

## 函館平野の熱水系における温度勾配 Geothermal gradient in thermal water system in the Hakodate Plane, Hokkaido

柴田 智郎・高橋 徹哉・岡崎 紀俊・大津 直・秋田 藤夫  
Tomo Shibata, Tetsuya Takahashi, Noritoshi Okazaki, Sunao Ohtsu and Fujio Akita

キーワード：地温勾配図, 熱水, 流動機構, 温度検層, 函館平野

Key words : geothermal gradient map, thermal water, system of groundwater flow, vertical distribution of underground temperature, Hakodate plane

### I はじめに

北海道函館平野では, 平野部のほぼ全域から温泉が湧出している. この地域には元来, 湯川温泉と谷地頭温泉の2つの温泉地があり, 古くから温泉が利用されてきている(北野, 1953; 太秦ほか, 1959; 福富ほか, 1962; 石川ほか, 1962; 浦上ほか, 1974). しかし, 1957年に函館駅の南西にある蓬萊町で深度363mのボーリングにより31°Cの温泉が得られて以来(北海道立地下資源調査所, 1991), 2つの温泉地以外で温泉が開発されるようになった. 現在では, その開発は函館平野全域とその周辺の丘陵部に及んでいる. 泉源の深度は800~1000mのものが多く, また湧出する温度は平均52°Cで, 高いものでは70°C以上のものがある(柴田ほか, 2007). 温泉の化学組成は, 陽イオンではナトリウムイオン, 陰イオンでは塩素イオン・硫酸イオンが主となっている(柴田ほか, 2007; 印刷中).

これまで全道域の地温勾配分布図が作成され, 広域的な熱構造と温度構造について公表されている(江原ほか, 1970; 中村, 1994; 若浜ほか, 1995). それによると, 函館平野部では一様に6~7°C/100mという鉛直温度勾配を示している. しかし, これらの勾配分布図は全道域を対象としたもので, 函館平野部に関しては数泉源もしくは十数泉源のデータから得られたものである. そのため, ある程度の目安にはなるが, 平野部の詳細な熱構造は把握されていない. そこで本研究では, 函館平野部にある49泉源の温度検層データを収集し, 函館平野における熱水系の流動状況を把握することにした. なお, 本報告は2005年度から行っている道立試験研究機関一般試験研究費「函館平野およびその周辺地域での温泉資源の適正管理に関する研究」の一部をとりまとめたものである.

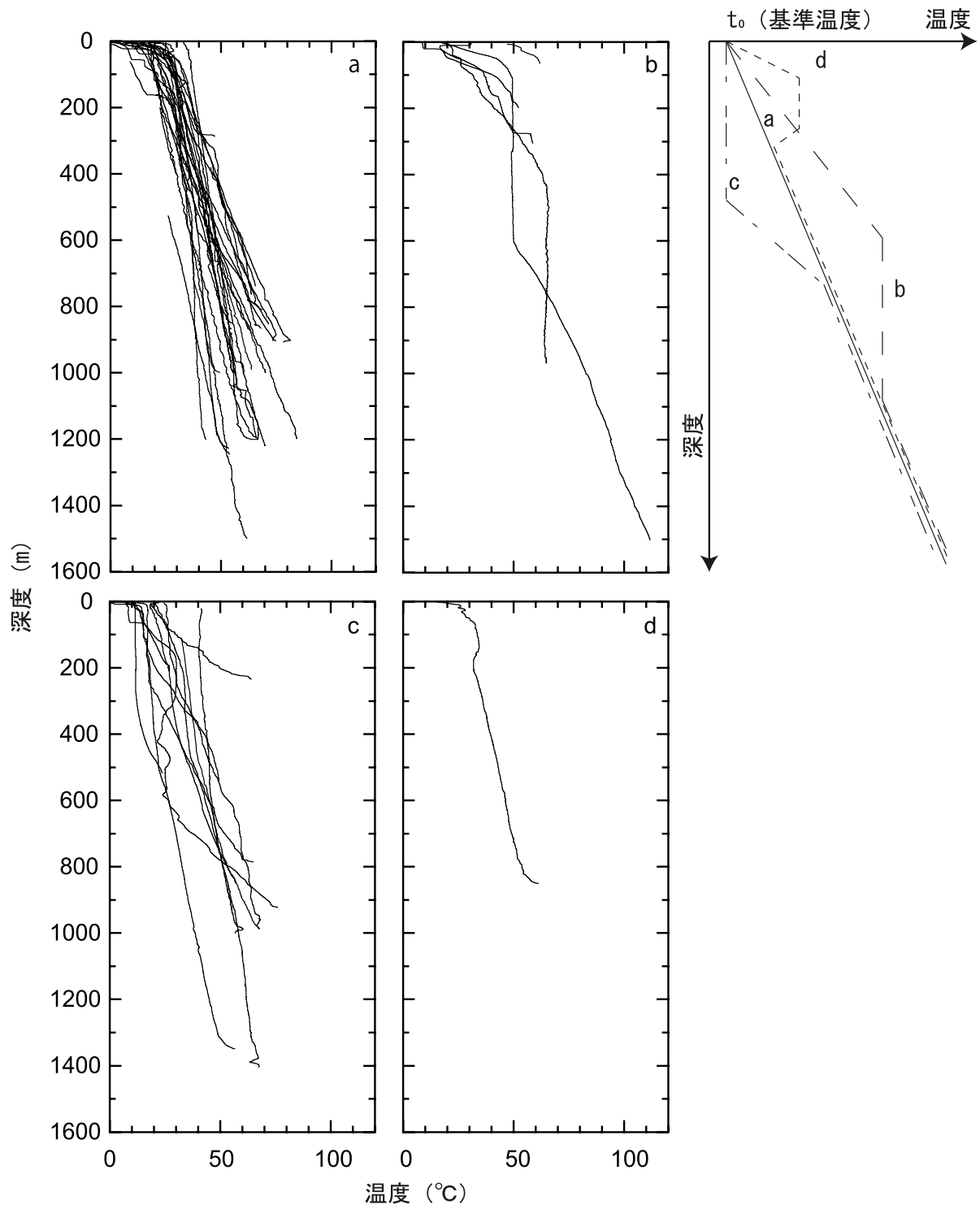
### II 熱水系の鉛直温度分布

深部からの地殻熱による温度構造は, 坑井内の温度検層によって測定される鉛直温度分布から推測される. 一般に, 透水性が高い地層では, 地層中の水

が比較的流れやすいために, 熱移動が水の流動によって支配される. このため, そのような地層では水によって大量の熱が運ばれ, 鉛直方向に対する温度勾配は小さくなる. 一方, 透水性が低い地層では, 水の移動がほとんどないので, 熱は伝導によって運ばれる. このため, 鉛直温度勾配が大きくなる傾向がある(浦上, 1987).

坑井内の温度検層はこれまでに数多く報告されており, 鉛直温度分布の特性は, 熱伝導による伝導卓越型, 水の流動が関係した上昇流卓越型・下降流卓越型・側方流卓越型の4つに区分される(小川・金原, 1983; 若浜ほか, 1995). 第1図には, 収集した温度検層のデータをそれぞれの特徴ごとに分けるとともに, それぞれの温度分布の特徴を模式図で示す. 伝導卓越型はいわゆる熱伝導により熱が移動するため, 深度とともに一定の割合で温度が高くなるような温度分布を示す(第1図a). 一方, 水の流動に關係した温度分布は, 流動に關連した深度の温度勾配が小さいのが特徴である. つまり, 上昇流卓越型は深部から上昇する水の流動のため, 深部の温度勾配が小さい温度分布を示す(第1図b). 下降流卓越型は浅部の水が下降することによるので, 浅部の温度勾配が小さい(第1図c), また, 側方流卓越型は横方向から水の流動しているため, その帯水層のみ温度勾配が小さい(第1図d)という特徴がある.

本報告における鉛直温度勾配(°C/100m)は, 坑底(検層最深)温度と基準(地表)温度(10°C)の差を単純に坑底(検層最深)深度で割って算定した(第1表). 得られた鉛直温度分布は, 5~7.5°C/100mの温度勾配を持つ泉源が23泉源と多く, 2.5~5.0°C/100mの温度勾配をもつ16泉源とあわせると, 全体の80%以上を占める(第2図). また, 本報告で用いた49泉源の温度検層データは, 温泉掘削時に測定したものが多くを占める. そのため, 温度検層を行うまでの坑井が静的な状態で保持されている経過時間(スタンディングタイム)が一定ではなく, 一部のデータには真の地温を示していない可能性がある. しかし, 現時点でそれらを選択的に除くことは困難であることから, 本報告ではスタンディングタイムの差で区別せずに一律に示した.



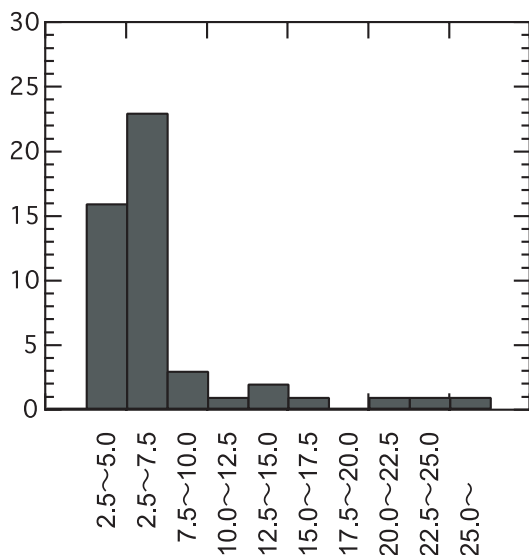
第1図 温度検層データとその模式図. a: 伝導卓越型, b: 上昇流卓越型, c: 下降流卓越型, d: 側方流卓越型  
 Fig 1 Vertical distribution of underground temperature and its typical profiles. a: type of conduction dominated, b: type of upward flow, c: type of downward flow, and d: type of sideward flow.

第1表 泉源の温度・深度・経過時間鉛直温度勾配  
Table 1 Temperature, well depth, standing time and vertical gradient of underground temperature.

位置	温度 ( )	掘削深度 (m)	経過時間	鉛直温度勾配 ( /100m )	温度検層の特徴*1
1-017	51.2	852	34h00m	6.01	d
1-018	30.9	156	-	13.40	-
1-020	76.0	1361	24h30m	5.72	a
1-024	39.1	1300	14h	4.00	a
1-025	63.8	800	-	7.01	c
1-027	43.1	356	28h	9.68	-
1-030	59.5	1200	8h	4.75	a
1-031	76.1	810	-	7.22	a
1-032	70.3	878	18h	6.09	a
1-033	56.0	1000	9h30m	4.58	a
1-034	70.8	980	23h	5.88	c
1-035	-	1400	23h20	3.60	c
1-037	64.3	850	-	5.28	a
2-016	30.1	600	-	3.35	-
3-001	35.7	400	-	4.90	a
3-002	40.8	1002	34h	3.95	a
3-004	65.0	968	22h	5.68	b
3-005	44.2	1150	22h	3.56	c
3-009	42.2	1000	24h	6.67	a
3-013	34.2	300	-	7.18	c
3-021	67.0	200	-	21.20	b
3-027	24.5	300	-	11.54	c
3-028	66.0	1000	30h	5.43	a
3-029	62.3	1408	24h	4.07	c
3-030	34.2	1500	18h	6.77	b
3-031	48.6	1000	41h	5.50	c
3-032	68.3	903	18h	7.03	a
3-033	45.7	902	-	5.00	a
3-035	68.5	861	43h50m	7.19	a
3-036	79.3	923	45h10m	7.93	a
3-037	59.1	1200	-	6.17	a
3-038	69.3	756	36H	7.53	a
3-040	69.1	766	-	7.06	a
3-041	54.1	1000	26h	5.01	a
3-042	44.4	1500	11h10m	3.47	a
3-043	52.3	1200	24h	4.71	a
3-044	44.1	1000	-	5.01	c
3-045	59.9	1016	32h	7.07	a
4-001	47.5	1000	26h	5.76	c
4-044	64.6	80	1h	79.40	b
4-054	45.5	1200	28h	4.65	a
4-055	53.8	750	8h	7.06	c
4-056	47.8	286	48h	13.60	a
4-057	-	1209	-	3.01	a
4-058	41.5	1403	26h05m	4.92	a
4-060	-	1226	23h10m	3.55	a
4-061	69.1	865	-	6.46	a
4-062	65.4	268	32h	23.20	c
4-063	64.3	325	1800h以上	15.90	b

\*1 : a : 伝導卓越型, b : 上昇流卓越型, c : 下降流卓越型, d : 側方流卓越型

地殻熱による温度構造を把握するためには、水の流動の影響を受けた鉛直温度分布ではなく、伝導卓越型による温度分布のみを選定し、その構造を求めることが望ましい。しかし、温泉の供給機構や深部の流動状況などを把握するためには、その流動に関係した温度分布が重要になる。特に、温泉湧出を目的とした坑井では、熱水対流系の影響が顕著に現れることがある。本地域では49泉源のうち28泉源が伝導卓越型の鉛直温度分布を示している。また、12泉源が下降流卓越型、5泉源が上昇流卓越型、1泉源が側方流卓越型を示す。

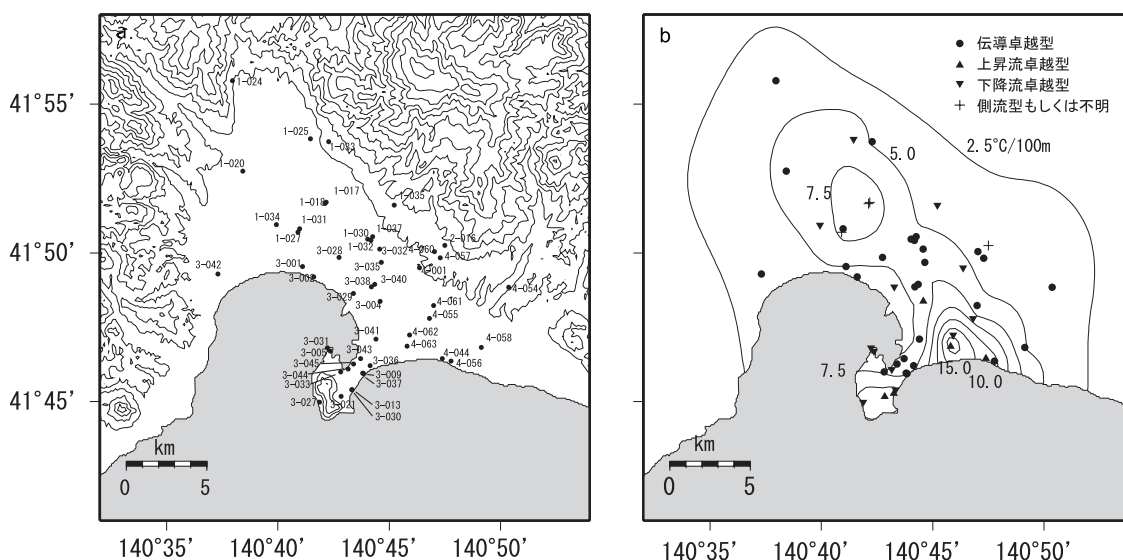


第2図 鉛直温度勾配の頻度分布  
Fig.2 Frequency in vertical gradient of underground temperature.

上昇流卓越型を示す泉源のなかには、湯川温泉と谷地頭温泉の泉源が含まれている。これらの温泉地では古くから高温の温泉が自噴しており、深部からの熱水の供給機構が考えられてきた（福富ほか, 1962; 石川ほか, 1962; 浦上ほか, 1974）。本研究の温度検層データにより、これらの泉源の鉛直温度分布が上昇流卓越型を示していることから、これらの温泉地では深部からの熱水が上昇している可能性が高いことが明らかとなった。

### Ⅲ 地温勾配分布図

上記で求めた各泉源の鉛直温度勾配から、函館平野の地温勾配分布図を作成した（第3図）。本分布図の作成においては、地図作製ソフトGMT（Generic Mapping Tools）を用いた（Wessel and Smith, 1998）。なお、平野部南東にある湯川温泉にある4-044の鉛直温度勾配は、今回用いた算出法では79.4°C/100mと非常に高い値である。この値は他の泉源の鉛直温度勾配の10~20倍である。このような高い値はその周囲の勾配分布に影響を与えるため、4-044のデータを取り除き、勾配分布図を求めた。高い温度勾配をもった泉源は伝導卓越型の鉛直温度分布を示し、北西~南東方向に分布している。この地域を取り囲むように下降流卓越型の温度分布を示す泉源が点在している。この原因については明らかではないが、広域的な対流系があるのかもしれない。今後、この広域流動機構については、地質構造も加味した上で検討する必要がある。なお、今回得られた高い温度勾配を



第3図 泉源位置図 (a) および地温勾配分布図 (b)。なお、b図内で示した数値の単位は°C/100mである。  
Fig.3 Location of boreholes (a) and geothermal gradient map of Hakodate plane (b). Symbols of circle, triangle, inverted triangle and cross in Fig 3b indicate profiles of vertical temperature distribution: type of conduction dominated, type of upward flow, type of downward flow, and both type of sideward flow and unknown data, respectively.

もった分布域は、柴田ほか(印刷中)で示した火山性の物質が寄与したと考えられる温泉の分布域と一致する。このことは温度勾配の高い地域では、何らかの火山性の物質の寄与が考えられる。

### Ⅲ おわりに

函館平野の48泉源の温度検層データを収集し、各坑井の鉛直温度分布を求めた。鉛直温度分布は2.5~7.5°C/100mの温度勾配を持つ泉源が全体の80%以上を占める。また高い温度勾配を持つ泉源は北西~南東方向に分布し、火山性の物質の寄与の可能性が高い。このことは、函館平野の温泉供給機構を理解する上で非常に興味深いものである。

### 謝 辞

本報告にあたり、泉源所有者、関係市町、地質コンサルタント会社、ボーリング会社から資料(未公表を含め)の提供をして頂いた。また、源泉管理者の方々、市立函館保健所、北海道保健福祉部、渡島保健所の職員からは、現地調査に際して多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

### 文 献

江原幸雄・西田直樹・横山 泉(1970):北海道における地殻熱流量の測定(その1)。北海道大学地球物理学報告, No24, 125-139.

福富孝治・藤木忠美・須川 明・大谷清隆・和田昭夫(1962):湯の川温泉・谷地頭温泉の調査。北海道温泉調査報告IX(環境衛生に関する報告19),北海道衛生部 1-17.

北野 康(1953):温泉の化学的研究(第26報)湯川温泉,谷地頭温泉の化学的研究。日本化学雑誌, 74, 735-739.

北海道立地下資源調査所(1991):北海道地熱・温泉ボーリングデータ集および索引図。

石川俊夫・安藤久雄・近堂祐弘(1962):湯ノ川及び谷地頭温泉地質班調査報告。北海道温泉調査報告IX(環境衛生に関する報告19),北海道衛生部 19-41.

中村久由(1994):続・温泉地質学事始め。地熱, 31, 76-87.

小川克郎・金原啓司(1983):地熱熱水の流動について—豊肥地熱地域を例として—。地学雑誌, 92, 83-92.

柴田智郎・高橋徹哉・藤本和徳(2007):函館市とその周辺地域における温泉資源の現況。北海道立地質研究所報告, No78, 169-174.

柴田智郎・丸岡照幸・高橋徹哉・松田准一(印刷中):多変量解析法を用いた北海道函館平野における深部地下水の供給源の推定。地球化学。

浦上晃一(1987):北海道白老町虎杖浜・竹浦地域温泉の地下構造と熱水系。北海道大学地球物理学研究報告, No49, 169-190.

浦上晃一・小泊重能・佐倉保夫・瀬川良明・太井子宏和・池田隆司・和泉 薫(1974):函館市湯川温泉調査報告。北海道大学地球物理学研究報告, No33, 41-48.

太秦康光・那須義和・瀬川淑子(1959):温泉の化学的研究(第41~44報)。日本化学雑誌, 80, 856-862.

若浜 洋・秋田藤夫・松波武雄(1995):北海道地温勾配図および説明書。北海道立地下資源調査所。

Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1998): New, improved version of Generic Mapping Tools released. EOS Trans., AGU 79, 579.