

函館平野の熱水流動系

Flow system of thermal water in the Hakodate Plane, Hokkaido

柴田 智郎・高橋 徹哉・岡崎 紀俊・大津 直・鈴木 隆広・秋田 藤夫

Tomo Shibata, Tetsuya Takahashi, Noritoshi Okazaki, Sunao Ohtsu, Takahiro Suzuki and Fujio Akita

Abstract

Investigation of chemical compositions and water level of thermal water, geothermal gradients and Bouguer anomaly in Hakodate Plane, Japan, were made in order to characterize a deep groundwater system in this area. Sixty-nine wells were drilled in the plane by the year 2008 to develop geothermal water resources. Most drilling depths were from 800 to 1000 m and temperatures range from 27 to 76 °C. Total discharge is 12,400 l/min and its heat energy is about 58.6×10^7 cal/min. Principle component analysis, one of multivariate analysis, provides new insights on the system of groundwater flow. The groundwaters in this study can be described by mixing with at least three end-member components of waters, i.e., seawater, volcanic material, and dilutes shallow groundwater. Seawater component contributed more than the other components. The geothermal gradient is 3.0-79.4 °C/100m, and area of high gradient is located along the northwest-southeast line in the plane. Around the extended line, the crater of Zenikamezawa, a submarine volcano erupted, is situated and may affect the deep groundwater chemistry.

キーワード：熱水, 流動機構, 温泉資源, 函館平野

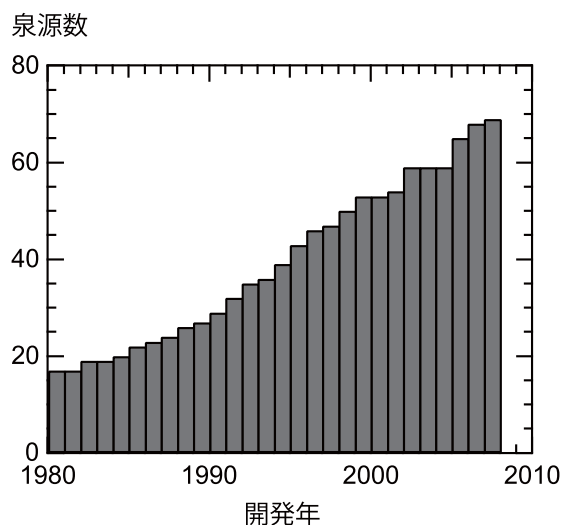
Key words : thermal water, system of groundwater flow, geothermal resources, Hakodate Plane

はじめに

函館平野(大野平野)は北海道の南西部に位置し、函館市、北斗市および七飯町に広がっている。なかでも、函館市は北海道内で旭川市に次ぐ第3の人口を有する都市で、道南地方の行政・経済・文化において中心的な役割を果たしている。函館平野には元々、湯の川温泉と谷地頭温泉の2地区しか温泉がなかったが、2地区以外でもボーリングによる温泉開発が実施され、現在では数多くの温泉が存在するようになった。一般に、ボーリングによって開発された温泉は、天水などが地下に浸透した地下水であることが多い。その地下水は、大気・降水・海水などの水循環系の1つの形態としてその一翼を担っているが、開発・利用が進むとその循環系に変化を与える要因となる。特に、温泉目的で開発されたボーリングは、地下深部の地下水を採取対象としており、地下水の流動速度は表層のものよりも遅い。そのため、その開発・利用は自然の循環系に大きく影響する。そこで、適正な温泉の開発・利用を行うためには水の起源、循環形態、賦存量などの解明が不可欠である。北海道立地質研究所では平成17年度から20年度に「函館市および周辺地域における温泉資源の適正管理に関する研究」において、地質調査・重力調査・水質分析・地下温度調査・水位観測等を行い、温泉資源に関する研究を行ってきた。その一部については既に柴田ほか(2007, 2008a, 2008b)で報告した。本報告では、これまで報告した内容を含め、函館平野の熱水流動系についてまとめる。

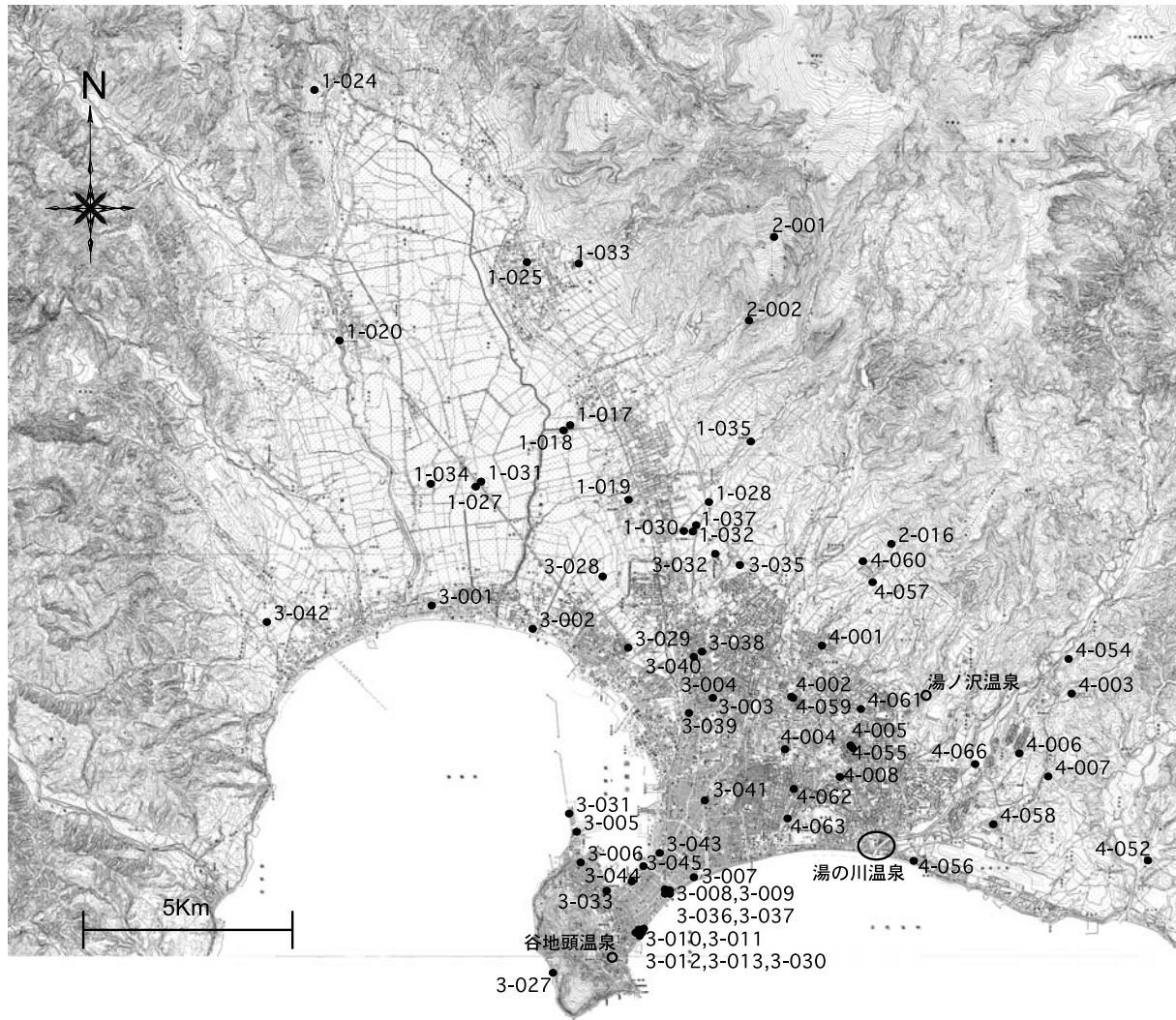
温泉開発の経過と利用状況

函館平野では1980年以降ボーリングによる温泉開発が増加している。元来、平野には南東部の湯の川温泉と函館山麓の谷地頭温泉の2つの温泉地がある北野、1953；太秦ほか、1959；福富ほか、1962；石川ほか、1962；浦上ほか、1974)。また、この2つの温泉地とは別に、湯の川温泉の北北東約4kmの山間部には湯ノ沢温泉があり(北海道立地下資源調査所、1976)、これらの温泉は古くから利用されている。しかし、最近の温泉開発は既存温泉地以外の地域で行われるようになって



第1図 泉源数の推移

Fig. 1 Change of number of boreholes.



第2図 泉源の位置
Fig. 2 Location map.

た．このような温泉開発は，1957年に函館駅の南西にある蓬萊町において深さ363mで31 の温泉が得られたのが発端である（北海道立地下資源調査所，1991a，1991b）．

温泉開発を目的に行われたボーリングは，柴田ほか（2007）で示した以降も増え，2008年現在では合計69泉源がある（第1図）．第2図に泉源の位置図を第1表には坑井一覧を示す．なお，ここで示した泉源には湯の川温泉と谷地頭温泉の2地区の泉源は含まれていない．

温泉開発は函館平野の東側の函館市街地に集中している．鈴木ほか（2008）および北海道立地質研究所（2008）によれば，未利用泉源や廃井などを除くと現在利用している温泉は36泉源で，そのほとんどは浴用利用である．泉源の深度は800～1000mのものが多く，また現在利用されている泉源の湧出量は，20～660 ℓ/minで，泉温は27～76 °Cである．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，2007，2008a）．現在，利用されている36泉源の湧出量を総計すると約

12,400 ℓ/minで，放出熱量は $58.6 \times 10^7 \text{ cal/min}$ （基準温度を10 °Cとする）となる．この放出熱量は湯の川温泉の $27 \times 10^7 \text{ cal/min}$ の約2倍であり，熱階級は「V」に属す（福富，1966）．また，このクラスの放出熱量を持つ道内の温泉地では，登別地獄谷・定山溪温泉などがある．

地質の概要

本調査地域は南に開いた盆状地形をしており，沖積平野および低地地帯，丘陵地地帯，山地地帯の3つに分かれる．沖積平野および低地地帯は中央部に発達している函館平野，および河川流域に沿って発達する低地部にあり，完新世堆積層で構成されている．丘陵地帯はこの平野および低地の背後に発達しており，更新世堆積層からなる．山地地帯は先第三紀層，新第三紀層，火成岩類などが発達している．また，山地地帯には火山があり，南部の箱館山と北東部の横津岳は第四紀の初頭に，南東部の津軽海峡銭亀沢沖の海底火山は

第1表 坑井一覧
Table 1 List of geothermal water well in Hakodate City and its vicinity.

位置	標高 (m)	掘削深度 (m)	入孔深度 (m)	湧出量 (/min)	揚湯方法	泉温 (°C)	静水位 (m)	動水位 (m)	利用状況
1-017	12	852	680 ~ 850	320	WP	51.2	0.3	-60.4	浴用
1-018	12	156	84 ~ 156	500	F	30.9	(+)	+0.6	未利用
1-019	35	800		55	WP	40.0		(-)	廃井
1-020	26	1361	1322 ~ 1344 1344m 以深裸孔	590	WP	76.0	-37.6	-17.2	浴用・暖房
1-024	95	1300	959 ~ 1289	204	WP	39.1	-12.0	-130.0	浴用
1-025	65	800	740 ~ 795	400	WP	63.8	-58.0	-128.0	浴用・暖房・融雪
1-027	5	356	344 ~ 356	420	F	43.1	2.8	-40.9	浴用・暖房
1-028	65	1020	900 ~ 1010	300	WP	68.5		-200.0	浴用・暖房・融雪
1-030	40	1200	760 ~ 1178	80	WP	59.5	-55.0	-371.0	未利用
1-031	7	810	738 ~ 810	610	WP	76.1	-13.5	-66.7	浴用・暖房
1-032	49	878	778 ~ 878	660	WP	70.3	-54.3	-49.3	浴用・暖房・融雪
1-033	145	1000	637 ~ 989	250	WP	56.0	-164.0	-340.0	浴用・暖房・融雪
1-034	10	980	900 ~ 980	285	WP	70.8	-34.0	-127.5	浴用・農業
1-035	140	1400							廃井
1-037	50	850	828 ~ 850	398	WP	66.6	-61.3	-56.4	浴用
2-001	630	1012					-200.0		廃井
2-002	260	750	640 ~ 750	264	AL	31.5	-11.2	-35.0	廃井
2-016	165	600		264	F	30.1	(+)	(+)	浴用
3-001	4	400	320 ~ 375	200	WP	35.7		(-)	浴用・融雪
3-002	2	1002	750 ~ 1002	250	WP	40.8	(+)	-144.0	浴用
3-003	14	400	300 ~ 400	18	WP	37.3	-34.5	-360.0	未利用
3-004	14	1000	465 ~ 920	500	WP	65.0	-14.5	-24.5	浴用
3-005	3	1150	897 ~ 1113	616	WP	44.2	-4.7	-34.3	未利用
3-006	3	600		170	AL	26.7		(-)	廃井
3-007	6	612			AL	33.5	(-)	(-)	未利用
3-008	6	620				45.0			廃井
3-009	10	1000	475 ~ 1000	180	WP	42.2	-13.5	-46.5	未利用
3-010	3	363				31.0	(-)	(-)	廃井
3-011	3	170		68	WP	34.0		(-)	廃井
3-012	3	300		177	WP	34.2	-4.0~-5.0	(-)	廃井
3-013	3	1000		87	WP	35.0		(-)	廃井
3-027	5	300		20	AL	24.5		(-)	廃井
3-028	6	1000	800 ~ 1000	500	AL	66.0	-9.5	-30.0	浴用
3-029	3	1408	1284 ~ 1408	330	WP	62.3	-19.0	-65.0	浴用
3-030	3	1500	635 ~ 1500	180	WP	34.2	-27.5	-38.5	未利用
3-031	3	1152	899 ~ 1141	616	WP	48.6	-3.0	-30.5	未利用
3-032	45	903	873 ~ 903	540	WP	68.3	-37.5	-41.7	未利用
3-033	3	902	802 ~ 902	480	WP	45.7			廃井
3-035	35	861	651 ~ 861	500	WP	68.5	-39.5	-70.7	浴用
3-036	5	923	807 ~ 917	339	WP	79.3	(+)	-17.0	未利用
3-037	5	1200	964 ~ 1173	71	WP	59.1	-180.0	-292.0	浴用
3-038	15	756	657 ~ 756	450	WP	69.3	-22.3	-55.4	暖房
3-039	5			400	WP	19.4			浴用
3-040	14	766	655 ~ 766	340	WP	69.1	-24.5	-36.6	浴用・暖房
3-041	9	1000	835 ~ 1000	90	WP	54.1	-30.6	-26.5	未利用
3-042	13	1500	986 ~ 1500	320	WP	44.0	2.0	-136.0	浴用・農業
3-043	3	1200	897 ~ 1139	101	WP	52.3	-29.0	-135.2	浴用
3-044	3	1000	531 ~ 989	502	WP	44.1	-0.5	-7.4	浴用
3-045	3	1015	707 ~ 1015	450	WP	58.3	(+)	-19.9	未利用
4-001	40	1000	700m 以深裸孔	230	AL	47.5	-38.0	(-)	浴用
4-002	24	220	193 ~ 215	120	WP	29.6	(-)	(-)	廃井
4-003	157	880			AL	23.5	(-)	(-)	浴用・暖房
4-004	5	295		18	WP	37.0	(-)	(-)	廃井
4-005	20	600		84	WP	45.0	(-)	(-)	未利用
4-006	90	800	650 ~ 800	180	WP	44.3	(-)	(-)	浴用
4-007	88	853	743 ~ 853	71	AL	31.2	-55.0	-135.7	未利用
4-008	11	200		300	WP	28.2	(-)	(-)	浴用
4-052	8	1000				32.0	(-)	(-)	廃井
4-054	90	1200	837 ~ 1189	94	WP	45.5	-67.0	-165.2	未利用
4-055	20	750	630 ~ 750	660	WP	53.8	-32.0	-40.5	浴用
4-056	5	287	281 ~ 287	510	WP	46.5	-17.5	-55.5	浴用・暖房・融雪
4-057	110	1209	850 ~ 1209	9	WP	30.2	-17.5	-195.0	廃井
4-058	50	1403	750 ~ 1250	20	WP	41.5	-70.0	-402.0	浴用
4-059	24	250	162 ~ 239	150	WP	27.2	-12.0	-55.0	浴用
4-060	135	1226							未利用
4-061	41	865	625 ~ 865	204	WP	63.9	-50.4	-281.0	浴用
4-062	17	268	225 ~ 268	460	WP	65.4	-28.6	-58.0	浴用
4-063	12	325	275 ~ 325	555	WP	64.2	-18.0	-19.4	浴用
4-066	31	993	780 ~ 989	500	WP	47.7	0.8	-49.3	未利用

WP : 水中モータポンプ, AL : エアーリフト, F : 自噴. なお, データは北海道立地質研究所(2008)に基づいた.

第2表 地質総括
Table 2 Summary of stratigraphic sequence in Hakodate Plane.

		西部地域			東部地域			
時代		地層	岩相		地層	岩相		
第四紀	完新世	沖積層・崖錐堆積物	礫・砂・泥・ 火山灰・粘土		沖積層・段丘堆積物 ・火山灰	礫・砂・泥・ 火山灰・粘土		
	更新世	段丘堆積物・溶岩類 ・火砕岩類・文月層	礫・砂・泥		溶岩類・火砕岩類・ 段丘堆積物	礫・砂・泥		
		富川層	泥岩・砂岩・火砕岩		函館山火山岩類	溶岩・火砕岩		
		茂辺地川層 (館層相当層)	泥岩・砂岩		松倉川層	火砕岩・礫岩・砂岩		
新第三紀	鮮新世	峯下 火砕岩類	火砕岩 ・礫岩・砂岩		峯下火砕岩類	火砕岩・礫岩・砂岩		
	中新世	茂辺地川層 (厚沢部相当層)	泥岩・砂岩		汐泊川層 川汲層	貫入岩類	玄武岩・頁岩・ 凝灰角礫岩・ 凝灰岩 綠色 凝灰岩	
		戸田川層	泥岩・頁岩・ 砂岩・火砕岩					玄武岩・安山岩など
		戸切地川層	砂岩・礫岩					
先第三紀	上礫層群	粘板岩・石灰岩・ 綠色岩・珪質岩		戸井層	粘板岩・硬質砂岩			

鷹澤ほか(1992);(独)産業技術総合研究所 地質調査総合センター(2003)

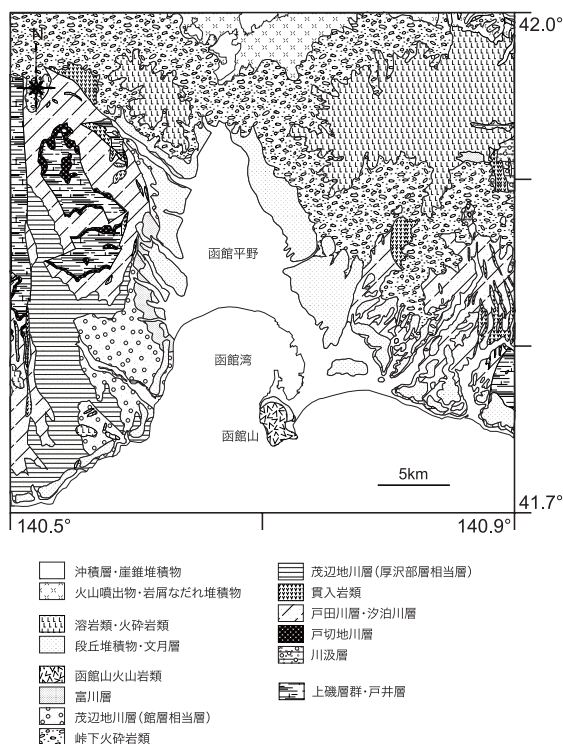
3~4万年前にそれぞれ活動していた(鈴木・長谷川, 1963; 山縣ほか, 1989; 日本の地質『北海道地方』編集委員会, 1990; 鷹澤, 1992)。

地質については, 三谷ほか(1965, 1966), 鈴木ほか(1969), 長谷川・鈴木(1964)による図幅調査がある。しかし, その後の調査(鷹澤ほか, 1986; 鷹澤1992)によって, 火砕岩のフィッシュトラック年代やK-Ar年代が明らかになり, 地層年代の再整理が行われている。ここでは, 主に鷹澤(1992)による地質区分に基づき地質の概要について述べる。

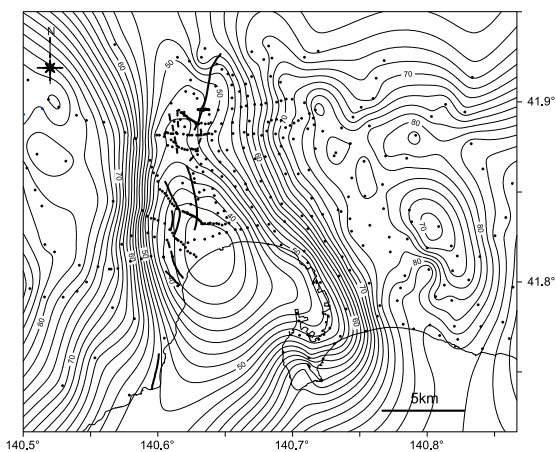
第3図に(独)産業技術総合研究所地質調査総合センター(2003)に基づいて加筆修正した地質図を示し, 第2表に地質総括表を示す。この地域の地質は大きく東西の2つの地域に区分される。西部には先第三紀の上礫層群を基盤として, 新第三紀の戸切川層, 戸田川層, 茂辺地川層が重なる。またその上位には, 更新世の富川層, 段丘堆積物, 火砕岩類などや完新世の沖積層, 崖錐堆積物が累重する。一方, 東部では戸井層を基盤とし, その上位に新第三紀の川汲層, 汐泊川層, 峠下火砕岩類が重なる。さらにその上位には第四紀の松倉川層, 函館山火山岩類, 段丘堆積物などがある。また, どちらの地域においても新第三紀層を貫くように玄武岩や安山岩などの火成岩類が進入している。

上礫層群・戸井層は, おもに粘板岩と硬質砂岩などから構成されており, 少量の石灰岩, 綠色岩, 珪質岩を挟んでいる。これらの地層は断層によって分布が複雑になっており, その層序や構造については明らかではない。

新第三系の地質は, 函館平野の東西で異なり, 一般に西部は堆積岩類が, 東部は火砕岩類が優勢である。堆積岩類の碎屑粒子も, 西部には粗粒なものが多いのに対し, 東部は細粒のものが多いという特徴がある。戸切地川層・川汲層は, 新第三紀の最下位の累層であり, 先第三紀層を不整合に覆う。地域によっては, これらを欠き, その上位の戸田川層・汐泊川層が先第三紀層を不整合に覆うこともある。西部の戸切地川層はおもに礫岩~粗粒砂岩で構成されるが, 川汲層は無層理の綠色凝灰岩から構成される。戸田川層・汐泊川層は, その上位の累層で本調査域全体を広く覆っているもので, おもに硬質頁岩と泥岩の互層からなり, 少量の砂岩や凝灰岩を挟在する。西部の戸田川層が硬質頁岩と泥岩の互層から成る単調な地質で構成されるのに対し, 東部の汐泊川層は凝灰角礫岩などの火砕岩を多く挟在する。茂辺地川層・峠下火砕岩類は, さらにその上位の累層である。このうちの峠下火砕岩類は, 本調査域の北部~北東部~東部~南東部にわた



第3図 地質図
((独)産業技術総合研究所 地質調査総合センター, 2003に加筆).
Fig. 3 Geological map
(modified in Geological Survey of Japan, AIST, 2003)



第4図 ブーゲ異常分布図(単位はmGal)
図中の黒丸は重力測定点. 太線は函館平野西縁断層(田近ほか, 1999).
Fig. 4 Bouguer anomaly map(unit: mGal)
Dots represent gravity stations. Bold lines are the Hakodate-heiya-seien Faults(Tajika et al., 1999)

って広く分布している. 一方, 茂辺地川層は, 北西部~南西部の狭い範囲にしか分布していない. これらの地質は同時異相の関係にある(田近ほか, 1999). 松倉川層は, 年代的に茂辺地川層に相当する(鷹澤ほか, 1986). これらの新第三紀層に進入する玄武岩や安山岩などの火成岩類は, 地表部ではその分布が限定され

ているが, 西部に比べて東部ではその分布域が広い. これらの火成岩類のほかには, 函館山周辺地域に分布する函館山火山岩類がある. 函館山火山岩類は, 石英安山岩質の溶岩と火砕岩から構成されており, 分布域で厚く発達している.

富川層はおもに礫岩と粗粒砂岩から構成される粗粒層である. 平野の西部に断続的に分布しており, 東部には分布が認められない.

重力調査

重力調査は, 函館平野を含む地域における広域的な重力異常を把握し, 温泉と地下構造の関連を調べるために行った. なお, 本調査地域の西縁部は, 1997~1998年に函館平野西縁断層帯の地下構造を調べるための重力調査が実施されているので(田近ほか, 1999), このデータも解析に用いた.

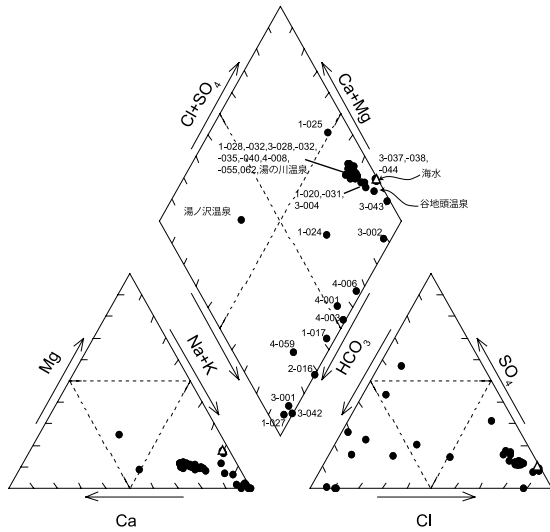
本調査における重力調査は144点で行い, 測定にはScintrex社製CG-3M自動重力計を用い, 測定点の座標はGPS(TOPCON社製LEGACY-H)を用いて決定した. 測定点の重力値は函館海洋気象台の一等重力点(980,400.55mGal, 現在は亡失)に準拠して求めた. 各測定点のブーゲ異常値は, 各点から半径80kmの範囲について, 本地域の平均的な密度を2670kg/m³としてブーゲ補正および地形補正(Yamamoto, 2002)を行って求めた.

このようにして得られたブーゲ異常分布を第4図に示す. 広域的なブーゲ異常の特徴は, 函館平野西側の上磯山地や東側の横津岳山地では70~80mGalの高異常が分布し, 断層帯に向かって値は35~45mGal程度と小さくなる盆状構造を示す. 低異常の中心部は地形的に最も低い平野中央部には一致せずそれよりも西側にずれている. ブーゲ異常の勾配は西側に比べて東側のほうが緩やかである, といったことがあげられる. このブーゲ異常分布と第3図で示した地質分布を比較すると, 断層帯周辺の低異常は堆積岩類の分布に, さらに西部に分布するブロック状の高異常は先第三紀層の上磯層群の分布に対応している. 一方, 東部は函館市鉄山や戸井町で先第三紀層の戸井層群が地表に露出していることから, 高異常は先第三紀基盤岩類に対応している. このため, ブーゲ異常は基本的には基盤岩上面の構造を反映していると思われる.

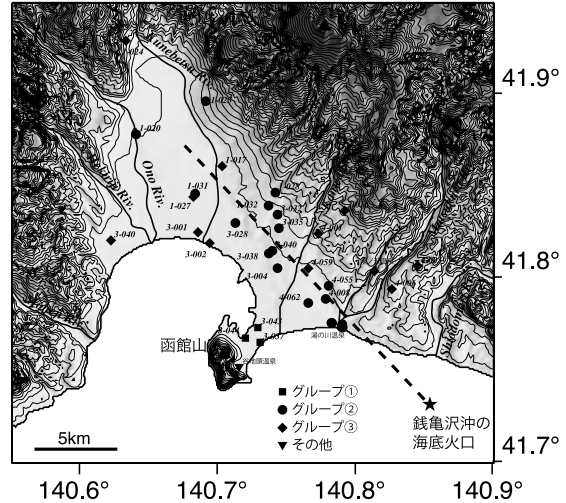
溶存化学組成

温泉の溶存化学組成については, 柴田ほか(2007, 2008a)に詳しく述べられている. ここではそれらに基づいて化学組成の概要を示す.

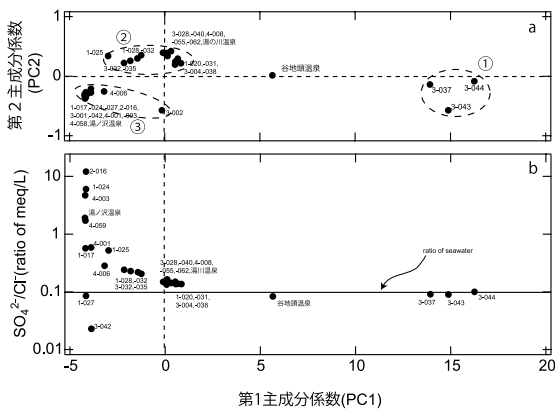
第5図に主要陽イオンと陰イオン濃度をプロットすると, 湯ノ沢温泉は表流水や浅層地下水でよく見られ



第5図 トリリニアダイアグラム (柴田ほか, 2008aに加筆).
Fig. 5 Tri-linear diagram of sample water chemistry (modified in Shibata et al, 2008a)



第7図 グループ(, ,)に分類した温泉の分布図 (柴田ほか, 2008aに加筆).
Fig. 7 Map showing sampling location of spring waters classified into the groups in Fig. 6 (i.e., , ,) in Hakodate Plane (modified in Shibata et al, 2008)



第6図 化学組成の主成分スコア(a)と第1主成分スコアとSO₄²⁻/Cl⁻比の関係(b) (柴田ほか, 2008aに加筆).
Fig. 6 Relationships between first and second principal components of chemical composition of the spring waters (A) and the first principal component (PC1) and SO₄²⁻/Cl⁻ ratio (B) (modified in Shibata et al, 2008a)

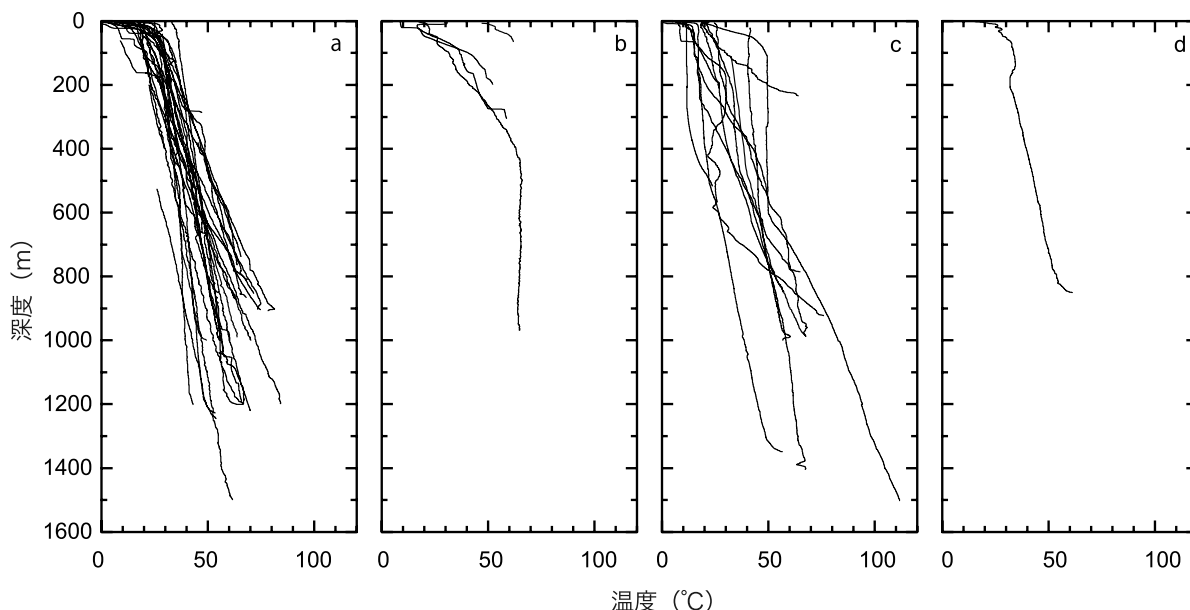
るアルカリ土類炭酸塩型の化学組成であり、1-025の試料はアルカリ土類非炭酸塩 - アルカリ非炭酸塩型の化学組成を示すが、その他の試料はアルカリ炭酸塩型やアルカリ非炭酸塩型 (綿抜, 1985)の化学組成の領域に幅広く分布する。平野部西側の海岸付近の泉源 (1-027, 3-001, 3-002, 3-042)は、硫酸イオン濃度が5mg/l以下である。これらの硫酸イオン濃度の低い温泉は有機物の存在により微褐色に着色しており、硫酸還元が起こる嫌気的な状態が示唆される。浅部の堆積物や平野部西側に分布する地層には垂炭・泥炭などが含まれており(田近ほか, 1999), 地下水はこの影響で嫌気的になったと考えられる。細菌による硫酸還元では、もとの硫酸よりも低い同位体比の硫化水素が生

成され、硫酸還元を免れて残存する硫酸の同位体比は高くなるがよく知られている。硫酸イオンの硫黄同位体比(³⁴S)の測定結果では、分析したほとんどの試料が海水における硫酸イオンの値(+20.3‰)よりも高い。これは細菌による硫酸還元を示唆している。一方、地点1-017, 1-025の硫黄同位体比は海水よりも低く、それぞれ+7.2‰および+18.8‰である。この低い同位体比は細菌による硫酸還元では説明することはできず、火山性流体や火山岩などの火山に関連した物質が寄与している可能性がある。

多変量解析の主成分分析結果を第6図に示す。ほとんどの試料は第1主成分軸上にあることから、その影響が大きい(第6a図)。また、第6b図に示したように、第1主成分スコアが大きくなるにつれ、SO₄²⁻/Cl⁻比が海水の値0.10に漸近している。このことはこの第1主成分係数は海水組成であることを示唆している。なお第6b図では、硫酸還元により硫酸イオン濃度が低くなった地点1-027, 3-042はこの漸近線からはずれ、また、硫酸イオン濃度が測定できなかった地点3-001, 3-002は示していない。

主成分分析の結果、各泉源は大きく、の3グループに分けられる。は、函館駅周辺の泉源から構成されており、海水の影響が他のグループの試料に比べて強い。には湯の川温泉や硫黄同位体比が低い1-025を含む泉源が含まれており、火山性流体や火山岩といった火山に関連した物質の影響を受けている。

にはアルカリ金属炭酸塩を示す温泉が多く含まれ、被圧地下水が起源である。一方、谷地頭温泉はこれらのグループに入らない。石川ほか(1962)によれば谷地頭温泉は函館山火山の爆裂火口底に存在し、函館山を起源とする火山に関連した物質に由来している(太



第8図 温度検層データ(柴田, 2008bに加筆)
 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. 8 Vertical distribution of underground temperature(modified in Shibata et al, 2008b)
 a: type of conduction dominated, b: type of upward flow, c: type of downward flow, and d: type of sideward flow.

ほか, 1959). このように谷地頭温泉は他とは異なり局所的に特殊な地質構造にあることから, これらのグループには属さないと思われる.

これらグループを地図に表すと第7図になる. に属する泉源は函館山近傍の北東部に, の泉源は北西-南東方向に直線的に位置する. その両側に の泉源が分布している. に属する泉源が分布している直線の南東延長上には銭亀沢の海底火口がある. これらの試料は火山に関連した物質の寄与を示している. また, 函館山南部海域~銭亀沢の海底火口では1978~80年にかけてマグマ活動とみられる群発地震が発生していることから, マグマ活動が終息したとは考えにくい(笠原, 1978; 本谷, 1979, 1980). したがって, に属する温泉は火山の影響を受けている可能性がある.

地下温度

地下温度については, 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定される. 本地域の地下温度については, 柴田ほか(2008b)に詳しく述べられているので, ここではそれらに基づいて温度構造の概要を示す.

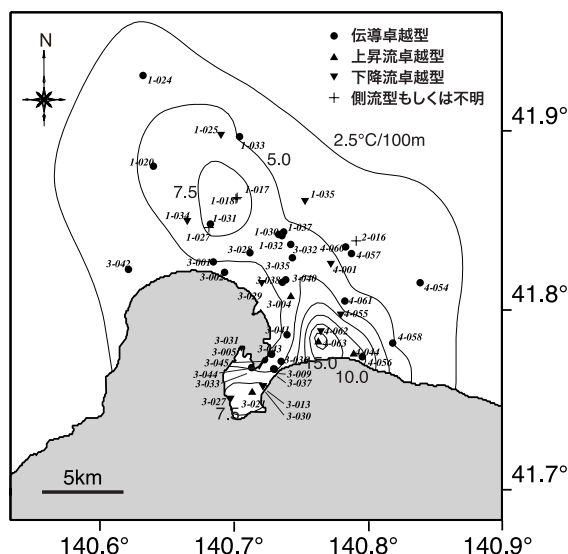
第8図には, 収集した温度検層のデータをそれぞれの特徴ごとに分けて示すとともに, それぞれの温度分布の特徴を模式的に示す. 鉛直温度分布の特性は, 熱伝導による伝導卓越型, 水の流動が関係した上昇流卓越型・下降流卓越型・側方流卓越型の4つに区分される(小川・金原, 1983; 若浜ほか, 1995). このように各泉源の鉛直温度勾配から, 函館平野の地温勾配分布

図を作成した(第9図). 地温勾配は3.0~79.4 /100mと幅広い値を示すが, 3.0~7.5 /100mのものが全体の80%以上を占める. また, 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. なお, 今回得られた高い温度勾配をもった分布域は, 溶存化学組成においてグループで示された火山に関連した物質の影響を受けている泉源分布と一致する. このことは温度勾配の高い地域では, 何らかの火山の影響を受けていると考えられる.

水位変化

調査期間中, 未利用井において水位観測を行った. 水位観測地点は1-030, 3-005, 3-031, 4-063である. 観測した水位データを第10図に示す. また, 函館市水道局と道保健福祉部医務薬務グループが観測している湯の川温泉にある2泉源と谷地頭温泉にある1泉源の水位観測データを併せて示す.

水位変化は各泉源によって異なっている. 溶存化学組成の結果においてグループに属する函館湾近傍にある3-005と3-031の水位は, 3-005では約2m a.s.l(標高水位)で, 3-031では約-5 m a.s.lを示し, 不規則に変動している. また, これまでの溶存化学組成の結果においてグループに属する1-030は単調な低下傾向を示し, 観測開始から2005年12月までの7ヶ月間は約0.4mの低下である. しかし, 2006年1月からは春期(4



第9図 地温勾配分布図(柴田ほか, 2008b)に加筆)
Fig. 9 Geothermal gradient map of Hakodate Plane
(modified in Shibata et al, 2008b)

～6月)にかけ水位が低く, 周期(10～12月)にかけ水位が高いという年周期を示し, 全体としては0.4m/年の低下である. 同じくグループに属する4-063は泉源の都合で観測期間が半年と短い, 1-030と同じような年周期変化を示すと推測される.

一方, 湯の川温泉にある2泉源の水位変化は, 1-030と同じ年周期変化を示し, 全体としては0.7m/年で水位低下している. ただし, yunokawa-1の水位は2007年6月に2mほど上昇している. この上昇原因は不明である. また, 谷地頭温泉にある泉源の水位は, 約-4m a.s.l.前後で不規則に変化している.

温泉水位の変化は温泉貯留層内の圧力変化を示している. 温泉開発が行われていない状態での貯留層内の圧力は, 深部の供給源からの温泉供給と周りの地層への拡散により, ほぼ一定に保たれている. しかし, ボーリングによる温泉開発などで貯留層から温泉を汲上げた場合, 供給量が汲上げ量よりも多い場合は, 地層内への拡散量が減少するだけで, 貯留層内の圧力はほぼ一定で保たれるため, 水位変化も一定であると考えられる. 例えば, グループに属する3-005, 3-031, 谷地頭温泉のような変化がこれに当てはまる. しかし, 貯留層からの汲上げ量が供給量よりも多くなった場合, 貯留層の圧力が減少し, 水位低下を示すとともに, 供給源の圧力変化を直接示すようになる. 湯の川温泉の2泉源と1-030の2006年1月以降の年周期を示した水位低下はこれに当てはまると考えられる.

湯の川温泉と1-030が同じような水位変化を示すことは, 溶存化学組成の結果において同じグループに属することと矛盾しない. しかし, 2005年5月から12月まで, 異なる水位変化をしていたことから, 1-030

の温泉貯留層と湯の川温泉のそれとは異なっていると考えられる.

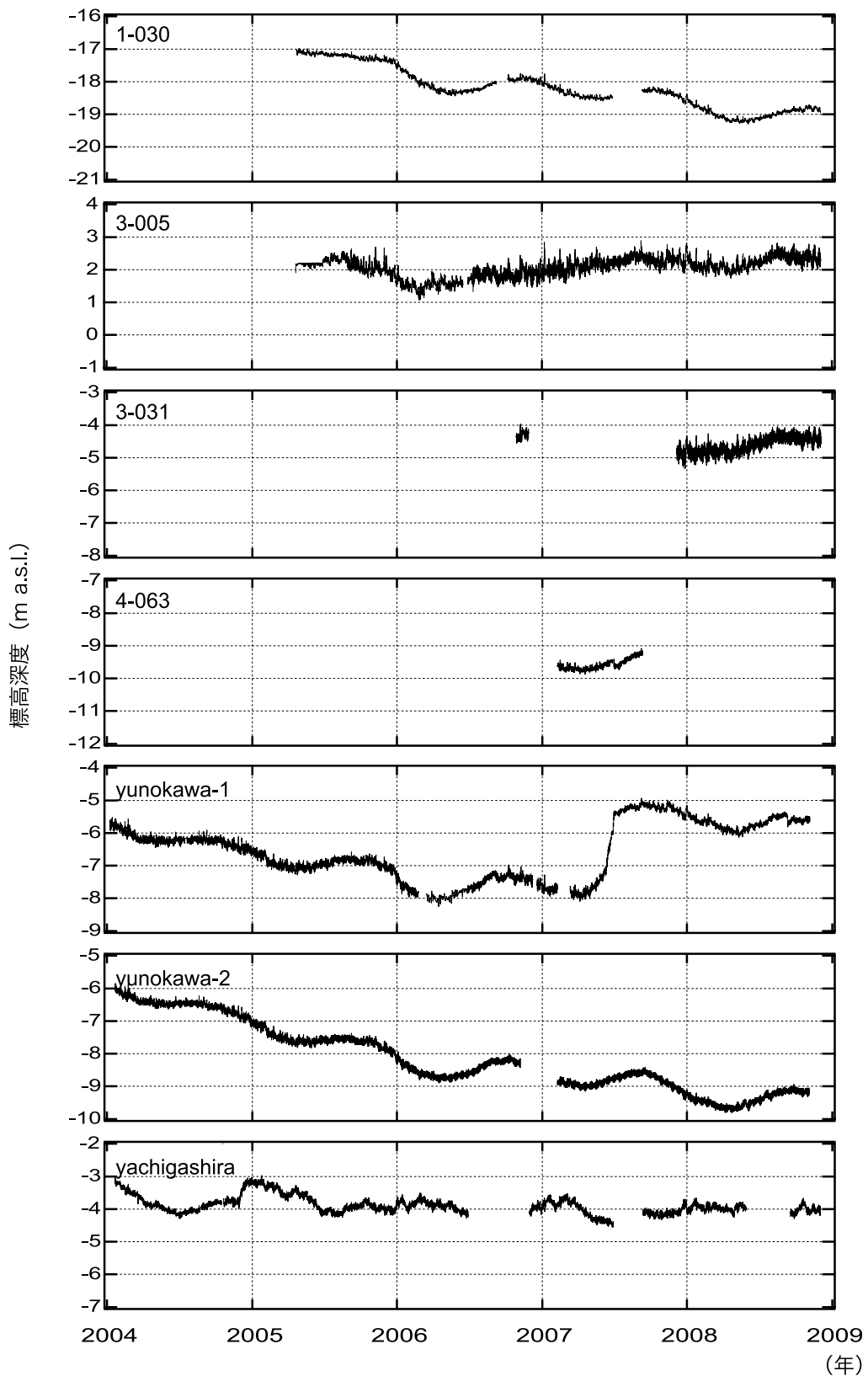
温泉貯留層の概念

これまで述べてきた溶存化学組成と地下温度の結果から, 大局的な地下深部の温泉貯留層は, 湯の川温泉を南東起点とし, 北西-南東方向に分布していると推定される. この北西-南東地域の温泉は, 火山に関連した物質の影響を受けている化学組成を示し, また, 他の地域よりも地温勾配が高いことから, この方向に沿って深部からの熱水の供給があると考えられる. この北西-南東方向は, ブーグ異常分布図によれば, 東部の高異常地域から平野中央部の低異常地域にかけ緩やかに変化している勾配(北北西-南南東)に平行しているのではなく, その勾配を横切っている. したがって, 先第三紀の基盤上面は, 南東部の湯の川温泉がある高異常地域から平野部中心部の低異常地域に緩やかに沈降していると考えられる. これは, 湯の川温泉から離れるに従い地温勾配が低くなることと調和的である. また, 地質概要で述べたように, 新第三紀層に玄武岩や安山岩などの火成岩類が広く進入している. そのため, これらの火成岩類の進入によって生じた亀裂が熱水の通路となり, 深部から熱水が供給され, 先第三紀層上面から戸田川層にかけ温泉貯留層を形成していると考えられる. 特に, 新第三紀層の下部層である戸切地川層は礫岩～粗粒砂岩から構成されており, 温泉を胚胎するには適した地層である. このような考えをもとに北西-南東方向の断面を概念図として第11図に示す. なお, 水位変化の結果から, 2006年1月以前の平野部と湯の川温泉の水位変化が異なっていたことから, 平野部の貯留層は湯の川温泉のものとは別のものと考えられる.

まとめ

函館平野では2008年までに温泉開発を目的に掘削された坑井が69井ある. 掘削深度は800m～1000mのものが多く, これらの坑井のうち現在利用しているものが36井である. 各泉源の湧出量は20～660 l/minであり, 泉温は27～76℃である. 総湧出量は現在利用されている36泉源を総計すると約12,400 l/min, 放出熱量は 58.6×10^7 cal/minとなる. 温泉の利用目的のほとんどが公衆浴場・宿泊施設での浴用である.

大部分の温泉はアルカリ炭酸塩型やアルカリ非炭酸塩型を示す. また, 多変量解析の結果から, 本地域の温泉は海水, 火山に関連した物質, 被圧地下水の3成分の混合で説明できる. 火山に関連した物質の影響を受けている温泉は北西-南東方向に直線的に



第10図 水位観測結果
Fig. 10 Change of water levels.

分布し、南東延長上には銭亀沢の海底火口がある。函館山南部海域～銭亀沢の海底火口では1978～80年にかけてマグマ活動とみられる群発地震が発生していたこ

とから(笠原, 1978; 本谷, 1979, 1980), 火山の影響を受けている可能性があり, 化学組成の結果と調和的である。

- 本谷義信(1979): 函館群発地震について(速報2). 北海道大学理学部地震観測センター速報, 5, 20-25.
- 本谷義信(1980): 函館群発地震について(速報3). 北海道大学理学部地震観測センター速報, 6, 20-22.
- 日本の地質『北海道地方』編集委員会(1990): 日本の地質1 北海道地方. 共立出版, 337p.
- 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, 78, 169-174.
- 柴田智郎・丸岡照幸・高橋徹哉・松田准一(2008a): 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, 42, 13-21.
- 柴田智郎・高橋徹哉・岡崎紀俊・大津直・秋田藤夫(2008b): 函館平野の熱水系における温度勾配. 北海道立地質研究所報告, 79, 53-57.
- 鈴木守・長谷川潔(1963): 函館市の地質. 北海道立地下資源調査所, 47p.
- 鈴木守・長谷川潔・三谷勝利(1969): 5万分の1地質図幅「東海」及び同説明書. 北海道開発庁, 33p.
- 鈴木隆広・高見雅三・秋田藤夫・藤本和徳・高橋徹哉・柴田智郎・小澤 聡・内野栄治・青柳直樹・中山憲司・佐藤郁夫(2008): 温泉資源の多目的利活用に向けた複合解析研究. 北海道立地質研究所調査研究報告. 37, 110p.
- 田近 淳・大津直・岡崎紀俊・鈴木隆広・平川一臣・伏島祐一郎(1999): 北海道活断層図 No2 函館平野西縁断層帯活断層図とその解説. 北海道, 65p.
- 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, 33, 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.
- 山縣耕太郎・町田 洋・新井房夫(1989): 銭亀 女那川テフラ: 津軽海峡函館沖から噴出した後期更新世のテフラ. 地理学評論, 62(A-3), 195-207.
- Yamamoto, A.(2002) Spherical terrain corrections for gravity using a digital elevation model gridded with nodes at every 50 m. J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., 11, 845-880.
- 若浜 洋・秋田藤夫・松波武雄(1995): 60万分の1北海道地温勾配図及び同説明書. 北海道立地下資源調査所, 44p.
- 綿抜邦彦(1985): 水質の表現と解析. 日本地下水学会誌, 27, 105-108.