

# 琉球大学学術リポジトリ

## 竹富島海底温泉の貯留層についての一考察

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理学部 公開日: 2009-08-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 木村, 政昭, 林, 正雄, 大森, 保 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/12168">http://hdl.handle.net/20.500.12000/12168</a>

## Geothermal reservoir of the Taketomi-jima submarine hot spring in Okinawa, Japan

Masaaki KIMURA\*, Masao HAYASHI\*\* and Tamotsu OOMORI\*\*\*

\*Department of Marine Sciences, College of Science, University of the Ryukyus. 1 Senbaru, Nishihara, Okinawa, 903-01 JAPAN

\*\*Research Institute of Industrial Science, Kyushu University. 6-1 Sakamoto, Kasuga, 816 JAPAN

\*\*\*Department of Chemistry, College of Science, University of the Ryukyus. 1 Senbaru, Nishihara, Okinawa, 903-01 JAPAN

(Received 7 May 1985)

### ABSTRACT

A geochemical study on hot spring gush out of the sea bottom of 22 meters deep off Taketomi-jima reveals that the spring water at well mouth is 17.8-18.1 % of chlorinity and 37.5°C in temperature which is considerably higher than the temperature of the water column in the vicinity (about 25°C). Based upon the result of the simple mixing ratios between sea water and fresh spring water, temperature and depth of the subground water reservoir could be estimated as 191°C and 130 m beneath sea level. This is thought to be active thermal source which gives good cause for hope.

### 竹富島海底温泉の貯留層についての—考察

木村政昭・林正雄・大森保

#### はじめに

沖縄県竹富島沖 (Fig.1,2) に海底温泉が湧出していることはすでに知られている (饒平名, 1968)。この温泉の熱源が現在活動的な火山性のものかそうでないかということは琉球弧のテクトニクス解明の上できわめて重要な課題である。それを明らかにすべく、1982年12月2~3日にわたり海底のガスや温泉水の採取・調査が行われ、化学分析値がすでに報告されている (兼島ほか, 1983)。小論ではそれにもとづいて、貯留層の温度および熱源に対する考察を行った。

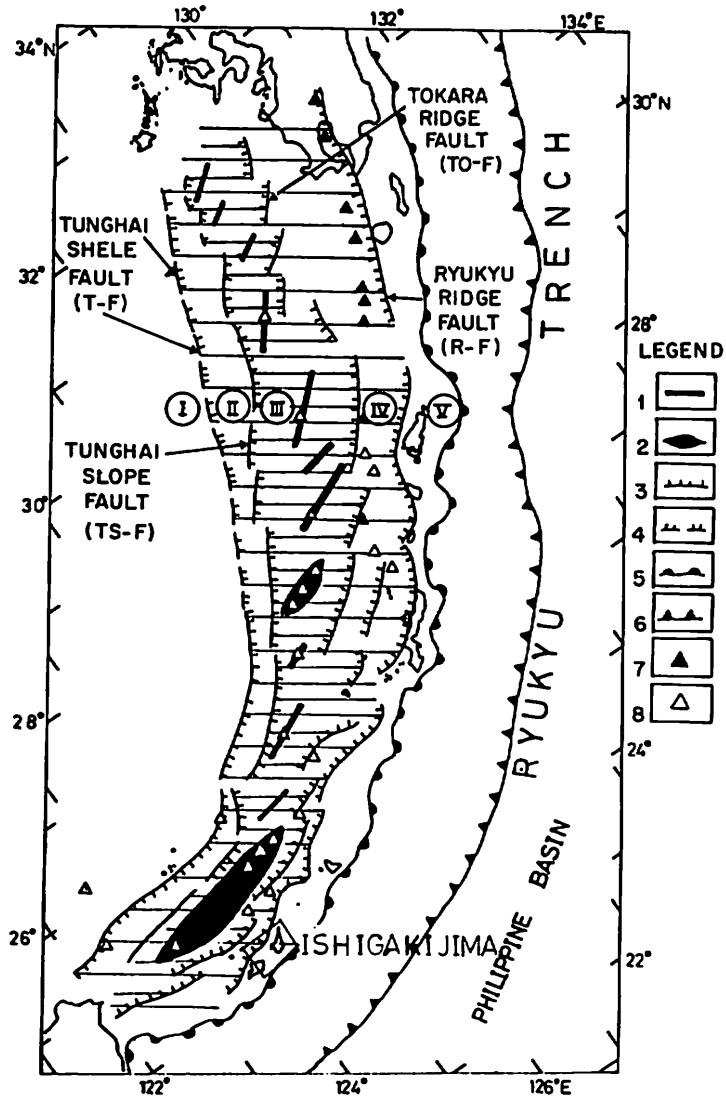


Fig. 1 Location of the Taketomi-jima area. Base map represents Pleistocene tectonic framework of the Ryukyu Arc system after Kimura (1985). Legend 1: Central Graben of the Okinawa Trough, 2: Basin occupied by Pleistocene igneous intrusions, 3: Major fault scarp, 4: Buried or estimated fault, 5: Eastern boundary of the Ryukyu Ridge, 6: Trench, 7: Active volcano, 8: Submarine intrusion or volcano probably since Late Pleistocene time. Tectonic provinces can be distinguished by tectonomorphological similarities from the west to the east as I ) Tunghai Shelf, II ) Tunghai Slope, III ) Okinawa Trough, IV ) Tokara Ridge and V ) Ryukyu Ridge.

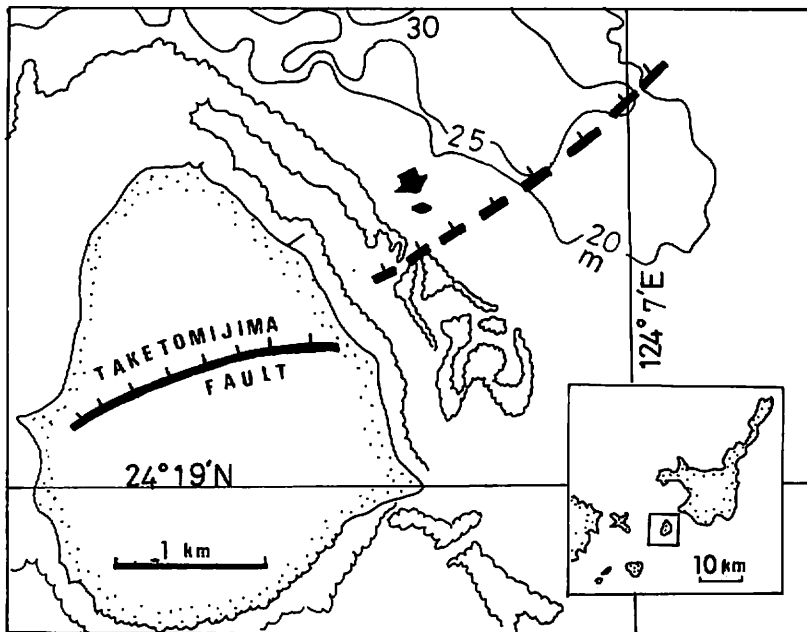


Fig. 2 Map showing the Taketomi-jima submarine hot spring (arrow).

#### 海底地形・地質

竹富島海底温泉湧出孔は、東経124度6.2分、北緯24度20分にあり、サンゴ礁外縁の外側のパッチリーフにかこまれた水深13~20mの平坦地に開口している。周辺には、シカノツノサンゴを主としたサンゴ類が生育している (Fig.3,4)。そして、湧出孔周辺は直径20mほどのスリバチ状のへこみとなっている。そのスリバチ状の斜面は白黄色のサンゴ砂からなり、サンゴの生育はない。そのスリバチの中心部付近にほぼ東西の割れ目が発達している。中心付近にある東西性の割れ目のうち、長さ4~5mの部分が幅1.5~2mほど陥没したようになっている。その陥没部北部から温泉とガスが湧出している。スリバチの斜面は未固結のサンゴ砂であるが、スリバチの底の割れ目の縁はすべてこのサンゴ砂が半固結した状態の黄白色石灰質砂岩である。この中央部の陥没部の中には直径30cm程度の石灰質砂岩の垂角礫がごろごろして、この陥没孔が生じた際に砕けたような産状をしている。

噴出孔は、いわゆる、海底にエントツ状の円筒形の穴が生じて、そこから温泉が噴出しているという状態ではない。砂岩のブロックとブロックとの間からガス・温泉が湧出している状態である。そのため、海底へ湧出する時点で海水とかなり混合してしまっているとみられる。1982年12月2日14時~16時の時点で、南北性の陥没溝のヘリの上面、すなわちスリバチに底の深さが18.5~19.5mであり、さらに陥没溝の底はそれより1~1.7mほど低い位置にある。最も湧出が盛んな箇所は水深22.5m付近になる。その他、陥没溝の周辺のスリバチ斜面の砂の中からもしばしばアワが発生している。この部分は、常時開口しているわけではなく、砂底がふくらんで

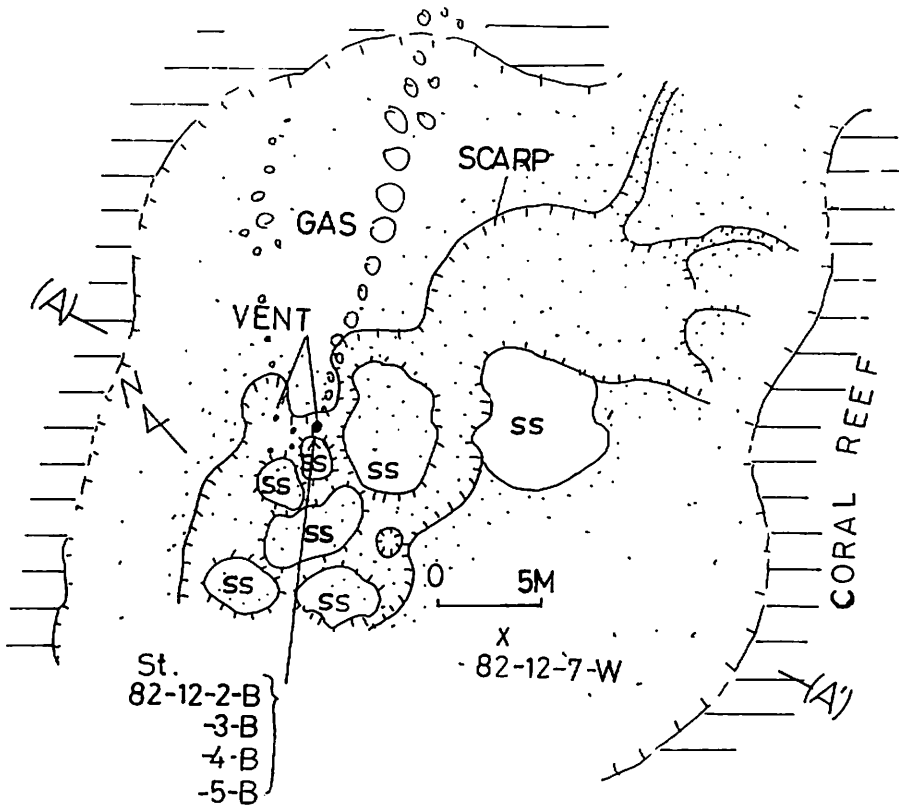


Fig. 3 Sketch map in the vicinity of the submarine hot spring in 1982. (A)--(A') represents location of the cross section in Figure 4. ss: Semiconsolidated calcareous sandstone.

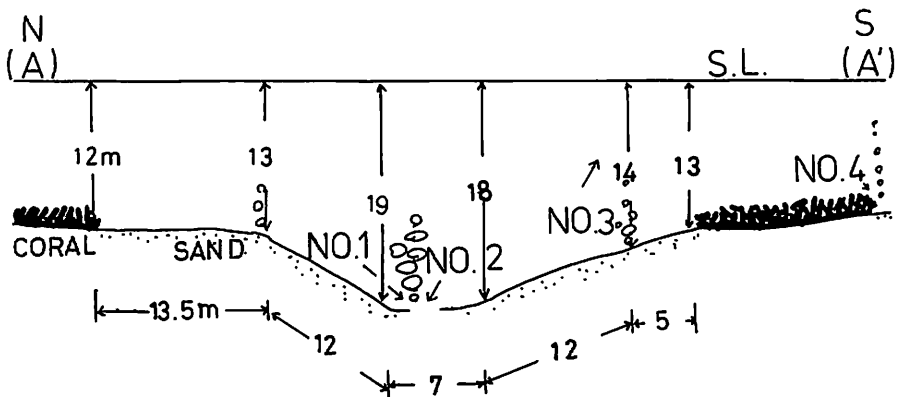


Fig. 4 Cross section of the hot spring area on 13<sup>h</sup>30<sup>m</sup>, July 10, 1976. Location is shown in Figure 3.

アワが出てくるといった現象がみられる。また噴出孔の壁の岩には、イソギンチャクや海綿が付着し、ナマコや根付きのミーバイ等がみられ、小魚も群れている。これは水温が高いので集まってくるのであろう。

陥没溝の縁で得られた石灰質砂岩は、みかけは固結していて、本域海底の岩盤である第四紀更新世の琉球石灰岩と同じように見えるが、採取して観察すると、再結晶化は行われていず、周辺の黄白色中粒サンゴ砂（有孔虫質）と同じもので、これは温泉湧出孔から噴き出た砂が固結したのとみられる。

本域から最も近い竹富島はほぼ全域が更新世の琉球石灰岩で被覆されていて、北部に一部先第三系の古い岩石の露出がある。したがって、温泉の下には石垣島から、竹富島をへて西表島に点々と露出する先第三紀堆積層が存在するというのが最も考えやすい。竹富島海底温泉の下はまた、第三紀層の宮良層（始新世）のアルコース砂岩、野底層（始新世、緑色凝灰岩）あるいは八重山層群（中新世初～中期）の堆積岩が存在する可能性もある。

地質構造としては、竹富島に竹富断層という活断層が知られている（活断層研究会，1980）。海上保安庁水路部海図第1285号（3万分の1）より作製した海底地形により、石垣島と竹富島の間には東北東—西南西の北落ちの正断層（活断層）が推定される（Fig.2）。海底温泉はこの活断層と関連する可能性があるように見える。

#### 地下貯蔵層内の熱水の温度

Table1～3に、筆者らがこれまでに行った竹富沖海底温泉およびガスの分析値を示す。このうち最新の資料である1982年調査のもの（兼島ほか，1983）について地熱の評価を兼島ほか（1983）と異なる方法で行った。

採集された湧水を海水（S）と海水と接する以前の温泉水（H）の混合物（SH）と考える。Table 2により、海水Sと海水（S）+温泉水（H）の混合物SH中のイオン濃度比（SH/S比）をみると、Mg:0.882, Na:0.925, Cl:0.939であり、単純に考えると容量混合比はS:H=0.93～0.88:0.07～0.12となる。しかし、MgとNaは岩石と水との相互作用によって変化する可能性が大きいと考えられるので、Clの値が最も信用できると思われる。さらにHが通常の地熱水のように1,000～2,000ppmのClを含んでいたとすれば（後の推定貯留層温度190°Cを考へて）、混合比はやや大きくなり、大略H 7%, S 93%となる（Cl:19,000ppmの標準海水とCl:1,000～2,000ppmのHを93:7で混合すれば17,800ppm程度の水が生成する）。次に、このHが沸騰状態（最高温度状態）であると仮定すれば、海底下22mでは3.2バールであるので（水圧2.2+気圧1.0）、飽和温度は146°Cである。25.5°CのSが93%と146°CのH 7%が混合すれば、計算上33.9°Cになり、観測値33.5°C（ダイバーによる棒状温度計の読みとり値）によく一致する。したがって、S, H混合比は93:7と考へてよい。混合比がわかると、HのSiO<sub>2</sub>ppm Xは、Table 2の海水中のSiO<sub>2</sub>濃度として0.33ppmを用いて $0.33 \times 0.93 + X \times 0.07 = 16.8$ ,  $X = 236$ ppmとなる。この値を地熱貯留層の温度推定によく用いられる式 $t = 1315 / (5.205 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$ （Truesdell, 1975）に代入すると貯留層の温度は191°Cと推定される。最後に、沸騰状態に近い地熱系の地下温度は水の沸騰に沿って上昇すると仮定できる（林，1982）ので、191°Cの貯留層の深さは水面下130m、海底下108mあるいはそれよりいくらか深い程度であると推定される。ここで、温泉水を沸騰状態に仮定したのは、海面下22mでは、これ以上の温度の水は存在し得ないからである。これを最高温度状態と仮定しても、混合水の温度が説明できるのであながち過大評価

sample	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
situation	bottom of the basin	bottom of the basin	surface sea water	gas eruption
w.temp.* (°C)	50-60	50-60	low	40-50
pH	7.01	7.31	8.42	7.50
Na (mg/l)	7960	7560	10400	9800
K (mg/l)	365	346	398	400
Ca (mg/l)	426	461	366	389
Mg (mg/l)	1080	1230	1360	1200
Cl (‰)	16.89	18.42	19.20	17.70
SO <sub>4</sub> (mg/l)	2220	2510	2750	2430
Alkalinity (meq/l)	3.29	3.94	2.34	3.21
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	26.3	22.3	0.8	15.2
S <sup>2-</sup> (mg/l)		11.3		
Na/Cl	0.471	0.410	0.542	0.554
K/Cl	0.0217	0.0188	0.0207	0.0226
Ca/Cl	0.0252	0.0250	0.0191	0.0220
Mg/Cl	0.0639	0.0668	0.0708	0.0678
SO <sub>4</sub> /Cl	0.131	0.136	0.143	0.137
Alk./Cl (eq./ppm)	0.000195	0.000214	0.000122	0.000181
SiO <sub>2</sub> /Cl	0.00156	0.00121	0.0000417	0.000859

Table 1 Chemical composition of hot spring and sea water off the Taketomi-jima coast, sampled by students of the Department of Marine Sciences, University of the Ryukyus in July 10, 1976 and analysed by T. Oomori. Sample number is represented in Fig. 4. Reading Values of thermometers by students.

Sample No.	Depth (m)	W.T. (°C)	pH	Ca <sup>2+</sup> (g/l)	Mg <sup>2+</sup> (g/l)	Na <sup>+</sup> (g/l)	K <sup>+</sup> (g/l)	Cl <sup>-</sup> (‰)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (g/l)	SiO <sub>2</sub> (ppm)	DO (ml/l)	S <sup>2-</sup> (ppm)	Date
82-12-1-U	0	25.5	8.42	0.417	1.312	10.60	0.38	18.99	0.139	2.68	0.67	4.61	—	'82/12/2
82-12-4-B	22	37.5	7.47	0.441	1.171	9.90	0.39	17.80	0.140	2.26	16.3	2.70	0.70	" " "
82-12-2-B	22	—	7.55	—	—	9.90	0.38	17.78	0.139	—	16.8	—	—	" " "
82-12-3-B	22	—	7.72	—	—	10.00	0.38	18.08	0.140	—	13.1	—	—	" " "
82-12-5-B	22	—	7.46	0.436	1.176	9.90	0.39	17.81	0.140	2.41	16.0	2.81	1.04	" " "
82-12-7-W	18	24.0	8.41	0.419	1.306	10.60	0.39	18.98	0.140	2.70	0.33	4.64	—	" " "

Table 2 Chemical composition of hot spring waters and sea waters off the Taketomi-jima Coast analysed by Kaneshima et al. (1983) in 1982.

	G-1	G-2	G-3
H <sub>2</sub> S (Vol.%)	<0.1	<0.1	—
CO <sub>2</sub> "	2.0	1.0	1.0
He "	0.013	0.012	0.013
H <sub>2</sub> "	0.117	0.070	0.023
O <sub>2</sub> "	1.6	3.6	6.6
N <sub>2</sub> "	28.2	29.6	40.2
CH <sub>4</sub> "	68.1	65.7	52.1
Depth (m)	22	22	0
Date	'82/12/2	'82/12/2	'82/12/3

Table 3 Chemical composition of gaseous components from the Taketomi-jima hot spring in 1982 (after Kaneshima *et al.*, 1983).

とはいえないと思われる。兼島ほか (1983) は同じ化学分析より、温泉水のもとの温度をおよそ200°C程度とみつもっているが、それよりやや低目の値となった。世界の地熱系では、150°C以下の貯留層は無数にあるが、200°C以上のものは非常に稀であることから、この地熱系はかなり活発なタイプのものであり、将来何らかの形で利用可能と思われる。そして、この熱の活動度からは、火山性の熱源が示唆される。

#### ガス・熱水の起源

天然ガスと熱水が伴ってでてくる (Table 2.3) という事は、分析結果とあわせると、熱水が天然ガス層を通りぬけてきたことを示している。その熱水の起源には、マグマによる加熱が関与している可能性が考え易い。ゆえにガスと熱水の起源を分けて考える必要がある。

まずガス層の起源である。これは沖縄本島では島尻層群と呼ばれる堆積層から天然ガスが得られるものもあるので、本域に島尻層群と同じような堆積層があれば考えやすい。しかし、陸上地質から判断して考えやすいのは、天然ガスは八重山層群からもたらされたという可能性である。八重山層群は本域周辺に分布し、中に炭層をはさむという特徴をもつ。

次に、熱源である。これは、このすぐ近くに古第三紀のグリーンタフ層である野底層があるので、八重山層群の下に野底層の (古い) 貫入岩体か、あるいは石垣島に露出するような新第三紀の花崗岩質貫入岩体から熱水が、その上に堆積した八重山層群を上昇する時にガスを伴ってきたというのが、最も考えやすいであろう。もう一つの可能性は、現在の火山のマグマに熱せられるということである。すなわち、分析値をみると、SiO<sub>2</sub>, Ca, Alkalinity は標準海水比より高く、Mg, SO<sub>4</sub> は標準海水比より低い。これは東太平洋海膨やガラパゴス海嶺にある大洋中央海嶺の熱水系 (Mcduff and Edmond, 1982; Michard *et al.*, 1984) と類似している。そこでまず考えられるのは、西表海底火山が、ここから北西の方向数10kmのところ推定されているので、それとの関係である。次に、竹富島海底温泉の真下に活火山があるということも考えられる。しかし、地震のベニオフゾーンの深さからみると、火山フロントは沖縄トラフの東縁、ト



カラ火山弧の延長にあった方が考えやすい。

以上のように、竹富島海底温泉の熱源が地下のマグマの存在と関連したものであることは確からしいが、これがいつの時代のものであり、種類が何であってどこにあるのかが明らかでない。今後この確認が必要である。そのうち、本温泉が活火山によるものであるのかどうかを確かめるためには、まず第1段階としては、西表海底火山の位置の確認が重要となり、次に、この温泉の下に火山があるかの確認が重要となる。そのためには、今後、さしあたって、プロトン磁力計による磁気異常の探査によって火山の位置確認を行うことが望ましい。

#### おわりに

今回の考察では、海底下約108mから、約191°Cの温泉水がこの周辺の海水と混合して海底真上で観測されるような水温と塩素量になると考えられるので、この点をさらに実証するために、温泉水の湧出量や、その拡散範囲、さらには、直接この温泉水の採取を行う必要性がある。

琉球大学理学部海洋学科の加藤祐三助教授には調査現場で、同山本聡博士には小論文製途上で熱源および温度に関する有益な御議論をいただいた。竹富島断層については、琉球大学教育学部河名俊男助教授に御教示を得た。1976年の採水、ダイビングによる棒状温度計の読み取り、および地形測量は琉球大学海洋学科の学生によって行われた。また、本研究の一部は岩谷直治学術奨励金によった。あわせて謝意を表する次第である。

#### 文 献

- 林正雄 (1982 a) 深部高温地熱貯留層探査のターゲット, 日本地熱学会誌, 4 (2), 81~90  
 林正雄 (1982 b) 活動度指数による地熱帯の評価, 地熱エネルギー, (18), 2~10  
 兼島清 平良初男 渡久山章 小坂丈予 木村政昭 (1983) 竹富島沖の海底に湧出する温泉およびガスの地球化学的研究, 琉球大学理学部紀要 (36), 73~80  
 汗断層研究会 (Ed), (1980) 日本の活断層東大出版会, 363 P  
 Kimura Masaaki (1985) Back-arc rifting in the Okinawa Trough. *Marine and Petroleum Geology* 2 (3), 222~240  
 McDuff, R.E. & Edmond, J.M. (1982) On the fate of sulfate during hydrothermal circulation at mid oceanic ridges. *E.P.S.L.*, 57: 117-132  
 Michard, G., Albarede, F., Michard, A., Minster, J.F. Charlou, J.L. & Tan, N. (1984) Chemistry of solutions from the 131 °N East Pacific Rise hydrothermal site. *E.P.S.L.*, 67: 297-307.  
 饒平名光雄 石原金盛 山城充填 平良明彦 (1968) 沖縄の天然ガス調査研究報告工業研究指導報告, (2), 1~39  
 Truesdell, A.H. (1975) Geochemical techniques in exploration. Proc. 2nd U.N. Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, I :Iiii-Ixiii