

# 昆虫採集で蝶はいなくなるか

## 1. はじめに



昆虫採集については、それぞれの立場から賛否両論があつて、なかなか決着がつかないで議論が平行線のままです。昆虫採集にまつわる話題を一つ取り上げてみましょう。

ある小学校の2年生が、夏休みの宿題に昆虫採集の標本を作り、張り切って学校へ持っていくと、友人達に「死体や、死体や、殺したんやろ」とはやし立てられ、女の先生までが、「何て残酷なことをするの！」と悲鳴をあげたのをみて、その子供は泣きながら帰宅したという話を聞きました。そんなことが新聞の記事になったりして、子

供達の夏休みの宿題で定番だった昆虫採集をやる生徒も何時の間にかいなくなってしまう。マスコミは、一方的に片方を批判するのではなく、双方の意見をバランスよく並べて、「この問題はこういうところが難しいけれども、こんな風に考えれば解決の道が在るんじゃないの」と我々がなるほどと納得できるようなコメントが欲しいものです。批判をするだけなら誰でも出来ます。「だからこうしたらいい」という意見にしても現実味を帯びたものであつて欲しいなと思っています。

そういえば、最近採集地などで出会う採集者の年齢も年々確実に高齢化しているようにも思います。日本での「生命尊重論」は純粹であるだけに、極端に走りがちです。最近は環境破壊と自然保護と生命尊重論の三つががちり組み合わさってどうにもならないところまできているのではないのでしょうか。

環境保護というのは、「人間の都合ばかり優先しないで、少しは他の生物のことも考えたらどうなんだ」というごく自然の素朴な感情からスタートしたはずですが、「何のためにやっているのか」という反省的意識が欠如すると、人はしばしば手段そのものを最終目的にしてしまいます。

そこで、自然を破壊をしないで思考実験をやってみましょう。ここでは、少し乱暴ですが食物連鎖から蝶と天敵と昆虫採集の関係をシミュレーションで再現して、何が問題なのかその可能性を少し探ってみることにしましょう。

## 2. 食物連鎖の非線形モデル

アドリア海の漁師は第一次大戦中は戦争に行っていて魚をとりませんでした。戦争が終わって再び漁に出た時は、さぞかし魚が多いだらう喜び勇んで出かけましたが、実際には魚の数は減っていてがっかりしたという話があります。

実は、魚をとって食べていたのは人間だけではなかったのです。漁師が漁に出なく

なったため小魚が増えました。すると小魚を餌にしていた鮫が増え、そのために餌になる小魚が減少したのです。

捕食・被食をキーワードに Web サイトを覗いてみると、必ずボルテラの式にぶつかります。捕食・被食の2生物間のシミュレーションです。

この式は、第一次世界大戦後にアドリア海における鮫と小魚のモデルとして、アメリカのロトカとイタリアのボルテラによって研究された有名な生存競争のモデルです。

ロトカ・ボルテラの式は

$$\frac{dx}{dt} = x - (a - by)x$$
$$\frac{dy}{dt} = y + (c - dx)y$$

で表されます。これは高校程度のレベルでは解くことが出来ません。そこで、別のアプローチを考えましょう。

蝶が命を失うのは、卵の時期、幼虫の時期、蛹の時期、成虫(蝶)の時期に分かれますが、それぞれの時期に天敵が沢山存在します。ここでは、昆虫採集の話と関連付けるために蝶(成虫)の時期に限って、蟻螂や蜘蛛(以下天敵と呼ぶ)の話に限定して話を進めようと思います。

モデルは蝶が食べられる側、天敵が食べる側と仮定しますが、その天敵も食物連鎖の中では食べられる側にまわることがありますが、ここでは問題を簡単にする為にこのことは考えないことにします。

まず、簡単なモデルを考えましょう。

基準の年から  $n$  年後の天敵の数を  $X_n$ 、蝶の数を  $Y_n$  とします。基準の年には  $X_0$ 、 $Y_0$  の数の天敵と蝶がいたとします。

天敵だけがいて、蝶がいなければ毎年天敵の数は  $a$  倍ずつ減っていくとすれば、

$$X_{n+1} = X_n - aX_n \quad \text{① (天敵の式)}$$

蝶だけがいて、天敵がいなければ毎年、毎年蝶の数が  $c$  倍ずつ増加するとすれば、

$$Y_{n+1} = Y_n + cY_n \quad \text{② (蝶の式)}$$

これらの式では餌の蝶がいなければ、天敵は全滅し蝶は増えつづけて野山にあふれることとなりますが、現実にはそうはなりません。そこで、もう少し現実的なモデルに書き換えましょう。

まず、蝶がいれば、その数に応じて天敵の減少率は緩和されるわけですから、式①の  $a$  の代わりに  $a - bY_n$  とします。 $bY_n$  は蝶の数  $Y_n$  に応じて増加する天敵の割合を表します。

同様に、蝶も天敵がいれば、その数に応じて、蝶の増加率  $c$  が影響を受けるはずですから、 $c$  の代わりに  $c - dX_n$  とします。ここに、 $dX_n$  は天敵の数  $X_n$  に応じて減少する蝶の数を表します。

そこで、式①、②を書き直して見ましょう。

$$X_{n+1} = X_n - (a - bY_n)X_n \quad \text{① (天敵の式)}$$

$$Y_{n+1} = Y_n + (c - dX_n)Y_n \quad \text{② (蝶の式)}$$

となります。さて、出来上がった式は非線形の連立微分方程式を差分形で表したもののですが、先ほどの微分形よりも判りやすくなっています。というのは、一つ前の  $X_n$  や  $Y_n$  の値が求めれば、 $X_{n+1}$  や  $Y_{n+1}$  は簡単に求まるからです。ただ、この式は解析的には解けないので、コンピュータの助けを借りることにします。

### 3. 数値計算

計算は基準の年から  $n$  年後として、式を立てていますが、この微分方程式が差分形なので、少しでも計算の精度を上げるために、更に1年を12等分、すなわち月単位で計算します。また、以下に示す係数は、何度か計算をして、食物連鎖が終わらないように狙いを定めて決めたものです。

まず、

(1) 基準の年に天敵が  $X_0 = 1.0$  万匹、蝶が  $Y_0 = 100$  万匹いたとします。捕食者1に対して、被食者100という割合は生物の資料には良く出てきますし、実際にシミュレーションを行ってみても、これが比較的リーズナブルな値であることがわかります。

(2) 天敵だけで、蝶がない場合天敵の数は毎年  $2/3$  ずつ減っていくとすれば  $a$

=2/3 となります。

(3) 蝶だけがいる、天敵がいなければ毎年蝶は 1/2 ずつ増加するとすれば  $c=1/2$  となります。

(4) 蝶の数に応じて、増加する天敵の比率を  $b=1/300$  とします。

(5) 天敵の数に応じて減少する蝶の比率を  $d=1/2$  とします。

係数  $a, b, c, d$  とも月単位で変化を考えますので、以下のようになります。

$$a = \frac{2}{3} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{18}$$

$$b = \frac{1}{300} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{3600}$$

$$c = \frac{1}{2} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{24}$$

$$d = \frac{1}{2} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{24}$$

なお、係数  $a, b, c, d$  の値については、私の勤める生徒達にやらせたところ、上記の値の近辺を調べてもらったところ、上記の値が最適であることがわかりました。

これだけであれば、人間の介入がない食物連鎖の話で終わるわけですが、この連鎖の中に、人間の昆虫採集が加わったらどうなるかも、検討しておきましょう。

このプログラムを余り変更しないで、昆虫採集の影響を見るために、次のような操作をします。

すなわち、蝶の天敵がいなければ毎年 1/2 増加しているわけですから、昆虫採集で、例えば蝶の 10%を採集するとすれば、

$c=1/2$  は  $c=1/2(1-0.1)=9/20$  となります。12分割に増やしていますから、 $c$  として、 $c=9/20 \times 1/12=3/80$  を使えばよいわけです。以下、昆虫採集の影響はプログラムの中で自動的に計算できるようにしています。

## 4. 計算結果

### 4. 1 BASICによる計算結果

計算プログラムをBASICで書いてみました。今どきBASICのプログラムなどないのではないかと思われる方も多いと思いますが、FREEのソフトウェアで [Winbas95](#)(ここ

に戻るにはブラウザの「←戻る」をご使用ください)の名前でWINDOWS版が出ています。使い勝手はBASICと遜色なく、それをダウンロードすれば、簡単にこの計算が出来ます。プログラムは以下の通りです。プログラムは長そうに見えますが、殆んどはコメントで、本体は 10 行前後の短いプログラムです。

```

100 ' *****
110 ' *** 蝶と天敵と昆虫採集 2001.3.24 H.I ***
120 ' *****
130 '
140 INPUT" 天敵の初期値                X=";X
150 INPUT" 蝶の初期値                  Y=";Y
160 INPUT" N年間様子を見る            N=";N
170 INPUT" 蝶がない場合の天敵の減少率 A=";A
180 INPUT" 蝶の数に応じて増加する天敵の増加率 B=";B
190 INPUT" 天敵がない場合の蝶の増加率   C=";C
200 INPUT" 天敵の数に応じて減少する蝶の減少率 D=";D
210 INPUT" 昆虫採集で蝶のZ%を採る      Z=";Z
220 C=(1-Z/100)*C
225 XO=X
227 YO=Y
230 PRINT
240 PRINT"  I/12   X(天敵)   Y(蝶)  "
250 PRINT"-----"

260 FOR I=1 TO 12*N
270 IF I=1 THEN 280 ELSE 310
280 PRINT USING " ###";I/12,
290 PRINT USING "  ##.##^";X,
300 PRINT USING "  ##.##^";Y
310 XX=X-(A-B*Y)*X:Y=Y+(C-D*X)*Y:X=XX
315 IF X<XO AND Y<YO THEN 370
320 IF I/12-INT(I/12)>0.0001 THEN 360
330 PRINT USING " ###";I/12,
340 PRINT USING "  ##.##^";X,
350 PRINT USING "  ##.##^";Y
360 NEXT I
370 END

```

上のプログラムで、数値計算したものが以下の結果です。

まず、図1. は年ごとの蝶と天敵の変化を表しています。最初の年は蝶が増え始め、天敵が減っているところから始まります。蝶がどんどん増えていくと、天敵もそれに遅れて増えていきます。天敵が勢いに乗って増え始めると、蝶がまた減っていきます。そうすると、天敵も遅れて減っていくという、典型的な食物連鎖の流れとなります。

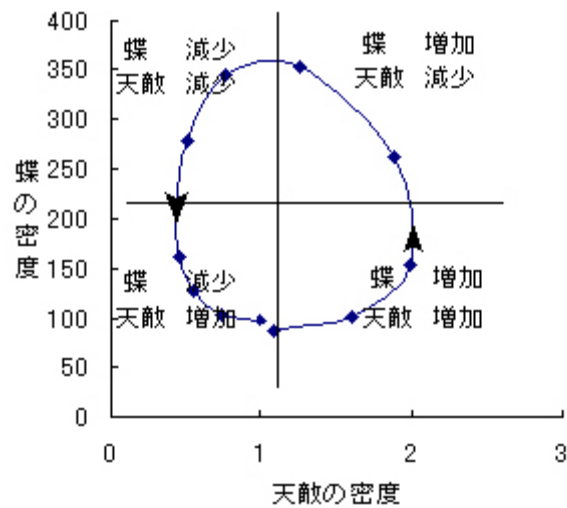
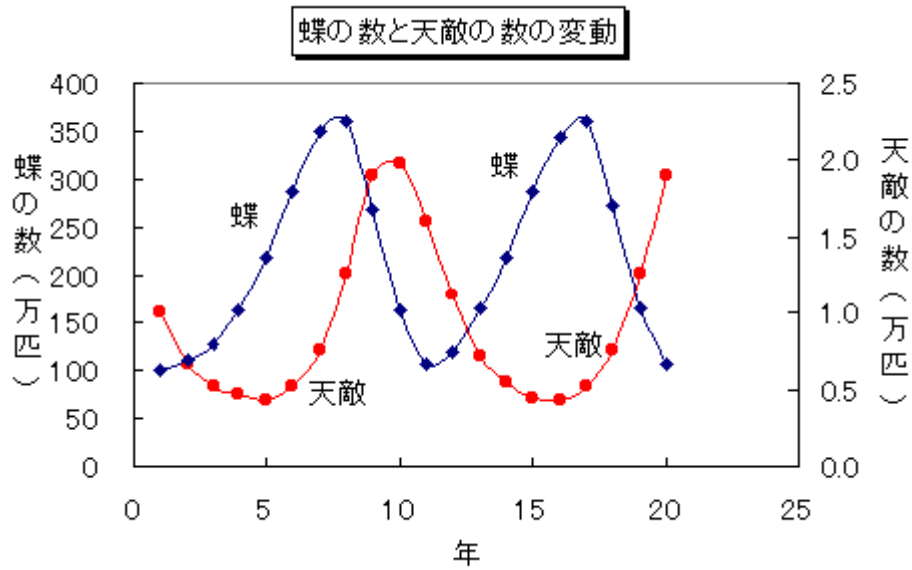


図1. 食物連鎖(上図のサイクリックな変動は、下図では左回りの循環で表わしています)。

次に、天敵の数と蝶の数の変化を見てみましょう。図2. は昆虫採集が全くない場合の蝶と天敵の関係です。図1. と同じ説明が可能です。食物連鎖によって、増減をサイクリックに繰り返しているのが分かります。

この方程式の解は完全に閉曲線です。結果は差分方程式の分割数が荒いために計算誤差が発生しており、解は閉じていませんが解としては十分でしょう。

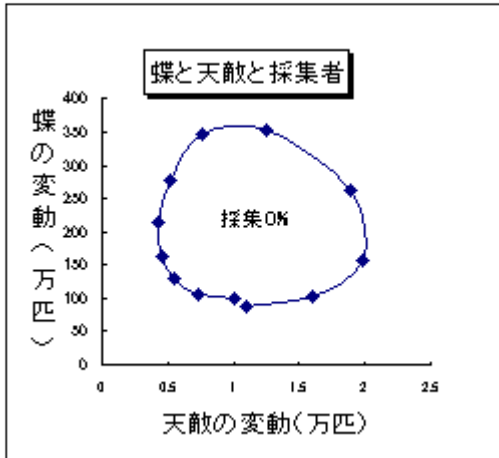


図2. 蝶と天敵と採集者

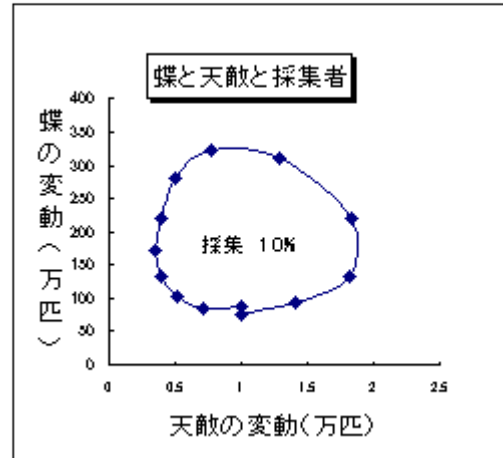


図3. 蝶と天敵と採集者

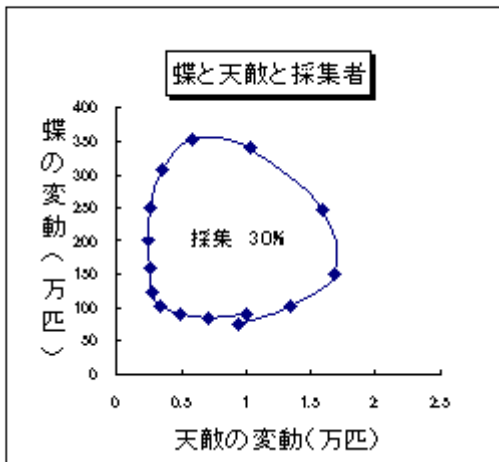


図4. 蝶と天敵と採集者

次は、図3. ですが、今度は昆虫採集者が蝶全体の1割を採ってしまう場合を想定しました。昆虫採集で1割を採ってしまうというのは大変なことです、閉曲線の形も蝶や天敵の変動も余りありません。グラフは若干左に寄り気味ですが、1割採ったぐらいではドラスティックな変化は見られません。

次に少し極端な計算をしてみましよう。すなわち、採集者が蝶の3割を採るとい、乱獲に相当する場合を計算してみましよう。計算結果は図4. のようになり、少し様子が違ってきます。すなわち、閉曲線が明らかに左に寄っていくことが分かります。ここでは蝶の絶対数は余り変わりませんが、天敵に大きな変化が見られます。「蝶を採ったら、蝶は減らずに天敵が減る」という結果です。12年位のサイクルではこういう計算結果になります。つまり、食物連鎖では、より上位を占める種は生態系全体から見れ

ば、より弱い立場にあるということを示しているわけです。

#### 4.2 Excel による計算結果

連立微分方程式のようなものでも、これらを差分形で表すことが出来れば表計算ソフトを利用することが出来ます。カオスとマイマイガのところでもこれを利用していますのでご覧ください。

最近ではコンピュータを購入すると、ワープロソフトや表計算ソフトが同梱されている場合が多いようです。そこで、上の計算を同梱の表計算ソフトの Excel で実行したものを以下に示しておきましょう。

まず、入力する初期値をセル B3~C12 に用意します。次にセル B15 とセル C15 に天敵1(万頭)と蝶 100(万頭)を入力します。後は、表の右に書いてある式をセル B16 とセル C16 に入力し、これを 17 行以下にコピーします。コピーの方法は、セル B16 やセル C16 のセルの右下のコーナーにマウスを持っていき、中抜きの上の記号が普通の上の記号に変わったのを確認して、クリックしたまま欲しい No. までコピーしていけば、時系列の結果が得られます。

Excel の場合は、BASIC や VISUAL BASIC のようにプログラミングの勉強も不要なので簡単です。皆さんもぜひやってみて下さい。

蝶と天敵と昆虫採集		
	初期値	数値
x		1
y		100
n		10
a		5.556E-02
b		2.778E-04
c		4.167E-02
d		4.167E-02
z		0.000E+00
c		4.167E-02

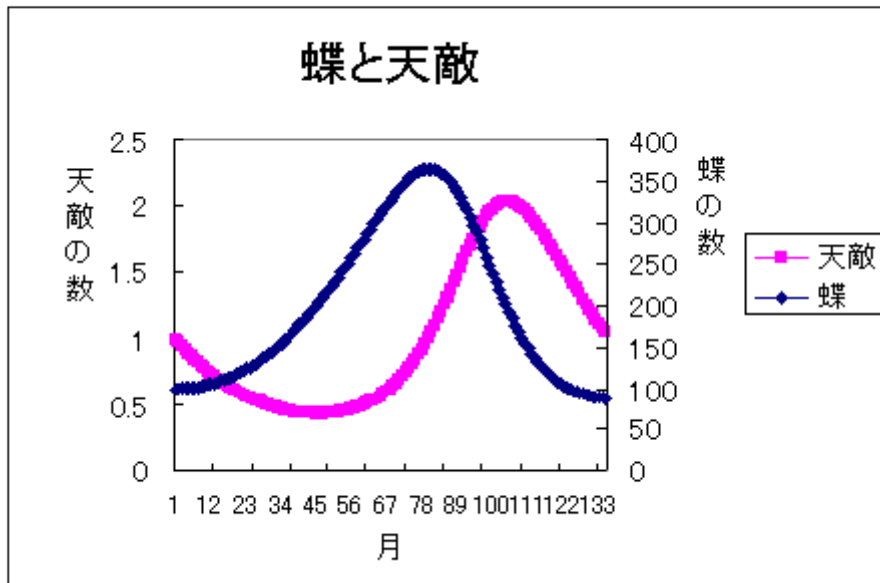
No.	天敵	蝶
0	1	100
1	9.722E-01	1.000E+02
2	9.452E-01	1.001E+02
3	9.190E-01	1.003E+02
4	8.936E-01	1.007E+02
5	8.689E-01	1.011E+02
6	8.450E-01	1.017E+02
7	8.220E-01	1.023E+02
8	7.997E-01	1.031E+02
9	7.781E-01	1.040E+02
10	7.574E-01	1.049E+02
11	7.374E-01	1.060E+02
12	7.181E-01	1.071E+02
13	6.996E-01	1.084E+02
14	6.818E-01	1.098E+02
15	6.647E-01	1.112E+02
16	6.483E-01	1.128E+02
17	6.326E-01	1.144E+02

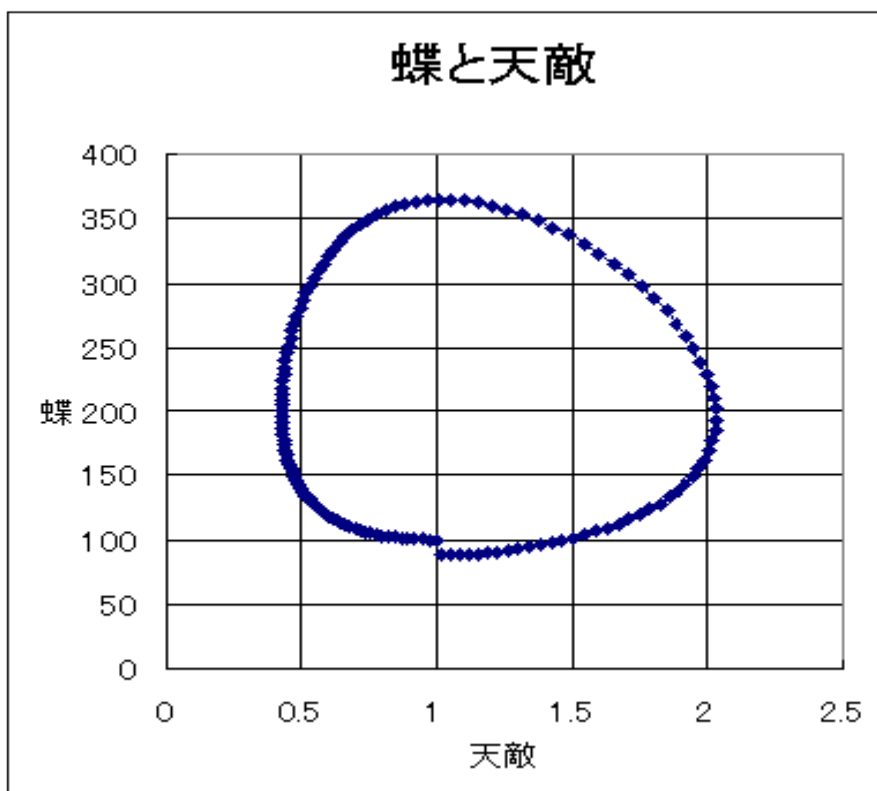
B16	=B15-((\$C\$7-\$C\$8*C15)*B15
C16	=C15+((\$C\$9-\$C\$10*B15)*C15



上の計算結果を同じ Excel でグラフにすると下図のように、グラフ1. やグラフ2. と同じ図が得られます。



食物連鎖の時系列の様子 (Excel)



食物連鎖のサイクル (Excel)

## 5. おわりに

シミュレーションでは初期値や定数を設定して計算を行いました。もっとパラメトリックにやって、全体の傾向を掴まなくてはなりません。この例では、繁殖力の旺盛な種を想定してのシミュレーションですが、乱獲という要素を入れると生態系全体に影響が出るのがわかります。

この問題をパラメトリックに扱っていくと、不思議なことに気がつきます。つまり、蝶と天敵が共存する(すなわち、両者が滅びない)ためには、両者の生存数にある程度の制限があるということです。勿論、採集者の数も微妙に影響してきます。皆さんも計算で確かめてみて下さい。結構面白い結果に辿り着きますよ。

さて、このシミュレーション、複雑な食物連鎖を分かりやすい形でモデル化するにはどうすればよいかを色々考え、天敵と蝶との断面を切り取って見た場合にどうなるかという問題に絞って考えることにしました。変数が多すぎてモデル化が難しい場合、よく使う手法ですが、皆さんからの非難を覚悟の上で作成しました。どうでしたでしょうか。「現実のモデルはもっと複雑だよ、一部のパラメーターのみを取り出してシミュレーションを行なうのは無茶だよ」という声が聞こえてきそうです。牽強付会では話にならないと言われる方もいるでしょう。

生物多様性が声高に叫ばれている割には、大人も子供も身近な生き物の名前を知らない人が多すぎるようです。孫たちの理科の教科書を見る機会がありましたが、そこにはこんなことが書かれています。「花や、葉や、虫などはとらないで、生きている様子をそのまま観察しましょう」とあります。教科書にこんな乱暴なことを書いて良いのでしょうか。純真な生徒達は、この言葉を真に受けて、花や虫をとっている生徒のことを「悪い奴だ」と本気で思うことでしょうか。このようなことが、「はじめに」のところを書いた事件へと繋がっていくのです。

「採らなくても観察するだけで植物や昆虫の名前は覚えられる」というのは頭の中でしかものを考えることの出来ない大人達の単なる屁理屈です。多くの子供たちは、本能的に虫取りが好きなのです。それを禁止しておいて理科の好きな子供を育てようなんてどだい無理な話です。