琉球大学学術リポジトリ

南大東島および北大東島の池沼ならびに地下水の水質

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 琉球大学理工学部 公開日: 2012-05-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 兼島, 清, 平良, 初男, 渡久山, 章, 大森, 保, 西浜, 完治, Kaneshima, Kiyoshi, Taira, Hatsuo, Tokuyama, Akira, Oomori, Tamotsu, Nishihama, Kanji メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/24475

南大東島および北大東島の池沼ならびに地下水の水質

兼島 清* 平良初男* 渡久山章* 大森 保* 西浜完治*

Geochemical Studies of Underground and Lake Waters on both Minami and Kita Daito Jima

KIYOSHI KANESHIMA*, HATSUO TAIRA*, AKIRA TOKUYAMA*, TAMOTSU OOMORI*, KANJI NISHIHAMA*

Abstract

The waters on both Minami and Kita Daito Jima have been collected, to discuss the geochemical natures on the islands, during last March 10th to 17th on 1976. The chemical analysis resulted in the following: Most of the lake waters on Minami Daito Jima fall in the average chlorinity of 0.26‰, whereas the other waters collected from caves and wells present higher average chlorinity of 1.16‰. The chlorinities on Kita Daito Jima are also relatively high of 0.77‰ on the average. The study of correlation coefficients among chemical components, particularly the straightfoward positive correlation between sodium and chlorinity as in the same for sea water, strongly suggests the major influence of sea water on these islands. The other components such as K^+ and $SO_4^=$ also display nearly the same trend with those in sea water, but few samples give the evidence of contaminations which would be resulted from the human activities.

The higher magnesium contents, however, may be concluded from the other cource of inputs besides the influences of sea water and human activities. The excess contents of magnesium in the ratio of Mg/Cl with respect to that in sea water may be resulted from the dissolution of dolomite which is one of the major corbonates in Daito Islands. Geochemical consideration of these excess magnesium and calcium are discussed in detail in this paper.

The influence of the human activities on waters have also been studied for chemical components such as NH_3-N, O_2 and PO_4-P. And the vertical variations of the concentrations with depth and source of input in lakes on the islands have been verified.

With the considerations of the data mentioned above, the present paper also estimated the main roots of incomming sea water from the open ocean

受付：1976年11月30日

* 琉球大学理工学部化学科

toward to many lakes and marshes in Daito Islands.

1．はじめに

南大東島および北大東島は沖縄本島よりはるか390km東方の大平洋上に孤立する珊瑚礁よりなる孤島で，アジア大陸より遠く離れ，洋上に隔絶されている点や環礁的地形を有し，石灰岩から形成され，閉塞系の湖沼を有する点ではその水系は特異の環境にあり，そのため陸水は他の地域に比較して，色々と特異なものをもっている。これら孤島はその中の陸水が海水とどのようなかかわりをもっているか，また石灰岩やドロマイト岩と水質はどんな関係があるかなど，石灰岩地帯の水を知るのに多くの興味ある知見が期待されるフイールドである。

それで筆者らはこれまで沖縄の石灰岩地帯の水について研究を続けているその一端として，この特異のフィールドである南北両大東島について調べることにし，1976年３月10日より17日までの８日間この両島で池沼の水や，洞穴および井戸の水を採水し，また両島の石灰岩やドロマイト岩さらに赤土などを採集して，分析を行っている。今回はその一部水質について分析結果をまとめ報告をする。

この調査にあたり，南大東島に於ては西浜良修氏に洞穴の案内や池沼の調査に色々と御協力をいただいた。また北大東島に於ては北大東島中学校の中山一氏ならびに永村清氏にお世話になった。御協力，御支援に対し厚く御礼を申し上げる。

II 南大東島および北大東島の概要

南大東島は沖縄本島の那覇市より東方392kmの大平洋上の北緯25度50分，東経131度14分に位置する，東西5.7km，南北6.5km，周囲20.8kmの短楕円形の標準的珊瑚環礁よりなる小孤島で島の周囲は断崖よりなり，露出した岩石地帯によってとりかこまれ，内側はすり鉢状の盆地を形成し，そこには水没ドリーネと考えられる多数の池沼が散在しており，人口1775人（昭和50年３月村勢要覧）の孤島である。この島の地形や池沼と地下水に関しては武永健一郎（1965）[1]がすでに報告しているが，それは地理的には詳しいが地下水に関しては地形との関係が主で，$C\ell^-$とCa^{++}や pH に関してだけのもので，化学的分析結果は少なく未だ充分には調べられてない。また洞穴に関しては武永（1972）[2] や愛媛大学探検部（1972）[3] 等の報告があるが地下水の化学的検討はなされていない。またこれら孤島の湖沼の湖盆形態や湖沼の水収支と湖底推積物についても北海道大学中尾欣四郎（1975）[4] を研究代表者とする文部省科学研究費による総合研究Ａの報告があるが水質についてはふれてない。

北大東島は南大東島の北方12kmを隔てた，北緯25度56分，東経131度17分に位置した，東西4.1km南北2.8km，周囲13.5kmの東西に長く南北に短い三角形状の孤島で南大東島と同様に，周囲は断崖によって取りかこまれ，外側は露出した岩石地帯よりなり，内側は低く盆地をなし，中央部に大小20ケほどの池沼がある。人口は679人（昭和50年北大東村勢要覧）の孤島である。この島の水質についての報告は皆無であるが，戦前東北大学による珊瑚礁ボーリングが大規模に行なわれた。この島の池沼で赤池については新井正（1975）[5] が湖盆形態について調べた報告がある。

筆者らはこの島の池沼や井戸水24点を採水して分析し成分相互の関連や海水の影響について検討した。

III 試　　料

南大東島の水試料の採水地点を図した，また，北大東島の採水地点を図２に示す。表１と２にも採水地点の説明を示した。採水は南大東島で52試料でそのうち池沼の試料が37試料である。また北大東島では25試料である。池沼の水は層の深さの相異による変化を調べるため，ゴムボートの上から採水器をおろして採水した。測定した項目は水温（現場で測定）pH，$C\ell^-$，Ca^{++}，Mg^{++}，SO_4^{--}，HCO_3^-，SiO_2，Na^+，K^+，NH_3－N，O_2，PO_4－P の13項目である。

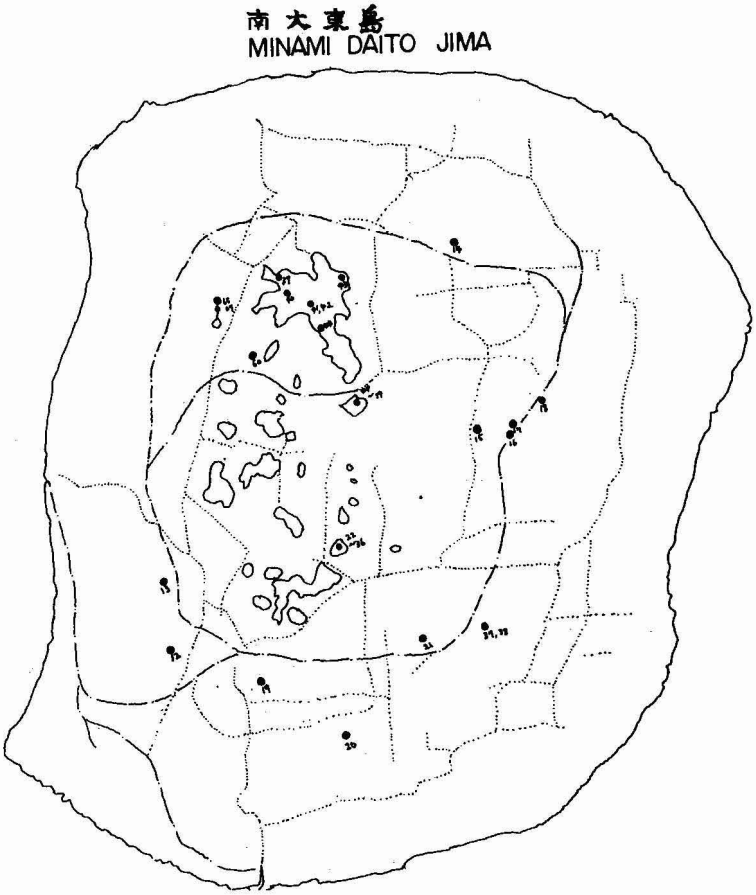

Fig. 1 Sampling points of land waters in MINAMI DAITO JIMA

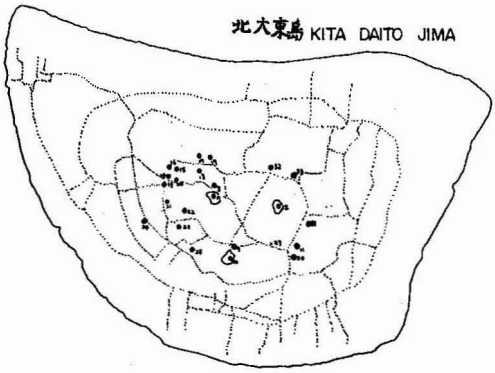

Fig. 2 Sampling points of land waters in KITA DAITO JIMA

Ⅳ　分析方法

pH：ガラス電極法で測定,
4.3Bx アルカリ度：BCP指示薬を用いて塩酸の標準液で滴定。
Na^{+}とK^{+}：原子吸光法で測定
Ca^{++}とMg^{++}：EDTA滴定法
Cl^{-}：クロム酸カリを指示として硝酸銀法
SO_4^{--}：$BaSO_4$として沈でん重量法
PO_4^{3-}：モリブデン酸法による比色法
O_2：ヨー素滴定法
NH_3：ネスラー法による比色法

Ⅴ　分析結果

分析結果を表1と表2に示す。

Ⅵ　分析結果に対する考察

表1および表2に示すように各イオンや化学種の溶存量は南大東島に於て，池沼でCl^{-}が0.14～0.47g/ℓ（平均0.27g/ℓ）でCa^{++}が32.8～50.0ppm（平均37.2ppm）でMg^{++}が12.8～36.6ppm（平均23.6ppm）でNa^{+}が80.9～268ppm（平均168ppm）でK^{+}が4.6～16.4ppm（平均9.3ppm）であり，またSO_4^{--}は15～50ppm（平均30.9ppm）でHCO_3^{-}が1.99～3.01meq/ℓ（平均2.25meq/ℓ）である。SiO_2は0.0～4.8ppm（平均2.06ppm）を示す。これに対し洞穴内の地下水や井戸水はCl^{-}が0.16～2.10g/ℓ(平均1.16g/ℓ)でCa^{++}が77.6～144ppm（平均103ppm）でMg^{++}が34.9～175ppm（平均95.6ppm）でNa^{+}が106～1250ppm（平均663ppm）でK^{+}が8.4～80.3ppm（平均32.2ppm）を示し，SO_4^{--}が44.7～310ppm（平均177.9ppm）でHCO_3^{-}が2.96～10.8meq/ℓ（平均5.12meq/ℓ）であり，SiO_2が0.2～10.6ppm（平均6.3ppm）であり，池沼の水に比較して海水からの影響を強く受けているのが見られる。また北大東島では雨水を除く池沼や井戸水の中のCl^{-}は0.048～2.86g/ℓ(平均0.77g/ℓ)でCa^{++}は2.6～184ppm（平均86.7ppm）でMg^{++}が6.02～223ppm（平均82.2ppm）でNa^{+}が24.6～1560ppm（平均437ppm）でK^{+}が3.2～72.7ppm（平均25.8ppm）を示し，SO_4^{--}が9～345ppm（平均126ppm）でHCO_3^{-}が0.9～9.21meq/ℓ（平均5.85meq/ℓ）でSiO_2が3.3～14.1ppm（平均7.14ppm）である。陽イオンは両島とも$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$イオンの順で陰イオンでは$Cl^{-}>HCO_3^{-}>SO_4^{--}$の順に並び与那国島の水質に類似し，海水の影響を大きく受ける孤島型の水質を示すものといえよう。次に各成分相互の関係について見るために各イオン間の相関係数を表3と表4に示す。

6－2，各成分相互の関係

表3と表4の相関係数を見て相互の関連について考察を行なってみる。

6－2－1　Na^{+}とCl^{-}との関係

Table I－1 Chemical composition of natural waters in Minami Daito Jima

NO.	Remark	Temp. (℃)	pH	Cl^- (‰)	Ca^{++} (mg/ℓ)	Mg^{++} (mg/ℓ)	$SO_4^{=}$ (mg/ℓ)	HCO_3^- (meq/ℓ)	SiO_2 (mg/ℓ)	Na^+ (mg/ℓ)	K^+ (mg/ℓ)	NH_3-N (μg·at/ℓ)	D.O. (mℓ/ℓ)	PO_4-P (μg·at/ℓ)	採水月日
D－12	具志堅の洞穴地下水	18.8	8.05	1.44	128	107	229	4.77	7.1	813	36.6	1.19	6.38	1.54	3/11, 14：00
D－13	学校裏洞穴地下水	21.2	7.63	1.62	115	113	216	4.68	5.2	892	39.3	0.51	2.14	0.41	
D－14	玉置の洞穴地下水	20.0	8.15	1.22	108	100	203	4.88	6.1	708	29.9	0.00	6.19	0.0	〃, 16：00
D－15	人家のすぐ向い、浅い地下水	20.0	7.63	0.16	91.6	34.9	44.7	5.88	6.8	106	8.4	0.04	4.59	0.0	
D－16	秋葉神社すぐ西洞穴地下水	20.9	7.71	0.38	96.8	50.7	76.7	5.80	7.3	233	11.6	0.12	5.19	0.0	
D－17	秋葉神社すぐ西北洞穴地下水		7.68	0.51	98.4	59.7	86.0	5.96	7.2	306	15.1	0.55	4.55	0.0	〃, 18：00
D－18	秋葉神社すぐ北洞穴地下水		7.87	0.42	77.6	58.0	74.6	5.37	7.9	254	12.4	0.32	6.31	0.0	〃, 18：20
D－19	気象台近く洞穴地下水		7.00	0.98	144	87.7	57.0	10.8	10.6	553	80.3	315	0.0	27.1	3/12,
D－20	民家（大城）日の丸山北，井戸水		7.54	2.21	130	175	324	5.45	7.0	1,250	53.9	0.28	4.05	1.51	〃
D－21	民家(玉城)幕下島の南東部井戸水	21.4	7.47	0.71	90.8	77.5	142	6.96	7.9	459	23.8	0.00		0.0	〃
D－22	アミダ池　北　0 m	23.0	7.99	0.32	33.8	24.8	29	2.05	2.8	190	9.7	0.83	6.44	0.0	〃
D－23	〃　〃　4.5m	20.0	7.78	0.32	34.5	25.2	31	2.07	3.1	192	9.7	0.44	6.06	0.48	〃
D－24	〃　〃　2.5m	20.6	8.00	0.32	34.6	25.2	33	2.05	2.9	192	9.7	1.15	6.37	0.0	〃
D－25	〃　南　0 m	22.9	7.96	0.32	34.4	25.5	35	2.03	3.0	191	9.7	0.44	6.07	0.0	〃
D－26	〃　2.5m	19.9	7.91	0.32	34.8	26.4	33	2.04	1.4	192	9.7	0.71	6.36	0.0	〃
D－27	〃　5.0m	19.1	7.64	0.32	34.5	28.4	33	2.03	4.2	192	9.7	0.12	5.88	0.07	〃
D－28	〃　中央　0 m	22.9	7.97	0.32	34.9	25.2	35	2.03	2.8	192	9.7	1.54	6.57	0.0	〃
D－29	〃　〃　3 m	21.0	7.84	0.32	34.9	26.2	34	2.07	1.8	191	9.7	2.34	6.25	0.0	〃
D－30	〃　〃　6 m	20.3	7.57	0.32	34.4	26.0	33	2.01	4.0	191	9.7	0.04	4.91	0.17	〃
D－31	〃　東　上	22.7	7.97	0.32	35.2	26.0	33	2.04	2.9	191	9.7	1.27	6.24	0.0	〃
D－32	〃　〃　中	21.0	7.88	0.32	34.6	25.5	36	2.03	1.6	191	9.7	0.63	6.33	0.03	〃
D－33	〃　〃　下	19.8	7.71	0.32	34.2	27.2	33	2.08	4.1	192	9.7	0.87	4.92	0.14	〃
D－34	〃　西　上	22.7	7.97	0.32	35.2	26.0	33	2.03	3.0	192	9.7	1.47	6.73	0.0	〃
D－35	〃　〃　中	20.4	7.80	0.32	34.5	26.2	34	2.02	1.6	192	9.7	0.32	5.63	0.10	〃
D－36	〃　〃　下	19.7	7.66	0.32	34.9	31.8	35	2.55	4.0	192	9.7	0.16	4.80	0.24	〃
D－37	旧東の南　洞穴地下水	20.0	8.10	1.97	102	160	310	4.32	3.8	1,120	45.2	0.24	5.87	0.24	〃
D－38	〃　〃	21.0	7.84	2.10	115	162	306	4.94	4.9	1,180	48.7	0.24	6.07	0.17	〃

Table Ⅰ－2 Chemical composition of natural waters in Minami Daito Jima

NO.	Remark	Temp. (℃)	pH	Cl^- (‰)	Ca^{++} (mg/ℓ)	Mg^{++} (mg/ℓ)	$SO_4^=$ (mg/ℓ)	HCO_3^- (meq/ℓ)	SiO_2 (mg/ℓ)	Na^+ (mg/ℓ)	K^+ (mg/ℓ)	NH_3-N (μg・at/ℓ)	D.O. (mℓ/ℓ)	PO_4-P (μg・at/ℓ)	採水月日
D－39	大池の水 北西端		7.92	0.38	49.2	35.2	49	3.01	1.8	260	16.4	5.70		0.07	3/13,
D－40	〃 北西端すぐ南		7.97	0.44	49.2	35.2	50	3.00	0.8	260	16.4	5.27			〃
D－41	〃 中央島すぐ南		7.96	0.43	50.0	35.9	50	3.00	0.0	260	16.4	4.87			〃
D－42	〃 中央島のすぐ南	21.2	7.98	0.44	49.2	35.9	47	3.00	1.7	259	16.2	4.83		0.14	〃
D－43	〃 北東部		8.03	0.45	50.0	36.6	47	2.99	0.8	268	16.6	5.19		0.03	〃
D－44	〃 くびれ部分島のすぐ南		7.93	0.47	48.0	33.0	40	3.00	0.0	240	15.9	5.07		0.03	〃
D－45	〃		7.95	0.35	45.2	29.8	33	2.93	1.8	214	15.2	5.70		0.17	〃
D－46	〃		7.90	0.33	44.4	29.4	30	2.93	0.8	200	14.3	5.07		0.17	〃
D－47	淡水池の水 北部 3m	19.9	7.72	0.15	33.4	14.5	17	2.00	1.8	85.2	4.7	0.51	4.18	0.03	〃
D－48	〃 〃 0m	22.1	7.91	0.14	33.7	16.2	25	2.02	4.0	84.2	4.7	1.74	6.92	0.07	〃
D－49	〃 〃 3.5m	22.0	7.52	0.14	33.3	14.5	22	2.02	3.4	82.0	4.7	0.63		0.41	〃
D－50	〃 東部 1.8m	21.7	7.67	0.15	35.2	14.2	22	2.06	1.8	90.7	4.9	0.00	7.09	0.14	〃
D－51	〃 〃 0m	22.8	7.89	0.14	33.3	12.8	15	2.04	0.5	80.9	4.7	2.57	6.86	0.21	〃
D－52	〃 南部 1.8m	21.9	7.91	0.14	33.3	12.8	16	2.02	3.1	84.2	4.7	0.44		0.14	〃
D－53	〃 〃 0m	22.1	7.91	0.14	33.2	15.6	27	2.00	2.4	84.2	4.7	0.40	6.32	0.07	〃
D－54	〃 西西部 2.2m	21.5	7.75	0.14	32.8	13.8	24	2.00	4.8	84.2	4.7	0.00	5.49	0.14	〃
D－55	〃 〃 0m	22.2	7.89	0.14	33.4	13.5	21	2.05	3.2	84.1	4.7	0.32	6.00	0.03	〃
D－56	〃 中央部 4.5m	19.5	7.27	0.14	33.7	13.5	20	2.05	2.1	85.2	4.7	0.00	1.42	0.79	〃
D－57	〃 〃 3m	20.0	7.78	0.14	32.9	13.8	21	2.02	4.3	84.2	4.7	0.28	5.87	0.34	〃
D－58	〃 〃		7.90	0.14	33.3	14.2	19	2.03		86.3	4.7	1.62	6.38		〃
D－59	〃 〃 0m	22.0	7.93	0.14	33.8	13.8	20	1.99		86.3	4.7	1.47	6.34		〃
D－60	池の水（タマリ水）大池西側	22.0	7.91	0.29	79.2	20.8	112	3.18		195	6.5	0.08			〃
D－65	大池水門 (1)		7.74	1.54	89.6	108	220	3.00		857	35.1	0.44			〃, 11：10
D－66	〃 (2)		7.76	1.53	91.6	110	220	2.96		848	34.8	0.12			, 13：10
D－67	〃 (3)		7.72	1.51	91.6	105	220	3.01	0.2	835	34.4	0.00		0.10	, 17：05

Table 2. Chemical composition of natural waters on Kita Daito Jima

Sample No.	Remark	Temp. C°	pH	Cl^- (g/1)	Ca^{++} (mg/1)	Mg^{++} (mg/1)	$SO_4^=$ (mg/1)	HCO_3^- (meq/1)	SiO_2 (mg/1)	Na^+ (mg/1)	K^+ (mg/1)	NH_3-N (mg/1)	O_2 (mℓ/1)	PO_4-P (mg/1)	Date 1976
KD−7	赤池の水	31.0	7.09	0.177	30.0	29.4	9	223	14.1	104	37.5	29.42	1.01	3.79	3/15
KD−8	北大東製糖堀抜井戸	23.1	7.11	0.265	76.4	58.0	86	440	7.7	185	12.3	0.43	0.66	0.89	〃
KD−91	民家（仲宗根）天水		6.66	0.0256						13.3	0.85		5.70		〃
KD−9	民家（仲宗根）井戸水	22.8	7.14	0.158	82.8	47.1	85	381	6.8	107	6.8	0.00	1.37	0.55	〃
KD−10	ひょうたん池の水		6.02	0.048	2.60	6.02	13	55	7.9	24.6	8.75	57.81	0.15	3.53	〃
KD−11	南区公民館近く採石場	21.9	7.72	1.906	111	183	340	354	4.2	1,100	40.0	0.39	5.51	0.45	〃
KD−12	大池の水	21.5	7.44	0.34	29.3	34.2	37	107	5.9	191	8.98	0.09	6.92	0.38	〃
KD−13	民家（大城）中央公民館裏井戸水	22.5	7.04	0.64	88.8	91.1	165	412	6.6	373	19.8	0.00	1.02	0.14	〃
KD−14	大沢宿屋の使用水井戸水	21.2	7.06	1.58	139	121	170	501	8.8	877	41.1	0.04	1.20	0.48	〃
KD−15	民家（玉城）ヤシのある長屋井戸水	22.5	6.95	1.13	71.2	74.3	73	414	11.3	684	36.6	0.13	1.28	0.38	〃
KD−16	民家（玉城）ヤシのある長屋裏の井戸水	22.8	6.74	1.76	157	134	140	275	10.4	868	31.8	0.17	2.30	0.51	〃
KD−17	部落東方民家（親川）井戸水	22.6	6.91	0.52	140	96.7	170	561	10.4	265	72.7	0.47	0.93	0.51	〃
KD−18	製糖場近くの食堂井戸水	22.7	7.11	0.58	86.0	75.8	134	409	5.1	398	5.3	4.00	0.97	0.31	〃
KD−19	食堂北の民家（鬼塚）井戸水	22.9	7.32	0.32	76.8	54.5	81	347	8.5	201	16.0	0.13	2.31	0.0	〃
KD−20	沖電社裏韓国人宿舎井戸水	23.0	7.31	1.29	103	126	245	414	4.8	755	31.6	0.00	1.39	0.0	〃
KD−21	診療所裏学校使用水井戸水	21.0	6.95	2.86	184	223	345	389	5.8	1,560	38.9	0.00	0.31	0.34	〃
KD−22	部部東方500 M民家（松田）井戸	22.1	7.45	0.17	61.2	39.3	33	333	3.3	104	3.24	0.00	1.18	0.31	〃
KD−23	部落東方500M近くの民家(山田) 井戸	22.2	7.34	0.24	89.6	61.7	62	477	5.5	145	23.2	0.00	3.87	0.0	〃
KD−24	部落南500 M民家（沖山）井戸	23.2	7.40	1.00	91.6	102	173	414	6.9	590	24.7	0.00	1.54	0.45	〃
KD−25	ひょうたん池西300M民家(糸数) 井戸	21.5	7.33	0.85	87.2	90.1	163	375	4.6	488	20.6	0.00	1.61	0.03	〃
KD−29	南区公民館西300M民家(仲宗根)		7.50	0.16	57.6	36.9	60	285	6.5	99.4	18.8	0.00		0.03	3/16
KD−30	南区公民館裏民家（宮里）井戸		7.30	0.061	52.8	26.9	21	279	6.5	40.6	6.36	0.00		0.62	〃
KD−31	南区公民館北民家（中）井戸	22.0	7.46	0.48	71.2	68.2	118	347	7.7	290	31.8	0.00		0.07	〃
KD−32	潮見橋横民家（伊波）井戸	22.0	7.21	0.50	104	72.4	130	398	5.9	291	44.9	0.00		4.25	〃
KD−33	潮見橋横東方200M民家(大沢) 井戸	21.8	7.23	1.26	89.6	123	180	376	6.2	757	37.8	0.00		0.69	〃

Table 3 Correlation coefficients among chemical components in waters on Minami Daito Jima.

	Cl^-	Ca^{++}	Mg^{++}	$SO_4^=$	HCO_3^-	SiO_2	Na^+	K^+	NH_3-N	O_2	PO_4-P
pH	0.16	−0.28	0.12	0.33	−0.72	−0.60	0.16	−0.40	−0.72	0.85	−0.54
Cl^-		0.66	0.98	0.96	0.68	−0.58	0.99	0.74	−0.13	0.71	0.35
Ca^{++}			0.70	0.58	0.70	0.65	0.66	0.80	0.42	−0.36	0.62
Mg^{++}				0.96	0.17	0.47	0.99	0.74	−0.31	−0.31	0.33
$SO_4^=$					−0.54	−0.13	0.97	0.56	−0.25	0.12	0.15
HCO_3^-						0.92	0.76	0.59	0.76	−0.70	0.57
SiO_2							−0.49	0.39	0.58	−0.55	0.52
Na^+								0.73	−0.21	−0.80	0.34
K^+									0.66	−0.44	0.79
NH_3-N										−0.58	0.77
O_2											−0.42
PO_4-P											

Table 4 Correlation coefficients among chemical components in waters on Kita Daito Jima

	pH	Cl^-	Ca^{++}	Mg^{++}	$SO_4^=$	HCO_3^-	SiO_2	Na^+	K^+	NH_3-N	O_2	PO_4-P
Temp.	−0.52	−0.27	−0.32	−0.29	−0.32	−0.17	0.64	−0.28	0.10	0.38	0.14	0.47
pH		−0.14	0.31	0.11	0.18	0.26	−0.45	0.21	−0.51	−0.70	0.46	0.45
Cl^-			0.78	0.95	0.86	0.27	−0.79	0.99	0.47	−0.28	0.57	−0.25
Ca^{++}				0.85	0.77	0.65	−0.52	0.76	0.58	−0.54	−0.89	−0.33
Mg^{++}					0.95	0.44	−0.18	0.96	0.54	−0.39	0.72	−0.31
$SO_4^=$						0.45	−0.32	0.87	0.50	−0.36	0.66	−0.30
HCO_3^-							−0.61	0.23	0.48	−0.63	−0.23	−0.39
SiO_2								−0.10	0.40	0.33	−0.23	0.35
Na^+									0.46	−0.29	0.58	−0.26
K^+										0.14	−0.78	0.14
NH_3-N											−0.23	0.68
O_2												−0.24

南大東島および北大東島の各々の水質についてNa^+とCℓ^-との関係をプロットしたのが図3と図4である。図に見るようにNa^+とCℓ^-の関係は海水のそれにほとんど一致し，相関係数も十0.99でNa^+やCℓ^-はほとんど海水起源であることを示している。このことは周囲を海で囲まれた絶海の孤島であり地下からの海水の浸入は勿論，海塩のしぶき，風送塩と海の影響をまともに受ける条件を備えているためといえる。

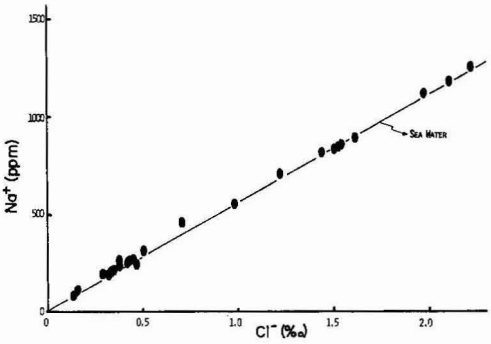

Fig. 3 The relationship between Cl^- and Na^+ in waters on Minami Daito Jima.

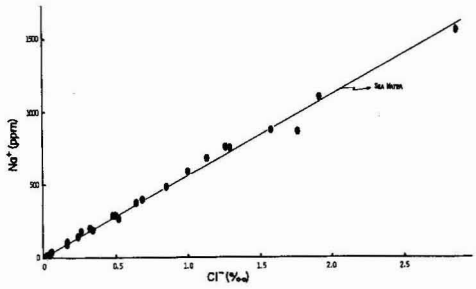

Fig. 4 The relationship between Cl^- and Na^+ in waters on Kita Daito Jima.

6－2－2　Mg^{++}とCℓ^-との関係

Mg^{++}含量は南大東島の洞穴や井戸で平均95.5ppm，池沼の水で平均23.6ppm含み，北大東島の池沼，井戸水で平均82.3ppm含む，そしてMg^{++}/Ca^{++}比は南大東島で0.92，池沼の水で0.63で北大東島のそれは0.94の値を示す，これらの値は沖縄の何れの地区よりも高い値で，この点両大東島の水は特異である。南大東島および北大東島の各々についてMg^{++}とCℓ^-の関係をプロットしたのが図5と図6である。何れもMg^{++}とCℓ^-は明瞭な正の相関をなし相関係数0.95～0.98で海水線に近いところから海水起源が主体をなしていることがうかがえる。し

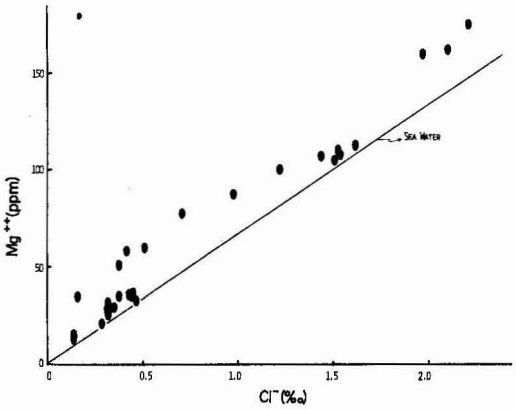

Fig. 5 The relationship between Cl^- and Mg^{++} in waters on Minami Daito Jima.

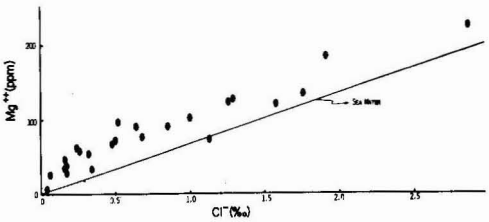

Fig. 6 The relationship between Cl^- and Mg^{++} in waters on Kita Daito Jima.

かし何れも海水のMg^{++} $-C\ell^{-}$ の線よりも一様に大きく一つの例外もないことは興味があり，これは後で詳述するようにこの両島がドロマイト岩によって形成されているためドロマイト岩からのMg^{++} の供給が大きく影響していることを示唆するものである。

6－2－3　$C\ell^{-}$ とHCO_3^{-} およびCa^{++} との関係

南北両大東島の$C\ell^{-}$ とHCO_3^{-} およびCa^{++} との関係を図7－1，7－2と図8－1，8－2に示す。図はHCO_3^{-} /$C\ell^{-}$ のmeq 比と$C\ell^{-}$ の関係およびCa^{++} / $C\ell^{-}$ のmeq 比と$C\ell^{-}$ との関係をプロットしたものである。図で明らかなようにこれらは何れも類似したL字型を示しており，$C\ell^{-}$ が低下すると$C\ell^{-}$ に対するHCO_3^{-} やCa^{++} の濃度が増大する傾向が見られる。これは Kitano (1969) 等[6]がアラスカの氷河地帯の水でまた渡久山 (1972)[7] が沖縄の石灰岩地帯の水で，また兼島ら (1973)[8] が与那国島の水についても同様の傾向のあることを指摘しており，Ca^{++} やHCO_3^{-} が海水のみの影響によるものでなく，炭酸塩岩石地帯において石灰岩が水中の炭酸によって溶出することによるものと考えられる。それはCa^{++} と HCO_3^{-} の間に図9と図10に示すような正の相関があることからもうなずけることである。しかし$C\ell^{-}$ の大きいところではCa^{++} やHCO_3^{-} は $C\ell^{-}$ に依存しており海水の影響を受けていることが示されている。

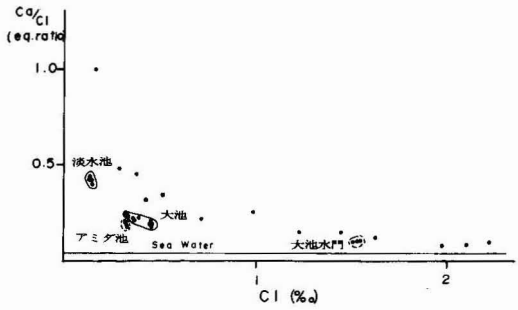

Fig.7－1　The relationship between Ca/Cl ratio and Cl in waters on MINAMI- DAITO JIMA.

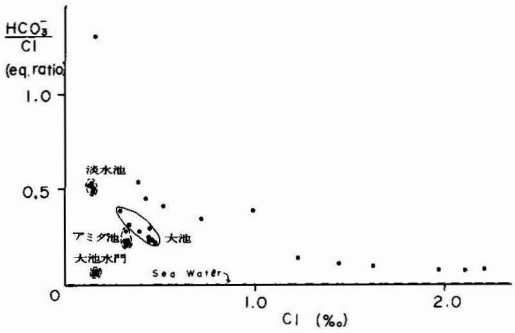

Fig.7－2　The relationship between HCO_3^{-}/Cl ratio and Cl in waters on MINAMI-DAITO JIMA

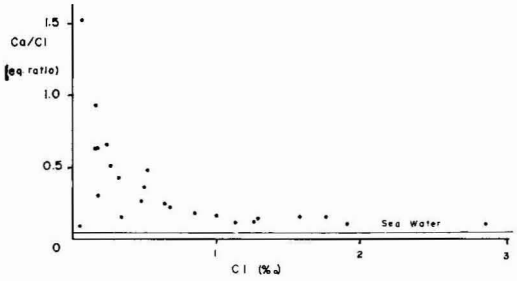

Fig. 8－1　The relationship between Ca/Cl ratio and Cl in waters on KITA-DAITO JIMA

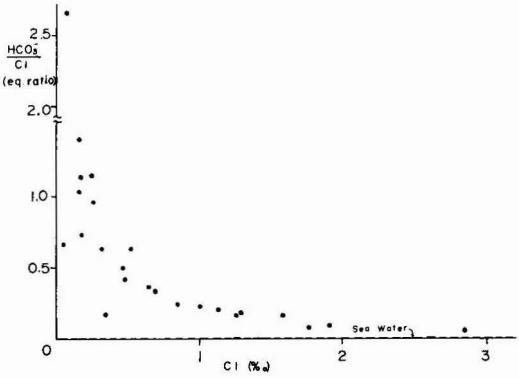

Fig. 8－2　The relationship between HCO_3^{-}/Cl ratio and Cl in waters on KITA-DAITO JIMA

6－2－4　Ca^{++} とHCO_3^- との関係

南大東島および北大東島の水中のCa^{++} と HCO_3^- の関係を図9と図10に示す。図に見るように何れも正の相関があり相関係数は0.65～0.70を示す。そして $Ca(HCO_3)_2$ の線の近くにあり与那国島や宮古島の水と類似した点がある。しかし南大東島と北大東島の間には少し異った傾向がみられる。すなわち南大東島は $Ca(HCO_3)_2$ の線の上下にばらつくが，北大東島の試料はKD－16とKD－21の二つの試料を除いて皆 $Ca(HCO_3)_2$ の線より下に分布していることでHCO_3^- に対しCa^{++} が少ない。これは北大東島の水が南大東島の水といささか水質を異にすることの一つの現われであり，またKD－16とKD－21の水が同島の他の地下水といちぢるしく水質を異にしていることを示す一つの指標でもある，このことはこの二つの試料がNa^+ とCl^- との間，K^+ とCl^- との間またSO_4^{--} と Cl^- との間にも一様に他の地下水と組成を異にしていることともよく一致している。Mg^{++}とCa^{++} およびHCO_3^- の関係については別に詳しく述べる。両大東島のCa^{++} 含量は洞穴や其の他井戸水で南で103 ppm，北で86.7 ppmと宮古島や与那国島の石灰岩地帯の水より皆高い濃度である。

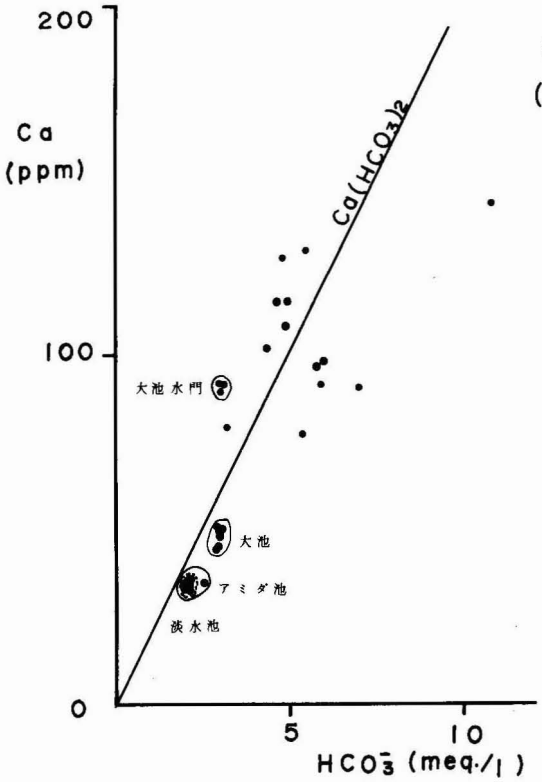

Fig. 9　The relationship between Ca^{++} and HCO_3^- in waters on MINAMI-DAITO JIMA

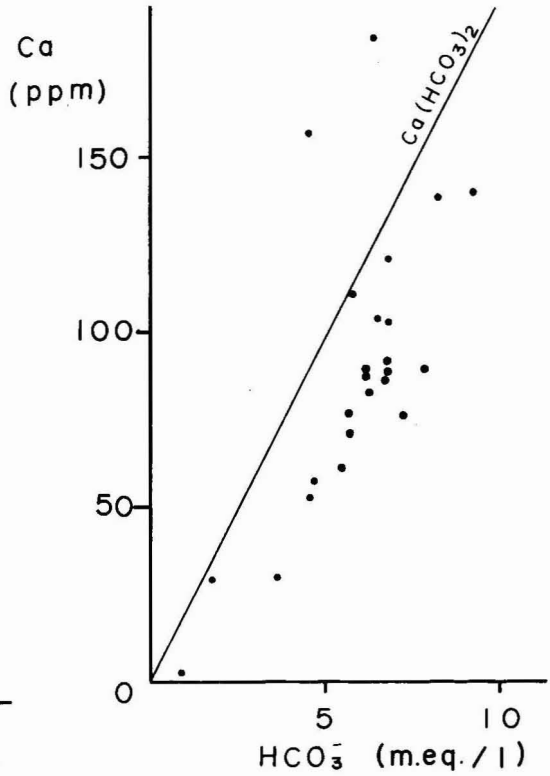

Fig. 10　The relationship between Ca^{++} and HCO_3^- in waters on KITA-DAITO JIMA

6－2－5　SO_4^{--}とCl^- との関係

両島のSO_4^{--}とCl^- との関係を図11と図12に示す。図に見るようにこの間の関係は或る程度のばらつきがあるが，やはり海水のSO_4^{--}－Cl^- の線に一致する。相関係数は北大東島で0.86,

南大東島で0.96を示し，これも海水の影響によるものであることを示している。

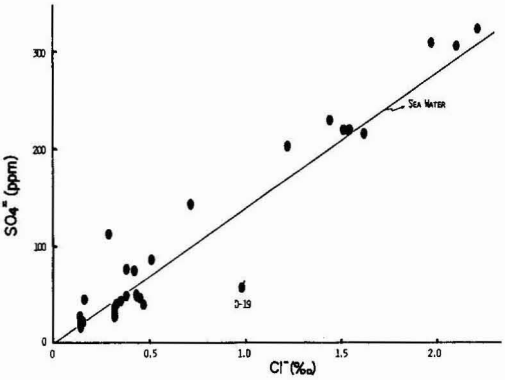

Fig. 11　The relationship between Cl^- and $SO_4^{=}$ in waters on Minami Daito Jima

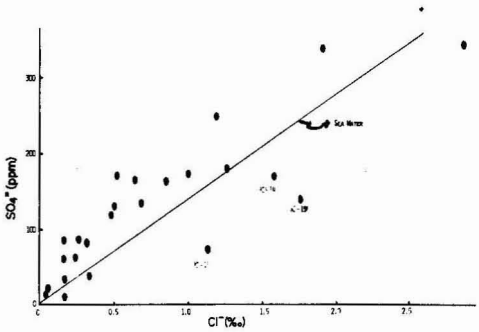

Fig. 12　The relationship between Cl^- and $SO_4^{=}$ in waters on Kita Daito Jima

6－2－6　K^+ と$C\ell^-$ との関係

K^+ と$C\ell^-$との関係を図13に南大東島を，図14に北大東島のものを示す。大部分のものは海水のK^+ と$C\ell^-$ の線の近くにあり，相関係数も0.47と0.74の値を示し，海水の影響がみられるが，一部に大きくずれるものが見られる。これは兼島ら（1973）[8] や渡久山（1972）[11] が与那国や宮古島の水についても指摘しているように，汚染によるもので，特に南大東島の気象台裏の洞穴の水D－19はそれがはっきり出ている。すなわちこの水はNH_3－N が315μg－at / ℓ と異状に高くO_2 が0.00 $m\ell$/ ℓと全く無く，硫化水素臭の悪臭をするもので，南大東島の地下洞の水も住居地区では生活排水によって汚染されていることを示している。また北大東島に於ても赤池の水KD－7，ひようたん池の水KD－10およびKD－17の三つの試料も海水のK^+ － $C\ell^-$ の線から大きくずれているがこれらの試料もNH_3 －Nが57.8，29.4および0.17μg－at / ℓ と例外なく高い濃度でありまた溶存酸素もO_2 が0.15，1.01および0.93$m\ell$/ ℓ と何れも低い値を示し，汚染が目立つ，このように生活排水などで汚染された水にK^+ が多くなる傾向が宮古島や与那国島と同様この両島でも見られる。

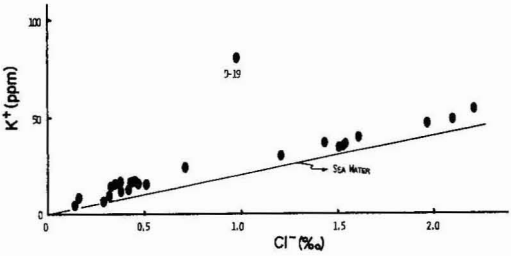

Fig. 13　The relationship between Cl^- and K^+in waters on Minami Daito Jima

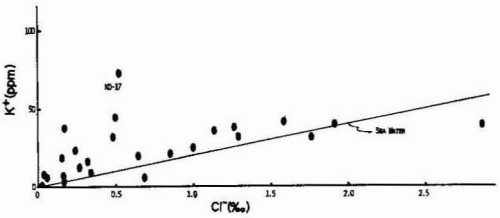

Fig. 14　The relationship between Cl^- and K^+in waters on Kit a Daito Jima

6－2－7　シリカの含量

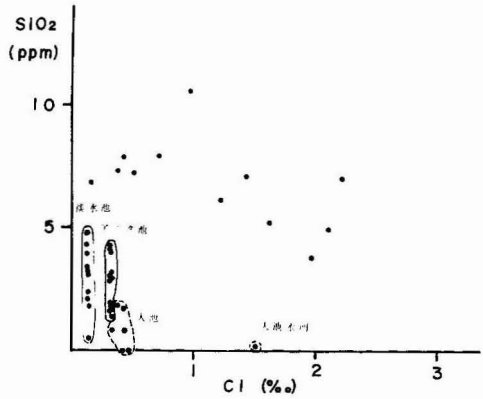

Fig. 15 The relationship between SiO_2 and Cl^- in waters on MINAMI-DAITO JIMA

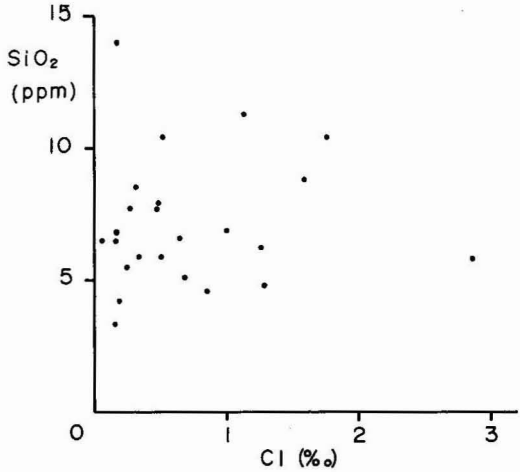

Fig. 16 The relationship between SiO_2 and Cl^- in waters on KITA-DAITO JIMA

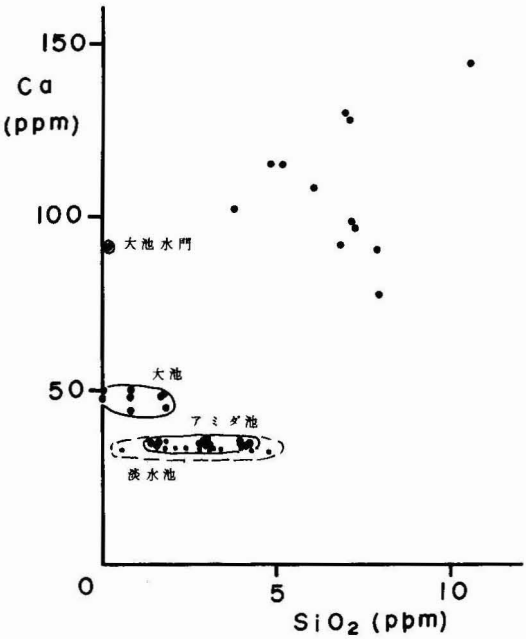

Fig. 17 The relationship between Ca and SiO_2 in waters on MINAMI-DAITO JIMA

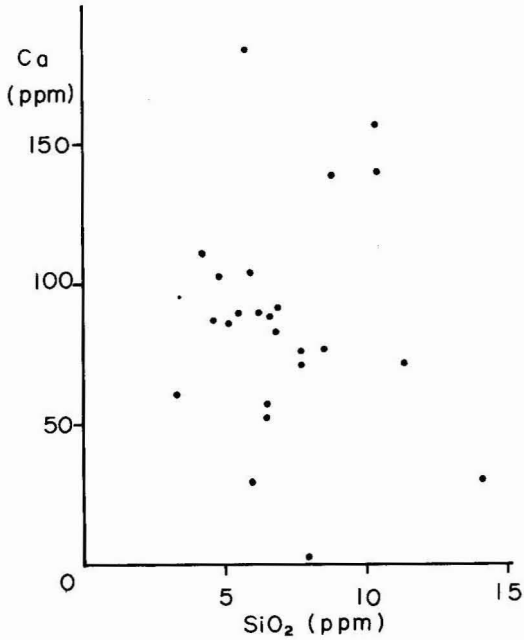

Fig. 18 The relationship between Ca and SiO_2 in waters on KITA-DAITO JIMA

南大東島のシリカ含量は池沼の水で平均2.06 ppm，洞穴や其の他で平均6.31 ppm あり，北大東島で平均7.14 ppm である。これは宮古島で兼島（1965）[9] が調べた結果や与那国島で調べた結果に比較すると宮古島より幾分高く，与那国島の石灰岩地帯より低い値である。池沼の水はさらに低く，2.06 ppm を示すが，これはこの両島が炭酸塩岩石から成り，ほとんどケイ酸塩

岩石を産しないことや雨水がほとんど池沼の水の供給源となっていることに基因するもので，シリカと $C\ell^-$ との間には南大東島に於ては図15に示すように，池沼の水を除外して見れば負の相関が見られ，相関係数は－0.58を示す。また北大東島でも図16に示すように相関係数－0.79で負の相関がある。このようなことは陸水と海水の混り合う地域では良く見られることであり，シリカは陸源の水から $C\ell^-$ は海水に由来することからこのような関係が生ずるものであろう。

6－2－8　シリカと Ca^{++} の関係

SiO_2 と Ca^{++} の関係を図17と図18に示す。南大東島では池沼の水と洞穴の地下水をまとめて見た場合，正の相関がほぼ認められるが，北大東島ではほとんど関係は見出せない。兼島（1965）[9] が宮古島や石垣島の石灰岩地帯の水について調べた結果では SiO_2 と Ca^{++} は一部に於て正の相関を示すことを指摘しているがこれと一致するものであり，これは SiO_2 や Ca^{++} が少ない水はほとんど池沼の水でこの水は雨水によってのみ供給されたもので石灰岩との接触がほとんどないためである。また Ca^{++} が多い水は洞穴や井戸の地下水であり，これは雨水が石灰岩の層を通過する間に Ca^{++} と同時に SiO_2 も溶解して来たためと考えられる。

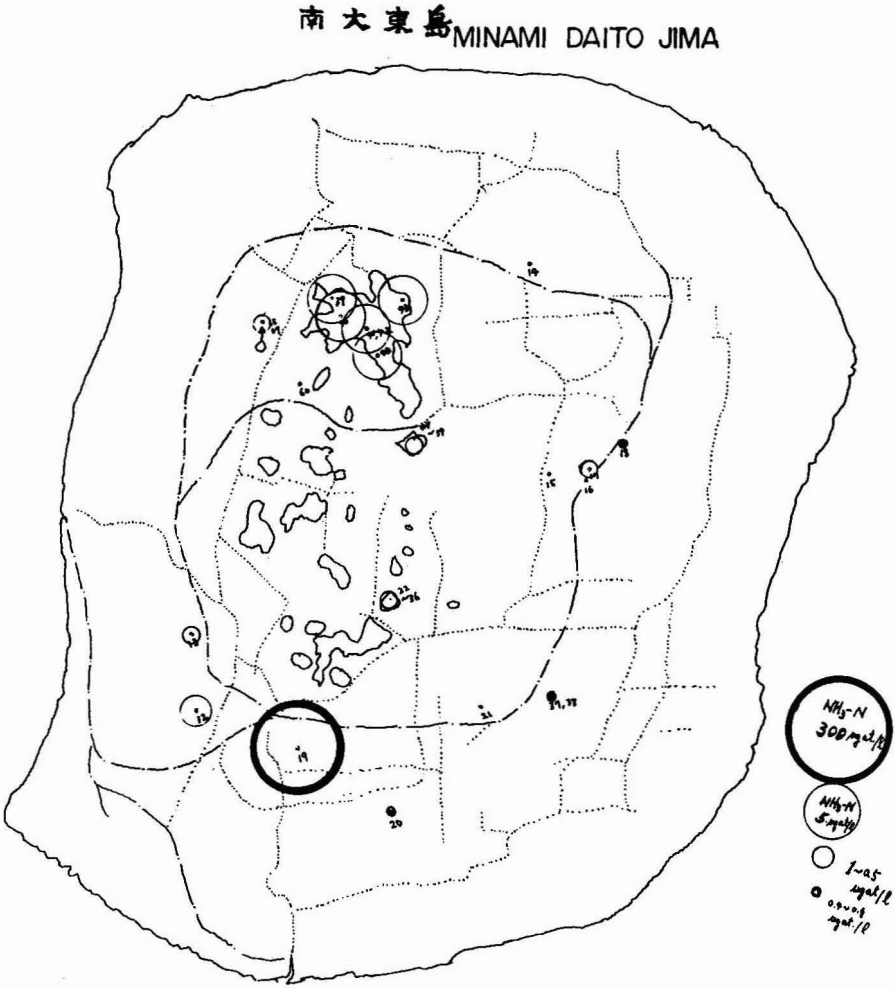

Fig. 19　Distribution of NH_3-N in land waters of MINAMI DAITO JIMA

6－2－9　アンモニアの含量

南大東島および北大東島の NH_3 －N の分布について図19と 図20に示す。図に見るように NH_3－Nの分布は南大東島では居住区の近くに多く，特に気象台裏の洞穴D－19には NH_3 －Nとして315μg－at / ℓで NH_3 に換算して5.4 ppm と高濃度のものでひどい汚れようであり明らかに生活汚水の流入が見られる。また診療所裏の洞穴D－12や小中校裏の洞穴 D－13の地下水にもやはりNH_3が認められ居住地区からの生活排水等による汚染がこれらに影響しているのが見られる。次に大池の水に NH_3－Nが5～4μg－at / ℓ と異状に高く，アミダ池や淡水地等にも2～0.1μg－at / ℓ 程度認められ底質の腐泥からのものか人為的汚染か明らかに出来なかったが底層は藻が一面に繁殖して汚れていたことから有機物の腐敗によって NH_3 が供給されたものか或は農業用の肥料等による影響などとも考える。北大東島ではひようたん池に 57.81 μg－at / ℓと赤池に29.42μg－at / ℓ と南大東島の池沼に比較して高濃度に含まれて汚れが目立つ。ここでも居住地区の井戸水に NH_3 が高濃度にあることは南大東島に似ている。これらは製糖工場の排水や居住地からの生活排水のはけ口のないことに基因するものであろう。赤池には製糖工場の排水が流入しておりその影響が大きくきいていると思はれる。ひようたん池は降雨が少なかったためか，かなり水量がへって黒く汚れていたので，おそらく有機物の分解で

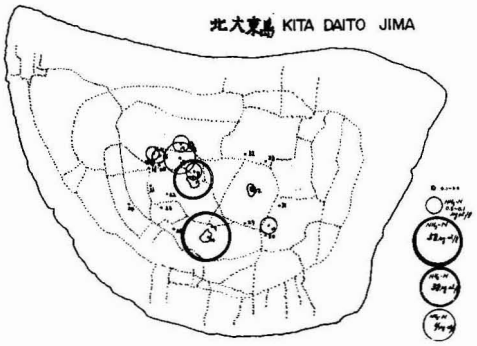

Fig. 20　Distribution of NH_3-N in land waters of KITA DAITO JIMA

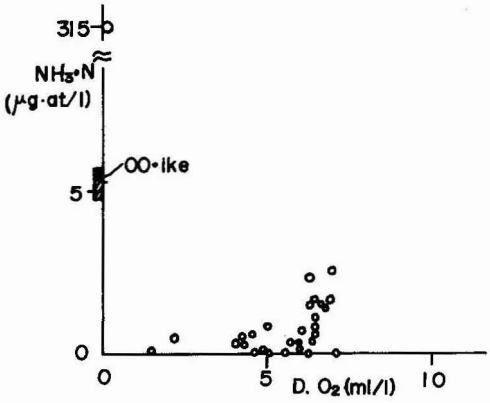

Fig. 21　The relationships of NH_3-N and dissolved O_2 in the land waters of MINAMI DAITO JIMA

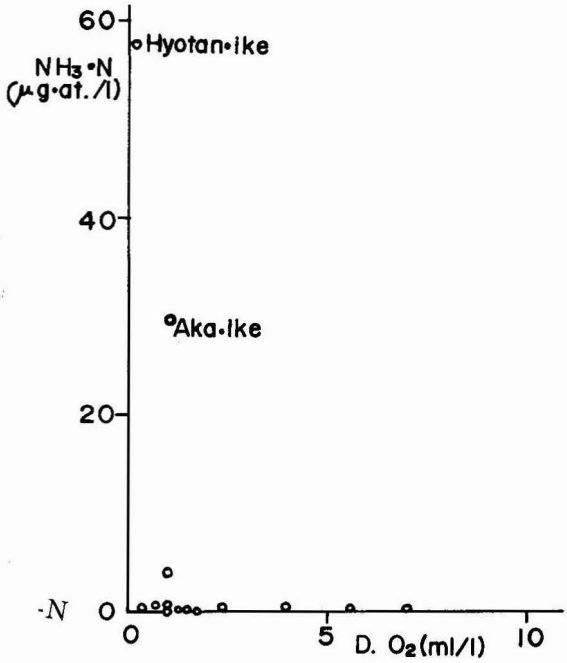

Fig. 22　The relationships of NH_3-N and dissolved O_2 in the land waters of KITA DAITO JIMA

酸素も消費されNH₃ が生じたのであろうと考える。

6－2－10　NH_3－NとO_2 との関係

NH_3－N と O_2 との関係を図21と図22に示す。北大東島のひようたん池と赤池を比べてみると，NH_3－N はひようたん池が2倍ほど多いのに，PO_4－P はほぼ同程度である。O_2 はひようたん池が少ない，赤池に比べ，ひようたん池はより還元的環境をつくっていると考えられる。

池の水以外の井戸や洞穴の水に関して，南大東島と北大東島との間には図に見るようにNH_3－N と O_2 の関係パターンにはっきりした違いがある。南大東島の水が北大東島の水に比べO_2 も NH_3－N も多いのが特長であり，北大東島はNH_3の供給源が島も小さく人口も少ないせいももあって少ないのかも知れない。全体として両島ともO_2 が減少するとNH_3 が増える傾向にある。これは汚染との関連によるものであろう。

6－2－11　NH_3－N と PO_4－Pとの関係

NH_3－N と PO_4－P との関係を図23と図24に示す。南大東島および北大東島で全般的に見て PO_4 が増すとNH_3 が増す傾向がある。それは南大東島では生活排水が直接に混入している水が PO_4 と NH_3 ともに多く，北大東島ではひようたん池と赤池に PO_4 や NH_3 が多く含まれているためである。ところが南大東島ではD－19の試料を除外して見れば PO_4 含量はほぼ同じでもNH_3 含量にはバラツキがあり，PO_4 とNH_3 比例しているとは見られない。NH_3 の多い水と少ない水とでは環境が異っていると考えられる。

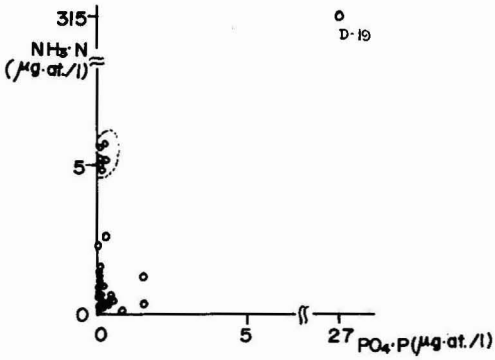

Fig. 23　The relationships of NH_3-N and PO_4-P in the land waters of MINAMI DAITO JIMA

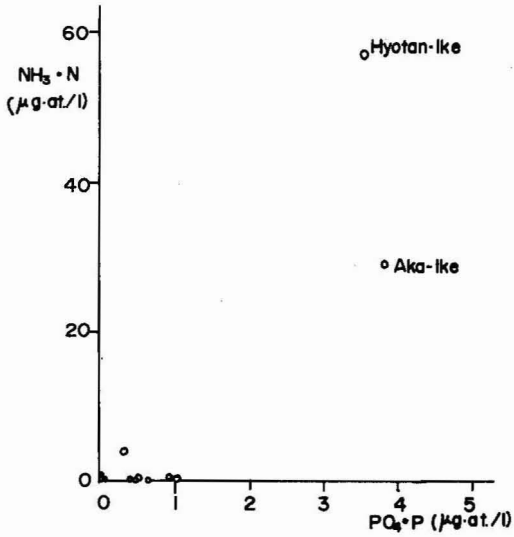

Fig. 24　The relationships of NH_3-N and PO_4-P in the land waters of KITA DAITO JIMA

NH_3 の多い水は大池の水であり，大池では他の池や洞穴の水に比べPO_4 に比較してNH_3 の供給量が多いのであろう。南大東島と北大東島を比べてみると PO_4 含量はほぼ同じであるが NH_3 含量において南大東島の方が多い。何故に南大東島に多いのか，また大池の水にNH_3が多いのか等これら不明の点を解明することはこれら孤島の水系の解明につながることであろう。

6－2－12　PO_4－PとO₂との関係

PO_4－Pと O_2 との関係を図25と図26に示す。PO_4 の最も多く含まれるものは生活排水が直接に混入していると見られる南大東島の気象台裏のD－19の洞穴である。次は北大東島の赤池，ひようたん池，その次は南大東島の洞穴の水D－12と井戸水D－20である。残りの水は1μg－at／ℓ以下で大部分はおよそ0.6μg－at／ℓである。北大東島ではタンクに貯えてある雨水試料が分析されているので PO_4－Pと O_2 との関係を三つのパターンにわけて考えることが出来る。先づ第一は雨水よりも O_2 が多くなる場合で北大東島KD－12の大池の水がこれに相当する。これは藻類の同化作用によるものと考えられるがこれを Surface Water line とする。残りの2つのパターンは雨水よりも O_2 が減少する場合であるが O_2 の減少量は同じでも生成される PO_4 含量に明らかな相違がある。PO_4 含量の多い方を Organic line として少ない方を Well Water line とする。

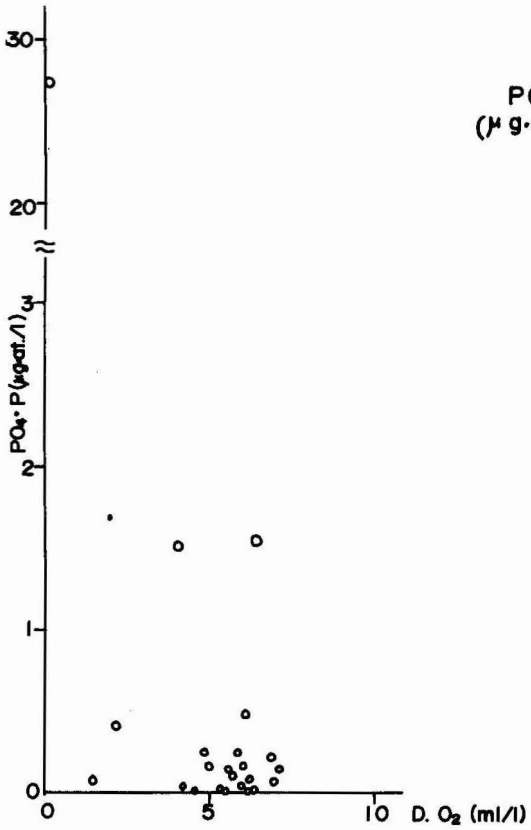

Fig. 25　The relationships of PO_4-P and dissolved O_2 in the land waters of MINAMI DAITO JIMA

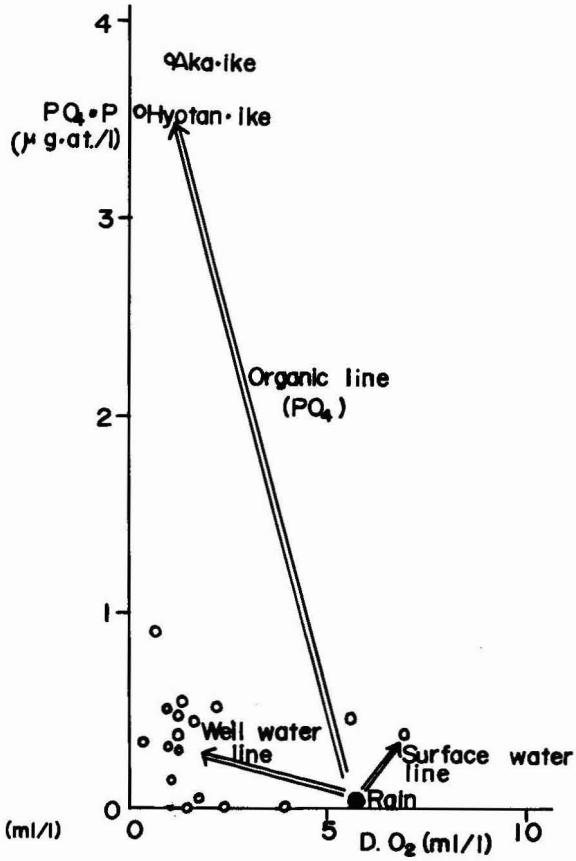

Fig. 26　The relationships of PO_4-P and dissolved O_2 in the land waters of KITA DAITO JIMA

南大東島の PO_4-P と O_2 との関係のパターンは O_2 が多いために北大東島におけるこれらのパターンとは違っている。北大東島でも南大東島でも PO_4-P の値はほとんど井戸や洞穴の水について同じであるが，全体としては O_2 が減少すると PO_4 が増加する傾向にあり，これは NH_3-N と O_2 との関係に似ており，汚染との関連を暗示する。

6－2－13　南大東島および北大東島の水質組成

これまで南大東島および北大東島の水質について主なる陽イオン Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+} および K^{+} など主なる陰イオン Cl^{-}, SO_4^{--}, HCO_3^{-} などと微量成分の SiO_2, NH_3-N, PO_4-P それに O_2 などについて各成分相互の関連について述べて来たが，主成分をとってそれぞれの相互関連を見るため，これまでのものをまとめて水質組成について表示したのが図27と図28である。南大東島および北大東島共にキーダイヤグラムで表示した水質組成はほとんど類似しており，大部分は海水の影響を強く受けた $NaCl$ 型の水で一部に $Ca(HCO_3)_2$ 型の水に $CaSO_4$ 型の水がある。南大東島では $Ca(HCO_3)_2$ 型から $NaCl$ 型に Cl^{-} の増加につれて直線的に移行しているのが見られる。

これはここの地質がほとんど炭酸塩岩石で構成され雨水はこれら炭酸塩岩石層を通過して，地下水となり海水と混合して海に流出するからと考えられる。北大東島では $Ca(HCO_3)_2$ 型の水が $CaSO_4$ や $MgSO_4$ 型の水をへて $NaCl$ 型の水に直線的に移行し南大東島よりも顕著に海水の浸入が現在進行していることを示している。

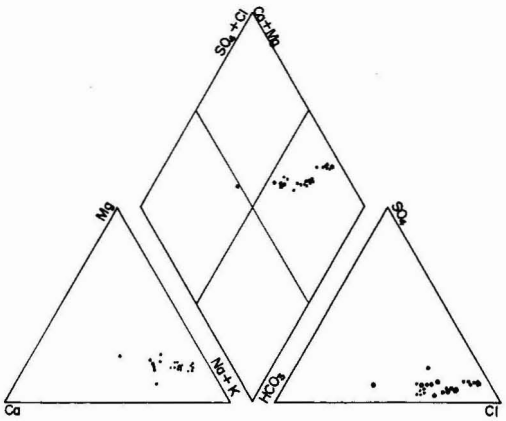

Fig. 27　Key diagram concerning chemical compositions in land waters of MINAMI DAITO JIMA

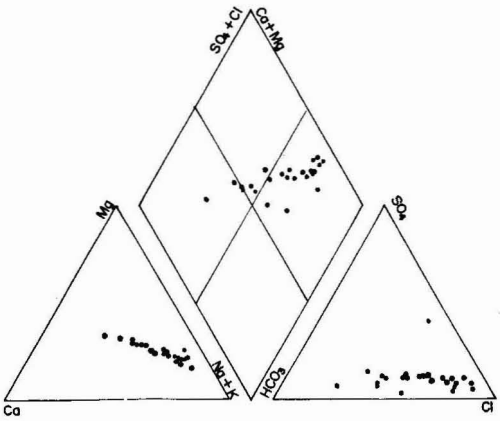

Fig. 28　Key diagram concerning chemical compositions in land waters of KITA DAITO JIMA

6－3－1　池沼の水質

南大東島の大池，アミダ池および淡水池についてゴムボートの上から各層の水を採水して層による水質の相異について調べた。その結果，大池に於ては面積が広いせいもあって北側と南側で幾分か水質を異にし Cl^{-} も東西の水門などのある関係で他の池より高めであり，アンモニアを多量に含むことを特長とすることがわかった。(1)アミダ池については中央と東西南北の5地点で採水した。アミダ池の測量は新井正（1975）[5] の報告があり，最も深いところで7.9mとなっている。今回の調査では中央部6mの深さの水を採水も行った。それら分析結果は表1に示してある。

水温について，図29にアミダ池の深さによる水温の変化を示す。図に見るように表面に於て22.7～23.0℃を示すが深度を増すにつれて次第に低下し，最低温度は南側の水深 5.0mのところで19.1℃を示す。

塩素イオンについて，図30に深さとCℓ⁻との変化を示す。Cℓ⁻の変化はまちまちで規則的変化はないが，中央部では表面水は濃度低く除々に深さによって濃度を増し，最深部でやゝ低下する。北側はほとんど変化なく一定で，東側と南側が深さを増すと少し低下する。西側も中央部に似て表面低く中位層で上昇し，深層で低下する傾向を見せている。何れも深層で濃度が低く，この図から見てアミダ池の塩分は決して下層より供給されてないことを示し，海水が下から入って来てないことは明らかである。アミダ池は中尾欣四郎（1975）[10] によれば潮汐による水位の変化があり，12時間周期の変化を観測している。そして那覇との比較で6時間遅れで良く対応するとして島の中央部にあるアミダ池も海と地下流通が顕著であると報告している。しかし今回の調査で直接の海水の流入がないことが明らかに示された。

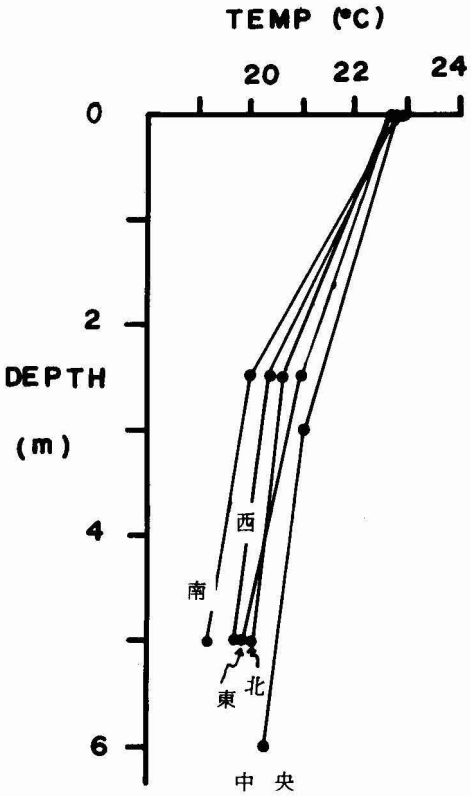

Fig. 29 Vertical profile of water temperature (AMIDA-IKE)

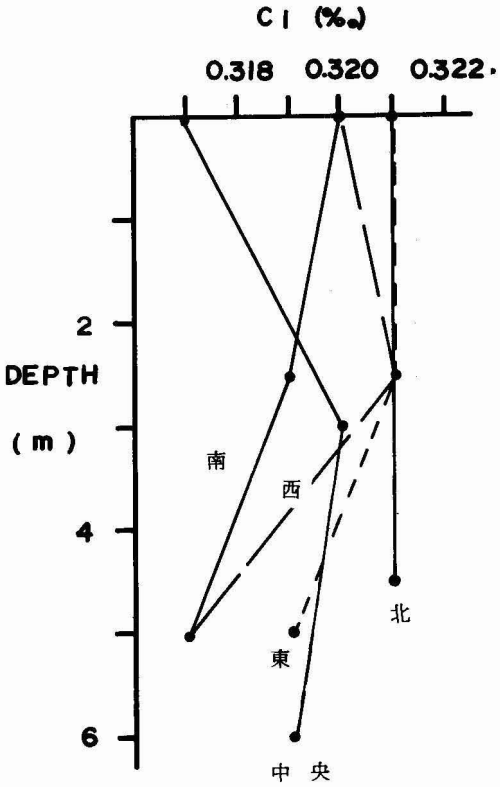

Fig. 30 Vertical distribution of Cl⁻ion concentration (AMIDA-IKE)

シリカの濃度について，図31にSiO_2は一般に表面で2.03～2.05 ppm であるが中位層でやゝ低下し，下層で再び上昇し，3.1～4.2 ppm の値を示している。SiO_2が下層で増加することは

底質からのSiO_2の溶出によるものであろう。

リンの濃度について，PO_4－Pの濃度変化を図32に示す。PO_4－Pは表面では検出されず下層に行くにつれて一様に増加する。最も多いのが北側からの溶出が考えられる。

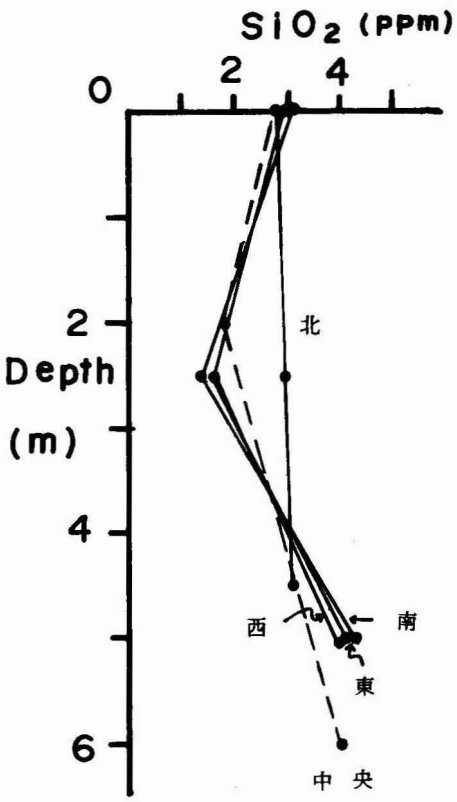

Fig. 31 Vertical distribution of SiO_2 concentration (AMIDA-IKE)

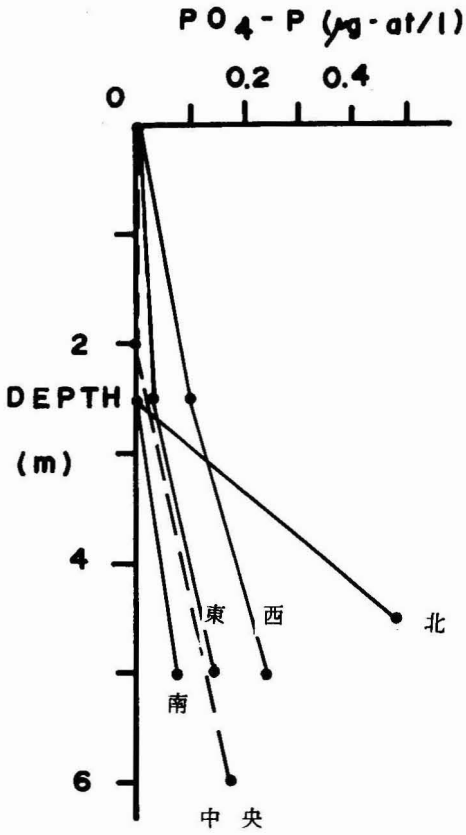

Fig. 32 Vertical distribution of PO_4-P Concentration (AMIDA-IKE)

溶存酸素について，溶存酸素は一様に表層に多く下層に移るにつれて減少を見せる。

(2) 淡水池について，淡水池は南大東島の大池のすぐ南側に続く池で大池と水路によってつながっている。島のほぼ中央部に位置するせいか塩分が最も低いのが特長である。この池では中央部と東西南北の5地点の採水を行った。中央部の最も深いところ4.5mの採水点が最も深い層の水である。分析結果は表1に示す通りである。水温について，図33に水温変化を示す。

水温は表面で22.0～22.9℃で中央郎と東，西，南の4点では下層に移るにつれて低下する。しかし北側はこれらとは幾分異なり一たん中位層で低下した後，下層で再び上昇している。ここは大池との水路もあり，これからの流れの影響も考えられ複雑になっているせいかとも考える。

塩素イオンについて，Cl^-の濃度変化は複雑で中位層で中央部と東と西の3地点で表層より低下するが，南と北の2地点では上昇する。さらに中央部は下層で上昇するのに北側では急激に

低下するなど一定の規則性は見られず複雑であるこれは大池との水路さらに西側の水路などがあるため水の出入が複雑のせいかとも考える。図34にこれを示す。

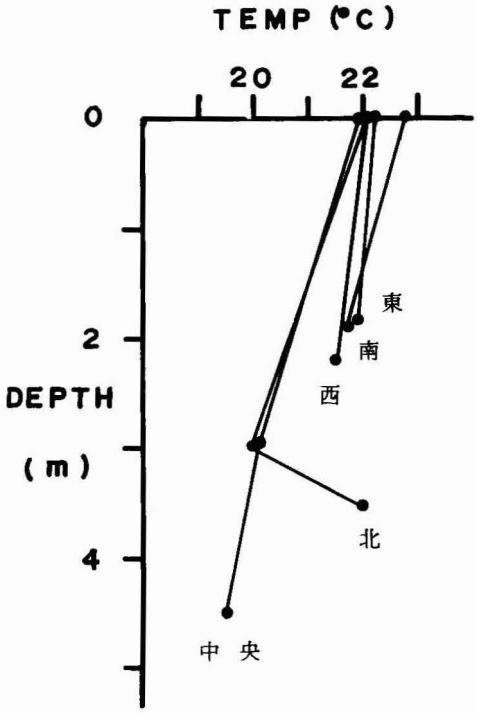

Fig. 33 Vertical profile of water temperature (TANSUI-IKE)

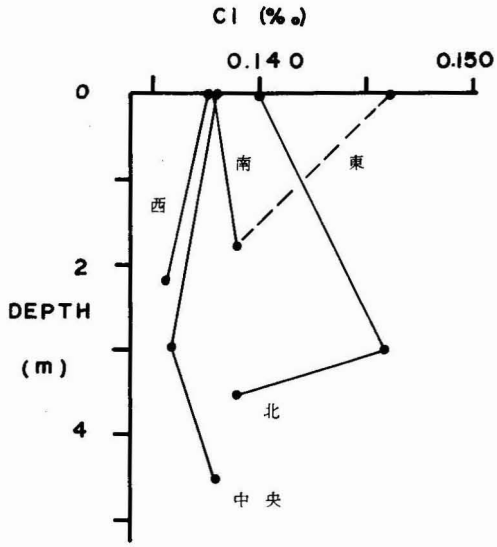

Fig. 34 Vertical distribution of Cl^- ion concentration (TANSUI-IKE)

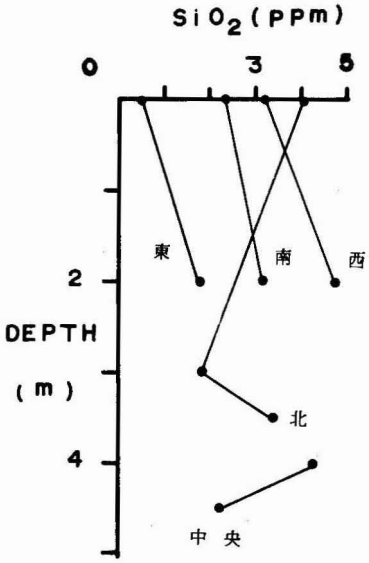

Fig. 35 Vertical distribution of SiO_2 concentration (TANSUI-IKE)

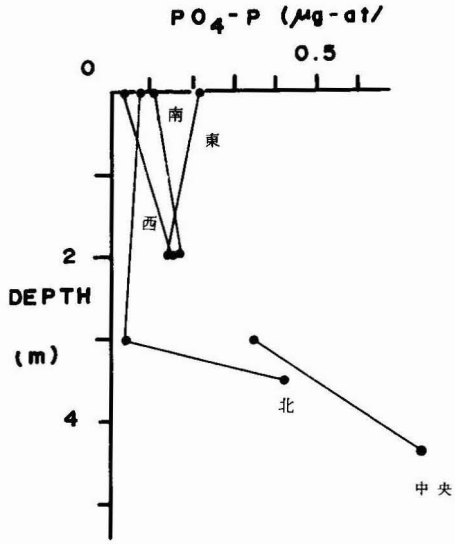

Fig. 36 Vertical distribution of PO_4-P concentration (TANSUI-IKE)

シリカの変化，SiO_2 の濃度変化を図35に示す。SiO_2 も表層で0.5～4.0 ppm の値で下層に移るにつれて東，西，南の三地点では増加している。北側では一度低下して後下層で上昇しこれはアミダ池に類似している。

PO_4－P の濃度変化，リン酸イオンの濃度変化について図36に示す。これもアミダ池に似て下層に移るにつれて増加する傾向が認められる。

6－4－1　南北両大東島における陸水と炭酸塩岩石との関係

両島における陸水の化学組成は基本的には第一に海水の直接及び間接的例えば風送塩などの混入による量と次に岩石からの溶出量や逆に岩石や粘土に取られる量，さらに人間生活用水の影響，そして人間以外の動植物体の腐敗分解による溶出量などによって規定されると考えられる。各元素の海水からの混入量はCl^-の濃度を基準にして求めることができる。このような考え方でCa^{++}, Mg^{++}およびHCO_3^-について考察してみるとこれら三つの化学種は海水以外から供給された量も多いということがわかる。それではこれら，海水以外から供給されたと考えられるCa^{++}, Mg^{++}, HCO_3^-がどこから供給され，これらの間にはどんな関係があるか，そのことについて考えてみる。

6－4－2　Mg^{++}とSO_4^{--}の関係

海水以外から供給されたと考えられるCa^{++}, Mg^{++}, HCO_3^- 等の供給源を考える時，両大東島ではまず炭酸塩岩石からの溶出を考えなければならない。炭酸塩岩石の中でもドロマイト岩が重要である。

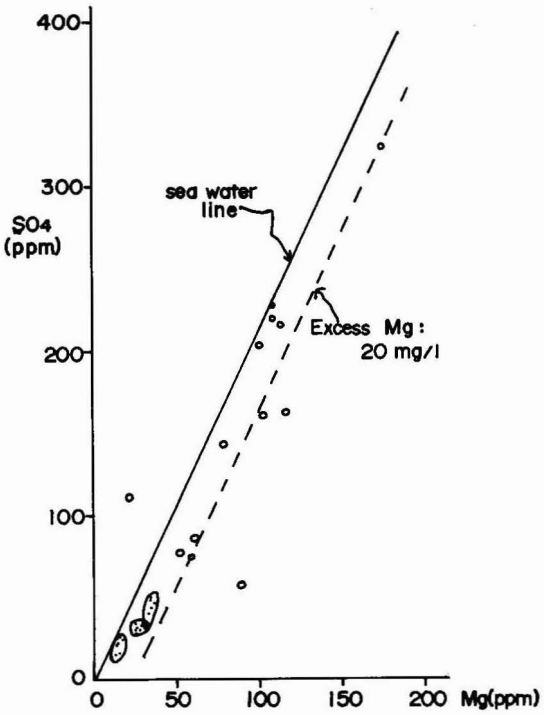

Fig. 37　The relationships of SO_4^{--} and Mg^{++} in the land waters of MINAMI DAITO JIMA

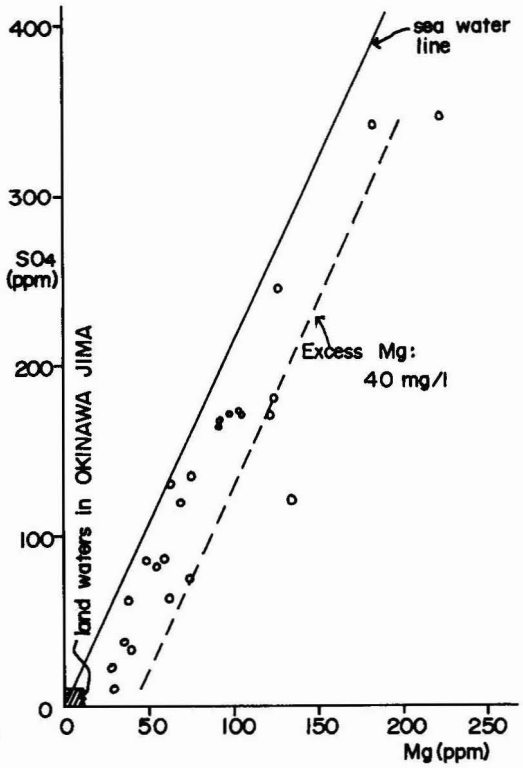

Fig. 38　The relationships of SO_4^{--} and Mg^{++} in the land waters of KITA DAITO JIMA

それでMg^{++}についてSO_4^{--}との関係が両島でどうなっているかを示したのが図37と図38である。Mg^{++}と$C\ell^-$の関係図を見るともっとはっきりするが，北大東島の水が南大東島の水よりも過剰Mg^{++}量（海水以外からきたと考えられるMg^{++}量）が多いということがわかる。それで以下に於てはまず北大東島の水について考えてみる。なお図38には沖縄本島の陸水においてMg^{++}とSO_4^{--}が図上でどんな位置にあるかをも示した。大東島の水が沖縄本島の水に比べていかにMg^{++}とSO_4^{--}ともに多いかがわかる。図37でMg^{++}が50 ppm 以下のところに3つの集団がある上から順に大池，アミダ池，淡水池である。南大東島のドロマイト岩石の地理的分布は大出[12)][11)]によって調べられている。図37では過剰Mg^{++}量の多い水は大出によるドロマイト岩の分布する地域で，過剰Mg^{++} はドロマイト岩からの溶出が検討されねばならない。

6－4－3　北大東島におけるHCO_3^-と過剰$Ca^{++}+Mg^{++}$の関係

図39にこの関係を示す。海水以外から供給されたと考えられるCa^{++}, Mg^{++}, HCO_3^-はドロマイト岩石から溶出してきたものでないかと考えられるのでHCO_3^-に対する過剰($Ca^{++}+Mg^{++}$)の量をプロットしたのが図39である。分析誤差を考慮するとほとんど総ての試料が$(Ca+Mg)(HCO_3)_2$の線上に乗っていて過剰のCa^{++}, Mg^{++}, HCO_3^-がドロマイトを含む炭酸塩岩石から供給されたものであることが明らかである。四つの試料でHCO_3^-に対し，過剰の$Ca^{++}+Mg^{++}$の方が多いのがある。これらの試料は地理的にも近くに産し，炭酸塩岩石以外から（$Ca^{++}+Mg^{++}$）が供給されている可能性がある。HCO_3^-の方が多い試料も一つある。

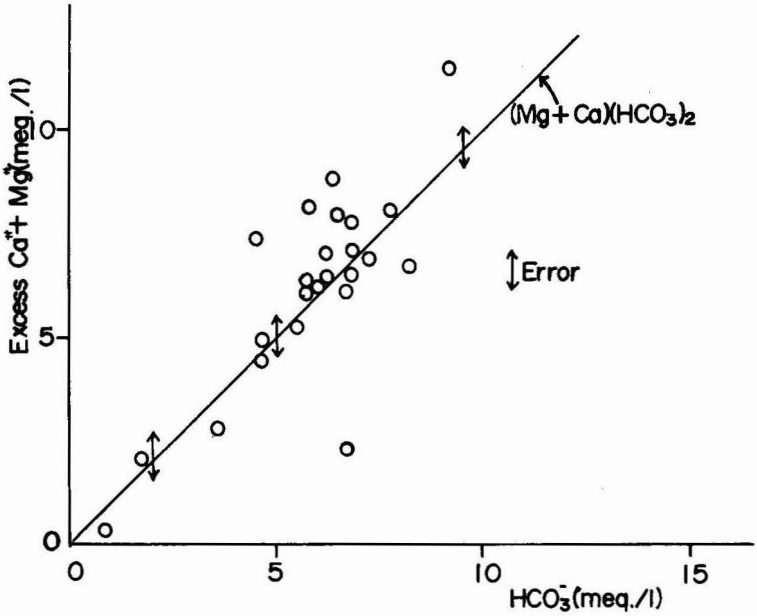

Fig. 39 The relationships of excess $Ca^{++}+Mg^{++}$ and HCO_3^- in the land waters of KITA DAITO JIMA

6－4－4　北大東島における$C\ell^-$と過剰Ca^{++}, Mg^{++}の関係。

過剰Ca^{++}, Mg^{++}, HCO_3^-はほとんどがドロマイト岩からの溶出によるということが明らかになったが，炭酸塩岩石の溶出は海水混入によって，すなわちイオン強度が増すことによって，促進されるものかどうかを見るため$C\ell^-$に対して過剰Ca^{++}, Mg^{++}を各々プロットしたのが図40

と図41である。$C\ell^-$濃度の低い所にある赤池，大池，ひようたん池も含めると特にCa^{++}の場合には$C\ell^-$濃度と過剰量とは比例関係があるように見える。しかしこれらの表面水を除いてみると$C\ell^-$濃度と過剰Ca^{++}量の関係ははっきりしなくなる。Mg^{++}についてはさらにあいまいに見える。おそらく炭酸塩岩石の溶出量は海水混入量とは一義的関係にはないのだろう。

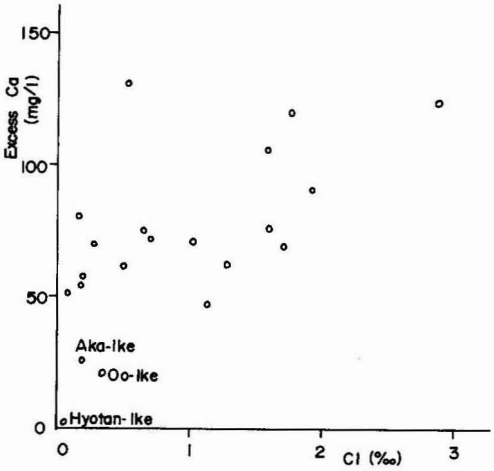

Fig 40　The relationships of excess Ca and Cl in the land waters of KITA DAITO JIMA

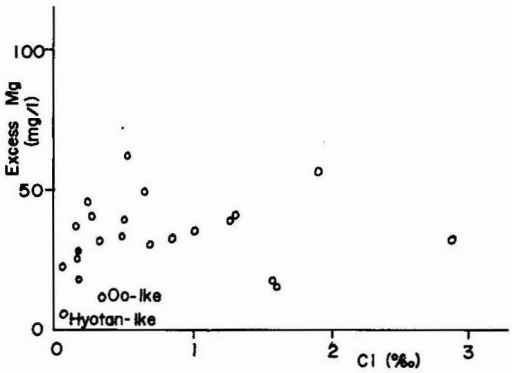

Fig. 41　The relationships of excess Mg and Cl in the land waters of KITA DAITO JIMA

6－4－5　南北両大東島における過剰Ca^{++}とMg^{++}の関係

図42に過剰Ca^{++}とMg^{++}の関係を示す。過剰のCa^{++}とMg^{++} のほとんどは炭酸塩岩石から溶出したものであり，ここでは炭酸塩岩石の中のドロマイト岩の寄与がどの程度であるかについて考察してみる。図42にはドロマイトのみが溶出するときの過剰Ca^{++}とMg^{++}の関係を示す線，Dolomite 1＋$CaCO_3$ 0.1の割合で溶けてきたときの線，Dolomite 1＋$CaCO_3$ 1の割合で溶けてきたときの線，Dolomite 1＋$CaCO_3$ 3の割合で溶けてきたときの線が入っている。$CaCO_3$のみが溶けてきたときの線は横軸になる。この図でみると南大東島と北大東島の違いがはっきりと区別される。なおDolomiteの化学組成は$CaMg(CO_3)_2$である。

大まかに見て南大東島での過剰Mg^{++}量は20～30mg／ℓ，過剰Ca^{++}量は70～90mg／ℓで北大東島におけるそれらは各々30～50mg/ℓ，60～80mg/ℓ である。ドロマイトの寄与は南大東島よりも北大東島の方が多いということがわかる。北大東島の水は過剰Ca^{++}とMg^{++} の図においては二つのグループに分けられそうである。

ほとんどの試料がこれに属するがドロマイトのみが溶けてきたときの線からDoℓomite 1＋$CaCO_3$ 0.1の割合で溶けてきたときの線のふきんにあるグループと過剰Ca^{++}の割りには過剰Mg^{++}の少ないグループである。過剰Mg^{++}の多いグループにおいては過剰Ca^{++}とMg^{++}の100～90%はドロマイトから溶けてきたものである。過剰Mg^{++}の少ないグループは試料番号KD－15, 14, 16, 21（過剰Ca^{++}が多くなる順）で地理的に近いところに位置している。

南大東島の水における過剰Ca^{++}とMg^{++}は90%がドロマイトからのものもあるが，多くの試料におけるドロマイトの寄与は50%以下である。大池，アミダ池，淡水池の水においては過剰Ca^{++} Mg^{++}のほぼ30%がドロマイトからきている。両島において過剰Ca^{++}とMg^{++}の合量は地下水で

80～190mg/ℓで他の炭酸塩岩石地域の水(図42にはBとして沖縄本島南部地域の水が印されている）と比べると多い。地下水の量と滞留時間が他の炭酸塩岩石地域と同じであれば南北大東島での岩石溶出量は多いと結論される。

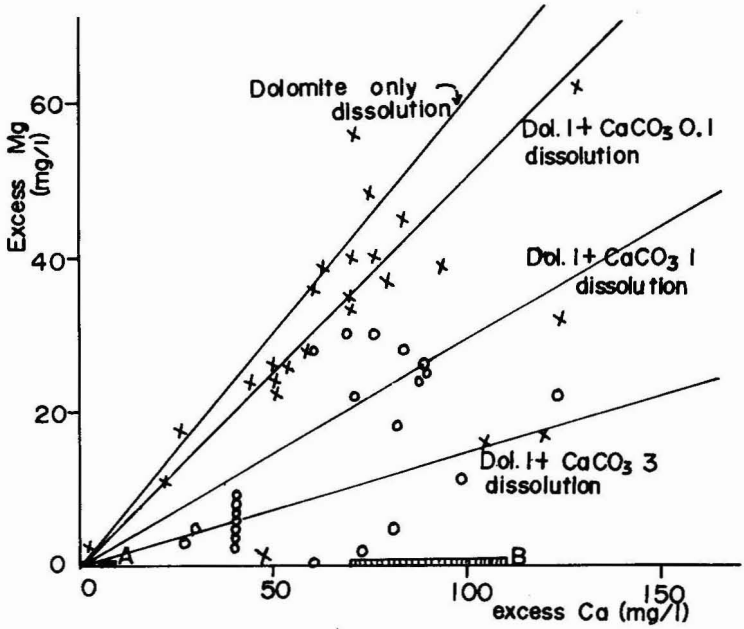

Fig. 42　The relationships of excess Mg^{++} and Ca^{++} in the land waters of MINAMI and KITA DAITO JIMA (○ MINAMI DAITO JIMA, × KITA DAITO JIMA) A:OKINAWA JIMA HOKUBU B:OKINAWA JIMA NANBU

6－4－6　両大東島の水のドロマイトに対する飽和度

両大東島の水はドロマイトに対して飽和かどうか，次にドロマイトに対する飽和度を計算してみた。計算方法はGarrels とThompson (1962)[13] のモデルに依った。試料としては北大東島の砕石場湧水であるKD－11を用いた。 GarrelsとThompson が考えているのと同じ17種の化学種を考え，各化学種の活量係数はDebye－Hückel の式を用いて求めた。(R. A Berner (1971)[14] によればイオン強度0.1まではDebye－Hückel 式がそのまま使える)。各化学種の平衡定数は25℃，1気圧での値を用いた。(Garrels and Christ (1965))[15] Ca^{++}, Mg^{++}, CO_3^{--} の活量を求め，$a_{Ca^{++}} \cdot a_{Mg^{++}} (a_{CO^{=}})_2$ を計算すると8～10×10^{-17}となる。この値はこれまでに報告されているDolomiteの溶解度積のどの値 (Sillen and Martell (1964)[16] による)よりも大きく，KD－11はDolomiteに対していく分過飽和であるといえる。Halla (1962)[17] によるDolomiteの溶解度積は1.26×10^{-17}であり，この 値と比べると大東島の水は Dolomiteに対して6～8倍過飽和であるといえよう。

6－5－1　南北両大東島の地下水に対する海水の影響

南大東島では池沼の水のCℓ^-が最低でも0.136‰ で100 ppmを越しており，最高は2.1‰にも達し，相当に海水の影響を受けている。また北大東島でも Cℓ^- は最低はひようたん池の48 ppmで最高は学校使用水の2.86‰と異状に大きく平均766 ppm を示し，ここでも海水の影響が大

きい。そこでこれまで調査した結果のCℓ^-の濃度をほとんど海水からの影響とみて塩分の等値線図を大まかに描いてみた。図43と図44がそれである。図に見るように南大東島では大池の近くの西の水門附近が高くまた南区でも高い値を示す。そして中央部の池沼の多くある地域で低い値を示し，水はすり鉢状の盆の中央部にたまり，主として南と北から浸入して来た海水とその水圧によって平衡を保っていることが推察される。このことは武永（1965）[1]も指摘しており，海水と真水の境界はほぼ簡易鉄道環状線あたりであろうと述べている。しかし武永の報告には地図等はなくただ方位が示されているだけでどの地点で海水が入り込んだかは明らかに示されてないが，今回の筆者らの調査結果とほぼ一致するようである。塩分の最も少ない地域は飛行場を中心に淡水池，アミダ池，秋葉神社西500mの洞穴の水などであり，大池等は近くに海に通ずる水門があるため海水の影響がみられ，また南区は特に高くこれは亀池港近くに大きな石灰岩のFissureがありこれが南北方向に進んで切れ込んでいるため海水は石灰岩の割れ目や地下の石灰洞を通って浸入していることなどが考えられる。

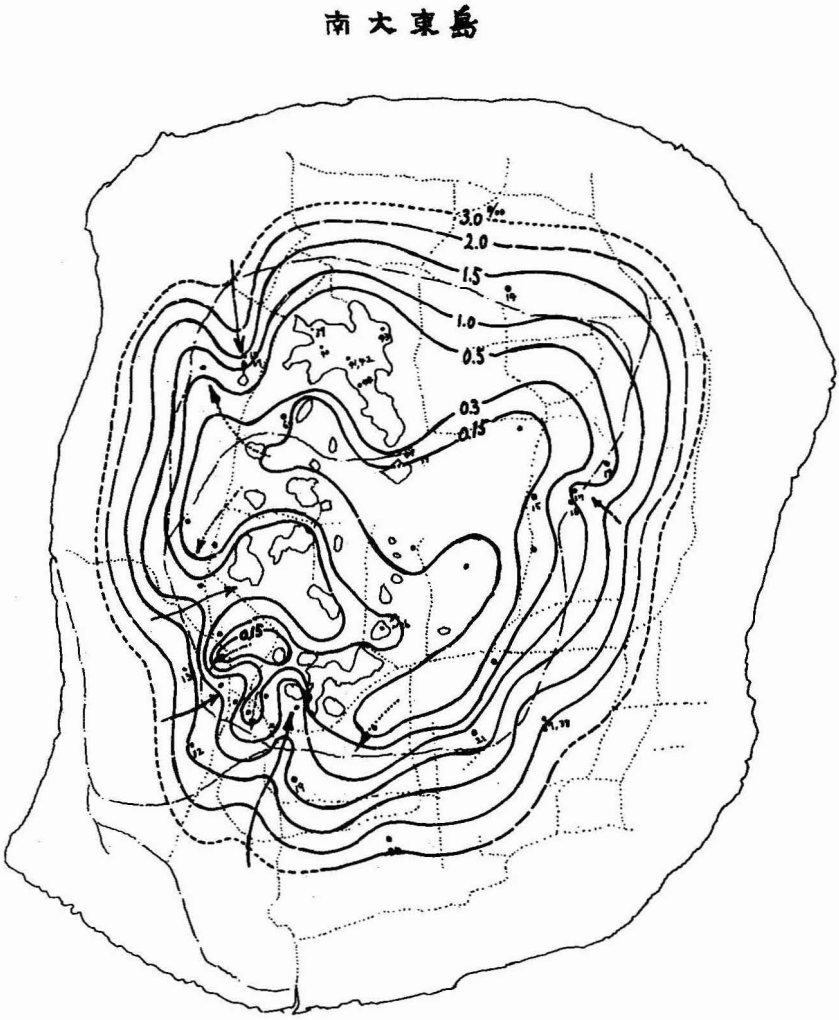

Fig. 43　Concentration contour line of chlorinity in　Minami　Daito　Jima

北大東島も図に見るように，島の中央部の盆地の池沼の多いところで塩分濃度が低く，周囲に向って急激に高くなっている。そして島の東と西からの海水の浸入が特に目立ち，さらに北東側からの浸入も考えられる。このことは海水の浸入経路となる石灰洞や地下の石灰岩の割れ目などが東西方向に存在することを暗に示すものであらう。このように北大東島での地下水に対する海水の影響は島が小さいこともあって，とても顕著であり，多量の揚水は海水の浸入を助ける原因となり得るものでそのため自づとこの島に於ける用水の量には制限があろう。

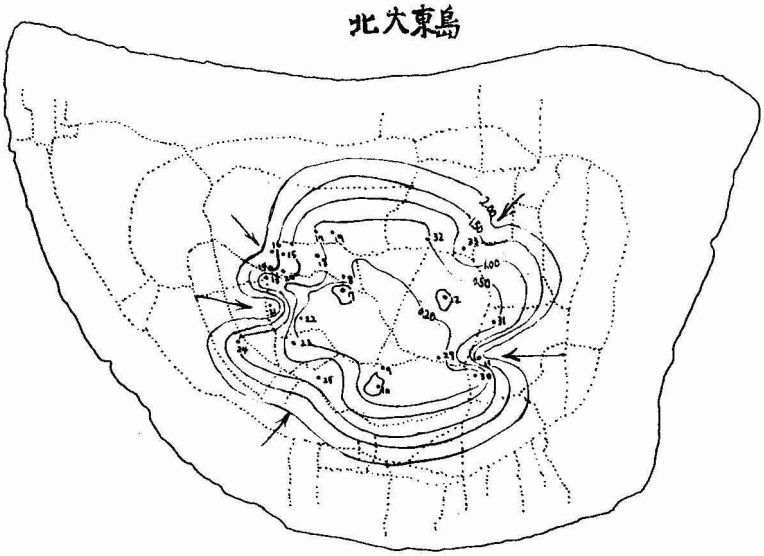

Fig. 44 Concentration contour line of chlorinity in Kita Daito Jima

Ⅶ 総 括

南大東島および北大東島の池沼の水や洞穴ならびに井戸の地下水を調べ次のことを明らかにした。

1）Na^{+}と$C\ell^{-}$の間には正の相関（相関係数＋0.99）があり，それは海水の線と一致し，高濃度であることから海水の影響が大きい。

2）Mg^{++}と$C\ell^{-}$の間には正の相関(＋0.95～＋0.98)があり，海水の線にほぼ一致するが一様にMg^{++}が$C\ell^{-}$より高く，Dolomiteからの溶出が見られる。

3）SO_4^{--}と$C\ell^{-}$の間には正の相関（0.86～0.95）があり，海水の比とほぼ一致する。

4）$C\ell^{-}$やHCO_3^{-}とCa^{++}との間には或る程度正の相関があるが$C\ell^{-}$が減少すると$C\ell^{-}$に対するHCO_3^{-}やCa^{++}の濃度が増加し，海水以外からのHCO_3^{-}やCa^{++}の供給がある。Ca^{++}とHCO_3^{-}とは正の相関をなす。

5）K^{+}と$C\ell^{-}$の間には正の相関が見られるが，一部海水の線より大きくずれるのがあり，生活排水による汚染が見られる。

6）シリカ含量は池沼で少く，洞穴でも6～7 ppm程度で低く，$C\ell^{-}$と負の相関が見られる。SiO_2とCa^{++}はやや正の相関を示す。

7）アンモニアは一般に高い値で特に居住地区の洞穴の水は生活排水の汚染によって高濃度である。南大東島の大池の水にもアンモニアが高く含まれる。アンモニア濃度が増加すると溶存酸素が減少する傾向が見られる。

8）PO_4－Pもアンモニアの多い水に多いものがある。リン酸と溶存酸素の間には三つのパターンが見られ，汚染による酸素欠乏の水にリン酸が多い型と，酸素の多いものにリン酸が少ないもの，また酸素もリン酸も少ない型の三つである。

9）南北両大東島とも水質組成はよく類似し，大部分が$NaC\ell$型であり，一部に$Ca(HCO_3)_2$型や，$CaSO_4$，$MgSO_4$型がある。そして$Ca(HCO_3)_2$型から直線的に$NaC\ell$型に移行しているのが特長で，代表的な島峠型の水質を示し，海水の影響を強く受けている。

10）池沼における表層から下層への水質の変化はアミダ池、淡水池について調べた結果，水温はアミダ池では下層に移るにつれて低下する。$C\ell^-$も表層より下層に移るにつれて低下がみられ，海水が池の底から浸入することはない。SiO_2は表層より下層に多く底質よりの溶解が見られ，PO_4－Pも同様である。

淡水池については大池や其の他の池への水路で複雑につながっているせいで，アミダ池ほどに規則性はみられず複雑である。SiO_2とPO_4－Pはアミダ池に類似する。

11）両島の陸水と炭酸塩岩石との関係を検討した。Mg^{++}に対するSO_4^{--}の濃度は海水の線にほぼ一致するが一様に海水線よりもSO_4^{--}に対しMg^{++}が多く，炭酸塩よりMg^{++}が溶出することを示している。海水以外から供給されたCa^{++}とMg^{++}およびHCO_3^-との関係は$(Ca+Mg)(HCO_3)_2$の線上にあり過剰のCa^{++}とMg^{++}がDolomiteを含む炭酸塩岩石からの溶出を示している。北大東島の水の中のCa^{++}やMg^{++}については海水以外から来た過剰のCa^{++}とMg^{++}と$C\ell^-$との関係は$C\ell^-$に必ずしも相関しない。海水以外から来た過剰Ca^{++}やMg^{++}量はDolomiteから来たものであるが，北大東島のものは南大東島のに比べCa^{++}やMg^{++}の量が多く，北大東島の方が南よりより多くDolomiteの影響を受けている。南北両大東島の水のDolomiteに対する飽和度は高く，6～8倍も過飽和である。

12）南北両大東島の地下水に対する海水の影響は大きく，等塩分線によって図示すると，南大東島では北の方と南からの海水の浸入が見られ，北の大池近くの東西両水門からの浸入と，南区の亀池港近くの石灰岩のFissureからの海水の浸入が推定され，これは武永の結果とも一致する。中央部の淡水池，アミダ池地域が塩分は最も少ない。北大東島に於ても南大東島と同様に中央部の池の多い地域に塩分の少ない水があり，島の周囲に向って急激に塩分濃度が増し，島の東西方向からの海水流入が顕著である。

これは地下に東西方向に石灰岩の割れ目か石灰洞のあることを暗示するものである。

参考文献

1）武永健一郎（1965）：沖縄南大東島の池沼と地下水，地理科学，4，6－14

2）武永健一郎（1972）：沖縄南大東島の洞穴とその地形的意義，Japan Caving 13 Vol.4 NO.3 57－65

3）愛媛大学探検部（1972）：南大東島の洞穴，琉球列島第八次学術調査報告書

4）中尾欣四郎（1975）：湖沼推積物からみた水収支の基礎的研究，昭和49年度文部省総合研究（A）

5）新井正（1975）：南大東島，北大東島の湖沼の湖盆形態，湖沼推積物からみた水収支史の基礎的研究。3－4

6）Y. Kitano, S. Kanamori, K. Kato, N. Kanamori, R. Yoshioka, L. I. Knoules, G. W. Kunze and D. W. Hood (1969)：Migration of Chemical Elements through phases of the Atomosphere, Hydrosphere and Lithosphere in the Juneau Glacier area 1. Geochem. Jour. 3, 99−115

7）渡久山章（1972)：推積環境における元素の移動(第3報）石灰岩地方の水(1)，琉球大学理工学部紀要 理学篇 15号 81−98

8）兼島清，吉田一晴，平良初男，渡久山章（1973)：与那国島の水質，琉球大学理工学部紀要，理学篇，16号162−180

9）兼島清（1965)：沖縄の河川及び地下水の水質，工業用水 No.81，30−37

10）中尾欣四郎（1975)：南・北大東島湖沼の水収支と湖底推積物，湖沼推積物からみた水収支史の基礎的研究5−7

11）大出茂（1976)：南大東島の炭酸塩物質の地球化学的研究，東京都立大学修士論文

12）大出茂，大田直一，戸村健児（1976)：南大東島にみられるプロトドロマイト・セメント，日本地球化学会年会，講演要旨集 B・16

13）R. M. Garrels and M. E. Thompson. (1962)：Am. J. Sci., 260, 57

14）R.A.Berner(1971):Principles of Chemical Sedimentology Chap. 2, McGRAW-HILL

15）R. M. Garrels and C. L. Christ., (1965)：Solutions, Minerals and equilibria, Harper, New York.

16）L. G. Sillen and A. E. Martell, (1964)：Stability Constants, The Chemical Society.

17）F. Halla (1962)：Sedimentology 1, 191