

地下水資源に関する研究上の課題

黒田 和 男 (環境地質部)

1. 水資源の中の地下水

1977年10月25日から27日にかけて「水資源に関するシンポジウム」が東京で開催された。このシンポジウムは土木学会を軸として6つの学会が主催したが演題を単に大学関係者や研究者だけでなく行政機関に所属して実際に水行政にたずさわっている技術者からも求めた所に特長があった。演題は当時の水資源に関する諸問題を扱っているがその中で地下水に関するものは地下ダムや地下水の人工涵養技術も含めて10題に過ぎず残りは表流水の有効利用や廃水再利用などであった。

この例でもわかるように水資源といえばむしろ表流水あるいは表流水をもたらす所の降水が日本では主流をなしているように思われる。ちなみに環境庁資料によるわが国の地下水利用状況は表1のとおりである。

この表を見る限りでは地下水依存率がほぼ100%の建築物用を除けば工業用と上水道用で30~40%の地下水依存率を示している。とくに工業用水では41.1%が地下水に依存しておりこの段階では地下水は資源として扱われているようである。

話は少し古くなる。第2次世界大戦で荒廃した国土を復興するためにはまず食糧の増産そうしてエネルギー源としての水力発電所の建設であった。前者は

原野や山林となって残されていた場所を開拓することであったが当時農地として利用されていない地域はどこも水の乏しい所であり何よりもまず新しく地下に水源を求める必要があった。地下水の探査はこの目的でしだいに発展を遂げていった。

他方水力発電にあつては降水をどのように有効に利用するかという方向の調査が進められたがこのためには地形地質などの総合的な調査が要求された。調査はしだいに国土の自然的条件の実態把握を目的とする国土調査へと定着していくがその国土調査の体系の中に水調査も含まれていた。

水調査とは国土調査法によれば治水および利水に資する目的をもって気象・陸水の流量・水質および流砂状況並びに取水量・用水量・排水量および水利慣行等の水利に関する調査を行いその結果を地図および簿冊に作成することである。調査は

- 降水量
- 水位および流量(河川・湖沼 貯水池 ため池など)
- 取水量又は排水量
- 用水量(特定の地域における灌漑用水量の減水深)
- 地下水
- 流砂状況
- 積雪
- 水質
- 水温
- 水利慣行

の内容をもち上記の中で次のものに作業規程準則が総

表1 わが国の地下水利用状況

(単位:億m³/年)

用途	全水利用量(A) (用途別の割合%)	表流水その他 (用途別の割合%)	地下水 (用途別の割合%)	地下水依存率 A/B (%)
工業用	120.6 (15.6)	71.0 (11.0)	49.6 (39.7)	41.1
上水道用	115.9 (15.0)	80.3 (12.4)	35.6 (28.5)	30.7
農業用	528.0 (68.5)	495.3 (76.6)	32.7 (26.2)	6.2
建築物用等	7.0 (0.9)	— (—)	7.0 (5.4)	—
合計	771.5	646.6	124.9	

理府令として定められている。

降水量調査作業規程準則

水位及び流量調査作業規程準則

水質調査作業規程準則

地下水調査作業規程準則

さらに 水調査とは別の体系で 土地分類調査が国土調査の一環として設けられた。 表層地質調査は 従来から地質調査所などで実施されて来た地質図が 岩体の区分を地質時代区分を重視しているのに対して 主として国土の開発・保全および利用に供するため 岩石の物理的・工学的性質に重きを置いた分類を行っているのを特長としている。

2. 地下水採取と水位低下

筆者は 最近数年間 金属鉱山の廃坑から流出する坑水にまつわる問題にとり組んで来た。 その研究題目は公害特研「休廃止鉱山における坑水の抑制と処理技術に関する研究」であり 通商産業省立地公害局予算による「閉山時における坑廃水対策調査」である。 これらはすでに廃坑になった金属鉱山の坑口から流出している坑水が 岩盤からどのような状態で坑道にしみ出しているかを予想したり 坑道内の湧水を 発生源の状態にもとづいてどのような処理を施すかの方針を立てるのが目標であり 研究の途上で 岩盤内の地下水流の挙動をとらえる必要があった。

たまたま この研究と相前後して 金属鉱業事業団で岩盤内の地下水流を 有限要素法を用いる浸透流解析として算出するプログラムを所有していたので このプログラムを借用することにより 筆者は次の手順で考察を進めた。

一般に 山林に降水があると 地中に侵入した水は岩盤中を下降して地下水面に到達し そこからは自由地下水となって移動し 山腹から再び地表に現れて河川水となる。 地下水面の位置は 山体の形 山体を構成している岩盤の透水係数 山体に涵養される降水の量に関係して常に変化している。 そこで「休廃止鉱山」の研究で設定した条件は

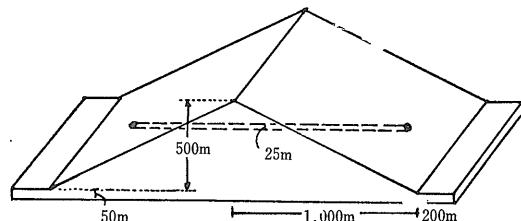


図1 計算に使用した山体モデル

- 4) 地下水面以下における地下水流動は ダルシーの法則に従うものとする。
- 5) この条件で 岩盤に適切な透水係数を与えて 地下水面の形と地下水流動方向を描く。
- 6) さらに この山体に円筒型の空間を作り この空洞に流入する地下水流の方向と 空洞に流れる地下水流のために変化した地下水面の形を描く

図2に示したものは 計算結果の例であるが この場合に地下の空洞をそのままストレーナー位置と置きかえ さらに 自然に空洞に集中し 空洞を通して山体外へ流れ出る水流を ポンプ揚水に置きかえると そのままこの図形は 地盤に井戸を掘って ストレーナを一部に設けたケーシングパイプを挿入し 井戸を仕上げて地下水を汲上げた場合が設定される。

現実に 古くから採掘が行われた金属鉱山の周辺を調査してみると 採掘跡直上に源をもつ谷筋には 水が無

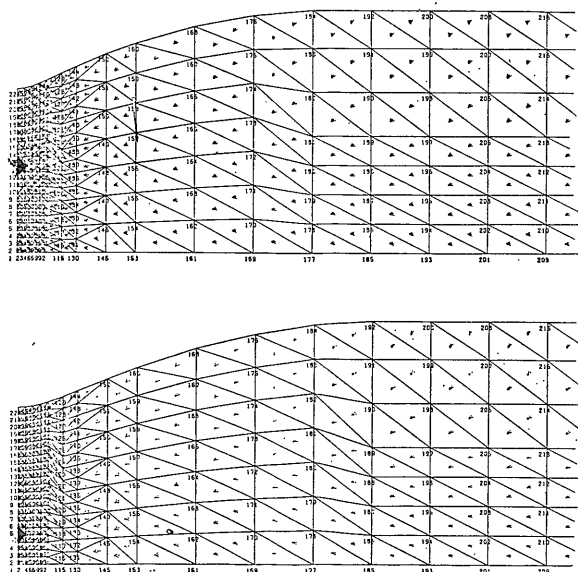


図2 地下水面および地下水流の描画例 塗色部分が空洞の位置

- 1) 山体は 断面を 図1に示す形とする
- 2) 山体を構成している岩盤を 巨視的に均質な物質とする。
- 3) この山体に 1日1mmの割合で涵養を与える。

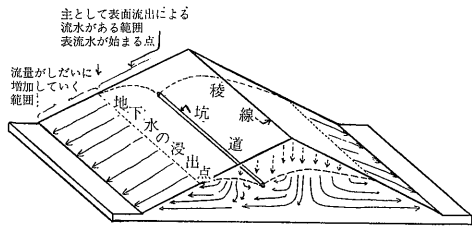


図3 山体の地下水流モデルの一例

いか あっても少ないという事が観察されるが これは図3に示したとおり 坑道や採掘跡の空洞に地下水が集中するような流れが生じたため もともと地表に現れる水流がそれだけ減少したことによる。

しかし この事実が記載されているのは 筆者が調べた範囲では意外に少ない。ここで岩手県にある松尾鉱山の例を藤田(1957)にもとづいて挙げると 松尾鉱山において鉱床を稼働してから後は 開さくされる坑道の最下部に地下水が集中するようになって 地下水面はしだいに漏斗状に低下し 図4のように変化するとともに 地表には次のような変化が認められた。

① 立坑開さく中にあらわれた現象

i) 215m 立坑 (仏平)

昭14 自然水位 195m 地並 湧水量 4m³/min
 昭22 自然水位 148m 地並 湧水量 3m³/min
 昭和30年現在 乾固

ii) 200m 立坑

昭27 自然水位 100m 地並 湧水量 2m³/min
 昭和30年現在 乾固

iii) 第2充填立坑

開さく当時 すでに地下水面がこの立坑の予定深度水準に低下していたため 6m 地並まで湧水に遭遇することなく完工した。昭和30年現在の水位は ほぼ6m地並の立坑引立付近である。

② 地表への影響

i) 仏平湿原 (鉱床北部直上) は漸次乾固しており 湿原植物の減少が目立って来た。

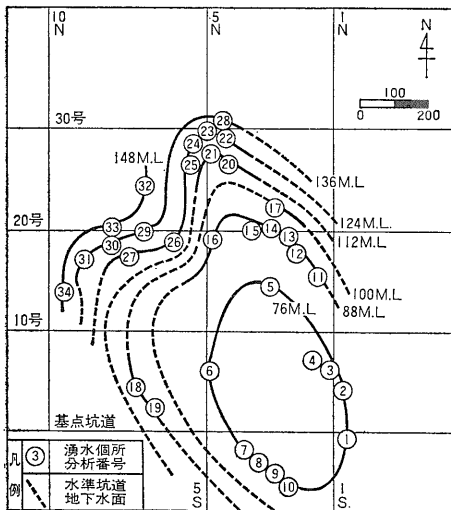
ii) 仏平工藤鉱泉 (pH 2.8~3.0) は 現在乾固している。

iii) 仏平上人沼は 過去 pH 2.8~3.0 の坑内水に酷似した水質の水をたたえていたが 近年は融雪期の4~6月以外には水がなく その水質は中性に近く 現在は 地下水の供給を受けていないと断ぜられる。

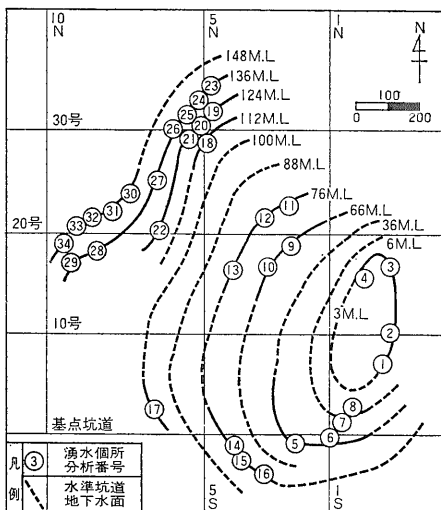
iv) 赤川も 以前は年間を通じて流水があつたが 現在は仏平地区上流では増水期以外はまったく流水が無く 間歇河川となった。

昭和52年11月に筆者が観察した時は 長期間の無降雨状態の後とあって 採掘跡直上には全く湧水は見当らず 僅かに周辺部でみられた湧水は 鉱床を胚胎する岩体を不整合に覆う新鮮な熔岩の中に含まれている地下水であった。

松尾鉱山の最盛期には 最下底の坑道に集まって排出された水の総量は毎分 30m³ 1日当りの排出量にして 43,000m³であったから 地下の採掘範囲を約1km²とみても 単位面積当りの排出量は 相当なものであったといわねばならない。これも 最終段階としては自然流



昭和26年6月現在坑内湧水個所分布図



昭和30年3月現在坑内湧水個所分布図

図4 松尾鉱山における地下水面 (藤田, 1958より引用)

下で最下底の疎水坑道から排出されていたのであるからもし 深井戸による排水を想定した場合 どのような事態が予想されるであろうか。

松尾鉱山の現状は 最下底の疎水坑道(3m坑)は閉塞され 112m 斜坑口付近から 毎分 15~20m³の水が依然として排出されている。

鉄道トンネル掘進時における坑内出水と これに伴う地表での湧水で最も有名なものは 東海道線丹那トンネルである。

丹那トンネルでは 最大 100m³/分の坑内出水があったと報告されている。もちろん これは 地質構造に応じて 丹那盆地の地下に溜っていた水が 新しく地下に排水路が作られたために流出した事によるが その結果 丹那盆地の地下水位は低下し 湧水現象が地表に認められた。その湧水範囲は 盆地内地表約 30km²に及んだと記録されている。

現在も トンネル掘さくに伴う地表の湧水が課題にされている地域がある。しかし 鉱山地帯や 鉄道などのトンネル掘さくのように 岩盤から構成されている所では 井戸や湧泉などの水源が渴れるほか 地下水位低下による障害はまず考えられない。

しかし これが低地帯になると 地下水位低下に伴う障害があらわれる。以下次章で この点に触れてみよう。

3. 地盤沈下と地下水採取

地盤沈下を地表面の沈降現象と定義した場合には その原因は様々である。しかし 地下水問題にとりあげられる地盤沈下は 地下から液体 たとえば地下水や水溶性天然ガス等を採取した場合に発生するやや急激な地表面の沈下現象を指しており 地殻変動たとえば大地震の際にみられる沈下現象や 地下から固体を採取した時に発生する地盤の陥没現象と区別している。

さて わが国の公害行政の基本となっている公害対策基本法には その第2条で 大気汚染 水質汚濁 土壌汚染 騒音 振動 悪臭と並んで地盤の沈下(鉱物の掘探のための土地の掘さくによるものを除く)を公害と定めている。

地盤沈下は 公害対策基本法により 事業活動その他の人の活動に伴って生じる相当範囲にわたり人の健康または生活環境に係る被害が生じているものであるとされたが これが人間活動によるものとされるまでには 長い時間の経過があった。

わが国の地盤沈下がいつ頃から始まったか 正確にはわからない。東京都の江東低地帯において 大正4年に年間 7.5mm の水準点の沈下が認められたのが おそらく最初の観測値であろう。関東大震災後に 東京の江東低地帯では 10~15cm/年の沈下が認められるとともに いわゆる抜け上り現象も見られるようになった。

大阪市では 昭和3年の水準測量で 1部の水準点が異常に沈下しているのが観測された。その後 地盤沈下の調査を目的とした水準測量のほかに 地盤沈下観測井も 東京では昭和8年に 大阪では昭和13年に最初のものが設置され 他方では地盤沈下の機構に関する考察も学者の間で進められた。

広野・和達による地下水の過剰揚水にもとづく地盤沈下原因説があらわれたのは 昭和14年であったが これが一般に認められるようになったのは 昭和19年から20年にわたって 東京や大阪地区の工場生産活動がほとんど停止し 地下水の揚水がいちじるしく減少した時に地盤沈下が一時的にも停止し その後経済活動が回復し工場も活動を再開し再び地下水が大量に採取されるとともに またもや地盤沈下も再現した後のことである。しかし 東京や大阪にとどまらず 地盤沈下の原因を大量の地下水の採取として認めるように到る間には 長い論争がある事は 昭和34年頃の新潟地盤沈下論争にもみることが出来る。

地盤沈下はしかし 他の公害と異なった特徴がある。まず 地盤沈下は 一般的に進行が緩慢であって発見が おくれやすい。水質汚濁や悪臭などが たとえば工場が操業を開始するとともに始まり 工場が操業を停止すると公害の発生源がなくなり したがって公害もなくなるといふものとは異なり 地下水採取を停止すると 直ちに目に見えて停止するものではない。さらに すでに沈下してしまった地盤をもとへ戻すことは不可能である。

次に 地下水の少なくともある部分については 人間の生活に必要な活動が維持されるためには 是非とも必要である。

理論的には 地下水を汲み上げるためにはその地域 少なくとも井戸周辺の地下水位(正確には水頭)を低下させて 井戸に向かう地下水流を作らねばならない。地盤沈下のものである地層中の脱水压密は 地下水位の低下によって発生するものであるから 少なくとも圧密を起こす性質のある地層から地下水を汲上げると 当然の結果として地盤沈下が起こらねばならない。

番号	地下水利用地帯名	番号	地下水利用地帯名	番号	地下水利用地帯名
4	十勝平野	71	豊橋平野	141	熊本・玉名台地
8	石狩低地	73	北勢平野	142	阿蘇カルデラ谷
24	山形盆地	76	南勢平野	143	八代平野
25	庄内平野	79	近江盆地南部		
26	米沢盆地	81	京都盆地		
27	浜通平野	84	奈良盆地		
28	福島盆地	87	大阪平野南部		
32	那須野ヶ原	89	東播平野		
33	鬼怒川扇状地	93	姫路平野		
36	利根川低地	98	淡路島		
38	下総台地	121	徳島平野		
39	西関東台地	122	那賀川平野		
41	相模原台地	124	高松平野		
43	甲府盆地	125	三豊平野		
50	東海平野	126	東		
52	新潟平野	127	今治平野		
58	能登南部	128	松山平野		
60	福井平野	134	筑前・筑後平野		
65	濃尾平野西部	135	佐賀平野		
68	濃尾平野東部	137	志		

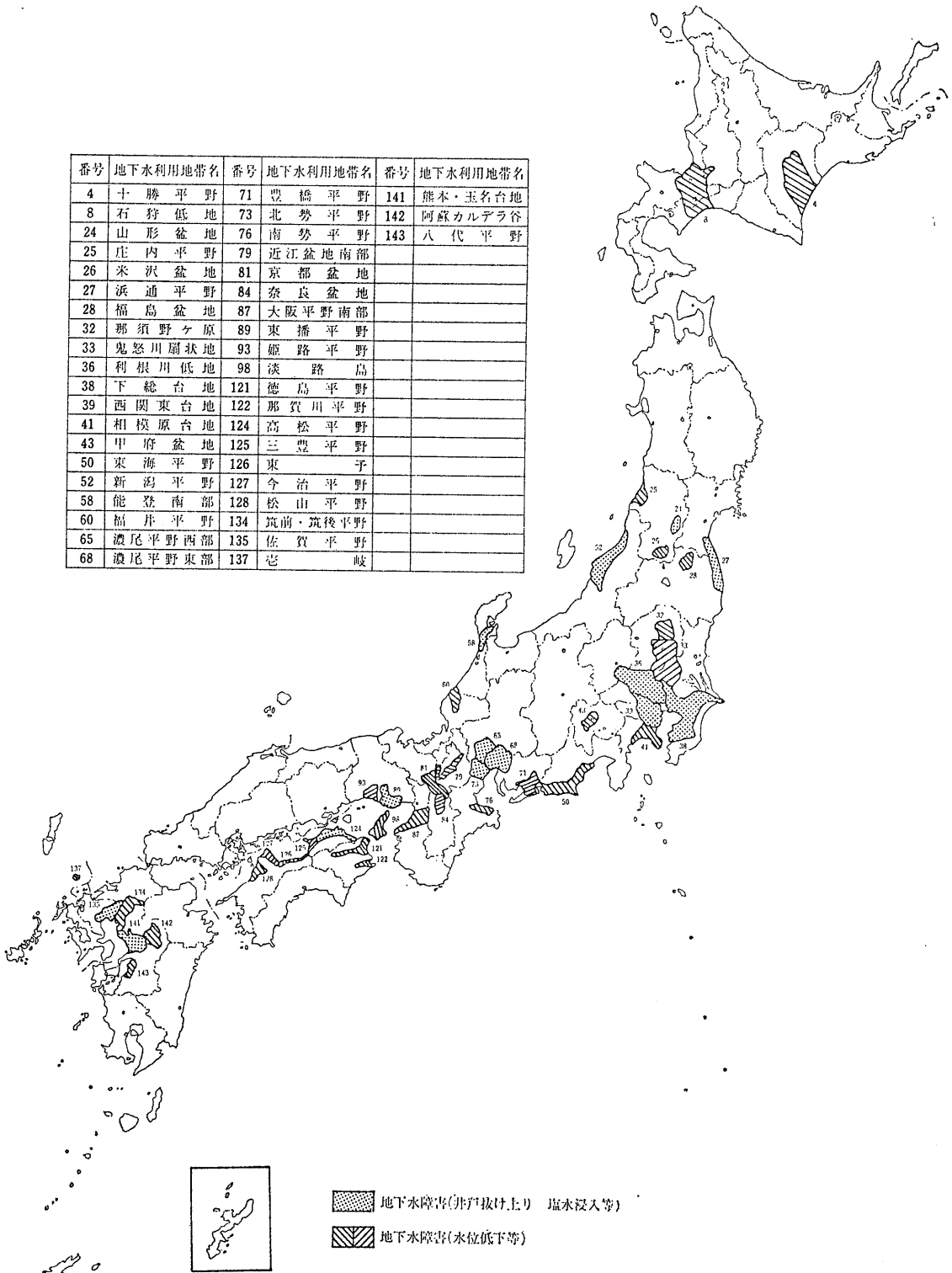


図6 農業用地下水取水障害地帯 「農業用地下水利用実態調査結果の概要」より転載

③ 地方公共団体の条例等によるもの

(a) 地下水の採取規制をしている地方公共団体数

都道府県数	20	市町村数	60	計	80
うち	許可制	9	16	}	25
	届出制	9	24		
	その他	2	20		

(b) 地下水の採取規制をしている都道府県名

- ア 許可制 東京都、埼玉県、千葉県、茨城県、新潟県、石川県、愛知県、三重県、大阪府（9都府県）
- イ 届出制 宮城県、福島県、山形県、神奈川県、富山県、福井県、静岡県、山口県、佐賀県（9県）
- ウ その他の方式 北海道、山梨県（2道県）

〔昭和53年版 水資源便覧より抜粋〕

4. 水文地質構造の決定と第四紀地質学

すでに前章で 岩盤内における地下水流の方向と地下水面の形態の描画を 有限要素法による浸透流解析で行った結果を示した。当初に述べたようにこの際に設定した条件は

- 1) 岩盤を巨視的に均質な物質となる。
- 2) この岩盤に1つの透水係数を与える。
- 3) 岩盤にある一定量の割合 たとえば1日1mmの割合で涵養を与える。
- 4) 岩盤内の定められた箇所にて 地下水が恒常状態で流出するような 空洞を作る。
- 5) 岩盤に与えられた降水は まず岩盤内を垂直に下降して地下水面に到り ここからは ダルシーの法則にしたがって岩盤内を流動し 最終的には 定められた箇所から恒常状態で流出する。

のとおりであり この条件がある段階で調和し 全体の地下水流がバランスを保った時に 始めて地下水面や地下水流の描画が可能であった。

設定条件は いずれも最も単純なもので 岩盤を未固結堆積物からなる地盤に置きかえて想定してみることも可能である。現実の岩盤は 巨視的には均質な物質であるとしても 微視的にはそのようなことは有り得ないし その中で地下水は 地下水面以深のところまで 粒状物質の集合体の孔隙や パイプ状に連らなっている孔隙を縫うように 層流状態や乱流状態で流れているであろう。しかし モデル計算と同じような状態は 実際に野外でも観察されるので 前項のモデル計算を基準にいろいろな想定を加えてもよいと考える。

設定した条件では 均質な花崗岩や厚い砂層のような例はともかく 実際は地層は多くの単層が上下に重なり合い また同じ地層単位でも 粒度組成や節理間隔など

は常に側方に変化しているため 巨視的にみた透水係数も側方に変化していることは明らかである。

したがって モデル的に描いた地下水面や地下水流はあくまでもモデルであって 現実に野外で観察されるような条件に合わせるためには たとえば有限要素法によっても 各分割要素それぞれに異なった透水係数が与えられねばならない。この作業は 既知の地下地質構造から推定して行われる。

山地や丘陵地を構成している岩石・地層では トンネルやその他の大規模地下掘さくに伴う湧水量の推定等と同様の過程による計算が行われている。筆者も 休廃止鉱山などの湧水状態の推測には 既存の地質図から水文地質構造に読み替える際に 次のような基準を試用している。

表 2 岩盤透水性をパラメーターとして組みこむ場合に 既存の地質構成単位から読み替える基準（試案）

地質時代	岩 盤 の 分 類		
I. 第四紀	1. 礫がち堆積物	} 未固結堆積物	砂丘堆積物など
	2. 砂がち堆積物		
	3. 泥がち堆積物		
	4. 泥 炭		
	5. 碎屑物		
II. 第四紀 ～鮮新世	1. 砂礫層	} 半固結堆積物	段丘堆積物など
	2. 砂質～シルト質堆積物		
	3. 泥質堆積物		
III. 新第三紀	1. 礫質・砂質堆積物	} 礫岩・砂岩 泥岩 頁岩・シルト岩 ‘層灰岩’	
	2. 泥質堆積物		
	3. 凝灰質岩		
IV. 古第三紀 ～白亜紀	1. 礫質・砂質堆積物	} 礫岩・砂岩	
	2. 砂岩・泥岩サイクロセム型互層		} 砂岩泥岩互層 石炭・凝灰岩を含む
	3. 砂岩・泥岩フリッシュ型互層		
	4. 泥質堆積物		泥岩・頁岩
V. ジュラ紀 ～古生代	1. 粘板岩・頁岩	} 固結堆積物	琉球石灰岩はこの中に含める
	2. 砂岩・粘板岩互層		
	3. 砂岩・礫岩		
	4. チャート		
	5. 石灰岩		
	6. 火山性堆積物（‘輝緑凝灰岩’）		
VI. 第四紀	1. 火山灰（‘ローム’）	} 火山性岩石	
	2. 火山碎屑物		
	3. 降下軽石堆積物および軽石流堆積物		
	4. 熔結凝灰岩		
	5. 熔 岩		

VII. 第四紀～ 新第三紀	1. 台地状玄武岩 2. ‘集塊岩質岩石’ 3. 凝灰岩質岩石 4. 流紋岩質岩石 5. 安山岩質岩石 6. ‘綠色凝灰岩’	} 火山性岩石	熔岩台地を形成しているもの
VIII. 古第三紀 ～白亜紀	1. 火山岩および火山 性砕屑岩	}	後期中生代火山岩類 ‘石英斑岩・花崗斑岩など’
IX. 貫入岩	1. 斑岩質岩石 2. 花崗岩質岩石 3. 斑輝岩質岩石 4. 蛇紋岩質岩石	} 深成岩	
X. 変成岩	1. 泥質片岩 2. 塩基性片岩 3. 珪質片岩 4. その他の片岩 5. 片麻岩 6. ホルンフェルス	} 変成岩	
XI. 圧砕岩	1. 圧砕岩質岩石	} 圧砕岩	

しかし 地盤沈下にかかわる地下水のシミュレーションには 地層からの地下水のしぼり出しという条件が加わるため 一層の困難性がつきまとうこととなる。 定性的ではあるが 地質構成にもとづく判断が ここではまだ活動する余地があるように思われる。

結局 地下地質構成を正しく認識することが 地盤沈下問題をからめた地下水資源問題を解決する鍵である。 その場合の地下地質の推定は 地質学の知識 とくに第四紀地質学の知識に立たねばならない。

現実に 人間が活動する重要な場となっている低地帯の 利用可能な地下水を賦存している地域の地質は 「基盤」となっている岩体の上に不整合に ほぼ水平に基盤の谷間を埋めて構成された地層である。 そこでは地表には まず露頭はない。 もっとも 最近の地下鉄道の建設工事などでは 海水準下数10mにおよぶ地下の成層状態を 直接露頭として観察出来る場合もあるが これは例外であると言って良いであろうし それだけに地下鉄道の建設工事は 第四紀地質学の発達にも重要な場を提供している事を広く知らせる必要がある。

地下地質を知ることの出来る窓は 現在でも そうして将来もそうであろうが ボーリング柱状図やボーリングコアの存在である。 国土庁では 国土調査の一環として 深井戸地質柱状図を収集・整理し 深井戸地質柱状資料として出版している。 この仕事は 今後とも永く継続していかねばならないと筆者は考えている。

しかし 地下水採取の目的で掘さくされた井戸の地質柱状図には 記載に限界がある。 この既設の井戸における情報を どのように読みとっていくか この課題は 「古くて新しい」課題である。 もちろん 的確な層序試錐があれば この層序試錐を基準に 既存のデータを整理していけばよいし 逆にいえば 層序試錐も無しに地下の成層状態を（地質学上の意味をもたせて合理的に）解釈するのは 無理が伴う。

地下水の採取を 補給量に見合うだけ行えば 実害を伴わないで地下水利用が出来るという観点に立ってみると 地表に露頭のない地層はもちろんのこと 地表のどこかに露頭があっても 新しい時代の地盤運動の影響によって 地表とは全くの連絡もなく地下に横たわっている第四紀初期から中期にかけての堆積物や 埋没段丘礫層の存在については これをよく確かめておかないと とんでもない錯誤をおかす事になる。 地層の同定には 層序試錐 とくに微化石によるコアの地質時代決定が必要なのは言うまでも無い。

昭和47年3月に農林省は 数年間にわたって行って来た地下水利用実態調査をまとめ 「農業用地下水の利用実態と対策」として発表した。 この中で 北海道と沖縄を除く日本全体について 151の地下水利用地帯を抽出し これを次のように類型区分(表3)を行っている。

この類型区分を地形分類で整理したものが 次の表4に示す。 わが国の主要な地下水利用地域の地形的類型である。

ところで すでに述べたように 地盤の中での地下水の流動状況を考えるためには 地下水の容器の大きさ(境界条件)を定めるとともに その容器の中にどのような物質(地層)が どのような成層状態をもって収容されているかを知らねばならない。 上に述べた類型区分は 地域の地下水賦存を考える場合の参考となるものである。

5. ま と め

地下水を資源として考える場合 日本の現状は 地盤沈下問題と切っても切れない関係にあることは 前章でくり返し述べて来た。 地下水採取に伴って発生する障害は 直接には水位低下であるが これが井戸の抜け上り 地盤沈下のほかに 地下水の塩水化をもたらし場合もあり それぞれの地域の自然的 社会的背景に応じた個性をもつ課題を投げかけている。

表3 地下水利用地帯の類型区分

番号	類型	記載	代表例
1	小沖積平野型	沖積層中の自由水 伏流水	本荘平野 敦賀平野 小浜平野 北九州
2	大沖積平野型	沖積層 段丘層中の自由水 平野下の被圧水	津軽平野 庄内平野 高田平野 濃尾平野
3	洪積台地型	段丘礫層中の自由水 洪積層中の被圧水	下北平野 常陸台地 下総台地 豊橋台地
4	火山性台地型	シラス 熔結凝灰岩中の自由水 深部の被圧水	熊本王名 大隅 鹿児島国分
5	火山山麓型	湧水地点より上部の自由水 下部の被圧水	赤城山麓 浅間山麓 妙高山麓 霧島
6	第三紀丘陵型	丘陵内の被圧水 周辺部の自由水	仙台平野 北勢平野 上野盆地 宇部平野
7	火山開折丘陵型	(裂カ水)	多良岳 雲仙 国東
8	熔岩台地型	(裂カ水および自由水)	宍岐 松浦
9	内陸盆地型	河床堆積物 埋没扇状地堆積物中の被圧水	六日町盆地 大野勝山盆地 奈良盆地 三次庄原盆地
10	火山島型	(裂カ水)	伊豆諸島
11	構造盆地型	盆地内堆積物中の被圧水	利根川低地
12	石灰岩台地型	(裂カ水)	帝釈台地 秋吉台地 奄美群島
13	扇状地型	自由水 扇端部の被圧水	那須野原 伊那盆地 大村
14	砂丘型	自由水	吹上浜

農林省(1972)

表4 わが国の主要な地下水利用地域の地形的類型(一部変更)

大区分	中区分	地質・地下水の存在様式の特徴				
		主な構成地質	層相	主要採水層の被圧度	主な採水様式と量	(例)
海岸平野	①砂丘	沖積層(ときに下に洪積層)	砂	ほとんど不圧地下水 下位の洪積層に被圧地下水③	浅井戸→中 (深井戸→少)	芦原砂丘
	②海岸小平野	沖積層(最大20m)	砂・シルト	不圧地下水 下に洪積層がある場合③	浅井戸→少	九十九里浜
	③洪積台地	洪積層(最大100m前後)	礫・砂・シルト	不圧地下水	浅井戸→少	牧の原台地
	④扇状地性平野	洪積層 沖積層 (層厚は100m以上にあつする)	砂・礫・シルト	沖積層中→不圧地下水 洪積層中→被圧地下水	浅井戸→少 集水渠 集水池→大 浅井戸→中	大井川河口平野
	⑤構造盆地平野	新第三紀層 洪積層 沖積層 (それぞれ層厚大)	砂・シルト・(礫)	沖積層中→不圧地下水 洪積層中→半被圧地下水 新第三紀層中→被圧地下水	浅井戸→少 深井戸→中	関東平野
内陸盆地	⑥山間構造盆地	沖積層 洪積層 (それぞれ層厚大)	礫(砂)	一部で被圧(扇端部など)の ほか不圧地下水	湧泉→中 浅井戸→中 深井戸→大	松本盆地
	⑦扇状地性盆地	沖積層 洪積層 (洪積層が厚い場合が多い)	礫(砂)	扇頂部 } 不圧地下水 扇尖部 } 扇端部 } 一部を被圧地下水	浅井戸→大 湧泉→大	那須野ヶ原
	⑧河岸段丘	洪積層(最大100m前後) (一部沖積層)	礫(砂)	不圧地下水	浅井戸→中	美濃加茂台地
火山地域	⑨火山山麓	洪積世の火山噴出物	角礫凝灰岩・崩壊堆積物 降下軽石・溶岩	山体近く不圧地下水 山麓下端部で一部被圧	深井戸→大～中 浅井戸→少 湧泉→大～	八ヶ岳西麓
	⑩溶岩台地	新第三紀～前期洪積世の火山噴出物	溶岩 角礫凝灰岩類	裂カ水 } 被圧地下水 不圧地下水	深井戸→中～小 湧泉→大	霧ヶ峰
	⑪火山性開折台地	新第三紀～前期洪積世の火山噴出物	シラス・溶結凝灰岩	不圧地下水	深井戸→中～少 湧泉→大	南薩台地
	⑫火山島	新第三紀～洪積世の火山噴出物(一部に沖積世のものあり)	溶岩・角礫凝灰岩・集塊岩	不圧地下水 (ヘルツベルグ・レンズ)	深井戸→中	伊豆七島
山地・丘陵	⑬第三系丘陵	新第三紀層	礫・シルト・砂	被圧地下水	深井戸→少	魚沼丘陵
	⑭石灰岩台地	中・古生層	石灰岩・ドロマイト	空洞水 } 不圧地下水 裂カ水	湧泉→大	帝釈峡
	⑮中・古生界山地	中・古生層	頁岩・砂岩・チャートなど	裂カ水 不圧地下水	湧泉→中 少	秩父山地

資源としてその利用を考える際に ひとつは地下水を化石資源としてみる方向がある。地下水は大地を「固相部分」とともに構成しているものであるが さし当りこの地下水をすべて抜き取ってしまうという考えかたである。鉱産資源の大部分は化石資源である。これが発見され 採取が開始されると そこには少なくとも鉱業活動を中心とした集落や産業が形成されるが 採取を完了してしまふと あとに残るものは荒廃した土地景観である。

他方 地下水はどのような場合でも無限に存在するという考えかたも成り立つ。地下から水が自噴している地域では たしかに地下水は無限であった。これは降水として どこかに供給されている量だけが 地下から抜き出されていたことにほかならない。外国の教科書に描かれている図は はるか遠くの土地に涵養された水が特定の地層を通して侵入し 深井戸から自噴しているか 汲み上げられている図である。

残念ながら 日本で利用可能な質および量の地下水を賦存している地層は 大抵の場合 小さな堆積盆地に区切られた第四紀の堆積盆地であり ほぼ水平に堆積している地層は 基盤にアベットしている場合が多いし そうでなくても新しい地殻運動の影響を受けて分断されていると考えた方がよい。別の言いかたをすれば 地下水が地層を通じて涵養される領域は非常に狭いということである。このような状態では 大量の地下水採取は化石水の採取と同じ効果を周辺に与えてしまうだけである。

幸い 日本の自然条件は 常に降水の直接涵養があるという特長がある。残念ながら 降水による直接の涵養が 1日当り何mmであるか 観測例はあるがまだ定まったものはない。地盤により正確に表現するならば 地下水面に到達し 自由地下水として涵養される降水の量は 山地や丘陵地の場合には 降水量・蒸発散量・流出量などを測定して岩体に侵入する量を算出することも可能である。しかし台地の中心部や沖積低地では この算出は困難である。また 地下水の汲み上げによって地下水位が低下すると 新しい涵養が生じることもあり おそらく地盤に涵養される量は時々刻々に変化していることでもあろう。

そのほかに 地下水流が計算領域外から領域内へ側方

に涵養 あるいは流出しているという条件が加わってくるために 現実に計算する場合には いくつもの仮定条件が重なり合ってしまう これが計算結果を不正確にしている理由でもある。

今後の課題の1つは 台地の中心部や低地帯で(降水による)涵養深さがどの程度であるか 決定する事であろう。表層の地質構成から その数値が予測されれば充分である。

地下水位は 地下水の動態を知るうえで最も重要なものである。くり返し述べたように 山岳地帯であっても台地や低地帯であっても 地下水を抜き取れば かならず地下水位が低下する。要は この地下水位低下が公害に結びつくかが問題である。

地下水位は 既設の井戸を用いても観測出来るが 情報処理を行うだけの厳密な観測は どうしても観測井の掘さくを必要とする。地下水位の低下傾向が長期間継続する間は 地下水の汲上げ量に見合うだけの涵養が行われていない事を意味する。

では 地下水位はどこまで低下させることが出来るかという課題がある。地下水位(厳密に言えば 地下のある位置における水頭である)を低下させない揚水方法はあり得ないのであるから 要は 地盤沈下が地下水位の低下によって起こらなければよいのである。海岸砂丘地帯や火山山麓海岸では 地盤沈下よりはむしろ 地下水へ塩水が侵入するという事例があるが その場合の最も単純な考えかたは 海水準以下に地下水位を低下させないことである。

一般の沖積低地帯では その地層が過去の地質時代に受けた圧密の程度まで 地下水位は低下させることが出来るという考えがある。また これを実証するための考察も試みられている。ここでは 物理量としての地層の土質計測値と 地層の時代層序区分 絶対年代とを比較検討する必要から やはり第四紀地質学の知識にもとづく地下地質の推定は不可欠である。

表流水の利用が極限状態である今日の社会的背景を考えれば 良質で大量の地下水を採取し尽して その後に新しく地下水源を別の地域に求めて移動するという事は まず不可能である。となれば 降水によって涵養されるだけの地下水を 障害なく採取するためにはどうすればよいか これが今後の課題であらうと筆者は考える。

地学と切手



トリスタン・ダ・クーニア
帰島10年記念切手

P. Q.

トリスタンダクーニア (Tristan da Cunha) は南大西洋にある群島で 同名の最大の火山島の名でもある。それは中央大西洋海嶺から480km東に位置しているが 大きくみてこのあたりが最近のホット・スポットのひとつと考えられている。ここから東方アフリカへ向っては Walvis 海嶺が 西の南アメリカへ向っては Rio Grande 海嶺が続いており 大陸移動の考え方からするとこの付近が分裂前の接合を推定する手がかりとなっている。1506年にポルトガル人によって発見され 発見者にちなんで命名された。1810年から定住者が出 1816年イギリスにより領有され 1938年セントヘレナの属領となった。住民は約240人で 主に漁業で生活している。

火山は海拔2,060mで山頂に小火口湖を有する成層火山で海底からの比高は3,660mである。岩石はアルカリ玄武岩—粗面岩系列のもので 30以上の側火山と多数の放射状岩脈を有している。

1961年10月に2か月の前兆地震の後に北端部で噴火が起り 入植地に被害を与えたので 本国政府はひとまず付近のナイチンゲール島へ 次にケープタウンへ さらに本国のサザンプトンの西岸にあるキャルショットへと住民を移した。1962年2月に学士院の調査隊が派遣され 3月に火山活動は終息した。

島民たちは2年間の本国における近代生活を経験したのだが 結局それは自分たちの伝統や習慣とはなじまないと感じたらしい。14票を除いてもとの単純な生活にかえることを望み 63年11月に必要な再建資材を携行して帰島した。もとの入植地は破壊されていたが 新しい港を作りキャルショットと命名した。現在は240人が男女1人ずつの議会を作り 本国は行政官 牧師 医師 看護婦 2人の教師 1人の農業技師を派遣している。

切手は1/2dに島の位置 4dが島の遠望 次の4dと8dは島がセントヘレナの属領となった時の記念切手で上からみた形が画かれている。

帰島10年記念切手は 1973年11月10日に発行された。

4p は住民が英本国に着いて新しい住所となるサザンプトンの港を頼りなさそうに眺めているのをシェルエットでうまく表現している。

5p は噴火調査の状況。

7 1/2p はいよいよ主力がサザンプトンから 4.895トンのボンホーム号乗り込むところ。

12 1/2p は島に到着した喜びが 4pの本国についた時の哀しみと対称して画かれている。

(後半の帰島経緯は北沢芳彦：郵趣1974年4月号による)