

コミュニティマイニングのための研究者情報の視覚化

市瀬龍太郎[†] 武田 英明[†] 植山 浩介^{††}

[†] 国立情報学研究所 〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2
^{††} トライアックス 〒169-0075 東京都新宿区高田馬場 4-18-2-203
E-mail: [†]{ichise,takeda}@nii.ac.jp, ^{††}ko@triax.jp

あらまし 本論文では、論文の情報を利用して研究者のコミュニティをマイニングするシステムを提案する。そのための構成手法として、研究者全体の立場から見たマクロな視点のコミュニティマイニングと研究者個人の立場から見たミクロな視点のコミュニティマイニングを提案し、それらの手法の実装を行った。実装したシステムを基に、コミュニティマイニングについての考察を行う。

キーワード マイニング, コミュニティ, 視覚化, 研究者情報

Visualization of Researchers' Information for Community Mining

Ryutaro ICHISE[†], Hideaki TAKEDA[†], and Kosuke UEYAMA^{††}

[†] National Institute of Informatics Hitotubashi 2-1-2, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8430 Japan
^{††} TRIAX Inc. Takadanobaba 4-18-2-203, Shinjyuku-ku, Tokyo, 169-0075 Japan
E-mail: [†]{ichise,takeda}@nii.ac.jp, ^{††}ko@triax.jp

Abstract We propose an community mining system, which utilizes research information. In order to construct the system, we propose two types of community mining methods: community mining with the global viewpoint and with the local viewpoint. We discuss about the methods with the implemented system.

Key words Mining, Community, Visualization, Researchers' Information

1. ま え が き

情報化社会の進展に伴い、情報が人から人に口伝で伝わる社会から、マスメディアを通して伝わる社会、インターネットで情報がダイレクトに伝わる社会へと大きな変革が起こっている。その結果、得られる情報が多くなり過ぎて、ユーザが適切な情報を選択できないという問題が起こっている。その問題を解決するためのさまざまな試みがなされているが、その一つとして、コミュニティに注目が集まっている。人間が情報の伝達を行う時には、あるコミュニティを介して情報の伝達を行うことが多い。そのようなコミュニティを経由することによって、情報の信頼性が高まり、結果として有用な情報だけの伝搬を可能にする。これを計算機上で実現するために、学会会議スケジューリング支援システム [1] などのシステムが開発され、最近では、Friendster [2] や Mixi [3] のようなソーシャルネットワークサービスとして、コミュニティを積極的に利用する枠組が試みられている。

コミュニティの重要性は、技術の最先端を開拓する研究者においても、一般社会人における重要性と全く違いはない。例え

ば、ある研究を遂行する上で重要な実験的なノウハウというものは、論文に完全に記述できるものばかりではない。そのような情報はコミュニティの中で伝達されていき、新たな研究の種類となって、新規の技術に結び付いて行く。このように、研究者においても、どのようなコミュニティに属して研究を行うかというのは、非常に重要なこととなる。

コミュニティという言葉は、さまざまな観点で用いられている。例えば、Web コミュニティの研究 [4] では、Web の中で、一定のトピックによってまとめられる Web ページの塊をコミュニティと呼んでいる。一方、一般社会においては、実社会における人間同士の関係にある側面からまとめたものをコミュニティと呼んでいる。このように、コミュニティという言葉は、いろいろな側面を持つが、本研究においては、研究者が従事する研究トピックの観点から見たまとまりをコミュニティと呼び、それを発見するための手法を提案する。

研究のコミュニティを切り出すためには、論文の共著情報、引用情報が広く使われている。書誌情報学の分野では、共引用している論文同士は、同じ研究のコミュニティに属しているとして、分析が行われている。しかし、これらの分析は、論文の

観点からの分析であり、研究者個人の視点が欠けている。そのため、各研究者がどのようなコミュニティに属して活動を行っているのかという研究者個人のミクロな視点から、研究のコミュニティを捉えることは難しい。一方、CiteSeer [5], Google Scholar [6] では、インターネット上で得られる論文から、論文の共著、引用情報を抽出して、各研究者を単位としたミクロの視点から研究のコミュニティを捉えることが可能である。しかし、このようなシステムでは、研究全体の流れの中で、その研究者がどのようなコミュニティに属して、その中でどのような位置づけにあるのかということ捉えるのは難しい。そこで、本研究では、研究者個人というミクロの視点から、その研究者が研究全体のコミュニティの中で、どのような位置づけにあるのかということを見えるような視覚化システムを製作し、その発見を通して、各研究者の属するコミュニティを積極的に活用できるような枠組を構築する。

本論文は、以下のような構成になっている。まず、2. では、コミュニティのマイニングを容易に実現できるようなシステムを設計するに当たっての基本的な考え方について述べる。次の3. では、2. で述べた設計方針に基づいて実装されたシステムについて述べる。次の4. では、本研究で構築したシステムについて、例を交えながら実際の動作を説明をする。そして、最後の5. で、本研究をまとめると同時に、今後の課題について述べる。

2. システム設計の基本方針

2.1 関係性の抽出

研究者のコミュニティを発見するために、もっとも重要な情報は論文である。しかし、一口に論文の情報と言っても、タイトルやアブストラクトなど、さまざまなものが含まれている。前章で議論したように、コミュニティは、研究者や論文の関係性から成り立つものであるため、本研究では、コミュニティの発見に使う情報として、関係性を表す情報を用いることにする。具体的には、以下の3つの情報を用いる。

- 共著関係
- 論文引用関係
- 著者間引用関係

これらは、論文を執筆した研究者同士の関係や研究自身の関係を表していると考えられる。そのため、これらの関係からコミュニティの発見を試みることにする。

まず、共著情報から得られる関係性を考える。各研究者が共著で論文を書くということは、ある研究トピックスに対して、共同で研究を行ったことを示しており、少なくともそのトピックスに関しては、共通の関心を持っていると言える。この関係を表現するために、本研究では図1のグラフの表現を用いる。このグラフでは、各研究者をノードとして捉え、共著関係がある著者の間には、関係性を表すアークを引く。そのようにすることにより、研究者間の関係性をグラフの形式に記載してやる



図1 研究者関係のグラフ表示

ことが可能となる。

次に、引用情報について考える。論文には、引用情報が含まれることが多く、これらの情報は、論文の最後に一覧として掲載されている。この引用情報は、その論文と内容的に関係性があるために引用をしていることを示している。そこで、共著関係と同様に、論文をノードとして、引用関係をアークとして捉えるとグラフの形式で関係性を表すことができる。

最後に著者引用情報を考える。論文には、論文同士の間関係として、前述の引用関係がある。これは、あるトピックについて、その論文と引用した論文に関係のあることを示しているが、同時にその論文の著者同士も同じトピックの研究を行っている研究者であることも示していると言えるであろう。そこで、本研究では、ある論文の著者とその論文が引用している論文の著者の間に関係があると見なすことにする。そうすると、共著関係と同様に、研究者をノードとして、論文を引用する関係をアークとして捉えるとグラフの形式で関係性を表すことができる。

2.2 コミュニティマイニング

第2.1節で作成した関係性を表すグラフに対して、コミュニティの発見を試みる。そのために、本研究ではアクティブマイニング [7] の考えを採用し、ユーザとの対話を通じた発見を試みる。ユーザとの対話は、2つの段階に分けて考える。1つ目は、計算機が自動的にコミュニティの候補を捜し出す部分であり、2つ目は、その情報をユーザに分かりやすく提示する部分である。ユーザは機械の発見したコミュニティを見た後に、より洗練されたコミュニティを発見するには、どのようにしたらよいかの指示を機械に返すことで、コミュニティマイニングを実現していく。また、機械の出した結果をインタラクティブに操作していくことによって、コミュニティのマイニングを促進していく。

コミュニティを探すための指標としては、これまでいくつかの指標が考えられている [8]。本研究では、コミュニティマイニングのための指標として、下記のものを用いた。

- (1) 単純重み
- (2) 最大流量
- (3) Closeness

1番目の単純重みとは、共著の回数などを示すアークの重みに注目する手法である。アークの重みが少ない関係は、多い関係に比べると疎な結合ということができる。したがって、アークの本数が密になっている部分がコミュニティを表していると考えられる指標になる。2番目の最大流量とは、共著の回数などを示すアークの重みをパイプの太さで見なして、異なるノード間でどれくらいの流量が得られるか測る手法である。この手法で

は、直結していないノード間に対しても多くのアークが間に有れば、流量が上がるという特性がある。したがって、流量の多い関係は同じコミュニティに属していると考えられる指標となる。3番目の Closeness は、異なるノード間の最短距離を測る手法である。一見、遠くにあるノード間でも、あるパスを通ると近くに存在するという場合がある。そのようなことを見るために、2つのノード間で最短距離を測るとそれらの近さが分かる。したがって、最短距離が小さい場合には、同じコミュニティに属しているとの指標になる。

3. 研究コミュニティマイニングシステム

3.1 システムの構成

本研究では、前章で述べた方針でコミュニティマイニングシステムの実装を行った。実装システムの構成は、図2のようになっている。システムは、データベースとして、CiNii データベースと実験データベースの2つのデータベースを使用し、プログラムコンポーネントとして、5つのコンポーネントを使用している。

研究の関係を得るための論文データベースとして、CiNii [9] で使われているデータを用いた。このデータの詳細については、後述する。このデータは、Perl プログラムで書かれたデータベース生成部により、データベース管理部に送られ、システムに必要な部分のみで構成されるデータベースが構築される。データベース管理部として、本研究では、MySQL [10] を用いた。このデータは、その後、Perl で書かれたマイニング指標計算部により、第2.2節で述べた指標の中で、あらかじめ計算が可能なものが計算される。その計算結果は、データベース管理部に送られた後にデータベースに蓄えられ、必要な時に瞬時に引き出せるようにされる。

ユーザは、視覚化制御部を使用して、本システムにアクセスを行う。視覚化制御部は、Flash Player, SVG Viewer を内蔵した Web ブラウザで構成され、ユーザがデータを Web ブラウザに与えると、ネットワークを通して入力された情報が入出力制御部に送られる。入出力制御部は、Web サーバを含めた CGI プログラムで構成され、ユーザの入力から必要なデータを生成する。この部分は、Perl で書かれており、必要に応じて、データベース管理部からデータを取得したり、マイニング指標計算部を呼び出し、マイニングに必要な指標の値の計算を行う。

この章の残りの部分では、本システムで使ったデータベースについて、データの加工方法について、データを視覚化する方法についてを順に説明する。

3.2 使用した論文データベース

本研究では、研究者の情報を得るために、CiNii [9] のデータベースを用いた。本データベースは、約 320 メガバイトの SGML ファイルで記述されており、論文の題名、著者、発行年などの書誌情報が含まれている。このデータベースに含まれているデータの数を表1に掲載する。表中の CiNii データベース

表1 本研究で使用した論文データの数

データの種類	CiNii データベースの データ数 (万件)	実験データベースの データ数 (万件)
論文情報	54.4	12.8
著者情報	22.4	9.0
執筆情報	78.7	35.8
共著情報	110.3	23.1
引用情報 (論文)	44.5	3.6
引用情報 (著者)	156.2	34.9

のデータ数が、元の SGML で記載されたデータベースに含まれるデータの数である。論文情報は、論文の件数を表し、著者情報は、ここに含まれる論文の著者の数を表している。著者情報の数が論文情報の数よりも少ないのは、一人の著者が複数の論文を書いているためである。執筆情報は、論文を書いた執筆者の情報を数えたものであり、一つの論文を複数で執筆している場合には、その数だけカウントされることになる。例えば、3人の共著で論文を書いている場合には、1本の論文情報に対して、執筆情報としては、3件と数えられる。共著情報の数は、論文の共著者の組合せの数を表す。例えば、ある論文を4人で執筆している場合には、 ${}_4C_2 = 6$ 組の組合せが存在する。このような組合せの数を表したものが、共著情報の数になる。引用情報 (論文) は、論文を引用している情報の数を表す。本来、一つの論文から多数の論文を引用することが多いので、引用情報 (論文) の数は、論文情報の数よりも多くなるが、本研究で使った CiNii のデータベースには、一部の論文しか引用している論文の情報がないため、引用情報 (論文) は、それよりも少ない数になっている。引用情報 (著者) の数は、引用された論文の著者の数を表す。論文情報の数と著者情報の数を比較した時には、著者情報の方が少なくなっていたのに対して、引用情報 (論文) の数と引用情報 (著者) の数を比較した場合には、引用情報 (著者) の方が多くなっている。このことは、引用された論文では、同じ著者の論文が引用される場合よりも、さまざまな論文が引用されることが多いことを示しているためであると考えられる。なお、この研究で使った CiNii データベースは、2003年10月に作成されたものであり、現在、CiNii で使われている論文の情報とは異なっている。

3.3 データ加工方法

前節で述べたデータベースをデータベース生成部で処理することによって、実験に使うために必要な実験データベースの構築を行う。その際には、CiNii データベースに含まれる ISSN 番号などの情報は、この実験では使わないため、必要な部分だけを取り出して新たに実験用のデータベースを構築した。また、著者の情報として記載されている情報は、完全に正しいものであるとは限らないため、データベース生成部でヒューリスティックを用いて修正を行った。このヒューリスティックは、長大な文字列を分割するためのものである。CiNii データベースに含まれる著者情報は、OCR で自動生成したものが含まれるため、

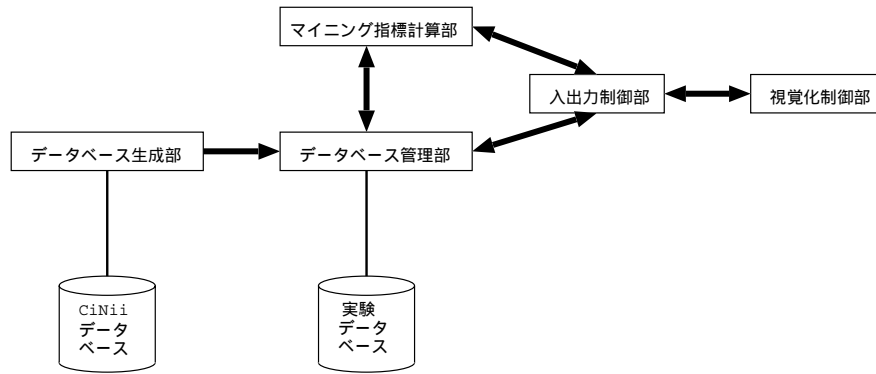


図 2 システムの構成

複数の名前が一つの名前として、データベースに登録されてしまう場合がある。このような場合に対応するために、長大な文字列が著者として登録されている場合には、などの特定の記号を区切りとして、連名者を分けるようにしている。また、すでに著者として登録してある文字列が先頭の文字列に含まれる場合には、その論文の著者として、実験データベースに登録するような処理を施した。

この処理の後に実験用データベースに格納されたデータの数は、表 1 の実験データベースのデータ数として記載されている。ここで、使ったデータの数が CiNii データベースのデータ数よりも大幅に少なくなっているのは、引用元の論文として CiNii データベースに含まれている論文情報のみを実験データに用いているためである。CiNii のデータベースには、その他に、引用元の論文データから起こされた引用先の論文情報も含まれている。しかし、引用データから起こされた論文情報は、不完全な上に、誤りが多く、信頼できない情報を含むため、本研究では、引用元の論文情報のみを用いることにした。

3.4 データの視覚化方法

データの視覚化は視覚化制御部が受け持つ。視覚化制御部では、ユーザの入力に対して、コミュニティマイニングに適したような画面を表示することが必要となる。そのためには、インタラクティブにユーザがデータをブラウズする機能が欠かせない。そこで、本研究では、Flash Player と SVG Viewer を内蔵した Web ブラウザを視覚化制御部として利用した。視覚化制御部で使われるデータはネットワーク上の Web サーバから供給される。そのサーバ機能を持つのが、入出力制御部である。本研究では、入出力制御部が提供する視覚化データとして 2 種類のデータを使用した。1 つは、SVG [11] によるグラフ化表示であり、もう一つは、Flash による近傍表示である。前者は、関係を示すグラフを表示することで、マクロなコミュニティの発見を促進するのに利用し、後者は、個人を中心にして近傍の関係を表示することで、ミクロなコミュニティの発見を促進するのに利用する。以下では、これらを順に説明する。

まず、SVG によるグラフ化表示について説明する。第 2.1 節で説明したように、コミュニティは、関係で表されるため、図 1 のような形式のグラフで表現すると、視認性が向上すると

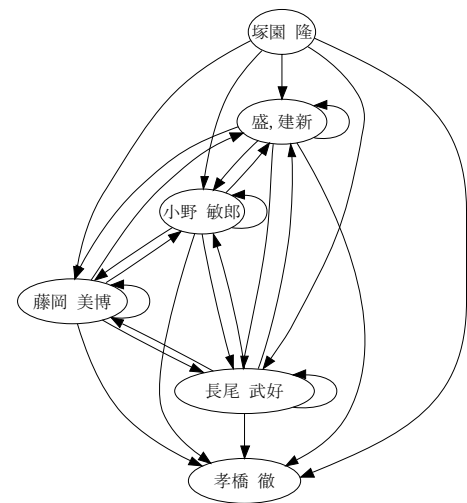


図 3 SVG によるグラフ表示の例

考えられる。そこで、本研究では、グラフの表示を容易にできる SVG を視覚化のために用いた。SVG は、XML で記述されたグラフを表すためのフォーマットであり、このフォーマットで書かれた XML ファイルは、SVG のビューワで見ることが可能となる。図 3 は、グラフで示された関係を図示した例である。しかし、図で表示する時には、単にグラフを全て表示すれば、コミュニティマイニングが実現できるのではなく、コミュニティとして成り立ちそうな部分を重点的に表示する必要がある。一般的に、関係をグラフ化すると、大半のノードがなんらかの形でつながってしまい、巨大なグラフができてしまう傾向がある [12]。巨大なグラフから人間がコミュニティを理解することは困難であるため、本研究では、第 2.2 節で述べた指標を用いて、ユーザがインタラクティブに大きなグラフを小さなグラフに分割することで、コミュニティのマイニングを実現できるようにする。具体的には、ユーザが指標の値を変えることでより小さなグラフ群を得ることや、選択したグラフに対して指標の値を変えることでそのグラフを分割することを通して、コミュニティのマイニングを実現する。ただし、現在の実装では、マイニング指標計算部で、第 2.2 節で述べた 3 種類の指標値の計算を行っているものの、SVG によるグラフ表示としては、単純重みを用いた場合だけに対応している。

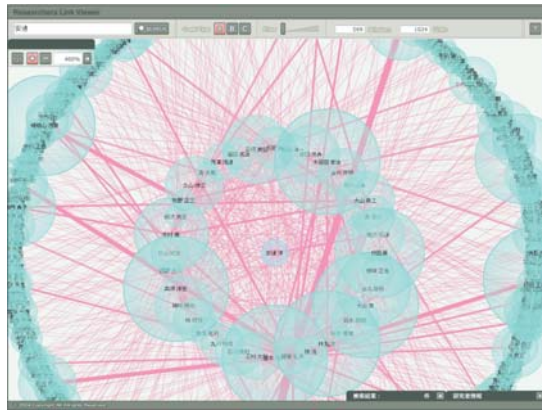


図 4 近傍表示の例

次に、Flash による近傍表示について説明をする。SVG によるグラフ化によりコミュニティが発見されると、そのコミュニティの中で、特定の研究者がどのような位置づけで、研究を行っているのかということが、より洗練されたコミュニティマイニングのために必要となる。そのためには、コミュニティをマクロな視点から見ると同時に、研究者個人に注目してミクロの視点から見ることにも必要となる。そのために、各研究者個人が属する近傍のコミュニティを表示することで、より正確なコミュニティマイニングを促進することを試みる。近傍表示による視覚化では、特定の研究者を中心に表示し、その研究者と関係のある研究者を同心円上の周囲に表示することで、その研究者の周辺にあるコミュニティの存在を明確にする。ここでは、研究者のコミュニティを明確に扱うために、第 2.1 節で述べた共著関係と著者間引用関係のみを扱うことにする。図 4 は、近傍表示の例である。中心に描かれているのが、着目する研究者である。その研究者の周りの同心円上には、その研究者とつながっている研究者が表示される。その外側の同心円上には、1 番目の同心円上の研究者からつながっている研究者が表示される。同心円上に配置される研究者を表す円は、論文の数によって大きさが決まり、他の研究者とのつながりの強さは、間を結ぶ線の太さによって表される。ユーザは、インタラクティブにコミュニティを発見するために、この画面上で、下記の操作を行うことが可能となる。

- 別の研究者を指定することで、中心となる研究者を変更する。
- 研究者を表す円を移動することで、特定の研究者同士の関係を見やすくする。
- 関係を表す線の種別を変更することで、どのような関係で結ばれているのかを明示する。
- 中心の研究者の論文のリストを表示する。

3.5 その他の機能

ユーザによるコミュニティのマイニングを促進するために、論文の検索機能などの基本的な機能もこのシステムに実装した。具体的には、下記の機能が実装されている。

- 論文検索機能：著者名や論文のタイトル名によって、特



図 5 システムの起動画面

定の著者やタイトルに関連した情報を検索する。この機能により、発見されたコミュニティにどのような意味づけがあるか、類似するコミュニティにどのようなものがあるのかなどを容易に調べられる。

- ランキング機能：共著数の多い著者を提示することにより、密なコミュニティがどの部分に存在するのかなどを容易に調べられる。また、著者同士の関係性を提示することによって、コミュニティマイニングの最初の基点を与えることが可能になる。同様に、引用されることの多い論文も提示することができる。

4. 実際のシステムの動作例

システムがどのように動くか分かり易くするために、この章では動作の様子をシステムの画面例とともに述べる。

まず、ユーザがシステムを使うときに最初に使用する画面が図 5 である。この画面では、提案したシステムが実装しているすべての機能を容易に選択することができる。

画面中央の部分からは、第 3.4 節で述べた Flash による近傍表示画面にアクセスできるようになっている。この場所をクリックすると、Flash によって描かれた検索窓が開くようになっている。ここに注目したい研究者の名前を入力すると、その研究者を中心としたコミュニティをみることができる。例えば、「武田」と入力して検索した後に、「武田英明」を表示用に選択した場合に表示される画面が図 6 である。この画面で、左下に掲載されているのは、「武田」で検索された著者の一覧であり、この中から「武田英明」を選択すると図 6 のようになる。画面の中央には、「武田英明」が表示され、その周りに「武田英明」と共著で論文を書いた研究者が配置されている。この周りにある研究者を見ることによって、特定の研究者の周囲に存在するコミュニティの発見ができるようになる。画面上の操作により、一定以下の重みを持つ関係を非表示にしたり、表示の位置や倍率も変更することができる。また、図 6 では、共著関係を表示しているが、著者間引用関係を青い線で表示することも可能である。画面の右下にある窓には、中心に表示されている研究者の論文の一覧が表示されており、その研究者がどのような研究を

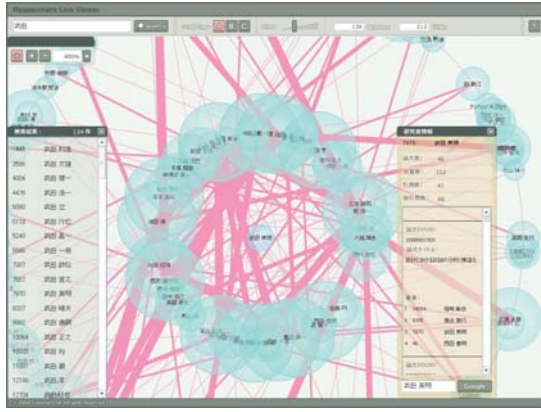


図 6 ある研究者を検索して表示した時の画面

行ってきたのかということが、一瞥できるようになっている。

図 5 の左下の 2 つの項目は、それぞれ、著者と論文の検索をするためのものである。中央の 2 つの項目は、ランキングを表示するためのものであり、それぞれ、共著論文の多い研究者の組合せと引用された回数が多い論文が上位から順に表示されるようになっている。これらの機能は、コミュニティ発見のための補助的な知識を得ることに使うために実装された。

図 5 の右下の 3 つの項目は、コミュニティをグラフ表示するためのものである。これはそれぞれ、論文引用関係、著者間引用関係、共著関係でグラフを表示できるようになっている。どれも同じような動作をするため、ここで、著者間引用関係の場合を例に取り説明を行う。著者間引用関係の部分をクリックした画面が図 7 である。この画面では、関係間の重みを選択できるようになっている。図 7 では、画面中央左に記載があるように、重み 1、すなわち、1 回以上の著者間引用関係がある研究者で、グラフを作成するようになっている。その結果、いくつかのコミュニティに分かれる。ここでは、30,536 人の研究者で構成されるコミュニティが 1 つ、26 人の研究者で構成されるコミュニティが 1 つなど、いくつかのコミュニティに分割される。そのリストが表示されているのが、図 7 の下部である。この中から、必要なコミュニティを選択すると、実際にどのようなコミュニティになっているのかを図 3 のような形式で、SVG ビューワを使って表示することができる。また、表示するには大き過ぎるコミュニティであれば、分割を選択することでグラフを小さく分割してやることもできる。この分割を実行する場合には、グラフ間の重みが調整され、連結の弱い部分が消去されることで、コミュニティが分割される。分割されたコミュニティに対して図 7 と同様なリストが表示され、ユーザはインタラクティブに必要なコミュニティを発見していくことが可能となる。

5. む す び

本論文では、研究者のコミュニティマイニングを行うためのシステムを提案した。コミュニティマイニングのために必要な要素として、研究者全体のマクロな視点からのコミュニティと研究者個人のミクロな視点からのコミュニティの 2 つの視点を



図 7 コミュニティの一覧表示

提供し、それぞれに対応する実験システムを実装した。このシステムは、実装が終了した段階にあるが、まだ課題は多い。まず、このシステムの有効性の評価をすることが必要である。このシステムを使った場合に抽出できるコミュニティを実際の研究者に評価してもらうことによって、システムの有効性を今後検証していく必要がある。次に、よりよいシステムにするために、一般に公開を行い使い勝手などの問題点を明らかにしていく必要がある。その問題点を改良していくことで、最終的には実験システムから実用システムへとつなげていけるであろう。最後に、コミュニティの分け方に対する精度を上げることを考えていく必要がある。本論文で提案したシステムでは、コミュニティの発見をする主体はユーザと考え、システムはそれのためのサポートをするというコンセプトで設計されている。しかし、コミュニティが計算機により精度よく発見することが可能であれば、ユーザの手間を大きく減らすことが可能となる。今後、そのための精度の高い方法を考えていく必要がある。

文 献

- [1] 濱崎 雅弘, 武田 英明, 大向 一輝, 市瀬 龍太郎: パーソナルネットワークを利用したコミュニティシステムの提案と分析, 人工知能学会論文誌, Vol. 19, No. 5, pp.389-398, (2004).
- [2] Friendster Inc., <http://www.friendster.com/>, (2004).
- [3] eMercury Inc., <http://mixy.jp/>, (2004).
- [4] 村田 剛: Web コミュニティ, 情報処理, Vol. 44, No. 7, pp. 702-706, (2003).
- [5] Scientific Literature Digital Library, <http://citeseer.ist.psu.edu/>, (2004).
- [6] Google Scholar, <http://scholar.google.com/>, (2004).
- [7] 元田 浩, 沼尾 正行, 山口 高平, 津本 周作: アクティブマイニングの構想と展開, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 5, pp. 615-621, (2002).
- [8] Freeman, L. C.: Centrality in social networks: Conceptual clarification, Social Networks, Vol. 1, pp. 215-239, (1979).
- [9] 国立情報学研究所, NII 論文情報ナビゲータ (CiNii), <http://ci.nii.ac.jp/>, (2004).
- [10] MySQL, <http://www.mysql.com/>, (2004).
- [11] Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification, <http://www.w3.org/>, (2003).
- [12] Barabási, A-L.: LINKED: The New Science of Networks, (2002), 邦訳: 青木薫 [訳], 「新ネットワーク思考」.