3O1030

粘菌変形体の低温誘導フラグメント化：記憶効果とモルフォゲンとしてのフィトクローム

○鈴木 宏一、斉藤 健太、上田 哲男（北大・電子研）

粘菌変形体は、巨大な多核細胞体である。良い生育状況では、核分裂は細胞質分裂を伴わず、際限なく巨大化する。ところが、変形体を低温下あるいは光照射下におくと、刺激後約5時間後に、約8個の核を持つ球状の微小変形体に分裂する。光誘導の作用スペクトルは、遠赤外、青色、UVA 領域にピークがある。赤色光は遠赤外誘導を可逆的に阻害すること、約1時間の誘導期間があること、細胞抽出物の赤色／遠赤色光照射による差吸収スペクトル変化がフラグメント化の誘導／阻害の作用スペクトルと一致することなどから、フィトクロームが光受容体の1つであると結論される。今回は、フィトクロームの別の機能を見出した。

1. 低温誘導の光制御：

実験低温刺激をいつ止めてもフラグメント化は起きない（誘導期間は認められない）。しかし、再度刺激すると、今度は早く、かつ最初と再度の刺激時間がちょうど5時間となる時刻でフラグメント化する。この記憶効果は、中断時の温度が高いとより早く、また中断の時間に対し指数関数的に減少した。遠赤色光照射は、この減少分を回復させた。赤色光により低温誘導フラグメント化は阻害され、遠赤色光により可逆的に回復した。

2. モルフォゲン＝フィトクローム仮説：

上の実験は、以下のモデルで説明される。低温刺激により形態形成因子Mが生成され、Mは熱的に不活性型M'に変わる。遠赤色光はM'をMに、赤色光はMをM'に可逆的に変換する。つまりMは、フィトクロームPr型で、M'はPfr型である。フィトクロームは、光受容体としてだけでなく、形態形成因子としても機能していると考えられる。

K. Suzuki, K. Saitou, T. Ueda : Low temperature-induced fragmentation in the true slime mold *Physarum polycephalum*: Memory effect and phytochrome as morphogen

3O1100

粘菌による論理回路の構築とその創発的解決

○津田 宗一郎¹、郡司 幸夫^{1,2}（¹ 神戸大院・自然科学・地球惑星、² 神戸大院・情報数理・情報メディア）

変化を創発と”意味”づけることさえ可能な脳を、計算機と仮定し、モジュール同士が結合された巨大なネットワーク構造を想定すると、表象の問題やフレーム問題といったパラドクスが生じ、”意味”を扱うことが困難になってしまう。しかし、我々は上のような問題に対し、パラドクスを解消しようとする立場ではなく、「パラドクスにさらされながらも進行する計算」というアプローチを提案する。これらのパラドクスはいずれも相互作用を形式化する際に発生するものであり、形式化がある種の冗長性＝融通性を排除している点に起因する。そこで我々は逆に不定な相互作用を積極的に利用する視点に立ち、これを実現させる不定なインターフェース（＝生物）を計算と計算環境の媒介者として使うアプローチを提案する。具体的には「世界の中で生物が生きてゆく」という状況を計算機の中に組み込み、その挙動を解析した。「生きている計算」という計算像を考えてゆくための第一歩として以下のような実験を行った。 真性粘菌（*Physarum Polycephalum*）の変形体はアメーバ状の多核単細胞生物である。この生物の特徴として、化学物質に対する走性と、個体同士の忌避／融合に関する性質が挙げられる。我々は、この2つの特徴を用い、AND、OR、NOTの3種類の論理回路を構成した。実験の結果、これらの論理回路は約9割の精度で動作することが確認された。重要な点は、AND回路の一部を壊し不完全にした場合、回路を構成する粘菌の局所的振る舞いは以前と異なる（創発的）挙動が出現したにもかかわらず、しかしその出現によって回路の動作（入出力の対応）に関しては依然同様に保証されるものが見られた事である。この事は世界の中で進行してしまう計算＝頑健と創発とが不可分な計算という新たな計算像を提案している。

S.Tsuda, Y.Gunji : Construction and emergent solution of amoebic logical gate

3O1045

真正粘菌 *Physarum polycephalum* の変形体における多重周期的な変形：変形体の周期現象を支配する普遍則

○垣内 康孝¹、上田 哲男²（¹ 秋田県立大・生物資源科学・生物工学研、² 北大・電子研）

An amoeboid cell changes its shape perpetually in a complex manner during free locomotion. Its long-term dynamics were studied by quantifying cell shape of the *Physarum* plasmodia with size varying from 10 μ m to 500 μ m. The cell shape varied oscillatorily with multiple periods. The organism elongated like a strand periodically every T7 = 10 h, rounded and branched with the period T6 = 4 h, wrinkled and smoothed periodically with T5 = 30 min and occasionally with T4 = 10 min, and blew up and shrank a little uniformly periodically with T3 = 1.3 min. Tiny plasmodia changed its shape much faster with periods T3 = 1.3 min, T2 = 24 sec and T1 = 3.3 sec. Cytoskeleton in the plasmodia also showed periodical pattern formation with multiple periods of T6, T5 and T3. Periods of all the known oscillatory phenomena in this organism such as cell cycle (T7 = 10 h) and sporulation (T6 = 4.5 h) correspond to some of the periods of above seven rhythms, and the following geometric progression holds among the periods: $T_{i+1}/T_i = 7.5$ and $T_{i+2}/T_{i+1} = 2.8$ with $i = 1, 3, 5$. In this way, multiple oscillations in the plasmodium are organized globally. The implications and physical meaning of our results are discussed in relation to biological rhythms.

Y.Kakiuchi and T.Ueda : Multiple Oscillations in Changing Cell Shape by the Plasmodium of *Physarum polycephalum*: general formula governing oscillatory phenomena

3O1115

非同期オートマトンをシミュレーターとする粘菌計算機の展望

○青野 真土、郡司 ベギオー幸夫、津田 宗一郎（神戸大学・理・地球惑星科学）

人と議論するように、計算機を使うことができないか。このような計算機との付き合い方を実現するには、計算機と使用者・計算実行環境をひっくるめて一つのシステムと考える見方が必要となる。ここで想定される一つのシステムとは、個々（計算機・使用者・使用環境）を統合するOSのような中枢は存在せず、個々が独立に不完全な振る舞いをしながら、個々の間に融通性・冗長性が想定される緩い結合でつながった一つのシステムである。そのようなシステムによってこそ、議論の焦点の転換や、使用者と計算機との間の、動的な適応が実現されると期待される。計算機・使用者・計算実行環境の間に緩く不定な結合を構成するには、形式世界＝使用者が想定する理念的計算と、現実世界＝「計算実行環境と分離できない物理系としての計算機」との間に、両者をつなぎながら、その結合に関して不定さを許すインターフェースを積極的に用いる必要がある。我々が想定した、不定なインターフェースは生物・真性粘菌である。実際真性粘菌の培地勾配に関する走性と、個体接触の忌避・融合に関する優先順位から、粘菌を用いた論理ゲートを構成できる（津田・郡司の講演）が、粘菌計算機で展望されるのは、使用者の意図と個体として生きている粘菌とのずれである。この意味を展望するために、粘菌論理ゲートを非同期セルオートマトンでシミュレートした。真性粘菌の走性・個体接触の忌避・融合に関する優先順位は、現実にも変化し得るため、これを局所計算の非同期性と全体との辻褄併せによって実行し、優先順位の変化に伴う論理ゲートの挙動の変化をシミュレートするのがここでの目的である。その結果、ゲートの作動原理が変化しながら作動そのものは変化しない頑健性や、作動そのものが全体として動的に変化する場合が認められ、新たな計算原理が構成できる可能性を展望できる

M.Aono and Y.P. Gunji : Perspective of slime-computing viewed from the simulator of asynchronous automata