

## サンゴ骨格中からスマトラ島沖大地震の痕跡を発見

～新たな古地震記録計の確立に向けて～

### ポイント

- ・ 2004, 2005 年に発生したスマトラ島沖大地震の痕跡をサンゴ骨格中から検出。
- ・ 地震に伴う海底の隆起・津波はサンゴの生息環境・骨格成長に大きな変化をもたらした。
- ・ より古い時代の地震によるサンゴ礁環境の変化を捉えることができる可能性を示唆。

### 概要

北海道大学大学院理学研究院の渡邊 剛講師，九州大学及び喜界島サンゴ礁科学研究所の研究グループは，2004，2005 年に発生したスマトラ島沖大地震に伴う海底の隆起と津波を示す複数のシグナルを，サンゴ骨格中の古環境復元指標から検出し，地震等によるサンゴの生息環境の変化と骨格成長への影響を明らかにしました。

インドネシア・スマトラ島沖では，過去数百年間にマグニチュード（M）7 以上の巨大地震が繰り返し発生しています。海溝型地震では，海底（または地表）の隆起と津波を伴うことがあり，2004，2005 年に発生したスマトラ島沖地震でも同様に，震源周辺の島で数 m 規模の隆起や巨大津波が発生しました。スマトラ島沖は豊かなサンゴ礁が広がっており，このような地震イベントは造礁性サンゴ<sup>\*1</sup>の生息環境にも影響を与えたと考えられます。これまで，過去の地震イベントの検出やサンゴ礁への影響評価は，津波堆積物の分析やサンゴ礁のモニタリングなどにより行われてきましたが，地震イベント発生前後のサンゴ礁環境とサンゴの成長応答の詳細は明らかになっていませんでした。

研究グループは，インドネシア・シメル島産の造礁性サンゴ骨格を用いて，骨格中の炭素安定同位体比<sup>\*2</sup>や骨格成長を分析した結果，2004，2005 年のスマトラ島沖地震の発生を示す複数のシグナルを検出し，地震に伴う隆起・津波イベントがサンゴの生息環境に与えた変化と骨格成長への影響を明らかにしました。今後は，本研究の手法を化石サンゴ骨格に応用することで，より古い時代の地震イベントにおけるサンゴ礁環境の変化を捉えることができると期待されます。

なお，本研究成果は 2020 年 1 月 24 日（金）公開の *Geochimica et Cosmochimica Acta* 誌に掲載されました。



インドネシア・シメル島沖に生息する造礁サンゴ群体（左・中央）と骨格柱状試料の一部（右）

## 【背景】

造礁性サンゴの生息可能域は、インド洋～太平洋における多くの古地震の発生分布と重なっており（図 1）、造礁性サンゴ骨格は過去の地震イベント（津波、隆起などの地殻変動を含む）を検出できる可能性を有しています。これまで、古地震・古津波の発生と地震に伴う古地殻変動は歴史文書の読解や津波堆積物の分析によって、また、津波イベントがもたらす礁内環境の変化は主にサンゴの被覆度などのモニタリングによって報告されてきました。しかし、これらの手法では、地震イベント発生前後のサンゴ礁環境とサンゴの成長応答を時空間的に詳細に把握することが困難でした。

2004 年 12 月及び 2005 年 3 月に発生したスマトラ島沖地震では、震源周辺の島で数 m 規模の隆起や巨大津波が発生しました。地震に伴う海底の隆起は、造礁性サンゴの生息水深が変わることを意味するほか、地震に伴う津波によって陸から海洋へ土砂を流出させて水中濁度を増加させることがあります。生息水深や水中濁度の変化はサンゴが受ける日射量を変化させ、体内に共生させている共生藻の光合成活性/不活性に影響を与えられと考えられます。また、共生藻の光合成活性はサンゴ骨格の成長に大きく影響することが知られているため、地震イベントがサンゴ骨格の成長に影響する可能性がありました。

## 【研究手法】

研究グループは、2004、2005 年スマトラ島沖地震の震源に挟まれた場所に位置するインドネシア・シメル島沖にて調査を行いました。シメル島では、この地震に伴う隆起（北西部：2004 年の地震で最大 1.45m、南東部：2005 年の地震で最大 1.65m）と津波（2004 年：13m、2005 年：5m）が観測されています。生息水深・隆起量・湾内/外洋という異なる環境で生息する 4 つの造礁性サンゴ群体から、5 本の骨格柱状試料を採取し、2 週間～1 ヶ月に相当する年輪ごとに区切って化学分析（主に炭素安定同位体比）と骨格成長指標<sup>\*3</sup>の分析を行いました。

サンゴの骨格には樹木のように年輪が刻まれており、過去の海洋環境の変動が 1 週間～1 ヶ月間程度の細かい精度で記録されています。本研究では、サンゴ骨格中の化学組成の変化と地震前後のサンゴ骨格の成長記録から、地震イベントがもたらした海洋環境の変動とサンゴへの影響を分析しました。

## 【研究成果】

造礁性サンゴ骨格の柱状試料（図 1）に記録された古環境復元指標を分析した結果、2004、2005 年に発生したスマトラ島沖地震による海底の隆起に対応した化学組成の変化が確認されました（図 2）。これは、海底の隆起に伴って地震後のサンゴの生息水深が浅くなったことによる影響を示していると考えられます（水深が浅くなる→サンゴが受ける日射量が増加する→体内に共生している共生藻の光合成が活性化）。この成果と先行研究と組み合わせた検証によって、サンゴ骨格が過去の隆起イベントを検出できる可能性が証明され、サンゴ骨格を用いた過去の隆起イベントの検出研究には、生息水深が浅く隆起量が大きい環境に生息する造礁サンゴがより有効的であることが示唆されました。

また、サンゴ骨格及び骨格成長を観察・分析した結果、2004 年のスマトラ島沖地震・巨大津波の痕跡を複数発見しました。サンゴ骨格で観察された痕跡（図 3）は、津波によって陸から海へ流出した土砂や砂泥の巻き上げ、藻類の大繁殖によるものと考えられます。また、津波を経験した年の骨格成長量が著しく低下している群体も確認されました（図 4）。よって、津波イベントが造礁サンゴの骨格成長を妨げる要因となったことが示唆されました。さらに、津波イベントによるサンゴ骨格への影響は、津波が高く、湾内かつ生息水深が浅い環境で生息するサンゴの方が大きいことがわかりました。

## 【今後への期待】

サンゴ礁は、熱帯から亜熱帯における海洋生態系のベースとなる存在です。地震・津波・地殻変動が与えるサンゴ礁への影響と造礁性サンゴの応答を正しく評価することは、サンゴの生態のみならずサンゴ礁環境や海洋生態系のシステムをより深く理解することに繋がります。本研究は、現生サンゴ骨格を用いて近年の地震イベントの痕跡を検出しましたが、今後は、本研究の手法を化石サンゴ骨格に応用することでより古い時代の地震イベントにおけるサンゴ礁環境の変化を捉えることができると期待されます。

## 論文情報

論文名 Coral geochemical signals and growth responses to coseismic uplift during the great Sumatran megathrust earthquakes of 2004 and 2005 (サンゴ骨格中の古環境復元指標と骨格成長に記録された 2004, 2005 年スマトラ島沖地震による隆起イベント)

著者名 伊藤早織<sup>1</sup>, 山崎敦子<sup>2,3,4</sup>, 西村裕一<sup>5</sup>, Eko Yulianto<sup>6</sup>, 渡邊 剛<sup>2</sup> (1 北海道大学大学院理学院, 2 北海道大学大学院理学研究院, 3 喜界島サンゴ礁科学研究所, 4 九州大学大学院理学研究院, 5 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター, 6 インドネシア国立科学院地質研究所)

雑誌名 *Geochimica et Cosmochimica Acta* (地球化学の専門誌)

D O I 10.1016/j.gca.2020.01.037

公表日 2020 年 1 月 24 日 (金) (オンライン公開)

## お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 講師 渡邊 剛 (わたなべつよし)

T E L 011-706-4637 F A X 011-706-4637 メール nabe@sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.sci.hokudai.ac.jp/~nabe/>

## 配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 北海道札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

九州大学広報室 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744)

T E L 092-802-2130 F A X 092-802-2139 メール koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

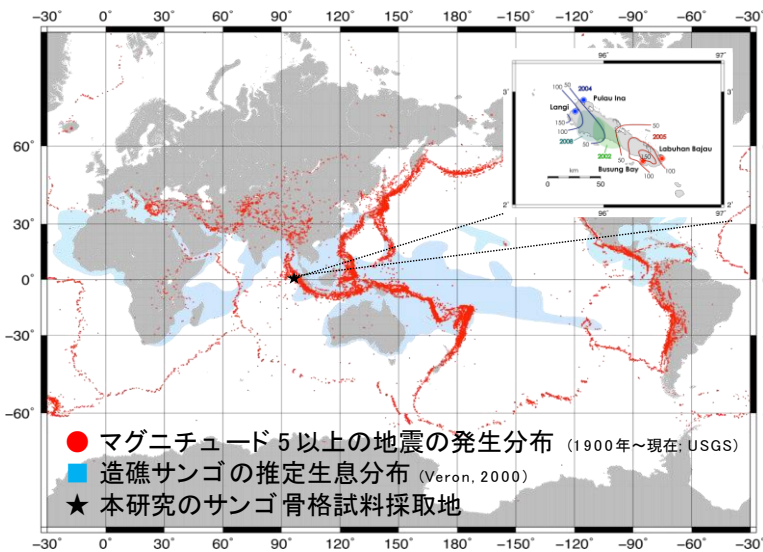
喜界島サンゴ礁科学研究所 (〒891-6151 鹿児島県大島郡喜界町大字塩道 1508)

T E L 0997-66-0200 F A X 0997-58-9335 メール pr@kikaireefs.org

U R L <http://kikaireefs.org/>

【参考図】

(1) サンゴ礁分布と地震の発生分布



(2) サンゴの骨格柱状試料の軟X線画像

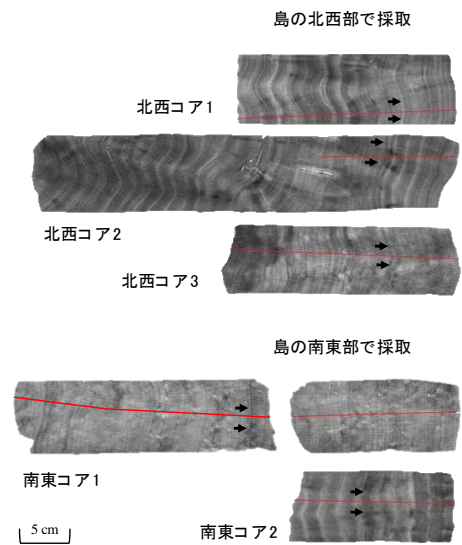
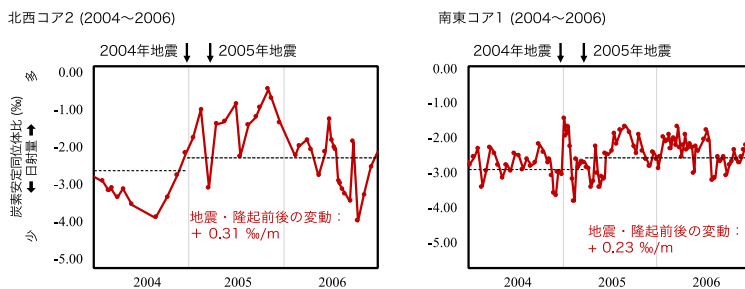


図 1. 造礁サンゴ骨格が有する過去の地震イベントの検出可能性

- (1) 造礁サンゴの推定生息分布と M5 以上の地震の発生分布は、インド洋～太平洋で重なる海域が多い。図中の赤点は 1900～2015 年に発生した M5 以上の地震の震源地を示す。図中の青ハッチは造礁性サンゴの生息可能域を示す。右上図は試料採取地（シメル島、赤丸・青丸）を示す。
- (2) 採取した 5 本のサンゴの骨格柱状試料に軟 X 線を照射して撮影した。赤線部位から粉末試料を採取し、化学分析に使用した。また、化学分析結果及び軟 X 線画像から得られた骨格密度を組み合わせると、サンゴ骨格の成長指標を算出した。矢印は地震発生タイミングを示す。

(1) 骨格中の化学組成（抜粋）



(2) 隆起による光量と化学組成の変化の関係

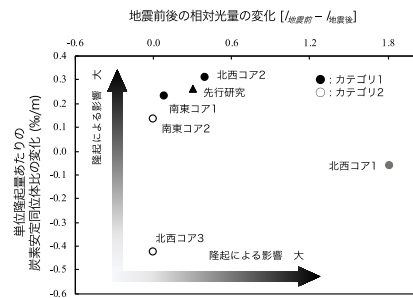


図 2. サンゴ骨格中の化学組成分析結果

- (1) サンゴ骨格中の炭素安定同位体比は、サンゴが受け取る日射量（光量；すなわち共生藻の光合成活性）を反映する。地震・津波前後における単位隆起量あたりの炭素安定同位体比の平均値（黒破線）は、北西部で最大 0.31‰/m、南東部で最大 0.23‰/m 増加した。これは、隆起によってサンゴの生息水深が浅くなり、サンゴが受け取る光量が増加したことを意味する。
- (2) 本研究で用いたサンゴ骨格コアは、生息水深が浅く大きな隆起を経験したサンゴ（カテゴリ 1）と、生息水深が深く小さな隆起を経験したサンゴ（カテゴリ 2）に分類される。カテゴリ 1の方が、隆起による炭素安定同位体比への影響がより大きく、サンゴ骨格を用いた地震・隆起イベントの検出に適していることがわかった。

(1) グリーンバンド

(2) 骨格中の微小土砂粒

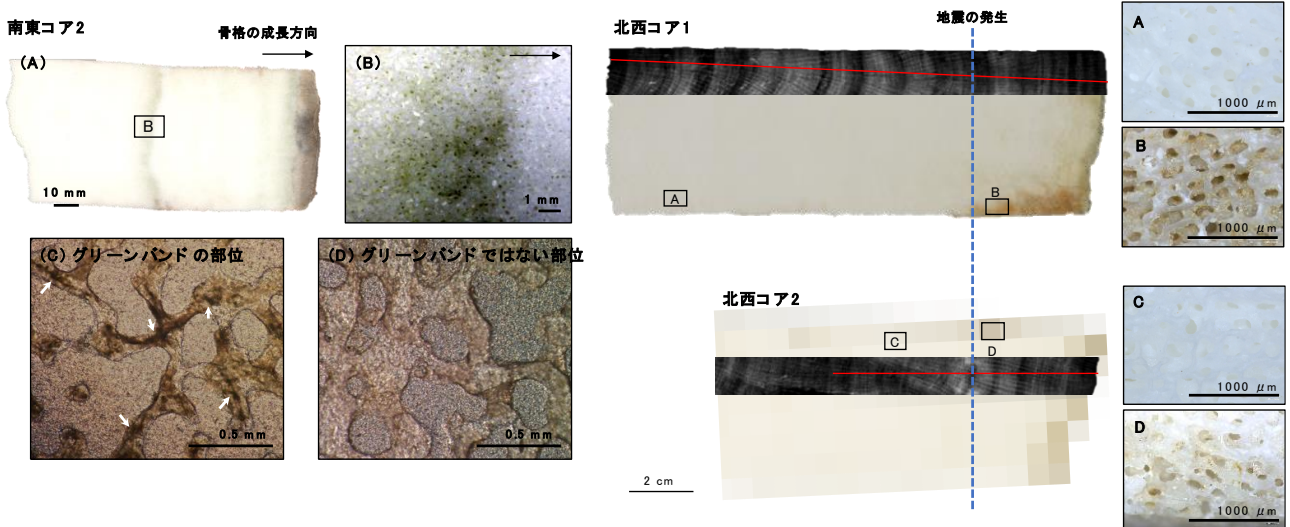


図 3. サンゴ骨格表面に観察された津波イベントの痕跡 (抜粋)

- (1) 南東部のサンゴ骨格表面には、地震発生直後からグリーンバンドと呼ばれる緑色のバンド状部位が観察された。これは大量に発生した藻類がサンゴ骨格に取り込まれたことを示している (図 C の矢印)。インド洋では津波発生後に藻類が大量に発生したことが知られており、骨格のグリーンバンドは津波イベントの痕跡であるといえる。
- (2) 北西部のサンゴ骨格には、地震発生直後から茶色の微小砂粒が取り込まれており、津波後に海中に滞留した砂泥 (陸から流出した土砂など) を示すと考えられる。

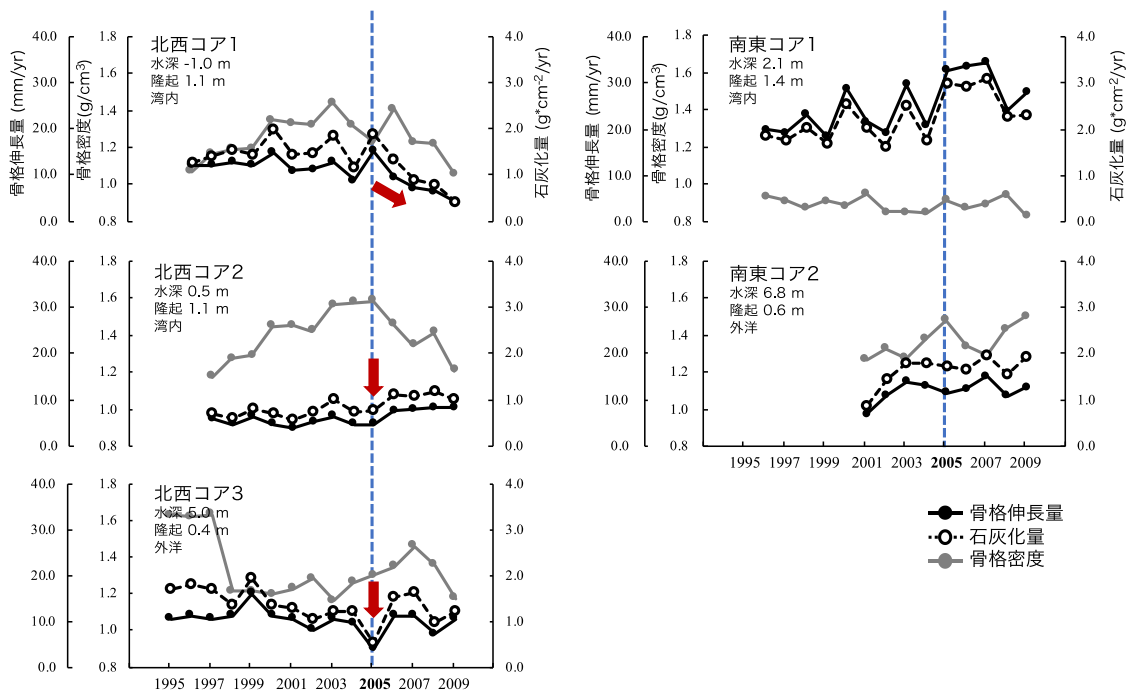


図 4. サンゴ骨格の成長指標

5本のサンゴ骨格コアの骨格成長指標 (骨格伸長量, 骨格密度, 石灰化量) を示す。図中の青破線はサンゴ骨格が地震・津波を経験した年を示す。より高い津波が観測された北西部のサンゴ骨格コアは、地震・津波を経験した年の年間成長量 (赤矢印) が低下していた。北西コア 1 は隆起によってコアの上部が海水面から露出してしまい、隆起以降の骨格成長が著しく低下した。津波がサンゴ骨格の成長を妨げる要因であることが示唆された。



## 【用語解説】

- \*1 造礁性サンゴ … サンゴの中でも、体内に褐虫藻<sup>かっちゆうそう</sup>と呼ばれる藻を共生させることで骨格の成長速度を速めているサンゴのこと。造礁性サンゴの骨格は炭酸カルシウムからなり、樹木の年輪のような骨格を形成する。この年輪に沿って化学分析を行うことで、1週間～1ヶ月程度の細かい精度で古環境を復元できる。
  
- \*2 炭素安定同位体比 … 炭素には質量数 12, 13 の 2 つの炭素安定同位体比が存在する。造礁性サンゴなどの炭酸カルシウム骨格における質量数 12 の炭素に対する質量数 13 の炭素の割合（炭素同位体比： $\delta^{13}\text{C}$ ）は、骨格形成時のサンゴが受けた日射量（光量）や体内に共生させている共生藻の光合成活性／不活性を主に反映することが知られている。したがって、本研究で扱ったような海底の隆起イベントでは、造礁サンゴの生息水深が浅くなったことによる光量の変化を捉えることができる。
  
- \*3 骨格成長指標 … 本研究で用いたサンゴの骨格成長指標は、骨格密度、骨格伸長量（骨格成長量）、石灰化量の 3 種類である。造礁性サンゴ骨格に軟 X 線を照射し撮影した画像からは、造礁性サンゴ骨格の年輪を観察できる（図 1）。骨格密度はこの画像を分析することで算出される。骨格伸長量は、年間の変動が明確な水温指標（例えば、骨格中のストロンチウム・カルシウム比など）によって決定した単位期間あたりの骨格の長さで算出される。石灰化量は、先行研究にもとづいた算出方法で、骨格密度と骨格伸長量から推算される。