

豊肥地域における大規模深部地熱調査

地質調査所地熱部

川村 政和

Survey of Deep Geothermal Resources in the Hohi Area, Kyushu, Japan

Masayori KAWAMURA

Geological Survey of Japan

「大規模深部地熱発電所環境保全実証調査」は、通商産業省によるサンシャイン計画の一環として新エネルギー総合開発機構(昭和55年までは電源開発株式会社)に委託され、地質調査所の協力のもと昭和53~61年度にわたり九州中・北部の豊肥地域(図1)において実施された。本調査の目的は、それまで開発の対象とされていなかった地下深部(2000~4000m)の地質資源の利用による地熱発電の量的拡大をはかるため、広域かつ深部にわたる地熱構造を把握するとともに環境との係わりを調査することであった。

「豊肥地域」とは、大分県と熊本県またがる広域陥没構造域(図2)にあてた名称であるが、狭義には涌蓋山(標高1499m)を中心とする約200km²の主要調査部(図3)を意味しており、涌蓋山から九重山にかけての相対的基盤隆起域(九重隆起帯)とその北東側の沈隆域(猪半田沈隆帯)の一部を含んでいる(図2)。周辺には大岳・岳湯の噴気地や黒川・筋湯等数多くの温泉地があり、地熱活動の活発な地域である。また、九州電力(株)によって八丁原地熱発電所(5.5万KW)および大岳地熱発電所(1万KW)が運転されており、現在も八丁原に2基目の発電所(5.5万KW)を建設中である。

本調査の主な内容は、地質調査・地化学調査・物理探査等の地上調査、構造試錐・調査井等の掘削および検層の地下調査、それに各種の環境調査からなっており、表1に調査項目とその年次展開を示している。坑井としては、80m級(DA坑)81本、160m級(DA坑)1本、500m級(DB坑)10本、1500m級(DW坑)7本、3000m級(DY坑)5本、それに還元井(DX坑)3本が掘削された(表2)。

調査結果の概略を以下に述べる。当地域の広域陥没構造は、新第三紀鮮新世(約500万年前)の大規模な火山活動期に形成された。地表に分布している火山岩類の噴出年代(K-Ar法等による測定)は、陥没域の縁辺部で古く内側へ向かって新しくなっている傾向がある(図4)。また、広域陥没域の底部は領家帯に属する雲母変成岩や花崗岩類からなっていることが、基盤まで達したDW-7、DY-2、DY-3のボーリングコアにより確められた。主要地域では200~50万年前に火山活動が集中して起こり、多数の中心から多様な岩質・岩相の火山岩類が噴出した。しかし、その活動を地熱の熱源とするには古いので、第四紀更新世(約40万年前以降)における九重火山岩類の噴出が地熱にかかわる主要な活動であると考えられる。重力解析による基盤深度分布は岳湯付近

から南東の九重山方向へ尾根状に次第に浅くなっているが、北東部の猪牟田沈隆帯にむけては急激に落ちこんでいる。猪牟田沈隆帯の成因は、構造運動による陥没かあるいは大規模火砕流の噴出にともなうカルデラと考えられているが明確ではない。地温分布は、比較的浅部では菅原・岳湯・黒川・大岳・吉部の5地区に高温部(図5)があるが、深くなるにつれてそれぞれ大岳・八丁原地域と岳湯地域を中心としNE-SW方向にのびる2系統の高温帯(図6)にまとまり、その間に挟まれる涌蓋山周辺で低温となっている。

しかしさらに深部(図7)では、基盤構造に対応してNW-SE方向にのびる高温部を形成していると推定される。DY-5およびDY-6の最高温度はそれぞれ271℃(3188m深)、277℃(2877m深)であった(表2・図8)。図9にA-A'、B-B'、C-C'の推定地温断面を示している。涌蓋山周辺を6地区の集水域(図10)に分けると、上述した5ヶ所の高温部はそれぞれいずれかの地区に属しており、そこでは温泉湧出や噴気活動がみられ、地熱エネルギーの流出域にあたっている。しかし、各集水域の放熱量と地表の熱徴候の規模が合致していないことから、地下においては集水域を越えた熱水流動系が存在すると考えられる。涌蓋山周辺地域に分布する174ヶ所の温泉からの総採湯量は約1980t/h(表3)であるが、伝導もあわせた総放熱量は約14万kcal/sec(表4)であり、当地域における熱流量は8~10HFUと求められた。DY-1(2618m)とDY-5(3206m)では噴気試験(表5)がなされ、それぞれ204t/h、100t/hの地熱流体の継続噴出に成功し、これにより地下3km以深にも地熱熱水系の存在することが確認された。また、これら噴出熱水の化学組成は大岳・八丁原地域における地熱水と比較して大きな違いはなく(表6)、天水が地下3000m以深まで浸透して熱水系を形成していると考えられる。

本調査により、地下深部における地熱資源の賦存とその利用可能性の実証およびその探査・開発技術の向上がはかられたが、その後も全国各地で3000mを越す地熱資源開発が行われるようになってきている。

参考文献

地質調査所(1985) 「豊肥地熱地域における研究」, 地質調査所報告第264号
 通商産業省(1987) 大規模深部地熱発電所環境保全実証調査総合評価報告書(豊肥地域)

注) 筆者はかつて新エネルギー総合開発機構地熱調査部に所属, 昭和63年6月より現職

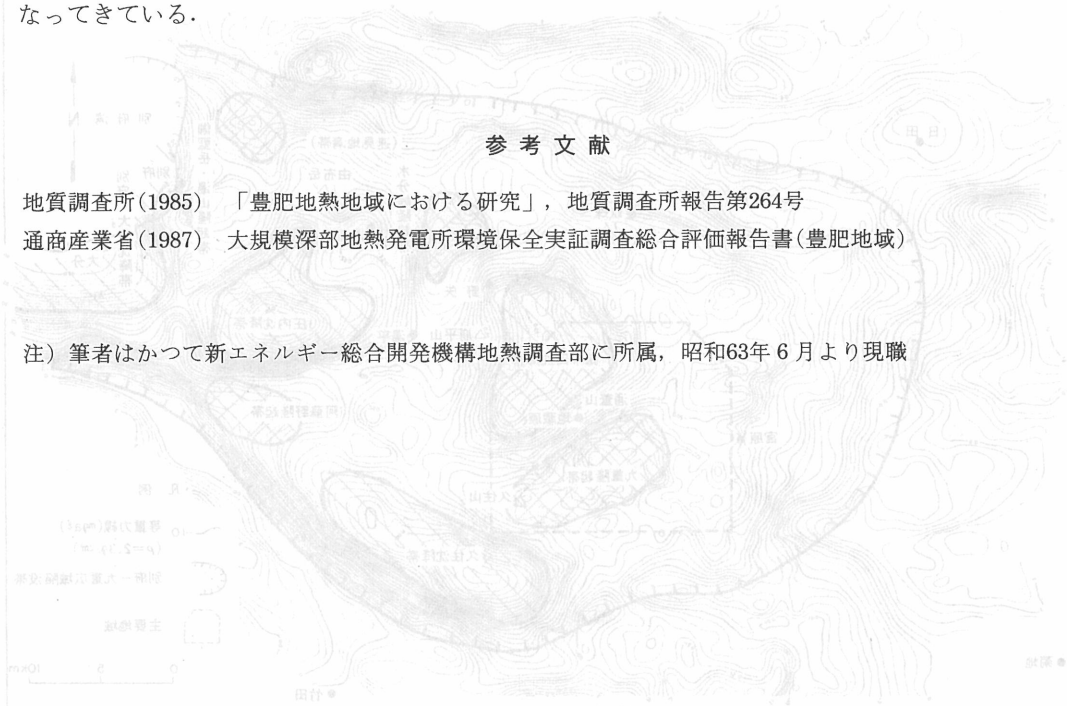


図10 涌蓋山周辺地域の集水域

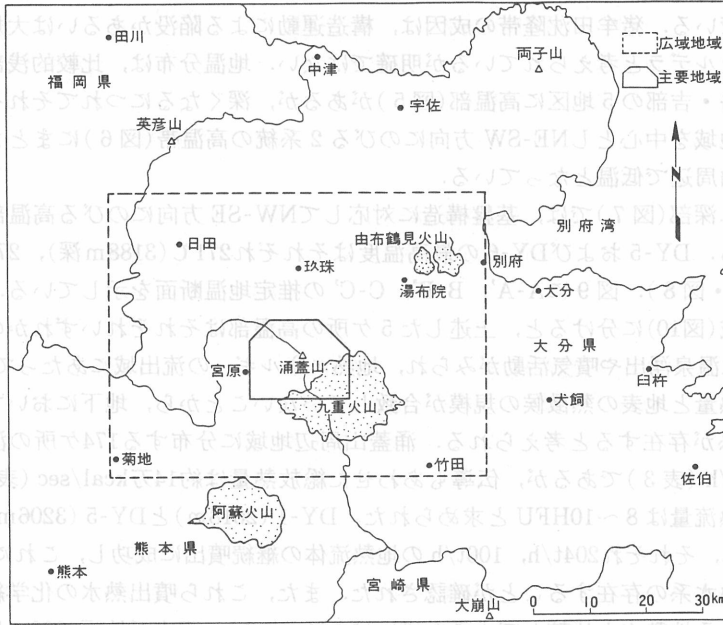


図1 豊肥地域調査範囲

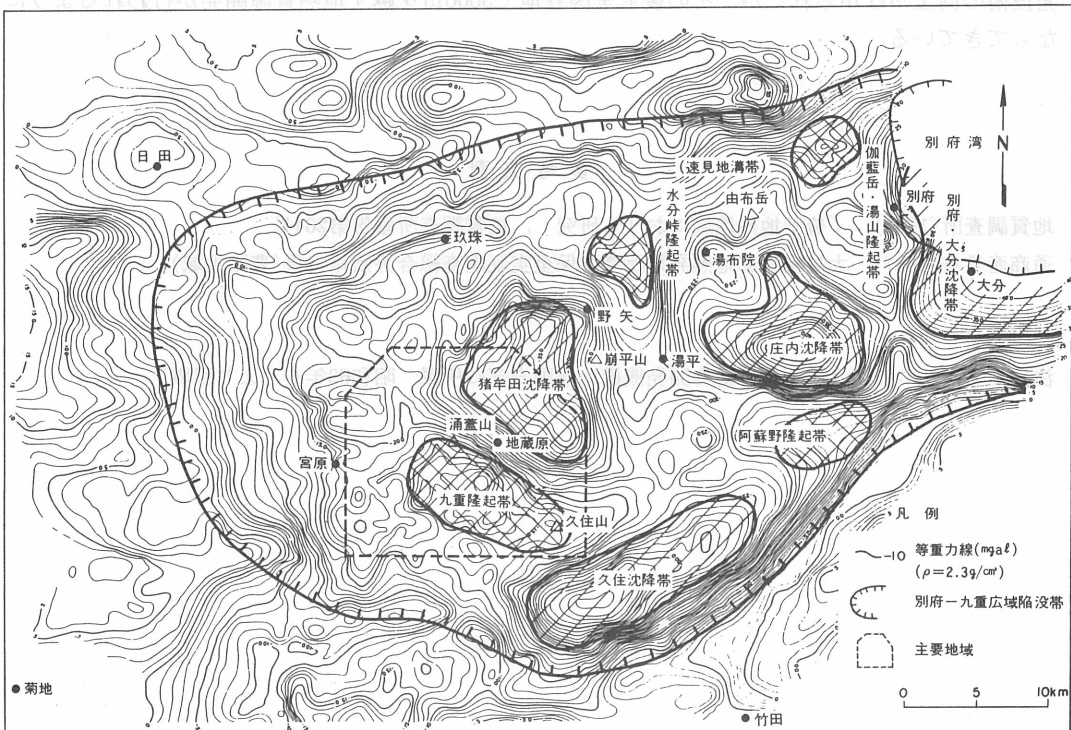


図2 豊肥地域重力分布

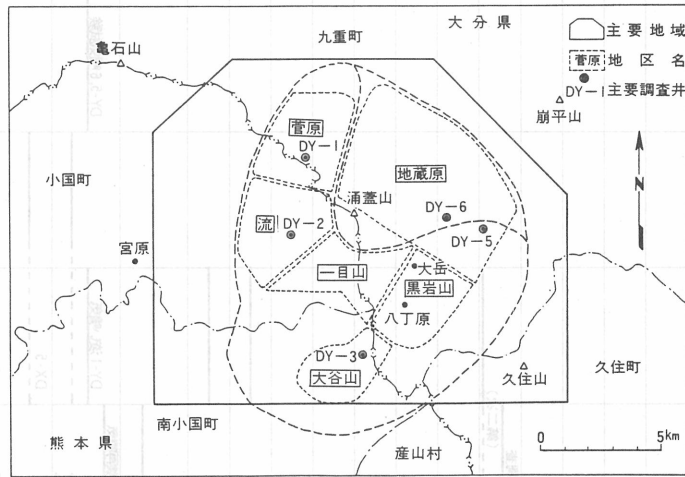


図3 主要調査地域図

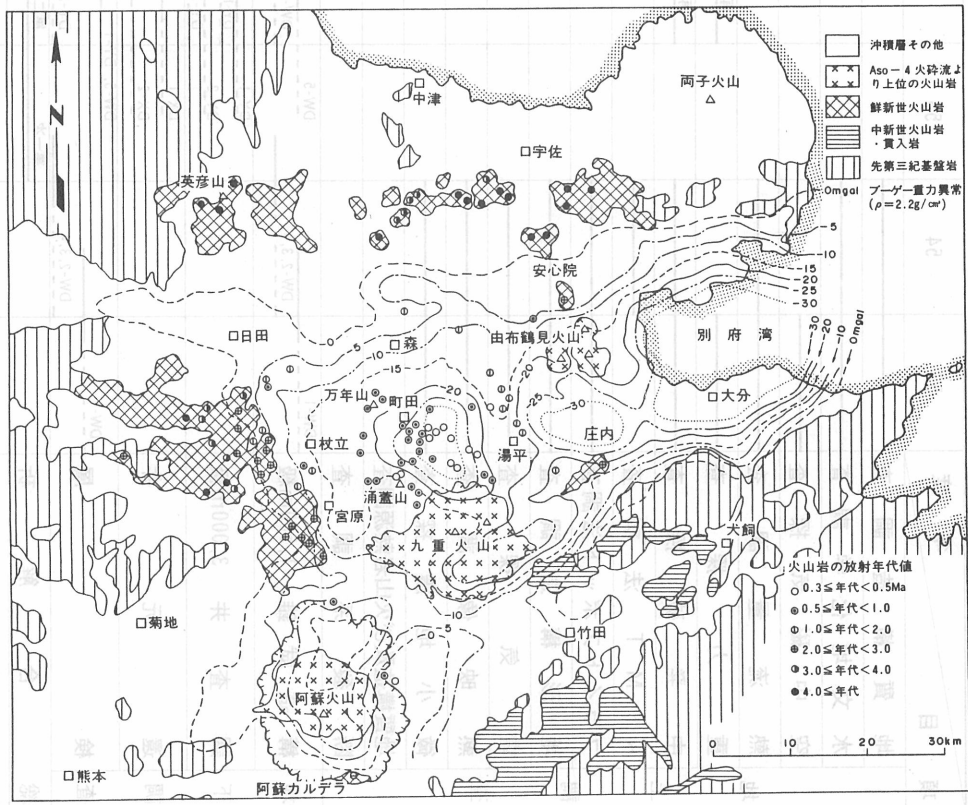


図4 豊肥地域の火山岩分布と放射年代値(鎌田, 1985)

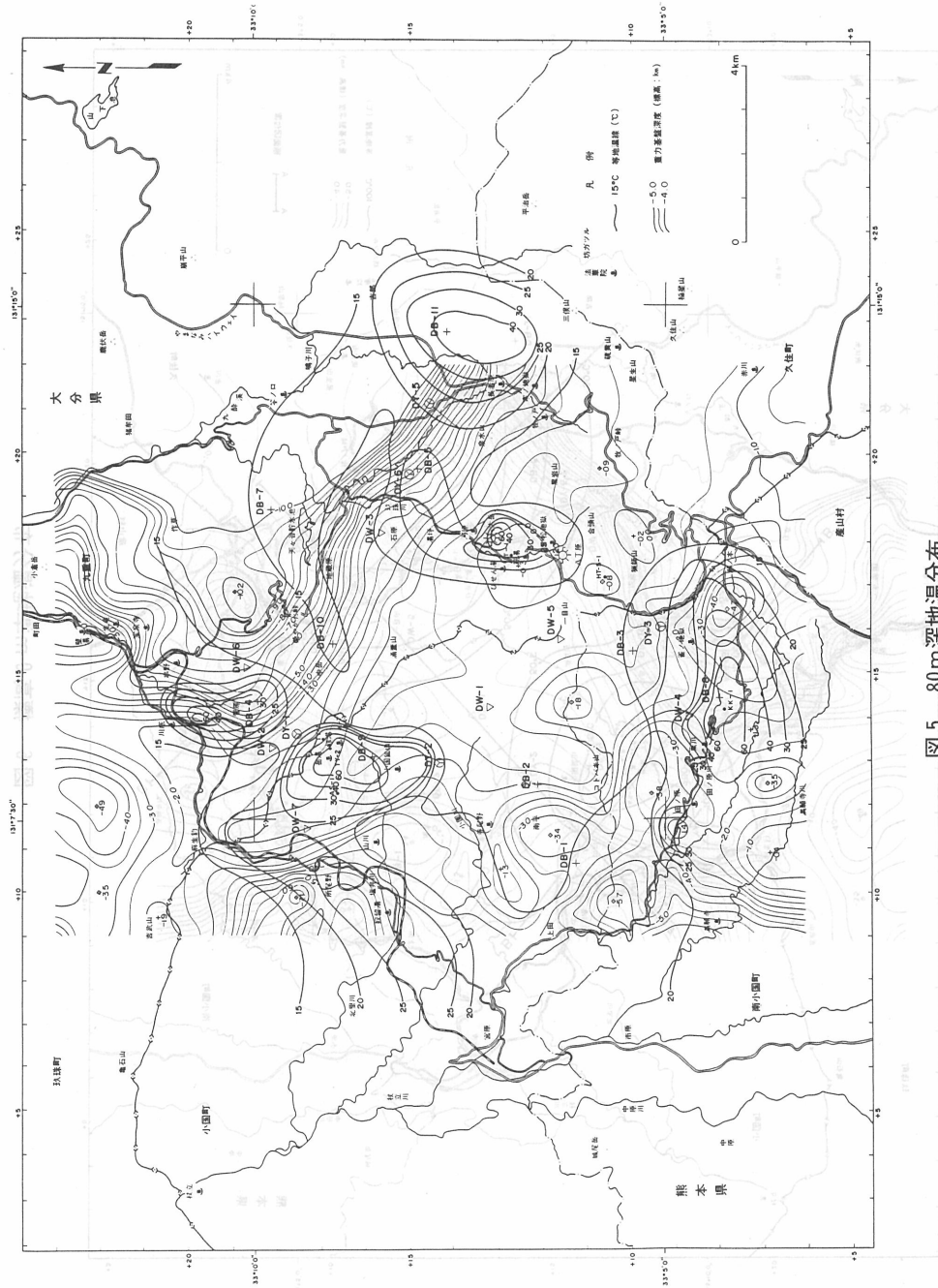


図5 80m深地温分布

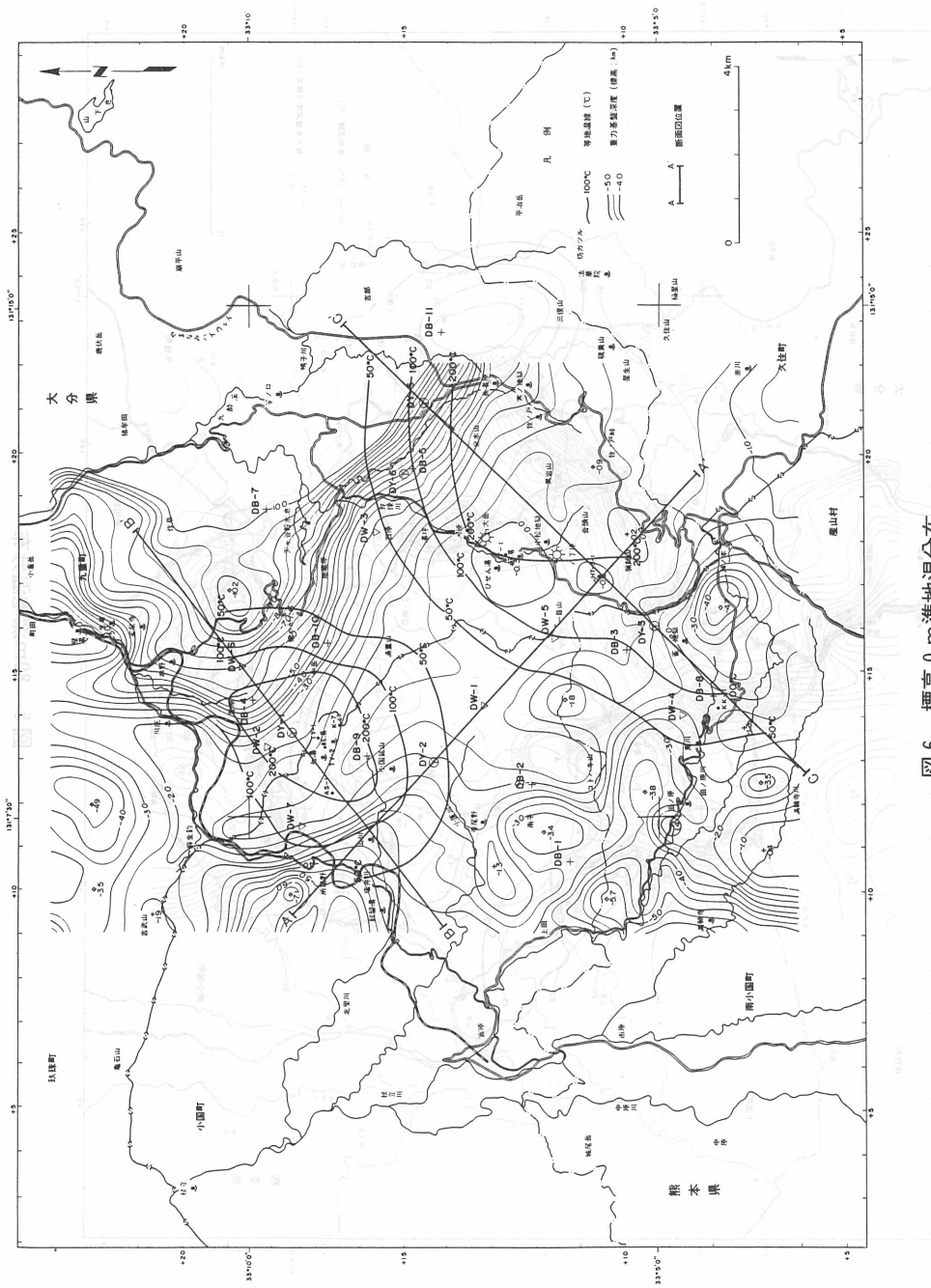


图6 标高0 m準地温分布

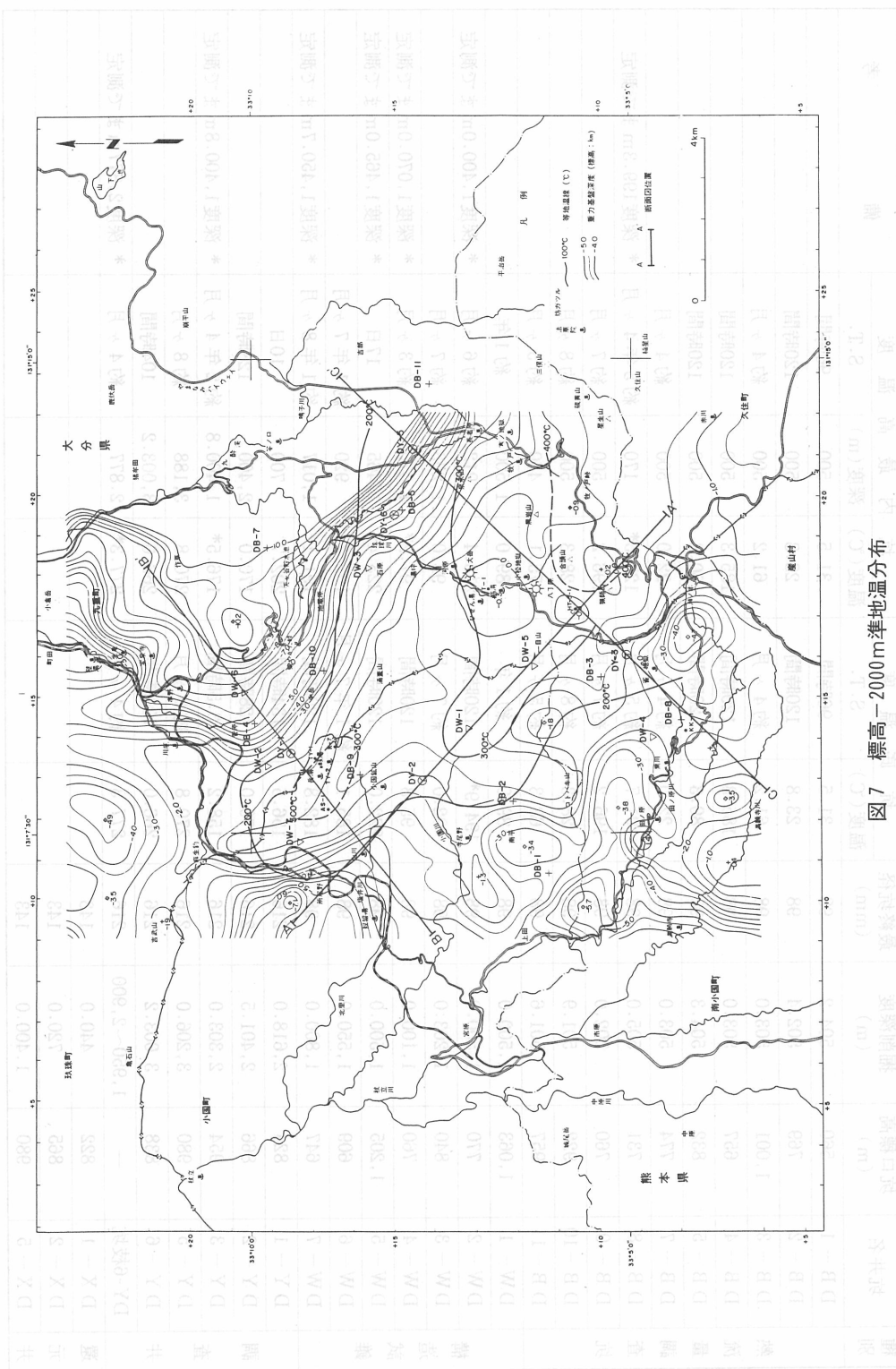


図7 標高-2000m準地温分布

表 2 坑井一覽表

種別	坑井名	坑口標高 (m)	掘削深度 (m)	最終坑径 (mm)	坑底温度		坑内最高温度	備考		
					温度(℃)	S.T. S.T.				
熱 流 量 調 査 坑	DB-1	560	504.2	98	31.5	96時間	31.5	500	96時間	
	DB-2	769	502.4	98	23.8	120時間	23.8	500	120時間	
	DB-3	1,001	503.0	98	61.2	約4ヶ月	61.2	500	約4ヶ月	
	DB-4	657	503.0	98	185.3	120時間	185.3	500	120時間	
	DB-5	832	504.3	98	80.3	120時間	80.3	500	120時間	
	DB-7	774	503.0	98	22.0	約4ヶ月	22.0	500	約4ヶ月	
	DB-8	731	505.0	98	91.7	約5ヶ月	125.5*	170	約5年4ヶ月	* 深度199.3mまで測定
	DB-9	760	502.0	98	196.2	約7ヶ月	196.2	500	約7ヶ月	
	DB-10	922	501.9	98	28.3	約8ヶ月	28.3	500	約8ヶ月	
	DB-11	957	501.6	98	68.3	約5ヶ月	75.1	450	約5ヶ月	
	構 造 試 錐	DW-1	1,063	1,500.0	98	89.0	約1年	89.0	1,500	約1年
DW-2		770	1,500.0	98	194.9*	120時間	213.4	912.5	約6ヶ月	* 深度1,400.0mまで測定
DW-3		840	1,203.0	98	92.0	約7ヶ月	92.0	1,203	約7ヶ月	
DW-4		760	1,100.0	98	95.8	120時間	97.2*	1,070	約3ヶ月	* 深度1,070.0mまで測定
DW-5		1,205	1,500.0	98	222.0	120時間	223.4*	1,465	17日	* 深度1,465.0mまで測定
DW-6		609	1,550.0	98	185.1	約1年7ヶ月	198.3	920	約1年7ヶ月	
DW-7		647	1,800.0	98	182.8	120時間	191.1*	1,017	約1年8ヶ月	* 深度1,450.7mまで測定
DY-1		824	2,618.0	216	156.5	134時間	202.7	700	10日	
DY-2		866	2,401.5	216	170.0	128時間	170.0	2,400	128時間	
DY-3		954	2,303.0	216	158.2	13.5時間	176.5*	1,400.8	約2年4ヶ月	* 深度1,400.8mまで測定
調 査 井		DY-5	980	3,206.0	216	270.8	約8ヶ月	270.8	3,188	約8ヶ月
	DY-6	838	3,003.2	216	266.0	104時間	266.0	3,003.2	104時間	
	DY-6枝坑	—	1,950~2,900	216	277.3	約4ヶ月	277.3*	2,877	約4ヶ月	* 深度2,877mまで測定
	DX-1	822	440.0	143						
	DX-2	865	720.0	143						
還 元 井	DX-5	980	1,400.0	143						

注) S T : 送水停止後経過時間

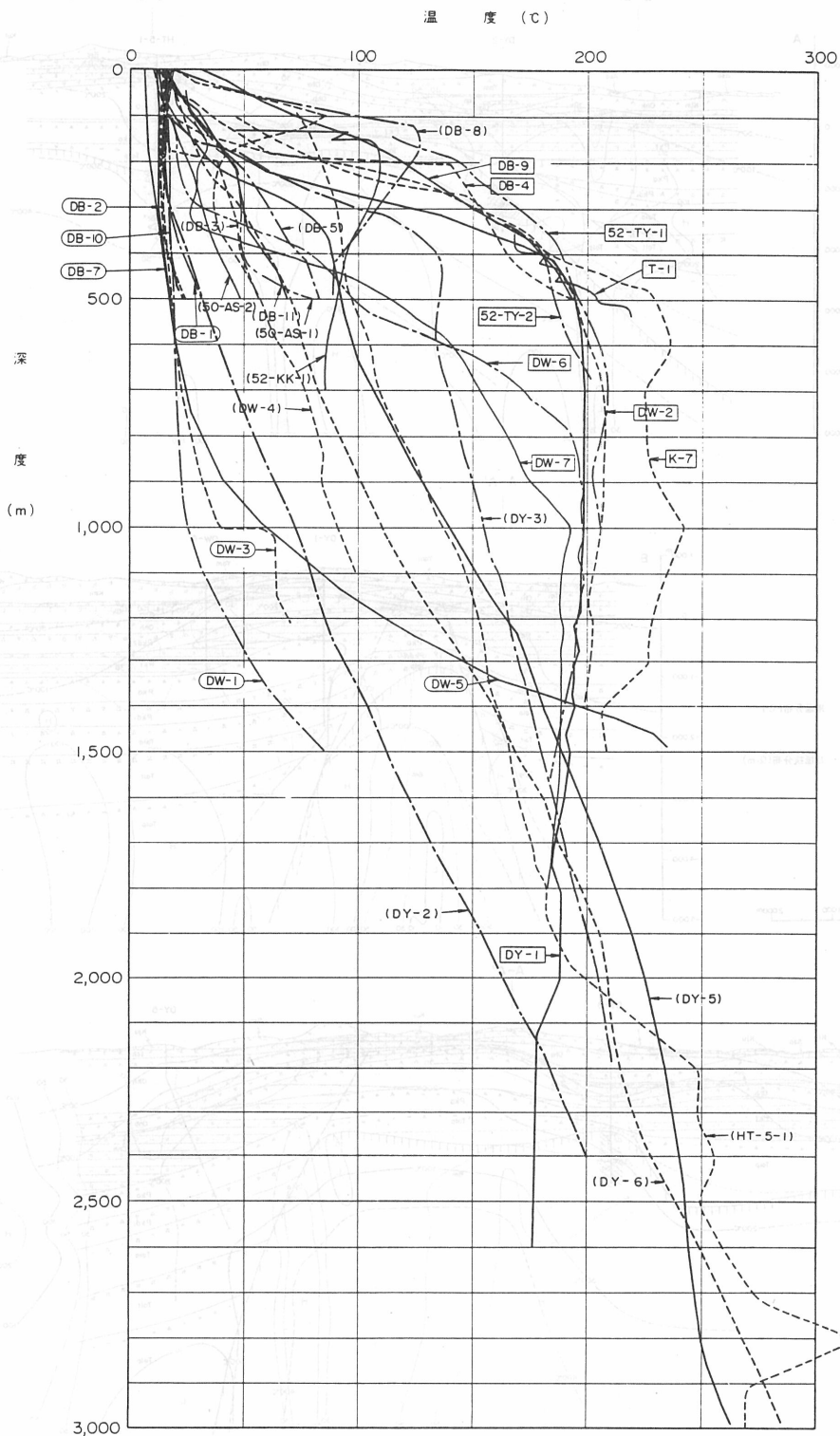
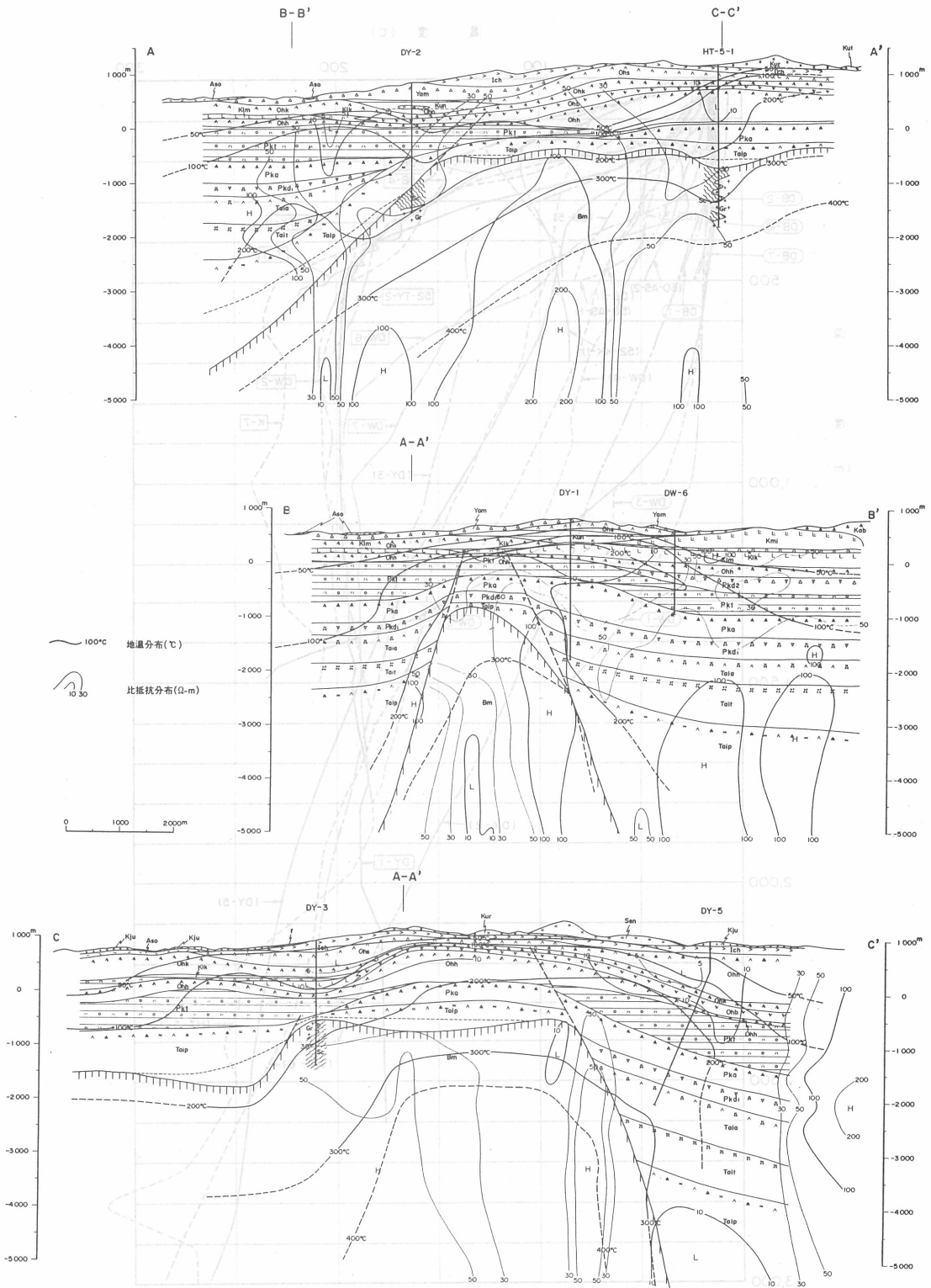


図8 坑井の温度検層結果



果 图9 推定地温断面图

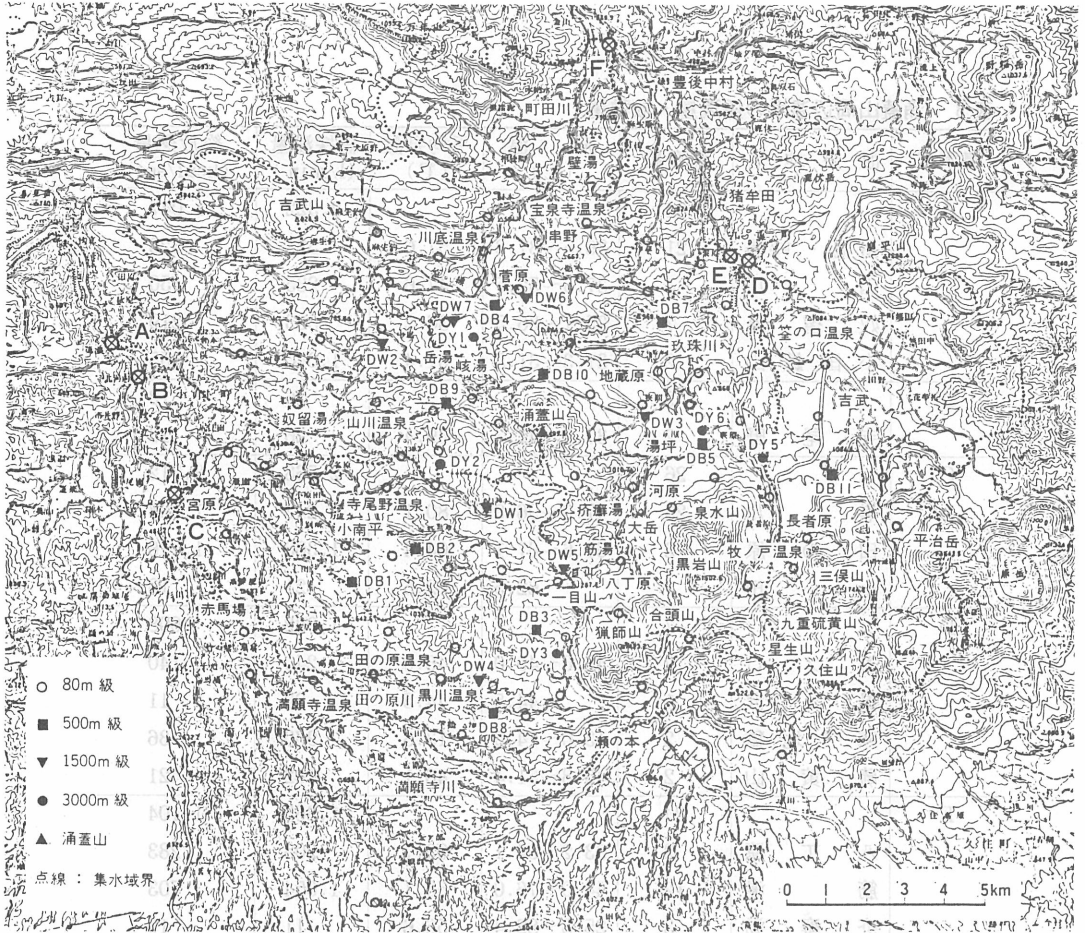


図10 集水域と坑井の位置図

14	38	0.78	0.80-0.82	6	大	
33	37	0.80	0.80-0.82	6	大	
33	33	0.80	0.80-0.82	5	大	
306.1	7.729	0.88	0.88-0.90	17	大	1
762	1.712	0.88	0.88-0.90	5	大	1
308	2.82	0.84	0.84-0.86	6	大	1
1.643	3.070	0.81	0.81-0.83	12	大	1
1.394	3.161	0.81	0.81-0.83	8	大	1
32	1.14	0.74	0.74-0.76	7	大	1
78	1.82	0.78	0.78-0.80	7	大	1
78	1.82	0.88	0.88-0.90	7	大	1

0.11: 変換率

表3 涌蓋山周辺温泉の採湯量・放熱量

集水域	温泉地名	温泉数	泉温 (℃)	平均泉温 (℃)	総採湯量 (l/min)	総放熱量 (kcal/sec)
A		34			2,322	1,047
	岳湯・岨湯	21	36.5~87.8	57.6	524	323
	山川	4	37.5~52.5	47.6	235	150
	奴留湯	7	35.7~36.5	36.2	523	219
	小国鉱山	2	31.3~31.5	31.4	1,040	355
B		2			26	13
	寺尾野	2	37.0~41.7	39.4	26	13
C		26			2,563	2,712
	黒川	23	47.0~96.0	80.1	1,242	1,588
	田の原	2	61.6~67.1	64.4	1,300	1,016
	小田	1	62.5	62.5	21	18
D		7			1,982	608
	笠ノ口	2	43.0~49.0	46.0	240	140
	湯沢	1	44.5	44.5	20	11
	寒ノ地獄	2	13.0~14.5	13.8	960	36
	硫黄山	2	40.8~51.4	46.1	762	421
E		24			1,365	1,104
	八丁原	2	93.2~94.1	93.7	205	283
	筋湯	12	44.0~76.0	53.1	1,054	703
	疥癬湯	3	25.8~82.4	56.6	11	10
	大岳	2	83.9~90.0	87.0	35	44
	河原湯・湯坪	3	54.8~69.6	64.3	37	33
	牧ノ戸	2	91.7~94.2	93.0	23	31
F		74			7,279	4,206
	壁湯	5	37.7~38.9	38.0	1,715	765
	生竜	9	29.5~52.0	40.5	589	309
	宝泉寺	45	23.0~93.0	51.2	2,670	1,643
	川底	8	36.0~87.0	71.5	2,161	1,394
	串野	7	26.5~54.0	47.9	144	95
その他		7			185	78
	満願寺	7	32.8~42.1	38.4	185	78

基準温度：11.0℃

表4 集水域別放熱量

集水域	A	B	C	D	E	F	全 域
総面積 (km ²)	45.4	29.9	45.4	52.3	46.4	54.6	274.0
対象面積 (km ²)	35.1	29.9	44.1	28.3	45.5	42.1	225.0
伝導放熱量 (kcal/sec)	661	269	2,021	656	697	723	5,027
温泉放熱量 (kcal/sec)	1,047	13	2,712	608	1,104	4,206	9,690
噴気放熱量 (kcal/sec)	1,110	—	—	(3,100) 26,100	340	—	(4,550) 27,550
地熱井放熱量 (kcal/sec)	1,500	—	—	—	99,700	—	101,000
総放熱量 (kcal/sec)	(2,818) 4,318	282	4,733	(4,364) 27,364	(2,141) 101,841	4,929	(19,267) 143,467
浅部熱流量 (HFU)	1.46	0.90	4.45	1.25	1.50	1.32	1.83
深部熱流量 (HFU)	(6.21) 9.51	0.94	10.4	(8.34) 52.3	(4.61) 219.5	9.03	(7.03) 52.4

注) ()内の値は地熱井放熱量及び九重硫黄山からの放熱量を省いて計算した場合

表5 噴気試験結果概要

坑 番	裸坑区間深度 (m)	裸坑区間の地層名	裸坑区間の温度 (°C)	主要逸水箇所とその規模	噴気状況
DY-1	1909~2618	●先玖珠変質火山岩類 ●鯛生層	180~190	2006~2059m (顕著な全量逸水) 2562, 2614m (全量逸水)	圧力0.45kg/cm ² のとき 蒸気量 28t/h 熱水量176t/h
DY-2	2135~2401.5	●基盤岩類	180~200	逸水なし	噴気せず
DY-3	1208~2303	●先玖珠変質火山岩類 ●鯛生層 ●基盤岩類	170~210	2100m (極微量の逸水)	
DY-5	2300~3206	●先玖珠変質火山岩類 ●鯛生層	235~270	2618m (全量逸水)	圧力0.4kg/cm ² のとき 蒸気量25t/h 熱水量75t/h
DY-6	1900~3003	●先玖珠変質火山岩類 ●鯛生層	205~285	2264m (部分逸水)	噴気をみるも継続せず
DY-6 枝 坑	1900~2900	●先玖珠変質火山岩類 ●鯛生層	205~280	2258m (部分~全量逸水)	噴気をみるも継続せず

表6 噴出熱水の化学組成(＊野田他, 1985)

(pH以外の単位: mg/l)

採取月日	DY-1熱水 57年6月19日	DY-5熱水 61年11月3日	DY-6熱水 60年5月28日	八丁原総合熱水*	大岳総合熱水*
Ph	8.76	8.4	8.0	7.00	8.30
T.S.M	2216	3880		6456	3735
Cl	998	630	1600	3100	1640
SO ₄	67.5	58.6	230	106	165
H ₂ CO ₃	0.1	< 1	0		
HCO ₃	17.4	87	27	18.3	22.9
CO ₃	0.8	31	0	0.00	7.50
F	2.5	2.0	1.8	4.37	3.65
Br	2.1	4.5	8.1	1.84	0.84
I	0.12	9.21	1.0	0.32	0.11
Na	625	1060	995	1750	1000
K	47.2	134	85.8	287	133
Ca	40.7	8.83	39.3	33.8	35.0
Mg	0.05	0.01	0.34	0.63	0.17
Li	3.1	3.40	4.02		
Rb	0.3	0.72	0.27		
Al	0.59	0.70	1.5	1.85	0.20
Fe ²⁺	0.03	0.03		0.18	0.00
Fe ³⁺	0.16	<0.01	1.6	0.00	0.00
Mn	0.01	0.01	0.17	0.50	0.00
Ca	0.4	0.74	0.28		
Cu	<0.001	<0.01	<0.01	0.00	0.00
Pb	<0.01	0.03	<0.01	0.10	0.00
Zn	0.005	0.02	0.01	0.00	0.00
SiO ₄	283	663	597	752	501
NH ₄	0.6	0.5	0.9	1.22	0.80
As	1.32	2.5	2.1		
PO ₄	1.5	0.9	0.26		
Hg	<0.0005	<0.0005	<0.0005		
B	13.5	25.3	19.9		
HBO				156	84.1
H ₂ S	<0.01	0.7		0.00	0.00