

平成 25 年 7 月 30 日

報道関係者各位

国立大学法人 筑波大学

細胞性粘菌（アメーバ）の多細胞集団で不思議な波動現象を世界で初めて発見

研究成果のポイント

1. 細胞性粘菌の多細胞集団の運動において不思議な波動を観察し、それがソリトン波^{*1}と呼ばれる興味深い現象であることを確認しました。
2. 多細胞集団でのソリトン現象の発見は予想外のことで、世界初です。
3. 今回の発見は、細胞性粘菌の突然変異株の離散集合を観察したところ、波状を呈する多細胞運動が、互いにぶつかってもそれぞれ元の形状と速度を維持したまま通り抜けるソリトン波であることを発見したものです。
4. これは、細胞性粘菌の正常株では全く知られていない現象であり、その詳しいメカニズムは現時点では不明ですが、細胞運動を制御する未知のメカニズムが関与している可能性があり、今後の研究の進展によって多方面への大きな展開が期待されます。

国立大学法人筑波大学（以下「筑波大学」という）生命環境系桑山秀一准教授の研究グループは、多細胞集団の運動においてソリトン現象が存在することを世界で初めて発見しました。

ソリトン波とは、衝突しても互いに波形が変わらずに通る不思議な性質をもつ孤立した波のことで、さまざまな非線型現象として現れることがわかっています。たとえば水深の浅い水面で生じる波のなかには、孤立した状態で塊となって速度と波の形状を変えることなく遠くまで伝わるものが見られます。また、そのような孤立波は、別の孤立波を追い抜いてもそれぞれの振幅、速度が変化しません。このような粒子的な性質を持つ波はソリトン波と呼ばれ、数学、物理学の広い分野で注目されています。

これまで細胞運動のレベルにおいてソリトン現象が存在するとは想像すらされていませんでした。桑山准教授の研究グループは、多細胞運動としては世界で初めて、細胞性粘菌の突然変異株において、孤立波の形状をとって移動する細胞塊でソリトン現象を観察しました。

観察した細胞の塊は、ぶつかり合っても互いの形を崩すことなく通り抜けてしまうことから、同質の細胞の塊であっても互いに独立（孤立）して粒子状に存在しており、衝突の前後でそれぞれの形を記憶し元の形を維持します。今後、このぶつかっても通り抜けるという多細胞運動の不思議な特徴をもたらしている未知のメカニズムが解明されれば、生物の器官形成や個体形成といった形作りのメカニズムに新しい視点が得られることが期待されます。

本研究は、Nature Publishing Group のオンライン誌 Scientific Reports で 近日中に公開されます。

研究の背景

ソリトンとは、ぶつかっても互いに通りぬける不思議な性質をもつ波動のことで、数学や物理学において非常に重要な現象・概念となっています。広辞苑では「粒子のようにふるまう孤立した波。空間の一部に局限された波が、時間がたっても同じ形のまま移動し相互作用するもの」とあります。

ソリトン波は、浅い水たまりにできる水面の波紋など、日常でも目にする身近な現象で、浅い水路を進むボートの舳先から発生する波の観察によって19世紀に発見されました。1960年代になってこのソリトン現象の重要性が深く認識され、ソリトンの実験的・理論的研究は物理学、工学および数学などの分野において今なお盛んに行われています。津波の到達時刻予測などでもソリトン理論が活用されています。

このソリトン現象は、これまで物理、工学、数学の各分野で発見、研究されてきましたが、生物学の分野でのソリトン現象は見つかっていませんでした。

研究内容と成果

細胞性粘菌は真核アメーバの単細胞生物ですが、餌がなくなると走化性運動により集合して子実体を形成します（図1）。本研究グループは、先行研究において細胞性粘菌の特殊な突然変異株を分離していました。この突然変異株は走化性運動ができず、子実体を形成しません。今回、その運動を観察したところ、子実体は形成しない代わりに、波紋様の塊を形成することを発見しました（図2）。この波紋様の塊は細胞が集まった細胞集団で、形を崩さずに一定の速度で運動します。さらに驚いたことに、この細胞集団はぶつかり合っても形を崩すことなく互いに通り抜けてしまいます。つまりこの波紋様の細胞集団はソリトン波の性質を示すことが明らかになりました（図3）。

このソリトン様細胞運動には次のような性質が見られました。①ソリトン様細胞集団の形成と維持は、走化性などによる外部からの化学信号によるものではなく、細胞間の接着によって形成・維持されている。②ソリトン様細胞集団の運動は、進行方向前部にある細胞を取り込みながら前進すると同時に、取り込んだ分に相当する細胞を後方に残していくことで、一定の大きさを保っている。つまりその形状は、動的平衡によって一定に維持されている。③ソリトン様細胞集団どうしが衝突すると、一時的には細胞のシャッフリングが起こるが、離れる際にそれぞれが衝突前と同じ構成メンバーのソリトン様細胞集団を再形成する。これにより、あたかも一見通り抜けたような現象に見えることがわかりました。

このようなソリトンの不思議な性質を示す細胞の集団運動はこれまで報告されたことはなく、ソリトンの性質をもつ生物運動の世界初の報告となります。

今後の展開

ヒトをはじめ生物の体はいろいろな種類の細胞の集まりであり、それら細胞の複雑な運動により出来上がっています。この生物の形作りにおいては塊（集団）としての細胞運動が大きな役割をしています。しかしながら、集団としての細胞運動のメカニズムについては現時点で十分に理解されているとは言えません。今回発見した、多細胞波動がぶつかっても通り抜けるといふソリトンの不思議な特徴をもつことは生物の形態形成運動において重要な意味を持ちうる発見であり、ヒトを含めた生物の形作りで何らかの役割を果たしている可能性があると考えられます。本研究グループは今後、発見したソリトン現象の理論的な説明を模索

し、そのメカニズムの解明に迫りたいと考えています。さらに、今回発見したソリトン現象が生物の形作り一般に見られる現象であるのか？ そうであるとしたらソリトン様多細胞波動はどのような役割をしているか？ の2点を中心に検討したいと考えています。

参考図

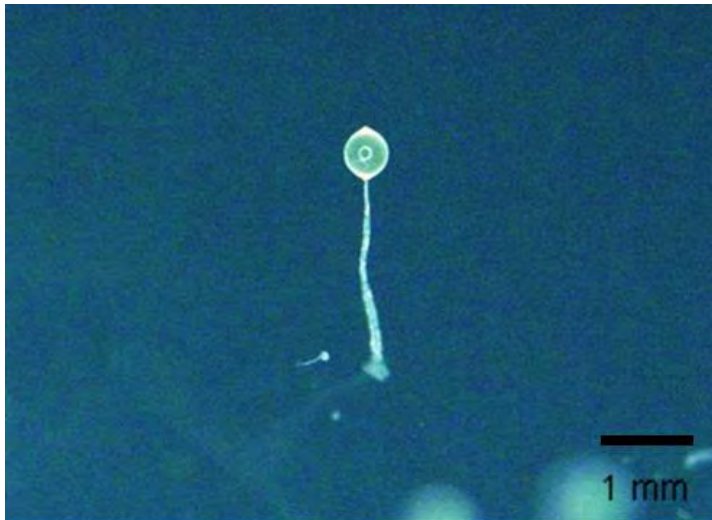


図1 細胞性粘菌野生株が形成する子実体

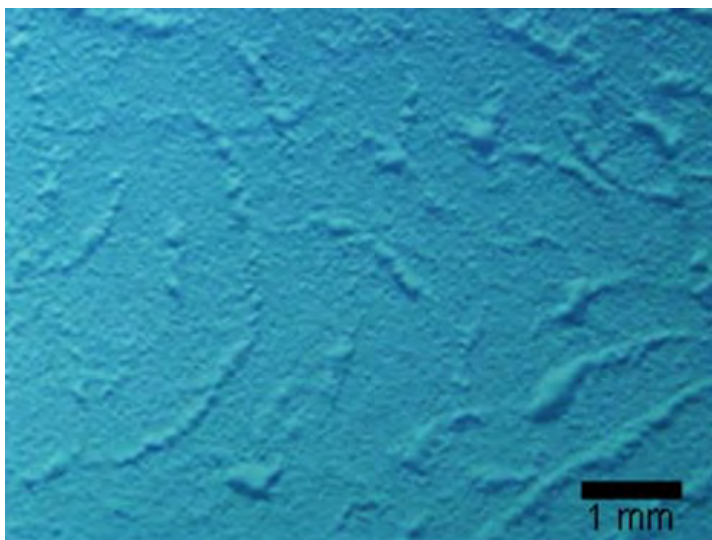


図2 細胞性粘菌突然変異株が示すソリトン様多細胞波動

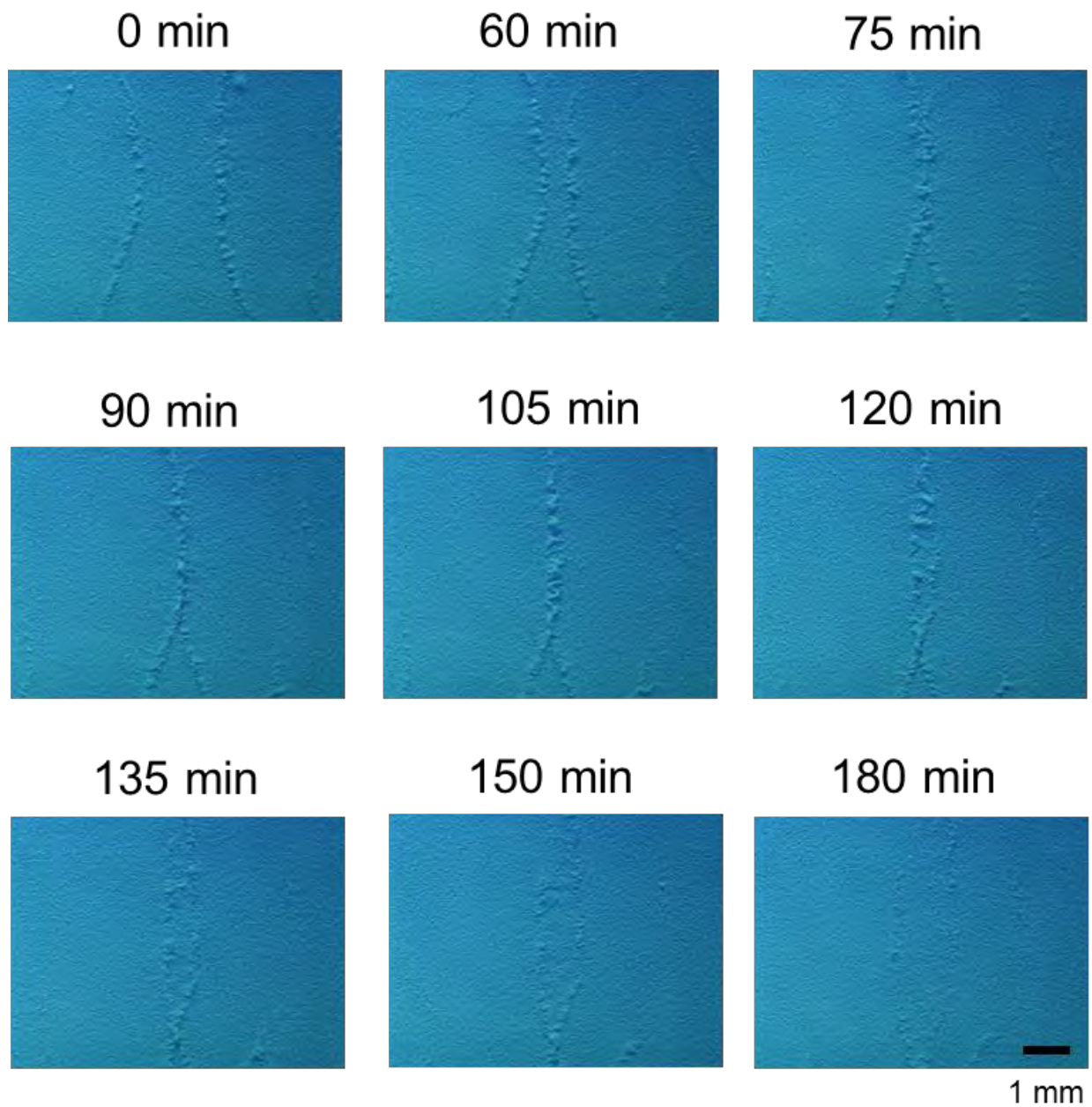


図3 波紋様の細胞集団どうしがぶつかっても、互いにそのまま通り抜けてしまう不思議な多細胞体波動の様子

用語解説

*1 ソリトン (soliton)

非線形方程式に従う孤立波。以下の2つの条件を満たすパルス状の波動。

1. 伝播している孤立波の形状、速度などが不変。
2. 波同士が衝突した後でも、お互い安定に存在する。

粒子としての性質を有するため、粒子性をあらわす接尾語-on を使って solitary wave -on →soliton と命名された (1965年、アメリカのザブスキーとクルスカルらによる)

(参考文献; 上野喜三雄著 ソリトンがひらく新しい数学 (岩波科学ライブラリー) 岩波書店、渡辺慎介著 ソリトン—非線形の不思議 (NEW SCIENCE AGE) 岩波書店、三輪 哲二, 伊達 悦朗, 神保 道夫著 ソリトンの数理, 岩波書店等)

掲載論文

“Biological Soliton in Multicellular Movement”

論文題名 (和訳) : 多細胞細胞運動における生物学的ソリトン

著者: 桑山 秀一、石田 秀司

公開日: Scientific Reports, 2013年7月29日 (英国時間)

問合わせ先

桑山 秀一 (くわやま ひでかず)

筑波大学生命環境系・准教授