

6-2 意味空間モデルによる相関計量に基づく異分野 DB 連携

6-2 *Interconnection of Heterogeneous Databases by Correlation Measurement based on Semantic Space Model*

是津耕司 中西崇文

ZETTSU Koji and NAKANISHI Takafumi

要旨

本稿では、計量空間モデルに基づく相関検索技術について示す。人間の知識の認知には大きく2種類あると考えられる。1つは絶対的な知識であり、ICT技術においては、概念辞書、セマンティックWebなどに用いられるオントロジーによって書ける知識である。もう1つの知識としては、相対的な知識であり、ある知識Aとある知識Bを比較してその関係について得られる知識である。人間は無意識のうちに異種のものを結びつける規準を作っていると考えられ、この規準を本モデルでは軸集合(空間を形成)と計量方法(数学的には大きくノルム、距離、内積)によって表現する。異種異分野間の知識についての相関を検索するだけでなく、どのような要因(軸、指標)で相関しているかを示すために、本モデルでは、異種異分野の知識同士の相関と要因を選択された相関量の高い知識群とそれを求めた軸集合を導出する。

This paper represents new technology of correlation search or retrieval technique. There are two kinds of human's Knowledge. One is absolute knowledge. This can represent conceptual dictionary or ontology which is used in Semantic Web etc. Another is relative knowledge representing relationships between knowledge base A and B discovered by comparing them A and knowledge B, connect these knowledge without absolute knowledge such as. Human unconsciously defines basis for linking heterogeneous things, concepts or knowledge. In this model the basis are represented in a set of axis which constructs a space and measurement method which mathematically belongs to norm, distance or inner product. It is important to represent not only relationship between knowledge but also factors building the relationship.

[キーワード]

異分野知識ベース連携, Link-free browsing, ナレッジ GRID

Interconnection of heterogeneous knowledge bases, Link-free browsing, Knowledge GRID

1 はじめに

Web上では、様々な分野の情報資源が急速に増え続けている。これらの情報にアクセスするには、従来からWeb検索エンジンが広く用いられてきた。Web検索エンジンは、ユーザがクエリに指定したキーワードにヒットするコンテンツを持つページを、分野を問わず検索することができる反面、検索結果に含まれる個々のページは基本的に独立しており、例えばある出来事や概念につ

いて網羅的に調べたい場合に個々の内容を確認し整理する必要が生じ、ページの内容を自身で確認しなければならない。このことは、実世界で起きている様々な出来事をWebの情報を使って把握しようとするときに、より深刻な問題となる。例えば自然災害は、様々な分野に影響を及ぼすため、影響を受ける分野の情報もまとめて取得することが望ましい。しかし、従来の検索エンジンでは、それらの分野に関するキーワードをユーザが思い浮かなければ、関連するWeb情報にたど

り着くことすらできない。したがって、ユーザが状況を把握する目的や意図に応じて、様々な分野の関連キーワードを次々と導き出す仕組みが必要となる。

こうした背景に基づき、我々は異分野の知識情報資源（知識ベース）を、それらの間の相関関係に基づいて相互に連携させ、横断的に検索する方式の研究開発を行っている。本稿では、意味空間モデルに基づく相関計量方式による異分野知識ベース連携方法を提案し、これを実際の Web 閲覧に応用したシステムについて説明する。2 では関連研究について述べ、3 では提案手法の概要について述べる。4 で評価実験結果を示し、5 で応用システムについて説明する。最後に、6 でまとめを述べる。

2 関連研究

Semantic Link Network (SLN)^[3] は、関係推論ルールの集合に基づいてデータ間に関係リンクを生成し意味ネットワークを構成する、汎用的かつ柔軟なデータモデルである。我々の提案手法も SLN と同様の意味データモデルを形成するが、関係リンクの生成に相関計量^[1]を用いる点異なる。また、我々は、異なる分野の知識ベース間を連結し、相互に関連する様々な分野の概念タームを取得することを目指している。取得した結果は、SLN と同様に、意味相関ネットワークによって表現される。この意味相関ネットワークでは、概念タームがノードで表され、概念ターム間の相関関係がエッジで表される。さらに我々は、この意味相関ネットワーク使ったデータ閲覧方式 Link-free Browsing も提案している。

自動リンク生成に関しては、既に多くの研究が行われている^[4]。文献^[5]では、情報検索システムによる検索とハイパーテキストシステムによる閲覧システムの統合の必要性について述べられており、特に文書の保管場所が明らかでない場合や、文書の数保管場所の数よりはるかに多い場合に、これらのシステムの統合が必要になると指摘されている。どの程度の統合が必要かについての基準は、Trellis システム^[6]での議論が参考となる。Web Watcher^[7]は、ユーザが目的の情報にたどり着くまでの閲覧履歴を学習し、Web ナ

ビゲーションに利用している。Letizia^[8]は、ユーザがたどったリンクの履歴や検索履歴を追跡し、ユーザの興味に合った Web ページを予測する方法を提案している。文献^[9]では、Web サイトを訪問するユーザをアクセスパターンに応じて分類し、動的にリンクを推薦する方法を提案している。このシステムでは、様々な分野にまたがる相関計算の方法が提案されており、複数分野にまたがる相関関係を意味相関ネットワークを使って表現する方法も提案されている。

異なる分野にまたがる知識情報の導出については、従来から bridge concept を定義する方法がとられてきた。Schema mapping^[13]や bridge ontology^[14]は、その典型例である。従来手法では、正確な bridge concept を事前定義することに重点が置かれているが、現実的には困難な作業であり、ドメインが限定された比較的小規模な問題にしか適用できなかった。我々は、精度を若干落としてもより多くの分野の情報を横断的に連携させることを目指し、相関関係を計算で動的に求めるアプローチを取っている。

3 メタレベル知識ベース統合

図1に、我々が提案する異分野知識ベースアクセスの概要を示す。ユーザが与えたクエリに対し、ナレッジ GRID^[10]上に置かれた様々な分野の知識ベースから相関のあるレコード集合を検索する。検索結果は、意味相関ネットワークによって表現される。ユーザは、この意味相関ネットワークに沿って、ある知識ベースのデータから、相関のある他の知識ベースのデータを順にたどることができる。

ナレッジ GRID では、各拠点に GRID ノードが置かれ、その上に知識ベースが構築される^[2]。図2に示すように、それぞれの GRID ノード上で、各分野の専門家が集まり協調して知識ベースを編集する。これらの GRID ノード上に構築された知識ベースから、様々なコンテキストのもとで相関のあるデータを見つけ出し、相関関係に基づいてそれらの知識ベースを相互接続する。

3.1 知識処理サービスの種類

図2に示した枠組みを実現すべく、我々はナ

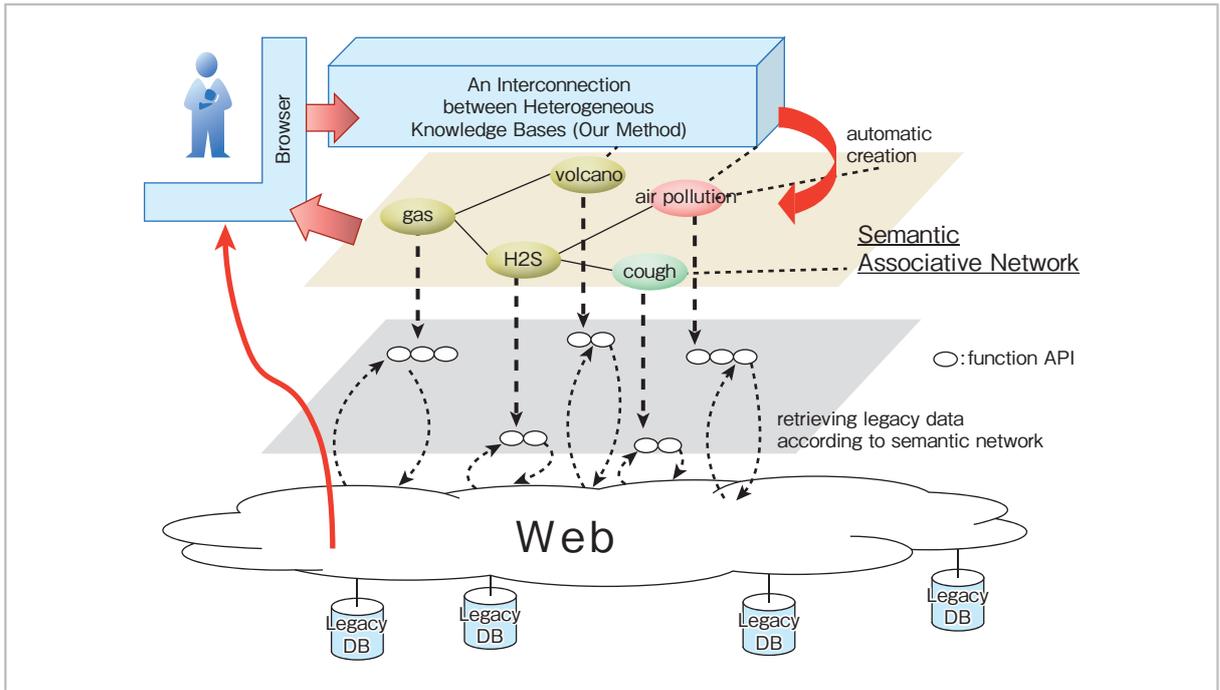


図 1 意味相関ネットワークによる異分野知識ベースアクセスの概要

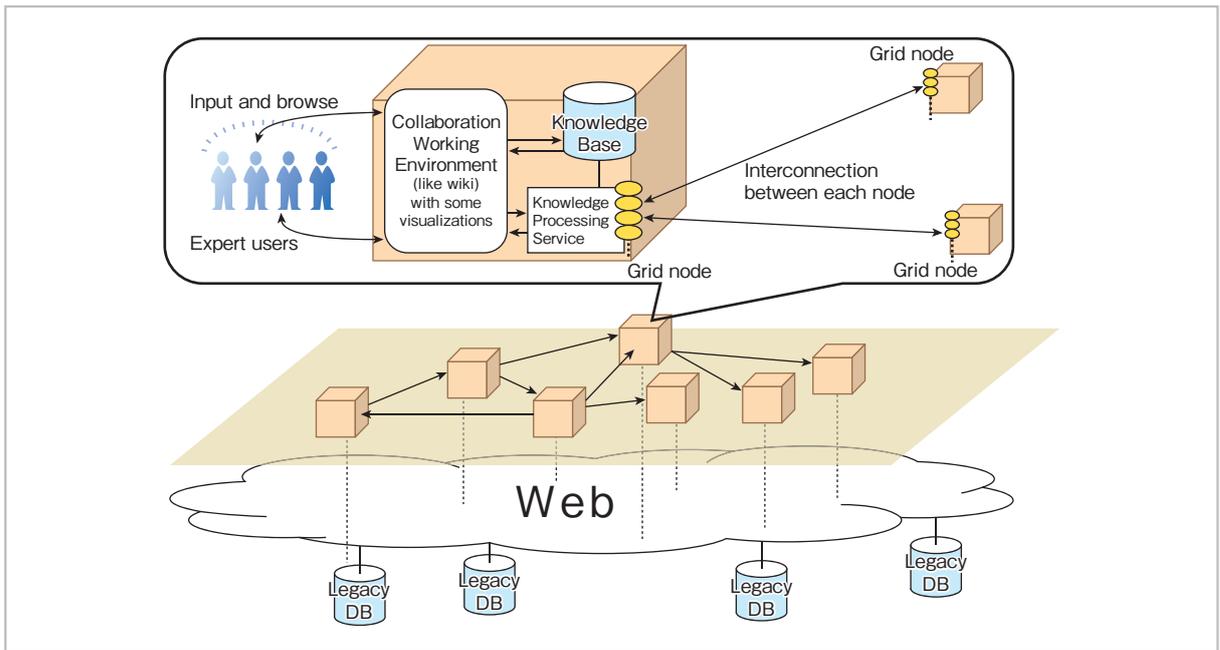


図 2 Knowledge Grid 上における異分野知識ベースの相互接続

レッジ GRID 上に2種類の知識処理サービスを定義している。すなわち、intra operation サービスと、inter operation サービスである。

Intra operation サービス: 単一の知識ベース内での相関検索の機能を提供する。ある概念ターム集合を入力として受け取ると、知識

ベース内でそれらと相関の高い概念ターム集合を検索し、相関の強さを表す値（相関値）とともに出力する。

Inter operation サービス: 複数の知識ベース間での相関検索の機能を提供する。入出力は intra operation サービスと同じであるが、入

力と出力を構成する概念キーワード集合が異なる知識ベースに含まれるところが違う。

図3に、これら2種類のサービスを用いて意味相関ネットワークを作成するプロセスを示す。このプロセスの詳細について、2つの知識ベースA、Bを連結する際の手順を、図4を使って説明

する。

準備: 相関マトリクス作成

Inter operation サービスが相関検索に用いる相関マトリクスを事前に作成する。知識ベースAと知識ベースBをつなぐinter operation サービスの場合、知識ベースAにm個、知識

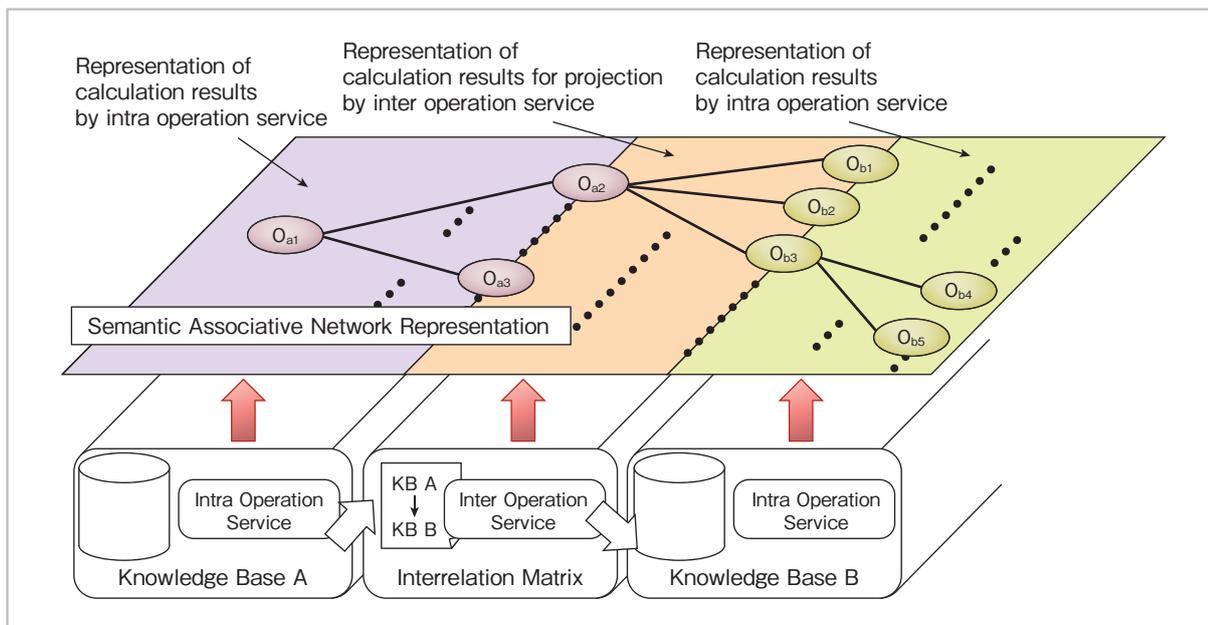


図3 Intra operation サービスと inter operation サービスを用いて異分野知識ベースを相互接続し意味相関ネットワークを生成する例

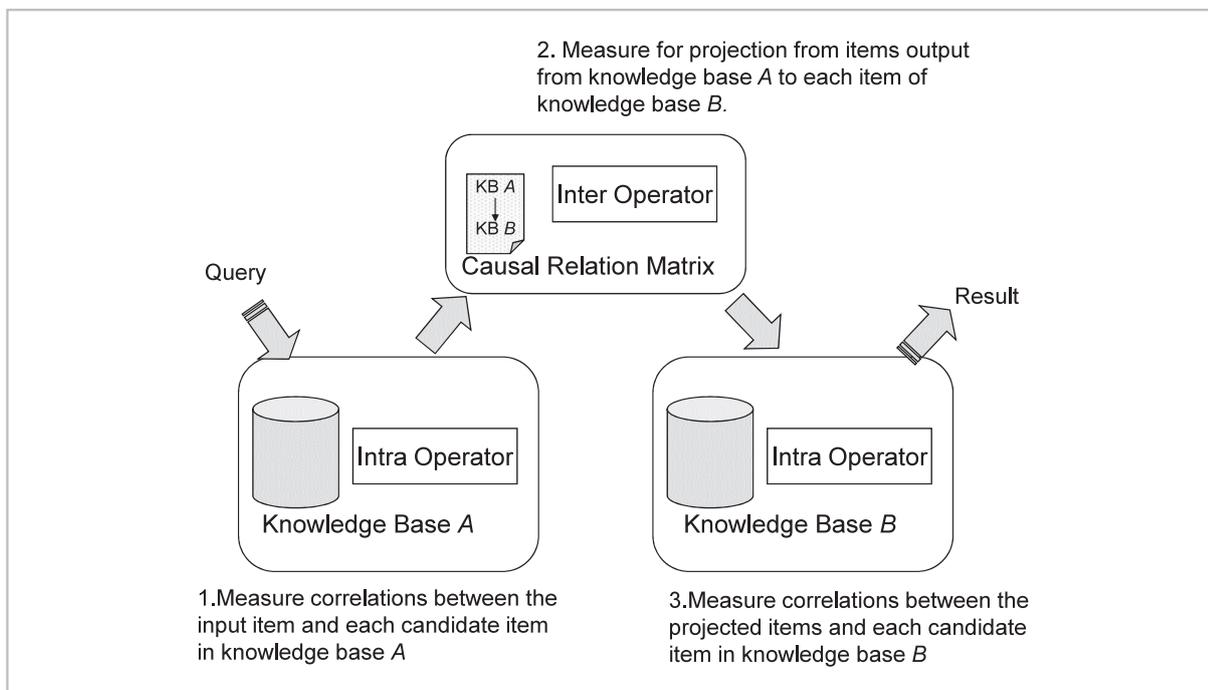


図4 Intra operation サービスと inter operation サービスを用いた異分野知識ベースの連結

- ベース B に n 個の概念タームが存在すると、相関マトリクスは $m \times n$ 行列の大きさになる。
- Step 1: 知識ベース A の intra operation サービス**
 知識ベース A を担当する intra operation サービスを使って知識ベース A 内で相関検索を行う。ユーザが与えた概念タームと相関のある概念ターム集合を知識ベース A から取得する。
- Step 2: 知識ベース A と B をマッピングする inter operation サービス**
 Inter operation サービスによって知識ベース A と知識ベース B の間の相関検索を行う。Step 1 の検索結果として得られる知識ベース A の概念ターム集合を、相関マトリクスに基づく行列計算により、知識ベース B の概念ターム集合に写像する。
- Step 3: 知識ベース B の intra operation サービス**
 Step 2 で得られた知識ベース B の概念ターム

集合を入力とし、これらに相関のある知識ベース B 内の概念ターム集合を検索する。

全体の流れとしては、まずユーザの問い合わせを知識ベース A に含まれる概念タームを使って展開し、次にこれらと相関のあると思われる知識ベース B の内容を候補として想起し、最後に知識ベース B に含まれる概念タームを使って結果を確定する。

3.2 Intra/inter Operation サービスの詳細
3.2.1 Intra Operation サービス

- 図 5 に、intra operation サービスの処理の概要を示す。Intra operation サービスによる相関検索は、以下の手順で実行される：
- Step 1:** 入力として与えられた概念ターム集合の中で、相関値の低いものをノイズとして予め除去する。
- Step 2:** 入力に含まれる概念タームを、1つずつ相関計量モジュールに与える。

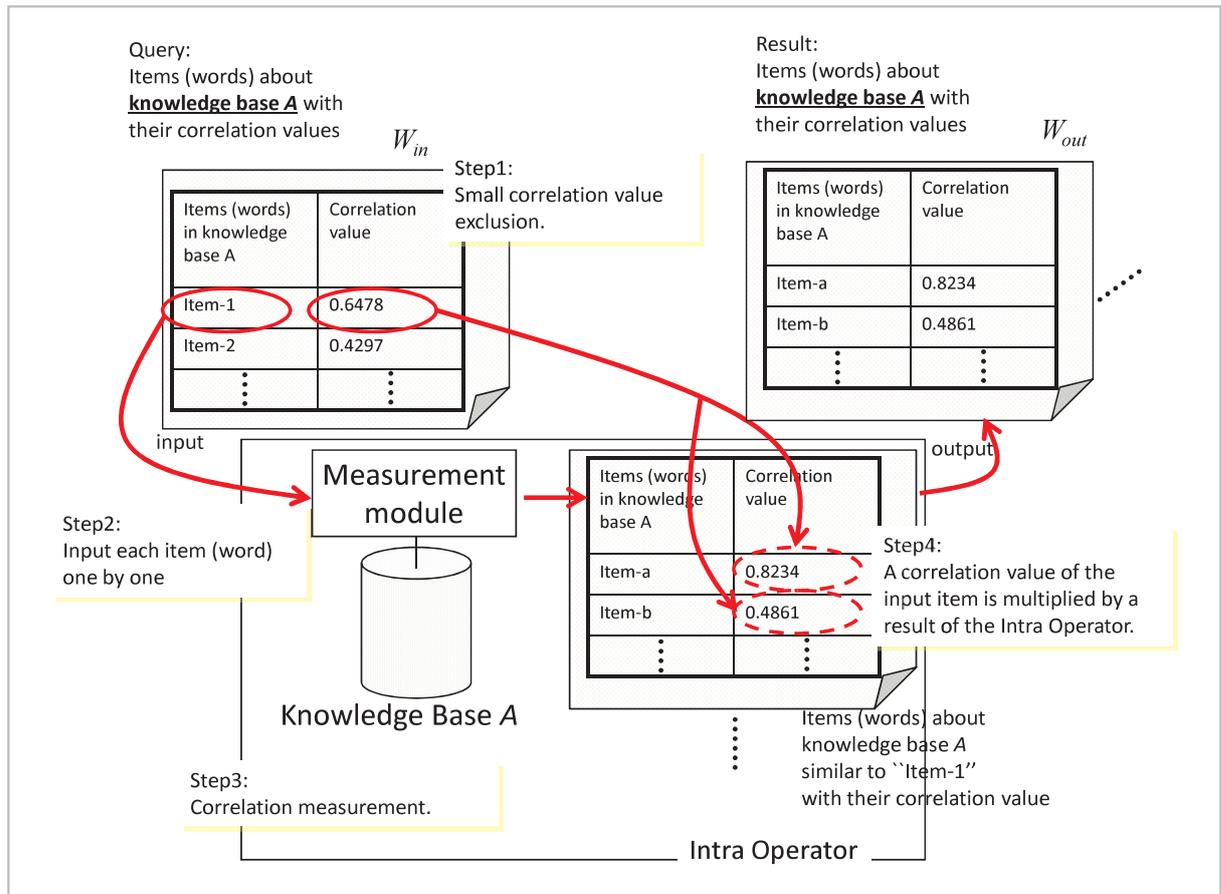


図 5 Intra operation サービスにおける知識ベース内相関検索の実行手順

Step 3: 個々の入力に対し、知識ベースに含まれる概念タームとの相関値を計量し、相関値の高い概念タームを候補として選択する。

Step 4: 入力として与えられた概念タームの相関値と step 3 で計量された相関値を掛け合わせ、検索結果の相関値を計算する。

上記の intra operation サービスのフレームワークは汎用的なものであり、任意の相関計量方式を適用することが可能である。我々の実装では、latent semantic indexing (LSI) [15][16] に基づくベクトル空間モデルを採用している。この実装では、基底となる特徴語集合から構成される特徴ベクトルを用いて、個々の概念タームを表現している。最終的に、知識ベースは、これらを結合したデータ行列 [1] によって表現される。

データ行列によって表現される知識ベースを作成するために、我々は MediaWiki を用いたツールを開発している。MediaWiki は、Wikipedia 等で使われている Wiki システムである。図 6 に、このツールを使ってデータ行列を生成するプロセスを示す。

Step 1: MediaWiki で作成されるコンテンツは、タイトルとその説明文が記述された Web ペー

ジである。個々の MediaWiki ページからタイトルと説明文を抽出し、タイトルを見出し語、本文をその説明とする辞書を生成する。この見出し語が、知識ベースの概念タームに相当し、意味相関ネットワークにおける個々のノードとなる。

Step 2: 概念タームを特徴づけるための基底となる特徴語リストを用意する。我々の実装では、実際の英英辞典から抽出された 2,000 語の基底語集合 [1] を特徴語として使用している。

Step 3: 特徴語ベクトルを使って概念タームを特徴づける。Step 1 で抽出された個々の概念タームに対し、その説明文に特定の特徴語が含まれていれば、対応するベクトル要素に 1 を設定し、含まれていなければ 0 を設定する。図 6 の例では、データ行列 M に含まれる “El Nino” という概念ターム (行) に対し、その説明文に出現する “coast” や “Ecuador”、“Peru” という特徴語 (列) に 1 が設定され、それ以外の “gas” や “river” には 0 が設定されている。こうした特徴語ベクトルを概念ターム集合に渡って結合し、データ行列を作成する。我々は、このプロセスを自動的に行う仕組みを

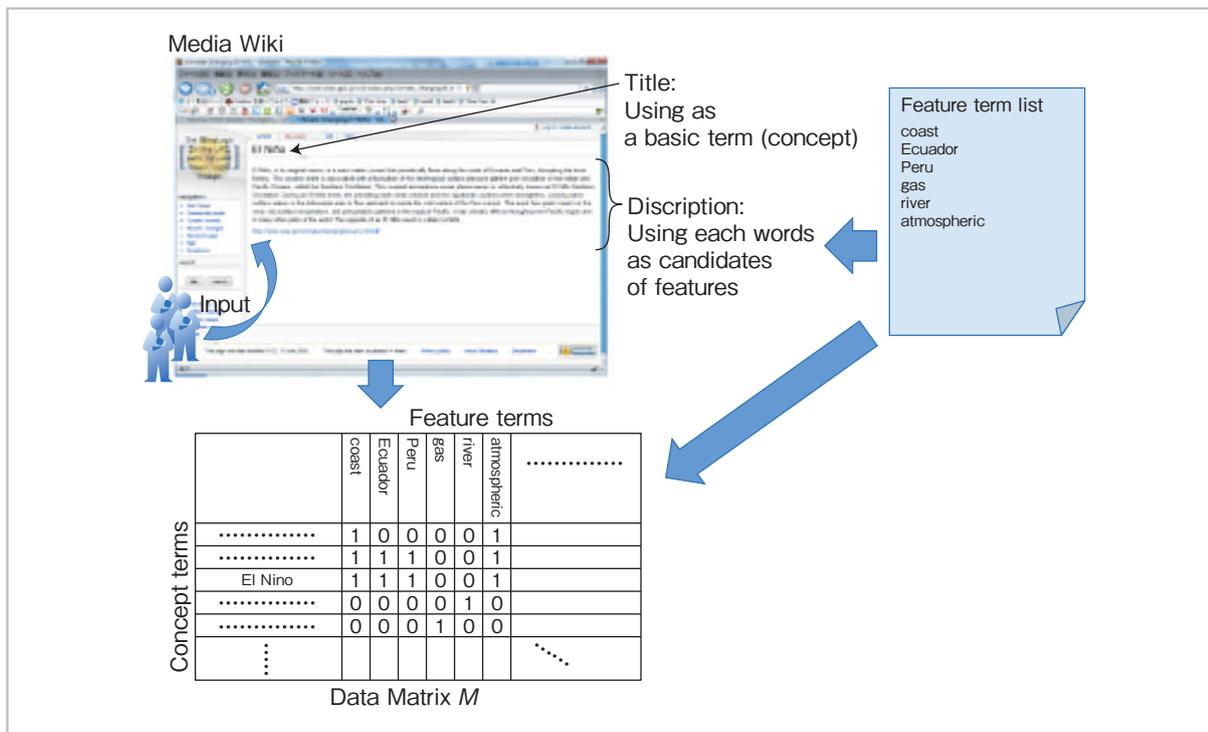


図 6 MediaWiki システムを用いた相関マトリクスの自動生成

組み込んだ MediaWiki システムを実装している [24]。

3.2.2 Inter Operation サービス

Inter operation サービスは、異なる知識ベース間の相関検索を行う。図7に inter operation サービスの実行手順の概要を示す。実行手順は、概ね intra operation サービスと同じであるが、step 3のみ、以下のように異なる処理を行う：

Step 3: 相関マトリクスに基づき、知識ベース A からの検索結果に含まれる概念ターム集合を、知識ベース B の概念ターム集合に写像する。その際、写像を経由した新たな相関値を、行列の内積により計算する。

Inter operation サービスが機能するためには、相関マトリクスの作成が必要である。我々は、RSS データから相関マトリクスを自動生成する仕組みを実装している [12]。RSS は Web のニュース記事配信等に広く用いられており、様々な分野の情報が RSS データの中に網羅されており、相

関マトリクスを作成する情報源として有用性が高い。収集された RSS データは、主題ごとにグループ分けされる。例えば、図8の例では3つのグループ (“Unzen Fugendake,” “Miyake Jima”, “Sidoarjo Mudflow”) に分類され、それぞれのグループごとに相関マトリクスを生成する。これらのグループは、inter operation サービスがどの主題のもとで相関検索を行うかというコンテキストに対応しており、様々なコンテキストのもとで知識ベースを連結し異なる意味相関ネットワークを形成することに役立つ。

2つの知識ベース A と B を連結する相関マトリクスは、次の手順で作成される。まず、概念ターム集合をそれぞれの知識ベースから取得する。次に、それぞれの知識ベースに含まれる概念タームの任意の組み合わせに対し、収集した RSS データの中にその組み合わせが多数出現していれば、これらの概念タームの間には相関性があるものとみなし、相関マトリクスの対応するセ

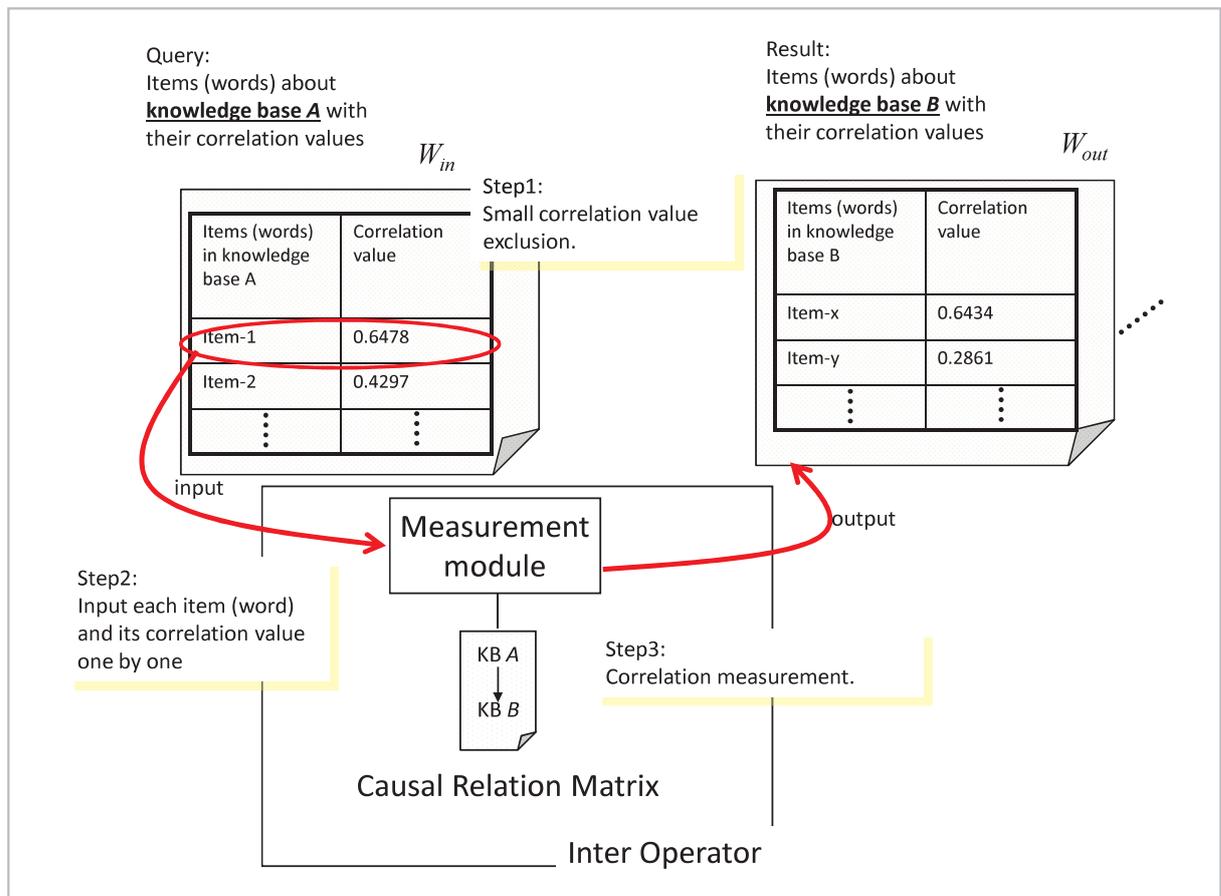


図7 Inter operation サービスにおける知識ベース間相関検索の実行手順

ルに1を設定する。それ以外の場合は0を設定する。本操作は、Web情報から異種の事象を相対的に比較するための軸を探し、空間を構成している行為と等価となる。つまり、inter operation サービスの逆計算を構成すれば、なぜこのリンクがつながっているかをたどることができる。これまでの類似検索やクエリ展開では得られない結果であり、この操作から、分野間のつながりを何によって導き出しているかを根拠として示すことができる。

人間が無意識にやっている相対的な比較に関し、本提案方式では、Web上からその相対的な比較の軸をinter operationによって見つけ出し、その比較する軸で類似する事象を取り出している。よって、この点において、自然言語処理による概念辞書抽出やシソーラスとは違い、文脈によってその連結を変えていくことも可能である。

現在は、intra operation サービスおよびinter operation サービスによる、知識ベースAのaという事象をクエリとして知識ベースBのbという事象が相関マトリクスMのmという事象でつながったという事実を求める、クエリ展開のように見えるが、将来的には、この構成により次のような任意のクエリに対応することができる。例えば、このニュース記事の内容を構成する各要素

(単語)からどのような分野がつながってくるかが挙げられる。すなわち、Mのmという事象から(例えば新聞記事Mの任意の事象m)からの知識ベースA、B...がつながるかを見つけるクエリも考えられる。この場合は、人間の相関の考え方によると、ユーザは確固たる比較のための指標を持っており、その指標ですべての知識ベースを見ていこうということになる。

また、ここまで説明した方式では、あくまでも単語ベースで実現している。この単語をデータベースのスキーマと見立てるとスキーママッピングとして働くことも可能であるが、本構成で連続値の相関が実現できれば、概念辞書やシソーラスでは見つからないつながりを発見することが可能になると考えられる。これが今後の課題となる。

4 評価実験

4.1 実験環境

提案手法による異分野知識ベース連携の動作を確認すべく、実際の知識ベースを使って評価実験を行った。評価実験では、次の3つの分野の知識ベースを用意した。火山災害分野の知識ベースは、“Volcanic Hazards”[17]の書籍とWikipedia[21]を基に作成した。環境分野の知識ベース

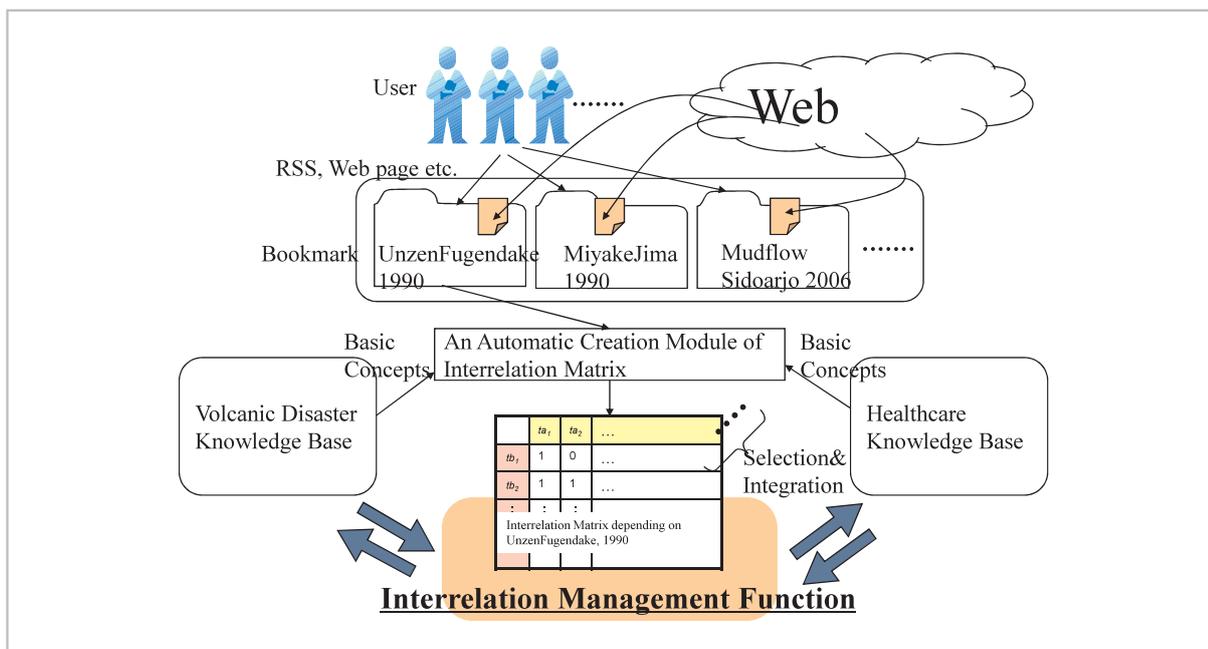


図8 RSSデータを用いた相関マトリクスの自動生成

は、U.S. Environmental Protection Agency の Web サイト [19] で公開されている用語集に基づいて作成した。保健衛生分野の知識ベースは、Wikipedia [18] に基づいて作成した。また、火山災害知識ベースと環境知識ベース、および火山災害知識ベースと保健衛生知識ベースの間をつなぐ 2つの相関マトリクスを、関連する Web サイト [20]–[23] の情報に基づいて作成した。

相関計量方式として LSI 法を適用し、3.4.1 で述べた方法に従って知識ベースごとにデータ行列を作成した。

4.2 実験結果

図 9 に、“volcanic gas” というクエリに対し、火山災害知識ベースと保健衛生知識ベースの間の相関マトリクスを用いて、意味相関ネットワークを生成した結果を示す。この例では、左から順に、まずクエリの “volcanic gas” から、火山災害知識ベースの intra operation サービスによって “SO₂” 等の火山災害分野の概念タームが導出されている。なお、エッジに付与された数字は、相関値を表している。次に、inter operation サービスによる火山災害知識ベースから保健衛生知識ベースへの相関検索により、“pulmonary edema”、“Bronchial Asthma”、“Yokkaichi Asthma”、“obstructive lung disease” 等の呼吸器系疾患の概念タームが導出されている。最後に、保健衛生知識ベースの intra operation サービスにより、これらと相関が高い保健衛生分野の概念タームが導出されている。結果として、クエリである “volcanic gas” と相関の高い保健衛生

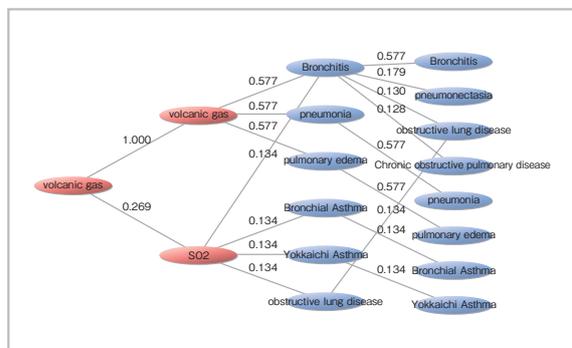


図 9 火山災害知識ベースから保健衛生知識ベースへの相関検索結果を示す意味相関ネットワーク (クエリ: “volcanic gas”)

分野の概念タームが、導出過程を示す意味相関ネットワークとともに得られている。我々のフレームワークでは、相関マトリクスを切り替えることにより、様々なコンテキストの基でこうした異分野相関検索が可能になる。

さらに、複数の相関マトリクスを使って、同じクエリに対し複数の分野へ相関検索を行った例を、図 10 に示す。このように、相関マトリクスの組み合わせを変えるだけで、異なる知識ベースへの相関検索を並行して行えることが、提案手法の特徴である。

図 11 の例では、クエリとして与えられた “lava flow” から始まり、まず火山災害知識ベースの intra operation サービスにより “pyroclastic flow”、“mudflow”、“volcanic ash” 等の火山災害分野の概念タームが導出されている。次に、これらの概念タームが、inter operation サービスにより、環境分野で相関の高い “Heavy Metals”、“Air Pollution”、“Ground Water”、“Rough Fish”、“Acid Aerosol”、“Aerosol”、

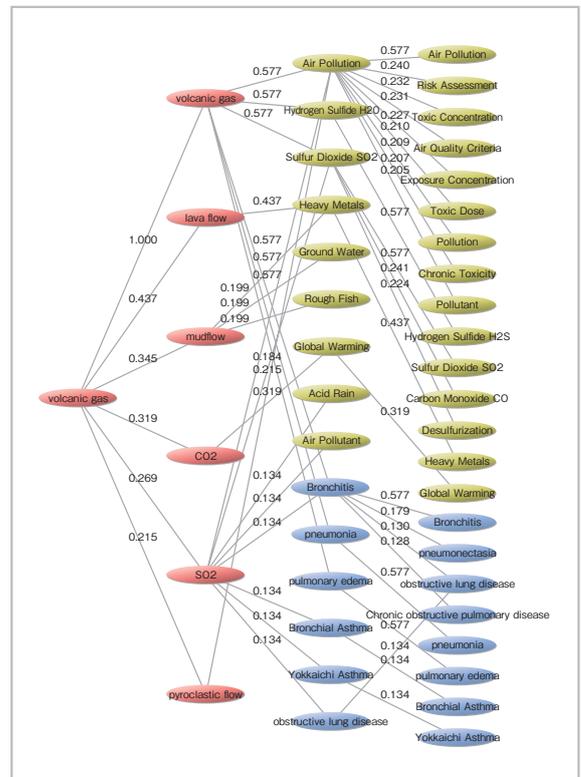


図 10 火山災害知識ベースから環境知識ベースと保健衛生知識ベースへの相関検索結果を示す意味相関ネットワーク (クエリ: “volcanic gas”)

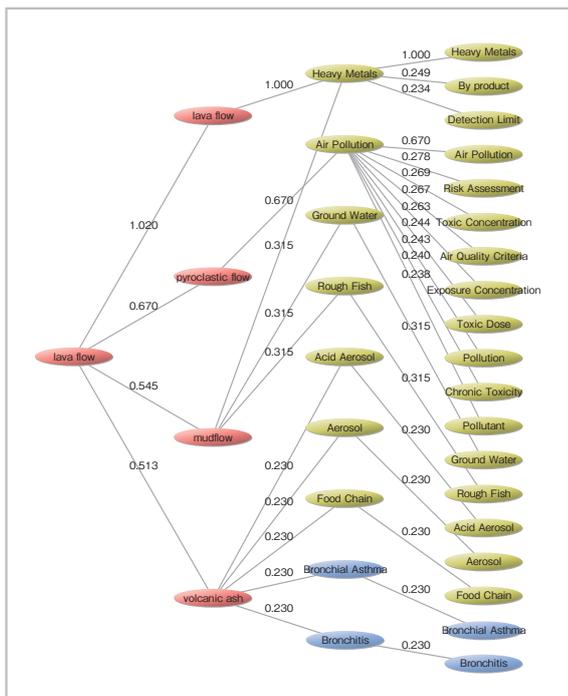


図 11 火山災害知識ベースから環境知識ベースと保健衛生知識ベースへの相関検索結果を示す意味相関ネットワーク (クエリ: “lava flow”)

“Food Chain” 等の概念タームと、保健衛生分野で相関の高い “Bronchial Asthma”、“Bronchitis” などの概念タームに展開されている。最後に、各分野の知識ベースに対応する intra operation サービスにより、それぞれの分野内で相関の高い概念タームが導出されている。結果として、クエリである “lava flow” と相関の高い環境分野と保健衛生分野の概念タームが、導出過程を示す意味相関ネットワークとともに得られている。

5 Link-free browsing

我々は、提案手法を用いたアプリケーションとして、link-free browsing システム [11] を開発している。Link-free browsing では、従来の静的なハイパーリンクによる Web 閲覧とは異なり、相関検索結果を表す意味相関ネットワークに基づいて動的に生成されるハイパーリンクを使った Web 閲覧方法である。近年、Web 検索を、単に Web ページを取得するためだけでなく、ある概念について理解したり学習したりする目的に利用

するユーザが増えている。しかし、従来の検索エンジンは、単に入力されたキーワードにヒットするページを検索するのみで、膨大な検索結果のリストが何の整理もされないまま提示され、クエリに関する概念を理解したいユーザにとっては使いにくいものとなっている。更に、ユーザの専門外の分野については、たとえ関連性が高くてユーザはキーワードすら思いつかず、重要な情報にたどり着けない場合も多い。我々の link-free browsing は、こうした問題の解決につながると期待される。

図 12 に、link-free browsing システムの概要を示す。Link-free browsing システムを使った Web 閲覧は、以下の様に行われる：

1. コンテンツ閲覧モード：
通常の Web ブラウザと同様に、Web ページの内容を閲覧する。
2. ビューポイントの選択：
コンテンツ閲覧モードで表示されている Web ページから興味のある語句を選択してハイライトすると、その語句から相関検索が可能な知識ベースが “ビューポイント” としてシステムから提示される。ユーザがあるビューポイントを選択すると、対応する相関マトリクスがシステムに設定される。
3. 意味相関ネットワーク閲覧モード：
システムは、ビューポイントに基づいて、ユーザが選択した語句から様々な分野への相関検索を実行し、意味相関ネットワークを生成する。また同時に、意味相関ネットワークの各ノードが示す概念語に対応する Web ページを、画面の下部にサムネイル表示する。ユーザがあるノードをクリックすると、そのノードに対応する Web ページがサムネイル表示される。このサムネイルをクリックすると、Web ページが表示されコンテンツ閲覧モードに移行する。

このように、link-free browsing では、静的なハイパーリンクによる通常の Web 閲覧と、相関検索による動的な意味相関ネットワークの生成・閲覧を切り替えながら、Web ページの閲覧と関連する概念の検索を繰り返し、段階的に理解を深めるような Web 閲覧が可能になる。

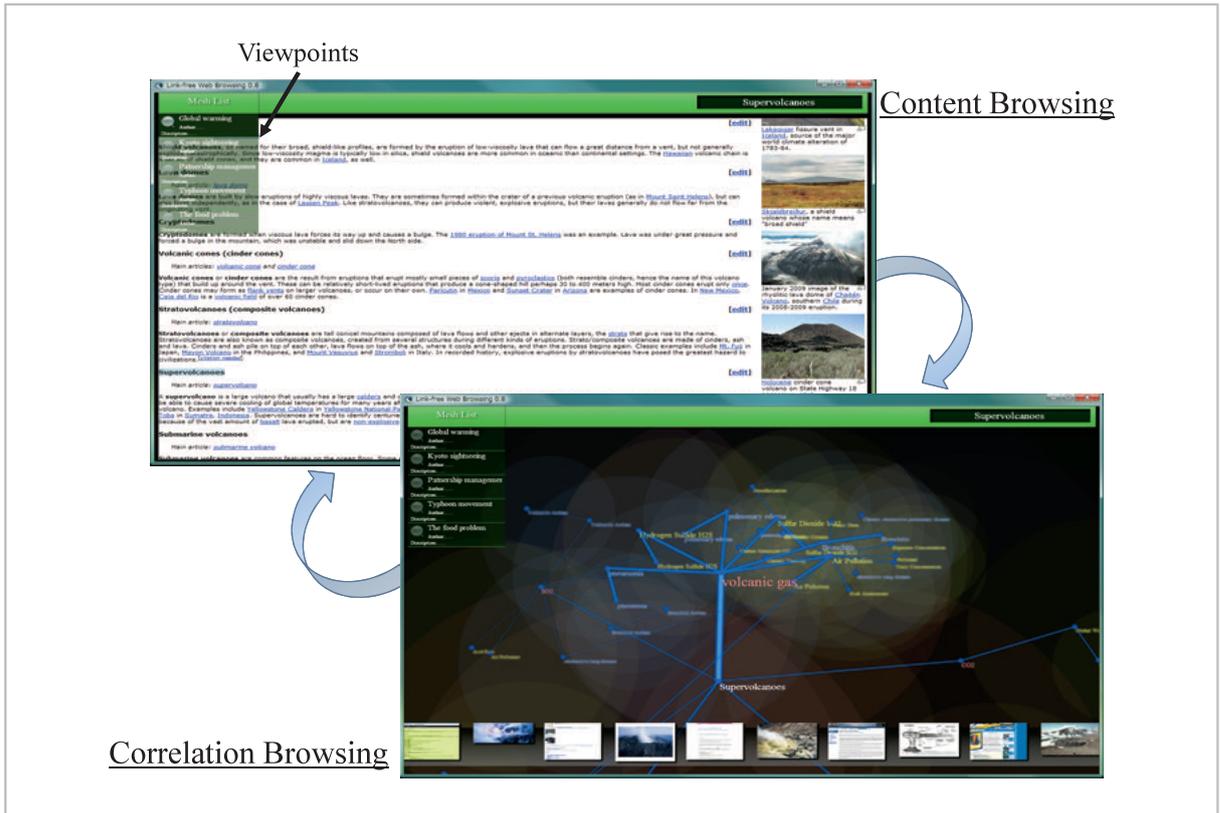


図 12 Link-free browsing システム

6 まとめ

本論文では、ナレッジ GRID 上に展開された異分野知識ベースを連結する方法について説明した。我々は、異分野知識ベースの連結に必要な 2 種類のナレッジ GRID サービス、すなわち intra operation サービスと inter operation サービスを定義し、これらを用いて意味相関ネットワークを生成し知識ベースを連結する方法を提案した。また、この方法を応用した link-free browsing システムについても述べた。これらにより、ユーザが与えたクエリキーワードにヒットする Web ページを検索する方法が主流である従来の Web 閲覧を、様々な分野への相関関係をたどりながら関連する Web ページを次々と閲覧する方法へと発展させた。提案手法により、既存の Web のリンク構造を内容の意味的な相関関係に基づいて再構造化することを考えている。

本技術は、書いてあることから抽出したり推論をしたりする、概念辞書やシソーラス、オントロジーとは違い、人間の相対的な思考能力を実装し

た相関による異分野 DB の連携である。クラウド時代の到来により、様々な企業や組織、思想や文化を分かち合うコミュニティにより様々なクラウドが乱立すると考えられる。そのときに、これらのクラウドを連携し、エンドユーザに新しい発見や優位なサービスを提供することを考えると、相関計量はこれから益々重要となってくる。これは、図 2 で示す GRID のノードをクラウドと見立てた世界であるとも解釈できる。

今後の課題としては、1) データからサービスへ対象を移し、2) サービス連携へ相関計量を用いる手法の提案、連続値データにおける相関計量、3) inter operation サービスの分散並列処理による実現などが挙げられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、慶應義塾大学環境情報学部 清木康教授には多大なご助言およびご指導を賜り、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1 T. Kitagawa and Y. Kiyoki, "The Mathematical Model of Meaning and its Application to Multidatabase Systems," Proc. 3rd IEEE International Workshop on Research Issues on Data Engineering: Interoperability in Multidatabase Systems, pp. 130–135, 1993.
- 2 Cannataro M and Talia D., "The knowledge grid: Designing, building, and implementing an architecture for distributed knowledge discovery," Communications of the ACM 2003; 46(1): 89–93.
- 3 Zhuge H., "Communities and Emerging Semantics in Semantic Link Network: Discovery and Learning," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 2009; 21(6): 785–799.
- 4 Wilkinson R and Smeaton A. F., "Automatic link generation," ACM Computing Surveys (CSUR) 1999; 31(4), No. 27.
- 5 Cleary C. and Bareiss R., "Practical methods for automatically generating typed links," Proceedings of the seventh ACM conference on Hypertext (HYPERTEXT '96), 31–41, 1996.
- 6 Stotts P. D. and Furuta R., "Dynamic adaptation of hypertext structure. Proceedings of the third annual ACM conference on Hypertext (HYPERTEXT '91)," 219–231, 1991.
- 7 Armstrong R, Freitag D, Joachims T, and Mitchell T., "WebWatcher: A learning apprentice for the World Wide Web," Proceedings of the 1995 AAAI Spring Symposium on Information Gathering from Heterogeneous Distributed Environments 1995; AAAI Press.
- 8 Lieberman H., "Letizia: An Agent That Assists Web Browsing," Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '95), 924–929, 1995.
- 9 Yan T. W, Jacobsen M, Garcia-Molina H, and Dayal U., "From user access patterns to dynamic hypertext linking," Proceedings of the fifth international World Wide Web conference on Computer networks and ISDN systems 1996; 1007–1014.
- 10 Zettsu K, Nakanishi T, Iwazume M, Kidawara Y, and Kiyoki Y., "Knowledge cluster systems for knowledge sharing, analysis and delivery among remote sites," Information Modelling and Knowledge Bases 2008; 19: 282–289.
- 11 Iwazume M, Kaneiwa K, Zettsu K, Nakanishi T, Kidawara Y, and Kiyoki Y., "KC3 Browser: Semantic Mashup and Link-free Browsing Proceedings of the 17th International World Wide Web Conference (WWW 2008)," 1209–1210, 2008.
- 12 Nakanishi T, Zettsu K, Kidawara Y, and Kiyoki Y., "Towards Interconnective Knowledge Sharing and Provision for Disaster Information Systems-Approaching to Sidoarjo Mudflow Disaster in Indonesia," Proceedings of the 3rd Information and Communication Technology Seminar (ICTS2007), 332–339, 2007.
- 13 Miller R. J, Haas L. M, and Hernandez M. A., "Schema Mapping as Query Discovery," Proceedings of the 26th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB2000), 77–88, 2000.
- 14 Doan A. H, Madhavan J, Domingos P, and Halevy A., "Learning to Map between Ontologies on the Semantic Web," Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web, 662–673, 2002.
- 15 Berry M. W, Dumais S. T, and O'Brien G. W., "Using linear algebra for intelligent information retrieval," SIAM Review 1995; 37(4): 573–595.
- 16 Deerwester S, Dumais S. T, Furnas G. W, Landauer T. K, and Harshman R., "Indexing by latent semantic analysis," Journal of the American Society for Information Science 1990; 41(6): 391–407.
- 17 Ui T. Ed., "Volcanic Hazards," University of Tokyo Press, 1997 (in Japanese).
- 18 Wikipedia (Japanese-language version), <http://ja.wikipedia.org/>
- 19 U.S. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/>
- 20 Global Volcanism Program, <http://www.volcano.si.edu/>
- 21 Volcano World, <http://volcano.und.edu/>

- 22 Environmental Protection, <http://www.eponline.com/>
- 23 MedicineNet.com, <http://www.medicinenet.com/>
- 24 Nakanishi, T., Zettsu, K., Kidawara, Y., and Kiyoki, Y., "SAVVY Wiki: A Context-oriented Collaborative Knowledge Management System," Proc. of ACM Intl. Symp. on Wikis and Open Collaboration (Wikisym2009), P. 106, Oct. 2009.

(平成 24 年 6 月 14 日 採録)



ぜつ つかおし
是津耕司

ユニバーサルコミュニケーション研究所
情報利活用基盤研究室室長
博士（情報学）
データベース、データ工学、情報マネ
ジメント、情報検索
zettstu@nict.go.jp



なか にしたかふみ
中西崇文

ユニバーサルコミュニケーション研究所
情報利活用基盤研究室研究員
博士（工学）
データベース、マルチデータベースシ
ステム、マルチメディアシステム、知
的財産権問題
takafumi@nict.go.jp