

報道解禁日 2022年10月26日 (英国時間 0:00, 日本時間 9:00)

令和4年 10月 26日



人とともに 地域とともに
国立大学法人
島根大学

国立大学法人島根大学
和歌山工業高等専門学校
情報・システム研究機構国立遺伝学研究所



修める・究める・磨く
独立行政法人 国立高等専門学校機構
和歌山工業高等専門学校



大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構
国立遺伝学研究所

貝を持つ不思議なタコ、アオイガイの全ゲノム解読に成功 ～貝殻の起源と進化について新たな知見～

■本研究のポイント

- ・カイダコの殻の形成と進化を明らかにするため、アオイガイ *Argonauta argo* の全ゲノム配列を解読しました。

◆概要

カイダコの殻は冬になると日本海側の各地に打ち上がることが知られており、ビーチで見られる貝殻のなかでも特に珍重されているものです。この貝殻はタコの仲間が作ったものであることが知られています。今回カイダコ類の1種であるアオイガイの全ゲノム配列を世界で初めて解読しました。

アオイガイのゲノム中にある 26,433 個の遺伝子の中で、44 個の遺伝子が貝殻形成に使われていることがわかりました。さらに、カイダコが底生生活から浮遊生活に移行する過程で起こったゲノム中の遺伝子の変化を見つけることができました。これにより、進化の過程で貝を失ったはずのタコが、どのようにして再び貝殻を作れるようになったのか？という進化上の大きな謎を解明することに一歩近づきました。

■研究の背景

カイダコの殻は、冬になると日本海側に打ち上がる貝殻のなかでも特に珍重されるものです(図1)。この貝殻は巻き貝ではなく、タコの仲間が作ったものであることが知られています。貝の貝殻は、背中外套膜から貝殻の成分であるタンパク質とキチンを分泌し、海水中のカルシウムを結晶化させてできることが知られています。この過程を生体鉱物化(バイオミネラリゼーション)と呼びます。カイダコの殻も同じようにタンパク質とカルシウムで出来ていますが、広げた腕から貝殻の成分を分泌するとされており、その作り方が異なるのではないかと予想されていました。また、カイダコ類は沿岸性のタコと近縁であるので、一度進化の過程で貝を失ったタコが再び殻を作れるようになったことを示しています。このように、カイダコがどのようにして再び貝殻を作れるようになったのかということは長らく大きな謎となっていました。

日本ではアオイガイとタコブネの2種の殻が冬季によく見られますが、カイダコの本体が打ち上がることは稀です。隠岐の島町内の水産会社・吉田水産の協力で、両方の種を採取することができました。アオイガイは夏から秋にかけて比較的多くみられるものの、タコブネはほぼ夏にだけに見られることもわかりました。



図1 アオイガイの名前の由来になった貝殻（2枚重ねると葵の葉に見えることから）

■研究の成果

今回、次世代シーケンス解析を用いてアオイガイのゲノム配列を解読しました。ゲノムデータは今後の他の頭足類との比較など様々な研究に利用可能なように、ゲノムデータベースとして公開しました（図2）。アオイガイの全ゲノムサイズは10億塩基対ほどであり、これまで知られているタコ類のなかでもっとも小さいことがわかりました。これはタコ類の進化過程を考えるうえで重要な情報となります。さらに、ゲノム中にはタンパク質をコードする遺伝子が 26,433 個あり、その中で 44 個の遺伝子が貝殻形成に使われていることがわかりました。このうちのほとんどは、他の貝類の貝殻形成に使われているものと異なる一方で、カルシウムの結晶化に関わると考えられる Pif-like/LamG3 という遺伝子が共通して見られることがわかりました。これは、貝殻のバイオミネラル化における予想外の大きな多様性を示しています。また、貝殻の表面を覆っている腕の傘幕に高発現しているリフレクチンとチロシナーゼという遺伝子が、ゲノム中に重複して並んでいる様子が見られました。これは、カイダコが底生生活から浮遊生活に移行する過程で起こったゲノム中の遺伝子の変化と考えられます。

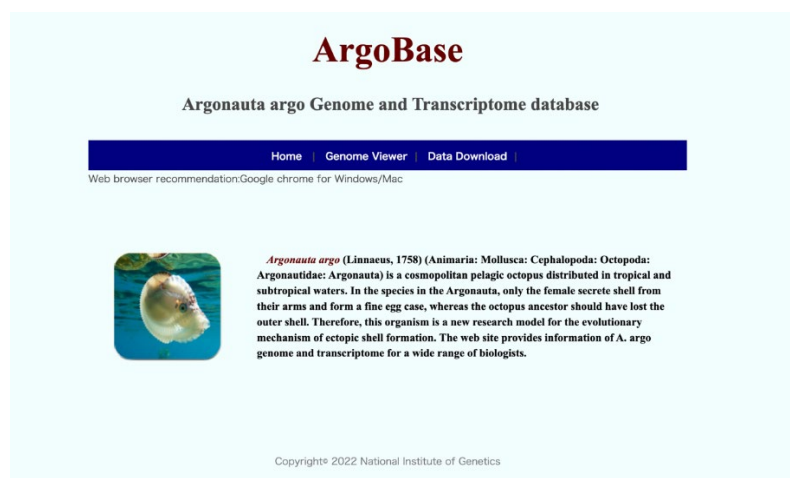


図2 公開ゲノムデータベース ArgoBase (<https://cell-innovation.nig.ac.jp/Aargo/>)

■今後の展望

・本研究の第一の成果は、アオイガイゲノムにおける殻形成遺伝子のリストを発見したことです。これにより、殻に似せた卵嚢のような重要な形態表現型の消失と再獲得について、ゲノムレベルで理解することができました。つまり、殻の進化を考えると、ゲノム上の遺伝子は変化しないため、どのように使われるかを考えることがより重要であることを本研究は示しています。今後の展開として、貝殻形成遺伝子のエピゲノム制御、進化比較研究、機能研究が次の研究課題となりますが、全ゲノム解読はこれらの研究のすべての基盤として用いることができます。

・アオイガイは汎地球的に暖かい海に生息する動物です。地中海、オーストラリア、西太平洋に広く分布していると考えられていますが、どこまで移動していて、それらが単一個体群なのかは不明です。日本海にみられるアオイガイは、対馬海流に乗って移動してきており、冬には死滅してしまう季節来遊魚と考えられていますが、地球温暖化によりその生息域は変化している可能性があります。また、貝殻をもつ動物は、海洋酸性化の影響を強く受けます。今後、日本海にみられるアオイガイやカイダコ類の生息状況をみることで、海洋の気候変動の影響を推定したり予測したりすることに繋がると考えられます。

■用語解説

・ゲノム解読

細胞内には DNA(デオキシリボ核酸)と呼ばれる高分子があります。ある生物がもつ DNA 上のすべての塩基配列はその生物のゲノムと呼ばれ、生物を形作るためのタンパク質の遺伝子情報や、いっどこで遺伝子発現を行うかという制御情報が、遺伝コードとして書き込まれています。生物の体の形や生物ごとの比較の研究は、ゲノムの配列を解読することから始まります。

・次世代シーケンス解析

動物のゲノムは今回のカイダコで10億文字、ヒトでは30億文字にも及びます。これらの並び順をすべて解読するためには、さらにその30~50倍以上の膨大な情報が必要になります。DNA の高速な解読技術がないとゲノム解読を行うことはできません。2006 年以降に登場した次世代シーケンサーとよばれる革新的な DNA の解読装置により、DNA の解読スピードは劇的に速くなり、一度に大量の DNA を解読することが可能となりました。本研究では、国立遺伝学研究所が備えるイルナミ社のシーケンサーを用いて解読を行いました。

・頭足類

現生のイカ・タコの仲間を総称して、頭足類と呼びます。動物の分類でいうと、軟体動物門の頭足綱に属する仲間です。最も祖先的な種として、生きた化石として知られるオウムガイがいます。オウムガイやすでに絶滅したアンモナイトは、立派な貝殻を持っていますが、イカやタコの仲間は高速で泳ぐことに適応し、貝殻を退化もしくは完全に消失しています。未だに殻を備えたままのコウイカや完全に失ったタコ、今回の研究のように再度殻を獲得したカイダコなど様々なタイプの殻を備えた種があり、貝殻の作り方の違いや進化の関係を見る上で適した動物であると言えます。

・生体鉱物化(バイオミネラリゼーション)

貝殻や歯など、生物が介在して作り出す鉱物の形成過程のこと。様々な動植物・細菌によって形成されることが知られており、カルシウム系とシリカ系を代表として多様な鉱物が形成される。タンパク質や多糖など生体高分子の関与により形成されていると考えられるが、詳細は明らかでな

いことが多い一方、生体に馴染みやすいなどの特性をもち、その利用や応用が期待され研究されている。

■研究プロジェクトについて

本研究は、島根大学生物資源科学部附属センター海洋生物科学部門(隠岐臨海実験所)の吉田真明 准教授と和歌山工業高等専門学校のスティアマルガ デフィン 准教授が主責任者で、サンプル採取から進化解析、貝殻タンパクの成分分析など研究の主な部分を行いました。加えて、東京大学大学院理学系研究科の大学院生で和歌山工業高等専門学校卒業生の廣田主樹氏と総合研究博物館の佐々木猛智 准教授(貝殻タンパク質の解析担当)、国立遺伝学研究所の豊田敦特任教授と東京工業大学の伊藤武彦教授(ゲノム解析担当)も共同で研究に参加しました。

本共同研究は、2022年10月26日(水)に英文論文誌 Genome Biology and Evolution にオンライン版が掲載されました。この研究は、文部科学省科学研究費助成事業(18K06363, 19K21646, 22K06340)、先進ゲノム支援事業(PAGS)(16H06279)、Human Frontier Science Program grant(RGP0060/2017)、旭硝子財団(2016年)、および藤原ナチュラルヒストリー財団(2017年)の助成を受けて実施しました。

■論文情報

論文タイトル: Gene Recruitments and Dismissals in the Argonaut Genome Provide Insights into Pelagic Lifestyle Adaptation and Shell-like Eggcase Reacquisition (カイダコゲノムにみる遺伝子の再登用と削除が、浮遊生活への適応と貝殻状卵囊の再獲得に関する洞察を提供する)

著者: 吉田真明*1, 廣田主樹*2,3, 井元順一*4,5, 奥野未来*6, 田中裕之*7, 梶谷嶺*7, 豊田敦*5, 伊藤武彦*7, 池尾一穂*5, 佐々木猛智*8, スティアマルガ デフィン*3,8
*1 島根大学生物資源科学部 *2 東京大学大学院理学研究科 *3 和歌山工業高等専門学校
*4 水産資源研究所 *5 国立遺伝学研究所 *6 久留米大学 *7 東京工業大学
*8 東京大学総合博物館

掲載誌: Genome Biology and Evolution.

URL: <https://doi.org/10.1093/gbe/evac140>

■本件の連絡先

〈研究に関すること〉

島根大学 生物資源科学部附属生物資源教育研究センター
海洋生物科学部門(隠岐臨海実験所)
准教授 吉田 真明

独立行政法人 国立高等専門学校機構
和歌山工業高等専門学校
准教授 スティアマルガ デフィン

〈報道に関すること〉

島根大学 企画部 企画広報課 広報グループ

国立遺伝学研究所 リサーチ・アドミニストレーター室 広報チーム

独立行政法人 国立高等専門学校機構

和歌山工業高等専門学校

総務課 総務・企画係