

生物界の掟

(昆虫と天敵の関係の私的検討)

2017.08.15

菅原政治郎

目次

1. 背景
2. 数学モデル
3. 考察

1. 背景

夏の夕方、蝉時雨の中を散歩していた時、昔に比べて蝉も大分少なくなったと感じました。恐らく、蝉が暮らしている環境が大分変わって来たためであろうと思いました。それに関して、昔ラジオで「蝉は地中で7年過ごして僅か一週間でその命を終わるが、この7年と言う数は、素数になっていて、他の昆虫や鳥等の当たり年と、かち合わない様にしている」と言う話を聞いた気がします。

話は変わりまして、或る昆虫とその天敵との関係はどの様になっているのかを、彼らの増殖率、死亡率、捕食率と環境の生物支援能力を基に考えてみました。

2. 数学モデル

小生の別掲「人口動態」に用いた連立微分方程式を同様に用いました。

2.1 出生・消滅・捕食モデル (以下の増殖率、死亡率、捕食率の単位は(/年)です)

$P_a(t)$: 時刻 t の天敵個体数、 $abr(t)$:天敵増殖率、 $adr(t)$:天敵死亡率、 $hos(t)$:天敵捕食率
 $P_b(t)$: 時刻 t の昆虫個体数、 $bbr(t)$:昆虫増殖率、 $bdr(t)$:昆虫死亡率としますと、

- (1) 天敵の個体数の年間増減 $dP_a(t)/dt$ は、天敵の増殖率から死亡率の差に、個体数を乗じたものになります。

$$dP_a(t)/dt = (abr(t) - adr(t)) \cdot P_a(t) \quad \dots(2.1)$$

- (2) 一方、昆虫の個体数の年間増減 $dP_b(t)/dt$ は、昆虫の増殖率から死亡率の差に個体数を乗じたものから、天敵による捕食で無くなる個体数を差し引いたものになります。

$$dP_b(t)/dt = (bbr(t) - bdr(t)) \cdot P_b(t) - hos(t) \cdot P_a(t) \quad \dots(2.2)$$

- (3) 昆虫と天敵の比率の経年変化を見るために、 $abgm(t)$ を作成しました。生物界は、一方のみが優勢的に生存すると最終的に両方とも死滅する可能性があります。このため、上手くバランスを取ろうとします。そのバランスを見るための指標です。

$$abgm(t) = P_b(t) / P_a(t), \quad abgm(0) = P_b(0) / P_a(0) \quad \dots(2.3)$$

2.1 出生・消滅・捕食モデル (続き)

- (4) 又、昆虫と天敵の現在のバランス比 $abgm(t)$ を原初のバランス比 $abgm(0)$ で除した指標 $rm(t)$ を作成しました。この指標は、バランス比がどの位変動しているかを見るもので、バランス比の復元に使用します。この比率を基に、増殖率 (br) と死亡率 (dr) の係数を求めます。

$$rm(t) = abgm(t) / abgm(0) \quad \dots(2.4)$$

- (5) 上記(4)に関連して、バランス係数 $coef1$ と $coef2$ を $rm(t)$ を基に、式(2.5)の様に設定します。係数 $coef1$ 及び $coef2$ の rm に対する挙動は線形で、 rm の半分の値としています。これは極端に個体数が変動するのを抑えるためです。 rm が1より大きいときは、昆虫の数が天敵の数に比べて原初のバランスよりも大きくなっていることを示しています。バランスを元に戻すには、昆虫の数を減らし、天敵の数を増やす必要が有ります。昆虫の個体数を減少させるには、昆虫の増殖率(bbr)の減少と死亡率(bdr)の増加、及び天敵の増殖率(abr)の増加と死亡率(adr)の減少を同時にさせるように係数が設定されます。即ち、 rm が1より大きいとき、率の増加には $coef1$ を、率の減少には $coef2$ を各々の率に乗じます。一方、 rm が1より小さいときは、逆の係数が設定されます。

$$\begin{aligned} coef1(t) &= 1 + 0.5 * (rm(t) - 1) \\ coef2(t) &= 1 - 0.5 * (rm(t) - 1) \end{aligned} \quad \dots(2.5)$$

2.1 出生・消滅・捕食モデル (続き)

(6) 前記までの処置を示したのが、式(2.6)です。式(2.6)までの処理により、昆虫/天敵の比が原初のバランス比に近づくことになります。

$$\begin{aligned}abr(t) &\Rightarrow abr(0) * coef1(t), & bdr(t) &\Rightarrow bdr(0) * coef1(t) \\adr(t) &\Rightarrow adr(0) * coef2(t), & bbr(t) &\Rightarrow bbr(0) * coef2(t)\end{aligned}\quad \dots(2.6)$$

ここに、 $\Rightarrow$: 処理を示します

(7) 天敵の捕食率 (hos) は、昆虫の数の大小により変動します。昆虫の数が多くなれば、昆虫の数を減らそうと捕食率が増加し、昆虫の数が少なくなれば減少しますので、天敵の増殖率 (abr) の変動と連動させます。(後述、式(2.9))

(8) 以上までは昆虫と天敵のバランスの問題でしたが、これ等の式には、個体数の増加を抑制するものが存在しません。このため、無限に個体数が増加する可能性があります。(後述、2.5節)

そこで、次節に個体数を制限する効果を考慮します。

2.2 個体数抑制モデル

- (1) 個体数抑制のための指標として、式(2.7)に示す個体数の経時変化比を作成しました。この数値は、原初からの個体数の増加割合を示すもので、個体数の増減を制御するために使用します。

$$rpop(t) = (Pa(t) + Pb(t)) / (Pa(0) + Pb(0)) \quad \dots(2.7)$$

- (2) 個体数が増加すれば、個体を維持するための食料事情が悪化することが考えられます。式(2.8)は個体の生存を支援する環境係数(sup(t))です。式(2.8)には式(2.7)の個体数の増加割合が入力されており、個体数が増加すると環境係数が低下し、増殖率等が変化するようにモデル化しています。式中の yfb は、環境係数を増加/減少させる指標(生存支援指数)で、どの様に設定すれば良いのかは試行錯誤で設定するものと思われます。

$$sup(t) = Exp[-rpop(t) / yfb] \quad \dots(2.8)$$

2.2 個体数抑制モデル (続き)

- (3) 式(2.9)は、式(2.6)で設定したバランスの取れた増殖率等に対して、個体数を適切に保つ環境係数($\text{sup}(t)$)を乗除して、最終的な増殖率等に設定します。

環境係数($\text{sup}(t)$)が1より小さい場合は、個体数が増加していることを示しており、増殖率については減少させる様に、死亡率については増加させるようにしています。一方、環境係数($\text{sup}(t)$)が1より大きい場合は、個体数が原初より減少していることを示しており、増殖率については増加させる様に、死亡率については減少させるようにしています。

尚、式(2.9)の $\text{hos}(t)$ は、前述の説明にある様に、天敵の増殖率と連動させるため、原初の日敵の増殖率($\text{abr}(0)$)と捕食率($\text{hos}(0)$)の比に、バランスの取れた天敵の増殖率($\text{abr}(t)$)を乗じて設定しました。

- (4) この環境係数があるために、個体数が有限で定常化します。(後述、2.4節参照)

$$\begin{aligned} \text{abr}(t) &\Rightarrow \text{abr}(t) * \text{sup}(t), & \text{adr}(t) &\Rightarrow \text{adr}(t) / \text{sup}(t) \\ \text{bbr}(t) &\Rightarrow \text{bbr}(t) * \text{sup}(t), & \text{bdr}(t) &\Rightarrow \text{bdr}(t) / \text{sup}(t) \\ \text{hos}(t) &\Rightarrow \text{abr}(t) * \text{hos}(0) / \text{abr}(0) \end{aligned} \quad \dots(2.9)$$

2.3 個体数の計算

表2-1 時刻t からt+Δt への遷移マトリックス

	Pa(t+Δt)	Pb(t+Δt)
Pa(t)	abr(t)-adr(t)	-hos(t)
Pb(t)	0	bbr(t)-bdr(t)

時刻 t から t + Δt への各個体の遷移は、表2-1に示すものです。この係数を遷移マトリックス *xmatrix* とすると、式(2.10)となります。

$$xmatrix = \begin{pmatrix} abr(t) - adr(t) & -hos(t) \\ 0 & bbr(t) - bdr(t) \end{pmatrix} \dots(2.10)$$

時刻 t + Δt における各個体数は、以下の式で与えられます。

$$\begin{pmatrix} Pa(t + \Delta t) \\ Pb(t + \Delta t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Pa(t) \\ Pb(t) \end{pmatrix} + {}^t xmatrix \cdot \Delta t \cdot \begin{pmatrix} Pa(t) \\ Pb(t) \end{pmatrix} \dots(2.11)$$

ー式(2.11)は個体数を求める計算式です。即ち、ステップ(t+1)における個体数は、ステップ(t)における遷移マトリックスの転置と個体数の積にステップ(t)の個体数を加算したものです。

2.4 計算例 (個体抑制効果(生存支援指数 (yfb=100))が有る場合)

2.4.1 入力値

(1)全体に関するもの

- | | | |
|--|-----|--------------------|
| (1-1) 疫病発生周期 | 17年 | (天敵及び昆虫の死亡率が同時に増加) |
| (1-2) 生存支援指数 (yfb) | 100 | |
| (1-3) 天敵数 $P_a(0) = 1000$ 、昆虫数 $P_b(0) = 2000$ | | |

(2)天敵に関するもの

- | | | |
|---------------|---------|--------------|
| (2-1) 平常時増殖率 | 0.3/年 | |
| (2-2) 平常時死亡率 | 0.15 /年 | |
| (2-3) 平常時捕食率 | 0.2 /年 | |
| (2-4) 当たり年 | 11年 | (この年に増殖率が増加) |
| (2-5) 当たり年増殖率 | 0.4 /年 | |
| (2-6) 疫病時死亡率 | 0.3 /年 | |

(3)昆虫に関するもの

- | | | |
|---------------|--------|--------------|
| (3-1) 平常時増殖率 | 0.7/年 | |
| (3-2) 平常時死亡率 | 0.4 /年 | |
| (3-3) 当たり年 | 7年 | (この年に増殖率が増加) |
| (3-4) 当たり年増殖率 | 0.8/年 | |
| (3-5) 疫病時死亡率 | 0.5/年 | |

2.4.2 結果 (個体抑制効果(yfb=100)が有る場合)

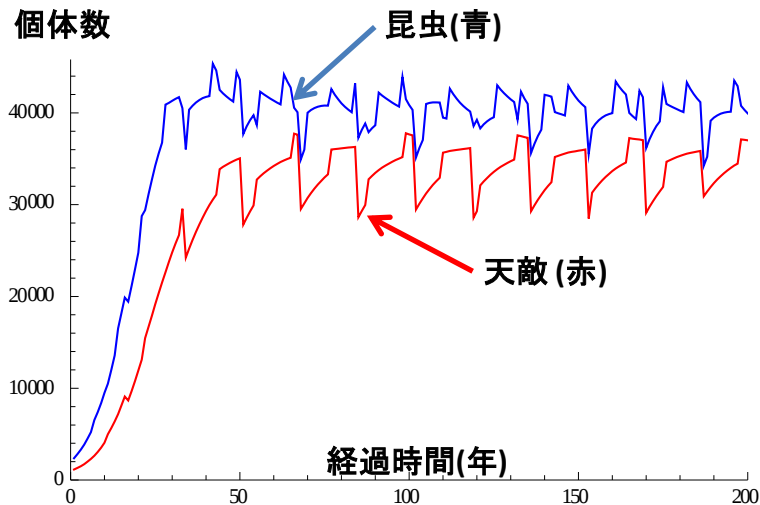


図2-1 天敵及び昆虫の個体数の推移

- (1) 図2-1に個体数の推移を示します。30～50年まで年々個体数が増加しますので、環境係数が小さいなりに作用し、増加率を抑えます。50年以降、初期個体数の25倍に達しますので(図2-6)、環境係数は約0.78 ($\text{Exp}[-25/100]$)となり、個体数を定常的に抑制します。このため、個体数は横ばいとなります。

周期的に減少しているのは、疫病年のためで、この年には昆虫も天敵も死亡率が増加します。

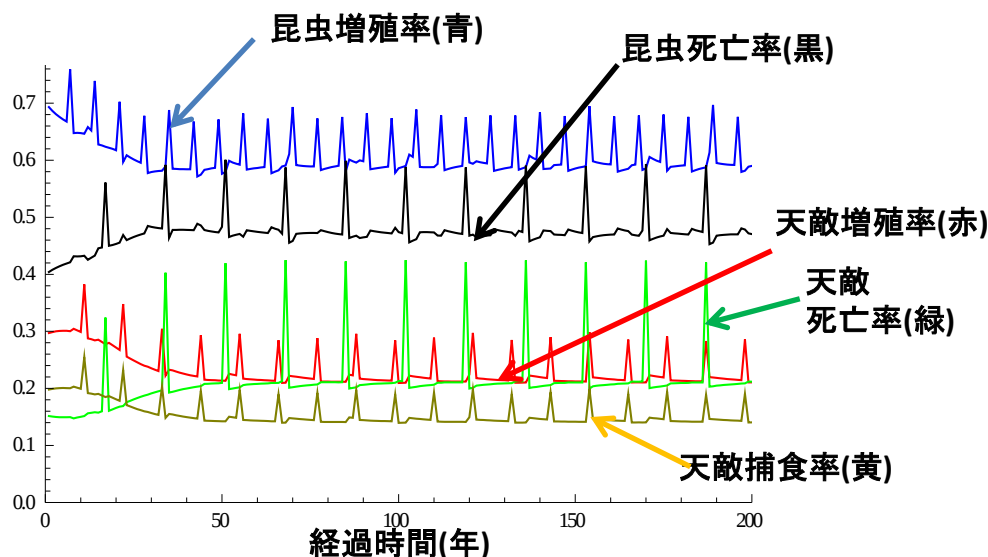


図2-2 天敵及び昆虫の増殖率等の推移

- (2) 図2-2に各種の推移を示します。開始後30年まで年々個体数が増加しますので、各率は環境係数の作用により、増殖率については低下し、死亡率については増加します。それ以降は落ち着きます。周期的に増加率がスパイク的に増加するのは、当たり年になっているためです。又、死亡率が増加するのは、疫病年のためです。

2.4.2 結果 (個体抑制効果(yfb=100)が有る場合) (続き)

増減率(/年)

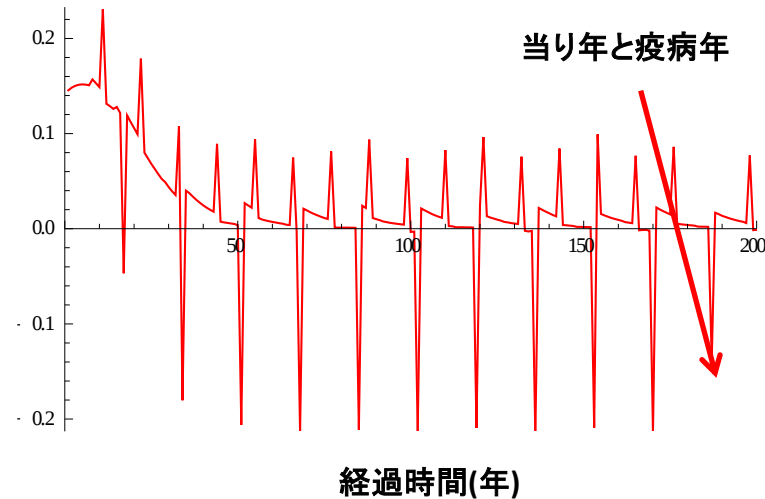


図2-3 天敵の増減率 (abr- adr) の推移

(3) 図2-3に天敵の増減率(abr – adr) の推移を示します。50年までは個体数の制限作用を示す環境係数が小さいなりに作用しますので、増減率は低下していきます。50年以降は(1)で説明示した様に、環境係数が大きく作用し、増減率が0を中心に變化していきます。増減率がスパイク的に増加するのは、天敵の当り年(11年)で、逆に低下しているのは疫病年(17年)であることを示しています。

当り年と疫病年が互いに素数であるため、解析期間の200年で当り年と疫病年がかち合う年は、187年で、その時の増減率は -0.13/年でした。

増減率(/年)

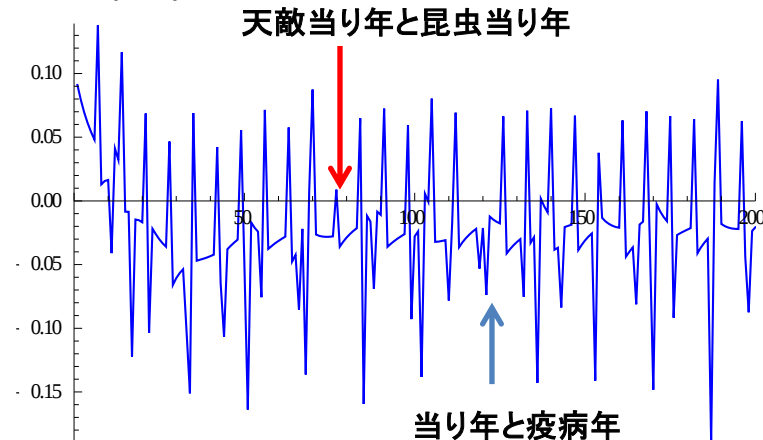


図2-4 昆虫の増減率 (bbr- bdr – hos) の推移

(4) 図2-4に昆虫の増減率(bbr – bdr - hos)の推移を示します。昆虫の増減には、天敵の捕食率も影響しますので、増減率としてbbr – bdr - hos としました。天敵の挙動と同様、50年までは増減率は低下していきます。

当り年(7年)と疫病年(17年)がかち合う年は、119年で、その時の増減率は -0.05/年で、この年は周期的な増加は有りませんでした。

又、天敵の当り年と昆虫の当り年の77年には、昆虫の増減率は0.009/年で殆ど増加しない事が分ります。

2.4.2 結果 (個体抑制効果($yfb=100$)が有る場合) (続き)

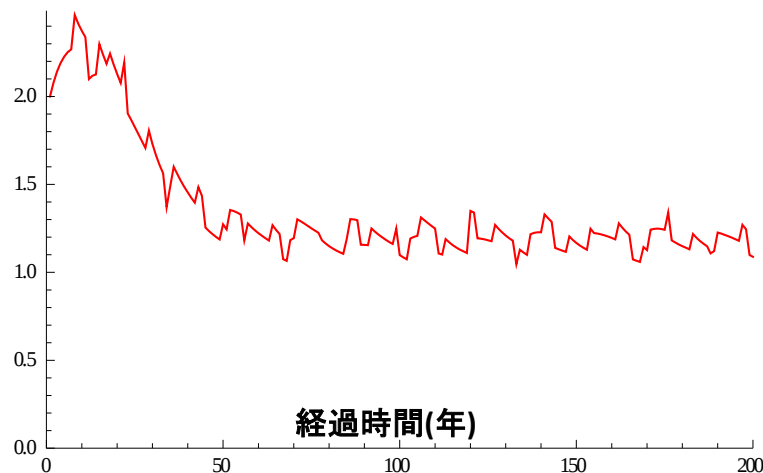


図2-5 昆虫/天敵数比率 ($abgm$) の推移

(3) 図2-5に昆虫/天敵数比 ($abgm(t)$) の推移を示します。本手法では、昆虫/天敵数比を優先的に原初比 (本ケースでは2.0)に戻そうとされていますが、最終的には、環境係数で増殖率と死亡率が決定されますので、昆虫/天敵数比は、1.25を中心として、変動します。

本図は、昆虫/天敵数比を原初比に維持しつつ、個体数を定常状態に維持することの難しさを示しています。

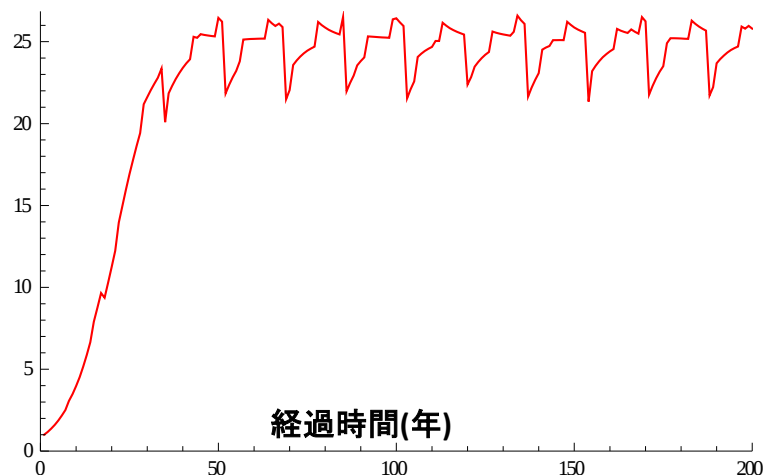


図2-6 現/元の個体数比 ($rpop$) の推移

(4) 図2-6に現/元の個体数比 ($rpop$) の推移を示します。個体数が増えすぎると、天敵及び昆虫両者を生存可能とする環境の悪化が懸念されます。このため、環境係数 (sup) が約0.8となって、個体数の増加を抑制します。最終的には原初個体数の約23倍程度になります。周期的に減少しているのは、疫病年のためです。

2.4.2 結果 (個体抑制効果(yfb=100)が有る場合) (続き)

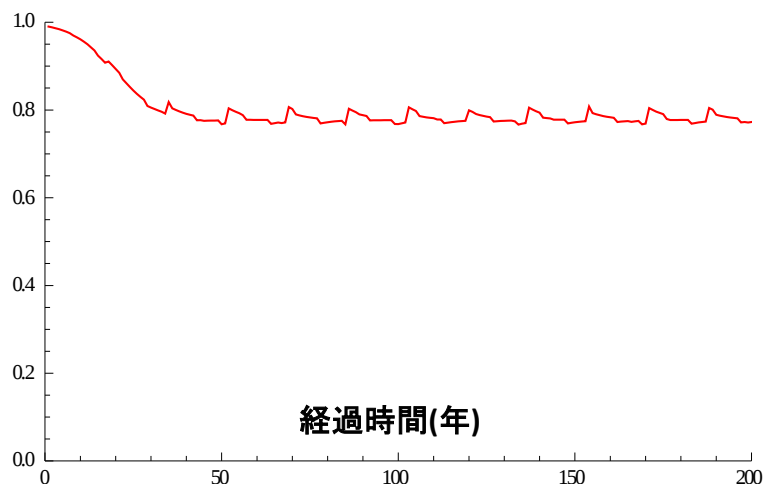


図2-7 環境係数 (sup) の推移

- (5) 図2-7に環境係数 (sup) の推移を示します。個体数の増加に従い、環境係数は低下していきます。生存支援指数 yfb= 100 に設定していますので、個体数が20倍になると環境係数sup は $\text{Exp}[-20/100] = 0.78$ となり、個体数を抑制します。生存支援指数 yfb= 10 に設定した場合は、個体数増加の早い時点で、個体数の抑制が発生します。(2.6 節参照)

2.5 計算例 (個体抑制効果が無い場合)

2.5.1 入力値

(1)全体に関するもの

- (1-1) 疫病発生周期 17年 (天敵及び昆虫の死亡率が同時に増加)
- (1-2) 生存支援指数 (yfb) ∞
- (1-3) 天敵数 $Pa(0) = 1000$ 、昆虫数 $Pb(0) = 2000$

(2)天敵に関するもの (2.4.1と同様)

- (2-1) 平常時増殖率 1.3/年
- (2-2) 平常時死亡率 0.15 /年
- (2-3) 平常時捕食率 0.4 /年
- (2-4) 当たり年 11年 (この年に増殖率が増加)
- (2-5) 当たり年増殖率 1.5 /年
- (2-6) 疫病時死亡率 0.3 /年

(3)昆虫に関するもの (2.4.1と同様)

- (3-1) 平常時増殖率 2.0/年
- (3-2) 平常時死亡率 0.4 /年
- (3-3) 当たり年 7年 (この年に増殖率が増加)
- (3-4) 当たり年増殖率 2.2 /年
- (3-5) 疫病時死亡率 0.6 /年

2.5.2 結果 (個体抑制効果が無い場合)

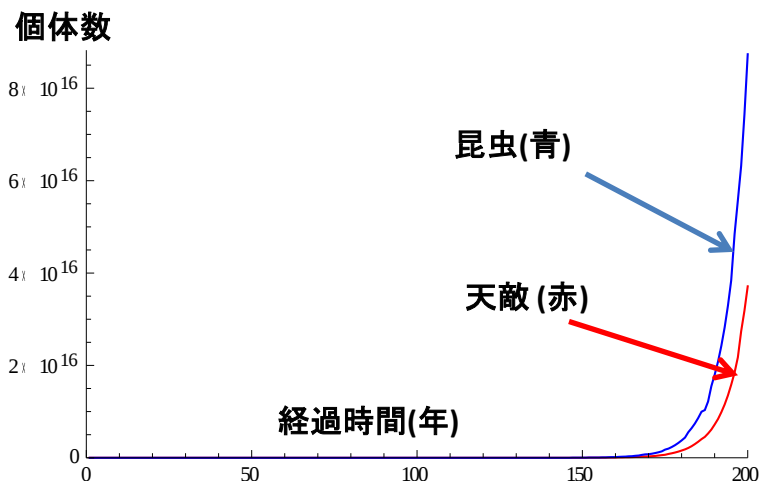


図3-1 天敵及び昆虫の個体数の推移

(1) 図3-1に個体数の推移を示します。環境係数が作用しませんので、個体数は増加し続け、200年後には 8×10^{16} 倍になります。これは計算上の話で、実際には個体数を抑制する作用が働き(例えば、食料の枯渇等)、図2-1に示す様な傾向になるものと考えられます。

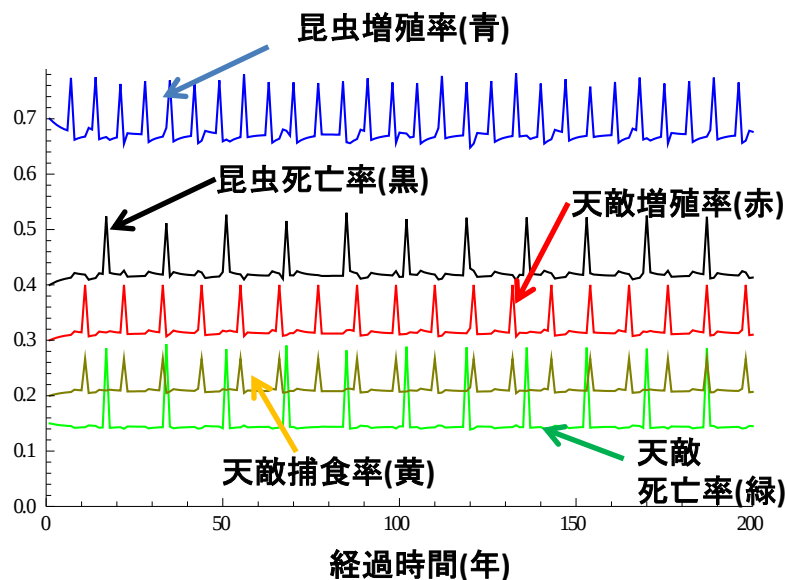


図3-2 天敵及び昆虫の増殖率等の推移

(2) 図3-2に各種の推移を示します。環境係数が作用しませんので、各々の率は初期値を中心に変動します。

2.5.2 結果 (個体抑制効果が無い場合) (続き)

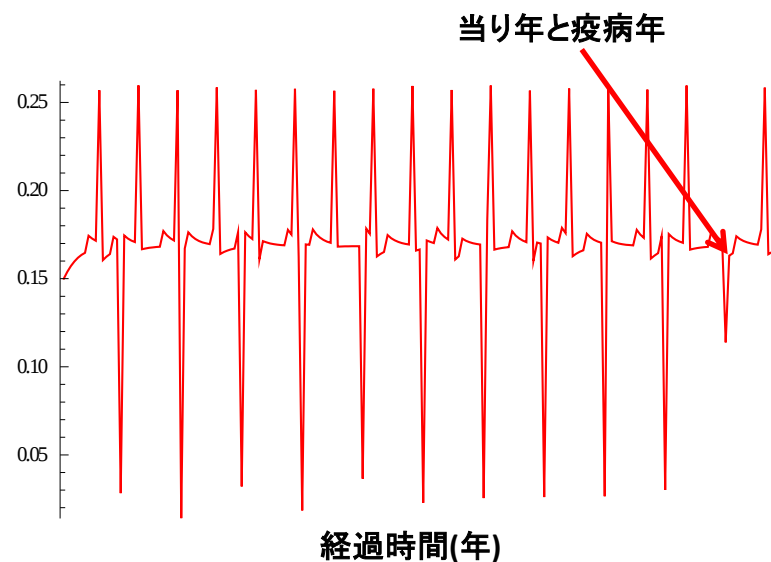


図3-3 天敵の増減率 (abr- adr) の推移

(3) 図3-3に天敵の増減率 ($abr - adr$) の推移を示します。環境係数が作用しませんので、増減率は正の値となっています。即ち、天敵数は、増加の一途を辿ることになります。

当り年と疫病年がかち合う187年の増減率は0.11/年です。一方、環境係数が作用する図2-3では、-0.13/年でした。

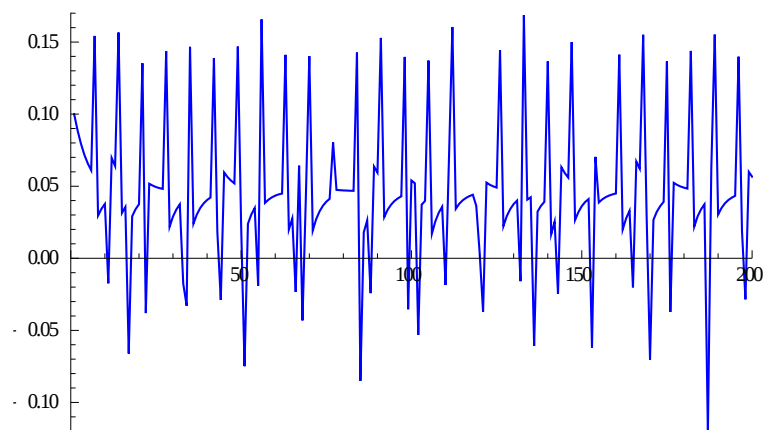


図3-4 昆虫の増減率 (bbr- bdr - hos) の推移

(4) 図3-4に昆虫の増減率 ($bbr - bdr - hos$) の推移を示します。増減率が一時的にマイナスになることはありますが、殆どはプラスになっています。このことは、昆虫の個体数が増加することを示しています。

2.5.2 結果 (個体抑制効果が無い場合) (続き)

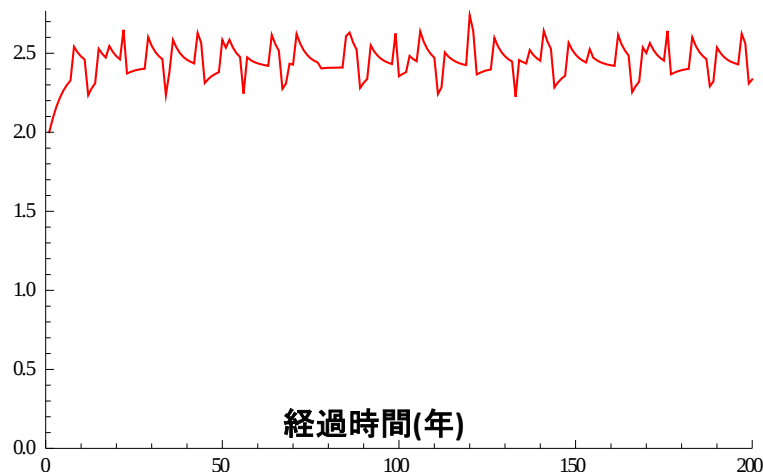


図3-5 昆虫/天敵数比率 (abgm) の推移

- (3) 図3-5に昆虫/天敵数比の推移を示します。昆虫/天敵数比を優先的に原初比(2.0)に戻そうとしているため、それに近い比率で推移していることが分ります。

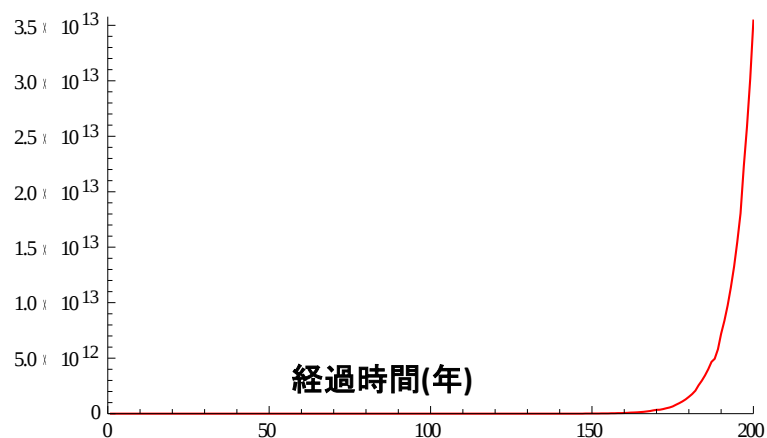


図3-6 現/元の個体数比 (rpop) の推移

- (4) 図3-6に現/元の個体数比の推移を示します。図2-6では環境係数が約0.8となつて、個体数の増加を抑制しましたが、今回は抑制効果が無い環境係数が1.0ですので、個体数は増加し続け、図3-1に示した様に、天文学的数値で増加します。

2.5.2 結果 (個体抑制効果が無い場合) (続き)

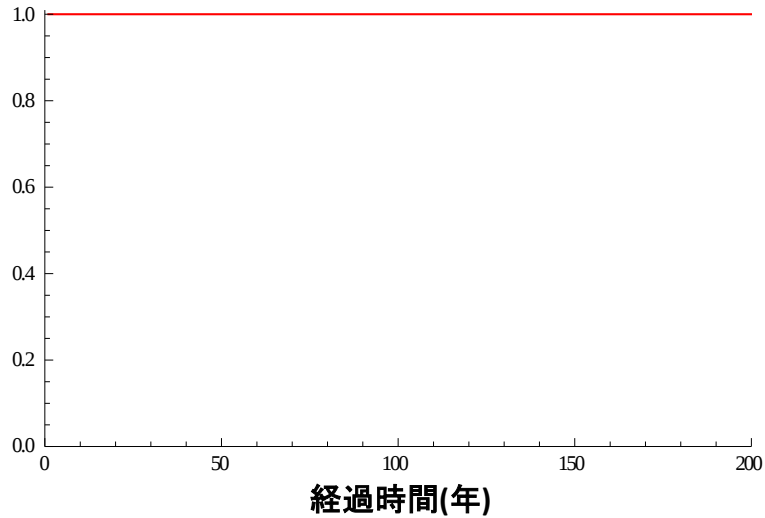


図3-7 環境係数 (sup) の推移

(5) 図3-7に環境係数の推移を示します。抑制効果の無い環境係数=1.0です。

2.6 計算例 (生存支援指数 $yfb = 10$ の場合)

2.6.1 入力値

(1) 全体に関するもの

- | | | |
|--|-----|--------------------|
| (1-1) 疫病発生周期 | 17年 | (天敵及び昆虫の死亡率が同時に増加) |
| (1-2) 生存支援指数 (yfb) | 10 | |
| (1-3) 天敵数 $Pa(0) = 1000$ 、昆虫数 $Pb(0) = 2000$ | | |

(2) 天敵に関するもの (2.4.1と同様)

- | | | |
|---------------|---------|--------------|
| (2-1) 平常時増殖率 | 1.3/年 | |
| (2-2) 平常時死亡率 | 0.15 /年 | |
| (2-3) 平常時捕食率 | 0.4 /年 | |
| (2-4) 当たり年 | 11年 | (この年に増殖率が増加) |
| (2-5) 当たり年増殖率 | 1.5 /年 | |
| (2-6) 疫病時死亡率 | 0.3 /年 | |

(3) 昆虫に関するもの (2.4.1と同様)

- | | | |
|---------------|--------|--------------|
| (3-1) 平常時増殖率 | 2.0/年 | |
| (3-2) 平常時死亡率 | 0.4 /年 | |
| (3-3) 当たり年 | 7年 | (この年に増殖率が増加) |
| (3-4) 当たり年増殖率 | 2.2 /年 | |
| (3-5) 疫病時死亡率 | 0.6 /年 | |

2.6.2 結果 (生存支援指数 $y_{fb}=10$ の場合)

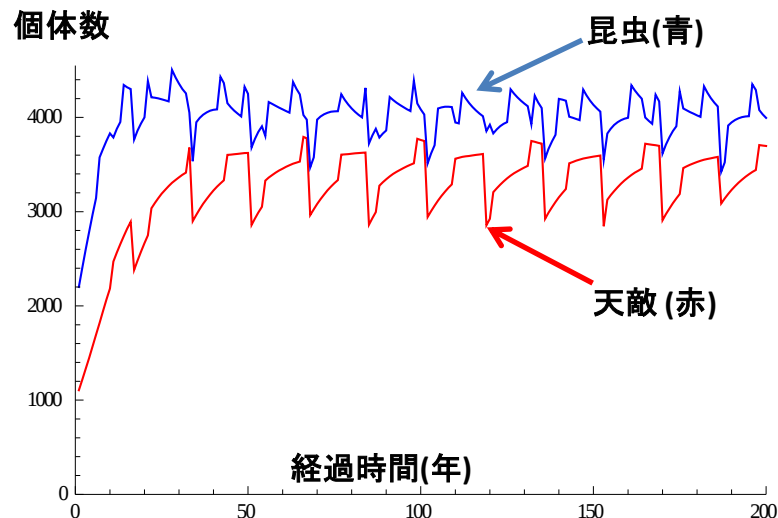


図4-1 天敵及び昆虫の個体数の推移

- (1) 図4-1に個体数の推移を示します。生存支援指数 y_{fb} が小さく設定(従って環境係数も小さく設定)されているため、開始初年から個体数の増加が抑えられ、天敵は約3300、昆虫は約4200位で定常化します。この数値は、図2-1の約1/10です。図2-1と同様、周期的に減少しているのは、疫病年のためで、この年には昆虫も天敵も死亡率が増加します。

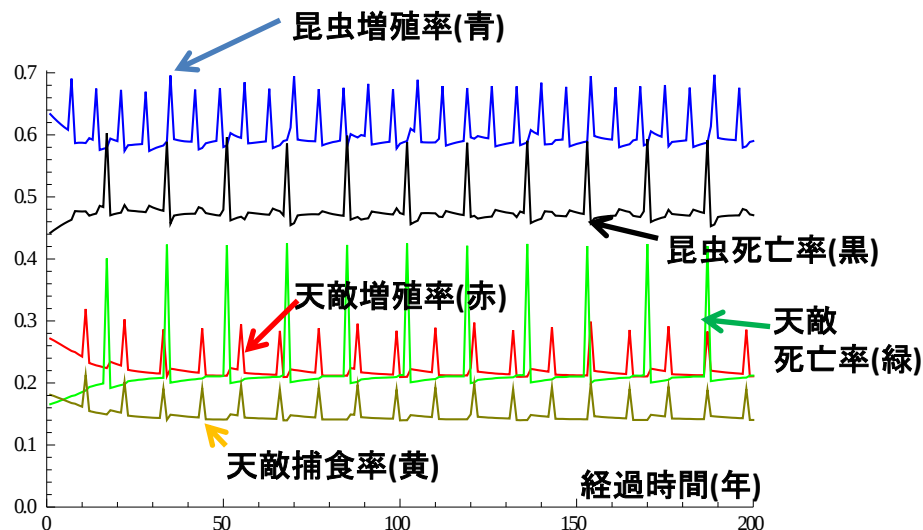


図4-2 天敵及び昆虫の増殖率等の推移

- (2) 図4-2に各種の推移を示します。生存支援指数 $=10$ に設定したため、開始年から環境係数が 0.9 ($\text{Exp}[-1/10]$) となり、率は全体的に低い値に設定されます。図2-2と同様、周期的に増加率がスパイク的に増加するのは、当たり年になっているためです。又、死亡率が増加するのは、疫病年のためです。

2.6.2 結果 (生存支援指数 $yfb = 10$ の場合) (続き)

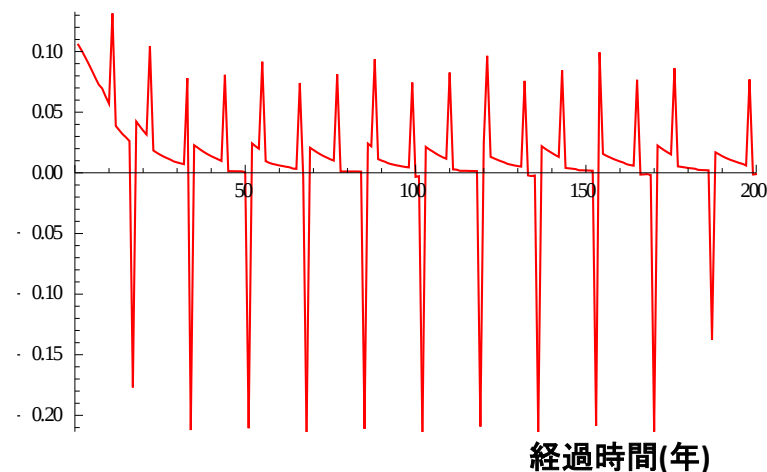


図4-3 天敵の増減率 (abr- adr) の推移

(3) 図4-3に天敵の増減率($abr - adr$) の推移を示します。生存支援指数=10 に設定したため、早い時点で増減率が0を中心に变化していきます。増減率がスパイク的に増加するのは、天敵の当り年(11年)で、逆に低下しているのは疫病年(17年)であることを示しています。

図2-3と比較すると、増減の振れ幅は両者で同じで、図4-3の方が定常状態に入る期間が短くなっています。

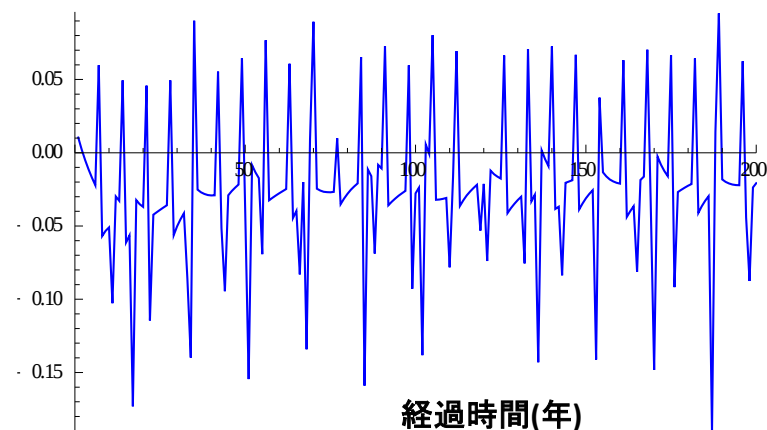


図4-4 昆虫の増減率 (bbr- bdr - hos) の推移

(4) 図4-4に昆虫の増減率($bbr - bdr - hos$)の推移を示します。図より、増減率の値が全体的にマイナスとなっていることが分ります。このことは、昆虫の個体数が増加しないことを意味しています。

2.6.2 結果 (生存支援指数 $y_{fb}=10$ の場合) (続き)

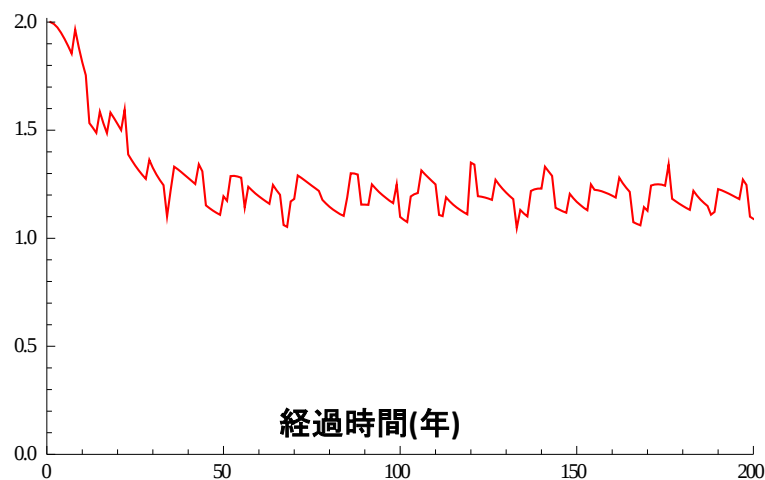


図4-5 昆虫/天敵数比率 (abgm) の推移

- (3) 図4-5に昆虫/天敵数比 ($abgm(t)$) の推移を示します。図2-5と同様、昆虫/天敵数比は、1.25を中心として、変動します。図2-5との違いは、本図の方が環境係数の効果が早期に現れ、比率が2を超えることは無く、定常状態に収束・振動します。

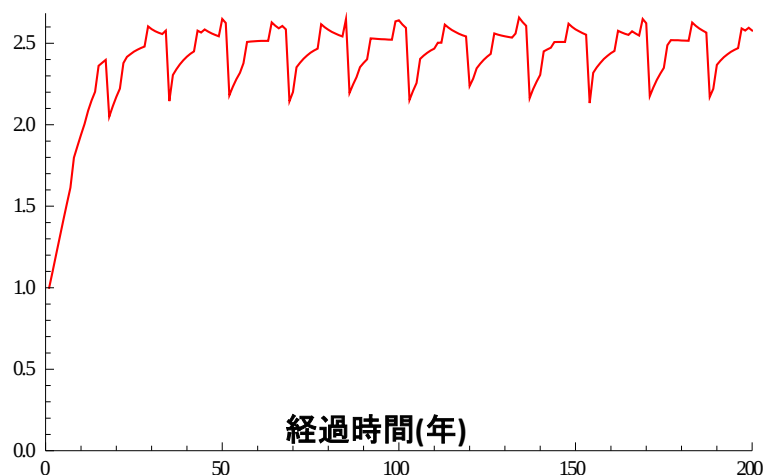


図4-6 現/元の個体数比 (rpop) の推移

- (4) 図4-6に現/元の個体数比 (rpop) の推移を示します。図2-6の1/10の挙動で、個体数比は原初個体数の約2.3倍程度になります。

2.6.2 結果 (生存支援指数 $yfb = 10$ の場合) (続き)

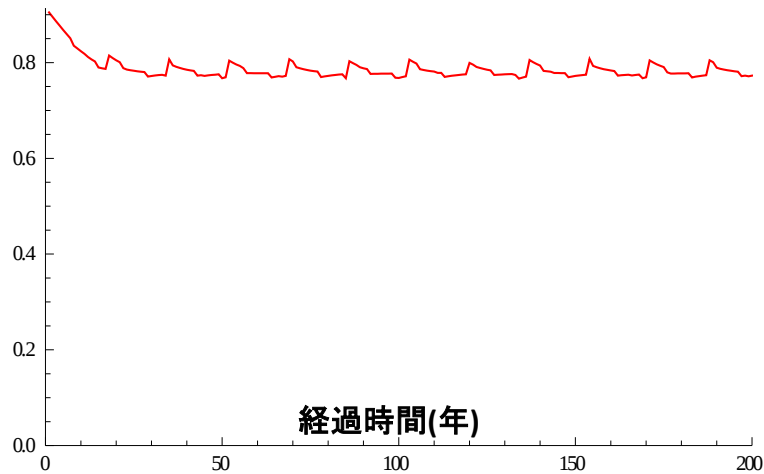


図4-7 環境係数 (sup) の推移

(5) 図4-7に環境係数の推移を示します。生存支援指数 $yfb = 10$ に設定していますので、個体数比が原初比と同じでも、環境係数 sup は $\text{Exp}[-1/10] = 0.905$ となり、個体数が初年度より抑制されます。

2.7 計算例 (生存支援指数 $yfb = 100$ 、当たり年(7年)が同じ場合)

2.7.1 入力値

(1)全体に関するもの

- | | | |
|--|-----|--------------------|
| (1-1) 疫病発生周期 | 17年 | (天敵及び昆虫の死亡率が同時に増加) |
| (1-2) 生存支援指数 (yfb) | 100 | |
| (1-3) 天敵数 $Pa(0) = 1000$ 、昆虫数 $Pb(0) = 2000$ | | |

(2)天敵に関するもの (2.4.1と同様)

- | | | |
|---------------|---------|--------------|
| (2-1) 平常時増殖率 | 1.3/年 | |
| (2-2) 平常時死亡率 | 0.15 /年 | |
| (2-3) 平常時捕食率 | 0.4 /年 | |
| (2-4) 当たり年 | 7年 | (この年に増殖率が増加) |
| (2-5) 当たり年増殖率 | 1.5 /年 | |
| (2-6) 疫病時死亡率 | 0.3 /年 | |

(3)昆虫に関するもの (2.4.1と同様)

- | | | |
|---------------|--------|--------------|
| (3-1) 平常時増殖率 | 2.0/年 | |
| (3-2) 平常時死亡率 | 0.4 /年 | |
| (3-3) 当たり年 | 7年 | (この年に増殖率が増加) |
| (3-4) 当たり年増殖率 | 2.2 /年 | |
| (3-5) 疫病時死亡率 | 0.6 /年 | |

2.7.2 結果 (生存支援指数 $yfb = 100$ 、当たり年(7年)が同じ場合)

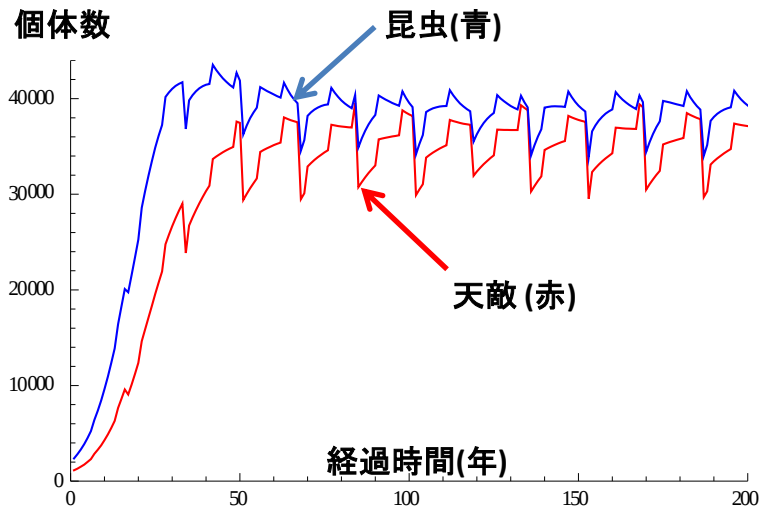


図5-1 天敵及び昆虫の個体数の推移

(1) 図5-1に個体数の推移を示します。図2-1と同様の挙動を示します。天敵と昆虫の当たり年が同じなため、昆虫の個体数が抑制され、図に示す様に、個体数の差は1000～3000位(図2-1の場合は4000～6000位)です。昆虫の立場からすると、矢張り当たり年を避ける方が種の保存として有利なことと考えられます。1章でのラジオの「蟬は地中で7年過ごして僅か一週間でその命を終わるが、この7年と言う数は、素数になっていて、他の昆虫や鳥等の当たり年と、かち合わない様にしている」と言うコメントは、理解出来る気がします。

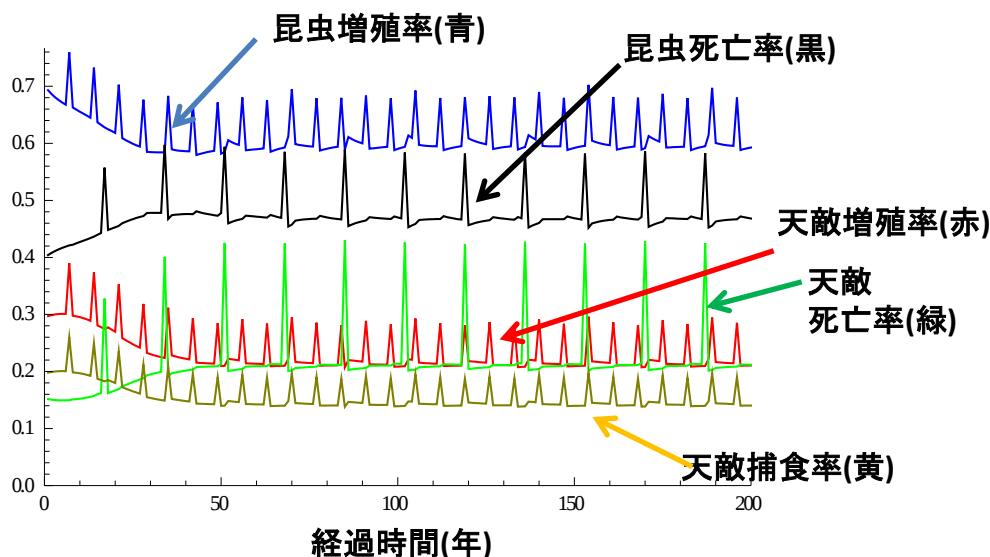


図5-2 天敵及び昆虫の増殖率等の推移

(2) 図5-2に各種の推移を示します。天敵の増殖率の変動を除いては、図2-2と同様の挙動を示します。

2.7.2 結果 (生存支援指数 $yfb = 100$ 、当たり年(7年)が同じ場合)

増減率(/年)

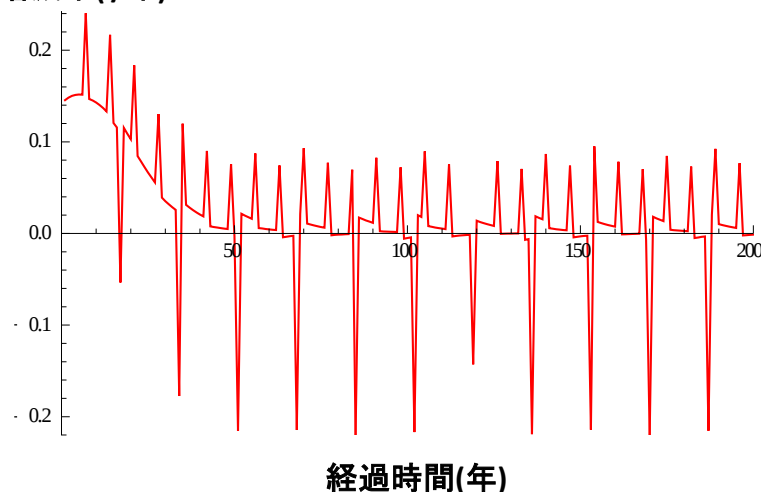


図5-3 天敵の増減率 (abr- adr) の推移

(3) 図5-3に天敵の増減率($abr - adr$) の推移を示します。天敵の当たり年を昆虫の当たり年と同じにしたため、7年ごとに増減率のスパイクが見られます。このことは、計算期間中(200年)の捕食率も高まりますので、昆虫の増加を抑える様に作用します。

増減率(/年)

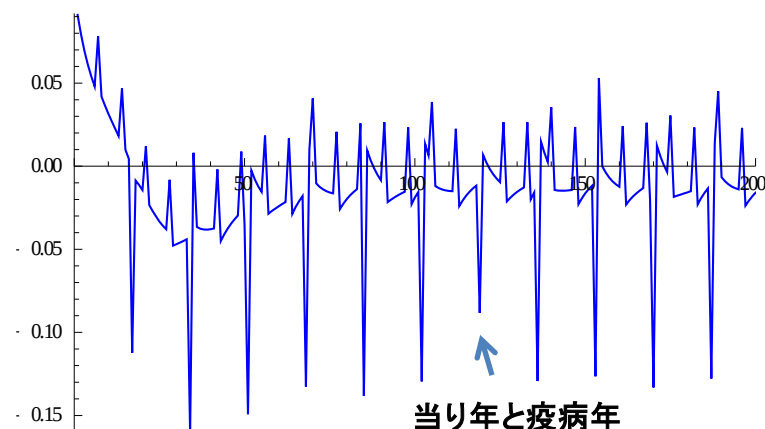


図5-4 昆虫の増減率 (bbr- bdr - hos) の推移

(4) 図5-4に昆虫の増減率($bbr - bdr - hos$)の推移を示します。上記(3)に示す様に、天敵の当たり年が短くなったため、天敵の増加が多くなり、図2-4に比べて昆虫の増減率がマイナスの方向に移動していることが分ります。

2.7.2 結果 (生存支援指数 $yfb = 100$ 、当たり年(7年)が同じ場合)

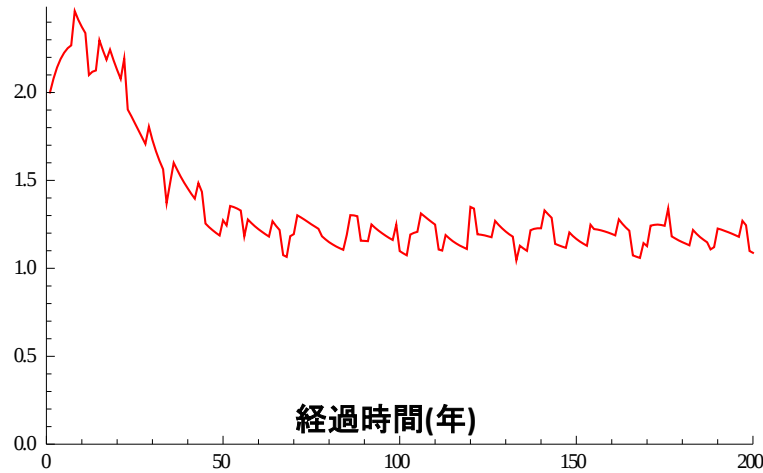


図5-5 昆虫/天敵数比率 ($abgm$) の推移

(3) 図5-5に昆虫/天敵数比 ($abgm(t)$) の推移を示します。図2-5と同様の挙動を示します。

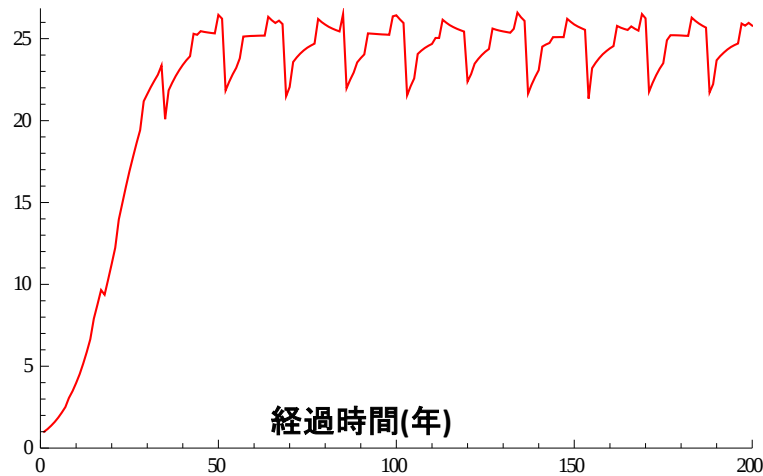


図5-6 現/元の個体数比 ($rpop$) の推移

(4) 図5-6に現/元の個体数比 ($rpop$) の推移を示します。図2-6と同様の挙動を示します。

2.7.2 結果 (生存支援指数 $y_{fb} = 100$ 、当たり年(7年)が同じ場合)

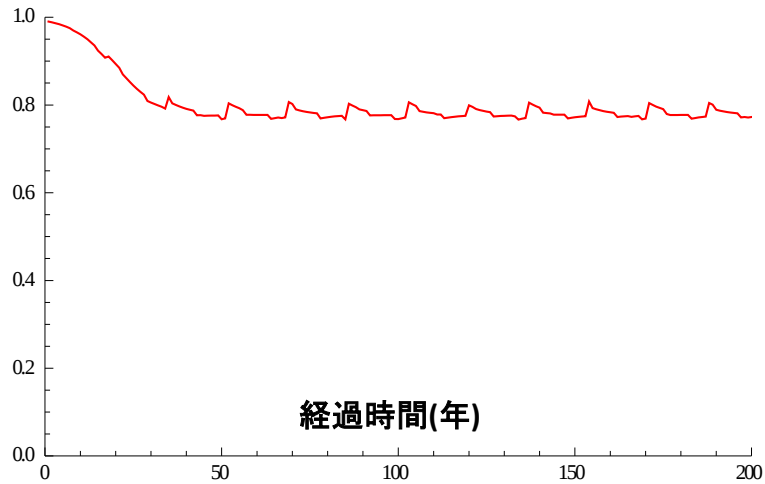


図5-7 環境係数 (sup) の推移

(5) 図5-7に環境係数 (sup) の推移を示します。図2-7と同様の挙動を示します。

3. 考察

今回の試算により、以下の知見を得ました。

- (1) 天敵、昆虫及び環境の影響を考慮して、個体の動態を検討しました。個体数を抑制する効果が無い場合には、個体数が無限に増加する傾向が見られますが、環境係数を導入することにより、個体数が抑制されて有限数に抑えられることが分りました。
- (2) 昆虫と天敵の個体数比を設定し、次に総個体数を抑制する様に増殖率、死亡率、捕食率を設定しましたが、昆虫と天敵のバランスと総個体数の抑制を同時に満たす方法の設定は、今回、出来ませんでした。
- (3) 環境係数が0.9～0.8程度で、個体数が抑制されます。環境係数をどの様に設定するかは、パラメータサーベイにより適切に決められるべきものと考えます。
- (4) 天敵と昆虫の当たり年を同じに設定すると、同じでない場合に比べて昆虫の個体数が減少することが分りました。或る昆虫の当たり年が「他の昆虫や鳥等の当たり年と、かち合わない様にしている」と言うラジオの話は、あながち間違っていないと思われます。