

アリの餌探索に認められる意思決定と記号化

北林伸英 (神戸大・自然)

郡司ベギオ幸夫 (神戸大・自然/理)

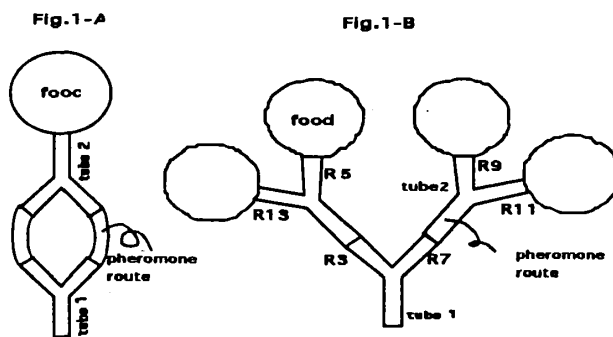
1 はじめに

自己組織化：部分の相互作用の結果、上位構造として生じる全体が下位の部分を拘束するというパラドキシカルな現象に対し、無自覚に用いられているのがこのtermである。計算機科学においてはこの現前するdownwardな拘束力は考慮されず、単に部分の相互作用の結果生じる（見かけ上の）全体の組織的行動のモデル化のみが目的となっている。社会性昆虫アリはその顕著な例として頻頻用いられ、例えばDenuborg J.L et al [1,2]らは、アリの探索行動を相空間での解分岐であると主張する。これは、モデルと実験との類似性を根拠に、アリ個体が設定したような規則によって従っており、その相互作用により組織的行動が生じることを含意し、多くはそう主張される。また、アリ集団全体の仕事の分業に関し、Maleleine & Lenoir [3]らの分業の不定さの報告を受けて、神経回路網モデルの要素間荷重とした分散処理型のシステムを適応することで乗り越えられようとする [4-6]。ここでの問題点は、次の2点である。第一に、同定された規則がメカニズムといえるか。第二に、規則の変化を別の規則によって補うか。

我々はアリの蟻道形成を題材に、情報媒体（フェロモン）の一意性を仮定する限り、逆説的に個体の意思決定を認めざるを得ず、その結果として（先行的機構としてでなく）階層構造が出現する過程を示そう。生命を記号化できたという時、そこに生命はない。あるのは複雑な模様を描くドミノ倒しだ（ただし、物でしかないドミノにすら生命を見出すことは可能である）。ここに、記号化とは決して相容れない生命とは、記述の破綻の提示をもってしか語り得ないことを知れ。

2 実験および解析方法

2-1 実験方法



我々は、フェロモンなどの情報媒体によってforaging, recruitmentなどの社会性行動をとると言われるトビイロケイアリ *Lasius niger* (Linnaeus) を用いた。内径14mmの透明なチューブと内径12mmの2又ガラス管を組み合わせた2又ルートと4分岐のルートで10%スクロースを餌に与え、foraging, recruitment とが

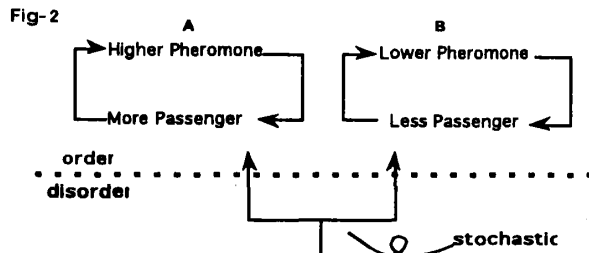
(Fig.1-A,1-B)、8mmビデオに撮影された。2又においては、どちらの道を歩いても餌を獲得するのに同一条件であることがポイントである。さらに、2又実験において蟻道が認め

られた tube1,2 を用い、Fig.1-B のようなR7-R9を組み、それをpheromone-routeとする。4分岐実験においては、餌はR3-R5の先にあるためpheromone-routeに従ってはい決して餌を得られない。

2-2 情報量の定義

事前情報

事前情報は、単位時間（1分）当たりの分岐点における左右どちらのルートを選択するかに関するシャノン情報量である。ルート1、ルート2の個体数を N_1, N_2 、 $N_1 + N_2 = N$ (N は全個体数)とすると、 $i = (\log N! - \log N_1! - \log N_2!) / 2 - \log N!$ と書ける。 i はルートの



の選択が左右同程度であれば1を、一方のルートのみを選択（蟻道が固定）であれば0をとる。また通過個体が無いときは1.5をとるように処理する。この事前情報はFig.2に反映されている事が肝要である。情報とは一義であり、蟻は情報媒体に従属するのみであるなら、餌が十分量ある場合、一度0になった事前情報が再び上昇する事はあり得ない。そこには、正のフィードバックがあるだけである。

情報媒体に従属するのみであるなら、餌が十分量ある場合、一度0になった事前情報が再び上昇する事はあり得ない。そこには、正のフィードバックがあるだけである。

事後情報

事後情報 I は、単位時間（1分）における通過した個体当たりの、振り返り(餌に向かって90度以上の体の反転、又は逆走)の回数であり、迷いの指標である。情報の一義性に従うなら、蟻道の固定されていない（事前情報の大きい）時には事後情報も大きく、蟻道固定時（事前情報0）には事後情報も0であると予測できる。

(単位時間に通過した全個体の振り返り回数)=(道の正当性を得るまでの試行回数)= R

$$I = R$$

$$i = I / N$$

このグラフでは値が低いほどルートが固定し、1に近いほど両方のルートを同程度に通ることを意味する。また、どちらのルートも通る個体がいなときは1.5となるように処理した。

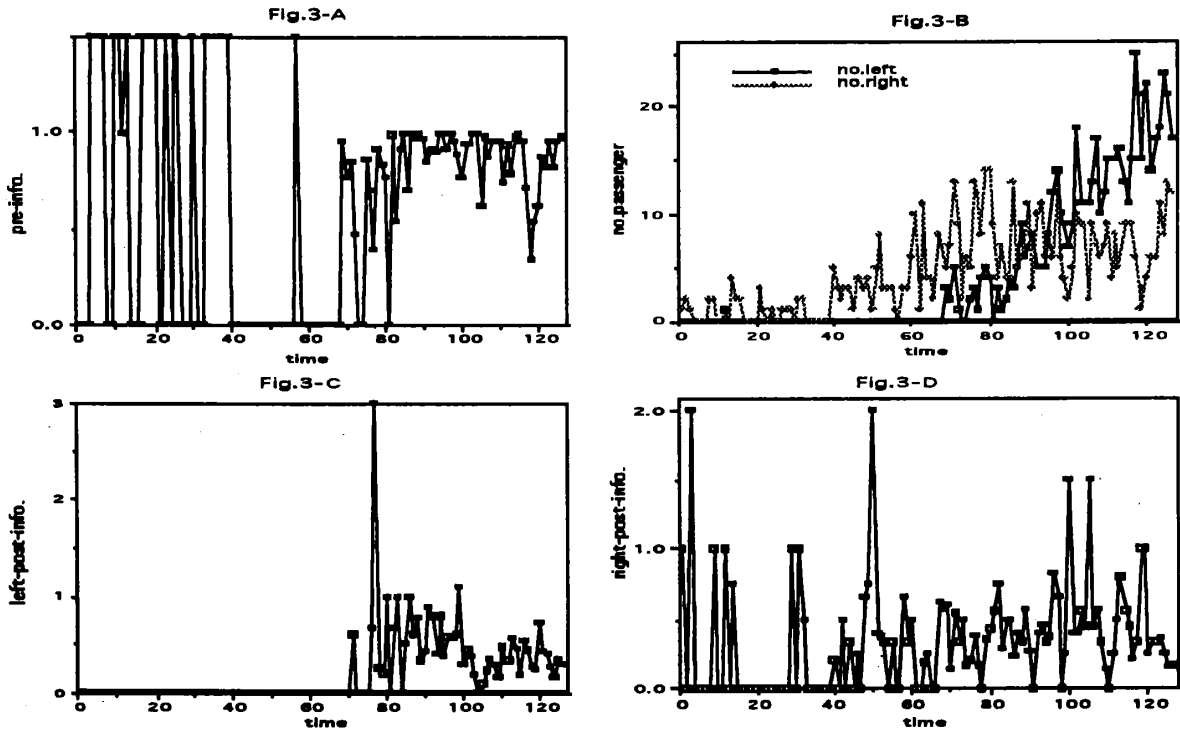
フェロモン従属度

$t-10$ から t 時の個体数の総和を単位時間当たりに平均し、それを t 時におけるルートが持つ情報媒体；フェロモン濃度とし、それを横軸とする。縦軸は同様に処理した事後情報を用いる。これにより、フェロモンに従属する場合はグラフは右下がりになり、これを受動態、従属しない場合は右上がりのグラフが得られ、これを能動態と呼ぶ。

3 結果

Fig.3-A, Fig.3-B, Fig.3-C, Fig.3-Dは、それぞれ2又実験においての、事前情報、左右ルートの通過個体数、左ルートの事後情報、右ルートの事後情報を表す。Fig.3-Aに

において、40分から68分まで(57分以外) 事前情報は0であり (事前情報1.5は通過個体が無し)、以降は振動する。すなわち蟻道は一方 (右ルート) に固定していたにもかかわらず、69分以降蟻道は崩れはじめ、96分以降は逆の左ルートに固定し始めることを表している。Fig.3-Bより、40分以降蟻道として固定された右ルートの通過個体数は、蟻道変更開始の69分時にも増加していることから、蟻道(右ルート) の交通量の増大に蟻道変更の原因を求めることはできない。この蟻道の変更は、Fig.2で示されるフェロモン情報の一



意性の仮定から帰結される描像に反する。しかし、蟻道の生成・消失という事前情報における矛盾に対しては、これを評価する個体の内部メカニズムを考慮して解消してやればよい。これは、ある規則の不定さに対し、それを根拠付ける下位規則の導入するという、至極当然のように用いられている解決策であり、ここでの実験結果も、フェロモン情報の一意性に依拠した個体の規則と、それを評価する規則という階層が、機構としての実在を示すかに見える。はたしてそうか？

50分または100分と105分の右-事後情報のバースト (Fig.3-D)が契機に、それぞれ58分、119分以後の右ルートの通過個体数の増加 (Fig.3-B) につながり、同様に77分の左-事後情報が82分以降の左通過個体数の増加につながると解釈できる。この限りで、

Fig.4-A

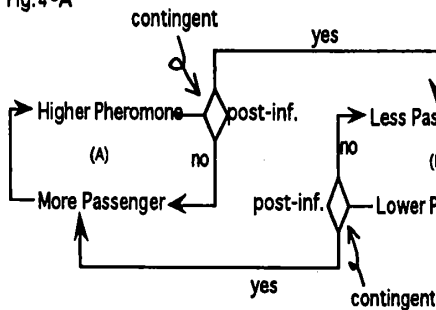


Fig.4-B

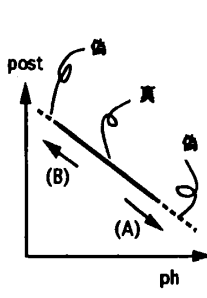


Fig.2中のループAとループB間の遷移スイッチとして事後情報が使われていると考えられる (Fig.4-A)。ここではFig.4-Bで表されるように、ループA (またはループB)のフィードバックの進行の結果、閾値を越え

ると事後情報のスイッチが働き、そのフェロモン濃度は偽と判定され、ループB (または

ループA)に移行し、受動態の相関を逆方向に進行するとの前提がある。

今、個体内部規則を考慮する事で、個体とフェロモン間の規則にあった矛盾は解消された。個体はフェロモンによって形成された蟻道には従い、同時に、蟻道の過度の固定を防ぐため、予め備わっている閾値を越えた蟻道には従わない。閾値の実在が蟻道の可塑性をもたらし、複雑に見える餌探索行動も実はFig.4-Bのような単純な機構が実在する。非常に難解な構造を持つが突き詰めれば、部分はやはり全体の構成単位に過ぎず、そこでの規則同定こそが現象の理解である、ように思える。しかし、ここで問う。得られた規則Fig.4-A,4-Bは、アリの餌探索における大域と局所を繋ぐメカニズムであると言えるか。当然のように用いられているアプローチ”規則の変化を別の規則によって補うこと”が現象の理解といえるか、と。

Fig.3-C,3-Dにそれぞれ2-2で定義したフェロモン濃度を重ねあわせ、それをそれぞれのグラフのほぼ山谷で区切り、その区間毎のフェロモン従属度をみる。すると、右ルートではFig.5上段、左ルートではFig.5下段にあるように、能動態・受動態が次々に入れ代わるという転移が認められる。能動態はFig.4-Bに反するため、この時点においてFig.4-Aをメカニズムとすることは不可となる。

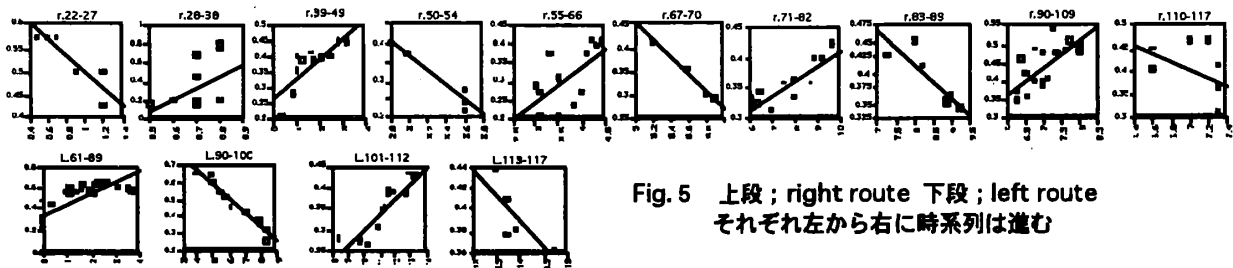


Fig. 5 上段 ; right route 下段 ; left route
それぞれ左から右に時系列は進む

これは如何なることか？ 事前情報 (Fig.2) の矛盾 I に対し、下位階層の事後情報を持ち出しうまく解消した(Fig.4-A, 4-B)。すると今度は受動態というFig.2の前提に言及する矛盾 II が生じたのである。すなわち、Fig.4-AはFig.6と書き換えられねばならない。

Fig-6

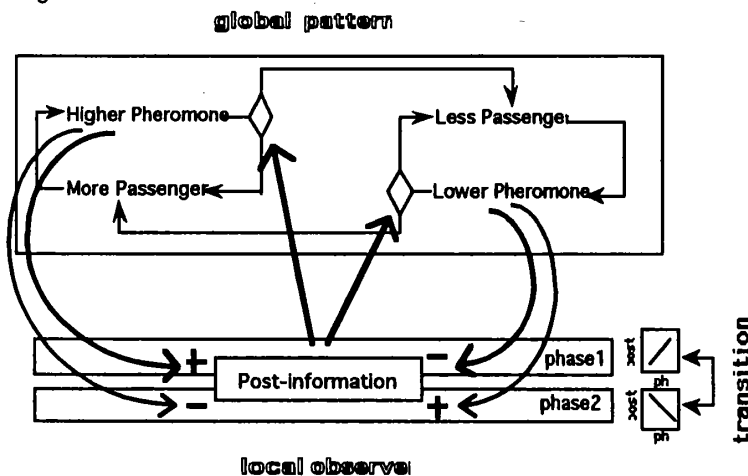


Fig. 7

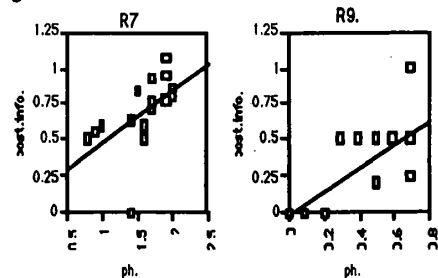


Fig. 7; 左がルート7、右がルート9
共に能動態である

矛盾 I を解消したつもりが、その論拠に関する矛盾 II を生じた。更に、あくまで論理の無矛盾性を求めるなら (この場合、phには、実は能動態と受動態の2形態があったのだとするなら)、両者間での矛盾の受け渡しは続き、その際設定される階層が次々に積み重なってゆく[8,9]。そこで記述者が目にするのは、矛盾を解消する過程で現前した階層構造であ

る。階層構造をこのように捉える時、現前する階層概念は、アプリアリな階層概念に対し、現前の任意性を備える事による、より包括的な位置付けを得ることになる。記述における矛盾は、実在との対応づけの失敗・構成の不備によるとするのは矮小に過ぎず、記述という行為に避けられず伴うものと言える。

また、フェロモン従属度が受動態であるとの前提を持つFig.4-Aにおいて、ある p_h 値が異なる事後情報値をもたらすことはない。そこでの両者の関係とはまさにメカニズムである。しかし、能動態と受動態という相転移を見せるFig.6においては、ある p_h 値が複数の事後情報値をもたらす。フェロモンという情報媒体は一義であると仮定したとしても、フェロモン従属度の相転移は、フェロモンの真/偽を判断する個体の様相として記述者に認めさせずにおかない。また、この個体の情報媒体に対する意志決定は4分岐における餌探索にも有効に働く(Fig.7)。餌の無いpheromone-routeからの撤退に能動態が現前するのだ。

自己組織化・コミュニケーション、相互作用が不確定であることから取り上げられるこれらの問題群に対し、状態確定という方法論を採るとは既に誤謬的である。これらの問題が露呈することは、状態確定・規則同定=メカニズムという現象を理解するアプローチの不備である。状態確定とは、同定された規則をメカニズムとすることであり、その根拠については無視する方法論である。この実験では、その無根拠性が示されたが、それは何も不可知論を導かない。不可知論とは状態確定に生ずる無限退行の否定的側面でしかない。そうではなく、我々はこのような提示を通して、「解る」とは、「状態が一意に決まること」とするのは余りに隘狭に過ぎず、「状態が一意に決まらないこと」を認める、ことで前者を包含するものであると知り、ここにより強力な方法論；観測志向モデル[10]の存在を垣間見る。これは単に、現在まで便宜上無視されてきた規則同定の根拠を包括するという、理論のごく自然な拡張であり、それを滞らせるものは、結局、強固な慣習の心性でしかない。

引用文献

- [1]Deneubourg J.L., Aron, S., Goss, S., Pasteel J.M. (1990) J. Ins. Behav. 3:159-168
- [2]Deneubourg J.L., Aron, S., Goss, S., Pasteel J.M., Duerinck, G. (1986) Physica D 22,176-186
- [3]Meudec, M., & Lenoir, A. (1982). Anim. Behav., 30, 284-292
- [4]Miramontes, O., Sole, R. V & Goodwin, B. C. (1993). Physica D. 63.145-160
- [5]Sole, R. V., Miramontes, O., & Goodwin, B. C. (1993) J. Theoret. Bio. 161;343-357
- [6]Gordon, D. M., Goodwin, B. C. & Trainor, L. E. H. (1992) J. Theoret. Biol. 156;293-307
- [7]Gunji, P. Y., Shinohara, S & Konno, N. (1993). Appl. Math. Comp. 55:219-253.
- [8]Gunji, P. Y., Ito, K. & Sadaoka, H. (1995). Appl. Math. Comp. (in press)
- [9]郡司ベギオ幸夫・伊東敬祐・貞岡久里 (1994) 数理科学. 368:34-38.
- [10]郡司ベギオ幸夫(連載中)「生命、そして原生-計算と存在論的観測」現代思想. 青土社