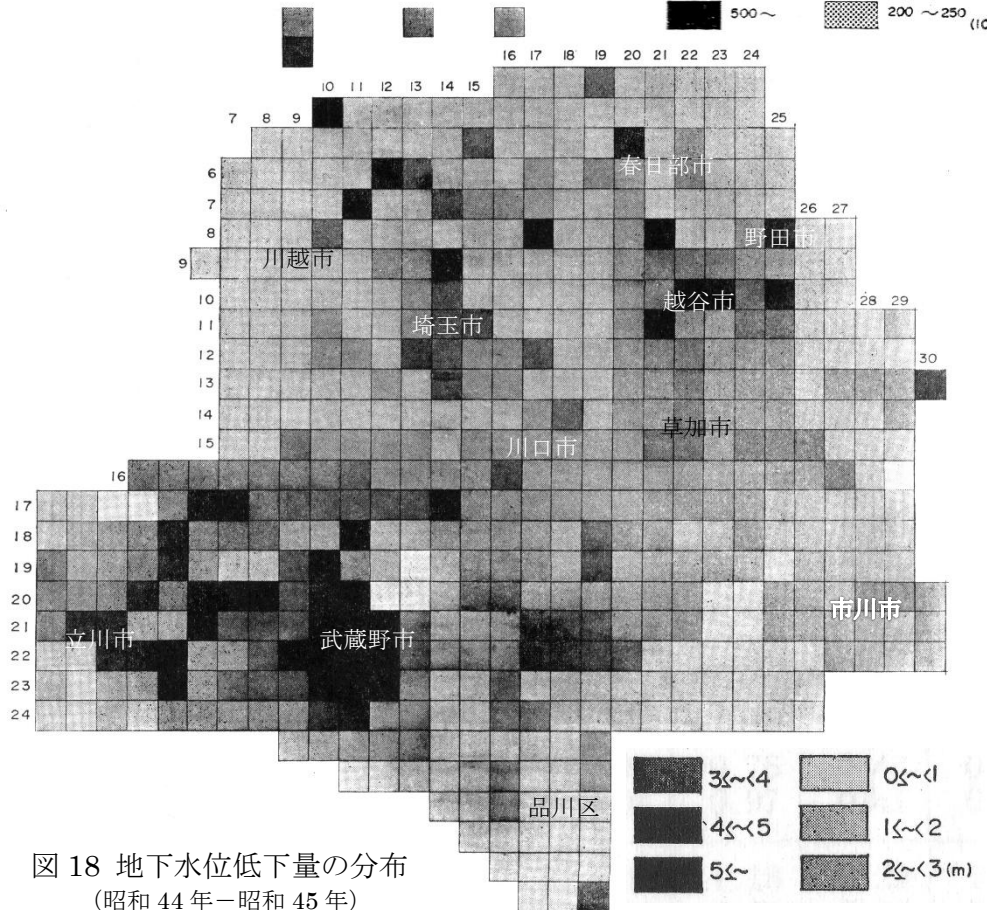


図18 地下水位低下量の分布 (昭和44年-昭和45年)

の水体、例えば浅層部の地下水や地表水、またより深層部の地下水からの補給もあり、揚水量のすべてを開発の対象としている帯水層の貯留水だけに頼っている訳ではないことに注目する必要がある。

図19^{脚注1)}はそのプロセスを概念的に示したもので、地下水開発の初期では地下水盆の貯留水がこれを賄い、次いで隣接する粘性土層の地下水が“絞り出し現象”としてこれに加わり、圧密沈下につながるようになる。この過程で排出される地下水は図のように、“更新し難い涸渇性の地下水”ということになる。一方漏水、つまり誘発涵養は開発の当初から存在するが、時間経過を経て周辺の

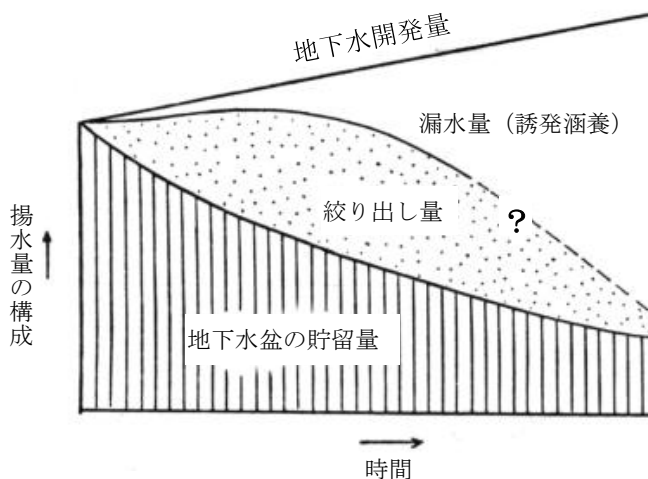


図 19 地下水開発と共に変容する揚水量の構成
 水体とのポテンシャル差の拡大と共に増大する。しかしその量は無限という訳ではない^{脚注2)}。ここで強調しておきたいのは、地下水盆における地下水産出の機構は地下水開発の過程によって、またその位置（地域）によって異なるということである。このことについて以下に考察する。

d) 南関東地下水盆の粘性土層

今は亡き村下敏夫氏はかつて、濃尾平野の自噴帯を“荷重型自噴帯”と“落差型自噴帯”に区分して論じたことがある^{脚注3)}。氏によると、『荷重型は粘土・シルトなどの難帯水層と砂礫との累層であり、地下水の涵養帯までの距離が遠く、涵養水源がきわめて貧弱な水体であって、揚水によって排出される貯留水は、動水勾配の増加によって補給される地下水量よりもはるかに多いという特性を持っている。』と述べ、また『落差型は帯水層が透水性に富む砂礫層からなり、表流水・湖沼水などの地表水体と密接な水文的關係にあつて、揚水によって排出される水は、地下水貯留量よりも地表水体からの誘導浸透量の方がはるかに多いという特性をもっている。』また、『現存する南北2つの自噴帯のうち、大垣市を中心とする北部の自噴帯は、揖斐川およびその右岸支川によって形成された扇状地の末端に存在し、帯水層の地質的因子・地下水涵養などの水文的因子が落差型の諸条件を充たしている。』（以下略）としている。

この指摘は極めて重要で、南関東地下水盆の地下水動態を考える際にも考慮のうちに入れておくべきものといえる。すなわちかつての地盤沈下中心地帯における1960年代以降の地下水揚水規制後、地下水位が殆ど同時期に一齐に回復に向かい、また沈下もほぼ同時期に終息に向かったという事実は、この地域の地下水が村下のいう荷重型に相当していることを示している。

脚注 1：本図はこのシリーズの「1 1. 地下水研究 50 年史—武蔵野台地の地下水（3）—」に掲載されたものである。

脚注 2：誘発涵養に関しては、「1 3. 地下水研究 50 年史—武蔵野台地の地下水（5）—」で述べた。

脚注 3：村下敏夫他(1953):濃尾平野工業用水源地域調査報告地質調査月報, Vol.6,no.7, pp 371-394.

ここで村下の考え方を間接的にサポートする資料として筆者が行った作業を以下に紹介する。なおこの作業は出来るだけ多数の深井戸資料にもととし、個々の資料の記載の偏りを防いでいる。

ここでは南関東地方を図20のように1/25,000地形図をもととし、各々を16分割した合計111のブロックに分け、それぞれに存在する深井戸資料を表1に示す項目ごとにコード化する作業からスタートした。なお図中の1. 2. …は作業の個人差を避けるためのマニュアル番号である。ここで地質構成について述べれば、例えば“砂混じり粘土”とあるのは粘性土として一括し、また“〇〇互層”とあるのは、それぞれ半分に分ける、といったように処理してある。なお情報が不十分なブロックは偏りを避けるため空白としている。

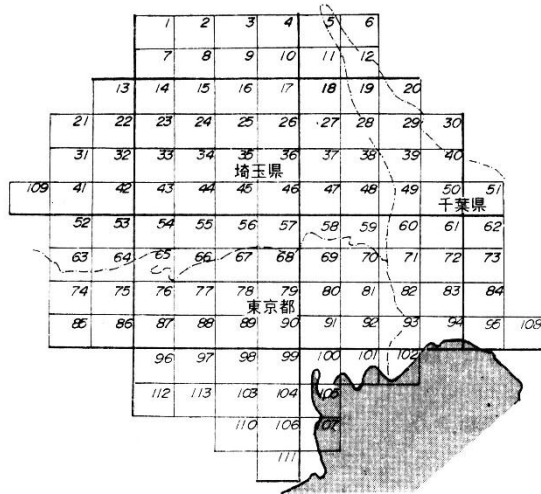


図 20 南関東地下水盆のブロック区分

〔出典：新藤静夫(1871) 南関東地域地盤沈下調査会、南関東地域広域地盤沈下調査報告書〕

表 1 深井戸資料のコード化

1 種別	2 地区	3 ブロック	4 施工年	5 口径	6 深 度	7 ストレーナー		8 施工時水位		9 施工時揚水量	10 年 度	11 現 在 水 位		12 現 在 揚 水 量	13 地 質	
						14 上 限	15 下 限	16 自 然	17 揚 水			18 自 然	19 揚 水		20 0~50	
															21 cl	22 s
1.	2.	3.	4.	5.	6.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.		

23 地 質 構 成															24 地 形	25 標 高	26 名 称							
27 50 ~ 100					28 100 ~ 150					29 150 ~ 200								30 200 ~ 250					31 250 ~ 300	
32 gt	33 cl	34 s	35 gr	36 cl	37 s	38 gr	39 cl	40 s	41 gr	42 cl	43 s	44 gr	45 cl	46 s	47 gr	48	49	50						
20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	9.	10.							

注：帯水層の利用状態は、たとえばストレーナーの上限が65mにあり、下限が180mにある場合には、その間にもストレーナーがセットされているものとして、採水層の位置は50m~100m、100m~150m、150m~200mの各区間に一つずつ数えるものとする。

この表によって地質構成をはじめ、用途、利用帯水層、揚水量、水位変動、比湧出量などの空間分布、経年変化、各項目間の関係などを処理することが可能となる。

一例として図21に以上の作業にもとづいて作成された粘性土含有率の分布を示しておく。これによると、各深度区分ごとに分布の傾向が異なっているのが指摘される。たとえば粘性土層は50m以浅では中央部で多く占め、150m以深では北部～北西部が目立つ。また50m以浅の分布がこの地域の地盤沈下の傾向とほぼ一致していることから沈下要因にはこの部分の粘性土層の存在が大きく関係していることが推察される。さらに150～200mにみられる粘性土層の多い地域は埼玉県側にみられる局地的な沈下の中心と一致していて注目される。

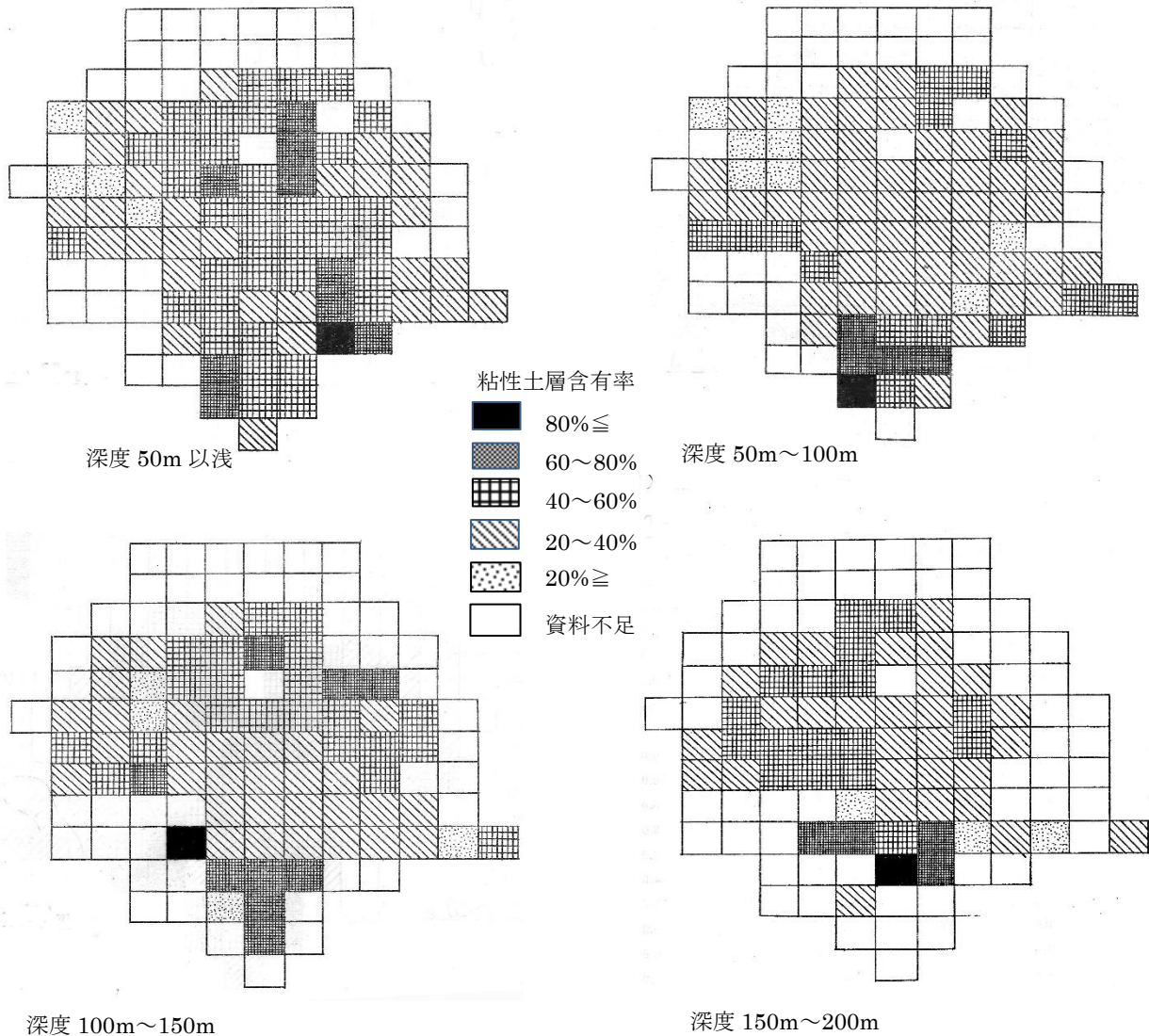


図 21 粘性土含有率の分布

以上の傾向は南関東地下水盆でも濃尾平野における村下の見解が当てはまる可能性があることを示している。すなわち地下水盆における地下水流動の駆動力には落差型と荷重型があるという考えを支持しており、南関東の地盤沈下のプロセスを考える際にもこれを考慮のうちにに入れておくべき視点といえる。そこでまず表2のようにブロック別の平均揚水量を平均沈下量で除した値 (S/Q) を求めてみた。これによるとその値が大きいところでは10以上、つまり揚水量は沈下量の10倍以上を示し、小さいところでは2程度となっている。また平均は5~6といったところである。ここで比率の大きいところと小さいところの地理的分布には、それぞれに共通の原因が関係しているように思われる。例えば江東、浦安地域のように極端に小さいところは地下水の揚水以外の要因、つまり天然ガスの採取によるものが大きなウェイト占めているものと推察される。これに対して地下水の補給が多く行われて

表2 ブロック別平均沈下量と平均揚水量

ブロック	平均沈下量 m ³ /y	平均揚水量 m ³ /y	比率
37	1,534,000		
38	1,255,719	2,667,663	2.1
45	1,710,150	13,906,682	8.1
46	1,265,604	17,895,402	14.1
47	1,207,375	12,890,218	10.7
48	1,160,792	5,339,828	4.6
49	621,833	2,418,733	3.9
56	2,188,063	15,666,834	7.2
57	2,232,750	28,426,625	12.7
58	1,710,854	18,720,600	10.9
59	1,769,083	8,690,103	4.9
60	1,103,375	3,814,189	3.5
67	2,026,917	16,017,720	7.9
68	1,556,474	37,199,522	23.9
69	1,476,583	17,364,205	11.8
70	2,006,875	14,169,969	7.1
71	902,688	7,921,352	8.8
79	836,333	27,494,537	32.9
80	387,563	22,048,190	56.88
81	1,222,000	18,497,409	15.1
82	496,438	11,647,210	23.5
83	1,125,313	9,690,203	8.6
91	196,625		
92	1,446,250	7,485,724	5.2
93	1,454,375	10,223,528	7.0
94	2,213,250	8,722,648	3.9
95	2,260,375	7,843,303	3.5
100	112,521		
101	2,776,313	5,187,502	1.9
102	2,891,146	3,606,078	1.2

いるようなところや、地盤沈下が終息に近づいているようなところでは、Q/S値は安定していることが予想される。このことは図22に示した揚水量とQ/S値の関係や、図23に示したQ/S値の年変化から類推される。すなわち全体として揚水量の大きいところほど誘発的な涵養が行われていてQ/S値が大きくなるが、時間の経過とともに水位低下地域が拡大して地下水の供給が減退し、その値は安定から減少に向かう傾向を示す。

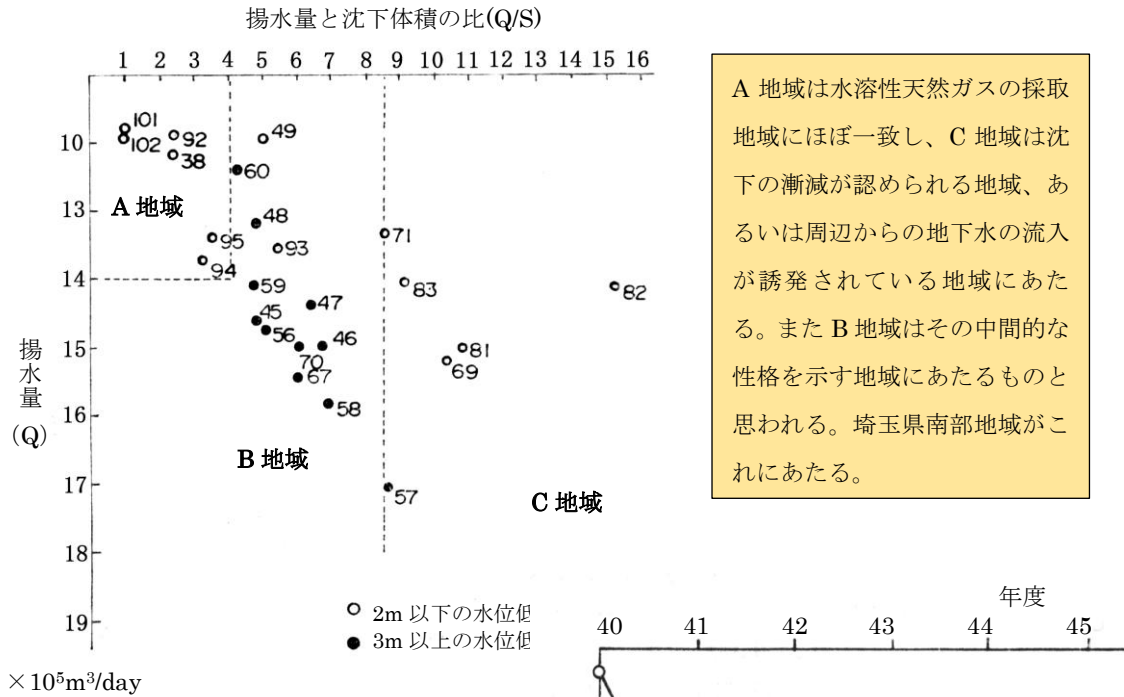


図 22 Q-Q/S の関係

e) 揚水量と沈下体積の相関

次ページの表 3 (年度別ブロック揚水量) と表 4 (年度別ブロック沈下体積) によって、ある年度の沈下体積と、これに対する当年、1 年前、2 年前、…の各年度の揚水量を図示し、各々の場合について両者の相関度を調べてみると当年の場合がも

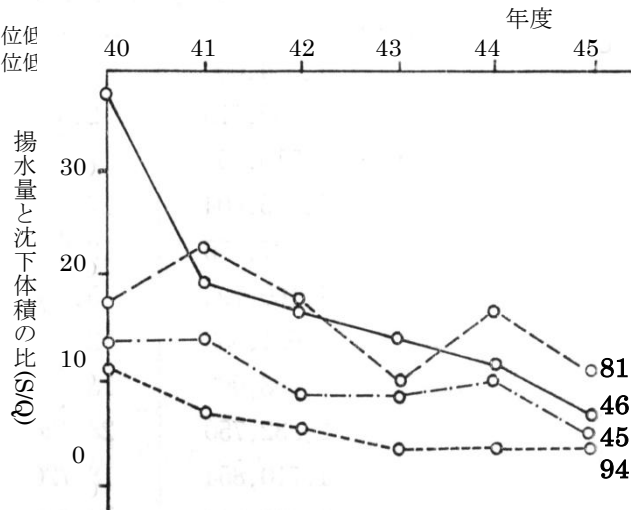


図 23 Q/S 値の経年変化例

っとも大きく、以下年度を遡るにしたがって漸減するのが示される。たとえば図 24 の場合には相関係数は当年が 0.64、1 年前が 0.62、以下 0.60、0.58 となっている^{脚注 1)}。年度による揚水量の変化がかなり顕著になっている地域で、しかも収縮量が限定されている例、たとえば江戸川観測井 (深度 55m) の記録^{脚注 2)}と江東・江戸川区地区の揚水量の記録によって同様の手続きをおこなってみると当年では 0.93、1 年前では 0.80、以下 0.15、0.13 とかなり顕著な相関の低減が認められる。この例では沈下に対する揚水の影響は大きく 2 年前までで、それ以前の揚水による影響度は急激に減退するものと判断される。

脚注 1: 資料の粗密の問題もあり、絶対値より年度間の相対的な関係に意味を有す解すべきである。

脚注 2: この場合は沈下体積ではなく、年間収縮量を用いている。

表 3 年度別ブロック揚水量

(m³/year)

年度 ブロック	39	40	41	42	43	44
38	1,365,100	1,873,910	2,238,545	2,876,565	3,354,715	4,297,145
45	14,025,490	13,057,875	14,607,300	14,805,495	13,942,270	13,001,665
46	19,128,920	18,758,080	19,125,270	20,549,865	15,422,710	14,387,570
47	12,047,190	13,325,785	12,608,925	15,362,120	11,743,875	12,254,875
48	3,241,930	4,009,160	4,445,335	5,861,170	6,640,080	7,841,295
49	1,613,300	1,960,415	2,244,020	2,671,070	2,748,815	3,274,780
56	15,796,835	15,465,780	18,262,775	16,794,015	14,111,265	13,570,335
57	29,357,315	32,039,700	31,330,140	33,085,425	22,544,955	22,202,220
58	18,841,665	19,663,280	18,521,560	20,837,120	16,837,450	17,514,525
59	6,908,610	7,507,320	7,899,330	8,915,125	9,738,565	11,179,665
60	2,681,655	3,019,280	3,537,580	4,232,540	4,358,100	5,055,980
67	16,584,870	17,545,185	15,284,010	14,841,995	15,831,875	16,018,390
68	44,387,650	42,275,760	38,324,270	85,437,850	31,346,200	31,425,405
69	22,025,560	19,548,305	18,434,690	15,717,995	13,146,935	15,311,750
70	14,224,780	16,157,090	15,709,600	12,385,910	12,140,630	14,401,805
71	7,564,625	7,819,030	7,997,515	7,735,080	7,954,080	8,457,085
79	29,610,625	30,495,750	27,105,630	26,259,560	25,824,845	25,670,815
80	31,404,235	26,980,070	22,207,695	18,291,610	16,268,050	17,137,480
81	24,847,010	22,989,160	18,567,550	15,208,090	14,798,560	14,574,085
82	13,349,145	11,506,625	11,573,785	11,134,325	11,162,065	11,157,320
83	8,004,085	8,976,810	9,590,375	10,009,760	10,560,545	10,999,640
92	16,785,255	11,319,380	4,946,480	4,615,060	4,115,375	3,132,795
93	14,673,730	9,042,145	9,365,170	9,626,875	9,407,145	9,226,105
94	7,283,940	8,082,195	8,650,500	9,005,645	9,455,325	9,858,285
95	6,837,910	7,262,405	7,744,205	8,084,385	8,436,610	8,694,300
101	11,024,925	7,312,410	3,983,610	3,332,450	2,801,740	2,669,975
102	5,349,075	3,183,165	3,274,780	3,364,205	3,272,225	3,193,020

表 4 年度別ブロック沈下体積

(m³/year)

年度 ブロック	39	40	41	42	43	44
38		862,875		1,374,750	1,007,500	1,777,750
45		983,125	1,768,000	1,755,000	1,389,375	2,655,250
46	510,250	962,000	1,122,875	1,530,750	1,330,875	2,136,875
47			404,625	1,421,875	1,083,875	1,919,125
48	575,250	741,000	1,231,750	1,766,375	1,018,875	1,631,500
49				901,875	312,000	651,625
56	1,698,125	1,709,500	3,108,625	2,357,875	1,514,500	2,739,760
57	1,810,250	2,231,125	2,523,625	2,357,875	1,881,750	2,591,875
58	1,056,250	1,080,625	1,537,250	2,187,250	1,863,875	2,539,875
59	1,551,875	1,144,000	1,927,250	2,089,750	1,503,125	2,398,500
60				1,248,000	887,250	1,174,875
67	1,784,250	1,979,250	1,909,375	2,138,500	1,686,750	2,668,375
68	1,790,750	1,711,125	1,498,250	1,456,000	1,194,375	1,688,375
69	2,228,000	1,350,375	1,568,125	1,551,875	887,250	1,473,875
70	2,179,125	1,664,000	1,841,125	2,180,750	1,805,375	2,370,875
71			952,250	1,054,625	624,000	979,875
79			593,125	910,000		1,005,875
80			216,125	651,625	34,125	648,375
81	1,408,875	1,010,750	1,088,750	1,595,750	880,750	1,347,125
82	277,875	219,375	432,250	919,750	393,250	736,125
83					1,054,625	1,196,000
92	1,589,250	1,113,125	1,425,125	2,156,375	1,135,875	1,257,750
93	1,380,875	1,321,125	1,095,250	1,924,000	1,391,000	1,664,000
94	1,264,375	1,343,875	1,768,000	3,006,250	2,799,875	3,097,250
95				1,774,500	2,518,750	2,487,875
101	2,478,125	2,725,125	2,895,750	3,545,750	2,414,750	2,598,375
102	1,563,250	2,910,375	2,808,000	3,271,125	3,636,750	3,157,375

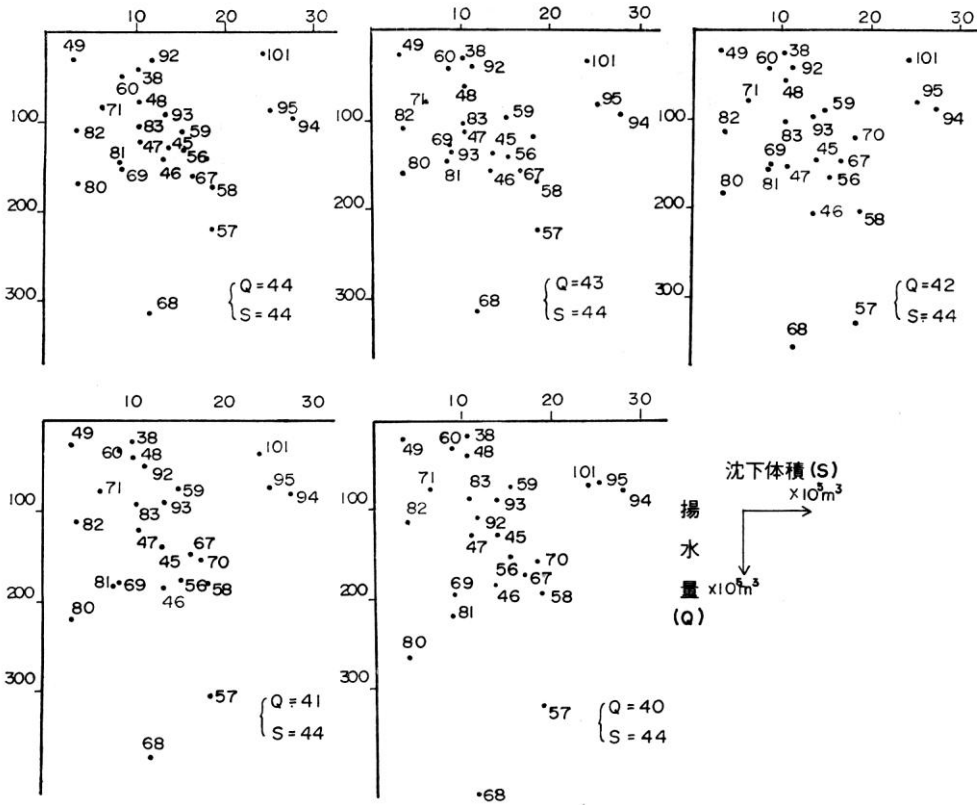


図 24 沈下体積に対する揚水量の関係

さて以上に述べてきた結果からつぎの仮説をたてる。すなわち、

- ① 揚水による沈下体積の割合は地域によって差があるものの、一つの地域ではそれはほぼ一定の値を示す。
- ② 或る年度に行われる揚水による沈下量は上述の関係から求めることができる。この沈下量はその年度で大部分が消化されるが、残りは次年度以降に持ち越される。その比率にも地域性が認められるが、上述のような資料が得られない場合には試行的に決めるより他はない。その値は沈下量の記録によって補正され、固定される^{脚注)}。
- ③ 次年度の揚水による沈下量は前年度の残留分に上積みされ、それがその年の沈下量になる。以下同様の過程が繰り返される。

以上の仮説のもとに沈下量の簡易予測法について述べてみよう。

- ① 一定期間の平均沈下体積と揚水量の比 (Q/S) を求める。この値の中には地下水の産出機構に関する要因、つまり揚水に伴う補給の状態や揚水に対する地盤の応答の大きさなどが含まれており、前に述べたように地域によって様ざまな値を示す。なおこの場合、 Q/S 値は年度、揚水量によって変化すると考えられるが、短期間の予測の場合には一定と仮定しても大差はない。
- ② つぎに上記によって求めた沈下体積の年度ごとの配分率をきめる。この数値の中には地下水の補給の外に地盤の揚水に対する応答の速さにかかわる要因が含ま

脚注：一回決めておけば、その比率はほとんど変更しなくてもよい。

れているものとみられる。一定年度の沈下体積と当年、1年前、2年前、3年前…の揚水量との相関度からこの配分率を推定することも考えられるが、つぎのような方法も可能である。

まず実績図に基づいて年度-沈下体積のグラフを画く。沈下の初期の段階では前からの沈下の残留量は殆ど無視できるものとして、 Q/S 値と揚水量から求めた計算上の沈下体積と実際の沈下体積の差をとると、これが次年度以降に繰り越される残留沈下になる。次に第2年度の沈下体積から上記の結果により推定されるその年の揚水による沈下体積分を差し引く。残余は前年度の残留沈下とみなすことができる。つまりこれによって第1年度から第2年度へ如何ほどの沈下が残留するかがわかる。

- ③ さらに次の年度の沈下体積からその年の揚水による沈下体積と、上に求めた第1年度と第2年度の残留沈下率から計算した第2年度の沈下が第3年度に繰り越される残留分を共に差し引けば、残りは第1年度から第3年度に繰り越された残留沈下量とみることが出来る。なお初年度の沈下率は、のちに試行的計算を繰り返した上で固定される。図25に以上の手続きを图示する。

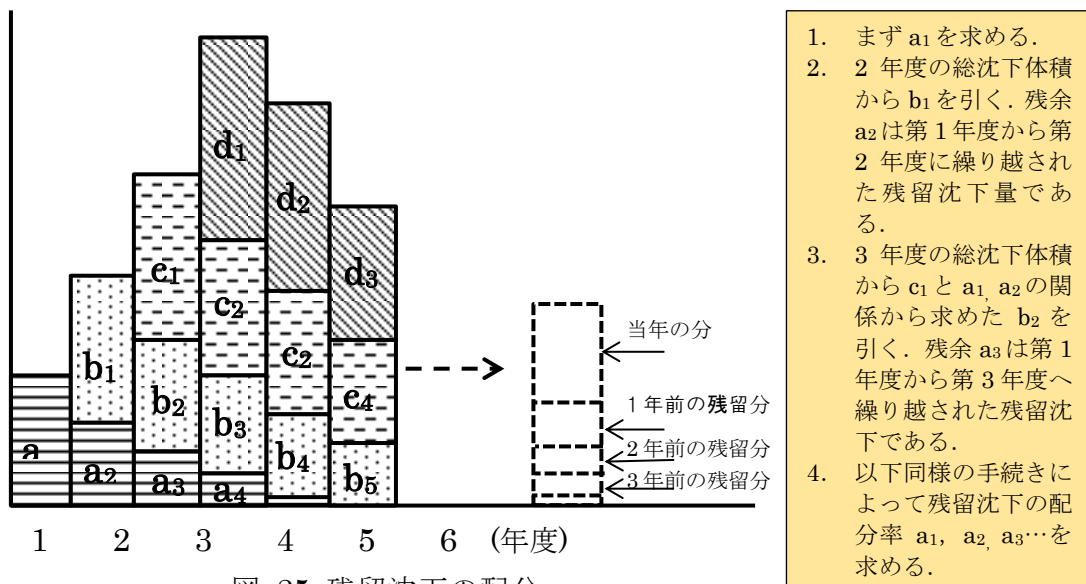


図 25 残留沈下の配分

ここで実例として図26に川口市と大宮市の計算例を示す。なお計画揚水量は表5（一部抜粋）によった。まず Q/S については表2から川口市では8~10、大宮市では12~14と推定されるのでこれを採用した。次に残留沈下の配分率は上記の比率によって求めた沈下体積を1とした場合、両市とも当年が0.5、1年後が0.3、2年後が0.15、3年後が0.05が適当であると判断された。図には水準点の記録も併示してあるが、比較的良好に現状を再現しているとみてよい。

言うまでもなく、ここに述べ方法にはいろいろ問題もある。理論的な根拠も薄い。しかしすべてのデータが揃わなければ答が出せないというのも困る。現実には早急な回答を求めていることが多いからである。ここに述べたものは自然を相手にした巨大な実験を基としたいわばブラックボックス的手法と言える。

表 5 基準年に対する計画揚水量 (比率) 一部抜粋

		44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
清東久留米	瀬米			0.88	0.93	0.99	1.02	0.91	0.70	0.53	0.36	0.20	0.09
				0.88	1.46	1.48	1.56	1.37	1.12	0.81	0.65	0.49	0.39
川戸鳩蔵油与大	口田谷和野宮			0.84	*0.79	*0.74	*0.69	*0.64	0.36	0.10	0.05	0.02	0.01
				0.93	*0.84	*0.75	*0.65	0.56	0.32	0.22	0.21	0.15	0.15
				0.80	*0.78	*0.75	*0.73	0.70	0.41	0.29	0.25	0.25	0.25
				*0.87	*0.96	*1.06	*1.15	*1.24	1.10	0.68	0.64	0.59	0.52
				1.03	*1.05	*1.08	*1.10	1.12	0.75	0.50	0.47	0.45	0.42
				0.93	*0.88	*0.84	*0.79	0.74	0.50	0.33	0.31	0.30	0.28
草八三越松岩春吉庄	加潮郷谷伏槻部川和			*1.11	*1.04	*0.97	*0.90	0.83	0.51	0.21	0.22	0.22	0.23
				1.12	*1.07	*1.01	*0.96	0.90	0.51	0.13	0.14	0.14	0.15
				1.24	*1.16	*1.08	0.92	0.57	0.27	0.26	0.27	0.27	0.29
				1.14	*1.16	*1.06	*1.01	0.97	0.64	0.35	0.34	0.34	0.34
				1.20	*1.14	*1.09	*1.03	0.97	0.64	0.35	0.34	0.34	0.34
				1.15	*1.12	*1.06	*1.05	1.02	0.65	0.35	0.34	0.33	0.34
				1.18	*1.15	*1.12	*1.09	1.06	0.70	0.38	0.35	0.35	0.35
				1.06	*1.04	*1.01	*0.99	0.96	0.70	0.38	0.35	0.35	0.35
				1.36	*1.29	*1.22	*1.14	1.06	0.70	0.38	0.35	0.35	0.35
			基準年	1.09	*1.00	*0.92	*0.84	0.76	0.68	0.60	0.52	0.44	0.36
川所狭入朝	越沢山間霞	0.72	*1.32	*1.22	*1.14	1.06	0.70	0.38	0.35	0.35	0.35	0.35	

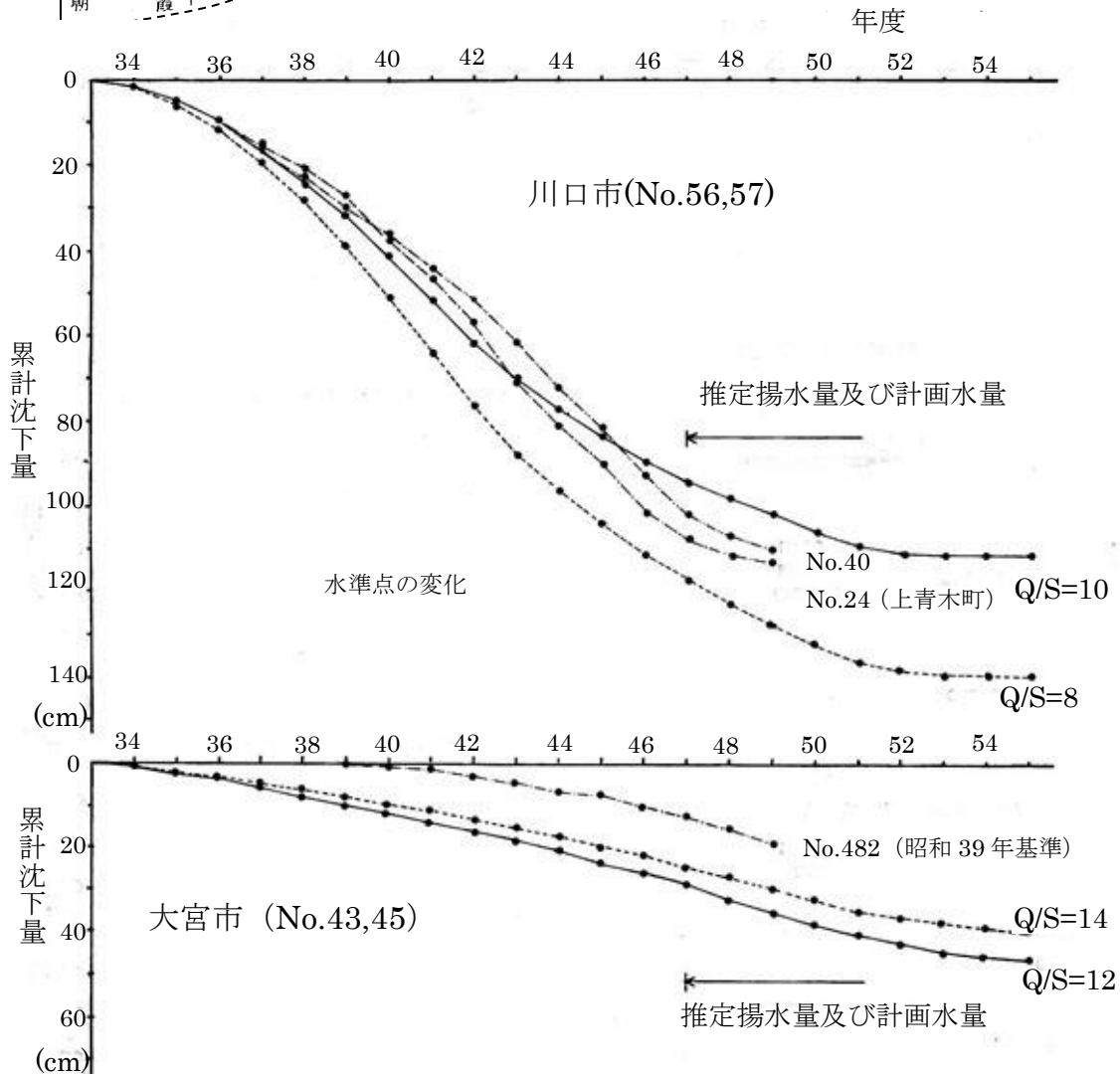


図 26 沈下量の推定^{脚注)}

脚注：大宮市の場合、水準点の記録開始の時点が計算開始時点と異なるので見掛け上ずれている。