

共通性と多様性につながる骨と筋肉の働きの学習 ーカニの観察による実践ー

田中 伸也・藤浪 圭悟

単元「動物の体のつくりと働き」の中でカニのハサミを用いた実験を考案し、生物の共通性と多様性を理解するための一助と足りうるかを検証した。特に筋肉模型を使用した教育活動とニワトリの前肢である手羽先を用いた実験を、カニのハサミを用いた実験と比較することにより、骨と筋肉の働きについての理解を深めつつ、共通性と多様性につながる共通点と相違点も併せて考察できることがわかった。

1. はじめに（研究動機と目的）

中学校学習指導要領の理科第2分野の単元「動物の体のつくりと働き」は、動物が外界の刺激に適切に反応している様子の観察を行い、その仕組みを運動器官のつくりと関連付けてとらえ^{1,2)}学習する内容を規定している。その解説として、運動器官のつくりと働きを理解するために、骨格と筋肉の働きによって運動が行われることを扱い^{3,4)}その際、動物の骨格標本や人体模型などを利用することが考えられている。標本や模型の利用に加えて、旧学習指導要領解説⁴⁾中には、ニワトリの手羽先を観察することも考えられているが、新指導要領解説³⁾中では削除されている。

ヒトとヒト以外の動物であるニワトリの手羽先のつくりを比較することは、運動器官の機序を考察して、その理解を深めるために有効な手段である。同時に、多様な運動器官の機序を学ぶことは、多様な生物の分類の仕方を学ぶことでもあり、指導要領¹⁾の内容「いろいろな生物とその共通点」のねらいとも合致するものである。そのため、ニワトリ手羽先の観察は生物の特徴である共通性と多様性の理解を図るうえで、有用な教材である。

運動器官の機序について理解すること、様々な動物の運動器官における共通性と多様性を理解すること、この2つの観点から、ヒト以外の動物の運動器官を学ぶことは重要だと考えられる。そのため、本研究では、運動器官の学習においてニワトリの手羽先観察を含む様々な学習活動を取り入れ、学習者の反応を確かめることとした。

2. 授業の考案と検証方法

2-1 運動器官の学習過程

運動器官のつくりと働きを学ぶ際に、実験・観察の素材となる生物種は少ない。表1は、中学校教科書⁵⁻⁹⁾の単元「動物の体のつくりと働き」に該当する範囲において例示される生物をあらわしている。すべての教科書において、ヒトを例にして骨と筋肉の関わりを説明しており、

4つの教科書において、ニワトリを用いた骨と筋肉の動きを確かめる実験が記載されている。一方で、ヒトやニワトリ以外の生物に関する記載はないため、運動器官の学習はあくまでヒトの運動器官について学ぶことが主目的であり、ニワトリを用いた骨と筋肉の動きを確かめる実験は、ヒトの運動器官を学ぶ補助的な扱いのように感じられる。

表2は、教科書⁵⁻⁹⁾中の「動物の分類」に該当する範囲において例示される生物のうち、無脊椎動物の動き方についての説明をしている無脊椎動物の分類群と生物種、さらには無脊椎動物の動き方について実験観察の対象としている生物種をあらわしている。動き方の説明では、節足動物についてのものが多く、次に軟体動物となっている。節足動物の説明内容は「外骨格の内側についている筋肉のはたらきで体やあしを動かす」のように、簡単な説明のみで詳細なものはない。動き方を説明した具体的な生物種は、カニとイカが挙げられるが、カニの場合は骨片が筋肉によって引っ張られることがイラストで説明され、イカの場合はあしや漏斗に関する記述がなされており、具体的に分かりやすく工夫されている。実験観

表1. 教科書の「動物の体のつくりと働き」における骨と筋肉の記載

	ヒト	ニワトリ実験	ヒト・ニワトリ以外
K S	○	なし	なし
K K	○	○	なし
G T	○	○	なし
T S	○	○	なし
D T	○	○	なし

K S, K K, G T, T S, D Tは発行者を示す。

表 2. 教科書の「動物の分類」における無脊椎動物の骨と筋肉の記載

	動き方の説明		
	分類群	生物種	実験観察を指南している生物種
K S	節足動物 軟体動物	なし	イカ, バッタ, アサリ, ザリガニ
K K	節足動物	カニ イカ アサリ	イカ, バッタ, アサリ
G T	節足動物	なし	イカ, バッタ, アサリ, カブトムシ
T S	節足動物	なし	イカ, サワガニ
D T	節足動物 軟体動物	カニ イカ	イカ, ザリガニ

K S, K K, G T, T S, D Tは発行者を示す。

察を指南しつつ動き方を扱っている生物種はイカ（5社）、バッタ・アサリ（3社）、ザリガニ（2社）カブトムシ・サワガニ（1社）となっている。このことから、運動器官の学習を進めるうえで、イカは重要な教材だと考えられるが、近年のイカの高騰から、異なる教材の選択肢が望まれる（2009年12月より2019年12月まで2年ごとの100gあたり値段は全国で91→87→91→102→151→158、福山で55→72→85→66→128→135円と、10年で1.5倍以上高くなっている）¹⁰⁾。また、バッタ、ザリガニ、カブトムシ、サワガニも採集する季節・場所が限られることから、実験観察の機会が限定される。唯一、アサリは日常的に使用する小売店により、生きた個体が安価かつ大量に入手可能であり、運動器官として閉殻筋とあしが観察できるが、運動器官のみの観察に留まりにくいいため、運動器官の教材として焦点がぼやけてしまう可能性がある。

そのため、体が大きく、教科書に動き方の説明が記載されつつも実験観察の対象として扱われていない生物種であるカニを取り上げ、特にハサミの部分を観察することで、体の動く仕組みを説明することを考案した。カニのハサミを教材として利用する長所としては、①小売店でも安価に購入可能であること、②1個当たり50円程度から③食卓にも上る身近なものであること、④冷凍保存が可能、⑤流水で1時間以内に解凍できて使用が簡便であること、⑥筋肉の代わりに外骨格を動かすことでハサミの動き方を確認できること、⑦ヒトと大きく異なる生物種であること、を挙げることができる。特に⑦については、ヒトと近縁であるニワトリを用いた実験と比べ、

節足動物であるカニの特徴的な長所だと考えられる。

また、「動物の体のつくりと働き」における動物の動き方を理解するため、カニと異なる教材を学習活動にとりいれた。カニのハサミの教材と他の教材を比較すること、配列を検討することで、カニのハサミの教材の有用性を評価するためである。他の教材として、ニワトリの手羽先など生体材料¹¹⁻¹³⁾、模型を用いた筋肉模型^{12, 14, 15)}、骨格標本¹²⁾があるが、ニワトリの手羽先と筋肉模型を採用した。ニワトリの手羽先は、多くの参考書で利用されており（表1）、従来から使用されているものとして比較しやすいためである。また、筋肉模型は、筋肉の動く仕組みを動的にとらえながら、筋肉の収縮と弛緩を模式的に説明できる¹¹⁾。様々な模型があるが、お茶の水女子大学の理科教材データベース¹⁶⁾を使用して、手作りの教材（教具）を作成した。なお、単元計画は表3のとおりである。

ここではⅠ群とⅡ群の2通りの学習配列を計画した。学習の配列を変えることで学習者が運動器官の機序について理解することと、様々な動物の運動器官における共通性と多様性を理解することに影響があるのかを確かめるためである。対象は中学校2年生とし、Ⅰ群（筋肉→ニワトリ→カニの順で2クラス81名）、Ⅱ群（筋肉→カニ→ニワトリの順で1クラス41名）の2つの群に分けて、単元を計画した。

表 3 骨と筋肉のはたらき単元計画

時(50分)*	内容
1	筋肉模型を用いたヒトの動く仕組みの学習
2	ニワトリの手羽先の解剖と観察
3	カニのハサミの解剖と観察

※Ⅰ群（1, 2, 3時）、Ⅱ群（1, 3, 2時）の順番で学習を行った。

2-2 質問紙調査の内容

学習の効果は、1～3時のすべての学習終了後、質問紙を使用することで調査した。質問紙は対象となる121名のうち、学習活動で1度でも欠席したり、未回答の項目が1つ以上ある用紙を除いた114名分を有効回答とした。質問紙は大きく分けて以下の方法Ⅰ～Ⅳから成る。

方法Ⅰ. 3つの教材が4つの観点（能力）で役に立ったかそれぞれ5件法で問うた。具体的には、生物全般の骨と筋肉の働きについて3つの教材（A筋肉模型の使用、Bニワトリの手羽先の観察、C

カニのハサミの観察)により4つの観点(①主体的に学習に取り組むようになったか、②思考力・判断力・表現力が向上したか、③知識が深まったか、④調べる技術が向上したか)を学習者に評価させるため、5件法で回答を求めた。なお、5件法は「まったくそう思わない、あまりそう思わない、どちらとも、まあ思う、非常にそう思う」とした。

方法Ⅱ. 3つの教材について、3つの観点(興味・関心を持った教材、知識・理解を促進した教材、好きな教材)の順位を考えさせ、その順序の回答を求めた。さらに、その順序とした理由を自由記述で回答を求めた。

方法Ⅲ. 骨と筋肉のはたらきの学習配列として、筋肉模型、ニワトリ手羽先、カニのハサミをどのような順番で学んだほうが良いか、その順序の回答を求めた。さらに、その順序とした理由を自由記述で回答を求めた。

方法Ⅳ. ニワトリ・カニの骨・筋肉・腱についての共通点と相違点を、箇条書きで自由記述するように求めた。

なお、Ⅰ～Ⅲの選択式アンケートの回答は各回答項目の回答数の集計を、全体の数で除することで、全体に占める割合を算出した。一方、Ⅱ、Ⅲの自由記述式アンケートについては、計量テキスト分析用ソフトウェアKHCorder¹⁷⁾を用いてテキストマイニングの手法によって解析した¹⁸⁾。テキストマイニングは自由記述アンケートの内容を形態素に分割し、助詞や助動詞を除いて単語の出現頻度を集計した。次に、出現パターンが類似する単語を線で結んだ共起ネットワークを作成し、共起関係を有する語のまとまりとして表した。

3. 考案した学習の実践と効果の検証

3-1 学習の実践

学習者の使用した3つの教材はすべて4人1組に対して1セットの実験材料を提供した。そのうちの一部を図1に示す。図1 Aはヒトの腕にみなした骨と筋肉のはたらきを確かめる模型である。工作用紙で作られた骨の模型同士をハトメで止め、関節とみなした。それぞれの骨に、腱に見なしたダブルクリップと輪ゴムで、ナイロン繊維をつなげた。ナイロン繊維を筋肉にみなし、ヒトの骨と筋肉の動きについて説明した後、模型を触ることで筋肉が収縮と弛緩すること、関節を曲げる筋肉である屈筋と伸ばす筋肉である伸筋が対になって機能することを

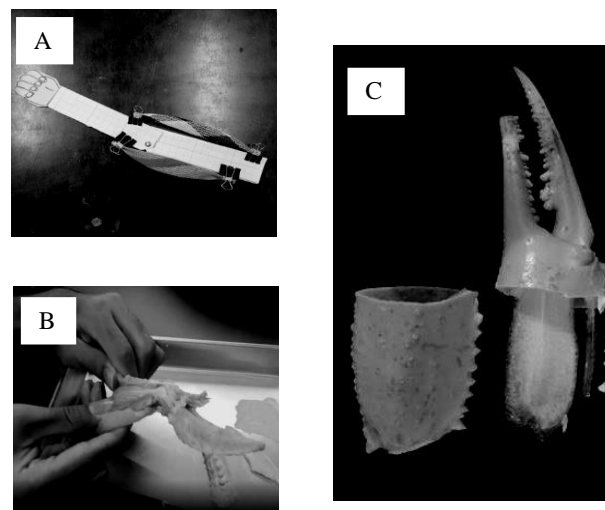


図1 使用した教材

A, 腕の骨と筋肉の模型。筋肉は力を入れると収縮し、力を抜くと伸びるナイロン繊維(商品名ミラクルロケット)を使用した。B, ニワトリ手羽先。皮を剥ぎ、関節の屈伸にかかわる筋肉を引っ張りながら探し出した。C, ズワイガニのハサミ。ボイル済みの殻に切れ目が入っているものを使用した。

学習した。図1 Bはニワトリの手羽先の筋肉を確かめている様子である。概形のスケッチを指示し、剥皮の方法、腱の特徴と関節の屈伸に関わる筋肉のおおよその位置と動かし方を説明した後、実際に行わせた。腱の位置に注意しながら剥皮することで、筋肉が関節を隔てて腱につながっていることを確認させた。さらに、様々な筋肉を引っ張りながら屈伸に関わる筋肉を探し出させることで、関節が多数の筋肉で制御されていることを確認した。図1 Cは、筋肉を除いたズワイガニのハサミである。筋肉の付着した状態で提供し、ハサミの動く仕組みを解明する方法を考えさせた。可動指を動かしながら解剖する方針を確認したのち、概形をスケッチしてから、筋肉を外骨格から取り除かせて、動く仕組みを考えさせた。

3-2 効果の検証

図2は、方法Ⅰの結果である。Q.A1からQ.C4までの質問項目において、「非常にそう思う」と「まあそう思う」が多いほど、学習者は学習効果があったと感じていることを示す。学習配列を考慮せず、全数(114名)の評価の割合を示した図2 Aをみると、すべての質問項目において、学習効果があったと思う学習者が60%以上を超えていた。さらに、学習効果があったと感じる傾向が

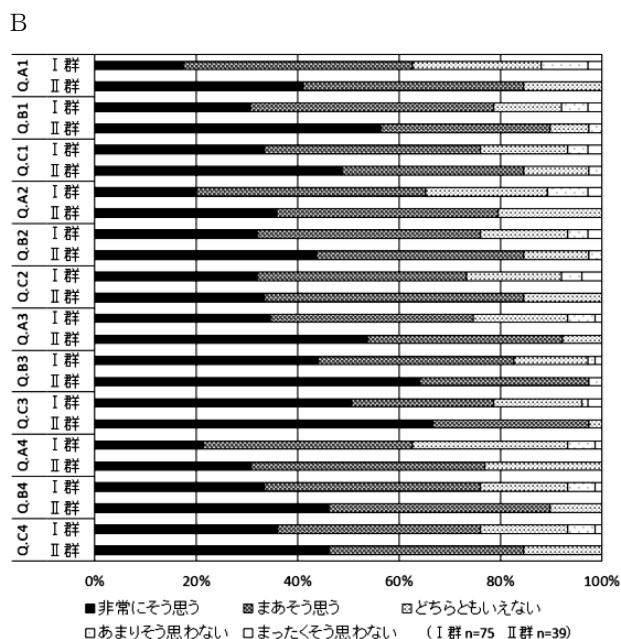
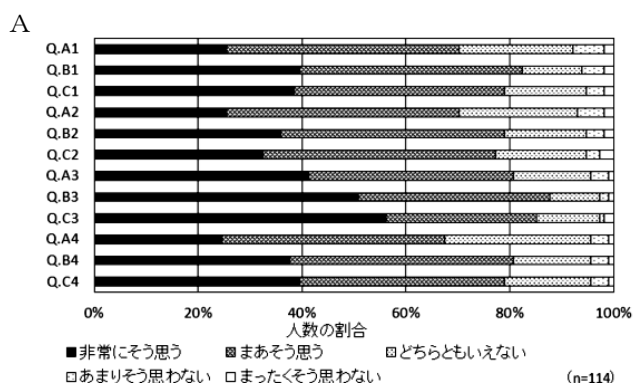


図2 生物全般の骨と筋肉の働きについての評価

A, 質問調査用紙 (5 件法) による回答の割合. 縦軸にある Q. A1 から Q. C4 は次の質問項目を示している [Q. A1 : 模型を使用することにより, 主体的に学習に取り組むようになった, Q. B1 : ニワトリ手羽先の解剖により, 主体的に学習に取り組むようになった, Q. C1 : カニのハサミの解剖により, 主体的に学習に取り組むようになった. Q. A2 : 模型を使用することにより, 思考力・判断力・表現力が向上した, Q. B2 : ニワトリ手羽先の解剖により, 思考力・判断力・表現力が向上した, Q. C2 : カニのハサミの解剖により, 思考力・判断力・表現力が向上した, Q. A3 : 模型を使用することにより, 知識を深めた, Q. B3 : ニワトリ手羽先の解剖により, 知識を深めた, Q. C3 : カニのハサミの解剖により, 知識を深めた, Q. A4 : 模型を使用することにより, 調べる技能が向上した, Q. B4 : ニワトリ手羽先の解剖により, 調べる技能が向上した, Q. C4 : カニのハサミの解剖により, 調べる技能が向上した]. 全数 (n=114) で示している. B, A, と同様の質問項目を I 群と II 群に分けて行っている. I 群は学習配列が模型→ニワトリ→カニのものであり 2 クラス 75 名, II 群は学習配列が模型→カニ→ニワトリのものであり 1 クラス 39 名である.

I 群より II 群において強いことが分かった (図 2 B) .

また, すべての観点において, ニワトリを用いた学習, カニを用いた学習, 模型を用いた学習の順に, 学習者は学習効果があったと感じている割合が多いことが分かった (図 2 A) . さらに, 主体的に学習に取り組む態度, 思考力・判断力・表現力を評価させている Q. A1 から Q. C1, Q. A2 から Q. C2 においても, I 群と II 群は共にニワトリを用いた学習が順位が高くなっている (図 2 B) . そのため, ニワトリの学習によって主体性, 思考力・判断力・表現力は, 特に育まれやすいのかもしれない.

図 3 に, 方法 II の結果を示す. I 群より II 群の方が「興味・関心をもった教材」, 「好きな教材」の両方においてニワトリが 1 番と回答した学習者の割合が高い. I 群と II 群を合わせた平均は, 「興味・関心を持った教材」で 51%, 「好きな教材」で 50% であり, II 群単独では, ニワトリが 1 番と回答した学習者の割合が「興味・関心を持った教材」で 59%, 「好きな教材」で 62% まで高くなっていた.

また, I 群ではカニを 1 番に「興味・関心をもった教材」, 「好きな教材」と回答する割合が高く, それぞれ 40%, 43% あった. ただし, I 群でもニワトリを 1 番に「興味・関心をもった教材」「好きな教材」と回答した割合がそれぞれ 44%, 39% ある. そのため, ニワトリも人気であることが分かる. 一方, 「知識・理解を促進した教材」は筋肉模型である回答した I 群は 43%, II 群は 46 % と, ともに高い割合で回答している.

表 4 は方法 II の「その教材を 1 番好きな教材に選んだ

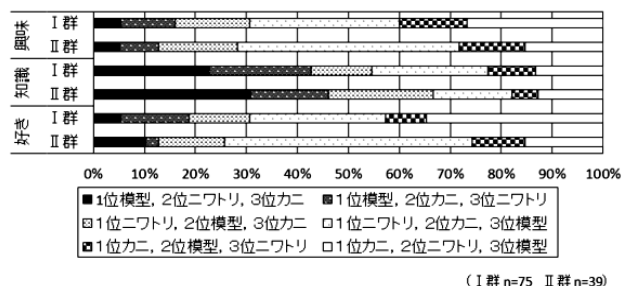


図3 各質問項目における各教材の順位

質問調査用紙による順位の回答の割合. 縦軸にある興味, 知識, 好きは次の質問項目を示している [興味: 興味・関心をもった教材の順位, 知識: 知識・理解を促進した教材の順位, 好き: 好きな教材の順位]. カニ後は学習配列が模型→ニワトリ→カニのものであり 2 クラス 75 名, ニワトリ後は学習配列が模型→カニ→ニワトリのものであり 1 クラス 39 名のものである.

理由」の自由記述における頻出語の上位 30 語とその頻度を示したものである。「解剖」(51 回)、「筋肉」(37 回)、「カニ」(34 回)、「楽しい」(34 回)などの単語が頻出していることが確認された。「楽しい」「面白い」「分かる」「知る」「好き」というポジティブな単語とともに「解剖」「筋肉」「カニ」という単語が頻出している。このことが何を意味するのか、「その教材を 1 番好きな教材に選んだ理由」についての自由記述内容をテキストマイニングの手法を用いて、共起ネットワークにして図示したものが図 4 である。

共起ネットワークは自由記述の文章中にでてくる単語がどのような文脈で出現しているのか出現パターンが似たものを可視化することができる。出現数が多い単語ほどバブルが大きく、共起の程度が強いほど濃い線で結ばれており、図 4 A により外部変数「ニワトリ」と「模型」は、ともに単語「筋肉」について強い共起関係があるが、外部変数「カニ」には単語「筋肉」についての共起関係がないことが分かった。一方、外部変数「ニワトリ」と「カニ」は、単語「解剖」と強い共起関係があり、解剖が学習者の強い興味をひきつけたことが示唆される。さらに、図 4 B より「ニワトリ」と「筋肉」、「皮」と「剥ぐ」に共起関係があり、両者ともに近い関係が見られた。実際に、自由記述の中には「普段食べたりしている手羽先が筋肉を引っ張ることで腕が動き、とても驚いた。実験でそれを確かめ、腕を動かす仕組みを感じられて、感動した」「ニワトリの皮をはいた後に、筋肉を動かしたときの気持ちよさが良かった。あと、皮を剥ぐのが楽しかった」と、実験中の筋肉を引っ張る活動、皮を剥ぐ活動により心が動かされたという記述が多くみられた。

筋肉模型は図 3 より、「知識・理解を促進する教材」だと学習者に評価されているが、図 4 A においても外部

表 4 その教材を 1 番目に選んだ理由に関する自由記述における頻出語と出現頻度

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
解剖	51	見る	13	実際	10
筋肉	37	骨	13	好き	9
カニ	34	食べる	13	仕組み	9
楽しい	34	皮	13	普段	9
面白い	29	一番	12	理解	9
分かる	25	動かす	12	違う	8
ニワトリ	22	ハサミ	11	構造	8
手羽先	17	自分	11	身近	8
思う	14	知る	11	部分	8
動く	14	腱	11	実験	7

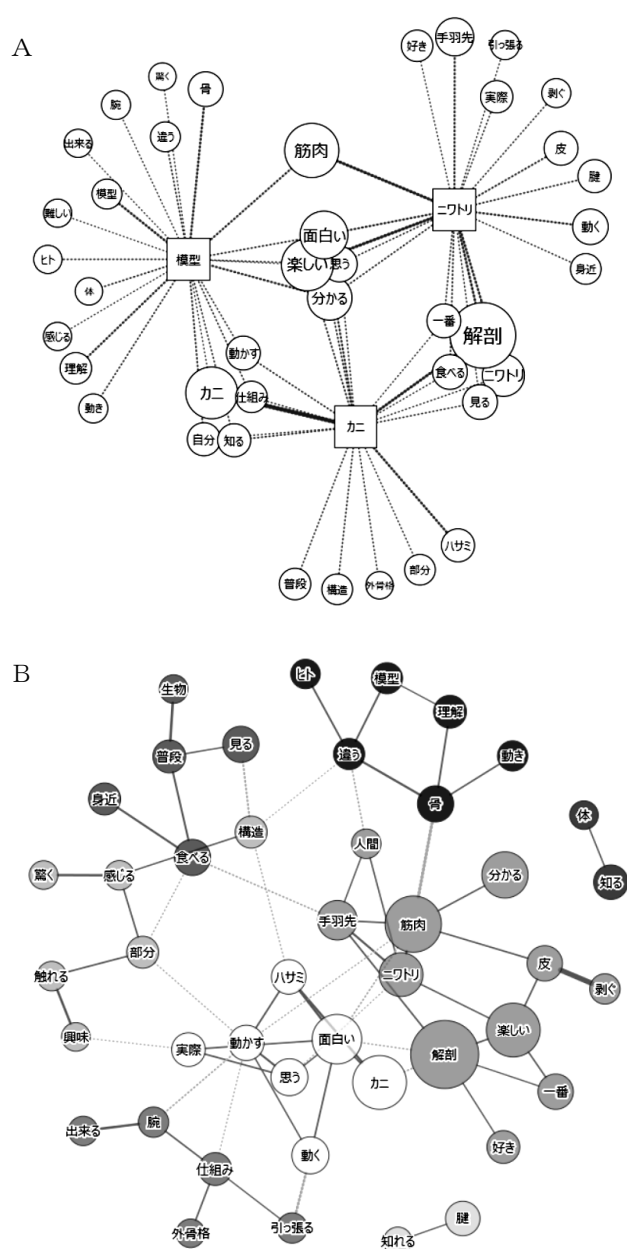


図 4 その教材を 1 番好きな教材に選んだ理由に関する自由記述の共起ネットワーク

自由記述の文章を形態素解析によって抽出した。抽出された総抽出語数は 2,762 語、異なり語数は 419 語であり、そのうち助詞や助動詞などを除いた解析対象となる総抽出語数は 874 語、異なり語数は 276 語であった。A、出現頻度 4 回以上の単語 47 個を対象とし、単語と外部変数「模型（筋肉の模型が一番好きだと回答したグループ）、ニワトリ（ニワトリの手羽先の観察が一番好きだと回答したグループ）、カニ（カニのハサミの観察が一番好きだと回答したグループ）」の共起関係について、Jaccard 係数の大きいものから 60 位までを描画した。B、出現頻度 4 回以上の単語 47 個を対象とし、単語間の共起関係について、Jaccard 係数の大きいものから 60 位までを描画した。

変数「模型」と単語「理解」に共起関係が見られ、さらに図4 Bからも「模型」と「理解」が共起関係にあることから、模型は理解を促進しているようにみえる。実際に、自由記述の中には「骨と筋肉の模型は簡単なのに、よくできていて驚いたからです。また、どちらが収縮するのか、伸びるのかよく理解できました。ゴムだと筋肉の性質の違い、自分で元に戻るが、この模型は筋肉と同じ性質である、という説明で、より納得できたのもよかったです。」「骨と筋肉の関係性を構造的に理解することが出来たから」と、筋収縮のはたらきや構造の理解がすすんだことに重きを置いた記述がみられた。

他方、カニのハサミは解剖が面白かったようである。図4 Bにおいて、「カニ」は「ハサミ」「解剖」「面白い」に共起関係があることから分かる。実際に、自由記述の中には「カニのハサミの仕組みは今まで全く気にしたことがなかったので、授業で解剖した時に仕組みを知って面白いと思った」「カニのハサミの解剖は他のニワトリ手羽先の解剖、骨と筋肉の模型と違って外骨格があったりなど人間と違う構造をもっている生き物の解剖だったので、面白いと感じたから」と、ハサミの解剖が面白いという記述がみられた。

「その教材を3番目に好きな教材に選んだ理由」の自由記述中に現れた頻出語の上位30語とその出現頻度を表5に示す。「分かる」(46回)、「筋肉」(29回)、「思う」(23回)、「模型」(23回)などの単語が頻出していることが確認されたので、次にこれらの単語がどのような文脈で出現しているのかを共起ネットワークを作成して可視化した。図5 Aでは、外部変数「ニワトリ」について、ネガティブな単語として「難しい」「汚れる」「悪い」という単語が挙げられている。図5 Bにおいても「手」「汚れる」や、「気分」「悪い」とい

表5 その教材を3番目に選んだ理由に関する自由記述における頻出語と出現頻度

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
分かる	46	実際	9	ニワトリ	5
筋肉	29	少し	9	ハサミ	5
思う	23	難しい	9	楽しい	5
模型	23	骨	8	教材	5
カニ	12	自分	7	使う	5
解剖	12	比べる	7	実験	5
手羽先	11	印象	6	手	5
面白い	11	消去法	6	出来る	5
動き	10	動く	6	本物	5
仕組み	9	理解	6	ヒト	4

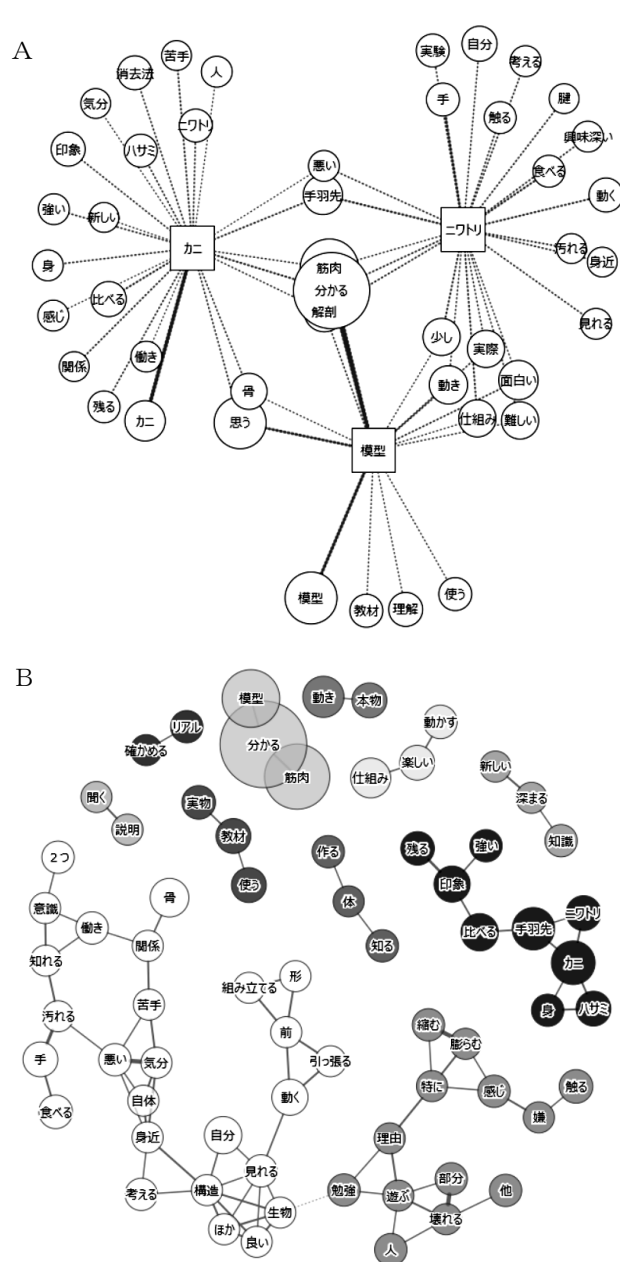


図5 その教材を3番目に好きな教材に選んだ理由に関する自由記述の共起ネットワーク

自由記述の文章を形態素解析によって抽出した。抽出された総抽出語数は2,208語、異なり語数は392語であり、そのうち助詞や助動詞などを除いた解析対象となる総抽出語数は686語、異なり語数は256語であった。A、出現頻度2回以上の単語85個を対象とし、単語と外部変数「模型(筋肉の模型が3番目に好きだと回答したグループ)、ニワトリ(ニワトリの手羽先の観察が3番目に好きだと回答したグループ)、カニ(カニのハサミの観察が3番目に好きだと回答したグループ)」の共起関係について、Jaccard係数の大きいものから60位までを描画した。B、出現頻度2回以上の単語85個を対象とし、単語間の共起関係について、Jaccard係数の大きいものから60位までを描画した。

た共起関係が見て取れる。確かに、自由記述の中に「臭い、手が汚れる、気持ち悪い」「肉のぐにょぐにょする感じが嫌で、触りたくなく、授業で出てくることが嫌だったから」と、生体材料に嫌悪感をもつ学習者もいた。

外部変数「カニ」についても、ネガティブな単語として、「消去法」「苦手」「悪い」という単語がみられる(図5A)。確かに、自由記述の中には、「模型、ニワトリ手羽先と比べるとしくみが分かりにくかったから、カニのにおいが苦手で少し気分が悪くなったから」「消去法です」という、理由が見られた。

図5Bにあるように、「模型」は、「分かる」「筋肉」と共起関係があり、分かりやすい面が強調されていた。実際の記述の中には「他の2つに比べると、解剖するわけではないからそこまで楽しいわけではなかった。しかし、筋肉の仕組みがよく分かって、とても理解しやすかった。」「簡略化してあり、分かりやすかったが、実際に見てみる方が面白かったから。」「やはり、実際のもののほうが興味深いから」と、分かりやすい教材だが、ニワトリやカニのように解剖を伴わないため、興味を持ちにくいという記述が多く見られた。

図6は方法Ⅲの結果である。3つの教材である筋肉模型、ニワトリ手羽先、カニのハサミをどのような順序で学ぶとよいと考えたか、学習者の回答の割合を示している。80%以上の学習者が、模型を最初に学んだほうが良いと考えている。さらに、過半数が二番目に学んだほうが良いと考えている教材はニワトリであり、カニは最後に学ぶ方がよいと考えている。これは、Ⅰ群とⅡ群において同じ傾向であった。

筋肉模型、ニワトリの手羽先、カニのハサミの順で学んだほうが良いと判断した理由の自由記述欄には「ヒトの骨と筋肉の構造などを学び、次に人に近いニワトリ手羽先、最後にカニ爪をやることで段階を踏んで学べると

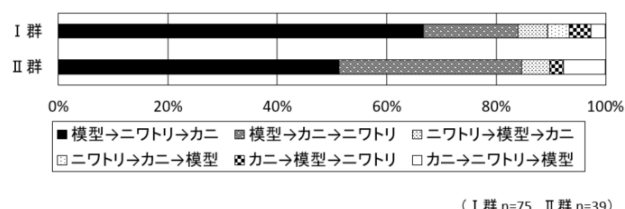


図6 学習者の考えた学習配列

質問調査用紙による学習者の考えた学習配列の回答の割合。縦軸にあるカニ後は、学習配列が模型→ニワトリ→カニのものであり2クラス75名、ニワトリ後は学習配列が模型→カニ→ニワトリのものであり1クラス39名のものである。

思うから」「まず、みんなが一番知っているであろうヒトの筋肉の仕組みを学び、じゃあ、鳥類はどうなのかな、無脊椎動物のカニはどうなのかなと発展させた方がよいと思う」のように、まずは運動器官について理解をした後、ヒトと近縁な動物から学ぶ方がよいと判断していた。一方、二番目に割合が高かった筋肉模型、カニのハサミ、ニワトリの手羽先の順で学んだほうが良いと判断したグループの理由の記述欄には、「模型でだいたいのことを学び、カニのハサミでかんたんなくみを本物でみたうえで、ニワトリの解剖で自分で切り開き、たくさんの筋肉と出会えるから」「解剖のしやすさ、手羽先の方がつくりが複雑で判断するのが難しかったため」と、構造の簡単なものから複雑なものへ移行していく、配列を意識した記述がみられた。少数のニワトリ手羽先やカニのハサミから学び始めた方がよい、と判断した生徒の自由記述は「初めの方に模型で学習してしまうと、解剖の時に先入観を抱いてしまう」「まずニワトリの解剖で筋肉の動き方などを実際に見て学び、それをヒトだとどうなるかを模型を使って考え、そしてカニだとどうなるかという発展的な内容に持っていったら効率が良いと思ったから」という、実物から学習する方法がよいと判断した記述がみられた。

方法Ⅳでは、ニワトリ・カニの骨・筋肉・腱についての共通点と相違点を、箇条書きで自由記述するように求めた。共通点としては、「骨と筋肉が動きをつくっている」「骨が固く、軽いこと」「筋肉は細かいすじのようになっていること」「腱が目立たないこと」「腱が骨と筋肉をつなげていること」「筋肉の繊維が平行に走っている」「からだを支えている」「縮んだり伸びたりする」「対になった筋肉の働きで腕などを動かしている」と、運動器官の構造とはたらきについての記述がみられた。相違点としては、「ニワトリは骨が固くて、カニは薄っぺらかった」「ニワトリははっきりと筋肉が束になっていた」「外骨格と内骨格」「骨と筋肉の色」「カニは繊維質で取れやすいのに対して、ニワトリは弾力がありして壊れにくい」と、筋肉の質感や骨の質感・構造の違いについての記述がみられた。

4. 考察

学習者の自己評価によると、ニワトリの手羽先、カニのハサミの観察により知識を深めた生徒の割合が、模型を使用した時の割合よりも高い(図2A)。そのため、知識を深めるには、ニワトリとカニの観察が有効だと考えられる。一方、知識・理解を促進した教材として、骨と筋肉の模型を1位に挙げている学習者の割合が高い(図3)。さらに、模型を利用することにより筋収縮のはた

らきや構造の理解がすすんだとの記述がある。これらを総合的に考えると、模型は筋収縮の理解を助け、その知識を深めるのにはニワトリ・カニの観察が有効であると考えられる。さらには、ニワトリ・カニの観察は、主体的に学習に取り組む態度、思考力・判断力・表現力、調べる技術の向上に役立つと学習者は評価している（図2 A）。このことも、ニワトリ・カニのハサミの観察は運動器官の機序の理解に有効であると考えられる。加えて、ニワトリを最後に学んだグループであるⅡ群の方が、全質問項目において学習者の学習者効果があったと評価している割合が高い（図2 B）。これは質問調査時、ニワトリを学んだ直後で記憶が鮮明なⅡ群が、ニワトリの良い評価に引きずられて質問項目全体に良い評価を与えたのかもしれない。ニワトリの評価良いのは、図2 Aですべての観点において、ニワトリを用いた学習が、他の学習より学習者の学習効果があったと評価している割合が高いことから分かる。また、好きな教材として人気が高いのもニワトリであったこと（図3）からも分かる。なお、ニワトリは、解剖中の筋肉を引っ張る活動、皮を剥ぐ活動に心が動かされたという理由のため、人気が高かったようである。

学習配列については、Ⅰ群・Ⅱ群どちらも模型→ニワトリ→カニの順序で学ぶとよいと評価した学習者が多かった（図6）。そのように考えた理由の中に、近縁な動物から学ぶ方がよいと判断する学習者がいた。このことは、学習者が、カニをヒトやニワトリのような脊椎動物とは相違点の多い動物であるとみなしていることが示唆される。「近縁ではない」という相違点の理解は、多様性の理解につながる。そのため、カニの学習は生物の多様性に目を向けさせる端緒とすることができると考えられる。

さらに、ニワトリとカニの観察により、学習者に以下のような共通点と相違点を考察させることが分かった。

共通点の一つは、拮抗筋である。脊椎動物（ヒト・ニワトリ）と節足動物（カニ）のような近縁でない生物が拮抗筋という機能的同一なものをもつことは、収斂進化の例となりうる。そのため、進化の概念を学ぶ際の導入に使用することができる。ただし、中学生の段階で相同器官は学ぶが、収斂進化について学ぶことは少ないため、誤解を生まないための工夫が必要である。さらにもう一つは、ニワトリは骨と筋肉をつなぐコラーゲンを含む腱をもつが、カニにも同様に骨と筋肉をつなぐ腱があることである。カニの腱はキチン質を含んでおり、外骨格の延長線上にあるため骨片、内突起と様々な呼ばれ方をしているが、確かに骨と筋肉をつなぐという点で共通点であり、筋肉が骨に付着するためには一定の構造が必要ながことが分かる。

相違点は、筋肉の質感と骨の質感・構造の違いである。内骨格系の動物は外骨格系の動物に比べて、筋肉の容量を増やすことができる。筋肉の質感の気付きから、内骨格と外骨格の違いを考察させることができる。また、骨の質感と構造の違いは、やはり外骨格と内骨格の構成物質、位置関係の違いについて実感を伴って考察させることができる。

運動器官の機序についての理解、様々な動物の運動器官における共通性と多様性を理解するための解剖実験を併存させることは可能である。その際の学習配列については、骨と筋肉の模型の学習から始めて、ニワトリの手羽先観察を学び、最後にカニのハサミについて学ぶことが望ましいと考えている学習者が多いことが分かった（図7）。自由記述からは、理解を伴いつつ近縁なものから学習をすすめる方法が最も学習者にとって取り組みやすいようであることがうかがえた。さらに、最後にカニを利用することで、その後の学習につながる無脊椎動物の学習の足掛かりとすることも可能である。

「動物の体のつくりと働き」における運動器官の扱いは、様々な方法が考えられる。しかし、教科書に限って言及すれば、そのバリエーションは少ない。背骨の有無を見て取るために、レントゲンの写真、透明骨格標本の図が記載されており、運動器官を意識的に見ることによって無脊椎動物も含めた運動器官の多様性と共通性を考えることもできる。しかし、そのように意識的にとらえることを求めるような構成に教科書は成されていない。加えて、運動器官について実験・観察を用いて体験的に学ぶ例は、ニワトリの解剖のみである。当然、教科書の紙面上の扱いに拘泥せず、様々な趣向を凝らした解剖実験等の教育活動を行うべきではある。しかし、教科書に解剖実験の記載がされた結果、解剖実習が増加した例¹⁹⁾から、教科書に記載がなければ、その解剖実習は行われないことが示唆される。そのため、現況として単元「動物の体のつくりと働き」において生物の共通性、相違点を解剖実習を通して学ぶことは少ないと考えられる。

加えて、運動器官関連の内容としては相同器官と分類の場面において運動器官の骨格についての図がある⁵⁻⁹⁾。だが、その図は筋肉のつながりが分かるものではない。また、相同器官の図は、教科書によって記載の違いがあるものの、ヒトをはじめクジラ、コウモリ、カエル、ワニ、ハト、コウモリ、クジラ、シーラカンス、イヌ、イルカ、モグラ、アリクイ、チンパンジーなど脊椎動物にグループされるものであり、多様性がない。相同器官は近縁なものでなければ、収斂進化の例となるために当然ではある。しかし、節足動物と脊椎動物のような近縁ではない生物間の、相違点を導くために扱うことができる教材としては不十分であろう。

5. おわりに（まとめと今後の課題）

本研究は、カニとニワトリを教材として利用することで、骨と筋肉の働きを理解すると同時に、その共通点と相違点も併せて実感を伴いつつ考察することができることを示した。使用した教材が2つであるため、多くの共通点、相違点を導いたとは言い難いが、その後の学習につながる節足動物（甲殻類）を利用したことにより、比較的無理のない学習配列となる。また、模型と比較して、学習者が興味関心をもつ教材でもある。

今後の課題としては、カニやニワトリの観察が、運動器官の機序について理解することや、様々な動物の運動器官における共通性と多様性を理解することについてどのような効果があるのかを、学習者の自己評価だけでなく、他者評価を取り入れてさらなる検証をしていくことが望まれる。

（附記）

学習活動の一部は、第49回広島大学附属福山中・高等学校教育研究会の公開授業で行ったものである。

参考文献

- 1) 文部科学省，中学校学習指導要領（平成29年告示）平成29年3月告示(https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/05/07/1384661_5_4.pdf)
- 2) 文部科学省，中学校学習指導要領平成20年3月告示平成27年3月一部改正(https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/__icsFiles/afieldfile/2015/03/26/1356251_1.pdf)
- 3) 文部科学省，中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編平成29年7月(https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1381387_005.pdf)
- 4) 文部科学省，中学校学習指導要領解説理科編平成20年7月(https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2011/01/05/1234912_006.pdf)
- 5) 細谷治夫他，「自然の探究 中学校理科」，教育出版
- 6) 塚田捷他，「未来へひろがるサイエンス」，啓林館
- 7) 霜田光一他，「中学校 科学」，学校図書
- 8) 岡村定矩他，「新編 新しい科学」，東京書籍
- 9) 有馬朗人他，「新版 理科の世界」，大日本図書
- 10) 総務省統計局「小売物価統計調査結果」(<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200571&tstat=000000680001&cycle=1>) 2020年2月4日アクセス
- 11) 水野恭平他，「筋肉と骨の働き」に関する理科学習におけるニワトリの足の解剖実験，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），第41巻，85-91，2017年3月
- 12) 藤井志保，川上紳一，実感を伴った理解を深め生命尊重の態度を育む指導のあり方—第4学年B区分「動物のからだのつくりと運動」における手羽先と人工関節の活用—，岐阜大学教育学部 教師教育研究(6)131-139 (2010)
- 13) 川畑龍史，手羽の肉眼解剖と結合組織の観察，形態・機能，2019，18巻，1号，p. 9-19
- 14) 高田昌慶，感覚に基づく誤認識を，体感的に修正しうる教材の開発—体感できる，腕の曲げ伸ばし筋肉モデル—，日本科学教育学会研究会研究報告，Vol31 No. 7(1017)
- 15) 竹下俊治，徳田敬，間賀綾音，作って学ぶ「骨と筋肉の働き」「花のつくり」：ペーパークラフトの製作を通して(ワークショップ)，日本理科教育学会全国大会要項(63)，498，2013
- 16) お茶の水女子大学理科教材データベース，筋肉模型のつくり方(<https://sec-gensai.cf.ocha.ac.jp/941>) 2020年2月6日アクセス
- 17) 樋口耕一，「社会調査のための計量テキスト分析—内容分析の継承と発展を目指して」，ナカニシヤ出版
- 18) 牛澤賢二，「やってみよう テキストマイニング—自由回答アンケートの分析に挑戦!」，朝倉書店
- 19) 佐伯英人，沖野公祐，中学校理科における解剖実習の実態と第2学年「動物の仲間」における解剖実習，理科教育学研究，Vol. 54 No. 3 (2014)