

# 階層的因果関係の可視化

我妻 静香      藤代 一成      堀井 秀之†

お茶の水女子大学 大学院 人間文化研究科

† 東京大学 大学院 工学系研究科

## 1 背景と目的

何らかの問題に直面した場合、効果的な対策を講じるには、問題を引き起こす要因を抽出し、分析することが必要である。特にさまざまな要因が複雑に関連している場合には、問題の構造を視覚化することが重要になる。視覚化する際に、要因間の因果関係だけでなく、要因を内容で分類・整理して提示することは、問題の分析に有効であると考えられる。要因を分類・整理すると、内容の抽象度による階層構造が得られる。そこで、本研究では、因果関係をもつ問題を効果的に可視化するために、階層的な因果関係の可視化技法を提案する。

階層構造の可視化技法に関しては、これまでに数多くの研究がなされ、ConeTrees[1] や DiskTrees[2] などの主要な情報可視化技法が確立されている。

一方、因果関係を可視化する技法に関しては、ソフトウェアシステムの処理の流れや論文の参照関係などを対象として研究されてきた。近年、因果関係を可視化するシステムとして発表された Growing Polygons[3] も、ソフトウェアシステムの処理の流れを対象とし、アニメーションを利用して因果関係を可視化する。しかし、このような対象にみられる因果関係を可視化する技法は、要因間の時間的な順序関係を仮定しているため、そのままでは一般的な因果関係の可視化には不向きである。

階層的な因果関係を可視化する技法は、近年 Fekete[4] らによって発表された技法を除いてほとんどない。Feketeらは、階層構造を表現する TreeMaps[5] 上に、因果関係を示す2次元のベジエ曲線を表示した。しかし、因果関係と階層構造をともに2次元で表示するため、曲線によって隠された階層構造の認識が困難である。

階層的な因果関係をもつ問題には、因果関係と階層構造の異なる2種類のリンクが存在するため、問題の全体像の視覚化では、リンクどうしが重なり合うクラッタリングが生じやすくなる。そこで本研究では、効果的な視覚的探索環境を実現するために、ユーザの探索要求に応じて、2次元表示と3次元表示を切り替えることができる可視化技法を提案する。本稿では、提案技法を用いて可視化するシステムのプロトタイプを実装する。

## 2 システムの設計

### 2.1 対象データ

問題に関連する複数の要因間における因果関係と、各要因を分類・整理することから得られる階層構造を可視化する。各要因は、問題との直接的なかわりを示す関連度を属性にもつ。

因果関係は、一方が原因となりもう一方が生じる2つの要因間の関係である。非対称な関係であるため、向きを考慮する必要がある。また、関連の強さを示す関連度を属性にもつ。

階層構造は、因果関係をもつ要素を最下位層とする木構造である。

### 2.2 可視化技法

#### 2.2.1 因果関係

要因をノードで表現し、因果関係をリンクで示す。要因と問題との直接的な関連度をノードの色で表示する。クラッタリングを軽減するために、2つのノード間に別のノードが存在しないようノードを環状に配置する(図1)。リンクは、関連度に応じた高さをもつ3次元の曲線で表し、明度変化や非対称形状を用いて向きを表現する。



図1: 因果関係

#### 2.2.2 階層構造

階層構造は、2次元と3次元の2種類の表示技法により可視化する。表示の切り替えは、ユーザの解釈の妨げにならないよう、アニメーションを用いて連続的に行う。3次元表示:

最下位層が一番上になるように、3次元の木構造を逆さまに表示する(図2)。因果関係を示す水平方向のリンクに対し、垂直方向に階層構造を3次元的に示すことで、因果関係を示すリンクと階層構造を示すリンクのクラッタリングを軽減する。視点移動により、因果関係と階層構造がそれぞれ大局的に把握できる。

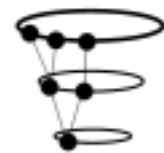


図2: 3次元表示

2次元表示:

DiskTreesを応用して、階層構造を同心円状に2次元で表示する(図3)。上位階層ほど、中心から外側へ示すことで、因果関係を示すリンクと階層構造を示すリンクのクラッタリングを軽減する。上位階層の大局的な把握は難しくなるが、特定のノードに関連する階層構造の把握が容易になり、因果関係の大局的な把握が可能である。



図3: 2次元表示

### Heirarchical Causality Visualization

Shizuka Azuma, Issei Fujishiro, Hideyuki Horii†  
Graduate School of Humanities and Sciences

Ochanomizu University

2-1-1 Otsuka, Bunkyo-Ku, Tokyo 112-8610, Japan

† Graduate School of Engineering

The University of Tokyo

7-3-1 Hongo, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-8654, Japan

## 2.3 機能

視覚的探索により洞察を得るためには、ユーザの積極的な対話操作が不可欠である。Shneiderman[6]が情報可視化システムの必要条件とした4つの機能にそって、本システムの情報探索機能を示す。

**Overview:** 構造を大局的に把握するために、視点を遠ざけて全体を表示する。

**Zoom:** 特定のノードやリンクに注目するために、視点移動を可能にする。

**Filtering:** 特定の情報を抽出し、効果的な探索を実現するために、問題との直接的な関連が低い要素や関連度の低い因果関係を、単純化または非表示にする。

**Details-on-Demand:** 視覚的探索により得た直感的理解を補助するために、ユーザの要求に応じ、各要素や因果関係を説明するテキストを表示する。

## 2.4 インタフェース

対話的操作により、ユーザは、表示されている内容を直前の内容と比較しながら解釈する。そのため、操作を単純化し、現在の状態を明示することは、ユーザの負担を軽減し、対話的操作を促すため、効果的な操作環境を提供できると考えられる。実際には、以下の機能を提供する。

**ボタン操作:** 使用頻度の多い視点移動などを行う。

**インディケータ:** 関連度に対応する色などの属性、機能の状態を示す。

**サブウィンドウ:** 2次元表示と3次元表示のうち、利用していない方の技法による可視化結果や、構造を大局的にとらえる視点から可視化した様子を表示する。

**ストーリーウィンドウ:** 特定の要因とその要因に対し推移的な因果関係をもつ要因を、要因を説明するテキストとともに流れ図で提示する。ある要因を原因として引き起こされる要因や、ある要因を引き起こす原因になる要因、あるいは、ある要因からある要因が引き起こされる過程を連鎖的な関係を含めて示す。

## 3 システムの実装

### 3.1 対象データ

近年多発する企業の問題隠蔽などの不祥事は、多くの要因が複雑に関連して生じている。本稿では、ある企業の不祥事に注目し、問題に潜む階層的因果関係を可視化する。要因は新聞記事から抽出され、問題との直接的なかわりをする関連度が4段階で与えられる。要因間の因果関係は、関連の強さに応じ、関連度が4段階で与えられる。階層構造は、各要因の分類・整理により、内容の抽象度に応じた3階層にまとめられている。

### 3.2 機能

本システムのプロトタイプとして、階層構造を3次元の木構造で可視化し、機能の一部を実装した。

因果関係を示すリンクは、形状を図4のような3タイプから選択できる。高さで関連度を示し、左から右に向かうリンクである。(a)は明度で向きを表現し、

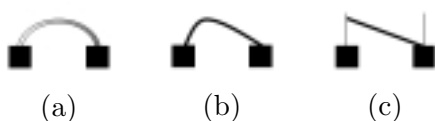


図4: 因果関係のリンク形状

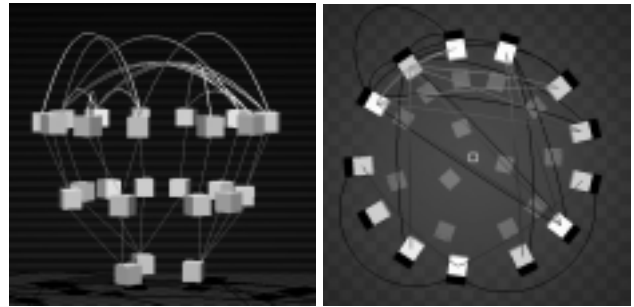


図5: 3次元表示(横) 図6: 3次元表示(上)

(b)と(c)は形状で向きを表す。

空間に床を設置し、ノードとリンクの影を投じて、3次元空間の認識を助ける(図5)。因果関係のある要因からなる階層だけに注目する場合には、床を上方に移動させ、上位の階層を床の下に配置してグレーで表示する。床は透明度をもち、床に映る影により単純化した上位の階層を示す(図6)。上位の階層や影は非表示にできる。

さらに、ノードをマウスで選択することで、要因の名前をラベルとして表示する。

## 4 まとめと今後の課題

階層的な因果関係を可視化する技法を提案し、その機能の一部を実現するプロトタイプを実装した。今後は階層構造を2次元で可視化する技法を実装する。また、ストーリーウィンドウを実装し、インタフェースを充実させる。さらに、ノード配置の対話的操作として、リンクの交差回数を極小化し、構造を効果的に示す大局的な自動整列と、アニメーションを利用した局所的な移動を実現する。

## 謝辞

本稿の一部は、社会技術研究イニシアティブ・ミッションプログラム(文部科学省出資金事業、研究統括小宮山宏)の成果である。

## 参考文献

- [1] G. G. Robertson, J. D. Mackinlay, and S. K. Card: "Cone Trees: Animated 3D Visualizations Hierarchical Information," In *Proc. CHI'91, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, pp.189-194, 1991.
- [2] E. H. Chi and S. K. Card: "Visualizing the Evolution of Web Ecologies," In *Proc. CHI'98, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, Los Angeles, pp.400-407, 1998.
- [3] N. Elmqvist and P. Tsigas: "Causality Visualization Using Animated Growing Polygons," In *Proc. IEEE InfoVis '03*, pp.189-196, 2003.
- [4] J. D. Fekete, D. Wang, N. Dang, A. Aris and C. Plaisant: "Interactive Poster: Overlying Graph Links on Treemaps," In *Poster Compendium of IEEE InfoVis '03*, pp.82-83, 2003.
- [5] B. Johnson and B. Shneiderman: "Tree-Maps: A Space-Filling Approach to the Visualization of Hierarchical Information Structure" In *Proc. IEEE Visualization'91*, pp.284-291, 1991.
- [6] B. Shneiderman: *Designing the User Interface Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley, 3rd edition, 1998, Chapter 15.