

複雑系応用おもちゃ

— 電腦ネズミ〈タマのおともだちTM〉について —

有限会社 カオスおもちゃ工房¹ おもちゃ研究所所長 野澤 浩
メディア研究所所長 大木 恵美子
電子生命研究所所長 波多野 将明

我々は、複雑系を応用したネコ用おもちゃとして、電腦ネズミ(タマのおともだちTM)²(以下、〈タマとも〉)を開発・製品化した。生来、ネコは飽きっぽい動物である。それゆえ、ネコの狩猟本能を刺激し、ネコを飽きさせない、多様で複雑な運動特性の獲得が、ネコの良きおともだち(ここでは、ネズミ)になるための必須条件となる。我々は、ネズミの運動特性を創出(再現)するための数理モデルとして、ネズミの脳神経細胞を模したカオス写像を構成要素とする結合写像モデルを構築し、この結合写像モデルを〈タマとも〉に搭載した。〈タマとも〉に搭載された結合写像モデルは、カオスの遍歴[1]を発現した。これにより、〈タマとも〉は、上記必須条件を満足することがわかった。この報告書では、カオスの遍歴、〈タマとも〉のハードウェア、〈タマとも〉の数理モデル、〈タマとも〉をネコに与えたときの実験結果等について述べる。



図 1: 〈タマとも〉で遊ぶネコ達の様子（漫画）。漫画家まつうらゆうこさん（〈タマとも〉のユーザであり、これらのネコ達の飼主です）に描いて頂きました。

1 はじめに

自然界の生物は、多様で複雑な運動特性を有している。これは、生物が過酷な生存競争を勝抜き生きていく上で、必然的に身につけてきた習性である。実際、生物の運動特性として、単純な周期的繰返し運動や、完全に無秩序でランダムな運動は、ほとんど観測されない。

¹E-mail: info@c-toys.com, URL: <http://www.c-toys.com/>

²〈タマのおともだち〉は、有限会社 カオスおもちゃ工場の登録商標です。

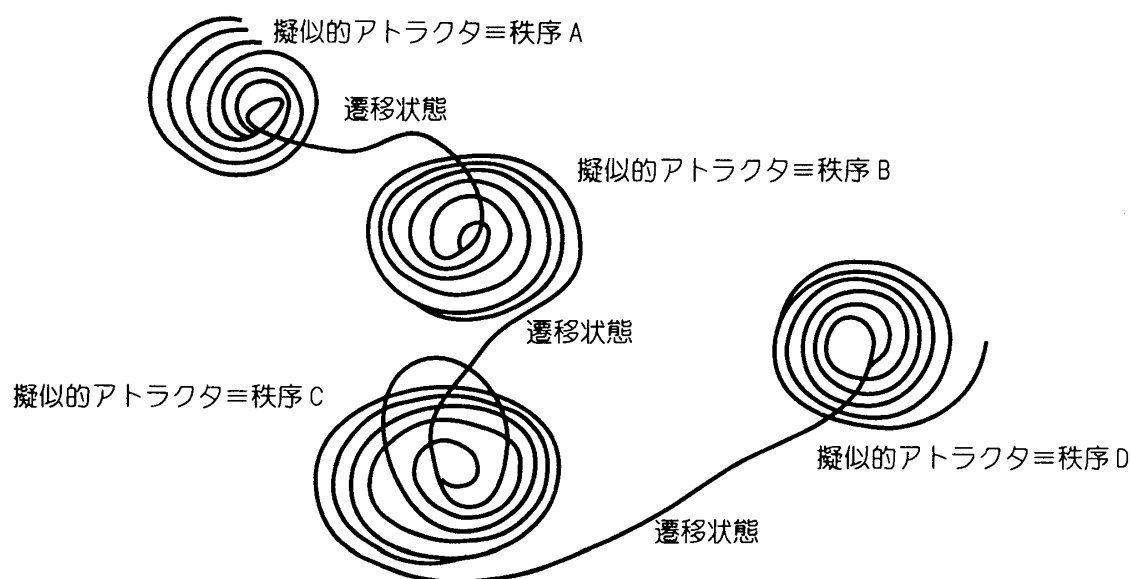


図 2: カオスの遍历のイメージ。

一方、最近になって、自由度の大きなカオス力学系（複雑系³）において、カオスの遍历と呼ばれる現象が多数見出されるようになった。このようなカオス力学系は、力学系を構築する状態空間中のいたる所に、様々な自由度の擬似的（過渡的）アトラクタを有する。力学系の状態が、これらの擬似的アトラクタ上を次々と遷移（遍历）して行く現象のことをカオスの遍历という。図2にカオスの遍历のイメージを示す。

生物は、ある瞬間ある目的を達しようとして、その運動特性を決定するため、ある時間で見れば、その運動特性は秩序だったものとなる（例えば、飼主に餌をねだるイヌやネコ、仲間に呼びかける鳥のさえずり等）。このことから、我々は、生物の運動特性を何らかの秩序を持った状態と、その間の遷移状態の組み合わせとして捉えることができる。生物の運動特性に見られる様々な秩序と、前述の状態空間中に存在する無数の擬似的アトラクタを対応付ければ、まさにカオスの遍历こそ、多様で複雑な生物の動作特性を創出（再現）するために必要な概念であることが理解される。

我々は、この観点に立って、電腦ネズミ〈タマとも〉を開発・製品化した。

2 〈タマとも〉のハードウェア

表1に〈タマとも〉の仕様を、図3に〈タマとも〉のハードウェア概観図を、図4に〈タマとも〉の動作ブロック図を、それぞれ示す。

3 〈タマとも〉の数理モデル

電腦ネズミ〈タマとも〉の運動特性を創り出す結合写像モデルを以下のように構築する。

³最近では、複雑系というパラダイムは、あまりにも広い範囲で使用（乱用？）されるようになってきているため、この報告書では、複雑系を大自由度のカオス力学系という意味に限定して用いることにする。

構成要素	仕様
モータ	DC 駆動 (1.5V~4.5V)
モータ駆動部	パワートランジスタ 時計回り (CW) +0.1~+0.2(A) 反時計回り (CCW) -0.1~-0.2(A) 停止 (STOP) 0(A)
マイコン	内蔵メモリ (PROM または EPROM) 付
自動停止タイマ	15 分、ソフトウェアによるマイコン制御
モータ速度調節つまみ	半固定抵抗
電源	単三乾電池 × 3 (アルカリ、マンガン、ニッカドのいずれも可)
使用可能時間	15 分 × 20 回 (アルカリ乾電池使用時)
ケース	プラスチック金型成形品 (ABS 樹脂)
フレキシブルロッド	鋼線、ナイロン組糸、熱収縮チューブ
毛玉	ミシン玉、天然皮革

表 1: 〈タマとも〉の仕様。

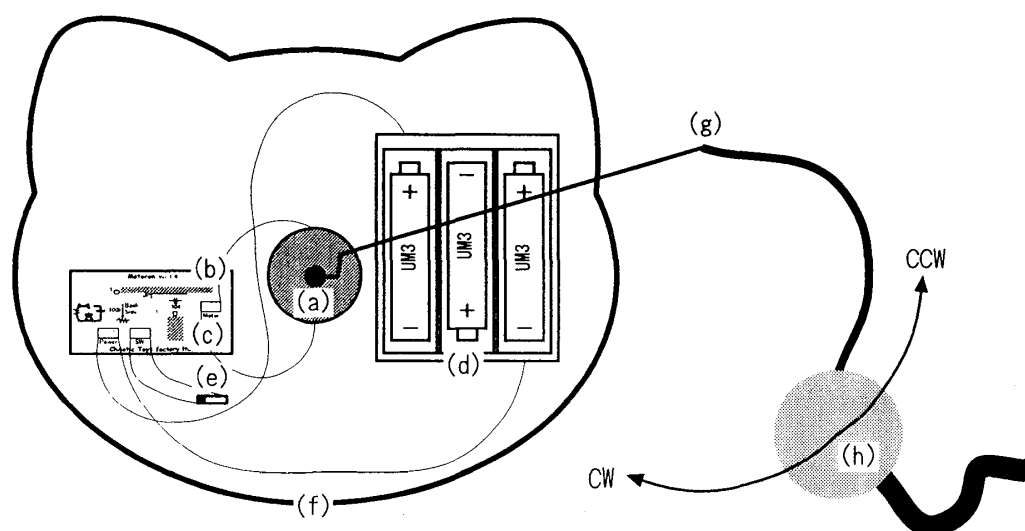


図 3: 〈タマとも〉のハードウェア概観図。(a) モータ、(b) モータ駆動部、(c) マイコン、(d) 電源、(e) スイッチ、(f) ケース、(g) フレキシブルロッド、(h) 毛玉。

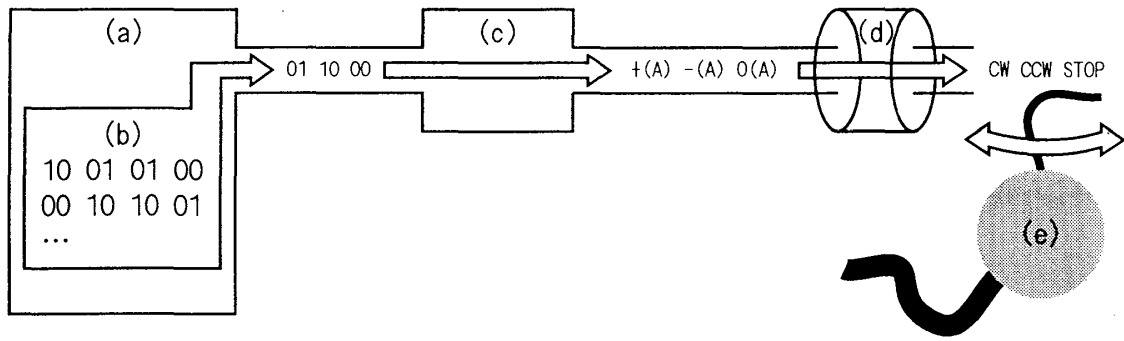


図 4: 〈タマとも〉の動作ブロック図。内蔵メモリには、カオス的遍歴データが格納されている。(a)マイコン、(b)内蔵メモリ (PROM)、(c)モータ駆動部、(d)モータ、(e)毛玉。

3.1 背景及び仮定

ネズミは過酷な生存競争を勝抜く上で、攻撃と守備の相反する運動特性を周囲の状況に応じて巧みに（複雑に）使い分ける習性を獲得して来た。

この過程で、ネズミの脳神経系細胞内に、攻撃をつかさどる群と守備をつかさどる群が存在するようになった。ネズミは、これら2つの脳神経細胞群の活性度の差によって、攻撃か守備かの運動特性を決定している。

3.2 結合写像モデル

ネズミの脳神経細胞を模したカオス写像を $2N$ 個用意する。カオス写像として、脳神経細胞の内部状態 $x(t)$ を状態変数とする次の差分方程式（NZ 写像 [2]）を用いる。

$$x(t+1) = F_{y(t)}\{x(t)\} \quad (1)$$

$$y(t) = 0 \quad (2)$$

$$F_y(x) = \alpha x + (1 - \alpha) \frac{1}{1 + \exp\{(x - y - \gamma)/\beta\}} \quad (3)$$

ここで、 α 、 β 、 γ は制御パラメタである。

$2N$ 個の写像を攻撃用（時計回り、 cw ）として N 個、守備用（反時計回り、 ccw ）として N 個の2群に分ける。各写像を、同一群中の写像からは正のフィードバック ω_a を受けるように、異なる群中の写像からは負のフィードバック ω_b を受けるように結合する。図5に $N = 3$ のときの各カオス写像間の結合の様子を示す。

攻撃群中の写像は内部状態 $x_i^{cw}(t)$, $i = 1, \dots, N$ を、守備群中の写像は内部状態 $x_i^{ccw}(t)$, $i = 1, \dots, N$ を持つ。攻撃群中の写像の内部状態の和 $s^{cw}(t)$ と守備群中の写像の内部状態の和 $s^{ccw}(t)$ から、2群間の活性度の差 $d(t)$ を以下のように求める。

$$d(t) = s^{cw}(t) - s^{ccw}(t) = \sum_{j=1}^N x_j^{cw}(t) - \sum_{j=1}^N x_j^{ccw}(t) \quad (4)$$

活性度の差により、〈タマとも〉の運動特性を次のように決定する。

$$\begin{aligned} \text{if } d(t) &> \epsilon && \text{then 攻撃 (cw)} \\ \text{if } |d(t)| &< \epsilon && \text{then 停止 (stop)} \\ \text{if } d(t) &< -\epsilon && \text{then 守備 (ccw)} \end{aligned} \quad (5)$$

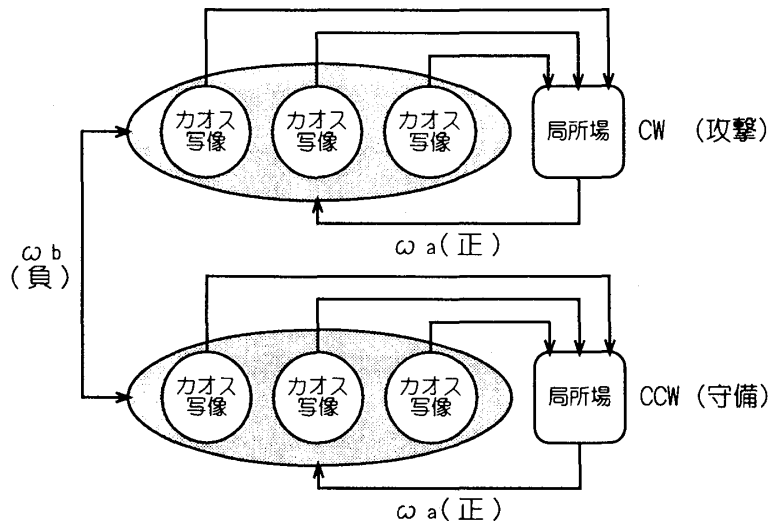


図 5: 各カオス写像間の結合の様子。 $N = 3$ のとき。

各内部状態の時間発展を次式により計算する。

$$x_i^{cw}(t+1) = F_{y_i^{cw}(t)}\{x_i^{cw}(t)\} \quad (6)$$

$$y_i^{cw}(t) = \frac{\omega_a}{N-1}\{s^{cw}(t) - x_i^{cw}(t)\} + \frac{\omega_b}{N}s^{ccw}(t) \quad (7)$$

$$x_i^{ccw}(t+1) = F_{y_i^{ccw}(t)}\{x_i^{ccw}(t)\} \quad (8)$$

$$y_i^{ccw}(t) = \frac{\omega_a}{N-1}\{s^{ccw}(t) - x_i^{ccw}(t)\} + \frac{\omega_b}{N}s^{cw}(t) \quad (9)$$

このとき、各制御パラメータ (α , β , γ , ω_a , ω_b) をカオスの遍歴が発現する領域に調節しておく。

3.3 キャラクタ

結合写像モデルの制御パラメータの値を調節することで、〈タマとも〉に様々な個性（キャラクタ）を与えることができる。このようなキャラクタの例として、イーチュウ、ゴーチュウがある。図6に各キャラクタのイメージを、図7に各キャラクタの時系列を示す。

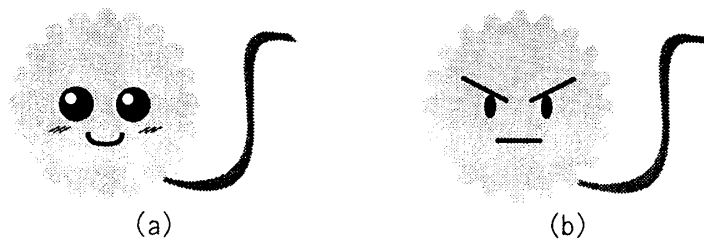


図 6: 〈タマとも〉のキャラクタ。(a) イーチュウ、(b) ゴーチュウ。

各キャラクタの特徴は、以下のようである。

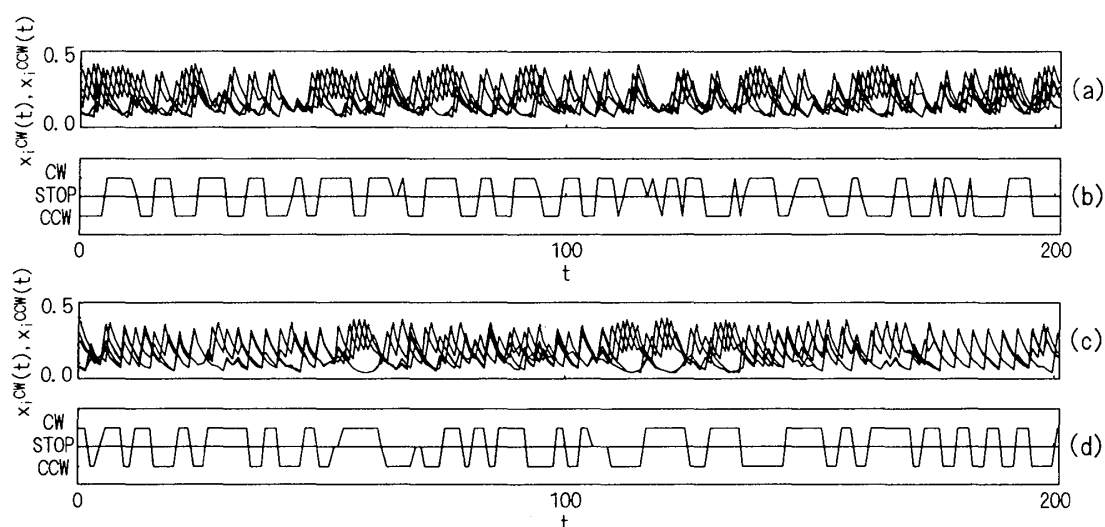


図 7: イーチュウの時系列 ((a) 変数 $x_i^{CW}(t), x_i^{CCW}(t), i = 1 \dots, 3$ の時系列、(b) モータ回転の時系列)、ゴーチュウの時系列 ((c) 変数 $x_i^{CW}(t), x_i^{CCW}(t), i = 1 \dots, 3$ の時系列、(d) モータ回転の時系列)。

- イーチュウ

- CW、CCW が小刻みに入れ替わる運動特性を有する (図 7(a)、(b) 参照)。そのため、ネコは、追い掛け回さなくても、〈タマとも〉を攻撃することができる。やや年輩のネコ用キャラクタである。

- ゴーチュウ

- CW、CCW が比較的長時間維持される運動特性を有する (図 7(c)、(d) 参照)。そのため、ネコは、追い掛け回さなければ、〈タマとも〉を攻撃することができない。まだ若いネコ用キャラクタである。

今後、我々は、〈タマとも〉にもっと多くのキャラクタを設定していく予定である。

4 〈タマとも〉をネコに与えてみる

動物行動学的に知られている猫の狩猟行動 [3] として、次のようなものがある。

- ネズミの尻尾を押え付ける行動。
- ネズミをすくい上げる行動。
- ネズミに跳びかかる行動。
- 物陰に潜んでタッチアンドゴーする行動。

〈タマとも〉を愛猫のフーちゃん (7才、メス) に与えた。図 8 にフーちゃんが電腦ネズミの尻尾を押え付けたときの様子を示す。〈タマとも〉を色々なネコに与えて実験した結果、前述の狩猟行動全てが確認された。ネコは、電腦ネズミ〈タマとも〉を本物のネズミとして捉えているようである。

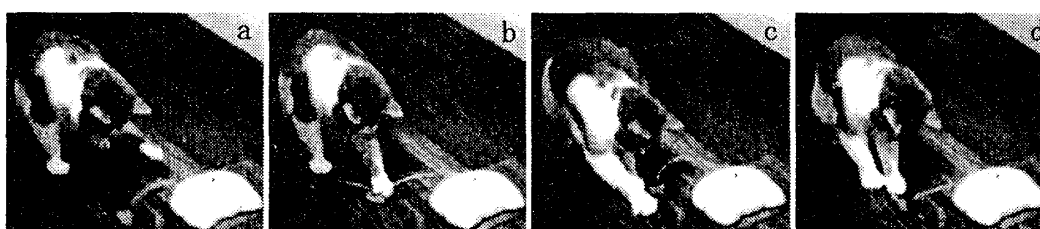


図 8: 電腦ネズミの尻尾を押え付ける狩猟行動。(a) 狙いすまし→(b) 叩き付け→(c) しっかりと確保→(d) 尻尾の押え付けに入る。

5 おわりに

電腦ネズミ〈タマとも〉について紹介した。ここで提案した、ネズミの脳神経細胞を模したカオス写像を構成要素とする結合写像モデルは、カオスの遍歴を発現した。これにより、〈タマとも〉に、本物のネズミの有する多様で複雑な運動特性を与えることができた。また、ネコを用いた実験——一種の Turing Test——を通して、〈タマとも〉の運動特性を検証した。

現在、我々は〈タマとも〉の他に様々な製品を鋭意開発中である。機会があれば、これらの製品の報告もしたいと思う。また、我々はカオス使いとして、全ての製品に生命を吹き込みたいと考えている。

科学者による最先端の研究をおもちゃにして、イヌやネコ、そして子供達へ提供することが、我々の使命であり、夢である。

謝辞

〈タマとも〉の製造にご尽力下さった、(株) ニッケイ製作所の佐藤社長、荊木技術フェロウに感謝致します。また、キャラクタに可愛らしい名前をつけてくれた、野澤恵理花ちゃんに感謝致します。最後に、〈タマとも〉の良きモニターを勤めてくれた、我家のネコ達、タル、フォー、ファイに感謝致します。

参考文献

- [1] 金子邦彦, 津田一郎: 「複雑系のカオス的シナリオ」, 複雑系双書 1, 朝倉書店 (1996).
- [2] 野澤浩: 「カオスと組合せ最適化」, 数理科学, No.363(1993)24.
- [3] ブルースフォークル著, 加藤由子監訳: 「あなたのネコがわかる本——飼い主のためのネコの動物行動学——」, ダイヤモンド社 (1993).