

## 黒島海丘の冷湧水と堆積物間隙水の化学組成

戸丸 仁\*<sup>1</sup> 松本 良\*<sup>1</sup> 町山 栄章\*<sup>2</sup> 岩瀬 良一\*<sup>3</sup> 武内 里香\*<sup>1</sup>

2001年4月29日から5月12日にかけて、八重山諸島南方の黒島海丘で行われた潜水調査「ドルフィン3K」Dive #505-509および「しんかい2000」Dive #1263-1266において採取された水試料に関して地化学分析を行った。用いた試料はガス噴出口付近において真空採水器で採取した冷湧水、噴出口の上方においてニスキン採水器で採取した冷湧水と海水の混合物、および海底面下のごく浅い部分の堆積物試料から搾り出した間隙水である。分析の結果、冷湧水は塩分濃度が低いが、海底面直下の堆積物中の間隙水は塩分濃度の高い底層水と混合していることがわかった。また酸素・水素同位体はどの試料もほぼ一致していることから底層水が堆積物中を循環しており、その一部が塩分を失い冷湧水となって噴出していることが明らかになった。

キーワード: 黒島海丘, 塩素, 硫酸, 酸素同位体, 水素同位体, 間隙水, 冷湧水

## Geochemistry of Cold Seep and Interstitial Water in Kuroshima Knoll

Hitoshi TOMARU\*<sup>4</sup> Ryo MATSUMOTO\*<sup>4</sup> Hideaki MACHIYAMA\*<sup>5</sup>  
Ryoichi IWASE\*<sup>6</sup> Rika TAKEUCHI\*<sup>4</sup>

This reports the results of geochemical analysis of water sampled by Dolphin-3K Dive #505-509 and Shinkai 2000 Dive #1263-1266 on 29 April to 12 May at Kuroshima knoll. Interstitial water samples were squeezed from push core samples, and seawater samples were taken by Niskin-type and Vacuum-type water samplers. These analyses have clarified that anions are depleted in cold seep but enriched in bottom water. And their mixing makes the chlorinity variable. Oxygen and hydrogen isotopic compositions of samples are almost equal in all samples. This reflects the circulation of bottom water in sediment without isotopic fractionation, then the water releases chlorines and changes to cold seep.

**Keywords** : Kuroshima Knoll, chlorine, sulfuric acid, oxygen isotope, hydrogen isotope, interstitial water, cold seep

---

\*1 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

\*2 海洋科学技術センター深海研究部第2グループ

\*3 海洋科学技術センター深海研究部第3グループ

\*4 Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo

\*5 JAMSTEC, Deep Sea Research Department, Second Group

\*6 JAMSTEC, Deep Sea Research Department, Third Group

1. はじめに

黒島海丘には大規模な地すべり地形が確認されており、その原因として地震を引き金としたガスハイドレートの分解による斜面崩壊の可能性が指摘されている。また海丘頂部ではシロウリガイやシンカイヒバリガイのコロニー、ガスのパブリックなどがこれまでの調査で確認されており、現在でもガスハイドレートの分解に起因するガスや水の供給の可能性がある(図1)。

ガスハイドレート自身には塩分が含まれない。ガスハイドレートを作る水と周囲の水との間には酸素同位体で+3‰、水素同位体で+20‰程度の同位体分別がおきる。さらにガスハイドレートを構成していると考えられるメタンもバクテリア起源である可能性が高く、-200‰程度の非常に軽い水素同位体組成である可能性が高い。そのため堆積物中から採り出した間隙水や冷湧水の化学組成、同位体組成を調べることで、黒島海丘における水やメタンの挙動を明らかにすることができる。そこで本研究は2001年4月29日から5月12日にかけて行われたドルフィン3K(Dive505~509)、およびしんかい200(Dive1263~1266)による潜水調査で採取された冷湧水、および間隙水の陽イオン濃度、酸

素・水素同位体組成の測定を行い、データレポートとして報告する。

2. 試料採取

分析用水試料の採取のため、ニスキン採水器(W)、真空採水器(W)およびプッシュ式柱状採泥器(C)を用いた(図2)。各試料の採取場所を図1に示す。ニスキン採水器は冷湧水の噴出口付近の湧水と底層海水の混合海水を採取するために、真空採水器は噴出口から直接冷湧水を採取するために使用した。なお、真空採水器は採水器のホース中の余計な水を引き込むためのダミーの採水管とその後に使用する採水管があるが、今回はともに分析を行い、分析結果ではそれぞれdummy、mainとして区別している。ただしD3K #506 W-1はmainの採水器が十分に真空になっていなかったため、5ml程度しか採取できず、冷湧水を採取していない可能性が高い。採泥器は長さ約30cmの亚克力製であり、海底面直下の堆積物を採取した。潜水艇揚収後直ちに堆積物の回収率や含水率により十分な量の間隙水が得られる範囲内で垂直方向に3~5cmのサブサンプルに分け、油圧式スクイーズを用いて堆積物から間隙水を採取した(図2)。

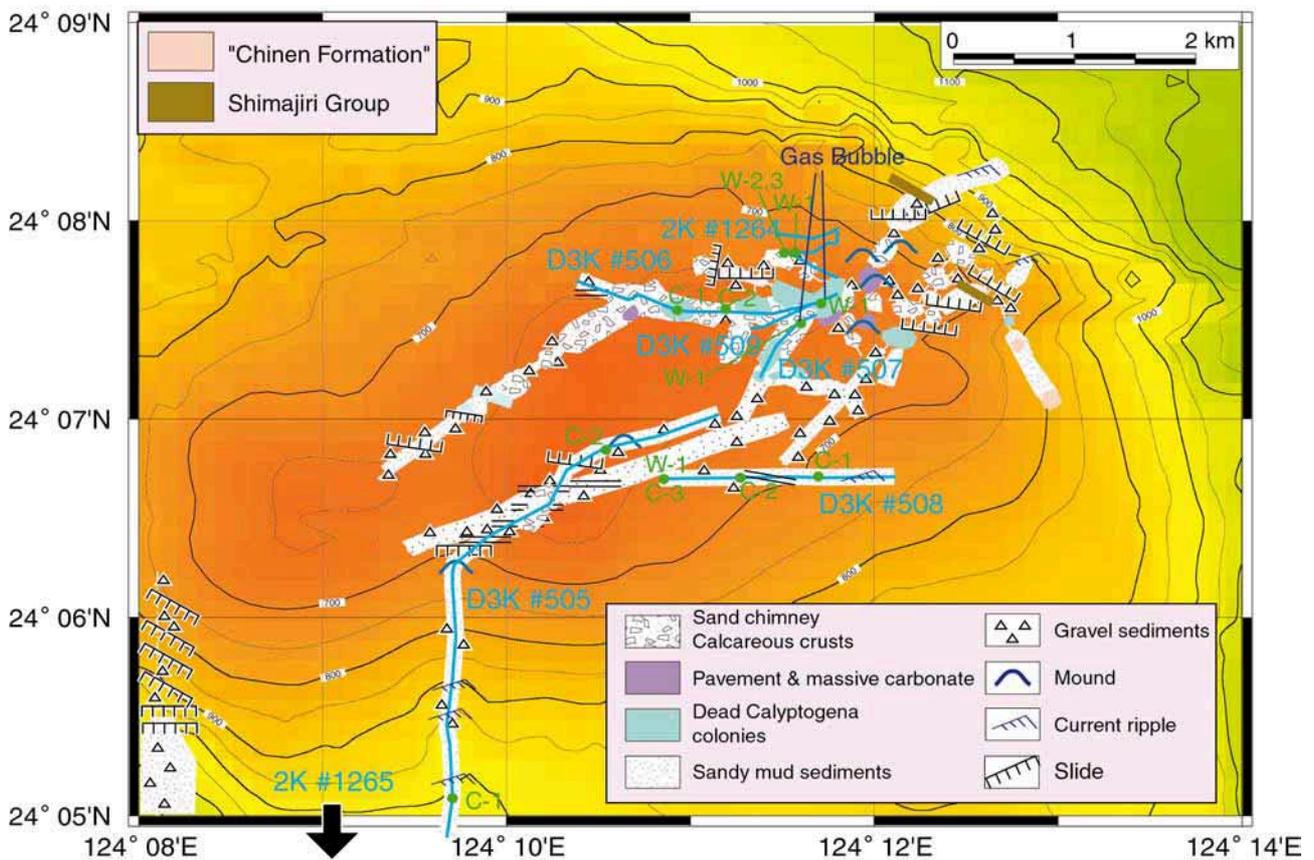


図1 調査海域の海底地形図、および潜航ルート。図中のCはプッシュ式柱状採泥器、Wはニスキン採水器または真空採水器による試料採取を表す。ルートマップは町山ほか( 本号 )を基にした。

Fig. 1 Topographic and route map of survey area. C; Push core sampling. W; Niskin or Vacuum water sampling points. Basemap taken from Machiyama et al. (in this vol.).



図2 調査に用いた採水装置とスクイザー。a;しんかい2000に取り付けられた真空採水器(手前)奥はメタンセンサー。b;しんかい2000に取り付けられたニスキン採水器。c;堆積物から間隙水を搾り出す油圧式スクイザー。d;D3K #508 で採取された海底堆積物。e;真空採水器による試料採取。

Fig. 2 Water samplers and squeezer for this survey. a; Vacuum-type water sampler with Shinkai 2000. b; Niskin-type water sampler with Shinkai 2000. c; Squeezer with oil compressor. d; Core sample of D3K #508. e; Water sampling by vacuum-type water sampler.

### 3. 分析方法

#### 3.1. 陽イオン

試料海水中の陽イオン濃度は東京大学地殻化学実験施設のDionex社製のイオンメーターAX-DQを用いて測定した。試料は純水で200倍に希釈したものをを用いた。

#### 3.2. 酸素同位体

酸素同位体組成の測定には、二酸化炭素平衡法を用いた。28mmol(1.0ml)の試料海水を小型フラスコに取り、液体窒素で凍結後、真空に引く。同位体組成が既知である二酸化炭素0.1mmolをフラスコ内に封入し、25℃で一晩放置し、試料海水中の酸素と二酸化炭素の酸素を平衡にする。その後二酸化炭素を回収し、Finnigan社製MAT252質量分析計を用いて酸素同位体組成を測定した。表中の値は標準海水に対する値であり、測定誤差は±0.05‰である。

#### 3.3. 水素同位体

水素同位体組成の測定には亜鉛還元法を用いた。0.2gの亜鉛粒をテフロンキャップ付の反応管に入れ、真空に引く。

その後450℃のブロックヒーターで10分間加熱し、再度真空引き、加熱をし、完全に亜鉛を還元する。室温まで冷却した後、5μlの試料海水を反応管に入れ、液体窒素で凍結し、真空にする。450℃のブロックヒーターで30分以上加熱し、亜鉛を水によって酸化させ、水から水素ガスを生成し、測定する。測定には酸素同位体と同様にFinnigan社製MAT252質量分析計を用いた。標準試料には標準海水を用いており、測定誤差は±0.2‰である。

### 4. 結果

各試料の分析結果を表1に示す。図3、4はニスキン採水器および真空採水器によって採取された試料の分析結果である。図5から図7は間隙水のみでの深度分布および各成分によるクロスプロットである。それぞれ参考としてしんかい2K #1264の海域で採取した表層海水の値もあらわす。

### 5. 考察

#### 5.1. 冷湧水

冷湧水と海水の混合物試料について塩化物イオンと硫酸

表1 冷湧水および間隙水の分析結果。

Table 1 Analytical results of cold seep and interstitial water.

Dive #	Sample ID	Depth interval/Type	Description	Cl <sup>-</sup> (mM)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mM)	δ <sup>18</sup> O (‰)	δD (‰)
D3K							
#505	C-1	0-5.0	Sandy mud	620.15	27.22	0.11	-3.05
	C-1	5-10.5		626.27	27.30	0.13	-3.52
	C-2	0-5.0	Mud	624.79	27.36	0.35	-3.12
	C-2	5-10.0		629.08	27.61	0.52	-4.76
#506	W-1	Vacuum dummy	Gas vent	631.17	27.60	0.24	-6.56
	W-1	Vacuum main	failure(?) 5ml	639.84	28.36	0.23	-0.53
#507	W-1	Niskin	Gas bubble site	640.36	28.04	0.26	-2.82
#508	W-1	Niskin	(C-3)	624.73	27.00	0.26	-3.10
	C-1	0-3.0	Mud	641.92	28.05	0.10	-5.42
	C-1	3.0-8.0		639.31	28.25	0.16	-6.37
	C-1	8.0-13.0		648.73	28.60	0.17	-5.37
	C-2	1.5-6.0	Coarse sand	640.05	27.86	0.35	-3.33
	C-2	6.0-11.0		634.63	27.67	0.13	-4.40
	C-3	0-4.5	Mud (W-1)	641.90	27.57	0.27	-3.77
	C-3	4.5-8.0		640.04	27.33	0.15	-5.30
	#509	W-1	Vacuum dummy	Gas vent	632.90	27.07	0.34
W-1		Vacuum main		626.70	26.38	0.29	-2.56
2K							
#1264	W-1	Niskin	Gas bubble site	667.68	28.47	0.44	-4.94
	W-2	Niskin	Gas bubble site	645.46	27.95	0.29	-2.61
	W-3	Vacuum dummy	Gas vent	624.87	27.10	0.21	-3.15
	W-3	Vacuum main		621.84	26.96	0.19	-3.79
		Sea surface		639.40	27.81	0.54	-0.23
#1265	C-1	0-4.5	Sandy mud	625.86	27.03	0.21	-4.62
	C-1	4.5-9.5		625.39	26.81	0.10	-3.76
	C-1	9.5-14.5		631.49	26.88	0.10	-5.62
	C-1	14.5-19.5		636.28	27.20	0.12	-3.40
	C-1	19.5-25.5		641.89	26.62	0.19	-3.96
	C-2	0-4.0	Sandy mud	623.77	26.24	0.05	-2.73
	C-2	4.0-8.0		649.00	28.10	0.05	-4.79
	C-2	8.0-12.0		629.57	27.24	0.11	-6.60
	C-2	12.0-17.0		635.10	27.28	0.08	-4.99

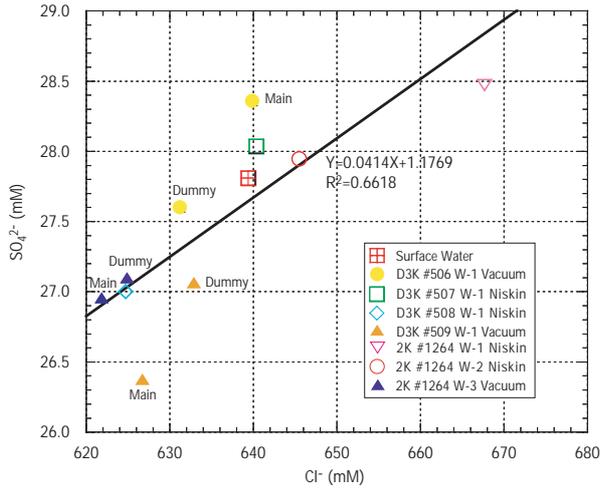


図3 冷湧水と海水の混合物(ニスキン採水器、真空採水器)の塩化物イオン - 硫酸イオンプロット。実線はすべての試料についての近似直線。

Fig. 3 Cross plot of  $\text{Cl}^-$  -  $\text{SO}_4^{2-}$  in sea waters and cold seeps. Solid line shows the regression line of all samples.

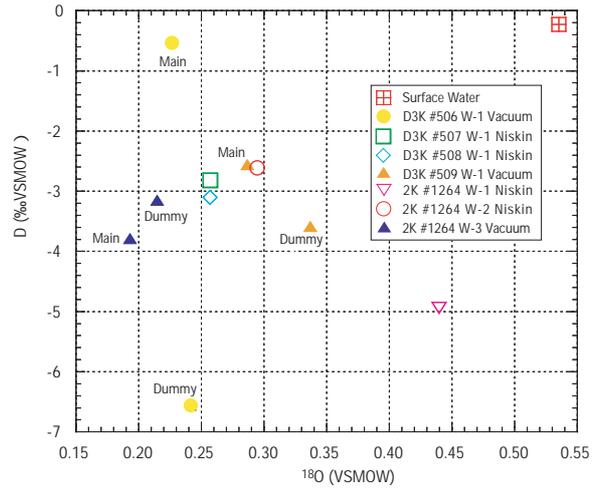


図4 冷湧水と海水の混合物の酸素同位体組成 - 水素同位体組成プロット。

Fig. 4 Cross plot of  $^{18}\text{O}$  - D in sea waters and cold seeps.

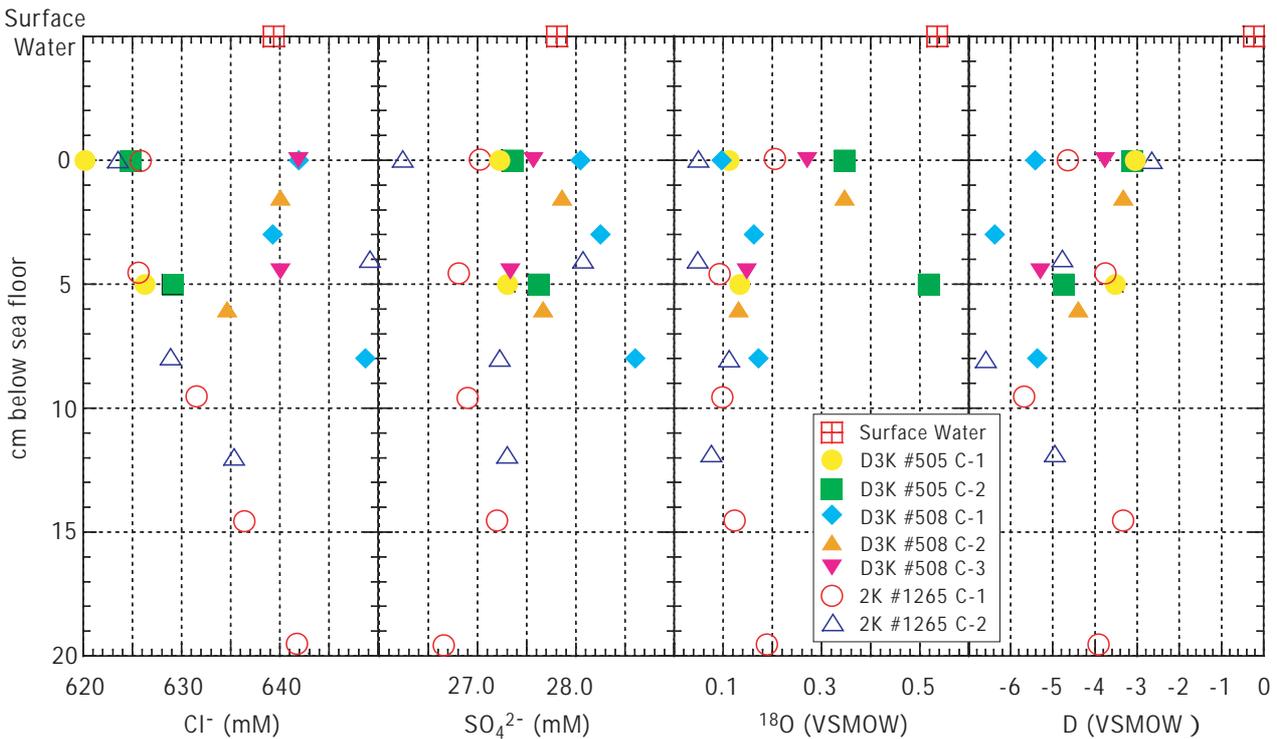


図5 表層海水および採泥器による間隙水分析結果の深度分布。

Fig. 5 Depth profiles of sea surface water and interstitial waters of push corers.

イオン濃度についての関係を図3に示す。実線はすべての試料についての近似直線であり、正の相関が見られる。真空採水器で冷湧水の噴出口から直接採取した試料は表層海水よりも塩化物イオン、硫酸イオン濃度はともに低いことから冷湧水自身は塩分濃度が海水よりも低く、試料採取の際に底層の海水との混合によって濃度にばらつきが出ているとい

える。一方、ニスキン採水器で冷湧水噴出口の上方で採取した試料は表層海水よりも濃度の高いものと低いものがある。これはニスキン採水器では低塩分濃度の冷湧水と海水よりも塩分濃度の高い底層水の混合水を採用していたためであると考えられ、塩分濃度の高い底層水の存在を示唆する。そのため試料採取の位置や冷湧水の拡散状態の違い

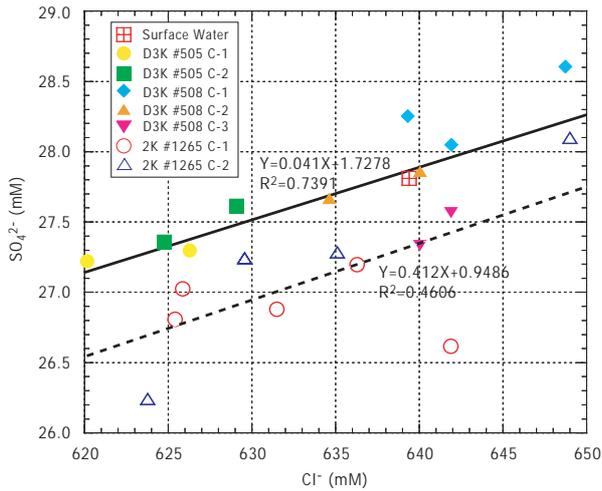


図6 間隙水についての塩化物イオン - 硫酸イオンプロット。実線はD3Kの試料についての近似直線、破線はしんかい2000の試料についての近似直線をあらわす。

Fig. 6 Cross plot of  $\text{Cl}^-$  -  $\text{SO}_4^{2-}$  in interstitial waters. Solid line shows the regression line of D3K samples, dashed line shows the regression line of Shinkai 2000 samples.

により、任意の割合で冷湧水と底層水が混合し、図3のような濃度の違いが現れたといえる。

図4は酸素・水素同位体組成比を表したものである。表層海水に比べ酸素同位体は約0.3‰、水素同位体は約3‰低い値を示す。同位体組成は試料の採取方法によって大きな違いが見られないことから底層水とほぼ等しい同位体組成の水が循環している可能性が高い。すなわち黒島海丘の冷湧水系は海水が同位体分別を伴って化学的に反応する過程はなく、何らかの原因で塩分が奪われ、塩分濃度の低い水ができる経路を水が循環しているといえる。

## 5.2. 間隙水

図5の深度分布より間隙水中の塩化物イオン濃度はD3K #505 C-1, 2および2K #1265 C-1, 2では海底面直下では表層海水に比べ15~20mM濃度が低く、深度と共に上昇する。しかしD3K #508の試料に関してはすべて表層海水(27.81mM)に近い塩化物イオン濃度である。また、硫酸イオン濃度はどの試料も深度によらず表層海水に近い値でほぼ一定であるが、D3K #508の試料は他のものに比べやや高い値を示す。図6は塩化物イオンと硫酸イオン濃度を比較したものであり、実線はD3Kの試料(#505~#508)についての近似式を、破線はしんかい2000の試料(#1265)についての近似式を図中に表したものである。両者はほぼ平行な関係を示す。特にD3K #505 C-1, 2以外のD3Kの試料は表層海水よりも塩分濃度が高く、これは5.1でも述べたように塩分濃度の高い底層水との混合が考えられる。しんかい2000の試料の系列は図3に示した冷湧水に関する試料と近い傾向を示し、表層水よりも塩分濃度が低い。以上のことから図1の地形図において海丘頂部と下部では異なる水の循環経路が存在する可能性がある。すなわち海丘頂部にあたるD3K #508の試料

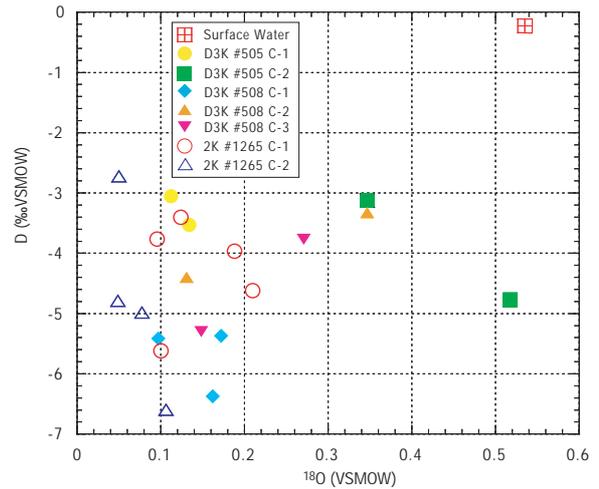


図7 間隙水についての酸素同位体組成 - 水素同位体組成プロット。

Fig. 7 Cross plot of  $^{18}\text{O}$  - D in interstitial waters.

からは海底の底層水に由来する水の循環が、海丘下部のD3K #505およびしんかい2000 #1265では冷湧水の供給に関係した水の循環経路が卓越しているといえる。

図7の間隙水の酸素・水素同位体組成は塩化物イオンに比べ深度による変化は少なくほぼ一定である。しかし酸素については約0.3‰、水素については約4‰表層海水よりも低い値を示す(図5, 7)。これは5.1の冷湧水に関する試料の値とほぼ一致していることから5.1で述べたように水の同位体分別効果がおこらないような系内を水が循環しているといえる。

## 6. 謝辞

潜航調査中は依田司令をはじめとする「ドルフィン3K」、 「しんかい2000」運行チームならびに母船「なつしま」の齋藤船長以下乗組員の皆様、また海洋科学技術センターの服部陸男氏、岡野眞治氏、岩瀬良一氏に大変お世話になった。真空採水器の使用に際しては、海洋科学技術センター海洋生態・環境研究部の橋本惇主幹、藤倉克則氏、藤原義弘氏、土田真二氏にご便宜を図って頂いた。東京大学地殻化学実験室の角森史昭氏には陽イオンの分析をお願いした。以上の方々に厚く御礼申し上げます。なお、本研究を進めるにあたり、文部科学省科学研究費補助金(平成13年度・松本)、石油公団技術交流費(平成13年度・松本)および笹川科学研究助成金(平成13年度・戸丸)を使わせていただいた。

## 7. 参考文献

- 1) 加藤祐三, "八重山地震津波", 月刊地球(9), 235-238 (1987) 新城竜一・町山栄章・本山 功・牧 陽之助・當山元進・外窪周子・鍾 孫霖, "NT00-06 Leg 1(南沖縄トラフ・黒島海丘)調査概要", "第17回しんかいシンポジウム予稿集, 39(2001)。
- 2) 町山栄章・新城竜一・服部陸男・岡野眞治・松本 剛・木村政昭・中村 衛・當山元進・岡田卓也, "Dolphin-3K

- 南沖繩トラフ・黒島海丘潜航調査(NT00-05航海)の概要," JAMSTEC深海研究, 18, 15-30(2001).
- 3) 松本 剛・上地千春・木村政昭, "南西諸島宮古・八重山沖海域精密調査より求められた1771八重山地震津波波源での変動現象", JAMSTEC深海研究, 13, 535-561 (1997).
- 4) Claypool, G. E., and Threlkeld, C. N., "ISOTOPIC COMPOSITION OF INTERSTITIAL FLUIDS AND ORIGIN OF METHANE IN SLOPE SEDIMENTS OF THE MIDDLE AMERICA TRENCH, DEEP SEA DRILLING PROJECT LEG 84," Init. Repts. DSDP, (84), 683-691 (1985).
- 5) Matsumoto, R., and Borowski, W. S., "GAS HYDRATE ESTIMATES FROM NEWLY DETERMINED OXYGEN ISOTOPIC FRACTIONATION AND  $\delta^{18}O$  ANOMALIES OF THE INTERSTITIAL WATERS : LEG 164, BLAKE RIDGE," Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, (164), 59-66 (2000).
- 6) Nisbet, E. G., and Piper, D. J. W., "Giant submarine landslides," Nature, (392), 329-330 (1998).

(原稿受理：平成13年7月31日)