

# 沖縄県における環境水および特定施設排水の水質組成の把握

城間一哲

Studies on Chemical Characteristics of Environmental Waters and Effluents from Specified Facilities in Okinawa

Ittetsu SHIROMA

**要旨**：沖縄県では、河川や海域等の公共用水域における水質汚濁事例が度々発生している。それが発生した際、当研究所では必要に応じ原因究明のための調査を行っている。調査にあたっては、事故時の水質と比較するために平常時の水質を把握しておく必要がある。そこで今回、県内の環境水および特定施設排水のイオン類の水質組成の把握を目的に調査した。その結果、環境水試料のうち、沖縄島北部地域のいくつかの試料においては、ヘキサダイアグラムでは  $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$ 型、キーダイアグラムでは非炭酸ナトリウム型を示し、大気中に飛散した海塩粒子やそれが溶け込んだ降水等の影響が示唆された。河川水試料においては、 $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ の間に  $r=0.90$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ の間に  $r=0.99$ と有意な強い正の相関 ( $p < 0.01$ ) が確認された。特定施設排水試料においては、ヘキサダイアグラムでは環境水試料にはみられなかった  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Cl}^-$ 型や不明の型が確認された。キーダイアグラムでは、イオンバランスに占める  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ および  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ の割合が高く、 $\text{K}^+$ と $\text{Cl}^-$ の間に  $r=0.86$ と有意な強い正の相関 ( $p < 0.01$ ) が確認された。デンドログラムでは、イオン類の種別や濃度差により環境水と特定施設排水を概ね特徴づけることができた。

**Key words**：河川水、地下水、湧水、特定施設排水、ヘキサダイアグラム、キーダイアグラム、デンドログラム

## I はじめに

沖縄県では、河川や海域等の公共用水域における水質汚濁事例が度々発生している。その主な事例として魚類へい死事例<sup>1)</sup>、環境水の着色事例<sup>2)</sup>および油流出事例<sup>3)</sup>等が挙げられる。これらの事例が発生した際、当研究所では必要に応じ原因究明のための調査を行っている。調査にあたっては、事故時の水質と比較するために平常時の水質を把握しておく必要がある。

沖縄県では、水質汚濁防止法（昭和45年法律第138号）第15条の規定に基づき、県内公共用水域及び地下水の水質汚濁状況の常時監視を行い、平常時データを蓄積しているところである。しかしながら、当該データは生活環境項目および健康項目に限られており、 $\text{Na}^+$ や $\text{Cl}^-$ 等のイオン類は含まれていない。健康項目等だけでは、汚染源特定が困難な水質汚濁事例において、イオン類が原因特定の一助となることがある。実際に過去の魚類へい死事例において、試料水の重金属等の健康項目を測定したところ、基準超過は確認されなかったが、イオン類を測定したところ、 $\text{Na}^+$ および $\text{Cl}^-$ が平常時と比べ高濃度検出され水質異常を確認した事例がある<sup>1)</sup>。このような事例に備え、平常時の環境水のイオン類を把握することは重要である。

当研究所において、県内の地下水・湧水のイオン類に

ついで報告<sup>4,5)</sup>はされているが、河川水についてはない。水質汚濁事例は河川で起きる頻度が高いため、そのイオン類の平常時データを把握しておく必要がある。加えて、汚染源となる特定施設排水のイオン類の把握も重要である。それらを把握することにより、環境水中のイオン類の異常検知、自然由来・人為由来汚染の判別、また人為由来汚染の場合、特定施設の種別の同定に繋がることが期待される。そこで今回、県内の地下水・湧水に加えて、河川水や特定施設排水のイオン類の水質組成の把握を目的に調査したのでその結果について報告する。

## II 実験

### 1. 装置

島津製作所製イオンクロマトグラフを用いて  $\text{HCO}_3^-$ 以外のイオン類を測定した。陽イオン分析には、ガードカラムに東ソー製 TSKgel guardcolumn IC-Cation I/II HR、分析カラムに同社製 TSKgel C-Cation I/II HR、溶離液に 2.5 mmol/L しゅう酸溶液（流速 1.0 mL/min）を用いた。陰イオン分析には、ガードカラムに東ソー製 TSKgel guardcolumn SuperIC-AZ、分析カラムに同社製 TSKgel SuperIC-AZ、溶離液に 1.8 mmol/L 炭酸ナトリウム溶液および 1.7 mmol/L 炭酸水素ナトリウム溶液の混合溶液（流速 1.0 mL/min）を用いた。

2. 試薬

イオン類の測定に用いた標準液は、各イオンの標準液 (F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 各 1000 ppm) を適宜、希釈混合し調製した。総アルカリ度の測定における 0.01 mol/L 硫酸は富士フィルム和光純薬工業製容量分析用を用いた。

3. 調査試料

今回調査した環境水(河川水・地下水・湧水)試料の地点図を図1、前述した環境水試料に特定施設排水試料を加えた各試料の概要を表1に示した。表1には、電気伝導度(EC)を併記した。河川水は、県事業の公共用水域調査で保健所が採取した河川水試料26検体を用いた。地下水・湧水は、県事業の地下水継続監視調査および基地周辺地下水調査で当所が採取した試料に加えて沖縄島全域をなるべく網羅できるように筆者自ら採取した地点を加えた計30検体を用いた。特定施設排水は、水質汚濁防止法第22条に基づく特定施設への立入検査で保健所が採取し、当研究所へ提供頂いた40検体を用いた。

4. 測定方法

イオン類の測定は、試料を5Cろ紙でろ過し、これを測定試料とした。測定試料を検量線の範囲内に収まるように適宜希釈しイオンクロマトグラフで測定した。

総アルカリ度の測定は、試料50mLを200mLビーカーに採り、MR混合指示薬数滴を加えた後、振り混ぜながら水相が赤紫色になるまで0.01mol/L硫酸で滴定し、要した硫酸mL数(a)から、次式によって試料1L中の総アルカリ度(mg/L)を算出した。

$$\text{総アルカリ度}(\text{CaCO}_3 \text{ mg/L}) = a \times (1000/\text{検水 mL}) \times 1$$

5. 解析方法

ヘキサダイアグラム、キーダイアグラムおよびデンドログラムを作成し解析した。

ヘキサダイアグラムは、主要溶存成分であるNa<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の8成分の濃度を陰イオンと陽イオンに分けて、それぞれの濃度を当量値(meq/L)として示し、図示したものである。一目で水

表1. 各試料の概要.

番号 試料	EC (μS/cm)	番号 試料	EC (μS/cm)
◎ <河川水>		● <地下水・湧水：◎~⑳>	
① 辺野喜川114	120	㉑ 西原町地下水	1,200
② 安波川55-1	110	㉒ 那覇市湧水	500
③ 新川川52	190	㉓ 南風原町地下水	700
④ 福地川28	110	㉔ 豊見城市湧水	490
⑤ 大保川130	390	㉕ 南城市湧水	940
⑥ 平南川127	300	㉖ 糸満市湧水	790
⑦ 源河川126	180	㉗ 宮古島市湧水	550
⑧ 汀間川60	120	㉘ 宮古島市地下水	670
⑨ 我部祖河川48	260	<特定施設>	
⑩ 我部祖河川49	380	① 豚房・原料処理施設	330
⑪ 我部祖河川51	150	② 豚房・原料処理施設	1,700
⑫ 満名川26	420	③ 豚房・原料処理施設	1,100
⑬ 羽地大川46	230	④ 豚房・原料処理施設	810
⑭ 天願川75-ロ	680	⑤ 豚房・原料処理施設	440
⑮ 天願川77	620	⑥ 豚房・原料処理施設	3,800
⑯ 比謝川2	530	⑦ 豚房施設	930
⑰ 比謝川162	620	⑧ 豚房施設	560
⑱ 比謝川4	560	⑨ 豚房施設	2,200
⑲ 牧港川100	500	⑩ 豚房施設	1,100
⑳ 牧港川102	600	⑪ 豚房施設	600
㉑ 安里川87	390	⑫ 豚房施設	1,200
㉒ 報得川97	710	⑬ 豚房施設	1,900
㉓ 雄樋川138	780	⑭ 豚房施設	4,500
㉔ 雄樋川139	570	⑮ 豚房施設	2,900
㉕ 宮良川132	360	⑯ 豚房施設	840
㉖ 名蔵川136	240	⑰ 豚房施設	1,400
● <地下水・湧水：①~㉒>		⑱ 豚房施設	690
① 国頭村湧水	220	⑲ 豚房施設	1,400
② 国頭村湧水	96	㉑ 旅館業・飲食店・し尿処理施設	710
③ 東村湧水	330	㉒ 旅館業・し尿処理施設	440
④ 今帰仁村湧水	770	㉓ 旅館業・し尿処理施設	460
⑤ 今帰仁村湧水	830	㉔ 旅館業・し尿処理施設	490
⑥ 本部町湧水	610	㉕ 旅館業施設	220
⑦ 名護市湧水	150	㉖ 洗濯業洗浄・し尿処理施設	920
⑧ 宜野座村湧水	680	㉗ 洗濯業洗浄施設	940
⑨ 恩納村地下水	430	㉘ 洗濯業洗浄施設	1,100
⑩ 金武町湧水	620	㉙ 洗濯業洗浄施設	1,900
⑪ うるま市地下水	390	㉚ し尿処理施設	100
⑫ うるま市地下水	610	㉛ し尿処理施設	400
⑬ 読谷村湧水	630	㉜ し尿処理施設	870
⑭ 嘉手納町湧水	630	㉝ 病院・し尿処理施設	690
⑮ 沖縄市湧水	580	㉞ 病院・し尿処理施設	1,900
⑯ 沖縄市地下水	710	㉟ 下水道終末処理施設	830
⑰ 北谷町湧水	1,100	㊱ 下水道終末処理施設	1,200
⑱ 北谷町地下水	560	㊲ 砂糖製造業施設	2,200
⑲ 北中城村湧水	650	㊳ 酸又はアルカリによる表面処理施設	1,500
㉑ 宜野湾市湧水	470	㊴ 豆腐又は煮豆の製造業湯煮施設	1,500
㉒ 浦添市地下水	890	㊵ 麺類製造業湯煮施設	730
㉓ 浦添市地下水	1,300	㊶ 科学技術研究・し尿処理施設	510

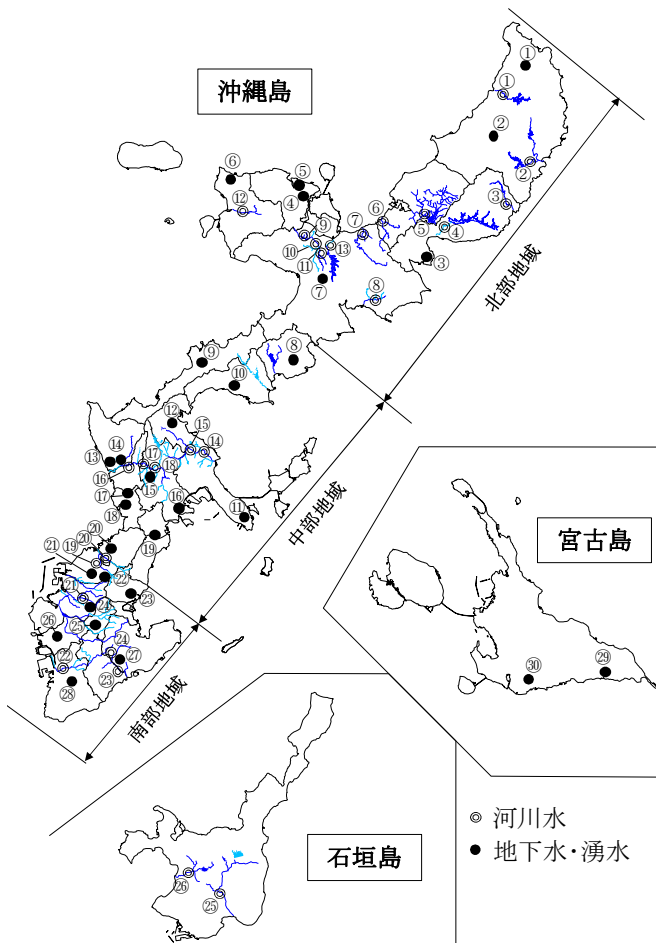


図1. 環境水の調査地点図.

質組成を把握することができるため、数値だけでは判断しにくい水の流れや、温泉水や河川水などの地下水への混入の有無などを知る手がかりとなり、非常に有効的な方法となっている<sup>6)</sup>。日本地下水学会<sup>6)</sup>を参考に図2に示す「A:Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」、「B:Ca<sup>2+</sup>-Cl型」、「C:Ca<sup>2+</sup>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>型」、「D:Na<sup>+</sup>-Cl型」、「E:Na<sup>+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」、「F:中間混合型」の6つの類型に「G:不明の型」を加えて分類し解析した。

キーダイアグラムは、ヘキサダイアグラムと同様に地下水などの水質組成を図示する方法の一つである。菱形座標図を作成することにより、化学成分濃度の相対的な割合を知ることができ、主要溶存成分の場所による違いや、同一地点での水質組成の時間変化を示すことができる<sup>6)</sup>。城戸ら<sup>7)</sup>を参考に図2に示す「①:炭酸カルシウム型」、「②:炭酸ナトリウム型」、「③:非炭酸カルシウム型」、「④:非炭酸ナトリウム型」、「⑤:中間型」の5つの類型に分類し作成した。また、キーダイアグラムで用いたNa<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の7成分の当量値を基に、相関行列を作成した。

デンドログラム(樹形図)は、多くの変数を持っている試料を、それらの間の類似度に基づいて性質の似たもの同士のグループにまとめて分類するクラスター分析によって図示したものである<sup>8)</sup>。解析データは、測定したF, Br, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の当量値を用いた。クラスター分析の手法は階層型-凝集法を用いた。距離計算はユークリッドの距離、合併後の距離計算はワード法で設定した。

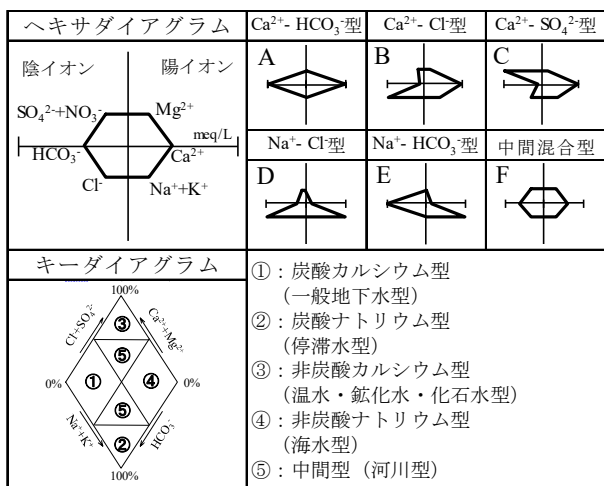


図2. ヘキサダイアグラム・キーダイアグラムの凡例。

### Ⅲ 結果および考察

#### 1. ヘキサダイアグラム

各試料のヘキサダイアグラムを図3に示す。

河川水では、「F:中間混合型」が15検体(58%)で最も多く、次いで「D:Na<sup>+</sup>-Cl型」が6検体(23%)、「A:Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」が5検体(19%)の順であった。全国の225河川の平均値において溶存量の多いイオンは、陽イオンではCa<sup>2+</sup>、陰イオンではHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>である<sup>9)</sup>。本県の河川においてもそれらが多く含まれた「F:中間混合型」と「A:Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」が合わせて21検体(81%)と相違ない傾向が確認された。「D:Na<sup>+</sup>-Cl型」を示した検体はいずれも沖縄島北部地域に位置しており、ECが110-390 μS/cmと低かった。北部地域の多くは、非石灰岩の地層である名護層や嘉陽層で覆われているため<sup>10)</sup>、石灰分(CaCO<sub>3</sub>)の溶出が少ない。そのため、大気中に飛散した海塩粒子やそれが溶け込んだ降水等の影響を受けやすい水質であったと考えられた。

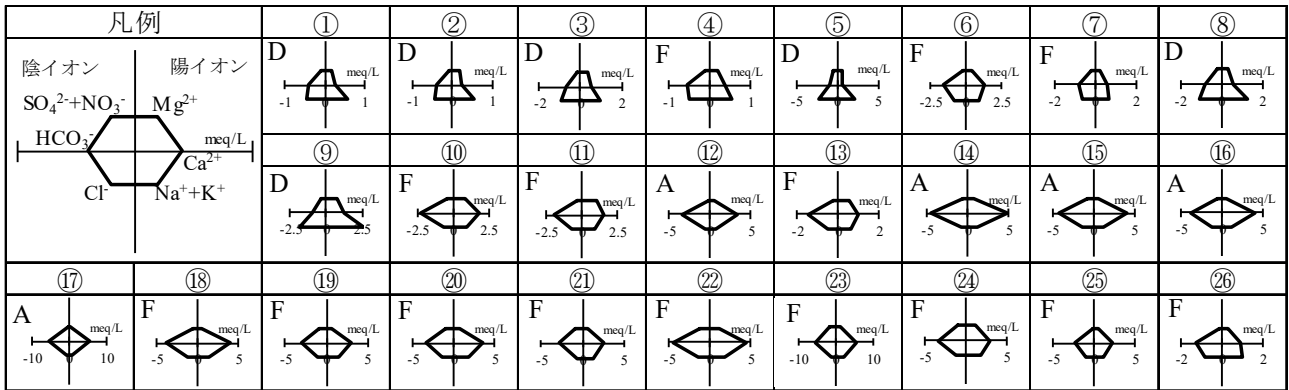
地下水では、「A:Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」が13検体(43%)で最も多く、次いで「F:中間混合型」が10検体(33%)、「D:Na<sup>+</sup>-Cl型」が4検体(13%)および「E:Na<sup>+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」が3検体(10%)の順であった。「A:Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」と「F:中間混合型」が合わせて23検体(76%)と河川水と同様な傾向を示した。「D:Na<sup>+</sup>-Cl型」に分類された検体は、いずれも河川水と同様に北部地域に位置しており、ECが96-330 μS/cmと低いため、降水・海塩粒子の影響が示唆された。「E:Na<sup>+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」に分類された検体は、いずれも地下水であり、湧水ではこの型は確認されなかった。また、河川水においてもこの型は確認されなかった。そのため、湧水や河川水においてこの型が確認された場合、何らかの水質異常の可能性があると考えられた。

特定施設排水では、「E:Na<sup>+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」が12検体(30%)で最も多く、次いで「D:Na<sup>+</sup>-Cl型」が11検体(27%)、どの型にも属さない「G:不明の型」が10検体(25%)、「F:中間混合型」が5検体(12%)、「B:Ca<sup>2+</sup>-Cl型」が2検体(5%)の順であった。多くの型が確認されたが、河川水や地下水で多くみられた「A:Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>型」は確認できなかった。「B:Ca<sup>2+</sup>-Cl型」および「G:不明の型」は、河川水や地下水ではみられない特定施設特有の型であった。そのため、河川水や地下水においてこれらの型が確認された場合、何らかの水質異常の可能性があると考えられた。

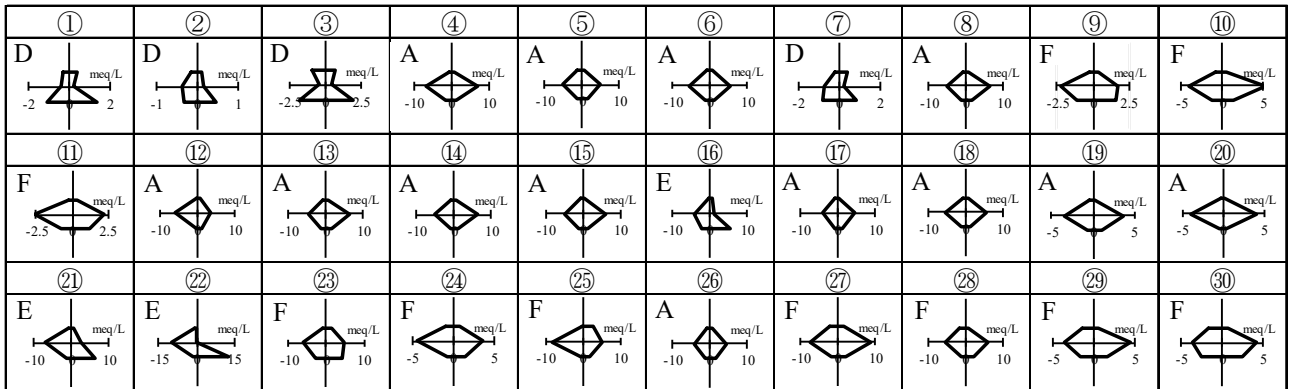
#### 2. キーダイアグラム

各試料のキーダイアグラムを図4、相関行列を表2に

河川水



地下水・湧水



特定施設排水水

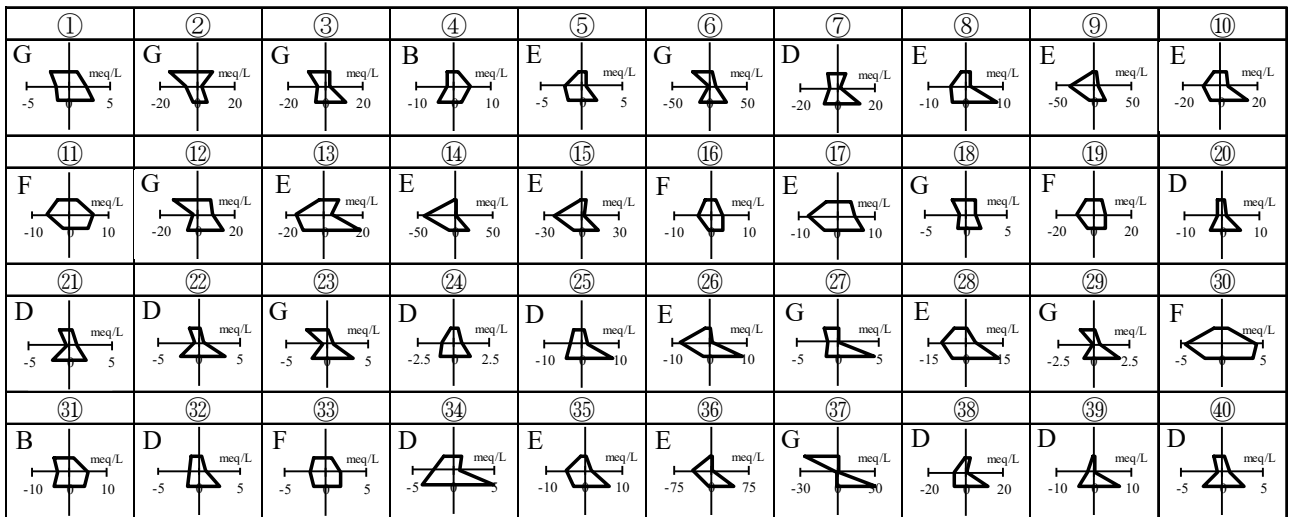


図3. ヘキサダイアグラム.

示す.

河川水では、「①炭酸カルシウム型（一般地下水型）」が18検体（69%）で最も多く、次いで、「④非炭酸ナトリウム型（海水型）」が6検体（23%）、「⑤中間型（河川型）」が2検体（8%）の順であった。本県の河川水は図4(A)の楕円で囲まれた範囲にプロットされる傾向が確認された。これは表2に示す相関行列よりNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>

の間にr = 0.90, Ca<sup>2+</sup>とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の間にr = 0.99と有意強い正の相関(p < 0.01)によるものだと示唆された。そのため、河川水においてこの範囲から大きく逸脱してプロットされた場合、何らかの水質異常がないか確認する必要がある。

地下水では、「①炭酸カルシウム型（一般地下水型）」が21検体（70%）で最も多く、次いで、「④非炭酸ナト

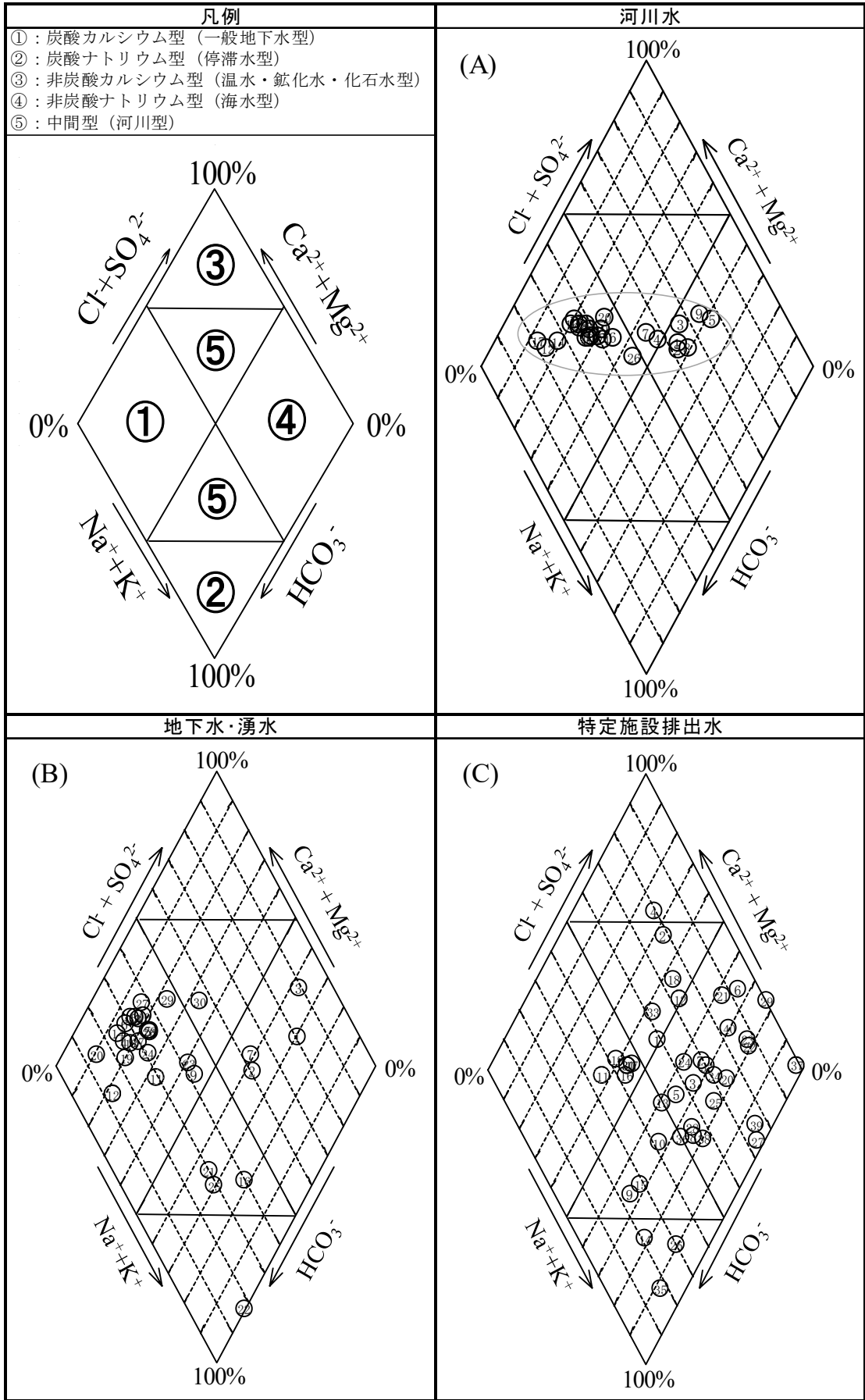


図4. キーダイアグラム.

表 2. 相関行列 (\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$ ).

河川水							
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Cl <sup>-</sup>	-	0.39	0.90	0.40	0.41	0.22	0.18
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	*	-	0.56	0.80	0.79	0.71	0.73
Na <sup>+</sup>	**	**	-	0.51	0.60	0.25	0.22
K <sup>+</sup>	*	**	**	-	0.72	0.51	0.54
Mg <sup>2+</sup>	*	**	**	**	-	0.52	0.57
Ca <sup>2+</sup>		**		**	**	-	0.99
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		**		**	**	**	-

地下水・湧水							
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Cl <sup>-</sup>	-	0.53	0.33	0.05	0.23	0.12	0.11
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	**	-	0.11	0.22	0.24	0.50	0.31
Na <sup>+</sup>			-	0.04	-0.04	-0.35	0.54
K <sup>+</sup>				-	0.34	0.12	0.20
Mg <sup>2+</sup>					-	0.35	0.41
Ca <sup>2+</sup>		**				-	0.50
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			**		*	**	-

特定施設排水水							
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Cl <sup>-</sup>	-	-0.17	0.11	0.86	0.59	0.50	0.47
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		-	0.48	-0.11	0.15	-0.08	-0.08
Na <sup>+</sup>		**	-	0.01	-0.05	-0.04	0.37
K <sup>+</sup>	**			-	0.70	0.54	0.55
Mg <sup>2+</sup>	**			**	-	0.57	0.31
Ca <sup>2+</sup>	**			**	**	-	0.20
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	**		*	**			-

リウム型 (海水型) 」および「⑤中間型 (河川型) 」がそれぞれ 4 検体 (13%) , 「②炭酸ナトリウム型 (停滞水型) 」が 1 検体 (3%) の順であった. 表 2 に示す相関行列より Na<sup>+</sup>と Cl<sup>-</sup>の間は  $r = 0.33$ , Ca<sup>2+</sup>と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の間に  $r = 0.50$  と河川水でみられた強い正の相関は確認されなかった. これは図 4 (B) に示すように, 下側にプロットされた「⑤中間型 (河川型) 」および「②炭酸ナトリウム型 (停滞水型) 」に属した 4 検体により相関が悪くなったと考えられた. そのため, これらの 4 検体を除外して確認したところ, Na<sup>+</sup>と Cl<sup>-</sup>の間は  $r = 0.88$ , Ca<sup>2+</sup>と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の間に  $r = 0.92$  と有意な強い正の相関 ( $p < 0.01$ ) が確認された. 除外した 4 検体は地下からポンプ等でくみ上げた地下水であった. 自然の湧水においてこの位置にプロットされた場合, 何らかの水質異常がないか確認する必要がある.

特定施設排水水では, 「④非炭酸ナトリウム型 (海水型) 」が 20 検体 (50%) で最も多く, 次いで, 「⑤中間型 (河川型) 」が 10 検体 (25%), 「①炭酸カルシウム型 (一般地下水型) 」が 6 検体 (15%), 「②炭酸ナトリウム型 (停滞水型) 」が 3 検体 (7%), 「③非炭酸カルシウム型 (温水・鉱化水・化石水型) 」が 1 検体 (2%) の順であった. 図 4 (C) に示すように, 菱形座標図の右半分側にプロットされる傾向が確認され, Cl<sup>-</sup>+SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>および Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>がイオンバランスの中で多く寄与していることが示唆された. 表 2 の相関行列より, K<sup>+</sup>と Cl<sup>-</sup>の間に  $r = 0.86$  と有意な強い正の相関 ( $p < 0.01$ ) が確認された. この傾向は河川水・地下水試料ではみられないため, 特定施設排水水特有のものだと考えられた.

### 3. デンドログラム

全試料のイオン当量値を用いてクラスター分析を行い, 作成されたデンドログラム (樹形図) を図 5 に示す.

クラスター C1 と C2 では, 総当量イオン濃度の差で分類されたと考えられた. C1 と C2 の総当量イオン濃度の中央値は, 12 meq/L と 91 meq/L であった. また, C2 は全て特定施設排水水試料であった.

クラスター C3 と C4 では, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>および Na<sup>+</sup>の当量値の差で分類されたと考えられた. C3 と C4 の当量値の中央値は, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>では 29 meq/L と 0 meq/L, K<sup>+</sup>では 11 meq/L と 1.8 meq/L, Na<sup>+</sup>では 4.2 meq/L と 36 meq/L であった. C3 は全て豚房施設であり, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>および K<sup>+</sup>に富んだ排水であることが示唆された.

クラスター C5 と C6 では, 窒素化合物の和 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) および K<sup>+</sup>の当量値の差で分類されたと考えられた. C5 と C6 の当量値の中央値は, 窒素化合物 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) の和では 0.086 meq/L と 2.7 meq/L, K<sup>+</sup>では 0.076 meq/L と 7.6 meq/L であった. C6 は全て豚房施設であり, 窒素化合物および K<sup>+</sup>に富んだ排水であることが示唆された.

クラスター C7 と C8 では, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>および HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の当量値の差で分類されたと考えられた. C7 と C8 の当量値の中央値は, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>では 1.3 meq/L と 26 meq/L, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は 35 meq/L と 0.4 meq/L であった. C8 の「酸またはアルカリによる表面処理施設」は, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の値が高いため, 硫酸を用いた処理を行っている可能性が示唆された.

クラスター C9 と C10 では, 窒素化合物 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) の和の当量値とその比率の差で分類されたと考えられた. C9 と C10 の当量値 (C9 は中央値) は 2.1 meq/L と 31 meq/L であった. また, C9 と C10 の窒素化合物の和に占める各イオンの比率は, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>では 1.3%と 23%,

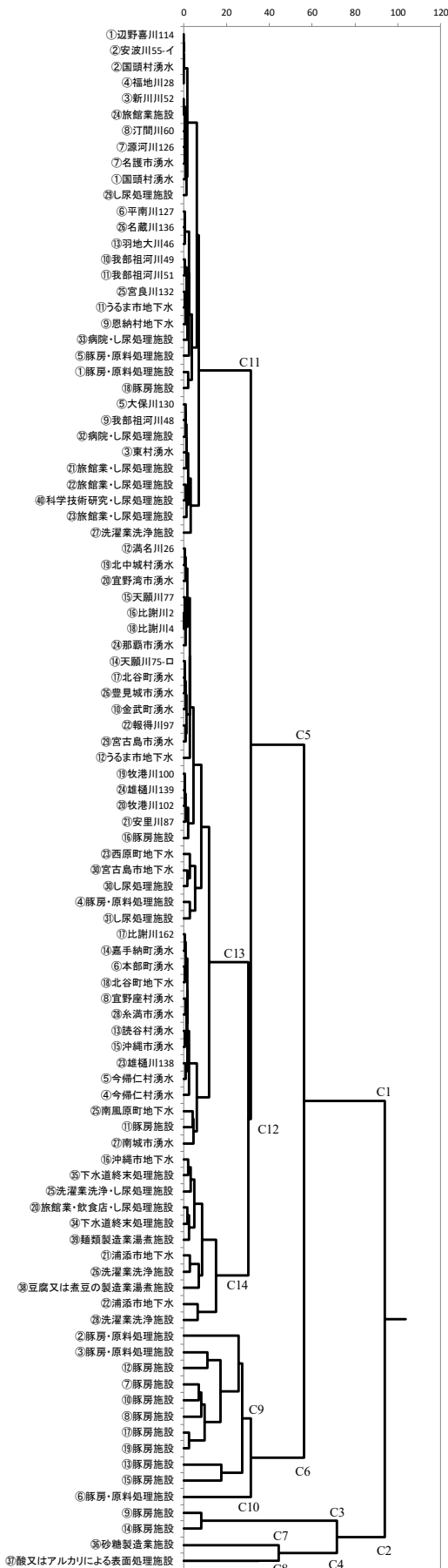


図 5. デンドログラム.

NO<sub>2</sub><sup>-</sup>では 0.28%と 31%, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>では 98%と 65%であった。窒素化合物は、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>→NO<sub>2</sub><sup>-</sup>→NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の順に硝化されていく過程を踏まえると、C9 はほぼ硝化された排水、C10 は硝化途中の排水であることが示唆された。

クラスターC11 と C12 では、Ca<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>および窒素化合物 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+ NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) の和の当量値の差で分類されたと考えられた。C11 と C12 の当量値の中央値は、Ca<sup>2+</sup>では 0.7 meq/L と 4.1 meq/L, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>では 0.8 meq/L と 4.4 meq/L, 窒素化合物の和は 0.02 meq/L と 0.13 meq/L であった。

クラスターC13 と C14 では、Na<sup>+</sup>および Ca<sup>2+</sup>の当量値の差で分類されたと考えられた。C13 と C14 の当量値の中央値は、Na<sup>+</sup>では 1.4 meq/L と 6.5 meq/L, Ca<sup>2+</sup>では 4.5 meq/L と 1.0 meq/L であった。C13 では、環境水試料が 33/38 検体 (87%) を占めていた。C14 に分けられた環境水試料 3 検体は全て地下水であった。

#### IV まとめ

県内の環境水および特定施設排水のイオン類の水質組成の把握を目的に調査した。その結果、環境水試料のうち、沖縄島北部地域のいくつかの試料においては、ヘキサダイアグラムでは Na<sup>+</sup>- Cl<sup>-</sup>型、キーダイアグラムでは非炭酸ナトリウム型を示し、大気中に飛散した海塩粒子やそれが溶け込んだ降水等の影響が示唆された。河川水試料においては、Na<sup>+</sup>と Cl<sup>-</sup>の間に r = 0.90, Ca<sup>2+</sup>と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の間に r = 0.99 と有意な強い正の相関 (p < 0.01) が確認された。特定施設排水試料においては、ヘキサダイアグラムでは環境水試料にはみられなかった Ca<sup>2+</sup>- Cl<sup>-</sup>型や不明の型が確認された。キーダイアグラムでは、イオンバランスに占める Cl<sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>および Na<sup>+</sup>+ K<sup>+</sup>の割合が高く、K<sup>+</sup>と Cl<sup>-</sup>の間に r = 0.86 と有意な強い正の相関 (p < 0.01) が確認された。デンドログラムでは、イオン類の種別、濃度差により環境水と特定施設排水を概ね特徴づけることができた。

#### V 参考文献

- 1) 城間一哲・比嘉元紀・井上豪・知花睦・座間味佳孝・比嘉彩也香・宮城真希子 (2022) 沖縄県におけるへい死魚調査事例—2021 年度—。沖縄県衛生環境研究所報, 56 : 102–108.

- 2) 城間一哲・友寄喜貴 (2023) 沖縄県における河川水白濁に関する事例研究. 全国環境研会誌, 48 (2) : 15-20.
- 3) 沖縄県衛生環境研究所 (2011) 沖縄県内の油流出事例の発生状況. 衛環研ニュース, 21.
- 4) 大城洋平・玉城不二美・渡口輝・井上豪・天願博紀・仲宗根一哉・金城孝一 (2009) 継続監視している地下水のイオン成分の特徴—平成 20 年度—. 沖縄県衛生環境研究所報, 43 : 207-209.
- 5) 宮城俊彦 (2013) 平成元年度から 22 年度までの沖縄県における地下水水質調査. 水環境学会誌, 36 (4) : 129-135.
- 6) 日本地下水学会 (2011) 水質に関する説明<<http://www.jagh.jp/content/shimin/images/wakimizu/20111002/suishitu.pdf>>. 2023 年 9 月アクセス.
- 7) 城戸由能・粟津進吾・バトル アブドレイム・鳥井宏之・中北英一 (2010) 京都盆地水系における表流水—地下水間の水・物質収支に関する観測調査. 京都大学防災研究所年報, 53 (B) : 495-505.
- 8) 森田浩 (2014) 図解入門ビジネス多変量解析の基本と実践がよーくわかる本. 秀和システム, 東京, pp. 206-217.
- 9) 小林純 (1961) 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究, 48 (2) : 63-106
- 10) 新城竜一 (2014) 琉球弧の地質と岩石 : 沖縄島を例として. 土木学会論文集 A2(応用力学), 70 (2) : I\_3-I\_11