

協調的情報トリアージにおけるコミュニケーションの影響についての検討

安尾 萌[†] 藤代 裕之^{††} 松下 光範[†]

[†] 関西大学大学院総合情報学研究科 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1

^{††} 法政大学社会学部 〒194-0298 東京都町田市相原町 4342

E-mail: [†]{k290993,t080164}@kansai-u.ac.jp, ^{††}fujisiro@hosei.ac.jp

あらまし 本研究は、膨大かつ玉石混交な情報の中から、限られた人的・時間的制約の下で問題解決に資する情報を協調的に峻別・整理し、円滑な意思決定を支援する枠組みである「協調的情報トリアージ」を提案する。協調作業支援に関する研究において、コミュニケーションの重要性はたびたび指摘されるが、情報トリアージにおいては重要度評定された情報の網羅性を重視するため、担当者が自律的に作業をこなすことが求められる。そのため、担当者間でのコミュニケーションと情報の網羅性とのトレードオフについて検証する必要がある。本稿では、Web アプリケーションを用いた重要度評定の実験を通して、協調的情報トリアージにおけるトリアージ担当者間のコミュニケーションが重要度評定に及ぼす影響について検証する。

キーワード 信頼性, 情報トリアージ

1 はじめに

ICT 技術の発展、普及に伴い、我々は大量かつ多様な情報を高速に収集することが可能になった。同時に、収集された情報の内容を吟味し、取捨選択してから行動するだけの時間的猶予がない場合が増えてきている。このような、限られた人的・時間的制約の厳しい状況下では、集められた情報を意思決定者がすべて精査する余裕はないため、情報の優先順位を定め、その結果に基づいた及第点の判断が必要になる。

情報トリアージ (information triage) はこうした状況下における情報アクセスのための方法論である [1]。トリアージとは、もともと人的・資源的制約が著しい災害医療などの現場で、最善の救命効果を得るために、多数の傷病者を重症度と緊急性によって分別し、治療の優先度を決定する方法論であり、情報トリアージはこのような医療分野におけるトリアージを情報アクセスに援用したものである。

情報トリアージを志向した研究の多くは個人の情報アクセス行為の円滑化・効率化を志向しているが (e.g., [1], [2]), 情報トリアージを必要とする場面は個人の問題解決行為に限定されるものではなく、複数の関係者が協力して問題解決に取り組むような場合も多い。例えば、企業の新規ビジネス創出の場面では複数の成員によるタスクフォースが結成され、連携して短期間の間に市場分析やビジネスモデルの考案を行う。また、疫病や大規模災害が発生した場合などは特別対策班が設けられ、刻一刻と変化する情報を収集して状況を整理し、関係する専門家と連携して被害の拡大を最小限に留めるための対策を立案する。いずれの場合においても意思決定のための情報収集・情報峻別が迅速な判断や処置の鍵となるが、個人の情報アクセスの効率化が集団の利得に繋がるとは限らず、メンバ間の意見調整や役割分担が必要になる [3]。

我々はこれまで、このような限られた時間的制約の下で集団

によって遂行される問題解決を協調的情報トリアージと呼び、それを支援する枠組みについて検討を進めてきた [4] [5] [6]。本稿では、その一環として、協調的情報トリアージにおけるトリアージ担当者間のコミュニケーションに着目する。協調的情報トリアージを行う上で、コミュニケーションを取ることが重要度評定にどのような影響を及ぼすのか、また最善の結果を得るために、トリアージ担当者間でどの程度綿密な連携がなされるべきかを明らかにすることを試みる。

2 先行研究

情報トリアージに関する研究は、主として情報検索分野や自然言語処理分野で研究が進められてきている。それらの研究の主眼は、個人の情報アクセス行為を対象とし、それを如何に効率的かつ効果的に支援するかという点にある。例えば Marshall らは、視覚的に情報を整理するシステム VIKI を提案し、ユーザが時間的制約の下で大量の情報を評価・組織化して適切な意思決定を下す支援を試みている [1]。また、予期される状況を考慮した情報の優先付けの研究や、様々なメディアの情報を対象とした探索的な情報閲覧の支援の研究、限定情報に基づく行動の優先順位付けの研究 [7] などが行われている。

本研究は、従来の情報トリアージが主眼としてきたような「個人のアクセス行為の支援」というアプローチではなく、現実の場面で見られるような集団による協調的問題解決を対象とし、その集団の問題解決の効率が向上するように支援するというアプローチを採用している。後者のアプローチでは、集団成員間の相互作用によるプロセスの損失 [8] があるため、単純な前者のアプローチの組み合わせでは実現できない。

集団成員間の情報共有や協調的情報アクセスを支援する研究は CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) や CSCL (Computer-Supported Cooperative Learning) の分野で進められている。例えば、遠隔地にいるユーザ同士が検索結

果や情報に対する選好を共有する行為の支援を目指した研究 (e.g., GroupViewer [9], SearchTogether [10]) や、複数のユーザが一台の情報端末をとり囲んだ状況下で協調しながら検索したり検索結果を各々自由に閲覧する支援を目指した研究 (e.g., TeamSearch [11], CoSearch [12]), 複数の学習者が協力して知識の共有や体系化を行うことを支援する研究 [13] などがその例である。

とりわけ協調的な検索行動は、参加者の想起を支援する効果や、他者の観察による検索スキルの向上などの効果が期待できる。この仮説に関連するものとして、Shah は、共同で検索行動を行う際の相乗効果について実験を行なった。この実験は、単独での検索行動、同一のコンピュータで作業を行うペア、別々のコンピュータで同じ場所にいるユーザのペア、リモートに配置されたユーザのペアの4つの条件付きの検索状況を比較した。実験の結果、協調的な検索行動が広範囲のクエリを作成できること、ユニークで有用な情報をカバーできることを明らかにした。

これらの研究では、集団を構成する成員の立場や役割は互いに相違がなく、探索空間の範囲の分担や探索結果の相互共有を支援の中心に据えている。そのため、情報トリアージを必要とするような場面で求められる役割分担や、制約の厳しい条件下で意思決定を志向した情報の纏めあげや共有の方法論については考慮されていない。本研究ではこのような研究動向を踏まえ、時間的・リソース的制約が課せられた状況下で、集団によって行われる情報トリアージを支援するための枠組みについて検討する。

3 協調的情報トリアージ

この章では、本研究で提案する協調的情報トリアージの基本構造について述べた後、協調的情報トリアージの目的について、協調検索との比較を通して述べる。それらを踏まえ、協調的情報トリアージにおけるコミュニケーションを図る際に考慮する点について検討する。

3.1 協調的情報トリアージの基本モデル

災害医療の現場におけるトリアージでは、傷病の程度を迅速に判断するトリアージオフィサーと、その判断に基づいて搬送された傷病者を治療する医療スタッフが協力・連携して治療にあたる。本研究で対象とする協調的情報トリアージでも、この役割分担を参考にして、大量の情報を探索し、問題解決に必要な情報を収集・峻別する情報トリアージ担当者と、情報トリアージ担当者が収集・峻別した情報を俯瞰してそれらを纏めあげると同時に各トリアージ担当者に対する情報収集の方向付け (direction) を行う意思決定者という二つの役割を設けている [4]。

本研究で提案する協調的情報トリアージの基本的な構造を図1に示す。意思決定者はまず課題解決のためにタスクを細分化し、各々のトリアージ担当者に割り当てる。トリアージ担当者は割り当てられたタスクに基づいて情報の収集、優先度付けを

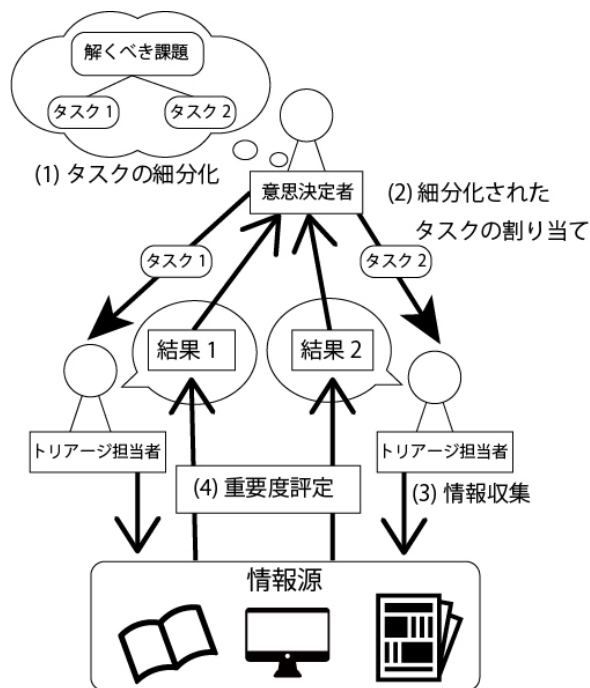


図1 協調的情報トリアージの基本構造

行い、結果を意思決定者に返す。意思決定者はそれらの結果をもとに、課題解決や意思決定を行う。

3.2 協調的情報トリアージの目的：協調探索との比較を通して

複数の人が協調して行う情報検索を対象とした研究では、探索者同士の検索結果や検索過程、それらに対する選好の共有に支援の焦点が当てられている [9], [10]。例えば塩澤らは、「検索目的の相互理解」、「検索履歴の相互把握」、「評価情報の相互交換」の3つが協調探索で満たすべき最低限の要件だと指摘している [9]。また、上田らは各人の探索履歴を他者と共有・比較することが効果的な協調探索の要諦であるとし、それを視覚的に示すことで探索者を支援する手法を提案している [14]。このように、従来の協調的情報探索では個々のメンバ間で役割分担があるわけではなく、全体として網羅的・体系的に情報を探索し、それをメンバ間で共有することが重要な目的となる。これに対して、情報トリアージは時間的な制約の下で課題を達成することが第一義的に求められる。情報トリアージを必要とする場面では刻一刻と情報の価値が変化し、人員の増減や優先タスクの突発的発生といった制約条件の変化も想定される。そのため、チームメンバが歩調を合わせて行動するのではなく、メンバが自らの行動指針を元に、状況に応じて自律的に行動することになる。

3.3 協調的情報トリアージにおけるコミュニケーション

上述したように、協調的情報トリアージでは役割分担が明確であり、最終的な判断は意思決定者に委ねられるため、個々の情報トリアージ担当者はその判断に有用な情報を収集し意思決定者に提示できればよい。したがって、情報トリアージ担当者間のコミュニケーションはそれ自体が目的ではなく、提示すべき情報を効率よく収集するための一つの手段となる。一方で、

情報トリアージにおいては時間的制約を重視するため、コミュニケーションそのものにかかる時間的コストを考慮した協調作業モデルが必要である。ここに、情報トリアージ特有の時間的制約と、協調作業としての密な連携とのトレードオフの関係が生じる。

次章では、協調的情報トリアージにおけるコミュニケーションを有益に活用するための方法を検討する一環として、コミュニケーションがタスクパフォーマンスに与える影響について検討するための実験を行う。

4 コミュニケーションと重要度評価に関する実験

協調的情報トリアージの枠組みを確立するため、情報トリアージを行う際のコミュニケーションの影響に焦点を当てた実験がこれまで行われてきた。これに関する試みとして、一つの事象に対する統一的な見解が得られるかどうかという焦点を当て、タスクの完了時間と重要度評価の一致率を図る実験を行った[6]。この実験は、架空の大災害について書かれた60枚の紙片を、人命救助や災害対策に有益であるかどうかという基準で4段階の重要度に分類する実験である。この実験では、実験参加者を二つの群に分類している。一つはコミュニケーションを取らずに単独で行う群であり、もう一つは2人でコミュニケーションを取ることを許可して行う群である。また、実験で利用する情報のなかに「虚偽の情報」を含ませ、真偽確認のプロセスを模擬することを目的として、用意した情報断片を元に情報の真偽を確認するためのリファレンスを作成している。実験協力者は、情報の真偽が疑わしいと思われる情報に対して、リファレンスを参照して情報の真偽を確認することができる。この実験では、タスクの完了時間および群間の重要度評価の一致率を測った。その結果、「コミュニケーションがタスク遂行のオーバーヘッドになること」「真偽確認の頻度が情報の一致率を上げること」が示唆された。

一方、この実験における課題はクローズドタスクであり、あらかじめ準備された全ての情報を処理するという実験デザインで行なった。実験の結果があらかじめ準備された情報の比率によって操作可能であったため、実課題において同様の傾向が見られようかどうかは定かではない。また、この実験で提示した偽情報が、日時や地名などといった情報の一部を変更したものととして作成されていたため、実験協力者がリファレンスのなかで相違点を探すことに時間を費やすという行動が見られた。これはトリアージ担当者のメインである重要度評価から逸脱した作業であり、コミュニケーションがタスク遂行に及ぼす影響を測る際のノイズとなる懸念がある。そこで今回は、この実験に以下のような変更点を加え、再実験を行なった。

- 制限時間内に処理された情報の量を観察する

実験を実環境に近い条件で行うことを企図した場合、時間が経過するにつれて情報が増加する、いわばオープン課題としての設計が求められる。そのため、取り扱う情報の量に上限を設ける実験デザインは、実際の情報トリアージの状況を反映しているとはいえない。これに対応するため、今回はあらかじめ制限

時間を設け、その時間内で処理しきれない量のデータを提示し、重要度評価がなされた情報の量を達成率として観察するという設計を採用した。この実験デザインによって、より実環境上での情報トリアージの運用状況に近い結果を得ることを企図している。

- 情報の信頼性について明記したリストを作成する

これは、実験参加者が情報の信頼性を確認する作業に費やす時間的な影響を抑え、重要度評価にかけられる時間を測るための対応である。前回の実験では、真偽確認のプロセスを模擬することで、実際の情報トリアージの状況に近づけることを企図したが、情報トリアージの担当者が真偽確認を含めて実行することは現実的ではない。そのため今回は、情報の真偽確認がすでに遂行されている状況を想定し、あらかじめ情報の信頼性について明記したリストを作成することとした。

5 重要度評価システムの実装とユーザ観察

前章で述べた紙片による実験は、物理的な問題から、扱えるデータの量に制約があった。そのため、より大量のデータに対する重要度評価に適した環境を整備するため、情報の重要度評価を行う Web アプリケーションを実装した。この章では、実装したシステムを用いて、コミュニケーションの影響に着目したユーザ観察を行う。

5.1 実験用データベースの作成

実験に用いるデータとして、今回は2016年に発生した熊本大震災について、Twitterへ投稿されたテキストデータをスクレイピングし、その内容の重要度評価を行うこととした。スクレイピングされたデータの中から、RTやリプライ、外部のURLを含むツイートといった、一つのテキスト内で完結しない情報を省き、900件のツイートを採用した。

また、虚偽の情報については、「その情報が虚偽かどうか」を判断すること自体が非常に困難であり、したがって実際のSNS上から機械的に抽出することができない。そのため今回は、災害時に実際に虚偽の情報としてTwitter上に出回ったデータを収集し、その情報の構成を元に人出で100件のツイートを作成した。このツイートの作成の際、地名や日時、施設名など、場所の特定に必要な情報を熊本大震災というトピックと矛盾が生じないものに変更した。リファレンスには、「類似の情報が外部リソースから発見されたかどうか」を信頼性の基準として記述し、作成した100件のツイートには「未確認」のタグを、Twitter上から実際に抽出したツイートには「確認済」のタグを付与した。

5.2 提案システム

実装したシステムを図2に示す。システムはHTML、JavaScript、PHP、SQLを用いたサーバクライアントシステムとして構築した。前項で作成したデータはサーバ上にデータベースとして格納した。システムの画面は、収集されたデータの概要を表示する左側のエリアと、選択されたデータの詳細を表示する右側のエリアに分かれる。概要を表示するエリアに

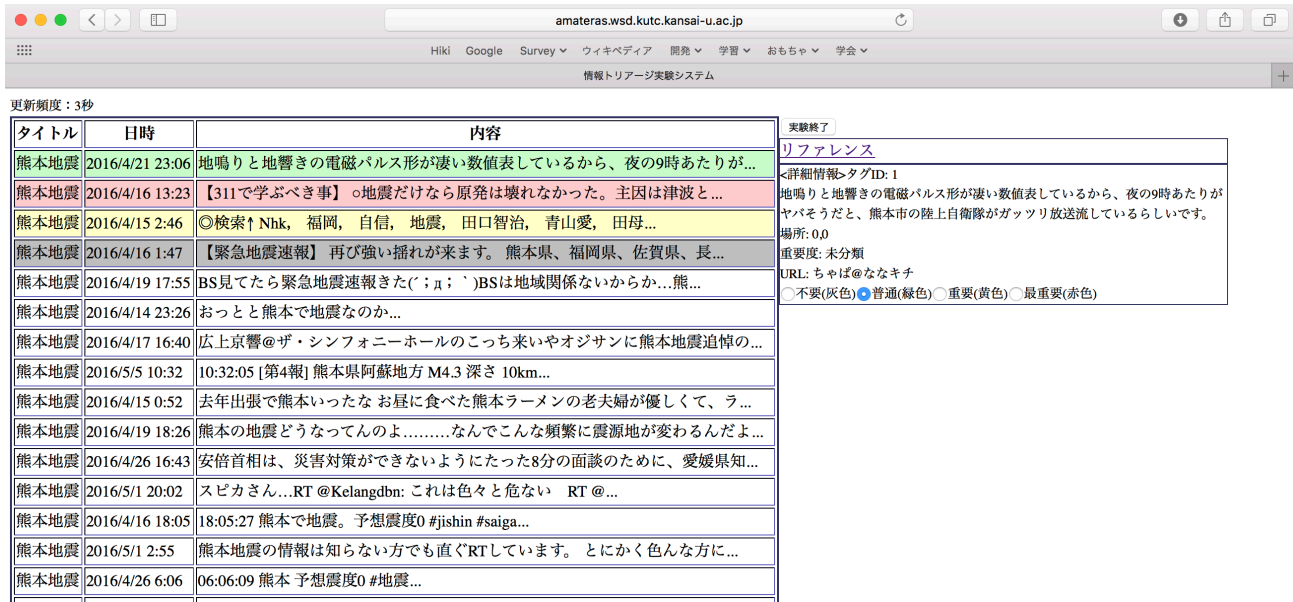


図 2 実験用システム

表 1 リファレンスの構成

カラム名	詳細	例
id	ツイート識別用の番号	1, 2, 3
time	ツイートの投稿日時	2016/4/21
title	ツイートのトピック	熊本地震
content	ツイートの全文	(省略)
account	ツイートを投稿したアカウント名	(省略)
類似情報	外部リソースに関連する情報があるか	確認済, 未確認

は、情報のタイトル、情報が発信された日時、ツイートの内容の一部がテーブル形式で表示される。リストから任意のデータをクリックすると、クリックされた情報の詳細が右側のエリアに表示される。詳細を表示するエリアには、真偽確認のためのリファレンスのリンク、ツイートの全文、現在付与されている重要度、重要度評定のためのラジオボタンが表示される。ラジオボタンは4段階の重要度に対応しており、不要、普通、重要、最重要のラベルが付与されている。それぞれのラジオボタンをクリックすると、左側のエリアに示したリストの背景色が重要度に応じて灰色、緑色、黄色、赤色に変化する。

情報の信頼性の確認のためのリファレンスは、外付けのテーブルデータとして提示した。提示する内容を表1に示す。後述のユーザ観察の参加者は、情報の信頼性が疑わしいと感じた際、任意でこのテーブルデータを参照できるものとした。

5.3 ユーザ観察

実装したシステムを用いた情報トリアージにおける人の振る舞いを観察するため、災害情報の重要度評定のユーザ観察を行った。ユーザ観察の手順を以下に示す。まず、国の災害対策本部の情報部門に届いた情報の重要度評定を行うという仮定のもと、災害対策や人命救助に有益であると考えられる情報を以下の4段階に分類するよう指示した。

- 不要: 全く重要ではない・無益である

- 普通: あまり重要ではない・有益ではない
- 重要: 重要で、なるべく早く解決する必要があるもしくは災害対策に有益な情報が含まれる
- 最重要: 非常に重要で、今すぐ解決する必要があるもしくは災害対策にとっても有益な情報が含まれる

開始前にダミーのデータを表示したシステム画面を提示し、システムの動作説明を行った。その後、15分の制限時間のもとで重要度評定を行ってもらった。ユーザ観察は2群に分けて実施した。1群はコミュニケーションを取らず、単独で重要度評定を行ってもらった。2群は2人1組で行い、コミュニケーションを許可して重要度評定を行ってもらった。参加者は情報系学部・大学院に在籍する20代の学生で構成され、1群は8名、2群は8ペアとして、試行数の均衡を図った。

5.4 実験結果

図3に示すように、平均タスク処理量は、1群が122.5、2群が81.87で、両群ともに紙のカードを用いた実験よりもより多

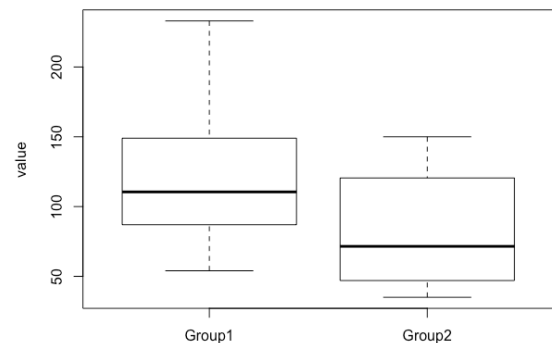


図 3 平均タスク処理量

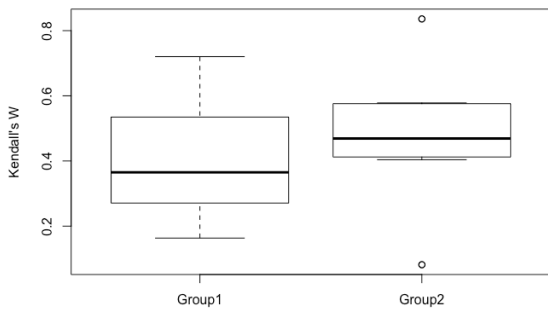


図 4 各群の一致率の比較

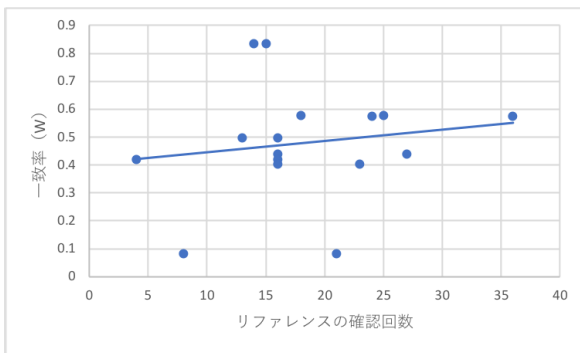


図 5 リファレンスの確認回数と一致率の比較

量の情報を短時間で処理する結果が得られた。また、1群がより多量のタスクを処理する傾向が見られたが、Welch の t 検定の結果が $p=0.103$ となり、前回の実験で示されたような有意差が見られなかった。これは、コミュニケーションがタスクパフォーマンスに与える影響よりも、個人の処理能力による影響がより強く働いている結果であると考えられる。

次に、一致率について検討する。各群の重要度評定の群内一致率を図 4 に示す。1群の群内一致率は 0.445、2群の群内一致率は 0.329 であった。また、情報の信頼性の低い情報について同様に一致率を調べたところ、1群が 0.161、2群が 0.157 であった。

次に、ペア間の一致率について検討したところ、2群のペア間の一致率は 0.479 であり、1群の任意の二人をペアとみなした場合の一致率の平均 0.488 と比較して有意な差は見られなかった (Welch T-test, $p=0.196$)。

リファレンスの確認回数と一致率の関係を図 5 に示す。前回の実験では、リファレンスを確認するペアがより一致率が有意に高くなる傾向が見られたが、今回の実験では分布に大きなばらつきが見られた。実験結果の variance の大きさから、この結果は実験のインストラクションの影響によるものと考えられる。

また、事後アンケートからは以下の知見が得られた。

- 重要度評定に関する傾向について

地震予報に関して、「震度の大きなものの優先度を高く、震度の小さいものの優先度を低く評定した」という回答が得られた。また、地震の被害状況に関するツイートに対して、「即座に対処

が必要なものの重要度を高くした」「のちにデータ分析などで有用であると判断したものの重要度を黄色にした」「個人の感想は重要度が低い」という回答が得られた。リファレンスと関連する情報について、「リファレンス内で情報が未確認かどうかを重要度評定に反映させた」「真偽が疑わしくても、事実であった場合に深刻な被害が考えられるものを重要にした」という回答があった。

- 情報の真偽確認の基準について

情報の真偽確認の基準について尋ねたところ、「全ての情報の真偽について確認した」「最重要の判断をする場合は必ず確認した」といった、重要度評定の判断時に確認する回答が得られた。また、「発信者の根拠のない予測については確認した」「文体をすごく気に入った」といった、発信された文章によって確認するという内容の回答や、「偏った意見を持つ発信者の時は確認した」のような、発信者に基いて確認するという回答が得られた。

- ペア間のコミュニケーション

2群の実験参加者に対して、ペア間でどのような内容のコミュニケーションをとったか尋ねたところ、そもそもコミュニケーションを取らないグループとコミュニケーションをとったグループとに大別された。コミュニケーションを取らなかったグループに関しては、「何を話したらいいかわからない」と回答した実験参加者と、「判断材料がすでに揃っていて話す必要がない」と判断した実験参加者に別れた。ペアとコミュニケーションをとったグループに関しては、「判断基準と、未確認情報の扱いについて相談した」「考え方によっては重要度が高いと予測される事柄をどう読むか」「この情報が有益に働く場面や、どういう状況に利用可能か」といった回答が得られた。

6 考 察

前章でのユーザ観察は、重要度評定の群内一致率については仮説を裏付ける結果が得られたものの、平均タスク処理量、およびリファレンスの確認回数と一致率の結果については帰無仮説が棄却されなかった。本項では、今回のユーザ観察で明らかになった諸問題について考察し、今後の実験デザインの検討を行う。

6.1 コミュニケーションの統制の問題

今回のユーザ観察における2群については、観察前にコミュニケーションをとるよう口頭で促したにも関わらず、コミュニケーションを頻繁にとるペアと、全くコミュニケーションを取らないペアに別れた。また、コミュニケーションをとったグループについても、時間経過によってコミュニケーションが負担になる様子や、タスクの遂行が滞る様子が確認された。これはコミュニケーションの役割が不明瞭であるために生じた問題であると考えられる。そのため、コミュニケーションを行う必要のあるケースをあらかじめ設定しておく必要がある。

6.2 被験者の処理能力の問題

今回のユーザ観察では、参加者ごとの情報の処理量に大きな

差が生じた。もっとも情報の処理量が多かった参加者は、最大で188件の情報を処理し、もっとも処理量の少なかった参加者は35件にとどまった。原因としては、当初想定していたコミュニケーションによるタスク遂行のオーバーヘッドの問題だけではなく、参加者のシステムインタフェースへの習熟の問題、テキストを読む速度の問題などの原因が考えられる。そのため、実験参加者の処理能力によるクラスタリングを行い、処理能力の統制をとる必要がある。

7 おわりに

本研究は、大量の情報の中から課題解決や意思決定に必要な情報を優先的に処理する「情報トリアージ」を協調的に行う仕組みの確立を目指している。本稿では、コミュニケーションがタスクパフォーマンスに与える影響を明らかにすることを目的として、大量の情報の優先度付けを行うためのWebアプリケーションの開発を行った。ユーザ観察の結果、ユーザごとの情報の処理量のばらつきや、コミュニケーションの役割の不明瞭さといった課題が明らかになった。今後は、ユーザ観察から明らかになった課題を踏まえた実験デザインを行い、情報トリアージにおけるコミュニケーションが与える影響について考察する。

謝 辞

本稿は科学技術研究補助金基盤研究(C特設)課題番号18KT0100の支援を受けて実施したものである。記して謝意を表す。

文 献

- [1] Catherine C Marshall and Frank M Shipman III. Spatial hypertext and the practice of information triage. In *Proc. 8th ACM Conference on Hypertext*, pp. 124–133, 1997.
- [2] Sofus A. Macskassy and Foster Provost. Intelligent information triage. In *Proc. 24th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, pp. 318–326, 2001.
- [3] 松下光範. 協調的情報トリアージにおけるメンバ間の相補的インタラクションの支援. 第12回AI若手の集い, 2011.
- [4] 松下光範, 天野友美. 情報トリアージのための協調的情報編集. 2010年度人工知能学会全国大会, 2010.
- [5] 杉原健一郎, 石野航平, 松下光範. 災害情報を対象とした意思決定支援システムの検討: 複数人による協調的情報トリアージを目指して. 第4回ARG WEBインテリジェンスとインタラクション研究会予稿集, pp. 75–80, 2014.
- [6] Megumi Yasuo and Mitsunori Matsushita. Maintaining homogeneity of severity rating among triage officers in collaborative information triage. In *The 6th Asian Conference on Information Systems*, 2017.
- [7] S. Isaka and H. T. Nguyen. Information triage for health literacy promotion. in the 133rd Annual Meeting & Exposition, Abstract 105723, 2005.
- [8] 亀田達也. 合議の知を求めて—グループの意思決定(認知科学モノグラフ). 共立出版, 1997.
- [9] 塩澤秀和, 西山晴彦, 松下温. 協調検索型ハイパーメディアのwwwによる実現. 情報処理学会研究報告, Vol. 95-GW-13, No. 3, pp. 13–18, 1995.
- [10] Meredith Ringel Morris and Eric Horvitz. Searchtogether: an interface for collaborative web search. In *Proc. 20th annual ACM symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 3–12, 2007.

- [11] Meredith Ringel Morris, Andreas Paepcke, and Terry Winograd. Teamsearch: Comparing techniques for co-present collaborative search of digital media. In *Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2006. TableTop 2006. First IEEE International Workshop on*, pp. 8–pp. IEEE, 2006.
- [12] S. Amershi and M. R. Morris. Cosearch: A system for co-located collaborative web search using a shared computer augmented by multiple mice or mobile phones. In *in Proc. CHI2008*, pp. 1647–1656. ACM, 2008.
- [13] Nikos Karacapilidis and Manolis Tzagarakis. Supporting incremental formalization in collaborative learning environments. *Creating New Learning Experiences on a Global Scale*, pp. 127–142, 2007.
- [14] 上田正明, 中島伸介, 角谷和俊, 田中克己. 探索アクティビティの共有と視覚化に基づく協調型情報探索. 第13回データ工学ワークショップ論文集, pp. 129–136, 2002.