

# 箱根町塔之沢「湯本 49 号源泉」における温度検層結果

宮下雄次<sup>\*1</sup>・濱元栄起<sup>\*2</sup>

## Results of the Temperature Logging about Yumoto #49 Hotspring well at Tonosawa in Hakone town, Japan

by

Yuji MIYASHITA<sup>\*1</sup> and Hideki HAMAMOTO<sup>\*2</sup>

### 1. はじめに

箱根塔之沢温泉にある湯本 49 号源泉は、旧国道 1 号線函嶺洞門の出口付近（標高 119 m）に位置し、1949（昭和 24）年 7 月に登録された深度 364 m の源泉である（図 1 ☆印）。当初は同敷地内にある温泉旅館施設の源泉として用いられ、2010 年頃までは揚湯が行わ

れていた。その後旅館の廃業と、2014 年における函嶺洞門バイパスの開通により、所有者の変更や立入が規制されたことなどを受けて、現在は揚湯を行っていない。

湯本 49 号源泉における泉温は、小田原保健福祉事務所による温泉実態調査及び温泉保護対策調査によると、1949 年に 57.0°C であったのが最高で、その後 2000 年

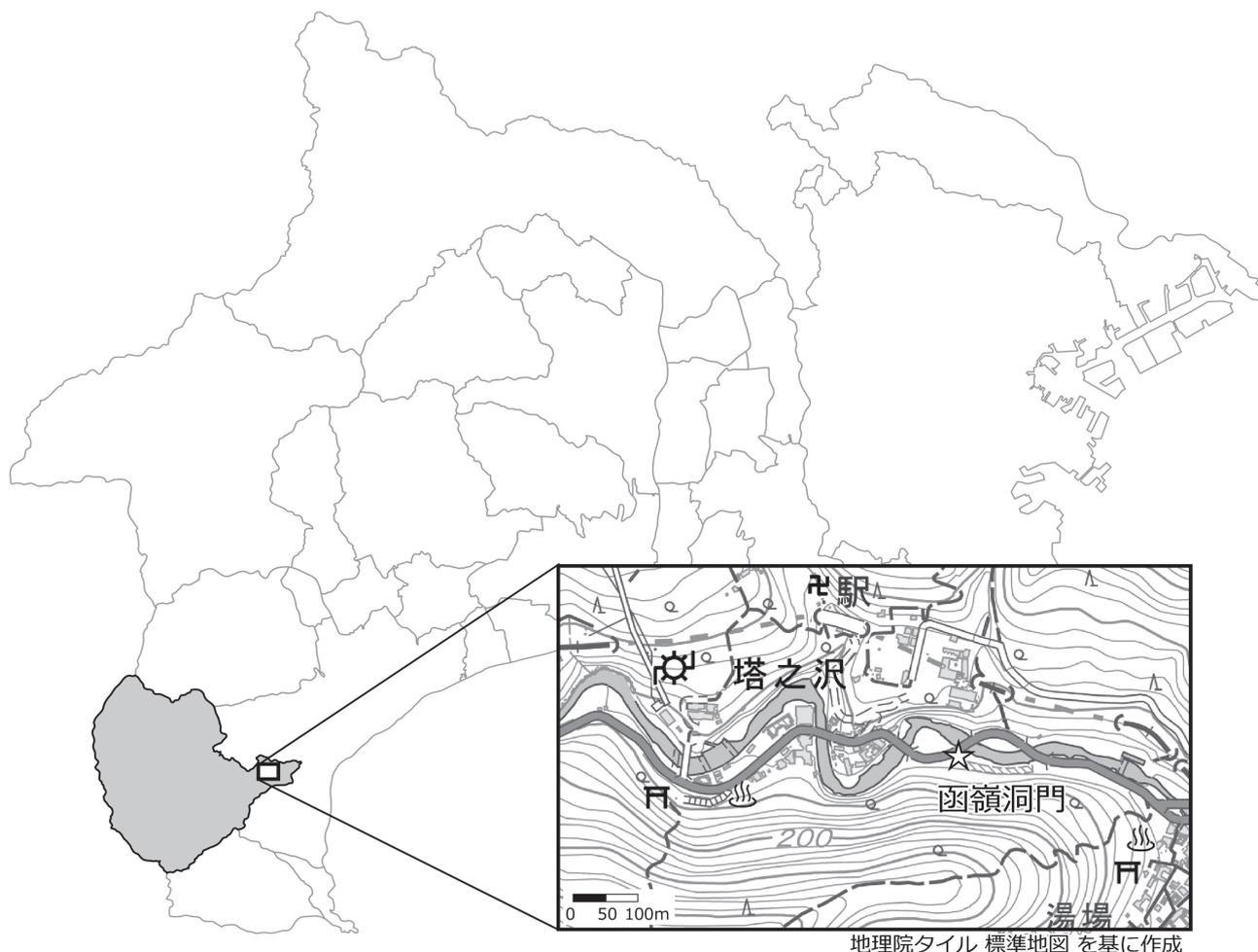


図 1 調査位置図（☆印が源泉位置）

\*1 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

\*2 埼玉県環境科学国際センター 〒347-0115 埼玉県加須市上種足 914

頃まで概ね 50～52℃と横ばいであった。しかし、揚湯量が 1/4 に減少した 2010 年では泉温が 27.4℃へと低下し、揚水を休止した 2015 年では揚湯量 1 L/min 時における泉温が 18.5℃であった。

一方、湯本 49 号源泉では 1966 年に神奈川県温泉研究所（現神奈川県温泉地学研究所）により、温度検層及び電気検層が実施された（神奈川県温泉研究所，1966）。この報告書では、地表から深度 58 m までは孔径 100 mm の止水管が挿入されており、そこから深度 364 m の孔底までは裸孔となっていると報告されている。また、深度 170～195 m と 302～315 m までの 2 区間に、温泉が湧出する「温泉湧出亀裂帯」があると報告されていた。

本研究では、筆者らが 2015 年に行った温度検層結果について報告するとともに、1966 年の検層結果をデジタルデータ化し、2015 年における温度検層結果と比較した結果について報告する。

## 2. 調査機材と測定方法

湯本 49 号源泉の外観は、温度検層を行った 2015 年時点では、直径約 300 mm の外管の中に、直径約 75 mm の塩ビ管が内管として設置されており、外管及び内管の管頭はほぼ地表面と同じ高さであった。しかし、1966 年の報告書において記載されている、深度 58 m まで挿入されている内径 100 mm の止水管及びその下の裸孔については、地表から確認することは出来なかった。

また、設置されている内管は孔口付近で緩やかにたわんでいたため、長さ 1 m 程度の温度センサーや採水器を内管の中に吊り下げて計測や採水を行うことが出来なかった。

そこで今回の温度検層においては、埼玉県環境科学国際センターが所有するサーミスタ式孔内温度検層ケーブルを使用した。同温度検層ケーブルは、先端部にある立山科学工業株式会社製サーミスタ温度センサー PXW-46 の長さが約 20 cm、直径が Φ30 mm と小さく、全長 600 m のケーブルを含めた全重量が 8.5 kg と小型・軽量である。このため、センサーの上げ下ろしや機材の運搬を人力で行うことが可能であるほか、湯本 49 号源泉のように小孔径の井戸で測定する場合や、孔曲がりのある井戸においても、温度検層を行うことが可能である。

孔内温度を計測するにあたっては、温度検層ケーブルの末端を SANWA 社製デジタルマルチメーター PC7000 に接続し、サーミスタ温度センサーを孔内の測定深度まで降下させ、測定値が安定するまで静置した後、抵抗値の測定および記録を行った。なお、測定に使用したデジタルマルチメーターにおける抵抗値の分解能は 0.01 Ω であり、測定レンジ及び表示桁数は 5.0000 kΩ 及び 50.000 kΩ である。

今回の測定に用いたサーミスタ温度センサーの計測範囲は 10℃～50℃であり、校正結果を表 1 に示した。サーミスタ温度センサーによって計測された抵抗値を温度に換算する式として、Steinhart-Hart 式（式 1）を用いた（Steinhart and Hart, 1968）。式 1 により換算された温度と校正結果との差は -0.021℃～+0.041℃、算術平均が 0.007℃であったことから、有効数字は小数点以下 2 桁とした（表 1）。

$$T = \frac{1}{A + B(\ln R) + C(\ln R)^3} - 273.15 \quad (\text{式 1})$$

但し、 $A = 7.9715 \times 10^{-4}$ 、 $B = 2.9749 \times 10^{-4}$ 、 $C = 1.0796 \times 10^{-8}$ 。

表 1 サーマスタ温度センサー校正結果及び検証結果

校正結果		検証結果	
真の温度	抵抗 (kOHM)	換算温度	真の温度との差
0.00	14.6570	0.041	0.041
10.00	9.5387	10.022	0.022
12.00	8.7928	11.996	-0.004
14.00	8.1062	13.994	-0.006
15.00	7.7838	15.001	0.001
16.00	7.4826	15.988	-0.012
18.00	6.9154	17.979	-0.021
20.00	6.3896	20.004	0.004
30.00	4.3880	30.019	0.019
40.00	3.089	40.006	0.006
50.00	2.220	50.019	0.019
		Max.	0.041
		Min.	-0.021
		Average	0.007

### 3. 測定結果

孔内温度の計測は、2015年12月6日に行った。測定は外管管頭からの深度として計測し、深度7m～100mまでは1m間隔、100m以深は5m間隔で行った。計測時の地下水面は、外管部分の水位が管頭から深度3.80m、内管部分の水位は管頭から深度7.42mであった。測定は9:40に開始し、計測にかかった時間はおおよそ2時間であった。写真1に調査時における湯本49号源泉の外観、写真2-1に調査機材を示した。また写真2-2は温度検層状況の写真であり、写真中央下部にある湯本49号源泉にサーミスター温度センサー及びケーブルを吊り下し、写真右上にあるデジタルマルチメーターPC7000で計測した抵抗値を、ノートパソコンにて記録した。

測定した深度、及び計測抵抗値、並びに式1により換算した温度を表2に示した。また、図2に温度及び温度勾配を示した。なお図2中における深度170～195mと302～315mにおけるハッチ掛けは、上述した温泉研究所(1966)による検層報告書で報告された「温泉湧出亀裂帯」の深度を示したものである。また、温度勾配は当該深度の上下1区間における温度差から算出し、深



写真1 湯本49号源泉外観 (2015年12月6日撮影)

度方向に温度が上昇する変化を正の温度勾配とした。

計測を行った2015年における湯本49号源泉では、地下水直下の深度8mで水温が17.82℃と最も低く、センサーを下すことが出来た最深部の深度355mで62.84℃と最も高い値を示した。

また、「温泉湧出亀裂帯」とされた深度170m～195mの付近では、深度190m～200mにおいて上下の区間よりも低い温度を示していた。一方、同じく「温泉湧出亀裂帯」とされた深度302m～315mの付近においては、深度300m～310mにおける温度勾配が0.32℃/mと深度100m以深では最も高い温度勾配を示した。

### 4. 考察

前章で示した2015年における温度検層結果と比較するため、神奈川県温泉研究所(1966)において、チャート紙にプロットされている温度検層データのデジタル

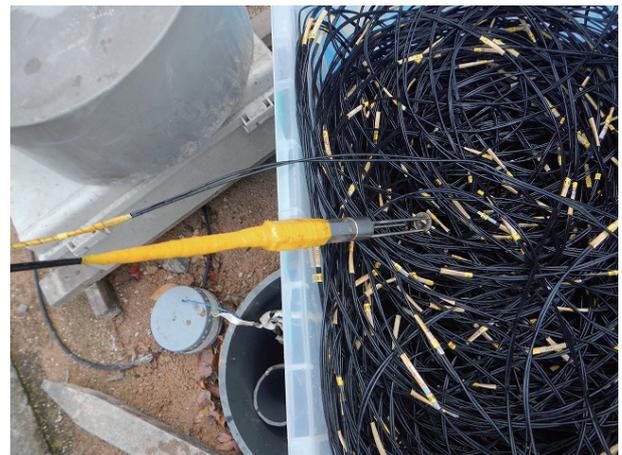


写真2-1 サーミスタ温度センサー及びケーブル

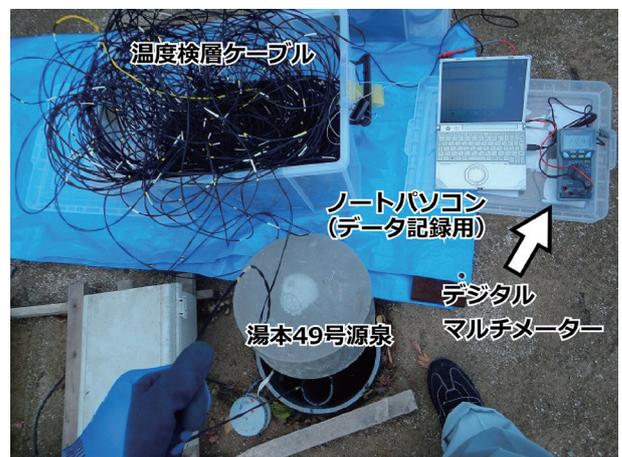


写真2-2 温度検層状況

表2 2015年における湯本49号源泉温度検層結果(測定深度、計測抵抗値、並びに変換温度)

深さ (m)	抵抗 (kΩ)	温度 (°C)									
			41	4.6410	28.48	81	3.2318	38.68	205	2.0794	52.08
			42	4.4950	29.36	82	3.1789	39.17	210	2.0502	52.53
			43	4.5275	29.16	83	3.1105	39.80	215	2.0404	52.68
			44	4.4540	29.61	84	3.0778	40.11	220	2.0372	52.73
			45	4.3816	30.06	85	3.0549	40.33	225	2.0333	52.79
			46	4.3188	30.46	86	3.0110	40.76	230	2.0289	52.86
7	7.685	15.32	47	4.2546	30.87	87	2.9748	41.12	235	2.0253	52.91
8	6.959	17.82	48	4.1840	31.34	88	2.9445	41.42	240	2.0201	53.00
9	6.952	17.84	49	4.1206	31.76	89	2.9157	41.71	245	2.0136	53.10
10	6.939	17.89	50	4.0597	32.18	90	2.8823	42.05	250	2.0059	53.22
11	6.910	18.00	51	4.0037	32.57	91	2.8617	42.27	255	2.0004	53.31
12	6.868	18.15	52	3.9554	32.91	92	2.8322	42.58	260	1.9987	53.34
13	6.833	18.28	53	3.9111	33.22	93	2.8187	42.72	265	1.9909	53.46
14	6.777	18.49	54	3.8499	33.67	94	2.7979	42.94	270	1.9725	53.76
15	6.711	18.74	55	3.7876	34.13	95	2.7809	43.12	275	1.9449	54.21
16	6.638	19.02	56	3.7305	34.56	96	2.7630	43.32	280	1.9200	54.62
17	6.567	19.30	57	3.6567	35.13	97	2.7410	43.56	285	1.8896	55.14
18	6.486	19.62	58	3.5765	35.76	98	2.7220	43.77	290	1.8616	55.62
19	6.416	19.90	59	3.5022	36.36	99	2.7017	43.99	295	1.8389	56.02
20	6.323	20.27	60	3.4858	36.50	100	2.6813	44.22	300	1.8010	56.69
21	6.234	20.64	61	3.4746	36.59	105	2.5873	45.30	305	1.6933	58.71
22	6.140	21.03	62	3.4604	36.71	110	2.5029	46.31	310	1.6340	59.89
23	6.056	21.39	63	3.4470	36.82	115	2.4250	47.28	315	1.6050	60.49
24	5.957	21.82	64	3.4300	36.96	120	2.3577	48.15	320	1.5830	60.95
25	5.887	22.13	65	3.4173	37.07	125	2.3660	48.04	325	1.5651	61.33
26	5.793	22.55	66	3.4034	37.18	130	2.2366	49.79	330	1.5499	61.66
27	5.700	22.98	67	3.3886	37.31	135	2.2278	49.91	335	1.5367	61.94
28	5.633	23.29	68	3.3726	37.45	140	2.1953	50.37	340	1.5251	62.20
29	5.553	23.67	69	3.3552	37.60	145	2.1674	50.77	345	1.5141	62.44
30	5.465	24.09	70	3.3421	37.71	150	2.1444	51.11	350	1.5054	62.64
31	5.362	24.59	71	3.3253	37.86	155	2.1217	51.44	355	1.4963	62.84
32	5.283	24.99	72	3.3126	37.97	160	2.1025	51.73			
33	5.183	25.50	73	3.2977	38.10	165	2.0859	51.98			
34	5.093	25.97	74	3.2884	38.18	170	2.0718	52.19			
35	5.019	26.36	75	3.2796	38.26	175	2.0576	52.41			
36	4.9400	26.79	76	3.2698	38.34	180	2.0427	52.64			
37	4.8650	27.20	77	3.2602	38.43	185	2.0376	52.72			
38	4.7980	27.58	78	3.2523	38.50	190	2.0503	52.52			
39	4.7380	27.92	79	3.2451	38.56	195	2.0838	52.01			
40	4.6824	28.24	80	3.2377	38.63	200	2.0854	51.99			

データ化を行った。

1966年における温度検層は1966年4月27日に実施され、サーミスタセンサーを5 m/minの速度で降下し、記録紙の縮尺を1/250として、ペンレコーダーでチャート紙にアナログ記録されていた。このため、データ解析を行うにあたり、連続的にプロットされた孔内温度をおおよそ深さ0.5 m間隔で読み取り、整数値となる深度における水温を読み取った直近の値から内挿し、2015年における同じ深度における水温と対比した。また、記録された線の太さは温度に換算するとおおよそ0.1°Cに相当し、線の中央部の値を読み取ったことから、最小目盛りの1/10として読み取った温度の有効桁数を小数点以下2桁の0.01°C単位とした。

読み取った1966年における温度検層結果を表3及び図3に示した。なお、図3には比較の為2015年における温度検層結果を合わせてプロットした。

1966年における温度検層では水止管が挿入されている深度58 mにおける孔内水温は48.41°Cあり、孔内水面直下から急激に温度が上昇していた。表層から上部の「温泉湧出亀裂帯」がある深度170 m付近まで、2015年と比べて全体的に高い温度を示していた。これについては、1966年当時エアリフトポンプによる揚湯が定常的に行われていたことから、孔内を上昇した温泉水の影響により温泉井近傍の地盤が温められていた可能性が推察された。

一方、深度170 m以深においては、1966年における

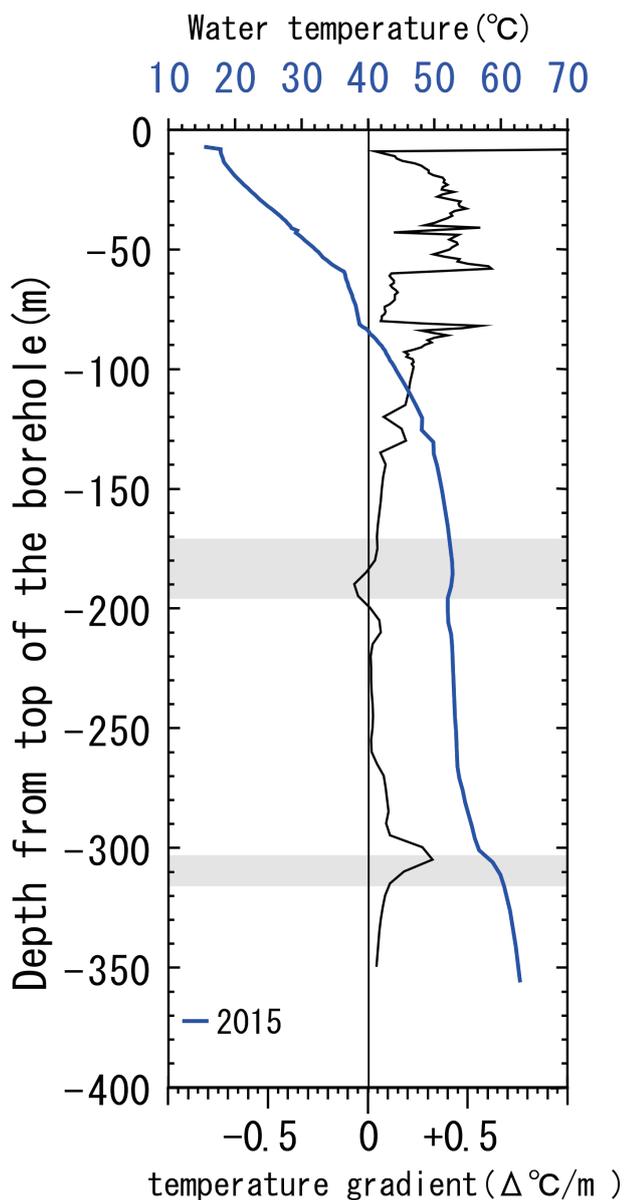


図2 湯本49号源泉における温度検層結果(2015年)

孔内温度と2015年における孔内温度が、ほぼ同じ温度と傾向を示すことが明らかとなった。図4に2015年と

1966年の温度差の鉛直分布を示した。この図において、温度差が負の深度では1966年から2015年までの間に孔内温度が低下したことを示し、反対に温度差が正の深度では孔内温度が上昇したことを示している。この結果、上部「温泉湧出亀裂帯」の中間付近となる深度185mよりも深い部分においては、1966年と2015年において孔内温度がほぼ同じ、もしくはわずかに増加している傾向が確認された。

## 5. まとめ

箱根町塔ノ沢にある湯本49号源泉において、2015年に温度検層を行い、1966年の温度検層結果と比較を行った。

その結果、2015年においては地下水面直下の深度8mで水温が17.82°Cと最も低く、センサーを下すことが出来た最深部の深度355mで62.84°Cと最も高い値を示していた。また、「温泉湧出亀裂帯」とされた深度170m～195mの付近では、深度190m～200mにおいて上下の区間よりも低い温度を示す一方、深度302m～315m付近では、深度100m以深では最も高い温度勾配による温度上昇がみられた。

一方、1966年においては表層から上部「温泉湧出亀裂帯」がある深度170m付近まで、2015年と比べて全体的に高い温度を示していた。一方、深度170m以深においては、1966年における孔内温度と2015年における孔内温度にほとんど変化が生じていないか、わずかに上昇していることが明らかとなった。

## 参考文献

神奈川県温泉研究所(1966) 検層報告書(40), 4p. (未公表)

Steinhart, J. S., and Hart, S. R. (1968) Calibration Curves for Thermistors, Deep Sea Research, 15, 497-503.

表3 1966年における湯本49号源泉温度検層結果(デジタルデータ化後の整数深度における温度)

深さ(m)	温度(°C)												
-1	20.21												
0	20.14												
1	20.06	51	47.40	101	51.47	151	54.00	201	50.83	251	52.89	301	56.16
2	20.11	52	47.54	102	51.52	152	54.00	202	50.88	252	52.92	302	56.18
3	20.10	53	47.62	103	51.61	153	54.00	203	50.85	253	53.00	303	56.58
4	20.41	54	47.85	104	51.71	154	54.07	204	50.91	254	53.07	304	57.05
5	20.77	55	47.95	105	51.82	155	54.07	205	50.93	255	53.06	305	57.92
6	20.76	56	48.10	106	51.91	156	54.09	206	50.94	256	53.08	306	58.40
7	20.70	57	48.26	107	51.98	157	54.09	207	50.95	257	53.15	307	59.17
8	20.83	58	48.41	108	52.08	158	54.12	208	51.03	258	53.19	308	59.56
9	21.52	59	48.52	109	52.14	159	54.07	209	51.38	259	53.29	309	59.97
10	26.18	60	48.66	110	52.23	160	54.19	210	51.64	260	53.36	310	60.27
11	28.71	61	48.80	111	52.30	161	54.17	211	51.62	261	53.31	311	60.47
12	29.26	62	48.90	112	52.35	162	54.19	212	51.59	262	53.37	312	60.71
13	30.16	63	49.00	113	52.46	163	54.15	213	51.63	263	53.43	313	60.82
14	30.80	64	49.12	114	52.57	164	54.17	214	51.59	264	53.51	314	60.88
15	31.62	65	49.25	115	52.66	165	54.19	215	51.67	265	53.51	315	60.92
16	32.77	66	49.49	116	52.75	166	54.20	216	51.64	266	53.59	316	61.00
17	33.64	67	49.69	117	52.84	167	54.07	217	51.72	267	53.63	317	61.04
18	34.70	68	49.80	118	52.89	168	54.01	218	51.72	268	53.70	318	61.12
19	35.97	69	49.86	119	52.93	169	54.04	219	51.74	269	53.75	319	61.18
20	36.99	70	50.10	120	52.99	170	54.06	220	51.78	270	53.82	320	61.27
21	38.45	71	50.15	121	53.02	171	53.95	221	51.78	271	53.90	321	61.28
22	39.52	72	50.17	122	53.10	172	53.97	222	51.82	272	53.96	322	61.35
23	40.26	73	50.18	123	53.10	173	54.01	223	51.85	273	54.04	323	61.39
24	41.10	74	50.23	124	53.17	174	53.93	224	51.85	274	54.13	324	61.40
25	41.71	75	50.34	125	53.21	175	53.83	225	51.91	275	54.25	325	61.42
26	42.25	76	50.41	126	53.30	176	53.75	226	51.97	276	54.40	326	61.46
27	42.49	77	50.43	127	53.28	177	53.65	227	51.96	277	54.43	327	61.49
28	42.93	78	50.52	128	53.34	178	53.52	228	51.97	278	54.57	328	61.52
29	43.02	79	50.59	129	53.39	179	53.25	229	51.98	279	54.56	329	61.53
30	43.15	80	50.75	130	53.41	180	52.93	230	52.03	280	54.58	330	61.50
31	43.25	81	50.82	131	53.39	181	52.86	231	52.06	281	54.70	331	61.57
32	43.24	82	50.83	132	53.40	182	52.26	232	52.12	282	54.83	332	61.58
33	43.29	83	50.90	133	53.45	183	52.26	233	52.20	283	54.91	333	61.55
34	43.14	84	50.92	134	53.47	184	52.21	234	52.18	284	55.05	334	61.60
35	43.23	85	50.92	135	53.49	185	52.19	235	52.20	285	55.08	335	61.63
36	43.57	86	50.95	136	53.47	186	52.21	236	52.24	286	55.16	336	61.70
37	43.93	87	50.97	137	53.56	187	52.27	237	52.20	287	55.19	337	61.74
38	44.26	88	51.02	138	53.59	188	52.29	238	52.24	288	55.28	338	61.76
39	44.64	89	50.89	139	53.65	189	52.26	239	52.29	289	55.37	339	61.85
40	44.92	90	50.93	140	53.65	190	52.06	240	52.33	290	55.45	340	61.88
41	45.28	91	50.92	141	53.72	191	51.84	241	52.35	291	55.48	341	61.91
42	45.58	92	50.96	142	53.76	192	50.94	242	52.36	292	55.61	342	62.00
43	45.77	93	50.97	143	53.76	193	50.91	243	52.41	293	55.66	343	62.07
44	46.03	94	50.94	144	53.80	194	50.89	244	52.54	294	55.74	344	62.11
45	46.36	95	51.00	145	53.85	195	50.80	245	52.56	295	55.81	345	62.14
46	46.57	96	51.05	146	53.84	196	50.84	246	52.63	296	55.81	346	62.18
47	46.73	97	51.16	147	53.92	197	50.82	247	52.64	297	55.90	347	62.19
48	46.96	98	51.23	148	53.95	198	50.81	248	52.75	298	55.97	348	62.16
49	47.17	99	51.33	149	53.99	199	50.80	249	52.75	299	56.06	349	62.17
50	47.32	100	51.41	150	54.02	200	50.83	250	52.89	300	56.12	350	62.30

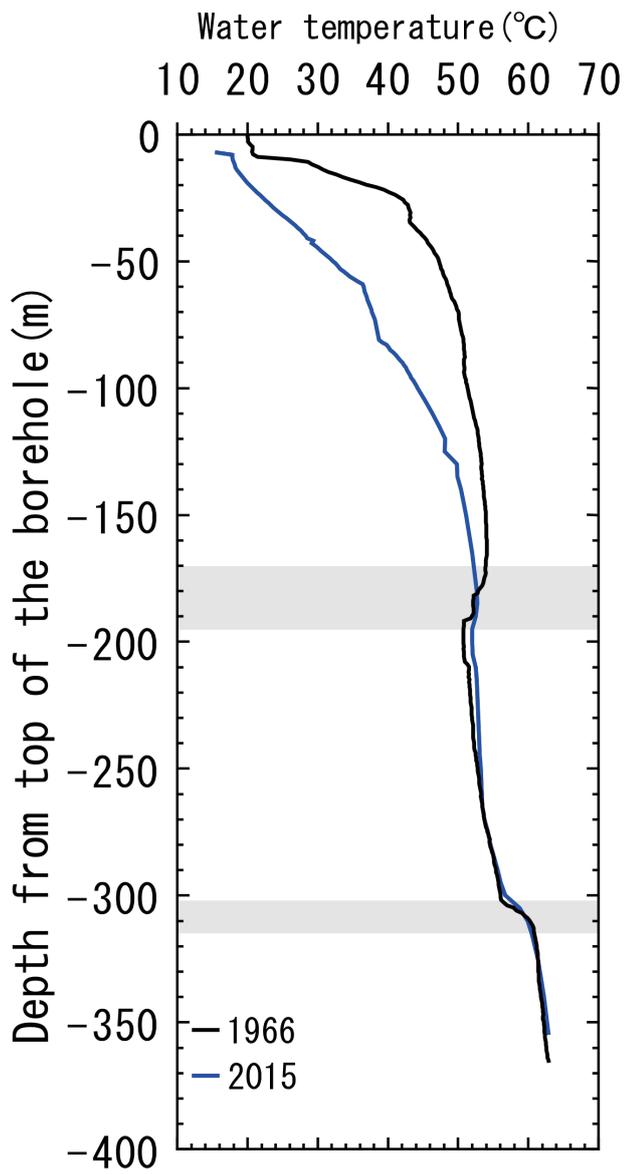


図3 湯本49号源泉における温度検層結果（1966年及び2015年）

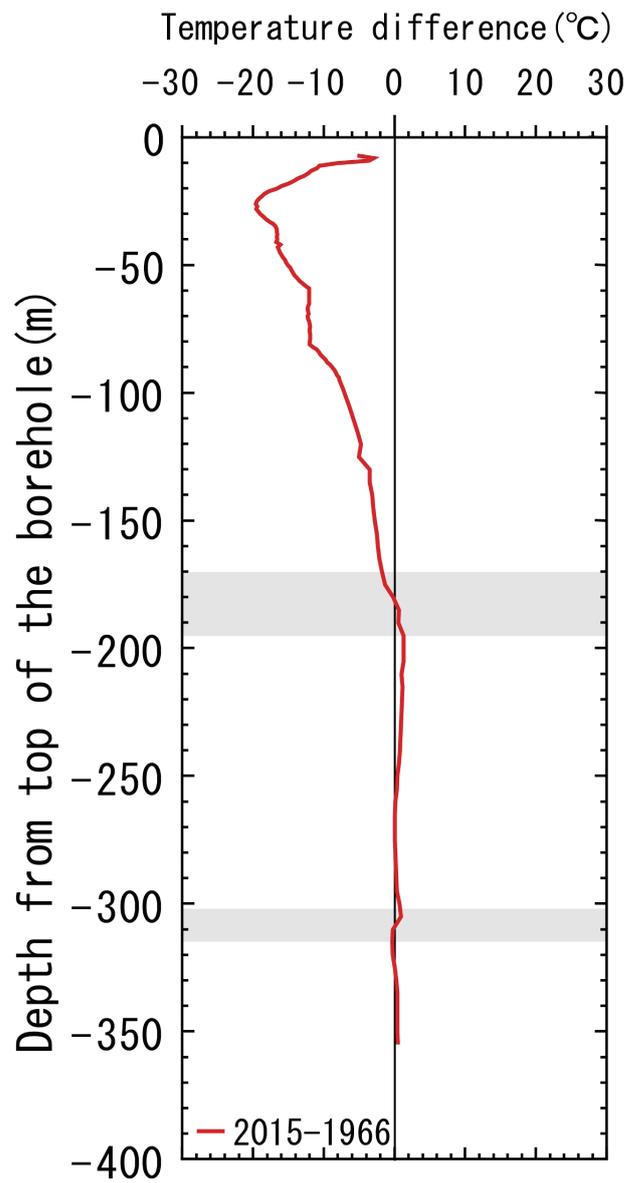


図4 湯本49号源泉における1966年及び2015年の孔内温度差