

機関番号：14301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20700213

研究課題名 (和文) 時間発展するパターンを信号伝播媒体とする反応拡散信号伝播様式

研究課題名 (英文) Signal propagation on deformable patterns with reaction-diffusion system

研究代表者

元池 育子 (MOTOIKE IKUKO)

京都大学・物質-細胞統合システム拠点・特任研究員

研究者番号：70347178

研究成果の概要 (和文)：

時間発展するパターンについて、信号伝播離散ダイナミクスと相互作用を行うスポットの分裂パターン形成の離散モデルを提案し、パターンの時間変化のパラメータ依存性から、スポット状の場が等方的に進展する条件等を見いだした。また場の形状等に依存して、信号の単方向伝播・消失・フィルタリング・回転波の発生等が起こることを見だし、これらの信号伝播様式を通して、信号の融合および、時間差を因子とした論理積演算が行われうることを示した。

研究成果の概要 (英文)：

Discrete pattern formation model of splitting spot that reflect the history of signal propagation was proposed as a description of time variable local pattern. The splitting spot moves isotropic in the condition that growth factor for spot generation is supplied constantly at suitable rate. As for signal propagation, uni-directional signal propagation, signal failure, filtering of plural signals, and autonomous recursive signal generation were observed depending on media's shape. It was shown that signal fusion and Boolean operation including time-information can be realized utilizing above signaling features,

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学／感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：複雑系・反応拡散・パターン形成・信号処理・興奮波

1. 研究開始当初の背景

生物の情報処理機構について、生体の wet 性に着目した研究が行われてきている。その研究の一つに、反応拡散ダイナミクスを用いたものがあるが、演算場/信号の伝播経路は、基本的には外部から与えた条件に固定され、

結果として、演算機能は不変であった。一方、生体内の信号処理は、柔軟さがひとつの特徴であり、信号伝播の履歴等に依存して信号処理機能は可変である。

申請者は、これまで反応拡散場の形状 (時間変化なし) に依存した信号の伝播様式によ

る、信号処理機能の実現について研究を行ってきており、基本的な論理演算や時間情報を含んだ演算が、場の形状特性に依存して実装可能であることを示してきた。このことから、場の形状特性が可変である系における、場や信号伝播様式の時間変化、およびそこから生まれうる信号処理機能に対して、これまでの知見を基に研究の発展を目指した。

2. 研究の目的

反応拡散ダイナミクスをもつ系で生じる動的パターンを信号伝播媒体とする、信号伝播とパターン変化が相互に影響しあう系における、信号伝播様式の同定、及びそれらの時間発展様式から解釈され得る機能の実験的検証を目的とする。

3. 研究の方法

- (1) 基本的には、反応拡散ダイナミクスで得られるパターン（主に2次元）を信号伝播経路とする。信号生成・伝播ダイナミクスとしては、活性・抑制因子系で記述される興奮系を想定し、興奮波（反応拡散波）の生成・伝播・消滅を信号の生成・伝播・消滅とみなす。これらについて、反応拡散ダイナミクスに基づいた離散モデルを提案する。
- (2) 上記で得られたダイナミクスに基づき、信号伝播経路の時間変化に対して、信号伝播履歴が作用を及ぼす系についての経路および信号伝播パターンの多様性を見だし、相図を作成する。またそこからどのような信号処理機能の解釈が可能であるか検討する。

4. 研究成果

- (1) 対象とする信号伝播経路パターン形成、及び信号伝播ダイナミクスの全体的な条件出しとして、系の単純化の観点から、まず信号伝播媒体となる時空間パターン生成ダイナミクスの離散化を検討した。本申請研究では、伝播媒体そのもののパターン変化として、閉じた領域の進行・分裂を示すパターンに着目し、偏微分方程式で記述される反応拡散モデルの離散化を目指した。分裂パターンで知られるGray-Scottモデル、および樹状形成モデルを参考に、スポットの分裂パターンモデルを提案した。
- (2) 上記のモデルに加えて、パターン生成・反応拡散波伝播の両ダイナミクスの相互作用方式を検討した。ここで、信号伝播

を記述する反応拡散波ダイナミクスの離散化については、Tysonらによる離散ダイナミクスを改変したものをを用いた。具体的には、信号伝播ダイナミクスの興奮状態から休止状態へと戻る必要条件の簡略化、経路場への信号伝播履歴の寄与の正負双方の効果の導入、及び信号入力条件の、経路場変化からの再帰的な条件付けなどを行った。また、経路場・信号伝播双方について分裂パターンの形成・進行方向等について、パラメータ依存性を明らかにし、等方的に進展する条件を見いだした。



図：スポットの分裂パターンの時間変化例

- (3) 信号伝播様式の場の形状条件に依存した基礎的な知見を得た。場の形状や信号の入射・伝播方向が場の形状に対して非対称である場合の信号伝播様式を調べ、信号の単方向伝播・消失・フィルタリングの条件を明らかにした。また経路場が信号伝播履歴に応じて時間変化する系において、ある程度のパラメータ条件下において、自発的信号発生のひとつの要因となり得る回転波の発生が起こることを明らかにした。
- (4) 信号伝播のパターンからどのような信号処理機能が解釈可能になるかについて検討した。基本的には信号が伝播する方向は、時間発展するパターン領域の進行方向にほぼ準じていることから、信号の伝播とともに伝播媒体が移動し、かつ二つないし三つの信号・媒体が衝突することで、信号の融合および、時間差を因子とした論理積演算が行われうることを検証した。

上記を、既存の計算機資源および20年度購入の計算機システムを用いて行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

①Ikuko N. Motoike, Hisako Takigawa-Imamura, Branching pattern formation that reflects the history of signal propagation, Physical Review E, 査読有, **82**, 2010, 046205-1/10.

②Ikuko N. Motoike, Multi-Valued Operations

with an Inhomogeneous Reaction-Diffusion Field, Journal of Computer Chemistry Japan, 査読有, 9, 2010, 121-126.

③元池 N. 育子, 場の幾何学的形状に依存する興奮波伝播パターンと信号処理, システム制御情報学会誌, 査読無, 54, 2010, 3-8.

〔学会発表〕(計 13 件)

①元池 N. 育子, 今村(滝川)寿子, 信号伝播履歴に依存して変形する経路における経路間相互作用, 日本物理学会 2010 秋季大会, 2010.9.24, 大阪.

②今村(滝川)寿子, 門田真, 元池 N. 育子, Konstantin Agladze, Curvature-dependent propagation block in the isotropic excitable field of primary cardiac myocytes, 第 48 回日本生物物理学会年会, 2010.9.22, 仙台.

③元池 N. 育子, 3次元樹状構造形成と信号伝播, 第 48 回日本生物物理学会年会, 2010.9.21, 仙台.

④今村(滝川)寿子, 元池 N. 育子, 樹状形状に依存した演算機能の解析, 第 20 回日本数理生物学会年会, 2010.9.15, Tokyo.

⑤今村(滝川)寿子, 門田真, 元池 N. 育子, Kostantin Agladze, Curvature - dependent propagation block in the isotropic excitable field of primary cardiac myocytes, 第 20 回日本数理生物学会年会, 2010.9.15, 東京.

⑥元池 N. 育子, Hypothesis of Real-Time Field-Computation; A Simple Model of Autonomous Informational Operation, 第 48 回日本生物物理学会年会(招待講演), 2010.9.2, 仙台.

⑦H. T.-Imamura, I. N. Motoike, Image Processing with Neuron-like Branching Elements, 9th International Conference on Unconventional Computation, 2010.6.21, Tokyo.

⑧H. Takigawa-Imamura, I.N. Motoike, Towards Computation in Noisy Reaction-Diffusion Cellular Automata, 2009 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System, 2009.12.8, 金沢.

⑨元池 N. 育子, 経路形成が信号伝播履歴に依存する 2 体経路系におけるパターン, 第 47 回日本生物物理学会年会, 2009.11.1, 徳島.

⑩元池 N. 育子, 信号伝播履歴に依存する経

路形成系における経路変化特性, 日本物理学会第 64 回年次大会, 2009.3.30, 東京.

⑪元池 N. 育子, 信号伝播履歴に依存する経路形成系における経路変化特性, 第 46 回日本生物物理学会年会, 2008.12.3, 福岡.

⑫元池 N. 育子, 反応拡散波の伝播履歴に依存する樹状形成・伝播特性, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 2008.9.23, 岩手.

⑬Ikuko N. Motoike, Signal propagation on deforming branching paths correlated with a history of signal propagation, 第 18 回日本数理生物学会大会, 2008.9.16, 京都.

〔図書〕(計 1 件)

元池 N. 育子, 浅井 哲也(分筆), NTS 出版, トポロジーデザインング---新しい幾何学からはじめる物質・材料設計---, 2010, 460(6)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

元池 育子 (MOTOIKE IKUKO)

京都大学・物質-細胞統合システム拠点・特任研究員

研究者番号 : 70347178