HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	10. 十勝川温泉における泉源相互間の影響度
Author(s)	福富, 孝治; 高橋, 勝
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 12, 113-126
Issue Date	1964-08-25
DOI	10.14943/gbhu.12.113
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/13879
Type	bulletin (article)
File Information	12_p113-126.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

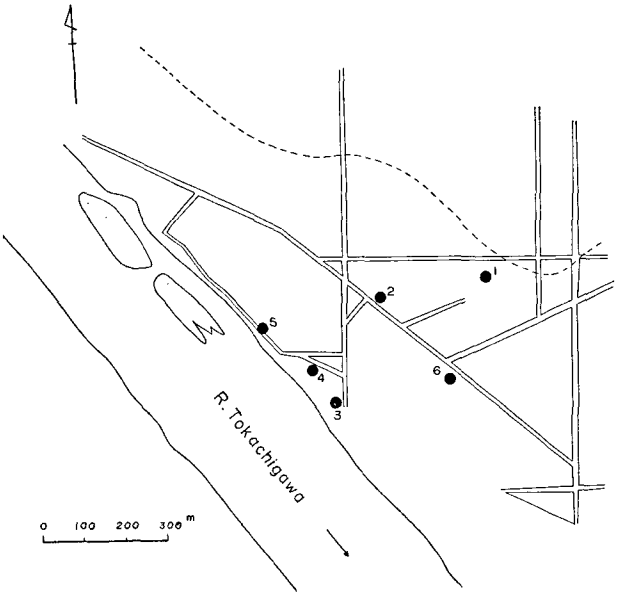
10. 十勝川温泉における泉源相互間の影響度

福富孝治・高橋　勝
(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和39年4月受理 —

I. 序　　言

十勝川温泉については，北海道衛生部の依頼で筆者らによって昭和29年10月に第1次調査[1]が，昭和30年8月に第2次調査[2]が，昭和38年10月に第3次調査[3]が行なわれた。第1次調査当時の主要温泉は笹井ホテル，雨宮旅館，観月ホテル，十勝川ホテルの4泉源であったが，第2次調査当時には新に中津川，林，音更町の3泉源が加わった。しかし，音更町泉源は湧出温度が低かったので利用されることなく廃井となった。第1図には泉源の位置を示した。中津川，林両泉源の自噴に伴い他の源泉の湧出量に影響が気付かれたので，その影響度を調べる目的で北海道衛生部と帯広保健所によって昭和30年1月から昭和31年2月の期間に中津川，林両泉源の湧出量をバルブにより種々の値に規制して他の泉源の湧出量について89回の測定が行なわれた。湧出量の測定は予め計量された4斗樽に温泉が満水する時間を秒時計で測って求められたものである。これらの測定資料は第1表に掲げたが，泉源相互の影響を調べるのに最適の貴重な資料であり，北海道衛生部環境衛生課長塚田正勝氏の御好意によりこの資料を用いて研究を行なう許可が与えられたので，本論文に十勝川温泉における泉



第1図　十勝川温泉における泉源の分布（泉源につけた数字は第2表中の番号）

Fig. 1. Sites of hot springs in Tokachigawa. Numerals attached to the hot springs are numbers in Table 2.

1) 福富孝治；十勝川温泉について，北海道衛生部環境衛生課，北海道温泉調査，1 (昭30)，17.
2) 福富孝治・藤木忠美・須川　明；十勝川温泉の地球物理班調査報告，北海道衛生部環境衛生に関する報告 11 (昭31)，11.
3) 福富孝治；未発表（本誌13号に発表予定）.

第 1 表 昭和 29 年 10 月より昭和 31 年 2 月に至る期間の十勝川温泉湧出量調査結果 (北海道衛生部による)

Table 1. Result of discharge investigation from the hot springs of Tokachigawa, Hokkaido, during the period from October, 1954 to February, 1956 observed by the Hygenic Department of Hokkaido Prefecture.

年 月 日 Date	降水量(積雪量) Precipitation (Snow cover) mm (cm)	泉源No. 1 Q_1 ℓ/min	泉源No. 2 Q_2 ℓ/min	泉源No. 3 Q_3 ℓ/min	泉源No. 4 Q_4 ℓ/min	泉源No. 5 Q_5 ℓ/min	泉源No. 6 Q_6 ℓ/min	備 考 Note
Oct. 9, 1954		600	190	110	261			
Jan. 11, 1955	(24)	664	171	115	255			
March 8, 〃	(56)	664	180	114	259			
April 7, 〃		664	168	107	268			
May 4, 〃		615	144	106	262			
May 11, 〃		636	143	112	222			
May 23, 〃		566	101	67	225			
May 23, 〃		607	105	102	—			
May 24, 〃		623	104	87	240			
May 30, 〃		565	147	99	255		0	
May 30, 〃		574	149	109	258		0	
May 31, 〃	0.8	574	164	109	268		—	No. 5 掘さく工事完了
May 31, 〃		574	168	107	268		—	
May 31, 〃		574	164	107	266		—	
June 3, 〃		579	163	102	262		—	
June 3, 〃		593	162	104	275		—	
June 4, 〃		615	160	99	255		510	June 9, No. 6 掘さく工事完了
Aug. 3, 〃		540	136	67	160	579	0	
Aug. 4, 〃		540	127	—	143	442	304	
Aug. 5, 〃		540	125	70	146	386	540	No. 6 全開, No. 5 制限
Aug. 6, 〃		540	125	74	152	365	540	
Aug. 9, 〃		—	—	37	157	0	—	No. 5 全閉
Aug. 13, 〃		540	139	74	194	0	324	
Sept. 2, 〃		496	131	68	157	286	304	
Sept. 3, 〃		540	—	68	147	286	304	
Sept. 7, 〃	87.2	496	143	76	162	286	304	測定後 No. 5, No. 6 全閉
Sept. 10, 〃	1.0	593	136	75	143	0	0	
Sept. 13, 〃		593	128	69	139	286	—	No. 5 規制変更
Sept. 30, 〃		540	128	58	125	324	304	
Oct. 3, 〃		540	110	143	92	324	162	No. 6 規制変更
Oct. 4, 〃		540	99	112	85	0	162	No. 5 全閉
Oct. 5, 〃		540	122	63	139	0	162	
Oct. 10, 〃	0.7	540	128	102	131	0	194	
Oct. 15, 〃		540	147	77	183	0	194	
Oct. 22, 〃	0.6	552	139	65	157	0	174	

年月日 Date	降水量(積雪量) Precipitation (Snow cover) mm (cm)	泉源No. 1 Q_1 ℓ/min	泉源No. 2 Q_2 ℓ/min	泉源No. 3 Q_3 ℓ/min	泉源No. 4 Q_4 ℓ/min	泉源No. 5 Q_5 ℓ/min	泉源No. 6 Q_6 ℓ/min	備考 Note
Oct. 23, 1955	0.1	552	147	75	187	0	211	
Oct. 28, 〃		565	139	62	131	442	187	No.5の第一次漏湯阻止工事完了
Oct. 31, 〃		552	139	62	130	412	187	No.5の第二次漏湯阻止工事完了
Nov. 1, 〃		552	139	59	135	374	194	
Nov. 2, 〃		552	139	65	116	374	162	
Nov. 3, 〃	0.2	552	139	60	116	374	162	
Nov. 7, 〃		580	150	67	146	222	170	
Nov. 11, 〃		567	150	76	196	127	106	
Nov. 12, 〃		567	150	73	196	127	—	
Nov. 13, 〃		567	155	70	207	127	127	
Nov. 14, 〃	7.1	567	147	76	207	127	121	
Nov. 15, 〃	0.8	567	150	78	207	127	119	
Nov. 16, 〃	0.9	580	155	94	217	127	116	
Nov. 17, 〃		580	150	85	189	127	116	
Nov. 18, 〃		567	150	77	195	127	127	
Nov. 24, 〃		580	155	81	196	127	127	
Dec. 1, 〃	0.2	553	156	82	208	150	127	
Dec. 3, 〃		579	156	75	199	150	127	
Dec. 4, 〃		579	151	93	208	111	100	
Dec. 5, 〃	0.2	579	151	83	218	111	100	
Dec. 6, 〃	0.3	579	156	86	220	75	73	
Dec. 7, 〃		579	154	80	215	72	76	測定後 No. 5, No. 6 を全閉
Dec. 8, 〃		593	161	90	243	0	0	
Dec. 9, 〃		607	166	83	237	0	0	
Dec. 10, 〃		615	166	89	249	0	0	
Dec. 11, 〃	1.9	615	172	92	249	0	0	
Dec. 12, 〃		623	168	93	262	0	0	
Dec. 13, 〃		623	172	93	252	0	0	
Dec. 14, 〃		623	169	105	252	0	0	測定後 No. 6 を規制
Dec. 17, 〃		623	166	108	262	0	67	
Dec. 18, 〃		607	166	102	244	0	67	測定後 No. 6 を100ℓ/min に規制
Dec. 21, 〃	5.2	579	169	108	262	0	100	
Dec. 22, 〃		579	172	103	247	0	100	
Dec. 23, 〃		579	167	103	257	0	100	
Dec. 26, 〃	2.5 (5)	566	161	99	228	0	128	
Dec. 27, 〃	37.0 (13)	579	175	111	271	0	128	
Dec. 28, 〃	0.2	593	184	109	265	0	128	
Jan. 5, 1956	8.5 (14)	593	166	101	249	0	100	
Jan. 10, 〃		615	166	103	254	74	0	No. 6 を全閉, No. 5 規制変更

年月日 Date	降水量(積雪量) Precipitation (Snow cover) mm (cm)	泉源No. 1 Q_1 ℓ/min	泉源No. 2 Q_2 ℓ/min	泉源No. 3 Q_3 ℓ/min	泉源No. 4 Q_4 ℓ/min	泉源No. 5 Q_5 ℓ/min	泉源No. 6 Q_6 ℓ/min	備考 Note
Jan. 13, 1956	1.0 (4)	615	161	96	232	71	0	
Jan. 14, 〃	2.0 (8)	615	162	96	220	71	0	
Jan. 15, 〃		615	156	94	217	71	0	
Jan. 17, 〃		615	161	95	226	71	0	
Jan. 20, 〃	0.3 (3)	623	156	89	217	103	0	
Jan. 21, 〃		615	156	91	199	104	0	
Jan. 22, 〃		623	161	99	231	104	0	
Jan. 25, 〃		623	156	96	217	121	0	
Jan. 26, 〃		623	161	93	208	121	—	
Jan. 27, 〃		593	161	92	192	121	—	
Feb. 6, 〃		566	164	103	249	—	104	
Feb. 8, 〃		541	157	97	237	—	242	
Feb. 9, 〃		566	159	99	242	—	199	
Feb. 10, 〃		566	159	101	235	—	262	
Feb. 11, 〃		555	166	101	237	—	262	

源相互間の影響度を論ずることができたのである。ここに長期間に亘りこの測定を行なわれた労苦に対し深く敬意を表するとともにこの資料の利用を許可された北海道衛生部当局に対し厚く感謝の意を表する次第である。

II. 十勝川温泉地域の地下構造の概略

第1次，第2次調査によれば十勝川温泉は被圧層状泉である。すなわち，温泉湧出地域においては地下 4～180 m に黒砂層が広くしかも厚く分布し，その間に数枚の不滲透性地層である粘土層が入っている結果，浅い井戸では自由水面地下水となっているが，深さが少くとも 30 m を越えると被圧層状泉となり穿井によって自噴する。帯水層は黒砂層であり，その中に温泉に多少の地下水の混合水を包蔵しているが，地下水の混合の割合は浅い程大きく，40°C 以上の泉温が得られるのは少くとも 80 m 以深であろう。これらの堆積層は比較的新しい地質時代のものであるから大略水平に近い層をなしていると思われる。十勝川ホテル穿井の掘さくの際の岩石資料をみると深さがおよそ 180 m 位で頁岩層となりその中に 1 cm 以下の亜炭層が入っているので，この深さあたりで地層の性質が変化していると思われる。十勝川ホテル，観月ホテル，林，雨宮旅館の4穿井の深度がいずれも 178～196 m であることは，いわゆる基盤につき当って掘さくを停止したように考えられる。山ぎわの笹井ホテル穿井の深度は 84 m で浅いが，温度が高くなったのでこの深さで止めたのか，基盤が山寄りに浅くなっているのかは不明である。

各穿井の鉄管はいずれも口径4吋であり，第2表に示したように地下 24～150 m の範囲内

に挿入されてあるが，平時においては鉄管以深の穿井孔の部分では埋没はおこっておらず，むしろ砂の流出により鉄管の径より多少孔が大きくなっていることが推察される。

帯水層中における温泉水の流動の手がかりとなるのは各泉源における静止水頭の海抜高度の水平分布（第2報[2]第3図）である。これによると温泉水の流動は温泉湧出地の北東方丘陵地の地下から南西へ向って行なわれているが，40°C以上の温泉を湧出させるのは各泉源を含む幅およそ500 mで十勝川に至る区域である。

この帯水層中の温泉水は温泉地域北東方の丘陵地の地下に存在すると思われる割目を伝って地下深くから来たものであることは第3次調査の報告[3]に述べる。

III. 被圧層状泉において泉源相互間の影響度を求める方法

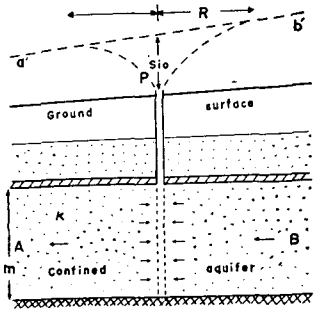
問題の温泉地域の地下に一様な透水係数κ，層厚mをもつ水平な被圧帯水層ABが存在する場合を考える。地面からその帯水層下底に達するn個の穿井（その口の半径を夫々r_{10}, r_{20}, $\cdots r_{i0}, \cdots r_{n0}$とする）がありその鉄管の帯水層に入っている部分には多くの孔隙があって夫々Q_1, $Q_2 \cdots Q_i \cdots Q_n$の湧出量を自噴しているとする。$i$番目の穿井からの湧出量$Q_i$は

$$Q_i = Q_{i0} - k_{i,1}Q_1 - k_{i,2}Q_2 - \cdots - k_{i,i-1}Q_{i-1} - k_{i,i+1}Q_{i+1} - \cdots - k_{i,n}Q_n \qquad (1)$$

とおき，$k_{i,n}$（但しnは1, 2, $\cdots i-1$, $i \cdots n$）を泉源iに及ぼす泉源nの影響度と定義する。$0 < k_{i,n} < 1$でQ_{i0}は泉源iだけが湧出し他泉源はない場合の湧出量である。

(1)式は理論的にも以下に述べるように，近似的には導くことができる。

まず問題の温泉地域にはじめ何ら温泉の流出がなく，帯水層内ではB側からA側へ一様な温水の流動がある場合を考えれば，その静止水頭は第2図においてa′b′のように傾斜する。この場合，P点において地面上の静止水頭a′b′までの高さをS_{i0}とする。



第2図 十勝川温泉地域の地下構造の概略

Fig. 2. Schematic diagram of underground structure in the Tokachigawa hot spring locality.

次に前に述べたように，n個の穿井を考えP点にあるi穿井に注目する。i穿井の静止水頭は他の穿井からの湧出の影響でS_iだけ低下し，結局湧出口上S'_{i0}になり，このためQ_iの湧出が行なわれているとする。S_iは他の泉源の湧出に伴う水圧低下$S_{1,i}$, $S_{2,i}, \cdots S_{ni}$の和で表わされるから

$$S'_{i0} = S_{i0} - S_i = S_{i0} - S_{1,i} - S_{2,i} - \cdots - S_{i-1,i} - S_{i+1,i} - \cdots - S_{n,i} \qquad (2)$$

である。

THIEMによれば，i泉源だけが湧出し，他の泉源が存在しない場合にはS_{i0}とその湧出量

3) 福富孝治；未発表

Q_{i0} との間には次の関係がある。

$$S_{i0}=\frac{Q_{i0}}{2\pi\kappa m}\ln\frac{R}{r_{i0}} \tag{3}$$

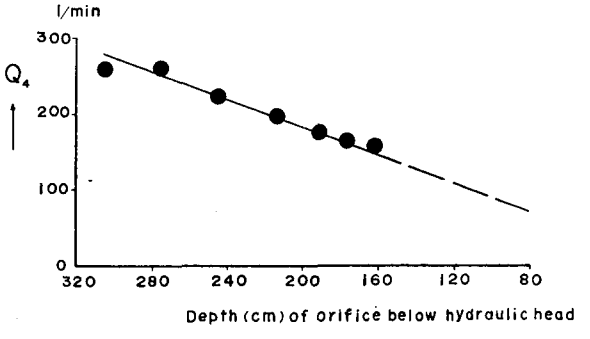
また，n 泉源だけが Q_{n0} を湧出し他の泉源の湧出がない場合，n 泉源から r_{in} の距離にある i 泉源における水頭低下 $S'_{n,i}$ は次式で示されている。

$$S'_{n,i}=\frac{Q_{n0}}{2\pi\kappa m}\ln\frac{R}{r_{in}},\quad [r_{in}\leqq R] \tag{4}$$

但し，R はいわゆる THIEM の影響圏の半径で同一の帯水層については常数であると仮定する。(4) 式は考える穿井の近くでは非常によく実際と適合する式であるが r_{in} が R に近づくと誤差が起ってくる。(4) 式において $r_{in}=R$ では $S'_{n,i}=0$，すなわち n 穿井からの湧出の影響がこれ以上の距離ではないことを示すが，実際の場合は無限の距離まで微少の影響は残るはずであるから，R は n 穿井からの湧出が近似的に無視し得る距離と解すべきである。例えば，THEIS の被圧帯水層の不定常理論から R の値を求めてみると

$$R\doteqdot 2\left(\frac{Tt}{s}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

となる。但し，t は湧出をはじめてからの経過時間，$T=\kappa m$ で Coefficient of transmissibility, s は地層の貯溜係数 (Storage coefficient) である。(5) 式によれば R は同一帯水層であっても時間経過とともに増大することになるが，帯水層について異った機構を考えれば常数と考えられる量である[4]ので，ここでは，近似的に常数と仮定しておく。



第 3 図 No. 4 源泉において静止水頭下湧出口までの深さを変化させたとき，それに伴う湧出量の変化

Fig. 3. Relation between depth of orifice below piezometric head and the corresponding volume output in No. 4 Spring.

(4) 式は泉源 n だけから Q_{n0} の湧出がある場合の式であるが，他の泉源があってその影響が泉源 n の湧出量にも及び Q_n となっている場合でもその影響があまり大きくない場合には(4)式は近似的に成立つと考えて，その場合の水頭低下を

$$S_{n,i}\simeq\frac{Q_n}{2\pi\kappa m}\ln\frac{R}{r_{in}},\quad [r_{in}\leqq R] \tag{4$'$}$$

とおく。

同様に，(3) 式は泉源 i だけから Q_{i0} を湧出している場合の式であるが，他の泉源から湧出が行なわれている場合にもその影響があまり大きくない場合には近似的に (3) 式の Q_{i0}, S_{i0} の代りに夫々 Q_i, S'_{i0} を代入すれば (3) 式は成立つと考えて

4) 福富孝治；未発表

$$S'_{i0} \simeq \frac{Q_i}{2\pi\kappa m} \ln \frac{R}{r_{i0}} \tag{6}$$

とおく。第3図は第1次調査の際，他の泉源から湧出のある場合十勝川ホテル穿井からの湧出量 Q_i と水頭低下 S'_{i0} との関係を図示したものであるが(6)式で示されるように直線関係が認められる。

(3), (4)′, (6)の関係を(2)式に代入すれば

$$Q_i \simeq Q_{i0} - \frac{\ln \frac{r_{i,1}}{R}}{\ln \frac{r_{i,0}}{R}} Q_1 - \frac{\ln \frac{r_{i,2}}{R}}{\ln \frac{r_{i,0}}{R}} Q_2 - \cdots - \frac{\ln \frac{r_{i,i-1}}{R}}{\ln \frac{r_{i,0}}{R}} Q_{i-1}$$

$$- \frac{\ln \frac{r_{i,i+1}}{R}}{\ln \frac{r_{i,0}}{R}} Q_{i+1} \cdots - \frac{\ln \frac{r_{i,n}}{R}}{\ln \frac{r_{i,0}}{R}} Q_n \tag{7}$$

が得られる。故に

$$k_{i,n} \equiv \frac{\ln \frac{r_{i,n}}{R}}{\ln \frac{r_{i,0}}{R}} = \frac{\log_{10}\left(\frac{r_{i,n}}{R}\right)}{\log_{10}\left(\frac{r_{i,0}}{R}\right)} \tag{8}$$

とおけば，(7)式は

$$Q_i \simeq Q_{i0} - k_{i,1}Q_1 - k_{i,2}Q_2 - \cdots - k_{i,i-1}Q_{i-1} - k_{i,i+1}Q_{i+1} - \cdots - k_{i,n}Q_n \tag{1}$$

となる。すなわち，被圧帯水層中に n 個の穿井があり，夫々 Q_1, Q_2, $\cdots Q_i \cdots Q_n$ の湧出を行なっている場合，Q_i は他の湧出量と近似的には(1)式の関係にあること，また影響度 $k_{i,n}$ は近似的には(8)式で表わされることが判った。

十勝川温泉のように，すべての穿井の口径が相等しく r_0 であれば，$k_{i,n}=k_{n,i}$ である。

一般に，$r_{i,0} \neq r_{n,0}$ すなわち穿井の口径が異なる場合には，(6)式において，夫々

$$\frac{Q_i}{S'_{i0}} = \frac{2\pi\kappa m}{\ln\left(\frac{R}{r_{i0}}\right)} \equiv K_i, \quad \frac{Q_n}{S'_{n0}} = \frac{2\pi\kappa m}{\ln\left(\frac{R}{r_{n0}}\right)} \equiv K_n \tag{9}$$

とおけば

$$k_{i,n} = \frac{K_i}{K_n} k_{n,i} \tag{10}$$

となって $k_{i,n} \neq k_{n,i}$ である。

(1)式において k は(8)式から判るように，泉源相互間の距離，穿井の口径および影響圏半径によってきまる常数である。Q_{i0} は泉源 i だけが湧出している場合の湧出量であるが，降雨その他の気象条件によって多少変化するし，人為的に湧出口の高さを変化させたり，バルブによって直接湧出量を変えたりしても変化するので，これらの変化が考える期間中で大きい場合

は Q_{i0} は一定値とみなすことはできない。

十勝川温泉においては前に述べたように，笹井ホテル，雨宮旅館，観月ホテル，十勝川ホテル，第一ホテル(林)，十勝川観光ホテル(中津川)の6泉源があるが，以下これらの泉源を夫々泉源 No. 1～No. 6 で表わす。第1表に示した影響度調査のための湧出量測定においては泉源 No. 5 および No. 6 の湧出口にはバルブによって湧出量を種々の値に規制して測定が行なわれたので全期間を通じて $Q_{5,0}$ および $Q_{6,0}$ は一定値とみなすことはできない。$Q_{1,0}$, $Q_{2,0}$, $Q_{3,0}$, $Q_{4,0}$ については気象条件の変化の影響は無視して一応全期間を通じて一定とみなして取扱いをする。故に，

$$\left.\begin{aligned}
Q_1 &= Q_{1,0} \qquad -k_{1,2}Q_2-k_{1,3}Q_3-k_{1,4}Q_4-k_{1,5}Q_5-k_{1,6}Q_6\\
Q_2 &= Q_{2,0}-k_{2,1}Q_1 \qquad -k_{2,3}Q_3-k_{2,4}Q_4-k_{2,5}Q_5-k_{2,6}Q_6\\
Q_3 &= Q_{3,0}-k_{3,1}Q_1-k_{3,2}Q_2 \qquad -k_{3,4}Q_4-k_{3,5}Q_5-k_{3,6}Q_6\\
Q_4 &= Q_{4,0}-k_{4,1}Q_1-k_{4,2}Q_2-k_{4,3}Q_3 \qquad -k_{4,5}Q_5-k_{4,6}Q_6
\end{aligned}\right\} \tag{11}$$

(11) 式において下の3式の Q_2, Q_3, Q_4 を1番上の式に代入し，k は1に比してかなり小さい値であるから k^2 以上の高次項を無視すれば

$$\left.\begin{aligned}
&Q_1 \simeq (Q_{1,0}-k_{1,2}Q_{2,0}-k_{1,3}Q_{3,0}-k_{1,4}Q_{4,0})-k_{1,5}Q_5-k_{1,6}Q_6\\
&\text{全く同様に}\\
&Q_2 \simeq (Q_{2,0}-k_{2,1}Q_{1,0}-k_{2,3}Q_{3,0}-k_{2,4}Q_{4,0})-k_{2,5}Q_5-k_{2,6}Q_6\\
&Q_3 \simeq (Q_{3,0}-k_{3,1}Q_{1,0}-k_{3,2}Q_{2,0}-k_{3,4}Q_{4,0})-k_{3,5}Q_5-k_{3,6}Q_6\\
&Q_4 \simeq (Q_{4,0}-k_{4,1}Q_{1,0}-k_{4,2}Q_{2,0}-k_{4,3}Q_{3,0})-k_{4,5}Q_5-k_{4,6}Q_6
\end{aligned}\right\} \tag{12}$$

となる。

(12) 式右辺の括弧内は一定値であるから，夫々 $Q'_{1,0}$, $Q'_{2,0}$, $Q'_{3,0}$, $Q'_{4,0}$ とおけば

$$\left.\begin{aligned}
Q_1 &\simeq Q'_{1,0}-k_{1,5}Q_5-k_{1,6}Q_6\\
Q_2 &\simeq Q'_{2,0}-k_{2,5}Q_5-k_{2,5}Q_6\\
Q_3 &\simeq Q'_{3,0}-k_{3,5}Q_5-k_{3,6}Q_6\\
Q_4 &\simeq Q'_{4,0}-k_{4,5}Q_5-k_{4,6}Q_6
\end{aligned}\right\} \tag{13}$$

を得る。

故に，(11) 式においては，Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 と Q_5, Q_6 の6組以上の測定値があれば，$k_{i,n}$ (但し $i \neq n$ で $i=1, 2, 3, 4$, $n=1, 2, 3, 4, 5, 6$) を求めることができるし，(13) 式においては，Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 と Q_5, Q_5 の3組以上の測定値があれば，$k_{i,5}$ および $k_{i,6}$ (但し $i=1, 2, 3, 4$) を求めることができる。

IV. 十勝川温泉における泉源相互間の影響度

十勝川温泉に前章に述べた方法を適用するためには，十勝川温泉地域の地下一帯における温泉帯水層の Transmissibility $T=\kappa m$ が一様な値をもつことを吟味することが肝要である。

第2表は第1次および第2次調査の結果から，十勝川温泉各泉源の穿井深度，地下鉄管の

第 2 表　十勝川温泉調査表 (昭和 30 年 8 月)

Table. 2. Result of investigation on hot springs of Tokachigawa.

温泉番号 Spring Number in Fig. 1	源泉名 Name of Hot Spring	深度* Depth of Bore-hole	鉄管長 Length of Iron Tube	口径 Orifice Radius r_{i0}	湧出量 Volume Output Q	湧出温度 Temperature	静止水頭 海面上高 Pressure Head above Sea Level	静止水頭 湧出口上高 Pressure Head above Orifice S'_{i0}	$K_i=\frac{Q}{S'_{i0}}$
		m	m	cm	ℓ/min	°C	m	m	cm²/sec
1	笹井ホテル穿井	94	—	5.08	458	45.4	40.11	5.15	14.8
2	雨宮旅館穿井	178	24	5.08	120	44.5	—	—	—
3	観月ホテル穿井	196	—	5.08	62	43.5	34.39	0.66	15.7
4	十勝川ホテル穿井	180	30	5.08	132	44.3	35.86	1.80	12.2
5	第一ホテル穿井	180	110	5.08	487	41.1	35.75	6.50	12.5
6	十勝川観光ホテル穿井	162	149	5.08	276	39.7	36.06	3.34	13.8

* 昭和 29 年 10 月調査.　　Mean 13. 8

長さ，口径，湧出温度，湧出量，静止水頭の湧出口上高等を示したものである。

1 泉源については，温泉帯水層中の穿井附近の Transmissibility は一様と考えて差支えないから，湧出量 Q_i とその湧出口上静止水頭高 S'_{i0} との関係は

$$K_i \equiv \frac{Q_i}{S'_{i0}} = \frac{2\pi\kappa m}{\ln\left(\frac{R}{r_{i0}}\right)} \tag{9}$$

で与えられる。

したがって第 2 表の各泉源に対し (9) 式によって K_i の値を計算してみると第 2 表最後の欄に示したようになって，K_i の値は 12.2～15.7 cm²/sec，平均して 13.8 cm²/sec で 13% の誤差の範囲で近似的に一定値とみなすことができる。湧出管の半径 r_0 は何れも 5.08 cm (2 吋) で一定であり，R も Transmissibility のほか帯水層に関する常数を含む量であるから，K_i が各穿井ともに等しいことは Transmissibility ほか帯水層の常数が十勝川温泉地域一帯でおよそ一様であることを示唆する。

さて，十勝川温泉の 6 泉源間の影響度 k を求めるに当って本論文では前章 (13) 式を用い次の 2 つの方法を採用した。

1. 相関図による方法

(13) 式において Q_5 又は Q_6 が一定に保たれている場合には $i=1, 2, 3, 4$ とすれば

$$Q_i = (Q'_{i0} - k_{i,5}Q_5) - k_{i,6}Q_6 \tag{14}$$

または　$$Q_i = (Q'_{i0} - k_{i,6}Q_6) - k_{i,5}Q_5 \tag{15}$$

となって右辺の括弧内は常数となるから，縦軸に Q_i をとり横軸にそれに対応する Q_6 または Q_5 をとって夫々の測定値を記入すれば，その関係は直線となるから，その傾斜から $k_{i,6}$ または $k_{i,5}$ を求めることができる。また，

$$Q_6 = \alpha Q_5 \tag{16}$$

の関係で表わされるように規制されている場合には (13) 式は

$$Q_i = Q'_{i0} - (k_{i5} + \alpha k_{i6})\, Q_5 \tag{17}$$

となり，Q_i と Q_5 の関係図から $(k_{i5}+\alpha k_{i6})$ が求められる。

実例を 1 つ掲げる。第 1 表には $Q_6 = 115 \pm 15\, l/\mathrm{min}$ の範囲にはいる各泉源の Q_i の実測値が 19 回あるので，これらの Q_i と Q_5 との関係を第 4 図に示した。この図の各直線の傾斜から (15) 式によって

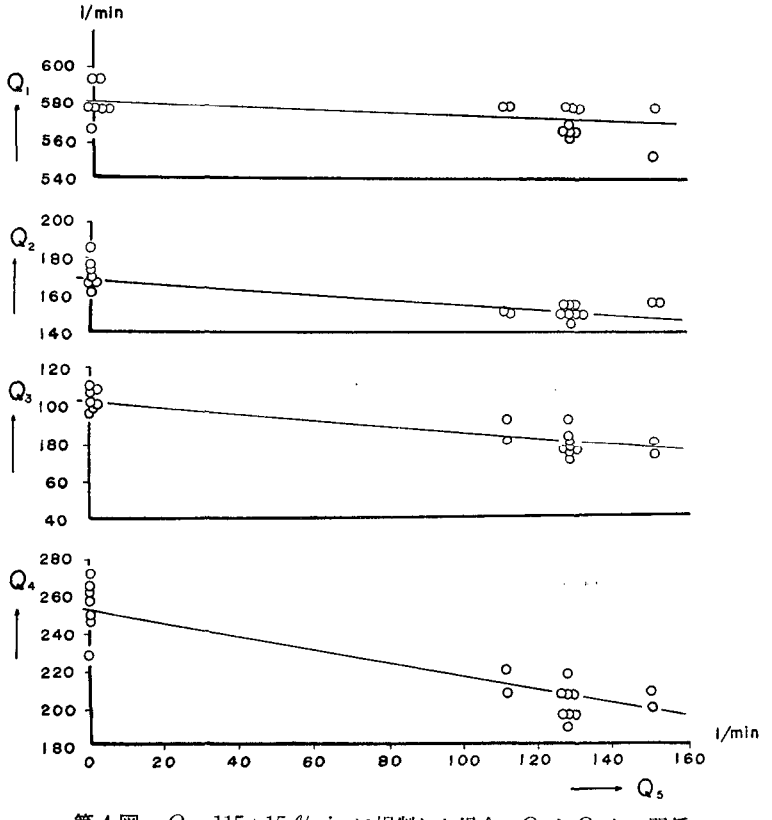
$$k_{1,5} = 0.06, \quad k_{2,5} = 0.14, \quad k_{3,5} = 0.18, \quad k_{4,5} = 0.36 \tag{18}$$

が得られた。

次に第 1 表には第 5 図に示したように (16) 式において $\alpha = 0.941$ を大体満足する測定値が 23 回あるので，第 6 図に示したようにこれらの測定値について Q_i と Q_5 との関係から (17) 式によって

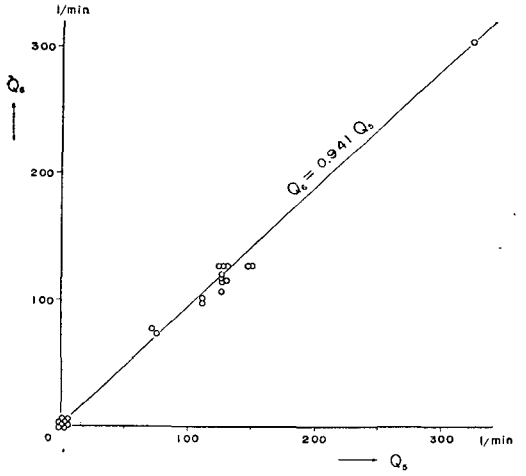
$$\left.\begin{array}{ll} k_{1,5} + 0.941\, k_{1,6} = 0.285, & k_{2,5} + 0.941\, k_{2,6} = 0.152 \\ k_{3,5} + 0.941\, k_{3,6} = 0.140, & k_{4,5} + 0.941\, k_{4,6} = 0.325 \end{array}\right\} \tag{19}$$

を得た。故に，(18) 式と (19) 式とから



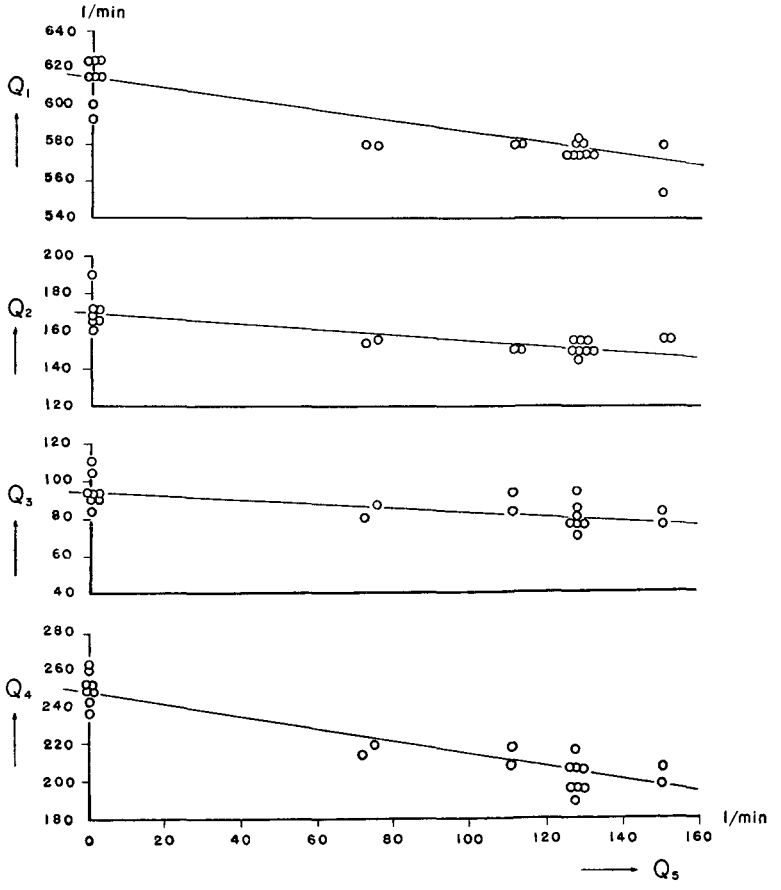
第 4 図　$Q_6 = 115 \pm 15\, \ell/\mathrm{min}$ に規制した場合，Q_i と Q_5 との関係

Fig. 4. Relation between Q_i and Q_5, when Q_6 is fixed to $115 \pm 15\, \ell/\mathrm{min}$.



第5図 第1表の資料中，$Q_6=0.941\ Q_5$ が近似的に成立する測定の組

Fig. 5. Pairs of observation in which $Q_6=0.941\ Q_5$ is nearly satisfied.



第6図 $Q_6=0.941\ Q_5$ を満足する測定の組における Q_i と Q_5 との関係

Fig. 6. Relation between Q_i and Q_5, when $Q_6=0.941\ Q_5$ is nearly satisfied.

$$k_{1,6}=0.23,\ \ k_{2,6}=0.01,\ \ k_{3,6}=-0.04,\ \ k_{4,6}=-0.04 \tag{20}$$

となる。

全く同様に，$Q_6=182\pm20\ l/\mathrm{min}$ に規制した 11 回の実測値と，$Q_6=0.941\ Q_5$ に規制した 23 回の実測値から

$$\left.\begin{array}{l} k_{2,5}=0.07,\ \ k_{3,5}=0.02,\ \ k_{4,5}=0.12 \\ k_{2,6}=0.09,\ \ k_{3,6}=0.13,\ \ k_{4,6}=0.22 \end{array}\right\} \tag{21}$$

を得た。

また，$Q_5=0$ である 17 回の実測値と，$Q_6=0$ である 19 回の実測値とから

$$\left.\begin{array}{l} k_{1,5}=-0.03,\ \ k_{2,5}=0.11,\ \ k_{3,5}=0.00,\ \ k_{4,5}=0.33 \\ k_{1,6}=0.23,\ \ k_{2,6}=0.01,\ \ k_{3,6}=-0.10,\ \ k_{4,6}=-0.03 \end{array}\right\} \tag{22}$$

を得た。

2. 最小自乗法による方法

(13) 式すなわち

$$Q_i=Q'_{i,0}-k_{i,5}Q_5-k_{i,6}Q_6,\quad [i=1,\ 2,\ 3,\ 4] \tag{13$'$}$$

において，$Q'_{i,0}$, $k_{i,5}$ および $k_{i,6}$ は全測定期間においても常数とみなせば，第 1 表の 89 回の全測定値を用いて最小自乗法により $k_{i,5}$ および $k_{i,6}$ を求めることができる。すなわち，$k_{i,5}$, $k_{i,6}$ は次式で与えられる。

$$\left.\begin{array}{l} k_{i,5}=\dfrac{q_{i5}\,q_{66}-q_{i6}\,q_{56}}{q_{56}^2-q_{55}\,q_{66}} \\ k_{i,6}=\dfrac{q_{i6}\,q_{55}-q_{i5}\,q_{56}}{q_{56}^2-q_{55}\,q_{66}} \end{array}\right\} \tag{23}$$

但し，$q_{ip}\equiv\sum^n Q_i\sum^n Q_p-n\sum^n Q_i\cdot Q_p$ である。

計算の結果は

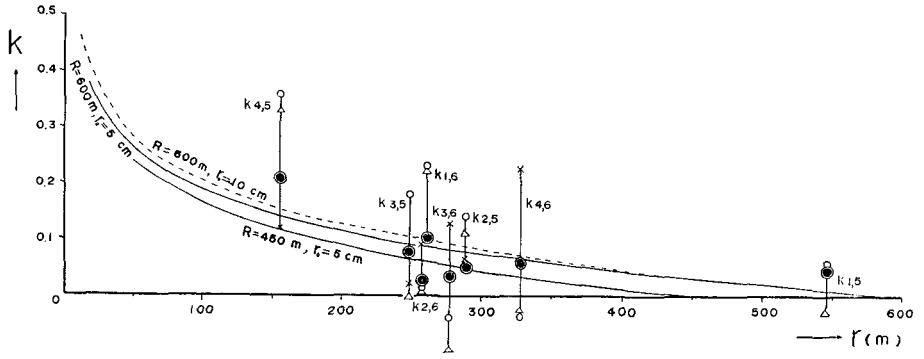
$$\left.\begin{array}{l} k_{1,5}=0.046,\ \ k_{2,5}=0.051,\ \ k_{3,5}=0.078,\ \ k_{4,5}=0.210 \\ k_{1,6}=0.010,\ \ k_{2,6}=0.024,\ \ k_{3,6}=0.034,\ \ k_{4,6}=0.057 \end{array}\right\} \tag{24}$$

となった。

3. 十勝川温泉の泉源間の影響度と泉源間の距離との関係

さて，十勝川温泉 No. 1～No. 4 泉源と No. 5 および No. 6 泉源との間の影響度 $k_{i,5}$ または $k_{i,6}$ の概値が求められた。k の値は (8) 式から判るように，泉源相互間の距離の大小によって変化する筈であるから，得られた k の値を縦軸にとり泉源相互間の距離 r を横軸にとってその関係を第 7 図に示した。但し，

$$\left.\begin{array}{l} r_{1,5}=546\ \mathrm{m},\ \ r_{2,5}=289\ \mathrm{m},\ \ r_{3,5}=249\ \mathrm{m},\ \ r_{4,5}=156\ \mathrm{m} \\ r_{1,6}=261\ \mathrm{m},\ \ r_{2,6}=257\ \mathrm{m},\ \ r_{3,6}=278\ \mathrm{m},\ \ r_{4,6}=328\ \mathrm{m} \end{array}\right\} \tag{25}$$



第 7 図 十勝川温泉における泉源間の影響度 k と距離 r との関係

Fig. 7. Relation between coefficient of mutual interference k in Tokachigawa hot springs and the corresponding distance r.

である。

最小自乗法によって求めた k の値は使用した測定回数が多く最も信用度が高いので二重丸で示し，他は同程度の信用度であるので，(18) および (20) 式の組の k の値は白小丸，(21) 式の組は掛印，(22) 式の組は小三角印で表わした。同一泉源間の k の値も以上 4 組の異なった資料とその組合せのために，その値にかなりの幅があり k の値と距離 r との関係は明瞭という訳にはいかぬが，傾向としては距離 r が増すと k の値は減小し，距離が 450～600 m で k の値が 0 になると思われる。

十勝川温泉の各泉源の湧出口の半径は一定で $r_0=5.08$ cm であるが，影響度 k と距離 r との関係は (8) 式から

$$k=\frac{\log_{10}\left(\frac{r}{R}\right)}{\log_{10}\left(\frac{r_0}{R}\right)} \qquad (8)'$$

で近似的に表わされる筈である。$r=R$ では $k=0$ であるから，図から $R=450$ m または $R=600$ m として (8)′ 式によって k と r との関係を計算し，図中に実線で示した。また十勝川温泉では鉄管が穿井の底まで達していないため帯水層中の孔の半径は多量の水の湧出のため洗掘されて大きくなっているとも考えられるので，$R=600$ m の場合，$r_0=10$ cm の k の値も計算して図に点線で示した。これら 3 つの線と実測から求められた k と r の関係は傾向として一致しており，R の値としては $R=500$～550 m が適当な値のように思われる。

4. 十勝川温泉における被圧帯水層の Transmissibility

(9) 式に第 2 表の K_i の平均値 13.8 cm²/sec を入れ，$R=5.2\times10^4$ cm，$r=5.1$ cm を代入して $T=\kappa m$ の値を求めてみると $T=20.3$ cm²/sec が得られた。

V. 結 語

以上の研究の結果次の事項が判った。

1. 十勝川温泉のような被圧層状泉においては，任意の泉源の湧出量は他の泉源の湧出量と近似的に (1) 式の関係で表わされるが，他の泉源の影響度 k は近似的には (8) 式で与えられること。

2. 十勝川温泉の各泉源間の影響度とそれらの距離との関係として第 7 図に示したような結果を得た。また，十勝川温泉の影響圏半径 R は 500～550 m であるが，この値は糠平温泉[5]，熱海温泉[6] における影響半径が 100 m 程度であったのに比較して非常に大きい値であった。

本研究に要した費用の一部は文部省科学研究費によった。感謝の意を表する。

10. Coefficient of Mutual Interference of the Hot Springs of Tokachigawa, Hokkaido

By Takaharu FUKUTOMI and Masaru TAKAHASHI
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

Two hot springs were drilled in May and June, 1955 at the Tokachigawa hot spring locality. Since then, moderately large decreases of volume output in the existing hot springs were noticed. To investigate the fact, 89 times of simultaneous observation of volume output for all of the hot springs (6 springs) in this locality were carried out by Obihiro Branch of the Hygenic Department of Hokkaido during the period from October, 1954 to February, 1956. The writers were permitted by the Hygenic Department of Hokkaido to investigate the mutual interference of the hot springs using these useful data.

The results of the investigation are summarized as follows:

1) It is ascertained that relation and coefficient of mutual interference among volume output of any hot water well and those of the other ones in the same confined aquifer of a hot spring locality are respectively given by equations (1) and (8).

2) It is also investigated from the relation between height of water head above the orifice and the corresponding volume output that transmissibility of the confined aquifer of hot water in Tokachigawa takes nearly the same value at any part of the locality.

3) The relation between the coefficient of mutual interference k in Tokachigawa hot springs and the distance r is illustrated in Fig. 7. From the figure, radius of the interference circle R is estimated as 500～550 m. This value is very large in comparison with the normal value (about 100 m) obtained in other hot spring localities such as Nukabira and Atami.

---

5) 福富孝治；糠平温泉調査報告，北海道衛生部環境衛生課編，北海道温泉調査，**1** (昭 30), 1.
6) K. YUHARA; Hydrological Study of Atami Hot Springs, Bull. Geophy. Res. Station, Beppu, II, **1** (1961), 295.