天然の防波堤としてのサンゴの役割

－沿岸災害リスク低下に向けた波高低下率の将来予測－

和歌山県立南紀熊野ジオパークセンター
国立大学法人　和歌山大学
国立研究開発法人　産業技術総合研究所 ネイチャーポジティブ技術実装研究センター

【研究の社会的背景】

現在、沿岸部ではコンクリート製のインフラとして防波堤や防潮堤が築かれ、沿岸災害の低減に役立っています。しかし、世界各地において、気候変動等の影響によって台風時の高波や高潮による沿岸災害が激甚化しています。そのため、コンクリート製インフラの新規建設と更新、維持に必要なコストが増大しています。さらに、今後、海面上昇や台風の強大化等によって、沿岸災害がさらに激甚化する恐れがあり、これらのコストの増加が課題となっています。また、これらの建設によって、海岸が埋め立てられ、干潟や砂浜等が消失して生物のすみかが失われてきています。

近年、気候変動や激甚化する自然災害など、社会を取り巻く様々な課題への対応が求められ、その手段の一つとして「グリーンインフラ」という考え方が注目されています。グリーンインフラとは、社会資本整備や土地利用等のハード・ソフト両面において、自然環境が有する多様な機能を活用し、持続可能で魅力ある国土・都市・地域づくりを進める取り組みのことです[文献 1]。また、グリーンインフラの中でも生態系を活用して地域の防災・減災機能の強化を進める取り組みや考え方は生態系活用型の防災・減災（Ecosystem-based Disaster Risk Reduction：Eco-DRR）と呼ばれています。

熱帯域から亜熱帯域に分布するサンゴ礁では、海面近くにサンゴが生息しているため（図 1)、外洋からの高波を減衰させる天然の防波堤として知られており（図 2)、グリーンインフラとして再注目されています。120 以上の国と地域にサンゴ礁があり、それらの地域ではサンゴ礁によって 230,000 km 以上の海岸線が守られ[文献 2]、1 億人以上の人々が沿岸災害のリスクから守られています[文献 3]。外洋から入ってくる波のエネルギーは、**礁斜面**[用語 1]から**礁嶺**[用語 2]にかけて、その大部分が減衰することが観測されており（図 3）[文献 4]、**波高低下率**[用語 3]に換算すると 80%以上にもなることが明らかとなっています[文献 5，6]。これまで、現在のサンゴ礁における波高低下率の報告はあるものの、複数のサンゴ礁やサンゴ礁が発達していない温帯域のサンゴ群集を対象に、将来の海面上昇や台風の強大化の影響、さらにサンゴの成長の有無を考慮した具体的な数値による将来予測はありませんでした。波高低下率の具体的な数値が明らかになると、コンクリート製のインフラの新規建設の見直しや、建設コストや維持コストを抑えることにつなが

ります。また、波高低下率が明らかになると、沿岸浸食や家屋の倒壊、電気や水道などのライフラインに関する災害リスクの具体的な予測につながります。

図１　海面付近に生息するサンゴ。サンゴは海面付近に生息するため、波を砕く役割を持っています。

図２　天然の防波堤としての役割を持つサンゴ礁。海岸線から離れた沖合にサンゴが多く生息しているため、外洋から伝わってきた波が砕かれ、海岸線付近での波高は小さくなります。

図 3　サンゴ礁の地形の特徴。サンゴ礁は海から陸に向かって礁斜面と礁原が配列することが特徴です。礁斜面は外洋側に発達する急な斜面のことで、礁原は海面近くまで達した平坦面のことです。礁嶺は礁原の海側にある高まりです。礁斜面から礁嶺にかけて水深が急激に浅くなるため、波が砕けやすい。[文献 7]の図を引用・改変したものを使用しています。

【研究の成果】

和歌山県立南紀熊野ジオパークセンター、和歌山大学、産業技術総合研究所、東京大学からなる研究グループは、将来の海面上昇や台風の強大化の影響、さらにサンゴの成長の有無を考慮した波高低下率の具体的な数値を明らかにする目的で、沖縄県と鹿児島県、和歌山県に分布するサンゴ礁とサンゴ群集を対象に、地形計測および波浪シミュレーションによって 2100 年までの将来予測を行いました。その結果、沖縄県と鹿児島県の現在のサンゴ礁の波高低下率は 80%以上でしたが、これまで研究報告が無かった和歌山県串本町有田のサンゴ群集の波高低下率は 70%以上であることが初めて明らかとなりました（図 4)。さらに、2100 年までの将来予測を行ったところ、礁嶺が低潮位時に干出している 3 地点（沖縄県石垣島白保サンゴ礁、沖縄県久米島大原サンゴ礁、鹿児島県奄美大島土盛サンゴ礁）では、サンゴの成長が継続しても、停止しても波高低下率は 80%以上が維持されていました。一方、礁嶺の高さが低潮位時の海面とほぼ同じである沖縄県伊計島伊計サンゴ礁とサンゴ礁が発達していない和歌山県串本町有田では、サンゴの成長が継続すると、停止した場合と比較して波高低下率は有意に増加することが明らかとなりました。

本研究のように波高低下率の将来予測を行った研究例はまだ少なく、今後、国内外のサンゴ礁で同様の研究を進めていくためには、サンゴの種類や量のモニタリングに加えて、「干出した礁嶺の有無を含めた詳細な地形データ」や「将来においてサンゴがどの程度成長出来るスペースがあるのか」などを調査することが不可欠であることも明らかとなりました。

図 4　波高低下率のまとめ。礁嶺が低潮位時に干出している 3 地点（石垣島白保サンゴ礁と久米島大原サンゴ礁、奄美大島土盛サンゴ礁）では、将来の波高低下率は 80%以上であった。礁嶺の高さが低潮位時の海面とほぼ同じである沖縄県伊計島伊計サンゴ礁と、サンゴ礁が発達していない和歌山県串本町有田では、将来、サンゴの成長が継続していると波高低下率を増加させることが、検定結果（有意水準 5%）から明らかとなりました。
※原論文の図を引用・改変したものを使用しています。

【研究の課題と今後の展望】

沿岸災害リスク低下に向けて、サンゴに注目して波高低下率の将来予測を進めていくためには、まだ多くの課題があります。具体的には、本研究では国内の限られた範囲についての波高低下率の将来予測を行いましたが、本研究の手法は国内外のサンゴ礁およびサンゴが生息する地域に適用出来るため、今後は多くの地域で研究データを収集することが必要です。また、本研究で実施した波浪シミュレーションには海底地形の断面測量データを用いましたが、実際の海底と海岸の地形は複雑な 3 次元の形状をしているため、波の回折なども考慮した 3 次元の波浪シミュレーションを行っていくことが必要です。

サンゴを活用して沿岸災害リスクを低下させるためには、サンゴ礁生態系が健全であることが基本となりますが、海水温上昇による**サンゴの白化**[用語 4]や海洋酸性化などの影響でサンゴ礁における生物多様性は減少しています。そこで、国や地方公共団体、企業、個人等によってサンゴを移植するサンゴ礁再生事業が行われています。サンゴ片の移植によってサンゴ礁再生に係る費用は、コンクリート製インフラの建設費用のおよそ 10 分の 1 程度と安価になることが報告されていますが[文献 3]、波高低下率に大きく寄与するサンゴの移植方法や生存率などの知見はほとんどありません。そのため、国内外においてサンゴ礁再生事業を策定する際には、沿岸災害リスク低下を考慮したサンゴ片の移植計画も検討することが必要と考えられます。

サンゴ礁は防災の点だけではなく、水産資源の提供や観光、祭事の場としても重要となっています。サンゴ礁が持つ多様な価値を維持していくためには、自然環境の保全に取り組むだけではなく、経済から社会、政治、技術など様々な側面から、サンゴ礁における生物多様

性の減少を止め、プラスの状態にするための**ネイチャーポジティブ**[用語 5]の考え方が、今後、ますます重要となります。そのため、最近注目されている陸域負荷の低減など[文献 8, 9, 2025 年 3 月 7 日産総研プレス発表]、様々なステークホルダーの理解を得ながら具体的な対策を行うことが求められます。

【発表者】

■和歌山県立南紀熊野ジオパークセンター
主査研究員　本郷　宙軌（ほんごう　ちゅうき）
（兼）国立大学法人　和歌山大学 紀伊半島価値共創基幹
災害科学・レジリエンス共創センター 客員准教授

■国立研究開発法人　産業技術総合研究所
ネイチャーポジティブ技術実装研究センター 自然資本診断技術研究チーム
研究チーム長　井口　亮（いぐち　あきら）

■国立大学法人　東京大学 大学院工学系研究科 社会基盤学専攻
上席研究員　木口　雅司（きぐち　まさし）

【論文情報】

題名：Wave height reduction by coral growth within the context of increased wave heights owing to sea-level rise and tropical cyclones in Ryukyu Islands and the main island of Japan by 2100
雑誌名：*Galaxea*, *Journal of Coral Reef Studies*　27 巻 1 号 p. 180-196
著者名：Chuki Hongo, Akira Iguchi, Masashi Kiguchi
DOI：https://doi.org/10.3755/galaxea.G27-13
URL：https://www.jstage.jst.go.jp/article/galaxea/27/1/27_G27-13/_pdf/-char/ja
（令和 7 年 12 月 4 日に電子版公開）本論文はオープンアクセスです。

【研究助成】

本研究は、日本学術振興会（JSPS）の科学研究費助成事業（課題番号：12J04044、24H00784）と日本生命財団 ニッセイ財団（若手研究・奨励研究助成）、第 25 期プロ・ナトゥーラ・ファンド、the Research Laboratory on Environmentally Conscious Developments and Technologies at the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology（産総研・環境調和型産業技術研究ラボ）、環境研究総合推進費（課題番号：JPMEERF23S21110）の支援を受けて行われました。

【引用文献】

[1] 国土交通省（2019）グリーンインフラ推進戦略．国土交通省

［2］Burke L, Spalding M (2022) Shoreline protection by the world’s coral reefs: Mapping the benefits to people, assets, and infrastructure. Marine Policy 146: 105311
［3］Ferrario F, Beck MW, Storlazzi CD, Micheli F, Shepard CC, Airoldi L (2014) The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. Nat Commun 5: 3794
［4］Osorio-Cano JD, Alcérreca-Huerta JC, Osorio AF, Oumeraci H (2018) CFD modelling of wave damping over a fringing reef in the Colombian Caribbean. Coral Reefs 37: 1093-1108
［5］仲座栄三，津嘉山正光，玉城重則，川満康智，吉田 繁，田中 聡（1998）湾状リーフ海岸における波・サーフビート．海岸工学論文集 45：281-285
［6］Hongo C, Kiguchi M (2021) Assessment to 2100 of the effects of reef formation on increased wave heights due to intensified tropical cyclones and sea level rise at Ishigaki Island, Okinawa, Japan. Coastal Eng J 63: 216-226
［7］本郷宙軌（2023）サンゴ礁生態系活用型の沿岸防災に向けて．日本サンゴ礁学会誌 25：45-61
［8］Hongo C, Yamano H (2013) Species-specific responses of corals to bleaching events on anthropogenically turbid reefs on Okinawa Island, Japan, over a 15-year period (1995–2009). PloS one 8: e60952
［9］Yasumoto J, Iguchi A et al. (2025) Coral Decline Linked to Exchangeable Phosphate in Seawater from Coastal Calcareous Sediments, as Evidenced in Sekisei Lagoon, Japan. Mar Biotechnol 27: 50
※2025 年 3 月 7 日産総研プレス発表
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2025/pr20250307/pr20250307.html

【用語解説】

[1]礁斜面（しょうしゃめん）

サンゴ礁は海から陸に向かって礁斜面と礁原が配列することが特徴で、礁斜面は外洋側に発達する急な斜面のことです。また、礁原は海面近くまで達した平坦面のことです。

[2]礁嶺（しょうれい）

礁嶺は、礁原の海側にあり、ほぼ低潮位まで達する高まりです。これは、過去の海面上昇時にサンゴが成長し、積み重なって、最初に海面に追いついて作られました。礁斜面から礁嶺にかけて水深が急激に浅くなることで、外洋から伝わってくる波が砕けます。

[3]波高低下率（はこうていかりつ）

本研究では、外洋の波高と、海岸線から 50ｍの地点の波高を比較して波高低下率を求めました。例えば、外洋で波高 5m の波が、海岸線から 50ｍ地点で 1ｍに低下した場合、波高低下率は 80％になります。なお、本研究の波高は有義波高を用いています。有義波高とは、波高の高い方から順に全体の 3 分の 1 の個数の波を選び、これらの波高を平均したもので

す。気象庁が天気予報や波浪図等で用いる波高は有義波高です。

[4]サンゴの白化（はっか）

サンゴの白化とは、サンゴの体内に生息している褐虫藻の数が著しく減少することや、褐虫藻が保持している色素が減少することで、白色のサンゴの骨格が透けて見える状態です。高水温や低水温、強光などによってサンゴがストレスに曝されると、白化が生じます。

[5]ネイチャーポジティブ

ネイチャーポジティブとは、自然と共生する社会の実現を目指して、人間活動による自然の損失を食い止め、さらに自然をプラスの状態にしていくことを意味しています。その実現のためには、国や地方公共団体、NGO、個人等の様々なステークホルダーが経済から社会、政治など様々な分野で連携しながら取り組むことが求められています。

【問合せ先】

和歌山県立南紀熊野ジオパークセンター
主査研究員　本郷　宙軌（ほんごう　ちゅうき）
（兼）和歌山大学 紀伊半島価値共創基幹
災害科学・レジリエンス共創センター 客員准教授
TEL：0735-67-7100
E-mail： hongo_c0001@pref.wakayama.lg.jp/ chongo@wakayama-u.ac.jp

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
https://www.aist.go.jp/
ブランディング・広報部 報道室 hodo-ml@aist.go.jp