

## 山形県米沢盆地における水理地質

岸 和男\* 菅野 敏夫\* 永井 茂\*\*

**Hydrogeology of Yonezawa Basin, Yamagata Prefecture**

Kazuo KISHI, Toshio KANNO and Shigeru NAGAI

**Abstract**

The Yonezawa Basin is located in the headwaters area of the Mogami River and the basin is formed of a central alluvial plain and many alluvial fans. The rocks of the surrounding mountains are mainly comprised of granitic rocks and Neogene Tertiary tuffs except the north-western portion, where is hilly lands consist of Neogene Tertiary formations named the Nakahara formation and the Tenoko formation, and Diluvial deposits. The Nakahara formation is a permeable formation in general and hydrogeologically effective as an aquifer.

Annual average precipitation over the area is about 1,500 mm, 30 to 60 percent of which is snowfall in winter season. There are seven tributaries flowing into and through the basin and high-water period of them is during May to July. Streams at the fans have infiltration reaches and effluent reaches thus change water volume.

Thickness of the water bearing bed in the basin is 60 to 80 m at points of 500 to 1,000 m distance from the flank of the mountains and over 150 m at the central portion. The bed consists of gravel, sand, and clay. The size of the sediment is coarse at fans and gradually becomes finer towards the alluvial plain.

Groundwater of the basin is recharged by stream water, irrigation water, and precipitation. Total amount ranges from 5.2 to  $12.5 \times 10^4$  cubic meter per day ( $m^3/d$ ) and yearly average is  $9.2 \times 10^4 m^3/d$ . The detail of the amount is, from surface water;  $6.3 \times 10^4 m^3/d$  at over-the-average months base except May to August, irrigation water;  $4.5 \times 10^4 m^3/d$ , precipitation; 1.3 to  $6.2 \times 10^4 m^3/d$ .

The level of free ground water changes concordantly in parallel to the topographic slope at the fan bottoms and the alluvial plain, and it becomes more gentle to the slope at the fan heads and central part of them. Confined water level is more gentle than the topographic slope with some exceptions at points where large amount of pumpage is being done. The annual change of the ground water level shows local characteristics and categorized into five types, A to E. Specific resistivity of free ground water ranges 3,000 to 15,000  $\Omega$ -cm and the value increases toward the each fan heads except the Matsukawa Fan. The ground water moves down to the bottom part of the fans part of which forming shallow confined water there. Specific resistivity of confined ground water ranges 3,000 to 14,000  $\Omega$ -cm showing higher value at the southern part and lower at the northern part of the basin. Several wells of the northern part of the basin are characteristic in terms of high temperature gradient and low specific resistivity of ground water.

Until 1950s to the early stage of 1960s, there had been many springs of artesian type and flowing water zones, however they are limited today. Number of wells drilled in the Yonezawa Basin is about 350, 60 percent in the Yonezawa City and 30 percent in the Takahata Town. Total annual pumpage is about  $3 \times 10^7 m^3/d$  and the consumption rate is, 39 percent for industrial use and 30 percent for agricultural use. Industry consumes constantly through out a year with daily average of  $3.5 \times 10^4 m^3/d$ . In case of agricultural use, the pumpage is limited

\* 環境地質部

\*\* 技術部

from May to September thus the daily average attains  $7.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Another seasonal usage of ground water is for snow melting. The total is only  $7.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$  but the pumpage is done as snow falls so that the hourly consumption is very large.

The water quality of stream water at upper streams is low in chemical contents except the Matsukawa River and good. The water of the Matsukawa River is  $\text{CaSO}_4$  type and rich in chemical contents at the upper reaches then diminishing toward the lower reaches. The water quality of the free ground water is  $\text{CaSO}_4$  type or  $\text{NaHCO}_3$  type. That of the confined water is in general  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  type at the southern part of the basin and  $\text{NaHCO}_3$  type at the northern part, however, some  $\text{CaSO}_4$  types at the Matsukawa Fan.

### 1. まえがき

水資源の研究の一環として筆者らは山形県米沢盆地を対象として地下水収支に関する研究を昭和49・50・51年の3カ年にわたって実施した。また筆者のうち岸・菅野は米沢盆地の南部地域の地下水調査を昭和39年・47年・48年に行っている。さらに昭和50年には、米沢盆地全域の地下水利用適正化調査が通商産業省により実施され、多くのデータが得られた。この報告はこれまでの研究成果および諸資料に基づいて、水質を含めて総合的に水理地質を明らかにしたものである。

米沢盆地では揚水試験結果、さく井記録、揚水量などの資料がかなり整っており、多数の地点の帯水層の透水係数が求められた。そこで本地域における水理地質は、透水係数によって量的に表現することができた。しかし地下水位の通年観測結果および実測した水文調査結果などについては、量的、質的に必ずしも充分といえない。したがって、この報告では、地下水収支算定に当たって推定による部分も少なくない。なお本報告における地質の記載は5万分の1地質図および同説明書、赤湯(神保ほか, 1972)、米沢一関(神保ほか, 1970)などに従っている。

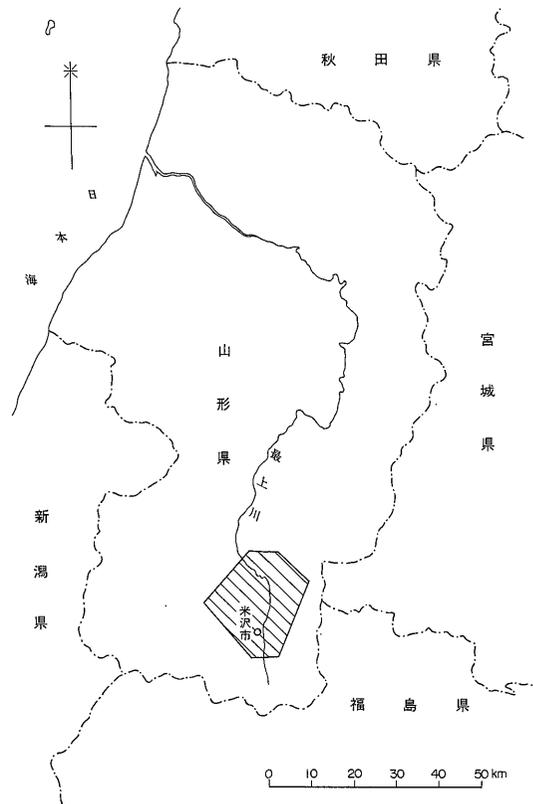
本研究では菅野敏夫は水文調査を、永井茂は水質分析を担当し、岸和男は地下水理・水文調査と全体の取まとめを行った。

本研究に当たっては数回の現地調査を行っており、米沢市を始め地元市町・工場・さく井会社など関係各位から御協力をいただいた。ここに厚く謝意を表する次第である。

なお、この成果は「日本水理地質図 山形県米沢盆地水理地質図」として取まとめられたことを付記しておく。

### 2. 地形・地質

米沢盆地は山形県の南部に位置し、その平坦部を大別すれば周縁山麓部における扇状地群と松川・吉野川・屋



第1図 位置図

代川の合流地帯の低地とに分けられる。扇状地のおもなものは南部に分布し、鬼面川・松川・羽黒川・天王川・吉野川などであり、地表勾配は1/75-1/150である。盆地周縁山麓部には、また崖錐と河岸段丘が発達している。

盆地の東側山地は奥羽脊梁山脈の栗子山・駒ヶ岳・龍ヶ岳などからなり、標高 900-1,200mである。おもに花崗閃緑岩と新第三紀の凝灰岩類によって構成され、不透水性あるいは難透水性の岩層である。南側山地は吾妻連峰の一部であり、若干の透水性を有すると考えられる第四紀火山岩類が、中腹以上を構成しているが、山麓部に

は花崗閃緑岩などが露出しているため、第四紀火山岩類と盆地堆積物の帯水層とは直接的なつながりはない。南西側山地は新第三紀の泥岩・凝灰岩・砂岩などによって構成され、いずれも難透水性の地層である。北側山地は凝灰岩類・花崗閃緑岩など、いずれも難透水性あるいは不透水性の岩層から構成されている。盆地の北西部には第四系の玉庭層、新第三系鮮新統の中原層および手の子層が分布し、広い丘陵を作っている。第四系の玉庭層は礫・砂・粘土からなるが、粗粒部も風化によって粘土化していることが多く、さらに標高 300m以上の所に分布している。新第三系の中原層は、おもに礫岩からなり、砂岩・シルト岩を挟む場合もある。礫岩のうち固結度の低い所は帯水層となりうる可能性がある。新第三系の手の子層は、シルト質泥岩・砂岩・礫岩からなり、固結度の低い礫岩の部分は帯水層になりうるものであるが、透水性は中原層より低いものと考えられる。なお新第三紀中新世の地層は、数多くに細分されているが、第7図ではこれらを難透水性の地層として一つに表現している。

### 3. 盆地内新期堆積物

#### 3.1 垂直的規模

米沢盆地の地下水を考える場合、盆地内新期堆積物の厚さ、すなわち地表から難透水性岩層までの深さが問題となる。盆地内には地質柱状図が残されている井戸が200本余あるが地域的に偏在し、また難透水性岩層まで達している井戸も数少ない。したがって、難透水性岩層の上面を盆地全体について知ることはできないが、井戸掘さく時の地質柱状図によって知られるところを述べれば次の通りである。

吉野川扇状地では赤湯町西方において深さ75mで難透水性岩層に達している。屋代川扇状地では上流の安久津において115m、下流の竹の森において90mで、それぞれ難透水性岩層に達している。最上川低地の宮崎では、深度200mでなお難透水性岩層に達していない。その南方吉田における深さ178mの井戸においても同様である。一方犬川扇状地扇端部の犬川に650mの試掘井があるが、ここでは第四紀層基底の深さは約100mとされている。砂川扇状地では糠ノ目駅北方で130m、駅南方約1kmの地点で深度90mで難透水性岩層に達しているらしい。天王川扇状地では置賜駅東方で106m、竹井で100m、金谷東方で80m、梓山北方で26mでそれぞれ難透水性岩層に達している。羽黒川扇状地では扇頂部に近い下原、松原でそれぞれ102m、70mで難透水性岩層に達しているが、扇中央部の150mの井戸では、これに達していない。松川扇状地と鬼面川扇状地では、深さ150m以浅の井戸が数多

く散在するが、いずれも難透水性岩層まで達しているものはない。

以上を総括すると、米沢盆地内新期堆積物の厚さは、北西部を除いて周辺山地および盆地内の丘陵の近くで薄く、盆地中央に向かうに従って厚くなる。そのおおよその厚さは山地および盆地内丘陵から500-1,000m離れた地点で60-80m、1-3km離れた地点で80-110m、盆地中央部では150m以上と考えられる。盆地内新期堆積物と難透水性岩層との境界面は、かなり起伏に富んでいるものとみられ、盆地内新期堆積物の厚さも地点によってかなり変化があるものと考えられる。

#### 3.2 岩相および帯水層の性質

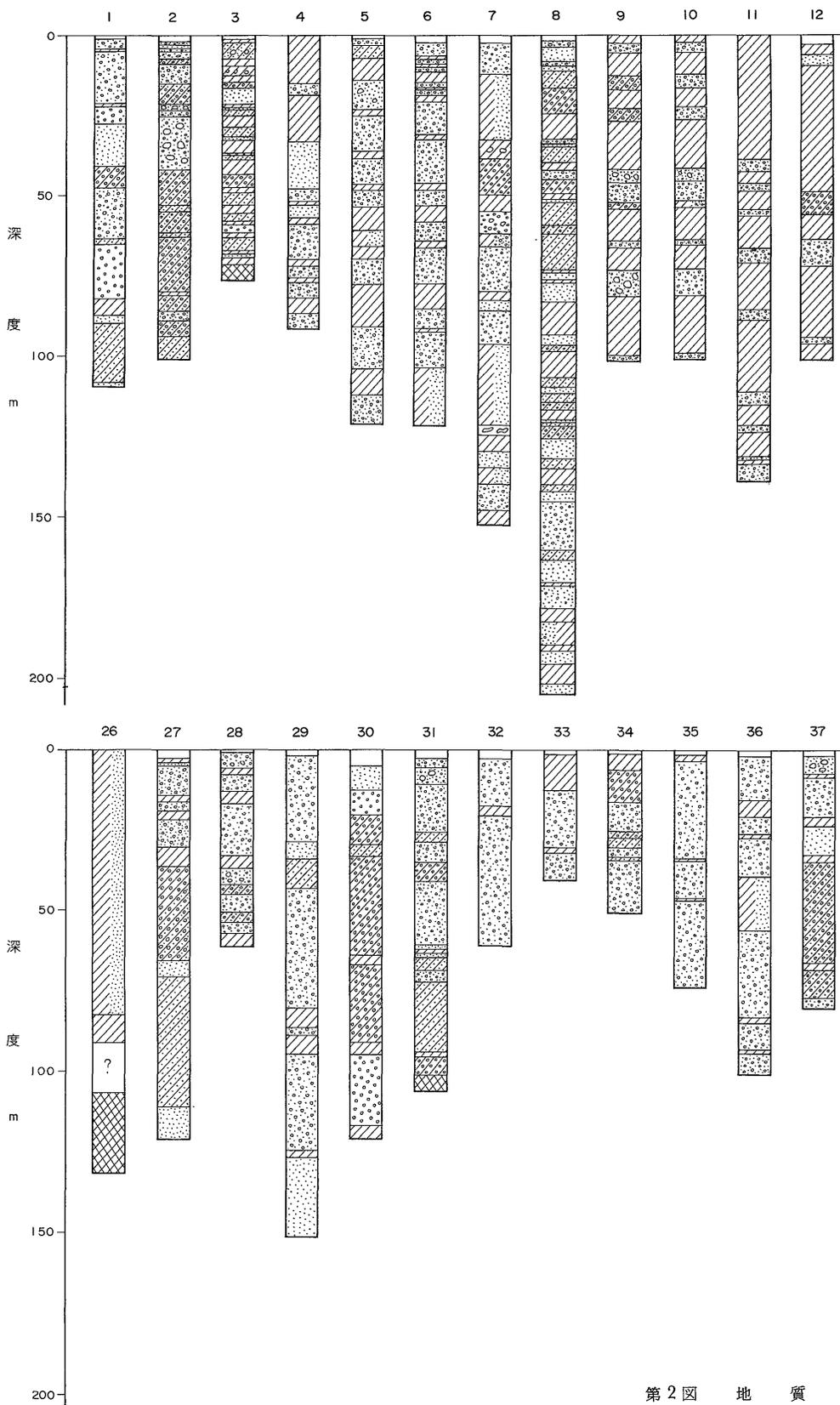
ある地点において、ある深さの井戸によって地下水を得る場合、取得の難易はその地点および深度ごとの砂礫層の合計厚さ、粘土層の合計厚さおよび粘土質層（ここでは砂混り粘土・粘土混り礫などをいう）の合計厚さの割合（％）によってある程度判断できる。そこで収集した地質柱状図から砂礫層、粘土層、粘土質層のそれぞれの厚さの割合を算出した。これを地域別に集計し、おもなものを図で表わしたのが第3図である。各層の厚さの割合はここでは、井戸の全深度を100としたもの、40m以浅を100としたもの、40m以深を100としたものの3種に分類した。ただし深さ70m以浅の井戸については40m以深の計算は除外してある。各層の厚さの割合は地区および深さによって異なる。たとえば松川および羽黒川扇状地の扇頂部は盆地内で粘土層が最もうすく平均5%以下である。砂礫層は平均55%程度であるが、40m以深では粘土質層（粘土混り砂、粘土混り礫、砂混り粘土、礫混り粘土など）が60%となる。また最上川低地は盆地内で粘土層が最も厚く、とくに40m以浅では粘土層に粘土質層を加えると74%に達する。これらを取りまとめると大きく次のA・B・Cに分類することができる。

A) 浅い部分(40m以浅)に砂礫層が多く、深い部分(40m以深)に粘土および粘土質層が多いタイプ。深い部分より浅い部分の方が地下水が得られ易い。

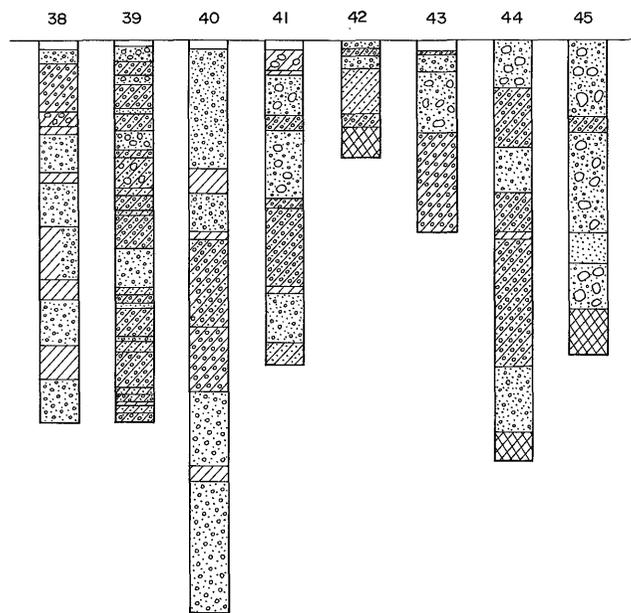
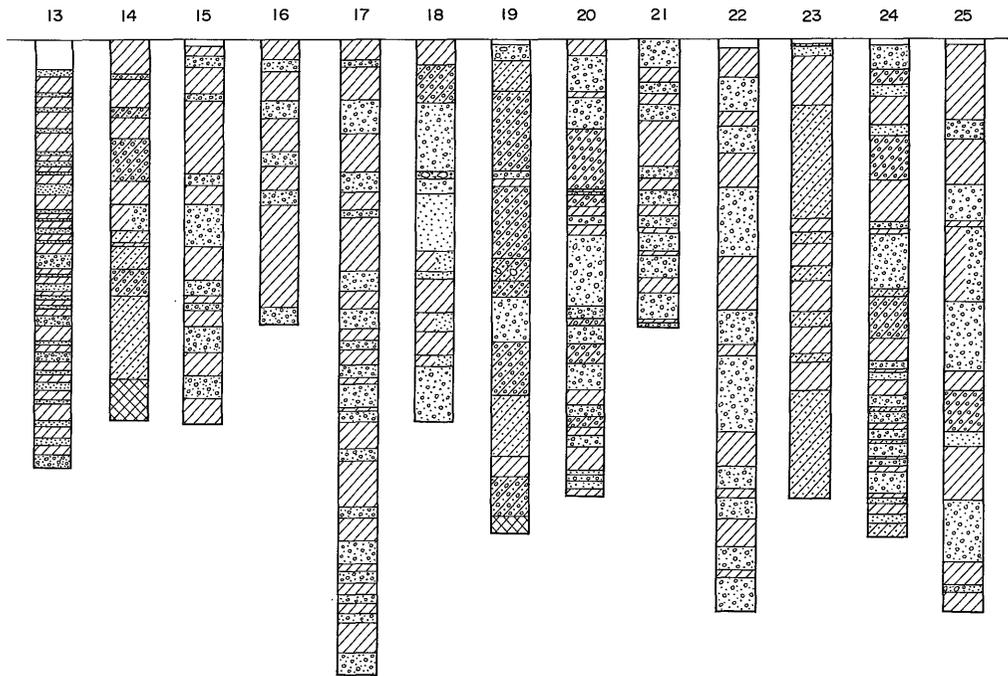
B) 全体として砂礫層が50-70%を占め、浅い部分も深い部分もほぼ同じ比率のタイプ。深い部分も浅い部分もほぼ同じ程度に地下水が得られる。

C) 全体として粘土層+粘土質層が60-75%を占め、浅い部分は粘土層がとくに多く深い部分は、浅い部分にくらべ粘土層が少ないタイプ。浅い部分よりも深い部分の方が地下水が得られ易い。

Aタイプは松川および羽黒川扇状地の扇頂部、吉野川扇状地、天王川扇状地である。Bタイプは松川および羽黒川扇状地の扇中央部と扇端部、鬼面川扇状地である。C

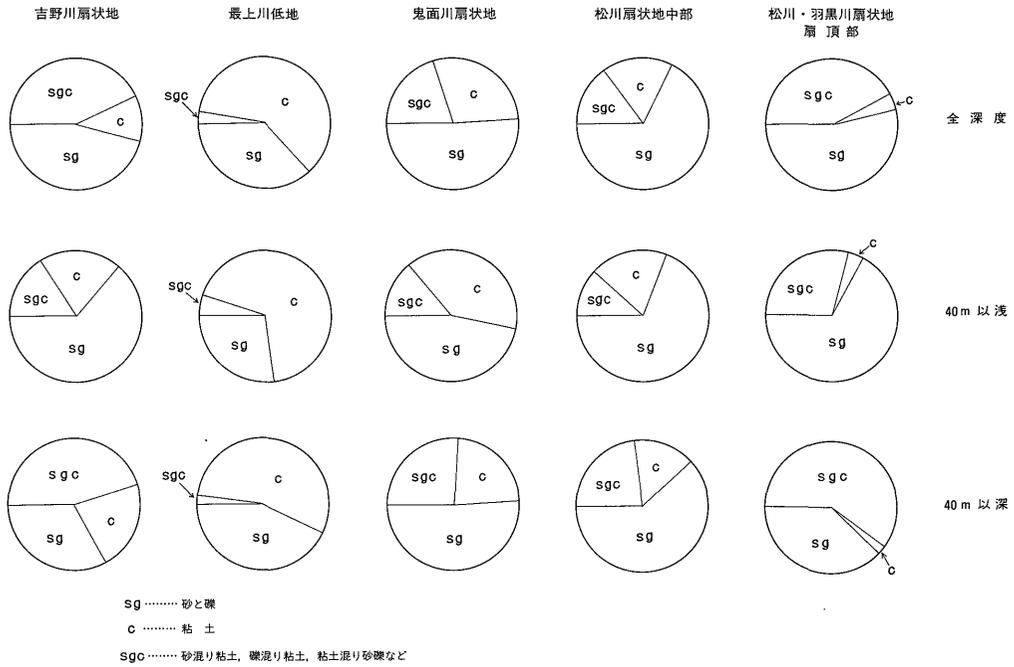


第 2 図 地 質

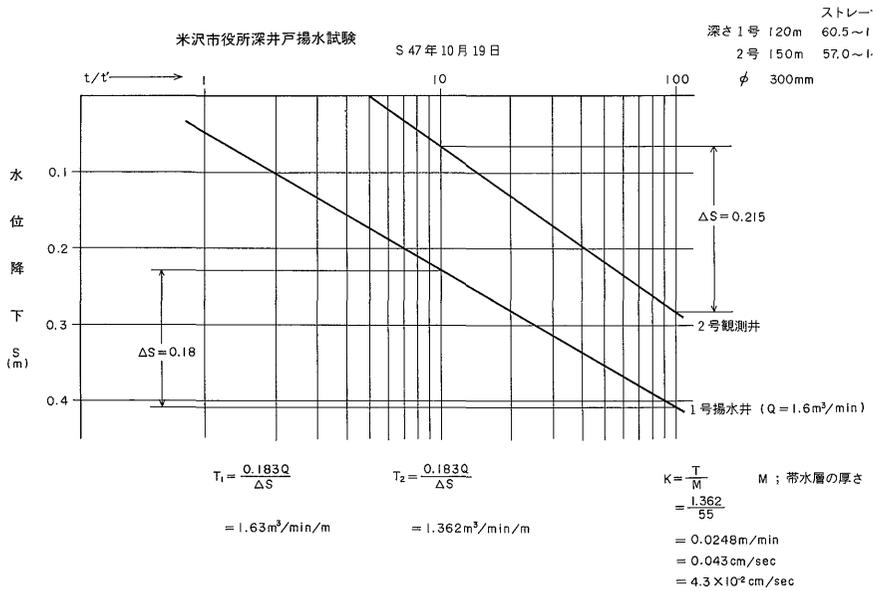


-  表土  
Soil
-  粘土  
Clay
-  砂  
Sand
-  砂礫  
Sand and gravel
-  礫  
Gravel
-  砂・粘土互層  
Alternation of sand and clay
-  砂礫・粘土互層  
Alternation of sand gravel and clay
-  砂混り粘土  
Clay with sand
-  砂礫混り粘土  
Clay with sand and gravel
-  礫混り粘土  
Clay with gravel
-  玉石  
Boulder gravel
-  岩盤  
Bed rock

柱 状 図



第3図 米沢盆地における砂礫—粘土の割合

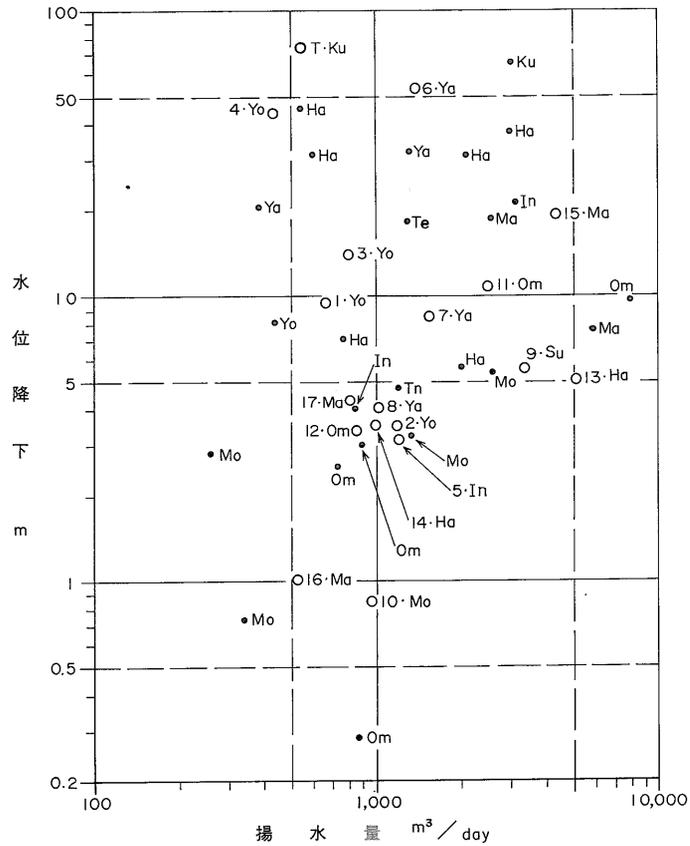


第4図 揚水試験結果の一例

タイプは最上川低地, 屋代川扇状地および中原層分布地区である。なお, 犬川扇状地, 黒川扇状地および砂川扇状地については集計の対象となる井戸の本数が少なく, タイプ分類はできない。

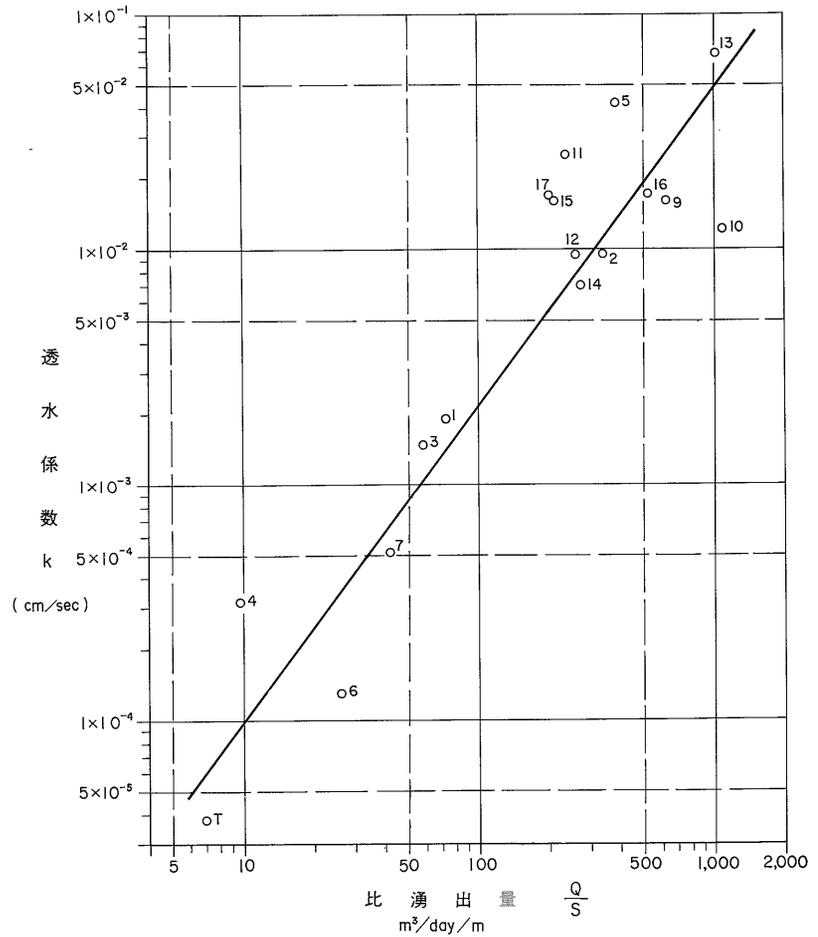
米沢盆地では帯水層の常数を得るため約20本の井戸に

よって揚水試験が行われている。その一例として筆者の1人岸が実施した揚水試験結果を第4図に示した。第5図は試験で得られた透水係数と比湧出量との関係を示したものであり, 第6図は試験井を含めたおこな井戸の水位降下と揚水量との関係を示したものである。第5図の

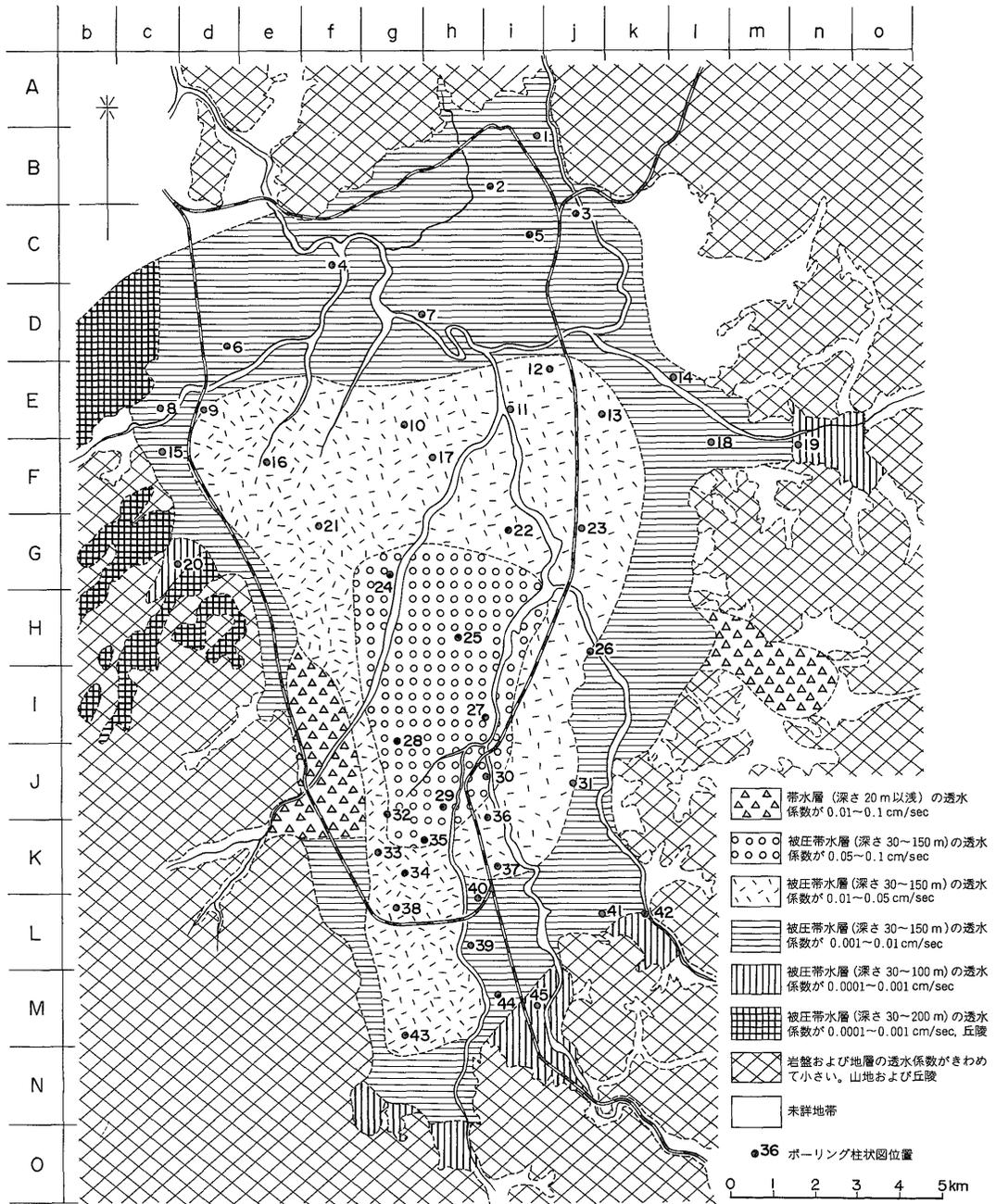


第6図 揚水量と水位降下の関係

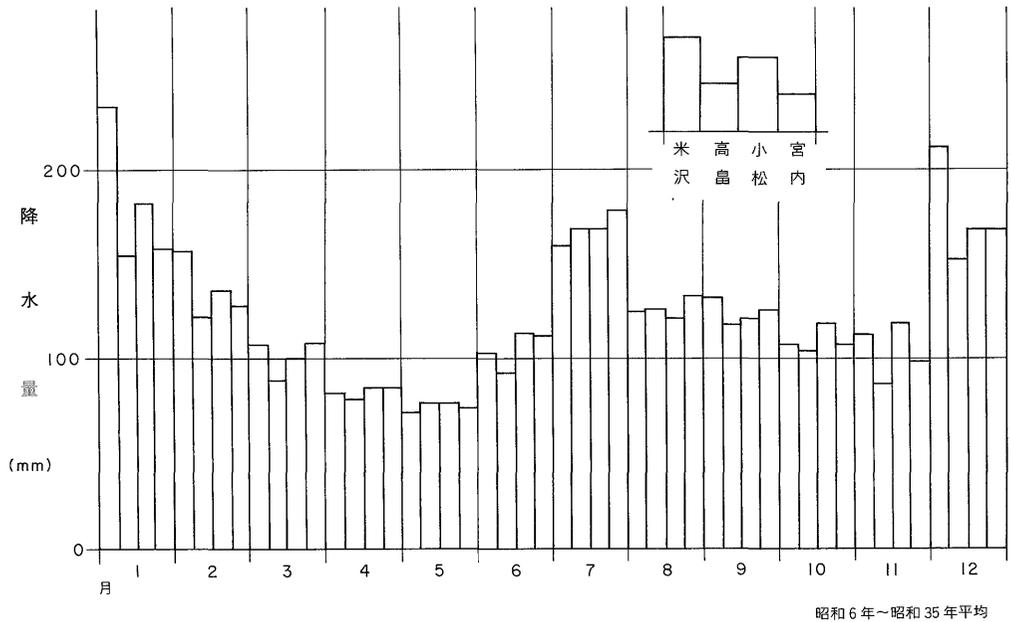
記号は第20図の扇状地記号を示す。  
数字は第5図と同一で試験番号。



第5図 透水係数と比湧出量との関係



第 7 図 帯水層の透水係数



第8図 米沢盆地の月別降水量

直線は最小自乗法によって求めた透水係数と比湧出量との関係である。一方比湧出量のみが得られたデータについては、この直線によって透水係数を求めた。求められた透水係数の最小は  $4 \times 10^{-5}$  cm/sec, 最大は  $7 \times 10^{-2}$  cm/sec である。なお  $7 \times 10^{-3}$  -  $4 \times 10^{-2}$  cm/sec を示すものが最も多い。以上を地域別にとりまとめたのが第7図である。

#### 4. 表流水

##### 4.1 河川の概況と降水量

米沢盆地に流入するおもな河川は吉野川・屋代川・天王川・羽黒川・松川・鬼面川・犬川であり、これらが盆地内で合流して最上川となり盆地北西端部から長井盆地に流出する。各河川の流域面積は 22-217 km<sup>2</sup> であり、最も大きいのは鬼面川の流域である。これら諸河川は盆地内で大小の扇状地を形成し、後述するように扇状地を流下する間で表流水が伏没し、地下水を補給している区間がみられる。表流水および地下水の涵養源である降水量は盆地内では米沢・高島・宮内・小松の4カ所で観測されている。昭和6年から昭和35年までの期間における年平均降水量の4カ所の平均値は約 1,480 mm である。そのうちの30-60% (年平均約540 mm) が冬期の降雪で占められ、標高の高い山地部の降水量はこれよりも多

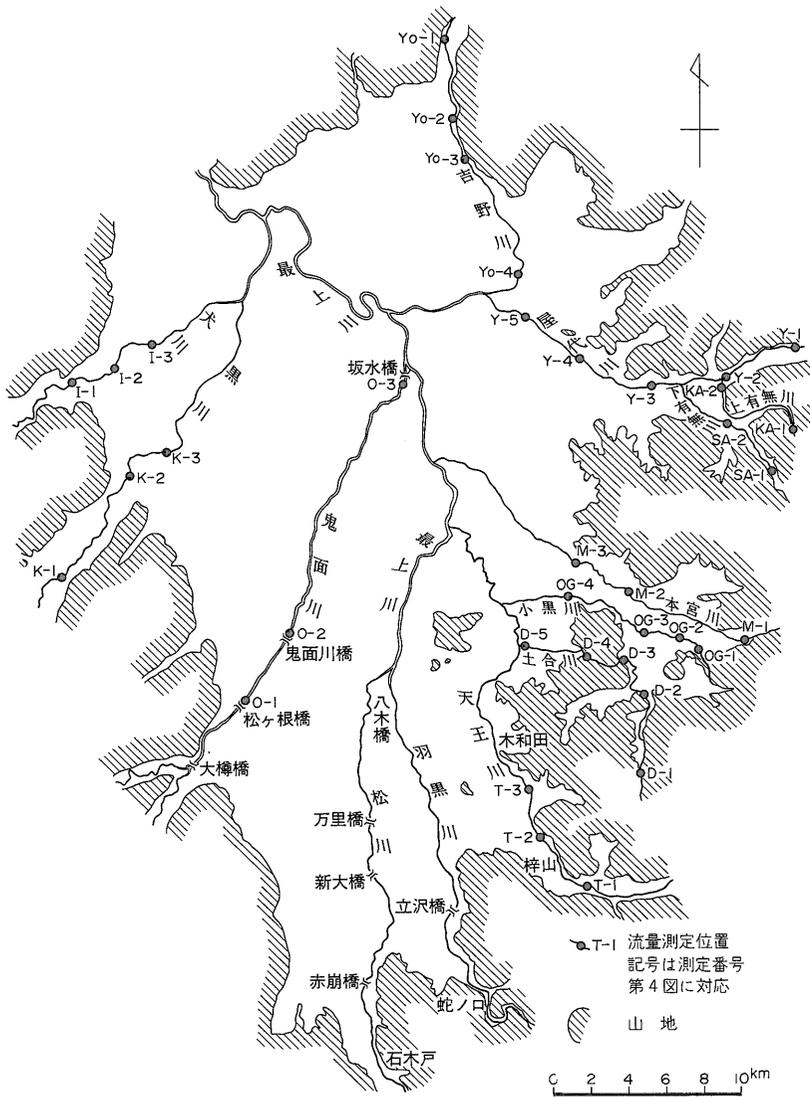
く、降雪の占める割合も高くなる。

河川の流量は融雪のはじまる4月(4・5月は年間のうち最も月降水量が少ない)ごろから増加し始め、5-7月に最大となり、以後漸次減少し、冬期が最も少なくなる。各河川の表流水は盆地に入ると、農業用水として取得され盆地内の田畑にかん水され、間接的に地下水の補給源となっている。なお羽黒川は近年上流にダムが建設され、かんがい用水が直接ダムから取得されている。

##### 4.2 表流水の減少量と増加量

前項でも述べたように扇状地を流れる各河川の表流水は伏没して減少したり、沿岸からの地下水の排出によって増加したりする。減少量および増加量は河川流量および沿岸地下水位の高低などによって季節的に異なるが、既存資料と昭和49年10月、50年7月の実測結果によると概ね次の通りである。

表流水が減少する区間と減少量は、それぞれ鬼面川の松ヶ根橋から鬼面川橋までが  $0.34-0.45$  m<sup>3</sup>/sec, 松川の赤崩橋から新大橋までが  $0.3-0.4$  m<sup>3</sup>/sec, 羽黒川の蛇ノ口地点から立沢橋までが  $0.1-0.4$  m<sup>3</sup>/sec, 屋代川支流の上有無川と下有無川が計  $0.033-0.048$  m<sup>3</sup>/sec, 本宮川の中和田地点から山地出口までが  $0.2$  m<sup>3</sup>/sec である。表流水が若干減少すると推定される区間は、鬼面川の鬼面川橋から坂水橋まで、松川の石木戸地点から赤崩橋まで、



第9図 流量測定地点

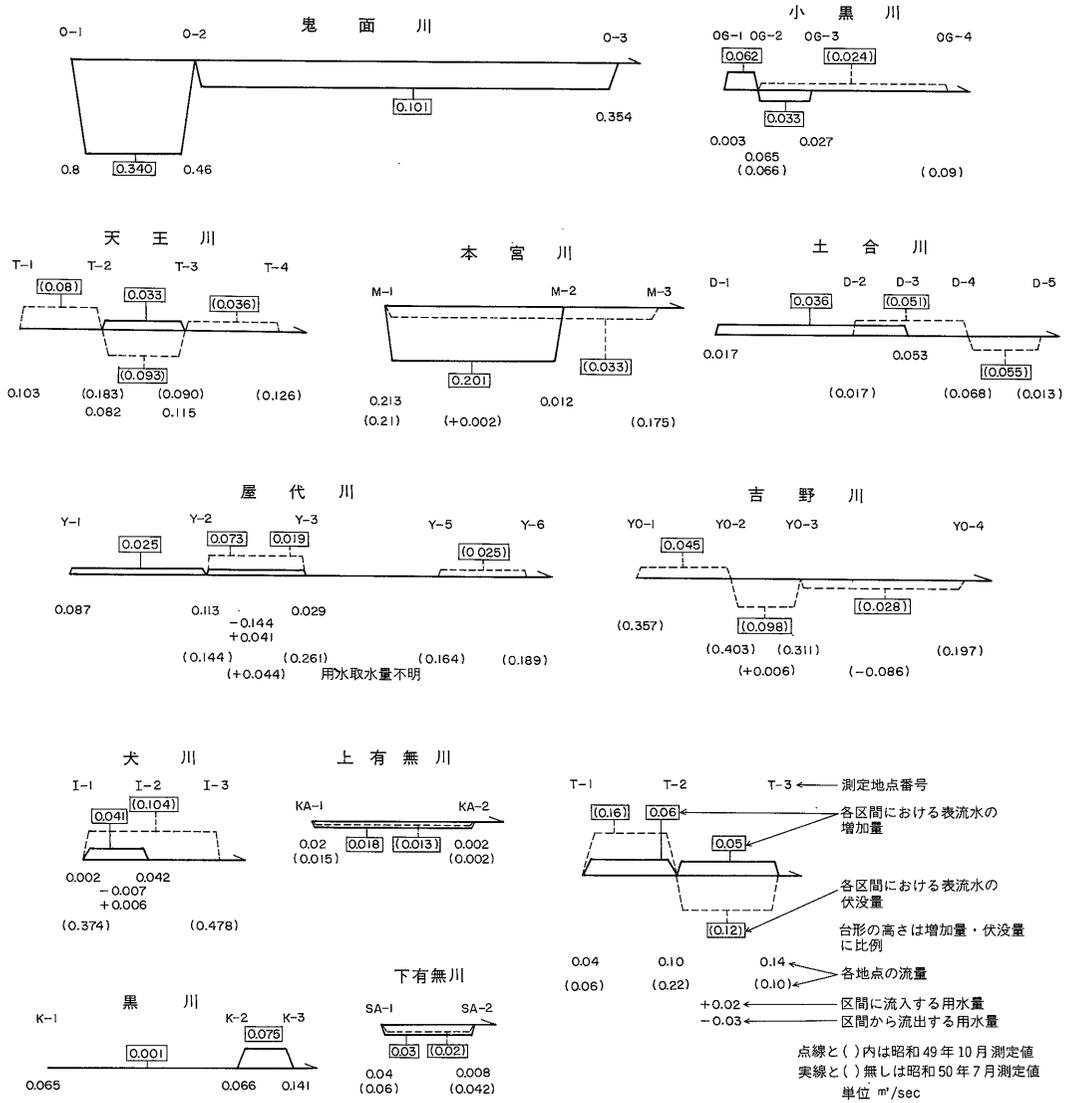
天王川の梓山地点から木和田地点まで、土合川の南佐沢地点から山地出口地点まで、および吉野川の三間通り地点から新開地点までである。

表流水が増加する区間と増加量は、それぞれ鬼面川の大樽橋から松ヶ根橋までが  $0.1\text{--}0.2\text{ m}^3/\text{sec}$ 、松川の万里橋から八木橋地先までが約  $0.4\text{ m}^3/\text{sec}$ 、天王川の木和田地点から下竹井地点までが約  $0.34\text{ m}^3/\text{sec}$ 、吉野川の三間通り地点より上流が約  $0.1\text{ m}^3/\text{sec}$ 、犬川の片町地点より上流が約  $0.1\text{ m}^3/\text{sec}$  である。

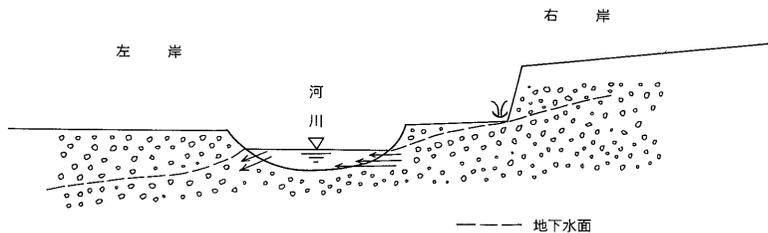
上記以外の区間は、表流水が若干 増減するが、その

量は無視できる程度のものでよい。ただし、以上述べたことは、あくまでも数量の上からみた表流水の増減の状態である。すなわち、数量上増減を示さない区間といえども、表流水からの地下水補給量あるいは河川への地下水排出量が皆無であるということではない。したがって、以上述べた表流水の増減量は、伏没量と排出量との差を示す値である。例えば、第11図に示すように河川のある区間で左岸の地下水面が低く右岸の地下水面が高いような場合、表流水が伏没して左岸側の地下水を補給しているとしても右岸側からの地下水排出量がそれより

山形県米沢盆地における水理地質 (岸 和男・菅野敏夫・永井 茂)

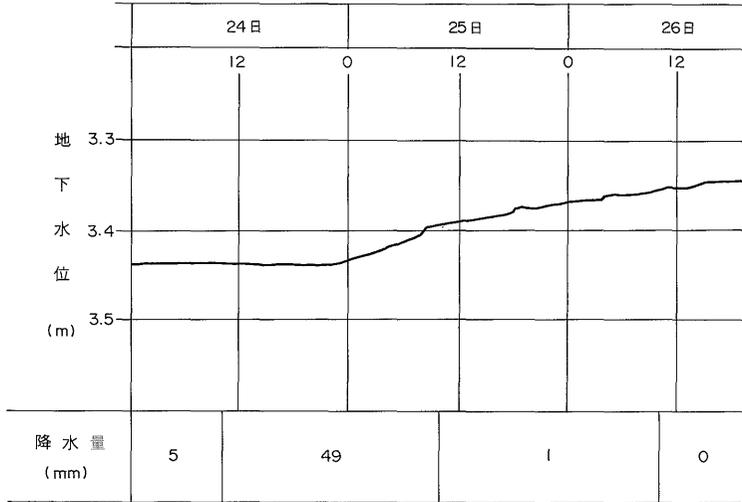


第10図 河川表流水の増減量

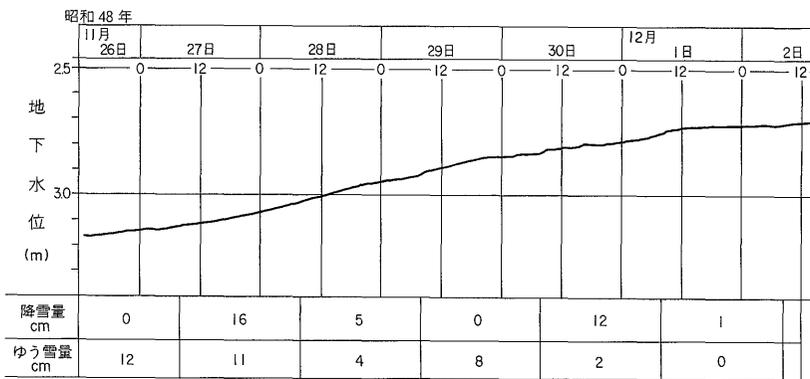


第11図 河川表流水からの地下水補給と河川への地下水排出のようす

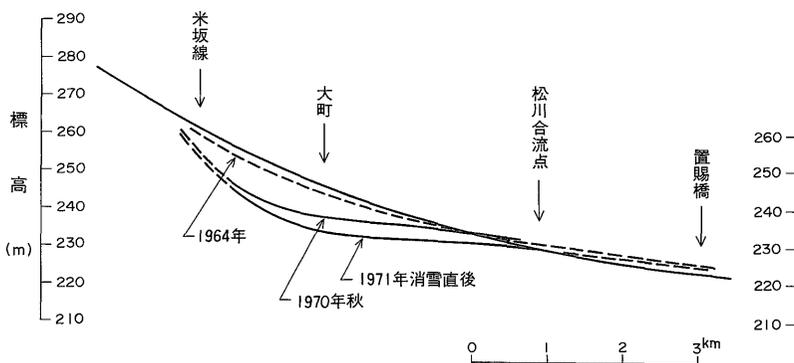
昭和49年9月



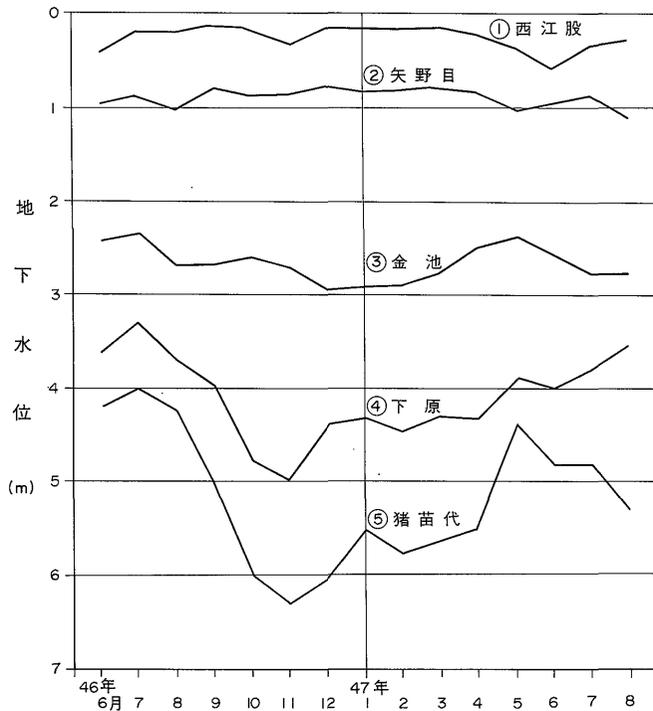
第12図 降水による地下水位上昇の一例



第13図 融雪による地下水位上昇の一例



第14図 米沢市街地付近における南北方向の被圧地下水の圧力面勾配



- ①②----鬼面川扇状地扇端部
- ③-----松川扇状地扇端部
- ④-----羽黒川扇状地扇中央部
- ⑤-----松川扇状地扇中央部

第15図 地下水位の年変化（自由面地下水）  
A・Bタイプ

も多ければ数値的には増加区間となる。また逆に右岸側からの地下水排出量よりも左岸側への地下水補給量の方が多い場合には減少区間となる。

## 5. 地下水

### 5.1 地下水の補給源と補給量

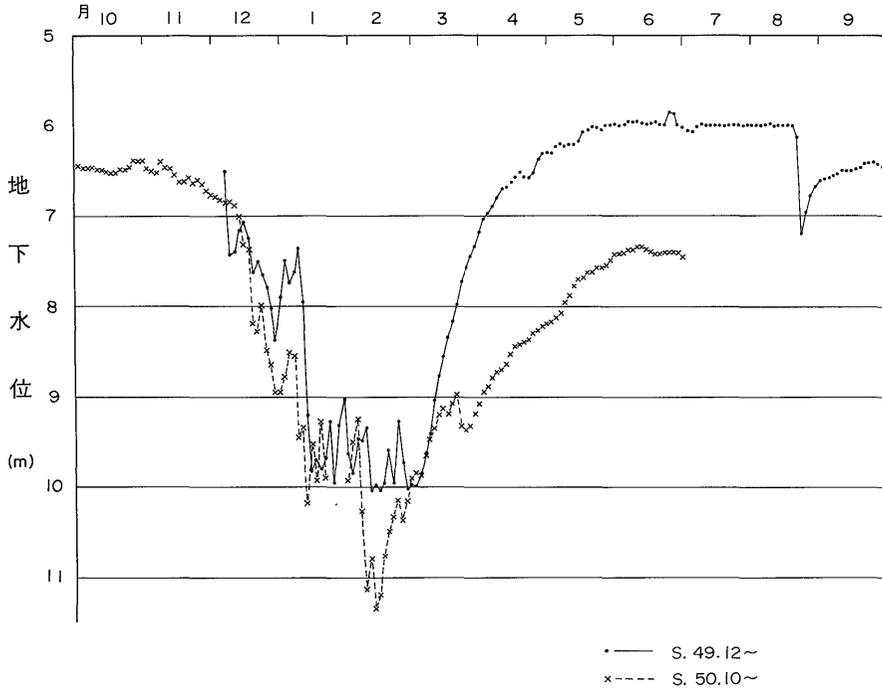
米沢盆地の地下水は河川および用水路の表流水，水田に張られたかんがい用水，盆地に降った雨および雪の浸透などによって補給されている。表流水からの補給量はすでに述べた河川表流水の減少量と同一量とみてよく，合計約 119,000 m<sup>3</sup>/日となる。しかし減少区間の下流側区間で増加している場合があり，それを勘案すると実際の補給量は約 63,000 m<sup>3</sup>/日と推定される。ただしこれは平水量以上の場合であり冬期の渇水期にはさらに½程度に減少するものと推定される。また，かんがいによって地下水位が最高となる5月-8月には河川表流水からの地下水補給量はきわめて少なくなるものとみられる。

ある地区についてのかんがい用水からの地下水補給量は，その地区への用水流入量から用水流出量を差引き，さらにその地区の蒸発散量を差引くことによって求められる。このような方法で求めたかんがい用水からの地下水補給量は，盆地南部の扇状地において7月に合計 45,000 m<sup>3</sup>/日と試算されている。盆地北部の扇状地については上記の方法で求めた資料はないが，若干の流量測定結果と地下水位データからみると盆地北部と同程度あるいは若干少ない目の補給は生じているものと推定される。

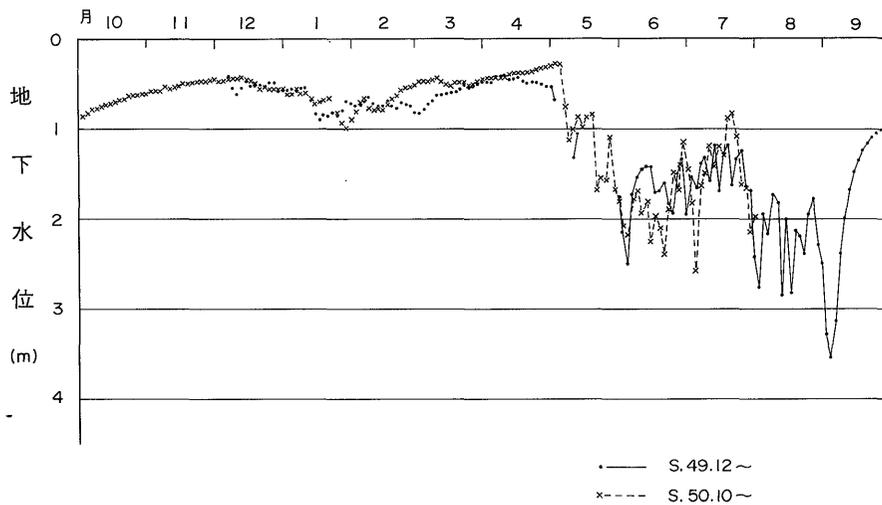
降雨と降雪からの地下水補給範囲はおもに各扇状地の扇中央部から扇頂部にかけての地域であり，扇端部および最上川低地では少ないものと考えられる。降水からの地下水補給量は降水量から地表流出量，蒸発散量，吸着量などを差引いたものであるが，これらの測定値は盆地内を小地区に分けた多数の地点のデータが必要である。米沢盆地では，前述した4カ所の降水量以外は，地表流出

量などの測定データが得られず、上記の方法によって補給量を直接算出することは不可能である。そこで盆地南部の数本の浅井戸について、ある降水時における降水量（融雪時には、融雪量を水深に換算したもの）とその時

の地下水位の上昇量との関係から補給量の推算を試みた。降水量と地下水位上昇量の割合は1:0.5から1:5まで大きく変化しているが大部分は1:1.2から1:3の範囲である。帯水層の有効空隙率を11%と仮定する



第16図 地下水位の年変化 (被圧地下水)  
犬川扇状地扇中部 Cタイプ



第17図 地下水位の年変化 (被圧地下水)  
最上川低地 Dタイプ

と降水からの地下水補給率は 12-33%を示し平均では約 21%となる。

米沢盆地における降水からの地下水補給量を検討する場合次の4つの期間に分けて考察する必要がある。

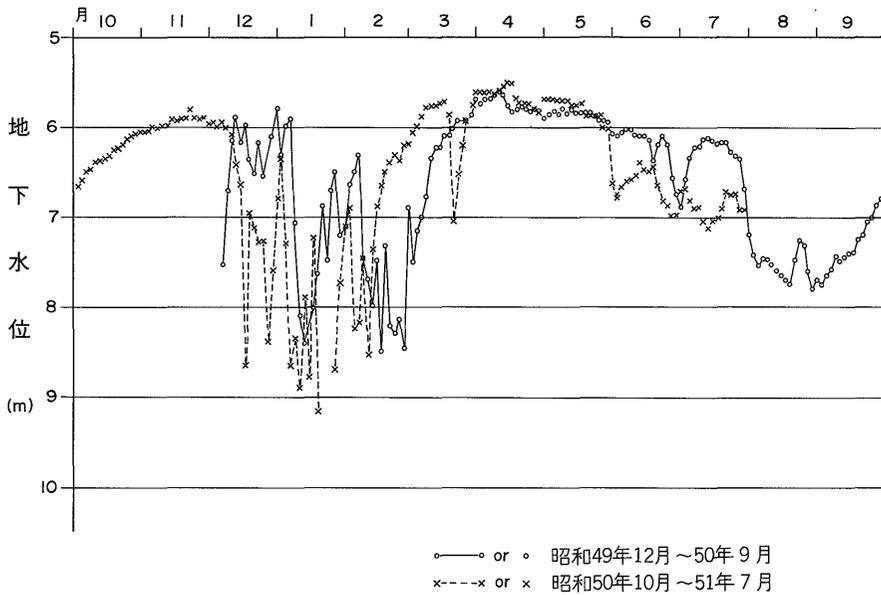
A) 水田にかんがい用水が張られている期間で5-8

月の4カ月間。

B) 水田にかんがい用水が張られていない期間で9-11月の3カ月間。

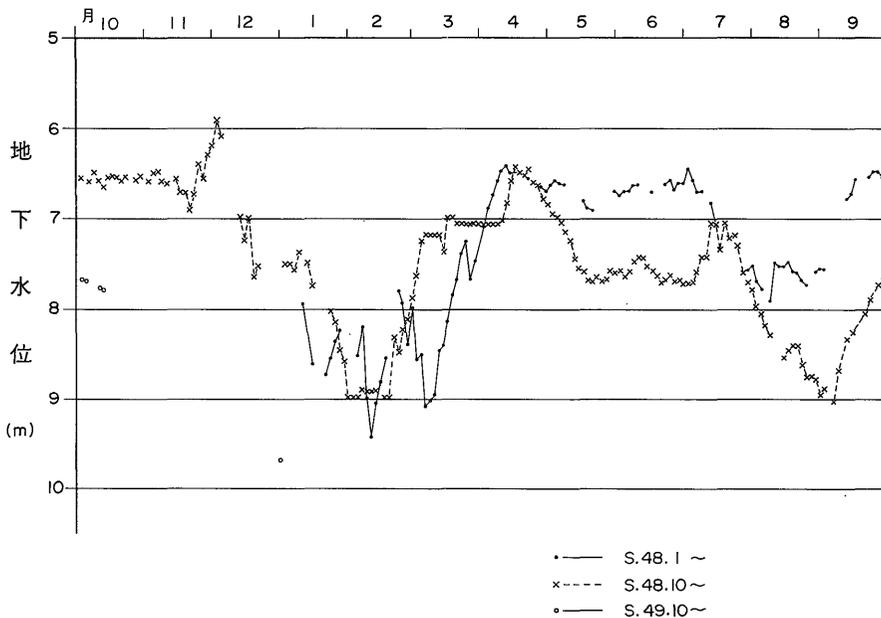
C) 降雪の期間で12-2月の3カ月間。

D) 融雪の期間で3、4月の2カ月間。



第18図 地下水位の年変化 (被圧地下水)

屋代川扇状地扇中部 Eタイプその1



第19図 地下水位の年変化 (被圧地下水)

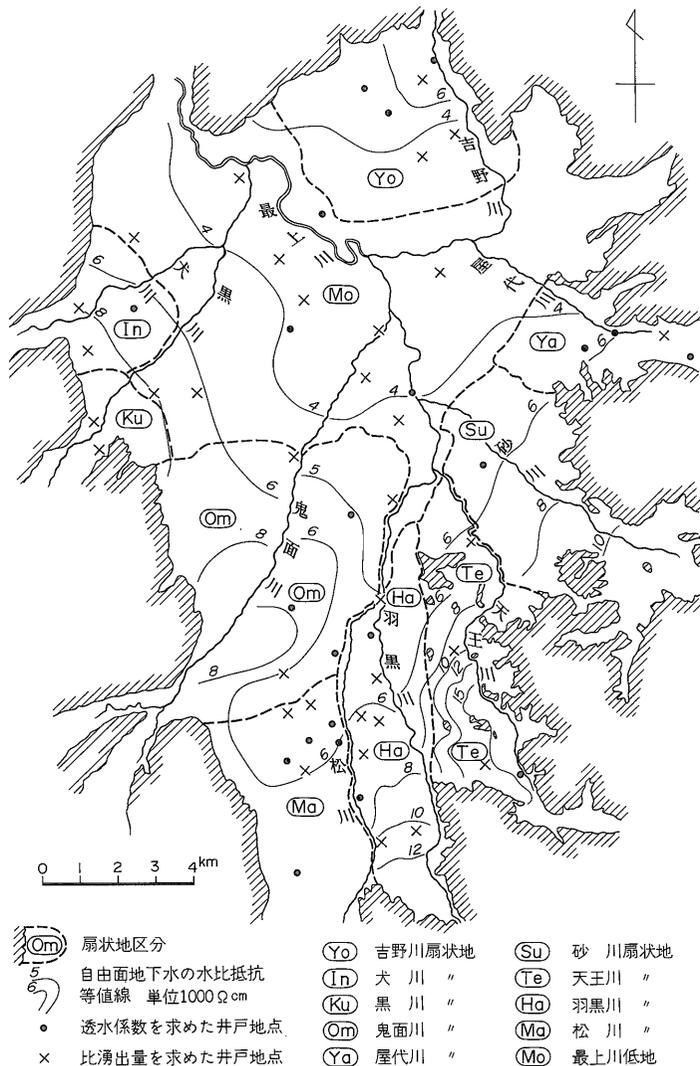
米沢市街地 Eタイプその2

Aの期間は水田に張られたかんがい用水から連続的に地下水が補給されており、降水からの直接的な地下水補給は水田ではごくわずかである。水田以外の部分は直接降水から補給されるものとし水田以外の面積は全体の約20%とした。Bの期間は水田に水が張られておらず、補給は水田も、水田以外の部分も同様に生じるものと仮定した。Cの期間は年間で最も降水量が多いがその大部分が降雪であり、その約60%がDの期間まで積雪として残される。即ち補給量算定の水量はこの期間の降水量の40%とした。Dの期間はこの間の降雪、降水とともにCの期間で残された積雪もとけ効率良く地下水として補給される。即ちこの期間の補給量算定の水量はこの期間の降水

量+Dの期間の降水量の60%とした。なおこれを1日平均の水深に換算すると8-16mmである。補給範囲は各扇状地の扇央部と扇頂部とし、扇端部と最上川低地は含めず、ここでは補給範囲の合計を39km<sup>2</sup>とした。

以上の仮定に基づいて降水からの地下水補給量を計算するとAの期間は約13,000m<sup>3</sup>/日、Bの期間は約30,600m<sup>3</sup>/日、Cの期間は約19,700m<sup>3</sup>/日、Dの期間は約62,000m<sup>3</sup>/日となる。

米沢盆地の地下水の補給源と補給量は上記の通りであるが、合計補給量はAの期間が平均103,000m<sup>3</sup>/日、Bの期間が94,000m<sup>3</sup>/日、Cの期間が52,000m<sup>3</sup>/日、Dの期間が125,000m<sup>3</sup>/日であり、年平均は92,000m<sup>3</sup>/日とな



第20図 扇状地区分と自由面地下水の水比抵抗値

る。

### 5.2 地下水面と地下水位の年変化

地下水面の形状は大局的にみれば、地表面に準じ、山麓部で高く盆地北西部の最上川低地で最も低くなっている。自由面地下水の水面勾配は低地と扇端部では、ほぼ地表勾配に準じ扇中央部から扇頂部では、地表勾配よりゆるくなる。被圧地下水の圧力面勾配は大局的には地表勾配よりゆるいが、大量の揚水が行われている地域では、局所的に地表勾配より急な地区が認められる。第14図は米沢市街地付近における南北方向の被圧地下水の圧力面を示しているが、市街地の下流側では勾配がゆるく、上流側では急になっている。とくに冬季の消雪に地下水を多量に揚水する時期には、その傾向が強まっている。地下水位の年変化は、米沢盆地の場合次の5種のタイプに大別できる。

Aタイプ：11-12月の水位が最低で3月まで若干上昇するかあるいは同じであり、3月から急上昇し、6-7月頃最高となる(第15図④⑥)。

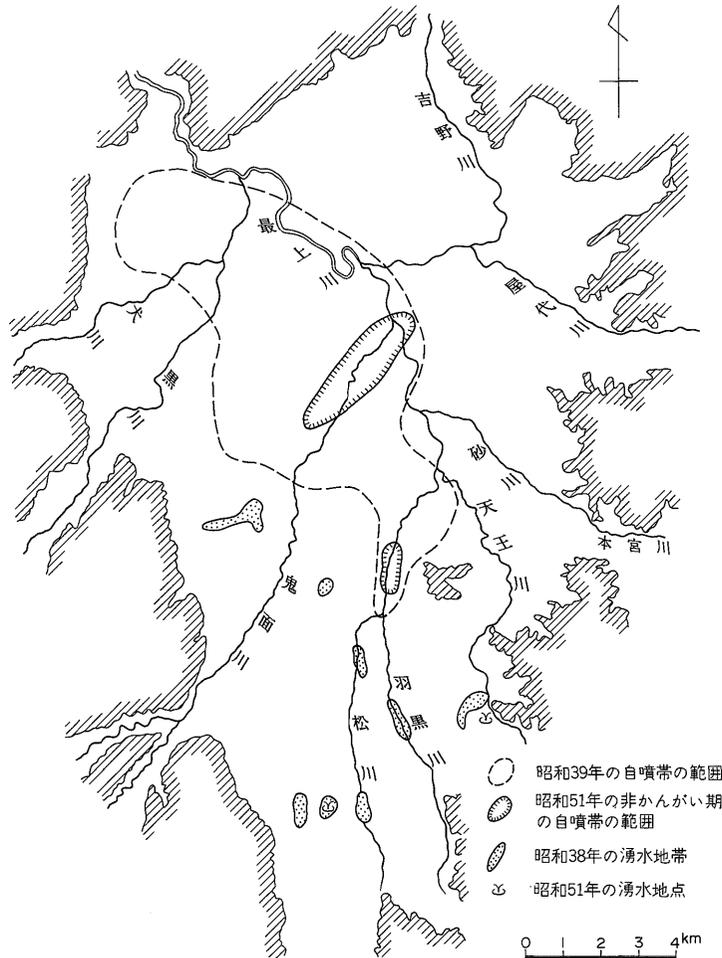
Bタイプ：不規則なわずかな変化はあるが、年間の変化量が少ない(第15図①②③)。

Cタイプ：11-12月から急激に水位が低下し、2-3月に最低となり、その後急激に回復する(第16図)。

Dタイプ：5月頃より水位が低下し始め、8-9月に最低となり、その後回復する。1-2月頃わずかの低下を見せるときもある(第17図)。

Eタイプ：年に2回、2月と8月に大きな水位低下を生じている(第18, 19図)。

Aタイプは扇状地の扇中央部から扇頂部にかけての地区、即ち地下水補給地帯での自由面地下水の水位変化である。3月からの大きな上昇は、融雪水とそれに続く湛



第21図 自噴帯の範囲と湧水地帯

水田からの補給によるもので、9月からの大きな低下は、水田が湛水しなくなるための補給量の減少を示している。なお11月から3月の間で水位が少し低下する場合もある。

Bタイプは扇状地の扇端付近の自由面地下水の変化である。また被圧地下水でも、揚水の影響をあまり受けていない地区の、地下水位変化は同様な形となる。

Cタイプは扇中央部に位置するが、周辺にかんがい用井戸が少ない所の被圧地下水の、水位変化である。上流側の消雪用井戸群の揚水による影響は、ほとんど受けないことを示している。なおこのような例は数が少ない。

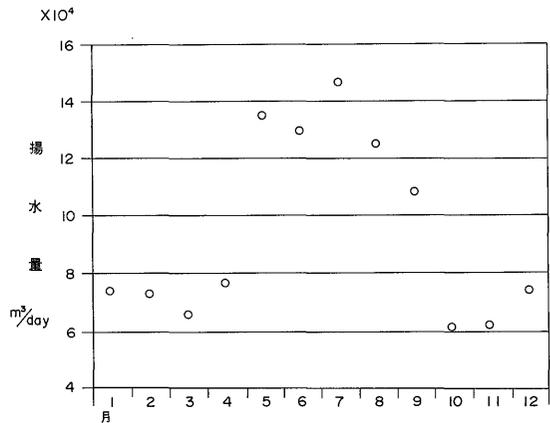
Dタイプは中央低地および上流側に消雪用井戸の無い扇中央部の被圧地下水の地下水位変化である。5月-9月の低下はかんがい用水井戸群の影響を強く受けていることを示し、1-2月の低下は遠く離れた地区の消雪用井戸群の影響を受けていることを示す。

Eタイプは消雪用井戸群とかんがい用水井戸群の中間地区あるいは両井が混在している地区に見られ、おもに扇端部から扇中央部にかけてが多い。この水位変化はいうまでもなく消雪用とかんがい用の井戸の揚水の影響を強く受けていることを示し、米沢盆地のうち、とくに南部

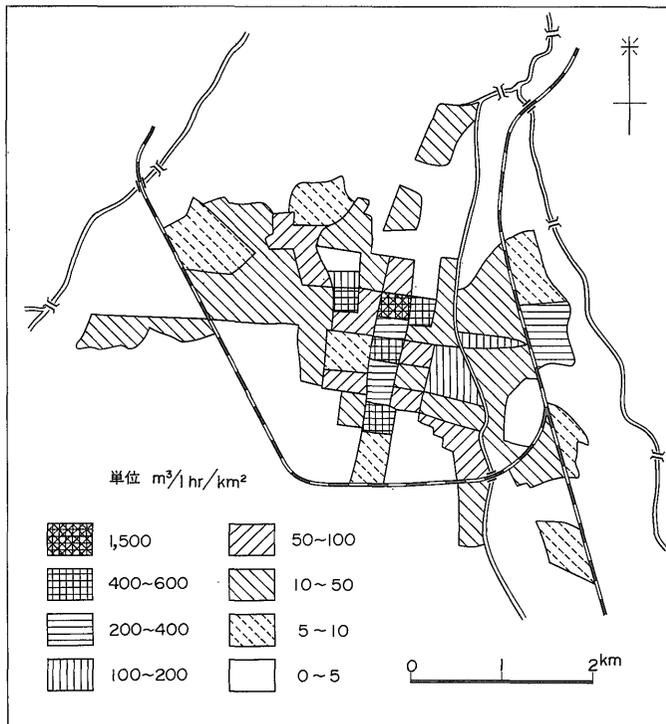
においてはこのタイプに属するものが最も多い。

### 5.3 自由面地下水の水比抵抗と流動

米沢盆地における自由面地下水の水比抵抗は3,000-15,000  $\Omega$ -cm を示し、一般に各扇状地の扇頂部ほど高く、最上川低地に向かうに従って低くなる。盆地南部の羽黒川扇状地と、天王川扇状地の扇中央部から扇頂部の地区に12,000  $\Omega$ /cm 以上水比抵抗を示す地下水が賦存し、



第22図 米沢盆地における月別揚水量 (昭和48年)



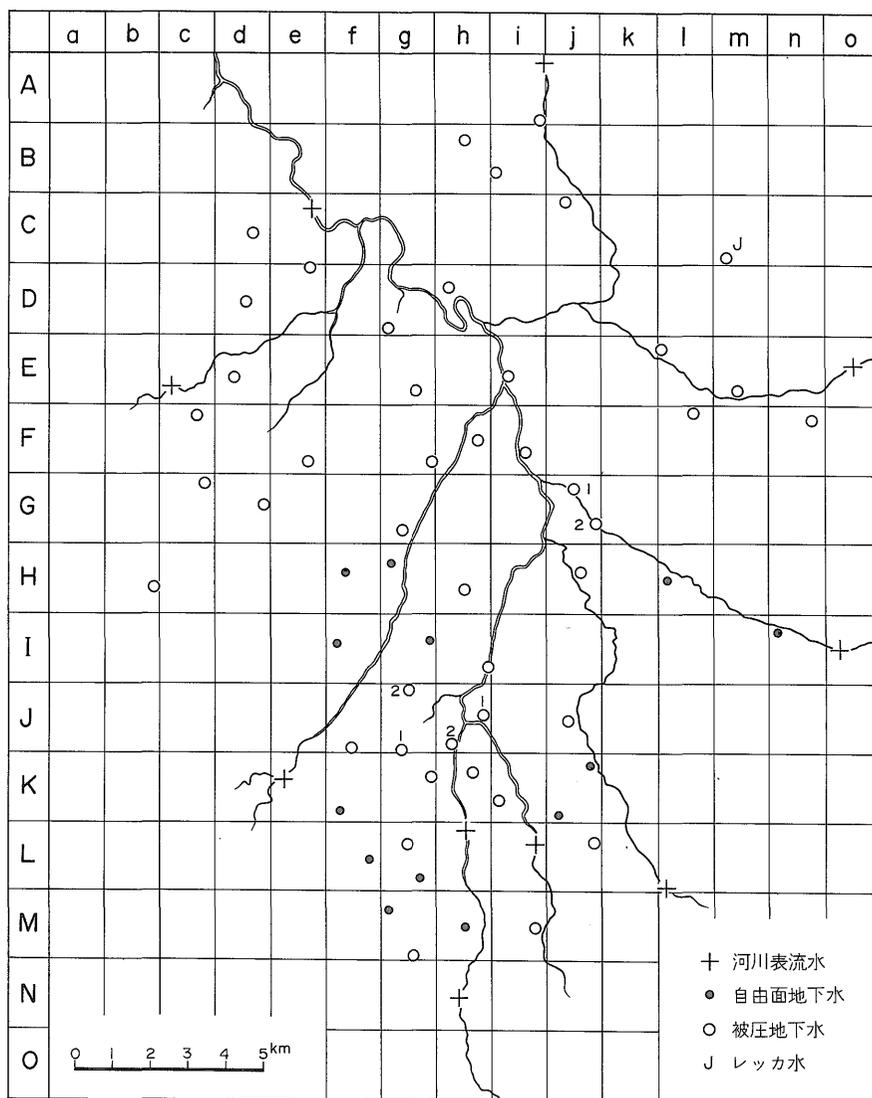
第23図 米沢市における消雪用地下水の単位面積当たりの揚水量

北方に向け流動している。この地下水は、羽黒川扇状地扇端部の浅い被圧地下水および、鬼面川扇状地の扇端東部の被圧地下水の有力な補給源となっている。

松川扇状地の自由面地下水は、扇頂部の山麓部では、水比抵抗の値が高いが、松川のかんがい用水地域では、6,000-7,000 Ω-cm と低くなる。この地下水は米沢市街地に向け流動し、市街地南部の浅い被圧地下水の補給源となっている。

鬼面川扇状地では扇頂部に 8,000 Ω-cm 以上の水比抵抗を示す自由面地下水が存在し、扇端部に向かうに従っ

てその値が低くなる。右岸扇状地では、塩野一宮井一窪田を結ぶ地区が、左岸扇状地では、畑中一轟一桐原を結ぶ地区がそれぞれ比較の透水性がよい。またこの地下水は、ともに扇端部の浅い被圧地下水の補給源となっている。砂川扇状地の自由面地下水は、8,000 Ω-cm 以上の水比抵抗を示し、扇端部に向かうに従って低い値を示す。この地下水は扇端部の浅い被圧地下水の補給源となっているが、範囲が狭く量も少ない。盆地北部の屋代川、吉野川、犬川の各扇状地の自由面地下水の水比抵抗値は、松川を除く南部の各扇状地の地下水にくらべ一般に低



第24図 水質分析試料の採取地点

い。水比抵抗は 6,000-8,000 Ω-cm で、扇端部に向かうに従ってその値が急に低くなる。盆地北部の各扇状地では顕著な透水帯はみられず、浅い被圧地下水を補給しているような、明瞭な形跡はみられない。最上川低地帯の自由面地下水は 4,000 Ω-cm 以下の水比抵抗を示し、ほぼ停滞性の地下水とみてよい。

5.4 被圧地下水の水比抵抗と水温

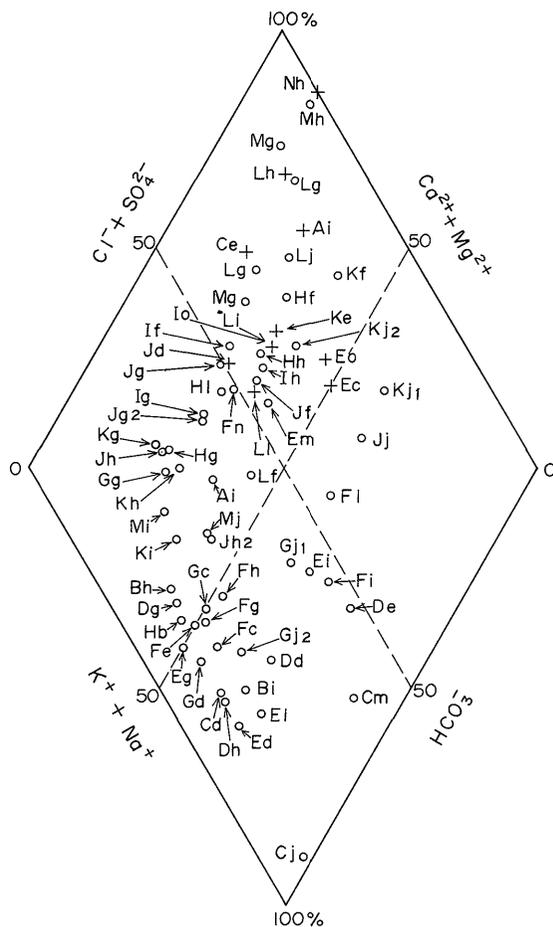
被圧地下水の水比抵抗は 3,000-14,000 Ω-cm を示し、おおむね盆地南部で高く北部で低い値を示す。羽黒川扇状地の被圧地下水の水比抵抗は盆地内で最も高く、10,000-14,000 Ω-cm を示す。松川扇状地の扇端部、おもに米沢市街地の被圧地下水の水比抵抗は、浅い部分が 4,000-6,000 Ω-cm、深い部分が 7,000-10,000 Ω-cm を示す。また地域的には西部が低く東部が高い傾向を示す。

鬼面川扇状地では浅い被圧地下水が 4,000-7,000 Ω-

cm を示し深くなると 8,000-11,000 Ω-cm を示す。地域的には東部ほど高い傾向を示す。盆地北部の屋代川・吉野川・犬川・黒川、各扇状地の被圧地下水は 4,000-7,000 Ω-cm を示し局地的に 3,000 Ω-cm 以下を示す地下水が存在する。最上川低地帯の被圧地下水の水比抵抗は鬼面川扇状地の東端部に近い地区が 8,000-10,000 Ω-cm を示し、そのほかの地域では 4,000-7,000 Ω-cm となっている。

米沢盆地の被圧地下水の水温は 12-19℃を示すものが最も多いが、南陽市赤湯付近、同市宮崎付近、川西町大塚付近では井戸深度に対して水温がきわめて高く、最高は深さ 150m で 31.5℃を示す。またこれら水温の高い地下水の水比抵抗は 400-4,000 Ω-cm と低い。このほか、盆地南部では井戸深度に対し水温が比較的高い地下水が散在する。

南陽市赤湯には、深さ 400m の温泉井があり温度検層



第25図 水質組成 (キーダイヤグラム)

によれば、深さ30m(凝灰岩)で36°C、深度150m(角礫凝灰岩)で61°C、深度400m(流紋岩)で70°Cを示している。上記被圧地下水の水温が高いのは、この地下水に対する熱の補給を深部から受けているためと考えられる。

### 5.5 排出

米沢盆地における地下水の排出は、自然の排出と人為的な排出がある。自然の排出は河川への地下水排出と湧泉がある。人為的な排出は井戸によるもので、自噴によるものと揚水によるものとに分けられる。

河川への地下水排出は4項で述べた河川表流水の増加量によって示される。米沢盆地のうち、南部の河川については昭和38年と昭和47-48年に測定しているが、増加区間、増加量ともに大きな相違は示していない。湧泉は昭和40年頃までは、米沢市街地周辺に10カ所ほど散在していた。その後、漸次減少し、現在では市街地南方の淡水魚指導所、天王川扇状地の湧泉など3、4カ所となっている。

米沢盆地では従来から掘抜井戸が多数存在し、昭和40年頃までは第21図に示すような広範囲の自噴帯を形成していた。その後揚水井の増加とともに、自噴帯の範囲は縮小し現在ではかんがい期には全面的に自噴が停止し、非かんがい期においても米沢市窪田付近、高島町蛇口一夏刈付近、川西町尾長島一下屋敷付近のみが、わずかに自噴する程度となっている。

米沢盆地における地下水の揚水は、一般家庭用水としての浅井戸(打込み井戸・掘井戸など)の揚水によるものと、事業用(工業用、農業用など)としてのさく井(おもに被圧地下水)による揚水がある。一般家庭用の揚水量は、事業用の揚水量にくらべるときわめてわずかである。米沢盆地のさく井数は合計約530本であり、そのうち約60%が米沢市に、約20%が高島町に存在している。

年間の総揚水量は約 $3 \times 10^7$  m<sup>3</sup>であり、そのうち工業用が約39%、農業用が約30%、雑用が約16%、上水道用が約13%、残りが消雪用水である。農業用水は年のうち5-9月に揚水され、1日平均74,000 m<sup>3</sup>である。工業用水、雑用水、上水道用水は年間通して揚水され、1日平均の揚水量のそれぞれ35,000 m<sup>3</sup>、14,000 m<sup>3</sup>、11,000 m<sup>3</sup>となる。消雪用水の年間揚水量は $7.4 \times 10^5$  m<sup>3</sup>と少ないが、揚水が冬期の降雪時に限られており、1日当たりの揚水量としてはかなり大きい。さらに工業用水および雑用水の井戸では、降雪時に揚水量を増加して、消雪に使用するものが多数あるため、実際に消雪用として揚水される単位時間当たりの量はきわめて多くなる。たとえば米沢市街地では1 km<sup>2</sup>当たりの消雪用揚水量が600 m<sup>3</sup>/

時以上を示す地区が1カ所、400-600 m<sup>3</sup>/時の地区が4カ所ある。

## 6. 水質

第1表に河川表流水の水質を、第2・3表に地下水の水質を示した。また水質分析資料の採取地点と水質組成(キーダイヤグラム)を第24図と第25図に示した。

表流水の水質組成はほとんどが硫酸カルシウム型に属する。自由面地下水は、硫酸カルシウム型に属するものが多く、炭酸水素カルシウム型に属するものが点在する。被圧地下水は盆地南部が硫酸カルシウム型、盆地中央部が炭酸水素カルシウム型、盆地北部が炭酸水素ナトリウム型に属するものが多い。

河川表流水の水質は、主要溶存成分の当量換算値が1.5 epm以下のものと、2.0 epm以上のものに分けられる。1.5 epm以下の河川は犬川、本宮川、天王川、羽黒川である。2.0 epm以上の河川は吉野川、屋代川、鬼面川、松川であり、とくに松川はSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が60 ppm以上、Ca<sup>2+</sup>が20 ppm以上である。

自由面地下水の水質は、主要溶存成分の当量換算値が2.0 epm以上のものが大部分である。とくに松川扇状地の扇状部の自由面地下水は、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が56 ppm以上、Ca<sup>2+</sup>18.6 ppm以上を示し、松川表流水の水質とほとんど同じである。

被圧地下水の水質は主要溶存成分の当量換算値が1.7 epmから12.5 epmであり、盆地の南部が小さく北部が大きい。被圧地下水のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は、松川扇状地では15-26 ppmであり、そのほかの地域では15 ppm以下が多い。

松川扇状地における被圧地下水のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は、扇状部が多く、扇端部に近づくほど少ない。また扇端部では、井戸のストレーナーの上限位置の浅いものが成分が多く、深いものほど少なくなる。

以上の水質分析結果および地下水位・揚水量・その他などから米沢盆地の地下水について、特異な点を述べると次のように推定される。

松川扇状地(鬼面川扇状地の一部を含む)の地下水はかつては、羽黒川扇状地の地下水と同様に溶存成分の少ない地下水であったと思われる。近年になって(昭和20年頃からといわれているが、正確な時期は不明)松川表流水の水質がSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の多いものに変化した(上流の鉱山が休廃止したためといわれている)。松川扇状地扇状部の自由面地下水は降水のほか、松川表流水の用水によって補給されており、まずこの地区の自由面地下水がSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の多い地下水となった。この自由面地下水は年とともに米沢市街地方向に広がっていったが、被圧地下水

については昭和39年ごろでは、米沢市街地では顕著には認められなかった。その後米沢市街地での揚水量の増加とともに、まず米沢市街地南端の浅い被圧地下水の

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が増加し、現在では平面的には北方に、垂直的には深い方へと広がっているものと考えられる。

このような現象は鬼面川扇状地の自由面地下水および

第1表 米沢盆地表

位置記号	河川名	水温 (°C)	pH	RpH	Mアルカリ度 CaCO <sub>3</sub> ppm	塩素 Cl <sup>-</sup> ppm	硝酸 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ppm	硫酸 SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> ppm
Ai	吉野川	0.6	6.4	6.6	10.0	8.0		30.6
Ce	最上川	1.3	6.6	6.9	21.4	16.1		19.3
Ec	犬川	0.4	6.6	6.7	9.9	8.1		5.8
Eo	屋代川		6.4	6.7	13.0	11.7		14.0
Io	本宮川	5.0	6.6	6.7	9.5	7.4		4.1
Ke	鬼面川	9.3	6.9	7.1	24.0	17.0		19.7
Lh	松川	4.9	4.7		14.0	7.3		61.4
Li	羽黒川	4.1	6.7	7.0	12.5	6.6		10.0
Ll	天王川		6.8	6.9	13.0	6.3	0.5	6.0
Nh	松川	16.4	3.2		0.0	9.1	0.0	245.0

\*米沢市 (1965) による

\*\*岸 和男ほか (1974) による

第2表 米沢盆地地下水

位置記号	井戸深度 (m)	ストレーナー位置 (m)	水温 (°C)	pH	RpH	溶存酸素 (DO) (oppm)	Mアルカリ度 CaCO <sub>3</sub> ppm	塩素 Cl <sup>-</sup> ppm	硝酸 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ppm	硫酸 SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> ppm	アンモニウム NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ppm
If	浅		14.9	5.8	6.0		34.0	14.7	4.1	17.0	0.00
Ih	120	70-114	15.9	7.1	7.4	6.51	32.0	19.1		16.5	
Jf	95	20-89	13.4	6.7	7.0	7.68	47.0	20.4		26.0	
Jg <sup>1</sup>	40	29-40	12.2	7.0	7.2	0.04	59.0	23.4		23.0	
Jg <sup>2</sup>	60	36-57	14.3	6.5	7.0	4.80	55.0	15.8		13.5	
Jh <sup>1</sup>	150	57-145	13.1	7.0	7.4		49.0	5.9		11.0	
Jh <sup>2</sup>	120	67-115	13.1	6.9	7.3	0.03	44.0	6.9		6.5	
Jj	105			6.7	6.9		46.0	70.2	0.5	4.5	1.21
Kf	浅		17.2	5.4	5.6		15.0	31.7	40.0	30.0	0.00
Kg	120	70-115	13.2	7.1	7.4		43.0	5.9		13.0	
Kh		42-48	12.1	7.0	7.1	5.37	38.0	5.2		8.0	0.08
Ki		50-60	13.0	7.1	7.2	0.98	42.0	5.9		2.2	0.32
Kj <sup>1</sup>	浅				6.1		13.4	16.0		18.5	
Kj <sup>2</sup>	浅		11.3	5.4	5.6		10.0	9.8	5.2	5.5	0.00
Lf	4.5		16.4	5.8	6.0		17.0	5.9	0.8	4.0	0.24
Lg	浅		11.5	5.8	6.4		12.5	9.9		56.0	
Lg	120	59-109	11.0	6.9	7.3		28.0	6.6		26.5	
Lj		21-79			6.3		16.4	16.7		16.8	
Mg	4.5		15.7	5.6	5.8		16.0	6.3	1.5	92.0	0.00
Mh	7.0		14.1	4.9	5.0		2.0	5.6	4.0	76.0	0.34
Mi		61-78	13.9	7.0	7.2	4.06	48.0	6.2		3.8	0.45

\* 米沢市 (1965) による

\*\* 岸 和男ほか (1974) による

\*\*\* 藤田延男 (1975) による

び、それに連続する扇端部の浅い被圧地下水と、その付近の深い被圧地下水についての関係についても、きわめてわずかであるが認められる。盆地北部には Na<sup>+</sup> が 50

ppm以上で水質組成が炭酸水素ナトリウム型を示す被圧地下水が、数点認められる。これらの井戸のうち 3 本は、新第三紀層の砂岩あるいは凝灰岩にストレーナーが

流水水質分析結果

アンモニア NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ppm	ナトリウム Na <sup>+</sup> ppm	カリウム K <sup>+</sup> ppm	鉄		マンガン Mn <sup>2+</sup> ppm	カルシウム Ca <sup>2+</sup> ppm	マグネシウム Mg <sup>2+</sup> ppm	全硬度 (CaCO <sub>3</sub> ) ppm	ケイ酸 SiO <sub>2</sub> ppm	リン P ppm	酸素消費量 (COD) oppm	備考
			total Fe ppm	Fe <sup>2+</sup> ppm								
	6.2	1.3	0.38			10.5	3.9					
	6.2	0.9	1.97			12.0	9.1					
	7.0	1.0	0.57			3.3	2.1					
	12.0	2.0	0.05			8.4	3.2					
	4.8	0.3	0.04			5.0	2.3					
0.22	9.0	1.1	0.11	0.00	0.0	14.0	1.9	40.6	12.0	0.01	0.81	*
	5.3	1.0	0.15	0.04	0.19	20.0	2.7					**
	4.6	0.7	0.22	0.22	0.07	6.5	1.0					**
0.00	4.5	0.5	0.08	0.05		4.5	1.9	19.7	11.0		3.16	*
0.45	7.5	1.9	12.00	1.08		35.9	5.3	112.0	37.0		2.56	*

水質分析結果 (その1)

ナトリウム Na <sup>+</sup> ppm	カリウム K <sup>+</sup> ppm	鉄		マンガン Mn <sup>2+</sup> ppm	カルシウム Ca <sup>2+</sup> ppm	マグネシウム Mg <sup>2+</sup> ppm	全硬度 (CaCO <sub>3</sub> ) ppm	ケイ酸 SiO <sub>2</sub> ppm	リン P ppm	酸素消費量 (COD) oppm	備考
		total Fe ppm	Fe <sup>2+</sup> ppm								
8.5	1.9	0.21	0.08		17.3	3.0	56.5	15.5		2.84	*
15.1	0.8	0.06	0.06	0.00	8.2	3.0					**
15.4	1.8	0.02	0.02	0.00	19.0	5.0					**
11.0	1.4	1.31	0.61	1.60	20.4	5.5					**
11.2	1.0	0.02	0.02	0.00	17.9	5.0					**
6.3	0.9	0.01	0.01	0.00	11.0	4.3					**
8.2	1.2	4.04	2.26	0.00	6.4	2.3					**
43.5	2.5	3.05	1.38		16.6	4.4	60.5	60.0		3.67	*
16.1	9.8	0.14	0.02		18.2	7.0	75.2	24.0		3.95	*
5.3	0.9	0.01	0.01	0.00	11.8	3.5					**
5.8	0.8	0.06	0.06	0.0	9.1	2.7	33.8	43.0	0.04	0.19	*
6.9	1.1	1.16	1.10	0.0	7.4	2.6	29.1	48.5	0.03	0.46	*
9.9	6.8	tr			3.5	2.6					***
5.5	0.7	0.03	0.02		5.3	1.7	20.7	15.0		0.59	*
5.5	0.2	0.57	0.21		3.8	1.5	15.6	16.0		2.09	*
7.0	1.0	0.02	0.02	0.00	18.6	5.3					**
5.8	1.0	0.43	0.01	0.02	13.6	3.5					**
5.6	1.8	tr			9.7	3.3					***
6.0	2.0	1.47	0.14		32.6	6.1	108.0	28.5		0.98	*
5.6	1.7	0.01	0.01		25.3	4.5	83.2	22.0		0.59	*
7.1	0.8	0.08	0.08	0.0	10.8	2.5	37.3	37.0	0.03	0.05	*

井戸深度欄 浅—浅井戸で深さ不明のもの、おおむね15m以浅。

ストレーナー位置欄 ストレーナーの最上端と最下端を示したもので通常はこの間を数層に分けて切つてある。

第 3 表 米 沢 盆 地 地 下 水

位 置 記 号	井戸深度 (m)	ストレー ナー位置 (m)	水 温 (°C)	pH	RpH	溶存酸素 O <sub>2</sub> mg/l	アルカリ度 M <sup>-</sup> ml/l	塩 素 Cl <sup>-</sup> mg/l	硝 酸 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l
Ai		54-120	13.3	6.6	7.8	4.18	1.54	22.2	0.61
Bh		51-65	15.4	6.6	7.8		1.92	9.7	0.09
Bi		61-78	15.0	7.2	7.8		2.95	18.9	0.01
Cd	60		17.0	7.3	7.8	0.49	1.53	6.8	0.00
Cj	200		27.4	9.0	8.0		2.07	5.4	0.00
Cm	C		30.0	8.4	8.4	3.72	0.78	6.6	0.00
Dd	600		20.5	7.2	8.2		4.80	55.6	0.00
De	140		28.4	7.6	8.2	0.99	2.87	90.3	0.00
Dg	70		20.0	6.8	7.6		2.26	12.7	0.00
Dh		95-135	20.5	7.1	8.0	0.33	2.17	50.0	0.00
Ed		45-78	14.5	6.2	7.8		2.40	10.2	0.00
Eg		142-158	23.0	6.8	7.9		2.49	6.5	0.00
Ei	140		19.2	7.3	8.0	8.42	1.33	36.1	0.00
El		33-89	14.5	7.0	7.4	2.68	5.16	38.3	0.00
Em		18-95	16.0	6.4	7.4		0.74	18.1	0.00
Fc		35-95	15.4	6.7	7.6	1.09	2.04	14.4	0.00
Fe	76		17.0	6.9	7.8		2.04	10.8	0.00
Fg	130		16.4	7.3	7.8	3.76	1.37	8.2	0.00
Fh		126-132	14.0	6.9	7.5		1.17	11.2	0.02
Fi		39-100	18.0	6.8	7.2		1.07	31.7	0.03
Fl		35-94	15.7	6.8	7.8		2.25	90.5	0.00
Fn		10-42	12.6	6.1	7.2		0.46	6.9	0.00
Gl	90		13.0	6.6	7.6		1.76	12.8	0.00
Gd	71		13.4	7.0	7.8	2.31	2.99	12.7	0.00
Gg		28-118	13.2	7.2	7.6		1.27	14.4	0.00
Gj <sub>1</sub>		21-65	16.6	6.5	7.4		1.59	36.8	0.00
Gj <sub>2</sub>	C		17.7	6.9	7.5	2.00	0.90	5.9	0.00
Hb	100		11.7	6.9	7.6	6.44	0.83	4.5	0.00
Hf	浅		12.0	5.8	7.2	2.16	0.66	42.7	0.00
Hg	浅		11.5	7.0	7.8	0.96	1.31	11.9	2.84
Hh		120-137	18.4	6.7	7.2		0.46	5.2	0.36
Hj	C		14.0	6.4	7.4	1.94	0.84	10.1	0.04
HI	浅		17.3	6.6	7.4	2.86	0.62	11.4	0.00
Ig	浅		19.5	6.6	7.5	5.34	0.61	6.9	0.16
In	浅		14.2	5.4	7.1	3.10	0.29	2.4	0.00
Mg		33-45	14.6	6.6	7.1		0.47	5.2	0.21

仙台通商産業局 (1975) による

## 山形県米沢盆地における水理地質 (岸 和男・菅野敏夫・永井 茂)

## 水 質 分 析 結 果 (その2)

硫 酸 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	アンモニア NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	ナトリウム Na <sup>+</sup> mg/l	カリウム K <sup>+</sup> mg/l	鉄 Fe mg/l	カルシウム Ca <sup>2+</sup> mg/l	マグネ シウム Mg <sup>2+</sup> mg/l	全硬度 CaCO <sub>3</sub> mg/l	ケイ酸 SiO <sub>2</sub> mg/l	リン酸 PO <sub>4</sub> mg/l	酸 素 消費量 COD mg/l
14.8	0.00	18.7	2.5	1.5	22.0	8.5	90.0	15.1	0.05	0.41
1.7	0.02	19.4	1.3	13.4	12.7	7.2	61.6	23.4	0.09	1.76
1.7	0.05	45.6	1.6	2.3	19.3	0.3	74.6	17.9	0.44	2.64
0.0	0.89	22.6	2.2	0.71	7.0	3.0	29.7	27.4	0.21	0.70
2.9	0.00	51.0	1.0	2.2	0.8	0.0	2.0	18.8	0.07	0.70
13.2	0.00	26.6	0.6	0.05	2.7	0.04	6.8	11.6	0.02	0.36
2.1	1.2	91.4	1.6	4.0	21.0	8.6	86.1	23.5	0.71	3.09
2.1	1.01	93.2	2.1	0.84	14.9	3.9	53.1	21.9	0.21	1.83
0.0	4.4	23.1	8.6	8.3	13.2	7.2	62.5	27.0	0.49	4.04
0.0	2.16	47.2	2.5	1.7	13.0	6.1	57.4	27.3	0.35	2.89
1.2	5.0	31.6	4.1	18.3	2.7	5.9	31.0	26.4	0.08	3.48
3.3	3.8	26.1	1.8	3.1	14.4	5.8	59.6	25.2	0.17	2.46
0.8	0.39	35.1	1.2	0.37	9.5	3.5	38.0	16.2	0.12	0.99
0.8	3.12	98.0	1.7	3.8	19.1	7.2	77.4	17.7	0.19	5.50
18.9	0.00	16.0	0.6	0.18	12.0	5.8	53.7	8.9	0.23	0.15
0.2	0.72	41.6	8.5	2.8	3.3	1.4	14.1	31.1	0.36	1.72
2.1	0.93	24.5	0.4	1.8	13.4	5.0	54.1	20.9	0.56	1.76
1.7	0.09	17.2	1.0	1.2	9.3	3.5	37.5	17.2	0.14	1.05
2.5	1.2	16.1	1.3	3.8	6.8	4.0	33.5	21.2	0.18	1.44
2.1	0.82	26.3	1.3	4.9	8.8	0.2	35.1	26.9	0.52	0.98
17.7	2.4	65.0	1.7	6.6	25.2	6.4	89.2	19.4	0.13	2.86
11.9	0.00	7.4	0.4	0.09	11.4	1.7	35.4	5.0	0.08	0.08
1.2	1.4	23.7	0.6	12.8	9.1	7.2	52.2	19.9	0.11	0.93
1.2	1.29	38.0	1.6	3.7	13.6	8.1	17.2	18.9	1.20	1.47
2.9	0.03	10.2	0.2	1.2	15.5	5.0	59.1	15.7	0.49	0.31
2.1	1.4	30.3	2.1	0.96	6.6	6.2	41.9	29.0	0.19	3.06
2.9	0.00	15.5	0.6	0.07	5.3	1.9	20.9	16.3	0.02	0.29
3.7	0.00	9.8	0.8	0.21	5.4	3.0	25.8	23.9	0.04	0.11
17.3	0.01	10.1	1.1	0.00	18.0	1.4	50.6	13.1	0.03	0.10
10.7	0.01	9.9	1.0	0.00	17.2	5.4	65.3	18.3	0.04	0.16
23.5	0.00	6.6	7.0	0.09	12.8	4.5	50.2	15.7	0.09	0.05
1.7	0.00	1.11	0.7	0.09	9.0	3.0	35.0	11.2	0.02	0.35
10.7	0.01	9.0	1.3	0.00	11.7	5.7	36.5	13.7	0.01	0.30
10.7	0.25	5.3	1.9	0.18	12.8	0.89	35.5	6.9	0.05	1.69
6.6	0.01	4.5	1.1	0.01	6.4	0.98	20.0	10.4	0.03	1.81
28.3	0.00	7.9	1.1	0.09	16.2	4.7	59.4	12.9	0.05	0.15

切つてあるが、そのほかの井戸はこれらに達していない。砂岩あるいは凝灰岩に達していない井戸で  $\text{Na}^+$  が 50 ppm 以上を示す地下水は、井戸深度に対する水温が異常に高いものも含まれ、これらの地下水は新第三紀層あるいはそれよりなお深部の地下水の影響を受けていると考えられる。

文 献

- 半沢正四郎・皆川信弥・清水貞雄・安達透吉 (1958) 置賜盆地天然ガス調査報告。山形県天然ガス調査報告書, 山形県, p. 243-275.
- 岸 和男・菅野敏夫・後藤隼次 (1974) 米沢市地下水調査報告書。米沢市, 19 p.
- 蔵田延男 (1975) 米沢八幡原中核工業団地地下水調査報告書。日本工業用水協会, 46 p.
- 仙台通商産業局 (1975) 米沢市周辺地域地下水利用適正化調査報告書, 156 p.
- 山形県 (1960) 20万分の1山形県地質図。
- (1965) 米沢市の地下水, 71 p.
- (1973) 米沢東工業団地地下水調査報告書, 13 p.
- (1973) 地下水対策資料, 第1号, 25 p.
- 神保 恵ほか13名 (1970) 5万分の1地質図幅「米沢一関」および同説明書。山形県, 39 p.
- ほか16名 (1972) 5万分の1地質図幅「赤湯」および同説明書。山形県, 18 p.

(受付: 1978年5月1日; 受理: 1978年5月15日)