

## 17. 生命ロボット: ゼノボット(Xenobot)からアンスロボット(Anthrobot)へ

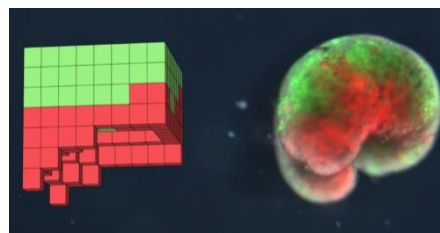
### 1) Xenobot(ゼノボット)

2020年にアメリカのバーモント大学とボストンのタフツ大学の Michael Levin 博士らのチーム研究で Xenobot を初公開しました。

ゼノボットは、名前の由来となったアフリカツメガエル(学名ゼノパス)の幹細胞から形成され、幅は1ミリ以下の世界初の「生命ロボット」です。実験の結果、動く、群れで協力する、自己修復するといった能力を持つことが判明しています。

具体的には、カエルの初期胚(胞胚期)から採取した幹細胞に由来する皮膚細胞と心筋細胞の2つだけで構成されている生命体で、皮膚細胞は体を硬く支え、心筋細胞は小さなモーターの役割を果たし、体積を縮めたり伸ばしたりしてゼノボットを前進させます。

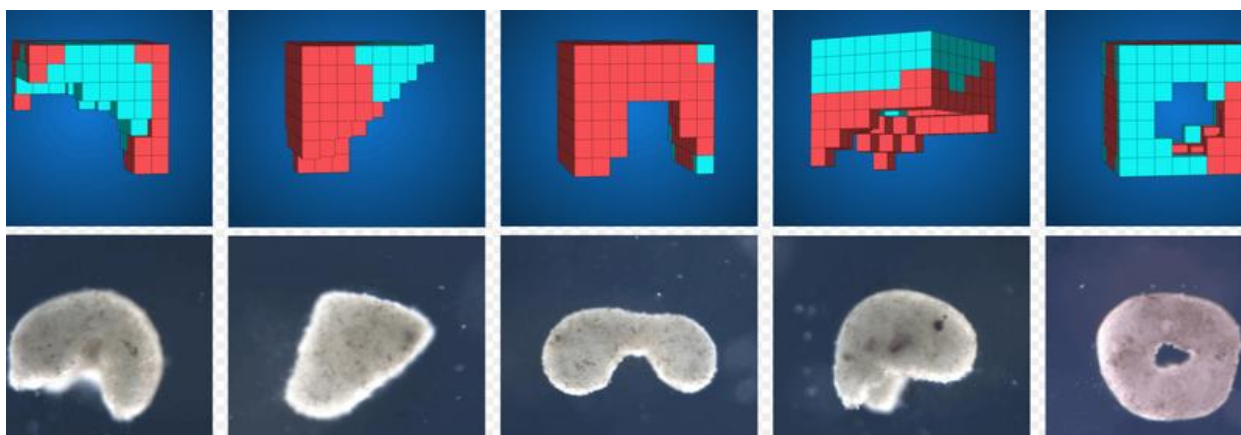
ゼノボットの体の形状、皮膚細胞と心臓細胞の分布は、特定の課題を実行するために、試行錯誤の過程(進化的アルゴリズム)を用いて生物学的な形状と行動を示すようにコンピュータで設計されています。



ゼノボットは、歩く、泳ぐ、ペレットを押す、貨物を運ぶ、皿の表面に散らばったゴミをきれいに積み上げるために集団で働く能力を持ち、様々な活動が出来ます。

また、食べ物がなくても数週間生き延びることができ、裂傷を負っても自分で治すことができます。

そして、ゼノボットの最大の特徴は「生殖」が行えることです。



上:PC側でAI自動設計 下:生命システム(ゼノボット)

AIで自動的に多彩な生命体候補を自動設計して、細胞コンストラクションキットで人工生命システムを実装。

### 初期実験映像 幅は1ミリ未満

これらの生命のロボットは、体内で特定の作業を行ったり、汚染をクリーニングしたり、薬物を体内で運んだりするなど、多くの潜在的な応用が考えられています。

現在、ゼノボットは主に形態形成中に細胞がどのように協力して複雑な体を構築するかを理解するための科学的なツールとして使用されています。

しかし、ゼノボットの行動と生体適合性からは、将来的にさまざまな応用が考えられています。



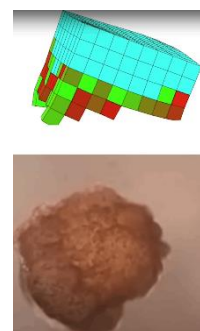
ゼノボットはカエルの細胞だけで構成されているため、**生分解性\***です。ゼノボットの群れは、ディッシュ内の微小なペレットを中央の山に押し寄せるために協力する傾向があります。これを踏まえて、**将来のゼノボットは海洋のマイクロプラスチックに対して同じことを行える可能性があります。つまり、マイクロプラスチックの微小な粒子を見つけて一つの大きな塊にまとめ、従来の船やドローンが回収しリサイクルセンターに持ち帰ることができる**と推測されています。ゼノボットは従来の技術とは異なり、作業や分解による追加の汚染物質を生成しません。彼らは組織内に自然に蓄えられた脂肪とタンパク質からエネルギーを利用し、約1週間持続します。その後は単に死んだ皮膚細胞に変わります。

#### \*生分解性

物質が微生物などの生物の作用により分解する性質をいう。一般には、プラスチックなどの有機化合物が土壌や水中の微生物により分解される性質をさす。

従来の合成樹脂は生分解性がなかったが、環境問題意識の高まりから生分解性を有するプラスチック類が開発利用されてきている。

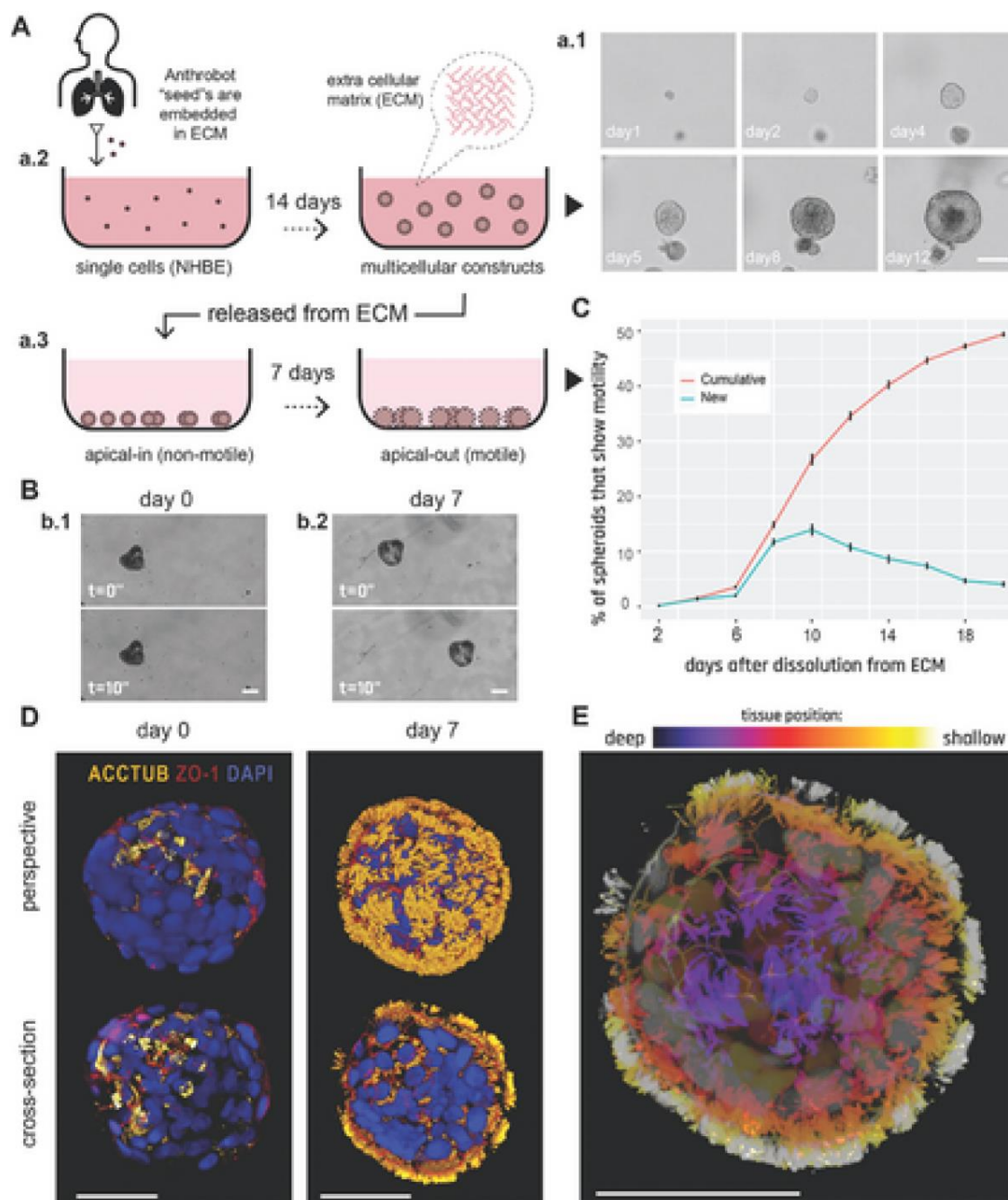
将来の臨床応用において、ターゲット指向の薬物送達など、ゼノボットは患者自身の細胞から作られることがあります。これにより、他の種類のマイクロロボット送達システムにおける免疫応答の課題を回避することができます。さらに、追加の細胞タイプとバイオエンジニアリングを組み合わせることで、**ゼノボットは動脈のプラークを除去(動脈や血管の清浄)したり、疾患を検出して治療する可能性があります。**



## 2) Anthrobot(アンスロボット)

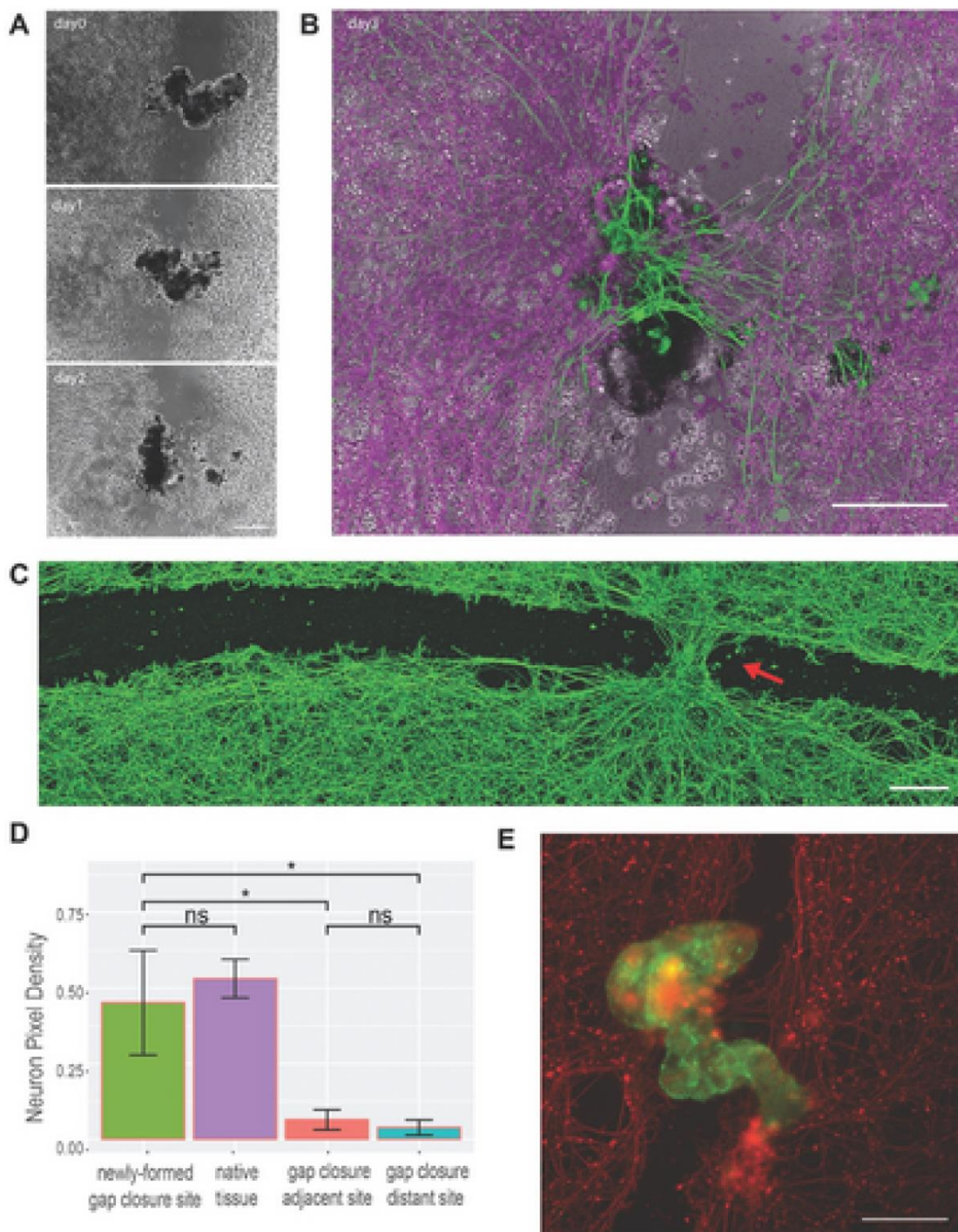
同じ Levin 博士のチームがヒトの気管支上皮細胞 (normal human bronchial epithelial cell、以下 NHBE 細胞) を培養することで、自己構築型のバイオボットである「Anthrobot(アンスロボット)」を開発し、2023 年 11 月 30 日付けの *Advanced Science* 誌に発表しています。

NHBE 細胞のスフェロイド(細胞同士が凝集して塊になったもの)をマトリゲル中で 2 週間増殖させた後、塊を取り出し、粘度の低い溶液中で 1 週間増殖させました。すると、繊毛がスフェロイドの内側ではなく外側に作られました(下図 D, E で  $\alpha$ -チューブリン (繊毛マーカー) で黄色に染色)。この繊毛はオールのような役割を果たし、数百個の細胞を含むそれぞれのアンスロボットが泳ぐそうです。



泳ぐアンズロボットは、直線で動いたり、円弧を描いて動いたり、ランダムな動きをみせるものがありました。こうした異なる動作のタイプは、それぞれのアンズロボットの形態タイプと高度に相関していました。

アンズロボットを、in vitro で傷のある神経組織のシートの上に置いたところ、シートを横断し、傷の迅速な修復を誘導したということです(下図)。これは、オルガノイドやその他の生物工学的構造からは事前に予測できなかったアンズロボットができることの特徴だといいます。



カエル由来の「ゼノボット」の場合は、ヒトの細胞から作られたものではなく、手作業で欲しい形に成形する必要がありました。一方、**アンスロボットは、ヒトの細胞から作ったものであり、自己組織化して特有な形になるものです。**アンスロボットは、ヒトの他の繊毛細胞(卵管上皮や脳上衣細胞など)からも生成できる可能性があります。

チームでは、アンスロボットは、アテローム性動脈硬化症患者の動脈内に蓄積したプラークの除去、嚢胞性(のうほうせい)線維症患者の気道からの過剰な粘液の除去、薬物の局所送達などに利用できると考えているそうです。

以 上

以 上