

## F-5 サンゴ礁における生物多様性構造の解明とその保全に関する研究

### (2) 環境変化がサンゴ礁生物多様性に与える影響に関する研究

#### ②サンゴ礁生物群集の多様性の減少とそれに伴う群集の代謝の変化に関する研究

研究代表者 通商産業省 工業技術院 地質調査所海洋地質部  
海洋資源環境研究室 鈴木 淳

通商産業省工業技術院地質調査所

海洋地質部海洋資源環境研究室 鈴木 淳 ・川幡穂高

平成9～11年度予算額 9,641千円

(平成11年度予算額 2,896千円)

[要旨] 低緯度海域の浅海部に広く分布するサンゴ礁は、陸上の人間活動の影響を受けやすく、サンゴ礁群集の多様性の減少を引き起こしている。本研究では、陸域の影響を受けやすい裾礁タイプのサンゴ礁において水質環境に関する調査を行い、サンゴ礁保全対策のために有用な知見を提供することを目的とする。琉球列島石垣島の周囲には裾礁タイプのサンゴ礁が分布するが、南部の市街地及び農耕地周辺海域では、造礁サンゴ類の多様性の減少、藻類の分布域の拡大など、ストレスを受けた状態のサンゴ礁がみられる。一方、石垣島北部には比較的健全な状態のサンゴ礁が分布する。これらの状態の違いを規定する環境因子を探るために、まず、ストレスを受けた状態にあると考えられる白保地域（轟川河口より白保集落地先）のサンゴ礁をモデル海域に設定し、陸源物質のサンゴ礁への流入と礁内における物質輸送を解析するための現場観測を実施した。水温・塩分の面的調査と流速観測を組み合わせた簡易流況観測法を開発し、陸源物質のサンゴ礁への流入と物質移動を解析した。白保海域のサンゴ礁では、地下水や河川水などの陸水がサンゴ礁にもたらす溶存無機態の炭素およびリンの比はサンゴ礁生物群集が基礎生産を行う際の同化する炭素/リン比に比較して著しく大きい。これは、陸水がもたらす全炭酸が、サンゴ礁の生物活動では除去されないことを意味する。陸水流入の結果、汀線付近を中心に生成する高濃度の栄養塩、過剰な全炭酸による二酸化炭素分圧の上昇と炭酸カルシウム飽和度の低下した環境は、サンゴ礁に生息する生物の群集組成にも大きな影響を与えていると思われる。また、サンゴ礁の健全度の指標としてサンゴ礁海水のクロロフィル濃度は有用と思われるが、引き続きデータの蓄積が必要である。

[キーワード] サンゴ礁、生物多様性、海水循環、二酸化炭素、栄養塩、地下水

#### 1. 序

サンゴ礁は、熱帯雨林と共に極めて高い生物多様性をもつ生態系である。しかし人間活動の影響を受けやすく、陸域から赤土・生活排水・農薬肥料などが流れ込み、サンゴ礁環境の悪化と生物多様性の減少が問題となっている。被害は琉球列島のサンゴ礁はもとより、サンゴ礁分布の核心域である東南アジア沿岸でも顕著である。サンゴ礁群集の多様性の減少は、サンゴ礁海域での

漁獲高の減少に直結するほか、造礁能力が高いサンゴ類の減少は、サンゴ礁の消波機能の低下をもたらし、ひいては、地球温暖化による海面上昇の効果と重なって、海岸侵食の増進が懸念されている。しかし、サンゴ礁生物群集の生産性や種間競争、共生関係等の生物多様性の維持機構についてはほとんど明らかにされていない。環境要因の悪化による生物多様性の変化、群集構成の変化は、群集の代謝の変化を通して、沿岸の物質循環にも変化をもたらすことが予想される。サンゴ礁の保全を図るうえで、環境因子の変化が生物群集に与える影響を把握するとともに、サンゴ礁の変化を的確に追跡できる手法の開発が求められている。

## 2. 研究目的

低緯度海域の浅海部に広く分布するサンゴ礁のなかでも、特に裾礁タイプのサンゴ礁は陸上の人間活動の影響を強く受けやすく、陸域から赤土・生活排水・農薬肥料などが流れ込み、これらの環境負荷因子が複合して、サンゴ礁群集の多様性の減少を引き起こしている。本研究では、沖縄県石垣島の裾礁をモデルフィールドとして、生物群集の多様性の減少とそれに伴う群集の代謝の変化に関する調査を行い、サンゴ礁の状態の違いを規定する環境因子を探るとともに、サンゴ礁保全対策のために有用な知見を提供することを目的とする。

## 3. 調査地域・研究方法

琉球列島石垣島(図

1)の周囲には裾礁タイプのサンゴ礁が分布するが、南部の市街地及び農耕地周辺海域では、造礁サンゴ類の多様性の減少、藻類の分布域の拡大など、ストレスを受けた状態のサンゴ礁がみられる。一方、石垣島北部には比較的健全な状態のサンゴ礁が分布する。これらの状態の違いを規定する環境因子を探るために、まず、ストレスを受けた状態にあると考えられる白保地域のサンゴ礁について陸源物質のサンゴ礁への流入と礁内における物質輸

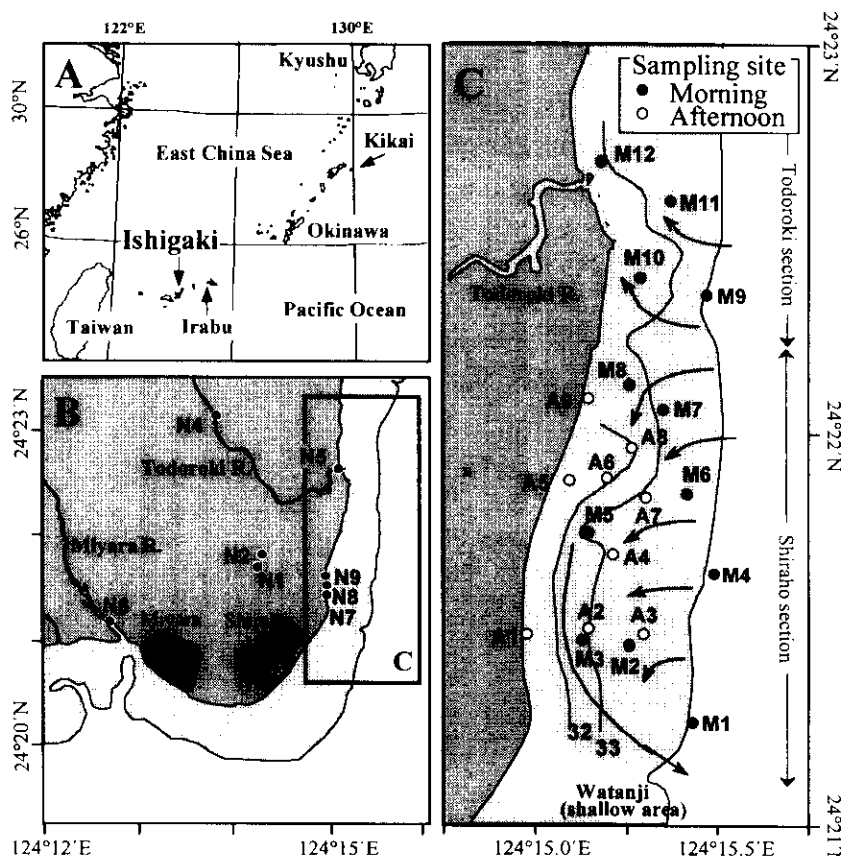


図. 1 (A)琉球列島石垣島の位置図。(B)沖縄県石垣島南東部の白保地区周辺における陸水の採水地点(N1- N9)。(C)白保地区地先のサンゴ礁における塩分分布と流況推定図。

送を解析するための現場観測を実施した。季節性を考慮するために6月、9月、2月の3回の調査を実施した。サンゴ礁内における二酸化炭素関連諸量(水温、塩分、pH、アルカリ度、全炭酸)および栄養塩(リン酸、ケイ酸)の空間分布および沿岸の湧水、地下水、河川水の組成を測定した。各調査期間はそれぞれ大潮となるように選ばれ、類似の流況の下で、二酸化炭素関連諸量や栄養塩の季節性を抽出しやすい条件を整えた。

塩分・水温は、自記記録式水温塩分計(MDSCT、Aleck Elector. CO.)を用いて観測した。海水および陸水のpHの測定は電極法を用い、NBS標準溶液による校正と共に、SWS標準海水の測定も併用した(Dickson, 1993)<sup>1)</sup>。全アルカリ度は、GF/Fフィルターにより濾過した試水について自動滴定装置を用い、2次微分終点検出法によった<sup>2)</sup>。全炭酸濃度は、塩化水銀溶液を用いて固定した試水についてガスクロマトグラフ法を用いて測定した<sup>2)</sup>。二酸化炭素分圧はpHおよび全アルカリ度から炭酸系の平衡計算により求めた<sup>3)</sup>。リン酸およびケイ酸濃度は、0.45 $\mu$ mメンブレンフィルターを用いて濾過した試水について、Strickland and Parsons (1972)<sup>4)</sup>の方法によった。

#### 4. 結果・考察

まず、流速観測および水温分布の解析から、このモデル海域では、礁嶺を越えて礁内に流入した外洋水が、白保海域南に位置するチャンネル部から再び外洋に流出するという一方方向の循環が卓越していることが確認された。そして、いずれの調査でも、サンゴ礁内では岸部から礁池中央部に掛けて顕著な塩分の低下が認められた(図2)。これは岸からの陸水の流入によると考えられる。

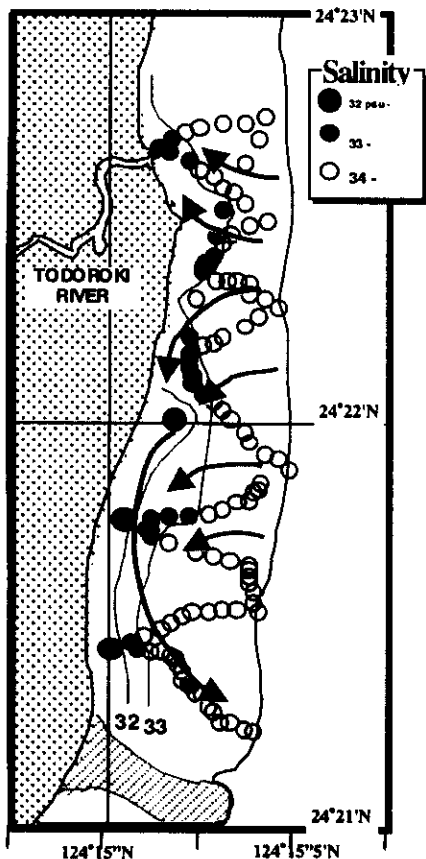


図. 2 白保サンゴ礁における一般的流向と1997年6月23日午前中に観測された塩分の分布。短時間にサンゴ礁内を沖から岸の間で多数の測線を設定して塩分水温の連即観測を行ない、塩分・水温のパターンから一般的な流況を推定した。

表 1. 1997 年 6 月 23 日の午前・午後の調査におけるサンゴ礁海水および外洋水の水温、塩分、pH および全アルカリ度 ( $A_T$ )。全炭酸 ( $C_T$ ) および 25° C における二酸化炭素フィギュラシティー ( $fCO_2$ ) は、全アルカリ度と pH から算出された。

Sample	Temperature °C	Salinity	pH <sub>25</sub>	$A_T$ $\mu\text{mol kg}^{-1}$	$C_T$ $\mu\text{mol kg}^{-1}$	$fCO_2$ $\mu\text{atm}$
Morning, Jun. 23 1997						
Offshore water						
M1	26.8	34.26	8.076	2253	1987	368
M9	26.7	34.30	8.083	2240	1972	359
Reef water						
M2	27.6	34.20	8.139	2186	1887	296
M3	27.6	32.96	8.097	2309	2026	358
M4	26.7	34.30	8.035	2243	1999	412
M5	27.9	33.04	8.085	2285	2007	366
M6	26.7	34.31	8.051	2229	1979	392
M7	26.7	34.29	8.005	2276	2044	455
M8	27.0	33.46	8.054	2235	1984	391
M10	27.3	33.27	8.061	2295	2033	394
M11	26.7	34.32	7.986	2231	2012	470
M12	27.3	33.86	7.943	2784	2535	660
Afternoon, Jun. 23 1997						
Reef water						
A1	29.8	23.08	8.024	3285	2995	695
A2	30.6	32.53	8.464	2218	1687	107
A3	29.5	33.27	8.311	2179	1766	174
A4	28.9	33.67	8.234	2206	1840	224
A5	30.6	27.69	8.205	2736	2337	322
A6	29.7	33.14	8.350	2156	1721	152
A7	28.8	33.80	8.301	2056	1676	170
A8	29.3	33.39	8.278	2187	1795	193
A9	30.1	31.15	8.265	2295	1899	216

1997 年 6 月の沿岸の湧水、地下水、河川水のおよび二酸化炭素関連諸量や栄養塩の分布を表 1 および表 2 に示した。通常の外洋海水の二酸化炭素諸量 (pH 8.2、全アルカリ度 2300  $\mu\text{mol kg}^{-1}$ 、全炭酸 2000  $\mu\text{mol kg}^{-1}$ 、二酸化炭素分圧 200-350  $\mu\text{atm}$ ) と比較して、これら陸水の二酸化炭素諸量の濃度は著しく高い。白保地域周辺には第四紀のサンゴ礁堆積物からなる石灰岩が広く分布しており、陸水の全炭酸、全アルカリ度が高いのは、この石灰岩の溶解の影響によると思われる。また、全炭酸/全アルカリ度比から、有機物の分解による全炭酸の負荷量が炭酸塩からの溶解による量と同程度に大きいことが予想される(図 3)。一方、これら陸水のリン酸および

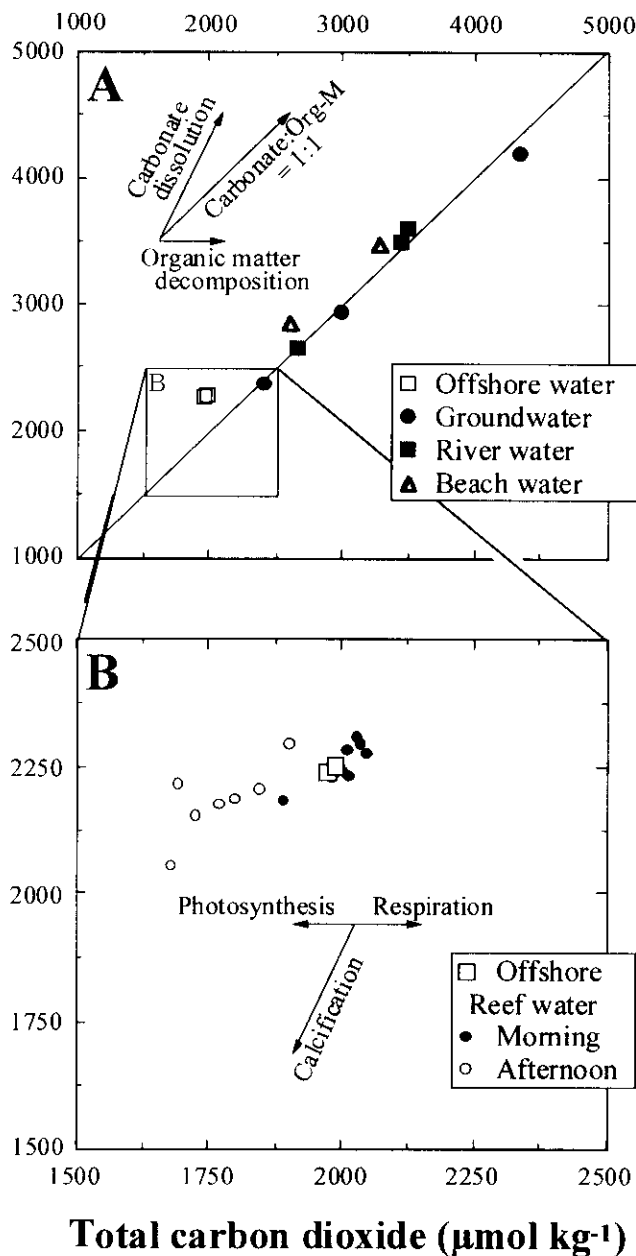


図3. 石垣島南東部白保集落周辺の陸水(A)、および白保サンゴ礁域の海水(B)についての全アルカリ度( $A_T$ )・全炭酸( $C_T$ )プロット。光合成や石灰化などの生物代謝は、全アルカリ度全炭酸グラフ上でベクトルとして表現される<sup>1,2)</sup>。

ケイ酸濃度も、サンゴ礁海水や外洋海水と比較して著しく大きい。これは、やはり陸域の有機物の分解に起因するとともに、耕作地に散布される化学肥料の寄与も予想される。陸水の全炭酸/リン酸/濃度比は 35,000-5,000 と外洋水の値に比べて大きな値を取る。

サンゴ礁の岸側で認められた塩分の低下を、すべて陸水の影響であると仮定すると、サンゴ礁への陸水の流入量を計算することができる。1997年6月のデータに基づいて計算を行うと、陸水の流入量は、このサンゴ礁の海水容量の約0.53%に相当する。これら陸水の流入は大量の栄養塩をサンゴ礁にもたらしていると推測される。さらに、流入する陸水の全炭酸/リン酸/濃度比が、一般外洋水の値や、サンゴ礁生物が有機物を固定する際の炭素/リン比<sup>5)</sup>に比べて大きいことから、陸域から流入する全炭酸は、サンゴ礁生物群集の代謝活動によっては全量を有機物と

して固定することができないことが示唆される。陸域から流入する全炭酸およびリン酸は、裾礁タイプのサンゴ礁群集の代謝に対して大きな負荷因子となっていることが推測される。

表2. 白保サンゴ礁周辺の淡水および低塩分水の水温、塩分、pH、全アルカリ度 ( $A_T$ )、リン酸、シリカ濃度。全炭酸 ( $C_T$ ) および 25°C における二酸化炭素フィギュアシティ ( $fCO_2$ ) は、全アルカリ度と pH から算出された。

Station	Temperature °C	Salinity	pH <sub>25</sub>	$A_T$ μmol kg <sup>-1</sup>	$C_T$ μmol kg <sup>-1</sup>	$fCO_2$ μatm	phosphate μmol kg <sup>-1</sup>	silica	$C_T/PO_4$
Ground water									
Spring (N1)	24.4	0.33	7.493	2934	2996	2793	0.34	145	8790
Cave (N2)	23.9	0.32	7.451	2359	2421	2472	0.62	153	3896
Underground water (N3)	25.1	5.92	7.318	4189	4362	6435	1.22	173	3581
River water									
Todoroki river (N4)	27.7	0.26	7.613	2648	2663	1910	0.35	198	7583
Rivermouth water									
Todoroki river mouth (N5)	28.9	10.93	7.753	3588	3516	1845	0.10	124	35309
Miyara river mouth (N6)	28.1	23.99	7.501	3492	3461	2797	0.72	162	4808
Beach water									
Observation site (N7)	29.8	25.01	8.101	2848	2572	481	0.08	28	--
Observation site (N8)	27.0	27.31	7.648	4460	4403	2446	0.28	73	--
Observation site (N9)	30.0	25.01	7.942	3483	3257	909	0.08	63	--

#### 4. 結果・考察

##### 高濃度の栄養塩、過剰な全炭酸による二酸化炭素分圧の上昇と石垣島

石垣島の白保海域の裾礁では、二酸化炭素および養塩について海水と大きく異なった組成・濃度をもつ陸水が流入している。地下水や河川水などの陸水がサンゴ礁にもたらす溶存無機態の炭素およびリンに注目すると、その比はサンゴ礁生物群集が基礎生産を行う際に同化する炭素/リン比と比較して著しく大きい。これは、陸水がもたらす全炭酸が、サンゴ礁の生物活動では除去されないことを意味し、大気への二酸化炭素の放出が起きていることを示唆する(図4)。高濃度の栄養塩、過剰な全炭酸による二酸化炭素分圧の上昇と炭酸カルシウム飽和度の低下は、サンゴ礁に生息する生物の群集組成にも大きな影響を与えている可能性がある。健全なサンゴ礁生物群集は、本来、透明度が高い浅海環境において、光合成生産の大部分が底生生物によって担われ、また、活発な石灰化が進行している系と考えられるが、このような陸からもたらされる物質による生物群集の代謝構造の変化として、水柱における植物プランクトンと懸濁物の増加、そして、石灰化生物の減少に起因する海水の全アルカリ度吸収作用の低減が予想される。サンゴ礁海水中の植物プランクトン量の増加は、クロロフィル *a* 濃度の増加をもたらすことが予想される。今後、このような海水の水質指標に注目しながら、生物組成との比較研究を進めていく必要がある。炭酸カルシウム飽和度の低下は、生物群集組成にも大きな影響を与えている可能性がある。とくに陸水の直接的な影響が顕著な汀線付近における効果は大きいことが予想される。健全なサンゴ礁生物群集は、本来、透明度が高い浅海環境において、光合成生産の大部分が底生生物によって

担われ、また、活発な石灰化が進行している系と考えられるが、このような陸源物質によって水柱における植物プランクトンと懸濁物の増加、そして、石灰化生物の減少に起因する海水の全アルカリ度吸収作用の低減が予想される。

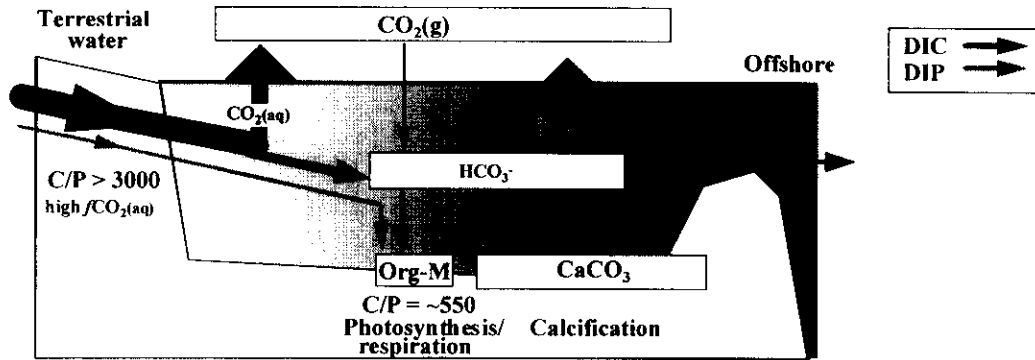


図 4. 白保サンゴ礁における炭素とリンについてのフラックスのモデル図。

## 6. まとめ

水温・塩分の面的調査と流速観測を組み合わせた簡易流況観測法は、裾礁のように水質の不均一性が大きい海域にて物質循環を検討するためには有効な手法であることが明らかになった。石垣島白保海域の裾礁では、二酸化炭素および栄養塩について海水と大きく異なった組成・濃度をもつ陸水が流入している。地下水や河川水などの陸水がサンゴ礁にもたらす溶存無機態の炭素およびリンに注目すると、その比はサンゴ礁生物群集が基礎生産を行う際に同化する炭素/リン比と比較して著しく大きい。これは、陸水がもたらす全炭酸が、サンゴ礁の生物活動では除去されないことを意味し、大気への二酸化炭素の放出が起きていることを示唆する。高濃度の栄養塩、過剰な全炭酸による二酸化炭素分圧の上昇と炭酸カルシウム飽和度の低下は、サンゴ礁に生息する生物の群集組成にも大きな影響を与えている可能性がある。とくに陸水の直接的な影響が顕著な汀線付近における効果は大きいことが予想される。健全なサンゴ礁生物群集は、本来、透明度が高い浅海環境において、光合成生産の大部分が底生生物によって担われ、また、活発な石灰化が進行している系と考えられるが、このような陸からもたらされる物質による生物群集の代謝構造の変化として、水柱における植物プランクトン（あるいは、クロロフィル *a* 濃度）と懸濁物の増加、そして、石灰化生物の減少に起因する海水の全アルカリ度吸収作用の低減が予想される。

## 7. 参考文献

- 1) Dickson, A.G. pH buffers for seawater media based on the total hydrogen concentration scale. *Deep Sea Res.* 40: 412-426, 1993.
- 2) Kawahata, H. et al., Coral reef ecosystems as a source of atmospheric CO<sub>2</sub>: evidence from PCO<sub>2</sub> measurements of surface waters. *Coral Reefs*, 16: 261-266, 1997.

- 3) Suzuki, A., Combined effects of photosynthesis and calcification on the partial pressure of carbon dioxide in seawater. *J. Oceanography*, 54, 1-7, 1998.
- 4) Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R., A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Can. Bull.* 167: 1-310, 1972.
- 5) Atkinson, M.J. and Smith, S.V. C:N:P ratios of benthic marine plants. *Limnol. Oceanogr.* 28: 568-574, 1983.

[国際共同研究等の状況]

科学技術庁日豪在外研究員交換制度によりオーストラリア海洋科学研究所に滞在した鈴木 淳が、Dr. T. Done(サンゴ群集生態学), Dr. L. McCook(藻類生態学)および Dr. T. Ayukai(海洋化学)とサンゴ礁保全分野について情報交換を実施した(平成8~10年)。

[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

- ① A.Suzuki, H.Kawahata, T.Ayukai and K.Goto: American Geophysical Union Fall Meeting (1997) "Spatial variability of CO<sub>2</sub> system parameters in the Great Barrier Reef, Australia"
- ② 斎藤出・川幡穂高・鈴木淳: 日本サンゴ礁学会(1998)  
「石垣島浦底湾産のハマサンゴ骨格の高解像度 Mg/Sr 比, 酸素同位体比と海水温との比較」
- ③ 鈴木 淳, 川幡穂高, 鮎貝天志, 後藤浩一: 日本地球化学会年会(1999)  
「グレートバリアリーフにおける海水の炭酸系と炭素循環」  
日本地球化学会年会講演要旨集, 192.

(2) 論文発表

- ① A. Suzuki, H. Kawahata and K.Goto: *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium*, 1, 971-976 (1997)  
"Reef Water CO<sub>2</sub> system and carbon cycle in Majuro Atoll, the Marshall Islands in the Central Pacific"
- ② Y. Ikeda, Y., H. Hata, A. Suzuki and H. Kayane: *Proceedings of the International Coral Reef Symposium*, 1, 965-970 (1997)  
"Diurnal carbon flux at the barrier reef in Palau"
- ③ Kawahata, H., Saito, I. and Suzuki, A. : *Proceeding of v In Techno-Ocean '98 Organizing Committee (Eds.)*, Kobe, 381-384.  
"Terrestrial inputs potentially influence carbon cycle and metabolism in the Shiraho reef"
- ④ Hata, H., Suzuki, A., Maruyama, T., Kurano, N., Miyachi, S., Ikeda, Y., and Kayanne, H. : *Limnol. Oceanogr.*, 43, 1883-1893 (1998)  
"Carbon flux by suspended and sinking particles around the barrier reef of Palau, western Pacific."
- ⑤ Kraines, S. B., Suzuki, A., Yanagi, T., Isobe, M., Guo, X. and Komiyama, J. : *Geophys. Res.*, 104, 15635-15653 (1999)



“ Rapid water exchange between the lagoon and open ocean at Majuro Atoll due to wind, waves and tide.”

⑥Suzuki, A. and Kawahata,H. : J. Oceanogra., 55, 731-745. (1998)

“Partial pressure of carbon dioxide in coral reef lagoon waters: comparative study of atolls and barrier reefs in the Indo-Pacific Oceans.”

○⑦Kawahata, H., I. Yukino, and A. Suzuki : Coral reefs (in press; 予定).

“Terrestrial influence on the Shiraho fringing reef, Ishigaki Island, Japan: high carbon input relative to phosphate”

(3) 出願特許, 受賞等

なし