

足柄平野下流部の地下水について —足柄平野の地下水(その5)—

横山尚秀, 荻野喜作, 平野富雄, 小沢清

神奈川県温泉地学研究所*

Groundwater in Coastal Aquifer of Ashigara Plain

(Groundwater of Ashigara Plain, Part 5)

by

Takahide YOKOYAMA, Kisaku OGINO, Tomio HIRANO and Kiyoshi OZAWA

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

Confined groundwater in the coastal aquifer of the Ashigara plain is considerably utilized for industrial and municipal water supply. In these 20 years, 78 wells were drilled. Amount of pumped water in this area is now estimated more than 50,000m³/day.

The Ashigara plain is hydrologically divided into upper part and lower part by the presence of a steep gradient zone in contour map of groundwater head. The former is characterized by artesian wells.

Significant depression due to overdischarge is known in the Koyawata-Takada area resulted with salinization of groundwater recently recognized. Upconing of salt water is detected by enrichment of chlorine content. Maximum content of chlorine is 113 ppm.

Considering reasonable level of groundwater head and salinity of this area, groundwater head of the coastal aquifer should be kept more than 2m higher above sea level to prevent salt water intrusion. Digital computer simulation of confined groundwater system by single aquifer model is made to estimate a rate of safe pumping. Pumping rate of this area for safe yield should be reduced down to 60 percent of present amount.

はじめに

足柄平野は東側を大磯丘陵, 西側を箱根火山に境され南側を相模湾に面している。調査地域は足柄平野の下流部で, 図1に示すように, 下曽我-桑原-富水を結ぶ線から下流側に広がる沖積平野である(写真2)。

この地域では, 昭和20年代末から進められた県西部工業振興策による工場誘致が行われた(神奈川県, 1955)。そして, これまで小規模工場や家庭で利用されていた地下水は, 工場立地条件として重要な役割を担うようになった。

ところが, 調査地域の地下水調査は, 井戸掘さくが盛んであった昭和30年代後半から40年代初めにかけて行われたものがあるが(高橋他 1961, 小川他 1962, 鈴木

* 神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉地学研究所報告 第12巻, 第2号,
63-74, 1980

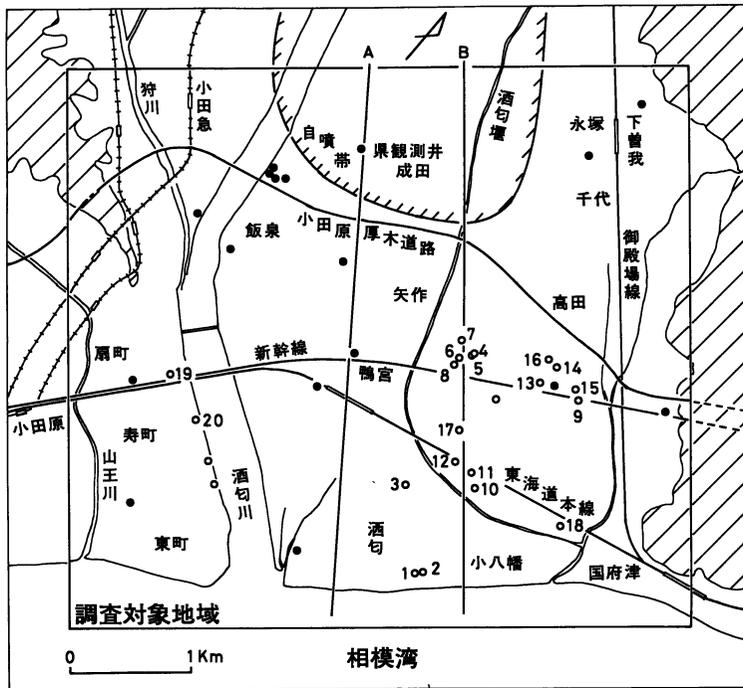


図1 調査地域 図中白丸は採水地点，黒丸は水源井，A，Bは断面線を表わす

他 1962, 神奈川県 1965, 小川他 1965, 日本技術開発株式会社 1966), その後昭和50年代に入るまで10年間ほとんど行われなかった。

この間、井戸数や揚水量の著しい増加があったにもかかわらず、地下水がどのような変化をたどったかについて調査されることはなかった。このギャップを埋めるために、昭和54年に地下水利用の現況を調査し、測水調査を行った。この地域は海岸地域のため、水頭の低下によって地下水の塩水化が心配されるので水質調査も併せて行った。

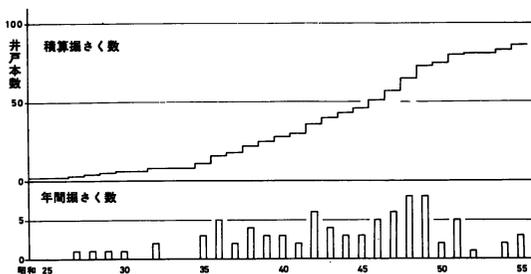


図2 深井戸掘さく状況

調査地域の地形と地質

地形 大磯丘陵はその西側が断層崖で終り、足柄平野と接している。丘陵の際には永塚—千代—高田とつづく微高地が連なっている。

酒匂川左岸地域には鴨宮面と呼ばれる沖積段丘面が広がっている。矢作、鴨宮、酒匂、小八幡、中里の集落がこの面に位置している。

国府津から海岸線に沿って巾150~250m、標高5~10mの砂丘が連なっている。

酒匂川右岸地域は、箱根火山の山麓が切れると、直ぐ沖積平野が接している。

地質 酒匂川左岸では火山砂礫を含んだシルト層の下に砂礫層があって、帯水層となっている。その深度は地表から50~70mである。このシルト層が不透水層の役割を演じ、地下水は被圧されている。多くの深井戸はこの帯水層から取水している。

揚水試験によれば沿岸地帯の透水量係数は1,000~2,000 m³/日で、酒匂川左岸地域の値が小さく、酒匂川沿いと右岸地域の値が大きい。貯留係数は、資料数が少ないが、左岸地域で0.001という値が得られている。

地下水開発状況

調査地域における事業所の深層地下水揚水量は現在5

図3-a 水頭観測記録
(県成田観測井)

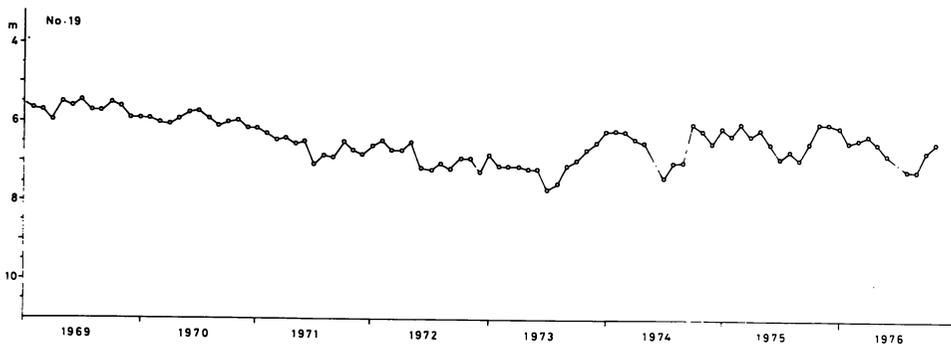
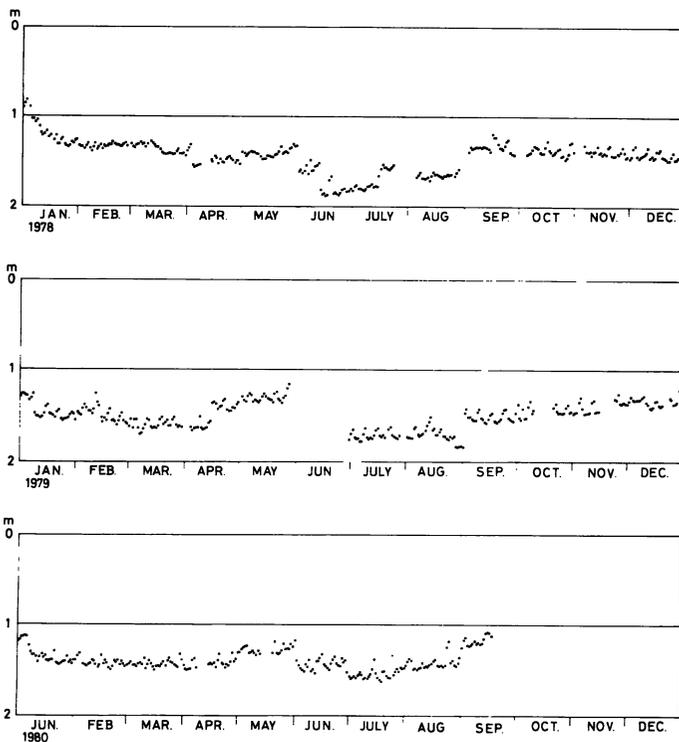


図3-b 水頭観測記録 (No.19, 運転中の水頭)

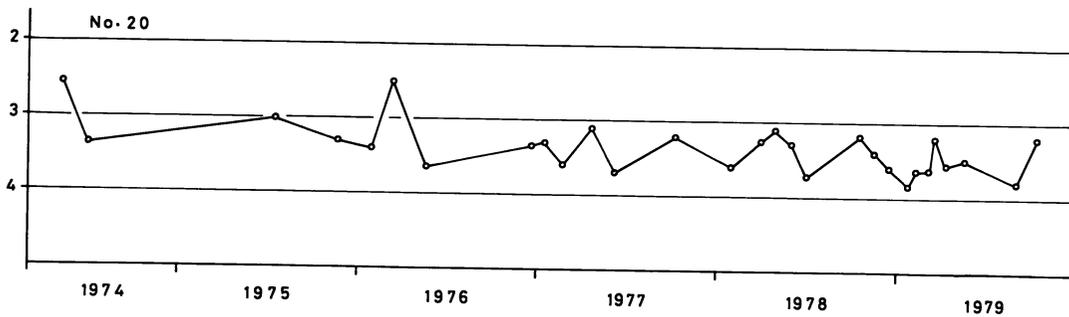


図3-c 水頭観測記録 (No.20)

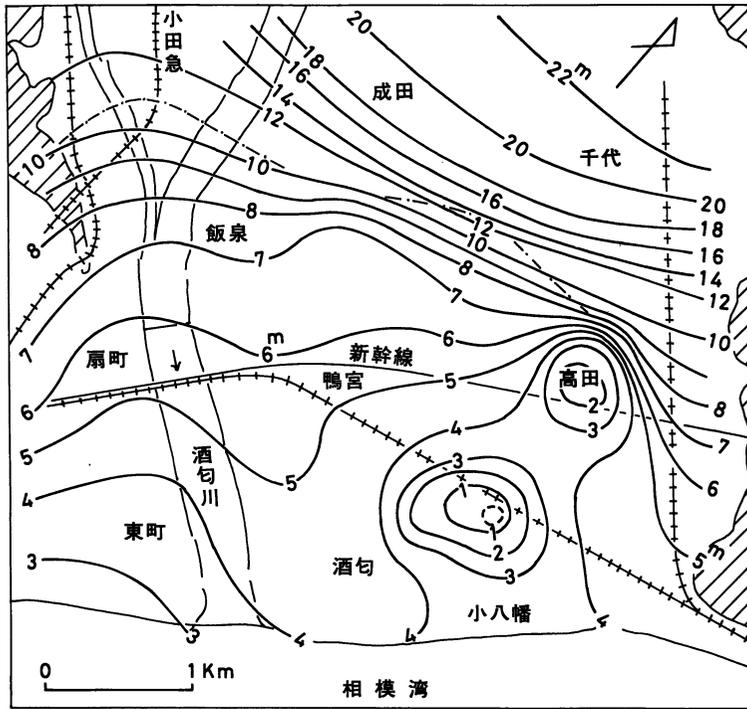


図4 調査地域の水頭分布
(1979年7月測水)

～6万 m^3 /日と推定される。

地下水開発状況を深井戸数の変化として捉えることが出来ると仮定し、年別の深井戸数と積算井戸数を図2に示した。

昭和35年以降12年間2～6井/年の割合で掘さくが行われた結果、井戸数は8井から46井に増えた。そして、昭和48、49年の年間8井を境に掘さく数は少なくなった。

この傾向は昭和48年を境とする経済動向を反映しており、地下水揚水量は井戸数と共に昭和48～49年頃まで増加したと推定される。

水頭の経年変化および季節変化

調査地域内では長期間にわたる水頭観測資料が少ない。しかし、No.19, No.20, 県成田観測井等の資料により水頭経年変化を知ることが出来た。それぞれの観測資料を図3に示す。

水源井No.19の観測資料は、ポンプ稼働中の資料であるが、昭和48年までの水頭の平均低下率は0.5m/年であった。しかし、昭和48年後半からはやや回復している。そして、水頭変化には夏季に低下し、冬季上昇するという季節変化(揚水量の季節変化に起因)が目立ってきた。

水源井No.20の資料は、測定回数が少なく不定期であるが、水頭変化に目立った変化は認められない。水頭は地表から3～4mの間で安定している。

県成田観測井の3年間の観測資料にも、夏季に水位低下が認められるものの、水頭の回復傾向や低下傾向は生じていない。

これらの水頭観測資料から調査地域の水頭経年変化を考察すれば、昭和48年までが低下傾向で、昭和48年から49年にかけてやや回復し、その後横這い状態がつついていることがわかる。

このような水頭変化の傾向は、足柄平野の上～中流部で観測された傾向(横山ほか, 1977)と一致する。今回の調査によると、多くの事業所では、昭和48年を境に地下水揚水量を減少させた。その後も水量を抑制しているという。したがって、調査地域の水頭はこのような揚水事情をよく反映している。

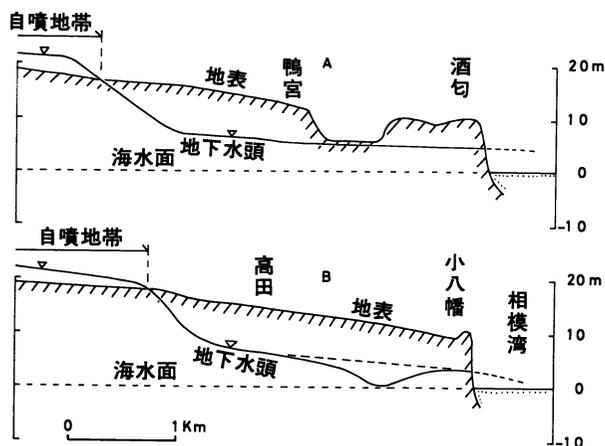
なお、井戸数の増加は昭和49年まで続いているが、昭和48年末のオイル・ショック以降揚水量を減らした事業所が増えたため、井戸数の増加にもかかわらず揚水量が減少したのであろう。

水頭分布

調査地域では地下50～70mまでつづく厚い火山灰質シルト層の下位にある砂礫層が帯水層となっている。多くの深井戸はこの帯水層から取水している。

1979年7月25～27日にわたって測水調査した結果をもとに水頭分布図(図4)を描いた。各井戸のストレート

図5 水頭断面図
(断面線の位置は図1中に示す)



一は主帯水層が同一であるので、同じ帯水層の水頭を示しているときみなして分布図を描いた。

調査地域は水頭勾配の急緩によって2つの地域に区分される。小田原厚木道路付近は等高線が密で、7/500~10/500と急である。この急勾配地帯を境に、上流及び下流側の緩勾配域とが区分される。この様子は、上流から下流方向に水頭断面(図5)を描けば、水頭の2段構造となって示される。

このような水頭変化は、帯水層が連続していると仮定すると、急勾配地帯に不透水性物質が介在することを示す。すなわち、地下水学的な見地から解釈すると、ここに地下水流動を妨げる地質構造上の変化を推定することが出来る。

上流側の緩勾配域は、水頭が15mより高い地域が自噴域となっている。しかし、千代や高田の台地は標高が高く、自噴は見られない。下流側は自噴は見られず、工場地帯のため、揚水の影響による水頭低下が読み取れる。成田で観察された自噴井を写真1に示す。

酒匂川右岸には河川に沿って上流へ伸びる谷が描かれている。左岸には小八幡から北へ伸びる谷が在る。このため、両谷の間は酒匂から鴨宮にかけて尾根が形成されている。

これらの谷の区域は深井戸による揚水の多い区域と一致する。とくに、左岸の谷は2つの水頭低下の著しい区域があって、2つの目玉を形成し、水頭が低くなっている。一部はその中心が海面下まで下がっていることが判る。なお、水頭分布はポンプ停止時の値を用いてあるから、ポンプ稼働中の水頭は更に数m以上低下する。したがって、揚水中の水頭低下域は図5より若干広がる。

このように、沿岸地帯で水頭が海面(標高0m)より低くなると、地下水(淡水)と海水(塩水)のバランス

が崩れ、地下水の塩水化が発生するおそれがある。

一般に、淡水と塩水との境界面は、ガイベンヘルツベルグの関係式

$$Z_s = \frac{P_f}{P_s - P_f} Z_w$$

で示される。ここに、 Z_s は海面から境界面までの距離、 Z_w は地下水頭の標高、 P_f は淡水の密度、 P_s は塩水の密度である。仮りに、淡水の密度を1.000、塩水の密度を1.026とすれば、 $Z_s = 38Z_w$ となる。地下水の海岸方向への流動を考慮すると、実際の境界面はこの関係式より深くなるが、凡その目安として、水頭標高の38倍の深度に境界面が在ることになる。

また、塩水と淡水の境界付近では、ポンプ稼働による水頭の変化や潮汐による海面変化によって境界面が変動するため、塩水と淡水が混合し、遷移帯が形成される。

地下水の水質

地下水頭が低下している酒匂川左岸地区の18井から地下水を採取し、無機化学成分の分析を行った。それぞれの採水地点を資料番号を付して図1に示す。

18井の内2井が浅層地下水、他が深層地下水である。海岸地帯では水頭低下に伴う地下水の塩水化が懸念されるので、その指標となる塩素イオン量をはじめ、総溶存物質質量、ナトリウムイオン量等について検討する必要がある。それぞれの分析結果を表1に示す。

浅層地下水は資料数が少ないものの、塩水化と認められる資料は無かった。しかし、No.2の塩素イオン量は21.5ppmあって、No.8の9.97ppmに比べ多い。No.2は海岸の砂丘地帯に位置するが、以前稼働していた同じ敷地内の浅井戸から、塩素イオン量が2,375ppmの地下水が揚水されていたと言う。このことを考慮すれば、海岸地帯の浅層地

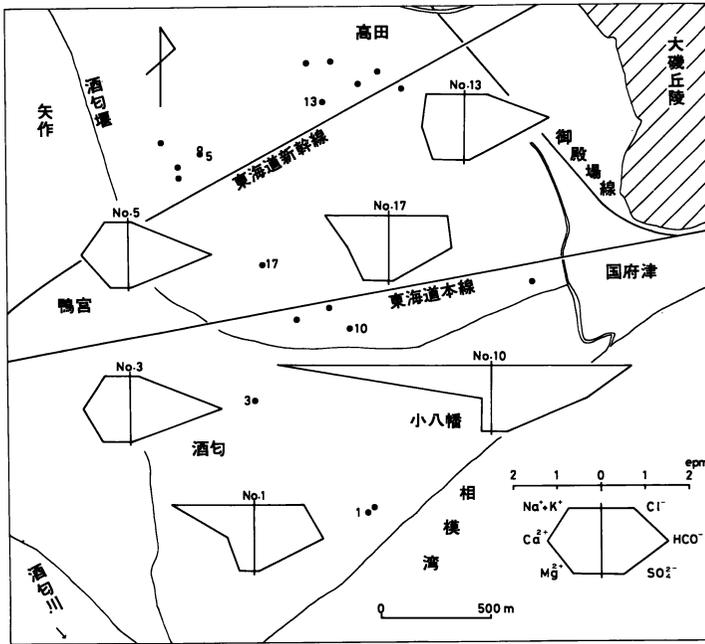


図6 水質構成とその分布 (パターンダイアグラム)

下水は比較的容易に塩水化すると思われるので、地下水利用にあたり十分注意を払わなければならない。

一方、深層地下水は塩素イオン量が3.48ppm (No.5) から112.7ppm (No.10) のものまで変化がみられた。調査地域の深層地下水は本来塩素イオン量が10ppm以下と考えられるから、10ppmを越える地下水を塩水化した地下水と見なすことができる。この他、塩水化現象は総溶解物質量の増加を来す。

そこで、代表的な井戸を6井選び、その6成分の構成を図6のように表現した。No.3やNo.5が正常な水質を代

表しており、各成分の増減は6角形パターンの変化として捉えることが出来る。また、総溶解物質量の変化も6角形の面積変化として認識することが出来る。

図6に認められるように、陰イオンでは塩素イオン量がNo.13, No.17, No.1, No.10の順に増加すると、陽イオンのナトリウムイオン+カリウムイオンが増加し、カルシウムイオン量は減少する。

塩水化に伴う水質構成の変化は陽イオンおよび陰イオンの三角ダイアグラム上に追跡することができる。それぞれの成分変化を図7に示す。

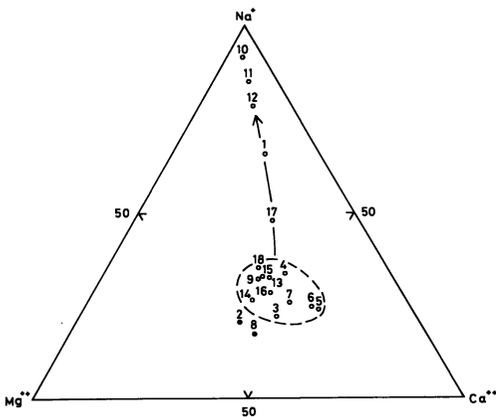


図7-a 水質の三角ダイアグラム (陽イオン)

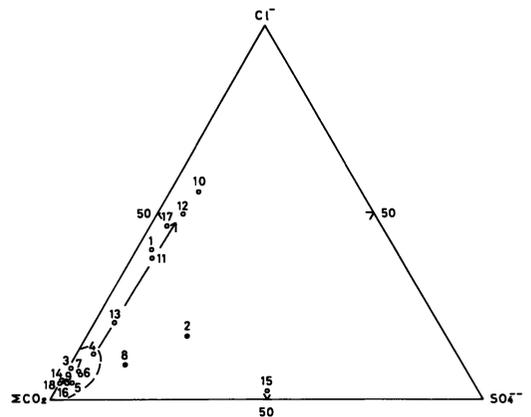
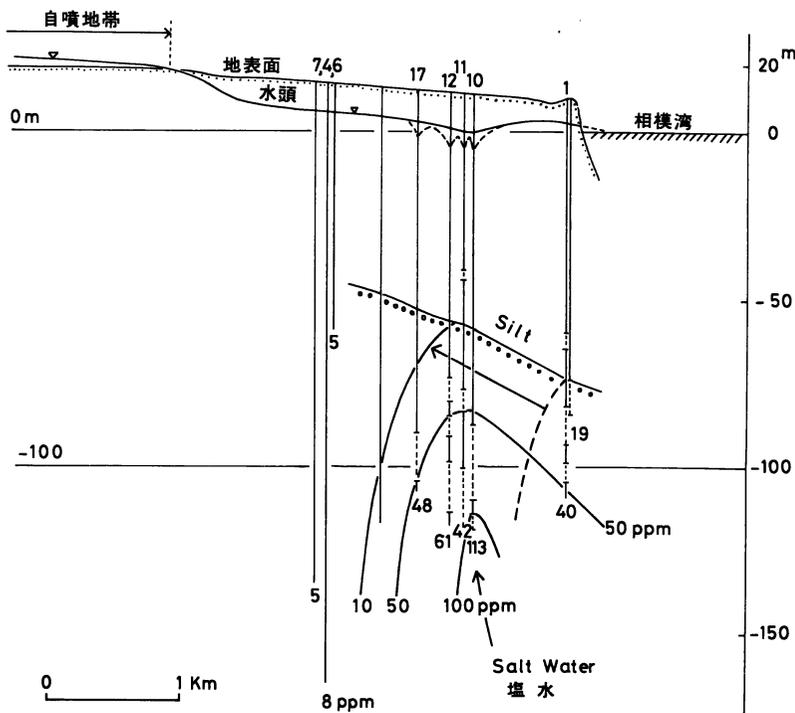


図7-b 水質の三角ダイアグラム (陰イオン)



〔図8〕水頭断面（A断面）と塩素イオン量の分布
 図中破線で示した水頭は揚水中の水頭を表わす

図7に認められるように、陽イオン、陰イオン共に塩素イオン量の一番多いNo.10から順に1列に点が分布している。すなわち、陽イオンはマグネシウムイオンとカルシウムイオンの割合が減少し、ナトリウムイオンの比が大きくなっている。陰イオンでは硫酸イオンの構成比は変化しないが、炭酸成分が減少した分だけ塩素イオンの割合が増加している。

このように、塩水化現象は食塩(NaCl)成分の増加として認められる。塩素イオン量をもっとも多い資料で、112.7ppmと、海水の30,000ppmに比べまだ少量である。水道法の水質基準が200ppmであるから、この地区の塩水化はまだ顕著なものでなく、基準以下である。

水頭低下域における地下水塩水化

水頭低下域は小八幡から高田の方向へ2km入り込んでいる。図1の断面線Bについて、水頭断面と塩素イオン量の分布を併せて示せば、地下水塩水化の状態が把握出来る(図8)。

ここでは、ポンプ停止時の水頭が海面付近にあって、地下水を揚げれば水頭は海面下まで下がる。水頭が一番低下している地点で塩素イオン量をもっとも多く、しかも下方から塩水が侵入している様子が図8中に認められる。

塩水化地域は低下域の半ば、海岸から1kmの地点まで

侵入している。塩水化域との境界を10ppmの等値線で代表させ、塩水侵入の方向を図8中に矢印で示した。なお塩水化域の面積は約1km²である。

現在は塩水と淡水の混合した遷移帯の地下水が揚水されている。今後の水頭低下の進行次第で、遷移帯下部からより濃い塩水が侵入し、濃度の増加や塩水化域が拡大する心配がある。

塩水化の抑制

塩水化を抑制し、安全な地下水利用を続けるためには水頭を海面まで低下させないように揚水を調節しなければならない。

そこで、水頭の低下が著しい小八幡—高田地区の揚水量をどのくらい減少させればよいか、地下水利用可能量の算定を試行錯誤法により試みた。すなわち、水頭を回復させるための揚水量は、水量を数例にわたって変え、そのときの水頭変化を計算して適切と認められる揚水量を推定した。

被圧地下水の地下水流動式は水平2次元モデルの場合

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) = S \frac{\partial \phi}{\partial t} + W \dots (1)$$

で示される。ここで、Tは透水量係数、 ϕ は水頭、Sは

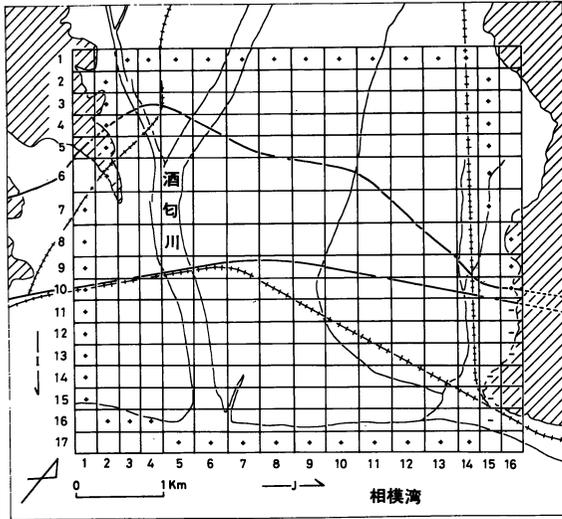


図9 調査地域のメッシュ分割図

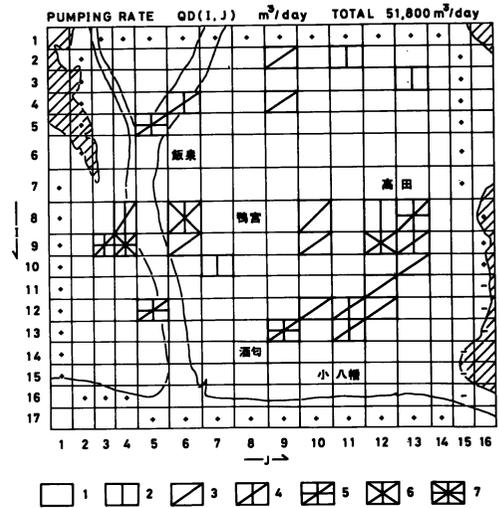


図10 調査地域の揚水量分布 1 : 0m³, 2 : 1,000 m³未満, 4 : 3,000m³未満, 5 : 4,000m³未満, 6 : 5,000m³未満, 7 : 5,000m³以上

貯留係数, Wは揚水量である。

偏微分方程式(1)は直交格子差分を用いれば,

$$\begin{aligned}
 & T_{xx}(i-\frac{1}{2}, j) \left\{ \frac{\phi_{i-1, j, k} - \phi_{i, j, k}}{(\Delta x)^2} \right\} + T_{xx}(i+\frac{1}{2}, j) \left\{ \frac{\phi_{i+1, j, k} - \phi_{i, j, k}}{(\Delta x)^2} \right\} \\
 & + T_{yy}(i, j-\frac{1}{2}) \left\{ \frac{\phi_{i, j-1, k} - \phi_{i, j, k}}{(\Delta y)^2} \right\} + T_{yy}(i, j+\frac{1}{2}) \left\{ \frac{\phi_{i, j+1, k} - \phi_{i, j, k}}{(\Delta y)^2} \right\} \\
 & = S \left(\frac{\phi_{i, j, k} - \phi_{i, j, k-1}}{\Delta t} \right) + W \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

となる。

式(2)は SIP法 (Storn, 1968)によって解かれる。SIP法は, Trescott and Larson(1977)によれば, 収束性が他法に比べて優れている。プログラムは Trescott et al (1976)を参考にして作成し, 計算処理は県電算システム課のFACOM M160-ADを使用した。

調査地域を図9に示すように, 縦17, 横16のメッシュに区切り, それぞれの矩形の中央に井戸を仮想し, 水頭値を計算した。メッシュ間隔(Δx, Δy)は250m及び375mである。

境界条件は, 上流側と相模湾, 箱根火山, 一部を除く大磯丘陵は水頭を一定に保ち, 境界を通して地下水の出入りを可能にした。地下水の出入りが有る境界を+, 無い境界を-として境界条件を図9に表わした。

計算に用いた透水量係数などの水理定数, 揚水量, その他データは現地調査資料を基に作成した。その結果, 透水量係数を250~2,000m³/日とし, 酒匂川沿いが大きく, 水頭急傾斜地帯は小さく見積られた。貯留係数は全域を

0.001とし, 揚水量を図10のとおりにした。揚水量は週日, 土曜日, 日曜日をそれぞれ区別し, さらに夏季は全域の水量を3割増として計算を行った。対象地域の全揚水量は5万m³/日にのぼった。初期水頭値は水頭分布図(図5)から値を読み取った。そして, 時間刻み(Δt)は1日とした。

計算例の内, 小八幡-高田地区の揚水量を現在の6割と8割に減らした場合に予測される水頭分布(240日目, 夏季)を現在の揚水量の場合と並べて図11に示す。

予測水頭分布図によれば, 揚水量を8割に減少させた場合, 標高1m以下の水頭は無くなり, もっとも低い小八幡地区の値が標高1.6mである。3mの等高線で示される水頭低下域の範囲も狭まっている。

揚水量を6割に減少させると, 標高2m以下の水位は無くなり, 小八幡で2.1mが最低となる。3mの等高線で囲まれる水頭低下域は更に縮小している。

このように, 2割の間隔で揚水量を変え, それぞれ算出された水頭値を比較したところ, 2割の減量で約0.5m

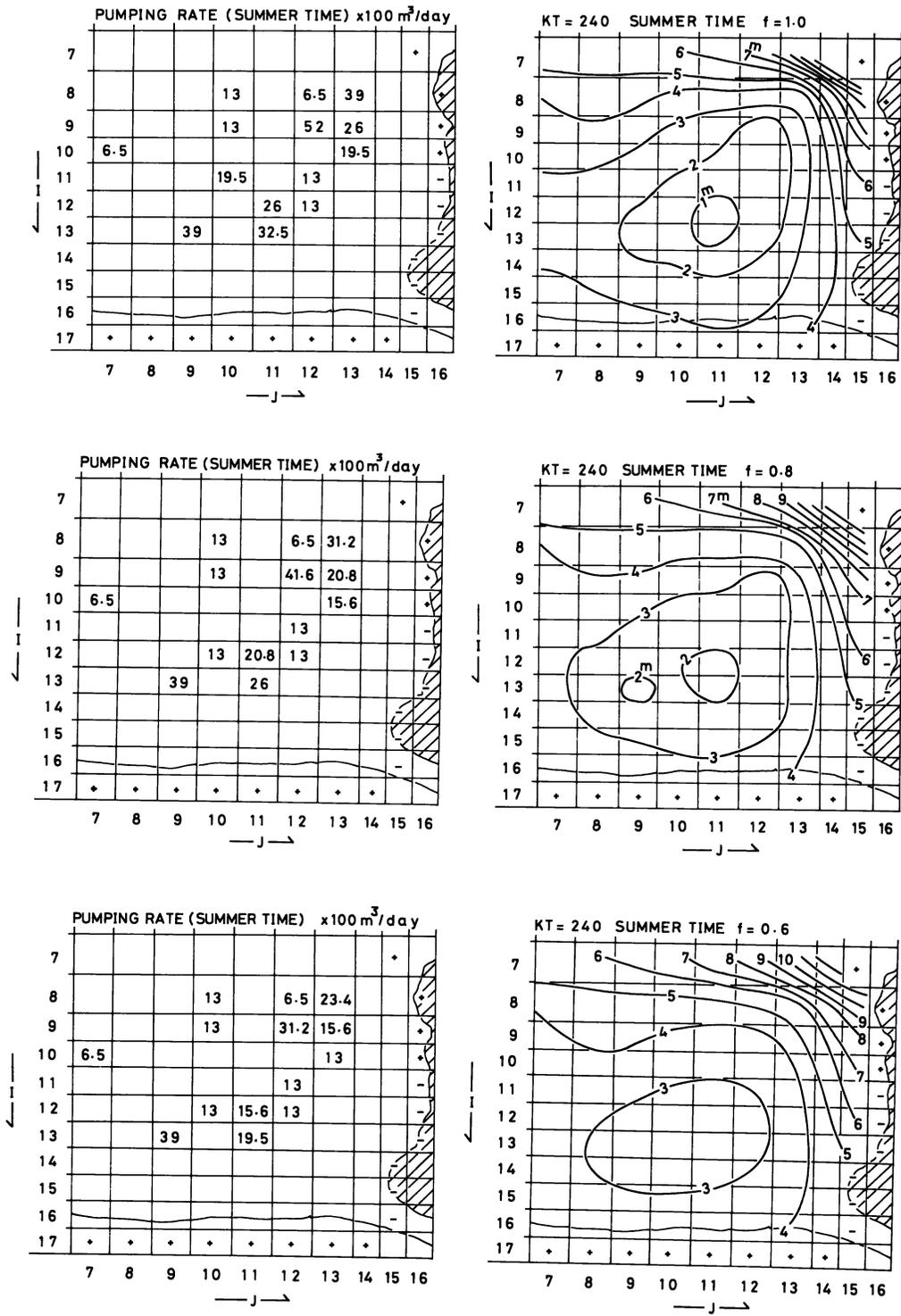


図11 揚水量と計算結果 (水頭分布)

上から順に現在量, 2割減, 4割減の場合を示す

〔表1〕 水質分析結果（その1）

番号	採水年月日	標高 m	深度 m	静止水位 m	運転水位 m	水温 ℃	pH	知覚	蒸発残留物 ppm
1	1979. 7.25	10.7	120	8.19		19.1	7.7	無	197.5
2	1979. 7.25	10.7	12	9.54		21.8	6.6	鉄味	297.3
3	1979. 7.25	9.2	80	8.36		16.7	7.5	無	161.0
4	1979. 7.25	12.7	180			17.4	7.5	無	144.5
5	1979. 7.27	12.7	65			24.9	7.7	無	129.5
6	1979. 7.25	12.5	73		12.19	16.3	7.5	無	136.2
7	1979. 7.25	13.0	150	6.93	12.06	16.6	7.5	無	131.0
8	1979. 7.25	12.5	10	7.73		16.8	6.8	微褐色・鉄味	198.5
9	1979. 7.25	8.9	100		12.82	16.7	7.4	無	174.5
10	1979. 7.26	8.7	130	9.78		18.1	8.0	無	351.0
11	1979. 7.26	8.7	130	8.38		18.1	7.7	無	211.8
12	1979. 7.26	11.1	130	11.26		18.3	7.7	無	230.5
13	1979. 7.26	10.2	95	6.55	22.85	18.1	7.4	無	174.9
14	1979. 7.26	10.3	95	5.42	23.82	17.3	7.2	無	166.0
15	1979. 7.26	10.8	95	5.95	28.83	17.3	7.4	無	169.7
16	1979. 7.26	11.0	95		10.93	16.5	7.5	無	144.0
17	1979. 7.26	10.1	98	6.56	9.36	17.6	7.5	無	207.0
18	1979. 7.27		88					無	170.0

水頭が回復するという計算結果が得られた。

塩水化が発生した小八幡地区では、現状より塩水化を進行させず、出来るだけ水頭の回復をはかり、混入した塩水を除去しなければならない。しかし、塩水化を起こさないために海岸の水頭を何mに保てば良いだろうか。

ガイベンーヘルツベルグの関係式から、理論的には水頭を海面より上に保てば、その38倍だけ塩水を押し下げることが出来る。しかし、水源井の揚水は間歇的に行われるため、揚水時の水頭は日総量によって計算される水頭より、一時的に低くなることもある。その上、潮汐によって海面が上下することも考慮すれば、安全な水頭は0mより上に設定しなければならない。

このことを考慮し、小八幡付近でまだ塩水化していない井戸の水頭を参考にして、経験的に安全水頭を標高2mと推定した。

前述のシミュレーション結果から水頭を標高2m以上に回復させるための揚水量を推定すれば、現在の揚水量を4割削減し、6割という結果が得られる。

あとがき

足柄平野下流部の地下水調査を行ったところ、次に述べる事項が明らかになった。

1. 調査地域の工場水源井は現在46井にのぼり、日量5万m³/日余りの地下水が利用されている。
2. 深層地下水の水頭分布から、調査地域は水頭急勾配地帯を境に、上流側の自噴地帯と海岸の非自噴地帯とに区別される。
3. 酒匂川右岸と左岸にそれぞれ揚水の影響による水頭低下域が認められる。とくに、左岸の低下域が目立つ。
4. 左岸の水頭低下域では地下水の塩水化が認められ塩素イオン量は最高112.7ppmであった。塩水化に伴う陰・陽イオンの変化が追跡された。
5. 塩水楔は約1km内陸へ侵入し、水頭の一番低い地点で下から塩水が上昇して来ていることが明らかになった。
6. 被圧単一帯水層モデルにより水収支シミュレーション

〔表1〕水質分析結果（その2）

K ⁺ ppm	Na ⁺ ppm	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	Fe ²⁺ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	HPO ₄ ²⁻ ppm	HCO ₃ ⁻ ppm	H ₂ SiO ₃ ppm	CO ₂ ppm
2.68	41.6	12.0	4.20	0.035	40.1	4.80	0.63	95.9	52.8	0.57
4.62	18.3	30.5	19.8	0.45	21.5	39.5	0.27	130.5	54.6	11.2
2.84	11.5	21.2	8.73	0.15	6.97	0.48	0.86	126.4	50.6	5.02
2.44	13.84	15.27	5.35	0.026	8.23	3.36	0.490	95.6	59.2	2.77
2.44	10.74	21.65	5.05	0.170	3.48	2.59	0.459	115.8	52.1	3.87
2.42	11.15	21.01	5.44		5.12	3.46	0.601	113.9	52.8	3.87
2.20	10.78	17.14	5.98	0.071	5.01	2.69	0.533	104.8	56.6	3.87
2.51	11.33	25.12	13.96	0.294	9.97	17.5	0.490	139.7	63.6	13.3
3.29	19.05	19.25	9.88	0.026	4.21	1.92	0.855	154.4	67.6	3.87
4.48	109.4	4.285	2.73	0.116	112.7	17.5	1.339	127.9	58.2	
2.77	58.97	5.254	2.43	0.071	42.2	7.12	1.078	108.8	59.9	3.30
2.83	62.67	8.938	3.77	0.088	61.2	10.0	0.490	93.7	59.2	2.77
3.08	18.19	19.29	8.54	0.122	18.9	5.28	0.917	116.8	67.2	5.02
2.59	16.07	20.47	11.53	1.75	5.49	0.	1.103	161.7	66.4	22.8
3.05	18.09	18.05	8.76	0.026	4.06	2.40	1.103	141.5	67.2	5.02
2.58	13.89	18.00	7.90	0.	3.85	0.96	0.936	125.0	63.4	3.87
3.17	31.53	18.47	6.94	0.554	47.9	4.52	0.626	87.1	61.6	2.77
2.33	17.66	15.64	7.87	0.376	3.69	0.	1.196	133.4	61.1	5.55

ョンを行った。小八幡、高田両地区の揚水量を2割減らすと0.5m水頭が回復することが予測された。そして、塩水化を解消させるためには4割の水量削減が必要であるという結果が出た。

以上のように、足柄平野下流部における地下水のあり方と問題点を明らかにすることが出来た。今後も地下水頭の変化と水質の定期的な監視をつづける予定である。そして、より詳しい解析を行い、地下水の適正な利用方法を確立しなければならない。

謝辞

本調査にあたり、対象となった各事業所、小田原市水道局、大蔵省印刷局小田原工場、専売公社製塩試験場には、現地調査に便宜をはかっていただき、貴重な資料を提供していただいた。また、県環境部水質保全課には調査資料を提供していただいた。そして、県企画部電算システム課には、計算機の使用について便宜をはかっていただいた。神奈川県温泉地学研究所長大木靖衛博士、平

賀士郎研究部長からは有益な示唆を賜わり、激励していただいた。以上の方々に厚く御礼いたします。なお、この調査は神奈川県温泉地学研究所温泉等研究調査費によった。

参考文献

- 神奈川県企業庁(1965)、酒匂川流域地下水調査報告書、p99。
 神奈川県商工部(1955)、神奈川県西部地域における工業及び工場適地、p37。
 北村光雄(1970)、足柄平野の水理地質、研究集録5(神奈川県立教育センター)、79-82。
 日本技術開発株式会社(1966)、広域都市開発区域地下水調査報告書(平塚、秦野、厚木、小田原地区)、首都圏整備委員会。
 小川浩、堀川邦彦、山吉勝利、安田誠(1965)、神奈川県下の地下水源地域調査報告第2報(足柄平野の地下水源について)、工業用水、No.78、53-59。

荻野喜作, 横山尚秀, 大木靖衛 (1975), 足柄平野の地下水, 酒匂川, No.11, 77-90.

貞方昇 (1976), 足柄平野の地形, 特に沖積段丘について, 地理科学, No.24, 9-18.

Remson, I., G. M. Hornberger and F. J. Molz (1971), Numerical methods in subsurface hydrology, Wiley-Interscience, New York, p389.

Storn, H. L. (1968), Iterative solution of implicit approximations of multidimensional partial differential equations, Soc. Ind. Appl. Math., Jour. Numer. Anal., Vol. 5, No. 3, 530-558.

鈴木清司, 植竹茂 (1962), 酒匂川伏流水に関する調査について, 工業用水, No.51, 37-40.

高橋稠, 安藤武 (1961), 神奈川県湘南工業地帯の地下水, 地質調査所月報, Vol. 12, No. 7, 15-32.

Todd, D. K. (1959), Ground water hydrology, John Wiley & Sons, New York, p336.

Trescot, P. C. and S. P. Larson (1977), Comparison of iterative method of solving two-dimensional groundwater flow equations, Water Resources Research, Vol. 13, No. 1, 125-136.

Trescot, P. C., G. F. Pinder and S. P. Larson (1976), Finite-difference model for aquifer simulation in two dimensions with results of numerical experiments, U.S.G.S. Tech. W.R.I., Book 7, Chap. C1, p116.

内田幸男 (1978), 神奈川県足柄平野の地下水-その1, 県立小田原城内高等学校図書館紀要, 第2号, 90-120.

横山尚秀, 荻野喜作, 加藤浩, 大木靖衛 (1975), 足柄平野の地下水 (その2), 神奈川温研報告, Vol. 6, No. 3, 133-140.

横山尚秀, 荻野喜作, 大木靖衛 (1977), 足柄平野の地下水 (その3), 神奈川温研報告, Vol. 8, No. 3, 115-124.



写真1 小田原市成田付近の民家自噴井 1980年11月



写真2 調査地域 (国府津付近の山腹から西側をのぞむ) 1980年11月