

機械的な競争モデルと 関連する話題

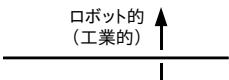
吉田 勝俊

宇都宮大学
機械知能工学専攻

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

発表内容

- 自己紹介(これまでの経緯)
- 機械的な競争モデルとその不定性
- 対戦問題としての展望
- 神経制御系の機械的結合とその効果
- まとめ



3

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

背景と目的

- 背景(多体系の相互作用):
 - 数理生態学(1920年代)
小自由度で解析可能 \Leftrightarrow 個体の構造は不定(捨象)
 - マルチ・ロボット・システム(1990年代)
大自由度で解析困難 \Leftrightarrow 個体の構造が確定(ロボット)
- 本研究:
 - 機械装置としての構成法を示す。
小自由度で解析可能 \Leftrightarrow 個体の構造が確定(機械構造)
 - 特徴的な dynamics を示す。

5

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

自己紹介(これまでの経緯)

- 機械の非線形ダイナミクス [1991(卒研)~]
 - 機械のカオス, 同期, On-Off 間欠性.
 - 時間遅れ系の平均法. (上司の手伝い)
- 確率過程の応用 [1996~]
 - 実験的なカオス = 決定論カオス + ノイズ [実験]
 - 見本の同期現象(ランダム力学系の不動点) [実験]
- 全部入ってる
全部入ってる
具体例ほしい
※格闘
技好き
- 機械的な競争モデル [2006~]
 - モデルの構成. 人間型の制御(時間遅れ + ノイズ).

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

2

発表内容

- 自己紹介(これまでの経緯)
- 機械的な競争モデルとその不定性
- 対戦問題としての展望
- 神経制御系の機械的結合とその効果
- まとめ

Utsunomiya University

4

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

目次 (機械的な競争モデルとその不定性)

- 背景と目的
- 生物種の競争モデル
- 機械的な競争モデル?
- 過渡応答の不定性
- 試作実験

6

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

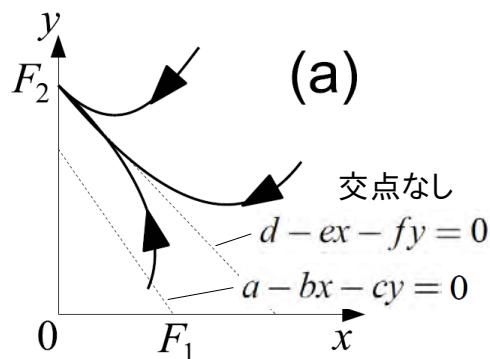
生物種の競争モデル

生物種の競争モデル(Lotka-Volterra 系)

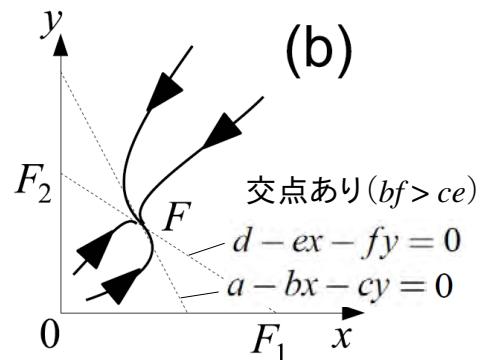
$$\begin{cases} \dot{x} = x(a - bx - cy) \\ \dot{y} = y(d - ex - fy) \end{cases}$$

- $x, y \cdots$ 同じ環境に生息する生物種の密度
- $a \cdots$ 種xの自然増殖率
- $b \cdots$ 種xの環境収容力の逆数
- $c \cdots$ 種yの存在による、種xの増殖低下率

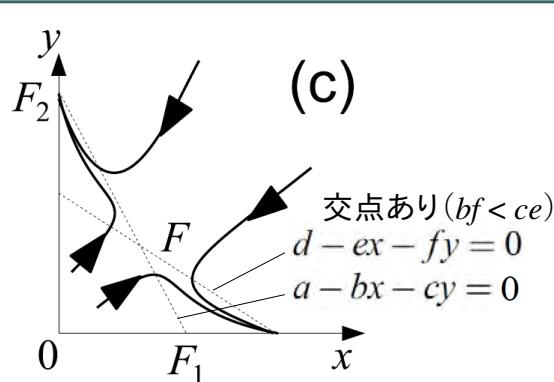
優占 — 種間競争のダイナミクス



安定共存 — 種間競争のダイナミクス

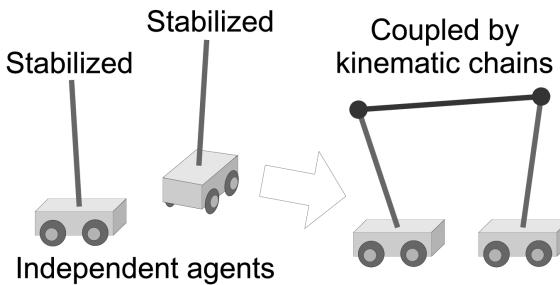


双安定 — 種間競争のダイナミクス



機械的な競争モデル？

本研究: 相互作用を機械構造で実現する



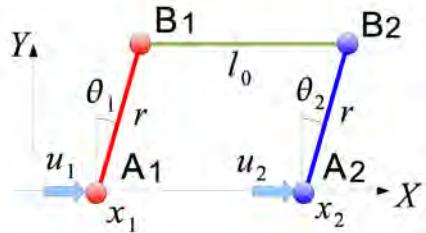
- 力学法則と表裏一体の競合・協調ダイナミクス
- 全てのパラメータを機械力学的に同定可能

13

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

結合倒立振子モデル



- 倒立安定化コントローラ×2

$$u_i = K \sin \theta_i + L \dot{\theta}_i \cos \theta_i \quad (i = 1, 2)$$

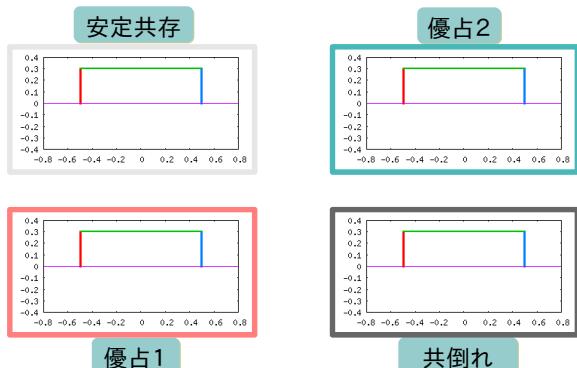
※ 水平方向の相対変位, および時間微分

14

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

提案モデルの平衡状態と, 生態学的メタファ



15

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

運動方程式 (exact)

$$\begin{cases} 2m\ddot{x}_i + (mr \cos \theta_i)\ddot{\theta}_i - mr\dot{\theta}_i^2 \sin \theta_i = u_i(t) + \lambda \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \\ \cos \theta_i \ddot{x}_i + r\ddot{\theta}_i - g \sin \theta_i = \lambda \frac{\partial \phi}{\partial \theta_i} \quad (i = 1, 2) \\ (l \cos \theta_1 - l \cos \theta_2)^2 + (l \sin \theta_1 - l \sin \theta_2 + x_1 - x_2)^2 = l^2 \end{cases}$$

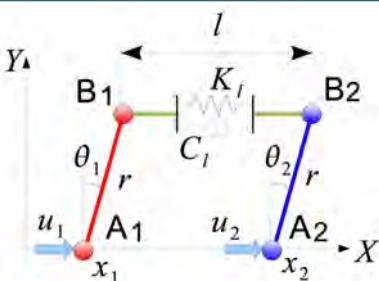
- 機械力学/制御工学的に同定可能.
 - 微分代数方程式系(DAE)となる.
- DAEの汎用解法 (不安定) ※射影で拘束力消去
- ペナルティ法 (非常にロバスト)

16

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

ペナルティ法



- $K_l, C_l \gg 1$ ならば $B_1B_2 \approx$ 剛体.
- 若干の粘弾性は, むしろ現実的.

17

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

運動方程式 (ペナルティ法)

$$\begin{cases} \ddot{x}_i + C_x \dot{x}_i = -\frac{2}{mQ(\theta_i)} u_i + G_x(\theta_i) \\ \quad + C_l \frac{H_x(\theta_i)I}{(-1)^j \cdot l^2} + K_l \frac{2H_x(\theta_i)(l - l_0)}{(-1)^j \cdot l}, \\ \ddot{\theta}_i + C_\theta \dot{\theta}_i = \frac{2 \cos \theta_i}{mrQ(\theta_i)} u_i + G_\theta(\theta_i) \\ \quad + C_l \frac{H_\theta(\theta_i)I}{(-1)^j \cdot l^2} + K_l \frac{2H_\theta(\theta_i)(l - l_0)}{(-1)^j \cdot l} \quad (i = 1, 2) \end{cases}$$

- 通常の常微分方程式

18

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

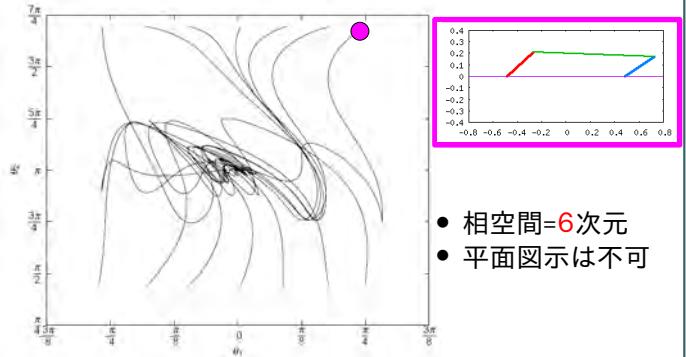
過渡応答の不定性

19

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

過渡応答の相図 (θ_1 - θ_2 平面)

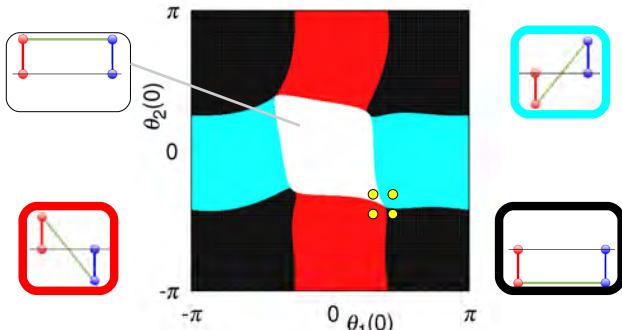


20

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

初期値依存性 — PDゲイン(100, 10)

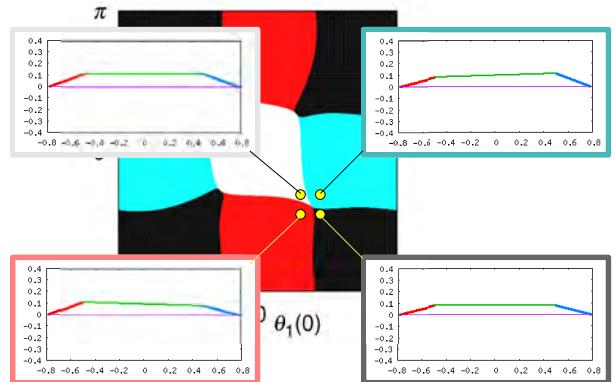


21

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

近接条件の比較 【初期姿勢】

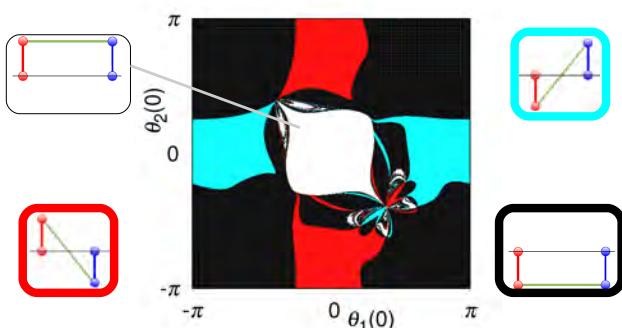


22

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

初期値依存性 — PDゲイン(100, 2)

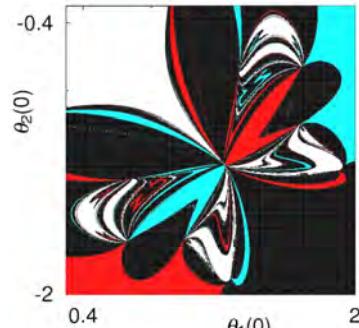


23

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

拡大図 — PDゲイン(100, 2) 【初期姿勢】

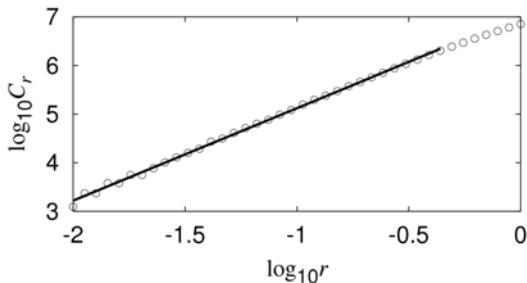


24

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

相関次元 — PDゲイン(100, 2) 【初期姿勢】



- 相関次元 ≈ 1.9 程度のフラクタル性

25

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

まとめ — 過渡応答の不定性 —

- 初期値依存性はフラクタル的.



初期値の設定精度が有限のとき…

- どの平衡点が実現するか不定となる.

==> 実験での不定性を示唆.

比喩: 知能なしの自動機械の対戦格闘

- 勝敗は, 最初の「構え」で決まる.
- ただし, 現実の精度下では, 勝敗は予測困難. (決定論カオスと同じ状況)

26

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

試作実験の紹介

※構造がモデルと若干異なる！

27

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

結合倒立双安定振子 【動作の概要】



- 磁性体の復元力. 上死点, 下死点が安定.
- リンク棒で結合.

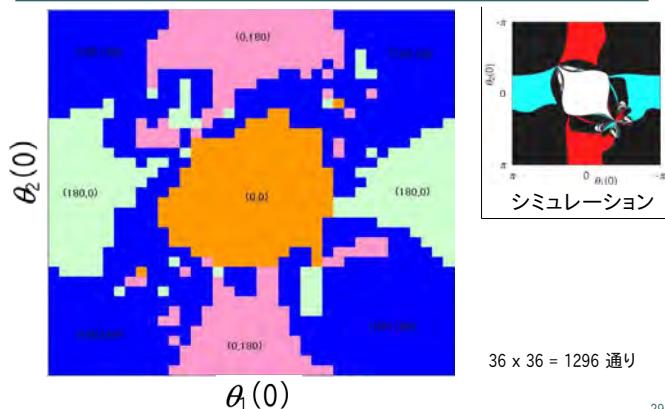
28

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

初期値依存性

【実験結果】



29

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

発表内容

- 自己紹介(これまでの経緯)
- 機械的な競争モデルとその不定性
- 対戦問題としての展望 ←
- 神経制御系の機械的結合とその効果
- まとめ

30

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

対戦問題としての展望

(JSME J.S.D.D., Vol.2, No.3, (2008-6), pp.727-737)

31

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

対戦と戦略？



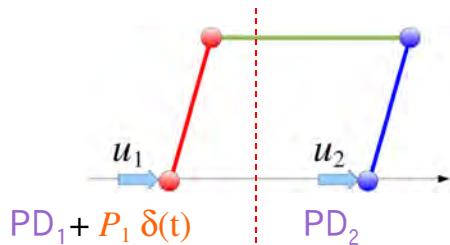
- 平衡状態の推移～対戦？
- 推移則～戦略？

32

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

階層型コントローラ (PD + インパルス)



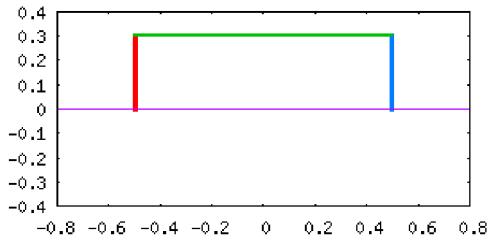
- 【上位】インパルス…平衡点推移
- 【下位】PD制御器…倒立安定化

33

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

捨て身戦略(赤の攻撃)



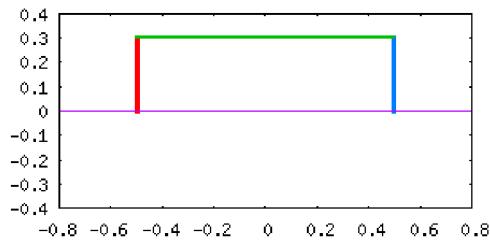
- 赤の足元(台車)にインパルス.
- 赤はもどり、青が落ちる.
- 赤の捨て身戦略？

34

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

脱力戦略(青の反撃)



- 赤は捨て身戦略. 青がPD制御を中断する. (t=0.1~0.4s)
- 勝敗が逆転する. 青の脱力戦略！

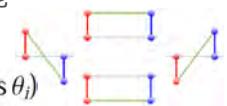
35

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

対戦問題の表現(展望)

- 戰略 \Leftrightarrow 写像: (制御器) \rightarrow (制御器) ?
 - 戰略の合成 = 反撃が記述可能
- 無戦略 \Leftrightarrow PD制御器
 - $u_i = u_i^{\text{pd}} := r(K \sin \theta_i + L \dot{\theta}_i \cos \theta_i)$
- さきの数値例
 - アフィン変換 $\sigma_i(u_i) := \alpha_i u_i + \beta_i$
 - 赤の戦略 $\sigma_1 = \sigma_s := [1, P\delta(t)], \quad \sigma_2 = \text{id}$
 - 青の反撃 $\sigma_1 = \text{id}, \quad \sigma_2 = \sigma_w := [U(t_1, t_2; t), 0]$



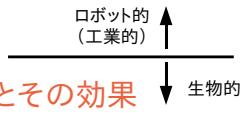
36

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

発表内容

- 自己紹介(これまでの経緯)
- 機械的な競争モデルとその不定性
- 対戦問題としての展望
- 神経制御系の機械的結合とその効果
- まとめ



37

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

最終目標: 結合バランス問題の解明

- 例えば、棒立て遊び。互いの先端をリンクする。
- 単独の場合と何が変わるか？



38

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

背景と目的

- 背景: 単独の棒立て**
 - Cabrera et.al, PRL 89-15 (2002).
 - 制御器 := (時間遅れ feedback)+(ランダムゲイン)
 - Bormann et.al, Neurocomputing 58-60 (2004).
 - コンピュータ画面上の「**単独棒立て**」実験。(線形モデル)
- 本研究: 2人の棒立て with 機械的結合**
 - 制御器:=(時間遅れ feedback)+(ランダムゲイン)
 - 機械的結合 → 安定性の向上。追従性の向上。
 - コンピュータ画面上の「**結合棒立て**」実験。

39

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

目次

- 背景と目的
- 結合棒立てのモデル？
- 機械的結合による安定性と追従性の向上
- コンピュータ画面上の結合棒立て実験
- まとめと課題

40

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

結合棒立てのモデル ※本研究

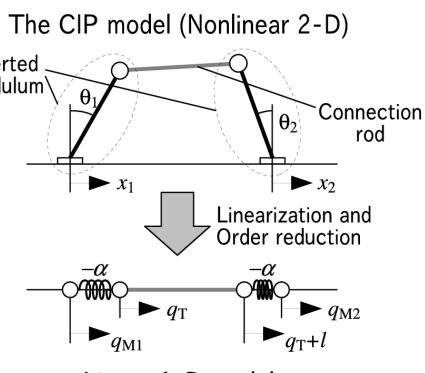
41

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

CIPモデルの線形化と低次元化

※CIP=結合倒立振子



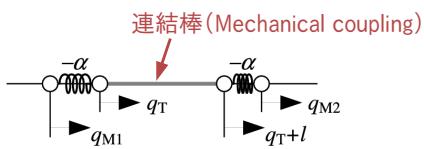
Linear 1-D model

42

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

結合線形1-Dモデル(本研究)



$$2\ddot{q}_T + 2\gamma\dot{q}_T = \alpha\Delta q_1(t) + \alpha\Delta q_2(t),$$

$$\ddot{q}_{Mi} + \gamma\dot{q}_{Mi} = \beta R_i(t)\Delta q_i(t - \tau),$$

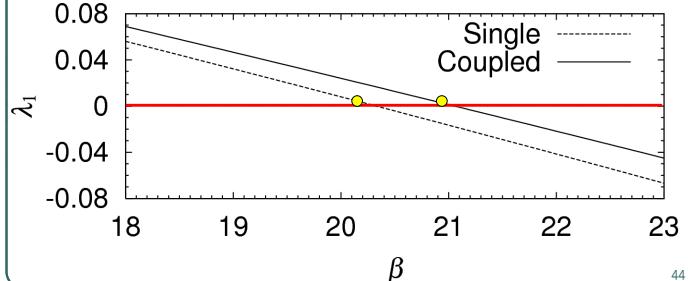
$$R_i(t) = (1 + v\xi_i(t)) \quad (i = 1, 2)$$

※Cabrera et.al, PRL 89-15 (2002) のモデルと等価。

神経制御をマネするためのパラメータ条件

- リニアノイズ指標が安定限界近傍 $|\lambda_1| < 1, \lambda_1 > 0$.

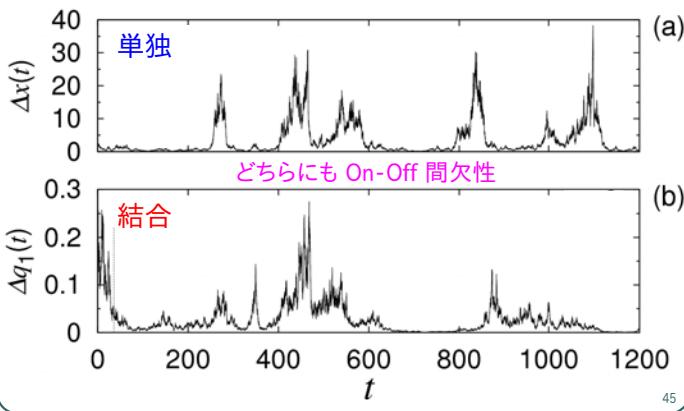
- 乗法ノイズにより、安定限界を不規則に横断。
- 工業的な制御器はもっと安定側に設定される。



RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

棒の上下端の相対変位(=倒れ角)の振幅

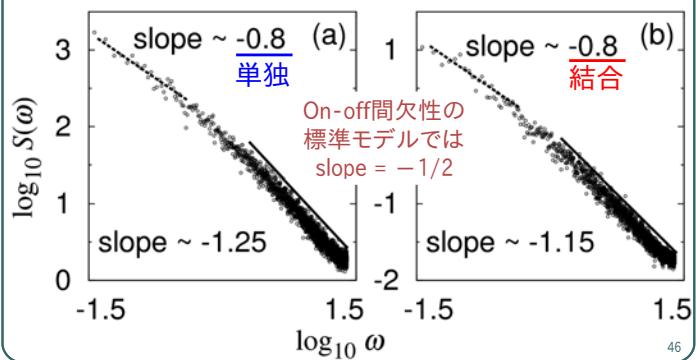


RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

神経制御に典型的なOn-Off間欠性

- 結合の効果は見られない。

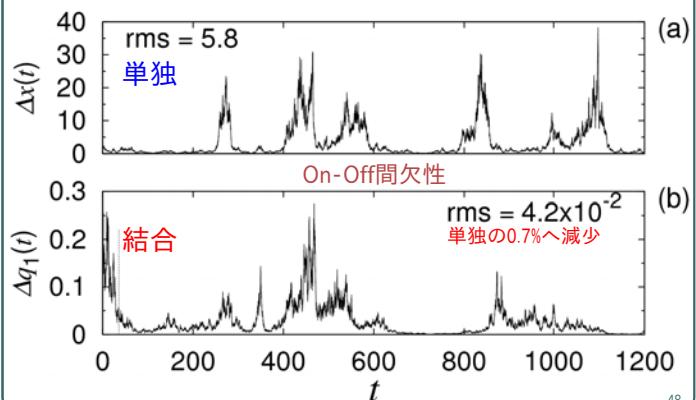


RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

機械的結合による安定性の向上

機械的結合の効果1：振幅減少 (1/2)

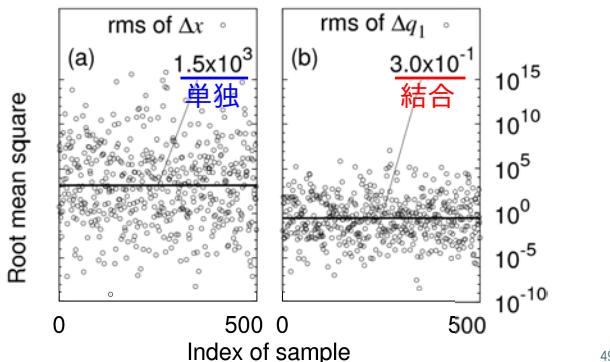


RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

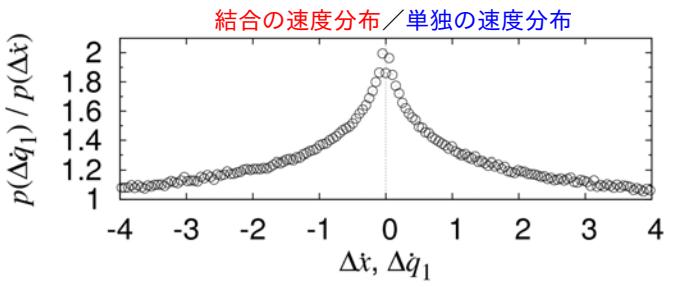
機械的結合の効果1：振幅減少（2/2）

- 単独時の0.02%まで振幅減少(2乗平均平方根)



機械的結合の効果2：制動効果

- 速度0の確率密度が倍増



まとめ — 機械的結合による安定性の向上

- 小振幅化・低速化が起こる条件が存在する。
 - 振幅の2乗平均値が、単独比の1%以下まで減少。
 - 速度0付近の確率密度が、単独比で倍増。

機械的結合による追従性の向上

短時間・相互・相関関数(SCC)

- 短時区間内の $x(t)$ と $y(t)$ の相関関数。

相互相関の時間変化を観察する。(集合平均の代替)

$$R(x, y; \tau)(t) = \frac{C(x - m_x, y - m_y; \tau, t)}{\sigma_x \sigma_y},$$

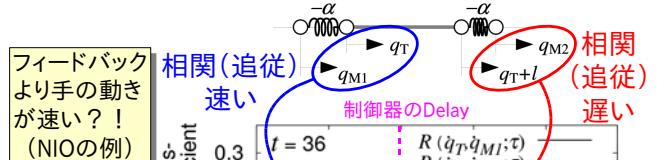
$$C(x, y; \tau, t) := \langle x(s)y(s + \tau) \rangle_{[t, t + \Delta t]},$$

$$m_x := \langle x(s) \rangle_{[t, t + \Delta t]}, \quad \sigma_x := \langle (x(s) - m_x)^2 \rangle_{[t, t + \Delta t]}^{1/2}$$

$$\langle X(s) \rangle_{[a, b]} := (b - a)^{-1} \int_a^b X(s) ds$$

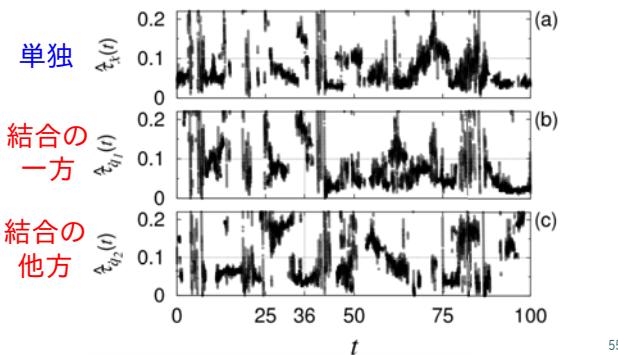
上下端の相互相関の計算例

- 対称な制御器(same spec) <=> 非対称な相関！



SCCのピーク点(追従性)の経時変化

- 結合しても、結合ペアの追従性は同期しない。



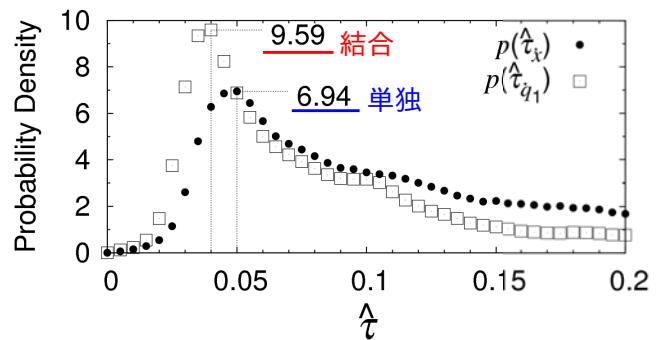
RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

55

機械的結合の効果3:

- 結合(□)の方が、速く追従する確率が高い。



RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

56

まとめ 一 機械的結合による追従性の向上

• 神経制御に典型的な結果

- 追従動作は、ときに状態 Feedback に先行する。
- 追従性(相互相関のピーク)は、時間変動する。

• 機械的結合の効果

- ペアが結合しても、追従性は同期しない。
- ペアが結合すると、速い追従の確率が高まる。

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

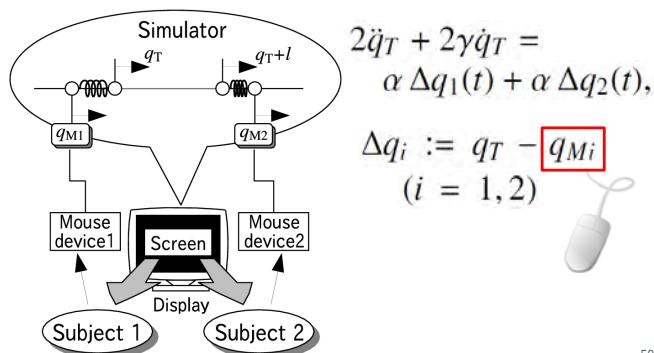
Utsunomiya University

57

コンピュータ画面上の結合棒立て実験

実験方法

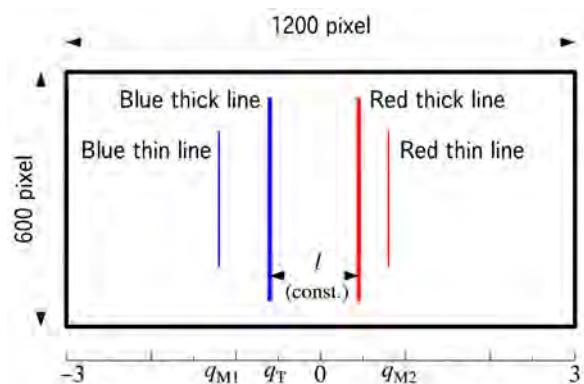
• Virtual Reality (VE)



59

Utsunomiya University

画面のデザイン



RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

60

実験風景



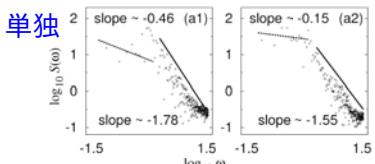
61

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

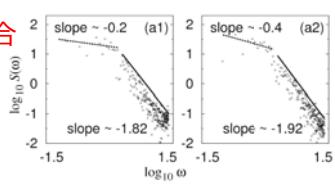
Utsunomiya University

スケーリング則

- 神経制御特有のOn-Off 間欠性が見られる。



2人結合



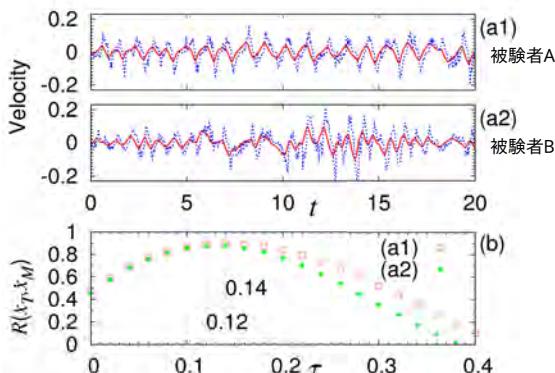
62

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

単独: 相互相関関数

- ピーク(追従性)は、ほぼ対称。



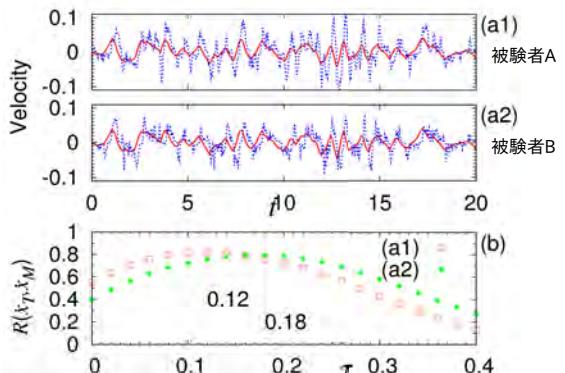
63

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

2人結合: 相互相関関数

- ピーク(追従性)が、非対称に。



64

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

相互相関のピーク(追従性)の測定結果

- 単独では、個人差は小さい。
- 2人結合では、個人差が大きい。=> 非対称性？

Sample No.	01	02	03	04	05	Average
Subject A (single)	0.12	0.14	0.14	0.12	0.14	0.132
Subject B (single)	0.14	0.12	0.14	0.14	0.14	0.136
Subject A (coupled)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.16	0.128
Subject B (coupled)	0.18	0.16	0.16	0.18	0.16	0.168

$\Delta = 0.004$

$\downarrow \times 10$

$\Delta = 0.04$

※現状サンプル不足

65

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

まとめ 一 結合棒立て実験

- 単独 => 追従性はほぼ対称。
- 2人で結合 => 追従性は非対称？？

※現状サンプル不足

66

RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

まとめ

● 発表内容

- ・機械的な競争モデルとその不定性を示した。
- ・対戦問題としての展望を述べた。
- ・神経制御系の機械的結合の効果を一部例示した。

● 展望

- ・人間の制御パラメータの同定。
- ・対戦格闘的な実験環境の整備？
- ・ゲーム理論の導入。(数理格闘学, みたいな……)

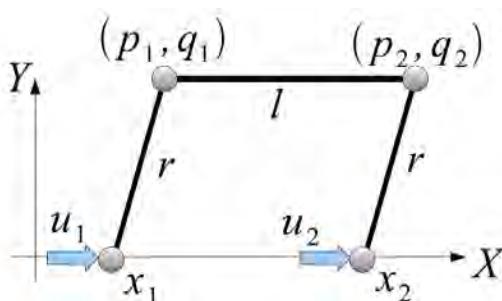
67

THE END

68

DAEの汎用数値解法(1/3)

(Betsch 2005)



69

DAEの汎用数値解法(2/3)

(Betsch 2005)

- **DAE** $M\ddot{q} + \nabla V(q) = -G(q)^T \lambda$
 $\Phi(q) = 0 \quad G(q) = D_q \Phi(q)$
- **差分, 和分** $\bullet^- := \bullet_{n+1} - \bullet_n \quad \bullet^+ := \bullet_{n+1} + \bullet_n$
- **離散微分** $\bar{\nabla} f(q_n, q_{n+1}) q^- = f(q_{n+1}) - f(q_n)$
- **エネルギー適合積分**
 $H(q_{n+1}) + \Delta t G(q_n, q_{n+1})^T \bar{\lambda} = 0, \Phi(q_{n+1}) = 0,$
 $H(q_{n+1}) = \frac{2}{\Delta t} M q^- - 2Mv_n + \Delta t \bar{\nabla} V(q_n, q_{n+1})$
- **離散ゼロ空間法** $P^T H(q_{n+1}) = 0, \Phi(q_{n+1}) = 0$

70

DAEの汎用数値解法(3/3)

(Betsch 2005)

$$M := \text{diag}(m, m, m, m, m, m)$$

$$q := (x_1, x_2, p_1, q_1, p_2, q_2)^T$$

$$V(q) = \frac{K}{2} \left\{ (p_1 - x_1)^2 + (p_2 - x_2)^2 \right\} + mgq_1 + mgq_2$$

$$\Phi(q) = \begin{bmatrix} (x_1 - p_1)^2 + q_1^2 - r^2 \\ (x_2 - p_2)^2 + q_2^2 - r^2 \\ (p_1 - p_2)^2 + (q_1 - q_2)^2 - l^2 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} A & B_2 & A & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ B_1 - A & 0 & -A & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$$

71

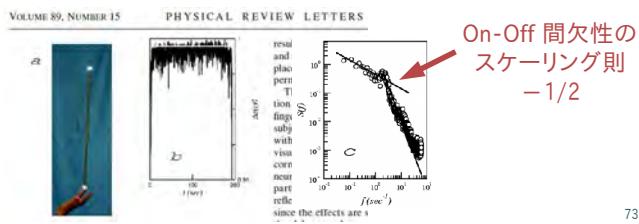
単独棒立てのモデル

※先行例の紹介

72

● ランダム・時間遅れ型モデル

- 制御器 := (時間遅れ feedback) + (ランダムゲイン)
- $\ddot{\theta} + \gamma \dot{\theta} - \alpha \sin \theta + R(t)\theta(t-\tau) = 0$
- $R(t) = \beta \cdot (1 + \nu \xi(t))$ 白色性の乗法ノイズ



RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

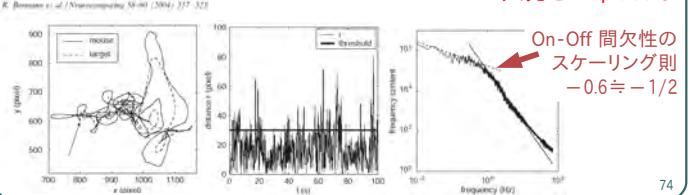
● ランダム・時間遅れ型・線形化・2Dモデル

$$\ddot{x} + \gamma \dot{x} - \alpha \underline{\Delta x} + \beta R(t) \Delta x(t-\tau) = 0$$

$$\Delta x := x_T(t) - \boxed{x_M(t)}$$

$$\ddot{x}_T + \gamma \dot{x}_T = \alpha \Delta x(t),$$

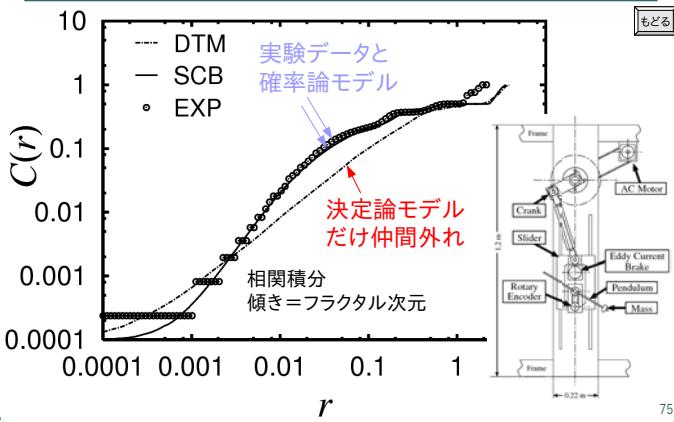
実験では「マウス」
入力と Replace !



RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

精度の比較: 決定論モデル vs 確率論モデル



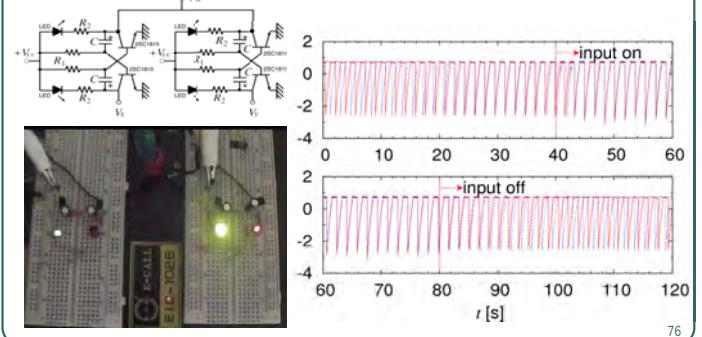
RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University

見本の同期現象 (Multi-vibrator 回路)

- 同じスペックの自励発振回路 × 2.

- 外乱として、ノイズの同じ見本を印加 → 同期！



RIMS研究集会「関数方程式のダイナミクスと数理モデル」, 2008/11/6, 京都大学数理解析研究所

Utsunomiya University