



Title	北海道白老町虎杖浜・竹浦地域温泉の地下構造と熱水系
Author(s)	浦上, 晃一; URAKAMI, Koichi
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 49, 169-190
Issue Date	1987-03-30
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.49.169">https://doi.org/10.14943/gbhu.49.169</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14166">https://hdl.handle.net/2115/14166</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	49_p169-190.pdf



## 北海道白老町虎杖浜・竹浦地域温泉の地下構造と熱水系

浦上 晃 一

北海道大学工学部

(昭和61年11月25日受理)

### Hydrological Structure and Thermal Water Systems in Kojohama-Takeura Hot Spring Area in Southwestern Hokkaido

By Koichi URAKAMI

Faculty of Engineering, Hokkaido University

(Received November 25, 1986)

The Kojohama-Takeura hot spring area is the intensively developed western part of the Shiraoi geothermal field in the southwestern Hokkaido. There exist 91 wells drilled to depths of 300 to 1200 m in a coastal plain bordered on the east by the Shikyu river, from which more than 7000 l/min of thermal waters with temperatures of 28 to 57°C are pumped for domestic use and for bathing at hotels. Development of thermal water resources in the area was started with the first drilling in 1963 and by 1975, 91 wells were drilled there. At the early stage of the development the wells were discharged large amounts of thermal waters with high pressures. The excessive withdrawal of thermal water, however, caused a rapidly decrease in the pressure head and a subsequent decrease in subsurface temperature. The average of the pressure heads in the central part of the area decreased from about 8 m in November 1969 to about 4 m above the ground surface in November 1972, and now it falls down into about 7 m below the ground surface.

This paper discusses hydrological structure, thermal water systems, and changes in subsurface temperature in the area based on major constituents of thermal waters and on temperature depth profiles measured five times for the last ten years using nonproductive wells.

Thermal waters discharged from the Kojohama-Takeura area are highly alkaline (pH 8.3-8.7) NA-Cl-HCO<sub>3</sub> type water, but their concentrations of chemical constituents vary greatly (TDS 0.2-10.4 g/l). The thermal waters are grouped into three categories: highly saline sodium chloride waters, sodium chloride waters with moderate to low salinity, and sodium bicarbonate waters with extremely low salinity. Highly saline waters are only found at the Ayoro river basin in the central Kojohama, the waters in the last two categories are widely distributed from the eastern Kojohama to the eastern Takeura. Furthermore, the waters in the Takeura are subdivided into the moderate, low, and extremely low chloride waters which are respectively related to three parent waters named C, B, and A.

The Kojohama-Takeura area comprises six hydrological units: surface groundwater aquifer, impermeable cap rock layer, and four major thermal water aquifers. The impermeable cap rock layer of 100-200 m thick covers thermal water aquifer over the area and prevents infiltration of surface groundwater into thermal water systems. The thermal water aquifers are separated from one to another by impermeable beds of 30 to 70 m, so that four separated thermal systems are formed in the respective aquifers. The aquifer containing highly saline water underlies in the Ayoro river basin in the central Kojohama. Two aquifers, namely the upper and lower aquifers, are distributed over the area from the eastern Kojohama to eastern Takeura. The upper aquifer just below the

impermeable cap rock layer contains parent water A, and the lower aquifer in the lower part of the area contains parent water C. The middle aquifer which contains parent water B is distributed in the intermediate zone in the western Takeura.

I. ま え が き

北海道白老町では、海岸線に沿った平野部のほぼ全域から温泉が湧出している。この地域には元来天然湧出の温泉は全く存在しなかったが、1963年11月、この西方の登別市登別駅付近で深さ450mのボーリングにより45℃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300-1200mから温度28-57℃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温泉が開発され、深度1500m位から60℃近い温泉が湧出している。泉源は白老町全体でおおよそ150孔あるが、そのうち91孔は虎杖浜・竹浦地域に集中している。湧出量は虎杖浜・竹浦地域でおおよそ7000 l/min、白老町中央部および東部では合わせて5000 l/min程度である。

虎杖浜・竹浦地域の温泉は、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。福富ほか(1970)は、1966年の秋に、竹浦西部のT-5で水柱に換算して地上29.5mの水圧を観測しているし、1969年11月には、当時の59ヶ所の泉源で調査を実施し、自噴量が165-2500 l/min(平均745 l/min)であり、水圧が地上4-18mであったと報告している。しかし、この水圧は温泉の開発が進むにつれて急激に低下し、1969年11月には中心部で地上おおよそ8m、1971年11月には地上4m位になり(浦上ほか、1972)、現在では、地表面下6-7mまで低下して、全ての泉源で動力揚湯されるようになった。このように、虎杖浜・竹浦地域の温泉は開発にともなって湧出状況に著しい変化が生じたので、1975年5月、北海道温泉審議会はこの地域を温泉の保護地域として指定し、掘削を全面的に禁止する措置を取った。

著者は、急激な温泉開発がこの地域の熱水系におよぼす影響を調べるために、1975年以来、未利用泉源

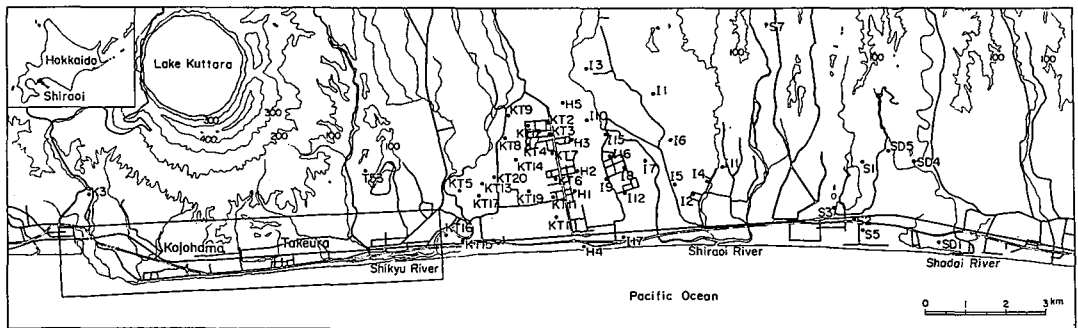


Fig. 1. Location map showing wells in the central and eastern parts of the Shiraoi geothermal field, Hokkaido.

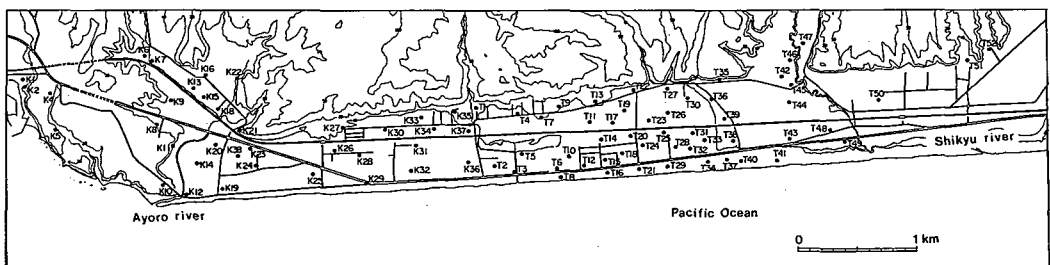


Fig. 2. Location map showing wells in the Kojohama-Takeura area in the western Shiraoi.

を利用した鉛直地温分布の測定、温泉のCl含有量の測定、温泉水位の観測などを続けてきた。本報告は、主として鉛直地温分布とCl含有量の測定結果にもとづいて、虎杖浜・竹浦地域の地下構造と熱水系について考察し、地温の変化やCl含有量の変化について簡単にまとめたものである。温泉水位の観測結果については、別に報告する予定である。

## II. 地質の概要

虎杖浜・竹浦地域の地質は、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、この層はこの地域の西方約15 kmの幌別川上流部の河岸付近に僅かに露出しているに過ぎない。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、上部になるとしだい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山火山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などで構成されており、倶多楽湖を取り囲む外輪山の外側の斜面や、この地域西部の丘陵地帯に広く分布している。また、海岸の平野部や敷生川の周辺には海浜・河床堆積物が厚く堆積している(斉藤ほか, 1953; 土居, 1953)。

虎杖浜・竹浦地域には91孔の泉源が掘削されたにもかかわらず、わずか4泉源しか地質柱状図が残されていない。地質柱状図(Fig. 3)によると、この地域の平野部は厚さ100 m近い海浜堆積物で覆われ、その下部に厚さ100-200 mの砂岩・頁岩層が分布している。温泉はその下部の砂岩層や集塊岩層などの透水性の地層から湧出している。

## III. 温泉の化学的特性

Table 1 に虎杖浜・竹浦地域の代表的な泉源から湧出する温泉の主要化学成分を示した。測定は北海道地下資源調査所(1977)によって1976年8月から11月までの間に行われた。この地域に湧出する温泉は比較的温度が低く、弱アルカリ性を示すが、化学成分の濃度(TDS)には著しい差があって、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。主要陽イオンはNaであり、主要陰イオンはCl, SO<sub>4</sub>およびHCO<sub>3</sub>である。ClおよびSO<sub>4</sub>はTDSとともに増加するが、HCO<sub>3</sub>はあまり変化しないので、陰イオンの組成比にかなりの差ができる(Fig. 4)。それゆえ、この地域に湧出する温泉は化学成分の濃度と陰イオンの組成比によって、つぎの3つのタイプに分けることができる。すなわち、(1)高濃度で比較的高SO<sub>4</sub>の多いNa-Cl型の温泉、

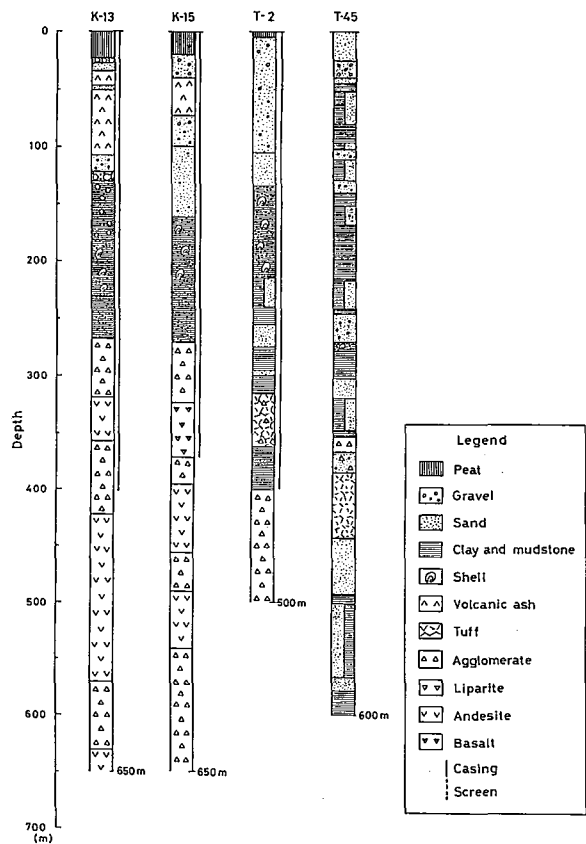
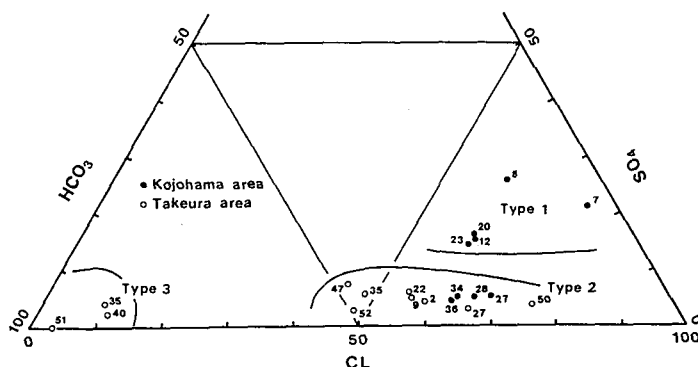


Fig. 3. Drillers' logs estimated from cutting samples.

**Table 1.** Major constituents of selected thermal waters in the Kojohama-Takeura area, sampled from August to November 1976 (Geological Survey of Hokkaido, 1977). Chemical constituents and total dissolved solids (TDS) are given by mg/l.

Well No.	Depth (m)	Temp. (°C)	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	TDS
K- 7	1000	48.0	8.7	3405	106.5	265.4	49.4	4597	217.2	1766	10350
K- 8	710	47.8	8.4	1201	47.4	27.2	4.0	1243	257.4	729.4	3492
K-12	419	47.3*	8.5	785	38.3	7.2	2.0	869.3	313.5	299.2	2283
K-20	467	52.2	8.3	747	35.8	7.2	1.1	812.5	303.8	271.8	2191
K-23	549	51.7	8.4	826	44.8	8.9	1.6	901.2	347.7	327.9	2478
K-27	375	47.6	8.5	451.0	18.8	4.7	1.1	573.6	200.1	66.3	1332
K-28	600	43.8*	8.5	380.8	20.6	4.7	0.5	462.0	185.4	53.1	1151
K-34	462	48.8	8.3	325.3	15.7	4.1	0.9	394.5	176.9	44.1	1017
K-36	420	47.8	8.4	329.5	15.2	4.0	1.7	390.3	186.7	40.9	1071
T- 2	465	48.5	8.5	327.8	15.2	5.6	1.3	389.5	189.1	41.8	1012
T- 9	558	45.0*	8.7	252.0	12.7	5.6	0.5	287.4	173.9	33.5	843
T-22	446	47.2	8.6	243.2	13.8	5.0	0.8	276.7	168.4	39.9	792
T-27	650	52.7	8.5	358.8	15.2	5.9	0.5	459.8	200.1	27.2	1177
T-35	700	49.6	8.7	198.6	10.7	1.9	0.2	204.4	169.6	32.0	671
T-38	668	43.2	8.9	48.5	2.3	1.1	0.4	13.2	106.1	7.6	256
T-40	685	41.5	8.9	40.6	1.8	0.2	0.1	12.3	86.6	4.0	237
T-47	736	45.5	8.5	180.0	7.6	1.9	0.5	171.4	161.0	39.0	625
T-50	1180	55.6	8.5	527	20.2	13.8	1.6	720.2	191.5	45.6	1618
T-51	600	28.5	8.7	51.5	4.2	3.9	0.5	6.6	141.5	0.0	218
T-52	1200	49.5	8.7	213.6	9.5	3.4	0.3	222.1	196.4	20.2	758

\* measured at the end of pipe line.



**Fig. 4.** Trilinear diagram for major anions of selected thermal waters from the Kojohama-Takeura area. Data used for the figure are given in Table 1.

タイプの温泉を湧出する泉源が分布している。

Fig. 5 は温泉の Cl 含有量と湧出温度との関係を示したものである。測定は 1971 年 11 月に浦上ほか (1972) によって行われた。プロットした点がばらついているものの、Cl 含有量と湧出温度との間には明らかに直線的な関係が認められる。この関係から、この地域には、源温泉 A、B および D (図でそれぞれ A、B および D で表わした温泉) と地下水 E があって、これらが混合して湧出していると考えられる。源温泉 A および B は、それぞれ上述のタイプ (2) および (3) の温泉であり、竹浦地域に分布している。また、源温泉 D はタイプ (1) の温泉で、虎杖浜西部のアヨロ川流域の K-15 から湧出していた温泉である。福富ほか (1970) は、源温泉 A が極めて低濃度でやや温度が低いことから、この温泉は地層中に停滞した地下水が下部の熱源によって熱伝導で熱せられたものであると解釈している。Fig. 5 で、プロットした点は温度差 5-7°C の帯状の領域にばらついているが、このことは、この地域の温泉が地下で熱伝

(2) 中から低濃度で SO<sub>4</sub> の少ない Na-Cl 型の温泉、(3) 極めて低濃度で他の 2 つのタイプの温泉に比べて温度のやや低い Na-HCO<sub>3</sub> 型の温泉。タイプ (1) の温泉はその分布が虎杖浜中央部のアヨロ川流域に限られているが、タイプ (2) の温泉は虎杖浜東部から竹浦東部にかけての広い地域に湧出している。また、タイプ (3) の温泉は、Table 1 では竹浦東部の 3 泉源にしかみられないが、竹浦西部や虎杖浜中央部にもこのタ

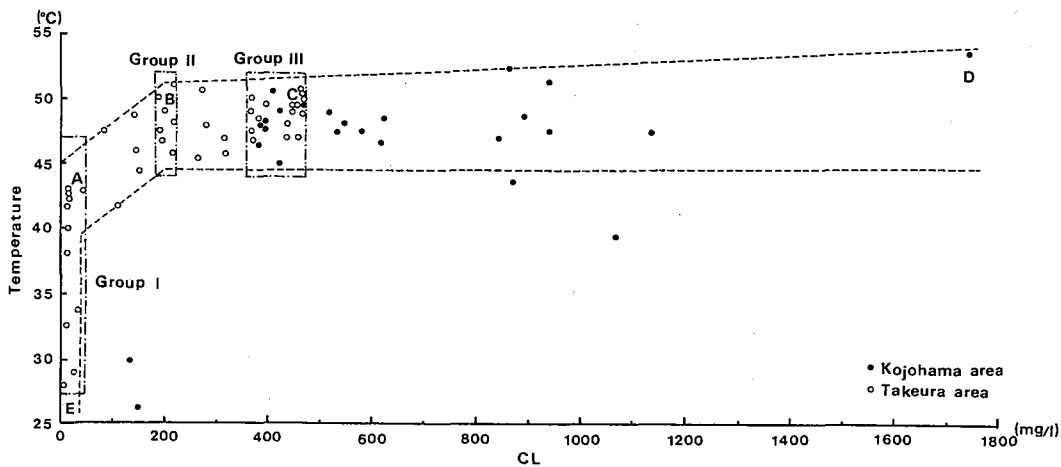


Fig. 5. Relationship between temperatures and chloride contents of thermal waters discharged from the Kojohama-Takeura area, sampled in November 1971. Plots for the Takeura area falls into three groups in the separated range of chloride contents : (I) less than 50 mg/l, (II) 180–220 mg/l, and (III) 380–470 mg/l. These groups are respectively related to parent waters A, B, and C.

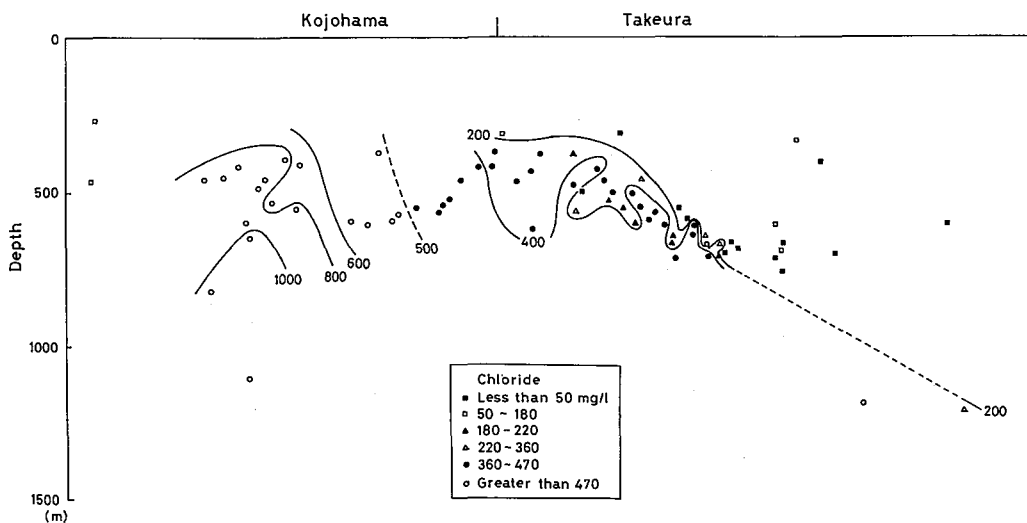
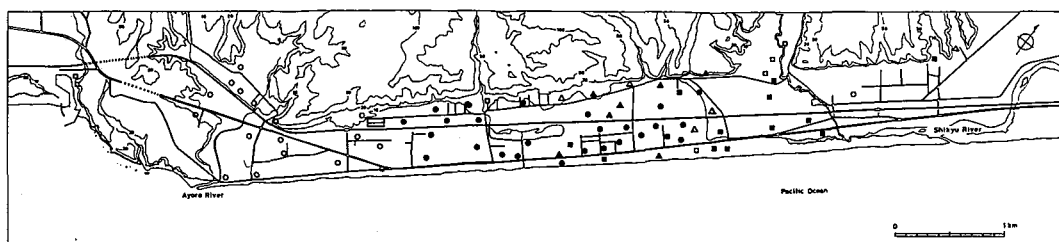


Fig. 6. Distributions of chloride contents of thermal waters.

導によって加熱あるいは冷却されたことを示し、これらが長い滞留時間を持った温泉であることを示唆している。

Fig. 5 をみると、竹浦地域の温泉はプロットした点が Cl 含有量の 3 つの範囲：(I) 50 mg/l 以下、(II) 180–220 mg/l、(III) 380–470 mg/l、に集中しているので、この地域の温泉を Cl 含有量によって 3 つのグループに分けることができる。グループ (I) および (II) の温泉は、プロットした点がそれぞれ源温泉 A および B を中心に分布しているので、これら 2 つの源温泉を主体とした温泉であると考えてよく、これはさらにグループ (III) に関連した他の源温泉 C が竹浦地域に存在することを示している。Cl 含有量の分布 (Fig. 6) をみると、極めて低 Cl のグループ (I) に属する温泉が竹浦地域の上層部に分布し、高 Cl でグループ (III) に属する温泉が下層部に分布している。グループ (II) の温泉は中層部に分布するが、その分布は竹浦西部に限られている。このような温泉の分布から、竹浦地域には、3 つの主要な温泉帯水層が存在し、それぞれが異なった源温泉を含んでいると推定される。これらの温泉帯水層を上位から順に TA、TB および TC と名付けておく。

## IV. 地下構造

### 1. 鉛直地温分布の測定

温泉湧出地域では、温泉帯水層の分布を調べるために、しばしば鉛直地温分布が測定されている (福富ほか, 1967; 浦上ほか, 1969)。帯水層は主として透水性の地層で構成されているが、透水性の地層はその分布がつぎのような観測事実にもとづいて推定されている。すなわち、透水性の地層ではそこを流れる水が大量の熱を運びさるために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運ばれているため地温勾配が大きくなっている。特に温泉湧出地域では、温泉水などの高温な熱源が比較的浅所に分布するため不透水層の地温勾配が非常に大きくなり、透水性の地層との間に大きな地温勾配の差が生ずることが多い。

虎杖浜・竹浦地域では、未利用の泉源を利用して、19ヶ所で鉛直地温分布を測定した。測定は 1975 年 8 月および 1976 年 3 月, 1977 年 8–9 月, 1979 年 11 月, 1981 年 8–9 月, 1985 年 5 月に 5 回行なった。これは出来るだけ多くの泉源で地温分布を得るとともに、地温分布の変化を観測するために実施したものであるが、5 回とも地温分布が測定できた泉源は 7ヶ所に過ぎない。測定にはサーミスター温度計を用い、井戸の水温を深さ 1–10 m 毎に測定した。測定に利用した泉源はいずれも水位が地表面より低く、測定前少なくとも 3 ヶ月は未利用のまま放置されていたので、測定した水温はその深度の地温に等しいと考えてよい。

### 2. 虎杖浜地域

Fig. 7 は虎杖浜中央部のアヨロ川流域の K-11 で測定された地温分布を示したものである。図の右側に地温勾配の分布を示してあるが、これは地温分布から求めたものである。ここでは、深さ 390 m に存在する地温勾配の顕著な変換点によって熱的水理的な構造が上下 2 つのゾーンに分けられる。上部は主として地温勾配の大きな地層で構成されている。特に深度 25–100 m および 360–390 m の地層は地温勾配がそれぞれ 0.16–0.58°C/m、0.2–0.3°C/m と非常に大きく、これらの地層は不透水層と考えられる。これとは対照的に、下部は地温勾配の小さい地層で構成されている。特に深度 390–520 m の層では平均地温勾配が上半分 (390–460 m) で 0.0°C/m、下半分 (460–520 m) で 0.04°C/m と極めて小さくなっている。このように小さな地温勾配は、そこを流れる温泉水によって大量の熱が運ばれるために生ずると考えられ、この地層は非常に透水性のよい地層であると推定される。この下部にも、かなり地温勾配の小さい地層が孔底まで続いているが、その平均勾配は 0.07°C/m であり、その上部の地層より地温勾配がやや大きい。恐らく、地層の地温勾配はそこを流れる温泉水の流速の関数で表されると思われるが、地温勾配は地層の熱伝

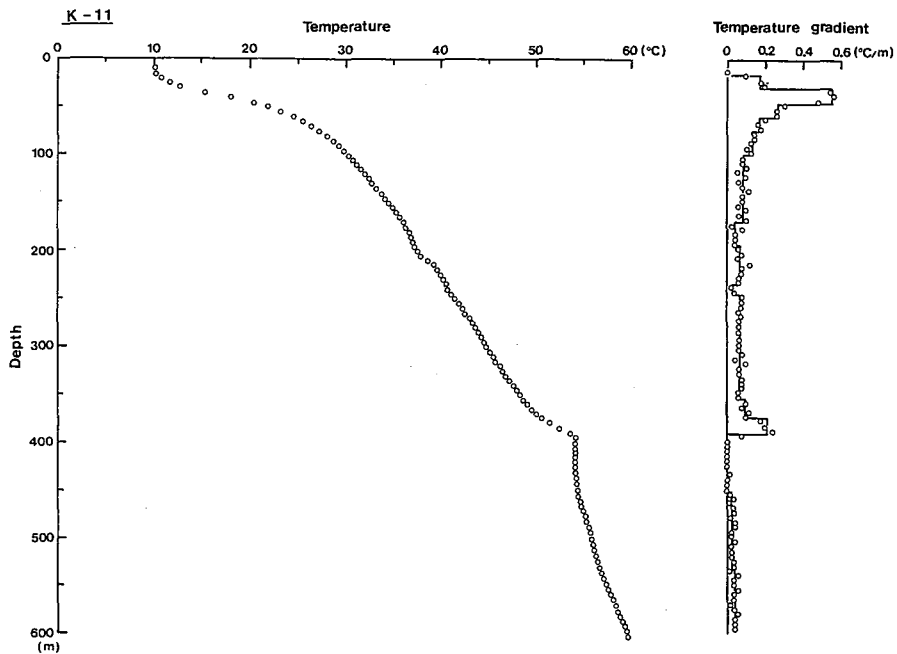


Fig. 7. Vertical profiles of temperature and temperature gradient at well K-11 in the Ayoro river basin in the central Kojohama, measured in August 1979.

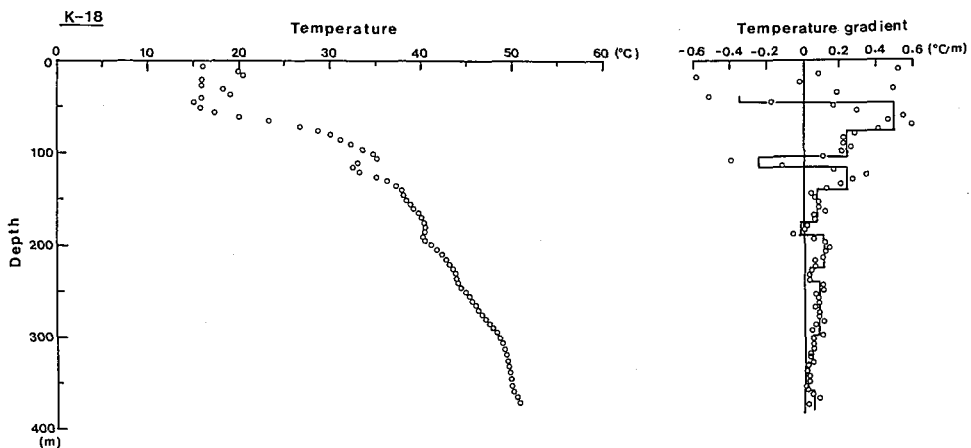


Fig. 8. Vertical profiles of temperature and temperature gradient at K-18 in the Ayoro river basin, measured in March 1976.

導率や深部の熱源など他の要素にもよるので、地温勾配と温泉水の流速との関係を見積ることは極めて難しい。しかしながら、議論を単純にするためには、地層の透水性を判断する何らかの基準を設けることが必要である。そこで、この地域で測定された地温分布を検討し、地質柱状図を参考にして、基準地温勾配を  $0.05^{\circ}\text{C}/\text{m}$  と定め、これ以下の地温勾配を示す地層は透水性が非常によく、そこに優勢な水の流れが生じていると判断した。以下、このような透水性のよい地層を透水層と呼ぶことにする。

Fig. 8 はアヨロ川流域の K-9 で測定された地温分布を示したものである。測定は 1976 年 3 月に行われた。深度 110-130 m および 185-195 m に地温の逆転層がみられる。しかし、1985 年 5 月に測定された地温分布 (Fig. 21) をみると、逆転層の上部および下部の地層の温度が低下したために、逆転層が消え、滑

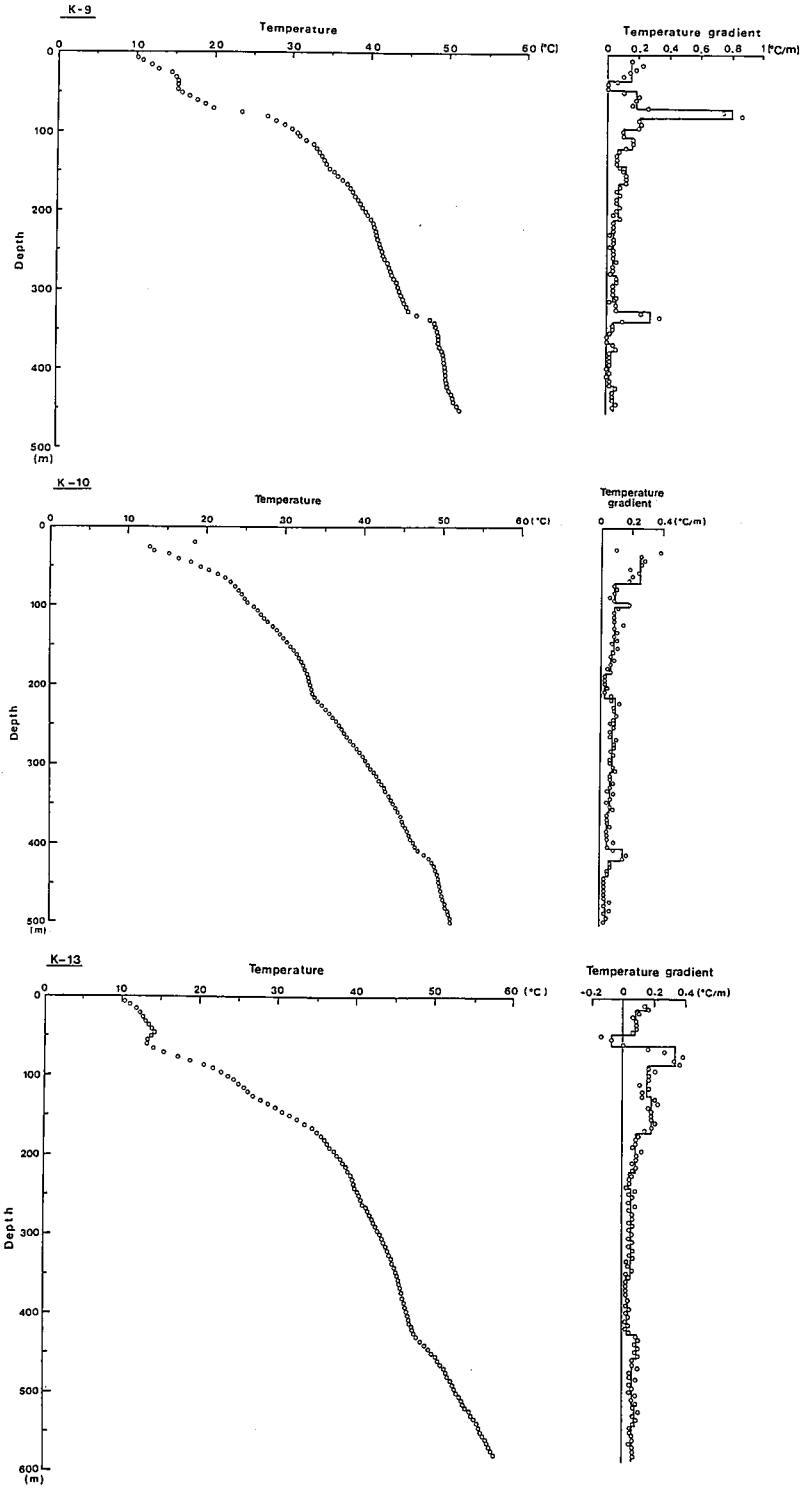


Fig. 9. Vertical profiles of temperature and temperature gradient at K-9, K-10, and K-13 in the Ayoro river basin. Measurements were made in August 1975 at K-9 and K-13, and in August 1979 at K-10.

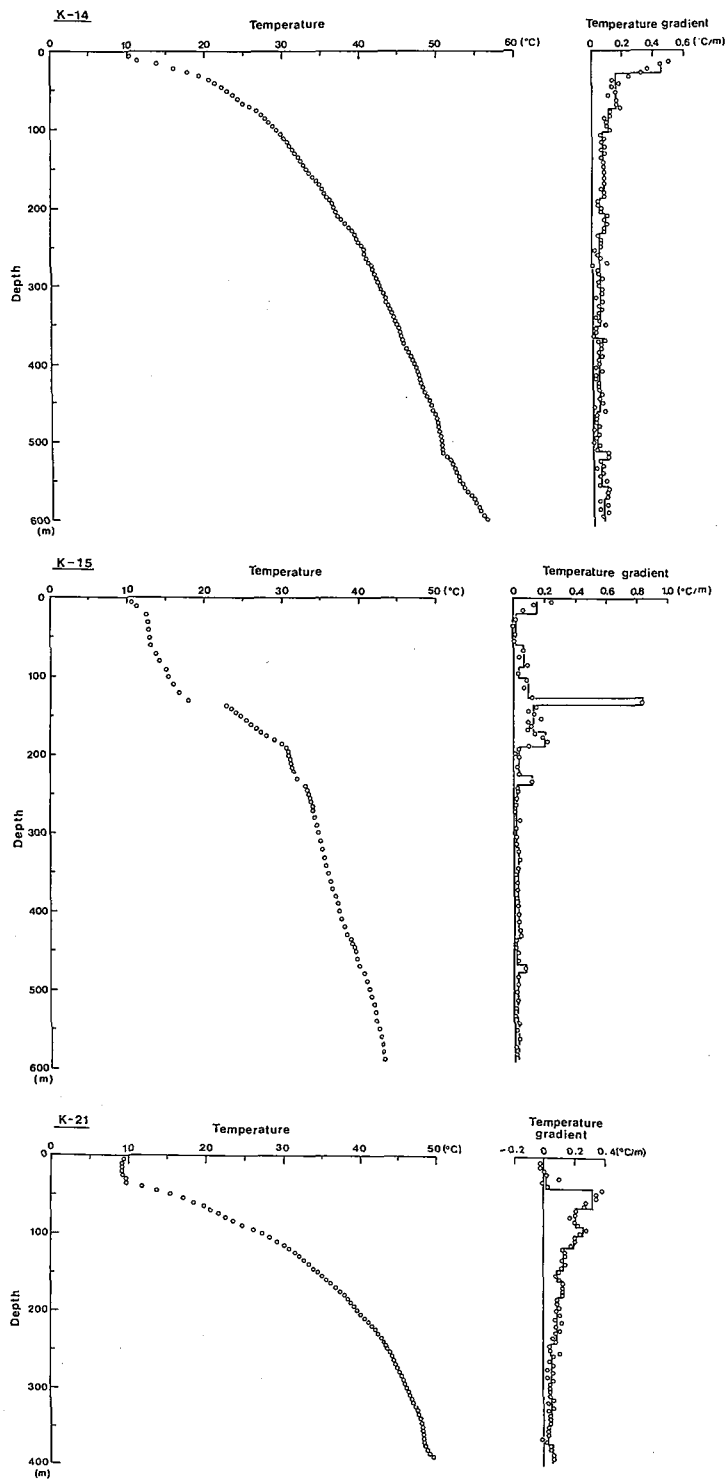


Fig. 10. Vertical profiles of temperature and temperature gradient at K-14, K-15, and K-21 in the Ayoro river basin. Measurements were made in August 1975 at K-21, and in March 1976 at K-14 and K-15.

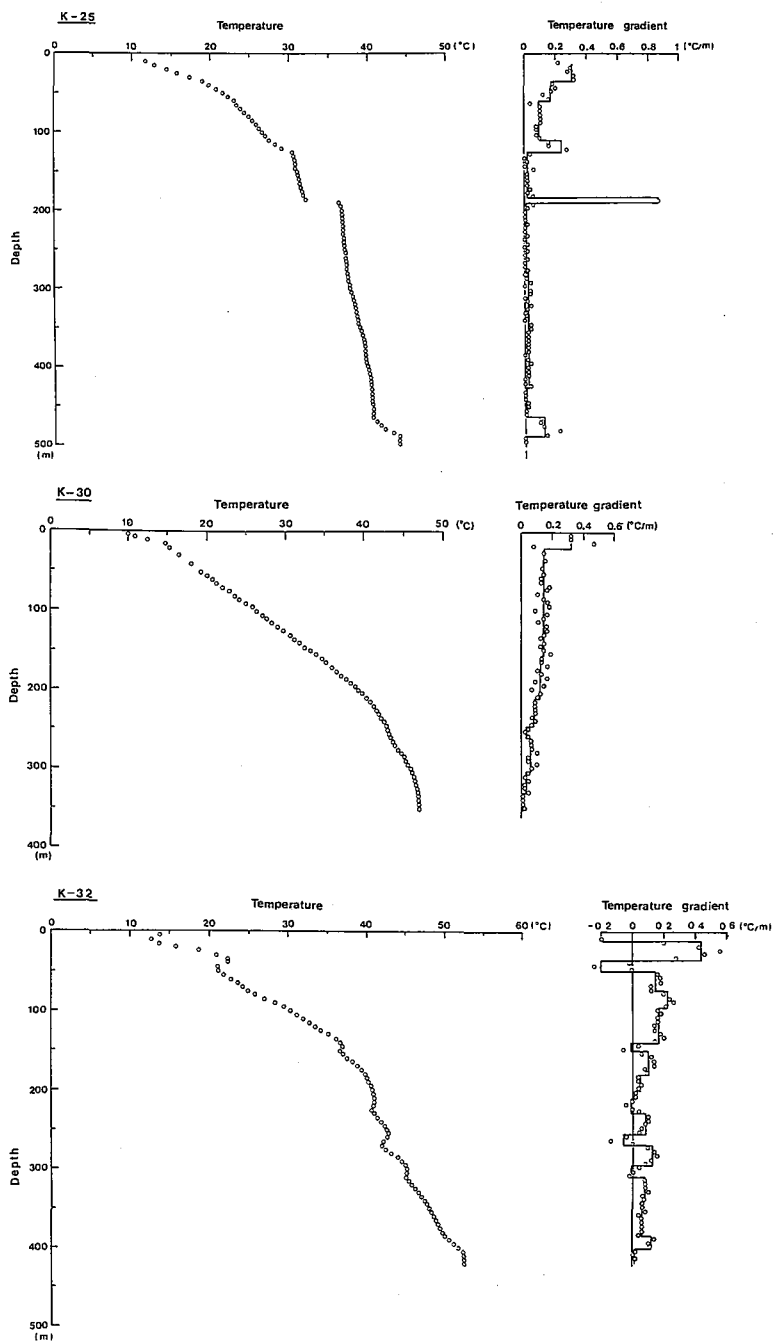


Fig. 11. Vertical profiles of temperature and temperature gradient at K-25, K-30, and K-32 in the eastern Kojohama. Measurements were made in August 1975 at K-30, and in November 1981 at K-25 and K-32.

らかな分布になっている。このような地温の逆転は9ヶ所の泉源で観測されたが、これらは1975年11月および1976年3月, 1977年8-9月に測定された地温分布にみられるもので、それ以後は、K-9と同様、いずれも逆転層のない単調な地温分布が得られている。したがって、このような地温の逆転はこの地域に生じた温泉水圧の著しい低下と関連させて、つぎのように考えることができる。すなわち、開発当初は温泉の水圧が非常に高かったので温泉の地表への漏水にともなった上昇流があり地温が浅所までかなり高く保たれていたが、温泉の水圧が著しく低下した結果、上昇流が衰え、やがて上層のより温度の低い水が下層に浸透するようになり、その水が透水性のよい地層に集中して地温の逆転層が生じた。それゆえ、地温の逆転が観測された地層も、地温勾配が $0.05^{\circ}\text{C}$ 以下の地層と同様に、透水層と考えられる。

Fig. 9, 10, 11 に虎杖浜地域の9ヶ所の泉源で測定された地温分布をまとめた。

Fig. 12 に地温分布から推定した虎杖浜地域の地下構造を示した。この地域では、地温勾配によって、地下構造をS, A, B, KC, DおよびKEの6層に区分した。S層は表層の地下水帯水層であり、透水層である。この層では、しばしば地温の季節変化が観測され、薄い逆転層を含む複雑な分布を示すことが多い。A層は地温勾配が非常に大きな層で、不透水層と考えられる。この層はこの地域全域に分布するが、地質柱状図と対比すると、海浜堆積物の下部に分布する砂岩・頁岩層にあたり、室蘭層の上層部を構成している。B層は薄い地温の逆転層や地温勾配の小さい層を含むが、全体としてみると、中程度の地温勾配を示し、難透水性の地層と考えられる。しかし、虎杖浜東部のK-25およびK-32では、この層は主として逆転層や地温勾配の小さい層で構成されており、ここでは透水層と考えてよい。KC層は地温勾配が極めて小さく、透水層と判断される。この層はこの地域の主要な温泉帯水層を形成しているが、その分布はアヨロ川流域に限られている。D層は中程度から大きな地温勾配をもった層で、不透水層と推定される。この層もKC層と同様アヨロ川流域に限って分布している。KE層は虎杖浜東部の最下部に広く分布しており、地温分布が極めて小さいことから、透水層と判断される。

アヨロ川流域では、KC層が温泉帯水層となり、その上部に難透水性のB層があり、その下部には不透水性のD層が分布している。しかし、K-15の地温分布をみると、地温勾配の非常に小さい層がB層の上端付近からKC層を通り孔底まで続いている。この泉源が1971年11月にはこの地域でも最も温度が高く最もCl含有量が多い温泉を湧出していたことを考えると、地下深部からB層の上端付近にまで達する地層の割目があり、この割目に導かれて、高温で高Clの温泉が

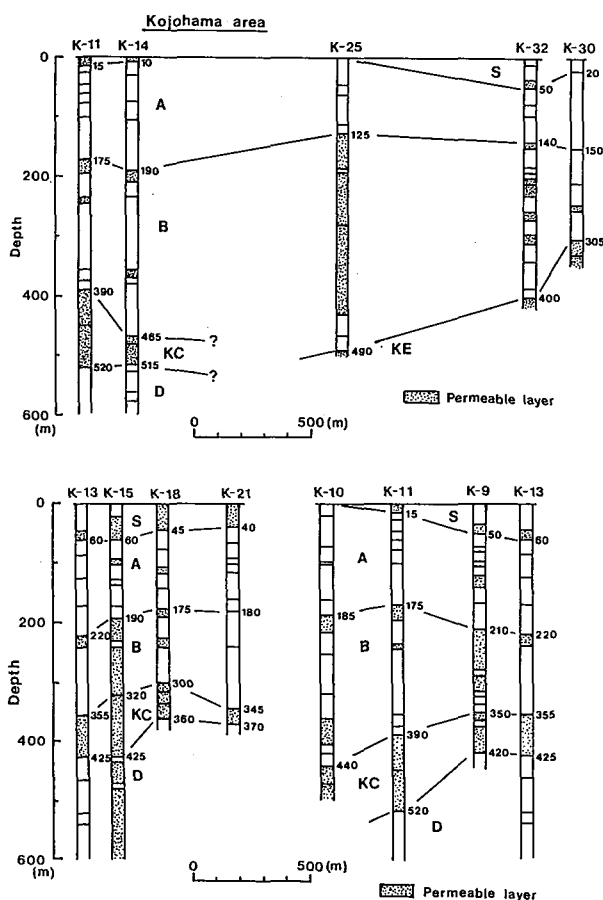


Fig. 12. Hydrological structure of the Kojohama area estimated from temperature depth profiles.

深部から上昇し湧出していたと推定される。しかし、K-15から湧出していた温泉とその周囲の泉源から湧出する温泉とではCl含有量が600 mg/l以上の差があり、割目に導かれて上昇した深部の温泉が周囲の泉源から湧出する温泉に混入しているとは考え難く、割目の水平的な広がりとは比較的小さいと考えられる。

虎杖浜地域東部では、B層はむしろ透水性の地層であり、この地域の上部温泉帯水層を形成している。この下部に厚さ30-50 m位の薄い不透水層を挟んでKE層が分布するが、この層は極めて透水性のよい地層であり、この地域の下部温泉帯水層を形成している。このように、虎杖浜東部は中央部のアヨロ川流域とはB層以深の構造がかなり異なっているし、また、すでに述べたように、温泉の化学成分もその濃度や組成比に差がみられるので、アヨロ川流域と虎杖浜東部との間に何らかの地質的構造線が存在するものと思われる。

### 3. 竹浦地域

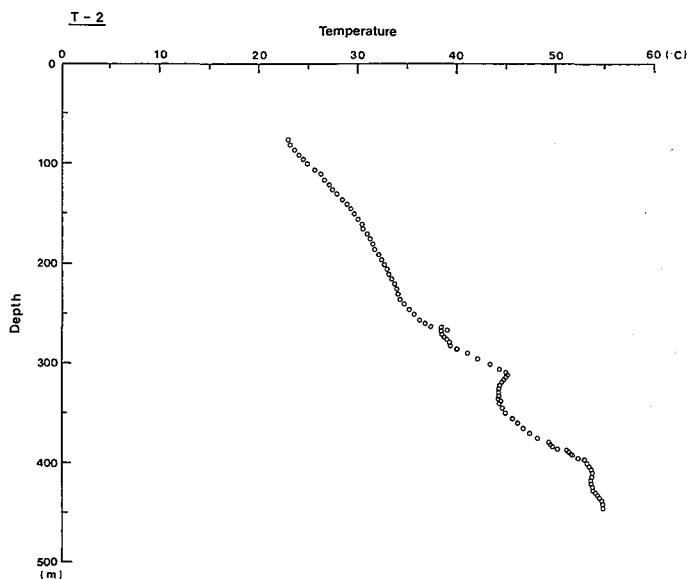
すでに述べたように、竹浦地域にはTA, TB, TCの3つの主要な温泉帯水層があり、それぞれに異なった源温泉が分布している。Table 2に地温分布の測定を実施した泉源から1971年11月に湧出していた温泉のCl含有量を示した。源温泉はそれぞれCl含有量にかなりの差があるので、これらのCl含有量は、地温分布から推定される温泉帯水層を区別するのに利用できる。

**Table 2.** Chloride contents of thermal waters discharged from the wells used for temperature-profile measurements in the Takeura area, sampled in November 1971.

Well No.	T- 2	T- 7	T-13	T-19	T-28	T-30	T-32	T-33	T-34
Depth (m)	465	600	520	540	550	580	640	580	670
Cl (mg/l)	366		218	194	13	45	436	316	48

Fig. 13に竹浦西部のT-2で測定された地温分布を示した。測定は北海道立地下資源調査所(1977)によって、1967年8月に、掘削が完了した数日後に行われた。地温勾配が小さく、透水層と推定される地層が深度310-350 mおよび395 m以深にみられる。地質柱状図によれば、上部の透水層は凝灰岩質集塊岩層であり、厚さ50 mの頁岩層を挟んで、下部の透水層は凝灰角礫岩層である。この泉源は地表から深度400 mまでケーシングされセメンティングされているので、温泉は下部の透水層から裸孔部分を通じて湧出していると考えられる。温泉のCl含有量が366 mg/lであったから、下部の透水層は源温泉Cを含むTC層であると判断される。また、上部の透水層はTB層と思われるが、ここから北東に約600 m離れたT-7では、この層が深度335-460 mにみられる(Fig. 16)。T-7では、T-2と同様な特徴をもった地温分布が得られている。

Fig. 14に竹浦西部のT-13およびT-19で測定された地温分



**Fig. 13.** Temperature depth profile at T-7 in the western Takeura, measured by Geological Survey of Hokkaido (1977) in August 1967 several days after drilling finishing.

布を示した。地温勾配が極めて小さい層がT-13では390 m以深に、T-19では480 m以深にみられる。これらの泉源はCl含有量がそれぞれ218 mg/l, 194 mg/lの温泉を湧出していた。さらに、虎杖浜・竹浦地域ではほとんどの泉源が下部の100 m位の裸孔部分を通じて温泉を採取していることを考えると、これら泉源で最下部にみられる透水層は源温泉Bを含むTB層であると判断される。T-13およびT-19はT-7から東方にそれぞれ500 m, 750 m離れているが、温泉帯水層の上下関係や、T-7の近傍のT-9からCl含有量が281 mg/l (1971年11月当時)の温泉が湧出していることから判断して、最下部の透水層はT-7の深度335-460 mに分布する透水層に相当するものと思われる。

Fig. 15に竹浦中央部のT-30で測定した地温分布を示した。ここでは透水層や厚く、深度220 mから450 mまで広がっている。この泉源はかつてCl含有量45 mg/lの温泉を湧出していたので、この透水層は源温泉Aを含むTA層と推定される。

Fig. 16にT-7およびT-34で測定した地温分布を、Fig. 17にT-28, T-32およびT-33で測定された地温分布を示した。

Fig. 18に地温分布から推定した竹浦地域の地下構造をまとめた。表層は厚さ20-70 mの地下水帯水層である。その下部に厚さ100-200 mの不透水層があり、地域全体を覆っている。温泉帯水層は上部からTA, TB, TCの3層がある。TA層は、竹浦西部では厚さが50 m程度であるが、東方に向

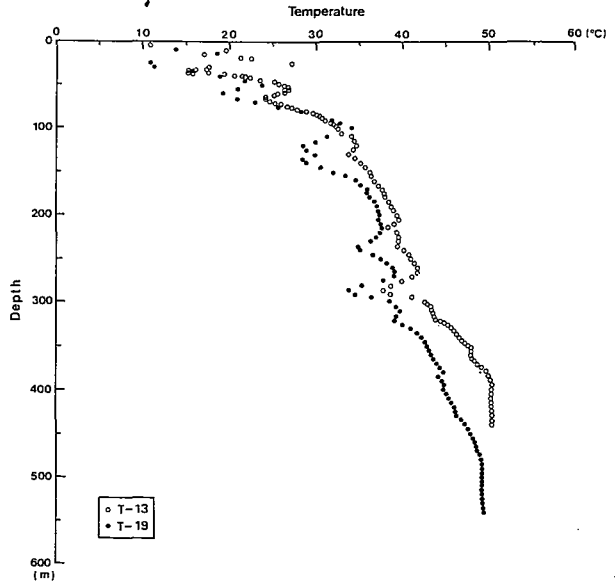


Fig. 14. Temperature depth profiles at T-13 and T-19 in the western Takeura, measured in August 1975.

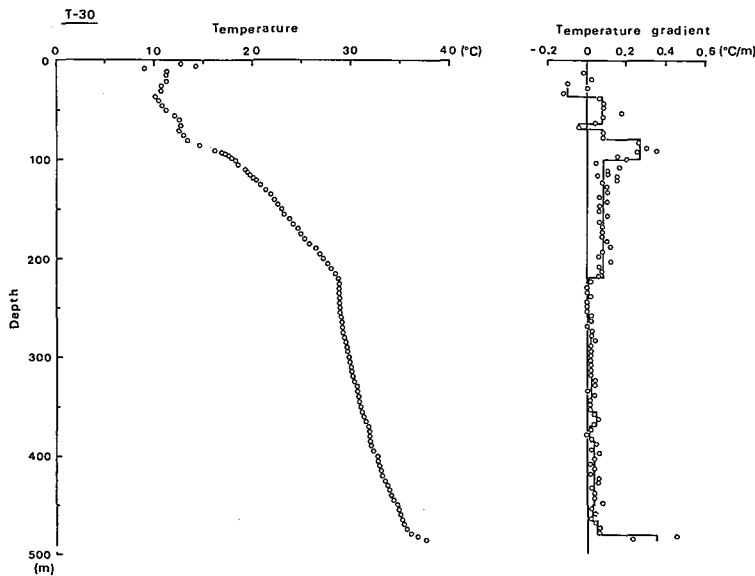


Fig. 15. Vertical profiles of temperature and temperature gradient at T-30 in the central Takeura, measured in August 1975.

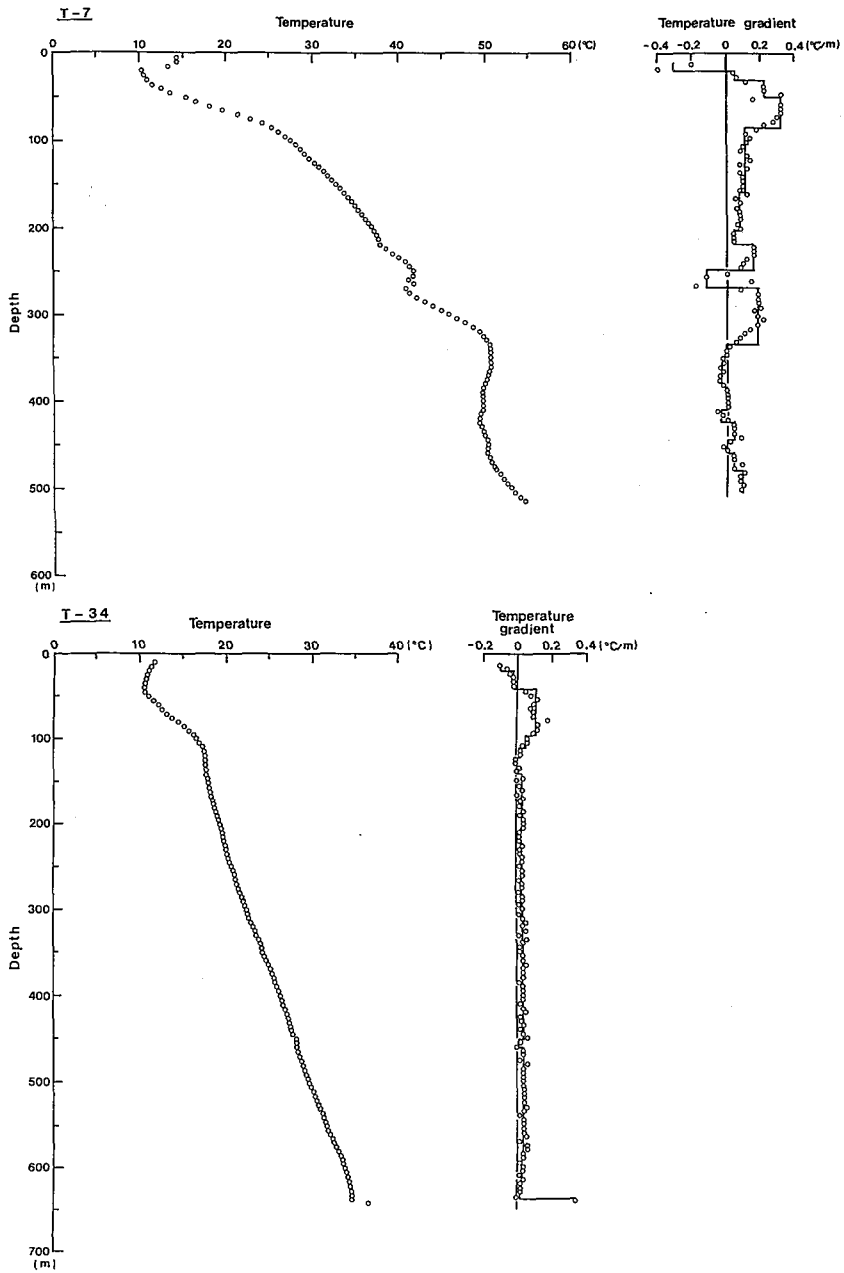


Fig. 16. Vertical profiles of temperature and temperature gradient at T-7 and T-34, measurements were made in August 1975 at T-7 and in May 1985 at T-34.

かうにしたがって厚さを増し、竹浦中央部では厚さが200-250 mになっている。1975年11月の地温分布では、この層に地温の逆転層が数多くみられる。TB層は竹浦西部の4泉源で認められるが、中央部のT-32では、この層を欠き、TA層の下部に厚い不透水層を挟んでTC層が分布している。TC層はT-2で400 m以深に、T-32では580 m以深に分布しているが、地温分布の測定を行なった他の7ヶ所の泉源はこの層に到達していない。

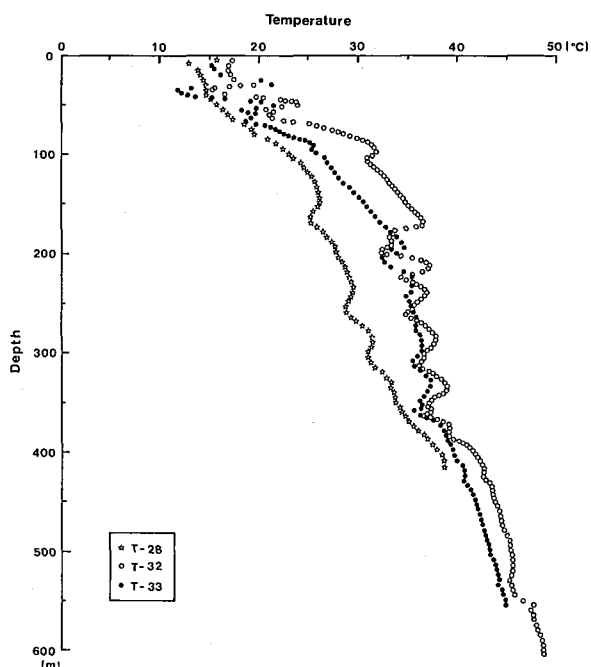


Fig. 17. Temperature depth profiles at T-28, T-32, and T-33 in the central Takeura, measured in August 1975.

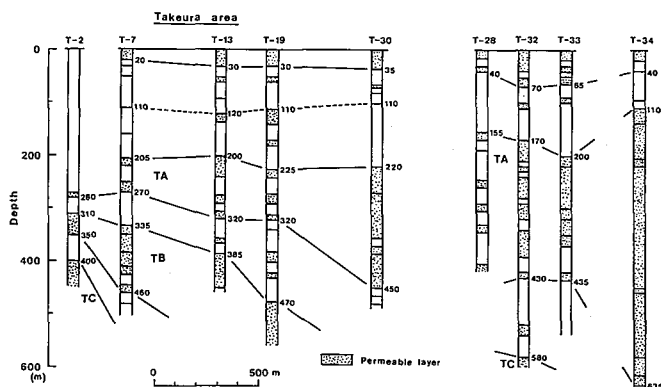


Fig. 18. Hydrological structure of the Takeura area estimated from temperature depth profiles.

る割目があり、これに導かれて上昇した深部の温泉が湧出していた。この温泉は、周囲の泉源から湧出する温泉に比べてCl含有量が非常に多いので、この温泉がKC層に流入しているとは考え難く、KC層内の温泉とは異なった熱水系を形成しているものと思われる。また、Table 1.にみられるように、K-7からは温度はそれほど高くないが極めて高濃度の温泉が湧出している。これはさらに異なった熱水系の存在を示唆しており、この地域の地下構造や熱的な環境が非常に複雑なことがうかがえる。

虎杖浜東部には上下2層の温泉帯水層が分布する。上部温泉帯水層は先に述べたB層に相当するが、この地域の西端部に深度300mまで掘削されたK-38から温度38℃、Cl含有量24mg/lの温泉が湧出していることからみて、この温泉帯水層には温度がやや低く極めて低Clの温泉が分布していると考えられ、竹

## V. 熱水系

Fig. 19は地温分布と温泉のCl含有量の分布とから推定した虎杖浜・竹浦地域の地下構造を模式的に示したものである。表層は厚さ数mから70m位の地下水帯水層である。その下部に厚さ100-200mの厚い不透水層が地域全域にわたって分布し、温泉帯水層を覆っている。この不透水層は、開発当初の温泉の水圧が高かったときには温泉が地表へ流出するのをおさえ、水圧が著しく低下した現在では表層の地下水が下部の熱水系に進入するのを防ぐなど、この地域の水利環境を決定づけ、熱水系の形成やその存続に重要な役割を果している。温泉帯水層は、その分布とそれに含まれる温泉の化学的特性によって、4層にまとめることができる。これらはアヨロ川流域の東端部に存在すると予想される地質的な構造線や厚さ50m程度の不透水層によって互いに分離されており、それぞれの温泉帯水層に孤立した熱水系が形成されている。

虎杖浜中央部のアヨロ川流域では、KC層が主要な温泉帯水層であり、タイプ(1)の高濃度でSO<sub>4</sub>がやや多いNa-Cl型の温泉が分布している。K-15では、地下深部からB層の上端付近にまで達する

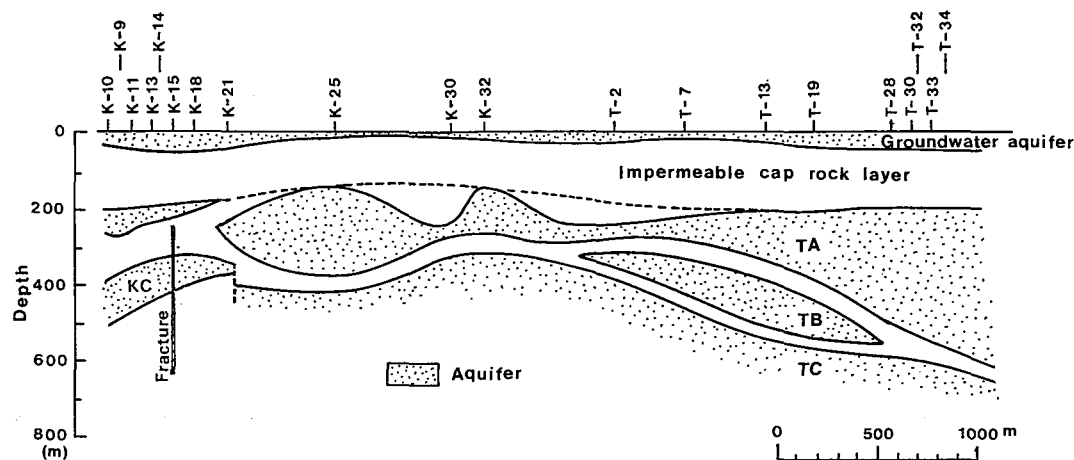


Fig. 19. Schematic cross section representing hydrological structure in the Kojohama-Takeura area.

浦地域の TA 層と同一の温泉帯水層と判断される。実は、これに相当する帯水層がアヨロ川流域にも分布している。この地域を覆う厚い不透水層の下部に僅かにみられる帯水層がそれである。虎杖浜東部から湧出する温泉は、上述の K-38 を除き、Cl 含有量が 380-620 mg/l (1971 年 11 月) であるので、これらの温泉は下部温泉帯水層から湧出していると考えられる。Fig. 6 にみられるように、この地域の泉源は掘削深度がほぼ一定しているので、この帯水層は比較的平坦な構造をもっていると推定される。また、Cl 含有量は東方に向かうにしたがって減少し、この地域の東端部では 400 mg/l 前後となっており、竹浦地域のグループ (III) の温泉と同程度の Cl 含有量となっている。したがって、下部温泉帯水層は竹浦地域の TC 層と同一の温泉帯水層であり、中程度の濃度でタイプ (2) に属する Na-Cl 型の温泉が分布していると考えられる。

竹浦地域では、虎杖浜地域の上下 2 つの温泉帯水層に相当する TA, TC 層のほかに、TB 層が竹浦西部の中層部に分布している。この層は低濃度でタイプ (2) に属する Na-Cl 型の温泉を含んでいる。Cl 含有量の分布 (Fig. 6) をみると、竹浦中央部では 200 mg/l と 400 mg/l の等濃度線の間隔が非常に狭くなっている。おそらく、この等濃度線がこの地域に分布する TA 層と TC 層の境界にあたるものと思われる。また、Table 1. にみられるように、竹浦東部の T-50 (深度 1180 m) からは温度 55.6°C、Cl 含有量 720.2 mg/l の温泉が湧出しているし、この地域の東側の北吉原地域では深度 800-1500 m の泉源から Cl 含有量が 15-3000 mg/l の温泉が湧出しているため、竹浦地域でも TC 層の下部に、TC 層内の温泉よりもさらに高濃度の温泉を含む帯水層が存在すると思われる。

## VI. 地温の変化

虎杖浜・竹浦地域では、1975 年 11 月から 1985 年 5 月までの 10 年間に 5 回の測定を行ない、地温の変化を観測した。このほか、浦上ほか (1972) が 1971 年 11 月にアヨロ川流域の 3 ケ所の泉源で地温分布を測定している。Fig. 20 は浦上ほかによる測定結果と、その後に測定された地温分布をまとめたものである。1971 年 11 月から 1975 年 11 月または 1979 年 8 月 (それぞれの泉源での最初の測定) までの間に、著しい地温低下が生じている。この地温低下は表層で 20°C 近くにも達する。しかし、深さともに減少して、この地域の主要な温泉帯水層をなす KC 層 (K-9 で深度 350-420 m, K-10 で 440 m 以深, K-11 で深度 390-520 m に分布) では 2-3°C 程度と非常に小さくなっている。これは KC 層内の温泉がかなりの勢力を保っていたことを示し、この温泉が比較的規模の大きな熱水系を形成していると想像される。1971 年 11 月の地温分布をみると、地温が浅所までかなり高温に保たれていて、温泉の水圧がまだ高かったこの時期には、温泉の表層への漏水にともなった上昇流があったことがうかがえる。また、T-9 および T-10 で

は表層の地温が約 30℃ と非常に高くなっているが、これはむしろ、この時期、多くの泉源が大量の温泉が自噴するまま放置されていたので、湧出した温泉が表層の地下水帯水層に溜ったことが原因していると思われる。

Fig. 21, 22, 23 に虎杖浜・竹浦地域の 7ヶ所の泉源で観測された地温の変化をまとめた。図の左側には、1975 年 11 月または 1976 年 3 月に測定された地温分布と、1985 年 5 月に測定された地温分布が示してあり、右側には、最初の測定で得られた地温分布を基準として、地温の変化が示してある。K-15 と T-34 を除くと、いずれも地温の低下が観測されており、地域全域にわたって地温が低下したといえる。

アヨロ川流域の K-15 では、1981 年 11 月に 400 m 以深で著しい地温低下が観測されているが、これを除き、1976 年 3 月以後ほぼ全層にわたって地温が上昇している。また、竹浦中央部の T-34 では、1975 年 8 月から 1977 年 8 月までの間は地温が低下しているが、それ以後、地温が深部からしだいに上昇している。これらの泉源では、Fig. 21 および Fig. 23 にみられるように、周囲の泉源に比べて地温が低く、また水位観測の結果によると、この 10 年間は水位が周囲の泉源よりも 0.5-2 m 低くなっていた。それゆえ、周囲のより温度の高い水が、これらの泉源に向かって流れ込み、このような地温の上昇が生じたと考えられる。当然のことながら、これらの泉源では地温が上昇に転ずる前に著しい地温低下があったはずである。したがって、これらの場所では、温泉帯水層を覆う不透水層が薄い(例えば、T-34 では 70 m であり、周囲の T-

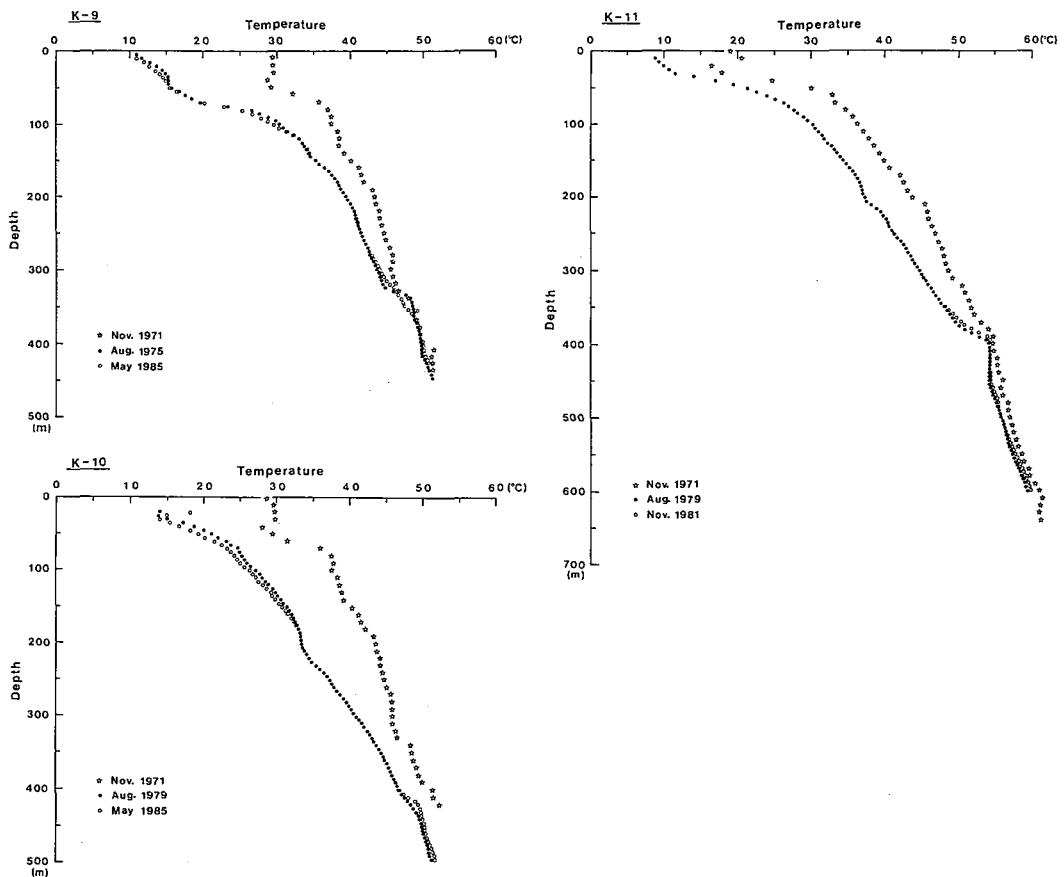


Fig. 20. Changes in subsurface temperature at K-9, K-10, and K-11 in the Ayoro river basin. The temperature profiles in November 1971 were measured by Urakami et al. (1972).

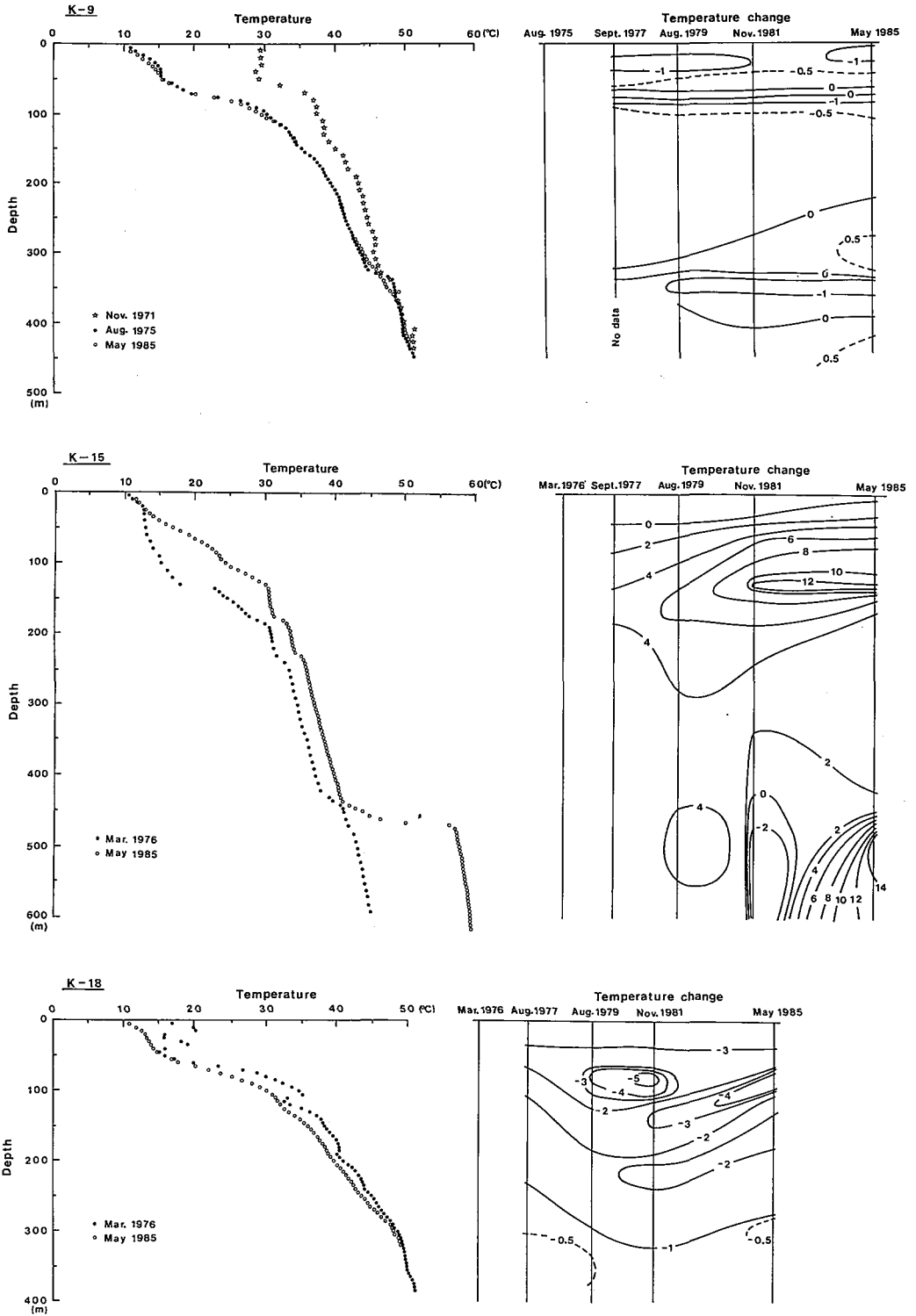


Fig. 21. Changes in subsurface temperature observed at K-9, K-15, and K-18 in the Ayoro river basin.

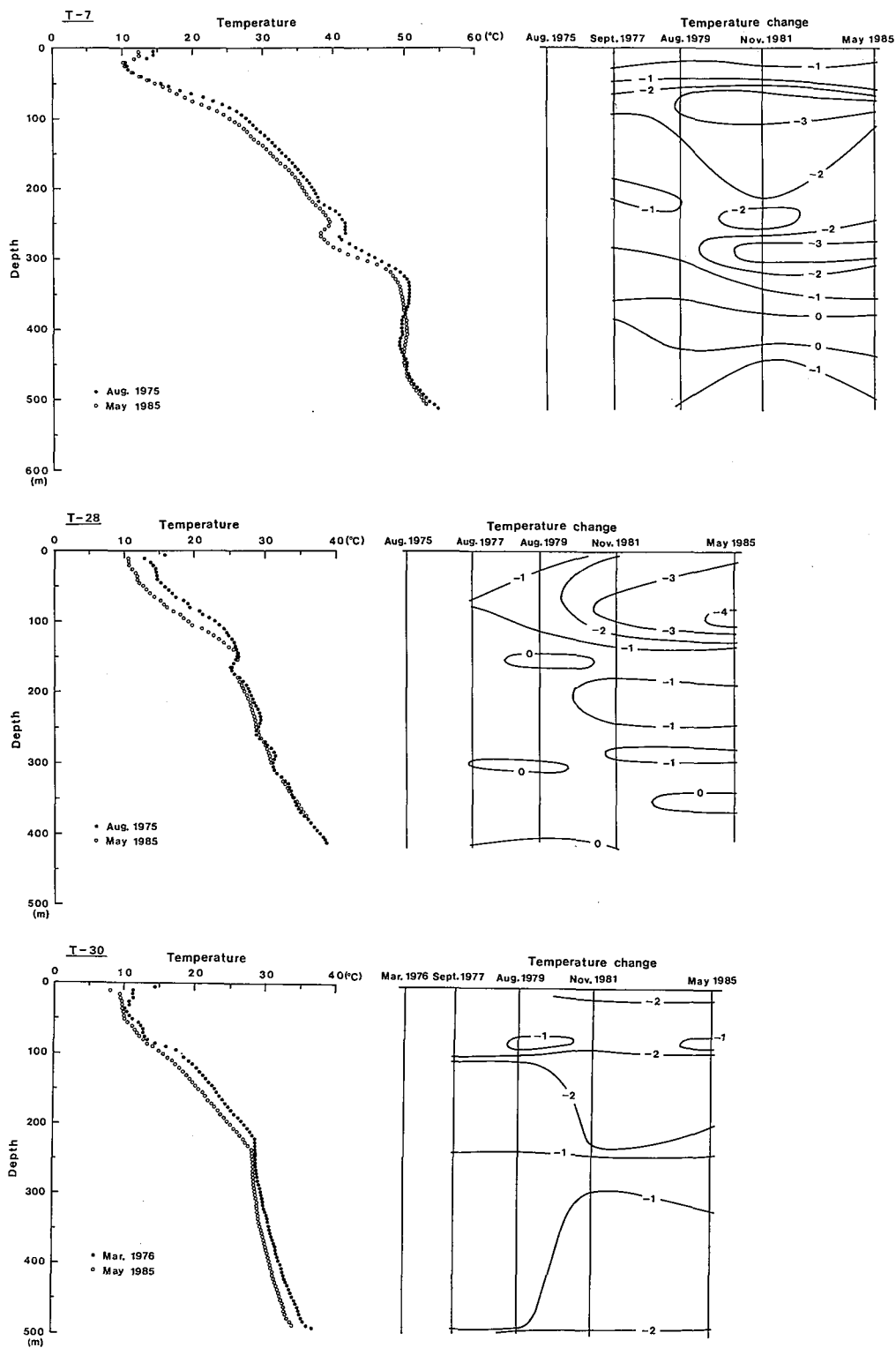


Fig. 22. Changes in Subsurface temperature observed at T-7, T-28, and T-30 in the Takeura area.

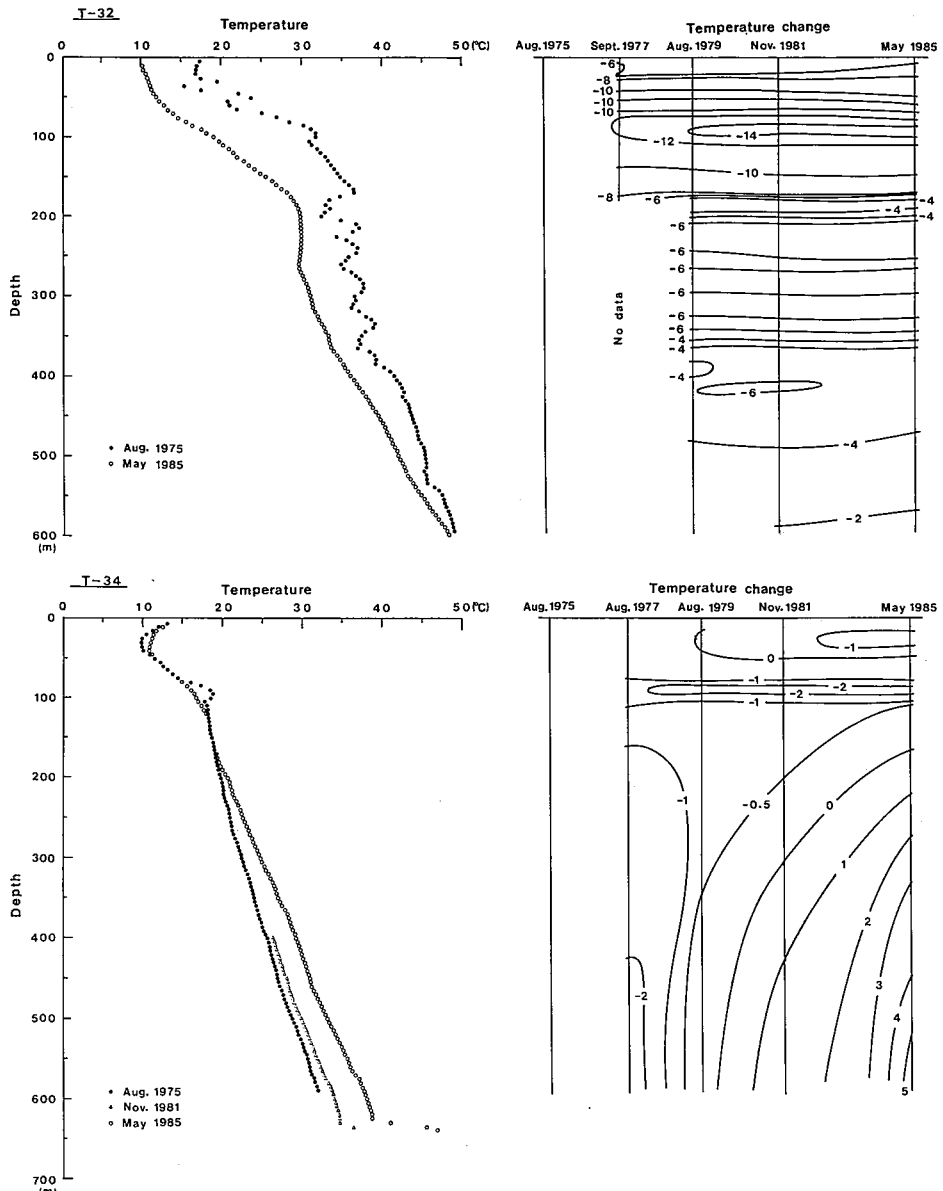


Fig. 23. Changes in subsurface temperature observed at T-32 and T-34 in the central Takeura.

32の100 mやT-28の115 mよりかなり薄い)など、地下水の進入を招きやすい地下構造になっていると思われる。

上に述べたように、K-15では、1981年11月に、400 m以深で著しい地温低下が観測された。前年の1980年に、8月28日から31日にかけて総雨量493 mmにもおよぶ集中豪雨があり、アヨロ川が溢れて国鉄山陽本線の山側の平地部に川水が溜り、1週間ほど沼のようになったことがあった。この時、水没した泉源を通して大量の水が地下に流入したと考えられ、恐らく、上述の地温低下はこのような地表水の流入によるものと思われる。また、1985年5月には、地温が深度450 m付近で40°Cから60°C近くまでステップ状に上昇し、高温な部分が孔底まで続いている。明らかに、これはこの付近に存在する地層の割目に導かれて深部の温泉が上昇したことを示している。

Fig. 24は地層に貯えられている熱量の変化をまとめたものである。地層に貯えられている熱量は、地温分布を積分し、それに地層の熱容量 ( $0.8 \text{ cal/cm}^3$ ) を乗じて求めた。図には、その熱量の差を1年間当りの変化になおして示してある。地層の熱量は観測期間の初期にかなり減少しているが、しだいに、その変化が小さくなり、最近では、熱量がかえって増加した泉源もある。

いま、この地域の総湧出量を  $7000 \text{ l/min}$ 、平均温度を  $48^\circ\text{C}$ 、基準水温を  $10^\circ\text{C}$  として、温泉流出にともなう放熱量を求めてみると、 $2.26 \times 10^8 \text{ cal/min}$  となる。これを年間の放熱量になおし、平野部の面積  $6.5 \text{ km}^2$  で割って単位面積当りの放熱量を求めると、 $2.2 \times 10^3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{yr}$  となる。この値は、初期に観測された地層の熱量変化に比べて少なくとも1オーダーは小さく、1981年11月から1985年5月までの間に竹浦地域で観測された熱量の変化（例えば、T-28, T-30ではそれぞれ  $0.6, 4.9 \times 10^3 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{yr}$ ）と同程度である。

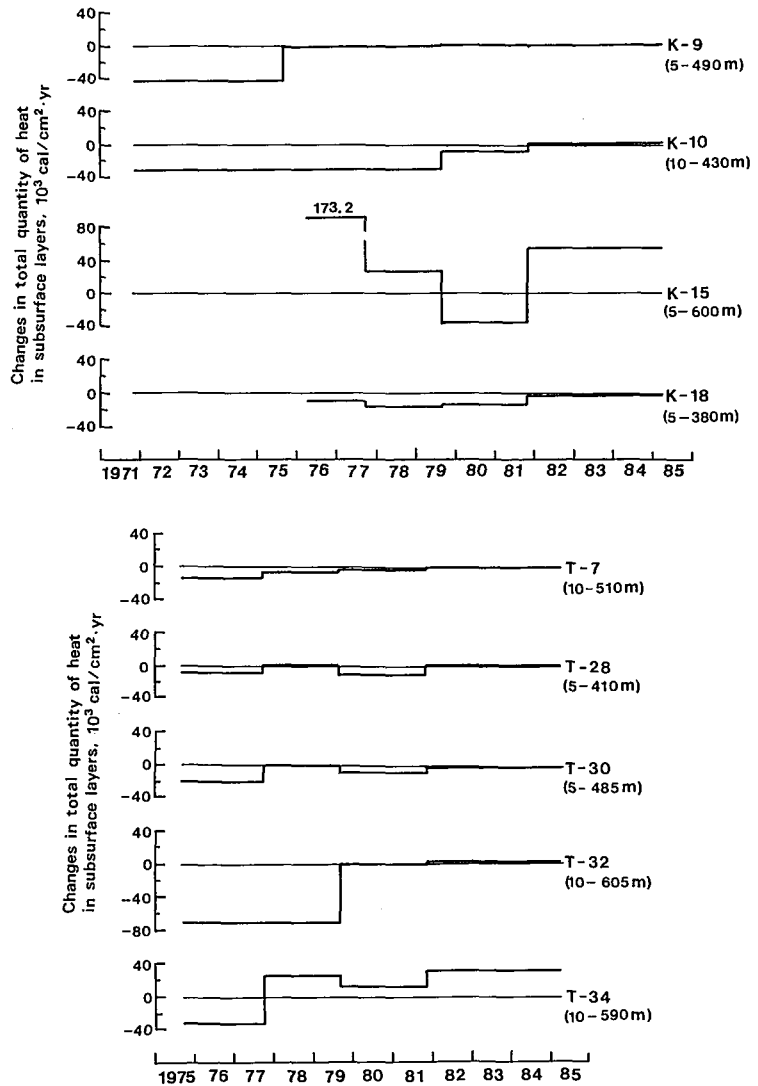


Fig. 24. Changes in the total quantity of heat in subsurface layers. The total quantity of heat stored in subsurface layers are calculated from temperature depth profile and heat capacity of subsurface layer taken as  $0.8 \text{ cal/cm}^3$ .

### VII. Cl含有量の変化

Table 3 に虎杖浜・竹浦地域の代表的な泉源から湧出する温泉と深度 53 m の水井戸から湧出する地下水のトリチウム濃度を示した。採水は 1979 年 10 月および 1981 年 11 月に行なった。地下水はトリチウム濃度が 45.6 T. U. と地表水の通常値であるのに対して、温泉は、1.1 T. U. 以下であり、トリチウム濃度が極めて低いので、これらの温泉には表層の地下水がほとんど混入していないと考えられる。

Table 4 は、竹浦地域に湧出するグループ (III) の温泉について、その Cl 含有量の変化を示したもので

ある。15 泉源のうち 11 泉源で Cl 含有量の減少がみられる。これらの温泉は最下部の TC 層から湧出する温泉であるが、このような Cl 含有量の低下は上部の TB 層あるいは TA 層に分布する Cl 含有量の少ない温泉が混入するようになったことを示している。これには、上層の温泉が下層へ漏水した、あるいは多層採取していて湧出比が変化したなどいくつかの原因が考えられるが、現時点ではいずれとも決め難い。いずれにしても TC 層内の水圧が低下したために生じた現象であることには違いない。

このほかの温泉については、Cl 含有量が若干変化するものの、竹浦地域のグループ (III) の温泉のような一定の傾向はみられなかった。

あとがき

虎杖浜・竹浦地域の地下構造については、すでに、浦上ほか (1978) によって報告されている。本報告では、その後に得られた調査結果を加えて地下構造を再検討し、地下構造を若干修正した。

**Table 3.** Tritium concentrations of selected thermal waters in the Kojohama-Takeura area.

Well No.	Depth (m)	Tritium concentration (TU)		Chloride content (mg/l)
		Oct. 1979	Nov. 1981	Sept. 1982
K- 2	270		0.3±1.4	175*
K-19	500		0.2±1.5	615*
K-35	420		0.0±1.4	393
T- 1	312		1.1±1.5	67
T- 2	465	0.8±0.6		311
T- 9	480		0.1±1.5	350
T-10	500	0.3±0.8		32*
T-13	520	0.0±0.9		222
T-16	500		0.0±1.4	10
T-36	830	0.0±0.7		455
T-44	710		0.0±1.4	63*
T-47	736	0.0±0.8		152
T-51	600	1.0±0.9		10
GW	53		45.6±1.8	

(Groundwater)

\* measured in November 1971.

**Table 4.** Changes in chloride contents of thermal waters in group (III) discharged from the Takeura area.

Well No.	Depth (m)	Chloride content (mg/l)			
		Oct. 1971	Feb. 1976	Sept. 1982	Oct. 1985
T- 2	465	366	359	311	336
T- 3	440	373		351	340
T- 4	620	367	349	318	
T- 5	385	382	383	388	368
T- 8	480	448	412	350	348
T-11	540	368		277	260
T-12	421	437	423	345	262
T-14	508	397	383	323	299
T-15	560	458		347	337
T-18	500	446		359	446
T-20	700	464		450	465
T-21	589	460	432	417	
T-24	561	459	461	459	476
T-25	604	466	461	402	438
T-26	700		456	457	455

## 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。  
 福富孝治ほか, 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.  
 福富孝治ほか, 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。  
 浦上晃一ほか, 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.  
 浦上晃一ほか, 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.