コラム

安定同位体比が明かしたアンモナイトの棲息水深

早稲田大学 教育・総合科学学術院　教授　守屋和佳

1. 地球と生命の歴史

地球は約 46 億年前に誕生し，それ以降，地球とそこに育まれた生命はさまざまな歴史を経て，現在の姿にたどりついた。現在の地球上に存在する生命のような，私たちの肉眼で見ることのできる大きさの生物は，およそ 6.1 億年前に誕生した。つまり，地球誕生以降の約 87%の期間にあたる最初の 40 億年間は，私たちの目に見えるような生物はほとんど存在せず，バクテリアやアーキアなどの微生物が大活躍していた時代であった。

2. 過去の地球に繁栄した生物の記録

では，過去に地球上に存在した各々の動物は，どの程度の期間存続したのだろうか？中生代を代表する動物である恐竜は，およそ 2.5 億年前の三畳紀に誕生し，6600 万年前の白亜紀末に絶滅するまでの約 1.8 億年の間，まさしく地上を支配した動物であった。しかし，恐竜でさえ，地球全体の歴史の約 4%の期間しか存在していなかった。同じ頃，海洋に大繁栄し，恐竜とともに絶滅した動物がアンモノイド類である。アンモノイド類は，約 4.2 億年前に出現し，白亜紀末に絶滅するまでの約 3.5 億年間，すなわち，地球の歴史のおよそ 7.6%の期間に存在した動物である。この 3.5 億年の間に生存していたすべての種を総称してアンモノイド類とよび，特に，ジュラ紀から白亜紀に生存していた種のみを指してアンモナイトとよぶ。私たちの目に見える生物が存在した期間が，地球の歴史のおよそ 13%の期間であることを考えると，アンモノイド類はその半分以上もの期間，地球上に存在した動物ということになる。

また，約 6 億年の動物の進化の歴史には，5 回の大量絶滅とよばれる事象があった。アンモノイド類はそのうちの 4 回の大量絶滅イベントを経験しており，3 回はかろうじて生き延びたものの，最後の大量絶滅イベントである，白亜紀末に完全に滅びた。このように，アンモノイド類は，過去の地球上に存在した動物のなかでも，地球の環境変動に対応し続けながら存続し，最後には絶滅するという，ダイナミックな地球と生命の進化の証拠だといえる。

3. アンモノイドという生き物

では，アンモノイド類は一体どのような生物だったのだろうか？現在の地球上に生存し，アンモノイド類に最も近縁な生物は，イカやタコなどの頭足類（軟体動物）である。アンモノイド類は，軟体部がおさまる住房とよばれる部分の他に，殻室とよばれる気体で充填された多数の部屋をもつ殻を有し，そのおかげで海洋中で浮きも沈みもしない，中立の浮力をもっていたと考えられている（図 1）。一見すると，現在のイカとは大きく異なるように見えるが，コウイカなどの一部の現生のイカも浮力を得るための殻をもっており，アンモノイド類と多くの共通点がある。ただし，イカは殻を軟体部の中にもっているのに対し，アンモノイド類は軟体部の外に殻があったという違いがある。一方で，アンモノイド類の外見は現生のオウムガイとよく似ているが，オウムガイはアンモノイド類の祖先にあたる生物で，イカとの関係に比べると異なる点が多いこともわかっている。

アンモノイド類は，海洋の中で中立の浮力をもっていたと考えられることと，現生のオウムガイとの外見上の類似から，アンモノイド類は海洋の中を自由に遊泳する生物だと推測されていた。

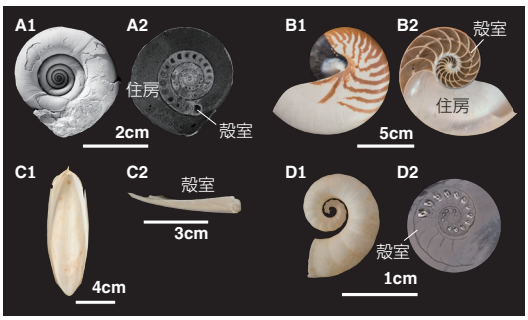


図 1　有殻頭足類の殻。アンモナイト（*Gaudryceras tenuiliratum*）（A），現生オウムガイ（B）。現生コウイカ（C）。現生トグロコウイカ（D）。A1，B1，C1，D1 は殻の外形を示し，A2，B2，C2，D2 は殻の縦断面を示す。D2 は樹脂で包埋されている。

4. 未解明だった棲息水深の秘密

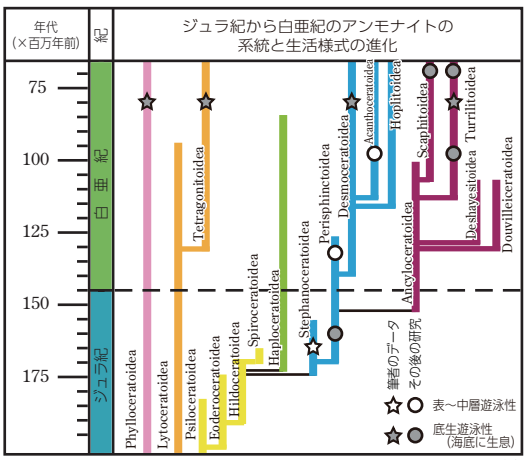
ところが，アンモノイド類が積極的に海洋中を遊泳する生物であることを示す科学的証拠は，200年以上のアンモノイド類の研究史においても得られていなかった。これまでの研究では，アンモノイド化石の形態をオウムガイやコウイカと比較したり，流体力学的な実験が行われたりしてきたが，確証を得るには至っていなかった。そこで，この問題の解決のために，安定同位体比分析という新たな手法が導入された。アンモノイド類の殻は炭酸カルシウムから形成されており，炭酸イオン（CO_3^{2-}）とカルシウムイオン（Ca^{2+}）を含んでいる。その中の酸素（O）には，質量数の異なる安定同位体である ^{16}O，^{17}O，および ^{18}O が存在する。炭酸カルシウム中の ^{16}O と ^{18}O の比率は，炭酸カルシウムが沈殿した際の水温に比例することがわかっている。つまり，化石として保存されているアンモノイド類の殻の ^{16}O と ^{18}O の比率を測定すると，その個体が殻を形成したときの，その場の海水温を逆算することができる。さらに，分析対象の個体が生きていた当時の海洋の表層から海底までの水温の勾配がわかっていれば，その殻が示す水温と比べることで，そのアンモノイド個体の棲息水深を決定することができる。

5. ついに明かされた秘密

この原理を利用して，およそ8000万年前のアンモナイト9種の棲息水深を決定したところ，予想を覆す結果を得るに至った。分析を行う前は，過去の多くの研究者が考えていたように，アンモノイド類は海中を遊泳していた生物なので，海洋の表層から中層程度の水温が算出されると期待していた。ところが，さまざまな形態をした9種のアンモナイトを分析したところ，それらのすべてが海底付近の水温を示した。すなわち，これらのアンモナイトは海洋中を遊泳していたのではなく，常時海底付近に棲息していた生物であったことが明らかになった。これは想定外の結果であった。一方，この生活様式は，現生の殻をもったイカやタコの一部にみられる，積極的な遊泳をせず，海底付近を漂うような生活様式と類比できるものであった。そこで，最終的には，分析に用いた9種のすべてのアンモナイトは，海底付近を漂うように生活していたと結論するに至った。

6. 新たな謎と太古の地球生命史への挑戦

筆者の研究後，世界中の研究者がこの研究に追随し，アンモナイトのより多くの種の分析が行われたが，驚くことに，そのほとんどが海底付近に棲息していたことが明らかになった（図2）。ところが，ここでまた大きな謎が浮かび上がった。白亜紀末にまで存続していた系統の多くは海底付近に棲息していたが，一部のアンモナイトは従来の考えのように，海洋中を遊泳していたことが明らかになった（図2）。つまり，「海底付近を漂う」と「海洋中を遊泳する」という全く異なる生活様式をもっているアンモナイトのすべてが同時に絶滅したことになる。これは，アンモノイド類の絶滅には成体の棲息水深から推測される生活様式は無関係で，他の要因があったことを示唆している。すなわち，アンモノイド類の絶滅の謎は未だに解き明かされていない研究対象となっている。



Moriya (2015, PNAS) を改変

図2　ジュラ紀から白亜紀のアンモナイトの系統図と，これまでに明らかになっているアンモナイトの棲息水深。白塗りの記号は海洋の表層～中層を遊泳していたグループ。灰塗りの記号は海底付近に棲息していたグループ。縦軸は年代（×百万年前）で，各々の系統においてデータが得られた年代に記号を配置している。星記号は筆者自身のデータによる結果で，丸記号はその後の研究による結果を示す。

参考文献

1) Moriya, K. *PNAS* (2015), https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1520961112.

2) Moriya, K., Nishi, H., Kawahata, H., Tanabe, K. and Takayanagi, Y. *Geology* (2003). https://doi.org/10.1130/0091-7613(2003)031<0167:DHOLCA>2.0.CO;2.