

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22240010

研究課題名(和文) 離散値・数値混用データからの閉集合を利用した知識発見方式

研究課題名(英文) Data Mining Methods Based on Closed Sets for Data Which Are Combination of Discrete and Continuous Attributes

研究代表者

山本 章博 (Yamamoto, Akihiro)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：30230535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,900,000円、(間接経費) 8,670,000円

研究成果の概要(和文)：離散値データと数値データが混用されたデータからの知識発見に対して、両者に共通の概念である“閉集合”に着目し、両者に一貫性を持つ理論と手法を開発することにある。半教師有学習を基盤として融合した知識発見アルゴリズムを構成し生命科学データに適用した。また、経済学における離散値・連続値組へも閉集合を適用した。離散データ間距離の研究、実数の2進符号化を利用した新たな偽距離の開発するとともに、2進符号化の自然画像探索への応用、異常値データ検出手法を提案した。実数のグレイ符号化を用いた計算論的学習、代数的閉集合を対象とした計算論的学習などを行った。また、閉集合が束構造に対して、閉集合の高速更新手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：This research project is aiming at foundations of knowledge discovery algorithms for both discrete data and continuous data. The key concept of the foundations is closed set. We developed a semi-supervised algorithm for data which have both discrete attributes and continuous attributes. We applied the closed set method to combination of discrete data and continuous data from economics. We also developed new distances between discrete data, a new pseud-distance for continuous data, and a method diagnosis of outliers. We also applied binary coding to image retrieval. As theoretical results, we developed a computational learning theory based on Gray code, a computational learning theory of algebraic closed sets, a fast method of updating the lattice formed by fast closed sets.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：知識発見 機械学習 形式概念解析 閉集合 実数計算 離散構造データ フラクタル

### 1. 研究開始当初の背景

本研究では記号などの離散値データと数値データが混用されたデータからの新たな知識発見の理論と手法を開発することを目的とする。以下では、離散値データからの知識発見手法を、“離散値知識発見”とよび、数値データからの知識発見手法を“数値知識発見”とよぶ。

データベース内に蓄積されている大量のデータに潜む有用な知識を効率的に導出する手法の重要性は、データ量が増す今日では益々増している。特に関係データベースに蓄えられた離散値データからの知識発見手法は“大量データからの知識発見”という概念そのものを確立し(下記文献[1])、現在に至るまで離散値知識発見の基礎となっている。一方で、数値知識発見については統計手法を基礎とした知識発見が古くから研究され、最近では単に“データマイニング”“機械学習”という、統計的な数値知識発見を指すことが多い。

近年では、蓄積されるデータは量が増加するだけでなく、その多様性が増している。その中で、離散値と数値が混用されたデータが出現している。顕著な例としては、知識発見のコンテスト KDDCup99 で提示されたネットワークの不正侵入検出のためのデータは、プロトコル名などは離散値で表され、アクセス時間などは数値で表されている。さらに、XML/HTML が普及し、生命情報学における蛋白質構造や反応連鎖のデータなど、複雑な構造を持つ離散値データに数値が埋め込まれたデータが出現している。しかし、関係データベースの応用として確立されてきた離散知識発見と、確率論を意味として構築された数値知識発見は、その素性の違いから両者を融合させることに困難である。離散値と数値が混用されたデータに対しては、従来手法を生半可に組合せるのではなく、離散知識発見と数値知識発見に一貫性を持つ融合理論と手法の構築が急務である。

本研究の研究代表者は、本研究開始まで、離散知識発見からの頻度に基づく知識発見について、代数的な視点を用いた手法・アルゴリズムと意味論の構築を行うとともに、実数の計算論的(離散的)表現論に立ち戻り、知識発見に実験や測定モデル化を埋め込むことで、数値データからの知識発見に対して計算論的な意味を与える研究を行ってきた。偶然にも、両研究において“閉集合(closed set)”の概念が重要であることが判明した。最近の知識発見に関する国際会議の発表においても閉集合を用いた研究が出現しておりことから、閉集合は知識発見における鍵となっていることが明らかになってきた。このような背景のもと、離散値・数値混用データに対する統一的な知識発見手法は、閉集合を用いて開発可能であるという見通しを立て、本研究を計画した。

### 2. 研究の目的

離散値データについては全順序関係が用意に定義できず、データ構造の構成方法に基づく半順序関係が定義される。その半順序関係を利用した高速知識発見手法が提案される一方で、確率論を知識発見の手法として適用できる状況は限られる。一方、知識発見における数値データは、表現と意味の差が全く意識されず、誤差も意識されていない。例えば、0.333 という数値データが、実数の  $1/3$  を意味しているのか、 $333/1000$  を意味しているのか、は全く区別されない。しかし、実数という意味を(勝手に)仮定した統計的手法は深く研究され広く利用されている。

本研究では、離散値・数値混用データを扱う知識発見手法を、閉集合を基礎として構成する。閉集合については、代数的な定義と位相的な定義に差があるが、本研究では代数から生まれた形式概念解析(formal concept analysis)とフラクタル解析から生まれた自己再帰集合を利用することにより、離散値と数値の差を埋めて、両者を統一的に扱える知識発見の理論と手法を構築することが目標である。

形式概念解析はもともと自然言語データからのオントロジー構築のために提案された。代数学のガロア理論を範にし、様々な代数系だけでなく命題論理や述語論理、形式言語理論、関係データベースの従属性理論などもそのインスタンスとして扱うことができる(文献[3])。その基本は、「もの(対象)」と「こと(表現)」の相互関係に着目しながら複雑な関係を系統立てて整理してゆく方法にあり、離散値知識発見においては、関係データベースからの知識発見において導入された(文献[2])。一方、自己相似集合はフラクタルの分野で重要であり、ユークリッド空間における位相的な閉集合は自己相似集合の有限和によって任意の精度で近似できる。このことから、自己相似集合の有限表現を、閉集合の誤差付きの表現に利用可能である。

本研究では、自己相似集合を「もの」、その有限表現を「こと」として、形式概念解析の枠組みで数値知識発見を捉えることを最初の目標とする。その結果をもとに、離散値・数値混用データからの知識発見の基礎理論と手法を設計し、実データを用いた計算機実験により改良を行う。さらに、離散値知識発見と計算代数学との関係、数値知識発見と計算可能性解析学との関係の分析へと深化させることを目標とする。

### 3. 研究の方法

研究分担者・連携研究者が主に理論と手法の構成を行い、新規雇用特定研究員が手法の計算機上の実装と実データによる計算機実験を行う。平成 22 年度は、これまでの基盤研究 B と萌芽研究の成果を形式概念解析の枠組みで再定式化し、研究分担者・連携研究者・研究協力者間で、用語と概念、研究成果

の共有を図る。その結果に基づいて、1) 離散値知識発見手法を用いた数値知識発見の理論とアルゴリズムの構成、2) 離散値・数値混用データからの知識発見の理論とアルゴリズムの構成、3) 離散値知識発見の進化を行うこととした。

#### 4. 研究成果

##### 個々の課題に対する具体的成果

(1) 位相的閉集合と自己相似集合を用いた数値知識発見を、自己相似閉集合の知識発見として捉えなおした上、両者を融合する理論構築した。融合の基盤としては、半教師有学習を設定し、知識発見アルゴリズムを構成した上で、生命科学分野のデータに適用する研究を行った。また、新聞記事と株価データとを組合せたデータから、閉集合を用いて株価変動におけるフェーズを同定することを試みた。

(2) 代数的閉集合を用いた離散値知識発見について、グラフなどの構造化データを対象とし、閉集合に制約を導入した場合の知識発見アルゴリズムの構成、クラスタリングに用いるためのデータ間距離の研究の展開、代数的閉集合の和集合を対象とした計算論的学習研究の展開、形式言語を利用した知識発見と計算論的学習理論の展開、形式言語を利用した RNA データからの知識発見手法の開発を行った。数値知識発見については、実数の 2 進符号化を利用したクラスタリング用の新たな偽距離の開発、2 進符号化の自然画像探索への応用、実数のグレイ符号化を用いた計算論的学習の展開を行った。その応用として、書籍などを文書を写した文書画像における文字列検索への応用を試みた。文書画像が白黒の 2 色からなると仮定したとき、クラスタである閉集合が文字や文字の一部となる連結成分を表すことになる、という観察に基づき、さらにクラスタから数列を導出した上で、その数列のマッチングだけを行うことで文字認識をせずに文字列検索を行う方法を考案し、実装と実データによる評価を行った。

(3) 閉集合と形式概念解析は、ある要素が集合に属するかどうかをブール値で表現することを基礎にしている。一方、離散値データと数値データの融合の視点からは、要素の個数を考慮し、ブール値を数値にする方法も考えられる。この考え方に基づいた閉集合を新たに考察した上で、知識発見アルゴリズムを設計した。

(4) データから構成される閉集合が束構造をなすことに着目し、束構造を分析することにより異常値データを検出する方法を開発した。また、データからの閉集合の生成はすでに高速な手法が提案されているが、データが更新される場合には閉集合の高速な更新手法が必要である。そこで、既存データに新規データが追加された場合を対象にして、逆探索法を利用した高速な閉集合の更新手法を考案した。

(5) 離散値データの代表である木構造データからの閉集合を用いた学習について、これまでの研究では、木特徴量を用いて数値空間に射影する手法と、木の生成モデルをそのまま用いる手法が提案されてきた。本研究では第三の方法として部分木を特徴とする空間への射影という方法を考案して、知識発見アルゴリズムを設計した。

(6) 木構造データを数値データと融合する場合、2 つの木の間の距離を算出する必要がある。そこで、この距離を高速に算出アルゴリズムを設計し実装した。距離の計算には、木構造データ間の共通部分を抽出する手法は一般に計算量が大きいことが知られているが、近年高速化が進んでいる整数計画法に着目し、木構造間の共通部分抽出を整数計画法に変換して算出する手法を提案した。さらに、木構造データには様々な型が定義できることから、いくつかの型に着目して、知識獲得手法を考案した。その中には、植物の形状をモデル化するのに適した木構造の型であり、インフルエンザ・ウィルスの進化データを表現するために利用しやすい型がある。

(7) 分散されたサイトに蓄積されているデータから、プライバシーを保護しながら学習するアルゴリズムの設計と解析が注目されている。昨年度に閉集合を用いて、分散されたサイト間のデータ転送量の削減とプライバシー保護を両立させる知識発見知識発見アルゴリズムの分析を行った。

(8) 離散値データの一つである文字列データを非可換半群の要素とみなしたとき、文字と変数の列である単項式を知識発見に用いる方法を 2 種類考案した。1 つは、単項式間に定まる自然な半順序を利用して正データの背後にあるべき生成過程を表現した上で、HMM や PCFG と同様にパラメータ推定を行う手法である。もう 1 つは、正データを生成する単項式と負データを生成する単項式を独立に生成する方式である。後者は大学入試センターの数学試験問題について、問題文のクラスタリングに応用した。

(9) 日本語文において、名詞・動詞と機能語の組合せを属性とした上で、閉集合を利用した知識発見を利用することにより、シソーラス拡張を行うという新たな方法を考案し、実装と実データによる評価を行った。

(10) 文字列データを非可換半群の要素とみなしたとき、単項式をデータから獲得する手法がデータ圧縮とみなせることに着目し、複数の文字列データからデータ圧縮と知識獲得を同時に行う手法を提案した。

##### 国際ワークショップの開催と協賛

関連研究者との研究交流を促進するため、平成 23 年 3 月に「第 7 回 論理と学習に関する国際ワークショップ (LLLL 2011)」を開催した。「第 6 回 データマイニングと統計科学に関する国際ワークショップ」および「電子情報通信学会 情報論的学習理論と機械学習

研究会」と併催し、LLLL だけで 40 名の参加があった。

平成 25 年 11 月には、人工知能学会国際ワークショップの一環として開催された「知識発見における離散化と分節化ワークショップ」を協賛した。同ワークショップには研究調査補助として学生を参加させた結果、6 か月後の人工知能基本問題研究会において新規成果を多数発表することができた。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 28 件)

1. Tomohiko Okayama, Ryo Yoshinaka, Keisuke Otaki, Akihiro Yamamoto: A Sufficient Condition for Learning Unbounded Unions of Languages with Refinement Operators, The International Symposium on Artificial Intelligence and Mathematics, 2014.
2. Madori Ikeda and Akihiro Yamamoto: Local Feature Trees by Formal Concept Analysis for Multi-Class Classification, Proceedings of Fourth Workshop on Algorithms for Large-Scale Information Processing in Knowledge Discovery (ALSIP 2014), 2014.
3. Mahito Sugiyama: Outliers on Concept Lattices, Lecture Notes in Computer Science, 8147, 344-359, 2014.
4. Issei Hamada, Takaharu Shimada, Daiki Nakata, Kouichi Hirata, Tetsuji Kuboyama: Agreement Subtree Mapping Kernel for Phylogenetic Trees, Lecture Notes in Computer Science, 8147, 313-328, 2014.
5. Ikeda, M., Yamamoto, A.: Classification by Selecting Plausible Formal Concepts in a Concept Lattice FCAIR 2013 : Formal Concept Analysis meets Information Retrieval, 2013.
6. Sugiyama, M., Hirowatari, E., Tsuiki, H., Yamamoto, A.: Learning figures with the Hausdorff metric by fractals towards computable binary classification, Journal of Machine Learning, 90, 91-126, 2013.
7. Nguyen Viet Anh, Yamamoto, A.: Semi-Supervised Ligand Finding Using Formal Concept Analysis Learning from graph data by putting graphs on the lattice, Expert Systems with Applications, 39, 11172-11182, 2013.
8. Nguyen Viet Anh, Koichiro Doi, Yamamoto, A.: Efficient Mining of Closed Tree Patterns From Large Tree Databases With Subtree Constraint, International Journal on Artificial Intelligence Tools, 21, 1250026, 2013.
9. Keisuke Otaki, Mahito Sugiyama, Akihiro Yamamoto: Privacy Preserving Using Dummy Data for Set Operations in Itemset Mining Implemented with ZDDs, E95-D, 3017-3025,

2013.

10. Keisuke Otaki, Yamamoto, A.: Estimation of Generating Processes of Strings Represented with Patterns and Refinements, Journal of Machine Learning Research - Proceedings Track, 21, 177-182, 2013.
11. Tomohiro Kan, Shoichi Higuchi, Kouichi Hirata: Segmental Mapping and Distance between Rooted Labeled Ordered Trees, Lecture Notes in Computer Science, 7676, 485-494, 2013.
12. Ryo Yoshinaka: Integration of the Dual Approaches in the Distributional Learning of Context-Free Grammars, Lecture Notes in Computer Science, 7183, 538-550, 2012.
13. Ziyuan Gao, Frank Stephan, Guohua Wu, Akihiro Yamamoto: Learning Families of Closed Sets in Matroids, Lecture Notes in Computer Science, 7160, 120-139, 2012.
14. Sugiyama, M., Imajo, K., Otaki, K., Yamamoto, A.: Semi-Supervised Ligand Finding Using Formal Concept Analysis, IPSJ Transactions on Mathematical Modeling and Its Applications, 2012, 29-48.
15. Nguyen Viet Anh, Akihiro Yamamoto, Mining of Closed Frequent Subtrees From Frequently Updated Databases, Intelligent Data Analysis, 16(6), 953-967, 2012.
16. Kameda, Y., Yamamoto, A.: Mining Closed Weighted Itemsets for Numerical Transaction Databases, Proceedings of Second Workshop on Algorithms for Large-Scale Information Processing in Knowledge Discovery (ALSIP 2011), 2011.
17. Otaki, K., Yamamoto, A.: Preserving Privacy with Dummy Data in Set Operations on Itemsets, Proceedings of Second Workshop on Algorithms for Large-Scale Information Processing in Knowledge Discovery (ALSIP 2011), 2011.
18. Sugiyama, M., Yamamoto, A.: Semi-Supervised Learning for Mixed-Type Data via Formal Concept Analysis, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 6828, 284 - 297, 2011.
19. S. Higuchi, T. Kan, Y. Yamamoto and K. Hirata: On Computing Tractable Variations of Unordered Tree Edit Distance with Network Algorithms, Lecture Notes in Artificial Intelligence 7258, 211-223.
20. Viet Anh Nguyen, Akihiro Yamamoto: Incremental Mining of Closed Frequent Subtrees, Lecture Notes in Artificial Intelligence 6332, 356-370, 2011.
21. Mahito Sugiyama, Eiju Hirowatari, Hideki Tsuiki, Akihiro Yamamoto: Learning Figures with the Hausdorff Metric by Fractals, Lecture Note in Artificial

- Intelligence, 6331, 315-329, 2011.
22. Takashi Kato, Hiroki Arimura, Kouichi Hirata: Mining Frequent k-Partite Episodes from Event Sequences, Lecture Note in Artificial Intelligence, 6284, 331-344, 2011.
23. Yuichi Kameda, Hiro-o Tokunaga: Inferability of Unbounded Unions of Certain Closed Set Systems, Lecture Note in Artificial Intelligence, 6284, 317-330, 2011.
24. Seishi Ouchi, Akihiro Yamamoto: Learning from Positive Data based on the MINL Strategy with Refinement Operators, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 6284, 345-357, 2011.
25. Mahito Sugiyama, Akihiro Yamamoto: The Coding Divergence for Measuring the Complexity of Separating Two Sets, JMLR: Workshop and Conference Proceedings, 127-143, 2010.
26. Shin-ya Kuno, Koichiro Doi, Akihiro Yamamoto: Frequent Closet Itemset Mining with Privacy Preserving for Distributed Databases, Proceedings of the 10th ICDM Workshop on Privacy Aspects of Data Mining (PADM2010), 483-490, 2010.

[学会発表](計 39 件)

1. Ikeda, M., Yamamoto, A.: Classification by Formal Concept Analysis, Workshop on Data Discretization and Segmentation for Knowledge Discovery (DDS2013), 2013 年 10 月 27 日 ~ 2013 年 10 月 27 日, 横浜.
2. Issei Hamada, Takaharu Shimada, Kouichi Hirata, and Tetsuji Kuboyama: Agreement Subtree Mapping Kernel for Phylogenetic Trees, Workshop on Data Discretization and Segmentation for Knowledge Discovery (DDS2013), 2013 年 10 月 27 日 ~ 2013 年 10 月 27 日, 横浜.
3. Takuya Yoshino and Kouichi Hirata: Hierarchy of Segmental and Alignable Mapping for Rooted Labeled Trees, Workshop on Data Discretization and Segmentation for Knowledge Discovery (DDS2013), 2013 年 10 月 27 日 ~ 2013 年 10 月 27 日, 横浜.
4. 畠山 貴行, 池田 真土里, 吉仲 亮, 山本 章博: 新聞記事に出現する語彙を利用した株価変動におけるフェーズの同定手法, 第 93 回人工知能基本問題研究会, 2014 年 3 月 8 日 ~ 2014 年 3 月 8 日, 沖縄
5. 山崎朋哉, 吉仲亮, 山本章博, 久保山哲二: 二つの前順序木からの制約マッピングに基づく類似局所構造の抽出, 第 93 回人工知能基本問題研究会, 2014 年 3 月 8 日 ~ 2014 年 3 月 8 日, 沖縄
6. 尾納 宗仁, 吉仲 亮, 山本 章博: 二つの文字列に共通する構造を表現する文法の構

- 成とそれを用いた文字列圧縮, 第 93 回人工知能基本問題研究会, 2014 年 03 月 8 日 ~ 2014 年 3 月 8 日, 沖縄
7. 西村翔一, 吉仲亮, 山本章博, 宇野毅明: アイテム集合間の包含関係に基づく飽和アイテム集合族の更新手法, 第 93 回人工知能基本問題研究会, 2014 年 3 月 8 日 ~ 2014 年 3 月 8 日, 沖縄
8. 山口 慧, 吉仲 亮, 山本 章博: 二分決定グラフを用いた命題論理式の前提の列挙, 第 93 回人工知能基本問題研究会, 2014 年 3 月 8 日 ~ 2014 年 3 月 8 日, 沖縄
9. 狩山 和亮, 吉仲 亮, 山本 章博: 文字列パターンと MathML による構造を利用した数学問題文の検索, 2013 年度人工知能学会全国大会(第 27 回), 2013 年 6 月 4 日 ~ 2013 年 6 月 4 日, 富山
10. 平田耕一: 劣制限マッピングの新たな特徴付けとアライメント距離に関するマッピングの階層, 人工知能学会 第 88 回人工知能基本問題研究会, 2013 年 1 月 24 日 ~ 2013 年 1 月 25 日
11. Sugiyama, M., Imajo, K., Otaki, K., Yamamoto, A.: Semi-Supervised Ligand Finding Using Formal Concept Analysis, 第 86 回 MPS・第 27 回 BIO 合同研究発表会, 2011 年 12 月, 調布.
12. Sugiyama, M., Imajo, K., Otaki, K., Yamamoto, A.: Discovering Ligands for TRP Ion Channels Using Formal Concept Analysis, The 21st International Conference on Inductive Logic Programming (ILP 2011), 2011 年 7-8 月, Windsor, UK .
13. 大滝 啓介, 山本 章博: 分散データベースからのプライバシー保護頻出飽和パターンマイニング, 第 25 回人工知能学会全国大会, 2011 年 6 月 2 日, 盛岡.
14. Yudai Kawai, Mahito Sugiyama, Akihiro Yamamoto: Mining RNA Families with Structure Histograms, The 5th International Workshop on Data-Mining and Statistical Science (DMSS2011), 2011 年 3 月 29-30 日, 大阪市.
15. Mahito Sugiyama, Akihiro Yamamoto: Fast Clustering Based on the Gray-Code, 7th Workshop on Learning with Logics and Logics for Learning (LLLL2011), 2011 年 3 月 29-30 日, 大阪市.
16. Noriko Sugimoto, Kouichi Hirata: On Learning Dyck-Typed Regular Translation Elementary Formal Systems with Tag Operations between XML Documents, 7th Workshop on Learning with Logics and Logics for Learning (LLLL2011), 2011 年 3 月 29-30 日, 大阪市.
17. Yoshiyuki Yamamoto, Kouichi Hirata, Tetsuji Kuboyama: A Bottom-Up Edit Distance between Rooted Labeled Trees, 7th Workshop on Learning with Logics and Logics for Learning (LLLL2011), 2011 年 3 月 29-30 日, 大阪市.

月 29-30 日, 大阪市.

18. 吉岡正志, 杉山麿人, 山本章博: 符号化ダイバージェンスを用いたクラス分類のためのオンラインアルゴリズム, 第 4 回情報論的学習理論と機械学習研究会 (IBISML), 2011 年 3 月 28-29 日, 大阪市.

19. 福村貴志, 杉山麿人, 山本章博: 木構造を利用した自然画像の部分領域探索とフラクタル圧縮・マイニングへの応用, 第 4 回情報論的学習理論と機械学習研究会 (IBISML), 2011 年 3 月 28-29 日, 大阪市.

20. 大滝啓介, 山本章博: ZDD を用いた頻出飽和パターンのプライバシー保護マイニング, 第 4 回情報論的学習理論と機械学習研究会 (IBISML), 2011 年 3 月 28-29 日, 大阪市.

21. Tetsuji Kuboyama, Kouichi Hirata: Broom Distance between Rooted Labeled Trees, 7th Workshop on Learning with Logics and Logics for Learning (LLLL2011), 2011 年 3 月 29-30 日, 大阪市.

22. 亀田勇一, 寺戸哲也, 徳永浩雄: 弱い特徴例集合と正例からの学習, 第 81 回人工知能学会基本問題研究会, 2011 年 1 月 31 日-2 月 1 日, 甲府市.

23. 杉山麿人, 山本章博: 離散量と連続量が混在するデータに対する形式概念分析を用いた半教師あり学習, 第 80 回人工知能学会基本問題研究会, 2010 年 11 月 17 日, 東京都港区.

24. 河東孝, 有村博紀, 平田耕一: 細菌検査データからの頻出二部エピソードの抽出, 第 79 回人工知能学会基本問題研究会, 2010 年 9 月 24-25 日, 札幌市.

25. 杉山麿人, 山本章博: グレイ符号化ダイバージェンスによる連続データからの計算論的知識発見, 第 78 回人工知能学会基本問題研究会, 2010 年 7 月 31 日-8 月 1 日, 神戸市.

26. 杉山麿人, 山本章博: 符号化ダイバージェンスによる 2 つの集合の異なり具合の定量化, 第 1 回情報論的学習理論と機械学習研究会 (IBISML), 2010 年 6 月 14-15 日, 東京都文京区.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本章博 (YAMAMOTO Akihiro)  
京都大学・情報学研究科・教授  
研究者番号: 30230535

### (2) 研究分担者

平田耕一 (HIRATA Kouichi)  
九州工業大学・情報工学研究院・教授  
研究者番号: 20274558

徳永浩雄 (Tokunaga Hiroo)  
首都大学東京・理工学研究科・教授  
研究者番号: 30211395

立木秀樹 (TSUIKI Hideki)  
京都大学・人間・環境学研究科・教授  
研究者番号: 10211377  
(平成 22 年 4 月 ~ 平成 25 年 3 月)

廣渡栄寿 (HIROWATARI Eiju)  
九州工業大学・基盤教育センター・教授  
研究者番号: 10211377  
(平成 22 年 4 月 ~ 平成 25 年 3 月)

吉仲亮 (YOSHINAKA Ryo)  
京都大学・情報学研究科・助教  
研究者番号: 80466424

### (3) 連携研究者

杉山麿人 (SUGIYAMA Mahito)  
大阪大学・産業科学研究所・助教  
研究者番号: 10733876

### (4) 研究協力者

池田真土里 (IKEDA Madori)  
京都大学・情報学研究科・博士課程

大滝啓介 (OTAKI Keisuke)  
京都大学・情報学研究科・博士課程

(注) 所属・職名はすべて平成 26 年 3 月現在