

ニュージーランド Waiotapu 地熱地帯の シリカテラス形成に伴う 熱水の化学組成変化

九州大学生産科学研究所
古賀昭人, 田口幸洋

(昭和59年4月5日受理)

Chemical Characteristics of Thermal Flow-water forming the Silica Terrace, Waiotapu, New Zealand

Akito KOGA and Sachihito TAGUCHI

Research Institute of Industrial Science, Kyushu University

Abstract

Silica terraces have been forming widely at Waiotapu geothermal area in New Zealand. More than ten water samples were collected within 250 meters away from the outlet of the Champagne Pool to the end of the terrace, Bridal Veil Falls, and were analysed to make the silica-terrace formation mechanism clear.

The silica and calcium contents in the water decrease its amount during the flow on the terrace, while other chemical components increase due to the evaporation of the water : silica decreases 129 mg per liter of the discharging thermal water, and chloride ion concentrates 280 mg indicating 14.3 % of concentration degree by the evaporation. The silica lost from the water may have been contributing to form the silica terrace and calcium and magnesium may have deposited as carbonate by degassing of carbon dioxide at time. The decrease of arsenic content within 50 meters from the outlet is correspond to the distribution of orange-colored precipitates of arsenic sulfide.

1. はじめに

ニュージーランド北島の Waiotapu 地熱地帯はタウポ火山帯に属し、Fig. 1 に示すように Wairakei 地熱発電地帯と最大の温泉観光都市 Rotorua とのほぼ中間に位置しており、およそ 10 km の広がりを持っている。地熱ポテンシャルは優勢で、Champagne Pool や、そこから流れ出て下流に形成する巨大なシリカテラス、黄色や朱色の沈澱物、泥火山、噴気孔や硫気孔、更にソーブを入れると 1 時間も噴出が続く Lady Knox Geysers など観光客の目を楽しませている。

シリカテラスは深部の熱水だまりの温度が 180°C を超えているとき、湧出した熱水中のシリカが地表で沈積し始めたもので、シリカテラスの生成は地下の温度が極めて高いことを示すインディケーターである。本邦では大きなシリカテラスはないが、ニュージーランドではよく発達しており、特に Waiotapu のシリカテラスはニュージーランド最大といわれる。

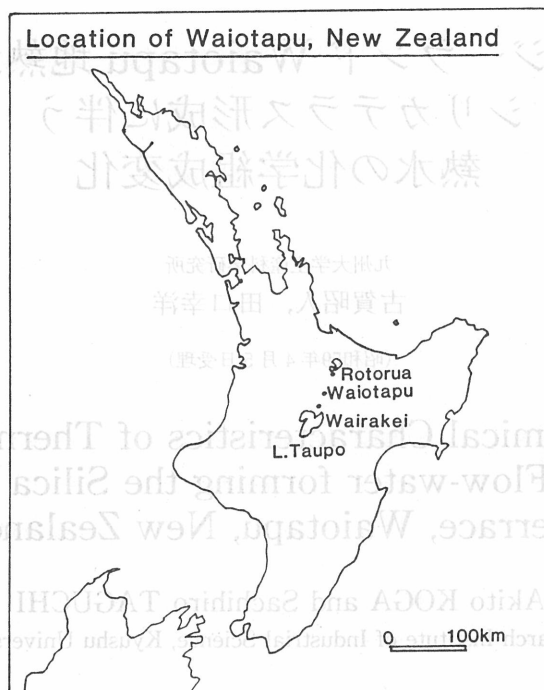


Fig. 1 Location map of Waiotapu.

著者らは、1982年8月にニュージーランド滞在中、当地を訪れシリカテラスの生成に興味を持ち、シリカテラス上の流水を採水し帰国後分析した。それらの結果について報告する。

2. シリカテラス形成に伴う熱水中の化学成分の変化

Waiotapu のシリカテラス周辺の地図は Fig. 2 に示す。直径は数十メートルで平均深度は約100 m の Champagne Pool はその名のように炭酸ガスの泡がふつふつとしており、遠くから見ると水蒸気の雲が湖面をおおっている。周辺は硅華で囲まれ、そこから湧出した温泉水は図のように250 m にわたって下流に流れ、末端の Bridal Veil Falls までシリカテラスを形成している。Champagne Pool の周辺や湧出直後のシリカテラス上では赤、ピンク、黄、緑の沈積物があり画家のパレットみたいにきれいである。

著者らは Champagne Pool の湧出口から250m 下流まで十数点にわたって水温測定と採水を行ない、帰国後それを分析した。Table 1 にその結果を示す。ここで Champagne Pool からの距離 0 m とは pool からの湧出の出口を示している。Table 1 を図示したのが Fig. 3 ~ 5 である。シリカテラス上の代表的な大きな変化は水温の低下と、それに伴う SiO_2 の濃度減少、およびシリカテラス上で蒸発濃縮現象が起っていることを示す Cl 濃度の増大であろう (Fig. 3)。pool から Bridal Veil Fall まで250m を流れる間に Cl は1956から2236ppm へ濃度が上昇している。この事はシリカテラス上で蒸発濃縮が行なわれている事を示し、1 l の水が0.875l に減じている。採水は冬季になされたが、夏季にはもっと濃縮度は高いであろう。一方、 SiO_2 量は濃縮に逆って減少するのだから、見掛上の差、470ppm(湧出口) - 390ppm(250 m 離れた所) = 80ppm の SiO_2 の減少だけでなく、もっと多量の SiO_2 量が析出しているはずであ

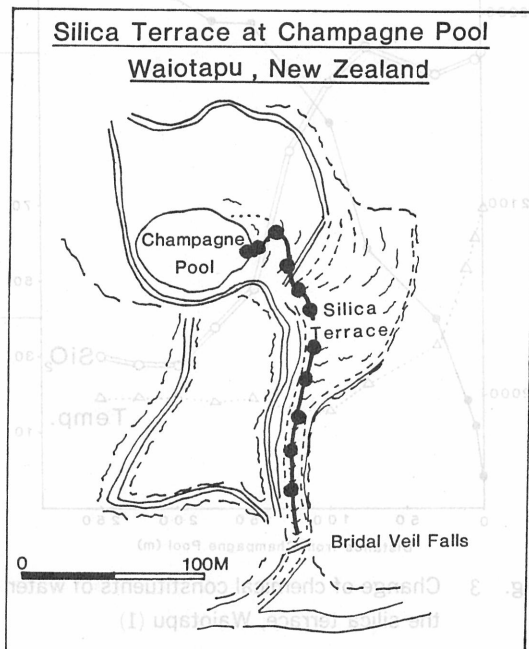


Fig. 2 Silica Terrace, Waiotapu : Black dots are sampling points.

Table 1 Chemical Composition of Water collected on the Silica Terrace (ppm)

Sampling : August 19, 1982

Distance from Champagne pool	Temp. (°C)	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	SO ₄	SiO ₂	HBO ₂	As	Na/K	Na/Ca	Cl/SO ₄	Cl/F	Cl/B
0m	69	1127	160	40.3	0.21	4.7	1956	114	470	106	3.4	12.0	48.6	46.5	223	22.8
2	68	1129	162	38.5	0.21	4.8	1958	111	467	107	3.6	11.8	51.0	47.8	219	22.6
5	61	1180	163	42.2	0.18	4.9	1983	115	450	108	4.8	12.3	48.6	46.7	217	22.7
10	53	1200	163	39.7	0.16	5.0	1996	130	464	109	1.3	12.5	52.6	41.6	214	22.6
30	33	1205	168	39.0	0.18	5.1	2040	121	472	110	1.5	12.2	53.7	45.7	214	22.9
75	23	1293	168	37.1	0.17	5.3	2077	101	467	114	2.3	13.1	60.6	55.7	210	22.5
100	16	1318	174	31.3	0.14	5.8	2143	93	462	118	3.4	12.9	73.2	62.4	198	22.4
125	16	1329	176	29.0	0.14	6.1	2170	106	444	118	4.6	12.8	79.7	55.4	176	22.7
150	19	1352	180	28.5	0.10	6.3	2196	111	408	119	6.1	12.8	82.5	53.6	187	22.8
175	18	1357	184	31.6	0.11	6.4	2196	107	398	119	6.3	12.5	74.7	55.6	184	22.8
200	19	1357	184	26.2	0.10	6.4	2210	111	388	120	7.5	12.5	90.0	53.9	185	22.8
225	19	1362	187	26.7	0.11	6.5	2223	120	388	122	6.9	12.4	88.7	50.2	183	22.5
250	19	1370	188	26.9	0.10	6.7	2236	125	390	124	6.7	12.4	88.6	48.4	179	22.3

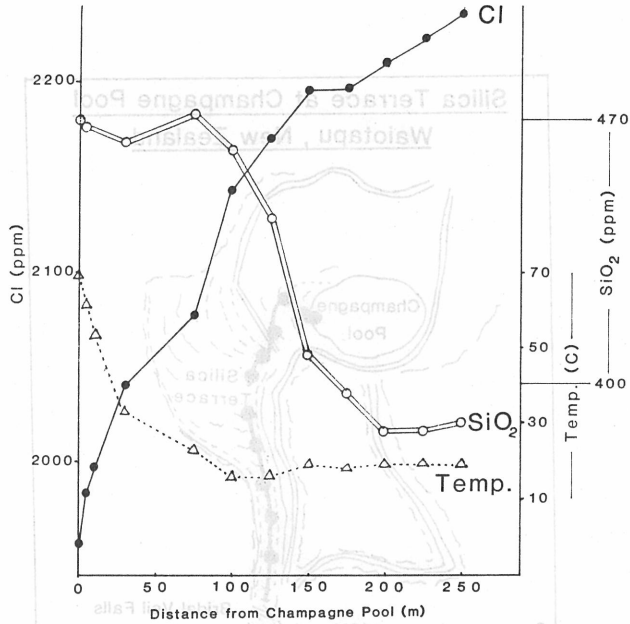


Fig. 3 Change of chemical constituents of water on the silica terrace, Waiotapu (1)

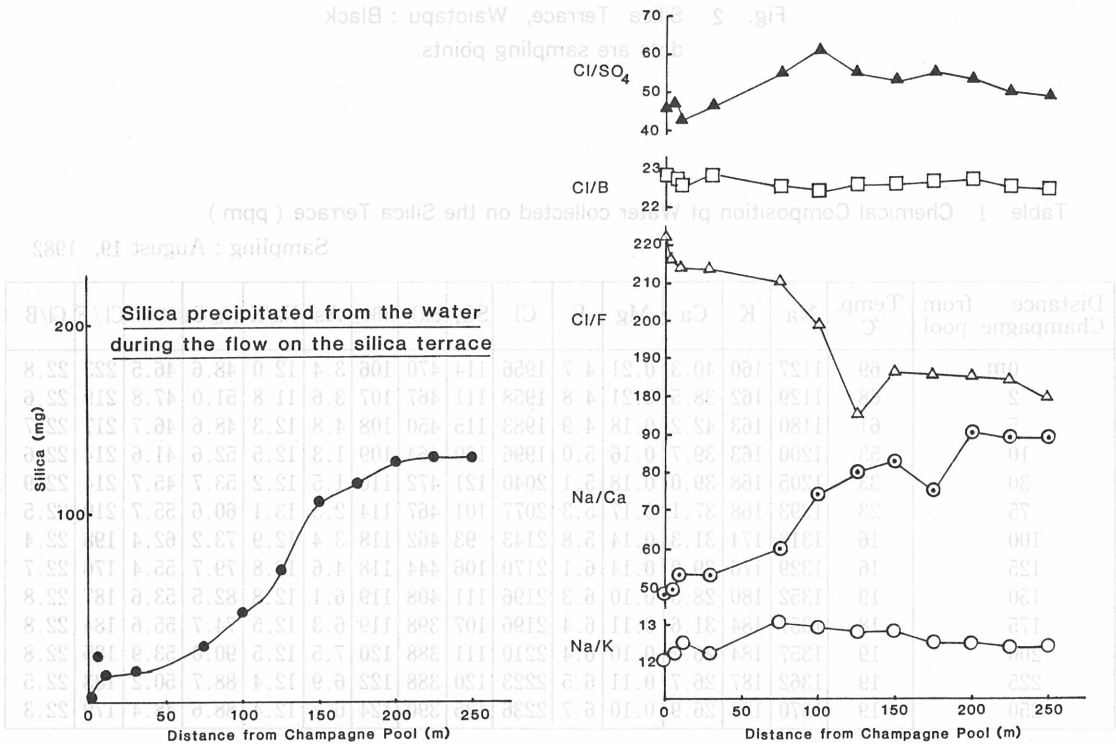


Fig. 4 Silica precipitated from the water during the flow on the silica terrace.

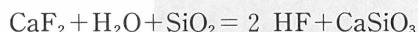
Fig. 5 Change of chemical constituents of water on the silica terrace, Waiotapu (2)

る。つまり、シリカテラス上で250m を流れる間に前述のように1 l の熱水は0.875l に体積を減じているのだから、もしシリカの沈積が起らなければ0.875l の SiO_2 量は470mg 含むべきだが、実際では390ppm であり0.875l 中には $390\text{mg} \times 0.875 = 341\text{mg}$ の SiO_2 が含有している計算になる。したがって、湧出した熱水1 l から $470\text{mg} - 341\text{mg} = 129\text{mg}$ の SiO_2 が250m 離れた所まで沈積したことになる。Fig. 4 に SiO_2 の減少ぶりを示すが、Fig. 3 と 4 から分るように75~200m 湧出口から離れた区間がもっとも SiO_2 を沈積しているようである。

Champagne Pool からの湧出量は凡そ10~20l/sec とされるから、これだと1日あたり100~200kg、1年には数十トンの SiO_2 が沈積してシリカテラスを作っている計算になる。実際には夏季と冬季では湧出量や蒸発量も異なるが、900年間におよそ50cm以上沈積してきたと言われている。

Fig. 5 に他の化学成分の変化を示す。BはClと同一行動をとり易いためにCl/B比は一定でNa/K比の変化も僅少である。Caは SiO_2 と同じく濃度が減少した成分であり、 CaCO_3 として沈積していくものと思われる。したがって、Na/Ca比はシリカテラス上で次第に増大していく傾向が見うけられる。

Fの濃度はClの濃度上昇よりも125m くらいまで急激に上昇している。Clの濃度上昇は蒸発濃縮を意味しているが、Fはそれ以上に濃度が高くなっている。一般に熱水中のF濃度は CaF_2 の溶解度によってコントロールされているが(温度が高いほど溶解度は減少)、熱水に無定形のシリカが存在すると次式の反応により溶液中のF濃度は増加する (Ellis, Mahon, 1964)。



Waiotapu のシリカテラス上で流水中のF濃度が増加するのは、このような理由によるものと思われる。

SO_4 の変動は複雑である。したがって、Cl/ SO_4 比も不規則に動いている。一方、Champagne Pool の周辺やシリカテラス上のオレンジ色の沈積物中には Table 2 のように Au, Ag, As, Sb, Tl, Hg などが多量に含まれているのは有名であり幾つかの研究がある (Weissberg 1969, Hedenquist 1983)。これらは溶液中の S^{2-} や HS^- イオンと強力な錯イオンを作る元素で安定であり、湧出してから H_2S の逸出や pH の変化で沈積すると言われており、Cu, Zn, pb が地下で落ちるとは異なる沈積のメカニズムである。

本調査では、これらの元素中では流水中の As だけを分析しているが、As は流れる間に10~100 m 間で吸着減少していても全体では濃縮の方向に進んでいる。この事は、上述のように湧出口からしばらくはオレンジ色の沈積物があり、Table 2 のようにシリカテラス上で5500ppm の As が沈積している事実からも首肯される。しかし、流水中の As 含量が再び増加するという興味ある行動は各サンプリングポイントでシリカテラスそのものの試料を採り As を分析すれば説明可能であろう。

一般に As は鉄質沈殿物に多く吸着沈積するが、シリカにはそれ程でないと言われる。Weiss-

Table 2 Waiotapu surface precious and base metal assay analysis (ppm)

Sample Description			Au	Ag	As	Sb	Tl	Hg	Pb	Zn
Champagne pool,	orange precip		80	175	20,000	20,000	320	170	15	50
Champagne pool,	sinter (bulk)		12	3.7	12,000	600	280	90	<5	5
Silica Terrace,	orange sinter		2.4	2.0	5,500	440	40	16	<5	<5

(Hedenquist, 1983)

berg (1969) によれば Au, Ag, Sb, Tl は熱水中の 0.5~5% が無定形のシリカ上に沈積するとされるが, As は僅かに $9 \times 10^{-5}\%$ としている. 多分, 安定なコロイド状として分散するものと思われる. このように As のシリカテラス上への沈積は強固なものではなく, 流水の性質の変化によっては再度の As の溶脱が考えられる. As は硫化物として沈積していると思われるが, 流水中の As の濃度が減少した区間 (10~100m 間) は SO_4 濃度も変動が起っており, 採水直後にぜひとも pH を測定すべきだったと悔まれる.

以上のように Champagne Pool から湧出した熱水は流れている間に化学変化を起し, CO_2 が逃げ H_2S も消失し As, Sb, Au, Ag などの共沈物を残し, SiO_2 は過飽和となっているため, 重合沈積を起し巨大なテラスを作製していったと考えられる. Ca も同様だが, 他の大部分の化学成分は流れている間に蒸発濃縮して下流の Bridal Veil Falls の滝となる.

Fig. 6 は Waiotapu のシリカテラスの一部分の写真である. 鐘乳洞の百枚皿や千枚皿形式そのままにシリカテラスも生成しているようだが, 炭酸カルシウムと違って一つの皿から次の皿に移る縁の高さが低くて小型である. 流水は一つの皿を充したのち, 溢れて下段の皿に移るといった形態を保っており, 蒸発濃縮度は飛躍的に増大していると考えられる.



Fig. 6 Silica terrace at Waiotapu.

Sample No.	Hg	Pb	Zn
Champagne pool	170	15	50
Champagne pool	90	> 5	5
Silica Terrace	15	> 5	> 5

