

新潟県における地下水賦存状況とその変遷

水 谷 宣 明 *

1. はじめに

面積が大きく降水量の多い新潟県は、日本全国でも北海道に次いで水資源賦存量（年降水量から年蒸発散量を差引いた値）の豊富な地域である。水量・水質が安定しており、採取が容易な地下水の利用も盛んで、昭和50年代に入ってから、消雪地下水の汲上げが急速にのびている。これに伴う地盤沈下などの被害も顕著になってきており、その実態は本誌にも発表されたとおりである（田辺，1987）。地下水が限りある資源であるという認識は一般に受け入れられるようになってきたとはいえない。自分達が生活するその地域の状況がどのようになっているかを、必ずしも正しく認識しているとはいえない。近年では新しい取水地点を探るための地下水調査を進めていくうちに、いかに困難な状態で地下水を汲上げているかを知り、逆に地下水利用を規制しなければならないという結論に到達してしまうことも少なくない。地下にあってみることでできない地下水の状況は、数多くの調査や工事の結果として徐々にわかってくるものである。降水量や河川流量などは、古くから国の機関によって観測が続けられ、いろいろな形で社会生活に必要な情報として提供されているが、地下水はその観測点のもつ代表性の確認が難しく、あくまでも点のデータとしてしか利用できないことが多い。そのため、新たに掘さくされる井戸の柱状図や水量・水質に関するデータ、連続測水記録や一斉測水による地下水面など図が得られることによって、見方の全く変わってしまうこともある。これらのデータは地下水を開発していく過程で容易に手に入れることができ、そのデータを検討して得られる成果は大きい。

本文はこれまでに経験してきた地下水に関する調査・工事を通じて、新潟県を中心とするいくつかの地下水盆の例を取り上げて、地下水賦存状況とその変遷について考察したものである。

2. 新潟県の地下水概況

新潟県の各地域における地下水調査は、農林省による農業用水源調査、通産省による工業用水源調査、建設省による調査、県商工労働部による水道水源調査、各市町村による地下水開発調査、またほとんど一般には公開されていないが道路・鉄道・河川・大規模造成などの土木工事に関連する調査などがある。これらの調査結果の概要は「新潟県地下水資源の概要」（県工業振興課，1981）にまとめられている（表-1）。本書では県内を26の地区に区分し、帯水層の特徴や地下水利用状況等が述べられている。また、「日本の地下水」（農業用地下水研究グループ，1986）においても、新潟県の地下水状況がコンパクトに紹介されている（表-2）。

地下水盆における地下水のあり方は、その容れ物としての地形、水理地質の性質に大きく支配される。水の容れ物としての帯水層の構成・構造は、時間によってほとんど変わることはないが、そのかん養源としての降水・河川水・かんがい水などは、1年の単位で周期的に変わり、数年～10数年程度の気候変動の影響も受ける。水資源としての利用量—地下水の汲上げ量は、時間・日・週・月などの単位で刻々と変わり、産業や社会構造変化に伴って経年的に変化していく。このようにして時間とともに変化する

* 編日さく新潟支店

表－１ 新潟県各地区の地下水状況

地 域	地区名	市 町 村 名	帯水層の地形・地質的特徴	地下水利用量 m ³ /日	地下水開発可能量 m ³ /日
新潟平野および その周辺部	1 村 上	村上市・朝日村	三面川扇状地礫層	62,200	30,000
	2 粟 島	粟島村	扇状地・崖線・岩盤中の裂カ水	—	
	3 荒 川	荒川町・神林村・関川村	荒川扇状地礫層・砂丘砂	97,200	
	4 中 条	中条町	胎内川扇状地礫層・砂丘砂	284,600	18,000
	5 聖 籠	聖籠村・紫雲寺町の砂丘部	砂丘砂	13,500	
	6 新発田	新発田市	加治川扇状地・砂丘	59,200	
	7 水 原	水原町・安田町・豊浦町・京ヶ瀬村	阿賀野川河川堆積層 阿賀野川支川扇状地礫層	29,900	
	8 津 川	津川町・三川村	同 上	25,700	
	9 新 潟	新潟市・豊栄市・中蒲原郡(村松町を除く)・新津市・白根市・燕市・西蒲原郡	砂丘地のほかは平野部は新津丘陵東縁部や燕市など南部地域を除いて水溶性天然ガス付随水や同質の地下水が分布し、水質はよくない。	156,600	
	10 五 泉	五泉市・村松町	主に早出川扇状地に地下水があり能代川には地下水は少ない。	38,000	
	11 加 茂	加茂市	加茂川扇状地礫層	27,200	28,000～31,000
	12 三 条	三条市・下田村	五十嵐川扇状地礫層	10,900	25,000～29,000
	13 見 付	見付市・中之島村・栄村	刈谷田川扇状地礫層	46,100	
	14 和 島	和島村・出雲崎町・寺泊町	魚沼層群	2,300	
	15 長 岡	長岡市・三島町・越路町・与板町	平野下の沖積層・洪積層・段丘礫層・信濃川河川堆積層	冬期 435,300	
信濃川中流部	16 小千谷	小千谷市・川口町	信濃川河川堆積層・段丘礫層・魚沼層群	54,800	
	17 十日町	十日町・川西町	信濃川河川堆積層・段丘礫層・魚沼層群	69,300	
	18 津 南	津南町・中里村	同 上	4,300	
魚 野 川 中下流域	19 小 出	小出町・堀之内町・川口町	魚野川・碓間川の河川堆積層・同支川の扇状地礫層・魚沼層群	76,100	
	20 六日町	六日町・大和町・塩沢町・湯沢町	魚野川および同支川の河川堆積層扇状地礫層	126,000	
柏崎平野および その周辺部	21 柏 崎	柏崎市・刈羽村・西山町	鯖石川・鶴川・別山の河川堆積層・砂丘砂・魚沼層群	169,000	
	22 小 国	小国町	洗海川ぞいの魚沼層群	1,500	
高田平野	23 上 越	上越市・新井市・柿崎町・大潟町・頸城村・吉川町・三和村・板倉町	平野下の沖積層・洪積層・砂丘砂 矢代川扇状地礫層	48,400	
妙高山麓	24 妙 高	中郷村・妙高村・妙高高原町	妙高山・赤倉山の火山噴出物	17,000	
糸魚川平野	25 糸魚川	糸魚川市・青海町	姫川・田海川・青海川の河川堆積層	185,500	57,000
佐 渡	26 佐 渡	大佐渡 (相川町・佐和田町)		—	
		小佐渡 小木町・羽茂町・赤泊村・両津市		4,300	
		国 中 平 野 両津市・新穂村・佐和三町・金井町・姥野町・真野町	平野下の沖積層および洪積層	5,300	
総 計				1,945,800	

県工業振興課(1981)より抜粋。地区Noは図－1に対応する。

表-2 新潟県の水文地質層序表

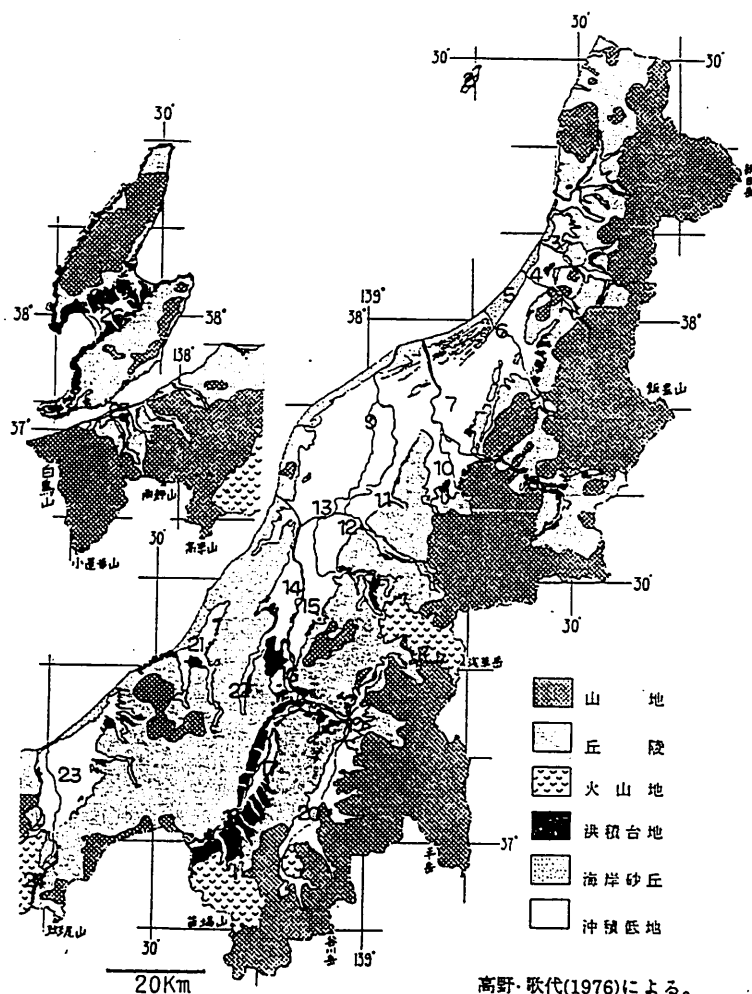
地質時代	新 潟 県					佐渡島
	荒川低地	新潟平野	新潟砂丘	長岡低地	魚沼丘陵	
第四紀	三浦川・荒川・船内川・加治川	西貢野川・三条加茂・新潟白根	新潟砂丘	長岡低地	西山丘陵	佐渡島
	砂丘砂層 ●	黒島層 (粘土・砂)	砂丘砂 ●	魚沼丘陵	西山丘陵	佐渡島
	粘土・砂	黒島層 (粘土・砂)	砂丘砂 ●	魚沼丘陵	西山丘陵	佐渡島
	新潟砂丘砂層 ●	黒島層 (粘土・砂)	砂丘砂 ●	魚沼丘陵	西山丘陵	佐渡島
第三紀	三浦川・荒川・船内川・加治川	西貢野川・三条加茂・新潟白根	新潟砂丘	長岡低地	魚沼丘陵	佐渡島
	砂丘砂層 ●	黒島層 (粘土・砂)	砂丘砂 ●	魚沼丘陵	西山丘陵	佐渡島
	粘土・砂	黒島層 (粘土・砂)	砂丘砂 ●	魚沼丘陵	西山丘陵	佐渡島
	新潟砂丘砂層 ●	黒島層 (粘土・砂)	砂丘砂 ●	魚沼丘陵	西山丘陵	佐渡島

(注) □ 内の数字: 比湧出量 (m³/d/m), ●: 不圧地下水, ②: 被圧地下水, △: 裂かき水

「日本の地下水」(1986)による。

要素がきわめて大きな意義をもっており、その変遷を考えることなしに地下水状況をみることはできない。

水循環の場としての新潟県の地形は、図-1のように示される(高野・歌代, 1976)。新潟県の海岸部には新潟・高田・柏崎などの平野があって、鮮新世から完新世にかけて堆積した数100mの地層が地下水帯水層を構成している。これらの砂礫層中には水溶性天然ガスの含まれることが多く、被圧地下水の利用には水質の上から制約を受けている地区でもある。これらの平野に流入する各河川には扇状地と河岸段丘が比較的良好に発達し、不圧地下水を中心とした水利用が盛んである。海岸線に沿っては砂丘が発達し、浅層地下水が利用されている。六日町・十日町・小国などの内陸盆地においても、新しい時代に堆積した100数十mの地層中から地下水が汲上げられている。いわゆる魚沼層群を主体とする洪積台地では、向斜軸や砂礫質層にあたった時には思いがけないほどの多くの揚水量を得ることがあるが、全般に地下水の賦存量は少なくなっている。妙高火山の第四紀火山噴出物は帯水層としてすぐれている。丘陵～山地にはあまりすぐれた帯水層はなく、例外的に佐渡小木地区の第三紀火山岩類である玄武岩層が、裂力に富む帯水層となっている。



高野・歌代(1976)による。

数字は表-1に対応する。

図-1 新潟県の主要な地下水盆

3. 地下水状況特徴づける基本的な要素

地下にあってそのままではみることのできない地下水は、井戸を掘って汲上げたり、湧泉や自噴井によってはじめてみる事ができる。地下水の利用に伴って数多くの井戸がたち並んだり、観測される水位が変動したり、地盤沈下の現象が現れたりする……これらすべての現象を総合して「地下水状況」とする。空から雨が降って地下に浸透し、それが汲上げられて周辺の環境が変化していく過程を、水循環のサイクルの基本的な要素に分けて考察する。

3-1 気象や地表水の変化

いわゆる地下水状況の変化は、地下水位の低下に伴って、自噴帯の後退・井戸枯れ・井戸の掘増し・揚水機の増強…などの形で現れることが多い。局部的・人為的な揚水による影響をみる前に、広域的・自然的な状況で地下水位がどのようにして変化しているかを把握しておく必要がある。降雨・降雪・融雪・河川水の増加・かんがい開始などによる地下水の入力条件の変化は、現在のところ人為的にはほとんどコントロールできない。これらの条件による地下水位の変化をみてみよう。

図-2は柏崎平野の海岸線に発達する荒浜砂丘における地下水位の実測値を、降水量のみから推定した予測値とあわせてプロットしたものである。ここでは月降水量の1～12項移動平均を計算し、それぞれの数値に1～12カ月の遅れを与えてこれを「修正月降水量」とし、毎月末に実測した水位の数値と比較してそれぞれのにおける相関係数を求めた。これらの最大相関係数は70～90%の範囲に入るものが多く、降水量と地下水位との間に、密接な関係のあることが証明される。このようにして算出された修正月降水量 \times (最適項数IDの移動平均と時間遅れDLを与えた数値)に、その時の直線回帰係数 a 、 b を与え、推定地下水位を $y=ax+b$ なる式で計算したのが図-2の点線である。地下水面までの土被りが数10mにもおよぶような砂丘地では、降水による入力平滑化され、かつ遅れをもって地下水面に達する様子が、これによって明らかにされる。

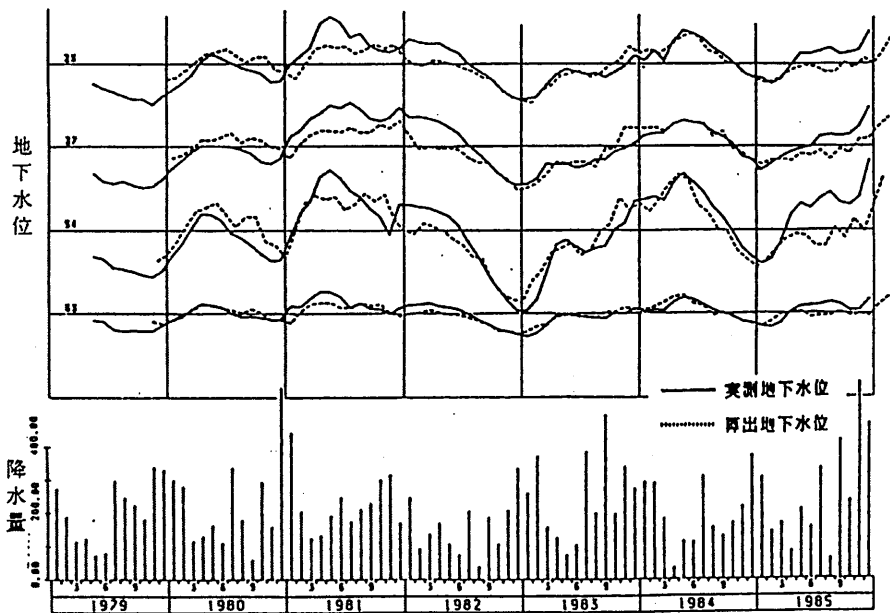
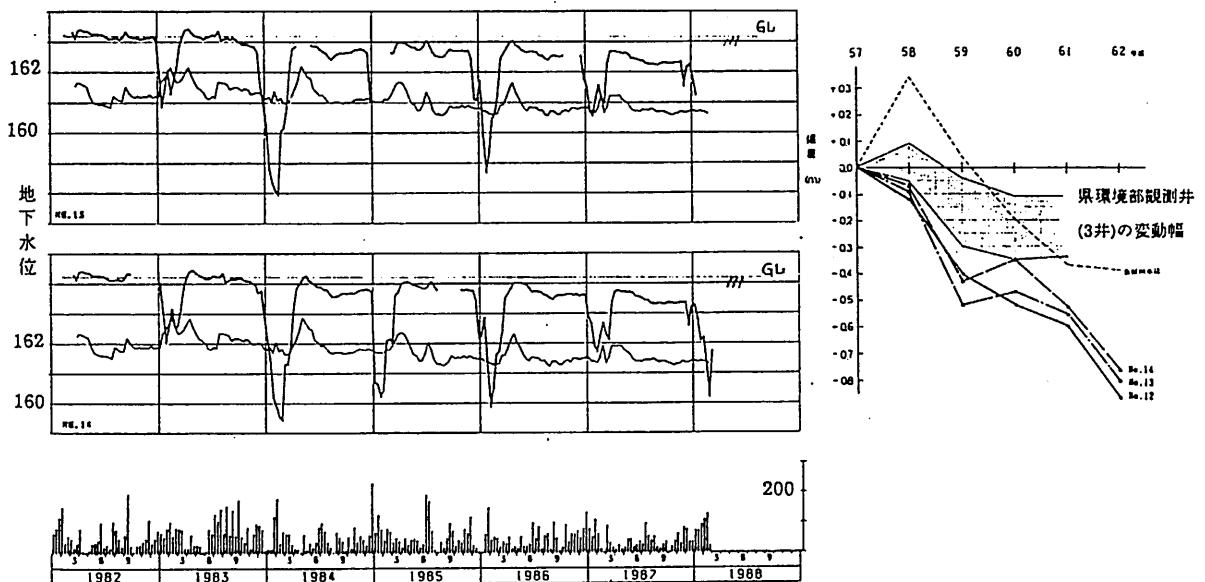


図-2 荒浜砂丘における地下水位変化

図－3 左は六日町・魚野川沿岸における多くの自記観測井の水位から旬間平均水位を算出し、その一部を坂戸橋における河川水位とあわせてプロットしたものである。後述するように、この地区の地下水位は消雪用水・かんがい・温調用水などの影響を大きく受けて変動している。ここでは河川工事による地下水位低下の度合いが問題となったが、昭和59年以来降水量が少なく、自然的な影響との分離が求められた。図－3 右は消雪用水汲上げの影響が少ない毎年4～11月の河川・地下水の平均水位を、昭和57年をゼロとした時の偏差で示したものである。ここで県環境部の観測井は魚野川から500 m以上離れており、工事の直接的な影響は受けにくいと考えられる。昭和59年以降の水位低下は非消雪時期の少雨による影響が大きいが、図示した井戸のある地区は自噴を停止する範囲と一致し、河川工事の影響が地下水位に現れていると判断される。



図－3 魚野川沿岸における地下水位変化

図－4 は六日町と同じような環境条件をもった福井県大野盆地の、市街地を中心に配置された観測井水位の日変化の例である。ここにおいても消雪用水使用時期の水位低下が著しく現れているが、4月初めの融雪による水位上昇のピーク、それから約1月遅れて現れるかんがい開始に伴うピークが、毎年顕著に認められる。繊維工場の多い本地域では夏季の地下水使用量も相当量にのぼっているが、梅雨期の多雨や中干し後の再かんがい等によって、盛夏にも最高水位のピークを迎える。9月以降の水位の急低下はかんがい停止によるものである。新潟県でも同様に、水田地帯の浅層地下水はこのような変化をしていることが多い。

3-2 帯水層の性状

帯水層の性質は地形とも密接に関連しているが、その構成（砂質か礫質か…）や構造（厚さや傾き・分布…）などの違いによって、地下水の利用形態も異なる。地層の硬軟によっては井戸の掘さく方法が

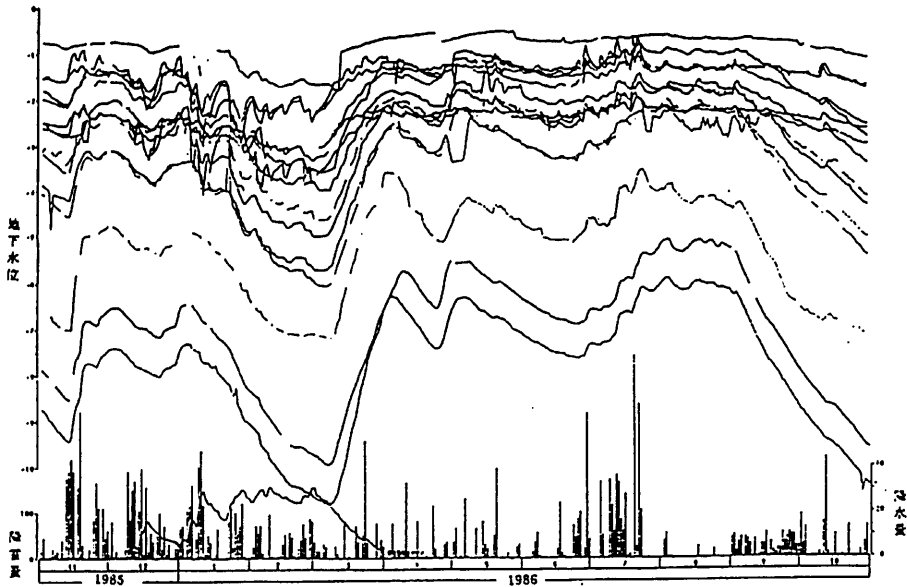


図-4 大野盆地における地下水位変化

違い、揚水方法も異なる。透水性の違いによって揚水水位の低下量も異なり、粘土層との関係によって地盤沈下の現れ方にも差がある。地下水採取の方法は時代とともに変わり、地下水状況にも変化をもたらす。

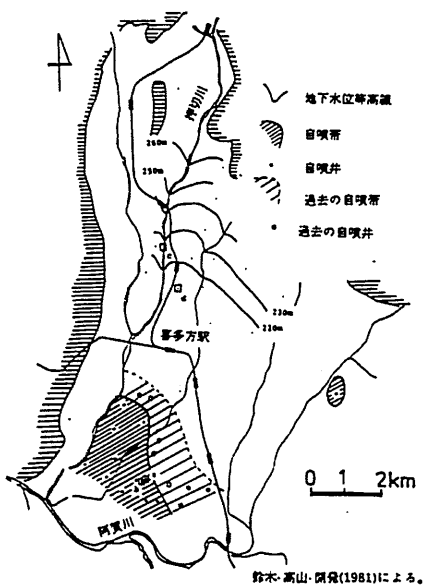


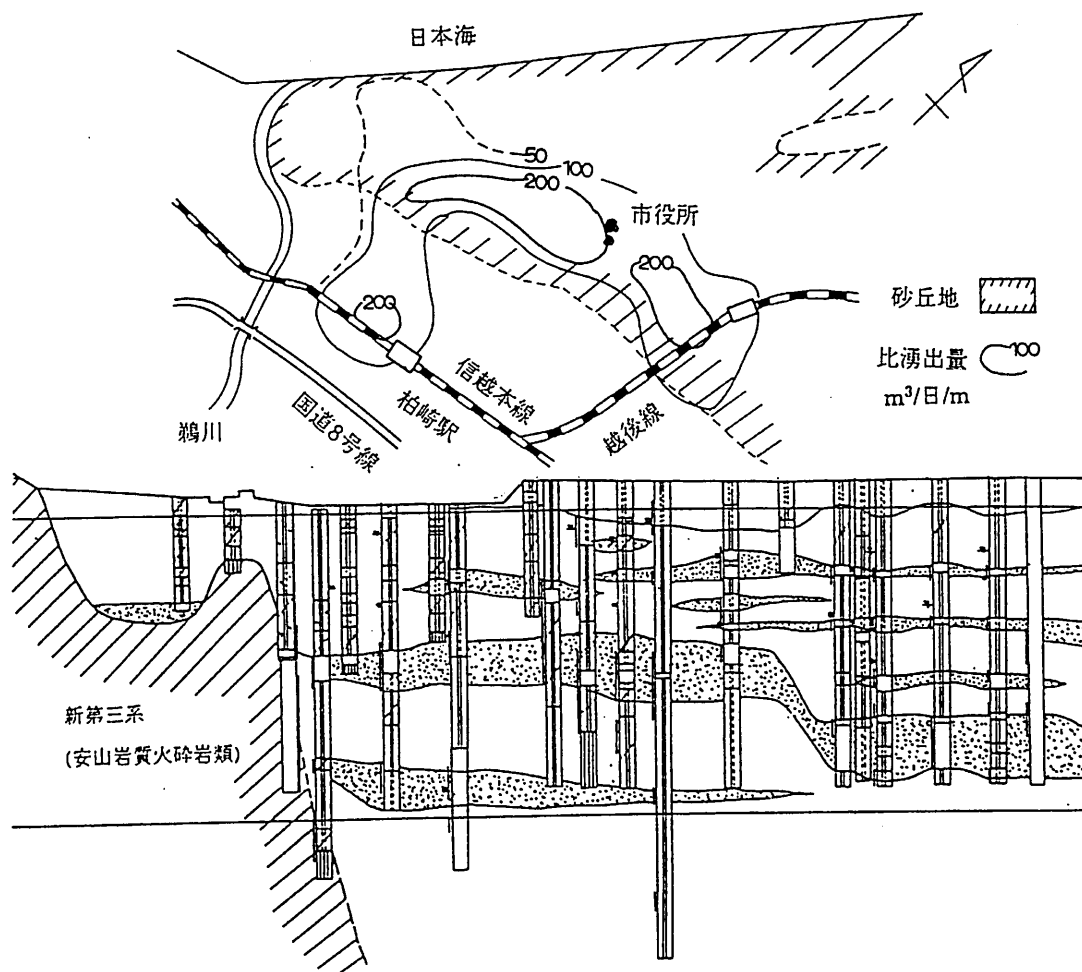
図-5 会津盆地喜多方地区における井戸分布

図-5は昭和55年調査時における福島県会津盆地-喜多方地区の井戸分布を示したものである。飯豊山の典型的な扇状地に立地する本地域は地下水が豊富なため、自家用井戸が多く、上水道の普及率は約20%と低い。喜多方市街地は扇状地の中央部にあたり、南側の粘土～砂質層を主体とする扇状地下半部では、礫に当たってパイプが曲がることがあるというものの、口径40mm、深さ10～20m程度の鉄管からなる打込み井戸で被圧地下水を採取している。これより北側の粗粒な礫層を主体とする扇状地上半部ではパイプの打込みが不可能で、口径1m内外、深さ10m程度の手掘り井戸が多い。近年ではパーカッション式による100m級の井戸が数多く掘られるようになり、扇端湧水帯の後退とともに自家用井戸の廃止が進んでいる。扇状地の頂部から末端における井戸形式の違いや、近年における自噴帯の後退・扇端低地部における地盤沈下の発生などの例は、全国各地で枚挙にいとまがない。

図-6上は柏崎平野における比湧出量の分布を示したもので、水がよく出る地域が砂丘地の分布とよく一致していることに驚く。対象とした井戸は深度50～150mのもので、層厚約20mの砂丘砂層からは全く取水していない。図-6下の地質断面図をみると、沖積層基底の砂層と現在の砂丘砂層の分布が一

致しているためであることがわかる。地盤条件のよい砂丘地を中心として市街地が発達し、その範囲が地下水の豊富な地帯であったことが浮き彫りにされてきている。

面積・人口・工業生産高などの社会的環境が同程度の規模をもち、近年の消雪用地下水の利用が目覚しい上越と長岡の地下水状況を比較すると、深度20 m以上の深井戸の本数・冬期の地下水汲上げ量などは長岡の方がそれぞれ10倍も多いにもかかわらず、観測井の最大水位低下量や地盤沈下量は、上越の方が圧倒的に大きい。表－1の統計からもわかるように、揚水量が10万 m^3 /日を越える中条・長岡・糸魚川などの各地域は古第三紀層～中・古生層の硬質な砂礫層を主とする河川堆積層からなるため、揚水量に比して水位低下量が小さく、沈下の対象となる粘土層の厚さも小さい。ただし、これらの地域においても局部的に粘土層の厚い地区があり、地下水の新規開発が難しくなっている。



図－6 柏崎平野における比湧出量の分布と地層状況

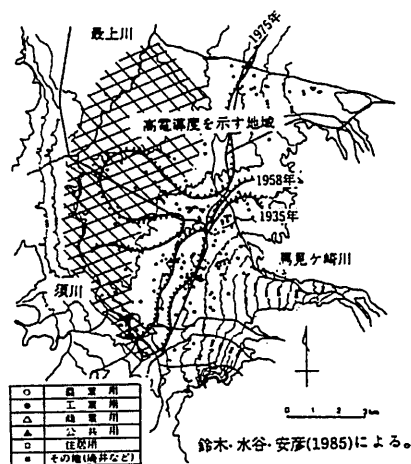
3-3 地下水の水質と用途

上水道がなかった時代には、河川から遠く離れても得られる地下水は、大切な生活用水であった。河川水に較べて安定しているとはいえ、井戸枯れや水質汚染の懸念のある浅層地下水の利用は、その大切さの故もあって急速に上水道に切り換えられてゆく流れにある。地下水が生活用水として使用されなく

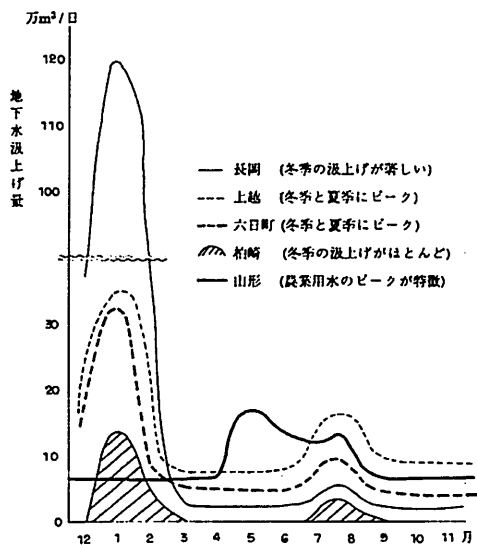
なった時点から、その保全に対する配慮が失われてしまうことがある。必ずしも良好な水質を必要としない農業・工業・消雪用などの地下水は、生活用水との競合を避けるという名目で、深井戸から大量に汲上げられ、地盤沈下などを引き起こしている例も全国的に多い。

図－7は昭和50年調査時の山形盆地における井戸と水質および自噴帯の変遷をみたものである。本地域では馬見ヶ崎川の伏流水が水道水源として採取され、扇端部には「ドッコン水」と称する打込み式の自噴井が多数分布していた。扇端部より下流の低地は酸性の須川の影響を受けて水質も悪く生活用水には適していないが、圃場整備の進行に伴い、昭和30年代から不足する用水を補うために多数の農業用地下水井戸が掘さくされ、昭和40年代以来地盤沈下が進んでいる。

図－8は長岡・上越・六日町・柏崎および山形における地下水汲上げ量の変化のパターンを模式的に示したものである。これらの積雪地帯の冬期の汲上げ量Aの増加はほとんど消雪用水によるものであり、他の時期の汲上げ量Bのほとんどは生活用・工業用などに使われている分を表す。山形における夏季の汲上げ量Cの多くは水田かんがいのためのものである。上越・六日町では水道水源を水質のよい地下水にたっており、地盤沈下地帯にあることもあって、A/Bの比は約10倍にとどまっている。長岡では水道水源の大部分は信濃川の伏流水として採取しているため、冬期以外の汲上げ量は少なく、A/Bの比は約100倍に達する。柏崎では砂丘地における民家の浅井戸を除くと、井戸のほとんどすべてが消雪用の深井戸である。柏崎平野の後背山地の大部分は第三紀黒色泥岩からなり、海岸からもたらされた砂が帯水層を構成するのみで、鉄分が多いなどいわず水質が悪く、消雪用以外にはほとんど使われていない。



図－7 山形盆地における井戸と水質
および自噴帯の変遷



図－8 月別地下水汲上げ量のパターンの違い

3-4 地下水規制

地下水状況を変化させるきわめて大きな要素として、地下水に関する規制がある。井戸の形で人間がかかわっていない大古の昔には、山際には清水が湧き出し、低湿な沖積平野のあちこちには湧水池があり、仮に井戸を打込むことがあったら、その被圧水頭は数m以上に達したであろう。機械による井戸掘削が始まったばかりの大正11年には、深度120mの高田市水源井では930 m^3 /日もの自噴があったという（「上越の水資源」, 1966）。

図-9に示すように工業用や天然ガス採取などのために、地下水の汲上げが盛んであった昭和30年代初頭では、新潟・上越における地下水位はGL-10~20 mにも達していた。工業用水法や天然ガス採取の規制が実施される直前の昭和35年頃には水位低下はさらに進み、地盤沈下の進行も著しかった。その後、これらの地域の水位は年々上昇する形になり、新潟平野では昭和55年ごろから自噴する観測井も現れるようになってきた。一方昭和50年頃からは消雪用地下水が盛んに使用されるようになり、上越ではこの時期から再び地下水位が低下する傾向に転じた。上越地域では昭和59年度から要綱に基づいて消雪用地下水の計画的削減が行われるようになり、積雪の多い年であっても以前ほどの水位低下を生じないようになってきた(図-21参照)。

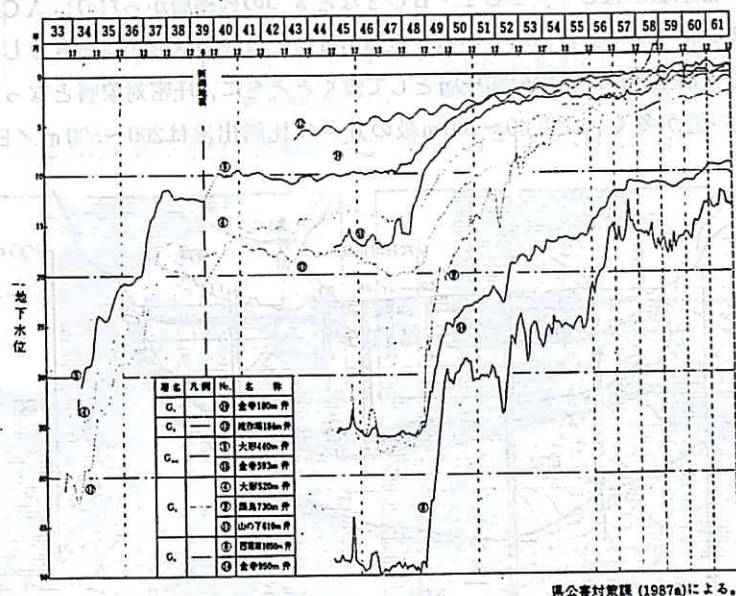


図-9 新潟における地下水位の変化

地下水採取の規制は、その地域に応じて深度20ないし40 m以上の井戸を対象とし、指定した範囲内での新規掘さを禁止したり、協議や届出を義務づけるという形で施行されることがある。規制深度以内の浅井戸は逆に増加することもあるが、井戸深度の規制によりその限界を越えると一斉に井戸枯れが起こり、それ以上の水位低下が抑制されるというフィードバックの効果が働くものと考えられる。しかしながら、地盤沈下を引き起こすような未固結の軟弱層は浅層に多く分布しており、浅井戸の規制を行うことなしに効果をあげることはできないとする考えもある。

4. 典型的な地下水盆における状況

新潟県の各地下水盆における地下水状況とその変遷は、それぞれの地区の特性によって異なった展開を示している。その要素の多くは水の容れ物としての水理地質の特性に起因するものであり、井戸構造の違い、揚水量の多少、水位低下の大小、地下水障害の程度……などの現象として現れている。このような特徴は透水性の高い不圧地下水帯水層、難透水層で区切られた被圧地下水帯水層、およびそれらの複合した帯水層を主体とする地下水盆、という形で要約することができる。

4-1 六日町盆地—典型的な被圧帯水層の例

魚野川中流の南魚沼地域に位置する六日町盆地は、透水性のよい沖積層を帯水層とし、大小の河川や広大な水田地帯から透水する水を起源とする、豊富な地下水に恵まれている。庄之又川および鎌倉沢川の2つの扇状地に挟まれた六日町市街地付近は、かつて掘抜井戸が多く分布し、「泉田」などの地名が示すように、現在も自噴帯が残っている。しかしながら、近年の消雪パイプの設置とともに地下水使用量が急激にのび、地盤沈下の被害も目立つようになってきた。

地盤の隆起の指標となる河岸段丘が発達する信濃川河谷域に較べて、魚野川流域では一部を除いて段丘があまり発達しておらず、魚「沼」とよばれるように本地域が沈降傾向にあることを示している。図-10に示すように、帯水層はAG1・BG1・BG2など3つの砂礫層からなり、AC1・AC2・BCなどの連続性のよい粘土層で分けられている。魚野川近傍では成層状態ははっきりしなくなる傾向にあるが、厚く発達した粘土層が地下水の加圧層として働くとともに、圧密対象層となっている。透水係数は 10^{-2} cm/sec台の値が多く、深度40~100 m級の井戸の比湧出量は200~500 m³/日/mと大きい。

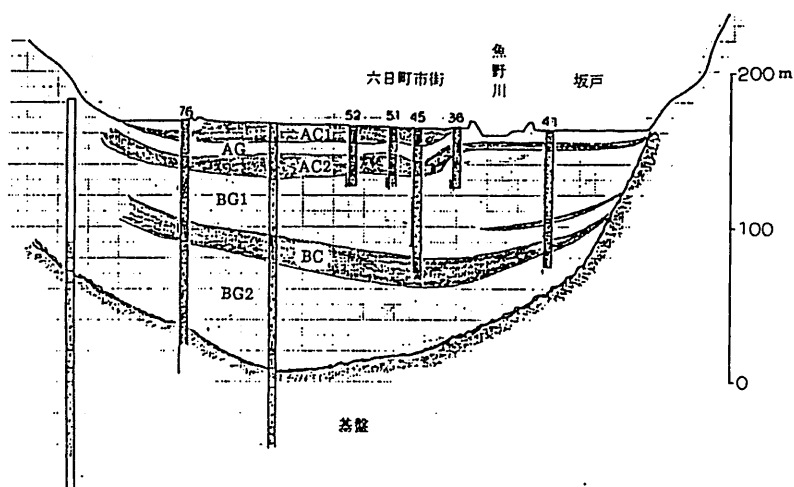


図-10 六日町盆地の水理地質断面

六日町市街地には通産省地下水利用適正化調査などによって設置された3本の観測井があり、図-11に示すように約20年間にわたる水位および地盤沈下の状況が記録されている。本地域では新潟や上越のように、経年的に地下水位が低下したり上昇したりするパターンはみられない。本地域では消雪用水汲上げによる水位低下が10~20 mにも及ぶが、図-12の日水位の変化でみるようにポンプ停止後の回復も速く、毎年4月までには完全に水位が上昇し、大量揚水の影響を残すことはない。4~6月と9~12月の水位の差はかんがいの有無によるものであり、7~8月にやや水位が下がるのは、冷房・温調用の汲上げのためである。

非消雪期間と消雪期間とにわけて行った一斉測水からは、図-13のような地下水面図が得られる。非消雪期の本地域の地下水位はGL-0~3 m程度と浅く、通常は鎌倉川や平手近尾川などの扇状地流域からの地下水が自噴帯を通して魚野川に排出される形で流動している。ところが、消雪期になると市街地を中心に20 m以上もの水位低下域が広がり、逆に魚野川から地下水かん養を誘発する形になっている。このような地下水位低下によって地盤沈下域が広がっているが、この状況は揚水量の分布よりも、沖積粘土層であるAC層の厚さの分布により関係が深い。

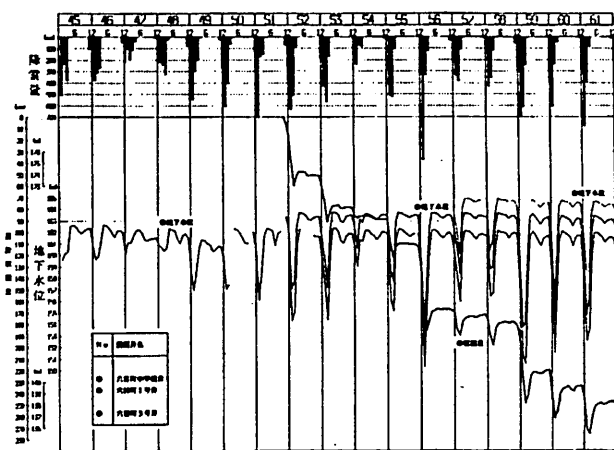


図-11 六日町における地下水位・地盤の変化

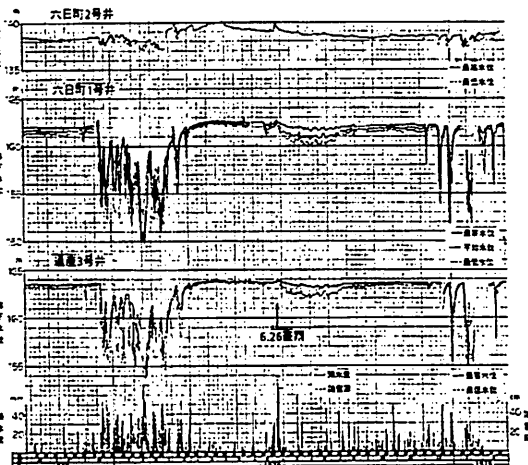


図-12 六日町における地下水位の日変化

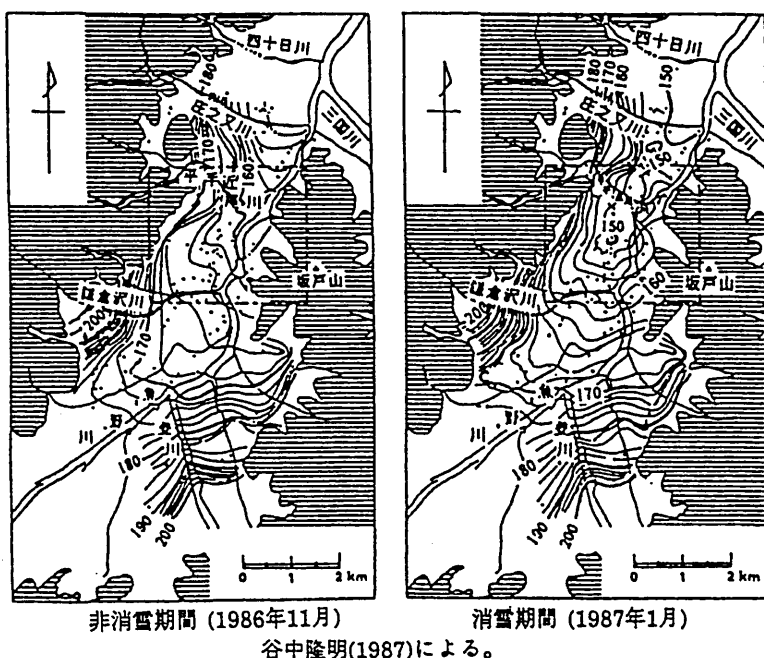


図-13 六日町盆地の地下水面図

本地域に分布する井戸は、昭和52年度の環境庁の実態調査や町役場の井戸台帳などにより、昭和55年現在で1,187井が確認されている。このうち859井が消雪用（道路用は82井）で、非消雪用328井のうち290井が建物用として、空調や雑用として使用されている。各用途別の井戸本数の年次変化井戸のポンプ能力、降雪量－電力などとの関係から揚水量の変化を推定したのが図-14で、近年の消雪用井戸の増加と、気象条件による地下水揚水量に大きな変動のあることがわかる。

透水性のきわめて大きい砂礫層と連続性のよい粘土層との組合せからなる六日町盆地の地下水は、典型的な被圧地下水としての挙動を示し、揚水による水位低下量も大きいとその回復速度も速く、広大な後背湿地をもつため水量が豊富で非消雪期には自噴井がみられるほどである。本地域ではかつて水田を

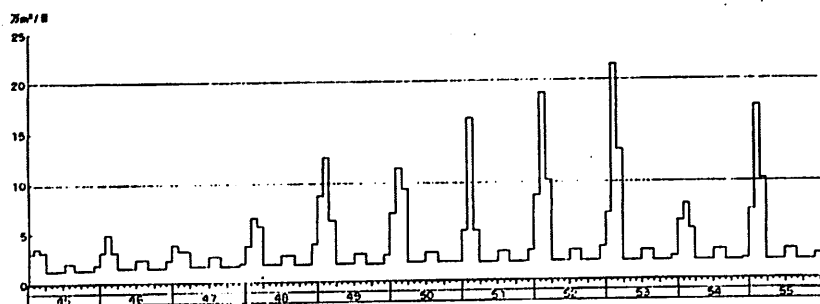


図-14 六日町における地下水汲上げ量の変動

利用した浸透実験の行われたこともあるが、消雪期の大量揚水に対する有効な方策とはなり得ず、今後とも一時に集中する消雪用水の利用をどのようにしていくかが焦点となっている。

水利用の用途が消雪用であったり農業用であったりはするが、一時的な集中利用期には地下水が不足して地盤沈下などを引き起こす一方で他の時期には豊富な水が溢れているという地域は、山紫水明といわれるような山間盆地などにもその例が多い。帯水層は砂層からなるが、粘土層の発達のない柏崎平野の深層地下水は典型的な被圧地下水の挙動を示しており、六日町と同様の状況にあるといえる。

4-2 長岡地区-典型的な不圧帯水層の例

信濃川の中流に位置する長岡地区は、同じく透水性のよい砂礫層を帯水層とし、恵まれた地下水を日本で最初に消雪用に利用した地区として有名である。本地区は六日町地区と較べると粘土層の発達が少なく、目立った地盤沈下による被害は生じていない。しかしながら、消雪用水利用による地下水位低下が著しい。

長岡地区は信濃川が新第三系の丘陵地帯をぬけ、新潟平野に向って開けた位置に広がる扇状地性の地域である。図-15に示すように信濃川によって運搬された新しい扇状地性堆積物が中央に厚く分布し、その両側および北側の下流域では細粒な堆積物となっている。帯水層は深度0~20m、20~50mの礫質な沖積層と、50~150mのシルトを含んだ洪積層、それ以深の新第三紀の砂岩層などから構成される。水田地帯の一部を除くと、粘土層の連続性はわるくレンズ状に分布するのみである。比湧出量は200~700 m³/日/mと大きく、透水係数も 10^{-1} cm/sec台のものがしばしばみられるほど大きくなっている。

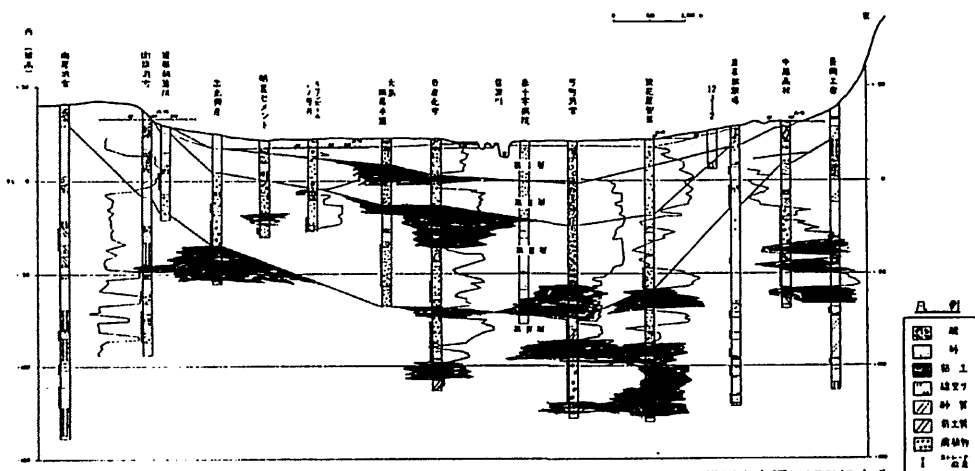


図-15 長岡地区の水理地質断面

早川直志(1976)による。

本地域には国および県・市の地下水観測井が約50井設置されており、昭和42年頃からその記録がまとめられている（図-16）。本地域においても新潟や上越のように経年的に大きな水位昇降のパターンは見られないが、わずかながら最高水位が年々低下する傾向にある。基本的な水位変動のパターンは六日町地区と類似しており、消雪期の著しい低下とかんがい期の回復、夏季における若干の低下とその後の回復という形を毎年繰り返している。六日町地区と異なるのは、冬季の水位低下量が2～12m程度と半分以下であること、図-17の日変化で示すようにポンプ停止後の水位回復が遅く、その影響が5～6月まで残ることである。

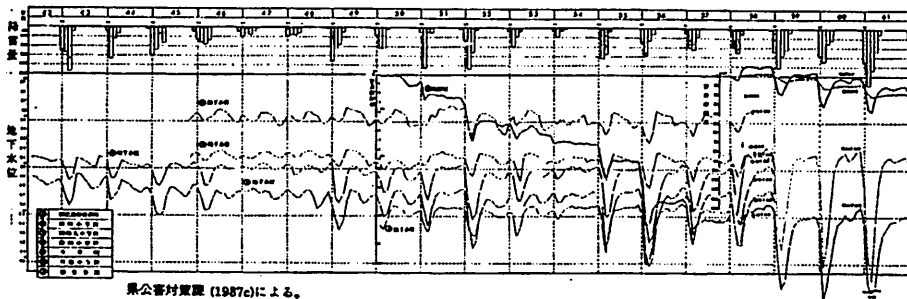


図-16 長岡地区における水位・地盤の変化

非消雪期間と消雪期間との地下水面図は、図-18によって示される。ここでも六日町と同様に、非消雪期間の地下水は信濃川周辺の扇状地から川に向かって流出しているが、消雪期になると市街地を中心に5～10mの水位低下域が広がる。沖積層地下水の水温の変化を調べた谷口（1987）の研究によると、低温水塊の水平的な移動や高温水塊の垂直的な移動などの現象から、消雪期には地下水面のくぼみに向かって信濃川河川水の流入することが確かめられた。このように、本地域の地下水は水位が低下すれば横方向に向かって水そのものが移動し、典型的な不圧地下水としての特徴を示している。透水係数も大きいために揚水量の割には水位低下量は小さく、しかし水位回復の時間が遅いという現象を示している。

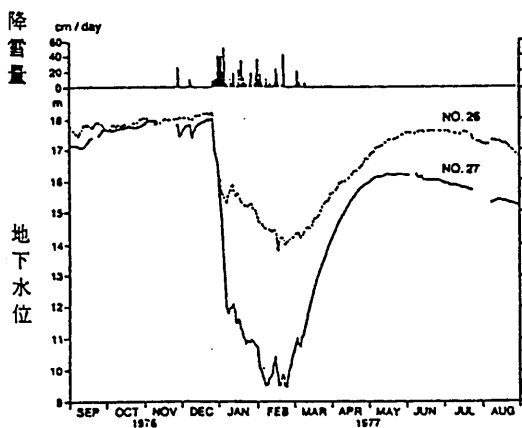


図-17 長岡における地下水位の日変化

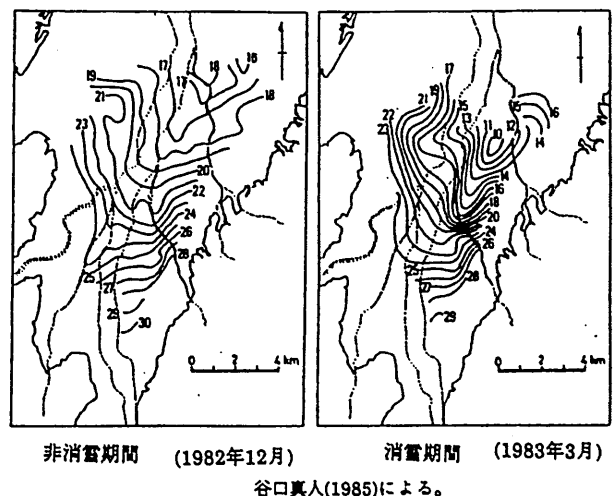
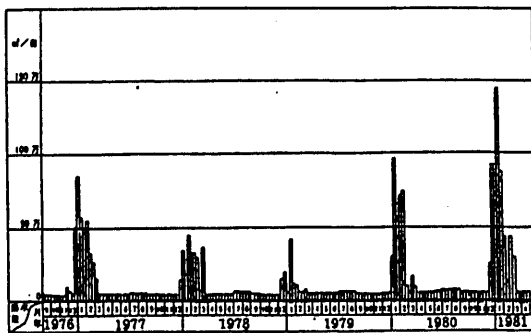


図-18 長岡地区の地下水面図



「日本の地下水資源」(1983)による。

図-19 長岡市における地下水汲上げ量の変動

なるほどの地盤沈下を生じないことが多い。そのような地域ではもともと浅井戸による水利用が盛んであったり、水道水源に用いられたりしているために、無秩序な汲上げに歯止めがかかりやすい。汲上げられた地下水の回復は遅いために、水収支の赤字は年々累積することになり、いわゆる限界揚水量が問題になってくる。糸魚川市や十日町、五泉地区などの段丘や扇状地性の地形からなる地域がこのような状況にある。

4-3 高田平野不圧-被圧帯水層にまたがる例

関川の下流の日本海に面して発達した高田平野は、典型的な沖積平野としての高田・直江津地区と、関川・矢代川からの扇状地状堆積物を主とする新井地区とに区分される。海岸部と内陸部との違いはあるが、前者は六日町地区に、後者は長岡地区に典型が求められる被圧-不圧地下水帯水層の性質をよく反映している。本地域における深層地下水開発の歴史は大正末期にさかのぼり、直江津地区は深層地下水を利用した臨海工業地帯として戦前から発展を続けていた。昭和30年代に入ると、地下数100mに優勢な帯水層が発見され、本格的な開発・利用が進められるようになったが、地盤沈下等の障害も顕著になり、昭和47年には新潟県公害防止条例に基づいて地下水採取の規制が実施されるに至った。

高田平野の地下水は、新第三紀の砂層・泥岩を基盤として、その上に堆積した洪積～沖積層の砂礫層中に賦存している。この基盤は沈降の中心を保倉川下流域にもつ大堆積盆地で、その運動には緩急や地域的に差違もあった。この盆地へ土砂を流入させた関川や保倉川などにも、海水準の変化や火山活動などによる変動があった。このような作用によって、場所によって形態や性状の異なる帯水層や加圧層が幾層にも形成されていった。地下水帯水層としてこれらの砂礫層が、上位からG1～G5層の5つに区分されている。

図-20に示すように、縦断的にみると各帯水層は新井市付近の扇状地部で一体となっており、地表水からのかん養を受けている。これらの地層はすべて海底部に開口している。G2より下位の層はその基底部が平野中央部で凹んでおり、堆積後にさらに沈降運動を受けたことがわかる。G1層ではこの凹みの程度が小さく、新しい地層ほど沈降の度合いが小さい。G1層より上位に優勢な帯水層がみられないことで、本層の堆積後、渦沼状の地形をもつ古高田平野に100mにも及ぶ粘性土層が堆積していったことを示している。この厚い粘性土層は、地下水の垂直浸透を妨げ、あたかも高田平野の地下水帯水層にふたをした形になっている。

高田平野における地下水の異常低下が問題になってきたのは昭和37年頃からである。当時は水中ポン

本地域の井戸分布調査は昭和49年度に地下水利用適正化調査として行われ、14,155井の井戸が確認された。このうち消雪用井戸は5,392井（道路用は590井）で、その9割が民間の工場や家庭で用いられている。これらの資料をもとに、井戸の揚水能力や運転時間等との関係から毎月の揚水量の変化を推定したのが図-19である。これによると、非消雪期の平均揚水量が100万 m^3 /日をしばしば越えることを示している。

透水性の大きい砂礫層からなり、粘土層をあまり含まない地域では、相当量の揚水を行っても問題と

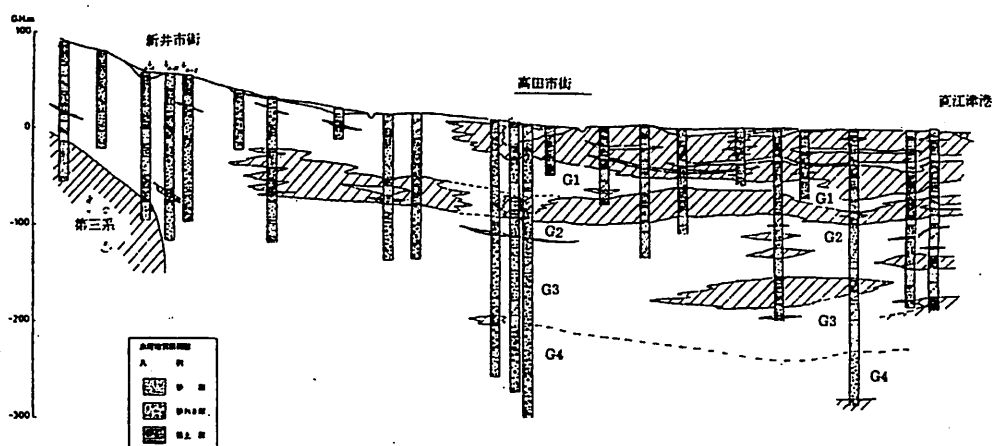


図-20 高田平野の水理地質断面

プを深位置に下げることにより問題を解決していたが、軟弱粘土層が発達していることから地盤沈下の誘発が懸念された。そのため、新潟県では昭和39年より地盤沈下観測井を設置し、現在までに11井が完成している。これらの記録によると、経年的な水位変化と季節的な水位変化の両方が認められる（図-21）。水位を経年的にみると、上越利水総合開発事業が完成した昭和43～44年頃から水位が上昇し、工業用地下水の自主規制が効果を現わした昭和48年頃位降もわずかながら上昇を続ける傾向にあった。季節的にみると、昭和50年頃までの水位低下は夏季に集中しており、工業用の温調用水などの使用が多かったことを示している。昭和48年頃になると冬季に水位が下がる徴候がみられ、この頃から消雪用地下水の利用が始まったことがわかる。昭和54年頃まではその利用もそれほど多くはなく、54年12月末には自噴を開始する井戸さえ現われた。しかしながら、その後の消雪用地下水の利用は著しく、とくに昭和59～61年にかけての3年続きの豪雪時には、地下水位は昭和40年代始めのレベルにまで低下し、地盤沈下量も最大10.1cmという値を記録した。

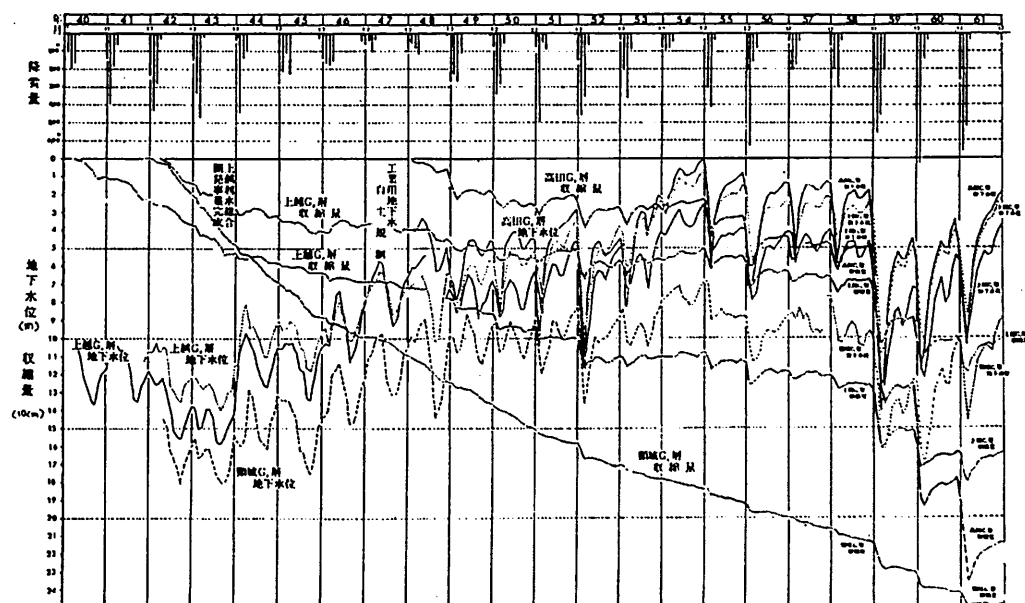


図-21 高田平野における地下水位・地盤の変化

県公害対策課 (1987b) による。

以上のように水位変化だけでなく揚水量の変動が推察されるが、環境庁（1974）によって昭和40～50年の、新潟県（1986）によって昭和54～59年の揚水量が推算されている。図-22によると昭和40年代は夏季の工業用地下水が多かったが、昭和50年代後半になると冬季の消雪用水がきわめて多くなったことがわかる。本地域の地盤沈下量は昭和59年で10.1cmと全国第1位の値を記録したがこの時の1月の揚水量はわずか20万 m^3 /日相当で、長岡における150万 m^3 /日の1/7程度にすぎない。

本地域は、他の地区と較べて地下水利用の歴史が古く利用の目的も広いだけに、その利用対策についても各種の試みが行われている。この内には多目的ダムの建設、節水と地下水利用の合理化、工業用水使用の自主規制、揚水施設への流量計の設置、公害防止条例の施行、地下水人工かん養の実験……など、他地区においても参考となるべき実施例が豊富である。

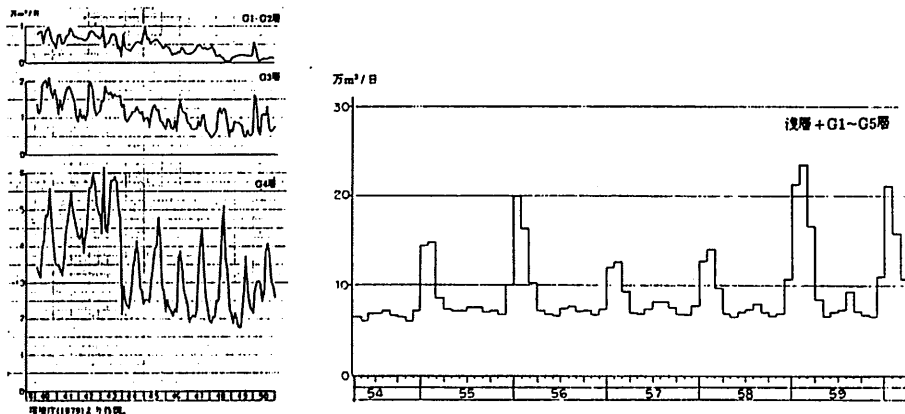


図-22 高田平野における地下水汲上げ量の変動

5. おわりに

「新潟県における」とことわりながら、他県の例も述べたが、第三紀堆積盆・山間盆地・扇状地・積雪地帯・工業用水・農業用水・消雪用水……などの言葉に象徴される日本海側の各地域に共通する現象が、新潟県の各地域でもみられる。地下水の賦存状況を考える上では、多孔質媒体中を流れる流体という物理的な側面よりも、地下水の容れ物としての地形・地質、その地域の社会・経済的な特性に基づく水の需要、それに対応する水資源の質と量……などを検討することが重要である。

このようにしてみると、新潟県の主幹な平野・盆地における地下水の状況は後背山地の地質によって大きく支配されていることがわかる。すなわち、第三紀～中生代などの硬い地層を主体とする中～下越の山麓部に比べて第三紀泥岩を主体とする上越地方とでは、砂礫質の帯水層と粘土層の発達に大きな違いがみられる。長岡も上越も同じ豪雪地域であるにもかかわらず、冬の最大揚水量には約150万 m^3 /日対20万 m^3 /日という大きな差があり、地盤沈下量も昭和61年の最大で2.8cm対5.4cmという違いに及んでいる。地盤沈下の懸念の大きい上越では、河川の水質も長岡における信濃川伏流水より良好ではなく、水道水源は消雪井などとの競合を避けつつ、深井戸に頼っているのが現状である。

水は流動する資源であり、その時間的なコントロールをいかにうまくやるかが問題である。一部では枯れたものがあるとはいえ六日町はまだ地下水が豊富であり、毎年4月になれば自噴井があちこちにみられ、年々地下水が減少しているという証拠はない。しかしながら、一時的な豪雪時のみでも地下水汲上げ量が限界を超えれば、地盤沈下というツケはどんどん増大していく。自噴する状況にある帯水層に、

その冬に使用する地下水をあらかじめ注入しておくことはできない。大野盆地でみられるように、水田かんがい水が地下水をかん養する能力は目覚ましいが、冬季の水田を湛水すること・冬季に農業用水を使用すること……などには制約もまたきわめて多い。

このように、いろいろな制約を受けコントロールの難しい地下水の利用は、その時代によって変わっていく。工業用水道の完成により工業用地下水の汲上げが減り、農業用水路の整備により農業用地下水の利用も減る傾向にある。生活水の確保も地上ダムの建設とあわせて進められることも多い。水量が安定しているというその裏返しで、一時期の大量利用に応じきれない消雪用地下水は、地下還元の試みとあわせて、機械除雪などの他の方法に変わっていくことも考えられる……。新潟県における地下水状況もこのような大きな時代的な流れの中にあって、さらに変遷していくことであろう。

引用文献

科学技術庁資源調査会編（1983）：日本の地下水資源，104P.

環境庁水質保全局（1979）：地盤沈下予測手法調査報告書，218P.

鈴木生男・水谷宣明・安彦宏人（1985）：地下水状況の変遷—馬見ヶ崎川扇状地を例として．山形県地質誌，159－167.

鈴木裕一・高山茂美・開発一郎（1981）：会津盆地北部の自噴井について．ハイドロロジー，No.11，41－46.

高野武男・歌代 勲（1976）：新潟県下の丘陵について．新潟大学地質研究報告第4号，11－16.

田邊廣和（1987）：県内の地盤沈下の動向．新潟応用地質研究会誌第29号，1－5.

谷口真人（1987）：長岡平野における地下水温の形成機構．地理学評論．vol.60－No.11，725－738.

新潟県環境保健部公害対策課（1987a）：新潟平野の地盤沈下，33P.

新潟県環境保健部公害対策課（1987b）：南魚沼地区の地盤沈下(Ⅱ)，22P.

新潟県環境保健部公害対策課（1987c）：長岡地区の地盤沈下(Ⅲ)，21P.

新潟県環境保健部公害対策課（1987d）：上越地区の地盤沈下(Ⅳ)，30P.

新潟県・上越水資源開発利用協議会（1966）：上越の水資源，327P.

新潟県商工労働部工業振興課（1981）：新潟県地下水資源の概要，270P.

農業用地下水研究グループ「日本の地下水」編集委員会（1986）：日本の地下水，1043P.

早川直志編（1976）：新潟県の地下水読本—長岡編，259P.

谷中隆明（1988）：新潟県南魚沼地域の地下水流動系．日本地下水学会昭和63年度春季講演要旨，4－7.