



1. まえがき

今日われわれは、いろいろな面で地下水を利用している。日常使う水が水道によって供給される人は、その水がどのような経路で蛇口までくるかに比較的無関心でいられるが、まだまだ井戸に頼って生活している人は多い。そのような井戸で、水質に異変が起り、水量が減退すれば、その原因が何であるか、いかなる対策をとるかが問題となる。

単なる生活用水のためから進んで、農業用水や工業用水のため地下水をくむようになると、その量が格段に増えて既存の井戸に少なからざる影響を与えるのである。このようなトラブルを解決する必要にせまられると、地下水学者に意見が求められ、そのトラブルを解決して行く過程が、地下水に関する新しい知識となって行くようである。

本文で展開する話題はこのような経験を通じて得られたものなのである。

2. 地下水の運動を数式により表現することについて

石灰質が融けたことにより生じた洞穴や岩盤の割目を通る地下水のように、はっきりした水みちのある場合は別として、一般に土のある断面からしみ出すような運動は、よく知られているようにダルシーの法則で表現され、単位面積を単位時間に通過する体積は水圧勾配に比例し、比例定数はその場所に固有な値で、主として土の性質に影響され透水係数 k と呼ばれる。各点の運動方程式をつないでいくのには、物質不滅の法則である連続方程式が使われ、あとは目的に応じて、適当な初期条件、境界条件のもとに数学的に解を求めることになる。

【写真説明】

カットの写真はロータリー式という機械の側面で、わが国で最も多く使用されている。ロッド（中空鉄管）をまわし、この先端に取りつけられたビット（特殊鋼またはダイヤモンド）により掘削を行なう切屑（スライム）はポンプでロッドをとおして泥水（ベントナイト水または粘土水）をビット部分より噴出させて地上まで泥水とともに運びあげる泥水の濃度を高くすれば 10 mm くらいの礫を運びあげることができる。（KK 土質調査所 提供）

ところで筆者がまず問題にしたのは、この数学的に得られた解が、実際の地下水を扱う場合にどこまで意味があるかという点である。

最近関係した例でこの内容を説明して行きたい。

東京、大阪などでは、井戸を掘って行くと水を透しにくい粘土層と、透しやすい砂礫層とが交互に現われてくる。そのうち適当な砂礫層の水を吸いこむように井戸を仕上げて地下水を利用している。この場合の地下水揚水量と水圧低下との関係を表現するのによく使われる方法では、この砂礫層を厚さ H の帯水層が無限に広がったものと置きかえ、そこに半径 r_0 の井戸を掘ったものとする。そこで一定揚水率 Q で揚水すると、井戸の中心から r の距離にある場所の水圧は、井戸内の地下水面を基準にして

$$\frac{Q}{2\pi kH} \log \frac{r}{r_0}$$

で表わされる。

この式の難点は、 r が大きくなるにつれて $\log \frac{r}{r_0}$ がいくらでも大きくなることである。したがって井戸内の水面低下量と揚水率との関係を見出すために r を適当な大きさ R でとどめて、そこでは地下水面に変化がないとして逆に井戸の近くの状況を推定するという手続きをふんでいる。この R は影響半径といわれるが、これをきめる理論的根拠がないのも難点とされている。

これらの欠点を克服するために、いろいろな工夫がなされている。中でも、時間をパラメーターに入れた、いわゆる非平衡式は、影響半径が大きくなる状況を時間の関数として表わせるので重用されている。

この非平衡式を誘導する論理的展開は、筆者の見た範囲では、A.F. Van Everdingen と W. Hurst が、December, 1949, Petroleum Transactions, Aime に発表したものが最もすぐれていると思う。

すなわち、井戸の中心からの距離を、井戸の半径を単位として測り、 r とし、時間の単位も規準化して地下水圧 P に関する基礎方程式が

$$\frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial r} = \frac{\partial P}{\partial t}$$

となるようにする。

そこで、この井戸から単位時間に単位容積の水をくみ続けるという条件で方程式を解いて、任意の地点における圧力低下を

$$\frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{(1-e^{-u^2}) [J_1(u) Y_0(ur) - Y_1(u) J_0(ur)]}{u^2 [J_1^2(u) + Y_1^2(u)]} du$$

で表わしている。特に $r=1$ とすれば、井戸内の水面低下が時間の関数として表わされる。

この式はベッセル関数をふくみ面倒であるので一般には揚水井戸の半径を無視して点と考えた近似解

$$\frac{Q}{4\pi kH} \int_{r_0/4t}^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

を使っている。

ところで、この近似非平衡式を考えると、時間 t の増大とともに水圧低下は、いくらでも大きくなるという性質があり、さらに問題なのは、半径 r の円筒を通過して集まる水が

$$Qe^{-r^2/4t}$$

で、 Q より小さいことである。

$$r_1 < r_2 \text{ のとき、同じ } t \text{ に対し} \\ Qe^{-r_1^2/4t} > Qe^{-r_2^2/4t}$$

したがって、半径 r_1 と r_2 の間のドーナツ状の場所から失なわれる水量は

$$B = Q \int_0^t (e^{-r_1^2/4t} - e^{-r_2^2/4t}) dt$$

で表わされる。

さて $\frac{r^2}{4t} < 1$ ならば

$$1 - \frac{r^2}{4t} < e^{-r^2/4t} < 1 - \frac{r^2}{4t} + \frac{1}{2} \left(\frac{r^2}{4t} \right)^2$$

が成り立つから、 $t > \frac{r_2^2}{4}$ のとき

$$e^{-r_1^2/4t} - e^{-r_2^2/4t} > 1 - \frac{r_1^2}{4t} - \left\{ 1 - \frac{r_2^2}{4t} + \frac{1}{2} \left(\frac{r_2^2}{4t} \right)^2 \right\} \\ = \frac{r_2^2 - r_1^2}{4} \frac{1}{t} - \frac{1}{2} \left(\frac{r_2^2}{4} \right)^2 \frac{1}{t^2}$$

したがって

$$Q \int_{r_2^2/4}^t (e^{-r_1^2/4t} - e^{-r_2^2/4t}) dt \\ > Q \left[\frac{r_2^2 - r_1^2}{4} \log t + \frac{1}{2} \left(\frac{r_2^2}{4} \right)^2 \frac{1}{t} \right]_{r_2^2/4}^t$$

となり、この右辺の式の値は t が大きくなるといくらでも大きくなる。

したがって失なわれる水量 B は t とともにいくらでも大きくなるのがわかる。

r_1 と r_2 の間に始め入っている水は、限られているから、上述の失なわれる量が当初貯えられている量を越すと物理的には無意味な事態となる。

したがって一定の揚水率 Q を長期間確保するという事は無理な話となる。 Q はどんなに小さくとも同じである。

現実にあるていどの Q までは、とにかく長期間にわたって揚水できることと考えあわせると、上述の近似非平衡式に適用限界があることを認識しなければならぬ。

一般に、種々の式を使ってみて感ずることは、いくつかの測定値が得られたときに、それらを整理して一つの式で表わすこと、さらに、最大測定値と最小測定値の間でその式を使って内挿することは、まずさしつかえないが、外挿しようとする、ほんの少し先しかわからないという事実である。すでに観測された事実を説明するには有用であるが、既知の事象を越えていかなる現象が起こるかを予測するには、われわれはまだ十分な理論式を

持っていないのである。

始めに述べたように、地下水学者が意見を求められるのは、何か地下水に関するトラブルが起きてその解決をせまられる場合が多い。そこでは、どうすればよいかということとともに、今後どうなっていくかという予測が要求される。一般に地下水の開発について意見を求められる場合も同様なこととなる。予測とは何か、いかなる根拠でそのような予測をなしたかをわきまえることは、まことに大事である。

3. 地下水をくむ場合にどこから水が補給されるかを考えること

理論的な考察を行なう場合に数学的かつ物理的に矛盾が起こらないようにするには、有限な距離のところに地下水の供給源を考えることが必要のようである。このことは実際上の意味からいっても大事である。

東京の江東地区から北区、埼玉県川口付近にわたって大量の地下水がくみ上げられており、この系統の地下水は地質調査所の蔵田博士によって浦和水脈と名づけられている。その地下には昔の河川が埋もれていて、そこでは砂礫が多く地下水が通りやすくなっている。昔、大洪水が押し出した砂礫の跡もあるであろう。

また地下水の得やすい場所に扇状地の末端付近があるが、扇状地では、その形成過程からいって、時代時代の河川の跡、洪水の押し出し跡が地下に残っているであろう。

地下水の通りやすい場所はこのように樹枝状に発達していると考えられる。山地や台地から供給された地下水はこの樹枝状の水脈を満たして流れ、流しきれない部分が地表に出て現存の河川の中を流れると思われる。山地や台地の地下水は、結局そこに降った雨雪から補給されたものである。

このような通り道のほかに、揚水地点のごく付近に降った雨雪からも補給があるであろうし、ときには人工的水路からもれた水がそのまま揚水施設に短絡していることもある。河川敷ないしその近くで大量にくめる井戸は、かなりの水量が結局、河川の地表水をくんでいることになる場合が多い。海岸の近くでは海水が入ってくることもある。

現実に意見を求められているフィールドにおいて、いかなるしくみで地下水が動き、補給されているかを知ること、判断を下すのに重要な根拠となるのであって、補給機構の物理的モデルを考えること、それにふさわしい現場調査を行なうこと、その結果、得られた測定値を数学的なモデルで表現すること、さらに総合して物理的モデルを一そう洗練されたものにする、このような手続きのくり返し実施が要求される。

このような手順で自信のある体系が得られたら、揚水

にとまらぬ現象を説明し、あるいは予知するのに誤まることは少ないであろう。

4. 地下水調査の方法について

3. に述べたように、地下水の補給源をつきとめるには現場における調査測定が必要である。これらの方法については成書を参照していただきたい。また、土木学会誌 42-9・昭和 32-9 に「地下水調査」と題する講座がある(近藤利八・丸山文行 共著)。

おもな項目をあげると

対象地区の地質調査
地下水面の高低測量
ボーリングおよび物理的地下探査
揚水試験と透水係数の現場測定
帯水層構成物質のふり分け試験
水質試験
地下水の経常的観測

である。水質については生物学的な面からも貴重な知識の得られることがある。

なお、地下水調査については、国土調査法(昭和26年法律 180 号)にもとづく、地下水調査作業規程準則(昭和 34 年 10 月 23 日、総理府令第 58 号)があり、地下水調査の規程が示されているから参考とされたい。そこで現地作業として列挙されている項目は次のとおりである。

基図	簡易試掘
地盤高の測定	地質ボーリング
地下水位等の観測	電気検層
同時観測	物理探査
長期観測	透水係数の測定
水温等の観測	地質に関する踏査

5. 地下水が動く速度は遅いものであること

この講座を読まれる方には必要ないかもしれないが、一般に誤解されやすいことに、地下水の量が過大評価されやすいという傾向がある。

筆者の経験であるが、静岡市牛妻付近で安倍川の河原を通過して流れている地下水の量を推定したことがあった。

地下水の圧力勾配を 1/200、河原の巾 900 m、堆積層の厚さ最大 30 m とし、断面が放物線をなして両岸で 0 になっているものとした。そして k の値として、10, 20, 30 m/h の 3 つの場合について地下水流量を出してみた。この場合断面積は

$$\frac{2}{3} \times 900 \times 30 = 18000 \text{ m}^2$$

この断面を通過するいわゆる速度は、1 時間にそれぞれ、5 cm, 10 cm, 15 cm, 1 日では 1.2 m, 2.4 m, 3.6 m である。したがって 1 日に通過する量は

21 600 m³, 43 200 m³, 64 800 m³

で、m³/sec になおすと

0.25 m³/sec, 0.5 m³/sec, 0.75 m³/sec

となる。

この付近の安倍川の湧水量は 4 m³/sec の程度で、その量の 1/16~1/5.3 が地下水として流れているものと推定された。

また、静岡市内に約 1 000 本の掘抜井戸があるが、その湧水量は一般に平均 8~10 m³/d ぐらいで、全部で 8 000~10 000 m³/d が湧水しているに過ぎないとみられた。よく自噴井でいかにも景気よく水が出ていることがあるが、バケツで測ってみると 1 分間に数はいであり、かりに 1 分間 20 l とすれば 1 日で 20×60×24=28 800 l、すなわち 28.8 m³ にすぎない。これでも 1 人 200 l 割当てるとして 144 人ぶんの生活をまかなえる。

本格的な井戸で動力を使っても 1 日に数 100 m³ というところで、平均 1 000 m³ を越えるのはまれである。東京、大阪、新潟などでくみ上げている全量は、それぞれ 1 日数 10 万 m³ のオーダーで、地表水でいえば 10 m³/sec にみたない。それでも深刻な地盤沈下をひき起こしているのである。

地下水の動く速度、したがって補給される量はこの程度のものである。

一方 500 万人が 1 日 1 人 400 l の水を求めれば、200 万 m³/d の水量を供給しなければならぬ。

地下水の需要のおもむくままに無制限に開発すればたちまち行きづまってしまうのも道理である。

地下水開発に関する相談を受けるとき、よく「豊富な地下水」という言葉をきくものであるが、それはいい伝えや印象的な表現であることが多く、数量的に扱われている場合はむしろ少ない。しかし今後は地下水開発の規模を一つの計画によって規制するという動きがますます強くなるであろうから、地下水に関する量的な考察は一そう重要性をますますであろう。

6. 一つの地域で開発可能な地下水量を見積もること

地下水に関する相談を受ける場合に、どの程度の量まで支障なく揚水できるかということの判断を要求されることが多い。個々の井戸の場合には、その土地の地下水のことをよく知っているさく泉業者に相談するのが一番よいようで、その意見をききながら納得のいく体系を作ればまず最良の知識が得られるであろう。

これが井戸群となって、全体としての揚水量を問題にするようになると、程度にもよるが、さく泉業者だけにまかせず本格的な地下水調査を行なう必要が出てくるのである。同一の帯水層から水をくむ場合には隣の井戸との干渉をさけるように、できるだけ間隔をあけるのが理想

であるが、現実には個々の需要先の希望に押えられて、要求された場所のどこでも井戸を掘ることになりがちであり、その結果、揚水の競争が始まり、地下水圧が低下し始める。こうなると一定の揚水率を確保するためには揚水ポンプをより強力にする必要が生じてきて、地下水圧低下に拍車をかける始末になる。そこで一つの帯水層のいわば健康診断には、地下水圧を定期的に測定するのが一番よいことで、この数値をもとにしてお互いに自制すべきものである。

このとき揚水量についての測定値が求められれば、その帯水層において支障なく使える地下水量の規模が推定できるであろう。

帯水層の集合体として一つのまとまった地域を考える場合には、全体としての補給源をつきとめることが大事である。主たる補給源はその地域内にあることもあり、地域外にある場合もある。そしてその補給源地区における降水や地表水が地下水の源となる。

一つの流域まで考察地域を広げれば、結局その流域における降水量が供給源であり、その流域全体としての水循環の模様を知ることが基本となってくる。

このような広域の水収支を見積もる方法については近年研究が進みつつあり、その見地から出された数値は、その流域の開発に決定的な規模を与えることになりつつある。

この場合、重要なことは地下水と地表水とは一体をなしていると考え、地下水はどこか別のところから生まれてくると考えてはいけぬ。

山地に雨がなくても渓流に水が絶えないのは、地下水が補給されて地表水になっているのであり、このような地表水を引水して使う場合は、地下水を利用するのと同様に区別することはない。

地表で一たん使用された水は排水路という道をとるが、その途中で地下にはいり地下水となる部分もある。

雨が降らない日が長く続いても渓流の流量がそれほど減らず、流出高 1 mm 前後で安定していることは、いわば大きな地下貯水池から少しずつ供給されるモデルで表わされることを暗示している。しかも流量の値を片対数方眼紙にのせて見ると、時間の経過に対して直線的に減少することが知られているから、地下貯水池からの流出を指数関数で近似してみる。時間を日単位で t としたとき流出を $e^{-\lambda t}$ mm/d で表わせば、これが半分になるいわゆる半減期 T と λ の間には、

$$e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}$$

すなわち $\lambda T = \log 2$ の関係がある。

そこで $e^{-\lambda t}$ の勢いで流出が始まる時、地下貯水池には $\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt$ の全量がすでに貯えられていると想定すれば、その量は

$$\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \left[-\frac{e^{-\lambda t}}{\lambda} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\log 2} \approx 1.443 T$$

から計算ができる。

$T=90$ 日とすれば	$1.443 T=130$ mm
180 日とすれば	260 mm
365 日とすれば	527 mm

となる。

統計数理研究所 菅原博士の研究によれば、実際の流出には 1 年より長い半減期を持つ流出成分を考えねば表わせないものがあり、地下貯水池の容量は相当大きなものと思われるのである。

そこでこの天与の貯水池を積極的に意識して、水の使い方を考えることが重要な問題となりつつある。

人為的な操作で山地の理水機能をどう変えられるかという定量的研究も進みつつあり、人工的に地下水涵養を行なう研究も始まっている。

7. 地下水揚水量が過度になった場合の問題について

地下水の補給には限りがあるから、その限度を越えて揚水が続けると、いろいろ都合の悪い事態を起こってくる。

一般に海岸近くの井戸で真水がくめるのは、帯水層が海につながっていないか、つながっていても水圧が高く海水の浸入を許さないことを意味する。揚水が進んで地下水圧が下がると、特に帯水層が海に開いている場合には、海から井戸に向う流線ができて、井戸水に海水がまじるようになる。帯水層と周囲との水圧差が大きくなれば、近くからも強制的に水を集めることになり、思わぬ汚濁源から水みちが続いてしまうこともある。

地下水圧が下がると帯水層および周囲の土粒子がそれまでより多くの力を受け変形収縮が起こる。水を強制的に排出させられた空けきがつぶれることによって収縮がおこる。これらが地表面では地盤沈下となって表われる。

東京、大阪、尼崎などで起こっている地盤沈下は年間 15~20 cm に達する場所があり深刻な社会問題となっている。

新潟市を中心とする地域では、水溶性天然ガスをふくむ地下水を過度に揚水するための地盤沈下が起こっている。

このような地盤沈下の問題が起こっている地域は大きな河川の下流沖積地帯で、地盤の高さが海面といくらも違わないところである。河川からのはんらんや海からの高潮によって浸水しやすいところである。このような地域の地盤が沈下すれば、浸水の脅威はますます高まり、一たん入った水は出にくくなる。このような沖積地帯は自然的条件とすれば、地下水を得やすいところであると

ともに、軟弱な地層が厚く堆積しているため沈下した場合の速度は大きくなりやすい。

塩水浸入や地盤沈下という影響を別にしても、地下水圧の低下は帯水層の構造を破壊し、原則として水を通しにくい方向に変化させて行く。この変化は不可逆的で、地下水圧が再び上昇しても元へは戻らない。

以上と多少種類は違うが、温泉についても似たような問題が起こっている。限られた地下水に対し需要がふえる一方なので勢い地下水圧は低下し、出がわるくなったり、温度が低くなったりする障害が起こっている。

いずれにしても、地下水をくみ過ぎないようにすることが、地下水開発上の大原則である。

この場合、どの程度の量から過度になるのかという質問をよく受けるが、すでに述べたように、その限度を予測することは非常に困難であって、結局、揚水がおよぼす反応を速刻把握する仕組みをつくり、その情報を見ながら適宜判断を下すというのが現実的な方法である。

最近、揚水した地下水の一部または全部を地下に還元し、排水量をできるだけ減らそうとする研究が進んでおり、過度揚水という言葉の代りに過度排水という方がより厳密であるような事例がでてきた。すなわち、新潟市内野地区で、昭和 35 年 5 月以来実験が行なわれており、毎日 4 万 m³ 前後の水が地下に還元圧入されている。この水は天然ガスを分離した直後の水を使っているが、今度は信濃川河口で水を取り、浄化処理を行なったあとで地下に圧入しようという実験の準備が進められている。これになると、全然揚水してないところに地表水を入れるわけになり、どの程度入るか、それによって地下水圧がどの程度上昇するかが非常に注目されている。

また工場の冷却用水、建築物の冷房用水、などのために揚水した地下水を、揚水井戸から少し離れた別の井戸で還元圧入し、排水量をできるだけ少なくしようという実験もいくつか行なわれている。

これら実験の意義については、科学技術的な面のほかに、地下水を使用する個々の目的に対してどこまで水代の高騰にたえられるかという問題があり、長期的な観点から判断を下すにはしばらく時間がかかるであろう。

なお、地盤沈下をめぐる話題については、土木学会誌 46・6・昭 36-6 に「地盤沈下にもなる諸問題」として解説記事があるので参照していただきたい（安芸俊一・丸山文行 共著）。

また、地下水の開発とはいいいくいかもかもしれないが、地域の開発をはかる一手段として、地下水面を低下させ、従来地下水面が高かったために使用できなかった土地、あるいは生産力の低かった土地を積極的に活用して行こうとする場合もある。このようなときは排水ポンプにより強力に地下水を排除することが行なわれる。

8. 地下水に関する測定に関心をもつこと

地下水開発にもなるトラブルが起こったとき、いろいろと従前からの事情をきくことが行なわれるが、どうも地下水に関する測定値はほとんど残っていないのを常とするようである。

個人の家では、いづろはこんなであったという話をきくのがせいぜいで、事業会社で地質柱状図と揚水試験の記録が残っていればよい方である。

上水道の水源井戸でも開坑当初の記録だけで、その後どんな経過をたどったか不明の場合がある。

すでに各節で述べたように、地下水の揚水にあたってはある地域全体として統一的な判断を要するのであるから、公共的な水源をあずかる人、さらに地域社会の行政に責任がある役所では、管内の地下水圧がどのようになっているかを把握しておくことが、これからますます大事なつとめとなるであろう。

いくつかの井戸を指定して定期的に地下水面を測ることが必要で、この場合、各井戸の基準点を水準測量により結んで、地下水面の絶対的な高さを知ることが大事である。

こうすれば、地下水がどちらの方向に流れているかの見当もつく。このさい付近の池や堀などの水位、河川の水位、海の近くでは海面の高さを合わせて測定しておくことが肝心である。

このような調査は即効性がないとしてとかく軽んじられるが、いったんトラブルが起こった場合には「十分な調査」が各方面から要求されるのが常であり、この「十分な調査」では関係者を納得させるだけの長期的な見とおしを求められる。この見とおしをいかなる根拠でなすかは、すでに指摘したように方法論としての困難な問題があるが、少なくともある程度、長期間の測定値が必要となる。そこでかねて測っていた数値が引合に出され、トラブル解決のための判断を早く下すのに役立つであろう。

9. 地下水開発をめぐる動向について

わが国において地下水開発に付随して起こるいくつかのトラブルについて述べてきたのであるが、つまるところ供給力に限りがある地下水に対し需要が増大したときにはどこでも似たような問題が起こりうることになる。

ここ数年来、水に関する国際会議などで、地下水開発に関する議題がしきりに取上げられているのを見ても、各国とも水需要の増大に対し、地下水をどう見方で見方扱って行くかに関心を持っているかがわかる。

例えば、昭和 35 年 12 月、セイロンのコロomboで開催された ECAFE 第 4 回地域水資源開発技術会議において、議題の一つとして「地下水資源の開発」がとりあ

げられ、次のような報告がなされている。

(1) 「今回の会議において、関係各国の地下水資源開発状況を調べてみた結果、地下水供給に関する調査ならびに開発が、ECAFE 地域のどの国にとっても関心事であることがわかった。

(2) 地下水を利用することはいくつかの明白な利益がある。地下水開発が速やかな需要に応ずることができるのに、あまりにもしばしば貯水池の建設に大きな投資が払われている。

地下水開発は、増大する水の需要または投資可能な資本に応じて段階的に開発をなしとげることができるが、地表水開発は地下水のような融通性をもたない。一般に地下水は地表水より速やかに開発することができる。

(3) 地下水資源開発に関して地域が直面する問題は次のとおりである。

- ① 技術職員、養成施設、研究施設の不足
- ② 新しい機械および必要な外貨の不足
- ③ 安価な動力の不足
- ④ 地下水法の欠如、または不備
- ⑤ 地下水位の過度の低下、地下水の枯渇、地盤沈下、管農技術と関連した地下水の塩分、地下水層への塩水浸入などについての技術上の困難な問題

(4) 会議ではまた、ある地方では地下水の使用が地下水面を低下させる有効な手段として用いられ、またそれによって排水や浸水問題を解決していることがわかった。

(5) 地下水資源の効果的開発のため、以下の重要な必要条件が再確認された。

- ① たとえ金がかかっても、十分な予備調査を行ない必要な水文資料や地質資料の収集を行なうこと
- ② 各種の水に関する研究の質的改善
- ③ 地下水、地表水の総合開発の可能性の検討
- ④ ポンプまたは他の設備機械の適切な選択
- ⑤ 井戸建設の資金、維持費、耐用年数の研究
- ⑥ リチャージの可能性とその経済上の評価
- ⑦ 地下水賦存量算定のための最新技術の検討、たとえば地球物理学や放射性物質応用の研究

なお、昭和 37 年 4 月には、デルタ地域問題を中心とする地下水資源開発に関する地域セミナーが、ECAFE、UNESCO 共催により開かれることになっている。

一方、国際連合本部に水資源開発センターという組織があるが、昭和 34 年にそこから「地下水開発上の諸問題」と題する質問状が出ており、地下水開発計画を立てるさい考慮すべき諸点が箇条書になっている。3 章から成っているが、その第 3 章では次のような項目をあげて計画実施にともなう行政上の問題点を投げかけている。

- ① 計画を実施する政府機構の問題

② 上述の政府機構で働く人の養成訓練の問題

③ 地下水を公有のものにするか、私有のものにするか、私有のものにしたとき揚水の規制をどうして行なうか

④ 地下水開発に関する基本法および税金の問題

⑤ 開発優先順位をどうしてきめるか

⑥ 開発資金に関する計画

⑦ 開発が地域社会におよぼす影響を予知すること

⑧ 工事のさいの分業体制について

⑨ 関係者の情報交換について

以上指摘されている問題点については、わが国はわが国なりに解決して行かねばならないと思われる。

わが国においては民法第 207 条「〔土地所有権の範囲〕土地ノ所有権ハ法令ノ制限内ニ於テ 其土地ノ 上下ニ及フ」によって原則として地下水を土地の所有権に帰属させている。

一方民法第 1 条には「〔公共の福祉、信義誠実〕①私権ハ公共ノ福祉ニ遵フ ②権利ノ行使及ヒ義務ノ履行ハ信義ニ従ヒ誠実ニ之ヲ為スコトヲ要ス ③権利ノ濫用ハ之ヲ許サス」という条文がある。

地盤沈下地域で地下水揚水を規制しようとするとき常に問題となるのは、財産権と公共の福祉との対立でありこの対立は憲法第 29 条「〔財産権〕あるいは第 11 条「〔基本的人権の享有〕第 12 条「〔自由・権利の保持の責任とその濫用の禁止〕の解決に根ざしているのである。

現在、工業用水法、鉱業法、鉱山保安法、温泉法、などで規制できるようになっているが、これらの法律で規制できない地下水もある。たとえば建築物の冷房用地下水や、工業用水法施行前にすでに採取していた地下水などがそうである。

しかし地盤沈下がおよぼす社会経済的影響を考え、一方地下水供給力には限界があることを考え合わせると、今後地下水の揚水を規制する措置はますます強くなると思われるのである。

地下水開発に関する基本法、さらに地表水と地下水を一体のものにした水基本法という考え方が次第に要請されるであろう。

このような基本法においては、地下水を使えなくするという考え方に立つべきでなく、地下水をいかに利用するか、ある地域の開発において地下水にいかなる役割を求めのかという観点から全体計画を進める態度が要求される。そのような計画は地域に住む人に重大な影響を持つようになり、住民がいかに理解するか、いかに期待するかは計画に反映される。計画という言葉の意味する内容が次第に変わって行くものと思われるのである。

〔筆者：理学士 科学技術庁資源局〕

(原稿受付：1961. 10. 29)