

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月16日現在

機関番号：82101

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20121004

研究課題名（和文） ストレスとサンゴ礁の歴史的变化

研究課題名（英文） Historic changes in coral reefs and their stressors

研究代表者

山野 博哉 (YAMANO HIROYA)

独立行政法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・主任研究員

研究者番号：60332243

研究成果の概要(和文):石垣島の陸域と海域を対象として、過去から現在にかけて土地利用図、空中写真、衛星データの画像解析と土砂流出モデルによる流入負荷の推定を行った。これらにより、土砂流出の増大によってサンゴの被度が低下していることを明らかにした。また、海域においては、化石と現在の塊状のサンゴからコアを採取し、骨格中に含まれる蛍光、同位体比、微量金属、密度に関する分析を行い、環境変化がサンゴ骨格に記録されるとともに骨格形成に影響を与えていることを示した。

研究成果の概要(英文): Based on historic maps, aerial photographs and satellite images at Ishigaki Island, Japan, we revealed increase in sediment discharge due to land development in the watershed of Todoroki River may have caused decrease in coral cover. Analysis of coral annual bands collected closed to the river mouth indicated increase in sediment discharge and resulting decrease in coral calcification.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費        | 間接経費       | 合計          |
|--------|-------------|------------|-------------|
| 2008年度 | 11,000,000  | 3,300,000  | 14,300,000  |
| 2009年度 | 24,500,000  | 7,350,000  | 31,850,000  |
| 2010年度 | 21,200,000  | 6,360,000  | 27,560,000  |
| 2011年度 | 23,600,000  | 7,080,000  | 27,560,000  |
| 2012年度 | 21,200,000  | 6,360,000  | 27,560,000  |
| 総計     | 101,500,000 | 30,450,000 | 131,950,000 |

研究分野：自然地理学

科研費の分科・細目：地理学

キーワード：リモートセンシング、土地利用、サンゴ年輪、同位体、微量金属

### 1. 研究開始当初の背景

全世界で、サンゴ礁が衰退していることが指摘されている。水温上昇によるサンゴ白化とともに、陸域からの負荷もサンゴ礁の衰退を招く要因と考えられている。特に、陸域に隣接したサンゴ礁の危険度が高いことが指摘されている。しかしながら、これらの指摘はモデルによる予測に基づくものが多く、実際の海域でどうなっているか、現地の情報は

断片的で定量性に欠けていた。そのため、実海域でのストレス低減に関して具体的な数値を示すことができない状況にある。

空中写真や地図は過去100年程度の蓄積がある。また、日本では1970年代から現地調査がなされ、結果が報告書としてまとめられている。これらはかつての陸域からの負荷を示すと同時に、現在より負荷の少ない状態や水温上昇による白化前のサンゴ礁の状態

を記録している貴重なデータである。また、塊状のサンゴは年輪を形成し、そこに含まれる同位体や微量金属を分析することにより数百年におよぶ環境復元が可能であることと、サンゴ骨格密度を測定することにより環境変動がサンゴに与える影響の評価が可能であることが示されている。

本研究においては、こうした客観的なデータ（空中写真、衛星データ、地図、報告書データ、サンゴ年輪解析データ）に基づいて過去100年間のストレス要因とサンゴ礁の歴史的变化を統一的に解析し、ストレスの増加とサンゴ礁の衰退を検証する。

## 2. 研究の目的

サンゴ礁は、地球規模（温暖化による水温上昇、海洋酸性化等）と地域規模（陸源負荷等）両方のストレスによって近年急速に衰退していることが指摘されているが、現地情報は断片的で定量性に欠けている。

地球温暖化、人間居住史、都市化や農林畜産業の構造変化に伴う変化に着目し、客観的なデータ（空中写真、衛星データ、地図、報告書データ、サンゴ年輪解析データ）に基づいて過去100年間のストレス要因とサンゴ礁の歴史的变化を統一的に解析し、ストレスの増加とサンゴ礁の衰退を検証する。

## 3. 研究の方法

本研究は画像チーム（山野・長谷川・小熊）と年輪チーム（渡邊・井上・鈴木・白井）が密に連携をとりながら、沖縄県石垣島を重点対象地とし、過去100年におけるストレスとサンゴ骨格密度、サンゴ分布の変化を明らかにする。

画像チームは、調査対象地域において、100年前から現在にかけての空中写真、衛星画像、地図を収集し、さらに現地モニタリングデータを現地機関と連携して収集する。画像解析により土地利用変化を明らかにし、陸域負荷の変化を推定する。画像解析によりサンゴ礁の分類を行い、サンゴ被度を推定するとともにモニタリングデータを収集してサンゴ礁の変化を明らかにする。

年輪チームは、現生および化石の塊状サンゴの大型群体からコアを採取するとともに、既存のサンゴコア試料を収集して分析を行う。コアの保管と年輪分析の処理を行うサンゴコアセンターを北海道大学に設立し、前処理を行った後、研究分担者・協力者の各機関が所有する分析装置を用いて分析を行う。水温変動をストロンチウム・カルシウム比により、陸域からの流入を蛍光分析と重金属により、栄養塩流入を窒素同位体により復元する。また、サンゴ骨格の密度変化を測定することにより、ストレスがサンゴに与える影響を評価する。

## 4. 研究成果

空中写真の判読により、石垣島では、1970~80年代から急激な土地区画整理によりサトウキビ畑が拡大したことが明らかとなった（図1）。サトウキビ畑は冬のサトウキビの刈り取り後、植え付けの時期に裸地となるため、その時期に降雨があると土砂流出の発生源となるため、1970年代以降土砂流出が大きくなったことが示された。海域の衛星画像の解析からは、1990年代以降、石垣島白保サンゴ礁においてサンゴの分布域が1980年代と比較して1/4程度になったことが明らかとなった（図2）。また、広域におけるサンゴモニタリングデータからは、土砂流入のあるサンゴ礁においては、白化からの回復が観察されず、現在のサンゴ礁の衰退が地球規模の水温上昇と地域規模の陸域からの負荷によりもたらされている可能性が示された。

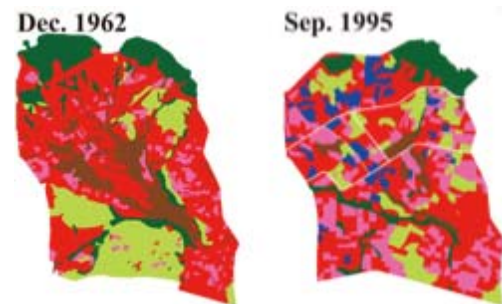


図1. 石垣島轟川流域における土地利用変化。水田（茶色）が減少し、サトウキビ畑（ピンク）が拡大している。

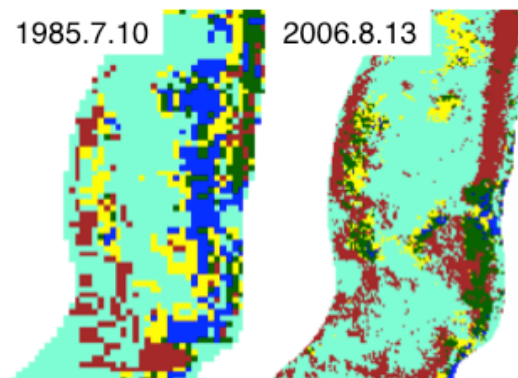


図2. 石垣島白保サンゴ礁のサンゴ分布変化。サンゴ分布域（青と黄色）が大幅に減少している。

サンゴ年輪に関しては、北海道大学にサンゴコアセンターを設立し、コアの採取から保管、ソフトX線撮影、化学分析までを一貫して行えるシステムを構築した。轟川の河口から採取されたハマサンゴに含まれる重金属

の分析からは、1980年代から骨格に含まれる鉄やマンガンの量が増大していることが明らかとなった(図3)。鉄やマンガンは陸域からの流入の指標となり、この結果は、空中写真の判読により明らかとなったサトウキビの拡大時期と一致する。その後1990年代後半から現在にかけては鉄とマンガン量は低下しており、これは1995年に沖縄県で施行された赤土等流出防止条例による赤土流出削減の効果である可能性がある。サンゴ骨格の密度は現在にかけて低下した。石垣島名蔵で採取した化石サンゴも、土砂流入の発生にともなって骨格密度が低下しており、陸域からの負荷の増大がサンゴ被度の減少のみならず、生存しているサンゴにもストレスを与えていると考えられる。

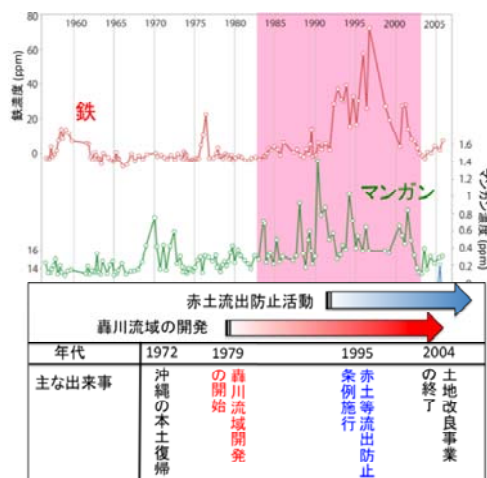


図3. 石垣島轟川の河口域から採取したハマサンゴ年輪に含まれる重金属の割合の変化と土地利用変化との対応。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 21 件)

1. 小林竜太, 山口徹, 山野博哉 (印刷中) リモートセンシングによる石垣島サンゴ礁形成史の地域差推定—先史資源利用研究に向けて. 考古学研究 (査読有)
2. 永田俊輔, 杉原 薫, 入野智久, 渡邊 剛, 山野博哉 (印刷中) 日本の亜熱帯域と温帯域におけるキクメイシ *Dipsastraea speciosa* (Dana, 1846) の骨格成長. 日本サンゴ礁学会誌 (査読有)
3. Seo, I., Lee, Y. I., Watanabe, T., Yamano, H., Shimamura, M., Yoo, C. M., and Hyeong, K. (in press) A skeletal Sr/Ca record preserved in *Dipsastraea (Favia) speciosa* and implications for coral Sr/Ca thermometry in mid-latitude regions. *Geochemistry,*

4. Hongo, C. and 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. doi:10.1371/journal.pone.0060952 (査読有)
5. 鈴木倫太郎, 長谷川 均, 前川 聡, 柴田 剛, 佐川鉄平, 後藤慶之, 市川清士 (2012) サンゴ礁浅海域における保全を目的とした地図の作製. 地図 50-1: 1-16 (査読有)
6. Yamano, H., Sugihara, K., Goto, K., Kazama, T., Yokoyama, K., and Okuno, J. (2012) Ranges of obligate coral-dwelling crabs extend northward as their hosts move north. *Coral Reefs*, 31, 663 (査読有)
7. Yamano, H., Sugihara, K., Watanabe, T., Shimamura, M., and Hyeong, K. (2012) Coral reefs at 34°N, Japan: Exploring the end of environmental gradients. *Geology*, 40, 835–838 (査読有)
8. Yamazaki A, Watanabe T. and Tsunogai U (2011) Nitrogen isotopes of organic nitrogen in reef coral skeletons as a proxy of tropical nutrient dynamics. *Geophys. Res. Lett.* 38, L19605, doi:10.1029/2011GL049053 (査読有)
9. 長谷川均 (2011) 陸域の開発行為に伴うサンゴ礁環境の悪化—石垣島白保サンゴ礁を例に—. 日本リモートセンシング学会誌 31-1: 73-86 (査読有)
10. 山野博哉, 浪崎直子 (2011) 生物多様性条約第10回締約国会議におけるサンゴ礁の位置付けと、保全・再生に対する取り組み. 沿岸域学会誌, 23, 31-37 (査読無)
11. Kayanne, H., Yasukochi, T., Yamaguchi, T., Yamano, H., and Yoneda, M. (2011) Rapid settlement of Majuro Atoll, central Pacific, following its emergence at 2000 years CalBP. *Geophysical Research Letters*, 38, L20405, doi:10.1029/2011GL049163 (査読有)
12. Yamano, H., Sugihara, K., and Nomura, K. (2011) Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, 38, L04601, doi:10.1029/2010GL046474 (査読有)

13. Abe O, Watanabe A, Sarma VVSS, Matsui Y, Yamano H, Yoshida N, Saino T (2010) Air-sea gas transfer in a shallow, flowing and coastal environment estimated by dissolved inorganic carbon and dissolved oxygen analyses. *Journal of Oceanography* 66: 363-372 (査読有)
  14. Fujita K, Osawa Y, Kayanne H, Ide Y, Yamano H (2009) Distribution and sediment production of large benthic foraminifers on reef flats of the Majuro Atoll, Marshall Islands. *Coral Reefs* 28: 29-45 (査読有)
  15. 山野博哉, 浪崎直子 (2009) 最前線のサンゴ: 千葉県館山のエンタクミドリイシ群体の変化. *日本サンゴ礁学会誌* 11: 71-72 (査読有)
  16. 杉原 薫, 園田直樹, 今福太郎, 永田俊輔, 指宿敏幸, 山野博哉 (2009) 九州西岸から隠岐諸島にかけての造礁サンゴ群集の緯度変化. *日本サンゴ礁学会誌* 11: 51-67 (査読有)
  17. 渡邊 剛, 島村道代, 山野博哉 (2009) 北限サンゴ礁から採取されたキクメイシ属サンゴ骨格中の酸素・炭素同位体比. *日本サンゴ礁学会誌* 11: 83-90 (査読有)
  18. Shimamura M, Hyeong K, Watanabe T, Irino T, Yoo CM, Kim WS (2009) Opposed trend of skeletal carbon isotopic ratios found in two different coral species collected from the same site: Genus-dependent responses. *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium* 87-91 (査読有)
  19. Murase T, Tanaka M, Tani T, Miyashita Y, Ohkawa N, Ishiguro S, Suzuki Y, Kayanne H, Yamano H (2008) A photogrammetric correction procedure for light refraction effects at a two-medium boundary. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 74: 1129-1136 (査読有)
  20. Hyeong K, Shimamura M, Watanabe T, Yamano H, Sugihara K, Kim J (2008) Evaluation of Jeju/Tsushima hermatypic corals as sea surface temperature (SST) recorders. *Ocean and Polar Research* 30: 351-359 (査読有)
  21. Tsunoda, T., Kawahata, H., Suzuki, A., Minoshima, K., and Shikazono, N. (2008) East Asian monsoon to El Niño/Southern Oscillation: A shift in the winter climate of Ishigaki Island accompanying the 1988/1989 regime shift, based on instrumental and coral records. *Geophysical Research Letters* 35: L13708 (査読有)
- [学会発表] (計 25 件)
1. 山野博哉 (2012) 陸の変化とサンゴの変化. 日本サンゴ礁学会第 15 回大会, 同予稿集, 29, 東京
  2. 石川大策, 井上麻夕里, 鈴木淳, 渡邊剛, 山野博哉, 川幡穂高 (2012) 石垣島轟川周辺海域より採取されたサンゴ骨格中の微量元素を用いた海洋環境の復元. 2011 年度古海洋シンポジウム, 2011 年度古海洋シンポジウムプログラム, 東京
  3. Ohmori K., Watanabe T., Miyaji T., Hasegawa H., Ishihara M., Sowa K., Yamano H. (2012) Reconstruction of land-use change effects using coral skeletal proxies in Ishigaki Island, Japan. 12th International Coral Reef Symposium, Abstracts, 75, Cairns
  4. Watanabe T., Yamazaki A., Kawamura T., Isasa J., Nakamura T., Sowa K., Iwase F., Nomura K., Sugihara K., Abe O., Sakamoto T., Murayama M., Yamano H. (2012) Effect of environmental change on Porites growth during the last 100 years. 12th International Coral Reef Symposium, Abstracts, 160, Cairns
  5. Yamano H., Cabioch G., Chevillon C., Join J.-L. (2012) Geomorphology and evolution of reef islands in New Caledonia. 12th International Coral Reef Symposium, Abstracts, 9, Cairns
  6. 石原光則, 波利井佐紀, 茅根創, 本郷宙軌, 長谷川均, 山野博哉 (2011) 衛星画像を用いた長期的なサンゴ礁の底質分類の精度評価. 日本サンゴ礁学会第 14 回大会, 日本サンゴ礁学会第 14 回大会講演要旨集, 80, 沖縄
  7. 石原光則, 波利井佐紀, 茅根創, 本郷宙軌, 長谷川均, 山野博哉 (2011) 衛星画像処理レベルの違いによるサンゴ礁の底質分類の精度評価. 日本リモートセンシング学会第 51 回学術講演会, 日本リモートセンシング学会第 51 回学術講演会論文集, 43-44
  8. 桐谷伸夫, 篠野雅彦, 松本陽, 山野博哉 (2011) 高分解能多波長衛星画像情報による沿岸海域における底質状況の評価. 日本航海学会第 125 回講演会・研究会, 日本航海学会第 125 回講演会・研究会予稿集, III-1
  9. Yamano H. (2011) Coral-reef observation from space: mapping, monitoring and management. The 28th

- International Symposium on Space Technology and Science, Program of The 28th International Symposium on Space Technology and Science, 沖縄
10. Yamano H. (2011) Environmental changes and Japanese corals. International Workshop on Asian Air Pollution and Biodiversity Conservation, 沖縄
  11. 深山直子, 山野博哉 (2011) つくられた脆弱性 ツバル・フォンガファレ島における文理融合研究の試み. 日本文化人類学会大 45 回研究大会, 日本文化人類学会大 45 回研究大会予稿集, 61
  12. 石原光則, 波利井佐紀, 茅根創, 本郷宙軌, 長谷川均, 山野博哉 (2011) 衛星画像によるサンゴ群集被度変化の検出. Japan Geoscience Union Meeting 2011, Abstracts of Japan Geoscience Union meeting 2011, 幕張
  13. 石川大策, 井上麻夕里, 鈴木淳, 渡邊剛, 山野博哉, 川幡穂高 (2011) 石垣島轟川周辺海域より採取されたサンゴ骨格中の微量元素を用いた海洋環境の復元. 日本サンゴ礁学会第 14 回大会, 日本サンゴ礁学会第 14 回大会予稿集, 36, 沖縄
  14. 大森一人, 渡邊剛, 長谷川均, 石原光則, 山野博哉 (2011) 石垣島轟川流域に生息するハマサンゴ骨格に記録された土地利用変遷の復元の可能性. 日本サンゴ礁学会第 14 回大会, 日本サンゴ礁学会第 14 回大会講演要旨集, 37, 沖縄
  15. 岨康輝, 渡邊剛, 坂本竜彦, 山野博哉, 菅浩伸 (2011) 石垣島名蔵海域における完新世ハマサンゴ骨格の石灰化量変遷史. 日本サンゴ礁学会第 14 回大会, 日本サンゴ礁学会第 14 回大会予稿集, 62, 沖縄
  16. 山崎敦子, 渡邊剛, 宮地鼓, 角皆潤, 長谷川均, 山野博哉 (2011) 造礁性サンゴ骨格の窒素同位体比から復元する石垣島白保サンゴ礁の陸起源硝酸負荷の変遷. 日本サンゴ礁学会第 14 回大会, 日本サンゴ礁学会第 14 回大会予稿集, 39, 沖縄
  17. 渡邊剛, 山崎敦子, 石原光則, 岨康輝, 大森一人, 長谷川均, 安村茂樹, 山野博哉 (2010) 石垣島轟川流域の造礁性サンゴに記録される土地利用の歴史的变化-その 1: キャリブレーション-. 日本サンゴ礁学会 第 13 回大会, 同講演要旨集, 51, つくば
  18. 山口徹, スエバ・ノソバ イリーナ, 松本優衣, 渡邊剛, 菅浩伸, 茅根創, 山野博哉, 本郷宙軌 (2010) 石垣島名蔵地区の完新世環境史研究-サンゴの浅海からマングローブ湿地へ-. 日本サンゴ礁学会 第 13 回大会, 同講演要旨集, 57, つくば
  19. 石原光則, 小熊宏之, 浪崎直子, 山野博哉 (2010) カメラを用いた沿岸域モニタリング. 日本リモートセンシング学会 第 48 回学術講演会, プログラム
  20. Ishihara M., Oguma H., Namizaki N., Yamano H. (2010) Evaluation of the feasibility of web cameras to monitor coastal areas. ISPRS Tech. Comm. 8th Symp., Abstract, 38(8), 1033-1034
  21. Ishihara M., Hasegawa H., Yasumura S., Hayashi S., Yamano H. (2010) Land cover classification using multi-temporal satellite images in a subtropical area. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 同予稿集, HTT030-P03, 幕張
  22. 石原光則, 波利井佐紀, 茅根創, 本郷宙軌, 長谷川均, 山野博哉 (2010) 衛星画像を用いた石垣島白保におけるサンゴ群集被度変化の評価. 日本サンゴ礁学会 第 13 回大会, 同講演要旨集, 133, つくば
  23. 石原光則, 長谷川均, 林誠二, 山野博哉 (2009) 衛星画像を用いた石垣島轟川流域における土地被覆分類. 日本サンゴ礁学会 第 12 回大会, 同講演要旨集, 20, 沖縄
  24. 山野博哉 (2009) ストレスとサンゴ礁の歴史的变化: 画像解析. 日本サンゴ礁学会 第 12 回大会, 同講演要旨集, 181, 沖縄
  25. Yamano H. (2009) Current status of coral reef database in Japan. Int. Workshop Networking Biodiversity Obs. Act. Asia Pac. Reg. (AP-BON Workshop), Abstract, 35, 東京
- 〔図書〕 (計 11 件)
1. Yamano, H., Hongo, C., Sugihara, K., Yara, Y., Nakao, Y., and Fujii, M. (in press) Current status of national coral database in Japan: dataset development, applications, and future directions. In: Nakano, S., Yahara, T., and Nakashizuka, T. (eds.) The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity. Springer.
  2. Ishihara, M., Hasegawa, H., Hayashi, S., and Yamano, H. (in press) Land cover classification using

- multi-temporal satellite images in a subtropical area. In: Nakano, S., Yahara, T., and Nakashizuka, T. (eds.) The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity. Springer.
3. Yamano, H. (2013) Multispectral application. In: Goodman, J.A., Purkis, S.J., and Phinn, S.R. (eds) Coral reef remote sensing - A guide for mapping, monitoring and management. Springer, pp. 51-78.
  4. 山野博哉 (印刷中) サンゴとサンゴ礁. 地球温暖化の事典, 丸善, 東京
  5. 山野博哉 (印刷中) 地球温暖化に伴う海面上昇, サンゴ礁の島々に迫る危機. 地理学事典, 朝倉書店, 東京
  6. Handmer, J., Honda, Y., Kundzewicz, Z.W., Nobre, C., Arnell, N., Benito, G., Hatfield, J., Mohamed, I.F., Peduzzi, P., Wu, S., Sherstyukov, B., Takahashi, K., Yan, Z., Vicuna, S., Suarez, A., Abdulla, A., Bouwer, L., Campbell, J., Hattermann, F., Heilmayr, R., Keating, A., Ladds, M., Mach, K., Mastrandrea, M., Mechler, R., Sanghi, A., Smith, J., Velegrakis, A., Vergara, W., Waite, A.M. Westrich, J., Whittaker, J., Yunhe, Y., Yamano, H. (2012) Chapter 4. Changes in Impacts of Climate Extremes: Human Systems and Ecosystems. In: IPCC-SREX Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.
  7. 山野博哉 (2011) サンゴ礁・藻場・水生生物. 日本リモートセンシング学会編, 基礎からわかるリモートセンシング, 理工図書, 70-72
  8. 山野博哉 (2011) サンゴの海を調べる. 日本サンゴ礁学会編, サンゴ礁学, 東海大学出版会, 73-91
  9. 山野博哉, 松永恒雄 (2010) 16 サンゴ礁-生物によって形成された地形. 加藤碩一 他編, 宇宙から見た地形-日本と世界-, 朝倉書店, 69-71
  10. 山野博哉 (2010) サンゴの白化は温暖化のせい? In: 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター編, ココが知りたい地球温暖化, 成山堂書店, 東京, 87-92
  11. 山野博哉 (2009) サンゴ礁の保全・再生. 環境教育実践事例集. 第一法規, 東京.

[産業財産権]

なし

[その他]

1. ホームページ: 北海道大学サンゴコアセンター  
[http://ccc.sci.hokudai.ac.jp/Coral\\_Core\\_Center/Welcome.html](http://ccc.sci.hokudai.ac.jp/Coral_Core_Center/Welcome.html)
2. 一般公開シンポジウム: 山口徹・茅根創・灘岡和夫・山野博哉・棚橋訓・吉田俊爾・深山直子・下田健太郎(共同開催)、暮らしの中のサンゴ礁—サンゴと人がひらく南島の人類誌, 2013/03/30, 沖縄県立博物館美術館講堂
3. 一般公開シンポジウム: 山野博哉・酒井一彦・茅根 創(共同開催) 変化する環境と生態系, 2012/11/25, 東京大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山野 博哉 (YAMANO HIROYA)

独立行政法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・主任研究員

研究者番号: 60332243

(2) 研究分担者

長谷川 均 (HASEGAWA HITOSHI)

国士舘大学・文学部・教授

研究者番号: 80208496

渡邊 剛 (WATANABE TSUYOSHI)

北海道大学・理学研究院・講師

研究者番号: 80396283

井上 麻夕里 (INOUE MAYURI)

東京大学・大気海洋研究所・助教

研究者番号: 20451891

鈴木 淳 (SUZUKI ATSUSHI)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・海洋資源環境研究グループ長

研究者番号: 60344199

(3) 連携研究者

小熊 宏之 (OGUMA HIROYUKI)

独立行政法人国立環境研究所・環境計測研究センター・主任研究員

研究者番号: 10342734

白井 厚太郎 (SHIRAI KOTARO)

東京大学・大気海洋研究所・助教

研究者番号: 70463908