

個人用画面と大画面を用いた複数人での共同作業環境

武田 慎之介¹ 萬成 亮太¹ 小林 弘明¹ 小林 愛実¹ 大久保 心織¹ 三末 和男² 田中 二郎²

概要：視覚的な分析に関する研究は一人で分析を行うことを想定しているものがこれまでに多数提案されている。我々は、複数人で分析を行うことを考えた。複数人で行うことで、より効率的な分析や、新たな知見の発見が期待出来る。我々は、複数人で視覚的な分析作業を行うために、共同作業者各々が個人用画面を持ち、これに加えて大画面を一つ用いる作業環境を考えた。この作業環境では、大画面と個人用画面を連携させるために、個人用画面を大画面に向ける操作を用いる。このような操作を実現するために、個人用画面はスマートフォンのような背面カメラを持つ端末を利用し、大画面上に表示した AR マーカを端末の背面カメラで捉えることで、向いている方向を検出する方法を提案する。また、実際にこの操作を実現するプロトタイプを作成して簡易的な試用を行った。

キーワード：共同作業、複数画面、視覚的分析

1. はじめに

既存の視覚的な分析の手法は、一人での分析を前提に置くものが多い。我々は、視覚的な分析を複数人で共同で行うことを考えた。一人のみで分析を行うのではなく、複数人で分析作業を分担することが出来れば、一人で行うよりも効率よく分析を行えると期待され、また複数人で互いの分析の様子を共有しながら分析作業を行うことで、一人では発見出来なかった知見を発見することも期待される。

複数人で視覚的な分析を行うことはいくつかの利点が期待出来るが、複数人での視覚的分析を行うためには、既存の視覚的な分析手法の殆どは複数人での視覚的な分析を想定しておらずそのまま手法を利用することは困難であり、複数人での視覚的な分析のための手法を考える必要がある。本研究において我々は、複数人で大規模なデータを視覚的に分析するための環境構築を目指し、この環境を実現する一つの手法を提案する。

この論文は以下の構成からなる。次章では、複数の作業者が参加して共同で視覚的な分析を行う作業環境として求められる要件として我々が考えたことを述べる。続いて、本研究に目的が近い既存研究を紹介する。その後、本研究において提案する環境を述べ、複数人での共同作業のための環境として必要な要件をどのように満たすかを説明す

る。そして我々が実際に実装したプロトタイプの詳細を述べ、最後にそのプロトタイプを使用した上での考察と今後の展望を述べる。

2. 視覚的な分析のための共同作業環境

我々はまず、複数人で視覚的分析を行うための環境の要件について考えた。複数人で行う利点を考え、参加者が互いに独立な分析を行うことが出来ること、分析作業の進行状況や最終的な結果を共有することが出来る必要があると考えた。本章ではこの二つの要件の詳細を述べる。

2.1 独立な分析

複数人で共同作業を行う利点は、作業者が独立に行うことで並列に作業を行うことが出来る点である。作業者が独立に行うということは、複数の作業者各々が視覚を利用して観察し、各々が自らの頭で考えることが出来ることである。そして、この視覚の利用と思考を独立に行うためには、独立に操作を行えることが必要である。

Shneiderman は、視覚的な情報検索のためのマントラをまとめ、その中で概要を見たあとに作業者がオンデマンドに詳細を選択的に見る流れを挙げた [6]。概要の表示から詳細分析を選択的に行う本研究の視覚的分析の流れは、このマントラに従う。複数人が選択的に詳細分析を行う時には、概要の表示から複数の参加者が同時に何らかの操作によって観察したい詳細の部分を選択する必要がある。ある参加者の選択のためのポインティング操作が、他の参加者の操作を妨げるようなことは、各参加者が集中して分析作

¹ 筑波大学大学院 システム情報工学研究科
Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba

² 筑波大学大学院 システム情報系
Faculty of Engineering, University of Tsukuba

業に取り組むためには避けなければならない。そのため、各参加者が互いに作業を妨げることが無いように独立に選択のためのポインティング操作を行えるようにする必要がある。

Wallance らは複数人が共同作業を行う上で一つの画面を用いる場合と複数の画面を用いる場合とを比較した。彼らは、大画面を用いた時は互いのコミュニケーションが活性化されるが、集中して作業を行うためには、複数の画面を用いたほうが良いことを示し、被験者実験の結果でこれを確認した [8]。これを踏まえると、複数の参加者それぞれが集中して作業を行うためには、物理的に分割した複数の画面を用いて作業を行う必要がある。

2.2 分析作業の共有

複数人で共同で分析作業を行うためには、分析作業の進行状況と分析の結果を参加者同士で共有する必要がある。

2.2.1 分析作業の進行状況の共有

分析作業を効率的に共同で行うには、分析作業を参加者同士で分担することが出来る必要がある。作業の分担は、参加者同士の互いの分析作業の進行状況を共有した上で行う必要がある。具体的に何を分析し終えたのかということ共有するだけで無く、ある時点で互いにどこに着目して詳細な分析を行っているのかということ、これからどこを分析するのかといったことも互いに共有出来ると良いと考えられる。

2.2.2 分析結果の共有

詳細な分析を各々が行った後に、互いの分析結果を共有することにより、その後詳細に分析する対象を変えたり、作業の分担を決めたりすることが出来る。また、最終的な分析結果をまとめるためには参加者全員で分析結果を共有する必要がある。

3. 関連研究

複数人で視覚的表現を利用して共同作業を目指すものとして、Morris らによるテーブルトップを利用して Web 検索を複数人で行うものがある [4]。彼らの研究では、テーブルトップを一つだけ利用して、作業の参加者は全員がこのテーブルトップ上で作業を行う。彼らの研究では、複数人で効率的に共同作業を行うために、ひとつのテーブルトップ上での UI を工夫することに焦点が当てられていた。テーブルトップを利用する方法では、参加出来る人数がテーブルトップの大きさによって大きく制限されてしまう。そこで、本研究ではテーブルトップのような一つの画面装置を利用するのではなく、複数の画面を利用することでより多くの人数であっても複数人での共同作業を効率よく行うことを目指す。

また、白井らは複数のタブレットを用いて複数人で共同作業を行うための視覚的表現とその操作を検討した [5]。白

井らは、視覚的表現を工夫することに主眼を置き、複数人での連携については各作業者が持つタブレット上で他の作業者の作業状況を共有し、概要から詳細の表示も全て各作業者が持つタブレット上で行う。本研究はこの白井らの研究と同様に、複数人で視覚的な共同作業のための環境を提案するものであるが、我々は複数人での各作業者の状況の共有や概要の表示のために大画面を導入し、更にその大画面と複数の各作業者が持つ端末との連携のためのインタラクションを導入する。白井らの手法は概要や他の作業者の作業状況を初めとした全ての情報を各端末に出すが、我々の手法では大画面を活用することで、各作業者が持つ端末上に表示する情報をより限定することを狙う。各作業者が注目する情報をより多く各端末に表示することにより、もっと効率的に分析を分担出来ることを狙う。

大画面を前にして複数の作業者が独立に作業を行うために、各作業者が独立なポインティング操作を行う必要があり、これを実現するための研究として、Davis らによるレーザーポインタを用いる手法がある [1]。彼らは各作業にレーザーポインタを持たせて複数の作業者が独立に操作をする手法を提案した。Davis らの手法は、大画面や壁一面の大きさの表示装置の前でポインティング操作を行うには十分ではあるが、彼らの手法はレーザーポインタを初めとした特殊な装置を必要とする。特殊な装置を必要とすると、その装置の分だけしか参加人数を増やすことが出来ない、また、装置がそのために作成された特殊なものであるため、作業を行う場所が非常に限定されてしまう。そのため、本研究では特殊な装置を利用することを避けて、各作業者が持つスマートフォンやタブレット端末を利用することを考えた。

4. 提案する環境

本章では、第 2 章で述べた要件と前章で述べた既存の研究を踏まえて考えた、我々が提案する環境について述べる。

まず、視覚的な分析を行うにあたり、概要の表示を行うために一つの大画面を利用する。我々が提案する環境において、用いる大画面の大きさについては特に限定しないものとする。

そして、参加者それぞれがスマートフォンやタブレット等の端末を持ち、これに詳細な情報を表示し、参加者各々が詳細な分析を行う。参加者各々が自分の端末を持ち、これには概要や他の参加者の作業状況は表示せずに、注目している詳細な表示のみを行うことで、作業者同士が独立に分析を行えるようにし、全体として効率的な分析となることを目指す。

大画面に表示された概要から端末に詳細表示したい部分を選択するためのポインティング操作として、我々は大画面上の詳細を見たい箇所に対して実際に端末を向けるという操作を考えた。複数人の参加者各々が、自らが持つ端末を大画面上の詳細を見たい箇所に向けて、参加者

各々が互いの操作を妨げることなく、概要から選択して詳細な分析を行うことが出来る。

4.1 全体的な分析の流れ

この提案する環境を用いて分析する時の流れは、次の通りである。

- (1) 一つの大画面に表示された概要を複数の参加者が全員で観察する
- (2) 各参加者が大画面上で詳細を観察したい箇所を決める
- (3) 各参加者が個人用画面を大画面の詳細を観察したい箇所に向ける
- (4) 個人用画面に表示された情報を見て各参加者が分析を行う
- (5) 参加者同士で分析結果を共有する
- (6) 分析結果をまとめる

先ず大画面上に表示された概要を全員で観察する。全員で概要を観察することで、予め概要に関して議論を行うことが出来る。この時に、この後の各参加者が独立に行う詳細な分析作業の分担について相談することも出来る。続いて、各参加者が大画面上に表示された概要から、各々が特に詳細に観察したい箇所を決める。その後、各々が自らの持つ個人用端末を詳細が見たい箇所に向けるというポインティング操作を行う。この操作は各参加者が独立に行うことが出来て、ある参加者が操作をすることによって他の参加者の操作を妨げることが無い。そのため、参加者それぞれが、自由に詳細を観察したい箇所をポインティング操作によって選択することが出来る。ポインティング操作を行うと、各参加者が手元に持つ個人用端末に、大画面上で選択した箇所の詳細な情報が表示される。そして、各参加者はその詳細な表示を見て分析を行う。大画面上から選択し、手元の個人用端末で分析するというこの流れを、詳細を見たい箇所に対して各参加者が繰り返し自由に行う。この時、参加者同士が端末を大画面上のどこを向けているかを互いに見ることによって、互いにどの箇所の詳細を観察しているかを知ることが出来る。そのため、適宜分析作業の途中でコミュニケーションをはかり、分析作業を分担したり考察について議論を交わすことが出来る。最後に、分析結果を参加者同士でまとめて、分析を終える。

4.2 個人用画面による独立な詳細分析

個人用画面はポインティングデバイスとしての利用と詳細表示のための利用の二つの側面で利用する。

4.2.1 ポインティングデバイスとしての利用

各参加者が大画面から詳細分析をしたい箇所を選択するためのポインティング操作を実現するために、我々は AR マーカを利用する手法を考えた。個人用画面として用いる端末にはスマートフォンやタブレット端末を利用するが、

特に背面カメラを搭載したものを利用する。そして、大画面上には AR マーカを表示し、この AR マーカを各参加者が持つ端末の背面カメラで捉えることで向いている方向を検出する。

我々が提案するポインティング操作の手法を用いることによって、各参加者が互いの操作を妨げないような分析の操作が可能になる。た、参加者の人数が増えても、各々が独立にポインティング操作を行うことが可能である。

このように、各参加者が手に持った個人用画面をポインティングデバイスとして利用することで、詳細を選択する操作を独立に行うことができる。更に、このような端末を自らが詳細を見たい箇所に向けるといった身体動作を伴うポインティング操作は、他の参加者もその人がどこに着目しているかということを知ることが出来る。Shoemaker らは、このような身体動作を用いるインタラクションはその動作をしている作業者のみならず聴衆を含めた周囲の人に対しても、今その作業者が何をしているかを伝えることが出来て良いとしている [7]。

4.2.2 詳細表示としての個人用画面の利用

我々の提案では、詳細の分析は各ユーザが手元に持つ個人用端末でそれぞれのユーザが独立に行う。Wallance らの先行研究 [8] を考慮すると、このように詳細な分析を各ユーザが手元で行うことは、各ユーザが集中して作業を行いやすく効率が良いことが期待出来る。

また、詳細な分析のための表示を各参加者が持つ個人用画面に表示する我々の提案するような環境であれば、参加者の数が増えると大画面上にその分だけ詳細表示が増えるといったようなこと [8][4] を避けることが出来、参加者の増加に対して大画面上の視覚的な混雑が増すということが無い。

4.3 大画面での概要の共有と作業の進行状況の共有

我々の提案する環境では、概要は大画面に表示する。大画面に表示することによって、複数の参加者全員で最初に概要を見た上での認識を共有し、その後に詳細な分析作業を分担することが出来る。また、参加者全員が一つの場所で大画面の前で分析作業を行うので、必要な場所で自由に参加者同士でコミュニケーションを取ることが出来、特にその時に個人用画面を互いに見せ合うことで、分析作業の進行状況や着目している箇所を直接共有することが出来る。

最終的な分析の結果も大画面上にまとめることで、参加者全員で一つにまとめた分析結果を確認することが出来る。

5. プロトタイプの実装

我々は、本研究で提案する複数人での共同作業環境が実際に視覚的分析作業の効率を向上することが出来るのかどうかを確認し、また、本研究で述べた環境に加えるべき工



図 1 提案する環境のプロトタイプ

夫を調べたり改善すべき点を検証するため、プロトタイプを実装した。

大画面と複数の個人用の画面、そして AR マーカを利用したポインティング操作を行うための簡単な検証が出来るプロトタイプを図 1 に示す。本章では、その詳細を述べる。

5.1 全体の構成

我々の実装したプロトタイプは次の構成から成る。

概要を表示する大画面としては複数人で見る事が出来るものであれば、大きさは限定せず、プロジェクトを用いてスクリーンに投影することも想定している。ディスプレイもしくはプロジェクト等にはネットワークに接続した PC を繋げる。ネットワークを通じて、この PC はサーバに接続されている。

また、各参加者が詳細を見るための画面としては前述のように背面カメラを備えたスマートフォンやタブレットを用いる。そして、これらの各参加者が持つ端末全てがネットワークを通じてサーバに接続する。

各参加者の持つ端末が向いている大画面上の位置計算の結果は Node.js^{*1} によって書かれたサーバ上で動くアプリケーションに集約され、そこから大画面に表示させることで、大画面上に各参加者が持つ端末がどこを向いているかのフィードバックを表示する。

5.2 スマートフォンやタブレットの利用

個人用端末としてスマートフォンやタブレットを利用する。また、AR マーカを利用した方向検出を行うため、特に背面カメラを搭載した端末を用いる。現在の我々のプロトタイプでは、Android を搭載した端末を用いて、位置検

出と詳細表示のためのプログラムは Android 向けのアプリケーションとして作成している。

また、各端末及び大画面とサーバ間は、リアルタイムの相互通信を行うために WebSocket(RFC6455)^{*2} を利用して常時接続している。これは、大画面上にフィードバックを表示するためには、常時相互通信が出来ていることが必要であり、WebSocket を用いるとこの実装のコストが小さいからである。

5.3 方向の検出

各参加者が大画面の概要のどこに注目してどの詳細を見ようとしているか、すなわち各参加者が持つ端末が大画面上のどこを向いているかといった方向の検出には、参加者それぞれが持つ端末の背面に付いているカメラで大画面上の AR マーカを捉えることで検出する。

AR マーカと各参加者が持つ端末との相対位置関係の計算には、加藤らが開発した ARToolKit[3] の Android 移植版である NyARToolKit^{*3} を利用した。AR マーカを原点として、各ユーザが持つ端末がどこを向いているかという情報と、AR マーカそのものが大画面上のどこに配置されているかという情報から、各端末が大画面上のどこを向いているかを計算する。

原理的には、AR マーカは背面カメラで少なくとも一つを捉えてさえいれば、方向の検出は可能である。現在の実装例では、更に精度を向上させるため、背面カメラで少なくとも縦横に 2 つずつの AR マーカを捉えて方向の計算を行うことにしている。ある程度拡大しても背面カメラで最低 3 つの AR マーカが映るように大画面上に AR マーカを複数配置し、図 2 のように少なくとも縦横の 2 つずつ、す

*1 <http://nodejs.org/>

*2 <http://tools.ietf.org/html/rfc6455>

*3 <http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/>



図 2 実装例では AR マーカは最低 3 つを利用する

なわち縦 2 つ横 2 つの最低 3 つの AR マーカで方向の検出を行うことにした。縦横の各方向で 2 つ以上の AR マーカを用いて、各方向ごとに 2 つの AR マーカの距離を基準として AR マーカからどれだけ離れた位置を向いているかを計算する。これにより、AR マーカを一つだけ利用する場合よりも精度を上げることを狙っている。また、4 つ以上の AR マーカを背面カメラで捉えている場合には、捉えている AR マーカの縦横の全ての組み合わせの平均値を利用して精度向上を行った。

6. 考察

我々は、大画面と複数の画面を用いて視覚的な分析を行う上で、我々の提案する環境で参加者が独立に作業を行うことが出来るかを確認し、概要から詳細表示を選択するためのポインティング操作が実際に可能であるかを確認するために、プロトタイプを用いた簡易的な実験を行った。我々は、4 人の参加者に実際に日本全国の年間の気温と降水確率の推移を観察するタスクを行ってもらった。大画面上には日本全国の地図を表示し、各作業者が持つスマートフォンで各都道府県の位置を指すと、そこに関する気温と降水量の年間の推移が手元のスマートフォンに表示される。

様子を観察すると、まず概要を見たあとに詳細の分析を参加者各々が行うという、我々が期待した分析の流れに従って参加者が分析を行っていた。各参加者は自由に日本全国の気象情報をポインティング操作によって参照することが出来ていた。また、互いのポインティング操作が他の参加者の邪魔になってしまうということも無く、我々が期待した通りに各参加者は詳細な表示を独立に観察することが出来ていた。一方では概要を表示した大画面を観察して、参加者同士でコミュニケーションを取り合う様子も見られた。現在のプロトタイプでは、他の参加者に情報を共有する機能が、非常に簡易的な大画面上に仮想的なピンを打つ程度のものしか無く、不十分であるという不満も聞かれたが、一方で口頭によるコミュニケーションで情報を共有する動きも多く見られた。

今後は、大画面上の視覚的表現を工夫することと、詳細

な情報を個人用画面に表示するより適した視覚的表現を検討する。そして、プロトタイプの追加実装を進めた後に被験者実験を行い、実際に視覚的分析を効率的に行うことが出来るかどうかを確認する。

また、AR マーカについても、例えばマーカレス AR を利用することで現時点よりも大画面上に表示出来る情報量を増やすことが出来るので、検討を行いたい。

7. まとめ

複数人で共同で視覚的な分析作業を行うために、共同作業者各々が個人用画面を持ち、これに加えて大画面を一つ用いる作業環境を提案した。大画面上には概要を表示し、詳細を見たい部分に各作業者が個人用の端末を向けることで選択し、個人用端末で詳細な分析を行う。大画面上の選択のために、AR マーカを大画面上に表示して、それを個人用端末の背面カメラで捉えることで方向検出を行う手法を用いた。実際にこの手法を用いたプロトタイプを開発し、試用を行った。今後は、大画面上と個人用画面双方の画面上での視覚的表現を工夫し、それをプロトタイプ上に実装することを目指す。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 23300022 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] J. Davis and X. Chen, Lumipoint: Multi-user laser-based interaction on large tiled displays. *Displays*, Vol. 23, No. 5, pp. 205-211 (2002).
- [2] M. R. Jakobsen, Y. S. Haile, S. Knudsen and K. Hornbæk, Information Visualization and Proxemics: Design Opportunities and Empirical Findings, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 19, No. 12, pp. 2386-2395 (2013).
- [3] 加藤博一, 拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発, 電子情報通信学会技術研究報告 101 巻 パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU) 652 号, pp. 79-86 (2002).
- [4] M. R. Morris, J. Lombardo and D. Wigdor, WeSearch: Supporting Collaborative Search and Sensemaking on a Tabletop Display", In *Proceedings of the 2010 ACM conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp. 401-410 (2010).
- [5] 白井智子, 萬成亮太, 三末和男, 田中二郎, 複数タブレットを用いた共同分析作業のための視覚的表現および操作の検討, 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2013-HCI-152 (2013).
- [6] B. Shneiderman, The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations, In *Proceedings of IEEE Symposium on Visual Languages*, pp. 336-343 (1996).
- [7] G. Shoemaker, A. Tang and K. S. Booth, Shadow reaching: a new perspective on interaction for large displays, In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 53-56 (2007).
- [8] J. R. Wallace, S. D. Scott, T. Stutz, T. Enns and K. Inkpen, Investigating teamwork and taskwork in single- and multi-display groupware systems, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 13, Issue. 8, pp. 569-581 (2009).