

2-1

サンゴ礁によるCO₂固定バイオリアクター構築技術の開発

研究代表者 東京大学大学院理学系研究科地理学専攻 茅 根 創

Ecotechnology for Designing Coral Reef Bioreactor to Fix CO₂

(CREST²: Coral Reef Eco-Symbiosis Technology in CREST)

Hajime Kayanne, *Research Director of CREST*

Department of Geography, University of Tokyo

1. 研究の概要

本研究の目的は、サンゴ礁生態系-物質循環モデルを構築し、これに基づいてサンゴ礁をCO₂固定バイオリアクターとして活用する技術を提案することである。この目的を達成するために、実際のサンゴ礁をフィールドとして以下の調査・研究を実施している。

- 1) サンゴ礁を類型化して、基本的な地形・生物・物理過程とその相互関係のモデルを構築する。さらにサンゴ礁の健全度を評価する診断システムを確立する。
- 2) 上記に基づいて、サンゴ礁における物質循環を規定する基本過程を抽出し、CO₂とそれに関わる物理・化学量の計測システムを開発する。典型的なサンゴ礁において、CO₂と栄養塩、有機物循環の連続計測を実施する。
- 3) サンゴ礁生態系-物質循環モデルを構築し、CO₂流量を規定する要因を明らかにして、その制御技術を提案する。

2. 現在までの中間成果報告

2.1 成果内容の要約

1) これまでの進捗状況

典型的サンゴ礁として、琉球列島石垣島（裾礁型）、パラオ諸島（堡礁型）、カヤンゲル環礁（小環礁・卓礁型）、エニウエトック環礁（環礁型）を選定し、基本的な条件の調査を行なった。上記結果に基づいて、サンゴ礁の基本コンパートメントと基本プロセスを設定し、必要な測定項目として、流れ、水温、塩分などの物理量、サンゴ、藻草類、一次消費者などの生物量、CO₂、全炭酸、アルカリ度、栄養塩、有機物などの化学量を抽出した（図1）。上記測定項目を測定するための技術的課題を検討し、測定システムを開発した（写真、図2, 3）。開発した測定システムによって、1998年6月から石垣島サンゴ礁における連続観測を開始した。

2) 石垣島における観測結果

連続CO₂測定システム、連続炭酸系測定システム、精密炭酸系測定システム、通信システムともに現地測定テストを終え、データの収集とその解析を進めている（図4, 5）。CO₂と物理量（水温、塩分、溶存酸素、流れ）については、1998年9月以降ほぼ連続して観測しデータを転送することに成功した。またCO₂計測については、異なる平衡器間の比較を行ない、その問題点を明らかにした。これらのデータに基づいて、裾礁型サンゴ礁における物理環境と生物群集、それによるCO₂と栄養塩代謝、有機物収支の実態が明らかになった。

3) 白化による群集構造変化とそれに伴うCO₂循環の変化

1998年7～8月にかけておこったサンゴの大規模な白化（サンゴなどから共生藻が抜け出す

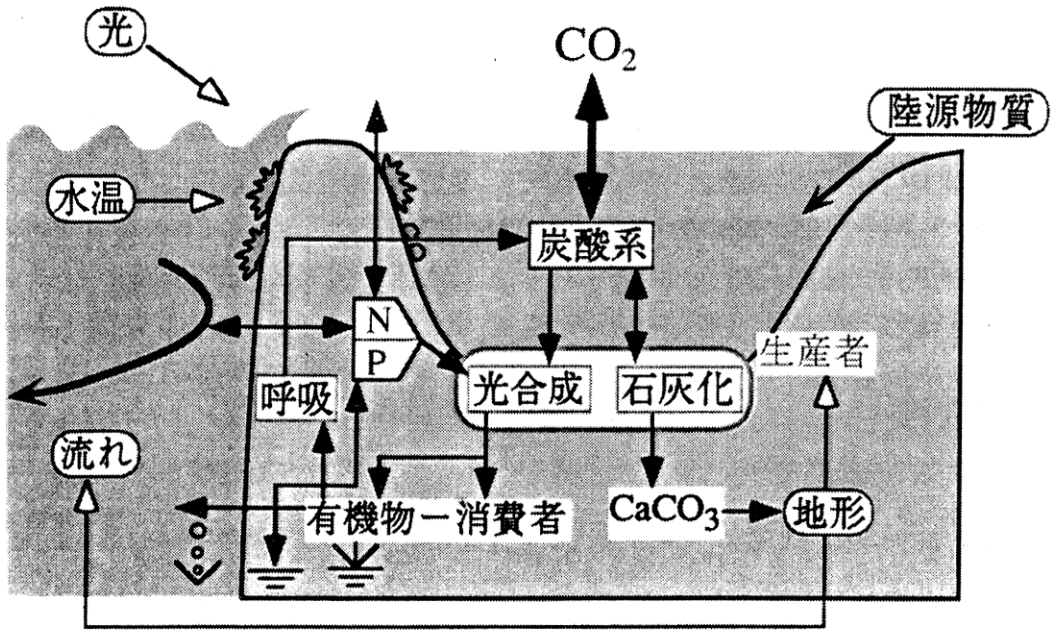


図1 サンゴ礁における物質循環を規定する基本コンパートメントとプロセス:

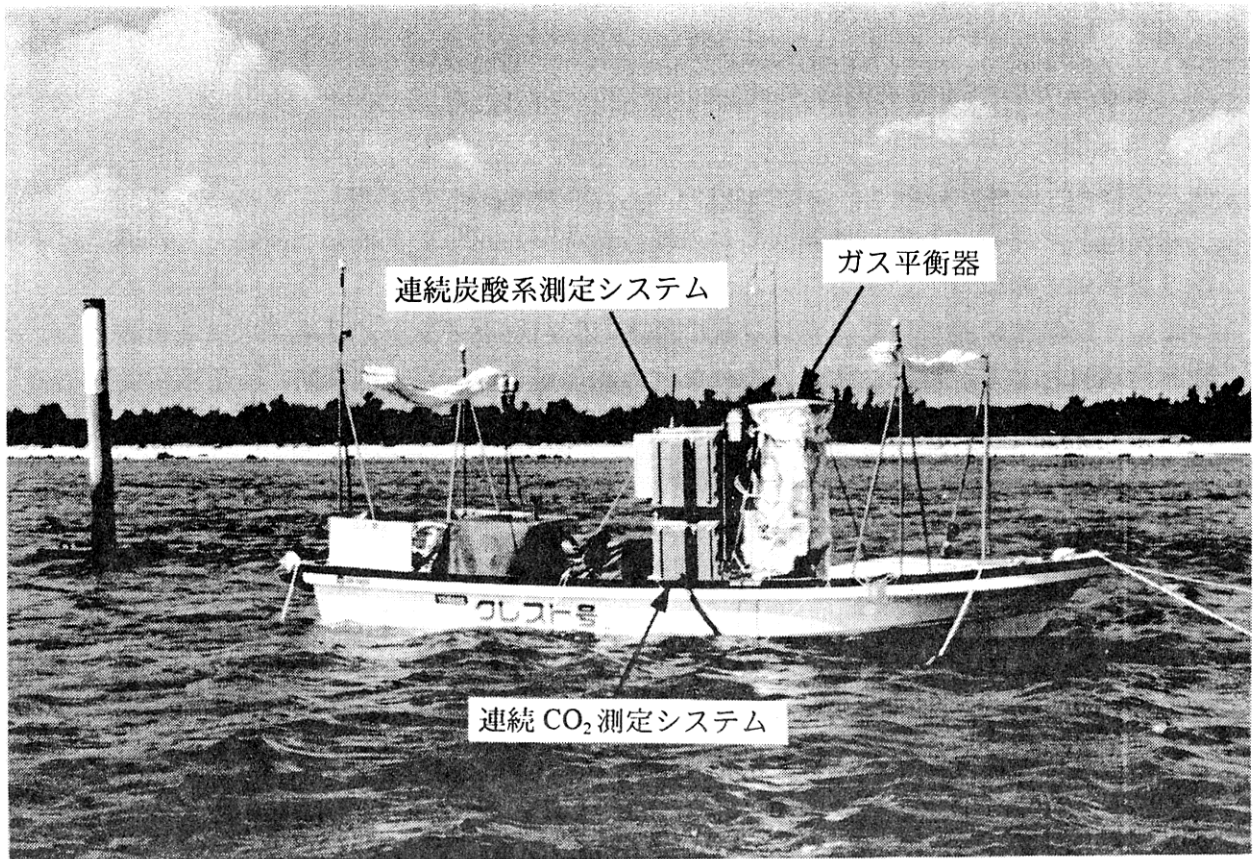


写真 石垣島サンゴ礁上に係留され、CO₂などの連続観測を行なっている「クレスト号」

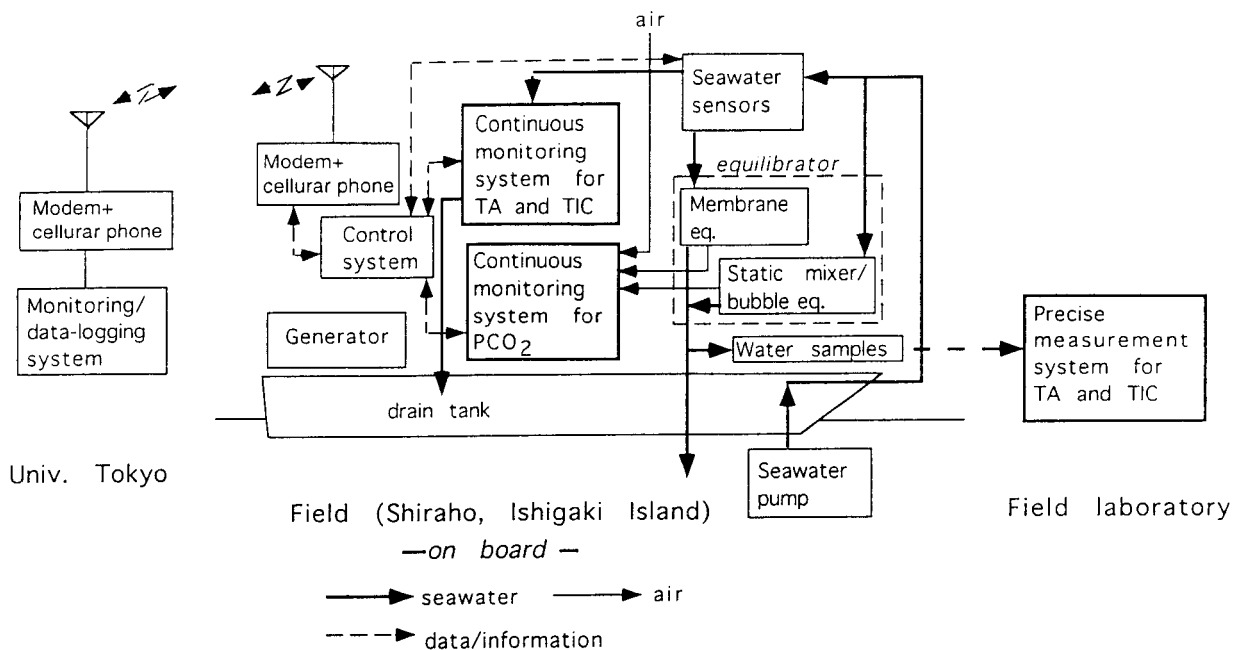


図2 「クレスト号」の測定システム。汲み上げられた海水はガス平衡器と海水センサー，連続炭酸系測定システムへ導かれる。測定結果は携帯電話によって常時東京大学へ転送される。電源はガソリン発電機。

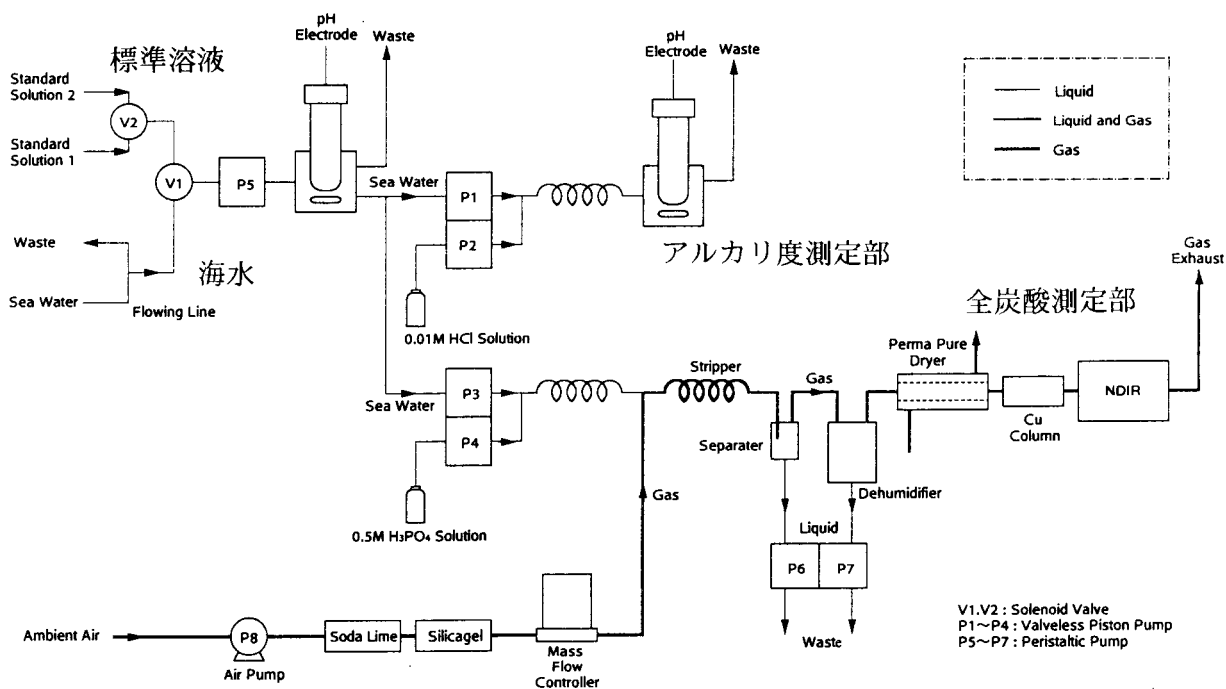


図3 連続炭酸系（アルカリ度，全炭酸）測定システムの構成

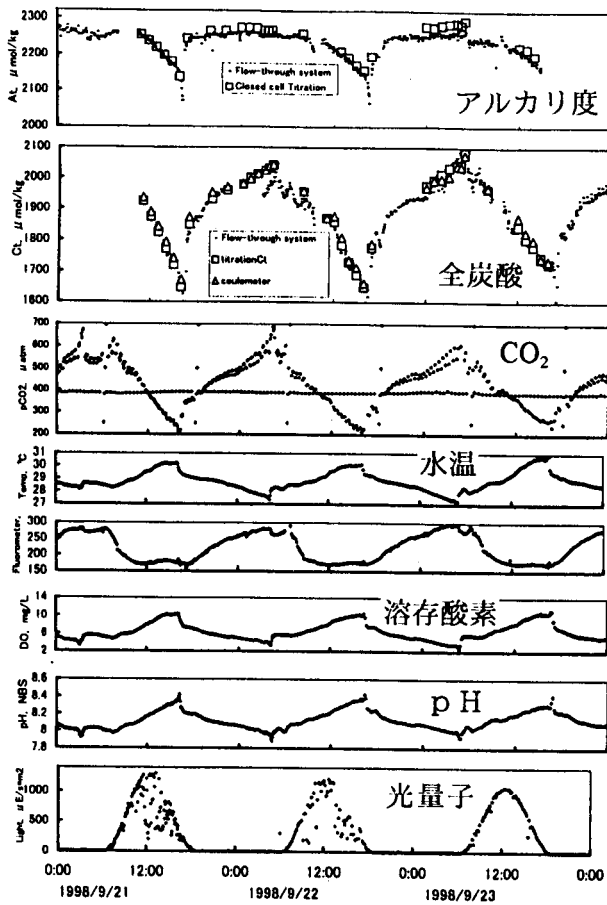


図4 1998年9月21-23日の、アルカリ度、全炭酸、CO₂、水温、クロロフィル、溶存酸素、pH、光量子の測定結果。アルカリ度・全炭酸は、白抜きが精密炭酸系計測システム、点線が連続炭酸系測定システムによる測定結果。

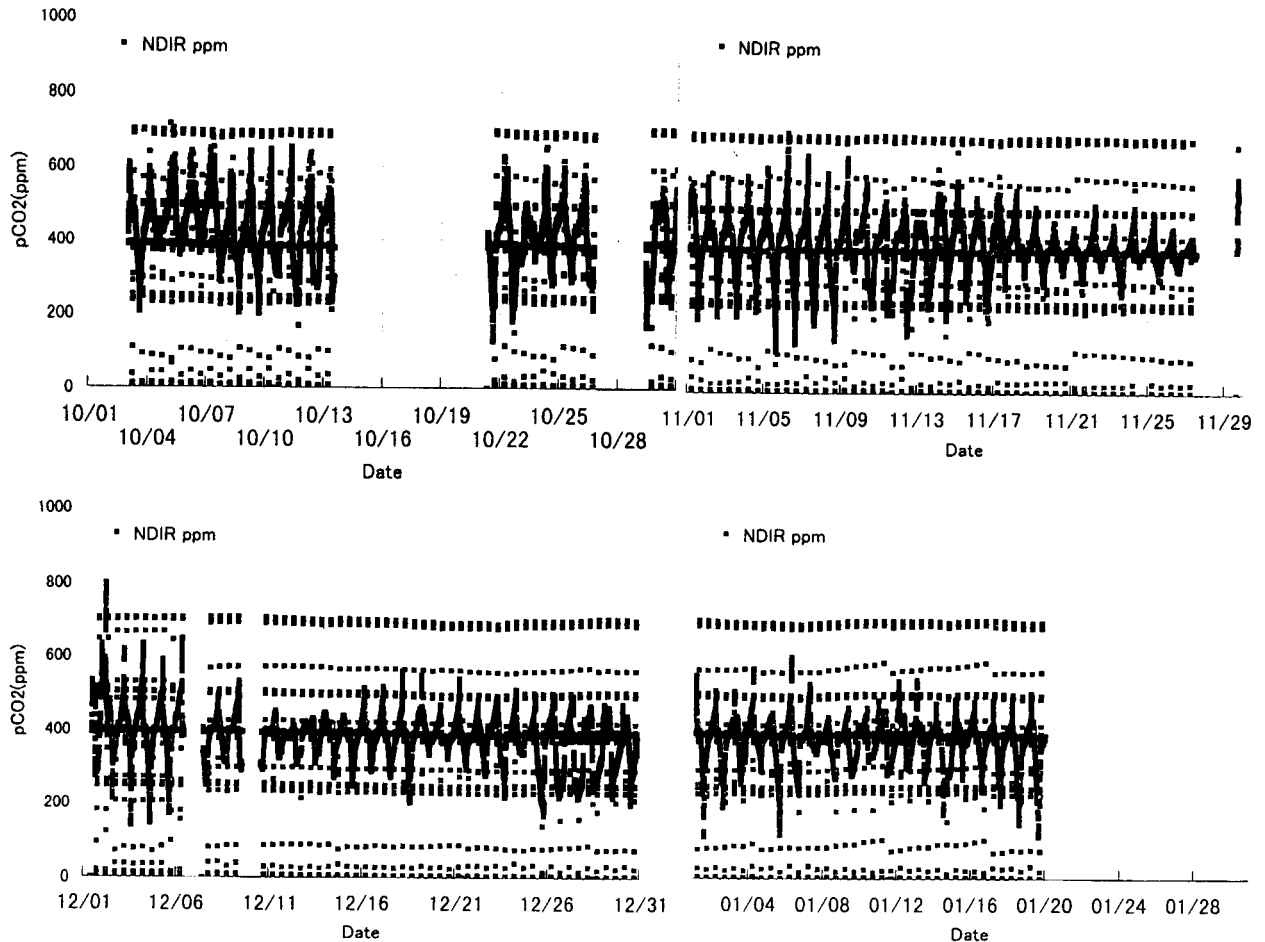


図5 1998年10月-1999年1月までのCO₂計測結果。

現象．同年夏の高水温によってもたらされた) によって，9月には共生藻をもつ健全なサンゴが白化前5月の調査時のおよそ半分になった．観測結果によれば，9月には光合成による純生産量がこれまでの調査より減少し，CO₂濃度も全体に高い．その後サンゴの回復と死滅による藻類の付着とによって再び純生産が大きくなり，CO₂濃度も徐々に小さくなっている．白化は，生物群集構成の変化によるサンゴ礁のCO₂代謝の変化という，大規模な現場実験としてモデルの構築に組み込むことができる．

2.2 主な発表論文の内容

1) Kayanne, H. (1996): Coral reefs and carbon dioxide. *Science*, **271**, 1299-1300.

サンゴ礁がCO₂の吸収源となり得るという Kayanne et al (1995) の測定結果に対するコメントに対して，吸収か放出かという対立した議論ではなく，どのような条件で吸収/放出が規定されるかを明らかにすることが重要であること，サンゴ礁はこれまで閉じた系で正味の有機物生産がないとされていたが，サンゴ礁は外洋に対しても大気に対しても開いた系として扱うべきであることを議論した．

2) 山本正伸・山室真澄・茅根 創 (1997) : パラオ諸島サンゴ礁堆積物の元素・脂質組成．

地質調査所月報，**48**，79-92．

サンゴ礁の石灰質堆積物中の有機物の定量と同定法を確立し，サンゴ礁底質中に含まれる有機物の起源と特性を明らかにした．

3) Matsunaga, T. and Kayanne, H. (1997): Observation of coral reefs on Ishigaki Island, Japan, using Landsat TM images and aerial photographs. *Proceedings of Fourth Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, 1-657-666.

衛星リモートセンシングによって，サンゴ礁礁原の地形と生物群集を分類・監視するアルゴリズムを構築した．

4) Gattuso, J.-P. and Kayanne, H. (1997): Carbon and carbonate cycling in coral reefs. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, **1**, 935-938.

サンゴ礁における炭素循環とCO₂収支に関する研究のレビューといくつかの測定結果の解釈，栄養塩循環との関係について議論した．

5) Ikeda, Y., Hata, H., Suzuki, A. and Kayanne, H. (1997): Diurnal carbon flux at the barrier reef in Palau. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, **1**, 965-970.

パラオ諸島サンゴ礁において，流れ法によって礁原サンゴ群集の光合成生産・消費・石灰化量を見積もり，同サンゴ礁は，石灰化を上回る純生産を持つことを明らかにした．

6) Yamamuro, M. and Kayanne, H. (1997): Dissolved organic nitrogen flux from coral colonies and calcareous sandy sediment. *Galaxea*, **13**, 197-205.

サンゴ礁石灰質底質とサンゴ群体の生産とそれに伴う溶存態無機・有機窒素の流量を見積もった．その結果，石灰質堆積物も大きな光合成生産を持つこと，窒素流量は必ずしも生産と対応しないことを明らかにした．

7) Yamano, H., Kayanne, H., Yonekura, N., Nakamura, H. and Kudo, K. (1998): Water circulation in a fringing reef located in a monsoon area: Kabira Reef, Ishigaki Island, Southwest Japan. *Coral Reefs*, **17**, 89-99.

石垣島サンゴ礁における流れの観測結果に基づいて，裾礁型のサンゴ礁における流れのモデル

を構築した。礁原上の流れには、外洋からの波、潮汐のほか、風が重要な役割を果たしていることを明らかにした。

8) Hanaki, K., Takara, K., Hanazato, T., Hirakuchi, H. and Kayanne, H. (1998): Impacts on hydrology/water resources and water environment. In Nishioka, S. and Harasawa, H. eds. "Global Warming: The Potential Impacts on Japan" Springer-Verlag, Tokyo, 131-163.

サンゴ礁に対する来世紀の温暖化の影響を評価した。サンゴ礁は、CO₂濃度上昇、温暖化、海面上昇という地球温暖化シナリオのすべての要素と密接に関わっていること、その応答もまったく逆のものがあり得ることを議論した。

9) H. Hata, Suzuki, A., Maruyama, T., Kurano, N., Miyachi, S., Ikeda, Y. and Kayanne, H. (1998): Carbon flux by suspended and sinking particles around the barrier reef of Palau, western Pacific. *Limnol. Oceanogr.* **44**, 1883-1893.

パラオの堡礁型サンゴ礁において、サンゴ礁の有機物生産と外洋へのフラックスを求めた。その結果、サンゴ礁近くでは粒子状・溶存態ともに有機物の濃度が高く、サンゴ礁起源の有機物が外洋へ流出していることを示した。

10) Yamano, H., Kayanne, H., Yonekura, N. and Kudo, K. (1999): 21-year changes of backreef coral distribution: causes and significance. *J. Coastal Research*, **15-4** in press.

撮影時期の異なる空中写真の比較によって、21年間のサンゴ礁礁原上の生物群集の変化を解析し、変化が主に台風によってもたらされていることを明らかにした。

11) Kayanne, H., Kudo, S., Hata, K., Nozaki, K., Kato, K., Negishi, A., Saito, H. and Akimoto, F. (1999): Extended Abstract of Monitoring system for changes in coral reef water pCO₂ and community metabolism. *2nd Int. Symp. CO₂ in the Oceans*, Tsukuba, January, 22-09.

石垣島サンゴ礁で1998年9月から実施している連続観測システムの概要と結果を紹介し、石垣島サンゴ礁の群集代謝とそれに伴うCO₂濃度の日周変化について議論した。また、白化による群集構成の変化によって、生態系のCO₂代謝も変化していることを指摘した。

12) Nozaki, K., Kimoto, H., Kudo, S., Kato, K., Negishi, A. and Kayanne, H. (1999): Development of continuous monitoring system for total inorganic carbonate and alkalinity in seawater and its application to coral reef. *2nd Int. Symp. CO₂ in the Oceans*, Tsukuba, January, P-22.

連続炭酸系測定システムの構成と測定結果を紹介した。

13) Saito, H., Kimoto, H., Nozaki, K., Kato, K., Negishi, A. and Kayanne, H. (1999): Comparative experiment of pCO₂ measuring instrument in coral reef environment. *2nd Int. Symp. CO₂ in the Oceans*, Tsukuba, January, P-25.

連続CO₂計測システムと可搬型CO₂計測システムの構成を紹介し、異なる平衡器間で測定結果に差がでることを示し、その原因を考察した。

3. 今後の研究の方向

石垣島における連続観測を1999年9月まで1年間行なう。また1999年11月から1年間、堡礁型であるパラオ諸島において連続観測を計画している。さらに他の型のサンゴ礁において比較調査を行ない、これらの結果に基づいてサンゴ礁生態系-物質循環モデルを構築し、CO₂制御技術を提案する。また計測システムを改良して、サンゴ礁だけでなく海岸・沿岸一般におけるCO₂計測・診断システムを開発する。