

課題名：生体システムの構造・機能適応ダイナミクスの力学的理解

氏名：安達泰治

機関名：京都大学

1. 研究の背景

体を支える骨・筋肉や血液を送り出し運ぶ心臓・血管は、常に力の影響を受けています。例えば、骨や筋肉は、運動によって鍛えると、強くなることがよく知られています。その一方で、宇宙空間（微小重力空間）に長期間滞在したり、病気で寝たきりになったりすると、細く弱くなります。このように、ヒトの体は、力の変化に応じてその形や特性を機能的に適応変化させます。しかしながら、それらの詳しい仕組みはよく分かっていません。

2. 研究の目標

本研究は、生体が、細胞・分子レベルでどのように力を感じ取り、器官・組織レベルでどのように形や特性を機能的に変化させるかについて、細胞・分子レベルの詳細な実験とそれらをまとめた器官・組織レベルの計算機シミュレーションにより明らかにすることを目指します。

3. 研究の特色

特に、生体の機能的適応の仕組みについて、生物・医学だけではなく、分子・細胞・組織に働く力や変形の影響を考える力学を用いて研究を進めます。また、分子・細胞の要素の仕組みだけではなく、それらが複雑に組み合わさってできる組織・器官のシステムとしてのふるまいを両者の階層関係に着目して明らかにします。

4. 将来的に期待される効果や応用分野

このように、生物・医学と力学が手を結び、生体の適応現象を明らかにすることで、新しい視点が生まれます。例えば、力や変形が幹細胞の分化過程や発生・形態形成過程を制御することを理解することが可能になると考えられます。さらに、ヒトの体の形成、がん細胞の転移、骨・血管・神経の発生・再生などに対する力の影響を明らかにすることは、病気の新しい治療法の確立や創薬につながると期待されます。

研究背景：生体システムは、常に力の影響を受けている

器官・組織 レベル

- 骨, 筋肉
 - 心臓, 血管
 - 肺, ...
- 寝たきり, 骨粗鬆症
- 動脈硬化, 動脈瘤
- 器官発生, 組織再生

細胞・分子 レベル

- 細胞運動
 - 形状・極性
 - 代謝, ...
- がんの転移
- 創傷の治癒
- 糖尿病(代謝改善)

《リモデリング・再生・発生》

生体システムが力に対して機能的適応



力学的理解 → 生物学・医学的意義

研究目的：生体システムの力学環境変化に対する機能的適応を力学的に理解

生体システム

様々な時間・空間スケール

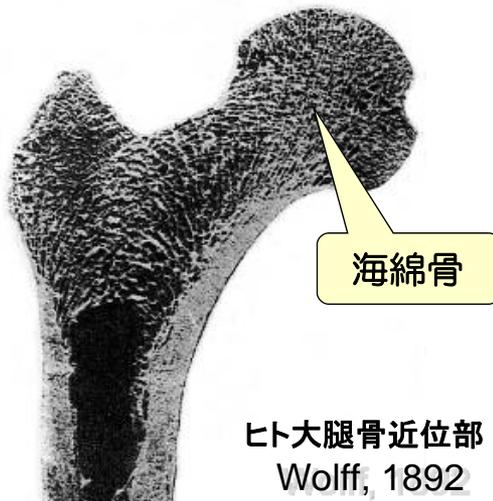
「構造」と「機能」



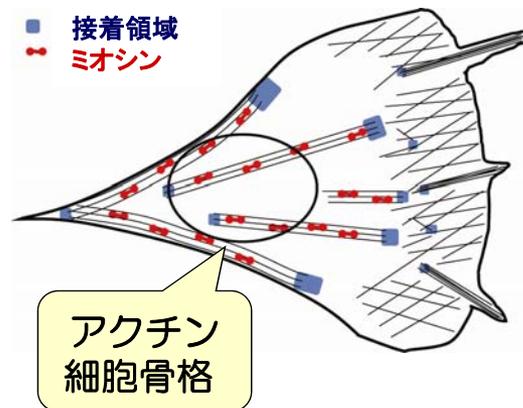
力学環境の変化に対して

適応的に変化

力学的理解



1. 骨のリモデリングによる機能的適応



2. 細胞運動におけるアクチン細胞骨格ダイナミクス

研究計画:

計画1: 骨のリモデリングによる機能的適応

計画2: 細胞運動におけるアクチン細胞骨格ダイナミクス

力制御 → **骨細胞のNO応答**

メカノセンシング機構の解明

接着斑への力刺激

力制御磁気ピンセット

骨細胞のNO応答

アクチンフィラメント

シミュレーション

骨リモデリングシミュレーション

破骨細胞前駆細胞

RANK RANKL

骨芽細胞

破骨細胞

骨系細胞間のシグナリング

接着領域の制御 → **アクチン膜突出の定量評価**

アクチン細胞骨格構造の力学的調節機構の解明

マイクロパターン接着制御

アクチン膜突出の定量評価

アクチン細胞骨格構造の力学的調節機構の解明

シミュレーション

粗視化アクチンフィラメントの膜突出

in vivo骨細胞の形態観察 → **局所力学場評価**

in vivo骨細胞の形態モデリング

接着斑における力学感知

Lacuna-Canalicular Wall

シミュレーション

骨代謝・リモデリングシミュレーション

正常骨

骨粗鬆症骨

骨代謝・リモデリングシミュレーション

アクチンFと結合分子の相互作用 → **力の影響**

結合タンパク質の固定化AFM測定

結合タンパク質との相互作用計測

アクチン結合タンパク質 (切断, 分岐, 集束)

力

マイカ

結合タンパク質の機能との関連

シミュレーション

粗視化ネットワークモデル

細胞運動シミュレーション

特色と発展・波及効果:

<生体システム>

<力学的理解>

多くの要素, 統合的アプローチ

生化学的因子との相互作用

構造・機能
階層構造

力学-バイオ
相互作用

生命機能の解明: 定量

- 細胞運動: がんの転移
- 胚の発生: 器官形成, 組織再生

臨床医学へ応用: 予測

- 骨代謝: 骨粗鬆症の治療効果
- 再生医療: 骨再生用足場設計

