

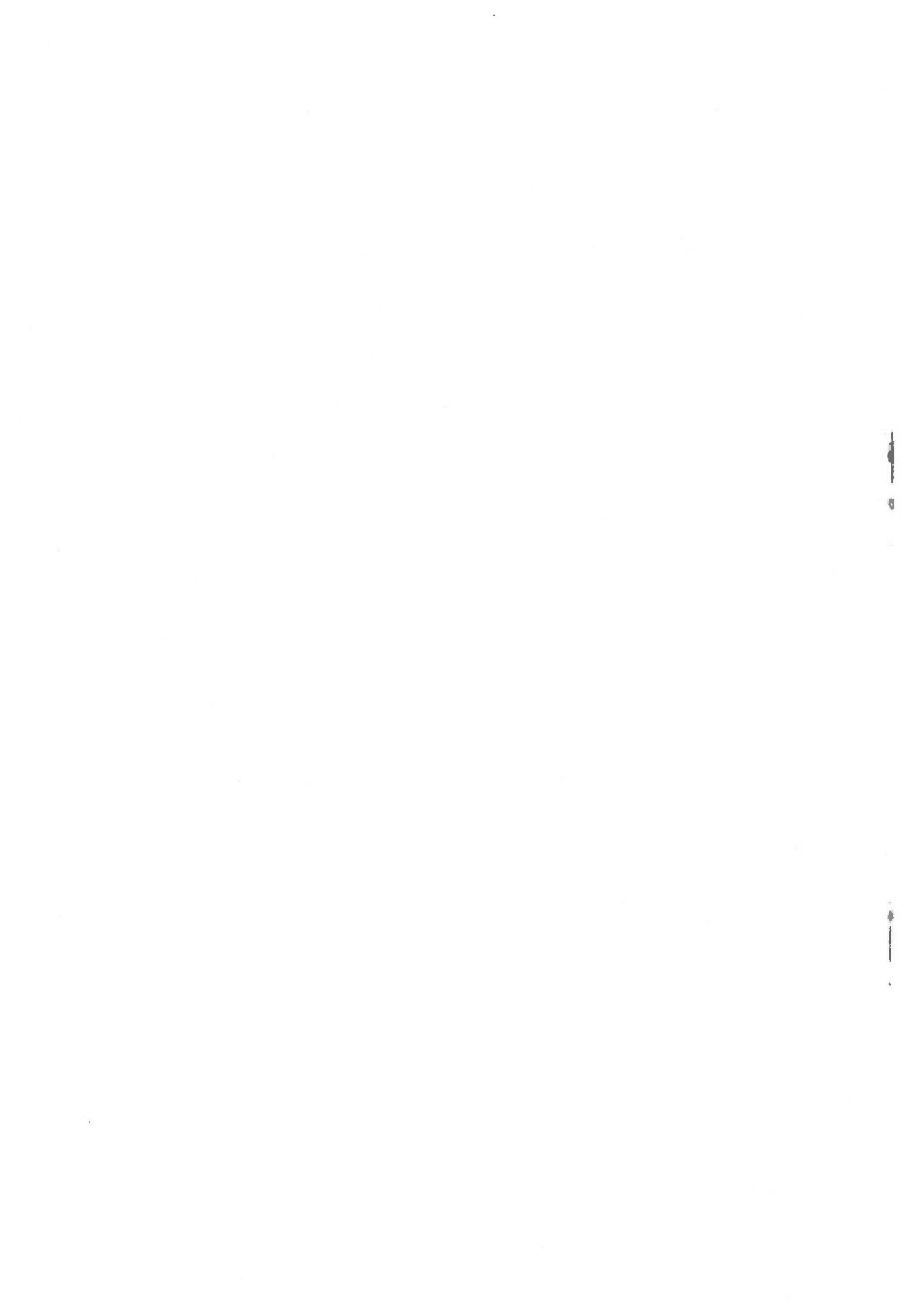
B. d. VII.

地質調査所報告 第240号

石川県手取川扇状地における
水収支の研究

地質調査所

昭和46年3月



556(521.43)

地質調査所報告

所長 小林 勇

石川県手取川扇状地における
水収支の研究

岸 和 男



目 次

要 旨	1
I. 緒 言	1
II. 地形・地質概要	2
III. 水文的环境	3
IV. 帯水層	5
IV. 1 帯水層の分布およびその厚さ	5
IV. 2 帯水層の性質	6
V. 表流水の伏没量	8
V. 1 手取川表流水の伏没量	8
V. 2 かんがい用水からの地下水補給量	11
VI. 地下水理	13
VII. 地下水流動量	22
VII. 1 8月における地下水流動量	22
VII. 2 X-X'断面における平均透水係数	24
VII. 3 月別平均流動量	24
VIII. 手取川表流水と降水からの地下水補給	29
VIII. 1 扇状地における平均有効間隙率	29
VIII. 2 降水による地下水補給	32
VIII. 3 非かんがい期における地下水補給量	37
IX. 水取支	39
X. 総 括	41
文 献	42
Abstract	

石川県手取川扇状地における 水収支の研究

岸 和 男*

要 旨

この報文は、手取川扇状地の水収支を簡易な方法によつて明らかにしたもので、地下水収支は扇状地の中央部に X—X' 断面をとり、これより上流側地区を対象にした。手取川扇状地の帯水層は上部と下部との2帯水層に分けられ、地下水収支は上部帯水層について行なつた。X—X' 断面における平均の透水係数は $5.2 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ で、この断面での3カ年平均月別平均流動量の最大は5月の $10.3 \text{m}^3/\text{sec}$ 、最少は11月の $6.1 \text{m}^3/\text{sec}$ であつた。X—X' 断面より上流部の上部帯水層の平均有効間隙率は、5.4%である。

非かんがい期における降水からの地下水補給率は、合計降水量の73%であつた。月別の地下水補給量は4月が最大で $4 \times 10^7 \text{m}^3$ 、9月が最少で $1 \times 10^7 \text{m}^3$ で、年間の地下水補給量は3カ年平均で $2.4 \times 10^8 \text{m}^3$ であつた。そのうちかんがい用水からの補給量は $9.4 \times 10^7 \text{m}^3$ で、手取川表流水からは $7.7 \times 10^7 \text{m}^3$ 、降水からは $6.9 \times 10^7 \text{m}^3$ であつた。これら三者からの補給の割合は、非かんがい期とかんがい期とは大きく異なつた。

I. 緒 言

地域地下水の開発利用およびその保全をはかる場合に、地下水の補給～流動～排出を量的に把握することは重要な課題の一つである。それはその地域の水収支を算定することであり普通1年を単位として取扱われる。地下水収支は短期間における降水からの地下水補給量、表流水からの地下水補給量、蒸発散量、地下水流出入量など数多くの項目について年間を通じて継続して実測あるいは算定し、その結果を月または年間として集計累積するものである。しかし 100km^2 以上にもおよぶ広い地域についての降水からの補給量、表流水からの補給量、蒸発散量などを年間を通じて直接測定することは特定の実験地を除いては容易ではない。また地下水の流出入量を算定に必要な透水係数にしても、長さ 10km 以上におよぶ断面の平均値を求めることは揚水試験などの方法では容易ではない。そこで水文および水理調査結果と既存の地下水位、表流水の流量などの資料から比較的簡易に水収支を算定する手法を考え、これを手取川扇状地について適用した。すなわち水文および水理調査結果から河川表流量と伏没水量との関係、基準となる断面の平均透水係数、対象となる帯水層の有効間隙率、降水からの地下水補給率などを求め、それらを用いて年間の水収支を推算する方法である。ただしこの方法による場合は、ある程度特定な水理地質的条件にあることが必要で、手取川扇状地はその条件におおむね適している。またこの地は地下水位、表流量などの各種資料も整っており、3カ年平均の水収支を算出することができた。しかし実測した水文調査結果および地下地質資料などについては量的・質的に必ずしも充分とはいえず、したがってこの報告では水収支算定に当たって推定による部分も少なくない。

本研究に当たっては3回の現地水文調査を行なっており石川県を始め地元市町村など関係各位から御協力をいただいた。また現地調査の2回目には水資源課菅野敏夫技官の御協力を得たので、ここに感謝の意を表す。さらに本稿を草するに当たり水資源課長小西泰次郎博士をはじめ水資源課各位から有益な御助言、御教示をいただいた。併せて謝意を表する次第である。

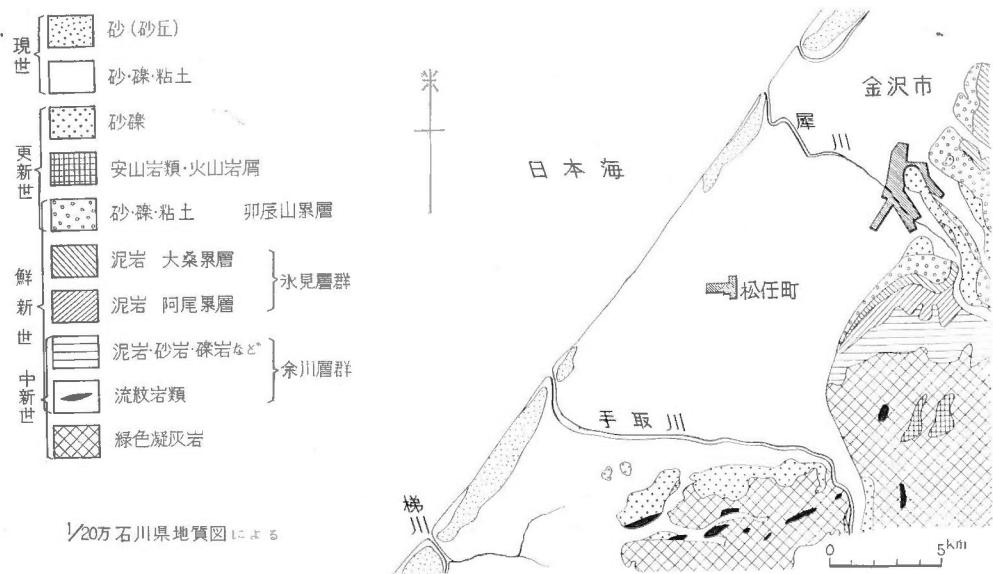
* 応用地質部



第1図 位置図

II. 地形・地質概要

手取川扇状地は石川県の日本海沿い平野部のほぼ中央部に位置し、模式的な扇状地形を形成している。扇状地面積は約 100km² あり、石川郡鶴来町付近を扇頂部とし西方から北方にかけて開けている。扇角は約 90°、扇頂から扇端までのもっとも長い距離は約 15km である。扇状地勾配は扇頂部から扇端部までほぼ同じであり、1/100~1/125 となっている。扇状地北縁は犀川扇状地に接しその境界はおよそ伏見川と推定され、扇状地南縁はおよそ梯川付近に達していると思われる。扇状地北端部の犀川河口から倉部川河口にかけての海岸沿いには、標高 10~20m、最大巾 1km ほどの砂丘が発達し、この砂丘と犀川に挟まれた三角形の低地は湧水地帯となっている。倉部川から手取川河口までの海岸沿いにも砂丘がみられるが、北部のもの



1/20万石川県地質図による

第2図 手取川扇状地の地質

にくらべその規模は小さい。また手取川河口から南方、梯川河口までにも標高 10~20m の砂丘が発達している。手取川本流は扇状地のほぼ南縁を流れており左岸側扇状地の面積は右岸側扇状地面積の 1/6 以下にすぎない。なお左岸扇状地の扇中央部には中砂ないし細砂からなる残丘が点在している。

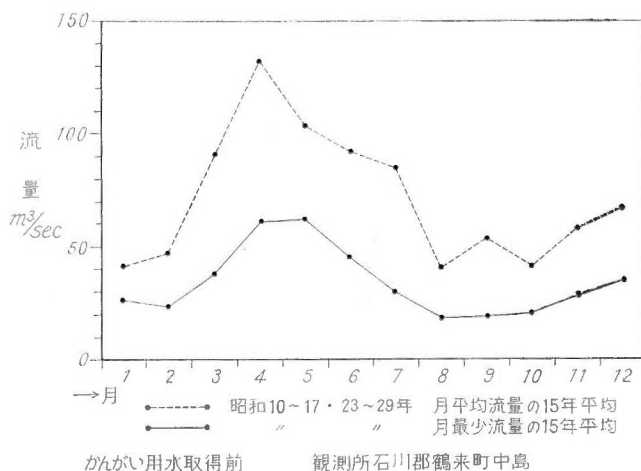
扇状地周辺山地の地質は更新世の砂礫、更新世~鮮新世の砂・礫・粘土（卯辰山累層）、鮮新世の砂・泥岩および鮮新世から中新世にかけての泥岩・砂岩・礫岩・緑色凝灰岩などである。このうち泥岩・砂岩・礫岩・凝灰岩などは不透水性の地層である。更新世の砂礫は河岸段丘堆積物、旧崖錐性堆積物などであり、調査地域内では手取川左岸に沿った丘陵地帯と扇状地の東北端にわずかに分布している。礫・砂・粘土からなる卯辰山累層および砂からなる大桑層は扇状地の東北端の山麓部に市狭く分布している。金沢市街地では卯辰山層および大桑層から地下水を取得している井戸があり、この両層は手取川扇状地の地下深部に伏在していることが予想されるが、これら両層の地表での分布範囲はきわめて狭い。

Ⅲ. 水文的环境

手取川は飛騨山系、三ノ峰山に源を發し中生代の砂岩・頁岩・礫岩、古生代の變成岩類、中新世の凝灰岩などから構成される山地を流下し鶴来町において山地部を脱する。鶴来町から下流では広大な扇状地を形成し、流路を西方に向け美川町において日本海に注ぐ。山地部の流域面積は約 750km²、河口から約 15km 上流までの河川勾配は平均約 1/150 である。手取川表流水は上流山地において 10 数カ所の発電所で発電に利用されたのち鶴来町において農業用水として大量に取水されている。

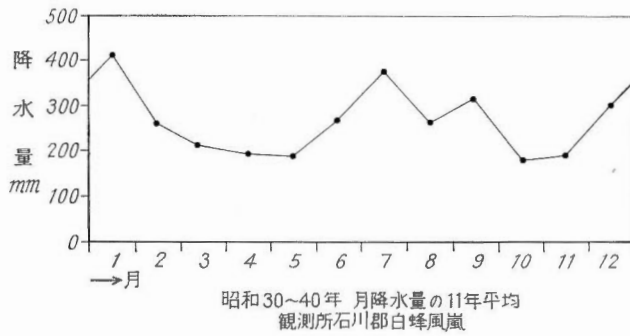
第 3 図は鶴来町中島において農業用水に取水される前の手取川の月平均流量の年間傾向（昭和10~17年、昭和23~29年、計15カ年の月平均流量の平均値）を示したもので、手取川の流量（農業用水に取得される前）は 1・2 月が少なく 3 月から急増し、4・5 月が最大となる。そして 6 月から減少し 8~10 月が最少となりその後 11 月・12 月と若干増加する。第 4 図は手取川上流山地における月降水量の 11 年平均（昭和30~40年）を示したもので、月降水量の年傾向は、3~5 月、10~11 月が少なく（200mm/月前後）6~9 月、12~2 月が多く（250~400mm）なっている。このうち 12 月から 3 月までの間は降雪の場合が多い。月降水量と手取川表流量との関係注1)をみると降水量の少ない 3~5 月の流量が多く、1~2 月の積雪が 3~6 月に融雪し流量が最高になることを示している。融雪がほとんど終わってしまう 7 月以降は月降水量の増減にともなって流量が変動している。

第 5 図に農業用水が取得された後の手取川の月平均流量の 4 年平均（昭和37~40年）を示した。また農

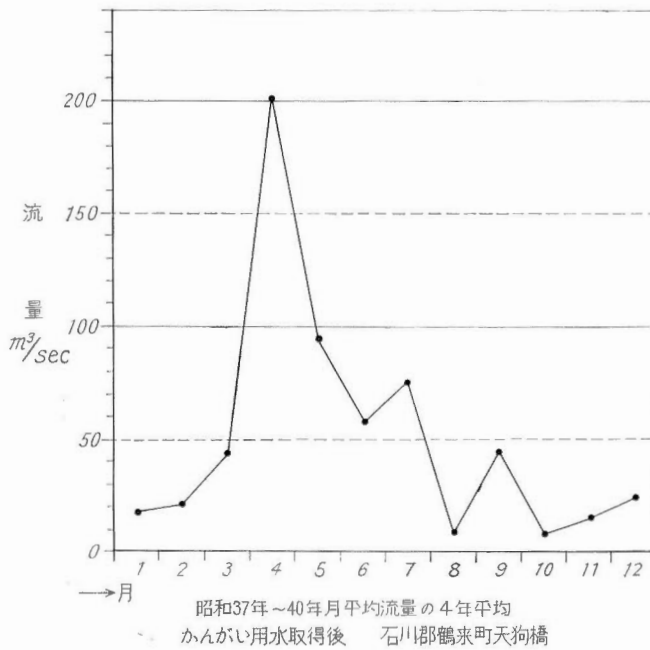


第 3 図 手取川の流量変化

注1) 降水量と流量の観測年はかなり離れているが、ともに11~15年間の平均値であるので年傾向の比較にはなる。



第4図 手取川上流における降水量



第5図 手取川の月平均流量

第1表 手取川の流況

農業用水が取得される前の流況

	豊水	平水	低水	渇水	最少	年平均
流量 (m³/sec)	83.1	52.6	32.8	19.3	14.8	71.4
比流量 (m³/sec/100km²)	10.6	6.73	4.19	2.46	1.90	9.13

鶴来町中島 昭和10~17年, 23~25年平均

農業用水が取得された後の流況

	豊水	平水	低水	渇水	最少	年平均
流量 (m³/sec)	74.5	24.5	6.1	0	0	65.2
比流量 (m³/sec/100km²)	10.0	3.3	0.8	0	0	8.7

鶴来町大國 昭和26~39年平均

業用水が取得される前の流況と取得されたのちの流況を第1表に示した。

鶴来町における農業用水の取得水利権は常時 $48.5\text{m}^3/\text{sec}$ 、最大 $75\text{m}^3/\text{sec}$ であり、そのうち右岸側扇状地の取得分は常時 $47\text{m}^3/\text{sec}$ 、最大 $66\text{m}^3/\text{sec}$ である。

常時水利権 $48.5\text{m}^3/\text{sec}$ は手取川のほぼ平水量に相当し年のうち約1/2の期間は水利権以下の水量しか得られないことになる。また月平均流量および月最少流量の年傾向から判断すると、4月・5月は月を通して $48.5\text{m}^3/\text{sec}$ 以上の用水が取得可能とみられ、1・2・8～10月の各月は月のうちかなりの日数が $48.5\text{m}^3/\text{sec}$ 以下の水量しか得られないものとみなされる。

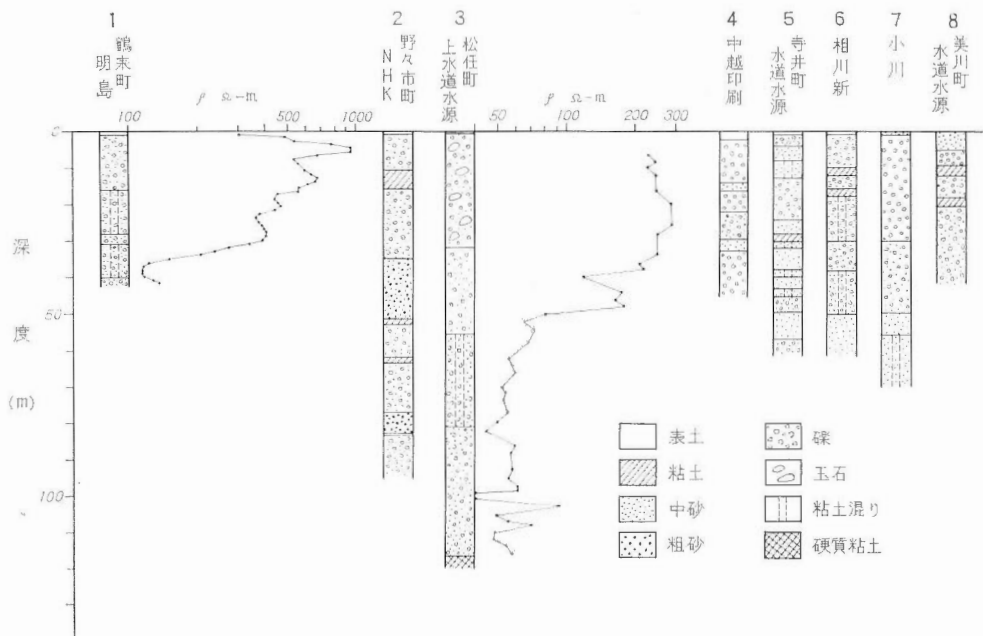
IV. 帯水層

IV. 1 帯水層の分布およびその厚さ

手取川扇状地では水道用、工業用、農業用の井戸が多数掘られており、そのうちおもな井戸の地質柱状図を第6図に示した。またその地理的位置は第7図に示してある。

扇状地のほぼ中央部に扇状地内でもっとも深い上水道水源がある。またその付近において深度144mまでの地質調査ボーリングが行なわれている。この両井の地質柱状図によると地表から深度50～60mまでは粘土質分をほとんど含まない砂礫層が続き、50～60mから130mの間は粘土を含む砂礫となっている。130m以深は砂あるいは砂礫と粘土との互層と思われる。また電気検層結果をみると60～130mの帯水層の比抵抗値は50～60m以浅の帯水層の比抵抗値にくらべて一段と低くなっており、50～60m以浅の帯水層の性質と50～60m以深の帯水層の性質はかなり異なるものと思われる。130m以深の比抵抗値は60～130mの比抵抗値よりさらに低く、130m以深の帯水層はかなり固結度が高くなっているものと思われる。このような傾向は扇頂部の地質ボーリングあるいは野々市町付近の数本の井戸の電気検層結果にもあらわれており、これらを考え合わせれば、手取川扇状地の帯水層は上部帯水層と下部帯水層とに分けられる。

上部帯水層の堆積状況は扇中央部と外縁部とでは若干異なり、扇中央部では連続した砂礫層で粘土層あるいは



第6図 ボーリング地質柱状図



第 7 図 手取川扇状地の地下水要図

粘土質層がほとんどみられない。それに対し外縁部では 1 ないし数層の粘土層あるいは粘土質層が介在している。上部帯水層の厚さは扇央部で 50~60m, 扇頂部で 30m 内外, 扇状地北縁部で 40m 内外である。扇状地南縁部での厚さは資料が不足のため明らかでないが 45m 以上と推定される。

下部帯水層の厚さは扇央部において 80m 内外と推定されるがその他の地区では資料が得られないので明らかでない。

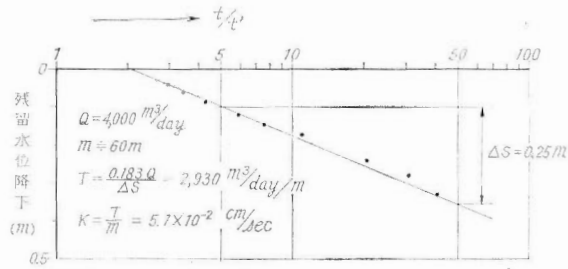
IV. 2 帯水層の性質

手取川扇状地においては、帯水層の性質を知るに役立つ揚水試験が行なわれた井戸は 3 本に過ぎない。また揚水量と水位降下との関係が明らかな井戸もきわめて少ない。したがって帯水層全体の性質を明らかにすることはできないが、得られた資料から帯水層全体の性質を判定した。

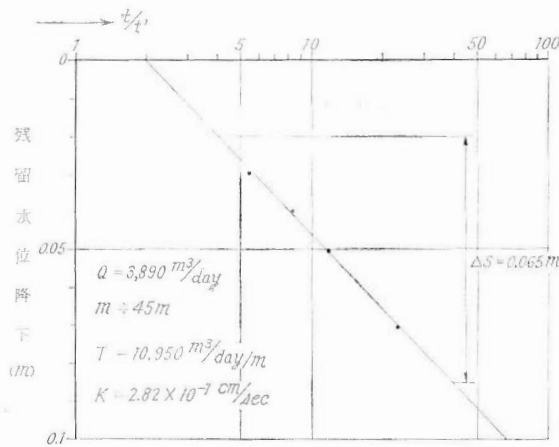
第 8 図に揚水試験をもとにした帯水層の性質の算定図を、第 9 図に水位降下と揚水量の関係を示した。また井戸深度と比湧出量の関係を第 2 表に示した。

扇状地のほぼ中央に位置する松任町上水道水源 1 号井は深度 117m, 口径 300mm, ストレーナーは 30

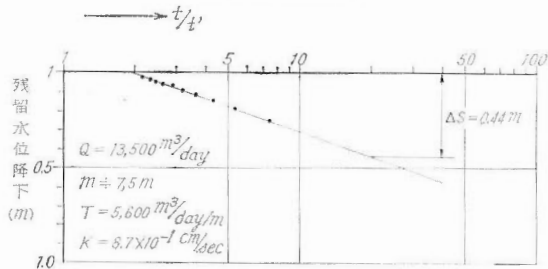
松任町上水道水源1号井



小川かんがい井戸



粟生大口径浅井戸



第 8 図 手取川扇状地における透水量係数の算定

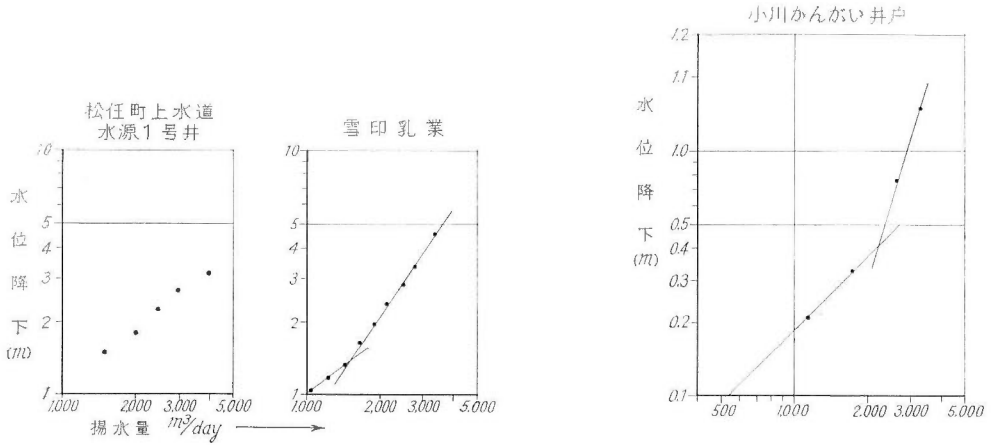
mから 117m までの間で合計 58.5m 切っている。この井戸の比湧出量は $1,100 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ であり透水係数 k は $5.7 \times 10^{-2} \text{ cm}/\text{sec}$ と算定された。

松任町小川のかんがい井戸は深度 70m、口径 500mm、ストレーナー位置 10~35m、50~60m であり比湧出量は $5,400 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ 、 $k = 2.8 \times 10^{-1} \text{ cm}/\text{sec}$ と算定された。

寺井町粟生における揚水試験では、井戸深度 7.5m、口径 3.3m の浅井戸で比湧出量 $6,750 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$ 、 $k = 8.7 \times 10^{-1} \text{ cm}/\text{sec}$ と算定された。

このほか手取川扇状地についての地質調査報告書によれば、松任町における深度 131m の試験井では、 $k = 1.9 \times 10^{-3} \text{ cm}/\text{sec}$ 、鶴来町明島の深度 25m の試験井では $k = 9.9 \times 10^{-4} \text{ cm}/\text{sec}$ と算定されている。

以上のように扇状地における帯水層の透水係数は井戸の位置によってかなり異なっているが、電気検層結



第 9 図 手取川扇状地における揚水量と水位降下の関係

第 2 表 手取川扇状地における井戸の比湧出量

項目 井戸名	深 さ (m)	比 湧 出 量 (m ³ /day/m)	透 水 係 数 (cm/sec)	備 考
松任町小川かんがい	70	5,400	2.82×10^{-1}	大口径浅井戸
松任町水道水源1号	116	1,100	5.7×10^{-2}	
寺井町粟生試験井	7.5	6,750	8.7×10^{-1}	
松任町金沢産業	60	5,300		
寺井町水道水源	60	1,750		

果などを参照して考えると、上部帯水層の透水係数は $1 \sim 9 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ と考えられる。下部帯水層は上部帯水層にくらべてかなり透水性が劣るように思われ、 $k = 1 \sim 9 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ と考えられる。

V. 表流水の伏没量

V. 1 手取川表流水の伏没量

扇状地を流れる手取川表流水の伏没量を求めるため河川縦断方向における流量測定を行なった。測定は昭和40年8月と40年10月に行い、8月には鶴来町天狗橋付近から河口までの間を4区間に分けて測定し、10月には鶴来町中島付近から手取橋下流までの間を2区間に分けて測定した。各測定断面のうちb断面とI断面、c断面とII断面はほぼ同じ地点である。測定地点は第10図に、測定結果は第3表と第4表に示してある。各区間ごとの表流水の増減状況は次のとおりである。

a—b 区間：天狗橋下流約 500m の地点 (a 断面) から鶴来町中島付近 (b 断面 = I 断面) までの約 2.8 km の区間では、上流側流量が $2 \text{m}^3/\text{sec}$ のとき $0.3 \text{m}^3/\text{sec}$ が伏没し、上流側流量が $0.3 \text{m}^3/\text{sec}$ のときは $0.2 \text{m}^3/\text{sec}$ が伏没している。この区間の河床は a 断面から a—b 断面のほぼ中ほどまで岩盤が露出しておりそれより下流においても河床下浅く岩盤が存在するものと推定される。そのため上流側流量が $2 \text{m}^3/\text{sec}$ のときでも伏没量が少ないものと考えられる。またこの区間は表流水が伏没する条件に適しておらず、おそらく上流側流量が増加しても伏没量はそう大きくならないものと思われる。

第3表 手取川流量測定結果(その1)

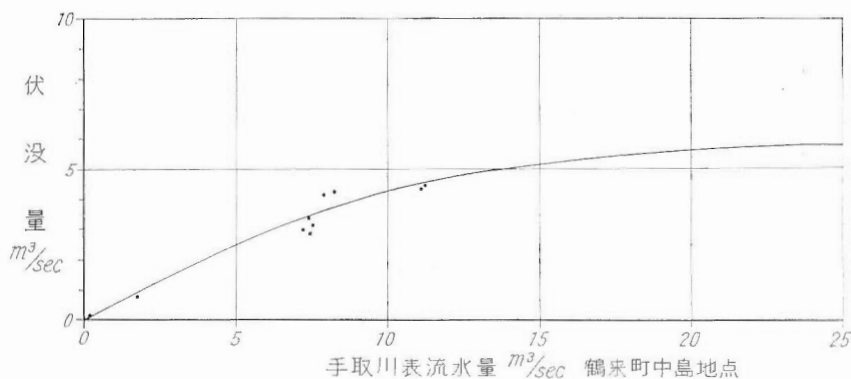
番号	河川名	測定位置	測定年月日 時分	流量 Q (m^3/sec)	各区間の増減 量 q (m^3/sec)	$\frac{q}{Q} \times 100$	備考
a	手取川	鶴来町天狗橋下流	S 40.8.5 12h 15m	2.071			河床岩盤
b	"	" 中島地先	" 13h 00m	1.777	-0.294	14	河床礫
c	"	松任町辰ノ口橋上流	" 14h 30m	1.499	-0.278	16	同上
c'	用水		" "	0.412			流入
d	手取川	松任町舟場島地先	" 15h 30m	1.444	-0.357	19	河床礫
a	手取川	天狗橋下流	S 40.8.6 10h 00m	0.293	-0.190	65	
b	"	中島地先	" 10h 40m	0.103	-0.103	100	
c	"	辰ノ口橋上流	" 11h 10m	0			
c'	用水		" "	0.412	0	0	
d	手取川	舟場島地先	" 11h 40m	0.412			
b	手取川	中島地先	S 40.8.6 14h 55m	0.059	-0.059	100	
c	"	辰ノ口橋上流	" 15h 10m	0			
c'	用水			0.412			
d	手取川	舟場島地先	" 15h 35m	0.325	-0.087	21	
e	"	美川町朝日地先	" 16h 15m	0.885	+0.560		河床礫

I~II (b~c) 区間: 中島地先から辰ノ口橋上流までの約 2.8km の区間では、増減量測定を合計 9 回行なった。この区間では上流側流量が $7 \sim 11 m^3/sec$ のとき $0.005 \sim 2.8 m^3/sec$ の伏没量を示し、ときによってかなり異なった数値が得られた。このような現象はII断面付近において流量測定に際しての最適な条件を持つ測定断面が選ばなかったことによって生じたものであろう。

しかしこの区間では表流水の流量は上流側に較べて下流側で増加した例は一つも示されていないので、数値的には不確実であるがこの区間はおおむね表流水の伏没区間とみなされる。

II~III区間: 辰ノ口橋上流地点から美川町粟生地先までの約 4.5km の区間では増減量の測定を合計 7 回行なっている。この区間における表流水はII断面流量が $7 \sim 11 m^3/sec$ のとき $1.65 \sim 3.17 m^3/sec$ 伏没している。上流側流量に対する伏没量の割合は 20~44% に達しこの区間の伏没はいちじるしい。

III断面から下流の区間: III断面から下流においては増減量の測定は行っていないが、39年8月にはIII断



第11図 手取川表流量と伏没量との関係

第4表 手取川流量測定結果(その2)

測定年月日回数	I断面流量 $Q_1(\text{m}^3/\text{sec})$	I断面流量 $Q_2(\text{m}^3/\text{sec})$	II断面流量 $Q_3(\text{m}^3/\text{sec})$	I~II間の減 少量 q_1 (m^3/sec)	$\frac{q_1}{Q_1} \times 100$	II~III間の減 少量 q_2 (m^3/sec)	$\frac{q_2}{Q_2} \times 100$	I~III間の減 少量 q_1+q_2 (m^3/sec)	$\frac{q_1+q_2}{Q_1} \times 100$
S 41.10.21 第1回	11.130	8.672	6.753	2.458	22.3	1.919	22	4.377	39.3
" 第2回	11.192	8.361	6.711	2.831	25	1.650	19.7	4.481	40
S 41.10.22 第1回	7.443	7.438	4.560	0.005	0.07	2.878	38.7	2.883	38.7
" 第2回	7.402	7.192	4.024	0.210	2.8	3.168	44	3.378	45.6
" 第3回	7.519	7.056	4.389	0.463	6.2	2.667	38.7	3.125	44.3
S 41.10.23 第1回	7.240	6.940	4.254	0.300	4.1	2.686	38.7	2.986	41.2
" 第2回	7.803	6.636	4.354	1.167	15	2.282	34.4	3.446	55.7
S 41.10.24 第1回	8.225		3.901					4.324	52.6

面から河口にかけて、かなりの表流水の増加がみられた。

d～e 区間：Ⅲ断面を真中に挟む d～e 区間では、d 断面流量が約 $0.3\text{m}^3/\text{sec}$ のときに $0.56\text{m}^3/\text{sec}$ の表流水が増加していた。

以上の流量測定結果によれば手取川表流水は天狗橋下流から手取橋付近までの間で伏没するが、そのうち辰ノ口橋上流から手取橋付近までの間の伏没がもっとも多く、ついで中島地先から辰ノ口橋の間もかなり伏没するものとみなされる。第11図に中島地点の流量と中島地点から手取橋までの合計伏没量との関係を示した。すなわち上流側流量と伏没量との関係が抛物線 ($Q=a(q\pm b)^2$) の形になると仮定し、最小自乗法で求めた関係式は次のようになる。

中島地点流量 $1\sim 8\text{m}^3/\text{sec}$ の場合

$$q = \sqrt{\frac{Q}{0.324}} - 1.368$$

中島地点流量 $8\sim 20\text{m}^3/\text{sec}$ の場合

$$q = \sqrt{\frac{Q}{0.753}} + 0.596$$

q = 中島地先から手取橋までの間における合計伏没量 m^3/sec

Q = 中島地先における流量 m^3/sec

上式によって上流側河川流量に対する伏没量を一応求めることはできるが本来の伏没量は河道沿岸の地下水位の高低、河床状況の変化、流量の時間的変動などによっても支配される。そこで河川表流水の伏没による地下水補給量を正確に求めるには、上記の各要素について明らかにするとともに、a～b間、d～e間の流量が多いとき(数 m^3/sec 以上)の増減状況およびⅠ～Ⅲ区間の流量が $12\text{m}^3/\text{sec}$ 以上のときの伏没量などを知る必要がある。したがって上式はかなり条件の限定された式であるが、渇水期における表流水の伏没による地下水補給量のおおよそを算定するためには充分役立つものである。

V. 2 かんがい用水からの地下水補給量

手取川扇状地を流れるかんがい用水からの地下水補給量を明らかにするため、昭和41年8月に用水の流量測定を208地点について行なった。測定に当たっては扇状地を $12\sim 19\text{km}^2$ の6地区に分割し分割線上にある水路全部について、流入および流出する流量を測定し、その差し引き結果をその地区の用水増減量とした。測定位置および分割線を第10図に、測定結果を第5表に示した。流量測定期間中およびそれ以前数日間は晴天が続き降水量は皆無であり、上流地区に流入する用水量も測定期間中はほぼ安定していたので各区域内における用水の増減量は各地区への用水流入量から流出量を差し引いた値をそのまま採用して差し支えない。各地区における用水の増減量は第6表である。

各地区における用水路および湛水田からの地下水補給量 (F) は各地区の用水減少量 (q) から各地区の蒸発散量 (E) を差し引いたものである。また地区での地下水排出量は用水の増加量 (q') に蒸発散量 (E) を加えたものである。

蒸発散量は手取川扇状地にあってはほぼ全面が水田であり水田が湛水している8月においては水田の葉水面蒸発量として差し支えない。

葉水面蒸発量は、北陸地方においては8月下旬には旬平均 $6\text{mm}/\text{day}$ とされており、晴天が続いていた調査期間中は旬平均より $2\sim 3\text{mm}/\text{day}$ ほど多いと思われる。しかし扇状地全体が水田のみではなく道路、家屋敷、わずかの畑地などがあり、その蒸発散量は少ないものとみて全体の平均した蒸発散量 E は $7\text{mm}/\text{day}$ とした。

このようにして算出された各地区ごとの地下水補給量および地下水排出量は第7表に示してあるが、これを要約すると次のようになる。

各地区におけるかんがい用水からの地下水補給量は手取川沿いの扇状地上流地区 (a地区) がもっとも多く、 $3.1 \times 10^9 \text{m}^3/\text{day} = 3.6\text{m}^3/\text{sec}$ であり以下 d地区 → b地区 → c地区 → e地区の順に少なくなっている。

第6表 地区別の用水増減量

地区記号	地区の範囲	地区に流入する		地区から流出する		地区内における増減量 (m^3/sec)	地区面積 (km^2)	増減量 地区面積 ($m^3/sec/km^2$)
		水路番号	合計流量 (m^3/sec)	水路番号	合計流量 (m^3/sec)			
a	鶴来町中島—大竹—松任町舟場島— 鶴来町中島	1~11, 120, 121, 122, 125, 133, 135, 136	16.2364	80~104, 115~119, 123~124, 126~132, 134, 105~107	11.6167	-4.6197	12.6	-0.366
b	鶴来町大竹—日向—松任町成田橋— 村井—四ッ屋—鶴来町大竹	12~15, 108~112, 116~119, 123~124, 126~132, 134	10.9009	55~79, 113, 114, 120~122, 133, 135 ~136	7.6091	-3.2918	12.2	-0.270
c	鶴来町日向—井ノ口—野々市町下林 —松任町成田橋—鶴来町日向	16~25, 113, 114	11.2651	26~54, 108~112	8.8874	-2.3777	11.5	-0.206
d	松任町上柏野—四ッ屋—舟場島—美 川町—美川町松本—松任町上柏野	70~104, 154	7.5305	137~149, 151~153, 156~165	2.8594	-4.6711	18.3	-0.255
e	松任町上柏野—成田橋—倉部—高松 —美川町松本—松任町上柏野	55~69, 151~153, 191, 192, 194	4.1797	150, 154, 193, 195, 166~190	1.8734	-2.3063	18.9	-0.122
f	松任町成田橋—下林—金沢市袋昌町 —下安原—松任町倉部—成田橋	34~54, 193, 205~ 207	5.3448	191, 192, 194, 196 ~204, 208	8.7154	+3.3706	21.4	+0.157

地区内における増減量—地区に流入する合計流量—地区から流出する合計流量 地区内における増減量： —は減少 +は増加を示す

第7表 用水田からの地下水補給量

地区 記号	地区面積 (km ²)	用水増減量		薬水面 蒸発量 (mm/day)	地下水補給量			地下水湧出量		
		(m ³ /sec)	(mm/day)		(mm/day)	(m ³ /day)	(m ³ /sec)	(mm/day)	(m ³ /day)	(m ³ /sec)
a	12.6	-4.6	-31.6	7	24.6	3.1×10 ⁵	3.6			
b	12.2	-3.3	-23.4	7	16.4	2.0×10 ⁵	2.3			
c	11.5	-2.4	-19.1	7	12.1	1.4×10 ⁵	1.5			
d	18.3	-4.7	-22.2	7	15.2	2.8×10 ⁵	3.2			
e	18.9	-2.3	-10.5	7	3.5	6.6×10 ⁴	0.8			
f	21.4	+3.4	+13.7	7				20.7	4.4×10 ⁵	5.1

扇状地上流部の a・b・c 地区の地下水補給量の合計は 7.5m³/sec で、a～e 地区の地下水補給量の合計は約 11.4m³/sec である。a～e 地区の地下水補給量は測定地域に流入する水量の約 30% に相当し、地下水補給量の合計から地下水排出量を差し引いた値は約 6.3m³/sec である。

各地区の単位面積当たりの地下水補給量を水深で表わすと a 地区=24.6mm/day, b 地区=16.4mm/day, d 地区=15.2mm/day, c 地区=12.1mm/day, e 地区=3.5mm/day となっており、a 地区の地下水補給能力は他の地区にくらべ一段とすぐれている。また f 地区のみは表流水が増加し地下水の排出地区となっており、その排出量は 4.4×10⁵m³/day, 水深にして 20.7mm/day である。

以上のように手取川扇状地では扇状地上流部の a・b・c 地区および下流部手取川沿いの d 地区が地表水からの地下水補給地区であり、扇端部の f 地区は地下水の排出地区である。扇端中央部の e 地区は排出地区と地下水補給地区とにまたがった地区あるいは排出も補給も示さない地区である。なお各地区を補給地区あるいは排出地区と呼んでいるがそれは各地区の平均化された現象に対してであって、各地区を分割した線が補給地区と排出地区の境界を示すものではない。

VI. 地下水理

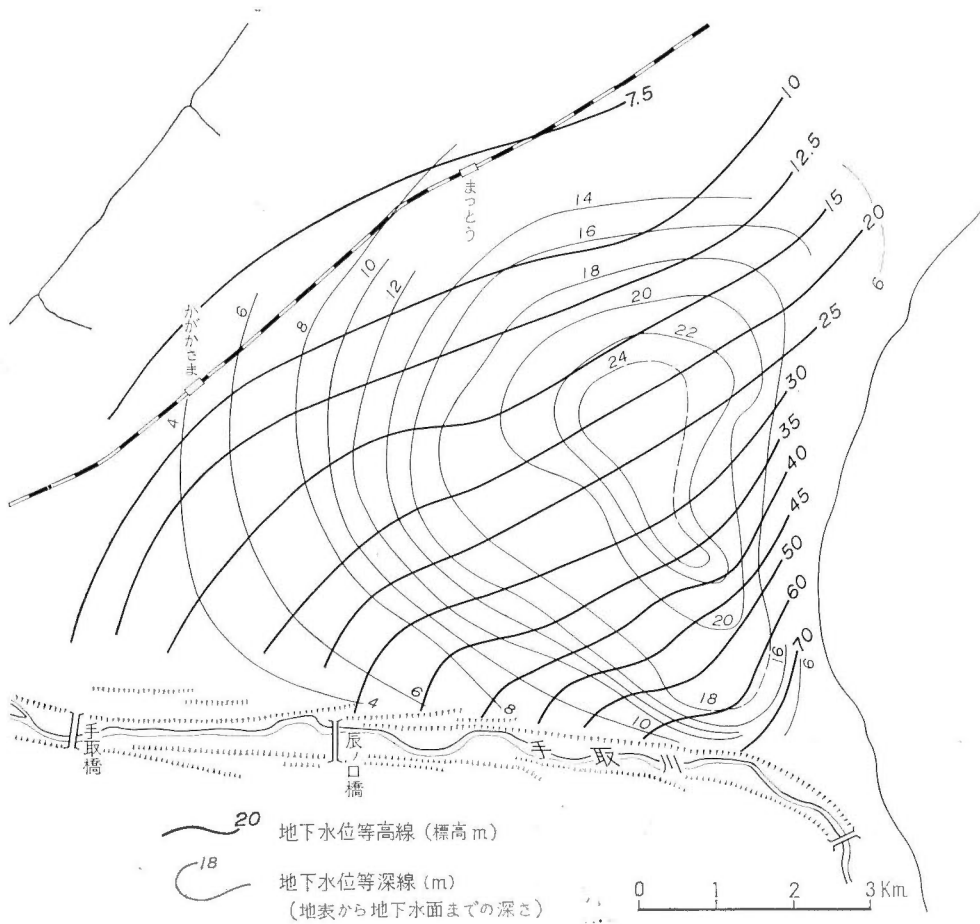
手取川扇状地の地下水賦存状況および流動状況を把握するため昭和40年8月に130点の井戸について地下水位、水比抵抗、水温等を測定した。また昭和41年8月には同様に約30点の井戸について測定した。

昭和40年8月における地下水位の等高線と地下水位の断面図は第12図および第13図である。

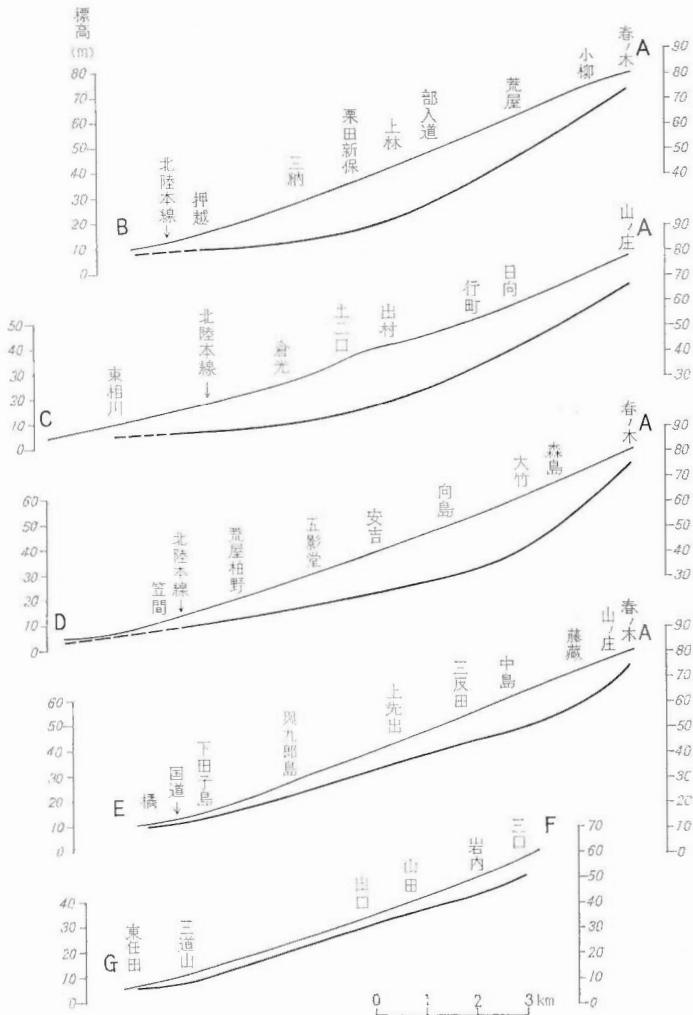
地下水位は扇端部において標高 5 m 以下、扇中央部において標高 20 m 前後、扇頂部において標高 70 m 以上となっている。扇状地の東半分における地下水位等高線は地形等高線とほぼ平行しているが、手取川沿い地区では地形等高線と斜交し松任町方向への張出しがみられる。地下水面勾配は扇端部が 1/330 以下、扇中央部が 1/250～1/170、扇頂部が 1/80～1/55 となっている。

地下水面が緩勾配から急勾配に変わる地点は扇状地東半分では栗田新保一土二口を結ぶほぼ標高 40 m の地形等高線にそって存在する。それが扇状地西半分では土二口付近から急に扇頂部に向かい、手取川沿いでは標高約 60 m の地点となっている。地表から地下水面までの深さを等深線として第12図に示した。扇状地において地表下の水位のもっとも深い所は扇状地東半部の扇中央部から扇頂部にかけての地区で地表下 24 m にも達する。地表下の水位はこの深い地区から東側山地および扇頂部に向かっては急に浅くなり、扇端部および手取川方向に向かっては徐々に浅くなっている。

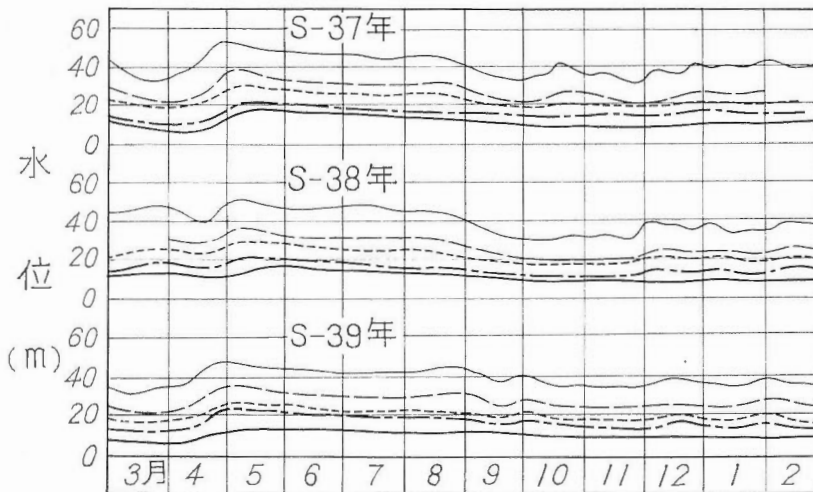
地下水位の年変動の傾向は、4～5月の水田かんがい開始時期に急激に上昇し、5月に年間の最高水位を示す。6月から7月にかけて若干低下し、7・8月は水位変動がもっとも少ない安定期になっている。8月末から9月上旬のかんがい期終了とともに急激に低下し11月から1月にかけて若干上昇している。2月から3月にかけては水位が上昇する年と低下する年とがあり、かんがい期直前が年のうちもっとも低い時期になることがある。このような傾向は標高 10 m 以上の扇状地全域について程度の差こそあるが同様である。



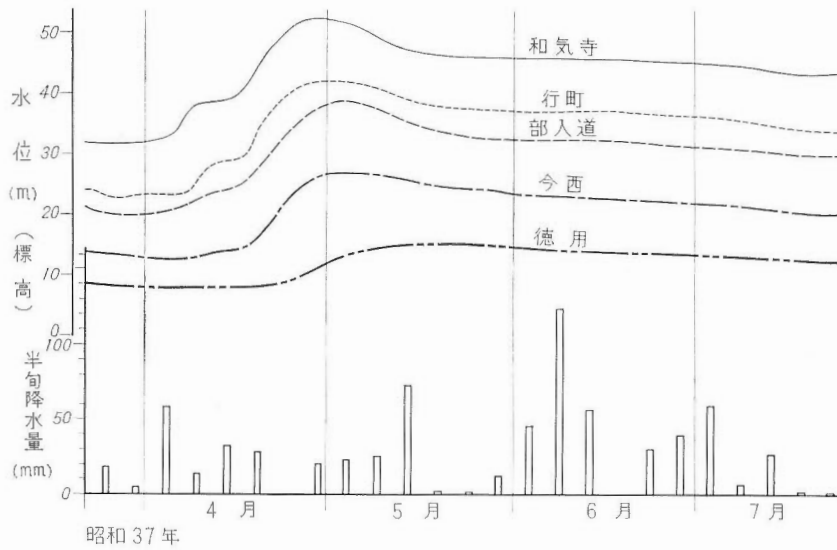
第12図 手取川扇状地の地下水等高線



第 13 図 手取川扇状地における地下水位断面

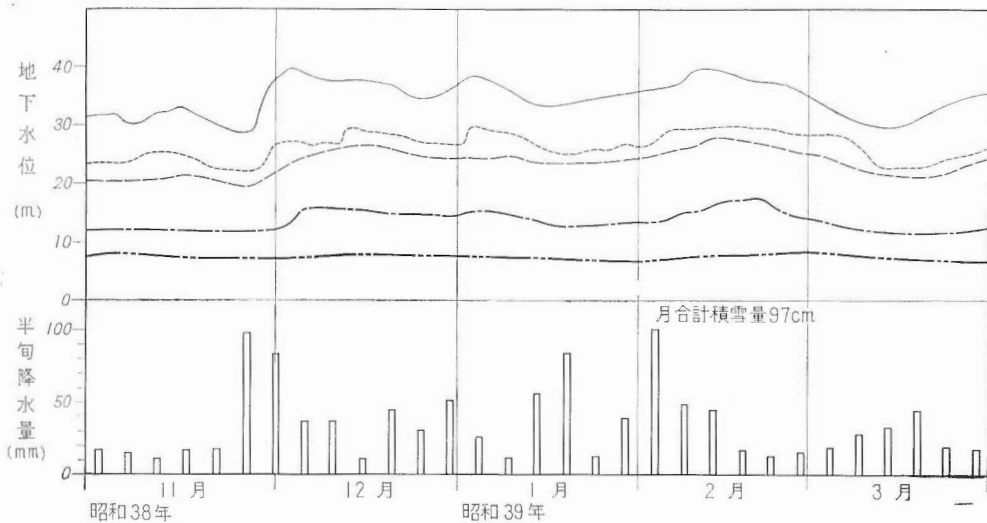


第 14 図 手取川扇状地における地下水位の年変化

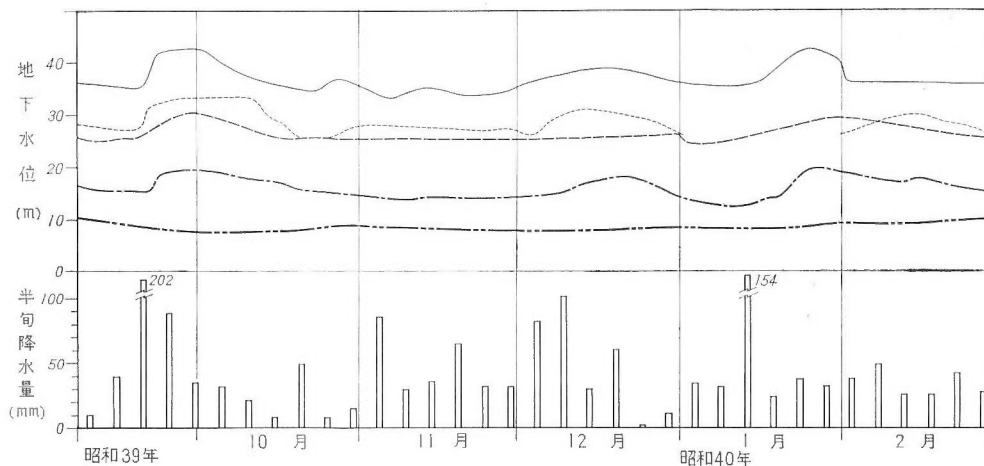


第 15 図 かんがい期における地下水位の変動と降水量 (昭和37年4月～7月)

第15図にかんがい期における地下水位変動を示した。かんがい期の地下水位はかんがい開始によって急に上昇し、初期浸透の期間がすぎるとかんがい終了までほぼ安定した水位を保っている。かんがい期間中かなりの降水が認められるが、図で明らかなように地下水位は降水に影響されていない。これは扇状地表面のほぼ全面が水田であり、かんがい期間中は地表面が水で覆われている状態のためである。また水位が安定しているという事実は、かんがい用水の浸透量がほぼ一定であることを示し、かんがい終了時の水位の低下状況からみるとかんがい用水はその土地がもつ浸透能力一杯に浸透しているものと思われる。第16～18図に非かんがい期における地下水位変動を示した。非かんがい期における地下水位は降水によってかなり変動する。およそ半月降水量 50mm 以上の場合に水位が上昇し、降水量が多いほど、また地下水位が低いほど上昇量が大きい。半月降水量 20mm 以下の場合には図において地下水位の上昇はほとんどみられず、降水は蒸発散および通気帯で吸着または付着してしまうものと考えられる。第16図の1月から3月までの地下水位と降水量をみると降水量の多い1月に水位はそれほど上昇せず、降水の少ない3月に大きく上昇している。この



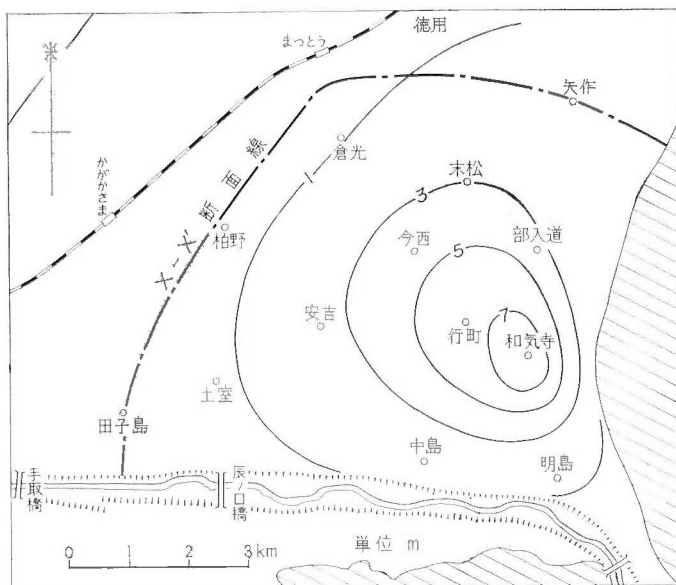
第 17 図 非かんがい期における地下水位の変動と降水量 (昭和38年11月～39年3月)



第 18 図 非かんがい期における地下水位の変動と降水量（昭和39年10月～40年2月）

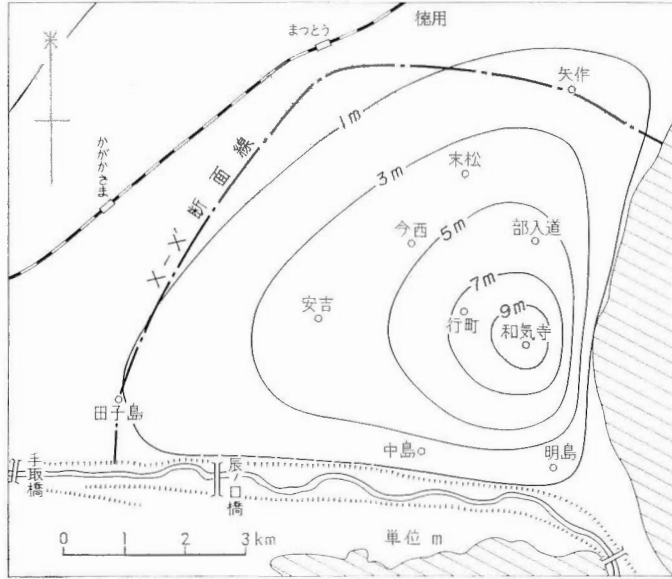
年は1月の降水はほとんど降雪であり、そのため浸透量が少なく水位上昇も少ない。この積雪が2月中旬からの気温の上昇ともなって融雪し浸透するため降水量の少ない3月に水位が大きく上昇するものである。

以上のように手取川扇状地ではかんがいの開始および終了、降水、融雪水などによって地下水位が敏感に昇降する。地下水位の昇降は扇状地内の大部分の地区で同じような傾向がほぼ同時に現われるが、昇降量は地区によって大きく異なっている。第19図から第26図に地下水位の上昇と下降を等線値として示してある。これらの図で明らかなように上昇および下降とも、和気寺、行町、部入道を結ぶ地区が大きく、手取川沿い地区、東側山麓部、扇状地末端部において少ない。このような現象は帯水層の透水性の相違、上部帯水層の基底の形、手取川表流水からの地下水補給によって生じるものである。すなわち水位低下の場合、低下量の大きな地区は他の地区より早く地下水が下流に流動し去ってしまうことを示し、和気寺から倉光、徳用を結ぶ地区の上部帯水層の性質は他の地区にくらべ透水性がすぐれているといえる。上部帯水層の基底の形は扇状部から明島付近までは上流に向かってゆるい勾配で浅くなるが、明島から上流側は急に浅くなり地表下

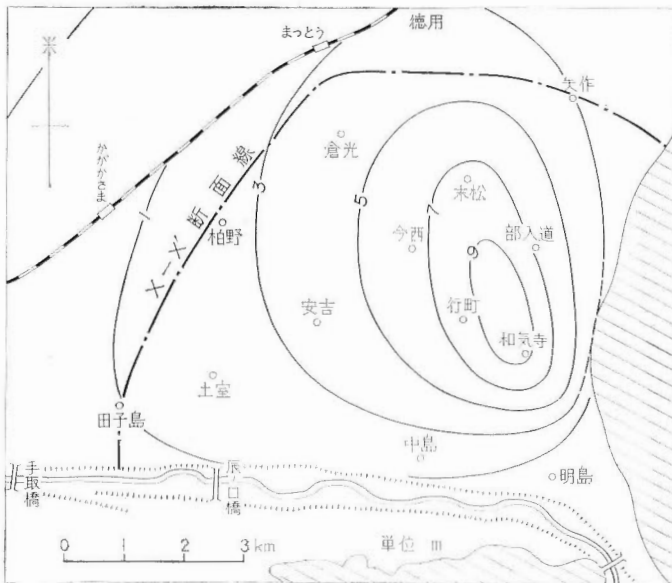


第 19 図 地下水位低下等値線（昭和37年8月・かんがい期後52日間）

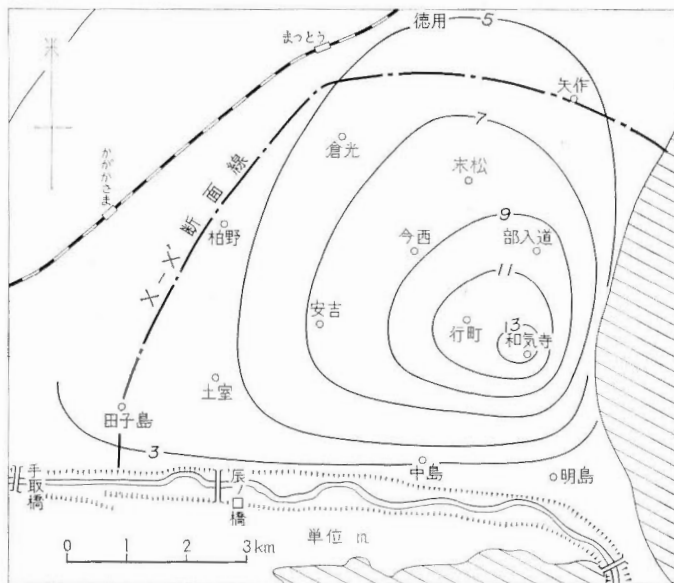
わずかになる。このような上部帯水層の基底の形によって明島付近から上流側の地区は地下水位の昇降が少ないのである。手取川沿いの地帯は上部帯水層の基底深度が深く透水性もすぐれている。それにもかかわらず地下水位の昇降が少ないのは、この地帯は手取川表流水からたえず地下水補給を受けているためと考えられる。



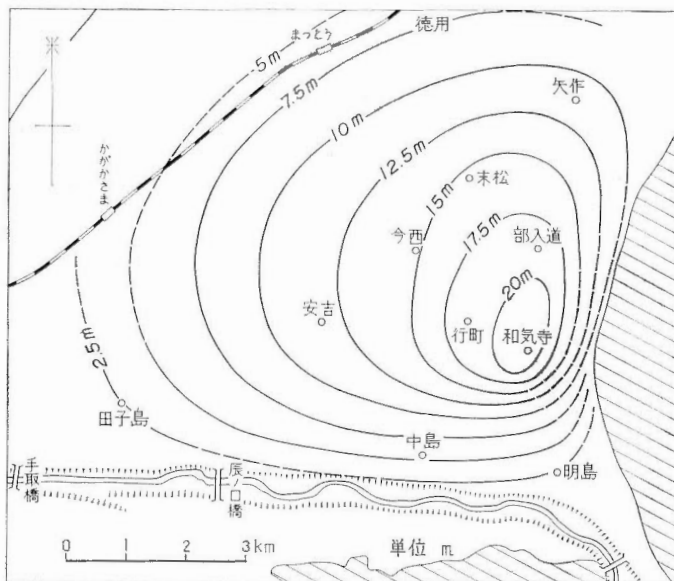
第 20 図 地下水位低下等値線（昭和37年10月・降水後16日間）



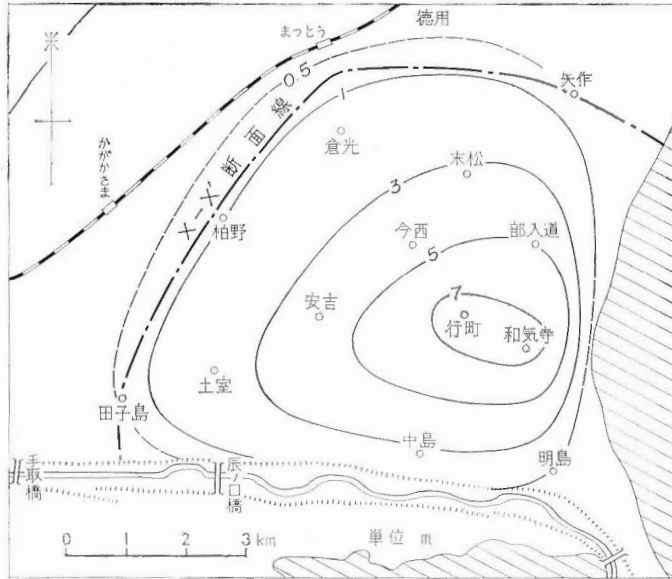
第 21 図 地下水位低下等値線（昭和39年10月・降水後22日間）



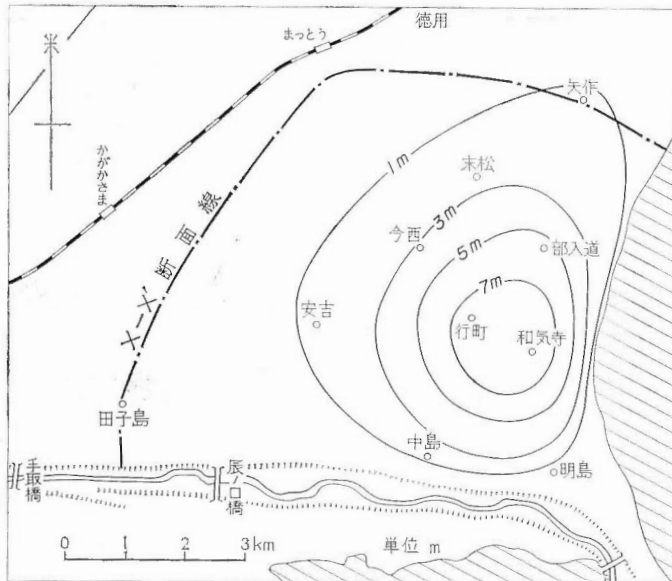
第 22 図 地下水位低下等値線 (昭和38年9月・かんがい期後30日間)



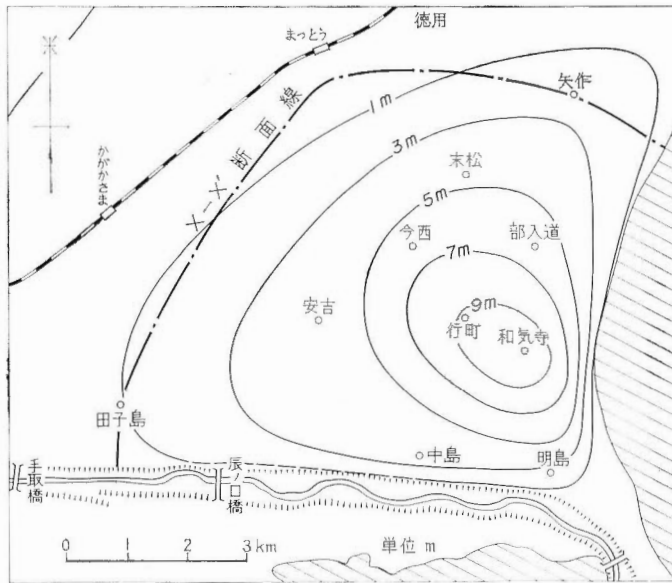
第 23 図 地下水位上昇等値線 (昭和37年4月・かんがい開始による)



第 24 図 地下水位上昇等値線 (昭和37年10月・15日間合計降水量 293.0mm)



第 25 図 地下水位上昇等値線 (昭和37年11月・10日間合計降水量 113.1mm)

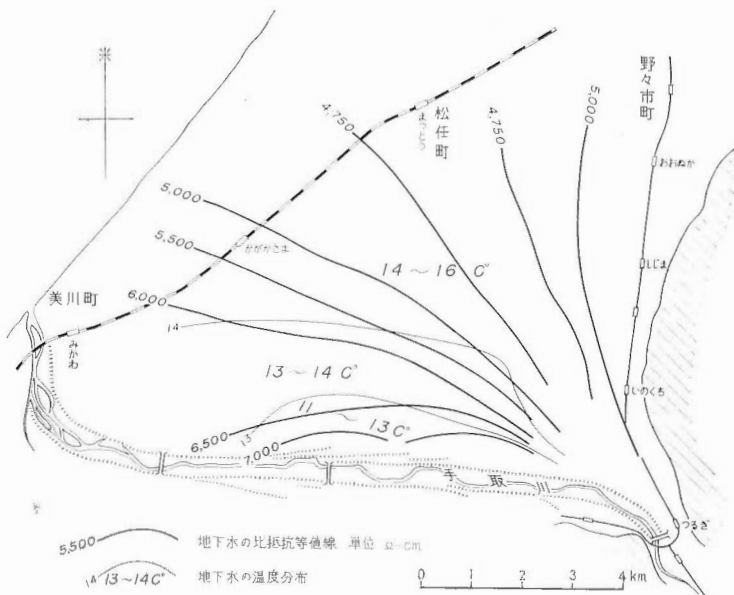


第 26 図 地下水上昇等値線 (昭和38年12月・15日間合計降水量 217.0mm)

第27図に昭和40年8月における自由面地下水の水比抵抗等値線と水温等値線を示した。

自由面地下水の水比抵抗値は $4,750 \Omega\text{-cm}$ ないし $7,000 \Omega\text{-cm}$ を示し全体的に大きな差はない。もっとも高い値を示す地区は鶴来町中島付近から手取橋付近までの手取川沿い地区であり、松任町の方に低くなっている。北陸線加賀笠間駅付近から扇頂部を結ぶ線の東側扇状地では $4,750 \sim 5,000 \Omega\text{-cm}$ の比抵抗値を示し地理的な変化は認められない。

地下水温は $11 \sim 16^\circ\text{C}$ を示し水比抵抗と同様に中島付近から手取橋にかけての手取川沿い地区が $11 \sim 13^\circ\text{C}$ の低い水温を示している。その外側は $13 \sim 14^\circ\text{C}$ である。加賀笠間駅から扇頂部を結ぶ線の東側では $14 \sim 16^\circ\text{C}$ の地下水温を示し、とくに地理的なまとまりはない。



第 27 図 手取川扇状地における自由面地下水の水比抵抗等値線

Ⅶ. 地下水流動量

V. 2 項で求めたかんがい用水からの地下水補給量と地下水理調査結果、および地下水位の経年観測資料とを用いて扇状地中央断面、すなわち X—X' 断面を通過する地下水流動量(41年 8 月時点)を算出し、中央断面における帯水層の平均された透水係数を求めた。さらにそれらを利用して各月(1~12月)の X—X' 断面における月平均流動量を計算した。

Ⅶ. 1 8 月における地下水流動量

扇状地を第28図のように扇頂部から A・B・C に区分し、B 地区下流端の X—X' 断面を通過する地下水流動量を求めた。水田地帯における地下水流動量を求める式は、金子 良によって(1)式のように示されている。

水田地帯における水収支式

$$(D_2 - D_1) + E + (G_2 - G_1) + S \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

- D_1 ……地区に流入する表流量
- D_2 ……地区から流出する表流量
- E ……葉水面蒸発量
- G_1 ……地区に流入する地下水量
- G_2 ……地区から流出する地下水量
- S ……調査期間中の水量変化

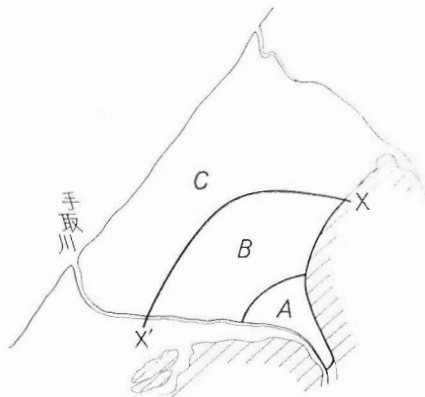
$$S = s_1 + s_2$$

- s_1 ……水田面および水路の水量変化
- s_2 ……水田面下の水量変化 (地下水位の変化)

扇状地の B 地区について上式を適用する場合、B 地区に流入する地下水量 G_1 は次のように分けられる。

$$G_1 = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 \dots\dots\dots (2) \text{式}$$

- g_1 ……上流側扇状地 A 地区から流入する地下水量
- g_2 ……東側山地および平地から流入する地下水量
- g_3 ……左岸扇状地から流入する地下水量
- g_4 ……手取川表流水から補給される地下水量



第 28 図 水収支算定区域

以上の各項のうち $(D_2 - D_1) - E$ は、V. 2 項かんがい用水からの地下水補給量のところで求めてある。他の各項については求めてないが g_1 を除く各項は次の理由によって無視することができる。

s_1 ……水田面および水路の水量変動は $(D_2 - D_1)$ の実測中の降雨および取得用水量の増減によって生ずる。今回の $(D_2 - D_1)$ 測定中は無降雨であり降雨による変動は生じていない。また測定期間前の数日間には大きな降雨はなく手取川表流量はごくわずかの漸減状態を示している。したがって手取川表流水を全量取得しているかんがい用水量もほとんど安定し変動していない。そこで s_1 は 0 とすることができる。

s_2 ……水田面下の水量変動は $(D_2 - D_1)$ 測定中およびその前後の地下水位の動向によって推察される。 $(D_2 - D_1)$ 測定中には地下水位の測定が 1 回しか行なえず、この間における地下水位の動向は正確には明らかでないが、8月の地下水位はVI. 章地下水位の経年変動のところで述べたように毎年ほぼ同じ高さを保って安定している。41年実測した地下水位は3カ年平均の8月平均地下水位とほぼ同じである。また41年の降水状況は例年と大差がない。したがって、41年8月の地下水位はとくに大きな変動がないものとみられ、 $s_2 \approx 0$ としても差し支えない。

g_2 ……Ⅲ. 章の地質の項で述べたように東側山地は透水性が劣る緑色凝灰岩・砂岩などから構成されており、東側山地からの地下水流入量は比率的にみてきわめて小さい。また東側の狭小な平地の地下水は、地形および地下水位の状況からみてB地区にはまず流入しない。したがって $g_2 \approx 0$ とすることができる。

g_3 ……地下水位の測定結果によれば左岸扇状地の地下水位は手取川を境として右岸扇状地の地下水位よりも若干低くB地区への流入はまず考えられない。すなわち $g_3 \approx 0$ と考えることができる。

g_4 ……Ⅳ. 1 項で述べたように手取川表流水は伏没して扇状地の地下水を補給している。

$(D_2 - D_1)$ 測定中の手取川は表流水が流れておらず一応は $g_4 = 0$ である。しかし地下水位の等値線を見ると、手取川がほとんど流れていないときでも残留による地下水補給の傾向がみられ、41年の $(D_2 - D_1)$ 測定中においてもそのような傾向が察知されている。したがって g_4 は正確には 0 でなく $+a$ となるがその算定はきわめて困難である。ただし水文的環境の項で述べたように8月中の手取川表流量(中島地点から下流)はきわめて少なく、流量0の日が月の大半をしめている。したがってかんがい用水からの地下水補給量との比率からみれば残留による地下水の補給量はごく小さな値となり今回の流動量の算定に当たってはこれを無視することにした。

g_1 ……A地区からB地区に流入する地下水量 g_1 はA地区における G_2 に相当しB地区と同様な方法で算出できる。A地区への地下水流入は、 $g_2 \cdot g_3 \cdot g_4$ が考えられ g_1 は上流側地区がないので 0 である。A地区における $g_2 \cdot g_3 \cdot g_4$ および $s_1 \cdot s_2$ はB地区と同様の理由から無視することができる。したがってA地区における G_2 は $(D_2 - D_1) - E$ のみとしてよいがA地区においては $(D_2 - D_1)$ の測定は水路状況および用水量の関係で行なうことができなかつた。A地区はB地区と同様にほぼ全面が水田地帯であり水田の状況もB地区とほぼ同じである。またA地区はB地区よりも地層への浸透性が一般には大きいとされる上流側(扇頂部)に位置している。したがってA地区における水田からの単位面積当たりの地下水補給量は少なくともB地区と同じ程度と考えられる。そこでA地区における単位面積当たりのかんがい用水からの地下水補給量をB地区と同じと仮定してA地区の $(D_{2A} - D_{1A}) - E$ を算出した。

$$(D_{2A} - D_{1A}) - E = \frac{(D_{2B} - D_{1B}) - E}{Ea} \times Aa = 1.1 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$(D_{2B} - D_{1B}) - E \dots\dots B地区における用水および水田からの地下水補給量 \dots\dots 7.4 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$Ea \dots\dots B地区面積 \dots\dots 36.3 \text{ km}^2$$

$$Aa \dots\dots A地区面積 \dots\dots 5.64 \text{ km}^2$$

以上述べた各種の条件が満足するものとしてB地区から流出する地下水量を求めると $G_2 \approx 8.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる。この G_2 はすべて X-X' 断面を通過するものとは限らずB地区から側方への流出も含まれている。しかし地形および地下水位状況からみて側方へ大きく流出することはないと思われる。また今までの算定に当たってかなりの仮定あるいは推定を行なっているので X-X' 断面の地下水流動量はそのままの $8.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ とした。

Ⅶ. 2 X—X' 断面における平均透水係数

Ⅶ. 1 項で求めた地下水流動量を基として X—X' 断面における平均の透水係数を以下のようにして求めた。

X—X' 断面における地下水流動量の式は一般に次のように示されている。

$$Q = i \cdot k \cdot l \cdot d \cdots \cdots (3) \text{式}$$

Q ……地下水流動量 (m³/sec)

i ……地下水面勾配

l ……断面の長さ (m)

d ……帯水層の厚さ(m)

k ……透水係数

Q ……Ⅶ. 1 項で求められており 8.5m³/sec

i ……0.0034 41年8月に行なった地下水位の測定から X—X' 断面とほぼ直交する数カ所の水位から算出した。

l ……地形図から 12km

d ……40m : X—X' 断面における帯水層は帯水層の項で述べたように上部・下部の2帯水層に分けられる。それぞれの帯水層の透水性からして透水係数の算出に当たっては上部帯水層のみを対象とした方が良いものと考えられる。X—X' 断面全長にわたる上部帯水層の厚さは不明であるが扇状地中央部の厚さを X—X' 断面の平均厚さと仮定し、地表から地下水面までの厚さを差し引くと約 40m となる。

$$\begin{aligned} k &= \frac{Q}{i \times l \times d} \\ &= \frac{8.5}{0.0034 \times 1200 \times 40} \\ &= 0.52 \text{cm/sec} \end{aligned}$$

以上によって X—X' 断面の平均透水係数は $5.2 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ と算定された。

Ⅶ. 3 月別平均流動量

Ⅶ. 2 項で求めた平均透水係数と地下水位の経年観測資料から手取川扇状地のほぼ中央 X—X' 断面を通過する月別平均流動量を算出した。地下水の流動量式は一般に次のように示される。

$$Q_{1 \sim 12} = k \cdot l \cdot i_{1 \sim 12} \cdot d_{1 \sim 12} \cdots \cdots (4) \text{式}$$

$Q_{1 \sim 12}$ ……各月の平均地下水流動量 (X—X' 断面)

k ……平均透水係数 : 一定 $5.2 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$

l ……断面の長さ : 一定 1,200m

$i_{1 \sim 12}$ ……各月の平均地下水面勾配

$d_{1 \sim 12}$ ……各月の帯水層の平均厚さ

各月の平均地下水面勾配 $i_{1 \sim 12}$ は次のようにして求めた。まず多くの地下水位観測井から X—X' 断面における平均勾配を算出するに適した位置にある 6カ所 (末松・徳用・土室・柏野・今西・倉光) の井戸を選び、各井戸の昭和37~39年3カ年の月平均水位を求めた。

次に月平均水位から末松一徳用間、土室一柏野間、今西一倉光間の月平均勾配を3カ年分求めて平均した。X—X' 断面における月平均勾配は、これら3区間の3カ年平均月平均勾配をさらにこの3コにつき平均したものである。6カ所の月平均水位と算出した月平均勾配を第8・9表に示してある。

第8表 地下水の月平均勾配と月平均水位

年 月 項目	S 37.3											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S 38.1	2	
末松月平均水位(m)	12.5	23.5	20.0	18.5	17.5	13.0	12.0	11.5	12.0	12.5	14.5	
徳用月平均水位(m)	12.0	14.3	14.0	12.5	12.0	10.0	8.5	9.0	8.5	9.0	9.3	
水位差(m)	0.5	9.2	6.0	6.0	5.5	3.0	3.5	2.5	3.5	3.5	5.2	
平均勾配	0.00017	0.00307	0.00200	0.00200	0.00183	0.00100	0.00117	0.00083	0.00117	0.00117	0.00173	
8月水位との差(m)	+ 0.2	+ 2.5	+ 2.2	+ 0.7	+ 0.2	- 1.8	- 3.3	- 2.8	- 3.3	- 2.8	- 2.5	

年 月 項目	S 38.3											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S 39.1	2	
末松月平均水位(m)	18.5	22.5	20.5	18.2	18.5	14.0	9.5	9.5	12.2	11.5	12.0	
徳用月平均水位(m)	11.5	14.5	14.0	12.8	12.5	9.5	7.5	7.3	7.7	7.3	7.5	
水位差(m)	7.0	8.0	6.5	5.4	6.0	4.5	2.0	2.2	4.5	4.2	4.5	
平均勾配	0.00233	0.00266	0.00216	0.00180	0.00200	0.00150	0.00067	0.00073	0.00150	0.00140	0.00150	
8月水位との差(m)	- 0.3	+ 2.7	+ 2.2	+ 1.0	+ 0.7	- 2.3	- 4.3	- 4.5	- 4.1	- 4.5	- 4.3	

年 月 項目	S 39.3											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S 40.1	2	
末松月平均水位(m)	14.0	20.7	19.0	17.3	16.7	13.5	13.3	11.5	13.0	12.5	14.7	
徳用月平均水位(m)	8.5	11.7	12.5	11.5	11.0	9.0	7.7	8.2	8.3	8.8	9.5	
水位差(m)	5.5	9.0	6.5	5.8	5.7	4.5	5.6	3.3	4.7	3.7	5.2	
平均勾配	0.00087	0.00300	0.00217	0.00183	0.00190	0.00150	0.00187	0.00110	0.00157	0.00123	0.00173	
8月水位との差(m)	- 4.4	- 0.1	+ 0.7	- 0.2	- 0.8	- 2.8	- 4.1	- 3.6	- 3.5	- 3.0	- 2.3	

年 月 項目	S 40.1											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
3カ年平均勾配	0.00112	0.00167	0.00291	0.00211	0.00188	0.00191	0.00133	0.00122	0.00089	0.00141	0.00127	0.00165
8月水位との3カ年平均差	- 1.5	- 2.0	+ 1.7	+ 1.7	+ 0.5	0	- 2.3	- 2.9	- 3.6	- 3.6	- 3.4	- 3.0

末松-徳用間距離 3,000m 8月水位との差は徳用

年	月	S 37.3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S 38.1	2
土室月平均水位 (m)		21.0	22.0	26.8	25.0	24.0	22.5	19.5	20.0	20.5	20.0	21.5	21.0
柏野月平均水位 (m)		11.0	11.0	15.3	15.0	13.5	13.3	11.0	10.2	10.0	10.0	11.5	11.5
水位差 (m)		10.0	11.0	11.5	10.0	10.5	9.2	8.5	9.8	10.5	10.0	10.0	9.5
平均勾配		0.00400	0.00441	0.00456	0.00400	0.00421	0.00368	0.00340	0.00392	0.00421	0.00400	0.00400	0.00380
8月水位との差 (m)		- 2.4	- 2.4	+ 1.9	+ 1.6	+ 0.1	- 0.1	- 2.4	- 3.2	- 3.4	- 3.4	- 1.9	- 1.9

年	月	S 38.3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S 39.1	2
土室月平均水位 (m)		23.0	24.5	26.5	25.2	23.5	22.7	21.0	20.0	20.0	21.2	21.0	21.0
柏野月平均水位 (m)		13.0	12.5	15.5	15.2	14.4	13.5	11.2	9.5	9.3	10.5	10.2	10.5
水位差 (m)		10.0	12.0	11.0	10.0	9.1	9.2	9.8	10.5	10.7	10.7	10.8	10.5
平均勾配		0.00400	0.00481	0.00441	0.00400	0.00364	0.00368	0.00392	0.00421	0.00429	0.00429	0.00432	0.00421
8月水位との差 (m)		- 0.4	- 0.9	+ 2.1	+ 1.8	+ 1.0	+ 0.1	- 2.2	- 3.9	- 4.1	- 2.9	- 3.2	- 2.9

年	月	S 39.3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S 40.1	2
土室月平均水位 (m)		20.0	22.0	25.5	23.5	23.5	23.0	21.7	21.5	20.3	21.0	20.3	21.0
柏野月平均水位 (m)		9.7	11.0	14.8	14.0	13.5	13.3	11.0	11.0	10.2	10.5	10.5	11.0
水位差 (m)		10.3	11.0	10.7	9.5	10.0	9.7	10.7	10.5	10.1	10.5	9.8	10.0
平均勾配		0.00413	0.00441	0.00429	0.00380	0.00400	0.00388	0.00429	0.00421	0.00405	0.00421	0.00392	0.00400
8月水位との差 (m)		- 3.7	- 2.4	+ 1.4	+ 0.6	+ 0.1	- 0.1	- 2.4	- 2.4	- 3.2	- 2.9	- 2.9	- 2.4

年	月	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
3カ年平均勾配		0.00403	0.00455	0.00442	0.00393	0.00395	0.00375	0.00387	0.00411	0.00418	0.00417	0.00408	0.00400
8月水位との3カ年平均差		- 2.2	- 1.8	+ 1.8	+ 1.3	+ 0.4	0	- 2.3	- 4.2	- 3.6	- 3.1	- 2.7	- 2.4

土室—柏野間距離 2.500m 8月水位との差は柏野

年 月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S 38.1	2
今西月平均水位 (m)	14.0	25.2	22.5	21.0	20.5	14.5	14.0	13.0	14.5	18.0	19.0
倉光月平均水位 (m)	9.0	16.0	15.3	13.5	12.5	10.5	8.0	8.0	8.0	10.0	10.7
水位差 (m)	5.0	9.2	7.2	7.5	8.0	4.0	6.0	5.0	6.5	8.0	8.3
平均均配	0.00227	0.00419	0.00327	0.00341	0.00364	0.00182	0.00273	0.00227	0.00296	0.00364	0.00378
8月水位との差 (m)	- 3.4	+ 3.6	+ 2.9	+ 1.1	+ 0.1	- 1.9	- 4.4	- 4.4	- 4.4	- 2.4	- 1.7

年 月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S 39.1	2
今西月平均水位 (m)	21.0	25.5	23.5	21.0	20.5	15.0	11.5	12.0	14.5	14.0	15.5
倉光月平均水位 (m)	13.0	16.0	15.5	14.2	13.0	10.5	7.5	6.7	7.7	8.0	8.5
水位差 (m)	8.0	9.5	8.0	6.8	7.5	4.5	4.0	5.3	6.8	6.0	7.0
平均均配	0.00364	0.00432	0.00364	0.00309	0.00341	0.00205	0.00182	0.00241	0.00309	0.00273	0.00318
8月水位との差 (m)	+ 0.6	+ 3.6	+ 3.1	+ 1.6	+ 0.6	- 1.9	- 4.9	- 5.7	- 4.7	- 4.4	- 3.9

年 月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S 40.1	2
今西月平均水位 (m)	17.0	24.0	22.0	20.2	19.5	20.5	20.0	18.2	19.9	17.8	17.5
倉光月平均水位 (m)	9.5	13.5	14.0	12.8	11.7	10.5	9.5	8.3	9.0	9.0	9.2
水位差 (m)	7.5	10.5	8.0	7.4	7.8	10.0	10.5	9.9	10.9	8.8	8.7
平均均配	0.00237	0.00478	0.00364	0.00337	0.00355	0.00455	0.00478	0.00450	0.00496	0.00400	0.00396
8月水位との差 (m)	- 2.9	+ 1.1	+ 1.6	+ 0.4	- 0.7	- 1.9	- 2.9	- 4.1	- 3.4	- 3.4	- 3.2

年 月	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
3カ年平均均配	0.00323	0.00311	0.00443	0.00352	0.00329	0.00353	0.00281	0.00311	0.00306	0.00367	0.00346	0.00364
8月水位との3カ年平均差	- 2.4	- 1.9	+ 2.8	+ 2.5	+ 1.0	0	- 1.9	- 4.1	- 4.7	- 4.2	- 3.4	- 2.9

今西-倉光間距離 2,200m 8月水位との差は倉光

第 9 表 地下水の月別平均勾配と月別平均流動量

項 目	月						
	3	4	5	6	7	8	
3カ年3カ所平均勾配	0.00279	0.00311	0.00392	0.00319	0.00304	0.00306	
8月水位との3カ年3カ所平均水位差 (m)	- 2.0	- 1.9	+ 2.1	+ 1.3	+ 0.6	0	
帯水層の厚さ (m)	38.0	38.1	42.1	41.3	40.6	40	
断面の長さ (m)	12,000	同 左	〃	〃	〃	〃	
平均透水係数 (m/sec)	0.0052	同 左	〃	〃	〃	〃	
月別平均流動量 (m ³ /sec)	6.616	7.394	10.298	8.221	7.702	7.638	

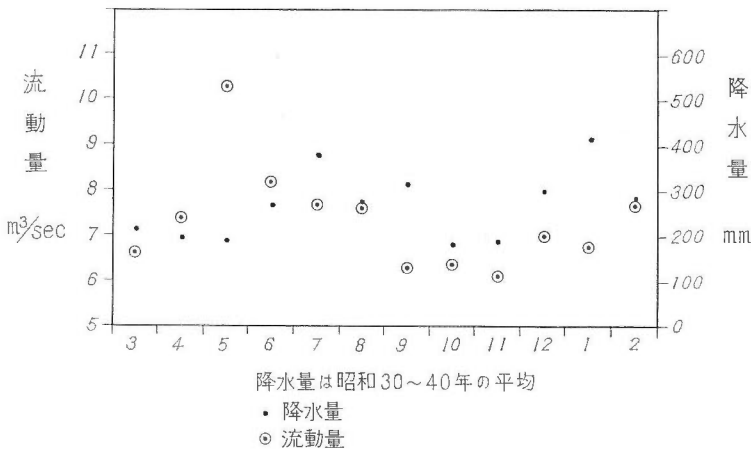
項 目	月						
	9	10	11	12	1	2	
3カ年3カ所平均勾配	0.00267	0.00281	0.00271	0.00309	0.00294	0.00330	
8月水位との3カ年3カ所平均水位差 (m)	- 2.2	- 3.7	- 4.0	- 3.6	- 3.2	- 2.8	
帯水層の厚さ (m)	37.8	36.3	36.0	36.4	36.8	37.2	
断面の長さ (m)	12,000	同 左	〃	〃	〃	〃	
平均透水係数 (m/sec)	0.0052	同 左	〃	〃	〃	〃	
月別平均流動量 (m ³ /sec)	6.298	6.365	6.088	7.019	6.751	7.660	

各月の帯水層の平均厚さは次のようにして求めた。まず X-X' 断面にもっとも近い3カ所の水位観測資料から各月の平均水位の3カ年平均値を算出した。次に8月の水位を0としたときの各月の平均水位差を3カ所について求め、さらにそれを3カ所平均した。この算出結果は第8・9表に示してある。各月の帯水層の平均厚さは8月の帯水層の平均厚さを40mと仮定し、これに第9表の各月の平均水位差を+-したものとした。このようにして算出した各月の帯水層の平均厚さ d_{1-12} を第9表に示した。

以上によって求められた i_{1-12} および d_{1-12} の数値を4式に代入して求めた X-X' 断面における月別平均地下水流動量（以下単に流動量という）は第9表のとおりである。

これを要約すると次のとおりである。年のうちもっとも多い流動量を示す月は5月であり約 10.3m³/sec が X-X' 断面を通過している。流動量のもっとも少ない月は11月で約 6.1m³/sec である。

年平均は 7.3m³/sec であり9・10・11月が少なく5~8月および12月が多い。その他の月は、ほぼ年平均程度流れている。第29図に流動量と降水量の関係を示した。非かんがい期における流動量は1月と9月を



第 29 図 月別平均流動量と降水量との関係

除いて、おおむね降水量の多寡と一致している。1月は降雪の場合が多いため降水量の割には流動量が少ない。9月については9月がかんがい終了期に当たっていることが、何らか関係するのではないかと思われるが、今後さらに検討しないとわからない。かんがい期における降水量と流動量とは直接関係しない。かんがい期間のうち5月はきわめて流動量が多い。これはかんがい初期における地下水補給が大きいため、水田の初期浸透が大きいことを示している。

VIII. 手取川表流水と降水からの地下水補給

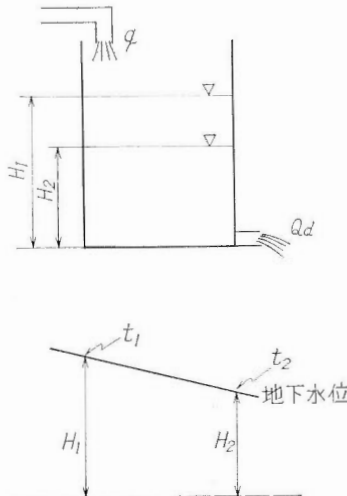
すでに述べてきたように手取川扇状地の地下水は、かんがい用水、手取川表流水、降水から多量に補給され流動して扇状地末端において地表および海中に排出している。地下水収支は補給量と地表および海中への排出量との関係を求めるのが良いのであるが、ここでは扇状地の中央を通る X—X' 断面を通過する時点における水収支について行っている。非かんがい期における地下水の補給はおもに手取川表流水と降水であるが、ある降水量に対する地下水の補給量を求めるには、まず扇状地の有効間隙率を求めねばならない。

VIII. 1 扇状地における平均有効間隙率

第30図において時間 t_1 における水位を H_1 とし、 t_2 における水位を H_2 とする。 t_1 から t_2 における地下水排出量を $\sum_{t_1}^{t_2} Q_d$ とし、その間の地下水補給量を $\sum_{t_1}^{t_2} q$ とする。容れ物の面積を A とすれば、有効間隙率 S_y は次の式によって示される。

$$S_y = \frac{\sum_{t_1}^{t_2} q - \sum_{t_1}^{t_2} Q_d}{(H_1 - H_2) A} \times 100 \dots\dots\dots (5) \text{式}$$

扇状地について上式を適用すると $(H_1 - H_2)A$ は地下水位の低下容積注2) であり時間 t_1 から t_2 の間の水位低下等値線から求められる。 $\sum_{t_1}^{t_2} Q_d$ は X—X' 断面を t_1 から t_2 の間に通過する地下水量の合計であり $\sum_{t_1}^{t_2} q$ は無降水の時期を選べば t_1 から t_2 の間における表流水からの地下水補給量となる。



第 30 図 地下水位変化と地下水補給・排出の模式説明図 (地下水位が低下する場合)

注2) 地下水位が低下したことによって減少した飽和帯水層の容積をいう。

第19図から第22図に4例の地下水位低下等値線を示してある。図において X—X' 断面から上流側の低下容積を求めると、昭和37年8月かんがい終了後52日間で $2.99 \times 10^8 \text{m}^3$ 、同10月降水後16日間で $1.43 \times 10^8 \text{m}^3$ 、38年9月かんがい終了後30日間で $2.26 \times 10^8 \text{m}^3$ 、39年10月降水後22日間で $1.42 \times 10^8 \text{m}^3$ となる。地下水流動量 Q は地下水面勾配 i と一次式の関係であり、 e_1 から e_2 の間における水位の低下は第16~18図にみ

第 10 表 降水後およびかんがい終了後における水位低下と降水による水位上昇

年月日	S 37. 8. 20			S 37. 10. 10			S 37. 10. 19			S 37. 11. 3			S 38. 9. 1			S 38. 9. 30			S 39. 10. 1			S 39. 10. 22		
	項目	水位 (m)	水位 (m)	低下量 (m)	水位 (m)	水位 (m)	低下量 (m)	水位 (m)	水位 (m)	低下量 (m)	水位 (m)	水位 (m)	低下量 (m)	水位 (m)	水位 (m)	低下量 (m)	水位 (m)	水位 (m)	低下量 (m)	水位 (m)	水位 (m)	低下量 (m)		
明島	65.0	63.7	1.3	65.0	63.4	1.6	64.0	63.3	0.7	64.5	63.5	1.0												
中島	50.0	47.8	2.2	51.0	49.3	1.7	50.0	48.6	1.4	50.5	48.0	2.5												
和氣寺	44.8	31.3	13.5	42.0	32.3	9.7	38.5	28.5	10.0	41.7	33.7	8.0												
行町	34.5	23.0	11.5	32.0	25.6	6.4	30.0	22.5	7.5	33.0	25.0	8.0												
部入道	32.0	21.7	10.3	28.5	25.5	3.0	27.5	22.0	5.5	30.0	25.0	5.0												
安吉	23.7	17.2	7.5	21.5	18.7	2.8	21.5	17.3	4.2	23.0	18.5	4.5												
土室	22.6	18.2	4.4	21.5	20.3	1.2	22.0	20.2	1.8	23.0	20.8	2.2												
今西	21.0	12.5	8.5	17.5	13.3	4.2	18.2	11.5	6.7	19.3	15.3	4.0												
末松	17.5	9.5	8.0	14.5	11.7	2.8	17.5	10.2	7.3	16.2	12.0	4.2												
田子島	15.7	11.0	4.7	15.5	15.0	0.5	16.5	15.5	1.0	16.3	15.8	0.5												
矢作	16.5	11.3	5.2	13.5	11.5	2.0	14.0	11.3	2.7	—	—	—												
柏野	13.7	9.6	3.7	11.0	10.3	0.7	12.0	10.2	1.8	12.0	10.8	1.2												
倉光	13.0	7.5	5.5	9.0	8.0	1.0	12.7	8.0	4.7	10.3	9.0	1.3												
徳用	12.2	8.3	4.7	9.0	8.0	1.0	11.0	8.3	2.7	7.0	8.0	1.0												

年月日	S 37. 10. 19			S 37. 10. 19			S 37. 12. 8			S 37. 12. 8			S 38. 12. 13			S 38. 12. 13		
	項目	水位 (m)	推定元水位 (m)	上昇量 (m)	水位 (m)	推定元水位 (m)	上昇量 (m)	水位 (m)	推定元水位 (m)	上昇量 (m)	水位 (m)	推定元水位 (m)	上昇量 (m)	水位 (m)	推定元水位 (m)	上昇量 (m)		
明島	65.0	63.0	2.0	64.5	64.0	0.5	64.5	63.0	1.5									
中島	51.0	58.0	3.0	48.0	47.0	1.0	50.5	48.5	2.0									
和氣寺	42.0	40.5	11.5	38.3	29.3	9.0	38.5	37.0	11.5									
行町	32.0	23.5	9.5	29.5	22.0	7.5	29.0	21.5	7.5									
部入道	28.5	23.0	5.5	—	—	—	26.5	20.5	6.0									
安吉	21.5	18.0	3.5	20.0	18.7	1.3	20.5	17.0	3.5									
土室	21.5	17.5	4.0	20.0	19.0	1.0	21.5	20.0	1.5									
今西	17.5	11.5	6.0	14.7	12.0	2.7	18.3	13.4	4.9									
末松	14.5	9.5	5.0	12.5	10.0	2.5	14.4	11.2	3.2									
田子島	15.5	14.5	1.0	17.5	17.0	0.5	12.5	11.5	1.0									
矢作	13.5	11.0	2.5	11.5	10.0	1.5	12.5	10.5	2.0									
柏野	11.0	9.2	1.8	10.1	9.9	0.2	10.7	10.0	0.7									
倉光	9.0	7.5	1.5	8.0	7.6	0.4	9.4	8.0	1.4									
徳用	9.0	7.5	1.5	9.0	8.8	0.2	8.5	8.0	0.5									

られるようにほぼ直線とみなされる。したがって勾配 i の変化も直線的であり、 Q は t_1 から t_2 にかけてほぼ直線的に変動するとしても大差はない。 t_1 における流動量を Q_1 とし t_2 における流動量を Q_2 とすると近似的に $\sum_{t_1}^{t_2} Q_d = \frac{Q_1 + Q_2}{2} T$ (T は経過時間) となる。 Q_1, Q_2 は地下水面勾配と地下水位から VII. 3

項で行なった方法で求められ第11表に示してある。

経過時間をかけた合計流動量 $\sum_{t_1}^{t_2} Q_d$ は37年8月に、52日間で $2.7 \times 10^6 \text{m}^3$ 、37年10月に、16日間で $9.3 \times 10^6 \text{m}^3$ 、38年9月に、30日間で $1.53 \times 10^7 \text{m}^3$ 、39年10月に、22日間で $1.44 \times 10^7 \text{m}^3$ と算出された。

地下水補給量 $\sum_{t_1}^{t_2} q$ は測定期間中、各年とも無降水あるいは地下水に影響をおよぼさない程度の降水量であったので、かんがい用水路を流れる表流水からの補給と手取川表流水からの補給のみを考えればよい。

第 11 表 地下水位下降時におけるX-X'断面地下水流動量

項目	年月日		S		S		S		S	
	37. 8. 20	37. 10. 10	37. 10. 19	37. 11. 3	38. 9. 1	38. 9. 30	39. 10. 1	39. 10. 22		
土 室 水 位 (m)	22.6	18.2	21.5	20.3	22.0	20.2	23.0	20.8		
柏 野 水 位 (m)	13.7	9.6	11.0	10.3	12.0	10.2	12.0	10.8		
水 位 差 (m)	8.9	9.1	10.5	10.0	10.0	10.0	11.0	10.0		
距 離 (m)	2,500	同左	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
勾 配	0.00356	0.00344	0.00420	0.00400	0.00400	0.00400	0.00440	0.00400		
3カ年平均8月水位との差 (柏野)	-0.3	-3.8	-2.4	-3.1	-1.4	-3.2	-1.4	-2.6		
今 西 水 位 (m)	21.0	12.5	17.5	13.3	18.2	11.5	19.3	15.3		
倉 光 水 位 (m)	13.0	7.5	9.0	8.0	12.7	8.0	10.3	9.0		
水 位 差 (m)	8.0	5.0	8.5	5.3	5.5	3.5	9.0	6.3		
距 離 (m)	2,200	同左	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
勾 配	0.00364	0.00227	0.00386	0.00241	0.00250	0.00159	0.00409	0.00286		
3カ年平均8月水位との差 (倉光)	+0.6	-4.9	-3.4	-4.4	+0.3	-4.4	-2.1	-3.4		
末 松 水 位 (m)	17.5	9.5	14.5	11.7	17.5	10.2	16.2	12.0		
徳 用 水 位 (m)	12.2	8.3	9.0	8.0	11.0	8.3	7.0	8.0		
水 位 差 (m)	5.3	1.2	5.5	3.7	6.5	1.9	9.2	4.0		
距 離 (m)	3,000	同左	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
勾 配	0.00177	0.00204	0.00197	0.00123	0.00217	0.00063	0.00307	0.00133		
3カ年平均8月水位との差 (徳用)	-0.4	-2.5	-2.8	-3.8	-0.8	-3.5	-4.8	-3.8		
3カ所平均勾配	0.00299	0.00204	0.00334	0.00255	0.00289	0.00207	0.00289	0.00207		
3カ年平均8月水位との差 (3カ所平均)	0	-3.7	-2.9	-3.8	-0.6	-3.7	-0.6	-3.7		
帯水層の厚さ (m)	40	36.3	37.1	36.2	39.4	36.3	39.4	36.3		
平均透水係数 (m/sec)	0.0052	同左	〃	〃	〃	〃	〃	〃		
X-X'断面地下水流動量 (m ³ /sec)	7.463	4.621	7.732	5.760	7.105	4.734	8.937	6.252		
経過日数 (日)	52		16		30		22			
X-X'断面地下水流出総量 (a) (m ³)	27,145,497		9,325,670		15,344,640		14,379,552			
手取川伏没量 (b) (m ³)	3,650,000		112,500		7,160,000		6,410,000			
低下容積 (c) (m ³)	299,168,000		142,488,000		226,175,000		141,986,000			
(a-b)/c (有効間隙率) (%)	7.8		6.5		3.6		3.8			

ただし非かんがい期におけるかんがい用水はおもにコンクリートなどで造られた幹線水路を流れており、表流水が浸透しにくいいためかんがい用水からの地下水補給はごく少ないとみられる。したがって $\sum_{t_1}^{t_2} q$ は手取川表流水のみからの地下水補給量としても大差はない。手取川表流水からの地下水補給量を手取川表流水の伏設量と同じとすると、鶴来町天狗橋における日流量表と V. 1 項で求めた流量・伏設量関係曲線から求められる。求めた結果は次のとおりである。すなわち、37年8月に、 $3.56 \times 10^6 \text{m}^3$ 、37年10月に、 $1.13 \times 10^6 \text{m}^3$ 、38年9月に、 $7.16 \times 10^6 \text{m}^3$ 、39年10月に、 $6.4 \times 10^6 \text{m}^3$ である。

以上求めた $(H_1 - H_2)A \cdot \sum_{t_1}^{t_2} Q \cdot \sum_{t_1}^{t_2} q$ を(5)式に代入して算出した有効間隙率 S_y はそれぞれ 7.8%、6.5%、3.6%、3.8% である。そこで手取川扇状地の平均の有効間隙率は上記の数値を算術平均した 5.4% とした。

VIII. 2 降水による地下水補給

前述したように手取川扇状地においては降水からの地下水補給が大きいことが明らかであるが、降水が全量地下水になるものではない。地下水補給量は降水量から地表流去量、蒸発散量、通気帯での吸着量および付着量などを差し引いたものである。地表流去量、蒸発散量、吸着量、付着量などは降雨強度、温度、湿度、地下水位など諸種の条件によって支配される。したがって広域扇状地における地下水収支を考える場合、その個々の算出はきわめて困難である。そこで、ここではそれらのものを降水量 P に対する係数 α という形で考えた。すなわち降水からの地下水補給量 $\sum_{t_1}^{t_2} q_p = \sum_{t_1}^{t_2} P \times \alpha$ としこの α を次の式によって求めた。

$$\alpha = \frac{V \times S_y + \sum_{t_1}^{t_2} Q - \sum_{t_1}^{t_2} q_r}{\sum_{t_1}^{t_2} P} \dots\dots\dots(6) \text{式}$$

- V降水によって生じた地下水位の上昇容積^{注3)}
- S_y 有効間隙率
- $\sum_{t_1}^{t_2} Q$ 降水によって増加した地下水流動量の合計
- $\sum_{t_1}^{t_2} q_r$ 表流水からの地下水補給量の合計
- $\sum_{t_1}^{t_2} P$ 降水量の合計

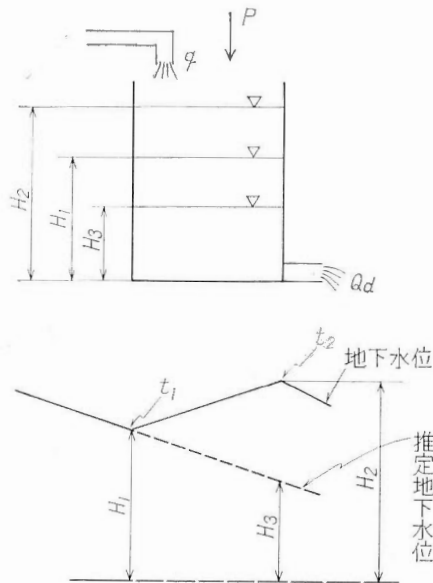
第31図において t_1 から t_2 の間に降水 P があった場合、無降水時に下がりつつあった地下水位は、時間 t_1 において降水の影響を受け上昇し始める。そのときの水位を H_1 とし降水後水位が頂点に達した時間 t_2 における水位を H_2 とする。 $t_1 \sim t_2$ 間に降水がなかったと仮定した場合の t_2 における水位を H_3 とすると降水によって上昇した水位は $H_2 - H_3$ となる。容れ物の面積を A とすれば地下水位の上昇容積 V は $(H_2 - H_3)A$ となる。なお帯水層の有効間隙率を S_y とすれば降水によって増加した地下水量は $(H_2 - H_1)AS_y$ となる。

第31図において始めの排出量 Q_d は水位の低下とともに減少していくが、 t_1 を過ぎると水位の上昇にもなって多くなり t_2 において最大となる。いま降水がなかったものと仮定したときの t_2 における排出量を Q_{d3} とし t_2 において最大となった排出量を Q_{d2} とすれば、 t_2 における降水によって増加した排出量は $Q_{d2} - Q_{d3}$ となる。先に述べたように t_1 から t_2 にかけての Q の変動が近似的に直線とすれば降水によって増加した合計排出量 $\sum_{t_1}^{t_2} Q_d$ は $(Q_{d2} - Q_{d3})(t_2 - t_1) / 2$ となる。

地下水補給量 $\sum_{t_1}^{t_2} q_r$ は t_1 から t_2 の間における表流水からの地下水補給量であり、前項と同様な理由によりこの補給量は手取川表流水の合計伏設量とすることができる。

第24~26図に比較的多量の降水時における地下水位の上昇等値線を示してある。図において X-X' 断面より上流側の上昇容積を求め先に求められた有効間隙率をかけると、水位の上昇による地下水貯留増加量

注3) 地下水位が上昇したことによって増加した飽和帯水層の容積をいう。



第 31 図 地下水水位変化と地下水補給・排出の模式説明図
(降水によって地下水水位が上昇する場合)

VS が求められる。

昭和37年10月における15日間合計降水量 293mm のときの増加量は $9.95 \times 10^6 \text{m}^3$ ，37年12月における10日間合計降水量 113mm のときの増加量は $4.85 \times 10^6 \text{m}^3$ ，38年12月における15日間合計降水量 217mmのときは $6.65 \times 10^6 \text{m}^3$ である。

Q_2 は水位と地下水水面勾配から VII. 3 項で行なった方法で求められる。 Q_3 は水位変動曲線図から降水がなかったものと仮定したときの水位および勾配を 6 カ所について推定し VII. 3 項で行なった方法で求められる。求められた地下水水位，勾配， Q_2 ， Q_3 などは第12表に示してある。降水によって増加した流動量の合計は37年10月が $2.23 \times 10^6 \text{m}^3$ ，37年12月が $8.1 \times 10^5 \text{m}^3$ ，38年12月が $14.6 \times 10^6 \text{m}^3$ である。

$\sum_{t_1}^{t_2} q_r$ は先にも述べたように手取川表流水の伏設量とみてよく，流量表と流量—伏設量関係図から算出される。その結果は37年10月が $2.25 \times 10^6 \text{m}^3$ ，37年12月が $7.8 \times 10^5 \text{m}^3$ ，38年12月が $7.48 \times 10^6 \text{m}^3$ である。

降水量の合計 $\sum_{t_1}^{t_2} P$ は37年10月が 293mm，37年12月が 113mm，38年12月が 217mm である。以上求めた V ， S_v ， $\sum_{t_1}^{t_2} Q$ ， $\sum_{t_1}^{t_2} q_r$ ， $\sum_{t_1}^{t_2} P$ を第13表に示した。これらを(6)式に入れて α を計算すると次のとおりとなる。

37年10月は72%，37年12月は92%，38年12月は6%である。この α は降水が地下水となる割合を示したもので，このうち38年12月の値は小さすぎるので，以下に検討してみる。

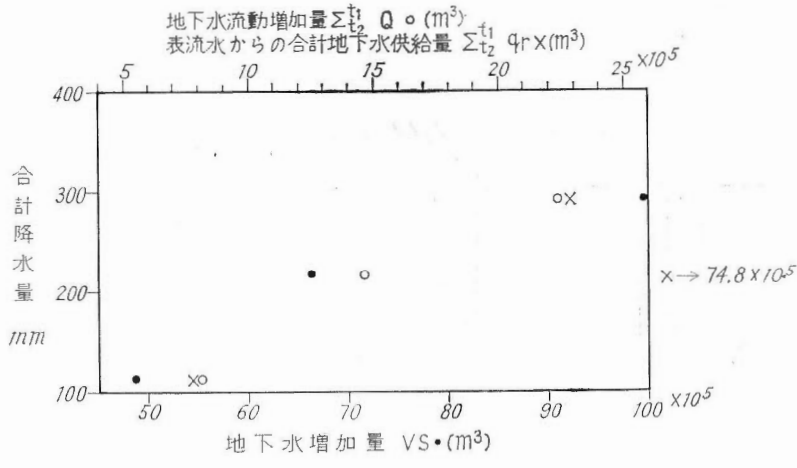
第32図に降水量 $\sum_{t_1}^{t_2} P$ と地下水貯留増加量 VS ，流動増加量 $\sum_{t_1}^{t_2} Q$ との関係を示した。この図で明らかのように，降水量と VS および $\sum_{t_1}^{t_2} Q$ は比例関係を示しているのに対し手取川伏設量 $\sum_{t_1}^{t_2} q_r$ は38年12月のみがきわめて大きな値を示している。38年の非かんがい期は降水が例年にくらべ少ないのに手取川流量は例年よりかなり多く流れていた(第33～35図参照)。とくに11月下旬からは連日 $10 \text{m}^3/\text{sec}$ 以上の表流水が流れており，このようなときの流量と伏設量との関係は第11図のような関係にならないものと推察される。すなわち多量の表流水が連日河道に流れている場合表流水の河床下への浸透は始めは普通に行なわれるが時間とともに減少するものと思われる。そのため算定された合計伏設量 $\sum_{t_1}^{t_2} q_r$ は実際よりかなり過大な値となり，38年12月の降水からの地下水補給の割合が小さくなったものと考えられる。そこで38年12月の数値を除外することとすると，手取川扇状地においては降水量が $100 \sim 300 \text{mm}$ の場合に降水量の $70 \sim 90\%$ が地下水となるということが出来る。

第 12 表 地下水位上昇時におけるX-X'断面地下水流動量

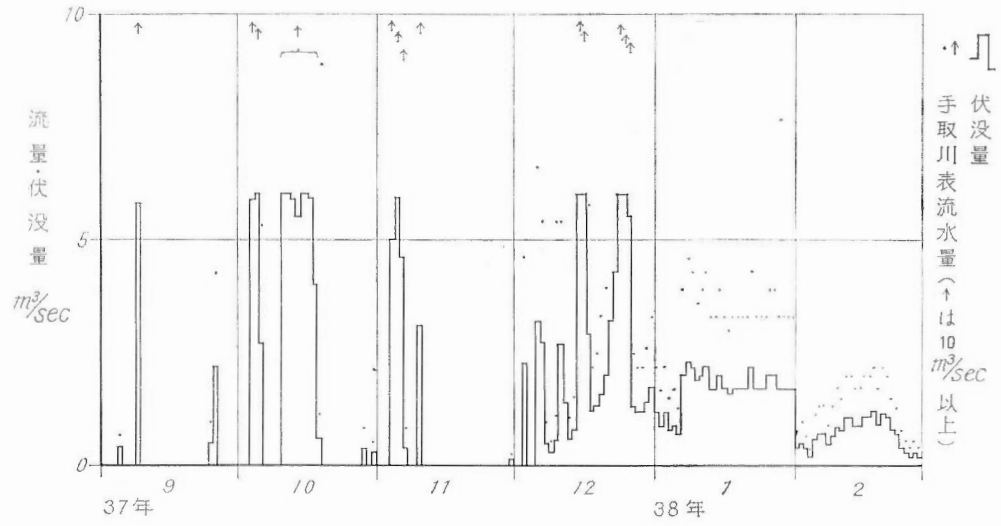
項目	年月日		年月日		年月日	
	S 37. 10. 19	同無降水としたときの推定	S 37. 12. 8	同無降水としたときの推定	S 38. 12. 13	同無降水としたときの推定
土室水位 (m)	21.5	17.5	20.0	19.0	21.5	20.0
柏野水位 (m)	11.0	9.2	10.1	9.9	10.7	10.0
水位差 (m)	10.5	8.3	9.9	9.1	10.8	10.0
勾配	0.00420	0.00332	0.00396	0.00364	0.00432	0.00400
3カ年平均8月水位との差(柏野) (m)	-3.4	-4.7	-3.3	-4.0	-2.7	-3.4
今西水位 (m)	17.5	11.5	14.7	12.0	18.3	13.4
倉光水位 (m)	9.0	7.5	8.0	7.6	9.4	8.0
水位差 (m)	8.5	4.0	6.7	3.4	8.9	5.4
勾配	0.00386	0.00182	0.00305	0.00154	0.00405	0.00245
3カ年平均8月水位との差(倉光) (m)	-2.6	-4.9	-4.4	-4.8	-3.0	-4.4
末松水位 (m)	14.5	9.5	12.5	10.0	14.4	11.2
徳用水位 (m)	9.0	7.5	9.0	8.8	8.5	8.0
水位差 (m)	5.5	2.0	3.5	1.2	5.9	3.2
勾配	0.00183	0.00067	0.00117	0.00040	0.00197	0.00107
3カ年平均8月水位との差(徳用) (m)	-1.9	-4.3	-2.8	-3.0	-3.3	-3.8
3カ所平均勾配	0.00330	0.00194	0.00273	0.00186	0.00345	0.00251
3カ年平均8月水位との差(3カ所平均) (m)	-2.6	-4.6	-3.5	-3.9	-3.0	-3.5
帯水層の厚さ (m)	37.4	35.4	36.5	36.1	37.0	36.5
X-X'断面 (m ³ /sec) 地下水流動量	7.720	4.285	6.228	4.242	7.965	5.717
経過日数 (日)	15		10		15	
X-X'断面地下水流動総量 (m ³)	2,228,000		806,100		1,456,704	
・ 土室-柏野間2,500m 今西-倉光間2,200m 末松-徳用間3,000m 透水係数 $k=0.0052\text{m/sec}$						

第 13 表 降水量と地下水増加量および地下水流動量との関係

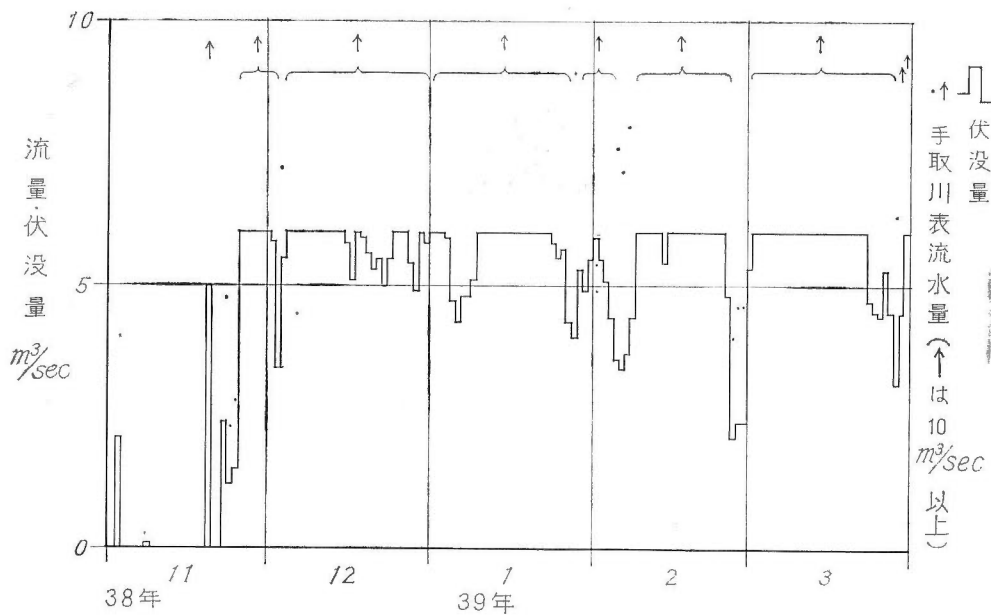
項目	年月日		
	S 37. 10. 5~19	S 37. 11. 29~12. 8	S 38. 11. 29~12. 13
降水量 (mm)	293	113	217
a 降水総量 (m ³)	137×10 ⁵	53×10 ⁵	102×10 ⁵
水位上昇体積 (m ³)	1,842×10 ⁵	897×10 ⁵	1,224×10 ⁵
平均有効間隙率 (%)	5.4	5.4	5.4
b 増加地下水量 (m ³)	99.5×10 ⁵	48.5×10 ⁵	66.2×10 ⁵
c 地下水流動量 (m ³)	22.3×10 ⁵	8.1×10 ⁵	14.6×10 ⁵
$\frac{b+c}{a}$ (%)	89	106	80
d 手取川伏没量 (m ³)	22.7×10 ⁵	7.8×10 ⁵	74.8×10 ⁵
$\frac{b+c-d}{a}$ (%)	72	92	6



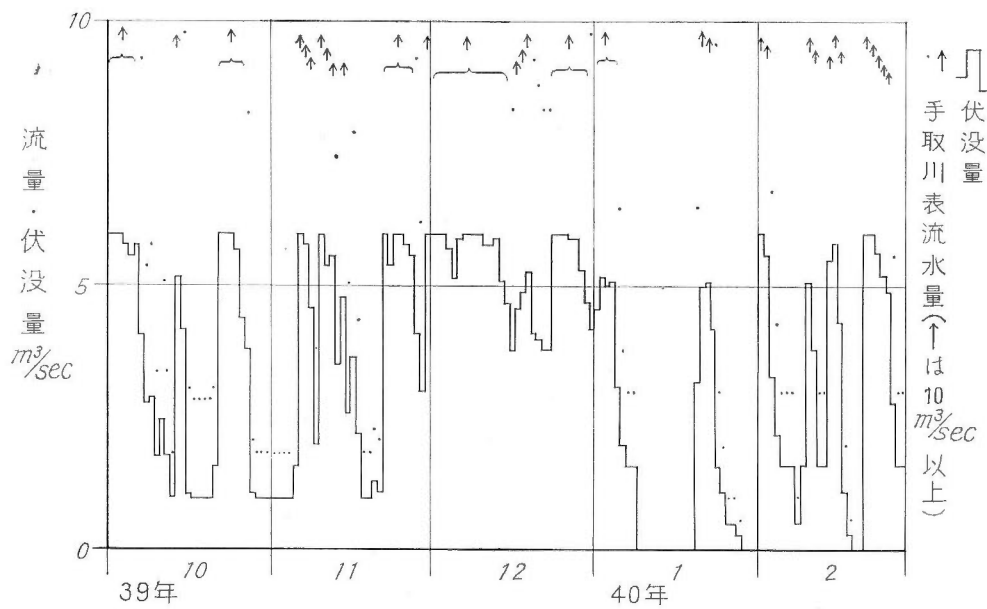
第 32 図 降水量と地下水増加量などの関係



第 33 図 非かんがい期における手取川表流水量と推定伏没量 (昭和37年9月~38年2月)



第 34 図 非かんがい期における手取川表流量と推定伏没量 (昭和38年11月~39年3月)



第 35 図 非かんがい期における手取川表流量と推定伏没量 (昭和39年10月~40年2月)

Ⅷ. 3 非かんがい期における地下水補給量

前項ではある降水時における地下水補給量と流動量および限られた降水量に対する地下水補給の割合が求められた。次に非かんがい期のおよそ全期にわたる補給量と流動量および降水からの地下水補給の割合を求めてみる。

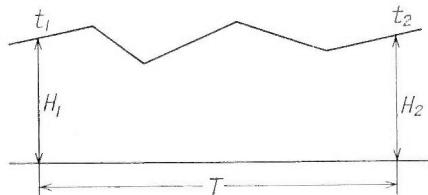
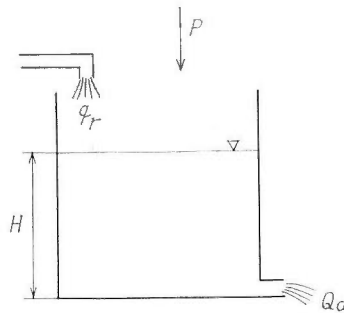
第36図において容れ物を X—X' 断面より上流側の扇状地、排出量 Q_d を X—X' における地下水流動量、 q_r を手取川表流水からの地下水補給量、 P を X—X' 断面より上流側扇状地の降水量とする。時間 t_1 をかんがい期終了後のある時点、 t_2 をかんがい開始前のある時点とする。 t_1 のときの地下水位を H_1 とし、 t_2 のときの地下水位を H_2 とする。いま $H_1 = H_2$ (注4) とすると次の式がなり立つ。

$$\sum_{t_1}^{t_2} Q = \sum_{t_1}^{t_2} q_r + \sum_{t_1}^{t_2} P \times \alpha' \dots \dots \dots (7) \text{式}$$

$\sum_{t_1}^{t_2} Q$ は次のようにして求めた。まず地下水位データーから X—X' 断面をまたぐ6カ所の月平均水位を各月について求め、それから3カ所の平均勾配、8月水位との3カ所の平均差、帯水層の厚さを算出した。Ⅶ. 2項で求めた透水係数 $k=0.52\text{cm/sec}$ を用い(4)式に代入して各月の平均地下水流動量を算出した。月平均流動量に各月の算定日数をかけ算定月数の分だけ積算したものを、各非かんがい期の総流動量とした。それらの結果は第14表に示してある。値を示すと次のとおりである。

昭和37年10月～38年2月の151日間の総流動量は $8.3 \times 10^7 \text{m}^3$ 、38年10月～39年2月の152日間は $7.9 \times 10^7 \text{m}^3$ 、39年10月～40年2月の161日間は $1.07 \times 10^8 \text{m}^3$ である。

$\sum_{t_1}^{t_2} q_r$ は手取川表流水の伏没量とし、天狗橋における日流量表から第11図の流量・伏没量関係曲線図を用いて求め、各期間中積算した。各月別の伏没量は第15表に示してある。期間合計伏没量は37年10月～38年2月が $1.8 \times 10^7 \text{m}^3$ 、38年10月～39年2月が $4.8 \times 10^7 \text{m}^3$ 、39年10月～40年2月が $4.97 \times 10^7 \text{m}^3$ である。



第 36 図 地下水位変化と地下水補給・排出の模式説明図 (長期間の場合)

注4) 実際には H_1 と H_2 は同じではないがたとえ数m あつたとしても、その差による地下水量は長期間の流動量あるいは補給量に對しわずかの比率でしかない。

第 14 表 非かんがい期におけるX-X' 断面流動量

年月		S37. 9	10	11	12	S38. 1	2
項目							
3カ所平均勾配			0.00261	0.00244	0.00271	0.00294	0.00310
8月水位との3カ所(m) 平均差			-3.6	-3.5	-3.7	-2.4	-2.0
帯水層の厚さ (m)			36.4	36.5	36.3	37.6	38.0
流動量 (m ³ /sec)			5.928	5.557	6.138	6.898	7.351
日数 (日)			31	30	31	31	28
流動総量 (m ³)			159×10 ⁵	144×10 ⁵	164×10 ⁵	185×10 ⁵	178×10 ⁵
年月		S38. 9	10	11	12	S39. 1	2
項目							
3カ所平均勾配			0.00223	0.00248	0.00296	0.00282	0.00296
8月水位との3カ所(m) 平均差			-4.4	-4.7	-3.9	-4.0	-3.7
帯水層の厚さ (m)			35.6	35.3	36.1	36.0	36.3
流動量 (m ³ /sec)			4.955	5.463	6.668	6.335	6.705
日数 (日)			31	30	31	31	29
流動総量 (m ³)			133×10 ⁵	142×10 ⁵	179×10 ⁵	170×10 ⁵	168×10 ⁵
年月		S39. 9	10	11	12	S40. 1	2
項目							
3カ所平均勾配		0.00345	0.00362	0.00322	0.00358	0.00305	0.00323
8月水位との3カ所(m) 平均差		-2.4	-3.1	-3.6	-3.3	-3.1	-2.6
帯水層の厚さ (m)		37.6	36.9	36.4	36.7	36.9	37.4
流動量 (m ³ /sec)		8.095	8.335	7.314	8.198	7.023	7.538
日数 (日)		10	31	30	31	31	28
流動総量 (m ³)		70×10 ⁵	223×10 ⁵	190×10 ⁵	220×10 ⁵	188×10 ⁵	182×10 ⁵

第 15 表 手取川表流水の伏没量と降水量

年 月	S 37~38			S 38~39			S 39~40		
	手取川伏 没量 (m ³)	降水量 (mm)	総降水量 (m ³)	手取川伏 没量 (m ³)	降水量 (mm)	総降水量 (m ³)	手取川伏 没量 (m ³)	降水量 (mm)	総降水量 (m ³)
9(10日間)							5.1×10 ⁶	320.5	15.0×10 ⁶
10	6.30×10 ⁶	315.3	14.7×10 ⁶	1.72×10 ⁶	124.7	5.9×10 ⁶	9.0×10 ⁶	164.2	7.7×10 ⁶
11	1.84×10 ⁶	236.5	11.1×10 ⁶	3.65×10 ⁶	243.0	11.4×10 ⁶	9.6×10 ⁶	269.9	12.6×10 ⁶
12	6.03×10 ⁶	242.6	11.4×10 ⁶	15.2×10 ⁶	211.3	9.9×10 ⁶	14.2×10 ⁶	285.3	13.4×10 ⁶
1	4.13×10 ⁶	712.8	33.3×10 ⁶	14.9×10 ⁶	227.2	10.6×10 ⁶	4.3×10 ⁶	311.3	14.6×10 ⁶
2	1.72×10 ⁶	215.4	10.1×10 ⁶	12.9×10 ⁶	239.2	11.2×10 ⁶	7.5×10 ⁶	206.2	9.7×10 ⁶

$\sum_{t_1}^{t_2} P$ (mm) は期間中の合計降水量 (mm) に X—X' 断面より上流側の扇状地面積をかけて表わしたものである。各月ごとの降水量を第15表に示してある。各期間の合計降水量は37年9月～38年2月が $8.06 \times 10^7 \text{m}^3$, 38年10月～39年2月が $4.9 \times 10^7 \text{m}^3$, 39年10月～40年2月が $7.29 \times 10^7 \text{m}^3$ である。

以上の $\sum_{t_1}^{t_2} Q$, $\sum_{t_1}^{t_2} q_r$, $\sum_{t_1}^{t_2} P$ を第(7)式に代入して α' を求めるとそれぞれ76%, 63%, 80%となり、平均すると73%になる。

すなわち手取川扇状地では降水からの地下水補給量は平均73%におよび一般的に考えるとかなり高い数値と思われる。しかし前項で行なった 100～300mm 降水時における補給率 α , あるいは単純に総降水量に対する増加地下水量の比率からみると手取川扇状地では妥当な数値とみてよからう。

第16表に各非かんがい期における地下水総流動量 (X—X' 断面における), 降水からの地下水補給量, および手取川表流水からの地下水補給量を示してある。総流動量に対する降水からの補給量と手取川からの補給量の割合は次のとおりである。昭和37年10月～2月は降水からの補給が78%, 手取川からの補給が22%である。以下同様に38年10月～39年2月は降水から40%, 手取川から60%, 39年9月下旬から40年2月は降水から46%, 手取川から54%となっている。

次に降水からの地下水補給率 α を平均値73%として計算すると降水からの補給の割合は次のとおりとなる。昭和37年71%, 38年45%, 39年50%となる。

第 16 表 地下水流動量と降水量および手取川伏没量との関係

項目	年月日	S 37. 10～38. 2	S 38. 10～39. 2	S 39. 10～40. 2
		151日間	152日間	161日間
a 地下水流動総量 (m ³)		83.0×10^6	79.2×10^6	107.3×10^6
b 総降水量 (m ³)		80.6×10^6	49.0×10^6	72.9×10^6
c 手取川表流水伏没量 (m ³)		18.0×10^6	48.1×10^6	49.7×10^6
$\frac{a-c}{b}$ (%)		76	63	80
降水からの地下水補給量 (m ³)		65.0×10^6	31.1×10^6	57.6×10^6

IX. 水 収 支

年間の水収支は手取川扇状地のように地下水位の変動状況が毎年同じようなサイクルをくり返し、毎年ほぼ同じ時期に同じ水位になるような場合には年間の地下水補給量は地下水の排出量と等しくなる。手取川扇状地の X—X' 断面より上流部地区からの3カ年平均流動量は年間約 $2.4 \times 10^6 \text{m}^3$ と算定される。年間の補給量は上記の年間流動量と同じといえるが月別の補給量と流動量とは若干異なる。水位資料によれば、かんがい開始による水位上昇の山は扇頂部から扇端部まで1週間程で達している。また X—X' 断面の透水係数は $5.2 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ という大きな値を示し、それより上流側扇状地の透水係数はさらに大きな値を示すと考えられる。これら種々の状況から推定すると上流部の扇状地で補給された地下水はかなり速い速度で扇端部に流動する。すなわち月を単位としての地下水収支を考える場合には上流部における貯留量が大きく変動しない月は、X—X' 断面の月平均流動量と月平均補給量はほぼ同じ量として大差はない。地下水貯留量が大きく変動する月の補給量は月平均流動量に地下水貯留の変動量を加減したものとして大差はない。4月はかんがい開始時期に当たり地下水貯留が大きく増加する。地下水水位上昇等値線から求めた4月の貯留増加量は平均 $2.3 \times 10^6 \text{m}^3$ である。9月は地下水貯留量が平均 $8 \times 10^6 \text{m}^3$ 程度減少している。そこで第9表および地下水位の年間変動、4月・9月の地下水貯留増減量などを勘案し、ごくおおまかに月別地下水補給量を推定すると次のようになる。

4月の地下水補給量はほぼ月流動量+地下水貯留増加量としてよく、合計約 $4.0 \times 10^6 \text{m}^3$ である。5月は水位が若干低下し、地下水貯留量の減少がみられ、地下水補給量は月流動量よりも若干少なく $2.4 \times 10^6 \text{m}^3$

程度と推定される。6月も5月と同様に若干補給量の方が少なく $1.8 \times 10^7 \text{m}^3$ と推定される。7・8月は地下水位が変動せず流動量=補給量としてよく、 $2.1 \times 10^7 \text{m}^3$ となる。9月は(月流動量-地下水貯留減少量)=補給量となり $1.0 \times 10^7 \text{m}^3$ と推定される。10月は地下水位が若干低下しており、補給量は流動量よりも少なく $1.5 \times 10^7 \text{m}^3$ 程度である。11月から3月までの各月は流動量=補給量とみてよくそれぞれ $1.5 \sim 1.8 \times 10^7 \text{m}^3$ となる。

今まで月別の地下水補給量について述べてきたが手取川扇状地の地下水補給源はおもにかんがい用水、手取川表流水、直上の降水、の三つに分けられる。次にこれら三つの補給源からの補給量の割合について概算すると次のようになる。

まず5月から8月までのかんがい期についてみると、この間はVI.章で述べたように降水からの補給は0とみてよい。5～8月のうち8月は手取川表流水が例年ほとんど流れておらず手取川からの補給はごく少ない。したがって8月はかんがい用水からの補給量が90%以上をしめていとみてよい。5～7月は手取川表流水がかなり流れており、手取川表流水からも補給されている可能性はある。しかし地下水位をみると手取川表流水が流れていない8月の水位と5～7月の地下水位とは大きな差はなく、手取川表流水から多量に地下水が補給されている形跡はみられない。また5～7月の地下水位は年間でもっとも高く、手取川沿岸の地下水面の高さは手取川表流水面の高さとほとんど変わらない。したがってこの期間は年のうちもっとも手取川表流水が浸透しにくい条件下にある。このようなことから5～7月においても手取川表流水からの補給はそれほど多くはなく、おそらくかんがい用水からの補給が80%以上をしめよう。

10月から3月まではかんがい用水からの補給はほとんど0とみてよく地下水の補給源は直上の降水と手取川表流水である。降水と手取川表流水からの補給の割合は、降水量、降水状況、地下水位、手取川表流水量などによって異なる。

第17表に非かんがい期における先に推定した月平均地下水補給量、3カ年平均月降水量、月降水量にVII.3項で求めた地下水補給率 α を掛けた降水からの地下水補給量、推定した月平均地下水補給量から降水からの地下水補給量を差し引いた値、日流量表と流量・伏没量曲線から求めた手取川表流水からの地下水補給量を示してある。これらの各数値から降水と手取川表流水からの地下水補給のおおよその割合を検討した。

まず10月、11月は手取川表流水からの補給量が少なく算定されているもようであり、おそらく10月の降水からの補給は45～50%、11月は50～55%程度であろう。12月は降水からの補給が40～45%に下がる。1月の降水量は非かんがい期間中もっとも多いが雪の場合が多く積雪として後に残されるので降水量の多い割合には降水からの補給の割合はそれほど高くならず55～60%である。

2月は降水量がそれほど多くないが、中旬から積雪がとけるため降水からの補給の割合が大きくなり60～65%に達する。3月も2月同様に融雪が続くが降水量が少なく降水からの補給の割合は35～40%に下がるようである。

4月および9月はかんがい用水、降水、手取川表流水から補給される可能性を持っており、それぞれの割合

第17表 非かんがい期における補給源別の地下水補給量

項目	9	10	11	12	1	2	3
a 3カ年平均(推定)地下水補給量 (m ³)	8×10^6	15×10^6	15.8×10^6	18.8×10^6	18.1×10^6	18.5×10^6	17.7×10^6
b 3カ年平均降水量 (m ³)	8.2×10^6	9.4×10^6	11.7×10^6	11.2×10^6	19.6×10^6	10.3×10^6	6.6×10^6
c 降水からの補給量 (m ³)	6.0×10^6	6.9×10^6	8.5×10^6	8.2×10^6	14.3×10^6	7.5×10^6	4.8×10^6
d a-c (m ³)	2×10^6	8.1×10^6	7.3×10^6	10.6×10^6	3.8×10^6	11.0×10^6	12.9×10^6
e 手取川表流水からの補給量 (m ³)	6.5×10^6	5.7×10^6	5.0×10^6	11.8×10^6	7.8×10^6	7.4×10^6	11.3×10^6
aに対するdの割合 (%)	25	54	46	56	21	59	73
aに対するeの割合 (%)	81	38	32	63	43	40	64

cはbに降水からの平均地下水補給率 $\alpha=73\%$ を掛けたもの

dはa-c

eは日流量表から流量-伏没量曲線を使って求めた値

を決めるのはむずかしい。しいていえば4月における手取川表流水からの補給は20%以下と思われ、かんがい用水からの補給は60%程度であろう。9月はかんがい用水からの補給が20%以下と思われ手取川の流量が少ないことから降水からの補給が50%程度をしめるとみられる。

以上のように手取川扇状地における地下水の主たる補給源はかんがい期および非かんがい期によって異なる。4～8月をかんがい期、9～3月を非かんがい期としてそれぞれの補給の割合および補給量を推定すると次のようになる。かんがい期はかんがい用水からの補給が全補給量の約75%をしめ、約 $9.3 \times 10^7 \text{m}^3$ である。手取川表流水からは約17%で $2.1 \times 10^7 \text{m}^3$ 、降水からの補給は約8%で $1.0 \times 10^7 \text{m}^3$ である。非かんがい期においては降水からの補給が全補給量の約52%をしめ約 $6.0 \times 10^7 \text{m}^3$ である。手取川からの補給は約47%であり $5.5 \times 10^7 \text{m}^3$ で、かんがい用水からの補給は1%にみたない。これを年間を通してみると、かんがい用水からの補給が約39%で約 $9.4 \times 10^7 \text{m}^3$ 、手取川表流水からの補給が約32%で $7.7 \times 10^7 \text{m}^3$ 、降水からの補給が約29%で約 $6.9 \times 10^7 \text{m}^3$ と推定される。

X. 総 括

水文地質調査結果、および既存の地下水位資料、降水資料、流量資料、地質資料などを用いて、手取川扇状地における水収支を明らかにした。水収支の方法および算出過程は次のようである。まず地理地質調査結果および地質資料から扇状地と周辺山地との地下水的関連、容水地層の大きさ、形態および性質を推定し地下水収支の対象となる帯水層および基準となる流動断面を決定した。手取川扇状地の地下水補給源は降水、かんがい用水、手取川表流水が考えられ、そのうち手取川表流水からの地下水補給量を算出するため手取川の水文調査を実施し流量・伏没量曲線を求めた。また地下水位およびかんがい用水量の安定期に、かんがい用水からの地下水補給量をかんがい用水路の水文調査によって求め、さらに地下水理調査を実施して扇状地における地下水の賦存状況、流動状況、水位変動の傾向などを明らかにした。

以上の各種調査結果をもとにして、8月における扇状地中央断面（X—X' 断面）の地下水流動量および平均透水係数を計算した。また平均の透水係数と地下水位の経年観測資料から扇状地中央断面における3カ年平均の月別平均流動量を計算した。かんがい終了後および降水後の地下水位低下曲線、地下水水面勾配、手取川表流水の流量・伏没量曲線および平均の透水係数を使って、X—X' 断面より上流側の扇状地における平均有効間隙率を計算した。降水による地下水位上昇曲線、有効間隙率、地下水水面勾配、平均の透水係数、流量・伏没量曲線などを用いて、ある降水時における降水からの地下水補給率 α を計算した。次に非かんがい期にわたる降水からの地下水補給率 α' を上記と同様な方法で計算し、非かんがい期における降水からの補給の割合と手取川表流水から補給される割合を求めた。

最後に今までに求められた多くの要素を総合的に検討して年間の水収支を明らかにした。

以上求めた各数値のうちおもなものについて次に記す。

X—X' 断面での上部帯水層（地下水収支の対象とした帯水層）の厚さ。：約40m

手取川表流水の伏没量 q

$$q = \sqrt{\frac{Q}{0.3241}} - 1.3685 \dots \dots Q = 1 \sim 8 \text{m}^3/\text{sec} \text{ の場合}$$

$$q = \sqrt{\frac{Q}{0.75266}} + 0.5936 \dots \dots Q = 8 \sim 20 \text{m}^3/\text{sec} \text{ の場合}$$

Q は中島地先における流量

かんがい用水からの地下水補給量（8月）

11.4 m^3/sec 扇状地全域

7.5 m^3/sec X—X' 断面から上流、a・b断面までの間

地下水水面勾配

1/55～1/330 （扇頂～扇端）

地下水流動量 (X—X' 断面) : 約8.5m³/sec (8月)

X—X' 断面における上部帯水層の平均透水係数 5.2×10⁻¹cm/sec

3カ年平均月別平均流動量 (X—X' 断面)

最 高 10.3m³/sec (5月)

最 少 6.1m³/sec (11月)

年 平 均 7.3m³/sec

扇状地の平均有効間隙率 (X—X' 断面から上流側) 5.4%

降水からの地下水補給率

100~300mm 降水の場合降水量の70~90%。非かんがい期全体の場合、合計降水量の73%

月別地下水補給量 (3カ年平均)

最 高 4×10⁷m³ (4月)

最 少 1×10⁷m³ (9月)

地下水の補給源別の割合 (3カ年平均)

かんがい期

かんがい用水から約75% 9.3×10⁷m³

手取川表流水から約17% 2.1×10⁷m³

降水から 約8% 1.0×10⁷m³

非かんがい期

かんがい用水から 1%以下

手取川表流水から約47% 5.5×10⁷m³

降水から 約52% 6.0×10⁷m³

年間の地下水補給量 (X—X' 断面より上流部) (3カ年平均) 2.4×10⁸m³

かんがい用水から 9.4×10⁷m³, 39%

手取川表流水から 7.7×10⁷m³, 32%

降水から 6.9×10⁷m³, 29%

文 献

石川県 (1952) : 石川県地質図

石川県 (1956) : 手取川流域水文調査報告書

石川県 (1963) : 金沢—小松地区地下水等調査報告書, p. 1~53, p. 131~137

金子 良 (1966) : 農業と水, 水資源ハンドブック, p. 287~324, 朝倉書店

建設省河川局 (1962) : 流量年表, 第15回 昭和37年, p. 153

建設省河川局 (1963) : 流量年表, 第16回 昭和38年, p. 171

建設省河川局 (1964) : 流量年表, 第17回 昭和39年, p. 182

気象庁 (1962) : 昭和37年全国気象表, 気象庁年報, PART 1, p. 16, 64

気象庁 (1963) : 昭和38年全国気象表, 気象庁年報, PART 1, p. 16, 64

気象庁 (1964) : 昭和39年全国気象表, 気象庁年報, p. 16, 64

蔵田延男・他2名 (1959) : 金沢市工業用地下水小規模地域調査報告, 地質調査所月報, vol. 10, no. 5, p. 45~62

酒井軍治郎 (1965) : 地下水学, p. 418, 朝倉書店

酒井軍治郎 (1969) : 応用地下水学, p. 394, 朝倉書店

Study on the Water Balance of Ground-Water Reservoir in the Tetori River Fan, Ishikawa Prefecture

By

Kazuo KISHI

Abstract

The author has clarified the water balance of ground-water reservoir in the alluvial fan of the Tetori river by means of the hydrogeologic method in consideration of various factors related to precipitation, surface-water flow, ground-water table and geology of the area.

The principal sources of recharge to the aquifer are infiltration of precipitation and irrigation water and seepage from Tetori river-flow.

The hydrogeological survey was carried out in the time when ground-water table and quantity of irrigation water had been stabilized.

The quantitative assessment of the recharge contributed by each source was made to measure the amount of ground-water flow from and to surface-water bodies in the area. As a result of evaluation, the author obtained the correlation curve between discharge and influent seepage.

Mean coefficient of permeability of the aquifers and amount of ground-water flow in August 1965 on the section (X—X') in the central part of the fan were determined.

The monthly mean amount of ground-water flow in the past three years was estimated by using the mean coefficient of permeability and observation data of ground-water table.

The effective porosity of aquifers on the upper reach of the X—X' section was obtained from data available including the contour of water-level depression in the past three years.

The recharge to the aquifer from precipitation in the non-irrigation period was estimated by using the effective porosity and water-level rising curves.

The author concluded that the water balance of ground-water reservoir in the area was able to be analyzed by the factors mentioned above in this paper.

Results obtained are as follows:

- 1) Thickness of the upper aquifer at X—X' section is about 40 meters.
- 2) Influent seepage of the Tetori river-flow (q),

$$q = \sqrt{\frac{Q}{0.324}} - 1.368 \quad \text{at } Q = 1 \sim 8 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$q = \sqrt{\frac{Q}{0.735}} + 0.594 \quad \text{at } Q = 8 \sim 20 \text{ m}^3/\text{sec}$$

In case of Q = Amount of flow at Nakajima.

- 3) Recharge to the aquifer from irrigation system in August 1966.

11.4 m³/sec Through the whole area of Tetori fan.

7.5 m³/sec Between sections X—X' and a—b.

- 4) Gradient of ground-water table 1/55~1/330

5) Mean coefficient of permeability of the aquifer on the upper reach of X—X' section is 5.2×10^{-4} cm/sec.

- 6) Amount of ground-water flow at X—X' section = 8.5 m³/sec in August.

7) Monthly amounts of ground-water flow on the average at (X—X') section in the past three years are as follows:

max.	10.3 m ³ /sec	May
min.	6.1 m ³ /sec	November
average	7.3 m ³ /sec	

8) Average effective porosity of the aquifer on the upper reach of X--X' section is 5.4%.

9) Recharge to aquifer from precipitation :

70~90% of the total rainfall in case of 100~300mm precipitation.
73% of the total rainfall during the non-irrigation period.

10) Monthly recharge to aquifer :

max. $40 \times 10^6 \text{m}^3$
min. $10 \times 10^6 \text{m}^3$

11) Recharge to aquifer from each source and percentage.

Irrigation period

from irrigation water	about 75%	$9.3 \times 10^7 \text{m}^3$
from Tetori river-flow	about 17%	$2.1 \times 10^7 \text{m}^3$
from precipitation	about 8%	$1.0 \times 10^7 \text{m}^3$

Non-irrigation period

from irrigation water	below	
from Tetori river-flow	about 47%	$5.5 \times 10^7 \text{m}^3$
from precipitation	about 52%	$6.0 \times 10^7 \text{m}^3$

12) Annual recharge to aquifer on the upper reach of X--X' section.

total : $2.4 \times 10^8 \text{m}^3$

from irrigation water	39%	$9.4 \times 10^7 \text{m}^3$
from Tetori river-flow	32%	$7.7 \times 10^7 \text{m}^3$
from precipitation	29%	$6.9 \times 10^7 \text{m}^3$

地質調査所報告は1報文について報告1冊を原則とし、その分類の便宜のために、次のようにアルファベットによる略号をつける。

- A. 地質およびその基礎科学に関するもの
 - a. 地質
 - b. 岩石・鉱物
 - c. 古生物
 - d. 火山・温泉
 - e. 地球物理
 - f. 地球化学
- B. 応用地質に関するもの
 - a. 鉱床
 - b. 石炭
 - c. 石油・天然ガス
 - d. 地下水
 - e. 農林地質・土木地質
 - f. 物理探鉱・化学探鉱および試錐
- C. その他
- D. 事業報告

As a general rule, [each issue of the Report, Geological Survey of Japan will have one number, and for convenience's sake, the following classification according to the field of interest will be indicated on each Report.

- A. Geological & allied sciences
 - a. Geology
 - b. Petrology and Mineralogy
 - c. Paleontology
 - d. Volcanology and Hot spring
 - e. Geophysics
 - f. Geochemistry
- B. Applied geology
 - a. Ore deposits
 - b. Coal
 - c. Petroleum and Natural gas
 - d. Underground water
 - e. Agricultural geology and Engineering geology
 - f. Physical prospecting, Chemical prospecting and Boring
- C. Miscellaneous
- D. Annual Report of Progress

地質調査所報告

第 235 号

SATO, Y. : Geological significance of zircon-garnet-tourmaline ratio of the Paleogene sandstones of northwestern Kyushu, Japan, 1969

第 236 号

TANAKA, K. : Sedimentation of the Cretaceous flysch sequence in the Ikushumbetsu area, Hokkaido, Japan, 1970

第 237 号

寺岡易司 : 九州大野川盆地付近の白亜紀層, 1970

第 238 号

木野義人 : 関東平野中央部における被圧地下水の水理地質学的研究, 1970

第 239 号

石原舜三 : 日本の主要モリブデン鉱床および関連する花崗岩質岩類, 1971

REPORT, GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

No. 235

SATO, Y. : Geological significance of zircon-garnet-tourmaline ratio of the Paleogene sandstones of northwestern Kyushu, Japan, 1969 (in English)

No. 236

TANAKA, K. : Sedimentation of the Cretaceous flysch sequence in the Ikushumbetsu area, Hokkaido, Japan, 1970. (in English)

No. 237

TERAOKA, Y. : Cretaceous formations in the Onogawa basin and its vicinity, Kyushu, Southwest Japan, 1970 (in Japanese with English abstract)

No. 238

KINO, Y. : Hydrogeological study on the confined groundwater in the central part of the Kwantō plain, Japan, 1970 (in Japanese with English abstract)

No. 239

ISHIHARA, S. : Major molybdenum deposits and related granitic rocks in Japan, 1971 (in Japanese with English abstract)

石川県手取川扇状地における水収支の研究

岸 和 男

地質調査所報告, no. 240, p. 1~44, 1971

36 illus., 17 tab.

石川県手取川扇状地における水収支について、水文地質学的手法を用いてその計算を行なった。この結果、帯水層の水理常数、地下水流動量および地下水補給量などが求められた。帯水層の平均透水係数は $5.2 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 、有効間隙率は 5.4% である。扇状地中央断面での3カ年平均月別平均流動量は5月が最大で $10.3 \text{m}^3/\text{sec}$ 、11月が最少で $6.1 \text{m}^3/\text{sec}$ である。3カ年平均月別地下水補給量は4月が最大で $4 \times 10^7 \text{m}^3$ を示し、9月が最少で $1 \times 10^7 \text{m}^3$ となった。3カ年平均の年間地下水補給量は $2.4 \times 10^8 \text{m}^3$ 、また年間における補給源別の割合は、かんがい用水から39%、手取川表流水から32%、降水から29%であった。

昭和46年3月17日 印刷

昭和46年3月22日 発行

工業技術院地質調査所

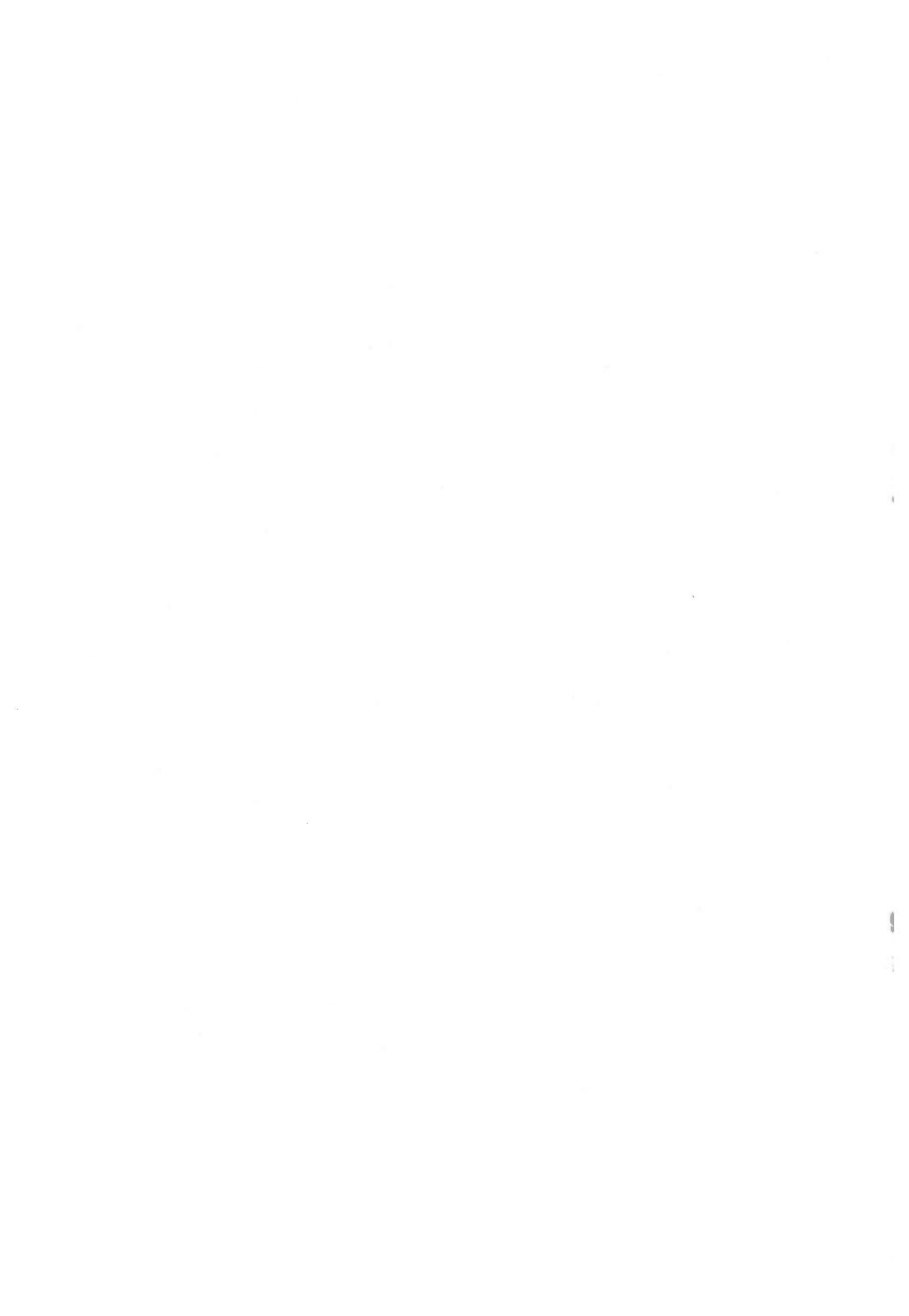
印刷者 小林 銀二

印刷所 泰成印刷株式会社

東京都墨田区両国3-1-12

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT
5712 S. UNIVERSITY AVE.
CHICAGO, ILL. 60637



B. d. VII.

REPORT No. 240
GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
Isamu KOBAYASHI, Director

**STUDY ON THE WATER BALANCE OF
GROUND-WATER RESERVOIR
IN THE TETORI RIVER FAN,
ISHIKAWA PREFECTURE**

By
Kazuo KISHI

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Hisamoto-chō, Kawasaki-shi, Japan

1971

地質調査
Rept. Geol. Surv. J.
No. 240, 1971