

目次

1. 著者が執筆前に編集委員に提出したコンセプトペーパー P.03
2. 編集委員によるコンセプトペーパーに対するコメント P.07
3. コメントを受けて著者が再考した後に提出された論考初稿 P.13
4. 『といとうとい』 Vol.0に掲載された論考 P.19
5. 『といとうとい』 Vol.0に掲載された編集委員との対話 P.25
6. 『といとうとい』 Vol.0に掲載された編集委員による解題 P.27

目次内のページ番号は、本PDFにおけるページ番号をさす

21世紀における比較解剖学の意義

—異種の身体構造を知ることは、我々に何をもたらすのか？—

郡司 芽久 筑波大学研究員

1. プレ概要

様々な生物の身体構造を明らかにし、比較することで、体系だった生物学的知見の構築を目指す「比較解剖学」は、19世紀初頭に全盛期を迎えた。その後、主だった生物のおおよその身体構造が知られるようになり、生物学の主流が分子生物学へと移り変わるにつれて、生物学における比較解剖学の役割は次第に矮小化してきた。本稿では、21世紀を生きる我々が比較解剖学を学ぶ意義について、多角的な視点から論述したい。

2. メイン概要

解剖学と聞いて連想するのは、学校の保健室に掲げられた人体解剖図や、深夜に廊下を走ると噂される不気味な人体模型だろうか。いずれにしても、解剖学は医学に関わる学問という印象が強いだろう。確かに現代の解剖学は、基礎科学の一分野というよりも、医学および獣医学における基礎教養という側面が強く、「膨大な量の解剖学名の記憶を強いるだけの退屈な暗記科目」と評されることすらある（田島 et al.2013）。

元来解剖学は、医学的貢献のみを目的にした学問ではなく、過去2000年ほどにわたって基礎科学としての生物学の中心を担い続けてきた（遠藤2002）。「生物の身体はどのような構造をしているのだろうか？」という解剖学における原初的かつ究極的な疑問は、古代ギリシャの哲学者・アリストテレス以降、数多くの研究者を魅了し、多くの発見を生み出してきた。特に、生物の身体構造を種ごとに比較する「比較解剖学」は、生物種間の類似点と相違点を明確にし、現代の分類学の基盤を築いたと言える。

ところが19世紀に入ると、人々の興味は「身体はどのように作られるのか？」という点に移り変わり、生物学の中心課題は、身体構造そのものを対象とした解剖学から、身体の成り立ちを紐解く発生学へとシフトしていった。そして20世紀以降、生態学・分子生物学が興隆する中、伝統的な解剖学研究は徐々に勢いを失い、衰退の一途を辿った。こうした歴史を受けて、日本語版Wikipediaの「比較解剖学」の概要欄は、こんな言葉で締めくくられている。“（20世紀以降は）主な動物のおおよその構造が知られるようになり、それらの解剖学はむしろ各群の内部での問題として扱われるようになる。また、解剖学的な研究も、器官レベルから組織、細胞レベルへと進んだ。これによって比較解剖学はすくなくとも学としてのまとまりを失い、発展的に解消したような形でその役割を終えた”。やや極端な表現にも思えるが、実際に、ヒト以外の生物の解剖に関する研究論文は、1835年をピークに、19世紀後半にかけて急激な減少を見せている（Cole and Eales 1917）。

このように「学問分野として衰退した」と評される一方で、解剖学における新発見は21世紀に入ってから後も絶たない。あらゆる動物の中で最も解剖学的知見が豊富であろう「ヒト」においてすら、新たな器官の発見・報告がされている。例えば、2015年には、脳の周囲を覆う髄膜の上にリンパ管が存在することが発見され、サイエンス誌が選ぶ2015年のブレークスルー研究Top10に選ばれるなど、センセーショナルなニュースとなった

(Louveauetal.2015) (ただし厳密に言えば、このリンパ管は1787年に既に報告されていた)。2020年にも、PET/CTという最新の装置を用いた検査により、ヒトの鼻腔内に新規な唾液腺が存在することが報告された (Valstaretal.2020)。当然のことながら、ヒトよりも研究事例が少ない生物種—キリンやゾウなど、いわゆる“動物園のスター動物”も含む—においても、現代に至るまで、解剖学的新知見が絶え間なく報告されている

(e.g.Hutchinsonetal.2011;GunjiandEndo2016)。実験動物として馴染みが深いマウスやラットの体についても、「概ねわかっている」という程度であり (田島etal.2013)、生物の身体構造に関しては未だわかっていない部分の方が多いはずだ。前述の唾液腺同様、検査器具や装置の発達によって観察の“解像度”が上がり、新たな組織を見つけることも十分に期待できる。

さらに近年では、解剖学者とロボット工学者による学際研究も進んでいる。絶滅した原始的な四足動物の身体構造を模したロボットを開発し、絶滅動物の歩行の様子を復元する研究 (Nyakaturaetal.2019) や、機械の躯体に本物の鳥の羽を取り付けたバイオ・ハイブリット飛行ロボットの開発 (Changetal.2020) などが記憶に新しい。筆者自身も、2018年度に開始した科学研究費助成事業「新学術領域研究・ソフトロボット学」に参画し、「生物の“柔らかさ”とは何か？」というテーマの学際研究に取り組んでいる。(鈴木etal.2019)。技術の発展により、複雑な生体システムをより詳細に観察・評価し、より高度なレベルで「生物を模倣する」ことが可能になりつつある今、解剖学の学術的意義は決して小さくないのではないだろうか。

19世紀初頭に全盛期を迎え、20世紀にはその役割を終えたと評される「比較解剖学」は、Wikipediaの記述通り、21世紀においてはもはや学ぶ必要のない“役割を終えた”学問なのだろうか？それとも、学際研究の促進・推奨により、新たな役割を持ってリブートしつつあるのだろうか？自らの身体構造を理解し、そして異種の身体の構造を明らかにし、それらを比較することは、我々人類に何をもたらすのだろうか？本稿では、現代社会における比較解剖学のあり方とその意義、学問分野としての可能性について、多角的な視点から論述したい。

3.現段階で最終論考の形態のイメージは？

論文形式の文章を想定しています。

4.なぜこの論考誌に掲載をしたいと考えたのか (自由記述)

日頃から、解剖学界限の諸先輩方から「解剖学は過去の学問だと言われるが、そんなことはないはずだ」との言葉を聞く機会が多い。しかしながら著者自身は、このような解剖学への負の評価を解剖学者からしか聞いたことがなく、数年前からこうした発言に疑問をもつようになった。著者自身は、解剖学者としての講演の依頼や共同研究のオファーを受けることが多く、解剖学の衰退を感じる機会は少ない。「解剖学は衰退した過去の学問である」というのはすでに過去の意見なのではないだろうか。徐々にそう考えるようになり、今回、本論考誌において「21世紀における解剖学の意義」について広く“問う”機会をもちたいと考えるようになった。

5.この論考（作品）のオリジナリティ（アイデンティティ）はどこか？類似する他者は？

1990年代～2010年代にかけて、「解剖学は終わった学問と称される」ことを嘆き、反論する意見論文は複数出版されている（e.g.遠藤2002、田島2014）。その多くが「伝統的な解剖学研究の意義の再認識」を主張しているが、本稿においては「現代における解剖学研究の新たな価値」を多角的な視点から評価したいと考えている。（2890文字）

引用文献

ChangeE,MatloffLY,StowersAK,LentinkD.

(2020)Softbiohybridmorphingwingswithfeathersunderactuatedbywristandfingeremotion.Science Robotics,5(38),pp.eaay1246.

ColeFJ,EalesNB.(1917)Thehistoryofcomparativeanatomy:part1.-

Astatisticalanalysisoftheliterature.ScienceProgress,11(44),pp.578-596.

GunjiM,EndoH.

(2016)Functionalcervicothoracicboundarymodifiedbyanatomicalshiftsintheneckofgiraffes.Royal SocietyOpenScience,3(2),150604.

HutchinsonJR,DelmerC,MillerCE,etal.

(2011)Fromflatfoottofatfoot:structure,ontogeny,function,andevolutionofelephant“sixthtoes”.Science,334(6063),pp.1699-1703.

NyakaturaJA,MekoK,HorvatTetal.(2019)Reverse-

engineeringthelocomotionofastemamniote.Nature,565,351-355.

LouveauA,SmirnovI,KeyesTJetal.

(2015)Structuralandfunctionalfeaturesofcentralnervoussystemlymphaticvessels.Nature,523,337-341.

ValstarMH,deBakkerBS,SteenbakkersRJHMetal.

(2020)Thetubarialsalivaryglands:Apotentialneworganatriskforradiotherapy.RadiotherapyanOncology(inpress)

遠藤秀紀（2002）遺体科学のストラテジー。日本野生動物医学会誌、7(1),pp.17-22.

田島木綿子、山田格、関谷伸一、小泉政啓（2014）比較解剖学の過去、現在、未来。哺乳類科学、54(1),pp.153-156.

1. SHINTARO FURUYA

2021年1月27日 2:01:31

アリストテレス=16世紀までの自然哲学（科学）のスタンダードは、博物学>分類学>解剖学でした。解剖学がマイナーだったと言いたいわけではないのですが、相互の関係性を整頓してそれぞれの学問の意味を整理しなおすことで、解剖学の重要性を主張しやすくなるのではと思います。

すなわち、アリストテレスの中では、博物学は自然を理解しようという大目的であり、そのために分類というアプローチがあり、分類の根拠として解剖が位置付けられています（最近みずから『アリストテレス 生物学の創造』という訳書が出て、参考になるかもしれないので、よろしければぜひ）。

すると、解剖学は自然の理解の最も重要な根拠の一つということができず、かつ解剖学のアップデートは、分類学のアプローチをアップデートし、最終的には自然の見方そのものを変えるほどのインパクトを持ち得るというわけでは

ない。というふうな、学問の構造を踏まえると「現代の分類学の基盤を築いた」という表現も変わってくるかなと思いますが、いかがでしょうか。

2. SHINTARO FURUYA

2021年1月27日 2:09:38

分類学と解剖学の対比も面白いかもしれません。解剖学のアップデートが盲点になっているのに対し、分類学は早々にアップデートされましたから。分類学と比較解剖学は進化論を導き、進化論は遺伝学・発生学を導きました。遺伝学が登場した後、アップデートされたのが分類学だけだったのは、おそらく「種」に関する進化論のインパクトが大きかったためであると考えていますが、分類学が形態ベースから進化ベース、分子ベースとアップデートしてきたことと比較すると、解剖学のアップデートが盲点になっていることを強調できるのではと思います。

21世紀における比較解剖学の意義

—異種の身体構造を知ることは、我々に何をもたらすのか？—

郡司 芽久 筑波大学研究員

1. プレ概要

様々な生物の身体構造を明らかにし、比較することで、体系だった生物学的知見の構築を目指す「比較解剖学」は、19世紀初頭に全盛期を迎えた。その後、主だった生物のおおよその身体構造が知られるようになり、生物学の主流が分子生物学へと移り変わるにつれて、生物学における比較解剖学の役割は次第に矮小化してきた。本稿では、21世紀を生きる我々が比較解剖学を学ぶ意義について、多角的な視点から論述したい。

2. メイン概要

解剖学と聞いて連想するのは、学校の保健室に掲げられた人体解剖図や、深夜に廊下を走ると噂される不気味な人体模型だろうか。いずれにしても、解剖学は医学に関わる学問という印象が強だろう。確かに現代の解剖学は、基礎科学の一分野というよりも、医学および獣医学における基礎教養という側面が強く、「膨大な量の解剖学名の記憶を強いるだけの退屈な暗記科目」と評されることすらある（田島 et al. 2013）。

- 1 **元来解剖学は**、医学的貢献のみを目的にした学問ではなく、過去2000年ほどにわたって基礎科学としての生物学の中心を担い続けてきた（遠藤2002）。「生物の身体はどのような構造をしているのだろうか？」という解剖学における原初的かつ究極的な疑問は、古代ギリシャの哲学者・アリストテレス以降、数多くの研究者を魅了し、多くの発見を生み出してきた。特に、生物の身体構造を種ごとに比較する「比較解剖学」は、生物種間の類似点と相違点を明確にし、**現代の分類学の基盤を築いた**と言えよう。

ところが19世紀に入ると、人々の興味は「身体はどのように作られるのか？」という点に移り変わり、生物学の中心課題は、身体構造そのものを対象とした解剖学から、身体の成り立ちを紐解く発生学へとシフトしていった。そして20世紀以降、生態学・分子生物学が興隆する中、伝統的な解剖学研究は徐々に勢いを失い、衰退の一途を辿った。こうした歴史を受けて、日本語版Wikipediaの「比較解剖学」の概要欄は、こんな言葉で締めくくられている。“（20世紀以降は）主な動物のおおよその構造が知られるようになり、それらの解剖学はむしろ各群の内部での問題として扱われるようになる。また、解剖学的な研究も、器官レベルから組織、細胞レベルへと進んだ。これによって比較解剖学はすくなくとも学としてのまともまりを失い、発展的に解消したような形でその役割を終えた”。やや極端な表現にも思えるが、実際に、ヒト以外の生物の解剖に関する研究論文は、1835年をピークに、19世紀後半にかけて急激な減少を見せている（Cole and Eales 1917）。

3. SHINTARO FURUYA

2021年1月27日 1:50:45

空腸と回腸を支えているだけと思われていた腸間膜が、ホルモンを分泌していることがわかったのも最近ですね。

解剖学はメタボロミクスなど他分野の進展や機器の発達およびロボット工学などの新しい分野からのニーズによって、アップデートされる余地は大いにあると思います。

4. Rusudan KEVKHISHVILI

2021年1月25日 5:28:39

このことは知りませんでした。非常に興味深いことです。

5. Rusudan KEVKHISHVILI

2021年1月25日 5:31:03

このコメントを読むと、少し読者の気持ちはマイナスの方向に変わると思います。既に報告されていなかった発見を例として挙げるとより説得力があると思います。

6. Rusudan KEVKHISHVILI

2021年1月25日 5:32:31

一つ具体例を挙げると良いと思います。

7. SHINTARO FURUYA

2021年1月27日 2:12:46

実際、その通りだと思います。アップデートされた「ヒト」の解剖学のインパクトが比較解剖学にまで波及し、他の動植物に関するアップデートされた解剖学の知見も含め、バイオメーシスをより発展させることを願っています。

8. Rusudan KEVKHISHVILI

2021年1月25日 5:47:32

ロボット研究との関連性を通じて、比較解剖学は人々の日々の生活をより便利にすることができると思います。

9. SHINTARO FURUYA

2021年1月27日 2:14:28

すばらしいテーマだと思います。研究内容の紹介を本文中に盛り込み、位置付けることはできませんか？

10. Rusudan KEVKHISHVILI

2021年1月25日 5:38:06

この研究の内容についてもう少し説明すると研究の魅力はよりよく伝わると思います。

11. 東原紘道

2021年1月24日 5:40:05

@学術的意義は決して小さくないとの意見に賛成。生体（きわめて長期の淘汰・選抜の結果）の情報はまだまだ人知が届く水準より遥かに微細精妙であろう。つまりは今後も研究課題であり続けると思う。

3 このように「学問分野として衰退した」と評される一方で、解剖学における新発見は21世紀に入ってからも後を絶たない。あらゆる動物の中で最も解剖学的知見が豊富であろう「ヒト」

4 ト」においてすら、新たな器官の発見・報告がされている。例えば、2015年には、脳の周囲を覆う髄膜の上にリンパ管が存在することが発見され、サイエンス誌が選ぶ2015年のブレークスルー研究Top10に選ばれるなど、センセーショナルなニュースとなった

5 (Louveauetal.2015) (ただし厳密に言えば、このリンパ管は1787年に既に報告されていた)。2020年にも、PET/CTという最新の装置を用いた検査により、ヒトの鼻腔内に新規な唾液腺が存在することが報告された (Valstaretal.2020)。当然のことながら、ヒトよりも研究事例が少ない生物種—キリンやゾウなど、いわゆる“動物園のスター動物”も含む—においても、現代に至るまで、解剖学的新知見が絶え間なく報告されている

6 (e.g.Hutchinsonetal.2011;GunjiandEndo2016)。実験動物として馴染み深いマウスやラットの体についても、「概ねわかっている」という程度であり (田島etal.2013)、生物の身体構造に関しては未だわかっていない部分の方が多いはずだ。前述の唾液腺同様、検査器具や装置の発達によって観察の“解像度”が上がり、新たな組織を見つけることも十分に期待できる。

8 さらに近年では、解剖学者とロボット工学者による学際研究も進んでいる。絶滅した原始的な四足動物の身体構造を模したロボットを開発し、絶滅動物の歩行の様子を復元する研究 (Nyakaturaetal.2019) や、機械の躯体に本物の鳥の羽を取り付けたバイオ・ハイブリッド飛行ロボットの開発 (Changetal.2020) などが記憶に新しい。筆者自身も、2018年度に開始した科学研究費助成事業「新学術領域研究・ソフトロボット学」に参画し、「生物の“柔らかさ”とは何か？」というテーマの学際研究に取り組んでいる。(鈴木etal.2019)。技術の

9 発展により、複雑な生体システムをより詳細に観察・評価し、より高度なレベルで「生物を模倣する」ことが可能になりつつある今、解剖学の学術的意義は決して小さくないのではないだろうか。

11 19世紀初頭に全盛期を迎え、20世紀にはその役割を終えたと評される「比較解剖学」は、Wikipediaの記述通り、21世紀においてはもはや学ぶ必要のない“役割を終えた”学問なのだろうか？それとも、学際研究の促進・推奨により、新たな役割を持ってリポートしつつあるのだろうか？自らの身体構造を理解し、そして異種の身体の構造を明らかにし、それらを比較することは、我々人類に何をもたらすのだろうか？本稿では、現代社会における比較解剖学

12 13...15 学のある方とその意義、学問分野としての可能性について、多角的な視点から論述したい。

3.現段階で最終論考の形態のイメージは？

論文形式の文章を想定しています。

4.なぜこの論考誌に掲載をしたいと考えたのか (自由記述)

12. Rusudan KEVKHISHVILI

2021年1月25日 5:49:44

今まで、身体構造のほとんど全てが知られていると思っていました。我々が知らないことはまだどこまで多いか（知らない部分を知る必要性を含めて）を読者に実感させるために例等を挙げるとよりインパクトがあると思います。例えば、上述の新規な唾液腺の発見はどのような意味をもっていますか。医学上、何を変えることになりますか。

13. 宮野公樹

2021年1月20日 6:48:55

以下、こんな視点があればいいかなと思うものを列挙します。

14. 宮野公樹

2021年1月20日 6:51:25

「人はなぜ解剖したがるのか」
「解剖したら何がわかるのか、何がわかったことになるのか」
「解剖の対象として人間を扱うのと、他の生命体（動物など）を扱うのとでは、背景にある思想はどう違うのか（あるいは同じなのか）」
これらについて答えて頂くと、よりぐっと深まる気がします。楽しみです。

15. 宮野公樹

2021年1月20日 6:45:36

早くこの具体的な視点での論述が読みたくなりました。大いに期待したいです！

16. SHINTARO FURUYA

2021年1月27日 2:16:27

冒頭のコメントに書きましたが、自然の見方が変わる根本的な学問だと思います。大きく構え、自信を持って、論じてください。

17. 東原紘道

2021年1月24日 5:44:23

@まず博物的（収集と分類）それからその分析、という筋建てが近代西洋で確立されたと理解しているが、いずれの分野でも筋建てパターンそのものはなお活用されていると思うし、普遍的なルーチンと言っていいと思う。博物学的アプローチは過去にはならない。

個人的には解剖学のためのdefensiveな論立てより、まず総合的な場を示したうえで、それを参照しつつ個別分野の関連を述べると受容性が高まると思われる。

日頃から、解剖学界隈の諸先輩方から「解剖学は過去の学問だと言われるが、そんなことはないはずだ」との言葉を聞く機会が多い。しかしながら著者自身は、このような解剖学への負の評価を解剖学者からしか聞いたことがなく、数年前からこうした発言に疑問をもつようになった。著者自身は、解剖学者としての講演の依頼や共同研究のオファーを受けることが多く、解剖学の衰退を感じる機会は少ない。「解剖学は衰退した過去の学問である」というのはすでに過去の意見なのではないだろうか。徐々にそう考えるようになり、今回、本論考誌において「21世紀における解剖学の意義」について広く“問う”機会をもちたいと考えるようになった。

5.この論考（作品）のオリジナリティ（アイデンティティ）はどこか？類似する他者は？
1990年代～2010年代にかけて、「解剖学は終わった学問と称される」ことを嘆き、反論する意見論文は複数出版されている（e.g.遠藤2002、田島2014）。その多くが「伝統的な解剖学研究の意義の再認識」を主張しているが、本稿においては「現代における解剖学研究の新たな価値」を多角的な視点から評価したいと考えている。（2890文字）

引用文献

ChangeE,MatloffLY,StowersAK,LentinkD.

(2020)Softbiohybridmorphingwingswithfeathersunderactuatedbywristandfingeremotion.Science Robotics,5(38),pp.eaay1246.

ColeFJ,EalesNB.(1917)Thehistoryofcomparativeanatomy:part1.–

Astatisticalanalysisoftheliterature.ScienceProgress,11(44),pp.578-596.

GunjiM,EndoH.

(2016)Functionalcervicothoracicboundarymodifiedbyanatomicalshiftsintheneckofgiraffes.Royal SocietyOpenScience,3(2),150604.

HutchinsonJR,DelmerC,MillerCE,etal.

(2011)Fromflatfoottofatfoot:structure,ontogeny,function,andevolutionofelephant“sixthtoes”.Science,334(6063),pp.1699-1703.

NyakaturaJA,MekoK,HorvatTetal.(2019)Reverse-

engineeringthelocomotionofastemamniote.Nature,565,351-355.

Louveau A, Smirnov I, Keyes TJ et al.

(2015) Structural and functional features of central nervous system lymphatic vessels. *Nature*, 523, 337-341.

Valstar MH, de Bakker BS, Steenbakkers RJH et al.

(2020) The tubarial salivary glands: A potential new organ at risk for radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology* (in press)

遠藤秀紀 (2002) 遺体科学のストラテジー。日本野生動物医学学会誌、7(1), pp.17-22.

田島木綿子、山田格、関谷伸一、小泉政啓 (2014) 比較解剖学の過去、現在、未来。哺乳類科学、54(1), pp.153-156.

・コンセプトペーパー全体に対するコメント

野原佳代子 (東京工業大学環境・社会理工学院 教授)

- ・身体構造を明らかにしよう！から、分子生物学に移り変わっていく。でも、まだ解剖学、まだあるぞ！ という提案はおもしろい。
- ・バラバラにして、カテゴライズして、グループしてそれが学問だった時代はたしかにあった。今度はグループわけの意義をみなおす時代がきたということの話は魅力的。
- ・例えば、キリンと、かぶとしむと類似する部分があるとか、ありえないカテゴリーを見つけるのは新しい学問の兆しかも。新しい分類学から新しい学問再考っていいよね。
- ・生物を模倣するってのは、いうなら、今、分類にないものを分類にはてはめるといふか、分類を見直すといふか。例えば、ロボットもまた生物の分類にいれていくなど、生物の拡張みたいな話になって続いていくとポスト・アントロポセン的で面白い。
- ・でも、現状はそこまで書いてない。分類の話と、ロボットの話とをばきっとわかれるんじゃないかと、もっとつなげられないのかなって。

文字起こし・『といたうとい』編集委員

松浦健二(京都大学大学院 農学研究科 教授)

- ・その学問領域をいかに残すかって議論じゃなく、学問領域のためにこの解剖学の位置というのが大事。この学問が大事って主張しなきゃだめってわけじゃないですよ。

・学問をきっちり残しておくのは大事だけど、ほんとに大事なら、どんな時代でもリバイバルされるものだから。

・論法が、人に説得するうで、私、こう思うんですってなってる。それはちょっと下手くそなやりかた。まず、徹底的に解剖がいらないうふうに一度潰す、いかに役に立たないか、いっかい徹底的に叩く。でも、これだけはほかの学問だけはまかなえない。が残るのなら、それが価値でありオリジナリティということ。そういう論法で書かないと「これが大事！これが大事！」でいっばなしになるのは、良い子ちゃんの生徒会長の主張みたいになる。

文字起こし・『といたうとい』編集委員

21世紀における比較解剖学の意義

—異種の身体構造を知ることが、我々に何をもたらすのか?—

郡司 芽久 東洋大学生命科学部生命科学科助教

解剖学と聞いて連想するのは、学校の保健室に掲げられた人体解剖図や、深夜に廊下を走ると噂される不気味な人体模型だろうか。いずれにしても、解剖学は医学に関わる学問という印象が強いだろう。確かに現代の解剖学は、基礎科学の一分野というよりも、医学および獣医学における基礎教養という側面が強く、「膨大な量の解剖学名の記憶を強いるだけの退屈な暗記科目」と評されることすらある¹。

解剖学から分類学、外へ

元来解剖学は、医学的貢献のみを目的にした学問ではなく、過去2000年ほどにわたって基礎科学としての生物学の中核を担い続けてきた²。現代生物学の原点とも言える「博物学」において、解剖学は、収集した生物を同定し分類するための強力なツールであったのだ。遺伝子や進化論という概念が誕生するよりもはるか昔、身体を切り開き内部の構造を観察する作業は、身近に生息する動物たちをグループ分けし、自然界に存在する普遍的な規則性を理解しようとする科学的な営みにおいて、非常に重要な働きを担っていた。そして、「生物の身体はどのような構造をしているのだろうか?」という解剖学における原初的かつ究極的な疑問は、古代ギリシャの哲学者・アリストテレス以降、数多くの研究者を魅了し、多くの発見を生み出してきた。

解剖学から発生学、内へ

ところが、19世紀に入る頃には、地球上に生息する生物たちの解剖学的知見が集積され、生物の身体構造に関する“ある程度”の理解が進んだ。すると人々の興味は「どんな身体をしているのだろうか?」というシンプルなものから「この身体はどのように作られるのだろうか?」という身体形成の機序へと移り変わり、身体の構造や形態の機能を考える解剖学は、身体の成り立ちや形態の起源を紐解く発生学へとシフトしていった。この流れは、解剖学的

¹ 田島木綿子, 山田格, 関谷伸一, 小泉政啓 (2014) 比較解剖学の過去, 現在, 未来. 哺乳類科学, 54(1), pp.153-156.

² 遠藤秀紀 (2002) 遺体科学のストラテジー. 日本野生動物医学雑誌, 7(1), pp.17-22.

な知見の蓄積が一定以上に達したことに加え、技術の発展により、肉眼では見ることのできない微細な構造が観察できるようになったこととも強く関係しているだろう。解剖学自体も、個体レベルから器官レベル、組織・細胞レベルへと、よりミクロな視点の研究が盛んに行われるようになっていった。

そして、解剖学は真空地帯に

同時期、分類学は、解剖学的な知見をベースとした古典的なものから、遺伝子の塩基配列に基づき系統関係を推定する方向へと発展していった。遺伝子・遺伝法則の概念の確立や科学技術の発展に伴い、形態に基づく古典的な分類学が分子系統樹に基づく分類学へとアップデートしたのとは対照に、解剖学は20世紀以降徐々に勢いを失い、衰退の一途を辿っていった。こうした歴史を受けて、日本語版Wikipediaの「比較解剖学」の概要欄は、こんな言葉で締めくくられている。

『(20世紀以降は) 主な動物のおおよその構造が知られるようになり、それらの解剖学はむしろ各群の内部での問題として扱われるようになる。また、解剖学的な研究も、器官レベルから組織、細胞レベルへと進んだ。これによって比較解剖学はすくなくとも学としてのまとまりを失い、発展的に解消したような形でその役割を終えた”。』

やや極端な表現にも思えるが、実際に、ヒト以外の生物の解剖に関する研究論文は、1835年をピークに、19世紀後半にかけて急激な減少を見せている³。その原因については一概に述べられないが、「目で見たものを記述する」という肉眼解剖学の基礎的な作業が、現代科学の根本である「客観性」「再現性」に欠けると思われがちなのが一つかもしれない。実際に、同一人物が2個体の死体を観察した時よりも、同一の死体を2名で観察した時の方が観察記録に差が生じるという報告もある。つまり、死体の個体差よりも、観察者の個体差の方が大きいということだ。客観性や再現性が重要視される現代科学において、「自分にはこう見えた」という主観的な記述は相容れないだろう。

果たして比較解剖学は、21世紀においてはもはや学ぶ必要のない“役割を終えた”学問なのだろうか？ それとも、学際研究の促進・推奨により、新たな役割を持ってリブートしつつあるのだろうか？ 自らの身体構造を理解し、そして異種の身体の構造を明らかにし、それ

³ColeFJ,EalesNB.(1917)Thehistoryofcomparativeanatomy:part1.-
Astatisticalanalysisoftheliterature.ScienceProgress,11(44),pp.578-596.

らを比較することは、我々人類に何をもたらすのだろうか？ 本稿では、現代社会における比較解剖学のあり方とその意義、学問分野としての可能性について、多角的な視点から論述したい。

実在の力強さ、新事例の数々の発見

結論から述べるが、解剖学→分類学→進化論→遺伝学・発生学という学術的発展過程において、既に「終わった」とされる解剖学だが、この流れの見方を変えれば解剖学が原初とも言える。すなわち、解剖学のアップデートはすべての学の根本を揺るがす可能性があるのだ。以下、（当該分野に明るい読者には退屈であろうが）これでもかと新発見の事例を紹介する。

先に、「自分にはこう見えた」という主観的な記述は相容れないだろう」と述べたが、どんな時代になろうとも、実在の写真やスケッチの記録さえあれば、「こんな組織・器官・構造が存在していた」という観察の記述は十分な価値をもつ。それゆえに、解剖学における新発見は21世紀に入ってから後も絶たない。

あらゆる動物の中で最も解剖学的知見が豊富であろう「ヒト」においてすら、新たな器官の発見・報告がされている。例えば、2015年には、脳の周囲を覆う髄膜の上にリンパ管が存在することが発見され、サイエンス誌が選ぶ2015年のブレークスルー研究Top10に選ばれるなど、センセーショナルなニュースとなった⁴（ただし、このリンパ管は1787年に既に報告されていたと主張する研究者もいる）。2020年にも、PET/CTという最新の装置を用いた検査により、ヒトの鼻腔内に新規な唾液腺が存在することが報告された⁵。新規な唾液腺の発見が直接すぐに我々の生活を豊かにする可能性は低いかもしれないが、このような新たな器官の発見は、これまで「原因不明」とされてきた病気・疾患の機序の解明、治療方法の確立につながるかもしれない。

さらに、ヒトよりも研究事例が少ない生物種—キリンやゾウ、パンダなど、いわゆる“動物園のスター動物”も含む—においても、現代に至るまで、解剖学的新知見が絶え間なく報告されている。例えば1999年には、パンダの手首の両脇に存在する小さな2つの突起が、丸い竹を手のひらで掴む際のサポートをする働きをもつことが明らかになっている（Endo et

⁴Louveau A, Smirnov I, Keyes TJ et al. (2015) Structural and functional features of central nervous system lymphatic vessels. *Nature*, 523, 337-341.

⁵Valstar MH, de Bakker BS, Steenbakkers RJH Metal. (2020) The tubarial salivary glands: A potential new organ at risk for radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology* (in press)

al. 1999) 。2011年には、ゾウの足先に軟骨性の巨大な種子骨が存在し、身体を支え、足の姿勢を変化する役割をもつことが報告された⁶。2016年には、筆者らの研究によって、キリンでは首の付け根部分の筋肉や骨格が特殊化し、首を動かす際に胴体の一部まで動かすことができ、頭の到達できる範囲を拡張していることが明らかになっている⁷。なお、上にあげた3つの例は全て、解剖に加え、CTスキャンを用いて骨格・軟部組織の立体構造を観察しているという共通点がある。

私たちが有する生物の身体構造に関する知識は、実験動物として馴染みが深いマウスやラットの体ですら「概ねわかっている」という程度であり (田島 et al.2013) 、未だわかっていない部分の方が多いはずだ。前述の唾液腺同様、検査器具や装置の発達によって観察の“解像度”が上がり、これまで人類が見つけられなかった新たな組織が次々と見つかることも十分に期待できる。また、生きたまま身体内部の構造を観察する技術の発展により、個々の器官や組織の機能、各器官の連携などについて、新たな発見につながる可能性もあるだろう。

解剖学と先端技術

また、20世紀以降は、解剖学者とロボット工学者による学際研究も進んでいる。ASIMO・AIBOといった二足歩行ロボットや四脚ロボット、ヒトの手の筋肉・骨格構造を模倣したロボットハンドの開発など、解剖学における基礎的な知見を生かしたロボットの開発が絶え間なく行われてきた。生物に学び、生物を真似て作られたロボットは、生物規範型ロボット (Bio-inspired robot) や生物模倣型ロボット (Bio-mimetic robot) と呼ばれ、「生物のように、時事刻々と変化する環境に即座に対応し、適応的な振る舞いをするロボット」の開発に繋がることが期待される。

筆者自身、2018年度に開始した科学研究費助成事業「新学術領域研究・ソフトロボット学」に参画し、「生物の“柔らかさ”とは何か？」というテーマの学際研究に取り組んでいる (鈴森etal.2019) 。従来のロボットの多くがかたい素材で構成され、「力強さ」や「精密さ」を追求してきたのに対し、生物は柔らかい身体で周囲の環境に“いいかげん”(=適当) になじ

⁶HutchinsonJR,DelmerC,MillerCE,etal.

(2011)Fromflatfoottofatfoot:structure,ontogeny,function,andevolutionofelephant“sixthtoes”.Science,334(6063),pp.1699-1703.

⁷GunjiM,EndoH.

(2016)Functionalcervicothoracicboundarymodifiedbyanatomicalshiftsintheneckofgiraffes.RoyalSocietyOpenScience,3(2),150604.

むことで、安全かつ適応的な振る舞いをする。筆者が加わっているチームでは、ロボット工学者、数理解析学の専門家らと、ダチョウの首の“しなやかさ”の源泉を解き明かすことを目的とした研究に邁進している。ダチョウは、非常に柔軟な首を器用に動かし、クチバシを地面にゴツゴツとぶつけながら餌を食べる。これは、外界との接触を最小限に、精密なピッキングを目指すロボットハンド・ロボットマニピュレーターとは全く異なる行動である。ダチョウをはじめとする様々な鳥類の首の構造や動きを詳細に調べることは、地面と接触しても壊れないロボットマニピュレーターの開発へとつながることが期待される。

こうした取り組みに関しては、「生物には進化的・発生学的制約があるため、必ずしも最適な身体構造をもつわけではない」という批判的な意見も存在するが、生物もロボットも同じ物理法則をもつ実世界で動き回る物体である以上、学ぶ点は多々存在するだろう。例えば重力下で自重を支えながら高速・俊敏に動き回る秘訣や、エネルギー効率の良い節約的な振る舞いのメカニズムなど、工学的な応用につながる切り口は未だ数多く存在すると言えよう。

さらに最近では、生物学的な知見を工学的に応用する研究のみならず、「ロボットを作成することで生物を理解しよう」という“Robotics-inspired Biology”とでも言うべき新たな生物学的研究が進められている。絶滅した原始的な四足動物の身体構造を模したロボットを開発し、絶滅動物の歩行の様子を復元する研究⁸や、機械の躯体に本物の鳥の羽を取り付けたバイオ・ハイブリット飛行ロボットの開発⁹などが記憶に新しい。従来の解剖学は、「生物学でなく“死物学”だ」と揶揄されることもあるように、生存時の機能を理解することに一定のハードルがあった。筋肉や関節をモデル化した物理シミュレーターによって働きや振る舞いを解明するというこれまでの試みに加え、極限まで生物に似せたロボットを動かすことで身体構造の機能を探る“構成論的アプローチ”は、解剖学を新たなステージに引き上げる可能性が十分にある。

近年の目覚ましい技術の発展に伴い、複雑な生体システムをより詳細に観察・評価し、より高度なレベルで「生物を模倣する」ことが可能になりつつある今、解剖学の学術的意義は決して小さくないだろう。解剖学者はよく、「図に描いてみるまでは本当に“見た”とは言えない」と言うが、「作ってみるまでは本当に“理解した”とは言えない」と言う時代がすぐそこまできているのかもしれない。

⁸ NyakaturaJA,MekoK,HorvatTetal.(2019)Reverse-engineeringthelocomotionofastemamniote.Nature,565,351-355.

⁹ ChangeE,MatloffLY,StowersAK,LentinkD.

(2020)Softbiohybridmorphingwingswithfeathersunderactuatedbywristandfingermotion.ScienceRobotics,5(38),pp.eaay1246.

「自分の目で見て観察する」「観察した現象を記述する」「様々な生物種間で比較し、分類し、法則を探る」といった解剖学における基礎的な作業は、言うまでもなく他の分野にも通じる普遍的ルーチンである。解剖学は、人間を含めた生物理解の原初であるゆえ、人間含めた生物の見方そのものを更新するインパクトを持つ。ゆえに、解剖学は終わってはいないし、終わりもしない。

(4827文字)

問①

古典的比較解剖学の現在地： 異種の身体構造を知るとは？

郡司芽久

問①

人間ではない生物の「構造」を自らの手で解明する比較解剖学。
目の前にある生命の痕跡をひも解くことで
世界を記述する学問的基礎をつくりあげてきた。
ひとつの「死体」に迫ることで古典的な解剖学は
これからの世界を、いかに変えうるのか？
キリンの解剖で知られる研究者が、その現在地を明らかにする。

郡司芽久（東洋大学 生命科学部 生命科学科 助教）

2017年3月、東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程を修了、博士号（農学）を取得。同年4月より日本学術振興会特別研究員PDとして国立科学博物館に勤務後、筑波大学システム情報系研究員を経て2021年4月より現職。専門は比較解剖学・形態学。特に頸部の筋骨格構造に焦点を当てて研究を進めている。第7回日本学術振興会育志賞受賞。著書に「キリン解剖記」（ナツメ社、2019）。

解剖学と聞いて連想するのは、学校の保健室に掲げられた人体解剖図や、深夜に廊下を走ると噂される不気味な人体模型だろうか。いずれにしても、解剖学は医学に関わる学問という印象が強いだろう。確かに現代の解剖学は、基礎科学の一分野というよりも、医学および獣医学における基礎教養という側面が強く、「膨大な量の解剖学名の記憶を強いるだけの退屈な暗記科目」と評されることすらある¹⁾。

解剖学から分類学。外へ

元来解剖学は、医学的貢献のみを目的にした学問ではなく、過去 2000 年ほどにわたって基礎科学としての生物学の中核を担い続けてきた²⁾。現代生物学の原点とも言える「博物学」において、解剖学は、収集した生物を同定し分類するための強力なツールであったのだ。遺伝子や進化論という概念が誕生するよりもはるか昔、身体を切り開き内部の構造を観察する作業は、身近に生息する動物たちをグループ分けし、自然界に存在する普遍的な規則性を理解しようとする科学的な営みにおいて、非常に重要な働きを担っていた。そして、「生物の身体はどのような構造をしているのだろうか？」という解剖学における原初的かつ究極的な疑問は、古代ギリシャの哲学者・アリストテレス以降、数多くの研究者を魅了し、多くの発見を生み出してきた。

解剖学から発生学。内へ

ところが、19 世紀に入る頃には、地球上に生息する生物たちの解剖学的知見が集積され、生物の身体構造に関する“ある程度”の理解が進んだ。すると人々の興味は「どんな身体をしているのだろうか？」というシンプルなものから「この身体はどのように作られるのだろうか？」という身体形成の機序へと移り変わり、身体の構造や形態の機能を考える解剖学は、身体の成り立ちや形態の起源を紐解く発生学へとシフトしていった。この流れは、解剖学的な知見の蓄積が一定以上に達したことに加え、技術の発展により、肉眼では見ることのできない微細な構造が観察できるようになったこととも強く関係しているだろう。解剖学自体も、個体レベルから器官レベル、組織・細胞レベルへと、よりミクロな視点の研究が盛んに行われるようになっていった。

そして、解剖学は真空地帯に

同時期、遺伝子・遺伝法則の概念の確立や科学技術の発展に伴い、分類学は、解剖学・形態学的な知見をベースとした古典的なものから、遺伝子の塩基配列に基づき系統関係を推定する方向へとアップデートしていった。これとは対照に、解剖学は 20 世紀以降徐々に勢いを失い、衰退の一途を辿っていった。

Q.1

1. 田島木綿子, 山田格, 関谷伸一, 小泉政啓, 「比較解剖学の過去, 現在, 未来」, 『哺乳類科学』vol.54, no.1, 2014, p.153-156.

2. 遠藤秀紀, 「遺体科学のストラテジー」, 『日本野生動物医学学会誌』vol.7, no.01, 2002, p.17-22.

こうした歴史を受けて、日本語版 Wikipedia の「比較解剖学」の概要欄は、こんな言葉で締めくくられている。

「(20 世紀以降は) 主な動物のおおよその構造が知られるようになり、それらの解剖学はむしろ各群の内部での問題として扱われるようになる。また、解剖学的な研究も、器官レベルから組織、細胞レベルへと進んだ。これによって比較解剖学はすくなくとも学としてのまとまりを失い、発展的に解消したような形でその役割を終えた」

やや極端な表現にも思えるが、実際に、ヒト以外の生物の解剖に関する研究論文は、1835 年をピークに、19 世紀後半にかけて急激な減少を見せている³。その原因については一概に述べられないが、「目でみたものを記述する」という肉眼解剖学の基礎的な作業が、現代科学の根本である「客観性」「再現性」に欠けると思われがちなのが一つかもしれない。実際に、異なる研究者が同一の器官を観察した際、記述内容が異なることは多い。そして、この違いが対象物の個体差であることは非常に稀だと言う指摘もある⁴。つまり、記載内容には、標本の個体差よりも、観察者の個体差の方が大きく影響する可能性があるということだ。客観性や再現性が重要視される現代科学において、「自分にはこう見えた」という主観的な記述は相容れないだろう。

果たして比較解剖学は、21 世紀においてはもはや学ぶ必要のない“役割を終えた”学問なのだろうか？ それとも、学際研究の促進・推奨により、新たな役割を持ってリポートしつつあるのだろうか？ 自らの身体構造を理解し、そして異種の身体の構造を明らかにし、それらを比較することは、我々人類に何をもたらすのだろうか？ 本稿では、現代社会における比較解剖学のあり方とその意義、学問分野としての可能性について、多角的な視点から論述したい。

実在の力強さ、新事例の数々の発見

結論から述べるが、解剖学→分類学→進化論→遺伝学・発生学という学術的發展過程において、既に「終わった」とされることもある解剖学だが、この流れの見方を変えれば解剖学が原初とも言える。すなわち、解剖学のアップデートはすべての学の根本を揺るがす可能性があるのだ。以下、(当該分野に明るい読者には退屈であろうが) これでもか特新発見の事例を紹介する。

先に、「『自分にはこう見えた』という主観的な記述は相容れないだろう」と述べたが、どんな時代になろうとも、実在の写真やスケッチの記録さえあれば、「こんな組織・器官・構造が存在していた」という観察の記述は十分な価値をもつ。それゆえに、解剖学にお

3. Cole FJ, Eales NB., "The history of comparative anatomy: part1.-A statistical analysis of the literature", Science Progress, 11(44), 1917, p.578-596.

4. Homberger DG, "Models and Tests in functional morphology: the significance of description and integration", American Zoology, 28, 1988, p.217-229.

る新発見は21世紀に入ってから後も絶たない。

あらゆる動物の中で最も解剖学的知見が豊富であろう「ヒト」においてすら、新たな器官の発見・報告がされている。例えば、2015年には、脳の周囲を覆う髄膜の上にリンパ管が存在することが発見され、サイエンス誌が選ぶ2015年のブレークスルー研究Top10に選ばれるなど、センセーショナルなニュースとなった⁵(ただし、このリンパ管は1787年に既に報告されていたと主張する研究者もいる)。2020年にも、PET/CTという最新の装置を用いた検査により、ヒトの鼻腔内に新規な唾液腺が存在することが報告された⁶。新規な唾液腺の発見が直接すぐに我々の生活を豊かにする可能性は低いかもしいが、このような新たな器官の発見は、これまで「原因不明」とされてきた病気・疾患の機序の解明、治療方法の確立につながるかもしれない。

新事実の発見は、ヒトの解剖に留まらない。私たちは、異種の身体と比較することで初めて「ヒトにしかない特徴なのか」「ヒト以外でも見られる特徴なのか」を知ることができ、ヒトだけを見ている、ヒトの全てを理解することはできないのだ。ヒトよりも研究事例が少ない生物種——キリンやゾウ、パンダなど、いわゆる“動物園のスター動物”も含む——においても、現代に至るまで、解剖学的

新知見が絶え間なく報告されている。例えば1999年には、パンダの手首の両脇に存在する小さな2つの突起が、丸い竹を手のひらで掴む際のサポートをする働きをもつことが明らかになっている⁷。2011年には、ゾウの足先に軟骨性の巨大な種子骨が存在し、身体を支え、足の姿勢を変化する役割をもつことが報告された⁸。2016年には、筆者らの研究によって、キリンでは首の付け根部分の筋肉や骨格が特殊化し、首を動かす際に胴体の一部まで動かすことができ、頭の到達できる範囲を拡張していることが明らかになっている⁹。

なお、上にあげた3つの例は全て、解剖に加え、CTスキャンを用いて骨格・軟部組織の立体構造を観察しているという共通点がある。検査器具や装置の発達によって観察の“解像度”が上がり、これまで人類が見つけられなかった新たな組織が、ヒトや他の生物問わず、次々と見つかることは今後も十分に期待できる。また、生きたまま身体内部の構造を観察する技術の発展により、個々の器官や組織の機能、各器官の連携などについて、新たな発見につながる可能性もあるだろう。

解剖学と先端技術

20世紀以降は、解剖学者とロボット工学者による学際研究も進んでいる。ASIMO・AIBOといった二足歩行ロボットや四脚ロ

5. Louveau A, Smirnov I, Keyes TJ et al., "Structural and functional features of central nervous system lymphatic vessels", *Nature*, 523, 2015, p.337-341.

6. Valstar MH, de Bakker BS, Steenbakkers RJHM et al., "The tubarial salivary glands: A potential new organ at risk for radiotherapy", *Radiotherapy and Oncology*, (in press).

7. Endo H, Yamagiwa D, Hayashi Y, Koie H, Yamaya Y, Kimura J, "Role of the giant panda's 'pseudo-thumb'", *Nature*, 397, 1999, p.309-310.

8. Hutchinson JR, Delmer C, Miller CE, et al., "From flat foot to fat foot: structure, ontogeny, function, and evolution of elephant sixth toes", *Science*, 334(6063), 2011, p.1699-1703.

9. Gunji M, Endo H., "Functional cervicothoracic boundary modified by anatomical shifts in the neck of giraffes", *Royal Society Open Science*, 3(2), 2016, p.150604.

ロボット、ヒトの手の筋肉・骨格構造を模倣したロボットハンドの開発など、解剖学における基礎的な知見を生かしたロボットの開発が絶え間なく行われてきた。生物に学び、生物を真似て作られたロボットは、生物規範型ロボット (Bio-inspired robot) や生物模倣型ロボット (Bio-mimetic robot) と呼ばれ、「生物のように、時事刻々と変化する環境に即座に対応し、適応的な振る舞いをするロボット」の開発に繋がることが期待される。

筆者自身、2018 年度に開始した科学研究費助成事業「新学術領域研究・ソフトロボット学」に参画し、「生物の“柔らかさ”とは何か？」というテーマの学際研究に取り組んでいる¹⁰。従来のロボットの多くがかたい素材で構成され、「力強さ」や「精密さ」を追求してきたのに対し、生物は柔らかい身体で周囲の環境に“いいかげん”(＝適当)になじむことで、安全かつ適応的な振る舞いをする。筆者が加わっているチームでは、ロボット工学者、数理解析学の専門家らと、ダチョウの首の“しなやかさ”の源泉を解き明かすことを目的とした研究に邁進している。ダチョウは、非常に柔軟な首を器用に動かし、クチバシを地面にゴツゴツとぶつけながら餌を食べる。これは、外界との接触を最小限に、精密なピッキングを目指すロボットハンド、ロボットマニピュレーターとは全く異なる行動である。ダチョウをはじめとする様々な鳥類の首の構造

や動きを詳細に調べることは、地面と接触しても壊れないロボットマニピュレーターの開発へと繋がることが期待される。

こうした取り組みに関しては、「生物には進化的・発生的制約があるため、必ずしも最適な身体構造をもつわけではない」という批判的な意見も存在するが、生物もロボットも同じ物理法則をもつ実世界で動き回る物体である以上、学ぶ点は多々存在するだろう。例えば重力下で自重を支えながら高速・俊敏に動き回る秘訣や、エネルギー効率の良い節約的な振る舞いのメカニズムなど、工学的な応用に繋がる切り口は未だ数多く存在すると言えよう。

さらに最近では、生物学的な知見を工学的に応用する研究のみならず、「ロボットを作成することで生物を理解しよう」という“Robotics-inspired Biology”とでも言うべき新たな生物学的研究が進められている。絶滅した原始的な四足動物の身体構造を模したロボットを開発し、絶滅動物の歩行の様子を復元する研究¹¹や、機械の躯体に本物の鳥の羽を取り付けたバイオ・ハイブリッド飛行ロボットの開発¹²などが記憶に新しい。従来の解剖学は、「生物学でなく“死物学”だ」と揶揄されることもあるように、生存時の機能を理解することに一定のハードルがあった。筋肉や関節をモデル化した物理シミュ

問①

10. 鈴森康一, 「新学術領域研究「ソフトロボット学」」, 『日本ロボット学会誌』, vol.37 no.1, 2019, p.53-56.

11. Nyakatura JA, Meko K, Horvat T et al., “Reverse-engineering the locomotion of a stem amniote”, *Nature*, 565, 2019, p.351-355.

12. Change E, Matloff LY, Stowers AK, Lentink D., “Soft biohybrid morphing wings with feathers underactuated by wrist and finger motion”, *Science Robotics*, 5(38), 2020, eaay1246.

レーターによって働きや振る舞いを解明するというこれまでの試みに加え、極限まで生物に似せたロボットを動かすことで身体構造の機能を探る“構成論的アプローチ”は、解剖学を新たなステージに引き上げる可能性が十分にある。

近年の目覚ましい技術の発展に伴い、複雑な生体システムをより詳細に観察・評価し、より高度なレベルで「生物を模倣する」ことが可能になりつつある今、解剖学の学術的意義は決して小さくないだろう。解剖学者はよく、「図に描いてみるまでは本当に“見た”とは言えない」と言うが、「作ってみるまでは本当に“理解した”とは言えない」と言う時代がすぐそこまできているのかもしれない。

「自分の目で見て観察する」「観察した現象を記述する」「様々な生物種間で比較し、分類し、法則を探る」といった解剖学における基礎的な作業は、言うまでもなく他の分野にも通じる普遍的ルーチンである。解剖学は、人間を含めた生物理解の原初であるゆえ、人間を含めた生物の見方そのものを更新するインパクトを持つ。ゆえに、解剖学は終わってはいないし、終わりもしない¹³。

Q.1

13. 本論考で紹介した研究の一部は、科学研究費補助金[18H05466]の支援を受けて行なったものである。

養老孟司

解剖学者・東京大学 名誉教授

人生に対する思考を、私は解剖学から学んだ。だからいまでも解剖学者という肩書きを勝手に使う。目の前にある生物を見て、あれこれ考える。それで十分に満足しているから、八十四歳の現在では、ヒゲボソウムシの分類学をやっている。現役時代に私がやりたかった学問は、まさに比較解剖学であった。とくに鼻腔の比較解剖に関心があったが、なんら発表もせず終わった。その時に強く思ったことがある。比較解剖学は標本がないと成り立たない、ということである。分類学も同じである。ヒゲボソウムシの標本を私は数万頭持っている。脊椎動物ではそうはいかない。そうした資料を十分に備えた施設は、残念ながら日本にはなかった。博物館と標本は比較解剖学にとって必須で、学と別なものではない。比較解剖学は日本で発生したものではないから、そうした状況はやむを得ないのであろう。

年寄りとして著者にお願ひがあるとすれば、今後は「比較解剖学について」ではなく、「比較解剖学を」論じていただきたいということである。それは総論である必要はない。解剖学では、各論はしばしば総論だからである。それをフラクタル構造と言ってもいいかもしれない。

養老孟司

解剖学者。東京大学名誉教授。心の問題や社会現象を、脳科学や解剖学などの知識を交えながら解説し、多くの読者を得た。1989年「からだの見方」でサントリー学芸賞受賞。新潮新書「バカの壁」は大ヒットし2003年のベストセラー第1位、新語・流行語大賞、毎日出版文化賞特別賞を受賞。「唯脳論」「身体の文学史」「遺言。」「半分生きて、半分死んでいる」など著書多数。



キリンの頭骨の標本（国立科学博物館所蔵）。頭頂部の角は、変形した「皮骨」の上を毛が覆ったもの。ちなみにサイの角はタンパク質の塊で中に骨はなく、シカの角は骨がそのまま露出している。（撮影：郡司芽久）

「解剖学論」のもつ構造



国立科学博物館筑波研究施設が所蔵する様々な動物の骨格標本。生き物の構造を比較するためのデータベースとして、物理的な空間に保管された標本が不可欠となる。（撮影：郡司芽久）

郡司芽久

各論を極限まで突き詰めることで到達しうる総論も存在するだろうと、改めて意識するきっかけを頂いた。また「比較解剖学は標本あってのもの」というご指摘も、私自身常日頃痛感する。ただし近年では、国立科学博物館に1万4,000点を超えるカモシカの頭骨コレクションが構築されるなど、わが国の博物学・比較解剖学を支える人材・標本群が存在することもご報告したい。

自然を捉える構造



キリンの解剖中の様子。解剖の作業は、骨格だけでなく、筋肉繊維のつながりや構造を明らかにする目的もある。繊維を傷つけないように慎重に皮を除去する。(撮影：郡司芽久)



死産となったキリン胎仔のホルマリン標本（国立科学博物館所蔵）。成体のキリンの場合、巨大すぎるため、全身をホルマリン固定して保管することはできない。小さいサイズだからこそ、可能な分析もあろう。(撮影：郡司芽久)

古谷紳太郎

東京工業大学 リベラルアーツ研究教育院 特別研究員

16世紀までの自然哲学（科学）のスタンダードは、博物学>分類学>解剖学でした。アリストテレス以降、博物学は自然を理解しようという大目的があり、そのために分類というアプローチがあり、分類の根拠として解剖による「発見」が位置付けられていました。この構造をふまえると解剖学のアップデートがもつ射程も少し変わるかもしれません。

郡司芽久

「自然を理解する」ことを目的とし、身近な生物を分類する営みが活発に行なわれていた時代、解剖学的な手法は非常に強力なツールであった。歴史が長い学問領域は、「古臭い」と扱われることも往々にしてあるが、一方で、長年常識として捉えられていた現象に一石を投げ、広い学問領域を根幹からアップデートする可能性を秘めている。



多摩動物公園から搬送されたキリン新生仔の遺体。成体だと体重は1トン近くになるため、トラックについているクレーンを使い搬送する。博物館への搬入のためには5人がかりでの作業になることも。(撮影：郡司芽久)



解剖されたダチョウの頸部。ほ乳類の頸椎数は7個でキリンも人間も同じだが、鳥類では種によって異なる。キリンの首の謎を解くためには、他の種族の首を知ることも不可欠だ。(撮影：郡司芽久)

本テキストに関するレビューおよび対話の過程は下記のレボジトリに公開されています。



解剖学のリアル

いやはや、「役割を終えた学問」とはなんて失礼な言われた方だろう。当事者にしてみれば、これは怒って当然だし、反論したくなる気持ちもよく分かる。事実、郡司は、「まだわかってないことがこんなにあるのだ」といわんばかりに、最新計測技術による新発見事例を、ヒト、他生物問わずこれでもかと掲示する。

さて、それら「発見」の意味するところは何か。古谷もコメントしているように、「こんな見つけた」「まだ知らないことあった」というのは考古学における発掘の営みに近い。考古学においては、その物的な発見が語りだす通説の更新が「学」としての目的であるように、比較解剖学においても我々人間による人間理解が深まったかどうか学問の価値としての評価軸になるだろう。空腸と回腸を支えているだけと思われていた腸間膜が、ホルモンを分泌していることがわかったのも最近のことだった。これはメタボロミクスといった他分野に対し影響を及ぼすどころか、その分野がその分野である所以の根源的な部分に鋭いメスを入れるものでもある。人間探求のリアル……。解剖学がもたらす実在的事実は、今更ながら強烈である。

問①

トドメとして、郡司は比較解剖学がロボット開発に活用されている事例を述べる。生物の構造を追求した結果を機械工学に活かすという、シンプルな流れが、実は深淵な思想を伴うことに注意を払わねばならない。それは機械論の人間観の強化となるか、はたまた哲学的人間理解の深化か。そもそも、ある生物を機械によって製作することは、果たしてその生物を「理解」したことになるのか。ロボットの研究とはいったい何なのか。それは後に論考を掲載した國吉に伝えてもらうこととしよう。

文・『といとうとい』編集委員