

# 地下水位の観測記録に現れる地下水障害の動向

村下 敏夫 (環境地質部)  
Toshio MURASHITA

## 1. まえがき

地下水障害という言葉が用いられて久しいが それについての十分な解説はまだない。しかし 通常考えられているのは 地下水の汲上げに原因する水位の低下 その低下に起因して発生する地盤の沈下や塩(海)水の侵入による水質の悪化など 人為的原因による障害である。

地盤の沈下 塩水の侵入 などの人為的障害は むずかしくいえば 地下水の汲上げ量が補給(かん養)量を上回って地下に貯蔵されている水が減少するから起こるのである。

地下水は高いところから低いところへ向かって——帯水層の露頭に浸透した水が 地下の砂礫の間隙や割れ目を縫って流れているものであるから 本質的には 露頭での浸透量(補給 かん養)の範囲で汲上げが行われていれば 地下水位の低下は起こりえない。

したがって 地下水障害は 地下水の過剰汲上げ——地下水域(盆)における安全揚水量を超えた汲上げをさし 井戸の過剰揚水とは区別される——の結果生ずる障害である。しかし この障害の発生は 単に過剰汲上げという地下水貯蔵量の消費に起因するだけではなく——多くの場合 上記の障害の一つが顕在化すると その責任は地域の地下水利用者にあると指摘されている——地下水域の環境が大きく変化したことにも原因がある。

地下水位の低下に係する前記の障害は 第2次世界大戦後の急速な経済成長のもとでの社会上の大問題となり 種々の対策がとられる一方で いわゆる石油ショック——昭和48年後の経済成長の鈍化に起因して ようやく終熄——多くの犠牲を残しながら——の方向へと傾いている。

本文では 地質調査所 100年のあゆみのなかから 地下水源の調査 利用 障害の発生と対策の効果 という地下水開発の歴史と現状を 地下水位の観測記録に基づいて眺めてみようと考えている。

## 2. 地下水源の調査開発の経緯

### 2.1 地下水源の調査

いま 地質調査所 100年の間に公表された地下水源調

査に関する報告の類を通覧するとき 明治時代には  
ナウマン(明17) 堺市街井水改良按 地質調査所明治16年報  
第1号。

コルセルト(同) 東京府下用水分析報告 同。

伊木常誠(明36) 鎌倉ノ水脈調査報告 地質要報16-3。

を散見するにすぎないが 大正時代に入ると

大築洋之助(大元) 神奈川県中郡大磯町水脈調査報文 地質  
調査所報告36。

をはじめとして 堺市(大3) 津市(大5) 弘前市・福島市・須賀川町・滋賀県下・八戸市・大阪府管内(大6) 福山市・岩手県など(大7) 大分県管内(大8) 岡山市(大14) が 地質調査所報告に数多くある。

昭和26年に 地質調査所が工業用地下水源を対象として地下水調査を組織的に実施してからは その結果——愛媛県加茂川下流平野(平山健ら 1952) 岡山県南(蔵田延男ら 1953) などが地質調査所月報に 兵庫県西播地域(蔵田ら 1954) などが同報告に発表され また地下水域としてまとめたものが日本水理地質図(第1号 木曾川左岸・矢作川および豊川流域 村下ら 1961)として刊行され いくつかの地域については再調査の結果が 月報に報告され 水理地質図の改訂版として 出版されている。

閑話。 読者はすでにお気付きであろうが 現在ではごく普通の単語である「地下水」が 明治時代には使われていなかった ということである。 地質調査所の最も古い出版物である前記の明治16年報第1号では 井戸水と井水 地質要報(明治36年)と地学雑誌第1輯(明治22年)では水脈が用いられ「地下水」が初めて活字となったのは一筆者の勉強不足で間違っているかも分からないが——地質調査所報告第35号(明治45年)と同年の地学雑誌第277号であった。 それ以来 地下水が専門用語として定着している。

地下水源調査に関する報告が 上記のとおり 大正時代と 昭和は27年以降に まとまって多い背景としては 次のことが考えられる。

元来 我が国の都市は 生活や産業に欠くことのできない水が手易く得られる平野や盆地の川沿いに立地し 発展してきた。 水道があった江戸時代の城下町やそれが必要でなかった町でも 明治時代に入ると 人口の増加で水不足が生じ 飲料水源であった流水や泉がにわか

年コレラが全国に流行して6,817名もの死者が出た)などいろいろな水問題が生じたので旧式(流下式)水道を改善しあるいは新しく欧米式有圧水道を建設する機運が生じた。明治22年に竣工した横浜水道は近代式水道の第1号であった。横浜などの貿易港は国の援助を受けることができたので水道の建設が比較的容易であったがその他の都市では経済的に困難であった。しかし明治の2大戦勝のあと産業の目ざましい発展と都市化によって大正時代は地方における近代的都市水道建設の時代であったと推測される。

この時代に地質調査所が行った地下水調査は県知事・市・町・村長からの要請によるものでその主目的は都市用水とかがい用水の確保で件数はそれぞれ14件4件であった。当時水道の水源は地下水(または伏流水)あるいは河川水(または貯水池)のいずれかであってそれらの比較検討のために地下水調査が行われたのではないだろうか。

その一つの証拠に福山水道史(昭和43年)がある。この冊子は市制施行50周年および上水道布設40周年を記念して水道発展のあゆみを記録したものである。このなかに藩政時代の福山上水(元和5年1619)から近代的な上水道へ転換するために水源を地下水に求めるかあるいは地表水に求めるかの比較研究の必要から大正7年2月地質調査所小倉勉技師の来福によって綿密な地下水調査が行われたとある。最終的には芦田川の伏流水をポンプによって引水する「ポンプ式案」と12km隔たった熊野村に設ける貯水池を利用する「自然流下案」との比較検討となった。その結果当時はポンプ揚水に必要な動力費(電気・石炭)が高いことから同9年7月自然流下式により水道事業を敢行することが福山市永遠の利益であると市議会によって議決された。

昭和26年以降地質調査所が地下水源調査を積極的に実施したのは戦後の経済復興の兆とそれに欠くことのできない水源——恒温かつ低温良質民法上自由に採取できる——地下水の確保が背景にあったからである。

その頃地盤沈下が社会的関心事となりつつあった。その契機となったのは昭和25年のジェーン台風襲来による大阪・尼崎の被害で両市の30%以上が浸水し被害額が1,000億円以上に達した。そして地盤の沈下を防止することを目的の一つとして「工業用水法」という地下水汲上げの制限に関する法律が31年6月に制定されたが技術面の裏付けは上記の地下水調査の結果であった。

しかし昭和30年代の初めは地方自治体企業とも

経済力に乏しく工場の拡充・整備新工場の建設などはごく一部に限られていたから地下水についての認識は一般に低かった。

30年代の後半になると経済の急速な進展に伴って地下水開発が無策に行われ一方では需要の高まる電力や水の供給のために貯水池が建設され都市開発や交通網の整備のために砂利採取が行われて山地や河川が荒廃し地下水の根源である天水や河川水が地下に浸透する機能が徐々に失われた。

そして40年代の初めには地下水位の低下に起因する地盤の沈下塩水の侵入による水質の悪化が全国に広がった。地下水の採取の規制に関する条例・要綱が雨後の筈のように生まれたのはこの後半であった。

しかし地下水条例・要綱だけでは進行する地下水障害を抑止することができなかった。この最大の原因は地下水の採取の制限がもたらそこに立地する工場に向けられ公共(水道・下水道)・消雪・かがい・淡水魚(主にあゆ・うなぎ)養殖などの用の地下水採取に対しては施策——地下水に代わる水源の確保と建設が考えるほど容易でないので除外されたからである。

地下水位が意外な原因から上昇し始めたのは昭和48年以降である。石油ショックは経済の成長を鈍化させ諸物価の上昇は工業用水の料金にも及び工場が節水・水使用の合理化を積極的に行って地下水の汲上げを大幅に削減したからである。

## 2.2 地下水の開発

地下水の開発は地下水の需要があって行われる。

わが国における地下水の開発が小規模の需要に応じていた手動式掘さく法である「金棒掘」から大規模の需要を満たすために「機械掘」に転換して昭和56年で70年を経過した。

閑話。ここで金棒掘に関する話題を提供したい。我が国における掘井戸は弥生時代の初期からあり中世には土木工事の担い手である集団があって井戸も掘っていたようである。

掘抜井戸 Artesian well—北フランス・アルトワ地方に12世紀に掘抜井戸が数多く掘られたことに由来する一が日本では何時頃から掘られたかは明らかでない。初めの掘り方はモミヌキ掘であったといわれこの方法はまず直径の大きい立て穴を掘りその底に節を抜いた大きな竹筒を打ちこんで被圧地下水を得た。この方法が江戸で最初に成功したのは享保8年であった(拙著水井戸のはなし1968ラテイス)。竹の代わりに鉄棒の錐を使うのが金棒掘である。この工法が上方から江戸へ入ったのは天明の末であった。これも上の方はモミヌキ掘と同じに大きな穴を掘って杵を入れその底に長さ約9mの鉄棒を2本3本とつないで打込み水層

に達したら 直径数 cm の竹管を入れて地下水を噴出させるというものであった。上総掘は 金棒掘の工法に改良を重ねて完成したもので この苦心談は 堀越正雄著「井戸と水道の話」(論創社)にゆずりたい。

掘抜井戸を地質調査所明治16年報第1号は 鑽井と呼んだ。鑽の意味から考えると 鑽井は金棒掘井戸のことであり 地下水が地上に噴出する井戸を噴水鑽井といった。現在 この用語は専門家の間でも使われないが中学・高校の地図帳などでは オーストラリア大陸の中央部に近い所にある Great Artesian Basin を「大鑽井盆地」と記載してある。

前述のとおり 明治10年に全国にコレラが発生した。これを契機に 水道の恩恵を受けない所や井戸の水質が悪い所では 鑽井によって生活用水を得るようになった。オ・コルセルトは 東京府下の井水の水質試験を行った結果 高台にある浅井戸よりも 高台と高台とに挟まれた低地にある掘抜井戸の水質がよく 掘抜井戸は地上の汚水が混入する恐れがない構造の井戸であることに着目して 当時 神田上水系統で水質が最も悪い日本橋区のような所では 府庁が率先して鑽井を多く掘って 住民にその水質が善良なことを明示し—と 当所明治16年報第1号のなかで 建言している。

明治45年4月 わが国最初の水井戸掘さく会社が創立し 翌年 東京市外下落合(現新宿区)に 口径320mm 深度158mの水井戸を アメリカから輸入したロータリ機で完成させた。その結果 水質良好 自噴水量一日当り54.5m<sup>3</sup> 揚水量一日当り5,450m<sup>3</sup>を得た。以後 熊本の健軍 佐賀の水道水源—と 自噴圧の高い被圧地下水の開発が行われたことは 株式会社日さくの社史「七十年史」に詳しい。

一方 関西における第号1井は 大正8年 大阪は中之島に カリフォルニア式と呼ばれる掘さく方法(ローピング工法の一つ)によって完成した。

大正10年前後には 地下水開発事業の必要性が高まって 新潟方面の油田地帯に多く使用されていたローピング式やロータリー式の掘さく機が地下水開発に転用され また 明治29年に完成した上総掘—粘土掘りの原理をたくみに応用したビーム式さく井機が開発され 昭和6—7年頃から 関西・東海の地方で活躍をはじめ 今日に至っている。

水井戸需要の推移について 横谷多志郎(1971)は次のとおり紹介している。

—大正の末期までは さく井の需要はきわめて少なく さく井工事の請負業者も 東京・大阪市内とも数社を数える程度であり これらの業者が全国を股にかけて活躍していたのであった。当時は現在のように事前に各種の調査や試掘を行ったりするようなこともなく 勘だけに頼って—(略)—随分失敗等が多かったものである。

昭和初期からは 日本の紡績界が世界の市場に進出し始め

またたく間に世界の市場を制覇し—(略)—この時期に内地においては温・湿度調整の付いた 近代的で高効率を備えた工場が地下水の豊富な場所を求めて 巨大な新鋭工場を続々と建設し始めた。

地下水の恒温性が繊維工場に欠かすことの出来ない存在となり 需要の増大とともに さく井業者も乱立するに至ったのである—(略)—

終戦後数年間の虚脱時代が過ぎ 繊維工業をはじめ諸工業の急速な復興は 地下水の利用を高め地下水がたやすく入手出来る好条件なる地域に 工場建設を求めたことがすばらしい日本の国内の発展の原動力となったことに否定出来ない。

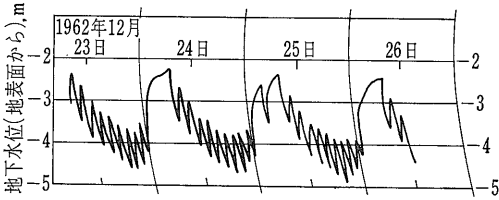
また ビルの冷房および雑用水として 敷地内に容易に求めることが出来る地下水の大量利用が 終戦後急速に高まって来た。林立する高層ビルが夏季にいっせいに汲上げる水量は 大阪市内の例でみてても数百十萬m<sup>3</sup>/日に達し その他重要工業地帯の無制限汲上げはついに地盤沈下の原因となり—(略)—かような事態は各関係機関において重視され 工業用水法・建築物用地下水の採取の規制に関する法律(昭和37年)による規制が実施された。かかる地盤沈下の原因は 限度ある地下水を無制限に汲上げて その水に対する収支の計算を無視した結果によるのほかないのである—と。

横谷が 関東・東海・近畿の3地区で 有力業者数社の資料に基づいて作成した 大正元年から昭和44年までの間の地下水需要先の推移をまとめた表から 百分率の大きいもの三つを選んで示すと 次のとおりである。

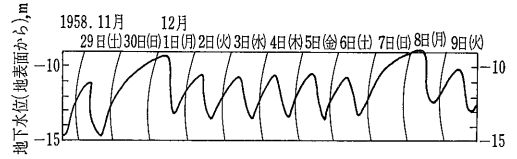
大正元年—15年	官公庁 水道 繊維工業と食品工業
昭和元年—10年	繊維工業 官公庁 水道と化学工業
11年—20年	金属・機械工業 繊維工業と軍基地官公庁
21年—30年	水道とビル 化学工業 繊維工業
31年—40年	水道とビル 化学工業 金属・機械工業
41年—44年	水道 官公庁 かんがい

地下水利用が容易になったのは 水井戸掘さく工法の改良によって工事費が安くなったからだけでなく 揚水ポンプの改良も大きく貢献した。従来—少なくとも大正年間にあっては 水井戸といえれば自噴井であり 深井戸ポンプはエアリフトポンプ プランジャーポンプが代表的なものであったが ボアーホールポンプが昭和3年にアメリカから輸入され わが国のポンプメーカーによって製作されるようになって安くなり 揚程が10—30mあっても容易に揚水できるようになった。28年ドイツから輸入された水中モーターポンプが翌年使用され 地下水需要に応じられるポンプとして高く評価されて以来 このポンプが現在では水井戸ポンプの代名詞となっている。

このポンプは 水位が例えば200mという深い位置にあっても 強制的に揚水できる機能をもっている—こ



第1図 被圧地下水水位の日変動（伊丹市 尾崎：1973）  
観測井の深度80m



第2図 被圧地下水水位の週変動（東京都足立区 尾崎：1973）  
観測井：地質調査所1956年設置．口径100mm  
深度111.3m ストレーナ98.0—104.0, 108.0—110.0m

れが 地下水障害誘因の原動力の一つになったのである。

### 3. 地下水位の観測

#### 3.1 地質調査所の観測

地質調査所が昭和26年に工業用地下水源地域調査に着手してから 工業地帯における水井戸の枯渇 井戸から砂の大量排出と井戸周囲の陥没の発生などに注目してこれが将来地盤の沈下等の障害に結びつくことを恐れて地下水保全の必要性を提唱し 地下水位の観測を最初に手がけたのは 翌27年4月から調査を始めた西播地域（姫路市・竜野市など．現在は中播地域という．）における9井であった。 つづいて 東播地域（加古川市・西脇市

・高砂市など）における同年6月からの23井． 伊勢市における同年12月からの1井 鈴鹿市における28年2月からの3井． 県から依頼があって行った地下水調査では富山県呉東地域（主に現在の富山市）における29年からの10井と呉西地域の8井 愛知県知多半島における31年からの14井があった。

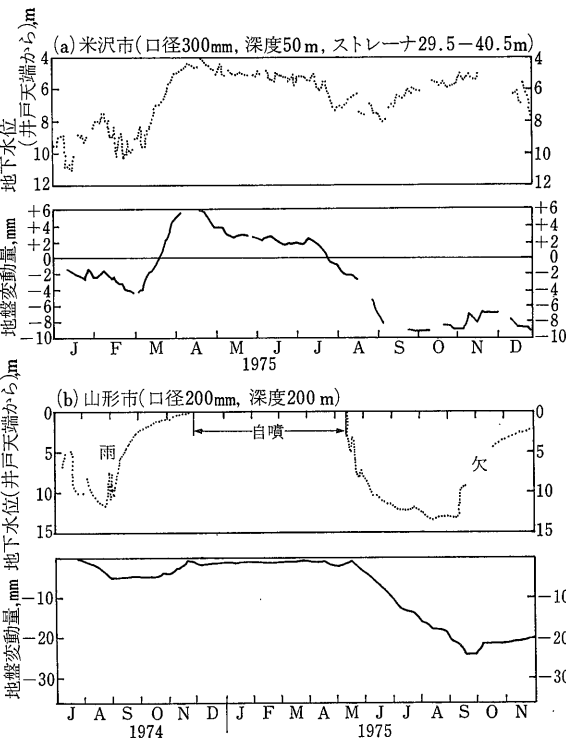
これらの井戸は 個人の使用井戸であって 水位の測定は 井戸を汲上げる前——早朝にお願いし 1年間にわたって行われた。

小・中学校内にあった観測井は 地元の協力によって最近まで観測が継続されたのがあったが 建物の増・改築などによって 井戸の存続が困難となり すべて廃井となった。 しかし 長期観測の結果が 地域地下水の対策を立案するうえできわめて重要な資料であることが地元で認識されてきたので その代替井が廃井のごく近くに新設されている。

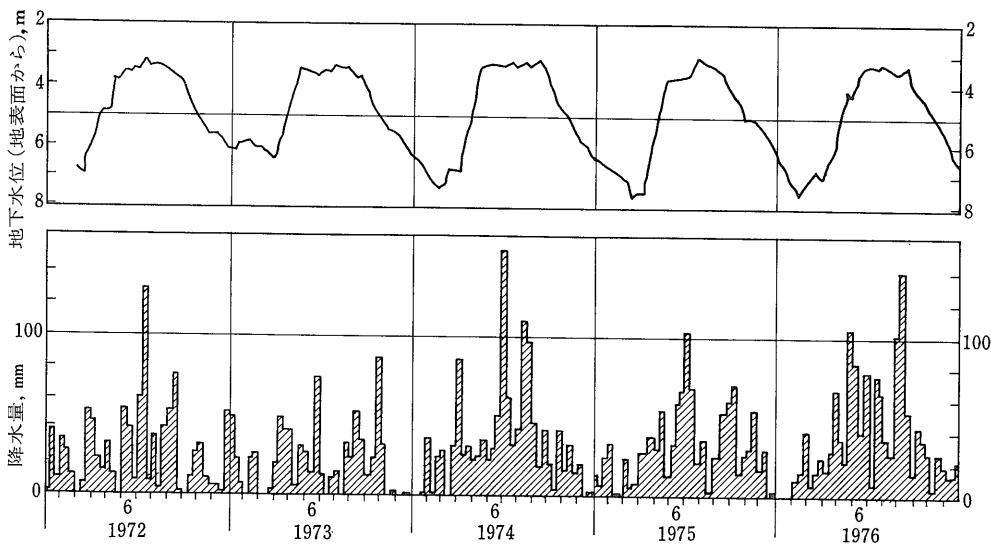
個人の井戸を借用することは 観測続行の上でしばしば危ななことに遭遇するので 地質調査所専用の観測井を設置することになった。 この井戸掘さくの目的の一つには 地下地質に関する情報の収集があったから 当時の試錐課の協力によって 試料の採取 観測井戸としての仕上げが行われた。 それらの観測井の位置と観測の開始は 次のとおりである。

設置年次	設置場所	深度 m	観測開始年月
昭和28年	浜松市上島	64.8	昭和29年1月
29年	名古屋市中川区	101.0	30年5月
30年	静岡市駒形	45.0	31年4月
31年	東京都足立区	111.0	32年4月

このうち 浜松市・名古屋市・静岡市の観測井は 学校の校庭の一部にあったから 校舎の増・改築に支障をきたして廃止となり 足立区の観測井は 後に東京都土木研究所の地盤沈下観測井の一つに組入れられた。 なお 廃井となった浜松市の観測井は その近くにあった休止井が代替井戸となって 観測が継続されている。 静岡市の廃井はその近くに新設されて 現在 東海地震



第3図 被圧地下水水位の年(季節)変動． (a)夏高冬低型  
(b)夏低冬高型 (山形県資料 村下：1976)



第4図 夏高冬低型被圧地下水位の経年変動 (松本市島立 長野県 1977)  
 観測井：東京通商産業局 昭和46年度設置 海拔595m 口径300m 深度147m ストレーナ114—136m

予知の地下水位観測井となっている。

地質調査所が直接設置した地下水位の観測井は 上記の4井にすぎなかったが 地下水源調査の対象地域が拡大するとともに 観測を必要とする地域が多くなり 地元の要望もあって その数は年々増加して 昭和47年8月末には167井に達した。

観測の方法は 自記水位計 手観測の2通りで 記録紙や観測値は 毎年 地質調査所へ届けられた。とりまとめの結果は 尾崎次男が観測初期のものを雑誌「工業用水」(1960)に 観測開始後15年ほど経過したものを「地質調査所報告第249号」(1973)に報告している。

なお 地下水利用者による水位の観測は 昭和25年頃から 名古屋市 四日市などの工場地帯で行われていて 地質調査所月報や尾崎によって紹介されている。

### 3.2 被圧地下水位変動の型

わが国で 過剰汲上げに起因する地下水障害は 被圧地下水の場合に多いので 本文では この水位について説明する。

水位測定のおくは 自記々録によって行われている。自記水位計には 1週間巻・1か月巻がある。記録紙の取替えの手間を省くために 1か月巻が歓迎されるがインキの補充 ペン先を記録紙に固定することを忘れていた初歩的なミスがあって どの水位計がよいかは一概に断言できない。

測定値は 1日ごと 旬間ごと 月ごと 年ごとにまとめられ これらが蓄積されて 経年の資料となる。

地下水位は 地下地質 降水 観測井の位置 その周

辺の揚水状態などによって 次に説明する特徴のある変動を示している。

#### 1) 日変動

地下水の汲上げが昼間行われる地帯の水位は 午前から午後にかけて低下して 夕方6時頃に最低となり 夜間は上昇に転じて 朝方6時頃に最高に達する という第1図に示すような一日の変動を繰り返す。

同図で 昼間の水位が小刻みに変動するのは 近くの井戸が断続揚水を頻繁に繰り返しているからである。

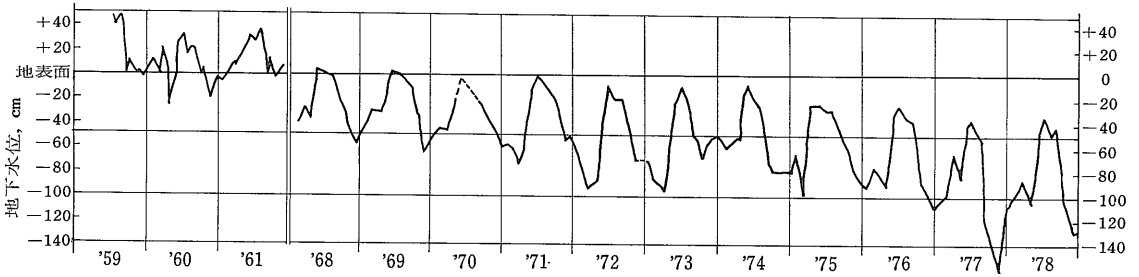
海岸に近い井戸で 潮汐の影響を受けているときの地下水位は 潮汐の波形と類似した美しい波形を 一日の間に描く。波頭は毎日少しずつおくれ 月齢と一致する。波型の高低差は 井戸が海岸から遠くなるにつれて小さく ゆるくなるが 潮汐が及ぶ距離は 帯水層の水圧と関係して 水圧が高いと遠くまで及ばない。

#### 2) 週変動

上記の日変動を週間で見ると 地下水位がほとんど変動しないと 第2図のように 日変動を繰り返しながら週末で最低となり 日曜日から月曜日の早朝にかけて上昇するのがある。特殊な変動の一つに 水位が年末から年始 5月初旬の連休 8月の盆休みの間に目立って上昇するのがある。休日をすぎると 週変動に戻る。

#### 3) 季節(年)変動

(1) 自然型 地下水の季節変動の基本型は 水位が春に上昇し 夏に最高水位の状態ではほぼ安定し 秋から低



第5図 被圧地下水位の低下(富山市)(県資料より作成)  
 観測井：海拔28m 深度20m 観測開始1954年1月 現在中学校校舎改築のため廃井。

下して 冬に最低水位の状態になる——第3図(a)のような変動を示す型である。

この型は 地下水の補給源である降雨(積雪地帯では融雪水)が 春から夏に多く 秋から冬に少ない(寒冷地帯では地表近くが凍結すること 水田かんがいなど人工的な地下水かん養が夏に多いこと)と密接に關係している。

このように 水位が「夏高冬低」型を示すのは 自然環境の変化がそれほど著しくない地域か 地下水の汲上げがごく少ない——過剰汲上げの状態に陥っていない地域に限られる。しかし その例外もある。第8図のように 地下水汲上げ量が冬に多いと 自然型に似る。これについては 後述する。

(2) 揚水型 水位が夏(豊水期)に低く 冬(渇水期)に高い——第3図(b)のように 自然型とは反対の夏低冬高型の季節変動を示す型である。

この型が現れるのは 夏に地下水汲上げがその補給量を上回って地下水の貯蔵量が消費され 冬に汲上げ量が減少するので消費量が補充される という水収支の機構によるものである。したがって 地下水使用量が冬期よりも夏期にはるかに多い都市や工業地帯に この型がみられる。

4) 経年変動 年変動を多年にわたって見た場合 水位の変動が 平衡状態(例えば第4図) 低下の傾向(例えば第5図) 上昇の傾向(例えば第6図の昭和49年以降) これらの組み合わせ(第6図)などある。

経年の水位変動から 環境の変化 産業・経済の動向を背景にした 地下水補給(かん養)量の変化 汲上げ量の増減 地下水利用時期の変更などを読みとることができる。これについては 章を改めて述べる。

#### 4. 被圧地下水位の経年変動

被圧地下水位の観測記録を多年にわたって集積し 図

化した結果 水位が平衡状態を保っている 年々低下の傾向にある 年々上昇の傾向にある これらの組み合わせを示している ことは前章で説明した。本章では これらの年変動が どのような自然的・人為的影響によって起こっているかについて 考えてみたい。

##### 4.1 平衡状態にある経年変動

わが国の被圧地下水位は 地下水の汲上げ量がごく少ない地域 あるいは汲上げ量が常に地下水補給量より下回っている地域 ある季節に汲上げが過剰であっても補給が十分であって年間を通してみれば水収支が釣り合っている地域では 経年変動が平衡の状態にある。

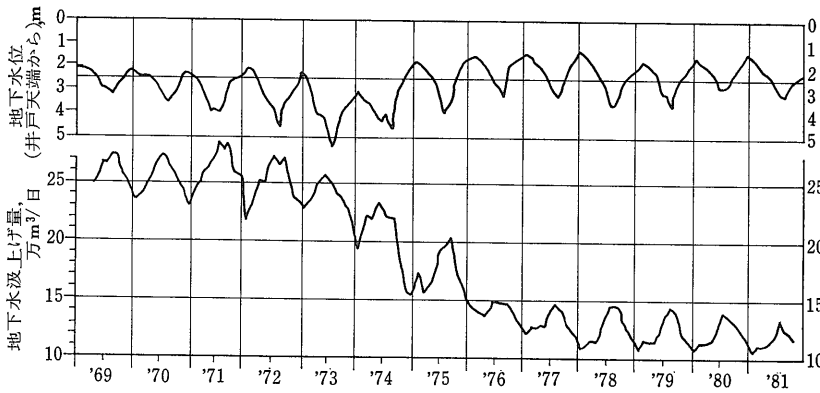
第4図は 長野県の奈良川扇状地の扇端部近くにある観測井の 5か年間の水位変動である。

水位の季節変動は夏高冬低型で 経年変動はその繰返しである。もう少し注意してみると 水位は春に急上昇し秋になると春よりは緩やかな勾配で低下する。この変化は 他の地方でもみられる現象で 地下水の流量に対して 春は補給量の方がはるかに多いので貯蔵量が急に増し(水位上昇) 秋には補給量が少ないので 貯蔵量が徐々に減少する(水位低下)状態を示している と考えられる。

なお ここは寒冷地であるので 長野県(1977)の解析結果によると 水位が春に上昇する自然条件は気温であって 日平均気温が8—10°Cに達する3月下旬—4月上旬に 日降雨が2mm程度あると 水位上昇が始まる。

奈良川扇状地は水田地帯であるので 井戸水をかんがい用水としているところでは 春の水位上昇の時期がその年の天候の状態によっておけると 水不足がおきる。このとき 原因は付近の大量揚水の影響であるとして 大きな騒ぎの起こることがある。

田植えの時期は 昔は梅雨や雪解け水の頃であったが最近 機械植えのため丈の短かい苗を植えるので 以前より1か月あまり早まっている。この時期が地下水位の 上昇期とうまく合わないと しばしば厄介な地下水間



第6図  
吉野川下流域における被圧地下水の汲上げ量と水位との関係（今切第1観測井 徳島県資料）  
観測井：四国通商産業局昭和42年度設置。口径300mm  
深度70m ストレーナ40.3—61.0m

題で悩まされるのである。

#### 4.2 低下傾向を示す経年変動

前例は 経年変動が平衡の状態にある と説明した。しかし 見方によっては 水位がわずかながら年々低下しているともみえる。観測期間がわずか5か年であるので 10か年ぐらいの資料に基づかないと判断しにくいであろう。

第5図の観測井は 図の説明にあるとおり 観測期間の長いものの一つである。この井戸は 常願寺川扇状地の扇端部にあって 季節によって自噴——夏期に自噴し冬期は水位が地表面下にある——していた。自噴は図によると 1969年までは続いていたが その後は全く停止して ごく普通の水井戸になった。

この原因については いろいろ考えられるが 扇状地地下水の源である常願川の河床の変化 扇状地の変貌による水の浸透能の低下が大きいことに 誘因があるろう。

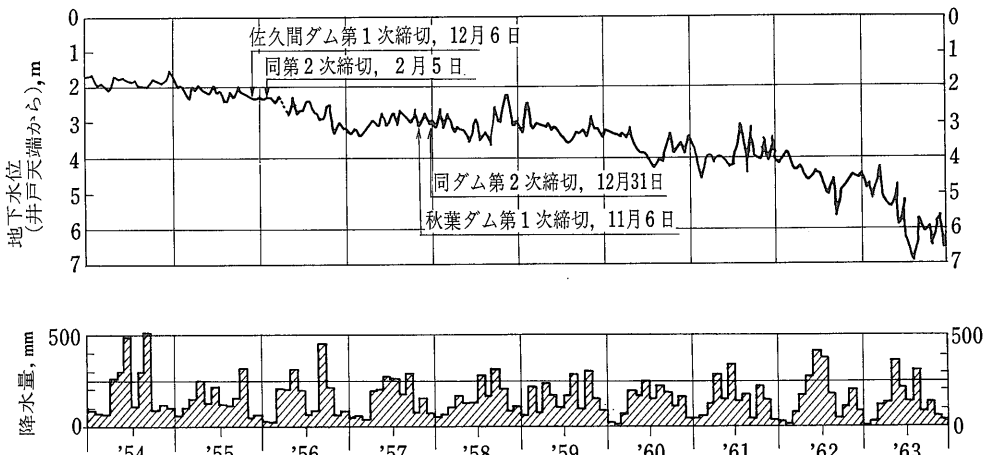
#### 4.3 夏低冬高型被圧地下水水位の経年変動

わが国における地下水水位変動型に自然型とは逆の夏低冬高型があって その原因が 夏期の汲上げ量が地下水の補給量を上回る過剰汲上げにあることは 前章で述べたとおりである。

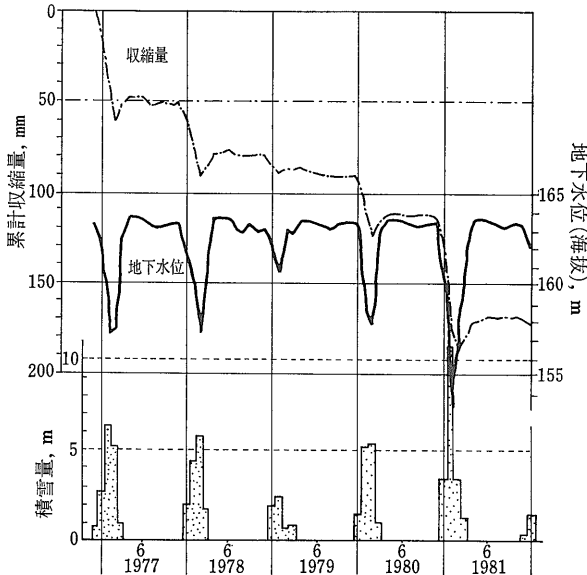
この型がいつごろ顕在化したかは 定かでないが 地質調査所が観測を開始した1950年代の水位記録をみると 名古屋市中川区の観測井は 観測開始年の1955年から 東京都足立区の観測井も同様に1958年から夏低冬高型に変わった。しかし 浜松市上島での水位（第7図参照）は 観測開始5年後の1958年から 静岡市駒形では ひいき目に見て1963年から それまでの夏高冬低型から夏低冬高型に変わっている。

また 名古屋市・四日市市の工場地帯で 工場が自主的に行っていた水位観測の記録は 1950年代の観測開始年から この型が見られた。

これらのことを照合すると 地下水の汲上げ量が多かった東京 名古屋 四日市 大阪 尼崎などの工業地



第7図 河川開発に伴う被圧地下水水位の変動（浜松市上島 浜松市地域地下水利用対策協議会資料に一部追加）  
観測井：地質調査所 1953年設置（1970年3月廃井）口径100mm 深度62.8m ストレーナ52.8—54.8m



第8図 六日町における消雪用被圧地下水の汲上げによる水位変動および地盤収縮量 (新潟県資料より作成)  
観測井：東京通商産業局昭和51年度設置  
海拔165m 口径250m 深度60m  
ストレナー 28.8—45.4 m

低の状態が続いているという理由にすぎない。

#### 4.4 河川開発による地下水位の変動

わが国の平野——特に扇状地とそれに連続する低地あるいは河谷の地下水は 河川と密接な関係を保っている。川の流量(水位)が増減し あるいは流心部が移動すると沿岸の地下水位はそれに準じて変化する。

第7図は 浜松市上島に地質調査所が設置した観測井における1954年以降の水位変動図である。図の中に佐久間ダムと秋葉ダムの第1次・第2次の締切日が明記してある。この理由は 最初の佐久間ダムが貯水を開始して間もなく 浜松市内の上流にあった自噴井群が枯れるという騒ぎが起こったからである。

このダムの貯水開始時期が渇水期であったので 自噴井枯渇の原因が その年がたまたまひどい渇水であったのか 天竜川流量がダムの貯水で大幅に減少したことにあるのか その当時はにわかに判断できなかった。しかし 夏期にも 自噴は復活しなかった。そして 観測記録に現れているとおり 水位は年々低下し 水位観測を開始した頃 海岸線の近くにまで存在していた 浜松市内一天竜川右岸低地の自噴井は 次第に姿を消した。

もちろん 自噴井が壊滅したのは 河川開発のせいだけではなからう。経済の急速な成長に伴う土木・建設の工事のために 川砂利の採掘によって 河床が下がり その結果として 沿岸の地下水位が低下したこと また一方では 水田が宅地化したこと 地下水の需要に応じて深井戸が数多く掘られたことも 水位低下の原因に数えられる。

本文で 河川開発が地下水位に及ぼす影響を 特にとりあげたのは その開発によって受ける利益が大きい一方では それによって生ずる大きな損失があることを理解してほしかったからである。もう一つ加えるならば地下水障害発生の責任は ややもすれば 地下水利用者へ向けられ 公共事業によるものは その美名のもとで責任が回避される風潮がある ということである。

#### 4.5 消雪用水による地下水位の低下

前章で 季節変動が夏高冬低型の自然型にいた例外があることを紹介した。その一例が 第8図に示す積雪地帯における地下水位の変動である。地下水の汲上げは降雪時に集中して行われるので 水位は冬期間に極端に低下する。その低下量は 降雪量と関係があって降雪量が多い冬に大きく 少ない冬に小さい ことが同図に示されている。

地下水利用による消雪は 冬期間の道路・鉄道の輸送を確保する すなわち生活を守る目的で行われている。

帯の水位変動は 1950年代の初めには 夏低冬高型になっていた と考えられる。

第6図は 徳島県吉野川下流域に 新産業都市構想によって形成された工業地帯に設置してある観測井の水位記録である。水位は 1969—1973年の間は年々低下し 1974年以降は年々上昇し 最近の3か年は平衡状態に達したかにみえる。季節変動は 依然として夏低冬高型——この地域では 夏高冬低型は 1967年までであった——が続いている。

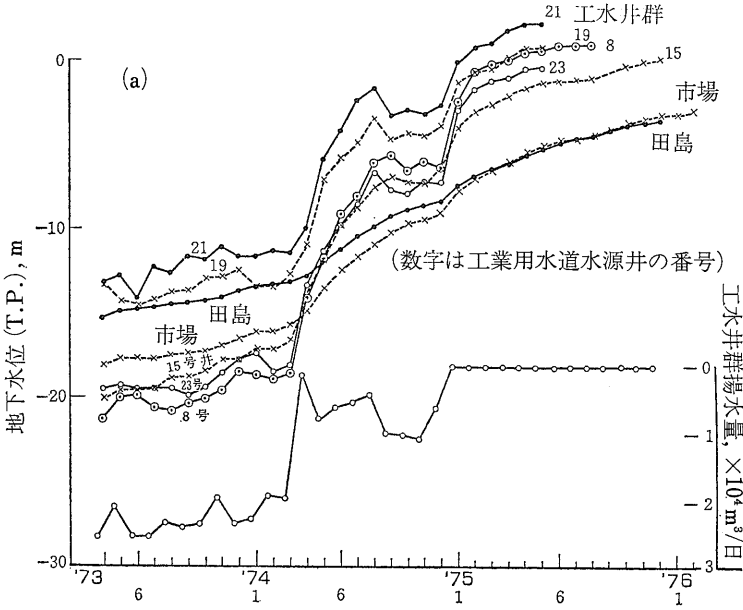
同図には 地下水の汲上げ量が示してあるので 水位との比較で 汲上げ量の減少が地下水位の上昇に貢献している度合いが 一目瞭然である。

1975年以降の汲上げ量の減少は この地域に1964年頃から顕在化した 塩水侵入による工業用地下水の水質悪化を防止する目的で 1969年に設立された「吉野川下流域地下水利用対策協議会」の活動の成果——工場が積極的に行った節水・循環利用・設備の大幅な改善等——である。

同図から興味があるのは 現在の水位上昇がこのまま続くとき どの時点で 本来の夏高冬低型の水位変動に戻るか その時の地下水汲上げ量はいくらであるか ということである。

なお 第5図の水位低下の原因の一つに あえて地下水汲上げの影響を加えなかったのは 季節変動が夏高冬





第9図  
川崎市における被圧地下水の汲上げ量削減  
による水位の上昇(a)と地盤の変動(b)  
(村下 1976)

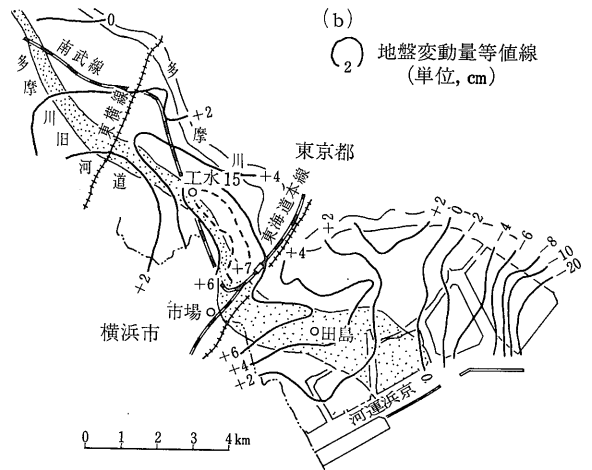
この消雪方法を最初に考案したのは 長岡市の一市民であった。昭和36年と38年に長岡市を襲った豪雪による被害の教訓から 市は全国に先駆けて 無雪都市を宣言し その対策の一つとして 市民の着想を採用して 生活道路の確保のために 地下水利用による消雪を積極的に進めた。

消雪には 機械除雪 水温を利用する除雪 路面の下に熱を通す(例えば電気を流す) 除雪 などの方法がある。これらの方法を比較して 結論をいえば

機械除雪——費用がかかる。ある市では 季節はずれの一日の降雪のために 全市の機械除雪に3000万円を出費した。路面下に熱を通す除雪も同様に 費用が嵩む。水温を利用する除雪——水温と降雪時の気温との関係が重要で 温水利用は路面に湯気がたち 流水は低温のために消雪効果が乏しく 気温との差13—15°Cの地下水が最適といった経験から 身近かになって 施設費が手ごろな地下水利用の消雪が 積雪地帯——道路の凍結がひどいところは別として——で盛んに行われている。

しかし 夏高冬低型の水位変動が示すように 地下水の補給量が少ない冬期(この期間を 筆者は地下水の冬眠期間と呼んでいる)降雪時に一斉に地下水を汲上げるから——長岡市内の汲上げ量は 最盛時に日当り百万m<sup>3</sup>にも達している——勢い 水位の低下が著しく 井戸枯れも起こる。

この結果 地盤が軟弱な地帯では 第8図に示すとおり 地盤の圧密沈下が生じている。この類の沈下は 長岡市・上越市・米沢市などでも発生している。図の



とおり 地下水水位は夏高冬低の季節変動を示すが 経年低下がないのがこれらの地域の特徴である。したがって 地盤沈下は 消雪時の産物である。青森市は 地盤沈下防止のために 地下水の汲上げを条例で禁止した結果 現在 水位が地表すれすれまで上昇している。

#### 4.6 水位の上昇がひき起こす地盤の隆起

地下水汲上げの増減ともなって 水位が変動することは既述のとおりであるが 地下水を貯えている地盤もこの変動に応じて 動いている。

第3図は このことをよく示している。(a)の地層は深度50mまで砂礫層である。この砂礫層が 消雪用地下水の汲上げが行われている冬期間に収縮し 地下水が

大量に貯蔵される夏期間に膨張することを 地盤沈下計が示している。(b)は 粘土層と砂礫層から成る地層の膨張・収縮が かんがい期と非かんがい期の水位変動によって起こっていることを あらわしている。

地盤の沈下は 地下水位の低下によって発生することは 第3図・第8図から 大方の理解が得られると考える。現在 地盤沈下発生地帯であったところにあらわれている地盤の隆起は 第6図に示した水位の上昇の結果に起因するものである。

その好例が 川崎市における地盤の異常隆起 (第9図参照)である。直下型地震の発生と関係があるのではないかと疑われた隆起の原因は 工業用水道水源として使用していた井戸水の汲上げを大幅に制限した結果生じた 地下水位の急上昇——地下水のいたずらであることが調査によって明らかになった (永井・村下 1976)。

地下水位の上昇に伴う地盤の隆起は 工業用水法の指定地域である大阪市では 昭和47年頃から一部で観測され 50年にはほぼ全域で観測された (大阪市 1976)。

また 炭鉱が閉山した筑豊や佐賀などでも この現象が認められている (第10図)。

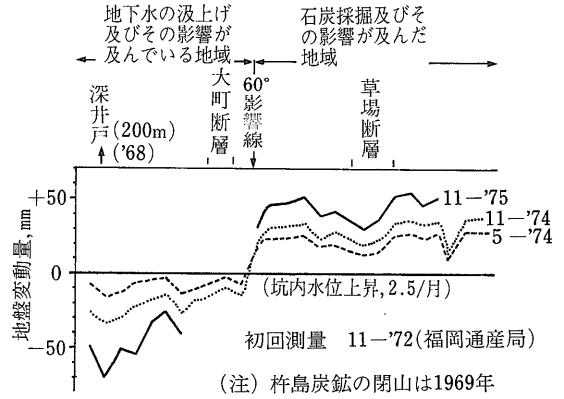
以上の説明のように 大地は 地下水位の変動——日変動・週変動・季節変動によって 膨張・収縮——呼吸を小刻みに あるいは静かに大きく 行っているのである。

なお 水位の上昇は地下水の補給があるから生ずるので 地下水の人工かん養の結果に依っていると筆者はみている。人工かん養の手法には地表散水 井戸かん養などある (村下 1977) が 地下水汲上げの調整——欲をいえば 地下水障害が発生しない揚水方法——を 手法の一つに加えたいと考える。

### 5. あとがき

地下水位の観測は 地味であり 経費が嵩む割には成果がすぐに現れないことから 経常的に実施することに一般の理解が乏しい。地質調査所においても しかりであって 昭和27年から他の機関にさきがけて開始した地下水位観測の井戸は 曲折はあったが着実にふえて47年には 167井に及んだが 10年後の現在では 当時の約1/8に減少している。

水位観測が 予測しないことで 大きな効果をあげることは 川崎市における地盤の異常隆起の原因に対する正確な判断 東海道東部で発生が予測され地震の予知のための 最初の水位・水中のラドン観測は 静岡県下に昭和43年度設置された地下水位観測井を用いて行われた。現在 各分野で進められている地下水に関するシミュ



第10図 佐賀県江北町における地盤変動

レーション・モデルの組立て——地下水の管理 将来予測など 行政面での裏付けとなる技術的資料は 長期にわたる地下水の水位と汲上げ量の測定結果に基づかなければならない。

本文に紹介した地下水位の観測資料は ごく一部にすぎないが 気候値と同様に 統計処理を行うことによって 社会的・経済的發展 自然環境の変化などの考察にも役立つことを 追記しておきたい。

### 文 献

村下敏夫 1976：地下水の水位回復に伴う新しい地下水障害の発生 日本地下水学会誌 18巻2号 20—30頁  
 ——— 1977：地下水の人工かん養 藤岡一男教授退官記念論文集 473—481頁  
 永井茂・村下敏夫 1976：川崎市における地盤の変動と地下水との関係 工業用水 215号 46—69頁  
 長野県 1977：松塩諏訪地域地下水位観測調査報告書 (中間報告)  
 大阪市 1976：昭和50年における大阪市内の地盤沈下概況  
 尾崎次男 1960：工業地帯地下水位の実態——その観測成果をめぐって——工業用水 24号 3—11頁  
 ——— 1973：地下水位の観測記録 地質調査所報告249号  
 横谷多志郎 1971：日本の地下水開発史 日本地下水学会誌 (創立10周年記念特集号) 2—4頁

### 人 事 異 動

(氏名)	(新)	(旧)
井上 俐	辞 職	地質調査所 総務部長
大津 馨	地質調査所 総務部長	総務部 筑波管理事務所長

昭和57年10月1日  
工業技術院