

阿賀野川水系，早出川扇状地の地下水

尾崎 次男* 後藤 隼次**

Groundwater in Hayadegawa Fan Deposits,
Niigata Prefecture

Tsugio OZAKI and Hayaji GOTO

Abstract

The Hayadegawa fan is situated in the southeast of Niigata city, which is the composite alluvial fan comprising materials derived from Agano and Hayade rivers. There are about 2,000 artesian wells in the lowlands northwest of the fan, which supply 5,700 cubic meters per day of groundwater for domestic use. Besides, the groundwater is pumped up from wells for public water supply, agricultural and industrial uses. An average total amount of the water exceeds 10,000 cubic meters per day.

The piezometric surface of the artesian groundwater in this area has lowered gradually since the times of drilling the wells and turned rapidly since 1963. Judging from the results of observation for the wells, it is inferred that the groundwater levels in this area lowered from 0.8 to 1.2 meters in 1959-1972.

1) The principal aquifers in the fan are composed of the gravels and sands of Recent and Pleistocene, and are confined by impermeable thick clay beds.

2) The potential of artesian groundwater flowing is higher in the NW-SE directions than in other directions.

3) Recharge to the groundwater is mostly from precipitation and partially from streams and paddy fields.

During this investigation, the maximum quantity of seepage from the Hayade river is estimated at 1.06 cubic meters per second, and that from the fan at 0.43 cubic meters per second. But most of seepages appear as fan-sloping springs.

4) The amount of recharge to artesian groundwater from the surface-water is estimated at about 6,000 cubic meters per day in summer. The rapid lowering of the piezometric surface of the artesian groundwater is due to the overdraft of flowing and pumping wells gradually increased.

要 約

本報告は〔水の浸透流動機構に関する研究として〕阿賀野川水系の早出川扇状地を対象とし、主として被圧地下水の流動方向と補給位置、および扇状地における地表水からの補給量の概量を推定するため、豊水期・低水期および渇水期にそれぞれ実施した地下水調査研究結果を述べた。さらに、五泉市街付近にみとめられる自噴帯の

規模縮小の原因について、本調査研究結果と地下水位の経年観測記録とをもとに検討し、考察した。

1. 被圧地下水の流動方向および補給位置を推定するため、1) 掘抜井の深度分布、2) 自噴量から推定した被圧地下水の等静水圧面、3) 水比抵抗の測定、4) 水質分析などを実施した。これらの結果では、それぞれ類似性がみとめられ、自然状態における被圧地下水は主として扇状地の南東から北西に向かって流動しており、その主な補給位置は扇頂および扇央付近と推定された。また、扇端付近で被圧地下水を大量に汲みあげた場合、揚水井に向か

*応用地質部
**技術部

う地下水の流れは南東から北西方向および北東から南西に向かう方向が他方向にくらべて強く作用している。

2. 地表水からの伏没量は、早出川では矢津地先から三の宮地先までに、最大 $1.06 \text{ m}^3/\text{sec}$ であった。また、扇頂付近のI地区における伏没量は最大 $0.23 \text{ m}^3/\text{sec}$ であった。これらの量は地下にそれぞれ伏没浸透し、自由面地下水および被圧地下水の補給源となるが、一部は扇端付近で湧泉として地上に再現する。

3. 被圧地下水盆における自噴帯の規模縮小の原因については、自然のおよび人為的な要因が考えられる。現在までの自噴帯の変動態様については、次のような初期（掘抜井掘さく当時から昭和34年）・中期（昭和35年～昭和38年）および後期の（昭和39年以降）の3段階として考察できる。

1) 掘抜井の数が少なかった初期段階では、被圧地下水盆における静水圧面の上昇および下降の変動は降水量の多寡に相関していた。静水圧面の勾配が比較的緩やかな部分では、降水が少ない期間には自噴量の減少あるいは自噴停止の状態が生じた。しかしこのような状態は一時的現象であって、豊水期には、地下水補給量の増加により再び自噴した。

2) 掘抜井の数が次第に増加した中期段階では、自噴量の増加と一時的に自噴停止の状態が生じた地区における小規模揚水井の増加による揚水量の増加に伴って、地下水盆の静水圧面が全体的に次第に低下した。この段階における静水圧面の昇降は、なお降水量の多寡に相関していた。しかし、地下水盆の縁辺部とくに扇状地の扇端付近の限られた地区に、小規模揚水井が密集するようになり、これら小規模揚水の影響が井戸の水位に相互に干渉して、静水圧面の低下を促進させるような結果となった。しかし、この段階では、これまで自噴が停止した地区でも、豊水期になると地下水補給量の増加により一時的な自噴が生じた。

3) 同一帯水層中に揚水井を掘さくし、長期的な継続揚水が行われるようになった後期段階では、地下水の取得に伴う水頭低下の影響が揚水井の周辺地区に波及するようになった。この低下量は、これまでの降水量の多寡による変動量よりも、はるかに大きいため、観測井における観測記録の水頭変動では見掛上降水量と相関しない。

揚水による水頭低下は揚水井を中心とした四周に波及するが、扇端付近ではとくに低下がいちじるしく、昭和34年から昭和47年まで13年間の静水圧面低下量は $0.8 \sim 1.2 \text{ m}$ に及んでいる。

4. 五泉市市街に認められる自噴帯は、静水圧面の勾

配が比較的急な部分、すなわち扇端付近から平野部の間に帯状に存在する。自噴帯の中心付近における圧静水面の高さは、なお地表から 1 m 以上にあることから、次第に自噴帯は、その規模を縮小しながらも、今後とも存続すると思われる。しかしながら、次第に大規模揚水井が開発され、被圧地下水が大量に汲みあげられれば、自噴帯の規模の縮小を急激に促進することになる。

自噴帯の規模を現状程度に維持するためには、被圧地下水の大量開発には慎重な考慮が必要である。

1. ま え が き

五泉市は阿賀野川および早出川が形成した複合扇状地にあり、古くから、その名が示すように清冽な地下水に恵まれていた。ここでは深度 $30 \sim 60 \text{ m}$ の掘抜井によって自噴性地下水が得られるので、簡便な水源として一般家庭の生活用水に供されていた。

ところが、第2次大戦後の急速な産業の発展に伴って、地下水は生活用水のみでなく、工業用、かんがい用および上水道などの水源として開発されるようになった。

五泉市およびその付近の地下水については昭和33年に新潟県（1958）が実施した調査研究がある。この報告によれば、これまで五泉市街地を含む一円に分布する被圧地下水が自噴していた地域（以下自噴帯という）では、自噴量の減少および一部に自噴の停止が生じ、自噴帯の範囲が従来にくらべて次第に縮小するに至った。この原因としては、自然湧水あるいは地下水利用量の増加などをあげている。さらに、この自噴帯は早出川伏流帯と地質的・水理的に重要な関係があると指摘している。

筆者らは、早出川扇状地を対象とし、地下水の流動・地下水の補給および被圧地下水の圧力面の低下などについて調査研究した。

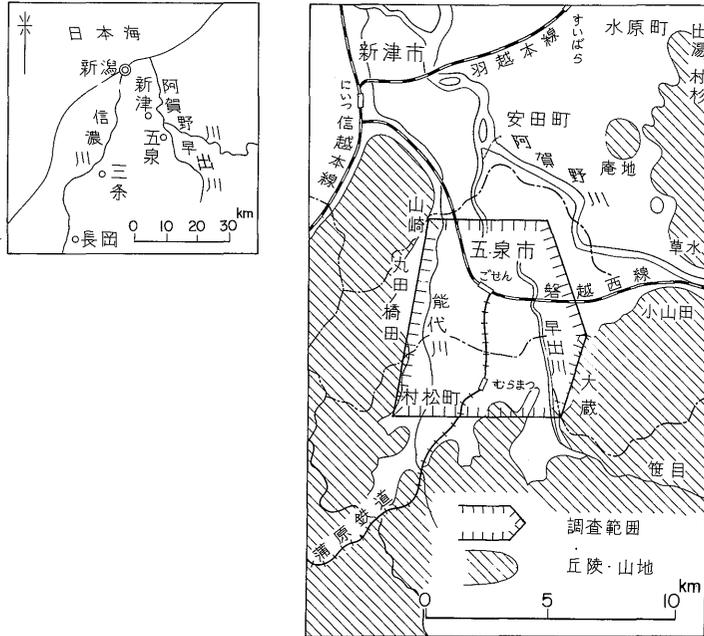
この報告は、これらの調査結果について述べているほか、その結果にもとづいて総合的な考察を行った。

現地調査に際して、種々御協力を頂いた新潟県企業局および五泉市水道課の関係各位に対し深くお礼申し上げます。

2. 調査範囲および期間

2.1 調査範囲

地下水の調査範囲は五泉市および村松町の一部を含む面積約 48 km^2 であるが、水質分析は第1図に示した調査範囲の北東にあたる阿賀野川兩岸付近の安田町にまで及んでいる。さらに、河川流量測定は図かくの南東にあたる村松町笹目より上流地点まで実施している（第1図）。



第1図 調査範囲

2.2 調査期間および担当

地下水一般調査・早出川流量測定および揚水試験……昭和40年8月24日～9月4日……尾崎次男

早出川扇状地における地表水の流量測定および揚水試験……昭和40年11月11日～11月22日……尾崎次男

早出川扇状地における地表水の流量測定および揚水試験と地表水および地下水の水質分析……昭和41年7月27日～8月9日……尾崎次男・後藤隼次

3. 水文および地質の概況

3.1 地形・地質の概況

調査地付近は，地形的に東部山地・中央低地，西部丘陵に区分できる．地域を構成する地質は，新潟県(1958)によると地域外の月岡・出湯・村杉を通して草水で阿賀野川をわたり，地域の東部山麓の小山田・幅・大蔵を通して，早出川を横切り，さらに南に進んで南蒲原郡森町にのびる地質構造線によって，東部山麓地帯と西側の平坦地および丘陵とは画然と区別されている．

東部山地は，粘板岩・砂岩・珪岩・石灰岩などの古生層とこれを貫く花崗岩・石英粗面岩類が広く分布している．

西側の平坦地および丘陵は第三紀層とその上に累重する洪積層・沖積層からなっており，新津油田を形成している．また，丘陵の周縁には，山崎・丸田・橋田を通して南西にのびる断層がある．

五泉を中心とする扇状地は，その東西を前述の断層に

よって陥没した一大凹地の，主として第三紀層を基盤としたところに，阿賀野川・早出川等が土砂を搬入・堆積して成生した洪積層・沖積層からなっている．

早出川・能代川は西の構造線によって派生した凹地を流下し，扇状堆積を形成している．

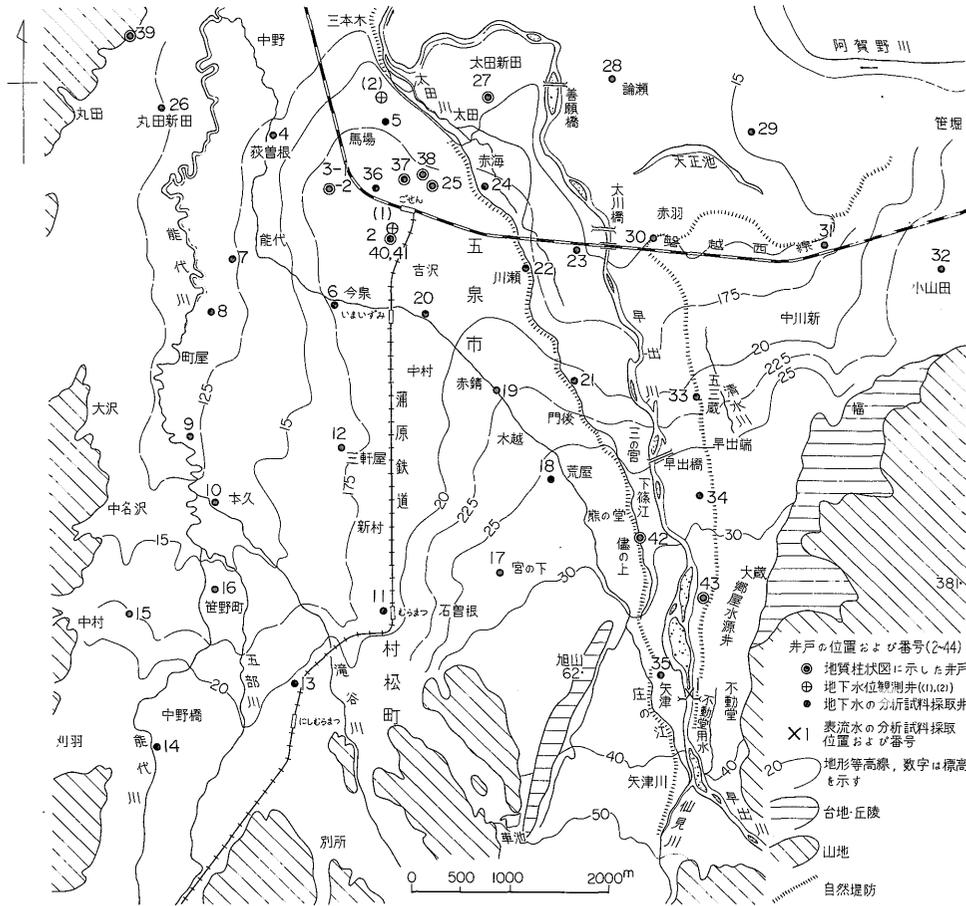
また，村松町南部の丘陵から五泉市街地の北西方にわたる新村・三軒屋・今泉の一带は鞍部をなして北西方にゆるく傾斜しているが，これは，下位の地質構造を反映しているのではないかと述べている．

3.2 降水量

五泉市三本木にある県養蚕試験場における過去10カ年の月別平均降水量と平均気温を第1表に示した．平均降水量が多い月は7月と12月および1月で，これらは梅雨および降雪の影響である．降水量が比較的少ないのは4月・5月および6月となっている．年平均降水量は957.6 mm となり，このうち4月から9月までの合計量は2,176.8 mm (44%)，10月から翌年3月までの合計量は1,219.2 mm (56%) を示している．年平均気温は13.6℃である．

3.3 河川

東部山地沿いに流下する早出川は，支流仙見川を合流してからは，北北西流する．これに対し，西部丘陵の東側を流れる能代川は笹野町で諸支流と合流してからは，いちじるしく蛇行しながら北流する．このような河川流路の特徴は地形・地質および流水の作用によるが，能代



第 2 図 早出川扇状地における地下水調査要図

第 1 表 五泉市における月別平均降水量と平均気温 (五泉市三本木養蚕試験所における昭和28年~昭和37年まで10カ年平均)

| 月 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|---------------|------------------|
| 降水量 (mm) (降雪量) | 253.5 (146) | 150.8 (71) | 160.6 (23) | 111.0 | 122.0 | 136.5 | 250.2 | 163.2 | 174.7 | 161.5 | 203.3 (0) | 289.5 (55) | 2,176.8 (295) |
| 平均気温 °C | 1.2 | 2.1 | 5.2 | 12.2 | 17.5 | 20.8 | 25.0 | 26.3 | 22.4 | 15.8 | 9.8 | 4.7 | 13.6 |

川は排水河川の性格を示す。村松町笹目測水所における早出川の15カ年平均の流況を示すと、最大流量は 150m³/sec、最小流量は0.99 m³/secであって、その比はおおよそ150 : 1を示し、笹目から上流の早出川は急流河川の性格を有している(第2表)。また、支流仙見川が合流する矢津川地先の早出川には、かんがい用の頭首工がある。この下流側にあたる河川敷の各所で、大規模な砂利採取が行われており、このために早出川の下流部では、いちじるしい河床低下が生じている。

3.4 地下水

早出川扇状地には自由面地下水および被圧地下水が広範に賦存する。扇状地の扇頂から扇中央付近では主として自由面地下水が、扇端から低地にかけては主として被圧

第 2 表 早出川の流況

(笹目測水所における15カ年の平均)
流域面積 103.0 km²
(新潟県, 1958)

| | 最大 | 豊水 | 平水 | 低水 | 渇水 | 最小 | 年平均 |
|---------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 流量 (m ³ /sec) | 150 | 13.2 | 7.09 | 3.72 | 1.59 | 0.99 | 11.2 |
| 100 km ² 当たり流量 | 139 | 12.2 | 6.56 | 3.63 | 1.46 | 0.93 | 10.3 |

阿賀野川水系，早出川扇状地の地下水（尾崎次男・後藤準次）

第3表 扇状地の規模
(新潟県, 1958)

| 河川名 | 扇頂標高 | 末端標高 | 扇状地勾配 | 流路延長 | 扇状地面積 |
|-----|------|------|-------------|-------|----------------------|
| 早出川 | 40m | 15m | 1/200~1/250 | 16 km | 23.5 km ² |
| 能代川 | 40 | 20 | 1/100~1/450 | 3 | 3.2 |

地下水が利用されている。

扇状地の末端に位置する五泉市街地には，多数の掘抜井があり，これにより被圧地下水を得ている。これら掘抜井の大部分では，地上に自噴する。

4. 水の利用概況

4.1 河川水の利用

早出川および能代川の表流水は，おもにかんがい用として，水路あるいは揚水機などにより高度に利用されている。また，扇状地の地形勾配が変わる川瀬付近では湧水が生じており，湧水はかんがい用・防火用などの維持用水および養魚用などに利用されている。

4.2 地下水の利用

扇状地の地下水は一般飲料のほか，かんがい用，工業用などに供されているが，使用量の全貌を把握することは困難である。この概量を示すと，早出川の右岸にあ

る早出端および中川新付近では，桑畠の水田化が行われており，100本をこえる浅井戸があって，かんがい期には，1.4~2.0(m³/sec)の地下水を取得するという。このほか，五泉市赤海付近の早出川下流にあたる左岸一帯でも，かんがい用として，大口径の浅井戸および集水渠によって地下水が大規模に利用されている。さらに村松町の上水道および工業用などの利用を見込むと，扇状地における自由面地下水の利用量は，最盛時に200,000 m³/dayに達するものと思われる。この地域では，かんがい用としての地下水利用が量的に多いが，かんがい期は4月から9月までであるが，かんがい期の全期間を通じて連続揚水することはない。

被圧地下水の利用量は，扇状地の扇端から低平地に分布する掘抜井の自噴量が5,760 m³/day^{注1)}，動力使用による揚水量は一般家庭・学校および営業用として800 m³/day，染色工業用として1,000 m³/day，五泉市上水道水源用として3,000 m³/day，合計10,500 m³/day程度と見込まれる。

五泉市は昭和29年に町村合併を行い，昭和40年7月現在では，戸数が7,603戸，人口は38,344人である。市の上

注1) 算出根拠は井戸数を2,000本とし，1井当りの自噴量を平均2l/分とした。昭和40年7月に測定した31本の自噴井における自噴量の合計は400l/分であった。

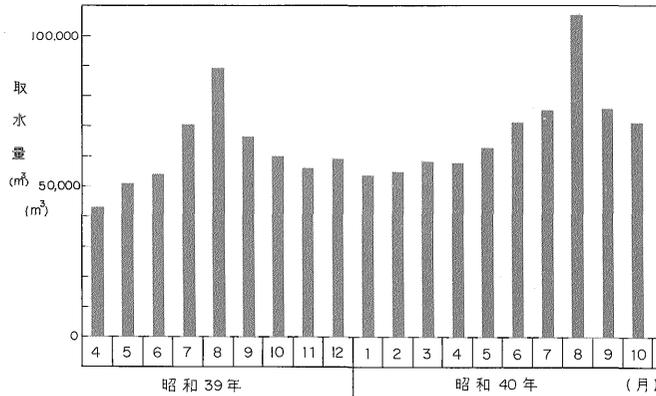
第4表 早出川扇状地における河水および湧水の利用（新潟県, 1958）

| 河川および湧水の別 | 左岸 右岸 | の別 | 用水・湧水名 | 位置 | 取水量 | 湧水量 | かんがい面積 | 備考 |
|-----------|----------|----|--------|--------|---------------------|---------------------|--------|-------------|
| | | | | | m ³ /sec | m ³ /sec | ha | |
| 早出川 | 右岸 | | 士洩用水 | 村松町士洩 | | | | |
| 同 | 同 | | 不動堂用水 | 五泉市不動堂 | 0.16 | | 20 | 1965.8.29測定 |
| 同 | 左岸 | | 庄の江 | 村松町矢津 | 1.80 | | 1227.0 | 1965.8.29測定 |
| 湧水 | 右岸 | | 五三蔵清水川 | 五泉市早出端 | | | 48.0 | |
| 同 | 右岸 | | 悪水利用 | 同上 | | 0.548 | 109.0 | |
| 同 | 右岸 | | 善願 | 五泉市善願 | | 0.197 | 50.0 | |
| 同 | 左岸 | | 下篠江 | 村松町高内 | | 1.644 | 568.4 | |
| 同 | 左岸 | | 太田川 | 五泉市川瀬 | | 0.327 | 161.7 | |

第5表 早出川扇状地における地下水利用

| 番号 | 井戸の所有者 | 井戸孔径 (mm) | 深度 (m) | 取水層の 位置 (m) | 揚水管径 (mm) | ポンプ馬力 (HP) | 揚水時間 (h) | 揚水量 (m ³ /h) | 静水位/揚水水位 (m) |
|----|----------|--------------------|------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|------------------------|
| 25 | 第一染工KK | 150 | 85 | 75~80 | 63 | 3 | 6~19 | | 0+/-1.80 |
| 36 | 新東染工KK | 200 | 80 | 58~72 | 50 | 2 | 5 | 自噴量 5 m ³ /h | |
| 37 | 共同製練染色KK | 150 | 120 | 80~90, 100~120 | 100 | 7.5 | 24 | 550~600 | |
| 13 | 市川染工KK | 上 2,500 下 2,000 | 8 | | 50 75 | 3 IP x 2 台 7.5 | 6 | 276 | /-5.20 |
| 2 | 五泉市 | 1号井 300 2号井 300 | 150 150 | | 200 250 | 19 kW 26 kW | 6~21 6~21 | 3,000 2,900 | 0+/-10.37 0+/-14.37 |
| 35 | 村松町 | 水源井 3,000 | 7 | | 125 | 40 IP x 3 台 | 6~21 | 最大 3,700 | |

注) 番号位置は第2図参照



第3図 五泉市吉沢浄水場における月別取水量

水道は被圧地下水を水源としており、昭和35年にひきつづき昭和39年に、それぞれ深度150mの井戸(1号井および2号井)を掘さくし、現在、両井を隔日交替で揚水して、常時3,000 m³/dayを取得している。

第3図に五泉市上水道の月別取水量を示した。この結果では、取水量は夏季に増大する傾向がみられるほか、水道の普及率および利用量などの増加が指摘できる。このため、五泉市では早出川右岸地区を対象として新水源井設置の必要に迫られ、昭和41年に五泉市郷屋付近に深度80mの水源井を新設した。

5. 地下地質と帯水層

調査地域では、得られた地質柱状図が少なく、さらに井戸深度が浅いため全域の地下地質の状況は明らかにできない。

五泉市街地には、昭和23年度に新潟県が実施した深度500mの天然ガス試掘井がある。

この結果と2, 3の工場用深井戸の柱状資料を検討した新潟県(1958)は地下地質の地層区分について次のような見解を示した。すなわち市街地では、地表から70mまでが沖積層、150mまでが洪積層、その下位が第三紀鮮新世の魚沼層相当層としており、これらの地層は、それぞれ下位の地層と不整合の関係にあるという。以下、新潟県(1958)を引用する。

沖積層 早出川のもたらす土砂が堆積生成したもっとも新しい地層であり、その分布・岩相・層厚などは、河川の営力・上流の地質、および堆積環境によって、大きな差異を示す。一般に扇頂部および山麓周縁部で層厚約10~30mを示すが、五泉市街およびその下流域では70mの厚さを有している。

早出川・阿賀野川流域では能代川に比べ、粗大な花崗岩質の砂礫層に富んだ岩相を示している。能代川流域の

山麓部には砂礫堆積物が分布しているが、下流部は粘土質・微砂質の堆積物からなっている。

洪積層 村松町旭山・安田町庵地の山麓周辺部および丘陵に露出している花崗岩質の砂礫層と粘土層の互層からなる。扇状地では沖積層の下位に厚く分布し、その下限深度は五泉および新津では150m以上に及び、良好な帯水層をなしている。

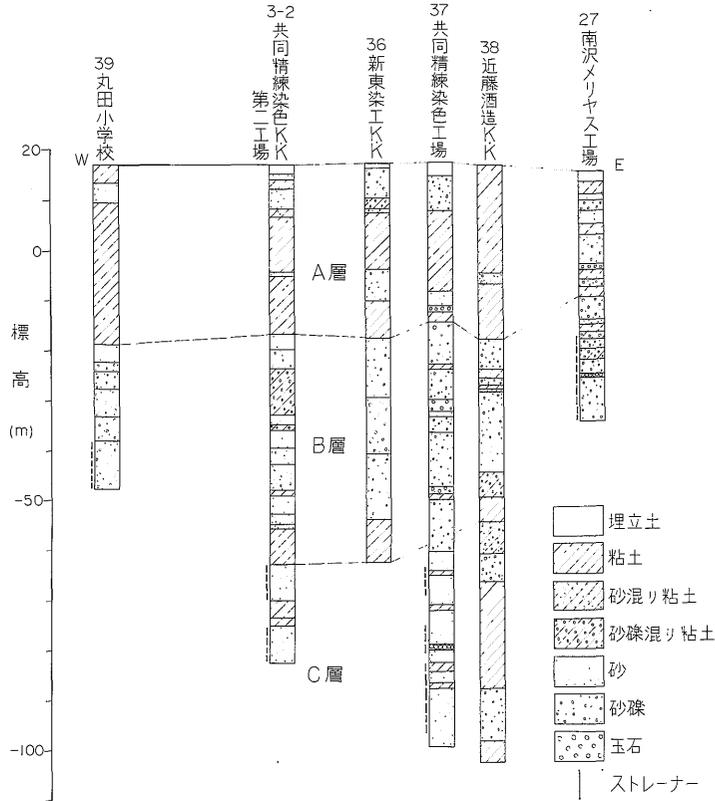
魚沼層相当層 五泉地区の地表下150m以深に厚く分布し(層厚300m以上)、砂礫層、粘土層の累層からなり大蒲原地区の丘陵を構成するが、東部山麓および早出川右岸地区では欠除しているものと考えられる。本層は良好な被圧地下水層をなしている。

本調査では、深井戸の地質試料の検討および十分な地表地質調査を行っていないので、地下地質の項については新潟県(1958)の報告によった。しかしながら、本調査中に入手した若干の地質柱状図によって五泉市街の西方から北東にかけての地下地質断面(第4図~第5図)が得られた。

図の結果から、けん著にみとめられる粘土層の下限深度を基準にし、A層、B層およびC層に分ける。

A層: 本層は-17m前後までの層準であって、厚さ1~6mの砂層あるいは砂礫層を挟在する厚い粘土層の分布で特徴づけられる。しかしながら、本層は早出川付近に至るに従い、粘土層が乏しくなり、砂礫などの粗粒堆積物が優勢となる。さらに本層は東方では浅くなる傾向がある。本層中、0~-10m層準に分布する砂層あるいは砂礫層は小規模な被圧帯水層を形成している。また、本層の下限に分布する厚い粘土層は被圧地下水の制限層として自噴機構に大きな役割を果たしている。本層は新潟県(1958)の沖積層の上部層に対比される。

B層: A層の下位にあつて、-60m前後に認められる粘土層までに堆積する地層である。本層は厚さ30~35



第4図 早出川扇状地における東西方向の地下地質断面

mの砂あるいは砂礫などを主とする粗粒堆積物で構成される。本層中の砂礫層は西方に至るにしたがって砂層などに漸移する傾向がある。本層中の被圧地下水は、五泉市街では一般生活用水として最も多く利用されている。本層は新潟県（1958）の沖積層の中部層および下部層に対比される。

C層：本層はB層の下位にあり，砂層と粘土層あるいは砂礫層と粘土層などの互層で特徴づけられる地層である。本層の下限深度はあきらかでないが，本層中の砂礫層は西方に至ると砂層などに漸移するようである。本層は新潟県（1958）の洪積層に対比される。

第5図に北西から南東方向の地下地質断面を示した。五泉市街では特徴ある厚い粘土層の下限でA層およびB層としたが，これらの粘土層は南東に至ると砂層に漸移したり，あるいは薄層の粘土層となり，なお，さらに南東に至ると厚い砂礫層に漸移するもようで，それぞれの境界は判然としない。

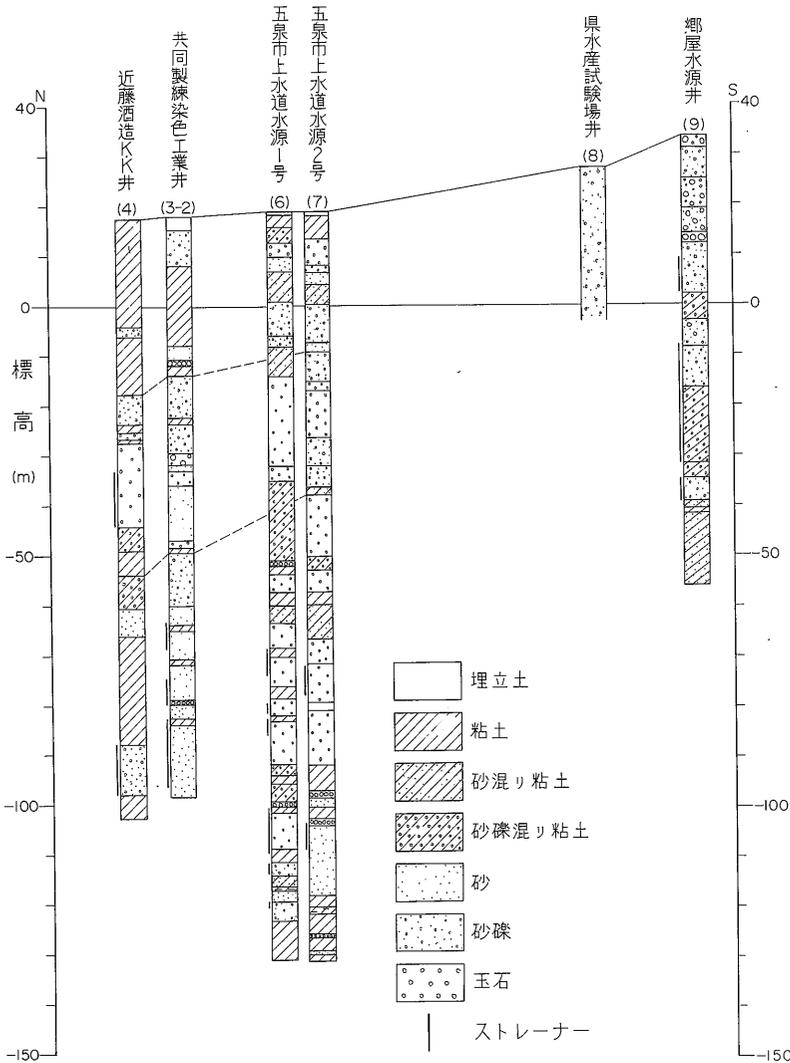
第4図および第5図によると扇頂部および扇中部の地地質は，砂礫を主とする粗粒堆積物の厚層で構成されるが，北西に至るに従い砂および粘土などの細粒堆積物に

漸移し，平野部にかけては連続した粘土層が発達する。また，東西方向についても，礫などを主とする粗粒堆積物が西方に至るに従い細粒となる。これらの地層は全体として西方あるいは北西方向に傾斜するもようである。

五泉市街および平野部に分布する掘抜井群は，その大部分がA層の下限あるいは砂礫層の被圧地下水を対象としている。掘抜井の材質は，その大部分が竹であって底部から収水している。したがって掘抜井の深度分布から大略のA層の下限深度を知ることができる。こうして推定したA層の下限深度を第6図に示した。これによると，A層は扇状地の扇端部付近から能代川沿いの平野部に広く分布しており，さらに，本層は扇端部付近の南東から北西に向かって1：60前後の勾配で深くなるようである。

本地域の被圧地下水を考察する場合，制限層としての粘土層の分布および被圧地下水のあり方を明らかにすることはきわめて重要である。

すなわち，扇端付近および平野部における被圧地下水は，A層・B層およびC層などの各層準に賦存する。しかも，帯水層である砂礫層の上下には不透水性の粘土層

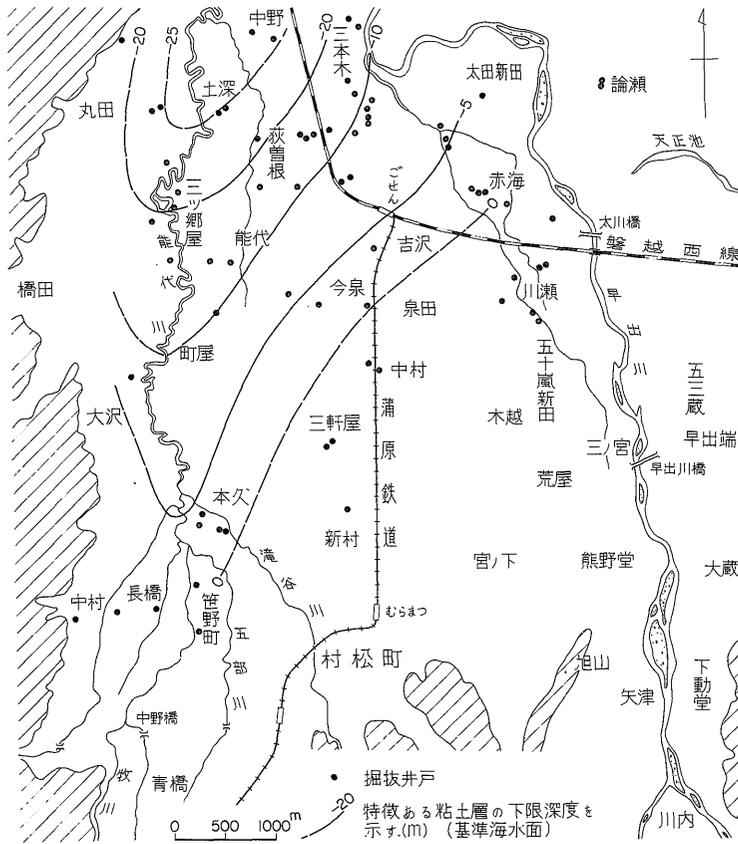


第5図 早出川扇状地における南北方向の地下地質断面

が介在しており、各帯水層中に含まれる被圧地下水は、それぞれ上下の帯水層中に含まれる被圧地下水と無関係に存在しているように見える。しかしながら、この関係は南東方向の扇中央部および扇頂付近では、明瞭な不透水層である粘土層は存在しないばかりか、透水性の厚い砂礫層に漸移する可能性がある。したがって、扇中央および扇頂付近の降水および河川・湛水田などの地表水が、地表下にある厚い砂礫層中に浸入して一連の地下水となり、さらにこの地下水が流動して、扇端付近では上下を粘土層で隔絶された帯水層の透水性および動水勾配に応じて浸入し、それぞれの被圧地下水を形成するものと考えられる。

6. 地下水の流動

被圧地下水の流動を推定するには、1) 地下地質の形状および帯水層の連続性をあきらかにし、その地層勾配から流動方向を推定する地質学的方法、2) 被圧地下水の静水頭および帯水層の渗透係数の測定など地下水学的方法、3) 被圧地下水の電気伝導度測定による方法、4) 被圧地下水の水質分析による方法、5) トリチウム濃度測定による方法、などが考えられる。しかし、たとえすぐれた方法であっても、実施が困難な場合とかあるいは得られた資料が十分でない場合が少なくない。このため、実地調査に際してもっとも容易な測定方法がのぞま



第6図 掘抜井の深度から推定したA層中の粘土層の下限等深線

れるわけである。ここでは、扇状地における被圧地動および供給経路を推定するため、1) 掘抜井の分布および地下水の流深度、2) 自噴量の測定、3) 水比抵抗の測定、4) 水質分析などの調査を実施した。さらに、被圧地下水を大量に揚水した場合における流動および供給経路を推定するため揚水試験を実施した。

6.1 掘抜井の深度

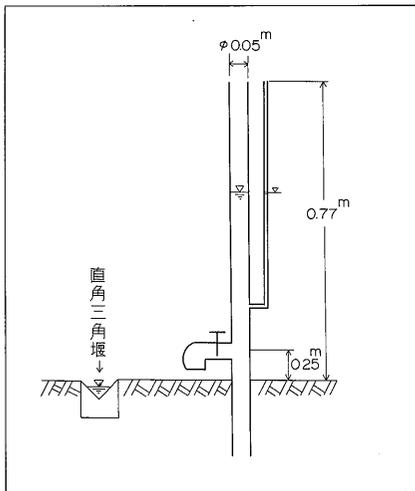
五泉市および村松町の一部では、B層中の被圧地下水がもっとも利用されている。すでに述べたように本層の上位には厚い粘土層が存在し、これが地下水の制限層として自噴機構に寄与しているから、掘抜井の深度がおおむね粘土層の下限深度を示すものとみて差支えない。粘土層の等深線を示した第6図の傾向では、粘土層は扇端付近で主として南東から北西方向に1:60~1:110の勾配で深くなっている。

6.2 被圧地下水の静水圧面の推定

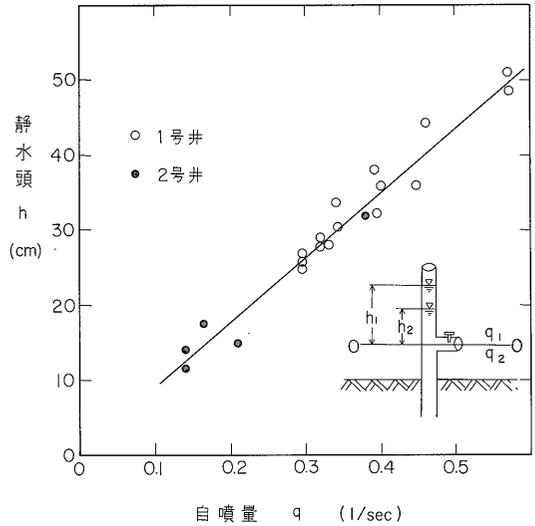
扇端付近から平野部にかけての掘抜井は大部分が自噴している。掘抜井の材質は大半が竹であるため、その老

朽の度合によって破損することもあるので、井戸個々についての静水頭測定は甚だ困難である。ここでは主として自噴量を測定し、自噴量と静止水頭の関係から静水圧面の形状を推定した。

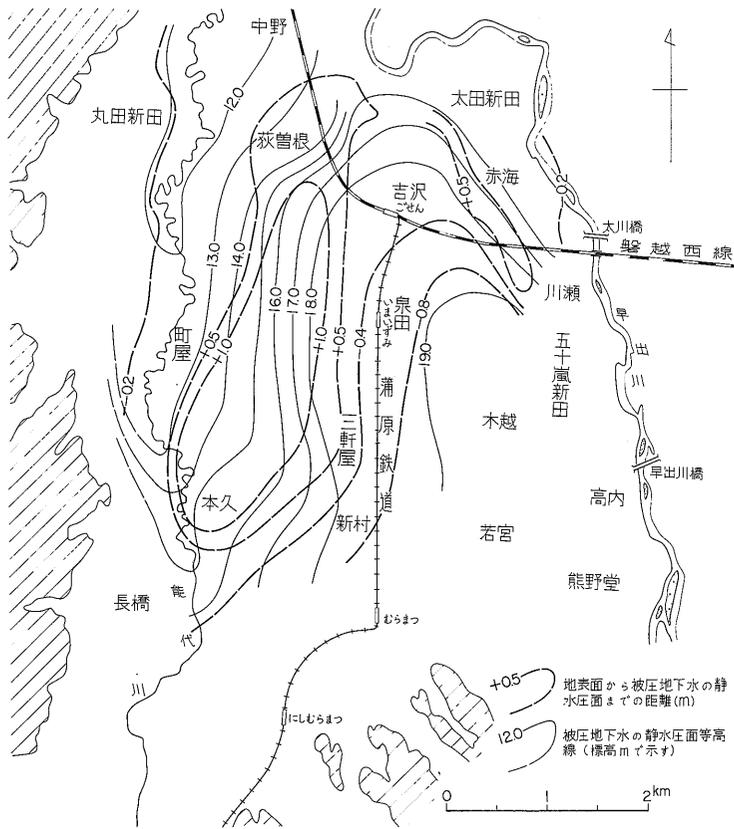
五泉市吉沢（G.S 1号）および五泉市小学校（G.S 2号）にある孔径50 mm、深度40mの井戸は、地質調査所の依頼観測井となっており、昭和34年7月以来静水頭の継続観測を行っている。観測井の位置は第2図に示してある。また、観測井における観測装置は第7図に示すように、静水頭の測定と同時に自噴量が測定できる。これらの測定値から自噴量と静水頭の関係を第8図に示した。図の結果ではかなりバラツキがみとめられるが、自噴量と静水頭とは、おおよそ図に示した直線的な関係で変化するもようである。自噴井の孔径は大部分が50mm程度である。したがって、第8図に示した直線関係を適用すれば、孔径が同一規模の掘抜井における自噴量の測定からおおまかであるが吐出口中心から上位の静水圧面までの高さが推定できる。



第7図 地下水位観測井における被圧地下水の静水頭および自噴量の測定装置



第8図 観測1号井および観測2号井における被圧地下水の静水頭と自噴量の関係



第9図 早出川扇状地における被圧地下水の静水頭等値線および静水圧面等高線

上述した方法と自噴停止井において一部実測した結果により、被圧地下水の静水圧面等高線および地表面から静水圧面までの距離を示す等値線を第9図に示した（第9図参照。図中等値線が正符号の場合は自噴を示す）。

第9図にみられるように、地表面から静水圧面までの距離が比較的大きいのは、五泉市街の泉田西方で荻曽根付近から本久付近にかけて靴底状を呈する地区と、赤海付近から川瀬にかけて帯状を示す地区である。

また、被圧地下水の静水圧面等高線の形態は、おおむね扇状地の地形に類似する傾向があり、その動水勾配は概して扇中央付近で緩やかで（1:1,100~1:1,500）、扇端付近では急になり（1:150~1:400）、さらに平野部に至ると再び緩やかとなる（1:200~1:400）ようである。自噴帯は動水勾配が比較急な扇端付近を中心にした地区に生じている。この地区では静水圧面が全体的に低下すると自噴量の減少としてあらわれるが、動水勾配が緩やかな地区では僅かな水面低下が自噴停止として

示される。

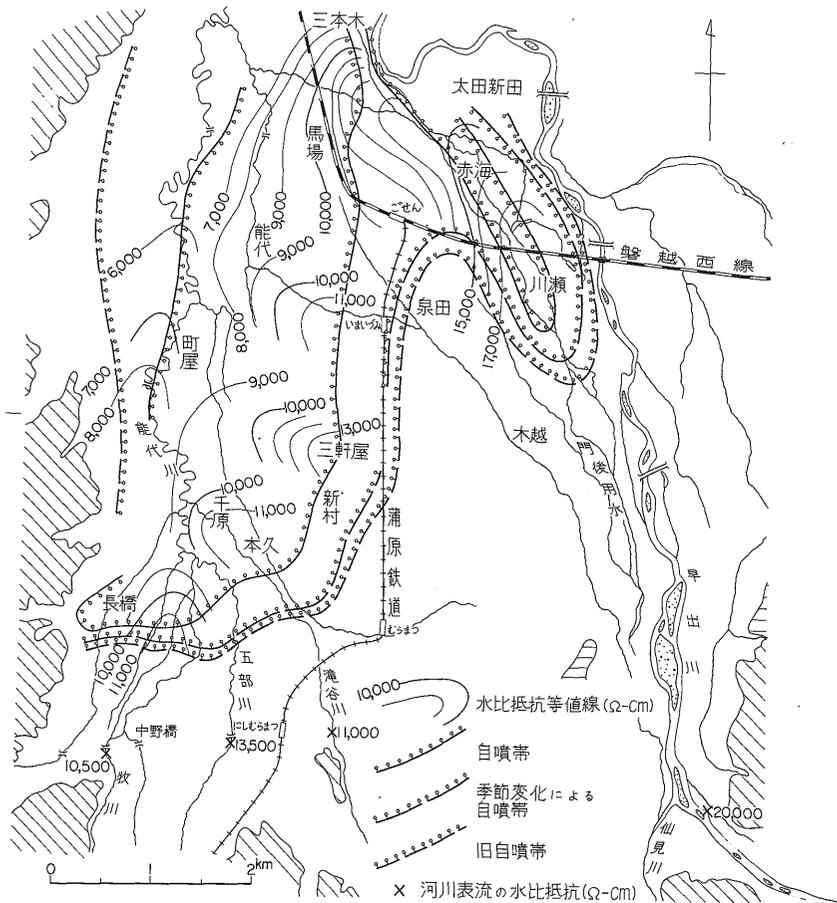
被圧地下水が静水圧面等高線に向かって直交して流動するものとすれば、流動の方向を南方および東方に延長すれば、その交点は扇中央部の木越付近となる。したがって扇状地のから推定される被圧地下水の地理的供給位置で、第9図扇中央および扇頂付近と考えられる。

6.3 被圧地下水の水比抵抗

主として五泉市および村松町に分布する掘抜井群を対象として被圧地下水の水比抵抗を測定し、この結果を第10図に示した。

測定結果では、水比抵抗の値は17,000~6,000Ω-cmの範囲にあり、その値は扇状地の扇端付近が高く、北方および北西方の平野部に向かって次第に低くなる傾向がある。

例えば川瀬付近における被圧地下水の水比抵抗は17,000Ω-cm台を示すが、赤海・太田付近に至ると15,000Ω-cmと低下し、その下流側の馬場・三本木付近に至ると



第10図 被圧地下水の水比抵抗と自噴帯

10,000Ω-cm台となる。さらに三本木付近から中村付近までは僅かな距離にもかかわらず、7,000Ω-cm以下と急速に水比抵抗の値が低下する。このように、水比抵抗の値が次第に低下する傾向は、今泉から能代、三軒屋から町屋、および本久から千原を結ぶ方向に、能代川沿いでは中野橋付近から長橋付近を結ぶ方向にも認められる。

第10図に示した被圧地下水の水比抵抗等値線は、巨視的にみると、さきの第6図に示した掘抜井の深度分布の形態および第9図に示した被圧地下水の静水圧面の形態に類似する。水比抵抗は被圧地下水の水質的な溶存成分の総合結果を示すが、一般に地下水は水比抵抗の値が大きい方向から小さい方向に流動するといわれている。し

第6表 早出川扇状地における地表水

| 注1) 番号 | 試料採取地点 | 注2) 水源の種類 | ストレーナーの位置()は井戸深度(m) | 水温(°C) | pH | アルカリ度 M ⁻ (epm) | 塩素 Cl ⁻ (ppm) | 硫酸 SO ₄ ²⁻ (ppm) |
|--------|-------------|-----------|----------------------|--------|-----|----------------------------|--------------------------|--|
| 1 | 早出川 不動堂橋 | R | — | 21.0 | 6.0 | 0.30 | 8.5 | 6.5 |
| 2 | 五泉市 浄水場 | C | (150) | 14.9 | 6.3 | 1.02 | 11.6 | 5.2 |
| 3 | 泉町 共同井戸 | f | (45) | 13.4 | 6.5 | 0.70 | 12.4 | 6.1 |
| 4 | 萩 曾 根 | 〃 | (47) | 13.0 | 6.5 | 0.88 | 10.6 | 5.5 |
| 5 | 東本町 小学校前 | 〃 | (45.5) | 12.5 | 6.4 | 0.38 | 10.6 | 4.9 |
| 6 | 竜 門 寺 | 〃 | (36) | 13.5 | 6.6 | 0.40 | 12.0 | 4.0 |
| 7 | 堀 切 | 〃 | (73) | 13.8 | 6.4 | 1.06 | 13.4 | 4.4 |
| 8 | 町屋 学校前 | 〃 | (21.5) | 13.9 | 6.4 | 1.12 | 12.4 | 4.7 |
| 9 | 六 条 | f | (11) | 14.0 | 6.5 | 1.18 | 13.4 | 4.6 |
| 10 | 千 原 | f | (38) | 13.4 | 6.2 | 0.34 | 15.5 | 3.4 |
| 11 | ガソリンスタンド | C | (40) | 13.6 | 6.0 | 0.14 | 17.7 | 10.9 |
| 12 | 三 軒 屋 | f | (23) | 14.0 | 5.9 | 0.38 | 13.1 | 4.7 |
| 13 | 市川染工KK | F | — | 14.0 | 6.1 | 0.40 | 22.3 | 3.2 |
| 14 | 農業用井戸(中野橋) | 〃 | (4.5) | 16.3 | 6.1 | 0.28 | 12.0 | 7.7 |
| 15 | 長 橋 | f | (40) | 14.0 | 6.2 | 0.62 | 13.1 | 3.9 |
| 16 | 笹 野 町 | 〃 | (15) | 13.5 | 6.1 | 0.70 | 35.4 | 6.1 |
| 17 | 宮 ノ 下 | F | (6) | 14.0 | 5.9 | 0.16 | 19.1 | 5.5 |
| 18 | 荒 屋 | 〃 | (4.6) | 12.3 | 6.0 | 0.30 | 14.5 | 10.2 |
| 19 | 木 越 町 | 〃 | — | 13.0 | 5.9 | 0.28 | 19.8 | 11.8 |
| 20 | 泉 田 | 〃 | (4.0) | 14.0 | 5.8 | 0.40 | 25.5 | 14.7 |
| 21 | 五 十 嵐 新 田 | F | — | 12.0 | 6.0 | 0.22 | 13.1 | 9.0 |
| 22 | 川 瀬 | f | (36) | 12.0 | 6.1 | 0.28 | 8.8 | 7.1 |
| 23 | 農 業 用 井 戸 | F | — | 12.3 | 6.0 | 0.34 | 10.9 | 8.0 |
| 24 | 赤 海 | f | (27) | 13.0 | 6.1 | 0.30 | 9.9 | 6.8 |
| 25 | 第 一 染 工 K K | C | (85) | 12.5 | 6.2 | 0.51 | 9.9 | 7.1 |
| 26 | 丸 田 新 田 | f | — | 13.4 | 6.5 | 1.51 | 11.6 | 5.2 |
| 27 | 南 沢 メ リ ヤ ス | C | (50) | 15.0 | 6.3 | 0.44 | 9.9 | 7.1 |
| 28 | 論 瀬 | 〃 | (32) | 13.5 | 6.4 | 1.32 | 47.5 | 16.0 |
| 29 | 上 郷 屋 | F | — | 13.5 | 6.0 | 0.77 | 38.6 | 15.9 |
| 30 | 赤 羽 | 〃 | — | 15.0 | 6.0 | 0.43 | 10.6 | 11.2 |
| 31 | 猿 和 田 | F | (6) | 15.0 | 5.9 | 0.19 | 15.9 | 19.4 |
| 32 | 小 山 田 | 〃 | — | 15.0 | 5.8 | 0.39 | 14.1 | 4.5 |
| 33 | 五 三 蔵 | 〃 | — | 13.5 | 5.7 | 0.34 | 10.9 | 7.7 |
| 34 | 農 業 用 井 戸 | 〃 | — | — | 6.2 | 0.36 | 7.4 | 6.1 |
| 35 | 村松上水道浄水場 | U | — | 14.0 | 6.2 | 0.34 | 9.5 | 7.1 |

注1) 番号は第2図に同じ。

注2) 水源の種類 R:河川水, F:自由面地下水, C:被圧地下水, f:自噴性地下水, U:伏流水

注3) SiO₂:比色によるイオン状ケイ酸

たがって第10図から察知できる地下水の主な流動方向は扇状地の南東から北西方向と考えられる。

6.4 水質による地下水流動経路の推定

地下水の水質は，その流動および浸透経路を含んだ帯水層の性質を間接的に反映した結果と考えられるから，調査地域に対し密度を高めた水試料の分析結果から地下

水の流動経路あるいは地下水系統を推定する手掛りが得られるのではないかと考えた。このような観点から調査地域における河川水，自由面地下水および被圧地下水を対象として，合計35カ所の水試料を採取して水質分析を行った。

水試料採取箇所を第2図に，水質分析結果を第6表に

および地下水の水質分析結果

| ナトリウム Na ⁺ (ppm) | カリウム K ⁺ (ppm) | total Fe (ppm) | カルシウム Ca ²⁺ (ppm) | マグネシウム Mg ²⁺ (ppm) | 全硬度 (CaCO ₃) (ppm) | ケイ酸注3) SiO ₂ (ppm) | 酸素消費量 (COD) (O ppm) |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 4.0 | 0.7 | 0.13 | 4.4 | 2.1 | 19.5 | 8.5 | 0.69 |
| 9.9 | 0.7 | 0.03 | 9.2 | 3.7 | 37.8 | 22.3 | — |
| 6.9 | 1.3 | 0.00 | 5.4 | 5.1 | 34.5 | 21.6 | 0.26 |
| 7.3 | 1.3 | 1.22 | 7.6 | 4.4 | 37.1 | 20.0 | 0.77 |
| 5.6 | 0.6 | 0.03 | 3.6 | 2.8 | 20.7 | 18.8 | 0.25 |
| 6.2 | 1.2 | 0.00 | 5.5 | 2.8 | 25.1 | 16.5 | 0.26 |
| 7.1 | 1.6 | 1.04 | 10.3 | 4.4 | 43.9 | 23.0 | 0.42 |
| 7.5 | 1.9 | 2.58 | 10.8 | 4.5 | 45.5 | 25.2 | 0.90 |
| 7.5 | 1.6 | 0.73 | 11.6 | 4.7 | 48.4 | 23.5 | 0.82 |
| 8.1 | 1.3 | 0.00 | 5.8 | 2.1 | 23.2 | 15.8 | 0.21 |
| 8.5 | 1.3 | 0.00 | 4.4 | 3.4 | 24.8 | 12.0 | — |
| 6.0 | 1.4 | 0.02 | 5.6 | 3.1 | 26.7 | 13.0 | 0.23 |
| 10.9 | 5.9 | 0.02 | 8.3 | 3.3 | 34.3 | 15.0 | 0.23 |
| 5.3 | 1.3 | 0.06 | 4.8 | 2.0 | 20.3 | 9.5 | 0.29 |
| 9.6 | 1.9 | 6.90 | 4.6 | 2.3 | 21.0 | 45.0 | 1.69 |
| 12.0 | 1.7 | 0.02 | 9.1 | 4.3 | 40.4 | 16.5 | 0.23 |
| 7.9 | 1.1 | 0.06 | 6.3 | 4.1 | 32.6 | 11.6 | 0.31 |
| 5.2 | 0.9 | 0.25 | 7.5 | 2.6 | 29.2 | 9.6 | 0.28 |
| 8.5 | 3.2 | 0.05 | 6.9 | 3.0 | 29.6 | 14.6 | 0.28 |
| 10.4 | 2.7 | 0.66 | 8.1 | 4.3 | 37.8 | 16.4 | 0.66 |
| 4.7 | 0.9 | 0.78 | 5.6 | 3.8 | 29.8 | 9.1 | 0.44 |
| 4.4 | 0.7 | 0.03 | 4.8 | 2.1 | 20.5 | 11.3 | 0.17 |
| 4.6 | 0.9 | 0.00 | 4.9 | 2.7 | 23.2 | 11.0 | 0.32 |
| 4.5 | 0.8 | 0.00 | 4.1 | 1.7 | 17.3 | 13.1 | 0.27 |
| 5.6 | 0.6 | 0.00 | 4.7 | 2.7 | 22.8 | 21.5 | 0.17 |
| 13.6 | 1.9 | 5.01 | 10.7 | 5.6 | 49.9 | 34.5 | 1.37 |
| 5.5 | 0.9 | 0.00 | 4.3 | 1.9 | 18.3 | 25.3 | 0.25 |
| 10.9 | 1.4 | 0.00 | 16.1 | 4.3 | 59.3 | 35.3 | 0.31 |
| 18.4 | 7.9 | 0.17 | 11.6 | 4.0 | 45.5 | 29.0 | 0.57 |
| 6.4 | 1.8 | 0.00 | 6.3 | 2.4 | 25.7 | 16.0 | 0.42 |
| 8.7 | 1.2 | 0.00 | 7.0 | 3.2 | 30.8 | 20.8 | 0.23 |
| 6.0 | 3.1 | 0.06 | 7.1 | 3.1 | 30.4 | 12.5 | 0.26 |
| 5.1 | 1.2 | 0.09 | 6.5 | 3.0 | 28.5 | 9.5 | 0.40 |
| 4.3 | 1.0 | 0.08 | 4.6 | 4.2 | 28.9 | 8.6 | 0.74 |
| 4.3 | 0.7 | 0.00 | 5.7 | 1.9 | 20.9 | 8.1 | 0.37 |

示した。

第6表中に示した主要成分について要約すると、pH: pHの値は5.7~6.6の範囲にあり、弱酸性を示している。河川水、自由面地下水および被圧地下水などのpH値の間には、いちじるしい差はみとめられないが、被圧地下水のpHは他に比べて概して大きい値を示す。

Cl⁻: 第6表中に示した16, 20, 28および29などの箇所におけるCl⁻の値が25ppm以上を示すが、全域では10ppm前後を示すものが多い。前述の異常値を除いた平均値は12.8ppmを示し、塩素イオン含有量は概して少ない。

Fe: 鉄含有量は0.00~6.9ppmの範囲にある。地域的には能代川沿いに分布する被圧地下水に多い。

SiO₂: 珪酸イオンの値は8.1~45.0ppmの範囲にある。このうち地下水は、10~25ppmを示すものが多く、概して珪酸含有量は少ないといえる。しかしながら、能代川沿いおよび阿賀野川沿いの平野部における被圧地下水は30ppm以上を示し他に比べてその値が多くなる傾向がある。

ヘキサダイアグラムの形の類似性から地下水の供給源およびその流動を推定しようとする試みとして第11図および第12図に早出川の表流水・自由面地下水および被圧地下水などの水質のヘキサダイアグラムと帯水層の関係を模式的に北西方向から南東方向および東西方向に示した。

第11図および第12図の結果を要約すると、

1. 早出川の表流水・自由面地下水および被圧地下水

のヘキサダイアグラムの形はそれぞれ異なる。

2. 自由面地下水であっても、ヘキサダイアグラムの形は地理的位置によって異なる。

すなわち、村松町上水道水源井(35)と荒屋(18)および五泉市泉田(20)では、それぞれ形が異なる。また荒屋および泉田では類似した形を示すが、北方に至るにしたがい溶存成分が増加する傾向がある。

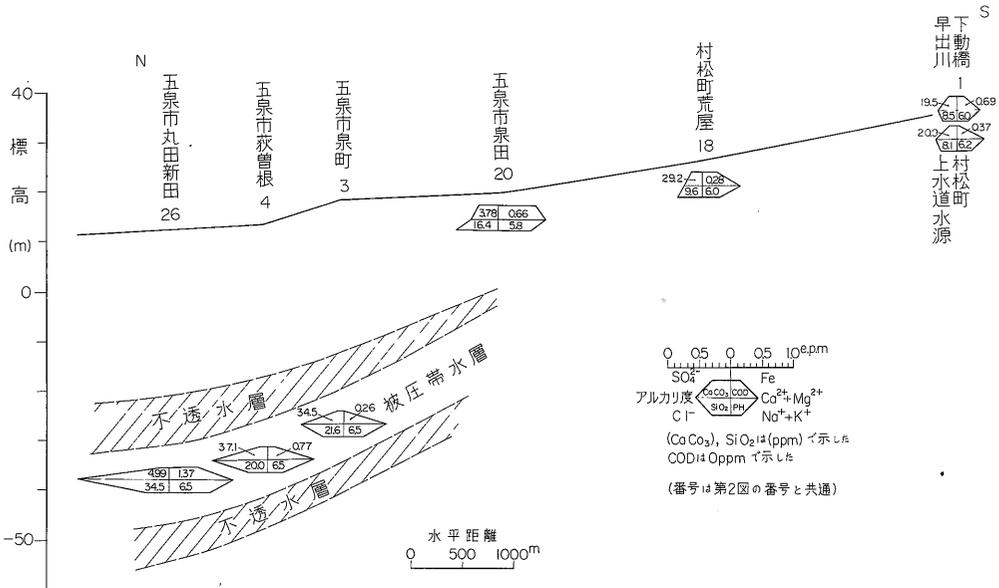
3. 早出川の地表水と村松町上水道水源井(35)および五泉市赤海(24)の被圧地下水の形は、亀甲型を示しそれぞれ類似する。

4. 帯水層の東西断面では、東方では亀甲型を示すが、西方に至るにしたがって、この形をおしつぶしたような図形を示す。

5. 北西から南東方向の断面でも、その形は前述した傾向を示す。これらの図形の変化が主として地下水の流動に起因するものとすれば、溶存成分の少ない水が浸透して次第に西方に向かって流動するにしたがい、帯水層を構成する砂礫および砂などの堆積物中の成分を溶解するためと考えられ、第11図・第12図に示した限りでは、被圧地下水の供給箇所は村松町矢津付近であって、その供給源は降水および早出川の表流と考えられる。

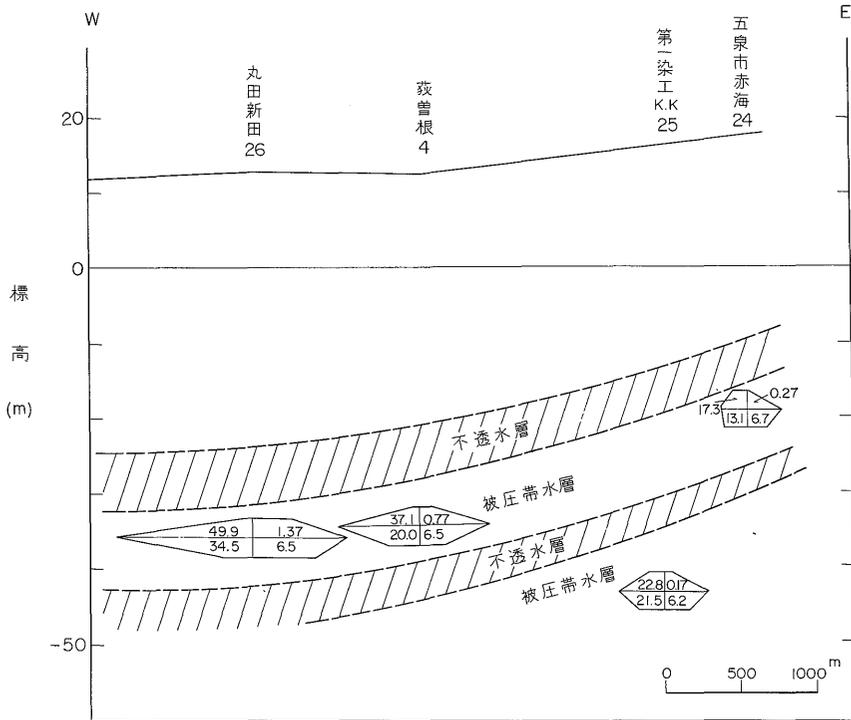
6. ヘキサダイアグラムの図形から推定した地下水の流動は、第10図に示した水比抵抗による結果と類似する。

以上、早出川扇状地における地下水の流動について種種の方法で検討したが、その結果にはいずれも類似性がみとめられる。扇状地の地下水は主として南東方向にあ



第11図 地下水および地表水の水質のヘキサダイアグラムと南北方向における帯水層の模式断面

阿賀野川水系，早出川扇状地の地下水（尾崎次男・後藤隼次）



第12図 地下水および地表水の水質のヘキサダイアグラムと東西方向における帯水層の模式断面

たる扇頂付近および東部山麓付近における降水および地表水を供給源とし，これが次第に浸透して被圧地下水に転化するものとみて差支えないように考えられる。

6.5 深井戸の揚水時における地下水の流動

五泉市吉沢明見にある市水道浄水場敷地内には，いずれも深度150mで，80m以深に収水層を設けた水源井が3井ある。このうち3号井は休止井であって，1号井と2号井とを隔日に運転し，1日のうち10～12時間のポンプ運転で3,000 m³前後を揚水している。

1号井および2号井から配水池に至るまでのコンクリート水槽には鉄板切口を設けた直角三角堰があり，各井ごとに揚水量が測定できる。ここでは，地下水の大量汲みあげを行った場合の，井戸周辺における地下水の流動状態および揚水に伴う静水頭低下の形状などを明らかにし，さらに，この結果から地下水補給に関する帯水層の優劣を判断するため，五泉市水道課の協力を得て揚水試験を実施した。浄水場敷地内にある水源井の位置を第13図に示した。

帯水層の水力常数を求めるために，水位降下および回復試験による諸氏の報告があるが，ここでは，地下水の補給および制限領域を考慮した R. W Stallman の解法によった (村下，1962)。

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad T = \frac{0.0796Q}{S_1}$$

$$W(u) : \text{井戸函数} \quad S = \frac{4Tt_1}{r^2}$$

s : 水位降下 (m)

Q : 揚水量 (m³/day)

T : m · k : 透水量係数 (m³/day)

m : 帯水層の厚さ (m)

k : 滲透係数 (m⁸/day/m²)

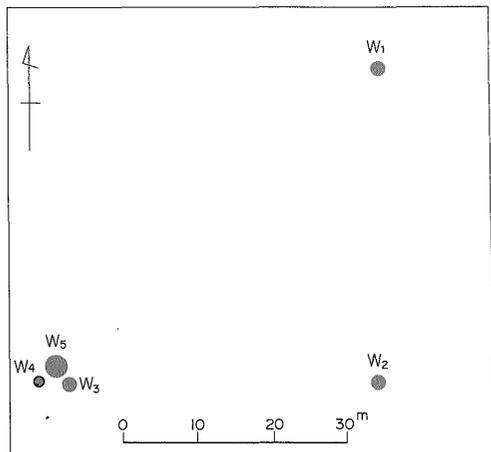
S : 貯溜係数 (単位なし)

r : 揚水井から観測井までの距離 (m)

t : 揚水経過時間 (day)

この式の図式解法は，両対数紙の縦軸に井戸函数 (Wu) を，横軸に (1/u) をとり，標準曲線を求めておく。一方，揚水試験の結果得られた s-t 曲線 (水位降下-揚水経過時間) を透明な両対数紙上に書き，これを標準曲線にかさね合わせ (Wu) = 1 における s の値，(1/u) = 1 における t の値を，それぞれ求める。この値を上式に代入して T および S が求められる。さらに，S が求められれば，影響半径 (R) が計算できる。

また，試験結果得られた s-t 曲線を標準曲線に重ね合



W₁: 上水道水源1号井 W₄: G.S観測1号井
 W₂: 上水道水源2号井 W₅: 浅井戸観測井
 W₃: 上水道水源休止井

第13図 五泉市吉沢浄水場における水道水源井と地下水位観測井の位置

わせた場合、1) $s-t$ 曲線が標準曲線より上方にある場合と、2) $s-t$ 曲線が標準曲線より下方にある場合ができる。1)の場合は、帯水層への地下水補給が無限のものでなく、地質的および水文的に制限されている。2)の場合は他の帯水層あるいは地表水体など、地質的・水文的涵養源から補給が行われているものと理解されている。

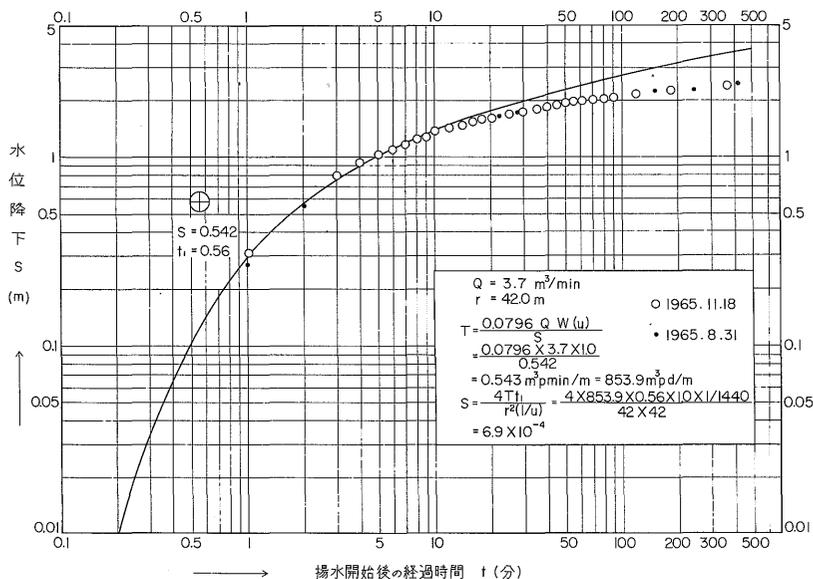
図式解法による結果は、第14図-a から第14図-g まで

に示しており、得られた帯水層の水理常数は一括して第7表に示した。

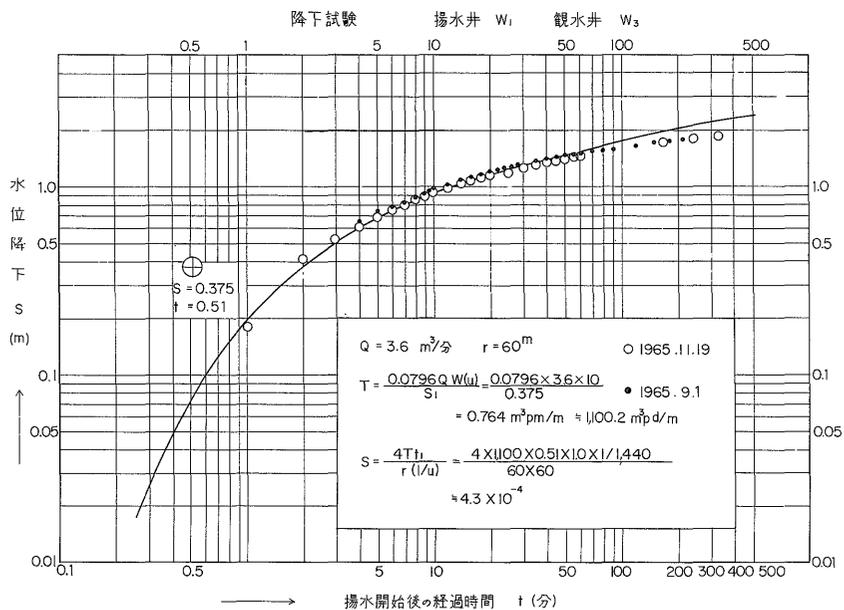
水位降下法および水位回復法による結果の値は、ほとんど一致しており、また、地下水位の違った時期に実施した結果でも、 $S-t$ 曲線の形はおおむね一致している。

帯水層の透水量係数(T)は $530 \sim 1,115 \text{ m}^3 \text{pd/m}$ 、貯留係数(S)は $3.7 \times 10^{-3} \sim 1.26 \times 10^{-3}$ となりこれらの数値の相違は、限られた敷地内でも、帯水層を構成する物質が均等均質なものでもなく、また地下水の補給が一様でないことを示しているものと考えられる。そこで、この関係をさらに明確にするため、第7表に示した影響半径の値をそれぞれ図上にプロットし、これらの点をスムーズに通る曲線を描き作図した影響範囲を第15図に示した。すなわち、影響範囲は早出川と能代川にはさまれており、北東-南西方向に長軸を有する卵形状で示される。このような形状は、帯水層の地質的条件(例えば、砂礫が次第に砂あるいは粘土などの細粒堆積物に漸移したり、帯水層中に粘土層が挟在するなどの帯水層の不均一性)に関係し、しかも、井戸の四周からの地下水補給が一様に行われておらず、補給に優劣があることを示している。この関係は、4章で述べた帯水層の連続状況をよく反映しており、したがって、第15図による地下水の流れおよび補給は、南東-北西方向および北東-南西方向が他に比べてすぐれている。

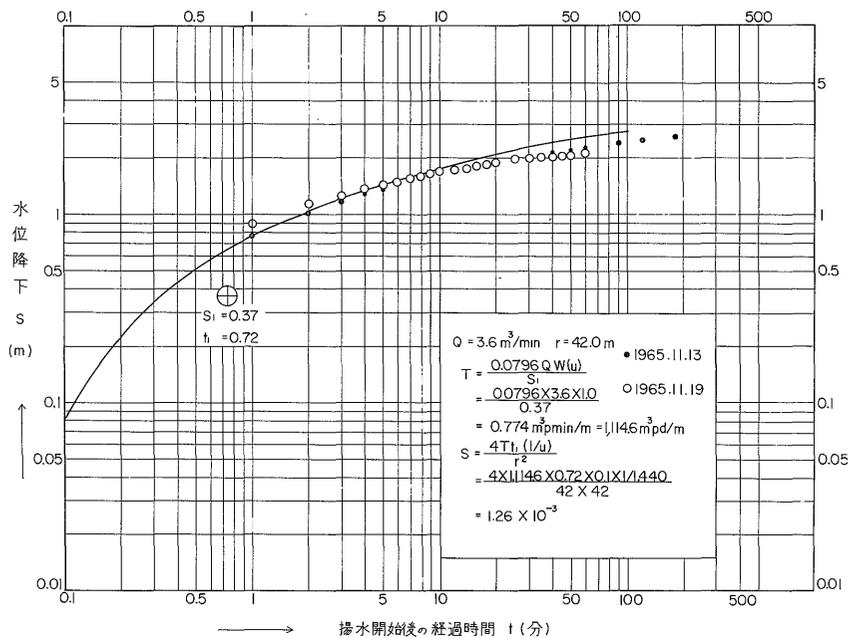
以上を要約すると早出川扇状地における地下水の流動をあきらかにするため、各種の方法を試みた。この結果、自然状態における被圧地下水の流れは、南東から北



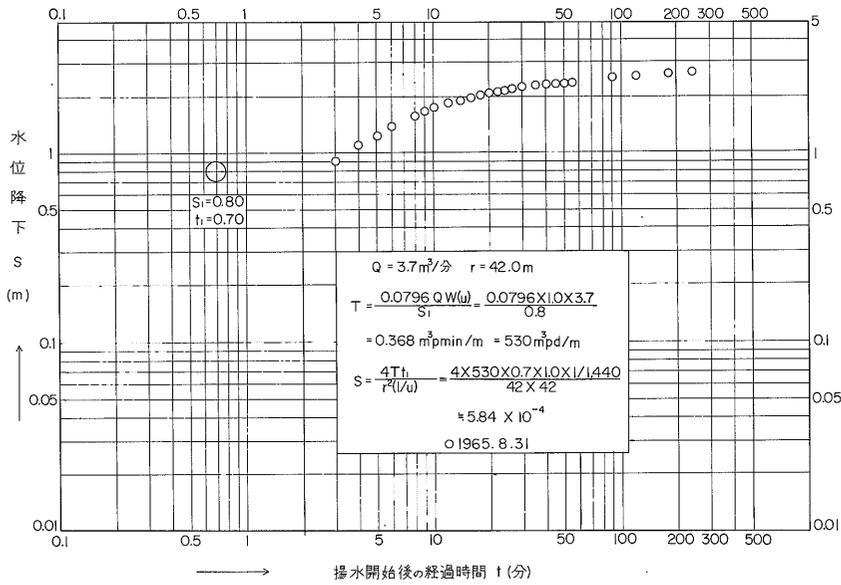
第14-a 図 水位降下試験 (揚水井W₂, 観測井W₃)



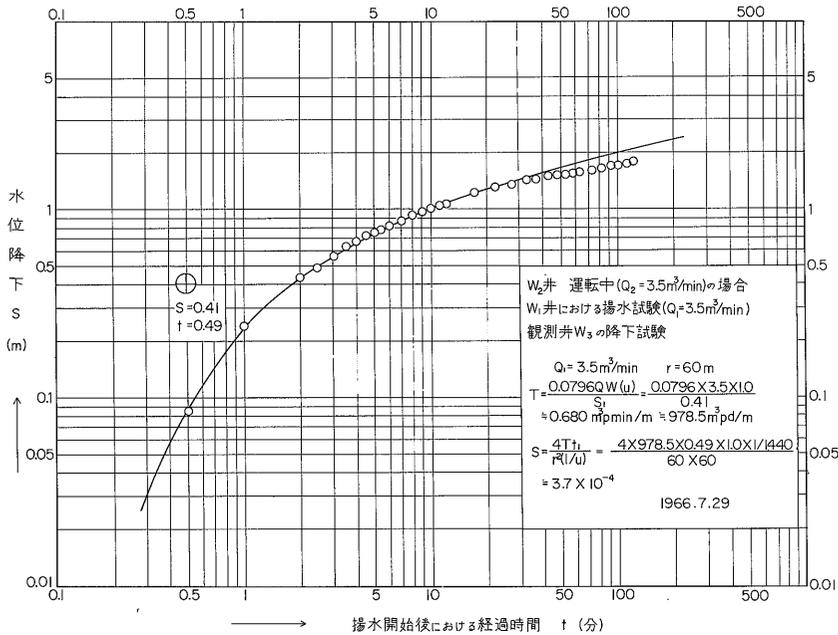
第14-b 図 水位降下試験（揚水井 W_1 ，観測井 W_3 ）



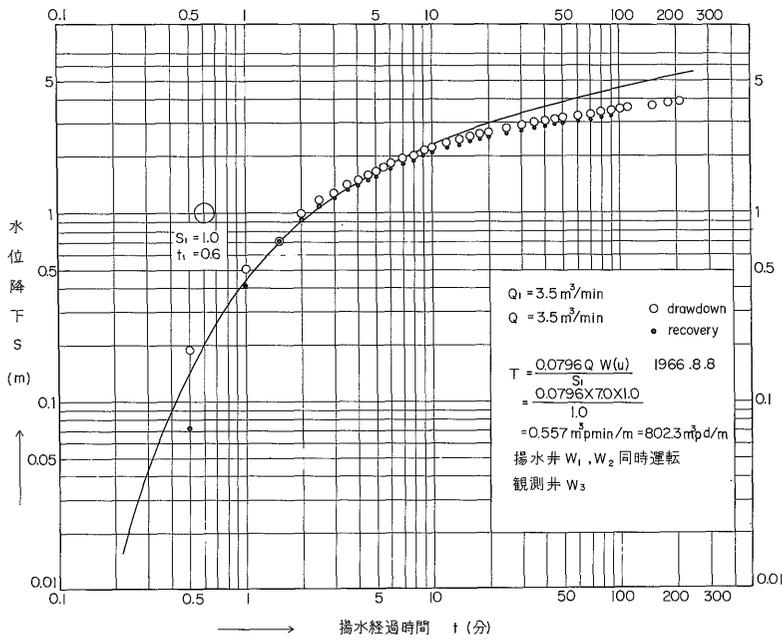
第14-c 図 水位降下試験（揚水井 W_1 ，観測井 W_2 ）



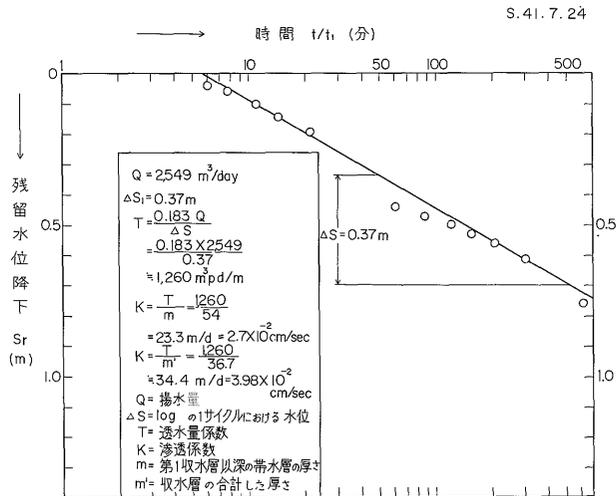
第14-d 図 水位降下試験 (揚水井 W_2 , 観測井 W_1)



第14-e 図 隣接した揚水井 W_2 運転の影響をうける場合の水位降下試験 (揚水井 W_1 , 観測井 W_3)



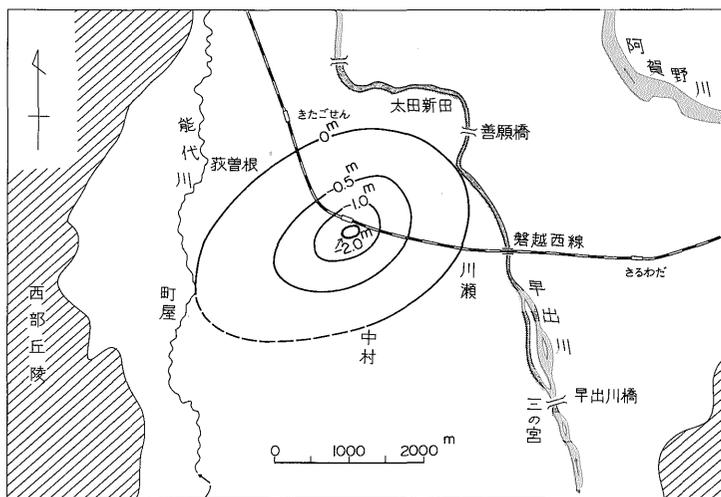
第14-f 図 隣接した \$W_1\$ 井および \$W_2\$ 井が同時に揚水した場合における \$W_3\$ 井の水位降下試験



第14-g 図 五泉市郷屋水源井における水位回復試験

第7表 揚水試験の結果から求めた帯水層の水力常数

| 観測井 W_0 | 揚水井および揚水量 ($m^3/分$) | 水位降下量 水位回復量 (m) | 揚水井から 観測井までの 距離 (m) | 揚水 時間 (分) | 透水量係数 (m^2pd/m) | 貯留係数 | 影響 半径 (m) | 試験 方法 | 備 考 |
|--------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|--|
| W_3 | W_2 $Q=3.7$ | 2.505 | 42 | 420 | 854 | 6.9×10^{-4} | 1,670 | 降下 | 1965. 8. 31および11. 18測定 |
| W_3 | W_1 $Q=3.6$ | 2.04 | 60 | 330 | 1,100 | 4.3×10^{-4} | 2,390 | 降下 | 1965. 9. 1および11. 19測定 |
| W_2 | W_1 $Q=3.6$ | 2.54 | 42 | 240 | 1,115 | 1.26×10^{-3} | 1,410 | 降下 | 1965.11. 13および11. 19測定 |
| W_1 | W_2 $Q=3.7$ | 2.81 | 42 | 420 | 530 | 5.8×10^{-4} | 1,430 | 降下 | 1965. 8. 31測定 |
| 郷屋水 源井 | $Q=1.87$ | 0.76 | | 600 | 1,340 | | | 回復 | 1966. 7. 24測定, 静水位-2.79 m記録による |
| W_3 | W_1 $Q=3.5$ | 1.825 | 60 | 124 | 979 | 3.7×10^{-4} | 2,440 | 降下 | W_2 井が $Q=3.5m^3/分$ で揚水中 の場合, W_1 井の揚水試験 1966. 7. 29測定 |
| W_3 | W_1 $Q=3.5$ | 1.295 | 60 | 275 | 830 | 3.9×10^{-4} | 2,190 | 降下 | W_2 井が $Q=3.5m^3/分$ で揚水し, その後 W_2 井の揚水停止と同時 に W_1 井を運転 1966. 7. 29測定 |
| W_3 | W_1 $Q=3.5$ | 1.295 | 60 | 60 | 884 | 4.9×10^{-4} | 2,015 | 回復 | W_2 井および W_1 井揚水中の場 合, W_1 井運転停止 1966. 7. 29測定 |
| W_3 | W_1, W_2 $Q_1=3.5$ $Q_2=3.5$ | 3.915 | | 215 | 802 | | | 降下 および 回復 | W_1 井および W_2 井同時揚水 1966. 8. 8測定 |



第15図 五泉市吉沢浄水場における水道水源井の揚水 ($Q = 35 m^3/分$) による被圧地下水面低下の影響範囲

西方向が他に比べてすぐれている。さらに被圧地下水を大量に汲みあげた場合には、井戸周辺の流れおよびその補給は決して一様でなく、南東から北西方向および北東から南西方向が他に比べて優れている関係が判明した。

7. 地表水からの地下水補給量の推定

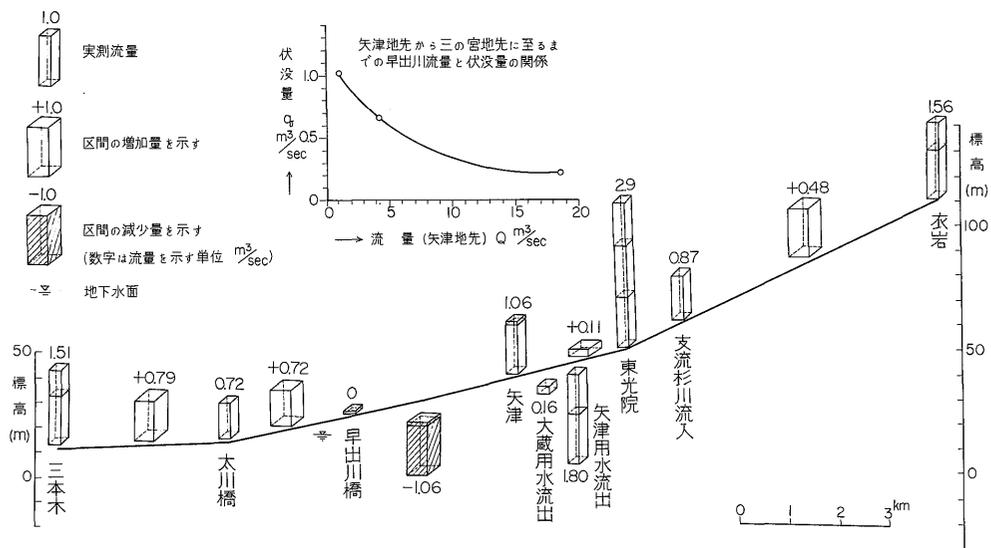
地下水調査結果から、扇状地における地下水のおもな供給地域は扇頂および扇央付近と推定された。そこで早

出川を対象とした河川縦断方向における流量測定および扇状地上にI~Vの5地区を設け、各地区内への流入量および各地区からの流出量をそれぞれ測定し、これらの結果から河川および扇状地上の表流からの地下水補給量の概数を推定しようと試みた。

7.1 早出川の河川縦断方向における流量の増減変化

村松町衣岩付近から五泉市三本木地先に至るまでの、昭和40年8月末調査による早出川の縦断方向における流量の変化を第16図に示した。さらに、矢津地先から五泉

阿賀野川水系、早出川扇状地の地下水（尾崎次男・後藤隼次）



第16図 早出川縦断方向における流量の変化

第8表 早出川の流量測定結果

| 水路名 | 測定場所 | 測定年月日 | 流量 (m ³ /sec) | 水面幅 (m) | 最大深 (m) | 断面積 (m ²) |
|------|-----------|--------------|--------------------------|---------|---------|-----------------------|
| 早出川 | 村松町東光院 | 1965. 8. 30 | 2.91 | 10.0 | 0.50 | 3.94 |
| 同 | 同 衣岩 | 8. 30 | 1.56 | 10.0 | 0.46 | 3.56 |
| 支流杉川 | 同 高牧 | 8. 30 | 0.87 | 7.5 | 0.34 | 2.00 |
| 大蔵用水 | 同 川内 | 8. 29 | 0.16 | 1.6 | 0.17 | 0.24 |
| 矢津用水 | 同 矢津川 | 8. 29 | 1.80 | 11.0 | 0.38 | 2.75 |
| 早出川 | 同 早出端 | 8. 29 | 1.07 | 10.5 | 0.28 | 1.58 |
| 同 | 同 太川橋下 | 8. 29 | 0.72 | 14.0 | 0.32 | 2.76 |
| 同 | 同 三本木 | 1965. 9. 2 | 1.51 | 7.0 | 0.46 | 1.84 |
| 同 | 同 不動堂 | 1965. 11. 16 | 18.58 | 48.0 | 0.75 | 28.06 |
| 同 | 同 早出端 | 11. 16 | 18.38 | 52.0 | 0.85 | 22.92 |
| 同 | 同 川瀬 | 11. 16 | 17.08 | 74.0 | 0.88 | 36.64 |
| 大蔵用水 | 松村町川内 | 11. 17 | 0.11 | 2.0 | 0.15 | 0.25 |
| 矢津用水 | 同 矢津 | 11. 17 | 1.17 | 4.7 | 0.39 | 1.40 |
| 右岸用水 | 五泉市赤羽千歳橋上 | 11. 15 | 0.77 | 4.0 | 0.39 | 1.06 |
| 左岸用水 | 村松町千原高岳橋下 | 11. 19 | 0.79 | 4.0 | 0.36 | 1.30 |
| 仙見川 | 同 矢津川 | 1966. 8. 4 | 0.99 | 7.0 | 0.33 | 1.65 |
| 矢津用水 | 同 矢津川 | 8. 4 | 2.10 | 10.0 | 0.69 | 4.52 |
| 早出川 | 同 矢津堰下 | 8. 4 | 3.04 | 18.0 | 0.74 | 7.36 |
| | | 8. 4 | 1.49 | 9.0 | 0.37 | 2.00 |
| 早出川 | 同三の宮早出川橋下 | 8. 4 | 4.23 | 17.5 | 0.50 | 5.40 |
| | | 8. 4 | 4.27 | 17.0 | 0.55 | 5.27 |
| | | 8. 4 | 0.21 | 5.5 | 0.21 | 0.99 |
| 早出川 | 五泉市門後 | 8. 4 | 4.79 | 13.5 | 0.55 | 4.52 |
| | 同 下町歩太川橋下 | 8. 4 | 4.91 | 19.0 | 0.62 | 8.14 |
| | 同 善願 | 8. 4 | 5.47 | 27.0 | 0.37 | 7.47 |
| 矢津用水 | 村松町矢津川 | 8. 5 | 2.08 | 9.7 | 0.61 | 4.23 |

第 9 表 早出川の河川縦断方向における流量変化

| 記号 | 水路名 | 測定場所 | 1965年 8 月 29 日 測定 | | | 1965年 11 月 16 日 測定 | | | 1966年 8 月 5 日 測定 | | | 各測定位置間の距離 (km) | 1 km 当たりの増減量 (m ³ /sec/km) |
|----|-----|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|----------------|---------------------------------------|
| | | | Q _i m ³ /sec | Q _o m ³ /sec | Q _o -Q _i m ³ /sec | Q _i m ³ /sec | Q _o m ³ /sec | Q _o -Q _i m ³ /sec | Q _i m ³ /sec | Q _o m ³ /sec | Q _o -Q _i m ³ /sec | | |
| A | 早出川 | 村松町矢津 | 1.06 | | -1.06 | 18.58 | | -0.20 | 4.17 | | -0.65 | 3.0 | 0.353~0.067 |
| B | 早出川 | 村松町三の宮 | | 0 | | | 18.38 | | | 3.52 | | | |
| B | 早出川 | 村松町三の宮 | 0 | | 0 | | | | 3.52 | | +0.31 | 1.3 | 0.238~ |
| C | 早出川 | 五泉市門後 | | 0 | | | | | | 3.83 | | | |
| C | 早出川 | 五泉市門後 | 0 | | +0.72 | | | | 3.83 | | +0.25 | 1.8 | 0.400~0.139 |
| D | 早出川 | 五泉市太川橋上流 | | 0.72 | | | | | | 4.08 | | | |
| D | 早出川 | 五泉市太川橋上流 | 0.72 | | +0.79 | | | | 4.08 | | +0.39 | 1.8 | 0.439~0.216 |
| E | 早出川 | 五泉市善願 | | 1.51 | | | | | | 4.47 | | | |

Q_i: 上流側における流量
 Q_o: 下流側における流量
 Q_o-Q_i: 下流側流量と上流側流量の差
 符号が(+)の場合は増加を示し, (-)の場合は減少を示す。
 測定位置は第17図参照

市善願に至るまでの流量の変化を第 8 表に示した。

これらの結果を要約すると

1. 村松町衣岩付近における早出川の流量は1.56 m³/secを示し、この値は早出川の湧水量に相当する。同付近から下流の東光院地先に至る区間には、支流杉川の流入があるが、差引き下流側までに 0.48 m³/sec の流量増加がみとめられる。

2. 東光院地先から下流にあたる矢津地先に至るまでには、矢津用水(荘之江ともいう)、大蔵用水(不動堂用水ともいう)などがあり、これらの量を含めた差引結果では下流側までに0.11 m³/sec の流量増加がみとめられる。しかしながら、この区間には未測定の支流仙見川の流入があり、この流入量を見込むと区間における増加量はきわめて少ない。

3. 村松町矢津地先における早出川の流量が1.06 m³/sec の場合、その流量は三の宮付近にいたるまでに、全量が伏没し河道には流水がない水無川となる。このような現象は下流側の門後地先までみとめられる。また、矢津地先の流量が4.17 m³/sec (低水量に相当する) の場合、三の宮地先までの伏没量は0.65 m³/sec、さらに18.58 m³/sec の場合(豊水量に相当する)には、三の宮地先までの伏没量は0.20 m³/secを示し、いずれの水位時期においても表流が伏没する傾向がある。

4. 三の宮地先から門後地先までに至る区間では、低水期に下流側で0.31 m³/sec の流量増加がみとめられる。

5. 門後地先から太川橋付近に至る区間では、湧水期

に0.72 m³/sec、低水期に 0.25 m³/sec の流量増加が下流側でみとめられる。

6. 太川橋付近から善願地先に至る区間では、湧水期に0.79 m³/sec、低水期に 0.39 m³/sec の流量増加が下流側でみとめられる。

早出川の縦断方向について、合計 3 回の流量測定を行った結果では、扇頂付近にあたる矢津地先から三の宮地先に至るまでに表流が伏没する傾向があり、三の宮地先から善願地先に至る下流一帯では反対に表流が下流側で増加する傾向が指摘できる。

さらに、表流が下流側までに伏没あるいは増加する場合、その量は豊水期よりは低水期に、低水期よりは湧水期に大きくなる傾向がある。

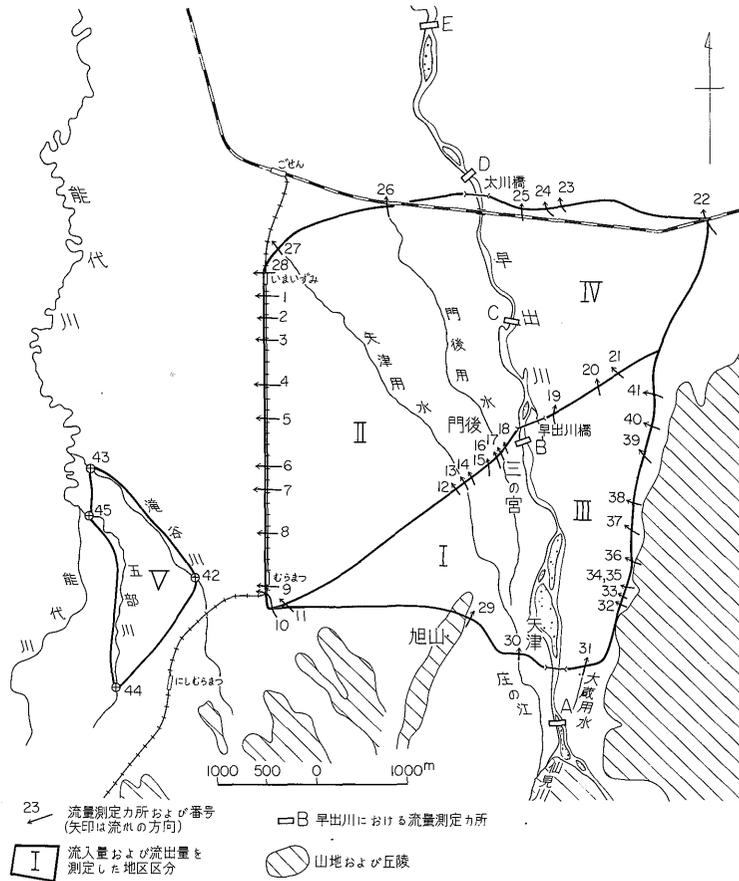
7.2 早出川扇状地における水路の地区別流入量と流出量

早出川をはさんだ両岸地域について、第17図に示した I ~ IV および V の地区を設け、地区ごとに流入あるいは流出する水路などの水量をそれぞれ測定し、各地区ごとの流入量と流出量の差引き収支を行った。

流量測定位置を第17図に、測定結果を第10表にそれぞれ示した。測定結果をとりまとめ地区別の水収支を第11表に示している。

第11表の結果を要約すると

1 I 地区について合計 3 回実施した測定結果では、いずれも流入量に対し流出量が少ない関係があり、その地区における地表水は伏没する傾向がある。伏没量は



第17図 早出川扇状地における河川および水路の流量測定位置

0.22, 0.21および0.23 (単位はいずれも m^3/sec) を示し、およそ $0.22 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度とみられる。1日の水量に換算すると $19,000 \text{ m}^3$ 程度となる。

2 II地区における流入量と流出量の差引き結果では、流出量が増加および減少となっているが、減少量は僅少である。測定結果の増減の差引結果を平均値とすると、増加量は $0.22 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度となり、1日の水量に換算すると $19,000 \text{ m}^3$ である。

3 早出川右岸のIII地区では、昭和41年8月に実施した2回の測定結果は $0.09 \text{ m}^3/\text{sec}$ および $0.2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度の伏没量が、昭和40年11月の測定結果では反対に $0.064 \text{ m}^3/\text{sec}$ の増加量がみとめられる。これら増減の差引を平均値とすると、伏没量は $0.074 \text{ m}^3/\text{sec}$ となり1日の水量換算では $6,400 \text{ m}^3$ 程度となる。

4 IV地区において、合計3回実施した測定結果では、いずれの場合も下流側における流出量が流入量を上廻り、流量増加の傾向がある。すなわち、その増加量は第1回では $0.42 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、第2回は $0.56 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、第3回

には $0.47 \text{ m}^3/\text{sec}$ を示し、平均すると $0.48 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる。1日の換算水量では $42,000 \text{ m}^3$ 程度となる。

5 能代川にそそぐ扇状地の末端にあるV地区では、昭和40年11月の測定では、 $0.43 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、1日では $37,000 \text{ m}^3$ 程度の増加量がみとめられる。

7.3 測定結果に対する考察

早出川の河川縦断方向における流量の変化では、矢津付近から門後付近までに表流が減少し、門後付近から下流の善願付近に至るまでに流量が増加する傾向が指摘できる。また、扇状地の限られた地区について行った水収支の結果でも、扇頂付近では表流が伏没減少する傾向があり、さらに扇端付近にいたると表流が増加をきたす傾向がある。したがって、このような測定結果から、早出川扇状地では扇頂および扇央付近が表流の伏没地域（降水および地表水からの自由面地下水および被圧地下水の供給地域）、扇端付近が表流の増加地域（自由面地下水と被圧地下水の一部の湧出地域）を形成することが推定できる。

第10表 扇状地における河川および用水路などの流量測定結果

| 番号 | 地区 | 測定場所 | 流量 (Q ₁) (m ³ /sec) | 流量 (Q ₂) (m ³ /sec) | 流量 (Q ₃) (m ³ /sec) | 備考 | 番号 | 地区 | 測定場所 | 流量 (Q ₁) (m ³ /sec) | 流量 (Q ₂) (m ³ /sec) | 流量 (Q ₃) (m ³ /sec) | 備考 |
|----|----|-------|--|--|--|-------|----|----|-------|--|--|--|------|
| 1 | Ⅱ | 五泉市寺沢 | 0.042 | 0.028 | 0.025 | | 24 | Ⅳ | 五泉市赤羽 | .194 | .501 | .349 | 千蔵橋 |
| 2 | " | 今泉 | .025 | 0.148 | .068 | | 25 | " | 四屋新 | .086 | .152 | .119 | |
| 3 | " | | .072 | 0.040 | .069 | | 26 | " | 下谷地 | .730 | .227 | .057 | |
| 4 | " | 中村 | .096 | 0.004 | .006 | | 27 | " | " | .043 | .038 | .006 | |
| 5 | " | | .045 | 0.017 | .029 | | 28 | " | 早出端 | .037 | .082 | .062 | |
| 6 | " | 村松町 | .207 | .062 | .028 | | 29 | Ⅲ | 菅出 | .258 | .005 | .009 | |
| 7 | " | 三軒屋 | .048 | .030 | .023 | | 30 | " | 郷屋 | 1.170 | .137 | .148 | |
| 8 | " | 新村 | .120 | .201 | .220 | | 31 | " | 大蔵 | 0.110 | .038 | .010 | |
| 9 | " | | .236 | .065 | .102 | | 32 | " | " | .022 | .017 | | |
| 10 | " | 本多屋 | .056 | .043 | .082 | | 33 | " | 柄沢 | .074 | .014 | .036 | |
| 11 | " | | .327 | .170 | .327 | 村松駅前 | 34 | " | " | .026 | .021 | .004 | |
| 12 | Ⅰ | 越中新田 | .014 | .003 | | | 35 | " | " | .068 | .028 | .020 | |
| 13 | " | 宮の下 | .059 | .335 | .507 | 荘之江 | 36 | " | " | .011 | .057 | | |
| 14 | " | " | .198 | .072 | .197 | | 37 | " | 不動堂 | .017 | .121 | .041 | 大蔵用水 |
| 15 | " | " | .279 | .155 | .105 | 荘之江 | 38 | Ⅱ | 五泉市赤海 | 0.018 | 0.019 | 0.019 | |
| 16 | " | 熊野堂 | .277 | .400 | .614 | | 39 | " | " | .214 | .613 | .455 | |
| 17 | " | 高内 | | .320 | .415 | 神田川 | 40 | " | " | .006 | .102 | .224 | |
| 18 | " | " | | .040 | .036 | 清水川 | 41 | " | 吉沢 | .021 | .117 | .067 | |
| 19 | " | " | .171 | .004 | | 湧水 | 42 | Ⅴ | 村松町 | .430 | | | 滝谷川 |
| 20 | " | 村松町矢津 | .130 | .374 | .313 | | 43 | " | 本久 | .788 | | | " |
| 21 | " | " | .350 | 1.164 | 1.788 | 荘之江 | 44 | " | 笹野町 | .645 | | | 五部川 |
| 22 | Ⅳ | 五泉市赤羽 | .288 | 0.034 | .028 | | 45 | " | " | .721 | | | " |
| 23 | " | " | .786 | .224 | .077 | (千蔵橋) | | | | | | | |

注 ただし流量(Q₁)は1965.11.15~17日に測定
 流量(Q₂)は1966.8.2~3日に測定
 流量(Q₃)は1966.8.6~7日に測定
 測定位置番号は第17図参照

伏流量および増加量などの量的関係については、降水量、地下水位などの要素を含めた一定の期間における測定、すなわち時間の単位を考慮した水収支が望ましいが、ここでは得られた結果から、流入量と伏没・増加の関係および地区別面積の大小と伏没・増加の関係、さらに調査時測定した地下水位などを考慮して検討する。

1 地区流入量と伏没量についてみると、Ⅰ地区では、流入量が1.4~2.0 m³/secの場合に伏没量は流入量の14~10%にあたる0.2 m³/sec程度、Ⅲ地区では流入量が0.3~0.4 m³/secの場合に伏没量は流入量の33~50%にあたる0.1~0.2 m³/secを示しており、流入量に対する伏没量の割合は流入量が大きくなるほど小さくなる傾向がある。このことは、流入量が增大しても伏没量に限度があることを示しているものと考えられる。

2 流入量と増加量の関係では、Ⅱ地区、Ⅳ地区およびⅤ地区において、それぞれ流入量が0.1~1.3 m³/secの場合、おおよそ0.4 m³/sec前後の増加量を示している。

また、増加量は地区面積の大小に関係なく、いずれの地区でも0.4 m³/sec前後の値を示している。これを単位面積当り、すなわち1 km²当たり1日の水量に換算すると、Ⅴ地区で38,000 m³、Ⅳ地区で12,000 m³、Ⅱ地区で4,100 m³程度となり、増加量は地区面積が大きくなるほど小さくなる傾向がある。

3 伏没量および増加量を比較すると、右岸地区および左岸地区でも、増加量が伏没量を大きく上廻っている。これは、降水などの浸透によって貯蔵された地下水が地上に湧出した結果が増加量として示されるものと考えられ、この結果は逆に降水からの浸透量が地表水からの伏没浸透を大きく上廻っていることを暗示している。

4 本調査時には、若干の自由面地下水および被圧地下水の水位を測定した。これらの水位測定時までの15日間の合計雨量と水位の関係を第18図に示した。図の結果では合計降雨量と自由面地下水および被圧地下水の水

第11表 早出川扇状地における地区別の流量変化

| 地区名 | 測定位置番号 | 地区面積 A (km ²) | 第 1 回 測定 | | | 第 2 回 測定 | | | 第 3 回 測定 | | | 平均 $\frac{Q_0 - Q_i}{D}$ (m ³ /sec) | 1 km ² 当たりの平均水深 D (mm) |
|-----|-------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--|-----------------------------------|
| | | | Q _i (m ³ /sec) | Q ₀ (m ³ /sec) | Q ₀ -Q _i | Q _i (m ³ /sec) | Q ₀ (m ³ /sec) | Q ₀ -Q _i | Q _i (m ³ /sec) | Q ₀ (m ³ /sec) | Q ₀ -Q _i | | |
| I | 29, 30 | 2.50 | 1.428 | | | 1.538 | | | 2.101 | | | -0.218 | 7.5 |
| | 10~18 | | | -0.218 | | -0.209 | | -0.227 | | | | | |
| II | 10~18 | 7.92 | 1.210 | | | 1.329 | | | 1.874 | | | 0.218 | 2.4 |
| | 1~9, 26, 27 | | | 0.454 | | 0.330 | | -0.130 | | | | | |
| III | 31~41 | 2.33 | 0.587 | | | 0.438 | | | 0.294 | | | -0.074 | 2.7 |
| | 19~21 | | | 0.064 | | -0.091 | | -0.195 | | | | | |
| IV | 19~21 | 3.28 | 0.651 | | | 0.347 | | | 0.099 | | | 0.484 | 12.7 |
| | 22~25 | | | 0.415 | | 0.564 | | 0.474 | | | | | |
| V | 42, 44 | 0.95 | 1.075 | | | | | | | | | | |
| | 43, 45 | | | 0.434 | | | | | | | | | |

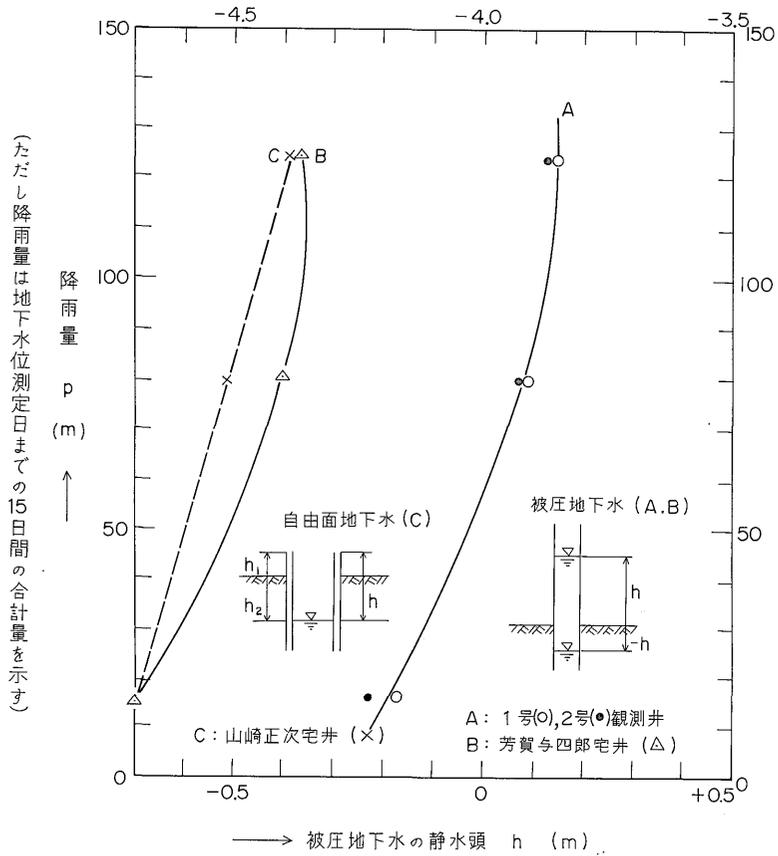
Q_i : 地区に流入する流量 (m³/sec)
 Q₀ : 地区から流出する流量 (m³/sec)
 Q₀-Q_i : 流量差, 符号が(+)の場合は増加を示し, (-)の場合は減少を示す. (m³/sec)
 D : 1 km² 当たりの水深 (mm)
 第 1 回測定: 昭和40年11月15日~17日測定
 第 2 回測定: 昭和41年 8 月 2 日~ 3 日測定
 第 3 回測定: 昭和41年 8 月 6 日~ 7 日測定

位には全く類似した関係がみとめられる。したがって、これらの関係から、自由面地下水であっても、被圧地下水であっても降雨量の増加に伴って地下水補給量が増大する関係が理解できる。合計雨量が15mm程度では地下水水位の上昇は認められないし、合計雨量が120mm以上になっても、地下水水位が上昇する割合は、それほどいちじるしくない。降雨からの浸透量は、量の多寡、雨の降り方および降雨前の土壌の乾湿の状態などにより相違するようであるが、降雨量が大きであっても浸透量には限度があるものと考えられる。この関係は地表水からの浸透と良く類似している。前述したように、豊水期における左岸地区の増加量の合計は0.88 m³/secであり、このうち扇頂付近からの伏没量0.22 m³/secを差引くと0.66 m³/secとなる。この差が降雨からの地下水湧出量に相当するものとし、1 km² 当りの平均湧出量を計算すると、1日6,400 m³、すなわち水深換算では6.4 mmに相当する。この水量が継続して湧出するものとするれば15日間では96 mmとなる。15日間の合計雨量が125mm程度であるから雨量の77%程度が伏没することになる。また、96 mmの全量が浸透したときの自由面地下水の水位上昇が35 cm

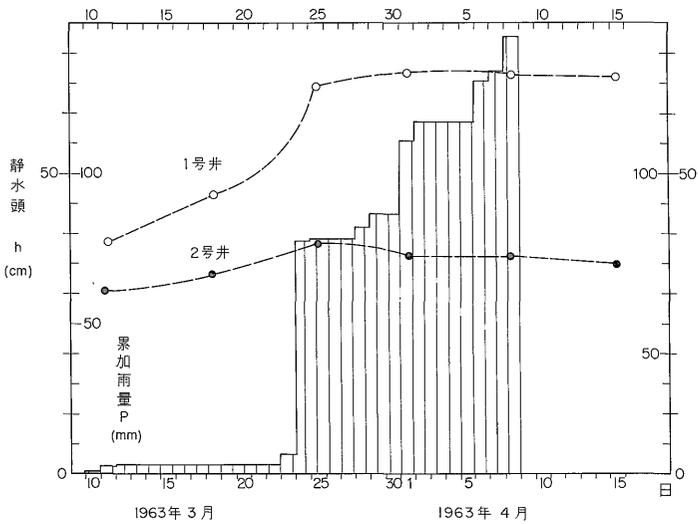
とすると、おおまかであるが、帯水層の有効空隙率は27%程度と推定される。被圧地下水であっても降雨からの補給があれば静水頭が上昇するし、さらに浸透補給量には限界がある関係もすでに述べた。第19図に累加雨量と被圧地下水の静水頭の関係を示した。すなわち、累加雨量が80 mm程度のとき静水頭は1号井で25 cm、2号井で8 cmの上昇がみとめられる。これら両井の水頭上昇の相違は、1号井は補給源に近いためであり、2号井は1号井よりも下流に位置している関係で、地下水が流動する際に生ずる摩擦抵抗による水頭損失と考えられる。補給量のおおまかな目安をうるために、被圧地下水層について自由面地下水の帯水層の有効空隙率に相当するような割合を8%とすれば、25 cmの水頭上昇に対する水量は20mmとなり、この量は累加雨量80 mmの25%に相当する。すなわち、降雨量の1/4程度の量が被圧地下水の補給量となることになる。

第20図は、扇状地における地下水補給量の推定に関する調査研究の総合結果を示している。すなわち、合計3回実施した調査が、それぞれ豊水期、低水期および渇水期に相当するものとするれば、ごくおおまかであるが早出

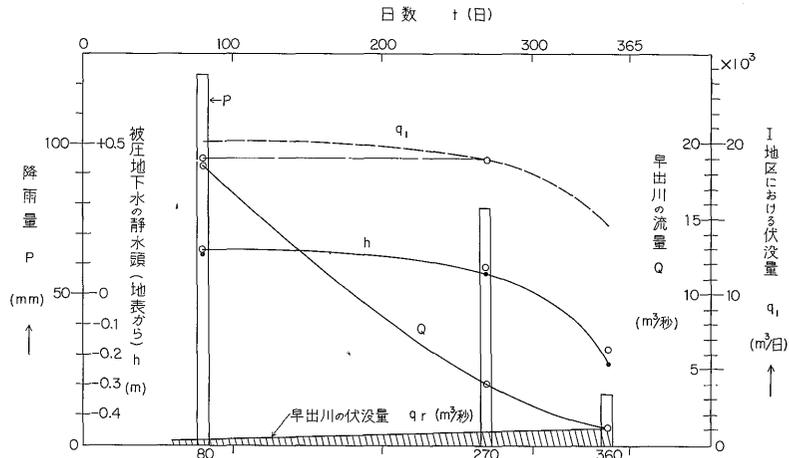
----> 自由面地下水の静水位 h_2 (m)



第18図 調査時における井戸の水位と降雨量の関係



第19図 累加雨量と観測井における静水頭の関係



第20図 早出川扇状地におけるハイドログラフ

川の流況曲線が図示できる。また、測定時までの15日間合計雨量と実測した地下水位も併せて示している。ここでは、渇水期におけるI地区の測定を実施していない。しかしながら豊水期および低水期における実測結果と早出川における伏没の割合が渇水期に大きいことなどを勘案すると、I地区における地表水からの伏没浸透曲線は地下水位の曲線と類似するものと考えられる。こうして推定したI地区の渇水期における伏没量は1日12,000~13,000 m³程度となる。

扇状地の扇頂および扇中央付近では、降水および地表水体からの地下水補給量が多い。さらに浸透した水の一部は被圧地下水の補給に消費されるが、その大部分は扇端付近で地上に湧出する。このような機構を一口でいえば、扇端付近に大きな出口と小さな出口を有する巨大な地下タンクにたとえられる。そして、流入量と流出量の相対的バランスがタンク内の水位変動として示される。このようにタンクは十分な貯水能力をもっているが、無降雨時には、地表水体からの補給があるにせよ、流出量はこれを大きく上廻るから両者の差がタンク内の水位低下として示される。また、大きい降雨あるいは適量の降雨が継続する期間では流出量を上廻る流入量が期待でき、この増量結果が小さな出口付近を含めたタンク内における活発な地下水位上昇として示される。このような関係から扇状地における地下水開発について注意したいのは扇頂および扇中央付近での大量の地下水開発は、扇端付近における被圧地下水に影響を与えることである。また被圧地下水の開発量は無降雨時における地表水からの補給量を基準として考えるべきである。本地域の場合には、開発量は渇水期における地表水からの伏没浸透量

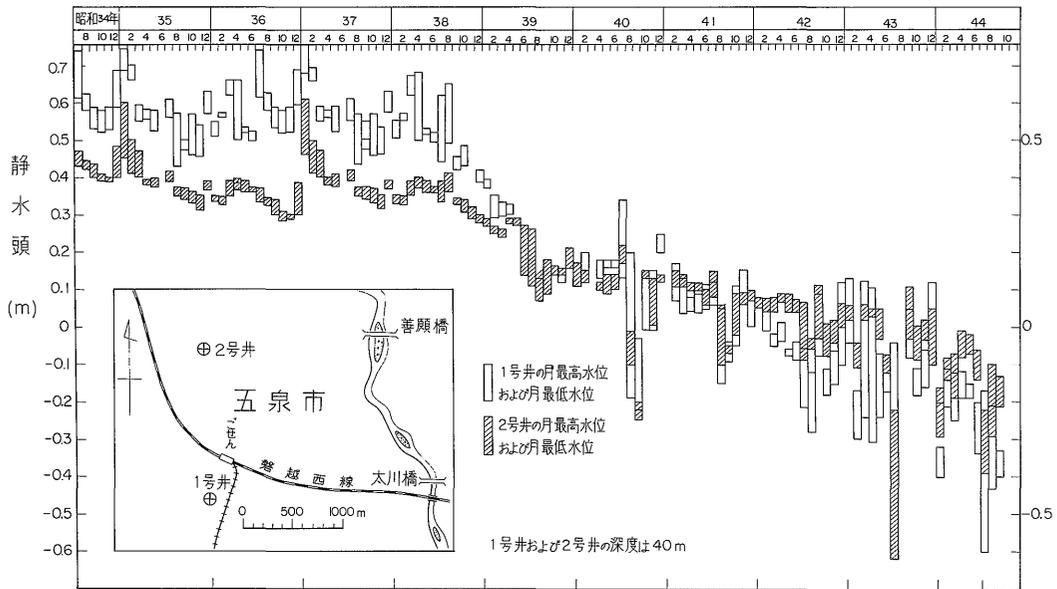
の $\frac{1}{2}$ に相当する1日6,000m³程度と思われる。この場合でも地下水位は低下するが、その後のひきつづく降雨から開発量を上廻る補給によって水位が回復するからである。

8. 地下水の保全

五泉市街に分布する掘抜井の大部分は自噴するので、被圧地下水は一般民家の飲料のほか各種用水の水源に利用されてきた。地下水使用量の増大に伴って、近年では一般民家の自噴井における自噴量が減少あるいは停止したため、一部地区では動力揚水に切替える井戸が増加した。またこのような静水圧面低下の原因としては、一般的に工場などの地下水の大量汲上げによる影響、季節的な降水量の増減変化、あるいは早出川における大規模な砂利採取のため河床がいちじるしく低下したため早出川からの伏流浸透量の減少などが考えられていた。ここでは降水量による自然的原因と地下水の汲上げによる人為的原因について検討する。

8.1 被圧地下水の静水頭の経年変動

地質調査所の依頼観測井である1号井および2号井では昭和34年6月以来、静水頭の経年観測を実施している。この結果を第21図に示した。すなわち、昭和34年8月から昭和38年8月までの期間における静水頭は1号井で60 cm前後、2号井では40 cm前後の高さを維持してきたのであるが、昭和38年9月以降には静水頭が次第に低下し、ことに1号井では月内における静水頭変動の割合が大きくなってきた。静水頭の経年変動の動態から考察すると、昭和38年8月以前は、おおむね自然的な変動を同年9月以降の変動は人為的な影響をうけているもの



と思われる。さらにこの関係について詳細に検討する。

8.2 降雨量と静水頭の変動

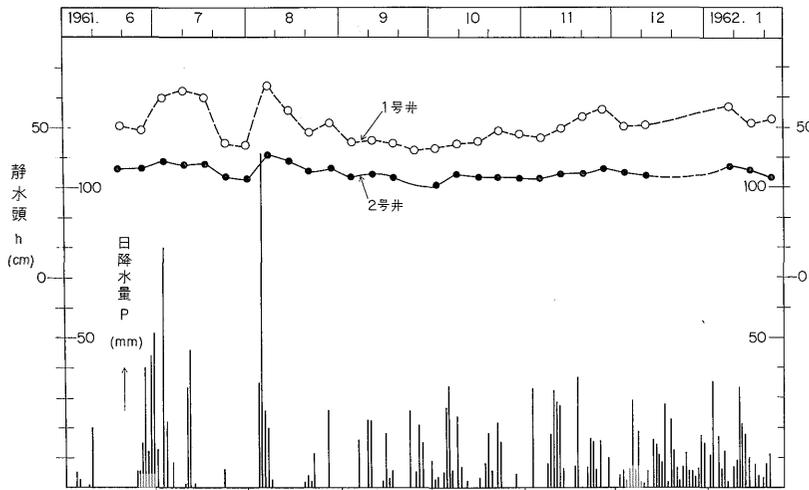
第22図に日降雨量と1号井および2号井における静水頭の関係を示した。すなわち、1号井および2号井における継続的変動は類似した傾向を示すが、大雨の場合あるいは連続降雨がある場合には水頭が上昇し、晴天日数が続くと下降する状況がみとめられ、静水頭の変動態様は降雨量の多寡に相関する。

8.3 静水頭の経年変動記録にあらわれる地下水汲み上げの影響

第23図は、昭和34年6月から昭和35年5月まで、昭和

41年6月から昭和42年5月まで、さらに昭和46年6月から昭和47年5月までの各時期における静水頭の変動を示した。以下説明の都合上、初期・中期・後期と呼ぶことにする。すなわち、初期における静水圧面は自然的変動を示し、地上からの静水頭は1号井で50~77cm、2号井で40~60cmを維持している。水頭が高い時期は7月初旬の梅雨期と12月から翌年2月頃の冬季に生じており、8月と9月および3月と4月頃に水頭の低下がみとめられる。

中期では、1号井および2号井における変動の傾向はよく類似している。この関係は地下水盆地の静水圧面が全



体的に低下しながらも，なお，自然の状態に近い状態で変動しているものと考えられる。ただ，ここでは，8月および9月における静水頭の低下が，前期にくらべて，とくに1号井でいちじるしく低下している関係が生じている。

後期になると1号井および2号井における水頭の変動態様は全く異なった様相を示す。すなわち，2号井における変動は，限られた時期に局部的な水頭低下が認められるが，全体としての傾向は中期の変動に類似しており静水圧面の高さもいちじるしく低下していない。これにくらべ，1号井における変動は不規則である。水頭の上昇および下降の関係はこれまでに認められた降水量の多寡に関係なく，人為的な地下水汲み上げの影響が大きく示されている。すなわち，1号井の周辺には，近年，同じ帯水層中（B層）の被圧地下水を取得する青果会社および給食センターなどの揚水井があり，これらの動力による揚水が井戸相互の水位に干渉するばかりでなく，井戸周辺の静水圧面低下を促進させているものと考えられる。

8.4 地下水の汲み上げが揚水井周辺の地下水面に及ぼす影響

すでに述べたように，C層中の被圧地下水を大量に揚水した場合には，揚水井を中心とした四周の静水圧面が低下し，その影響が2,000m前後まで波及する（第15図参照）。

B層中の被圧地下水を汲みあげた場合における影響半径はあきらかでない。本層中の静水圧面低下の原因の一つとして，一部市民の間に上水道および染色工業用としてC層中の被圧地下水を大量に汲みあげた場合，その影響が上部層であるB層中の被圧地下水に及ぶため静水圧面の低下が生ずるのではないかと懸念されていた。

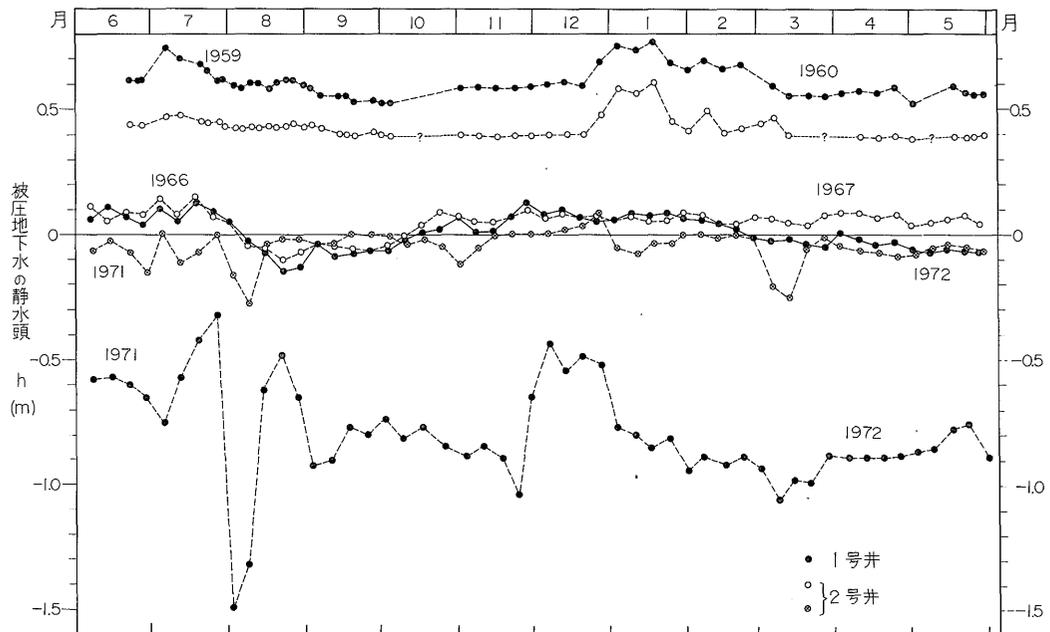
このことを確かめるため，上水道水源井において揚水試験を実施した際に，観測1号井においてB層中の被圧地下水の水頭を測定した。

すなわち，第24図に示したように，観測1号井は上水1号井から65m，上水2号井から47m離れて位置しており，さらに観測1号井から北西方向に約40mの距離に青果会社の倉庫がある。ここには深度40m前後の掘抜井があつて1日のうち数回，しかも短時間の地下水汲みあげを行っている。

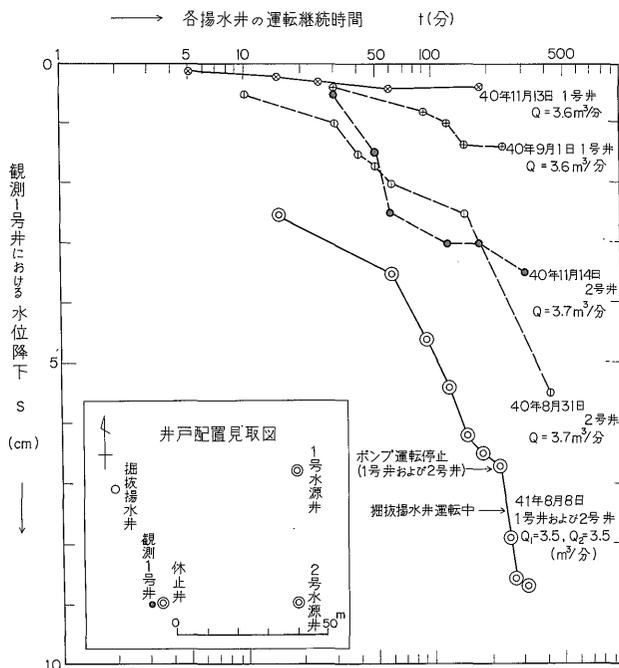
被圧地下水の静水圧面がもっとも低い夏季と比較的高い11月に，1号井および2号井をそれぞれ揚水した場合，さらに1号井と2号井を同時に揚水した場合における観測1号井の水頭変動を第24図に示した。

この結果では，水頭降下の変動はスムーズでないが，概略つぎのようにまとめられる。

1 観測1号井における水頭降下量は，遠距離にある上水1号井を揚水した場合に小さく，近距離にある上水2号井を揚水した場合には，前者にくらべて降下量が大



第23図 観測1号井および観測2号井における静水頭の経年変動



第24図 近接した揚水井の地下水汲みあげが観測1号井の静水頭に与える影響

2 1号井および2号井を同時に揚水した場合には、観測1号井における水頭降下量は、おおよそ1号井および2号井がそれぞれ単独で揚水した場合における水頭降下量の総和として示されるようである。

3 B層中の被圧地下水を取水の対象としている近接揚水井の影響は、1号井および2号井の揚水による影響よりも大きな水頭降下量を与える。

以上の結果を総合判断すると下部層の被圧地下水を大量に揚水した場合には、上部にある被圧地下水層からの漏水補給が行われるため、上部被圧地下水の静水圧面が低下する。しかしながら、その低下量は概して小さく、影響範囲も小さいものと考えられる。

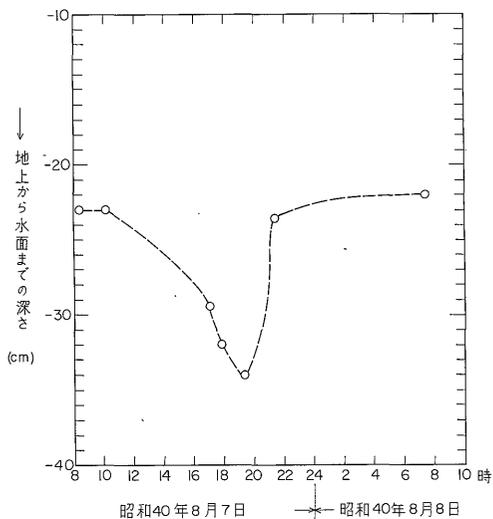
これに比べて、同層中の被圧地下水を少量汲みあげた場合でも、井戸間隔が小さい場合には揚水時間が1時間程度で9 cmの水頭降下が生じる。

第25図に、五泉市街の掘抜井における水頭低下の実例を示した。すなわち、この地区ではすでに自噴が停止したため、それぞれ民家では、家庭用の小規模ポンプを取付けて少量の地下水を汲みあげている。夕食時における地下水の一斉汲みあげおよび営業用の地下水汲みあげが、掘抜井の水頭に干渉して9 cmの水頭低下が生じている。

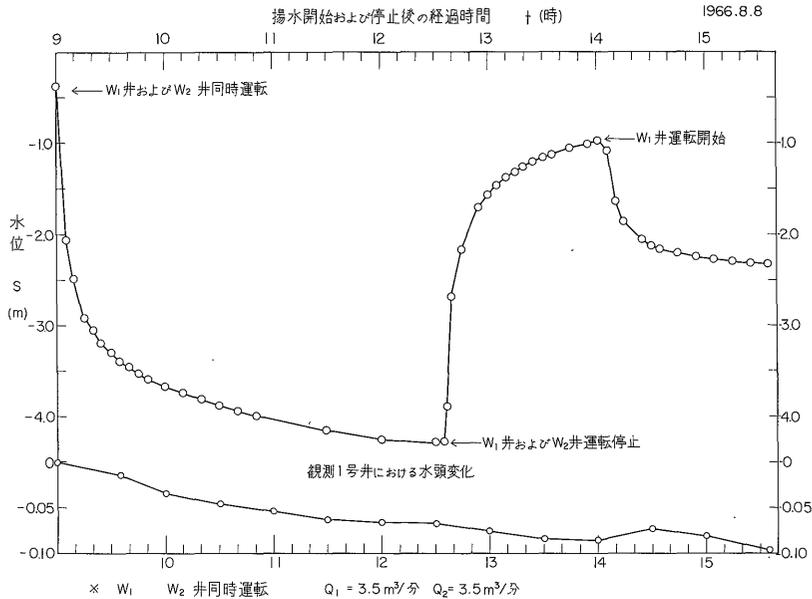
多数井戸の揚水による水頭干渉について実例を示す。第26図は1号井および2号井がそれぞれ揚水量を毎分

3.5 m³の割合で同時に揚水した場合と揚水を同時に停止したあとと再び1号井が揚水を継続したときの状態と、休止井における水頭の観測記録を示した。

すなわち、両井が同時に揚水を継続した場合、休止井に与える水頭降下量は3.91 mであり、揚水を停止すれば水頭は回復に向かう。しかしながら1号井が再び単独で揚水を継続すると水頭は低下し、図の場合には休止井に



第25図 五泉市街の掘抜井 (深度38m) における水頭の変化



第26図 隣接井の揚水および停止の影響によるW₃井における水位変化

おける水頭降下量は1.93mとなっている。

したがって、2号井が単独に揚水した場合には、休止井における水頭降下量は1.98mとなる。

このような影響は揚水井相互間にも生じ、お互の揚水水位を低下させる。図は省略するが、1号井が単独で揚水したときの揚水水位は地表下11.0m程度であったが、両井が同時に揚水した場合には13.82mとなり、2.82mの水頭降下量が生じる。また、2号井が単独に揚水した場合、揚水水位は地表下14.10m程度であったのが、両井が同時に揚水した場合には、16.58mとなり、1号井の揚水による影響が、2.48mの水頭降下量としてあらわれている。

五泉市街には、B層中の被圧地下水を対象とした掘抜井が密に存在しているので、井戸相互間の距離が短い。このため、たとえ揚水量が小さくとも、また揚水継続時間が短時間であっても、水頭降下を生じ、これが互に累積され地下水盆全体の静水圧面を低下させている。

第10図に示した自噴帯の推移からもあきらかなように、自噴帯は地下水の収支によって移動するが、全体的には次第に縮小している。さらに、一部井戸で強力な揚水が行われると局所的であるが、いちじるしい水頭低下が生じ、さらに自噴帯の規模を縮小させる傾向が第23図から十分察知できる。

以上の結果から五泉市街における地下水盆の静水圧面低下の原因および将来の予測について総合判断すると、

1 昭和34年頃には、被圧地下水盆の静水圧面は自然

状態で変動していた。

2 昭和38年頃までには、次第に掘抜井の数が増加した。すなわち排出自噴量の増加に伴って、地下水盆の静水圧面が全体的に低下するに至った。これがため扇端付近で地形的に高所にある掘抜井および供給源から遠距離の平野部にある掘抜井では、見掛上、自噴量の減少あるいは自噴が停止した。しかしながら静水圧面は自然状態に近い状態で変動していた。これまで自噴が停止していた地区でも、梅雨期および秋の大雨の頃には静水圧面が上昇し、再び自噴現象がみられた。

3 昭和41年頃には、これまでにも自噴停止地区では家庭用の小規模揚水機によって地下水を汲みあげていたのであるが、このような傾向が次第に普及するに至った。これら揚水井間の距離が短いため、揚水による水頭降下が互に干渉して静水圧面が次第に低下した。

夏季における地下水使用量の増大と観測1号井付近における掘抜井の増加あるいは揚水井の増加によって、静水圧面は局所的にいちじるしく低下した。しかしながら、掘抜井個々における汲みあげ量が小規模なためと揚水時間が短いため、地下水盆における静水圧面は全体的に低下しながら、なお、自然状態に近い状態で変動していた。

4 昭和46年以降には観測1号井付近における揚水井の汲上量が増大したため、付近における静水圧面がいちじるしく低下した。低下がいちじるしい部分は限られた範囲であり、その影響が及んでいない地下水盆の静水圧

面はなお、昭和42~43年頃の水頭を維持している。

掘抜井の自噴帯における自噴量の減少および自噴停止の原因の大部分は人為的な地下水開発による。すなわち、掘抜井の増加による自噴量の増加および小規模揚水機による被圧地下水の汲みあげなどは、地下水盆の静水圧面を全体的に低下させ、大規模揚水機による地下水の大量汲みあげは、局所的であるがいちじるしい低下を生じさせる。さらに自噴停止地域における揚水井の増加と地下水の大量汲みあげに伴って、揚水による水頭降下が井戸相互に干渉し、このような現象が拡大波及して地下水盆の静水圧面を全体的に低下させることが予測できる。低下がいちじるしい五泉市吉沢および今泉付近では、昭和34年から昭和47年の13年間に、おおよそ1.30mの静水圧面の低下が生じている。

五泉市街における自噴帯を維持するためには、B層中の被圧地下水を対象とした揚水機による大量の地下水汲みあげを極力おさえるよう努めるべきであろう。

9. 結 論

水の浸透流動機構に関する研究として、阿賀野川水系の早出川扇状地を対象とし、地下水および河川水文について調査研究した。

本報告では、主として被圧地下水の流動方向および補給の地理的位置の推定、および扇頂付近における地表水からの補給量の概量について述べた。さらに五泉市街に

おける自噴帯の規模の縮小については、現地における調査および揚水試験の結果と地下水位観測井における経年観測記録結果を検討・考察し、その原因の大半は被圧地下水盆における地下水の開発に起因していることを明らかにした。

地下水盆でもっとも利用されているB層中の被圧地下水の開発可能量は1日6,000 m³前後と見做される。現状の自噴規模を今後も維持するための被圧地下水採取の条件としては、自噴帯および自噴停止地域では家庭用の小規模揚水機を使用すべきであり、しかも長時間の連続揚水は望ましくない。大規模揚水機によるB層中の被圧地下水の大量汲みあげは、地下水盆における静水圧面のいちじるしい低下を惹起させ、自噴帯の規模を一層縮小させる。揚水機による地下水の大量汲みあげについては、その波及する影響を考慮し採水層の位置および井戸間隔について十分な検討が必要である。

文 献

- 村下敏夫 (1962) : 地下水学要論, 昭晃堂.
 中川耕二・向井久一・春日 明 (1964) : 新潟平野の浅層水溶性天然ガスの分布について, 応用地質, vol. 5, p. 185-190.
 新潟県 (1958) : 阿賀野川・早出川流域地下水報告書——五泉市を中心とする——, 68p.