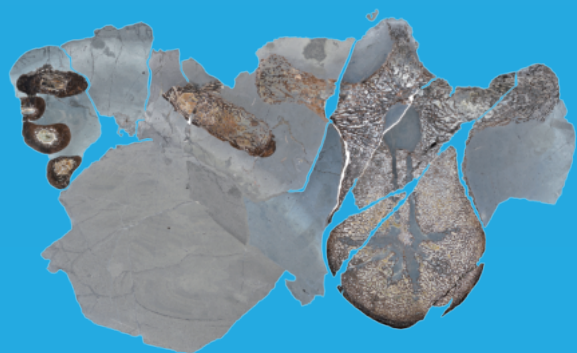


令和4年度 金沢大学資料館特別展

サイエンスイラストレーション で魅せる古生物学

— 竜骨群集と鯨骨群集： —

— 首長竜，ウミガメ，クジラの遺骸に群がる生物 —



2022

金沢大学資料館

金沢大学理工学域地球生物学研究室

ごあいさつ

令和4年度の金沢大学資料館特別展は、本学理工学域地球社会基盤学類の准教授であるロバート・ジェンキンズ氏の企画によるものです。夏休み期間中ということもあり、小学生から高校生までが楽しめる古生物学の展示となります。当館は大学の附属施設ですので、これまで小学生は入りにくかったと思います。この特別展が、中高生にとってはもちろん、小学生にとっても大学という場所を訪れる機会になれば幸いです。展示は、大人でも楽しめるものになっていますので、親子連れでお楽しみいただける内容となっております。

特別展のタイトルは「サイエンスイラストレーションで魅せる古生物学 - 竜骨群集と鯨骨群集：首長竜、ウミガメ、クジラの遺骸に群がる生物 -」です。

サイエンスイラストレーションとは、科学的な内容をわかりやすく説明・表現するための図全般を指します。標本画や復元画などです。

本特別展では、古生物学分野の「復元画」を題材に、イラストレーターと研究者の協働による制作工程をわかりやすく説明します。特に海に生息していた首長竜やウミガメ、クジラなどが遺骸となって海底に沈んだ後、そこに新たな生態系が形成される様子を精細な「復元画」をとおしてイメージしていただき、古生物学の先端的な研究に理解を深めていただければ幸いです。そして、科学的な知見がどのようにイラストに織り込まれていくかをご覧ください。

最後に、本特別展の開催にあたって、多大なご協力をいただいたロバート・ジェンキンズ氏、大橋智之氏、小田隆氏、菊谷詩子氏、關明日香氏、堀江栞氏、石川県立自然史資料館、中川町エコミュージアムセンター、白山市文化財保護課、北海道大学総合博物館ほか、全ての皆様に心より感謝申し上げます。

令和4年7月20日
金沢大学資料館長
足立 拓朗

【凡例】

- ・本書は、金沢大学資料館・金沢大学理工学域地球生物学研究室主催による令和4年度金沢大学資料館特別展「サイエンスイラストレーションで魅せる古生物学 - 竜骨群集と鯨骨群集：首長竜、ウミガメ、クジラの遺骸に群がる生物 -」に合わせて作成した展示図録である。
- ・本書の構成と展示の構成は、一部異なる。
- ・本書の作成にあたっては、金沢大学理工学域地球社会基盤学類准教授のロバート・ジェンキンズ氏が主に執筆を担当し（他の執筆者は該当箇所に明記）、金沢大学資料館が編集を行った。
- ・本特別展の開催と本書の作成にあたって、小田隆氏（イラストレーター／京都精華大学）、大橋智之氏（北九州市立いのちのたび博物館）、菊谷詩子氏（サイエンスイラストレーター）、關明日香氏（金沢大学研究協力員）、堀江栞氏（画家）、石川県立自然史資料館、中川町エコミュージアムセンター、北海道大学総合博物館、白山市文化財保護課に多大なご協力をいただいた。記して感謝申し上げます。

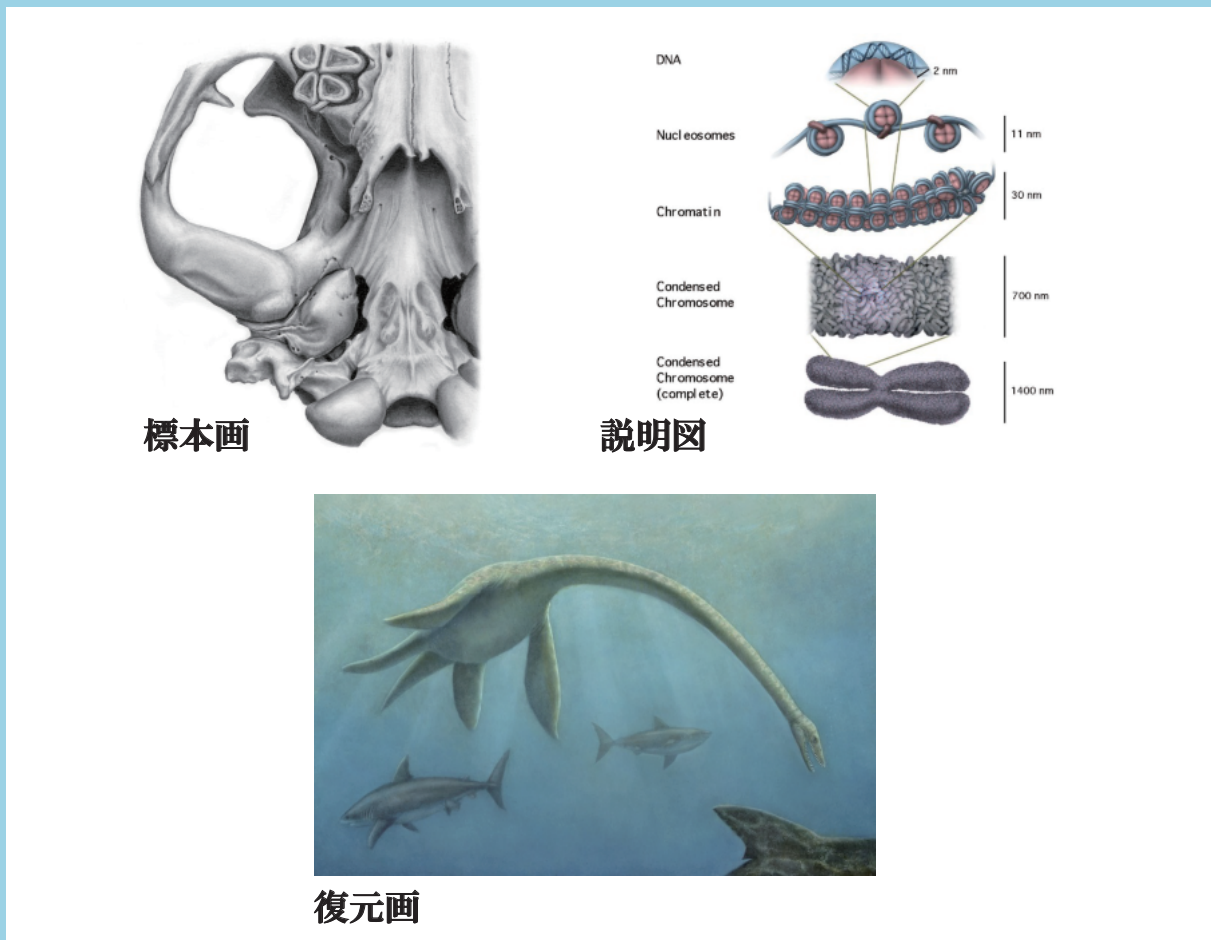
I 白亜紀を描く



サイエンスイラストレーションとは

イラストレーションの語源はラテン語の *illustratus* という、上から光を当てるようにするという意味を持つ単語に由来し、転じて説明するという意味になった。イラストレーション（イラスト）と聞くと“可愛らしい絵”もしくは単に“絵”をイメージする人が多いと思うが、実は「説明」するための「絵」が本来の意味である。

そのようなイラストレーションの中で、科学的な事象・事実に基づいた絵を「サイエンスイラストレーション」と呼ぶ。このため、サイエンスイラストレーションには、正確さ、誤解の無さ、わかりやすさが求められる。では、以下の図のどれがサイエンスイラストレーションにあたるだろうか？



左上、コビトカバ *Choeropsis liberiensis* の頭蓋の標本画 (O' Leary, 2016)

右上、DNA におけるクロマチンの凝集についての説明図

下、フタバズキリュウの復元画

(いずれも画：菊谷詩子)

答えは「全て」である。標本画も模式的な説明図も復元画も、そのすべてがサイエンスイラストレーションに含まれる。標本画は、標本や写真から科学的な視点で情報を抜き出して表現することなので、これもサイエンスイラストレーションに含まれる。

では、サイエンスイラストレーションは誰が描くのだろうか？研究者もしくは科学的知識を持つサイエンスイラストレーターである。標本画や説明図は研究者自身が描くことも多い。しかし、復元画となると、研究者ではなく、プロのイラストレーターが描くことが多い。つまり、対象物を研究する研究者と科学的素養を持つイラストレーターの共同作業によって、サイエンスイラストレーションは描かれるのだ。

*O' Leary, M. A. (2006) Comparative basicranial anatomy of extant terrestrial and semiaquatic Artiodactyla. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 409, 55pp.

白亜紀の時代背景

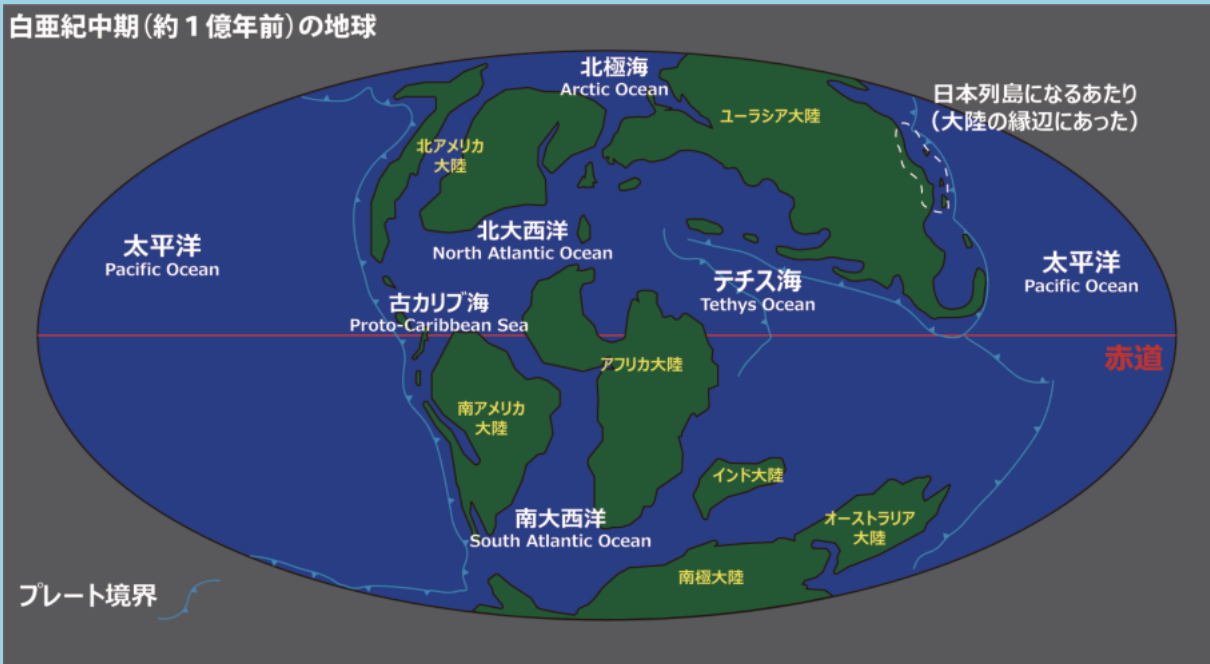
本特別展の大部分は、恐竜時代ともいわれる「白亜紀」を題材としている。その中でも、ややマニアックな、海底に沈んだ首長竜などの海棲爬虫類の遺骸に依存した生態系「竜骨群集」に焦点をあてている。マニアックな世界に入る前に、「白亜紀」という時代やその時代の一般的な陸や海の世界をいくつかの復元画や写真、標本とともに見ていこう。

白亜紀は今から約1億4500万年前から6600万年前の時代である。活発な火山活動によって大気中の二酸化炭素濃度は現在の約5倍から10倍もあり、「温室地球」と呼ばれる温暖な時代であった。北極や南極には氷床がなく、海水面は今よりも約200mも高かった時代である。

白亜紀は恐竜が陸上を闊歩していた時代であり、被子植物が出現した時代でもある。そう、「花」が咲き始めたのは白亜紀である。春先に大型の花が咲くモクレンの仲間は、花をつける被子植物の最も原始的な一群である。それまで栄えていたシダ類やイチョウなどの裸子植物の世界に少しずつ彩りが加わってきたわけだ。

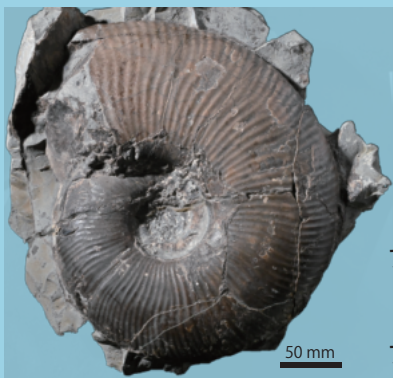
海では多種多様なアンモナイトが泳ぎまわり、海底には1mにも達するようなイノセラムスという二枚貝が栄えていた。そして、首長竜やモササウルスなどの海棲爬虫類も生息していた。現在よりも大型のサメも生息しており、当時の海が現在よりもはるかに“危険”な海であったことはジュラシック・ワールドの映画などからも容易に想像できるだろう。

その当時、日本は列島ではなくユーラシア大陸の縁辺にくっついていて、大きな湖もあり、その一つが手取湖であり、そこで形成された地層が石川県や福井県、富山県、岐阜県にまたがって分布している（一部は海で形成されたが、多くは河川や湖などの陸水系で形成された）。いくつかの復元画で当時の“石川県”を見てみよう。



白亜紀の古地図

約1億年前（白亜紀中期）の地図。大西洋は拡大を開始して間もない時代なのでまだ小さく、その代わりに、太平洋が今よりも広がった。インド大陸もまだ南にあり、ユーラシア大陸に衝突していなかった。日本はユーラシア大陸にくっついており、日本海も存在していなかった。

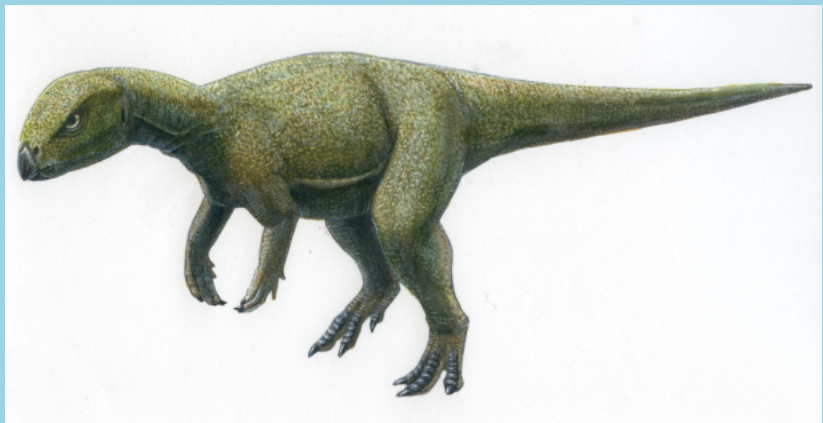


アンモナイト

北海道夕張市の後期白亜紀の地層から採集された直径約30cmのアンモナイト。アンモナイトは首長竜などに食べられていたことが首長竜の胃内容物にアンモナイトのくちばし（カラストンビ）が含まれていたことから明らかになっている。（金沢大学地球生物学研究室所蔵）

単体の恐竜の復元画の例

右は、石川県白山市にある「桑島化石壁」から産した植物食恐竜「アルバロフォサウルス・ヤマグチオロウム」の復元画である。大橋智之氏（北九州市立いのちのたび博物館）が大学院修士課程だったときに研究をはじめ、2009年に新属新種として発表した。その後、2015-16年に復元画が制作された。このときの様子を大橋氏にインタビューしたところ、以下のような回想を語ってくれた。



アルバロフォサウルスの復元画（画：菊谷詩子，白山市文化財保護課所蔵）

化石の観察によって得られた形態情報を元に系統解析を行ったところ、このアルバロフォサウルスは、原始的な角脚類（角竜類と鳥脚類を含むグループ）であることがわかった。復元画を制作してもらった段階で困ったことは、この化石は頭部の左半分しかなかったことである。



アルバロフォサウルス・ヤマグチオロウムの化石標本写真（顎部分の一部は比較的保存されているがそれ以外の骨や歯はバラバラになっている。各部位を詳細に観察し頭骨の形質・形状を復元していった。左方向が前方向であり、写真に見えている部分が頭骨の左側）

化石で明瞭に観察された目の上の膨らみは復元に反映してもらった。それ以外の体部分はどうするか？頭部以外の体の大部分の情報は近縁の系統を参考にするしかない。原始的なグループには小指と薬指にツメはなく、指そのものも痕跡的に見えるものが多い。体のプロポーションは、スリムでも四つ足でもなく、典型的な角竜類や鳥脚類の特徴をむしろあまりでないようにしてもらったのだ。制作した菊谷氏はプロのサイエンスイラストレーターとして第一線で活躍していたのでこちらの意図を的確に汲み取って復元画が完成していった。

この経験を元にあらためて「復元画」について考えてみると、「復元画」には確たる証拠に基づく部分とごく近縁のグループに基づく推定や現生の生物における一般的知識など、様々な精度の情報が混在していることに気づかされる。「復元画」はサイエンスの一部をなすので、科学者やイラストレーターは、説明責任として、それぞれの復元画の要素が何に基づいており、それがどれくらい確からしいのかについて明示する機会があっても良いかもしれない。しかしながら、そのような機会はほとんどないのが現状である。その観点で言えば、今回の特別展のように「復元画」の制作プロセスを明らかにする試みは、「復元画」に対する“説明責任”の一つの形として「復元画」をより科学的な地位に押し上げる好例となりうるだろう。

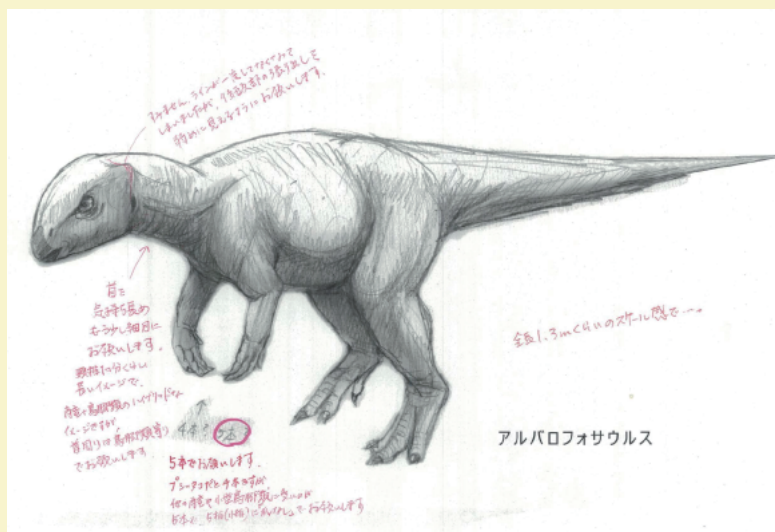
ここで実際に復元画を制作した菊谷詩子氏にインタビューを行った。

大橋氏が述べているように、古生物の生体復元画を行う際に注意しなくてはならないことは部位ごとに証拠の精度が異なっており、言わば「情報のモザイク」になっていることである。標本そのものを描く標本画や何らかの事象を説明する説明図においてはエラーバー（誤差）が小さいのに対して、復元画の持つエラーバーは大きくなる。化石はそもそもが不完全であり、化石自身が持つ情報量が標本毎に大きく異なる。それに加えて、近縁種や現生種のデータがあるのかなどによって異なってくるからだ。このようなとき、研究者とのやりとりをしながら各部分の精度を見極めていく。情報の精度が低い部分をどうするかは常に悩む。大きな曖昧さを含む中で結論を出さなければならない。科学を知っていればいるほど、悩みの大きくなる部分である。心がけていることは、可能性の一つを提示し続けていくことだ。同じ恐竜を展示会や図鑑毎に何度も描くことがあるが、そのたびに別の可能性を表現していくのだ。同種の恐竜を同じ描き手が描いても、図鑑毎に復元画が異なることがある。この理由は、新しい証拠が発見されたために化石情報の精度が向上して復元画が改訂されるケースと、化石自身の持つ情報の精度のエラーバーが大きいがために複数の可能性のうちの一つがその都度選択されたケースであるのだ。

もう一つ、心がけていることがある。「色」である。私自身が学生時代に動物学専攻でヒラメの体色変化を研究していたこともあり、体色に対するこだわりがある。恐竜は、鳥類や爬虫類同様4色型の色覚を持っていて紫外線も色として認識することが出来たので、我々ヒトよりも色鮮やかな世界を見ていたことだろう。それに伴い小型の恐竜では体色も華やかだったかもしれない。しかし、大型種が遠くから見ても目立つような鮮やかな色のウロコまたは羽毛を全身に纏っていたとは考えにくく、婚姻色など華やかな部分は、体の一部に限られていたのではないだろうか。

また、研究の論文やプレスリリースとともに出される復元画では色に関する印象を薄くするように努めている。その理由は、恐竜研究の多くは分類や形態についてであり、化石に証拠が残っていない色に関してではないからだ。研究によって明らかになった新事実に着目できるように、あえて目立たない色を選択することがある。それによって、研究の内容そのものに目が行くはずである。

この研究者とサイエンスイラストレーターのインタビューを通じて、「復元画」に織り込まれる情報は様々であることがわかる。さあ、ここから、様々な復元画や復元画の制作工程を詳しく見ていこう。



アルパロフォサウルスの復元画制作過程

背景を含めた復元画

最古の植物食トカゲ クワジマーラ・カガエンシス

手取湖の周辺には様々な恐竜類が生息していたことが特に福井県，石川県における発掘調査で明らかになってきた。前出の，原始的角脚類であるアルバロフォサウルスもその一つだ。恐竜だけではない。次に示すのはトカゲの一種であるクワジマーラ・カガエンシスである。ほとんどのトカゲは肉食性である。クワジマーラ・カガエンシスの歯を詳細に観察すると植物食であることがわかってきた。これは世界最古の植物食トカゲの発見となったのだ。



クワジマーラ・カガエンシスの復元画
(画：菊谷詩子，白山市文化財保護課所蔵)

クワジマーラ・カガエンシスの復元画を見てみよう。背景に手取層群桑島層（石川県白山市桑島に分布）から産するオニキオプシスというシダ植物が描かれている。植物食動物は多くの場合栄養価の高い被子植物を食すが，前期白亜紀にはまだ被子植物が栄えておらず，このようなシダ植物や裸子植物の芽などを食べていたと考えられる（Evans and Manabe, 2008）。復元画にそのような植物との関係性が匂わされているのである。

*Evans, S. E. and Manabe, M. (2008) An early herbivorous lizard from the Lower Cretaceous of Japan. *Palaeontology*, 51(2), 487-498.

生態系を描く復元画

手取の陸上と湖の中

これまでに古生物単体を描いた原始的な角脚類恐竜アルバロフォサウルスの復元画と，背景を含めて食性との関係を示唆する最古の植物食トカゲ（クワジマーラ・カガエンシス）の例を見てきた。このように，科学的な事象のうちの何を表現したいかによって復元画に反映させる要素は異なってくる。

石川県白山市に分布する手取層群のように，多種の化石が発見されてくると，生物相全体や生態系を表すように描かれることもある。ここで，小田隆氏によって描かれた白亜紀初頭の手取の森と湖の例を見てみよう。水が豊富に存在する森に，恐竜だけではない多様な動物達が生息している。水の中にも多様な動物が生息している。魚類はもちろんのこと，スッポンの仲間や貝類などである。いずれも化石が発見されているものだ。そしてこの復元画には魚が食われている様子が描かれている。手取の森と湖には多様な生物が生息し，喰う喰われるといった食物連鎖が存在していたことを描くことでこれらの生物同士のつながりを表現したのだろう。

この2つの復元画にはもう一つ注目すべきところがある。森の復元画において，倒木とともに恐竜の遺骸（頭骨）が描かれている。生き物の生から死が表現されるとともに，遺骸が1億年以上の時を経て我々の前に姿を現すことを暗示しているのだ。そのことは水の中の復元画で明示されている。陸上に生息していた恐竜の頭骨が水底に半分埋没しているのだ。これはまさに化石化の過程を示しており，1億年前と現在のつながりを実感させられる。



手取を描いた「白亜紀初頭の森の風景画」
(画：小田隆，白山市文化財保護課所蔵)



手取を描いた「白亜紀初頭の湖の風景画」
(画：小田隆，白山市文化財保護課所蔵)

II 海中遺骸と生態系の世界 — 竜骨群集の世界 / 首長竜編 —

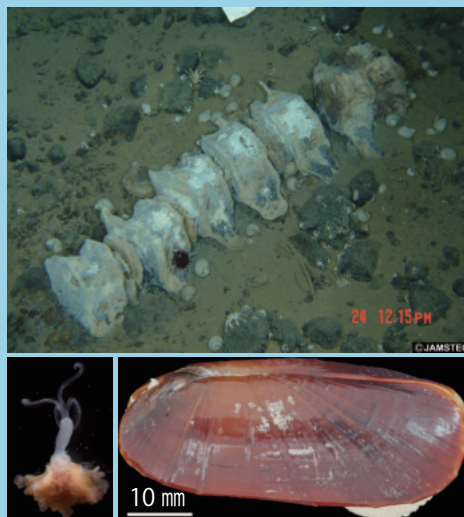


鯨骨群集：巨大な遺骸に形成される生物群集

死んだ鯨が海底に沈むと、ヌタウナギやサメ、カニの仲間などが鯨の腐肉を漁り、骨だけにしていく。骨だけになっても多様な生物が遺骸に生息する。骨には多量の有機物が含まれており、その有機物をエサにしたり、有機物の分解過程で生成される硫化水素をエネルギー源にしたりする生物が生息するのだ。このような鯨類遺骸に形成される生物群集を鯨骨依存生物群集（略して、鯨骨群集）と呼ぶ。

右の写真は潜水調査艇「しんかい6500」がブラジル沖で2013年に発見した鯨骨群集である。骨の周りにシンカイコシオリエビ類や巻貝類が生息しているのがわかる。よく見ると、骨内部から赤い触手を伸ばしているホネクイハナムシの仲間も見える。ホネクイハナムシ類は骨内に“根”を張り、骨を解かして骨内にある有機物をエサにする特殊な生き物である。他にも、硫化水素をエネルギー源とするシロウリガイ類やキヌタレガイ類が知られている。彼らは鰓に、硫化水素を酸化してエネルギーを得るイオウ酸化細菌を共生して栄養を得ている。

このような鯨骨群集は1989年に発見され、その後、化石でも発見されている。ところで、鯨がいなかった時代には鯨骨群集はいなかったのだろうか？鯨類は、陸上で進化した哺乳類が約5000万年前ごろから海に再進出したグループである。恐竜が陸上を闊歩していた1億年前には、首長竜をはじめとした海棲爬虫類が海洋を席卷していた。彼らの遺骸にも“鯨骨群集”があってもよいはずだ。

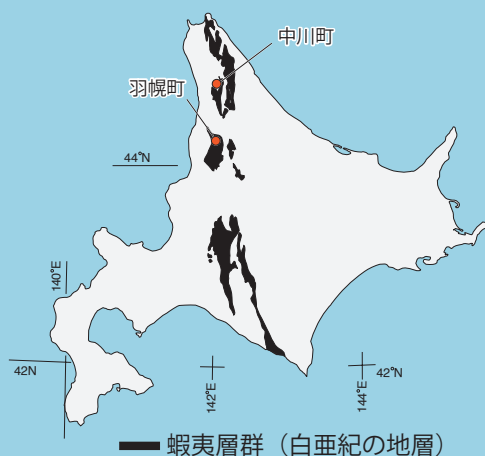


上、ブラジル沖の水深約4200mで発見された鯨骨群集。骨表面に白色の微生物マットが覆っており、ウニや巻貝が骨上に見える。写真右上の骨からはホネクイハナムシの赤い触手が出ている。(写真提供：JAMSTEC)
下左、鹿児島県野間岬沖の鯨骨から発見されたホネクイハナムシの全体像。触手部分を骨から出して酸素を吸収している。下半分の“根”は骨の中に埋もれ、骨内有機物を摂食する。(写真提供：宮本教生)
下右、同じく鹿児島県野間岬沖の鯨骨から発見されたアブラキヌタレガイ。鰓にイオウ酸化細菌を共生し、硫化水素をエネルギー源に生きる特殊な二枚貝。

世界ではじめての竜骨群集の発見

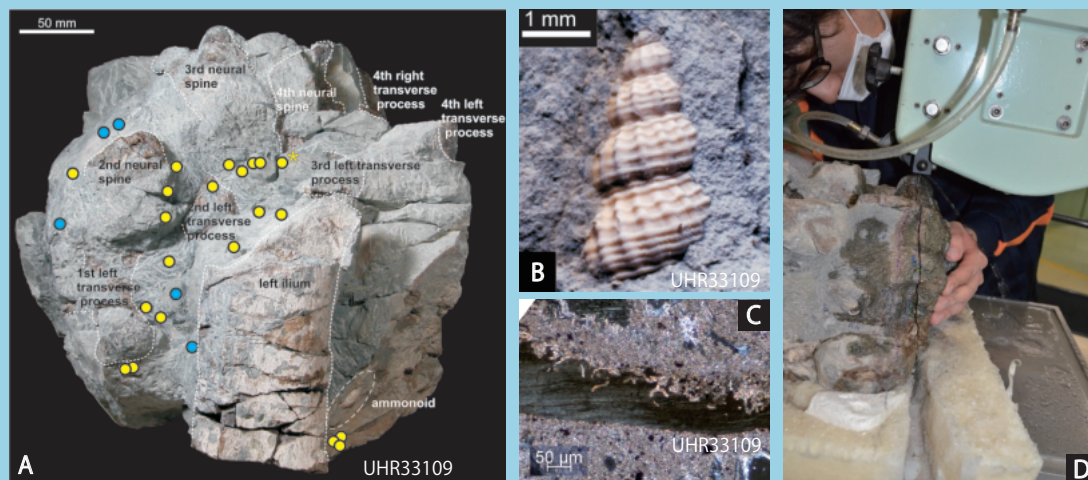
2006年、北海道大学に収蔵されていた首長竜2体から“鯨骨群集”とよく似た化石群集が発見された。首長竜の胃内容物にアンモナイトが含まれていないか調査していた東京大学の棚部一成教授（現・東京大学名誉教授）が、骨周囲に多数の巻貝化石があることに気づいた。深海極限環境の化石を研究していたアンドレイ・カイクム氏（ポーランド古生物学研究所）とジェンキンス氏が知らせを受けて研究メンバーに加わり、研究が開始された。

この首長竜はいずれも北海道羽幌町に分布する後期白亜紀の地層から発見されたものだった。うち、1体がより詳細に研究された。脊椎骨が複数連結しており、海底に着底してから大きな運搬を被っていないことが推測された。骨のまわりに多数分布していた巻貝は、深海の湧水・熱水に特徴的に生息して細菌を摂食もしくは共生するハイカブリナ類であった。骨の欠片を切断してみると、骨に



北海道における蝦夷層群の分布図
蝦夷層群は主に白亜紀の浅海～深海で形成された地層群

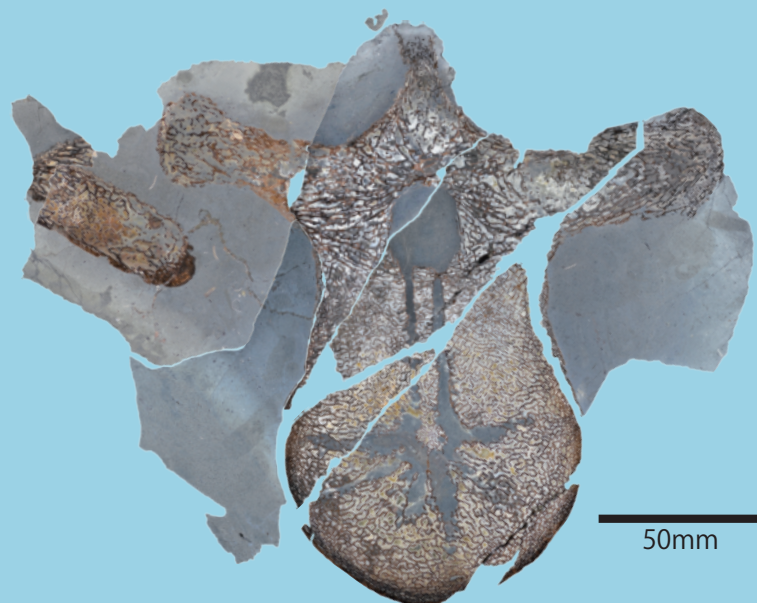
は細菌の穿孔痕とみられる直径数 μm の穴が多数あいていた。また、骨の周りには微量な黄鉄鉱の沈殿も確認された。黄鉄鉱は硫化水素の存在により沈殿するので、当時、骨の周囲に硫化水素が存在し、硫化水素をエネルギー源とするイオウ酸化細菌からなるバクテリアマットが骨を覆い、そこにハイカブリニナ類などのバクテリアマット食の巻貝が多数生息していたことが推測された。鯨のいない白亜紀に、首長竜に依存した“鯨骨群集”が存在したことが明らかになり、2008年に論文として公表された (Kaim et al. 2008)。



- A 後期白亜紀の首長竜の骨化石（北海道羽幌町産；北海道大学収蔵標本 UHR33109）
- B 骨化石（UHR33109）の近傍から産したハイカブリニナ類（巻貝）
- C 骨化石の薄片。黒い部分が骨。周囲の明るい部分は堆積物。骨の上側に虫食い状の穴が多数見られる。微生物による骨穿孔の痕だと考えられる。
- D 骨を切断している様子

その後、このような海棲爬虫類遺骸に形成される遺骸依存生物群集は小説家の朱野帰子氏によって「竜骨群集」と命名された。そして、竜骨群集の研究は、現在、金沢大学地球生物学研究室によって精力的に進められており、北海道中川町から産した別の首長竜化石からもキヌタレガイ類（イオウ酸化細菌を共生する原始的な二枚貝）が発見されるなど、追加事例が蓄積されつつある。

最初に竜骨群集が発見された首長竜についても追加研究がなされている。脊椎骨全体を輪切りにしたのが下の写真である。海棲脊椎動物の脊椎骨は、大部分の骨がスカスカの海綿骨で構成され、骨表面が緻密な骨（緻密骨）で覆われている。この首長竜の脊椎骨では、脊椎骨の下側（腹側）では緻密骨があるが、上部（背側）にいくにつれて緻密骨がなくなり、突起部分では緻密骨はほぼ確認出来ない。それどころか、上部域では海綿骨すらも穴があげられている。どうやら、この脊椎骨は下側を海底にして沈積し、上部になるにつれてバクテリアやホネクイハナムシ様動物が多く生息して骨そのものが激しく分解されたようだ。それではここで、このマニアックな「竜骨群集」の世界の復元画を見てみよう。



後期白亜紀の首長竜化石（北海道羽幌産；北海道大学収蔵標本 UHR33109）の研磨断面（数枚の研磨片の写真を合成している）

灰色部が堆積物、茶色が骨、白っぽい色部分は骨内空間に晶出した鉱物（炭酸塩鉱物）。骨表面は緻密骨であり、骨内部は海綿骨であるが、骨表面の緻密骨は下方ではしっかりと残っているが、上方になるにつれて薄くなり、半分より上ではほぼ欠損している。遺骸の分解過程で微生物による生物侵食で緻密骨が消失したと考えられる。

* Kaim, A., Kobayashi, Y., Echizenya, H., Jenkins, R. G. and Tanabe, K. (2008) Chemosynthesis-based associations on Cretaceous plesiosaurid carcasses. *Acta Palaeontologica Polonica*, 53 (1), 97-104.

竜骨群集の復元画

竜骨群集の復元画は2012年に堀江葉氏によって3枚セットの絵として描かれた。首長竜遺骸全体が含まれる全体像と、骨上に生息する巻貝と海底下に生息する二枚貝をそれぞれ拡大した図である。



上、竜骨群集の全体像 右下に海底下断面を表示し、海底下に生息する生物（キヌタレガイ類やハナシガイ類）を描いている。白色をバクテリアマット、黒色を無酸素・高硫化水素環境として、茶色を酸化層として化学環境の情報も織り込んでいる。

左下、骨上に繁茂したバクテリアマット上に生息するハイカブリニナ類とシンカイサンショウガイ類（いずれも巻貝）を描いている。

右下、遺骸周辺の海底下に生息するキヌタレガイ類とハナシガイ類を描いている。

（いずれも画：堀江葉）

堀江葉氏は、岩絵具と墨、^{にかわ}膠などを使って制作する画家である。この復元画にも岩絵具が用いられている。岩絵具の持つ粒状感が、海底を構成する泥をうまく表現している。少し視線をずらすと随分と印象が変化する。見る角度、光の角度によって変化する。なんだか、実際に白亜紀の深海底を潜水艇で探査して竜骨群集と出会った気分になる復元画である。

竜骨群集の復元画ができるまで

堀江栞という画家 竜骨群集復元画の制作依頼

岩絵具は鉱物を砕いてつくる画材である。その粒の一つ一つを大切に作る堀江氏は、本来、そこにあるものを描く画家である。モチーフと真摯に向き合い、そのものがもつ「生」を引き出していく。そのような堀江氏にとって、竜骨群集のように過去には実在していたが、今はその形が化石としてしか残っていないものを描くのは困難であったと想像される。

この復元画を描いた当時、堀江氏は多摩美術大学の学生であった。様々なモチーフと向き合う中で、ある博物館で標本と向き合う堀江氏がいた。標本は、すでに死んだ動物であるが、その標本と向き合うことで「死」から「生」を覗いていたのであろう。堀江氏の描く動物は、静かだけれども「生命」の奥深くの秘められた意思を放っている。「死」から「生」という観点は、首長竜の死骸を糧として生きる竜骨群集と通じる。このことから、「竜骨群集」の復元画制作が堀江栞氏に依頼された。

国立科学博物館でフタバズキリュウの産状をデッサン

竜骨群集が発見された標本は複数の脊椎骨や肋骨などを含む岩石ブロックからなっていたが、全体像がわかりにくい標本であった。そこで、化石の産状（骨の配置や地層との関係など）がレプリカとして国立科学博物館に展示されているフタバズキリュウが参考にされた。博物館の休館日に特別に許可をもらって、産状レプリカのデッサンをしてもらい、全体の構図を決めることになった。ここでフタバズキリュウの産状の特筆すべき点として頭骨の位置がある。頭骨が頸椎の延長上になく、むしろ尾に近い離れた位置にある。分解過程で首の先や頭だけ分離し



国立科学博物館の休館日にフタバズキリュウの産状レプリカをデッサンする堀江氏



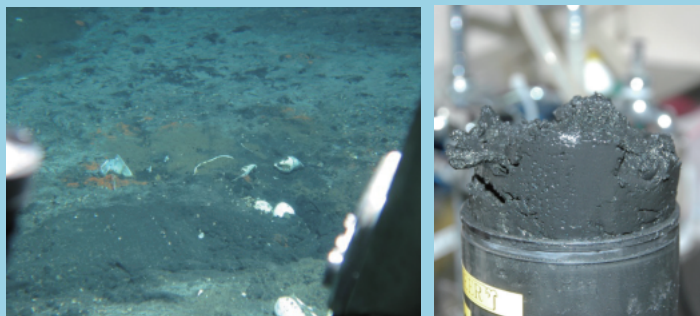
フタバズキリュウの産状レプリカをもとにした堀江氏のデッサンにジェンキンス氏が修正指示を書き入れたもの

たのであろう。竜骨群集の復元画としては、わかりやすさや全体の構図バランスの中で頭骨は本来の位置に比較的近い場所に置くことになった。このときのデッサンに各種修正指示がわったものが左の図である。

北海道大学で首長竜を研究した望月直氏からもそれぞれの骨の向きなどにコメントをもらい、全体の構図が決まっていた。

首長竜遺骸全体が海底の化学環境（酸素・硫化水素濃度）を堆積物の色で表現

竜骨群集の復元画制作において重要なポイントがある。化学環境を織り込むことである。竜骨群集は、首長竜などの海棲爬虫類の遺骸に含まれる有機物を直接のエサにしたり、有機物が分解される際に生成される硫化水素をエネルギー源にする生物の集まりである。有機物の分解などに酸素が利用されるため、遺骸周辺の酸素濃度は低くなる。このような酸素・硫化水素濃度といった化学環境を「絵」の中でどう表現すればいいのだろうか？



左、相模湾の深海底におけるメタン湧水帯の写真

海底面には白いバクテリアマットが分布し、潜水艇によって削られた海底下の堆積物の色は表層こそ酸化した茶色を呈するが、その下は黒色に近い。(写真提供：JAMSTEC)

右、相模湾の湧水帯で実際に採集した堆積物コア試料

で表現できる。こうして、酸素が豊富な場所を茶色で、酸素が少なく硫化水素濃度が高い場所を黒色で、そしてバクテリアマットが形成される海底面・骨上を白色で塗り分けて化学環境を表現してもらうことになった。堀江氏には、骨から離れるに従って海底断面に見える茶色の層（酸化層）の厚さが増すイメージになるようお願いし、また、海底が黒色になるエリアとバクテリアマットの繁茂エリアを指示したのだ。

近縁生物の生態、生息場所、生活様式の情報を導入

復元画には竜骨群集を構成する各種生物も当然描き込まなくてはならない。北海道大学標本（標本番号UHR33109）からは多数のバクテリアマット食の巻貝（ハイカブリニナ類）が発見されていた。また、未記載ではあるが、北海道中川町エコミュージアムに収蔵されている首長竜（NMV1）にはキヌタレガイ類やツギガイ類などのイオウ酸化細菌と共生する二枚貝が発見されていた。これらを復元画に入れるには彼らの生態情報が不可欠である。ここでも現生から得られた知見が役に立つ。

前述の相模湾の湧水帯に繁茂したバクテリアマット上から採集されたハイカブリニナ類の写真や、同じ湧水域で巣穴の型取りを行って得たキヌタレガイ類の海底下に伸びるY字型の巣穴などの情報を資料として提供し、堀江氏が首長竜遺骸の上や周辺で生息する遺骸依存群集を生き生きと描いたのだ。



相模湾の湧水帯で採集されたバクテリアマットとバクテリアマット食の巻貝（ハイカブリニナ類）



相模湾の湧水帯において型取りしたキヌタレガイ類の巣穴型

キヌタレガイ類は、海底面に2つの穴をあけ、海底下深くに伸びる1本の管を組み合わせたY字型の巣穴をつくる。この巣穴形状には、海底下から硫化水素を吸引し、海底面から酸素を含む新鮮な海水を穴の中に引き込む機能があると考えられる。

(写真提供：JAMSTEC)

Ⅲ 海中遺骸と生態系の世界 — 竜骨群集の世界 / ウミガメ編 —

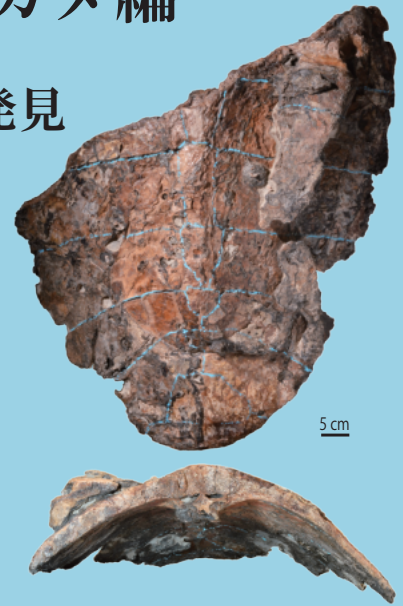


竜骨群集のウミガメ版— 亀骨群集 —の発見

2017年、竜骨群集と類似の生物群集がウミガメの遺骸にも形成されていたことが、白亜紀のウミガメ化石とその周辺から産出した貝類化石より明らかになった (Jenkins et al., 2017)。

基盤的なオサガメ類 メソダーモケリス

この標本は北海道中川町に分布する後期白亜紀の約8300万年前に形成された地層から産出したウミガメ類の甲羅の化石である。甲羅に残された特徴から原始的なオサガメ類メソダーモケリスの化石だと考えられている。甲羅の前方部は欠損している。



オサガメに成立していた亀骨群集

この甲羅化石の周囲に、竜骨群集にも見られたバクテリアマット食と考えられるハイカブリナ類 (巻貝) の化石が複数産出した。ほかにも硫化水素をエネルギー源とするハナシガイ科二枚貝の化石なども発見された。首長竜化石から発見された竜骨群集と似た群集が白亜紀のウミガメ遺骸にも成立していたのだ。亀骨群集である。

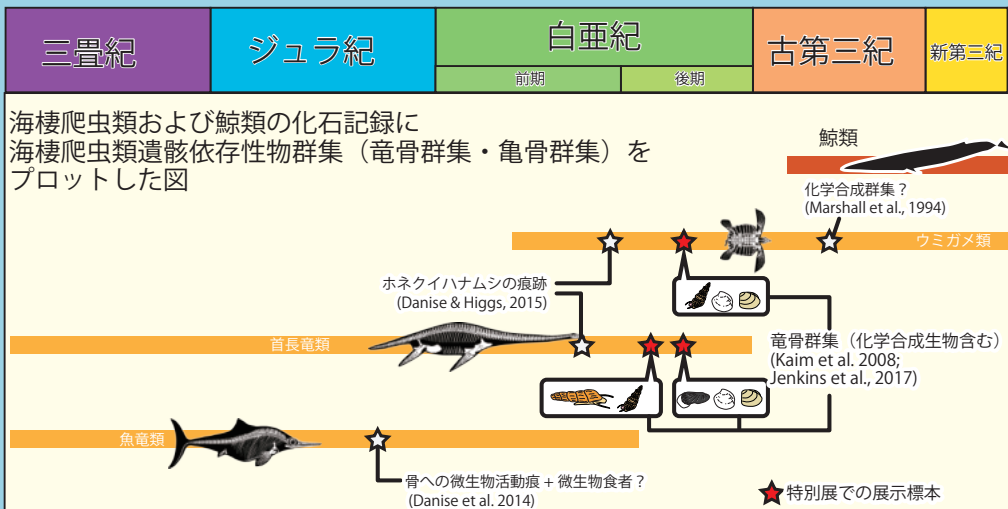
後期白亜紀の祖先的オサガメ類の化石 (北海道中川町産; 北海道中川町エコミュージアム所蔵標本 MM50) 上, 甲羅の全体像。前半分は採集時に既に欠損していた。下, 甲羅を前側から撮影した写真

亀骨群集発見の意義は大きい。首長竜をはじめとした海棲爬虫類のほとんどは白亜紀末 (約6600万年前) に恐竜とともに絶滅した。鯨類の祖先が海洋に進出したのが約5000万年前であるため、この約1600万年の間、遺骸依存生物群集はどこで生き延びていたのだろうか? その答えの一つがウミガメ遺骸である。ウミガメは前期白亜紀に出現し、白亜紀末の大量絶滅を乗り越えて現在まで生き延びているレアな海棲爬虫類である。



つまり、海棲爬虫類遺骸に依存して生息していた生物もまた、ウミガメとともに現在にまで生き延びている可能性が出てきたからだ。

後期白亜紀の祖先的オサガメ類の化石と共産した軟体動物化石ハイカブリナ類 (巻貝) はバクテリアマットを食べていたと考えられる。ハナシガイ類 (二枚貝) はイオウ酸化細菌を共生していた可能性がある。ハナシガイ類の現生種の多くはイオウ酸化細菌を共生している。



海棲爬虫類 (特に魚竜類, 首長竜類, ウミガメ類) および鯨類の生存期間
海棲爬虫類は三畳紀初期に海洋に二次適応し、中生代の海を席卷してきたが、白亜紀末の大量絶滅でウミガメ遺骸が絶滅を免れ、現在まで生き残っている (完全海棲適応ではないがウミヘビやワニも生き残っている)。

* Jenkins, R. G., Kaim, A., Sato, K., Moriya, K., Hikida, Y. and Hirayama, R. (2017) Discovery of chemosynthesis-based association on the Cretaceous basal leatherback sea turtle from Japan. Acta Palaeontologica Polonica, 62 (4), 683-690.

ウミガメ骨群集の復元画

白亜紀の基盤的オサガメ類化石から遺骸依存群集の化石が発見され、これを研究したジェンキンス氏からサイエンスイラストレーターである小田隆氏に復元画の制作依頼がなされた。完成作品が右である。

この復元画はどのように描かれたのだろうか？制作工程におけるやりとりの詳細が残っているので制作者である小田隆氏に紹介してもらおう。



ウミガメ骨群集の復元画（画：小田隆）

ウミガメ骨群集の復元画が描かれるまで

小田隆

金沢大学のロバート・ジェンキンス監修のもと『ウミガメ骨群集』の制作を始めた。

メールでの依頼があってから、最初の打ち合わせはロバートさんが主宰する金沢大学地球生物学研究室にて実施した。標本や資料を目の前にした打ち合わせは、とても効率が良い。わからないことがあればすぐに質問できるし、実際に標本を観察して撮影やスケッチを行うこともできるからだ。その場でラフを描いて、全体のイメージを共有していくこともできる。メールでのやりとりでもある程度は可能だが、より質の高い仕事となると、直接の対話に勝るものはないと思える。

研究室でのラフスケッチや提供してもらった資料、標本を撮影した画像などを利用して描いた最初のラフスケッチが以下である。



ウミガメ骨群集の復元ラフ画1（画：小田隆）

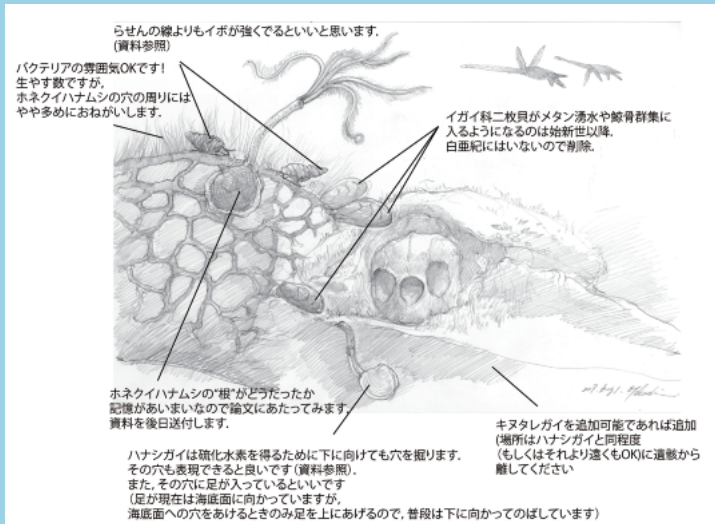
このラフスケッチに対するロバートさんからの回答が次のようなものだった。詳しい図解も後日送られてきたが、最初の印象としては概ね良好だったようで一安心である。

断面も入れ込んだ複合的な絵ですね。今夜詳しく拝見させていただきますが、ぱっと見の第一印象は非常に良いです。バクテリアやホネクイハナムシの雰囲気、ウミガメの死骸の感じがとても良いと思います。

骨に付着している二枚貝はたぶんイガイ科をイメージされていると思いますが、白亜紀には化学合成を行うイガイ科が明確にはいないので削除していただくことになると思います。

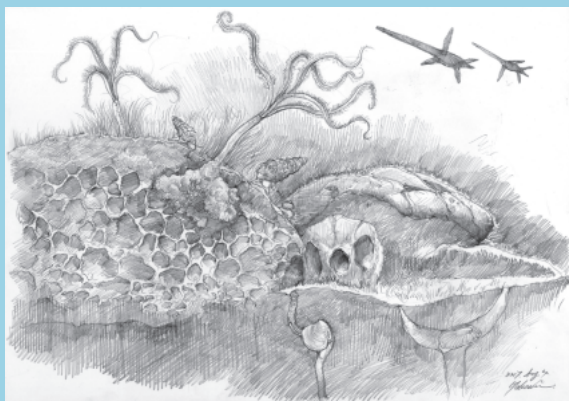
また、この前の打ち合わせ時にはキヌタレガイはウミガメからは見つからないので不要ですと申しましたが、間違いでした。元々首長竜だと思われていた骨が実はオサガメであることがわかり、それにはキヌタレガイが付着しておりました。ということでキヌタレガイ（Y字の巣穴を持つ二枚貝）も追加できるとありがたいです。追加があってごめんなさい。

細かい点はまた今夜詳しく拝見した上でメールいたします。それにしても白黒のラフスケッチだけでも十分に雰囲気が伝わってきますね。すばらしいです。



復元ラフ画1へのコメント

これらのコメントをもとに、修正したスケッチが次のものである。



ウミガメ骨群集のラフ画2 (画：小田隆)

ここまで詳しくコメントがあり、さらにわかりやすい追加の資料があると、次の段階がスムーズになる。まだモノクロの段階ではあるが、この1枚に様々な生物の世界を表現しなくてはならない。それぞれの生物や環境が関係しながら、ある狭い範囲の生物相を作り出している様子を、生き生きとした筆致で描くことができれば復元画として良いものになることが想像できる。海に沈んだメソダエモケリス以外は現生近縁種を参考にすることができるし、ウミガメの基本的な形態は白亜紀から現在まで変わっておらず、ほぼ骨を描くことになるので、かなり実際に近かったであろう情景を再現できそうだ。

この修正スケッチにロバートさんから次のようなコメントと、修正指示を描いた画像が送られてきた。概ね、好評ではあるが、修正箇所は多い。

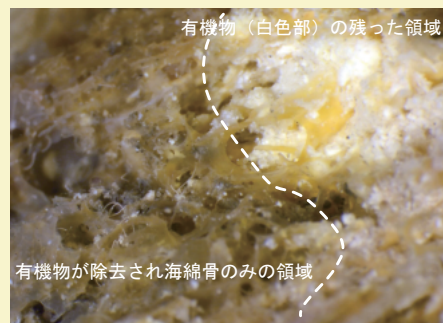
さて、第2弾ラフスケッチありがとうございます。

おどろおどろしい感じが出て非常に良い雰囲気です！図にコメントを入れたものを添付しました(編注：次頁左上図)。

大きなところとしては拡大図と全景図の区切りがわかりにくい気がしてきました。はじめてこの復元画を見た人でも、全景と骨の拡大図という2つの図が組み合わせられていることがもう少しわかりやすい方が良いと思いますが、いかがでしょうか？

もう一つ、骨の中の脂質(骨内有機物)をどう描くかをこの段階でつめておいた方が良いでしょう。図(次頁左上図)内のコメントをご参考におねがいします。

ウミガメの損傷具合について、頭部がほぼ白骨化していて体には表皮がまだ少し残っているようなイメージで描かれているとのことでしたが、全部白骨化していただいた方が良いでしょう。ホネクイハナムシやハイカブリニナ科の巻貝がすでにある程度成長している段階の図ですので、遺骸が海底に落ちてから数ヶ月は経過している状態です。その場合の骨は白骨化している状態にしていただいた方が良いでしょう。それにしても第2弾ラフでここまで雰囲気が出せるものだと改めて感心しました。



<補足説明図>現在におけるウミガメ遺骸の分解実験中の骨内部の様子 骨内に生息する生物によって骨内の有機物が消費されていく。ウミガメ骨群集の復元画の左手前にある骨拡大図で有機物の残像量の参考になる図。

ラフスケッチの場合、あえて描かなかったり、省略していたりする部分があるのだが、そういったことは研究者には通用しない。常にすべてを説明できるようにしておく必要がある。ただ、そういった余地を残すことで、より修正に気付きやすくなる側面もあるように思う。この場合だと、手前の骨の断面に見える有機物と、それが失われた部分の差が明確に描写されていなかった。僕も意識できていたわけではないが、あえて省略していた部分もある。なるほど、ホネクイハナムシの根との関係を明確に表現するには、もっと明快に描きわける必要があったことに気づかされた。

手前の骨はかなり近い位置にあり、拡大された世界である。中景から背景にかけては、そうとうに遠いところにあるものたちだ。モノクロでも、その大きな差異を表現できていないのは僕の問題だ。

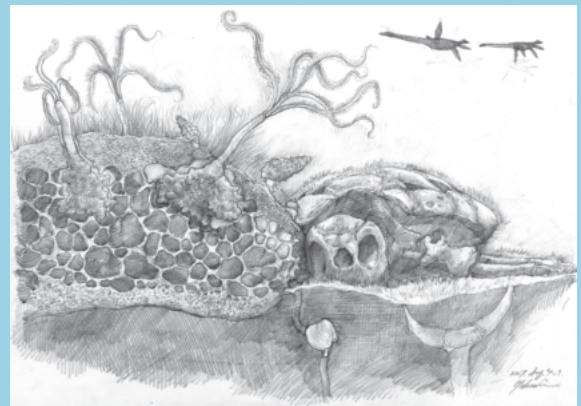
海底に接した部分の緻密骨が分解されないことは、全然知らなかった。なんとなく海底に溶け込んでいくようなイメージを持ってしまっていた。こういったことも、指摘されないと気づかないところである。

これらの情報を統合して、修正したのが次（下）の画像である。

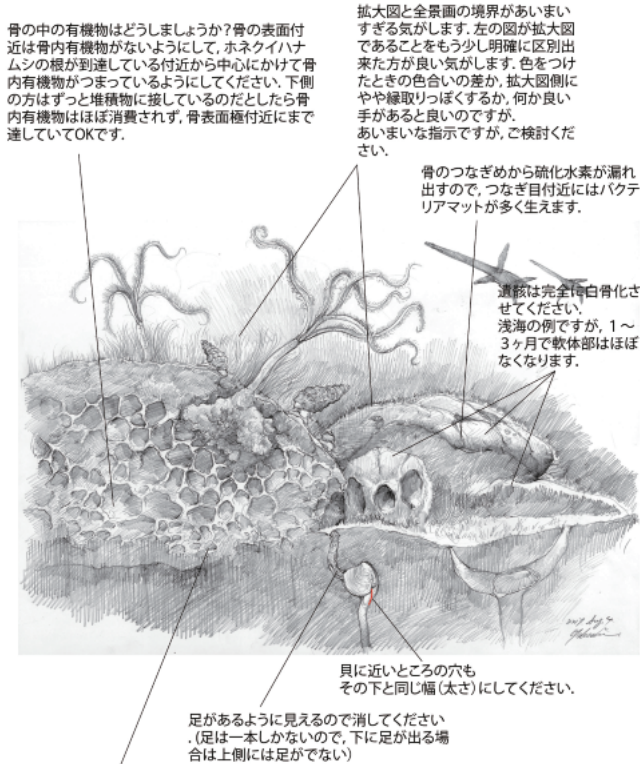
ホネクイハナムシをもう1匹増やし、海底と接する部分の緻密骨をしっかりと描き、骨の内部の有機物の詰まっているところ、そうでないところを明確に描き分けた。

ウミガメは白骨化が進んでいるが、もう少しばらばらにしたほうがいいるだろう、という指摘をすでに受けている。

次の段階では、巻貝、二枚貝のスケッチを、それぞれ別々に拡大して描く。各部分のディテールを明確にしておけば、全体を描くときの助けにもなる。



ウミガメ骨群集のラフ画3（画：小田隆）



骨の下側が海底に接していると骨表面の緻密骨が分解しているのはまじいです。緻密骨が分解するのは海水にさらされていて、大型生物(ゴカイとか)がうごめいているエリアになります。

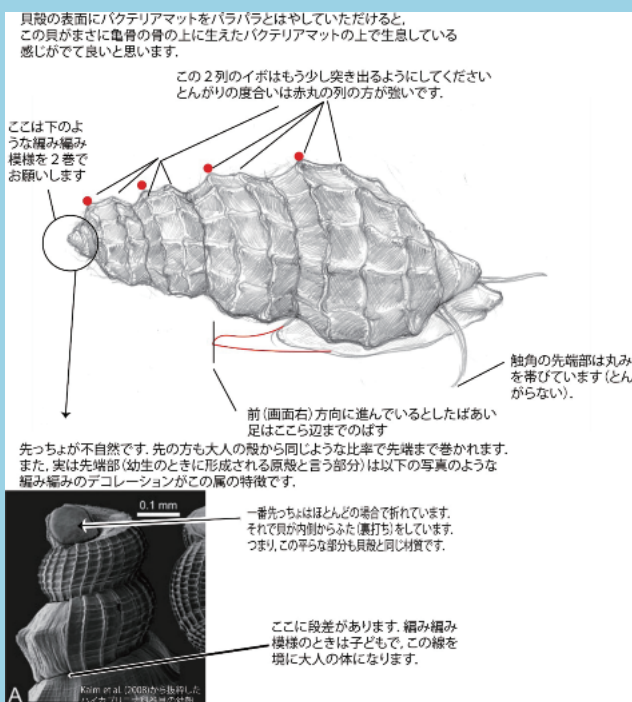
復元ラフ画2へのコメント

このスケッチにも、迅速にロバートさんからコメントが届いた。

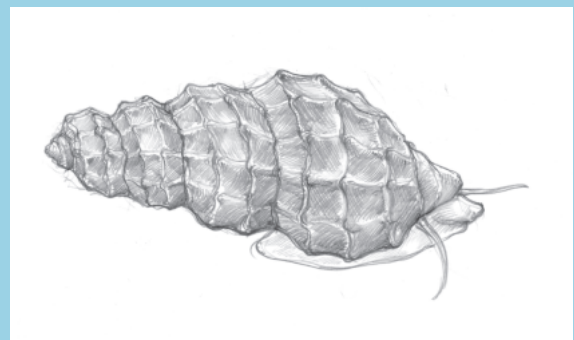
早速の修正ありがとうございます！非常に良くなりました！！骨内有機物の残存の程度やウミガメの白骨化の程度と骨の継ぎ目におけるバクテリアマットの具合など、私が思っている通りに（いや、それ以上に）再現されています。拡大図と全景図の違いや骨内有機物の残存の程度は色合いでの表現になるとのこと了解です。それで問題ないです。

一点だけ、今になって少し気になってきたのが拡大骨の表面右にいる巻貝の角度が少し不自然に見えることです。巻貝をもう少し寝かせて、かつ軟体部の向きはほぼ正面だと思うので、それに合わせて貝も正面になると良いです。もし、貝殻の下側からの写真が必要であれば至急探します。

それ以外は申し分ありません。



ハイカブリナラのラフ画へのコメント



ハイカブリナラのラフ画（画：小田隆）

全体の中でのハイカブリニナは小さなパートなので、拡大してラフスケッチを描いてみた（前頁右下図）。ほんの数ミリしかない貝殻だが、そのフォルムは精緻で複雑な構造をしている。

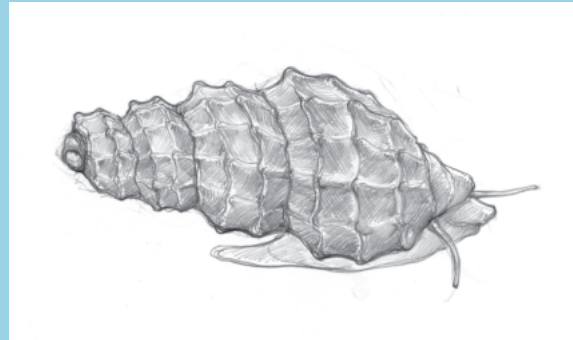
このスケッチについても、即座に修正の指示が入る（前頁左下図）。

いつもながら指示が具体的でわかりやすい。

常に図示があるのもとても助かる。文章だけだと、どうしてもイメージの持ち方に齟齬が生じて、二度手間三度手間になることが多々ある。

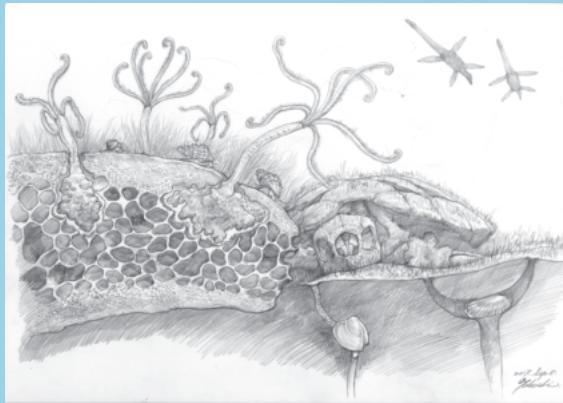
これ（右）が修正してオーケーのでたハイカブリニナである。規則的なパターンで形成されるフォルムの描写は難しい。どちらかというと苦手分野である。

ハイカブリニナのスケッチが出来上がったところで、全体のスケッチを一からやり直す。



ハイカブリニナの修正ラフ画（画：小田隆）

ハイカブリニナの修正に加えてホネクイハナムシの数も増やしている。メソダーモケリスの頭骨もより詳細な描写を心がけた。手前に大きく拡大した世界を描き、中景、遠景と奥行きのある空間を目指している。モノクロスケッチではその表現に限界があるが、カラーになったときは、より重層化された世界を展開できるはずだ。



ウミガメ骨群集のラフ画4（画：小田隆）

いいですね！素晴らしいです！！骨の上を這う巻貝や巻貝の上に生えたバクテリアなどが特に良いです。構図としても拡大した骨と中景のウミガメとが非常に表したいものが1つにまとまっていて非常に良いです。

それで、2点だけ、欲をかかせていただいて、少し修正していただけるとなお良いです。

1. 拡大した骨の上面の部分をもう少しだけ虫食いにしていただけると完璧です。骨の浸食度合いの資料を添付しました。幾度も修正すみません。
2. まん中の二枚貝（ハナシガイ）の左から海底に向かう穴ですが、その穴の中につぶつぶを描いていただいています、このつぶつぶを消していただけますか？このようなつぶつぶがある復元画がこれまでも教科書とかに出ているのですが、どうもこの穴にこういうつぶつぶは詰まっていないようです。

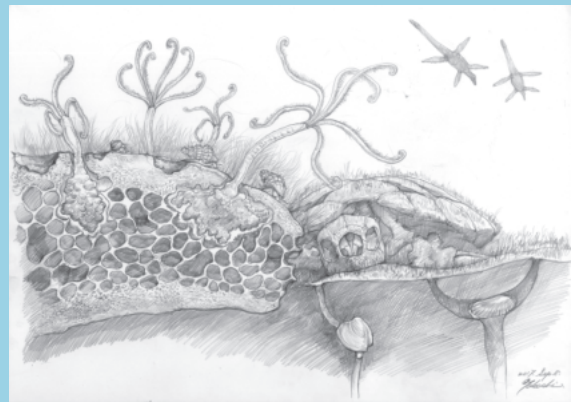
先日米国で開催された化学合成シンポジウムで、ハナシガイ類の巣穴を研究している方がいらっしやったのですが、このようなつぶつぶはないとのことでした。ということで、いまさらですが、この海底に伸びる穴についても、貝の下方方向にのびる巣穴のように空洞にいただけますか？

この2点以外は申し分ありません。

この修正意見を反映させ、ようやくラフスケッチの最終版が完成した。

これをトレースして、カラーでの仕上げに進めていく。復元画では科学的な正確さとともに、構図も重要なポイントであると考えている。美しく、カッコよい方がいいのが当然である。そこにあからさまな嘘があってはいけないが、イラストレーションとしてのわかりやすさを優先することもある。特に生物の生息密度の表現は事実から離れてしまうことが多い。

ここまでで全体のプロセスの半分ほどが終わったことになるが、実際の作業量がこれからが最も多い。ただ、このラフスケッチのやり取りがとても大切なのである。この積み上げがなければカラーの制作を始めることすらできない。



完成したラフ画（画：小田隆）

このあと、カラー制作についても数回の修正を経て冒頭の白亜紀ウミガメ骨群集の復元画が完成した。

このように、研究者とサイエンスイラストレーターが標本や資料を用いながら何度もやりとりして、科学的に正しく（矛盾無く）、それでいて第三者に伝わるわかりやすい復元画が制作されていく。また、このやりとりを読むことで、この「白亜紀ウミガメ骨群集」や遺骸がどのように分解していくのか、そして遺骸にどのように遺骸依存群集が形成されていくのか、それを読者も理解できたのではないだろうか？これから、読者が様々な展示会において「復元画」を目にするとき、復元画に含まれる様々な情報を読み取り、また、制作者と研究者のやりとりを想像すると、復元画により深みがうまれるだろう。

なお、本稿は小田隆氏のウェブサイト「STUDIO D' ARTE CORVO」(<http://www.studio-corvo.com/>)に掲載された記事を再掲（一部加筆・修正）したものである。

IV 鯨骨群集と生態系の形成



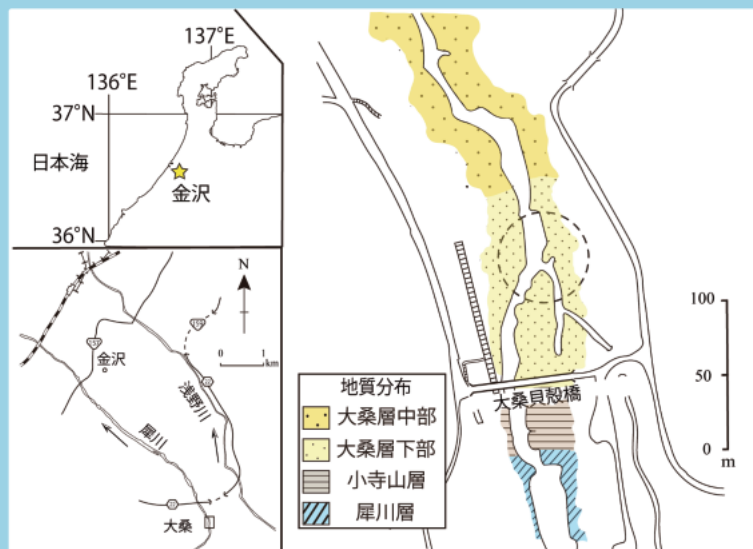
金沢市の鯨骨群集

關明日香

本特別展で題材とした遺骸依存生物群集における最新の研究成果となる新しい化石鯨骨群集が金沢市から産した。研究成果は2021年に日本古生物学会発行の *Paleontological Research* に掲載された (Seki and Jenkins, 2021)。この研究成果を、研究者自身が描いた鯨骨群集の形成過程の復元図を用いて説明しよう。このような説明図もサイエンスイラストレーションである。

金沢市大桑に露出する大桑層

金沢市大桑町を流れる犀川の河原には約150-130万年前(前期更新世)に形成された大桑層(おんまそう; 大桑の昔の呼び方である「おんま」で地層名が定義されている)という地層が分布している。ここからは水深120m以浅の浅海に生息する貝類の化石が豊富に見つかる。貝類の化石に交じって、ときおり、鯨類や魚類などの海棲脊椎動物化石が産する。



鯨骨群集の産出した場所

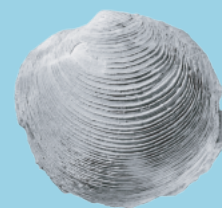
鯨骨の概要

下の鯨骨化石は、犀川に分布する大桑層から1990年代に発見され、石川県立自然史資料館に収蔵されていた。全長80cmを超えるが、これで1本の骨である。形態からヒゲクジラ亜目ナガスクジラ科の一種の右橈骨だと推定された。関節が繋がっていない単体の骨として見つかった。骨の周囲は、厚さ1-2cmの固結した細粒砂岩で覆われており、細粒砂岩のなかに多数の生痕化石と貝類などの無脊椎動物化石が見つかった。



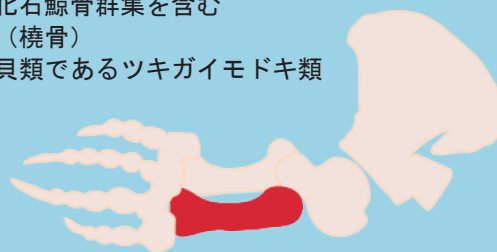
大桑層から発見された化石鯨骨群集を含むヒゲクジラ類の腕の骨(橈骨)

黒矢印部から特殊な貝類であるツキガイモドキ類が産出した。



鯨骨周囲から共産したツキガイモドキ類 (*Lucinoma* sp. 二枚貝) の化石

現生近縁種は鰓にイオウ酸化細菌を共生している。この貝のグループは、現生では殻の蝶番を上方向にして堆積物中に生息している。



鯨類における右橈骨の位置(赤色部)

* Seki, A. and Jenkins, R.G. (2021) Pleistocene Shallow-Water Whale-Fall Community from the Omma Formation in Central Japan. *Paleontological Research*, 25 (3), 191-200.

鯨骨化石群集

鯨骨化石群集だと考えられる根拠鯨骨の周囲から発見された無脊椎動物化石（巻貝・二枚貝類など）の中で特徴的だったのがツキガイモドキ類（二枚貝； *Lucinoma* sp.）である。その特徴は、1）骨を覆う固結した砂岩中から最も多く産出した、2）ほかの貝類は殻がバラバラに産しており、流されてきて堆積したことが示唆されたがツキガイモドキ類の化石は2枚の殻があわさっておりその場に生息していたと考えられた、3）殻の向きが蝶番を上にした向きで揃っており、現生近縁種の生息姿勢とほぼ同じであり、産出したツキガイモドキ類が生息していた場所で化石化したであろうこと、4）現生のツキガイモドキ類は鰓にイオウ酸化細菌を持つ硫化水素に依存した二枚貝である、などである。これらのことから、大桑産の鯨骨周囲に、鯨類遺骸の分解によって生成した硫化水素に依存したツキガイモドキ類からなる鯨骨群集が形成されていたことが明らかになった。ツキガイモドキ類の化石は、大桑層産の鯨骨の上にも下にも分布している。現生ツキガイモドキ類が海底下に潜って生息することが知られている。このことから大桑層では、骨が地層中に埋没してからも鯨骨群集が継続していたと考えられる。

この大桑鯨骨化石群集は、日本における鯨骨群集の化石では5例目の発見である。そして、世界でもっとも浅い水深帯から発見された鯨骨化石群集であった。鯨骨群集は深海にのみ形成されると思われていたが、浅海にも形成されうることを確定的にした重要な発見である。

鯨骨の堆積過程の復元

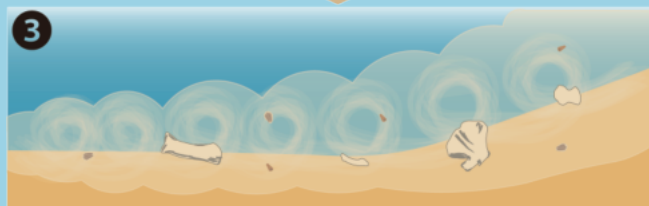
ここまでに説明した事実や解釈を元に、金沢市大桑が浅海であった約150万年前に、どのように鯨骨群集が形成され、いま我々が化石として見られるようになったかを、次の図で見てみよう。このような復元画と説明図が組みあわさった図もサイエンスイラストレーションである。



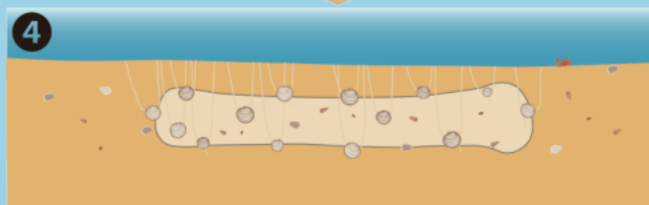
① 死んだ鯨が海底に沈む。



② 鯨遺骸は堆積後に肉が腐敗し、関節が分離する状態になる。



③ 骨がなんらかの作用でバラバラになり、運搬され堆積物中に埋没する。



④ 堆積物に埋没した骨の周囲に化学合成二枚貝類が生息しはじめる。化学合成二枚貝類が十分な大きさに成長するまでの期間、骨の周囲で鯨骨群集が維持された。

金沢市大桑における鯨骨群集が形成される過程の復元図

おわりに

特別展「サイエンスイラストレーションで魅せる古生物学」はいかがだったでしょうか？本特別展では古生物学における「復元画」の制作過程を研究者やイラストレーターの視点で表現した。復元画には様々な質の情報が複合的に注ぎ込まれていることがご理解いただけたかと思う。これまでは博物館に飾られた復元画をなんとなく眺めていたかもしれないが、本特別展をきっかけに、それら復元画に何が織り込まれているのか、なぜそれが描き込まれているのかを考えていただくと、古生物学の世界のより深い理解につながっていくだろう。



令和4年度金沢大学資料館特別展
サイエンスイラストレーションで
魅せる古生物学

— 竜骨群集と鯨骨群集：
首長竜，ウミガメ，クジラの遺骸に群がる生物—

開催期間：令和4年7月20日（水）～10月21日（金）

編集・発行：金沢大学資料館

金沢大学理工学域地球生物学研究室

発行日：令和4（2022）年7月20日

印刷：能登印刷株式会社