

鬼怒川地溝帯の温泉

*1(株)日本地下探査, *2中央温泉研究所

高屋 正*1, 佐藤 幸二*2

(平成3年12月20日受付, 平成4年2月17日受理)

Thermalsprings in the Kinugawa Graben, Tochigi Prefecture

Tadashi TAKAYA*¹ and Koji SATO*²

*¹Nihon Chika Tansa, *²Hot Spring Research Center

Abstract

The Kinugawa graben extending N-S direction is situated in the central part of Tochigi Prefecture.

The distribution of underground temperature, the depths of Tertiary and pre-Tertiary strata are partly clarified by the drilling data.

The depression of pre-Tertiary strata which is filled up with Quaternary and Tertiary strata has flat bottom and steep side-rims showing N-S direction at the east and west boundaries. And, from the central part of the depression, narrow trough stretches westward. But the depression of Tertiary strata shows narrower width and lacks westward stretching trough.

The temperature gradient is higher in the central part of the graben than in its surrounding part; thermalwater of NaCl type is yielded from the central part and the water of Na-HCO₃ or Na-SO₄ type from the other part.

The thermalwaters in the Kinugawa graben may belong to the so-called "Non-volcanic" thermalwater by SATO(1972, 1973).

1. はじめに

栃木県の中央部を南北に縦断するように平地帯があり、鬼怒川地溝帯と呼ばれている。

稀に第三系をのぞかせながら、第四系でおおわれた地溝帯の東側には、主として中・古生代の堆積岩と貫入酸性岩体とからなる八溝山地があり、その境界は白河—真岡構造線と呼ばれている。

西側には、中・古生代の岩層からなる足尾山地や、新期の火山を含む下野山地があり、その境界は関谷および塩谷の構造線と呼ばれている。

足尾、下野、八溝の山地に見られる先第三系は、地溝帯内では地下に伏在し、第三系の上面は狭長な舟底状を呈することが、地溝帯内での掘削によって明らかになってきた。

近年になって、地溝帯内で深い掘さくによる温泉開発が行われるようになり、地下温度分布の状況あるいは第三系の伏在深度に関する資料が得られるようになってきた。

この報告では、この区域に関する既存資料(主として栃木県, 1986)や収集された深層温泉井の資料をとりまとめ、地下温度の分布状況と地質構造との関連性について検討する。

2. 位置および地質環境

鬼怒川地溝帯は、関東平野の北部から北に向って入江のように入り込んだ形を呈しており、東側の八溝山地、西側の足尾、下野山地にはさまれている。今回取り扱うのは、地溝帯のうち北は西那須野から南は宇都宮にかけての区域である。

河川としては、那珂川、蛇尾川、箒川、荒川などが南東流し、地溝帯の東端付近で那珂川となって南流する。鬼怒川は、足尾山地と下野山地とを区切って東流するが、地溝帯に入ると西端付近を南流する。

この地域の表層地質の概略をFig.2に示す。地溝帯の西の足尾山地の先第三系の岩層は石英斑岩であり、下野山地のそれは、石英斑岩と花崗岩、玢岩などである。堆積岩を主とする第三系他に、これらをおおう第四紀の那須火山と高原火山の火山岩類が分布する。この周辺には、那須温泉群、塩原温泉群、さらに甲子、板室、鬼怒川、川治といった温泉があり、日本でも有数の温泉地帯といえる。

東側の八溝山地の先第三系は、広く露出する砂岩頁岩層(チャートを含む)と、点在する貫入花崗岩体とであり、第三系の露出は狭い。この付近では第四紀の火成岩は認められず、高温の温泉も存在しない。

鬼怒川地溝帯は、段丘堆積物、扇状地堆積物、ローム層などからなる第四系に広くおおわれている。このほか、第四紀火山噴出物や河川堆積物もある。このような第四系の分布域に、第三系

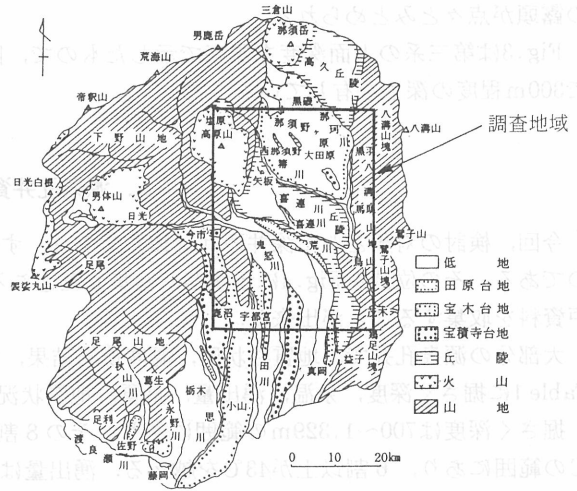


Fig.1 調査地域位置図(下野地学会, 1982による)

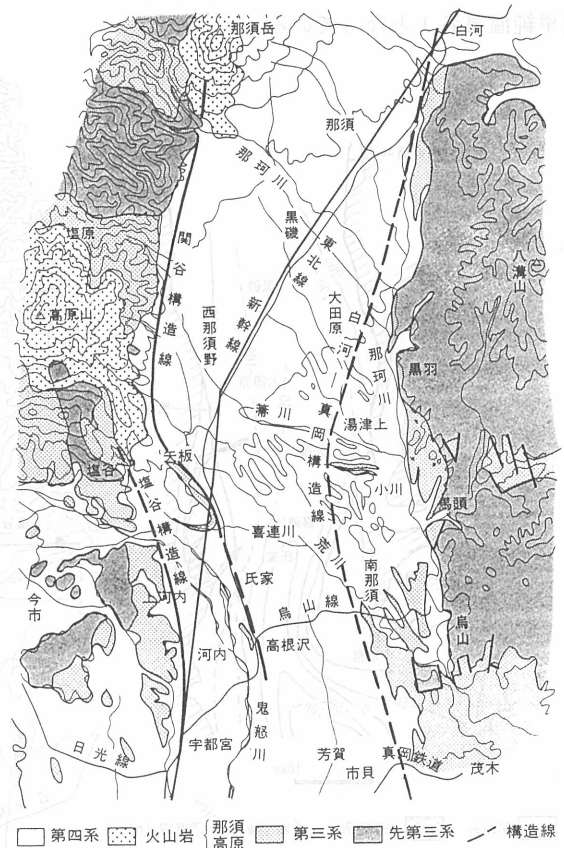


Fig.2 地質概略図

の露頭が点々とみとめられる。

Fig.3は第三系の上面深度を標高で示したもので、凹地は南北に延びる幅狭いもので、中央部で300m程度の深さを有している。

3. 源泉孔井資料

今回、検討の対象とした深井戸は計19井であり、すべて温泉開発を目的として掘さくされたものである。その位置をFig.4に示すが、密集したところも含めて数kmないし10数km間隔での井戸資料を収集することが出来た。

大部分の源泉孔井で、地質柱状図、温度検層結果、電気比抵抗検層結果が得られているので、Table 1に掘さく深度、泉温、湧出量、泉質、地質状況、地温勾配などのデータをまとめた。

掘さく深度は700~1,329mの範囲にあり、その8割以上が1,000mを越える。泉温は29.3~60℃の範囲にあり、6割以上が43℃を越える。湧出量は224~409l/minの範囲にある。ただし、泉温、湧出量の不明なものも3割程度存在する。泉質が判明している源泉は、9ヶ所に過ぎないが、その内訳はNa-Cl温泉4、Na-HCO₃型単純温泉2、Na-SO₄・Cl温泉、Na-SO₄型単純温泉、Na-SO₄・Cl型単純温泉各1となっている。

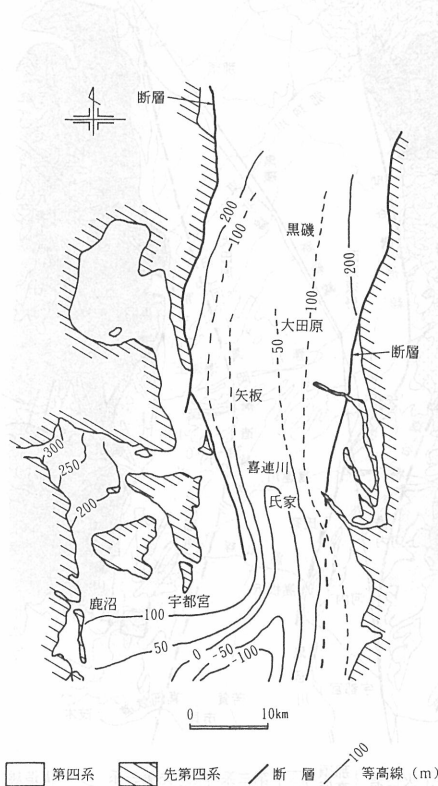


Fig. 3 第三系上面等高線図
(栃木県, 1975より)

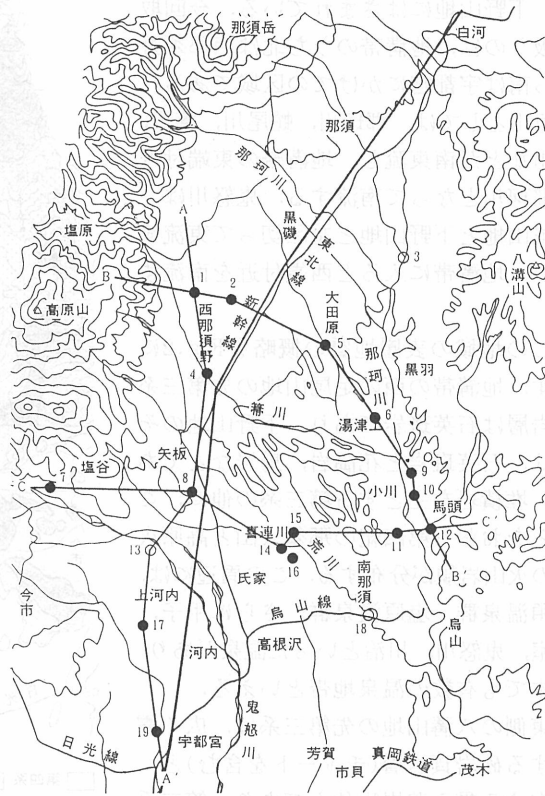


Fig. 4 源泉孔井の位置
○源泉孔井(深度700~800m)
●源泉孔井(深度1,000~1,300m)
A-A' 断面線

Table 1 源泉孔井の状況

* () は単純温泉

No.	掘さく深度 m	地層上面深度 m		先第三系の岩層	深度別温度 °C				
		第三系	先第三系		200m	400m	600m	800m	1,000m
1	1,306	78.2	1,306+	——	22	26.9	33.1	43.1	56
2	1,200	250	1,200+	——	30.4	34.8	39.1	43.4	49.5
3	700		100	チャート, 砂岩頁岩, 花崗岩	20	26	35	—	—
4	1,000								
5	1,050	230	1,050+	——	21	30	37	48.6	60
6	1,306	極めて浅い	1,035	粘板岩?	30	35.1	40.6	45.5	51.6
7	1,000	同上	1,000+	——	21	29	42	52	61
8	1,012	0	1,012	——	23	30	39	52	60.5
9	1,200	極めて浅い	830	花崗岩, 硬質砂岩	26	31	42	50	52
10	1,320	0	906	粘板岩, 砂岩	33.9	38.1	41.0	46.9	50.9
11	1,300	極めて浅い	960	硬質砂岩, 花崗岩	38	40.5	43	47	51
12		0			38.9	42.0	43.6	47.1	49.7
13	800	0	747	流紋岩	21	36	45	54	
14	1,242	210	1,242+	——	28	45	56	63	65
15	1,296				38.1	44.6	50.5	57.8	64
16	1,300	165	1,260	砂質頁岩	28	32.5	43	52.5	60.5
17	1,200	0			30.8	35.8	41	45.6	49.9
18	800	極めて浅い	800+	——	27	37	42	52	—
19	1,283	0	1,280	花崗岩					

1,200m	孔底		地温上昇率 (°C/100m)	泉温 (°C)	湧出量 (l/min)	E R (mg/l)	泉質*
	深度 m	温度 °C					
68.0	1,300	77.3	4.8	60	200		
60.5	1,200	60.5	3.8				
—	700	41	3.7	29.3	56.3	418.2	(Na-HCO ₃)
—	1,000	57	4.2				
—	1,050	68	5.0	47.6	128	1,217	Na-Cl
56.3	1,200	56.3	3.4				
—	1,000	61	4.6	36.0	128	540	(Na-SO ₄ ·Cl)
—	1,000	60.5	4.6	33.7	22.4	596.1	(Na-HCO ₃)
58	1,200	58	3.6	43.6	82	525	(Na-SO ₄)
			3.6				
55	1,280	56.8	3.3	30.5	110		
51.7			3.0				
	800	54	4.9				
70	1,200	70	4.6	46.4	336	6,862	含S·Na-Cl
69.1	1,296	77	4.8				
67	1,280	72	4.5	49.2	260	8,996	Na-Cl
58.3	1,200	58.3	3.6				
—	800	52	4.6	47.1	47.1	8,538	Na-Cl
				43.0	409	1,141	Na-SO ₄ ·Cl

4. 温度勾配

取り扱った源泉孔井のうち17井で、掘さく後孔内温度検層が実施されている。大半はサーミスタによるものである。Fig.5は深度と孔内温度の関係を示したものである。

温度検層が、掘さく終了後のどの時点で行われたか不明で、温度が充分には回復していない場合が多いと思われる。また、温泉水の上昇、湧出などによる検層温度の乱れとみられるものもあるが詳しくは明らかでない。したがって、精細な議論は出来ないが、大略の傾向を知ることは出来る。

源泉孔井の位置によって、地溝帯中央部、北西部、東部と分けると、1,000m以深の深部では、中央部から北西部で高い温度を示すが、東部ではやや低い温度を示す傾向がみられる。

地表の温度を、この地域の恒温層温度15℃(福富, 1951)と仮定し、これと孔底温度とから地温勾配を求めた(Fig.6)。本来、温度勾配は、その掘さく深さにおいて充分に回復した孔底温度を

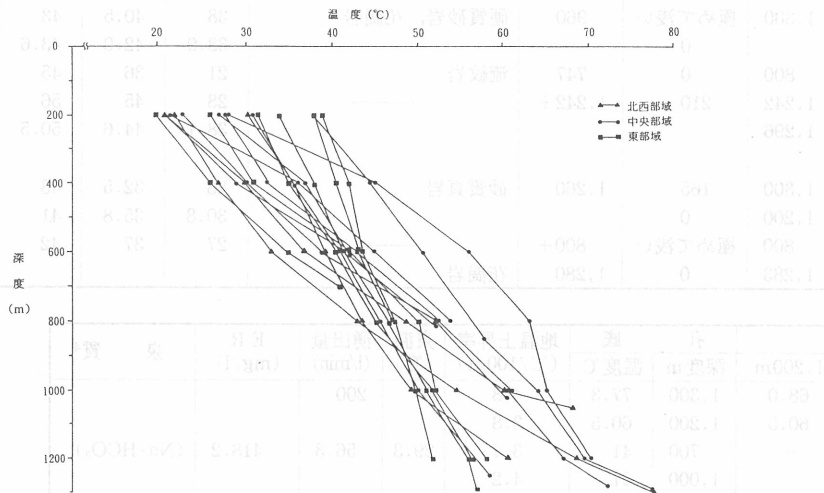


Fig. 5 孔井内温度分布図

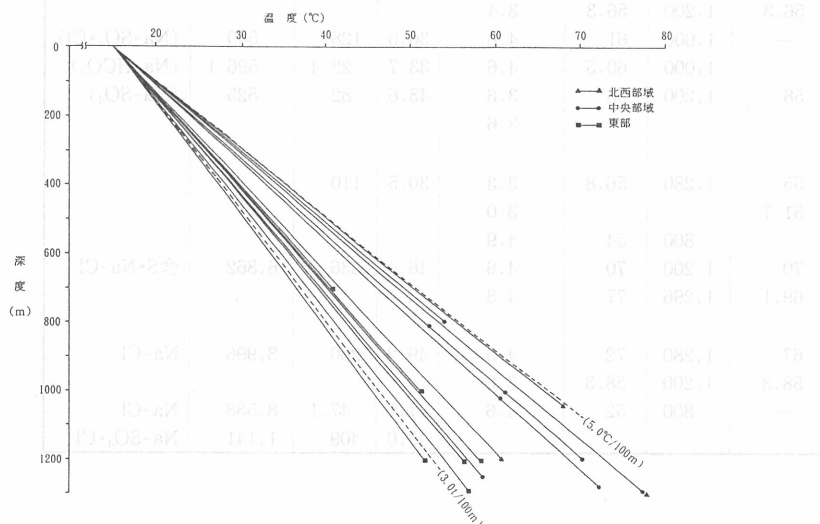


Fig. 6 地温勾配図

測定して検討すべきものである。しかし、今回検討した掘さく終了後の孔内温度は、温泉水の上昇、湧出により乱されているので、次善の策として、最深の孔底温度と恒温層温度(15℃)とから地温勾配を求める方法を採用した。このようにして求められた地温勾配は、全体として3.0~4.9℃/100mの間にあるが、やはり地溝帯中央部から北西部にかけては4.5℃/100m以上、東部では3.0~4.0℃/100mという2つのグループの存在が明らかになった。

5. 地下温度分布

温度検層による孔内温度は、前述のように種々の問題を含んでいるが、仮にこのような孔内温度を地下温度として、Fig.4に示す断面線に沿ってその分布状況を検討した。Fig.7-1に示すA-A'断面は、地溝帯西端部分の南北方向の断面であるが、等温線がほぼ平坦で、わずかに南部で30℃線が浅くなり、45℃、50℃線が深くなるといった変化がみられる。Fig.7-2に示すB-B'断面は、地溝帯を斜めに横断する北西-南東方向の断面である。低温部が北西部でもり上り、深部の高温部が北西端と中央部ではもり上り南東部では深くなる様子がよみとれる。Fig.7-3に示すC-C'断面は、中央部をほぼ東西方向にきる断面であり、地溝帯の西方では等温線が平坦であるが、中央部で等温線が浅くなり、東方へ比較的急激に深くなる。

なお、断面図中には、第三系の上面深度を点線で、先第三系のそれを一点鎖線でそれぞれ示した。Fig.7-1のA-A'断面は、関谷、塩谷の構造線をきるが、塩谷構造線を越えた南部で先第三系が浅くなることわかる。Fig.7-2のB-B'断面では、関谷構造線のすぐ東で先第三系が急激に深くなること、白河-真岡構造線の東に伏在する先第三系が八溝山地にかかって急激に浅くなることよみとれる。Fig.7-3のC-C'断面では、塩谷、関谷両構造線の西でも先第三系に逢着しないこと、白河-真岡構造線から八溝山地にかけては、B-B'断面と同様に先第三系が浅くなると、温度が低くなる傾向がみられる。

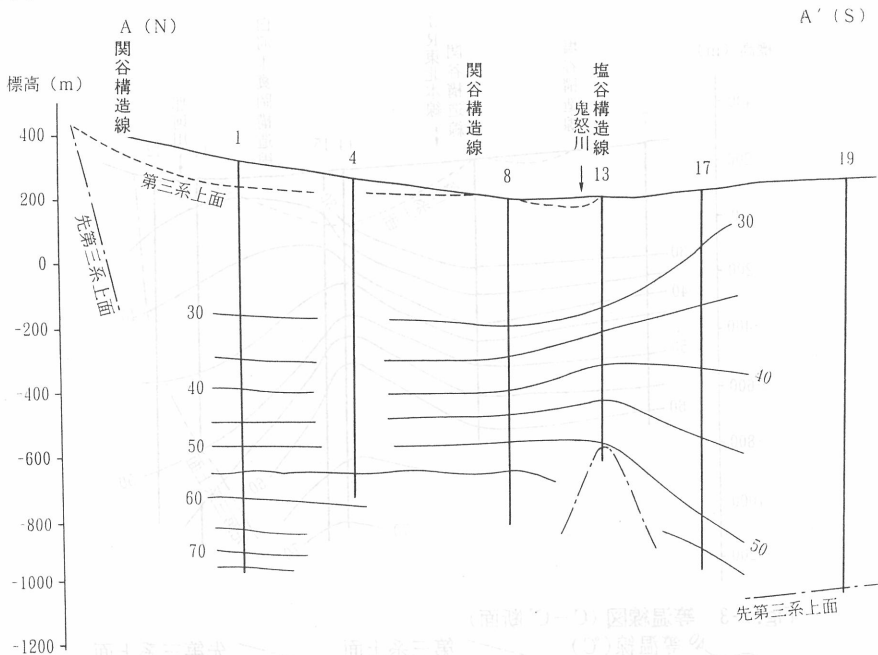


Fig.7-1 等温線図(A-A'断面)

30 等温線(℃) 第三系上面 先第三系上面

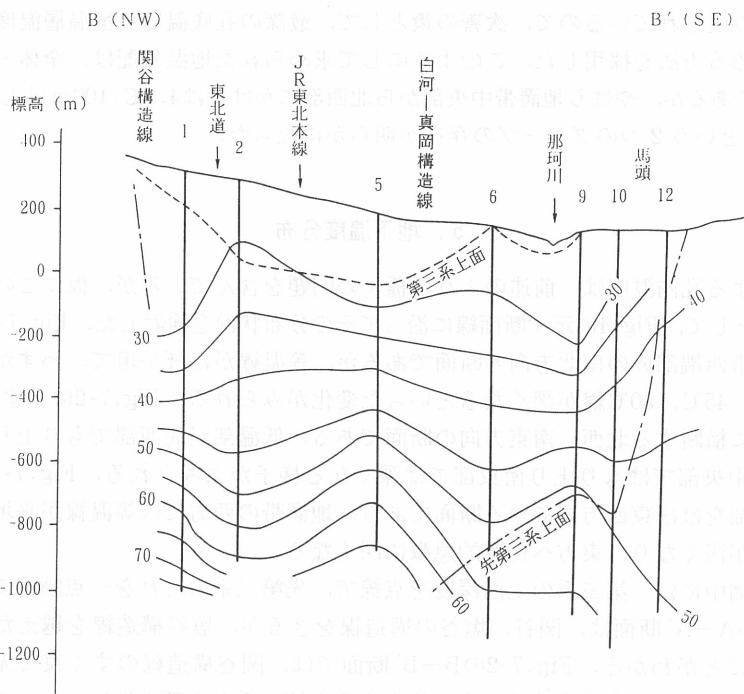


Fig.7-2 等温线图 (B-B' 断面)

30 等温线 (°C) 第三系上面 先第三系上面

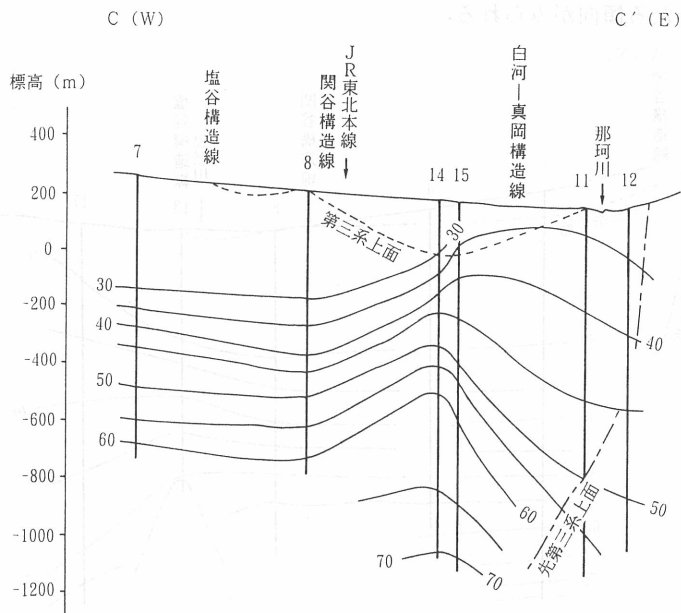


Fig.7-3 等温线图 (C-C' 断面)

40 等温线 (°C) 第三系上面 先第三系上面

Fig.8は、1,000mの掘さく深度における地下温度の分布を示したものである。地溝帯中央部に最も高温の部分があり、60℃以上の高温部は南北方向および西方向に延びるT字型を呈している。東部での低温化は急である。

Fig.9は、前に示した地温勾配の等値線図である。やはり地溝帯中央部で高い上昇率を示し、4.5℃/100m以上を示す部分は、南北方向と北西方向とに延びており、やはり温度分布と同様のT字型を示している。そして東部での低温化は著しい。地溝帯北西端で、地温勾配が大きくなるが、火山の影響かどうかは明らかでない。

6. 地溝帯の基盤岩

地溝帯の第四系の下位には、第三系、先第三系がある。源泉井の地質柱状図から、第三系上面および先第三系上面の深度を求め、それぞれの等深線図を作成した。

Fig.10は第三系上面の深度を示したものである。前出のFig.3は標高で表わしたものであったが、両図はほぼ似た形を示している。Fig.10によれば、地溝帯の東西両側に露出する第三系は、地溝帯中央部ではその上面が200mを越える深度を有し、南北方向に延びた谷状の凹地形を示していて、東西両側で急に浅くなる。しかし、中央部の東方では、浅い部分で東西方向の等深度線もみられる。

Fig.11は、先第三系の上面深度を示したものであるが、地溝帯中心部での深度は1,250mを越える。地溝帯の東端付近では、東側の露出域から1,000m深度まで急激に深くなる。西側でも同

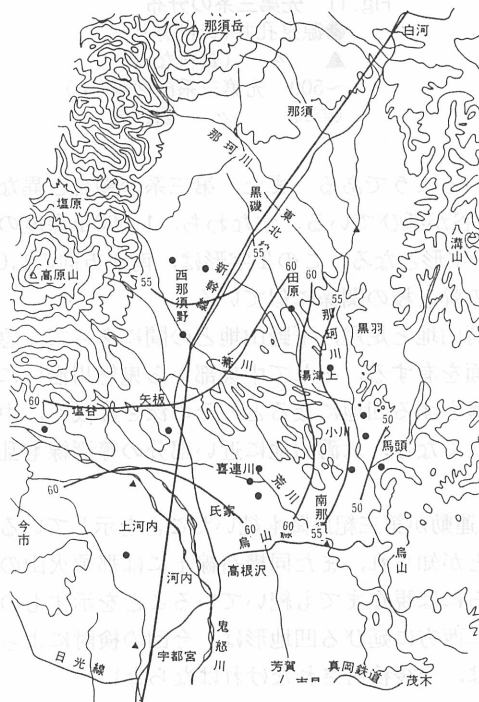


Fig.8 1000m深地温分布
 ●源泉孔井(資料あり)
 ▲源泉孔井(資料なし)
 ~~~~~等温線(℃)

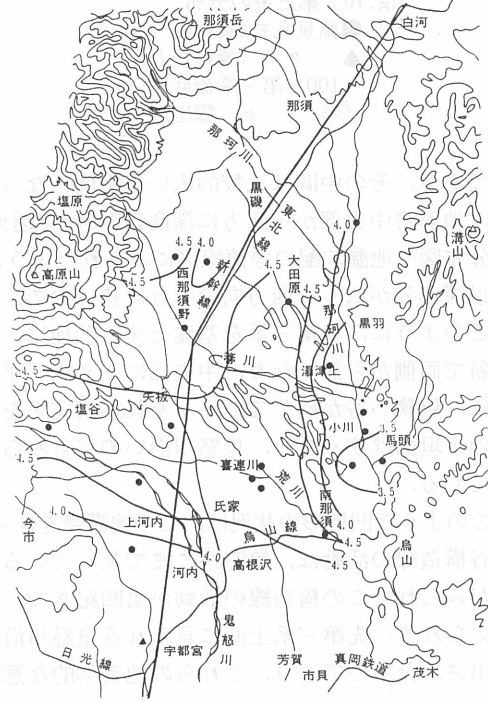


Fig.9 地温勾配分布  
 ●源泉孔井(資料あり)  
 ▲源泉孔井(資料なし)  
 ~~~~~等勾配線(℃/100m)

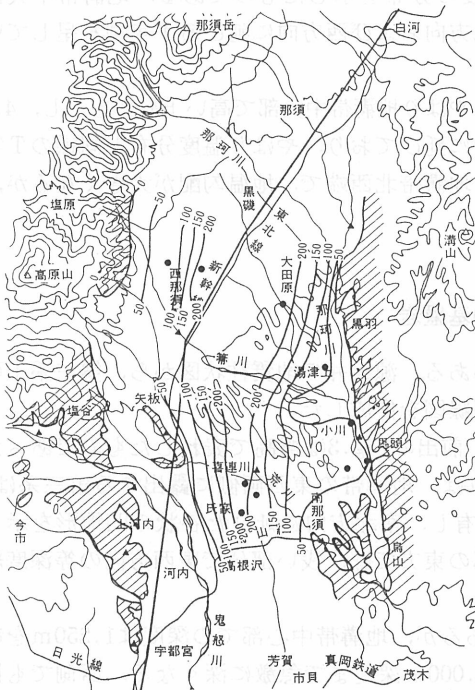



Fig. 10 第三系の分布

- 源泉孔井(資料あり)
- ▲ " (資料なし)
- ~100 第三系深度線(m)
- 〰 " 露出域

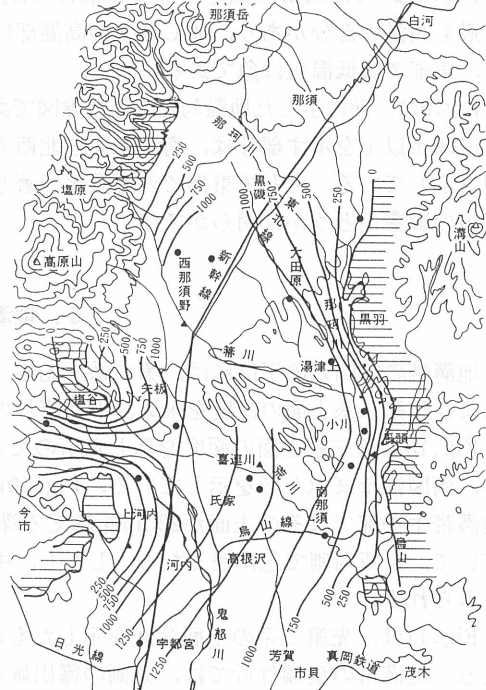


Fig. 11 先第三系の分布

- 源泉孔井(資料有り)
- ▲ " (資料なし)
- ~500 先第三系深度線(m)
- 〰 " 露出域

様であり、その中間は比較的広い平坦面となっているようである。また、第三系の場合と異なって、地溝帯中央部から西方に深度1,000mを越える谷が延びている。すなわち、1,000m深度の温度分布図や地温勾配の等値線図にみられたようなT字形となる。このT字形は、南北方向の1,000m以深部分が広く、西方向のそれは狭いので、木の幹と枝の関係に似ている。

このように、先第三系を基盤とする凹地は、八溝山地と足尾、下野山地との間にあって、急な傾斜で両側から深くなり、中央部にやや広い平坦面を有する。そして中央部から鬼怒川沿いに西方に、幅狭い谷が延びている。それが第三系を基盤とする凹地になると、その深さは浅く、中央部の平坦面は狭くなり、鬼怒川沿いの谷もみられなくなる。八溝山地に近い部分の等深線も乱されてくる。

このような凹地形の状況は、この地溝帯を作った運動が第三紀以降も続いたことを示している。関谷構造線の活動は、第四系にまで及んでいることが知られ、また同構造線上には那須火山の活動がみられ、この構造線の活動が第四紀まで、さらには現在までも続いていることを示すものと考えられる。先第三系上面に見られる鬼怒川沿いに西方に延びる凹地形は、今回の検討によって見出されたものであり、これらの地質学的な意味は、今後検討されなければならない。

7. 泉 質

前にも述べたように、取り扱った源泉井19のうち、泉質が判明しているのは9に過ぎない。

その内訳はNa-Cl泉4, Na-SO₄・Cl泉1, Na-HCO₃型単純温泉2, Na-SO₄・Cl型単純温泉1, Na-SO₄型単純温泉1となっている。陽イオンの主成分はすべてNaであるが、陰イオンの主成分はCl 4, HCO₃ 2, SO₄ 3となっている。蒸発残留物は400~9,000mg/lと広い範囲にあるが、1,200mg/l以上の4温泉は、泉温が46℃以上と高く、Na-Cl泉であり、地溝帯の中央部に位置する。その他の5温泉は、泉温が44℃未満で、陰イオン主成分はSO₄かHCO₃であり、蒸発残留物が1,150mg/l未満なので、1温泉を除いては単純温泉となる。

8. ま と め

鬼怒川地溝帯における先第三系は、南北方向に延びる凹地をなすが、東、西両側の縁辺部で急に深くなり、中央の底部は1,000mを越える深度でむしろ平坦となっている。そして鬼怒川沿いに西方にも延びて、いわばT字形を示している。その上位の第三系はやはり南北方向に延びる凹地をなし、中央部では200mを越える深度を有するが、西方への枝分れはなく、縁辺部の傾斜も緩い。また、地溝帯の東縁は、第三系の場合の方が先第三系の場合よりも西方にある。

地溝帯内の17温泉孔井の1,000m深度の温度をみると、地溝帯中央部に最も高温の部分があり、高温部はそこから南、北方向および西方向に延びて、先第三系上面の分布にみられるT字形を示している。そして東方へのやや急激な低下がみられる。地温勾配も同じ様な分布を示している。

地溝帯内で、深度700~1,300mの掘さくで得られている温泉は、泉温29~60℃、蒸発残留物400~9,000mg/lであるが、中央部では濃いNa-Cl泉が得られ、その他の部分ではもっと薄いNa-SO₄型やNa-HCO₃型の単純温泉が得られている。もっとも、北西端の1温泉は、60℃と泉温が高いが、泉質は明らかでない。

先第三系上面にみられる南北方向の広い凹部とその中央部から西に延びる狭い凹部では、地温勾配が大きく、深い掘さくによって高温の温泉が得られている。しかし、高濃度のNa-Cl泉は南北方向の凹部に限られるようである。

著者の1人佐藤は、火成活動と関係がなく、ごく普通の地温勾配によって温度を得ている温泉を“非火山性”温泉とし、その地温勾配は2~5℃/100mであるとした(佐藤, 1972, 1973)。

今回取り扱った鬼怒川地溝帯内の温泉も、“非火山性”温泉に属すると考えられるが、その中で、先第三系が深い部分での地温勾配が幾分大きく、濃い食塩泉が得られるといった差異が認められる。この差異が何に由来するかは、現在明らかでない。

参考文献

- 福富孝治：1 m深の地中温度分布より温泉探査の可能性に就いて(第1報) 北大地球物理研究報告 No.1, p.21-35, (1951)
- 今井秀喜ら：関東地方 日本地方鉱床誌 朝倉書店, (1973)
- 猪郷久義ら：関東地方 日本地方地質誌 朝倉書店, (1980)
- 岩生周一ら：塩原図幅(7万5千分1) 地質調査所, (1955)
- 大森昌衛ら：関東地方 日本の地質3 共立出版, (1986)
- 佐藤幸二：“非火山性”温泉について 岩井淳一教授記念論文集 p.557-566, (1972)
- 佐藤幸二：“非火山性”温泉に関する研究 温泉科学, Vol.24, No.2, P.55-64, (1973)
- 下野地学会：栃木の地質をめぐって 日曜の地学9 築地書館, (1982)
- 鈴木陽雄：栃木県の水理地質学的研究 工業用水 No.106, p.44-59, (1967)

