

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17775

研究課題名(和文)汽水湖コアを用いた短周期(200～500年)のモンスーン変動の解明

研究課題名(英文)Centennial-scale monsoon variation by using sediment cores in blackish lake

研究代表者

山田 桂(Yamada, Katsura)

信州大学・学術研究院理学系・准教授

研究者番号：80402098

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：私たちの暮らす日本列島の気候は、東アジアモンスーンに大きな影響を受けている。本研究では、西日本の汽水湖に生息した微小甲殻類の殻の酸素同位体比を測定し、過去3000年間の東アジアモンスーン強弱について特に数百年間隔で復元した。その結果、モンスーンのタイミング、変動の周期に基づき3つの時期に区分された。紀元前800～100年までは東アジア全域や太陽活動と共通する周期が見られた。紀元前100年以降は地域内の変動や太陽活動との一致は見られなかった。西暦300年以降は一部の地域のみで共通する数百年周期の変動が見られた。これらのことは、太陽活動は限られた時期にモンスーンに影響を与えていたことを示す。

研究成果の概要(英文)：Climate in Japanese Islands are strongly affected by East Asian summer monsoon (EASM). We reconstructed centennial-scale East Asian summer monsoon intensity during the past 3000 years based on oxygen isotope ratio of ostracode shells, which are small crustaceans, in brackish lake, southwestern Japan. Three intervals were recognized on the basis of the EASM intensity, timing and cyclic periodicity. The 200 year periodicity was identified in East Asian summer monsoon records and atmospheric  $^{14}\text{C}$  relating to solar activities in the periods of BC800-BC100. No correlation between our data and other EASM records and sun activity during the periods of BC100-AD300. Further, common multi-centennial scaled cycles in EASM variations were identical in some area since AD300. These observations infer that sun activity affected to centennial scaled EASM variations in a restricted intervals.

研究分野：古生物学

キーワード：東アジアモンスーン 気候 完新世 貝形虫 酸素同位体比

## 1. 研究開始当初の背景

日本を含めたアジアモンスーン地域には、世界の6割以上の人々が生活している。モンスーンは影響下にある地域の降水量を変化させ、私たちの生活に深く関与する。特に夏季モンスーンは大陸や日本列島に雨を降らせ、人々はその恩恵を受ける一方で、過去には洪水や干ばつなどの自然災害も引き起こしてきた。にもかかわらず、アジアモンスーンの駆動メカニズムはどのようなものか、世界の気候とどう関与しているか、はほとんど明らかになっていない。また、過去のアジアモンスーン変動は、10,000年周期の変動は軌道要素による夏の日射量変化 (Dong et al., 2010) と、1,000年周期のモンスーン変動は北半球高緯度のグローバルな気候変動 (Gupta et al., 2003) と一致することが示された。しかし、200~500年周期の気候変動をもたらしているモンスーン変動は、その変動機構等を含めて不明なままである。

研究代表者は西日本の汽水湖である中海の湖底で採取された柱状試料について、堆積物、微小甲殻類 (貝形虫) とその殻の酸素同位体比分析を行い、過去1,700年間に起こった200~500年ごとの気候変動を見だし、200~500年ごとの気候変動は東アジア夏季モンスーン強度を反映しており、5回の弱体化期があったことを初めて突き止めた。これらの過去1,700年の夏季モンスーン変動は、北緯30~40°の地域で共通していた。

一方で、研究代表者の現在までの研究は、以下の問題がある。

- (1) 酸素同位体比分析に用いた貝形虫殻の個体数が少なく、精度に問題が残る。
- (2) 夏季モンスーン変動しか復元しておらず、気候変動の全容は解明できていない。
- (3) 過去1,700年までしか明らかにしておらず、この変動がどこまで追跡可能かわかっていない。

また、地球規模の気候変動に影響を与える数

百年周期の変動に太陽活動度があるが、これと過去1,700年間の夏季モンスーン変動を比較しても、関連は認められなかった。

## 2. 研究の目的

そこで本研究は、中海における底質堆積物を用い、堆積物、貝形虫の群集変化および殻の酸素同位体比分析、堆積物中の化学組成分析を行う。夏季および冬季のモンスーン変動を過去8,000年までさかのぼって復元し、以下のことを明らかにする。

- (1) 200~500年周期の夏季モンスーン変動は、いつまでさかのぼって追跡できるのか？
- (2) 冬季モンスーンも200~500年周期で変動するのか？
- (3) 夏季モンスーン変動は過去8,000年間を通して、北緯30~40°の地域に共通するのか？
- (4) 200~500年周期のモンスーン変動の駆動要素はなにか？

## 3. 研究の方法

本研究では、200~500年周期の夏季・冬季アジアモンスーン変動について、変動パターンや東アジアでの共通性について明らかにするために、1) 中海底質試料の採取、2) 堆積相変化の把握および<sup>14</sup>C年代測定による高精度年代モデルの作成、3) 貝形虫群集解析による長期的・地域的古環境変化の把握、4) 貝形虫 *Bicornucythere bisanensis* 殻の酸素同位体比分析によるモンスーン変動の復元、5) 全有機炭素、全窒素、全硫黄濃度 (CNS) 分析に基づく湖内酸化還元状態の復元、を行った。

## 4. 研究成果

2015年9月に中海湖心部においてN2015コアを採取した。記載・分割後<sup>14</sup>C年代測定法による堆積速度曲線を求め、コア中の貝形虫群集、貝形虫 *Bicornucythere bisanensis* の成体殻及び最後の幼体 (A-1) 殻の酸素・炭素同位体比分析、堆積物の全有機炭素量、全窒素量、全硫黄濃度測定をそれぞれ行った。

### (1) N2015 コア

2015年9月28日に島根大学エスチュアリー研究センター所有のマッケラス空気圧式ピストンコアラーで中海湖心部(35°28.205'N・133°10.894'E)から試料を採取した。採取したN2015コアの直径は7.5 cm, コア長は387 cmであった。同コアの岩相は全体的に貝殻を含むシルト層で, コア深度136 cm, 210 cm, 219 cm, 300 cm, 307 cm, 318 cm および 355 cm に貝殻密集層が存在した(図1)。また, コア深度326 cm, 340 cm, 355 cm および 374 cm にコケムシが存在した。

コアは半割後, 肉眼による記載を行い, 土色計 SPAD-503(コニカミノルタ)で色(L\*, a\*, b\*)を測定した。その後幅が約2.2 cmのキューブを埋め込み, 帯磁率測定用試料を採取した。その残りの2/3を全有機炭素・全窒素・全硫黄測定用試料に, 1/3を粒度・含水率測定用試料とし, それぞれ1 cmごとに分割した。もう片方は, 長さ25 cmのプラケースを埋め込み, 軟X線用試料として採取した。その残りを貝形虫用試料とし, 1 cmごとに分割した。貝形虫用, 全有機炭素・全窒素・全硫黄用および含水率用のすべての試料の湿重量を測定した。

### (2) N2015 コアの<sup>14</sup>C年代測定

再堆積の可能性の少ない保存状態の良い二枚貝(7サンプル)および植物(3サンプル)の<sup>14</sup>C年代測定を, 株式会社地球科学研究所を通じてBeta Analytic Inc.に依頼し加速器質量分析計により行った。測定の結果, 全ての試料について<sup>14</sup>C年代が求められた。<sup>14</sup>C年代値から暦年代への補正はIntcal13(植物)及びMarine13(貝)(Reimer et al., 2013)の較正曲線を用いている。地域的な海洋リザーバー効果の補正については海洋全体の平均的リザーバー年代の約400年のみを用いた。<sup>14</sup>C年代から暦年代の較正には誤差2σ(95%確率)で示した。コア深度159 cmの年代が他の値に基づく曲線から外れた年代を示した

ため, またコア深度350.5 cmの年代がコア深度371 cmよりも古い年代を示したため, これらの年代値は用いず, 他の8試料の放射性炭素年代(BP)を用いて, 堆積速度曲線を作成した(図1)。

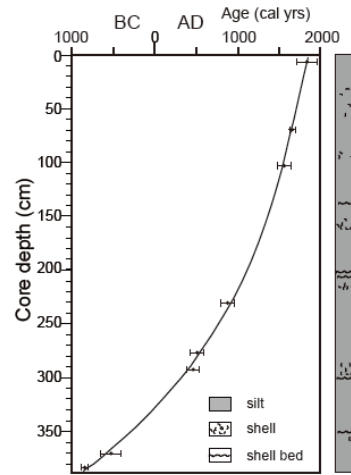


図1 N2015 コアの柱状図と堆積速度曲線

### (3) 炭素・酸素同位体比分析

1 cm間隔で分割したコア試料は63 μmの篩上で水洗し, 残渣を常温で乾燥させた。その試料から貝形虫を拾い出し, さらにその中から*B. bisanensis*のできるだけ透明な殻を, 成体殻は3~5個体, A-1幼体殻は10個体取り出し, クリーニング後, 高知大学海洋コア総合研究センターの安定同位体比質量分析計MultiPrep-IsoPrimeを用いて酸素・炭素同位体比を測定した。測定精度は $\delta^{13}\text{C}$ で0.05‰,  $\delta^{18}\text{O}$ で0.06‰である。

N2015 コアに含まれる成体殻計166試料はコア深度387~207 cm(BC884~AD1072年)から選択し, 測定に必要な殻の数である3個を満たす試料について, 全ての試料の測定を行った。コア全体としては,  $\delta^{18}\text{O}$ は-1.347~-0.865‰の範囲で変動し(図2),  $\delta^{13}\text{C}$ は-6.396~-3.855‰の範囲で変動した。コア深度387~295 cm(BC884~AD403年)では $\delta^{18}\text{O}$ は-1.086~-0.865‰の範囲で変動し,  $\delta^{13}\text{C}$ は-5.770~-3.855‰の範囲で変動した。また, コア深度294~207 cm(AD414~AD1072年)

では、 $\delta^{18}\text{O}$  は  $-1.347 \sim 0.518\text{‰}$  の範囲で変動し、 $\delta^{13}\text{C}$  は  $-6.396 \sim -4.256\text{‰}$  の範囲で変動した。 $\delta^{18}\text{O}$  と  $\delta^{13}\text{C}$  はどちらも、細かな増減を伴いつつ、深度が浅くなるにつれて（現在に近づくにつれ）減少傾向を示した。

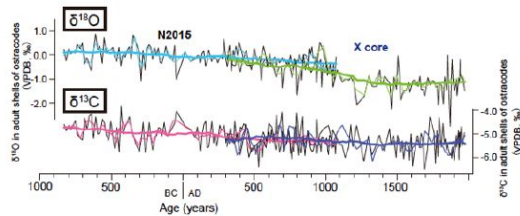


図2 過去2800年間の貝形虫の成体殻の酸素・炭素同位体比曲線。

加えて、78 試料について A-1 幼体殻の酸素・炭素同位体比測定を行った。試料については、コア深度 387 ~ 296 cm を対象とし、測定に必要な殻の数である 8 個を満たす試料について、全ての試料の測定を行った。コア深度 297 cm から 387 cm、年代にして AD387 年から BC883 年では、 $^{13}\text{C}$  は  $-5.45\text{‰}$  から

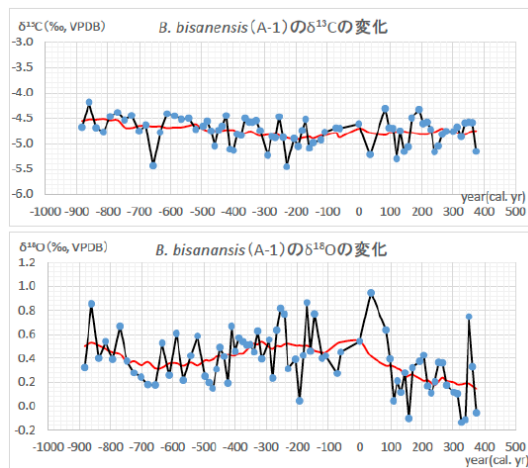


図3 BC800 から AD300 年の貝形虫の A-1 幼体殻の酸素・炭素同位体比。

$-4.19\text{‰}$  の範囲で変化し、 $^{18}\text{O}$  は  $-0.138\text{‰}$  から  $0.947\text{‰}$  の範囲で変化した（図3）。 $^{18}\text{O}$  の変動は、BC883 年から BC750 年にかけては減少、BC750 年から BC1 年にかけては増加、BC1 年から AD387 年にかけては減少を示した。また、全体を通して見ると、BC883

年から AD387 年にかけて、緩やかに低下する傾向を示した。 $^{13}\text{C}$  に関しては、特に変動パターンは見られず、ほぼ一定に推移した。

(4) 全有機炭素・全窒素・全硫黄濃度測定

N2015 コアの BC884 ~ AD1072 年に相当するコア深度 387 ~ 207 cm で分析可能な計 179 試料についての TOC 濃度、全窒素 (TN) 濃度の測定を行った。また、計 154 試料についての全硫黄 (TS) 濃度の分析を行った。測定の結果、TOC 濃度は  $1.280 \sim 4.12\%$  の範囲で、TN 濃度は  $0.116 \sim 0.288\%$  の範囲で、TS 濃度は  $0.709 \sim 1.320\%$  の範囲で変動した。TOC 濃度は  $1.280 \sim 3.173\%$  であった。また、C/N 比は  $7.412 \sim 14.231$  の範囲で、C/S 比は  $1.531 \sim 2.994$  の範囲で変動した。

(5) 考察

既存研究の X コアの成果 (Yamada et al., 2016) と総合し、過去 2800 年間のデータを得ることができた(図2)。成体の *B. bisanensis* 殻の酸素同位体比は、BC800 年以降長期的に低下した。貝形虫群集によれば中海の塩分は徐々に低下したと推察されることから、酸素同位体比の長期的な低下は湖内の塩分低下によると推察される(図4)。

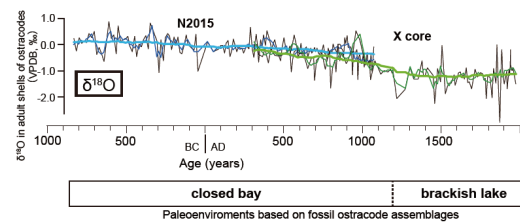


図4 過去2800年間の貝形虫の成体殻の酸素同位体比と古環境。

この地域的な要因を排除するため、標準化した酸素同位体比変動を求め他地域の東アジア夏季モンスーン (EASM) 変動及び太陽活動を示す大気中の  $\Delta^{14}\text{C}$  と比較した(図5)。また、ウェーブレット解析およびスペクトル解析を行い、周期と卓越時期を明確にした。標準化した酸素同位体比の周期や変動パターンにより、BC800 年以降は 3 つに区分された。Stage A (BC800 ~ BC100 年) では、EASM

変動と大気中の  $\Delta^{14}\text{C}$  に 200 年周期と共通の変動パターンがみられ、東アジア全域の EASM が太陽活動に影響を受けていたと考えられる。Stage B (BC100 ~ AD300 年) では、EASM 変動と大気中の  $\Delta^{14}\text{C}$  の振幅がともに小さくなるものの、周期やパターンの共通性はみられなかった。Stage C (AD300 ~ AD1800 年) では、他地域の EASM や大気中の  $\Delta^{14}\text{C}$  との共通性は認められず、エルニーニョ・南方振動(ENSO)と類似した変動がみられた。EASM と太陽活動との関係は北緯 33 度の日射量が大きかった BC800 ~ AD300 年のみに見られたことから、EASM 強度は日射量の大きい時期にのみ太陽活動の影響を受けていたと推察される。

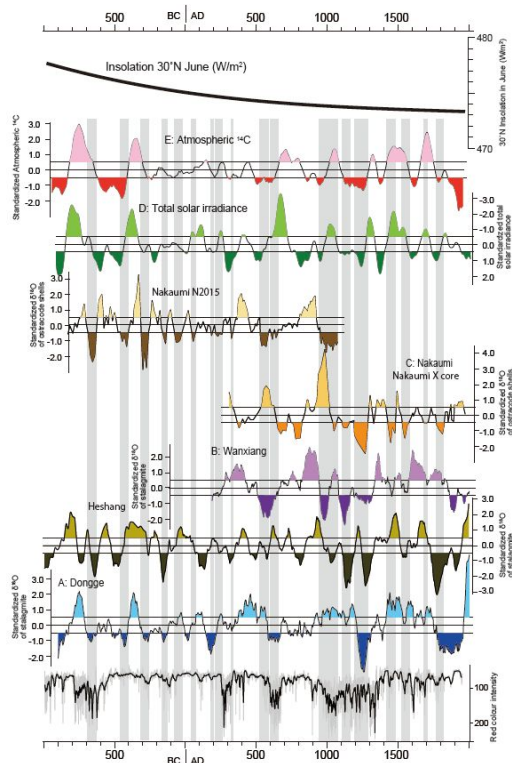


図5 過去 2800 年間の東アジア夏季モンスーン変動と太陽活動、ENSO、北緯 30°N の日射量との比較。

A-1 の殻の酸素同位体比からは、明瞭な周期を捉えることはできなかった。以上のことから、当初の(1) ~ (4)の目的に対して、以下の結果が得られた。

(1) 200 ~ 500 年周期の夏季モンスーン変動は、いつまでさかのぼって追跡できるのか？

約 AD300 年までは 300 ~ 500 年周期、AD300 ~ BC100 は卓越周期が見られず、BC100 ~ BC800 は 200 年周期が卓越していたことが明らかになった。

(2) 冬季モンスーンも 200 ~ 500 年周期で変動するのか？

少なくとも BC800 ~ AD300 年に関しては、卓越周期は認められなかった。

(3) 夏季モンスーン変動は過去 8,000 年間を通して、北緯 30 ~ 40°の地域に共通するのか？

BC800 ~ BC100 年は東アジア全域に共通した。しかしながら、BC100 年以降は限られた地域にのみ共通した。

(4) 200 ~ 500 年周期のモンスーン変動の駆動要素はなにか？

BC800 ~ BC100 年については、太陽活動と同じ周期が認められたことから、太陽の強弱がモンスーンの変化を引き起こしていると考えられる。BC100 ~ AD300 年は明瞭な要因はわからなかった。AD300 年以降は日本列島周辺については、ENSO と関係が最も強かったことから、この変動がモンスーンに影響を与えていると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

- ① Yamada, K., Masuma, T., Seto, K., Uchida, M., Amano, A., and Sampei, Y., Paleoenvironments and relative sea-level changes caused by regional tectonics during the last 4500 years in Kumihama Bay, northern Kyoto Prefecture, central Japan. *Quaternary International*, 471, 332-344, 2018, 査読有. doi: 10.1016/j.quaint.2017.11.029
- Yamaguchi, T., Kuroki, K., Yamada, K., Itaki, T., Niino, K., Motoyama, I., Pleistocene deep-sea ostracods from the Oki Ridge, Sea of Japan (IODP Site U1426) and condition of the intermediate water.

Quaternary Research, 88, 430-445, 2017, 査読有, doi: 10.1017/qua.2017.68

Yamada, K., Kuroki, K., Yamaguchi, T., Data report: Pliocene and Pleistocene deep-sea ostracods from Integrated Ocean Drilling Program Site U1426 (Expedition 346). In Tada, R., Murray, R.W., Alvarez Zarikian, C.A., and the Expedition 346 Scientists, Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, 346: College Station, TX (Integrated Ocean Drilling Program). 2017, 査読無, doi:10.2204/iodp.proc.346.201.2017

Yamada, K., Masuma, T., Sakai, S., Seto, K., Ogusa, H., and Irizuki, T., Centennial-scale East Asian summer monsoon intensity based on  $\delta^{18}\text{O}$  values in ostracode shells and its relationship to land-ocean air temperature gradients over the last 1700 years. *Geology*, 44, 255-258, 2016, 査読有, doi: 10.1130/G37535.1

山田 桂・増馬鉄朗・瀬戸浩二, 貝形虫群集を用いた地中海における過去 1,700 年間の古環境変遷. *第四紀研究*, 54, 53-68, 2015, 査読有, doi: 10.4116/jaqua.54.53

[学会発表](計 7 件)

Yamada, K., Kuroki, K., Seto, K., and Ikehara, M., East Asian winter monsoon intensity in the last two millennia based on  $\delta^{18}\text{O}$  in instar shells of *Bicornucythere bisanensis*, 18th International Symposium on Ostracoda, 2017 年.

山田 桂・黒木 健太郎・瀬戸 浩二・池原 実, 貝形虫の幼体殻の酸素同位体比を用いた冬季古気候指標, 日本古生物学会, 2017年, 北九州市

山田 桂・池原 実, 貝形虫殻の酸素・炭素同位体比を用いた古気候の定量的復元の可能性. 日本地質学会第123年学術大会, 2016年, 東京桜上水.

小原一馬・山田 桂・瀬戸浩二, 貝形虫群集に基づいた地中海の過去2800年間の古環境変遷. 日本地質学会第123年学術大会, 2016年, 東京桜上水.

黒木健太郎・山田 桂・瀬戸浩二・池原 実, 地中海における冬季古環境指標としての貝形虫殻の安定同位体比, 汽水域研究会, 2016年, 松江市

山田 桂・増馬鉄朗・瀬戸浩二・内田昌男・天野敦子・三瓶良和, 京都府北部久美浜湾における過去4500年間の相対的海面変動と古環境変遷. 日本地質学会第122年学術大会, 2015年, 長野市.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

山田 桂 (YAMADA, Katsura)  
信州大学・学術研究院理学系・准教授  
研究者番号: 80402098

### (2)研究協力者

瀬戸 浩二 (SETO, Koji)  
島根大学エスチュアリー研究センター・准教授  
研究者番号: 60252897

池原 実 (IKEHARA, Minoru)  
高知大学教育研究部自然科学部門理学系・教授  
研究者番号: 90335919

黒木 健太郎 (KUROKI, Kentaro)  
信州大学・理工学研究科・院生  
研究者番号: なし

小原 一馬 (KOHARA, Kazuma)  
信州大学・理工学研究科・院生  
研究者番号: なし

黒松 邦至 (KUROMATU, Kuniyoshi)  
信州大学・理学部理学科地質科学科・学生  
研究者番号: なし