



PRESS RELEASE (2016/04/11)

植物細胞の形づくりの謎を頭蓋骨の研究が解明？ 医学・植物学を数学がつなぐ「超」異分野融合研究

概要

九州大学大学院医学研究院の三浦岳教授と今村寿子助教の研究グループは、東京大学およびエルピクセル株式会社との共同研究で、植物の表皮細胞の複雑なかたちが形成されるメカニズムを世界で初めて解明しました。

双子葉植物の葉の表面の細胞は美しいジグソーパズル様の形をしています。研究グループは植物の細胞壁の合成・分解の分子回路を数理モデル化（※1）したところ、これまで頭蓋骨の縫合線（※2）のパターン形成に用いてきた数理モデルと全く同じであることがわかりました。この結果を基にして、九州大学の数値シミュレーション、東京大学の実験、エルピクセル社の画像解析を組み合わせ、細胞壁が一定の厚さを保ったまま湾曲構造を形成するメカニズムの一端が解明されました。このように、医学と植物学の間を数学が仲立ちをするという「超」異分野融合研究によって、これまで全く分かっていなかった植物細胞の形づくりのしくみが明らかになりました。

この研究成果は、2016年4月7日（木）午前11時（米国東部時間）に、米国科学雑誌「PLOS Computational Biology」のオンライン版で発表されました。

背景

植物の葉の表皮細胞は、最初はレンガを積み上げたような形状をしています。発生が進むにつれて細胞壁が湾曲し、最終的にはジグソーパズルのような特徴的な構造を形成します（図1）。この現象に関わる遺伝子は多く同定されていますが、これらの相互作用で形が作られるメカニズムはほとんど分かっていませんでした。

一方、応用数学の分野では、壁状の領域が一定の幅を保ったまま湾曲構造を形成していく挙動を示す方程式が昔から知られていました。しかし、このようなダイナミクスが実際に自然界に存在するのか、ごく最近まで知られていませんでした。

三浦教授らは、頭蓋骨の骨の継ぎ目である「縫合線」が湾曲するメカニズムの研究を行い、頭蓋骨の発生中の分子間相互作用がこの方程式に帰着できることを示していました。今回、頭蓋骨の縫合線とは種、空間、時間スケールが全く違う植物の細胞壁でも「一定の厚さの構造が厚さを保ちながら湾曲する」というダイナミクスは共通であることから、パターン形成のメカニズムにも共通点があるのではという素朴な予想から共同研究を開始しました。

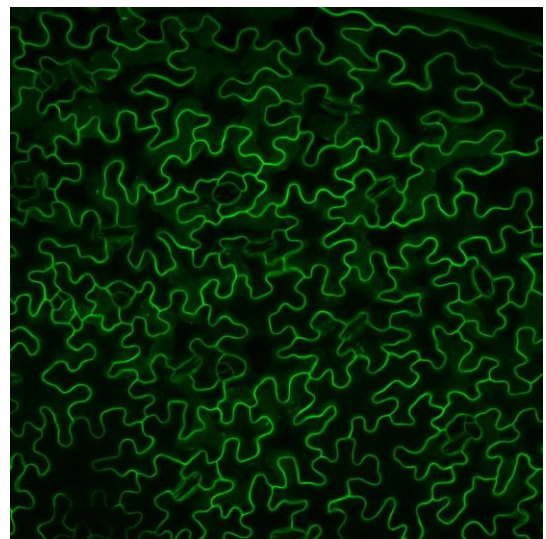


図1：植物表皮細胞のジグソーパズルパターン

内容

研究グループはまず、これまで知られている植物細胞壁の合成・分解を引き起こす分子メカニズムをまとめて、「細胞壁の産生を抑制するシグナル因子が細胞壁内に放出されて、放出された点から一定の距離まで影響を及ぼす」というルールを導き出しました。次に、このルールを界面方程式（※3）とカーネル（※4）を用いて数理モデル化し、数値シミュレーションによって細胞壁の湾曲形成を再現しました。このモデルは、以前九州大学グループが用いていた頭蓋骨の縫合線の湾曲形成モデルと全く同じものでした（図2）。

これを受けて東京大学の植物学者の実験グループは、細胞壁の分解を促進して形状変化を観察する実験を行いました。すると、細胞壁の湾曲の波長は長くなり、細胞の壁も分厚くなるという一見直感に反する結果が得られました。この結果は、数理モデルを使うと細胞壁がゆるくなることで、シグナル因子

が影響を及ぼす距離が長くなるという解釈ができ、実験で生じた形態変化を全て再現できました。また、細胞のつなぎ目の部分にある細胞壁の三叉部分の角度が 120 度に近づいていくことを数理モデルで予測し、その予測を画像処理技術を用いて検証したところ、モデルの予測通りの形の変化をしていることが確認できました。

このように、医学と植物学という一見なんの関係もない 2 つの分野を、更にまったく関係がなさそうな数学が仲立ちをするという「超」異分野融合研究によって、これまで全く分かっていなかった植物細胞の形づくりのメカニズムの一端が明らかになりました。

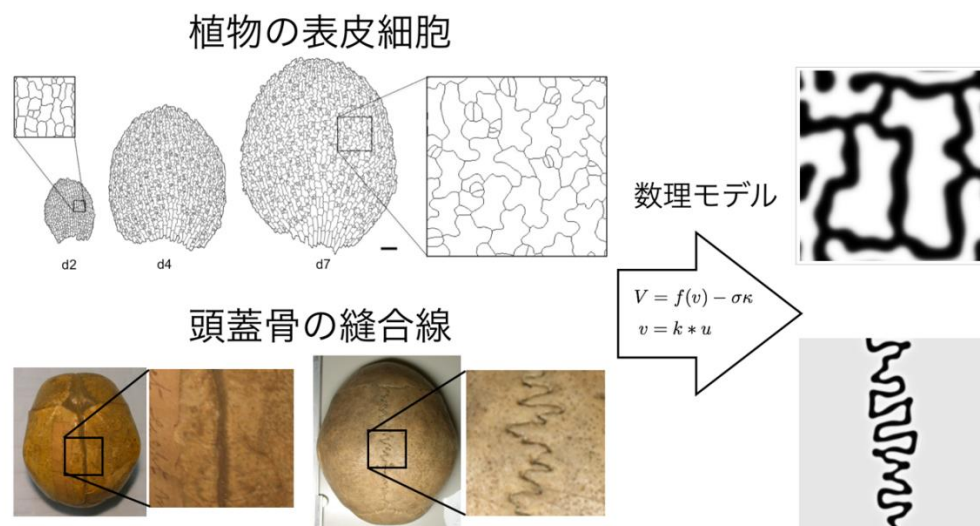


図 2 : 植物の表皮細胞のパターン形成と、頭蓋骨の縫合前のパターン形成

■効果・今後の展開

本研究で得られた数理モデルは、植物細胞壁の湾曲のメカニズムを説明する現時点ではほぼ唯一のモデルであり、細胞壁の湾曲の機構の解明という植物研究の 1 分野が開拓されることが期待されます。

また、数学は、生物学以外の科学の諸分野では現象を記述する言語として普遍的に使われています。このような仕事を足がかりにして、今後さらに生物学内に数学的手法が浸透することが期待されます。

■研究について

当研究は、日本学術振興会新学術領域研究「植物細胞壁の情報処理システム」の支援を受けて行われました。

【用語解説】

- (※1) 数理モデル化：ある現象に含まれる因子群の相互作用を微分方程式の形で書き表すこと
- (※2) 縫合線：頭蓋骨の骨の継ぎ目にある軟組織
- (※3) 界面方程式：ある領域の境界の形の変化のダイナミクスを、境界が進む速さで記述したもの
- (※4) カーネル：ある一点の効果が空間的にどのように広がるかを表した関数。

【論文】

A Theoretical Model of Jigsaw-puzzle Pattern Formation by Plant Leaf Epidermal Cells
 Takumi Higaki, Natsumaro Kutsuna, Kae Akita, Hisako Takigawa-Imamura, Kenji Yoshimura, Takashi Miura
 PLoS Computational Biology (2016)

【お問い合わせ】

大学院医学研究院教授 三浦 岳
 電話：092-642-6048
 FAX：092-642-6923
 Mail：miura_t@anat1.med.kyushu-u.ac.jp