

エアーリフトの揚湯試験を主体とした熱海・伊豆山温泉の調査研究報告

小 鯛 桂 一*

Researches of Hot Springs by an Air-lift Pumping
Test in the Atami Region

By

Keiichi Kodai

Abstract

The writer offered a new method, as a trial of hot spring study in two chances, i.e. 1964 and 1965, at Atami Spa and Izusan Spa, in order to grasp the present condition of the hot springs and obtain counter measure of conservation hereafter. He considered that continuous air pressure (back pressure) curve in a tube indicates indirectly annual undulation of water levels and permeability of aquifers, being based on the principle of air-lift pumping test. As a result, he found that the three districts are classified, i.e. littoral, intermediate and uptown, by way of the degree of annual decrease in water levels and that the district of larger transmission coefficient is localized in the one showing larger degree of annual decrease in water levels, except the littoral part.

Moreover he drew iso-thermal maps of various depths based on the previous records which he had obtained.

要 旨

この報告は温泉研究の一手段として、エアーリフトによる揚湯試験を主体とし、昭和39年3月と昭和40年3月の2度にわたり熱海・伊豆山地域において行なった調査研究と過去の関係資料をとりまとめたものである。揚湯試験の方法は、コンプレッサーからの送気の背圧力から損失圧力を除いて推定水位値を求め、これより自然水位の経年変化図を描き、また透水量係数を算出して今回の調査における基本データとした。

調査結果を要約すると経年水位降下度は、海岸部・山間部とその中間部の3地域に大別でき、また海岸部を除いて透水量係数値が大きい地点はほとんど経年水位降下度の大きい地域中にあることがわかった。その他、過去の資料をもとに等深度別の地温分布図を作成したが、これはこの地域の温泉保全およびその発展の一助となしうるものと考えられる。

1. 緒 言

この報告は、熱海・伊豆山地域において温泉の調査研究の一手段としてエアーリフト注1)による揚湯試験と、ボーリング資料を中心に検討を加えながら調査結果をまとめたものである。過去においても熱海温泉に関する研

究は先輩諸氏によって度々なされてはいるが、近年揚湯井の数は熱海・伊豆山を合わせて400井近くにもものぼり、この需要の増大に伴ない湯量および水位などの減少が個々の湯井所有者において心配され始めた。

昭和39年3月に静岡県からの現況把握とその対策についての調査依頼があり、調査研究を行なった。続いて昭和40年3月に前年度試験データと比較研究する意味で経常地熱研究費をもって調査研究を行なった。調査にあたって資料を提供していただいた熱海市保健所ならびに中山ボーリングK.K.など関係者各位に対し謝意を表する。

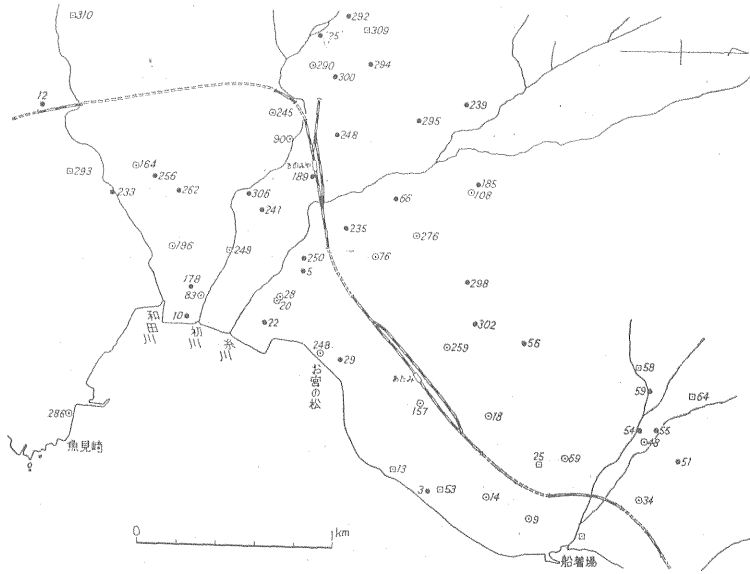
2. 調査の方法

2.1

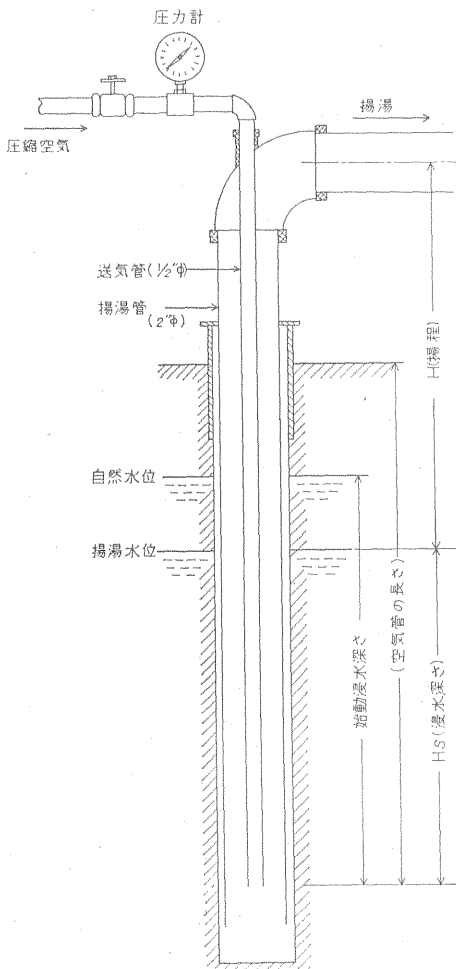
従来より日本における大半の温泉地は、法により温泉掘さくの孔径・深度および影響圏を考慮した井戸間隔についてそれぞれ規制されている。孔径については一般に100mmφ以内の小孔径の場合が多く、したがって工業用水井のように水中ポンプによる揚水方法はとれないため

注1) エアーリフトとは第2図のように揚湯管の一部を水中に挿入して下端から圧縮空気を吹き込めば揚湯管内には湯水よりも軽い混合物ができ揚湯管外の湯水に押されて地上に湯水を汲上げることのできる空気揚湯ポンプのことである。

* 応用地質部



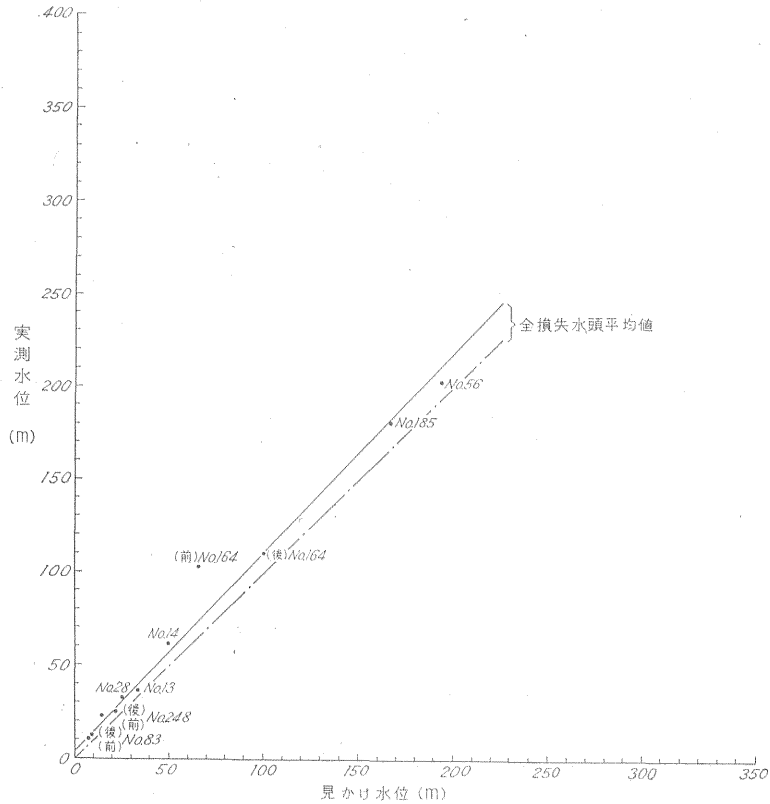
第1図 熱海・伊豆山温泉試験調査地点位置図



第2図 エアーリフト模式図

エアーリフト法により揚湯を行なっている。熱海・伊豆山地域も同様で、古い湯井では例外として多少大きい孔径のものも2, 3あるが、全体的には掘さく孔径76mm ϕ 、揚湯管2" ϕ ガス管、送気管 $\frac{1}{2}$ " ϕ ガス管というようになっている。エアーリフトによる揚湯井はその機構上(第2図参照)配管により密閉されており水位の直接測定は不可能で、一般にコンプレッサーのレシーパタンク上に設置された圧力計で空気管尻から水面までの背圧値を読みとりおよその見当をつけるのみにとどまっている。これを調査の基礎資料として揚湯試験にまで発展させるためには、まずこの背圧値がどの程度の圧力損失値誤差を含んでいて、またそれが井戸深度の大小によってどの程度差があるかを知らねばならない。そのために実測水位値と圧力計背圧値より算出した見かけ上の水位値と比較検討する必要がある。筆者は11カ所による試験データによりこれをまとめ校正グラフを作成した(第3図参照)。

揚湯試験の方法は、試験井についてなるべく長時間揚湯をせず休止させておき、コンプレッサーのレシーパタンクに自動記録式圧力計を設置した後、揚湯を始め揚湯時水位の背圧曲線を1時間記録した(第4~5図)。その間の湯量湯温の測定およびエアー管長、コンプレッサー機種などの調査を行なった。以上の方法により総面積約4km²の熱海・伊豆山地域中に経年比較試験井を14井設け、延べにして36井について揚湯試験を行なった。また試験調査終了後各試験井位置の標高値を気圧式高度計により測定した。加えて過去の資料とともにこの地域の調査解析にあたった。



第3図 推定水位の校正グラフ

2.2 背圧力中の損失圧力

(第3図の説明)

一般に背圧 (γH_s) は次式のような損失を含む。

$$\gamma H_s = \gamma_m(H_e + H + h_i)$$

全損失水頭: $h_i = h_f + h_v + h_e$

- r_m : 混合物の比重
- h_f : 揚湯管の摩擦損失係数
- h_v : 吐出しの速度損失
- h_e : 気ほうのすべり損失

h_f は二重管の場合の式を用いて

$$h_f = \lambda \frac{l}{4m} \frac{\omega^2}{2g}$$

$$\lambda = f(R_e, \epsilon/4m)$$

$$R_e = 4m\omega/r$$

ϵ/d = 管壁の粗度

h_e はリードラの実験式を引用して

$$h_v = \frac{\beta}{10,000} r \omega^2 \frac{l}{D}$$

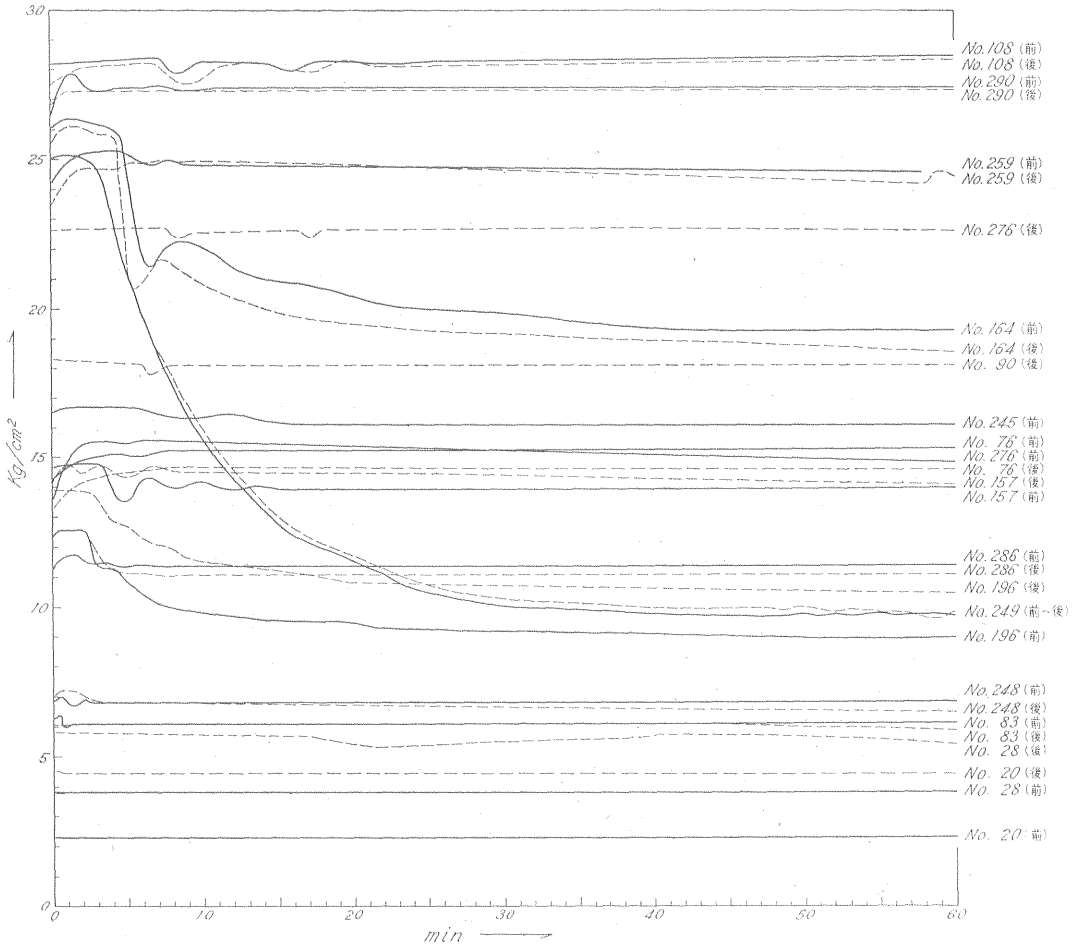
- D : 空気管内径
- l : 空気管長
- β : 係数

したがって $h_e = h_i - h_f - h_v$ となる。

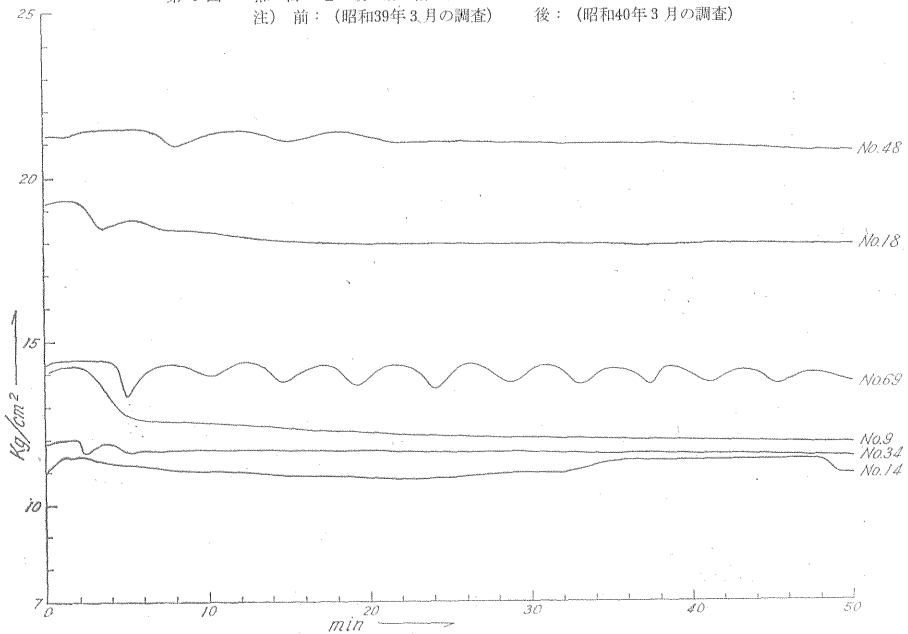
各損失圧力の割り合いを第3図のグラフから深度別に算出することができる。新しい井戸で条件がよい場合には算出値と実測値とはほぼ近い損失圧力値を示すようであるが、年が経るにつれてまれには(グラフ中でNo. 164)とびはなれて大きな損失圧力値を示すことがある。この原因についてはまだ明確ではないが揚湯管の破損、スケール(湯垢)の付着などの理由が考えられる。また空気管の途中が腐食により穴があいた場合は背圧値が逆にとびはなれて小となることもある。しかしこのような場合には湯量・水位ともに脈動する性状を示すのでその異常を知ることができる(例:第5図中のNo.69)。

(なお、第4~5図の各試験井中、おもに揚湯初期に認められる脈動はコンプレッサー・レシーバータンクの許容量が全般に小さいため瞬時の吐出エネルギーが不足して起るもので、次第に減衰してゆきやがて安定する。)

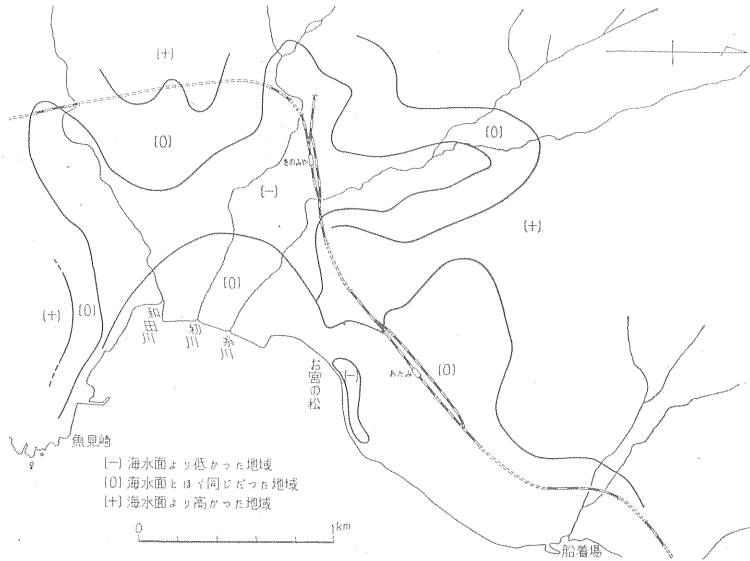
校正グラフ上から考えて正常な揚湯井における実際上の全損失圧力は浅水位揚湯井において土1~4m、深水位揚湯井においても最大土10m以内の誤差範囲とみてよいと考えられる。ただし圧力ゲージの読みは零ポイントをチェックするなど精密な読みを行なうことが、むしろ重要である。



第4図 熱海地域揚湯試験背圧記録曲線図
 注) 前: (昭和39年3月の調査) 後: (昭和40年3月の調査)



第5図 伊豆山地域揚湯試験背圧記録曲線図



第 6 図 熱海・伊豆山地域温泉井の過去における水位等値線（昭和34年前後）

3. 調査の結果

3.1 水位

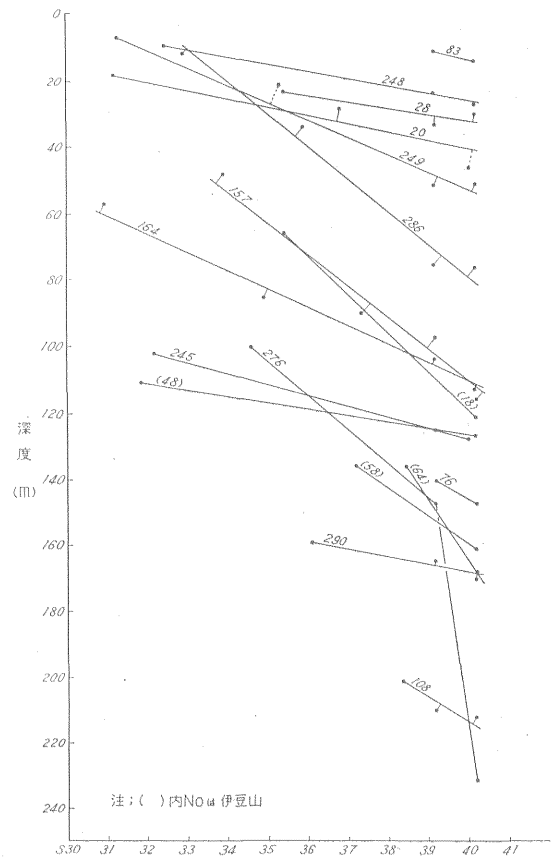
3.1.1 過去における自然水位の状態

昭和34年前後の資料から標高を考慮して過去における水位を把握するために大略作成したものが第 6 図であり、過去において、単位面積当りの揚湯頻度にも関係するが、全般的にいえることは、山間部および海岸部と比較してその中間部の水位が大であるということである。これはこの部分が、地形的に海水および山間部からくる浸透水の流入路として、中間部に位置するためと考えられる。

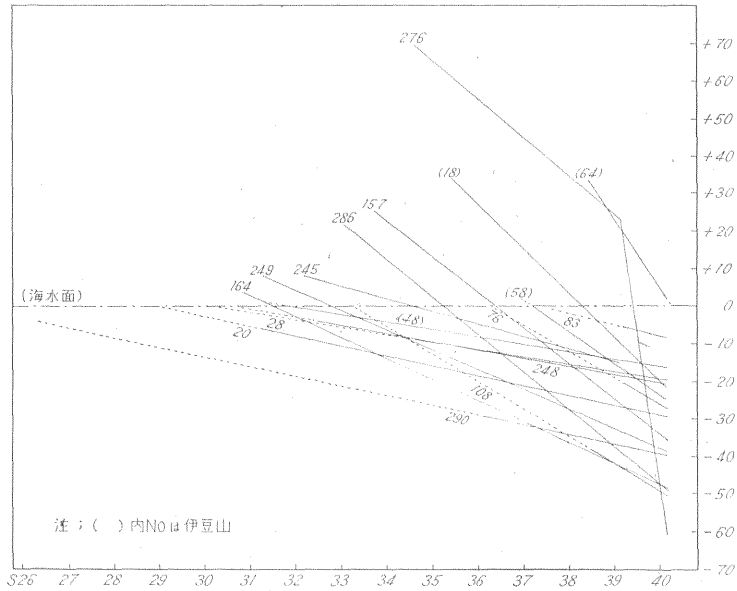
3.1.2 自然水位の経年変化

資料中の過去の水位値と、昭和39年3月・40年3月の実測水位値および、揚湯試験初期背圧値から求めた推定自然水位値から、各湯井の自然水位経年変化を調べ、年間における水位降下度の分布図を作成した（第7～9図）。

年間水位降下度分布は、過去の水位の状態（第 6 図）と相似しており、海岸部は円弧状に等値線が描かれ、この領域では 1～3 m 位の年間水位降下を示し、本調査地域中の最小値である。これは揚湯量に比例して海水の浸入増がこれを補なっているためと考えられる。一方、下松田から伊豆山にかけての西北方山間部は年間の水位降下率は逆に本調査地域中で最も大きく 8 m から 10 数 m にも及んでいる。他方、若林・上の山などの西南方山間部では 3 m 前後であり、海岸部と山間部の中間部地域では 5 m 前後より小さな降下値を示している。なお本地域中の潮汐の経日影響は、海岸部では 1 m 前後、山間部ではほとんど零に近い値である。



第 7 図 熱海・伊豆山地域温泉井の水位経年変化図 (I)



第8図 熱海・伊豆山地域温泉井の水位経年変化図(2)

3.1.3 現在の水位

現在の自然水位は、既設揚湯井をほとんど包含した全地域が水位零、またはそれ以下のようなものである(第10図)。また、動水位については各揚湯井の使用頻度、汲上げ量の差によってまちまちであるために、海岸部を除けばその分布状態は一様でなく、動水位の高低差が不規則に分布している。

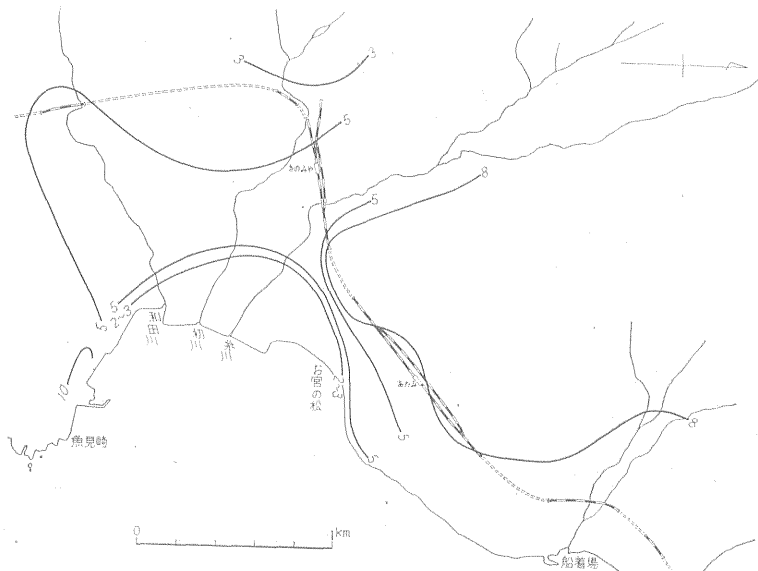
3.2 揚湯試験の結果について

3.2.1 透水量係数に関する考察

第4～5図中の12井について、動水位の時間的降下曲

線値の損失圧力補正を行なったのち、温泉湧出箇所の裂かが均一な網目状とみなしてタイスの非平衡式から透水量係数(T)を算出した(第1表)。この算出値は、今回の揚湯試験が観測井なしの揚湯試験であるために、井戸半径を観測井間の距離と仮定して近似的に求めた値であるが、正規の方法によって求めた透水量係数値と比較して、大きな誤差がないことが過去における多くの研究調査結果から実証されている。

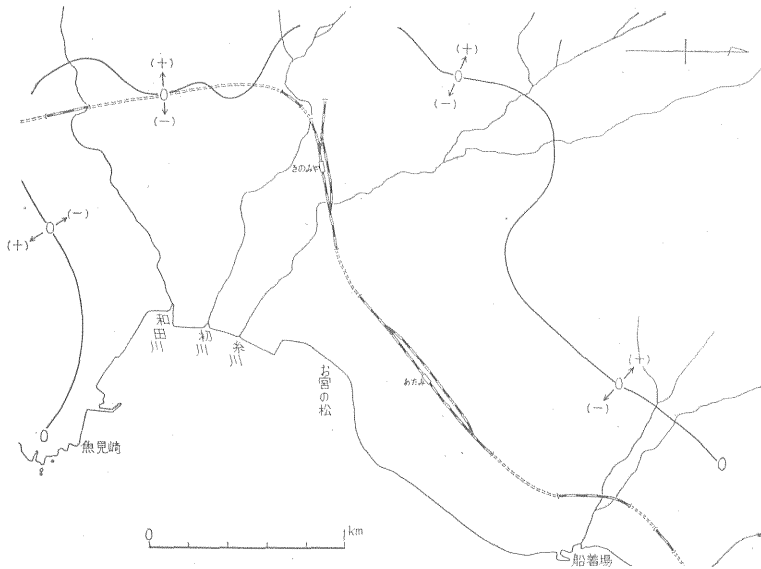
他の10井については、背圧値が直線状かまたは、他井の干渉を大きく受けた異常曲線であるためここでは省略



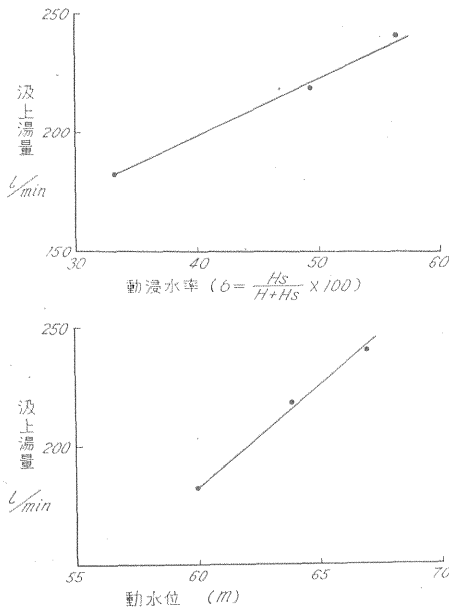
第9図 熱海・伊豆山地域温泉井にみられる年間の水位低下等値線図(m)

第1表 熱海・伊豆山地域の温泉井における揚湯試験測定値

温泉番号	旅館名	空気管長 (m)		ゲージ圧力の初期 (kg/cm ²)		実測水位 (m)		見かけ上水位 (m)		推定水位 (m)		休止時間		年間降水水位 (m)	深 度 (m)	湯 温 (°C)	温 量 (l/min)	標 高 (m)	透水量係数 (T) (m ² /sec)
		S39-3	S40-3	S39-3	S40-3	S39.3		S39-3	S40-3	S39-3	S40-3	S39-3	S40-3						
164	山 王 H	329.3	363	26.4	26.1	103.6	S-39-12 110.2	65.7	102.0		113	5-45	10-30	9.4	599	53.5	50	63	3.66×10 ⁻⁶
28	水 の 湯	63.3	90.0	3.8	6.6	32.7		25.3	24		30	7-35	4-00	2.7	110	75	34	13	
248	紅 葉 館	84.4	93.5	7.0	7.2	23.6		14.4	21.5		27	4-30	4-00	3.4	200	95	150	5.6	1.29×10 ⁻⁴
83	熱 海 園	72.2	—	6.4	6.3	11.0		8.2	9.3		14	長時間	12-00	3.0	273	44	185	6	
290	梅 園	429	—	27.9	27.4			150	155	165	170	5-50	11-00	5.0	460	64	69	130	5.49×10 ⁻⁵
108	大 規	476.5	—	28.4	28.2			192.5	194.5	210	212	19-00	18-00	2.0	600	56.8	75	163	
276	山 莊	289.5	489.5	15.6	27.7			133.5	212.5	147	231	4-45	0-30	84.0	650	48	40	170	
259	桃 山 第 5	385	—	25.3	25.0			132	135	145	148	8-00	1-00	3.0	545	78	60	145	5.5×10 ⁻⁵
76	岩 崎 別 荘	280.5	—	15.3	14.7			127.5	133.5	140	147	17-15	3-30	7.0	336	77	50	120	
249	ガ ー デ ン	296.1	—	25.4	25.4			44.1	44.1	51	—	9-00	長期	0.0	520	47	80	15	2.06×10 ⁻⁶
196	起 雲 閣	137	不 明	12.6	13.9			11	—	16	—	5-20	2-30	—	300	58.5	172	12	2.52×10 ⁻⁵
157	桃 山 第 1	236.6	253	14.9	14.8			87.6	105	97	116	10-25	0-20	19.0	363	63	75	76	2.81×10 ⁻⁵
286	つ り ぼ り	184	—	11.8	11.7~11.1			66	67	75	76	6-15	0-00	1.0	500	54.5	133	32	
245	西 熱 海 H(5)	280.6	—	16.7				113.6	—	125	—	5-45	—		360	59	73	110	5.09×10 ⁻⁵
90	〃 〃 〃 〃 (1)	—	275	—	19.1				84		94	—	4-00		350	65	52	100	
20	駿 河 銀 行	63	不 明	2.3	4.6			40	(17)	46	(22)	12-00	6-00		100	24	80	12	
9	倉 沢 温 泉		227.9		14.1				86.9		97		3-35		280	54	70	79.4	1.57×10 ⁻⁵
48	相 模 屋 H		330		21.5				115		127		1-00		450	66	100	110	1.06×10 ⁻⁴
14	熱 海 H		165		12.0	(S39-) 61.3			45		52		3-00		242	71	72	46.6	
18	福 島		302.5		19.3	(S37-) 104			109.5		121		6-00		450	52	73	100	2.76×10 ⁻⁵
34	浜 田		214.5		12.0				94.5		105		48-00		240	58	70.4	108	1.46×10 ⁻⁴
69	杉 本		379.5		15.1				(228.5)		(248)		2-00		345	67	32	100	
53	日 本 鋼 管		198		14.7				51						250	66	150	45	
51	増 田		330		19.0~18.3				140						377	63.5	70	153	
56	須 賀		(S33-12) 484		29~24	(S33-12) 203			194						600	44	25	206	



第10図 熱海・伊豆山地域温泉井の現在の水位 (海水準と比較した場合)



したが、前者すなわち直線状の場合は、実際には数cmのオーダーで水位降下を生じているものと思われる。けれども圧力計上ではその判別が困難である。しかし透水量係数としては算出した14井よりはるかに大きい値であると考えられる。透水量係数を算出した14井について考察してみると、熱海・伊豆山地域の温泉井は地点的にその係数値の大小にかなり幅があり ($2.06 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec} \sim 1.46 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{sec}$ あるいはそれ以上) 温泉井 No. 164および249などでは最小値を示している。

反対に大きい係数値を示すと考えられる直線状背圧線井は、温泉井 No. 286 と276を結ぶ線上にほとんど並び熱海温泉地域の主構造線を暗示している。また海岸沿いの湯井を除き水位降下 (第9図) を比較検討してみると、係数値の小さい地点は経年水位降下値の小さい地域であり、逆に係数値の大きい地点は経年水位降下値の大きい地域中にほとんど入る。

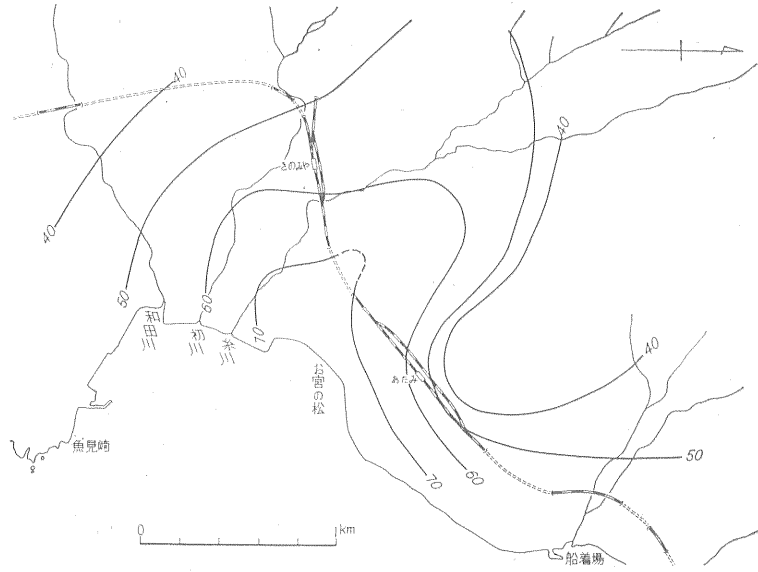
これは過去において係数値の大きい地域は、揚湯した場合の水位降下が短い時日では顕著に認められないために湯量が無限であるものと錯覚し、安易に大量の湯を汲上げたために、需給のバランスを特に大きく崩しているものと考えられる。

3.2.2 段階的な揚湯試験例

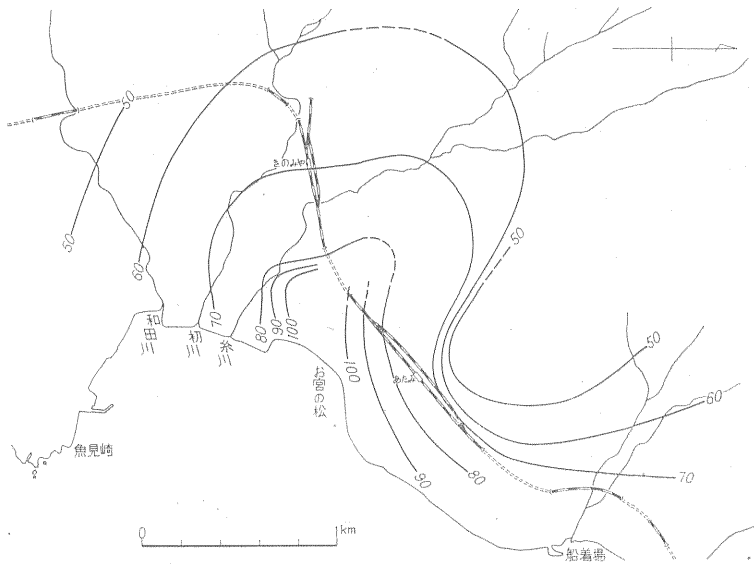
ここに国立熱海病院 (No. 13) の揚湯試験データ (第11図) を温泉井の一般的性状の一例として挙げてみた。汲上げられる湯量と浸水率および水位降下の関係については、普通よく知られてはいるが、具体的には揚湯管・送気管の口径および送気量その他の条件によって数値は変わってくる。国立熱海病院井 (No. 13) の特性図表は海岸部における一例である。

	第1回	第2回	第3回
圧力 (kg/cm ²)	5.0max→4.7	7.5max→7.0	10max→9.5
空気管長 (m)	99	126.5	154
推定動水位値(m)	60	64	67
汲上げ湯量(l/min)	182	218	240
湯温 (°C)	60→71	62→73.5	63→74
推定動浸水率	33.3	49.5	56.5

第11図 国立熱海病院井 (No.13) の揚湯試験
空気圧縮機: 玉川式高圧2段 (6×6)10HP



第 12 図 熱海・伊豆山地域における深度 200m の地温分布(°C)

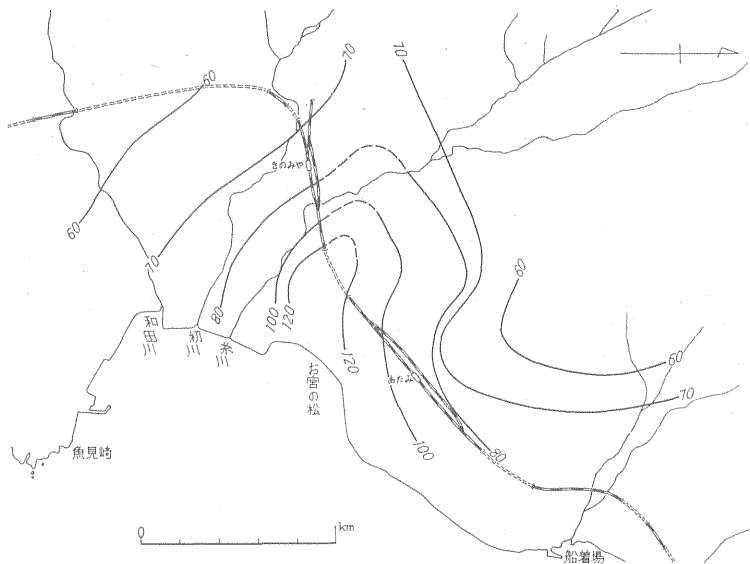


第 13 図 同前深度 300m の地温分布(°C)

3.3 地温分布について

これまでにもこの地域における地温調査は先輩諸氏によってなされているが、断面図的なものが多い。深部（ここでは 200m 以深）の地温は地球物理的な性質上 10 数年程度の経年による温度差はほとんどないものと仮定して昭和 27 年以降の関係資料をできるだけ多く収集し、

深度別の等温線分布図を作成してみた（第 12～14 図）。これから地温構成を地域的に知ることができる。しかし揚湯湯温と地温とは必ずしも一致はしない。地域的にみると各湯共間の湯脈箇所は不規則であり、湯脈が深い箇所にあるか浅い箇所にあるかによって揚湯湯温が左右されている。地域・掘さく深度などが同条件の場合の隣接井



第14図 同前深度400mの地温分布(°C)

で、このような例も多くみられる。

4. 結

以上においてエヤーリフトによる揚湯試験法の特性と、それに基づくデータ、その他資料により作成された調査結果を二元的に述べた。2. 調査の方法で記述の通り温泉地においては湯井掘さくに関しての制限上、エヤーリフトによる揚湯試験法が温泉調査の有力な一手段で

ある。今回の調査研究によりその指針が得られたが精度的にはなお幾つかの問題があり、その方法を確立するためにはさらに多くの実験データと研究成果の集積が必要である。

エヤーリフトによる揚湯は井戸孔径も小さくすむために、その揚湯試験費も経済的であり、その用途は単に温泉井に限らず拡大利用できるであろう。