



| | |
|------------------|---|
| Title | 北海道白老地域温泉の地下構造 |
| Author(s) | 浦上, 晃一; URAKAMI, Koichi |
| Citation | 北海道大学地球物理学研究報告, 56, 1-19 |
| Issue Date | 1992-09-10 |
| DOI | https://doi.org/10.14943/gbhu.56.1 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/14215 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 56_p1-19.pdf |



北海道白老地域温泉の地下構造

浦上 晃一

北海道大学理学部地球物理教室

(1992年6月13日受理)

Hydrological Structure of Shiraoi Hot Spring Area in Southwestern Hokkaido

By Koichi URAKAMI

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received June 13, 1992)

A hydrological investigation was carried out in October 1988 and August 1989 to determine hydrological structure and thermal water systems in the Shiraoi hot spring area in the southwestern Hokkaido. The Shiraoi hot spring area is the intensively developed area. There exist 142 wells drilled to depths of 300 to 1,200 m in a coastal plain, from which more than 7,000 l/min of thermal water with temperatures of 28 to 61°C are pumped for domestic use and for bathing at hotels. Thermal waters discharged from the area are highly alkaline sodium chloride-bicarbonate type waters, but their concentrations of chemical constituents vary greatly (TDS 0.2-10.4 g/l). The thermal waters are grouped into four categories: highly saline sodium chloride-sulfate waters, highly saline sodium chloride waters, sodium chloride waters with moderate salinity, and sodium bicarbonate waters with extremely low salinity. The first category of water is only found in the Ayoro river basin at the western corner of the area. The second category of water is distributed in the lower thermal water aquifer underlying in the central part of the area, the waters in the last two categories are respectively formed in the upper and middle aquifers distributed in almost all the area.

I. ま え が き

北海道白老町では、海岸の平地部のほぼ全域から温泉が湧出している。この地域には元来自然湧出の温泉は存在しなかったが、1963年11月に、この西方の登別市登別駅付近で深度450mのボーリングにより温度45°Cの温泉が得られて以来、白老町でも西部の虎杖浜・竹浦地域において泉源が掘削されるようになり、深度300~1,200mから温度28~61°Cの温泉が湧出するようになった。その後、この東側の白老町中央部から東部にかけての地域の温泉が開発され、深度1,500m位から60°C近い温泉が湧出するようになった。現在、白老町には142孔の泉源があるが、その

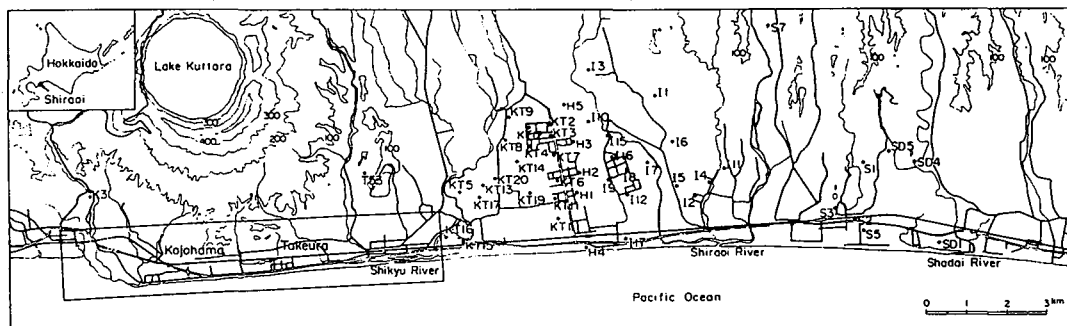


Fig. 1 Location map of wells in the central and eastern parts of the Shiraoi hot spring area.

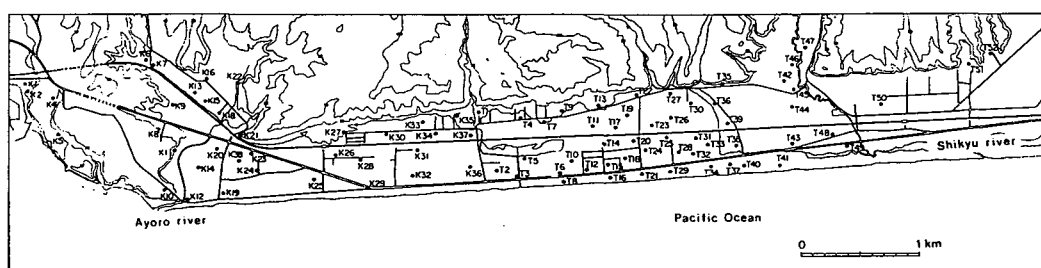


Fig. 2 Location map of wells in the western part of the Shiraoi hot spring area.

うち 91 孔は虎杖浜・竹浦地域の海岸線に沿った細長い平地部に集中している。

虎杖浜・竹浦地域では、開発当初、各泉源とも水圧が極めて高く、大量の温泉を自噴していた。福富他(1970)は、1966年秋に、竹浦西部の泉源で水柱に換算して地上 29.5 m の水圧を観測しているし、1969年11月には、虎杖浜・竹浦地域の 59ヶ所の泉源を調査し、自噴量が 165~2,500 l/min (平均 745 l/min) であり、水圧が地上 4~18 m であったと報告している。白老町中央部および東部の北吉原から社台にかけての地域でも温泉の水圧が高く、1971年11月、地上 22 m の水圧が観測されているし、自噴量も最大で 850 l/min が観測されている(浦上他, 1972)。しかし、温泉の水圧は開発が進むにつれて急激に低下し、現在、虎杖浜・竹浦地域の中心部では静止水位が地表面下 6~10 m にまで低下している。白老町東部では、さらに水位低下が著しく、静止水位が地表面下 30 m、動水位が 50 m にまで低下した泉源も生じている。

このように、この地域の温泉は、近年、水位低下が著しく、温泉資源を保護し有効利用するために、まず、湧出状況を把握することが必要となり、その調査が白老町から筆者に依頼された。そこで、1988年10月および89年8月に、白老町全域の温泉について、各泉源の湧出温度、Cl含有量、静止水位および動水位を測定するとともに、代表的な泉源において揚水試験を行ない、白老町中央部および東部の5ヶ所の未利用泉源において鉛直地温分布を測定した。このほか、水位分布を求めるために、泉源間の水準測量が必要となったが、これは白老町から地元の測量会社に

外注された。本報告は、これらの調査結果や既存の調査資料にもとづき、この地域の地下構造と熱水系についてまとめたものである。

II. 地質の概要

この地域の地質は、先第三紀の大曲沢層を基盤として、新第三紀中新世の幌別層、鮮新世の室蘭層、第四紀の倶多楽火山噴出物、支笏泥溶岩、樽前火山噴出物および海浜・河床堆積物で構成されている。大曲沢層は主として輝緑凝灰岩、砂岩および黒色粘板岩で構成されているが、この地域には露頭がなく、この地域西方の幌別川上流部の川岸にわずかに露出しているにすぎない。幌別層は火山砕屑岩を主体とした緑色凝灰岩からなり、安山岩質溶岩を含み、かなりの厚さの砂岩と頁岩の互層を挟んでいる。室蘭層は凝灰岩質集塊岩、砂岩、頁岩よりなるが、下部が集塊岩を主体にするのに対して、上部になると次第に砂岩や頁岩が優勢になっている。倶多楽火山噴出物は更新世初頭の倶多楽火山の活動に関連したもので、軽石質集塊岩や普通輝石紫蘇輝石溶岩で構成されており、倶多楽湖を取り囲む外輪山の外側斜面や、この地域西方とそれに隣接する登別地域の丘陵部に広く分布している。地域東部の丘陵部には、支笏火山の活動にともなった支笏泥溶岩が分布し、それを樽前火山噴出物が覆っている。また、海岸の平野部や、敷生川や白老川など大きな河川の周囲には海浜・河床堆積物が厚く分布している（斉藤他, 1953；土居, 1953）。

この地域では 140 孔余りの泉源が掘削されたが、地質柱状図は極くわずかしか残されていない。

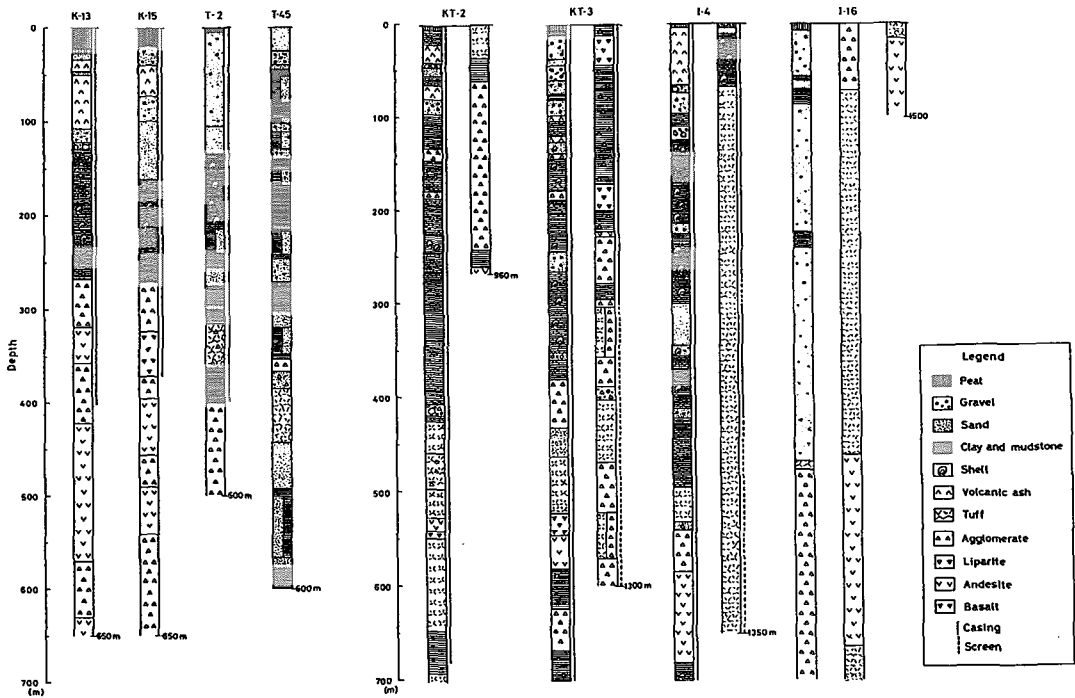


Fig. 3 Driller's logs estimated from cutting samples.

地質柱状図 (Fig. 3) をみると、地表から深度 100 m 位まで海浜・河床堆積物が堆積し、その下部に泥質の地層が地域全域に広く分布している。この層は室蘭層上部にあたると考えられるが、その下部境界は虎杖浜西部でおよそ 250 m、竹浦中央部で 350 m 位で、北吉原地区で 400 m、石山地区で 500 m 程度と、東方に向かうにしたがって次第に深くなっている。温泉はその下部の砂岩層や集塊岩層など透水性の地層から湧出している。

III. 調査結果

1. 泉源調査

白老町全域の温泉について、1988年10月に、湧出温度、Cl含有量、静止水位および動水位の測定を行なった。測定結果は Appendix として文末にまとめてある。温泉の水位は地表面からの深度と、水準測量の結果にもとづいた海拔高度が示してある。竹浦地区の T-49 および北吉原地区の KT-5 は自噴していたが、これらの泉源を除くと、いずれも静止水位が地表面より低く、動力揚湯されている。動水位はさらに低く、多くの泉源で海水面以下になっている。特に、白老町中央部および東部で水位低下が著しい。例えば、S-5 では静止水位が海水面下 29.2 m、動水位が 52.6 m にまで低下している。

1976年6～11月(北海道立地下資源調査所, 1977)の測定結果と比較すると、多くの泉源で Cl 含有量が減少している。すでに、竹浦地区の Cl 含有量が多いグループの温泉を湧出する泉源で Cl 含有量が減少していることが指摘されているが(浦上, 1987)、白老町中央部および東部でも同様な傾向がみられる。これはこの地域の泉源が多層採取しているために生じる現象と考えられる。後程述べるように、この地域には主要な温泉帯水層が3層あり、それぞれに Cl 含有量の異なる温泉が分布している。また、ほとんどの泉源が孔底までケーシングされていなくて、下層部分が裸孔になっている。恐らく、裸孔部分が崩壊して最下部が部分的に埋没したために、下層のより高 Cl の温泉が湧出しにくくなり、その結果、Cl 含有量が減少したものと思われる。

2. 揚水試験

白老町西部の虎杖浜・竹浦地域で6ヶ所、白老町中央部および東部で6ヶ所の泉源で揚水試験を実施した。これらの泉源で揚湯を40～80分間停止して、それぞれの泉源で水位の回復を観測した。揚湯を停止した後、時間が十分経過すると、水位の回復 s と時間 t との間に

$$s = Q / (4 \pi T) \{ \ln t + 0.5772 + \dots \}$$

の関係がある。ここで Q は揚湯量、 T は帯水層の透水量係数である。水位の回復を片対数紙にプロットすると、Fig. 4 および Fig. 5 に示すように、直線となり、その勾配から透水量係数を求めることができる。

Table 1 に揚水試験の結果をまとめた。H-1, H-2, I-16 および S-5 では揚湯量が測定できたが、その他の泉源では測定できなかったため、揚湯量として規制量が用いている。この地域では温泉資源を保護するために、全域にわたって、それぞれの泉源で揚湯量が規制されているが、揚

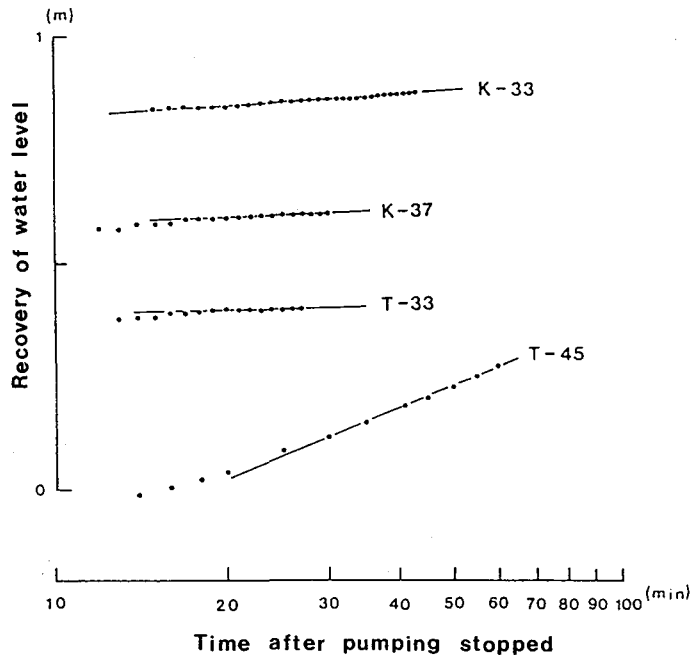


Fig.4 Time-recovery graph for wells in the Kojohama-Takeura area.

湯量は規制量にほぼ等しいと考えてよい。虎杖浜・竹浦地域では、透水量係数が $14.2\sim 60.0\text{ cm}^2/\text{s}$ (平均 $36.0\text{ cm}^2/\text{s}$) であり、他の掘削深度の浅い温泉地で得られた値 (福富他, 1967: 浦上他, 1969) と同程度であるが、白老町中央部および東部では、 $2.0\sim 16.3\text{ cm}^2/\text{s}$ (平均 $8.1\text{ cm}^2/\text{s}$) と透水量係数がかなり小さくなっている。このように温度帯水層の透水量係数が小さいことが、白老町中央部および東部で著しい水位低下をもたらす要因となっている。

IV. 温泉の化学的特性

白老町の平野部に湧出する温泉は、いわゆる単純泉または食塩泉であり、pHが7.0~9.0と弱アルカリ性を示す。また、有機物をとめない茶褐色を呈するものも多い。しかし、TDS (全固形物)は $200\sim 10,000\text{ mg/l}$ であり、極めて低濃度の温泉から高濃度の温泉までが湧出している。Fig. 6および Fig. 7は、白老町の平野部に湧出する代表的な温泉について、主要成分のヘキサダイグラムを示したものである。主要な陽イオンはNaであり、KはNaの10分の1程度である。また、CaはKと同程度の濃度を示す温泉もあるが、全般に少なく、Mgは極く微量である。主要な陰イオンはClおよび HCO_3 である。Cl含有量は $7\sim 2,797\text{ mg/l}$ であり、泉源によって著しい差がある。 HCO_3 含有量は、多くの泉源で $200\sim 400\text{ mg/l}$ 程度で比較的一定しているが、白老町東部には最高 $1,366\text{ mg/l}$ にもなるような HCO_3 の多い温泉が湧出している。また、 SO_4 は微量であるが、平野部西端のアヨロ川流域には SO_4 のやや多い温泉が湧出している。Fig. 8は主要陰イオンの成

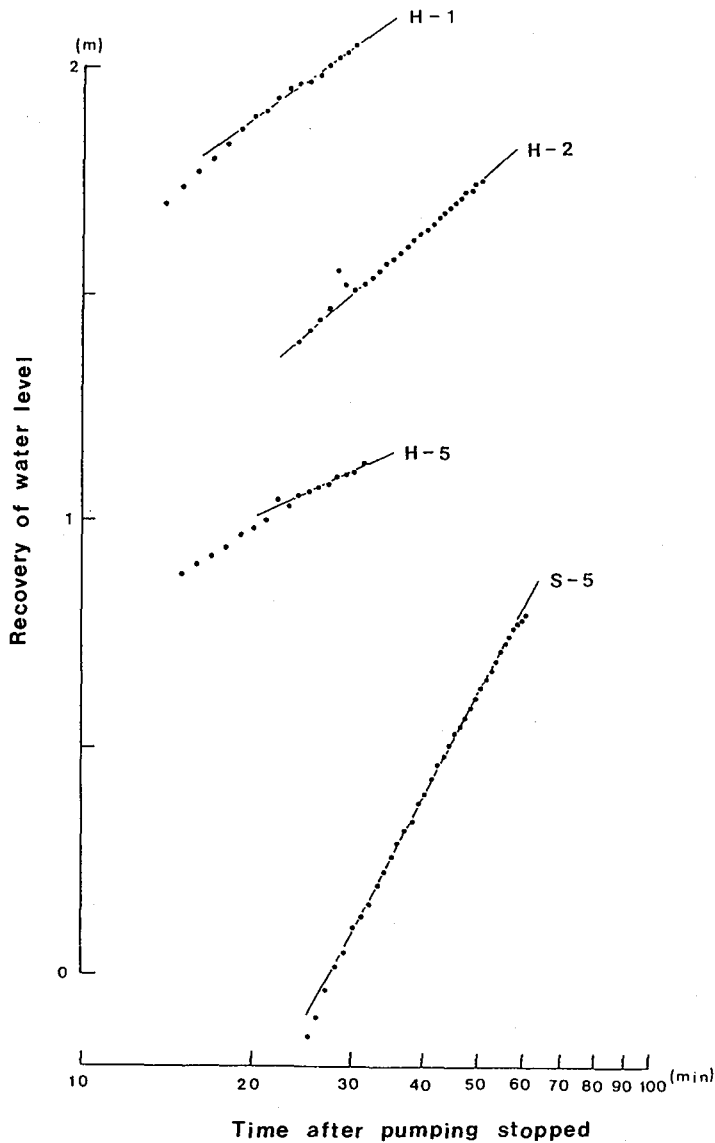


Fig. 5 Time-recovery graph for wells in the Hagino and Shiraoi areas.

の成分組成を示したものである。虎杖浜・竹浦地域では、陰イオンの組成によって、3つのタイプ、すなわち HCO_3 型 (タイプ1), Cl-HCO_3 型 (タイプ2), Cl-SO_4 型 (タイプ3) の温泉に分けることができる。 HCO_3 型の温泉は極めて低濃度であり、 Cl-SO_4 型の温泉は高濃度で SO_4 がやや多く、上述のように、アヨロ川流域に湧出している。北吉原から社台にかけての地域では、 SO_4 が非常に少なく、 HCO_3 と Cl の比によって、連続的に分布しており、必ずしも明確な区分ができない。しかし、 HCO_3 含有量と Cl 含有量との関係を見ると、Fig. 9 のようになって、A-B, A-C, A-D の3系統に区分でき、この地域には3つの熱水系が存在すると考えられる。また、Cl

含有量によって区分すると、グループ Ib : 70~175 mg/l, グループ IIIb : 285~410 mg/l, グループ IVb : 650 mg/l~1,050 mg/l, グループ Vb : 1,600 mg/l 以上の 4 グループに分けることができる。A-C 系は低 Cl のグループ I b, A-D 系はやや Cl 含有量の多いグループ IIIb, A-B 系は高 Cl のグループ IVb および Vb に属している。これらの熱水系の地域的な分布をみると、Fig. 11 のようになって、A-B 系の温泉が白老町中央部の山側の地域および海岸部の一部に湧出しているのに対し、A-C 系の温泉は白老町東部を中心に湧出していることがわかる。しかし、A-D 系の温泉が白老町中央部および東部に湧出し、A-C 系の温泉が白老町中央部に湧出するなど、異なった熱水系の温泉が混在して湧出していることから、この地域には、深度が異なる主要な温泉帯水層が何層かあって、それぞ

Table 1. Transmissivities determined from pumping test
a) Kojouhama-Takeura area

| Well No. | Pumping rate (l/min) | Transmissivity (cm ² /s) |
|----------|----------------------|-------------------------------------|
| K-33 | 100 | 35.8 |
| K-37 | 200 | 37.9 |
| T-33 | 100 | 23.2 |
| T-36 | 100 | 44.6 |
| T-42 | 200 | 14.2 |
| T-45 | 100 | 60.0 |

b) Kitayoshihara, Hagino, Ishiyama, and Shiraoui areas

| Well No. | Pumping rate (l/min) | Transmissivity (cm ² /s) |
|----------|----------------------|-------------------------------------|
| KT-20 | 200 | 16.3 |
| H-1 | 197.0 | 6.4 |
| H-2 | 240.0 | 5.1 |
| H-5 | 200 | 9.2 |
| I-16 | 270.0 | 9.3 |
| S-5 | 312.9 | 2.0 |

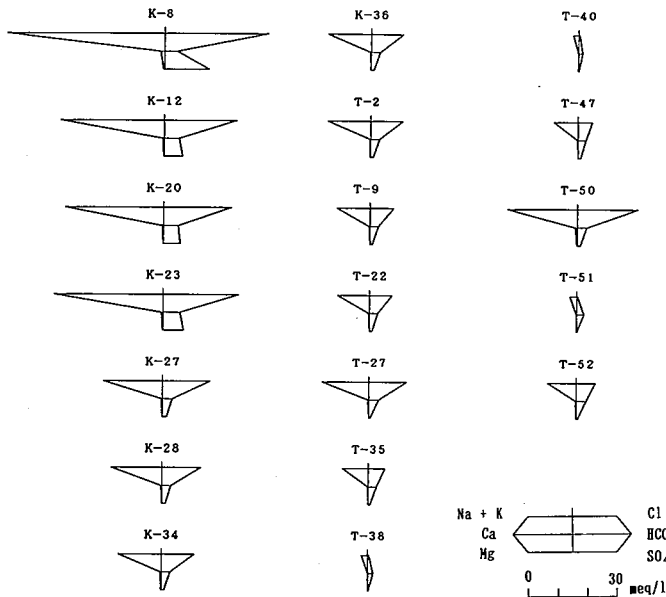


Fig. 6 Hexadaigram for major constituents of selected thermal waters in the Kojouhama-Takeura area. Data used for Figs. 6 to 10 are measured by Geological Survey of Hokkaido (1977).

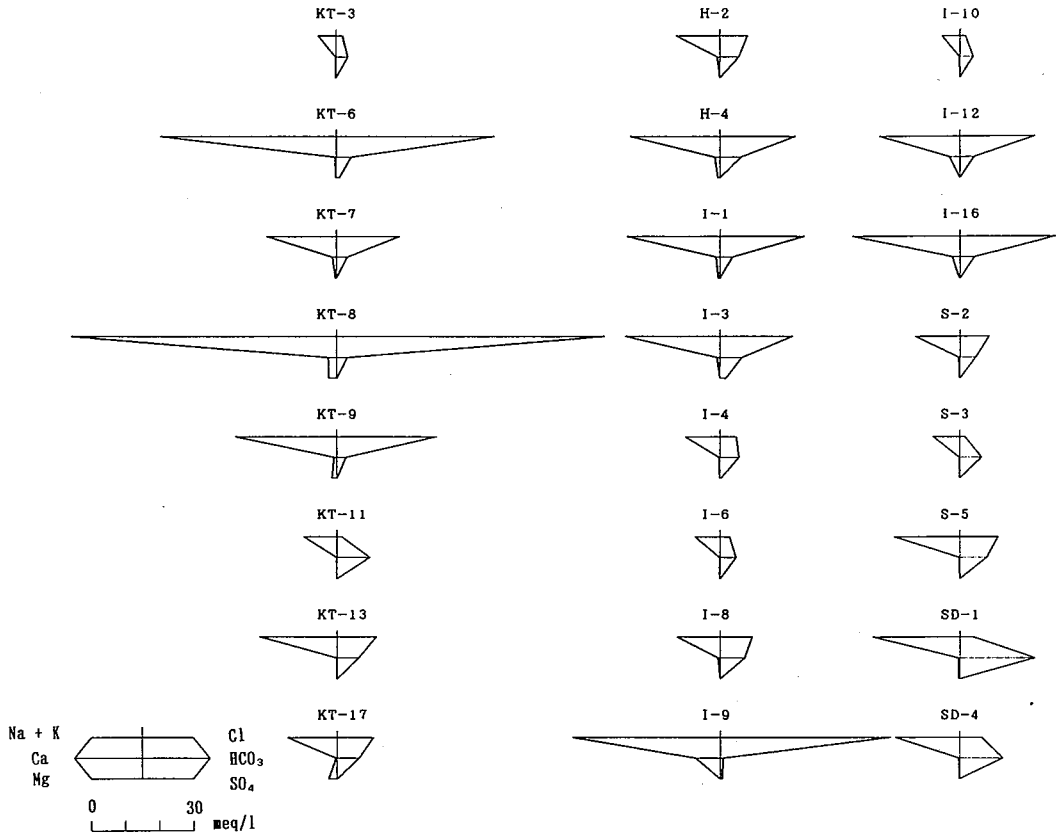


Fig. 7 Hexadaigram for major constituents of selected thermal waters in the central and eastern parts of the Shiraoi hot spring area.

れに熱水系が異なり化学成分の濃度や組成が異なる温泉が分布していると考えられる。

虎杖浜・竹浦地域については、すでに、温泉の湧出温度や化学的特性、温度検層の結果などから、地下構造と熱水系が詳しく調べられている(浦上, 1987)。その結果によると、虎杖浜西部のアヨロ川流域では、高濃度で SO_4 のやや多い温泉が地層の割れ目に導かれて比較的浅所まで上昇している。また、虎杖浜東部および竹浦地域に湧出する温泉は、Cl含有量によって、グループI：50 mg/l以下、グループII：180~220 mg/l、グループIII：380~470 mg/lの3グループに区分でき、グループIの温泉がこの地域を広く覆う厚い不透水層直下の上部温泉帯水層(TA層)に分布し、グループIIIの温泉がその下部にある下部温泉帯水層(TC層)に分布している。さらに、グループIIの温泉が竹浦西部の上部温泉帯水層と下部温泉帯水層の中間に局部的に存在する帯水層(TB層)に分布している(Fig. 12)。グループIの温泉は、極めて低濃度であり湧出温度が他の温泉よりもやや低いことから、普通の地下水が熱伝導によって熱せられたものであると解釈されていたが(福富他, 1970)、他のグループに属する温泉についても、Cl含有量が同程度でも湧出温度に 8°C 近いばらつきがあることから、これらの温泉も熱伝導的に加熱あるいは冷却されている

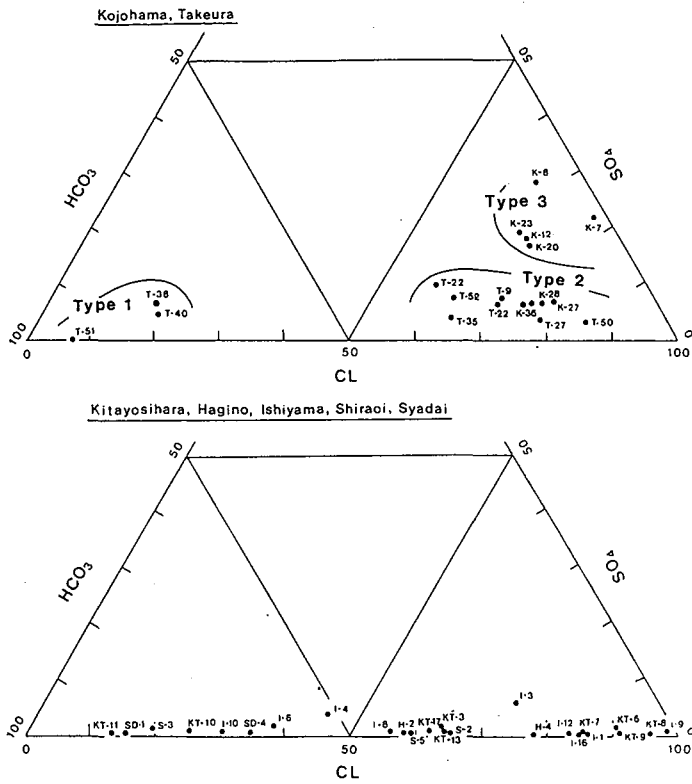


Fig. 8 Trilinear diagram for major anion of selected thermal waters in the Shiraoui hot spring area.

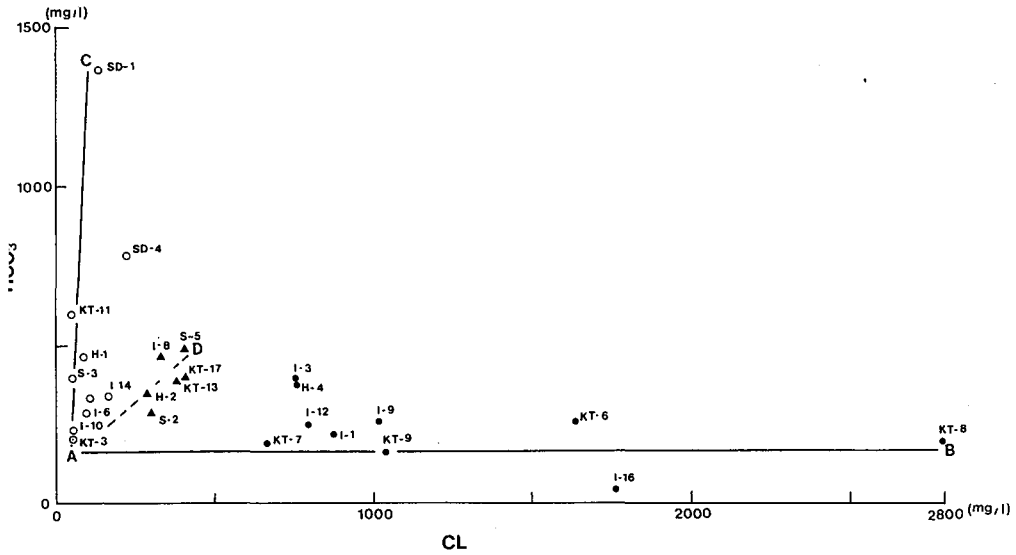


Fig. 9 HCO₃-Cl plot of selected thermal waters in the central and eastern parts of the Shiraoui hot spring area. Plots lie along three lines, suggesting that three thermal water systems occur : A-B (●), A-C (○), and A-D (▲).

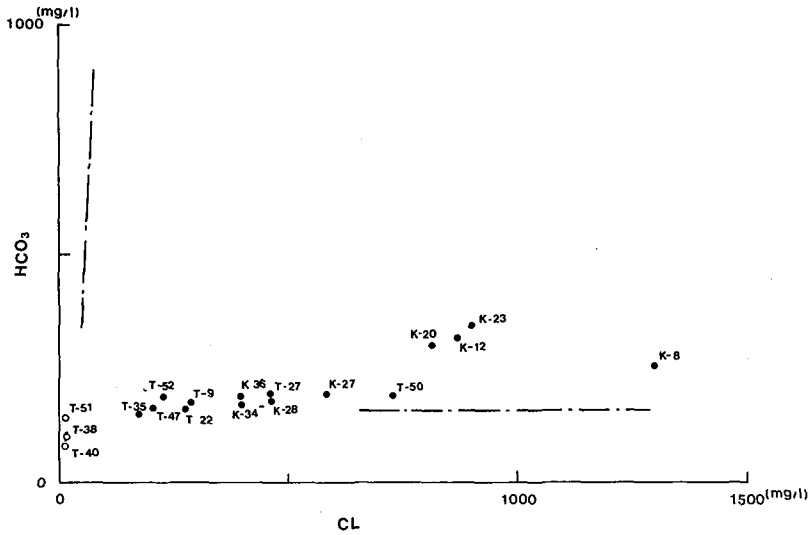


Fig. 10 HCO₃-Cl plot of selected thermal waters in the Kojohama-Takeura area. Chain lines indicate the lines A-B and A-C in Fig. 9.

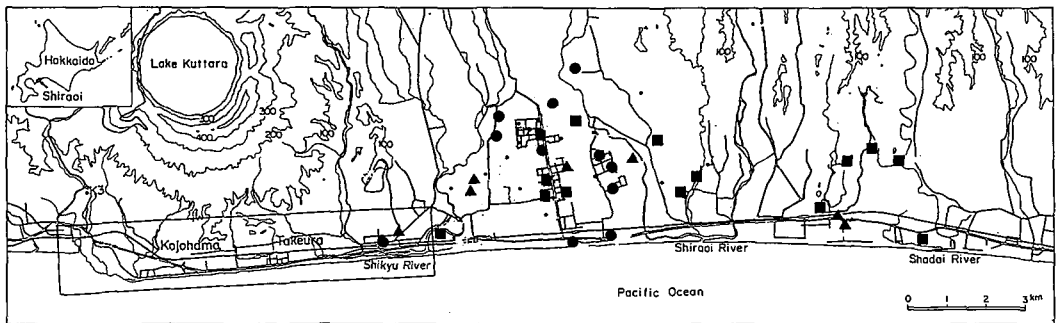


Fig. 11 Distribution of thermal waters in the central and eastern parts of the Shiraoi hot spring area. The thermal water systems A-B (●), A-C (■) and A-D (▲) are defined in Fig. 9.

と解釈でき、これらが長い滞留時間をもつ温泉であると考えられている。

ところで、Fig. 9 および 10 にみられるように、白老町中央部および東部に湧出する温泉のなかには虎杖浜・竹浦地域に比べて HCO₃ 含有量がかなり多いものがある。HCO₃ に関して、地下深部の非常に還元的な環境のもとでも、有機物が消費されるような酸化還元過程、すなわち、有機物が NO₃, MnO₂, Fe(OH)₃, SO₄ などによって酸化される反応やバクテリアの作用により有機物が分解されて CH₄ が発生する過程で HCO₃ が生成されることが知られている (例えば、Freeze and Cherry, 1979)。さらに、白老町中央部および東部の HCO₃ 含有量が多い温泉はかなりの量の CH₄ や微量の H₂S をともなって湧出していることを考え合わせると (北海道立地下資源調査所, 1977)、このような酸化還元反応にともなって HCO₃ が増加したと判断でき、逆に、Cl が多く

HCO₃が少ないA-B系の温泉は火山岩を主体とした有機物をあまり含まない地層から湧出していると考えられる。このように、HCO₃含有量は有機物の分解にともなって増加すると考えられるので、指標として比較的安定なCl含有量を用いると、白老町中央部および東部のグループIbの温泉は虎杖浜・竹浦地域のグループIおよびIIの温泉と同じグループに属し、グループIIIbとグループIIIとは同じグループの温泉と考えることができる。

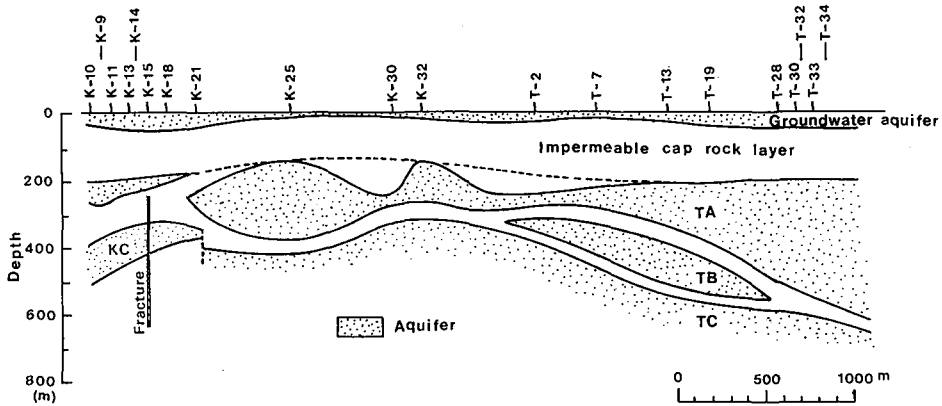


Fig. 12 Hydrological structure of the Kojohama-Takeuma area (after Urakami, 1987).

V. 地下構造と熱水系

1. 鉛直地温分布

温泉湧出地域では、温泉帯水層の分布を調べるためには、しばしば廃井を利用して地温の鉛直分布が測定されている(福富他, 1967; 浦上他, 1969)。帯水層は主として透水性の地層で構成されているが、その分布はつぎのような観測事実にもつづいて推定されている。すなわち、透水性の地層では、地下水や温泉水の流れがあり、その流れによって多量の熱が運ばれるために、鉛直方向の地温勾配が非常に小さくなるが、不透水性の地層では、熱が主として伝導によって熱が運ばれるために、地温勾配が大きくなる。白老地域では、温泉の水位が著しく低下したために、上層のより低温な水が下層に浸透するようになり、それが透水性の地層に集中して、地温の逆転が生じている。虎杖浜・竹浦地域では、初期に大きな逆転層がみられたが、その部分の地温が低下し、滑らかな地温分布に変化している(浦上, 1987)。

白老町中央部および東部の5ヶ所の未利用泉源において、鉛直地温分布を測定した。測定は1989年8月に行なったが、温度センサーが途中で引っかかったために、孔底まで測定できたのは5ヶ所のうち2ヶ所にすぎなかった。

Fig. 13は北吉原地区のKT-8で測定した地温分布を示したものである。地温は地表から深度

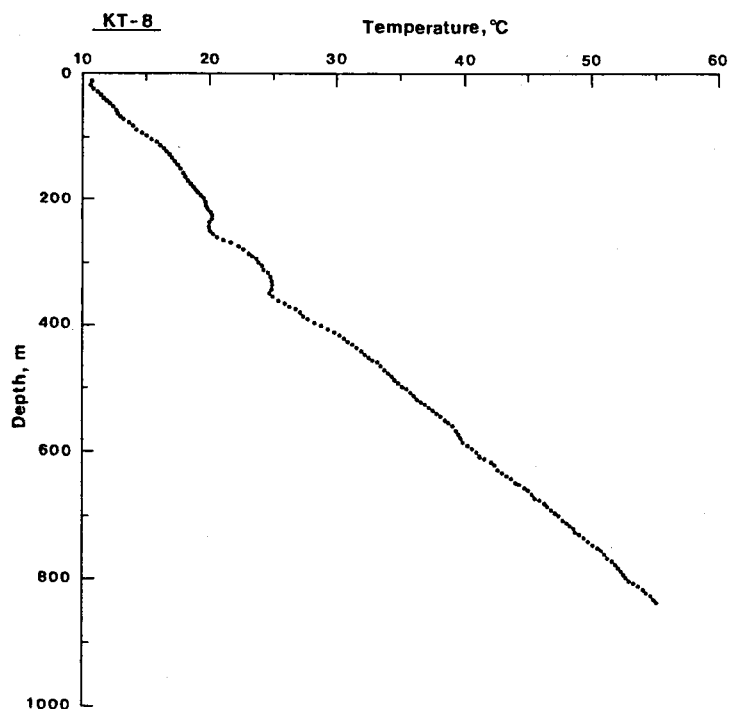


Fig. 13 Temperature depth profile at well KT-8 in the Kitayosihara area.

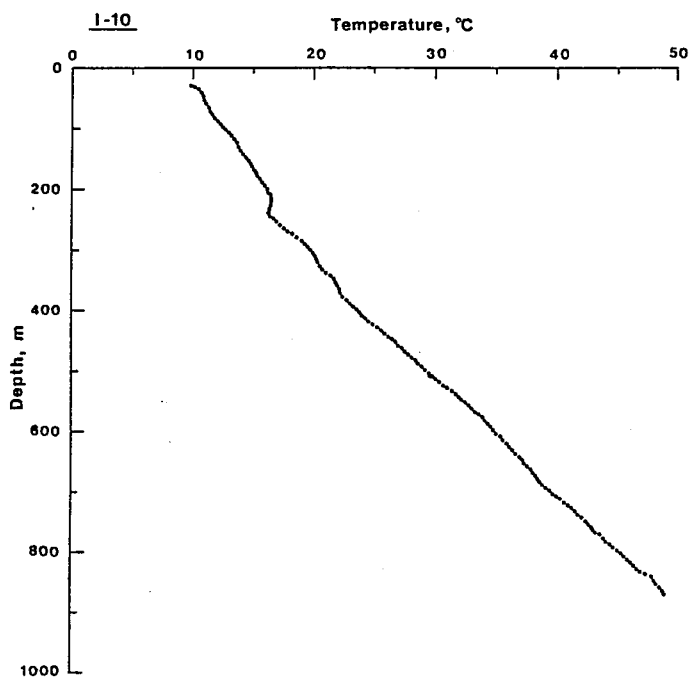


Fig. 14 Temperature depth profile at well I-10 in the Ishiyama area.

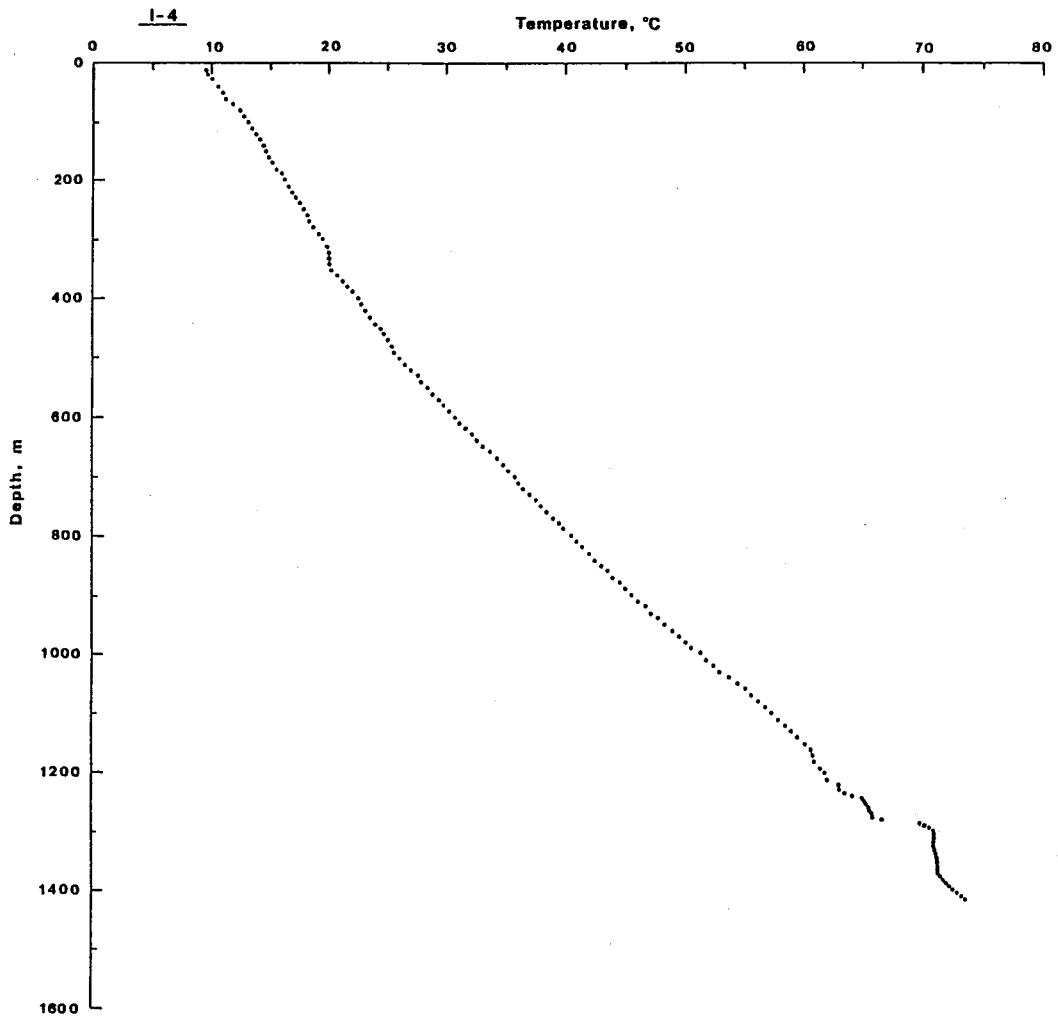


Fig. 15 Temperature depth profile at well I-4 in the Ishiyama area.

840 mまで測定できた。この泉源は、掘削深度が1,250 mであり、この地域で最も高Cl(2,797 mg/l, 1976年測定当時)の温泉を湧出していた。深度220~240 mおよび350 m付近に地温の逆転がみられ、その部分に薄い透水層が存在すると考えられるが、地表付近から深度840 mまで地温上昇率の大きな地層が続いており、全体を不透水層と考えてよい。石山地区のI-10(掘削深度1,300 m)でも、地温上昇率がやや小さいといえ、KT-8と同様の地温分布が得られており(Fig. 14)、地表から地温が測定できた深度870 mまでは不透水層と判断される。

Fig. 15に石山地区のI-4(掘削深度1,500 m)における地温分布を示した。深度320~340 mに地温勾配が小さな極く薄い透水層がみられるものの、地表から深度1,160 mまでは全体に地温上昇率が大きく不透水層と判断される。その下部には、深度1,160~1,180 m, 1,220~1,230 m, 2,240~1,260 mに極く薄い透水層があり、深度1,300~1,370 mにかなりの厚さの透水層が分布し

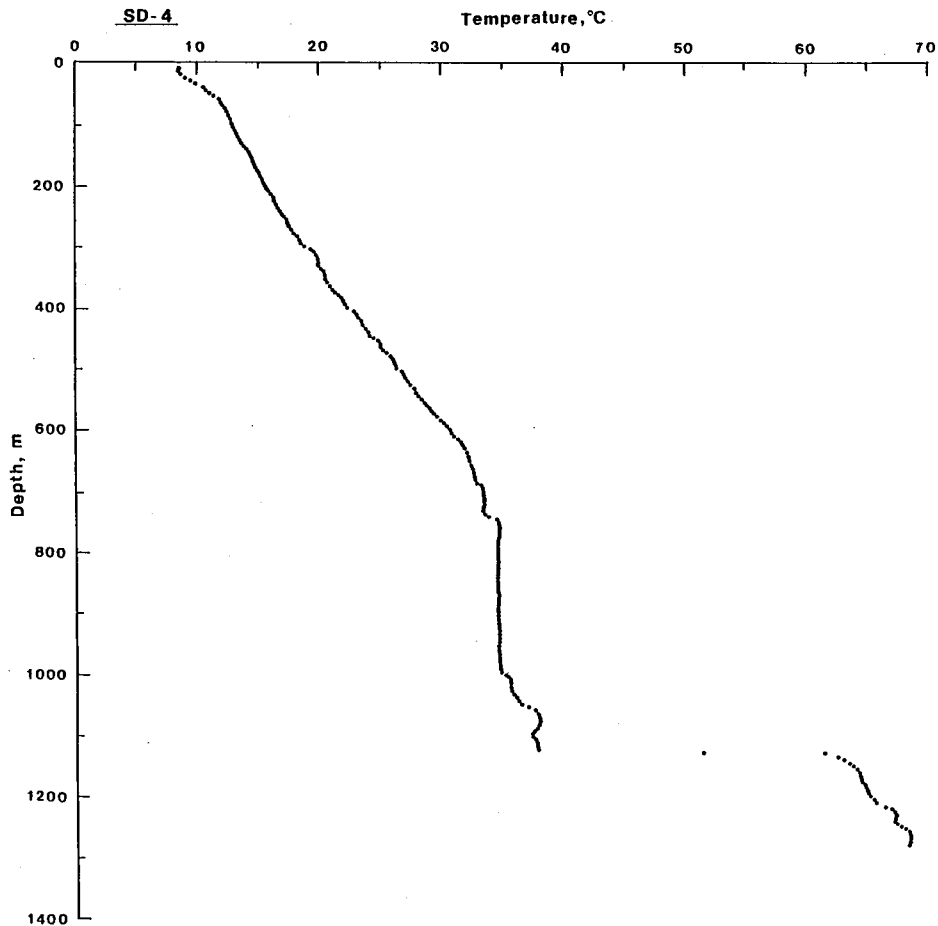


Fig. 16 Temperature depth profile at well SD-4 in the Shadai area.

ている。この泉源は、かつて、Cl含有量が56.8 mg/l(HCO_3 含有量366 mg/l, SO_4 含有量27 mg/l; 1969年11月北海道立衛生研究所による測定, 未発表)の温泉を自噴していた。それゆえ、これらの透水層は非常に低ClのグループIb(A-C系)の温泉を含む温泉帯水層を構成していると考えられる。Fig. 16は社台地区のSD-4(掘削深度1,500 m)における地温分布を示したものである。深度1,060 mから1,130 mまでの間は地温分布が乱れた特異な分布となっているが、これはこの部分の温度分布を測定している間は温度センサーが途中で引っかかり、1,130 m以深でセンサーが落ちて正常な測定ができるようになったためである。地表から深度740 mまでは不透水層であり、その下部の深度740~1,000 mは透水層である。さらに、深度1,160~1,210 mに比較的透水性がよいと考えられる地層が分布しており、1,230~1,240 mおよび1,260~1,280 mには顕著な透水層が分布している。この泉源ではかつてCl含有量が236.5 mg/l, HCO_3 含有量778.4 mg/l(1976年測定; 北海道立地下資源調査所1977)の温泉が湧出していたが、この温泉は、Cl含有量がグループIbの温泉とグループIIIbの温泉の中間の値を示し HCO_3 含有量が多いことか

ら、2つのグループの温泉が混合して湧出していたものと考えられる。掘削深度から判断して、この泉源では1,160 m以深から温泉を採取していたと思われるが、1,160 m以深に分布する透水層のうち、上層部分がグループIb (A-C系) の温泉を含む帯水層、下層部分がグループIIIb (A-D系) の温泉を含む帯水層を構成していると判断される。

2. 白老地域の地下構造と熱水系

虎杖浜・竹浦では、泉源の掘削深度は300~1,200 mであるが、竹浦東部の3泉源を除くと、いずれも700 mより浅く、大部分が深度500~700 mで掘削されている。しかし、白老町中央部および東部では、掘削深度が非常に深く、1,200~1,500 mである。

Fig. 17は、白老地域の地下構造と熱水系の分布を概念的にまとめたものである。図には海岸線に沿った断面が示してあるが、山側に向かうにしたがって構造が全体的に浅くなっている。この地域では、表層の地下水帯水層の下部に、厚い不透水層が全域にわたって分布している。この不透水層は温泉帯水層を覆い、かつて温泉の水圧が非常に高かったときには温泉が地表へ湧出するのを抑え、水圧が著しく低下した現在では表層の低温な地下水が温泉帯水層へ流入するのを防ぐなど、熱水系の形成と存続に重要な役割を果たしている。すでに述べたように、この地域に湧出する温泉は、その化学的特性によって、いくつかのグループに区別でき、それぞれのグループが異なった温泉帯水層内に分布し、それぞれが孤立した熱水系を形成している。

地域西端のアヨロ川流域では、グループIIIやIIIbのような中程度のCl含有量を示す温泉を含む帯水層を欠き、Cl含有量が非常に多くSO₄含有量がやや多い温泉(アヨログループ)が不透水層直下の比較的浅い帯水層に分布している。また、小規模な地層の割れ目があり、それに導かれて深部の温泉が上昇している。この地域の温泉帯水層を構成する地層は、層相から、中新世の幌別層と判断される。Cl含有量を対応させると、アヨログループは白老中央部の最下部の帯水層に

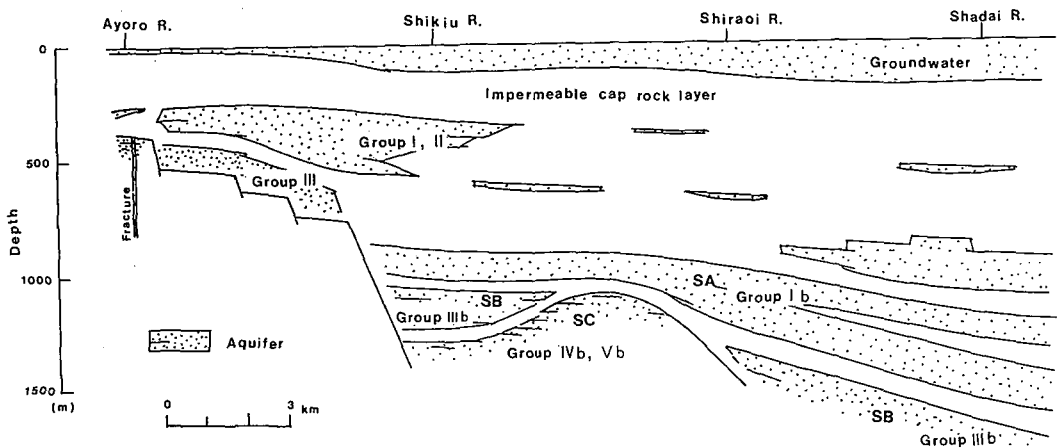


Fig. 17 Schematic cross section representing hydrological structure of the Shiraói hot spring area.

分布するグループIVbおよびVbにあたる。この東側の虎杖浜中央部から竹浦中央部にかけての地域では、不透水層の下部に上下2層の温泉帯水層があり、上部帯水層に低濃度で低ClのグループIおよびIIの温泉が分布し、下部帯水層にはCl含有量が中程度のグループIIIの温泉が分布している。その下部については確かなことはいえないが、構造的には、アヨロ流域や白老町中央部のように、さらに高Clの温泉を含む帯水層が存在することが予想される。確かに、虎杖浜中央部のアヨロ川流域との境界付近にはCl含有量が600 mg/l近い、明らかにグループIIIよりもCl含有量の多い温泉が湧出しており、そこでは、高Clの温泉を含む帯水層があり、泉源がその帯水層まで掘削されている可能性が強い。

竹浦東部で基盤の急激な落込みがあり、温泉帯水層が急に深くなっている。白老町の中央部と東部はほぼ同様な構造を示し、温泉帯水層が東に向かって緩やかに深くなっているに過ぎない。このような地下構造は白老町全域を含む西胆振地域で実施された重力探査の結果と極めて調和的であり、重力探査では、社台沖にNE-SW方向の軸を持つ苫小牧から白老にかけての堆積盆地と盆地縁辺部の陥没構造が推定されている(和田他, 1988)。

すでに述べたように、白老中央部および東部には主要な温泉帯水層が3層存在する。ここで、これらを上部からSA層、SB層、SC層と名付けておく。SA層は最上部の温泉帯水層であり、図には示されていないが、これには、この地域を覆う厚い不透水層の下部に分布する比較的浅い透水層が含まれる。SA層には低ClのグループIbの温泉が分布し、SB層には中程度のCl含有量を示すグループIIIbの温泉が、最下部のSC層には高ClのグループIVbおよびVbの温泉が分布している。竹浦東部では、現在、T-50(掘削深度1,180 m)とその近傍のT-51(掘削深度1,200 m)からCl含有量がそれぞれ495 mg/l、497 mg/lの温泉が湧出しているが(1988年10月測定)、T-50からはかつて720 mg/lの温泉(1976年測定)が湧出しており、この泉源がSC層まで掘削されたと考えられるので、SC層の上端の深度はおよそ1,200 mと推定できる。萩野および石山西部では、高Clの温泉が数多く湧出していることから、SC層がやや浅くなっていると考えられるし、その東側の白老、社台地域では、高Clの温泉が全く湧出していないことから、SC層が深く、泉源はいずれもSC層に達していないと判断される。SB層は虎杖浜・竹浦地域では下部温泉帯水層にあたる。SB層は竹浦東部および北吉原地区で深度が1,000 m程度であるが、白老町東部ではかなり深く、わずか2泉源(S-2、S-5)しかSB層から揚湯していないと考えられるので、その上端の深度はおよそ1,500 mと推定される。SA層もSB層と同様に白老町中央部で浅く東部で深くなっており、東部の泉源はほとんどがSA層から温泉を採取している。SA層は虎杖浜・竹浦地域の上部温泉帯水層にあたり、低Clの温泉が分布している。

VI. ま と め

1988年10月および89年8月に、白老町の平野部に湧出する温泉について、各泉源の湧出温度、Cl含有量、静止水位および動水位を測定するとともに、代表的な泉源について揚水試験を行ない、未利用のまま放置されている泉源を利用して鉛直地温分布を測定した。また、これらの調査結果や既存の調査資料にもとづいて、この地域の地下構造と熱水系について考察した。

この地域では、温泉の開発にともなう、温泉の水位が急激に低下した。白老町西部の虎杖浜・竹浦地域では、現在、中心部の水位が地表面下6~10mであり、水位低下の速度が緩やかになっているが、白老町中央部および東部では水位低下が急激であり、静止水位が地表面下33m、動水位が56mにまで低下した泉源も生じている。揚水試験の結果によると、虎杖浜・竹浦地域に比べ、白老町中央部および東部では温泉帯水層の透水量係数がかなり小さい。そのため、この地域で著しい水位低下が生じたと考えられる。

この地域には極めて低濃度の温泉から高濃度の温泉までが湧出しているが、化学成分の濃度と組成によって、4つの熱水系に区分できる。地域西端のアヨロ川流域には高濃度、高ClでSO₄がやや多い温泉が湧出している。その東側の地域ではSO₄が少なく、Cl含有量によって、低Cl、中程度のHCl濃度、高Clの3グループに分けることができる。これらはそれぞれ異なった帯水層内に分布し、孤立した熱水系を形成している。この地域では、表層の地下水帯水層の下部に厚い不透水層があり、全域を覆っている。この下部に温泉帯水層があり、最上部の帯水層には低Clの温泉が、その下部の帯水層には中程度のCl濃度の温泉が分布し、最下部の帯水層には高Clの温泉が分布している。竹浦東部で基盤の急な落込みがあり、その東側の地域では帯水層が非常に深くなっている。

文 献

- 土居繁雄, 1953. 5万分の1地質図幅説明書「白老」. 北海道立地下資源調査所.
Freeze, R. A. and J. A. Cherry, 1979. Groundwater. Prentice-Hall.
福富孝治他, 1967. 山形県天童温泉の地球物理学的研究. 北海道大学地球物理学研究報告, 18, 1-32.
福富孝治他, 1970. 北海道白老町虎杖浜・竹浦地域の温泉調査. 北海道大学地球物理学研究報告, 24, 27-55.
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. 北海道立地下資源調査所.
斉藤昌之・小山内 照・酒匂純俊, 1953. 5万分の1地質図幅説明書「登別温泉」. 北海道立地下資源調査所.
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, 29, 169-190.
浦上晃一他, 1969. 山形県東根温泉の調査. 北海道大学地球物理学研究報告, 22, 11-29.
浦上晃一他, 1972. 北海道白老町の温泉調査. 白老町.
浦上晃一・大谷守正・長岡徠三, 1978. 北海道白老町虎杖浜・竹浦地域温泉の地下構造. 温泉工学会誌, 13, 2, 79-88.
和田彦徳他, 1988. 西胆振地域の地質と地熱資源. 北海道立地下資源調査所調査研究報告, 19, 1-91.

Appendix Temperature, Chloride content, and water level data in the Shiraoi hot spring area, measured in October 1988.

| No. of wells | Depth (m) | Temperature (°C) | Chloride content (mg/l) | Depth to water level below land surface | | Water level above mean sea level | |
|--------------|-----------|------------------|-------------------------|---|-------------------|----------------------------------|-------------------|
| | | | | Static water level (m) | Pumping level (m) | Static water level (m) | Pumping level (m) |
| K- 9 | 458 | | | 3.15 | | 3.27 | |
| K-10 | 508 | | | 18.1 | | 0.21 | |
| K-12 | 419 | 48.6 | 784 | | 10.02 | | |
| K-13 | 600 | | | 1.4 | | 3.89 | |
| K-14 | 623 | 53.1 | 1,101 | | | | |
| K-15 | 650 | | | 5.61 | | -0.62 | |
| K-16 | 460 | 17.6 | 17 | | | | |
| K-18 | 467 | | | 5.35 | | -1.10 | |
| K-19 | 550 | 47.9 | 611 | | | | |
| K-20 | 480 | 45.8 | 701 | | | | |
| K-23 | 549 | 50.3 | 842 | | | | |
| K-25 | 598 | 48.1 | 502 | | | | |
| K-26 | 600 | 47.5 | 490 | | | | |
| K-27 | 375 | | 558 | | | | |
| K-28 | 600 | 43.8* | 426 | | | | |
| K-29 | 580 | 49.2 | 575 | 6.30 | 10.31 | 0.56 | -3.45 |
| K-30 | 550 | | 423 | | | | |
| K-33 | 534 | 47.8 | 461 | 5.9 | 6.06 | 1.3 | 1.14 |
| K-34 | 462 | | 398 | | | | |
| K-35 | 420 | | 386 | 9.4 | 10.2 | -1.94 | -2.74 |
| K-36 | 420 | | 384 | | 15.93 | | -9.60 |
| K-37 | 370 | 47.2 | 361 | 7.6 | 9.33 | 1.08 | -0.65 |
| T- 1 | 312 | 42.0 | 49 | 7.09 | 7.09 | 5.78 | 5.78 |
| T- 2 | 465 | 48.7 | 328 | | | | |
| T- 3 | 440 | 47.3 | 335 | | 5.66 | | -1.04 |
| T- 4 | 620 | | | 5.97 | | 0.67 | |
| T- 5 | 385 | 50.0 | 358 | | | | |
| T- 7 | 600 | 51.6 | 1,020 | | 11.68 | | -3.82 |
| T- 9 | 558 | | 241 | 10.05 | 10.05 | 0.42 | 0.42 |
| T-11 | 451 | | 249 | | | | |
| T-12 | 421 | | 220 | | | | |
| T-13 | 520 | | 219 | | | | |
| T-14 | 508 | 47.7 | 254 | | | | |
| T-15 | 560 | 48.1 | 364 | | 7.51 | | -0.96 |
| T-17 | 540 | | 228 | | | | |
| T-18 | 500 | 48.0 | 315 | | 7.64 | | -1.53 |
| T-19 | 600 | 43.9* | 234 | | 5.26 | | 0.93 |
| T-20 | 554 | 44.2* | 431 | | | | |
| T-21 | 589 | 48.5 | 420 | | | | |
| T-22 | 446 | 46.6 | 306 | | 6.63 | | 1.06 |
| T-24 | 561 | 46.4* | 393 | | | | |
| T-26 | 707 | 48.4 | 455 | | 9.50 | | -4.28 |
| T-27 | 650 | | 171 | | | | |
| T-28 | 550 | | | | | | |
| T-30 | 580 | | | 4.92 | | 2.00 | |

* : measured at end of pipe line

Appendix (continued)

| No. of wells | Depth (m) | Temperature (°C) | Chloride content (mg/l) | Depth to water level below land surface | | Water level above mean sea level | |
|--------------|-----------|------------------|-------------------------|---|-------------------|----------------------------------|-------------------|
| | | | | Static water level (m) | Pumping level (m) | Static water level (m) | Pumping level (m) |
| T-32 | 640 | | | 8.23 | | -1.31 | |
| T-33 | 630 | | 409 | 9.67 | | -4.46 | |
| T-35 | 700 | | 210 | | | | |
| T-36 | 700 | 46.8 | 454 | 6.32 | | -2.18 | |
| T-37 | 700 | 38.5* | 10 | | | | |
| T-38 | 668 | 41.3 | 15 | 7.58 | | -1.82 | |
| T-39 | 688 | | 369 | | | | |
| T-41 | 687 | | 9 | | | | |
| T-42 | 597 | 48.9 | 223 | | 10.10 | | -3.91 |
| T-43 | 752 | 56.3 | 369 | | | | |
| T-45 | 655 | 41.4 | 12 | | 7.17 | | -1.92 |
| T-46 | 685 | 47.4 | 168 | | | | |
| T-47 | 320 | 45.7 | 179 | | 7.83 | | -0.45 |
| T-49 | 700 | 39.9 | 11 | | | | |
| T-50 | 1,180 | | 495 | | 7.7 | | -4.22 |
| T-51 | 600 | 57.6 | 497 | | 11.82 | | -6.51 |
| T-52 | 1,200 | | 323 | | | | |
| KT- 4 | 1,300 | 57.9 | 123 | | | | |
| KT- 5 | 1,500 | 28.8 | 7 | | | | |
| KT- 6 | 1,300 | 58.8 | 446 | | 48.18 | | -42.32 |
| KT- 7 | 1,365 | 54.6 | 216 | 11.10 | 20.12 | -3.11 | -12.13 |
| KT- 8 | 1,250 | | | 12.04 | | -0.10 | |
| KT- 9 | 1,300 | 52.7 | 995 | | 8.69 | | 3.48 |
| KT-11 | 1,330 | 48.8 | 18 | | 10.36 | | |
| KT-13 | 1,258 | 46.9 | 329 | | 14.33 | | -6.20 |
| KT-17 | 1,337 | 56.0 | 378 | | 18.58 | | -11.42 |
| KT-20 | 1,500 | 51.1 | 382 | | 10.95 | | -1.55 |
| H- 1 | 1,300 | 52.1 | 89 | 26.7 | 37.16 | -21.05 | -31.51 |
| H- 2 | 1,300 | 55.8 | 81 | 20.0 | 36.57 | -12.76 | -29.33 |
| H- 4 | 1,500 | 56.2 | 679 | | | | |
| H- 5 | 1,500 | 54.9 | 522 | 9.8 | 16.59 | 0.53 | -6.26 |
| I- 1 | 1,300 | 47.7* | 622 | | | | |
| I- 2 | 1,300 | 47.4 | 48 | | | | |
| I- 3 | 1,306 | | | 17.97 | | 7.96 | |
| I- 7 | 1,300 | 48.9 | 285 | 20.4 | 27.42 | -13.76 | -20.78 |
| I- 8 | 1,500 | | | 29.93 | | -23.94 | |
| I-10 | 1,500 | | | 18.15 | | -8.19 | |
| I-12 | 1,452 | 54.6 | 177 | | | | |
| I-16 | 1,500 | 61.0 | 1,516 | 9.4 | 19.34 | -2.24 | -11.88 |
| I-17 | 1,480 | 57.0 | 498 | | | | |
| S-2 | 1,340 | 41.8* | 297 | | | | |
| S-3 | 1,300 | 47.9 | 51 | | 31.96 | | -25.12 |
| S-5 | 1,350 | 58.8 | 360 | 33.2 | 56.59 | -29.23 | -52.62 |
| SD- 1 | 1,450 | 47.5 | 200 | 26.1 | 43.16 | -22.23 | -39.30 |
| SD- 5 | 1,500 | 50.1 | 214 | | 28.99 | | -17.27 |

* : measured at end of pipe line