

A7サブコース (生物物理): 生命の物理的理解を目指して

A7サブコース主任

能瀬聡直

nose@k.u-Tokyo.ac.jp

2024年5月25日
物理学専攻入試ガイダンス

物理学 = 万物の理論 (Theory of everything)

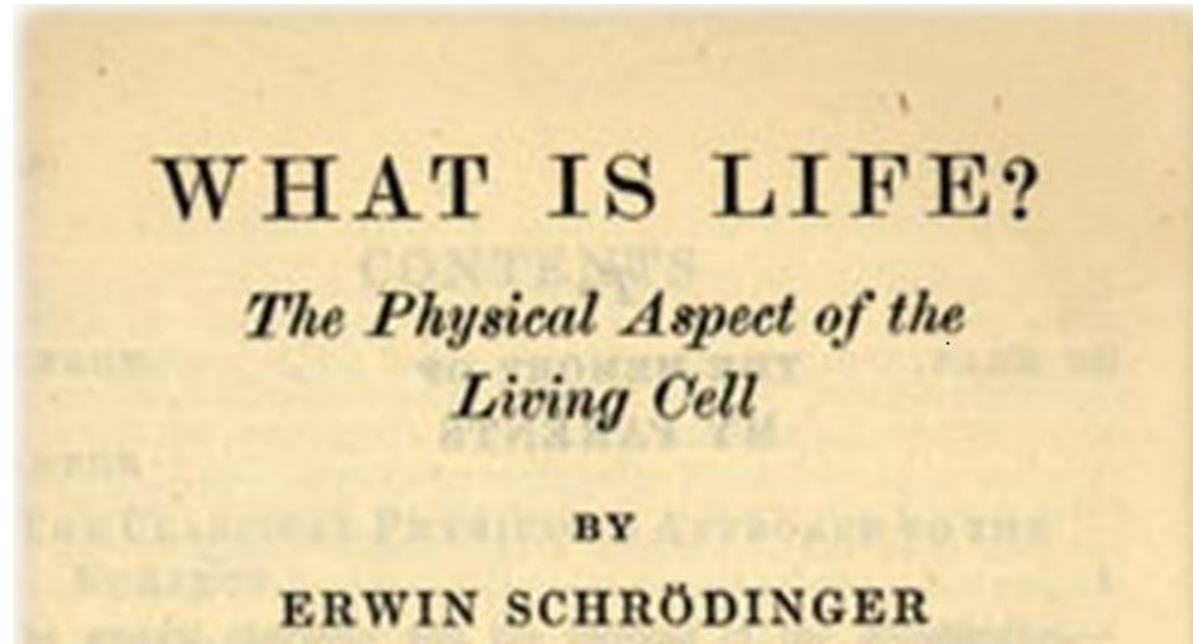
世界は物質でできていて物理法則に従う以上,
全てのものが物理学で取り扱うことができる (と信じている)

- 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)

当然ながら生物も物質でできていて
生命現象は物理学で取り扱うことができるはず。

生物物理学の成立

エルヴィン・シュレディンガーの
What is life? (1944) から大きく発展



1940年代以降の多くの物理学者の生物学分野への流入
(例: マックス・デルブリュック 1969年 ノーベル生理学・医学賞)

遺伝子(DNA)の発見, 分子生物学の勃興 → 現在の生物の理解のスタンダードへ

現在における生物物理学という分野の成立

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
(2011年~) の出版数
(2023.5.26時点)

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

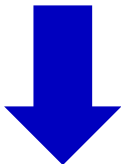
非線形ダイナミクス 132

化学物理 90 …etc.

**20%程度が(広い意味での)
生物物理学関係**

APS (アメリカ物理学会) における PRX LIFEの創刊 (2023)

PHYSICAL
REVIEW X



PRX QUANTUM
a Physical Review journal

PRX ENERGY

PRX LIFE

NEW !

「生命」は「量子」、「エネルギー」と並ぶ重要な物理のテーマの一つ

なぜ生物物理学が盛んに研究されているか



ポール・ゴーギャン: 我々はどこから来たのか 我々は何者か 我々はどこへ行くのか

生命たる我々人間にとって、生命を理解することは根源的な問いの一つ

• そもそも生きているとは何か？

リチャード・P・ファインマン

"What I cannot create, I do not understand."

• 生きているものを一から作ることができる？

No. 生命を理解するための物理学が未完成だから

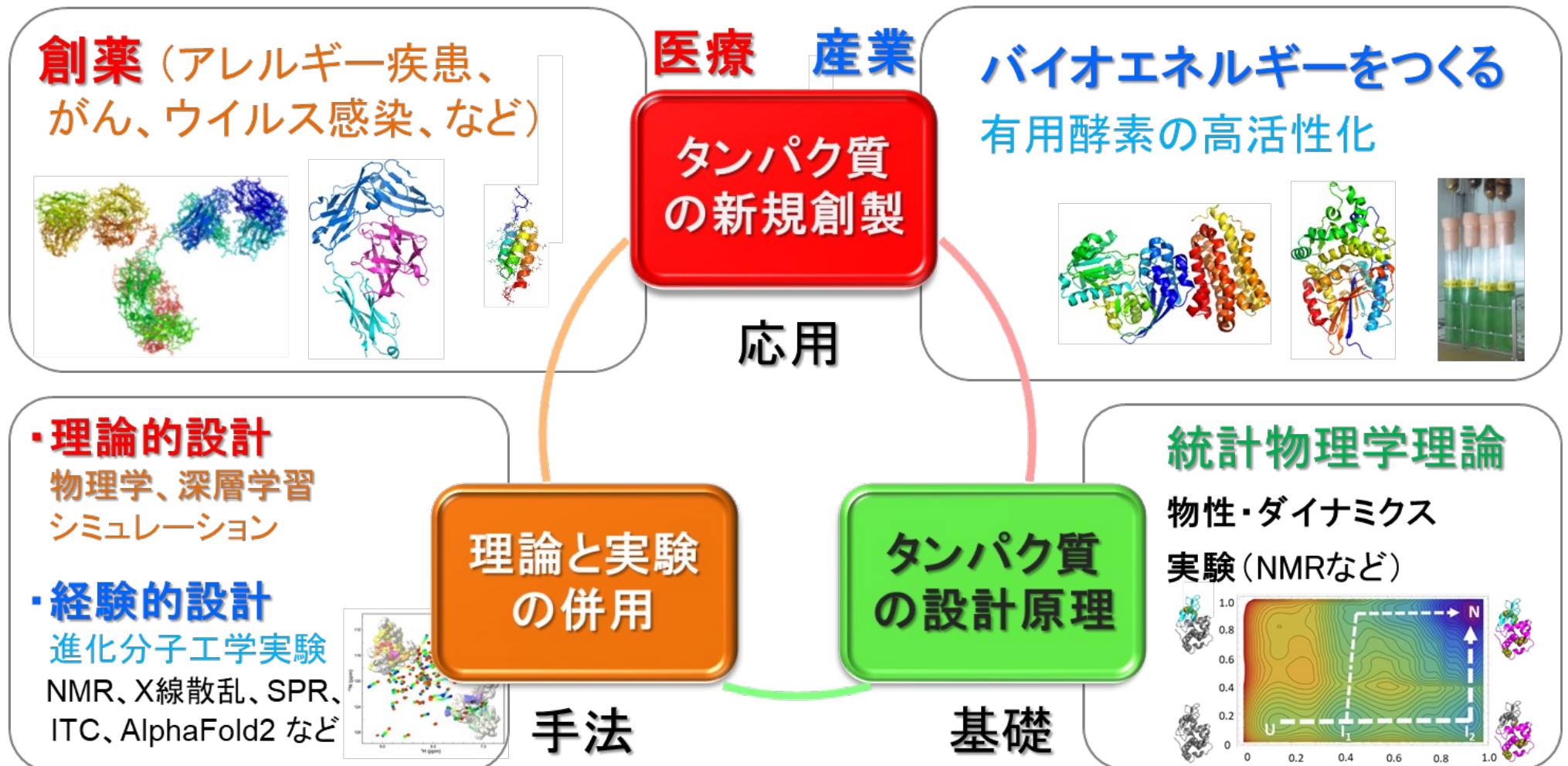
A7サブコースの教員と研究分野

- 新井 宗仁 タンパク質のフォールディングとデザイン (駒場)
タンパク質 (実験/理論)
- 伊藤 創祐 生体内での情報と熱の物理法則 (本郷)
熱・情報 (理論)
- ▲ 岡田 真人 人工知能と物性理論 (柏)
知覚 (理論)
- 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 (本郷)
計測 (実験)
- 川口 喬吾 生体分子・細胞集団の運動と非平衡物理 (本郷)
集団運動 (実験/理論)
- 酒井 邦嘉 人間の脳はどこまで分かったか、分かるのか (駒場)
脳機能 (実験)
- ▲ 能瀬 聡直 脳ネットワークの静と動 (柏)
脳神経 (実験)
- 野口 博司 タンパク質による生体膜の形状制御 (柏)
ソフトマター (理論)
- 古澤 力 適応進化ダイナミクスの実験と理論解析 (本郷)
適応進化 (実験/理論)

▲ 博士課程修了までは指導不可

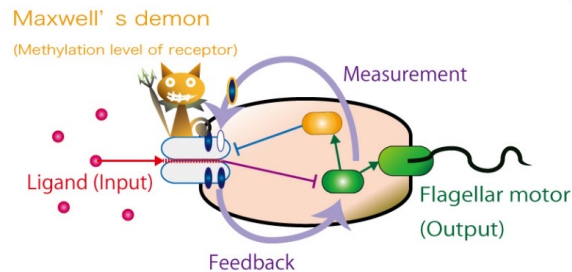
新井 宗仁

- ・ タンパク質の設計原理の解明と、統計物理学理論の開発
- ・ 医療や産業に役立つ新規タンパク質の理論的設計

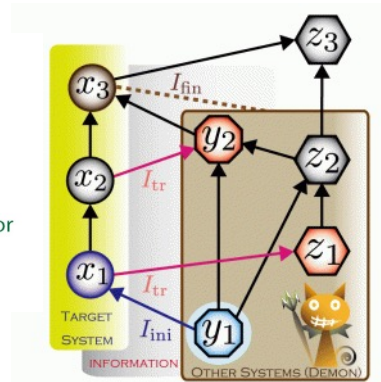


伊藤 創祐

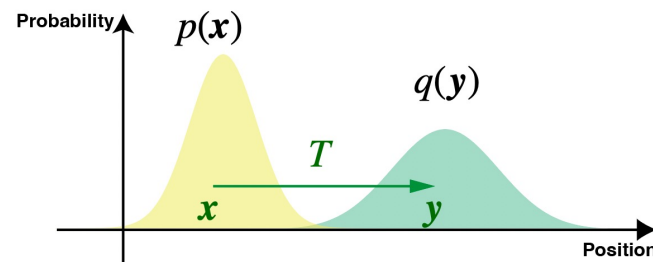
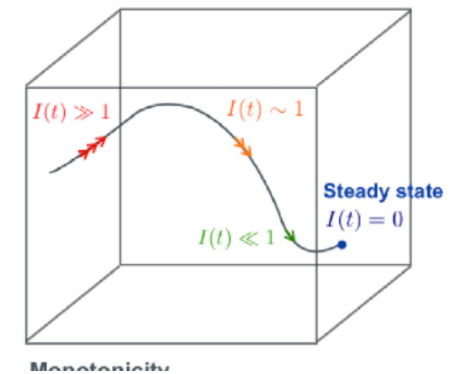
- 伊藤研では非平衡系の物理学と情報が関わる生命現象の理論研究を行っています.
- 機械学習理論などで用いられる情報理論や情報の幾何学(情報幾何、最適輸送)と、確率的もしくは決定論的な系における非平衡熱力学との関係を構築することで、生物の情報処理の普遍法則を探究しています。



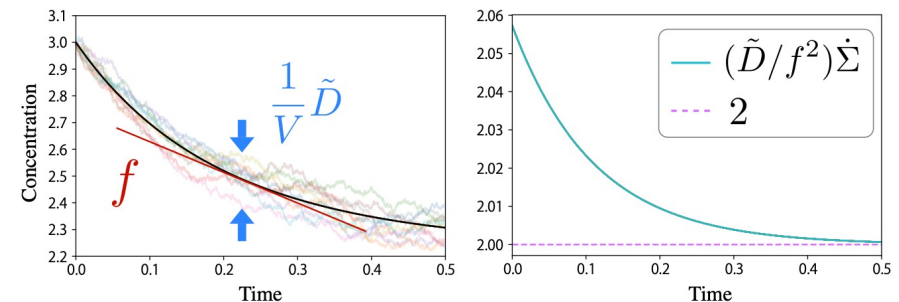
マクスウェルのデーモン



情報幾何



最適輸送理論



トレードオフ関係 (熱力学的な不確定性関係)

岡田 真人

(岡田は2人いるので
注意してください)

岡田研究室では、**データ駆動科学**(ベイズ推論とスパースモデリング)の観点から、脳科学物質材料科学など幅広い分野の研究しています。データ駆動科学とは、**人工知能(機械学習)**を自然科学全般に適用する分野に依存しない**普遍的枠組み**です。**データ駆動科学を創成**するために、多くの実験系研究室との共同研究を行っています。

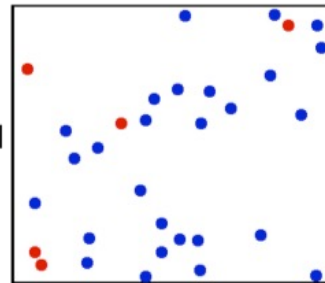
物理学から見た脳科学

マクロ $PV = nRT$

ボルツマン分布

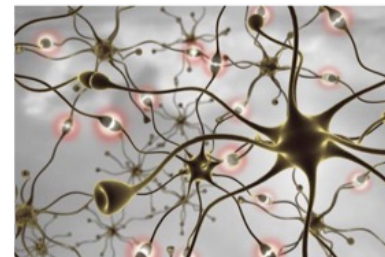
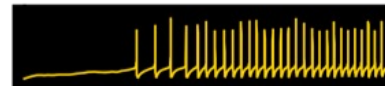
$$P(E) = \frac{1}{Z} \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right)$$

ミクロ



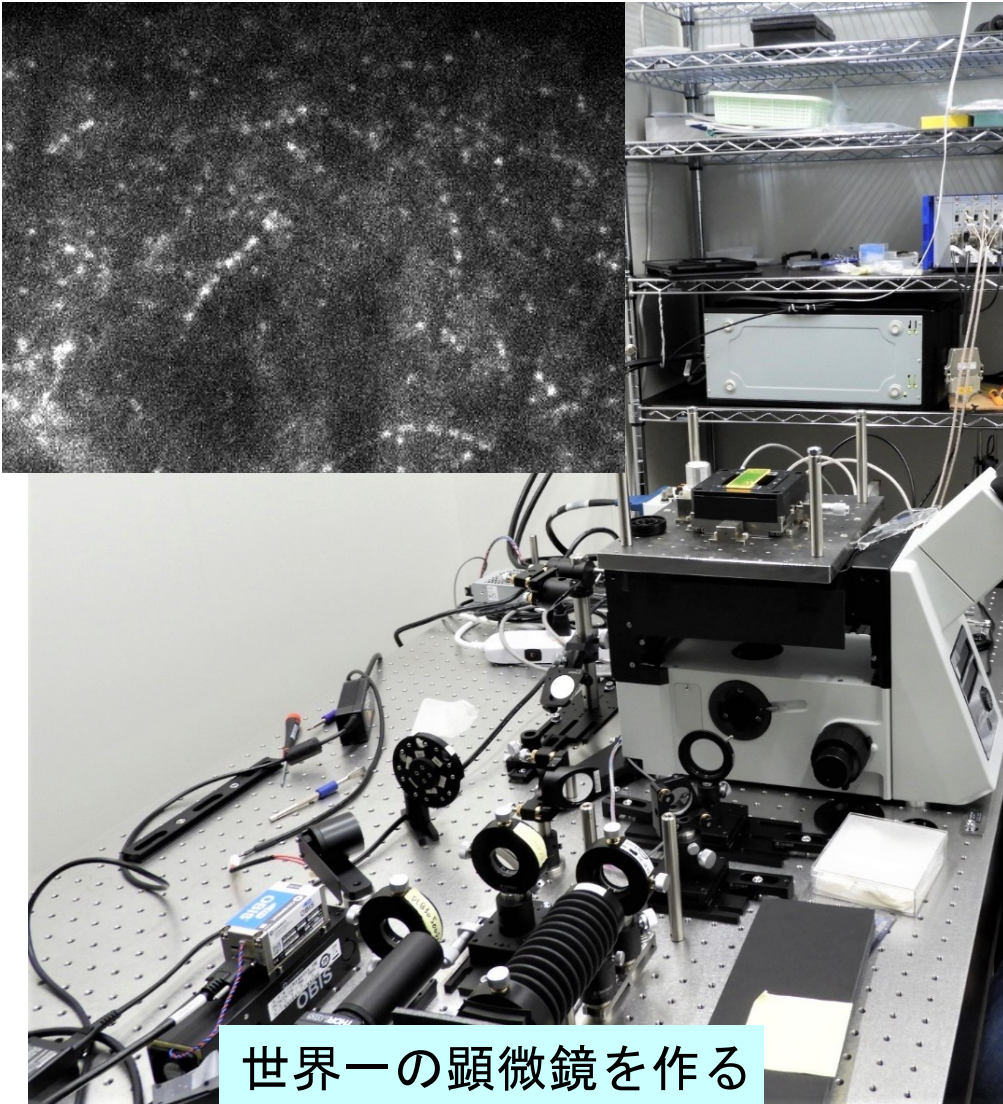
心理物理・心理現象
知覚, 認識, 事物の距離関係
言語, 思考, 精神活動一般

統計力学, 機械学習



岡田 康志

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

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

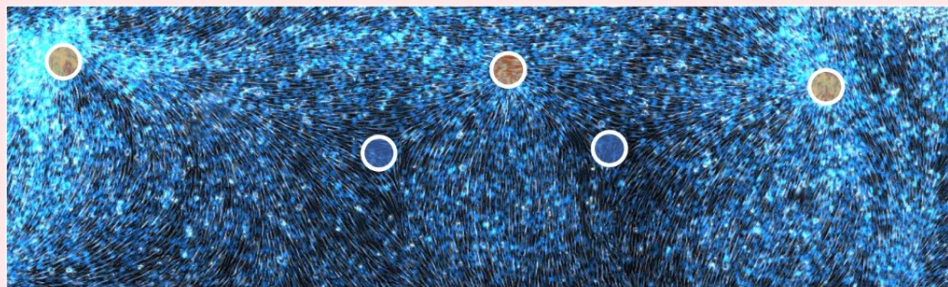
川口 喬吾

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

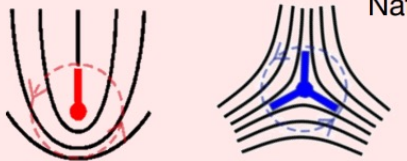
現在のテーマ：

- ・ 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・動物形態形成の現象論（数値計算・機械学習）

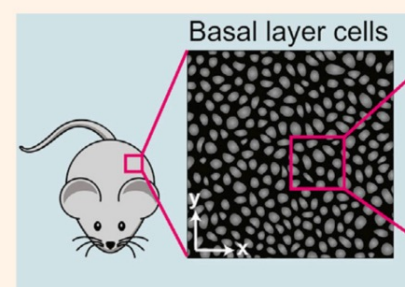
細胞集団運動とトポロジー



Nature 545, 327 (2017), arXiv:2008.10852

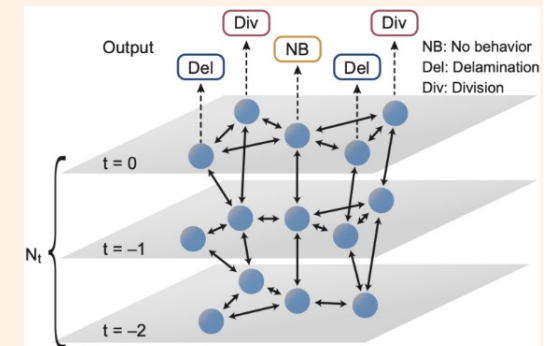


成体組織のターンオーバーと非平衡物理



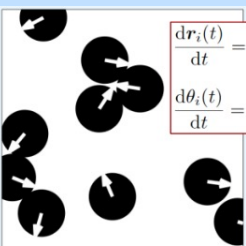
Cell Stem Cell 23, 677 (2018)

グラフを使ったAIモデル

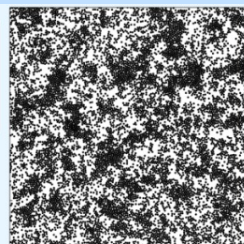


Plos Comp Biol 18(9):e1010477 (2022)

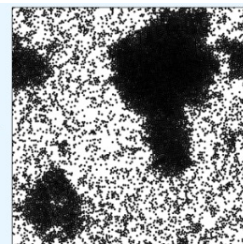
アクティブ集団運動の理論モデルとその量子版



$$\frac{d\mathbf{r}_i(t)}{dt} = \mathbf{v}_i(t) + \mu \sum_{j(\neq i)} \mathbf{F}_{ij} + \sqrt{2D} \boldsymbol{\xi}_i(t)$$
$$\frac{d\theta_i(t)}{dt} = \sqrt{2D_r} \xi_i^\theta(t)$$

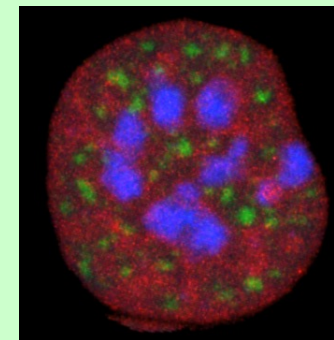


時間経過



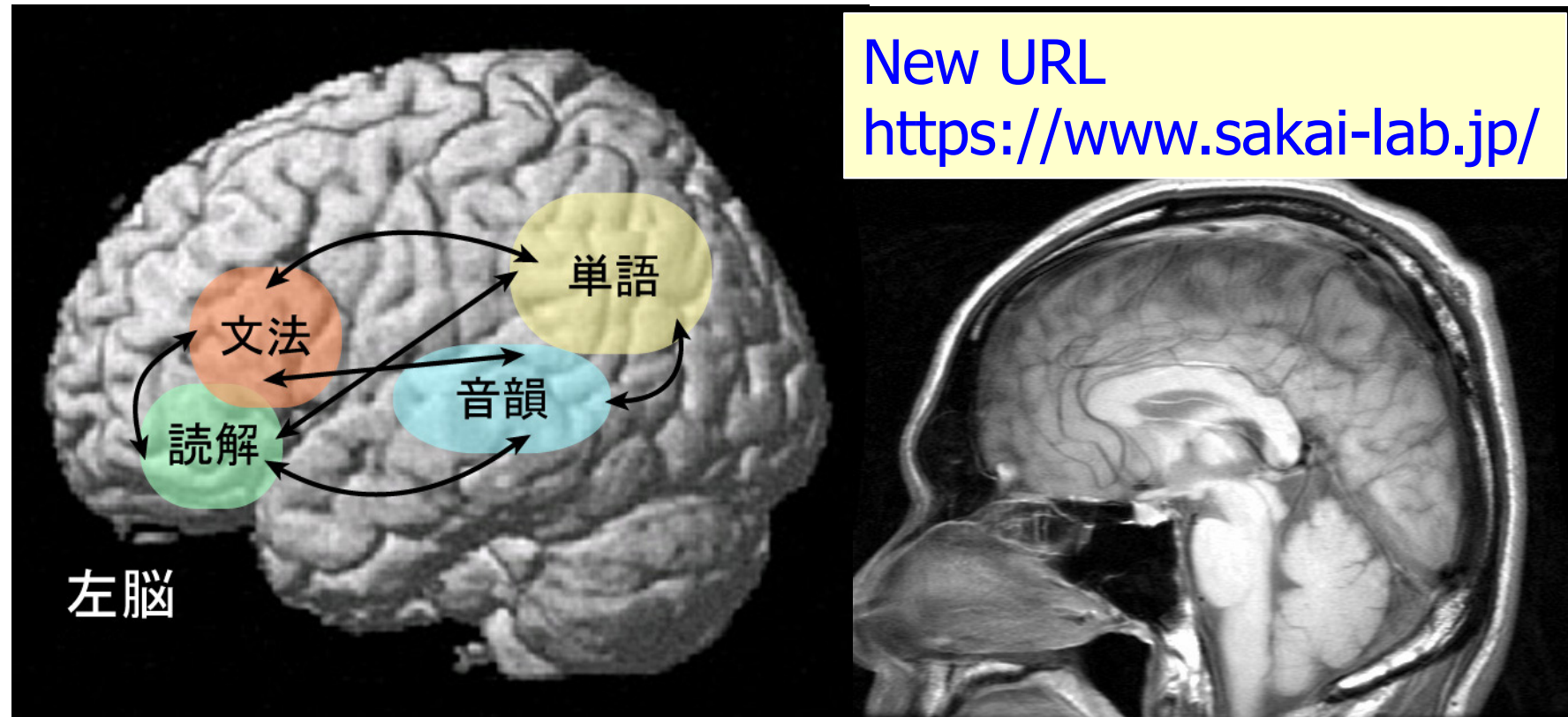
Phys Rev Research 4, 013194 (2022)

AIによる相分離や形態形成のルール推定



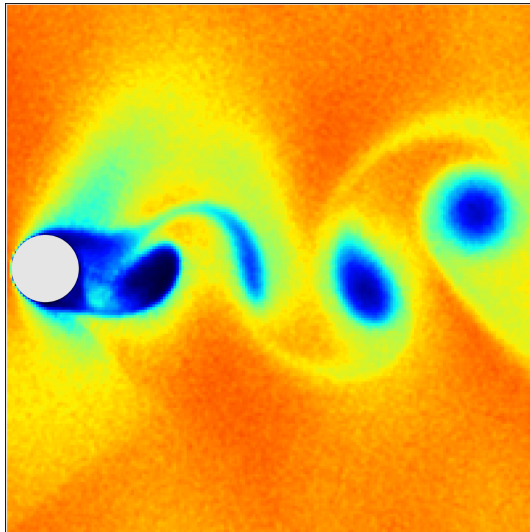
酒井 邦嘉

研究室では「システム・ニューロサイエンス」と呼ばれる脳科学の分野で、言語脳科学と脳機能イメージングを中心とした最先端の研究を行っている。言語は、脳における最高次の情報処理システムである。人間だけに備わった言語能力のメカニズムを解明することで、人間の心の深奥にある精緻な構造や、芸術を含めた創造性の謎に迫りたい。

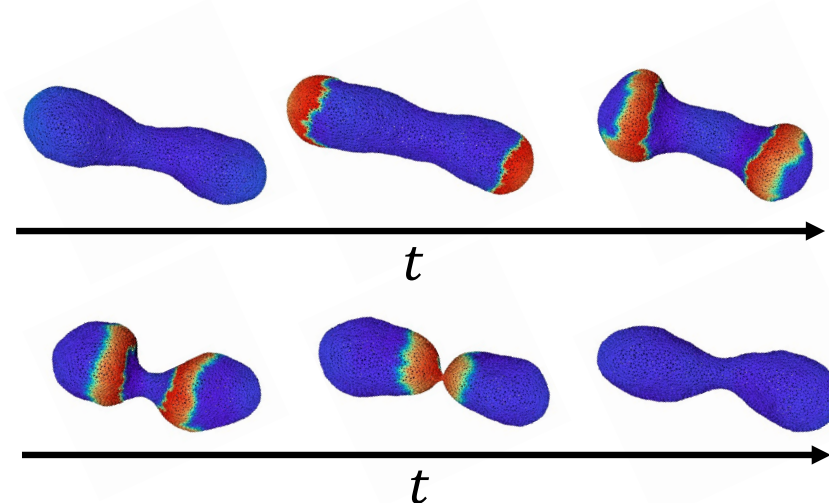


野口 博司

- 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

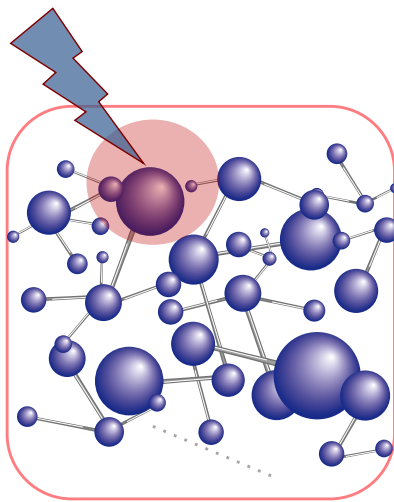


化学反応波による周期的な膜変形

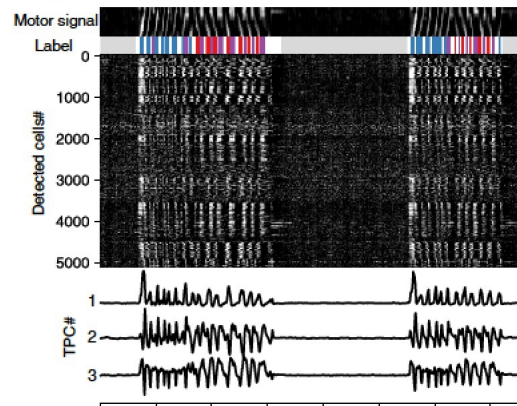
能瀬 聡直

脳・神経系は多数のニューロンが連絡した複雑な回路です。一体、どのような回路の中を、どのように信号が伝わることで高度な情報処理が可能になるのでしょうか？また、どのようにして機能的な回路が間違いなく形成されるのでしょうか？

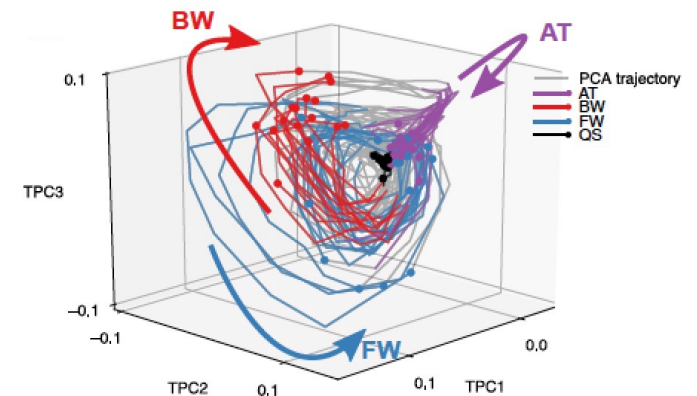
当研究室では、ショウジョウバエの神経系をモデルとし、これらの問題に迫っています。



神経活動の
光操作



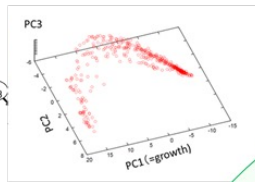
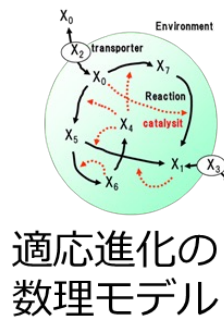
活動測定



神経活動
ダイナミクス

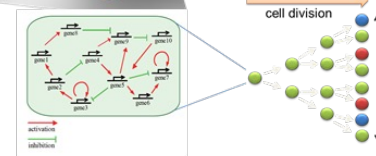
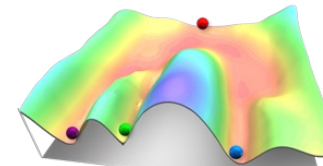
古澤 力

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。

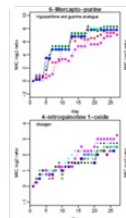


理論モデル

発生過程における「未分化さ」の理解

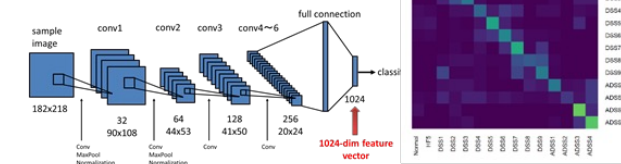


大規模実験



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

各研究室の研究内容の詳細や、
教員との連絡については、
配付資料にある連絡先や、
各研究室のホームページを
参照してください。