
解 説

台湾および日本における高温酸性泉

(株)日本地科研究所

佐藤 幸二

(平成 17 年 10 月 26 日受付, 平成 17 年 12 月 15 日受理)

**Acid Spring Waters of High Temperature
in Taiwan and Japan**

Koji SATO

Nihon Chika Kenkyuusho

Abstract

Thermal waters of Peitou spring and Tamagawa spring, both yield Hokutolite, belong to the acid spring water of high temperature. Acid spring water of high temperature ($\text{pH} < 4$ and $\text{temp.} > 70^\circ\text{C}$) is supposed the product of active volcano, and in Taiwan, such springs exist only at the Tatun Shan volcano area. On the other hand, in Japan many springs are scattered.

In acid spring water of high temperature derived from the active volcano, the $\text{SO}_4 > \text{Cl}$ (in millival%) type is common in Japan. Among treated springs, the waters of Peitou and Tamagawa are characterized by the $\text{Cl} > \text{SO}_4$ type. Such spring waters ($\text{pH} < 4$, $\text{temp.} > 70^\circ\text{C}$ and $\text{Cl} > \text{SO}_4$) of Taiwan are recognized at 3 springs, Hsinpeitou, Matsao and Dapu. Tatun Shan volcano consists of hornblende andesite. In Japan, similar spring waters are detected at 11 springs. It is considered that they are derived from acidic volcanoes consist of hornblende andesite, dacite and liparite.

Besides at Peitou spring and Tamagawa spring, the generation of the lead bearing barite at Kawarage spring is known. But its radioactivity is very weak. It is suggested that the mineral similar to the Hokutolite is produced from the acid spring water of high temperature above introduced.

Key words : Taiwan and Japan, Acid spring water of high temperature, Hokutolite, Acidic volcanics

キーワード : 台湾及び日本, 高温酸性泉, 北投石, 酸性火山活動

1. 台湾および日本の高温酸性泉の分布

台湾にも日本にも多数の温泉があるが, その中で北投石 (含鉛重晶石で, 放射性を有する) を産する温泉は, 台湾の北投温泉と日本の玉川温泉とである. 両温泉とも高温の酸性泉という共通点が

ある. そこで泉温 70°C 以上, pH 4 以下という 2 つの条件を満たす高温酸性泉の分布をみると, 図 1 のように台湾では北部の大屯火山群の地区にのみみられる. 一方, 日本においては北海道から九州

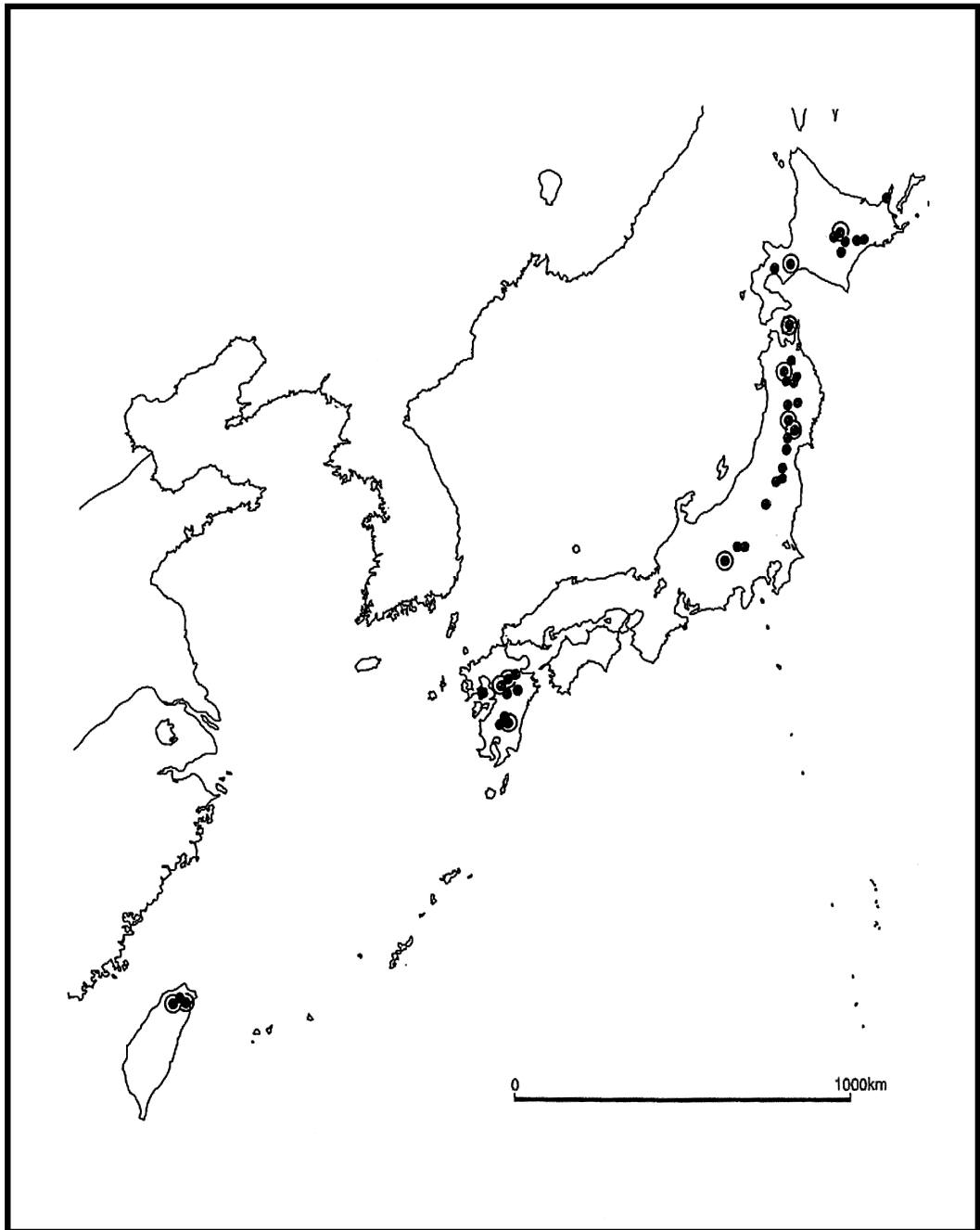


Fig. 1 Distribution of acid thermal spring of high temperature in Taiwan and Japan.

図 1 台湾および日本における高温酸性泉の分布

● : $\text{SO}_4 > \text{Cl}$ type, ⊙ : $\text{Cl} > \text{SO}_4$ type

にかけて、多くの高温酸性泉が散在している。もっとも本州の中部、近畿、中国、四国の諸地方と、奄美、琉球の諸島にはこのような温泉は見出されていない。

2. 高温酸性泉の比較

前述の2つの条件を満たす高温酸性泉として見出された台湾の7温泉、日本の50温泉を表1のように採り上げ、その泉温、pH値、総固体溶量、泉質、ClとSO₄のミリバル%、関連する火山の構成岩質を比較した。高温酸性泉は日本ではSO₄>Cl型（ミリバル%）すなわち硫酸塩泉である場合が圧倒的に多く、取り扱った50温泉のうちSO₄>Cl型は39温泉であり、台湾の7温泉のうち4温泉がSO₄>Cl型である。またSO₄>Cl型であってもClが20ミリバル%以上の温泉、すなわち副成分として塩化物を含むいわゆる含塩化物硫酸塩泉は、日本で7温泉が、台湾で3温泉がそれぞれ存在する。表1では、次項で述べるCl>SO₄型の温泉は全体を太字で示し、Clが20ミリバル%を越える温泉は、Clのミリバル%を太字で示している。これによれば日本の草津温泉はむしろSO₄=Cl型とした方がいいような温泉である。

3. Cl>SO₄型の高温酸性泉

北投石を産する温泉である北投温泉と玉川温泉は共にCl>SO₄型の高温酸性泉である。このような温泉はいわば塩化物泉あるいは含硫酸塩塩化物泉であって、あらためて火山名と共に表2に示すように台湾では3温泉があり日本では11温泉がある。ただし、日本の榮之尾温泉は総固体溶量が少なく、含硫酸塩塩化物泉型の単純温泉となる。その分布は、図1に二重丸で示すように、台湾北部の大屯火山地区、日本の北海道、東北、九州地方の他に、中部地方の蓼科温泉に見られる。

温泉をもたらす火山とそれを構成する岩質も同じ表に併せて示してある。その火山を構成する岩石の中で最も酸性と思われる岩質を示したものである。台湾の3温泉は角閃石安山岩よりなる大屯火山群に由来する温泉と考えられる。日本の11温泉のうち角閃石安山岩を伴う火山に由来するもの2（川原毛-高松岳火山、蓼科-八ヶ岳火山）、石英安山岩を伴う火山に由来するもの7（登別-倶多楽火山、恐山-恐山火山、玉川-秋田焼山火山、黒川-九重火山、柴石および鉄輪-鶴見・由布岳火山、榮之尾-霧島火山）、流紋岩を伴う火山に由来するもの2（旭岳-大雪山火山、女釜・男釜-鬼首火山）となっている。このようにCl>SO₄型の高温酸性泉は、酸性の火山岩を伴う火山に由来するもので、玄武岩や輝石安山岩といった基性の火山岩のみよりなる火山に由来するものはみられないといえるようである。

4. 北投、玉川温泉以外の含鉛重晶石

北投温泉、玉川温泉の他に、日本の川原毛温泉においては、北投石とよく似た含鉛重晶石の生成が知られている。含鉛重晶石の化学組成については多くの分析例があるが、そのうちの北投温泉での3例、玉川温泉での4例および川原毛温泉での3例を比較すると、表3に示すようになる。3温泉の含鉛重晶石はよく似た組成を示すが、川原毛産のものは鉛と珪素の含量がやや少ない他に放射性が極めて弱いという。

北投石を産出する北投、玉川の2温泉は、共に高温、酸性で成分的にはミリバル%でCl>SO₄の形をなしている。川原毛温泉も同じような含鉛重晶石を産する。そのような温泉は台湾、日本で14温泉あり、何れも酸性の火山活動に由来する。北投、玉川そして川原毛以外にも似たような鉱物が

Table 1-1 Acid thermal spring of high temperature in Taiwan

表 1-1 高温酸性泉 (台湾)

Temp. >70°C, pH < 4.0 (): Simple Spring

Spring	Temp.	pH	TDS	Characteristics	Cl	SO ₄	Volcanic rock	Data source
	°C		mg/l		mval %			
Hsinpeitou	98	1.6	8137	Na-Cl. SO₄	63.2	36.8	hornblende andesite	(6), (25)
Hsinpeitou	92	1.4		Na-SO ₄ . Cl	29.9	70.1	ditto	(6), (8)
Daikuanzui	70	1.6	2304	Na-SO ₄ . Cl	22.3	77.7	ditto	(6), (25)
Matsao	97	2.5	2410	Ca. Mg-SO ₄ . Cl	34.7	65.3	ditto	(6), (25)
Matsao	92	2.2		Ca. Mg-Cl. SO₄	66.8	33.2	ditto	(6), (25)
Sikuangzuiping	94	3.9	664	(Al. Mg-SO ₄)	4.2	95.8	ditto	(6), (25)
Dapu	90	2.4	2648	Na-Cl. SO₄	76.2	23.8	ditto	(6), (25)

Table 1-2 Acid thermal spring of high temperature in Japan

表 1-2 高温酸性泉 (日本)

Temp. >70°C, pH < 4.0, (): Simple Spring

Spring	Temp.	pH	TDS	Characteristics	Cl	SO ₄	Volcanic rock	Data source
	°C		mg/l		mval %			
Kamuiwakka	81.5	1.6	7791	Na. Mg-SO ₄ . Cl	31.1	66.8	andesite	4)
Pirikanepu	95.6	2.7	633	(Al. Mg-SO ₄)	3.9	95.8	dacite	4)
Hakudo	93.7	2.6	828	(Al-SO ₄)	2.6	97.2	ditto	4)
Shibukawa	86.8	3.1	335	(Mg. Na-SO ₄)	14.9	85.0	ditto	4)
Asahidake	92.8	0.6	4316	Al. Mn-Cl	90.7	9.3	liparite	3)
Anseikakou	92.6	2.1	2130	Al. Ca-SO ₄	19.4	80.1	ditto	3)
Yunosawa	79.1	1.8	9494	Mg. Al-SO ₄ . Cl	25.3	74.4	ditto	3)
Yanbetappu	92.2	2.4	1794	Al. Ca-SO ₄	1.7	98.3	ditto	3)
Goshiki	75.4	2.9	5270	Mg. Na-SO ₄ . Cl	34.6	64.2	andesite	2), 24)
Ooyunuma	95.2	1.1	653	(Ca. Na-SO ₄)	0.6	99.4	dacite	2), 24)
Noboribetsu	98.4	2.2	2640	Na-Cl. SO₄	45.3	36.1	ditto	2), 24)
Sukayu	90.7	1.0		Mg. Ca-SO ₄ . Cl	24.0	76.0	andesite	9), 22)
Toushichizawa	94.5	3.9	230	(Ca. Mg-SO ₄)		95.1	dacite	18), 21)
Minamishirasawa	96.0	3.9		(Ca. Na-SO ₄)		92.0	andesite	18), 21)
Sumikawa	83.0	2.2	1630	Mg. Ca-SO ₄		99.8	liparite	18)
Osoresan	77.2	2.3		Na-Cl. SO₄	63.9	35.7	dacite	22)
Goshogake	96.5	2.0	2340	Mg. Ca-SO ₄	0.1	99.9	ditto	18), 21)
Yakeyama	95.0	2.1	1850	Ca. Mg.-SO ₄	0.2	99.8	liparite	18), 21)
Oobuka	93.0	2.4		Mg. Ca-SO ₄	0.1	99.9	dacite	18), 21)
Niiyamazawa	98.0	2.0		Na. Mg-SO ₄	0.1	99.9	liparite	18), 21)
Sakebizawa	95.0	2.1	1910	Ca. Mg-SO ₄	0.6	99.4	ditto	18), 21)
Tamagawa	99.2	1.2	3700	Ca. Mg-Cl. SO₄	62.8	37.2	ditto	18), 21)
Yudamatazawa	95.0	1.2		Ca-SO ₄	0.6	99.4	dacite	18), 21)
Oogama	92.0	2.6	859	(Na-SO ₄)	11.0	89.0	andesite	18), 21)
Kogama	92.0	2.1	694	(Ca. Mg-SO ₄)	0.8	99.2	ditto	18), 21)

Table 1-2 Acid thermal spring of high temperature in Japan (continued)

表 1-2 高温酸性泉（日本）（続き）

Spring	Temp.	pH	TDS	Characteristics	Cl	SO ₄	Volcanic Rock	Data Source
	°C		mg/l		mval %			
Kawarage	99.2	1.4		Mg-Cl. SO₄	70.5	29.5	Hornblende Andesite	21)
Arayu	97.0	2.3		Na-SO ₄	7.8	92.2	ditto	21)
Inazumi	75.0	3.3		(Na. Ca-SO ₄)	12.8	87.2	ditto	21)
Arayu (Onikobe)	98.5	2.1		Na-SO ₄ . Cl	20.8	79.2	liparite	21)
Okunoin	100	2.4		Ca. Na-SO ₄ . Cl	22.1	77.9	ditto	21)
Megama. Ogama	98.8	2.3		Na-Cl. SO₄	61.3	38.7	ditto	21)
Chinoike	94.5	2.5		Na. Ca-SO ₄	2.4	97.6	ditto	21)
Kamoshika	83.0	2.6	629	(Ca. Mg-SO ₄)	6.5	93.5	andesite	20), 21)
Dake	88.5	2.5	444	(Ca. Na. Mg-SO ₄)	2.0	98.0	ditto	20)
Kusatsu	95.0	2.0	2183	Ca. Mg-SO ₄ . Cl	48.8	51.2	dacite	20)
Manza	95.0	2.0	1131	Na. Mg. Ca-SO ₄	19.1	80.9	ditto	20)
Tadeshina	87.0	2.8	2183	Na-Cl. SO₄	59.3	40.7	hornblende andesite	15)
Unzen	94	1.8	1685	Ca. Mg-SO ₄	0.7	99.3	dacite	13)
Suzumejigoku	73.1	2.6		(Mg. Ca-SO ₄)	3.9	96.1	ditto	13)
Kurokawa	98	3.4		Na-Cl. SO₄	65.6	34.4	ditto	13)
Tarutama	92	1.9		Ca. Mg-SO ₄	0.4	99.6	liparite	13)
Shibaseki	100	3.1		Na-Cl. SO₄	75.3	24.7	dacite	13)
Kannawa	100	3.8		Na-Cl	84.2	15.8	ditto	13)
Shiratori	98.5	3.7		(Ca. Mg-SO ₄)	8.8	87.4	ditto	13)
Kurinodake	95.2	3.1		(Ca. Mg-SO ₄)	16.8	83.2	ditto	13)
Yamashiro	83	2.4		Ca. Mg-SO ₄	0.9	99.1	ditto	13)
Ginyu	84	2.9		(Mg. Ca-SO ₄)	0.5	99.5	ditto	13)
Shiromizugoe	90.1	2.4		(Ca. Mg-SO ₄)	17.5	82.5	ditto	13)
Tearai	97.2	2.3		Ca. Mg-SO ₄	3.3	96.7	ditto	13)
Enoo	98.3	3.3	560	(Na-Cl. SO₄)	58.8	41.2	ditto	13)

産出する可能性があるのではなかろうか。

本報文は平成17年10月に台湾台北市で開催された北投石発現百周年記念暨温泉国際研討会のポスターセッションで発表したものを、加筆・訂正したものである。

Table 2 Acid thermal spring of high temperature (Cl>SO₄ type)

表 2 高温酸性泉 Cl>SO₄型の状況

Taiwan						
Spring	Temp.	pH	Cl	SO ₄	Volcano	Rock
	°C		mval %			
Hsinpeitou	98	1.6	63.2	36.8	Tatun Shan	hornblende andesite
Matsao	92	2.2	66.8	33.2	ditto	ditto
Dapu	90	2.4	76.2	23.8	ditto	ditto

Japan						
Spring	Temp.	pH	Cl	SO ₄	Volcano	Rock
	°C		mval %			
Asahidake	92.8	0.6	90.7	9.3	Taisetsusan	liparite
Noboribetsu	98.4	2.2	45.3	36.1	Kuttara	dacite
Osoresan	77.2	2.3	63.9	35.7	Osoresan	ditto
Tamagawa	99.2	1.2	62.8	37.2	Yaakeyama	ditto
Kawarage	99.2	1.4	70.5	29.5	Takamatsu dake	hornblende andesite
Megama・Ogama	98.8	2.3	61.3	38.7	Onikoube	liparite
Tadeshina	87.0	2.8	59.3	40.7	Yatsugatake	hornblende andesite
Kurokawa	98	3.4	65.6	34.4	Kujuu	dacite
Shibaseki	100	3.1	75.3	24.7	Tsurumi・Yufudake	ditto
Kannawa	100	3.8	84.2	15.8	Ditto	ditto
Enoo	98.3	3.3	58.8	41.2	Kirishima	ditto

Table 3 Chemical composition of lead bearing barite (in weight %)

表 3 含鉛重晶石の化学組成 (重量%で)

	Hokuto			Tamagawa				Kawarage			BaSO ₄	PbSO ₄
	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C		
SO ₃	30.18	30.53	30.01	31.45	30.46	33.86	31.43	33.06	33.71	34.42	34.30	26.40
PbO	21.96	20.78	21.12	15.17	7.17	1.31	6.45	3.68	1.46	3.07	—	73.60
BaO	32.04	}40.51	}39.93	}48.14	}53.57	}62.69	}55.44	}59.20	}63.21	}58.85	65.70	
SrO	0.93											
CaO	0.51	0.03	0.08	0.04	0.44	0.58	0.34	0.61	0.18	0.86		
Al ₂ O ₃	0.88	0.05	0.09	0.37	0.64	0.18	0.52	0.56	}0.69	0.43		
Fe ₂ O ₃	3.93	4.22	2.96	0.14	0.33	0.30	0.43			0.15		
MgO	1.04			0.20	0.25	0.13	0.25					
SiO ₂	1.27	3.58	5.62	2.65	7.19	0.84	4.61	1.89	0.65	1.64		
H ₂ O	2.53	0.06	0.08									
Total	95.90	99.76	99.89	98.16	100.05	99.89	99.47	99.00	99.90	99.56		
Data source	27)	10)	10)	27)	27)	27)	27)	19)	27)	27)		

参考文献

- 今回の検討に当っては多数の文献を参考にした。主な文献を次に挙げておく。
- 豊肥地熱地域地質図編集グループ (1982) : 豊肥地熱地域地質図, 地質調査所。
- 北海道立地下資源調査所 (1977) : 北海道の地熱・温泉 (B) 西南北海道北部, 地下資源調査所調査研究報告, 第4号。
- 北海道立地下資源調査所 (1979) : 北海道の地熱・温泉 (C) 北海道中央部, 地下資源調査所調査研究報告, 第7号。
- 北海道立地下資源調査所 (1980) : 北海道の地熱・温泉 (D) 北海道東部, 地下資源調査所調査研究報告, 第10号。
- Huang, C.S. (1998) : Geological map of Taiwan "Taipei" (1 : 50000), Central Geological Survey.
- Huang, C.W., Hsieh, C.H., Hsu, C.K., Chang, W.T., Dong, G.C. and Lu, S.C. (1997) : Chemical analysis of Peito Hot Spring Water, Proc. 3rd Conf. of SITH in Hakone.
- 金原啓司 (1992) : 日本温泉・鉱泉分布図及び一覧, 地質調査所。
- 北見 尹 (1990) : 台湾のエネルギー事情, 地熱エネルギー, **15**。
- 村岡洋文, 高倉伸一 (1988) : 八甲田地熱地域地質図, 地質調査所。
- Nagashima, K., Chiba, Y. and Takano, Y. (1963) : Analysis of Hokutolite from Hokuto Hot Spring, Formosa, *Geochem. of the Tamagawa Hot Spring*.
- 野口喜三雄, 相川嘉正, 村上悠紀雄 (1980) : 台湾北投温泉から採取した砂礫の放射性沈殿物, 温泉科学, **31**。
- Ohsawa, S. (2005) : Why does Hokutolite appear at the limited Hot Springs in the World?, *International Conf. on Centennial of Discovering Hokutolite and Hot Springs*.
- 阪口圭一, 野田徹郎, 高橋正明, 駒沢正夫 (2000) : 九州地熱資源図, 地質調査所。
- Sato, K. (1961) : On the Types of Japanese Volcanic Thermal Water, *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, **32**。
- 佐藤幸二 (1986) : 長野県蓼科高原の酸性塩化物泉の流動, 北村信教授記念地質学論文集。
- 佐々木信行, 綿抜邦彦 (1988) : 台湾北投温泉産含鉛重晶石 (北投石) の化学組成と格子定数, 温泉科学, **38**。
- 佐々木信行, 綿抜邦彦 (1990) : 低鉛含量の台湾北投温泉産含鉛重晶石 (北投石), 温泉科学, **40**。
- 仙岩地熱地域地質図編集グループ (1985) : 仙岩地熱地域地質図, 地質調査所。
- Shiikawa, M. and Yamaguchi, R. (1963) : On the Lead bearing Barite from the Kawarage Mine in Akita Prefecture, *Geochem. of the Tamagawa Hot Spring*.
- 高橋正明, 山口 靖, 野田徹郎, 駒沢正夫, 村田泰章, 玉生志朗 (1993) : 新潟地熱資源図, 地質調査所。
- 高橋正明, 駒沢正夫, 村田泰章, 玉生志朗 (1996) : 秋田地熱資源図, 地質調査所。
- 高橋正明, 駒沢正夫, 玉生志朗 (2001) : 青森地熱資源図, 地質調査所。
- Takano, B. and Watanuki, K., (1974) : Lead-bearing Barite from Kawarage Mine, Akita Prefecture, *Sci. Pap. Coll. Gen. Educ. Univ. of Tokyo*, **24**。
- 玉生志朗, 松波武雄, 金原啓司, 川村政和, 駒沢正夫, 阪口圭一 (2001) : 札幌地熱資源図, 地質調査所。
- 陳 肇夏 (1975) : 台湾温泉成因與地熱探勘之我見, 地質, **1**。
- 綿抜邦彦 (1971) : 酸性泉の化学, 温泉科学, **22**。
- 綿抜邦彦 (2003) : 温泉を訪ねて (その3) 玉川温泉と北投温泉, 地熱エネルギー, **28**。