HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	3. 阿寒湖の温泉湧壺についての予備的調査
Author(s)	福富, 孝治; 藤木, 忠美; 須川, 明
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 21, 23-31
Issue Date	1969-02-15
DOI	10.14943/gbhu.21.23
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/13951
Type	bulletin (article)
File Information	21_p23-31.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

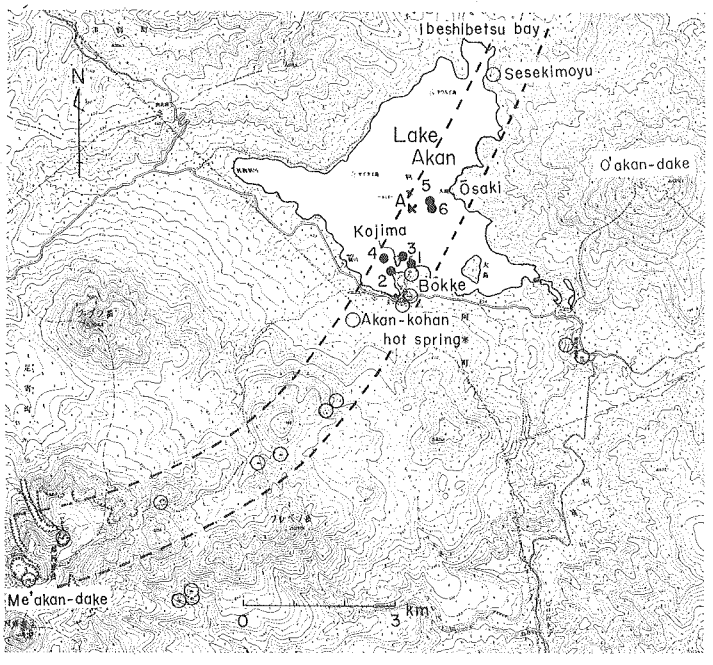
3. 阿寒湖の温泉湧壺についての予備的調査

福富孝治・藤木忠美・須川　明*
(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和43年9月受理 —

I. 序　　言

阿寒湖付近の温泉の多くは，第1図に白丸で示したように，雌阿寒岳付近から阿寒湖畔温泉を結ぶほぼ南西から北東に向う帯状地域内に分布する[1]。阿寒湖北岸イベシベツ湾入口東岸に湧出する温度29.6℃のセセキモユ[2]（アイヌ語で温い湾の意）微温泉はこの帯状地域の延長上にあることから，その中間の阿寒湖底にもいくつか温泉の湧出個所があるのではないかと考えられた。阿寒湖は冬季には全面凍結するが，土地の人の話によれば，結氷中に湧壺と土地の



第1図　阿寒湖付近の温泉（図中白丸）と阿寒湖中の湧壺（図中黒丸）の分布図

Fig. 1.　Map showing the locations of hot springs in the neighborhood of Lake Akan and those of unfrozen pools in level-ice of the lake.

---

*　現在は群馬大学教育学部地学教室

1)　福富孝治・須川　明・藤木忠美；阿寒湖畔温泉について，北海道衛生部編，北海道温泉調査報告，**5** (昭32), 15–25.

2)　福富孝治・楠　宏・田畑忠司；昭和25年9月並に昭和26年8月における阿寒湖チュルイ，イベシベツ両湾の陸水学的調査，マリモ専門委員会編 (昭27), 67–101.

人が呼んでいる凍結しない小池状の穴が数個所認められるとのことであったので，その位置と状況を観察する目的で昭和32年3月現地の予備的踏査を行なった。

その後，本調査を行なう機会なく今日に及んだのと，これら湧壺については他に報告されたものもないので，一応予備的調査の結果を以下に簡単に報告することにした。

II. 湧壺の位置

この調査当時（昭和32年3月6～8日）の状況は，気温 −10°C，阿寒湖の結氷の厚さ40 cm，全層透明氷から成り表面にはおよそ10 cm の積雪または雪氷があった。広い平らな結氷上では眼高が低いため視界が狭く，湧壺の発見はなかなか困難であったが，それでも第1図中に黒丸でその位置を示したように，6個所の湧壺を見つけた。これらの位置は湖中の4つの小島と大崎先端を基準とし prismatic compass を用いて求めた。

図中，白丸は陸上における天然湧出の温泉の位置を示し，掛印 A は湖中の普通の場所の代表として水温の垂直分布を測定した位置である。

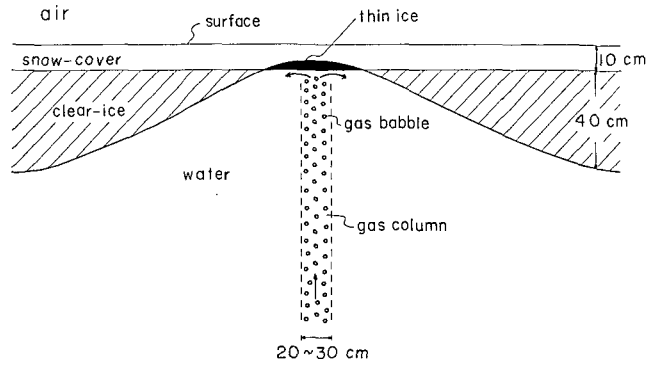
これらの湧壺の位置は，図から判るように，予想の通り阿寒湖畔ボッケ噴気孔を通ってほぼ南西から北東に走る温泉の帯状分布域の延長上に存在しており，湧壺が温泉現象と密接な関係をもつことを示している。

III. 湧壺の状況の観察

筆者らが発見した6カ所の湧壺の内，No. 1～No. 3は水深が極めて浅い所にあり，No. 4～No. 6は水深が26～32 m で深く，湧壺の成因が両者では違っていると思われるので2つに分けて説明する。

1. 水深の浅い湧壺

阿寒湖畔のボッケ噴気孔近くの湖中の湧壺 No. 1～No. 3は水深も極めて浅く水温が普通の場所よりもかなり高くなっている。例えば，小島北東端の湧壺 No. 3は長軸7 m，短軸5 m の楕円形に近い氷の孔で水深は20～27 cm である。水温は孔の周辺部で6.0°C，中央部では26.5°C であって，湖底に温泉が湧出しその熱のために水が凍結しないことを示している。これらの湧壺では顕著な gas の噴出は認められなかった。



第2図　湧壺 No. 4 の断面略図

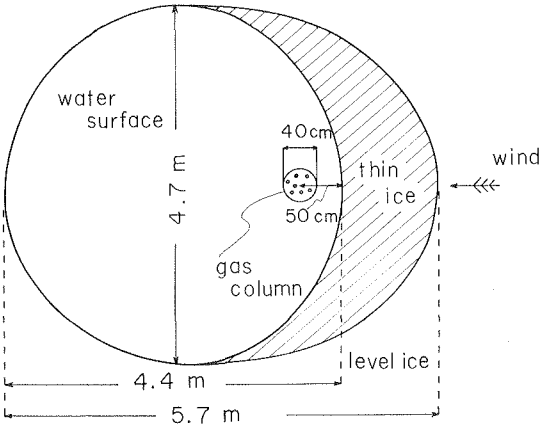
Fig. 2. Schematic map of pool No. 4 in elevation.

2. 水深の大きい湧壺

湧壺 No. 4はボッケ噴気孔

の北西およそ500 mにあって水深26.1 m，筆者らの調査の際は水面は見られなかったが，曽って馬が落ちこんだということで付近に標識が立ててあった。積雪を除くと積雪の下部が薄い雪氷となっており，それを除くと水面があり水中から直径20～30 cmの円筒状の部分内にgasが密集して上昇しているのが見られた。このgas柱の中心軸から離れる程結氷の厚さが厚くなった。すなわち，0.4 mで氷厚0 cm，0.7 mで5 cm，1 mで8 cm，1.25 mで13 cmであった。第2図はその垂直断面の大要を示したものである。水温はgas柱の表面で0.7℃であった。湖底の水温はgas柱から少し離れた所で5.1℃および3.9℃を示し，gas柱の直下と思われる所では5.4℃であった。

湧壺No. 5は湖心から少し雄阿寒岳寄りの所にあり（第1図参照），その大要を平面図として第3図に示した。第4図(A)および(B)はその写真を示したものである。図から判るように，湧壺は長い方の直径5.7 m，短い方の直径4.7 mの



第3図 湧壺 No. 5 の見取図

Fig. 3. Schematic map of pool No. 5 in plane.

第4図 (A) 阿寒湖結氷中の湧壺 No. 5（後の山は雄阿寒岳）

Fig. 4 (A). Photo of unfrozen pool No. 5 in level-ice of Lake Akan. (The mountain in the back is Mt. O'Akan)

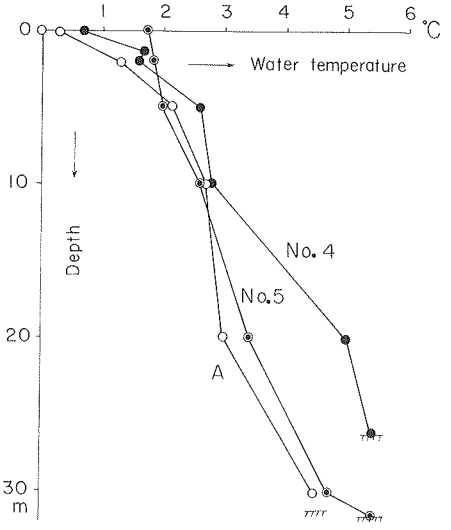
第4図 (B)　阿寒湖結氷中の湧壺 No. 5 (噴煙中の山は雌阿寒岳)

Fig. 4 (B). Photo of unfrozen pool No. 5 in level-ice of Lake Akan (Smoking mountain in the back is active volcano Me'Akan).

楕円形で，その長軸は平均風向とほぼ一致するが，gas 柱の中心軸は孔の風上側に寄っている。gas 柱の直径はおよそ 40 cm であったが，その表面水温は 1.7°C で孔の中心では 1.8°C であった。この地点の水深は 31.5 m で底の水温は孔の中央および周辺の直下で 5.3°C, gas 柱の直下と思われる所で 5.5°C であった。

湧壺 No. 6 は No. 5 の南南東 74 m の所にあり，その状況は No. 5 とよく似ているが，No. 5 より少し規模が小さく，湧壺の大きさは平均直径 3 m ぐらいであった。

第5図は湧壺 No. 4 および No. 5 の gas 柱の中と思われる部分において深さと水温との関係を示したものであり，白丸は阿寒湖湖心部の第1図中に掛印で示した湧壺ではない A 地点 (水深 31.1 m) における同様な関係を対照として掲げた



第5図　湧壺 No. 4, No. 5 および対照のための普通の場所 A における水温の鉛直分布

Fig. 5. Vertical distribution of water temperature at the unfrozen pools No. 4 and No. 5, and that at the normal place A for the contrast.

ものである。これらの水温は湖水用顛倒温度計を用いて測定した。

白丸の関係から判るように，この調査時には阿寒湖の水は冬季停滞期にあり，結氷の直下は水温 0°C で下層にゆくほど水温が僅かに上昇し底部では水の最大密度に近い 4.5°C の水温を示している。すなわち，水面から深さ 26 m ぐらいまではやや安定な成層状態を示していることが推察される。しかし，湧壺の gas 柱の部分はこの対照温度に対し僅かに水温が高いことが第 5 図から推察される。

gas 柱に水面から鉛直に 1 m の物指を挿入し，小さく切ったうすいちり紙を棒の先でこの深さまで押込んで離し上昇流を測定し，また gas 泡の大きさおよび gas 泡の上昇速度をはかり，また gas 柱 1 m 中の gas 泡の概数を見積った。これらの簡単な観察結果を纏めて第 1 表に示した。

第 1 表 湧壺特に gas 柱についての観察結果

Table 1. Result of observation on unfrozen pools in lake-ice of Akan.

観察の項目	記号 Notation	湧壺の No. St. 4	湧壺の No. St. 5
湧壺の平均直径 (Mean dia. of an unfrozen pool in level-ice)	$2a$	1 m	5 m
gas 柱の直径 (Dia. of gas column)	$2R$	20～30 cm	40 cm
gas 泡の直径 (Dia. of a gas bubble)	$2r$	0.5 cm	1 cm
gas 泡の平均上昇速度 (Mean ascending velocity of a bubble)	v		30 cm/sec*
gas 柱 1 m 当り gas の泡概数 (Estimated number of gas bubbles contained in gas column of 1 m in length)	N	50～100	50～100
上昇流の速さ (Velocity of ascending water)	$\bar{u}$	4.2 cm/sec**	

* 10 回の測定の平均，** 5 回の測定の平均。

IV. 観察結果についての考察

阿寒湖の結氷中に見られる湧壺のうち，水深の極めて浅いものについては，その部分で水温が 20 数度もあることから考えて，湖底から湧出する温泉の熱によって部分的に凍結せずに湧壺となっていることは間違いない。

水深の大きい湧壺の場合にも，第 5 図から判るように，湖底の水温は普通の場所よりもいくらか (1°C 程度) 高く，また湧壺の水温垂直分布は周囲の水温垂直分布よりも僅かに温度の高い側にずれているので，湧壺の底から周囲よりも少し温度の高い水が湧出していることは推察される。しかし，この程度周囲よりも温度が高いということだけでは，この水を底から水面まで持ち上げる浮力を得ることは困難である。

例えば，湧壺 No. 4 の場合において水深 26 m の湖底で 5.4°C の水が浮力によって上昇しながら周囲の水の冷却と混合で温度が低下して第 5 図 No. 4 の水温垂直分布となったと仮定しよう。周知のように，水は 4°C で最大密度となるが，その前後では密度が少し減少し，その変

化率は 0.15×10^{-4} g/cm^3-°C 程度であるから，底で 5.4°C の水が深さ 20 m まで上昇すれば周囲の水と等密度となり，深さ 20 m 以浅では水柱の密度は却って周囲の水よりも大きくなり，深さ 15 m に至れば更に上の水よりも重くなって上昇は困難である。すなわち，湧壺の水底の温度が 5.4°C 程度では周囲の水との温度差に起因する浮力で水面まで上昇流をおこすことはできない。

水深の大きい湧壺の場合には常にその中に gas 柱が観察されたことを考慮すれば，air-rift pump と同じ機構で gas 泡の上昇に伴う摩擦力によりその部分の水に第1表に示した流速の上昇流が起こっていると考えるのが妥当であろう。その結果，第5図 No. 4 および No. 5 のような水温垂直分布となり，水の凍結温度よりも少し温度の高い水が下方から水面へ絶えず供給されるためにその部分の水面の凍結を妨げていると思われる。

以下に概略ではあるが，この推論について定量的検討を加えてみよう。まず，水底から上昇する gas 泡が水面下 1 m 以内の深さで鉛直軸をもつ円筒（半径 R）の内部に一様に分布し，このために円筒内部にだけ平均流速 $\bar{u}$ の上昇流を生じており（gas 柱の周囲で流速 $u=0$ と仮定），gas 泡も水の運動も定常状態に達していると仮定すれば，近似的に

$$\bar{u}=\frac{\pi r^3}{6\mu\rho_w}g(\rho_w-\rho_g)nR^2=\frac{(N/100)}{6\mu\rho_w}r^3g(\rho_w-\rho_g) \qquad (1)$$

で与えられる。但し，r は gas 泡の半径，R は gas 柱の半径，n は gas 柱内の単位体積に含まれる gas 泡数，N は gas 柱の長さ 1 m の範囲内の gas 泡数，g は重力の加速度，ρ_w および ρ_g はそれぞれ水および gas の密度，μ は円筒内の水の渦動粘性係数である。

問題の gas は温泉に伴うものと考えられるが，温泉 gas 中最も広く多量に含まれるのは CO_2 であるので，この gas を CO_2 とみなすと 0°C，1 気圧において $\rho_g=0.00198$ であり，概算であるから $\rho_w-\rho_g\simeq1.0$ と考えて差し支えない。μ の値は寒海においては 5～10 cm^2/sec，海氷下の微弱な流れに対し 1 cm^2/sec 程度であることが知られているので，$\mu=1\sim5$ cm^2/sec を採用し，$g=980$ cm/sec^2，湧壺の測定結果の平均値として $2r=0.75$ cm，$N=75$ を採用すると (1) 式から $\bar{u}=6.7\sim1.3$ cm/sec が得られる。この値は湧壺の上昇流の測定値 $\bar{u}=4.2$ cm/sec とその程度において一致している。

次に，湧壺を円形としてその半径を a，gas 柱の水面における温度を θ，湧壺水面の平均温度を θ_0，気温を θ_a，水面から空気への放熱係数を K（ただし，水の蒸発に要する熱もこれに含めるものとする），水の比熱を c とおき，gas 泡の上昇によって起こされた上昇流によって下方から運ばれた熱が全部湧壺の水面から NEWTON の冷却によって失われていると仮定すれば

$$\pi R^2\bar{u}\rho_w c(\theta-\theta_0)=K\pi a^2(\theta_0-\theta_a) \qquad (2)$$

なる関係があるから

$$a=\left\{\left(\frac{\theta-\theta_0}{\theta_0-\theta_a}\right)\bar{u}\Big/\left(\frac{K}{\rho_w c}\right)\right\}^{\frac{1}{2}}R \qquad (3)$$

が得られる。

観測当時は $\theta_a=-10°C$, 風速は 5 m/sec 程度であったが，福富[3] の実験によれば風速 5 m/sec に対しては $\frac{K}{\rho_w c}=1.7$ m/day$=2.0\times10^{-3}$ cm/sec である。湧壺 No. 4 の測定から $\bar{u}=4.2$cm/sec を採用し，θ_0 の概値として 0°C を仮定する。

湧壺 No. 5 に対しては観察から $2R=40$ cm, $\theta=1.7°C$ として (3) 式に代入すれば $2a=7.6$ m を得る。No. 5 の観察された湧壺の平均直径は $2a\simeq5$ m であって計算値は少し大き過ぎるが，実際は湧壺付近の結氷の厚さがかなり薄くなっており，これらの結氷を通じて熱伝導で失われる熱も考慮すべきであるから，上記の簡単な計算から出された $2a$ の値は大体観測値と一致していると考えられる。

湧壺 No. 4 に対しては観察から $2R=25$ cm, $\theta=0.7°C$ を (3) 式に代入すれば $2a=3.0$ m が得られた。No. 4 は観察当時には表面が薄い雪氷で覆われていたので上記の計算を適用することは問題であるが，風の弱い比較的暖かい日には湧壺の水面が露出する可能性があるので，その場合には適用可能である。何故ならば，薄い積雪の下では gas 柱の周囲の直径約 1 m の部分が結氷しておらず，その周囲でも結氷が薄くなっていることは前に述べた。すなわち，この場合も計算された $2a$ の値はその order は実際と合致していると考えられる。観測時には第 2 図に示したように，雪で覆われていたのは強風による流雪と冷却によって，その水面に一時的に雪氷を生じたが，雪氷の水面下の部分は融解し，水面上の部分が残ってその上に雪が積ったのではあるまいか。

すなわち，No. 4 のような湧壺は積雪のある場合には発見がむずかしく，また危険である。土地の人の話では阿寒湖には No. 4 以外にもこの種の湧壺が存在するとのことであったが，この度の調査では確認することができなかった。

V. 総括ならびに結語

昭和 32 年 3 月 6～8 日北海道阿寒湖の結氷中に見られる湧壺（すなわち凍結しないで小水面が露出している結氷中の穴）の予備的調査を行なったが，平均直径 1～6 m 程度の 6 個の湧壺を発見した（第 1 図中黒丸および第 4 図写真参照)。これらについての考察の結果を要約すれば次のようである。

(1) 阿寒湖付近の温泉（第 1 図中白丸）の多くは阿寒湖畔温泉を通りほぼ南西から北東に走る帯状地域内に分布するが，阿寒湖中の 6 個の湧壺もこの帯状地域内に存在し，湧壺と温泉とが関係のあることを暗示する。

(2) 6 個の湧壺の中 No. 1～3 の 3 個は阿寒湖畔ボッケ噴気孔に近い湖岸付近の水深 1 m 以下の浅い湖中に存在し，水温がやや高いことから湖底から湧出した温泉によって生じたものであることが推察された。

3) 福富孝治；海氷の研究（第 3 報）沿岸海氷の生成についての理論的考察，低温科学，**3** (1950), 137.

(3) 他の湧壺 No. 4～6 は湖岸からかなり離れた水深 26～31 m 程度の所に存在し，湧壺の湖底水温は周囲の水温と比較して 1°C 程度高かったが，特に注意すべきことはこれらに共通に湧壺の湖底から鉛直軸をもつ直径 20～40 cm の円柱状をなして多数の小さい gas 泡の上昇するのが見られたことである (第 2 図および第 3 図参照)。この場合には，この gas 泡の上昇によって誘起された定常的上昇流によって底部の 4.5°～5.5°C の水が冷却しながら上昇し，水面において 0.7°～1.7°C の水温を保っているため，この部分が凍結しないことが湧壺の生じた主な理由であると推定した。この推論に対し簡単な理論的検討を試みたが，この考えをほぼ支持する結果を得た。

(4) 筆者らの調査当時には湧壺 No. 4 の水面上は 10 cm 程度の雪と薄い雪氷で覆われていた。これは強風による流雪と気温の低下によって生じたものと思われるが，結氷上を歩行する際周囲の結氷と判別し難いので危険である。筆者らが発見した湧壺以外にこのような隠れた湧壺が存在する可能性があると思う。

終わりに，本報告の図は三浦カヲル嬢の手を煩した。ここに記して謝意を表する。

3. On Small Unfrozen Pools Observed in Level-Ice of Lake Akan, Hokkaido

By Takaharu FUKUTOMI, Tadaharu FUJIKI
and Akira SUGAWA
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

Many of hot springs in the neighbourhood of Lake Akan are located, as shown in the figure 1, in a zone running from southwest to northeast through the Akan-kohan hot springs. In the beginning of March, 1957, six small unfrozen pools of 1～7 m in average diameter were found out by the writers in level-ice of the lake (thickness of ice = 40 cm) on the extension of the zone. Sites of hot springs and the pools are respectively indicated by small white circles and small black circles in the figure.

Three of the pools were located near the coast where the water depth is less than 1 m. Water temperature in the pools showed higher value by 20°C or more in comparison with that below level-ice surrounding the pools. Then, the mechanism of pool formation was attributed to the melting of ice due to heat of hot spring discharged from the bottom.

Other three pools were located off the lake coast where the water depth was in the extents from 26 m to 32 m. Water surface of pools No. 5 and No. 6 was exposed to air, and the average diameters were respectively about 5 m and 3 m. Water surface of pool No. 4, of which average diameter was about 1 m, was covered by the thin snow-ice of 10 cm in thickness that was slightly aparted from the water surface. The schematic map of pool No. 4 in elevation and that of pool No. 5 in plane are respectively illustrated in

figures 2 and 3. Photos shown in figure 4 are views of pool No. 5. The maximum water temperature at the surface of pools No. 4 and No. 5 were respectively 0.7° and 1.7°C, and those at the bottom are respectively 5.4°and 5.5°C, which were more or less higher than that of the normal temperature of the lake at the time. Three curves in figure 5 are the vertical distribution of water temperature at No. 4, No. 5 and the normal place shown by cross mark in figure 1. It is worthy of note that in common to the latter three pools that is No. 4, No. 5 and No. 6, an ascending water current of slow speed of about 4 cm/sec caused by a vertical column of 20～40 cm in diameter composed of small numerous gas bubbles was observed.

The writers discussed theoretically on the mechanism of formation of the latter three pools, and they came to the conclusion that the cause of the deep unfrozen pools may be attributed to the tepid water constantly transported from the bottom to the water surface by the slow ascending water current induced by the vertical column of small gas bubbles.