

## ナミアゲハの飛び立ち ～羽化を決める要因を探る～

神保 達樹<sup>1)</sup>

### 動機

毎年、ぼくの家族はチョウの飼育を続けている。家の柱で、幼虫がサナギになったこともよくある(図1)。その中で、2013年9月19日～10月10日、ナミアゲハ4匹が休眠サナギになった(図2)。今年はいつごろ羽化するのだろうか、どうやって羽化の時期を決めるのだろうか、「サナギは、気温が高くなり暖かくなったら、その気温を感じていよいよチョウになろうかと準備をし始めて羽化をするのかな」と思って観察を続けていた。

3月初め、「こどもとむしの会」のニュースレター「初蝶ニュース」で『発育零点』『有効積算温度』という言葉を知った。そこでは、「寒い冬の間から少しずつ少しずつ羽化への準備・成長をし、その成長のタンクが一杯になったら、羽化をする」という、羽化の時期を決める決まりがあることにとてもおどろいた。そこで、今年の休眠サナギの羽化の時期を『発育零点』『有効積算温度』から考えて研究してみようと思った。

### 目的

ナミアゲハの春型(休眠サナギ)の羽化の時期から、『最高気温』『発育零点』『有効積算温度』を集計し、その結果を「日本産昆虫、ダニの発育零点と有効積算温度定数:第2版」(桐谷圭治, 2012)と比較検証する。また、

夏型(非休眠サナギ)においても同様に集計し、羽化の時期を決めるシステムを考える。

### 方法

#### 1. 『発育零点』『有効積算温度』について

用語	意味	ナミアゲハの値 (桐谷, 2012)
発育零点	この温度以下では発育しない温度(これ以上になると発育が進む)	♀: 11.3℃ ♂: 12.6℃
有効積算温度	気温から『発育零点』温度を引き、その差(有効温度)を日ごとに足し算していった和	♀: 152.4℃ ♂: 130.2℃
発育日数	『発育零点』以上の温度下におけるサナギの期間	

#### 2. 気温について

ぼくの家ベランダで飼育したので、今回ナミアゲハの有効積算温度を調べるための『気温』は、気象庁が発表する「最高気温」(神戸市)を用いた。

#### 3. 有効積算温度の算出法

昆虫は変温動物であるために、その発育は温度によって変化する。本研究では有効積算温度を以下の方法で計算した。



図1 家の柱で脱皮するキアゲハ。10日後、無事に羽化!



図2 2013年9月19日～10月10日、ナミアゲハ4匹が休眠サナギになった。羽化しにくい場所でサナギになったので、コニカルバックを作って移し替えた。

<sup>1)</sup> Tatsuki JIMBO 神戸市立中学校2年生



図3 左；春型のサナギ. 右：夏型のサナギ.

有効積算温度＝有効温度（最高気温－発育零点）  
の発育日数分（サナギ期間）を全部足した値

4. 積算する期間

春型（休眠サナギ）になる条件は、昼の長さが一定時間以下になること、一定期間低温にさらされることの2

つが必要となる。ここでは、12月までにそのふたつの条件が達成されたと仮定し、春型（図3左）の場合、積算する期間は、平成26年1月1日～羽化の日までとした。夏型（図3右）の場合、サナギになった日の翌日～羽化の日とした。（ナミアゲハの幼虫がサナギに脱皮するのは、主に夜中が多いので、翌日からの積算とした。）

5. 春型のサナギの有効積算温度

2013年9月以降サナギになった春型のナミアゲハ4匹について有効積算温度を算出した。

6. 夏型のサナギの有効積算温度

2014年5月、夏型のナミアゲハを飼育し、有効積算温度を算出した。

7. 春型と夏型の比較

春型（休眠サナギ）と夏型（非休眠サナギ）の有効積算温度を比較した。

表1 2014年1月から4月18日までの最高気温と♂♀の有効温度.

日	2014年1月			2月			3月			4月		
	最高気温(°C)	有効温度(°C) (♀)	有効温度(°C) (♂)	最高気温(°C)	有効温度(°C) (♀)	有効温度(°C) (♂)	最高気温(°C)	有効温度(°C) (♀)	有効温度(°C) (♂)	最高気温(°C)	有効温度(°C) (♀)	有効温度(°C) (♂)
1	12.3	1	0	14.5	3.2	1.9	11.9	0.6	0	17.7	6.4	5.1
2	12.3	1	0	15.8	4.5	3.2	12.2	0.9	0	21.6	10.3	9
3	10.2	0	0	15.6	4.3	3	9.6	0	0	20.7	9.4	8.1
4	9.5	0	0	10.5	0	0	12.3	1	0	16	4.7	3.4
5	8.1	0	0	5.1	0	0	11.4	0.1	0	10.6	0	0
6	9.3	0	0	3.1	0	0	6.9	0	0	11	0	0
7	11.2	0	0	6.4	0	0	8.2	0	0	13	1.7	0.4
8	9.4	0	0	6.3	0	0	9.2	0	0	17.9	6.6	5.3
9	9.8	0	0	8.6	0	0	9.8	0	0	20.6	9.3	8
10	6.6	0	0	6.3	0	0	7.5	0	0	22.3	11	9.7
11	8.1	0	0	6.2	0	0	9.9	0	0	15.5	4.2	2.9
12	8.1	0	0	9.5	0	0	16.2	4.9	3.6	16.6	5.3	4
13	7.5	0	0	7.9	0	0	15.9	4.6	3.3	16.3	5	3.7
14	7	0	0	5.6	0	0	10.4	0	0	20.8	9.5	8.2
15	10	0	0	8.5	0	0	9.9	0	0	17.5	6.2	4.9
16	10.7	0	0	10.5	0	0	16.4	5.1	3.8	20.5	9.2	7.9
17	9.8	0	0	12	0.7	0	18.1	6.8	5.5	23.8	12.5	11.2
18	8.4	0	0	5.4	0	0	16.5	5.2	3.9	19.8	8.5	7.2
19	5.3	0	0	7	0	0	15.7	4.4	3.1			
20	8.2	0	0	9.2	0	0	13.2	1.9	0.6			
21	8.9	0	0	8.1	0	0	10	0	0			
22	7.9	0	0	8.4	0	0	12.9	1.6	0.3			
23	10.6	0	0	8.6	0	0	14.6	3.3	2			
24	11.4	0.1	0	9.2	0	0	17.3	6	4.7			
25	13.6	2.3	1	12.9	1.6	0.3	17.7	6.4	5.1			
26	11.4	0.1	0	13.7	2.4	1.1	16.1	4.8	3.5			
27	6.7	0	0	13.7	2.4	1.1	17.1	5.8	4.5			
28	10.6	0	0	15.8	4.5	3.2	19.2	7.9	6.6			
29	11	0	0				20	8.7	7.4			
30	12.5	1.2	0				19	7.7	6.4			
31	13.9	2.6	1.3				18.6	7.3	6			

結果

考察

1. 平成 25 年 9 月以降の春型 (休眠サナギ) 【表 1】

表 1 から羽化した 4 匹のナミアゲハの有効積算温度をまとめると【表 2】となる。

2. 夏型 (非休眠サナギ)

5 月に飼育したナミアゲハの幼虫 (20 匹) 【表 3】

表 2 飼育した春型 (休眠サナギ) の有効積算温度のまとめ。

羽化した日	各月の有効温度の合計 (°C)				有効積算温度 (°C)
	1月	2月	3月	4月	
4月3日♀	8.3	23.6	95	(1日~3日) 26.1	153
4月8日♂	2.3	13.8	70.3	(1日~8日) 31.3	117.7
4月10日♂	2.3	13.8	70.3	(1日~10日) 49	135.4
4月18日♂	2.3	13.8	70.3	(1日~18日) 99	185.4

1. 春型のサナギ

性別ごとに、サナギでいた日数、有効積算温度にまとめると【表 4】となる。

4月3日に羽化をした♀の有効積算温度は 153.0°C となり、桐谷 (2012) の数値 [152.4°C] とほぼ一致する。しかし、♂の平均をとってみると、146.2°C となり、桐谷 (2012) の数値 [130.2°C] との差が 16°C あった。

このことから、春型のチョウにおいては、有効積算温度によって羽化を決めている可能性が高いが、有効温度の取り方によって差が大きくなるのかもしれない。

僕は、今まで、春型のチョウが羽化の時期を決めるのは、「そろそろ暖かくなったから、成虫になるぞ!」といそいで準備をしはじめるのだろう. と思ったが、とんでもない. 実は「寒い冬の間から周到にゆっくりと準備をはじめて、それは有効積算温度と関係しているとかかった。

表 3 5 月に飼育した夏型 (非休眠サナギ) ナミアゲハの幼虫 20 匹の記録。

5月	最高気温 (°C)	有効温度 (°C)		食草: レモン												食草: ヘンルーダ							
		(♀)	(♂)																				
1	22.8	11.5	10.2																				
2	22.2	10.9	9.6																				
3	24.6	13.3	12																				
4	23.1	11.8	10.5																				
5	18.8	7.5	6.2																				
6	20	8.7	7.4																				
7	22.6	11.3	10																				
8	22.2	10.9	9.6																				
9	24.2	12.9	11.6																				
10	23.4	12.1	10.8																				
11	23.1	11.8	10.5	○	○					○						○							
12	20.6	9.3	8	■	■					■						■	○						
13	24.9	13.6	12.3	■	■					■	○	○				■			○				
14	24.9	13.6	12.3	■	■					■	■	■				■	○		■				
15	18.7	7.4	6.1	■	■					■	■	■				■	○		■				
16	24.7	13.4	12.1	■	■					■	■	■				■	■		■				
17	22.5	11.2	9.9	■	■	○	○			■	■	○	○			■	■		○				
18	24.4	13.1	11.8	■	■	○	○			■	■	■	■			■	■		■				
19	25.3	14	12.7	■	■			○		■	■	■	○			■	■		■				
20	24.2	12.9	11.6	♂	■					■	■	■				■	■		■				
21	22.8	11.5	10.2		♂					■	■	■				■	■		○				
22	23.9	12.6	11.3		♂					♀	■	■	■			♂	■		■				
23	23.2	11.9	10.6					○			♀	■	■			■	■		■				
24	23.5	12.2	10.9									■	■			♂	■		♀				
25	25.3	14	12.7									■	■			♂	■		■				
26	21.2	9.9	8.6		♂					■	■	■				■	■		■				
27	24.7	13.4	12.1			♂						♀	♀			♂	■		■				
28	27	15.7	14.4							♂	■	■				■	■		■				
29	26.3	15	13.7							♂	■	■				■	■		■				
30	27.5	16.2	14.9													♀	■		♀				
31	30.2	18.9	17.6																■				
6月1日	31.5	20.2	18.9							♂										♀			
平均 (°C)	23.9	12.6	11.3																				
有効積算温度				96.8	118.3	100.4	100.7	115.1	116.1	123.8	132.6	121.6	186.8	125.5	141.2	145.3	118.3	131.8	119.9	134.5	133.8	172.4	160

○ : サナギになった日  
♂♀ : 羽化した日

表4 飼育した春型(休眠サナギ)のサナギでいた日数と有効積算温度.

食草：レモン				
サナギになった日	羽化	性別	サナギでいた日数	有効積算温度(°C)
2013年9月19日	2014年4月3日	♀	196	153
2013年9月27日	2014年4月8日	♂	193	117.7
2013年9月27日	2014年4月18日	♂	203	185.4
2013年10月10日	2014年4月10日	♂	182	135.4
♂の平均			192.7	146.2

2. 夏型のサナギ

性別, 幼虫の食草別にサナギでいた日数, 有効積算温度をまとめると, 【表5・6・7】となる.

【表7】より5月の夏型(非休眠サナギ)の有効積算温度の平均は, ♀ 148.8°C, ♂ 118.2°Cとなった. これを桐谷(2012)の数値と比較するため, 羽化が一日ずれた場合どうなるのか? と考えた.

【表3】より, 5月の一日分の積算温度の平均をとると, ♀ 12.6°C, ♂ 11.3°Cとなる. よって羽化が一日ずれた場合は, この温度分, 差がでるので【表8】となる.

♀は, 実際に羽化した日が, 桐谷(2012)の数値に一番近い結果となり, ♂は, 翌日が桐谷(2012)の数値に近くなった. このことから, 5月のサナギの羽化は, ♂の1日のずれはあるものの有効積算温度によって決められていると言えるのではないか.

さらに, 「同じ夏型でも8月のサナギではどうだろうか?」と疑問に思い, ヘンルーダを食草に2匹の幼虫を飼育した結果が【表9】の通りである.

【表9】より, 羽化日の有効積算温度は♀ 170.6°C, ♀ 147.9°C. 桐谷(2012)と比較すると, ♀ 18.2°C,

表5 レモンで育てた夏型(非休眠サナギ)のサナギでいた日数と有効積算温度のまとめ.

食草：レモン				
サナギになった日	羽化	性別	サナギでいた日数	有効積算温度(°C)
2014年5月11日	2014年5月22日	♀	12	132.6
2014年5月13日	2014年5月23日	♀	11	121.6
2014年5月13日	2014年5月28日	♀	16	186.8
2014年5月17日	2014年5月27日	♀	11	125.5
2014年5月17日	2014年5月28日	♀	12	141.2
2014年5月19日	2014年5月30日	♀	12	145.3
平均			12.3	142.2
2014年5月11日	2014年5月20日	♂	10	96.8
2014年5月11日	2014年5月23日	♂	13	118.3
2014年5月17日	2014年5月26日	♂	10	100.4
2014年5月18日	2014年5月27日	♂	10	100.7
2014年5月18日	2014年5月28日	♂	11	115.1
2014年5月19日	2014年5月29日	♂	11	116.1
2014年5月23日	2014年6月1日	♂	10	123.8
平均			10.7	110.2

♂ 16.8°C高い. そこで, 当日一日分の積算温度分(♀ 15.7°C, ♂ 17.9°C)を引いてみると, ♀ 154.9°C, ♂ 130.0°Cとなり, ♂♀ともに桐谷(2012)の数値に近くなる. つまり羽化は, 一日遅れて行われたことになる. なぜか? これは, 天候(台風)と関係があるのではないかと考えた.

この週は, 台風の影響で天候がくずれ, 雨や風の日が多かった. チョウは羽化後, 約2時間で空に向かって飛ぶのだから, 雨風の日には羽化しない方が安全だ. もし, 羽化を決めた要因に天候が関係し, 一日遅らせたのなら, やはり, 有効積算温度に沿って羽化を決めていると言えるのではないか.

またサナギでいた日数から見ると, ♂♀あわせた平均で春型は, 193.5日, 夏型は, 10.9日となり約17倍以上の長い期間, 春型はサナギでいるのに, 有効積算温度で考えると, 春型と夏型にほとんど差がないというのはおどろきである. このことから, チョウが羽化の時期を決めるのは, サナギでいる日数ではなく, 有効積算温度によるものであることがわかる.

今研究では, 8月のサナギのみ天候と関連づけたが, 次回は春型においても調べてみたい. チョウは, 発育零点や有効積算温度などといった人間には正確に感じる事ができない温度を測りとっている. チョウの能力のすごさを知った.

表6 ヘンルーダで育てた夏型(非休眠サナギ)のサナギでいた日数と有効積算温度のまとめ.

食草：ヘンルーダ				
サナギになった日	羽化	性別	サナギでいた日数	有効積算温度(°C)
2014年5月13日	2014年5月24日	♀	11	133.8
2014年5月17日	2014年5月30日	♀	13	172.4
2014年5月21日	2014年6月1日	♀	11	160
平均			11.7	155.4
2014年5月11日	2014年5月22日	♂	11	118.3
2014年5月12日	2014年5月24日	♂	12	131.8
2014年5月14日	2014年5月25日	♂	11	119.9
2014年5月15日	2014年5月27日	♂	12	134.5
平均			11.5	126.1

表7 夏型(非休眠サナギ)の有効積算温度と桐谷(2012)の値の比較.

	レモン	ヘンルーダ	夏型サナギ合わせて	桐谷(2012)の値
♀	142.2°C	155.4°C	148.8°C	152.4°C
♂	110.2°C	126.1°C	118.2°C	130.2°C

表 8 羽化が一日ずれた場合の有効積算温度.

5月の1日分の積算温度(平均)		前日	羽化日	翌日
12.6℃	♀	136.2℃	<b>148.8℃</b>	161.4℃
11.3℃	♂	106.9℃	<b>118.2℃</b>	129.5℃

表 9 8月の夏型(非休眠サナギ)の有効積算温度とサナギ期間の天候と湿度.

食草：ヘンルーダ							
日付	最高気温(℃)	有効温度(℃) (♀)	有効温度(℃) (♂)			天気	湿度(%)
7月29日	32.7	21.4	20.1		○	晴れ	62
30日	34.4	23.1	21.8			晴れ後曇り	66
31日	33.6	22.3	21	○		晴れ	70
8月1日	32.9	21.6	20.3			曇り	63
2日	29.1	17.8	16.5			雨	84
3日	28.8	17.5	16.2			雨一時曇り	80
4日	28.3	17	15.7			雨時々曇り	83
5日	31.1	19.8	18.5			曇り時々晴れ	80
6日	30.5	19.2	17.9		♂	曇り時々晴れ	81
7日	31.6	20.3	19			曇り時々晴れ	76
8日	33	21.7	20.4			曇り後時々晴れ	69
9日	27	15.7	14.4	♀		大雨後時々曇り	81
サナギでいた日数				10日	9日	湿度の平均	74.6
有効積算温度(℃)				<b>170.6</b>	<b>147.9</b>		

### 参考文献

- 桐谷圭治, 2012. 日本産昆虫, ダニの発育零点と有効積算温度定数: 第2版. 農業環境技術研究所報告, 第31号, 1-74.
- 阿江茂, 1997. チョウと共に生きる. 裳華房
- 日本チョウ類保全協会, 2012. フィールドガイド 日本のチョウ. 誠文堂新光社
- 平賀壯太, 2007. チョウ・サナギの謎. トンボ出版