

棒状資材のナノ構造による細胞挙動制御と形態設計

	研究代表者	JT生命誌研究館・研究セクター・研究室長	
		黒田 純平（くろだ じゅんぺい）	研究者番号：80726521
	研究課題情報	課題番号：26B308	研究期間：2026年度～2028年度
		キーワード：棒状資材、コラーゲン線維、ナノパターン、細胞挙動制御、細胞骨格、形態形成	

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

● 研究の全体像

生物の体は細胞の集合体であるが、細胞そのものは柔らかく、大きな構造を支えることはできない。骨や腱、ヒレなどの形や強度を担うのは、細胞の外にあるコラーゲン線維などの剛性の高い棒状の資材である。細胞はこれらの資材をつくり、運び、並べ、組み立てることで、まるで建築作業員のように体の形をつくっていると考えられる。しかし、細胞がどのように棒状資材を扱い、正確な形を組み立てているのかは、これまでほとんど分かっていなかった。

本研究領域は、細胞と棒状資材の“協調的相互作用”がどのように働き、組織の形が生まれるのかを分子・細胞レベルで明らかにすることを目的とする。特に、棒状資材そのものが持つ“ナノスケールのパターン（凹凸や配向）”が、細胞のふるまいを決定づける鍵になると予想している。この視点は従来の発生学にはなく、後期発生の形づくりを理解するための新しいパラダイムとなる。

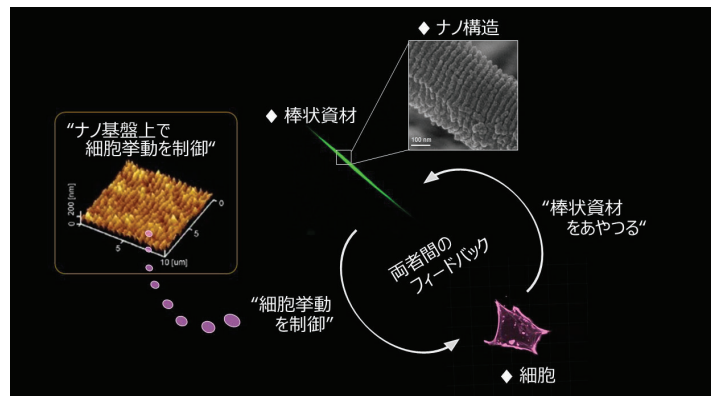


図1 本領域研究で行う研究の概念図

● 研究実施体制

本領域では、生物学と材料科学の研究者が協力し、以下の3つの系を用いて「細胞が棒状資材のナノ構造をどのように認識し、操作し、組織の形をつくるのか」という共通原理を明らかにする。

- カイメンでは、細胞がガラス質の棒状骨片を製造・運搬・組み立てる工程が観察され、細胞による“建築”が実在することが示されている。
- ゼブラフィッシュのヒレでは、細胞がコラーゲン線維（アクチノトリキア）を並べ替え、形を整える仕組みが見つかっている。特に、線維表面の規則的なナノ凹凸構造が細胞の接着や操作に影響する可能性が示されている。
- 材料工学の実験系では、ナノサイズの溝を持つ基盤上で、コラーゲン線維の配向が劇的に変化する現象が確認されている。これは、ナノレベルのパターンが細胞の行動を切り替えることを示唆する。

これらの研究は共通して、棒状資材のナノ構造が細胞の動態を制御し、細胞と資材の協調によって組織の形が生まれるという新しい可能性を示している。本領域は、この相互作用の仕組みを多角的に解析し、体の形づくりの原理を解明する。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

本領域は、以下の三つの計画研究（A01・A02・A03）が連携し、「細胞が棒状資材のナノ構造を読み取り、棒状資材と協調的に操作することで組織の形が生まれる」という新しい形態形成原理の解明を目指す。

● A01計画研究（船山）：カイメンにおける“細胞作業員”の行動原理を解明する

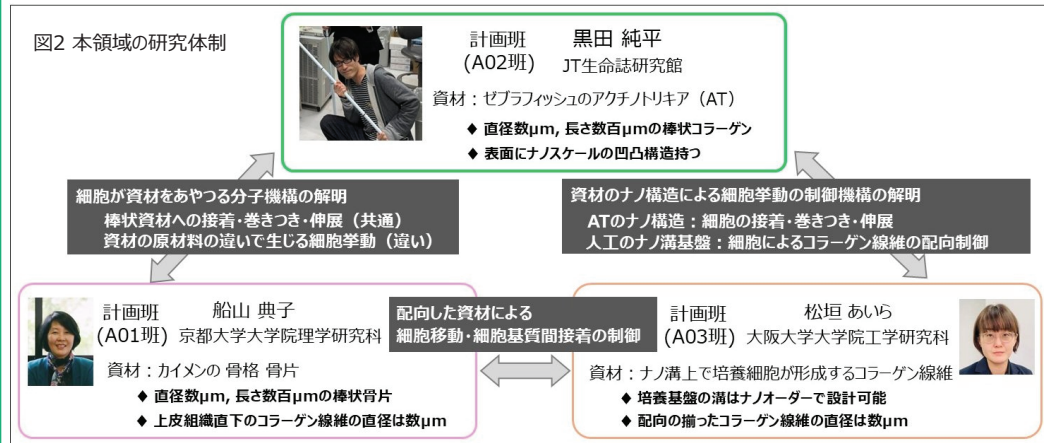
カイメンでは、細胞がガラス質の棒状骨片を①製造 → ②運搬 → ③建てる → ④結合という工程で扱い、骨格を組み立てることが分かっている。A01では、骨片を運搬する細胞・結合する細胞の挙動を詳細に解析し、◆骨片への接着、◆骨片同士の角度合わせ、◆コラーゲンによる骨片の結合を可能にする分子機構を明らかにする。さらに、A02のゼブラフィッシュで見られる細胞挙動と比較し、生物種を超えて共通する資材操作の遺伝子群を同定する。

● A02計画研究（黒田）：ゼブラフィッシュのヒレで棒状コラーゲン線維の操作原理を解明する

ゼブラフィッシュのヒレ先端には、アクチノトリキア（AT）と呼ばれる棒状コラーゲン線維が存在し、細胞がこれら操作することでヒレの形が決まる。A02では、◆AT表面の規則的なナノ凹凸構造、◆AT同士の微細な間隔が細胞の仮足の伸展方向や接着の仕方を決めるという仮説を検証する。また、ATの配向パターンを制御する因子を用い、魚類以外の脊椎動物の器官でコラーゲン線維の配向パターンを改変することで、コラーゲン線維の配向が器官の形態進化を駆動した可能性を検証する。さらに、A01で得られた「資材操作の遺伝子群」との比較により、普遍的な棒状資材操作の細胞原理を導く。

● A03計画研究（松垣）：人工ナノ構造を用いた“再構成実験”で原理を検証する

A03では、材料工学の技術を用いて、ナノメートルサイズの溝や凹凸を持つ基盤を作製し、細胞がその上で形成するコラーゲン線維の配向を操作する。これにより、◆ナノ溝の間隔・深さに応じて細胞の接着斑や骨格構造がどう変化するか、◆その変化がコラーゲン線維の平行／直交配向にどうつながるか、についてリアルタイムで解析する。さらに、直交配向を誘導する因子の機能を分子レベルで解明し、細胞外棒状資材の配向を制御する新しい分子メカニズムを明らかにする。A03は、A01・A02で見出された原理を人工系で再構成し、因果関係を検証する役割を担う。



● 本領域の独創性と波及効果

本領域が明らかにしようとしているのは、「細胞が棒状資材をあやつり、そのナノ構造を読み取りながら器官の形をつくる」という新しい形態形成の原理である。この原理が確立されれば、

- 1) 発生学に新しいパラダイムをもたらす。
- 2) コラーゲン線維の配向や結合角度を操作して器官の形を改変する技術につながる。
- 3) 再生医療や人工組織設計などの応用研究に新しい展開を生む。

といった大きな波及効果が期待される。細胞と棒状資材の協調的相互作用を理解することは、生命科学の根本的な問いに迫るだけでなく、未来の医療やバイオマテリアル研究にも重要な基盤を提供する。