

## 理論生物物理、複雑系、カオス、非平衡現象



金子邦彦教授

金子邦彦 教授 Kunihiko Kaneko, *Prof.*

石原秀至 助教 Shuji Ishihara, *Assist. Prof.*

### 複雑系生命科学(力学系、統計力学をベースに)

非平衡現象の理論、非線形ダイナミクス(カオスを含む)をベースにしつつ、生命現象の基礎理論の研究を主に行っています。ただし、ダイナミックな現象への関心は研究室で共有されていますが、特定の問題に研究課題が制限されているということはありません。ぼく自身の現在の主たる研究興味は、生命とは何かに答えられる物理学をつくること、そのために複雑系生命科学=分子-細胞-個体-生態系といったように、スケールの異なる階層が互いに互いを変え、そのダイナミクスの中から階層間の整合的な関係が生成崩壊していく過程を通して、柔らかく安定した生命システムを理解することです。研究では非平衡現象論、非線形ダイナミクス(カオスを含む)、統計物理などを背景にしていますが、従来の理論ではおさまらない、新しい生命システムの理論構築をも目指しています。また、そうした生命現象の興味深い振り舞いから数理的なアイデアを抜き出した、大自由度力学系や非平衡系での新しい普遍クラスの現象も研究しています。

### 生命現象の基礎物理

この数年、細胞内の状態のゆらぎや分布を測定する手法が

急速に進歩し、生物学実験の定量性が飛躍的にあがったため、統計力学、非線形物理をふまえた理論と生物実験がタイトに結びつくようになってきました。今までアイデア先行になりがちだった理論物理側からのアプローチが一変しつつあります。世界的にも20代、30代の若手が新しい結果を出し活躍し、当研究室のメンバーや出身者も活躍しています。

僕自身は、細部まで合う理論モデルをつくるというよりも、生命の基本原理を見出し、理論化していくことを目標にしています。内部自由度の大きい要素が安定して増殖していくという条件だけから、複製、代謝、遺伝、適応、進化に対する普遍的な法則を見出すこと、異なる時間-空間スケールを持つ階層間の整合性(分子と細胞の複製、細胞のダイナミクスと個体の発生、遺伝子と表現型、進化と発生)がいかに形成されるか、またそれが破れることで新しい環境への適応が可能なるか、といった研究です。例をあげると

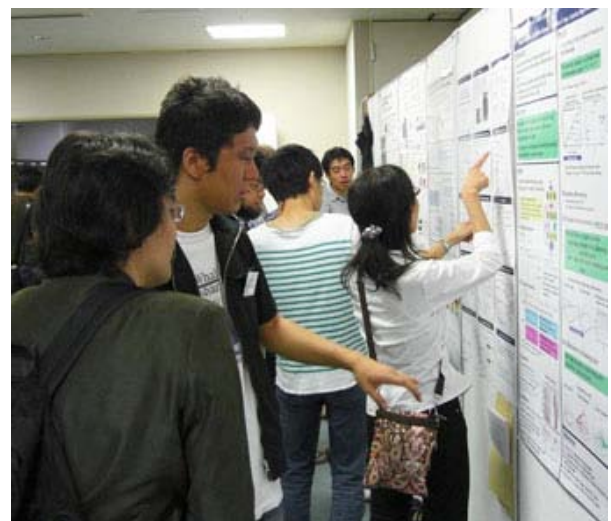
触媒反応ネットワークの動態から複製細胞系の起源へ：非平衡性の維持条件、複製系のゆらぎの普遍法則

適応系のダイナミクス(異なる時間スケールの干渉過程による一般的適応)

進化と生物の可塑性、安定性と表現型ゆらぎの関係

細胞社会の発達過程、細胞分化における多能性の喪失(その際の「時間の矢」を力学系から理解する)

相互作用をベースにした種分化と生態系の多様性の理論などです。



国際会議でポスター発表する大学院生達、石原助教(一番奥)

## 認知過程の理論

上に述べた考えをもとに脳の情報処理、認知過程、あるいは社会のダイナミクスにも興味があります。(ただし、こちらは実験との関係から今すぐの成果はのぞめないかもしれませんが)。力学系の中からいかにシンボルや推論が形成されていくかを、操作つき力学系の学習過程、関数力学系、ゲーム力学系などで考えています。

## 非線形力学系 非平衡現象

もともと、非平衡現象論(確率過程)、カオス、時空カオス、大自由度カオスを、確率過程、力学系(特に Coupled Map)により研究していました。その興味は今でもありますが、むしろ、今はこれらの問題を「生命らしい」性質がいかに非平衡系、力学系に宿るか、という視点で考えています。大自由度系の集団運動、カオス的遍歴、平衡へ緩和しにくいシステム、などがその例です。

### 最近の修士論文・博士論文の題目から

- T. Kurikawa(修士): 多時間スケールをもつ学習過程における相空間ダイナミクス
- Y. Kondo(修士): 触媒反応ネットワークのエナジェティクスによる細胞の状態論
- S. Ishihara: Information Processing and Pattern Formation in Biological Systems : Open-flow and Reaction-Diffusion dynamics
- H. Morita: Self-sustained non-equilibrium state in Hamiltonian dynamical systems
- A. Nakajima: Theoretical study of developmental robustness: From gene network to cell community
- M. Inoue: Dynamics of Adaptive Response in Biological Systems

### 主な著書

- 1) 生命とは何か(第2版)—複雑系生命科学へ—、東大出版会、2009年、英語版は Life: An Introduction to Complex Systems Biology, Springer 2006
- 2) 複雑系のカオスのシナリオ(朝倉書店)、1996 金子邦彦、津田一郎、英語版は Complex Systems: Chaos and Beyond, Springer 2001
- 3) 複雑系のバイオフィジクス(編集および1章)2001 共立出版
- 4) 複雑系の進化的シナリオ—生命の発展様式—(朝倉書店)、1998 金子邦彦、池上高志
- 5) Theory and Applications of Coupled Map Lattices (Wiley) 1993: 編集と1章
- 6) Collapse of Tori and Genesis of Chaos in Dissipative Systems (World Sci. Pub., 1986、博士論文を加筆) ほか

### 主な原著論文(一部です。論文は webpage に載せていますので参照してください)

- 1) "Pattern Dynamics in Spatiotemporal Chaos", Physica D, 34(1989) 1-41
- 2) "Clustering, Coding, Switching, Hierarchical Ordering, and Control in Network of Chaotic Elements", Physica D, 41 (1990) 137-172
- 3) "Theory of Robustness of Irreversible Differentiation in a Stem Cell System: Chaos Hypothesis" J. Theor. Biol., 209 (2001) 395-416
- 4) "Zipf's law in Gene Expression" Phys. Rev. Lett., 90 (2003) 088102
- 5) "Magic number  $7 \pm 2$  in networks of threshold dynamics", Phys. Rev. Lett., 94(2005) 058102
- 6) "Evolution of Robustness to Noise and Mutation in Gene Expression Dynamics", PLoS One(2007) 2 e434

### 学生へ一言

新しい学問をともに作りましょう。  
詳しくは、webpageの「研究室志望の方へ」を参考にしてください。

### 研究室のメンバー、出身者

最近、大学院生は6~9名程度、博士研究員1~4名程度です。現在のメンバーは webpage をご覧ください。なお、これまで修士取得28名、博士を取得した方は17名です。