

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 : SH0005

応募部門 : 高校生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : アリジゴクの菌作りの要因～蛹化要因と臨界サイズの特定～

学校名 : 栃木県 私立白鷗大学足利高等学校

学年 : 2年生

代表者名 : 黒杭 功祐

※ 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。



アリジゴクの繭作りの要因

～蛹化要因と臨界サイズの特定～

白鷗大学足利高等学校

2年 黒杭 功祐



1.研究目的

アリジゴクとは、脈翅亜目の日本産ウスバカゲロウ科ウスバカゲロウ・クロコウスバカゲロウなどの幼虫の俗称で、「アリジゴク」という名で知られている。クロコウスバカゲロウの幼虫（以下アリジゴク）は1齢・2齢・3齢（終齢）と脱皮により齢を重ね、乾いた地表にすり鉢状の巣を作り、地表を歩く小さな生物を捕食している完全変態の昆虫である。（表1、写真1）

アリジゴクの排泄は近年発見されたばかりであり、私は待ち伏せ型の捕食方法をとるアリジゴクの捕食量、排泄量が蛹化に与える影響に興味を持ち研究を行ってきた。

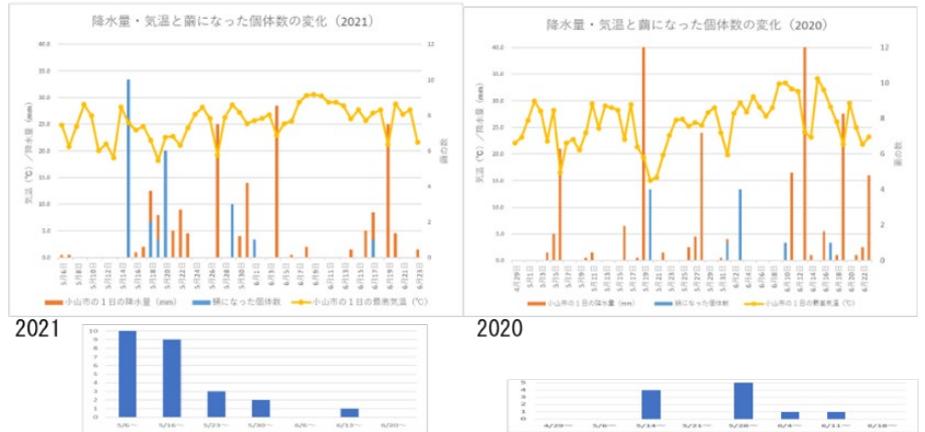
昨年の実験では、3齢個体を用いた給餌条件を変えた4つの実験区（①毎日給餌②週2回給餌③隔週ごと給餌④無給餌）で、捕食量と排泄量が繭作りのタイミングに影響を与えているのか、また、降水日と繭作りのタイミングの関係性も調べた。30個体中26個体が繭になり、そのうち16個体が羽化に至った。調整期間中および実験開始後1週間以内に繭になった19個体のうち14個体が羽化した。一方、実験開始後2週間以降に繭になった7個体のうち毎日給餌区の2個体のみが羽化した。捕食数と排泄量からみると、繭にならなかった個体は捕食しているにも関わらず排泄量が少ない傾向がみられた。また、降水量が多くあった週から翌週に繭になる個体もみられ、エサを捕食しにくい時期にエサをとるために待ち続けるより、蛹化できる条件を満たした個体は、体内に栄養分や水分が蓄えられているうちに変態することで生存確率を上げる戦略と考えた。蛹化の条件に満たない個体は、捕食量が安定している時は余剰分を排泄し、捕食量が不安定な時期は、排泄量を少なくして体内の蓄えに専念し飢餓に備えている。このような体内の水分調整は、アリジゴクの生息環境と待ち伏せ型の捕食方法に適していると推察した（グラフ1、写真2、3）。しかし、捕食量が変態に影響を及ぼしていることまではとどり着いたのだが、結論につながる具体的な結果を示すことが出来なかった。そして齢のついて、クロコウスバカゲロウの齢基準を具体的に示す先行研究はなく、正しい齢を示す必要がある。

そこで本研究では、クロコウスバカゲロウでの齢の判断基準を示し、蛹化の臨界サイズを明確化、捕食量が蛹化や羽化に与える影響について明らかにすべく研究を行った。

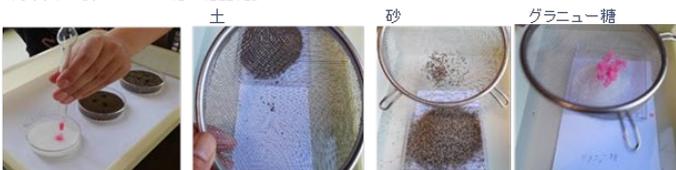
（表1） 【ウスバカゲロウの生活環】



（グラフ1） 【気温と降水量、繭になった個体数の変化 2021 2020】



（写真2） 【グラニュー糖の結晶化】



砂や土は崩れてしまうが、グラニュー糖は結晶化する
※見えない地中で生活し排泄物の形も残らないため、長年、排泄しない通説ができてしまった。

（写真3） 【尾部から黄色い液体が出る様子】



尾部から黄色い液体(排泄物)が出て、グラニュー糖にしみ込み固形化した

2.研究方法

アリジゴクの頭部幅は脱皮した時のみに変化し、齢の判断に用いられている。

齢特定の個体調査には3/12・19・20に捕獲した114個体のアリジゴクを使用した。個体を撮影し、画像処理ソフトウェア image J を用いて齢の判断基準となる頭部幅を計測し、その分布をグラフにすることで、それぞれの齢に対応する頭部幅を特定する。そして、実験期間中に脱皮があった際、脱皮前後の頭部幅の推移から、齢の判断基準の正確性も示す(写真4)。

捕食量の給餌実験では、給餌条件を「毎日給餌区」(巣を作って捕食意欲がある状態の時はエサを与える)と、「無給餌区」(餓死予防と飢餓への耐久性調査のため、給餌実験開始時にクロヤマアリ1匹だけ捕食、その後は無給餌)の2つの実験区に分け、3齢40個体と2齢20個体、合計60個体で実験を行った。

3齢は各実験区20個体、10個体ずつ巣材をグラニュー糖と自然素材(砂)の2種類で飼育することで巣材が個体の蛹化に与える影響も検証。(毎日給餌3齢個体を「毎3-A~T(個体ナンバー)」、無給餌3齢個体を「なし3-A~T(個体ナンバー)」と表記する)

個体別に飼育し、負の走光性対策としてケースの周囲は黒色紙を巻き、夜は農業用遮光シートをかけた。

週ごとに体重の測定、個体を撮影し image J にて個体サイズを計測。同時に巣材をザルでふるいにかけ、グラニュー糖巣材は固形化した排泄物を取り出し、固定物の数と質量の推移を調べた(写真5、6、7)。

エサには、5~10mmのクロヤマアリを使用。毎日給餌区は1日最大1匹とした。

実験期間は、アリジゴクの活動が始まる3/26から7/2の14週間(100日間)とし、3/12・19・20に齢の調査で採集した個体を使用。実験開始まで捕食させず、観察することにした。

実験個体の飼育室の気温と湿度は、おんどとりを用いて毎日測定し、気象条件も含め、多様な視点から脱皮、蛹化、羽化のタイミングを検証した。

3.結果

齢特定の個体調査では、採集した大小114個体の頭部幅をヒストグラムにて分布状況をグラフにしたところ0.1~1.03mm、1.1~1.79mm、1.83~2.41mmで3つの山が見られ、目視でも大きさの違いは確認できるが、1齢・2齢・3齢、それぞれのサイズの基準の目安ができた(グラフ2、3)。

その後の給餌実験で用いた2齢の11個体(毎2-A~毎2-J)10個体と無給餌2齢

(写真4) 【齢調査に使用した114個体】



●頭部幅で3サイズに分けた。

(写真5) 【計測には宇都宮大から借用した精密天秤を使用】



(写真6) 【飼育室内の様子】

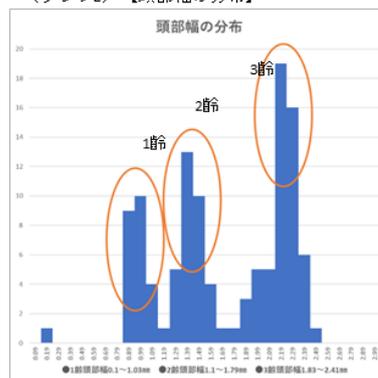


●個体別に飼育し、負の走光性対策としてケースの周囲は黒色紙を巻き、夜は農業用遮光シートをかけた。



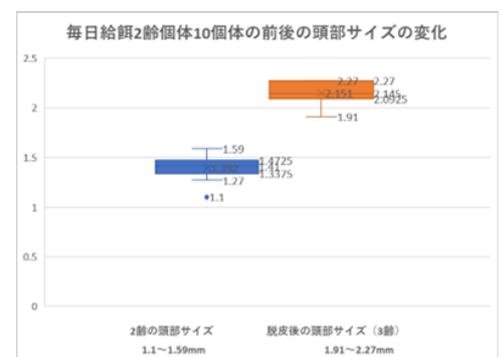
(写真7) 【アリジゴクの齢を特定する頭部幅】

(グラフ2) 【頭部幅の分布】



●頭部幅は齢の基準となることが確認できた。

(グラフ3) 【2齢個体脱皮前後の頭部サイズの変化】



●脱皮後のサイズが齢特定調査結果と一致した。

(なし 2-B) が脱皮した際、頭部幅が 1.1 (毎 2-C) ~1.59 mm (毎 2-A) から脱皮後は 3 齢の 1.98 (なし 2-B) ~2.27 mm (毎 2-B) が、齢特定の調査結果と一致した。

給餌 3 齢個体は 20 個体中 15 個体が蛹化し、無給餌 3 齢個体は 20 個体中 2 個体が蛹化した。

給餌個体の巣材に関してはグラニュー糖の 10 個体全てが蛹化した。グラニュー糖は蛹化した 10 個体中 8 個体が羽化、残りの 2 個体は繭の中で死亡していた。自然素材の砂では 10 個体中 5 個体が蛹化し羽化に至った。残りの 5 個体は実験期間内に死亡した。

無給餌個体はグラニュー糖の 10 個体中 2 個体が蛹化し羽化に至ったが、残りの 8 個体中 5 個体が死亡、3 個体は蛹化せずに、幼虫のまま実験を終えた。自然素材の砂は 10 個体中 4 個体が死亡、6 個体は幼虫のままだった (表 2)。

蛹化時期に関しては最も早く蛹化した 3 齢個体が「毎 3-O」(4/12 蛹化 5/25 羽化、繭の期間 45 日)、最も遅かったのは「なし 3-E」(6/19 蛹化 7/7 羽化、繭の期間 19 日)であった。そのうち、蛹化した 17 個体中 10 個体が 5/8~5/21 に集中している。実験開始から蛹化するまでの日数と繭の期間の日数の相関係数と度数分布表をつくったところ、-0.904 と強い負の相関が見られ、グラフでは左上から右下へ線状に分布しており、蛹化時期が早いほど繭の期間が長くなる傾向が見られた (グラフ 4)。

蛹化した個体のうち、蛹化直前の体重は 0.055~0.154 g であり、最も低かった個体は「なし 3-E」の 0.055 g であった。実験開始時では体重が 0.055 g 以上であったが蛹化せずに幼虫のまま実験を終えた個体や、死亡してしまう個体があった。また、繭内死亡した 2 個体は「毎 3-H」が 0.068 g、「毎 3-J」が 0.066 g であった。蛹化する直前の体重が 0.07 g 以上だった個体は全て羽化に成功している (グラフ 5、6)。

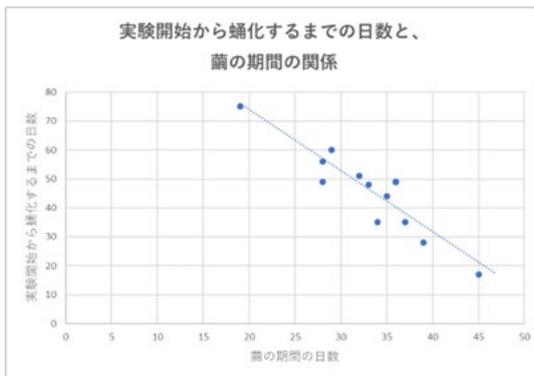
4/27 に脱皮し 2 齢から 3 齢になった「毎 2-C」と、4/21 に脱皮した「毎 2-I」は、実験終了後 7/16 までは巣を作っていたが、7/17 以降は巣を作っておらず、蛹化していた。「毎 2-I」は 8/5 に羽化、「毎 2-C」は 8/8 に羽化したが、繭から出ること失敗し死亡した。実験最終日の 7/2 時点では「毎 2-C」が 0.61 g、「毎 2-I」が 0.79 g であった。

無給餌 3 齢の 9 個体 (なし 3-B、3-D、3-F、3-K、3-M、3-N、3-O、3-P、3-Q) は蛹化せずに幼虫のまま実験を終えた (表 2)。

気象に関しては、実験個体が蛹化した日の前後で降水やそれに伴う実験室内の湿度の上昇が見られた。

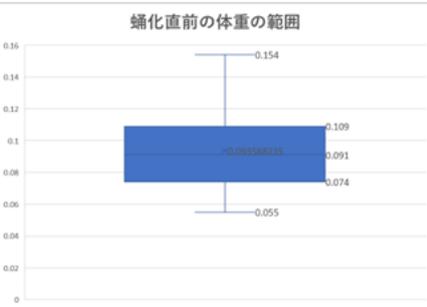
4/12 に最も早く蛹化した「毎 3-O」では 4/3~4/5 に降水があり、4/3~4/7 に室内湿度が 60% 以上であった。4/23 に蛹化した「毎 3-E」でも、4/20、4/22 に降水があり、4/18~4/22 で室内湿度が 60% を超えていた。4/30 に蛹化した、「毎 3-A」、「毎 3-N」、「なし 3-A」においても、4/24、4/26~27、4/29 に降水、4/25~4/27、4/29~4/30 に室内湿度が 60% を超えていた。7 個体が一斉に蛹化した 5/8~5/14 の前後では、5/9、5/13~5/14 に

(グラフ 4) 【蛹化日と蛹化期間の関係】



●早く繭になった個体ほど羽化までの日数が長くなる傾向が見られ、-0.904 と強い負の相関を示す。これは、羽化のタイミングを近づけたためだと考えられる。

(グラフ 5) 【蛹化 3 齢 15 個体の蛹化直前の体重範囲】



●蛹化直前の体重は 0.055~0.154g であり、特に 0.07~0.11g で蛹化する個体が多い。

(グラフ 6) 【蛹化 3 齢 17 個体の蛹化直前の体重】



●蛹化直前の体重が 0.07g 以上の個体は全て羽化に成功している。0.07g 未満の 2 個体 (毎 3-H、J) は羽化に失敗 (赤)

降水があった。室内湿度は5/8には50.3%であったが、5/9の降水以降は、5/9、5/12～5/14には60%を超え、5/13は72.5%と湿度が高い状態であった。「毎3-G」や「毎3-I」、「毎3-S」が蛹化した5/15から5/21においても、5/15～5/16に降水があり、室内湿度は5/16～5/18、5/20～5/21で60%を超え、5/16と5/21では70%以上と湿度が高い状態になっていた。6/4に蛹化した「毎3-K」では、5/31に降水、5/31～6/3は湿度が60%を超え6/19に最も遅く蛹化した「なし3-E」でも、6/12、6/14～6/15に降水があり、6/12～6/17に湿度が60%を超えていた（表2、グラフ7）。

(グラフ7) 【実験飼育室内の湿度と蛹化・脱皮個体数】



●湿度が60%以上の日が続いた時期に蛹化・脱皮が行われている。

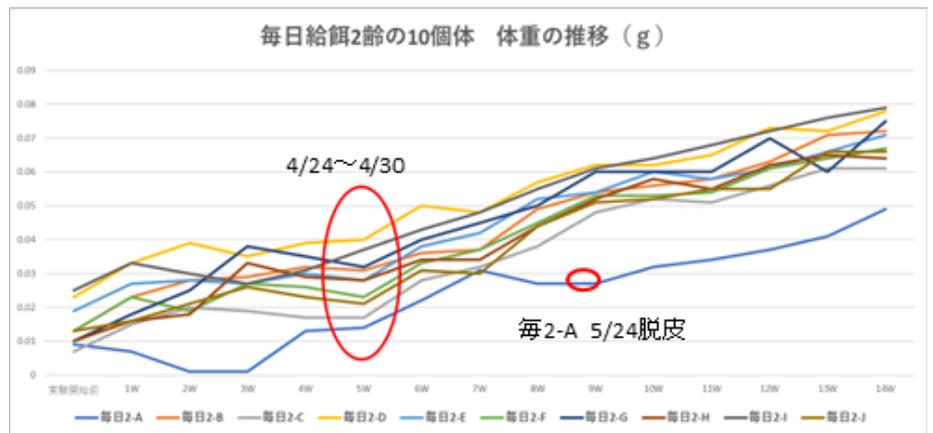
アリジゴクは幼虫時点での雌雄の判別は未だされておらず、成虫であるウスバカゲロウになると雌雄の判別が可能になる。オスは尾部の先端に交尾器があり、メスは尾部の先端が丸く、短い剛毛が多く生えている。そこで、雌雄特定のため、宇都宮大学の顕微鏡を借用させていただき撮影を行った。

(写真8) 【成虫の尾部の顕微鏡写真と雌雄判定の参考図】



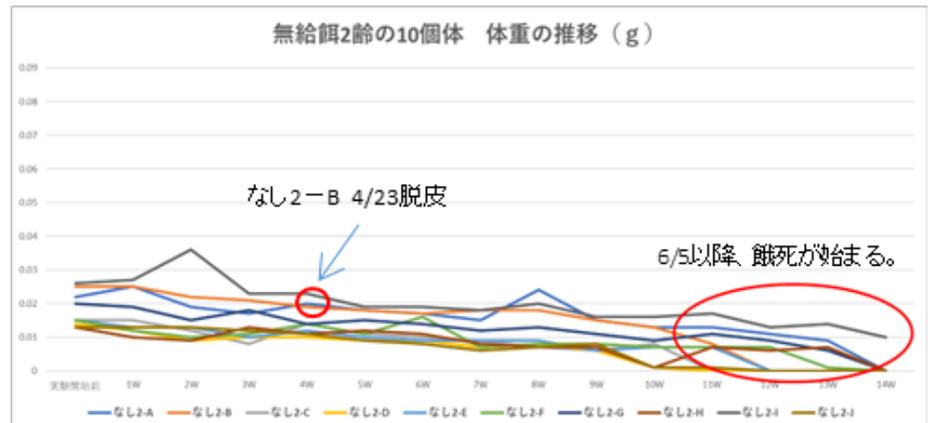
羽化した個体のうち「毎3-B」「毎3-D」「毎3-G」「毎3-K」の4個体は交尾期が見られ、オスと確認できた。「毎3-A」「毎3-C」「毎3-E」「毎3-F」「毎3-L」「毎3-N」「毎3-O」「毎3-S」「なし3-A」の9個体は尾部に短い剛毛が多く見られメスと確認できた（写真8）。

(グラフ8) 【毎日給餌2齢10個体の体重の推移】



2 齢個体については、毎日給餌 2 齢個体は 10 匹中全個体が脱皮して 3 齢となり、無給餌 2 齢個体は 10 個体中 1 個体「なし 2-B」が脱皮した。脱皮後の頭部サイズが1.83～2.41 mm であることから、今回の実験での脱皮によって 2 齢から 3 齢になったと考えられる。最も早く脱皮したのは「毎 2-I」(4/21) であり、最も遅かった個体は「毎 2-A」(5/24) であった。毎日給餌個体の 10 個体中 8 個体は 4/24～4/30 に脱皮していた。また、「毎 2-I」や「なし 2-B」は脱皮の直前に体色が黒く変色した（写真 9）。

(グラフ9) 【無給餌2齢10個体の体重の推移】



毎日給餌 2 齢 10 個体は脱皮の直前の体重が 0.017～0.04 g であった。

無給餌 2 齢個体で脱皮した「なし 2-B は脱皮直前の体重が 0.02 g あった (グラフ 8、9)。

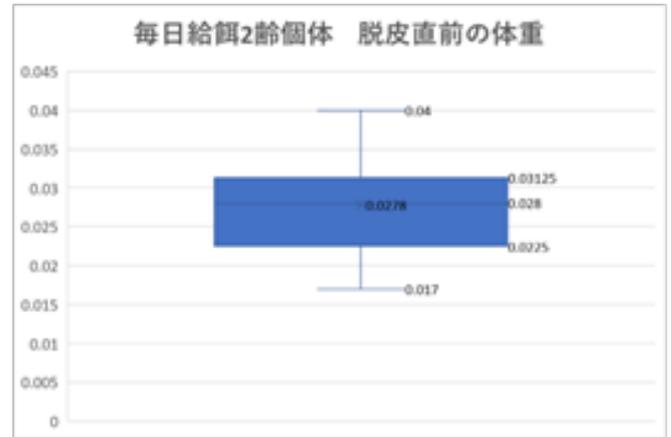
最初に脱皮する個体が出た 4/21 から多くの個体が脱皮する 4/30 の周辺に降水やそれに伴う湿度の上昇が見られた。降水があったのは、4/15、4/18、4/20~22、4/24、4/26~27、4/29、5/1 であった。湿度は 4/2 までは 60% を下回っていたが、4/3~7、4/11、4/13、4/15~16、4/18~19、4/21~23、4/25~27、4/29~5/3 は 60% を上回っており、4/27 は 70% と普段より湿度が高い状態であった。脱皮が行われた 4/17~30 にかけて降水のある日が 14 日中 6 日であり、湿度が 60% を超えた日も 14 日中 10 日と、脱皮の集中している時期と降水による湿度が高い日が続いた時期が一致していた。(表 3)。

2 齢個体では、毎日給餌 2 齢個体は全ての個体が生存していた。無給餌 2 齢個体は全ての個体が 70 日目以降から死亡し始め、実験終了時にはすべての個体が死亡した (表 3)。

(写真9)【毎2-1 4/16体色が黒くに変色 4/23脱皮確認】



(グラフ10) 【毎2齢10個体の脱皮直前の体重範囲】



●脱皮直前の体重は0.017~0.04gである。

(表 2) 【個体別データ 3 齢 40 個体 2022/3/26~7/2】

個体番号	【2022年 3 齢・個体別データ】														性別	体重
	1 齢	2 齢	3 齢	4 齢	5 齢	6 齢	7 齢	8 齢	9 齢	10 齢	11 齢	12 齢	13 齢	14 齢		
...

(表 3) 【個体別データ 2 齢 20 個体 2022/3/26~7/2】

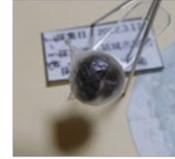
個体番号	【2022年 2 齢・個体別データ】														性別	体重
	1 齢	2 齢	3 齢	4 齢	5 齢	6 齢	7 齢	8 齢	9 齢	10 齢	11 齢	12 齢	13 齢	14 齢		
...

4.考察

齢特定の個体調査では 114 個体の頭部の幅をヒストグラムにしたところ 0.1~1.03 mm、1.1~1.79 mm、1.83~2.41 mm で 3 つの山が見られた。給餌実験で頭部の幅が 1.1~1.79 mm の 2 齢個体が脱皮した際、脱皮後の頭部の幅が 3 齢の 1.83~2.41 mm と一致した。アリジゴクは 3 齢までであることから、頭部サイズが 0.1~1.03 mm の個体が 1 齢、1.1~1.79 mm の個体が 2 齢、1.83~2.41 mm の個体が 3 齢と特定できた (グラフ 2、3)。

蛹化した個体数が最も多い時だけでなく、最も早く蛹化した個体が出た日や最も遅く蛹化した個体が出た日の周辺に降水やそれに伴い湿度が高い状態が続くことが見られた (グラフ 7)。このことから、降水による湿度が高い状態が続くことを蛹化のタイミングを決める一つの要因となっている可能性がある。アリジゴクは、雨の当たらない軒下などの乾いた砂地に生息しており、降水などによって巣材に水がかかると、土の表面が固まってしまい、捕食が出来なくなる他、死亡してしまうこともある。実験結果から、降水によって湿度が高い日が続いたときに蛹化する理由は、降水によって水がかかってしまっても、防水性の繭が蛹を保護するため、幼虫でいるよりも生存確率が高くなるからと考えられる。昨年、グラニュー糖の繭を水で溶かしてみた際、グラニュー糖のみが解け、糸のみの繭が出てきた (写真 10、11)。繭の中は乾いていたことから、耐水性・保湿性が高く、繭内の湿度を一定に保つ効果があると考えられる。

(写真10)【風船状の繭】



※上半分にグラニュー糖がついておらず風船状になっている繭「毎3-1」

(写真11)【グラニュー糖を溶かした繭】



※昨年、グラニュー糖を水で溶かした際、巣材であるグラニュー糖は繭の表面にだけ付着していることが分かった。

3 齢個体の蛹化した 17 個体は蛹化直前の体重が全て 0.055 g 以上であったことから、蛹化するための体重は最低 0.055 g 以上であることが必要と考えられる。しかし、蛹化直前の体重が 0.055 g ~0.07 g の個体は、羽化することなく繭の中で死亡する個体や羽化に失敗して羽や腹部を伸ばせずに死亡した個体があった。蛹化直前の体重が 0.07 g 以上の個体は全て羽化に成功していた (グラフ 5、6)。このことから、体重が 0.055 g 以上あることが蛹化の条件であるが、0.055 g 以上 0.07 g 以下では蛹化することは出来るが羽化に失敗してしまうリスクが高いと考えられる。また、脱皮して 2 齢から 3 齢になった 2 個体が蛹化した。2 個体とも実験最終日 (7/2) の体重が 0.06 g 以上であった。このことから、脱皮して 2 齢から 3 齢になったばかりでも、十分な捕食があれば蛹化は可能であり、蛹化の基準となる体重は越冬した 3 齢個体と同じ 0.055 g 以上である可能性があると考えられる。

無給餌個体の 20 個体の内、9 個体が蛹化せずに実験を終えた。このことから、越冬した 3 齢でも蛹化基準の体重に満たなかった場合は、蛹化せずに幼虫の期間が延長される (表 2)。

巣材をグラニュー糖と砂と比較すると、どちらの巣材でも、給餌個体は蛹化し、無給餌個体は蛹化せずに幼虫の状態を実験を終えた個体や死亡した個体がいる傾向が見られた。巣材に関係なく同じ影響が見られたことから、巣材が蛹化に影響を与えている可能性は低いと考えられる (表 2)。

蛹化時期が早いほど繭の期間が長くなり、蛹化時期が遅く繭の期間が短くなっているが、これは個体同士の羽化のタイミングを合わせるためと考えられる。蛹化のタイミングは、捕食量による個体体重の差によって大きく相違がでる。蛹化期間が一定であると、羽化のタイミングにも大きく相違が現れ、子孫を残せる確率が低くなる。早い時期に蛹化した個体は羽化が可能な状態になってもすぐには羽化せずに、種全体で羽化のタイミングを調節している可能性が考えられる (グラフ 4)。

毎日給餌 2 齢個体は全個体が脱皮したのに対し、無給餌個体は 1 個体のみが脱皮したことから、脱皮にも十分な捕食が必要だと考えられる。

「毎 2-A」は 5/24 に脱皮し、他の個体より 1 ヶ月近く遅かった。4/24~4/30 に脱皮した 8 個体は実験開始してから、12~18 匹捕食していたのに対し、「毎 2-A」は同期間に 8 匹しか捕食していない。また、他の個体が脱皮を始めた 4/23 の体重が「毎 2-A」は 0.013 g であるのに対して、他の個体は最低でも 0.017 g 以上あったこ

とから、脱皮が可能になる体重は 0.014~0.017 g と考えられる。そして脱皮の条件を満たした個体はある特定のタイミングで一斉に脱皮し、その特定のタイミングまでに脱皮の条件を満たせなかった個体は、捕食して十分な体重になり脱皮の条件を満たしたタイミングで脱皮、満たせなかった個体は脱皮せずに齢を延長、捕食が足りないと死亡することになる。

また、降水日が続くことにより、湿度が高い状態が 1 週間から 2 週間続くことが、脱皮の条件を満たした個体が一斉に脱皮するタイミングである可能性がある。湿度が高い状態を脱皮のタイミングとする理由については、脱皮直後は体が柔らかく、乾燥した状況で脱皮すると皮膚から多くの水分を失ってしまうため、水分の損失を可能な限り抑えることで生存確率を上げる戦略ではないかと考えられる。その他、アリジゴクのエサとなる地表徘徊性の微小な生物の活動が少ない。気象条件によって捕食が難しい時期に個体が脱皮によって捕食出来ない時期を合わせ、捕食できる確率が高い晴れの日に巣を作ることで、捕食出来る可能性の高い晴れの日を無駄にしないようにするためではないかと考えられる。(グラフ 7)

毎日給餌 2 齢個体は脱皮の翌週から固形物質量が増加した。これは脱皮によって体のサイズが大きくなったことでより多くの養分を蓄えられるようになったこと、脱皮のために腸管を空にしたため、体内の養分が少なくなっており養分をため込もうとしたからなのではないかと考えられる。(グラフ 8)。

5.結論と課題

齢特定の個体調査と脱皮前後の頭部幅の結果から、クロコウスバカゲロウの幼虫は 3 つの齢からなり、1 齢の頭部幅は 0.1~1.03 mm、2 齢は 1.1~1.79 mm、3 齢(終齢)は 1.83~2.41 mm と特定できた。

給餌実験から蛹化の条件は、体重が 0.055 g 以上あり、降水による湿度が高い状態が続くことと考えられる。しかし、0.07 g 未満でも蛹化は可能であるが羽化出来ずに死亡してしまう事が多い。

つまり、蛹化の臨界サイズと考えられる体重は 0.055 g 以上であり、羽化の成功率を高めるには 0.07 g 以上必要と推測できる。また、3 齢で越冬した個体が蛹化すると考えていたが、2 齢で越冬し脱皮して 3 齢になった個体も蛹化したことから、2 齢で越冬した個体であっても、十分な捕食を得ることで蛹化が可能になることが分かった。無給餌 3 齢個体では 9 個体が蛹化せずに幼虫のまま実験を終えたことから、3 齢で越冬した個体であっても、十分な捕食が得られなかった際は、蛹化せずに幼虫の期間が延長される。

アリジゴクの脱皮・蛹化には捕食での十分な栄養状態であることが必要であり、捕食状況によって変態のタイミングを自ら調節、幼虫の期間を短縮・延長し、降水によって湿度が高くなる時期に蛹化することで生存確率を上げ、羽化のタイミングを調節し一斉に羽化することで種の保存につなげている事になるのだ。

つまり捕食状況や気象によって変態や成長のタイミングを調節し、捕食により十分な体重であること、降水により湿度が高くなることが、蛹化や脱皮の要因となると推察できる。

今まで、給餌実験から蛹化の要因についての研究を行ってきたが、まだデータが足りない状態である。今後は、本年度見つけた臨界サイズと蛹化率の検証を行い、羽化につなげる飼育方法を確立し、未だ解明されていないアリジゴク時点での雌雄の判断基準を特定したい。また、毎年実験中に死亡した個体の体色が黒く変色し、異臭を発する。松田一彦先生の「脈翅亜目昆虫の共生細菌が産生する殺虫性蛋白質に関する基礎研究」から自分なりに仮説を立てると、衰弱した個体の体内で、殺虫性蛋白質が自ら壊死・腐敗させているのではないかと考えている。脈翅目昆虫の腹部に共生するエンテロバクターの殺虫性蛋白質についても詳しく調べて、さらなるアリジゴクの生態解明への糸口を見つけたいと考えている。

6.参考文献

- 1) 「砂丘のアリジゴク 不思議な昆虫の不可思議な生態」 松良俊明著 思索社 初版 1989.6.25
- 2) 「砂の魔術師アリジゴク 進化する捕食行動」 松良俊明著 中公新書 初版 2000.3.25
- 3) 気象庁ホームページより小山市の降水量
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 4) Review of Japanese Myrmeleontidae (Neuroptera)
SEKIMOTO, Shigeyuki
<http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/57386>
- 5) シチズン・オブ・ザ・イヤー 2010 年受賞者・吉岡諒人氏(citizen.co.jp)
https://www.citizen.co.jp/coy/award/awd2010_2_01.html
- 6) Unexpected species diversity of Japanese Paraglenurus (Neuroptera: Myrmeleontidae) based on DNA barcoding and adult and larval morphology [成虫、幼虫形態と DNA バーコーディングから分かった日本産ホシウスバカゲロウ属の意外な多様性]
著者：松本吏樹郎（大阪市立自然史博物館）、菊田幸雄（伊丹市）、林文男（東京都立大学）
7) 石狩砂丘におけるクロコウスバカゲロウ（脈翅目：ウスバカゲロウ科）幼虫の巣穴づくり行動
-高温下ではどのような場所を選択して巣穴を作るか-
山口 高広*・笹井 優子*・渡辺 晴南*・松橋 廉*・東海林 烈人*・渡辺 美月*・渡部 友子*
<https://www.city.ishikari.hokkaido.jp/museum/pdf/ilm-bulletin004-05s.pdf>
- 8) 山陰海岸国立公園のアリジゴク (1) 鳥取砂丘
<http://www.rs.tottori-u.ac.jp/geopark-handbook/pdf/e1.pdf>
- 9) 「脈翅亜目昆虫の共生細菌が産生する殺虫性蛋白質に関する基礎研究」
(2003 年度日本農芸化学奨励賞受賞) 松田一彦氏
https://www.jstage.jst.go.jp/article/nogeikagaku1924/78/1/78_1_20/_article/-char/ja/

7.謝辞

宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センターの松田勝先生、宮川一志先生、宇都宮大学グローバルサイエンスキャンパス iP-U 事務局の松田千香先生には捕食と変態の関係解明への助言を頂き、論文としてのまとめ方の指導をして頂くなど、大変お世話になりました。

大阪自然史博物館の松本吏樹郎先生には、齢の判断基準と雌雄の判断基準についての助言を頂きました。

白鷗大学足利高等学校科学部の作本憩彦先生をはじめ、研究に協力して下さった方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。