

Social Infobox: 属性タギングを用いた データ構造化支援システム

濱崎 雅弘^{†1} 武田 英明^{†2} 後藤 真孝^{†1}

本研究では、属性タギングを用いたデータ構造化支援システム Social Infobox を提案する。属性タギングは subject に対して property-value ペアを付与することでデータの構造化を行う。提案システムではユーザに対して属性タギング時に属性情報を推薦することで、subject に付与すべき属性に気付かせ、また、追加された新しい属性の共有を促す。本論文では、まず Wikipedia Infobox の分析結果から集合知により作成された属性がどのような特徴を持つか明らかにし、次に集合知によるボトムアップな属性作成手法について考察し、それに基づくデータ構造化支援システムの特徴を示す。さらに、ユーザはどのように属性タギングを行うかを、提案システムを用いたユーザスタディにより示す。

Social Infobox: Data Structuring Support System using Property Tagging

MASAHIRO HAMASAKI,^{†1} HIDEAKI TAKEDA^{†2}
and MASATAKA GOTO^{†1}

We propose a system for collaborative knowledge construction using property tagging. Defining a structure of knowledge for representation of data semantics is usually a costly and time-consuming task. The proposed system is aimed at construction of knowledge with collective intelligence. Users can add resources and properties as they would with social tagging. The system assists the construction of knowledge using suggestion. In this paper, we analyze Wikipedia, a well-known existing information repository constructed by collective intelligence, and we describe the concept of the method and its algorithms and discuss the prototype system.

1. はじめに

情報が増加する一途の中、情報の検索や分類の高度化を可能にするメタデータの重要性が増している。特にここ数年は体系化された語彙（クラスや属性）を用いたメタデータにより、機械可読な Web (Web of Data) を目指そうとする Semantic Web、および、それに則って作られた Linked Open Data (LOD)¹⁰⁾ が注目を集めている。

Semantic Web ではデータは subject-property-value の三つ組からなる RDF トリプルとして記述される。Semantic Web や LOD でしばしば問題となるのが、どのようにしてこの三つ組データを作成するかということである。一つのアプローチはすでにある構造化データを RDF 化することである。政府が持つ膨大なデータを RDF 化するプロジェクト^{*1}や、Wikipedia を RDF 化するプロジェクト^{*2}、その他にも音楽情報^{*3}や地理情報^{*4}を対象にしたものなど数多くある。また、自然言語処理や機械学習により自然文から三つ組データを自動抽出する取り組みも以前からなされている³⁾¹¹⁾²⁾。

それとは異なるアプローチが、集合知により新たに RDF データを作ろうとするものである。SemanticMediaWiki¹⁸⁾ や OntoWiki¹⁾ は、Wiki 的アプローチにより RDF データを作ることを目的としたシステムである。また、ソーシャルタギングにおいて例えば位置情報を示すタグを「geo:long=50.123456」のように property-value ペアで記述する取り組みもある。このようなタグは triple tag や machine tag などと呼ばれる。いずれもユーザが手軽に subject に対して property-value ペアをメタデータとして付与する仕組みである。本稿ではこのようなメタデータ付与を属性タギングと呼ぶ。

属性タギングシステムの多くは、定義された語彙を用いた RDF データを作成しやすくすることを意図している。また、ユーザはどのような属性を使うべきかをほぼ理解していることを前提としている。例えば OntoWiki ではクラス定義に基づいた属性の提示や、属性検索による発見支援により、三つ組データの入力を支援している。一方で新しい属性を追

†1 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

†2 国立情報学研究所

National Institute of Informatics (NII)

*1 <http://data.gov.tw.rpi.edu/wiki>

*2 <http://dbpedia.org/>

*3 <http://dbtune.org/>

*4 <http://www.geonames.org/>

加することに関しては、自由に入力できるというだけで、特に積極的な支援はしていない。ソーシャルタギングの利点は、ユーザが subject にタグ付けするだけでなく、必要なタグを追加しそれを共有する点にある¹⁴⁾。ゆえに、ただ簡単に属性タギングが行えるだけでなく、必要な属性に気付くことや新たに作った属性を共有することを支援することも重要である。また、一般的なタギングについては様々なユーザ分析研究があるが¹⁴⁾¹⁷⁾⁹⁾、属性タギングにおいてユーザがどのように振る舞うかの知見はまだ不十分である。

そこで本研究では、積極的にユーザが新しい属性を追加することを前提としたデータ構造化システム Social Infobox を提案する。ユーザは subject に対して property-value ペアを付与することで、データの構造化を行う。その際、システムが属性情報を推薦することで、ユーザに subject に必要な属性に気付かせ、また、追加した新しい属性の共有を促す。属性情報の推薦は、すでに入力された三つ組データから属性集合のパターンを元に行われる。これは、事前に定義されたクラスにより subject が持つべき属性を定めるというトップダウンなアプローチではなく、ユーザ入力によりゆるやかなクラス定義を導き出すボトムアップなアプローチといえる。

本論文では、まず集合知による三つ組データ作成がどのような特徴を持つかを、集合知により作られた構造化データセットを分析することで示し、次に集合知によるボトムアップなデータ構造の定義方法について議論をし、その実装を示す。さらに、ユーザはどのように属性タギングを行うかを、提案システムを用いたユーザスタディにより明らかにする。本研究は Web of Data 実現のための新しいソーシャルタギングの枠組みと、属性タギングにおける基礎的知見を提供するものである。

2. Wikipedia の Infobox 分析

Wikipedia は Wiki で作られた百科事典であり、集合知により作られたコンテンツの代表例である。Wikipedia には Infobox と呼ばれるデータがあり、これは属性名と属性値を表形式で入力するものである。Wikipedia から構造化データを自動抽出する研究の多くは、この Infobox を対象データとして利用している。本節ではこのデータを分析することで、集合知による構造化データの特徴を明らかにする。

Infobox は自由に属性を定義しデータを入力することができるが、多くはテンプレート機能を利用して作成されている。テンプレートには例えば「政治家」「俳優」といったものがある。テンプレートは誰かが定義したものであり、トップダウンに構造を定義する構造化データ入力手法といえる。

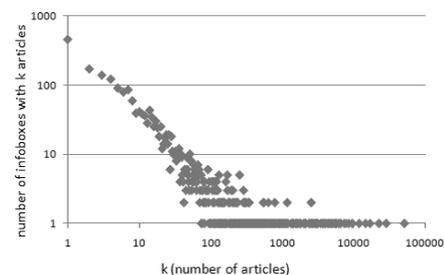


図 1 ある Infobox を用いている記事の数 k の頻度分布

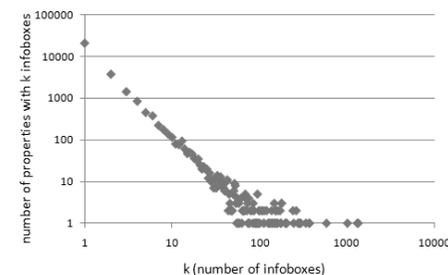


図 2 ある属性を持つ Infobox の数 k の頻度分布

Fig. 1 Frequency distribution of infoboxes with k articles. Fig. 2 Frequency distribution of properties with k infoboxes.

分析にあたっては 2010 年 9 月の英語版 Wikipedia のダンプデータを用いた。ダンプデータには 28,842,443 記事があり、そのうち Infobox があるものは 467,714 記事 (1.6%) であった。それらの記事から抽出した 2,418 種類の Infobox には 29,741 個のユニークな属性があり、subject(記事)-property-value トリプルは 12,118,141 個であった。ただし、4,118,500 個 (34.0%) は value (属性値) が空白であった。

図 1 はある Infobox を持つ記事の数 k の頻度分布を示している。ごく一部の Infobox が大量の記事をカバーしていること、大多数の Infobox は少数の記事からしか利用されていないことがわかる。全 Infobox のうち 52.7% が、たかだか 10 件の記事にしか利用されておらず、上位 5% の Infobox が全体の 80% の記事をカバーしている。Wikipedia は膨大な数の Infobox を持つが、実際によく使われているのはごく一部で、多くは少数の subject (記事) に個別対応した結果であるといえる。

図 2 はある属性を持つ Infobox の数 k の頻度分布を示している。図から、一つの Infobox にもみ現れる属性がもっとも多く、ごく少数の属性が大量の Infobox に現れていることがわかる。Bizer は Infobox の属性名には表記ゆれが多く含まれていると指摘しており、実際にはもっと多くの属性が複数の Infobox に現れていると考えられるが、全体的な傾向は変わらないと考えられる。Infobox 同様、属性もまた特定の記事に現れる特徴を表現するために、汎用的ではなく個別のものが多いためである。

少なくとも二つ以上の Infobox に現れる属性は全体の 3 割程度 (8,612 個) であるが、そのような属性の共通性に基づく Infobox 間の関係性を示したのが図 3 である。二つの Infobox 間に共通属性があれば、Infobox 間につながりがあるとみなす。つながりの重みは Jaccard

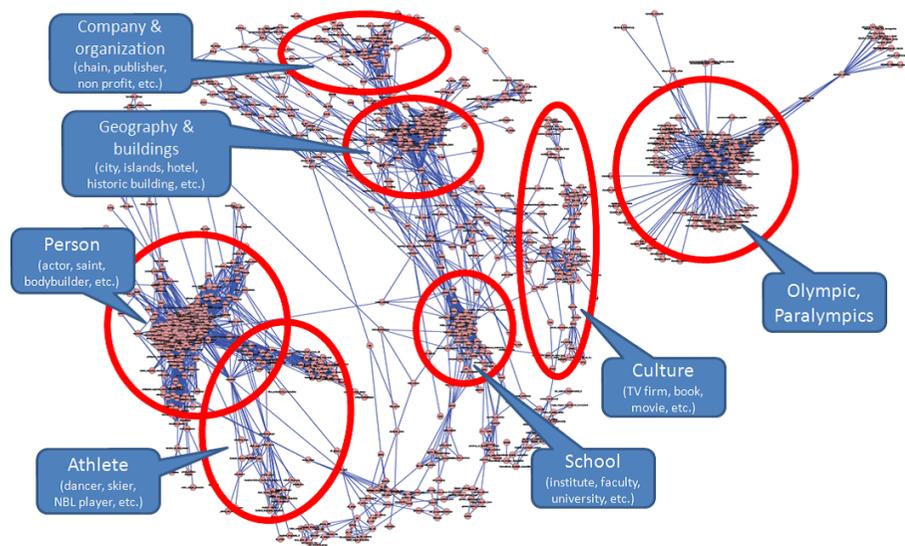


図3 属性の共通性に基づく Infobox ネットワーク（一部）。
Fig.3 Part of infobox network based on shared properties among infoboxes.

係数で求め、図では上位 10,000 本のエッジを示している。ネットワーク図は *Cytoscape*^{*1} を用いて、ばねモデルで描画している。図から、類似した Infobox がクラスターを形成していることがわかる。つまり概念的に類似した Infobox は共通属性を多く持つことを示している。

これらの分析から英語版 Wikipedia では、少数の Infobox で多くの記事をカバーできているが、全体から見るとごく一部であり、また、多種多様な記事に対して属性を付与するためにたくさんの Infobox を定義していることがわかった。トップダウンに構造を定義するアプローチは効率は良いが、多種多様な記事に対応するには個々の記事に即したボトムアップな構造定義が必要であると言える。また、Infobox 間では多くの共通属性があることがあり、属性の類似性は、Infobox 間の概念的な類似性を示すことがわかった。

*1 <http://www.cytoscape.org/>

3. 提案システム

3.1 ソーシャル属性タギング

前節にて、多様なデータに対応できるデータ構造全てをトップダウンに定義することは困難であり、適用できる subject（記事）がごく少数であるクラス（Infobox）や属性が大量に必要なことを示した。しかし、一般的にクラスを定義することは容易ではない⁷⁾ これは Wikipedia においても例外ではないことが、Infobox を持つ記事がごく一部であることからもうかがえる。そこで本研究では、ユーザにとって比較的負担が少なく、ボトムアップなデータ構造化手法である属性タギングに着目する。

一般的なソーシャルタギングにおいて、例えば Tim B. Lee にタグ付けしようとしたら、“Computer Scientist”、“W3C”、“WWW”などをつけるであろう。一方、属性タギングではこれを“occupation=Computer Scientist”、“isMemberOf=W3C”、“made=WWW”といったように property-value ペアで入力する。ここで、Tim B. Lee へのタグとして利き腕や血液型などは用いられないだろう。しかし仮に野球選手の Randy Johnson へのタグ付けをしているならば、「左利き」（属性タギングなら「利き腕=左利き」というタグをつける可能性は低くはない。これは私たちが、Tim B. Lee や R. Johnson にとって重要な属性は何かを、暗に考えていることを示していると言える。

ある subject に対して重要度の高い属性の集まりは、タグの共起（同一 subject に付与されている）として現れる。つまり、“dateOfBirth=***”というタグを持つ subject は、同様に“locationOfBirth=***”や“parents=***”というタグを持つ割合が高いと考えられる。ここで、データセットから導き出される共起性の高い属性の集合を疑似的なクラスとみなせば、共起性に基づいて属性を推薦することによって、ボトムアップな（疑似）クラスの構築と共有が可能になる。この疑似クラスは明確にインスタンスを分類するものではなく、Wittgenstein が家族的類似性と呼んだような、部分的な類似性によりインスタンスをまとめるものである。本研究ではこのような属性タギング手法をソーシャル属性タギング（Social Property Tagging）と呼ぶ。

3.2 Social Infobox

Social Infobox はソーシャル属性タギングを実装したウェブアプリケーションである。図4はシステムのスクリーンショットである。一つの subject に対して一つのページが割り当てられており、Wiki のように誰でもデータ入力および編集が可能となっている。

一般的なソーシャルブックマークシステムにおけるソーシャルタギングでは、各ユーザは

自分だけのタグ付けスペースを持ち、自分が付けたタグを他人が編集することはない。しかし Social Infobox ではユーザは共通のタグ付けスペースだけを持つ。集団におけるアウトプットの集約方法として、Steiner は加算型、分離型、連結型の3種類をあげたが^{*16)}、前者は加算型、後者は分離型のソーシャルタギングといえる。Social Infobox と同じ後者を採用しているシステムとしては、facebook^{*1)}の写真アルバムやニコニコ動画^{*2)}が挙げられる。

画面下には追加用 property の候補および比較用 subject の候補が表示されている (subject および property の推薦)。推薦された property をクリックするか、新規属性名を入力すると、属性値の入力ができる。属性値を入力する際には、類似した subject の当該属性の属性値が提示される (value の推薦)。

推薦された subject をクリックすると、画面右にその subject が持つ property-value ペアが表示される。ここでユーザにとってわかりやすく、かつ、多くの property-value ペアを持つ subject を比較用に表示すれば、その subject はプロトタイプ¹³⁾として機能し、ユーザの属性情報入力を支援すると考えられる。また、類似する subject を比較用に表示することで、ユーザにそれらを区別するために必要な差異への気付きを促し、より詳細な属性情報の入力が期待できる。属性値にはテキストを入力するが、他の subject を入力することもできる。この場合、属性値となった subject には逆属性 (inversed property) が付与される。逆属性はユーザからは見えないが、推薦アルゴリズムにて属性と等価に扱われる。

Social Infobox では NaiveBayse を用いて各種推薦を行う。ある subject s_x に対して、subject s_y と同じクラスに属する確率、property p_y を持つクラスに属する確率を求めて subject および property の推薦を行う。また、value の推薦には、前述の確率を用いて subject s_x の property p_x が value v_y を持つ期待値を求めることで行う。なお、この方法では属性が追加されていない状態での推薦が困難である。一方で、最初の属性追加こそユーザが戸惑うところでもある。そこで、Social Infobox では特別な abstract 属性を用意している。この属性には subject を説明する自由文を記述する。システムは文中のキーワードから類似する subject や関連する属性を発見し推薦する。

4. ユーザスタディ

ユーザはどのように属性タギングを行うのか、また、どのような問題があるのか。プロト

*1 <http://facebook.com/>

*2 <http://www.nicovideo.jp/>

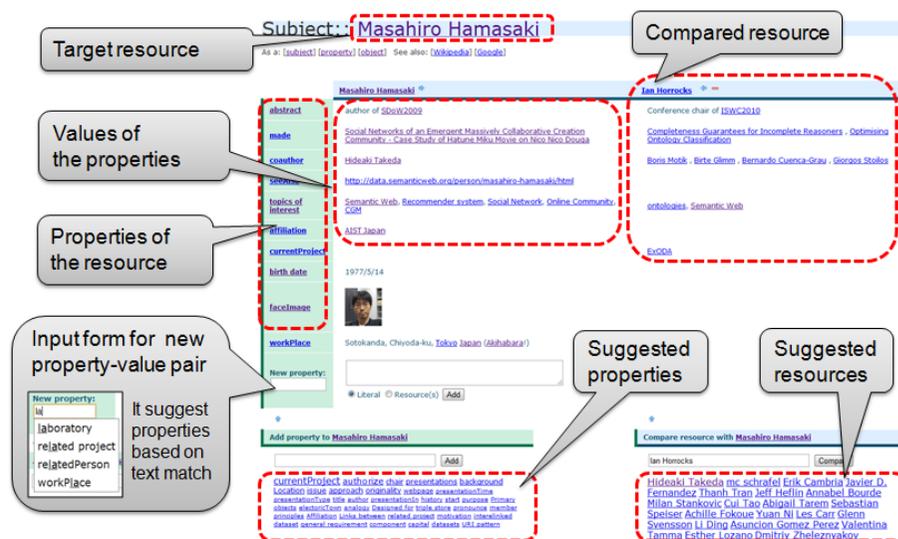


図 4 プロトタイプシステムのスクリーンショット「Masahiro Hamasaki」という人物を subject としたページ。画面中央に subject が持つ property-value が表示されている。画面下には追加属性候補および比較用 subject 候補が推薦されている。

Fig. 4 Screenshot of the prototype system. This page shows a subject with a comparative view.

タイプシステムを属性タギングシステムとして利用してもらい、被験者のコメントから考察を行った。利用にあたっては特にタスクを設けず被験者が望む用途で使ってもらった。具体的には美大の教員または学生である4名が、数百枚のイラストをアーカイブ化するために属性付けを行った。イラストは素人が作成したものであり、明確なタイトルや主題があるわけではないため、タギング対象としてはかなり難しい部類であると考えられる。被験者は1時間程度、自由に提案システムを用いて属性タギングを行い、終了後に自分がどのような方法でどのような property-value ペアを入力したかを説明してもらった。そこから発見したユーザの4つのタグ付けスタイルを以下に示す。

• 主題記述型

対象となる subject (今回のケースではイラスト) を読み込み、そこに書かれた内容を属性値だと見立て、それに合った属性を見つけ出して、新たな属性とする。全体構造が未知なデータに対する姿勢として適切であるが、十分な知識や構想力がないとばらばらの属性がたくさんつくられる可能性があり、属性の推薦が重要となる。まず属性値を考

え次に属性を考えるため、属性値に対する属性名の推薦機能が求められる。

Sen はソーシャルタギングにおけるタグをその性質によって Factual, Subjective, Personal に分類したが¹⁴⁾、これに基づく本スタイルで付けられるのは Factual な属性情報といえる。

- 主観記述型

まず対象となる subject に対する自分のコメントや解釈を考えて、これを属性値とする。次にそのコメントが何に対してのものかを考えて、これを属性とする。前述の主題記述型と似ているが、属性値が subject の内容そのものではなく、subject の内容に対する自分の解釈や考えである点が異なる。Sen のタグ分類における Subjective な属性情報といえる。これもまず属性値を考え次に属性を考えるため、属性値に対する属性名の推薦機能が求められる。

- データベース型

まず複数 subject に共通して現れる特徴を見つけ出してそれを属性とし、次に属性値を入力する。属性値には比較が容易な値（例えば数値）を用いることが多く、複数の subject が集まって初めて意味を持つタイプの属性といえる。Korner らはタグ付けを行う人（tagger）の分類として Descriptor と Categorizer を挙げている¹⁷⁾。先述の二つは Descriptor で、本スタイルは Categorizer といえる。Korner らは Descriptor が Categorizer かで有効なタグ推薦は異なると述べている⁹⁾。プロトタイプシステムでは推薦のユーザ適応はないため、今後の課題である。

- ソーシャル型

どのような属性を付けるべきかがよくわからないため、推薦された属性を入力しようとする。属性値の入力の際には例示された属性値を参考にしながら考えて属性値を書く。Chae らは美術作品へのタグ付けにおいて、事前に定義した property に対する value を入力させることで、専門家から見てより内容に踏み込んだタグ付けができたことを報告している⁴⁾。属性タギングは property-value ペアをタグ付けするという性質上、一般的なタギングよりも難易度が高いと考えられるが、本タグ付けスタイルは推薦を利用することで一般的なタギングと同じ程度の難易度で、よりよい情報の付与が可能になる。ソーシャル型では各種推薦の精度とともに、どのような状況においても推薦ができることも重要となる。例えば入力済み属性値のテキスト情報から関連する subject や property を推定することで、属性情報が少なくても推薦が行えるようにするといった対策が考えられる。

本スタイルは新規属性の作成には貢献しないが、subject 間の共通属性を増やしたり、subject が持つ属性の数を増やす役割を担う。Korner らはソーシャルタギングにおいて Verbose（一つの subject にたくさんのタグ付けをするユーザ）が構造化にとって重要であると述べており⁸⁾、本スタイルのユーザは構造化にとって重要な役割を果たすと考えられる。

5. 関連研究

集合知による構造化データ入力支援を目的としたシステムでは Semantic Media Wiki や OntoWiki が挙げられる。Semantic Media Wiki は Wiki ネームによる記事間リンクを貼る際に、記事間の関係性を記述することで、三つ組データを作成する。OntoWiki はグラフィカルなインターフェースや投票システムにより多人数で簡単に三つ組データを入力することができる。これらのシステムは既に定義された語彙をいかに効率よく利用するかという点に重きを置いている。LOD において共通語彙を使うことは重要であるが、集合知による語彙の増加もまた一方で重要な課題であると我々は考える。本研究が提案する技術がこれらのシステムと組み合わせることで、より効果的な集合知による構造化データ入力の支援が可能になると考える。

SnoopyDB は厳密なデータ型やスキーマの制約なしにトリプルを記録するデータベースシステムである⁶⁾。システムは property と value をユーザに推薦することで、DB 内でよく使われているスキーマを用いることを促す。これは、ある種類のデータを入力する際に一般的な属性名、属性値を使うことを支援する仕組みである。一方でソーシャル属性タギングは、subject の推薦と比較インターフェースにより新しい属性を作り出すことを支援する点、ある subject が他の subject が持つ属性の属性値として現れること（subject 間の関係性）も利用しているという点が異なる。これらの特徴は、適切なスキーマの発見が困難であり、かつ、多種（複数のクラス）の subject が登場しそれらが互いに関係している場合に有用であると考えられる。

オントロジーマッピング¹⁹⁾を行うことで、ユーザが自由に属性を定義できるようにするというアプローチもある。StYLiD は自分で作った属性を他の属性と紐づけることができるプログシステムである¹⁵⁾。これは自分がどのような属性で構造化を行いたいかがはっきりしているケースにおいては有用である。一方でソーシャル属性タギングは属性の推薦により、どのような属性を付けるべきかわからないケースを支援することができる。

ソーシャルタギングのタグ間の関係性を抽出しようとする研究もある¹²⁾⁵⁾。これらはタグ

が主にカテゴリ情報を示しているという前提に基づいている。属性タギングで付与されるタグは種類付きタグと言え、これらの技術と組み合わせることでより高精度なタグ間関係抽出が可能になると考えられる。

6. ま と め

本稿では、Wikipedia Infobox の分析から、多様なデータを対象とした集合知によるデータ構造化には属性タギングが有効であることを示し、属性タギングを用いたデータ構造化システム Social Infobox を提案した。提案システムは属性タギングシステムの中でも積極的にユーザが新しい属性を追加することを前提としている点が特徴的である。さらに、提案システムを用いたユーザスタディによりユーザはどのように属性タギングを行うかを調べた。4種類のユーザの行動パターンがあることを明らかにし、また、それぞれのユーザタイプに必要なシステム改善案について述べた。

少数のエキスパートが設計したデータ構造に合わせて情報を記録していくのではなく、それぞれ情報をもっともよく知る人が必要な属性を追加するアプローチは、Web of Data が現在の Web のような多様かつ膨大なデータを蓄積した情報源となるために重要であると考えられる。プロトタイプシステムを用いた属性タギングのユーザスタディからいくつかの課題が明らかになった。今後はこれらの問題を解決し、多様なユーザが膨大なデータを蓄積できるデータ構造化システムを実現したい。

7. 謝 辞

本研究の一部は、科学技術振興事業団「JST」の戦略的基礎研究推進事業「CREST」における研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」の研究課題「情報デザインによる市民芸術創出プラットフォームの構築」の支援により行いました。

参 考 文 献

- 1) Auer, S., Dietzold, S., Riechert, T. and Riechert, T.: OntoWiki - A Tool for Social, Semantic Collaboration, *The Semantic Web - ISWC 2006, 5th International Semantic Web Conference, ISWC 2006*, Springer, pp.736-749 (2006).
- 2) Banko, M. and Etzioni, O.: The Tradeoffs Between Open and Traditional Relation Extraction, *Proc. of ACL-08*, pp.28-26 (2007).
- 3) Brin, S.: Extracting Patterns and Relations from the World Wide Web, *Proc. of InWebDBWorkshop at EDBT '98*, pp.172-183 (1998).

- 4) Chae, G. and KimCan, J.: Social Tagging Be a Tool to Reduce the Semantic Gap between Curators and Audiences? Making a Semantic Structure of Tags by Implementing Facetted Tagging System for Online Art Museums, *Proc. of Museums and the Web 2011* (2011).
- 5) DiCaro, L., Candan, K.S. and Sapino, M.L.: Using tagflake for condensing navigable tag hierarchies from tag clouds, *Proc. of KDD '08*, pp.1069-1072 (2008).
- 6) Gassler, W., Zangerle, E., Tschuggnall, M. and Specht, G.: SnoopyDB: narrowing the gap between structured and unstructured information using recommendations, *Proc. of HT '10*, pp.271-272 (2010).
- 7) Hepp, M., Siorpaes, K. and Bachlechner, D.: Harvesting Wiki Consensus: Using Wikipedia Entries as Vocabulary for Knowledge Management, *IEEE Internet Computing*, Vol.11, pp.54-65 (2007).
- 8) Körner, C., Benz, D., Hotho, A., Strohmaier, M. and Gerd, S.: Stop thinking, start tagging: tag semantics emerge from collaborative verbosity, *Proc. of WWW '10*, pp.521-530 (2010).
- 9) Körner, C., Kern, R., Grahsl, H.-P. and Strohmaier, M.: Of categorizers and describers: an evaluation of quantitative measures for tagging motivation, *Proc. of HT '10*, pp.157-166 (2010).
- 10) Lee, T.B.: Linked Data (2009). <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>.
- 11) Matsuo, Y., Mori, J., Hamasaki, M., Ishida, K., Nishimura, T., Takeda, H., Hasida, K. and Ishizuka, M.: POLYPHONET: an advanced social network extraction system from the web, *Proc. of WWW '06*, pp.397-406 (2006).
- 12) Mika, P.: Ontologies are us: A unified model of social networks and semantics, *Web Semantics*, Vol.5, No.1, pp.5-15 (2007).
- 13) Rosch, E.: Natural categories, *Cognitive Psychology*, Vol.4, pp.328-350 (1973).
- 14) Sen, S., Lam, S.K., Rashid, A.M., Cosley, D., Frankowski, D., Osterhouse, J., Harper, F.M. and Riedl, J.: tagging, communities, vocabulary, evolution, *Proc. of CSCW '06*, pp.181-190 (2006).
- 15) Shakya, A., Takeda, H. and Wuwongse, V.: StYLiD: Social Information Sharing with Free Creation of Structured Linked Data, *Proc. of SWKM '08*, pp.33-40 (2008).
- 16) Steiner, I.D.: *Group Process and Productivity*, Academic Press (1972).
- 17) Strohmaier, M., Körner, C. and Kern, R.: Why do Users Tag? Detecting Users' Motivation for Tagging in Social Tagging Systems, *Proc. of ICWSM '10* (2010).
- 18) Völkel, M., Krötzsch, M., Vrandečić, D., Haller, H. and Studer, R.: Semantic Wikipedia, *Proc. of WWW '06*, pp.585-594 (2006).
- 19) 市瀬龍太郎：情報の意味的な統合とオントロジー写像，*人工知能学会誌*，Vol.22, No.6, pp.818-825 (2007).