

郡との研究活動を イメージしてもらうために

2020年5月吉日

東京大学 新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻 教授
(情報理工学系研究科 数理情報学専攻 兼任)

非線形物理学研究室

郡 宏 KORI, Hiroshi

研究室ウェブサイト：<http://www.hk.k.u-tokyo.ac.jp/>

郡ウェブサイト：<http://www.hk.k.u-tokyo.ac.jp/kori/index-jp.html>

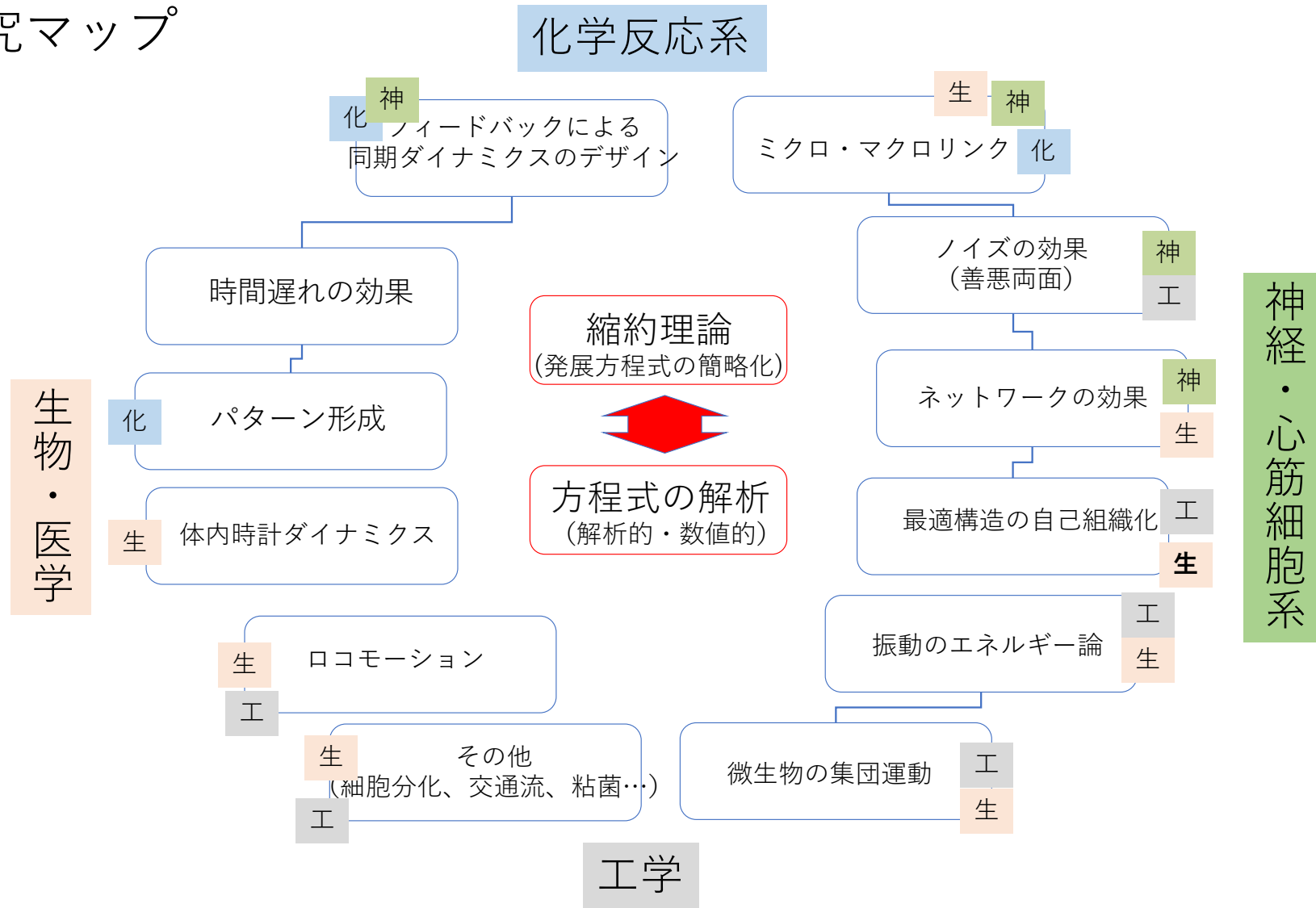
東大 非線形

郡の主な研究興味

- リズム・同期の理解と制御
 - リズムはどこにでもある。リズムを制するものはゲームを制する。
 - シフトワーク問題、環境問題、老化などの社会問題とも密接に関連
- 機能的デザインとは
 - 空間的構造：パターン、ネットワーク構造
 - 時間的構造：リズム、ロコモーション、
- ゆらぎ
- その他様々な複雑でダイナミカルな現象

シンプルな問題設定
ミニマルなモデリング によってアプローチ
近似理論・縮約理論、あるいは、その思想に基づいている

研究マップ



同期 Synchronization: 相互作用によるリズムの秩序化



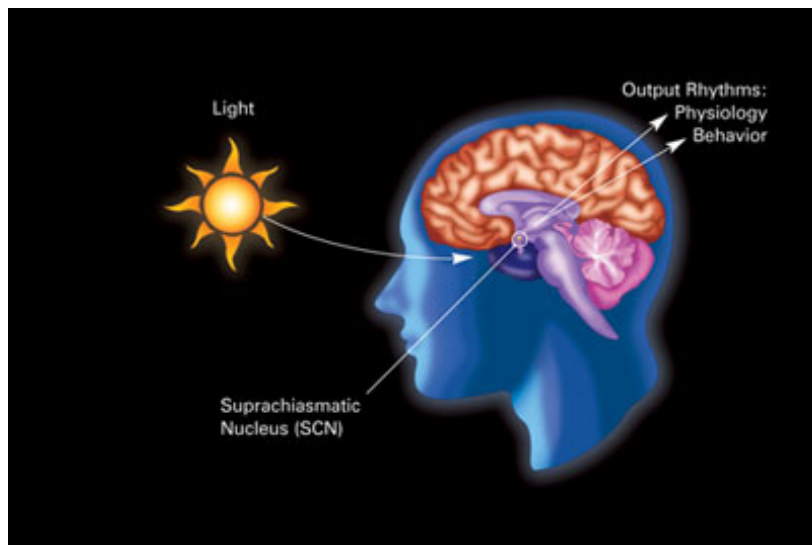
<https://youtu.be/ZMApCadGSt0> 4

ロンドン・ミレニウム橋の事件：
集団の歩行がゆれる橋と同期。強い横揺れを引き起こした。

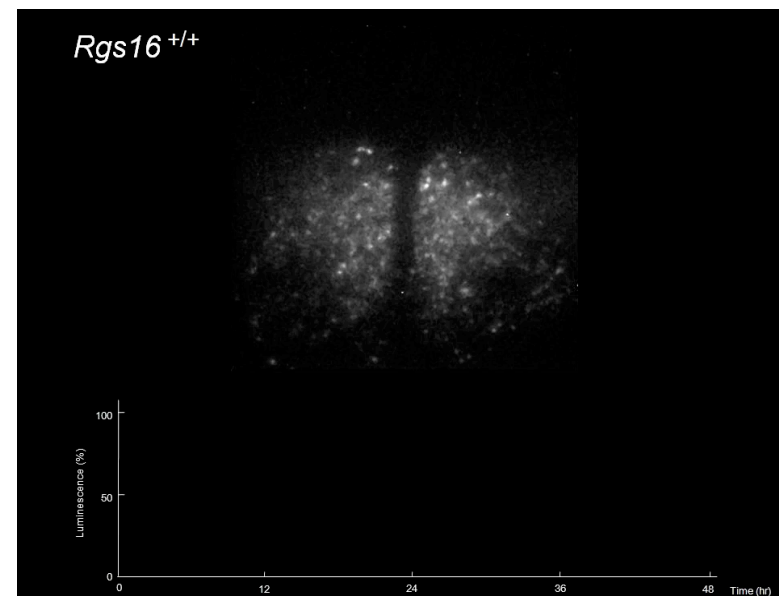


By David Martin / Under the Millennium Bridge, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=73602127>

約 24 時間の体内時計： 時計遺伝子の同期した活動



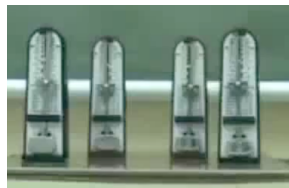
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7408107>



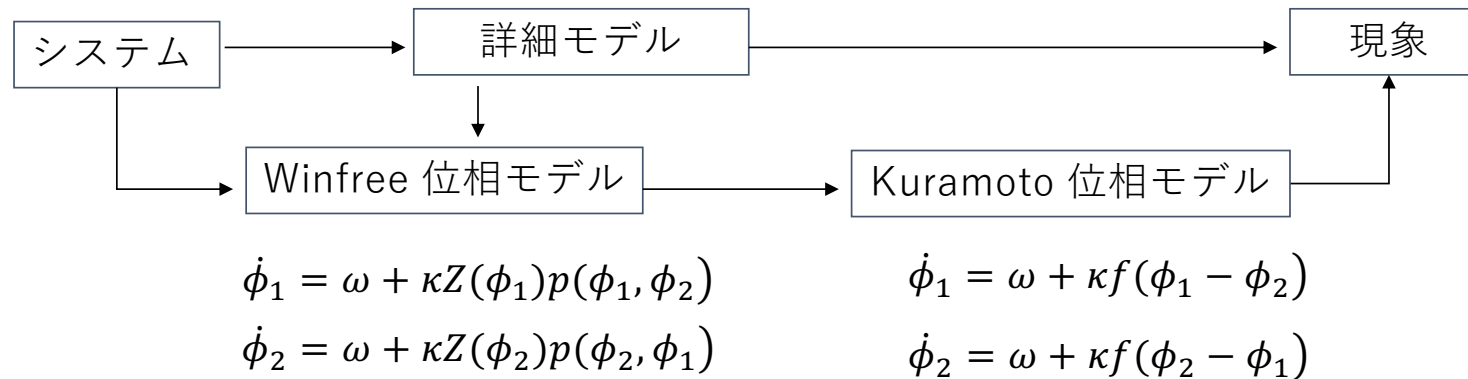
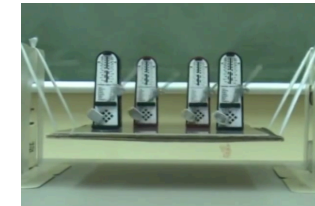
Doiら (Nature communications, 2013)

視交叉上核の培養系。
各細胞の時計遺伝子の活動を生物発光によって観察。
約 24 時間周期でのシンクロした活動を示している。

同期の数理的研究



$$\frac{dx}{dt} = f_x(x,y) + I_0 + Kp(t)$$
$$\frac{dy}{dt} = f_y(x,y)$$



かなり広い対象に対して有効

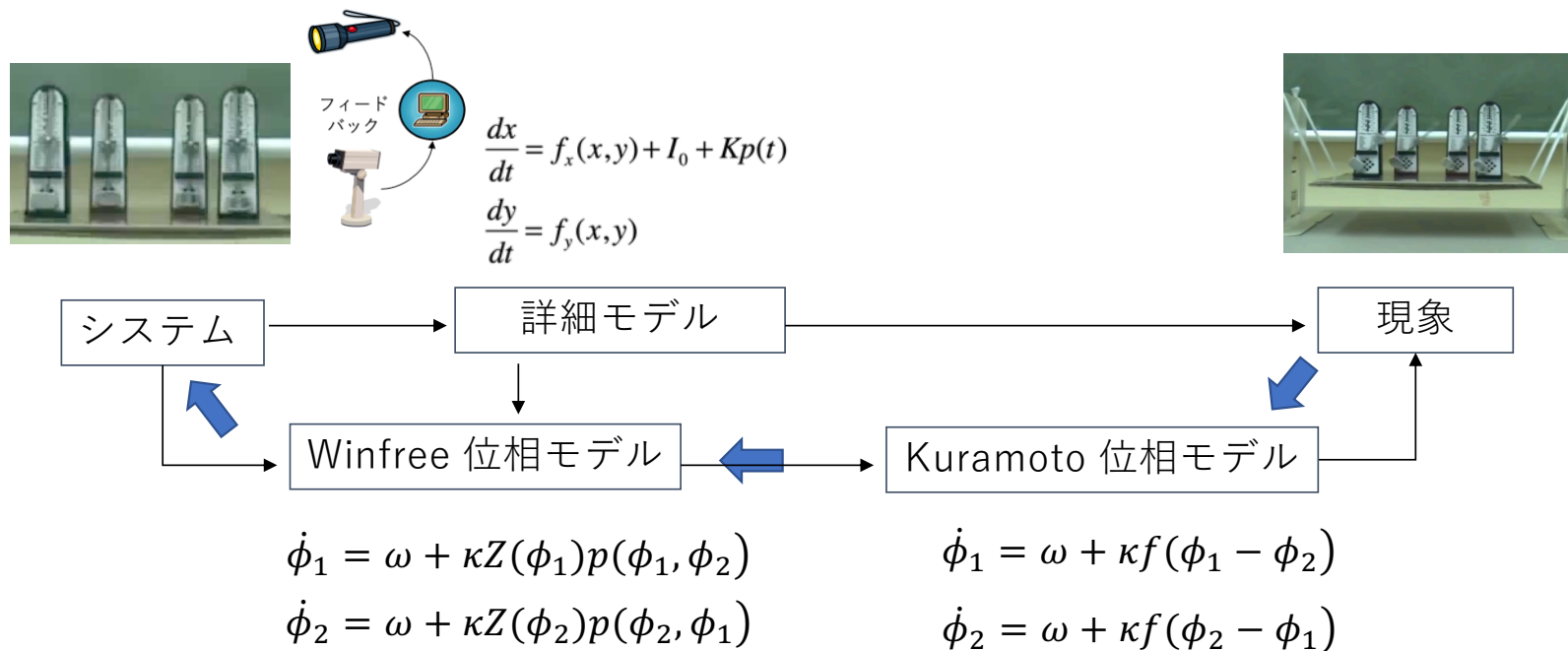
- ・ 体内時計などの遺伝子発現や代謝のリズム
- ・ 神経細胞・心筋細胞のダイナミクス
- ・ 化学反応系
- ・ 生物の動き（歩行や遊泳）

同期の制御

同期には様々な機能・弊害がある

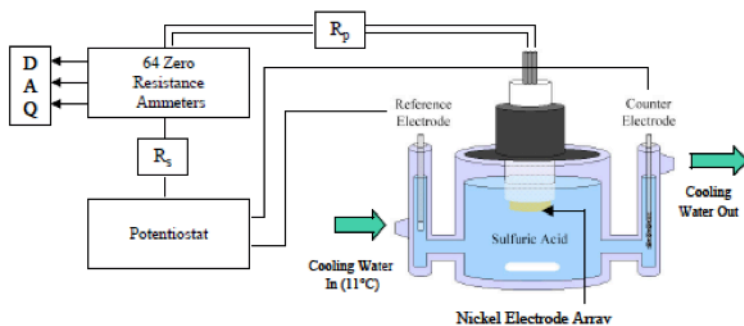
- 体内時計、心臓で不可欠
- 吊橋の歩行者、パーキンソン病の震え

同期ダイナミクスを思いのままに操りたい！



同期の制御：化学反応系で実証 (Science, 2008)

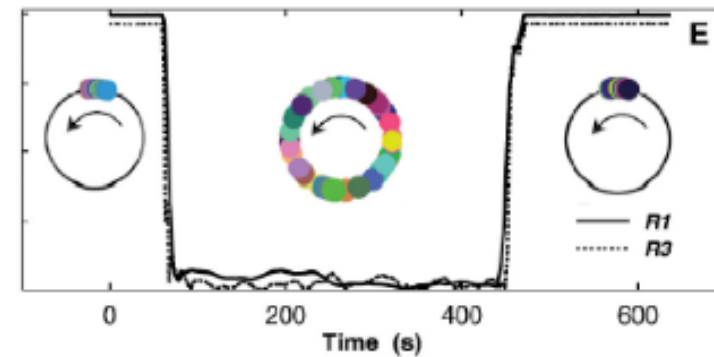
電気化学反応系



- 各電極に流れる電流 x_i を計測
- フィードバックを次の形で印加電圧 V に入れる

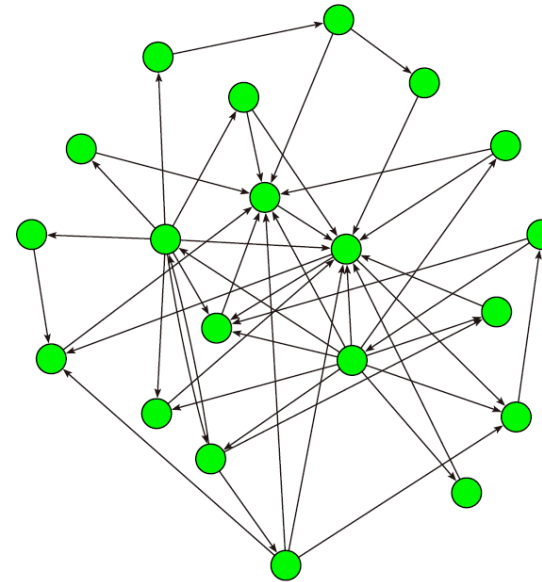
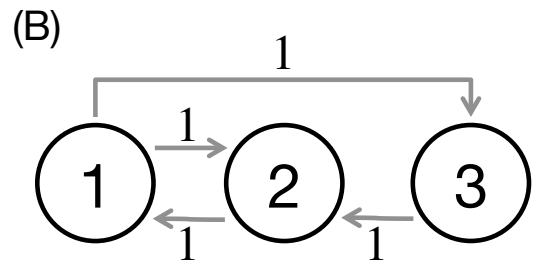
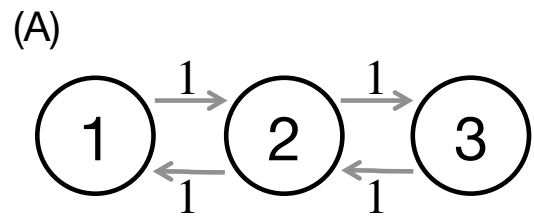
$$V(t) = V_0 + c_1 \bar{x}(t - \tau_1) + c_2 \bar{x}^2(t - \tau_2) + \dots$$

非線形フィードバック (当研究の理論に基づいて設計)



位相モデルという抽象的な数理モデルを経由して逆問題を解く。
 抽象的なモデルが現実の系の理解だけでなく、定量的記述や制御にも
 有効であることを示せた。

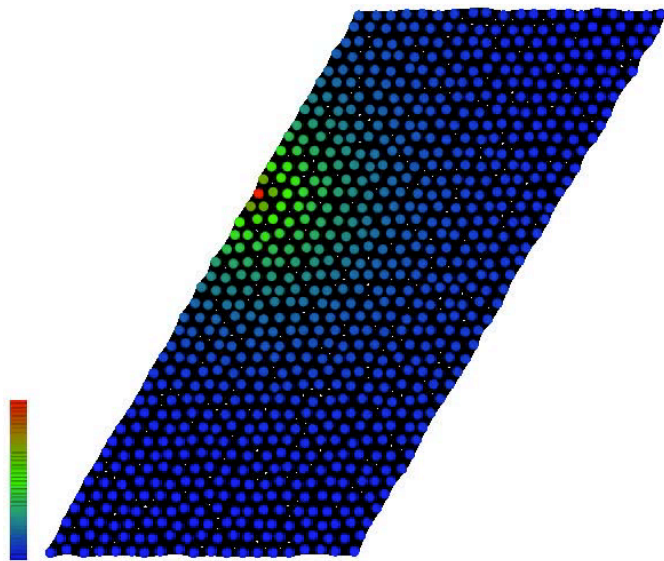
ネットワーク



個々の素子がゆらぎを持つとき、
集団の平均出力のゆらぎの大きさは？
ネットワーク構造に依存するのか？

どちらが同期に適したネットワーク？

機能的ネットワーク



キルヒホッフの法則
(電気回路や流体)

$$Q_{ij} = D_{ij}(P_i - P_j).$$

$$\sum_j Q_{ij} = I_i$$

コスト関数

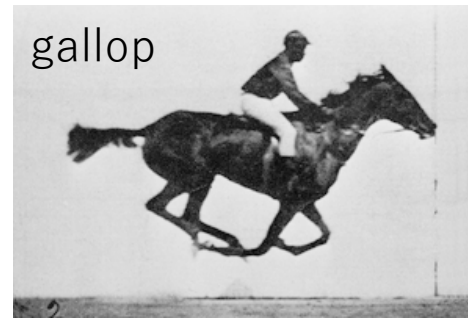
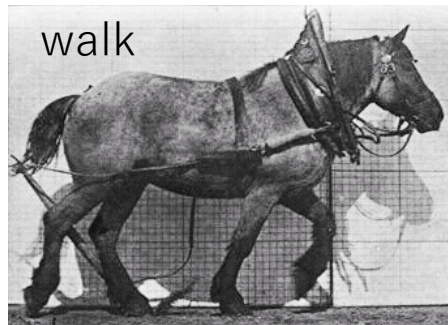
$$H = E + \kappa V = \sum Q_{ij}(P_i - P_j) + \kappa \sum L_{ij} r_{ij}^2$$

$$\dot{r}_{ij} = 4 \frac{(P_i - P_j)^2 r_{ij}^5}{L_{ij}} - \alpha \kappa r_{ij}^{\alpha-1} + \mu \xi_{ij}(t).$$

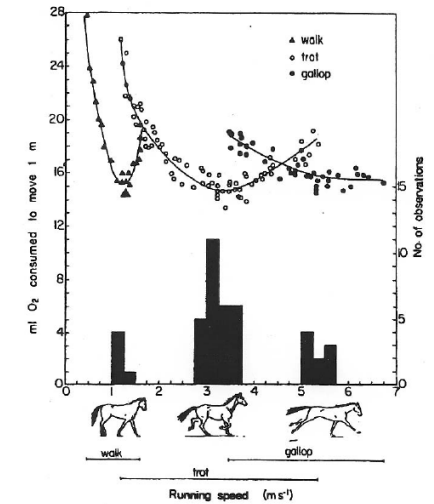
ネットワークやパターンの「機能」を数理的に記述する。
そして、機能的デザインの設計原理を明らかにする。

集団ダイナミクスと機能

馬の歩様ダイナミクスとエネルギー

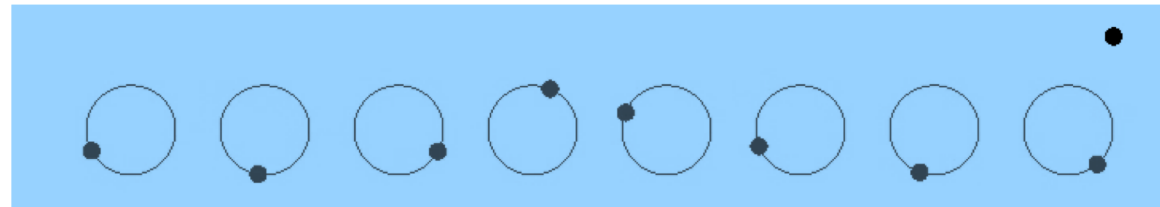


https://en.wikipedia.org/wiki/Horse_gait



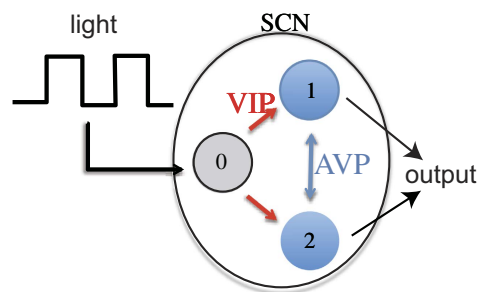
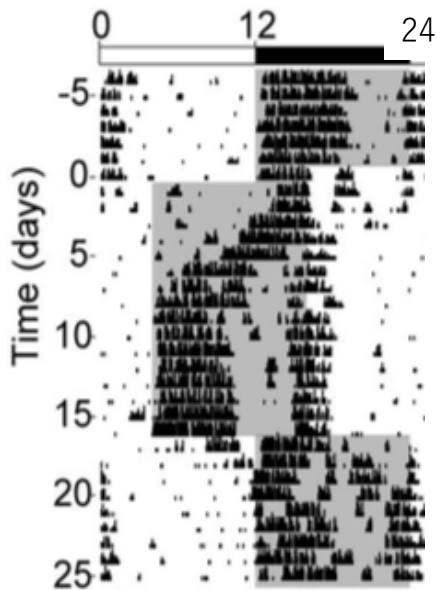
Donald F Hoyt and C Richard Taylor. Gait and the energetics of locomotion in horses. Nature, 1981.

回転子集団の同期ダイナミクスと
流体中の輸送



実験研究者との協働

例えば時差ボケの研究

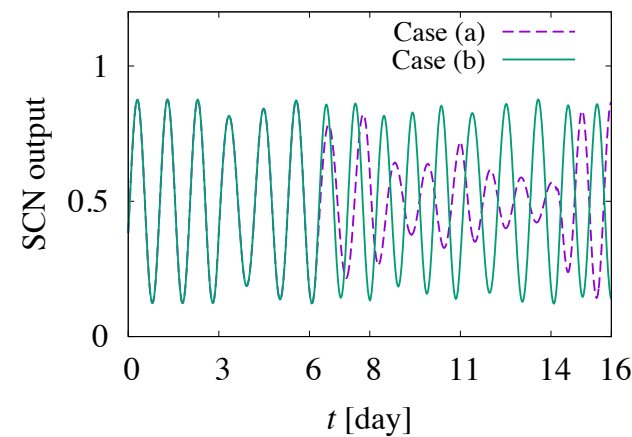
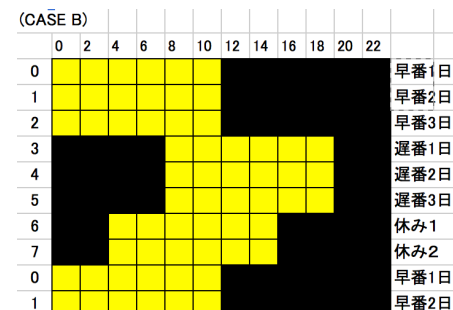
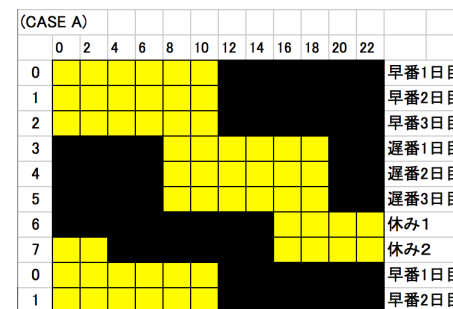


$$\phi_0 = \Omega(t + \Delta t).$$

$$\frac{d\phi_1}{dt} = \omega + K_1 \sin(\phi_0 - \phi_1) + K_2 \sin(\phi_2 + \alpha - \phi_1),$$

$$\frac{d\phi_2}{dt} = \omega + K_1 \sin(\phi_0 - \phi_2) + K_2 \sin(\phi_1 - (\phi_2 + \alpha)),$$

郡 時差ボケ Search



学生とやってきた研究

研究室ウェブサイト：<http://www.hk.k.u-tokyo.ac.jp/>

東大 非線形 Search

非線形物理学（郡・小林・泉田）

研究室

Nonlinear Physics Group (Kori-Kobayashi-Izumida group)

ホーム

研究内容 ▾

メンバー

学生募集

アクセス・問い合わせ

Search...



Home ● メンバー

メンバー

言語切り替え

 English (United States)

 日本語

この分野の思想・考え方・基礎をもっと知りたい方のために

[思想・考え方]

蔵本由紀（京大名誉教授）氏の著作

- 非線形科学—同期する世界—（集英社新書）
- 新しい自然学: 非線形科学の可能性（ちくま学芸文庫）

最近の対談（生命誌ジャーナル）

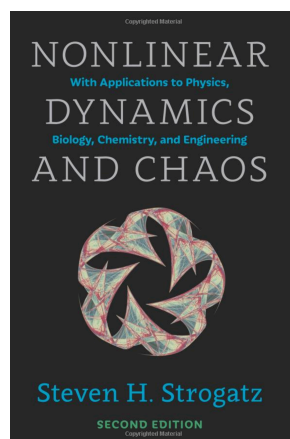
<https://www.brh.co.jp/publication/journal/085/>

[非線形数理の基礎]

Strogatz 著

Nonlinear Dynamics and Chaos

（日本語訳あり）



[郡の研究の基礎]

郡宏・森田善久 著

生物リズムと力学系（共立出版）



第1章の原稿を公開中：

<http://www.hk.k.u-tokyo.ac.jp/kori/index-jp.html>

（一番下にあります）

郡の得意なこと ÷ 学生に伝えられること

- 現象の動画や時系列データから特徴を見つける：
たくさんシミュレーションをして試行錯誤すると
自然と身についていく
- 世界中の広い分野の研究者と仲良くできる：
伝えたいという熱意とわかりやすい言葉が大事。
- コンピュータが実は大好き。
数値計算、可視化、システム管理、・・・、ノウハウあり。

郡の趣味・セールスポイント

- スポーツ（山登り、サッカー、テニスなど。柏キャンパス最高）
- 小説（夏目漱石とヘルマン・ヘッセが特に好き）
- 音楽（ポップス、ジャズ、クラシック）
- 漫画・アニメ（血となり肉となり）
- 動物（うさぎ、猫、犬、・・・）
- 酒（何でも飲みます。アルハラしません）
- いろんなところを渡り歩いています：
千葉（生まれと育ち）、仙台（大学）、京都（大学院）、
ベルリン（研究員）、北大（研究員）、お茶大（教員）
- 1才児の子育て中。研究室を出るのは17時が目標。

最後に

- 基礎的・根本的なことに興味。
でも、**応用につながるような基礎研究**を常に意識
- 願わくば人々の楽しみや幸せにつなげたい
 - 「**科学は世界への福祉**」
- **世界的にもユニークな立ち位置**
 - 抽象的な数理モデルによって、実際の現象を理解・予測・制御する。
典型的な理学的アプローチとも工学的アプローチとも違う、融合的？
振動現象に関しては大きな貢献ができています。
 - 現象だけでなく機能に強い興味。機能のモデル化による設計原理の探求。
 - 小自由度でも大自由度でもない、中途半端なところに宝がたくさんある