

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：12612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650071

研究課題名(和文)大規模複雑システムのための階層構造創発メカニズムの構築

研究課題名(英文)Proposal of hierarchy structure emergence mechanism for large scale complex systems

研究代表者

栗原 聡 (Kurihara, Satoshi)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授

研究者番号：30397658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：脳や人体・社会システムなどの大規模複雑システムにおいて、脳における神経細胞ネットワークと意識、そして人体における細胞と臓器の関係等は、階層が階層を生み出す関係にある「複雑系階層構造」である。本研究では、大規模化・複雑化が加速するインターネットやアンビエントネットワーク等の情報社会インフラにおける新しいシステムを構築するに際し、複雑系階層構造を工学的に利用する手法の確立を目指す。具体的には、個々人の情報発信から創発されるデマ拡散現象に着目し、twitterにて拡散するデマ情報の拡散の様子のモデル化と、拡散を収束させるための方策を中心に研究を展開させた。

研究成果の概要(英文)：Nowadays, users of Twitter, one of famous social networking service, have rapidly increased in number, and many people have been exchanging information by Twitter. When the Great East Japan Earthquake struck in 2011, people were able to obtain information from social networking services. Though Twitter played an important role, one problem was especially pointed out: false rumor diffusion. In this study, we propose an information diffusion model based on the SIR model and discuss how to prevent false rumor diffusion.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：知能情報学

キーワード：Twitter SIRモデル デマの拡散 感染モデル 複雑ネットワーク スケールフリー ハブ 東日本大震災

1. 研究開始当初の背景

脳や人体・社会システムなどの大規模複雑システムにおいて、脳における神経細胞ネットワークと意識、そして人体における細胞と臓器の関係等は、個々の階層がある要素集合によるネットワークとして構成され、そのネットワークとしての振る舞いが別の階層における要素を生み出すというダイナミクスを持ち、階層が階層を生み出す関係にありながら、個々の階層におけるダイナミクスは階層ごとに独立しており、個々の階層にて流れる時間の粒度も階層ごとに異なる特徴を持つ、「複雑系階層構造」である。そして、大規模化・複雑化が加速するインターネットやアンビエントネットワーク等の情報社会インフラにおける新しいシステムを構築するに際し、従来の還元論型の工学的階層構造では大規模複雑システムを構築する手法としては限界がある状況において、これを可能とすることが期待される複雑系階層構造を工学的に利用する手法の確立を目指す。

脳における神経細胞ネットワークとそれが生み出す意識の関係や、生物における細胞と臓器の関係、また道路交通における運転手としての人と車と交通流の関係や、個々人の売り買い行動と株価変動の関係などは、それぞれある要素集合の振る舞いが、別の階層として見ることができる要素や要素集合の振る舞いを生み出す「階層構造」として見ることができる。そして、これらの関係において共通して言えることは、個々の階層がある要素集合によるネットワークとして構成され、ネットワークとしての振る舞いが別の階層における要素を生み出し、生み出された要素が同様に生み出された他の要素集団とネットワークを構成し、そのネットワークがさらに別の階層における要素を生み出す、というダイナミクスを持つことである。その際、階層が階層を生み出す関係にありながら、個々の階層におけるダイナミクスは階層ごとに独立しており、個々の階層にて流れる時間の粒度も階層ごとに異なるという特徴を持つ。この階層構造は上記例を始め、人のネットワークが形成するコミュニティなどの社会システムや計算機ネットワークにて構成される WWW など、我々の日常生活に遍在している。

例えば、我々が意識や自我と呼ぶ現象は、約 500 億個の神経細胞ネットワーク層が創り出すものと考えられるが、自我や意識が個々の神経細胞の振る舞いを直接知覚することはできず、また個々の神経細胞も「意識」を生み出している認識を持つことはできないであろう。また、生物を構成する個々の細胞はそれぞれが一つの生命体として生存する

ための活動をしているわけであるが、その細胞が集団化・組織化して臓器が形成される。人体は数々の臓器の連携にて成立し、臓器同志の機能的関係を論ずる際に個々の臓器を構成する細胞のダイナミクスを持ち出すことはない。細胞層が上位の階層として臓器層を形成しているものの、それぞれの層は互いに独立したダイナミクスを持っている。そして、我々は臓器や身体を生涯において一貫して存在するものと認識しているが、それらを構成する細胞は目まぐるしく再生を繰り返しており、およそ数ヶ月で完全に入れ替わっている。つまり、個々の細胞における時間の流れ方と臓器としての時間の流れ方の粒度は大きく異なっている。

神経細胞ネットワークと意識や、細胞と臓器の関係における階層構造システムは、進化にて獲得されたものであり、何等かの意味で有利な機能的な仕組みであると考えられる。脳細胞は成熟期に入ると一日数十万個死滅すると言われ、転倒や老化など様々な要因による神経細胞ネットワーク自体の結合断絶の発生など、物理的な意味で常に同じネットワーク構造を維持することはできないが、自意識のような別の階層におけるシステムでは「自分」という一貫性のある認識を維持することができている。従って、神経細胞ネットワークが生み出す意識層というものが、神経細胞ネットワーク構造の変化に依存しながらも、意識層は高い動的特性と安定性を保つ仕組みを持っていると考えられる。それは、個人の経験や性格により適応形質に差があるものの共通の基盤から生まれるものと推察できる。常に変化する神経細胞層がそのような意識層を創出し安定させ、しかも、意識層のレベルにおいては個々人においてほぼ共通した機能を持たせることを可能とするためには、時間の粒度に注目し、階層間の影響関係を極めて低くする仕組みを解明する必要があるが、未だ大きな謎である。

これに対し、インターネットにおける通信プロトコルの階層構造や、企業における経営システムにおける階層構造など、これまで人が工学的に設計してきた従来の階層構造は、上記例として挙げた階層構造とは大きく異なるものである。従来の工学的に設計される階層構造では、階層間における綿密な連携機構が存在し、個々の階層におけるダイナミクスも階層ごとに独立してはいない。冒頭にて挙げる階層構造が、階層ごとのダイナミクスの他の階層への影響を低くすることが目的であると考えられるのに対し、従来の工学的階層構造では、ある問題を解決するに際し、事前に想定される計画に基づいて段階的に問題を分割して問題を解決することが目的である。インターネットはまさに大規模複雑システムの例であるが、現在のインターネッ

トの姿は結果論であり、最初の設計段階において想定されたものではなく、新しい仕組みの構築に向けた研究が開始されているが、工学的階層構造に基づく設計では前述の意識システムのような動的な階層構造の創出は困難であると考えられる。今後、これまでにない大規模化・複雑化するシステムを工学的に設計することを考えると、従来の工学的階層構造設計法では、構築したいシステムが完全に理解できないとどのような階層構造として問題を分割すればよいか分からない。しかし、大規模複雑化するシステムを人が完全に理解することはもはや困難であり、この現タイミングにて、すでに大規模複雑システムのための階層構造として存在する、神経細胞層と意識層の階層構造を始めとする「複雑系階層構造」に着目する必要がある。しかし、我々はこのような複雑系階層構造の仕組みをまだ理解できてはいない。

2. 研究の目的

そこで、本研究ではこのような複雑系階層構造を生み出すしかけを解明し、複雑系階層構造を工学的に生み出し利用する方法論の確立を目的とする。神経細胞と意識の関係のような進化的手段にて獲得された複雑系階層構造に対し、社会システムなどは人が構築したと見ることができる複雑系階層構造であるが、結果論として構築されたものであり意図的に設計されたものではない。具体的には、複雑系階層構造を、(1)構築する方法、(2)制御する方法、そして(3)理解する方法、をそれぞれ確立することで、これを工学的に取り扱うことを可能とすることを目指す。

(1) 複雑系階層構造を構築する方法論

まずは複雑系階層構造を実際に構築する方法の確立を行う。自律移動型ロボットを利用し、ロボットがセンサーの出力に応じてモーターを制御する機構の設計において、センサー出力を人における神経(感覚)層、モーター制御を意識層として階層構造を構築する方法の創出に取り組む。

(2) 複雑系階層構造を制御する方法論

そして、個々の階層において意図する振る舞いをさせるには、個々の階層を生み出す側の階層を制御する必要があり、階層ごとに独立していることが特徴である複雑系階層構造を制御する手法の確立が本研究における中核課題である。工程(1)にて構築される階層構造に対する制御法の創出を目指す形にて研究を進める。携帯端末の処理能力向上や無線通信コストの低価格化による常時インターネット接続が可能となりつつあることで、遍在する計算資源ネットワーク、即ち大規模分散システムを利用した大規模計算やサービスの可能性が生まれつつあるものの、個々の

端末は常に稼働しているとは限らず、通信環境によっては安定した通信も保証できない。このような動的性のあるシステムにおいて安定した計算やサービスを運用するにも複雑系階層構造による制御が有効である。携帯端末ネットワーク層が神経細胞ネットワーク層、そしてサービス層が意識層に相当する。

(3) 複雑系階層構造を理解する方法論

また、交通制御システムに関する研究や、社会システム構築に関する研究等においては、シミュレーション技法が利用されるが、常に問題となるのがシミュレータの設計指針である。交通制御システムシミュレーターであれば、車の移動をセルオートマトンにて制御する簡潔な方法から、より実際の車の移動を模倣する方法、そして個々の車の動きについても運転手としての人のモデル化までを考慮する手法など様々であるが、シミュレーションにおいて必要とするレベルに対して、どこまで詳細に作りこめばよいかは不明であり、複雑系階層構造を理解する手法を確立することで、的確なシミュレーション構築法を提供することが可能となる。このことは重要であり、多くのシミュレーション研究に対してシミュレーションの妥当性を保証することになり、「シミュレーションを実行したらある結果が出ただけ」と揶揄されることも回避できることが期待される。

3. 研究の方法

下層から上層の創発と、その仕組みのモデル化、そして、そのモデルに基づく系の制御という問題を取り扱うに際し、具体的なテーマとして、本研究では情報拡散に着目した。

Twitter はソーシャルメディアと呼ばれるサービスのひとつで、近年注目を浴びている。Twitter はユーザーの多さに加えて高いリアルタイム性を持ち、情報が急速に広範囲に拡散する。しかしこれはデマについても同様であり、問題点として指摘されている。東日本大震災の際も、大震災直後の混乱した状況とも相まって、非常に多くのデマ情報が拡散した。そこで、東日本大震災直後に得られたツイート (Twitter に投稿された文章) を対象とし、デマツイートおよびデマ訂正ツイートの投稿に関する分析を行った。また、得られた結果を元に、感染症疾患の伝染モデル (SIR モデル) を拡張させた情報拡散モデルを用いてデマ拡散と収束の様子のモデル化を行うとともに、早期のデマ拡散の収束を目標とする方策の検討を行った。

4. 研究成果

- (1) 初年度、次年度：拡散モデルの提案
デマの拡散と収束の様子をモデル化する

ため、SIR モデルを拡張した。このモデルでは、デマツイートおよびデマ訂正ツイートを感染症とみなし、両ツイートが拡散するモデルを考える。本モデルでは他者からツイートを取得したときに感染の判定が起こるものとし、S (デマツイートおよびデマ訂正ツイートを知らない者)、 I_{get} (デマツイート取得者)、I (デマツイート発信者)、 R_{get} (デマ訂正ツイート取得者)、R (デマ訂正ツイート発信者) のように、ユーザーの感染状態を5種類に分類する。感染状態の遷移確率(感染率)を $\rho(S \rightarrow I)$, $\rho(S \rightarrow R)$, $\rho(I_{get} \rightarrow R)$, $\rho(I \rightarrow R)$ とする。また、全ユーザーの人数を N , 全ユーザーのフォロワーの平均値を F とする。 $t=0$ にてデマツイートが拡散し、時刻 t_1 よりデマ訂正ツイートが拡散するとしたとき、 $t < t_1$ ならば、

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} &= -\frac{F}{N}S(t)I(t) \\ \frac{dI_{get}(t)}{dy} &= (1 - \rho(S \rightarrow I))\frac{F}{N}I(t)S(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} &= \rho(S \rightarrow I)\frac{F}{N}I(t)S(t) \end{cases}$$

$t \geq t_1$ ならば、

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} &= -\frac{F}{N}S(t)\{I(t) + R(t)\} \\ \frac{dI_{get}(t)}{dy} &= (1 - \rho(S \rightarrow I))\frac{F}{N}I(t)S(t) - \frac{F}{N}I_{get}(t)R(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} &= \rho(S \rightarrow I)\frac{F}{N}I(t)S(t) - \frac{F}{N}I(t)R(t) \\ \frac{dR_{get}(t)}{dt} &= \{\rho(S \rightarrow R)S(t) + \rho(I_{get} \rightarrow R)I_{get}(t) \\ &\quad + \rho(I \rightarrow R)I(t)\}\frac{F}{N}R(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} &= \{(1 - \rho(S \rightarrow R))S(t) + (1 - \rho(I_{get} \rightarrow R))I_{get}(t) \\ &\quad + (1 - \rho(I \rightarrow R))I(t)\}\frac{F}{N}R(t) \end{cases}$$

となる。

4. 2 実データの収集

本研究では Twitter ネットワーク上にて流れたデマ情報として、東日本大震災前後のツイートを収集し、その中のデマツイートおよびデマ訂正ツイートを対象とし、分析を行った。本研究で用いるツイートは、2011 年3月11日~2011年3月24日のツイートのデータ 239, 755, 041 件である。このツイートデータに加え、1月30日時点での 896, 775 ユーザーの、誰が誰をフォローしているかというフォローネットワークのデータも用意した。得られたツイートデータおよびフォローネットワークデータから、実際に Twitter 上で拡散した、「コスモ石油の爆発により有害物質が雲などに付着し、雨などといっしょに降る」というデマに関するツイートを抽出した。デマに関するツイートは、必須キーワード (デマ・デマ訂正ツイート両方に必ず含むもの)、ネガティブキーワード (デマツイートのみにみられるもの)、ポジティブキーワード (デマ訂正ツイートのみにみられるもの) を設定し、キーワードの検索をすることで抽出した。抽出したデマツイートは 9, 652 件、デマ訂正ツイートは 25, 883 件であり、

これから割り出した、ツイートを投稿したユーザーの各時刻における感染状態別の人数を図1に示す。

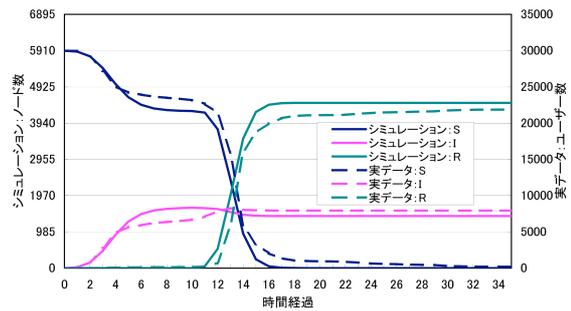


図1: モデルによる再現性

4. 3 シミュレーションによる検証

コスモ石油に関するデマのデマツイートおよびデマ訂正ツイートの解析から、拡散モデルにおける感染率を $\rho(S \rightarrow I) = 0.05$, $\rho(I_{get} \rightarrow R) = 2.04 \times \rho(S \rightarrow I)$, $\rho(S \rightarrow R) = 2.04 \times \rho(S \rightarrow I)$, $\rho(I \rightarrow R) = 0.15$ とし、ユーザー数を 50, 000 人としてシミュレーションを行った。全ユーザーのうち、I または R となったユーザーに着目すると、各ステップにおける感染状態別の人数は図1のようになった。この結果から、デマツイートおよびデマ訂正ツイートの拡散の様子をモデル化できたといえる。またデマ拡散防止法についての検討として、いくつかの防止法を用意してシミュレーションを行った。防止法の違いによる R のユーザーの各ステップにおける人数を図3に示す。デマ拡散防止法 A は、デマ拡散の起点となったユーザーにデマ訂正を依頼する方策、デマ拡散防止法 B は、全ユーザーのうち、一人のハブユーザーにデマ訂正を依頼する方策、デマ拡散防止法 C は、デマツイートを投稿したユーザーのうち、もっともフォロワーが多いユーザーにデマ訂正を依頼する方策である。この結果から、デマに感染したハブユーザーにデマ訂正を依頼する方策が効果的であることがわかった。

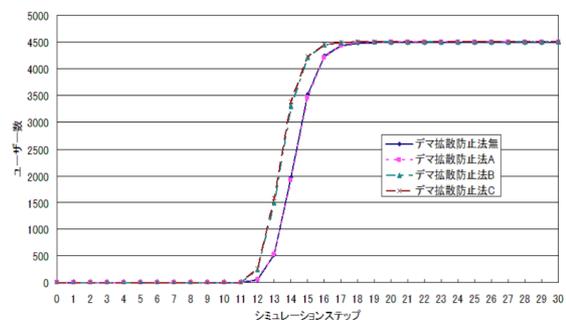


図2: デマ早期収束実験結果

本研究により、個々の情報発信から創発されるデマ拡散という現象において、これを制御する方法として、下層における個々のエージェントの振る舞いではなく、上層が創発されるしくみに着目した制御が有効であることが確認された。これは、複雑システムにおいて、制御したい対象に対して、その対象と異なる、すなわち、その対象が創発する別の系に対する制御が有効であることを示すものである。

(2) 最終年度：階層型 ACO の提案

最終年度においては、ACO の階層化の検討を開始した。ケーススタディとして、小売店における消費者の行動からの、頻出する一連の行動をパターンとして抽出することを考える。消費者が小売店において、購入する商品を検討する際、消費者が触った商品、商品に触った時間、次の商品を手にするまでの時間といった一連のデータが、入力となる時系列データである。この時系列データを用いて、ACO アルゴリズムを応用した ACO 型パターン抽出アルゴリズムによって消費者の行動のパターンを抽出する。なお、ACO アルゴリズムとはアリの採餌行動をモデル化した最適化手法であり、高い適応性および頑健性を有することが知られている。ACO アルゴリズムは単純な行動ルールに基づくエージェントの移動と環境に対するフェロモンの付加蒸発を応用することで最適化以外の他分野への応用が研究されている。そこで、本研究においても、ACO アルゴリズムを基にしたアルゴリズムを提案した。ACO アルゴリズムは環境へのフェロモンの付加とフェロモンの蒸発から成り立つ。消費者ごとにフェロモンを付加し、消費者が変わったときにフェロモンの蒸発を行う。全ての入力データについて、フェロモンの付加と蒸発を繰り返すことでパターン抽出を試みた。

まず、フェロモンを付加するための環境を用意する。環境は仮想グラフ G で表す。 $G=(V, E)$ は仮想空間上の有向グラフである。グラフ G における各ノード $v_i \in V$ は実環境における各商品 $s_i \in S$ に対応し、各エッジ $e_{i,j} \in E$ は商品 v_i を触った後に商品 v_j を触る経路を表す。また、グラフ G 上に付加されるフェロモンの分布は τ で表すことにする。なお、前提条件として頻出するパターンに対する予備知識がないとして、 τ の初期値は $\tau(0) = 0$ とした。

顧客 c_i の入力データごとにフェロモン τ の付加と蒸発を行う。まず、入力データ c_i から、消費者が商品間で移動した度数分布 $d_{i,j}(t)$ を作成する。度数分布 $d_{i,j}(t)$ は消費者 i が商品 s_i を触った後に商品 s_j を触った回数を表す。得られた分布度数 $d_{i,j}(t)$ を

用いて式 1 に従って、フェロモン τ の付加を行う。

$$\tau_{i,j}(t) = \tau'_{i,j}(t-1) + d_{i,j}(t) \quad (1)$$

次にフェロモンの付加をした後に、フェロモンの蒸発を行う。フェロモンの蒸発は蒸発率 ρ に従う。蒸発の計算式を式 2 に示す。

$$\tau'_{i,j}(t) = \tau_{i,j}(t) (1-\rho) \quad (2)$$

このフェロモンの蒸発により、古い探索情報は少しずつ破棄され、解析結果には常に新しい探索情報が一定の割合で反映されることになる。蒸発率 ρ は更新の速さを表す。

連続した二つのノード間でのフェロモンを付加することで、上位層のノードを生成する。二つのノード間にフェロモンが付加されることで、一つ上位の層に新たなノードを生成する。一人の消費者が商品 1, 2, 3, 4, 5 と連続して商品に手を触れた場合(右図)を例にして階層化を説明する。消費者が商品 1, 2 と連続して触れた場合にノード 1 と 2 の間にフェロモンが付加される。それと同時に一つ上位の層である二階層目にノード 1 → 2 が生成される。その直後に消費者が商品 2, 3 と連続して触れた場合、ノード 2 と 3 の間にフェロモンが付加される。先と同様に二階層目には、ノード 2 → 3 が生成される。このとき、二階層目に着目すると、ノード 1 → 2 が生成された直後にノード 2 → 3 が生成されている。同一階層内で連続して起きた事象として、ノード 1 → 2 とノード 2 → 3 の間にフェロモンの付加を行う。このフェロモンの付加と同時に三階層目となるノード 1 → 2 → 3 が生成される。このように、同一階層内で同一消費者の行動によって、ノード間にフェロモンが付加された場合、連続したノードが一つのノードとして一つ上位の階層に生成される。これによって、上位の階層では、連続したより多数の商品に触れるパターンを抽出する。

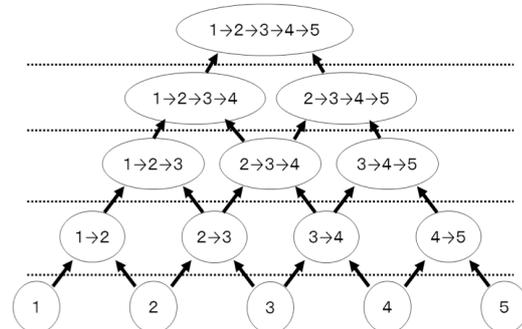


図 階層化のイメージ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 6 件)

- [1] Yoshiyuki Okada, Keisuke Ikeda, Kosuke Shinoda, Fujio Toriumi, Takeshi Sakaki, Kazuhiro Kazama, Itsuki Noda, Masayuki Numao, and Satoshi Kurihara, SIR-Extended Information Diffusion Model of False Rumor and its Prevention Strategy for Twitter, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 18, No. 4, 2014. (掲載待ち) (査読有)
- [2] Satoshi Kurihara, Yoshiyuki Okada, Takeshi Sakaki, Fujio Toriumi, Kosuke Shinoda, Kazuhiro Kazama, Itsuki Noda and Masayuki Numao, SIR-Extended Information Diffusion Model of False Rumor and its Prevention Strategy for Twitter, The 5th International Workshop on Emergent Intelligence on Networked Agents (at AAMAS2013), pp. 114-128, 2013. (査読有)
- [3] Satoshi Kurihara, Koichi Moriyama, and Masayuki Numao, Context-Aware Application Prediction and Recommendation in Mobile Devices, Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technologies (IAT), 2013 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences, pp. 494-500, 2013. (査読有)
- [4] Satoshi Kurihara, Koichi Moriyama, and Masayuki Numao, Proposition of the Context-Aware Application Prediction Mechanism for Mobile Devices, DOCMAS2013 at Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technologies (IAT), 2013 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences, pp. 118-121, 2013. (査読有)
- [5] Junya Nakase, Koichi Moriyama, Kiyoshi Kiyokawa, Masayuki Numao, Mayumi Oyama, and Satoshi Kurihara, Effective awaking interaction learning system that uses vital sensing, IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), pp. 104-108. 2013. (査読有)

〔学会発表〕 (計 5 件)

- [1] Satoshi Kurihara, Takashi Shirai, Fujio Toriumi, Takeshi Sakaki, Kosuke Shinoda, Kazuhiro Kazama, and Itsuki Noda, SIR-based Information Diffusion Model of False Rumor and its

Diffusion Prevention Strategy for Twitter, International Workshop of Social Media and Simulation in Social Informatics, 4th World Congress on Social Simulation (招待講演), 2012年09月04日~2012年09月07日, 台北, 台湾

- [2] 栗原 聡, インタラクシオンにおける情動系・無意識系の活用, 第168回情報処理学会 知能システム研究会 (招待講演), 2012年10月24日~2012年10月24日, 国立情報学研究所, 東京
- [3] 栗原 聡, 福田健介, 菅原俊治, 系列パターンマイニングの最近の動向, (解説記事)人工知能学会誌, Vol. 27, No. 2, pp. 112-119, 2012. (閲読有)
- [4] 白井富士, 榊 剛史, 鳥海不二夫, 篠田孝祐, 風間一洋, 野田五十樹, 沼尾正行, 栗原 聡, Twitter ネットワークにおけるデマ拡散とデマ拡散防止モデルの推定, 人工知能と知識処理研究会, 2012年3月13日, 北海道@定山溪.
- [5] 栗原 聡, 白井 富士, 榊 剛史, 鳥海 不二夫, 篠田 孝祐, 風間 一洋, 野田 五十樹, 沼尾 正行, Twitter ネットワークにおけるデマの拡散と防止の SIR モデルによる推定, ネットワーク生態系研究会, 2012年3月15日, 慶應 SFC.

〔図書〕 (計 2 件)

- [1] 栗原 聡, 福井健一 (訳), Ajith Abraham, Crina Grosan, Vitorino Ramos (著), 群知能とデータマイニング, 東京電機大学出版社, 総ページ数:307 ページ, 2012.
- [2] Satoshi Kurihara, Traffic-Congestion Forecasting Algorithm Based on Pheromone Communication Model (章分担), Ant Colony Optimization - Techniques and Applications -, InTech, pp.163-175, 2012.

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.ni.is.uec.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗原 聡 (Kurihara Satoshi)
電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授
研究者番号: 30397658