

# 片手での小型携帯端末操作のための 圧力情報を利用したズームアウト操作インタフェース

鈴木 健司<sup>1,2,a)</sup> 坂本 竜基<sup>3</sup> 坂本 大介<sup>2</sup> 小野 哲雄<sup>2</sup>

受付日 2019年4月19日, 採録日 2019年11月7日

**概要:** スマートフォン等の小型携帯端末における片手でのズームアウト操作について, 圧力感知マルチタッチ技術を使用する2つの手法 (Bounce Back と Force Zoom) を提案する. Bounce Back は, ユーザが指で画面を押し続けている間の画面に与える圧力を計測し, ユーザが指を離すとその圧力に応じて飛び跳ねるようにズームアウトする. Force Zoom もまた同様に圧力を計測し, ユーザが画面を押すと表示物が押し遠ざけられるように連続的にズームアウトする. 本研究では, 提案する2つの手法と先行研究で提案されている類似手法および小型携帯端末版 Google マップで用いられているズーミング手法の4手法の比較実験を行った. その結果, Bounce Back と Force Zoom は作業実行時間が先行研究の手法より有意に短く, 操作回数が先行研究の手法と小型携帯端末版 Google マップの手法より有意に少ないことが確認された.

**キーワード:** ズーミング, 圧力情報, モバイル端末, 片手操作, ユーザスタディ

## Pressure-sensitive Zooming-out Interfaces for One-handed Mobile Interaction

KENJI SUZUKI<sup>1,2,a)</sup> RYUUKI SAKAMOTO<sup>3</sup> DAISUKE SAKAMOTO<sup>2</sup> TETSUO ONO<sup>2</sup>

Received: April 19, 2019, Accepted: November 7, 2019

**Abstract:** We present new alternative interfaces for zooming out on a mobile device: Bounce Back and Force Zoom. These interfaces are designed to be used with a single hand. They use a pressure-sensitive multitouch technology in which the pressure itself is used to zoom. Bounce Back senses the intensity of pressure while the user is pressing down on the display. When the user releases his or her finger, the view is bounced back to zoom out. Force Zoom also senses the intensity of pressure, and the zoom level is associated with this intensity. When the user presses down on the display, the view is scaled back according to the intensity of the pressure. We conducted a user study to investigate the efficiency and usability of our interfaces by comparing with previous pressure-sensitive zooming interface and Google Maps zooming interface as a baseline. Results showed that Bounce Back and Force Zoom was evaluated as significantly superior to that of previous research; number of operations was significantly lower than default mobile Google Maps interface and previous research.

**Keywords:** zooming user interface, ZUI, mobile interaction, one-handed interaction, user study.

### 1. はじめに

小型携帯端末においてズーム操作 (ズーミング; Zooming) は主要な操作の1つである. ズーム操作は地図アプリの操作時や写真や動画等のメディアコンテンツ, 文章等のドキュメントファイルの閲覧時に頻繁に行われる. これまで小型携帯端末における片手での操作インタフェース

<sup>1</sup> ヤフー株式会社  
Yahoo Japan Corporation, Chiyoda, Tokyo 102-8282, Japan

<sup>2</sup> 北海道大学  
Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido 060-0814, Japan

<sup>3</sup> 電駆ビジョン株式会社  
Denqvision Inc., Shibuya, Tokyo 151-0071, Japan

a) kensuzuk@yahoo-corp.jp

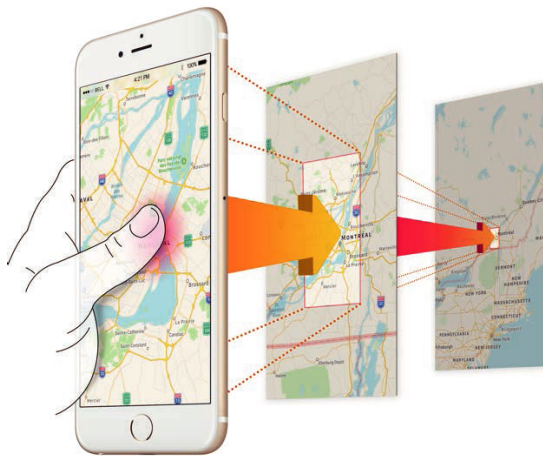


図 1 Force Zoom : 指が画面を押す力を計測し、押す力の強さに比例した速度でズームアウトする

Fig. 1 Force Zoom technique.

は多く研究されてきているが、片手でのズーム手法については十分に検討されてこなかった。小型携帯端末での最も一般的なズーム操作はピンチ（指と指の間隔を変化させる）である。地図アプリの使用時には、2本の指をタッチスクリーン上で近づけたり遠ざけたりし、地図が適切な縮尺となるよう操作を行う。この操作は片手で携帯端末を保持し、反対側の手でピンチ操作を行うというように両手で行う必要があり、片手では小型携帯端末を落下させる危険性が高まる。他の一般的なズーム操作としてダブルタップ（画面を素早く2度触る）があるが、ダブルタップは多くの場合ズームインのみしか行えない。またズームレベルは事前に決められておりユーザは自由に制御することができず、求める縮尺への調整には他の操作手法も用いる必要がある。小型携帯端末版 Google マップは片手でのズーム操作機能を備えている。Google マップではユーザが画面をダブルタップし、2度目のタップ時に指を画面から離さないまま上下に移動させることで、上ならズームアウト、下ならズームインをすることができる。本研究では、このGoogle マップのズーム手法をベースラインとし、我々の提案する手法との比較を行う。

本稿は小型携帯端末における片手でのズームアウト手法を提案する。提案手法の特徴はユーザが画面に対し押し下した際の圧力値を計測するアップル社の圧力感知マルチタッチ技術、Force Touch を用いる点である。我々はこの技術を用いた Bounce Back と Force Zoom と呼ぶ2つのズームアウト手法を設計した。Bounce Back はユーザが画面を押し下した際の圧力を計測する。そしてユーザが指を画面から離すと、その圧力に応じたズームレベルへズームアウトする。Force Zoom も同様に圧力を計測し用いるが、ユーザが画面を押し続けている間の圧力に応じて連続的にズームアウトする。これらの手法はユーザが画面を押し下した力を変化させることでズームレベルを調整することができる（図 1）。本

研究では、我々が提案する手法と現在普及している手法および感圧式ズーム手法に関する先行研究での手法 [1] とを比較し、操作の効率性とユーザビリティについて調査した。本研究の主な貢献は以下となる。

- 小型携帯端末上で動作する感圧式ズームアウト手法の提案と実証
- 小型携帯端末での片手操作の4つのズームアウト手法、Bounce Back, Force Zoom, 小型携帯端末版 Google マップの手法、そして先行研究手法の GraspZoom [1] を比較する実験の実施
- 提案手法が先行研究 GraspZoom [1] よりも作業実行時間が短く、Google マップでの操作手法よりも操作回数が少ないことを確認

なお、本研究は国際会議論文として発表済み [2] であり、本稿ではさらに理解を深めるための議論を追加している。

## 2. 関連研究

小型携帯端末に搭載された圧力感知タッチスクリーンに関するインタフェースはヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) に関する研究分野において数多く研究されてきた [3]。Miyaki らは小型携帯端末向けの圧力を用いたズーム手法である Grasp Zoom [1] を提案した。これは我々の手法と類似する点があるが、彼らはユーザインタラクションの理解よりもハードウェアとソフトウェアの構築に焦点を当てており、ユーザビリティ評価を行っていない。Spelmezan らは小型携帯端末の片側面に圧力センサを拡張した SidePress という手法を考案し、圧力センサの位置や力量とスクロールやテキスト選択といった基本的なアクションの関係について調査した [4]。ほかにも力の値を利用した手法がある。ForceTap は Z 軸の加速度を計測しタップの強さを計算した [5]。Force Gesture は小型携帯端末の画面との接線力 (Tangential forces) を利用した [6]。Harrison らは接線力を利用した指の上下移動によるズーム操作手法を提案した [7]。Clarkson らは小型携帯端末での圧力を用いた入力手法の有用性について調査し [8]、Stewart らは小型携帯端末での圧力を用いた入力手法の特徴を解明するための一連の調査を行った [9]。近年では、小型携帯端末に組み込まれた圧力計を用いた圧力感知手法が登場してきている [10]。ForceEdge は小型携帯端末画面上の特定領域で有効となる圧力を用いたスクロール手法を提案し [11]、Force Picker は小型携帯端末のシステムが提供するピッカユーザインタフェースの操作に圧力を用いた手法を提案した [12]。これらの研究からも力を用いたインタフェースは小型携帯端末のインタフェース開発における主要な研究分野の1つと考えられる。我々の研究は、小型携帯端末に標準搭載された圧力感知タッチスクリーンを用いたズーム手法を提案し、これのユーザビリティを検証するものである。

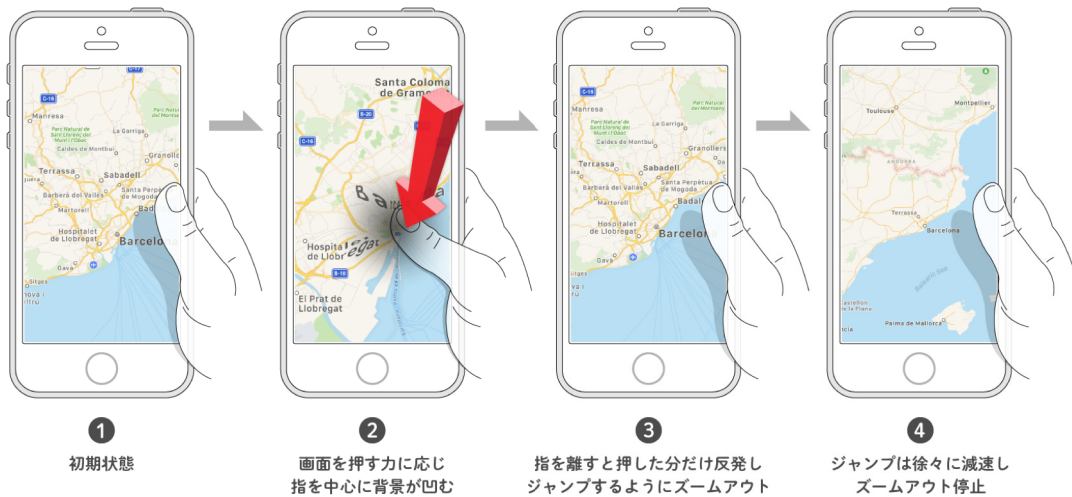
本研究では特に片手での小型携帯端末操作に注目している。我々が対象とする操作はズーム操作とナビゲーション操作である。Dongらは小型携帯端末を片手で操作する地図ナビゲーション手法について調査した[13]。TapTap and MagStickはユーザに片手で対象を指定できるようにした[14]。Rekimotoは傾きを用いたナビゲーション手法を提案した[15]。Sensor synaesthesiaは小型携帯端末の傾きを用いたズーム手法を提示した[16]。Holmanは小型携帯端末の側面にタッチセンサを付与し指での入力を補助する手法を提案した[17]。半自動的なズーム操作は高度なユーザインタフェースになりうることを示唆されている[18]。これらのことから小型携帯端末の片手操作に関する研究は小型携帯端末のインタフェース開発において活発な研究領域と考えられる[19], [20]。本研究では、近年小型携帯端末で利用可能となった画面の圧力情報を利用した

片手での操作を実現するインタフェースを提案する。Fat Thumbは指とタッチスクリーンとの接地面積から算出した模擬圧力を用いたズーム手法を提示したが[21]、我々の研究は、小型携帯端末に標準搭載された圧力感知タッチスクリーンを用いたズーム手法を提案し、これのユーザビリティを検証するものである。2019年現在で国内普及率43.08%のiPhoneシリーズのうち、圧力感知タッチスクリーンを搭載するモデルは約50%となっており[22], [23]、提案する手法および実施する実験とその結果得られる知見は当該領域の進展に貢献すると考えている。

### 3. 提案手法：Bounce Back と Force Zoom

ここで我々の提案する2つの手法を簡単に説明する。我々の提案する新たなズーム手法の特徴は、タッチスクリーンが感知する圧力の値を用いズームアウトを行う

#### Bounce Back



#### Force Zoom

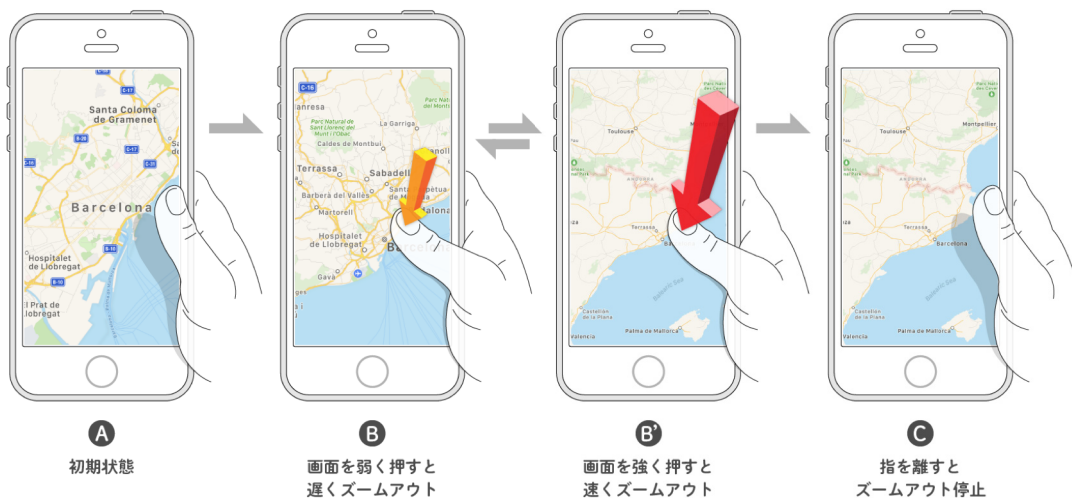


図2 Bounce Back (上段) と Force Zoom (下段) の概要。画面を押す圧力を用いズームアウト操作を行う

Fig. 2 Bounce Back (top) and Force Zoom (bottom).



点である。ユーザはメディアコンテンツや地図を閲覧する際にズームインも必要とするが、我々が提案する Bounce Back と Force Zoom はダブルタップのような従来のズームイン手法との併用を想定している。圧力感知タッチスクリーンを「押し込む」という単一のアクションでズームインとズームアウトといった異なる操作を行うのではなく、ズームインとズームアウトを別々のアクションとすることで誤操作の軽減やユーザビリティの向上に貢献できるのではないかと考え、本研究ではズームアウトのみを対象としている。

### 3.1 Bounce Back

Bounce Back はバネの特徴から着想している。バネは押し縮められると、その縮められた長さに応じて反発する力が働く。机の上にあるバネを指で押し、その指を離すとバネは机から高速に飛び跳ねる。我々はこれをズームアウト操作のメタファとして用いた。ユーザが小型携帯端末の画面を押し（親指での操作を想定しているが限定されない）、指を離すと机からバネが飛び跳ねるように表示領域がズームアウトする（図 2 上段）。このとき、指が押した力に応じて飛び跳ねる高さ、すなわち到達するズームアウト率が変化する。この指で押した力はユーザが押下している指先のエリアが凹み陰影がつくことで可視化され、操作後のズーム率の目安として用いることができる。つまり、ユーザは指先の表示の変化を見ることで力の調整が可能となる。

### 3.2 Force Zoom

Force Zoom は指で小型携帯端末の画面を押す力の値をズーム率として用いる。これを利用して、たとえば、画面を押すとズームインするといった使い方があがるが、一般的な小型携帯端末ではズームイン操作を行うためにダブルタップやロングタップ（画面をタップしたまま指を離さない）といった様々な手法が用意されており、これらはすでに広く普及している。対称的にズームアウト操作を行う手法はピンチアウト程度しか用意されていない（たとえば小型携帯端末版の Google マップアプリではスクロールバーやズームイン/アウトのためのボタンは廃止されてしまった）。そこで我々は指で押す力をズームアウトに用いるようなインタフェースを考案した（図 2 下段）。現在表示している領域よりも広い地図領域がある場合、ズーム率を調整するために圧力の値を用いる（図 1）。ユーザが画面を素早く押し込んだ際にはズーム率も素早く変化し、ユーザが画面をゆっくり押し込んだ際にはズーム率もゆっくり変化する。ユーザが指を離すと、ズーム率の変化も止まる。

## 4. 既存手法との比較実験

我々が提案する Bounce Back と Force Zoom の 2 つの手法の有効性を検証するために、センサによって計測され

た圧力を用いたズーム手法として提案手法に最も関連がある先行研究の手法（Grasp Zoom [1]）と現在広く普及している小型携帯端末版 Google マップの標準ズームユーザインタフェース（Default ZUI）の手法との比較実験を実施した。ここではマルチスケールの対象選択をタスクとした。すなわち、実験参加者は 4 つの手法をそれぞれ用い画面上の表示物を選択するよう指示される。実験ではこれら各手法での作業実行時間（パフォーマンス）と操作回数を計測し、ユーザビリティに関するフィードバックを得ることを目的とした。そして力を用いたズーム手法に関する知見を深めることを試みた。

### 4.1 実験で使用する小型携帯端末

すべての手法は iOS バージョン 10.3.3 の iPhone 7 上で実装した。ディスプレイは解像度 1,344×750 で 4.7 インチだった。実験参加者はスマートフォンを利き手で持つよう指示され、もう片方の手は机の上や自身の膝等に置き操作を行わないよう指示された。

### 4.2 タスク：マルチスケールの対象選択

本研究で実施する実験では、マルチスケールの対象選択タスクを採用した [24]。実験参加者は広大な領域内のいずれかある 120 px 四方の正方形オブジェクトを 10 個選択する。このオブジェクトはそれぞれ開始位置となる画面中心から 10,176 px 離れている。これは以下の式で算出されている。

$$\left( \frac{1(\text{default\_zooming\_level})}{0.15(\text{target\_zooming\_level})} \right) \sqrt{800^2 + 1300^2}$$

800（ピクセル）は幅（X 軸）で 1,300（ピクセル）は高さ（Y 軸）である。これは選択対象となるオブジェクトがタスク開始時の画面領域内には表示されない位置であり、画面表示領域を上下左右に倍にした範囲内に選択対象オブジェクトが存在する距離となる。すなわち、実験参加者が必ず探索が必要となる範囲で、かつ過度に探し迷うことがない範囲とした。また今回の実験では 2 つのセッションを実施するため、解釈が複雑にならないよう変数を固定化、すなわち選択対象となるオブジェクトの距離は一定とした。標準のズーム率は 1 で、対象物のズーム率は 0.15 とし、この値は Z 軸となる。今回実験で用いる各手法は連続的にズーム率が変化するため、画一のズーム変化率を持たない。

### 4.3 セッション：ズームアウト単独とズームアウト/イン複合

本研究で実施する実験では、インタフェースのパフォーマンスとユーザビリティを比較するために 2 つのセッションを用意した。すなわち、(1) ズームアウト単独のセッション、(2) ズームアウトとズームイン複合のセッションである。(1) のセッションのタスクは主にズームアウト操作で

完了可能となっている。タスク開始時の画面ズーム率は最大値であり、選択対象となる正方形は画面外に存在するため見えない。実験参加者はまず4つのいずれかの手法を用いてズームアウト操作し対象物を見つける必要がある。対象物は実験参加者が最大限ズームアウトする必要がある十分に離れた場所に配置された。本セッションは広大な領域内にある選択対象オブジェクトをいかに速く視認できるか、すなわちいかに速くズームアウトし広範囲を見渡せられるかを計ることが目的であり、ズームレベルのオーバシユート回避行動による影響は考慮しなかった。1つのタスクは、いずれかにある対象物の四隅を画面中央部に表示されているズーム率に影響されない固定された40ピクセル四方の枠線上に乗せることで完了する。実験参加者は対象物を適切なサイズとなるようズームアウト操作とズームイン操作を行う必要があるが、ズーム率が最小のときに対象物のサイズが枠線と一致するよう実装している。実験参加者が1つのタスクを完了すると表示されていた対象物は消え、新たな対象物がいずれかに設置され、画面はズームレベルと開始位置を初期化され次のタスクが開始される。このタスクは地図アプリケーションで目的地検索をする際にユーザが必要とするズーム操作を参考にしている。

次に(2)のセッションのタスクはズームアウトとズームインの両操作を用いることで完了可能となっている。実験参加者はまずズームアウトし対象物の位置を探し、続いてズームインし40ピクセルの枠線上に乗るよう調整を行うよう求められる。(1)と同様に、タスク開始時のズーム率は最大値であり対象物は見えない。実験参加者はまず4つのいずれかの手法を用いてズームアウトし対象物を見つける必要がある。対象物は最大限ズームアウトする必要がある十分に離れた場所に配置されており、対象物を発見したあとは最大限ズームインする必要がある小ささで表示される。すなわち、実験参加者は対象物を枠線上に乗せるためにズームアウト操作とズームイン操作を行う。実験参加者が1つのタスクを完了すると表示されていた対象物は消え、新たな対象物がいずれかに設置され、画面はズームレベルと開始位置を初期化され次のタスクが開始される。

#### 4.4 実験条件：ユーザインタフェース

実験では Bounce Back, Force Zoom, GraspZoom [1], そしてベースラインとして Default ZUI のユーザインタフェースを条件に設定した。ここではベースラインとしてボタンを用いたユーザインタフェースを含まなかった。プラスマークを押すとズームインしマイナスマークを押すとズームアウトするボタンを用いたユーザインタフェースは主要な小型携帯端末版のマップアプリケーションでサポートされていない。たとえば、ボタンを用いたユーザインタフェースは2012年のAndroidアプリケーション版Googleマップ(バージョン6.7)から非搭載となった。また、iOS

標準搭載の地図アプリケーションも2010年(iOS4のころ)からプラスとマイナスボタンは非搭載となった。こうしたことから、我々は小型携帯端末におけるボタンを用いたユーザインタフェースは考慮から外し、本実験におけるベースライン条件に含まなかった。

#### 4.5 実験参加者と手続き

24名のボランティアが実験に参加した。男性は8名、女性は16名であり、年齢は22歳から35歳であった( $mean = 28.88$ ,  $S.D. = 4.3$ )。すべての参加者はスマートフォンを所持しており、7名がAndroid端末(29.2%)、23名がiPhone(95.8%)であった。すべての実験参加者はスマートフォン上でズーム操作を行ったことがあり、6名はDefault ZUIの手法を使ったことがあった。すなわち、他の18名はDefault ZUI(小型携帯端末版Googleマップの手法)を知らなかった。実験参加者は地図や写真、動画、ウェブ閲覧時にズーム操作をよく用いていた。実験参加者のズーム操作利用状況を調べたところ、ピンチジェスチャはズーム操作としてよく用いられおり、ズームアウト操作は片手ではあまり行われていないことが分かった。

実験の手続きについて述べる。実験参加者は Bounce Back と Force Zoom, GraspZoom [1], Default ZUI の4つの異なるズーミング手法をそれぞれ10回ずつ使用する。取り掛かる4つの手法については、実験参加者が経験する順番はラテン方格法によりバランスをとった。すべての試行で10回の対象選択タスクを課し、それぞれの実験参加者はすべてのタスクを完了した。ここではつねにズームアウト単独のセッションを最初に行い、続いてズームアウトとズームイン複合のセッションを行うこととした。最終的に、実験参加者は4つの異なる手法を用い80個の対象物の選択を完了した。選択する対象物の位置はランダムではなく、統制をとるためにあらかじめ決められており、被験者間で同じ対象物を選択することとなる。それぞれの実験を行う前には、操作に慣れるためのトレーニングの時間を設けた。

#### 4.6 実験用インタフェースの実装

ここでは簡単にそれぞれのズーム手法の実装とそのインタラクションについて述べる。本研究では片手での操作手法に注目しており、すべての手法でピンチジェスチャは実装せず、対象物を枠線上へ移動させられるようスワイプ操作によるナビゲーション機能は実装した。ダブルタップ操作によるズームイン機能はGraspZoomを除くすべての手法で実装し、力を用いたズームイン操作はGraspZoomで有効化した。また、小型携帯端末版Googleマップに搭載されているダブルタップとスライドの組合せによるズーム操作はDefault ZUIで有効化した。Default ZUIは2つのズームイン手法を持つが、これは使い慣れた操作が制限さ

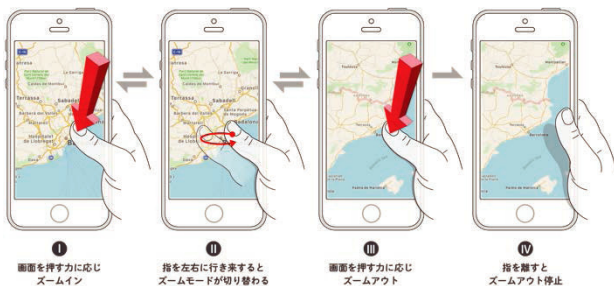


図 3 GraspZoom の概要  
Fig. 3 GraspZoom Method.

れない状況で提案手法との比較を行うためである。

#### 4.6.1 Bounce Back と Force Zoom

ここでは簡単に Default ZUI との違いについて述べる。Bounce Back と Force Zoom はダブルタップ操作によるズームイン機能以外の Default ZUI で実装されている手法を実装していない。

#### 4.6.2 GraspZoom (Miyaki and Rekimoto, MobileHCI'09 [1])

この手法は GraspZoom のインタフェースを模倣している。我々は GraspZoom の手法を実装するために、GraspZoom で用いられていた拡張ハードウェアの代用として、iPhone に搭載されている圧力感知センサを用いた。この手法ではズーム率の変化に圧力の値を用いており、強い押し込みがされるとズームインもしくはズームアウト操作が実行された。このズームング手法は Force Zoom と同様であるが、GraspZoom ではユーザが拡大か縮小かを画面上をスライドすることによって変更する。すなわち、GraspZoom はズームインとズームアウト操作の両方を圧力で行うことが可能となっている (図 3)。

#### 4.6.3 Default ZUI: ダブルタップとスライドの組合せ

この手法は小型携帯端末版 Google マップのズームング手法を用いている。この手法では、ユーザが画面をダブルタップし 2 度目のタップの際に指を離さず、そのまま上下にスライドすることでズームする仕組みとなっている。本実験では Google マップでの実装と同様にユーザが指を上をスライドしたらズームアウト、下をスライドしたらズームインとした。

### 4.7 実験結果：ズームアウト単独セッション

#### 4.7.1 作業実行時間

4 つの手法の平均作業実行時間 (秒) は、10 個の対象選択作業を 1 試行とした結果を集計したものである (表 1 Out 行, 図 4)。はじめに、平均時間をバートレット検定にかけた結果、分散の非均一性は確認されなかった ( $X^2(3) = 6.47, p = .09$ )。続いて一元配置分散分析を行った (被験者内計画; 独立変数として、ズームアウト手法の種類。従属変数として、作業実行時間)。この結果、有意な差が確認さ

表 1 作業実行時間の結果と標準誤差。小さい値ほど良い

Table 1 Average task completion time and standard deviation. Smaller is better.

	Bounce Back		Force Zoom		GraspZoom		Default ZUI	
	mean	s.d.	mean	s.d.	mean	s.d.	mean	s.d.
Out	8.65	2.70	7.35	3.02	11.35	3.49	7.16	2.04
Out/In	10.50	3.95	9.12	1.46	16.53	4.57	10.90	4.13

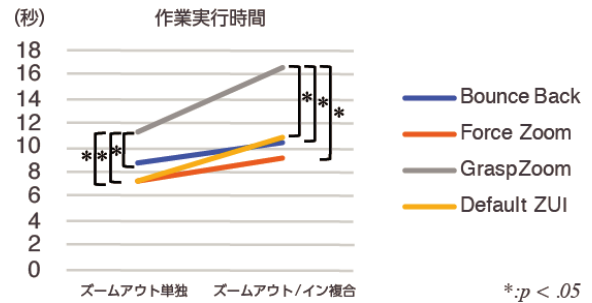


図 4 作業実行時間の結果  
Fig. 4 Task completion time.

表 2 操作回数の結果と標準誤差。小さい値ほど良い

Table 2 Average number of operations and standard deviation. Smaller is better.

	Bounce Back		Force Zoom		GraspZoom		Default ZUI	
	mean	s.d.	mean	s.d.	mean	s.d.	mean	s.d.
Out	23.79	8.95	16.75	10.56	34.96	8.78	30.42	7.62
Out/In	40.21	8.67	34.13	5.24	58.38	12.91	53.25	22.77

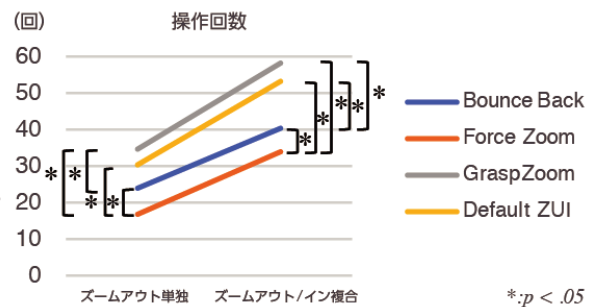


図 5 操作回数の結果  
Fig. 5 Average number of operations.

れた [ $F(3, 92) = 10.51, p < .01, \eta^2 = 0.26$ ]. このため、テューキーの多重比較検定を実施したところ GraspZoom は Bounce Back ( $p < .01$ ), Force Zoom ( $p < .01$ ), Default ZUI ( $p < .01$ ) より有意に遅いことが確認された。

#### 4.7.2 操作回数

4 つズームアウト手法の平均操作回数を表 2 Out 行と図 5 に示す。4 種類の操作アクションの回数を、実験用アプリケーション内で自動計測し収集した。すなわち、(1) Bounce Back とダブルタップの回数、(2) Force Zoom とダブルタップの回数、(3) Default ZUI とダブルタップの回数、(4) GraspZoom の操作回数となる。GraspZoom の



表 3 SUS の結果と標準誤差. 大きい値ほど良い

Table 3 System usability scale (SUS) score with standard deviation. Larger is better.

	Bounce Back		Force Zoom		GraspZoom		Default ZUI	
	mean	s.d.	mean	s.d.	mean	s.d.	mean	s.d.
Out	55.10	19.73	69.69	18.26	36.46	19.66	62.50	19.66
Out/In	55.42	18.34	69.48	15.34	28.75	15.61	70.21	17.12

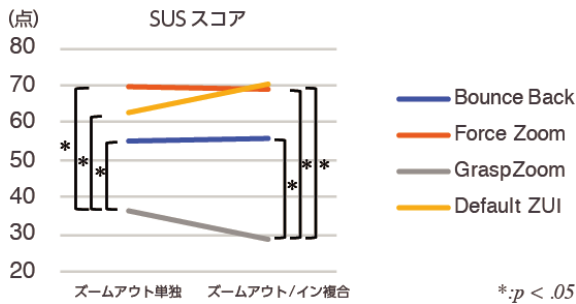


図 6 SUS の結果

Fig. 6 System usability scale (SUS) score.

操作回数にはスワイプによるズームモードの変換操作の回数は含まれていない. すべての手法でズームインもしくはズームアウトが開始され終了した時点で操作が1回行われたとした. 連続的な入力(加圧, スライド)は指が画面から離された時点で操作が1回行われたとした. これらをパートレット検定にかけた結果, 分散の非均一性は確認されなかった ( $X^2(3) = 2.45, p = .48$ ). 続いて一元配置分散分析を行った(被験者内計画; 独立変数として, ズームアウト手法の種類, 従属変数として, 操作回数). その結果, 有意な差が確認された [ $F(3, 92) = 17.76, p < .01, \eta^2 = 0.37$ ]. このため, テューキーの多重比較検定を実施したところ Force Zoom での操作回数は Default ZUI ( $p < .01$ ), Bounce Back ( $p < .05$ ), GraspZoom ( $p < .01$ ) より有意に少ないことが確認された. あわせて Bounce Back は GraspZoom ( $p < .01$ ) より有意に少ないことが確認された.

#### 4.7.3 ユーザビリティ評価

各手法での試行が完了した後に実験参加者に回答を依頼した10個の設問からなるアンケートの分析を行う. ここでは5段階のリッカート尺度のアンケートである System Usability Scale (SUS) を用いた [25]. SUS スコアを表 3 Out 行と図 6 に示す. これらの SUS スコアはフリードマン検定を用い分析された(被験者内計画; 独立変数として, ズームアウト手法の種類, 従属変数として, SUS スコア). その結果, 有意な差が確認された [ $X^2(3) = 34.41, p = .01$ ]. このため多重比較としてボンフェローニ補正を行ったウィルコクソンの順位和検定をかけた結果, Force Zoom の SUS スコアは Bounce Back ( $p < .01, r = 0.488$ ), GraspZoom ( $p < .01, r = 0.627$ ) より有意に高いことが

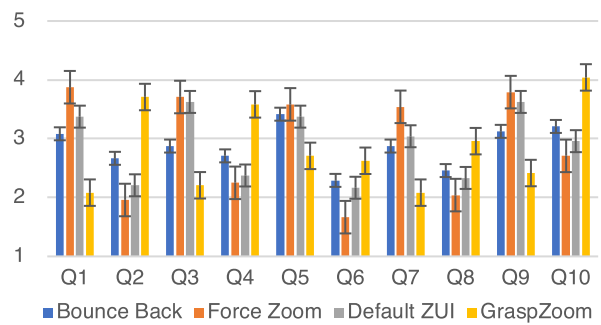


図 7 ズームアウト単独セッションにおける SUS の個別の質問項目の結果

Fig. 7 Details of SUS questionnaire result in zooming out session.

確認された. Force Zoom の SUS スコア 69.7 点と Default ZUI の SUS スコア 62.5 点は評価基準によると Good に該当する [26]. Bounce Back は平均より低い OK に該当する 55.1 点であった. GraspZoom は 38.0 点で Poor に該当した.

個別の質問項目(図 7)では, 全体的に GraspZoom は他手法より有意に低いスコアであった. Force Zoom と Default ZUI は各設問において近いスコアとなった. Bounce Back は全体を通して 3 番目のスコアであった. より詳しく見ると, Bounce Back と Force Zoom, Default ZUI は小型携帯端末でのインタラクションとしてシンプルである (Q2), 容易に扱える (Q3), よく統合されたインタフェースである (Q5), 自信を持って操作できる (Q9) と評価された.

#### 4.8 実験結果: ズームアウトとズームイン複合セッション

##### 4.8.1 作業実行時間

ズームアウト単独セッションと同様に4つの手法の平均作業実行時間(秒)は, 10個の対象選択作業を1試行とした結果を集計したものである(表 1 Out/In 行, 図 4). はじめに, 平均時間をパートレット検定にかけた結果, 分散の非均一性が確認され ( $X^2(3) = 26.14, p = .01$ ), 平均時間をフリードマン検定で分析した(被験者内計画; 独立変数として, ズームアウト手法の種類, 従属変数として, 作業実行時間). その結果, 有意な差が確認された [ $X^2(3) = 30.95, p = .01$ ]. ボンフェローニ補正を行ったウィルコクソンの順位和検定をかけた結果, GraspZoom は Bounce Back ( $p < .01, r = 0.89$ ), Force Zoom ( $p < .01, r = 1.0$ ), Default ZUI ( $p < .01, r = 0.72$ ) より有意に遅いことが確認された.

##### 4.8.2 操作回数

4つズームアウト手法の平均操作回数を表 2 Out/In 行と図 5 に示す. これらをパートレット検定にかけた結果, 分散の非均一性が確認され ( $X^2(3) = 48.17, p = .01$ ), 平均操作回数をフリードマン検定で分析した(被験者内計画; 独立変数として, ズームアウト手法の種類, 従属変

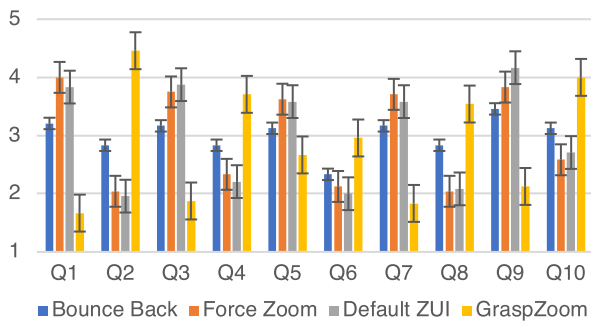


図 8 ズームアウトとズームイン複合セッションにおける SUS の個別の質問項目の結果

Fig. 8 Details of SUS questionnaire result in zooming out/in session.

数として、操作回数)。その結果、有意な差が確認された [ $X^2(3) = 41.53, p = .01$ ]。ボンフェローニ補正を行ったウィルコクソンの順位和検定をかけた結果、Force Zoom の操作回数は Default ZUI ( $p < .01, r = 0.83$ ), Bounce Back ( $p < .05, r = 0.58$ ), GraspZoom ( $p < .01, r = 0.88$ ) より有意に少ないことが確認された。Bounce Back の操作回数は有意に Default ZUI ( $p < .05, r = 0.62$ ), GraspZoom ( $p < .05, r = 0.79$ ) より少ないことが確認された。

#### 4.8.3 ユーザビリティ評価

このセッションにおける SUS スコアを表 3 Out/In 行に示す。これらの SUS スコアはフリードマン検定を用い分析された（被験者内計画；独立変数として、ズームアウト手法の種類、従属変数として、SUS スコア）。その結果、有意な差が確認された [ $X^2(3) = 37.945, p = .01$ ]。ボンフェローニ補正を行ったウィルコクソンの順位和検定をかけた結果、Force Zoom の SUS スコアは Bounce Back ( $p < .01, r = 0.47$ ), GraspZoom ( $p < .01, r = 0.657$ ) より有意に高いことが確認された。GraspZoom の SUS スコアは Bounce Back ( $p < .05, r = 0.611$ ), Default ZUI ( $p < .01, r = 0.635$ ) より有意に低いことが確認された。平均 SUS 質問項目を図 8 に示す。全体的な傾向として、ズームアウト単独セッションと近いスコアとなった。

### 5. 議論

本実験全体を通して実験参加者は Bounce Back と Force Zoom を正常に扱えた。本研究で実施した実験の結果は以下のようにまとめられる。

- すべての実験参加者は Bounce Back と Force Zoom を初めて使うにもかかわらず、パフォーマンスは Default ZUI と有意な差が確認されなかった。対照的に、GraspZoom がその他 3 つの手法よりパフォーマンスが有意に低いことが確認された。
- 操作回数は Bounce Back と Force Zoom が Default ZUI と GraspZoom より有意に少ないことが確認された。

- GraspZoom のユーザビリティは Force Zoom, Bounce Back, Default ZUI より有意に低く評価されたことが確認された。実験参加者は Force Zoom が容易に扱え、自信を持って使えると感じた。

我々は実験後に簡単なインタビューを行った。その結果、実験参加者は GraspZoom に良くない印象を持ったことが分かった。インタビューであげられた主な原因として「現在のズームモードが拡大縮小どちらなのか分からなかった」、「現在のズームモードを知るには、1 度画面を押してズームさせてみるしかなかった」といったものがあった。簡単な実験時の行動観察では、少なくとも人数の実験参加者が GraspZoom のズームモードの変換に失敗していた。これは変換時に視覚的なフィードバックがないことに起因していた。同様に、圧力の値をズームアウトとズームイン両方に用いたことで、実験参加者はズームモードの変換を行った後に現在のズームモードがどちらか把握できなくなっていた。このことからズームインとズームアウトを変換するための操作には多くの問題があり、モード変換を要するインタラクションはユーザを混乱させやすいと我々は考える。また簡単な実験時の行動観察から、実験参加者は Default ZUI においてダブルタップとスライドを組み合わせた操作でのズームインとズームアウトを行えることより、ダブルタップ単体でのズームインを好む傾向があり、Force Zoom においては力を加えずズームインしようと誤って操作した実験参加者はいなかった。すなわち力を用いたズームング手法において、GraspZoom や Default ZUI のように同一のアクションによるズームインとズームアウト操作はユーザに混乱を招きやすく、タイプの異なる手法でのズームインとズームアウト操作は誤操作の軽減とユーザビリティが向上することが示唆されたと考える。タイプの異なる手法である場合でも、力を加える操作がズームインとズームアウトのどちらか迷うことは考えられるが、これはジェスチャアクション全般に起こりうる学習性に関する問題であり提案手法に特徴的なインタフェース上の問題ではないと考える。

Force Zoom は好意的に受け止められた。「Force Zoom は指で繰り返し操作する必要がなかった」、「Default ZUI は指をたくさん動かす必要があるが、Force Zoom はそれがなかった」との意見があった。操作回数の実験結果が示すように、Force Zoom はズームアウト操作を少ない操作回数で行える。数人の女性実験参加者からは「自分の手は小さく、指で何度も操作する必要があった」、「指が疲れてしまった」との意見が出た。興味深い意見として、「自分は入浴中にスマートフォンを使うが、非常に慎重に持たなくてはならない。このとき片方の手は濡れていることが多く、スマートフォンを持っている手しか操作に使えないという問題がある。スマートフォンが浴槽へ落下する危険性があり、指をスマートフォンから離すことができない」と



の意見があった。Default ZUI の操作には、指を浮かせて大きく移動する動作が何度も必要になる。対症的に、Force Zoom は少ない指の動き（ズームインにダブルタップ、ズームアウトに画面押し込み）で操作が完了する。また他の実験参加者から「ソファで寝ながらスマートフォンを操作する際にしばしば手から滑り落ち自分の顔にぶつける。だから Force Zoom を使いたいと思った」との意見が出た。Bounce Back はいくつか「ズーム変化率を力で微調整するのは難しかった」との意見が出た。Bounce Back は押し込むと対象が凹むという現実のメタファを用いたため跳ね上がることを想起しやすかったとの意見もあったが、加えた力に対してどのくらいズームアウトするかは指を離さないと分からず、望んだ比率とならない場合も多かった。これに対し Force Zoom は加えた力に即座に連続的に反応するため、ズームアウト処理中に微調整が行えた。これらが操作回数とユーザビリティ評価に影響したと考えられ、実験結果のとおり Force Zoom が Bounce Back より好意的に受け止められた要因ではないかと考える。

### 5.1 提案手法の制限と本研究で得られた知見の範囲

Bounce Back と Force Zoom は概念実証段階のプロトタイプであり、ユーザインタフェース設計と実験結果には制限がある。本研究で用いたユーザインタフェースは実験的に試作したものであり、将来的な実用化における OS 等との統合のためにはさらなる設計上の課題があることが考えられる。たとえば、既存の小型携帯端末版地図アプリケーションでは長押しで地図上にピンを立てる等のサービス独自の様々なジェスチャアクションが実装されており、それらとのコンフリクトを回避する設計が必要となる。また、本実験では選択対象のオブジェクトの配置距離が固定されていない場合、最大ズームレベルが設定されていない場合のパフォーマンスは明らかにしていない。実験結果に関しては、我々はピンチジェスチャといった両手を用いたズームング手法との比較を行っていない。今後の研究として片手と両手でのパフォーマンスの比較を行う必要があると考えているが、一方で我々が提案した手法は実験で用いたアプリケーション同様に、1つのアプリケーション内で標準的なズームングユーザインタフェースと共存させられると考えている。本研究では小型携帯端末におけるメディアコンテンツ閲覧手法の可能性を提示したが、SUS の結果からも、Force Zoom は標準的な操作インタフェースによく統合されていると考えられ、また簡単なインタビューと行動観察から Force Zoom はダブルタップ操作によるズームイン機能とよく統合されていることが示唆された。

## 6. むすび

本稿は圧力を感知するマルチタッチ技術をズームアウト機能に用いた Bounce Back と Force Zoom と呼ぶ手法を提

案した。これらの手法は小型携帯端末の片手操作を支援することを目的として設計された。我々は提案手法の効率性とユーザビリティを調査するため、我々の提案する手法と先行研究で提案された手法、ベースラインとして小型携帯端末版 Google マップとを比較する実験を行った。実験の結果、Force Zoom と小型携帯端末版 Google マップの手法は実験参加者から近い SUS スコアを獲得した。同様に、パフォーマンス指標としての作業実行時間は、Bounce Back と Force Zoom、小型携帯端末版 Google マップの手法とで近い数値となった。Bounce Back と Force Zoom の操作回数は小型携帯端末版 Google マップの手法と先行研究である GraspZoom の手法より有意に少なかった。SUS の結果は Bounce Back と Force Zoom は単純かつ簡単なインタフェースであり、現在の小型携帯端末に容易に統合できるインタフェースであることが示唆された。

### 参考文献

- [1] Miyaki, T. and Rekimoto, J.: GraspZoom: Zooming and scrolling control model for single-handed mobile interaction, *Proc. 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '09)*, Article 11, p.4, ACM (2009).
- [2] Suzuki, K., Sakamoto, R., Sakamoto, D. and Ono, T.: Pressure-sensitive zooming-out interfaces for one-handed mobile interaction, *Proc. 20th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '18)*, Article 30, p.8, ACM (2018).
- [3] Rekimoto, J. and Schwesig, C.: PreSenseII: Bidirectional touch and pressure sensing interactions with tactile feedback, *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '06)*, pp.1253–1258, ACM (2006).
- [4] Spelmezan, D., Appert, C., Chapuis, O. and Pietriga, E.: Side pressure for bidirectional navigation on small devices, *Proc. 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '13)*, pp.11–20, ACM (online), DOI: <https://doi.org/10.1145/2493190.2493199> (2013).
- [5] Heo, S. and Lee, G.: Forcetap: Extending the input vocabulary of mobile touch screens by adding tap gestures, *Proc. 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '11)*, pp.113–122, ACM (2011).
- [6] Heo, S. and Lee, G.: Force gestures: Augmenting touch screen gestures with normal and tangential forces, *Proc. 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '11)*, pp.621–626, ACM (2011).
- [7] Harrison, C. and Hudson, S.: Using shear as a supplemental two-dimensional input channel for rich touch-screen interaction, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)*, pp.3149–3152, ACM (2012).
- [8] Clarkson, E.C., Patel, S.N., Pierce, J.S. and Abowd, G.D.: Exploring Continuous Pressure Input for Mobile Phones, GVU Technical Report; GIT-GVU-06-20 (2006).
- [9] Stewart, C., Rohs, M., Kratz, S. and Essl, G.: Charac-

teristics of pressure-based input for mobile devices, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*, pp.801-810, ACM (2010).

[10] Takada, R., Lin, W., Ando, T., Shizuki, B. and Takahashi, S.: A Technique for Touch Force Sensing using a Waterproof Device's Built-in Barometer, *Proc. 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '17)*, pp.2140-2146, ACM (2017).

[11] Antoine, A., Malacria, S. and Casiez, G.: ForceEdge: Controlling Autoscroll on Both Desktop and Mobile Computers Using the Force, *Proc. 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*, pp.3281-3292, ACM (online), DOI: <https://doi.org/10.1145/3025453.3025605> (2017).

[12] Corsten, C., Voelker, S., Link, A. and Borchers, J.: Use the Force Picker, Luke: Space-Efficient Value Input on Force-Sensitive Mobile Touchscreens, *Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*, Paper 661, p.12, ACM (online), DOI: <https://doi.org/10.1145/3173574.3174235> (2018).

[13] Dong, L., Watters, C. and Duffy, J.: Comparing two one-handed access methods on a PDA, *Proc. 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices & Services (MobileHCI '05)*, pp.235-238, ACM (2005).

[14] Roudaut, A., Huot, S. and Lecolinet, E.: TapTap and MagStick: Improving one-handed target acquisition on small touch-screens, *Proc. Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI '08)*, pp.146-153 (2008).

[15] Rekimoto, J.: Tilting operations for small screen interfaces, *Proc. 9th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '96)*, pp.167-168, ACM (1996).

[16] Hinckley, K. and Song, H.: Sensor synaesthesia: Touch in motion, and motion in touch, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*, pp.801-810, ACM (2011).

[17] Holman, D., Hollatz, A., Banerjee, A. and Vertegaal, R.: Unifone: Designing for auxiliary finger input in one-handed mobile interactions, *Proc. 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI '13)*, pp.177-184, ACM (2013).

[18] Kratz, S., Brodien, I. and Rohs, M.: Semi-automatic zooming for mobile map navigation, *Proc. 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '10)*, pp.63-72, ACM (2010).

[19] Parhi, P., Karlson, A.K. and Bederson, B.B.: Target size study for one-handed thumb use on small touchscreen devices, *Proc. 8th Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '06)*, pp.203-210, ACM (2006).

[20] Perry, K.B. and Hourcade, J.P.: Evaluating one handed thumb tapping on mobile touchscreen devices, *Proc. Graphics Interface 2008 (GI '08)*, pp.57-64, Canadian Information Processing Society (2008).

[21] Boring, S., Ledo, D., Chen, X.A., Marquardt, N., Tang, A. and Greenberg, S.: The fat thumb: Using the thumb's contact size for single-handed mobile interaction, *Proc. 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI '12)*, pp.39-48, ACM (online), DOI: <https://doi.org/10.1145/2371574.2371582> (2012).

[22] ウェブレッジ:スマートフォン・シェアランキング

(TOP10) (2019), 入手先 ([https://webrage.jp/techblog/sp\\_share/](https://webrage.jp/techblog/sp_share/)).

[23] DeviceAtlas (2019), available from (<https://deviceatlas.com/blog/most-popular-smartphones#japan>).

[24] Malacria, S., Lecolinet, E. and Guiard, Y.: Clutch-free panning and integrated pan-zoom control on touch-sensitive surfaces: The cyclostar approach, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '10)*, pp.2615-2624, ACM (2010).

[25] Brooke, J.: SUS: A "quick and dirty" usability scale, *Usability Evaluation in Industry*, Vol.189, No.194, pp.4-7 (1996).

[26] Bangor, A., Kortum, P. and Miller, J.: Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale, *Journal of Usability Studies*, Vol.4, No.3, pp.114-123 (May 2009).



鈴木 健司

2006年多摩美術大学大学院美術研究科修士課程修了。同年ヤフー株式会社、現在に至る。2018年北海道大学大学院情報科学研究科博士課程進学。



坂本 竜基 (正会員)

2003年北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士後期課程修了。同年ATR知能ロボティクス研究所研究員、2008年和歌山大学システム工学部講師、2012年Yahoo!JAPAN研究所上席研究員、先端技術応用室室長を経て、2017年より電駆ビジョン株式会社CEO。2004年度IPA未踏ソフトウェア天才プログラマー/スーパークリエイター、2014年度山下研究記念賞等を受賞。博士(知識科学)。



坂本 大介 (正会員)

2008年公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科博士(後期)課程修了。博士(システム情報科学)。国際電気通信基礎技術研究所(ATR)でインターン、東京大学で日本学術振興会特別研究員PD、JST ERATO五十嵐デザインインタフェースプロジェクト研究員、東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻助教、特任講師を経て、現在、北海道大学大学院情報科学研究科准教授。人とロボットを含む情報環境とのインタラクション設計に関する研究に従事。



小野 哲雄 (正会員)

1997年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年(株)ATR 知能映像通信研究所客員研究員。2001年公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科助教授、2005年同学科教授。2009年北海道大学大学院情報科学研究科教授、現在に至る。博士(情報科学)。ヒューマンエージェント/ロボットインタラクション(HAI/HRI)、インタラクティブシステムに関する研究に従事。電子情報通信学会、ヒューマンインタフェース学会、認知科学会、ACM 各会員。