

後頭骨化石からイルカの首の動きを復元できるのか

東京学芸大学附属高等学校 2年

岡村 太路

研究の目的・意義

(1) 研究の背景

私は、2011年に千葉県の上総層群市宿層よりイルカ後頭骨化石を採取した(図1)。後頭骨は頭骨の中でも頭の後ろ側を構成する骨であり、博物館の展示など(図2)でも一般には注目されにくい部位であると言える。私は自身の先行研究において、このイルカ類化石がハクジラ亜目マイルカ科のゴンドウクジラ類のものであることを明らかにした(岡村, 2014)。さらに研究を進めたところ、この標本には後頭顆(こうとうか)と呼ばれる部位の一部が残されていることが明らかとなった。解剖学的には、膨らんだ凸状の形の後頭顆と、その受け皿となる第一頸椎である凹状の形の環椎(かんづい)により、頭の可動がもたらされている。

イルカを含む鯨類は、海棲哺乳類として最も繁栄している動物であり、我々人間にとってもなじみ深い動物の一つとなっている。鯨類は河川から深海まで多様な環境に適応し、ヒゲクジラ類とハクジラ類の二つに分かれ、ハクジラ類はヒゲクジラ類に比べ種類も多く形態も多様性に富んでいる。しかし、鯨類は人間にとってなじみ深い生物であるにもかかわらず、わかっていることは極めて少ないのが実状である。泳ぐスピード、食べているもの、摂食方法など鯨類の生態については、その詳細はほとんどの種において解明されていない。一方絶滅種に関して目を向けてみても、残されている証拠は骨のみで、筋肉や内臓器官などはほとんどの場合失われてしまっている。そのため、生きていたときの状態を推定することは一段と難しく、その生き物がどのような動きをして、どのような生態であったのか明らかになっていることは限られており、実際に絶滅した鯨類の動きを推定する研究は極めて少ない。

そこで本研究では、ハクジラ類の首の動きを一例として、化石からその生物の動きを復元し、過去の生物がどのような生態であったのかを考察することを試みた。過去の生物の姿や動きを復元し、さらにはその生態を推定することは、その生き物自身のことだけではなく、その生態を獲得した上での生態系や地球環境の変化を考察する上でも鍵となるため、古生物学だけでなく古生態学・古環境学においても極めて重要となる。

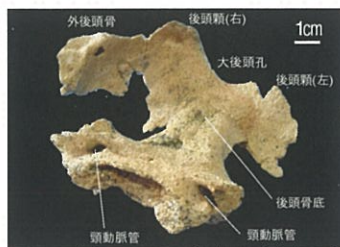


図1 市宿化石標本(上総層群市宿層産)



図2 スジイルカ骨格標本 千葉県立中央博物館



図3 飼育されているスナメリ 海響館

(2) 研究目的・意義

ほとんどの陸棲哺乳類は、7個の頸椎を連動させることで首の可動を得ている。これに対して、クジラの仲間は水中に適応する過程で、頸椎を癒合させ極端に首を短くしている(伊藤, 2008)。しかし、生態観察によって、シロイルカやカワイルカ類、スナメリのような首がよく動く種もいることも知られている。シロイルカやカワイルカ類は、頸椎が一つも癒合していないので、首の可動は大きいと言われており(山田ら, 2010)、頸椎が癒合しているかどうかは首が動きやすさを決める一つの指標とされている。一方で、スナメリは頸椎が癒合しているにも関わらず、頭を自由自在に大きく動かすことができる。私も、実際にスナメリが水族館において首を大きく動かしている様子を観察することができた(図3)。これらの種類

は、首が動かさない分、球状の環椎後頭顆関節で頭を動かしていることが先行研究で示唆されている(伊藤, 2008)。しかし、同じハクジラの中でもなぜ首が動く種と動かない種がいるのか、そしてどのようなメカニズムで首を動かしているのかは、明確にはなっていない。

本研究では、現生の骨格標本の形態を比較し、現生のハクジラ類の首を動かすメカニズムを解明する。そして、首の可動をもたらしている因子を現生ハクジラ類の首の可動角度および標本計測のデータの比較・分析により見つけ出し、種による構造の差違を明らかにすることを目的とする。さらに、可動メカニズムから、化石標本として残るハクジラ類の首の可動域を復元することで、どのような生活をし、どのような場所に生息していたのかが推定する。

研究の方法

(1) 解剖による調査

生物の動きの復元を行うには、骨格だけでなく筋肉、腱、軟骨も含めた関節のつながり方を観察する必要があるが、ハクジラ類を含む鯨類に関して内部構造を含めた観察を行うことは容易なことではない。私は幸運にも、2015年4月18日に国立科学博物館筑波研究施設のオープンラボ企画「ストランディング・漂着イルカの死因を探る」でハセイルカ(*Delphinus capensis*)の解剖に参加する機会を得た(図4)。そこで、解剖のアシスタントとして解剖の過程で環椎後頭顆関節や頸椎周辺の観察を行なった。



図4 解剖したハセイルカ標本

実施場所 国立科学博物館つくば分館
 実施機関 国立科学博物館動物研究部
 日時 2015年4月18日
 種名 ハクジラ亜目マイルカ科
 ハセイルカ
 (*Delphinus capensis*)
 体長 215 kg
 性別 メス

表1 計測した頭骨および環椎標本リスト

科名		数
マイルカ科	Delphinidae	144
ネズマイルカ科	Phocoenidae	28
イッカク科	Monodontidae	2
ラプラタカワイルカ科	Pontoporiidae	5
アカボウクジラ科	Ziphiidae	14
ガンジスカワイルカ科	Platanistidae	8
コマッコウ科	Kogiidae	14
計 (全て成体)		215

(2) 骨格標本の観察と計測

ハクジラ類の首の可動を動かすメカニズムを解明するため、比較標本として国立科学博物館、神奈川県立生命の星地球博物館、茨城県自然博物館、千葉県立中央博物館に所蔵されているハクジラ亜目マイルカ科、ネズマイルカ科、イッカク科、ラプラタカワイルカ科、アカボウクジラ科、ガンジスカワイルカ科およびコマッコウ科の総計 215 個体の標本の観察・計測を行った。頭骨標本については、そのうち 7 科 35 種 159 個体 (全て成体) の観察と計測を行い(表1, 図4)、さらに 7 科 33 種 100 個体の頭骨と環椎を用いて、環椎後頭顆関節について可動に関する調査・検討を行った。

(3) 骨格標本の分析と環椎後頭顆関節の可動域の推定

首の可動メカニズムを明らかにするため、骨格標本観察・計測により後頭顆および環椎の寸法と形状について比較することで、可動のモデルを作成した。さらに、そのモデルから可動域の理論値を計算式より推定した。なお、曲げ伸ばしの運動が行いやすいようになっている(Paul and Dnald, 2015) 環椎後頭顆関節の可動については、背腹方向の上下運動(前後屈)のみを検討することとした。また、計算により求めた

首の可動域の推定値が妥当かどうか検証するため、いくつかの種類については実際に骨格より求めた実測値との比較・検討を行った。本研究において、検討に用いた主な計測部位を図 6 に示す。



図5 比較検討した頭骨および環椎標本例

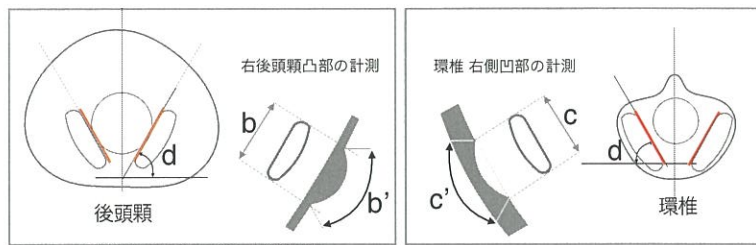


図6 環椎後頭顆関節の主な計測部位

研究の結果

(1) 後頭顆と環椎の構造 1 解剖の観察から

解剖での観察により、ハセイルカ標本の後頭顆と環椎の間には、粘着性のある液体状の物質があるだけで、後頭顆と環椎をつなぐ軟骨などは見られなかった。また、関節は後頭顆と環椎が接している、液体状の物質によって骨格がすべることで関節が動いていることが確認できた(図 7)。首の可動域を推定するにあたっては、後頭顆と環椎がほぼ接していると仮定することとした(図 11)。

しかし、ハセイルカの頸椎には後頭直筋や上頭斜筋といった筋肉が発達しており、骨同士の可動域を大幅に制限していることも観察された。本研究においては、骨格のみの検討で求められた可動域をハクジラ類の首の構造上の最大可動域であるとして検討を進めることにした。

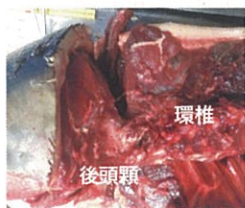


図7 ハセイルカの頭部



図8 ハナゴンドウの頸椎



図9 シロイルカの頸椎 (写真は左右反転)

(2) 後頭顆と環椎の構造 2 骨格標本の観察と計測から

環椎後頭顆関節は、ヒトの場合は左右 2 対の関節面からなり、凸面である後頭顆と凹面である環椎により構成される橢円関節になっていると言われている(宇都宮, 2014)。ハクジラ類の骨格標本を観察の結果、ハクジラ類における環椎後頭顆関節も同様の構造になっていることが確認できた。

ハクジラ類はこの関節において、後頭顆を側方から見たときの凸面を円弧とするを円の中心に回転軸として頭部を動かしていることが確認された。多くのハクジラ類頸椎は、前方 2~7 個を癒合させており、首がほとんど動かさないことが先行研究によって示されている。シロイルカ(図 9)、ガンジスカワイルカ、インダスカワイルカ、ラプラタカワイルカを除く計測を行ったすべての種において、2~7 個の頸椎が癒合していることが観察された(図 8)。また、これらのハクジラ類は、癒合していない頸椎も 1 個 1 個が非常に薄く、癒合している部分と同じように圧縮され一体化している。そのため、首の可動域は環椎後頭顆関節の可動により依存していると考えられることができる。

また、後頭顆や環椎の表面は、ほかの部位の表面に比べても滑らかであることがわかった。私はこの滑らかな面を関節の可動範囲として、実際に頭骨を動かすことで、種ごとの可動域を比較した。スナメリ

とアカボウクジラを例に比較すると、図11, 12 のように可動角には明らかに大きな差がみられた。以上のことからハクジラ類は、種によって首の可動域や環椎後頭顆関節の構造が大きく異なっていることがわかった。

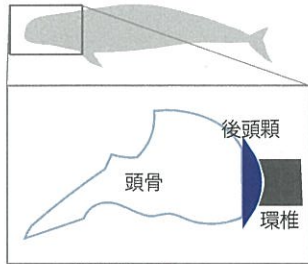


図10 後頭顆と環椎



図11 スナメリ頭骨の前後屈可動



図12 アカボウクジラ頭骨の前後屈可動

(3) 環椎後頭顆関節の可動域理論値の算定とその検証

後頭顆・環椎の接する弧を側方から見たとき、その弧が正円の一部であると仮定し、後頭顆の弧と円の半径からなる扇型の中心角と環椎の扇型の中心角の差を関節の可動域であると推定し、可動モデルを作成した。そして理論値としての可動角を計算で求める方法を検討した。

可動モデル1 可動角を求める式1

後頭顆の弧と円の半径からなる扇型の中心角と環椎の扇型の中心角の差を関節の可動域であると仮定する。図13 モデル1の θ と後頭顆の開き具合(角度 d)により前後方向の可動角 $R1$ が求められる。そこで、角度 $R1$ を計測によって得られている値で成り立つ可動角の近似値を得る式を立てた。

可動モデル2 可動角を求める式2

モデル1の式で求めた値で明らかに負の値を示すものがあつた。それらの標本計測値を見直したところ、後頭顆長さよりも環椎長さが大きい標本がいくつか存在した。これらの標本においては、[後頭顆弧長さ<環椎弧長さ]かつ[後頭顆の膨らみ>環椎の凹み]となることから、一部の標本に関してモデルを再検討した。モデル1とは後頭顆と環椎の構造が異なり、図13 モデル2を作成した。モデル1と同様に、角度 $R2$ を計測によって得ている値で成り立つ可動角の近似値を得る式を立てた。

可動モデル3 可動角を求める式3

次に、モデル1において[後頭顆膨らみ<環椎凹み]となる標本もわずかに存在することがわかった。モデル1を構成する値を一部補正した。同様に、角度 $R3$ を計測によって得ている値で成り立つ可動角の近似値を得る式を立てた。

この環椎後頭顆関節の可動角の計算値について、その妥当性を検証するため、いくつかの種類については実際に骨格を動かして測定した実測値をもとめ、計算値との比較を行なった(表2)。その結果、実際に骨格を用いて検証した実測値は、一部の標本を除き計算値とほぼ同様の値を得ることができた。ハセイルカとラプラタカワイルカにおいては、計算値と骨格を用いた実測値が大きく異なる値を示した。モデルとして考えた後頭顆の弧による正円は、実際には楕円に近いとも考えられるので、そのために生じた誤差も検討する必要がある。

以上のモデル化の検討から、環椎後頭顆関節の可動域の値は次のように考えることができる。主な標本について、計算式で求めた環椎後頭顆関節の可動角の値を表2に示す。

[ハクジラ類における環椎後頭顆関節の可動角を求める公式]

- 可動モデル1 [後頭顆長さ > 環椎長さの場合] $R1 = B \times (b' - c') / b' \times \sin d$
- 可動モデル2 [後頭顆弧長さ < 環椎弧長さの場合] $R2 = B \times (c - b) / b' \times \sin d$
- 可動モデル3 [後頭顆膨らみ < 環椎凹みの場合] $R3 = B \times (b' - c) / b' \times \sin d$

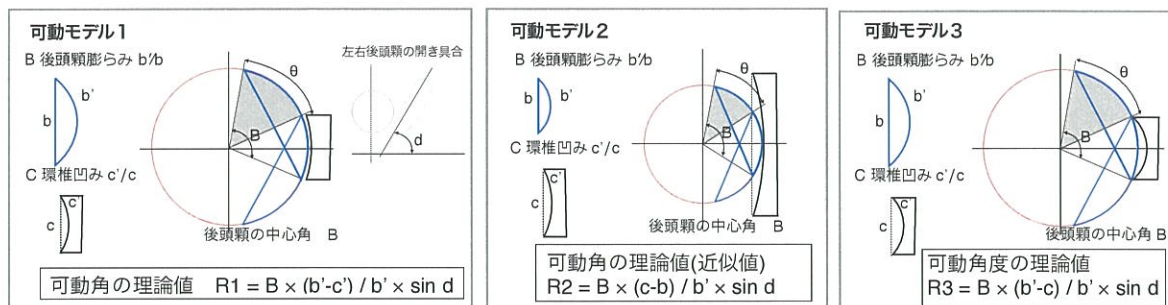


図13 後頭顆環椎関節の可動域計算

表2 主な標本の後頭顆環椎の各部位の計測値と後頭顆環椎関節の可動角計算値

標本記号 標本番号	種名	後頭顆 b	後頭顆 b'	環椎 c	環椎 c'	後頭顆環椎弧の 差/後頭顆×100	後頭顆 膨らみ	環椎 凹み	可動角 計算値	可動角 実測値	生息環境
M32534	ハンドウイルカ	62.2	85.0	66.4	69.0	18.8	36.7	3.9	25.6	24.0	沿岸性
M120724	スジイルカ	55.0	58.0	52.0	57.0	1.7	5.5	9.6	5.9	4.0	外洋性
M27074	マイルカ	45.0	48.0	38.0	42.0	12.5	6.7	10.5	13.8	17.0	外洋性
M35031	ハセイルカ	50.6	57.0	49.8	52.0	8.8	12.7	4.5	7.7	28.0	外洋性
M24615	ハシナガイルカ	46.2	52.0	42.6	46.0	11.5	12.6	8.0	10.0	16.0	外洋性
M24920	サワラクイルカ	60.5	67.0	52.9	57.0	14.9	10.7	7.8	12.2	14.0	外洋性
M25375	マダライルカ	48.0	53.0	40.8	43.0	18.9	10.4	5.4	15.0	15.0	外洋性
M4511	コビレゴンドウ	120.0	140.0	103.3	107.0	23.6	16.7	3.6	25.3	—	外洋性
M23741	カズハゴンドウ	58.9	72.0	51.8	55.0	23.6	22.2	6.2	26.2	24.0	外洋性
M46873	ユメゴンドウ	52.9	58.0	45.4	50.0	13.8	9.7	10.2	16.3	35.0	外洋性
M24616	オキゴンドウ	82.3	91.0	70.4	72.0	20.9	10.6	2.3	17.4	14.0	外洋性
M32525	ハナゴンドウ	60.9	66.0	52.4	59.0	10.6	8.4	12.6	15.0	15.0	外洋性
M24636	シワハイルカ	66.8	75.0	52.4	55.0	26.7	12.3	5.0	23.5	35.0	外洋性
M27421	ダンダラカマイルカ	55.3	58.0	48.4	50.0	13.8	4.9	3.3	7.9	24.0	外洋性
M31357	カマイルカ	53.0	60.0	49.4	54.0	10.0	13.2	9.3	9.3	12.0	外洋性
M27731	セマイルカ	47.0	55.0	45.9	48.0	12.7	17.0	4.6	12.1	17.0	外洋性
M24965	ハナジロカマイルカ	58.6	66.0	65.4	67.0	-1.5	12.6	2.4	16.2	19.0	外洋性
M21262	シャチ	147.6	170.0	153.0	160.0	5.9	15.2	4.6	21.9	23.0	外洋性
M24648	ネズミイルカ	40.5	49.0	34.9	37.0	24.5	21.0	6.0	27.8	23.0	沿岸性
M950904	イシイルカ	57.8	65.0	51.5	53.0	18.5	12.5	2.9	16.0	14.0	外洋性
M32997	スナメリ	51.7	62.0	38.9	41.0	33.9	19.9	5.4	38.5	39.0	沿岸性
(1階標本)	シロイルカ	92.1	121.0	85.4	91.0	24.8	31.4	6.6	31.3	34.0	沿岸性
M24984	ラブラタカマイルカ	32.0	41.0	33.1	34.0	17.1	28.1	2.7	22.2	39.0	沿岸性
M38048	オウギハクジラ	75.3	87.0	77.1	80.0	8.0	15.5	3.8	8.2	—	外洋性
M36185	ハップスオウギハクジラ	79.8	90.0	71.6	74.0	17.8	12.8	3.4	17.1	—	外洋性
M37970	イチョウハクジラ	70.3	83.0	67.9	73.0	12.0	18.1	7.5	12.6	—	外洋性
M140514	アカボウクジラ	89.8	101.0	90.5	96.0	5.0	12.5	6.1	4.3	11.0	外洋性
M24940	インダスカマイルカ	22.8	27.0	24.8	26.0	3.7	18.4	4.8	4.1	—	沿岸性
M24867	ガンジスカマイルカ	39.6	50.0	34.4	36.0	28.0	26.3	4.7	36.3	38.0	沿岸性
M130527	コマッコウ	67.4	75.0	60.8	61.0	18.7	11.3	0.3	16.9	—	外洋性
M26460	オガワコマッコウ	63.4	72.0	55.5	57.0	20.8	13.6	2.7	20.1	20.0	外洋性

- 標本については、各種5個体を計測した中から中央値に近い個体を抽出した。(ただし、シロイルカとダンダラカマイルカについては、計測数が5個体に達していない。)
- 可動角計算値で25° を超すものを赤字で示している。
- ハクジラ類の生息環境については、「国立科学博物館 海棲哺乳類図鑑」を元に作成した。

(4) 首の可動域を決定する因子の分析

骨格標本の観察や計測の結果、多くのハクジラ類（シロイルカ、ガンジスカワイルカ、インダスカワイルカ、ラプラタカワイルカを除く）の頸椎は、癒合の有無にかかわらずほぼ一体化しているため、首の可動には直接的には影響を与えていないことが確認された。また、ハクジラ類は種により首の可動域や環椎後頭顆関節の構造が大きく異なっていることから、関節の構造の違いが首の可動に影響を与えていることが考えられる。可動モデルにより計算で求めた環椎後頭顆関節の可動域は、種類によって大きく異なる値を示した。種によって構造がどのように異なっていて、何が可動の差を生み出したのかを検討するために、可動を決定する因子の分析を行った。

仮説として環椎後頭顆関節の可動を生み出している因子を、因子A [環椎・後頭顆の弧長さの差]、因子B [後頭顆の膨らみ]、因子C [環椎の凹み]、因子D [左右後頭顆の開き具合] とし (図14)、それぞれの要素と計算により求めた可動角度との相関関係を調べ、それぞれの要素について検討を行った。

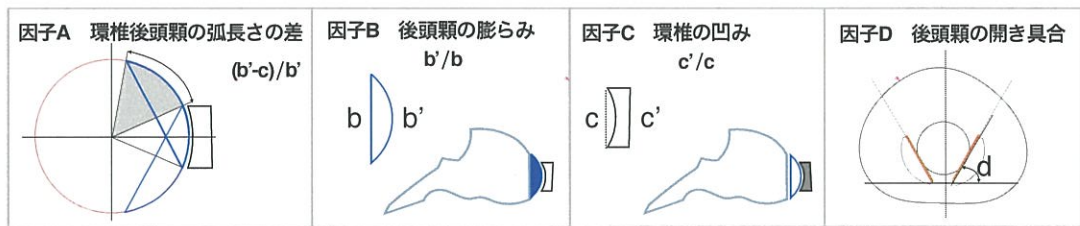


図14 後頭顆環椎関節の可動のための因子

① 因子 A [環椎・後頭顆の弧長さの差]

スナメリは後頭顆と環椎の面積の差を大きくすることで、首の可動域を大きくしている (伊藤, 2008)。本研究においては、上下運動の可動域を検討しているため、後頭顆と環椎の前後方向の弧長さの差が大きくなると可動域も大きくなると考えられる。因子Aと計算で求めた可動計算値の相関関係を調べたところ、図15に示すように強い相関関係を見ることができた。また、モデルの検討においても、環椎と後頭顆の弧長さの差が大きくなることで、図16 のように弧長さの差が大きくなることで、可動角が大きくなることが確認された。因子Aは、環椎後頭顆関節の可動を決定している因子として妥当であると考えられる。また、計測した標本の中でスナメリが最も大きい数値を示した。スナメリをはじめとする多くの種は、環椎に比べて後頭顆の弧の方が長い。一部のハンドウイルカやシャチなどは、環椎のほうが長い結果が示された。これにより、ハクジラ類は弧の長さの差を大きくするためにハクジラ類は2つの方法を使っていることが考えられる。

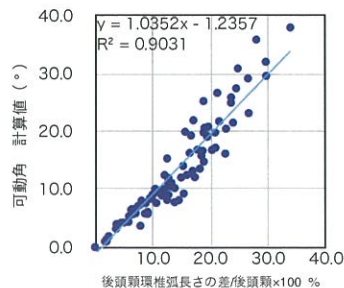


図16 後頭顆環椎の弧長さの差と可動角

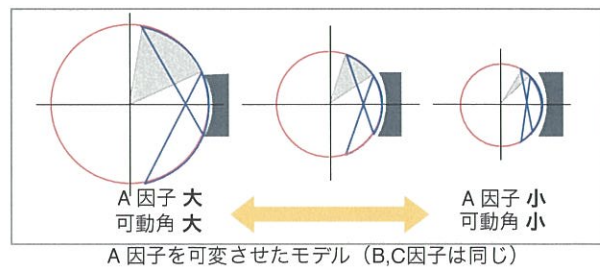


図17 後頭顆環椎の弧長さの差と可動

② 因子 B [後頭顆の膨らみ]・因子 C [環椎の凹み]

後頭顆に注目して観察を行うと、後頭顆が出っ張っており膨らみの大きいもの、その一方で平らに近く膨らみが小さい種類がそれぞれ存在した。後頭顆の膨らみが大きくなれば、環椎・後頭顆の長さの差が小さくても後頭顆の弧長さが大きくなり、可動域が大きくなるはずである。それぞれ因子B、因子Cとし、可動角の値との比較と可動モデルでの検討を行った。その結果、後頭顆の膨らみ(因子B)においては、図17に示すように可動域の計算値と相関関係がみられ、モデルでの検討においても可動域が大きくなることが確認された(図19)。この結果を種ごとに検討すると、ラプラタカワイルカ、シロイルカ、ガンジスカワイルカは因子Bにおいて高い数値を示した。これらはどの種も頭部がよく動くと言われている種であり、主に後頭顆の膨らみを大きくすることで、頭を動かしていると推測できる。一方、後頭顆がほぼ平らな種類はマイルカやスジイルカなどのであり、彼らは首の可動をできるだけ小さくし体軸のブレを小さくすることで高速遊泳を可能にしていると考えられる。

その一方、環椎の凹み(因子C)においては、図18に示すように標本による数値に差がほとんど見られなかった。モデルでの検討においても可動域に変化がほとんどないことが確認された。多くのイルカは、環椎に比べ後頭顆が大きいため、環椎の凹みは首の可動域に強い影響を与えていないと考えられる。

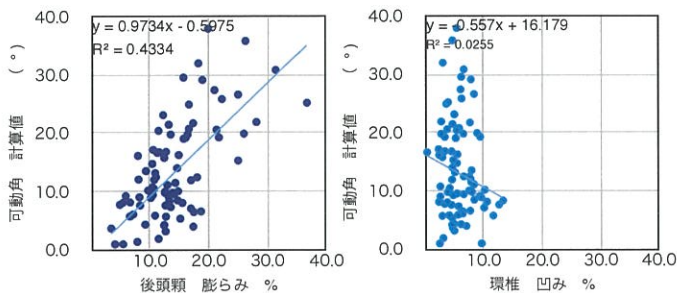


図17 後頭顆膨らみと可動角

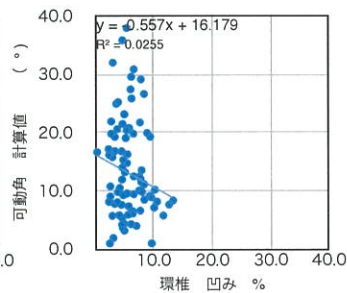


図18 環椎膨らみと可動角

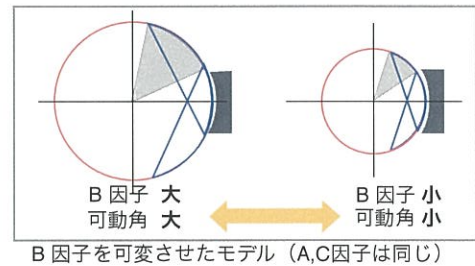


図19 後頭顆膨らみと可動

③ 因子 D [後頭顆の開き具合]

ハクジラ類の後頭顆は、尾側から観察すると多くの種はV字型に並んでいる。しかし、標本観察により、いくつかの標本においては2つの後頭顆が平行に近くになって逆ハの字に近くになっていることを発見した(図21)。他の因子と同様に、後頭顆の開き具合(因子D)と可動角度との関係を検討した。その結果、図20に示すように、因子Dは計算値との弱い相関関係が見られ、首が大きく動くと言われている種が2つの後頭顆が平行に近い傾向が見ることができた。したがって、因子Dは環椎後頭顆関節の可動を生み出している因子として妥当であると考えられる。

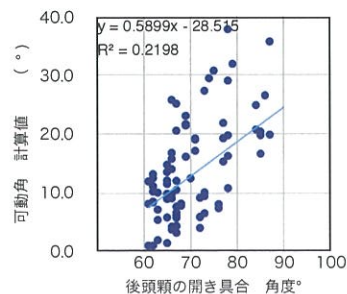
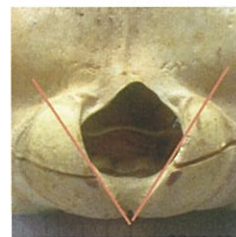
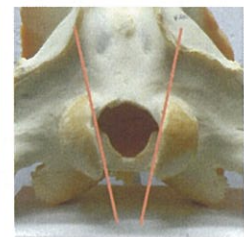


図20 後頭顆の開き具合と可動角



V字の例
スナメリ



逆ハの字の例
ガンジスカワイルカ

図21 後頭顆の開き具合

考 察

(1) 首の可動と生息環境との関係について

首の可動域が大きいと考えられる種が、特定の科に限らず複数の科から現れていた研究結果から、首が可動するという形質は系統ではなく生態を反映していることが考えられる。さらに、首の可動する角度と生息環境との関係を検討したところ(表2)、浅海に生息するハクジラ類は首の可動域が大きい傾向があることが明らかとなった。浅海に生息するハクジラ類ほど首が動くことが観察により知られているが、本研究の定量的な比較により初めて実証されたといえる。浅海は陸地に近いことから複雑な地形になりやすく、生態系が多様化しやすく生物の密度が高い傾向がある。イルカたちは、沿岸に生息範囲を拡大する過程で、沖合では必要のないと言えるUターンなど小刻みで複雑な動きが必要とされ、首の可動を得たのではないかと推測される。

(2) 首の可動メカニズムの市宿イルカ化石標本への適用

発見される化石の多くは長い年月により破壊・破損してしまっているため、過去の生物を復元し、さらには動きや生態を推定することは非常に難しい。市宿イルカ化石標本について、本研究の成果として得ている「可動角を求める公式」と「可動域を決める3つの要素」を適用し、首の可動域を推定するとともに、当時の生態を考察した。

【ハクジラ類における環椎後頭顆関節の可動角を求める公式】から

市宿イルカ化石の後頭顆から首の可動域を推定する

①後頭顆長さから環椎長さを推定する

ゴンドウクジラ類において(標本データより)

環椎長さ = 後頭顆長さ × (0.86~0.88)

63.6 ~ 65.1 mm

②環椎長さから環椎弧長さを推定する

環椎弧長さ = 環椎長さ × (1.02~1.15)

64.9 ~ 74.9 mm

③後頭顆・環椎の値を公式へ代入して可動域を推定する

後頭顆長さ > 環椎長さなので、公式1を適用する

$$R1 = B \times (b' - c') / b' \times \sin(d)$$

表3 市宿化石標本のデータ

記号	項目	数値	備考
b	後頭顆長さ	74.0 mm	
b'	後頭顆弧長さ	92.0 mm	
c	環椎長さ	63.6~65.1 mm	推定値
c'	環椎の弧長さ	64.9 ~ 74.9 mm	推定値
d	後頭顆の開き具合	61.0 °	

このように「可動角を求める公式」を化石標本へ応用して、首の可動域を 23.4~37.1 ° と推定することができた。この化石標本の市宿イルカは、他のハクジラ類と比較すると首がよく動いていたと推定できた。

千葉県に分布する60万年前に堆積されたとされる市宿層より私が採取した標本は、頭骨の一部で右後頭顆が半分ほど残っているが左後頭顆は痕跡が残る程度の状態である。しかし、本研究により首の可動を推定するには後頭顆と環椎の両方が必要であることがわかっている。自身の先行研究によって、本標本がゴンドウクジラであることが明らかとなっているので、現生ハクジラ標本より得ている計測データから後頭顆から環椎の大きさを推定し、首の可動域を導き出すことができた。市宿標本のような極めて断片的な化石においても、いくつかの条件や仮定をつければおよその可動角が求められることが明らかとなった。

さらに当時の生態については、この標本は骨になってから時間があまり経過せずに堆積した可能性が高いことを私は先行研究（岡村, 2014）で示しており、有孔虫化石や貝化石による堆積環境復元により、当時は黒潮が流れ込む浅い海であったこと（岡村, 2013・2014）も推定できることから、ここで求めた市宿イルカの首の可動域が大きいことと当時の古環境を検討すると、市宿イルカは浅海に生息していたと考えることができる。

しかし、本標本の可動角推定に用いたゴンドウクジラ類は、外洋性であり首の可動角が大きいことがわかっているため、市宿イルカが市宿を生息場所に使っていたかどうかは、今後の詳細な分析で明らかにしたい。

結 論

- ハクジラ類において、その多くの種において頸椎が癒合もしくは一体化しているため、ハクジラ類の首の可動は頸椎が癒合しているかどうかよりも、環椎後頭顆関節の構造の違いが生み出していることが確認された。環椎後頭顆関節の可動域は、[可動域を決める3つの因子]である環椎と後頭顆の長さの差、後頭顆の膨らみ、左右後頭顆の開き具合によって決定していることを明らかにした。
- 環椎後頭顆関節のメカニズムを解明することにより、ハクジラ類の環椎後頭顆関節の構造には大きな差異があり、種によって異なった構造・構成要素によって首の可動を得ていることが明らかとなった。また、[可動角を求める公式]を用いた得られた可動域と生息環境との関係から、沿岸性のハクジラ類は首の可動域が大きいことが初めて数値によって確認された。化石だけでなく現生種の生態を推測する指標となることが期待される。
- 首の可動メカニズムを分析し作成した[可動角を求める公式]を用いることで、頭骨化石に後頭顆しか残っていない「市宿後頭骨化石標本」の、首のおおよその可動域を復元することができた。本研究成果により、さらに断片的な化石の進化的な位置を推定できることが期待される。

今後の展望

本研究によってハクジラ類の首の可動域と生息環境は密接な関係があることがわかった。さらに、首の可動域と生態との関係を詳細に調べることにより、ハクジラ類の進化適応や地球の環境変動が推定されることが期待できる。

より正確な可動域を推定するには、骨格だけでなく筋肉、軟骨といった軟組織を考慮する必要がある。骨に残る筋肉や軟骨の痕を利用することで、より正確な可動域を求める公式を作成したいと考えている。

そして、ハクジラ亜目の絶滅種における首の可動域の復元を行い、ムカシクジラ類も含めた首の可動角度や構造の進化適応を明らかにしていきたい。

主要参考文献

- 伊藤春香, 2008 : クジラの形態. 村山司(編), “鯨類学”, 東海大学出版会, 78-132.
- 一島啓人, 2008 : 進化と適応. 村山司(編), “鯨類学”, 東海大学出版会, 1-77.
- 笠松不二男・宮下富夫・吉岡基, 2009 : 鯨とイルカのフィールドガイド, 東京大学出版会, 3-34.
- J.G.Mead and R.E.Fordyce, 2009 : The Therian Skull, A Lexicon with Emphasis on the Odontocetes, Smithsonian Institution Scholarly Press.
- 宇都宮初夫, 2014 : SJF関節ファシリテーション, 丸善出版, 179-202.
- トマス・A・ジェファソンほか, 1999 : 海の哺乳類 FAO種同定ガイド, NTT出版株式会社, 64-203
- 岡村太路, 2014 : 「化石からイルカの行動がどこまでわかるか」～千葉県市宿層産出イルカ頭骨化石と古環境復元の試み～

謝 辞

本研究を進めるにあたり、筑波大学GFESTにおいて筑波大学生命環境系の上松佐知子先生、平本潤さんに多くのアドバイスとご指導をいただいた。ありがとうございました。また、本研究を始めるきっかけとなる地層観察会以来、千葉県立中央博物館の伊左治鎮司先生からは貴重な助言をいただいている。新生代の哺乳類化石については、国立科学博物館地学研究部生命進化史グループの甲能直樹先生から研究方法についての助言をいただいた。

私の研究は、数多くの標本の観察と計測から成り立っている。国立科学博物館、神奈川県立生命の星地球博物館、茨城県自然博物館、千葉県立中央博物館の各博物館では、貴重な標本を観察・計測させていただいた。

国立科学博物館動物研究部脊椎動物研究部脊椎動物研究グループの田島木綿子先生と国立科学博物館名誉研究員の山田格先生には、イルカ解剖の貴重な機会を与えてくださったのに加え、イルカ頭蓋骨・頸椎についての観察方法などをご指導いただいた。

この場をお借りして、皆さんに厚く感謝いたします。