

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月25日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00491

研究課題名(和文)大規模ラーニングアナリティクスを用いた初学者のためのプログラミング教育システム

研究課題名(英文)Programming Education System Based on Big Data and Learning Analytics for Beginners

研究代表者

小林 学 (Kobayashi, Manabu)

早稲田大学・データ科学総合研究教育センター・教授

研究者番号：80308204

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではプログラミング初学者を対象として、実際の授業用のWEBを用いた e-learning プログラミング教育システムを構築し、さらにそこから得られたビッグデータに対してラーニングアナリティクスを用いて分析を行なう手法を検討した。具体的にはまず学習者のプログラミングの各種ログを取得し、機械学習手法を用いたプログラムの自動採点により、教員の労度を大幅に削減しつつ精度の高い採点を行うことが可能であることを明らかにした。さらに課題の採点結果を用いて、同じ採点結果の傾向を示す学習者及び課題を自動的に抽出する手法の提案並びに評価を行い、提案したモデル並びに分析法の有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ICT技術者の不足は日本社会にとって深刻な問題となっており、プログラミングはそのICT技術者にとって必須の技術である。しかしプログラミング教育に必要な教育システムが定まっているわけではない。本研究では初学者のためのプログラミング教育システムに効果的な要件を検討し、その教育をサポートする効果的なシステムの構築と分析法の提案と評価を行った。この点で社会的意義は大きい。また学習者とプログラミング演習課題の関係を統計的協調フィルタリングの問題設定として数理モデル化し、さらに現実的な受講人数や課題数で十分な精度を持つ特徴抽出が可能であることを示した。この点で十分な学術的意義を有するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we built e-learning programming education WEB system for real class of beginners, and we analyzed the big data using learning analytics. Specifically, it is possible to obtain various programming logs of the learner and to perform scoring with high accuracy while significantly reducing the teacher work by automatically scoring the program using the machine learning method. Furthermore, we proposed a method for automatically extracting of learners and programming exercise tasks that show the same tendency of scoring results. Then we used the statistical collaborative filtering method. Furthermore, we showed the effectiveness of the proposed model and estimation method.

研究分野：統計的機械学習, ラーニングアナリティクス, 協調フィルタリング

キーワード：Eラーニング プログラミング 教育システム 機械学習 潜在クラス分析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

スマートフォン、クラウドコンピューティングや仮想化技術、さらには IoT や人工知能などコンピュータ、ネットワーク及びデータサイエンス技術の進歩は人類の生活を大きく変えるまでに至り、さらに急速な発展を続けている。このような背景の中で ICT 技術者の不足は日本社会にとって深刻な問題となっており、さらにプログラミングは ICT 技術者にとって必須の技術である。そこで文部科学省では初等中等教育段階からのプログラミング教育を協力的に推進している。一方でプログラミング初学者のための教育方法に一貫した教授法のテンプレートが存在しておらず、さらにプログラミング教育で利用すべきシステムに至っては日進月歩な ICT の世界でその必要十分な機能の検討自体も大きな課題である。これから初等中等教育、さらには高等教育も含めてどのようなシステムでプログラミングを教育していくべきか、あるいはシステムでどこまでサポートできるかを検討することは、非常に重要なテーマの一つである。

2. 研究の目的

プログラミング教育を実施する上で、特に初学者にとって以下のような問題が存在する。

- (1) プログラム開発環境の操作が煩雑で、学習者が操作を理解するのに時間と手間がかかる
- (2) 学外で自学するためにはプログラム開発環境が必要であり、敷居が高い
- (3) スマートフォンやタブレットなどのモバイル端末での学習が難しい
- (4) 授業中の学習者の進捗状況を統一かつリアルタイムに把握することが困難
- (5) 学習者の作成した個々のプログラムの正当性チェックや採点にとっても時間がかかる
- (6) どこで躓いているかを正確に把握することが困難、あるいは手間がかかる
- (7) 学習者の理解度や理解の特徴をリアルタイムかつ正確に把握することが難しい

本研究では具体的な e-learning プログラミング教育システムを構築し、これらのプログラミング初学者の問題に対してどのようにすれば解決できるか、その方法について検討を行う。このときビッグデータ解析が可能な機械学習手法をラーニングアナリティクスへ活用し、今後のプログラミング教育のシステムに実装すると教育的効果が高いと思われる要件を明らかにすることが目的である。

3. 研究の方法

本研究ではプログラミング初学者を対象として、実際の授業用の WEB を用いた e-learning プログラミング教育システムを構築し、さらにそこから得られたビッグデータに対してラーニングアナリティクスを用いて分析を行う手法を検討する。具体的には構築したプログラミング教育システムを利用して、まず授業内外における学習者のプログラミング編集履歴及びプログラム実行結果の取得と保存を行う。さらに取得した大規模な学習履歴に対して、機械学習手法やビッグデータ解析技術を用いて特徴の自動抽出を行うための手法の提案及び評価を行う。より詳細には以下の方法で研究を実施する。

- (1) プログラミング編集履歴において取得すべき項目の検討
- (2) 実授業用の WEB サーバの構築、及び e-learning プログラミング教育システムの構築
- (3) 初学者に対するプログラミング教育システムを利用した授業の実施とプログラミング編集履歴データの収集
- (4) 取得した履歴情報に対する分析、学習者の作成したプログラムの正当性の自動判定手法の検討
- (5) 個々の学習者の理解度の評価や、学習者が躓いている項目等を含めた学習者あるいはプログラミング演習課題の特徴抽出手法の検討

4. 研究成果

以下、上の研究の方法の番号に対応するように研究成果について述べる。

- (1) プログラミング編集履歴として本研究で検討して取得した項目は以下である。
[1]学習者 ID, [2]課題番号, [3]ボタンをクリックした日時, [4]学習者が記述したプログラム, [5]プログラムのコンパイル結果, [6]プログラムの実行結果, [7]プログラムへの入力文字列(あれば), [8]プログラムへの入力ファイル(あれば), [9]プログラムの出力ファイル(あれば)
- (2) 授業用に構築を行ったプログラミング教育システム用サーバとして、十分大きなデータを蓄えることができ、また 100 人規模で同時アクセス、同時コンパイル可能な Xeon CPU 2 台を搭載した PC を用意した。またこのサーバ上に XAMPP を導入し、WEB を用いた e-learning プログラミング教育システムを構築した。具体的にプログラミング教育システムは PHP と JavaScript を用いて記述している。また教育用のプログラミング言語としては C 言語及び JAVA 言語を授業で利用可能にした。初学者は Moodle からリンクの貼られたこのシステムにログインし、WEB 上で授業課題のプログラムを記述する。また WEB 中の「保存・実行」ボタンを学習者がクリックすると、教育システムで保存とコンパイル、さらにプログラム実行が行われ、その結果が学習者の WEB 上に示される。このボタンをクリックするたびに、サーバには(1)のログが残る。このとき学習者 ID と課題番号は Moodle から送られてくるクエリ文字列で判別できるようにした。
- (3) プログラミング教育システム用サーバは 24 時間連続稼働を行い、初学者を対象とした

プログラミング授業として延べ 8 クラスにおいてプログラミング編集履歴の取得を行った。1 クラスは 40~50 人程度から構成されており、毎回の授業においてを 6~9 程度のプログラミング演習課題を出している。サーバはずっと稼働させたため、学内のみならず学外からもアクセス可能で、演習課題を家で、しかもタブレットで解くなども可能とした。

ここまでで研究目的で示した、初学者における問題点の(1)~(3)に対して、本実験によりこのシステムで解決可能であることが明らかとなった[1]。

(4) 取得した履歴情報に対する分析、及び学習者の作成したプログラムの正当性の自動判定手法の検討を行った[1]。

まず初学者を対象とした授業 32 回分の演習課題において取得したエラーログの分析を行った。ここで連続して同じエラーだった場合にはカウントしない。結果を図 1 に示す。

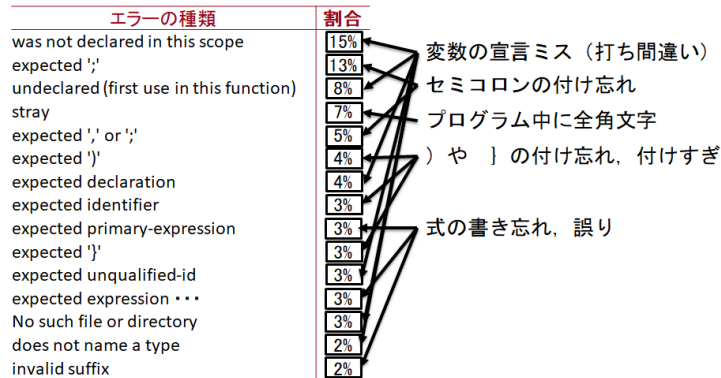


図 1：エラーログの分析結果

この授業では初学者の約 35% のエラーは変数の宣言ミス (打ち間違い) で、18% がセミコロンの付け忘れであった。また 7% のエラーは全角文字をプログラム中に書いてしまうミスである。エラーの表記は初学者にはとても分かりにくいので、頻出エラーは予め FAQ のようなものを作成して注意喚起しておくことが有効と思われる。

次に得られたプログラミング編集履歴を用いて、自動採点を行う手法の検討を行った。プログラミングコンテストや、E ラーニングのみの学習システムでは、実行結果の完全マッチングで判定を行っているケースが多い。一方初学者に対する通常授業においては、完全マッチングのみでは判定が厳しすぎる可能性がある。そこでまず実行結果の完全マッチングによる判定を行ったところ、正解と判定できたプログラムは全体の 45.8% であった。教員が人手で判定した正解率は約 74% であったことと比較すると、明らかに低すぎる。人手で正解にも関わらずシステムが不正解と判定したプログラムを調査したところ、スペースやタブの挿入・不挿入、全角・半角の違い等、出力に対する揺らぎが結果に大きく影響を与えていることが分かった。

この調査結果を踏まえて、全角英数字は半角に統一、タブ、カンマ、全角句読点は半角スペースに置換、「=」や英数字の前後にスペース挿入、といった正規化処理を行ってから、完全マッチングを行った。その結果、正解と判定されたプログラムは 66.3% まで増やすことができた。ただしこれでも十分では無い。正規化処理によって正しく判定できなかった例として、演習課題で出てきた用語「プレイヤー」と「プレーヤー」、「最後の」と「最後の」などの混乱や、数値の表示の仕方「1923」と「1923」などの違いが挙げられる。また途中結果を逐次出力しているケースなども存在した。これらは正規化することができず、どちらかは誤りと判定されることになる。そこで、ある課題の正規化した実行結果に対してワード法を用いてクラスタリングした結果を図 2 に示す。図 2 を見ると、明らかに 2 つの大きなクラスタが存在し、それぞれのクラスタ内部の実行結果は完全に一致していることが分かる。また内容を確認すると、「プレイヤー」と「プレーヤー」のみが異なっている。正解率が低く判定されている課題を調査したところ、そのような課題のほとんどに大きな 2 クラスタが存在していた。そこで全ての課題に対してクラスタリングを行い、要素数が 2 番目に多いクラスタを教員が手動で正誤を判定したところ、全体の正解率は 72.6% まで上昇した。これは全て手動で正解を判定した結果とほとんど変わらない正解率であった。この方法は完全な自動採点ではないが、1 つのプログラム作成課題に対して教員

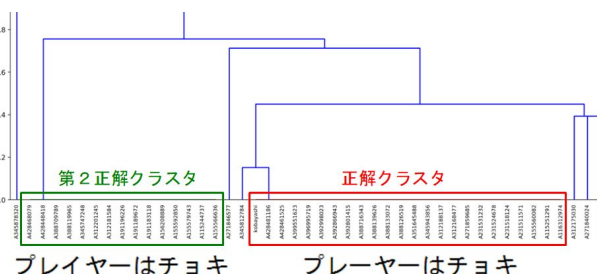


図 2：クラスタリングの結果

が手動で判定しなければならないプログラムは高々1つで済むので、さほど労力を必要としない。結果的に学生全員分を手動で判定する手間と比べ、教員の労度を大きく減らすことに貢献でき、かつ採点者によるばらつきを少なくできることが分かった。

(5) 学習者の理解度や躓いている項目等を含めた学習者あるいはプログラミング演習課題の特徴抽出手法の検討を行った。具体的には学習者の各プログラミング演習課題に対する正解あるいは不正解のデータから、学習者並びにプログラミング演習課題の特徴を統計的協調フィルタリングによって抽出する手法の検討を行った[2]。

我々が検討を行った手法は、学習者（ここでは学生と記す）には理解の傾向が同じ学生の集団（学生の潜在クラス）が存在し、また演習課題に対しても正解する傾向が同じ演習課題の集合（課題の潜在クラス）が存在するものと仮定する。この関係を数理的に記載すると、図3のようなグラフィカルモデルを仮定していることになる。

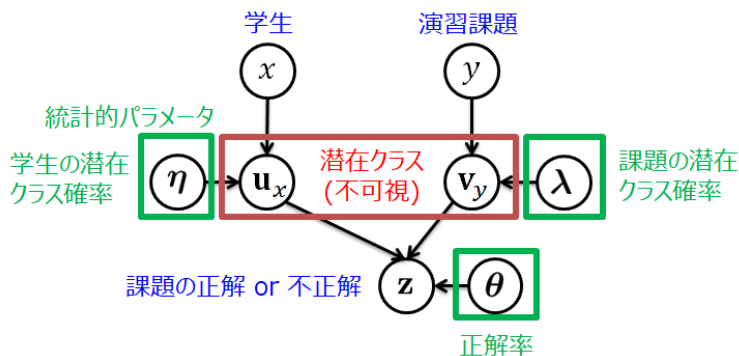


図3：学習者（学生）と演習課題の潜在クラスモデル

ここで、各学生には見えないクラス（潜在クラス）が存在し、このクラスが同じ学生同士は同じような理解の特徴を有していると考えられる。また各演習課題にも見えないクラス（潜在クラス）が存在し、このクラスが同じ演習課題同士も同じような傾向を示すものとする。学生の潜在クラスと演習課題の潜在クラスのペアが同じ場合、そこに所属する学生と演習課題の正解率は同じ、ということを表しているモデルである[2]。このモデルによって、潜在クラスが同じ学生たちは共通する理解の傾向を示すため、苦手な演習課題群を統一的に発見することが可能となる。また演習課題の潜在クラスが明らかになると、学生にとっての理解度がどの程度かを特徴づけて視覚化することができる。例えば（学生の潜在クラスごとに）この課題が苦手だとこの問題も苦手、などの傾向が分かることになる。従って、それらの課題に共通する項目を検討することにより、それらの学生の集団に対して理解度が足りていない原因を特定する助けとすることができる。このモデルはいわば学生と演習課題の同時ソフトクラスタリングと捉えることもでき、学生と課題に対する統計的協調フィルタリングの応用となる。

さらに本研究ではこのようなモデルに対して変分ベイズ法を適用し、平均場近似手法により潜在クラス並びに統計的パラメータの推定を同時に行う手法を提案した[2]。ここで学生数50、演習課題の数180、正解・不正解の総数6230という初学者用のプログラミング授業と同じ設定において、数値実験を行った結果を図4に示す。図4における母数と書かれている表は、実際の正解率の分布を参考にして、数値実験において設定した真のパラメータである。記号は図3に対応しており、 η は学生に対するそれぞれの潜在クラスへの所属確率を示し、 λ は課題に対する各潜在クラスへの所属確率を示す。また表中の数字は図3の θ を表し、学生と課題の潜在クラスの組に対する正解率を表している。例えば学生の潜在クラスが「中」で、演習課題の潜在クラスが「易」の場合、正解率は「.85」という意味になる。このような設定のもとモンテカルロシミュレーションによりデータを生成して数値実験を行ったとき、生成されたデータに対する最尤推定量の値を図4の「理想値」と書いた表に示している。この表は、本当は観測できない潜在クラスを見ているとして計算した推定量であり、理想的な推定値である。いわばこの値を越えて推定する方法は存在しない。このようなデータに対して、提案した手法による各パラメータの推定値を図4の「推定値」という表に示した。図4の「理想値」と「推定値」の表を比較すると、提案手法によるパラメータの推定精度はとても高いことが見て取れる。また各学生及び各演習課題の潜在クラスがどの程度的確に推定できているかを評価したところ、50人の学生に対して3人はクラスを誤り、180課題に対して19課題が潜在クラスを誤った。

の推定精度を比較すると分かるが、本実験では演習課題の推定精度が相対的に低いことが分かる。これは1学生の解いた問題数（最大180課題）はある程度多いが、1演習課題が解かれる学生数（最大50人）はさほど多くないという関係から生じている。従って、演習課題の推定精度を上げたい場合には、同じ学年の学生数を増やす、あるいは共通の問題を数年利用する、などにより共通の課題を行う学生数を増やすことなどが考えられる。

本研究の手法により学生とプログラミング演習課題を同時に特徴づけることが可能になり、共通の正解率を持つ学生と演習課題の組を自動で取得できる。先にも述べたように、これを学生の理解度評価や、どの学生たちにはどのような課題が苦手、と言った特徴を見つけ、授業のフィードバックに役立てることが可能となる。

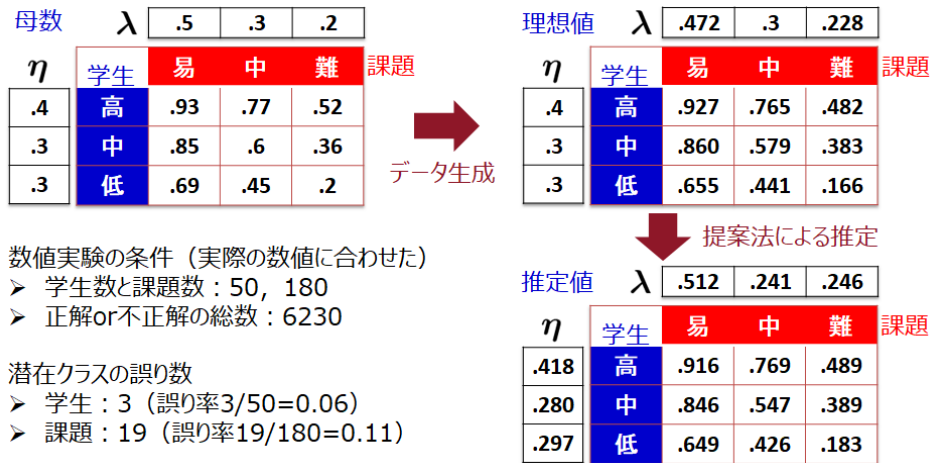


図 4 : 数値実験の設定と提案法による推定結果

< 引用文献 >

- [1] 小林学, 荒本道隆, 佐藤一裕, 平澤茂一, ” プログラミング授業のための可視化システムと初学者の学習分析”, 情報処理学会第 81 回全国大会予稿集, 2019 .
- [2] M. Kobayashi, K. Mikawa, M. Goto and S. Hirasawa, “Collaborative Filtering Analysis of Consumption Behavior Based on the Latent Class Model”, Proc. of 2017 IEEE SMC, pp.1926-1931, Oct. 2017.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 14 件)

- [1] M. Kobayashi, T. Matsushima, Y. Yoshizawa, "Time-Varying Collaborative Filtering Based on the Variational Bayes", Proc. of 2019 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 査読有, pp.132-135, 2019.
- [2] Shigeichi Hirasawa, Gendo Kumoi, Manabu Kobayashi, Masayuki Goto and Hiroshige Inazumi, "System evaluation of error correcting output codes for artificial data models", Proc. of 2018 International Conference on Engineering Technology and Applied Science, 査読有, pp.112-122, 2018
- [3] Gendo Kumoi, Hideki Yagi, Manabu Kobayashi, Masayuki Goto, Shigeichi Hirasawa, "A Greedy Construction Approach of Codeword Table on Error Correcting Output Coding for Multivalued Classification and Its Evaluation by Using Artificial Data", Proc. of 2018 International Conference on Engineering, Technology and Applied Sciences, 査読有, pp.15-22, 2018
- [4] Katsuyuki Umezawa, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa, Shigeichi Hirasawa, "Application and Evaluation of a Grouped Flipped Classroom Method", Proc. of the IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering, 査読有, pp.39-45, 2018
- [5] Manabu Kobayashi, Toshiyasu Matsushima, Shigeichi Hirasawa, "Probabilistic Fault Diagnosis and its Analysis in Multicomputer Systems", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 査読有, E101.A, pp.2072-2081, 2018
- [6] Katsuyuki Umezawa, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa, Shigeichi Hirasawa, "Evaluation by Questionnaire on Grouped Flipped Classroom Method", Proc. of the IEEE 10th International Conference on Engineering Education, 査読有, pp.87-92, 2018
- [7] S. Hirasawa, G. Kumoi, M. Kobayashi, M. Goto and H. Inazumi, "System Evaluation of Construction Methods for Multi-class Problems Using Binary Classifiers", Trends and Advances in Information Systems and Technologies, vol.2, 査読有, pp.909-919, 2018
- [8] K. Umezawa, T. Saito T. Ishida, M. Nakazawa, S. Hirasawa, "Learning State Estimation Method by Browsing History and Brain Waves During Programming Language Learning", Trends and Advances in Information Systems and Technologies, vol.2, 査読有, pp.1307-1316, 2018
- [9] M. Kobayashi, K. Mikawa, M. Goto and S. Hirasawa, “ Collaborative Filtering Analysis of Consumption Behavior Based on the Latent Class Model ”, Proc. of 2017 IEEE SMC, 査読有, pp.1926-1931, 2017.
- [10] M. Kobayashi, K. Mikawa, M. Goto, T. Matsushima and S. Hirasawa, “ Collaborative Filtering Based on the Latent Class Model for Attributes ”, Proc. of 16th IEEE ICMLA, 査読有, pp.893-896, 2017.

- [11] K. Mikawa, M. Kobayashi, M. Goto and S. Hirasawa, "Distance Metric Learning using Each Category Centroid with Nuclear Norm Regularization", Proc. of IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, 査読有, pp.1-5, 2017
- [12] K. Umezawa, T. Ishida, M. Aramoto, M. Kobayashi, M. Nakazawa, S. Hirasawa, "A Method based on Self-study Log Information for Improving Effectiveness of Classroom Component in Flipped Classroom Approach", Proc. of International Journal of Software Innovation, vol.4, 査読有, pp.17-32, 2016
- [13] K. Mikawa, M. Kobayashi, M. Goto and S. Hirasawa, "A study on distance metric learning using distance structure among category centroids", Proc. of The 17th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 査読有, pp.285-289, 2016
- [14] M. Goto, M. Kobayashi, K. Mikawa and S. Hirasawa, "A Bayes Prediction Algorithm for Model Class Composed of Several Subclasses", Proc. of International Symposium on Information Theory and its Applications, 査読有, pp.121-125, 2016

〔学会発表〕(計 8 件)

- [1] 小林学, 荒本道隆, 佐藤一裕, 平澤茂一, "プログラミング授業のための可視化システムと初学者の学習分析", 情報処理学会第 81 回全国大会予稿集, 2019.
- [2] 小林学, "大学におけるプログラミング可視化システムの効果", 第 10 回「次世代 e-learning」公開フォーラム, 2018
- [3] 須子統太, 安田豪毅, 堀井俊佑, 小林学, "パラメータ未知の一般化ラベルノイズモデルにおける分類法について", 電子情報通信学会 信学技報 IBISML, 2018
- [4] 安田豪毅, 須子統太, 小林学, 松嶋敏泰, "一般化ラベルノイズの下での分類に関する漸近評価", 電子情報通信学会 信学技報 IBISML, 2018
- [5] 平澤茂一, 雲居玄道, 小林学, 後藤正幸, 稲積宏誠, "人工データによる 2 値判別器を用いた多値分類システムの評価", 経営情報学会全国大会予稿集, pp.75-78, 2018
- [6] M. Kobayashi, K. Mikawa, M. Goto and S. Hirasawa, "Collaborative Filtering Based on the Latent Class Model using Variational Bayes", Proc. of 40th Symposium on Information Theory and its Applications, pp.19-24, 2017
- [7] 平澤茂一, 雲居玄道, 小林学, 後藤正幸, 稲積宏誠, "2 値判別器を用いた多値分類方式のシステム評価(続)", 第 79 回情報処理学会全国大会予稿集, 2017
- [8] 小林学, 三川健太, 後藤正幸, 平澤茂一, "ニューラルネットワークによる非負値行列因子分解の表現とその拡張", 電子情報通信学会総合大会予稿集, 2017

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 平澤 茂一

ローマ字氏名: Shigeichi Hirasawa

所属研究機関名: 早稲田大学

部局名: 理工学術院

職名: 名誉教授

研究者番号(8桁): 30147946

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。