

コオロギの成長過程における環境条件と闘争性の関係のモデル

○矢野 史朗¹ 池本 有勲² 青沼 仁志³ 浅間 一²

¹ 東京大学大学院工学系研究科, ² 東京大学人工物工学研究センター

³ 北海道大学電子科学研究所

Derivation of Fitting Equation on Body Size development of larval cricket, *Gryllus bimaculatus*

*Shiro Yano¹, Yusuke Ikemoto², Hitoshi Aonuma³, Hajime Asama²

¹ School of Engineering, The Univ. of Tokyo, ² RACE, The Univ. of Tokyo,

³ Research Institute for Electronic Science, Hokkaido Univ.

Abstract—This paper discusses a way to estimate the body size correlated with the growth environment in larval cricket *Gryllus bimaculatus*. This work is based on few knowledgments of environmental biology. Under the reductionism analysis, we model a fitting function which represents the relationship between variation of the growth periods and growth rate with increasing temperature or protein content of feed. As a result, the variety of such environmental factors concludes the variation of body size. Finally, we indicate correlation between environment and aggression with some discussion on this results.

Key Words: Cricket, Larva, Aggressiveness, Adaptive Behavior, Sociality

1. はじめに

工学において Multi Agent System の更なる発展を鑑みるに、個体間相互作用という要素は避けて通り得ない。その個体間相互作用に関して生物には協調行動と呼ばれる行動がある。それらの存在が種の維持にどのように役立つか理解することは工学的にも蓋し有意義なことである。特に昆虫において協調行動は社会性という概念でもって分別されており [1], それに関する神経回路や体内物質および感覚器の研究が、個体間相互作用を理解する上での一助となることは確かであろう。

本研究では *G. bimaculatus* における Internet Cricket 状態やヒトにおける“突発性攻撃的行動および衝動” [2] 傾向などの、集団に対して一見相対的に協調性の低い状態がどのような意義を持つか、またヒトや *G. bimaculatus* 間で上記状態は本質的に同じ状態であるか否かについて解明に臨む。

1.1 Internet Cricket

プラスチック板によって隔離飼育したコオロギと集団コオロギとの成虫期の差異を確認する実験が Nagao らにより行われた [3]。この実験条件で成長したコオロギは集団で飼育したコオロギよりも体色が黒く、体重が大きく、攻撃性が非常に高いという特徴を持っており、他個体と身体を接触させないその飼育条件の特徴から Internet Cricket と呼ばれている。Internet Cricket はその外見や行動においてのみではなく神経伝達物質やホルモン物質の保有量にも変化があり、Serotonin(5-HT), Octopamine(OA), Dopamine(DA) などが少ないことが知られている。また強気で高い攻撃性を持つ反面、一度喧嘩に敗北するとそれ以後喧嘩を避けるという弱気

個体に変貌するという側面も見せる [4, p.78-p.79]。

1.2 5-HT 欠乏状態

Ueda らは Zitter mutant rats という 5-HT ニューロンを選択的に破壊した状態のラットを作り出し、Muricide と呼ばれる高い攻撃性をもった行動が発現することを確認した [5]。Muricide は脳内 5-HT ニューロンを破壊し 5-HT 量を減退させることによって発現頻度が上昇するが、5-HT ニューロンの移植により 5-HT が回復すると攻撃性が抑制されることも確認された。silver fox においても、Popova らにより 5-HT が多いことで攻撃性が低下するという相関が確認されている [6]。

5-HT 欠乏症という病名で知られるヒトのうつ病では、その病名の通り脳内の 5-HT が通常より欠乏しており、抑うつ気分や不安、焦燥、精神活動の低下、食欲低下、不眠などを特徴とする。この症状の原因の全容は未だ不明であるが、幾つかの仮説が存在する。

monoamine 仮説 モノアミンと呼ばれる 5-HT や DA の受容体への再取り込みが過剰に作用し、シナプス間において恒常的なモノアミン欠乏状態に陥る [7]。但しこの仮説で説明出来ない現象も数例報告されている。

神経損傷仮説 脳の海馬領域が神経損傷することによってモノアミン量の異常が発生すると言う仮説。現在有力な仮説として認識される [7]。後に述べる心理学的仮説は特に幼少期の海馬領域の神経に作用しているのではないかと考えられている。

心理学的仮説 病前性格論と呼ばれる仮説が代表的で、メランコリー親和型性格、マニー親和型性格、執着性格など各個人の病前性格に依存する。精神療法に役立つ仮説だが、これらの仮説にあわない事例も幾つか報

告されている [8].

5-HT 欠乏症の治療は、受容体の 5-HT 再取り込みの阻害剤を投与することで行われ、一時的に 5-HT が受容体外に滞留することで症状の緩和が発生する。一方、現状では機序の全容が解明されていないため医師の判断による経験的な投薬が行われており、薬理効果が無くなった後の病状悪化などが起こり問題になっている。定量的な投薬や心理学的治療を適確に行うためにも、原因の早期解明が望まれている。

1.3 昆虫の脳

前節での異常は全てモノアミン、特に 5-HT の欠乏という共通点が挙げられる。中枢神経系をもつ生体内部のシナプス伝達は主に神経伝達物質を介して行われ、モノアミンなども伝達物質の一例である。このことは哺乳類であっても昆虫であっても同様であるが、哺乳類の脳内を構成するニューロンの数は昆虫のそれに比べて約 10^5 倍も多い。そのため昆虫では哺乳類と比べると神経系の観察や解析などが幾分容易である。

以上の背景をふまえ本研究では 5-HT 欠乏症の機序解明を目的とし、コオロギの成長過程およびその闘争性と体内物質に焦点を当て議論を行う。

1.4 研究目的

本研究の最終目標は換言すると環境条件と 5-HT 量および攻撃性の相関関係解明に他ならない。そのためには、環境条件をそれぞれ変えることがどの身体部位にどのように作用し Internet Cricket のどの性質を発現させるのか、ということ定量的に理解することが不可欠である。また、体内物質と攻撃性および体重の相関が分かれば実際の生物の体重や攻撃性から体内の生化学物質量が予測でき、マクロな視点のまま生体物質質量推定が可能となる。これは生物学実験を行う上で非常に有意義であると考えられる。

本研究では温度、資源の質、集団の密度を変数として設定し、それらを変化させることによる OA, 5-HT, DA, Juvenile hormone (JH) 等ホルモン、神経修飾物質の応答について構成論的にモデル化する (Fig.1(b)). さらにそれらの生体物質により成長率がどのように応答するかをモデル化し、その結果体重がどのように増減するかをモデル化する (Fig.1(c,d)). 最終的にこの過程で理解される生体物質の保有量と闘争性の相関について定量的に解明することが期待される (Fig.1(e)).

このように環境変化による体内物質の変化をもって体重を予測することが第一の目標であり、その成否を評価するために環境変化 vs 体重を評価基準として与える必要がある (Fig.1(a)).

本稿はまずこの評価基準である環境変化 vs 体重を、生態学の知見を基に還元論的に構築する。

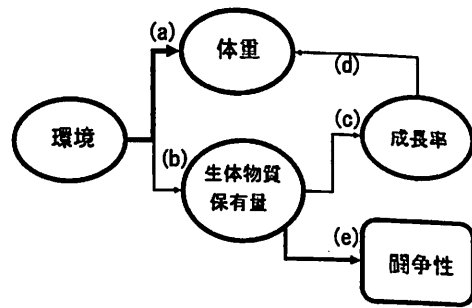


Fig.1 環境 vs 攻撃性を理解するためのフローチャート

2. 成長モデル

2.1 成長関数の微分型

集団や個体の成長を表すモデルには Malthus 的成長式, Logistic 成長式, Bertalanffy 式, Lotka-Volterra 式等、様々な形が議論されてきた。上述の式は共通して

$$\frac{dm}{dt} = r \alpha m \quad (1)$$

という形をとり、(1) 式の r に各種各様の式を代入することで各々の特徴ある成長式が実現している。 r の多くは $r = f(m)$ の形になっており、 $f(m_0) = 0$ なる m_0 が存在するとき m_0 及び $m = 0$ は $\frac{dm}{dt} = 0$ となる安定解である。

$$\frac{dm}{dt} = r_0 \left(1 - \frac{m}{M}\right) m \quad (2)$$

特に Logistic 成長を表す式 (2) では安定点 $m_0 > 0$ を環境収容力と呼び、発生や死亡などにより変動する系のサイズが常に m_0 を維持し続けるようなフィードバックが働いている。この成長式は m_0 を個体の最大体重と見なすことで個体の成長をも良く表現し得る。その一方で競争などにより体の一部を失うなど急な体重変動にあっても最大体重に回復するという、実際の現象に不適合な性質も持つ。実際は幼虫期の体重欠損はよく回復し成虫期の体重欠損は殆ど回復しないが、これは新陳代謝の時間変化が存在することに依拠すると考えられる。

そこで新陳代謝効果の時間変化を下記のように記述する。

$$\frac{dr}{dt} = R \left(\frac{r}{r_0} - 1 \right) r \quad (3)$$

R は $[\text{sec}^{-1}]$ の次元であり r の成長速度を表す。微分方程式 (3) の解 (式 10) は一般に下図のような時間発展を示す。

以下では式 (3) の r について生物学的知見に基づく考察を加え、上記の式 (1) を基に微分方程式を解き実際のデータと比較評価を行う。

2.2 微分型増加率

2.2.1 資源による効果

最適温度効果 生物は環境条件から様々な影響を受ける。例えば生物は成長に最適な温度域を持ち、その

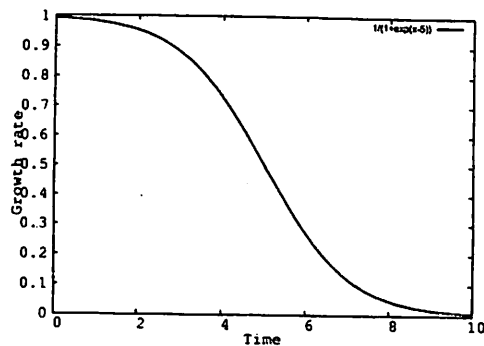


Fig.2 Eq(3) : $\lim_{t \rightarrow \infty} r(t) = 0, r_0 = 1$

温度域から遠ざかるにつれて成長が徐々に抑えられることが知られている (cf.Fig.3)[10].

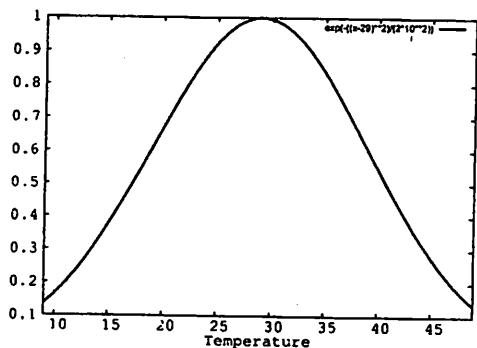


Fig.3 [10]p55 Fig2.1(a)(b) を改変。
高温、低温の両域で成長度合が低下する。

この効果が平均値 T_0 の正規分布関数 $f(T)$ に従うとし、この $f(T)$ を式 (3) の重み関数として用いると

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = Rf(T) \left(\frac{r}{r_0} - 1 \right) r \\ T = T(t) \end{cases} \quad (4)$$

が得られる。式 (5) により概日リズムや実験室の空気調節など、温度の時間変化を表現できる。本稿では温度の時間変化は考えず、一定の温度下での飼育についてのみ述べる。

餌の効果 成長速度は利用可能な資源量の増加とともに増加を示すことが知られている。複数の資源が関与する場合、各々の資源は (1) 必須 (2) 完全に代替可能 (3) 相補的 (4) 拮抗的 (5) 阻害という 5 つの性質の内 1 つを持つことが想定される [9][10, p.149].

餌のタンパク質含有率を 5%, 15%, 30%, 40%, 50% に分けたそれぞれのケージで幼虫期から成虫期までコオロギ飼育を行った研究では、30% までは最終体重が増加し成長日数が減少した。一方で 40%, 50% と増えるにつれ最終体重が減少し成長日数も増加を示す傾向が見られた [11]. この実験から

1. タンパク質含有率 $\approx 30\%$ で成長速度最大
2. 餌内タンパク質は必須または他の資源と相補的であることが分かる。

この 2 の根拠を以下に簡単に述べる。生物は採餌行動の中で様々な栄養素を体内に取り込んでいる。先に述べたように、その栄養素の中には成長に不可欠なものや他の栄養素と完全に代替可能なものなどがあり、幾つかの特性をもった資源にわけられる。

ここで、タンパク質含有率を P_r としタンパク質ではないある栄養素の含有率を N とする。全てのタンパク質以外の栄養素が資源単位重さあたりに α の割合で含まれるとき式 (6) がいえる。

$$N = \alpha(1 - P_r) \quad (6)$$

P_r と N が必須または相補的であった場合、成長率は Fig.(4)(5) 面上での式 (6) の軌跡に等しいので上に凸型の関数として表される。

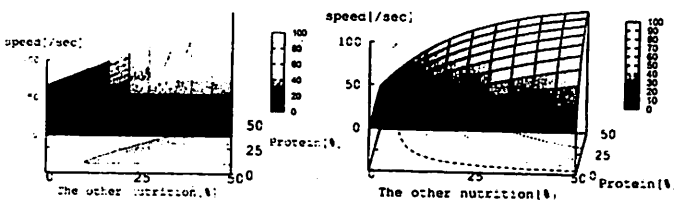


Fig.4 相補的關係
同色：等値線 (アイソクライン)

Fig.5 必須關係

Tilman によるとこれ以外の資源関係の場合上に凸型の関数となることはなく、このことからコオロギはタンパク質以外に相補的または必要な栄養素を成長に用いていることがわかる。また、この極大となるときの P_r を P_{r0} と設定する。

この上凸関数を正確に導出するには相補的關係、必須關係の判別およびその栄養素の相関係数が必要であるが、単純のため本稿では上に凸型の正規分布関数 $g(P_r)$ で代替する。以上の考察から式 (5) は式 (7)(8) と出来る。

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = RG_0(T, P_r) \left(\frac{r}{r_0} - 1 \right) r \\ P = P(t) \end{cases} \quad (7)$$

$$P = P(t) \quad (8)$$

式 (8) で混み合い効果など個体数の増減に伴う餌密度の時間変化を表すことが可能だが、本稿では時間変化は考えない。式 (7) $G_0(T, P_r) = f(T)g(P_r)$ の左辺 $G_0(T, P_r)$ は 2 次元正規分布であり次式 (9) で表される。

$$\begin{aligned} G_0(T, P_r, \sigma_T, \sigma_{P_r}) &= \frac{1}{2\pi\sigma_T\sigma_{P_r}\sqrt{1-\rho^2}} \\ &\exp \left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(T-T_0)^2}{\sigma_T^2} + \frac{(P_r-P_{r0})^2}{\sigma_{P_r}^2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{2\rho(T-T_0)(P_r-P_{r0})}{\sigma_T\sigma_{P_r}} \right] \right] \quad (9) \end{aligned}$$

ここで ρ は T, P_r の母共分散であり、今回 T と P_r に相関が無いとみなすと $\rho = 0$ である。また以下では G_0 型の重み関数として G を使用し、その限りでは $\frac{1}{2\pi\sigma_T\sigma_{P_r}} = 1$ とする。

2.3 積算温度効果

本節では成長率 r に対する温度の効果を考察する。

式 (7) を温度、タンパク質含有率が時間変化しない条件の下で解くと下式 (10) になる。

$$\left\{ \begin{array}{l} r = \frac{r_0}{1 + \exp(GR(t - \tau_0))} \\ \tau_0 = \frac{1}{GR} \ln \left(\frac{r_0}{r_0 - r_A} - 1 \right) \end{array} \right. \quad (10)$$

τ_0 は孵化から成虫になるまでに要する日数の $\frac{1}{2}$ である。 r の上限値 r_0 は卵として産まれた時点での潜在的な成長率であり、産卵時の親の栄養状態に依存すると考えられる。本稿では親の状態は一定とし $r_0 = \text{const.}$ とする。 r_A は $t=0$ における r なので、 $r_A = r(0)$ である。

生物の代謝速度は最適温度域内であれば、温度の上昇に対して指数関数的に増大することが多い。これを積算温度効果と呼び、温度が 10[K] 上昇する毎に Q_{10} 倍の成長速度となることが知られている。化学反応の反応速度が同様の指数関数的性質を持つことから、この効果の要因は化学反応であると考えられている。

Merkel らの研究で *G.bimaculatus* における温度および餌内タンパク質含有率と Q_{10} 値の関係が得られており今回はそれを fitting し使用した (Fig.6)。

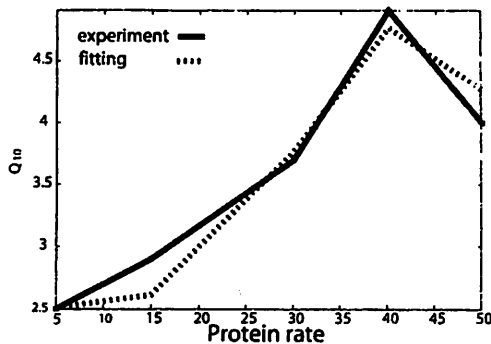


Fig.6 [G.Merkel,1974] 改変
実線: Merkel の Q_{10} 値 点線: 式 12 による Fitting

ここで Fitting は式 (12) である。

$$Q_{10} = 2.3 + 2.3 \exp \left(- \frac{(P - 42)^2}{(2 \cdot 14^2)} \right) \quad (12)$$

温度 T における反応速度を $k(T)$ とすると Q_{10} 値の定義は式 (13) であり、この式を解くと式 (14) となる。

$$Q_{10} = \frac{k(T + 10)}{k(T)} \quad (13)$$

$$k(T) = k_0 Q_{10}^{T/10} \quad (14)$$

また成長日数 $2\tau_0$ は定義から式 (15) の関係を有する。

$$\tau_0 = \frac{100}{2Q_{10}^{1/10}} \quad (15)$$

この式は生態学で用いられる式であり、 $k(T)$ が温度の上昇に対して線型で近似される狭い温度域で成り立つ。

ここで式 (11) と式 (15) を比較し、かつ $T = 23[^\circ\text{C}]$ で $k(T) \approx 1$ であることを加味し

$$GR \frac{1}{\ln \left(\frac{r_A}{r_0 - r_A} \right)} = \frac{1}{50} Q_{10}^{\frac{T-23}{10}} \quad (16)$$

である [11]。ここから P_r に関して確かに正規分布様の形をしていることがわかる。また、本稿で議論する温度域は $23[^\circ\text{C}] \sim 37[^\circ\text{C}]$ であり、水分の過蒸散やタンパク質の変性などは考慮しなくてよい温度域と考えられるので、温度 T の上昇に対して $T/10$ を指数とした発展で適当とみなす。そこで本節で使用した G を式 (17) と修正する。

$$G = Q_0 Q_{10}^{\frac{T-23}{10}} \quad (17)$$

3. パラメータ推定

体重の微分方程式解 これまでの r に関する議論と式 (1)(3) から微分方程式を解くと、体重の時間発展は式 (18) となる。

$$m = m_0 \left(\frac{1 + \exp(GR\tau_0)}{1 + \exp(GR(\tau_0 - t))} \right)^{\alpha r_0 / GR} \quad (18)$$

式 (18) は

$$\lim_{t \rightarrow \infty} m(t) = m_0 \left(1 + \exp(GR\tau_0) \right)^{\alpha r_0 / GR} \quad (19)$$

に収束する。 r_0 , R , m_0 は全ての個体に共通な定数である。

以下では $\alpha(T, P_r)$ がどのような関数をしているかを考察する。

3.1 $\alpha(T, P_r)$ の考察

式 (19) は式 (20) として一般化できる。

$$z = \left(1 + \exp(x) \right)^{f(x,y)} \quad (20)$$

以下で x , y の性質に関して簡単に説明する。

式 (11) から $GR\tau_0 = \ln \left(\frac{r_A}{r_0 - r_A} \right)$ がいえる。孵化前期間には餌資源効果に関与しないため、 r_A は変数を持つとすれば T のみである。 T を高くすると積算温度効果により孵化前期間が短くなり、同時に r_A が変動すると考えられるが本稿では r_A を定数として取り扱う。一方、式 (19) の指数 ($\alpha r_0 / GR$) は P_r を変数に持ちえることは自明である。そこで P_r のみを変数にもつ関数 y を用意することで、二変数汎関数として指数部分が $f(x,y)$ と表記できる。まず $f(x,y)$ がどのような形をしているか考察を行う。

最終体重と成長率の関係は Merkel によると Fig.7 のようになる。

式 (20) の底は T の増加について不変なので、Fig.7 の性質から $f(x,y)$ は T の増加に対し単調減少をする関数である。また式 (20) の底は P_r を変数に持たないので、 P_r の増加に対して $f(x,y)$ は単調増加を経て単調減少に転じるような関数でなければならない。

$$f(x,y) = \frac{r_0 \alpha}{RG(T, P_r)}$$

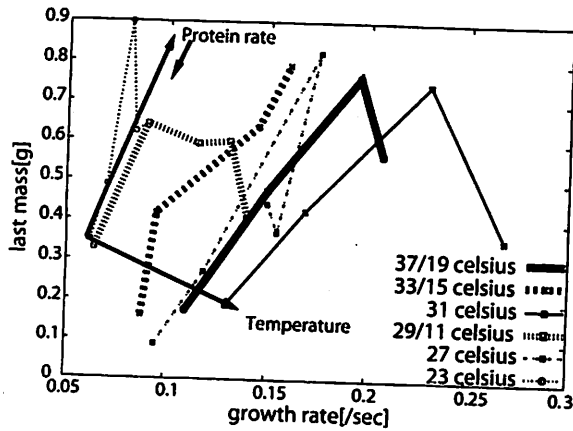


Fig.7 Temperature →大で m が減少
Protein rate →大で m が増加 → 減少
[G.Merkel,1974] 変更.

において $G(T, P_r)$ は P_r について正規分布関数であり, T について単調増加であるため $\frac{1}{G(T, P_r)}$ は P_r の増加に対し単調減少を経て単調増加に転じ T の増加に対し単調減少を示す. さて, 前章までの考察から α が T, P_r を変数に持つ関数として設定することは適切であり,

$$\alpha = G_0(T, P_r, \sigma_{T\alpha}, \sigma_{P_r\alpha}) \quad (21)$$

とすることは妥当であろう. $\frac{\partial \alpha}{\partial T} = 0$ になる場合は, $\sigma_{T\alpha} = \infty$ として説明できる. 本節における $f(x, y)$ の定性的な議論から以下のことが確認できる.

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \frac{r_0 G_0(T, P_r, \sigma_{T\alpha}, \sigma_{P_r\alpha})}{R G(T, P_r, \sigma_{T\alpha}, \sigma_{P_r\alpha})} \\ &= \frac{r_0}{RQ_0} \left[-2.3 \left[\exp \left(\frac{10(\sigma_{P_r\alpha}^2 - \sigma_{P_r,R}^2)(P - P_{r0})^2}{T \cdot 2\sigma_{P_r\alpha}^2 \sigma_{P_r,R}^2} \right) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \exp \left(\frac{(\sigma_{P_r\alpha}^2 - \sigma_{P_r,R}^2)(P - P_{r0})^2}{2\sigma_{P_r\alpha}^2 \sigma_{P_r,R}^2} \left(\frac{10}{T} - 1 \right) \right) \right] \right]^{\frac{T}{10}} \\ &\quad \cdot \exp \left(\frac{(T - T_{a0})^2}{2\sigma_{T\alpha}^2} \right) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\sigma_{P_r\alpha}^2 - \sigma_{P_r,R}^2 > 0 \quad (23)$$

以上の式の T, P_r に対する応答はグラフ化すると Fig.8 のようになる.

本モデルを定量的に評価する為, 次節で係数の決定を行う.

3.2 係数決定

$m(0) = m_0$ は, 卵から孵化した瞬間の体重として与えられる. 卵の平均重量は約 $m_0 = 0.7 \times 10^{-3}$ [g] である [11].

P_{r0} は Q_{10} 値のデータを式 (12) で fitting する際に用いた値 $P_{r0} = 42$ [%] を使用する. $\sigma_{P_r,R}$ についても同様に $\sigma_{P_r,R} = 14$ [%] を用いる. $GR\tau_0$ は Merkel の研究から算出すると 4.5~7.0 程度であった. 本稿では 6.0 を用いる.

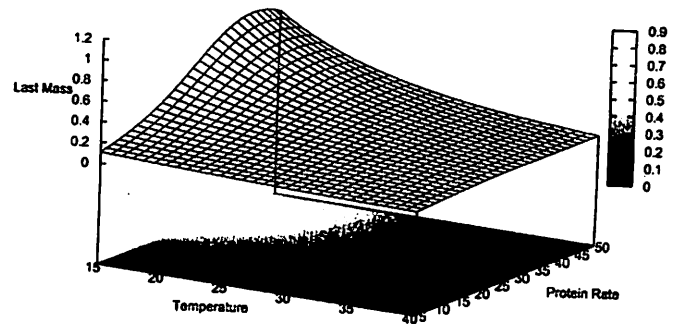


Fig.8 y axis:Protein rate x axis:Temperature
z axis>Last Size

残る $\sigma_{P_r\alpha}, \sigma_{T\alpha}, R, Q_0$ は導出が困難であるため, 実データからの分散 < 0.03 [g] となるように残りの係数を導出した. 結果, $\frac{r_0}{RQ_0} = 1.32, \sigma_{P_r\alpha} = 40, P_{r0} = 35$ [%], でよく fitting されている (Fig.9).

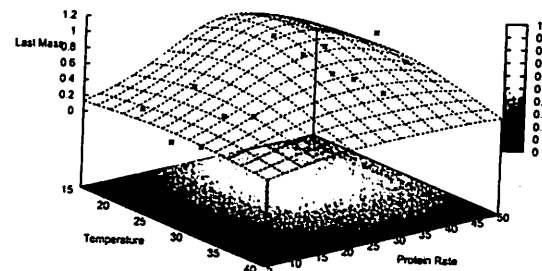


Fig.9 離散点:実データ [Merkel]

4. 評価

4.1 評価

前節の係数決定では幾つかの仮定に基づいた決定であった. そのためか, $P_r = 40$ [%] 付近で実験データとのずれが見られた. 本節では α と G 間の平均値について $P_{r0} \neq P_{r0\alpha}$ という条件を許し, 最小二乗法を用いて再度 fitting を行った (Fig.10,11).

この操作で $P_{r0} = 45$ [%] $P_{r0\alpha} = 32$ [%] となった. またこれにより, $P_r = 40$ [%] 付近についてもよく一致し, 20°C, 30 [%] で最大体重を取ることが示された.

4.2 考察

Merkel の行った実験 [11] に基づき最小二乗法で評価を行った結果, 温度の上昇に対し最終体重が減少すること, タンパク質含有率の増加に対し最終体重が増加することの2点についてモデル式で定量的によく表現できた.

一方, $P_{r0} \neq P_{r0\alpha}$ という条件は体内物質の反応速度を表現する RG と体長の成長速度を表現する $r\alpha$ が異なる平均値を持つことを示している. 低い温度, つまり体内の反応速度が遅い方がサイズが大きくなる

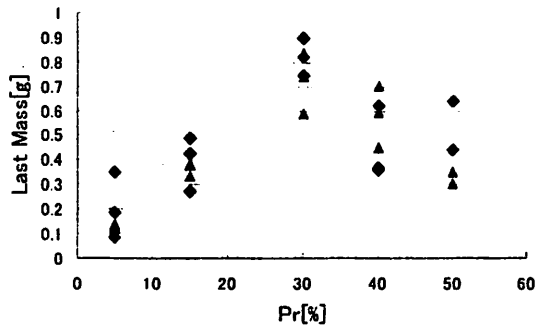


Fig.10 P_r 対 M , ◆:実データ [Merkel], ▲:計算値

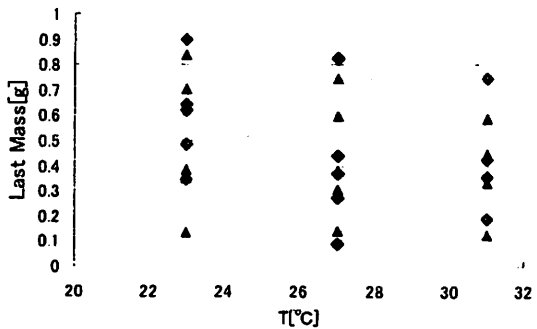


Fig.11 T 対 M , ◆:実データ [Merkel], ▲:計算値

という結果は、コオロギが冷暗所を好むことと関係があるであろう。

更に Iba らの研究 [3] で設定された実験条件を用い計算を行ったところ $M = 0.02[g]$ となり、本モデルによる予測と実験データとは大きく異なることがわかった。しかし、他個体との接触頻度の違いに体重を増減する作用が存在する、と簡単に結論することは出来ない。なぜなら集団飼育の場合、競争が存在するため個体数が減少方向に時間発展し餌密度が徐々に上昇すると考えられ、一方で隔離飼育は成長過程で常に採餌に最高のパフォーマンスを期待できると考えられるからである。

これらの考察から、 k 値と呼ばれる集団の死亡率について加味した上で評価を行うことが望ましいといえる。 k 値に関しては Hassel の方法に基づいて Simmons により *G.bimaculatus* で与えられている [12]。

以上の誤差の補正を行うことで、モデル式の極大値が変動することが予見される。

5. まとめと展望

本研究では代謝速度、積算温度、資源の特性など生態学的概念を基にコオロギ1個体の成長を微分方程式モデルから見積もり、過去の研究との比較評価を行った。また特殊な環境で飼育することで体重及び攻撃性が増加することで知られている Internet Cricket についてその特殊な環境が採餌効率に影響し、体重が重くなる可能性を考察した。

今後の展望として、 k 値の導入、OA 量と Corpora Allata 内 JH 量の相関を導入し、代謝効果を更に下位

層からモデル化することが重要と考えられる。またその議論から、Internet Cricket の攻撃性の高さが他個体との接触頻度の低下とどのような因果関係をもっているか、また神経修飾物質やホルモン物質の変化が攻撃性に対してどのような影響を与えているのかについて考察し、5-HT 欠乏症理解への一助としたい。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現—移動知の構成論的理解—」によって行われた。ここに謝意を表す。

また、本研究に対して数々の助言を頂いた東京大学の太田順准教授、理化学研究所川端邦明氏と東京工業大学の倉林大輔准教授に対し謝意を表す。

最後にデータを参照させて頂いた金沢工業大学の長尾隆司教授に謝意を表す。

- [1] Edward O.Wilson;Sociobiology: 社会生物学, 新思索社 (1999).
- [2] 国立教育政策研究所:「突発性攻撃的行動及び衝動」を示す子どもの発達過程に関する研究
- [3] M. Iba, T. Nagao and A. Urano:Effects of population density on growth, behavior and levels of biogenic amines in the cricket, *Gryllus bimaculatus*. Zool. Sci. 12 695-702 (1995).
- [4] T.Yamaguchi, et.al.: “もうひとつの脳 微小脳の研究入門” 培風館 (2005).
- [5] S,Ueda.,et al.:Hypothalamic aggression area under serotonergic control in mouse-killing behaviour of rats. International Journal of Neuropsychopharmacology (1999): 2, 255 ± 261.
- [6] Popova NK,et al:Evidence for the involvement of central serotonin in mechanism of domestication of silver foxes. Pharmacology, Biochemistry and Behavior (1991),40, 751 ± 756.
- [7] S. Yamawaki: Current topics of neuroscience research on depression. The Japanese Association of Medical Sciences,the 129th Symposium (2005).
- [8] K. Sakamoto:Premorbid personality of mood disorder. The Japanese Association of Medical Sciences,the 129th Symposium (2005).
- [9] Tilman,D.:Resources, competition and Community Structure. Princeton University Press,Princeton,N.J. (1982).
- [10] Regon,M.,et al., 堀道雄 監訳:生態学 個体・個体群・群集の科学 [原著第三版], 京都大学学術出版会 (2005).
- [11] Merkel,G.:The Effects of Temperature and Food Quality on the Larval Development of *Gryllus bimaculatus* (Orthoptera, Gryllidae), Oecologia (Berl.) 30, 129-140 (1977).
- [12] L.W.Simmons:Competition Between Larvae of the Field Cricket,*Gryllus bimaculatus*(Orthoptera:Gryllidae) and its Effects on Some Life-History Components of Fitness The Journal of Animal Exology,Vol.56,No.3. (1987),pp.1015-1027.

20th SICE Symposium on Decentralized Autonomous Systems
January 24-25, 2008, Nagano

第 20 回自律分散システム・シンポジウム

資 料

期 日：2008年 1月24日 (木), 25日 (金)

会 場：信州上諏訪温泉 浜の湯 コンベンションホール



SICE®

企 画：自 律 分 散 シ ス テ ム 部 会

主 催：(社) 計 測 自 動 制 御 学 会 シ ス テ ム ・ 情 報 部 門

The Society of Instrument and Control Engineers

共 催：文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(領域番号454) 身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現 —移動知の構成論的理解—

協 賛：システム制御情報学会, 電子情報通信学会, 電気学会, 情報処理学会, 人工知能学会, 日本ロボット学会, 日本機械学会, 精密工学会, 日本神経回路学会, 日本生体医工学会, 応用物理学会, 日本生物物理学会, 化学工学会, Japan Chapter of IEEE Control Systems Society, Japan Chapter of IEEE Systems, Man, and Cybernetics

身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現に関する調査研究会