

有向グラフと Coordinated Multiple Views による 文書内情報の時系列的可視化 Visualizing Time-Series Information in Multiple Texts with Coordinated Multiple Views of Directed Graphs

河田 裕成

Hironari Kawada

法政大学大学院情報科学研究科情報科学専攻

E-mail: hironari.kawada.5k@stu.hosei.ac.jp

Abstract

In many events like traffic accidents, their states are changed over time. Along with that, newspapers, social media, and other media often provide additional information about them. This process of update and correction of previous information is useful for better understanding of the event itself and how the media treated it. However, analyzing such a process in the text-based media manually is time-consuming, especially when it occurred for a long term. This paper proposes a visual analysis system for the changing information of an event in the time series. This system uses the concept of coordinated multiple views to enable interactive analysis from various aspects. It also utilizes an existing method to describe text-based information as a directed graph for easier interpretation. Each view shows specific information, such as the overview of the time series, the detail of the information appearances for a short period, and the transition of information related to the user-specified word. The system provides functions for editing and coordinating these three views. In the user study, the proposed system gained positive impressions on the easiness of understanding the overview of the time series. On the other hand, there were conflicting comments about the system's effectivity of describing information in detail due to the complicated form of the graphs.

1. はじめに

事故や事件といった時事情報では、時間の経過によって様々な出来事が発生する。それに従って、新聞や SNS 等のメディアにおいても情報が逐次的に出現し、過去の情報の更新や訂正が行われる。こうした情報の時系列的変化から、時事情報に関する詳細な動向を知ることができる。加えて、メディアにおける時事情報の扱いに関する傾向の分析に役立てることもできる。しかし、特に長期に渡って扱われた時事情報では、人手による情報変化の分析には時間と手間がかかる。

本論文では、文書中の情報を表現する有向グラフによって、時事情報の特性を複数の観点から可視化する手法

を提案する。特に、Coordinated Multiple Views (CMV) [1] の考え方をを用いることで、時系列中に出現する文書という複雑な情報を理解しやすく提示することを目的とする。

提案手法では、まず、既存手法により文書群を 1 つの有向グラフに変換する。次に、文書の公開日時等に注目することで、もとの有向グラフから 3 種のサブグラフを抽出する。これらのサブグラフは、CMV におけるビューとして扱う。具体的には、時事情報の内容を表す概要ビュー、各時期の情報詳細を表す短期詳細ビュー、特定語に関する情報の推移を表す関連語推移ビューの 3 つである。最後に、各ビューとその編集機能を提示することで、ユーザの多角的かつ対話的な分析を可能とする。アンケートによる評価実験の結果、提案手法は時事情報の概要の理解や、時系列を通じた全体的な話題の変化の理解しやすさについて高評価を得た。一方で、グラフの視認性等の問題から、時期間の詳細な情報変化等の分析が困難となる場合があると分かった。

2. 関連研究

時系列情報を可視化し、人々の動向やトレンドの分析を行う手法の 1 つとして、Time-tunnel がある [2]。これは、複数のデータのそれぞれについて折れ線グラフを作成し、時系列を軸として 3 次元空間上に平行に配置したものである。この手法では、各データの時系列的变化に加えて、時系列の特定時点におけるデータ群の特性を、レーダーチャートとして表示することができる。こうした 3 次元的可視化を文書に対して適用した研究として、伊藤らの研究 [3] がある。伊藤らは、係り受け解析により動詞句と名詞句の組をイベントとして抽出した。その後、これらの組によるツリーを時系列順に並べることで、特定単語に関するイベント群の構成や頻度の変化を可視化した。しかし、この手法では単語間の関係は明示されないため、ユーザが推測する必要がある。

時事情報を可視化する手法として、田代らの研究 [4] がある。田代らは、実世界の出来事を表す情報を「事象」とし、5W1H 等の事象属性によって構成されるものとして定義した。その後、ニュース記事等に記された事象を有向グラフとして可視化して、メディア間の比較を行った。この手法では、単語間の関係を詳細に可視化することができる。ただし、田代らは時系列的な情報変化は研

究対象としていない。また、この手法による有向グラフは大規模であり、効率的な分析が難しい。

ユーザによるデータの分析を支援するための手法として、Coordinated Multiple Views (CMV)がある [1]。これは、例えば概要 (overview)と詳細 (detail)等、データを複数の観点からみたビューの組み合わせとして協働させつつ提示することで、多角的な分析を可能とするものである。この手法を時系列上の文書に用いた例としては、CrystalBall [5]がある。この研究はソーシャルメディアを対象とし、ユーザの投稿日時や、投稿文中の地名等を解析した。そして、将来的に発生するイベントの検知や、時系列を跨いだイベント間の影響関係の可視化を行った。

3. 準備

文書中の情報を詳細に可視化するために、田代らの手法を用いる。田代らは、事象を構成する要素として13種の事象属性を定義し、文中の単語との対応付けをConditional Random Field (CRF)を学習させて行った。そして、対応づけられた文中の単語をノード、それらの関係をエッジとする有向グラフによって事象を表現した。以下に、その詳細を述べる。

まず、文に対して形態素解析と係り受け解析を行う。その結果を用いて、CRFにより各単語を事象属性でラベリングする。この際、単語は原型に変換する等の正規化を行う。次に、事象属性種や手がかり語を用いるルールによって、事象属性群を事象毎に纏める。ここで、各事象は13種全ての事象属性を持たなくてもよい。ただし、「Activity」もしくは「Status」の一方は必ず含まれる。最後に、ラベリングされた単語をノードとし、それらの間にエッジを設定することで、有向グラフを作成する。エッジのラベルには、接続される2単語の事象属性のうち一方が選択される。図1に、例文「高校生の太郎がスーパーで野菜を買った」でのラベリングと、有向グラフへの変換結果を示す。図において、Modifierは修飾関係を、Subjectは事象の主題を、Activityは動作を、Objectは動作の目的語を、Locationは事象の発生位置を表す。

4. 提案手法

本論文では、3章で述べた田代らの手法を用いて文書を有向グラフに変換した後、時事情報の特性を可視化する。その対象としては、新聞やインターネット上のニュース記事、SNSへの投稿文等の、公開日時がタグとして付与された文書を用いる。公開日時タグを文書中の情報の出現時期として扱うことで、時事情報の取り上げられた時系列を任意の期間に区切り、それらの間での単語やその関係の変化を機械的に検出する。

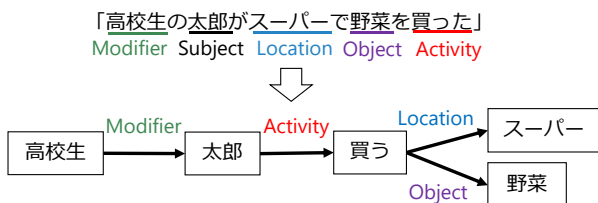


図1 有向グラフへの変換例

初めに、田代らの手法により複数の文書を1つの有向グラフに変換する。次に、公開日時タグやノード間距離等の情報を用いて、得られた有向グラフから3種類のサブグラフを抽出する。このとき、各サブグラフに対して、その種類に応じた情報の強調をノードの着色等によって行う。これらは種類ごとに概要ビュー、短期詳細ビュー、関連語推移ビューとして扱う。最後に、3つのビューとそれらを協働させるビューの編集機能を組み合わせ、Graphical User Interface (GUI)として提示する。

各ビューに示される情報を見ることで、ユーザは複数の観点から時事情報の内容や、時系列における出現の経過を理解することができる。また、ビューの編集機能を利用することで、興味を持った単語の詳細を対話的に分析できる。以下に、提案手法における各ビューが提示する時事情報の特性と、その可視化方法について説明する。その後、ビューをCMVとして協働させるための分析支援機能の詳細について述べる。

4.1. 概要ビュー

概要ビューは、時事情報の時系列全体における概要を提示することを目的とする。具体的には、時事情報がどのような出来事であるかを説明するような基本的な事象を示す。例えば、交通事故に関する文書であれば、当事者の名前等を含む「事故が起きた」という事象がこれに該当する。加えて、基本的な事象に関連して出現したその他の情報を、それらの時系列中での出現期間と併せて示す。概要ビューの例を図3に示す。分析開始時にこのビューの基本的な事象を見ることで、ユーザは時事情報について大まかに理解できる。更に、関連する単語の出現期間を、他ビューを利用した分析の手がかりを得ることができる。

基本的な事象は、時事情報について述べる際に頻繁に言及される事象であるため、時系列を通して文書中出现しやすいと考えた。概要ビューで示す有向グラフはこの仮説に基づき、田代らのグラフから生成される。まず、文書の公開日時タグを用いて、時系列における各ノードの出現期間数を計算する。次に、一定割合以上の期間に出現するノードを、基本的な事象を構成するものとして抽出する。最後に、これらのノードを始点とし、一定距離のグラフ探索によりサブグラフを得る。なお、ノードの出現割合やグラフ探索でのステップ数といった閾値は、ユーザが指定可能である。

可視化において、有向グラフ中の各ノードは、その出現期間を示すように着色される。着色には、時系列の各期間に割り当てられた固有の色を用いる。具体的な割当は、時系列の初期から順に赤色から緑色、紫色までの虹状のグラデーションとなるよう設定されている。なお、複数の期間に出現するノードでは、期間数分の色によって縞模様に塗り分けられる。

4.2. 短期詳細ビュー

短期詳細ビューは、各期間の文書に対して生成した有向グラフの内、1つの期間についてのグラフを表示する。各グラフは、時系列の特定の期間に公開された文書中出现した全ての事象群に加えて、それらが直前の期間のものとは比べてどう変化したかを示すことを目的とする。2

期間における情報の変化は、表示期間でのノードの「新規出現」，直前期間からの「継続出現」，「削除」の 3 種と定義した。これらはそれぞれ、赤色、白色、青色によってノードを着色することで強調している。短期詳細ビューの例を、図 7 に示す。

このビューにより、ユーザは時系列中の任意の期間について有向グラフを表示し、興味を持った単語が出現した事象の具体的な内容を知ることができる。また、それと同時期に文書で扱われた話題の詳細を分析できる。加えて、各ノードの変化も合わせて見ることで、特定の単語に関して短期間に起きた情報の変化を知ることができる。例えば、ある人物名を表すノードに対し、赤色と青色の 2 ノードが共に「Status」関係で接続されていた場合、その人物の状態が時間経過により変化したと解釈できる。

このビューで用いる有向グラフ群は、以下の手順で生成される。まず、田代らのグラフから、期間ごとにサブグラフを抽出する。ここでは、文書の公開日時タグを用いて各ノードの出現期間を判定している。次に、得られたサブグラフ群を時系列順にソートする。その後、連続する 2 期間について、後期のサブグラフのノード構成を直前のものと比較する。最後に、比較結果を用いてノードを着色する。なお、「削除」のノードは当該期間のグラフに存在しないため、着色処理の前に直前期間のものからノードを取得し、関連するエッジと共に追加する。

4.3. 関連語推移ビュー

関連語推移ビューは、特定の単語に関連して出現した単語構成の、時系列を通じた変化の推移を示すことを目的とする。図 6 にその例を示す。このビューでは、緑色で強調されたユーザ指定の単語に関連する単語群を、期間毎にグループ化して表示している。各グループは時系列の初期のものから順に、左から右へと配置されている。

ユーザは、他のビューで興味をもった任意の単語についてこのビューを表示し、その単語が各期間においてどのような事象として現れたのかを知ることができる。また、関連単語の変化に注目して分析することで、文書における分析対象語の扱いの時系列的な変化について知見を得ることができる。例えば、ある組織に関してメディア上で取り上げられた話題が変化した場合、それは特定期間からの新規関連語の出現としてこのビュー上に現れる。以下に、ビューの生成方法を述べる。

まず、短期詳細ビューの生成と同じ手順によって、田代らの手法による有向グラフを期間毎に分割したサブグラフを得る。次に、ユーザの指定する単語が出現する期間のグラフについて、指定単語から 1 ステップ分のグラフ探索を行う。最後に、得られた結果を期間毎にグループ化した上で時系列順にソートし、1 つの図上に左から配置する。このとき各グループには、それが示す時系列中の期間のタイムスタンプがラベルとして付与される。

4.4. ビューの協働と分析支援

ユーザの分析効率を向上させるためには、情報を必要に応じてフィルタリングする、もしくは逆に発見しやすくする等によって各ビューの視認性を上げる必要があると考えた。そこで、本論文ではビューに表示される有向

グラフを GUI から対話的に操作する機能を提供する。具体的には、複数ノードのマージとラベル設定、ユーザの指定するノードの強調表示、可視化する時系列の範囲限定、そしてエッジのラベル表示省略の 4 つである。これらの機能は、4.1 節で述べたグラフ探索での閾値等とは異なり、全てのビューに対して一律に適用される。以下に、想定される各機能の利用例を挙げる。

ノードのマージとラベル設定機能により、自然言語の文に発生しやすい単語の表記ゆれを人手で修正できる。それに加えて、例えば企業に属する個人名など、特定の属性を共有する単語群をグループ化できる。これにより、特に関連語推移ビュー等でグループに関する情報の変化を分析し、新たな知見を得ることが見込める。また、ノードを纏める際にノードの強調機能を利用することで、グラフ中のノード数が多い場合でも目的の単語やその関連語の発見が容易になる。さらに、時系列の表示範囲を限定することで、例えば初期と後期の間での情報出現の差異など、複数期間に関する概要ビューの表示とその比較が可能になる。その他、単語の組み合わせのみで情報が解釈できる場合などにエッジのラベル表示を省略することで、グラフを簡略化し、分析を容易にできる。

5. 実装

図 2 に、提案手法を実装したシステムの GUI を示す。図では、左上に概要ビュー、左下に短期詳細ビュー、右下に関連語推移ビューが配置される。各ビューは、その右側にあるスライダーによって表示の拡大が可能である。GUI の右上部には短期詳細ビューで表示する期間や概要ビューでの閾値設定、分析支援機能での単語指定に利用するウィジェットが並ぶ。加えて、右上最上段には各種設定を適用するためのグラフの再生成ボタンが置かれる。

6. 分析例

実際の文書群に対して提案手法による可視化を行い、各ビューによって得られる情報や、それらを組み合わせで行う分析の流れの一例を示す。本論文では、分析対象として、2014 年 1 月 15 日に発生した海難事故について毎日新聞社から公開された新聞記事を人手で収集した。これらは、2014 年 1 月から 11 月までの 14 記事からなる。

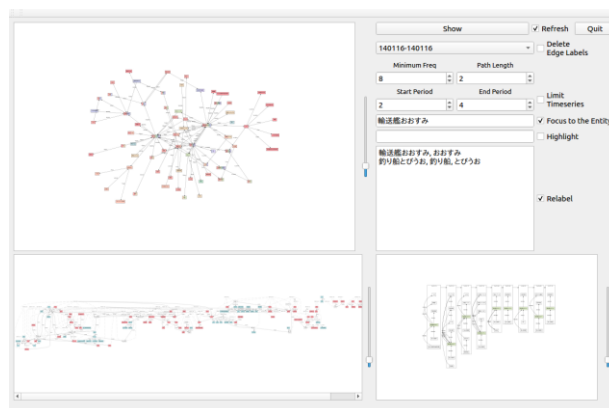


図 2 提案手法を実装したシステム

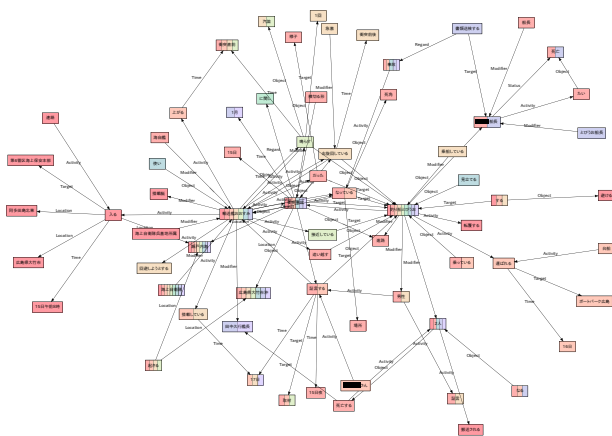


図3 概要ビュー

具体的には、1月15日の2記事、同16日の4記事、同17日の2記事に加え、同18、20、28日と2月28日、6月5日、11月15日での各1記事である。運輸安全委員会の公開した船舶事故調査報告書 [6]によれば、この事故では、海上自衛隊の輸送船「おおすみ」とプレジャーボート「とびうお」が、広島県大竹市の阿多田島沖で衝突した。その際、左舷前方から接近した「とびうお」に対し、「おおすみ」が右転して回避しようとしたとされる。この事故の結果、「とびうお」は転覆し、その乗員2名が病院に搬送されたが、両名とも後に死亡した。

可視化においては、事象属性のラベリングのみ人手で行ったデータを用意し、その後の有向グラフの生成等は田代らの手法に沿って行った。その理由は、田代らの論文では事象抽出の精度が74–87%であることから、誤抽出によって可視化結果が分析に不適となる可能性があるためである。また、時系列は1日を単位として9期間に分割した。加えて、概要ビュー生成におけるグラフ探索の始点となるノードには、全9期間中8期間以上出現したものをを用いた。用意したデータから田代らの手法によって変換されたグラフは、430のノードと886のエッジをもつ。これを元に、提案手法での各ビューを生成した。なお、個人情報保護の観点から、これ以後の各図で示す概要ビュー中の私人名は黒塗りとしている。また、分析では必要に応じてノードのマージを行い、単語の表記揺れをできる限り減らしている。

6.1. CMV を利用した分析

詳細な分析を行う前に、ユーザはまず、可視化対象の文書が扱う時事情報の内容を知る必要がある。図3に示す概要ビューでは、時系列全体における、基本的事象に関する情報の出現傾向について知ることができる。従って、初めに概要ビューを見ることで、時事情報について理解し、その後の分析に役立てることができる。

図3中において基本的事象を構成するノード群が出現した部分を、図4に示す。4.1節で述べたように、基本的事象は時系列の大部分において出現したノードからなる。これらのノードは、図中において虹色状に着色されて現れている。具体的には、「海上自衛隊」、「輸送艦おお

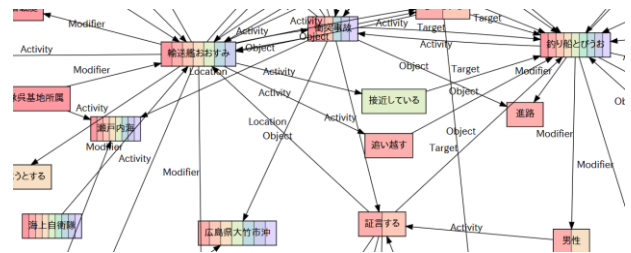


図4 概要ビュー中の基本的事象

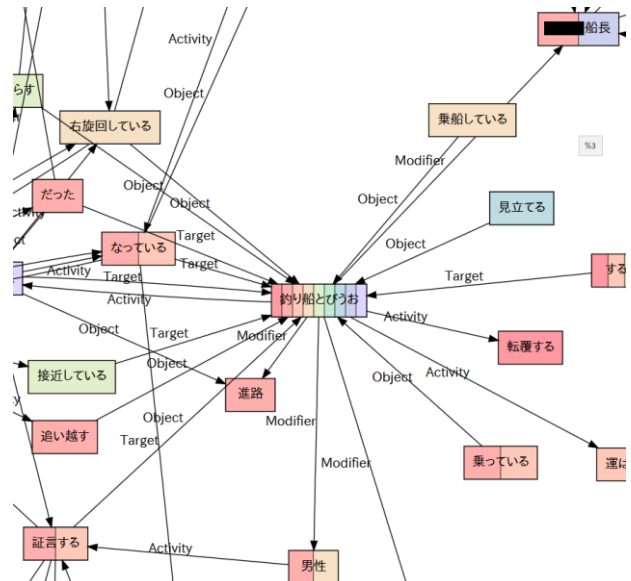


図5 概要ビュー中の「釣船とびうお」に関する部分

すみ」、「釣船とびうお」、「衝突事故」、「瀬戸内海」、そして「広島県大竹市沖」の6つである。これらのノードとその間にあるエッジによって、分析対象の時事情報における基本的事象の内容が「海上自衛隊の輸送艦おおすみ」が、瀬戸内海の広島県大竹市沖で釣船とびうおと衝突事故を起こした」とであると解釈できる。ここで、これらのノードの1つについて、その関連語に注目する。図5は、図3におけるノード「釣船とびうお」の周辺部分を示したものである。このノードと関連語は、エッジにより直接接続されている。すなわち、「釣船とびうお」とその関連語は、文書において同一の事象内に出現した単語である。従って、これらの関連語は基本的事象に関して短期的に出現した単語とみることができる。例えば、図中のノード「転覆する」は、「釣船とびうお」から Activity 関係で接続されている。加えて、このノードはその色から時系列の最初に出現した単語と分かる。以上より、時系列の最初期において「釣船とびうおが転覆する」という情報が取り上げられたと解釈できる。実際、この期間が指す1月15日では、「釣船とびうおが転覆したため救助中」というおおすみからの通報内容が記事内に出現している。

このようにして概要ビューで発見した単語について、他のビューを用いて情報の掘り下げを行うことができる。

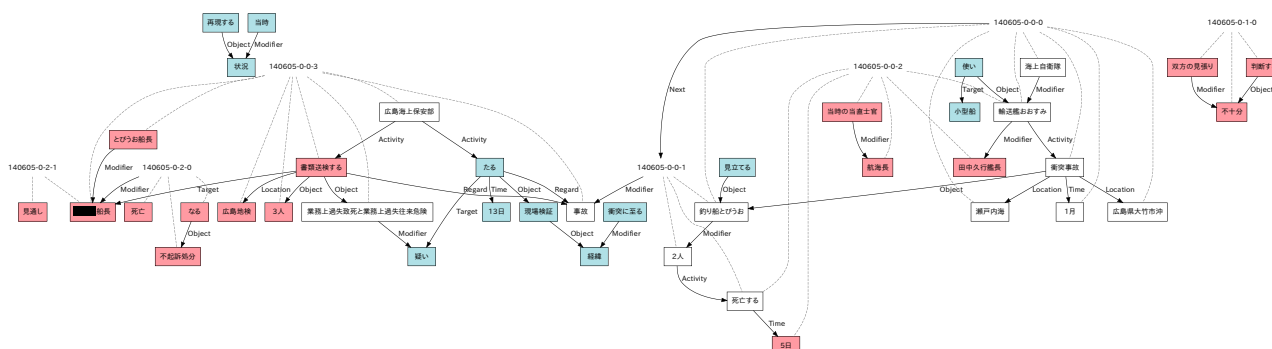


図7 短期詳細ビュー

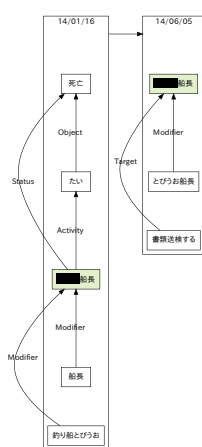


図6 とびうおの船長名に関する関連語推移ビュー

ここでは、図5右上部の黒塗りされたノードを選択する。なお、このノードは「釣り船とびうお」に **Modifier** 関係で修飾された船長名を表すため、便宜上、本論文ではこれを「とびうお船長」と呼ぶ。特定の単語に関する情報変化を知るには、関連語推移ビューが有効である。

図2の機能欄に「とびうお船長」の指す人名を入力して表示を更新すると、図6のようなビューが得られる。このビューでは、2つのグループ化されたノード群が存在する。それぞれのグループに付与されたラベルに注目すると、ノード「とびうお船長」の個人名は、1月16日と6月5日のみ出現したことが分かる。また、ノードの関連語も、2つのグループ間でその構成に違いがある。両グループは共に、「船長」という役職名ノードを持つ。ただし、1月16日のグループでは **Status** 関係でノード「死亡」と接続されているのに対し、6月5日ではノード「書類送検する」の **Target** になっている。このような関連語の変化は、2つの期間において、「とびうお船長」の指す人名が異なる事象として出現したことを示している。実際に文書を読むと、時系列の初期では事故の状況や当事者の詳細等の内容を取り上げることが多いが、後期では当局による事故原因の調査結果や遺族による裁判等、事故後に発生した出来事について述べている。

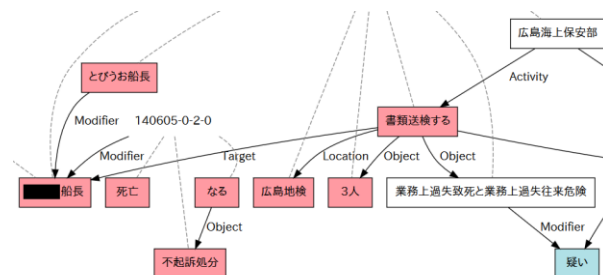


図8 2014年6月5日における情報変化例

関連語推移ビューは、時系列を通した期間毎の情報変化を可視化することができる。しかし、関連語のみを表示する都合上、個別の期間については情報量が少なく、それらの単語がどのような事象で出現したのかを理解することは難しい。ユーザはこうした特定期間における情報の文脈を知るために、短期詳細ビューを利用することができる。図7は、6月5日に公開された記事中の事象を可視化したものである。その中には、図6で示したものも含まれる。この図をみると、出現した事象群は大まかに2種類に分けることができる。その1つは、図の中央から右側における、白色の継続出現ノードを主とした事故の概要の記述である。もう1つは、図の左側に出現した、赤色の新規出現や青色の削除を主とする、直前期間からの情報変化の記述である。

図8に、図7左側部分の詳細を示す。図では、「広島海上保安部」から「書類送検する」が接続されている。また、その **Target** として「とびうお船長」が新規出現している。一方で、「書類送検する」の **Object** は「業務上過失致死と業務上過失往來危険」だが、このノードは削除された「疑い」を修飾している。また、「とびうお船長」と同じ事象内で「なる」や「不起訴処分」というノードが存在する。このことから、「とびうお船長」は広島海上保安部によって書類送検されたものの、不起訴処分になったという、事象の詳細を解釈できる。ただし、実際には、書類送検されたのは「とびうお船長」を含むおおすみの艦長等3人であった。この情報が現れなかった理由として、文書の構造に田代らの手法では対応できず、不十分な事象抽出が行われたことが考えられる。

このビューで現れたような事象の出現傾向の差は、実際の新聞記事における時事情報の扱いを反映している。すなわち、記事の公開日が事故発生から長期間経過しているため、新聞記者は読者に対して、まず予備知識である時事情報の概要の再紹介を行うという傾向である。

7. 評価実験

提案手法の評価をアンケートにより行った。可視化に用いたデータは、6章で述べた海難事故と同じものを用いた。実験において、大学生と大学院生からなる被験者9人は、時事情報の内容を知らない状態から、15分間の分析を行った。アンケートの設問は以下の4つである。評価値は、5を最高、1を最低とする5段階とした。

1. 記事全体がどのような出来事について書かれているか理解しやすい。
2. 設問1に関して、時間経過に沿って記事の話題にどのような変化があったか理解しやすい。
3. ある時期に書かれた記事に関して、過去と比べてどのような情報の変化があったか理解しやすい。
4. 記事に出現する人物や組織に関して、行動や情報の変化の推移が理解しやすい。

表1に、アンケートの結果を示す。設問1や2では平均3.7点以上の高評価を得たが、設問3と4では回答値が分散し、約3点となった。被験者からは、時事情報の概要は理解しやすいが、詳細を調べるのに苦労したという意見があった。また、関連語推移ビューで新たな情報を発見できたという一方、上手く活用できなかったという意見も出た。加えて、分析の初めのうちは手間取ったが、慣れるに従って効率よく分析できたという意見を得た。

表1 アンケート回答

設問	回答平均値	標準偏差
1	4.11	0.782
2	3.78	0.833
3	3.22	1.20
4	3.11	1.27

8. 議論

概要ビューは、単語の出現期間をノードの色によって示すことができる。これにより、時系列の大部分に出現する基本的な事象が複雑な着色で強調され、時事情報について知らないユーザでもその概要を理解しやすい。ただし、少数の期間にのみ出現する単語では、期間を示す色が似たものとなる場合があることから、出現時期の直感的な把握が難しくなると考えられる。

詳細ビューや関連語推移ビューは、それ単体では限定的な情報しか可視化することができない。従って、概要ビューで興味の発見に手間取った際は、その後の詳細な分析に進むことが難しくなる。しかし、上手くこれらのビューを連携して活用できた場合は、新たな知見や興味の発見に有効である。こうした点が、設問3と4における回答値のばらつきに影響したと考えられる。

全体として評価に影響している要素として、有向グラフの解釈やGUIの操作が十分に用意でないことが考えら

れる。田代らの手法は、単純なワードクラウド等とは異なり、単語をより情報量の多い事象として可視化することができる。一方で、文書中の単語をノードとするために、文書の規模が大きくなるに従って、グラフが複雑になる傾向がある。この問題は、CMVによって様々な観点と簡略化の程度を持つビューを提供することで改善が可能である。しかし、提案手法のGUIでは、例えばノードを直接クリックして選択する等の、直感的で簡易な操作方法は提供しなかったため、CMVによる効果が限定されたと考えられる。これらへの対策としては、単語の出現回数を考慮したノードの強調等のビュー表示の改善や、より直感的な操作による分析効率の向上が挙げられる。

9. おわりに

時系列的に出現する時事情報の分析を支援するため、CMVを用いたシステムを提案した。提案手法は3つのビューと、それらを協働させる分析支援機能からなる。実験の結果、時事情報の内容や、時系列を通じた話題の変化の理解しやすさに関して高評価を得た。一方で、ビューの視認性の問題から、詳細な情報変化の分析が難しいという評価を受けた。今後の課題としては、より効率の良い分析のための、情報の強調方法の変更等や有向グラフの簡略化、GUIの操作性の向上等による各ビューの連携強化が挙げられる。

文 献

- [1] J. C. Roberts, "State of the Art: Coordinated & Multiple Views in Exploratory Visualization," *Proc. Fifth International Conference on Coordinated and Multiple Views in Exploratory Visualization*, pp. 61-71, 2007.
- [2] H. Notsu, Y. Okada, M. Akaishi, K. Nijima, "Time-tunnel: Visual Analysis Tool for Time-Series Numerical Data and Its Extension Toward Parallel Coordinates," *Proc. International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGIV'05)*, pp. 167-172, 2005.
- [3] M. Itoh, N. Yoshinaga, M. Toyoda, M. Kitsuregawa, "Analysis and Visualization of Temporal Changes in Bloggers' Activities and Interests," *Proc. 2012 IEEE Pacific Visualization Symposium*, pp. 57-64, 2012.
- [4] 田代和浩, 王冕, 越川兼地, 西村悟史, 森田武史, 長野伸一, 清雄一, 中川博之, 田原康之, 川村隆浩, 大須賀昭彦, "Linked Data を用いたソーシャルメディア×マスメディアの比較実験," 人工知能学会全国大会論文集, no. 2N1-OS-10d-3, pp. 1-4, 2013.
- [5] I. Cho, R. Wesslen, S. Volkova, W. Ribarsky, W. Dou, "CrystalBall: A Visual Analytic System for Future Event Discovery and Analysis from Social Media Data," *Proc. 2017 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*, pp. 25-35, 2017.
- [6] 国土交通省運輸安全委員会, "船舶事故調査報告書," 2015. Available: <https://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/ship/detail.php?id=6270>.