

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500168

研究課題名(和文) 不完全情報下での隠れた社会ネットワーク推定と普及プロセスの研究

研究課題名(英文) Study of hidden social network estimation and a diffusion process under incomplete information

研究代表者

倉橋 節也 (Kurahashi, Setsuya)

筑波大学・ビジネスサイエンス系・准教授

研究者番号：40431663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：クチコミ・裏の組織構造・影のリーダーなど、隠れた社会ネットワーク構造を発見することは、製品普及や情報伝播などのプロセスを解明するために重要である。実際には部分情報しか得ることが出来ず、直接的にそれらを推定することは困難である。本研究では、複数の異なる性質を持つ社会ネットワークを合成することで現実社会と近似した性質を持つネットワークを生成し、その中で情報伝播の動的なプロセスを解明した。また、顧客に対する商品の採用状況調査から、社会ネットワークを推定しモデル化することで、クチコミ構造や影のリーダーの発見が可能となった。

研究成果の概要(英文)：It is important to find hidden social networks such as word of mouth, a hidden organisation and a power broker in order to reveal a diffusion process of products, information and so on. Still getting perfect information from them is impossible, so it is difficult to estimate the network structure directly. This study revealed the dynamic process of diffusion due to building networks composed with multiple networks which have different properties. Besides, from an internet survey of customers regarding adoption behaviour, the social network was estimated and modelled. It led to discover the structure of word of mouth and the power brokers.

研究分野：社会シミュレーション

科研費の分科・細目：情報学 知能情報学

キーワード：社会ネットワーク 推定 普及プロセス 情報伝播 社会シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

商品の普及、クチコミの流布、感情の伝染などの比較的短期な情報伝播のみならず、熟練技能の継承、文化の伝承、規範や規律といった文化資本の伝達など、数十年、数百年の長期に渡る情報伝播の現象が存在する。その背景では、それぞれの社会ネットワーク構造と、その情報を受諾・判断・伝達する各主体の認知構造の両者が主要な役割を演じている。しかし一般的な製品普及プロセスであっても、その現象は製品によって図1のように複雑に変化し、従来の Bass モデルのようなマクロな消費者行動モデルでは解明が困難であった。

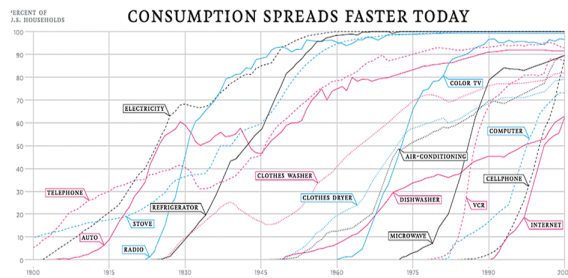


図1 製品別普及プロセス(NewYorkTimes 2008)

また、マーケティング分野において、商品普及と規範行動の関係を、社会ネットワークの視点からエージェントベースシミュレーション手法を用いて解明した研究が報告されてきていた。しかし、企業が持つ顧客情報などから階層的な情報伝播構造を有する社会ネットワークを推定すること、また最適化手法を用いた大規模社会シミュレーションによる情報伝播/普及プロセスの研究は未踏であった。このため企業戦略や行政の施策立案における社会シミュレーション技術の実適用は未だ限られていた。

2. 研究の目的

本研究は、「不完全情報下での隠れた社会ネットワーク推定と普及プロセスの研究」を目的とする。クチコミ・裏の組織構造・影のリーダーなど、隠れた社会ネットワーク構造を発見し、製品普及や情報伝播、知識・文化・技能継承のプロセスを解明することは産業界などで喫緊の課題となっている。

しかし実際には部分情報しか得られず、直接的にそれらを知ることは困難である。本研究は、進化計算技術、パターン指向社会シミュレーション技術の成果を基盤とし、不完全情報下での階層構造を持つ社会ネットワーク推定と、情報伝播・普及過程を解明する基盤技術を確立することを目指した。具体的には次の2点を目標とした。

(1) 単階層のネットワーク推定による情報伝播の事前実験を行った結果では、ネットワーク構造と顧客の規範レベルの違いで、情報伝播速度が複雑に変化することが判明して

いる。本研究ではこれを多階層に拡張し、パラメータ推定のための最適化手法を導入することで、モデルの信頼性を高める。質問紙、Web 調査などから得たリンク数などの顧客情報から、ネットワークの基本特徴量を推定する。しかしこれらは顧客を取り巻く関係性をスケールフリーやスモールワールドのような、均質なネットワーク構造で表すことはできない。そこで、Web・友人関係・仕事関係など、多層的な社会構造を利用したネットワーク階層構造モデリング技術によって、ネットワーク生成パラメータを推定する。

(2) 得られた社会ネットワークとエージェントの規範・情報認知モデルを用いて普及過程モデルを構築する。本手法によって、不完全な顧客情報から顧客間のネットワーク構造を推定し、それを基盤にした社会シミュレーションを行い、より効果的なマーケティング戦略等を立案することが可能となる。

3. 研究の方法

主に次の3つの手法を採用した。

(1) 複数の異なる性質を持つ社会ネットワークを合成し、それによって生じる情報伝播の変化を捉えるためのシミュレーションモデルを構築する。このモデルでは、Watts-Strogatz のスモールワールドモデル (WSモデル) と、Barabasi-Albert のスケールフリーモデル (BAモデル) でそれぞれ生成したネットワークを合成することで、目的となるネットワークを生成することとした。

(2) 複雑二重ネットワークの構造を採用し、対象者の心的状態を内部ネットワーク、対象者間の相互作用状態を社会ネットワークとして定義した。そして、実データからベイジアンネットワークの手法を用いて内部ネットワークを推定することを試み、また全体をモデル化しシミュレーションすることで、さまざま社会ネットワークの構造において、知識の伝播の比較分析を試みることにした。

(3) 消費者の製品購入に関する調査に基づき、消費者タイプと購買に至る消費者フェーズを抽出することを試みた。また、消費者間のコミュニティ構造に着目し、個々の消費者は複数の重なりあうコミュニティに所属すると考え、複雑ネットワークのコンフィギュレーションモデルの手順を応用して、実データにほぼ等しいネットワークモデルを作成することを試みた。

4. 研究成果

(1) 本研究において、既存の研究と同様SIモデルを用いる。SIモデルでは、消費者は未採用状態 (Susceptible) と採用状態 (Infected) の2状態をとる。初期状態は未採用状態とし、意思決定モデルにより、未採用状態から採用状態に一方向に遷移する。一度

採用状態になった消費者は未採用状態に戻ることはなく、結果採用者数は一方的に増加し普及が進むことになる。消費者の意思決定モデルとして、未採用状態から採用状態への遷移確率を定義する。消費者 i の消費者の状態遷移確率を P_i とする。状態遷移確率の高い消費者は態度変容を起こしやすくなる。

本研究では情報接触効果 (informative effect) と規範効果 (normative effect) を定義し、それらが消費者の態度変容に影響をあたえるものとする。情報接触効果は探索による情報接触の可能性を表し、周囲の採用者数が与える影響である。一方、規範効果はクラスタ性の高い関係性におけるコミュニケーションの可能性を表し、周囲の採用者の割合の影響であるとする。

シミュレーションによる実験の実施にあたり、消費者同士をつなぐネットワークを作成する。このネットワークの枝の両端に位置する消費者エージェント同士の間で相互作用が行われる。インターネット上の人間関係のネットワークはスケールフリー性と高いクラスタ性を持つネットワークであることがわかっているが、このようなネットワークを既存の数理モデルにより生成することはできない。そこで、Watts-Strogatz のスモールワールドモデル (WS モデル) ・ Barabasi-Albert のスケールフリーモデル (BA モデル) でそれぞれ生成したネットワークを合成することで、目的となるネットワークを作成する。次数 4 のレギュラーネットワーク (R4) と BA モデルによるスケールフリーネットワーク (SF) をそれぞれ生成し、それぞれのネットワークの対応するリンクの論理和を取り 2 つのネットワークを重ねあわせてネットワーク SFC を作成した。このようにして作成したネットワーク SFC における普及の過程を観察する。それぞれのネットワークの性質 (平均次数、平均到達距離、クラスタ係数) を表 1 に示す。

表 1 ネットワークの特徴量

| 種類 | 生成法 | 平均次数 | 平均距離 | クラスタ係数 |
|-----|-------|-------|--------|--------|
| SFC | SF+R4 | 5.998 | 4.24 | 0.216 |
| R4 | WS | 4.000 | 125.38 | 0.400 |
| SF | BA | 1.998 | 7.50 | 0.000 |

SFC によって生成されたネットワークの上で、製品普及のシミュレーションを実行した結果を図 2 に示す。ここでは、消費者はそれぞれ他のノードにつながる次数が異なっており、高次数・中次数・低次数消費者に分類してある。また、各タイプの消費者に対して限定的なキャンペーンを行なうことによる広告効果を測定するために、3 タイプの結果を示している。

結果として、高次数の消費者に集中して広告を投下するのは、製品普及の初期段階では有効ではあるが、それ以降は低次数の消費者を含めて万遍なく広告を投下すべきである

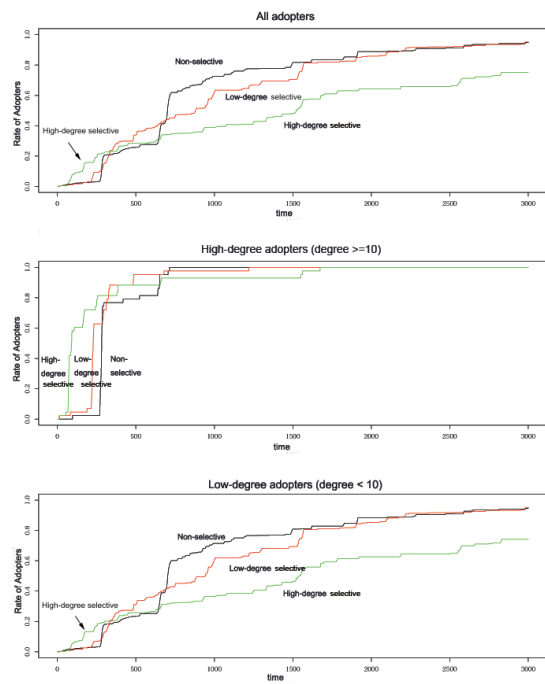


図 2 消費者限定広告による製品普及ことが判明した。

(2) 教育において、各学習者の理解の状態を把握し、その理解状態に応じて教授内容を設計することは重要である。ここでは、e-learning による学習履歴データを用いて、それぞれの学習者が知識を獲得していく構造を明らかにし、その構造の従属関係を考慮して教授を行なうことの重要性を示す。また、学習者動詞の強調効果にしても、その有用性が明らかになってきており、学習者間のネットワーク構造の効果についても検証を行なう。

近年ネットワークモデルについての研究分野で、「内部ネットワーク」と「社会ネットワーク」という二つのネットワークモデルを活用した「複雑二重ネットワークモデル」というモデル構築手法が提案されている。そこで本研究では、学習者の知識理解状態、知識の構造を踏まえた内部ネットワークと、学習空間を踏まえた社会ネットワークからなる複雑二重ネットワークモデルで構築した図 3 の「複雑二重ネットワーク知識教授モデル」を考案し、教員の教授を支援する仕組みを考えた。図 3 は、教員が「教授方略」に基づき、知識をクラス内の生徒全員に教授し、その結果生徒が各自の学力に応じた一定の「理解確率」で知識を理解し、その理解が「教材構造」に基づき関連する知識に一定の確率で伝播する形となっている。

内部ネットワークについては、各学習者の学力に応じた各知識の「理解確率モデル」、「教材構造モデル」を多層的に組み合わせ構成している。ある知識が教授されると、理解確率モデルによって、各学習者の学力に応じた理解確率が算定され、教授された知識と関連のある知識についても、教材構造モデル

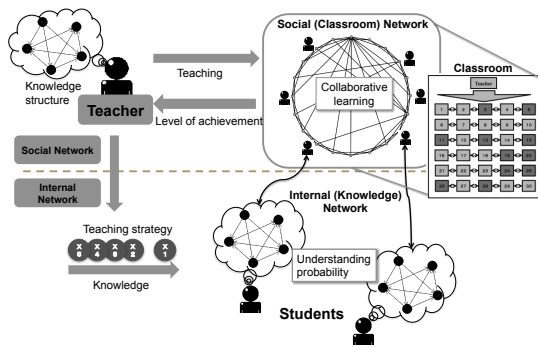


図 3 複雑二重ネットワーク知識教授モデル

に沿って、理解確率が確率伝播する形で内部ネットワークは定義されている。理解確率モデルについては、モデル推定用正答履歴データを利用し、項目母数と能力母数を推定し、それらの推定値を利用して構築している。教材構造モデルについては、ベイジアンネットワークでの構造推定を利用して、構築している。図にしたものが、図4である。ある知識を教授すると、理解確率モデルに基づいて、それぞれの学習者毎に教授された知識を一定の確率で理解する。そしての教材構造モデルに基づいて、理解確率の伝播を行う形になっている。

実験1では、教授方略が学習効果にどのような影響をあたえるかという問題について、考察を行い、実験2では学習者の席の配置が学習効果にどのような影響をあたえるかという問題について考察を行った。実験1の結果、学力・教材構造・協調関係を考慮した教授法が、最も少ない教授回数で学習することができた。一方、ランダムに知識を教授方法や間違えた人の多い知識から教授する方法が、最も教授回数が多くなることが明らかとなった。

実験2の結果からは、正答率の高い学習者を一箇所に固めて配置したモデルに対して、縦列に分散配置したモデルのほうが、平均教授回数が減少した。これは、教室モデルを前提とした今回において、席の左右の正答学習者から知識を協調的に学ぶことの効果を示したものとと言える。

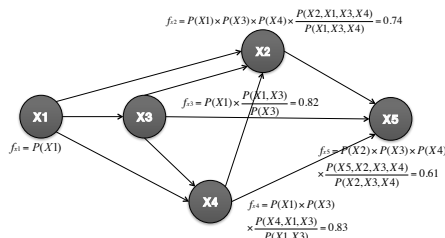


図 4 教材構造モデル

(3) 消費者は、商品やサービスに関する自分の意見を知人や友人に話して、相互に影響を与えている。いわゆる「クチコミ」と呼ばれるものである。近年ではクチコミを活用

したマーケティング手法が「クチコミマーケティング」あるいは「バイラルマーケティング」「Word-of-Mouth (WoM) マーケティング」などと呼ばれ注目されている(1)。しかし消費者間にクチコミ情報が広がってゆく経路は複雑であり、クチコミ効果の計測は難しい。本研究では、消費者のクチコミ行動に関するアンケート調査結果を活用してマルチエージェントシミュレーションを実施した。本研究ではシミュレーションの枠組み構築のために必要なデータ分析を行い、シミュレーションを実施した。また、シミュレーションの枠組みを用いて、クチコミを活用したマーケティング手法である「紹介キャンペーン」の効果を分析した。

シミュレーションの枠組みは消費者のクチコミ行動分析と社会ネットワーク分析の2つの成果に基づいて構築した。消費者のクチコミ行動分析にあたってはスノーボールサンプリングと呼ばれる調査手法を採用した。社会ネットワーク分析にあたっては複雑ネットワークの理論を応用した。

アンケート調査結果を分析した結果、オピニオンリーダー因子(OL 因子)とマーケットメイブン因子(MM 因子)の2因子を抽出した。OL 因子は、消費者が自分の持っている商品に関する意見を他者へ伝えようとする意欲の強さを反映している。MM 因子は、消費者がさまざまな種類の商品やサービスに関する情報を収集し広めようとする意欲の強さを反映している。また、消費者間の人間関係を表す社会ネットワークモデルを検討した。消費者間の人間関係は、個々の消費者を頂点、人間関係を辺とみなすことで、複雑ネットワークの理論上のネットワークモデルとして表すことができる。従来研究によれば、社会ネットワークは、次数分布のベキ則、小さな平均頂点間距離、大きなクラスタ係数といった特徴を持つとされる。

本研究ではこれらに加えて「コミュニティ構造」に着目した。社会ネットワークにおいて、個々の消費者は何人かでまとまってグループを構成している。複雑ネットワークの理論におけるコミュニティ構造に関する考え方については、ネットワーク全体は地図の地域区分のように個々のコミュニティに分離することができ、それぞれの頂点は1個のコミュニティに属すると見る見方と、コミュニティは重なり合い、それぞれの頂点は複数のコミュニティに属すると見る見方の2種類がある。本研究では重なり合うコミュニティ構造を採用した。これは、個々の消費者は家族、友人、学校、勤務先、社会活動などでそれぞれ形成される複数のコミュニティに同時に参加していると考えるのが自然であるためである。

アンケート調査から得られた次数分布を反映できるネットワークモデルを作成する方法として、既存のものに「コンフィギュレーションモデル」がある。このモデルでは以

下の手順でネットワークを作成する。本研究ではコンフィギュレーションモデルの手順を応用して以下の手順でネットワークを作成した。

1. N 個の頂点に対してアンケート結果から得られた度数分布を割り当てる
2. アンケート結果から得られたコミュニティの大きさの分布に応じて、コミュニティの大きさの確率分布関数 $p(m)$ を決める
3. $p(m)$ に応じてコミュニティの大きさ m を確率的に決める
4. m 個の頂点を全体の N 個の頂点の中から度数の割り当て数に応じて確率的に選ぶ
5. 選んだ頂点を要素とする完全グラフを張る。この完全グラフをコミュニティとみなす
6. 選ばれた頂点の割り当て数を $m-1$ ずつ減らし、3以降を繰り返す

これらによって表 2 に示すような社会ネットワークを生成することができた。

表 2 生成されたネットワークの特徴量

| | | Research | A | B |
|----------------------------|--------------|----------|-------|-------|
| Degree (All) | 1st Quartile | 28.0 | 37.0 | 37.0 |
| | Median | 58.0 | 73.0 | 73.0 |
| | Mean | 92.5 | 92.5 | 92.5 |
| | 3rd Quartile | 117.0 | 131.0 | 131.0 |
| Community size (All) | 1st Quartile | 3.0 | 4.0 | 4.0 |
| | Median | 5.0 | 6.0 | 6.0 |
| | Mean | 6.5 | 8.0 | 8.0 |
| | 3rd Quartile | 7.0 | 10.0 | 10.0 |
| Degree (LC) | 1st Quartile | 38.3 | 39 | 39 |
| | Median | 76.0 | 77 | 77 |
| | Mean | 116.0 | 98.0 | 98.0 |
| | 3rd Quartile | 151.8 | 144 | 144 |
| Degree (OL) | 1st Quartile | 33.0 | 38 | 38 |
| | Median | 62.0 | 74 | 74 |
| | Mean | 98.3 | 94.4 | 94.4 |
| | 3rd Quartile | 119.0 | 131 | 131 |
| Degree (MM) | 1st Quartile | 36.0 | 43 | 43 |
| | Median | 69.0 | 85 | 85 |
| | Mean | 105.3 | 101.4 | 101.4 |
| | 3rd Quartile | 131.0 | 142.8 | 142.8 |
| Degree (FL) | 1st Quartile | 23.0 | 28 | 28 |
| | Median | 51.0 | 57 | 57 |
| | Mean | 71.9 | 75.9 | 75.9 |
| | 3rd Quartile | 91.0 | 105 | 105 |
| Cluster coefficient | | | 0.024 | 0.310 |

A: Configuration model, B: Our model.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① 白川貴久, 倉橋節也, "個人毎のタグ空間の類似性にもとづく協調フィルタリング手法", 計測自動制御学会論文誌, Vol. 50, No. 2, pp. 109 - 117, DOI:10.9746/sicetr.50.109, 2014(査読有)
- ② 小野吉昭, 倉橋節也, "市町村の情報シ

ステムの費用分析", 経営情報学会, Vol. 22, No. 3, pp. 183-203, DOI:なし, 2013(査読有)

- ③ Junsuke Senoguchi, Setsuya Kurahashi, "Prediction of Financial Crises Using Statistic Model and Intelligent Technologies in Ubiquitous Environments", International Journal of Computer Applications in Technology, Vol. 48, No. 2, pp. 173-183, DOI:10.1504/IJCAT., 2013. 0560242013(査読有)
- ④ 森敬子, 倉橋節也, "エージェントベースシミュレーションによる新規学卒者採用市場における学生行動の分析", 経営情報学会誌, Vol. 22 No. 1, pp. 1-23, DOI:なし, 2013(査読有)
- ⑤ 國吉啓介, 倉橋節也, "複雑二重ネットワークモデルによる知識教授シミュレーションに関する研究", 計測自動制御学会論文誌, Vol. 49, No. 11, pp. 1004-1011, DOI:10.9746/sicetr.49.1004, 2013(査読有)
- ⑥ Takahisa Shirakawa, Setsuya Kurahashi, "Personal classification space-based collaborative filtering algorithms", International Journal of Computer Applications in Technology, Vol. 46, No. 1, pp. 3-12, DOI:10.1504/IJCAT. 2013. 051383, 2013(査読有)
- ⑦ Setsuya Kurahashi, Muneyoshi Saito, "S" Informative and Normative Effects Using a Selective Advertisement", SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 46, No. 2, pp. 76-82, 2013(査読有)
- ⑧ Chao Yang, Setsuya Kurahashi, Isao Ono, Takao Terano, "Pattern-Oriented Inverse Simulation for Analyzing Social Problems: Family Strategies in Civil Service Examination in Imperial China", Advances in Complex Systems, Vo. 15, Issue 07, 2012(査読有)
- ⑨ Keiko Mori, Setsuya Kurahashi, "Optimising of support plans for new graduate employment market using reinforcement learning", International Journal of Computer Applications in Technology (IJCAT), Vol. 40, No. 4, pp. 254-264, 2011(査読有)

[学会発表] (計 10 件)

- ① Masaki Tanaka, Setsuya Kurahashi, "An Analysis of Customer Retention Rates Using Time Series Data Mining Techniques", JPAIS/JASMIN International Meeting, Dec. 18, 2013, ボッコーニ大学 (Milan Italy) (査読有)
- ② Setsuya Kurahashi and Keisuke Kuniyoshi, "Teaching and collaborative learning simulation using a doubly structural network model", ESSA 2013: 9th Conference of the European Social Simulation Association, Sep. 18, 2013, ワルシャワ経済大学 (Warsaw Poland) (査読有)
- ③ Takashi Yoshida and Setsuya Kurahashi, "Snowball Sampling Analysis of Viral Marketing Campaigns Targeting Market Mavens", The 8th International Workshop on Agent-based Approach in Economic and Social Complex Systems (AESCS2013), pp.147-158, Sep. 11, 2013, 芝浦工業大学 (東京都) (査読有)
- ④ Fumio Oono, Hiroshi Takahashi, Setsuya Kurahashi, Takao Terano, "Environmental Regulation Policy and Dissemination of Eco-Products: An Agent-Based Computational Analysis", 18th Annual Workshop on the Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA2013), Jun. 21, 2013, レイキャビク大学 (Reykjavik Iceland) (査読有)
- ⑤ Setsuya Kurahashi and Takahisa Shirakawa, "An Information Recommendation System Focusing on Social Bookmarking", 16th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2012), Sep. 10, 2012, The Miramar Palace (San Sebastian, Spain) (査読有)
- ⑥ Gen Kobayashi and Setsuya Kurahashi, "Price Dynamics and Herd Behavior on Shopbot Economics", 4th World Congress on Social Simulation, Sep. 7, 2012, National Chengchi University (Taipei, Taiwan) (査読有)
- ⑦ Setsuya Kurahashi and Saito Muneyoshi, "An Analysis of Word-of-Mouth Effects on Social Networks", 2011 Computational Social Science Society of

America Annual Conference, Oct.11.2011, Bishop's Lodge (Santa Fe, NM, USA) (査読有)

- ⑧ Muneyoshi Saito and Setsuya Kurahashi, "An Analysis of the diffusion process on Social Networks", The 7th conference of the European Social Simulation Association, Sep.20, 2011, Agropolis International (Montpellier, France) (査読有)
- ⑨ Muneyoshi Saito and Setsuya Kurahashi, "Word-of-Mouth Effects on Social Networks", Proc. of 15th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems, Vol. 3, 363-372, Sep.14, 2011, University of Kaiserslautern (Kaiserslautern, Germany) (査読有)
- ⑩ Muneyoshi Saito, Setsuya Kurahashi, "Diffusion and Word-of-Mouth Effects on Social Networks", International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology (The SICE Annual Conference 2011), WeC06-04, Sep. 14, 2011, 早稲田大学 (東京都) (査読有)

[図書] (計 0 件)

[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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

倉橋 節也 (KURAHASHI, Setsuya)
筑波大学・ビジネスサイエンス系・准教授
研究者番号：40431663

(2) 研究分担者

津田 和彦 (TSUDA, Kazuhiko)
筑波大学・ビジネスサイエンス系・教授
研究者番号：50302378