

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24240011

研究課題名(和文) データ集約型科学研究における探索的過程を支援する即興的知識フェデレーション技術

研究課題名(英文) Improvisational Knowledge Federation for supporting the Exploratory Process of Data Centric Scientific Research

研究代表者

田中 譲 (Tanaka, Yuzuru)

北海道大学・情報科学研究科・特任教授

研究者番号：60002309

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,100,000円

研究成果の概要(和文)：データ集約型の科学研究法を支える次世代科学研究支援IT基盤システムに関する従来研究の中で、従来のワークフロー技術では支援が満足に行えていない探索的研究過程の研究段階の支援技術に焦点を定め、膨大なデータの蓄積の中から分析対象データ集合を自在なビューを介して即座に取り出すことができ、予め用意した対象分野における多様な分析・可視化処理ツール群/サービス群のライブラリを用いて、断片的アイデアの検証に必要な分析可視化処理を即座に合成・適用して結果を見ることが出来る探索的可視化分析とこれを支える即興的フェデレーション技術を確立し、これを、ガン治験研究とバイオ情報学研究の現場に適用して実証的に評価した。

研究成果の概要(英文)：Focusing on the technological support of the exploratory research process that has not been well supported by conventional workflow technologies in the conventional R&D on the next-generation research infrastructure IT systems for data centric scientific research, we have developed the exploratory visual analytics framework and its enabling improvisational knowledge federation technologies with which we can improvisationally extract analysis data from large data sets through flexibly defined data views, and improvisationally compose and execute required visual analytics scenarios from a large library of various analysis and visualization tools and services in the target domains for the hypothesis checking of fragmental ideas. We have evaluated our approach through its applications to clinico-genomic trials on cancer and bioinformatics research.

研究分野：知識メディア

キーワード：科学研究IT基盤 知識フェデレーション 探索的可視化分析

## 1. 研究開始当初の背景

科学研究支援IT基盤システムの研究は、英国や欧州ではe - サイエンス、米国ではサイバー・インフラストラクチャの名称で2000年代になって盛んになり、当初は分散するHPC(High Performance Computing)リソースをGRID技術を基盤に結合し、GRID上の計算リソースとデータリソースの相互運用性をワークフローの定義実行機能を含むミドルウェアの提供で保証するという基本構想に、オープンな文献電子図書館構想を付加する形で研究促進がなされた。EUのEGEE(Enabling Grids for E-Science)やDEISA(Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications)や、米国NSFのOSF(Open Science Grid)やTeraGrid、日本のNAREGIがその例である。その後、GRID技術はよりオープンなリソースを対象とできるウェブ技術に置き換わり、パフォーマンスと保守性や保全本重視の観点からクラウド・ベースへと変わりつつある。この数年は、データ集約型科学研究の重要性が増し、バイオメディカル分野や環境地球科学分野等の特定研究分野を対象に研究支援基盤システムの研究開発プロジェクトが欧米においていくつも並行に遂行され、研究現場での利用評価も進み、従来型アーキテクチャの問題点が明らかになってきた。最重要問題の一つは、ワークフロー型のリソース連携定義が、仮説検定には役立つものの、試行錯誤的に断片的アイデアを試して仮説構築へと至る探索的研究過程を支援するには適さないということが明らかになってきたことである。申請者が参加したガン治験統合支援環境の開発を目指したACGTプロジェクトにおいてもプロジェクト終了後に同様の問題指摘がなされている。本研究は、申請者が長年研究開発してきたウェブ上の知識メディア技術とこれを用いた知識フェデレーション技術を発展させ、ウェブ上に公開されたあらゆる知識リソースの即興的フェデレーション技術の確立により、データ集約型科学研究における探索的過程を支援する基盤技術を確立することを目標とする。

## 2. 研究の目的

本研究では、(A)基盤となる即興的フェデレーション技術の研究開発を行い、(B)データ集約型科学における探索的研究過程の支援への適用を実証的に研究するために、(Ba) p-medicine プロジェクトにおいて、ガン臨床治験統合支援IT基盤への応用を目指すと共に、(Bb)バイオ情報学研究基盤への応用を目指す。(A)に関しては、(A1)多様なツールやサービスをフェデレーション可能な部品へとラッピングするジェネリック・ラッパー技術、(A2)ラッピングされた部品の管理検索を司るオープン・ツール・サービス・ライブラリ技術、(A3)既存のデータウェアハウス技術を用いたデータ・リポジトリ機能と自在なビューを介してのデータアクセス機能、(A4)ウ

ェブポータル上での即興的フェデレーション環境、(A5)サービスのフェデレーションをサーバ側で行うと共にフェデレーションに関するオントロジーを管理するフェデレーション&オントロジー・サーバ、(A6)セキュアなフェデレーションを管理制御するセキュア・フェデレーション・サーバの6技術を確立する。(Ba)に関しては、TOBを拡張して、即興的フェデレーションによって、患者の治験データと遺伝子データを自在に組み合わせる分析ツールやサービスを即座に構築し、処理結果を他の分析や可視化処理にも自在に応用できるインタラクティブ環境技術を確立する。(Bb)では、分子進化生物学の専門である峯田と共に、現在のワークフロー型のツール/サービス連携だけでなく、即興的フェデレーションも可能な研究支援基盤環境を試作開発する。

## 3. 研究の方法

本研究計画の研究項目は大きく項目(A)と(B)からなり、それぞれが以下のサブ項目からなっている。

- (A)基盤システム技術に関する研究
  - (A1) ジェネリック・ラッパー技術の確立
  - (A2) オープン・ツール・サービス・ライブラリ基盤技術の確立
  - (A3) データウェアハウスによる自在なデータアクセス
  - (A4) ウェブポータル上での即興的フェデレーション技術の確立
  - (A5) フェデレーション・サーバとフェデレーション・オントロジーの研究開発
  - (A6) セキュア・フェデレーション技術の確立
- (B) データ集約型科学への応用に関する研究
  - (Ba)ガン臨床治験統合支援IT基盤への応用
  - (Bb)バイオ情報学研究基盤への応用

## 4. 研究成果

(A)基盤システム技術に関する研究  
(A1) ジェネリック・ラッパー技術の確立  
大規模な再利用可能ツール・サービス群のライブラリの構築には、ウェブ上の公開サービスやオープンソフトウェアを再利用することが必須である。そのためには、これらを再利用可能な標準部品形式へと変換する必要がある。この変換をラッピングといい、変換プログラムをラッパーという。標準の部品形式として、後述する知識メディア・システム WebbleWorld の部品化形式である webble を用いる。

統計解析とデータ・マイニングに関しては、多くのライブラリやツールがRや、Octave、Python、Ruby、Perlなどのスクリプト言語からの利用が可能なることから、これらの言語に対応したジェネリック・ラッパーを開発することが有効である。本研究では、R、Octave、

Ruby、Python に関してジェネリック・ラッパーを開発した。

#### (A2) オープン・ツール・サービス・ライブラリ基盤技術の確立

ライブラリに登録されるデータソースやサービスはすべてウェブサービスの形式に変換し、これをラッピングした知識メディア部品（Webble部品）と、ツールをラッピングしたWebble部品の管理検索の基盤技術に関して、RDFデータベースによる意味的管理検索を基盤としたライブラリ管理検索技術を開発した。

#### (A3) データウェアハウスによる自在なデータアクセス

商用DBMSと、オープンなデータウェアハウス・ソフトウェアを用い、リポジトリ機能と、自在なビューや形式を介しデータ集合をアクセスする機能を、後述の連携多重ビュー可視化分析フレームワークとして確立した。

#### (A4) ウェブポータル上での即興的フェデレーション技術の確立

オープン・ツール/サービス・ライブラリに登録された公開ツールやサービスを、すべて自在に知識メディア部品（webble）として実現することにより、後述するウェブ上の知識メディアシステムWebbleWorldの機能を用いて、即興的に組み合わせることで目的の機能を実現する合成ツールやサービスを構築する技術をポータル環境として確立した。

#### (A5) フェデレーション・サーバとフェデレーション・オントロジーの研究開発

実行性能とデータ保護の観点からポータル上で行えないツール/サービスの実行とデータ交換を要するようなフェデレーションをサーバ上で行うフェデレーション・サーバ技術を新たに開発した。部品インタフェースのオントロジーを導入し、フェデレーションの管理のためのフェデレーション・サーバを開発した。

#### (A6) セキュア・フェデレーション技術の確立

フェデレーション・サーバにセキュア・フェデレーションのための、トラストサービス機能を含めた。複数の異なるグループが開発し公開したwebble部品を組み合わせるフェデレーションを定義しようとする際、これらがこのユーザが属しているグループにとって信頼できるグループによって公開されたwebble部品であるか否かがトラスト・サービスをアクセスすることにより自動的に検査され、信頼できる安全なwebble部品のみを用いたセキュア・フェデレーションが実現され、それ以外の場合は警告が出されフェデレーションは無効となる。トラスト・サービスのみでは、セキュア・フェデレーションを完全に保証することはできないが、これに加えて、各グループ内での部品登録を審査制にするなどの監視体制をとることにより、安全性を高めることができる。

#### (B) データ集約型科学への応用に関する研究

データ集約型科学への応用を目指し、ウェブ

上の知識メディア・システム WebbleWorldを用いて、探索的可視化分析環境のジェネリックなフレームワークを開発した。データベースの複数可視化ビューを実現するフレームワークとしてよく知られている連携多重ビュー可視化フレームワークを拡張し、このフレームワークの可視化ビューとして、クラスタリング、頻出パターンマイニング、統計分析などの分析ツールとその分析結果の可視化表示をも同じように連携させて取り扱うことができるように連携多重ビュー&分析可視化フレームワークを開発した。このフレームワークを HTML5 準拠の新しい Webble World を用いて実現することにより、HTML5 準拠の探索的可視化分析のシステムを開発した。

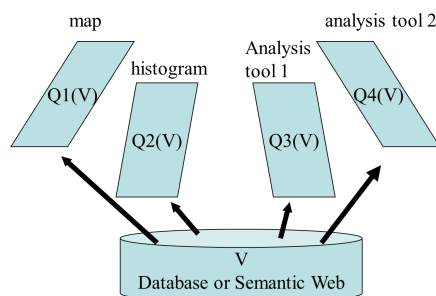


図1. データベースの連携多重ビュー&分析可視化フレームワーク

図1に示すように、連携多重ビュー&分析可視化フレームワークでは、データセットに対して地図や各種チャートを用いて可視化が行えるだけでなく、各種分析ツールを用いて分析を行い、その結果を可視化表示することができる。データ可視化と、分析結果の可視化のいずれのビューにおいても、そこに表示されている任意の可視化オブジェクトや任意のグループを選択することができ、これらの選択がデータベースへの制約となつてすべての可視化表示が連携して即座に更新される。クラスタリング結果における外れ値や任意のクラスタの選択により、そのクラスタに属すオブジェクトに対応するデータ・オブジェクトが選択される。頻出パターン・マイニングの結果得られたパターンの列挙の可視化においては、任意のパターンを選ぶことにより、そのパターンを持つオブジェクトが選択され、対応するデータ・オブジェクトが選択される。

#### (Ba, Bb) ガン臨床治験統合支援IT基盤への応用と、バイオ情報学研究基盤への応用

当初、これらの分野に関しては、別々に応用システムを開発していたが、2年度後半より、ガン臨床治験統合支援IT基盤への応用に関して参画しているEUのプロジェクトにおいて、患者の遺伝子データやマイクロRNA発現データをも利用できるようになったことから、バイオ情報学研究基盤への応用として開発していたシステム機能の殆どが、ガン臨床治験統合支援IT基盤への応用においても必要となり、

両者を連携統合し、一つのシステムとして研究開発を行った。

ガン臨床治験統合支援環境への適用に関しては、欧州連合の第7期フレームワークの大規模統合プロジェクト p-medicine (Personalized Medicine) に参画し、先行した ACGT プロジェクトで開発した TOB (Trial Outline Builder) をベースに機能拡張をした。

TOB は治験のマスタープランの設計段階では、治験計画の責任者が、化学治療、放射線治療、手術などの治療イベントを計画に沿って並べ、作図をするようにプラン作成を支援する。既に治療法が確立されている部分に関しては、患者の病状に応じて場合分けをした後、適切なフローに患者が割り振られ、そのフローの中で治療イベントが計画に沿って並べられる。その先の治療法に幾つかの候補があってどれが最善であるかまだ確定されていないところまで来ると、複数の治療計画の中からランダムに一つのフローを選んで治療を行うようにプランが作成される。各治療イベントに対応して、その治療に関する患者ごとの治療データを参照し新たに治療データを入力するための CRF (Case Report Form) と呼ばれるフォームが定義される。このようにして定義されたマスタープランを用いて、次に、個々の患者の治療が行われ、データ収集が行われる。患者ごとの治療を支援するビューでは、上部にマスタープランとの対応が示され、下部で特定の患者の治療の進捗状況が示される。患者ごとのデータ入力 が 治験期間にわたって充分に行われると、次に、蓄積されたデータを分析することによって、候補治療法の間での比較評価が行われる。

このためには、条件をいろいろと変えながら、この条件を満たす患者のみを検索し、異なるパスの間で、治療効果の比較をする必要がある。そこで、図2のように、各治療イベントの属性の中から幾つかを選んで、各々を独立の座標軸に対応付ける。属性がカテゴリ値を持つ場合には、座標軸上に辞書順に異なる値を並べる。このような座標軸をすべて並行に並べると、これらの座標軸からなる多次元空間の座標点は、これらの並行に置かれた座標軸のところとところで折れ曲がった多数の折れ線グラフで表すことができる。これは並行座標系可視化スキームの名前で知られている。座標軸ごとに幾つかの区間をインタラクティブに指定し、特定の条件を満たす患者のみを折れ線で可視化することができる。

図2には左下に生存曲線のチャートが表示されている。各曲線の色は、並行座標系での制約条件の相違に対応している。この例では、ランダム化後の複数の候補治療法のそれぞれに異なる色の生存曲線が対応している。この環境を用いて、患者グループをインタラクティブに制約し、ある候補治療法の生存曲線が、他の候補治療のそれよりも著しく上位に位置したとすると、このときの

制約条件で限定される患者に対しては、その候補治療法が個人化医療として有効であると考えることができる。

このシステムは、WebbleWorld を用いて開発していることにより、開発期間が短縮でき、ウェブ上でこのシステムが利用できるだけでなく、そのまま、p-medicine プロジェクトのウェブページに埋め込むことができる。

TOB は、探索的可視化分析環境の1例であり、連携多重ビュー可視化フレームワークに基づいている。マスタープランの作成ステージと患者の治療支援ステージにおける可視化環境、分析ステージにおけるマスタープラン、並行座標の各座標、ライフテーブル、地図やボディマップ、遺伝子発現分布表示のすべてが、可視化ビューになっており、これらの上での直接操作による制約が、基盤ビューを制約し、それが各可視化ビューに反映される仕組みになっている。

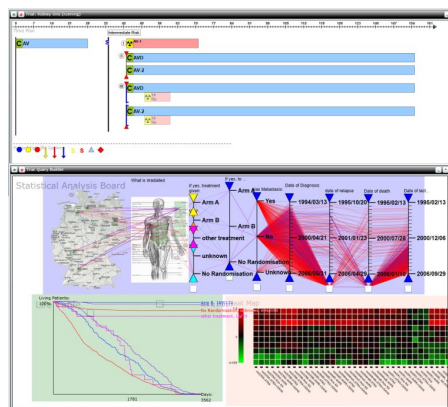


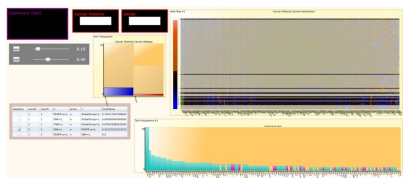
図 2 . 並行座標系可視化スキームを用いた治験データと患者遺伝子発現データの探索的可視化分析環境

平成 25 年度には、連携多重ビュー可視化フレームワークを拡張した連携多重ビュー & 分析可視化フレームワークに基づき、TOB を拡張し、クラスタリングや頻出パターン・マイニング、統計解析ツールとの連携を加え、ビジュアル・アナリティクス機能を強化した。

図3は、匿名化された患者の遺伝子発現データを用い、遺伝子発現強度をヒートマップ表示すると共に、閾値を設定して、閾値以上に発現している遺伝子をアイテムと考え、患者をトランザクションと考えて、アソシエーション・ルール・マイニングを適用した結果を示している。この環境には転移があるか否かの患者の分布を示す棒グラフもあり、転移の有無で患者集合を限定することも可能である。TOB で扱う CRF (Case Report Form) のあらゆる項目に関して、同様にこれらを表示して制約をかけることも可能である。

その際、ヒートマップ上では制約を満たす患者のみがハイライトされ、マイニング結果もこの制約された患者集合に対するマイニング結果となって表示される。左下のリストが抽出された遺伝子発現の依存関係規則のリストである。治験データのみによる表現型による患者のセグメンテーションでは区別

できない患者が、これらのパターンのどれを持っているかによって遺伝子型では更に細かくセグメンテーションできる可能性がある。細分化されることによって、ランダム化セッション後の複数の候補治療法の中に生存率に関して顕著な差が発見できると、個人化医療の確立に大きな知見が得られることになる。



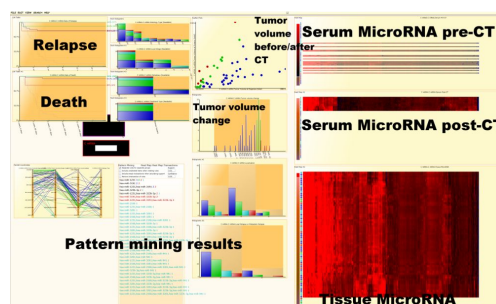
**図3 . 拡張 TOB により、患者の遺伝子発現データから遺伝子発現の依存関係をマイニング**

平成 26 年度は、小児腎臓ガンに関して、同じ患者集合に対する治験データと血清中並びに血液組織中のマイクロ RNA 発現データをセットで入手することが可能となり、同時に、同一患者集合に対し、手術前化学療法の効果を示す、治療前後の腫瘍サイズのデータも入手できた。図 4 は、TOB を用いてこれらのデータの探索的可視化分析を行った例を示している。図の左上には、再発のない患者の割合と生存率の時間変化が示されている。その下には、治験データの各種属性に関して並行座標表示がなされ、これらの属性の値に対する各種条件によって患者集合を制約できるようになっている。中央の最上部には、手術前化学療法の効果を示す、治療前後の腫瘍サイズの相関グラフが示されている。右側には、手術前化学療法治療前後の血清中のマイクロ RNA の発現がヒートマップ表示されている。その下には、組織中のマイクロ RNA の発現がヒートマップ表示されている。下部の左から 2 番目には、手術前化学療法の治療前のマイクロ RNA 発現のヒートマップにおいて、高い発現量のみを 1 とし、他を 0 とした得られる 2 値化データに対し、各マイクロ RNA をアイテム、各患者をトランザクションとしてアイテム・セット・マイニングを行った結果が示されている。

これにより、高い頻度で一緒に発現しているマイクロ RNA の集合が求められる。図 4 では、手術前化学療法の治療前後の腫瘍サイズの相関グラフにおいて、サイズがほぼ同じグループ、大きくなったグループ、小さくなったグループの 3 つのグループをグラフ上で直接選び、連携多重ビュー&分析可視化フレームワークを用いて相互に連携している他の可視化ビューにその 3 種類の選択結果を同じ色で反映させている。手術前化学療法の治療前マイクロ RNA 発現のヒートマップにおいて強度の高いものを選んでアイテム・セット・マイニングを行った結果のリストにも、この 3 つのグループが反映されている。リスト中の赤色の文字を含む行が、手術前化学療法の効果がない患者においてみられる共発

現のパターンである。

特に 6 行目と 7 行目のパターンに関しては、手術前化学療法の効果がない患者に対してのみ観察されるパターンであり、特定の患者が、手術前化学療法の治療前マイクロ RNA 発現に関してこれらのパターンを持っていたとすると、その患者には手術前化学療法を治療する意味がないと考えられる。このパターンの有無をバイオマーカとして用いることができるかもしれない。現在扱っているデータセットでは患者数が少なく、このような結論を出すことはできないが、原理的には、患者数を増やすことにより、このような分析と意思決定が可能になる。



**図 4 . 手術前化学療法による腫瘍サイズの変化とマイクロ RNA の発現データを用いた探索的可視化分析環境**

以上のようなシステムの構築を通じて、ウェブ上の知識メディア技術に基づいた即興的フェデレーション技術を活用した連携多重ビュー&分析可視化フレームワークを採用することにより、データ集約型科学における探索的研究過程の支援のための探索的可視化分析環境を容易に構築し拡張できることを示すことができた。

## 5 . 主な発表論文等

### 【雑誌論文】(計 3 件)

Damdinsuren Lkhamsuren, Yuzuru Tanaka: PadSpace: A new framework for the service federation of web resources. Information Systems Frontiers 15(1): 111-132 (2013)  
DOI 10.1007/s10796-011-9324-y

Wei Shi, Yuzuru Tanaka, and Randy Goebel: A New Database Visualization Framework for the Automatic Construction of Nonstandard Charts: Recreating the Chart of Napoleon's Russia Campaign in 1812, Cartographica, Vol. 49, No. 4, pp.241-261, Dec., 2014.  
DOI 10.3138/cart0.49.4.2487

朴 斌, 田中 譲, セマンティック・ウェブ上のリソースの探索的検索・可視化フレームワーク, 電子情報通信学会(採録, 掲載号: Vol.J98-D, No.1, pp. 193-205, Jan. 2015.  
DOI 10.14923/transinfj.2014JDP7056

### 【学会発表】(計 14 件)

Sjöbergh, J., Kuwahara, M., Tanaka, Y.: Visualizing Clinical Trial Data Using Pluggable Components, IV 2012, Montpellier,

July, pp.291-296, 2012.

Kuwahara, M., Tanaka, Y.: Advanced "Webble" Application Development Directly in the Browser by Utilizing the Full Power of Meme Media Customization and Event Management Capabilities. ICME 2012, Melbourne, Australia, July, pp.211-216, 2012.

Georgalis, Y., Tanaka, Y., Spyrtatos, N., Stephanidis. C.: Programming Smart Object Federations for Simulating and Implementing Ambient Intelligence Scenarios, PECCS 2013, pp.5-15, Barcelona, February, 2013.

Shi, W., Tanaka, Y.: A New Interactive Information Visualization Framework based on the Object-oriented Views of Querying and Visualizing Databases, Proc. of the 4th International Conference on Information Visualization Theory and Applications, SciTePress, pp. 495-504, Barcelona, February, 2013.

Randy Goebel, Wei Shi, Yuzuru Tanaka: The Role of Direct Manipulation of Visualizations in the Development and Use of Multi-level Knowledge Models. IV 2013: pp. 325-332, July, 2013.

Kuwahara, M., Tanaka, Y.: The Webble World in the Real World: A Possible Look at the Infant Stage of Future Web Development and Human Collaboration, ISIP 2012 Revised Selected Papers, Series: Communications in Computer and Information Science, Vol. 146, ISBN: 978-3-642-40139-8, Springer, Heidelberg, Germany, p. 1-10, 2013.

Kuwahara, M., Tanaka, Y.: The Mindset of a Webble World Citizen: Developing Applications in a Meme Media Environment, Webble Technology, First Webble World Summit, WWS 2013, Erfurt, Germany, June 3-5, 2013. Proceedings, Series: Communications in Computer and Information Science, Vol. 372, ISBN: 978-3-642-38835-4, Springer, Heidelberg, Germany, p. 56-65.2013.

Yuzuru Tanaka: Meme Media and Knowledge Federation: Past, Present, and Future, FirstWebbleWorld Summit, WWS 2013, Erfurt, June, 2013. Proceedings, Series: Communications in Computer and Information Science, Vol. 372, Springer, Heidelberg, Germany, pp. 166-184, 2013.

Bin Piao and Yuzuru Tanaka: Interactive framework for visual exploratory search and integration of semantic web contents and services. In International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, Xi 'an, China, 25-26 October 2014.

Jonas Sjöbergh, Yuzuru Tanaka: From Multiple Linked Views to Multiple Linked Analyses: The Meme Media Digital Dashboard, IV2014, pp.170-175, 2014.

Randy Goebel, Wei Shi, Yuzuru Tanaka: The Challenge of Semantic Symmetry IV2014, pp. 27-33, 2014.

Yuzuru Tanaka: Meme Media and Knowledge Federation for Exploratory Visual Analytics of Big Data. DASFAA Workshops 2014: 3-17.

Bin Piao, Yuzuru Tanaka: Interactive framework for visual exploratory search, integration, and visual analysis of semantic web resources, Proc. of 16th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services, Hanoi, Vietnam, pp.200-206, Dec. 4-6, 2014.

Wei Shi, Bin Piao, Yuzuru Tanaka, "An Extended Framework for Visualizing the Data from Both Local Databases and SemanticWeb Databases", CGMIP 2014, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.76-90, Nov. 17-19, 2014.

#### 【図書】(計 1件)

Tanaka, Y., Sjöbergh, J., Moiseets, P., Kuwahara, M., Imura, H., Yoshida, T. (共著分担): Data Mining for Geoinformatics: Methods and Applications, Cervone, G., Lin, J., Waters, N. ed., Springer, 2014 (分担: Chapter 6, Geospatial Visual Analytics of Traffic and Weather Data for Better Winter Road Management).

#### 【産業財産権】

出願状況(計 0件)

#### 【その他】

HTML5 準拠知識メディアシステム WebbleWorld とトラストサービスのオープンソース公開  
<https://github.com/truemrwalker/wblwrld3>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 譲 (Tanaka Yuzuru)  
北海道大学大学院情報科学研究科・特任教授  
研究者番号: 60002309

### (2) 研究分担者

峯田 克彦 (Mineta Katsuhiko)  
北海道大学大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 40374615

(2012年~2014年5月まで)

猪村 元 (Imura Hajime)  
北海道大学知識メディアラボラトリー・特任助教

研究者番号: 70615210

(2012年~2014年3月まで)