

# 川平湾周辺のサンゴ礁海域における水環境に関する研究

Study on Water Environment of Coral Reef Area around Kabira Bay

修了年月	2007年3月
専攻名	社会分化環境学専攻
氏名	神野有生
学生証番号	56823
論文題目	川平湾周辺のサンゴ礁海域における水環境に関する研究
キーワード	サンゴ礁・閉鎖性内湾・リモートセンシング・シミュレーション
指導教員氏名	鯉淵幸生
指導教員役職	講師

## 1. 背景と目的

亜熱帯～熱帯の浅海域に分布するサンゴ礁は、造礁サンゴを生産者として、豊かな生態系を育む。ところが近年、高水温・陸域富栄養化などにより、世界中でサンゴの死滅が進行している。

その具体例として、沖縄県石垣島の川平湾周辺海域（図 A）は、国指定名勝の川平湾、湾外の浅い礁池、砕波帯をなす礁嶺で構成されるサンゴ礁海域であるが、近年、観光資源でもあるサンゴの減少が指摘されている。原因の特定と対策の立案のためには、まず、サンゴの生理にとって重要な物理（水温・流速）・栄養塩環境や、それらのサンゴへの影響に関する基礎的な知見を蓄積する必要がある。

また、1994年より下水処理場である川平浄化センターが稼動し、処理水は場内地下浸透で放流されている。立地上、富栄養の放流水が湾口付近の礁池に滲出する恐れがあり、周辺のサンゴへの影響が懸念される。

そこで本研究では、浄化センターの影響を含めて、川平湾周辺海域の基本的な物

理・栄養塩環境、それらのサンゴへの影響を明らかにし、サンゴ減少対策立案のための足がかりを得ることを目的とする。

## 2. 研究手法

- 現地観測により、栄養塩を中心に水質環境の現状を把握する。
- 物理モデルを構築し、数値実験により川平湾の基本的な物理環境、それらとサンゴ分布との関係を明らかにする。
- 発見された問題点について、数値実験により対策を模索する。
- 物理モデルに必要な水深分布は未整備であるため、新たに衛星画像による水深分布算定法を開発し、適用する。

## 3. 水質の現地観測

2006年7月の川平湾周辺海域で、水温・塩分・栄養塩等の水質観測を行った。濔筋（湾外水路と接続した湾内深部）の狭窄部（図 A）では、弱成層のもと、底層で高い硝化態窒素濃度・クロロフィル濃度が観測

された。過去の観測データでも、夏季弱成層時、硝化態窒素・アンモニア態窒素・リン酸態リン濃度が底層で高いことから、底質からの窒素・リンの溶出による富栄養水塊の形成が示唆された。

また浄化センター周辺の礁池では、サンゴの生理に影響を及ぼす $1\mu\text{M}$ の10倍を越える硝化態窒素濃度が観測された(図 B)。さらに塩分データを用いた解析で、浄化センター周辺で滲出する地下水の硝化態窒素濃度が、沿岸他点より高いことが示された。

#### 4. 衛星画像による水深分布算定法の開発

衛星画像の色の暗さから、光の減衰理論に基づいて水深の大きさを算定する方法が、従来提案されている。しかしこの方法では、底質を均一な砂地と仮定するため、生物群集が多いサンゴ礁海域では誤差が大きい。そこで、底質の不均一性を理論的に扱った水深分布算定法を新たに開発した。

川平湾奥への適用結果を図 C に示す。空中写真の灰色部は生物群集に対応し、実際的水深は2m未満である。従来の方法では、生物群集の暗さを深さと誤認して水深を過大評価したが、新しい方法では適切な水深が算定され、平均算定誤差は1/3となった。

#### 5. 物理モデルの構築

鯉淵ら(2001)により開発された準3次元流動モデルに対し、移動境界スキーム・底面熱収支モデルの追加、波浪推算モデルとの結合、差分精度向上などの拡張・精度向上を施し、サンゴ礁海域に適用可能な物理モデルを構築した。

#### 6. 数値実験

構築した物理モデルを用いて、以下の数値実験および考察を行った。

##### 基本的な物理環境に関する実験

夏季(7月)・冬季(1月)の平均的気象条件を入力し、定常状態を計算した。滞筋では、底層で湾奥に、表層で湾口に流れるエスチュアリー循環が存在し、SSW風の吹く夏季には強く、NNE風の吹く冬季には弱くなった。その結果、冬季は夏季と比べて水平的な塩分・水温勾配が顕著であった(図 D)。

次に、内湾環境にとって重要な海水交換特性を調べるため、上記の定常状態において満潮時の湾内に受動粒子を満たし、強風・平均風・無風・無波浪の各ケースについて移動を追跡した。平均風時、1潮汐間に湾内から排出された正味粒子数は、夏季が冬季より大きかった。また夏季は強風時、冬季は無風時にエスチュアリー循環が強められ、排出粒子数が増加した。以上から、川平湾の海水交換にとって、風によるエスチュアリー循環への影響が重要な役割を果たすことが示された。

一方、冬季の湾外水路では波浪によって、潮汐に関わらず外洋に向かう海浜流が生じ、排出粒子の湾内再流入を防ぐことで、海水交換に貢献することが分かった。(図 E)。

##### 物理環境とサンゴ分布の関係に関する考察

10cm解像度空中写真の解析結果と、既存の調査結果に基づき、サンゴ分布域を特定した。湾外の礁池のサンゴ分布は、上記の夏季定常状態において、1潮汐間最大底層流速 $0.06[\text{m/s}]$ 以上の領域とほぼ一致した(図 F)。礁池では夏季に流速レベルが低く、最大底層流速は力学的な堆積物除去の成否を決める物理量であるため、礁池では堆積

物の除去の成否がサンゴの分布可否を決めている可能性がある。

一方湾内のサンゴ分布は、夏季定常状態の水温分布に対応し、1 潮汐間平均温度が 31.4°C未満の領域に限られた。

#### 浚渫の影響に関する実験

底質からの栄養塩溶出が示唆された滞筋狭窄部は、水深が浅く、エスチュアリー循環のボトルネックでもある可能性がある。そこで、狭窄部周辺を浚渫した場合の定常状態の計算を試みた。結果、エスチュアリー循環が強められ、サンゴの制限因子ともなっている夏季の高水温が緩和される副次的効果が得られた。

#### 下水処理水の放流位置に関する実験

湾内や礁池にはサンゴが分布するため、現地観測で検出された浄化センターの富栄養処理水は、速やかに広い外洋に排出されることが望ましい。そこで、定常状態で 1 潮汐間に 12 回、浄化センター周辺多点の表層・底層から受動粒子を放流し、半潮汐後に外洋にある粒子の割合（外洋存在率）を評価することで、適切な放流位置を模索した。夏季には沿岸方向の流れが卓越し、外洋存在率は礁池内放流点で小さく、礁嶺外の放流点で大きかった（図 G）。冬季の外洋存在率は NNE 風と上述の海浜流により、夏季に比べて水路近傍の表層放流点で減少し、礁池内放流点で増加した。しかし浄化センター直近の放流点（現在の放流水滲出点）では湾内への流入が多かった。総合すると、現在の地下浸透法による滲出位置では処理水が礁池・湾内に残留しやすく、理想的には水路から離れた礁嶺外底層で放流することが望ましいことが分かった。

## 7. 結論

本研究の主な成果は次の通りである。

- サンゴ礁海域でも水深分布を精度良く算定できる衛星画像解析法を開発した。
- 既存モデルの拡張により、川平湾周辺海域における物理モデルを構築した。
- 物理モデルによって夏季・冬季の定常状態を計算した結果、エスチュアリー循環に対する風の影響が、川平湾の海水交換および水温・塩分分布を決定づけることが示された。さらに、冬季には波浪によって湾外水路で生じる海浜流が、海水交換に貢献していることを明らかになった。
- 物理モデルの計算結果とサンゴ分布の比較により、湾外礁池では夏季の流速が、湾内では夏季の水温が、サンゴ分布の制限因子であることが分かった。
- 現地観測により、浄化センター周辺で高栄養塩濃度の地下水が滲出し、サンゴ生育が不可能な富栄養水域が生じていることを明らかにした。さらに物理モデルによる数値実験で、サンゴへの影響が小さい処理水放流位置を示した。
- 現地観測と既存データの解析により、滞筋狭窄部において、夏季に底質からの栄養塩溶出により、富栄養水塊が発生している可能性を示した。さらに物理モデルによる数値実験で、この周辺を浚渫した場合エスチュアリー循環が円滑化し、水温に関するサンゴ分布可能域が拡大する副次的効果が得られることが示された。



図 A. 川平湾周辺海域の衛星画像

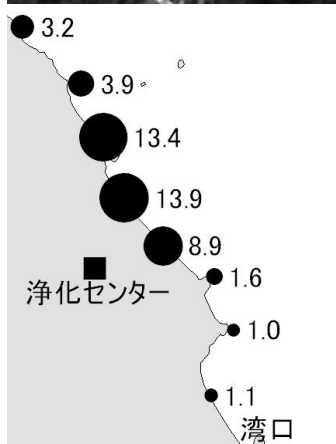


図 B. 浄化センター周辺の硝化態窒素濃度 [ $\mu\text{M}$ ]

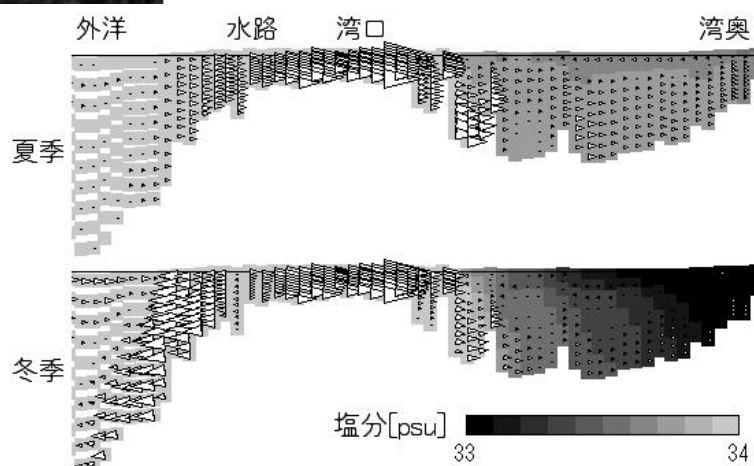


図 D. 上げ潮時の流速・塩分の横断面分布

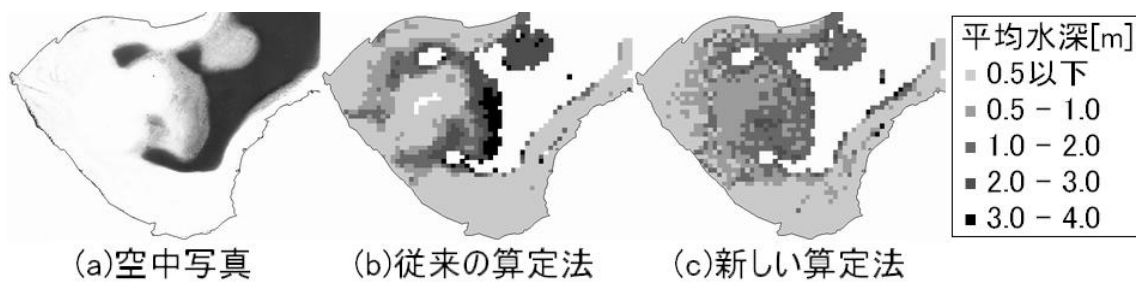


図 C. 川平湾奥の空中写真と、衛星画像による水深算定結果

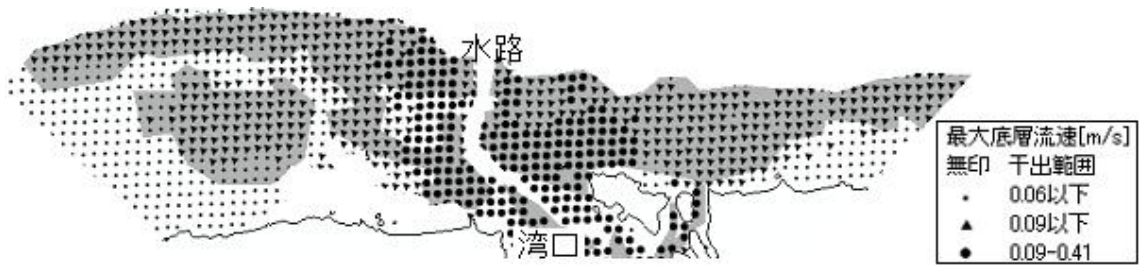


図 F. 湾外礁池のサンゴ分布域（灰塗）と 1 潮汐間最大底層流速

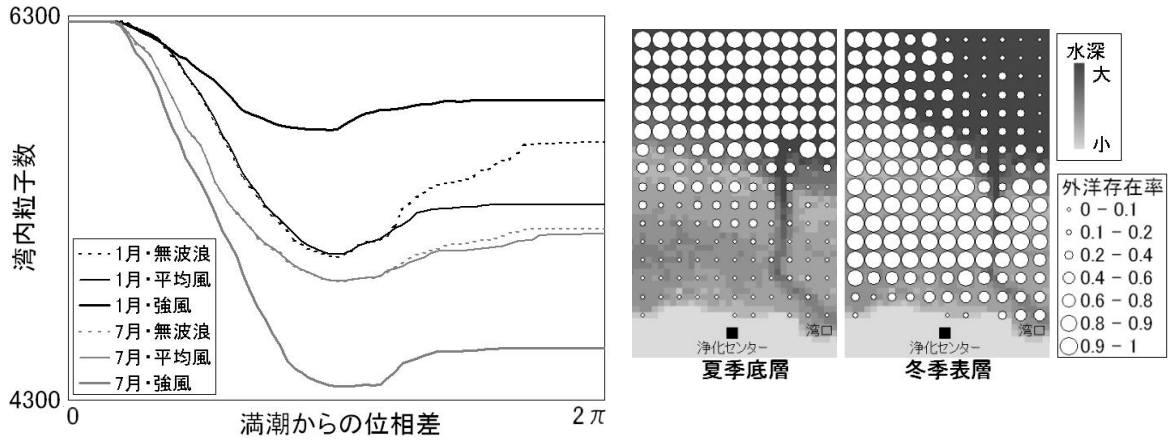


図 E. 放流後 1 潮汐間の湾内粒子数の変化

図 G. 粒子放流点と半潮汐後の外洋存在率