

■報告書■ 2004年度神奈川大学総合理学研究所助成共同研究

## 意味関係を有する大規模知識ベースに対する仮想3次元表示方法の研究

水越大介<sup>1</sup> 森本貴之<sup>1</sup> 藤原 譲<sup>2</sup> 後藤智範<sup>1,3</sup>

### Research for the 3-Dimensional Visualization Methods to a Large-scale Knowledge Base with Semantic Relations

Daisuke Mizukoshi<sup>1</sup>, Takayuki Morimoto<sup>1</sup>, Yuzuru Fujiwara<sup>2</sup> and Tomonori Gotoh<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Department of Information Science, Faculty of Science, Kanagawa University, Hiratsuka-City, Kanagawa 259-1293, Japan

<sup>2</sup> Research Laboratory of Fundamental Infology, Tsukuba-City, Ibaragi 305-0025, Japan

<sup>3</sup> To whom correspondence should be addressed. E-mail: gotoh@info.kanagawa-u.ac.jp

**Abstract:** Some research on information visualization for knowledge bases has been done in recent years. Lots of visualization methods for hierarchical structure have been developed in this research. We developed several visualization methods for large scale knowledge bases in which a lot of nodes form hierarchical structures, and also link in complicated semantic relations. The prototype program based on the methods has been implemented and coded in Java and Java 3D APIs. This paper outlines the methods and the program with some display samples.

**Keywords:** information visualization, 3-dimensional visualization, lexical knowledge base, hierarchical structure, Java 3D

#### 序論

昨今、電子化された情報は日を追って膨大になってきている。一方、これらの資料をどのように見やすく利用者に提示するか、またどれだけ検索しやすくするかという問題も生じる。

10年ほど前までは、コンピュータを使った情報検索は「文字」を用いておこない、その検索結果も「文字」で表示、印刷されるものがほとんどであった。それが現在では、コンピュータ・グラフィックス技術、ユーザ・インターフェイス技術、データ処理技術などを組み合わせ、情報の性質（情報の時間的変化、情報間の相互関係、膨大な情報量など）を考慮した「視覚化」が数多く提案されている<sup>1)</sup>。

階層構造をもつデータの中には、それとは別に意味関係を有するものも存在する。このような情報はそれぞれを2次元座標上に表示することは可能だが、その場合各々のデータの階層構造を意識しながら意味関係を視覚的に把握することは困難である。

本研究は、上述の問題を解決するために、意味関係を有する階層構造を仮想3次元空間に表示するための表示モデルの提案・実装・問題点について考える。なお、データとしてEDR電子化辞書中のEDR

概念辞書を使用する<sup>2)</sup>。

近年のCG技術の発達には目を見張るものがあり、映画やテレビでも見るができるように、実在のものと同じ見分けのつかない程、現実的な図が作りだせる。さらにCGの重要な点は、実在しないものも作り出すことができる点である。情報視覚化とはこうしたCG技術を駆使し、本来形も色もない情報に形や色を与え、人間の情報に対する理解を促進する研究である。研究そのものの歴史は20年ほどとそれほど長くはないが、現在では数値データやテキストなどの情報を視覚化する研究が各種機関において行われている。従来の計算機のように膨大な情報を無味乾燥な文字の羅列として表示するのではなく、これを図として適度に抽象化しつつ分かりやすく表示することができれば、計算機専門家はもちろん、一般の利用者にとっても情報システムはさらに使いやすくなるであろう。

階層構造を表現する主なモデルとしては以下のものが挙げられる。

1. 入れ子図形モデル
2. 円形配置モデル

### 3. 円錐形モデル

入れ子モデルは、データ全体が一定の範囲内に収まるという利点を持つ<sup>3,4)</sup>。しかし、単純な上位-下位関係しか表現できないため、この手法を本研究のテーマに採用するのは非常に困難である。円形配置モデルは、Web サイトのリンクなどネットワークの構造を表現するのに適したモデルである<sup>5-13)</sup>。しかし、構造全体をグラフとして捉えているために階層関係の認識に支障をきたす恐れがある。円錐形モデルは、高さ方向の配置位置で階層構造が表現されているので、他のモデルと比べ階層構造の把握が容易である<sup>14-19)</sup>。また、関連をノードとリンクで表現しているため、単純な上位-下位関係以外の関係も表現可能である。そのため、本研究においてはこのモデルを発展させたものがふさわしいと判断した。

## 結果

### 意味関係の仮想 3 次元表示手法

#### 1. 実験用データ

本題に入る前に、本研究で使用している EDR 電子化辞書についての説明を簡単に述べる。EDR 電子化辞書は、コンピュータによる先進的な言語処理のために開発され、単語辞書などのいくつかの大規模な個別辞書から構成されている。

本実験では、概念体系を表示するために、EDR 概念辞書を用いて実験を行う。EDR 概念辞書は、各概念を言葉で説明する概念見出し辞書と、概念間の関係を与える概念体系辞書、概念記述辞書の 3 辞書から成る。概念体系辞書は概念間の上位-下位関係を規定し、概念記述辞書はそれ以外の関係（意味関係）を規定するものである。

EDR 電子化辞書の上位-下位関係は、3aa966 という概念識別子を持つ概念をルートとし全部で 40 万以上の概念を持つ巨大な用語木である。また、多重継承を許しているため下位概念が複数の親を持つ場合もある。EDR 概念体系辞書では直接の上位-下位関係にある 2 概念のペアを一つのレコードとし、すべてのペアを列挙することにより概念体系を表現する。

意味関係とは、二つの概念の間に上位-下位以外の関係があることをいう。EDR 電子化辞書では、概念辞書の中の概念記述辞書にそのデータが存在する。一般にそのような関係には無数のものが考えられるが、EDR 概念記述辞書では動詞的概念が名詞的概念を支配する場合の格関係を中心に以下の 8 個の関係をを選び、この関係子によって関係づけられる概念のペアを列挙する。

agent	有意志動作を引き起こす主体
object	動作・変化の影響を受ける対象
a-object	属性をもつ対象
implement	有意志動作における道具・手段
cause	事象の原因、理由
goal	事象の主体または対象の最後の位置
place	事象の成立する場所
scene	事象の成立する場面

例えば、「りんごを食べる」という文に相当する意味関係表現として、

《食べる》 --object→ 《りんご》

という表現が得られるが、概念記述辞書では、ここに現れるそれぞれの関係を 2 つの概念間に成り立つ関係として取り上げ、記述する。

本研究では EDR 概念辞書に含まれる 3 辞書を、データの操作を容易に行うために 1 ファイルに統合した。概念体系辞書、概念記述辞書においてデータは関係のペアごとに保存されているが、本実験ではデータをより扱いやすくするために、概念単位でデータを扱えるようにした。また、40 万もの概念をすべて表示することは、視覚面においてもデータ読み込みにおいても得策ではない。そのため、表示する概念数の上限をあらかじめ定めることにした。

#### 2. 表示モデル

意味関係を仮想 3 次元空間上に表現する方法は色々考えられるが、本研究では「意味関係を持つ用語同士を、関係を示す色つきの線で結ぶ」という手法を用いた。しかしながら線のみでは関係子の区別ができないため、関係子は用語木とは別に、線の色と同じ 3D テキストを用いることで表現した。

しかし、表示される用語数を制限しているため、表示されていない用語と関係を持つケースも存在する（厳密には正しい定義とはいえないが、以後、表示されている用語間の関係を同一用語木内の意味関係、表示されている用語と表示されていない用語との関係を異用語木間の意味関係とする）。したがって、本研究で検討すべき表示モデルは以下の 2 種類である。

同一用語木内の意味関係の表示モデル  
異用語木間の意味関係の表示を行うモデル

下記では、これらの表示モデルについて述べる。

## 2.1 マルチコーンの表示

意味関係の表示モデルの説明に先立ち、用語木そのものの表示モデルについて簡単に説明する。

用語木は親の数だけコーンを表示するマルチコーン形式 (Cone Trees とほぼ同じ形式) で表示することとした。その表示モデルを以下に示す(図 1)。図の○や△などは用語木中の用語 (概念) である。これを元にして、意味関係の表示モデルを考える。なお、座標軸は特に断りがない限り、x 軸は左から右方向、y 軸は下から上方向、z 軸は奥から手前方向である。

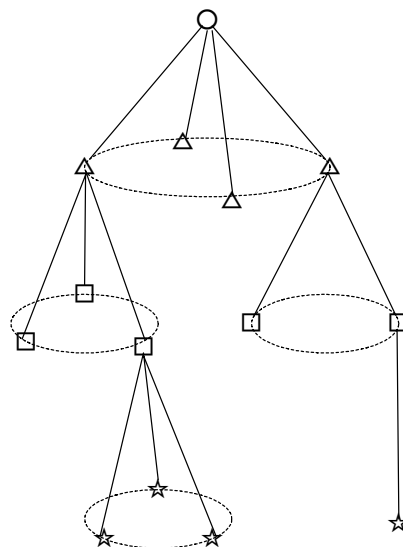


図 1. 用語木の表示モデル.

## 2.2 同一用語木内の意味関係表示モデル

まず、同一用語木内の意味関係の表示モデルは次のもの考えた(図 2)。以降、関係のある用語にあたる場所は黒塗り表示にしてある。図中の太いリンク線が用語間の関係を表す。リンク線は階層構造の線と同一である必要はなく、複数の階層をまたがる場合や、関係のある用語が別々のコーンにある場合や、同一階層上に関係が存在するケースも存在する。

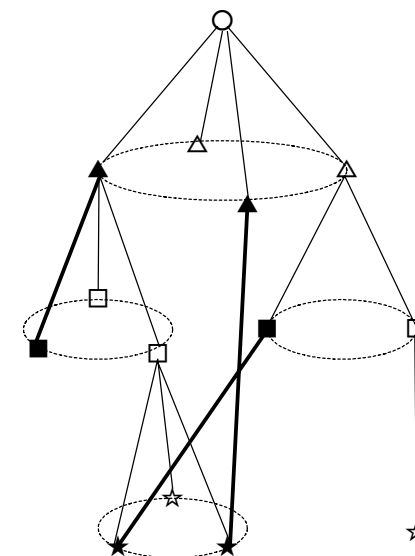


図 2. 同一用語木内の意味関係表示モデル.

## 2.3 異用語木間の意味関係表示モデル

次に、異用語木間の意味関係の表示を行うモデルを示す(図 3)。

この例では、3 階層目の用語の 1 つを指定している。そして指定された用語と関係を持つが元の用語木に存在しない用語を、この場合は用語木の右側に描画し (指定用語が用語木の左方にある場合は左側に描画する)、それらを色つきの線で結ぶ。描画された用語および線は横向きのコーンのような形状をなしている。

## 3. 表示モデルの実装

前節で構想した表示モデルを Java3D API を用いて実装を行った。

### 3.1 マルチコーン表示の実装

意味関係表示モデルの実装を説明する前に、マルチコーン表示の実装について簡単に説明する。まず、大まかな手順を以下に示す。

1. 用語木のデータをファイルから読み込む。
2. それぞれの用語について座標計算を行う。
3. 用語およびリンクのオブジェクトを該当する座標に配置する。

こうして表示されたものを図 4 に示す。この用語木は、概念識別子 359313 を根とした木を 2000 語表示した図である。概念識別子 359313 は、「情報を担う音や記号や文字」という概念説明である。EDR

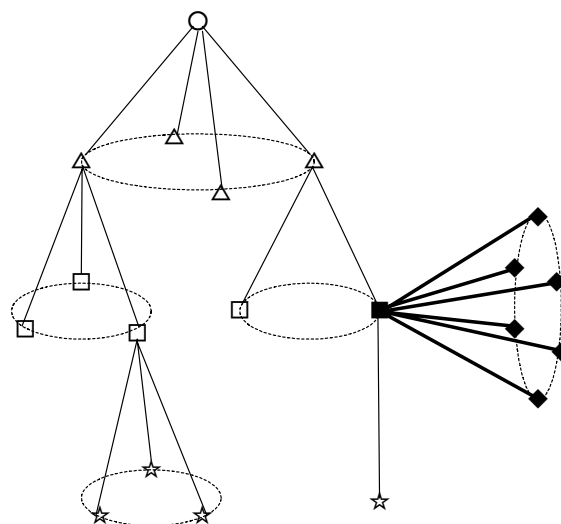


図 3. 意味関係表示モデル(2).

概念辞書ではあらゆる物事を記述しているため、このような見出し語として表現できない概念が多数存在する。本研究ではこのような概念を「--No name--」として表示する。

親ノードごとにコーンを作るマルチコーン形式を採用したことで、「どのコーンがどの親を持っているか」の判断が容易である。また、葉と内部節を区別しわかりやすくするため、葉を黄色に、内部節を赤に色づけを行った。

用語木の操作は、マウスのドラッグによる回転、移動、ズームが可能である。しかし、このうちの回転操作は  $xy$  両方の軸を中心に回転するため、やや癖があり全ての利用者にとって使いやすいものとはとてもいえない。そのため少しでも使いやすいするために、回転操作に関しては回転軸を固定して操作する機能を付加した。図 4 下部の「orbit …」というボタンをクリックするたびに、 $xy$  軸回転 →  $x$  軸回転 →  $y$  軸回転 → 回転操作禁止 →  $xy$  軸回転 → … というように回転軸を変化させることができる。

### 3.2 同一用語木内の意味関係表示の実装

まず、同一用語木内の意味関係の表示手順を以下に示す。

1. 仮想 3 次元空間上に用語木を表示する。
2. 用語木を巡回して関係のある用語の組を探し、関係を示す色つきのリンク線を描画する。
3. 色に対応する関係子名を表示する。

リンク線の描画には、関係を持つ用語の位置する座標を知る必要があるが、これらは用語木表示に使用されているものをそのまま使用できるので、改めて計算する必要はない。こうして意味関係を表示したものが図 5 である。図中の細い線は階層構造を示し、やや太目の色つきの線は意味関係を示す。また、関係子は右上に関係ノードと同じ色で示されている。

### 3.3 異用語木間の意味関係表示の実装

次に、異用語木間の意味関係表示の手順を以下に示す。なお、同一用語木内の意味関係は既に表示されているものとする。

1. 意味関係を表示したい用語を、用語木内の用語を直接クリックして選択する。
2. 指定された用語が異用語木の用語と関係を持つかを調べ、あれば関係を持つ用語の座標を計算し、描画する。

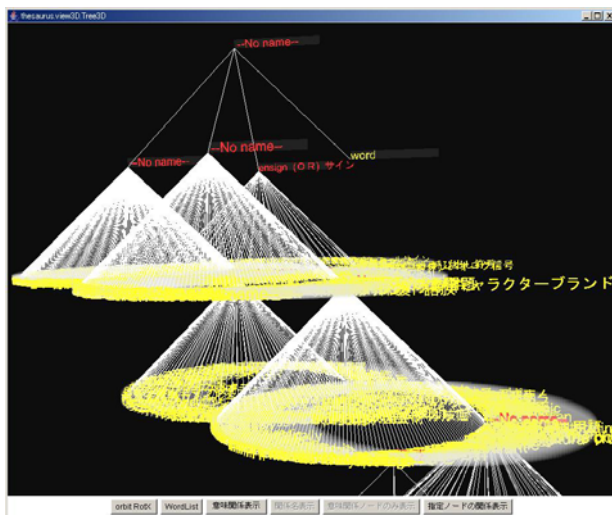


図 4. 用語木表示.

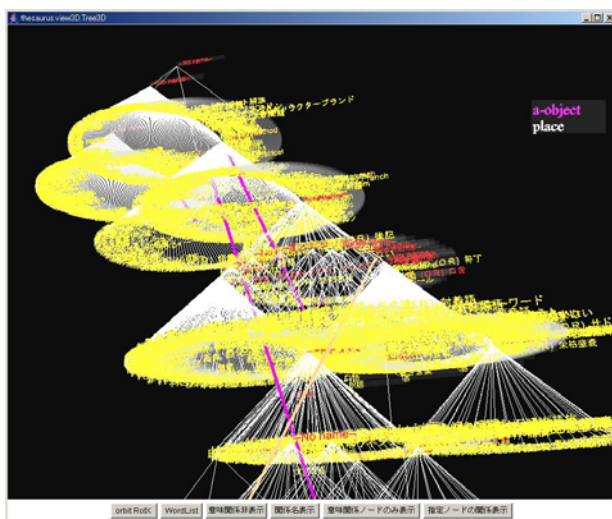


図 5. 同一用語木内の意味関係表示.

3. 指定された用語との関係を示す色つきの線を描画する。

まず、意味関係を表示したい用語の指定方法について説明する。本研究では用語木中の用語を直接クリックして指定する方法を選択した。

Java3D API には、ピッキングというマウス操作によって画面上のオブジェクトを操作・指定する機能がある。この機能を用いることで用語の指定が可能となるのだが、元々本研究で用語オブジェクトとして使われている Text3D クラスのオブジェクトは、ピッキング機能とあまり相性がよくない。同じ Text3D オブジェクトでもピッキングが可能なものとは不可能なものがあり、このままでは実用的とはいえない。そのため、Text3D オブジェクトの背景として四角形のポリゴンを追加した (図 6)。四角形ポリゴンは Text3D オブジェクトとくらべてピッキングが容易であり、動作も安定している。また、ポリゴ



図 6. 四角形ポリゴンの追加.

ンの透明度を高く設定すれば、用語オブジェクトの邪魔になることもない。ただし、Java3D API のポリゴンには片側の視点からは見えても、もう片方の視点からは見えないという性質がある。そのため、本研究ではポリゴンを両面に配置し、反対側から見てもポリゴンが消えないようにした。こうすることで視覚面での利便性も確保することができる。

用語を具体的に指定すると、その用語と関係する異用語木の用語と関係を描画する。描画を行うには、図 5 下部の「指定ノードの関係表示」ボタンをクリックすればよい（指定された用語が関係を持たないときは何も起こらない）。以降、指定された用語が異用語木の用語と何らかの関係を持つとして話を進める。

まず、異用語木の用語の座標計算を行う。ここでは 2 段階にわけて座標の計算を行う。

最初に、基準となる座標を定める。これは、y および z 座標は指定された用語と同じで、x 座標は同じレベルで最も x 成分の値が大きい（指定された用語が左寄りなら最も x 成分の値が小さい）座標とする(図 7)。

次に、それぞれの用語の座標を、先ほど求めた基準座標をもとに計算する。

$$\text{基準座標} : (\alpha, \beta, \gamma) \dots \dots \dots \text{(式 1)}$$

n 番目の関係する用語の座標 :

$$(x, y, z) \dots \dots \dots \text{(式 2)}$$

$$\text{基本ベクトル } \vec{v} = (x', y', z') \dots \dots \dots \text{(式 3)}$$

$$\text{回転角 } \theta = \frac{2\pi n}{N_i} \dots \dots \dots \text{(式 4)}$$

( $N_i$  : 指定用語と関係する用語の数)

$$(x, y, z, 1) = (x', y', z', 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \alpha \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & \beta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & \gamma \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots \dots \dots \text{(式 5)}$$

指定された用語の n 番目の関係する用語の座標を式 2 とする。まず、円錐の母線にあたるリンク線についての基本ベクトル  $\vec{v}$  (式 3) を定める (図 8)。次にあらかじめ調べた関係を持つ用語数から基本ベクトルの回転角を求め (式 4)、基準座標だけ平行移動した上で x 軸に対しての回転を行う (式 5)。なお、

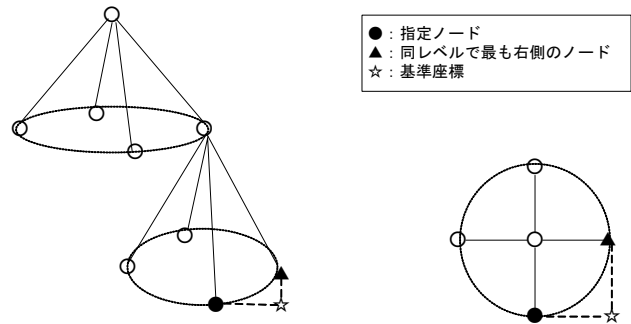


図 7. 基準座標の位置.

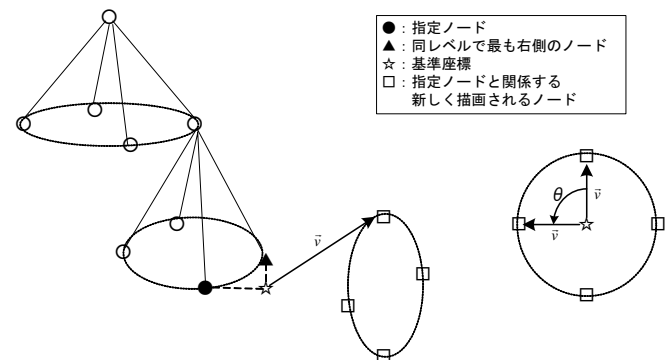


図 8. 座標計算の図.

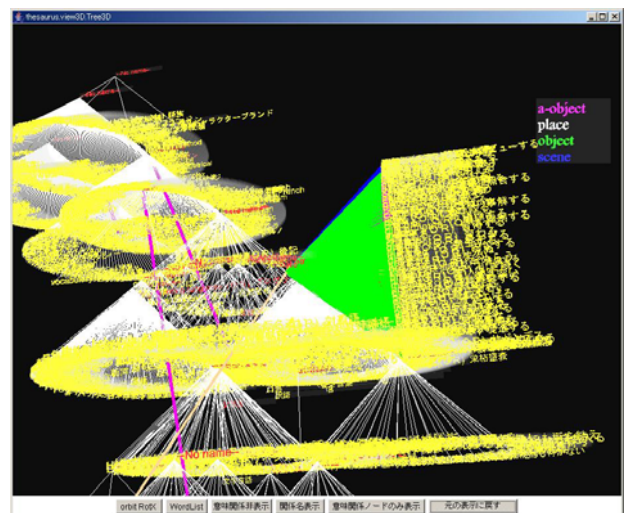


図 9. 異用語木間の意味関係表示.



図の基準座標から伸びている線はあくまでもベクトルであり、実際に描画される線とは違うことを明記しておく。

座標の計算が終了したら、それをもとに用語および関係リンク線の描画を行う。関係リンク線の描画方法については同一用語木内の関係表示のときと同じである。

すべての計算・描画が終了すると、図9のように関係が表示される。この図では、概念識別子318038の「ない」という用語を指定し、それと関係する用語をすべて表示し、色つきの線で関係を示したものである。

### 討論

#### 表示形式の改良

前章において表示したモデルは、意味関係と関係のない数多くのノードが利用者の邪魔になり、意味関係および階層関係の把握に支障をきたす問題がある。また、異用語木間の意味関係表示においては、用語そのものの選択が困難なことや、大量のオブジェクトが描画されると用語指定のピックアップの処理にかかる時間が長くなる問題点がある。本節ではこのことに関する改善策を述べる。

#### 不要ノードの削除

まず、意味関係の把握を容易にする手法として、意味関係を持たないノードをすべて取り除いて表示する手法を挙げる。具体的には、以下の条件を満たさないノードをすべて取り除いて意味関係を表示する。こうすることにより、階層関係を崩すことなく意味関係をよりわかりやすく表示することができる。

「用語木中または外に関係を持つ用語があるか、それらの用語の親となる概念」

図10は、前章の例と同じ概念識別子359313を根とし用語総数を6000に増やした木を、意味関係表示後に不要なノードを除去し、用語数を100強まで減らして表示したものである。

前章の図5、図9と比べると、ノード数が減った分関係を持つ用語がより目立つようになり、意味関係がより理解しやすくなったといえる。また、オブジェクト数の減少によりピックアップの処理に要する時間も減少した。

このため、用語の指定も全体表示時よりも格段に行いやすくなった。図11は、概念識別子104126の「English」という用語を選択し、その用語と関係する用語木外の用語および関係を表示したものである。

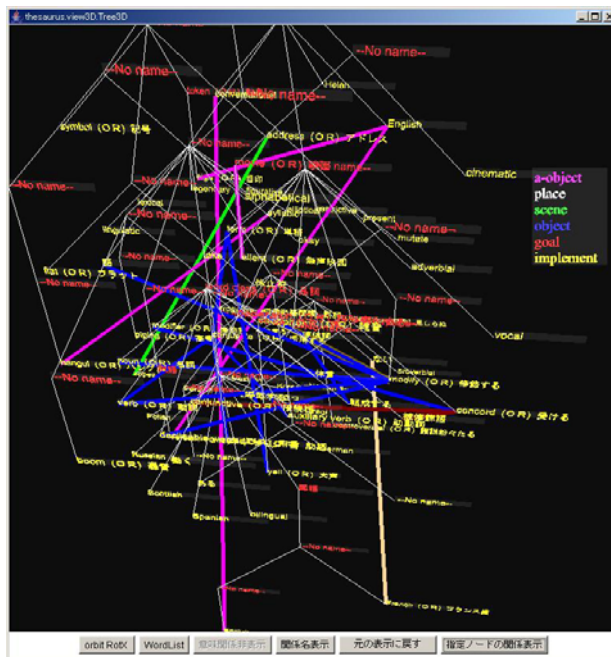


図10. 同一用語木の意味関係表示(不要ノード除去).

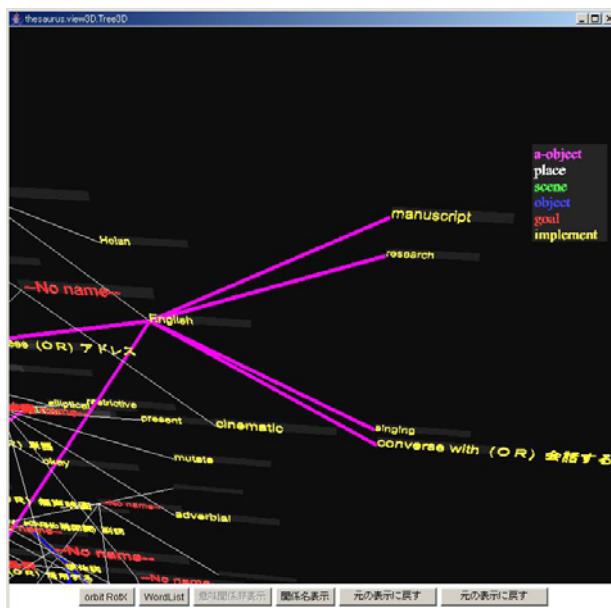


図11. 異用語木間の意味関係表示(不要ノード除去).

#### コーンの重なりへの対処

前節の手法により、用語木を全体表示させていたときと比べるとだいぶ見やすくなったが、それでもなお用語が見づらい箇所がかなり見受けられる。その理由は、コーン同士が複雑に重なり合い、階層構造の視覚的な理解を妨げているからである。

これを解決する手法の1つは、コーンの半径を階層ごとに変化させる(普通は、下位にいくにしたがって半径を小さくすることである。しかし、この手法は本研究ではまだ採用していない。というのも、これを用いて下位階層より座標を計算して重なりを完全になくすことは可能であるが、こうした場合用語

木の大きさが過度に巨大化し、そのために画面上の情報量が極端に減り、仮想 3 次元空間上にデータを描画する意味がほとんどなくなってしまう可能性が高いからである。しかしながら、過度に使用しなければ有用な手法であることは事実である。この手法を本研究に利用する方法は将来の課題とする。ここではそれと全く別の観点で、コーンの重なりを減少させる手法を提案する。

ありがちなケースとして、同じコーンの中に内部節が複数あり、それらが隣接しているためにコーンが重なってしまうことがある。それを改善する方法として、図 12-14 の表示モデルを挙げる。

図 12 は、葉を内側のコーンに、内部節を外側のコーンに配置する、いわば「二重コーン」の形にノードを配置したものである。図 13 は、1 つのコーンの中で内部節が最も離れるようにノードを配置したモデルである。図 14 は図 12 のような「二重コーン」であるが、葉のコーンと内部節のコーンの高さを変えたモデルである。以下、それぞれのモデルを(1)、(2)、(3)とする。

これらのモデルの基本的な考え方は次の通りである。もし内部節が同一コーン上において隣同士に配置されていたとすれば、それらを親を持つコーン同士の重なりは避けられない。そのため、内部節同士を遠ざけるように配置すれば、コーンの重なりを減少させることができるのではないかと考えた。

そうして最初に考えたのが(1)のモデルである。しかし、この手法では新たな問題が生じる。図 12 を見てわかるように、内側の葉と外側の内部節がほぼ重なってしまうことがある。ノード数が少なければ位置をずらすことで対応することは可能である。ところが、数が多くなるとそうはいかない。そこで、図 12 を改良した(2)、(3)といったモデルを考えた。

(2)のモデルは、本来の目的を考えれば何も「二重コーン」にする必要はない、内部節さえ離ればコーンの重なりは減少できるという考え方である。表示そのものは従来のモデルと変わらないため、現在のシステムからの変更が容易であるという利点もある。

(3)のモデルは、高さをずらすことで(1)の問題点を解消しようと考えたモデルである。葉と内部節の位置関係を逆にすることも考えたが、内部節側のコーンの半径を大きくしたほうが下のレベルにおけるコーンの重なりを少なくすることができると考えた。

しかしながら、この節で挙げてきたモデルにはいくつかの問題点がある。それを以下に挙げる。まず、共通する問題として挙げられるのは、コーン中に順序関係がある場合、それが崩れてしまうことである。特に(2)のモデルについては、内部節が葉の

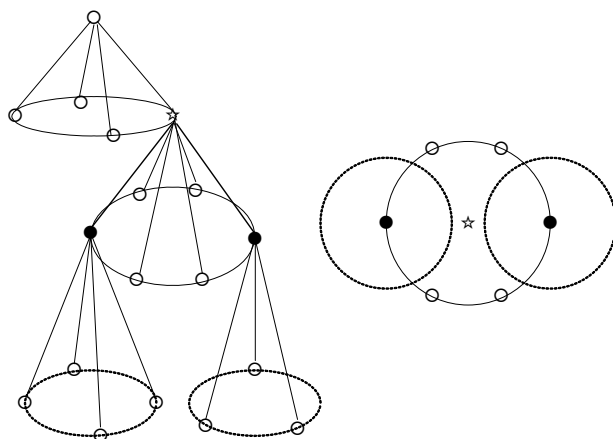


図 12. コーンの内重なりを減少させるモデル(1).

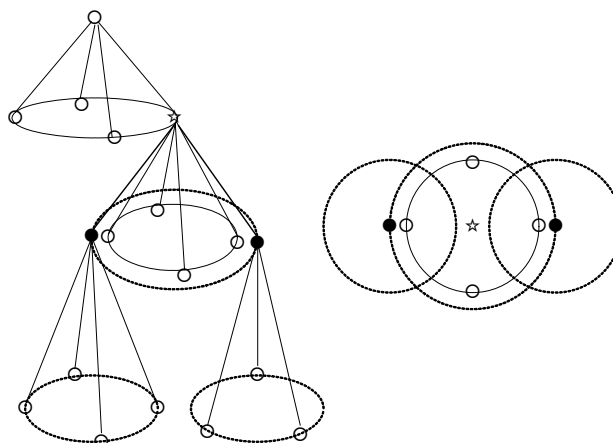


図 13. コーンの内重なりを減少させる表示モデル(2).

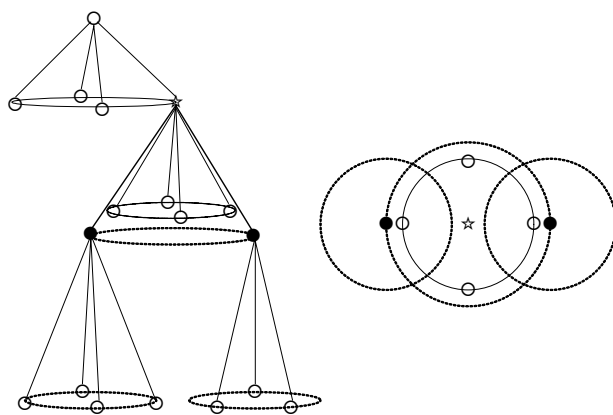


図 14. コーンの内重なりを減少させる表示モデル(3).

間に割り込む形になるため、より深刻である。順序を意識せずに関係を把握したい場合は特に問題はないが、順序関係が重要視される場合は問題である。また、内部節の数そのものが多い場合はあまり効果が期待できない。その場合はノード数、あるいは内部節数そのものを制限しないと利用者にとって見やすい表示形式にはならない。

また、(1)や(3)の「二重コーン」を採用しているモデルでは、実際は同じコーンなのに葉と内部節が別々のコーンに属していると捉えられてしまう恐れがある。特に(3)はコーンの高さが違うために、別々の階層であると見られてしまう可能性すらある。それに加え、高さがずらしてあるとはいえ、葉が多ければ内部節の上方の視界をさえぎり、確認をしづらくなる原因にもなる。

以上の点を考えると、コーンの重なりを避けるモデルとしては、順序を意識することがなければ(2)が最適といえる。しかしながら、これらのモデルは実際に表示して検証したわけではなく、「二重コーン」のモデルにもコーンの重なり減少以外の利点が存在する可能性もある。このあたりについては今後の研究課題としたい。

## 終わりに

本研究では、Java3D を用いて EDR 概念辞書のデータをもとに概念の意味関係を階層関係と共に 3次元情報視覚化するという試みを行った。その結果、階層関係上に意味関係を表示させることに成功したものの、それと関係する様々な問題点も浮かび上がってきた。それらの多くは意味関係表示というよりは階層関係表示に関するものであった。将来的により利用しやすいモデルを目指すためには、ノード配置方法の改良など階層関係表示に関するさらなる修正を行っていかねばならないと考えている。

## 文献

- 1) 増井俊之 (1999) 情報視覚化の研究動向. ヒューマンインターフェース学会誌 2(3):189-192.
- 2) EDR Home Page : [http://www2.nict.go.jp/kk/e416/EDR/J\\_index.html?](http://www2.nict.go.jp/kk/e416/EDR/J_index.html?)
- 3) 暦本純一 (1994) InformationCube: 半透明表示を用いた 3次元情報視覚化技法. インタラクティブシステムとソフトウェア I. 日本ソフトウェア科学会 WISS'93. pp.1-8.
- 4) 伊藤貴之, 山口裕美 (2002). 「データ宝石箱」による情報視覚化. 第4回創造的研究のための大規模データマネジメントシンポジウム 2002. pp.1-8.
- 5) Lamping J and Rao R (1994) Laying out and visualizing large trees using a hyperbolic space. In: *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology* 1994. pp.13-14.
- 6) Lamping J, Rao R and Pirolli P (1995). A focus context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies. In: *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'95)*.
- 7) 稲田徹悟, 大野義夫 (1999) グラフモデルによる大規模データの表現法. 情報処理学会研究報告「グラフィックスとCAD」, No.096-011. pp.61-66.
- 8) Munzner T and Burchard P (1995) Visualizing the structure of the world wide web in 3D hyperbolic space. In: *Proceedings of VRML '95, Special Issue of Computer Graphics*. pp.33-38.
- 9) Munzner T (1997) H3: Laying out large directed graphs in 3d hyperbolic space. In: *1997 IEEE Symposium on Information Visualization*. pp. 2-10.
- 10) Munzner T (1998) Exploring large graphs in 3D hyperbolic space. *IEEE Computer Graphics and Applications* 18(4):. pp.18-23.
- 11) Munzner T (1998) Drawing large graphs with H3viewer and site manager (system demonstration). In: *Proceedings of Graph Drawing '98, Lecture Notes in Computer Science 1547*. pp. 384-393.
- 12) skitter : <http://www.caida.org/tools/measurement/skitter/>
- 13) URLGRAPH : <http://www.comp.lancs.ac.uk/>
- 14) Robertson G, Mackinlay J D and Card S K (1991) Cone Trees: Animated 3D visualizations of hierarchical information. In: *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'91)*. pp.189-194.
- 15) 小池英樹, 吉原大敬 (1994) 対話型システムにおける大規模階層構造視覚化へのフラクタルの応用. 情報処理学会論文誌 35(12): 2703-2711.
- 16) 山口裕美, 藤代一成, 高橋成雄, 堀井秀之 (2002) 拡張 ConeTrees 技法による DAG 情報の可視化. In: *Visual Computing グラフィックスとCAD合同シンポジウム 2002*. pp.1-6.
- 17) 山口健太郎, 船戸康徳, 藤代一成, 堀井秀之 (2003) 社会問題の解決に資する事実の明示化手法の構築. *社会技術研究論文集*, Vol.1. pp.9-15.
- 18) Hearst M and Karadi C (1997) Cat-a-Cone: An interactive interface for specifying searches and viewing retrieval results using a large category hierarchy. In: *Proceedings of the 20th Annual International ACM/SIGIR Conference*.
- 19) 大隈隆史, 竹村治雄, 片山喜章, 岩佐英彦, 横矢直和 (1995) 順序付き階層構造情報の三次元視覚化の一手法. 情報処理学会研究報告「ヒューマンインターフェース」, No.063-003. pp.13-18.