

阿嘉島周囲における サンゴの成長に及ぼす 波浪と流れの効果

柴田早苗・青田 徹・三井 順

榊不動産 総合技術研究所

綿貫 啓

榊アルファ水工コンサルタンツ

熊谷 航

灘岡 和夫

東京工業大学大学院情報理工学研究所

谷口 洋基

阿嘉島臨海研究所

Possible effects of waves and currents on coral growth around Akajima Island

S. Shibata · T. Aota · J. Mitsui · A. Watanuki · W. Kumagai · K. Nadaoka · H. Taniguchi

●はじめに

近年、さんご礁修復の手段としてサンゴの移植が実施されている。しかし、移植先の環境がサンゴの成長に適合していないと、生残率が低下し、効果が十分に発揮されない。サンゴの成長には物理・化学・生物的環境要因が影響するが、サンゴの成長に大きく影響する波浪や流れなどの物理環境に関する知見は多くない。そこで筆者らは、さんご礁の発達と流動との関係を把握し、サンゴの移植適地の選定基準を作ることを目標として調査を行った。フィールドは、多島海にあって各海岸に来襲する波浪が異なる、慶良間列島の阿嘉島とした。まず、さんご礁の幅が広い海岸はサンゴの成長が良好であると仮定し、数値シミュレーションで各海岸に作用する波高を算出し、さんご礁の幅と比較した。次に、波高、流速、水温を実測してその検証を行った。

●方法

1. 数値シミュレーションで算出した波浪とさんご礁の幅

さんご礁は絶えず波浪の影響を受けており、来襲する波浪が大きすぎても小さすぎても、さんご礁は発達しにくいと容易に推測できる。そこで、阿嘉島の各海岸に来襲する波浪とさんご礁の幅を比較することで、さんご礁の発達に最適な波浪環境を求めることとした。

さんご礁を形成する代表的な生物であるサンゴは、光合成をする共生藻から代謝物を得るとともに、海中のプランクトンなどの有機物を摂食する。サンゴの餌料供給という視点にたてば、その成長には通常の波が重要と推測し、この波浪としてエネルギー平均波高を取り上げることとした。一方、サンゴの生残には台風などのイベント的な大波浪が影響する。年に1回程度の確率で発生する大波浪に耐えられれば、サンゴは生

残できると考え、年最大波高を対象とすることとした。各波浪の沖波を決定し、これをもとに各海岸の波浪を推算した。

阿嘉島周辺の波浪の実測値はないので、独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部水理研究室において推算された1979年から15年間の毎時の有義波のデータを提供していただき、沖波を決定した。各海岸に入射する波は、周囲に島が多いため、回折の効果を取り入れたエネルギー平衡方程式(間瀬ら 1999)で計算した。波浪の推算地点は、100m間隔の格子と海岸線に沿った水深10mの等深線の交点125点とした。さんご礁の幅は、汀線(水深0m)から水深1mの等深線までの水平距離と定義し、1/5000地形図から各波浪推算地点の背後のさんご礁幅を読み取った。また、汀線付近の地形が急勾配であると、反射波の影響で礁内の流れが複雑になり、さんご礁の発達にも影響することが想定されたので、汀線から陸側の地形勾配を地形図から読み取った。汀線から陸側の地形勾配は、汀線からの水平距離が100mまでの勾配が1/4未満を緩勾配、それ以上を中勾配とし、特に汀線から30mまでに標高10m以上となる場合は急勾配と定義した(図1)。

2. 実測した波高、水温、潮流とさんご礁の幅との関係

さんご礁の発達には、潮流や温熱環境も影響すると

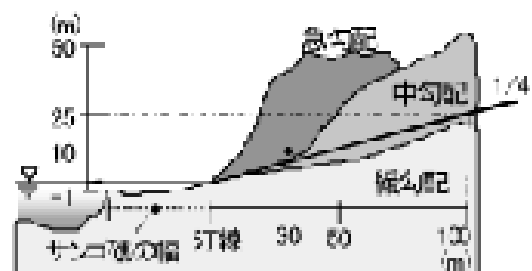


図1. 背後のさんご礁の幅および地形の勾配

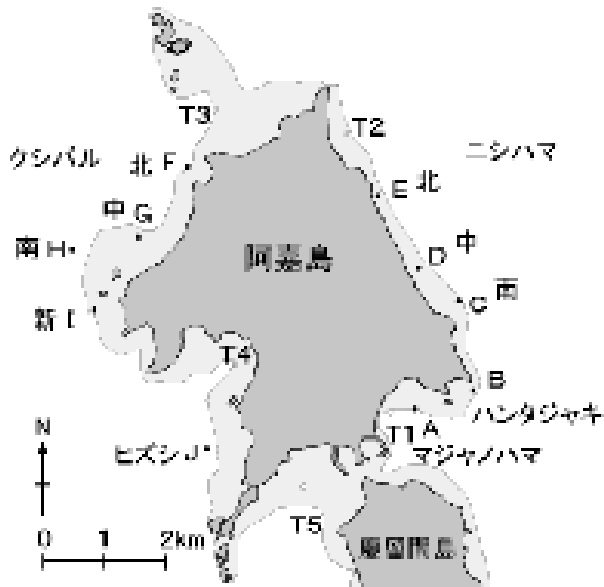


図2. 観測地点と海岸の名称

考えられる。そこで、各海岸に波高計と水温計を設置して、図2に示す観測地点で海岸ごとの流動環境を長期間観察することとした。また、代表的な地点で流速の測定を実施した。各地点の観測項目を表1、使用した観

表1. 各地点の観測項目一覧

地点	海岸	波高	水温	流速
A	マジノハマ	○	○	○
B	ハンタジャキ	○	○	○
C	ニシハマ南	○	○	○
D	ニシハマ中	—	○	—
E	ニシハマ北	○	○	○
F	クシバル北	○	○	—
G	クシバル中	—	○	○
H	クシバル南	○	○	—
I	クシバル新	—	○	—
J	ヒズシ	○	○	—
T1~T5	水温計設置地点	—	○	—

測機器とその測定モードを表2に示す。

波と水温は、2002年11月から約1年間測定した。波は数値シミュレーションと同じ水深10mの7地点で観測した。また、さんご礁の成長する水深帯を水深2mと仮定して、この水深の水温を15地点で測定した。

流速観測は、2004年5月から約1ヶ月間、島の東岸の4地点 (A、B、C、E) と、西岸のGの5地点で、電磁流向流速計により実施した。流速計は水深2mと、その沖側の流動を把握する目的で水深5mに設置した。

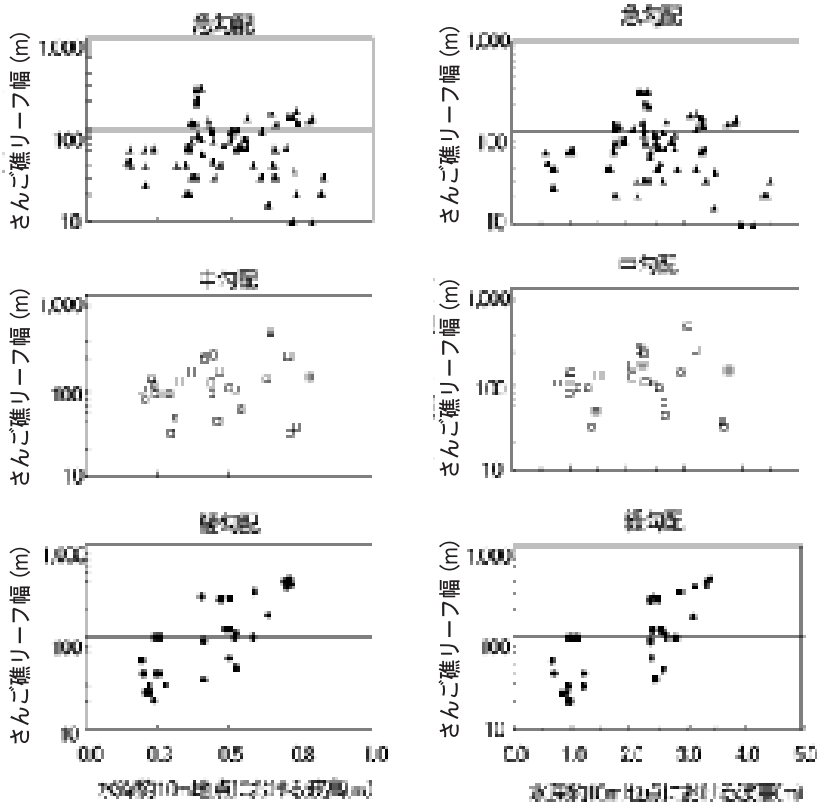


図3. エネルギー平均波高とさんご礁の幅

図4. 年最大波高とさんご礁の幅

●結果

1. 数値シミュレーションで算出した波浪とさんご礁の幅

エネルギー平均波高とさんご礁幅の関係 (図3) では、波高が0.5-0.8mの範囲で、背後の地形の勾配が緩勾配の条件のとき、さんご礁の幅が最大となる傾向があった。より小さな波高の海岸、すなわち静穏域では流動が小さく、浮遊する餌料等にサンゴが遭遇しにくいなどの理由から、さんご礁はそれほど発達しないと推察される。年最大波高とさんご礁の幅との関係 (図4) では、波高が3.0-3.5mでさんご礁の幅が約400mと最大となり、波高がこの値以上となるか背後の地形が急勾配な海岸ではさんご礁の幅は狭くなる。大きな波高の波が来襲する海岸のサンゴは、強大な波圧や、海底を移動するサンゴ片、岩石等により破壊され、さんご礁の発達が制限

されている可能性が示唆された。また、急勾配ではさんご礁の幅が狭く、緩勾配ではさんご礁の幅が広がる傾向がみられる。

2. 実測した波高、水温、潮流とさんご礁の幅との関係

実測した最大波高と有義波高の最大値を月毎に示す(図5)。観測期間中に慶良間列島に影響を与えた台風は、2003年4月に台風2号、6月に6号、8月に10-13号、9月に14、15号、11月に19号であった。

島の北西部にあたるクシバルFおよびH、南東部のハンタジャキBなどでは、台風時に有義波高3.0m以上を観測した。Bでは数値計算の結果によればさんご礁の幅が広がるはずであるが、実際にはさんご礁の幅は狭い。Bは最大波高3.0m以上の波浪が来襲する回数が多く、年によっては本調査で観測した波高より大きな波高が来襲することも考えられ、サンゴが破壊されている可能性がある。

一方、島の東岸であるニシハマのC・D・Eでは東方沖に座間味島などの島が点在し、遮蔽効果が高く、台風が来襲しても、年間を通して有義波高、最大波高ともに小さく、2m以上を観測することはなかった。ニシハマのさんご礁幅も、常時大きな波浪のある西岸に比べて狭く、数値計算による結果を支持した。

水深2mの全観測地点における日平均水温の平均値および、1998年から6ヵ年の阿嘉漁港における毎日AM10:00の表層水温の平均値の推移を図6に示す。水深2mの観測値は20-30℃の間で推移した。例年よりも2003年の水温は6-7月に低いが、8-9月に高く、夏期の高水温が続いた。

水深2mに設置した15地点の日平均水温の平均値を阿嘉島周辺の平均水温と考え、各海岸の水温とこの平均水温の差を比較した(図7)。較差は概ね0.5℃以下であるが、その傾向から、水温が夏は平均より高く冬は低い「夏高冬低」型(①)、夏は平均より低く冬は高い「夏低冬高」型(②)、一年を通して平均より水温が高い日が多い「ほぼ年中高」型(③)、の3つに分類できた(図8)。①の特徴を示す海岸では海水交換が小さく、②では海水交換が大きいと推測される。さんご礁の幅が広い西岸のクシバルは①や③の傾向が強く、さんご礁の幅が狭い東岸のニシハマでは②の傾向があった。

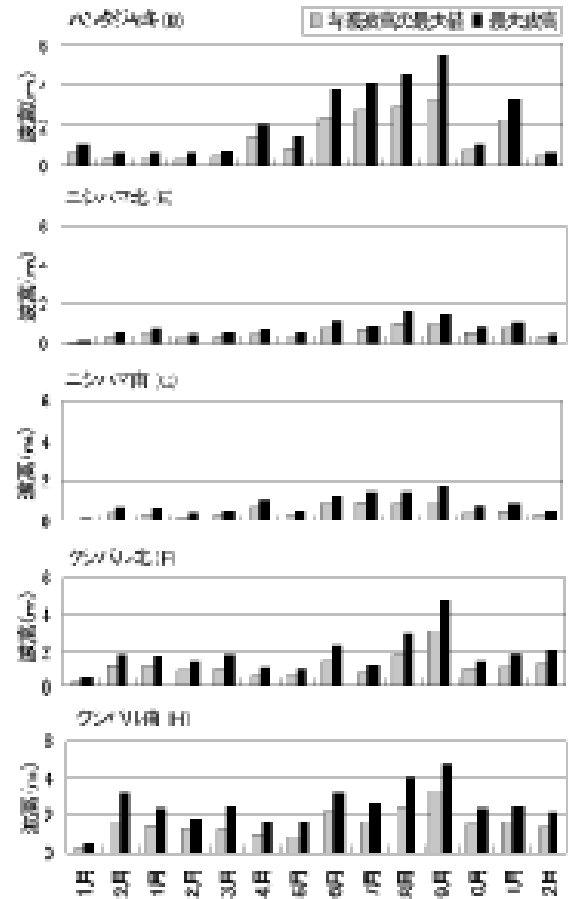


図5. 月毎の最大波高および有義波高の最大値(2002年11月~2003年12月)

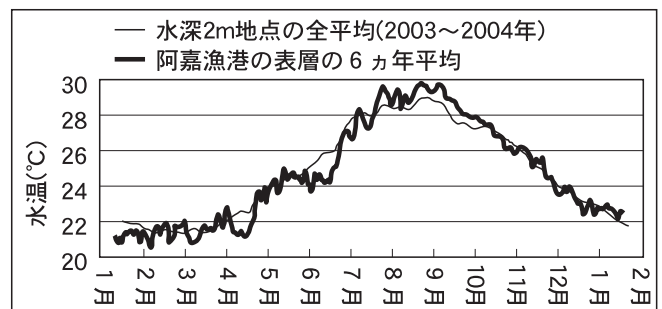


図6. 水深2m地点の日平均水温の平均値の推移および阿嘉漁港の表層水温の6ヵ年平均

表2. 観測機器と測定数
(波高・水温: 2002年11月~2004年1月、流速: 2004年5月~6月)

機器名	測定時間 (min)	測定間隔 (min)	測定レンジ(s)	測定数
圧力式波高計	20	120	0.5	2,400
電磁式流向流速計	5	120	0.5	600
水温計	—	15	—	1

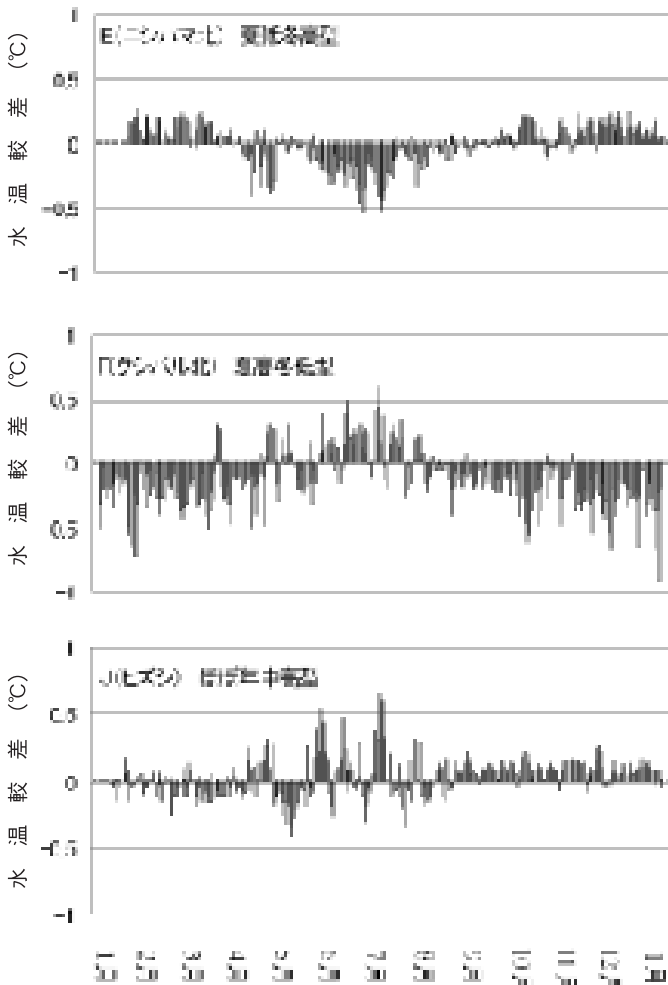


図7. 水深2mの日平均水温の全観測地点の平均値と主な地点との差（2003年1月～2004年1月）

図9に通常波浪時（静穏時）のM2分潮の潮流楕円を示す。流速計によって、島の西岸と東岸で潮流の流向・流速の観測を行ったが、観測期間中、Bに設置した流速計が破損し、欠測した。M2分潮の流速は、クシバルのGは水深5mで潮流が1cm/s前後と小さく、波高が小さいニシハマ（C、E）の水深5mでは最大で6-9cm/sと大きかった。さらにニシハマの流況を詳細にみると、CとEの波高は同程度であったが、Eは流向が海岸線と平行なのに対し、Cは海岸線から沖に向かって突出しており、水深5mの流向が変化し、流速はEより大きくなっていた。

●考察

波浪数値シミュレーションと波浪の実測の結果を合わせると、さんご礁の幅が広い海岸ではさんごの成長が良好であると仮定するなら、エネルギー平均波高で

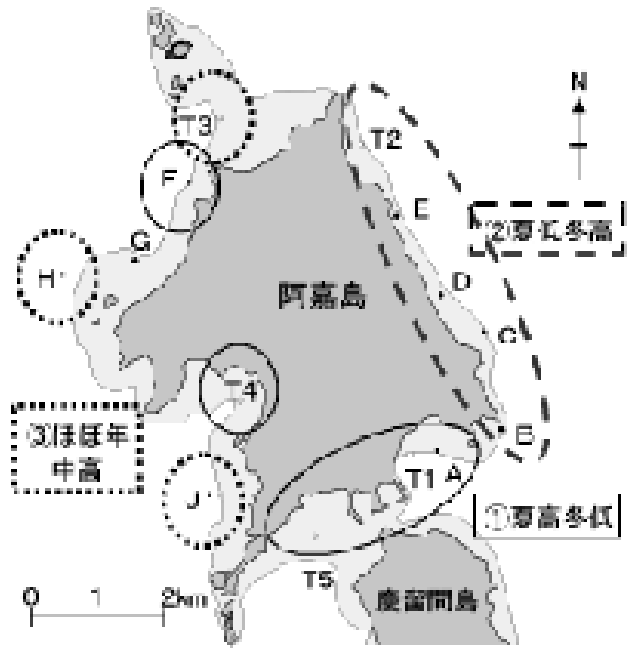


図8. 水深2mの日平均水温の全観測地点の平均値と各地点との差から分類した水温の傾向型

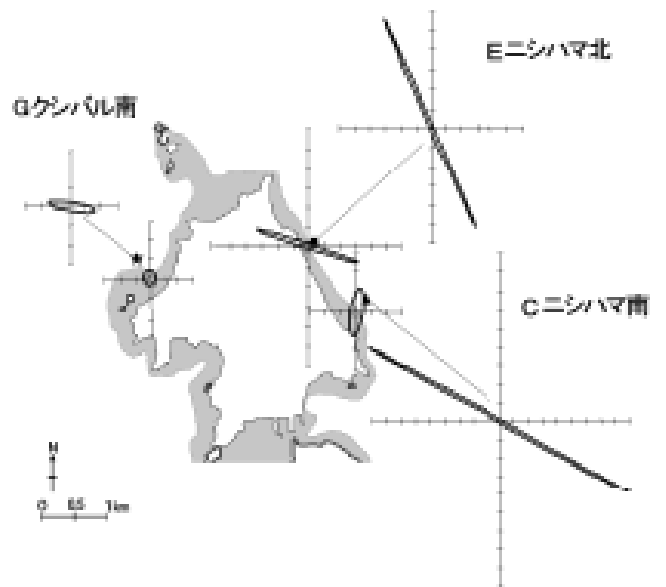


図9. 各地点のM2分潮の潮流楕円
グラフの1目盛は1cm/s、白マークは水深2m地点、黒のマークは水深5m地点。観測期間：2004/5/26～6/24。

0.5-0.8m、年最大波高が3m以下の環境がさんごの成長にとって望ましい。したがって、さんご礁の修復手段として移植を行なう場合などは、このような環境を選定すべきである。ただし、さんごの種類や群体形状、骨格密度が異なれば、好適な流動環境も異なるので、種ごとに好適な環境の把握が必要であろう。

数値シミュレーションで算出した波高とさんご礁の幅の関係では一定の傾向は見られたが、図3、4に示した点は非常にばらつき、波高のみではさんご礁の発達を十分に説明できていない。波高だけでなく、潮流などの流れや温熱環境の違いも影響していると考えられた。実測した潮流の流速はさんご礁がより発達したクシバルと比較してニシハマで大きかったが、反対にクシバルはニシハマに比べて大きな波浪が来襲することから、さんご礁の発達には潮流よりも波浪の影響が強いことがわかる。すなわち、島の西岸では波浪による流動によってサンゴの成長が促されさんご礁の幅が広く、東岸では適度な波浪の来襲が少なく西岸と比較してさんご礁が発達していない可能性が示唆された。

ただし、ほぼ同様の波高、温熱環境である東岸のニシハマのCとEを比較すると、Cのほうがさんご礁の幅は広い。この2地点における違いは潮流の流速と流向である。サンゴへの餌料供給・幼生の新規加入という視点にたてば、Eでは流向が海岸線と平行でそれらが流去してしまうと考えられる。サンゴの摂食は、海水中の餌料密度が2地点で同じと仮定すれば、餌料フラックス(餌密度×流速)の大きさに影響を受けると考えられる。流速はEよりもCでより大きくなっている。これらのことから岸側に向かって流速の大きい潮流が流入するCの方がさんご礁の幅が広がったのかもしれない。このように波浪が同程度に小さい海岸では、沖側に突出した地形などによって流向が変化し、流速の大きい潮流が海岸に流入することが、幼生の新規加入やサンゴの成長を促し、さんご礁の幅の違いにつながっている可能性がある。今回の調査では、波浪に着目し、場所を限定した潮流の調査を行なったのでその流速の影響は明確に把握できないが、今後さらに調べる必要がある。

●まとめ

阿嘉島周囲の物理環境とさんご礁の発達の関係について概ね把握できた。

さんご礁の発達には、物理環境のうち波浪が最も大きく影響すると考えられ、適度な波浪が年間を通して押し寄せる海岸で幅が広い傾向であった。阿嘉島周囲においては、エネルギー平均波高が0.5-0.8m、背後の地形の勾配が緩勾配の条件で、さんご礁の幅が最大である傾向があった。また、波高が3mを越す大きな波浪が押し寄せる頻度が高いとサンゴが破壊され、静穏す

ぎると成長が良好でないと推測された。波浪が小さい海岸では、波浪条件が同じでも、潮流が大きいとさんご礁の幅が広いことがわかった。サンゴの餌料となる有機物との遭遇や幼生の新規加入という視点にたてば、大きな潮流はサンゴの生育に有利であると推察された。

阿嘉島以外の場所で得られた結果が成り立つか検証し、知見を積み重ねてサンゴの移植適地の選定基準の作成につなげたい。

●謝辞

波浪の数値計算では、(独)港湾空港技術研究所(現、九州大学)の橋本典明氏に波浪推算データを提供していただいた。ここに記して感謝の意を表す。なお、本研究は、競艇交付金による日本財団の援助を受けて(財)シップ・アンド・オーシャン財団(現(財)海洋政策研究財団)が行う技術開発基金による補助金を受けた。

●参考文献(本文中に引用のないものも列挙した)

- 青田 徹・綿貫 啓・柴田早苗・熊谷 航・灘岡和夫・三井 順・岩尾研二・谷口洋基・大森 信 2004. サンゴ礁形成要因としてのサンゴの成長量に与える物理環境の影響. 海岸工学論文集, 51: 1071-1075.
- 青田 徹・綿貫 啓・柴田早苗・三井 順・熊谷 航・灘岡和夫・岩尾研二・谷口洋基・大森 信 2004. サンゴ礁形成に与える流動環境の影響. 日本サンゴ礁学会第7回大会講演要旨集, p.57.
- 間瀬 肇・高山知司・国富将嗣・三島豊秋 1999. 波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究. 土木学会論文集, (628/II-48): 177-187.
- 山里 清 1991. サンゴの生物学. 東京大学出版会, 東京. 150pp.
- 綿貫 啓 2003. 海洋構造物設置に伴うサンゴの大規模移植技術の開発. 平成14年度技術開発基金による研究開発報告書, 第22集. (財)シップ・アンド・オーシャン財団. pp.128-145.
- 綿貫 啓 2004. 海洋構造物設置に伴うサンゴの大規模移植技術の開発. 平成14年度技術開発基金による研究開発報告書, 第23集. (財)シップ・アンド・オーシャン財団. pp.87-103.
- 綿貫 啓・青田 徹・柴田早苗・熊谷 航・灘岡和夫・三井 順・岩尾研二・谷口洋基・大森 信 2004. サンゴ礁の発達に影響する波浪の効果. 平成16年度日本水産工学会学術講演論文集, pp.23-24.