

ナミアゲハの研究 4

～小2からの5年間で171匹のナミアゲハが教えてくれたこと～

藤枝市立藤枝小学校

6年 鈴木 健

1 この研究を始めた理由

ぼくは、アゲハチョウが好きで2年生の時から幼虫を見つけて、家で育てて、羽化させてきた。その中でサナギの色がちがうことを不思議に思って調べることにした。5年の時の実験で暗いケース、特にザラザラについたサナギから羽化したチョウがほとんどメスだった。暗いザラザラは天敵に見つかりにくく、落ちにくいから、子孫を一匹でも多く残すためにメスになっているのでは!?!?と思い、全部黒のツルツル、ザラザラのケースを用意し、暗い場所に置いて、オスメスの匹数にちがいがでるか調べることにした。

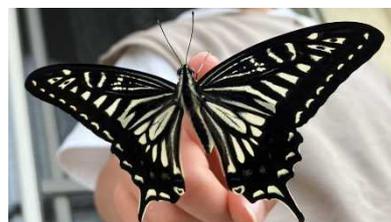
(1) 4年生の時の研究から分かったことと疑問

ア 分かったこと

- ・明暗がサナギの色を決める1番の原因ではないこと。

イ 疑問

- ・緑で明るくしたケースでは、茶色のサナギは0匹だったのに、日光が当たって明るい白いコンクリートの壁に茶色のサナギがついていた。足元の感しよくが関係しているのかな?



(2) 5年生の時の研究から分かったことと疑問

ア 分かったこと

- ・明るいケースでは黒のザラザラフタ、暗いケースでは白のザラザラ側面にサナギが多くつく。
- ・明るいと緑色になりやすくなる。ザラザラでも茶色が多くなる。
- ・8月に近づくにつれ羽化するまでの日数は短くなる。
- ・暗いケースの方が明るいケースよりも羽化するまでの日数は長くなる。
- ・メスが多かった。特に暗いザラザラで多かった。

イ 疑問

- ・24時間暗くザラザラでサナギを作るとみんなメスになるのかな?
- ・性別が変わることはあるのかな?
- ・性別とサナギの色に関係はあるのかな?



<茶色系と緑色系のサナギ>

(3) 今までの研究から考えた仮説

仮説1 暗いザラザラだと、メスが多く生まれる。

仮説2 メスは子孫を1匹でも多く残すために天敵に見つかりにくく落ちにくい場所を好んで生存率を高めるために、暗いザラザラでサナギ化する。

仮説3 その年の気候や天候によって、オス、メスの生まれる比率が変化する。

仮説4 明るいツルツルでは、緑色系のサナギが多く生まれる。

※ この仮説は、R4年度のフィッシャー正確統計検定で優位差があるという結果が出ている。

仮説5 暗いザラザラでは、茶色系のサナギが多く生まれる。

※ この仮説は、R4年度のフィッシャー正確統計検定ではっきりとした結果が出なかった。

(4) フィッシャーの正確統計検定について (R4 年度の結果から)

フィッシャーの正確統計検定は、それぞれの場合の発生確率から、実際に観測されたデータの珍しさを検定する統計学の一つです。難しいことは分からないけど、エクセルの表に数を入力すると、優位差があるかないかを示してくれます。フィッシャーの正確統計検定の結果は、判断の資料とすることができると思います。

(R4) 資料 検定①

※「暗い+ザラザラ」では、「茶のサナギが多く出現する」 このことに優位差が認められるが検定した

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを除く

暗い	ザラザラ	ツルツル	合計
茶色	11	6	17
緑色	2	6	8
合計	13	12	25

PO 0.0666
p値 0.0968
有意水準 0.05

p値が有意水準より大きいため、有意差は認められない

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを除く

ザラザラ	暗い	明るい	合計
茶色	11	12	23
緑色	2	4	6
合計	13	16	29

PO 0.2989
p値 0.6628
有意水準 0.05

p値が有意水準より大きいため、有意差は認められない

参考URL <https://cocorus-window.com/excel-fisher-test/> 【Excelで行う】フィッシャーの正確統計検定

(R4) 資料 検定①-2

※「暗い+ザラザラ」では、「茶系のサナギが多く出現する」 このことに優位差が認められるが検定した

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを茶でカウント

暗い	ザラザラ	ツルツル	合計
茶色	16	7	23
緑色	2	6	8
合計	18	13	31

PO 0.0333
p値 0.0429
有意水準 0.05

p値が有意水準より小さいため、有意差が認められる

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを茶でカウント

ザラザラ	暗い	明るい	合計
茶色	16	11	27
緑色	2	5	7
合計	18	16	34

PO 0.1242
p値 0.2143
有意水準 0.05

p値が有意水準より大きいため、有意差は認められない

参考URL <https://cocorus-window.com/excel-fisher-test/> 【Excelで行う】フィッシャーの正確統計検定

(R4) 資料 検定②

※「明るい+ツルツル」では、「緑のサナギが多く出現する」 このことに優位差が認められるが検定した

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを除く

明るい	ツルツル	ザラザラ	合計
緑色	14	5	19
茶色	0	5	5
合計	14	10	24

PO 0.0059
p値 0.0059
有意水準 0.05

p値が有意水準より小さいため、有意差が認められる

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを除く

ツルツル	明るい	暗い	合計
緑色	15	6	21
茶色	0	4	4
合計	15	10	25

PO 0.0166
p値 0.0166
有意水準 0.05

p値が有意水準より小さいため、有意差が認められる

参考URL <https://cocorus-window.com/excel-fisher-test/> 【Excelで行う】フィッシャーの正確統計検定

(R4) 資料 検定③

※「暗い+ザラザラ」では、「メスが多く出現する」 このことに優位差が認められるが検定した

フィッシャーの正確確率検定

暗い	ザラザラ	ツルツル	合計
メス	17	5	22
オス	1	6	7
合計	18	11	29

PO 0.0053
p値 0.0055
有意水準 0.05

p値が有意水準より小さいため、有意差が認められる

メス	メス	オス	オス	P
ザラザラ	ツルツル	ザラザラ	ツルツル	
18	4	0	7	0.0002
17	5	1	6	0.0053
16	6	2	5	0.0453
15	7	3	4	0.1725
14	8	4	3	0.3235
13	9	5	2	0.3019
12	10	6	1	0.1308
11	11	7	0	0.0204

参考URL <https://cocorus-window.com/excel-fisher-test/> 【Excelで行う】フィッシャーの正確統計検定

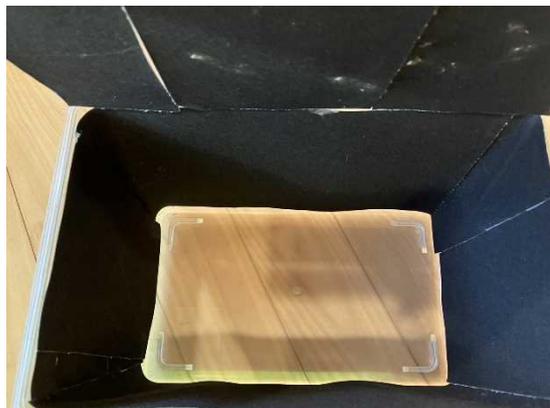
2 研究の方法

(1) 実験1の方法

仮説1、仮説2、仮説5を確かめるために、黒のツルツル、黒のザラザラのケースを2つ作り、暗い場所に置く。庭でナミアゲハの幼虫を採取し飼育ケースに入れる。昨年と同じようにサナギになる前の行動（水ウンチやウロウロ）を発見したら実験ケースに移す。そのときに下からライトを当てて性別の確認をする。ケースを階段下収納（24時間暗い）に置き観察する。

条件①：ケースの内側に黒の紙やすり (#120)をはり付けて、暗くする。

条件②：ケースの内側に黒の画用紙をはり付け、上にツルツルしているビニールをはり暗くする。



<条件①：暗いザラザラ>



<条件②：暗いツルツル>

オスとメスを5匹ずつになるようにした。



水うんちをする前の幼虫は下からライトを当てても体がすげない。



オスはこう丸が2つすけて見える。



メスは何も見えない。全部すける。

予想：メスが多くなる。昨年暗いザラザラについたサナギは、18匹中17匹がメスだったから、天敵に見つかりにくく、落ちにくい所についたサナギは、子孫を1匹でも多く残すために、メスになっているのではないかと思ったから。逆にオスが多くなる or 同じくらいかもしれない。オスメスによって落ちる可能性が変わるかもしれないし、そもそも性別は変わらないのでは？

(2) 実験2の方法

昨年の実験2と同じ条件になるように、実験ケースの内側を1/2に分けて、白と黒の紙やすり(#120)をはって、さらに半分上から透明なツルツルしているビニールをはった。黒のザラザラ、黒のツルツル、白のザラザラ、白のツルツルを1/4ずつ作り、一つはライトで明るくし、もう一つは階段下収納に置き観察をした。

条件③：明るいケースは24時間ライトをつけたままにした。(1,389ルクス)

予想：昨年黒のザラザラにたくさんサナギがついたから、今年も黒のザラザラにたくさんつくと思う。実験1では暗い場所で実験したため、明るい場所でも、つく場所、サナギの色は性別によってかたよりが無いと思う。

条件④：暗いケースは24時間階段下収納に置いたままにした。(0ルクス)

予想：昨年白のザラザラ側面にたくさんサナギがついたから、今年も白のザラザラ側面にたくさんつくと思う。実験1でつく場所、サナギの色は性別によってのかたよりが見られなかったため、個体数が増えてもそうなるか注目したい。



<1/4 黒ザラ黒ツル白ザラ白ツル>



<条件③：明るい>



<条件④：暗い>

(2) 実験2の結果

		緑色系		半分		茶色系			
性別		オス	メス	オス	メス	オス	メス	合計	
明るい	白	ザラザラ	0	1	0	0	3	2	6
		ツルツル	0	0	0	0	0	0	0
	黒	ザラザラ	0	2	0	0	7	6	15
		ツルツル	0	0	0	0	0	0	0
	底面		0	0	0	0	0	2	2
暗い	白	ザラザラ	0	0	0	0	9	8	17
		ツルツル	0	1	0	0	0	0	1
	黒	ザラザラ	0	0	0	0	1	3	4
		ツルツル	0	0	0	0	0	0	0
	底面		0	0	0	0	0	1	1
合計		0	4	0	0	20	22	46	

- ・明るいケース、暗いケースでも緑色になるオスは見られなかった。
- ・まだらになるサナギは、オスメスどちらもいなかった。
- ・茶色になるサナギがとて多かった (約96%)
- ★実験2の結果で、全体の約96%が茶色をしめており、昨年も茶色が多く、約68%をしめていたが、今年により多く茶色となった。今年もツルツルについてのサナギが1匹だけだったから、茶色が多くなったのだろうか。

5 結果から考えたこと

(1) 条件別のサナギの色について

条件別のサナギの色		緑色系		半分		茶色系			
実験		1	2	1	2	1	2		
性別		オス	メス	オス	メス	オス	メス	合計	
明るい	白	ザラザラ	0	1	0	0	3	2	6
		ツルツル	0	0	0	0	0	0	0
	黒	ザラザラ	0	2	0	0	7	6	15
		ツルツル	0	0	0	0	0	0	0
	底面		0	0	0	0	0	2	2
暗い	白	ザラザラ	0	0	0	0	9	8	17
		ツルツル	0	1	0	0	0	0	1
	黒	ザラザラ	0	1	0	0	5	4	14
		ツルツル	3	2	0	0	1	2	9
	底面		1	0	0	0	0	0	1
合計		4	3	0	4	6	6	66	

11 (オス4メス7) 1 (オス0メス1) 54 (オス26メス28)

- ・茶色は全体の約82%をしめている。
- ・実験1の方が緑色になるサナギが多かった。
- ・ザラザラについてのサナギは茶色になることが多い。
- ・ツルツルについてのサナギが緑色になる確率は約56%
- ・明るいザラザラでは、茶色が多い。
- ・全体的にツルツルについてのサナギが少なかった。

(2) 条件別のサナギのついた場所について

条件別サナギのついた場所		フタ		側面			
性別		オス	メス	オス	メス	合計	
明るい	白	ザラザラ	0	2	3	1	6
		ツルツル	0	0	0	0	0
	黒	ザラザラ	6	6	1	2	15
		ツルツル	0	0	0	0	0
暗い	白	ザラザラ	0	2	9	6	17
		ツルツル	0	0	0	1	1
	黒	ザラザラ	4	4	2	4	14
		ツルツル	0	0	4	3	7
合計		10	14	19	17	60	

(明るい底面2 + 暗い底面4) = 合計66

- ・全体的に側面につくサナギが多い。
- ・明るい白のザラザラについてのサナギは、少なかったが側面が多い。
- ・明るい白のザラザラについてのサナギはメスだけで、側面はオスが多い。
- ・明るい黒のザラザラについてのサナギは多く、特にフタが多い。
- ・暗い白のザラザラでは、特に側面が多く、オスが多い。
- ・暗い白のツルツルは1匹しかいないが側面についた。
- ・暗い黒のザラザラは多く、フタにつくサナギが多い。
- ・暗い黒のザラザラの側面は、メスの方が多い。
- ・暗い黒のツルツルは、側面のみで、オスが多い。
- ・明るいツルツルにつくサナギはいなかった。

★オスとメスでついた場所のかたよりは、見られなかった。



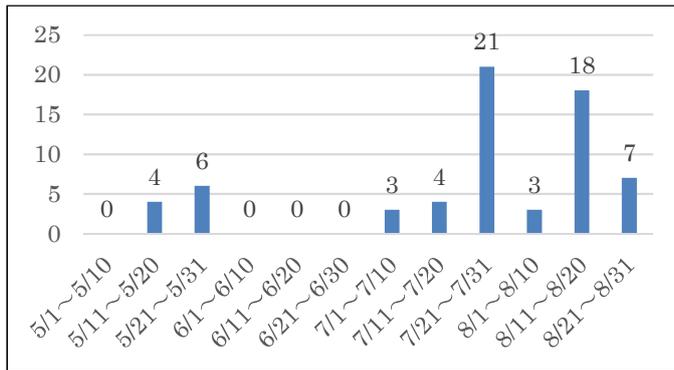
<実験2暗い>



<実験2明るい>

- ・同じような場所についた。
- ・実験2の暗いケースでは、白のザラザラ側面に多くついた。(約65%)
- ・実験2の明るいケースでは、黒のザラザラフタに多くついた。(約52%)
- ・黒のザラザラのフタについてのサナギで、暗いケースと明るいケースで比べると、暗いケースでは、場所も向きもばらばらだが、明るいケースでは、場所も向きも同じようについていた。
- ★明るいケースでは、まわりが見えているから、まねをしているのではないかと思った。

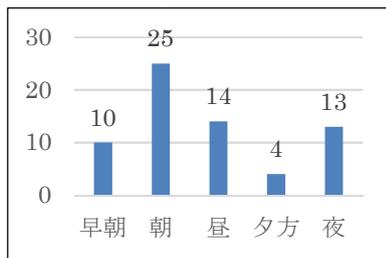
(3) 羽化した日とチョウの数の関係



- ・梅雨の時期に出るチョウは少ない。
- ・7月後半に出るチョウが多い (約32%)
- ・6月、たまごや幼虫が見つからない時期が、チョウが出ない時期と同じだった。

縦じくはチョウの数 (四) 横じくは羽化した日

(4) 羽化した時間帯とチョウの数の関係



- ・朝、昼に羽化するサナギが多い。
- ・夜から朝になるにつれて羽化する数が多くなる。
- ・夕方にいるのが少ないのは、夜に出てもあまり活動できないから？
- ・24時間、明るいケースと暗いケースで、ちがいは見られなかった。

※ 早朝 朝1番に見たときに飛び立てる状態

朝5:00~ 昼10:00~ 夕方16:00~ 夜20:00~ 縦じくはチョウの数 (四)

(5) サナギの羽化する日数について

	年度	明るいケース	暗いケース	平均
5月	R3			13.79日
	R4	11.88日	13.50日	
	R5		15.10日	
6月	R3	10.17日	10.33日	10.33日
	R4	10.43日	11.36日	
	R5	9.67日	10.00日	
7月	R3	9.75日	9.92日	9.33日
	R4	9.00日	9.67日	
	R5	8.64日	9.00日	
3年間の平均		9.93日	11.11日	

昨年の研究で8月に近づくにつれ羽化する日数は短くなっていて、暗いケースの方が明るいケースよりも羽化するまでの日数は長くなるのが分かった。今年も羽化するまでの日数の平均を計算して比較してみた (小数点第3位四捨五入)

- ・明るいケースの方が少し早い。
- ・R5年度の方が、R3年度より1日くらい早い。
- ・R4,5年度は明るいケースより暗いケースが1日ほど遅れている。
- ・5月から8月になると4日ほど羽化するのが早くなる。

- ・R5年度もR3,4年度と同様に、8月に近づくにつれて羽化するまでの日数は短くなっていて、暗いケースの方が明るいケースよりも羽化するまでの日数が長くなった。
- ・3年間の平均を出してみると、5月では約14日、6月から7月では約10日、8月では約9日とサナギ化してから羽化までの日数が夏に向けて短くなるのが分かった。

(6) 羽化したときの性別について

年度	オス	メス	不明
R3	35%	30%	35%
R4	31%	62%	7%
R5	45%	55%	0%
平均	37%	49%	14%

- ・3年間の平均を見ると、メスの方がオスより12%多い。
- ・R3年度はオスの方が多いけど、不明が35%もいたから、本当はメスの方が多いのかも。
- ・今年は、先に性別を見分けていて、同じ数にしようと思っていたが、メスが多く続き、同じ匹数にすることはできなかった。
- ・5年生の時は、気がつかなかったけれど、今年、昨年のデータを見直してみて、メスの発生率が多かったことに気がついた。なぜ、R4年度はメスの発生率が高かったのか疑問が生まれた。

(7) フィッシャーの正確統計検定について (R5 年度の結果から)

(R5) 資料 検定①

※ 「暗い+ザラザラ」では、「茶のサナギが多く出現する」 このことに優位差が認められるか検定した

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを除く

暗い	ザラザラ	ツルツル	合計
茶色	35	6	41
緑色	2	6	8
合計	37	12	49

茶色	茶色	緑色	緑色	Pi
ザラザラ	ツルツル	ザラザラ	ツルツル	
37	4	0	8	0.0000
36	5	1	7	0.0001
35	6	2	6	0.0014
34	7	3	5	0.0136
33	8	4	4	0.0725
32	9	5	3	0.2126
31	10	6	2	0.3402
30	11	7	1	0.2740
29	12	8	0	0.0856

PO 0.0014
p値 0.0014

有意水準 0.05

p値が有意水準より小さいため、有意差が認められる

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを除く

ザラザラ	暗い	明るい	合計
茶色	34	17	51
緑色	2	4	6
合計	36	21	57

茶色	茶色	緑色	緑色	Pi
暗い	明るい	暗い	明るい	
36	15	0	6	0.0015
35	16	1	5	0.0202
34	17	2	4	0.1039
33	18	3	3	0.2617
32	19	4	2	0.3409
31	20	5	1	0.2182
30	21	6	0	0.0537

PO 0.1039
p値 0.1793

有意水準 0.05

p値が有意水準より大きいため、有意差は認められない

参考URL <https://covsu-window.com/excel-fisher-exact-test/>
【Excelで行う】フィッシャーの正確確率検定 - Staat (covsu-window.com)

(R5) 資料 検定①-2

※ 「暗い+ザラザラ」では、「茶系のサナギが多く出現する」 このことに優位差が認められるか検定した

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを茶でカウント

暗い	ザラザラ	ツルツル	合計
茶色	35	7	42
緑色	2	6	8
合計	37	13	50

茶色	茶色	緑色	緑色	Pi
ザラザラ	ツルツル	ザラザラ	ツルツル	
37	5	0	8	0.0000
36	6	1	7	0.0001
35	7	2	6	0.0021
34	8	3	5	0.0186
33	9	4	4	0.0880
32	10	5	3	0.2322
31	11	6	2	0.3378
30	12	7	1	0.2493
29	13	8	0	0.0719

PO 0.0021
p値 0.0022

有意水準 0.05

p値が有意水準より小さいため、有意差が認められる

フィッシャーの正確確率検定

※まだらを茶でカウント

ザラザラ	暗い	明るい	合計
茶色	35	17	52
緑色	2	4	6
合計	37	21	58

茶色	茶色	緑色	緑色	Pi
暗い	明るい	暗い	明るい	
37	15	0	6	0.0013
36	16	1	5	0.0186
35	17	2	4	0.0985
34	18	3	3	0.2553
33	19	4	2	0.3427
32	20	5	1	0.2262
31	21	6	0	0.0574

PO 0.0985
p値 0.1759

有意水準 0.05

p値が有意水準より大きいため、有意差は認められない

参考URL <https://covsu-window.com/excel-fisher-exact-test/>
【Excelで行う】フィッシャーの正確確率検定 - Staat (covsu-window.com)

6 研究から分かったことと疑問

(1) 分かったこと

- ・幼虫からサナギになる過程で性別が変わることはない。
- ・サナギのつく場所、色は性別によって偏りが見られない。
- ・明るいケースでは、黒のザラザラフタに同じような向きでたくさんつく。
- ・暗いケースでは、黒のザラザラフタに場所向きバラバラにつく。
- ・暗いケースでは、白のザラザラ側面にたくさんつく。
- ・梅雨の時期に羽化するチョウは少ない。見つけれられる幼虫も少ない。
- ・早朝から昼の明るい時間帯に羽化するチョウが多い。
- ・サナギ化してから、羽化するまでの日数は、5月は約14日かかり、6月から7月では約10日、8月では約9日と夏に向けて短くなる。
- ・明るいケースの方が暗いケースよりも羽化するまでの日数が短くなる。
- ・メスの発生率の方が、オスの発生率より、高い傾向がある。

(2) このことから考えられること

- ・同じような場所に、サナギが多くついていたことから、まわりの仲間がサナギとしてついた場所の近くに、真似してサナギになろうとするのではないか。
- ・R4年度、メスが多く生まれたのは、気候や気象が関係していた可能性がある。
- ・サナギである期間は、光の量が多少ではあるが、関係している。
- ・すぐに活動できるようにするため、雨の少ない時期、朝から昼の時間帯に羽化する。
- ・大雨が降ると、卵や幼虫が流されてしまい、梅雨の時期後半の羽化数が減少すると考えられる。
- ・7月に羽化しているナミアゲハがいることから、梅雨の時期でも、雨の合間に産卵が行われていると考えられる。
- ・サナギの期間は気温が関係していると考えられる。

(3) 仮説について

- ・仮説1については、R4年度のフィッシャー正確統計検定では、優位差が認められたが、今年も同じ条件で実験を行ったが、再現することができなかった。
- ・仮説2については、サナギのつく場所、色で性別によるかたよりが見られない。
- ・仮説3については、今年の研究では分からなかった。
- ・仮説5については、今年ナミアゲハの個体数を増やすことが出来た結果、フィッシャー正確統計検定により、暗い条件の時に優位差を確認できた。
- ・科学的な根拠として客観的に数値で示すことが大切だと学ぶことができた。R4年の暗いザラザラでメスが多く確認された原因については、今後解明していきたい。

(4) 疑問について

- ・サナギのつく向きはどうやって決めているのかな？
- ・夏に向け、羽化する日数が短くなるのはなぜかな？
- ・集まっていると見つかりやすそうなのに、集まるのはなぜかな？

7 来年に向けて

明るいケースで黒のザラザラにつくサナギが、昨年も今年も同じような場所、同じような向きでつくことが多かった。来年は、紙粘土でサナギのニセモノを作り、つけておけば、まねをして、その周りにつくのか、実験してみたい。

8 感想

強い雨が降ったから、5月後半、幼虫がぜんぜん見つからなかったから、心配した。しかし、6月後半から、幼虫が急増したため、ひと安心したが、とても大変だった。季節、気候によって発生数が違うことら、ナミアゲハも生存率を高めるために、判断して生きようとしていてすごいなと感じた。

お世話になった人：葉梨中学校校長成瀬先生にアドバイスをいただきました。ありがとうございました。

9 おまけ

<観察1>

明らかに大きな幼虫がいた。クロアゲハの幼虫ともちがうし、初めて見たので調べてみた。ナミアゲハの終令幼虫と比べても大きい。白い模様もある。クロアゲハのサナギの形に似ているが大きい。その正体は、「ナガサキアゲハ」だった!!



<手前：ナガサキアゲハ 奥：ナミアゲハ>



羽化すると、大きなオスが出てきた。とても大きく迫力があつた。クロアゲハに似ているが、ナガサキアゲハには尾状突起がない。ナガサキアゲハは、温暖化の指標種として注目されている。メスも見てみたいが、ナガサキアゲハが増えているということは、温暖化が進んでいるということなので、複雑な気持ちになった。(参考：Wikipedia)

<観察2>

羽化不全のチョウを飼育した。最初は動かなかったので、死んでしまったのかと思ったが、動いたので、家で飼育することにした。弱っていたのか薄めたハチミツを自分で少ししか飲まなかった。しかし、2週間生きた。去年は羽化不全の子が4匹いたが、今年は少なくてよかった。チョウも生きようと必死にがんばっているんだと思った。

