

筑波大学

朝永振一郎記念

第 17 回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ1025

応募部門 : 中学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : 判ガニが剥皮をしたあとに現れる新しい殻はどこでどのように作られているのか?

学校名 : 茨城県 つくば市立竹園東中学校

学年 : 1 年生

代表者名 : 小山 侑己

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

**ザリガニが脱皮をしたあとに現れる新しい殻は
どこでどのように作られているのか？**

つくば市立竹園東中学校 1年

小山 侑己

1. 研究のきっかけ

小学校1年生の夏休みの自由研究で脱皮したザリガニの抜け殻の標本を作った際、多くのザリガニが同じ日に脱皮していることに気付いた(資料1)。資料を調べたところ、多くの甲殻類で満月の前後に多く脱皮することが報告されていた(資料2、資料3)。このため、2年生の研究ではザリガニも満月の日に多く脱皮をするのではないかと仮説を立てて、毎日月齢と脱皮したザリガニの数を記録したところ、ザリガニも満月の前後に最も多く脱皮することがわかった(図1)。ザリガニの脱皮の記録は小学校1年生だった2016年5月8日から2017年8月23日のほぼ毎日と、2017年8月23日以降現在に至るまで毎日続けている。図1は、2016年～2019年の4年間のうち、ザリガニを屋外の自然光の下で飼育したときの脱皮の回数を月齢ごとにまとめたものである。この図では満月の少し後(月齢18)に脱皮のピークが見られる。

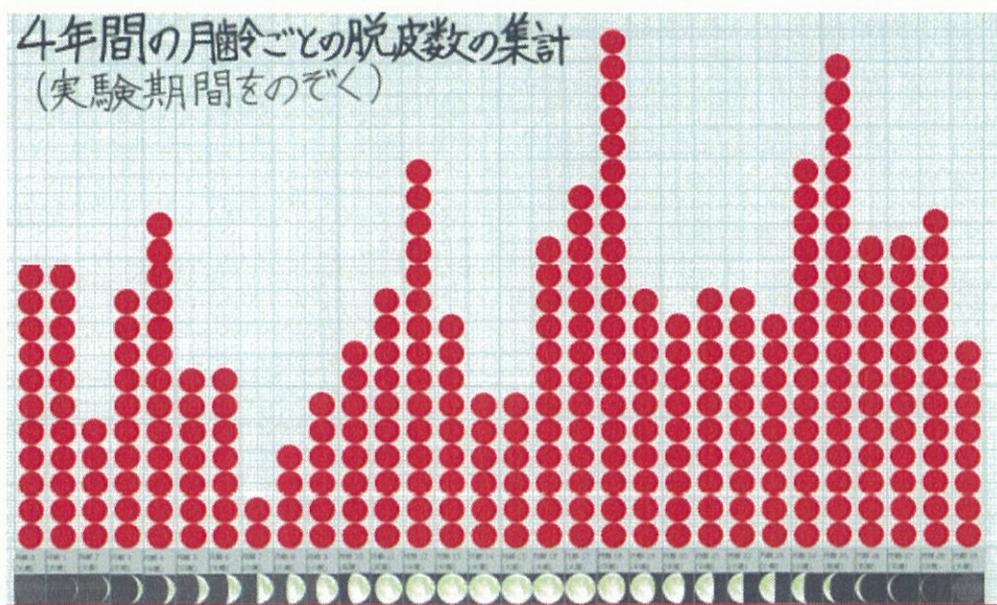


図1: 2016年から2019年までの月齢ごとの脱皮の回数。1つの●が1回の脱皮を表している。

しかし、なぜ満月の日にザリガニが多く脱皮するのかはまだわかっていない。月の明るさが原因かもしれないという仮説を立てて、小学校3年生から6年生までの研究では明るさと脱皮の関係について、毎年少しずつ条件を変えながら、詳しく調べた。1～2年目の研究(2016年～2017年)でザリガニは満月の前後に多く脱皮することがわかった。3年目(2018年)は満月の明るい月の光が脱皮を促進すると考え、満月とその前後の夜に月の光とよく似た照明を当てるグループ(満月グループ)と、新月とその前後の夜に同じ照明を当てるグループ(新月グループ)の脱皮を比較した。2か月間実験を行った結果、新月グループのザリガニは新月の前後に脱皮したが、満月グループのザリガニは実験期間中あまり脱皮をしなくなった。4年目(2019年)はザリガニの数を倍(18匹から37匹)に増やして同じ実験を行ったところ、新月グループのザリガニは新月の前後から上弦の月にかけて多く脱皮し、満月グループのザリガニは月齢と関係なくばらばらに脱皮した。5年目(2020年)の研究では同じ母ザリガニから同じ日に生まれたザリガニを満月グループと上弦の月グループの2グループに分けて比較したところ、上弦の月グループのザリガニは上弦の月の夜に脱皮するようになり、満月グループのザリガニは満月の少し後に脱皮することが多かったが、ややばらつきも見られた。産卵も満月の前後に多かったことから、産卵にも満月の影響があると考えられる。6年目(2021年)には、毎晩光グループと毎晩暗闇グループを比較したところ、毎晩光グループは月齢と関係なくばらばらに脱皮をするようになったが、脱皮の回数は毎晩光グループ、毎晩暗闇グループともに少なかった。月の明るさは1か月の間に新月から満月、満月から新月へと少しずつ変化していて、1日の間でも夜空の明るさが日没から月の出、月の入りの間に少しずつ変化している。このような周期的・段階的な明るさの変化が規則的に脱皮をするためには重要なかもしれない。脱皮のしくみは思っていたよりも複雑だった。

2. 今年の研究で調べたいこと

今までは脱皮の様子を外から観察してきたが、今年度はザリガニの体を解剖するなどして、脱皮の前後の体の変化を内側から詳しく調べてみたい。一番知りたいことは、脱皮後に現れる新しい殻がいつ、どのように作られるのかということである。資料によれば、殻の部分は図2のように上クチクラ層、外クチクラ層、内クチクラ層の3層からできており、内クチクラ層の一番内側の部分が上皮組織から離れることによって殻となる。そうすると殻の下に再び上クチクラ層、外クチクラ層、内クチクラ層の3層が現れ、次の殻になるようである(資料4)。

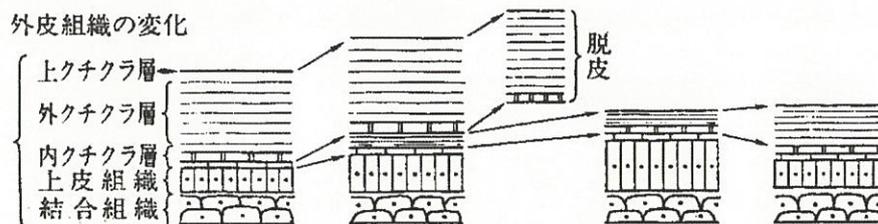


図2: 脱皮の前後の外皮組織の変化(資料4より一部抜粋)

しかし、新しい殻ができる過程を写真に撮った資料は見当たらなかった。資料を探してみたところ、スジエビの剛毛の脱皮に関する資料は見つけることができた。スジエビでは図3の写真のように、現在の剛毛の下に新しい剛毛が作られることがわかった(資料5)。また、アメリカロブスターの殻の顕微鏡写真も見つけることができたが(資料6)、殻の部分のみが撮影されており、殻の下の部分は撮影されていなかった。これらの資料だけでは殻の下で新しい殻がどのように作られるかについてはわからなかったことから、自分で新しい殻ができるようすを写真に撮りたいと思った。

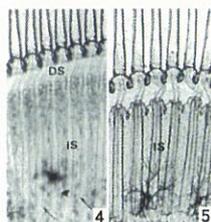


図3: スジエビの剛毛の脱皮
資料5より一部抜粋

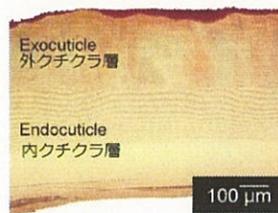


図4: アメリカロブスターの殻の顕微鏡写真
資料6より一部抜粋・日本語訳追記

また、新しい殻が脱皮後何日くらいで作られるかについて書かれた資料もないため、自分で調べたいと思った。筆者は昨年と2年前に自宅でふ化させたザリガニを30匹以上飼育しており、脱皮した日付をすべて記録している(資料1)。今後自然に死亡するザリガニを解剖し、最後に脱皮してからの日数と、新しい殻が出来ている状態を関連付けて調べれば、新しい殻が脱皮後何日くらいでどの程度作られているのかを知ることができるのではないかと考えた。

次に知りたいことは、ハサミをなくしたザリガニのハサミが再生するとき、新しいハサミがどこで作られているのかということと、新しい尻尾はどこで作られているのかということであった。資料4～6によれば新しい殻は古い殻の下で作られている。この法則をザリガニの全身にあてはめた場合、全身で現在の殻の下に新しい殻が作られることになる(図5)。しかし、古い殻の下に新しい殻が作られると考えた場合、再生された部分が体のどこでどのように作られるのかわからず、不思議である(図6)。ハサミが切断されると脱皮の際に再生するが、新しいハサミは体のどこで作られているのだろうか？また、尻尾の部分は1枚構造のように見えるが、新しい尻尾はどこで作られているのだろうか？ハサミの切断部分の周辺や尻尾を解剖して詳しく調べようと考えた。

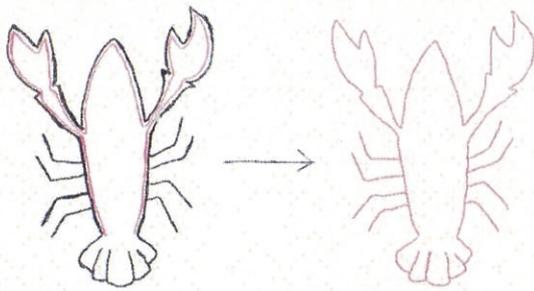


図5:新しい殻のできかたについての仮説

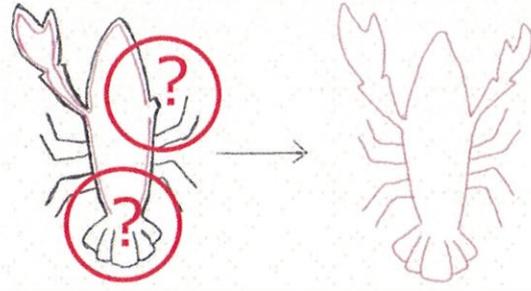


図6:疑問点をあらわした図

その他、「ザリガニがなぜ短時間でスムーズに脱皮できるのか?」「ザリガニが一生の間に何回くらい脱皮をするのか」「成長とともに脱皮と脱皮の間隔がどのように変化するのか?」についても調べてみたい。2年前の研究で偶然脱皮の様子を撮影することに成功したが、その時、ザリガニはわずか3分ほどで脱皮を終えていた。短時間でスムーズに脱皮を終えるためには、新しい殻がやわらかいだけでなく、表面がつるつるしているなどの特徴もあるかもしれないと考えていたことから、今回の解剖で確かめたい。また、一生の間の脱皮の回数と、脱皮の間隔については資料に生後1~1.5年の間に10回くらい脱皮して成体まで成長するという報告が見られたが(資料7)、多数のザリガニで確認したかどうかは不明であり、正確な脱皮の間隔についても記載がなかったため、自分で確かめたいと思った。

3. 方法

研究は解剖とハサミの再生の実験、脱皮の間隔の記録の分析の3種類行った。

3-1. 解剖

- ① 2021年8月31日の時点で33匹のザリガニを飼育していた。ザリガニは個別に飼育し、生まれた年や個別飼育ケースに移した順番などにもとづいて20D、20D1、21Bなどの名前を付けた。さらに、2022年7月17日に7匹(22P1~7)、同年8月15日に6匹(22P8~13)、同年8月15日に6匹(22P14~15)のザリガニをつくば市豊里ゆかりの森で捕獲した。
- ② 2022年7月19日に1匹のザリガニ(22P6)が死亡したため、その日に解剖した(表1)。
- ③ 2022年8月11日に1匹のザリガニ(22P7)が脱皮し、片側のハサミが再生したことから、8月15日に再生したハサミだけ切断し、ハサミが脱皮によって再生された日から4日目のハサミの状態を観察した。
- ④ 2022年8月16日に2匹のザリガニ(22P11、22P13)が死亡したため、その日に解剖した。22P13は死亡した当日に脱皮もしていた。
- ⑤ 2022年6月30日に21B、7月13日に20D、8月4日に20D1が死亡したため、8月20日に解剖した。22P6と22P7(ハサミのみ)は冷凍せずに解剖し、20D、20D1、21B、22P11、22P13は冷凍した状態で解剖した。
- ⑥ 20D、20D1、21Bは過去の脱皮の記録がすべて残っており、それぞれ脱皮368日後、323日後、116日後に死亡したことがわかった。このため、脱皮後の日数と新しい殻の厚さなどとの関係について調べた。
- ⑦ 解剖では殻をカッターナイフやハサミを使って切断したり、ピンセットで殻をはがすなどして殻の下の体部位を露出させ、写真を撮影した(図7)。さらに、双眼実体顕微鏡(Kenis Model STL)およびデジタル顕微鏡(UMTELE 3 in 1)で拡大した映像を観察し、写真を撮影した。観察した主な体部位は頭胸部、腹部、尻尾、ハサミであった(図7)。

表1. 解剖したザリガニの一覧

名前	体長(cm)	ふ化した日	脱皮から死亡までの日数
20D	8.0	2020年1月21日	368日
20D1	8.0	2020年4月29日	323日
21B	7.5	2021年6月17日	116日
22P6	6.0	不明	不明
22P7	6.0	不明	生存中 (ハサミのみ解剖)
22P11	8.4	不明	不明
22P13	10.5	不明	0日



図 7: 解剖・観察のようす(左)と解剖した部位(右)

3-2. ハサミの再生の実験

資料4と6より、ザリガニの新しいハサミは他の体の部位と同様に、殻の内側で作られていると予想される。一方で、ハサミが切断された場合には、切断面付近で新しいハサミが作られることが知られている(資料4)。このため、もし脱皮直前にハサミが切断された場合、古い殻の下にできた新しいハサミが切断される一方で、付け根付近で行われるハサミの再生が間に合わず、ハサミのないまま脱皮が行われることが予想される。

実験を行うため、2022年7月17日につくば市豊里ゆかりの森で7匹のザリガニを捕獲し、22P1~7と名付けた。22は2022年、Pは公園(Park)で捕獲したことをあらわす。22P1~7のうち6匹のザリガニの片方のハサミを、捕獲した翌日の2022年7月18日に切断した。22P2、22P3、22P4のハサミは金属製のハサミを用いて切断した(図8)。22P5、22P6、22P7はハサミを自切した。自切にかかった時間は約3分~16分程度だった(図9)。22P1は片方のハサミが小さかったため、切断は行わなかった。8月15日にさらに6匹のザリガニを捕獲し、22P8~13と名付けた。そのうちの5匹のザリガニの片方のハサミを、捕獲当日に切断した。22P13は捕獲した時点でハサミが両側ともなかったため、切断は行わなかった。22P8、22P9、22P10、22P11、22P12のハサミは金属製のハサミを用いて切断した。さらに、8月28日に2匹のザリガニを捕獲し、22P14、22P15と名付けた。22P14はもともと左側のハサミがなかったが、右側のハサミを金属製のハサミで切断した。22P15は両側にハサミがあり、右側のハサミを金属製のハサミで切断した。



図 8: ハサミ切断後のようす
(金属製ハサミで切断)

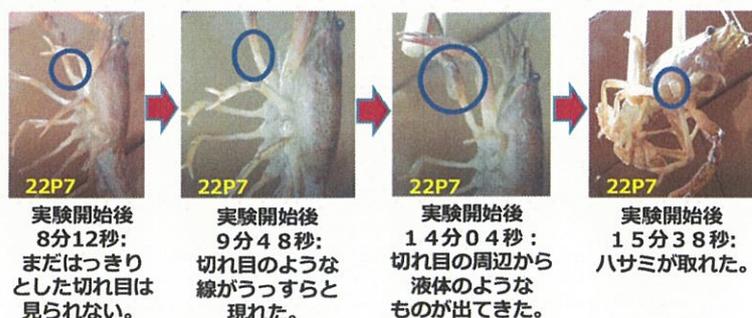


図 9: ザリガニのハサミの自切のようす

3-3. 脱皮の間隔の記録

小学校2年生だった2017年8月23日以降現在に至るまで、ザリガニに名前をつけて個別に飼育し、毎日休まず脱皮の観察を続けている。2020年にはザリガニに交尾させて卵を産ませることに成功した。同じ親から同じ日に生まれ、同じ日にふ化したザリガニを同じ条件で育てて、脱皮の回数と間隔を記録した。2020年～2022年の野帳をもとに2020年1月21日にふ化した8匹と、2020年4月29日にふ化した20匹のザリガニ(合計28匹)の脱皮の回数と間隔を集計して、グラフにした。

4. 結果

4-1. 解剖の結果

- ① 殻の下に殻と同じ模様の薄い膜があった。22P6では殻の下に、殻と同じ縞模様をした赤い膜が見えた。22P13でも、腹部では殻と同じ縞模様の膜が見え、頭胸部では殻に見られたY字型の模様が、殻の下の膜にも見えた。20Dは黒い殻をしていたが、殻の下には殻と同じ模様の黒い薄い膜が見られた。これらの結果から、殻の下の膜が新しい殻になるように見えた(図10)。



図10: 殻の下の膜のようす

- ② 22P13の腹部の断面を双眼実体顕微鏡で拡大して観察したところ、膜の赤い部分には赤い斑点が数多く見られた(図11)。



図11: 赤い膜の顕微鏡写真

- ③ 尻尾の先端の 1 枚構造に見えた部分を顕微鏡で観察したところ、実際には尻尾も腹部などと同様に外骨格でおおわれた構造をしていた。殻の内側に薄い膜があり、その中に筋肉のような組織があった(図 12)。尻尾の付け根の部分(下図の赤丸部分)がふくれていたのでこの部分に新しい尻尾が入っていると予想したが、誤りだった。

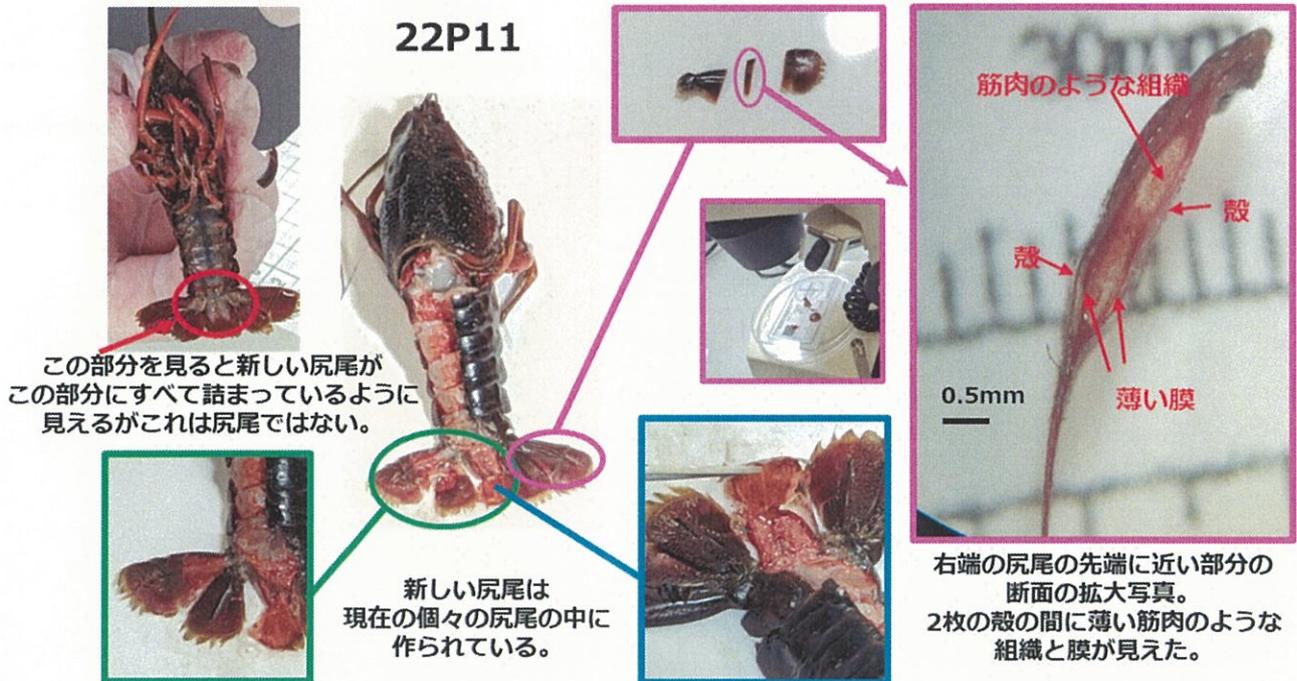


図 12: 尻尾の内部構造

- ④ ハサミの下にも薄い膜が作られていた。ハサミには縞模様がないためか、ハサミの下の薄い膜には腹部のような縞模様は見られなかったが(図 13)、20D では黒い殻の下に黒い膜が見られた。

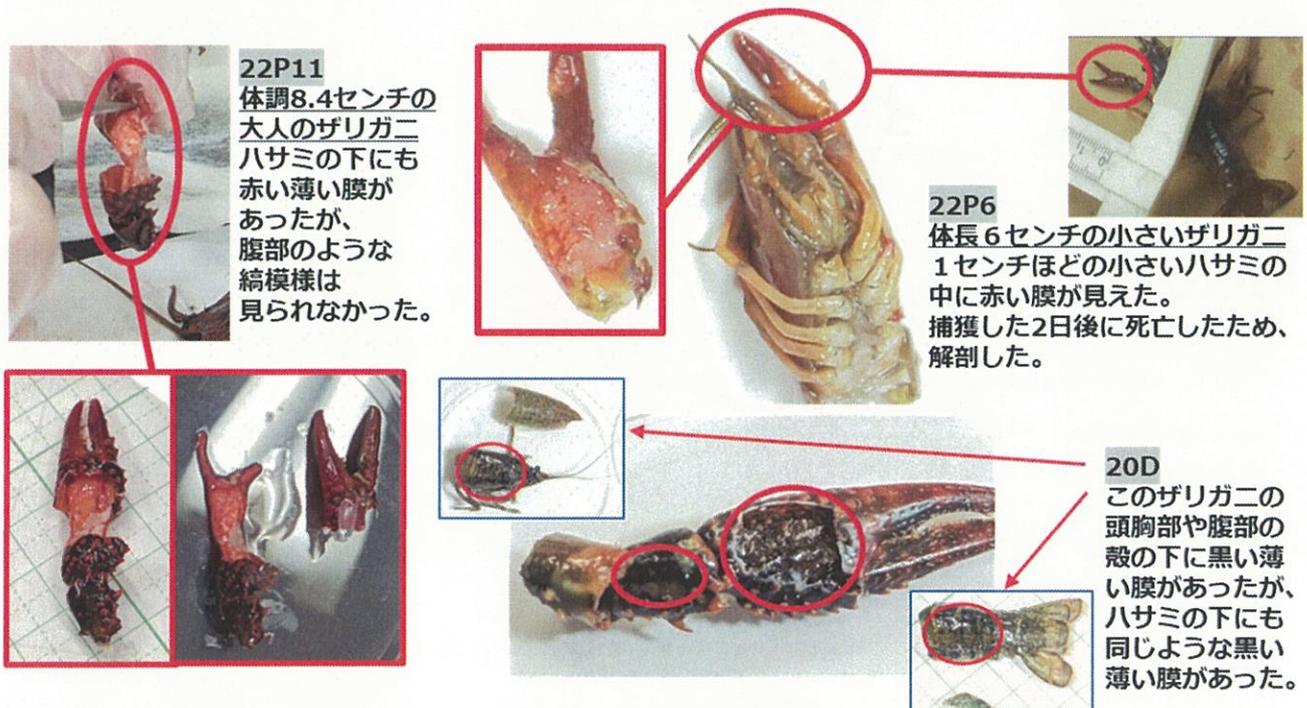
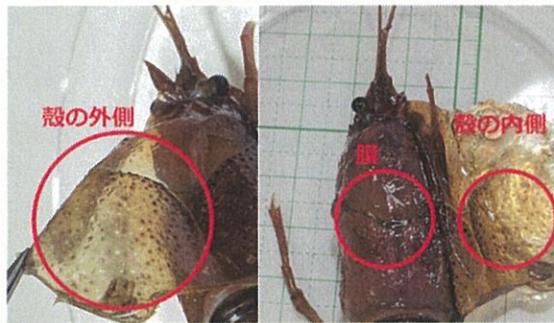
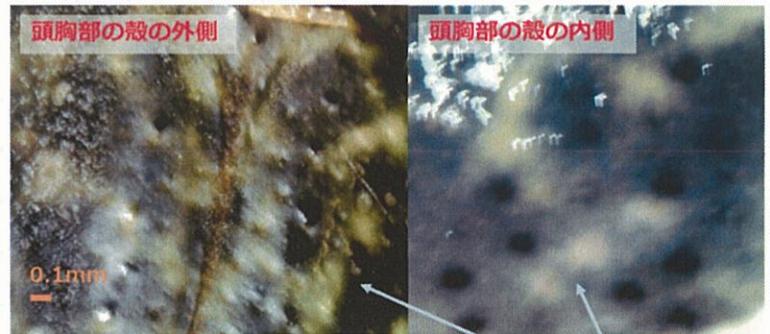


図 13: ハサミの内部構造

- ⑤ 殻の外側の表面は凹凸があってザラザラしていたが、内側の表面はなめらかだった。その下の薄い膜の表面もなめらかだった(図 14)。21B の頭胸部の殻の表側と裏側をデジタル顕微鏡(UMTELE 3 in 1)を用いて観察したところ、殻の外側にはややとがった凹凸があり、内側はなめらかで、黒い斑点が見えた。



22P13
殻の外側は凹凸があってざらざらしているが、殻の内側とその下の膜の表面は滑らかだった。



21B
顕微鏡で見たところ、殻の外側にはややとがった凹凸があり、内側はなめらかで、黒い斑点が見えた。



22P11
殻の外側は凹凸があってざらざらしていた。



20D
殻の外側は凹凸があってざらざらしているが、殻の内側とその下の膜の表面は滑らかだった。



図 14: 殻の外側・内側と膜の構造

- ⑥ 脱皮当日に死亡した 22P13 の腹部と頭胸部には薄い膜がすでにできていた。脱皮後 116 日目に死亡した 21B でも薄い膜が見られた。脱皮後 323 日後に死亡した 20D1 では肉眼では薄い膜ができていのように見えたが、顕微鏡では膜が殻のようになっていのように見えた。脱皮後の日数が最も長かった(368 日)20D では一番外側の固い殻の下に薄い殻のような膜ができていて、その下にさらに薄くてやわらかい膜ができていた(図 15)。



22P13
脱皮当日に死亡。
外側の殻がうすい。膜も薄い。脱皮した当日にはすでに膜ができていたことが確認できた。



21B
脱皮 116 日後に死亡。
脱皮 22P13 と同じように殻の下に赤くて薄い膜が見える。



20D1
脱皮 323 日後に死亡。
肉眼では薄い膜に見えたが、顕微鏡では膜が殻のようになっていように見えた。



20D 脱皮 368 日後に死亡。

図 15: 脱皮から死亡までの日数と殻の下の膜の厚さの関係

- ⑦ その他、ザリガニの青い血液を見ることができた(図 16)。また、脱皮 368 日後に死亡した 20D では白くて丸い形をした胃石が見つかったが、脱皮 116 日後に死亡した 21B では胃石がやや小さく、形が不完全であるように見えた(図 17)。

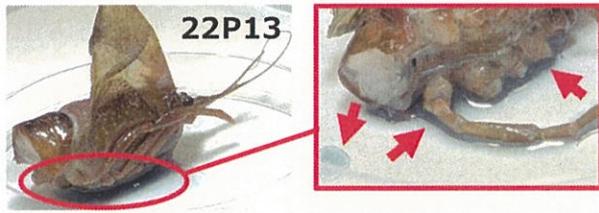


図 16: ザリガニの血液

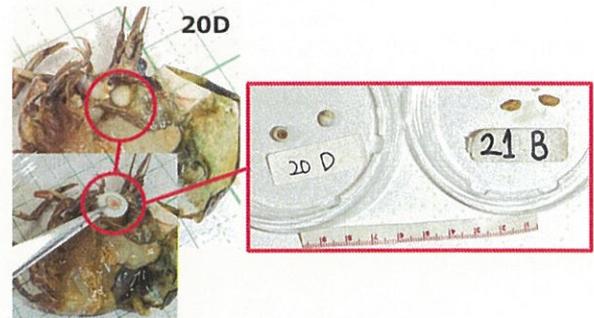


図 17: ザリガニの胃石

4-2. ハサミの再生の実験

ハサミを自切もしくは切断したザリガニのうち、22P7 が自切 24 日後(2022 年 8 月 11 日)、22P5 が自切 27 日後(8 月 14 日)、22P4 が切断 31 日後(8 月 18 日)に脱皮した(図 18)。3匹とも脱皮後にハサミが再生していた。このことからハサミが切れても3週間程度あれば脱皮の時にハサミが再生することがわかった。



図 18: ハサミの再生

一方、捕獲時にすでに左右両側のハサミがなかった 22P13 では脱皮後もハサミが両側とも再生していなかった(図 19)。正確なハサミの切断時期は不明であるが、抜け殻に再生芽がないことから、ハサミをなくしてから次の新しいハサミを再生させるのに十分な時間(日数)がたたないまま脱皮が行われてしまったことが推測できる。



図 19: 脱皮当日に死亡した 22P13 と抜け殻

4-3. 脱皮の間隔の記録

2022年8月17日の時点で、2020年1月21日にふ化したザリガニのうちの5匹と、2020年4月29日にふ化したザリガニのうちの15匹(合計20匹)は生存していた。生存しているザリガニの平均脱皮回数は2022年8月18日現在で9.4回、最大が13回、最低が6回であった。

脱皮の間隔は1回目は20.4日だったが、その後間隔が増加し、7回目以降は100日以上にまで増加した(図20)。脱皮の間隔は最短で4日(20VV 3回目、20V 2回目)、最長で418日(20B 9回目)だった。同じ日に同じ母ザリガニから生まれ、同じ日にふ化して同じ環境で育っても、その後の脱皮の回数や間隔は大きくばらついた。

ただし、2020年1月21日にふ化したザリガニはふ化してから最初の3か月程度、2020年4月29日にふ化したザリガニはふ化してから最初の2週間程度は母ザリガニと集団で飼育していたことから、個別の記録は残っていない。その間に何回か脱皮をした可能性はある。



図 20: 脱皮の間隔と日数の関係

5. まとめと結論

- ① 腹部とハサミの解剖の結果、いずれの部位でも固い殻の下に薄くてやわらかい膜があり、殻と同じ模様が見られた。このため、固い殻の内側の薄い膜が新しく殻になる組織であると考えられた。膜は脱皮当日に死亡した22P13の腹部や頭胸部の殻の下でも確認できた。脱皮後368日後に死亡した20Dでは一番外側の固い殻の下にもう一枚薄い殻のような膜があり、その下にさらにもう一枚薄くてやわらかい膜が作られていた。以上の結果から、脱皮してから次の脱皮までの間に、一番外側の殻の下に、次の殻になる膜と、次の次の殻になる膜が徐々に作られていくと考えられる。殻の下の組織が次の殻になるという結果は資料4と6の通りだったが、薄い膜から次の殻が作られることと、脱皮後の日数が長いと一番外側の固い殻の下にある膜が薄い殻のようになりその下にさらに薄くてやわらかい膜ができ、しだいに三重構造になっていくことがわかったのは新たな発見である。
- ② ザリガニには胃石と呼ばれるカルシウムの塊が体内に作られており、脱皮の際には胃石に蓄えられたカルシウムが新しい殻を作るために使われることが知られている(資料4)。脱皮の直前から直後にかけて、何らかの仕組みで胃石からカルシウムが急速にこの組織に流し込まれて、新しい殻が作られるものと考えられる。しかし、顕微鏡で観察した際には内側の膜と外側の殻では薄さも性質も大きく異なっていたことから、膜から殻への急激な変化がどのように起きているのかとても不思議だった。脱皮直前や直後に死亡したザリガニをもっと数多く解剖するなどして、今後さらに詳しく調べてみたい。
- ③ ザリガニの尻尾は外から見ると1枚構造のように見えるが、断面を顕微鏡で観察した結果、実際には尻尾の先端部分も頭胸部、腹部、脚、ハサミなどと同様に外骨格でおおわれた構造をしていた。殻の内側に薄い膜があり、その中に筋肉のような組織があった。尻尾の付け根の部分がふくれていたのでこの部分に新しい尻尾が小さくつめこまれているのだと予想したが、誤りだった。また、尻尾が外骨格でおおわれる構造をしていることから、尻尾がとてもじ

ようぶに作られていることがわかった。ザリガニが水中や陸上を高速で移動する際には尻尾に強い力を加えていることから、強い力に耐えるためのじょうぶな構造が必要なかもしれない。今後は尻尾の構造をさらに詳しく分析して、動きと尻尾の構造の関係について調べたい。

- ④ ハサミが切断された後、3週間程度あればハサミが再生することがわかったが、新しい殻が作られる仕組みについては今回はよくわからなかった。今後は観察するザリガニの数をさらに増やして、ハサミを自切または切断してから脱皮するまでの日数とハサミの再生の関係を詳しく調べることによって、新しいハサミが再生され、殻が作られる仕組みについて明らかにしていきたい。また、切断後に傷口がすぐにふさがるのがとても不思議だった。今後、どのような仕組みですぐに傷口がふさがることについても詳しく調べたい。
- ⑤ 殻の外側には凹凸があり、ザラザラした表面になっているが、殻の内側はつるつるした滑らかな表面をしていた。内側の膜はとてもやわらかくて滑らかな表面をしていた。このような表面の構造によって、脱皮が短時間でスムーズに行われているものと考えられる。
- ⑥ 赤い殻をしたザリガニでは殻の下の膜が赤く、黒い殻をしたザリガニでは殻の下の膜が黒かった。殻の色と膜の色が同じになることと、個体差があることが不思議だった。遺伝と環境の二つの観点から、ザリガニの殻と膜の色が決まる仕組みについて調べたい。
- ⑦ 資料7の通り、生後1～1.5年の間に10回くらい脱皮し、脱皮の間隔は次第に長くなったが、同じ日に同じ親ザリガニから生まれ、同じ日にふ化して同じ環境で育ったザリガニでも脱皮の回数や間隔は個体差が大きかった。

6. 謝辞

本研究を行うにあたり、つくば市立竹園東中学校科学技術部顧問栗原公子先生、坂本翠先生、およびつくば SKIP アカデミーの先生方・スタッフの皆様にご貴重なアドバイスをいただきました。また、つくば SKIP アカデミーより顕微鏡を貸与していただきました。御礼申し上げます。

7. 参考資料

- ① 小山 侑己 科学研究作品展 2016年～2021年
- ② 山形水産試験場 広報誌「すいさん山形」第297号 2011年
- ③ NHK ダーウィンが来た！生きもの新伝説 第283回「10万匹のミステリー！ カニ大集結」
<http://cgi2.nhk.or.jp/darwin/articles/detail.cgi?sp=p283> 2012年
- ④ ザリガニを主材とした甲殻類の実験-33章 大沢一爽,共立出版株式会社 1984年
- ⑤ スジエビの不思議 IV-4. スジエビがいつ脱皮するかを知る方法 庄司安太 2017年
http://blog.livedoor.jp/p_palaemon/archives/19437941.html
- ⑥ The Formula for Lobster Shell. Alexander Stirn, MaxPlanckResearch, 2012年, 1巻, 72-79
- ⑦ いのちのかんさつ 5 ザリガニ 中山れいこ著 アトリエモレリ制作 少年写真出版社 2013年
- ⑧ 月齢と月の絵は <http://koyomi8.com> 「月齢カレンダー」を利用した。
- ⑨ ザリガニのかいかた そだてかた 小宮輝幸・浅井彗男 岩崎書店 2009年