

沖縄トラフ伊平屋海凹北部海丘海底熱水系の 熱水の化学組成の経年変化について

片岡 聡^{*1} 石橋純一郎^{*2} 千葉 仁^{*3}

沖縄トラフ伊平屋海凹北部海丘の海底熱水系では、発見の翌年である1996年から2000年にかけて熱水試料が採取され、地球化学的研究が行われている。1996年から2000年にかけてこの熱水系の熱水は同一起源の熱水から気相と液相に分離したものが異なる比で混合した後に噴出していると考えられる。さらにNBC及びSBCの2つの噴出口からの熱水については、熱水採取年が新しくなるに従って熱水端成分の気相成分が増加して、熱水の化学組成が大きく変化していることが分かった。

キーワード: 伊平屋海凹北部海丘, 沖縄トラフ, 海底熱水活動, 経年変化, 熱水化学組成

Time series study of chemical composition of hydrothermal fluids from North Knoll at the Iheya Ridge in the Okinawa Trough

Satoshi KATAOKA^{*4} Jun-ichiro ISHIBASHI^{*5} Hitoshi CHIBA^{*6}

Vigorous ventings of high temperature fluid (up to 311°C) were discovered at North Knoll at the Iheya Ridge in the Okinawa Trough, in 1995. Time series sampling of fluid samples from 1996 to 2000 was conducted using SHINKAI2000. Fluid chemistry suggests that the hydrothermal fluids in this area have experienced phase separation beneath the seafloor after water-rock interaction, and that each venting fluid is mixing of two phases at different ratio. The fluids from NBC and SBC vents showed significant change of fluid compositions during this study duration, due to increase of the vapor phase contribution.

Keywords : North Knoll at the Iheya Ridge, Okinawa Trough, Seafloor hydrothermal activity, Time series change, Fluid geochemistry

*1 九州大学大学院理学府

*2 九州大学大学院理学研究院

*3 岡山大学固体地球研究センター

*4 Graduated School of Science, Kyushu University

*5 Faculty of Science, Kyushu University

*6 Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University

1. はじめに

沖縄トラフ伊平屋海凹北部海丘海底熱水系(北緯27°47.2', 東経126°53.9, 水深約1000m, 図1)が発見されたのは1995年である(門馬ほか, 1996)。この熱水系では発見の翌年である1996年からほぼ毎年熱水試料や岩石試料が採取されてきた。そして熱水の化学組成を対象にした地球化学的研究が断続的に進められてきた(千葉ほか, 1996; 片岡ほか, 2000)。その結果, この熱水系の噴出口ごとの熱水は, 熱水端成分に相違が見られるものの, 同一起源の熱水から気相と液相に分離したものが異なる比で混合した後に噴出しているものであるということが明らかになっている。本報告では新たに2000年に採取された熱水の分析結果と過去の報告(片岡ほか, 2000)から熱水の化学組成の経年変化について報告する。

2. 熱水系の地形

図2に「しんかい2000」の潜航データ(第1028~1030, 1092~1094 潜航のx, y, 深度, 高度)を用いて作成した沖縄トラフ伊平屋海凹北部海丘の頂部付近に広がる高温熱水域の地形図を示す。図上の白抜きの三角形は北端のチムニー(NEC)の位置, 色付きの三角形は本報告で熱水の分析結果をデータとして採用した熱水の噴出口の位置, 灰色の三角形は熱水が採取されているが本報告ではデータとして用いていない噴出口の位置を示している。括弧内に示したのは, それぞれの熱水噴出口で測定された熱水の最高温度である。

図2より, この熱水域では優勢な熱水活動が地形的高まりの上部で見られることが分かる。また, 熱水域には南北方向に途中にひさし状の張り出しを持つ高さ10~15mを越えるEndeavor-typeのチムニーであるNEC, 北のビッグチムニー(NBC), 南のビッグチムニー(SBC)が立ち並んでおり, 東西方向にNBC, 中央ビッグチムニー(CBC), 放射能強度の高い熱水噴出口(HRV, 238°C)と高温の熱水噴出口の広がりが見られることも分かる。

採取された熱水の温度はNBCで一番高く(311°C), 周辺

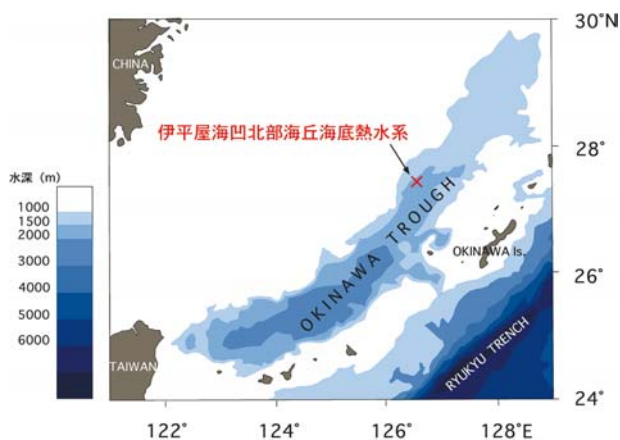


図1 伊平屋海凹北部海丘海底熱水系の位置

Fig. 1 Location of the North Knoll at the Iheya Ridge seafloor hydrothermal system

へ向かうにつれて低下している。これは伊平屋海凹北部海丘海底熱水系における現在の活動の中心がNBCにあることを示唆している。

3. 熱水の化学組成

3.1. 熱水試料の採取と分析

表1に1996年から2000年の潜航調査で採取された熱水試料, 及び底層水試料のリストを示す。sample No.が通算潜航回数と使用した採水器を表している。3Kの後の数字が「ドルフィン3K」の通算潜航回数である。Dの後の数字が「しんかい2000」の通算潜航回数である。RV1, 2, はそれぞれ「しんかい2000」用回転バルブ式8連採水器(酒井ほか, 1990)の1本目, 2本目で採取された熱水試料であることを示す。Nはニスキン採水器によって採取された底層水試料であることを示す。

採取された試料について「しんかい2000」揚収後ただちに「なつしま」船上で処理を行った。船上の常圧条件下で脱ガスを起こしている試料については気体試料と液体試料に分けて回収した。pH, シリカ, アンモニウムイオンの分析は試料の処理後ただちに船上で行った。pHは処理していない試料についてpH電極を用いて測定した。シリカはモリブデン青法によって, アンモニウムイオンはインドフェノール法によって, それぞれろ過した試料について比色分析を行った。その他の成分については船上で処理した試料を陸上実験室に持ち帰り分析した。塩化物イオン濃度は処理していない試料についてモル滴定法により分析した。硫酸イオン濃度はろ過した試料を200倍に希釈したのについてイオン

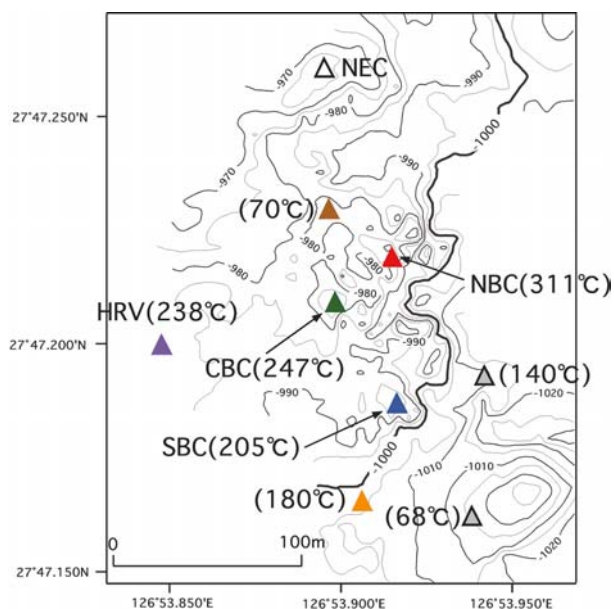


図2 伊平屋海凹北部海丘海底熱水系の地形図(作図原点は27°47.018'N, 126°53.609'E)。

三角形は熱水噴出口。()内は最高測定温度。

Fig. 2 Map of the North Knoll at the Iheya Ridge seafloor hydrothermal system. Triangles indicate hydrothermal vents. Measured maximum fluid temperatures are shown in parenthesis.

クロマトグラフィーにより分析した。アルカリニティーは処理していない試料についてグラブロットを用いる精密滴定法で測定した。

ナトリウム、カリウムはろ過・酸処理した試料を100倍および200倍に希釈したものについて炎光分光分析により分析した。リチウムはろ過・酸処理した試料を200倍に希釈したものについて炎光分光分析器を用い標準添加法によって分析した。マグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、マンガン、ホウ素はろ過・酸処理した試料を100倍および200倍に希釈したものについてICP発光分析により分析した。

3.2. 熱水端成分の推定

得られた試料の成分をマグネシウム濃度を横軸にとつてプロットしたものを図3-1, 2に示す。Na (CB)はチャージバランスにより計算されたナトリウム濃度のことである。十分高温な熱水のマグネシウム濃度は0mM/kgであると考えることができる(Butterfield et. al., 1990)。また、試料は熱水と海水の混合物であるから、試料の分析値はこの図で熱水の端成分と海水の成分を結ぶ混合混合直線上に並ぶはずである。そこで採水年ごとのそれぞれの噴出口における熱水の端成分を、採取された試料の組成と底層水の組成から求められる混合直線をMg=0に外捜して求めた。

図3-1, 2よりCBC (2000)の熱水端成分の塩化物イオン濃度が見かけ上マイナスになっている。またCBC (1998)の端成分のナトリウム濃度を分析値から求めたものはチャージバランスから計算したものとは大きく異なっている。これらのことはCBCの熱水についてMg=0と置いて熱水端成分を考えること自体に問題があることを示唆しているが、これだけのデータからこれ以上の議論をするのは難しい。よって、この噴出口からの熱水は以下の議論では考察の対象からはずす。

CBC以外の噴出口における熱水端成分については、どの熱水も塩化物イオン濃度とナトリウム濃度が底層水の濃度よりも減少していることが分かる。この様な海水からの塩化物イオン濃度、及びナトリウムイオン濃度の低下は熱水が海底下で沸騰により気相と液相に分離しており、生じた気相が噴出前に凝縮して再び熱水に混入した結果であると考えられる。伊平屋凹地北部海丘海底熱水系の海底下では熱水の沸騰が起こり、気相と液相の分離が起こっていることが推定される(片岡ほか, 2000)。

3.3. 熱水と岩石の反応

図4にいくつかの化学種について、熱水の端成分の化学種の濃度を塩化物イオン濃度を横軸にとつてプロットしたものを示す。この図を見ると、アンモニウムイオンとホウ素を除くそれぞれの熱水の端成分濃度が原点を通る直線上に並ぶことが分かる。これは、それぞれの熱水が1つの共通の熱水から沸騰によって分化したものであることを意味している。アンモニウムイオンとホウ素の端成分濃度が原点を通る直線上に並ばないことは、堆積物から熱水へのアンモニウムイオン、及びホウ素の供給に起因するものであると考えられる。また、この直線が海水の化学組成からへだたっていることから、

沸騰による気液分離は海水が岩石と十分に反応した後に起きていることが示唆される。

3.4. 気液混合の度合いの経年変化

図4よりNBC、及びSBCにおいて熱水採取年が新しくなるに従って、熱水端成分の塩化物イオン濃度が減少していることが分かる。これは採取年が新しくなるにつれて、噴出している熱水に含まれている気相成分の割合が増加していることを意味している。この熱水の端成分の塩化物イオン濃度の低下は特にSBCにおいて顕著に見られる。SBC (2000)の極端に低い溶存種の濃度をもたらした原因のひとつに試料回収時の試料への純水の混入の可能性が考えられるが、アルカリニティーの分析値が減少していない(図3-2)ことからこの可能性は否定される。1999年から2000年にかけてSBCの熱水の気液混合の割合が大きく変化したことの原因となるイベントは、その後の潜航調査が行われていないこともあって今のところ分かっていない。

4. まとめ

沖縄トラフ伊平屋海凹北部海丘海底熱水系では、1996年から2000年の潜航調査によって実測最高温度311°Cの熱水の噴出が確認された。熱水の塩化物イオン濃度は底層水の濃度よりも低くなっており、熱水は海底下で沸騰のために気相と液相に分離していることが推測される。また、推定された熱水の端成分がその塩化物イオン濃度を横軸にとつたグラフ上で原点を通る1つの直線上に並ぶことから、これらは元は単一の熱水だったものが沸騰により分化したものであることが示唆される。さらに、この直線が底層水の組成から隔たっていることから、沸騰による気液分離は海水が岩石と反応した後に起きたことが示唆される。NBC、及びSBCでは熱水採取年が新しくなるに従って、熱水端成分の塩化物イオン濃度が減少している。これは熱水に含まれる気相成分の増加を意味している。この減少は特にSBCにおいて顕著である。

5. 謝辞

潜航調査、および船内生活に際しましては、「しんかい2000」潜航チームの皆様、並びに「なつしま」乗組員の皆様にご大変お世話になりました。また試料採取にあたりましては、主席研究員の満澤巨彦氏をはじめ乗船研究員の皆様に御配慮いただきました。試料のICPによる分析の際には九州大学大学院理学研究院の宮本知治助手の御指導をいただきました。記して深く感謝いたします。

6. 引用文献

- 1) 千葉 仁・石橋 純一郎・上野 宏共・大森 保・内山 明紀・武田 哲一・高峰 朝一郎・李 受映・糸満 彩子 "伊平屋海凹北部海丘の海底熱水活動", JAMSTEC 深海研究, 12, 211-219 (1996).
- 2) Butterfield David A. Gary J. Massoth, Russell E. McDuff, John E. Lupton and Marvin D. Lilley "Geochemistry of

hydrothermal fluids from Axial Seamount Hydrothermal Emissions Study vent field, Juan de Fuca Ridge : subseafloor boiling and subsequent fluid-rock interaction", Journal of Geophysical Research, 95, B8, 12895-12921 (1990).

- 3) 片岡 聡・石橋 純一郎・山中 寿朗・千葉 仁 "沖縄トラフ伊平屋海門北部海丘海底熱水系の地形と熱水の化学組成", JAMSTEC深海研究, 16-2, 1-7 (2000).

- 4) 酒井 均・山野 誠・田中 武男・蒲生 俊敬・金 銀洙・石橋 純一郎・下島 公紀・松本 剛・大森 保・柳澤 文孝・堤 眞 "「しんかい2000」による伊是名海穴熱水系の地球化学的研究－第413回及び第415回潜航報告, 及び第424回潜航で採取した二酸化炭素液泡包接化合物について", 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 6, 69-85 (1990).

(原稿受理: 2001年7月26日)

表1 試料の採取地点

Table 1 List of collected samples

vent	location	temp. (°C)	depth(m)	sample No.	year
NBC(311)	27° 47. 220' N 126° 53. 906' E			3K-464	2000
				3K-466	2000
			974	D1192-RV6	2000
			974	D1192-RV7	2000
			974	D1192-RV8	2000
		168	976	D1193-RV2	2000
		168	976	D1193-RV3	2000
		311	971	D1092-RV5	1999
		311	971	D1092-RV6	1999
		311	977	D974-RV8	1997
SBC(205)	27° 47. 176' N 126° 53. 906' E	180	989	D1192-RV2	2000
		180	989	D1192-RV3	2000
		205	984	D1092-RV2	1999
		205	984	D1092-RV3	1999
CBC(247)	27° 47. 208' N 126° 53. 901' E	120	976	D1194-RV2	2000
		120	976	D1194-RV3	2000
		120	976	D1194-RV4	2000
		247		D1029-RV2	1998
		247		D1029-RV3	1998
HRV(238)	27° 47. 200' N 126° 53. 849' E	238	984	D857-RV5	1996
		238	984	D857-RV6	1996
		238	984	D857-RV7	1996
		238	984	D859-RV2	1996
		238	984	D859-RV4	1996
		238	984	D859-RV5	1996
		117	982	D1092-RV8	1999
180	27° 47. 154' N 126° 53. 916' E	180	1004	D861-RV6	1996
		180	1004	D861-RV7	1996
70	27° 47. 241' N 126° 53. 892' E	70	982	D974-RV4	1997
		70	982	D974-RV5	1997
		70	982	D974-RV6	1997
ambient sea water	27° 47. 220' N 126° 53. 906' E		971	D1092-N	1999
	27° 47. 223' N 126° 53. 902' E		975	D1093-N	1999
	27° 47. 220' N 126° 53. 910' E		969	D1094-N	1999

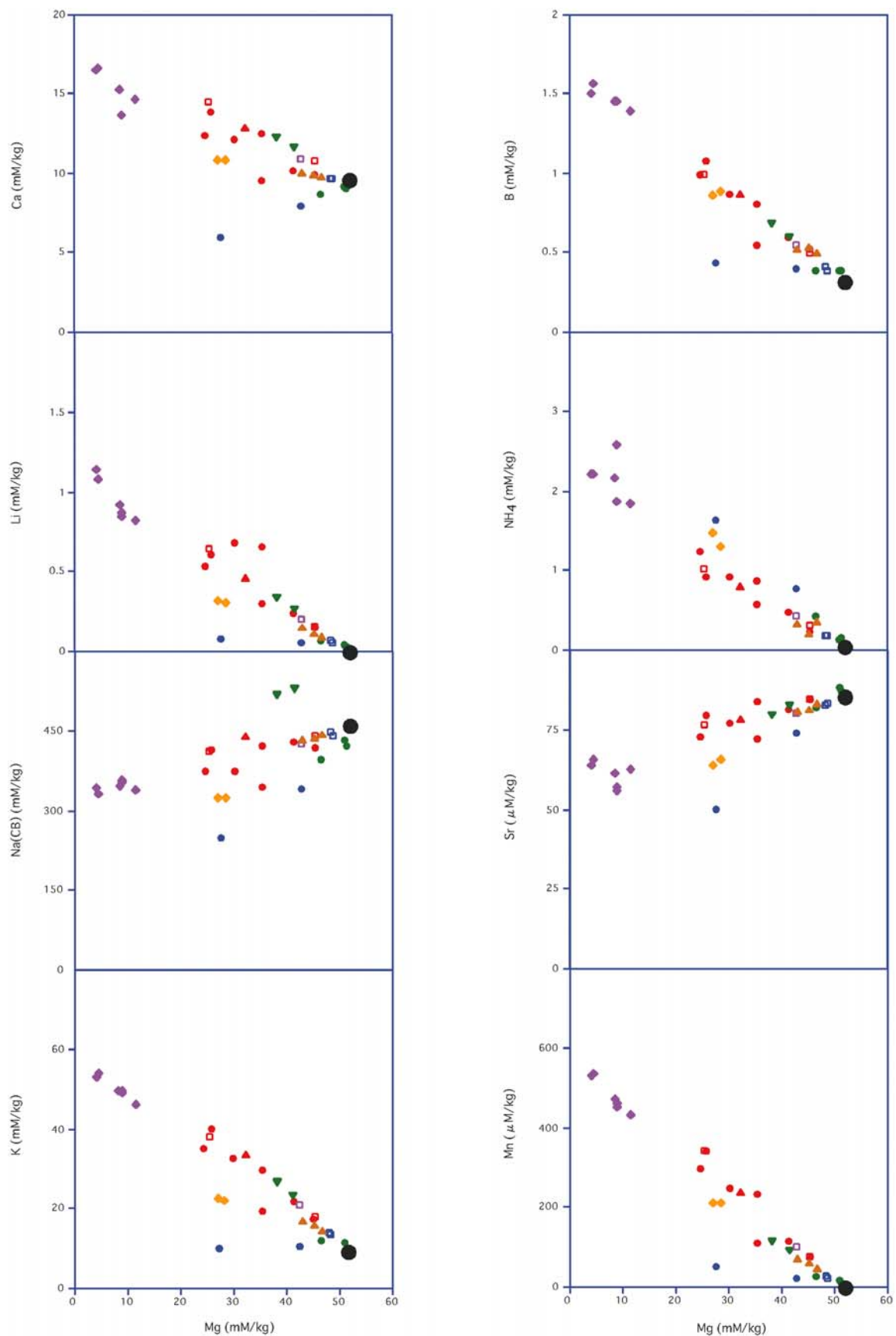


図3-1 熱水のマグネシウム濃度とカルシウム、リチウム、ナトリウム(CB)、カリウム、ホウ素、アンモニウムイオン、ストロンチウム、マンガン濃度の関係

Fig.3-1 Relationships of Mg concentration v.s. K, Li, Na(CB), K, B, NH_4 , Sr, Mn.

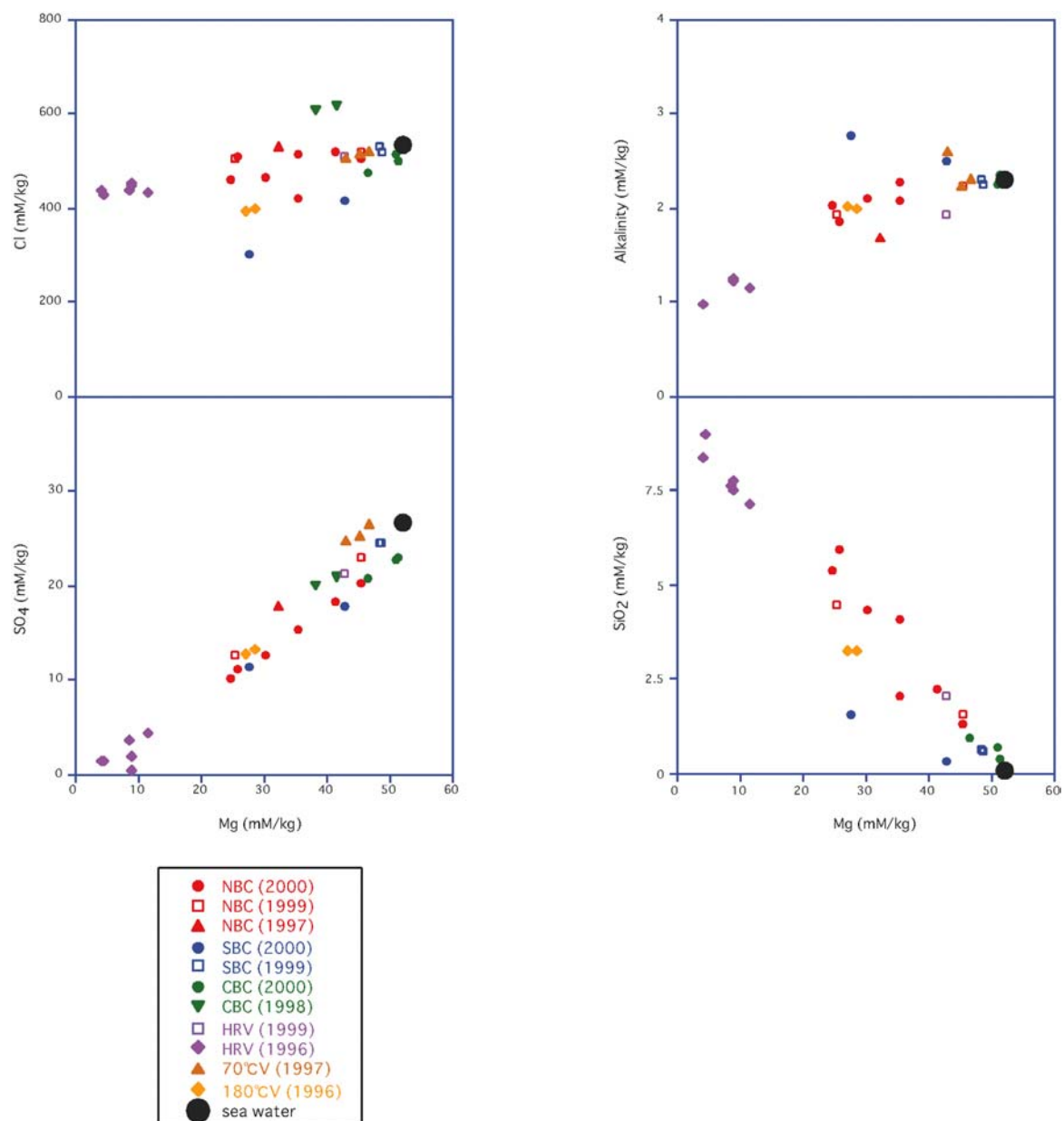


図3-2 熱水のマグネシウム濃度と塩化物イオン, 硫酸イオン, アルカリニティー, シリカ濃度の関係
Fig.3-2 Relationships of Mg concentration v.s. Cl, SO_4 , Alkalinity, SiO_2 .

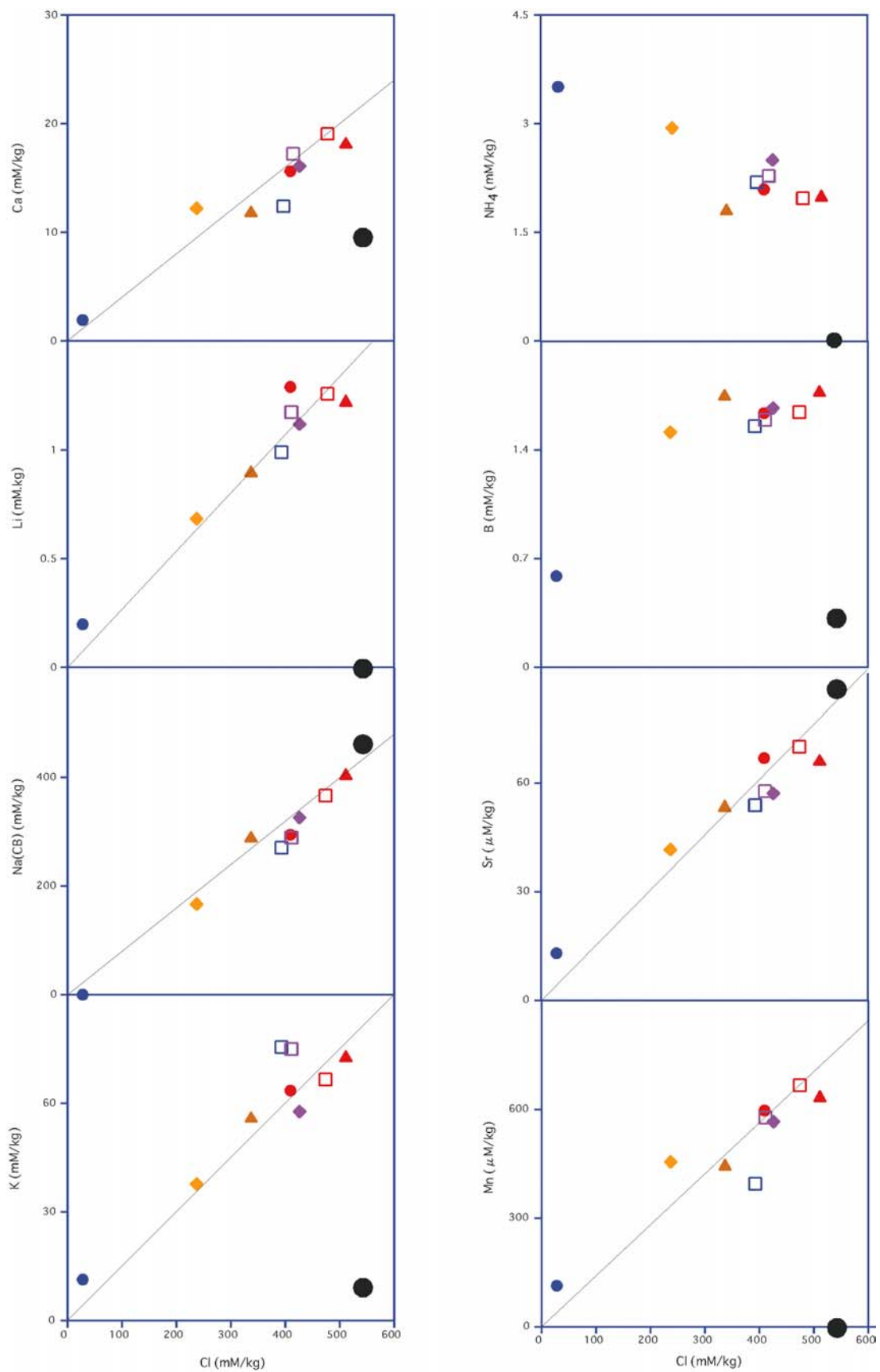


図4 熱水端成分の塩化物イオン濃度とカルシウム、リチウム、ナトリウム(CB)、カリウム、アンモニウムイオン、ホウ素、ストロンチウム、マンガン濃度の関係 凡例は図3-2参照

Fig.4 Relationships of Cl concentration v.s. Ca, Li, Na(CB), K, NH_4 , B, Sr, Mn concentration of end members of hydrothermal fluids.