

JNC TJ7420 2005-048

図書

温泉ガスのヘリウム同位体比測定

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2002年3月

地熱エンジニアリング株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Tel: 029-282-1122 (代表)

Fax: 029-282-7980

e-mail: jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005

ま え が き

本報告書は、核燃料サイクル開発機構との契約により地熱エンジニアリング株式会社が平成 13 年度に実施した「温泉ガスのヘリウム同位体比測定」の結果をとりまとめたものです。本調査は、非火山地域におけるマグマ活動の可能性を検討する上での基礎的資料を得るため、近畿地方及び四国地方において温泉ガスのヘリウム同位体比を測定し、ヘリウム同位体比の高異常域の範囲を把握することを目的としております。

調査にあたっては、核燃料サイクル開発機構の担当者にご指導、ご支援をいただきましたことをここに記して感謝申し上げます。

平成 14 年 3 月

地熱エンジニアリング株式会社

代表取締役社長 高杉真司

温泉ガスのヘリウム同位体比測定

地熱エンジニアリング株式会社

要 旨

地質環境の長期安定性を評価するためには、非火山地域における高温異常域のメカニズムの解明が課題の1つとして挙げられる。

本調査では、非火山地域におけるマグマ活動の可能性を検討する上での基礎的資料を得るため、ヘリウム同位体比の高異常域の範囲を把握することを目的として、西南日本（主に近畿、四国地方）を対象に、温泉ガスのサンプリングを実施するとともに、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 及び $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の測定を行った。また、日本列島を対象に温泉ガスに含まれるヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$)の既存データを文献調査等により収集・整理し、本調査の測定データと合わせて、日本全国を対象としたヘリウム同位体比一覧表及び分布図を作成した。

本調査により、「近畿スポット」(Wakita et al., 1987) と呼ばれるヘリウム同位体比の高異常域は、東方～南方により広い範囲を示すこと、北方～西方にかけては、ほぼ従来通りの範囲と推定されることが明らかになった。

本報告書は、地熱エンジニアリング株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務の成果をとりまとめたものである。

機構担当部課室：東濃地科学センター、地質環境長期予測研究グループ

目 次

1. 総論	1
1. 1 調査目的	1
1. 2 調査期間	1
1. 3 調査者	1
1. 4 調査概要	1
2. 温泉ガスのヘリウム同位体比測定	2
2. 1 調査内容	2
2. 2 調査地点の選定	2
2. 3 試料採取方法	2
2. 4 調査結果	7
2. 5 「近畿スポット」の検証	7
2. 6 同一試料の温泉ガスと温泉水の比較	22
2. 7 今後の提案	25
3. まとめ	27
参考文献	28

巻末資料-1 He と Ne の物性の違いによる $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の差

巻末資料-2 温泉ガス，温泉水採取現地写真

付帯資料

ヘリウム同位体比データファイル収録 MO ディスク

図表目次

第 2-1 図	ヘリウム同位体比測定用試料の採取地点候補位置図	4
第 2-2 図	温泉ガス採取方法.....	5
第 2-3 図	温泉水採取方法	6
第 2-4 図	日本列島のヘリウム同位体比分布図.....	20
第 2-5 図	西南日本のヘリウム同位体比分布図.....	21
第 2-6 図	$^3\text{He}/^4\text{He}$ と $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の相関図 (平成 12 年度及び平成 13 年度)	24
第 2-1 表	ヘリウム同位体比測定用試料の採取地点候補一覧表	3
第 2-2 表	温泉ガス, 温泉水のサンプリング地点及び分析結果一覧表 (平成 13 年度)	8
第 2-3 表	温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表.....	9
第 2-4 表	温泉ガス, 温泉水のサンプリング地点及び分析結果一覧表 (平成 12 年度) ...	23

1. 総論

1. 1 調査目的

地質環境の長期安定性を評価するためには、非火山地域における高温異常域のメカニズムの解明が課題の1つとして挙げられる。

本調査は、非火山地域におけるマグマ活動の可能性を検討する上での基礎的資料を得るため、西南日本（主に近畿、四国地方）において温泉ガスのヘリウム同位体比を測定し、ヘリウム同位体比の高異常域の範囲を把握する。

1. 2 調査期間

平成13年8月8日～平成14年3月14日

1. 3 調査者

地熱エンジニアリング株式会社

技術責任者：探査部部长

笠井加一郎（技術士（応用理学））

調査者：探査部企画開発グループ課長

小松 亮

探査部化学グループ課長

菱 靖之

1. 4 調査概要

ヘリウム同位体比の高異常域の範囲を把握することを目的として、西南日本（主に近畿、四国地方）を対象に、温泉ガスのサンプリングを実施するとともに、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 及び $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の測定を行った。また、日本列島を対象に温泉ガスに含まれるヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$)の既存データを文献調査等により収集・整理し、本調査の測定データと合わせて、日本全国を対象としたヘリウム同位体比一覧表及び分布図を作成した。

本調査により、「近畿スポット」(Wakita et al., 1987) と呼ばれるヘリウム同位体比の高異常域は、東方～南方により広い範囲を示すこと、北方～西方にかけては、ほぼ従来通りの範囲と推定されることが明らかになった。

2. 温泉ガスのヘリウム同位体比測定

2. 1 調査内容

西南日本（主に近畿，四国地方）を対象に，ヘリウム同位体比等を測定するための温泉ガスの試料採取地点を選定し，その中から温泉ガスのサンプリングを実施するとともに， $^3\text{He}/^4\text{He}$ 及び $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の測定を行った。また，温泉ガスの得られる地点が少ないと予想されたことから，温泉ガスとともに温泉水のサンプリングを実施し，温泉水に溶解している希ガス成分を分離して測定試料とするとともに， $^3\text{He}/^4\text{He}$ 及び $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の測定を行った。さらに，日本列島を対象に温泉ガスに含まれるヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$)の既存データを文献調査等により収集・整理し，本調査の測定データと合わせて，日本全国を対象としたヘリウム同位体比一覧表及び分布図を作成した。

2. 2 調査地点の選定

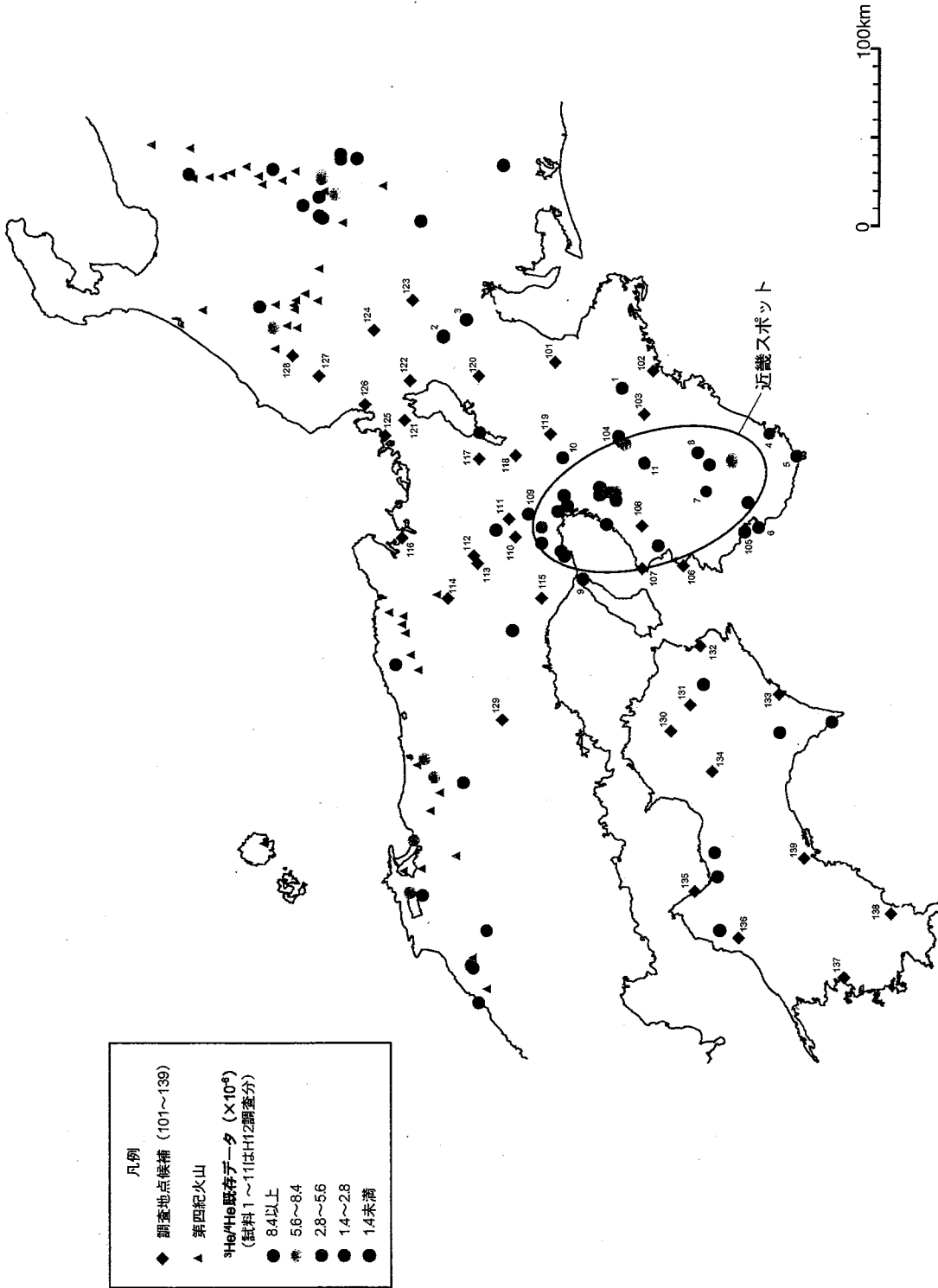
本調査では，第一に近畿，四国地方で温泉ガスが採取可能と思われる温泉を 39 地点選定した（第 2-1 表，第 2-1 図）。選定の基準は次の通りである。①過去のヘリウム資源調査（本島ほか，1969），石油・天然ガス調査（坂田ほか，1987）等でガス試料が採取された温泉，②「日本温泉・鉱泉分布図及び一覧」（地質調査所，1992）の泉質欄に「単純 CO_2 泉」あるいは「含 CO_2 泉」と記された温泉，③同書の記載で温度の高い温泉あるいは湧出量の多い温泉。これらの温泉を第 2-1 図に◆印で示した。同図には，Wakita et al. (1987)の「近畿スポット」も記されており，この内部や周辺で調査地点候補を多く選定した。これらの調査地点候補を対象に，ヘリウム同位体比等を測定するための温泉ガス，温泉水のサンプリングを実施した。

2. 3 試料採取方法

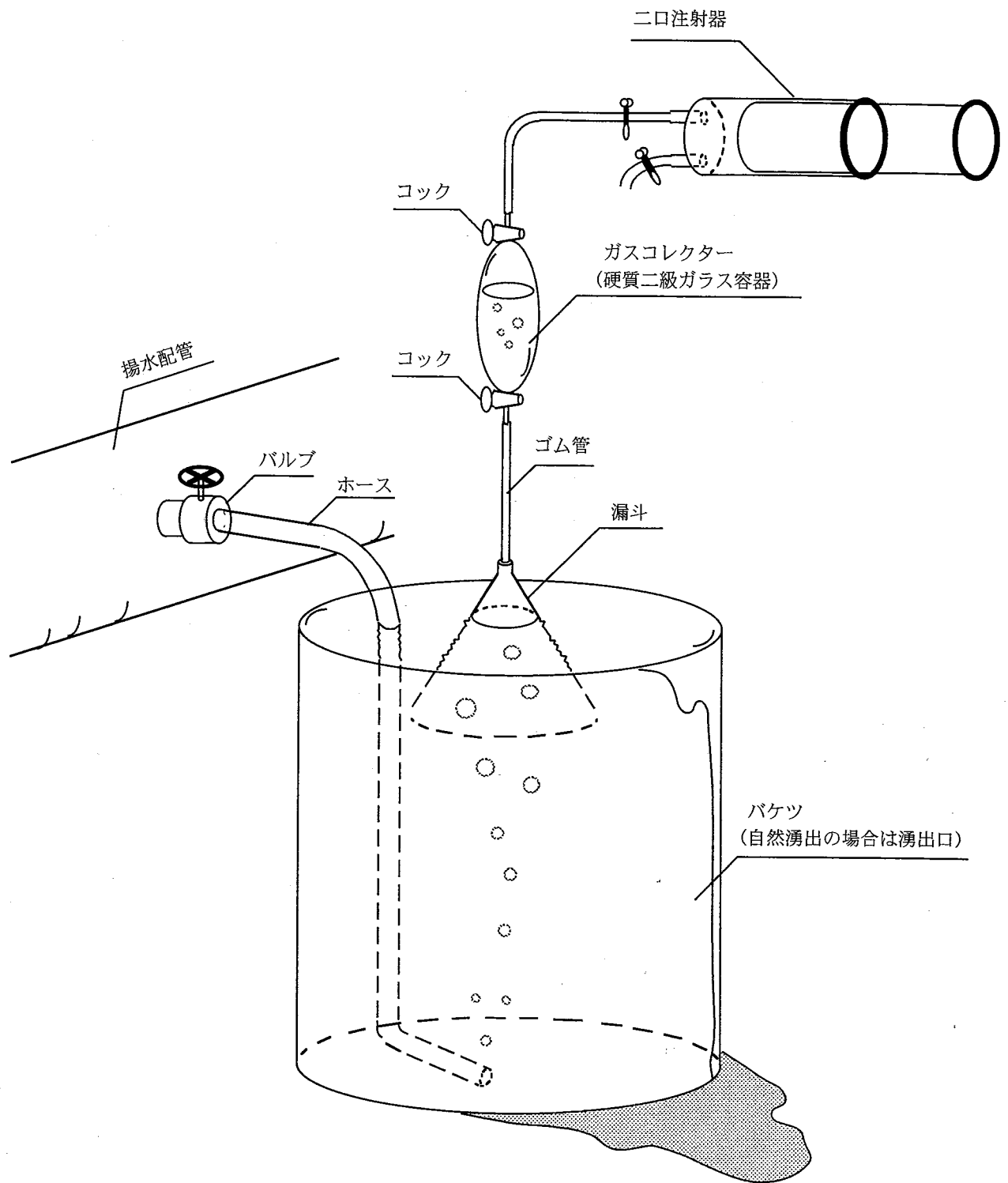
サンプリングの方法は次の通りである（第 2-2 図，第 2-3 図）。自然湧出の場合は，温泉水の溜まりでガス試料を採取した。水中ポンプによって揚水している場合は，揚水配管に設けられたバルブにホースを接続し，温泉水とガスをバケツに導入した。水面付近に漏斗を設置し，その先にゴム管を使ってガスコレクターと二口注射器を接続した。注射器を使って，大気が混入しないように注意しながら漏斗，ゴム管及びガスコレクター内を温泉水で満たした。漏斗の先端で温泉水とともに湧出するガスを集め，二口注射器を用いてそのガスをガスコレクターに導入した。この作業を繰り返し，ガスコレクター内が試料ガス

第2-1表 ヘリウム同位体比測定用試料の採取地点候補一覧表

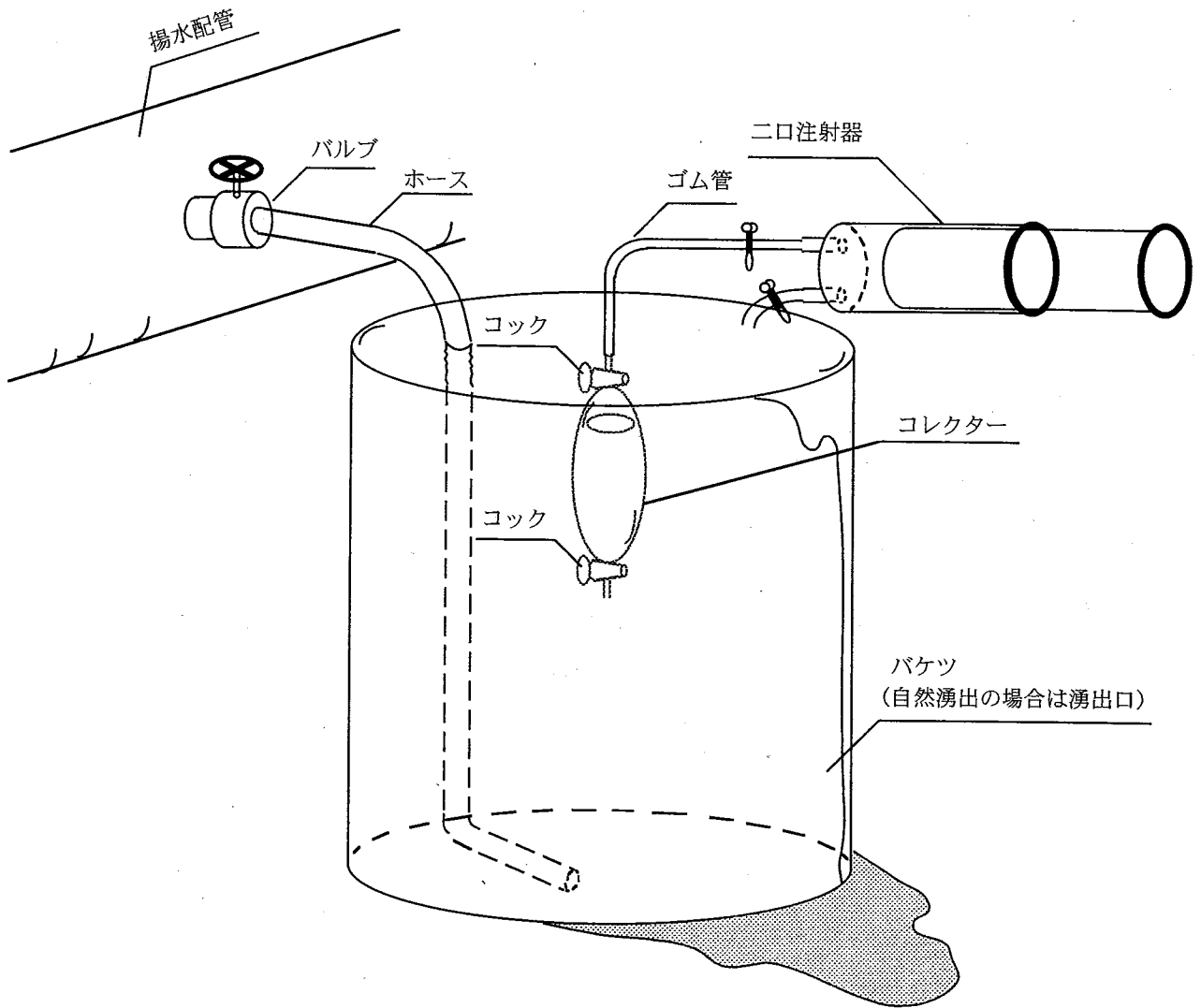
番号	名称	位置	温度 (°C)	湧出量 (L/min)	備考
101	榊原	三重県久居市	30.8	760	
102	有久寺	三重県北牟婁郡紀伊長島町	10	4	坂田ほか(1987)の試料O
103	入之波	奈良県吉野郡川上村	38	174	
104	津風呂	奈良県吉野郡吉野町	9.8	13	含CO ₂ -Na-Cl
105	梅香丘	和歌山県日高郡南部町	33	33	Wakita et al. (1987)のNo.15
106	有田	和歌山県有田郡宮崎町	28	20	
107	加太	和歌山県和歌山市	29	417	
108	倉谷	和歌山県那賀郡打田町	17.3	10	本島ほか(1969)のNo.12
109	平野	兵庫県川西市	16.5	694	含CO ₂ -Na-HCO ₃
110	三田	兵庫県三田市	13.4	70	単純CO ₂ 泉
111	汐の湯	大阪府豊能郡能勢町	<25	70	含CO ₂ -Na-HCO ₃
112	下三井庄	兵庫県水上郡春日町	24	3	単純CO ₂ 泉
113	国領	兵庫県水上郡春日町	24	132	単純CO ₂ 泉
114	粟鹿	兵庫県朝来郡山東町	<25	7	単純CO ₂ 泉
115	見土呂	兵庫県加古川市	<25	20	
116	由良	京都府宮津市	16.8	750	
117	鞍馬	京都府京都市左京区	15.0	5.9	
118	桃山	京都府京都市伏見区	22.0	41	
119	笠置	京都府相楽郡笠置町	5	8	
120	百濟寺(近江)	滋賀県愛知郡愛東町	31.1	170	
121	マキノ(白谷)	滋賀県高島郡マキノ町	17.8	150	
122	須賀谷	滋賀県東浅井郡浅井町	26.5	60	
123	長良川	岐阜県岐阜市	14	670	
124	根尾	岐阜県本巣郡根尾村	34	60	
125	早瀬	福井県三方郡美浜町	<25	230	
126	新保	福井県敦賀市	26	500	
127	上河内	福井県鯖江市	10	0.72	含CO ₂ ・Fe泉
128	保田	福井県勝山市	13	1.5	単純CO ₂ 泉
129	湯郷	岡山県英田郡美作町	42.9	540	
130	奥ノ湯	香川県香川郡塩江町	15	420	
131	ふいご	徳島県麻植郡山川町	15.4	214	pH=2.8
132	金磯	徳島県小松島市	<25	540	
133	穴喰	徳島県海部郡穴喰町	16.2	82.5	
134	祖谷	徳島県三好郡西祖谷村	47.4	1300	
135	桜井	愛媛県今治市	16.6	2158	
136	砥部	愛媛県伊予郡砥部町	18.9	285	含CO ₂ -Na-Cl
137	宇和島	愛媛県宇和島市	15.8	32	
138	四万十	高知県中村市	29.0	27.7	
139	桑田山	高知県須崎市	20	360	



第2-1図 ヘリウム同位体比測定用試料の採取地点位置図



第2-2図 温泉ガス採取方法



第2-3図 温泉水採取方法

で完全に置換された後、コックを閉じた。ガスコレクターのコックをビニールテープで固定し、プラスチック容器に水封した。温泉水試料の場合は、温泉水をバケツに導入した。バケツ内にコレクターを設置し、ゴム管を使って二口注射器を接続した。二口注射器を用いて温泉水をコレクターに導入した。この作業を繰り返し、ガスコレクター内が試料水で完全に置換された後、コックを閉じた。コレクターのコックをビニールテープで固定し、プラスチック容器に水封した。

2. 4 調査結果

サンプリングは計 12 地点で実施した。その一覧表を第 2-2 表に示す。また、各地点の写真を巻末資料として添付した。

採取した温泉ガス、温泉水の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 及び $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の測定を行った。温泉ガス、温泉水の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 及び $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の測定は質量分析計で行い、温泉水は希ガス成分を抽出した試料を測定した。その結果は第 2-2 表に示した通りである。 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ は、試料への大気混入の程度を示す指標で、大気の $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ は 0.318 である。

日本列島の温泉ガス等に含まれる $^3\text{He}/^4\text{He}$ は、Nagao et al. (1981), Sano and Wakita (1985), 坂田ほか(1987), Wakita et al. (1987), Kita et al. (1993), Okada et al. (1994) 等で公表されている。これらの既存データと今回の測定結果を合わせて、日本全国のヘリウム同位体比一覧表(第 2-3 表)及び分布図(第 2-4 図)を作成した。第 2-3 表のデータ数は 390 点である。第 2-4 図の分布図の凡例は次のように区分した。すなわち、大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ である 1.4×10^{-6} を基準とし、大気の数より低いもの (1.4×10^{-6} 未満) を黒色、大気の数から 2 倍まで ($1.4 \times 10^{-6} \sim 2.8 \times 10^{-6}$) を青色、大気の 2 倍から 4 倍 ($2.8 \times 10^{-6} \sim 5.6 \times 10^{-6}$) を黄緑色、大気の 4 倍から 6 倍 ($5.6 \times 10^{-6} \sim 8.4 \times 10^{-6}$) をオレンジ色、大気の 6 倍以上 (8.4×10^{-6} 以上) を赤色で表示した。第 2-4 図によると、近畿地方を除き、火山フロントを境として背弧側の $^3\text{He}/^4\text{He}$ が高く、前弧側で低い傾向が明瞭にあらわれている。

2. 5 近畿スポットの検証

Wakita et al. (1987)は、「近畿スポット」の定義を $^3\text{He}/^4\text{He}$ が大気の数の上の 2 倍以上である 2.8×10^{-6} 以上としている。この定義を用いて、「近畿スポット」の範囲を検証した。西南日本(主に近畿、四国地方)のヘリウム同位体比分布を第 2-5 図に示す。

第2-2表 温泉ガス、温泉水のサンプリング地点及び分析結果一覧表（平成13年度）

番号	温泉名	位置	北緯	東経	温度 (°C)	pH	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	^4He (ppm)	備考
12	須賀谷	滋賀県東浅井郡浅井町	35.45	136.28	16.6	6.9	水	1.21	0.286		
13	湯の山	三重県三重郡菟野町	35.02	136.51	45.6	8.3	ガス	0.54	29	290	百濟寺（第2-1図の120番）の代替地点
13	湯の山	三重県三重郡菟野町	35.02	136.51	45.6	8.3	水	0.54	21.6		
14	猪倉	三重県一志郡白山町	34.68	136.34	20.2	9.2	水	1.01	0.305		榑原（第2-1図の101番）の代替地点
15	有久寺	三重県北牟婁郡紀伊長島町	34.23	136.32	16.3	7.9	水	4.79	5.12		
16	有田矢櫃	和歌山県有田市	34.07	135.09	21.0	8.0	水	1.30	0.239		
17	岩滝	京都府与謝郡岩滝町	35.57	135.16	58.5	8.4	水	1.74	20.4		由良（第2-1図の116番）の代替地点
18	草山	兵庫県篠山市	35.16	135.28	18.9	5.6	ガス	0.45	4100	2400	下三井庄（第2-1図の112番）の代替地点
18	草山	兵庫県篠山市	35.16	135.28	18.9	5.6	水	0.45	2300		
19	桃山	京都府京都市	34.93	135.77	17.1	7.5	水	1.14	6.08		
20	見土呂	兵庫県加古川市	34.80	134.91	16.8	6.4	ガス	0.93	130	140	
20	見土呂	兵庫県加古川市	34.80	134.91	16.8	6.4	水	0.91	19.8		
21	石道	兵庫県川西市	34.88	135.39	15.7	6.5	ガス	1.71	45	3.7	汐の湯（第2-1図の111番）の代替地点
21	石道	兵庫県川西市	34.88	135.39	15.7	6.5	水	1.64	2.51		
22	ふいご	徳島県麻植郡山川町	34.02	134.23	16.0	3.5	水	1.33	0.254		
23	穴喰	徳島県海部郡穴喰町	33.55	134.31	24.2	8.2	水	1.05	9.79		

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (1)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Obs})$ ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Cor})$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
1	南面利	大阪府和泉市	34.42	135.52	8	ガス	8.90	8.90	610		1)	
2	室戸	高知県室戸市	33.30	134.13	31	ガス	2.32	2.36	7.9	87.8	1)	
3	馬路	高知県安芸郡馬路村	33.57	134.07	15	ガス	1.45	1.46	2.2	105	1)	
4	奥道後#4	愛媛県松山市	33.87	132.83	39.5	ガス	1.77	1.78	14	580	1)	
5	奥道後#8	愛媛県松山市	33.87	132.83	38.0	ガス	1.77	1.78	10	820	1)	
6	奥道後K	愛媛県松山市	33.87	132.83	29.5	ガス	1.78	1.79	16	590	1)	
7	湯の谷	愛媛県西条市	33.88	133.17	17	ガス	2.96	2.38	17	410	1)	
8	別子	愛媛県新居浜市	33.90	133.32		ガス	3.10	3.10	830	3	1)	
9	神山	徳島県名西郡神山町	33.97	134.37	17	ガス	1.38	1.38	5.9	170	1)	
10	神戸	兵庫県神戸市	34.70	135.20	36	ガス	2.88	3.86	0.8	160	1)	
10	神戸	兵庫県神戸市	34.70	135.20		ガス	2.74	3.47	0.9		1)	
11	琵琶湖	滋賀県守山市	35.12	135.95	36	ガス	1.82	1.82	45	151	1)	
12	宮滝	奈良県吉野郡吉野町	34.40	135.92	15	ガス	2.42	2.47	6.3	3.9	1)	
13	石仏	大阪府河内長野市	34.42	135.57		ガス	6.54	6.59	31		1)	文献の北緯東経はエラー
14	花山	和歌山県和歌山市	34.20	135.23	26	ガス	5.25	5.26	110		1)	
15	梅香丘	和歌山県日高郡南部町	33.75	135.32	38	ガス	1.95		0.26		1)	
16	鮎川	和歌山県西牟婁郡大塔町	33.73	135.50	25	ガス	2.12	6.52	0.37		1)	
17	湯の峰	和歌山県東牟婁郡本宮町	33.82	135.75	92	ガス	5.88	5.92	34		1)	
18	川湯	和歌山県東牟婁郡本宮町	33.82	135.77	73	ガス	5.84	5.86	59		1)	
19	有馬	兵庫県神戸市北区	34.80	135.25	98	ガス	9.22	9.29	37	103	1)	
19	有馬	兵庫県神戸市北区	34.80	135.25	20	ガス	9.69	9.69	530		1)	
20	湊山	兵庫県神戸市兵庫区	34.68	135.17	27.5	ガス	3.77	3.79	43	202	1)	
21	宝塚	兵庫県宝塚市	34.80	135.35	30	ガス	8.15	8.20	42	2.0	1)	
22	籠坊	兵庫県多紀郡篠山町	35.03	135.33	10	ガス	0.888	0.87	8.3	5.2	1)	
23	畑田	兵庫県飾磨郡夢前町	34.95	134.70	16	ガス	1.06	1.05	19	16.5	1)	
24	Shikano	兵庫県			11	ガス	1.66	1.66	110	12.0	1)	
25	湯村	兵庫県美方郡温泉町	35.55	134.48	43	ガス	5.38	5.40	59	228	1)	
26	三朝	鳥取県東伯郡三朝町	35.40	133.88	76	ガス	7.38	7.70	6.3	830	1)	
27	関金	鳥取県東伯郡関金町	35.35	133.77	47	ガス	6.02	6.07	30		1)	
28	小屋原	鳥取県大田市	35.15	132.58	38	ガス	5.84	5.86	59	3.3	1)	
29	柳原	鳥取県飯石郡柳原町	35.07	132.80	15	ガス	3.62	3.66	18	12.3	1)	
30	玉造	鳥取県八束郡玉湯町	35.40	133.02	68	水	4.32	4.35	29		1)	
1	地獄谷	北海道登別市	42.48	141.15	85	ガス	5.30		11	<500	2)	
2	カルルス	北海道登別市	42.50	141.12	62	ガス	5.20		1.8	21	2)	
3	横山	北海道有珠郡大滝村	42.62	141.03	89	ガス	2.95		2.5	26	2)	
4	ニセコ湯本	北海道磯谷郡磯谷町	42.87	140.63	68	ガス	7.64		20	5.7	2)	
5	下の湯	北海道亀田郡南茅部町	41.95	140.83	70	ガス	4.40		10	5.5	2)	
6	濁川	北海道茅部郡森町	42.12	140.43	57	ガス	2.67		0.38	2.5	2)	

出典 1) Wakita et al. (1987), 2) Sano and Wakita (1985)

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表(2)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}$ (Obs) ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}$ (Cor) ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
7	吉の湯	北海道茅部郡鹿部町	42.02	140.82	75	ガス	3.75		16	49.1	2)	
8	湯ノ川	北海道函館市	41.77	140.78	60	ガス	7.28		59	27.4	2)	
9	養部	北海道山越郡八雲町	42.13	140.22	74	ガス	5.10		4.3	33.2	2)	文献の東経はエラー
10	雷電	北海道岩内郡岩内町	42.90	140.42	45	ガス	2.66		1.1	3.2	2)	
11	二股	北海道山越郡長万部町	42.57	140.23	47	ガス	1.20		0.47	<0.5	2)	
12	長万部	北海道山越郡長万部町	42.50	140.37	<20	ガス	1.88		9.1	2.2	2)	
13	丸駒	北海道千歳市	42.77	141.28	45	水	4.36		1.4		2)	
14	虎杖	北海道白老郡白老町	42.45	141.22	20	水	1.72		12		2)	
15	薩ヶ湯	青森県青森市	40.63	140.85	64	ガス	1.87		0.30	13	2)	
16	Akataki	青森県西津軽郡岩崎村	40.57	140.03	72	ガス	5.59		2.8		2)	
17	構山	青森県西津軽郡深浦町	40.60	139.87	52	ガス	8.84		91		2)	
18	Yoshino	秋田県	40.02	139.90		ガス	4.12		71	11	2)	石油ガス
19	Fukumezawa	秋田県	39.93	139.98		ガス	6.24		50	4	2)	石油ガス
20	八橋	秋田県	39.73	140.08		ガス	1.18		9.1	2	2)	石油ガス
21	雄物川	秋田県	39.68	140.10		ガス	1.42		0.31	2	2)	石油ガス
22	象湯	秋田県	39.23	139.92	25	ガス	2.42		0.42	4	2)	石油ガス
23	由利原	秋田県	39.23	140.08		ガス	2.54		100	3.3	2)	石油ガス
24	北由利原	秋田県	39.25	140.08		ガス	7.25		530	6.8	2)	石油ガス
25	鴨子	宮城県玉造郡鴨子町	38.73	140.72	94	ガス	5.79		13	<150	2)	
26	鱒先	宮城県白石市	38.02	140.57	39.5	ガス	5.00		24	258	2)	
27	鳴合	宮城県仙台市	38.30	140.78	23.5	ガス	3.55		18	71	2)	
28	肘折	山形県最上郡大蔵村	38.60	140.17	88	ガス	7.93		3.8	3.4	2)	
29	寒河江	山形県寒河江市	38.37	140.27	46	ガス	7.26		20	106	2)	
30	泡の湯	山形県西置賜郡小国町	37.93	139.70	40.5	ガス	9.01		170	13.2	2)	文献の北緯はエラー
31	吹浦	山形県	39.07	139.90		ガス	6.87		1.9	30	2)	石油ガス
32	奈目	山形県	38.85	139.90		ガス	6.39		43	2	2)	石油ガス
33	東奈目	山形県	38.85	139.93		ガス	7.77		400	47	2)	石油ガス
34	鹿島	福島県	37.70	140.90	13	ガス	0.484		560	7510	2)	
35	楢葉	福島県	37.25	140.90	17	ガス	0.353		27	145	2)	
36	勿来	福島県	36.90	140.77		ガス	0.161		1000		2)	天然ガス
37	日光湯元	栃木県日光市	36.80	139.42	61	ガス	4.09		7.1	11.3	2)	
38	鹿沢	群馬県吾妻郡嬖恋村	36.43	138.42	36	ガス	4.36		1.9	0.9	2)	
39	嬖恋	群馬県安中市	36.28	138.83	17	ガス	0.920		630	97.2	2)	
40	荒船	群馬県甘楽郡下仁田町	36.22	138.73	15	ガス	1.29		9.1	<0.5	2)	
41	習志野	千葉県	35.68	140.03		ガス	0.213		50	<0.5	2)	天然ガス
42	Yokoshiba	千葉県	35.62	140.50		ガス	0.349		14	<0.5	2)	天然ガス
43	Shirako	千葉県	35.37	140.35		ガス	0.310		4.8	1	2)	天然ガス
44	Chonan	千葉県	35.37	140.28	<20	ガス	0.221		4.2	0.7	2)	天然ガス

出典 2) Sano and Wakita (1985)

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (3)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Obs})$ ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Corr})$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
45	平和島	東京都大田区	35.58	139.75	36	ガス	0.137		100	3	2)	
46	下部	山梨県西八代郡下部町	35.42	138.48	30	ガス	5.68		10	20.3	2)	
47	大湧谷	神奈川県足柄下郡箱根町	35.23	139.02	81	ガス	8.29		16	3.4	2)	
48	滝ノ花沢	神奈川県足柄下郡箱根町	35.22	139.03	100	ガス	7.62		7.1		2)	
49	松代	長野県長野市	36.57	138.20	45	ガス	6.41		29	41	2)	
50	布下	長野県小諸市	36.33	138.37	36	ガス	5.24			111	2)	
51	布引	長野県小諸市	36.33	138.38	41	ガス	5.71		9.1	25.9	2)	
52	長村	長野県小県郡真田町	36.48	138.38	25	ガス	4.62		5.3	2.8	2)	
53	海ノ口	長野県南佐久郡南牧村	36.02	138.48	34	ガス	7.22		63	130	2)	文献の東経はエラー
54	明治湯	長野県茅野市	36.03	138.30	24	ガス	9.24		12	91	2)	
55	中伊豆	静岡県田方郡中伊豆町	34.93	139.03	25	ガス	1.46		0.32	5.7	2)	文献の北経はエラー
56	熱川	静岡県賀茂郡伊豆町	34.80	139.07	96	水	1.70		0.67		2)	
57	峰	静岡県賀茂郡河津町	34.75	138.97	87	水	0.925		0.65		2)	
58	大沢	静岡県賀茂郡松崎町	34.75	138.83	47	水	4.53		0.74		2)	
59	Meiji	新潟県	37.20	138.33		ガス	3.10		110	5	2)	石油ガス
60	南阿賀	新潟県	37.75	139.13		ガス	3.76		63	4	2)	石油ガス
61	阿賀沖	新潟県	38.10	139.12		ガス	1.90		140	2	2)	石油ガス
62	Matsuzaki 1	新潟県	37.95	139.18		ガス	3.22		91	3	2)	石油ガス
63	Matsuzaki 2	新潟県	37.92	139.10		ガス	3.23		77	4	2)	石油ガス
64	片貝	新潟県	37.37	138.78	43	ガス	5.59		77	9.5	2)	石油ガス
65	北片貝	新潟県	37.38	138.78	184	ガス	8.65		240	31	2)	石油ガス
66	Bessho	新潟県	37.03	138.33		ガス	2.09		63	6	2)	石油ガス
67	Hirai	新潟県	37.37	138.62	60	ガス	7.33		1100	51	2)	石油ガス
68	Nakadori	新潟県	37.38	138.65	75	ガス	7.69		590	58	2)	石油ガス
69	貝附	新潟県	37.52	138.85	25	ガス	8.61		1000	10	2)	石油ガス
70	草塩	山梨県南巨摩郡早川町	35.43	138.33	21	ガス	2.82		100	91.8	2)	天然ガス
71	白骨	長野県南安曇郡安曇村	36.15	137.63	49	ガス	9.65		16	56.8	2)	
72	みどり湖	長野県塩尻市	36.10	138.02	18	ガス	1.48		29	119	2)	
73	鹿の瀬	長野県木曾郡三岳村	35.90	137.57	28	ガス	8.13		83	4.6	2)	
74	濁川	長野県木曾郡大滝村	35.83	137.47	47	ガス	7.63		4.3	5.1	2)	
75	木曾	長野県木曾郡三岳村	35.90	137.58	9	ガス	6.80		150	55	2)	
76	様	長野県木曾郡上松町	35.80	137.68	11	ガス	4.17		23	15	2)	
77	正島	長野県木曾郡上松町	35.80	137.72	11	ガス	2.83		17	8.5	2)	
78	鹿の湯	長野県木曾郡大桑村	35.72	137.68	20	ガス	2.39		71	3.3	2)	
79	御前崎	静岡県	34.60	138.23	19	ガス	0.102		6.7	6.5	2)	
80	瀬河	岐阜県益田郡小坂町	35.92	137.45	54	ガス	8.61		32	97	2)	
81	下島	岐阜県益田郡小坂町	35.92	137.33	18	ガス	2.60		0.77	1.6	2)	
82	湯屋	岐阜県益田郡小坂町	35.90	137.32	13	ガス	3.00		37	91	2)	

出典 2) Sano and Wakita (1985)

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (4)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Obs})$ ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Corr})$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
83	秋神	岐阜県大野郡朝日村	36.00	137.40	17	ガス	4.81		2.5	1.6	2)	
84	白狐	岐阜県瑞浪市	35.40	137.28	24	ガス	1.10		59	765	2)	
85	湯谷	愛知県南設楽郡鳳来町	34.97	137.62	30	ガス	1.73		100	335	2)	
106	えびの	宮崎県えびの市	31.93	130.85	96	ガス	8.33		37		2)	
107	新燃岳	鹿児島県霧島地域	31.90	130.88	100	ガス	8.49		25		2)	
108	硫黄谷	鹿児島県霧島地域	31.88	130.83	97	ガス	5.12		8.3		2)	
109	湯之谷	鹿児島県霧島地域	31.88	130.80	80	ガス	6.47		2.3		2)	
110	ラムネ	鹿児島県霧島地域	31.82	130.73	52	ガス	7.40		4.2		2)	
111	敷根	鹿児島県国分市	31.70	130.78		ガス	3.47		27		2)	天然ガス
112	坂本	鹿児島県硫黄島	30.78	130.28	57		7.32		3.1	3.2	2)	
113	薩摩硫黄岳	鹿児島県硫黄島	30.78	130.32	100	ガス	9.54		17	2.8	2)	
114	東	鹿児島県硫黄島	30.77	130.30	54.3	水	1.41		0.45		2)	
115	糸満	鹿児島県糸満市	26.12	127.67		ガス	0.0747		340	18.5	2)	天然ガス
AB-D	尼崎	兵庫県尼崎市	34.72	135.45	50	水	4.48	4.48	418		3)	
SW-D	浪速	大阪府大阪市浪速区	34.67	135.48	37	水	1.42	1.42	1.80		3)	
TK-D1	城東	大阪府大阪市城東区	34.68	135.55	27	水	0.564	0.563	317		3)	
KR-D	岸和田	大阪府岸和田市	34.47	135.37	37	水	2.00	2.14	1.70		3)	
HK-D	狭山	大阪府南河内郡狭山町	34.50	135.55	22	水	4.60	4.60	3050		3)	
PL-D	倉田林	大阪府豊田林市	34.50	135.60	28	水	2.72	2.72	472		3)	
CB-D	河内長野	大阪府河内長野市	34.45	135.57	30	水	8.15	8.34	11.8		3)	
V1	十勝岳	北海道	43.42	142.69		ガス	9.19		35		4)	
V2-1	昭和新山	北海道	42.53	140.87		ガス	7.41		120	28	4)	
V3	有珠	北海道	42.53	140.83		ガス	9.62		650	11	4)	
V4	那須岳	栃木県	37.15	139.96		ガス	6.66		97	17	4)	
V5	箱根	神奈川県	35.23	139.02		ガス	8.51		23	42	4)	
V6	立山	富山県	36.58	137.62		ガス	10.9		22	5.1	4)	
V7	九重	大分県	33.08	131.25		ガス	10.5		64	210	4)	
V8	霧島	宮崎県	31.93	130.86		ガス	10.3		24	16	4)	
V9-1	薩摩硫黄島	鹿児島県	30.79	130.32		ガス	10.2		9.6	14	4)	
H1	岩間	石川県石川郡尾口村	36.23	136.77		ガス	11.4		8.1	0.93	4)	
H2	白峰	石川県石川郡白峰村	36.17	136.63		ガス	5.65		470	1200	4)	
H3	湯の峰	和歌山県東牟婁郡本宮町	33.83	135.77		ガス	6.56		63	58	4)	
H4	川湯	和歌山県東牟婁郡本宮町	33.82	135.78		ガス	5.65		1.0	12	4)	
H5	有馬	兵庫県神戸市	34.80	135.25		ガス	11.0		210	14	4)	
H6	湯村	兵庫県美方郡温泉町	35.55	134.50		ガス	7.50		62	300	4)	
H7	三朝	鳥取県東伯郡三朝町	35.42	133.90		ガス	8.35		150	940	4)	
H8	皆生	鳥取県米子市	35.45	133.37		ガス	7.66		180	1300	4)	
H9	湯原	岡山県真庭郡湯原町	35.20	133.73		ガス	3.96		10	54	4)	

出典 2) Sano and Wakita (1985), 3) Okada et al. (1994), 4) Nagao et al. (1981)

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (5)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}$ (Obs) ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}$ (Cor) ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
H10	松江	鳥根県松江市	35.47	133.03		ガス	5.94		200	1800	4)	
H11	小屋原	鳥根県大田市	35.15	132.60		ガス	9.15		160	5.3	4)	
H12	温泉津	鳥根県遷摩郡温泉津町	35.10	132.35		ガス	9.12		120	40	4)	
H13	別府	大分県別府市	33.32	131.47		ガス	9.00		75	31	4)	
H14	山川	鹿児島県指宿郡山川町	31.22	130.63		ガス	9.84		7.0	29	4)	
L1	濁川	北海道茅渚郡森町	42.13	140.45		ガス	9.95		280	4.0	4)	
L2	秘代	長野県長野市	36.57	138.22		ガス	9.10		20	5.3	4)	
L3	吉野	奈良県吉野郡吉野町	34.37	135.87		ガス	6.44		12	1.0	4)	
L4	南面利	大阪府和泉市	34.42	135.52		ガス	10.4		780	45	4)	
L5	石仏	大阪府河内長野市	34.42	135.58		ガス	6.45		30	0.60	4)	
L6	川西	兵庫県川西市				ガス	1.53		110	110	4)	
L7	池田	鳥根県大田市	35.13	132.57		ガス	8.58		180	11	4)	
G1	大沼	秋田県鹿角市	39.98	140.80		ガス	15.4		2.3	5.3	4)	
G2	岳湯	熊本県阿蘇郡小国町	33.15	131.15		ガス	5.7		0.75		4)	
W1	三菱	神奈川県				ガス	<0.3		23	39	4)	
W2	川崎	神奈川県				ガス	0.86		0.72	1.4	4)	
	雲仙九十九島火口				110	ガス	10.2		350		5)	
	雲仙地獄跡火口				52	ガス	6.4		0.9		5)	
	島原	長崎県島原市	32.77	130.37	26	ガス	9.9		154		5)	
	雲仙	長崎県南高来郡小浜町	32.73	130.27	88	ガス	7.2		84		5)	
	小浜	長崎県南高来郡小浜町	32.72	130.22	28	ガス	6.0		84		5)	
	上湯	奈良県吉野郡十津川村	33.93	135.73	68	ガス	3.8		93	193	6)	
1	稚内	北海道稚内市	45.45	141.65	35	ガス	0.345	0.295	7.1	3	7)	
2	豊富	北海道天塩郡豊富町	45.07	141.83	26	ガス	0.398	0.398	>1200	25	7)	
3	旭	北海道天塩郡遠別町	44.65	141.87		ガス	1.70	1.69	>770	55	7)	
4	相泊	北海道目梨郡羅臼町	44.20	145.33	50	ガス	9.34	9.38	71	59.0	7)	
5	羅臼	北海道目梨郡羅臼町	44.03	145.17	98	ガス	2.77	4.83	0.53	<20	7)	
6	中小屋	北海道石狩郡当別町	43.28	141.60	14	ガス	1.62	1.62	21	21	7)	
7	標茶	北海道川上郡標茶町	43.18	144.50	46	ガス	0.242	0.192	7.7	112	7)	
8	雄阿寒	北海道阿寒郡阿寒町	43.42	144.15	47	ガス	8.00	8.39	5.6	25.2	7)	
9	和琴露天	北海道川上郡弟子屈町	43.58	144.32	44	ガス	7.62	8.36	3.0	10.3	7)	
10	和琴地獄	北海道川上郡弟子屈町	43.58	144.32	98	ガス	3.13	5.74	0.53	<2	7)	
11	川湯硫黄山	北海道川上郡弟子屈町	43.62	144.45	100	ガス	9.58	9.62	63		7)	
12	養老牛	北海道標津郡中標津町	43.58	144.72	85	ガス	7.73	7.76	59	223	7)	
13	幌加	北海道河東郡上士幌町	43.47	143.12	62	ガス	4.92	5.35	2.9	<1	7)	
14	幌平	北海道河東郡上士幌町	43.37	143.18	60	ガス	2.81	2.86	9.6	59.9	7)	
15	層雲峡	北海道上川郡上川町	43.72	142.97	87	ガス	7.45	8.47	2.2	<2	7)	
16	旭岳	北海道上川郡東川町	43.65	142.80	60	ガス	9.20	9.32	21	75.7	7)	

出典 4) Nagao et al. (1981), 5) Kita et al. (1993), 6) 坂田ほか(1987), 7) Sano and Wakita (1988)

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (6)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Obs})$ ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Cor})$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
17	松原	北海道千歳市	42.92	141.72	24	ガス	1.19	1.19	26	12	7)	
21	有珠山1a	北海道	42.53	140.83	592	ガス	6.90	7.10	9.4	2.7	7)	
	川原毛地獄	秋田県湯沢市	38.98	140.60		ガス	9.5		180		8)	
	有馬	兵庫県神戸市	34.80	135.25		ガス	10.2				9)	
	宝塚	兵庫県宝塚市	34.80	135.35		ガス	8.0				9)	
	香寺	兵庫県神崎郡香寺町	34.95	134.72		ガス	1.5				9)	
	南茨	兵庫県三原郡南茨町	34.27	134.72		ガス	1.5				9)	
	石仏	大阪府河内長野市	34.42	135.57		ガス	7.1				9)	
	大塔	奈良県吉野郡大塔村	34.15	135.75		ガス	5.5				9)	
	塩野	滋賀県甲賀郡甲南町	34.93	136.15		ガス	3.6				9)	
	宮乃	滋賀県甲賀郡甲南町	34.92	136.17		ガス	3.1				9)	
	大島	東京都大島支庁大島町	34.75	139.40		ガス	7.69		1.8	4.1	10)	
1	大漕谷-A	神奈川県足柄下郡箱根町	35.24	139.02	97.3	ガス	9.63	9.8	19		11)	
6	早雲地獄-1	神奈川県足柄下郡箱根町	35.23	139.03	99.3	ガス	9.61	9.8	19		11)	
8	硫黄山-1	神奈川県足柄下郡箱根町	35.22	139.04	96.0	ガス	9.16	9.3	20		11)	
10	芦之湯	神奈川県足柄下郡箱根町	35.22	139.04	41.3	水	6.73	9.3	0.85		11)	
11	蛇骨-A	神奈川県足柄下郡箱根町	35.24	139.06	90.8	ガス	8.65	9.8	2.3		11)	
13	湯本	神奈川県足柄下郡箱根町	35.23	139.10	44.6	水	7.46	8.9	1.4		11)	
14	湯船	静岡県駿東郡小山町	35.37	138.98	16.8	水	6.94	7.3	5.1		11)	
15	中川	神奈川県足柄下郡山北町	35.43	139.07	35.6	水	1.92	2.2	0.72		11)	
	アトサヌプリ	北海道	43.62	144.43	112	ガス	3.14		0.47		12)	
	雌阿曇	北海道	43.98	144.02	188.5	ガス	8.72	8.83	22	8.8	12)	
	十勝	北海道	43.40	142.67	112	ガス	7.89	7.92	59	2.6	12)	安政火口
	有珠	北海道	42.53	140.83	750	ガス	7.43	7.46	67	8.4	12)	小有珠
	有珠	北海道	42.53	140.83	720	ガス	7.10	7.17	26	9.2	12)	小有珠
	有珠	北海道	42.53	140.83		ガス	6.89				12)	小有珠
	磐梯	福島県	37.62	140.07	92	ガス	7.41	7.87	4.4	4.7	12)	網沼池付近
	磐梯	福島県	37.62	140.07		ガス	4.42	6.41	0.80	6.8	12)	中の湯温泉
	式根島	東京都	34.32	139.22	<59	ガス	8.60	8.61	86	60	12)	地輪(じのた)温泉
	硫黄島	東京都	24.78	141.32	106	ガス	6.41	6.55	65		12)	元山
	硫黄島	東京都			127	ガス	6.27	6.74	68		12)	金剛岩
	別府	大分県			45	ガス	8.41	8.45	59	7.2	12)	
	九重	大分県			99.4	ガス	8.16	8.19	83		12)	北千里が浜火口
	阿蘇	熊本県	32.88	131.03	59.9	ガス	6.34	6.38	36	5.2	12)	湯の谷温泉
	雲仙	長崎県	32.72	130.22	18	ガス	5.56	5.57	91	14	12)	小浜温泉
	雲仙	長崎県	32.73	130.27	94.5	ガス	6.03	6.04	116		12)	雲仙温泉
	雲仙	長崎県	32.77	130.37	24	ガス	8.11	8.12	200	9.6	12)	島原温泉
	桜島	鹿児島県	31.55	130.63		ガス	6.62	7.09	4.1	5.2	12)	持木

出典 7) Sano and Wakita (1988), 8) 北ほか(1992), 9) 川畑ほか(2001), 10) Sano et al. (1995), 11) Sakamoto et al. (1992), 12) Marty et al. (1989)

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (7)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Obs})$ ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Cor})$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
	薩摩硫黄島	鹿児島県			786	ガス	9.21	9.79	4.8	4.0	12)	あらかやま
	薩摩硫黄島	鹿児島県			98.5	ガス	3.66	7.68	0.53	9.4	12)	ものぐさ
	薩摩硫黄島	鹿児島県			<55	ガス	8.64	9.28	4.1	9.0	12)	坂本
1	湯釜火口	群馬県吾妻郡草津町	36.54	138.54	23	ガス	10.5	10.9	12.0	11.6	13)	
2	北洞噴気	群馬県吾妻郡草津町	36.65	138.54	102	ガス	10.0	11.3	2.54	3.08	13)	
3	奥万座	群馬県吾妻郡嬬恋村	36.63	138.52	50	ガス	9.33	10.9	1.89	12.2	13)	
4	万座湯畑	群馬県吾妻郡嬬恋村	36.64	138.51	76	ガス	2.10	9.24	0.35	4.75	13)	
5	空噴噴気	群馬県吾妻郡嬬恋村	36.63	138.52	95	ガス	8.69	11.1	1.27	1.04	13)	
6	釈生河原噴気	群馬県吾妻郡草津町	36.62	138.57	95	ガス	10.2	10.4	11.8	3.36	13)	
7	石楠花	群馬県吾妻郡嬬恋村	36.63	138.51	77	ガス	5.70	10.2	0.62	10.0	13)	
8	穴地獄A	群馬県吾妻郡六合村	36.65	138.58	23	ガス	9.02	10.4	2.03	19.1	13)	
9	穴地獄B	群馬県吾妻郡六合村	36.65	138.58	28	ガス	9.08	10.0	2.89	18.2	13)	
10	草津白旗	群馬県吾妻郡草津町	36.62	138.60	56	ガス	7.66	9.73	1.28	5.89	13)	
11	草津地蔵	群馬県吾妻郡草津町	36.62	138.60	54	ガス	7.69	9.80	1.27	5.94	13)	
12	草津湯畑	群馬県吾妻郡草津町	36.62	138.60	56	ガス	6.98	9.51	1.02	4.81	13)	
13	尻焼	群馬県吾妻郡六合村	36.65	138.63	42	ガス	5.28	7.19	0.97	31.0	13)	
14	花敷	群馬県吾妻郡六合村	36.65	138.65	45	ガス	5.00	5.95	1.53	35.0	13)	
1	十勝岳62-1火口		43.42	142.68	>214	ガス	8.61		3.2		14)	
2	十勝岳62-1火口		43.42	142.68	>214	ガス	9.83		55		14)	
3	十勝岳安政火口		43.40	142.67	94.5	ガス	9.89		11		14)	
4	十勝岳安政火口		43.40	142.67	96.0	ガス	9.23		18		14)	
5	十勝岳安政火口		43.40	142.67	96.5	ガス	8.81		13		14)	
6	白水川HGS-3号井		43.72	142.92	129.0	ガス	4.43		6.5		14)	
7	白水川HGS-4号井		43.72	142.92	159.8	ガス	4.17		2.3		14)	
8	旭岳火口		43.67	142.85	96.2	ガス	6.48		6.0		14)	
9	旭岳火口		43.67	142.85	135.0	ガス	10.14		57		14)	
10	高原温泉		43.62	142.93	97.0	ガス	7.76		4.7		14)	
1	黒湯		39.80	140.81	96-98	ガス	8.91		39		15)	
2	小釜		39.80	140.81	96-98	ガス	9.28		26		15)	
3	大釜		39.80	140.81	96-97	ガス	9.51		78		15)	
4	葛相田地熱井KC-3		39.83	140.87		ガス	2.04		2.5		15)	
5	葛相田地熱井KD-6		39.83	140.86		ガス	6.86		3.3		15)	
6	葛相田B基地傍		39.83	140.87	98-99	ガス	5.04		2.9		15)	
7	葛相田大噴気		39.83	140.88	97-98	ガス	0.38		52		15)	
9	松田地熱井M-11		39.87	140.92	202	ガス	4.30		10		15)	
10	網張元湯		39.84	140.95	96-97	ガス	2.83		0.58		15)	
11	岩手山大地獄谷		39.85	140.98	94-95	ガス	7.15		56		15)	
13	旧治山事業所対岸		39.82	140.89	99	ガス	0.148		58		15)	

出典 12) Marty et al. (1989), 13) Sano et al. (1994), 14) NEDO(1990a), 15) NEDO (1991a)

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (8)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Obs})$ ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Cor})$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
14	硫黄鉱山跡傍		39.83	140.90	7.8	ガス	3.64		1.3		15)	
15	松沢上流		39.83	140.87	99	ガス	1.93		4.4		15)	
16	乳頭山登山道傍(日陰沢)		39.82	140.87	99	ガス	5.71		1.8		15)	
17	田沢湖町掘削井2号井		39.80	140.81		ガス	9.18		55		15)	
1	一切経山1		37.72	140.25	91.3	ガス	10.27				16)	
2	一切経山2		37.72	140.25	91.5	ガス	12.43				16)	
3	一切経山3		37.72	140.25	91.2	ガス	12.09				16)	
4	一切経山4		37.72	140.25	89.7	ガス	12.07				16)	
5	一切経山5		37.72	140.25	91.0	ガス	11.76				16)	
6	一切経山6		37.72	140.25	90.7	ガス	11.03				16)	
7	一切経山7		37.72	140.25	91.8	ガス	11.42				16)	
8	一切経山8		37.72	140.25	91.6	ガス	12.14				16)	
9	一切経山9		37.72	140.25	89.0	ガス	11.28				16)	
11	鷲倉温泉		37.66	140.25	95.2	ガス	1.35				16)	
2	茶臼岳噴気②		37.12	139.96	95-153	ガス	10.58		26		17)	
4	茶臼岳噴気④		37.12	139.97	95-96	ガス	6.59		34		17)	
5	茶臼岳噴気⑤		37.13	139.97	95-104	ガス	5.60		11		17)	
6	奥の沢噴気		37.13	139.98	95-96	ガス	5.07		26		17)	
7	栃木県電気局B-3井		37.10	140.00	97	ガス	4.01		5.5		17)	
10	新潟噴気		36.95	139.78	96-97	ガス	8.36		120		17)	
11	興谷津地熱井86N-10T		37.43	139.70		ガス	10.42		20		17)	
21	石松温泉		33.25	131.36	94.4	ガス	9.32		3.2	22	18)	
23	佐藤雄也		33.25	131.36	96.2	ガス	8.98		5.9	88	18)	
27	田中辰巳		33.25	131.38	94.2	ガス	7.76		17	69	18)	
97	海老毛温泉		33.20	131.51	39.8	ガス	4.43		0.69	11	18)	
99	観音温泉		33.20	131.52	30.2	ガス	8.72		20	60	18)	
102	狭間温泉病院		33.19	131.53	39.4	ガス	7.96		2.1	13	18)	
135	瓶田温泉		33.28	131.46	66.0	ガス	9.76		92	163	18)	
137	杉乃井		33.28	131.48	90.5	ガス	9.35		10	111	18)	
138	不動建設		33.28	131.48	97.2	ガス	8.98		5.5	24	18)	
141	生永源一		33.28	131.48	97.2	ガス	8.04		4.4	100	18)	
143	中島茂		33.28	131.48	97.2	ガス	6.74		1.7	7	18)	
149	松浦		33.28	131.49	94.8	ガス	9.00		2.5	19	18)	
157	天満温泉		33.28	131.50	98.0	ガス	2.53		0.35	12	18)	
202	久春園		33.31	131.50	97.3	ガス	3.83		0.41	11	18)	
222	平松忠治		33.30	131.48	99.1	ガス	9.23		1.9	34	18)	
224	桑原寿一		33.30	131.47	96.8	ガス	9.03		19	109	18)	
226	中村士郎		33.31	131.47	98.2	ガス	8.57		3.8	30	18)	

出典 15) NEDO (1991a), 16) NEDO (1991b), 17) NEDO (1990b), 18) NEDO (1990c)

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (9)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Obs})$ ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Cor})$ ($\times 10^{-5}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
227	みかえり温泉		33.31	131.47	93.8	ガス	7.95		1.7	30	18)	
228	安倍内科		33.31	131.47	69.5	ガス	6.93		0.95	20	18)	
230	神丘温泉		33.31	131.47	92.5	ガス	9.21		14	287	18)	
231	衛藤稲夫		33.30	131.46	98.8	ガス	9.96		42	34	18)	
232	梶原喜加尾		33.31	131.46	98.3	ガス	5.76		0.77	10	18)	
234	大野秀男		33.31	131.48	97.9	ガス	6.17		0.98	15	18)	
235	双葉荘		33.31	131.48	83.5	ガス	8.03		7.9	12	18)	
238	ひょうたん温泉		33.31	131.48	96.6	ガス	7.73		2.6	11	18)	
239	ホテルやまと		33.31	131.48	93.0	ガス	6.84		0.86	24	18)	
241	上富士屋		33.31	131.48	96.7	ガス	5.79		1.4	19	18)	
242	日本火災海上別府家		33.31	131.48	97.1	ガス	7.79		3.1	<10	18)	
243	かなわ荘		33.31	131.48	84.5	ガス	6.69		1.2	<10	18)	
246	神和荘		33.31	131.47	92.6	ガス	7.51		12	32	18)	
19	林興産		33.28	131.48		ガス	8.67		7.8	98	18)	
36	大松産業		33.28	131.47		ガス	7.55		4.3	377	18)	
40	別府国際観光		33.27	131.48		ガス	9.39		54	61	18)	
90	別府市源泉		33.31	131.47		ガス	6.46		1.5	28	18)	
120	火男火売神社		33.31	131.47		ガス	8.14		9.3	<10	18)	
167	明誓(岡本屋)		33.31	131.46		ガス	9.41		55	28	18)	
186	塚原		33.31	131.43		ガス	9.14		43	284	18)	
205	由布岳地獄		33.27	131.37		ガス	8.99		24	164	18)	
206	水分茶屋		33.29	131.29		ガス	9.94		15	<10	18)	
207	小野兼夫		33.24	131.26		ガス	9.25		6.6	13	18)	
209	鶴見岳		33.29	131.43		ガス	6.48		1.0	182	18)	
234	松屋旅館		33.15	131.15		ガス	7.86		2.4	19	18)	
1	湯の谷A		32.88	131.04		ガス	8.19		23		19)	
2	湯の谷B		32.88	131.04		ガス	9.38		130		19)	
4	湯の谷D		32.88	131.04		ガス	8.84		7.1		19)	
7	垂玉A		32.86	131.04		ガス	1.4		0.3		19)	
9	垂玉C		32.86	131.04		ガス	8.5		8.3		19)	
G-1	湯原		36.87	137.88	23.5	ガス			4.7		20)	
G-2	蓮華温泉		36.80	137.80	92.8	ガス	9.24		3.6		20)	
G-3	蓮華温泉		36.80	137.80	95.3	ガス	9.72		14		20)	
G-4	唐松沢		36.80	137.83	23.5	ガス	9.73		2.9		20)	
G-5	唐松沢		36.80	137.83	26.5	ガス	10.61		36		20)	
1	海別温泉		43.88	144.92	27.0	ガス	10.09		18		21)	
2	陸奥川鉱泉		43.90	145.02	17.0	ガス	9.57		13		21)	
3	薫別温泉		43.80	144.95	64.2	ガス	9.08		51		21)	

出典 18) NEDO (1990c), 19) NEDO (1991c), 20) NEDO (1999a), 21) NEDO (2001)

第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (10)

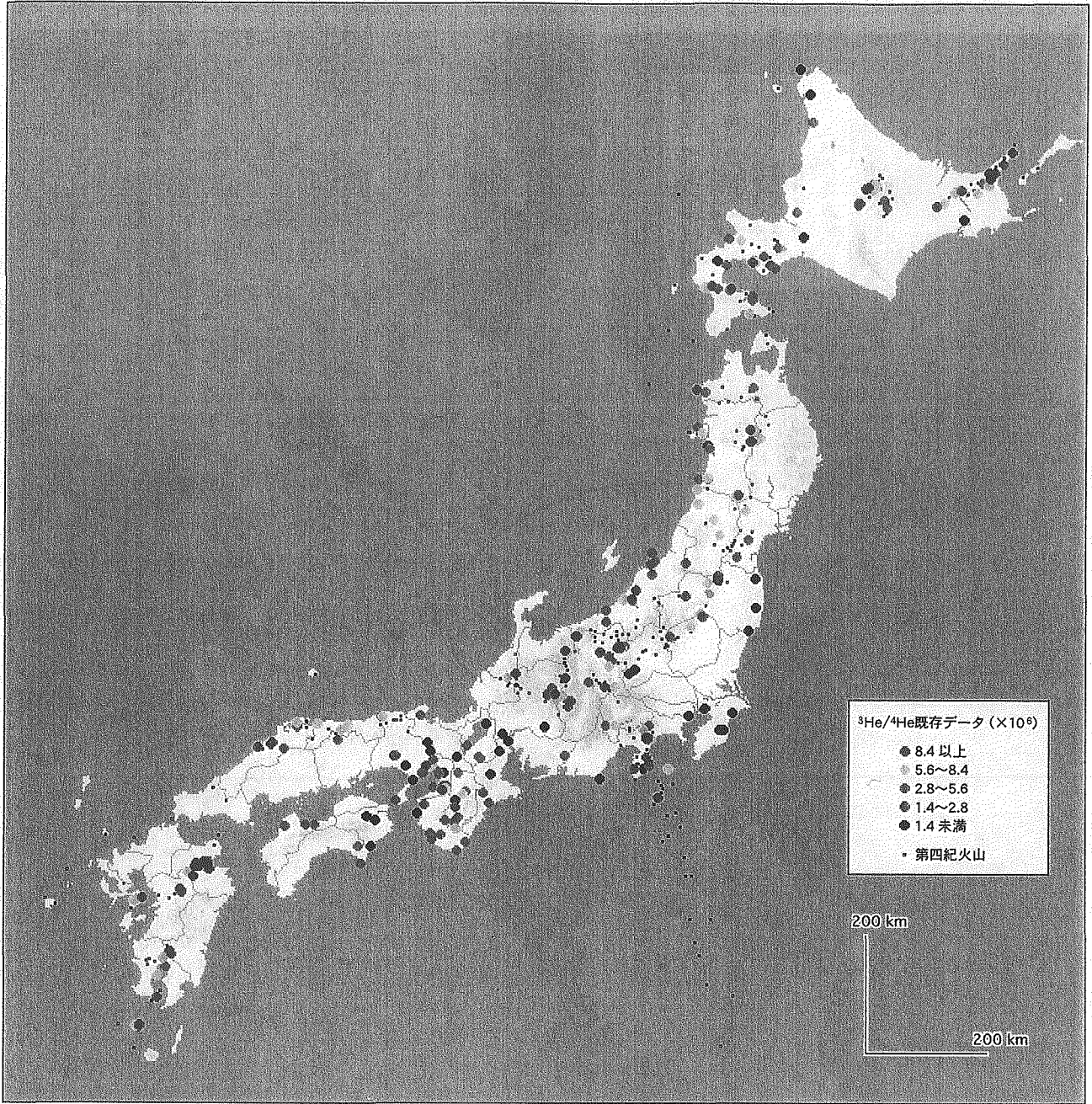
番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	餌料	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Obs})$ ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Cor})$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
6	川北温泉		43.70	144.92	67.5	ガス	7.8		36		22)	
9	湯の沢温泉		43.73	144.83	42.0	ガス	2.6		1		22)	
	安代N7-AR-1		39.98	140.89	162.7	ガス	5.7		8		23)	
1	熊石N7-KI-2		42.15	140.05		ガス	6.8		2000		24)	
2	平内内調査井		42.17	140.00		ガス	7.9		57		24)	
3	貝市温泉 (上流川沿い)		42.15	140.05		ガス	4.1		1.6		24)	
4	上鉛川温泉 (林道)		42.18	140.13		ガス	9.5		12		24)	
	山葵沢N7-WZ-6		39.00	140.58		ガス	0.37		420		25)	圧力モニタリングに使用した工業用ヘリウムガスが混入
	山葵沢N7-WZ-7		38.98	140.57		ガス	4.4		46		25)	圧力モニタリングに使用した工業用ヘリウムガスが混入
	山葵沢N8-WZ-9		38.98	140.57		ガス	5.7		36		25)	
	秋ノ宮N8-AY-1		38.97	140.56		ガス	0.68		450		26)	圧力モニタリングに使用した工業用ヘリウムガスが混入
	秋ノ宮N8-AY-2		38.96	140.55		ガス	0.55		540		27)	圧力モニタリングに使用した工業用ヘリウムガスが混入
	秋ノ宮N9-AY-3		38.97	140.56		ガス	8.14		15		27)	
	秋ノ宮N9-AY-4		38.96	140.57		ガス	7.8		4.3		27)	
	湯の峰温泉温山谷噴気		33.83	135.76		ガス	6.68		66.0		28)	
	吉岡噴気		32.87	131.04	94.5	ガス	4.7		12.6		29)	
	長陽村蒸気井		32.88	131.03	96.0	ガス	6.5		9.2		29)	
1	奥香肌峡	三重県飯南郡飯高町	34.38	136.22	16.0	ガス	5.48		0.86	4.1	30)	
2	養老	岐阜県養老郡養老町	35.30	136.56	43.0	ガス	0.66		53	48	30)	
2	養老	岐阜県養老郡養老町	35.30	136.56	43.0	水	0.72		9.54		30)	
3	海津	岐阜県海津郡海津町	35.18	136.66	41.0	ガス	0.71		150	110	30)	
4	湯川	和歌山県東牟婁郡智勝浦町	33.62	135.92	36.7	ガス	3.82		1.9	42	30)	
4	湯川	和歌山県東牟婁郡智勝浦町	33.62	135.92	36.7	水	3.68		1.41		30)	
5	串本	和歌山県西牟婁郡串本町	33.48	135.78	38.4	ガス	3.50		22	150	30)	
6	白浜	和歌山県西牟婁郡白浜町	33.68	135.34	71.6	ガス	5.55		0.96	7.0	30)	
7	龍神	和歌山県日高郡龍神村	33.95	135.56	47.6	ガス	1.65		0.41	7.5	30)	大気の影響有り
7	龍神	和歌山県日高郡龍神村	33.95	135.56	47.6	水	2.00		5.35		30)	
8	湯泉地	奈良県吉野郡十津川村	33.99	135.81	53.6	ガス	4.74		3.9	47	30)	
9	岩屋	兵庫県津名郡淡路町	34.59	135.02	20.1	ガス	0.68		0.79	8.6	30)	
10	平城宮	奈良県奈良市	34.69	135.79	40.2	ガス	3.68		1020	680	30)	
11	西吉野	奈良県吉野郡西吉野村	34.27	135.75	16.4	ガス	2.14		0.43	2.7	30)	大気の影響有り
11	西吉野	奈良県吉野郡西吉野村	34.27	135.75	16.0	水	0.54		5.46		30)	
12	須賀谷	滋賀県東浅井郡浅井町	35.45	136.28	16.6	水	1.21		0.286		31)	
13	湯の山	三重県三重郡菟野町	35.02	136.51	45.6	ガス	0.54		29	290	31)	
13	湯の山	三重県三重郡菟野町	35.02	136.51	45.6	水	0.54		21.6		31)	
14	栢倉	三重県一志郡白山町	34.68	136.34	20.2	水	1.01		0.305		31)	
15	有久寺	三重県北牟婁郡紀伊長島町	34.23	136.32	16.3	水	4.79		5.12		31)	
16	有田矢櫃	和歌山県有田市	34.07	135.09	21.0	水	1.3		0.239		31)	

出典 22) NEF (1996), 23) NEDO (1999c), 24) NEDO (1999b), 25) NEDO (1998a), 26) NEDO (1998a), 27) NEDO (2000), 28) NEDO (1994), 29) NEDO (1995), 30) JNC (2001), 31) 本調査

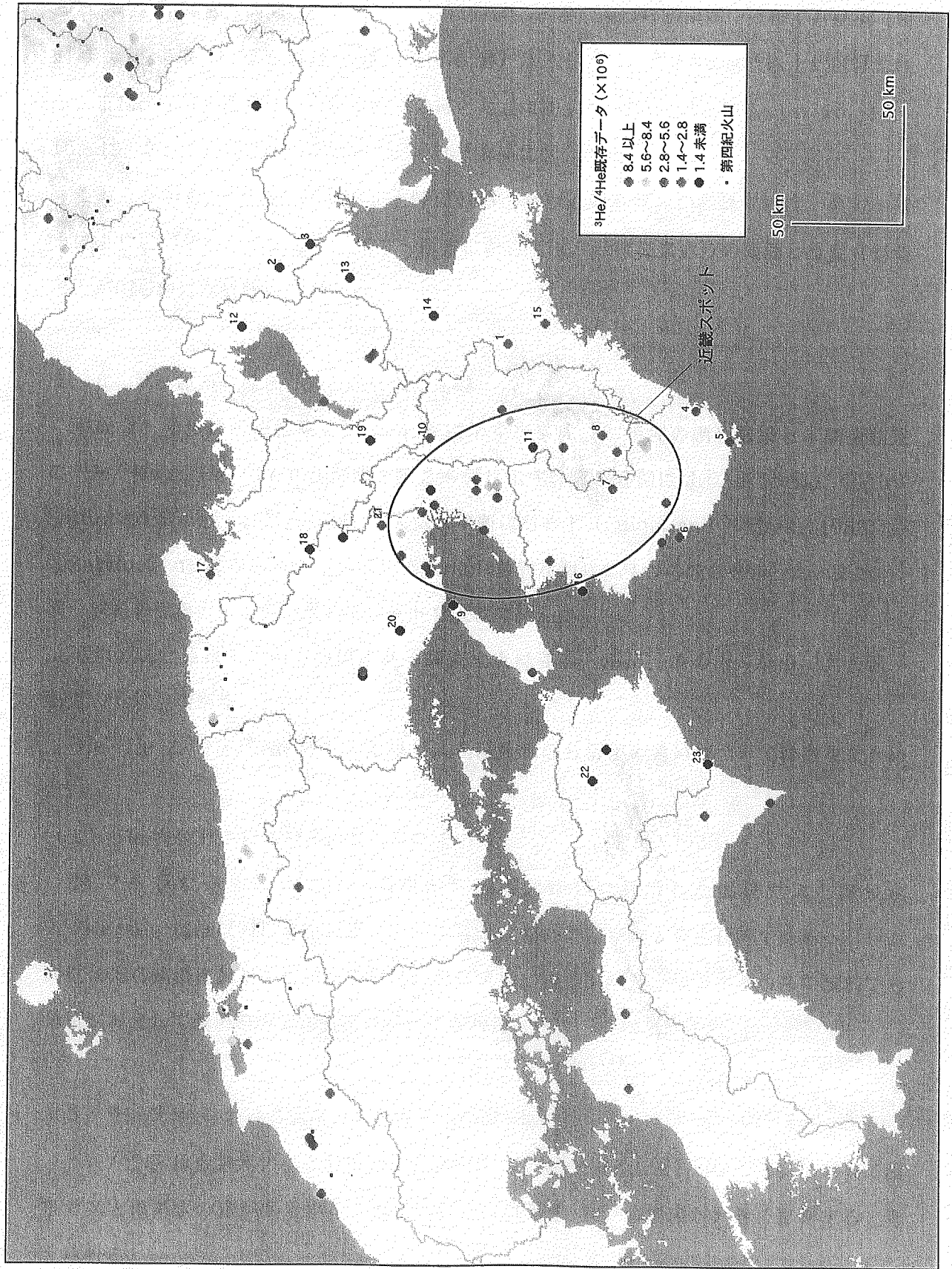
第2-3表 温泉ガス等のヘリウム同位体比一覧表 (11)

番号	名称	位置	北緯	東経	温度 (°C)	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Obs})$ ($\times 10^{-6}$)	$^3\text{He}/^4\text{He}(\text{Cor})$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	He (ppm)	出典	備考
17	岩滝	京都府与謝郡岩滝町	35.57	135.16	58.5	水	1.74		20.4		31)	
18	草山	兵庫県篠山市	35.16	135.28	18.9	ガス	0.45		4100	2400	31)	
18	草山	兵庫県篠山市	35.16	135.28	18.9	水	0.45		2300		31)	
19	桃山	京都府京都市	34.93	135.77	17.1	水	1.14		6.08		31)	
20	見土呂	兵庫県加古川市	34.80	134.91	16.8	ガス	0.93		130	140	31)	
20	見土呂	兵庫県加古川市	34.80	134.91	16.8	水	0.91		19.8		31)	
21	石道	兵庫県川西市	34.88	135.39	15.7	ガス	1.71		45	3.7	31)	
21	石道	兵庫県川西市	34.88	135.39	15.7	水	1.64		2.51		31)	
22	ふいご	徳島県麻植郡山川町	34.02	134.23	16.0	水	1.33		0.254		31)	
23	穴喰	徳島県海部郡穴喰町	33.55	134.31	24.2	水	1.05		9.79		31)	

出典 31) 本調査



第2-4図 日本列島のヘリウム同位体比分布図



平成 12 年度調査及び本調査から、「近畿スポット」の周辺東方に位置する奥香肌峡(第 2-5 図 1 番), 平城宮(同図 10 番), 有久寺(同図 15 番)及び周辺南部に分布する湯川(同図 4 番), 串本(同図 5 番), 白浜(同図 6 番)は ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ が 2.8×10^{-6} 以上に区分される。また, 北方~西方に分布する温泉のほとんど(同図 2, 3, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 番)は 2.8×10^{-6} 未満に区分される。

この分布から、「近畿スポット」と呼ばれるヘリウム同位体比の高異常域は, 東方~南方により広い範囲を示すこと, 北方~西方にかけては, ほぼ従来通りの範囲と推定されることが明らかになった。

2. 6 同一試料の温泉ガスと温泉水の比較

平成 12 年度の調査結果を第 2-4 表に示す。平成 12 年度の調査結果と本調査結果の ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ と ${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne}$ の相関図を第 2-6 図に示す。第 2-6 図には①Air (大気), ②Air Saturated Water [25°C, 1atm で大気と平衡にある水 (Ozima and Podsek, 1983)], ③Subduction (沈み込み帯), ④Radiogenic (放射起源) の 4 つの成分を示した。また, 同一試料の温泉ガスと温泉水のプロットを直線で結んだ。

温泉ガスと温泉水の両方の値がある調査地点は養老, 湯川, 湯の山, 草山, 見土呂, 石道の 6 地点である。

${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ と ${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne}$ 各々の温泉ガスと温泉水の分析値の違いについて特徴をまとめた。

(1) ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ における温泉ガスと温泉水の差

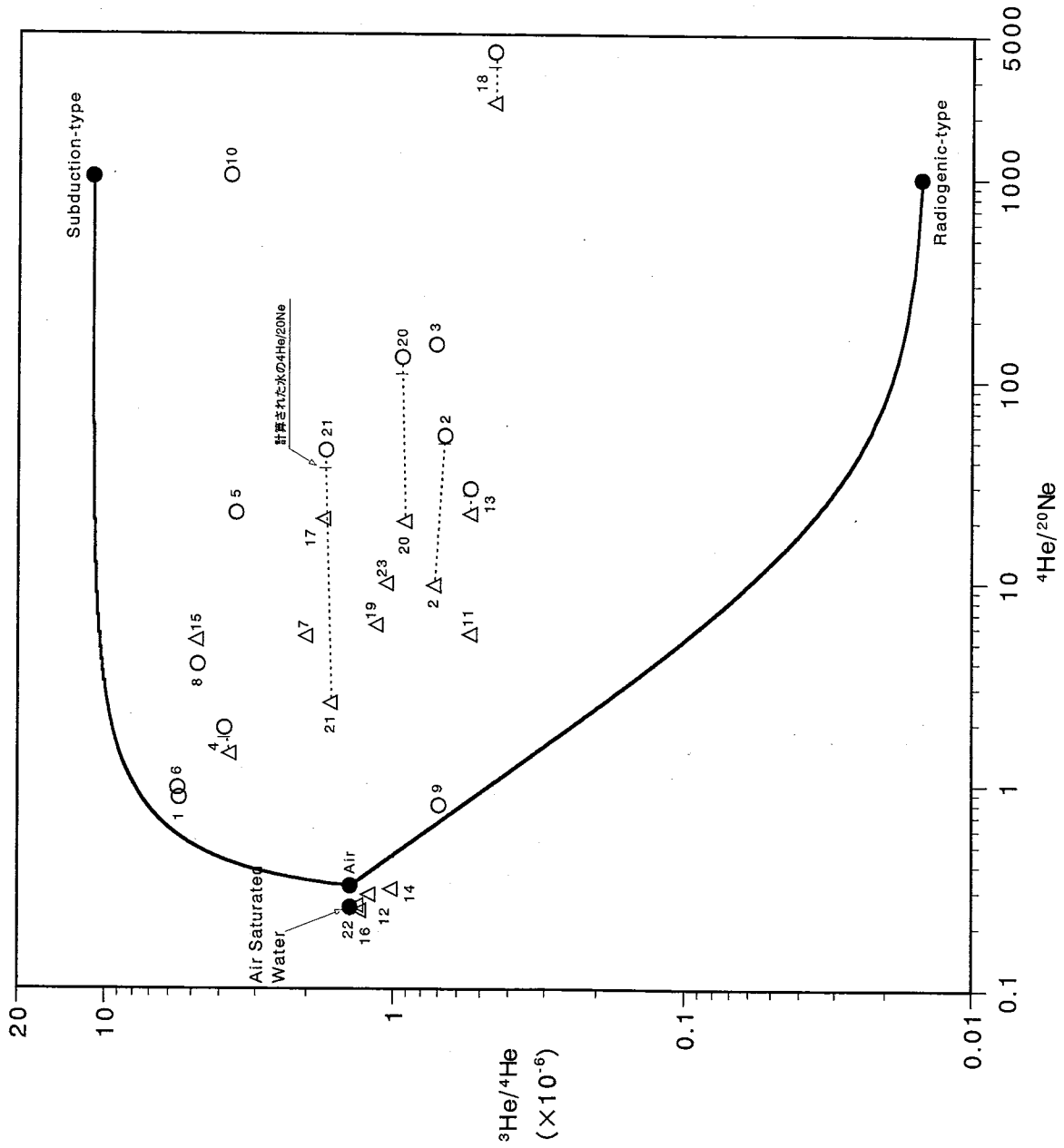
第 2-6 図に示すように同一温泉からほぼ同時刻に採取した温泉ガスと温泉水の ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ はほぼ同じ値を示すことが明らかになった。本調査の主目的であるヘリウム同位体比の高濃度異常を抽出する目的においては, 温泉ガス及び温泉水どちらの試料でも分析試料として使用可能であることが確認された。

(2) ${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne}$ における温泉ガスと温泉水の差

${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne}$ は温泉水の値より温泉ガスの値が高い傾向を示した。 ${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne}$ において温泉ガスと温泉水の差が発生するメカニズムには以下の 2 つの要因が大きく影響すると考えられる。

第2-4表 温泉ガス、温泉水のサンプリング地点及び分析結果一覧表（平成12年度）

番号	温泉名	位置	北緯	東経	温度 (°C)	pH	試料	$^3\text{He}/^4\text{He}$ ($\times 10^{-6}$)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	^4He (ppm)	備考
1	奥香肌峡	三重県飯南郡飯高町	34.38	136.22	16.0	6.6	ガス	5.48	0.86	4.1	
2	養老	岐阜県養老郡養老町	35.30	136.56	43.0	7.5	ガス	0.66	53	48	
2	養老	岐阜県養老郡養老町	35.30	136.56	43.0	7.5	水	0.72	9.54		
3	海津	岐阜県海津郡海津町	35.18	136.66	41.0	6.9	ガス	0.71	150	110	
4	湯川	和歌山県東牟婁郡智勝浦町	33.62	135.92	36.7	9.6	ガス	3.82	1.9	42	
4	湯川	和歌山県東牟婁郡智勝浦町	33.62	135.92	36.7	9.6	水	3.68	1.41		
5	串本	和歌山県西牟婁郡串本町	33.48	135.78	38.4	8.0	ガス	3.50	22	150	
6	白浜	和歌山県西牟婁郡白浜町	33.68	135.34	71.6	8.1	ガス	5.55	0.96	7.0	
7	龍神	和歌山県日高郡龍神村	33.95	135.56	47.6	7.8	ガス	1.65	0.41	7.5	大気の影響有り
7	龍神	和歌山県日高郡龍神村	33.95	135.56	47.6	7.8	水	2.00	5.35		
8	温泉地	奈良県吉野郡十津川村	33.99	135.81	53.6	9.0	ガス	4.74	3.9	47	
9	岩屋	兵庫県津名郡淡路町	34.59	135.02	20.1	8.2	ガス	0.68	0.79	8.6	
10	平城宮	奈良県奈良市	34.69	135.79	40.2	7.1	ガス	3.68	1020	680	
11	西吉野	奈良県吉野郡西吉野村	34.27	135.75	16.4	7.5	ガス	2.14	0.43	2.7	大気の影響有り
11	西吉野	奈良県吉野郡西吉野村	34.27	135.75	16.0	7.0	水	0.54	5.46		



- 凡例
- 温泉ガス試料
 △ 温泉水試料
- 1 奥香肌峡
 2 養老
 3 海津
 4 湯川
 5 串本
 6 白浜
 7 龍神
 8 湯泉地
 9 岩屋
 10 平城宮
 11 西吉野
 12 須賀谷
 13 湯の山
 14 猪の倉
 15 有久寺
 16 有田矢櫃
 17 岩滝
 18 草山
 19 桃山
 20 見土呂
 21 石道
 22 ふいご
 23 矢喰

第2-6図 $^3\text{He}/^4\text{He}$ と $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の相関図 (平成12年度及び平成13年度)

①He と Ne の物性の違い

②試料採取時の大気との平衡

気体の水に対する溶解度はヘンリーの法則で近似できることが知られている。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ の場合同じ元素であり物性の差が小さいことから、温泉ガスと温泉水の差への影響は少ないと考えられる。気体の水に対する溶解度がヘンリーの法則に則るとして、温泉ガスと温泉水の $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ にどの程度の差ができるかを検証した（巻末資料-1）。その結果、温泉ガスの値より温泉水の値が低く、温泉水の $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ は温泉ガスの 0.82~0.93 倍となった。

本調査 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の温泉ガスと温泉水における差は、物性の違いで起きる差よりはるかに大きいものとなっている。従って、本調査での差は「②試料採取時の大気との平衡」による差が原因となっていると推測される。全ての調査地点において、温泉ガスは直接大気と接触することなく試料採取されたが、温泉水は大気と接触して採取している。大気と温泉水の接触時間は各々の源泉付近の構造や湧出量により大きく異なっており、この接触時間の差が $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の温泉ガスと温泉水における差に結びついた可能性がある。大気と温泉水の接触時間を完全に無くすことは、湧出形態によっては困難な場合があるが、来年度の試料採取では、大気と温泉水の接触時間と $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の関係を検討したい。

2. 7 今後の提案

本調査の成果として「温泉ガスと温泉水の $^3\text{He}/^4\text{He}$ はほぼ同じ値を示す」ことが実証された。温泉水の $^3\text{He}/^4\text{He}$ を用いることで、本調査では「近畿スポット」(Wakita et al., 1987) と呼ばれるヘリウム同位体比の高異常域は、東方~南方により広い範囲を示すこと、北方~西方にかけては、ほぼ従来通りの範囲と推定されることが明らかになった。このように、温泉水の $^3\text{He}/^4\text{He}$ を用いることで、今まで測定値の得られなかった地点においてデータの取得が可能となった。今後は温泉ガスと共に温泉水や深層地下水を対象に調査を実施できるので、調査対象地点数が増え、より詳細な $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布の作成が可能となる。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ を用いた調査として以下の調査を提案する。

(1) 西南日本の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布調査

昨年度及び本年度は近畿スポット及び周辺の試料採取を実施し、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 高異常の検証と分布の見直しを行った。来年度は今年度までの継続として、九州、四国、中国地方の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 測定を温泉水もしくは温泉ガスを用いて実施し西南日本全体の $^3\text{He}/^4\text{He}$

高異常とマグマ活動との関連を評価する事を提案する。

(2) 東北日本の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布調査

近畿スポットと同様に福島県の沿岸地域には非火山性の温泉が多数分布している。また、北海道を含め岩手県や青森県を中心に $^3\text{He}/^4\text{He}$ データの空白域が広く分布する。これら空白域において温泉水の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 測定を行うことにより、非火山地域のマグマ活動の可能性を評価することを提案する。

(3) 放射性廃棄物地層処分候補地選定への $^3\text{He}/^4\text{He}$ の利用

温泉水の $^3\text{He}/^4\text{He}$ を測定することにより、狭い範囲でより詳細な $^3\text{He}/^4\text{He}$ 分布を作成することが可能である。現在 $^3\text{He}/^4\text{He}$ のデータは多い地域でも 50km 四方に 15 地点程度である。これを 3～5 倍の密度にすることで、断層や地層区分に応じた分布傾向がみつき、放射性廃棄物地層処分候補地選定時に新たな評価手法と成り得る可能性がある。高密度での $^3\text{He}/^4\text{He}$ の測定は、火山地域と非火山地域の境界や、非火山性の温泉が存在する地域が望ましい。一例として、福島県を対象とした 100 地点規模の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 測定が考えられる。

3. まとめ

本調査では、非火山地域におけるマグマ活動の可能性を検討する上での基礎的資料を得るため、ヘリウム同位体比の高異常域の範囲を把握することを目的として、西南日本（主に近畿，四国地方）を対象に，温泉ガスのサンプリングを実施するとともに， $^3\text{He}/^4\text{He}$ 及び $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の測定を行った。

日本列島を対象に温泉ガスに含まれるヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$)の既存データを文献調査等により収集・整理し，本調査の測定データと合わせて，日本全国を対象としたヘリウム同位体比一覧表及び分布図を作成した。

本調査により，「近畿スポット」(Wakita et al., 1987) と呼ばれるヘリウム同位体比の高異常域は，東方～南方により広い範囲を示すこと，北方～西方にかけては，ほぼ従来通りの範囲と推定されることが明らかになった。

参考文献

- 地質調査所(1992) 日本温泉・鉱泉分布図及び一覧.
- 本島公司, 柴田賢, 宮村学, 阿部智彦(1969) 阪神地域および紀伊半島西部地域のヘリウム資源について. 地調月報, 20, 329-342.
- 核燃料サイクル開発機構(2001) 非火山地域の地殻温度構造に関する調査. 1-58.
- 川畑哲郎・松本良樹・松本拓也・松田准一・三村耕一・山本鋼志(2001) 近畿地方の温泉ガスの主成分および希ガス同位体組成. 2001年地球惑星科学関連学会合同大会, C0-002.
- 北逸郎・長尾敬介・中村裕二・田口幸洋(1992) 秋田県泥湯・河原毛地熱系に放出される気体の化学及び同位体特性による深部情報. 日本地熱学会誌, 14, 115-128.
- Kita, I., Nagao, K., Taguchi, S., Nitta, K. and Hasegawa, H. (1993) Emission of magmatic He with different $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios from the Unzen volcanic area, Japan. *Geochemical Journal*, 27, 251-259.
- Marty, B., Jambon, A. and Sano, Y. (1989) Helium isotopes and CO_2 in volcanic gases of Japan. *Chemical Geology*, 76, 25-40.
- Nagao, K., Takaoka, N. and Matsubayashi, O. (1981) Rare gas isotopic compositions in natural gases of Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 53, 175-188.
- Okada, T., Itaya, T., Sato, M. and Nagao, K. (1994) Noble gas isotopic composition of deep underground water in Osaka plain, central Japan: Evidence for mantle He and model for new volcanism. *The Island Arc*, 3, 221-231.
- Ozima, M. and Podsek, F. A. (1983) Noble gas geochemistry, p. 367, Cambridge University Press.
- Sakamoto, M., Sano, Y. and Wakita, H. (1992) $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio distribution in and around the Hakone volcano. *Geochemical Journal*, 26, 189-195.
- 坂田将・牧真一・矢崎清貫・永田松三(1987) 紀伊半島の石油・天然ガス資源に関する地球化学的考察. *地球化学*, 21, 65-74.
- Sano, Y., Gamo, T., Notsu, K. and Wakita, H. (1995) Secular variations of carbon and helium isotopes at Izu-Oshima Volcano, Japan. *Journal of Volcanology*

- and Geothermal Research, 64, 83-94.
- Sano, Y., Hirabayashi, J. and Oba, T. (1994) Carbon and helium isotopic ratios at Kusatsu-Shirane Volcano, Japan. Applied Geochemistry, 9, 371-377.
- Sano, Y. and Wakita, H. (1985) Geographical Distribution of $^3\text{He}/^4\text{He}$ Ratios in Japan: Implications for Arc Tectonics and Incipient Magmatism. Journal of Geophysical Research, 90, B10, 8729-8741.
- Sano, Y. and Wakita, H. (1988) Helium isotope ratio and heat discharge rate in the Hokkaido Island, Northeast Japan. Geochemical Journal, 22, 293-303.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990a) 平成元年度全国地熱資源総合調査 (第3次) 広域熱水流動系調査 十勝地域 流体地化学調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990b) 平成元年度全国地熱資源総合調査 (第3次) 広域熱水流動系調査 那須地域 流体地化学調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990c) 平成元年度全国地熱資源総合調査 (第3次) 広域熱水流動系調査 鶴見岳地域 流体地化学調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1991a) 平成2年度全国地熱資源総合調査 (第3次) 広域熱水流動系調査 秋田駒地域 流体地化学調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1991b) 平成2年度全国地熱資源総合調査 (第3次) 広域熱水流動系調査 磐梯地域 流体地化学調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1991c) 平成2年度全国地熱資源総合調査 (第3次) 広域熱水流動系調査 阿蘇地域 流体地化学調査報告書.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1994) 地熱開発促進調査報告書 No.37 本宮地域.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1995) 地熱開発促進調査データ処理報告書 No.38 阿蘇山西部地域 (第3次).
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1998a) 地熱開発促進調査総合解析報告書 No.C-2 山葵沢地域 (第4次).
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1998b) 地熱開発促進調査総合解析報告書 No.C-3 秋ノ宮地域 (第2次).
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1999a) 地熱開発促進調査報告書 No.A-3 姫川地域.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1999b) 地熱開発促進調査報告書 No.B-2 安代地

域.

新エネルギー・産業技術総合開発機構(1999c) 地熱開発促進調査報告書 No.B-3 熊石地

域.

新エネルギー・産業技術総合開発機構(2000) 地熱開発促進調査総合解析報告書 No.C-3

秋ノ宮地域 (第3次).

新エネルギー・産業技術総合開発機構(2001) 地熱開発促進調査報告書 No.A-4 薫別岳

地域.

新エネルギー財団(1998) 促進調査武佐岳地域 流体地化学調査報告書.

Wakita, H., Sano, Y. and Mizoue, M. (1987) High ^3He Emanation and Seismic Swarms Observed in a Nonvolcanic, Forearc Region. *Journal of Geophysical Research*, 92, B12, 12539-12546.

Weiss, R. F. (1970) The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep Sea Research*, 17, 721-35.

Weiss, R. F. (1971) Solubility of helium and neon in water and seawater. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 16, 235-41.

卷末資料

巻末資料-1 HeとNeの物性の違いによる⁴He/²⁰Neの差

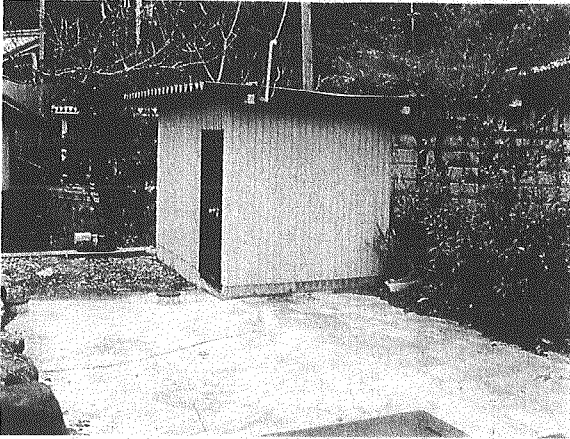
試料採取時に温泉ガスと温泉水の間でヘンリーの法則に従う希ガスの溶解平衡が成り立っているとすると、温泉ガスと温泉水の⁴He/²⁰Neの関係は次のように表せる。

$$(^4\text{He}/^{20}\text{Ne})_{\text{温泉水}} = (k_{\text{He}}/k_{\text{Ne}}) (^4\text{He}/^{20}\text{Ne})_{\text{温泉ガス}}$$

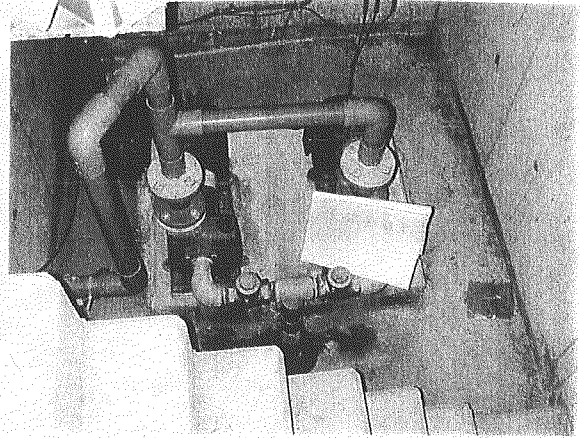
k_{He} と k_{Ne} は、HeとNeのヘンリー一定数である。

ヘンリー一定数をOzima and Podsek (1983) (原著はWeiss, 1970, 1971) に従って計算すると、調査6地点の $k_{\text{He}}/k_{\text{Ne}}$ は大気圧の場合0.82~0.93となる。

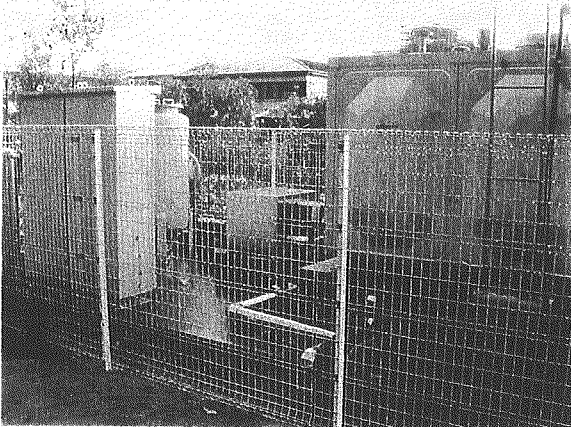
番号 No.	源泉名	ガス Gas	温泉水の塩濃度 S %	泉温 T deg. C	ヘンリー一定数 泉温, 1気圧における温泉水 に対するガスの溶解度 ml Gas/ml water	ヘンリー一定数 の比 $k_{\text{He}}/k_{\text{Ne}}$
2	養老	He	0.77	39.9	8.4E-03	0.92
		Ne	0.77	39.9	9.2E-03	
4	湯川	He	0.007	37.5	8.7E-03	0.90
		Ne	0.007	37.5	9.6E-03	
13	湯の山	He	0.017	45.6	8.8E-03	0.93
		Ne	0.017	45.6	9.4E-03	
18	草山	He	5.1	18.9	6.9E-03	0.85
		Ne	5.1	18.9	8.1E-03	
20	見土呂	He	0.69	16.8	8.5E-03	0.83
		Ne	0.69	16.8	1.0E-02	
21	石道	He	0.42	15.7	8.6E-03	0.82
		Ne	0.42	15.7	1.1E-02	



12 須賀谷 (全景)



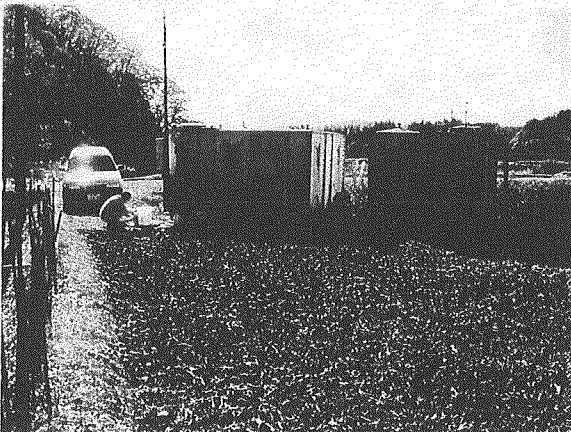
12 須賀谷 (採取地点)



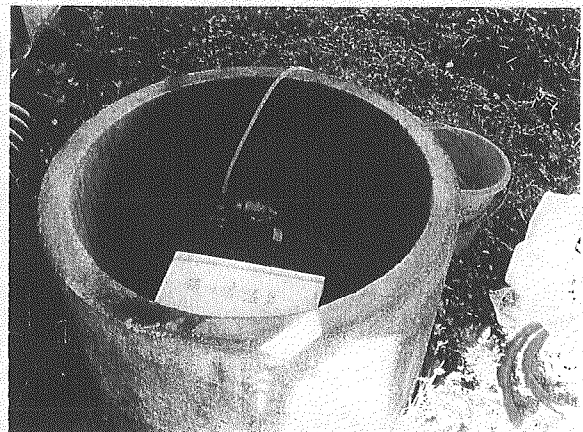
13 湯の山 (全景)



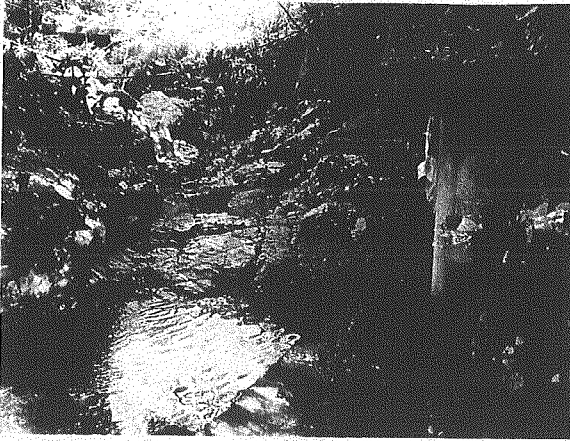
13 湯の山 (採取地点)



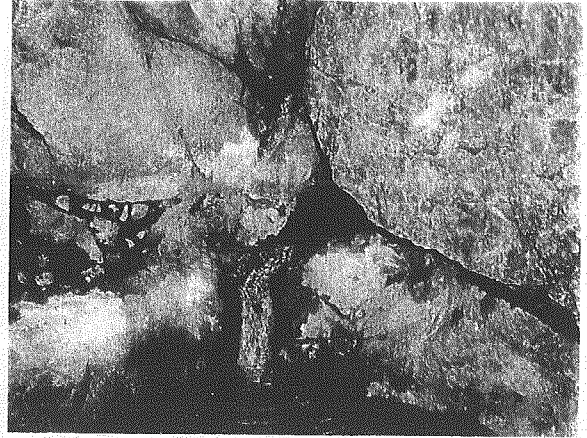
14 猪倉 (全景)



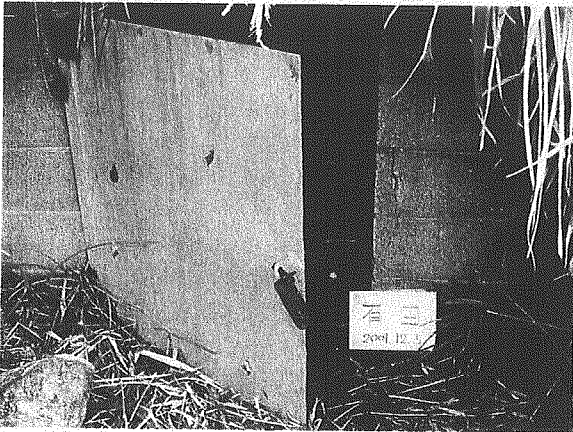
14 猪倉 (採取地点)



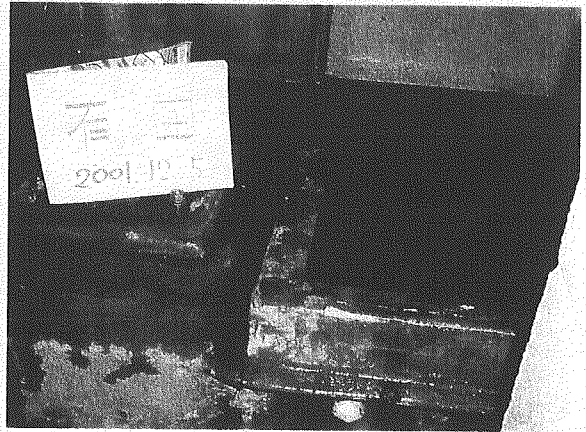
15 有久寺 (全景)



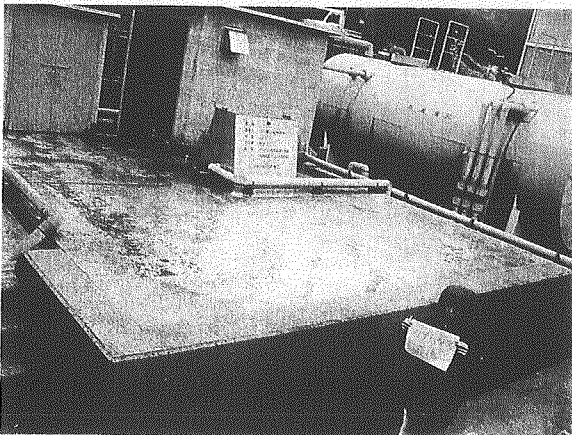
15 有久寺 (採取地点)



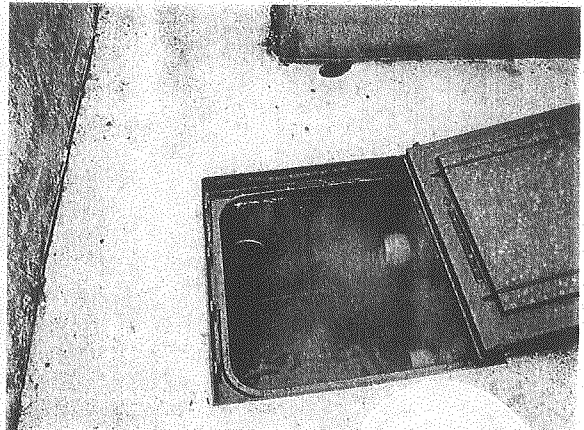
16 有田矢櫃 (全景)



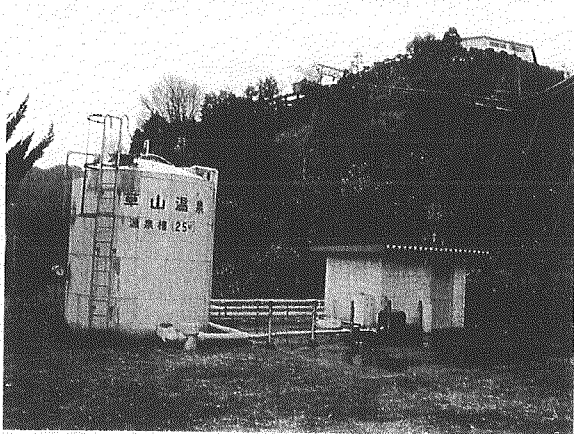
16 有田矢櫃 (採取地点)



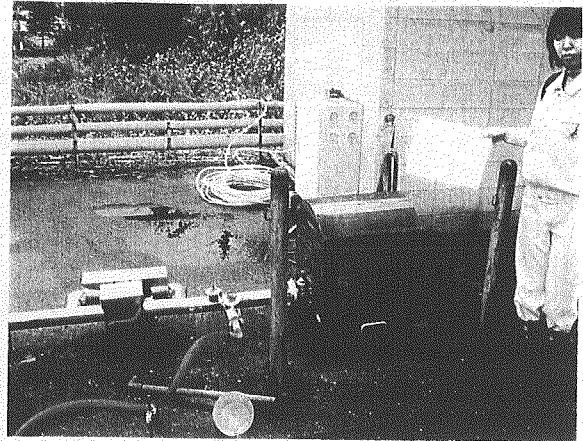
17 岩滝 (全景)



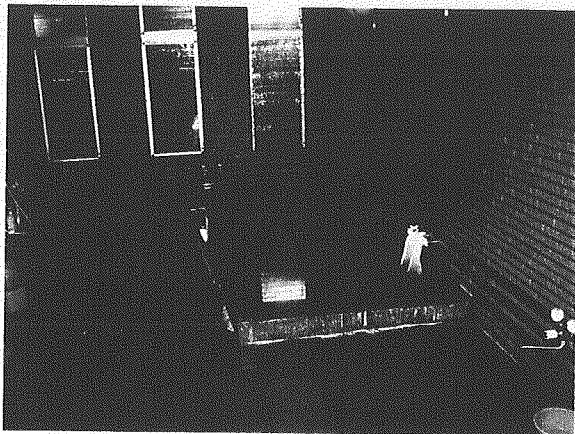
17 岩滝 (採取地点)



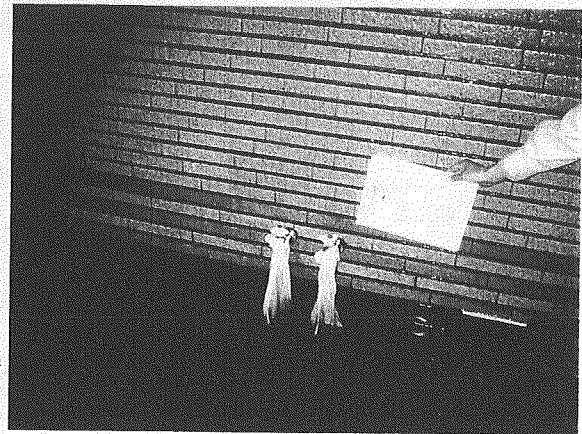
18 草山 (全景)



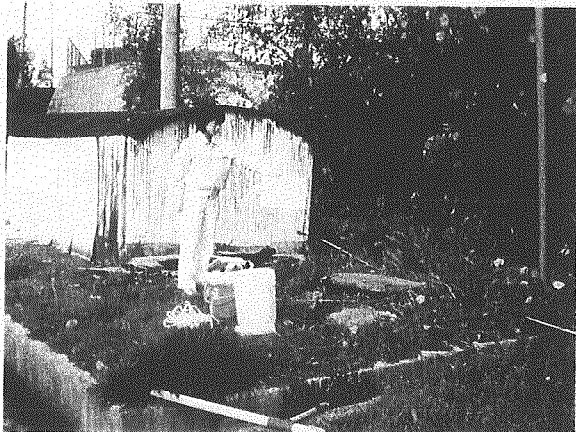
18 草山 (採取地点)



19 桃山 (全景)



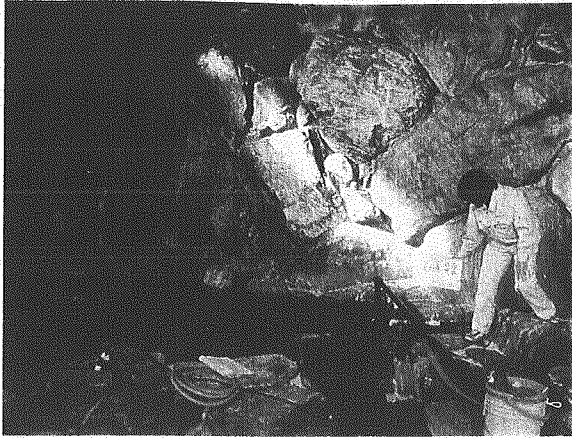
19 桃山 (採取地点)



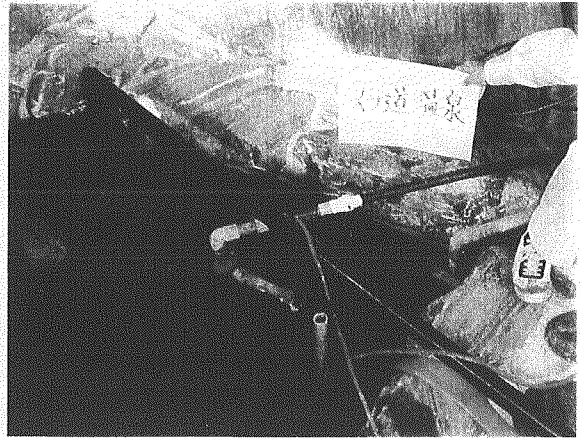
20 見土呂 (全景)



20 見土呂 (採取地点)



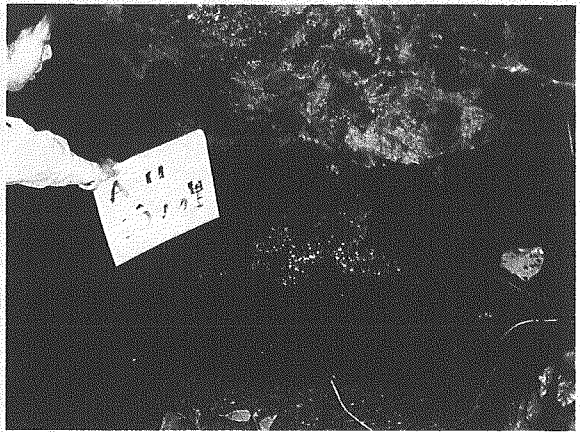
21 石道 (全景)



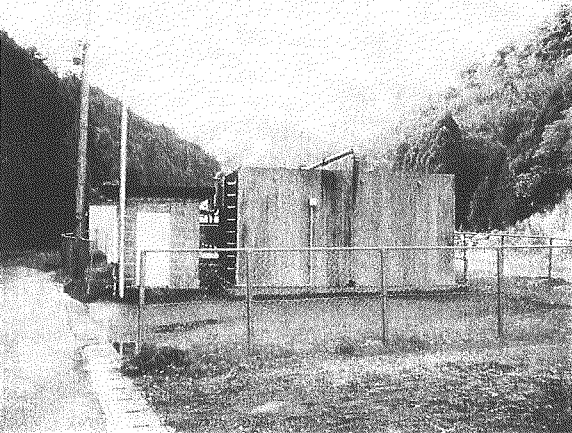
21 石道 (採取地点)



22 ふいご (全景)



22 ふいご (採取地点)



23 穴喰 (全景)



23 穴喰 (採取地点)