

平成二十年度

筑波大学第三学群情報学類

卒業研究論文

題目 動的ネットワークの変化過程の可視化手法

主専攻：情報科学主専攻

著者名：菱田 哲史

指導教員：三末 和男, 志築 文太郎, 高橋 伸, 田中 二郎

要 旨

現実存在するネットワークの多くは静的なものでなく時間の経過によって動的に変化する。このようなネットワークを可視化することはネットワークの持つ関係構造の把握や新たな知見の獲得を助ける。

従来の可視化手法は閲覧者に変化の認知を委ねたり、適用可能なネットワークが限られていたりするため、ネットワークの変化過程の閲覧が困難であった。

そこで本研究では動的なネットワークの変化過程を閲覧できる「環状配置手法」を新たに開発した。環状配置手法とは要素自身に局所的な極座標を組み込み、時間情報を環状に表現する手法である。提案した手法により、要素や要素間の関係の追加と削除が発生する動的ネットワークの時系列分析が可能になった。

目次

1. 序論	1
1-1. 情報可視化とは	1
1-2. ネットワークとは	1
1-3. ネットワークの可視化手法	1
1-4. ネットワークを可視化する有用性	2
1-5. 動的ネットワーク	2
1-5-1. 動的ネットワークとは	2
1-5-2. 動的ネットワークの変化	3
1-5-3. 動的ネットワークの変化過程	3
1-6. 動的ネットワークの変化過程を可視化する意義	3
1-7. 本研究の目的	3
1-8. 本論文の構成	3
2. 関連研究	4
2-1 研究の分類	4
2-2. アニメーションによる表現に関する研究	4
2-3. 配列表現による表現に関する研究	5
2-4. 3次元空間の利用による表現に関する研究	5
2-5. 単一図による表現に関する研究	6
3. 変化過程の可視化における問題	7
4. 本研究のアプローチ	9
5. 環状配置手法	11
5-1. 動的ネットワークの数学的定義	11
5-2. 描画規約	11
5-3. ノードとエッジの配色	12
5-4. ノードの表現	12
5-5. エッジの表現	15
6. システムの実装と機能	16
6-1. システムの構成と実装	16
6-2 概観	16
6-3. 機能	17
6-3-1. 描画用パラメータの調整	17
6-3-2. レイアウトパラメータの調整	20
6-3-3. 表示期間の調整	20

6-3-4.時間情報のハイライト表示	22
6-3-5.色情報と対応する時刻の表示	23
6-3-6.類似要素の強調表示機能	23
6-3-7.関連するノードの引き寄せと引き離し	24
6-3-8.ラベル表示の切り替え	25
6-3-9.設定の読み込みと書き出し	25
7.考察	27
7-1.共著関係ネットワークへの適用	27
7-2.環状配置手法の評価	29
8.結論	32
謝辞	33
参考文献	34
脚注	36

図目次

図 1	グラフの可視化例	2
図 2	2次元平面上での時間の表現	9
図 3	環状配置手法における座標系	14
図 4	環状配置の例	15
図 5	開発したシステムのスクリーンショット	17
図 6	描画属性を調整するコンポーネント	18
図 7	親ノードのサイズを拡大したネットワーク	19
図 8	親ノードのサイズを 0 としたネットワーク	19
図 9	レイアウトパラメータを調整するコンポーネント	20
図 10	2つのノブを持つスライダー	21
図 11	スライダーに表示される情報	21
図 12	表示する期間の調整	22
図 13	表示する期間の調整	22
図 14	時間情報のハイライト表示	23
図 15	色情報と対応する時刻の表示	23
図 16	時間情報に関して類似するノードの強調表示	24
図 17	エッジで接続されたノードの引き寄せ	25
図 18	エッジで接続されたノードの引き離し	25
図 19	可視化された共著関係ネットワーク	27
図 20	クラスタの表示	28
図 21	クラスタを結びつけるノード	29
図 22	親ノードとエッジとの交差	30
図 23	親ノード内での交差	30

表目次

表 1 研究分野の分類と比較	8
----------------------	---

1.序論

1-1.情報可視化とは

抽象的ないし複雑な構造を持つ概念やデータに対して、我々は日常的にそれらを可視化し、可視化された像を閲覧することによりそれらを把握しようとする。また、我々は、このような活動が情報の直感的な把握支援となることを経験的に認識している。

本研究で扱う情報可視化は、科学技術計算の結果をコンピュータ上で表現する科学的可視化(Scientific Visualization)と呼ばれる研究分野[1]の流れをくむものであり、本節の冒頭で述べたような情報をコンピュータ上で表現することによって知識の把握や発見を促すことを目的としている。

1-2.ネットワークとは

本研究で扱うネットワークとは「オブジェクトとオブジェクト間との繋がりを含む構造体」とする。ネットワークは友人関係や Web ページのリンク構造など現実において様々な形で表れる。このようなネットワークは数学的なグラフ構造で表すことができる。また、グラフ中のノードやエッジに重みを付与するものも存在する。

1-3.ネットワークの可視化手法

情報可視化における表現手法は領域図、連結図、配列図、座標図の4つに分類される[2]。

領域図：Venn 図、カルノー図など

連結図：フローチャート、網図など

配列図：表など

座標図：ホドグラフ、ラインチャート(折れ線グラフ)など

図 1 は式 1 のグラフ構造を行列と網図で可視化した例である。連結図の1つである網図による表現は図 1 右側のようにつながりを線分で表すため、グラフ構造の可視化手法としてよく用いられる。しかし、グラフ構造の可視化に関しては、現在も研究課題が残されており、新たな手法の開発が期待されている[3]。

$$G = (V, E)$$

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$$

$$E = \{(v_1, v_2), (v_1, v_3), (v_2, v_3), (v_2, v_4)\}$$

式 1

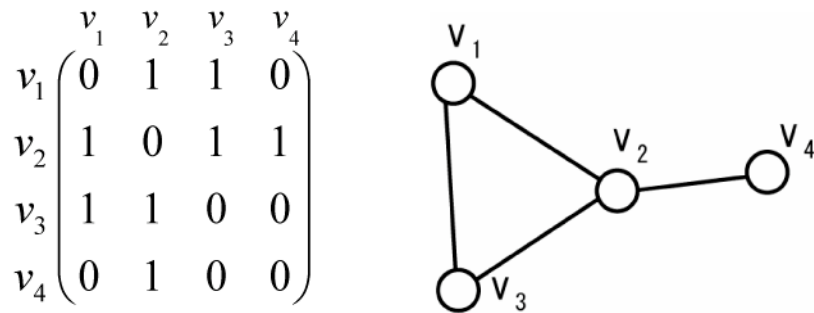


図 1 グラフの可視化例

1-4. ネットワークを可視化する有用性

数学的または文字列データによって表現されるネットワークは要素間の繋がりが視覚的に示されていないため、関係構造の把握に不向きである。このようなネットワークは可視化されることにより、人間が把握しやすい表現形式に変換される。これにより、閲覧者はネットワークの概観と詳細を直感的に把握したり、ネットワークから新しい知見(チャンス発見[4,5]など)を得たりすることが出来るようになる。

1-5. 動的ネットワーク

近年、情報可視化の研究において「ネットワークは変化する」という前提に基づき、動的に変化するネットワークを可視化する試みがなされている。以下に動的ネットワークとその変化、変化過程について述べる。

1-5-1. 動的ネットワークとは

1-2 節で紹介した友人関係、Web ページのリンク構造のように現実中存在するネットワークは静的なものではなく、時間経過によって構成する要素やそれらの関係構造などが動的に変化する。このようなネットワークを動的ネットワークと呼ぶ。

1-5-2.動的ネットワークの変化

動的ネットワークの変化は2種類に大別される。ノードとエッジの追加削除によるグラフ構造の変化とノードやエッジに付与された重みの変化である。いずれの変化も時間の前後関係にある2つのグラフの差分から求められる。本研究で扱う変化はグラフ構造の変化である。

1-5-3.動的ネットワークの変化過程

動的ネットワークの変化過程とは、2つの時間の間に存在するネットワークの変化の履歴である。

1-6.動的ネットワークの変化過程を可視化する意義

閲覧者への認知的負担を考慮しなければ、各時間のネットワーク図を閲覧することにより、閲覧者は変化過程を把握できると言える。しかしながら、変化過程の可視化において最も重要なことは、「ある時間のネットワークが過去のネットワークからどのような変化を辿ってきたのか」という情報を閲覧者に分かりやすく提示することである。動的ネットワークの変化過程を可視化することにより、話題の広がり[8]やトレンドの推移¹のようなネットワークが持つ時間的な傾向(新しい知見)を視覚的に抽出できる。

1-7.本研究の目的

本研究は、動的ネットワークの変化過程の把握支援を目的とし、変化過程を可視化する表現手法とこれを搭載したツールを作成する。

1-8.本論文の構成

第1章以降の本論文の構成は以下の通りである。第2章で関連研究を紹介し、第3章で動的ネットワークの変化過程の可視化における問題を提示する。第4章で前述した問題を解消する提案手法について述べる。第5章でそれらを実装したツールの紹介を行う。第6章で実在する共著関係ネットワークを基に提案した手法について考察を行い、第7章でまとめる。

2. 関連研究

ここでは本研究の対象である動的ネットワークの可視化に関する研究を分類し、それぞれ挙げる。まず、2-1 節にて分類の基準について述べる。そして 2-2 節より分類に従って各研究について述べる。なお、本論文との差分は第 3 章で述べる。

2-1 研究の分類

静的動的を問わず、多くのネットワーク表現手法は、網図によるグラフ描画手法を基にしており、グラフ構造の表現に 2 次元以上の空間を用いる。しかしながら、動的ネットワークの表現ではグラフ構造だけでなく時間軸も表現する必要がある。従って「時間軸をどのように表現するか」という点が問題となる。この問題を解消するため様々なアプローチが提案されてきた。そこで、可視化に関する研究を「時間軸の表現」という観点から 4 つに分類する。以下にそれぞれの概要について述べる。

- ・アニメーション

動画のように、時間軸の表現に現実の時間軸を利用するアプローチ

- ・配列表現

時系列順に各時間のネットワークを並べることにより時間軸を表現するアプローチ

- ・三次元空間の利用

時間軸の表現に 3 次元空間上の 1 つ以上の基底を使用し、3 次元空間で動的ネットワークを提示するアプローチ

- ・単一図

時間軸を座標系に導入し、2 次元平面で動的ネットワークを提示するアプローチ

2-2. アニメーションによる表現に関する研究

Moody らは、アニメーションによる動的ネットワーク表現手法として **static flip books** と **dynamic movie** を提案した[6]。2 つの手法はノードの位置の制約に関して異なる。**static flip books** ではノード位置を固定するが、**dynamic movie** ではノード位置を関係性の変化に対応付けて配置する。著者らはこれらの手法をソーシャルネットワーク分析に利用した。Christian らは、CVS を基にソフトウェア開発の過程を可視化する

手法を提案した[7]。彼らは、各時間のグラフに力学的モデルを適用させるだけでなく、グラフ間にまたがって存在する同一のノードに対して同じ位置を保持するような力を加えてレイアウトを求める。また、描画に用いる色情報と異なる 2 つの属性を対応付けている点が可視化手法の特徴である。鈴木らは動的ネットワークを可視化するためのツールを開発した[8]。著者らはこれを情報伝播モデルと成長するネットワークに適用させている。豊田は、大規模な動的グラフの可視化において、閲覧者のメンタルマップを保持するレイアウト手法を開発した[9]。ユーザのインタラクションに対応できるよう、スーパーグラフと表示するグラフのレイアウトを同時に計算する点がこの手法の特徴である。

2-3. 配列表現による表現に関する研究

Erten らは、同一のノードやエッジを持った一連のグラフを閲覧できるよう Aggregate Layout、Merged Layout、Independent Iteration Layout の 3 つのレイアウト手法とそれぞれの手法を用いた Aggregate View、Merged View、Split View の 3 つのビューを提案している[10]。Independent Iteration Layout を用いた Split View は 2 つの図を並べて提示するものである。豊田らは、web ページのリンク構造の発展過程を可視化する WebRelievo を開発した[11]。この可視化手法は、差分ビュー、クラスタビューを時系列に沿って並べて表示する点の特徴である。特に差分ビューは 2 つのネットワーク間の変化を 4 つに分類し、それぞれの変化と色情報を対応付けている。著者らはこれら 2 つの手法が新しいページや関係の追加、グラフ中のクラスタの分裂や結合の把握に有用であると述べている。

2-4.3 次元空間の利用による表現に関する研究

3 次元空間を利用する利点は、レイアウトに利用できる領域が広がるため、大規模なネットワークや長い時系列を持つネットワークの表現に対応できる点である。

Chi らは、Web ページの構造とその発展過程を可視化する TimeTube を提案した[12]。この手法はまず、対象ページをルートとするディスクツリーを二次元平面上に描画する。そして各時刻におけるディスクツリーを 3 次元空間上に並べる。先に挙げた Erten らの Merged Layout を用いた Merged View は、2 次元平面に描画されたグラフを 3 次元空間上に重畳したビューを提示する。著者らは、この手法とビューによって閲覧者はメンタルマップを保持したまま各グラフを閲覧できると述べている。Marco らや Ulrik らは、各時間のグラフをレイヤーとして捉え、それらを 3 次元空間に積み重ねる手法を提案している[13,14]。彼らが提案した手法のように、2 次元平面で描画されたネットワークを時系列順に積み重ねる 3 次元レイアウト手法は 2.5 次元レイアウト手法と

呼ばれている。

2-5. 単一図による表現に関する研究

先に挙げた Erten らの **Aggregate Layout, Aggregate View** は単一の図に全てのグラフレイアウトを反映させる手法である。可視化手法の特徴として、各グラフ中のノードやエッジに異なる描画属性を与えることにより、閲覧者がそれぞれのグラフを判別できるようにした点が挙げられる。石原は、動的ネットワークの成長過程を可視化する波紋表現と差分を可視化する差分表現を提案した[15]。波紋表現は時間情報をエッジの長さに対応付けて変化過程を表現する手法である。石原はこの手法を **Weblog** 記事のリンク関係に適用し、話題の広がりを見視化した。Yarden らは、ネットワーク構造と履歴情報における時間と属性の相関関係を 1 つの図で表現する手法を提案した[16]。時間と属性の情報がネットワーク図を囲むように円型配置される点がこの手法の特徴である。

3. 変化過程の可視化における問題

この章では、従来の動的ネットワーク表現手法を「時間一覧性」、「単一性」、「表現対称性」の3つの観点から比較し、変化過程の可視化における問題を述べる。

石原は変化過程の視覚的表現において重要なことは「1枚の図で必要な情報全てが分かること」であり、表現手法が満たすべき性質は「時間一覧性」と「単一性」であると述べている[15]。時間一覧性とは、任意の対象が持つ全期間の情報を一覧できる性質である。単一性とは、複数の時間にまたがって存在する同一の対象に関して、それらが同一であると識別できる性質である。

本研究では、変化過程の視覚的表現において追加および削除も表現可能でなくてはならないと考え、満たすべき性質に「表現対称性」という性質を追加する。表現対象性とは「表現可能な変化に対して、これの逆操作に相当する変化も表現可能であること」である。これら3つの観点から2章で挙げた4つの手法を比較する。

・アニメーション

異なるグラフ間に存在する同一ノード(以下、親ノードと呼ぶ)の識別を容易にするアプローチ[6], [8]は既になされており、単一性は満たされている。しかしこの手法では、時間の経過に伴って次々と像が変わるため時間一覧性は満たされない。各時間のネットワークにおいて存在するノードとエッジを像に表すことにより、追加と削除を表現できるため、表現対称性は満たされる。

・配列表現

閲覧者は各時間のネットワークを比較することにより変化を認知する。そのため、時系列の長いネットワークや時間幅の小さいネットワークを対象とすると、像同士を比較する回数も増えるため、閲覧者に記憶による認知的負担がかかる。よって単一性は満たされない。しかしながら、行列のように各時間の像が並べられているため、時間一覧性は満たされる。また、各時間のネットワークにおいて存在するノードとエッジを像に表すことにより追加と削除を表現できるため、表現対称性は満たされる。

・3次元空間の利用

提示される像は3次元空間を2次元平面へ写像されているため、各時間の像が重なる。そのため全ての像を表示することは困難である。これに対し、インタラクティブな閲覧技術を導入することによって像の可読性は向上できるが、この手法自体は時間一覧性、単一性、表現対称性を十分に満たす手法ではない。

- ・単一図

全時間の変化を単一の図に描画しているため時間一覧性が保たれている。また、同一ノードを同位置に描画することにより単一性も保証される。しかしながら、同一ノードを同位置にレイアウトするため、ノードやエッジの削除が起きるような動的ネットワークの可視化が困難である。よって、表現対称性は満たされない。

これらの情報を整理すると表 1 のようになる。この図では、表現が性質を満たすならばこれを◎で表現し、他の操作を加えることにより表現が性質を満たすならば○で表現した。

表 1 研究分野の分類と比較

	アニメーション	配列表現	3次元空間の利用	単一図
時間一覧性		◎	○	◎
単一性	◎		○	◎
表現対称性	◎	◎	○	

従来の提案手法は時間一覧性、単一性、表現対称性の全てを満たしてはいない。つまり、追加や削除が発生する動的ネットワークの変化過程の可視化について、これまで十分な検討がなされていない。

4. 本研究のアプローチ

3章で提示した時間一覽性と単一性、表現対称性を満たす動的ネットワークの変化過程の可視化手法を提案する。詳しい説明は5章で述べる。

・概要

要素の削除が起こりうる動的ネットワークにおける変化過程を表現するために、グラフィアウトに局所的な極座標を組み込むアプローチをとった。この動的ネットワークの変化過程の可視化手法を「環状配置手法」と名付ける。

・特徴

極座標空間を利用して時間情報を表す例を我々はよく目にする。アナログ時計は、時間と極座標空間上の偏角を対応付けることにより、2次元平面上で時間を表現する(図2左側)。提案する手法は、全時間のネットワークを総計したスーパーグラフに対し、それぞれのノードへアナログ時計のように時間を表現する極座標を組み込む。時間軸が極座標で表現されることにより、各時刻のネットワークに存在するノード(以下、子ノードと呼ぶ)は極格子点上に配置される。このため、ノードの概観は環のような形をとる(図2右側)。ゆえに、この手法を環状配置手法と呼ぶ。

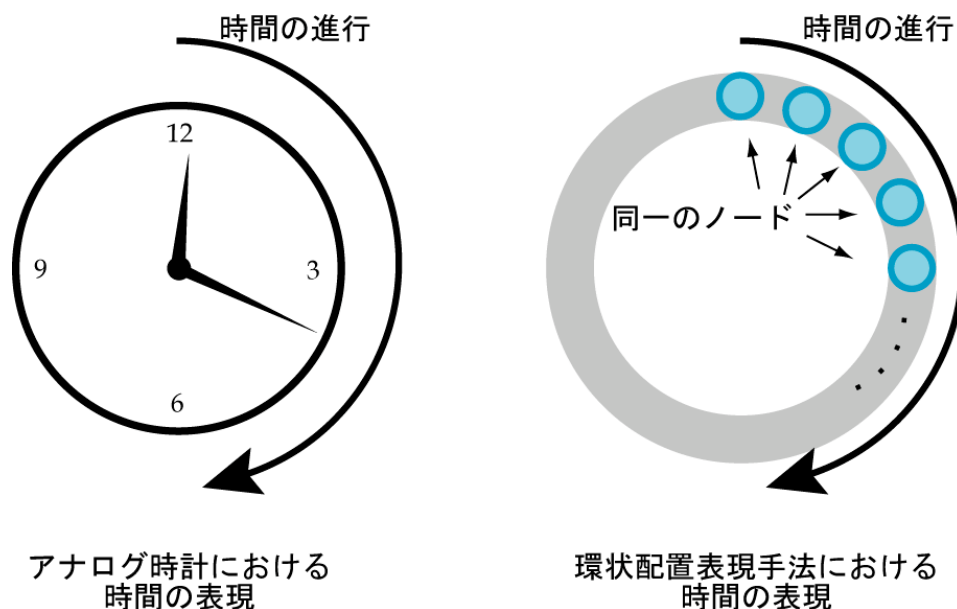


図 2 2次元平面上での時間の表現

- ・適用限界

子ノードの位置情報を時間と対応付けているため、子ノードの位置を変えることは出来ない。

そのため、時間経過によって子ノードが持つ重みの変化するネットワークへの適用は困難である。

5. 環状配置手法

要素の追加と削除が発生する動的ネットワークの変化過程を可視化する「環状配置手法」を考案した。この描画手法について、まず 5-1 節で本研究が扱う動的ネットワークを数学的に定式化する。そしてこれに続く 5-2 節で表現における描画規約について述べ、5-3 節でノードとエッジの配色、5-4 節でノードの配置、5-5 節でエッジの配置について述べる。

5-1. 動的ネットワークの数学的定義

1 章で述べたとおり、本研究で対象とする動的ネットワークはグラフ構造をなす。全時間のネットワークを総計したスーパーグラフ G は式 2 のように表される。

$$G = (V, E)$$
$$E = \{ (u, v) \mid u, v \in V \}$$

式 2

V は親ノードの集合であり、 E は無向エッジの集合である。これに、時刻 t に V の要素である親ノード v が持つ子ノードが存在するか否かの真偽値を返す関数 $exist(v, t)$ 、時刻 t に V の互いに異なる親ノード u 、 v 間にエッジが存在するか否かの真偽値を返す関数 $exist((u, v), t)$ 、いずれかの時間に親ノード u 、 v 間にエッジが存在するか否かの真偽値を返す関数 $exist((u, v))$ を定める。

5-2. 描画規約

・ノードの配置規約

親ノードは自由配置される。また、子ノードは極格子上に配置される。よって、環状配置手法における配置規約は局所的な極格子配置となる。

・エッジの配線規約

エッジは各時間における親ノード同士を結ぶため、環状配置手法における配線規約は配置規約における座標系から独立した直線配線である。

5-3. ノードとエッジの配色

レイアウトだけでなく、描画属性にも時間情報を組み込むことにより、ノードやエッジの持つ時間情報の可読性を高める。具体的には、子ノードとエッジの時間情報を表現するため、時間と描画に用いられる色情報を対応付けるアプローチをとる。

初期の時刻を 0, 最新の時刻を T としたとき、ある時刻 t に対応する色相 $H(t)$ は以下のように表される。

$$H(t) = h_{begin} + h_{range} \cdot \frac{t}{T}$$

式 3

h_{begin} と h_{range} は色相を決定するパラメータである。式 3 より得られた色情報は子ノードとエッジの配色に反映される。

5-4. ノードの表現

環状配置手法で用いるレイアウトアルゴリズムと表現されるノードの形状について述べる。環状配置手法では、親ノード間に力学的モデルを働かせ、子ノードを親ノードの位置を原点とした極座標系で表す。

・親ノードのレイアウト

親ノードのレイアウトにはスプリングモデルを適用する。スプリングモデルとは力指向レイアウトアルゴリズムの 1 つである。グラフをスプリングや電磁力の働く力学モデルとして捉え、それぞれにかかる力を計算する。そして力学的な安定状態を求め、レイアウトを自動的に決定するアルゴリズムである。

本手法では、グラフレイアウトで一般的に利用されている Eades のスプリングモデル[17]を利用するが、動的なネットワークを対象とするためこのモデルに一部変更を加える。以下にモデルで適用されるパラメータと式について述べる。このモデルで働く力はエッジの復元力とノードの斥力である。エッジのばね定数を k_{spr} 、ノードの斥力定数を k_{rep} としたとき、ある親ノード x の位置ベクトルを $p(x)$ と表せば、2 つの親ノード x, y に働く力は式 4, 5 のように表される。

エッジの復元力：エッジで結ばれた親ノード間に働く力

$$f_{spring}(x, y, k_{spr}) = \begin{cases} k_{spr}(p(x) - p(y)) \cdots exist(x, y) = true \\ 0 \cdots \cdots \cdots else \end{cases}$$

式 4

ノード間の斥力：任意の2つの親ノード間に働く力

$$f_{repulsion}(x, y, k_{rep}) = k_{rep} \frac{p(x) - p(y)}{|p(x) - p(y)|^3}$$

式 5

全ての親ノードに対してこれらの力を計算し、それぞれの親ノードに働く合力を求める。この合力が親ノードの移動量となる。親ノード x の移動量は以下のように表される。

$$mov(x) = \sum_{y \in V, x \neq y} f_{spring}(x, y, k_{spr}) + \sum_{y \in V, x \neq y} f_{repulsion}(x, y, k_{rep})$$

式 6

本研究で使用するモデルは合力を求め、移動量の算出を繰り返し行うことにより力学的な安定状態を求める。各親ノードの移動量が一定の値を下回る場合、安定状態に達したとみなし、シミュレーションを終了させる。 ε を閾値としたとき、安定条件は以下のように求められる。

$$\varepsilon > \max_{x \in V} mov(x)$$

式 7

・親ノードのレンダリング

子ノードは極格子点上に配置されるため、親の異なる子ノード同士が互いに近くに配置される場合、閲覧者がそれらのノードの親を混同してしまうおそれがある。本手法では、親の異なる子ノード同士を識別できるようにそれぞれの親ノードを円で表す。

・子ノードのレイアウト

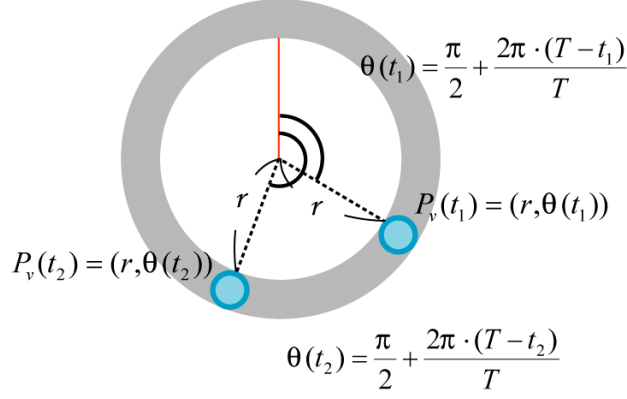


図 3 環状配置手法における座標系

子ノードの位置は極座標で表現する。親ノード v に関して、時刻 t において $exist(v, t)$ が真であるとき、時刻 t における子ノードは図 3 のように位置 $P_v(t)$ へ配置される。 $P_v(t)$ は以下のように表される(式 8)。

$$P_v(t) = (r, \theta(t))$$

$$\theta(t) = \frac{\pi}{2} + \frac{2\pi \cdot (T - t)}{T}$$

式 8

r は親ノードの半径を表し、 $\theta(t)$ は時刻 t に対応する角度を決定する関数である。4章で述べたアナログ時計の特徴を利用するために、偏角の進行方向を時計回りにし、偏角の原点を $\frac{\pi}{2}$ とした。初期時刻を t_0 、最新の時刻を t_7 としたとき、ある親ノード v が

時刻 t_1, t_2, t_3, t_5, t_6 に存在するならば、ノード v は図 4 のように表現される。

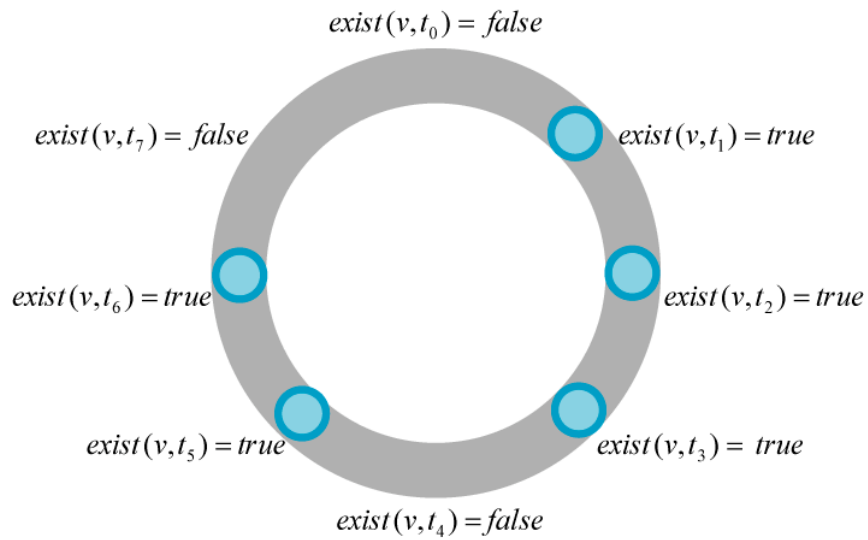


図 4 環状配置の例

・子ノードのレンダリング

一般的なグラフ表現に則り、子ノードは円で表される。子ノードの描画に用いる色は 5-3 章で述べた色である。

5-5. エッジの表現

エッジは環状に配置された子ノード同士を結ぶように配線される。ある 2 つの異なる親ノード u , v に関して、時刻 t において $exist((u, v), t)$ が真であるとき、時刻 t におけるエッジ (u, v) は $P_u(t)$, $P_v(t)$ を結ぶ直線で表現される。エッジの配色は 5-3 章で述べた色を用いる。

6. システムの実装と機能

第 5 章で述べた表現手法を実装したビューワを作成した。この章ではシステムの概要と実装におけるポイントについて述べる。

6-1. システムの構成と実装

本システムは Java(JDK 5.0)を用いて実装した。システムはデータ保持部、処理部と出力部から構成される。データ保持部は入力されたデータと処理されたデータを保持する。処理部は保持部から入力データを取得し、描画用に変換したデータをデータ保持部に返す。出力部はデータ処理部の持つデータを基に描画されたネットワークを画面に出力する。

6-2 概観

システムのインタフェースは図 5 のように上部のメニューと左部の操作パネルと右部のビューワからなる。データの読み込みや保存はメニューから行える。また、レンダリングおよびレイアウトに関係するパラメータの調節は操作パネルから行える。メニューやパネルでの操作の結果は右部のビューワにインタラクティブに反映される。

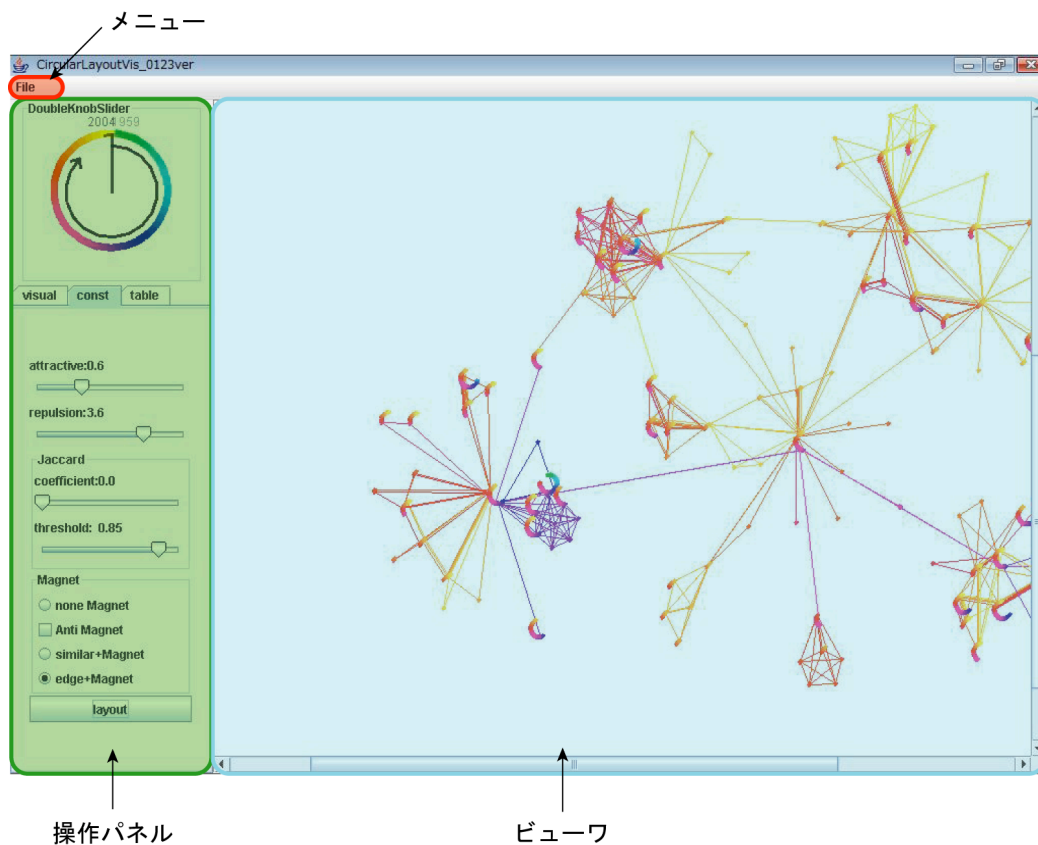


図 5 開発したシステムのスクリーンショット

6-3.機能

ビューを閲覧するときにユーザが表現に関するパラメータを操作できる機能を搭載した。以下にそれぞれの機能を示す。

6-3-1.描画用パラメータの調整

図 6 の上段と中段に存在するスライダーを操作することにより、描画に用いるパラメータを調整できる。以下に調整可能なパラメータについて述べる。

・色相調整

図 6 上段に表示された 2 つのスライダーは色相を調整するスライダーである。

「Hue_point」スライダーは 5-6 節で述べた h_{begin} を指定する。「Hue_range」スライダーは 5-6 節で述べた h_{range} を指定する。

- ・ ノードのサイズの調整

ノードの時間情報を表現する親ノードのサイズと子ノードのサイズは図 6 中段のスライダー操作によって変更できる。親ノードのサイズを拡大することにより、ノードの時間情報をより詳細に閲覧することができる(図 7)。また、親ノードのサイズを 0 にすることにより、各時刻のネットワークを総計したネットワーク図を閲覧することができる(図 8)。

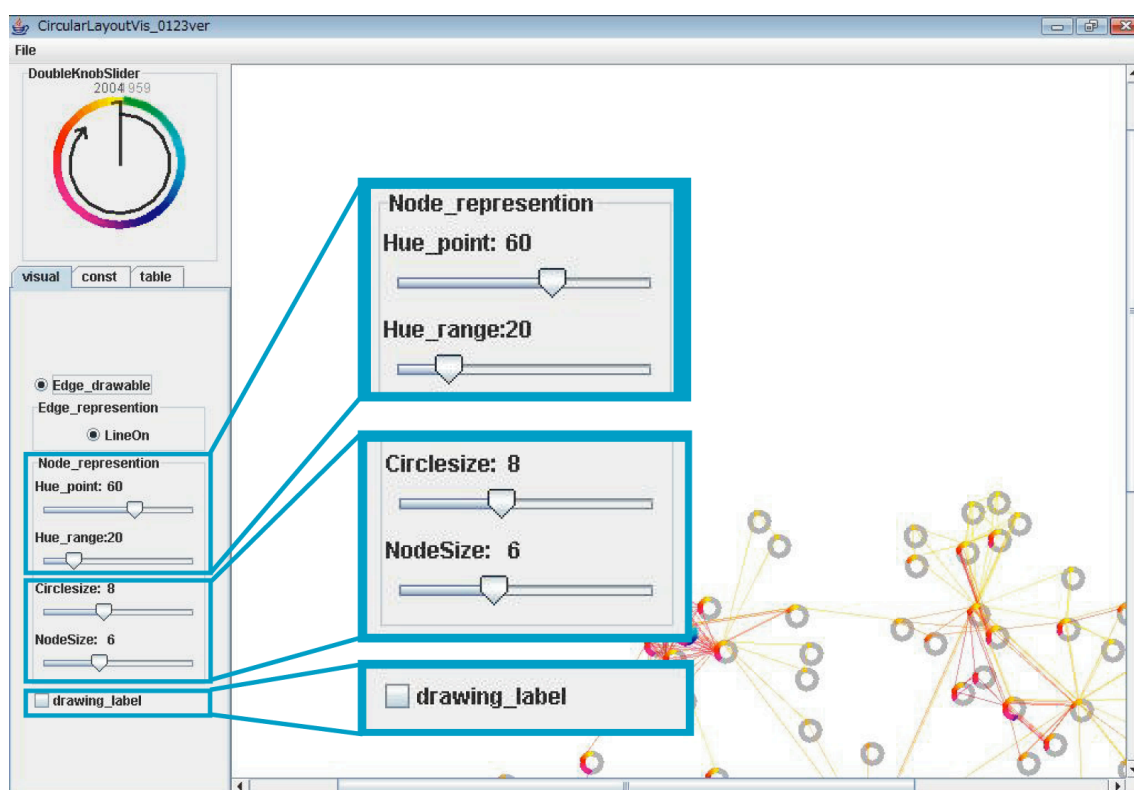


図 6 描画属性を調整するコンポーネント

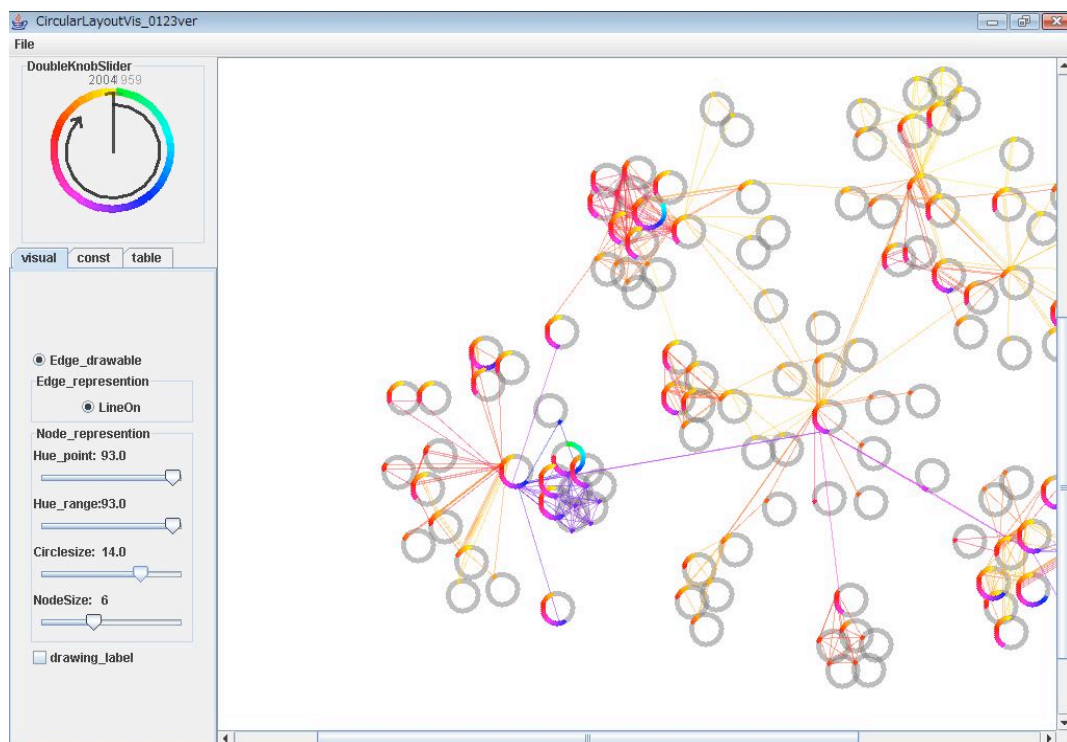


図 7 親ノードのサイズを拡大したネットワーク

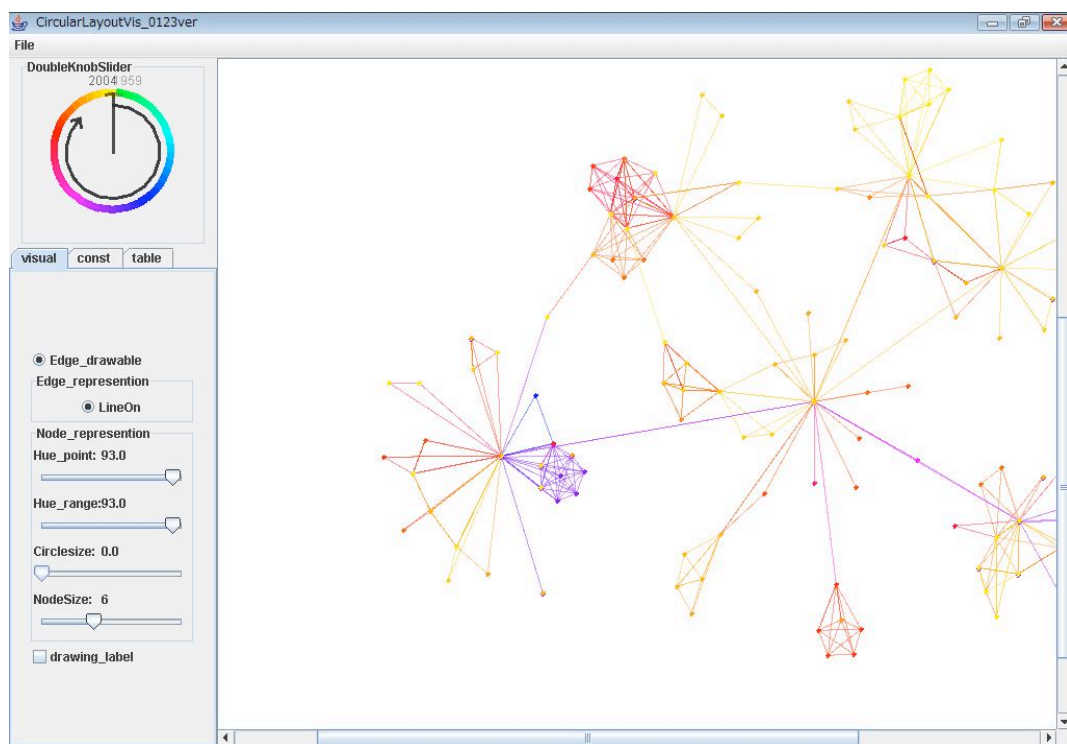


図 8 親ノードのサイズを 0 としたネットワーク

6-3-2.レイアウトパラメータの調整

「const」タブ内のスライダーを操作することにより、ばね定数や斥力係数などグラフレイアウトを決定する力学モデルのパラメータを操作できる(図 9)。また、類似要素の強調表示で使用するパラメータもあわせて操作できる。

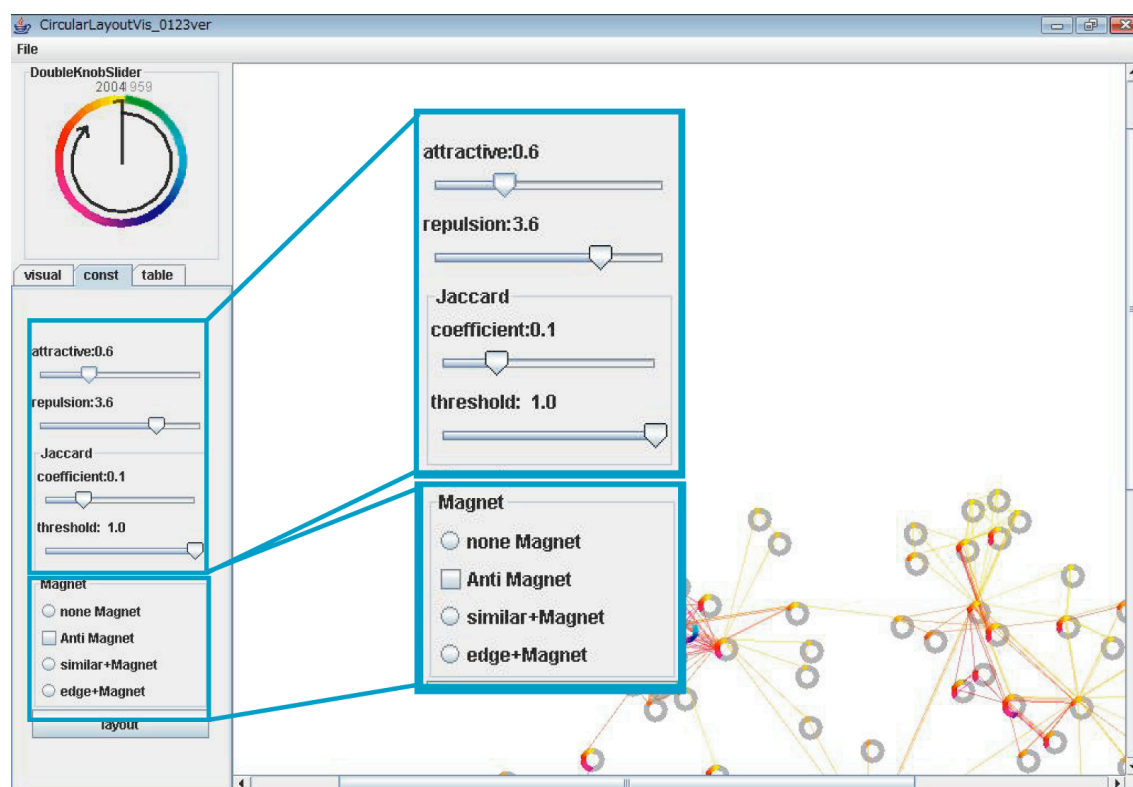


図 9 レイアウトパラメータを調整するコンポーネント

6-3-3.表示期間の調整

操作パネル上部にあるコンポーネントは、特定の期間におけるネットワーク図を閲覧するためのスライダーである(図 10)。ユーザの直感的な操作を支援するために、このスライダーの形状は環状配置手法におけるノードの形状と合わせている。

スライダーは灰色の 2 つのノブを持っており、それぞれ表示される期間の両端に対応している。この 2 つのノブに挟まれている円弧(太線の円弧)は表示される期間を表している。図 11 の場合、表示開始時刻が 2000 年を指しており、表示終了時刻が 2004 年を指しているため、閲覧可能な期間は太線部で表されている 2000 年から 2004 年までである。

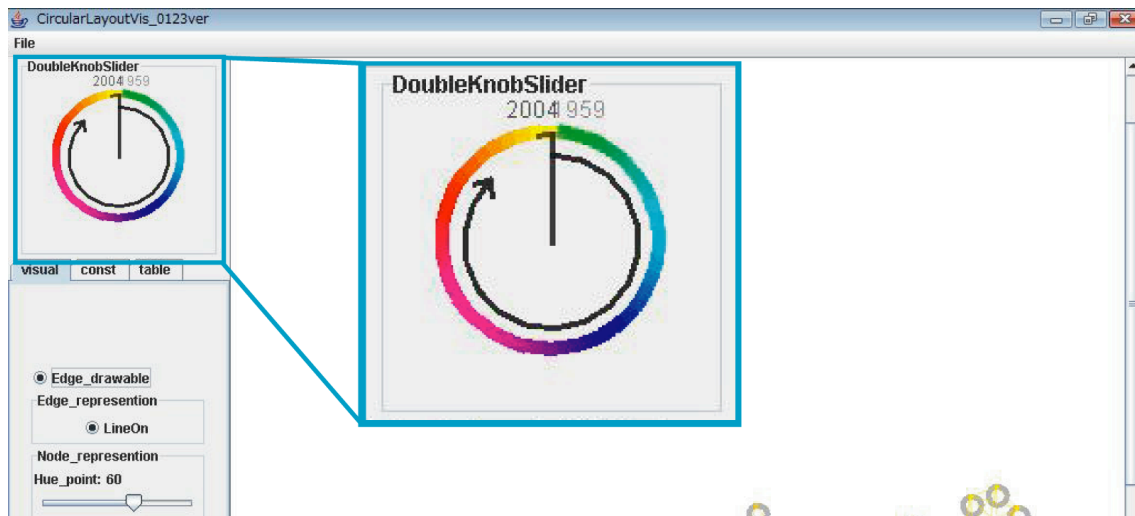


図 10 2つのノブを持つスライダー

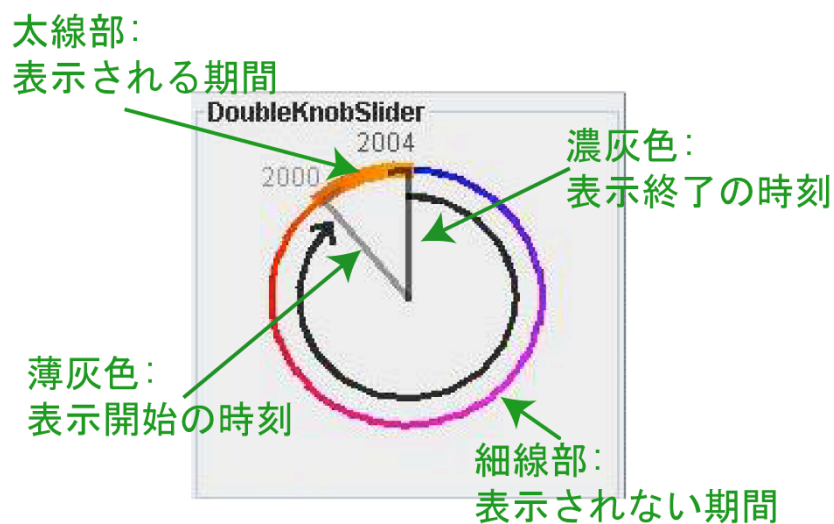


図 11 スライダーに表示される情報

ノブは掴んでドラッグすることにより、図 13 のように表示する期間を拡大、縮小することができる。また、2つのノブに挟まれていた円弧を掴んでドラッグすると、両端のノブ間の相対距離を保ったまま2つのノブを同時に動かすことができる。これによって表示する期間の幅(時間幅)を維持したまま異なる期間のネットワーク図を閲覧できる(図 13)。

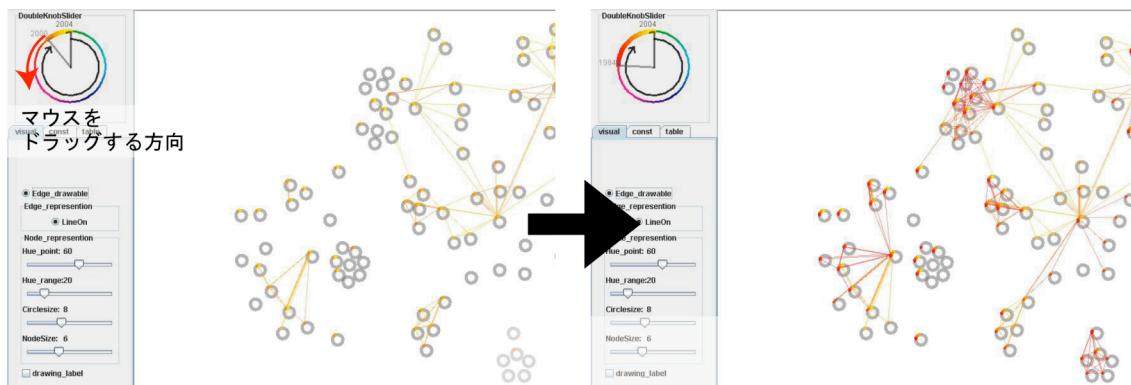


図 12 表示する期間の調整

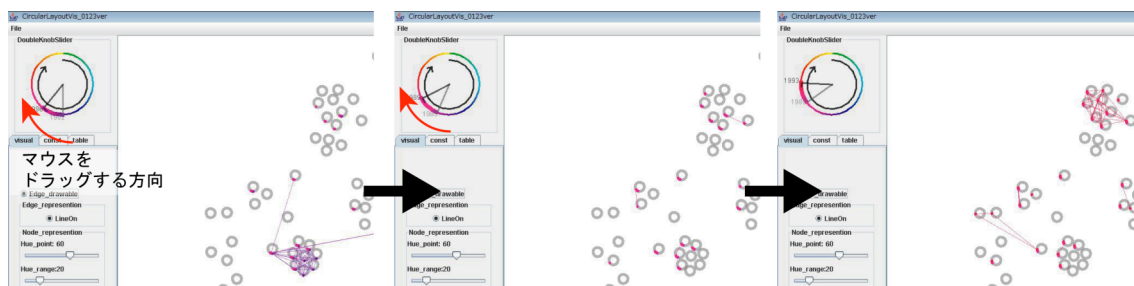


図 13 表示する期間の調整

6-3-4. 時間情報のハイライト表示

マウスで親ノードを選択すると、選択を解除するまでの間、6-3-3 節で述べたスライダーに親ノードの時間情報が表示される(図 14)。図 10 のようにビューワに表示される期間が調整されていても、選択したノードの時間情報はスライダーを見ることにより把握できる。この機能は、ビューワに表示される期間を維持しつつ、ノードの時間情報を閲覧する場合に役立つ。

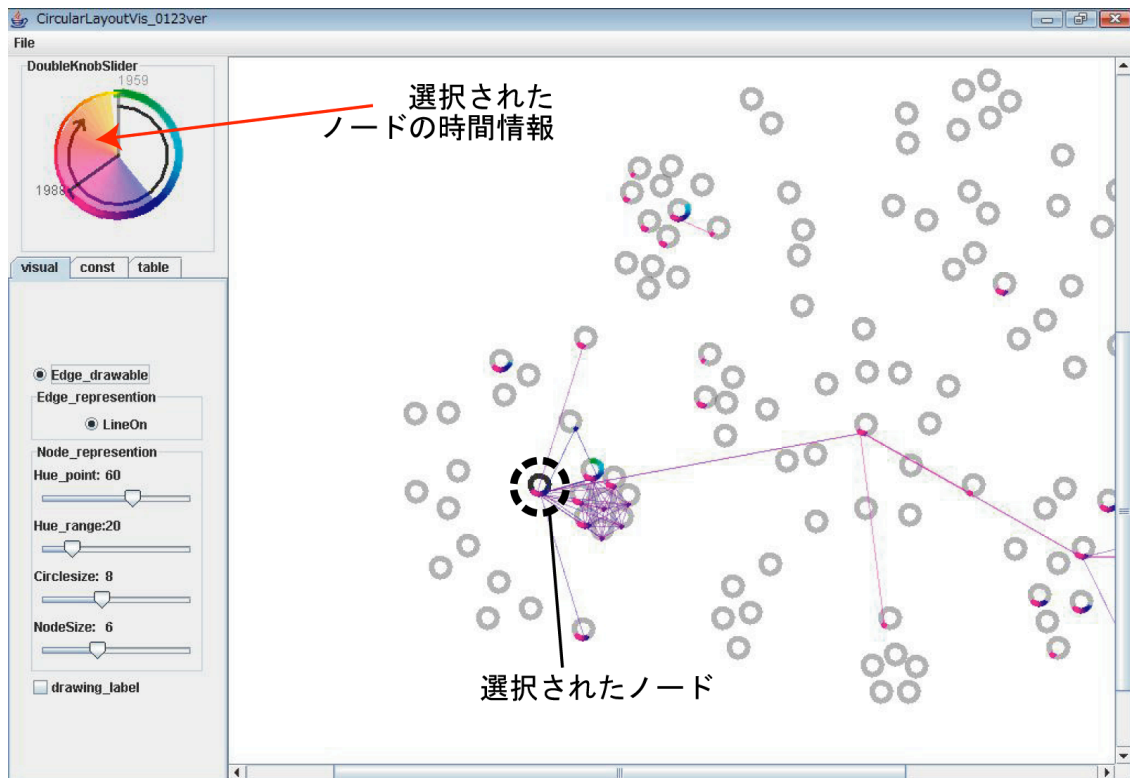


図 14 時間情報のハイライト表示

6-3-5.色情報と対応する時刻の表示

図 10 のスライダーをクリックするとクリックした位置に対応する時刻がポップアップされる(図 15)。このとき、ポップアップされる時刻に使用される色はクリックした位置に対応する色情報より作られる。

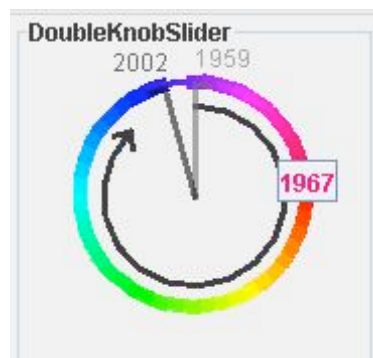


図 15 色情報と対応する時刻の表示

6-3-6.類似要素の強調表示機能

マウスで親ノードを選択すると、そのノードの時間情報に関して類似するノードとそ

れらを包含する多角形がビューワ上で強調表示される(図 16)。本研究では、ノードの存在する時刻を集合として捉え、その集合間の類似度をノードの時間情報の類似度とし、設定された閾値を越える類似度を持つノードを類似するノードとして扱う。

この機能は、選択するノードと同じような変化過程を辿ったノードを探したい場合に役立つと考えられる。

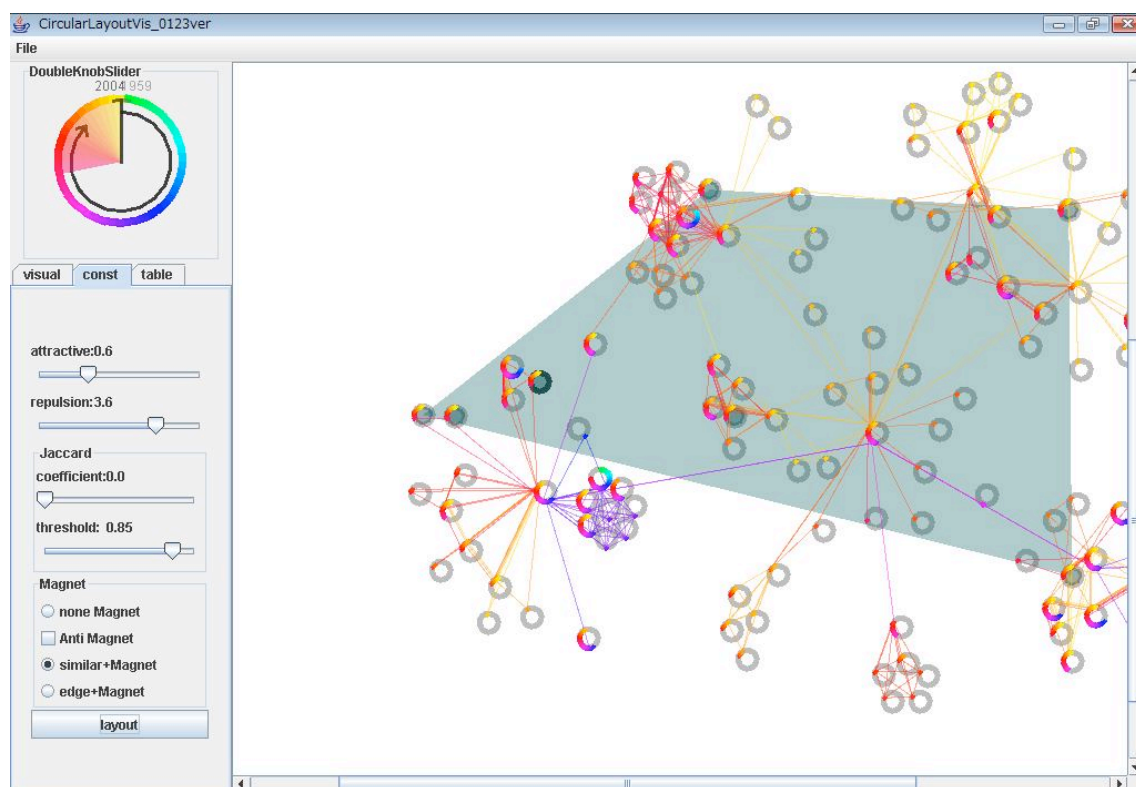


図 16 時間情報に関して類似するノードの強調表示

6-3-7. 関連するノードの引き寄せと引き離し

「const」タブの「Magnet」パネル内のラジオボタン、チェックボックスを操作することにより、ノードをドラッグした際に関連するノードを引き寄せたり引き離したりする操作が可能となる。これは、マウスによるインタラクションを通して、関係構造や時間情報の類似度の把握を支援する機能である。以下に引き寄せ、引き離しにおけるインタラクションの流れを示す。

まず、「const」タブ内の「Magnet」パネル(図 9)から接続関係と時間情報の類似性のいずれかの関連性の尺度を選択する。そして、マウスでビューワ上のノードをドラッグすると、選択したノードを中心として関連性を持つノードに引力(図 17 の緑色のベクトル)が働き、関連するノードは選択したノードの周囲に引き寄せられる(図 17)。

また、チェックボックスを操作することにより、先ほど働いていた力の向きを逆転させることができる。よって、選択したノードを中心として関連性を持つノードに斥力(図

18の緑色のベクトル)が働き、関連性を持つノードは選択したノードから引き離される(図18)。この機能は、グラフレイアウト全体を大きく変えることなく、あるノードとエッジで結ばれているノードや密な構造を持つクラスタを閲覧したい場合に役立つ。

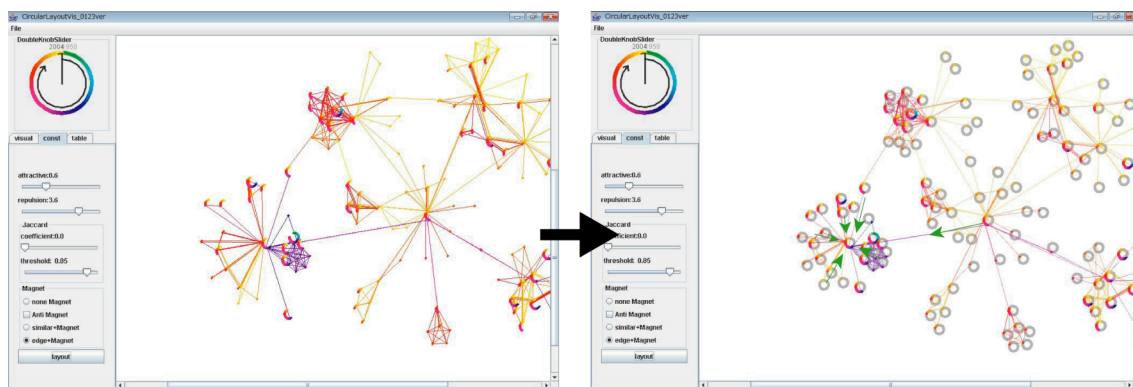


図 17 エッジで接続されたノードの引き寄せ

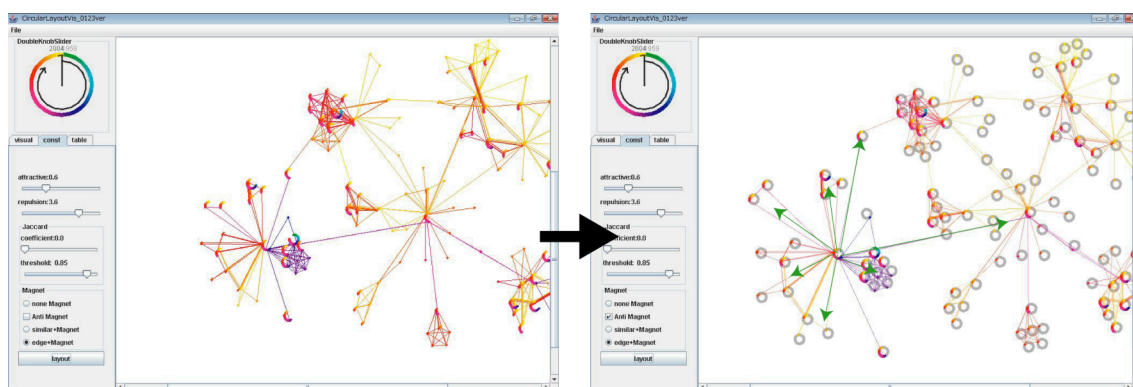


図 18 エッジで接続されたノードの引き離し

6-3-8.ラベル表示の切り替え

図6下段に存在するチェックボックスを操作することにより、ラベルの表示と非表示の切り替えができる。

6-3-9.設定の読み込みと書き出し

メニューバーより「設定の読み込み」、「設定の保存」を選択することにより、操作パネルに保持された値と各ノードの位置情報の保存と読み込みができる。

提案した手法で用いた力指向レイアウトは初期配置に依存するため[3]、常に同じレイアウトを出力するとは限らない。このため、あるレイアウトに対し、力学モデルのパラメータを操作することによりレイアウトを別のものに変えた場合、元のレイアウトを完全に再現することは容易で無い。

そこで、パラメータを操作する前に設定の保存を行い、元のレイアウトを再現させた

い場合に設定の読み込みを行えば、容易にレイアウトを再現できる。

7. 考察

この章では、実データへの適用例を元に 5 章で提案した表現手法の有用性について考察を行う。その後、提案した表現手法に関する今後の課題について議論する。

7-1. 共著関係ネットワークへの適用

適用例として、科学論文における共著関係を可視化する。利用するデータは、DBLP²より抽出した。抽出した共著関係データは、著者がノード、共著関係がエッジであり、著者”Jiro Tanaka”をルートとしたグラフ距離が 2 以下となるノード(計 118 個)とそれらを結ぶエッジ(計 553 本)から構成される。図 19 に 6 章のシステムを用いて可視化した図を示す。

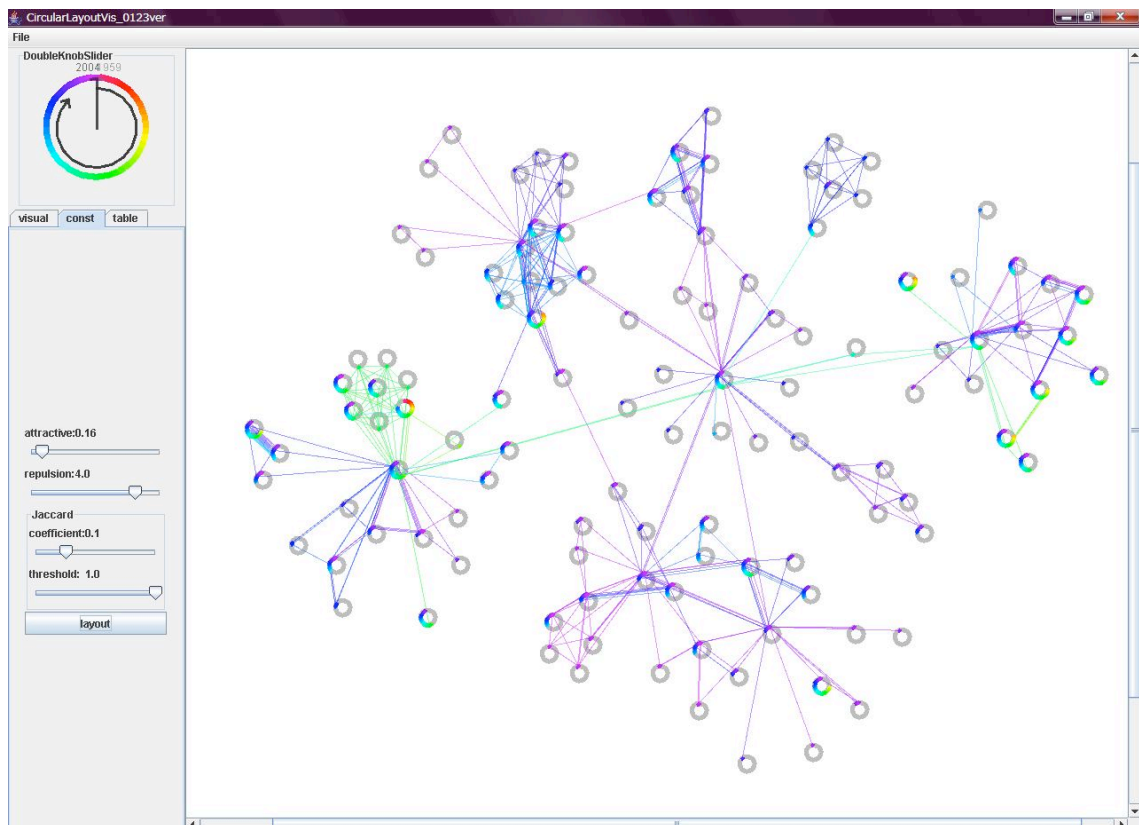


図 19 可視化された共著関係ネットワーク

図 19 を眺めると、“Jiro Tanaka”を中心にいくつかのクラスタが存在することがわ

かる。また、図 19 左上に関係が密であり大きなクラスタが存在することがわかる。そこで、このクラスタに視点を向ける。図 20 に図 19 左上に存在するクラスタに注目した図を示す。この図の右側に拡大表示されたクラスタを見ると、赤色の矩形に囲まれたノードを中心として、紺色のクラスタと水色のクラスタが重なり合っていることがわかる。これより、このクラスタは時間経過に伴って構成するノードが入れ替わったと言える。また、パネル上部のスライダーを見ると、紺色と水色に対応している時刻はそれぞれ 1993 年と 1999 年であることが読み取れる。つまり、このクラスタに対応するコミュニティは 1993 年から 1999 年にかけて、構成するメンバーが変化したと考えられる。

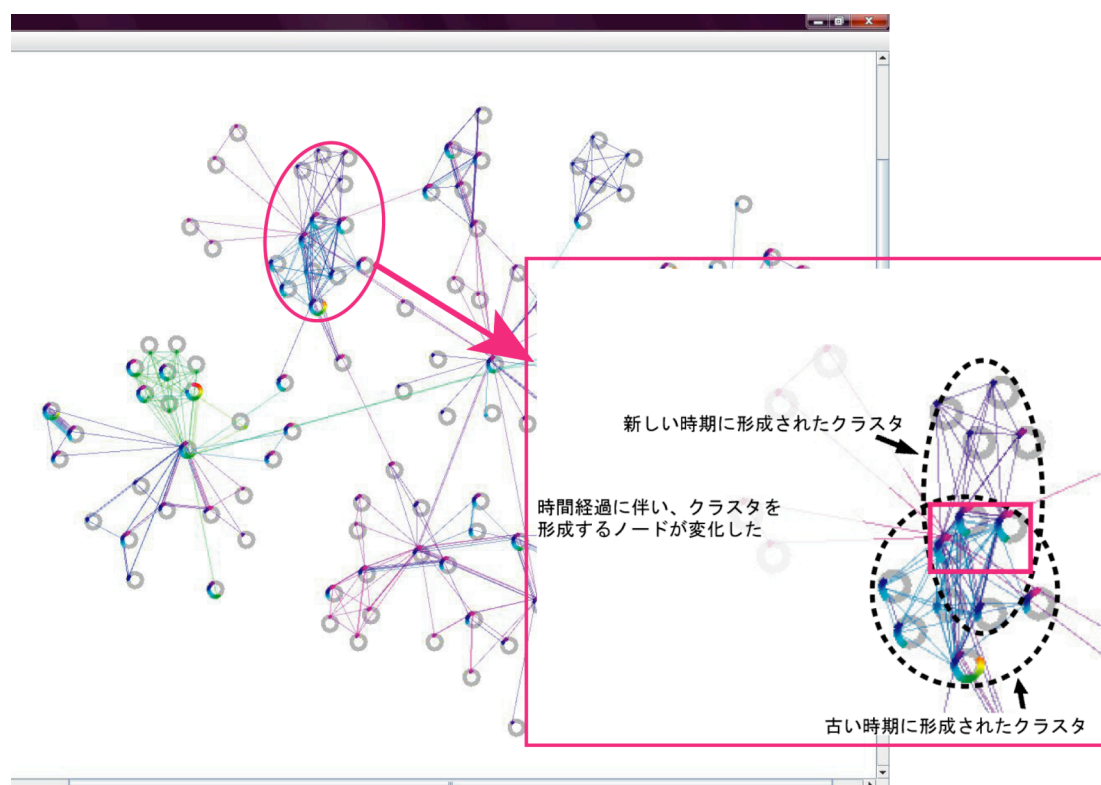


図 20 クラスタの表示

続いて、視点をクラスタ内部から周辺のノードに繋がるエッジへ移す。そうすると、クラスタ同士を結びつけるノード(破線で囲まれたノード)が存在することが図 21 より読み取れる。クラスタ同士を結びつけるこのようなノードはネットワーク分析において重要な手がかりとなりうることは知られている。そこで、このノードの時間情報を見ると、緑色のクラスタと結びついた後に赤色のクラスタに結びついたことが読み取れる。これより、2つのクラスタに対応するコミュニティを結びつける役割を果たしたこの著者は緑色のクラスタに属する著者であると推測することができる。

また、ネットワーク全体(図 19)を俯瞰し、他のクラスタ同士を結びつけるようなノードを見ると、1999 年から 2004 年(データにおける最新の時刻)の間にクラスタを結びつけるエッジが多く追加されたことが読み取れる。これより、10 年前から徐々にコミュニティを横断する研究活動が活発になってきたのではないかと考えられる。

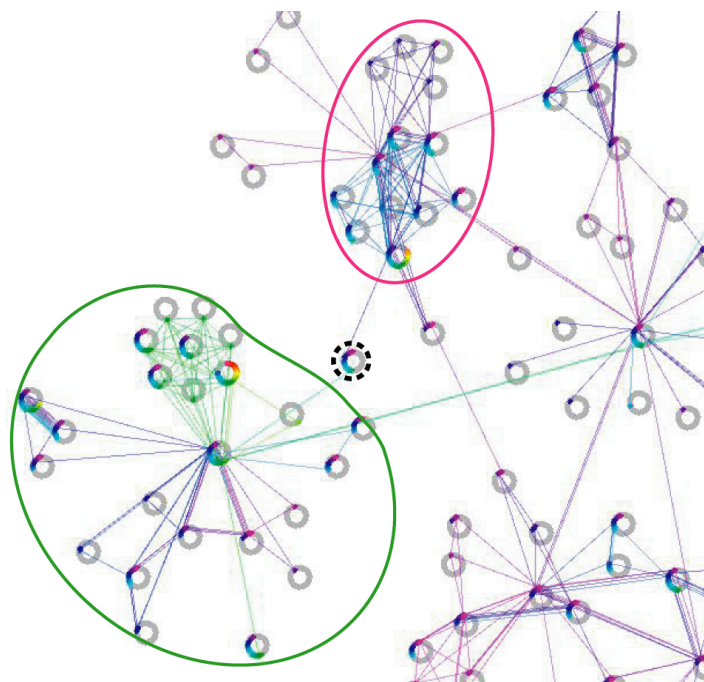


図 21 クラスタを結びつけるノード

7-2.環状配置手法の評価

環状配置手法により、ノードとエッジの追加や削除が発生するネットワークの変化過程を視覚的に提示することが可能となった。

また、適用例から、「クラスタを構成する要素の遷移」のようなネットワークの局所的な時間的特性と、「1999 年ごろからコミュニティを横断する研究活動が活発になった」といったような大局的な時間的特性を把握することができた。

特にクラスタを構成するノードの遷移のような情報は、時間一覧性、単一性、表現対象性の 3 つが満たされたことによりはじめて視覚的に把握できる情報であると考えられる。

7-3.今後の課題

- ・親ノードとエッジのオーバーラップ

環状配置手法では、図 22 のようにある子ノードから伸びるエッジが別の子ノードに被さる場合が存在する。このようなオーバーラップは可読性を低下させる要因となる。今後はエッジとノード間に反発力を持たせるなどしてオーバーラップを回避する工夫を導入し可読性を向上させる必要がある。

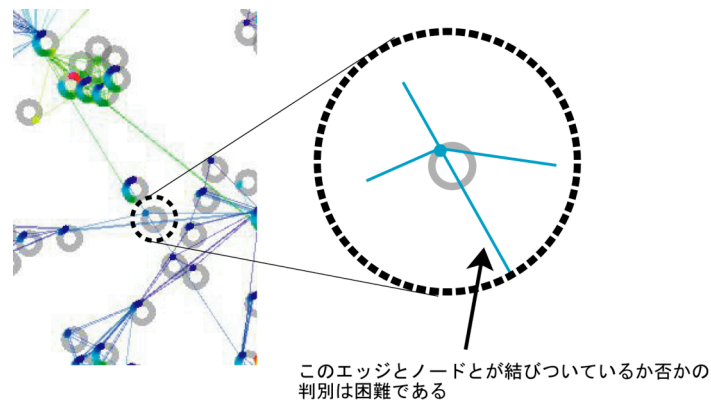


図 22 親ノードとエッジとの交差

- ・親ノード内でのオーバーラップ

図 23 では、子ノードとエッジだけでなくエッジ同士も交差している。このようなオーバーラップも親ノードとエッジのオーバーラップと同様に、可読性を低下させる要因となる。このオーバーラップはエッジを直線で描画するために発生する。よって、エッジを曲線化、バンドル化することによりこの問題は回避できると考えられる。今後はそのような機能を追加し、可読性を高めたい。

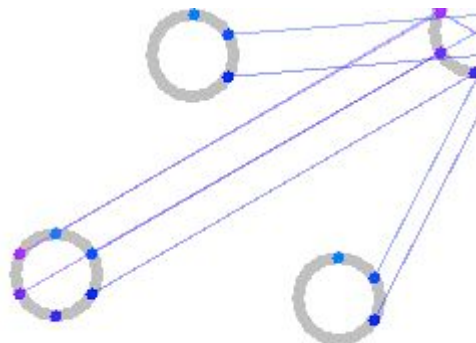


図 23 親ノード内での交差

- ・環状配置手法における適用限界の克服

環状配置手法は、子ノードの位置情報と追加や削除を対応付けている。このためエッジ長の変化を表現することは困難である。今後はそのような変化も併せて表現する手法を開発したい。

- ・リアルタイム対応

現在のビューワは過去のある期間のネットワークを描画することを前提としている。そのため、描画後にデータが更新されることは考慮されていない。今後はビューワの利用性を高めるためにも実時間との対応を図りたい。またこの時、データの更新によって変化したネットワークが再描画される場合に、メンタルモデルを保持するようなレイアウトを適用させる必要があると考えられる。

- ・時間の周期性を持つデータへの適用

環状配置表現手法では、最新時刻を表す位置と初期時刻を表す位置が互いに近い。そのため、時間の周期性(時間軸の終端が始端につながる)がある動的ネットワークへの適用も期待できる。今後はそのような動的ネットワークも可視化対象として環状配置手法の評価を行いたい。

8. 結論

本研究は、要素や要素間の関係の追加と削除が動的に起こるネットワークの変化過程の可視化手法として環状配置手法を提案した。また、この手法を搭載したビューワを開発した。環状配置手法の適用例として、共著関係ネットワークの可視化を行ったところ、動的ネットワークに内在するクラスタの変化過程やネットワーク全体の時間的傾向を視覚的に把握することができた。今後は、グラフ構造の変化だけでなく、ノードやエッジに付与される重みの変化も表現できるような手法を開発する予定である。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、筑波大学システム情報工学研究科 田中二郎先生、三末和男先生、志築文太郎先生、高橋伸先生より丁寧な指導、貴重なご意見をいただきました。心より感謝申し上げます。また、筑波大学システム情報工学研究科インタラクティブプログラミング研究室(IPLAB)のメンバーの方々には、ゼミ等を通じ多くの意見をいただきました。また、NAIS チームの皆様にはチームミーティングでの意見のみならず研究生活全体にわたって多くのご意見とご指摘をいただきました。ここに深く感謝致します。最後に物心両面に渡り学生生活を支えてくださった家族、4年間を実りあるものにしてくれた友人、学生生活の中でお世話になった全ての方々に心より感謝いたします。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] B.H.McCormick, T.A.DeFanti, M.D.Brown, “Visualization in scientific computing”, ACM Computer Graphics Vol. 21 No. 6, 1987.
- [2] 出原 栄一, 吉田 武夫, 渥美 浩章, “図の体系—図的思考とその表現”, 日科技連, 1986
- [3] 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-”, 計測自動制御学会学術図書, コロナ社, 1993
- [4] 大澤 幸生, “チャンス発見の情報技術—ポストデータマイニング時代の意志決定支援”, 東京電機大学出版局, 2003
- [5] 大澤 幸生, “チャンス発見のデータ分析—モデル化+可視化+コミュニケーション→シナリオ創発”, 東京電機大学出版局, 2006
- [6] James Moody, Daniel McFarland, Skye Bender-deMoll, “Dynamic Network Visualization”, American Journal of Sociology vol. 110 pp.1206-1241, 2005.
- [7] Christian Collberg, Stephen Kobourov, Jasvir Nagra, Jacob Pitts, Kevin Wampler, ” A System for Graph-Based Visualization of the Evolution of Software” ,In Proceedings of ACM SoftVis '03 ACM Press NY USA. pp. 77-86, 2003
- [8] 鈴木 祐太, 古川園 智樹, 青山 希, 井庭 崇, “動的ネットワークの可視化ツールの構築”, 情報処理学会 ネットワーク生態学シンポジウム, 2006
- [9] 豊田正史, “インタラクティブな動的グラフィックアウト手法を用いたウェブグラフ発展過程の可視化”, 第14回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2006) pp.143-144, 2006
- [10] C.Erten, S.G.Kobourov, V.Le, A.Navabi, “Simultaneous Graph Drawing: Layout Algorithms and Visualization Schemes”, Journal of Graph Algorithms and Applications (JGAA) vol. 9 no. 1 pp.165-182, 2005
- [11] 豊田 正史, 喜連川 優, “WebRelievo : ウェブにおけるリンク構造の発展過程解析システム”, WISS 2004 pp.89-94, 2004
- [12] Ed H. Chi, James Pitkow, Jock Mackinlay, Peter Pirolli, Rich Gossweiler, Stuart K. Card, "Visualizing the Evolution of Web Ecologies", In Proceedings of CHI 98 pp.400-407, 1998
- [13] Marco Gaertler, Dorothea Wagner, ” A Hybrid Model for Drawing Dynamic and Evolving Graphs”, Graph Drawing 2005 pp.189-200, 2005
- [14] Ulrik Brandes, Steven R. Corman , ” Visual unrolling of network evolution and the analysis of dynamic discourse”, Information Visualization Volume 2 Number 1 March 2003 pp. 40-50, 2003
- [15] 石原 正樹, “動的ネットワークの成長過程と差分の可視化手法”, 筑波大学大学院

博士課程システム情報工学研究科修士論文,2007

[16] Yarden Livnat, Jim Agutter, Shaun Moon and Stefano Foresti, “Visual Correlation for Situational Awareness”, Proceedings of the 2005 IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS'05) p13,2005

[17] Peter Eades, “A heuristic for graph drawing” , Congressus Numerantium vol42 , pp.149-160, 1984

脚注

1. <http://bkv.sor-net.ne.jp/>
2. <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/>