地球化学 **39**, 119 130 (2005) Chikyukagaku (Geochemistry) **39**, 119 130 (2005)

報文

富山湾海底湧水の化学成分の特徴と起源

栄養塩と溶存有機物

中 譲^{* ,†}・山 善 敬*・山 Ħ 章*・張 剄*' 浩 志** 木 麻 衣**・小 山 裕 樹**・林 清 鈴 (2004年9月2日受付,2005年3月6日受理)

Characterization and origin of chemical components in the submarine groundwater discharge in Toyama Bay

nutrient and dissolved organic matter

Yuzuru NAKAGUCHI^{*,†}, Yoshitaka YAMAGUCHI^{*}, Hiroaki YAMADA^{*}, Jing ZHANG^{**}, Mai SUZUKI^{**}, Yuki KOYAMA^{**} and Kiyoshi HAYASHI^{***}

- * Department of Chemistry, School of Science and Engineering, Kinki University 3-4-1 Kowakae, Higashiosaka, Osaka 577-8502, Japan
- ** Department of Environmental Biology and Chemistry, Faculty of Science, Toyama University, 3190 Gofuku, Toyama 930-8555, Japan
- *** Toyama prefecture fisheries experimental station
 364 Takatsuka, Namerikawa, Toyama 936-8536, Japan
- [†] Corresponding author (nakaguch@chem.kindai.ac.jp)

Nitrite + nitrate, phosphate, silicic acid and dissolved organic carbon (DOC) in the submarine groundwater discharge (S.G.D.) and the bottom water (upper 10-50 cm from the bottom) in Toyama Bay were observed. The concentrations of nitrite + nitrate and silicic acid in S.G.D. were approximately 60 and 30 times, respectively, higher than those in the bottom water. Nitrite + nitrate, phosphate and silicic acid in groundwater under an alluvial fan of Katagai River and Kurobe River were also determined. The residence time for groundwater is estimated to be long due to the high silicic acid concentration. The ratio of silicic acid/nitrite + nitrate showed that the route and origin of S.G.D. from groundwater under an alluvial fan of Katagai River. The characteristics of DOC in S.G.D. were investigated by three-dimensional excitation emission matrix spectroscopy. The fluorescent peaks which derived from humic-like and tryptophan-like substances were recognized in the bottom water. The typical fluorescent peak could not be recognized in the S.G.D. have been reported. The flux of nitrite + nitrate, phosphate and silicic acid into Toyama Bay by S.G.D. were estimated to be 2,290 ± 700, 22 ± 20 and 22,900 ± 10,400 ton/year, respectively.

Key words: submarine groundwater discharge, nutrient, dissolved organic carbon, Toyama Bay, Katagai River, Kurobe River

* 近畿大学理工学部

〒577 8502 大阪府東大阪市小若江3 4 1 ** 富山大学理学部

〒930 8555 富山市五福3190

*** 富山県水産試験場 〒936 8536 富山県滑川市高塚364 連絡先(nakaguch@chem.kindai.ac.jp)

1.はじめに

硝酸,亜硝酸,リン酸そしてケイ酸などのいわゆる 栄養塩元素は海洋の基礎生産に最も影響を及ぼす化学 成分であり,その分布挙動の解明は,内湾の生態を知 る上で大変重要である。本研究の対象海域である富山 湾は日本海に面した外洋性内湾で,中心部の水深は 1,000mに達している。富山湾へは西部では小矢部 川・庄川,そして東部では神通川・常願寺川・早月 川・片貝川・黒部川が流入し,一般的には,これら河 川水が湾への栄養塩の主な供給源と考えられている。 しかし,この湾では平均標高840mに降雨または積雪 として降り,10~20年かけて富山湾海底から湧き出る 地下水(海底湧水)の存在が確認されている。この海 底湧水は河川流出量の約3割の淡水を富山湾に供給す ると考えられており(伊藤・藤井, 1993), 富山湾の 物質収支を考える上で無視することはできない。これ まで富山平野の地下水に関しては,水素および酸素安 定同位体比分析から,その起源の推定が行われてき た。富山県西部の庄川扇状地では東西に流れる庄川と 小矢部川で Dおよび ¹⁸O値に明らかな違いが認め られ,それぞれの河川を起源とする地下水の区分が可 能とされ、さらに、これまで庄川扇状地地下水は庄川 表流水によってのみ涵養されてきたと考えられてきた が, 庄川のみならず小矢部川によっても涵養されてい ることがわかった(水谷・小田, 1983)。また,富山 平野南部の常願寺川については,常願寺川扇状地浅層 地下水はおもに常願寺川河川水と扇状地の降水により 涵養されており,従来から重要とされてきた扇丁部か らの伏流水の寄与がわずかであることが報告されてい る(水谷・桜井, 1988)。さらに黒部川扇状地におい て扇状地地下水は黒部川表層水と降水起源の地下水が ほとんどを占め,農業用水の寄与が少ないことがわ かっている(水谷ほか,2001)。しかしながら,これ までは富山湾の海底湧水と富山平野の地下水との関係 についてはほとんど議論されてこなかった。また,海 底湧水ならびに地下水中の化学成分の中でも特に,基 礎生産を支配する窒素,リンそしてケイ酸といった栄 養塩の濃度並びに富山湾への負荷量についてはほとん どわかっていない。そこで,本研究では,富山湾東部 沿岸海域で確認されている海底湧水を直接採取し,そ の中に含まれる栄養塩と溶存有機炭素の濃度を調べる ことにした。さらに海底湧水の起源を解明するため, 富山県東部の片貝川扇状地および黒部川扇状地の地下 水をそれぞれ採取し,栄養塩の定量を行った。海底湧 水および直上水については3次元励起蛍光スペクトル の測定も行い,それぞれの試料中に含まれる溶存有機 物のキャラクタリゼーションを行った。また,分析し た結果をもとに,海底湧水による栄養塩類の富山湾へ の負荷量を見積もることとした。

2. 試料および方法

2.1 試料採取

富山湾,片貝川および黒部扇状地地下水試料採取点 を Fig.1 に示した。海底湧水試料は片貝川扇状地沖 水深8m(St.A)および22m(St.B),黒部川扇状 地沖の水深17m(St.C)および33m(St.D)で2002 年4月~7月,9月,2003年2月に採取した。片貝川 扇状地(魚津)における地下水および河川水試料は自 噴井戸および汲み上げ井戸から16地点,片貝川および 早月川2地点の合計18地点で採取した。黒部川扇状地 における地下水および河川水試料は自噴水,掘りぬき 井戸,汲み上げ井戸から25地点および黒部川1地点の 合計26地点で採取した。海底湧水および湧水直上水試 料はダイバーが湧水地点まで潜水し, 湧出口にシリン ジを直接差し込み,海水が混入しないよう採取した。 なお湧水直上水試料は湧出口の10 cm から50 cm 上で 同様に採取した。地下水および河川水試料は,試料を 直接ポリエチレン製バケツまたは柄杓により採取し た。栄養塩測定用試料はポリカーボネート製スピッツ 管に,溶存有機物測定用試料は,あらかじめ電気炉内 において450℃で2時間加熱処理したガラス瓶に採取 した。採取後,溶存有機物測定用試料はガラス繊維ろ 紙 (Whatman GF/F 平均孔径0.7µm)を用いてろ過 を行った。

22 栄養塩の分析

栄養塩(亜硝酸+硝酸,リン酸,ケイ酸)の測定は BLAN+LUEBBE 社製水質自動分析装置 AACS 型を用いて行った。検出限界は亜硝酸+硝酸および亜 硝酸は0.1 µM,リン酸0.01 µM そしてケイ酸は0.1 µ M である。

23 溶存有機炭素の定量

溶存有機炭素(DOC)の定量には島津製作所製全 有機体炭素計TOC 5000を用い,高温触媒酸化法によ り行った。この分析操作は一試料つき4~5回繰り返 し行ったが,その際の繰り返し精度は3%以下であっ た。なお,分析時には約1時間おきに既知濃度に調製 したグルコース標準溶液(83 3µM)の分析を行い,



Fig .1 Locations of sampling station.

装置ブランクの変動を補正した。本法のブランク値 (装置ブランク + MilliQ 水ブランク)は32 8±7.1 µ M であり,変動係数は2.1%であった(Yamaguchi *et al.*, 2001)。

2.4 3次元励起蛍光スペクトルの測定

3次元励起蛍光スペクトルの測定には浜松ホトニク ス社製150Wキセノンランプを光源とした日立製作所 製F4500型分光蛍光光度計を用いた。分析条件は励 起光側のスリット幅を5nm,蛍光側を10nmに設定 した。分析には無蛍光セルを反射ミラー付高感度セル ホルダーに装着して行った。なお,試料の蛍光強度は 10µg/Iの硫酸キニーネ溶液(0.1N硫酸酸性)の励 起波長345nm/蛍光波長450nm付近の蛍光強度ピー クの値を10Q.S.U.(Quinine sulfate unit)として相 対蛍光強度(Relative fluorescence intensity: R.F.I.) に換算した。また,試料水中のラマン散乱光は半地幅 が狭く,目的成分のピークに与える影響が少ないこと やピークの再現性が乏しいため,試料スペクトルからの補正は行わなかった(山口ほか,2002)。

3 . 結果および考察

3.1 富山湾海底湧水の栄養塩および DOC 濃度

富山湾海底湧水の亜硝酸 + 硝酸,ケイ酸,リン酸お よび DOC 濃度の変動を Table 1 に示した(ただし, 2002年 5 月 St. B は湧水流出量も多く,直上水が湧水 の影響を直接受けていたため,直上水の平均値を求め る計算から除外した)。片貝川扇状地の延長線上 St. A および St. B の海底湧水中の亜硝酸 + 硝酸濃度はそれ ぞれ42 A ± 2 8 µM,40 A ± 1.1 µM であった。それに 対し湧水直上水中の亜硝酸 + 硝酸濃度の平均値は St. A では0.7 ± 0.6 µM,St. B では0.6 ± 0.6 µM であり, St. A の海底湧水中の亜硝酸 + 硝酸濃度は直上水に比 べ62 A ± 28.1倍,St. B では63 9 ± 29.0倍高い値を示 した。海底湧水中のケイ酸濃度については,St. A で

Nutriant	Sample	Sampling	Depth(m)	Concentratuin(μ M)					A.,	Standard	
Nutrient		Station		April, 2002	May, 2002	June, 2002	July, 2002	Sep, 2002.	Feb, 2003	Average	deviation
Nitrite+nitrate		Α	8	46.7	38.6	41.3	41.0	43.9	43.1	42.4	2.8
	SGD	В	22	42.5	40.2	40.0	39.7	39.8	40.4	40.4	1.1
	5.G.D.	С	17	72.7	69.3	69.6	68.3	68.8	69.1	69.6	1.6
		D	33	-	39.8	66.7	18.7	64.3	34.1	44.7	20.5
		A	8	0.0	0.7	0.5	1.5	-	- 1	0.7	0.6
	Bottom water	В	22	1.4	(40.4)	0.0	0.7	0.5	-	0.6	0.6
	Doctoin water	C	17	0.0	2.0	0.0	0.5	0.2	-	0.5	0.8
		D	33	-	0.7	0.0	_	0.1	-	0.3	0.4
		A	8	150	127	131	137	147	144	139	9
	800	В	22	165	143	133	152	162	154	152	12
	3.G.D.	С	17	355	307	333	355	356	368	346	22
Siliaia aaid		D	33	-	393	259	395	406	385	367	61
Silicic aciu		A	8	1.8	5.2	4.4	7.8	-	-	4.8	2.5
	Bottom water	В	22	3.4	(144)	5.6	5.9	6.4	-	5.3	1.3
		С	17	1.4	4.2	6.0	5.3	6.9	-	4.7	2.1
		D	33	-	5.9	4.4	-	4.9	-	5.1	0.8
	S.G.D.	A	8	0.06	0.00	0.04	0.28	0.52	0.06	0.16	0.20
		В	22	0.18	0.00	0.10	0.54	0.47	0.44	0.29	0.22
		C C	17	0.11	0.35	0.07	0.37	0.40	0.16	0.24	0.15
Dhaanhata		D	33	-	0.00	0.07	0.35	0.16	0.16	0.15	0.13
Filosphate	Bottom water	A	8	0.03	0.00	0.03	0.28	-	-	0.09	0.13
		В	22	0.00	(N.D).	0.00	0.40	0.08	-	0.12	0.19
		С	17	0.03	0.02	0.02	0.30	0.08	-	0.09	0.12
		D	33	-	0.00	0.00	-	0.00	-	0.00	0.00
		A	8	6.41	5.94		-	-	- 1	6.18	-
	S.G.D.	В	22	1.54	4.91	-	-	-	-	3.23	-
DOC		С	17	-	3.91	-	-	-	-	3.91	-
		D	33	3.19	2.06	-	-	-	-	2.63	-
	Bottom water	A	8	148	159	_	-	_	- 1	154	
		В	22	385	98.9	-	-	-	-	242	-
		С	17	-	101	-	-	-	-	101	-
		D	33	185	119	-	-	-	-	152	-

Table 1Changes of nutrient and dissolved organic carbon concentrations in subma-
rine groundwater discharge (S.G.D.) and bottom water in Toyama Bay.

は139 ± 9 µM, St. B では152 ± 12 µM, 直上水の平均 値は, St. A では4 8±2 5µM, St. B では5 3±1 3µ M であり, St. A および St. B の海底湧水中のケイ酸 濃度は直上水に比べそれぞれ28 9±7 5倍, 28 5±3.7 倍高い値を示した。海底湧水中のリン酸濃度について は , St. A では0 .16±0 20 μM , St. B では0 29±0 22 μM, 直上水についてはSt. A では0.09±0.13 μM, St. B では0.12±0.19µM であり, リン酸については 分析値のバラツキが大きく海底湧水と直上水の間に有 意差(P=0.05)は認められなかった。一方,黒部川 扇状地の延長線上St.Cの海底湧水中の亜硝酸+硝酸 濃度の平均値は69.6±1.6µM, St. D では44.7±20.5 µM であり,それぞれの直上水の平均値と比較すると St. Cは128 0±87 6倍そして St. Dは169 8±137 5倍 高い値であった。ケイ酸濃度の平均値についてはSt. Cは346±22 μ M,St.Dでは367±61 μ Mであり,そ れぞれの直上水の平均値4.7±2.1µM,5.1±0.8µM に比べるとSt.Cは732±149倍, St.Dでは724± 83倍高い値を示した。リン酸濃度の平均値について は St. C では0 24±0.15µM, St. D では0.15±0.13µ Mであり,先の片貝川扇状地の結果と同様に分析値 のバラツキが大きく直上水との間には有意差(P=

0.05)は認められなかった。また, DOC 濃度につい ては2002年4月ならびに5月に採取した試料について 分析を行った(なお2002年5月はSt.Cにおいてサン プリングを行わなかった)。片貝川扇状地延長線上 St. A および B の DOC 濃度の平均値はそれぞれ6.18 µM, 3 23µM であり, 直上水の平均 DOC 濃度154 µM, 242µMに比べで小さく, 海底湧水の DOC 濃 度は直上水の海底湧水の有機物含有量が極めて少ない ことがわかった。同様に黒部川扇状地延長線上のSt. C および D の海底湧水中の DOC 濃度を測定したとこ ろ, それぞれ3 91 µM, 2.63 µM であり, 先の片貝川 扇状地同様,それぞれの採水点の直上水の濃度に比べ 極めて低濃度であることがわかった。これらの結果は 海底湧水には直上水に比べて高濃度の亜硝酸+硝酸, ケイ酸が含まれているが,有機物濃度は極めて低いこ とを示している。

この湧水の底層水への影響を見るため,海底湧水お よび直上水の電気伝導度を比較した。富山湾の海底湧 水の電気伝導度は100~150µS/cmであり(張・佐 竹,2002),片貝川扇状地延長線上St.A直上水(41 mS/cm,5月),St.B直上水(42 mS/cm,5月),黒 部川扇状地延長線上St.C直上水(43 mS/cm,5月) および St. D 直上水(42 mS/cm,5月)に比べると はるかに小さな値である。また各採水点における電気 伝導度の鉛直分布からは塩分の濃度勾配は認められ ず, 湧水は底層に湧き出た後,直ちに拡散してしま う。

32 片貝川扇状地地下水中の栄養塩濃度

片貝川扇状地地下水,片貝川および早月川河川水中 の栄養塩濃度を Table 2 に示した。亜硝酸+硝酸濃度 については,その平均値が100µMを超える試料採取 点はU4,5,6,8,11,12,14,15であった。 その中でも特にU6(133±32µM)とU11(207±20 µM)は高く,U11は飲料水の環境基準10 mg/l(161 µM)を上回っていた。また,試料採取を開始した2 月から濃度の減少する季節変化が認められた。U1, 2,4,8,10,12,13,15は変動係数(Coefficient of variation: C.V.)が5%以下で変動が小さく,一年を

Table 2Changes of nutrient concentations in groundwater under an alluvial fan and
river water of the Katagai River and the Hayatsuki River.

Nutrient Sampling station Feb, 2002 Mar., 2002 April, 2002 May, 2002 Jul., 2002 Sep., 2002 Average deviation C.V. Nitrite+nitrate U1 67.4 67.8 64.8 68.6 67.8 67.6 67.3 1.3 2 U2 43.0 42.0 43.2 44.6 43.4 43.3 0.8 2 U3 11.9 11.9 11.1 10.9 11.0 10.0 11.1 0.7 6 U4 95.5 100 105 104 103 97.6 100 7 7 U6 176 155 146 122 96.2 100 133 32 24 U7 37.2 39.7 41.1 42.3 40.8 33.8 39.1 3.1 8 U8 119 117 116 118 116 118 117 1 1 U9 0.2 1.4 0.0	01 (11)
Nitrite+nitrate U1 67.4 67.8 64.8 68.6 67.8 67.6 67.3 1.3 2 U2 43.0 42.0 43.2 44.6 43.4 43.3 0.8 2 U3 11.9 11.9 11.1 10.9 11.0 10.0 11.1 0.7 6 U4 95.5 100 105 104 103 97.6 101 4 4 U5 109 97.7 103 105 89.3 97.5 100 7 7 U6 176 155 146 122 96.2 100 133 32 24 U7 37.2 39.7 41.1 42.3 40.8 33.8 39.1 3.1 8 U8 119 117 116 118 116 118 117 1 1 U9 0.2 1.4 0.0 0.4 1.7 0.9 0.8 0.7	(%)
U2 43.0 42.0 43.2 44.6 43.4 43.3 0.8 2 U3 11.9 11.9 11.1 10.9 11.0 10.0 11.1 0.7 6 U4 95.5 100 105 104 103 97.6 101 4 4 U5 109 97.7 103 105 89.3 97.5 100 7 7 U6 176 155 146 122 96.2 100 133 32 24 U7 37.2 39.7 41.1 42.3 40.8 33.8 39.1 3.1 8 U8 119 117 116 118 116 118 117 1 1 U9 0.2 1.4 0.0 0.4 1.7 0.9 0.8 0.7 89 U10 30.2 30.6 28.6 30.6 26.6 29.5 29.3 1.5 5	
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	
U4 95.5 100 105 104 103 97.6 101 4 4 U5 109 97.7 103 105 89.3 97.5 100 7 7 U6 176 155 146 122 96.2 100 133 32 24 U7 37.2 39.7 41.1 42.3 40.8 33.8 39.1 3.1 8 U8 119 117 116 118 116 118 117 1 1 U9 0.2 1.4 0.0 0.4 1.7 0.9 0.8 0.7 89 U10 30.2 30.6 28.6 30.6 26.6 29.5 29.3 1.5 5 U11 241 202 215 202 198 181 207 20 10 U12 109 109 108 111 113 115 111 3 2	
U5 109 97.7 103 105 89.3 97.5 100 7 7 U6 176 155 146 122 96.2 100 133 32 24 U7 37.2 39.7 41.1 42.3 40.8 33.8 39.1 3.1 8 U8 119 117 116 118 116 118 117 1 1 U9 0.2 1.4 0.0 0.4 1.7 0.9 0.8 0.7 89 U10 30.2 30.6 28.6 30.6 26.6 29.5 29.3 1.5 5 U11 241 202 215 202 198 181 207 20 10 U12 109 109 108 111 113 115 111 3 2 U13 61.1 58.9 55.6 55.9 56.1 56.0 57.3 2.2 4 </td <td></td>	
U6 176 155 146 122 96.2 100 133 32 24 U7 37.2 39.7 41.1 42.3 40.8 33.8 39.1 3.1 8 U8 119 117 116 118 116 118 117 1 1 U9 0.2 1.4 0.0 0.4 1.7 0.9 0.8 0.7 89 U10 30.2 30.6 28.6 30.6 26.6 29.5 29.3 1.5 5 U11 241 202 215 202 198 181 207 20 10 U12 109 109 108 111 113 115 111 3 2 U13 61.1 58.9 55.6 55.9 56.1 56.0 57.3 2.2 4	
U7 37.2 39.7 41.1 42.3 40.8 33.8 39.1 3.1 8 U8 119 117 116 118 116 118 117 1 1 U9 0.2 1.4 0.0 0.4 1.7 0.9 0.8 0.7 89 U10 30.2 30.6 28.6 30.6 26.6 29.5 29.3 1.5 5 U11 241 202 215 202 198 181 207 20 10 U12 109 109 108 111 113 115 111 3 2 U13 61.1 58.9 55.6 55.9 56.1 56.0 57.3 2.2 4	ł
U8 119 117 116 118 116 118 117 1 1 U9 0.2 1.4 0.0 0.4 1.7 0.9 0.8 0.7 89 U10 30.2 30.6 28.6 30.6 26.6 29.5 29.3 1.5 5 U11 241 202 215 202 198 181 207 20 10 U12 109 109 108 111 113 115 111 3 2 U13 61.1 58.9 55.6 55.9 56.1 56.0 57.3 2.2 4	
U90.21.40.00.41.70.90.80.789U1030.230.628.630.626.629.529.31.55U112412022152021981812072010U1210910910811111311511132U1361.158.955.655.956.156.057.32.24	
U10 30.2 30.6 28.6 30.6 26.6 29.5 29.3 1.5 5 U11 241 202 215 202 198 181 207 20 10 U12 109 109 108 111 113 115 111 3 2 U13 61.1 58.9 55.6 55.9 56.1 56.0 57.3 2.2 4)
U112412022152021981812072010U1210910910811111311511132U1361.158.955.655.956.156.057.32.24	
U12 109 109 108 111 113 115 111 3 2 U13 61.1 58.9 55.6 55.9 56.1 56.0 57.3 2.2 4)
U13 61.1 58.9 55.6 55.9 56.1 56.0 57.3 2.2 4	
U14 100 137 123 136 138 136 128 15 12	2
U15 119 118 121 117 122 120 120 2 2	
U16 66.2 67.6 85.6 83.7 70.2 84.9 76.4 9.3 12	2
Katagai River (KAR) 36.6 37.8 29.3 – 21.7 40.6 33.2 7.7 23	}
Hayatsuki River (HAR) – – 27.3 20.2 13.3 145 51.4 62.6 122	2
Silicic acid U1 315 318 320 331 307 346 323 14 4	
U2 378 375 382 404 352 417 385 23 6	
U3 435 487 – 505 342 578 469 88 19)
U4 121 123 117 119 117 131 121 5 4	
U5 137 137 136 141 148 162 143 10 7	
U6 118 121 119 113 117 123 119 3 3	
U7 127 129 128 123 133 139 130 5 4	
U8 213 221 214 225 168 245 214 25 12	2
U9 363 205 321 337 207 496 321 109 34	ł
U10 404 439 373 443 416 553 438 62 14	ł
U11 133 126 120 124 90.0 141 122 18 14	ł
U12 190 214 225 213 188 243 212 21 10)
U13 185 188 186 185 191 206 190 8 4	
U14 95.3 88.8 86.7 79.2 88.5 122 93.4 14.8 16	;
U15 336 334 354 178 291 371 311 70 23	}
U16 276 291 209 225 267 268 256 32 12	2
Katagai River (KAR) 185 160 78.5 - 92.4 199 143 55 38	3
Havatsuki River (HAR) – – 81.0 79.6 33.9 163 89.3 53.6 60)
Phosphate U1 328 309 298 - 298 301 307 011 4	
U2 542 554 536 558 532 496 536 020 4	
U3 349 378 337 403 356 369 369 023 6	
	L
U5 021 026 020 019 025 013 021 004 21	
	0
	ĩ
	ł
	4
U10 152 155 165 185 123 181 160 021 13	}
U11 015 013 005 009 009 000 008 005 58	3
U12 085 086 079 083 076 089 083 004 5	
	ł
	8
)
	5
Katagai River (KAR) 0.18 0.15 0.02 3.41 0.26 0.00 0.67 123 184	4
Havatsuki River (HAR) – – 0.05 0.06 0.17 22.48 5.69 9.69 170	O

通じ,硝酸+亜硝酸濃度に顕著な差は認められなかった。ケイ酸についてはU1,2,3,8,9,10,12, 15,16でその平均濃度は200µMを超えている。また U1,2,3,8,11では2月から6月にかけて濃度は 徐々に増加するものの7月には一旦濃度が減少し,9 月に再び増加する傾向を示した。U1,4,6,7,13 についてはC.V.が5%以下で,これら採水点の地下 水中のケイ酸濃度は一年を通じ安定している。リン酸 については,ほとんどの採水点で1.00µM以下の低 い濃度を示した。それに対し,U1,2,3,10では 比較的濃度は高く,U10を除く3点では3.00µM以上 の高濃度を示した。

33 黒部川扇状地地下水中の栄養塩濃度

黒部川扇状地地下水中および黒部川河川水中の栄養 塩濃度をTable3に示した。亜硝酸+硝酸について は,その平均濃度が100 µMを越したのはK2,3, 4,12,13,15,20,21,22で,今回試料採取した採 水点の約35%を占めていた。この中で K13(186±31 µM)は地下水の環境基準を超えていた。ケイ酸につ いては,その平均濃度が200 µMを超えたのはK5, 7,14,15であった。リン酸については,その平均濃 度はほとんどの採水点で1.00 µ M 以下であったが, K 5,7,12,13が比較的高濃度を示した。その中でも K5,7は最も高い値を示し,それぞれ6.12,6.13µ Mであった。ここでは,ケイ酸濃度も最も高く,さ らに亜硝酸+硝酸もそれぞれ14 8,15 0µMとほぼ 同じ値を示し,この採水点は距離的にも近く,地下水 の起源が同一であることは言うに及ばず,他の採水点 とは帯水層の地質すなわち化学組成が大きく異なる可 能性を示唆した。

3.4 片貝川・黒部扇状地地下水の栄養塩

窒素およびリンは生物にとって最も重要な栄養素の 一つであり、それぞれ土壌生態系においては微生物を 介した代謝過程が存在する。従って地下水中の栄養塩 の分布挙動および起源を解明するためには、これら土 壌生態系からの寄与を考慮する必要がある。さらに、 地下水の硝酸汚染の例に見られるように、人為的に汚 染された土壌からの寄与も考慮する必要がある。土壌 中で窒素およびリンは動植物に摂取されたのち、腐植 化などを経て土壌有機物となる。土壌有機物中におけ る全窒素:全リン比は約10:1であり(坂本、2000)、 地下水中の窒素とリンが土壌有機物の無機化(分解) によりもたらされると仮定すると、その存在比はこの 比を反映すると考えられる。一方、地下水中のケイ酸

の起源は主にケイ酸塩鉱物と考えられるが,その化学 風化速度は小さく,帯水層を移動する地下水中のケイ 酸濃度の増加は岩石中のケイ酸塩鉱物の連続的な風化 分解によると考えられている (Haines and Lloyd, 1985)。そこで,片貝川扇状地地下水(片貝川,早月 川含む)および黒部川扇状地地下水中の[亜硝酸+硝 酸]/[リン酸]比を計算し,結果をTable4に示し た。片貝川扇状地地下水においては,U1,2,3, 9,10の[亜硝酸+硝酸]/[リン酸]比はそれぞれ 219,81,30,12,183で,黒部川扇状地におい ては K5,7 はともに24,黒部川河川水が205であ リ,他の採水点の値が数100~数1,000であるのに比べ ると低く,土壌有機物中の全窒素/全リン比に近い。 一方, ケイ酸濃度を見ると, 片貝川扇状地地下水 U 2,3,9,10,黒部川扇状地地下水K5および7は 300 µM を越えている。この結果は,[亜硝酸+硝酸] /「リン酸]比の比較的小さな地下水は一見,窒素お よびリンが土壌有機物を起源にしていると考えられる が,一方,ケイ酸の結果からはその滞留時間が比較的 長く、これら地下水中の窒素やリン酸が土壌有機物の 分解よりむしろ,長期間地層を流下してくる過程でケ イ酸塩鉱物から溶出してくる可能性が高いこと (Haines and Lloyd, 1985)を示している。

一方,亜硝酸+硝酸濃度が高いため「亜硝酸+硝酸] /[リン酸]比が大きな値を示す,例えば片貝川扇状 地地下水U4,5,6,8,11,12,14,15および黒 部川扇状地地下水K2,3,4,13,15,20,21,22 については,別の起源を考える必要がある。日高 (1992)は地下水中の硝酸態窒素濃度は水田地帯では 比較的低濃度であるのに対し,普通畑地帯,集約畑地 帯になるにつれて増大し茶園や畜産地帯に近い地下水 では極めて高濃度となることを報告している。また, 臼田ほか(1990)は同様に野菜や果樹園で基準値をは るかに超えることを報告している。通常畑地帯に施用 される窒素肥料は硫安(アンモニア態窒素)である が,これは即効性であるため,速やかに土壌溶液中に 溶け出し, 硝化細菌により硝酸態窒素に酸化される (坂本,2000)。これらの結果からは地下水に見出さ れる亜硝酸+硝酸の高濃度の第一の原因は肥料として 施用されたアンモニア態窒素が酸化したが原因と思わ れる。しかし,近年,地下水に見出される高濃度窒素 の起源として,肥料などの農業由来以外,例えば,埋 め立てされたゴミからの溶出,下水道からの漏れ,ガ ス工場なども起源と考えられており(Wakida and

Nutrient	Sampling station	Concentration(μ M)			Average	Standard	C.V.(%)
Nitrite+nitrate	K1	June, 2002	July, 2002 63.5	Nov., 2002	68.4	deviation 4 9	7
Nunceinnuace	K1 K2	157	142	176	158	17	11
	К3	132	128	129	130	2	1
	K4	116	-	108	112	6	5
	K5	14.0	15.4	15.1	14.8	0.7	5
	K6	34.0	35.7	43.8	37.8	5.2	14
	K8	88.6	79.5	83.5	83.9	4.5	5
	K9	33.0	31.8	42.1	35.6	5.6	16
	К10	49.7	49.8	29.1	42.9	11.9	28
	K11	19.6	23.0	20.4	21.0	1.8	9
	K12	88.3	-	121	105	23	22
	K13 K14	215	153	190	186	31	1/
	K14	103	104	113	107	6	5
	K16	75.1	29.1	58.9	54.4	23.4	43
	K17	22.8	17.4	14.4	18.2	4.2	23
	K18	15.6	15.3	17.5	16.2	1.2	7
	K19	78.6	77.8	62.8	73.1	8.9	12
	K20	107	108	-	107	1	1
	K21 K22	127	120	198	150	41	2/
	K22	48.0	47.4	45.8	47.1	1.1	2
	K24	21.9	22.0	15.2	19.7	3.9	20
	K25	-	38.3	39.0	38.6	0.5	1
	Kurobe River (KUR)	14.1	9.9	16.9	13.6	3.5	26
Silicic acid	K1	178	209	103	163	54	33
	K2	96.6	95.1	51.1	81.0	25.9	32
	N3 K4	220	88 _	99	163	70 96	50 59
	K5	331	434	432	399	59	15
	K6	156	63	155	125	54	43
	K7	392	246	450	362	105	29
	K8	168	93.0	88.3	116	45	38
	K9	122	76	124	107	27	25
	K10 K11	69.4 107	113	182	122	5/ 27	4/
	K11	84.0	-	101	92.7	12.3	13
	K13	85.9	104.8	75.3	88.7	15.0	17
	K14	325	-	308	317	12	4
	K15	202	347	168	239	95	40
	K16 K17	150	159	14/	152	0	4
	K17	157	152	158	156	3	2
	K19	204	113	142	153	46	30
	K20	180	154	-	167	18	11
	K21	151	109	106	122	25	21
	K22	238	142	125	168	61	36
	K23 K24	220	91.2	92.8	135	74 35	22
	K25	-	63.0	109	86.1	32.7	38
	Kurobe River (KUR)	18.1	88.7	145	84.1	63.7	76
Phosphate	K1	0.57	0.42	0.43	0.47	0.09	18
	K2	0.05	0.03	0.00	0.02	0.02	98
	K3	0.36	0.4/	0.35	0.39	0.07	17
	K5	6.00	6.36	6.00	0.40 6.12	0.08	3
	K6	0.26	0.32	0.32	0.30	0.03	12
	K7	6.02	6.28	6.10	6.13	0.13	2
	K8	0.55	0.35	0.43	0.44	0.10	23
	K9	0.32	0.22	0.30	0.28	0.05	18
	K10 K11	0.52	0.24	0.17	0.31	0.19	60
	K11	1.59	0.20	1.28	1.43	0.09	16
	К13	1.45	1.35	0.77	1.19	0.37	31
	K14	0.65	-	0.50	0.57	0.11	19
	K15	0.45	0.58	0.46	0.50	0.08	15
	K16	0.28	0.18	0.15	0.20	0.07	33
	K1/ K10	0.16	0.08	0.11	0.12	0.04	30
	K19	0.27	0.18	0.12	0.10	0.06	49
	K20	0.27	0.27	-	0.27	0.00	0
	K21	0.11	0.19	0.15	0.15	0.04	25
	K22	0.10	0.29	0.20	0.20	0.09	46
	K23	0.26	0.36	0.27	0.30	0.06	19
	r.24 K25	0.15	0.15	0.06	0.12	0.05	40 61
	Kurobe River (KUR)	0.46	1.46	0.07	0.67	0.71	108

Table 3Changes of nutrient concentations in groundwater under an
alluvial fan and river water of the Kurobe River.

Table 4 [Nitrite+nitrate] / [Phosphate] and [Silic acid] / [Nitrite+nitrate] ratios in submarine groundwater discharge, groundwater and river water.

Sample	Sampling station	[Nitrite+nitrate]	[Silicic acid]	
		/[Phosphate]	/[Nitrite+Nitrate]	
Submarine	A	265±137	3.3±0.1	
discharge	В	140±44	3.7±0.1	
	U1	21.9±0.4	4.8±0.1	
	U2	8.1±0.1	8.9±0.2	
	U3	3.0±0.1	42.2 ± 3.7	
	U4	344 ± 34	1.2±0.0	
	U5	483±44	1.4±0.1	
	U6	2210±930	0.9 ± 0.1	
Groundwater of	U7	691±217	3.3±0.1	
an alluvial fan of	U8	486 ± 55	1.8±0.1	
Kotogoj Divor	U9	1.2±0.7	425±166	
Katagai River	U10	18.3±1.0	14.9±0.9	
	U11	2430 ± 590	0.6 ± 0.0	
	U12	133±3	1.9 ± 0.1	
	U13	250±12	3.3±0.1	
	U14	4560 ± 2020	0.7±0.1	
	U15	220±9	2.6 ± 0.2	
	U16	870±165	3.4±0.2	
Discontraction	Katagai River (KAR)	49.6±37.5	4.3±0.9	
River water	Hayatsuki River (HAR)	9.0 ± 9.5	1.7±1.2	
Submarine	С	286±70	5.0 ± 0.1	
discharge	D	302 ± 135	8.2±1.8	
	K1	144±16	2.4 ± 0.5	
	K2	6400±3640	0.5 ± 0.1	
	К3	333±33	1.1 ± 0.3	
	K4	242±30	1.5 ± 0.6	
	K5	2.4±0.1	26.9 ± 2.4	
	K6	126±13	3.3 ± 0.9	
	K7	2.4±0.1	24.2 ± 4.1	
	K8	190±26	1.4 ± 0.3	
	К9	127±18	3.0 ± 0.5	
	K10	138±53	2.8 ± 0.9	
	K11	96.4±24.3	8.3±1.1	
Groundwater of	K12	73.1±14.0	0.9 ± 0.2	
an alluvial fan of	K13	156±32	0.5 ± 0.1	
Kurobe River	K14	118±28	4.7±0.9	
	K15	216±20	2.2 ± 0.5	
	K16	268±84	2.8 ± 0.7	
	K17	156±38	6.9 ± 1.0	
	K18	101 ± 35	9.6 ± 0.4	
	K19	622±182	2.1 ± 0.4	
	К20	396±2.1	1.6 ± 0.1	
	K21	1000 ± 214	0.8±0.2	
	К22	610±162	1.4 ± 0.3	
	К23	157±17	2.9 ± 0.9	
	К24	163 ± 43	7.6 ± 1.3	
	K25	163+70	2.2 ± 0.6	
River water	Kurobe River (KUR)	20.5 ± 13.1	6.2±2.9	

Lerner, 2005), 今後これらの可能性についても調査 する必要があると考えられる。

3.5 ケイ酸濃度/亜硝酸+硝酸濃度比による富山 湾海底湧水の起源の推定

これまで,地下水の溶存成分の起源を推定する方法 としては,水素および酸素安定同位体比や溶存成分濃 度($Na^{+} + K^{+}, Ca^{2^{+}}, Mg^{2^{+}}, Cl^{-}, HCO_{3^{-}}, SO_{4^{2^{-}}}$)の 平均値をヘキサダイヤグラムとして表わすことなどが ある。先にも述べたが地下水中のケイ酸濃度はその滞 留時間を,また亜硝酸+硝酸濃度は陸上に施用された 肥料量を示すものと考えられる。ここではケイ酸と亜



Fig. 2 Relationship between the silicic acid concentration and nitrite+nitrate concentration in submarine groundwater discharge and groundwater under an alluvial fan of Katagai River and Hayatsuki River : Groundwater, : Katagai River, : Hayatsuki River, : S.G.D. at St. A, : S.G.D. at St. B.

硝酸 + 硝酸の濃度相関 ([ケイ酸]/[亜硝酸 + 硝酸] 比)から富山湾海底湧水の起源の指定を試みた。

Fig.2に片貝川扇状地延長線上St.A, Bおよび地 下水中のケイ酸濃度と亜硝酸+硝酸濃度の相関図を, Fig.3に黒部川扇状地延長線上St.C,Dおよび地下 水中のケイ酸濃度と亜硝酸+硝酸濃度の相関図を,ま た Table 4 に海底湧水,扇状地地下水,河川水中の [ケイ酸]/[硝酸+亜硝酸]比の数値をそれぞれ示し た。片貝川扇状地延長線上 St. A および B の[ケイ酸] /[亜硝酸+硝酸]比はともに33±0.1であり,この 2つの湧水の [ケイ酸]/[亜硝酸+硝酸]比には有意 な差(P=0.05)は認められず,同じ水でありことが わかる。片貝川扇状地地下水中の [ケイ酸]/[亜硝酸 + 硝酸]比でそれと近い値を示したのは, U7 (33 ±0.1), U13(33±0.1), U16(34±02)であり, Fig.1の試料採取点を見ると,これら試料採取点は 全て直線上に位置しており,同じ起源の地下水がU 16,13そして7を流下して湧き出たものと推測するこ とができる。黒部川扇状地延長線上St.CおよびD の[ケイ酸]/[亜硝酸+硝酸]比はそれぞれ5.0± 0.1,82±18であり,この2つの湧水の[ケイ酸]/



Fig. 3 Relationship between the silicic acid concentration and nitrite+nitrate concentration in submarine groundwater discharge and groundwater under an alluvial fan of Kurobe River : Groundwater, : S.G.D. at St. C, : S.G.D. at St. D, : Kurobe River.

[亜硝酸+硝酸]比には有意な差(P=0.05)が認め られ,St.CおよびDは起源の異なる地下水が湧き出 ていると推測することができる。またSt.CおよびD はともにケイ酸濃度は低く,亜硝酸+硝酸濃度は高 く,滞留時間が比較的短い地下水が,湧き出たものと 推測することができる。黒部川扇状地地下水試料中で [ケイ酸]/[亜硝酸+硝酸]比が海底湧水のそれと近 い値を示したのは,St.Cに対してK14(47±09) のみであった。この結果から,St.Cの海底湧水はK 14を流下して湧き出ている可能性を示唆することがで きるが,片貝川扇状地地下水のように明瞭な結果は得 ることができなかった。

3.6 3次元励起蛍光法による富山湾海底湧水および扇状地地下水のキャラクタリゼーション

天然水中の溶存有機物の中でも,腐植様物質はその 中に含まれる官能基の種類,例えばカルボキシル基, カルボニル基およびフェノール性水酸基等により特異 的な蛍光特性を持つことが知られており,Coble (1996)らは天然水中の有機化合物の蛍光特性を利 用し,励起スペクトル・蛍光スペクトル・蛍光強度を 3次元的に表す手法(3次元励起・蛍光スペクトル 法)を様々な天然水試料に適用し,溶存有機物質の キャラクタリゼーションを行った。この方法による と,トリプトファンや腐植様物質は特異的なスペクト ルパターンを示し,その定性および定量分析が励起・ 蛍光波長および強度より可能であった。ここでは,海 底湧水,湧水直上水および表層海水の3次元励起蛍光 スペクトルを測定し,その分光学的特性からそれぞれ の試料水に含まれる溶存有機物質の起源の推定を行っ た。

Fig.4に片貝川扇状地延長線上海底湧水,直上水 および表層海水の3次元励起・蛍光スペクトルを,ま た腐植用物質ならびにトリプトファン・タンパク様物 質の励起紀・蛍光波長における蛍光強度を Table 5 に 示した。海底湧水中 (Fig.4の^(A), ^(B)) には特にピー クと確認できるものは認められなかった。それに対 し, 直上水 (Fig.4の(C), (D)) には励起波長345 nm / 蛍光波長470 nm 付近に Peak 1 が, 励起波長275 nm / 蛍光波長335 nm 付近に Peak 2 が確認された。 この2つのピークは表層海水(Fig.4の(E)(E))に も見出され, Peak 1 および Peak 2 が水深には関係な く海水中に存在する成分であることがわかる。Peak 1はCoble (1996) が報告している河川水中のフル ボ酸のピーク位置(励起波長325 nm/蛍光波長450 nm)や土壌から抽出されたフルボ酸のピーク位置(励 起波長350 nm / 蛍光波長490 nm) とほぼ一致するこ とから,このピークはフルボ酸に由来し,河川すなわ ち片貝川河川水より供給されたもの推定することがで きる。また Peak 2 はトリプトファンまたはタンパク 様物質のピーク位置(励起波長275 nm / 蛍光波長340 nm)と類似することから、このピークはトリプトファ ンもしくはタンパク様物質に由来すると考えられる。 山口らは三重県五ヶ所湾中にも同様なピークの存在を 確認しており, Peak 2 と波長が一致する Peak C (励 起波長275~280 nm / 蛍光波長345~355 nm) につい ては湾内に生息するバクテリアの培養液にも同じ蛍光 極大ピークが認められたことから,植物プランクトン などの光合成生物に由来するのではなく,湾内に生息 するバクテリア等の微生物を起源にするものと考えら れる。直上水や表層海水からは2つの蛍光強度ピーク を確認することができたが,片貝川海底湧水の3次元 励起蛍光スペクトルからは,陸起源フルボ酸や微石物 由来物質のピークは検出されておらず,有機物をほと んど含まない水と特徴付けることができる。

3.7 海底湧水による栄養塩負荷量の見積もり

海底湧水および富山湾に流入する主要河川から富山 湾に供給される栄養塩の年間負荷量を見積もった



Fig .4 Three dimensional excitation emission matrix spectra in submarine groundwater discharge, bottom water and surface water in the Toyama Bay.

Table 5Relative fluorescence intensity of humic
like substances in submarine groundwa-
ter discharge (S. G. D.), botom water and
surface water in Toyama Bay.

			Relative Fluorescent Intensity (Q.S.U.)					
Sample	Sampling	Denth(m)	Peak 1 ^{*1}	Peak 2 ^{*2} Ex.275~280 /Em.335~345				
Jampie	station	Deput(iii)	Ex.325~350nm					
			/Em.470~490nm					
800	Α	8	(0.54)	(1.38)				
3.G.D.	В	22	(0.46)	(1.46)				
Datter weeks	Α	8	0.83	2.09				
Bottom water	В	22	0.90	2.21				
Surface water		0	1.83	4.24				
*1:Humic-like substances, *2:Tryptophan-like, protein-like								

() is not recognized as a peak

(Table 6)

伊藤,藤井(1993)によると富山県に降った年間総降雨量201.02億m³のうち,47.55億m³が蒸発し, 120.60億m³が河川水として,33.13億m³が海底湧水として富山湾に流出すると考えられている。そこで, この富山湾に流入する年間湧水量と,先に求めた海底 湧水中の栄養塩濃度から,(1)式により,湧水により富 山湾に供給される窒素(湧水中には亜硝酸はほとんど 検出されず,亜硝酸+硝酸のほとんどは硝酸態窒素と

Table 6Total flow, nutrient concentrations of submarine groundwater discharge (S.
G.D.) and the major river in Toyama Prefecture, and flux of nutrient into
Toyama Bay.

	Total flow (x10 ⁸ m ³)	NO ₃ -N (mg/L)	Flux of N as NO₃−N into Toyama Bay (ton/year)	SiO ₂ (mg/L)	Flux of Si as SiO ₂ into Toyama Bay (ton/year)	ΡΟ ₄ –Ρ (μ g/L)	Flux of P as PO₄−P into Toyama Bay (ton/year)
S.G.D.	33.13 ^{*1}	0.69±0.21*2	2290±700	6.91±3.14 ^{*2}	22900±10400	$6.5 \pm 5.9^{*2}$	22±20
River ^{*3}	92.39 ^{*4}	0.18*5	1660	13.7 ^{*5}	127000	20 ^{*5}	185

*1:Ito and Fujimura (1993)

*2:This work

*3:Kurobe River + Jyoganji River + Jinzu River + ShoRiver + Oyabe River

*4:River Bureau, Ministry of land, infrastructure and transport, Japan (2001)

*5:Kobayashi (1960) Average concentration of nutrient in 42 river waters at Chubu area in Japan

する),リンそしてケイ素の年間負荷量を見積もった。また,⁽²⁾式により富山湾に流入する主要河川(黒部川,常願寺川,神通川,庄川,小矢部川)から負荷 される窒素,リンそしてケイ素の負荷量と比較した。

- 湧水からの年間負荷量 = 湧水として流入する量^{*1}×
 栄養塩濃度^{*2}
 河川からの年間負荷量 = 主要河川の年間総流入量^{*3}
 - ×栄養塩濃度*4 (2)

*1:伊藤,藤井の推定値33.13億m³,*²:本研究に よる結果,*³:小矢部川,庄川,神通川、常願寺川, 黒部川の年総量合計92.39億m³(流量年表, 2001),*⁴:中部地方42河川の栄養塩濃度の平均値 (Kobayashi, 1960)

なお計算には片貝川扇状地延長線上St.A および B,黒部川扇状地延長線上St.CおよびDの地下冷湧 水中の栄養塩濃度の全平均値(窒素態窒素:0.69± 0 21 mg/l (n=23); リン酸態リン:65±59µg/l (n =23); ケイ酸態ケイ素: 6 91±3.14 mg/l (n=23)) を用いた。主要河川の流量は流量年表 (2001), 河川 水中の硝酸態窒素濃度(0.18 mg/l), リン酸態リン濃 度(20µg/l)およびケイ酸態ケイ素濃度(13.7 mg/l) は中部地方42河川の栄養塩濃度の平均値 (Kobayashi, 1960)を用いた。計算の結果,富山湾へ海底湧水に より硝酸態として負荷される窒素量は2,290±700 ton/ year と見積もられ,富山湾へ流入する主要河川によ る窒素の年間負荷量1,660 ton/year と比べるとやや高 い値を示した。リン酸として負荷されるリンの量は22 ±20 ton/year と見積もられ,主要河川によるリンの 負荷量20 ton/year よりも小さい値であった。ケイ酸 として負荷されるケイ素の量は22,900±10,400 ton/ year と見積もられ,主要河川による負荷量127,000 ton/year に比べるとかなり小さな値を示した。以上 の結果より,海底湧水は栄養塩でも特に窒素の富山湾 への主要な供給源となるが,リンやケイ素の供給量は 河川に比べて少ないことが分かった。

4.**まとめ**

富山湾東部の片貝川扇状地および黒部川扇状地延長 線上に位置する海底より海底湧水を直接採取し,栄養 塩および溶存有機炭素の定量を行った。その結果,栄 養塩でも特に亜硝酸+硝酸,ケイ酸は直上水に比べ高 濃度であること,また有機物量は直上水に比べて極め て低濃度であることがわかった。それぞれの扇状地に おいて地下水試料を採取し,同様に栄養塩の定量を 行った。その結果,採水点により濃度は異なり,[亜 硝酸+硝酸]/[リン]比が比較的小さな試料について はケイ酸濃度が高く,この地下水が長期間地層を流下 した,比較的滞留時間が長い試料である可能性が示唆 された。それに対し [亜硝酸 + 硝酸]/[リン] 比が大 きい地下水試料については,人為的に施用された化学 肥料の影響が大きい試料である可能性が示唆された。 片貝川扇状地延長線上の海底湧水,扇状地地下水の [ケイ酸]/[亜硝酸+硝酸]比から海底湧水が流下し た経路が明らかとなった。3次元励起蛍光スペクトル により海底湧水のキャラクタリゼーションを行った。 その結果、海底湧水のスペクトルからは有機物の起源 を推定するピークは見出すことができなかった。一 方,直上水にはフルボ酸の他,湾内の微生物に由来す る物質の存在が認められ,フルボ酸様物質は流入する 片貝川より供給される可能性,またトリプトファン 様・タンパク様物質は湾内に生息するバクテリアに由 来する可能性が示唆された。今回得られた海底湧水中 の栄養塩の分析結果を用い,海底湧水による富山湾へ の栄養塩に負荷量を見積もった。その結果,窒素(硝 酸態窒素として)の年間負荷量は2 290 ± 700 ton/ year, リン(リン酸として)は22±20 ton/year そし てケイ素 (ケイ酸として)は22,900±10,400 ton/year

であり,窒素に限ってみれば,富山湾に流入する主要 河川の約14倍量の窒素を富山湾へ供給する可能性を 示した。

引用文献

- 張勁, 佐竹洋 (2002) 富山湾における海底湧水.海洋 と生物, 141, 294 301.
- 日高伸(1992)肥効調節型肥料導入実験事業の取組状況.季刊肥料時報,366,37 39.
- Coble, P. G. (1996) Characterization of marine and terrestrial DOM in seawaterusing excitationemission matrix spectroscopy. *Mar. Chem.* 325 346.
- Haines, T. S. and Lloyd, J. W. (1985) Controls on silica in groundwater environments in the united kingdom. J. Hydrology 81, 277–295.
- 伊藤俊昭,藤井昭二(1993)富山堆積盆地の地下水の 収支.富山県地学地理学研究論集,10,314.
- Kobayashi, J. (1960) A chemical study of the average quality and characteristics of river water of Japan, Ber. Ohara In St. Landwirtschaft. Biol., Okayama Univ. 11, 313.
- 水谷義彦,小田松尚(1983)安定同位体比による富山 県庄川扇状地地下水のかん養源および流動状況の 研究.地球化学,17,19.
- 水谷義彦,桜井和浩(1988)安定同体および化学デー

タによる富山県常願寺川扇状地地下水かん養源の 同定.京都大学防災研究所年報,31,No.2, 317 324.

- 水谷義彦,佐竹洋,山邊綾子,宮地ひろみ,間瀬暢彦, 山村嘉代子(2001)扇状地浅層地下水の水素およ び酸素同位体比.地下水学会誌,43,311.
- 流量年表 平成13年度(2001)国土交通省河川局編, (社)日本河川協会,第54回
- 坂本一憲 (2000) 地下水水質の基礎.日本地下水学会 編,第7章地中における微生物と化学,p.97 112.
- 臼田誠,浅沼信治,佐々木喜一郎,黒沢和雄,松島松 翠(1990)地下水中の硝酸態窒素濃度の1年間の 変動.日農医誌,39,726727.
- Wakida, F. T. and Lerner, D. N. (2005) Nonagricultural sources of groundwater nitrate:a review and case study. *Water Research* 39, 3 16.
- Yamaguchi, Y., Nakaguchi, Y., Hattori, H., Kimura, M. and Hiraki, K. (2001) Anomalous distribution of dissolved organic carbon in the Sea of Japan. *Geochem. J.* **35**, 355–364.
- 山口善敬,中口譲,秦野善行,荒木祥子,今中麻幸代, 高柳和史,坂見知子,紀本岳志,平木敬三(2002) 三次元励起・蛍光光度法による沿岸域での溶存有 機物の起源の推定.日本海水学会誌,56,4756.