

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：14403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500277

研究課題名(和文) 非定常環境におけるオートマトンの学習 - ソフトコンピューティングの有効活用にむけて

研究課題名(英文) Learning automaton in a non-stationary environment - Towards the effective use of soft computing -

研究代表者

馬場 則夫 (Baba, Norio)

大阪教育大学・教育学部・名誉教授

研究者番号：30035654

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：我々人間が現実直面する周囲環境は、殆どすべてが、特性が時間と共に変化するものである。それ故、ソフトコンピューティング技術の有用性を確立するためには、環境の特性が時間と共に変化するいわゆる非定常環境の下でのソフトコンピューティングの有効性を確認する必要がある。

本研究では、非定常環境中でのソフトコンピューティング技術の性能を格段に向上させるための一つの試みとして、学習オートマトンとソフトコンピューティング技術の融合システムを提案すると共に、株価予測やコンピュータゲーミング等の具体的問題への活用を通じて提案手法の有効性を検討したものである。

研究成果の概要(英文)：The ambient environment that we humans face in reality is one in which almost all is changed with time characteristics. Therefore, in order to establish the utility of soft computing techniques, it is necessary to confirm the validity of the soft computing techniques under so-called non-stationary environment whose characteristics changed with time.

In this study we propose the fusion system of soft computing technology (such as NNs) and learning automata and check the effectiveness of the fusion system through the various applications such as stock price prediction, computer gaming and etc.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ニューラルネットワーク

### 1. 研究開始当初の背景

近年、サブプライム問題等の予測が極めて困難な問題が頻繁に起きており、非定常で、かつ、大規模複雑な問題に対し、迅速にかつ適切な意思決定を行う必要が生じている。時々刻々と変化する環境条件に対し、試行錯誤的に適応可能な手法として、学習オートマトンが提案されてきた。学習オートマトンの特徴として、階層化をはじめ、複数の教師を用いた学習の他、非定常環境への適用など、対象とする問題の構造や目的にあわせて、柔軟に拡張可能であり、現在に至るまで様々な方法論が提案されてきた。ところで、非定常環境における学習について触れたのは、Narendra and Viswanathan が最初であり、周期的に変動する未知環境に対して、2 レベルシステムを考え、上位レベルを環境変化の検知に当てることを試みた。また、Narendra ら 3) は、network routing 問題によく出てくる非定常環境における学習オートマトンの収束特性を議論した。

申請者は、35 年以上、確率オートマトンの学習的性能に関する研究を行ってきており、環境の性質が時間だけではなく、確率測度空間の点にも依存するような非定常環境を考察し、LR-I scheme によって、ある制約条件の下で、確率 1 で最適な出力を選ぶことが可能となることを示した。さらに、Simha and Kurose の Algorithm を階層構造型学習モデルの場合に拡張し、ある条件を持った非定常環境において確率 1 で最適パスを見出すことを証明した。また、非定常一般  $n$  人教師環境中で動作する階層構造学習オートマトンの学習 Algorithm を提案し、ある条件の下で最適パスを確率 1 で見出すことが可能となることを示した。さらに、申請者は、非定常未知環境中におけるロボットの知能的振る舞いやゲーミングにおける意思決定など多岐にわたる問題に学習オートマトンを適用し、その有効性を示してきた。しかしながら、実世界では、環境変化の特性そのものが変化するようなより複雑な問題を扱う必要性がしばしば生じてくる。

本研究では、非定常環境下で信頼性の高い意思決定を行うためのオートマトンの学習アルゴリズムの構築、並びに、収束性に関する理論的な検討を行う。更に、ソフトコンピューティングが非定常環境下でも有効的に活用することができるようにするため、学習オートマトンとソフトコンピューティングの融合システムを考え、どのような融合形態が最も適切であるのか、計算機シミュレーション並びに理論的な検討を通じて検討する。

### 2. 研究の目的

ニューラルネットや進化計算等に代表されるソフトコンピューティングは、これまで、数多くの人々の精力的な研究努力により、基礎理論の構築がほぼ完成しつつあり、様々な知的システムが構築されてきた。しかしなが

ら、周囲環境の性質が急に变化する場合や徐々にゆったりと変化していく、いわゆる、非定常環境におけるソフトコンピューティングの性能の理論的解明については、いまだ十分な研究成果が得られていないのが実状である。

本研究では、確率オートマトン(学習オートマトンの一種)の学習的性能を活用することにより、ソフトコンピューティングのより進んだ有効活用を可能とすることを試みる。

1) 複数教師環境中で動作する確率オートマトンの学習、並びに、階層構造オートマトンの学習については、我々が、それぞれ、1983 年 6) と 2006 年 5) に論文を発表している。一方、オートマトンが複数個あり、それが単一の教師環境で動作する場合についても、これまで興味深い研究がなされてきている。しかしながら、教師と生徒の知的教育・学習支援システムの構築というような具体的な問題を考える際には、複数教師環境中(学校(大学を含む)には、多数の先生がおられる。)で動作する複数個のオートマトン(学校には多くの生徒(学生)がいる。)の学習について理論的考察を行なう必要がある。申請者は、まず、これまでの関連分野の研究を参考にし、(2006 年に我々が発表した論文を包含するような)より一般的な研究成果を導出したいと考えている。(具体的には、非定常複数教師環境で動作する複数の階層構造オートマトンの学習についての収束性に関する定理を導きたいと考えている。)

2) 上記 1) で行なった理論的研究の成果を活用して、知的教育・学習支援システムの構築を目指す。環境の特性が変化しない場合、いわゆる定常環境と、環境の特性が急に变化するような非定常環境の場合とでは、困難さの程度が全く異なったものとなる。申請者が新しくオートマトンの応用分野として特に注目しているのは、1) で述べた知的教育・学習支援システムの構築であるが、この問題を首尾よく行うためには、理論面の整備と共に、非定常環境と関連する様々な具体的なデータを扱い、そのデータを活用しながら導出した理論のチェックをしつつ、より完成されたものに近づけて行く必要がある。

### 3. 研究の方法

これまでに開発された学習オートマトン(LA)の代表的なアルゴリズムについて、収束定理や計算機シミュレーションの結果にじっくり目を通すと共に、様々な非定常環境について、それらのアルゴリズムや我々のアルゴリズム 5) が適切に対応するのかどうか、計算機シミュレーションを徹底的に行うことにより、調査する。改良の余地が認められれば、より性能の優れたアルゴリズムの提案が出来るよう努力する。

非定常環境において、ニューラルネット等

に代表されるソフトコンピューティングが適切に動作するよう、学習オートマトン(LA)とソフトコンピューティングの融合方法について検討する。現在、便宜的に、LAが環境の変化を予測し、ソフトコンピューティングがその予測に基づいて動作するシステムを考えているが、研究の進行と共に、様々な融合形態を考え、検討する。

#### 平成23年度の計画

複数教師環境中で動作する複数のオートマトンの学習的性能に関する理論的研究を集中的に行い、(これまでに得られた研究成果を包含する)よりレベルの高い研究成果を得ることを23年度の第一の目標とする。この目標を達成するために、以下のような計画を立てている。

1) これまでに開発された学習オートマトンの代表的なアルゴリズムの収束証明をしっかり把握すると共に、計算機シミュレーションを様々な実データに対して行い、それらのアルゴリズムの各種非正常環境における学習的性能の再評価を行う。(申請者は、徳島大学の最上准教授と共に、新しいアルゴリズムを提案し、最適パスへの収束に関する定理を与えると共に、環境の性質が急に変わるある種の非正常環境中における学習的性能をそれまでに提案されていた3つの特に優れたアルゴリズム(Estimator Algorithm & Pursuit Algorithm 並びに DGPA)のComputer Simulationを行うことによって比較し、我々の提案したアルゴリズムの優越性を主張した。しかしながら、その比較は数種類の非正常環境において行われたのみであり、一般的な結論を導くためには、更に多くの様々な非正常環境についてシミュレーションによる比較が実行されねばならない。)

2) 有限時間内での応答に関する Rajaraman らの研究を参考とし、この研究を更に発展させたより一般的な理論的体系を打ち立てることも一つの大切な目標と考えている。しかしながら、有限時間内の応答についての評価を数学的にしようとなると、今まで用いてきた確率過程の理論とはかなりかけ離れた数学の道具が必要となるのではないかと予想される。Rajaraman らの研究論文を熟読吟味すると共に、様々な数学的手法に思いをはせることが必要となるものと思われる。そのためには、まず、自身でじっくり考え、試行錯誤しながら十二分に時間をかけ、あせらずやってゆく必要がある。勿論、この研究に関しては行き詰ることも予想される。そして、その際には、連携研究者である徳島大学の最上氏、岡山大学の半田氏、首都大学東京の久保田氏とも十分相談すると共に、現在非常な勢いで研究発表を行っているカナダ・オタワの Carleton 大学の Oommen 氏の研究室やベル

ギーのVUB大学の A. Nowe 教授らの研究室を訪問して、彼ら並びに彼らの研究グループの人達と突っ込んだ議論を十分時間をかけて行なうことも視野に入れている。(なお、Carleton 大学教授の Oommen 氏、並びに、VUB大学の A. Nowe 教授とはすでに面識がある。21年9月に Oommen 氏の研究室に5日ほど滞在し、学習オートマトンの理論と応用について、かなりの時間をかけて議論すると共に、講演一回、大学院と学部の授業を、それぞれ1回、行なった。又、彼も私の研究室を2日ほど訪れている。VUB大学の A. Nowe 教授に関しては、平成18年夏に彼女の研究室を訪問し研究討論を行うと共に、平成19年夏に(彼女の教え子が勤務する)マースリヒト大学で講演を行った後、研究討論を行った。)

3) 上記1)及び2)で触れた計算機シミュレーションを様々な実データに対して行い、各アルゴリズムの各種非正常環境における学習的性能の評価を行う場合には、私の現在指導している大学院(修士課程)1回生2名と大学院への進学が決まっている4回生1名に、私の指導の下、計算機シミュレーションをさせると共に、連携研究者の徳島大学最上准教授や岡山大学助教の半田氏、更には、首都大学准教授の久保田氏に研究計画のスムーズな遂行について相談し、出来るだけ迅速に本研究計画を進めて行くよう配慮する。

#### 平成24年度および平成25年度の計画

1) 平成23年度の研究計画が完全に遂行されたかどうかチェックし、もし不十分な点が見出されれば、やりあげるよう努力する。その際には、連携研究者3氏の助言を得ることも必要になってくる。

2) 平成23年度は、非正常環境におけるオートマトンの学習に関する理論的研究を重点的に行うが、平成24年度は、上記研究を推し進めるのと同時に、それまで行ってきた理論的研究の応用として、研究目的の欄で強調した“オートマトンを活用した知的教育・学習支援システムの構築”に関する研究を重点的に行う予定である。知的教育・学習支援システムの構築にあたっては、私の研究室に所属する3人の大学院生にシステム作りを手伝わせる予定である。そして、作り上げられたシステムが有効に作動するかどうかのチェックを、まず、ゼミに所属する4年生~院生10数名に対して数ヶ月かけて行い、ある程度有効性が確認された時点で、私が所属する大学での演習の時間(数理計画法演習その他の演習の時間として、週2時間ほど受け持っている。)を使って再度有効かどうかの確認作業を行なう。うまく行かない場合は、原因を探るため、元に戻ってシステムの作り直しを行なう。

3) “オートマトンを活用した知的教育・学習支援システムの構築”への応用以外に、“コンピュータゲーミング”、“ロボットの迷路通過問題への応用”等々への応用の可能性を常に意識しつつ、研究の更なるレベルアップを計る。そのためにも、関連分野の国内及び国際会議に積極的に出席し、発表を行なうと共に、他の研究者の発表に対する質問を積極的に行い、更に、意見交換を行なうことにより、より優れた研究成果を出すよう努力する。

4) コンピュータゲーミングにおけるプレイングのデータや株価データ等の(非正常環境がしばしば現れてくる)実データを用いて、構築したシステムが実用に耐えうるものかどうか、計算機シミュレーションを数多く行うことにより、その性能を評価する。そして、システムが十分、実用に耐えうる判断できるまで、システムの練り直しと計算機シミュレーションによる有効性のチェックを繰り返す。

コンピュータゲーミングは、非正常環境の生起の非常に興味深い一例であり、連携研究者の岡山大学助教の半田氏と積極的に研究打ち合わせを行いたいと考えている。又、株価データも非正常環境が生起する最も興味深い例の一つと考えられる。関西学院大学の甲斐教授とは、三菱信託銀行に勤務されていた時にニューラルネットを活用した株価予測に関する共同研究を行っており、以後、今日に至るまで、詳細なデータの提供等、研究の遂行上のお世話になっており、今後も本研究計画に関して、貴重な示唆をいただけるものと確信している。構築したシステムの有効性の検討を行うための実データを用いたコンピュータシミュレーションに関しては、私の指導の下、修士課程1年に在籍中の武田君並びに劉君に手伝ってもらおう予定である。

#### 4. 研究成果

ニューラルネットや遺伝的アルゴリズムやファジー集合などを内包するソフトコンピューティング技術は、ここ数十年の間に、研究成果が十二分に蓄積されると共に、実社会における様々な興味深い活用を通じて幅広く我々人間社会に浸透してきた。しかしながら、これまでの研究成果や応用面での適用は、ほとんどが環境の特性が時間と共に変化しないいわゆる定常性を仮定したものであった。

ところで、我々人間が現実直面に直面する周囲環境は、殆どすべてが、特性が時間と共に変化するものである。

それ故、ソフトコンピューティング技術の有用性を確立するためには、環境の特性が時間と共に変化するという非正常環境の下でのソフトコンピューティングの有効性を確認する必要がある。

本研究では、非正常環境中でのソフトコンピューティング技術の性能を格段に向上さ

せるための一つの試みとして、学習オートマトンとソフトコンピューティング技術の融合システムを提案すると共に、株価予測やコンピュータゲーミング等の具体的問題への活用を通じて提案手法の有効性を検討したものである。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

Norio Baba, Kokutan Liu, Lee Chen Han, Takao Mitsuda, Kou Ro, and Kou Ninn, An Effective Utilization of Many Neural Networks for Improving the Traditional Technical Analysis in the Stock Market, A. König et al. (Eds.): KES 2011, Part II, 査読有, LNAI 6882, pp. 366-371, 2011

Masashi Kawaguchi, Kiyotaka Atsumi, Norio Baba, The Experiment of Sweden Game and the Effect of Students Education, Advances in Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications Volume 243, 査読有, pp1972-1980, 2012

[学会発表](計 7件)

Norio Baba, Utilization of Soft Computing Techniques for Making Environmental Games Much More Exciting, International Workshop on Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (Suzhou, China), IWACIII 2011, Invited Talk 馬場則夫, 日本シミュレーション&ゲーミング学会賞を受賞して、シミュレーション&ゲーミング, Vol.21, No.2, pp136-137, 2011

荒瀬 祐太, 馬場 則夫, ゲーミング手法の活性化のためのソフトコンピューティングの活用, 第56回システム制御情報学会研究発表講演会, pp183-184, 2012

馬場則夫, 川口雅司, 学習オートマトン並びにソフトコンピューティング技術を活用した意思決定支援システムの構築に関する新しい取り組み, 第23回インテリジェント・システム・シンポジウム, FAN2013, pp50-53, 2013

川口雅司, 渥美清隆, 馬場則夫, スウェーデンゲームの実施とその教育効果について, FAN2013, ST13-040, pp54-57, 2013

馬場 則夫, 荒瀬祐太, 半田久志, 共有財産ゲームをより興味深くするためのニューラルネット並びに進化計算の有効活用, 第48回システム工学部会研究会, pp16-18, 2013

馬場 則夫,半田久志, 学習オートマトン  
並びに Soft Computing 技術を活用した  
意思決定支援システムの構築に関する新  
しい試み, 第 48 回システム工学部会研  
究会, pp19-21, 2013

〔図書〕(計 1 件)

馬場則夫, 田中雅博, 吉富康成, 満倉靖  
恵, 半田久志, ソフトコンピューティン  
グの基礎と応用, 共立出版,  
ISBN9778-4-320-12308-3, 2012

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

馬場 則夫 (Norio Baba)  
大阪教育大学・教育学部・名誉教授  
研究者番号: 3 0 0 3 5 6 5 4

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

久保田 直行 (Naoyuki Kubota)  
首都大学東京・システムデザイン研究科・  
准教授  
研究者番号: 3 0 2 9 8 7 9 9

半田 久志 (Hisashi Handa)  
岡山大学・工学部・助教  
研究者番号: 6 0 3 0 4 3 3 3

最上 義夫 (Yoshio Mogami)  
徳島大学・工学部・准教授  
研究者番号: 5 0 0 9 3 8 9 4