

# 水位観測成果からみた 昨今の工業用地下水事情

尾崎 次男

## まえがき

いつものことであるが 夏になると各地の水不足が新聞紙上をにぎわす。干ばつのため農村地帯に“地割れ”が生じるのもこの頃であり 私たちの生活に直接結びついている飲料用の水が不足するのもこの頃である。とくにマンモス都市東京の水不足（あるいは水飢きんといった方が適当かも知れない）は年中行事となっている。

今年（令和5年）は5月早々梅雨に入り 今夏の水不足解消に明るい見通しを感じさせたが 5月下旬には 小河内 村山 山口の三貯水池には 満水時の6分の1の3,500万 $m^3$ と 思ったほどの水もたまたま 異常渇水と騒がれた昨年の最低量4,500万 $m^3$ を大幅に下まわり 大渇水だった昭和33年夏につぐ最低記録となった。つい先頃完成した。金町上水道拡張工事でふえた1日95,000 $m^3$ の給水増加分も 今まで応援給水していた神奈川県相模湖からの給水中止で帳消しとなり 都水道局が考えている夏場の水飢きんに備えての唯一の対策は 昨年暮から続けている都心部など17区54万戸を対象にした夜間の給水制限を続けることだという。また 6月4日 台風2号がもたらした降雨は0m地帯に浸水の被害を与えはしたが 東京都の水道にとっては まさに恵みの雨であった。この降雨はまた約300万 $m^3$ の増量となって現われ 3貯水池の貯水量は久しぶりに4,500万 $m^3$ 程度になった。しかし こうした増加量も これまで続けてきた夜間給水制限地域の一部18万戸の解除にとどまり 唯一の頼みの綱は降雨であってこれから続く毎日の天気図に一喜一憂するといった状態である。

水の需要最盛期をひかえて 都では水道を使っている学校や公共のプールの使用を禁止あるいは制限し水飢きんはいよいよ深刻になっている。水不足のとばっちりはいよいよついに子供たちにまで及んだのである。それでも幸い三貯水池の貯水量合計は その後の降雨により7,500万 $m^3$ と好転し プールの使用禁止はとけたが なかにはいつまでもつづく水不足にしぶれを切らして プール専用の井戸を掘っている学校もあり また節水 断水になやまされるビル街では水道に見切りをつけ

用水源を地下水にもとめる傾向が増加しているという。

水温が年間を通じてほぼ一定していること 水経費が低れんであること 水源が限られた敷地内で井戸の掘さくにより手軽に得られ その維持 管理が容易なことなどの利点から 一般飲料 工業用 かんがい用 さらにビルの冷暖房用などに国内各地では数多くの井戸が掘られ 多量の地下水が開発されている。工業の発展 市民生活の向上 都市人口の増加 原子力産業の発達など いずれの場合もばくだいな水の消費（量・質の面からみた）の上に立ってはじめて成り立っており 文明が進歩するほど 水の需要が増大する事実は否定できない。地下水の使用量も産業の発展に比例して増加している。

限られた地域で 同一帯水層に数多くの井戸が開発され 揚水量が増加すると 地下水面はだんだん低下しいわゆる地下水ストックにくいこんで行く。こうした井戸の過剰揚水は井戸の排砂量の増加 井戸側管周辺の帯水層の崩落 あるいは水みちの破壊などを次々に生じやがては地盤沈下を引き起こすに至る。

地質調査所では 工業地帯にこのように災害を起こさないように早くから地下水の保全の必要を提唱してきた。そして災害を未然に防ぐ意味で 警告を発するために工業地帯91カ所に設けられた井戸について 地下水位の経年観測を続けている。

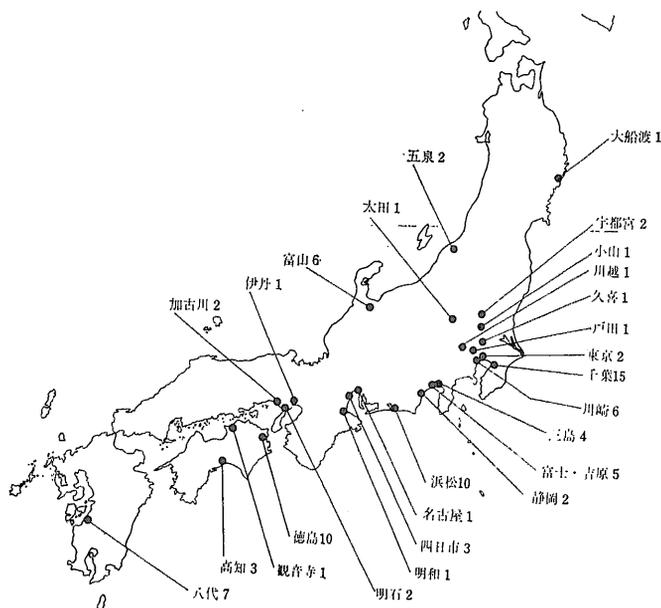


図1 地下水位観測井の分布

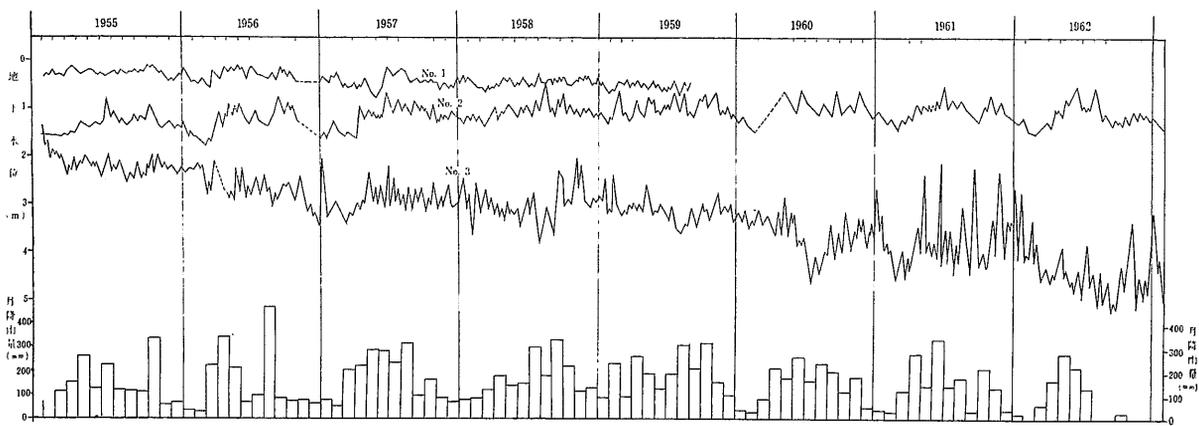


図2 浜松地区観測井の地下水位変化曲線と月降水量の関係

### 1. 地下水面昇降による変動

海や湖などの水面は一見して確かめられるが 目に見えない地下水も本来流動する性質を有しているため 不明りょうながら地下水面を形成している。そして井戸の掘さくから地下水面の一部を確認できるものである。

自由面地下水の場合はいつでもそうであるが 被圧地下水の場合にもその地下水面は (被圧地下水の場合は圧力面) 一定不変のものではなく ある期間を通じて時間的に変動する。そして地下水面あるいは圧力面の昇降は特別な例を除いては 地下水の補給および排出に伴って変動するのが普通である。したがって わが国のような湿潤な気候に恵まれたところでは 5月頃から10月頃までの多雨期に地下水面が高く 11月頃から翌年の寡雨期にかけては地下水面が低くなっている。

図2 および 図3 に示してある地下水位曲線は 浜松地区および静岡地区にそれぞれ設けられた観測井 (前者は自由面および被圧面 後者は被圧面) の記録である。また 図4 および 図5 には富山 高岡地区および五泉地区に設けられた観測井 (自噴性被圧面) の圧力面変化

の記録を示しているが いずれも降水量と地下水面との昇降関係をよくあらわしており 降水からの多量の地下水補給があれば地下水面が著しく上昇する様子が これらの図からもよくわかる。しかしながら 同じ地区であっても長い間の地下水位継続曲線はそれぞれ異なっている。たとえば 図2 では浜松地区の No.3井の曲線は他の2井の曲線にくらべて複雑であるとともに 8月頃に地下水位が著しく低下していることがみとめられ しかも No.3井の地下水位だけが 年々低下していることがわかる。この事実は人為的な原因によるもので おそらく No.3井が 近隣の井戸による揚水の影響を受けているためと思われる。

臨海工業地帯では 大部分の地下水が潮汐の影響を受け その干満に伴って地下水面が周期的に変動している。地下水面の昇降の割合いは海浜から内陸部に至るに従い小となり さらに水面の高低にも時間的のずれが認められるが 潮汐の影響は海岸から数km~10数kmという範囲に及んでいるところもある。図6 に示してある曲線は 徳島県吉野川下流付近に設けられた観測井 (被圧面深度40m) の自記録の一部である。この観測

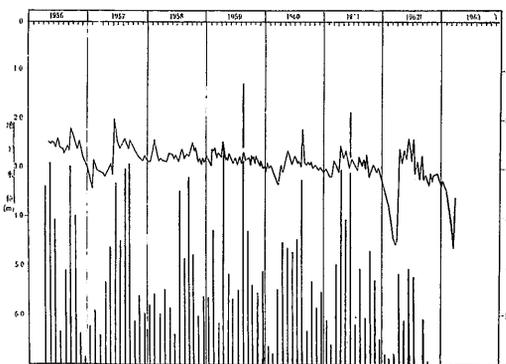


図3 静岡地区観測井の地下水位変化曲線と月降水量の関係

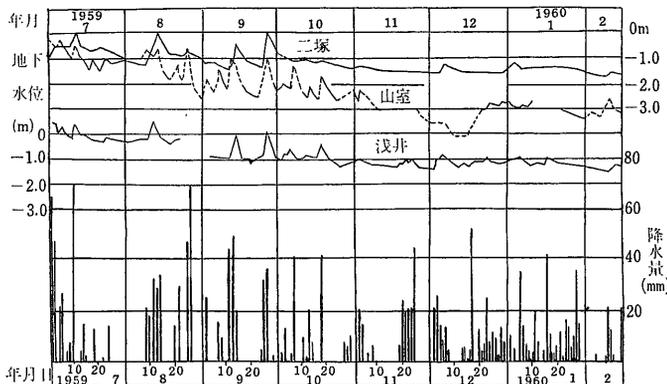


図4 富山・高岡地区観測井の地下水位変化曲線と日降水量と地下水位との関係

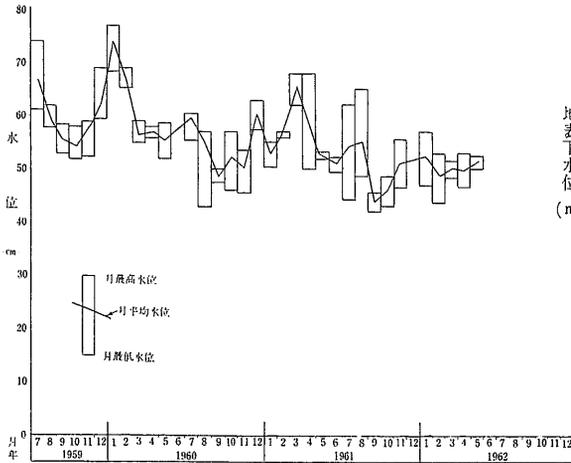


図 5 五泉市における自噴井の圧力面変化曲線（深度40m 水位は地上からの高さを示す 五泉市立中学校内）

井は海岸から約10km 離れているが 潮汐の干満による影響が地下水面の周期的変動となつてあらわれており、このように臨海工業地帯の地下水面は 潮汐の影響を受け周期的な変動を繰り返しながら 上昇したり 低下したりする。

このほか集中豪雨とか あるいは洪水などで冠水したために地下水面が一時的に上昇する場合がある。図7の曲線は徳島地区観測井の自記水位記録であつて 台風12号の際の地下水位変化を示しており このときの地下水面は約60cm の上昇となつている。また図8に示してある曲線は 東京都足立区に設けられた深井戸（深度111m）の自記水位記録の一部を示している。昭和33年9月26日から27日にかけて 京浜地方を襲つた台風22号は日雨量401mm という記録的な豪雨をもたらした。冠水家屋は実に30万戸を救つたのである。このときの豪

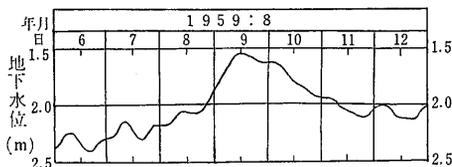


図 7 徳島地区観測井の地下水位変化曲線 集中豪雨や台風などには河川は急速に増水するが地下水面も引き続く地下水の補給により上昇する

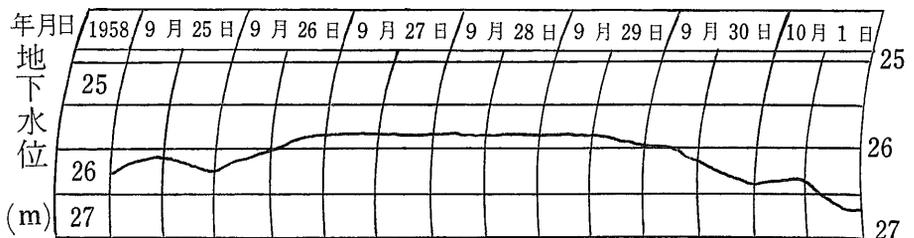


図 8 東京都足立観測井の地下水位変化 台風22号のときの地下水位変化を示している

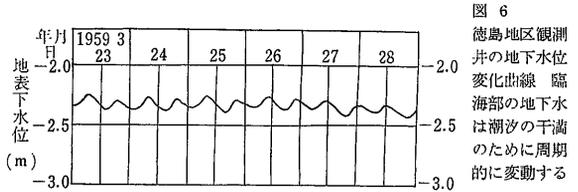


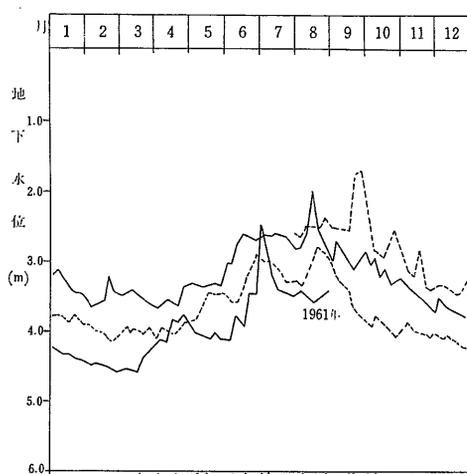
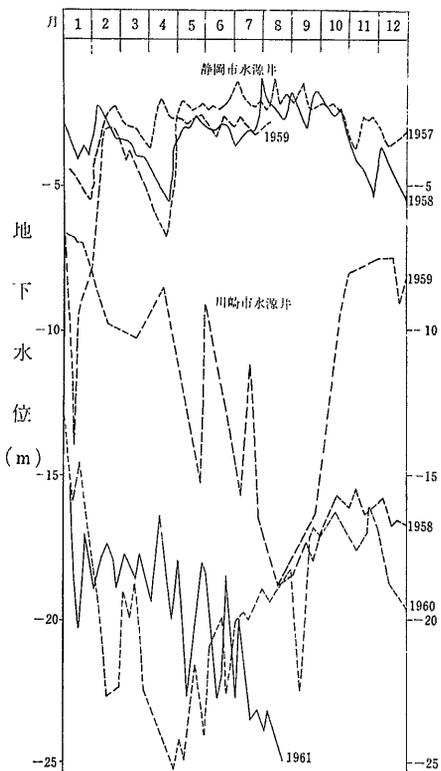
図 6 徳島地区観測井の地下水位変化曲線 臨海部の地下水は潮汐の干満のために周期的に変動する

雨と冠水による地下水補給量は 地下水面に60cm の上昇となつてあらわれ この状態が3日間も続いた。集中豪雨などの際には雨水は急速に地表を流下するから 河川の水面は急激に上昇する。ところが雨水が地下に浸透する場合には 土壌の間げきを通じて地下水面に達するまでに長時間を要するため 地下水面が上昇するまでには降雨があつてから数時間の遅れがあるのが普通である。この場合 帯水層の透水性および地下水面までの通過距離によって遅れの差が生ずるのは当然であるが 地下水面は引き続き地下水の補給によって上昇する。そして地下水の補給がなくなると水面は漸次低下する。図7 および 図8 の地下水位曲線からも容易に判断できるように 豪雨などの際に地下水面が上昇する場合でも あるいは低下する場合でも その運動がごく緩慢に行なわれている。

## 2. 揚水量と地下水位

地下水の揚水が地下水面の形態に変化を与えることは 前述の例にも示したとおりであるが 揚水量と地下水位との関連についてさらに例を上げて説明することにする。一部寒冷地には例外があるが 都市の水道の使用量が夏季に増加し 冬季には減少するように 工業地帯の地下水の揚水量もこのような傾向がある。

図9 には安倍川の左岸堤内地に設けられた静岡市第2水源井および川崎市工業用水道の水源地におけるポンプ運転停止後の水位変化の記録を示している。静岡市水源井では夏季の最盛時に1日に6,500m<sup>3</sup> を揚水しているが 揚水に伴う水位低下はそれほど著しくなく、むしろ



← 図 9  
地下水の揚水停止後における水位変化

← 図 10  
川崎市多摩川旧河道上に位置する観測井(深度40m)の地下水位変化

さらに地下水位の経年曲線からわかるように 地下揚水の最盛時にあたる夏季には いずれも地下水位が低下し揚水量の増加 あるいは地下水補給量の減少に伴って年々地下水位が低下する傾向が認められている。 同量の地下水を揚水する場合でも 地下水の補給場所が手近にあるか あるいは遠方にあるによって 地下水位に著しい変化を与えることが この図からよくわかる。

る揚水量の少ない時期 冬季の水位低下が著しくなっている。これはおそらく安倍川の伏流が影響しているためであって 豊水期には地下水の補給が急速に行なわれるに反し 冬季渇水期には安倍川表流が減少するために地下水の補給量が少なくなるためと思われる。一方川崎市では一部地域に工業用水法が適用され 相模湖から導水された工業用水道が使用されている。ここでは工業用水道の水温が夏季に上昇するため 15本の深井戸から 1日 54,000m<sup>3</sup> の地下水を揚水し 工業用水の水温を工場末端で 22°C に保つための工夫がなされている。この水源井では揚水量に伴う地下水位の変化が著しく複雑であり 地下水位の高低差は10m以上に及んでいる。

図 10 は多摩川旧河道上にある某工場内に設けられた観測井(深度20m)の地下水位変化を示している。この地下水は降雨のほか 上流部における多摩川用水および湛水田などの地表水から供給されており 水量に恵まれている地域であるが 近接井戸の地下水くみ上げによる影響のために 毎年 25cm 前後ずつ地下水位が低下している。

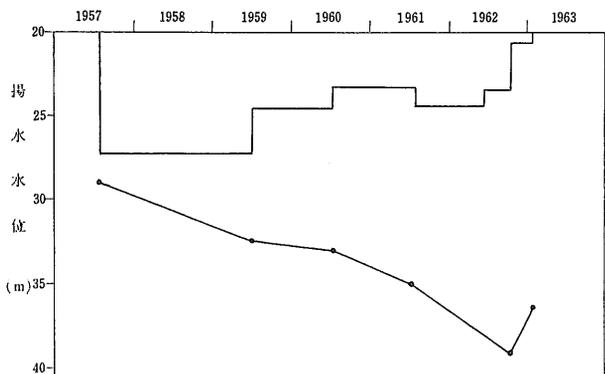
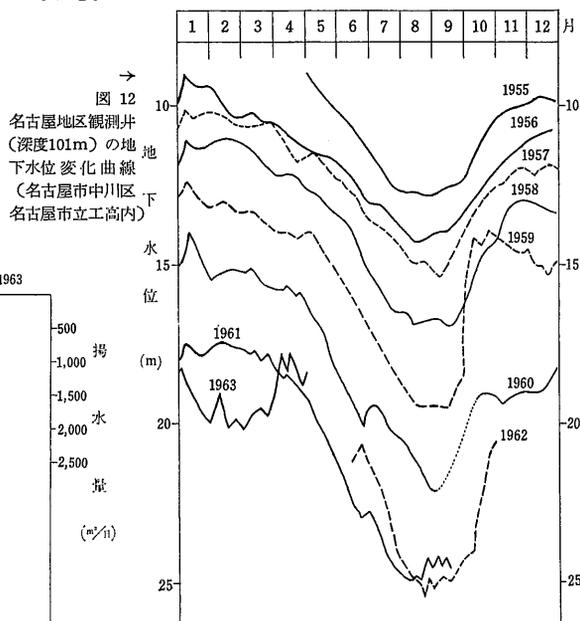


図 11 四日市市上水道水源井(深度200m)における揚水量と揚水水位の関係



→ 図 12  
名古屋地区観測井(深度101m)の地下水位変化曲線(名古屋市中川区名古屋市立工高内)

図 11 には四日市臨海地区に設けられた水源井(深度200 m)の揚水量と揚水水位の関係が示されている。ここでは昭和32年7月井戸掘さく当時揚水水位29mで1,820m<sup>3</sup>/日の揚水量を得ていたが揚水量が次第に減少し昭和38年1月には揚水水位が36.3mで144m<sup>3</sup>/日の揚水量しか得られなくなっている。このような現象は帯水層への地下水補給量が乏しいためであってこの図は帯水層の地下水規模に見合った揚水をしなければ井戸の寿命が長続きしないことを物語っている。数多くの工場が限られた敷地から多量の地下水を得るために揚水管の深度を増加したりさらに揚程能力の強力なポンプを備えるようになってきている。したがってこのような地域では揚水中の動水位とポンプ運転停止後の静水位との差が年々増加することが想像される。このような地下水の揚水が付近の地下水面にどのような影響を与えているのだろうか。

図 12 に示してある曲線は名古屋市の臨海地帯に設けられた観測井(深度101m) 図 13 は東京都足立区に設けられた観測井(深度111m) また図 14 は同じく東京都墨田区に設けられた観測井(深度126m) の水位変化の記録である。図 12 では多雨期に地下水位(正しくは圧力面までの深さというべきだが)が異常に低下していることがわかる。この事実は夏季に低温な地下水が多量に揚水され工業用水に使用される結果付近の地下水面が揚水量の多寡に応じて変動するものと考えられる。そして使用量の減少とともに地下水面は寡雨期に回復していく。主要工業地帯では夏季に集中的に地下水が揚水される結果容水地盤の小さいところほどまた地下水

供給量が小さいところほど地下水面が著しく低下する。図 12 の名古屋地区では最高最低水位の差は6 m 余りもありしかもその差は毎年増加している。また地下水位曲線からわかるように昭和37年の最低水位は地表下25mに達し地下水面の低下もはじめは年間1 m 程度であったものが2 m以上と次第に増加している。東京地区では足立観測井の場合の最低地下水位は37mにも達しており地下水位の最高最低差は約4 m であって名古屋地区のような夏季の異常低下は認められない。それでもなお地下水面は1年間におよそ2 m 低下している。また工業用水の使用量が多い地区にある墨田観測井では昭和38年3月の地下水位はすでに57m以上となり地下水面は1年間に4~5 m 低下しておりその低下量は年々増加する傾向にある。こうして主要工業地帯の地下水面が年々低下の一途をたどっている事実はすでに知られている以上に顕著な事実なのである。

図 15 には主要工業地帯における地下水位の経年変化曲線を示している。これからも明らかなように東京都の江東および城北地帯は全国でも有数の地下水面低下地帯となっておりこれに匹敵するような地下水面低下地帯が全国主要工業地帯に局部的に認められるようになってきている。

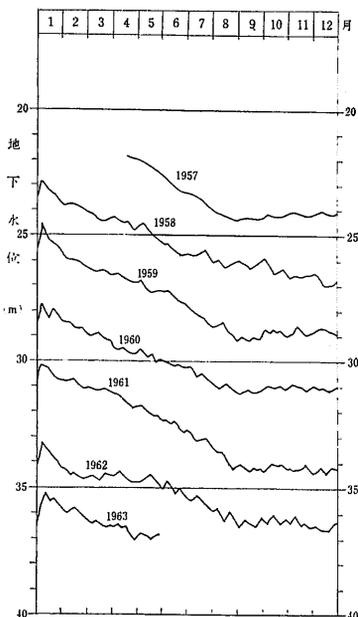


図 13 東京地区観測井(深度111m)の地下水位変化曲線(東京都足立区足立高校内)

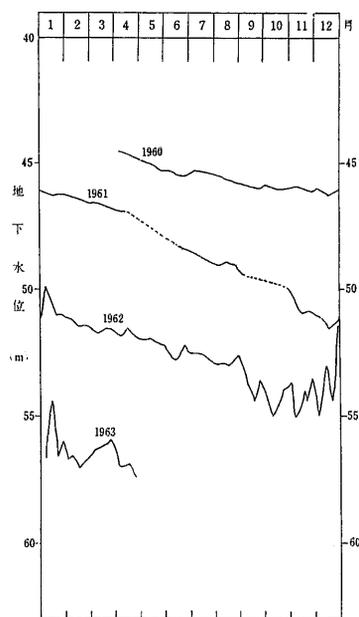


図 14 東京地区観測井(深度126m)の地下水位変化曲線(東京都墨田区某工場内)

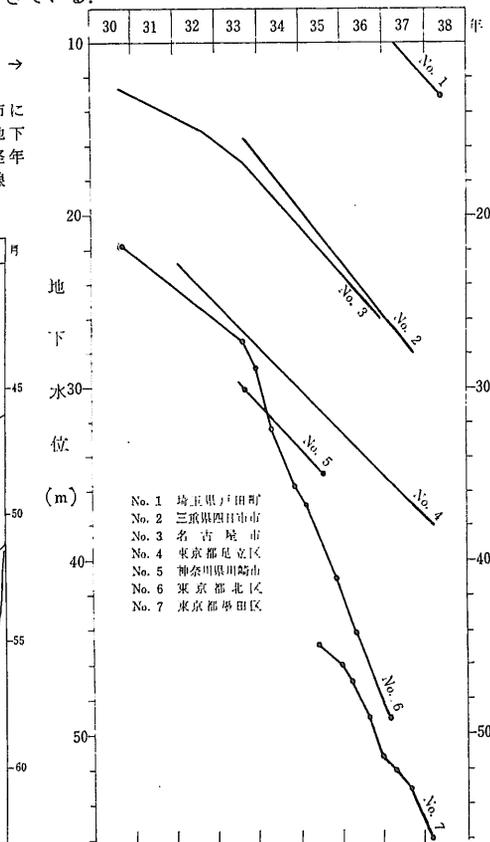


図 15 主要都市における地下水位の経年変化曲線

- No. 1 埼玉県川口市
- No. 2 三重県四日市市
- No. 3 名古屋市
- No. 4 東京都足立区
- No. 5 神奈川県横浜市
- No. 6 東京都北区
- No. 7 東京都墨田区

### 3. 井戸の干渉

工業地帯では工場の地下水くみ上げによって 周囲の地下水面を異常に低下させ この現象がひろがると付近民家の井戸に干渉が生じて しばしば社会問題となっている場合がある。 こうした井戸の干渉は補償の対象となるので工場側にとっても また民家側にとってもそれぞれ重大な関心事に違いない。 図 16 および図 17 には地下水の大量くみ上げによる干渉の例を示している。

A市ではT川の左岸提内地に500mの間隔で深度30mの接合井を2本設け 自由面地下水および被圧地下水を対象として 合計20,000m<sup>3</sup>/日を揚水している。 一方この付近では深度20m~60mの井戸が多く しかも地下水が自噴するので利用に都合がよく 一般民家の飲料に供されていた。 ところが 昭和37年7月20日 水源井を中心とした半径1,000m以内の自噴井がなんの前ぶれもなく一瞬のうちに自噴を停止したり 水の出が悪くなったりして部落中が大騒動となった。 結局市では水源井の大量揚水による結果と判断し 急いで簡易水道を設け一応問題は解決したというわけである。 この付近には地質調査所地下水位観測井 C井 D井およびE井があり これら観測井の経年変化記録が はからずもこの間の事情をキャッチしていた。 図 17 には水源井の揚水量とC井およびD井の水位変化の関係を示している。 D井では5月から8月にかけて地下水の圧力面が上昇し 9月から漸次降下しており C井でもD井と同じような

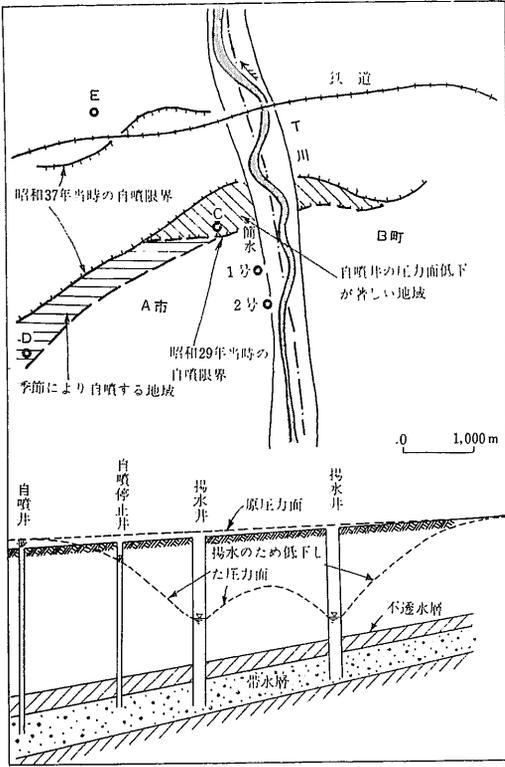


図 16 井戸の大量汲み上げによるため生じた自噴井の停止

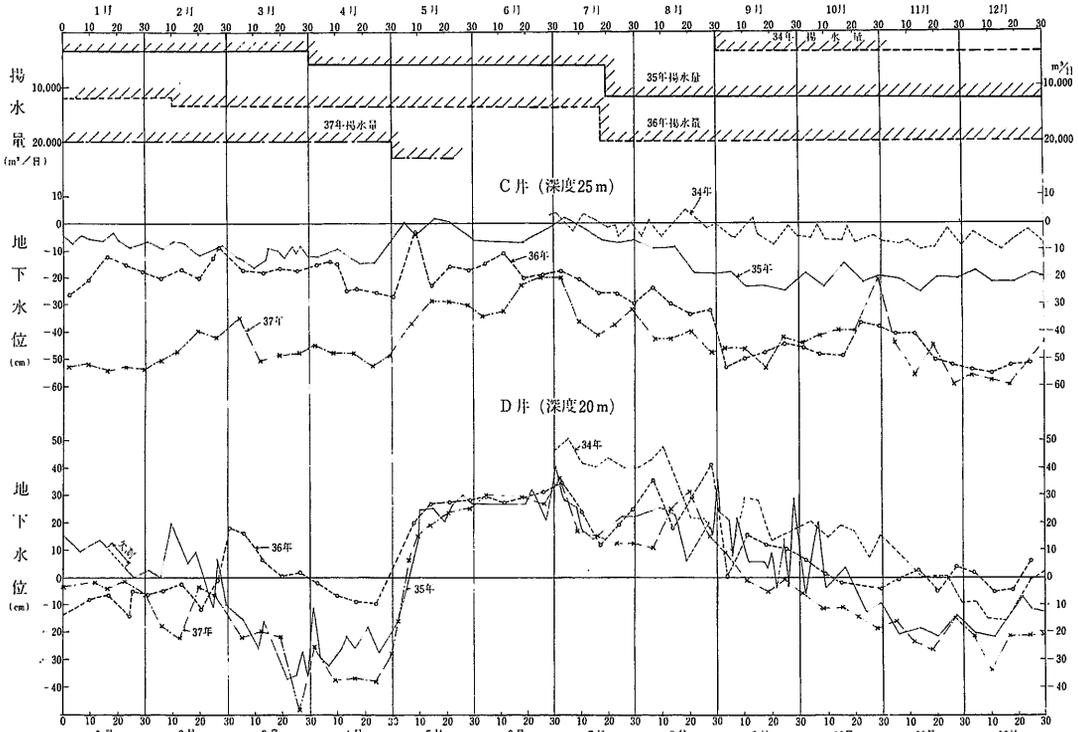


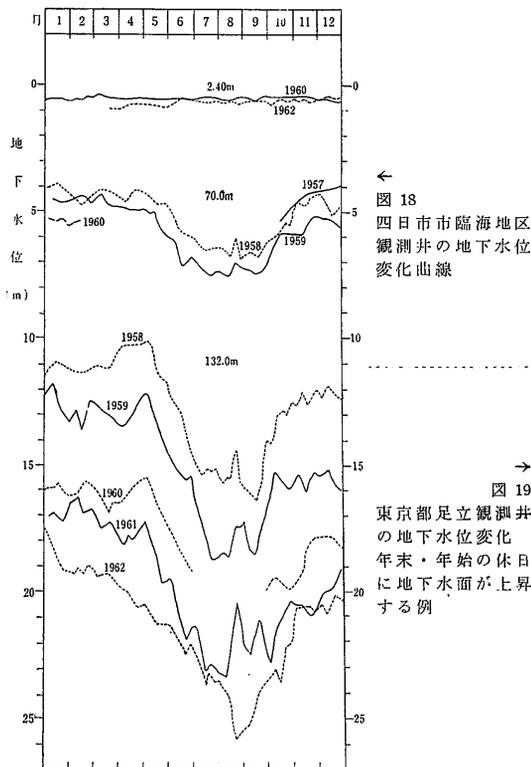
図 17 揚水量と地下水水位変化曲線

傾向が認められている。しかし年々地下水の圧力面が低下する度合はD井にくらべてC井の方が著しいといえる。図16にも示しているが昭和29年当時の調査によればC井は自噴限界付近に位置しておりまたD井は四季によって自噴している。昭和37年には圧力面の自然低下に加えて水源井1号井および2号井の地下水大量くみ上げのために一層圧力面を低下させ自噴限界が移動してしまっている。自噴地帯ではわずかな圧力面低下が自噴を停止する結果となるので地下水の大量揚水には慎重な考慮が肝要である。図16に示した自噴限界はC井の圧力面が地表下35cmのときであり図17に示した圧力面の記録結果から察知すると自噴限界はさらに拡大しているものと予想される。

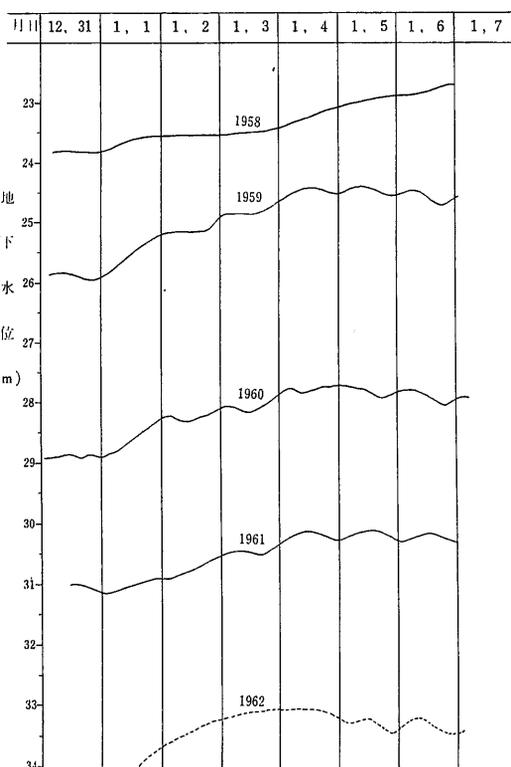
四日市市の臨海部にある某工場では敷地内に2.40m 70m 132mとそれぞれ深度の異なる3本の観測井を設けている。かつてこの工場では敷地内に深度40m 70m 160m 180mなどの井戸を設けこのうち2本の深井戸は90m以深の帯水層が収水の対象となっていて合計9,000m<sup>3</sup>/日の地下水をくみ上げていた。図18には前記3井の地下水位経年変化記録と代表的な地下地質の状況とを示しているがこの図の水位変化曲線から興味ある事実が得られている。すなわちここでは深層地下水のくみ上げによる影響は深度が大きいほどその水位変化が著しくさらに経年の水面低下の度合いも大きくな

っている。しかし井戸深度2.40mの自由面地下水ではその水位変化曲線からわかるように年最高水位と最低水位との差は30cm程度であってとくに地下水くみ上げによる影響はまだ認められていない。ここでは90m以深の帯水層が収水の対象となっている関係上132m井の水位が著しく変化するのは当然であろうが収水の対象に関係のない70m井の地下水面までが著しい影響をうけている。これはおそらく70m以深にはとくに顕著な不透水層がないために下部帯水層から地下水の連続揚水に伴って地下水の減少をきたすため上部帯水層から下部帯水層へ地下水の補給が行なわれるものと考えられる。そして夏季には下部帯水層から多量の地下水をくみ上げれば帯水層の圧力低下に応じて速やかに上部帯水層からの地下水補給が行なわれ上部帯水層の圧力面にも変化が生じるものと考えられるのである。

同一帯水層に近接して井戸を設け地下水をくみ上げる場合井戸相互に干渉が生ずることはもちろんであるが深度の異なった帯水層でも帯水層間に著しい不透水層がない場合には井戸相互に干渉が生じるからじゅうぶん考慮しなくてはならない。一方2.40m井の場合には自由面地下水の帯水層の下部に厚さ20m以上の不透水層がありこれが自由面地下水の下部への漏出を防いでいるものとみられる。しかしながら不透水層の厚さが薄い場合とか深層地下水の揚水量がなおも増加すれ



← 図18 四日市市臨海地区観測井の地下水位変化曲線



→ 図19 東京都足立観測井の地下水位変化年末・年始の休日に地下水面が上昇する例

ば徐々にではあるが 自由面地下水の水面に影響があらわれることは否定できない。

#### 4. 地下水面の回復

地下水を多量に揚水し 使用している工業地帯では 電休日とか 祭日などの工場の休日には 井戸の揚水が停止あるいは減少させられるから 地下水面は急速に回復に向かう。図 19 では年末から正月にかけての休日に地下水面が一時的ではあるが回復している。図 20 および 図 21 に観測井の水位変化記録の一部を示しているが ここでも日曜日から月曜日にかけて水位が上昇している。このような地下水面の一時的な回復は 1 昼夜というような時間内でも繰り返し行なわれる場合がある。井戸の揚水を昼間に限り 夜間は停止するような工場には普通このような例がみられる。

図 20 は東京都品川区内の某工場に設けられた観測井(深度55m)の自記水位記録を示している。この工場は 57,000m<sup>2</sup> の敷地面積に10本の深井戸(深度120m)を掘さくして 1日のうち昼間だけで2,200~2,300m<sup>3</sup> の地下水をくみ上げており 揚水は午後6時には停止している。この地下水位曲線では地下水位は揚水開始前の午前8時~9時に極大に達しているが 揚水を開始すると直ちに低下し 揚水停止直前では約4m低下している。揚水停止後の地下水面は漸次回復し 翌日の揚水開始前には再びその日の極大に達する。日曜日に工場が休み揚水を停止すると 地下水面は土曜日の夕刻から回復しはじめ 日曜日と月曜日の数時間を費して揚水開始前までに約6m上昇し極大に達する。工場の休日が数日続けば 地下水面はまだまだ回復する傾向を示しているが揚水開始とともに回復途上の地下水面が、また低下させられることを示している。

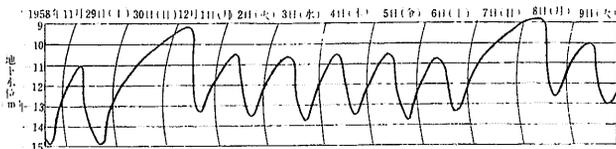
図 20 の地下水位曲線は揚水開始と停止とによって周期的変動を繰り返しつつ 揚水量の多少に応じ 1年間を通じて次第に低下したり あるいは上昇したりする。

この場合 地下水面が上昇することは地下水のエネルギーが蓄積されたことになり 下降することはそれが消耗することになる。つまり休ませればエネルギーが蓄積され 次の挙動開始が高い水位で つまり有利にはじめられるが 連続使用を行なえば 一般には疲労の連続となって水面の一時的低下をきたすのである。一週間の変化をみても明らかにされるが 週末に向かって必ず低くなっている。もちろん じゅうぶん豊富な地下水取得可能量のあるところでは このような傾向はないが 井戸集団のある工場地帯で 部分的に過剰揚水の行なわれているところでは こうした傾向が明らかによみとられるので 井戸管理上心すべき点である。

#### 5. 地下水面の低下に伴う災害

多数の井戸で地下水を多量にくみ上げている工業地帯では 地下水が年々減少するため 1本当たりの揚水量も減少する。工場ではいきおいその需要量をみとすため 井戸数の増加あるいは さらに深い井戸を掘さくして深層地下水をくみ上げるという悪循環を生じている。そして無理な揚水の結果が排砂量の増加 みずみちの変化~破壊 井戸側管周辺の崩落などとなって現われ 気がつかないうちに とり返しのつかない地盤沈下の現象をも 助長しているのである。

図 22 には地盤沈下が著しい東京都江東および城北地帯における井戸の揚水水位と井戸側管の抜け上りによって示される地盤沈下の関係を示している。浦和水脈の延長部にあたる城北 江東地帯では 深度200m~250m



← 図 20  
東京都品川区某工場内観測井の地下水位変化曲線

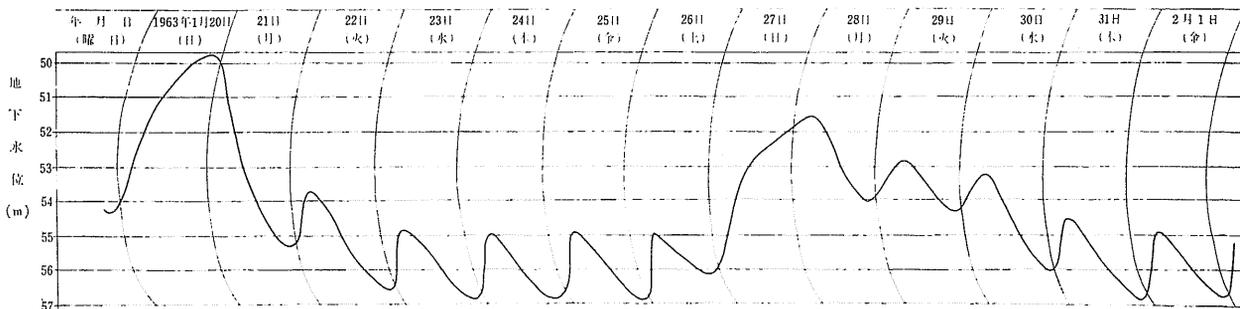


図 21  
↓ 東京都墨田区某工場内観測井の地下水位変化曲線

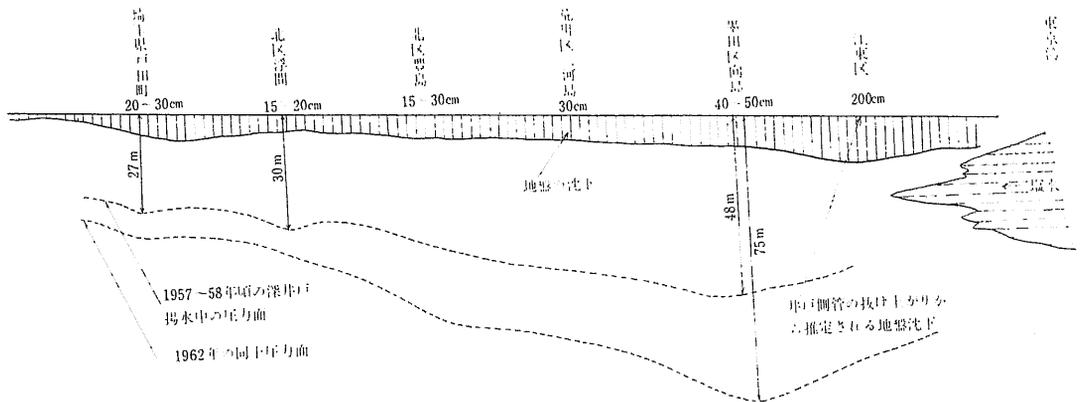


図 22 地下水位の低下が井戸の抜け上がりに認められる 地盤沈下現象を起こしているように見える城北・江東地帯

までに良好な帯水層に恵まれており したがって地下水も豊富なために多くの工場が地下水を使用している。

そして産業の進展に伴って どんどん地下水の使用量が増加していく。参考までに江東地帯における地下水使用量の推移をみると 昭和27年当時の地下水使用量は  $46,000\text{m}^3/\text{日}$  であったのが 昭和32年には井戸数も多くなり 使用量は  $145,000\text{m}^3/\text{日}$  と 昭和27年当時の使用量の3倍以上となって 今日までますます増加の一途をたどっている。

江東 城北工業地帯およびその周辺の工業地帯では工場の井戸のコンクリート基礎に亀裂が生じたり あるいは井戸側管が地表からたけのこのように抜け上っている現象がどの井戸にもみられる。図 22 から明らかになるが この地帯における昭和38年3月の圧力面(井戸の揚水によって影響をうけている地下水の静止圧力面)は戸田町で地表下13m 城北地区で50m 墨田地区では57m 江東区 砂町付近では30m となっており 臨海部における地下水には塩水の混入を生じ 井戸側管地域では異常な圧力面低下を招来し 無制限な地下水くみ上げによる結果 年々地下水面が低下し このような現象が次第に上流地帯まで波及していくのである。

図 23 は尼ヶ崎市の例であって 地下水くみ上げ量と地下水位および地盤沈下量との関係を示している。この図からも地下水のくみ上げ量に応じた地下水面の低下 地下水面の低下に伴って沈下量の増加という関係がよくわかることと思う。元来軟弱な地盤に立地している臨海工業地帯で帯水層の規模以上に多量な地下水くみ上げを行えば 地下水揚水量の減少 排砂量の増加 ポンプランナーの磨滅 井戸側管の崩落といった工場自衛上に ゆゆしい事態を招くだけでなく 目に見えない地下水面低下が 工場外に波及し 地盤沈下という公共災害

をも促進することになるというわけである。

### 6. 井戸災害の防止対策

工業地帯に現在以上に災害を促進させないように 昭和31年以来工業用水法が施行されている。今後井戸を掘さくして地下水をくみ上げる場合 井戸の収水深度および揚水量に制限をうけることになり 無理な揚水ができなくなるしくみである。そしてこのような措置により工業用水の使用量に不足が生じるような場合には 別に設けられた工業用水道からまかなうことになっている。

尼崎市では市全体の地下水くみ上げ量は1日に  $200,000\text{m}^3$  である。この量は地域全体の帯水層の規模からみれば必ずしも過大な揚水量とは思われないが 工場が臨海部に局部的に形成されそのうえ集中的に地下水をくみ上げる結果 臨海部に地盤沈下が生じた。市ではこの防止策として 昭和31年に工業用水道計画をたて 昭和32年に第1期分として武庫川の表流および伏流から1日に  $60,000\text{m}^3$  が取水され 工業用水法が適用された地域に給水している。この地域の一部では給水実施前の地下水くみ上げ量は1日に  $45,000\text{m}^3$  であったが 工業用水の

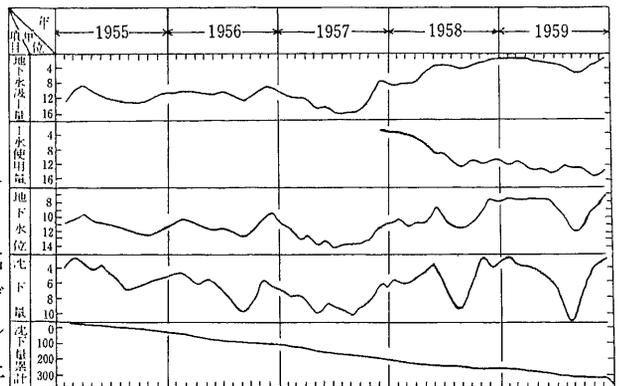


図 23 尼ヶ崎市臨海部における地下水くみ上げ量と地下水位および地盤沈下量との関係(尼ヶ崎市水道局資料による)

単位: 地下水くみ上げ量 工業用水使用量は  $\times 10^4\text{m}^3$   
地下水位はm 沈下量および沈下量累計はmm

給水開始と同時に地下水から工業用水道水への切り替えが増加し 地下水の使用量は1日に7,200m<sup>3</sup>と著しく減少した。 図 23 では地下水の代替えとして工業用水が使用され その結果地下水面の回復に伴って沈下量の減少が認められ また地下水面を地表下7 m内外に保持していくかぎり 地盤沈下を促進させない様子がわかることと思う。

尼ヶ崎市のほかに すでに工業用水法が適用されている地域のうち 四日市市 川崎市 名古屋市 東京都などに設けられた観測井の地下水位変化の記録を 図 18 図 24 図 12 および 図 13 にそれぞれ示している。 これらの図からも判断できるように いずれの個所でも地下水面が年々低下しており とくに7月から9月にかけての水位低下が著しくなっている。 したがって工業用水法の施行効果が地域のおすみずみまで まだ及んでいないといえる。 図 24 に示してある曲線は川崎市に設けられた観測井の水位変化記録である。 64m井は臨海部にある某工場外に また40m井は東海道線から近距離にある某工場内にそれぞれ設けられている。 この図からも64m井の地下水位が22m程度であるのに対し 40m井では35mと著しく低下して いずれも年々地下水面が低下する傾向がうかがわれる。 これはつまり 臨海部付近の工場では地下水の使用量が漸次工業用水に切り替わったため 地下水面が一応安定したのであるが その

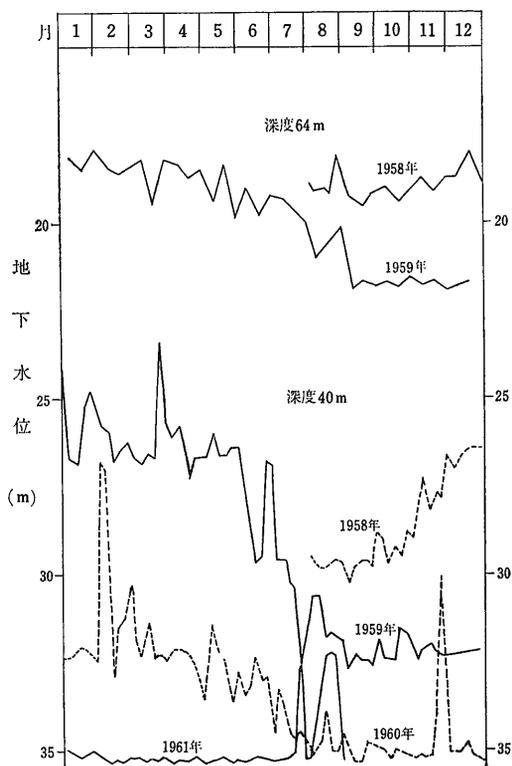


図 24 工業用水法適用後の川崎地区観測井の地下水位変化曲線

地下水透水帯と目される上流側において 多量の地下水がくみ上げられる結果 上流側の地下水面が異常に低下し この影響が下流側に及んでいるものとみられる。 したがって工業用水法で限られた地域について 井戸の収水深度および揚水量について いくら厳重に規制しても 地下水透水帯の上流側で無制限な地下水のくみ上げが行なわれれば いきおい下流側への地下水補給の道を抑制することとなり その結果 下流側に地下水面の低下が生じてくる。 こうした観点から尼ヶ崎市が第2次追加指定地域として率先して上流側を含む全市を 工業用水法施行の対象にとりあげたことは きわめて賢明な施策であったといえることができる。

近年 大都市ではビルの冷房用に大量の地下水が使用されている。 工業用の地下水くみ上げを規制しても 他方ではビルの冷房用に多量の地下水くみ上げを放置していたため 工業用水法の規制効果が少なく 地下水面の一方向的低下をきたす原因となっていたのである。 大阪市ではすでに市条例により こうしたビルの冷房用を含めた地下水の規制を行なっている。 東京都では1日200,000m<sup>3</sup>の地下水が ビルの冷房用に使用されており 拡大する東京都の地盤沈下に対処して 政府は昭和38年5月下旬「建築物用地下水採取規制法施行令の一部を改正する政令」を決定した。 これは 従来行なわれていた規制地域をさらに拡大し 規制地域内における井戸の収水深度 および地下水のくみ上げ量について制限を一層強化した措置である。 国土保全対策として地盤沈下などの公共災害に結びつく地下水規制強化措置は 元来 軟弱地盤に立地し 井戸集団が過剰揚水を行なっている臨海工業地帯に対して 押し進められることが予想されるのである。

## 7. 地下水の積極的強化利用策

いずれにしても このようにして生まれた工業用水法および建築物用地下水の採取に関する規制法律が地下水の保全に対して 着々と効果を上げていくことは否定すべくもない事実であるが いま一歩進んでさらに積極的に地下水の利用を図る方法として 還流井による地下水の補強法がある。 そして進歩的な一部工場ですでにこの方法を実施している。 つまり いったん使用した地下水 (地下水に限らず他の水源からの清澄な水でもよい) をくみ上げ井戸から一定距離はなれた井戸に 自然流入あるいは加圧注入を試み 井戸周辺の地下水面を高めて塩水のそ上を防止したり あるいは地下水面を著しく低下させないで地下水をくみ上げようとするものである。 もちろん1井当たりの注入量にはそれなりに限度がある

から 地下水を多量にくみ上げている工業地帯ではこの  
 ような方法による効果を『九牛の一毛』と評価する向き  
 もあるかも知れない。しかしながら 各工場がそれぞ  
 れ還流井により地下水の補強を行なえば 井戸周辺の地  
 下水面が広く高められるのは事実であり それだけ有利  
 な状態で地下水が揚水できるのもまた事実である。

地質調査所では昭和33年以来徳島 名古屋 東京都内  
 の5カ所について地下水の地下還流試験を行ない 昭和  
 38年度には直江津市内に行なう計画になっている。こ  
 の間 地下水の静水位帯水層の透水性 注入水の水質  
 井戸仕上げの巧拙 井戸側管周辺に生ずる地下水の吹き  
 上げなどの技術上の問題および注入水の確保 還流井ま  
 での配管設備などの予算上の問題など いろいろ困難な  
 経験をしてきたが これらの試験によって塩水そ上防止  
 および地下水面の低下阻止などに役立つ事実が明らかと  
 なった。

図 25 および図 26 には東京都城北地帯にある某工場  
 敷地内において 地質調査所が行なった地下還流試験結  
 果の一部と 試験井と既設井の関係位置をそれぞれ示し  
 ている。ここでは 深度60m~70mおよび150m~170  
 mに認められる砂礫層が それぞれ帯水層となっており  
 工場敷地内の No. 4 井では下部帯水層から1,500m<sup>3</sup>/日の  
 地下水をくみ上げ 揚水量の大部分が冷却用に利用され  
 ている。そこで まず冷却使用後の水を注入する了解  
 を得てから 図 25 に示したように上部帯水層および下  
 部帯水層を対象とした深度100mおよび深度220mの注入

井を掘さくし 注入量を次第に変化させながら還流試験  
 を行なった。図 26 には注入量と地下水位変化の関係を  
 を示している。この図からも明らかなように 注入2  
 号井(深度200m)に50m<sup>3</sup>/時~52m<sup>3</sup>/時の水を注入した場  
 合 注入2号井から20m離れた No. 3 井(休止井)では  
 50cm~60cmにおよぶ地下水面の上昇が認められている。  
 また注入1号井(深度220m)でも下部帯水層中に 50m<sup>3</sup>/  
 時の水を注入すると 注入1号井から85mの距離にあっ  
 て57m<sup>3</sup>/時の揚水を行なっている No. 4 井の水位が60cm  
 上昇し 下部帯水層では注入効果の影響が遠方にまでお  
 よぶ事実があきらかとなった。ここでは注入量の不足  
 から 52m<sup>3</sup>/時以上の注入試験はできなかったが 一連の  
 還流試験が終るまでに 合計 72,000m<sup>3</sup>を注入したので  
 ある。

しかし このような試験的な地下還流が成功しても  
 いざ実施の段階になると一般には一井当りの注入可能量  
 など経済的効果の面に漠然とした不安がつきまとい な  
 かなか実施に踏み切れないのが実情である。琵琶湖畔  
 にある某スフ工場では 用水の加圧注入を試み 圧入井  
 1本で平均2,400m<sup>3</sup>/日を注入している。尼ヶ崎市の例  
 では 揚水井と同じ影響圏内の同じ地下水層に還流すれ  
 ば流入井の揚水能力の70~80%が 自然流入で可能であ  
 りまた同じ影響圏内で揚水が行なわれていないときは  
 注入井の揚水能力の50%が還流可能なことが示されてい  
 る。これはつまり大量揚水をして圧力面の下がっている  
 所ほど還流による効果が大きく そうした所では水位  
 の上昇に伴って揚水しやすくなることを示している。

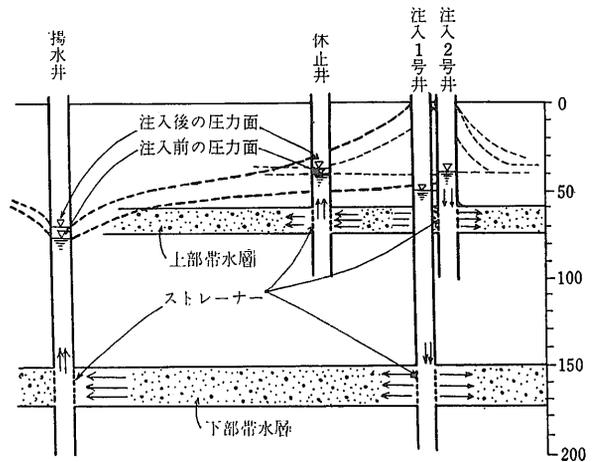
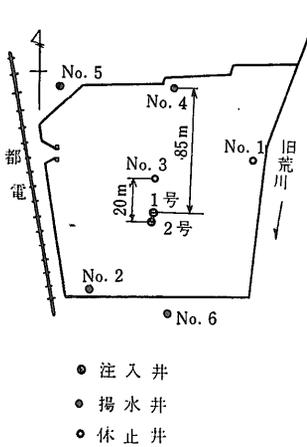


図 25 東京都北区某工場内における地下還流試験

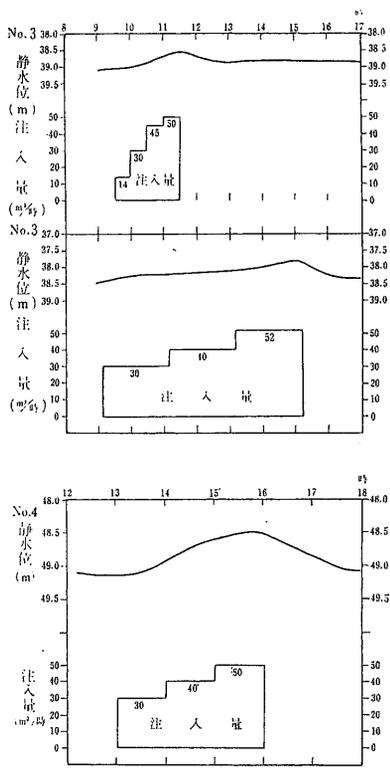


図 26 注入水量と地下水位の関係

地下水面（地下水のくみ上げによって影響を受けている静止水面）が30mを越える場合の揚水井そのものの水位はおおよそ40~50mと判断される。すでに江東地帯の一部では揚水水位が75mに達しているのである。こうした地域では在来のポアホールポンプではもはやその能力に堪えられないので、次第に高揚程・大能力の水中ポンプに切り替わっている。そして皮肉なことにはこの強力ポンプで引き続き5年間も連続揚水を行なえばより以上の性能を有するポンプに切り替えるか、あるいはその工場が他の水源に依存しない限り、工場用水使用量の不足のために、工場生産の縮小あるいは閉鎖のやむなきに至ると思われる状態が各地に予想できるようにさえなってきたのである。

地下水には表流水のように水利権がないから敷地さえあれば多数の井戸から無制限に地下水をくみ上げていまのところ外部から法的に云々される筋合いはない。それかといってこのような状態を長時間放置するときにはこの結果のもたらす災害は工場だけではなく近隣の公共施設にまで波及してくるのである。したがってこのような地帯の地下水はもはや私権は属さず公共的な地下水といっても過言でない。

1井当りの注入量は地下地質および地下水理の状態さらに揚水条件によって異なるほか、注入井の井戸仕上げの巧拙による損失があり、さらに長い期間には注入水の水質による目づまり現象などのために若干注入量が減少するのはやむを得ない。しかしこうした地下還流により周囲の地下水面上昇し、それだけ有利な条件で揚水が可能となり、また水量のほかにも帯水層を通じての熱交換により注入水の温度を低下させるのに役立つであろう。とくに水源を表流水に依存している工業用水道では水温が夏季に増加するので給水の温度低下の問題が生じることが予想されるからである。

地下水の保全を図るために工業用水法および建築物用地下水規制法などの施行も大切であるが、もっと大切なのは地下水が思うように得にくくなった現在、それぞれの利用者自身が計画的に適正な地下水のくみ上げを行なうとともに、在来の水経費に対する認識をあらため、さらに地下水の強化および還元使用の道を積極的におし進めることがぜひとも必要のように見受けられる。

(筆者は 地質部工業用水課)

図 28 送水管の出口に最少限の沈下量を示す井戸側管の抜け上がり

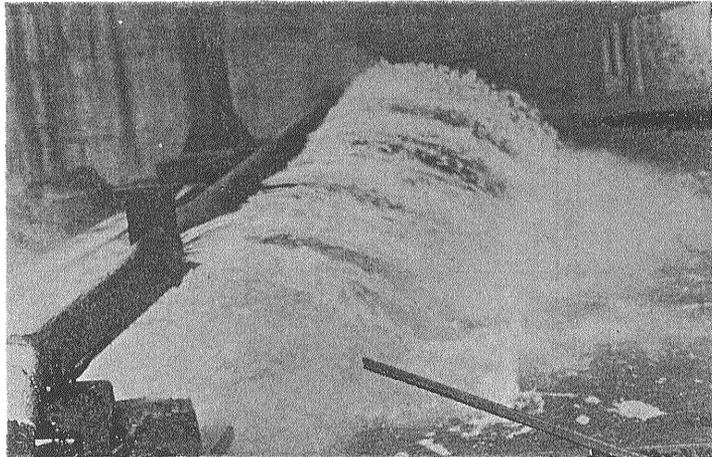


図 27 大量の地下水が文字どおり湯水のように使われている用水現場（冷却用）

