

A Ministry of the Environment Japan (MOEJ) funded Research Project

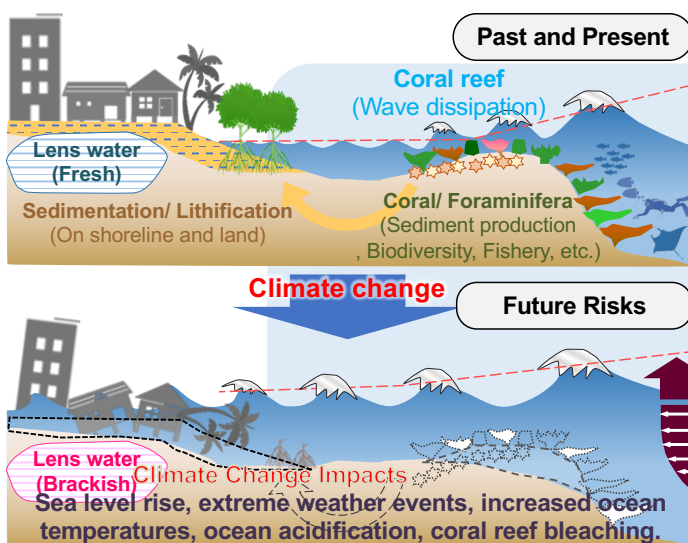
Nature-based-Solutions (NbS) for Resilient Societies to Climate Change in Pacific Atoll Nations

太平洋環礁国における気候変動に強靱な社会のためのNbS研究

FY 2024-2026

東京大学（理・工・大気海洋研）・国立環境研・
東北大学・東北学院大学

Nature-based Solutions (NbS) is defined as measures to protect, restore, sustainably use natural or modified terrestrial and coastal/marine ecosystems, while ensuring human well-being, ecosystem services, and biodiversity against global/local environmental changes.

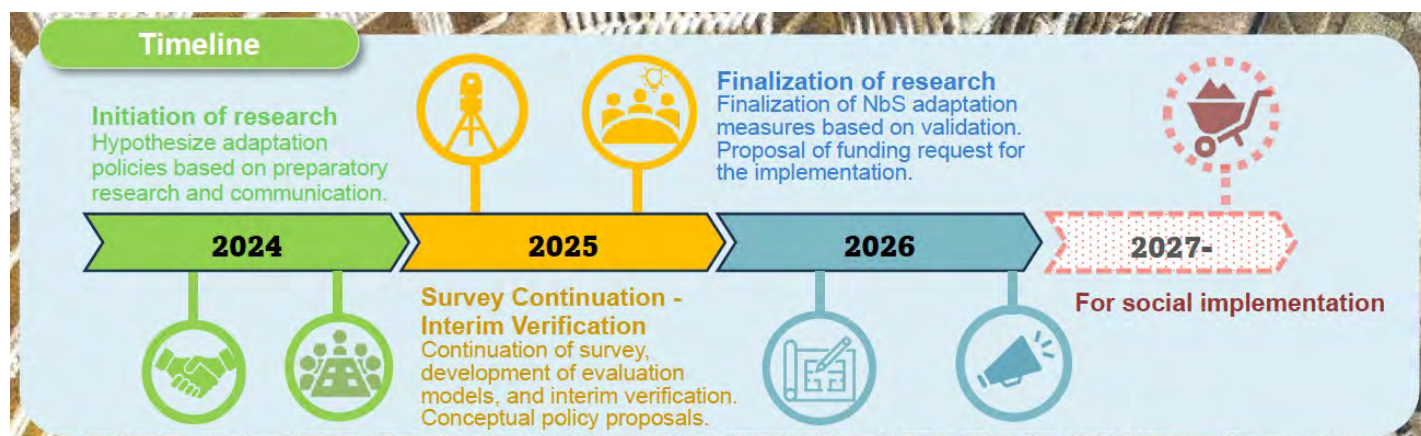
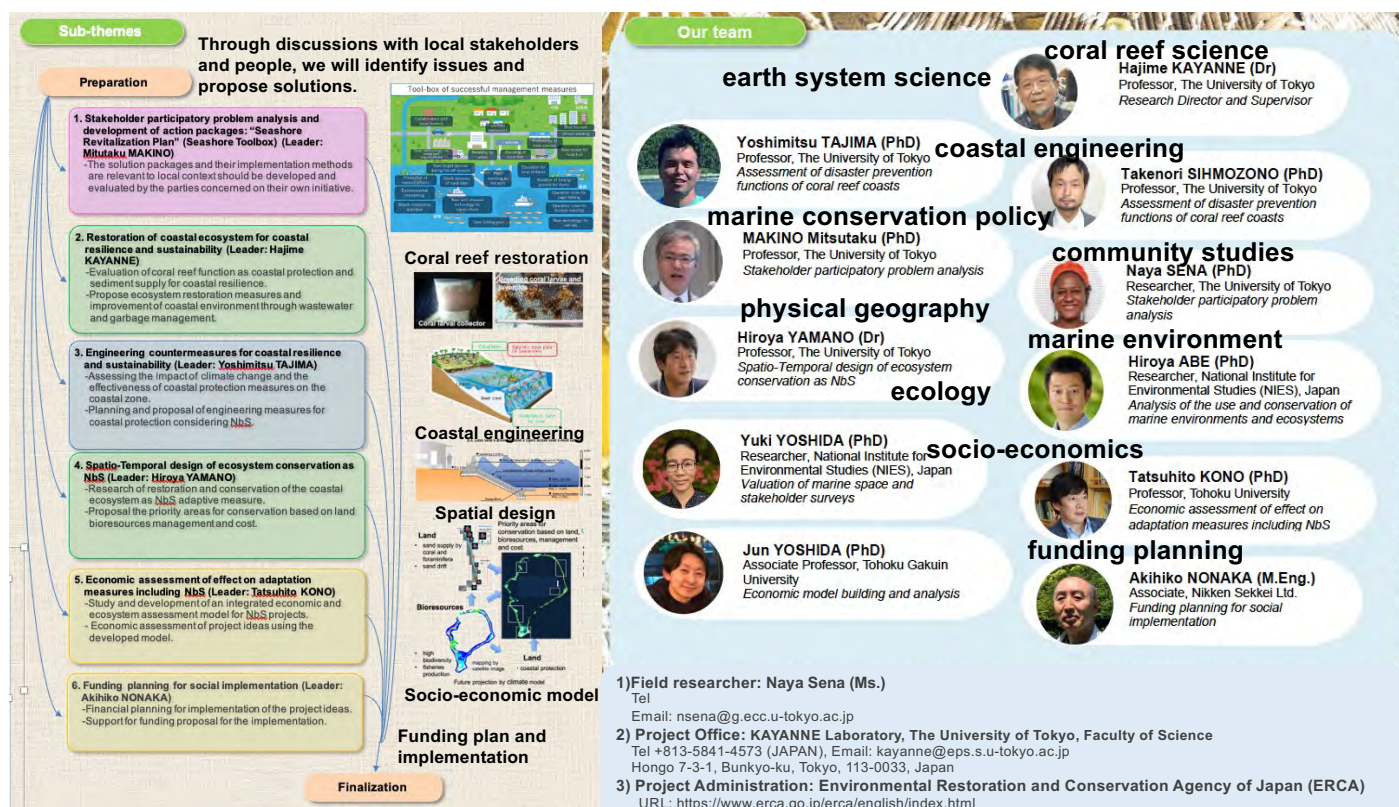


The devastation of coastal ecosystems due to climate change, coupled with problems such as sea level rise and increased extreme weather events, may increase damage in coastal areas of island countries.

We will:

- design and evaluate Engineering, NbS, and Social adaptive measures.
- develop economic and ecosystem models to evaluate benefits of adaptive solutions.
- create adaptation scenarios that involve local and international organizations and financing.

We must collaborate with governments and people of RMI..



■マジュロでの沿岸利用と人工的な地形



無堤+捨石(若干) Dalit地区 外洋側



埋立して直立護岸を築造 Uliga地区 外洋側



埋立地の前面護岸 空港北 ラグーン側



礫+防潮林の堤防(護岸) 南部外洋側

■マジュロにおける自然的な沿岸地形 波高が最も大きい箇所



高いストームリッジと低い海浜植生
北東部 ダリット地区 外洋側(波高大)

波高が中程度の箇所



低いリッジと高い海浜植生
南部地区 ラグーン側(波高小)





Coral reef



Coral gravels



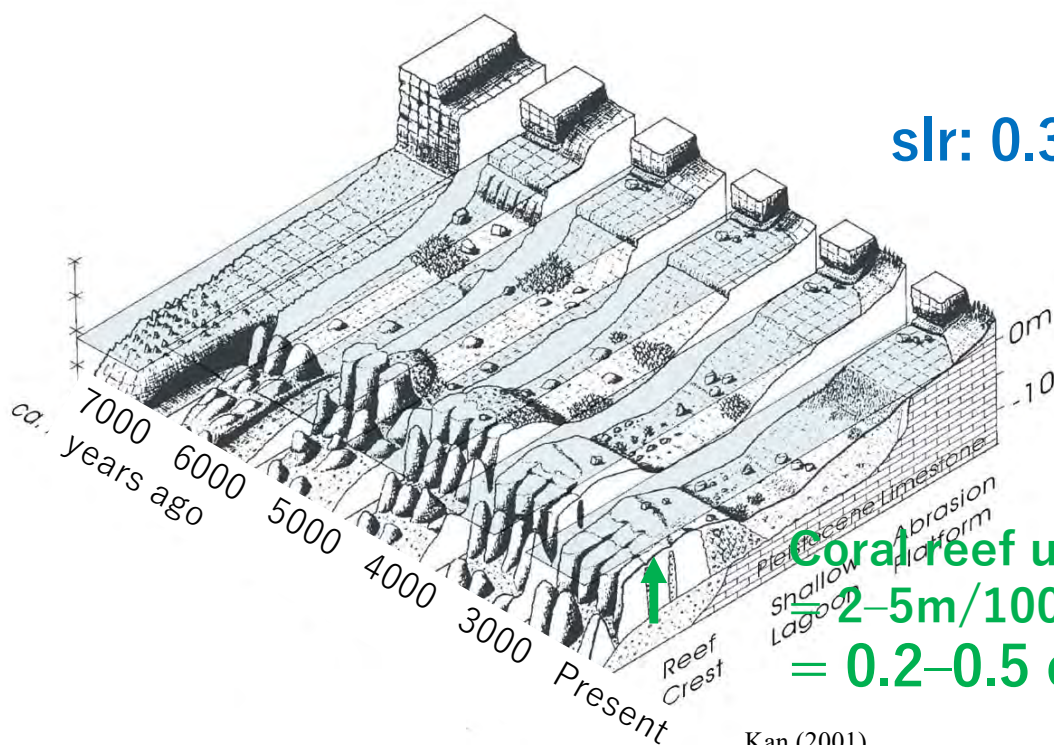
Foraminifera sand



**Atoll islands are formed of
calcium carbonate skeletons**

Coral

calcium carbonate skeletons → coral reef



slr: 0.3–0.4 cm/year

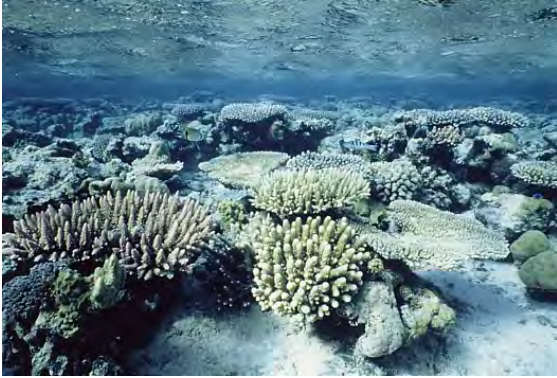
Coral reef upward growth rate
= 2–5m/1000 years
= 0.2–0.5 cm/year

Kan (2001)

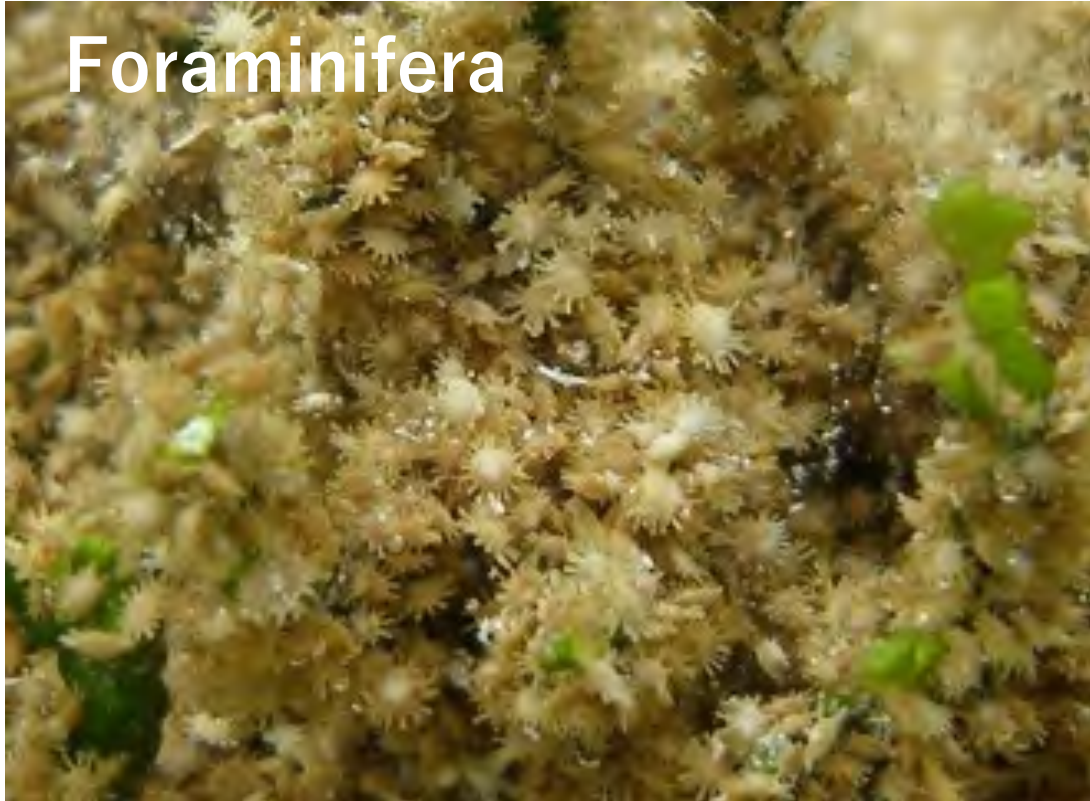
Gravel and sand production rate of healthy coral reefs

10–20 kg/m²/year = 75–150 cm³/m²/year = **75–150 m³/ha/yr**

assuming aragonite density of 2.7 cm³/g and 50% porosity



Foraminifera

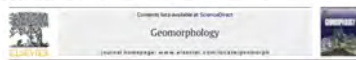


GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 38, L20005, doi:10.1029/2011GL049163, 2011

doi:10.1029/2011GL049163

Rapid settlement of Majuro Atoll, central Pacific, following its emergence at 2000 years CalBP

Hajime Kayanne,¹ Toru Yasukochi,^{1,2} Toru Yamaguchi,¹ Hirona Yamano,⁴ and Minoru Yoneda³



Sedimentary facies and Holocene depositional processes of Laura Island, Majuro Atoll

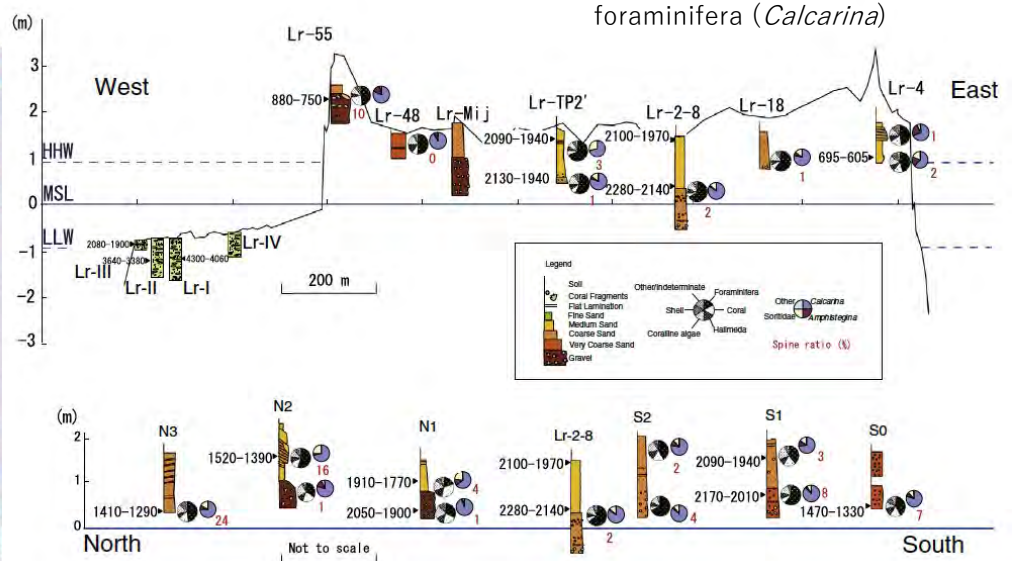
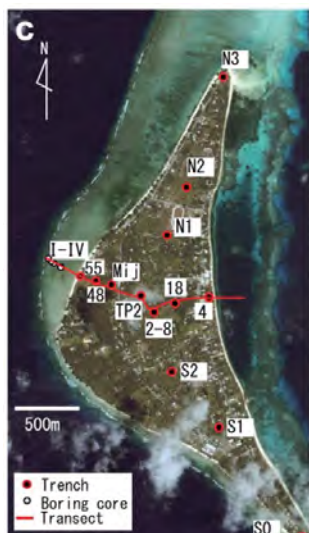
10.1016/j.geomorph.2014.04.017

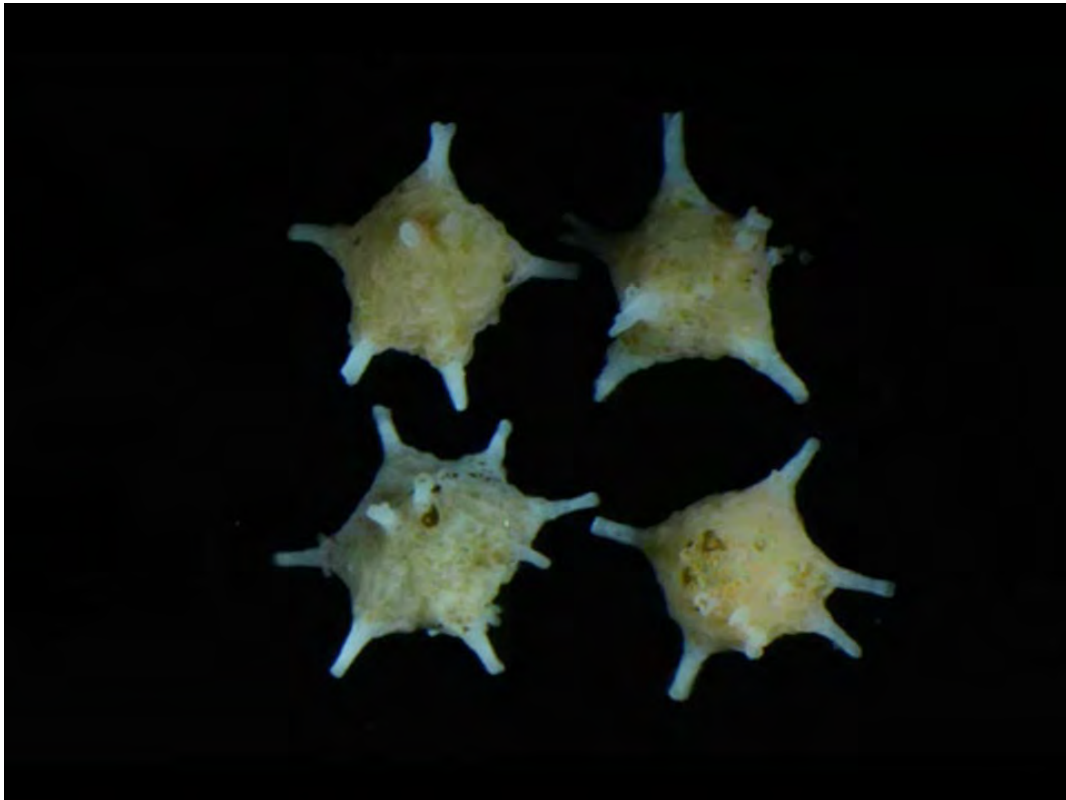
Toru Yasukochi,¹ Hajime Kayanne,¹ Toru Yamaguchi,¹ Hirona Yamano,⁴ and Minoru Yoneda³

Laura Is has been expanded to EW and NS since 2000 years BP (AD 0)



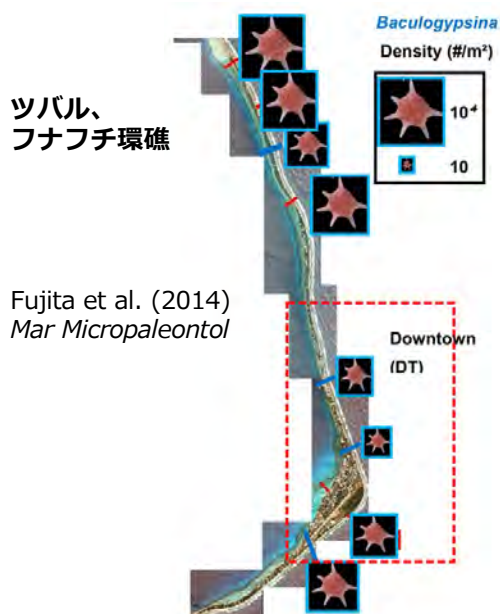
foraminifera (*Calcarina*)



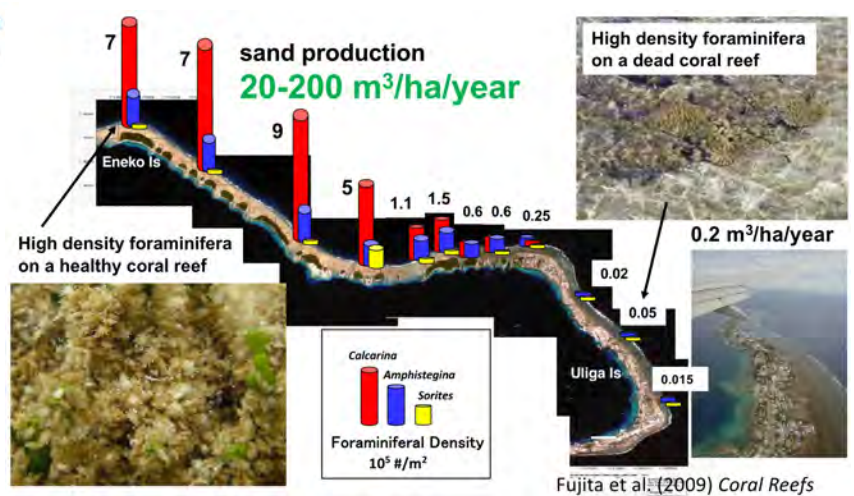


人為影響による生態プロセスの阻害が州島を脅かす

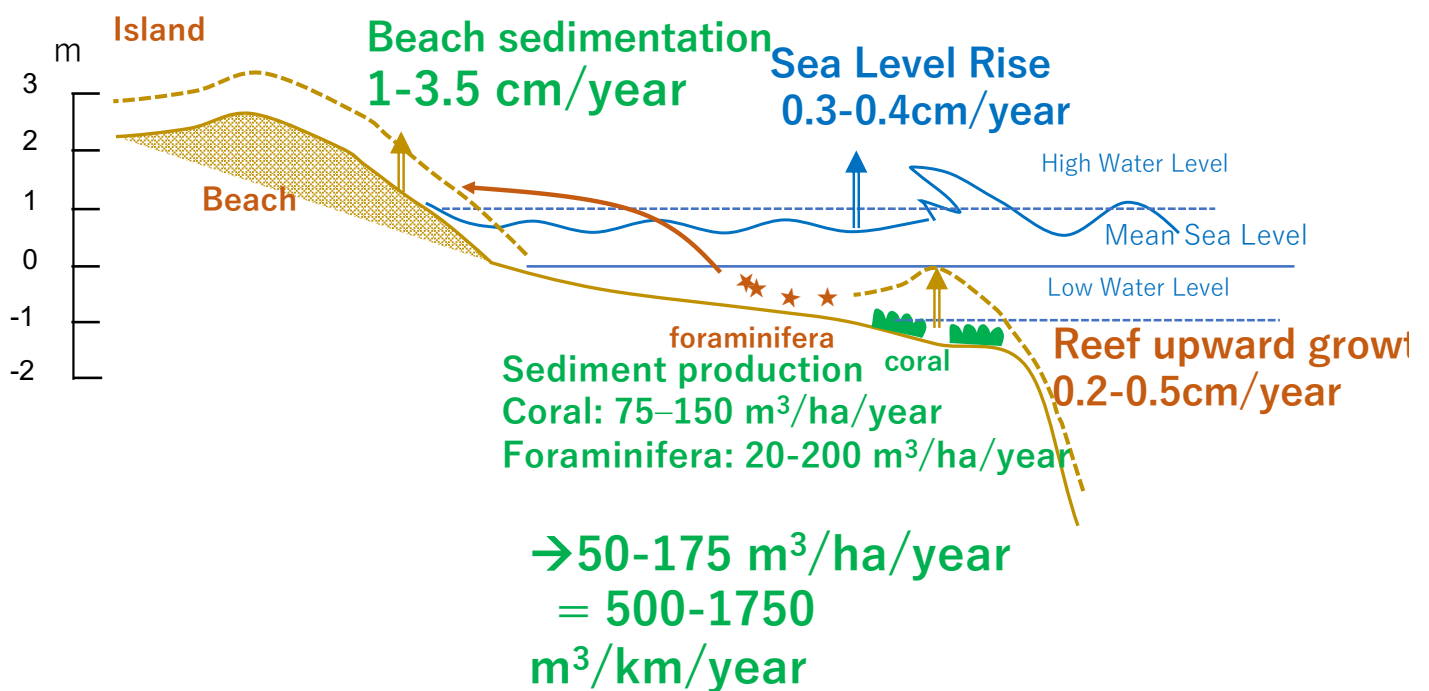
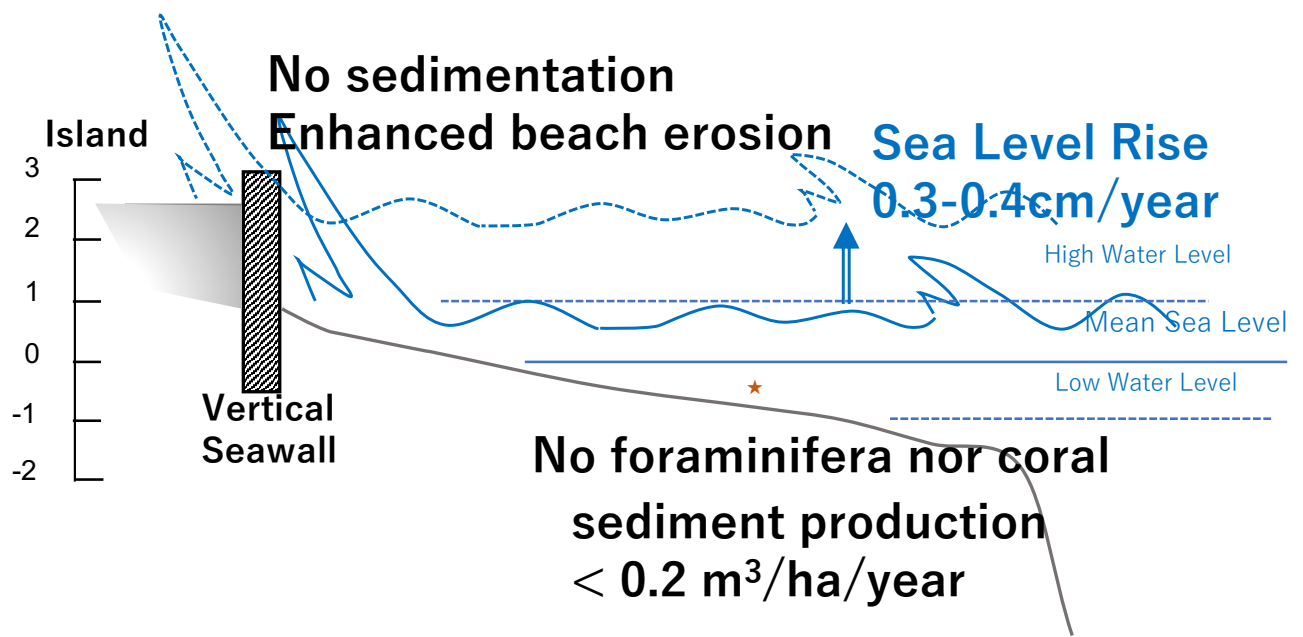
有孔虫分布と密度、砂生産量



マーシャル諸島 マジュロ環礁



都市化による汚染による
有孔虫密度と生産量の低下





Acropora



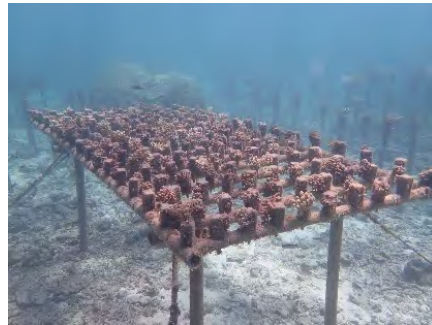
Coral spawning



Coral larvae



Larval release area

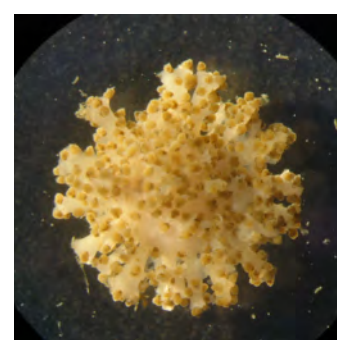
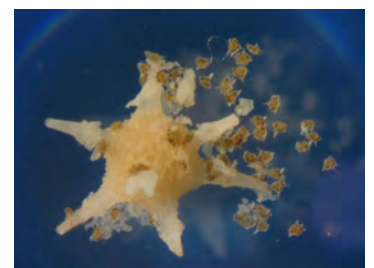


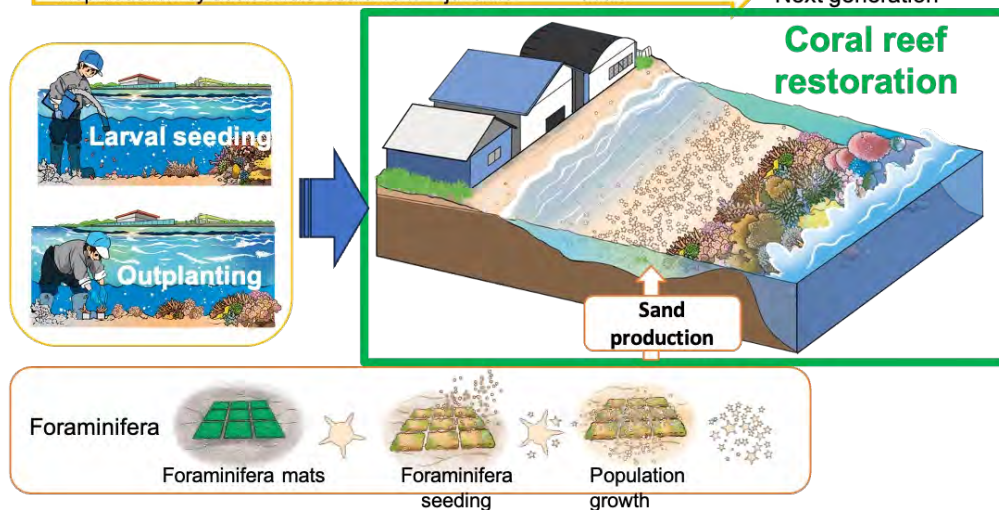
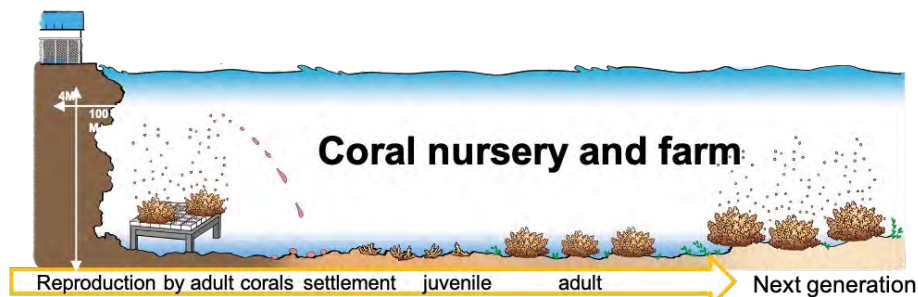
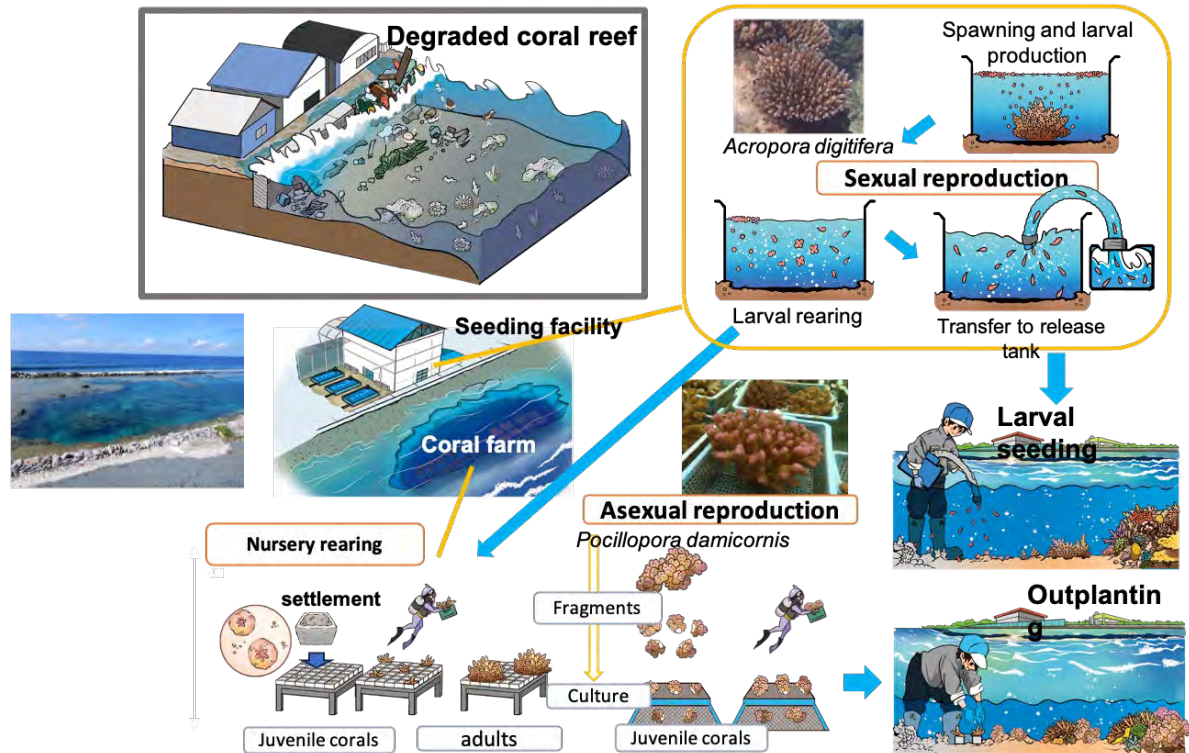
Nursery rearing



transplantation

Foraminifera mat





東京大学 海洋アライアンス
U-Tokyo Ocean Alliance

研究 教育 情報発信 海洋アライアンスとは 市内画に復帰

Okinotori-shima and Small Island Program

沖ノ島・小島嶼国プログラム

2005年～

沖ノ島や小島嶼国を地球温暖化による水没から守る

東京都小笠原村に属する沖ノ島は、日本の最南端に位置しています。東西4.5キロメートル、南北1.7キロメートルのサンゴ礁（島）でできており、太平洋に孤立しているため、その周囲には日本の領土面積より広い40万平方キロメートルの排他的経済水域を持つ、国道上乗島である。平時時には島の大部分が海面下に沈みます。高潮時には「沖ノ島」「小島」とよばれる二つの島より以外は海面下に沈みます。高潮以上の島の沈没「高潮沈没」も水面上にある自然の地形）にあてはまる部分はこの北小島と南小島ですが、地球温暖化にともない今後さらに予測される海面上昇（30～110センチメートル）によって水没の危険にさらされます。海面上昇による国土の水没は、標高1～2メートルの低地帯と共有する課題です。

本プログラムでは、東京都の委託事業として、沖ノ島と小島嶼国に関する論文、報告書、記事、学術書、書籍と、地形図、海図、水質図を収集して、データベースとして、東京大学総合研究博物館のウェブデータベースの、下記URLにおいて公開しています。

<http://www.smp.ac.jp/oknoshima/>

2006年～

有性生殖によるサンゴ増殖の手引き
～生育環境が厳しい沖ノ島におけるサンゴ増殖～



平成 21 年 3 月

水産庁 漁港整備部

欧米の潮流は『保全』『管理』

人間の手による生態系の修復は不可能。
開発の免罪符と批判さえ受ける。



2016年大規模白化イベント後、
『修復』『操作』に180度転換
NbS がキーワードに、
サンゴ礁修復による海岸防護もメニューに。

環礁州島からなる島嶼国の持続可能な 国土の維持に関する研究

2002-2006年
2008-2010年

地形・生態（東京大・琉球大）
考古・文化人類（平成帝京大・慶應大）
海岸工学（茨城大）
GIS・リモートセンシング（国立環境研）

JST-JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力事業
海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持



2008-2012年

茅根 創（東京大）・山野博哉（国立環境研）・横木裕宗（茨城大）
山田浩次（国土技術政策総合研）・藤田和彦（琉球大）
Matias Tekinene (Department of Environment, Tuvalu),
Arthur P. Webb (SOPAC), Patrick Nunn (South Pacific Univ)

建設技術研究開発【政策課題解決型】（平成23-25年度）
サンゴ礁州島形成モデルの開発
河川砂防技術研究開発【海岸技術分野】（平成26-27年度）国総研委託事業
サンゴ礁海岸保全モデルの開発

研究代表者 茅根 創（東京大）
共同研究者 田島芳典・佐藤慎司（東京大）
佐賀 宏・早瀬 毅・前田勇司・岩塚雄大・片山裕之・関本恒治（玉洋建設）
田中良安・上野寛之・山本 克剛（礁島建設）
磯部雅彦（高知工科大）

2011-2015年

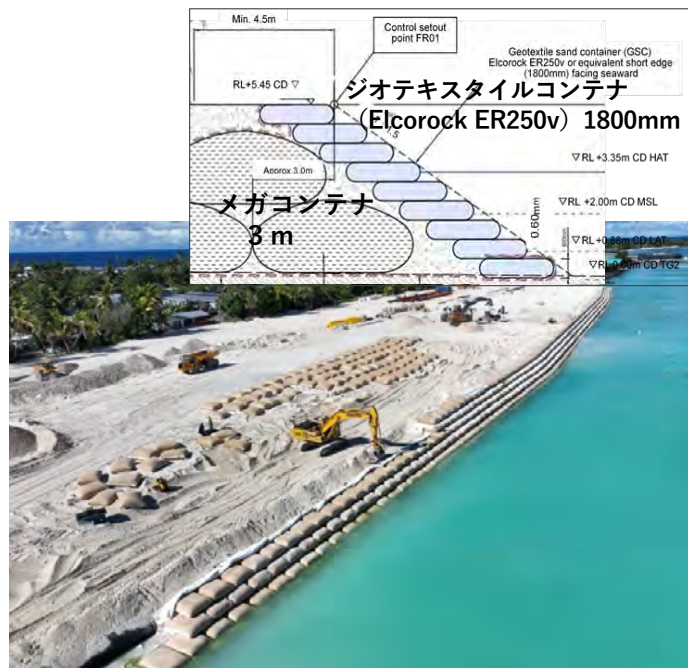
西表島北側のパラス島



資金：緑の気候基金 3600万米ドル+豪・NZ

施工：Hall Contracting (豪)

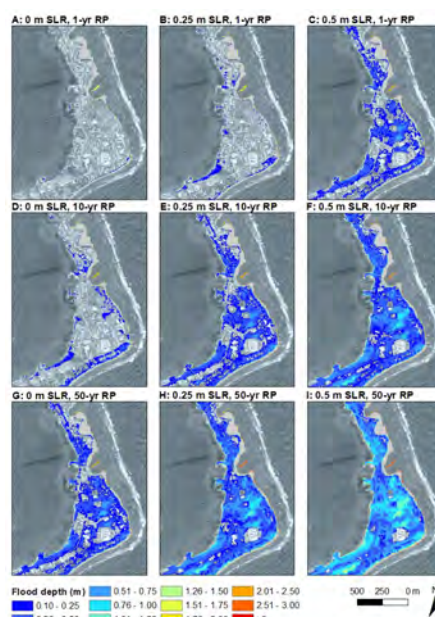
設計・計画：FCG ANZDEC (NZ)



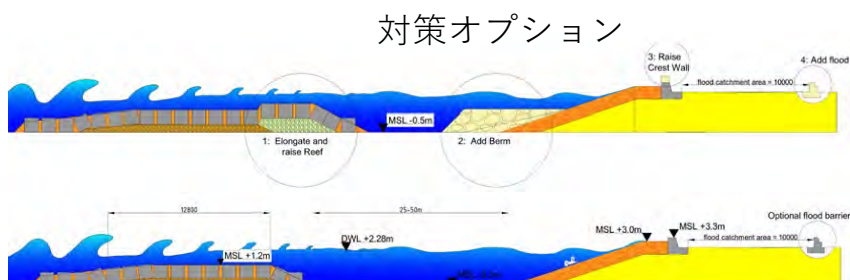
ツバル・豪 二国間ファレピリ連合条約（2024年発効）
世界ではじめて気候移住永住ビザを，年間最大280名に発給。



被害見積もり



浸水予測



豪・NZが提案する NbS 海岸防護策

マジュロ 高校前 案

マーシャル諸島共和国

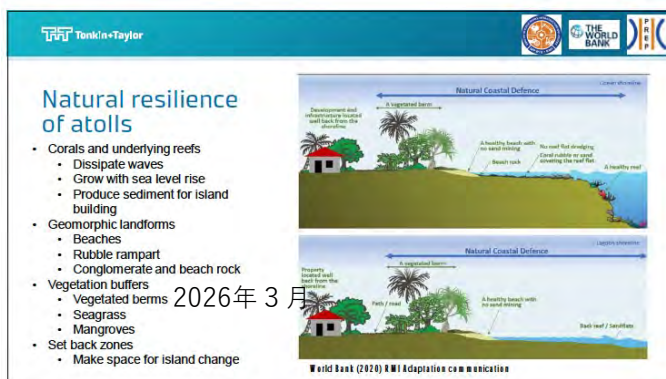
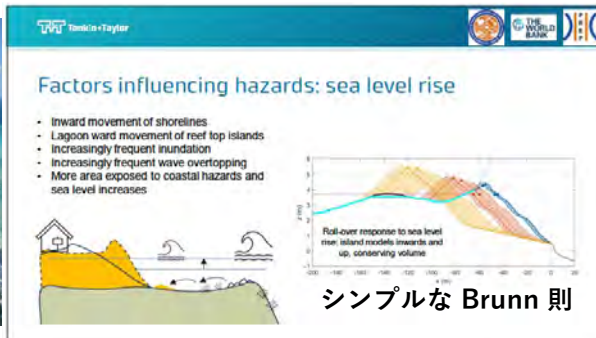
イバイ島



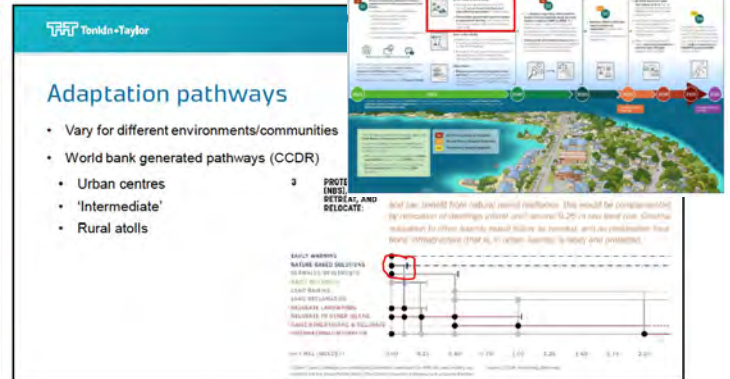
CCB Envico (Australia), Tonkin & Taylor (NZ)
2022年12月施工, 390万 US\$



2026年 3 月



2026年 3 月



Sand or coral berm

Site suitability	Suitable for all sites without pre-existing structures and with adequate space.
Erosion performance	Effective erosion reduction.
Static inundation performance	Minor reduction in static inundation.
Wave overtopping	Minor reduction in wave overtopping.
Construction and implementation complexity	Medium complexity associated with construction and implementation.
Capital costs	Medium (\$50) associated with construction and implementation.
Maintenance costs	Low (\$10) through high frequency, subject to wave and structural condition.
Environmental	Minor to moderate positive ecological and environmental effects.
Socio-economic impacts	Minor to moderate positive socio-economic impacts associated with reduced risk to the structure and its occupants.

Artificial rampart

Site suitability	Only suitable for sites with adjacent reef platform and non-eroding coral substrate.
Erosion performance	Effective erosion reduction.
Static inundation performance	Minor reduction in static inundation.
Wave overtopping	Minor reduction in wave overtopping.
Construction and implementation complexity	Medium complexity associated with construction and implementation.
Capital costs	Medium (\$50) associated with construction and implementation.
Maintenance costs	Low (\$10) through high frequency, subject to wave and structural condition.
Environmental	Minor to moderate positive ecological and environmental effects.
Socio-economic impacts	Minor to moderate positive socio-economic impacts associated with reduced risk to the structure and its occupants.

Terrestrial vegetation

Site suitability	Suitable for all sites without pre-existing structures and with adequate space.
Erosion performance	Effective erosion reduction.
Static inundation performance	Minor reduction in static inundation.
Wave overtopping	Minor reduction in wave overtopping.
Construction and implementation complexity	Medium complexity associated with construction and implementation.
Capital costs	Medium (\$50) associated with construction and implementation.
Maintenance costs	Low (\$10) through high frequency, subject to wave and structural condition.
Environmental	Minor to moderate positive ecological and environmental effects.
Socio-economic impacts	Minor to moderate positive socio-economic impacts associated with reduced risk to the structure and its occupants.

Sand nourishment (transfer)

Site suitability	Suitable for all sites with available beach width and suitable material source.
Erosion performance	High to very high reduction in erosion.
Static inundation performance	Minor reduction in static inundation.
Wave overtopping	Minor reduction in wave overtopping.
Construction and implementation complexity	Medium complexity associated with construction and implementation.
Capital costs	Medium (\$50) associated with construction and implementation.
Maintenance costs	Low (\$10) through high frequency, subject to wave and structural condition.
Environmental	Minor to moderate positive ecological and environmental effects.
Socio-economic impacts	Minor to moderate positive socio-economic impacts associated with reduced risk to the structure and its occupants.

Sand nourishment (dredge)

Site suitability	Suitable for all sites with available beach width and suitable material source.
Erosion performance	High to very high reduction in erosion.
Static inundation performance	Minor reduction in static inundation.
Wave overtopping	Minor reduction in wave overtopping.
Construction and implementation complexity	Medium complexity associated with construction and implementation.
Capital costs	Medium (\$50) associated with construction and implementation.
Maintenance costs	Low (\$10) through high frequency, subject to wave and structural condition.
Environmental	Minor to moderate positive ecological and environmental effects.
Socio-economic impacts	Minor to moderate positive socio-economic impacts associated with reduced risk to the structure and its occupants.

Mangroves

Site suitability	Only suitable for sites with suitable beach width and suitable material source.
Erosion performance	High to very high reduction in erosion.
Static inundation performance	Minor reduction in static inundation.
Wave overtopping	Minor reduction in wave overtopping.
Construction and implementation complexity	Medium complexity associated with construction and implementation.
Capital costs	Medium (\$50) associated with construction and implementation.
Maintenance costs	Low (\$10) through high frequency, subject to wave and structural condition.
Environmental	Minor to moderate positive ecological and environmental effects.
Socio-economic impacts	Minor to moderate positive socio-economic impacts associated with reduced risk to the structure and its occupants.

Coin logs

Site suitability	Only suitable for sites with suitable beach width and suitable material source.
Erosion performance	High to very high reduction in erosion.
Static inundation performance	Minor reduction in static inundation.
Wave overtopping	Minor reduction in wave overtopping.
Construction and implementation complexity	Medium complexity associated with construction and implementation.
Capital costs	Medium (\$50) associated with construction and implementation.
Maintenance costs	Low (\$10) through high frequency, subject to wave and structural condition.
Environmental	Minor to moderate positive ecological and environmental effects.
Socio-economic impacts	Minor to moderate positive socio-economic impacts associated with reduced risk to the structure and its occupants.

Brushwood barrier

Site suitability	Only suitable for sites with suitable beach width and suitable material source.
Erosion performance	High to very high reduction in erosion.
Static inundation performance	Minor reduction in static inundation.
Wave overtopping	Minor reduction in wave overtopping.
Construction and implementation complexity	Medium complexity associated with construction and implementation.
Capital costs	Medium (\$50) associated with construction and implementation.
Maintenance costs	Low (\$10) through high frequency, subject to wave and structural condition.
Environmental	Minor to moderate positive ecological and environmental effects.
Socio-economic impacts	Minor to moderate positive socio-economic impacts associated with reduced risk to the structure and its occupants.

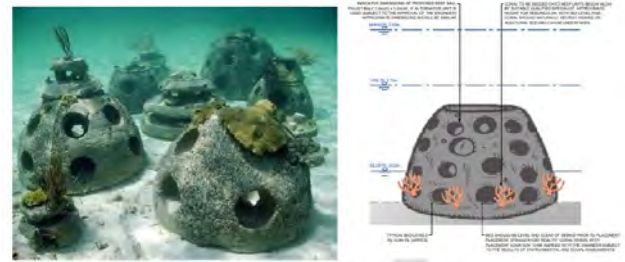
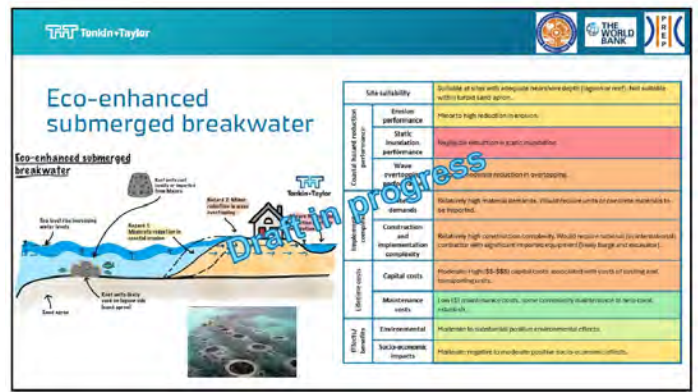


Figure 6.6: Example of placed reef balls (left, source: Reef Ball Foundation¹⁰) and Reef ball detail (right).

Reef Ball

Tonkin+Taylor 2026年 5月

Feasibility Studies + Design of Nature-Based Solutions for Coastal Resilience in two selected Atolls (Arno + Mill)

DS: Draft Nature-based Coastal Protection Detailed Design

Report prepared for Pacific Resilience Project (PRP)

Reference: M19-019-0-PRP-00000000-00000000

Prepared by: Tonkin & Taylor International Ltd

Job Number: 1000244v1.0

Date: May 2026

www.tonkintaylor.co.nz



Figure 1.1: Location of Arno and Mill in the Marshall Islands.

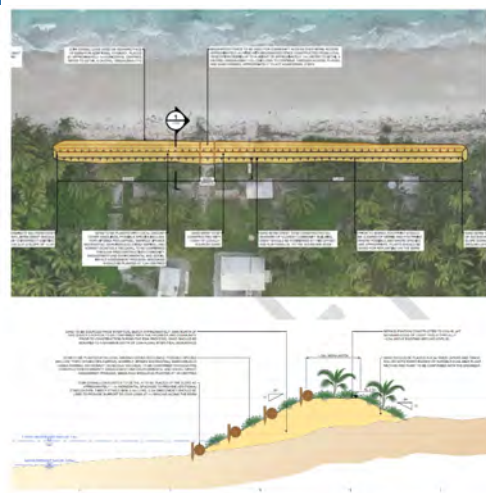


Figure 4.2: Arno Arno Village Berm plan and cross section, refer to the Drawings in Appendix A.

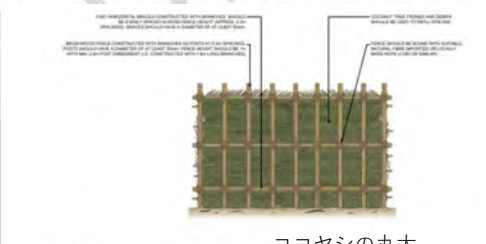


Figure 4.5: Accessway and brushwood barrier detail.

ココヤシの丸太

Table 4.1: Overtopping hazard exposure summary pre and post works

Site ID	Name	Scenario (timeframe: SLR scenario)	Overtopping exposure pre works (10-year ARI)	Overtopping exposure post works – Berm 2.5 m RL (10-year ARI)
1	Arno Arno Village	Present: 0m SLR	V High (40 l/s/m)	Low (0 l/s/m)
		20yr: 0.2 m SLR ¹	Extreme (85 l/s/m)	Medium (1 l/s/m)
		50yr: 0.5 m SLR	Extreme (125 l/s/m)	Extreme (14 l/s/m)

1 The 10-year ARI event in 20 years is considered the design event, overtopping is provided for the 50 year horizon for reference.

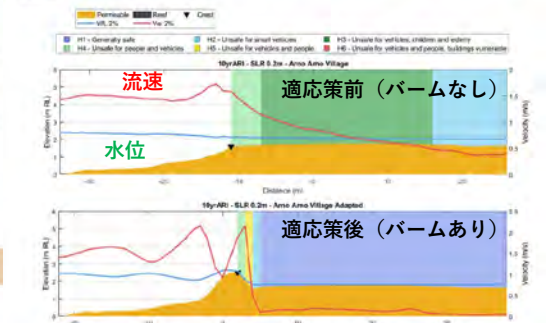


Figure 4.3: Wave overtopping hazard exposure for the 10-year ARI 0.2 m SLR design scenario pre works (top) and post works (bottom).



Figure 4.9: Arno Road North proposed solution.

サンゴ礫ランパート

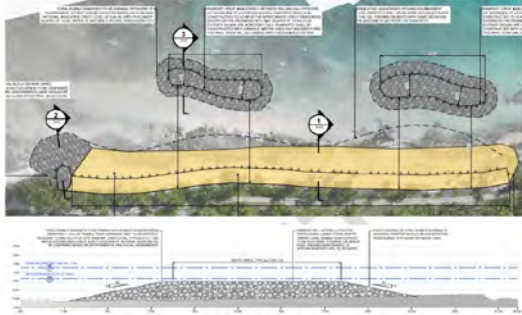


Figure 4.10: Arno South general alignment and rampart section.

サンゴ礫堤



Figure 4.11: Arno South groyne section.

ジオバッグ堤 geobag groyne

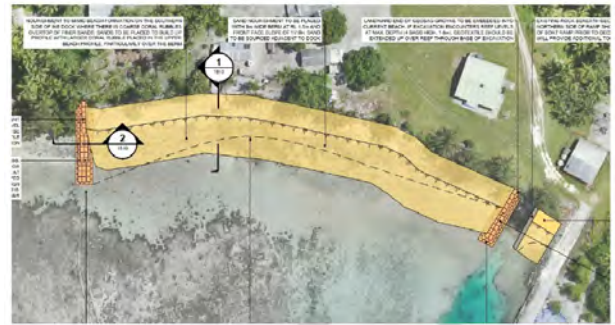


Figure 4.17: Ine Village plan alignment and geobag groyne section.

養浜

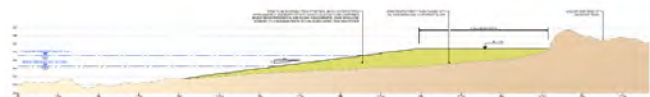


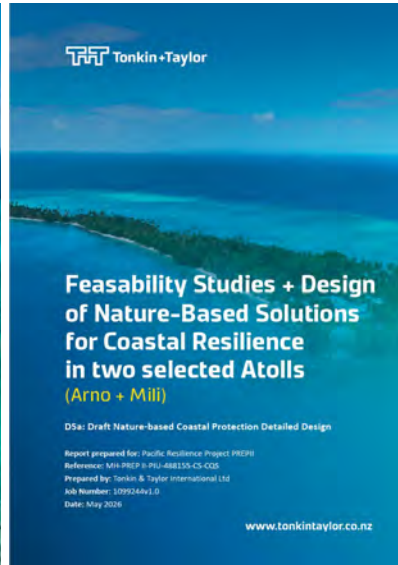
Figure 4.12: Arno Village nourishment section.



Figure 6.5: Enejet Village proposed alignment.



2026年 3 月



2026年 5 月

PREP II (Pacific Resilience Project II)
対象国：マーシャル諸島共和国 (RMI)
総額：1963万ドル＋追加融資、緑の気候基金＝7500万ドル
承認日：2017年 5 月 9 日
メ切日：2026年 6 月 30 日
・組織強化・早期警戒・災害への備え
・沿岸レジリエンスの強化（膨張インフラ、NbS）
・プロジェクト管理



ニュージーランド（オークランド）に本拠を置く、
環境および土木工学の世界的リーダーである総合
コンサルティング分野グ企業

創業から60年以上の歴史を持ち、特に太平洋の小
島嶼国（マーシャル諸島など）における気候変動
適応策やインフラのレジリエンス（強靱化）にお
いて圧倒的な実績とノウハウを持つ。

従業員数: グループ全体で約1,250名、年間売り上
げ約200億～370億円規模

CLIMATE CHANGE WEEK

LOGO/S

Nature-based Solutions (Nbs) Expert Panel

Bringing together science, engineering and community leadership.

Join leading experts and community practitioners for a dynamic panel discussion exploring Nature-based Solutions and innovative responses to climate challenges in atoll environments.


 3.00pm
  Hybrid: Virtual



Mr. Mark Stege
Climate Science Specialist,
Climate Change Directorate

MODERATOR



Dr. Eddie Beetham
Atoll Island Geomorphology Specialist
Tonkin + Taylor

TOPIC: PREP II Nature-based Solution feasibility and options assessment



Hon. Kitlang Kabua
Senator,
Kwajalein Atoll, Co-founder,
Kwajalein Atoll Sustainability Lab (KASL)

TOPIC: Atmospheric Water Generation



Dr. Yoshimitsu Tajima
Professor, Dept of Civil Engineering, Graduate School of Engineering,
The University of Tokyo

TOPIC: Nature-based Solutions for Resilient Societies to Climate Change in Pacific Atoll Nations (Nbs-PATS)



Mr. Daniel Rodger
Technical Director, Coastal Engineering, JB Pacific, Adjunct Professor, Southern Cross University

TOPIC: The role of Nature-based Solutions in the Pacific



Mr. Asta Javin
Traditional Knowledge Officer,
National Weather Service Office

TOPIC: Lijuri Katu: Reawakening Traditional Weather Forecasting

Open to all. Scan the QR code to register:





https://en.wikipedia.org/wiki/Kathy_Jetn%CC%84il-Kijiner

ヒルダ・ハイネ RMI 現大統領

キャシー・ジェットニル＝キジナー
RMI 気候変動特使



欧米の NbS に対する日本の技術の独創・優位性

- ・透過護岸
- ・人工ビーチロック（サンゴ砂礫固化）
- ・着生基盤
- ・有性生殖によるサンゴ礁修復

<日本で事業例あるのか？

沖ノ鳥島事業で試験例あるが、公表できない．．

提案：沖縄で NbS 技術試験

- ・ 沖縄は、サンゴ礁・高波浪・海岸侵食・観光利用・港湾利用が共存するため、太平洋島嶼国への適用を想定した NbS 技術の実証フィールドとして適している
- ・ 日本国内で施工性・維持管理・環境影響・社会受容性を検証する。
- ・ 海岸防護＋沿岸漁業資源の基盤＋観光資源としての経済効果を評価。
- ・ 得られた知見を、沖縄、RMI や他の太平洋小島嶼へ展開する。

沖ノ鳥島・小島嶼で20年蓄積してきた実装知を、 気候適応時代の NbS の国際モデルへ翻訳する。

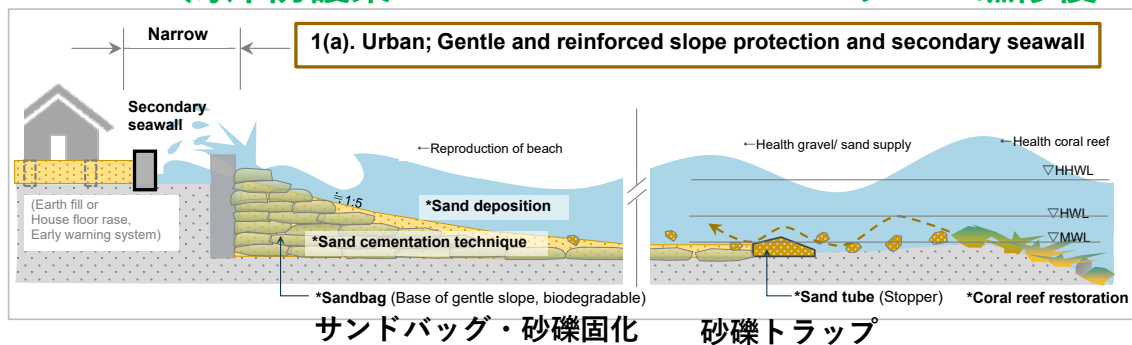
Adaptive management (順応的管理)

- ・ モニタリング
- ・ 評価
- ・ 改良
- ・ 再施工

- ・ 海岸工学
- ・ 環境調査
- ・ リモートセンシング
- ・ モニタリング
- ・ 資材開発
- ・ サンゴ種苗生産
- ・ 数値解析

NbS 海岸防護策

サンゴ礁修復



サンドバッグ・砂礫固化

砂礫トラップ

サンゴ砂礫トラップ



西表島パラス島



沖縄本島大宜味

[五洋・東大]



第5回
サンゴ礁海岸の保全・形成促進調査

資料

令和3年10月26日
内閣府 沖縄総合事務局
開発建設部 河川課

沖縄本島名城, 大宜味

[沖縄総合事務局・日本工営]

サンゴ砂礫固化



石垣島吉原海岸 [鹿島・東大]



鹿島技研葉山

サンゴ種苗生産

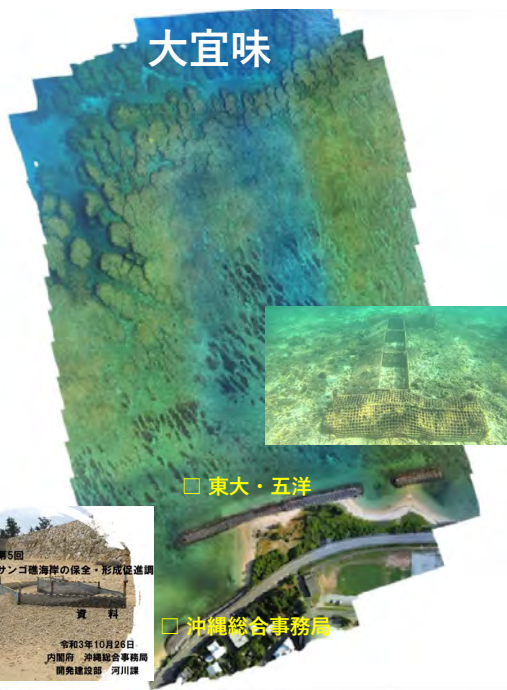
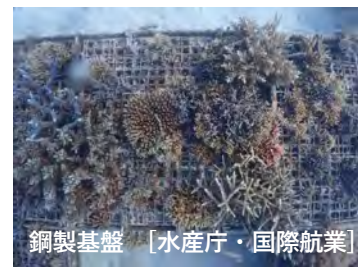
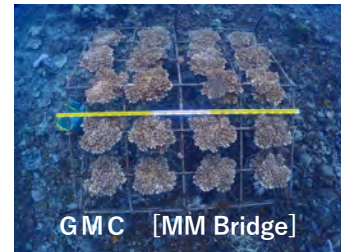


久米島, 今帰仁

[水産庁・エコー]



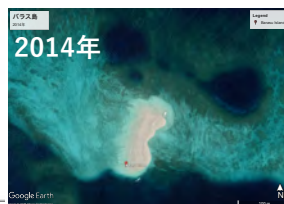
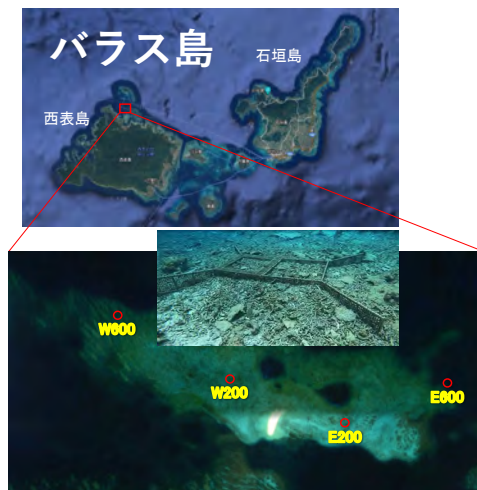
サンゴ着生基盤



[許可申請]

沖縄総合事務局
沖縄県北部土木事務所

沖縄県農林水産部
4 漁協

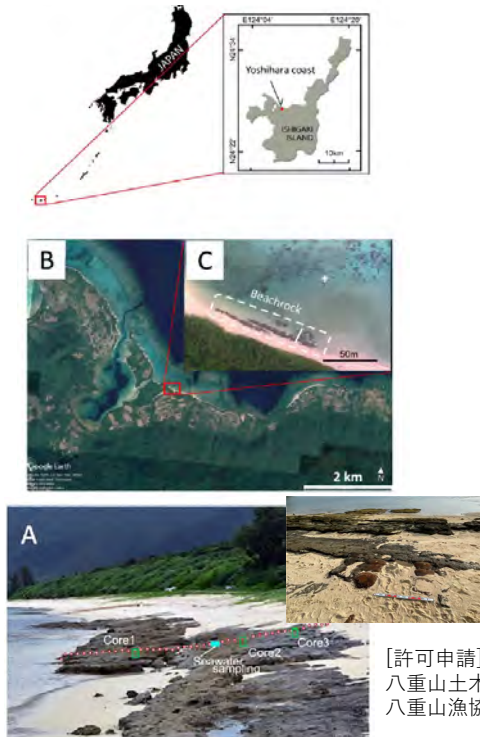


[許可申請]

環境省西表自然保護官事務所

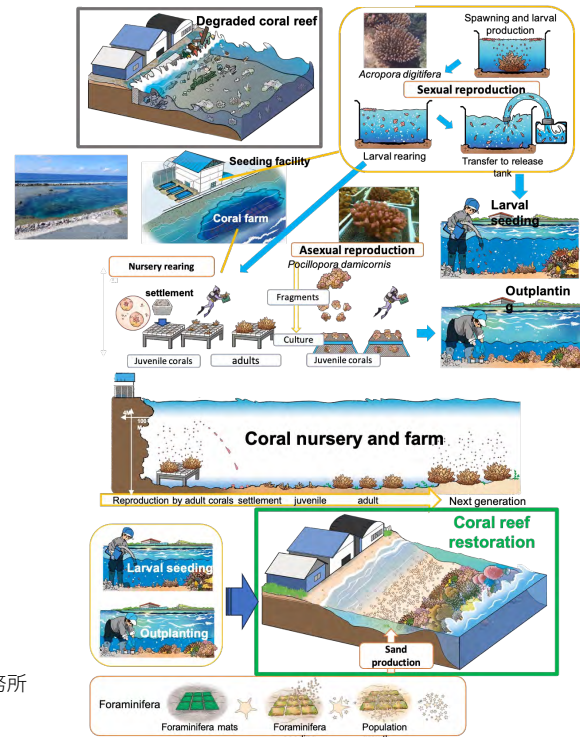
沖縄県農林水産部
八重山漁協

石垣島吉原海岸

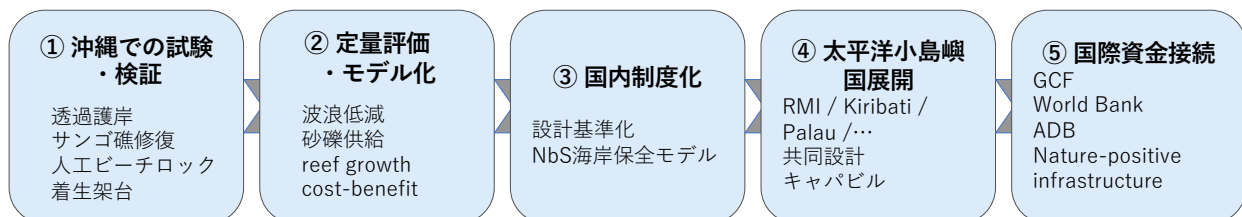


[許可申請]
八重山土木事務所
八重山漁協

サンゴ礁修復技術



日本主導による NbS 実装へのロードマップ（案）



日本の強み： 環礁形成メカニズム理解 | 長期現場観測 | 海岸工学 | サンゴ礁科学 | 民間施工技術 | 国交省・企業との継続連携

Toward sustainable island resilience based on reef-island dynamics