

〈研究論文〉

進化系統樹上近縁の動物に関する比較解剖学やボディプランの知見による クリーチャー（仮想生物）造形教育に関する提案

—ヒトとティラノサウルス類の造形の実践教育の事例分析を通じて—

高 桑 真 恵

【要旨】

アニメやゲームコンテンツに登場するクリーチャー（仮想生物）造形には、生物の形質（構造や機能など）の理解が補助になることは周知のとおりである。コンピューターグラフィックスなどの業界では、これら生物の形態の理解なしにクリーチャー（仮想生物）などキャラクター設計におけるリアリティのある創造・制作が困難であるという問題がかつてより提起されていたが、既知の生物の総種数は多く¹、全ての動物の形態を記憶することは難しい。

一方、著者の授業において、学生が人物の素描といった生体観察を行う機会を通し、ヒトの形態の理解が他の生物の造形に活用できたという事例があった。これが事実であるならば、ヒトの形質（構造や機能など）が他の生物と共通しており、形態を理解することにより他の生物の造形に役立てられるのではないかと想定される。

本論文においては生物の形態の「差」ではなく、共通性に着目した。生物の種ごとに存在するボディプランから生じる形態の類似性から、ヒトを「マスターモデル」として設定し、その形態の理解がどこまで応用可能であるかを、ティラノサウルス類の骨格を中心に進化系統樹上近縁の動物と比較し、更に新口動物全体で形態の比較を行なった。人体解剖学の知見をベースとした比較解剖学やボディプランが、進化系統樹上近縁の生物の描写に活用できる理由をティラノサウルス類の造形を例に調査し、クリーチャー（仮想生物）造形における基礎知識として教育に活用する。

キーワード：クリーチャー（仮想生物）造形、キャラクターデザイン、人体デッサン、ボディプラン、比較解剖学

1. 序論

1.1 研究の背景

本研究を行う契機は、あるデッサン系の授業において人体素描を行い人の形態を理解した学生が、白亜紀に絶滅したティラノサウルス類という古生物の描画において、学習の早期に容易

になった点にある。またこの学生のみならず、人の素描を通してヒトの形質（構造や機能など）についての知識を得た結果、複数人の学生たちから「人だけでなく、他の動物の動きも描けるようになった」との感想を聞くようになった。以上のことは図 1A. から図 1D. までの学生の作画の過程において確認できる。図 1A. 「学習前の人体の描画」は、最初のデッサンの講義回における人物のスケッチであり、約10分かけて描いたものである。図 1B. 「ヒトの解剖学的理解のための描画」は図 1A. を描いた同じ学生が、4 講義回（一回の授業は180分、平均30ポーズ）目に描いたものであり、図 1A. の輪郭に偏った線の特徴と大きく異なり、図 1B. ではより内側の構造の理解、すなわち骨格や骨格筋を解剖図を参照しながら理解を深めている様子が確認できる。結果として人体の動勢も感じられ、全体的に柔軟でしなやかなポーズとなっている。また足もしっかり地面に着地している様子がうかがえ、リアリティのあるポーズが描けている。

同時に同じ学生が、授業最終回（15講義目）に描いた授業ティラノサウルス類の骨格デッサン（図 1C.）と同じく授業最終回に行った骨格デッサンをベースとしたティラノサウルス類の想像図（図 1D.）を見ると、骨格標本でありながらも今にも動き出しそうな様子が確認でき、また立体感も感じられる。この人体の構造の理解が、ティラノサウルス類のデッサンに影響を与えたか否かはかつてより疑問であった。ある日、ティラノサウルス類のレプリカ（図 2B.）を偶然に目にしたときに、人体を構成する骨格要素（図 2A.）の多くがティラノサウルス類のそれに見受けられたことを改めて確認し、外形が大きく異なる生物種間の形態の共通性の多さに驚いたのであった。この形態の類似が、学生の描画に何かの影響を与えたのではないかと思うようになり、その原因の調査が始ったのである。

図 1A. 学生Aの学習前の人体の描画^(*1) 図 1B. 学生Aのヒトの解剖学的理解のための描画^(*1)



図 1C. 学生Aの授業最終日に行ったティラノサウルス類の骨格デッサン^(*1)

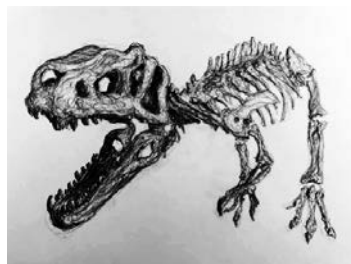


図 1D. 学生Aの授業最終日に行った骨格デッサンをベースとしたティラノサウルス類の想像図 (*1)

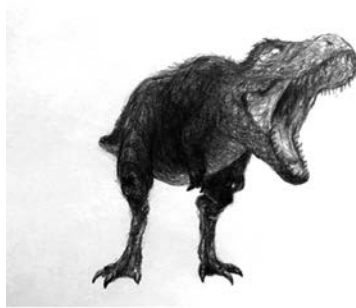


図 2A. ヒトの骨格図 (筆者作図)

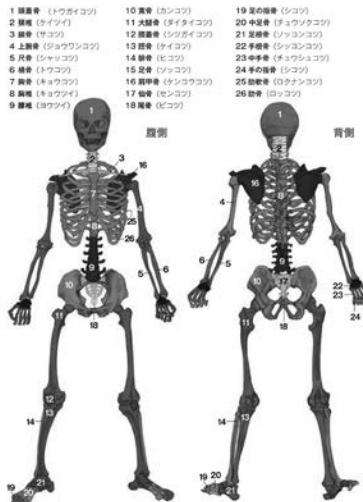
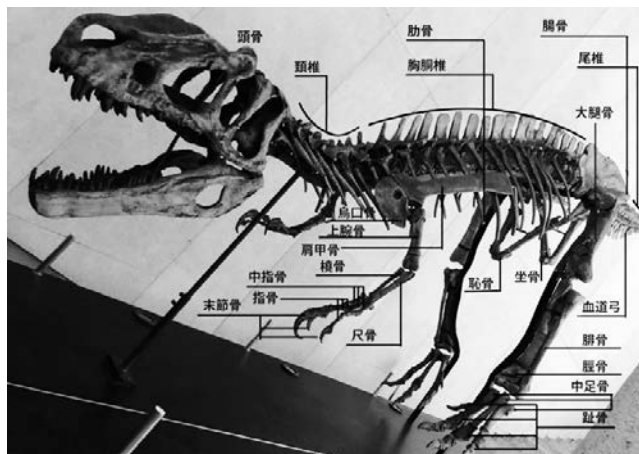


図 2B. ティラノサウルス類の主な骨格部位の解説 (大石化石ギャラリーの骨格復元レプリカの写真に筆者が解説を加えたもの)



1.2 先行研究

本研究は「3Dスカルプトツールを使用したクリーチャー造形における解剖学的整合性の意義」(高桑, 2022)²の論文から「クリーチャー造形において、いかに本物であるかのようなリアリティと説得力を持たせるか」という研究テーマを継ぎ、さらに進化学における視点を加え発展させたものである。先行研究では、多種多様な生物を組み合わせるクリーチャー造形には、形態学の知識が必要であると同時に、体の部位を組み合わせる際に、形態の相同性から同じ関節ごとの「キメラ的組み替え」を行うことにより、違和感のない自然な生命体を創り出すことが可能となった点に着目した。その際にはヒトの形態を構成する解剖学的要素をマスターしておく、他の生物の構造も理解が容易になることから、本研究における「他の動物の形態の理解を安易にするためのマスターモデルの設定、及びその応用可能な範囲の特定」というテーマに繋がった。

そもそもクリーチャー(仮想生物)とは「怪物」とほぼ同義語で、コンピューターグラフィックスの発展に伴い、映画やゲームといったコンテンツに自由自在に創造された仮想動物のキャラクターが登場するようになった。CGで制作されたキャラクターはあたかも本物の生き物のようにリアルに、そして自由自在に動いた。これらはエンターテインメント性の高い映像コンテンツに頻繁に登場し、「クリーチャー」として呼ばれるようになった。そしてかつては「怪獣」「怪物」「モンスター」と謳われた想像上の生物がCGで制作されるようになってからは「クリーチャー」として定着した。(高桑, 2022)

1.3 リサーチクエストと研究仮説

マスターモデルは、生物を造形する際に雛形となる形態であり、それを記憶することにより他の生物描写や複数の生物を組み合わせたクリーチャー(仮想生物)デザインにも活用ができるのではないかと想定した。またかつての造形教育において、人の造形には人の解剖図、犬の造形には犬の解剖図というように、それぞれの動物を造形するには、各動物の骨格や骨格筋の解剖図を参考にするのが一般的であったが、仮に動物間の形態の共通性が判明し、マスターモデルを記憶することにより、他の動物の形態の理解が容易となるという前提を成立させることができれば、アーティストへの難解な解剖図の理解の負担は軽減させることができる可能性も出てくるのではないだろうか。以上からリサーチクエストをまとめた。

リサーチクエスト

- ① 学生が、人の素描を通して獲得したヒトの形質(構造や機能など)に関する知識を生かしてティラノサウルスも描けるようになった教育実践から、ヒトとティラノサウルスの「ボディプラン」(生物の形態継承の設計図)の関連性を活かし、クリーチャー(仮想生物)の造形が容易にできるようになるのではないだろうか。
- ② ①の結果を一般化して、ヒトをマスターモデル(生物造形における雛形)として活用す

れば、進化系統樹上の近縁の生物やクリーチャー（仮想生物）造形が容易になるのではないか。

同時にマスターモデルは一つで良いのかという疑問もある。またマスターモデルを特定する際に分類学的区切りのまま適応できる可能性は低いであろう。生物の分類は階層として区分されているところのドメイン、界、門、綱、目、科、属、種などに代表される項目である。この生物の進化の過程は複雑多岐にわたっており、完成された種の多さからも全てを記憶することは困難であり、それらを造形に活用できるような形態の特徴ごとに纏まりを再構成することが必要と思われる。また造形上、解剖学の知識の習得は、美術表現に集中したいアーティストにとりストレスである。これを解決するようなマスターモデルの存在、すなわち動物の進化の過程で原始的動物の形態も引き継ぎ、多くの動物種の形質（構造や機能など）を共有する存在があれば、動物間の骨格や筋肉といった解剖学的要素の単位における比較も容易となり、少数のマスターモデルを定義することにより問題は解決できるであろう。いずれにしても根拠が必要で、生物学の知識を活用し「進化系統樹上近縁の生物の形態が似る」という定義ができれば、これを前提としてすべての動物及びクリーチャー（仮想生物）を描くために必要なマスターモデル（複数の雛形）を定義することが可能となると想定する。

本論文においてはヒトをマスターモデルとして設定し、ヒトのボディプランに継承された形質（構造や機能など）の共通性から、ヒトを含む脊椎動物の系統を遡ってどこまで造形に応用ができるかを調査する。以下、研究仮説をまとめた。

研究仮説

- ① マスターモデルは、生物造形をする際に雛形となる形態であり、それを記憶することにより他の生物描画や複数の生物を組み合わせたクリーチャー（仮想生物）デザインにも活用ができる。
- ② 「進化系統樹上近縁の生物の形態が似る」ということがわかれば、これを前提としてすべての動物及びクリーチャー（仮想生物）を造形するために、必要なマスターモデル（複数の雛形）を定義することが可能となる。
- ③ ヒトをマスターモデルとして仮定した場合、「進化系統樹上近縁の生物の形態が似る」という根拠の下、ヒトのボディプランに継承された形質（構造や機能など）の共通性から、脊椎動物の造形に応用ができる。

2. ボディプランから生じる形態の相同性

2.1 生物進化論

そもそも進化論とは何か、生物の進化が過去に実際に起こり、どのような形で繰り返され

てきたかは未だ実証されていない。しかし進化論上の仮説を前提として推論を進めていくことにする。

進化論そのものの概念はチャールズ・ダーウィン以前より存在し、ダーウィンの「進化論」によって知られるところとなった。この仮説はその後様々な研究と議論がなされたが、現在においても生物の共通祖先が誕生した約40億年もの遙か過去を遡っての実証は難しいとされている。しかし、その事実を裏付ける証拠が、化石・比較解剖・発生・生理・分子生物・生物分布・生物分類などの分野から多くの例が挙げられている³。

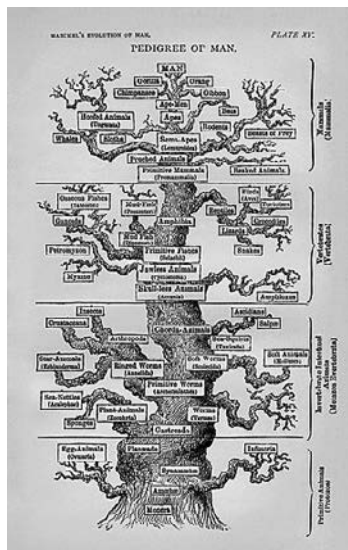
進化とは時間の経過とともに、生物の形質（構造や機能など）が遺伝的に変化していく現象である。一般的には生物の体制はしだいに複雑になり、環境への適応がより完全になる場合が多いが、逆に適応のために単純になる退化も見られる。なお生物学において退化は進化に含まれる。

2.2 進化系統樹

本論を進めるにあたり、進化系統樹の階層（タクサのヒエラルキー）をイメージすると理解が早いであろう。進化系統樹（図3.）は、生物の進化の歴史として、その複雑な進化の経路と生物の共通祖先からの生物の多様化を図で表したものである。19世紀から作成されているこの図は形態学的知見に基づくものであったが、現在においては分子生物学において遺伝子解析による分類がなされるようになり、書き換え続けられている。

本論の各章で使われる用語に、この進化系統樹のあらゆる種の「共通祖先」は進化系統樹（図3.）の下方にある。全ての生物の共通祖先は図3.の木の本の幹の根本になぞられた部分で、枝分かれする前の位置にある。進化するに従い、枝分かれするようにタクソン（分類群）が誕生する意味合いを持つ。このように共通祖先から派生して枝分かれするように生物は進化し続けている。

図3. エルンスト・ハッケルによって作成された進化系統樹 (Haeckel, 1874) ⁴



2.3 進化系統樹における分類とボディプラン

ボディプランとは、ある生物の分類群の中で共通する原型である。動物が子孫を残すと同時にその諸特徴が次の世代に引き継がれ、同時に変異も繰り返される。この変形を繰り返してもなお構造が示す同一性を「相同性」という。この相同性が所以で動物が進化系統樹において形質（構造や機能など）的まとまりごとに（形態の類似性ごとに）分類された。またこの構成要素は「タクソン」（複数形タクサ）という。

ボディプランは厳密な設計図であり、動物の形質（構造や機能など）を決定する。ある動物が子孫に遺伝子を受け継ぐ際に、ボディプランはその形質を拘束させつつ（共通性を引き継ぐ）、環境に適応させるために変化し、結果として進化を経るごとに動物間の形態に微妙な違いを生じさせる。共通性は継承されるため、形態の相同性が生まれた。その基盤となる全ての動物種の門の基本形が先カンブリア紀にボディプランとして完成されたとされる⁵。門において形態は多様化したが、それより派生的に生じた綱、目などの分類群内においてもそれぞれ共通したボディプランが見られる。つまりボディプランが動物の形態的特徴を決定するため、ボディプランごとに分類された進化系統樹のタクソン内の形態は共通する。

どのように一つのタクソンから新しいタクソンが生じるか。例えば魚類の進化において、肉質の厚い鰭をもつ軟骨魚類の肉鰭類は哺乳類などの陸上四肢動物へと進化した類になるが、その魚としての基本形に新しい分節（椎骨や指などのように同じような骨格要素が連続的に発生し、先を伸ばすために生じた節）や極性（頭や尾、腹や背などの方向性）を持っていた肉鰭が陸上生活に便利なように発達することにより、ヒトの手や腕、脚や足のような構造へと進化し、四肢動物の四肢と五指趾という新しいボディプランが誕生した。そしてその魚類から両生類へ、有羊膜類へと新しいボディプランが誕生するごとに次々と新しいタクサとして分類され

た。そしてその逆も同じことが言え、爬虫類であれば、ワニ類やカメ類といった個々の爬虫類はそれぞれ特異な形質（構造や機能など）を持つが、全て爬虫類のボディプランを継承し内包している。そして爬虫類や両生類や魚類は更にその基盤である脊椎動物のボディプランを共有するといったように、ボディプランは共通する形質（構造や機能など）によって分類される範囲が異なる。そのため、タクサのヒエラルキーにおいて、ボディプランは大きくも小さくも分類することができる⁶。

以上のように旧ボディプランが新ボディプランへと形成されていく過程で、厳密であるはずの設計図が、進化の課程の中で徐々に形を変えて新しい形質（構造や機能など）が加えられ、生物の形態の多様性へと発展した。そしてそれが連続的に受け継がれていくことによって進化系統樹のタクソンがさらに分岐を果たし、生物の多様化が進んだ。

3. マスターモデルの設定

ヒトのマスターモデルが他の生物に応用できるかを検討するために、まずは本研究の契機となったティラノサウルス類とヒトの形態の比較を行った。

3.1 ヒトとティラノサウルスの形態の類似性

異なる種の動物間同士の形態が似るのは、その共通祖先の基本的形態すなわち雛形がボディプランとして継承されているからである。実際にティラノサウルス類とヒトとの相互の骨格を比較すると、共通する骨格の部位が多く見受けられる（図2A、2B参照）。理由はヒトが属する哺乳類（図4B）とティラノサウルス類が属する恐竜類（図4C）が、共通祖先である有羊膜類（図4A）から派生した動物であり、共に有羊膜類のボディプランを共有するからである。一方、ティラノサウルス類には有り、ヒトに見ることのない部位もある。例としてティラノサウルス類の尾椎にある血道弓や腹肋骨（稀に化石で残ることがある）などである。また骨格要素に相同性が認められても形態が大きく異なる部位もある。例えばティラノサウルス類の骨盤はヒトと異なり、恥骨と坐骨と腸骨が癒合していない。形態も大きく異なり、図10Bで確認できるように、大きな三角形の恥骨が腹側に、同じく鋭角に尖った三角形の坐骨が背側に突出している。この形態はワニ類に類似しており⁷、理由は恐竜類は爬虫類のなかでも主竜類（ワニを含む）に属し、ニワトリの共通祖先のボディプランを継承しているからである。図4Bの哺乳類を含む単弓類の系統と爬虫類から派生した図4Cの主竜類の系統の違いから確認できるように、ティラノサウルスがヒトよりもワニに近縁である事の証である。

以上のように、ヒトとティラノサウルスが同じ有羊膜類だとしても、その形態の差は更に近縁の種と比較すると存在する。それゆえ、骨格だけ比較しても類似点と同時に相違点もある。ではなぜヒトとの形態や機能の共通性を感じたのであろうか。考えられる最も大きな要因は直立二足歩行による前進運動の機能を支持する骨格と筋肉の構造形成になるであろう。まず筋肉

の疲労によるエネルギーの消費を防ぐために、体重を骨が支える構造に変化した。そして歩行を行うために後肢が体重を支え、また前進の際に前後に後肢を動かすための構造に適した膝関節は前に向き、足は体の下方に伸びた。そしてその結果、発達した骨盤とそこに付着する筋肉、最低限のエネルギー消費で体重を支えるという機能上の共通性から同じ直立二足歩行の人類と形態と機能が類似した可能性は大きい。以上の原因からヒトとさらに近縁である四肢動物の哺乳類よりも、「描きやすさ」「アニメーションを作成する」という意味で、系統分類上ヒトと離れた位置にあるティラノサウルスに人との類似性を感じたのは、前進運動における歩行機能とそれによりもたらされた形態の共通性によるものであると想定した。

3.2 ヒトの形態に基づくマスターモデルの設定とその適応範囲

3.1により、ヒトの形態がティラノサウルス類の造形に生かされ、また形態的共通性やその他に共通性がみられた背景から、ヒトをマスターモデルとして仮に設定し、その他の動物にもその形態が応用できないかを調査した。本来のボディプランにおける「雛形」とは原始的な形質（構造や機能など）であり、本論で想定するマスターモデルとは異なる。造形におけるマスターモデルとは、動物が進化し続けた結果生じた派生的な形態であり、それ以前の進化過程の動物の形態の理解を容易にする発達した形態であるべきと想像する。そしてこのヒトの形態に基づくマスターモデルが生物の分類上どの範囲まで当てはめるかを検討した時に、生物学上ボディプランは広義では「門」で大分類されるが、本章においては、さらに遡った新口動物（図4.E）という分類も含め、適応できるか確認した。

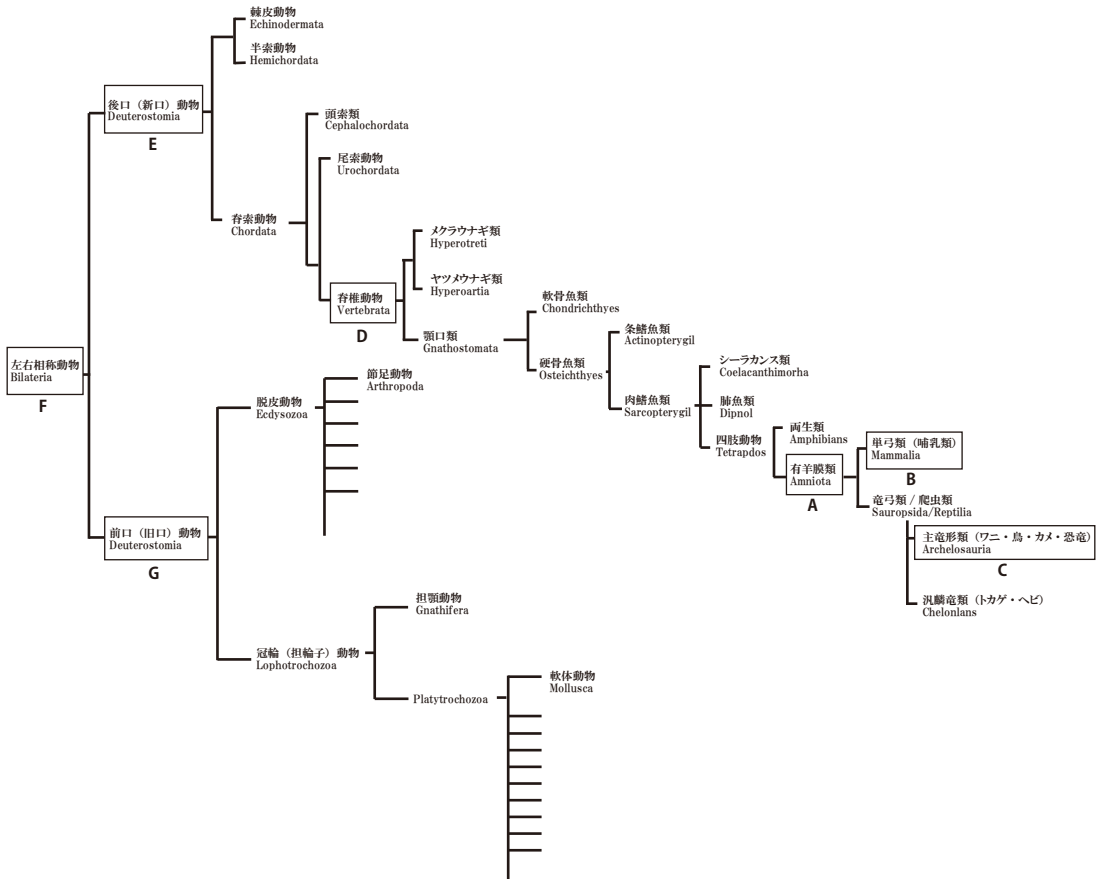
3.3 新口動物と旧口動物とのボディプランの隔たり

ヒトのマスターモデルの応用の範囲を考えた時に、進化系統樹における幹に相当する部分、すなわち動物の進化の最も早期に起こった分岐（図4.F）の位置から確認すべきであろう。進化系統樹を見ると人類を含む脊椎動物は、カンブリア紀に登場したピカイアなどの原始的脊索動物から進化していった。軟体動物や節足動物はさらにこれよりも前に脊索動物と分岐し進化し、原口が肛門の新口動物と原口が口の旧口動物に分岐した。結果的に内骨格の脊椎動物は新口動物として進化、軟体動物や節足動物は旧口動物として進化を遂げた。つまり生物の進化の早期の段階で新旧口動物の進化は分岐している。そのため旧口動物（図4.G）として進化した軟体動物門のタコやイカ、外骨格の昆虫などの節足動物のボディプランは脊椎動物のそれと著しく異なる結果となった。人は頭の下に体幹部があり、体幹部の頭方で上肢が1対、尾方で下肢が1対となっている。一方、タコやイカなどは、胴部の下に頭があり、頭の下に足があるというようにヒトとは大きく異なるボディプランを持つ。これらボディプランの差異の大きさは、進化の初期の過程で分岐、進化した生物間に見られる特徴である。以上のように新口動物と旧口動物とでは基本形に大きな隔たりがある。そのため旧口動物にはヒトの形態に基づいたボディプランが応用できないと判断し、新口動物内での比較を行った。

3.4 新口動物3門のボディプラン

生物学的分類を基準とするボディプランは広義では「門」で大分類される。そして狭義では「種」として小分類される。つまりボディプランはもっとも広範囲で門における基本形態を共有することになるため、同じ新口動物（図4.E）3門の中でも唯一脊索動物がヒトとボディプランを共有するといえる。すなわち、脊索動物とは門の別れる半索動物（門）と棘皮動物（門）は、ヒトとはボディプランが異なることになる。確かに、半索動物のボディプランは脊索動物に近い左右相称の体制ではあるが、吻・襟・体幹の3部で構成され脊椎動物のボディプランとは大きく異なる。一方、ウニやヒトデなど五放射相称の体制の棘皮動物も形態の差が大きい。脊索動物においても、最も原始的ともいわれるピカイヤや頭索動物のナメクジウオ、ホヤなどの尾索動物は脊索や背側神経管を持つが、明瞭な頭蓋がない⁸ どころか、心臓さえないという大きな違いがある。以上から、ヒトと同じ新口動物でも原始的な新口動物では発生に時間的隔りがあり、ヒトとの基本形態に大きな差異が生じていることから、マスターモデルの応用は脊椎動物（図4.D）の範囲で検討を進めることにした。そのため第4章においては、脊椎動物のボディプランについて、ヒトとの相同性を調査した。

図4. 倉谷滋 (2012) 動物の進化⁹ 図1-1, 1-2, 1-3 より一部改変



4. 脊椎動物のボディプラン

ヒトのマスターモデルが適応できる範囲を脊椎動物と限定し、脊椎動物のボディプランの特徴を4.1 同源性や4.2 収斂進化、4.3 椎骨の骨格区分と4.4 腰帯の変化といった点において、その構造の適応ができる範囲を調査した。

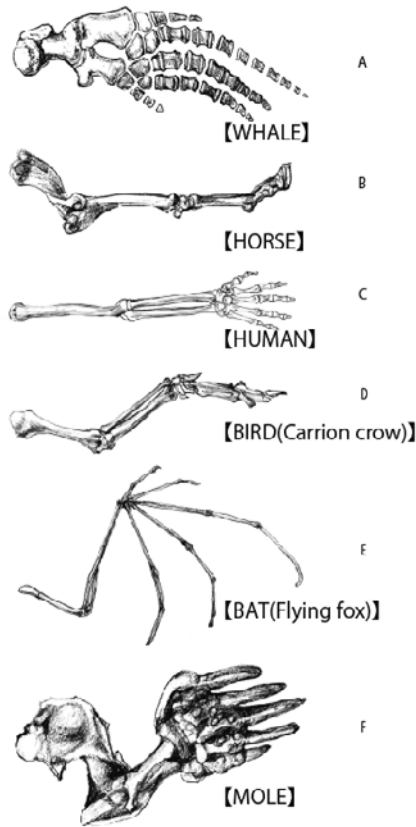
4.1 脊椎動物のボディプランからみる同源性

ヒトの形態は哺乳類のボディプランを引き継ぎ、さらに哺乳類は脊椎動物から受け継いだ基本形態をもつ。そしてヒトと比較すると脊椎動物のボディプランはより妥協的となる。ボディプランを形態における視点で説明すると、例えば哺乳類であれば、「体軸を中心として左右対称であり、前極（頭方）に脳とそれを収める頭蓋骨と、それを支える脊柱は椎骨が連なり体軸を形成すると同時に脊柱は背側で神経管となる。また魚類の対鰭が発達した四肢が存在し、その筋肉の付着先である肩帯と腰帯が発達した。また上肢には上腕骨、尺骨、橈骨、手根骨と中手骨、指骨、下肢には大腿骨、脛骨、腓骨、足根骨、中足骨、趾骨がある」¹⁰となる。さらに、脊椎動物には五本指趾編成の相同形質（構造や機能など）に見られるボディプランがある（図5.参照）。

ティラノサウルス類を例にとると、この脊椎動物のボディプランは確かに指趾に至るまで継承されており、特にその趾骨に着目すると、そこには退化し小さくなった第1趾（図2B.）にヒト科と同じ五本指趾編成の遺伝子継承の名残を確認することができる。図2B.のティラノサウルス類は同類の中でも比較的早期のものである。さらに派生的で大型のティラノサウルス類ティラノサウルス・レックスは前肢の第3指がさらに退化し、第1指と第2指が目立つ。この指趾数の違い、肋骨や椎骨の数の違いといったものは、哺乳類間でさえ見られる。例えばモグラには6本目の指（図5.F）があり、これは地中で土をかきだす際に必要に生じて進化した結果である。この五本指趾編成のボディプランは、魚類から両生類への進化段階で確定がなされ、両生類より後の分類群において継承された。図5.は脊椎動物の前肢における同源性を表した図であるが、骨の数は進化の過程の中で増減のばらつきが存在する（不完全同源性）ため、結果として指趾数に違い生じた。

図 5. 6種の脊椎動物の前肢における相同性を表した概略図 (資料をもとに作図)

HOMOLOGIES OF THE FORELIMB IN SIX VERTEBRATES



A. クジラ¹¹ B. 馬¹² C. ヒト D. ハシボソガラス¹³ E. コウモリ¹⁴ F. モグラ¹⁵

4.2 哺乳類の椎骨における系統的拘束と収斂進化

脊椎動物の椎骨の数に着目すると、その骨格要素と数に相同性を確認することができる(表.1)。脊椎動物の中でも哺乳類は胸腰椎数を19と一定に保つ傾向があるが、これが霊長類の系統においては17から18に数を減らしているものの、頸椎は一定して7個となっており最も安定した数を保っている。一方、哺乳類でも相違が目立つところの鯨目や海牛目、岩狸目などは頸椎・胸椎・腰椎・仙椎・尾椎という区別を部分的に失っており、生息区域の環境に適した魚類の骨格要素に近い状態になっている¹⁶。これらは環境によってボディプランが変化する収斂進化によるもので、本来なら哺乳類間で形態は似るものの、生態環境を同じにする魚類に形が類似した。収斂進化とは、自然界では遠縁の生物でも似たような環境下におかれると、進化の過程で形質が類似していく現象¹⁷であり、爬虫類よりも遠縁にあるティラノサウルス類の形質がヒトの形質と似た理由も収斂進化によるものと想定できる。両方に形の共通性が見られた理由は生息域が陸上であり、直立2足歩行という共通した歩行機能であると同時に、有羊膜類のボディプランを共有するという2つの要因が重なったことによることではないだろうか。

表.1 脊椎動物の椎骨部位の数の比較 (資料¹⁸より一部改変)

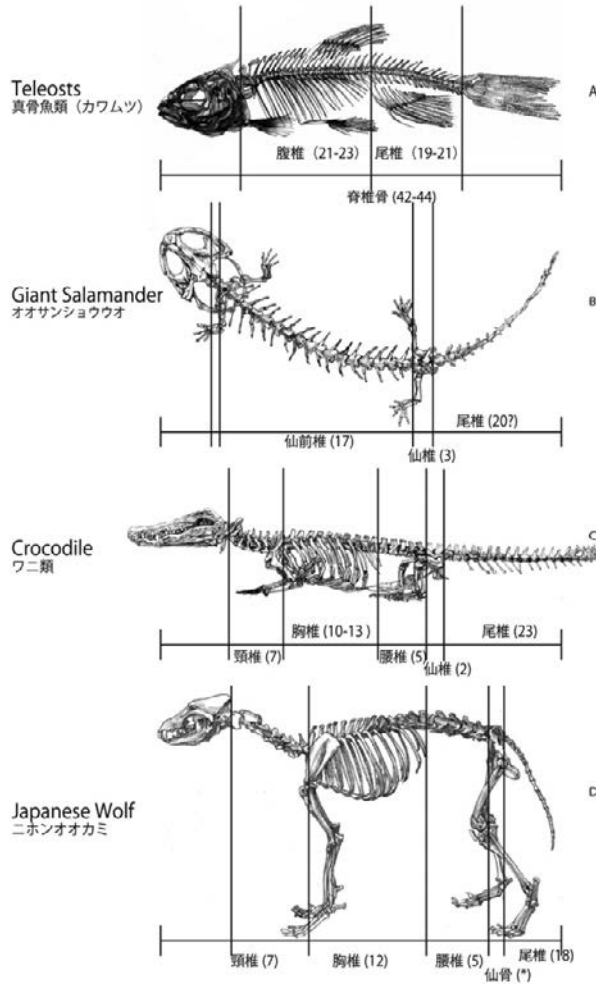
分類		種	頸椎	胸椎	腰椎	仙椎	尾椎
四肢動物	哺乳類	ヒト	7	12	5	5	5~6
		ウマ	7	18	5~6	5	15~19
		ウシ	7	13	6	5	18~20
		ヤギ	7	13	6	5	12~16
		ヒツジ	7	13	6	4	3~24
		ブタ	7	14-16	6	4	20~23
		イヌ	7	13	7	3	16~23
		ネコ	7	13	7	3	21~24
		ウサギ	7	12	7	4	15~18
	海獣類	セミクジラ科	7	11	26		
		マイルカ	7	15	48		
	鳥類	ニワトリ	14	7	12	2	7
	爬虫類	ワニ	8	11	5	2	18~33
	両生類	カエル	1	9			0
	魚類	カワムツ	0	21-23			19-21

4.3 脊椎動物の椎骨の領域化

同じ脊椎動物の中でも、魚類以外は陸上で生息するための四肢とそれを支持するための肢帯をもつ四肢動物に分類される（ヘビなど一部の例外を除く）。脊椎動物の中でもそのような大分類がなされることから、魚類とその他の四肢動物との間に大きなボディプランの差が生じていることは想定できる。水中と陸上との生態環境の違いから、肢帯の発達も異なることがわかるのが、図6.の魚類（図はカワムツの骨格図）、両生類（図はオオサンショウウオの骨格図）、爬虫類（図はワニ類の骨格図）、哺乳類（図はニホンオオカミの骨格図）の椎骨区分を表した図である。魚類の脊椎骨の区分は腹椎骨（21）尾椎（22）（カワムツの骨学的研究p17）と2領域しかないものの、オオサンショウウオに見られる椎骨の区分¹⁹は仙前椎、仙椎、尾椎と3領域に増加している。ワニ類の椎骨は、頸椎（8）、胸椎（13）腰椎（3-5）仙椎、尾椎（?）²⁰とさらに5領域に増加し、哺乳類の椎骨分類である頸椎（7）、胸椎（12-18）腰椎（5-7）仙椎（3-5）、尾椎（?）と数こそ違い、区分は同じと安定化する傾向にある。一方、両生類の区分は爬虫類とも魚類のそれとも異なる。以上から魚類が脊椎動物の中でも特殊なボディプランを持ち、マスターモデルの適応は難しいと考える。

図6. 4種の脊椎動物の椎骨区分

Vertebral Segmentation of 4 Vertebrates



A. カワムツ (宮田 2018) ²¹より作図 B. オオサンショウウオ²²をもとに作図

C. ナイルワニ²³をもとに作図 D. ニホンオオカミ 国立科学博物館日本館展示物をもとに作図

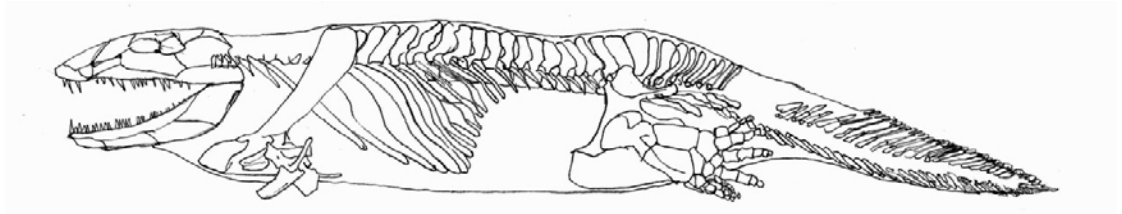
4.4 両生類のボディプラン

4.3の結果による椎骨区分における両生類と爬虫類との隔たりから、両生類のボディプランに着目した。脊椎動物の中でも原始的四足動物であるオオサンショウウオ (図6.B) は、より進化した爬虫類や哺乳類の区分よりも少ない3領域に椎骨が区分されているが、目立った椎骨間の形状に差が見当たらず、魚類と同じように区分がないように見える。これは魚類と同様、体軸を中心に左右にくねりながら前進するのに適している。そして水中での生活が主となっているため、骨盤は体重を支えるのに発達した形状ではなく、また十分な大きさではない。一方、最も原始的といわれている両生類であるイクチオステガは既に5つの椎骨区分が発生して

いるのは興味深い。図7.イクチオステガの骨格において既に脊椎の領域化が進んでおり、ヒトと同じ頸椎、胸椎、腰椎、仙椎、尾椎の形の差異が生じ、区別が確認できる。大腿の特徴に関しては、ワニやトカゲ、サンショウウオなどの現存する一部の両生類や爬虫類に共通していて、体幹を中心として外側に向かい、膝関節から下の脛骨と腓骨で腹側を向くという形態に発展した。理由は、四肢の骨の起源となった魚類の柱脚骨は体側面にあり、陸上に出て間もない肉鱗類や原始的両生類は地面を這い回る行動を取っていたためである。

以上のような両生類内におけるボディプランの違いが発生したのは、魚類から進化の過程で多様化が加速したからである。しかしその後、進化の過程の中で一部の原始的両生類が陸上での効率的な移動を行うために体幹を地面から離し、四肢が徐々に直立に向けて細く長く進化する準備を始めた。結果、イクチオステガのような原始的両生類でさえ、椎骨区分が哺乳類まで継承されている種もあれば、椎骨編成や四肢の発達という点において、オオサンショウウオのように生息域を完全に陸上にしていない原始的両生類と、完全に陸上を生息域にした動物とのボディプランに差が生じている種もあり、両生類においても進化の過程が複雑化し、多様化している様子がみられることとなった。

図7. 2005年に再構築されたイクチオステガの骨格



(Ahlberg et al. 2005²⁴より改写)

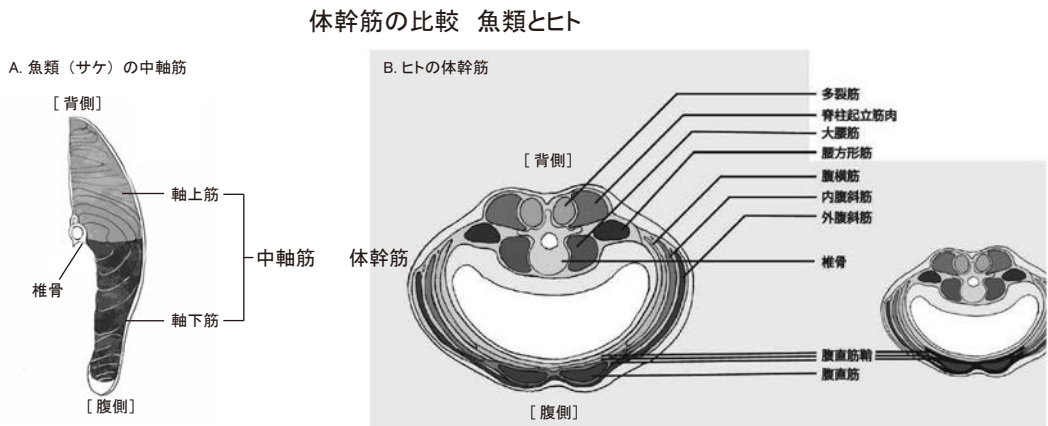
4.5 生息域の変化による脊椎動物の椎骨の領域化

椎骨の領域化が進んだ原因は、水中生活から陸上生活へと生活の場が変わり、これが形態と生理の両側面において劇的な変化をもたらしたからである。浮力の働いていた水中生活とは異なり、陸上に上がった途端、重力に耐えられるような骨格構造と筋肉が必要となった。それまで波状運動で前進していた陸上生活が進むに従い、動物は前進するために機能と形態を変化させていった。魚類の波状運動から一部の両生類と爬虫類の匍匐前進、哺乳類の前進運動への運動の差が、脊柱の弯曲する向きを体軸に対して左右から前後に変化させ、新しい環境に適した強固な骨格構造へと変化した。また同時に四肢の筋肉の付着先である肢帯が発達し、腰帯は脊柱に結合した。一方、魚類で頭と接続していた胸帯も、頭部は体肢の動きの影響なく前を向き続けることができるよう頸部が発達した。

前進運動に対して四足動物の体肢が重要な役割を果たす一方、魚類は水中において体幹と尾の波状運動により前進する。体幹筋のほとんどは中軸筋であり、中軸筋は他の四足動物よりよ

く発達し、複雑な体幹筋を持つ哺乳類とは大きく形態が異なる結果となった（図8.A）。また陸棲動物の背側筋系（胴筋）の容積は体肢の発達により減少した。以上のように生息域の変化がもたらす前進運動の違いから、魚類とそれ以外の脊椎動物である陸上四肢動物では肢帯および椎骨区分、筋肉の構造が大きく異なることになり、哺乳類に近づくに従い、この区分や発達が明確になった（図8.B参照）。つまり水中と陸上の生息域の違いが生物のボディプランを著しく変化させたことになる。以上から4.3でも述べたように、魚類のマスターモデルの適応は難しいことがわかった。

図8. ヒトと魚類の体幹筋比較（筆者作図）



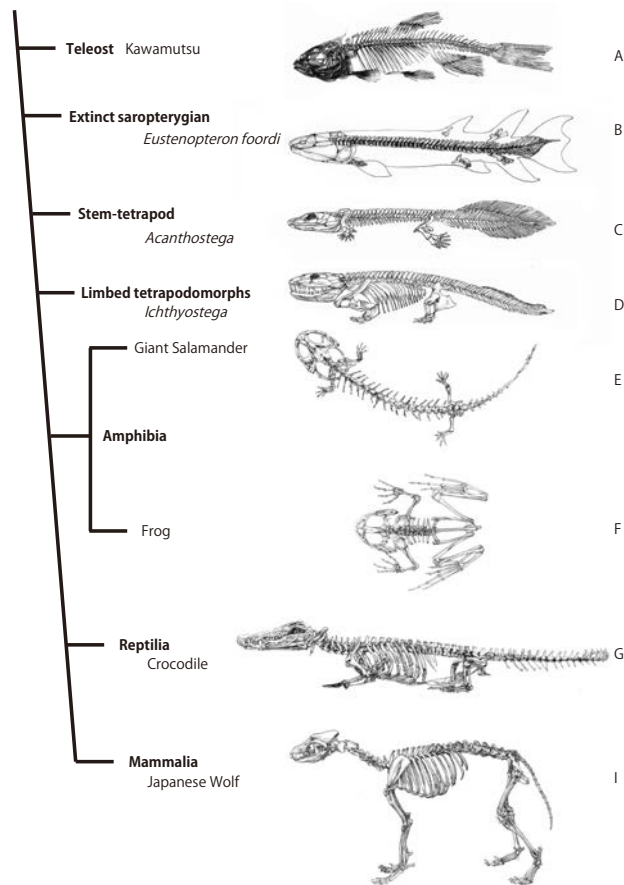
4.6 陸上動物のボディプランの変化

椎骨の領域化は四肢の発達と同時に発生した。動物が水中から陸上へ生息域を広げ、原生両生類は陸上を這うのに適した構造へと進化した。大腿は体幹を中心として外側に向かい、膝関節から下の脛骨と腓骨で腹側を向くという構造になった。一方、ワニなどの爬虫類のように水中を生息域とする動物は仮に近縁であったとしても四肢の関節構造が異なるケースが多く見られ、この水陸両方の生息域をまたいだ進化は、爬虫類の多様化を一気に促進させた。

生息域が水中の動物は、オオサンショウウオやイモリなどの両生類の骨盤に見られるように、全身の大きさと比較すると非常に小さい（図9.E）。同じ両生類でもカエルの骨盤の腸骨は跳躍することに特化した形状になったものの、大きさも全身と比較すると大きめであるが、哺乳類などのそれとは異なり、筋肉の附着先の面積も狭い（図9.F）。以上のように脊椎動物から哺乳類へと進化する過程において、四肢の発生と進化という劇的なボディプランの変化が起こったのは、魚類が陸上に生活の場を移した際、肉鰭が発達した陸上動物の四足が外へ伸び、それと体幹を繋ぐための肩帯・腰帯が発達したからである。それにより哺乳類に至っては、エネルギーの消耗を最小限にして体重を支えるための骨格構造、すなわち骨で体重を支えるために、四肢が下方に長く伸び、前進運動に適した関節構造とボリュームの増した筋肉の付着であ

る肢帯が発達し、そして脊椎は頸椎・胸椎・腰椎・仙骨・尾骨の5領域に分かれた。このように、全身の骨格要素を大きく変える出来事が、動物が水中から陸上へ生活の場を移した段階から始まった。従って、ヒトのボディプランが脊椎動物のどの進化のステージまで遡れるかについては、四足の発達により劇的にボディプランが進化した原始的両生類から検討されるべきであろう。

図9. 脊椎動物の構造変化
Structural Changes of Vertebrates



A : カワムツ (宮田, 2018) より作図

B : *Eustenopteron foordi* (Andrews & Westoll, 1970)²⁵ より改写

C : *Acanthostega* (Coates & Clack, 1995)²⁶ より改写

D : *Ichthyostega* (Jarvik, 1996)²⁷ より改写

E : Giant Salamander²⁸ をもとに作図

F : Frog²⁹ 写真をもとに作図

G : ナイルワニ³⁰ 写真をもとに作図

I : ニホンオオカミ 国立科学博物館日本館展示物の写真をもとに作図

5. 仮説検証の結果

5.1 ティラノサウルス類へのマスターモデルの適応ができた理由

両生類において、今まで水中で生息していた魚類では発達の見られなかった肩帯や腰帯が発達し始めたものの、生息域が水中の爬虫類に至っても、ワニのように匍匐前進をする動物の四肢に目立った発達は見られない。一方、哺乳類の腸骨は、細長い杆状をしていて断面は三角形であり、体重の重い有蹄類（ウマ、ウシ、ゾウ）を代表する四足歩行動物は腸骨から大腿骨に強大な殿筋があるため腸骨が大きくなる傾向にある。また主竜類を介して爬虫類と祖先を共有する恐竜類竜盤類である直立二足歩行の恐竜類は、全体重が腸骨を介して後肢にかかるので、仙椎の数が増加し腸骨は長くなるという発達を遂げている。結果としてヒトとティラノサウルス類が同じ直立歩行を行うにあたり、骨盤は体幹と体肢をつなぐ役割として発達を遂げ、体重を骨格が支えエネルギーの消耗を軽減すると同時に、効率的に前進歩行ができるよう大腿と下腿の向きがヒトと同じく体幹に対して前に向くようになった。

以上のように、後肢の発達に伴い腰帯は発達の歴史を辿った。ティラノサウルス類の腰帯は、爬虫類のワニなどの四足動物と比較しても発達が確認できるが、同じ有羊膜類としての相同性は認められるものの、他の爬虫類と比較すると骨盤の大きな発達や癒合の状態、下肢の形態に差異が見られ、人の形態との類似性が確認できる理由は収斂進化の結果、偶然に似たことがわかるともいえるであろう。結果としてマスターモデルが適応できた理由は以上の点にある。

5.2 マスターモデルの適応の範囲

陸上四肢動物の基本形を決定づける四肢は、魚類の一部である肉鰭類の鰭が（図9.Bから9.Cへの進化）進化したものである。そして魚類は陸上四肢動物の祖先といわれるイクチオステガなどの原始的両生類へと進化し、陸上に這い上がる準備を始めた。同時に椎骨編成がヒトと同じ五領域になり、ボディプランはヒトに格段近づいた。一方、同じ両生類であるオオサンショウウオの椎骨（図6.B）がイクチオステガ（図7.）ほどの領域化が進行していない点についても興味深い結果となっている。このように陸上生活が始まって間もない両生類の形態の進化は、哺乳類に至るまでの進化の早期段階で多様化が進んだ。

またワニのように、爬虫類も椎骨の領域化が哺乳類に近づいてはいるものの、例外的なカメやヘビといった、特殊な形態の動物の出現により、より形態の多様性が広がっていることも事実であり、一概には脊椎動物であるという理由からヒトのマスターモデルが適応できるかという点と確定はできないことがわかった。以上のように爬虫類において既にヒトとの形態の類似性が確認できない種があり、種の進化の分岐は複雑化し、マスターモデルの適応の範囲の確定を困難にさせている。その中で唯一明確になった点は、ボディプランを大きく決定し、動物間の形態の差を出すと思われるのが椎骨区分の違いである。ヒトと同じ5分割に近づくほど、形態の相同性は高くなる。そのため原始的な形態をもつ両生類や魚類において、椎骨区分の大きな

違いや四肢の未発達により、マスターモデルの適応がより困難と判断した。

図10A. ヒトの下肢 (筆者作図)

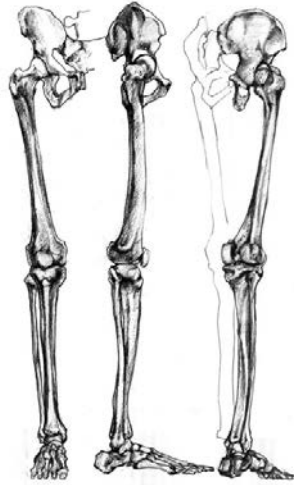


図10B. ティラノサウルス類の下肢帯周辺の写真 (大石化石ギャラリーの骨格標本)



6. まとめ

本論文においてヒトのボディプランをどの動物の階層まで適応できるか確定はできなかった。それは動物の形態は、収斂進化と生物の多様化による進化の過程でうまれた複雑な進化系統にあり、適応できるか否かは、複雑さゆえの結果として生じた形態同士を比較するしかないからだ。ただし、少なくとも脊椎動物の中でも四肢が発生し始めた原始的両生類あたりから適応できる可能性ができた。調査開始当初は脊椎動物に限定し、爬虫類までは応用ができるのではないかと想定したが、生物の多様化は限りなく、一概にはマスターモデルが適応できるかどうかは特定できなかったため、今後の研究課題としたい。

ヒトをマスターモデルとし、その形態がどの生物の造形にまで適応できるのか、ティラノサウルスとヒトとの形態の類似性をきっかけに調査を始め、生物の多種多様化に伴い発生した形

態の共通性を感じ、更に調査を始めたところ、「ボディプラン」という形質（構造や機能など）の設計図を次世代に継承する現象があることを知った。またこれが原因で生じた系統分類上比較的近位のタクサに属する動物種同士の形質（構造や機能など）の相同性の知識をクリーチャー（仮想生物）などの造形に応用させることができるのではないかと思ったことから本研究が始った。つまり「マスターモデル」という、一つの形態を雛形として記憶することによって、多種多様な動物の個々の形を記憶することなく描けるのではないか、また偶然的にも人の形態の記憶が、ティラノサウルス類の描画に活用できたことから、どこまでヒトのマスターモデルが応用できるかの興味を覚え調査を始めたが、同時に近縁であることが必ずしも形態の類似につながるわけではないということもわかった。つまりティラノサウルス類とヒトとの形態が似た理由というのは、主に直立二足歩行を行うという点において、骨格的構造がそれに従い、偶然似る結果となったからである。同時にヒトの縦長の起立姿勢における骨盤から下肢に至るまでの体に占める割合は約半分であり、直立二足歩行は見た目の印象を大きく決定付けると同時に、アニメーション制作などにおいては、ヒトの直立二足歩行を理解していれば、同じ歩行形式をとる動物の動きに関して想像を容易にした原因となった。

以上のように環境要因で異なる系統の生物が似通った形態へと進化を遂げる現象を収斂進化といい、獲得した形質（構造や機能など）は同形形質という。例えば鳥と昆虫は、系統分類上近縁の動物同士ではないが、同じ空を飛ぶために形態を進化させ、「羽」なり「翅」を持つ。全く新口動物と旧口動物という上門を隔てた相同性が少ない動物間であるが、生活する環境が同じになった結果、「はね」を共有することによって「似る」という現象が起きる。これを生物学では「相似の関係」と呼ぶ。さらにティラノサウルスとヒトとは同じ脊椎動物であるので相同の関係にあり、形態が「似る」のは当然であり、そこに同様の歩行機能が加わって、アニメーションや作画を容易にしたと考えられる。

ヒトのマスターモデルの適応の範囲については、多くの哺乳類動物は骨格要素がヒトと共通するため活用できると判断した。またそれ以外の脊椎動物については、左右相称性や頭方と尾方・腹側と背側の区別など、脊椎動物が共通祖先から引き継ぐボディプランもあるものの、爬虫類から不明瞭になり始めた。陸上に這い上がって間もない両生類や魚類では、その腰帯が未発達であり、腰椎と胸椎の区別がないなど、発達した進化形態を持つヒトとは基本的構造が異なり、適応の対象となる種は限られるため、個別に形態を比較しながら判断をしなければならない。

以上から、今後課題を残す結果となったが、少なくとも魚類を除く脊椎動物に関してはマスターモデルが一部の種において適応が可能であることはわかった。

7. クリーチャー（仮想生物）造形教育の提案

CGやアニメーション制作に限らず、幅広い意味でのクリーチャー（仮想生物）デザインにおいて、リアリティと説得力のあるデザインに仕上げることは人類の長年のテーマであったに

違わない。同様に生物進化の長い歴史において複雑多岐にわたって生じた生物の全ての形態を理解・分類することは困難である。そのため現在に至って、ほんの数種の生物の形態の理解だけでは、リアリティのある生物のデザインにたどり着けず、フラストレーションを抱えたクリーチャーデザイナーは多いことであろう。なぜなら生物の進化の過程は絶え間なく連続しており、進化の過程の一部分を切り取って組み合わせるようなデザインを行なったとしても、その前後の理解の不足により、場合によっては説得力が失われる可能性があるからである。

この度の調査で分かったことは、脊椎動物の中でも陸上脊椎動物であれば、形態が似る可能性が高くなるということである。そのため、よりリアル（＝説得力のある）なクリーチャー（仮想生物）デザインを目指すのであれば、まずはマスターモデルとなる人体の形態を理解し、生物の進化の多様性と系統関係を理解した上で、複数種の生物を組み合わせデザインすることが効果的であろう。以上、あたかも生物が進化し形態を徐々に変化させながら遺伝子を次世代に継承していくかのように、リアリティのあるクリーチャー（仮想生物）をデザインすることが可能となることを本論文で提唱したい。

序論でも記したが、本研究で明らかとなった動物の形態の相同性や収斂進化、生物の分類の基盤となるボディプランについての調査は、造形のための生物ごとに共通する基本形（雛形）の発見と定義の基礎研究として大きな指針となった。そしてボディプランという制約を乗り越えて進化し、分岐した生物の形態を今後造形に適したマスターモデルごとに分類し、定義していくことを今後の研究テーマとしたい。

【謝辞】

本論文を作成するにあたり、城西国際大学 袁福之教授と大石化石ギャラリー学芸員・城西大学 宮田真也助教に貴重なご助言を承り、粗稿を完成することができたことを深謝する。

【注】

^(*) 本論文に掲載されている学生作品（図 1A. 1B. 1C. 1D）は制作者から本論文における掲載許可を得ている。

【参考文献】

- ¹ 環境省環境循環型社会白書：<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h20/html/hj08020601.html>（参照日：2021.11.11）
- ² コンテンツ教育学会誌 Vol.4 No.4 pp.54-76, 2022-1
- ³ 『旺文社生物事典』 <https://japanknowledge.com/lib/display/?lid=5807500033120>（参照日：2021.11.8）

- ⁴ Ernst Haeckel (1879). “tree of life” English version of Ernst Haeckel’s tree from the *The Evolution of Man*,
- ⁵ 日本進化学会 (2012) 『進化学事典』, 共立出版株式会社, p.212
- ⁶ Brian K. Hall (1998). *Evolutionary Developmental Biology* (倉谷滋訳 『進化発生学』, p.195, 2001)
- ⁷ Alfred Sherwood Romer and Thomas S. Parsons (1985). *The Vertebrate Body*, fifth edition (平光廣司訳 『脊椎動物のからだ 〈その比較解剖学〉』 法政大学出版局, p.174, 2007)
- ⁸ 日本進化学会 (2012) 『進化学事典』 共立出版株式会社, p.313-322
- ⁹ 日本進化学会 (2012) 『進化学事典』 共立出版株式会社, p.2
- ¹⁰ 倉谷滋 (2012) 『動物進化形態学』 東京大学出版会, p.15
- ¹¹ A. WHALE: SKELETON OF TWO MINKE WHALES, BALAENOPTERA ACUTOROSTRATA, STRANDED ON THE SOUTH-EAST COAST OF NEW ZEALAND, A. G. WATSON· & R. E. FORDYCE, *New Zealand Natural Sciences* 20, p.3. figure1. D, 1993,
- ¹² B. HORSE: 犬と馬の後脚の図 : W. Ellenberger, H. Dittrih, H. Baum (1949), *An Atlas of Animal Anatomy for Artist*, Dover Publications Inc., p.20
- ¹³ D. BIRD: 笹岡市立カブトガニ博物館 HP : <https://www.city.kasaoka.okayama.jp/site/kabutogani/24359.html> (参照日 : 2022.8.14)
- ¹⁴ E. BAT: JT生命氏研究館 HP : <https://www.brh.co.jp/publication/journal/100/research02/3> (参照日 : 2022.8.14)
- ¹⁵ F. MOLE: ©Vaukalaka, flickr: <https://www.flickr.com/photos/biologis/5842355114/> (参照日 : 2022.8.14)
- ¹⁶ 倉谷滋 (2012) 『動物進化形態学』 東京大学出版会, p.593
- ¹⁷ 日本進化学会 (2012) 『進化学事典』 共立出版株式会社, p.596
- ¹⁸ 日本大学生物資料科学部博物館 平成25年度企画展 骨を読む～脊椎動物入門～展示解説会テキスト 倉谷滋 (2012) 『動物進化形態学』 東京大学出版会, pp.593-599
- ¹⁹ Springer Link: https://link-springer-com.translate.goog/article/10.1007/s00435-022-00559-3?error=cookies_not_supported&code=c31c6b37-a6a0-49da-862c-046a395e373a&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ja&_x_tr_hl=ja&_x_tr_pto=sc (参照日 : 2022.8.8)
- ²⁰ 日本古生物学会 HP : <http://www.palaeo-soc-japan.jp/publications/90%20Suzuki%20et%20al.pdf> (参照日 : 2022.8.8)
- ²¹ コイ科魚類カワムツの骨学的研究
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kmnh/16/0/16_5/_pdf?fbclid=IwAR2NrTfXtGtXDJIQr5HwE-fEAqm1t7lQkJ-1pN_16r3OWiRPgOBYyKlKlFE (参照日 : 2022.8.29)
- ²² DKfindout! Japanese giant salamander, <https://www.dkfindout.com/uk/animals-and-nature/amphibians/inside-salamander/> (参照日 : 2022.08.11)
- ²³ ナイルワニの骨格標本, Reptilia in the Natural History Museum, London, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nile_crocodile_skeleton.jpg (参照日 : 2022.8.11)
- ²⁴ Per Erik Ahlberg and Jennifer A. Clark (2006), A firm step from water to land, Nature publishing Group,

p.747

- ²⁵ Andrews, S. M and Westoll, T. S. (1970), The postcranial skeleton of *Eusthenopteron foordi* Whiteaves. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 68: 207–329
- ²⁶ Ahlberg PE, Clack JA, Blom H. (2005), The axial skeleton of the Devonian tetrapod *Ichthyostega*. *Nature*, pp.437:137-40
- ²⁷ Jarvik, E. (1996), The Devonian tetrapod *Ichthyostega*. *Fossils and Strata*, 40, 1–206.
- ²⁸ DKfindout! Japanese giant salamander
<https://www.dkfindout.com/uk/animals-and-nature/amphibians/inside-salamander/> (参照日 : 2022.08.11)
- ²⁹ DKfindout! inside a frog
<https://www.dkfindout.com/uk/animals-and-nature/amphibians/inside-frog/> (参照日 : 2022.08.07)
- ³⁰ ナイルワニの骨格標本, Reptilia in the Natural History Museum, London
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nile_crocodile_skeleton.jpg (参照日 : 2022.08.11)
- ³¹ Alfred Sherwood Romer and Thomas S. Parsons (1985). *The Vertebrate Body*, fifth edition (平光廣司訳 (2007) 『脊椎動物のからだ 〈その比較解剖学〉』法政大学出版局, pp.175-176)

Proposal for Creature Modeling Education Based on the Knowledge of Comparative Anatomy, Body Plans of Animals Belong Closely on the Evolutionary Phylogenetic Tree: Through a Case Study Analysis of Practical Education of Drawing Human and Tyrannosaurids

Masae TAKAKUWA

Abstract

True understanding of the traits (structure and function) and the knowledge of anatomy will aid in the modeling of creatures (virtual organisms) that we see in modern anime and game content. Without a true understanding of the morphology of these organisms, it is difficult to create and produce realistic designs of imaginary creatures and other characters.

There also have been many cases where human traits has been utilized in the modeling of creatures through the observation of living organisms, such as a drawing of human figures. If this is the case, it can be assumed that the human form has much in common with other organisms, and that understanding of the form can be used to create other organisms.

The commonalities in the morphology of organisms were focused on rather than differences. The morphology of the human were set as the “master model” based on the similarity of morphology resulted from the body plan of each species of organism, and compared with the morphology of Tyrannosaurids and other closely related animals on the Evolutionary Tree, and also compared morphology across the entire *Deuterostomia*.

Comparative anatomy and body plans based on human anatomy can be applied to draw the closely related organisms on the Evolutionary Tree, in this research especially through the case of the drawing the Tyrannosaurids, and this basic knowledge can be utilized in education of creating creature designs.

Keywords: Creatures (virtual organisms) modeling, character design, figure drawing, body plans, comparative morphology