

Homologous network formation of *Physarum polycephalum* driven by the local-global interaction in a cell

白川 智弘¹ 郡司ペギオ幸夫^{1,2}

¹神戸大学大学院自然科学研究科地球惑星システム科学専攻

²神戸大学理学部地球惑星科学科

Introduction

生物は細胞、組織、器官といったような、階層的な構造を持っている。一つの階層は上の階層の要素（部分）として振る舞い、上の階層は要素が働くための場（全体）を与える。その一つの例が community effect である：組織中の細胞の分化は組織中に存在する細胞の数と種類に影響を受ける。もう一つの例が synaptic scaling である：ニューラルネットワーク全体の発火率が、個々のシナプスの挙動に影響を与える。このように、生物においては部分—全体の相互作用が重要な役割を担っており、部分—全体の相互作用を考えると生命システムの特徴的な挙動と性質を明らかにする上で重要である。生物における部分と全体の相互作用について、数々の理論的研究がなされ、多くのモデルが提案されてきた。しかしながら、部分と全体を同時に観察することの原理的な難しさにより、実験的な研究は、現在に至るまでほとんど行われていない。真性粘菌の変形体は単細胞多核のアメーバであり、条件が良ければ数メートルに及びまで成長する。これは非常に大きな単細胞であるため、局所的な挙動を観察しつつ、同時に全体としての運動を観察することができる。変形体には栄養源の間を最短距離で結ぼうとする性質があり、この性質を利用して複数の栄養源間を結ぶ能力の良いネットワークを形成させることができる。直径 2 cm のサークルの中で、3つの栄養源を結ぶネットワークを形成させたのが、Fig. 1 である。今回の実験では、このサークル2つを細いバネで繋いでネットワーク形成を行わせることにより、サークル内部でのネットワークの最適解は変わらないが、全体の状態だけが異なるという状況を作り出し、全体の状態が局所的なネットワーク形成にどのような影響を与えるかを調べた。

Materials & Methods

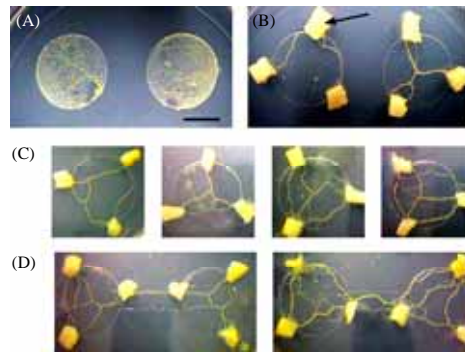


Fig. 1 Plasmodium network.

(A) 1.5 % agar gel 上に、2 cm のサークルを繰り返し抜いたプラスチックフィルムを乗せ、その中に変形体を均等に広げさせた。変形体が十分に広がった後、三角形に配置した餌を与えた。(B) (A) の 20 時間後、MST, SMT 型のネットワーク (Fig. 2 参照) が形成されている。(C) その他のネットワークの例。左から DTN, SMT+1, SMT+2, SMT+3 型のネットワークが形成されている。(D) 2 つの結合したネットワーク。(Bar: 1 cm)

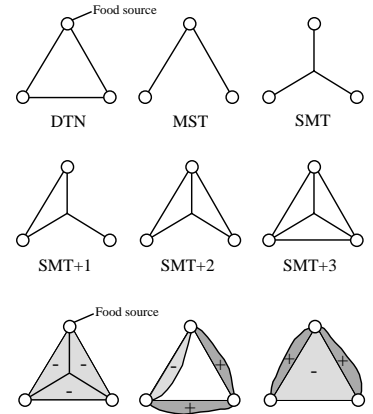


Fig. 2 ネットワークの評価。

Plasmodium network のネットワークとしての性質を、shape, centrality (CI), total length (TL), fault tolerance (FT) の 5 つのファクターによって評価した。3 つの栄養源を結ぶネットワークの形状は、マイナーな分岐を無視してトポロジーだけを見ると、6 種類に分類することができる。また、ネットワークが覆う面積を測定することによって、ネットワークの広がり方を評価した (CI)。さらにネットワークの全長 (TL) 及び切断に対する頑健性 (FT) を測定した。これら 5 つの値の全てについて、その差が最大値の 2.5 % 以内にある 2 つのネットワークを異なるネットワークであると評価した。

Results

Single

Connected

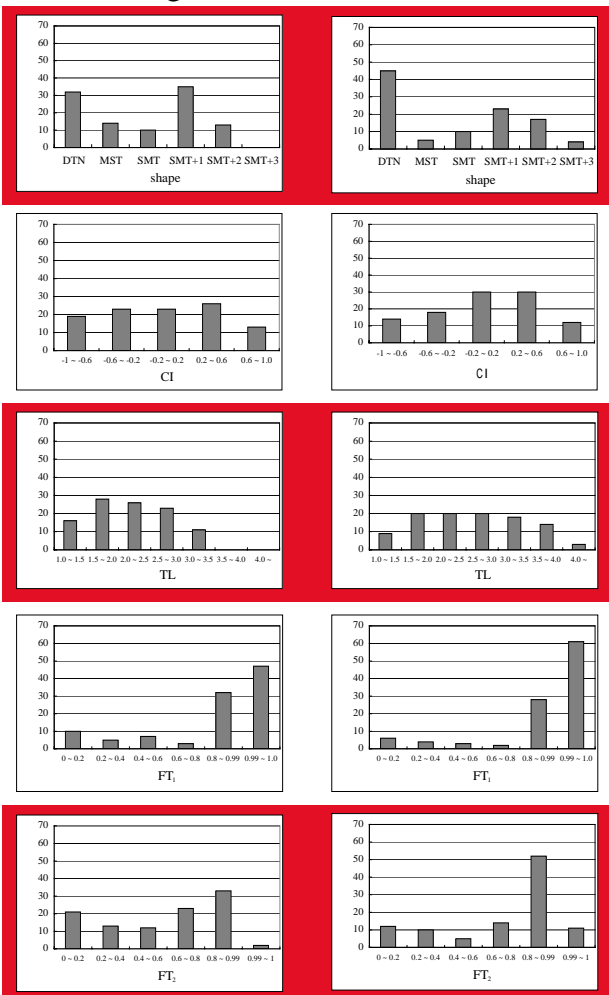


Fig. 3 ネットワークの解析結果。

Single, connected のネットワークについて、それぞれ 104 サンプルを解析した。shape, TL, FT₂ に統計的に有意な差が認められた。(P < 0.01)

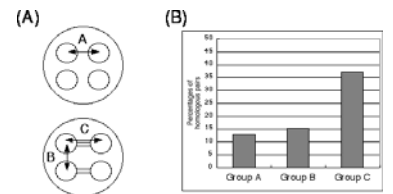


Fig. 5 ネットワーク間の同性的の評価。

(A) Group A: 隣接する 2 つの single network 間の比較。Group B: 隣接する 2 つの connected network 間の比較 (結合なし)。Group C: 結合された 2 つのネットワーク間の比較。(B) Group C のペアは有意に高い同性を示した。(P < 0.01)

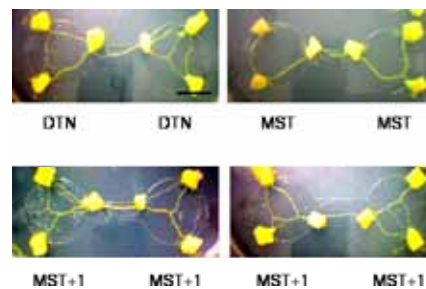


Fig. 4 同性を示したネットワークの例

(Bar: 1 cm)

Conclusion

今回の実験で、全体の状態が変形体による局所的な判断 (ネットワーク形成) に影響を及ぼしていることが観察され、変形体を用いたネットワーク形成の系が、単細胞における部分と全体の相互作用を観察するための実験系として有用であることが示された。

結合した 2 つのネットワークの間で直接的な力学的、化学的な相互作用を想定することは難しく、おそらくはネットワークの同性は原形質流動による情報伝達によってもたらされていると予想される。また、結合されたネットワークのうち同性を示したものの割合が 38 % であることは、局所的な挙動の積み重ねによってのみ全体の状態が決定されるのではなく、また逆に全体の状態が dominant に局所的な挙動を決定するのではないことを示している。ここに弱い形式の部分と全体の相互作用の様相が浮かび上がってくるが、変形体の各部分がどのようにして「従うべき全体」を選択しているのかについては現在のところ何の知見も得られていない。局所が参照すべき全体を決めるためのメタレベルのダイナミクスが存在するのか、それとも局所の挙動から自発的に全体性が生じてくるのか、これからの研究によって明らかにすべき点である。