

# 撓みのメタファを用いたビューポート制御インタフェース

大脇 正憲<sup>\*1</sup> 藤田 和之<sup>\*1</sup> 高嶋 和毅<sup>\*1</sup>  
築谷 喬之<sup>\*1</sup> 伊藤 雄一<sup>\*1</sup> 北村 喜文<sup>\*2</sup> 岸野 文郎<sup>\*3</sup>

紙や布を指で縮めようとしたときに発生する「撓(たわ)み」のメタファを、スクロールおよびズーム操作に適用したインタラクション手法を提案する。この手法は表示するコンテンツを伸縮性の柔らかい材質と捉えており、通常のスクロールでは画面外へ押し出されていた領域が、コンテンツが歪められることによりビューポートに残る。これによりビューポートに残った領域を確認しながら次の操作へ移行することができるため、無駄なスクロールを減らすことができる。このインタラクション手法を評価するため、地図上のオブジェクトを比較して獲得するタスクを用いて、通常のドラッグ操作によるスクロールと比較した。その結果、提案手法は単純な移動では通常のスクロールと同様のパフォーマンスであり、元いた場所に戻る場合には、通常のスクロールに比べて操作量が少なく高速であることがわかった。

## A Viewport Control Method using Metaphor of Flexible Materials

MASANORI OHWAKI<sup>\*1</sup> KAZUYUKI FUJITA<sup>\*1</sup> KAZUKI TAKASHIMA<sup>\*1</sup>  
TAKAYUKI TSUKITANI<sup>\*1</sup> YUICHI ITOH<sup>\*1</sup> YOSHIFUMI KITAMURA<sup>\*2</sup> FUMIO KISHINO<sup>\*3</sup>

We propose a novel technique for scroll and zoom operations which regards the displayed content as a flexible material such as a piece of cloth. In the technique, when a user scrolls the content to acquire a new area, originally displayed area remains in the viewport with distortion. This helps users decide next operation, which leads to preventing them from doing unproductive scroll. We conducted experiments in which participants had to acquire on-and-off screen objects in a map using our technique or traditional scroll. From the results we found that our technique yielded as equivalent performance as the traditional one for simple off-screen acquisition and better performance for scrolling back to original position.

### 1. はじめに

ウェブページやドキュメント、地図など、人がコンピュータで扱うコンテンツの多くは、ディスプレイに収まりきれないサイズを持っている。そのため、ユーザーが見たい箇所にアクセスするためには、スクロールやズームなどの操作を繰り返し用いることで、コンテンツの表示領域であるビューポートを制御し、その部分が表示されるように調節しなければならない。これは現実世界での紙面の閲覧に比べ負荷が高く<sup>1)</sup>、特に大規模なコンテンツの閲覧では、ユーザーがコンテンツ内の注目している部分を見失うといった問題も発生しやすい<sup>2)</sup>。このような問題は、近年の普及が目覚ましい指やペンによる直接入力環境でも同様であり、より効率的なビューポート制御手法が求められている。

一般的なビューポート制御手法はスクロールとズームである。これはコンテンツを見下ろすカメラ視点を操作するメタファを用いている<sup>3)</sup>が、このようにコンテンツを見下ろす視点を制御することで効率化を図る研究は数多くなされている。これには例えば、スクロールとズームを連動させる手法<sup>4)</sup><sup>5)</sup>やユーザーの目的とする箇所に半自動的にスクロールする手法<sup>6)</sup><sup>7)</sup>があり、マルチタッチ環境でも2本以上の指を使って操作する手法<sup>8)</sup>が親しまれている。また、詳細と大局を分割して個別に表示する手法<sup>9)</sup>もこのアプローチの一つと見なすことができる。しかし、これらの操作は視点側を移動させるため、実際の紙面の閲覧とはかけ離れた操作を必要とするものも多い。一方で、魚眼レンズのメタファを用いて表示を歪ませたり<sup>10)</sup>、コンテンツを折りたたんだり<sup>11)</sup>と、コンテンツ自体を変形するアプローチもある。これらは、実際の紙面に近い閲覧方法であるものの、コンテンツを変形するための個別の操作が必要であり、操作が煩雑になることがある。

そこで本研究では、コンテンツ側を変形するアプローチをさらに押し進め、実際の紙や布を扱うときにも見られる「撓(たわ)み」に着目し、従来のスクロー

\*1 大阪大学 大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

\*2 東北大学 電気通信研究所  
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

\*3 関西学院大学 理工学部  
School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

ルやズーム操作を拡張するインタラクション手法を提案する。この手法では、コンテンツを柔らかい伸縮性を持った素材と捉えており、従来であればスクロールやズームにより平行移動や拡大・縮小されていただけのコンテンツを柔軟に歪ませる。これにより、例えば画面外の情報を引き寄せてきて、離れた地点をビューポートに表示させることが可能となる。また、コンテンツに伸縮性を持たせ、歪められると元に戻る力（復元力）を働かせると、引き寄せた部分を離すことで元の状態に戻すような挙動も可能である。これを応用すると、一度引き寄せた部分をビューポートに残すことも元に戻すこともできるため、画面外の情報を確認しながらビューポートを移動できる。さらに、撓んでいる部分を押し込むようにすると、その反発力が働いたようにズームアウトがなされる。このように、実世界での紙面を扱うような直感的で簡単な動作で、より多彩なインタラクションを可能にする。

本稿では、まず今回実装した撓みスクロール・ズーム手法のアルゴリズムについて述べる。今回は主に撓みスクロールを検証することで、撓みの有用性を評価し議論する。評価実験では、撓みスクロールと通常のスクロールを用いて地図上の2つのオブジェクトサイズを比較するタスクを用い、その結果に基づいて、本手法の有用性や今後の発展について、実際の利用シーンを考慮に入れて議論する。

## 2. 関連研究

### 2.1 視点を制御する手法

一般的な地図ビューアやドキュメントビューアのほとんどでは、コンテンツを上空から俯瞰しているカメラ操作のメタファを用いたものとして、パン（スクロール）とズームの操作が提供されている<sup>3)</sup>。マウスでは、パンはドラッグ操作、ズームはスライダバーの操作およびホイールの回転により入力されることが多いが、近年普及しつつあるマルチタッチ入力環境では、Apple社のiPhoneやiPadに代表されるように、二本の指でつまむ動作（ピンチイン）や広げる動作（ピンチアウト）によるズーム操作が利用されている<sup>8)</sup>。ペン入力環境では、デバイス上に手のひらを置いているかどうかによってスクロールとズームの操作を切り替える手法が提案されている<sup>12)</sup>。この手法は、手で紙面を文鎮のように押さえる動作を参考としている。この他にも、画面を1本指で斜め方向に小さく擦るジェスチャ<sup>13)</sup>や、ペンデバイスを回転させるジェスチャ<sup>14)</sup>によるズーム操作もある。

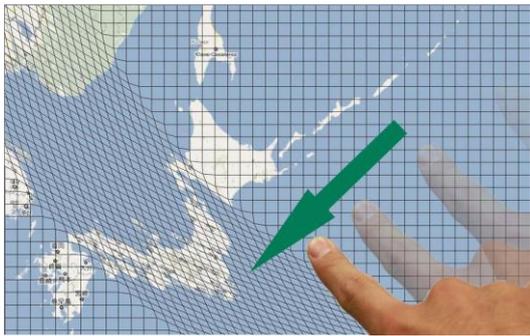
複雑なカメラ制御として、画面外にあるオブジェクトの位置が既知である場合には、そのオブジェクトへ半自動的にジャンプする手法がある<sup>6),7)</sup>。さらに、ユーザの操作を複数のカメラ操作と連動させる手法として、高速なスクロール時に自動的にズームアウトして大局を把握しやすくするSpeed-dependent Automatic Zooming (SDAZ)<sup>4)</sup>や、地図上に設けたアンカーポイントが常にビューポートに表示されるようにパンとズームを連動させる手法が提案されている<sup>5)</sup>。

複数のカメラを用いた例として、大局と詳細を同時に画面内に表示させるというアプローチも検討されている。一般的には、詳細を大きく、大局を小さく個別のウインドウで表示させるOverview + Detailという手法がよく用いられる<sup>9)</sup>が、ユーザの指定する領域のみを拡大して表示するDragMag<sup>15)</sup>という手法もある。

このように、視点側を制御する手法が多く提案され、その有用性が示されている。しかし、実世界で紙面を閲覧する際には、視点ではなく紙の方を動かすことが多いことを考慮すると、コンテンツ自体をユーザの手で動かしてスクロールやズーム操作を実現するという考え方も有意義である。

### 2.2 コンテンツを変形する手法

Furnasらは、魚眼レンズのメタファを用い、注目している部分を拡大し、拡大部とその他との間を滑らかな歪みを用いて表現するFisheye views<sup>10)</sup>を提案している。この手法では、大局と詳細を1つのビューポートに表示するために大局と詳細の間の遷移部分を歪めることで連続的に表示している。Fisheye viewsの改善案についても多く検討されており、ドキュメントの閲覧のために1次元方向にのみ歪みを適用した例<sup>16)</sup>や、矩形のレンズを用いた例<sup>17)</sup>もある。小関らは、拡大部と縮小部の間の情報を省略して表示することによって歪みを軽減させるEmmaを提案している<sup>18)</sup>。他にもHaikらは、3次元仮想環境において、複数のカメラ視点からの表示を合成させることで可視性を上げる手法について検討している<sup>19)</sup>。Niklasらが提案しているMélangeでは、紙を折りたたむようなインタラクションを用いてコンテンツの任意の場所を縮めることで、離れた場所にある2つのオブジェクトでもビューポートに表示させられる<sup>11)</sup>。これらのコンテンツを変形させる手法は、変形により幾何学的な情報が失われることが欠点として指摘できるが、ユーザが見たい部分だけ大きくするなどの柔軟な表示が可能であることが利点である。しかし、コンテンツの変形に専用の操作が必要なことも多く、操作が複雑になりがちである。



(a) ドラッグ中



(b) 指を離れたとき



(c) フリックしたとき

図1 撓みスクロールの様子

### 3. 提案手法

#### 3.1 概要

紙面を閲覧するようにコンテンツを柔軟に、かつ簡単な操作で扱うことを目指し、撓みのメタファを利用してスクロールとズーム操作を拡張する手法を提案する。撓みとは、実際の紙や布を指で縮めようとしたときに見られる歪みのことを指す。また、布などの伸縮性を持った素材では、撓みが生じると復元力により元に戻る性質がある。本手法では、地図やドキュメントなどのコンテンツをそのような素材に見立てることで、ユーザの操作に合わせてコンテンツが柔らかく変形し、操作をやめると復元力が働きアニメーションを経て元に戻る。また、本手法ではユーザの操作時のみ動的にコンテンツが歪むため、幾何学情報が失われるという欠点の影響を比較的小さくできる。以下では、撓みスクロールとズームの詳細について述べる。

#### 3.2 撓みスクロール

撓みスクロールは、撓みの性質をスクロール操作に適用したものである。ユーザが画面上をドラッグすると、画面外の領域が歪まずにビューポートに引き寄せられる。このとき、元々表示されていた領域は、縮められてビューポートに残る。この縮みは図1(a)のように、新しく獲得してきた領域との連続性を保つように表現される。ユーザがドラッグをやめると、縮んでいた領域は布が引き伸ばされるように画面外に押し出され、通常のスクロールと同じ結果となる(図1(b))。ただし、ドラッグをやめるときに、ドラッグしてきた

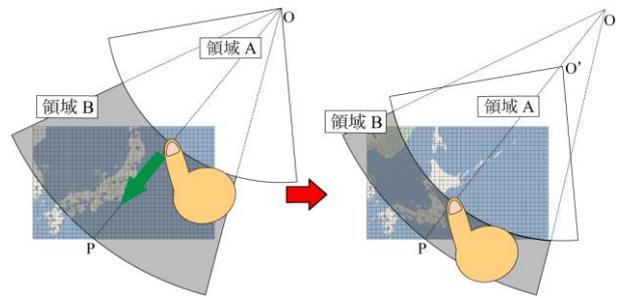


図2 撓みの生成方法



図3 撓みズームの様子

方向と反対方向にはじくような操作(フリック操作)をすると、伸びていた布が元に戻るように、元のビューポートに戻る(図1(c))。これらの操作は撓みのメタファを忠実に再現しているわけではなく、スクロール操作としての使いやすさを考慮した設計となっている。実際に、フリック操作の使い方についてはいくつかのパターンを予備的に検討した結果、先に述べたような設計とした。ユーザはこれら2種類の操作を使い分け、獲得してきた領域をビューポートに残すか残さないかの選択を1回のドラッグ毎にすることができる。そのため、必要のない領域にビューポートを移動させてしまうような無駄なスクロール操作を省くことが期待される。

図2に撓みの生成方法を示す。提案手法では、まずドラッグ開始時に、歪まずにビューポートに引き寄せられる領域Aを扇形で決める。この扇形の位置は、ユーザのタッチ位置が弧状にあり、中心Oがドラッグ方向と180度反対側になるように決める。また半径は、画面外の領域が十分に収まるように、画面幅の1.5倍とする(図中ではわかりやすさのために小さい半径で示している)。次に、歪める領域Bを決めるが、これは領域Aと同じ中心を持ち、ドラッグ方向に伸ばした線と画面端とが交わる点Pが弧状にあるような扇形から、領域Aを除いた部分である(図中では半透明の灰色部分)。そして、ユーザがドラッグしたときには、領域Bを周囲との連続性を保つように歪める。この歪め方についてはいくつかの方法が考えられるが、今回は提案手法の有用性を知るためのプロトタイプとして、線形的に歪ませている。

### 3.3 撓みズーム

撓みズームでは、布の撓んだ部分を押し込むようにすると、その反発力が働いたようにズームがなされる。マルチタッチ入力環境を用いた場合、ドラッグ中に別の指で撓んでいる領域（今回の実装では任意の位置）をタップすることでズームアウトの操作となる。マウスやスタイラスを用いた場合は、ドラッグ中の右クリックなどがこのズームアウトに割り当てられることになる。ズームアウトの際、新しく獲得してきた領域と元のビューポートをちょうど含む領域が新たなビューポートになるようにズームレベルが調整される（図 3）。これにより、ドラッグ中にズームアウト後のビューポートを予想してからズームアウトをするかしないかの選択ができるため、ドラッグ中の操作にさらに選択の幅が広がる。同様の考え方でズームインの操作も可能ではあるが、ドラッグして一旦コンテンツを少しだけ縮め、そのままドラッグを逆方向に動かしてコンテンツを伸ばしてからタップする必要があるため、やや煩雑になる。撓みズームは従来のダブルクリックやダブルタップによる操作と競合しないため、この 2 つを併用することも可能である。

## 4. 評価実験

本稿では、撓みスクロールと撓みズームのうち、実際にコンテンツを撓ませる操作であり、撓みの性質をより強く反映していると考えられる撓みスクロールの性能を検証する。これにより、撓みメタファおよびそれを用いたビューポート制御の有用性を評価する。

### 4.1 予備実験

撓みメタファを用いたスクロールの有用性を評価する測定項目としては様々なものが考えられる。その中でまず、ドラッグによる通常のスクロール（パン）操作と、撓みスクロールのパフォーマンスを比較するため、方向が既知の画面外オブジェクトをスクロールして獲得するというタスクを予備的に実施した。表示させるコンテンツとしては、2 次元的に広がる情報として一般的な地図を用い、画面外オブジェクトまでの距離は 600, 800, 1,000 pixel（全て画面外）の 3 段階とした。参加者は 4 人で、入力には指とペンの両方を用いた（計算機：HP EliteBook 2740p Tablet PC、解像度：1,280×800 pixel）。実験の結果、平均タスク完了時間は、撓みスクロールが 2.08 秒（標準偏差 0.432）、通常スクロールが 2.05 秒（標準偏差 0.311）で、どの条件においても 2 つの入手法間にタスク完了時間の差は見られなかった。したがって、単純なスクロールの

際には撓みによる影響は無いといえる。このことを踏まえた上で、以下の本実験を実施した。

### 4.2 実験概要

地図やドキュメントなどのコンテンツを扱う場合、現在地と目的地の情報など、ビューポートに同時に表示できない離れた 2 地点を比較した後、目的地をビューポート内に収めたい場面がある。ズームを利用して 2 地点をビューポートに収める場合も考えられるが、ズームアウトにより詳細情報が失われてしまうため、2 地点の詳細情報を比較する場合には適さない。このような場合は通常、スクロール操作を用いて比較を行うが、2 地点がビューポートに収まらないほど離れている場合、スクロールによりビューポートを無駄に移動してしまう。また、目的地が元のビューポート内であった場合、改めてスクロールして戻らなければならない。そのため、離れた 2 地点でもビューポートに表示することができ、2 地点を比較した後にビューポートを移動できる操作は効果的であると考えられる。撓みスクロールでは、離れた地点でもビューポートに表示することができ、必要とする地点を選択してからビューポートを移動できるので、これらの問題を解決できると期待される。そこで、距離の離れたわずかに大きさの違う地図上の 2 つのオブジェクトを比較し、大きい方を選択するタスクを行う。このタスクは、ある程度詳細な情報を比較する状況を想定し、詳細情報の優劣の指標をオブジェクトサイズの大小に抽象化したものである。

### 4.3 実験参加者

実験参加者は男性 10 名、女性 2 名からなる 12 名の大学生または大学院生である。実験参加者全員が正常視力あるいは正常矯正視力であり、日常的に計算機を利用している。ペンデバイスを用いた計算機の利用経験があるのは 11 名である。参加者は全員右利きであり、実験も右手で行う。

### 4.4 実験環境

実験用アプリケーションは Microsoft 社の Visual C++ 2005 を用いて実装し、計算機はタブレット PC である lenovo 社の X61（CPU: Core 2 Duo L7500, 1.6 GHz, RAM: DDR2-SDRAM 2GB, OS: Windows Vista Ultimate）を用いる。ディスプレイは 12.1 インチの液晶ディスプレイを、1,024×768 pixel の解像度で使用する。入力には、指とペンのいずれを用いることも可能であるが、手や腕によるオクルージョンが少なく、小さなオブジェクトでも獲得することが容易なペンを用いる。図 4 に実験風景を示す。図に示すように実験



図4 実験風景



図5 タスクの初期画面

参加者は机に向かって姿勢を正して座り、左手でディスプレイを固定して実験を行う。

#### 4.5 実験タスク

今回の実験タスクにおける初期画面を図5に示す。実験が始まると地図が表示され、地図上には赤色のオブジェクトが2つ配置される。1つは初期画面の中央部にあり、以下ではこのオブジェクトをスタートと呼ぶ。もう1つは画面外に配置され、以下ではゴールと呼ぶ。また、画面中央部には矢印と円が表示されている。矢印はゴールがどの方向に配置されているかを8方向で示している。実験参加者はこの矢印を頼りに各手法によるスクロール操作を用いてゴールを探索し、ビューポート内に獲得する。ビューポート内に獲得後、それぞれのオブジェクトのサイズの大きさを比較し、サイズの大きいオブジェクトを画面中央部の円内に獲得した状態でペンを用いてタップするとタスク完了である。この円は、ビューポート内となるべく中心に目的オブジェクトを配置してもらうためのものであり、予備実験からこの円の半径は150 pixelとする。サイズの小さいオブジェクトを獲得しようとした場合や、円の外側にオブジェクトがある場合にはタスクは完了できない。円と矢印の色は通常青色だが、2つのオブジェクトのいずれかが円内にある場合、その視覚フィードバックとして黄色に変化する。タスクが完了すると、一旦黒画面に切り替わり、もう一度タップすると次の試行が開始される。

#### 4.6 実験計画

本実験は、手法（撓みスクロール、通常スクロール）、ターゲット距離（600, 800, 1,000 pixel）、正解オブジェクト配置（スタート、ゴール）による3要因反復実験である。正解オブジェクト配置については、撓みスクロールによるフリック操作の効果が表れると予測されるため、要因に含めた。実験参加者は、これら $2 \times 3 \times 2 = 12$ 通りの組み合わせを16回反復する。ターゲット距離は、1回のドラッグで画面中央の円内にゴールを収められる距離として600 pixelを、2つのオ

ブジェクトを同時にビューポートに表示できない距離として1,000 pixelを用い、800 pixelはこの二つの中間である。これらの距離では全て、1回のドラッグによりゴールをビューポートに表示することが可能である。ターゲット距離と正解オブジェクト配置については実験中ランダムに変更されるが、それぞれの条件で試行回数が同じになるように制御する。実験中に現れる2つのオブジェクトは全て赤色で、形状は円、三角形、菱形の中から選択される。オブジェクトのサイズは20, 25, 30, 35, 40 pixelの5種類から選択され、正解オブジェクトは選択されたサイズより5 pixel大きく設定する。ゴールが配置される方向は画面中心から45度ずつ8方向とし、16回反復のうち、各方向が2回ずつ現れるように制御する。これら実験要因以外のオブジェクトの形状、サイズ、および方向も全てランダムな順番で提示される。地図は縮尺約3700分の1で極端に目立つランドマークがない中規模程度の都市の地図をグレースケールにして用い、探索の際のノイズ情報として利用する。地図画像は、オブジェクトが地図上に十分収まるように3,000×3,000 pixelのものを用意する。また、撓みスクロールにおいて、撓みが戻るアニメーション速度は撓んでいる様子がわかる程度に速くしている。

#### 4.7 実験手順

参加者1人あたりの試行回数は、12条件×16試行の192試行である。参加者にはできるだけ速くタスクを行うことを教示として与え、タスク完了時間を計測する。また、タスク中に参加者がドラッグした距離も計測する。各手法の実験順序は、慣れの影響を考慮して参加者間でカウンターバランスをとる。全試行を終えた後、参加者に、各手法におけるオブジェクトの好みについて7段階で評価してもらう。実験時間は、各手法に慣れるための練習時間を含めて30分程度である。

#### 4.8 実験結果

各手法におけるターゲット距離とタスク完了時間の関係を図6に、正解オブジェクト配置とタスク完了時間

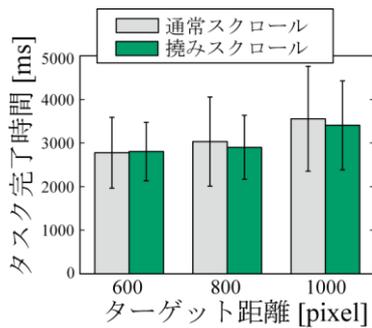


図 6 ターゲット距離 vs タスク完了時間

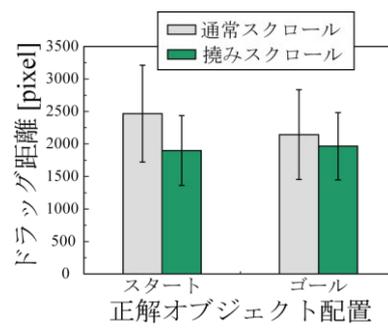


図 8 正解オブジェクト配置 vs ドラッグ距離

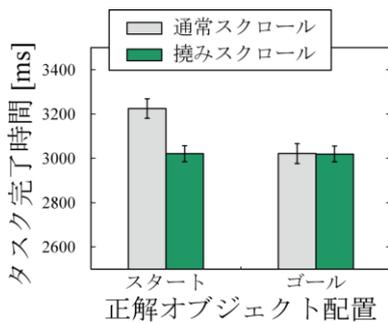


図 7 正解ターゲット配置 vs タスク完了時間

の関係を図 7 にそれぞれ示す。タスク完了時間に関する 3 要因分散分析の結果、手法 ( $F(1, 11) = 4.916, p < .05$ ) とターゲット距離 ( $F(2, 22) = 115.2, p < .01$ )、正解オブジェクト配置 ( $F(1, 11) = 9.535, p < .01$ ) 全てに主効果が見られた。手法の主効果について Tukey の多重比較を行った結果、ターゲット距離が 800 pixel と 1000 pixel のときに撓みスクロールが通常スクロールに比べて有意に早くタスクを完了できていることがわかった ( $p < .05$ )。ターゲット距離についても同様の比較を行ったところ、ターゲット距離が長くなるにつれて有意にタスク完了時間が増加していることがわかった ( $p < .01$ )。正解オブジェクト配置についても同様に Tukey の多重比較を行ったところ、正解オブジェクトがゴールであるときに正解オブジェクトがスタートである場合に比べて有意に早くタスクを完了できていた ( $p < .01$ ) また、手法と正解オブジェクトの間に交互作用が認められた ( $F(1, 11) = 4.682, p < .05$ )。この交互作用について単純主効果を分析したところ、正解オブジェクトがゴールであるときには有意差が見られないのに対し、スタートのときのみ、撓みスクロールのタスク完了時間が通常スクロールに比べて有意に早かった ( $p < .01$ )。

図 8 は、各手法における正解オブジェクト配置とドラッグ距離の関係を示したものである。3 要因分散分析の結果、手法 ( $F(1, 11) = 240.9, p < .01$ ) とターゲット距離 ( $F(2, 22) = 193.5, p < .01$ )、正解オブジェクト

配置 ( $F(2, 22) = 28.33, p < .01$ ) 全てにおいて主効果が見られた。また手法とターゲット距離の交互作用 ( $F(2, 22) = 10.07, p < .01$ ) と手法と正解オブジェクト配置の交互作用 ( $F(1, 11) = 65.11, p < .01$ ) が認められた。ナビゲーション手法と正解オブジェクト配置の交互作用について単純主効果を分析したところ、どちらのオブジェクトが正解でも撓みスクロールの方が通常スクロールに比べて少ないドラッグ距離でタスクを完了できることがわかった ( $p < .01$ )。

7 段階評価 (7: 良い, 1: 悪い) での実験参加者による主観評価の平均は、撓みスクロールが 5.75 ポイント (標準偏差 0.72)、通常スクロールが 4.42 ポイント (標準偏差 0.64) であった。

## 5. 議論

### 5.1 実験結果について

評価実験の結果から、ターゲット距離が 800 pixel と 1000 pixel の場合、撓みスクロールは通常スクロールに比べて高速に、かつ少ない操作量でオブジェクトを比較して獲得できていたことがわかった。特に、正解オブジェクトがスタートであるときに撓みスクロールのパフォーマンスが際立って高くなっていた。これは、フリックにより元のビューポートに戻す操作が有効に働いていたからであると考えられる。また、この操作はどの参加者も初めて体験するものであったにもかかわらず、ほぼ全員が戸惑うことなく使用できていた。このことから、本手法が紙や布のアフォーダンスを十分に提供できており、参加者が直感的に扱っていたことが示唆される。実際にアンケートでも、実際の紙や布を触っているように感じたと言った参加者もあり、通常のスクロールとは似て異なる体験をしていたことが伺える。

正解オブジェクトがゴールのときには、タスク完了時間に差は見られなかったものの、ドラッグ距離は撓みスクロールのほうが有意に少なかった。これは、

通常スクロールのときに、スタートとゴールを行き来してオブジェクトを見比べる場面が多々見受けられたことで説明できる。アンケートからも、通常スクロールではスタートのオブジェクトの大きさを記憶しておかなければならなかったのに対し、撓みスクロールでは2つのオブジェクトが同時に見えることが多く、比較しやすかったという意見が多く得られた。また、今回は大きさを比較するだけの単純なタスクであったが、じっくりと見比べる必要のある場合には撓みスクロールがより効果的ではないかという意見もあった。

主観評価では、撓みスクロールが1ポイント以上高い評価を得ており、実際の地図ナビゲーションなどで使いたいという意見もあった。また、地図が撓みによって歪んで表示されることを煩わしく感じた参加者はほとんどおらず、注目している場所は歪んでいないから気にならなかったという意見や、むしろビューポートにスタートのオブジェクトが残るので見やすかったという意見が大半を占めた。これらのことから、撓みスクロールは参加者に好まれ、歪みによる悪印象も与えていなかったと考察される。しかし、本実験ではゴールのオブジェクトに導くための矢印を常に表示して視覚探索にかかる時間を省いており、地図のコンテンツを見る必要があるタスクではなかった。このため、コンテンツの歪みによって視認性が悪化していないかどうかの定量的評価には至っておらず、今後検討が必要である。

## 5.2 提案手法の有効範囲

今回の評価実験では、ターゲット距離が1,000 pixelまでの範囲で撓みスクロールの有効性が明らかになった。結果からは、距離が長いときほど効果が出ているが、撓みスクロールの現在の実装では、1回のドラッグで目的のオブジェクトがビューポートに現れなかった場合にはフリック操作を有効に利用できないため、長距離では撓みスクロールの有効性が損なわれると考えられる。ただし、単純なスクロールを評価した予備実験では、通常のスクロールとの差は見られなかったことから、1,000 pixelを超える距離も通常スクロールと同等のパフォーマンスになると考えられる。なお、長距離でのパフォーマンスの向上に向けた改良については後述する。

実験ではペンを入力デバイスとして用いていたが、基本的にはドラッグしか使わないタスクであったため、マルチタッチの環境やマウスなどの他の入力デバイスでも同様の結果が得られると考えられる。しかし、撓みズームを含めた場合には、タップや右クリックとい

った追加の操作が必要となるため、総合的な操作性についてはデバイスに依存すると予想される。したがって実験環境を変更して改めて確認する必要がある。

## 5.3 撓みズーム

本稿では撓みズームを評価の対象としなかったが、撓みズームと撓みスクロールを用いて画面外にあるオブジェクトを獲得するというタスクの実験を予備的に行ってインタビュー調査をした。その結果、撓みズームアウトの操作を直感的だと答えた参加者が多かった一方で、マルチタッチに慣れていない参加者や、新たな指の使い方に戸惑いがあった参加者には、操作が複雑で難しいと感じられたようである。全体として、ドラッグ中の操作でスクロールかズームか選択できるという利点に対しては期待できる反応が得られたものの、ズームだけを行う場合には提案手法単体ではやや不十分で、別に操作を用意する必要もあると考えられる。これに、従来のダブルクリックやダブルタップを用いるか、布を引っ張り上げる・押しこむ等の撓みのメタファを用いた新しい操作を導入するかについては今後検討する予定である。

## 5.4 撓みの改良とインタラクションの拡張

コンテンツの撓ませ方についても検討の余地がある。現在の実装では線形的に縮めているだけであるため、実際の紙や布の撓み方とは見た目が異なる。そこで、実際の紙や布を扱っているような体験を提供するための方法として、紙や布の動きをシミュレーションして撓ませる方法が考えられる。あるいは、歪みの大きい部分を間引きすることで歪みを少なくした視認性の高い撓みの方が、高いパフォーマンスである可能性もある。この他にも、地図であれば都市名や幹線道路のみを表示し、ドキュメントであれば章のタイトルのみを表示するなど、コンテンツを考慮した情報を撓んだ部分に表示させる方法も考えられる。これら複数の撓ませ方を比較して評価する必要がある。また、撓みが元に戻るアニメーション時間の検討が重要である。この時間は常に一定とは限らず、ユーザが必要な情報ほど遅いアニメーションにするなどの方法も考えられる。

一方で、撓みのメタファを部分的に応用する方法もある。画面中心からドラッグを開始すると、通常のスクロールが行われ、画面端からドラッグを開始すると、撓みスクロールが行われるように従来手法と撓みを融合させる。このような操作は撓みのメタファが有効な範囲で部分的に利用するため、従来のパン、ズームといった操作と干渉しない。したがって、すぐにでも応用可能であると言える。

さらに、長距離でのパフォーマンスの向上に向けたインタラクシオンの拡張も考えている。最近ではフリック操作を利用した慣性スクロール<sup>20)</sup>が一般的になってきているが、それに倣いフリックの速度に応じて実際のスクロール量よりも多くの量を撓ませるように制御すれば、有効距離の改善に寄与すると考えられる。また、今回の実装では同時に1回しか撓ませることができなかったが、ドラッグの繰り返しにより複数回撓ませられれば、現在の有効範囲以上の何画面分も遠くにあるオブジェクトを引き寄せてくるなど、コンテンツの柔軟性は飛躍的に高まることが期待される。

実際の紙や布は複数本の指で扱うため、撓みのメタファはマルチタッチの環境ではより効果的だと考えられる。例えば、複数回の撓みを複数方向から発生させることができ、3点以上の離れたオブジェクトを同時にビューポートに表示可能になる。このような改良が進めば、テーブルトップディスプレイなどで複数人各々が競合せずに、見たい領域を閲覧することすら可能になる。

## 6. まとめ

紙や布を指で縮めようとしたときに発生する撓みのメタファを利用し、コンテンツを柔軟に変形させられるスクロールインタフェースを提案した。地図上の2つのオブジェクトサイズを比較するというタスクによる評価実験の結果、撓みスクロールは通常スクロールに比べて高速に、かつ少ない操作量でオブジェクトを比較し獲得できることがわかった。今後は、撓みズームの評価や、複数回の撓みを許可する撓みスクロールをマルチタッチ入力環境にて実装する予定である。

**謝辞** 本研究の一部は、文部科学省グローバルCOEプログラム（研究拠点形成費）の助成によるものである。

## 参考文献

- 1) K. O'Hara and A. Sellen: A comparison of reading paper and on-line documents, In *Proc. of CHI '97*, pp. 335-342 (1997).
- 2) M. D. Byrne, B. E. John, N.S. Wehrle, and D.C. Crow: The tangled Web we wove: a taskonomy of WWW use, In *Proc. of CHI '09*, pp. 544-551 (1999).
- 3) K. Perlin and D. Fox: Pad: an alternative approach to the computer interface, In *Proc. of SIGGRAPH '93*, pp. 57-64 (1993).
- 4) T. Igarashi, K. Hinckley: Speed-dependent automatic zooming for browsing large documents, In *Proc. of UIST '00*, pp. 139-148 (2000).
- 5) 藤田和之, 高嶋和毅, 築谷喬之, 朝日元生, 北村喜文, 岸野文郎: 複数のカメラ操作を連動させる地図ナビゲーション手法の提案, *インタラクシオン 2009 論文集*, pp. 97-104 (2009).
- 6) P. Irani, C. Gutwin, and X.D. Yang: Improving selection of off-screen targets with hopping, In *Proc. of CHI '06*, pp. 299-308 (2006).
- 7) 高嶋和毅, スリラムサブ라마ニアン, 築谷喬之, 北村喜文, 岸野文郎: ポインティング動作を用いたスクロール技術 DuH の提案, *情報処理学会論文誌*, Vol. 48, No. 12, pp. 3809-3818 (2007).
- 8) Apple - Scroll View Programming Guide for iOS: Basic Zooming Using the Pinch Gestures. [http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/WindowsViews/Conceptual/UIScrollView\\_pg/ZoomZoom/ZoomZoom.html](http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/WindowsViews/Conceptual/UIScrollView_pg/ZoomZoom/ZoomZoom.html)
- 9) A. Cockburn, A. Karlson, and B. Bederson: A review of overview+detail, zooming, and focus+context interfaces, *ACM Comput. Surv.*, Vol. 41, No. 1, pp. 1-31 (2008).
- 10) G.W. Furnas: Generalized fisheye views, *SIGCHI Bull.*, Vol. 17, No. 4, pp. 16-23 (1986).
- 11) N. Elmqvist, N. Henry, Y. Riche, J.-D. Fekete: Mélange: Space Folding for Visual Exploration, In *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 16, No. 3, pp. 468-483 (2010).
- 12) 椎尾一郎, 辻田眸: 文鎮メタファを利用した小型情報機器向けインタフェース, *情報処理学会論文誌*, Vol.48, No. 3, pp. 1221-1228 (2007).
- 13) A. Olwal, S. Feiner, and S. Heyman: Rubbing and tapping for precise and rapid selection on touch-screen displays, In *Proc. CHI '08*, pp. 11-20 (2008).
- 14) X. Bi, T. Moscovich, G. Ramos, R. Balakrishnan, and K. Hinckley: An exploration of pen rolling for pen-based interaction, In *Proc. of UIST '08*, pp. 191-200 (2008).
- 15) C. Ware and M. Lewis: The DragMag image magnifier, In *Proc. of CHI '95*, pp. 407-408 (1995).
- 16) K. Hornbæk and E. Frøkjær: Reading of electronic documents: The usability of Linear, Fisheye, and Overview+Detail interfaces, In *Proc. of CHI '01*, pp. 293-300 (2001).
- 17) C. Gutwin and C. Fedak: Interacting with big interfaces on small screens: a comparison of fisheye, zoom, and panning techniques, In *Proc. of GI '04*, pp. 145-152 (2004).
- 18) 小関章太郎, 山本大介, 北神慎司, 高橋直久: Emma における Focus+Glue+Context 型地図の実現法, 第1回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, B1-1 (2009).
- 19) H. Lorenz, M. Trapp, M. Jobst, J. Döllner: Interactive Multi-Perspective Views of Virtual 3D Landscape and City Models, In *Proc. of the 11th AGILE Int'l Conf. on GI Science*, pp. 301-321 (2008).
- 20) Apple - Apple - Magic Mouse - The world's first MultiTouch-mouse. <http://www.apple.com/magicmouse/>