

# 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

藤田 和之<sup>†</sup> 高嶋 和毅<sup>†</sup> 築谷 喬之<sup>†</sup>  
朝日 元生<sup>†</sup> 北村 喜文<sup>†</sup> 岸野 文郎<sup>†</sup>

ユーザによるパン操作に複数のカメラ操作を連動させ、効率良くビューポートを獲得することができる地図ナビゲーション手法である Pan sync Zoom (PsZ) と Pan sync Zoom and Tilt (PsZT) を提案する。2次元の地図を俯瞰する3次元的なカメラ視点をメタファとして用い、PsZではズームを、PsZTではズームとチルトをパンに連動させ、出発地と現在地を常にビューポートに収めるよう制御する。これら2手法を従来手法である Pan & Zoom (PZ) と、地図上オブジェクト探索タスクと位置把握タスクからなる評価実験において比較した結果、提案した2手法がPZに比べ高速にオブジェクトを探索することができ、2地点の位置把握に慣れを必要としないことがわかった。

## A Proposal of Map Navigation Techniques Synchronizing Multiple Camera Controls

KAZUYUKI FUJITA,<sup>†</sup> KAZUKI TAKASHIMA,<sup>†</sup> TAKAYUKI TSUKITANI,<sup>†</sup>  
MOTOO ASAHI,<sup>†</sup> YOSHIFUMI KITAMURA<sup>†</sup> and FUMIO KISHINO<sup>†</sup>

We propose two novel techniques, Pan sync Zoom (PsZ) and Pan sync Zoom and Tilt (PsZT) which utilize synchronized multiple camera controls for searching tasks on map navigations. In these techniques, zooming and tilting operations of the camera are automatically coupled with the user's panning operations so that the viewport contains two locations (e.g., departure and destination). We conducted an experiment to evaluate PsZ and PsZT comparing with Pan & Zoom (PZ). We found that PsZ and PsZT are more effective than PZ for reducing task completion time and maintaining user's spatial recognition of relationship between the two locations on a map.

### 1. はじめに

Google Mapsなどの地図配信サービスが普及しており、地図ナビゲーションを利用する機会が増えている。地図はディスプレイの表示領域であるビューポートに比べて広大な情報空間を持つため、目的のビューポートを効率的に得るにはスクロールやズームの操作が必要で、またこれらの操作をうまく切り替える必要がある。そのため、地図ナビゲーションにおけるオブジェクト探索等のタスクは Graphical User Interface (GUI) の操作の中でも比較的難しいとされている。これらスクロールとズームの操作は、通常地図に対して直接行われるものであるが、地図を上空から俯瞰するカメラの水平方向の制御(パン)と鉛直方向の制御(ズーム)といったカメラ操作と捉えることができ、最近では、単に2次元のインタラクションというより3

次元的なカメラ操作の課題として考えられつつある<sup>4)</sup>。

地図ナビゲーションを支援する研究はこれまでに数多くなされており、画面外のオブジェクトへ自動的にスクロールする手法<sup>7),11)</sup>、詳細と大局を同時にビューポートに表示する手法<sup>3)</sup>、パンとズームに加え、カメラの上下の傾きであるチルトを導入している手法<sup>4),12)</sup>などが提案されている。しかし、これらの先行研究では複数の独立したカメラ操作を明示的に切り替える必要があり、観察しているオブジェクトを意に反して画面外に出してしまうことも多く、操作が煩雑になりやすい。また、近年ではペンデバイスや指などの直接入力を用いたデバイスが普及してきているが、この環境ではスライダバーなどによってズームの操作をすることが多く、主なインタラクションであるドラッグによるパン操作との切り替えがスムーズでない。人が物を観察する際、視点の水平方向または鉛直方向の移動はそれぞれ独立でなく、それらを連動させて動かすため、目的とするコンテンツを最適な視点から観察するためには、パンやズームといった複数のカメラ操作を連動

<sup>†</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

させることが妥当であると考えられる。さらに、地図ナビゲーションにおけるタスクの性質を考慮したカメラ連動の条件を設けることで、ユーザの単純な入力によって自動的にカメラが最適な位置に制御され、効率的に意図するビューポートを獲得することができると思われる。

そこで本研究では、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について検討することを目的とし、パン操作にズームが連動する Pan sync Zoom (PsZ) と、ズームとチルトが連動する Pan sync Zoom and Tilt (PsZT) を提案する。これら 2 手法は、地図ナビゲーションにおいて頻繁に行われるタスクであるオブジェクト探索および道順把握を想定して、出発地と現在地の 2 地点を常にビューポート内に収めることをカメラ連動の条件としており、ユーザによるパン操作に連動して自動的にズームやチルトがなされる。これにより、ユーザはドラッグ操作をするだけで、出発地から現在地までの道順や相対的な位置関係を常に得ながら探索することができる。本論文では、提案する PsZ および PsZT の概要について述べ、その後、地図上オブジェクト探索タスクおよび位置把握タスクからなる評価実験とその結果について述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 スクロール支援手法

画面外の情報へ高速にアクセスするため、スクロールを支援する研究が数多くなされている。Smith らは、ドキュメントのスクロールにおいてスクロールバーを用いず、カーソルを円形に巡回運動させる手法を提案している<sup>10)</sup>。地図ナビゲーションにおけるスクロール支援手法も多数提案されており、Baudisch らは、画面外オブジェクトを中心とした円弧の一部を画面端に表示させることで、そのオブジェクトの位置を推測可能とする技術 Halo を提案している<sup>1)</sup>。Irani らは、画面外オブジェクトのコピーをカーソル付近に生成し、そのコピーがクリックされたオブジェクトへ自動的にスクロールする Hop を提案している<sup>7)</sup>。我々の研究でも、ポインティング動作で画面外オブジェクトを獲得できるナビゲーション手法 DuH<sup>11)</sup> を提案している。

### 2.2 ズーム手法

ズームインすると大局像が得られず、ズームアウトすると詳細な情報が得られないというトレードオフを解消するための試みが数多く検討されている。Furnas らは、注目している部分を拡大し、拡大部とその他の間を滑らかな歪みを用いて表現する Fisheye view<sup>3)</sup> を提案している。この手法は詳細と大局を同時に表示

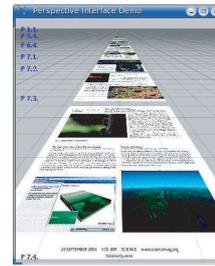


図 1 Perspective Viewing

することができるが、正確な位置関係の情報は若干失われる。また、注目する部分の詳細を大きく表示し、その周辺の情報を別の領域に小さく表示する Overview + Detail という手法もあり、Google Maps などの地図配信サービスにおいて一般的に用いられている。

Igarashi らは、スクロールにズームを連動させるナビゲーション手法 SDAZ を提案している<sup>6)</sup>。SDAZ では、スクロール速度と画面スケールの積が一定となるように制御され、高速にスクロールすると自動的にズームアウトされる。これにより画面が不鮮明なることを防ぐと同時に、大局を把握しやすいビューポートを得られる。

### 2.3 カメラのメタファを用いたナビゲーション手法

ビューポートを効率良く獲得するためのアプローチとして、情報を上空から俯瞰するカメラのメタファを用いるものがある。代表的なものに、パンとズームの 2 つのカメラ操作によるナビゲーション手法 Pan & Zoom (PZ) が挙げられ、地図やドキュメントのナビゲーションにおいて広く用いられている。また、PZ は GUI 操作にも適用されており<sup>9)</sup>、ウインドウとアイコンを主体とした GUI の代替手段として提案されている。

近年ではパンとズームだけでなく、カメラの上下の傾きであるチルトの導入も検討されている。Guiard らは、チルトをドキュメントのナビゲーションに適用した Perspective Viewing を提案している<sup>4)</sup>。図 1 に Perspective Viewing の概要を示す。チルトにより、パンやズームの操作なしに遠くの領域にあるコンテンツを表示させることが可能になる。しかし、カメラ操作の自由度が高くなるのに伴い必要となる操作の種類も増え、操作が煩雑になることが問題として指摘できる。

複数のカメラ操作を連動させてユーザにかかる物理的負荷を軽減させるナビゲーション手法も提案されている。Tan らは、SDAZ のコンセプトを 3 次元仮想環境内でのナビゲーションに適用した Speed-coupled Flying with Orbiting を提案している<sup>12)</sup>。この手法では、ユーザが指定したオブジェクトを常にビューポートに収めながら、オブジェクトを中心とした円周上を

## 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

カメラが移動する。高速にカメラが移動するときは自動的にズームおよびチルトされ、詳細と大局のビューポートをシームレスに切り替えることができる。Khanらは、3次元オブジェクトの表面を観察する際に、カメラのパン、ズーム、注視点を中心とした円周上の動きであるタンブルの3つのカメラ操作の切り替えを自動化し、ドラッグ操作のみによって適切なビューポートが得られるナビゲーション手法 HoverCam を提案している<sup>8)</sup>。我々の研究でも、観察者のカメラ視点と観察者を俯瞰するカメラ視点を連動させ、両方のカメラ操作を同時に操作することにより、大局的な情報を直感的な操作で得ることができる座標系対連動法を提案している<sup>2)</sup>。

### 3. 提案手法

#### 3.1 概要

地図配信サービスで一般的に用いられているPZの問題点としては、パンとズームの2つの独立したカメラ操作を明示的に組み合わせる必要があり、ユーザに複雑な操作を要求することが挙げられる。ペンデバイスや指による直接入力環境では、スライダバーやピンチイン、ピンチアウト<sup>13)</sup>などの、ズームに特化された別の操作が必要になり、パンとズームのカメラ操作の切り替えがスムーズでない。Hop<sup>7)</sup>やDuH<sup>11)</sup>ではPZに比べ高速にターゲットへ到達できることが報告されているが、スクロール中に大局の情報を得られず、操作を繰り返すうちに現在地を見失う恐れがある。また、詳細と大局を同時に表示することができるFisheye View<sup>3)</sup>やOverview + Detailなどの手法は、詳細と大局との対応関係を認識するための負荷が大きく、特に地図上の2地点間の相対的な位置関係を把握するためのビューポートを得る操作は困難である。

一方で、複数のカメラ操作を連動させて用いるナビゲーション手法では操作の簡単化が図られている<sup>8),12)</sup>が、カメラの制御方法は扱う情報の種類や想定するタスクに依存しており、地図ナビゲーションにおけるタスクを想定したカメラ連動の条件について検討されている例は少ない。この条件には様々なものが考えられるが、地図ナビゲーションにおいて頻繁に行われるタスクである目的地の探索および目的地までの道順把握を考慮した場合、出発地を常にビューポートに収めるといったカメラ条件が考えられる。この条件により、ユーザは探索時にズーム操作を意識することなく、出発地から現在地までの相対的な位置関係の情報を得ることができ、操作の簡単化と同時に認知的負荷の軽減も期待される。また、ドキュメントのナビゲーション

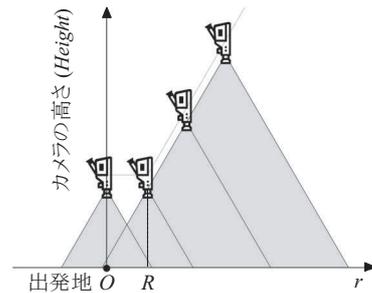


図2 Pan sync Zoom (PsZ) のカメラ操作



図3 PsZのビューポート遷移の様子

にカメラのチルトを適用している Perspective Viewing<sup>4)</sup>では、複数の場所を訪れるナビゲーションタスクにおいて高いパフォーマンスであることが報告されており<sup>5)</sup>、カメラ操作としてチルトが有効であることが示されている。

そこで、複数のカメラ操作を連動させ、出発地と現在地の2地点を収めるビューポートを効率良く得ることができるナビゲーション手法 Pan sync Zoom (PsZ)、Pan sync Zoom and Tilt (PsZT) を提案する。これら2手法は、いずれも2次元の地図を俯瞰する3次元的なカメラ視点をメタファとして用いており、ユーザによるパンの操作に連動させてズームおよびチルトし、常に出発地、現在地をビューポートに収める。ユーザはパン操作のみによってビューポートを制御することができ、ホイールなどの付加的な機構を持たないペンデバイスや指などでも同様の操作で扱うことができる。

#### 3.2 Pan sync Zoom

出発地を  $O$ 、現在地を  $P$  とし、 $OP$  間の地図上の距離を  $r$  とする。出発地  $O$  はユーザの指定する地点、現在地  $P$  は常にビューポート中心の地点とする。ただし、出発地  $O$  の初期位置は  $P$  と同じ位置としている。

PsZのカメラ操作の概要を図2に示し、例として左上方向へパンしたときのビューポートの遷移を図3に示す。PsZでは、 $r$ がある閾値  $R$ より小さい場合は通常のパンの操作によるスクロールとなる(図3(a))。  $R$ より大きい場合にはパンの操作に連動して自動的にズームアウトされ(図3(b))、このときのズームの割合と閾値  $R$ は見かけ上の  $r$ の長さが一定となるよう

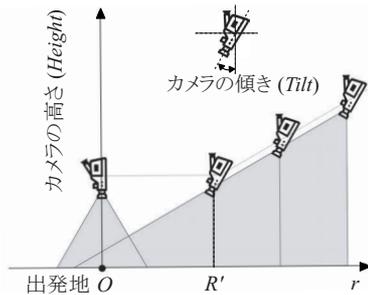


図 4 Pan sync Zoom and Tilt (PsZT) のカメラ操作

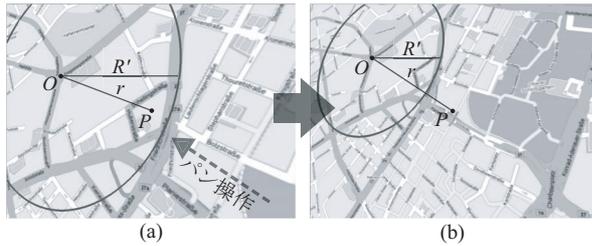


図 5 PsZT のビューポート制御の様子

に決定している．この長さをビューポートの短辺の半分の長さとする事で，出発地と現在地を常にビューポート内に収めるような視点を常に得ることができる．また，ユーザが出発地を任意の位置に置き直すことができ，置き直し後は新たな出発地がビューポートの中心となるようにズームインされる．

### 3.3 Pan sync Zoom and Tilt

PsZT のカメラ操作の概要を図 4 に示し，例として左上方向へパンしたときのビューポートの遷移を図 5 に示す．PsZT では，前述した距離  $r$  が閾値  $R'$  より小さい場合はパンの操作に連動して自動的にチルトする．チルトは通常カメラの上下の傾きのことを表すが，ここでは図 4 に示すような，出発地  $O$  の方向への傾きとする． $r$  が大きくなるほど傾く角度は線形的に大きくなり (図 5(a))， $R'$  と等しくなったときに最も大きく傾く． $r$  が  $R'$  より大きくなると，カメラは最も大きく傾いた状態を保持しながらパンに連動して自動的にズームアウトする (図 5(b))．このカメラ操作により，出発地をビューポートに収めながら現在地周辺の情報を大きく表示することができる．また，PsZ と同様に出発地を置き直すことができる．

PsZT では，出発地をビューポートに収めるためのズームとチルトの割合，および閾値  $R'$  はそれぞれ一意に定まらないため，予備実験によってこれらの値を決定している．

## 4. 評価実験

### 4.1 概要

前章で提案した PsZ, PsZT を評価するため，一般的



図 6 実験風景

によく用いられる PZ と比較する実験を行う．先行研究では，ナビゲーション手法の評価にはターゲットを探索するタスクがよく用いられているが，実際の地図ナビゲーションでは，目的地を発見することだけでなく，出発地から目的地までの相対的な位置関係の情報を得ることも同時に必要としている場合が多くあると考えられる．そこで本実験では，ターゲットの探索タスクに加え，位置把握タスクを行う．ただし，ターゲットをいかに素早く認識できるかというよりも，ビューポートをいかにうまく制御できるかという側面から提案手法のパフォーマンスを測定するため，探索タスクでは，システムが明示的にターゲットを提示し，それを探索して獲得する基本的なものとする．さらに，パン操作のみによって行うことによる有効性を評価するため，実験にはペンデバイスを用いる．

### 4.2 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，タブレット PC (lenovo 社, X61, CPU: Core 2 Duo L7500, 1.6 GHz, RAM: DDR2-SDRAM 2 GB, OS: Windows Vista Ultimate, ディスプレイ: 12.1 インチ TFT 液晶ディスプレイ) を，1,024 × 768 pixels の解像度で使用する．入力には X61 に付属する電磁誘導方式のペンデバイスを用いる．ペンデバイスで画面をタッチすると左クリック，ペン先付近にあるボタンを押しながら画面にタッチすると右クリックとして認識される．実験風景を図 6 に示す．

### 4.3 被験者

被験者は男性 9 名，女性 3 名の合計 12 名で平均 24.5 歳の大学生または大学院生である．全員が正常視力あるいは正常矯正視力で，右利きである．また，全員がほぼ毎日計算機を利用しているが，ペンデバイスの利用経験があるのは 2 人である．実験前には説明と同意がなされており，実験は全員右手で行う．

### 4.4 実験計画

実験はナビゲーション手法 (PsZ, PsZT, PZ)，ターゲット距離 (1,000, 1,800, 2,600 pixels) に関する 2 要因反復実験であり，この組み合わせによる 9 条件をそ

## 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



図 7 探索タスクの初期画面

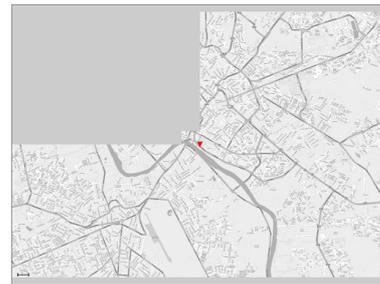


図 8 位置把握タスクの初期画面

それぞれ 8 回反復する．ターゲット方向は 45 度ずつ 8 通りとし，8 反復にそれぞれ 1 回ずつ含まれる．また，ターゲット位置の上下方向，左右方向それぞれについてターゲット距離の 20% 以内の誤差でばらつきを持たせる．ナビゲーション手法を提示する順序は被験者間でカウンターバランスを取り，ターゲット距離や方向はランダムとする．

探索タスクでの難易度を統制するため，カメラの初期状態での高さ ( $initHeight$ )，ズームアウトできる最大の高さ ( $maxHeight$ ) をナビゲーション手法間で統一する．また，ズームアウトするにつれて本来はターゲットを認識できなくするべきであるが，本実験ではターゲットを視認するのにかかる時間によってタスクパフォーマンスが左右されるのを防ぐため，ズームアウトされた状態でもターゲットを認識できるように表示し，カメラの高さがある閾値 ( $threHeight$ ) より低い状態でないとターゲットを獲得できないよう設定する．これは，ズームインしてオブジェクトの詳細を確認するという動作を想定している．なお，本実験では  $threHeight$ ， $maxHeight$  をそれぞれ  $initHeight$  の 2 倍，5 倍としている．

2 地点間の位置関係を把握する必要がある状況の一例として，1km 未満の目的地へ徒歩で移動することを想定し，地図の縮尺 ( $initHeight$  において約 1400 分の 1) を決定する．地図画像は，ターゲットを探索する際のノイズとして，またはターゲットの位置把握のための情報として提示するため，3ヶ国 (日本，ドイツ，ブラジル) の，極端に目立つランドマーク等のない中規模程度の都市とし，グレースケールのものを用いる．実験終了後には，いずれの被験者もこれらの地図中の都市に関する知識がないことを確認している．地図画像のサイズは，8 方向のターゲット距離を十分に収められる大きさ ( $initHeight$  において  $10,500 \times 7,500$  pixels) とする．ターゲットサイズは，地図上に点在しているオブジェクトの大きさに合わせ， $initHeight$  において 30 pixels とする．

### 4.5 探索タスク

探索タスクでは図 7 に示すように，赤色の三角形で示される出発地をビューポートの中心とした， $initHeight$  における地図を初期画面として提示する．ただし，常に地図画像の中心に出発地を置くものとする．また，探索に極端に時間がかかることを防ぐため，目的地のおおよその方向がわかっている状況を想定し，地図を 4 つの格子に分割したうちターゲットのある領域を緑色の矢印で示す．例えば，図 7 は出発地から見て左上の領域にターゲットがあることを表している．これらの条件で，被験者は PZ, PsZ, PsZT のいずれかのナビゲーション手法を用いて青色のターゲットを獲得する．ただし， $threHeight$  よりもズームアウトした状態では，ターゲットは緑色となりクリックできなくなるため，ターゲット獲得には  $threHeight$  より小さくなるズームインが必要である．ズームインとズームアウトの際は滑らかにアニメーションさせ，アニメーション時間は 1 回あたり 0.5 秒とする．また，位置把握タスクのための距離感の手がかりとして，画面左下に地図上での 100 m の距離を表す線分を表示する．この線分はズームに伴い動的に伸縮する．

#### 4.5.1 PZ

一般的な地図サービスと同様の操作によってナビゲーションする．パンはドラッグにより操作され，ドラッグした量だけ地図もスクロールする．ズームは，ダブルクリックによる方法とスライダバーによる方法の 2 種類を任意で使用する．ダブルクリックには 2 倍のスケールとなるズームイン，右ダブルクリックには 2 分の 1 のスケールとなるズームアウトを割り当て，いずれもクリックした位置を中心として地図を拡大，縮小する．スライダバーは画面右上に常に表示し，目盛りのサイズは  $30 \times 150$  pixels，つまみのサイズは  $30 \times 16$  pixels である．スライダの上限を  $initHeight$ ，下限を  $maxHeight$  としており，つまみをドラッグすることや，スライダの目盛りをクリックすることにより，ズームレベルが変更される．

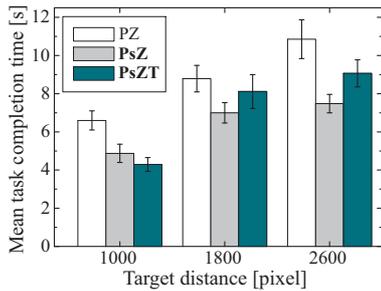


図 9 ターゲット距離 vs. 探索タスク完了時間

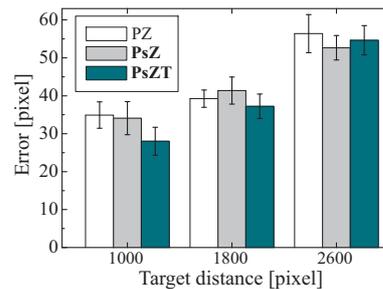


図 10 ターゲット距離 vs. 位置把握の誤差

#### 4.5.2 PsZ・PsZT

パンはドラッグにより操作され、前章で述べたように、パンに連動して自動的にズームおよびチルトされる。また、ダブルクリックした場所に出発地を置き直し、その場所をビューポートの中心とするよう *initHeight* までズームインされる。本実験では、ズームアウトし続けるとカメラの高さが *maxHeight* に達し、それ以上出発地から遠ざかる方向へのパンができなくなるが、どのターゲット距離の条件においても出発地を置き直さずにターゲットをビューポートに捕えることができる。ただし、最も短いターゲット距離以外ではターゲット発見のために *threHeight* を超えてズームアウトする必要があり、獲得には出発地の置き直しを必須とする。

#### 4.6 位置把握タスク

位置把握タスクの初期画面を図 8 に示す。位置把握タスクは、探索タスクでのターゲットの位置を、地図の全体図を見て推測するタスクであり、ナビゲーション時に得られた距離感や方向感覚の正確さを測定する。ターゲット周辺の道路や川などのコンテキストの情報はこの測定の妨げとなる可能性があるため、地図の全体図のうち、探索タスクでのターゲットを含む 4 分の 1 の領域を非表示とする。ただし、探索タスク開始時のビューポートの領域部分は表示する。また、探索タスクと同様に、100 m の距離を表す線分を表示する。

#### 4.7 実験手順

探索タスクと位置把握タスクの 2 つのタスクを 1 試行とし、1 被験者あたり 72 試行する。探索タスクではできるだけ早くターゲットを獲得するよう教示を与え、タスク完了時間を計測する。この後の位置把握タスクでは、推測したターゲット位置をできるだけ正確に指定するよう教示を与え、推測した位置と実際の位置との誤差の距離を測定する。また、全試行が終了した後、各ナビゲーション手法の主観評価を 7 段階尺度で測定する。練習は、各ナビゲーション手法に慣れるまで、20 回を限度に行う。実験時間は練習を含めて 40 ~ 50 分程度である。

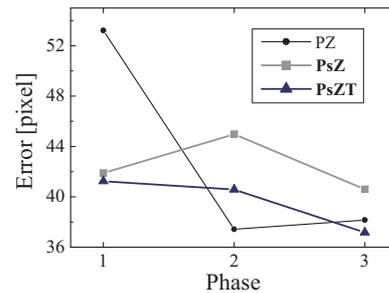


図 11 フェーズ vs. 位置把握の誤差

#### 4.8 実験結果

図 9 に、各ナビゲーション手法におけるターゲット距離と探索タスク完了時間の関係を示す。ターゲット距離とナビゲーション手法の 2 要因がタスク完了時間に与える影響を 2 要因分散分析により分析した結果、タスク完了時間に関してナビゲーション手法 ( $F(2, 22) = 23.2, p < .01$ ) とターゲット距離 ( $F(2, 22) = 56.5, p < .01$ ) とともに主効果が見られ、ナビゲーション手法とターゲット距離の交互作用が認められた ( $F(4, 44) = 4.07, p < .01$ )。ナビゲーション手法の主効果について Bonferroni の多重比較を行った結果、PZ と PsZ 間、PZ と PsZT 間に有意差が見られた。ターゲット距離についても同様の比較を行ったところ、全ての水準間で有意差が確認された。また、交互作用について単純主効果を分析したところ、PZ は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のに対し、PsZ と PsZT ではターゲット距離 1,800 pixels と 2,600 pixels 間に有意差は見られなかった。これは、PsZ と PsZT では長いターゲット距離でも探索するのにかかる時間があまり増大しないことを示している。ナビゲーション手法をターゲット距離ごとに比較すると、ターゲット距離 1,000 pixels では PsZ と PsZT 間以外に、1,800 pixels では PZ と PsZ 間に、2,600 pixels では PZ と PsZT 間以外にそれぞれ有意差が見られた。

図 10 に、各ナビゲーション手法におけるターゲット距離と位置把握タスクでの誤差の関係を示す。ターゲット距離とナビゲーション手法の 2 要因が位置把

握の誤差に与える影響を 2 要因分散分析により分析した結果、ナビゲーション手法に主効果は見られず ( $F(2, 22) = 0.492, p > .05$ )、ターゲット距離には主効果が見られた ( $F(2, 22) = 19.1, p < .01$ )。これについて Bonferroni の多重比較を行った結果、1,000 pixels と 1,800 pixels 間以外に有意差が見られた。

位置把握タスクは慣れによる影響が大きいと考えられるため、ナビゲーション手法ごとの、各ターゲット距離 8 反復を 3 回、3 回、2 回の 3 つのフェーズに分けて分析した。図 11 に、各ナビゲーション手法におけるフェーズと位置把握タスクの誤差との関係を示す。ナビゲーション手法とフェーズの 2 要因が位置把握の誤差に与える影響を 2 要因分散分析により分析した結果、ナビゲーション手法 ( $F(2, 22) = 0.473, p > .05$ )、フェーズ ( $F(2, 22) = 3.35, p > .05$ ) とともに主効果は見られなかったが、ナビゲーション手法とフェーズに交互作用が見られた ( $F(4, 44) = 3.79, p < .05$ )。これについて単純主効果を分析したところ、PZ におけるフェーズ 1 とフェーズ 2 の間に有意差が認められた。これは、PZ のみが慣れに時間を要していたことを示している。

7 段階評定 (7: 良い, 1: 悪い) での被験者による主観評価の平均は、PsZ (6.08 ポイント, 標準偏差 1.19)、PsZT (4.58 ポイント, 標準偏差 1.50)、PZ (4.08 ポイント, 標準偏差 1.61) の順に高い結果となった。また、被験者 12 人のうち 10 人が PsZ を、1 人が PsZT を、1 人が PZ を、それぞれ最も好ましいナビゲーション手法として選んだ。

## 5. 議 論

評価実験により PsZ と PsZT は、PZ に比べて高速にオブジェクトを探索することが可能であり、2 地点の位置把握に学習を必要としない手法であることがわかった。また、PsZ と PsZT では自動的にカメラの高さが変わるため、ドラッグ量に対するビューポート上での地図のスクロール量が異なっている。しかし、このことに対して否定的な印象を持った被験者はおらず、操作の直感性も失っていないと考えられる。

探索タスクにおいて、PZ ではターゲット距離が長くなるほどタスク完了時間も増加しているのに対し、PsZ と PsZT ではターゲット距離 1,800 pixels と 2,600 pixels 間に差は見られなかった。これは、PZ ではターゲットが遠くなるほど 2 つのカメラ操作の切り替えが煩雑になるのに対し、PsZ と PsZT では速やかに大局のビューポートを得られ、ターゲット距離にさほど依存しない探索が可能となっていたことが大きな要因

であると考えられる。また、PsZ と PsZT のターゲット距離 1,000 pixels と 1,800 pixels 間で有意差が認められたのは、出発地の置き直しにかかる時間の影響であると考えられる。以上のことから、PsZ と PsZT は詳細と大局のビューポートをスムーズに切り替えられ、直感的に操作できていたと考えられ、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は有効であるといえる。したがって、詳細と大局の対応関係を比較的把握しづらいと考えられる Fisheye view<sup>3)</sup> や Overview + Detail などの手法と比較しても高いパフォーマンスが得られるのではないかと推測される。

PZ は、普段から使い慣れている被験者が多く、ビューポートの操作方法に戸惑う様子はほとんど見受けられなかった。また、ドラッグした量だけスクロールされるため、距離感が掴みやすいという意見もあった。しかし、パンとズームのカメラ操作が独立しているために操作量が多いだけでなく、ターゲット距離に関わらず *maxHeight* 付近まで一旦ズームアウトし、ターゲット発見後に再びズームインするといった非効率的なカメラ操作が多く見られた。これにより他の 2 手法に比べて探索に時間を長く費やし、地図を把握することに意識を向けられなかったと考えられる。

PsZ は、探索タスクにおいて、すべてのターゲット距離で安定して高いパフォーマンスであった。主観評価も 3 手法の中で最も良い評価となり、操作量が少ない、位置把握しやすいなど、概ね肯定的な意見が得られた。一方、PsZT ではターゲット距離が 1,000 pixels のとき 3 手法の中で最も高速にターゲットを探索できたが、1,800 pixels と 2,600 pixels では PsZ に比べて遅くなっている。これは、チルトにより PsZ に比べて広い領域をビューポートに収めることができる反面、地図が変形して表示され、閲覧する角度によってはユーザの見慣れないカメラアングルとなっていたからであると考えられる。変形による影響はターゲット距離が長くなるほど大きくなり、ターゲットを発見しづらく、距離感や方向感覚を失わせる印象を被験者に与えたと考えられ、チルトの方法やチルトさせる割合についてより詳細に検討する必要がある。

今回行った探索タスクは比較的小さな移動を想定し、この条件において提案手法の有効性が確認された。しかし、目的地までの距離がさらに遠くなると、出発地と現在地をビューポートに収めるためのカメラ位置も高くなり、地図上のオブジェクトを認識できないほどズームアウトされてしまうことが考えられる。この改善案として、出発地と現在地との距離がある閾値を超えるとカメラを連動させる条件を切り替える方法が考

えられるが、このための閾値となる PsZ と PsZT の有効範囲を明らかにする必要がある。また、ダブルクリックによって出発地を置き直すと元の出発地の情報を失い、現在地がわからなくなるという意見があった。これに対しては、過去の出発地を記憶する方法、出発地と現在地の 2 地点だけでなく任意の複数点をビューポートに収める方法などが考えられ、機能性と操作の複雑さとのトレードオフを考慮して検討したい。

図 10 に示した位置把握タスクの結果では手法間に有意な差は見られなかったが、位置把握タスクを課すことによって探索タスクが単調作業になることを避け、より現実的な状況を被験者が想定できたと考えられ、このようなタスクを課すことは有効であるといえる。また、手法間に差が見られなかったにも関わらず、多くの被験者は PZ や PsZ に比べ、PsZT では位置把握するのが難しいという印象を持っていた。これは、ターゲットの位置によって地図上の道路や川などの情報が位置把握の手がかりになる場合があったことや、地図上の 100 m を表す線分の長さを記憶する被験者がいたことなど、ナビゲーション手法に依存しない要因があったと考えられ、タスク条件について今後もより詳細に検討し、実験方法の確立を目指したい。また、位置把握の主観評価と客観評価を区別して考慮しなければならない可能性もあり、今後も両者の差異について注意して評価していきたい。

今後は、提案手法におけるズームやチルトの割合の最適値を調査することに加え、経路追跡や点在する複数のターゲットの獲得など、より実際の地図ナビゲーションに近いタスクでも提案手法のパフォーマンスについて評価し、地図ナビゲーション手法としてのガイドラインを見出してゆく予定である。また、今回提案した手法では、出発地と現在地を常にビューポートに収めることをカメラ連動の条件としたが、この他にもドラッグ中の距離や地図のオブジェクト密度など、様々な条件を試したい。

## 6. ま と め

地図上のオブジェクトを効率的に獲得し、出発地と現在地の 2 地点の位置関係を把握することができる地図ナビゲーション手法として、ユーザによるパン操作に連動させて自動的にズームする Pan sync Zoom (PsZ)、自動的にズームおよびチルトする Pan sync Zoom and Tilt (PsZT) を提案した。

これらのナビゲーション手法を、地図上オブジェクトの探索タスク、位置把握タスクからなる評価実験によって従来手法である Pan & Zoom (PZ) と比較し

た結果、PsZ、PsZT は PZ に比べて高速にオブジェクトを探索することができ、地図上の 2 地点の位置把握に学習を必要としなかった。これらのことから、提案した 2 手法の有効性を確認できた。今後は、提案手法の有効範囲の調査やズームやチルト量のモデル化、位置把握の正確さを測定する実験方法の確立が課題である。

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) Baudisch, P. and Rosenholtz, R.: Halo: a technique for visualizing off-screen objects, *Proc. CHI '03*, pp. 481-488 (2003).
- 2) Fukatsu, S., Kitamura, Y., and Kishino F.: Manipulation of viewpoints in 3D environment using interlocked motion of coordinate pairs, *Proc. INTERACT '03*, pp. 327-334 (2003).
- 3) Furnas, G.W.: Generalized fisheye views, *SIGCHI Bull.*, Vol.17, No.4, pp.16-23 (1986).
- 4) Guiard, Y., Chapuis, O., Du, Y., and Beaudouin-Lafon, M.: Allowing camera tilts for document navigation in the standard GUI: a discussion and an experiment, *Proc. AVI '06*, pp. 241-244 (2006).
- 5) Guiard, Y., Du, Y., and Chapuis, O.: Quantifying degree of goal directedness in document navigation: application to the evaluation of the perspective-drag technique, *Proc. CHI '07*, pp. 327-336 (2007).
- 6) Igarashi, T. and Hinckley, K.: Speed-dependent automatic zooming for browsing large documents, *Proc. UIST '00*, pp. 139-148 (2000).
- 7) Irani, P., Gutwin, C., and Yang, X.D.: Improving selection of off-screen targets with hopping, *Proc. CHI '06*, pp. 299-308 (2006).
- 8) Khan, A., Komalo, B., Stam, J., Fitzmaurice, G., and Kurtenbach, G.: HoverCam: interactive 3D navigation for proximal object inspection, *Proc. I3D '05*, pp. 73-80 (2005).
- 9) Perlin, K. and Fox, D.: Pad: an alternative approach to the computer interface, *Proc. SIGGRAPH '93*, pp. 57-64 (1993).
- 10) Smith, G.M. and Schraefel, M.C.: The radial scroll tool: scrolling support for stylus- or touch-based document navigation, *Proc. UIST '04*, pp. 53-56 (2004).
- 11) 高嶋和毅, スリラム サブラマニアン, 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).
- 12) Tan, D.S., Robertson, G.G., and Czerwinski, M.: Exploring 3D navigation: combining speed-coupled flying with orbiting, *Proc. CHI '01*, pp. 418-425 (2001).
- 13) アップル - iPhone - 特長 - マルチタッチディスプレイ. <http://www.apple.com/jp/iphone/features/multitouch.html>.