

生物分野の学習における大型甲虫の有用性

— コクワガタを用いた授業実践 —

吉川 直志*, 田中隆太郎*, 高橋 周**
穴野 彰彦**, 栗田 高明***, 寺島 幸生***

(キーワード：生物教材, コクワガタ, 探究学習, 中学校理科)

1 はじめに

動物の外部形態に関する内容は、中学校理科第1学年の単元「いろいろな生物とその共通点」における「動物の体の共通点と相違点について」において、詳しく取り扱う。ここでは、動物の外部形態の観察を行い、その観察記録などに基づいて、動物にいろいろな共通点や相違点があることを見だし、動物の体の基本的なつくりを学ぶとともに、その共通点や相違点に基づいた分類方法を習得させることになっている（文部科学省，2008）。しかし、実際の学校現場では、無脊椎動物についての取り扱いが非常に少ない。加えて、一般的には「脊椎をもたない動物」という非常に大雑把な分類がされている無脊椎動物の中から、「どの生物」の「どこ」に注目して授業実践を行えばいいのか、そのためには「どんな教材」が必要なのかが曖昧なままであるといった問題も存在する。

本授業実践では、これらの問題に対する一つの回答として、コクワガタを用いた授業実践を提案している。これは、コクワガタは比較的メジャーな昆虫で、なおかつ観察対象として十分大きく観察しやすいと判断したためである。また、コクワガタには大アゴに性的二型が見られ、さらにオスの大アゴには多型性が見られるという非常に面白い特徴がある（Iguchi, 2013）。この特徴に注目し、異なる動物種に共通点・相違点が存在することだけでなく、同じコクワガタの共通の形質でも個体や雌雄によって長さや形状に違いがあることを取り上げることで、生徒の関心を高められるのではないかと考えた。

加えて本授業実践では、ただコクワガタの外部形態を観察するだけでなく、「形質には個体間・雌雄間で変異がある」という仮説を踏まえ、実際に形質の長さを計測・グラフ化し、そのグラフを比較することで仮説を立証することを通して、科学的に調べる能力と態度を養うことを主な目的としている。これに関しては、生物学におけ

る“アロメトリ的スケールリング”（以下アロメトリーと呼称）を用いた。一般に、体サイズの増加に伴う形質サイズの変化は、べき関数に従うことが知られており（下澤ほか，1998）、これをアロメトリー式と呼んでいる（ $y = ax^b$ ： y は形質サイズ、 x は体サイズ）。このアロメトリー式は両辺を対数変換することで、 $\log y = \log a + b \log x$ となり、線形関係として扱うことができるため、個体群間や種間で形質サイズの比較を行う際に頻繁に用いられてきた（里見，2015；松村，2018）。本授業実践でもコクワガタの形質の雌雄間比較を行うためにこの手法を用いた。

ただし、本授業実践の対象は中学生であり、対数関数に関する内容は高等学校の数学で学習することになっているため（文部科学省，2009）、使用することができない。そのため、対数変換せずに線形関係として比較するには、計測値を用いた場合の体サイズに対する各形質の回帰直線が有意であることを確かめる必要があった。そこで線形単回帰を行った結果、すべての形質において回帰係数は有意であった（オス大アゴ： $B = 1.481$, $P < 0.001$ ；メス大アゴ： $B = 0.121$, $P = 0.002$ ；オス中脚脛節： $B = 0.466$, $P < 0.001$ ；メス中脚脛節： $B = 0.341$, $P < 0.001$ ）。よって、対数変換を行わず直線関係として比較することは可能であると判断した。

以上のことを踏まえ、本授業実践では単元を「昆虫の個体間の違いとオス・メス間の違い」と設定し、「クワガタの色々な部分と体の大きさの関係を調べよう」という目標のもと授業を行った。

2 教材及び指導方法の工夫

○教材について

教材には、前述のようにコクワガタを用いている。サンプル採集は2018年の夏期に鳴門市内にて行い、オス39個体・メス15個体を採集することができた。サン

*鳴門教育大学大学院 自然系コース（理科）

**鳴門教育大学附属中学校

***鳴門教育大学 高度学校教育実践専攻（教科系）

ルにはあらかじめ酢酸エチルを用いて殺虫・防腐処理を行っている。また、サンプルは大小様々なサイズのものを用意した。これを各班にオス9~10個体・メス3~4個体ずつ配布し、コクワガタの実物に触れながら計測ができるようにした。

グラフ用紙に関しては、模造紙を使用し大きなグラフ用紙を作成した。これは、生徒が各自で散布図を作成するよりも協力して話し合いながら作図した方が、グラフを比較した際の気づき生まれやすいのではないかと考えたためである。

また、計測用のサンプルとは別に、生体も各班に雌雄一組ずつ準備した。これは、時間に余裕があれば自由に観察する時間を設けようと考えたためである。

○指導方法について

本実践では、パワーポイントを用いた授業を行っている。これは写真や動画を用いたほうが、生徒が理解しやすいと思われる部分が多かったためである。

サンプルの計測に関しては、班ごとに行わせた。これによって、計測が速い生徒が遅い生徒を手伝うことができ、計測にかかる時間を短縮することができる。

○予備実験について

前述のように、コクワガタの大アゴには性的二型が見られ、さらにオスの大アゴには多型性が見られる。しかし、今回採集したサンプルでも同様のことが見られるかは不明であった。また、本授業実践ではアロメトリーを用いて「同じ形質でも、からだの大きさに対する関係性は個体間・雌雄間で異なる」ことを示す必要があったが、大アゴ以外の形質に関する知見は乏しかった。そこで予備実験を行い、①オスの大アゴの長さには個体差があること、②大アゴのアロメトリーに雌雄間で差があること、③中脚脛節のアロメトリーは雌雄間で差が小さいことを確かめた。③に関しては、性的形質である大アゴとの比較対象として、性選択ではなく自然選択が働いている形質である中脚脛節を選んだためである。

体サイズの指標としては鞘翅長を用いており、小楯板の先端から鞘翅の後端までの直線距離を計測している(図1 a)。大アゴの長さに関しては、大アゴ内側の付け根から先端までとし(図1 b)、中脚脛節長に関しては、腿節と脛節の接続部から脛節先端のトゲまでとしている(図1 c)。

結果に移る。まずオスの大アゴの長さに関しては、個体間で大きな差があり、形状は大きく3つに分かれていた。一方でメスの大アゴの長さに関しては、個体間の差は非常に小さく、形状にも変化はなかった(図2, 3)。

次に、大アゴのアロメトリーに関しては、傾きに雌雄間で大きな差があり、オスの方が傾きは大きかった

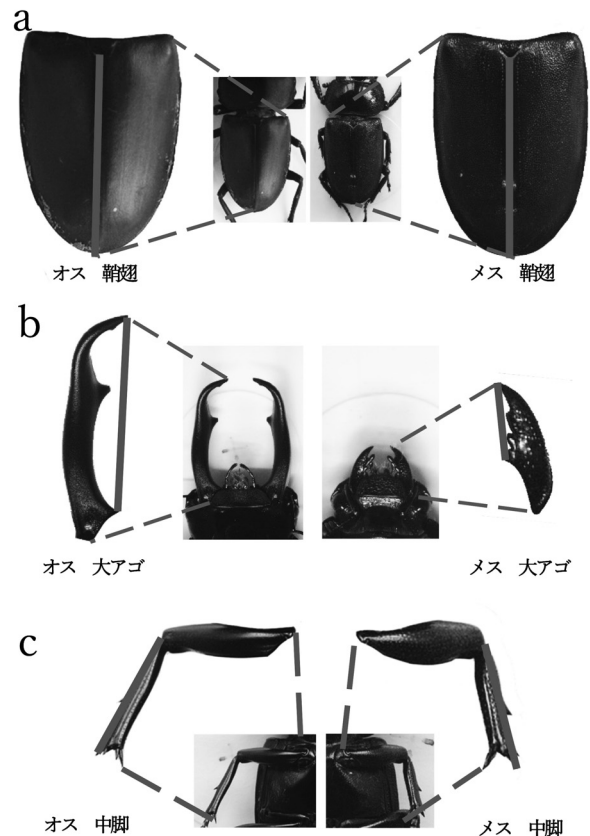


図1. 各形質の計測部位
a. 鞘翅 b. 大アゴ c. 中脚脛節
図中の直線は実際に計測した部分。

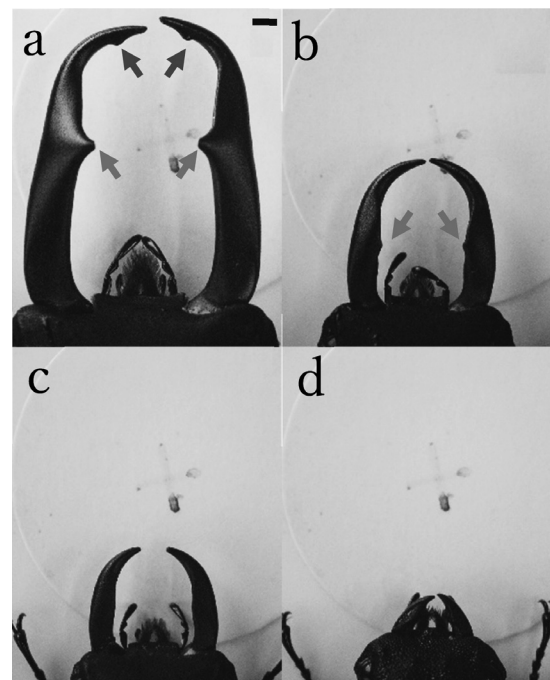


図2. 大アゴ外部形態の比較 (a, b, cが♂, dが♀)
オスの大アゴは大きく3種類に分類することができたが、メスは1種類のみであった。
(スケールバー: 1.0mm)

(ANCOVA, 交互作用: $F = 43.932$, $P < 0.001$; 図 3 a)。

一方で, 中脚脛節のアロメトリーに関しては, 傾きには差がなかったが (ANCOVA, 交互作用: $F = 3.865$, $P = 0.055$), 切片には差があり, オスの方がメスよりも体サイズに対する中脚脛節の長さが長いという結果になった (ANCOVA, 交互作用除去後の個体群効果: $F = 118.648$, $P < 0.001$; 図 3 b)。

以上の結果から, コクワガタの大アゴには性的二型があり, さらにオスの大アゴには多型性が存在していることが示された。また, 大アゴのアロメトリーには雌雄間で大きな差がある一方で, 中脚脛節のアロメトリーには雌雄間で大きな差がないことが示された。これらを踏まえ, 本授業実践においてコクワガタは教材として適して

おり, アロメトリーを用いて「同じ形質でも, からだの大きさに対する関係性は個体間・雌雄間で異なる」ことを示すことは可能であると判断した。

3 授業実践

前述の構想をもとに, 鳴門教育大学附属中学校において, 「課題探究学習」の時間に, 「昆虫の個体間の違いとオス・メス間の違い」のテーマを設定し, 実験・観察活動を取り入れた授業を実践した (付属資料 1 参照)。また, この授業は授業者 1 名と補助者 1 名による 2 時間連続のチームティーチングとして行った。

さらに, 授業の前後に生物の授業に関する事前アンケートおよび事後アンケートを行い, 授業の効果を考察した。

(1) 1 時間目「コクワガタの外部形態を観察し, 各形質の長さを計測する」

はじめに, 個体間の違いとオス・メス間の違いを説明し, さらに図 2 のような 4 つのコクワガタのアゴの写真を見せながら, 「どれがコクワガタだと思う?」というクイズをした。正解は 4 つともコクワガタということを生徒に説明したところ, 生徒から驚いたような発言が聞こえたので, 事前に班ごとに配布していたサンプルを観察させた。これによって, 生徒に「同じ形質でも, からだの大きさに対する関係性は個体間・雌雄間で異なる」ということを気付かせた上で, 本授業の目標である「コクワガタの色々な部分と体の大きさの関係を調べよう」を提示した。

次に, 計測部位と計測の仕方, ノギスの使い方を説明した。まず, コクワガタの体の構造を簡単に説明し, その後, 生徒を集め, 授業者がノギスを用いてコクワガタの大きな模型を実際に計測しながら説明した。計測は, 鞘翅・大アゴ・中脚脛節の 3 つの形質で行い, 計測部位は予備実験と同様にした (図 1 a ~ c)。

最後に計測を行った (図 4)。計測の際コクワガタに直接接触する必要があったので, ゴム手袋を用意し, 直接接触

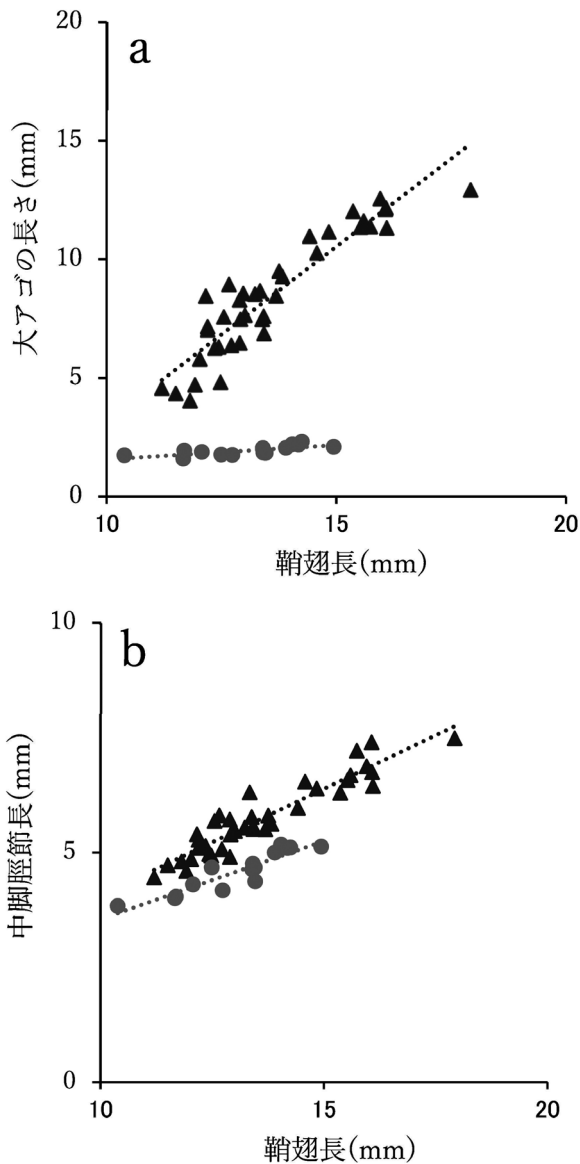


図 3. 各形質アロメトリーの雌雄間比較
(▲: ♂ ●: ♀)

a: 大アゴの雌雄間比較 b: 中脚脛節の雌雄間比較



図 4. ノギスを用いてサンプルを計測中の生徒の様子

ことに抵抗がある生徒も計測ができるようにした。計測は班ごとに行わせ、計測方法や計測部位を間違っている生徒には適宜指導を行った。ノギスを使ったことがない生徒が多く、予想よりも時間がかかったため、2時間目の最初の10分ほどを計測にあてた。

(2) 2時間目「得られたデータを集計しグラフ化することで、各形質と体の大きさの関係を考える」

最初に散布図の書き方を説明した。ここでは大きなグラフ用紙と仮想データを用いて、授業者が作図をしながら説明を行った。

その後、1時間目に計測したデータを用いて、生徒に大アゴの散布図と中脚脛節の散布図をそれぞれ作図させた。その際、大アゴの長さとの体の大きさに正の相関があることに気付く生徒がいた。

次に、散布図を黒板に貼り付け、生徒に比較させ、気づいたことをグループで話し合わせた。まず中脚脛節の散布図を比較させ、話し合った結果を発表させたところ、「オス・メスともに正の相関が見られる」という回答が得られたが、「オス・メス間でグラフの傾きはほとんど変わらない」ことに気付いた生徒はいなかった。しかし、次に大アゴの散布図を比較させたところ、「オス・メスともに正の相関が見られる」ことだけでなく、「オス・メス間で傾きが大きく違う」という回答も得ることができた(図5)。

最後に、脛節と大アゴのそれぞれの用途について取り上げ、その用途の違いが形質の雌雄間の違いと関係があることをまとめとした。

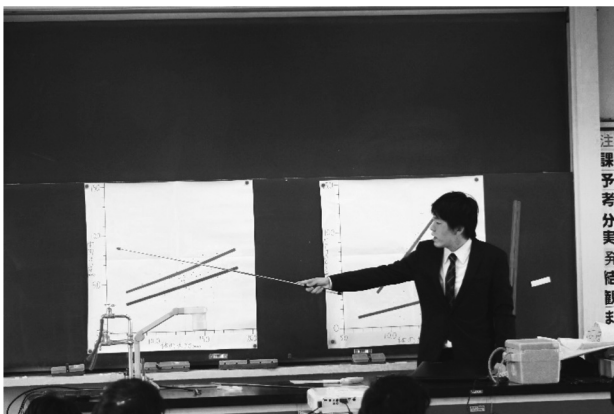


図5. 散布図を用いて結果を比較し考察する授業場面

4 考察

(1) 事前アンケート・事後アンケートの結果比較から

授業の前後に、「課題探究学習」を履修している14名の生徒に対して、生物の授業に関する事前アンケートおよび事後アンケートを行い、各質問に対して選択式で回答を得た。

事前アンケートでは、「理科が好きですか?」という質問に対して「よく当てはまる」または「当てはまる」といった好意的な回答をした生徒は13名であった。また、その理由については「実験が好きだから」という回答が一番多かった。しかし、「理科が嫌い」という回答をした生徒もおり、その理由について「実験が苦手」ということを挙げていた。

「生物の授業は好きですか?」という質問に対しては、好意的な回答をした生徒は12名であり、その理由は「生き物が好きだから」「生き物の性質に興味があるから」という回答が多かった。一方で、否定的な回答をした理由は「理科が苦手だから」「実験が少ないから」というものが挙げられていた。

事後アンケートでは、「理科が好きになりましたか?」という質問に対する好意的な回答は13名であり、事前アンケートと変化がなかった。一方で、「生物の授業は好きになりましたか?」という質問に対する回答は事前アンケートと異なっており、好意的な回答は14名と増加していた。その理由に関して特に印象的だったのは「今日の授業が楽しかったから」という回答である。この回答をした生徒は、事後アンケートでも「理科が嫌い」と回答をしており、そのような生徒でも楽しいと感じたことは、本授業実践における成果の一つだと考えている。

一方で、授業の感想に関しては、「グラフの違いを応用して考察するのは楽しかった」や「ほかの動物ではどうなっているのかを知りたい」という回答はあったが、グラフの傾きと各形質の使い方の違いの関係について触れている生徒はいなかったことから、授業内容は十分には理解できていないと感じた。

以上の結果から、本授業実践によって、昆虫やその他の生物に対する生徒の興味・関心を引き出すことはできたが、授業内容の理解には指導方法や教材へのさらなる改良が必要であると推察している。

(2) 授業者の反省から

導入部分では、生徒の興味・関心を引き出すためにクイズを行っており、実際、生徒からは驚きの声を聞くことができたことから、狙いは達成できたと考えている。

一方で、計測方法や計測部位の説明が不十分であり、一部の生徒は計測部位や計測方法を間違えていた。その結果、予定よりも計測時間が延びてしまった。サンプルの計測に移る前に、計測の練習を行う時間を設ける必要があったと考えられる。

散布図の作成に関しては、生徒全員で協力して積極的に行っており、得られた結果も予備実験の結果とほとんど変わらなかったことから、散布図の書き方は習得できていると考えられる。しかし、グラフを比較させ、気づいたことを発表させても、積極的な発言は見られなかつ

た。これに関しては、生徒が散布図を比較することに慣れておらず、どこに着目すればいいのかわからなかったためだと思われる。そのため、発問の際、グラフのどこに注目して比較してほしいかを、あらかじめ提示しておくべきだと感じた。

最後のまとめに関しても、生徒自身がグラフの傾きに注目して比較できていなかったためか、グラフの傾きの違いと各形質の用途の違いが関係していることを、十分理解していないように感じた。前述のように、着目する点を踏まえて比較できていれば、グラフの傾きの違いと各形質の用途の違いの関係性を生徒自ら気付くことができるのではないかと考えている。

5 おわりに

本授業実践では、コクワガタの各形質の散布図を作図し、それを比較させることで、昆虫の個体間の違いとオス・メス間の違いを理解させることを目的とした。

本実践で扱ったコクワガタは、他にも様々な方法で理科教育に利用することができる。例えば、昆虫の体の構造を学習する際の観察対象として最適だと考えられる。これは、本甲虫が観察対象として十分に大きく、また、簡単に大量に採集ができ、サンプルを十分に確保できるためである。さらに、授業の一環として標本作成を行わせることで、サンプルを半永久的に保存することができ、何度も教材として使用することが可能である。

このように無脊椎動物に関する学習において、コクワガタを含む大型甲虫は非常に有用だと私は考えている。本実践のように、大型甲虫の実物を授業に上手く取り入れることができれば、昆虫の体の構造や各形質の機能、特徴をもとにした分類方法などを、より効果的に学習することができるだろう。

謝辞

本授業の実践にあたり、様々な貴重な意見をくださった鳴門教育大学自然・生活系教育部の工藤慎一准教授、並びに採集場所を教えてくださいました神戸大学大学院里見太輔氏、併せて、サンプル採集を手伝って頂いた同窓の院生・学部生の方々にも心よりお礼申し上げます。

文献

松村瑤子, キムネカミキリモドキにおける性的形質の変異と性選択, 修士論文 (鳴門教育大学大学院学校教育研究科), 55p., 2018.

文部科学省『高等学校学習指導要領解説 数学編』, 72p., 2009.

文部科学省『中学校学習指導要領解説 理科編』, 138p.,

2008.

里見太輔, フタイロカミキリモドキにおける性的形質の個体群間変異, 修士論文 (鳴門教育大学大学院学校教育研究科), 51p., 2015.

下澤楯夫・大原昌宏・浦野知 (編著)『スケーリング: 動物設計論 ―動物の大きさは何で決まるのか―』, コロナ社, 302p., 1998.

Yutaka Iguchi, Male mandible trimorphism in the stag beetle *Dorcus rectus* (Coleoptera: Lucanidae), *European Journal of Entomology*, 110 (1), pp.159 – 163, 2013.

【付属資料1】

学習指導案

- 1 単元名 「昆虫の個体間の違いとオス・メスの違い」
- 2 目標
形質の大きさや形状には、個体間・雌雄間で変異があることを理解する。また、大アゴが雌雄間で大きく違うのは、用途が異なるためであることを理解する。
- 3 展開

【第1時限】

資料 準備物	学習活動	指導上の留意点	評価	時間
ワークシート 計測用紙 ノギス 計測サンプル	1 個体間の違いとオス・メスの違いについて知る。		・形質の大きさおよび形状には、個体間・雌雄間で変異があることを理解する。(知識・理解)	10分
	2 スライドの①～④(図2a～d)のどれがコクワガタか考える。(全部コクワガタ)	・各部分と体の大きさの関係は、個体間でも雌雄間でも様々であることを気づかせる。		5分
	クワガタの色々な部分と体の大きさの関係を調べよう			
	3 クワガタの体のつくりを学ぶ。			5分
	4 計測部位とノギスの使い方を知る。	・ノギスは0.05mm単位で計測するように指導する。 ・実際に計測しているところを見せる。	・正確に計測することができる。(技能・表現)	5分
5 サンプルの計測。(雌雄の鞘翅長・大アゴの左右の長さ・中脚脛節の左右の長さ) 計測中に気付いたことはプリントに書き込ませる。	・計測は左右1回ずつ行わせ、左右の平均値も求めさせる。 ・計測値は少数第3位を四捨五入させる。 ・ゴム手袋を用意する。 ・計測終了後、必ず手を洗わせる。	・計測に意欲的に取り組む。(関心・意欲・態度)	25分	

【第2時限】

資料 準備物	学習活動	指導上の留意点	評価	時間
ワークシート グラフ用紙	1 点グラフ(散布図)とその書き方を知る。	・グラフ用紙を一枚使って、実際に散布図を描く。(仮想データ)		10分
	2 グラフの作成。	・回帰直線は教員が描く。(細いマグネット)	・正しい散布図を描くことができる(技能・表現) ・作図に意欲的に取り組む。(関心・意欲・態度)	10分
	3 脛節のグラフを比較して、気づいたことをグループで話し合う。(1分)	・回帰直線の傾きを計算して提示し、傾きはほとんど変わらないことに注目させる。	・各グラフの比較を通して個体間・雌雄間の相違点や共通点を自ら見いだそうとする。(関心・意欲・態度)	5分
	4 大アゴのグラフを比較して、気づいたことをグループで話し合う。(1分)	・回帰直線の傾きを計算して提示し、その傾きが大きく異なること、体の大きさが同じでもオスの方が大アゴが大きいことに注目させる。		5分
	4 大アゴが雌雄間で大きく違うのは用途が違うからということを理解する。	・コクワガタのケンカの動画を見せる。	・大アゴが雌雄間で大きく違うのは、用途が異なるためであることを理解する。(知識・理解)	10分
5 片付け				10分