

# 生物物理学とは

- 素粒子・原子核(A0, A1, A2)
- 物性(A3, A4)
- 宇宙(A8)
- 一般物理(A5, A6)
- **生物物理(A7)**
  
- **なぜ生物？**
  - ヒトは生物でありその生活も生物に支えられている[医学薬学食品衣類]
  - これらを理解し制御する方法があるならぜひ知りたい[理工学]
  
- **なぜ物理？**
  - 生命現象も物理現象の一部だから [既存の物理の適用]
  - 物理学 = 実験と理論の協奏 [未解明の現象に挑むフレームワーク]

# 生物物理学とは(つづき)

- 物理のための生物

- 生命現象の理解に端を発した物理学の進展の例はたくさんある
- 古くは“動物電気”
  - カエルの筋肉に金属片を当てると動くという不思議現象 (18C)
  - 生命の不思議と思っていたら物理の不思議だった → 電磁気学 (18-19C)
- 情報・計算理論
  - 生物と普通の物質を分けるものは？ 情報や計算では？ (19-20C初頭)  
→ 情報理論・計算機開発へのインスピレーション (1940s)
- 最近では非平衡物理やゆらぐ世界の熱力学
  - 生体分子観察のために一分子レベルの実験の発展 (1980-90s)
  - ゆらぎがみえる → そのための熱力学の“拡張”が必要に (2000-)

# 現在の物理学全体における 生物物理学研究のシェア

- Condensed Matter Physics (927)
- Quantum Physics (517)
- Quantum Information (422)
- Statistical Physics (379)
- Strongly Correlated Materials (283)
- Atomic and Molecular Physics (281)
- Optics (239)
- Materials Science (199)
- Soft Matter (198)
- Computational Physics (170)
- Biological Physics (166)
- Superconductivity (166)
- Photonics (162)
- Interdisciplinary Physics (161)
- Magnetism (155)
- Complex Systems (140)
- Topological Insulators (135)
- Nonlinear Dynamics (132)
- Chemical Physics (90)
- Nanophysics (86)

- Fluid Dynamics (69)
- Semiconductor Physics (69)
- Mesoscopics (65)
- Metamaterials (65)
- Particles and Fields (56)
- Plasma Physics (52)
- Spintronics (50)
- Graphene (46)
- Astrophysics (41)
- Plasmonics (35)
- Gravitation (33)
- Mechanics (26)
- Optoelectronics (26)
- Physical Chemistry (25)
- Acoustics (22)
- Electronics (19)
- Nuclear Physics (16)
- Superfluidity (15)
- Cosmology (12)
- String Theory (12)

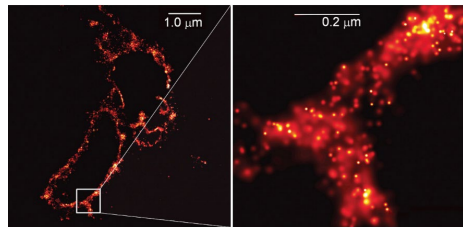
- Energy Research (11)
- Geophysics (9)
- Medical Physics (8)
- Industrial Physics (1)

参考: Physical Review X  
(物理の総合誌)  
2011~2023の出版数

全出版数7015中 生物物理166  
関連分野:  
統計物理 379  
ソフトマター 198  
複雑系 140  
非線形ダイナミクス 132  
化学物理 90 …etc.

**20%程度が(広い意味での)  
生物物理学関係**

# 物理学からみた生命科学研究



例：顕微鏡技術（ノーベル賞多数）



© Nobel Prize Outreach. Photo: Clément Morin  
David Baker  
Prize share: 1/2



© Nobel Prize Outreach. Photo: Clément Morin  
Demis Hassabis  
Prize share: 1/4

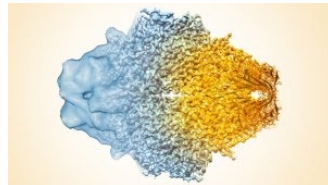


© Nobel Prize Outreach. Photo: Clément Morin  
John Jumper  
Prize share: 1/4



**生命科学実験**  
現象・構成要素を見る  
実験技術開発

**モデル化**  
データへのフィッティング  
数値シミュレーション・生成



**データ解析**  
現象を定量可視化  
解析技術開発

**理論**  
統一理論・普遍性  
新しいコンセプト

Nobel Prize in Physics 2024



© Nobel Prize Outreach. Photo: Nanaka Adachi  
John J. Hopfield  
Prize share: 1/2



© Nobel Prize Outreach. Photo: Clément Morin  
Geoffrey Hinton  
Prize share: 1/2

**生命とは何か**  
物理的にみた生細胞  
シムレーティング著  
圖 小天・鎮目基夫訳

量子力学を創造し、原子物理学の基礎をつけた著者が描出した生命の本質。分子生物学の生みの親となった20世紀の名著。生物の現象ごとに直伝のしくみと染色体行動における物理的現象と本別を物理学と化学で説明し、生物におけるその意義を究明する。負のエントロピー論など今も熱い議論の渦中にある科学者の本懐を示す古典。

青 946.1  
岩波文庫

例：クライオ顕微鏡技術（2017ノーベル賞化学賞）

多様なアプローチは物理学の視点ならでは！

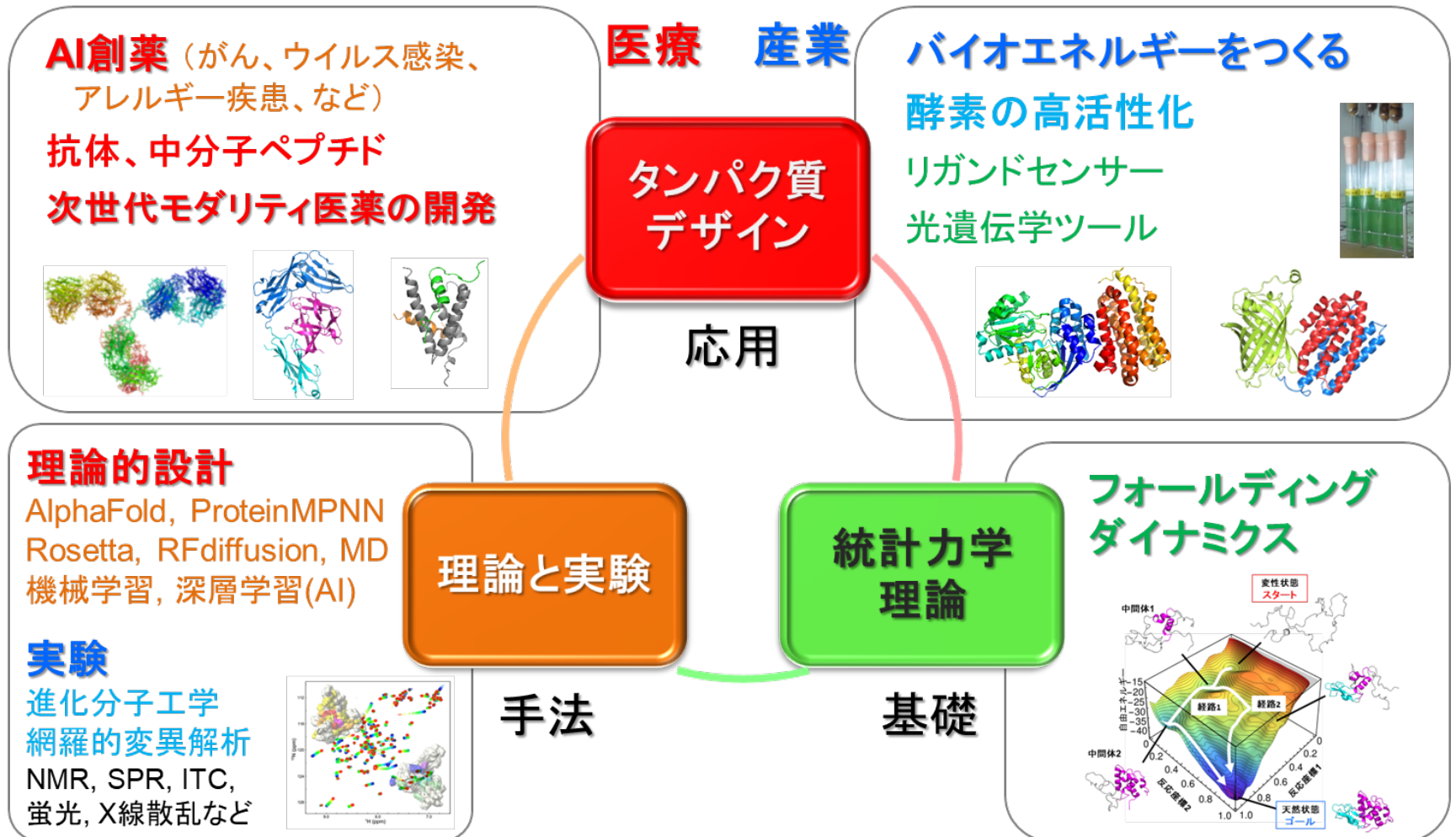
# 物理学専攻 A7サブコース(生物物理)の教員と研究分野

- 新井 宗仁 タンパク質のフォールディングとデザイン **タンパク質 (実験/理論)** (駒場)
- 伊藤 創祐 生体内での情報と熱の物理法則 **熱・情報 (理論)** (本郷)
- 岡田 康志 生きている細胞の中の一分子計測、超解像顕微鏡 **計測 (実験)** (本郷)
- 川口 喬吾 生体分子・細胞集団の運動と非平衡物理 **集団運動・知の物理 (実験/理論)** (本郷)
- 酒井 邦嘉 人間の脳はどこまで分かったか、分かるのか **脳機能 (実験)** (駒場)
- 杉田 有治 計算物理学による細胞内分子動態 **計算物理学 (理論)** (本郷)
- 野口 博司 タンパク質による生体膜の形状制御 **ソフトマター (理論)** (柏)
- 古澤 力 適応進化ダイナミクスの実験と理論解析 **適応進化 (実験/理論)** (本郷)
- 若本 祐一 表現型ゆらぎ **一細胞解析 (実験)** (駒場)



# 新井 宗仁 研究室

- タンパク質の統計力学理論の構築
- 医療や産業に役立つ新規タンパク質の理論設計と実験検証

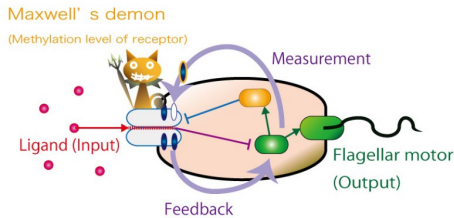


# 伊藤 創祐 研究室

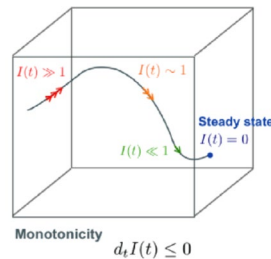
伊藤研では非平衡系の物理学と情報が関わる生命現象/非生命現象の理論研究を行っています。

機械学習などで用いられる情報理論や情報の幾何学(情報幾何、最適輸送)と、様々な系での非平衡熱力学の関係を構築することで、生物/非生物での情報処理の普遍法則を探究しています。

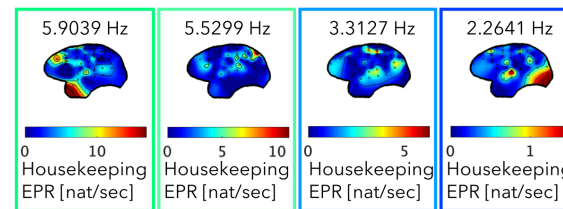
## マクスウェルのデーモン



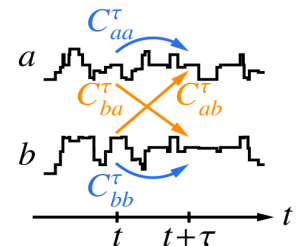
## 情報幾何に基づく非平衡熱力学



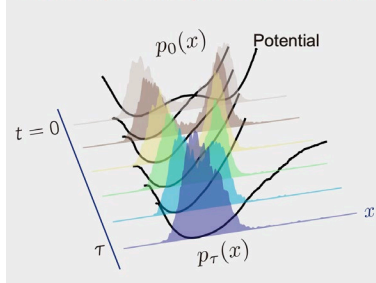
## 非平衡熱力学的な脳ダイナミクス解析



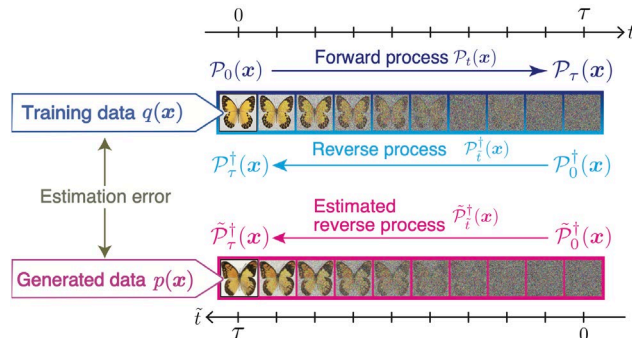
## Onsager相反関係の非平衡拡張



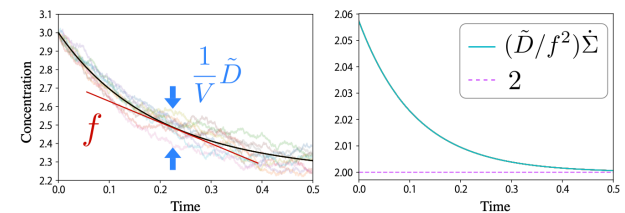
## Thermodynamically optimal transport



## 最適輸送に基づく非平衡熱力学



## 生成モデル(拡散モデル)と非平衡熱力学

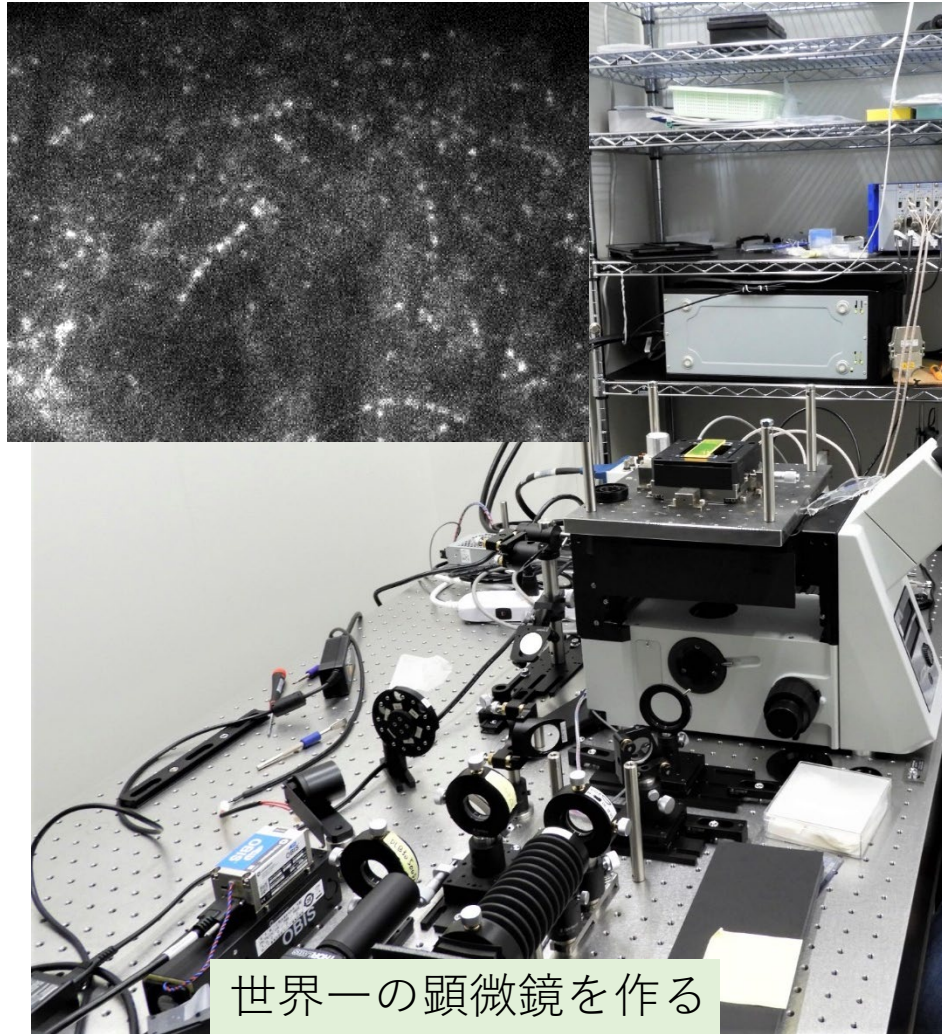


## 非平衡系でのトレードオフ関係(例: 熱力学的な不確定性関係)

# 岡田 康志 研究室

生きた細胞の中で分子1個1個を計測する

ゆらぎの熱力学理論を用いた解析



世界一の顕微鏡を作る

揺らぎの定理

$$F_d = k_B T_{eff} \frac{\ln[P(\Delta x)/P(-\Delta x)]}{\Delta x}$$

熱力学不確定性関係

$$\sigma \geq 2 \frac{\langle j_d \rangle^2}{\tau \cdot \text{Var}(j_d)}$$

ゆらぎの熱力学理論を用いた実験

原田-佐々等式

$$\frac{J}{\gamma} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d\omega}{2\pi} (\tilde{C}(\omega) - 2k_B T \tilde{R}'(\omega))$$

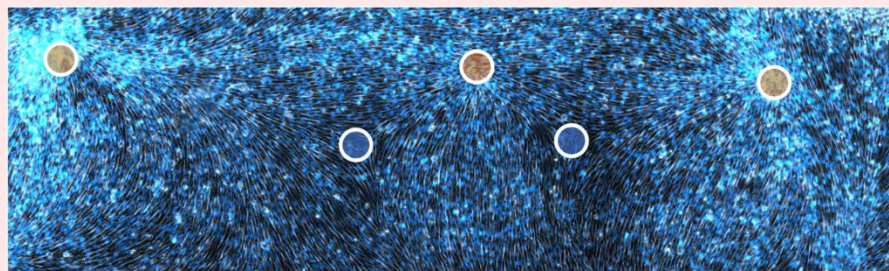


物理的発想を元に広く生命現象の原理解明を目指しています

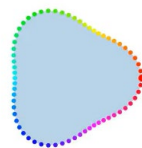
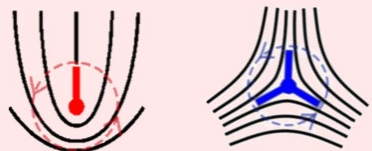
現在のテーマ：

- ・ バイオ・インテリジェントマターの多体系物理の構築（細胞観察・アクティブマター・非平衡物理）
- ・ 細胞内相分離・クロマチン動態・動物形態形成の物理学（数値計算・機械学習・実験）

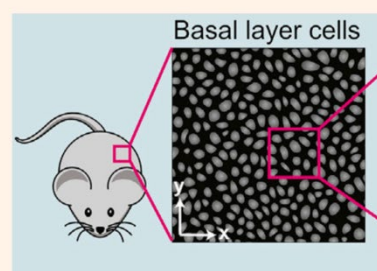
## 細胞集団運動とトポロジー



Nature 545, 327 (2017)

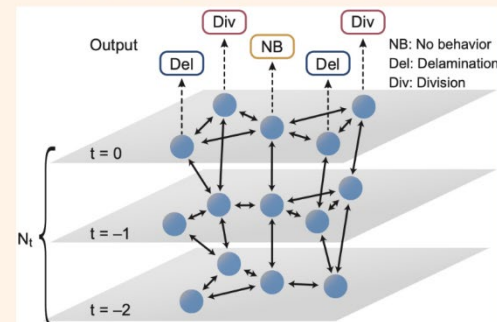


## 成体組織のターンオーバーと非平衡物理



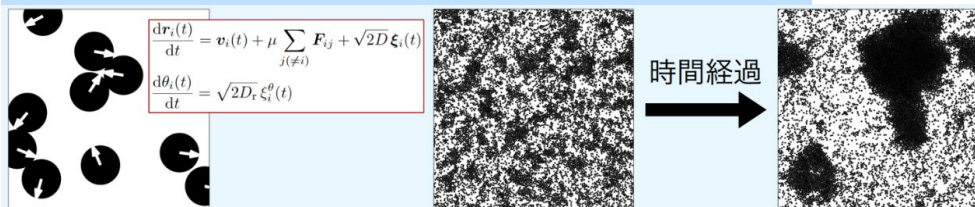
Cell Stem Cell 23, 677 (2018)

## グラフを使ったAIモデル



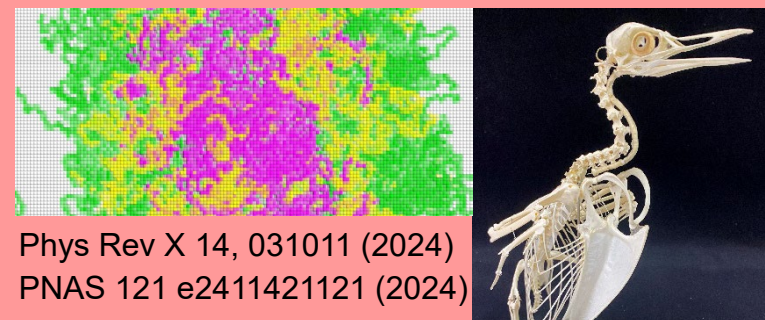
Plos Comp Biol 18(9):e1010477 (2022)

## アクティブ集団運動の理論モデルとその量子版



Phys Rev Research 4, 013194 (2022)

## 細胞内動態・動物形態形成・運動のルール探求



Phys Rev X 14, 031011 (2024)

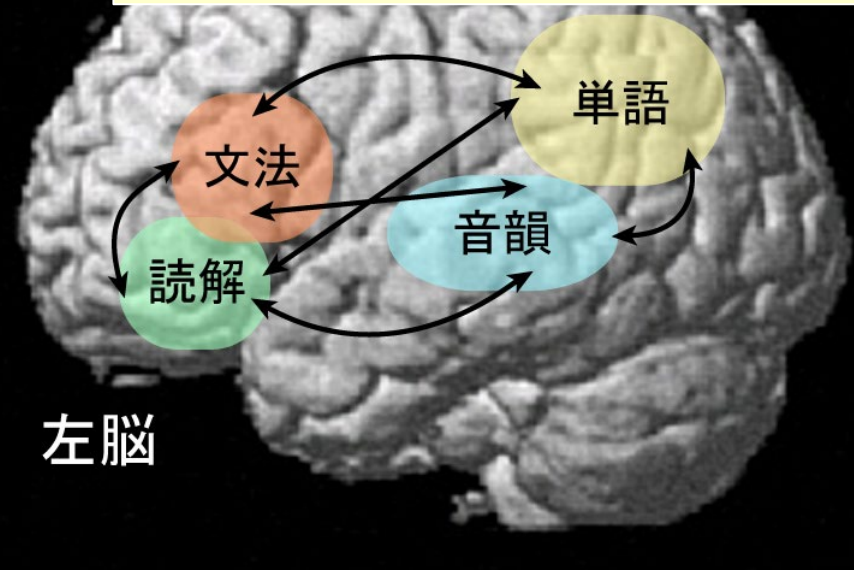
PNAS 121 e2411421121 (2024)

# 酒井 邦嘉研究室

- ・ 「システム・ニューロサイエンス」という脳科学の分野
- ・ 言語脳科学と脳機能イメージングで人間を対象に研究
- ・ 「言語」という最高次の情報処理システムの解明
- ・ 人間だけに備わった言語能力のメカニズムを解明
- ・ 芸術を含めた創造性と言語野の関わりを研究

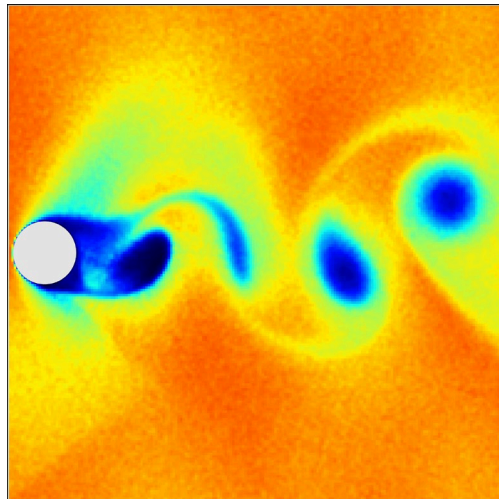


研究室 URL  
<https://www.sakai-lab.jp/>

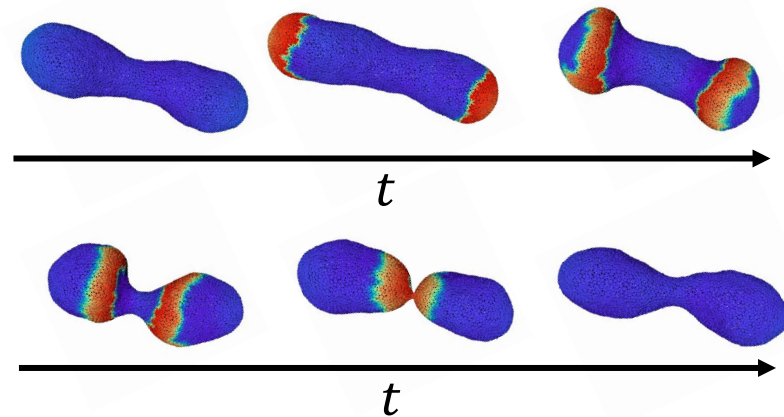


# 野口 博司 研究室

- 野口研究室では、ソフトマター、生物物理を理論、シミュレーションを用いて研究しています。生体内では、まだ理解できていない様々な面白い現象が起こっています。



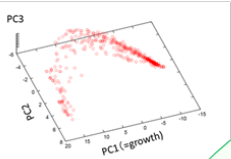
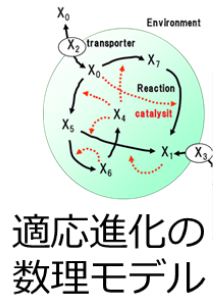
相転移を伴う流れ  
カルマン渦における気泡生成



化学反応波による周期的な膜変形

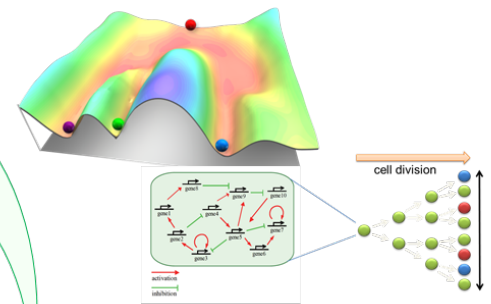
# 古澤力研究室

理論モデル・大規模実験・データ解析を統合し、  
適応・進化・発生・生態系など生物システムが持つ  
普遍的性質の理解を目指しています。

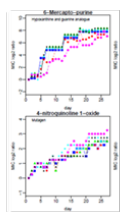


## 理論モデル

発生過程における「未分化さ」の理解

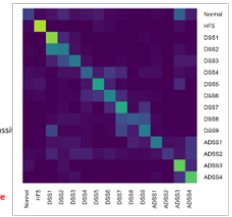
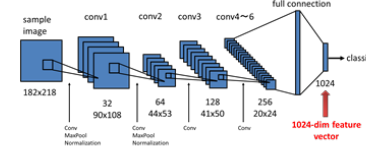


## 大規模実験



微生物のハイスループット  
進化実験

## データ解析



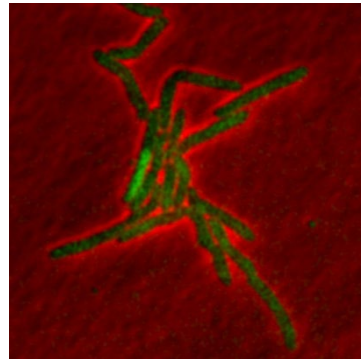
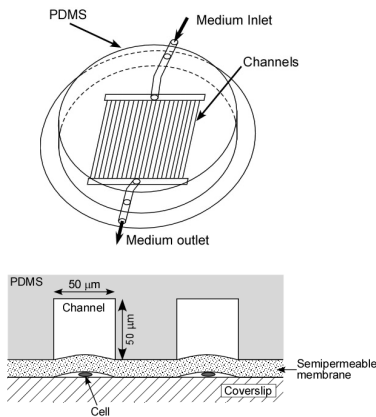
機械学習を用いた腸内細菌叢の解析

# 若本 祐一 研究室

- 1細胞レベルの環境応答、表現型の揺らぎなどの定量計測
  - 遺伝子発現や代謝状態などの大規模な細胞内分子動態の解析
- などを通じて、適応・進化・分化などの法則性やシステムの背景機構の解明を目指した研究を進めています。

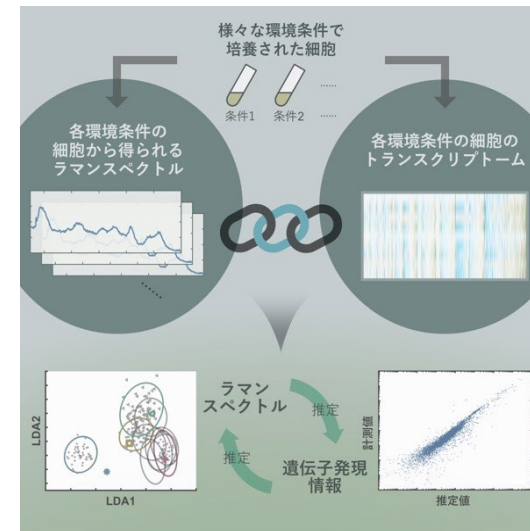
## 研究テーマの例

### 表現型ゆらぎと適応



Wakamoto et al. (2013) Science  
Koganezawa et al. (2022) eLifeなど

### ラマン分光を用いたライブセルオミクス



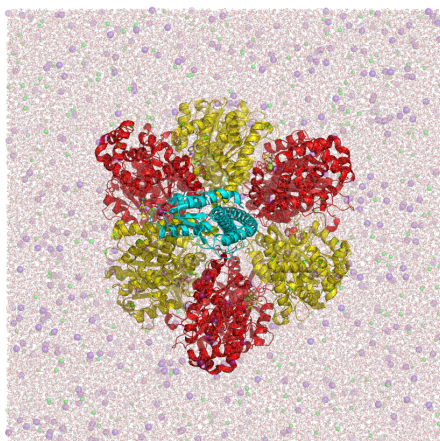
Kobayashi-Kirschvink et al. (2018) Cell Systems  
Kamei et al. (2025) eLifeなど

# 杉田 有治 研究室

- 計算物理学や情報科学を用いた新しい手法やモデルの開発
- 細胞内分子混雑環境での生体分子ダイナミクスシミュレーション、などを行っています。

## ■ タンパク質のダイナミクスと機能

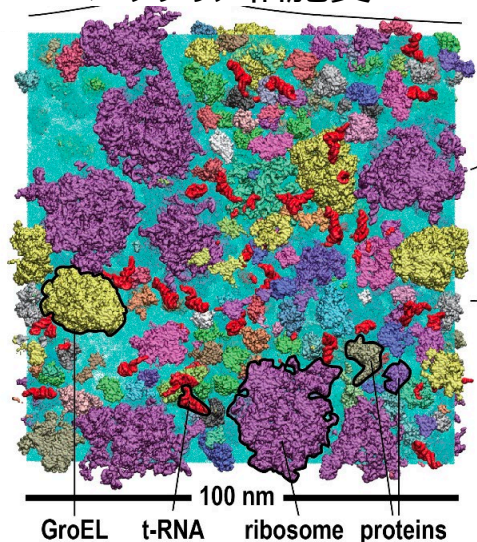
F<sub>1</sub>-ATPaseの回転運動



M. Motohashi et al., *PNAS* (2025).

## ■ 細胞内環境のモデリング

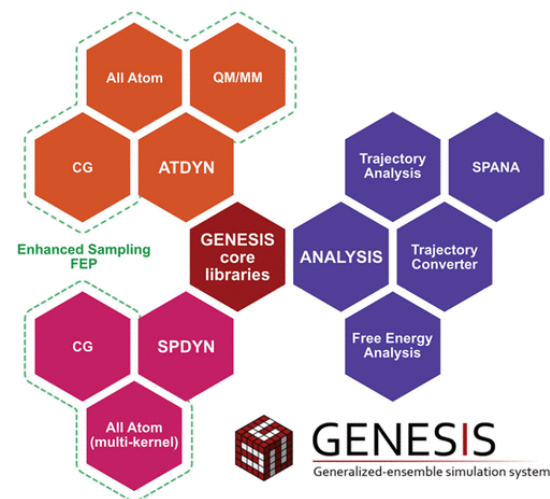
バクテリア細胞質



Yu et al. *eLife* (2016).

## ■ GENESISの開発

分子動力学プログラムと手法



Jung, et al. *J.Phys.Chem.B* (2024)

「富岳」やGPUスパコン、量子計算機まで最先端の計算機を活用した研究をしています

# 物理学専攻 A7サブコース(生物物理)の教員と研究分野

- 新井 宗仁 タンパク質のフォールディングとデザイン **タンパク質 (実験/理論)** (駒場)
- 伊藤 創祐 生体内での情報と熱の物理法則 **熱・情報 (理論)** (本郷)
- 岡田 康志 生きている細胞の中の一分子計測、超解像顕微鏡 **計測 (実験)** (本郷)
- 川口 喬吾 生体分子・細胞集団の運動と非平衡物理 **集団運動・知の物理 (実験/理論)** (本郷)
- 酒井 邦嘉 人間の脳はどこまで分かったか、分かるのか **脳機能 (実験)** (駒場)
- 杉田 有治 計算物理学による細胞内分子動態 **計算物理学 (理論)** (本郷)
- 野口 博司 タンパク質による生体膜の形状制御 **ソフトマター (理論)** (柏)
- 古澤 力 適応進化ダイナミクスの実験と理論解析 **適応進化 (実験/理論)** (本郷)
- 若本 祐一 表現型ゆらぎ **一細胞解析 (実験)** (駒場)

研究の道に進む場合もそうでない場合も、  
大学院進学先、特に研究室はとても重要

志望先の研究室教員には事前にコンタクトを!

