

木構造の波紋表現 —時系列とカテゴリの同時表現手法—

石原 正樹 三末 和男 田中 二郎

筑波大学大学院 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻

本論文では、木構造の表現法に、ノード間の経過時間に対応したエッジ長と、カテゴリや関連度に対応したエッジの角度の2つの対応付けを導入した新たな表現法の提案を行う。筆者らはこの表現法を「波紋表現」と名付けた。この表現は、その名の通り水面に広がる波紋のように、発生点（親ノード）を中心として子ノードの情報が古くなるに従って、外側へ遠ざかってゆく。この波紋表現では、従来の木構造の階層表現やリスト表現では難しかった、時系列と内容のカテゴリの同時表現を実現している。これにより、ユーザの視点から全体的に情報を把握でき、目的情報の効率的な発見が容易となる。具体的に、Web上のRSSをリソースとして利用し、ニュースサイトから配信されるニュース記事とトラックバックよりニュース記事にリンクしたウェブログ記事を波紋表現によって視覚化した。

Ripple Presentation for the Tree Structures with Time-stamps and Categorized Information

Masaki Ishihara Kazuo Misue Jiro Tanaka

Department of Computer Science, University of Tsukuba

"Ripple Presentation" is a new method of representation for the tree structures using the feature of the ripples. That is, as time passes, the older time of information becomes (historical information), the more the location of information goes away from the center, where new information was positioned first. This is the concept of our layout design. On the basis of this concept, "Ripple Presentation" has two features for drawing graph. One is representation of categories of nodes by the angles of edges. The other is representation of the time-stamps of nodes by the length of edges. We can express both the time-stamps and the categories by using the method. As an example, we visualized the latest articles of News sites and the trackback links of Weblog articles by the Ripple Presentation using RSS on Web as a resource.

1 はじめに

インターネット上で目的の情報を探し出す作業は、非常に時間と労力がかかる。たとえ検索エンジンで関連するWebサイトのリストを得ることができたとしても、その中から最新の情報を探すのは難しい。特に、情報の“新しさ”に価値がある場合には重要な課題である。

近年、RSS(Rich Site Summary)を配信するWebサイトが増えてきた。RSSを利用することにより、Webサイトの見出しや要約、更新情報などのメタデータを統一的に解析することが可能になった。例えば、RSS Readerを使うことで、複数のサイトの更新情報を手軽に見ることができる。しかし、ユーザの知りたい情報がすぐ見つかるとは限らない。なぜなら、取得した情報は発信時刻順でリスト表示されるか木構造の階層表現で表示される場合が多く、数ある記事の中から知りたいカテゴリの最新記事だけを見つけるには、やはり時間が掛かる。ユーザが興味を持っているカテゴリの情報でかつ、最新のものを

瞬時に見つけるためには、表現法を改善する必要があると考えられる。

本研究では、インターネット上の大量な情報を、わかりやすく分類し、かつ最新の情報を見つけ出すという課題に、視覚化というアプローチを採った。

情報を分類する方法として、木構造が広く利用されている。例えば、JAVAのクラス階層図、組織図、系統図といったように、その活用場面は多岐に及ぶ。木構造の利点は、情報を分類できることである。

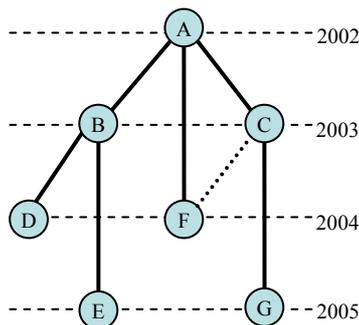
筆者らは、新しい情報を中心に配置し、その情報をもつ時刻（履歴）が古くなるのに従って、中心から離れて行くという波紋の特徴を利用した表現手法「波紋表現」を提案する。対象とするデータ構造は、木と同様であるが、表現の方法が次の二点で違いがある。

1. 最新の情報は、親ノードの近傍に配置される。
2. 子ノード間の関係は、親ノードからのエッジ角度で表現される。

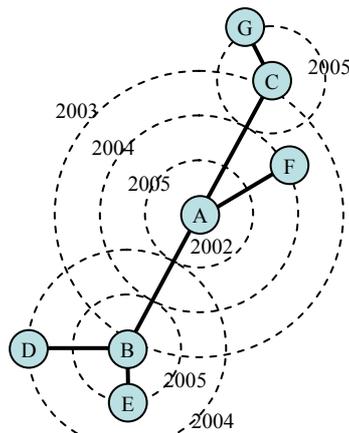
2 波紋表現の概要

波紋表現のコンセプトは「新しいものは近くに、古いものは遠くに配置する」ことである。これは、波紋が広がる特徴を利用しており、ゆえに波紋表現と呼ぶ。

系統図に代表されるように、従来の木構造の時系列階層表現は図1(a)のように、時系列の階層がルートからリーフに向かって平行に表現される（ここでは、ノードC-F間の点線は無視をする）。これに対し波紋表現では、図1(b)のように時系列階層が各部分木の親ノードを中心とした同心円（波紋）で表現される。



(a) 時系列階層表現



(b) 波紋表現

図1: 木構造の時系列階層表現と波紋表現との比較

2.1 特徴

波紋表現は、時系列階層表現と比較して階層の順番が異なっている。木構造の時系列階層表現の場合、ルートからリーフ方向へ向かって古い時刻から新しい時刻へと順番に配列される。一方、波紋表現では、各部分木の一番古いリーフの時刻から親ノード（中心）に向かって新しくなってゆくように配置される。ただし、親ノード位置のみノード生成時刻とする。すなわち、時系列階層の並びが時系列階層表現と逆になっているのが特徴である。

自然界にも波紋や木の年輪のように、波紋表現と同様の時系列の並びを様々な場所で見ることがで

きる。基本的に、時間の経過とともに成長する性質を持つものが、こうした時系列階層の形をとる。年輪の間隔は成長周期の1年であるし、波紋の間隔は周波数の逆数に比例している。両者とも周期は様々であるが、間隔が一定周期でかつ同心円状に広がってゆく点が共通となっている。

波紋表現においても、各波紋の周期はすべて同じである。この表現では、波紋とノードが同期しており、ノードの生成時刻と波紋の発生時刻が同じである場合、波及してゆくその波紋上にそのノードが配置される。波紋の中心には、親ノードが配置され、ある一定間隔で同心円状に波紋が発生する。すなわち、同一波紋上にあるノードは、すべて同じ時刻に発生したノードを表している。

2.2 利点

波紋表現では、各波紋の周期が分かれば、ある時点から最も古い時間までの履歴を視覚的に把握することが可能となる。さらに、波紋の周期を変化させることで、様々な時間周期で情報を整理することができ、情報のもつ周期性や出現頻度といったことが分析可能となる。

木は、閉路をもたないグラフである。さらに、ルートを決めた場合、階層をもった有向木となる。例えば、組織図の場合には、各階層は組織の単位を表し、系統図の場合には、年代を表す。有向木を時系列階層で表現した場合、最新の情報は常に最下層に配置される。一方、波紋表現の場合は、最新情報は常に親ノードから見て最上層に配置される。すなわち、最新の情報を知りたいときは波紋の発生点（親ノード）の近傍に注目するだけでよい。

波紋表現では、木の構造上、表現することができなかった、リーフ同士のリンク関係を角度として表現できる。例えば、図1(a)の点線で示したように、ノードFとノードCの間に意味的な繋がりがあった場合、波紋表現では図1(b)に示したように、角度的に近い場所に配置して、このリンク関係を表現することができる。実世界の情報は、複数の属性を持つことがあり、木のように明確に構造化できる場合が少ない。このように“見えないリンク関係” [1]も視覚化することが重要である。

3 レイアウト手法

本章では、波紋表現で木構造データを表現する方法について詳しく述べる。まず、対象とするデータのモデル化を行ってから、波紋表現によるグラフのレイアウト手法を詳しく説明する。

3.1 履歴情報を持った根付き木

本システムで対象とするデータは、履歴情報をもった根付き木である。この根付き木は $G = (V, E)$ で

与えられ、エッジの集合 $E \subset V \times V$ とノードの集合 V で構成されている。また、子ノードにリーフノードしか持たないノードを根とする部分木を G_{sub} と表記する。さらに、本システムで扱う根付き木の各ノード $v \in V$ は履歴情報として生成時刻とカテゴリの2つの属性を保持している。したがって、 V は時系列データとなっている。また、 v の生成時刻を $d(v)$ と表記する。

3.2 描画規約

描画規約は、グラフの描画に際し、必ず満たされるべき制約である。波紋表現の描画規約を文献[2]に倣って、3つの要素規約で説明する。

3.2.1 配置規約

G_{sub} の波紋表現の配置規約は、同心円配置である。従って、 G_{sub} の入れ子構造である G の波紋表現の配置規約は、*再帰的同心円配置*となる。

3.2.2 配線規約

配線規約を、エッジの線種と配置規約の座標系との関係で説明する。まず、波紋表現のエッジの線種は、*直線配線*である。また、この配線は波紋表現の座標系と独立している。

3.2.3 描画規則

波紋表現の描画規則について、意味的規則と構造的規則に分けて述べる。まず、ノードの持つ属性による配置規約（意味的規則）として、“*時間属性が新しいノードの集合を中央付近に配置*”が挙げられる。また、 G が持つグラフ理論的な概念や特徴に関係した配置規則（構造的規則）に関しては、特に制約を設けていない。

3.3 ノードの位置の決め方

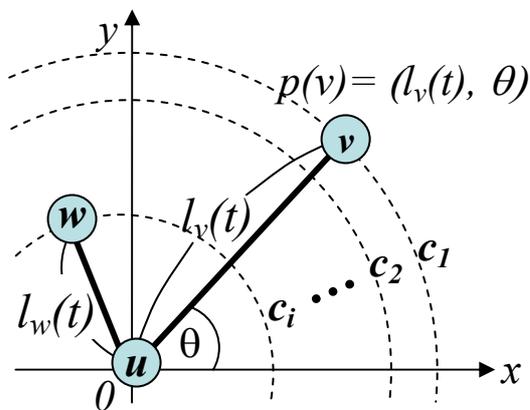


図2: 波紋表現の座標系

ノードの位置は、図2で示したように極座標で表現する。すなわち、 G の描画の際には、エッジの長さや角度をパラメータとして各ノードの位置を決

定している。例えば、 v の位置 $p(v)$ は、エッジの長さを $l_v(t)$ 、角度を θ とすると、 $(l_v(t), \theta)$ と表せる。すなわちルートの位置を決めると相対的に全てのノードの位置が定まる。

3.4 波紋の決め方

波紋の描画は、 G_{sub} の親ノードの位置を中心として、ある一定時間ごとに波紋を生成している。そして、ノードと波紋の描画位置が互いに一致している。すなわち、 G_{sub} の親ノード以外のノードの中で最も古い時刻のノード（一番外側のノード）を v とすれば、その時刻 $t_0 = d(v)$ から波紋が発生する。また、子ノード位置と一致している波紋以外に、一定の時間間隔ごとに波紋が発生している。このように波紋は、ノードの時刻と経過時間のスケールを視覚的に理解できる役目がある。

G_{sub} の親ノードを中心とする波紋の集合を $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ とする。時刻 t における時刻 t_0 に発生した波紋（最も外側の波紋） c_1 の半径 $r_1(t)$ は(3.1)式で計算される。ただし、波紋の周波数を f 、波長を λ とする。

$$r_1(t) = \lambda \cdot f \times (t - t_0) \quad (3.1)$$

このとき、描画される波紋の個数 n は(3.2)式を満たさなければならない。

$$n = \left\lceil \frac{r_1(t)}{\lambda} \right\rceil \quad (3.2)$$

したがって、波紋 c_1 を基準として、時刻 t における時刻 t_0 以降に発生した波紋（ c_1 よりも内側に発生する波紋） c_i の半径 $r_i(t)$ は(3.3)式で表せる。

$$r_i(t) = r_1(t) - \lambda(i-1) \quad (i = 2, 3, \dots, n) \quad (3.3)$$

3.5 エッジの長さの決め方

ノード $w \in V$ の時刻 t におけるエッジの長さ $l_w(t)$ は、(3.4)式で計算される。

$$l_w(t) = r_1(t) - \lambda(j-1) \quad (j = \lceil f \times (d(w) - t_0) \rceil) \quad (3.4)$$

すなわち、波紋の周波数 f に応じて、各ノードのエッジの長さが波紋の半径と必ず一致することを表している。

3.6 エッジの角度の決め方

エッジの角度は、親ノードから見た子ノード間の関係で決められる。例えば、各ノードの内容がニュース記事であり、社会、政治、経済等のカテゴリ属性を持つ場合。同じカテゴリをもつ子ノードをもつエッジの角度は、ある一定の角度範囲内に設定する。

5 応用例

これまで述べてきた波紋表現を用いて、本章ではニュースサイトからRSS配信されるニュース記事を波紋表現する。一般的に、配信されるニュース記事の配信日時や要約、カテゴリなどの属性情報が、RSSや記事のHTML内に記述されている。これを利用して、配信された記事の経過時間をエッジの長さ、記事のカテゴリや関連性を角度に対応付けて表現した。

ニュースサイトでは、日々最新ニュースの情報がRSS配信されている。このRSSをニュースリーダによって収集することで、比較的容易に最新ニュースを見ることが出来る。しかし、ニュースリーダは、最新ニュース記事を時系列でリスト表示する機会が多い。これは、ニュースリーダに限ったことではなく、メーラやファイル管理など、様々な場面で見られる。一般的には、ユーザは情報の内容を表す見出しのリストを見て、目的の情報を探し出す。

例えば、ユーザがあるカテゴリの最新情報だけを常に追って行きたい場合を考える。この時、記事の属性であるカテゴリと時間の両方の側面から目的の記事を探すには、ニュースリーダのリスト表現では分かりにくい。また、ニュースサイトのページでは、カテゴリごとに時間順でソートされているが（階層表現）、特定のカテゴリのある期間の記事を調べるには、やはり面倒な作業となる。

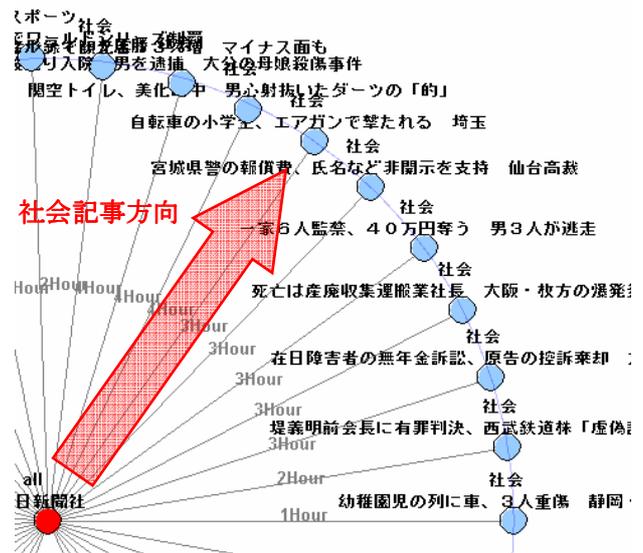
波紋表現を利用すれば、見たいカテゴリ方向の親ノード近傍部分だけに注目していれば良いので、目的の最新記事のチェックを効率的に行える。また、波紋の時間間隔を調整することで、特定の期間に配信されたニュースだけを見ることが出来る。さらに、複数のニュースサイトから配信される記事をマージしたデータを投入することで、同一のトピックを扱った記事の比較や、一定周期ごとのニュースの動向を把握する際にも、この表現法が活用できると考える。

5.1 ニュース記事の視覚化

ニュースサイト朝日新聞社（Asahi.com）が2005年10月27日に配信したRSS²（総数40記事）を元に、波紋表現で表したニュース記事を図5に示す。この場合、ルートは、ニュース記事の配信元であるニュースサイトのホームページを表し、各ノードがニュース記事となっている。各記事はそのカテゴリごとにまとめられている。

各エッジの角度は360度を現時点の記事数で均等に割り振っている。ただし、記事のカテゴリごとにノードは時系列で整理されている。したがって、各カテゴリの角度範囲内ではノードは時系列で順番に配置されている。

例えば、2005年10月25日午後23時から27日午後14時までに配信されたニュースの中から、社会カテゴリのニュース記事を見たいとする。この時、社会カテゴリの角度にある記事に注目する。波紋の時間間隔を6時間としたビューは図5(a)である。さらに、波紋の時間間隔を1時間に変更したビューは図5(b)である。すなわち、6時間以内の社会関係の記事の中から、最新の記事を見たいときは、図5(b)のビューからルートに最も近い記事を選べばよい。



(a) 時間間隔：6時間



(b) 時間間隔：1時間

図5: ニュース記事の波紋表現

² <http://www3.asahi.com/rss/index.rdf>

5.2 ウェブログによりトラックバックされたニュース記事の視覚化

5.1節と同様に、IT関連のニュースサイト「CNET Japan」が2006年1月12日に配信したRSS³（総数35記事）を元に、波紋表現で表したニュース記事を図6に示す。

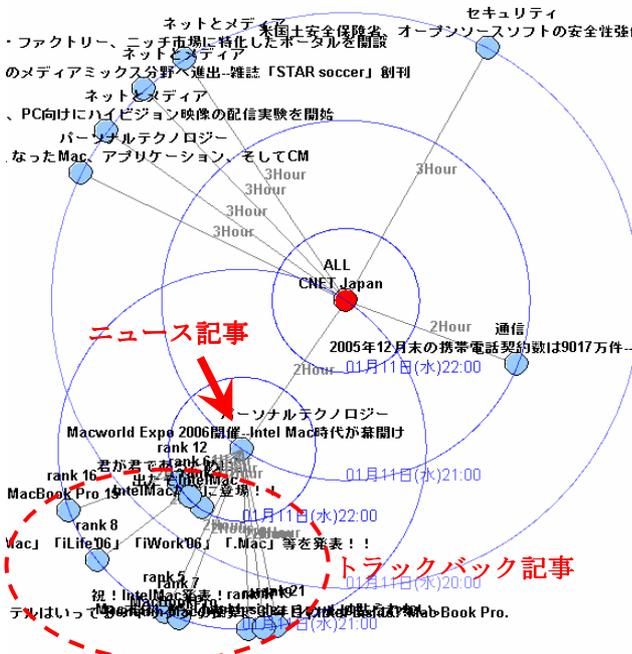


図6:トラックバック記事があるニュース記事の波紋表現

ここで、図6に矢印で示したニュース記事から再帰的に波紋が発生している部分に注目されたい。これは、木構造でいう、親ノードから枝分かれした子ノードがあることを表している。すなわち、このニュース記事にリンクした記事があれば、このように再帰的に波紋が発生する。

CNET Japanは、ニュース記事に対して、関連する記事（ウェブログ記事）を誰でも自由にトラックバックによりリンクを張ることができるようになっている。トラックバック記事（図6の波線で囲まれたノード）には、カテゴリ情報が無いため、この場合の角度は、トラックバック元記事（ニュース記事）から見たトラックバック記事（ウェブログ記事）間の類似度によって決める。具体的には、トラックバック元記事の角度にある記事ほど、類似度が高い記事としている。（図7参照）

このように、注目したいニュース記事の角度を追って行けば、ニュース記事との関連性が高い記事でかつ、最新情報を見つけるといったことが容易に可能となる。

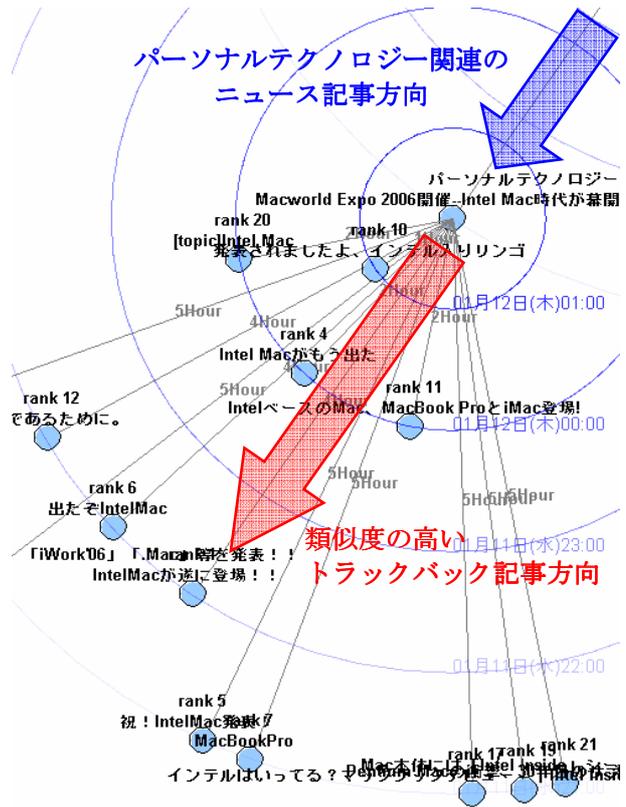


図7:類似度に基づいたトラックバック記事の配置

5.3 角度の決め方

トラックバック記事の角度は、各トラックバック記事とニュース記事との関係性からエッジ角度を算出しなければならない。この時の手順は以下の通りである。

まず、取得したトラックバック記事の概要（description要素）を用いて、トラックバック元記事であるニュース記事との類似度を算出する。この処理は、外部ツールのテキストマイニングツール Termmiを用いる（図3参照）。次に類似度が高い記事から順に、親記事の角度に近くなるよう角度を割り当てて行く（図8参照）。

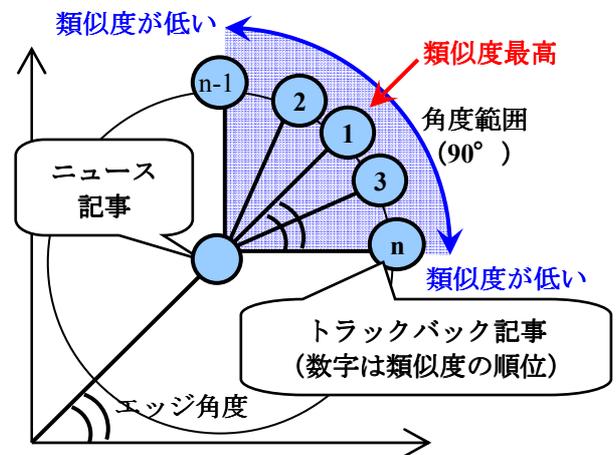


図8:トラックバック記事の角度の割り当て

³ <http://japan.cnet.com/rss/index.rdf>

6 評価

6.1 評価実験の目的

本論文で提案する波紋表現の利便性を評価するために、ニュースサイト (Asahi.com) から配信された記事に対し、そのニュースサイトページによる検索方法と、筆者らが開発した波紋表現ビューワによる検索方法の2つを比較した。なお、実験で用いたニュースサイトページは、カテゴリ分けされた記事が最新順にリスト表示されている一般的なサイトである。それぞれの検索方法に対し被験者が課題を達成するまでの時間を計測し、これを評価指標とした。すなわち、課題達成の所要時間が短いほど、記事検索における利便性が高いことを意味する。

6.2 評価実験の方法

被験者は8名であり、同程度の知識を持つ理系大学生、大学院生で構成される。最初に、被験者を4名ずつ2つのグループに分け、一方をAグループ、他方をBグループとした。実験は2回行い、1回目と2回目で、異なる日付に配信された記事を利用する。

1回目の実験では、Aグループはニュースサイトページ、Bグループは波紋表現ビューワで課題を解いてもらった。次に、グループ間で検索方法を交代して、同じく2回目の実験を行った。これは、グループ間で、成績の偏りをなくすために交代を行った。

課題は、1回の実験につき2つ出題した。課題1では、指定されたカテゴリに属する、ある時点から現在 (記事を取得した時点) までに配信された記事を全て探し出すまでの時間を計測した。課題2は、指定されたカテゴリに属する、ある期間に配信された記事を全て探し出すまでの時間を計測した。すなわち、課題は利用シーンで分けている。例えば、課題1は、前日の夜にチェックをしたニュースよりも新しい記事をチェックしたい時などが考えられる。課題2は、出張中見られなかった記事を、後日チェックしたい時などが考えられる。

実験終了後、インターネット上で配信されたニュースのチェックに関する調査と主観評価のためのアンケートを被験者全員に答えてもらった。

6.3 結果と考察

各検索方法における課題の平均所要時間を、それぞれ図9に示す。課題1では、波紋表現ビューワはニュースサイトページに比べて約40秒多く時間が掛かっているが、課題2では、波紋表現ビューワの方が約3分近くも大幅に時間を短縮している。

課題1の結果より、最新記事のチェックには波紋表現ビューワよりもニュースサイトページによる検索方法の方が早く目的の記事を見つけ出せることを表している。ここで、波紋表現ビューワの方が

検索に時間がかかった理由を考察すると、被験者は波紋表現ビューワに比べ、ニュースサイトページによる検索の方が使い慣れていることが結果に影響したと推測する。なぜなら、アンケート調査によると、8名中7名の被験者が毎日1回はインターネット上でニュースをチェックし、全員がブラウザを利用しているという結果が得られた (表1設問1, 2参照)。すなわち、被験者はニュースサイトページによる記事検索に使い慣れていると言える。一方、波紋表現については、「インタフェースの慣れに時間が掛かった」という感想が多かった。しかし、課題1の主観評価では、8名中7名が波紋表現ビューワの方が利便性が高かったと答えている (表1設問3参照)。

課題2の結果より、波紋表現ビューワはある期間の記事検索に特に有効であると言える。実験時に行った観察によると、波紋表現ビューワで課題2を比較的素早く解いた被験者は、波紋の時間間隔の設定機能を活用する傾向があった。アンケート調査の結果でも、全ての被験者が課題2で波紋表現ビューワの利便性が高かったと答えている (表1設問4参照)。

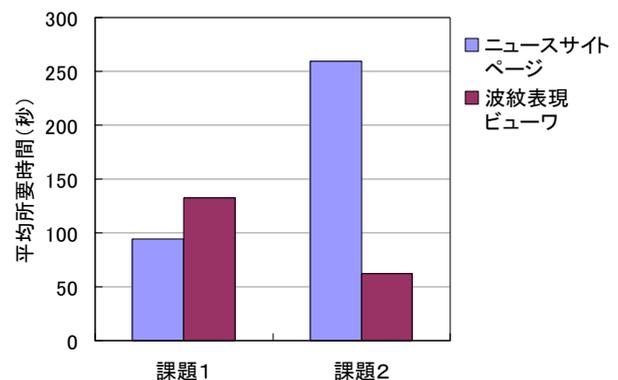


図9: 評価実験の結果

表1: アンケート集計結果

設問	設問内容	選択肢	回答数
設問1	インターネット上で配信されたニュースのチェック回数	毎日	7
		週に1回程度	1
		週に1回未満	0
設問2	インターネット上で配信されたニュースのチェック手段(ツール) (複数回答可)	ブラウザ	8
		RSSリーダー	3
		メールマガジン	1
		その他	0
設問3	課題1において、利便性が高かったと感じた検索方法	波紋表現ビューワ	7
		ニュースサイトページ	1
設問4	課題2において、利便性が高かったと感じた検索方法	波紋表現ビューワ	8
		ニュースサイトページ	0

7 関連研究

木構造の視覚化に関して、これまで多くのシステム開発や研究が行われてきた。代表的な木構造表現手法に、Hyperbolic Tree[3]がある。これは、双曲空間上に樹形図を配置する手法である。特徴的なのは、中央に近いノードほど大きく、中央から遠いノードほど小さく表示される点である。これはユーザの注目している視点に配慮した表現法である。波紋表現でも、ユーザの視点を意識した表現手法をとっている。具体的には、ルートを中心に置き、最新のノードをルート近傍に配置している。

また他にも、木構造の階層に注目し、画面空間の再帰分割で表現したTree-Maps[4]や、三次元空間で入れ子構造を構築し、半透明表示をする手法、Information Cube[5]などがある。これは、木構造の階層かノードがカテゴリを意味しているデータに有効である。つまり、情報をカテゴリライズして捉えるのに有効な表現手法である。

一方、筆者らの波紋表現は、対象とする木構造データを時系列の階層で表現する場合に有効である。本研究では特に、この時系列階層を同心円で表現している。このように、ノードの持つ時間に注目してノードの配置を工夫している研究がいくつかある。John V. C.らは、時間の周期に注目し、時系列をスパイラル上に情報を表現する研究を行っている[6]。また、波紋と似た性質をもつ年輪を利用した履歴情報のレイアウト手法は野田らによって研究がなされている[7]。波紋表現では、時間的な変化をアニメーションによって視覚化しており、木のように複数の分岐点がある場合には再帰的に波紋が広がるといったモデルを適用している。

また、Ka-Ping Yeeらは、木構造の各階層を同心円に表現している。特に、ユーザの注目ノードに応じて、アニメーションで動的にレイアウトを変化させている点が特徴的である[8]。波紋表現では、ユーザの視点(親ノード)から見た、情報(子ノード)の相対的な経過時間や関連性を表現している利点がある。さらに、履歴情報を持った木の時間変化をアニメーションによってシームレスに表現している。

8 まとめ

本論文では、履歴情報を持った木構造データを視覚的に表現することで、効率的な情報探索を支援することを目的とした。その視覚化の手法として、波紋表現を提案した。これは、ディレクトリ表現のような従来の木構造のビューでは分かりづらい、情報の新しさを表現することに焦点をおいている。

この表現法による利点は、経過時間をエッジの長さに対応付けることで、最新情報が親ノード近傍に配置されるので、この最新情報を探索することが容易となる。また、角度をカテゴリや類似度で対応付けることで、カテゴリライズされたグラフのビューが

得られる。これにより、ユーザが知りたいカテゴリのノードだけに注目できる。

本論文では、応用例としてニュース記事とトラックバックしたウェブブログ記事を波紋表現で表現した。どちらの記事も、記事の新しさに価値をもっている。さらに、単に最新情報を得るだけでなく、カテゴリや類似度といった観点から、ユーザが注目している記事を見つけやすくする為に、記事の経過時間とカテゴリという2つ属性をそれぞれ、エッジ長と角度に対応付けて視覚化をした。特に、5.2節で扱ったように、トラックバックされるニュース記事を概観することで、多くのトラックバック記事がリンクされる記事ほど、注目度が高くインパクトが大きい記事が視覚的に分かるようになる。まさに“波紋が広がる”記事と言える。評価実験では、波紋表現は、従来の階層表現と比べて、ある期間に出現する情報を把握することに比較的優れているという結果が得られた。

最新情報を素早く把握するためには、更なるインタフェースの改善が必要であることが評価実験より明らかになった。例えば、ノードの重なり緩和や、波紋のグラフィックおよびカテゴリの角度範囲の明示など、実装面で更なる強化を行いたい。

参考文献

- [1]畑村洋太郎, 失敗学のすすめ. 講談社, pp.59-72, 2002.
- [2]杉山公造, グラフ自動描画法とその応用—ビジュアルヒューマンインタフェース—. 計測自動制御学会, pp.8-16, 1993.
- [3]Lamping J. and Rao R., The Hyperbolic Browser: A Focus+context Technique for Visualizing Large Hierarchies. *Journal of Visual Languages and Computing*, 7, 1, pp.125-132, 1993.
- [4]Johnson B. and Shneiderman B., Tree-Maps: A Space Filling Approach to the Visualization of Hierarchical Information Space. In *Proceedings of the IEEE Visualization '91*, pp.275-282, 1991.
- [5]Rekimoto J., The Information Cube: Using Transparency in 3D Information Visualization. *Third Annual Workshop on Information Technologies & Systems*, pp.125-132, 1993.
- [6]John V. C. and Joseph A. K., Interactive Visualization of Serial Periodic Data. In *Proceedings of Symposium on User Interface Software and Technology 1998 (UIST'98)*, pp.29-38, 1998.
- [7]野田尚志, 上窪真一, 旭敏之, 時空間の視覚化手法—年輪メタファを組み込んだ時空間ブラウジングコンテンツ—. インタラクション1998 論文集, pp.135-136, 1998.
- [8]Ka-Ping Yee, Danyel Fisher, Rachna Dhamija, Marti Hearst, Animated Exploration of Dynamic Graphs with Radial Layout. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2001 (INFOVIS'01)*, p.43, 2001.