HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Geochemical and microstructural approaches for high resolution reconstruction of paleoclimate and paleoecology using giant clam shells [an abstract of entire text]
Author(s)	駒越, 太郎
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 http://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13314号
Issue Date	2018-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/72331
Type	doctoral thesis
File Information	Taro_Komagoe_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 の 要 約

博士の専攻分野の名称　博士（理　学）　氏　名　　駒越　太郎

学 位 論 文 題 名

Geochemical and microstructural approaches for high resolution reconstruction of paleoclimate and paleoecology using giant clam shells
（シャコガイ殻を用いた高解像度古気候・古生態復元への地球化学および微細構造的アプローチ）

近人類の観測記録以前の気候変動を知るために，海底堆積物の底生有孔虫や石筍，氷床コア，樹木年輪や古文書などが過去の気候を復元する古環境指標として用いられてきた．熱帯・亜熱帯の海洋表層の環境を復元するための古環境指標として，造礁サンゴ骨格や二枚貝の殻が強力なツールとして注目されてきた．二枚貝の殻，造礁サンゴの骨格などは炭酸カルシウムからなり，その酸素同位体比は古水温計として利用されてきた．また，微量元素濃度は古水温計や湧昇，過去の日射量の指標として用いることができる．二枚貝は炭酸カルシウムの殻の断面に成長線（年輪，日輪など）を刻みながら付加成長をするため，成長線の形成周期がわかれば成長線に沿った化学分析の結果に日付を入れられる．また，二枚貝殻に刻まれる微細構造である成長線は二枚貝の生物としての応答とともに生息環境の影響を記録している [Kennish and Olsson, 1975]．インド洋，太平洋の熱帯亜熱帯の珊瑚礁に広く分布する二枚貝シャコガイ科は，外套膜に褐虫藻が共生しているため成長が早く，殻に日輪・年輪を刻みながら数十年にわたり成長する[Watanabe *et al*., 2004]．熱帯亜熱帯域の海洋表層環境の復元に際し，シャコガイ殻の酸素・炭素同位体比そして微量元素分析から得られる古環境情報は，他の古環境間接指標と比較して，日から数十年の高い時間解像度という特徴がある．また，シャコガイ殻は始新世以降に化石として産出し[Harzhauser *et al*., 2008]，緻密な殻を持つため保存状態の良い化石が入手しやすい[Watanabe *et al*., 2004]．シャコガイ殻を用いたこれまでの古環境研究は，シャコガイ殻の化学組成と環境情報の比較したキャリブレーションが主であり，シャコガイ殻の高時間解像度を生かして具体的な気象を復元した研究は数少ない（例えば約 3 千年前の日射量を復元した Hori *et al*., 2015 など）．本研究では，シャコガイ殻の地球化学分析および成長線解析を行い，高時間解像度でなければ復元の難しかった日から季節単位の気象現象（台風など）の復元とシャコガイ殻の成長に与える影響を検証することを目的とした．また，現生試料から得た知見を用いて，気候のバックグラウンドが異なる中新世，更新世，完新世の化石シャコガイ殻から，短期間に生じる気象現象と殻の成長に基づくシャコガイの古生態の復元に取り組んだ．

（研究手法）シャコガイ現生試料では採取後直ちにに軟体部を除去した．殻の切片と薄片を作成するために，シャコガイ殻の切断面はレジン樹脂やエポキシ接着剤で補強し縁辺部が破損することを防

いだ．殻の最大成長軸に沿って殻を精密岩石カッターで切断し，地球化学分析用の切片と，切片と隣り合った面から薄片を作成した．化石シャコガイ試料は，X 線回折よる鉱物相の確認，走査型電子顕微鏡による二次沈着や溶脱を当時の殻の組成が保存されていることを確認した後，地球化学分析を行なった．シャコガイ生育時の海水温と海水の酸素同位体比を反映する，殻の安定酸素同位体比と，光合成の活性を反映する殻の安定炭素同位体比は，炭酸塩自動処理装置を接続した同位体比質量分析計で測定した．また，殻の微量元素は，レーザーアブレーションシステム接続の誘導結合プラズマ質量分析と誘導結合プラズマ発光分析で測定を行なった．また，殻の切片断面や薄片に観察される成長線（日輪，年輪）は，デジタルマイクロスコープを用いてパノラマ撮影を行い，画像処理ソフトで成長線の本数と成長線間の幅を計測した．

（事例 1）沖ノ鳥島産シラナミガイの地球化学分析と成長線解析から明らかになった台風の痕跡

2013 年に行われた IPCC 第 5 次評価報告書によると，将来巨大な熱帯低気圧の発生が増えることが予測されている[IPCC, 2013]．また，21 世紀末には台風の強度が増加し，今まで以上の強風が吹くことが予想されている[Tsuboki *et al*., 2015]．その結果，風害と波浪害が今まで以上に深刻化することが懸念される．長期的な台風の将来予測のためには過去の台風の履歴を復元することが必要である．過去の台風の復元研究は Paleotempestrogy と呼ばれ，これまでオーストラリアや大西洋などにおいてオーバーウォッシュ湖沼堆積物[Liu and Fearn, 1987]やビーチリッジ[Nott, 2011]から数十年から数百年単位での台風の頻度や強度が復元されている．また，中国において過去の文献記録から 11 世紀以降千年間の台風の頻度を復元している[Liu *et al*., 2001]．しかし有史以前の地質時代における台風を復元することは難しく，高時間解像度の古環境指標が求められる．そこで本研究では日本に接近する多くの台風の進路に位置する日本最南端の島，沖ノ鳥島から採取されたシャコガイ（シラナミガイ）殻の地球化学分析と成長線解析を行い台風の記録と比較した．

沖ノ鳥島に台風が接近した時，シャコガイ殻のバリウムカルシウム比（Ba/Ca）には正のピークが見られ，成長線の幅は減少し，酸素同位体比（$\delta^{18}O$）は水温の低下を示した（図 2 網掛け）．海山である沖ノ鳥島近海は台風に伴い表層水が流されることで湧昇が発生し栄養塩型の鉛直分布を持つバリウムが表層に運ばれる．台風後に生じるプランクトンブルームも関連してシャコガイ殻の Ba/Ca のピークが生じた可能性がある．これらのシャコガイ殻の地球化学的および微細構造的な痕跡は生息域への台風の接近を記録しており過去の台風記録計として期待出来る．

（事例 2）喜界島化石シャコガイから読み解く更新世-完新世の気候変遷

更新世は地球規模の寒冷化が顕著になる 258.8 万年前からヤンガードリアス期（1.29～1.17 万年前）の終わりまでとされている．氷期—間氷期の気候変動が明瞭になる時代であり，Dansgaard-Oeschger サイクルが示すように短周期で，急激な気温の上昇下降が生じており，人類の発展や現在の生態系の形成に影響を与えてきた．鹿児島県大島郡の喜界島は隆起サンゴ礁からなり，過去 12 万年の間日本最速の隆起速度をもつ[Ota & Omura, 1992].この特徴により同一地点で後期更新世から完新世の化石シャコガイ殻試料や化石サンゴ骨格試料を連続して入手可能である．特に，後期更新世の海洋同位体

ステージ3（MIS 3）は現在よりも30 m以上海水準が低く[Sasaki *et al*., 2004]，当時のサンゴ礁を観察できるのは，隆起速度の速いパプアニューギニアのヒュオン半島や喜界島に限られている．喜界島は北西太平洋と東シナ海に面しており台風やモンスーン気候などに大きな影響を受けている.喜界島は更新世から完新世における東アジアの海洋環境および気候変動の解明を目指す海洋地質学的研究において重要な位置にある．本研究では喜界島において後期更新世および完新世の化石シャコガイ殻を採取し高時間解像度での気象現象の復元を行った.

各化石シャコガイ殻試料はSEMおよびX線回折で続成を評価し保存状態が良いことが判明した．完新世の化石試料の年代は暦年校正で，3924±49年前および7220±45年前であった．また，後期更新世の化石試料の年代は，5万5千年前(55 ka)と判明した．55kaの化石試料の酸素同位体比から復元した海水温は現在の喜界島周辺の海水温より平均で4 ℃低いことがわかった．55kaの化石試料の成長線はよく保存されており，成長線幅は酸素同位体比と逆相関し化石試料の成長は水温に依存している．この化石試料の成長傾向は現生試料と類似していた．また，夏季に台風が喜界島に接近した時，現生試料の成長線幅は急激に減少した．そこで沖ノ鳥島での検証に基づき55kaの化石試料から台風の復元を試みた．化石試料は現生試料と同様に夏季に急激な成長線幅の減少やBa/Caのピークを生じ，台風の存在が示唆された．造礁サンゴ骨格でBa/Caは陸域の河川流入の間接指標となることから[McCulloch *et al*., 2003]，シャコガイ殻のBa/Caも同様に台風に伴う陸域からのバリウムの流入が反映されている可能性がある．また，55 kaの化石試料に記録された台風の頻度は現生試料よりも小さかった．また両者には台風が接近する季節にも違いがあった

（事例3）Miocene の化石シャコガイ 高時間解像度の環境情報と ENSO 様数年周期変動復元

シャコガイの殻は緻密なアラゴナイトからなり，特に厚く発達する殻内層は化石となっても保存状態が良い．約10Maのインドネシアジャワ島産化石シャコガイ殻の地球化学分析，成長縞解析を行った．中新世は2303万～533万3000年前（23.03-5.333Ma），新第三紀の最初の時代にあたり1500万年前（15Ma）を過ぎると再び寒冷化が進み，アジア地域のモンスーン気候が顕著となった(Zachos *et al*., 2001)． 10Maごろには，現在とほぼ同様の大陸配置となった．この後期中新世の気候変動を季節以上の時間解像度で明らかにした例は少ない.

化石シャコガイ殻試料はSEMおよびX線回折で保存状態の良い試料を選出し，殻の微細構造もよく保存されていることが明らかになった．殻の酸素同位体比や成長線幅には年周期がみられ，成長線を用いて地球科学分析の結果に時間軸を入れることができた．さらに，殻の酸素同位体比には有意な数周年変動が認められ，現在のエルニーニョ南方振動に類似した変動が観察された．殻の酸素同位体比のアノマリーをとり，その値が負にシフトする時には，現在のラニーニャ様時と同様に年間の水温差が小さくなり，降水量が増加していたことが示唆された.

以上，本研究でシャコガイ殻を用いた高時間解像度の地球科学分析および成長線解析より，シャコガイ殻に台風の痕跡が残されることを明らかにし過去の台風を復元できる可能性を示した．また、化石シャコガイの保存性を確認し、後期更新世及び後期中新世の気候変動を高時間分解能で指摘できた.