

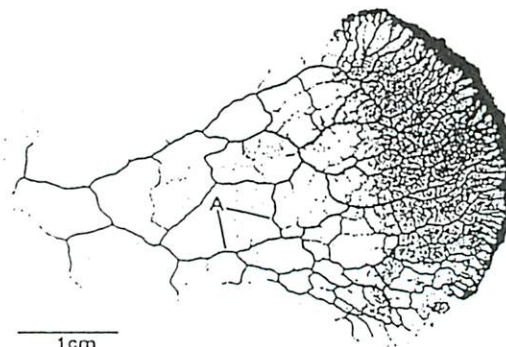
S 3 - 5

群ロボットにおける行動の自己組織化
 ---規定不可能な環境下における機能分散と相互補償---
 三宅美博 (金沢工大・情報工学)

Self-Organization of Functional Order in Multi-Robot System
 ---Function Distribution and Mutual Compensation in Unpredictable Environment---
 Yoshihiro MIYAKE (Kanazawa Inst. Tech., Dept. Information Engineering)

1 はじめに

従来の知的人工システムでは、設計者がシステムと環境を分離し、予め環境を規定することによってシステムを一義的に設計する自己完結型のシステム構築法が用いられてきた。しかしこのような方法では環境が複雑化するにつれシステムが際限なく肥大化し、さらに予め規定されない環境には対応できないという原理的問題も生じる。一方、生命システムは有限の複雑さしか持たないにも関わらず、それより遥かに複雑な外部環境の中で自律的に生きていくことができる。これは内部観測に伴うシステムの無限定性を、拘束条件の自己生成によって自己言及的に限定できることに基づいている。そして、環境とシステムの間での循環的相互作用を通して他非分離的な「場」を自己組織することで、適切な拘束条件の生成が可能になる。本研究では、生命システムの持つこのような自己不完結性に基づく開かれた知の在り方に学び「場」的制御を実現する。具体的には、規定不可能な環境下におけるマルチロボットシステムの状況依存的な機能分散とその相互補償を試みる。



Plasmodium of *P. confertum*. The plasmodium is organized into a fanlike front with a network of strands or veins in the rear. From Stiemerling (1970).

Fig.1

2 拘束条件の自己生成に基づく「場」的制御

著者は、実際の生命システムから「場」的制御の基本構造を学び、それに基づいて知的マルチロボットシステムを構築するというアプローチを試みている。そして、Fig.1に示す真正粘菌 (*Physarum*) の走化性をモデル系として、環境適応的な形態形成における細胞内コミュニケーション機構の解明からスタートした。その結果、この生物は表現の多義性を内包する無限定型サブシステムの集団から構成され、その無限定性が細胞内化学リズムの相互引き込みを通して限定されることが実験的に明らかになった。そのとき個々のサブシステムの表現、たとえば頭や尾という分化は、外部環境および他のサブシステムとの相互関係に基づいて規定された。そして、それらサブシステムが相互に多様化し協調的に機能分散することで、個体としての機能表現である環境適応的な形態が形成されることが示された。しかも、複雑な環境変化やシステム自身の切断や増殖など予め規定できない変化に対しても、サブシステム間で状況に応じて機能分散や相互補償される現象が観察された。

システムの情報の構造はFig.2のようにまとめられる。そこでは、個々のサブシステムは感覚-運動レイヤー (S層) と、それに拘束をかけるコンテクストレイヤー (C層) という2階層から構成される。S層は表現の無限定性を内包し、C層はS層における無限定性を限定するための拘束条件を生成する。このとき重要なことは、C層に対しても感覚情報が入力されること、さらにリズムの性質をもつC層のあいだでの相互引き込みを通してコミュニケーション場が形成されること、そして、そこにおいて感覚情報としての振動数変調から拘束条件としての空間的位相勾配系 (位相の空間微分) が自己組織され、各サブシステムの相対的位置関係および環境との関係が表現されること、このような拘束条件を自己言及的にS層へ戻すことで無限定性が限定され、システムの機能表現が確定されることである。

3 グループ編成モデル

3-1 構成

最初に、最も簡単な「場」的制御として、ロボット間でのみ開かれているマルチロボットシステムを考える。具体的には、一定環境下での隊列歩行において、その中での相対位置に応じてグループ編成をさせるといった形の機能表現を実現する。

まず、個々のサブシステムにおけるS層として用いたのは、我々の研究グループの多賀によって提案された2足歩行モデルである。

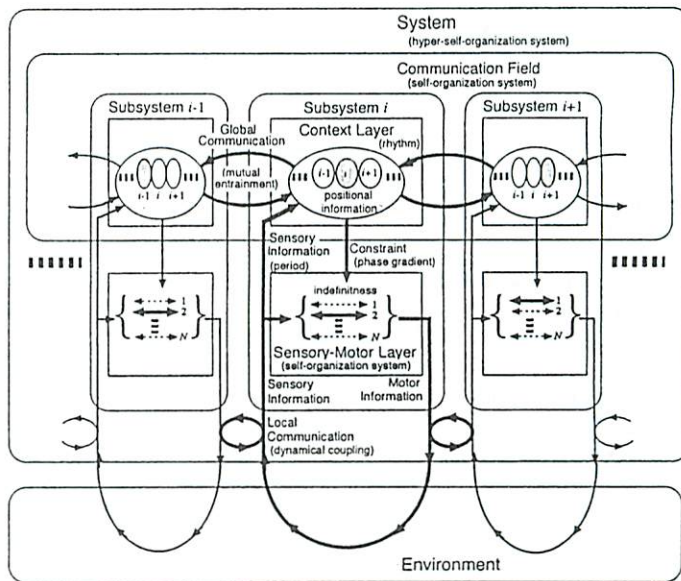


Fig.2

それは、神経系と筋骨格系の間での循環的相互作用を通して多義的な歩行パターンを生成できる自己組織システムであり、拘束条件としての神経系への定常入力に依存して歩行パターンが限定される。そしてこれを要素として1次元マルチロボット系を構成する。一方、コミュニケーション場を構成するC層として用いたのは、個々のロボットの歩行リズムとそれら間での相互引き込みである。人と並んで歩くときに無意識のうちに歩行リズムが同調した経験を持つ人は多いと思われるが、それに対応した現象である。具体的には、個々のロボットの足の接地タイミングを信号として隣接ロボットの神経系に入力した。なお、本モデルは、上記ロボットに限定されず無限定性を内包する自己組織系であれば広く応用可能である。

3-2 結果

・このとき、先頭ロボットの歩行リズムに振動数変調をかけると、

Fig.3に示すように、コミュニケーション場に自己組織される位相勾配（隣接ロボット間での足の接地タイミングの時間差）は1次元隊列の先頭から末尾に対して直線的に減少する空間勾配系を生成した。この空間パターンは、個々のロボットのシステム全体の中における位置関係を示す役割を担っており、位置的な機能分散を規定する拘束条件を表現すると見做すことができる。そこで、この拘束条件に基づいて、個々のロボットの歩行パターンに歩幅の違いとして表現の多様性を生成させ、位置に応じてロボット間距離を調節しグループ編成としての機能分散を生じさせることが可能になる。

次に、規定できない変化の一例としてシステムの境界条件を急に变化させ、それに対して機能分散がどのように相互補償されるかを調べてみた。具体的には、Fig.4に示すように、3グループを形成するという目的を設定された9体のロボットにおいて、*印の3体のロボットを除去したところ、6体で3グループが再構築され相互補償が実現された。これは、拘束条件を表現する位相勾配パターンがシステムサイズ変化に対応して自発的に再生成されたからである。このような現象は除去あるいは追加するロボットの位置や数などにはいさゝか依存せず観察された。もし、このような制御を全て明示的ルールで記述したとすれば組み合わせ爆発を生じるであろう。

4 荷物運搬モデル（お神輿モデル）

4-1 構成

上記グループ編成モデルは、外部環境を一定と仮定しているため環境との関係における機能を定義できないという大きい問題がある。そこでマルチロボットシステムが荷物を運搬する問題を設定し、ロボット間だけでなく、環境としての荷物に対しても開かれているモデルを構築する。そして、荷物を運ぶというロボット全体としての機能表現のもとで、個々のロボットの表現の多様性を評価する。

個々のサブシステムのS層として用いたのは、上記モデルと同じである。一方、コミュニケーション場を構成するC層として用いたのは、非線形リズムとそれらの中での相互引き込みであり、歩行リズムとは異なるリズムである。具体的には、個々のロボットにおける荷物の上下揺れ幅を感覚情報としてC層に振動数変調の形で入力した。このとき、コミュニケーション場に自己組織される位相勾配は、マルチロボットと荷物から生成される運動の重心に対する各ロボットの位置関係に対応した。そこで、これが拘束条件を表現すると見做し、個々のロボットが位置に応じて歩行パターンの違いとして多様化し機能分散する。今回は、歩行リズムの固有振動数の違いとして多様性を生成した。

4-2 結果

本モデルの運動の様子をFig.5に示す。*印より前の時間帯ではC層からの拘束条件に従って、ロボット間で歩行振動数の空間勾配を形成し多様化している。ただしS層でのローカルな相互作用を通してみかけ上の振動数は同調し、その結果生じた位相ずれによって荷物が前後に揺れながら担がれている。*印以降は拘束条件からの限定を取り除き、歩行リズムの振動数を均質化した。そうすると先のような柔軟な担ぎ方ができなくなり倒れてしまった。このことは、個々のロボットが積極的に表現を多様化することによって協調的機能分散を進め、システム全体としての統合された機能表現を生成できることを示している。なお、このシステムにおける相互補償性の問題に関しては現在計算中である。

5 まとめ

本研究では生命的知能の特徴を「場」に求め、それを可能にする開かれた知的マルチロボットシステムの構築を試みた。グループ編成モデルではロボット間が、荷物運搬モデルではロボット間および環境との間が開かれた関係として構築され、状況に応じた機能分散とその相互補償性の実現が試みられた。

参考文献

- [1] Y. Miyake, G. Taga, Y. Ohto, Y. Yamaguchi and H. Shimizu (1994), Mutual-entrainment-based communication field in distributed autonomous robotic system. In: *Distributed autonomous robotic systems* (Asama H., eds). Springer-Verlag, pp.310-321.
- [2] Y. Miyake, S. Tabata, H. Murakami, M. Yano and H. Shimizu (1995), Environment-dependent self-organization of positional information field in chemotaxis of *Physarum* plasmodium. *J. Theor. Biol.* (in press)

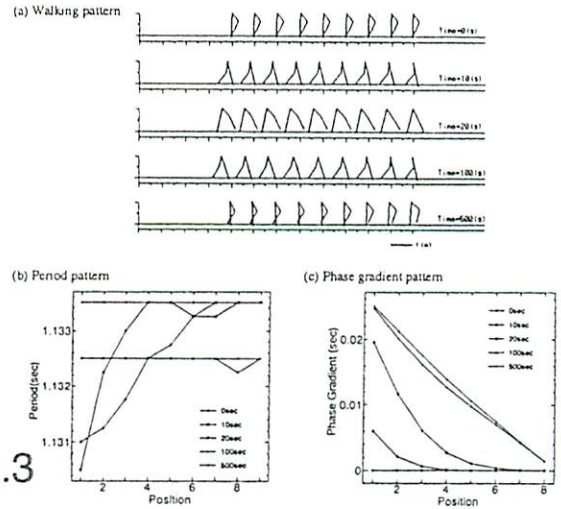


Fig.3

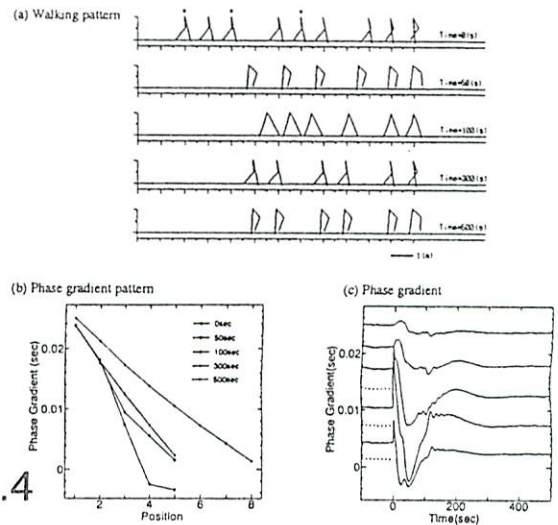


Fig.4

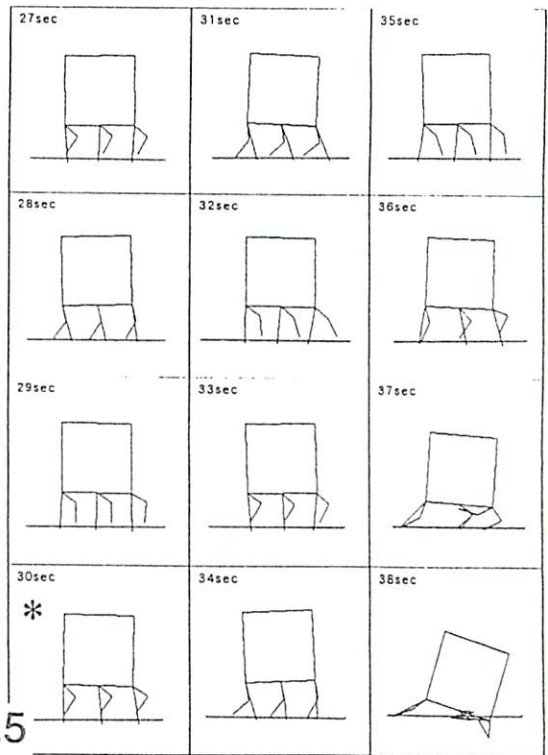


Fig.5