



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 認知的情報提示を用いたヒューマンインタフェースに関する研究   |
| Author(s)    | 藤田, 和之  |
| Citation     | 大阪大学, 2013, 博士論文  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/27483">https://hdl.handle.net/11094/27483</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

16064

認知的情報提示を用いた  
ヒューマンインターフェースに関する研究

2013年1月

藤田 和之

認知的情報提示を用いた  
ヒューマンインタフェースに関する研究

提出先 大阪大学大学院情報科学研究科

提出年月 2013年1月

藤田 和之

## 研究業績目録

### I. 学術論文

- [1] 藤田和之, 伊藤雄一, 吉田愛, 尾崎麻耶, 菊川哲也, 深澤遼, 高嶋和毅, 北村喜文, 岸野文郎. アソブレラ: 振動を記録・再生可能な傘型アンビエントインターフェース, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 3, pp. 397–405, Sep. 2010.
- [2] 藤田和之, 高嶋和毅, 築谷喬之, 朝日元生, 伊藤雄一, 北村喜文, 岸野文郎. 地図ナビゲーションにおけるパン操作とズーム/チルト連動を用いたビューポート制御手法の提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 11, pp. 2454–2465, Nov. 2010.
- [3] 中島康祐, 伊藤雄一, 築谷喬之, 藤田和之, 高嶋和毅, 岸野文郎. FuSA<sup>2</sup> Touch Display: 大画面毛状マルチタッチディスプレイ, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 3, pp. 1069–1081, Mar. 2012.
- [4] 藤田和之, 高嶋和毅, 伊藤雄一, 大崎博之, 小野直亮, 香川景一郎, 津川翔, 中島康祐, 林勇介, 岸野文郎. Ambient Suite を用いたパーティ場面における部屋型会話支援システムの実装と評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J96-D, No. 1, pp. 120–132, Jan. 2013.
- [5] Yusuke Hayashi, Yuichi Itoh, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Kosuke Nakajima, and Takao Onoye. Cup-le: cup-shaped tool for subtly collecting Information during conversational experiment, In *International Journal of Advanced Computer Science*, 2013 (掲載決定).

### II. 国際会議

- [1] Ai Yoshida, Yuichi Itoh, Kazuyuki Fujita, Maya Ozaki, Kikukawa Tetsuya, Ryo Fukazawa, Yoshifumi Kitamura, and Fumio Kishino. Funbrella: making rain fun, *ACM SIGGRAPH 2009 Emerging Technologies*, p. 10:1, Aug. 2009.

- [2] Kazuyuki Fujita, Yuichi Itoh, Ai Yoshida, Maya Ozaki, Kikukawa Tetsuya, Ryo Fukazawa, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, and Fumio Kishino. Funbrella: recording and replaying vibrations through an umbrella axis, In *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '09)*, pp. 66–71, Oct. 2009.
- [3] Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Takayuki Tsukitani, Yuichi Itoh, Yoshifumi Kitamura, and Fumio Kishino. Anchored navigation: coupling panning operation with zooming and tilting based on the anchor point on a map, In *Proceedings of the Graphics Interface 2010 (GI '10)*, pp. 233–240, May 2010.
- [4] Kosuke Nakajima, Yuichi Itoh, Takayuki Tsukitani, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, and Fumio Kishino. FuSA<sup>2</sup> Touch Display: furry and scalable multi-touch display, In *Proceedings of ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2011 (ITS '11)*, pp. 35–44, Nov. 2011.
- [5] Kazuyuki Fujita, Yuichi Itoh, Hiroyuki Ohsaki, Naoaki Ono, Keiichiro Kagawa, Kazuki Takashima, Sho Tsugawa, Kosuke Nakajima, Yusuke Hayashi, and Fumio Kishino. Ambient Suite: enhancing communication among multiple participants, In *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '11)*, pp. 25:1–25:8, Nov. 2011.
- [6] Hiroyuki Kidokoro, Kazuyuki Fujita, Masanori Owaki, Khoa Doba, Christopher Chung, and Yuichi Itoh. Paranga: a book-shaped device with tactile feedback, *The 4th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia Emerging Technologies (SIGGRAPH Asia '11)*, Dec. 2011.
- [7] Kazuyuki Fujita, Yuichi Itoh, Hiroyuki Ohsaki, Naoaki Ono, Keiichiro Kagawa, Kazuki Takashima, Sho Tsugawa, Kosuke Nakajima, Yusuke Hayashi, and Fumio Kishino. Ambient Suite: room-shaped information environment for interpersonal communication, In *Proceedings of The 1st International Workshop on Ambient Information Technologies (AMBIT '12)*, pp. 18–21, Mar. 2012.

- [8] Yusuke Hayashi, Yuichi Itoh, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Kosuke Nakajima, Ikuo Daibo, and Takao Onoye. Cup-le: a cup-shaped device for conversational experiment, In *Proceedings of The 1st International Workshop on Ambient Information Technologies (AMBIT '12)*, pp. 36–37, Mar. 2012.
- [9] Kosuke Nakajima, Yuichi Itoh, Takayuki Tsukitani, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, and Fumio Kishino. FuSA<sup>2</sup> Touch Display: fury and scalable multi-touch display, In *Proceedings of The 1st International Workshop on Ambient Information Technologies (AMBIT '12)*, pp. 35–36, Mar. 2012.
- [10] Kosuke Nakajima, Yuichi Itoh, Yusuke Hayashi, Kazuaki Ikeda, Kazuyuki Fujita, and Takao Onoye. Emoballoon, In *Proceedings of The 10th Asia-Pacific Conference on Computer Human Interaction (APCHI '12)*, pp. 681–682, Aug. 2012.
- [11] Ryusuke Endo, Yuichi Itoh, Kosuke Nakajima, Kazuyuki Fujita, and Fumio Kishino. Planning-capable digital signage system using multi-touch display, In *Proceedings of The 10th Asia-Pacific Conference on Computer Human Interaction (APCHI '12)*, pp. 545–554, Aug. 2012.
- [12] Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Yuichi Itoh, and Yoshifumi Kitamura. Elastic scroll for multi-focus interactions. In *Adjunct proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '12)*, pp. 19–20, Oct. 2012.
- [13] Kazuyuki Fujita, Hiroyuki Kidokoro, and Yuichi Itoh, Paranga: an interactive flip-book, In *Proceedings of the 9th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '12)*, pp. 17–30, Nov. 2012.

### III. 査読あり国内研究会

- [1] 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, インタラクション2009 論文集, pp. 97–104, Mar. 2009.

- [2] 中島康祐, 伊藤雄一, 築谷喬之, 藤田和之, 高嶋和毅, 岸野文郎. FuSA<sup>2</sup> Touch Display, インタラクティブ東京 デモ展示, Aug. 2010.
- [3] 大脇正憲, 藤田和之, 高嶋和毅, 築谷喬之, 伊藤雄一, 北村喜文, 岸野文郎. 搾みのメタファを用いたビューポート制御インターフェース, インタラクション 2011 論文集, pp. 115–122, Mar. 2011.

## IV. 国内研究会・全国大会

- [1] 吉田愛, 伊藤雄一, 尾崎麻耶, 菊川哲也, 深澤遼, 藤田和之, 北村喜文, 岸野文郎. アソブレラ: 傘軸の振動を記録・再生するシステムの検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 109, No. 75, pp. 65–68, Jun. 2009.
- [2] 藤田和之, 高嶋和毅, 築谷喬之, 北村喜文, 岸野文郎. パン操作にズームとチルトを連動させる地図ナビゲーション, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2009) 論文集, pp. 1875–1876, Jul. 2009.
- [3] 藤田和之, 伊藤雄一, 吉田愛, 尾崎麻耶, 菊川哲也, 深澤遼, 高嶋和毅, 北村喜文, 岸野文郎. アソブレラ: 雨と遊ぶ, エンタテインメントコンピューティング 2009 (EC2009) 論文集, pp. 73–74, Sep. 2009.
- [4] 吉田愛, 伊藤雄一, 尾崎麻耶, 菊川哲也, 深澤遼, 藤田和之, 高嶋和毅, 北村喜文, 岸野文郎. アソブレラ: 雨の振動を記録・再生する傘型デバイス, インタラクティブ東京 2009 シンポジウム, Oct. 2009.
- [5] 藤田和之, 高嶋和毅, 築谷喬之, 北村喜文, 岸野文郎. 地図ナビゲーションにおけるバーチャルカメラのパン・ズーム・チルトの連動に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会論文集, pp. 488–491, Sep. 2010.
- [6] 藤井佑一, 藤川翔平, 岸野文郎, 藤田和之, 伊藤雄一. 情報可振化インターフェース実現の一検討, 電子情報通信学会総合大会 論文集, p. 228, Mar. 2011.
- [7] 中島康祐, 伊藤雄一, 築谷喬之, 藤田和之, 高嶋和毅, 岸野文郎. FuSA<sup>2</sup> Touch Display: 大画面毛状マルチタッチディスプレイ, インタラクション 2011 論文集, pp. 547–550, Mar. 2011.

- [8] 城所宏行, 藤田和之, 大脇正憲, Khoa Doba, Christopher Chung, 伊藤雄一. パランガ: ページをめくる触感を再現する本型デバイス, インタラクション 2011 論文集, pp. 609–612, Mar. 2011.
- [9] 前田奈穂, 大坊郁夫, 藤田和之. 関係開始スキルがパーティ場面におけるコミュニケーション行動に及ぼす影響, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 111, No. 190, pp. 5–10, Aug. 2011.
- [10] 藤井佑一, 岸野文郎, 藤田和之, 伊藤雄一. 振動ディスプレイを用いた情報可振化インターフェースの一検討, 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会 論文集, 14C-1, Sep. 2011.
- [11] 大脇正憲, 藤田和之, 高嶋和毅, 伊藤雄一, 北村喜文. マルチタッチ入力環境における撓みスクロール・ズーム手法, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 論文集, pp. 424–429, Sep. 2011.
- [12] 藤田和之, 高嶋和毅, 伊藤雄一, 大崎博之, 小野直亮, 香川景一郎, 津川翔, 中島康祐, 林勇介, 岸野文郎. Ambient Suite: 部屋型情報空間を用いた対人コミュニケーション支援, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 論文集, pp. 395–400, Sep. 2011.
- [13] 林勇介, 伊藤雄一, 中島康祐, 藤田和之, 高嶋和毅, 大坊郁夫, 尾上孝雄. カップ型デバイス Cup-le を用いた会話実験支援手法, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 論文集, pp. 405–408, Sep. 2011.
- [14] 新宅彩加, 岸野文郎, 石原のぞみ, 藤田和之, 伊藤雄一. 書籍固有の情報を用いた書籍の明るさ判定, 電子情報通信学会総合大会 論文集, p. 268, Mar. 2012.
- [15] 竹中拓也, 岸野文郎, 藤田和之, 中島康祐, 伊藤雄一. 二者間の着座状態と会話の活性度の関係に関する検討, 電子情報通信学会総合大会 論文集, p. 220, Mar. 2012.
- [16] 児島陽平, 伊藤雄一, 藤田和之, 中島康祐, 尾上孝雄. 空間内の複数人員配置のための指示位置提示手法に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 106, pp. 17–22, Jun. 2012.

- [17] 遠藤隆介, 伊藤雄一, 中島康祐, 藤田和之, 岸野文郎. マルチタッチディスプレイを用いたプランニングができるデジタルサイネージシステムの提案, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 106, pp. 37–42, Jun. 2012.
- [18] 高嶋和毅, 藤田和之, 横山ひとみ, 伊藤雄一, 北村喜文. 6人会話における非言語情報と場の活性度に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 176 pp. 49–54, Aug. 2012.
- [19] 藤井佑一, 岸野文郎, 藤田和之, 中島康祐, 伊藤雄一, 菊池日出男. U-brella: 降り注ぐ情報を可視化するポータブル傘型インターフェース, 日本バーチャルリアリティ学会第17回大会 論文集, pp. 652–655, Sep. 2012.
- [20] 藤田和之, 城所宏行, 伊藤雄一. アナログパラパラデジタルマンガ. 日本バーチャルリアリティ学会第17回大会 オーガナイズドセッション, Sep. 2012.
- [21] 藤田和之, 伊藤雄一, 高嶋和毅, 中島康祐, 林勇介, 岸野文郎. Ambient Party Room: パーティ場面における部屋型会話支援システムの構築, 第91回ヒューマンインターフェース学会研究報告集, Vol. 14, No. 8, pp. 7–10, Sep. 2012.

## 内容梗概

近年、半導体技術の向上やセンサ・ディスプレイ環境の拡充によりコンピュータの形態は多様化しつつあり、生活空間における様々な場面で情報を受け取ることが可能になっている。このコンピュータから人への情報の伝達は、視覚を用いて行われることがほとんどであるが、扱う情報の多様化や複雑化に伴い大きな認知的負荷がかかるため、情報の受け取りがスムーズに行われない場面も多く、人とコンピュータをつなぐヒューマンインターフェースにおける大きな課題となっている。例えば、画面領域よりも大きな情報をユーザへ提示する場合、情報を閲覧するためにはビューポート制御と呼ばれる複雑なインタラクションが必要である。これは紙面での閲覧に比べ、ユーザに対して多くの時間や労力を必要とするため、このインタラクションの改善が望まれている。また、視覚以外の情報提示として触覚を用いるものが検討されつつある。触覚提示は視聴覚では表現できない独特な感覚を人に与えることが可能であるため、情報の直感的な把握にも資するのではないかと考えられる。さらに、最近では複数人のユーザへ向けた情報提示が公共空間などにおいて増えており、ユーザの状態を暗黙的に把握して情報提示を行うアンビエント情報空間の検討も多くなされてきている。しかし、提示される情報が複雑になるとユーザの自然な行動が阻害されてしまうなどの問題があり、理解しやすくユーザの行動を制限しない情報提示環境の確立が必要である。

そこで本論文では、情報が本来持っている意味や性質をユーザへ直感的にわかりやすく伝える情報提示である、認知的情報提示を用いるヒューマンインターフェースを提案する。認知的情報提示により、複雑な情報や、これまで知覚できなかった情報を容易に把握することが可能となり、情報獲得の効率向上だけでなく、提示される情報をごく自然に受け取れる環境の実現が期待される。このような認知的情報提示の実現にあたり、本研究ではまず最も一般的な、個人ユーザへ向けた視覚を用いた情報提示を扱う。この中で、既存のディスプレイを用いたコンピューティング環境において使用頻度が高く認知的負荷が大きいとされるビューポート制御に焦点を当て、人の空間認知を考慮することによりこれを効率的に行うことを目指すインターフェースを実現する。次に、個人ユーザへ独特な感覚を与えられる触覚に着目した認知的情報提示について検討する。この中で、本来知覚することができない情報を、身近な実世界の振動触覚に変換することで、直感的に知覚可能にする認知的情報提示手法を確立させる。最後に、これらの情報提示を統合する、複数人ユーザへ向けた視覚と触覚による情報提示環境について検討する。この実現例として、複数人に

同時に様々な情報提示を行う必要がある、コミュニケーションの円滑化のための情報提示環境を実現する。

本論文は全6章で構成される。第1章にて序論を述べ、第2章では、まずヒューマンインターフェースにおける認知的負荷に関する知見について述べる。次に、視覚を用いた個人ユーザへの情報提示の中でも認知的負荷が高いとされている、ビューポート制御インターフェースについて述べる。続いて、個人ユーザへの触覚提示に着目し、実世界における触覚感觉の再現・共有手法や、振動触覚による情報提示手法について述べる。さらに、複数人ユーザへの情報提示として、公共空間における情報提示について述べた後、その代表例であるコミュニケーション支援を取り上げて述べる。

第3章では、視覚を用いた個人ユーザへの認知的情報提示として、ビューポート制御インターフェースについて検討した結果について述べる。ここでは人の空間認知における心的処理のプロセスを考慮し、滑らかにカメラ視点操作を連動させるビューポート制御手法 Anchored Navigation を提案した。この手法を、2つのタスクにより評価する実験を行い、提案手法が低い認知負荷で効率的にビューポートを制御できることを明らかにした。

第4章では、触覚を用いた個人ユーザへの認知的情報提示について検討した結果について述べる。本来五感では知覚できない情報を、振動触覚を用いることにより直感的に知覚可能とすることを目指す「可振化」手法を提案した。このため、身近な触覚提示が可能である傘に着目し、まずは降雨時の振動触覚を再現して人を楽しませることが可能な傘型インターフェースであるアソブレラを作成した。さらに、この振動触覚を用いて、紫外線を可振化するインターフェース U-brella を実装して評価実験を行い、紫外線の強弱が可振化によってユーザに直感的に把握されることを確認した。

第5章では、視覚と触覚を用いた複数人ユーザへの認知的情報提示として、コミュニケーションを円滑化する情報提示環境について検討した結果について述べる。複数人のユーザへの柔軟な情報提示を可能にする部屋型環境 Ambient Suite を提案し、この実現例として、立食パーティ場面を想定した Ambient Party Room を構築した。これを用いた会話実験を行い、提案システムによる情報提示が会話の中で自然に利用され、会話を活性化させられることを確認した。

最後に第6章では、本研究で得られた成果を結論として要約する。

# 目 次

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| <b>第1章 序論</b>                      | <b>1</b>  |
| 1.1 研究背景                           | 1         |
| 1.2 本論文の構成                         | 4         |
| <b>第2章 視覚および触覚を用いたヒューマンインタフェース</b> | <b>5</b>  |
| 2.1 ヒューマンインタフェースにおける認知的負荷に関する知見    | 5         |
| 2.2 ビューポート制御インタフェース                | 7         |
| 2.2.1 可視化手法                        | 8         |
| 2.2.2 スクロール・ズーム手法                  | 12        |
| 2.2.3 カメラ操作手法                      | 18        |
| 2.2.4 まとめ                          | 22        |
| 2.3 触覚提示を用いたインターフェース               | 22        |
| 2.3.1 触覚の再現・共有手法                   | 23        |
| 2.3.2 振動触覚による情報提示手法                | 27        |
| 2.3.3 まとめ                          | 28        |
| 2.4 複数人ユーザへの情報提示手法とコミュニケーション支援技術   | 29        |
| 2.4.1 複数人ユーザへの情報提示手法               | 29        |
| 2.4.2 コミュニケーション支援技術                | 32        |
| 2.4.3 まとめ                          | 40        |
| <b>第3章 空間認知を考慮したビューポート制御手法</b>     | <b>41</b> |
| 3.1 はじめに                           | 41        |
| 3.2 Anchored Navigation            | 41        |
| 3.2.1 コンセプト                        | 41        |
| 3.2.2 Anchored Zoom                | 43        |
| 3.2.3 Anchored Zoom and Tilt       | 44        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3 評価実験 . . . . .                                | 45        |
| 3.3.1 概要 . . . . .                                | 45        |
| 3.3.2 実験環境 . . . . .                              | 46        |
| 3.3.3 参加者 . . . . .                               | 46        |
| 3.3.4 実験計画 . . . . .                              | 47        |
| 3.3.5 獲得タスク . . . . .                             | 48        |
| 3.3.6 位置把握タスク . . . . .                           | 50        |
| 3.3.7 実験結果 . . . . .                              | 51        |
| 3.4 議論 . . . . .                                  | 52        |
| 3.4.1 獲得タスクについて . . . . .                         | 52        |
| 3.4.2 位置把握タスクについて . . . . .                       | 53        |
| 3.4.3 主観評価について . . . . .                          | 54        |
| 3.4.4 提案手法の有効範囲と今後の展望 . . . . .                   | 54        |
| 3.5 おわりに . . . . .                                | 56        |
| <b>第4章 身近な振動触覚を用いた情報提示手法</b>                      | <b>57</b> |
| 4.1 はじめに . . . . .                                | 57        |
| 4.2 降雨時の振動触覚を再現する傘型インターフェース「アソブレラ」 . . . . .      | 58        |
| 4.2.1 概要 . . . . .                                | 58        |
| 4.2.2 傘型デバイス . . . . .                            | 58        |
| 4.2.3 実装 . . . . .                                | 61        |
| 4.2.4 性能評価 . . . . .                              | 63        |
| 4.2.5 ユーザ評価1: 実際の雨との比較による評価実験 . . . . .           | 64        |
| 4.2.6 ユーザ評価2: アンケートによる主観評価 . . . . .              | 67        |
| 4.2.7 議論 . . . . .                                | 71        |
| 4.3 降り注ぐ紫外線情報を可振化する傘型インターフェース「U-brella」 . . . . . | 72        |
| 4.3.1 概要 . . . . .                                | 72        |
| 4.3.2 予備実験: 雨量の異なる振動の一対比較 . . . . .               | 73        |
| 4.3.3 実装 . . . . .                                | 76        |
| 4.3.4 評価実験 . . . . .                              | 79        |
| 4.4 おわりに . . . . .                                | 82        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>第5章 コミュニケーション円滑化のための部屋型情報環境</b>          | <b>83</b>  |
| 5.1 はじめに . . . . .                          | 83         |
| 5.2 Ambient Suite . . . . .                 | 85         |
| 5.3 Ambient Party Room . . . . .            | 86         |
| 5.3.1 概要 . . . . .                          | 86         |
| 5.3.2 実装 . . . . .                          | 86         |
| 5.3.3 刺激情報の検討 . . . . .                     | 88         |
| 5.4 評価実験 . . . . .                          | 90         |
| 5.4.1 概要 . . . . .                          | 90         |
| 5.4.2 参加者 . . . . .                         | 91         |
| 5.4.3 実験環境 . . . . .                        | 91         |
| 5.4.4 実験手順 . . . . .                        | 92         |
| 5.4.5 質問紙 . . . . .                         | 94         |
| 5.4.6 実験結果 . . . . .                        | 95         |
| 5.5 議論 . . . . .                            | 97         |
| 5.5.1 Ambient Party Room の有効性について . . . . . | 97         |
| 5.5.2 刺激情報について . . . . .                    | 99         |
| 5.5.3 今後の展望 . . . . .                       | 100        |
| 5.6 おわりに . . . . .                          | 101        |
| <b>第6章 結論</b>                               | <b>103</b> |
| <b>謝辞</b>                                   | <b>107</b> |
| <b>参考文献</b>                                 | <b>109</b> |

# 第1章 序論

## 1.1 研究背景

1940年代に登場したコンピュータは、これまでに劇的な発展を遂げてきた。半導体技術の向上などにより、ハードウェアは小型化・高性能化されており、現在では高度な処理の多くが携帯端末でもこなせるようになっている。コンピュータの用途も、開発当初は数値計算などに限定されていたが、ソフトウェア技術の発展により、現在では教育、医療、エンタテインメント分野などの多岐に渡っている。これに伴いコンピュータの利用方法も多様化しており、デスクトップ型やノート型、携帯端末などの単一ユーザ向けのコンピュータに加え、街中のデジタルサイネージなど、生活空間の様々な場面で複数の人が同時に情報を得ることが可能となっている。

このように広く利用されているコンピュータの最も大きな特徴として、ユーザによる入力に応じて処理を行い、フィードバックするというインタラクティブ性を有する点が挙げられる。そのため、いかにしてコンピュータがユーザの入力を受け取るか、またいかにしてユーザへ情報を提示するかということが、人とコンピュータをつなぐヒューマンインターフェースにおける重要な課題として捉えられ、ハードウェアとソフトウェアの両面から活発に研究してきた。コンピュータへの入力としては、キーボードやマウスなどを用いる直接的・明示的なものから、カメラなどのセンサ情報を用いてユーザの状況を考慮する間接的・暗黙的なものまで、コンピュータの多様化に応じて多岐に渡る方法が検討されている。一方で、コンピュータからユーザへの情報提示は、視覚を用いて行われることがほとんどである。ユーザが扱うことのできる情報は複雑化・高度化しつつあるため、この情報提示の際にはユーザに大きな認知的負荷がかかり、情報獲得の効率が低下したり、情報の理解に支障をきたしたりする場面も多い。

視覚を用いた情報提示としては、例えばWebページや電子ドキュメントなど、画面領域よりも大きな情報をユーザへ提示するものが挙げられ、これを閲覧するためにはスクロールやズームなどの、ビューポート制御と呼ばれる操作が必要である。しかし、このよ

うなビューポート制御による情報の閲覧は紙面での閲覧に比べてより多くの時間や労力を割き [95], ユーザが位置を見失うといった認知的な問題も発生しやすい [21] とされており, このインターフェースの改善が強く望まれている.

また, 視覚以外の情報提示として, 触覚を用いるものも近年検討されつつある. 触覚提示は, ユーザが注意を払わざとも触れているだけで身体の様々な部位から情報を伝達できる点や, 視聴覚だけでは表現できない楽しさ, 危険, 不快感などの独特な感覚を提示可能な点が特徴として挙げられ, これまでに実世界における様々な触覚の再現や, それらを用いたエンタテインメントシステムが検討されている. このような触覚の特徴を利用すれば, ユーザへわかりやすく自然な情報提示を行うことが可能になるのではないかと考えられる.

さらに, 情報提示の対象はユーザ1人とするものだけでなく, 複数人へ向けたものも検討されている. デジタルサイネージなどの単なる情報伝達を目的としたものはすでに普及しているが, 最近は Ambient Intelligence[27] やアンビエント情報社会 [87] の実現へ向けた情報提示の検討も進められている. これらは, これまでの人がコンピュータにアクセスして情報を得る形とは異なり, コンピュータが生活空間や社会に溶け込み, ユーザが意識しなくともコンピュータによる最適な支援がなされるというもので, この実現例として, オフィスやショッピングモールなどの公共空間における情報提示の研究開発が活発に進められている. しかし, 複数のユーザに複数の情報を最適に提示するなどの複雑な状況において, 各ユーザへわかりやすく情報を提示することは難しく, また情報提示によりユーザの自然な行動が阻害されてしまうなどの問題点が指摘されている [11]. このため, 情報を容易に理解でき, ユーザの行動を制限しない情報提示環境の確立が必要である.

そこで本論文では, 情報が本来持っている意味や性質をユーザへ直感的にわかりやすく伝える情報提示である, 認知的情報提示を用いるヒューマンインターフェースを提案する. 認知的情報提示により, 複雑な情報や, これまで知覚できなかつた情報を容易に把握することが可能となると考えられ, 情報獲得の効率を向上させることだけでなく, 生活空間においてコンピュータがユーザの周囲に溶け込み, 提示される情報をごく自然に受け取れる環境を実現可能であると考えられる.

図1.1に, 本研究における提案内容の位置付けを示す. 本研究では, 認知的情報提示の実現にあたり, 最も一般的な視覚と, 視覚以外の感覚として認知的情報提示に適すると考えられる, 触覚を用いた情報提示について扱う. また, 対象とするユーザの人数に応じて異なる検討が必要であると考えられるため, 個人ユーザへの情報提示と複数人ユーザへ

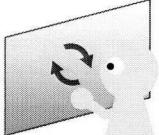
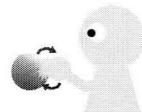
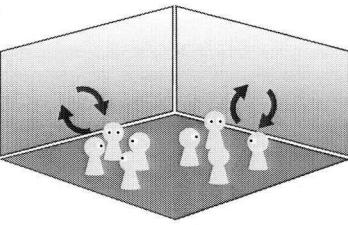
| 感覚<br>対象   | 視覚  | 触覚   |
|------------|---|--|
| 個人<br>ユーザ  | 3章<br> | 4章<br> |
| 複数人<br>ユーザ | 5章<br> | 視覚・触覚を用いた<br>複数人ユーザへの<br>認知的情報提示   |

図 1.1: 本研究が対象とする課題と提案内容の位置付け

の情報提示を分けて扱う。個人ユーザへの視覚を用いた認知的情報提示としては、使用頻度が高く認知的負荷が大きいとされる、スクロールやズームなどのビューポート制御インターフェースについて検討する。その中で、人の空間認知を考慮した滑らかなビューポート制御により、画面外オブジェクトへの到達や位置把握を効率化するインターフェースを提案する。次に、個人ユーザへの触覚を用いた認知的情報提示として、実世界で感じられる身近な振動触覚を利用した新たな情報提示手法を検討する。本来五感では知覚できない情報を、振動触覚に変換して提示することにより、この情報の直感的な把握を目指す「可振化」手法を提案する。身近な振動触覚として傘による降雨感覚に着目し、傘型のデバイスを用いた可振化により、知覚できない情報の直感的な把握が可能であるかどうか検討する。最後に、上記の情報提示を統合する、複数人ユーザへ向けた視覚と触覚による情報提示環境について検討する。この実現例として、複数人に同時に様々な情報提示を行う必要がある、コミュニケーションの円滑化のための情報提示環境を実現する。複数人の立ち位置が動的に変わる環境下で認知的情報提示を可能にするため、床や壁などをディスプレイとして用い、会話場面に応じて柔軟にそれらの表示制御を可能にする部屋型情報環境を構築する。

以上の研究を通し、認知的情報提示の提示方法や、それを用いたことによる効果について考察する。

## 1.2 本論文の構成

本論文は、全6章で構成される。

第2章では、ヒューマンインターフェースにおける認知的負荷に関する知見について述べる。次に、視覚を用いた個人ユーザへの情報提示の中でも認知的負荷が高いと考えられる、ビューポート制御インターフェースについて述べる。続いて、個人ユーザへの触覚提示に着目し、身近な触覚感覚の再現・共有手法や、振動触覚による情報提示手法について述べる。さらに、複数人ユーザへの情報提示として、公共空間での情報提示について述べた後、その代表例であるコミュニケーション支援を取り上げて述べる。

第3章では、視覚を用いた個人ユーザへの認知的情報提示として、ビューポート制御インターフェースについて検討した結果について述べる。まず、人の空間認知における心的処理のプロセスを考慮して、滑らかにカメラ視点操作を連動させるビューポートの提示を実現するインターフェースを提案する。従来手法と比較する評価実験の結果、提案手法が低い認知的負荷で効率的にビューポートを制御できる手法であることを示す。

第4章では、触覚を用いた個人ユーザへの認知的情報提示について検討した結果について述べる。本来五感では知覚できない情報を、身近な振動触覚に変換することで、直感的に知覚可能とすることを目指す「可振化」手法を提案する。このため、身近な降雨感覚とその提示デバイスとして傘に着目し、まずは降雨時の振動触覚を再現して人を楽しませることが可能な傘型インターフェースを作成する。さらに、この降雨時の振動触覚を用い、降り注ぐ情報を振動として可振化する傘型インターフェースを実装し、これを用いたユーザスタディを通して、情報が直感的に把握可能かを確認する。

第5章では、視覚と触覚を用いた複数人ユーザへの認知的情報提示として、コミュニケーションを円滑化する情報提示環境について検討した結果について述べる。複数人のユーザへの柔軟な情報提示を可能にする部屋型情報環境を提案し、立食パーティの場面における会話活性化を目指すシステムを構築する。さらに、このシステムを用いた会話実験を通じて、システムによる情報提示が会話の中で自然に用いられ、会話を活性化させられることを示す。

最後に第6章では、本研究で得られた成果を結論として要約する。なお、それぞれ第3章は文献[33]、第4章は文献[30, 31, 32]、第5章は文献[34]で公表した結果に基づき論述する。

## 第2章 視覚および触覚を用いたヒューマンインターフェース

本章では、まずヒューマンインターフェースにおける認知的負荷に関する知見について述べ、本研究で提案する認知的情報提示の方向性を示す。次に、視覚を用いた個人ユーザへの情報提示の代表例として、ビューポート制御インターフェースと、その問題点についてまとめる。続いて、触覚を用いた個人ユーザへの情報提示に着目し、触覚の再現・共有手法や、振動触覚による情報提示手法に関する研究と、その問題点について述べる。最後に、複数人ユーザへの情報提示として、公共空間での情報提示や、その代表例である対人コミュニケーション支援に関する研究について述べ、それらの問題点についてまとめる。

### 2.1 ヒューマンインターフェースにおける認知的負荷に関する知見

人が道具を使うときには、必ず利用目的が存在している。その目的に向けて、人は道具の使い方を思考しながら学習し、最終的には目的を効率的に達成しようとする。Normanらは、このような道具の使用や使い方の理解などの処理へ費やすことのできる脳内の資源を認知リソースと呼んでおり、ユーザが利用できる認知リソースは有限であると主張している[93]。そのため、コンピュータをはじめとする複雑な道具を使用する際には、道具の使い方やインターフェースそのものの理解に認知リソースが割かれ、目的とする作業に向けられる認知リソースが減少し、作業は止まってしまう。目的の作業に認知リソースを極力費やして作業効率を上げるために、直感的に扱える認知的インターフェースが不可欠であると言える。

そのようなインターフェースを適切にデザインするためには、ユーザがそのインターフェースを実際に利用する際にどのような行動を取っているのかを知り、利用時に発生しうる認知的問題を把握する必要がある。これに向けて、インターフェースを扱う際のユーザの行動

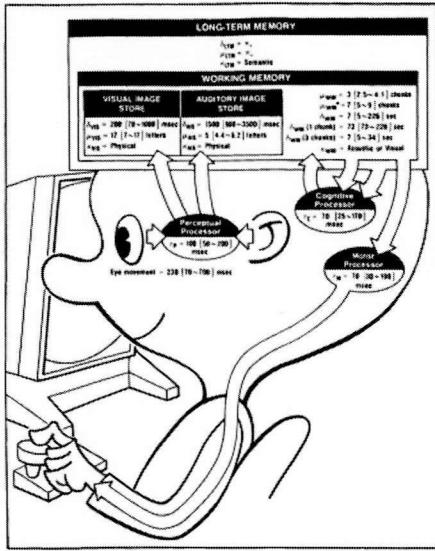


図 2.1: モデルヒューマンプロセッサ [22]

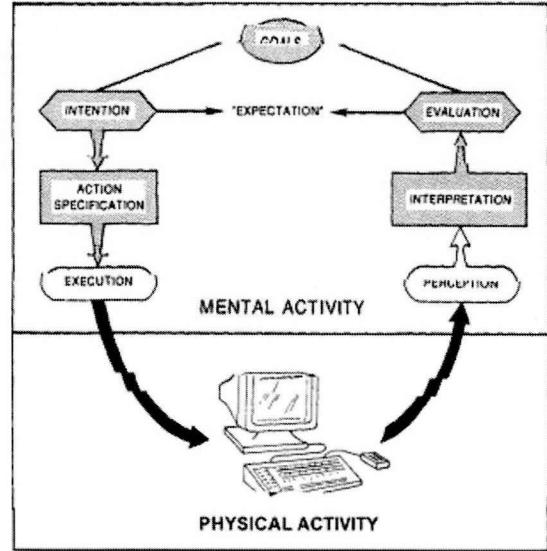


図 2.2: ユーザ行為の7段階モデル [90]

をモデル化して予測しようとする研究が多く行われてきた。

Card らは、図 2.1 に示すような、モデルヒューマンプロセッサと呼ばれるモデルを提案している [22]。このモデルは、人間を情報処理システムと見なしており、視覚や聴覚などの感覚情報が人間に入力され、それが処理されて運動系に対して出力処理がなされるまでの一連の流れを表している。このモデルの画期的な点として、全体のプロセスをステップごとに分けて考え、それぞれの処理時間と処理内容の目安を記述している点が挙げられ、ソフトウェアデザインのガイドライン策定に有用なモデルとなっている。

Rasmussen らは、人の行為をその自動性の程度に応じて技能ベース、規則ベース、知識ベースの 3 段階に階層化したモデルを提案している [104]。技能ベースは意識せず反射的に行われる行動、規則ベースは目的達成のために適当な対処法をルールに当てはめて行われる行動、知識ベースは目的達成の方法を認識し思考することにより行われる行動のことをしており、前者ほどより低次で、直感的な行動である。また、複雑な作業であっても、反復して行うことにより、知識ベースの行動も規則ベースの行動、技能ベースの行動へと移行するとされており、これに伴い認知リソースの消費が少なくなることも明らかになっている [5]。

Norman らは、人とコンピュータとのインタラクションを目標実現のための行動と捉え、図 2.2 に示すような、7 段階からなるサイクリックなモデルを構築している [90]。このモデルでは、その行為におけるゴールの形成がなされると、そのための意図の形成、行為の詳細化、行為の実行を通じて、外界における物理的活動が起こり、その後、この活動に対

する知覚, 解釈, 評価がなされるとしている. このモデルを用いることで, インタフェースにおける問題がどの段階で生じたかを特定し, 適切な対応が可能となる. また Norman らは, 物に備わっている, その物をどう扱うべきかについての手がかりという意味で, アフォーダンスという言葉を定義している<sup>1</sup>[91]. このアフォーダンスの例としては, ドアノブの付いたドアはノブを回せば良いとわかり, ドアノブでなく金属の平板が付いたドアは押せば良いとわかるなどと挙げられ, 適切なアフォーダンスの付与は直感的に扱えるヒューマンインターフェースの構築にも重要であるとされてきた. このアフォーダンスの形成は, ユーザの周囲の事物に関する知識や経験に基づいて行われるとされている[91]. そのため Norman は, 今後のコンピュータは, 多機能だが複雑なシステムを構築していくのではなく, インタフェースの存在が意識されないほど使い慣れた道具をたくさん作ることが必要になると述べている[70].

このように, ヒューマンインターフェースを設計する上で認知的負荷は常に付随する課題となっており, 認知リソースを軽減させるために様々な研究が行われている. ユーザが新たなインターフェースに直面した場合でも少ない反復で技能ベースの行動に移行できるようになる, すなわち, 直感的に扱えるようにするために, ユーザの知識や経験に基づいて認知しやすいよう設計することが重要であると考えられる.

## 2.2 ビューポート制御インターフェース

最近では, 一般的に使われるコンピュータは, キーボードやマウスを用いるデスクトップ型やノート型のものだけでなく, タッチ入力による携帯端末やタブレット型端末なども広く普及している. これらのコンピュータの操作方法はそれぞれ異なるが, 共通して必要とされるインタラクションとして, ディスプレイの表示領域（ビューポート）よりも大きな情報を扱うためのスクロールやズームといったビューポート制御が挙げられる. ビューポート制御は今日の Graphical User Interface (GUI) の中でも基礎的なものと言えるが, ユーザが目的の情報を効率的に得るために, スクロールやズームをうまく切り替えながら, 繰り返し用いる必要がある. これには, 紙面を閲覧する場合に比べ多くの時間や労力を割き[95], ユーザが位置を見失うといった認知的な問題も発生しやすい[21]. 特に, 地図における情報探索はビューポート制御の中でも難しいタスクと言え[23], インタフェース

<sup>1</sup>ただし, これ以前に Gibson によって定義されたアフォーダンス[40]と意味が異なっていたため, Norman は後に「知覚されたアフォーダンス」と再定義している[92].



図 2.3: Overview + Detail (Google Maps)

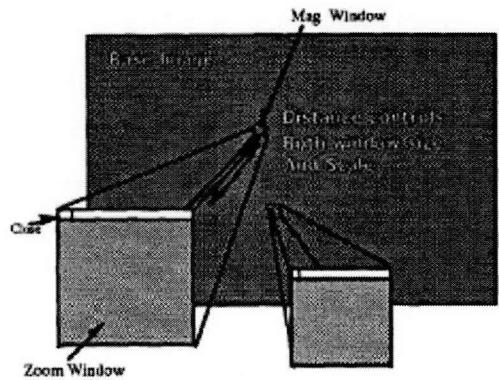


図 2.4: DragMag[127]

スの改善が強く望まれている。本節では、このようなビューポート制御を効率的に行うことの目的としたインターフェースの研究について述べる。

### 2.2.1 可視化手法

ディスプレイの領域に比べて広大な情報を閲覧する際、縮小すると詳細な情報が得られないため、拡大縮小の繰り返し操作が生じ、結果として現在地を見失うなどの問題を生じる。これを解消するためのアプローチとして、画面外の情報を画面内に可視化する手法が数多く検討されている。

最も一般的なものとして、図 2.3 のように、詳細な情報を大きく表示し、その周辺の大局部的な情報を別の領域に小さく表示する手法がある。このような手法は Overview + Detail と呼ばれ [23]、Google Maps<sup>2</sup>などの地図配信サービスにおいて広く用いられている。この手法は、詳細と大局の情報を同時に表示できるが、大局と詳細の領域が離れた場所にあるため、2つの情報を比べてその対応関係を把握する必要がある。

大局を小さく、詳細を大きく表示する Overview + Detail に対して、大局を全体に表示し、拡大図をその中に表示する方法があり、これは Focus + Context と呼ばれている [12, 23]。Focus + Context を用いたインターフェースの一つとして、図 2.4 のように、ユーザーの指定する領域の拡大図を個別に表示する DragMag[127] という手法がある。この手法では、大局の情報と共に複数の場所の詳細な情報を同時に表示することができるが、詳細の領域が大局の一部を隠してしまうことが問題点として挙げられる。

その他にも、魚眼レンズのメタファーを用い、図 2.5 のようにユーザが注目している部分

<sup>2</sup><https://maps.google.com/>



図 2.5: Fisheye views[36]

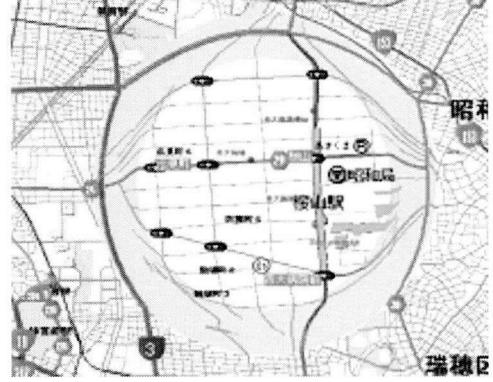


図 2.6: Emma[68]



図 2.7: ドキュメント閲覧での Fisheye views[49]

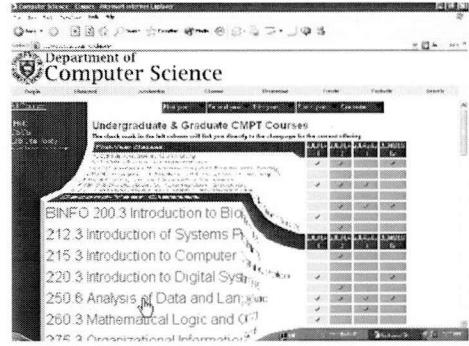


図 2.8: 矩形の Fisheye views[46]

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[36] という手法もある。この手法では詳細と大局の情報を連続的に表示させられるのが利点であるが、その境界部の歪みによりコンテンツの地理的・幾何的な情報は多少失われる。Fisheye views の改善案について検討した例もいくつか見られ、小関らは図 2.6 に示すように、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 [68]。また、図 2.7 のように、ドキュメントの閲覧のために Fisheye lens を 1 次元方向にのみ適用した例 [49] や、図 2.8 のような矩形のレンズを用いた例 [46] もある。また、Pietriga らは図 2.9 に示すように、拡大レンズの透明度をカーソル速度に応じて変化させる Speed-Coupled Blending Lens を提案しており、2 種類の情報探索タスクにおいて、通常の拡大レンズや Fisheye views に比べて高いパフォーマンスであることを示している [102]。

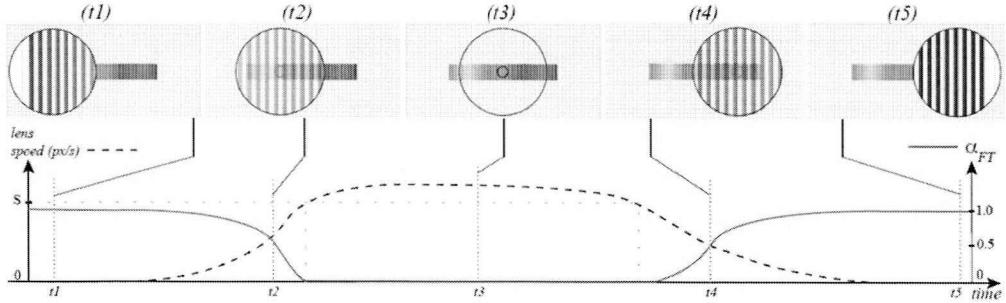


図 2.9: Speed-CoupledBlending Lens[102]

以上の手法に共通する特徴として、詳細と大局の情報を同時に表示できることが挙げられる。しかし、この2つの情報のうち一方に割り当てられる表示領域は小さく、十分な情報が得られないことが多い。また、ユーザはビューポート操作の際、縮尺の異なる2つの情報を同時に見ることを強いられるため、これらの対応関係を確認することによる認知的負荷が大きくなる恐れもある。

一方、Overview + Detail や Focus + Context を用いたインターフェースの有効性について調査する研究も数多くなされている。Hornbæk らは、画面上でエッセイを閲覧した後にその感想を書くというタスクを Fisheye views, Overview + Detail のそれぞれを用いて行ったところ、Fisheye views を用いた場合に最もドキュメントを読むのが速く、Overview + Detail では内容の良い感想文が得られるという結果が得られた [49]。また、大規模なデータベースを閲覧する際に Overview があると、無い場合に比べて情報探索のパフォーマンスが 30~80% 向上したという報告 [94] もある一方で、ノードとリンクからなるトポロジ情報の閲覧タスクにおいて、Overview の有無に関わらずパフォーマンスは変わらないという報告 [88] もある。これらの報告から、可視化インターフェースのパフォーマンスはタスクに大きく依存しており、一般的な見解を得るために評価実験はまだ確立されていないと言える。Pietriga らは、このようなタスクによるパフォーマンスの違いを排除し、単純にユーザにかかる運動負荷のみを測定するための実験タスクの確立を試みている [103]。実験は、格子状に並んだ9つのオブジェクトに含まれる1つのターゲットを獲得するという単純なタスクであるが、ズームイン後に初めてそのオブジェクトがターゲットかどうかを判別でき、ズームアウトすることによって詳細がわからなくなるという状況をシミュレートしている。

Overview + Detail や Focus + Context インタフェースの他に、画面外オブジェクト

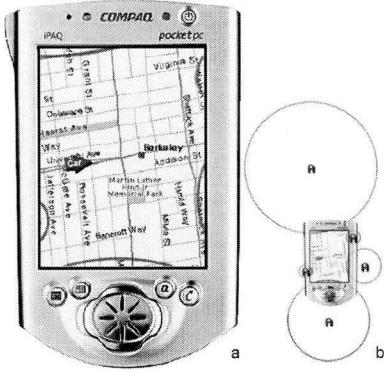


図 2.10: Halo[13]

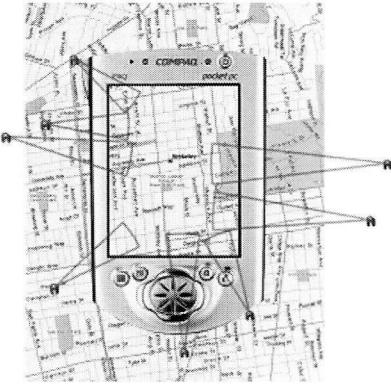


図 2.11: Wedge[45]

を把握することに着目した手法もいくつか検討されている。Baudisch らの提案している Halo[13] は、図 2.10 のように、画面外のオブジェクトの周囲に画面からの距離に応じた半径の円を持ち、ビューポートの端にはその円の一部である弧が架かって見える。ユーザはその弧の位置や形状からオブジェクトまでの方向や距離を見積もることができる。Baudisch らは、矢印によって画面外オブジェクトを提示する手法との比較を 4 種類のナビゲーションタスクからなる評価実験により行い、Halo が高いパフォーマンスを発揮することを示している。Gustafson らは、Haloにおいて画面外に多数のオブジェクトがある場合に、円弧どうしが重なることがあるという問題点を考慮し、図 2.11 のように、画面外のターゲットを頂点とする二等辺三角形を表示する Wedge を提案している[45]。彼らの実施した評価実験では、Wedge が Halo に比べて正確な画面外オブジェクトの見積もりが可能であることが明らかになった。

これらの画面外オブジェクト可視化手法は、ビューポートを移動させずに画面外オブジェクトに関する情報を得ることができ、特にディスプレイの小さなモバイルデバイスでの利用が期待される。しかし、オブジェクトが多数存在している場合には可視性が低下してしまうだけでなく、円弧や三角形などの可視化情報そのものがコンテンツを隠し、ユーザの閲覧の妨げになることも考えられる。また、この手法の性質上、システム側がオブジェクトの位置をあらかじめ関知していなければならず、利用の際にはキーワード検索などとの組み合わせが必要となる。



図 2.12: Footprints Scrollbar[3]

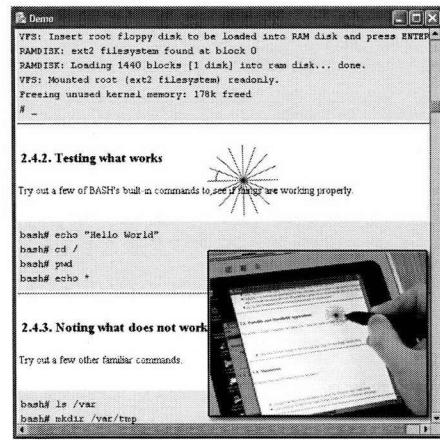


図 2.13: The Radial Scroll Tool[111]

## 2.2.2 スクロール・ズーム手法

ビューポート外の情報にアクセスするために、ビューポートを移動（スクロール）および拡大・縮小（ズーム）させるインタラクション手法に関する研究が数多くなされている。今日の GUIにおいてスクロールは欠かせないインタラクションとなっており、マウスやタッチパッドを用いるようなコンピュータでは、スクロールバーのつまみのドラッグや上下の矢印をクリック、またはマウスに備えられているホイールの回転などにより操作することが一般的である。スクロールバーを拡張する研究もいくつか見られ、スクロールバーのつまみを複数の領域に分割してそれぞれに異なるスクロール速度の機能を与える手法[1]、スクロールバーのつまみ以外の領域をドラッグした場合にラバーバンドのメタファを用いて急激なスクロールを防ぐ手法[75]などがある。他の例として、Alexanderらは、ドキュメント閲覧において一度訪れた場所へ戻って閲覧する“Revisiting”がユーザの操作のうち多くの割合を占めていることを明らかにした[3]上で、ユーザの一度訪れた場所にあたるスクロールバー上の位置に図 2.12 のような印を付け、その場所に戻ることを容易にする Footprint Scrollbar を提案している[4]。

スクロールバーを用いず、図 2.13 のように、カーソルを円形に回転運動させることによりスクロールさせる手法も提案されている[85, 111]。これはスクロール距離が長いほど、手やマウスを置き直すことなく効率的にスクロールできることが利点である。Smithらはペンデバイスを入力とした環境で実験を行い、スクロール距離が短い場合に従来のスクロールバーを用いるより速く正確なスクロールが可能となることを示している。

Halo を利用したスクロール支援手法もいくつか提案されている。Irani らは、Halo とマ

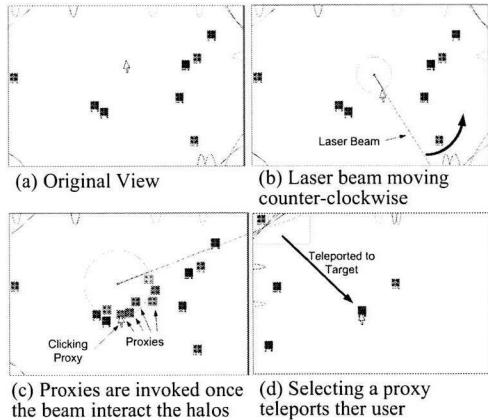


図 2.14: Hop[53]

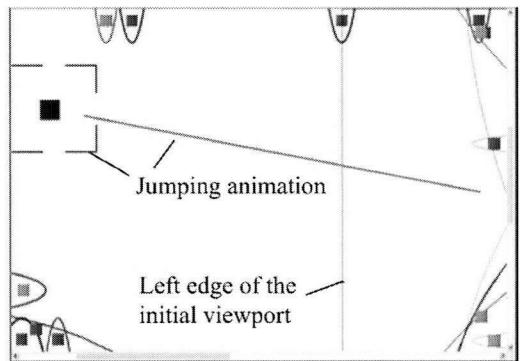


図 2.15: DuH[115]

ウス操作によるプロキシ、そしてテレポートを組み合わせた、地図ナビゲーションのためのスクロール手法 Hop を提案している [53]. 図 2.14 に示すように、初期画面として、画面外オブジェクトが Halo によって画面内に可視化されている状況がユーザに与えられる. ユーザは画面上の任意の点を中心に円を描くようにカーソルを動かしてレーザービームを操作し、画面外のオブジェクトのコピーであるプロキシをカーソル付近に生成する. 次に、カーソル付近に集まったプロキシ群の中から目的地のプロキシをクリックすると、アニメーションとともに目的地へ自動的にスクロールされる. また彼らによって後に提案された Winhop では、別のウインドウに目的地までのスクロールするプレビューが表示されることにより、実際にスクロールする前に行き先を確認できるという改良がなされている [52]. 高嶋らは、Halo とポインティング中のピーク速度を用いたターゲット距離の予測技術 Delphian Desktop[10] を組み合わせた、予測型スクロール手法 DuH を提案している [115]. この手法では、図 2.15 のように、Halo によって推定される画面外オブジェクトへ向けたポインティング中のピーク速度を用いてターゲット距離を予測し、予測地点まで自動的にスクロールする. DuH の評価実験では、ターゲット探索タスクに加え、そのターゲットの位置感覚をどれだけ掴むことができたかを測定する空間把握タスクを行い、DuH が Hop に比べて高いパフォーマンスであることが報告されている. これらの自動的なスクロールを用いた手法では、少ない運動負荷で高速にユーザの目的とする場所へアクセスできることが利点である. しかし、システム側による自動的なスクロールは、現在地がわからなくなるといった認知的な問題を引き起こしやすい.

Perlin らは、ウインドウ内のオブジェクトを選択してその詳細を表示するといった、これまでの一般的な GUI に用いられてきた操作ではなく、スクロールと連続的なズームの

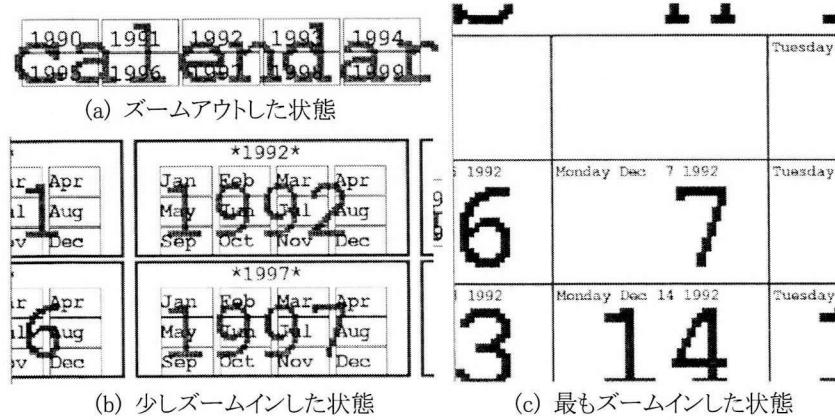


図 2.16: Pad[100]

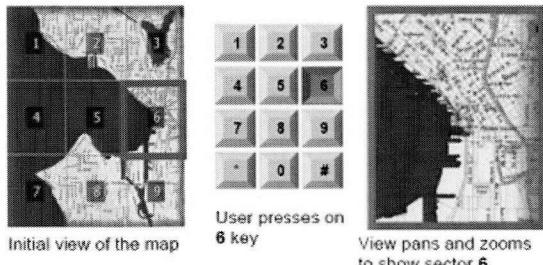


図 2.17: Zone zoom[107]

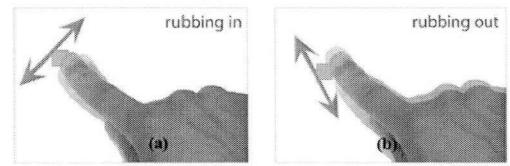


図 2.18: Rub-Pointing[97] のズーム操作

みによって行うという概念を持つインターフェースである Pad を提案している [100]. Pad では、観察したいオブジェクトにズームインしていくと徐々にオブジェクトの詳細が表示され、ズームイン前に見えていた表示はフェードアウトしていく。図 2.16 に、カレンダーの詳細をズームインすることで閲覧する例を示す。この手法は Bederson らによって GUI に適用されており [14]、このような空間内を視点が移動するようにして操作するインターフェースは Zooming User Interface と呼ばれ、現在も研究が進められている。Pad のようなスクロールと連続的なズームは、実世界で人が物体を観察する際の視点の動作に近く、また汎用性の高い操作方法であることから、現在では主に地図や画像、ドキュメントなどを閲覧するための操作として広く用いられている。また、カメラ視点の水平方向の移動であるパンと、鉛直方向の移動であるズームによる操作であることから、Pan & Zoom と呼ばれている [23, 37].

パン操作はカーソルのドラッグ、ズーム操作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、別の方法の検討もなされている。Zone-zoom は、図

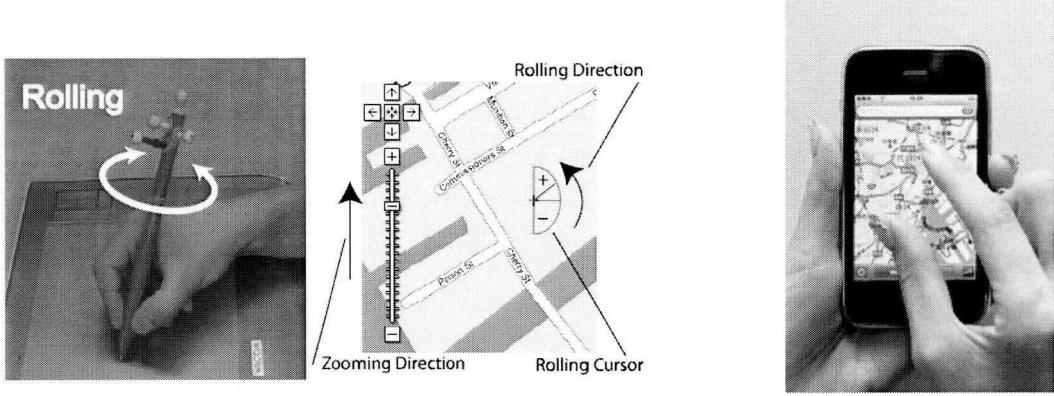


図 2.19: Pen rolling interaction[19]

図 2.20: iPhone におけるピンチイン・ピンチアウトの操作

2.17 に示すように地図を 9 つの領域に格子状に分割し、1-9 のテンキーをそれぞれの領域に対応づけ、1-9 のボタンを on/off することで、対応する領域がズームイン/アウトされる手法である [107]. この手法は携帯電話など、テンキーのみによる入力環境において有用であると考えられる。Olwal らは、主にペンや指による直接指示入力環境におけるインターラクション手法として、画面を斜め方向に小さく擦るジェスチャ入力によってズーム操作をする Rub-Pointing を提案している [97]. 図 2.18 のように、右肩上がりの斜め方向へのジェスチャ (Rubbing in) によりズームイン、右肩下がりの方向へのジェスチャ (Rubbing out) によりズームアウトされる。この入力方法はドラッグによるパン操作と似た動作であるが、競合せずにこの 2 つを用いることができる。

Bi らは、ペンデバイスに複数の位置センサを取り付け、ペンを回転させることによるインターラクション手法を提案している [19]. 彼らは図 2.19 のように、時計回り方向/反時計回り方向の回転それにズームイン/ズームアウトを割り当てるアプリケーションを実装している。マルチタッチ入力の環境では、Apple 社の iPhone<sup>3</sup>に代表されるように、図 2.20 のような 2 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) によってズーム操作をする手法も利用されている。マルチタッチ入力環境が整備されてきた今日では、このピンチ入力によるズーム操作が急速に普及しつつある。これらのズーム支援手法は、スライダバー等の画面上のウィジェットにカーソルを移動させる手間を省き、パンとズームの間の切り替えにかかる負担が軽いという利点がある。特にホイール等の機構を持たないペンや指による直接入力の環境において、これは大きな利点であると言える。

<sup>3</sup><http://www.apple.com/jp/iphone/>

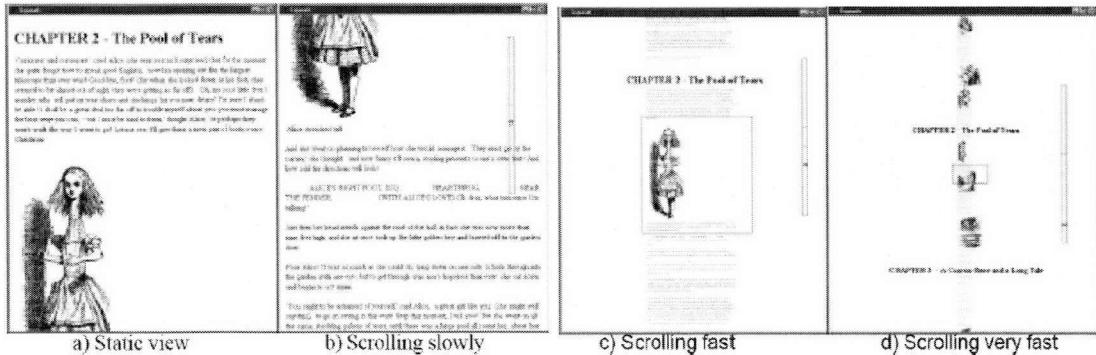


図 2.21: Speed-dependent Automatic Zooming[51]

現在はスクロールとズームの2種類の操作によるビューポート制御が一般的な方法となっているが、スクロールとズームを連動させて同時に扱うことにより、操作の簡単化などのパフォーマンスの向上を図る手法もいくつか検討されている。

Igarashi らは、スクロール速度に応じてズームを連動させるインタラクション手法 Speed-dependent Automatic Zooming (SDAZ) を提案している [51]. 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になることを防ぐとともに、大局を把握しやすいビューポートを得ることができる。Igarashi らはこの手法をドキュメント、地図、画像ビューアなどに適用し、手動でパンとズームを操作する手法と比較する評価実験によりこれらの有用性を示している。図 2.21 に、SDAZ を画像ビューアに適用した例を示す。SDAZ はドキュメントや地図だけでなく地球ビューアの閲覧など、さまざまなタスクにより他の手法との比較がなされており、そのほとんどにおいて、SDAZ が優位であることが報告されている [24, 110]。しかし、携帯端末などの小さなディスプレイ環境では、地図を閲覧する際に現在地を見失うことが多いという報告もある [59]。また、SDAZ を改善する研究や、機能を拡張する研究もある。Partala は、カーナビの道路地図などの、ユーザの進行方向を考慮する必要がある場合に、自動的なズームに加えて地図の回転も連動させ、常に進行方向が上向きの地図を得ることができる手法を提案している [99]。

Wijk らは、既知の2点間を移動する際、図 2.22 のようにズームアウト、パン、ズームインを順に連動させることにより、滑らかなパンおよびズームのアニメーションを可能にするアルゴリズムを提案している [124, 125]。彼らはユーザスタディを通して、アルゴリズムのパラメータであるアニメーション速度とパン/ズームを組み合わせる割合の2つにつ

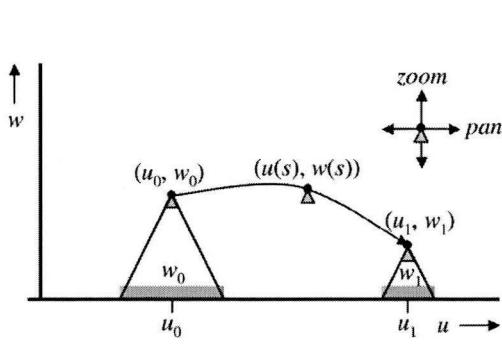


図 2.22: Wijk らによるパン・ズーム連動の視点移動 [124, 125]

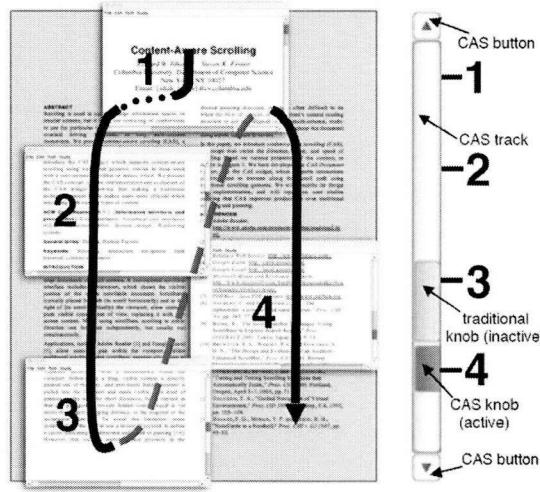


図 2.23: Content-aware scrolling[54]

いて検討している、これにより、より滑らかなアニメーションをユーザに提示することが可能になるが、アルゴリズムの性質上、移動先である終点を指定した後でないとカメラの軌跡が決定されないため、現在一般的に用いられている Pan & Zoom などの手法にリアルタイムに適用することは困難である。

この他にも、用途に合わせたスクロールとズームの連動手法がいくつか提案されている。Appert らは、1 次元方向のドキュメントスクロールに関して、カーソルを水平方向に動かすとズームし、画面上下方向に動かすことでスクロールする OrthoZoom を提案している。この手法はカーソルを斜め方向に動かすことによりスクロールとズームを容易に連動させることができ、単純なターゲット獲得タスクでは SDAZ より高速になると報告されている [7]。Ishak らは、システム側がドキュメントのレイアウトなどを考慮し、スクロール方向やズームレベルを自動的に制御する Content-aware scrolling を提案している [54]。これにより、2 カラムのレイアウトになっているドキュメントの閲覧などの際に、ユーザは 1 次元方向のスクロールをする操作をするだけで、自動的にカラムのサイズに応じたズームレベルに変更され、図 2.23 のような閲覧し易いビューポートを得ることができる。

Moscovich らは、ノードとリンクから構成される大規模なトポロジ情報内を探索するためのインタラクション手法として、図 2.24 のように、画面中心に固定されたカーソルがリンク上を滑っていくような動きをする Link Sliding と、図 2.25 のように、注目しているノードに隣接するノードを画面内に可視化し、ユーザが可視化されたノードをクリックすることで自動的に実際のノードの場所までスクロールする Bring & Go の 2 手法を提案し

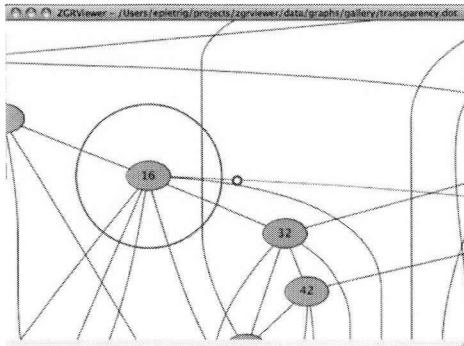


図 2.24: Link Sliding[84]

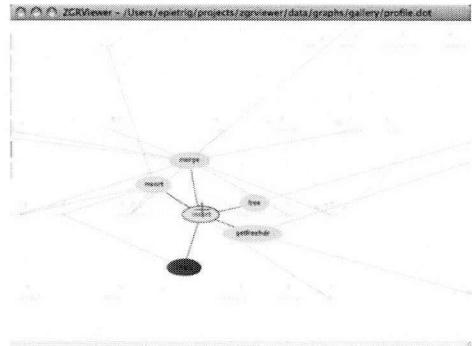


図 2.25: Bring &amp; Go[84]

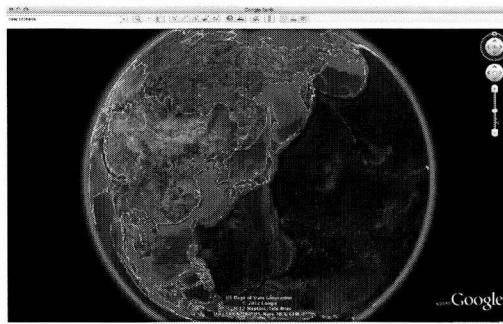


図 2.26: Google Earth

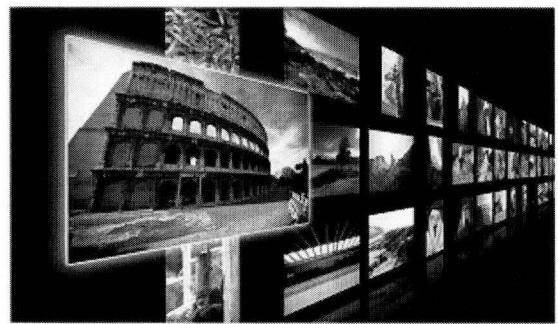


図 2.27: Cooliris

ている[84]. ノード間のスクロールの際には、その距離に応じてズームアウトが自動的に連動される. Moscovich らは3種類のナビゲーションタスクからなる評価実験を実施し, Pan & Zoom や Overview + Detail を用いたビューポート制御に比べてこれらの2手法が高いパフォーマンスであることを示している.

以上のような多くの研究例から、スクロールとズームを連動させることで、画面外の情報への到達が効率化されることがわかる. しかし、スクロールとズームをどのようにして連動させるかについてはそれぞれの研究で大きく異なっており、タスクによっては現在地がわからなくなるなどの認知的負荷の増大を招く例もある. したがって、扱うコンテンツや想定するタスク、さらにはユーザの意図に応じた連動の方法を適切に用いる必要がある.

### 2.2.3 カメラ操作手法

地図やドキュメントなどの2次元のコンテンツでは、あくまでそれ自体を移動させたり、拡大・縮小させたりするというインタラクションについて検討されることが主流であった.しかし最近では、3次元仮想環境内においてよく考えられているような、仮想的なカメラ

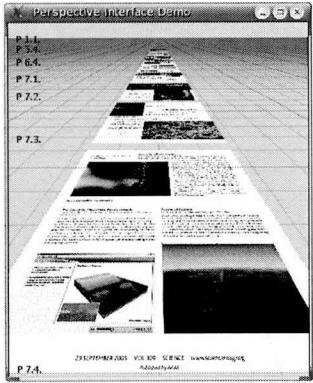


図 2.28: Perspective Viewing

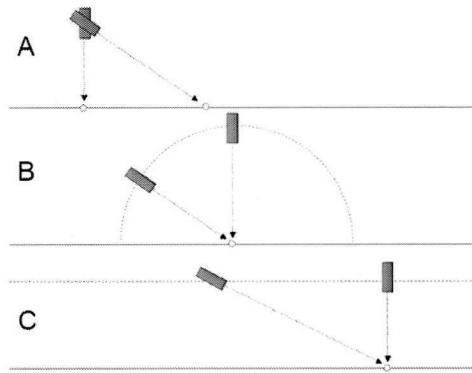


図 2.29: 3 種類のチルト方法

視点の考え方を、2次元のビューポート制御に用いる手法も検討されつつある。一般的なカーナビゲーションシステムにおいては、少しカメラ視点を傾けたような鳥瞰視点が導入されている。Web 上で利用可能なサービスでも、図 2.26 に示すような、地球をあらゆる視点から閲覧できる Google Earth<sup>4</sup>や、図 2.27 に示すような、画像や映像の一覧を3次元空間内のウォークスルーによって閲覧する Cooliris<sup>5</sup>などがある。

こうしたカメラ操作手法は、一般的なコンピュータ上で3次元的な描画が容易になる以前から考えられている。Rekimoto らは、表示面積の小さなモバイルデバイスでの地図閲覧において、ユーザの向かいたい場所を含むできるだけ多くの領域をビューポートに収める手段として、カメラ視点の傾きであるチルトを導入している [106]。ユーザが向かいたい方向のボタンを押すと、その方角が見えるようにカメラが傾き、ボタンを離すとチルトが元に戻りながら、傾いていた方向に移動するというカメラ視点となる。

Guizard らは、ドキュメントのナビゲーションにおいてパン、ズーム、カメラの上下の傾きであるチルトを制御可能な Perspective Viewing を提案している [42, 43]。図 2.28 に示すように、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となる。彼らは、図 2.29 に示す3種類のチルトについて検討している。図中の A は、目的の場所を見るために最もシンプルな動きで、“panoramic rotation”と呼んでいる。B は “lunar rotation” と呼び、現在表示している領域を画面内に残したまま、ユーザの見たい領域を新たにビューポートに入れられるという利点がある。C は “trans-rotation” と呼び、注視点を固定したまま、カメラの高度を保って移動できる有用な方法であると述べている。チルトを用いることで、より多様な場面での利用に対応する

<sup>4</sup><http://earth.google.co.jp/>

<sup>5</sup><http://www.cooliris.com/>

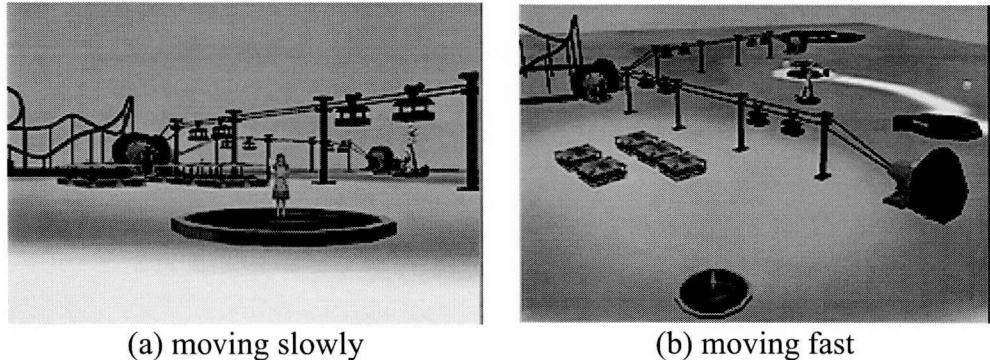


図 2.30: Speed-coupled Flying with Orbiting[116]

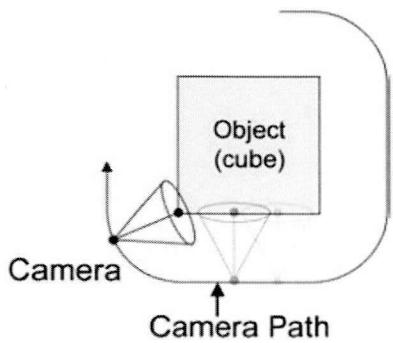


図 2.31: Hovercam[64] のカメラ動作

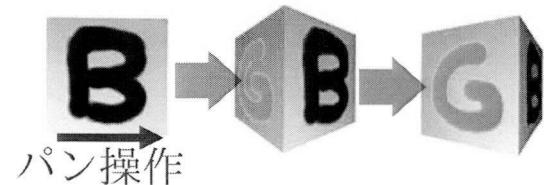


図 2.32: Hovercam[64] のビューポート遷移

ことが期待できるが、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、パン、ズーム、チルトの操作の切り替えが煩雑になることが問題として指摘できる。

3次元仮想環境においてはカメラ操作に関する研究が多くなされており、参考にできる部分は多い。Tan らは、SDAZ のコンセプトを3次元仮想環境内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[116]。この手法では図 2.30 に示すように、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球面上をカメラが移動する。高速な移動の際に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。この手法は、ターゲットキューブを探索し、キューブを決められた場所に運ぶというタスクの比較実験においてその有効性が示されている。Khan らは、3次元オブジェクトの表面を観察する際に、図 2.31 のようにカメラのパン、ズーム、注視点を中心とした球面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

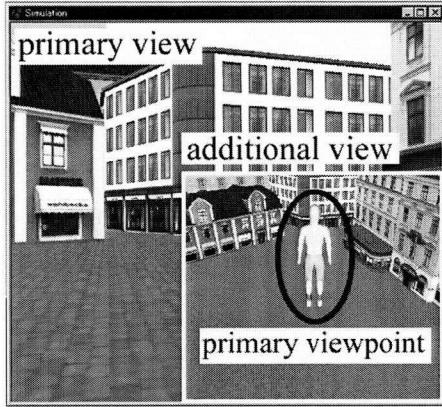


図 2.33: 座標系対連動法 [35]

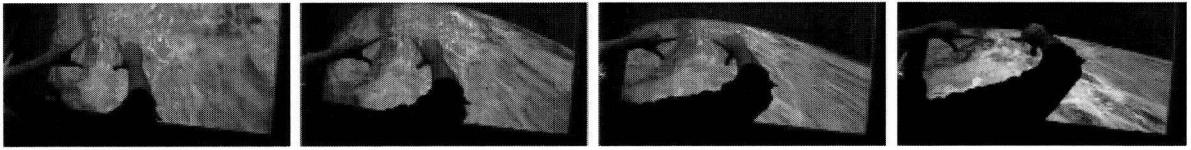


図 2.34: 複数の入力点による直接操作の例 [105]

図 2.32 に示すような、オブジェクトからの距離を一定に保つビューポートが得られる手法 HoverCam を提案している [64]. 彼らの実施したユーザスタディでは、操作の切り替えが少ないことが参加者に好まれたことが報告されている. Fukatsu らは図 2.33 に示すように、3 次元仮想環境内において、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が可能な座標系対連動法を提案している [35]. この手法はユーザが所望の場所を見るという行為そのものによって大局的なカメラ視点が動くため、意識することなく大局的な情報を得られるのが利点である.

Reisman らは、マルチタッチ入力の環境において、図 2.34 のように、複数本の指で 3 次元オブジェクトを直接操作するための枠組みを提案している [105]. 3 次元オブジェクト上で複数本の指を動かすと、各入力点とそれに対応するオブジェクト位置とのずれの和が最も小さくなるようにオブジェクトが動作する. これによって、3 本以上の入力点があっても、ユーザに違和感の少ない移動、拡大/縮小、回転といったインタラクションを可能としている. また、カメラ視点や入力点に関する制約を設けることで、特定の目的に特化したアプリケーションを構築でき、その例として、カメラ視点から地球の中心までの距離が変化することを禁止した場合、容易に地球ビューアに適したカメラ動作となることなどを挙げている.

このように、チルトをはじめとする3次元的なカメラ視点操作を組み合わせることで、より自由度の高いビューポートをユーザへ提示可能になる。ただし、操作を3次元に拡張することでカメラ視点の自由度は飛躍的に上がるため、ユーザが混乱を招かないためにはそれらをうまく連動させるための制約条件が必須となる。

#### 2.2.4 まとめ

これまでに述べたように、ビューポートを制御するインターフェースは様々なアプローチから研究がなされており、多くの可視化手法やスクロール・ズーム手法が検討されている。その中で、コンテンツを上空から俯瞰するカメラの3次元的な操作としてビューポート制御を捉えている手法が多い。これは、より自由な視点での情報提示を可能にする反面、操作の切り替えを頻発させ、ユーザにかかる運動負荷を増大させてしまう。

これを解決するため、ユーザの入力に応じて複数のカメラ操作を連動させる手法について検討されることが多くなってきており、地図やドキュメントをはじめとし、様々な用途に向けた手法が提案されている[51, 59, 124, 125]。しかし、地図などのコンテンツを閲覧する場合、単純なパンとズームの連動では現在地を見失いやすくなる[59]など、ユーザの意図しない挙動が操作を阻害するという認知的な問題を生じる例も見られる。このため、操作の簡単化だけでなく、ユーザにかかる認知的負荷も考慮した上で、ユーザに提示するビューポートを制御する必要がある。

### 2.3 触覚提示を用いたインターフェース

日常生活において、触覚情報の果たす役割は大きい。物の感触や大きさ、形を識別する役割だけでなく、その触感に伴う快感、楽しさ、驚きなど、感性を左右する要素も併せ持つ[57]。人間の感覚は、一般的には五感と呼ばれているが、学術的には以下のように分類されることが多い。

1. 特殊感覚（視覚、聴覚、味覚、嗅覚、平衡感覚）
2. 体性感覚
  - 皮膚感覚（触圧覚、温度覚、痛覚）
  - 深部感覚（力覚、振動覚、深部痛覚）



図 2.35: SPIDAR[48]



図 2.36: PHANToM[74]

一般的に触覚と呼ばれている感覚は学術的には体性感覚に分類され、皮膚に分布している受容器が受け取る感覚である皮膚感覚と、筋肉や関節にかかる感覚である深部感覚とが複雑に合わさったものである。この触覚は、視覚などに比べて空間分解能が低く、単位時間あたりに伝達可能な情報量は少ないものの、時間分解能が非常に高いという特徴を持つ[2]ため、提示される情報を瞬時に知覚することができる。

このような触覚を情報技術により再現・共有しようとする研究が近年多くなされてきており、入力デバイスを操作する際の触覚フィードバックや、遠隔作業、さらにはエンタテインメントを目的としたシステムの検討がなされている。また、振動モータ等を利用して、個人ユーザ向けに何らかの情報を提示する研究も行われている。振動による情報提示システムは実装が容易であることや、ユーザが対象に触れているだけで情報を知覚できることなどが利点として挙げられ、現在では警告やナビゲーションなどの用途で用いられている。本節では、このような触覚の再現と共有に関する研究や、振動触覚を用いた情報提示に関する研究について述べる。

### 2.3.1 触覚の再現・共有手法

情報技術を用いた触覚の再現として、まずコンピュータへ情報を入力する際の視覚フィードバックを補う役割である、触覚フィードバックの研究が多くなされた。その代表例である SPIDAR は、図 2.35 に示すように、複数本の糸に接続されたボールを動かすことによって 3 次元的な情報の入力を可能にし、その際に深部感覚の 1 つである力覚を提示する

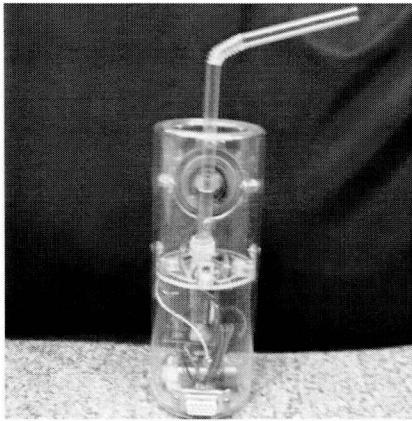


図 2.37: Straw-like user interface[47]

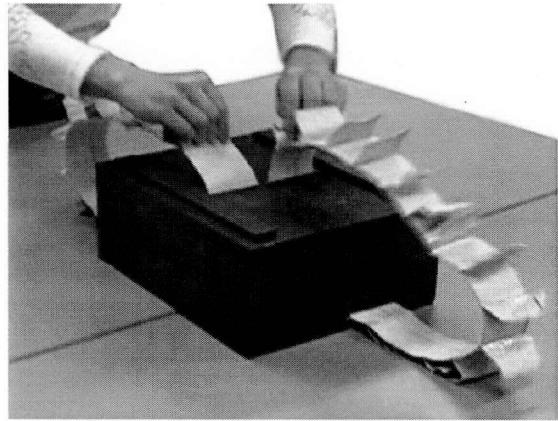


図 2.38: Tearable[73]

装置である[48]. 様々な角度に張り巡らされた糸をモータで引くことで、任意の方向に任意の強度の力覚を提示できる. これは、仮想空間内の物体を手で操作する際に、物体との衝突を知覚させたり物体の重さを感じさせたりすることに応用できる. PHANToMは、図2.36に示すようなペン型の力覚提示デバイスである[74]. 装置全体は土台と、そこから伸びるアーム、そしてアームの先端にペン型デバイスが付随した構成になっており、ユーザはペンを持ったまま腕を動かすように操作する. 装置はペンの動きやすさを制御したり振動を提示したりでき、ペンを持ったユーザに対して様々な触覚情報を、ペン先の位置に応じて変化させながら提示できる. 仮想物体をペン先で触れるような体験を提供でき、仮想物体の表面の違いからくる固有の触覚を再現することも試みられている.

近年では、細やかな皮膚感覚の再現や共有を目指す研究も多くなっている. Kajimotoらは、指先の表面に摩擦の感覚を提示するシステムを提案している[60]. ユーザがデバイスに指を置いて平らな面上を滑らせると、光センサと圧力センサにより摩擦の大きさを決定し、電極から電気刺激を与えることにより摩擦感覚を与えていた. 昆陽らは、ロボットによる遠隔手術や極限作業などの環境において、ロボットが触れている物体表面の粗さ、硬さ、摩擦などの複数の触感因子を計測し、それをほぼリアルタイムに遠隔地にいるユーザの指先に再現できるシステムを構築している[67]. このように、触覚の再現は、非常に微細な感覚が求められる場面に利用できるまでに進歩している.

また、エンタテインメントを主目的とする触覚の再現システムも多く検討されている. Hashimotoらの Straw-like user interface[47] は、口唇を触覚センサと捉え、吸い込むという行為に着目し、ストローを介した口唇への吸飲感覚を提示する装置である. ソレノイ

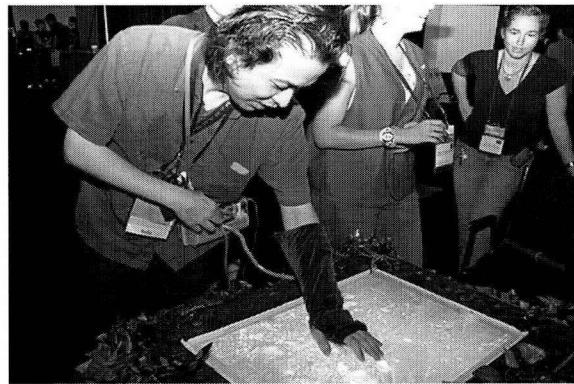


図 2.39: Ants in the Pants[109]

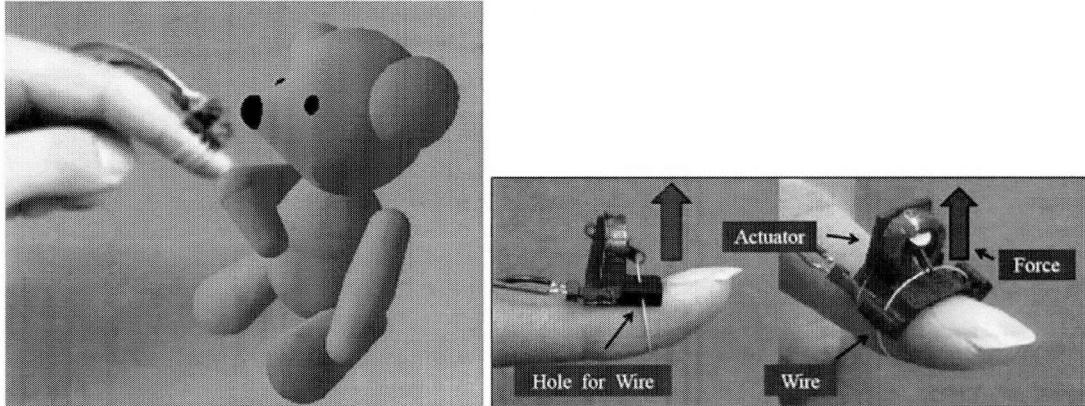


図 2.40: Haptic Ring[6]

ドモータやサーボモータを用いてストロー内の圧力を制御し、小型スピーカを用いてストローへ振動を与えることによって、吸飲感覚の提示を実現している。Maekawa らは、図 2.38 のようなマジックテープを用いて紙やダンボールなどを破るときの振動を提示する Tearable [73] を試作している。マジックテープに DC モータを取り付け、モータの回転数や回転方向を制御することにより、マジックテープの抵抗を調節し、破る強さを変更させることで、ユーザは様々な素材を破る感覚を体感できる。

さらに、触覚に映像と組み合わせたシステムもいくつか提案されている。図 2.39 に示す Sato らの Ants in the Pants [109] では、グローブ内に取り付けたテグスとモータを利用し、蟻が腕を這う感覚を提示している。グローブ内には加速度センサも取り付けられており、腕の上下方向を検知し、蟻の 2 次元的な移動を表現するようにモータが駆動する。

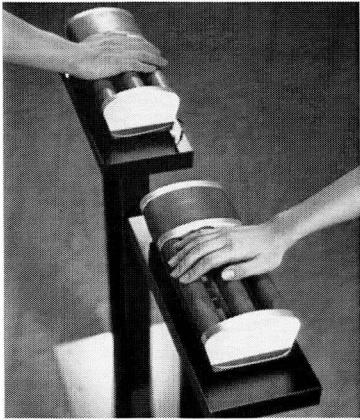


図 2.41: inTouch[20]

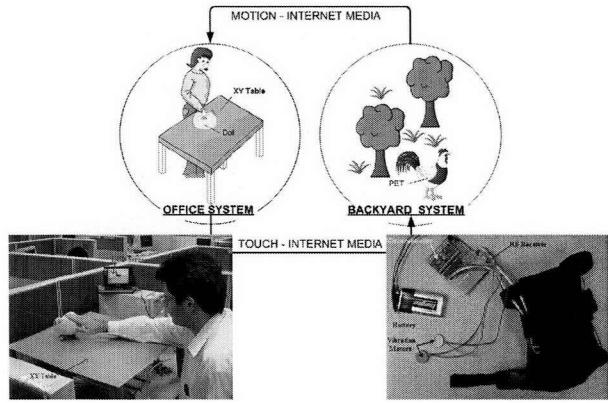


図 2.42: Touchy.Internet[71]

映像はプロジェクタから投影され、赤外線カメラによりユーザの手の位置を検出し、その手の位置に蟻が集まるような映像を表示する。また、ユーザが蟻を振り払うように腕を動かすと、加速度センサによってその動きを検知し、蟻が地面に落ちていく映像を表示する。また、青木らは、図 2.40 のようにディスプレイ上に表示された CG の小熊と触れ合える Haptic Ring [6] を提案している。ユーザは装置を指先に装着し、装置内の電磁石サーボにより指先に回したワイヤの長さを調節することで触覚を提示する。手の位置は赤外線により検出され、手の位置に応じてディスプレイ内の小熊に触れたり、撫でたり、つついたりすることができ、さらに小熊がそれぞれの動作に対して反応を返すことで、実空間と CG の融合環境を作り出している。これらの研究は、映像と触覚を組み合わせ、より楽しく臨場感のある体験を提供している。

一方で、相手の存在や行動、状態に関するアウェアネス情報を共有する遠隔コミュニケーションを目的として、触覚情報を共有するシステムも数多く検討されている。Brave らの inTouch [20] は、図 2.41 のように 3 本の円筒状のローラがベースに埋め込まれた形状の装置であり、このローラに触れたり回したりすると、遠隔地にある同様の装置の対応するローラがその動きを正確に伝える。Ping らの Touchy.Internet [71] は、図 2.42 のように人形を介して離れた場所にいる本物の動物に触れることや、動物の動きをリアルタイムに感じることができるシステムである。ユーザがニワトリを模した人形を撫でると、人形内に仕込まれたタッチセンサにより、その情報が取得される。離れた場所にいる本物のニワトリは小型の振動モータの取付けられたジャケットを装着しており、ユーザがニワトリを撫でた情報がニワトリへと伝えられると、ユーザに撫でられた部位と同じ箇所に仕込ま



図 2.43: 文字情報を提示する椅子 [129]

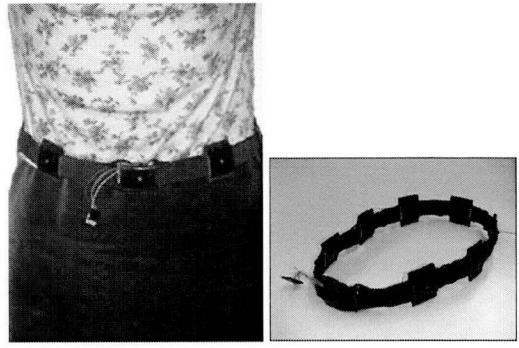


図 2.44: ActiveBelt[122]

れたモータが同期して振動する。同様に, Teh らの Huggy Pajama [118] は, 抱きしめる感触を遠隔地間で伝達し, 親子のコミュニケーションを促すシステムである。ジャケットの内側に付けられたエアバックが膨らみ, モータが振動することで抱きしめ合う感触を与える。

このように, 我々の日常生活における触覚感覚は, 深部感覚と皮膚感覚の両方において様々な方法により再現が試みられており, 正確な再現が可能となりつつある。また, 触覚は視聴覚では表現しがたい独特の印象を与えられるため, エンタテインメントや遠隔コミュニケーションなどの用途でも広く検討されている。

### 2.3.2 振動触覚による情報提示手法

コンピュータによる情報提示のモダリティの1つとして, 携帯電話やゲーム機のコントローラにおけるバイブルーションのように, 振動を用いて情報を提示するものが存在する。振動を用いた情報提示は実装が容易であり, 多くの場合, 生活空間における様々な物体に振動モータを取り付けるだけで導入可能である。また, ユーザはその対象に触れているだけで知覚可能であり, 情報が提示されること自体に注意を払わなくとも認識できるため, 危険の警告や, 歩行中の情報提示などに用いられることが多い。

携帯電話などの振動モータにより提示される情報は単なるオン・オフの2値であるが, 複数の振動モータを用いて, 作動させる振動モータの組み合わせを変えることで, 提示できる情報の種類が増えるため, 応用範囲が広がる。Yanagida らは, 図 2.43 のように椅子の背もたれに  $3 \times 3$  個の振動モータを配置し, 作動させる振動モータの組み合わせによ

り、背中に対して低解像度での文字情報の提示を行っている [129]. 矢野らは、全身に計12個の振動モータを配置し、その振動によって没入型ディスプレイの中を歩行する際に障害物に触れたことを感じさせ、仮想空間での接触情報を提示している [132]. 丹羽らは、医療現場などにおける警告を目的とし、上腕において複数のボイスコイル型振動モータを仮想運動させることにより刺激点が移動しているような感覚を提示するデバイスを作成している [89]. この研究では、4個の振動モータを用いた仮想運動の提示により、刺激点の回転方向と、3段階の回転速度を90%以上の精度で判別可能であることを示している。

Rupertは、パイロットが着用するベストに振動モータを縫い込み、空中での重力方向を認識させている [108]. 同様に、Erpらは、複数の振動モータを装着することで、上昇、下降等の飛行機の状態を提示するシステムを提案している [123]. これらの研究のように、振動触覚を利用した情報提示は、ユーザの視線方向に影響される視覚ディスプレイとは異なり、ユーザの活動を阻害しにくいため、視聴覚による情報提示が不得手とする訓練などの場面において利用されている。

さらに、個人のみへの情報提示ができる利用し、ナビゲーションに応用した研究もいくつか挙げられる. Tsukadaらは、図2.44のようにベルト上8方位に等間隔に埋め込んだ振動モータと地磁気センサ、GPSを利用し、目的地を設定すると、その方向に応じた振動を提示することで、歩行ナビゲーションを行っている [122]. 同様に、Piateskiらは、前腕と背部に格子状に取り付けられた振動モータを利用してナビゲーションを行っている [101]. このように、振動を用いて何らかの情報を提示する研究は多く検討されているものの、その多くは複数個の振動モータを用いて方向や回転運動などの単純な情報を表現するに留まっている. このため、多くのパターンの情報を提示したり、心地良さや危険さといった多様な印象を与えたりすることはできない。

### 2.3.3 まとめ

以上で述べたように、我々の生活に深く関わる触覚を再現するために多くの研究がなされており、最近では非常に微細な感覚まで再現できるようになっている. また、楽しさや心地良さといった、視聴覚では表現しがたい多様な印象を与えられるため、エンタテインメントなどの用途での検討も見られる. 一方で、振動触覚を用いた情報提示は、振動モータ等によって生成された2値情報を用いるものが多いため、ユーザに多くのパターンの情報を提示したり、楽しさや心地良さなどの多様な印象を与えることは難しい. 我々が普段

感じている振動触覚を再現し、これを情報提示に利用すれば、情報の細かな差異や多様な印象を伝達することが可能になり、本来五感では知覚できない情報や認識しづらい情報でも、直感的に把握されるのではないかと考えられる。

## 2.4 複数人ユーザへの情報提示手法とコミュニケーション支援技術

最近では大型の液晶ディスプレイやプロジェクタの低価格化・高解像度化により、会議室、美術館、ショッピングモールなどといった場所に、複数人への情報提示を行うディスプレイが配置されることも少なくない。センサとの組み合わせにより、ユーザの位置などに合わせてインタラクティブに表示が変わるものや、ユーザに意識させずにさり気ない提示を行うものなど、様々な方法による情報提示が検討されている。

このような複数人への情報提示の用途としては、人の誘導や協調作業支援など様々なものが挙げられるが、その中でも、情報提示が強く必要とされる場面の代表例として、コミュニケーション支援が挙げられる。コミュニケーションは人の社会活動において不可欠であるため、これを円滑化することを目指して様々なアプローチから研究がなされている。例えば、社会心理学の分野においては、古くから話者の心理や非言語情報に着目して会話を解析する研究がなされてきた。近年は情報科学の分野において、センサを用いて会話の状況を認識し、参加者に何らかの刺激を与えてコミュニケーション活性化を目指す研究が増えている。このようなコミュニケーション支援のための情報提示は、単にユーザへ情報を伝達するという低次なものとは異なり、提示した情報が自然な会話の中で利用されることや、提示することでユーザ間のインタラクションを変化させることを目指すという高次なものである。しかも、会話の目的や人数に応じて会話構造は大きく変わるため、多くの会話構造に対応できる情報提示手法を考慮することは非常に難しいと言える。本節では、まず公共空間における情報提示について全般的に述べた後、コミュニケーション支援に関する研究について述べる。

### 2.4.1 複数人ユーザへの情報提示手法

最近では、街中のデジタルサイネージやオフィスにおける大型スクリーンなどにより、複数人へ向けて何らかの情報提示を行う光景がよく見られる。これらは、人の誘導や協調

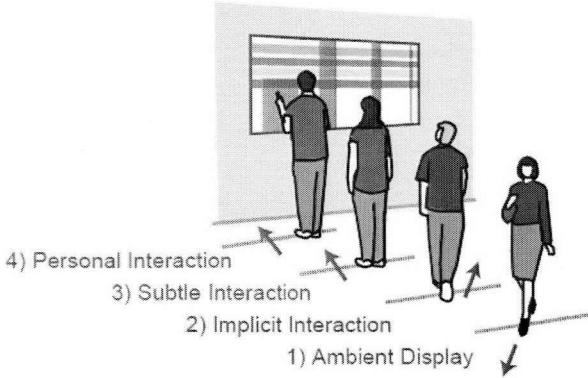


図 2.45: ユーザの距離に応じたインタラクション 図 2.46: 円柱型のパブリックディスプレイの変化 [126] イ [18]



作業支援、エンタテインメントを目的として用いられることが多い。

デジタルサイネージは近年急速に普及しており、実際の環境で用いることを想定した研究が多くなされている。例えば、観光地における行き先を写真や地図とのインタラクションにより議論できるシステム [8] や、大型商業施設におけるルートプランニングを可能にするシステム [29] など、多岐に渡り検討されている。

一方で、パブリックディスプレイとのユーザとの関係性について考慮している研究もいくつか見られる。Vogel らは、図 2.45 に示すように、ディスプレイとの距離に応じてユーザとディスプレイとの関わり方が変化していくと仮定し、この距離に合わせてシームレスにインタラクション方法を変化させるパブリックディスプレイのプロトタイプを構築している [126]。近距離ではタッチやジェスチャによる明示的なインタラクションを可能とし、離れるにつれて体の向きなどを用いた暗示的な情報提示に留めておくことで、どの位置にいるユーザに対しても自然なインタラクションが取れるようになると主張している。

また、液晶ディスプレイやスクリーンがユーザと相対する一般的なものとは異なる形での情報提示を試みている研究も見られる。Beyer らは図 2.46 に示すような円柱型のパブリックディスプレイを構築し、ユーザとのインタラクションについて観察した結果、通常の平面型のディスプレイに比べユーザが歩行にかける時間が長くなり、標準の立ち位置が無くなるなどの効果が見られたことを報告している [18]。床面をディスプレイとして利用している研究も見られ、Gronbaek らが提案する iGame Floor では、床下を 3m 堀り込み、図 2.47 に示すように、床下からプロジェクタで映像を投影するディスプレイ環境を構築している [41]。このディスプレイの応用例である Stepstone[56] は、図 2.48 に示すように、海を模した画像上に選択肢が描かれたパネルがあり、選択肢を足で選択するクイズ形式の

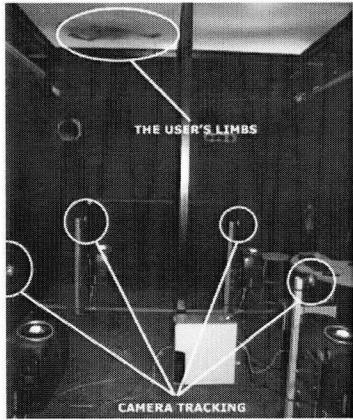


図 2.47: iGame Floor[41] の実装



図 2.48: Stepstone[56]

アプリケーションである。各参加者の立ち位置によって各選択肢の押しやすさが異なるため、参加者同士に協力関係や敵対関係が生まれるものとなっている。他にも児島らは床面をディスプレイとして用い、ダンスや演劇といった複数人の移動が発生する場面において、各人に同時に立ち位置の誘導を行うシステムを提案している[66]。このように、床のディスプレイを用いることで、ユーザの立ち位置の直下に情報が出るため、複数人ユーザの立ち位置を利用した情報提示が可能となる。

さらに、部屋型のアンビエント情報提示空間もいくつか検討されている。Ishii らの提案する ambientROOM は、情報に直接触れることを可能にするという概念である Tangible bits の実現例として構築された部屋型空間であり、部屋に存在する時計やボトルといった物体を、何らかの入出力デバイスとして用いている[55]。Philips Research では、Ambient Intelligence の考え方に基づき、部屋全体をシステムとしたアンビエントインターフェースが検討されている[27]。天井に埋め込まれたカメラやマイクがユーザの行動を認識するリビングルーム型のシステム HomeLab や、雰囲気を作るための照明制御についての研究がなされている。Ziefle らは、自宅における健康管理を目的としたアンビエント情報環境 eHealth というコンセプトを提案している[131]。リビングルーム型の環境に埋め込まれた様々なセンサやディスプレイが、ユーザのプロフィールや症状に応じてシステムが支援するというもので、一人暮らしの老人のための遠隔診断や容態変化の検知へ用いられることが期待される。このように、様々な形態のディスプレイ環境におけるユーザとのインタラクションが検討されており、特にアンビエント情報社会の考え方に基づいたさり気ないセンシングや情報提示は、コンピュータが生活空間に溶け込む情報環境で用いられることが期待される。

されている。

## 2.4.2 コミュニケーション支援技術

### 2.4.2.1 会話中における人の非言語行動の取得や解析

日常生活において、人々は様々な目的でコミュニケーションを取っている。日常的な他者との雑談や意見交換などの会話では、たいてい我々は言語の発声による言語情報と、ジェスチャなどの非言語情報を駆使しながらコミュニケーションを取っている。このような人と人との直接的なコミュニケーションを指す用語として、社会心理学の分野では対人コミュニケーションという言葉が用いられている[26]。

対人コミュニケーションにおいて、まず注目されるのは、自分自身や会話相手が発する言語情報であるが、それ以外にも、顔の表情、声の調子、ジェスチャ、姿勢など多様な非言語情報の交換が行われており、それらがコミュニケーションに大きく影響を及ぼしている。Mehrabianは、対人コミュニケーションにおいて、相手から伝達されるメッセージ全体の印象を100%とした場合に、言語内容の占める割合は7%しかなく、音声と音質の占める割合が38%，表情としぐさの占める割合が55%であるという調査結果を報告している[82]。また、大坊はこれらの言語情報・非言語情報のチャネルについて、図2.49のように分類している[25]。この図から、対人コミュニケーションにおいては、言語情報以外に、非言語的なチャネルにより成立する部分が多いことがわかる。そのため、社会心理学の分野では、言語・非言語情報の両面から研究がなされてきた。

情報科学におけるヒューマン情報処理などの分野では、非言語情報をセンシングすることにより、会話状況の把握やモデル化を目指す研究が盛んになされている。なかでも音声データは、発話に関する様々な非言語情報を含むため、会話の解析においてよく用いられる。音声情報に着目した研究として、音声から発話のピッチ情報を用いて発話が強調されている箇所を自動抽出する研究[63]、会議における会話状態の盛り上がり部分を音声の韻律的特徴をもとに検出する研究[128]、会議中に参加者の関心度が高かった時間領域を隠れマルコフモデルによって自動認識する研究[39]などがある。また、視線方向も重要視されることが多く、Stiefelhagenらは、音声情報と頭部方向に基づいて視線方向の推定を行う手法[113]や、頭部方向のみから視線方向を推定する手法[112]を提案している。

複数の非言語情報を用いることで会話構造の解析を試みる研究もある。Otsukaらは、グループミーティングにおける各参加者の視線行動をビデオ映像から推定し、話し手や聞き

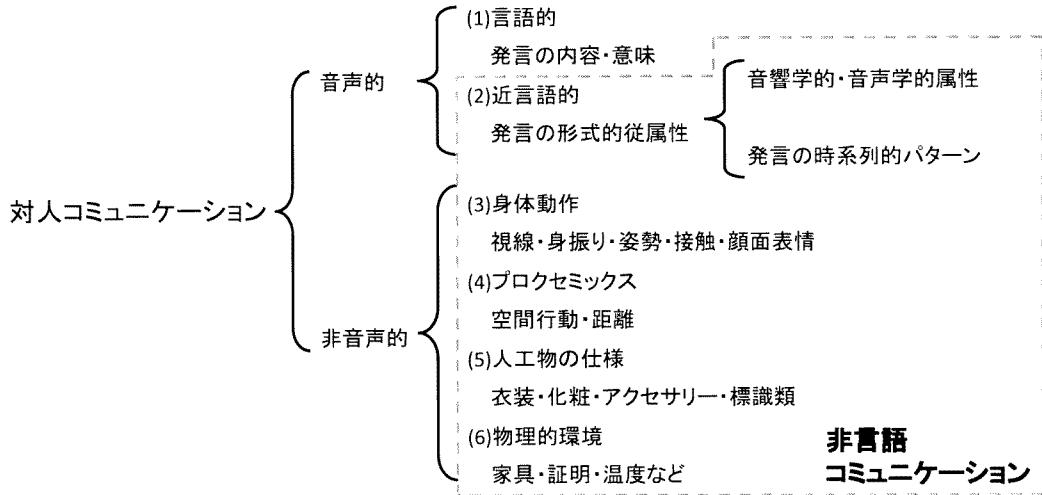


図 2.49: 対人コミュニケーションの分類 [25]

手などの会話構造をモデル化している [98]. Kumano らは、顔の表情を認識して誰が誰に対してどの程度微笑みかけているかを認識する手法を提案し、会議において参加者間に存在する対人感情を分析している [69]. 徳永らは、複数人会話における発話交替の仕組みを明らかにするために、3人会話の発話交替・継続と視線行動との関連性を分析し、発話交替遷移モデルを提案している [120]. 会話の聞き手を「話者をより多く見る」タイプと「話者をより少なく見る」タイプに分けて分析した結果、話者になりたい聞き手はもう1人の聞き手を見るよりも話者に視線を向ける頻度が多く、反対に話者になりたくない聞き手はもう1人の聞き手に視線を向け、次の話者になることへの促しを意図した視線行動をとるなど、聞き手の意図や戦略がわかる特異な視線行動パターンを抽出している. Jayagopi らは、ビデオ映像とマイクから取得できる非言語情報を用いて、グループ内の支配者を自動的に推定しようと試みている [58]. 4人での会議を対象とし、図 2.50(a) に示すように7台のカメラとマイクで取得できるデータを利用して、図 2.50(b) に示すような映像から視線方向や身体の動きなどを取得している. そして各参加者について、他者から見られている回数や他者を見ている回数、身体の動作時間、動作回数などの非言語情報を抽出している. また、マイクから各参加者の発話量や発話回数、他者の発言に対して割り込んだ回数などを取得している. そして、これらの非言語情報と会話における中心人物やその場で最も地位の高い人物との相関や、支配者の推定に有効な非言語情報について調査し、音声的特徴量を用いることで 65% の推定精度を得ている.

梶村らは、会話において人が感じる場の盛り上がりの度合いを「場の活性度」と定義し、非言語情報を用いて重回帰分析によりモデル化を試みている [61]. この研究では、会

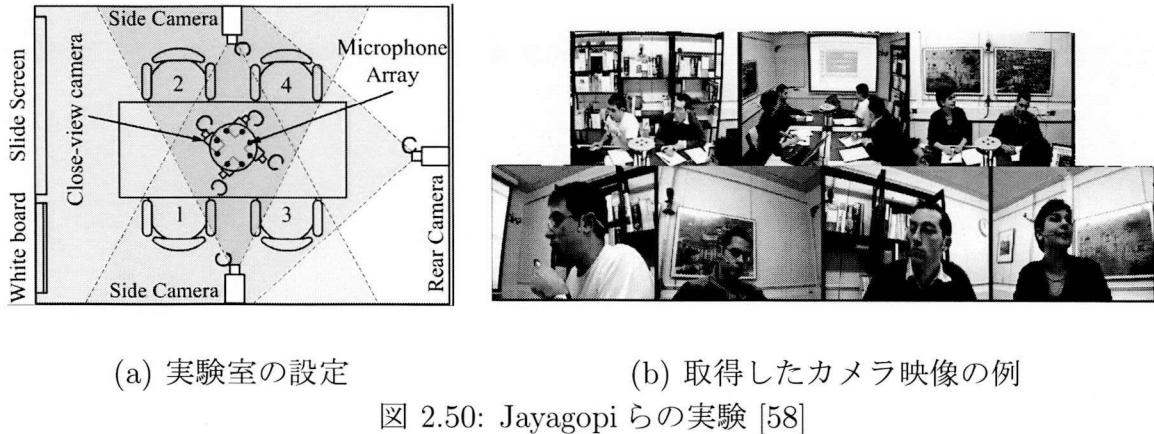


図 2.50: Jayagopi らの実験 [58]

話において参加者が感じる場の活性度と、発話、頭部方向、ジェスチャといった非言語情報との関係を調査している。実際に3人会話実験のデータをもとに得られた標準偏回帰係数から、場の活性度を算出する重回帰式を導いている。

このように、非言語情報を抽出することで多人数会話を推定する技術は確立されつつあり、本研究での会話状況の推定にも利用可能であると考えられる。

#### 2.4.2.2 会話場への情報提示

会話を活性化させるため、会話場に対して何らかの情報刺激を提示する試みが数多くなされている。何らかの情報をディスプレイなどを用いて会話参加者に提示することは、参加者の行動に影響を及ぼし、会話を盛り上げたり情報の共有を促進するなどの利点があるとされている [78, 119]。

そのアプローチの一つとして、会話や行動に基づいた動的な情報を参加者にフィードバックする方法が挙げられる。参加者の会話や行動に関する情報は様々であるが、主にセンサで取得した参加者の発話状況や視線行動などの非言語情報を解析し、その結果をシンボル化してディスプレイに可視化する研究が多くなされている。

DiMicco らは、各参加者の発話時間のバランスと過去30秒間に誰が発話していたかという情報を取得し、共有ディスプレイに可視化している [28]。図2.51に示すように、各参加者の発話時間のバランスをヒストグラム形式で、過去30秒間の発話者の変化を色つきの円で可視化している。Sturm らは、各参加者の発話時間と注視行動の量を円形の大きさに対応させて、図2.52(a)に示すようなテーブルトップの共有ディスプレイ上に可視化している [114]。発話時間はマイクで取得した音声から抽出し、注視行動は頭部に装着したマーカを赤外線カメラで取得して頭部方向を計測することで、視線方向を推定している。

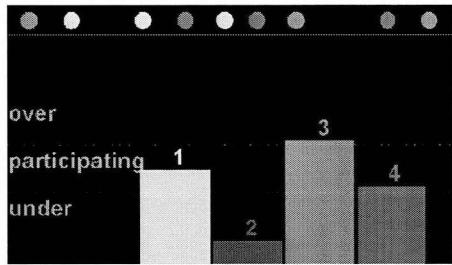
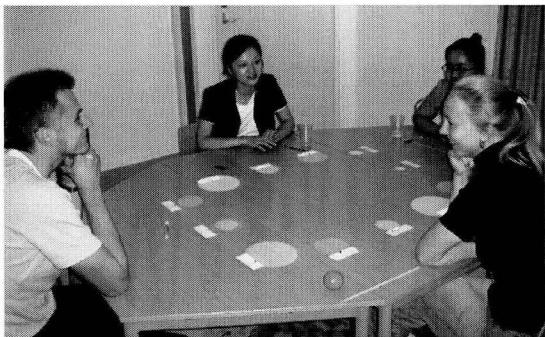
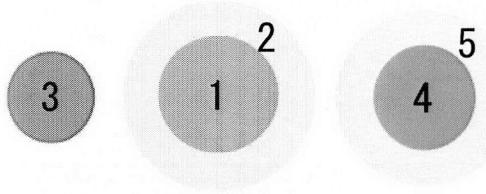


図 2.51: Dimicco らの発話状況の可視化 [28]



(a) テーブル上への非言語情報の可視化



(b) 非言語情報の可視化方法

図 2.52: Sturm らの情報提示手法 [114]

図 2.52(b) はそれぞれ 1: 開始からの累積発話時間, 2: 現在の発話の持続時間, 3: 話し手からの累積注視量, 4: 聞き手からの累積注視量, 5: 聞き手からの現在の注視量を表している。これらの研究では、発話行動の可視化が参加者の発話率を均等化する効果があったと報告している。また、注視行動よりも発話行動の可視化が参加者の行動に影響を与えていることを示している。

Bergstrom らは、4 人会話において、個人毎の発話の有無と音声振幅を測定し、発話状況や重なりを図 2.53 に示すような同心円状に可視化するシステム、Conversation Clock を提案し、参加者らの行動について評価している [15]。また、発話状況だけでなく、各参加者自身が話者の発話に対して、その発言がポジティブであるかネガティブであるかを評定することで、発話内容の価値をディスプレイに反映させることができるシステム、Conversation Vote を提案している [16]。図 2.54 で、色の付いたバーは各参加者の発話状況を表している。ポジティブな評価がなされた発話に対しては更に白色のバーが上下に追加され、反対にネガティブな評価が付けられた発話はバーの色が薄く可視化されることにより、ポジティブで価値があるとみなされた発話が強調される。

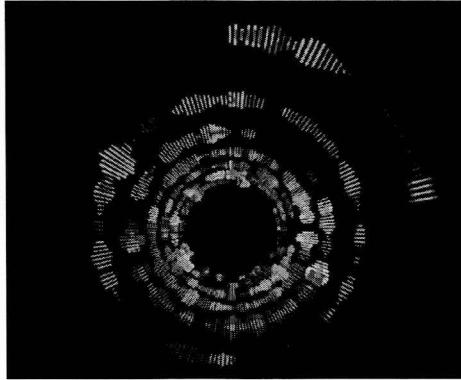


図 2.53: Conversation Clock [15]

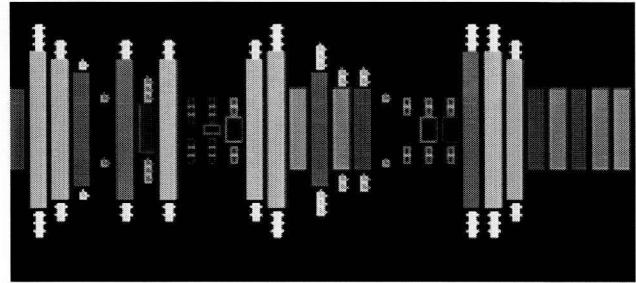


図 2.54: Conversation Vote [16]

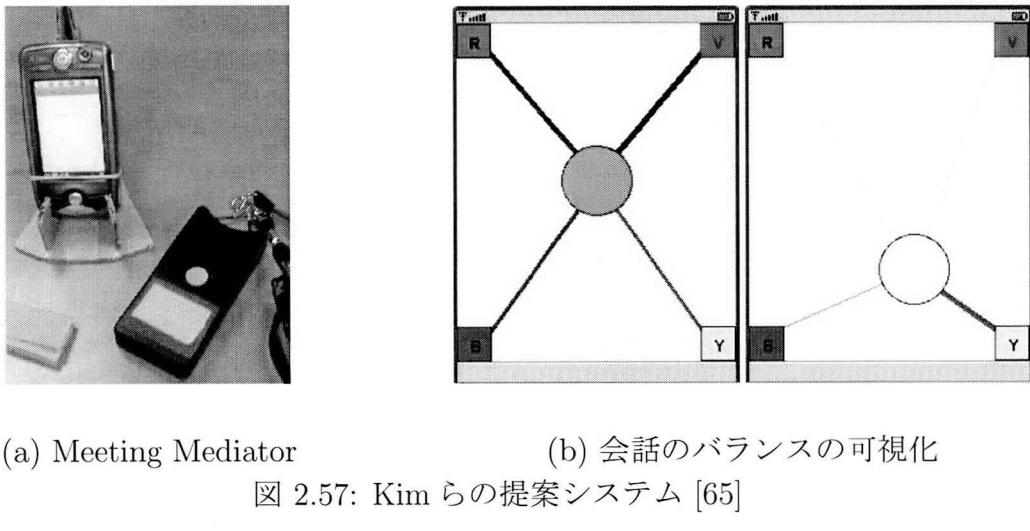


図 2.55: Balaam らの同調傾向の可視化 [11] 図 2.56: Madan らの提案システム [72]



また、非言語情報を明示的に提示せず、アンビエントに表示する方法も検討されている。Balaam は、会話をしている 2 人の会話行動が似通う現象である同調傾向を促進させる情報提示について検討している [11]。図 2.55 に示すような、2 人の参加者の同調傾向を検知して共有ディスプレイ上にリアルタイムにフィードバックするディスプレイを作成し、このディスプレイを用いて会話実験を行ったところ、通常のディスプレイを用いた場合に比べて会話満足度が上昇することが明らかになった。Balaam らは、ディスプレイによる情報提示が参加者に無意識下で会話行動を活性化させたと考察している。

これまでに述べたものは大画面の共有ディスプレイに可視化するものであるが、携帯端末などに情報提示をすることで参加者の行動の変化を調査した研究もなされている。Madan らは、図 2.56 に示すウェアラブルコンピュータで音声や頭部の動き、電気皮膚反応 (GSR: Galvanic Skin Response) を取得している [72]。GSR は、発汗作用によって起くる皮膚の電気抵抗の変化であり、人の感情や精神的動搖によって変化するものである。これらの非言語情報を用いて、会話参加者の会話内容に対する関心度を推定し、PDA や共有ディスプレイに可視化している。話者全体の関心度は共有ディスプレイに、また個



人のその会話に対しての貢献度などの情報は PDA 上に提示しており、共有すべき情報とプライバシーを守るべき情報を提示装置によって区別している。Kim らは、会話のバランスを可視化する携帯システム Meeting Mediator を提案している [65]。図 2.57(a) の右下にある端末にはマイクや加速度センサ、IR センサが備えられており、会話参加者の音声特徴量、身体の動き、人との対面状況などの非言語情報を取得できる。それらの情報から、会話のバランスを求め、同図左上の端末のディスプレイ上に情報を可視化している。Meeting Mediator の具体的な可視化方法を図 2.57(b) に示す。画面上の 4 隅にある色付きの正方形は各参加者を表し、画面中央付近にある円の位置はその時点での会話のバランスを表している。また、各参加者の発話時間を 4 隅の正方形と円を結ぶ線の幅で表し、会話の全体的な活発さを円の色で表している。図 2.57(b) 左は会話のバランスがとれていて活発な様子の例、同右は会話のバランスが悪くあまり活発でない様子の例である。この可視化手法で、Meeting Mediator を用いたブレインストーミングの実験と問題解決の実験を行い、参加者らの会話のバランスが改善されたことを示している。

以上の研究は、参加者らの行動から解析した非言語情報に関する情報提示を行うものであった。しかし、人は自分にとって興味の高い対象を話題とする会話に対してより緊密に参加する傾向があることが示されており [50]、参加者らが関心のある話題やプロファイルに基づいた情報を提示することも重要であると考えられる。そこで様々な空間において参加者のプロファイルを用いた情報提示の研究がなされている。

岡本らは、あらかじめ登録しておいた個人毎のプロファイルに基づいて各参加者間での共通の話題を Web から選定しておき、図 2.58 に示す大型スクリーンに人が近づいたときに、その人たちにとっての共通の話題を提示するシステム、Silhouettell を提案している

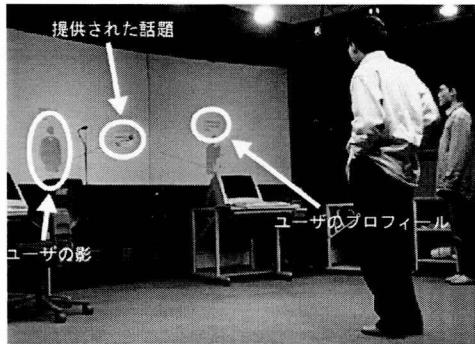
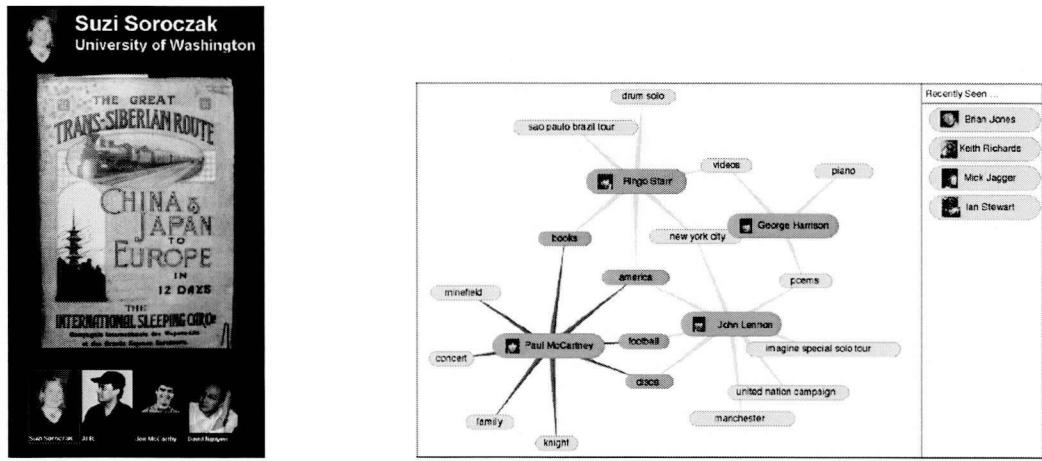


図 2.58: Silhouettell [96]



(a) Ticket2Talk

(b) Neighborhood Window

図 2.59: Proactive Display [81]

[96]. 想定するシーンとして、互いのことを知らないが研究分野が近い研究者が集まるような場を想定している。また、Silhouettell では各参加者の識別には画像処理を用いているが、Proactive Display では、プロファイル情報を格納した RFID タグによって参加者を認識している [81]。図 2.59(a) に示すような、参加者らに共通する関心事の画像と、参加者らの名前、顔写真、所属などの情報が提示される Ticket2Talk や、図 2.59(b) に示すような、参加者らを共通する関心事の情報で繋ぐ Neighborhood Window などのアプリケーションを実装している。

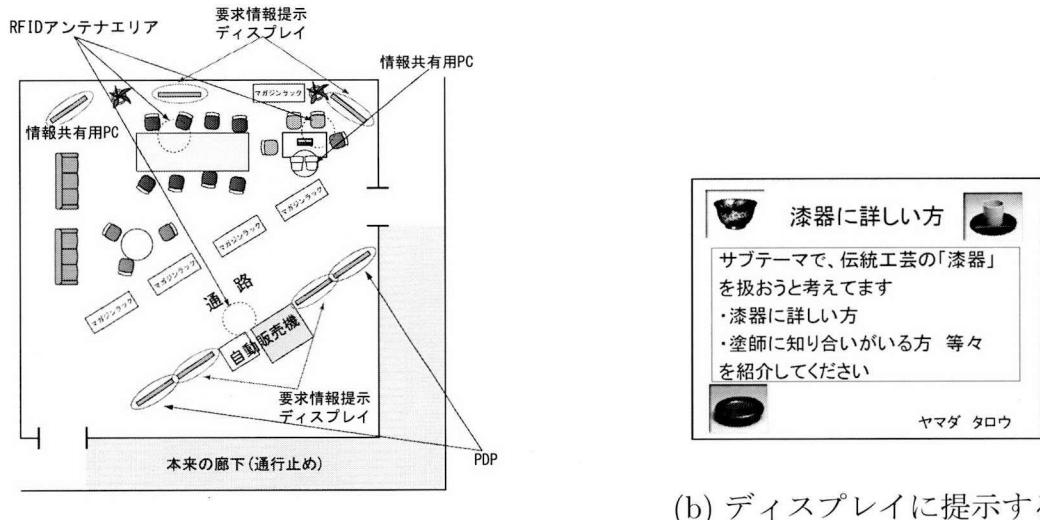
森田らは、エレベーターホールで偶然居合わせた人々に対して、それぞれのプロファイル情報を参照することで発見される共通の話題を提供し、会話を誘発するシステム、インタレスト・コンシェルジェを提案している [83]。図 2.60(a) の赤外線バッジで参加者を認識し、サーバにあらかじめ登録しておいた個人情報を基に共通の興味ある情報を取得し、そ



(a) 赤外線バッジ

(b) 実際の使用風景

図 2.60: インタレスト・コンシェルジェ [83]



(a) HuNeAS を設置した環境

要求情報の例

図 2.61: HuNeAS[77] を用いた環境と提示情報

の情報に関するニュースサイトのヘッドラインをディスプレイに表示する (図 2.60(b))。実験により、自分の興味に合った情報を取得するのに有用であり、また見知らぬ人との会話のきっかけ作りとして有効であることを示している。松田らは、情報共有の場として建物内の廊下やリフレッシュスペースなどのインフォーマルなコミュニケーションが起きやすい共有スペースに着目し、自分が必要としている情報 (要求情報) を周囲の人に対して提示することにより、コミュニケーションの活性化と情報共有の効率化を図るシステム、HuNeAS を提案している [77, 78]。図 2.61(a) のような空間で、人がディスプレイに近づいたときに、その人があらかじめ作成しておいた図 2.61(b) のような要求情報を RFID タグによって読み取り、それを共有ディスプレイに提示している。実験により、提示情報は、

偶然居合わせた人との会話のきっかけ作りや、有益な会話の回数の増加に有効であるということを示している。また、松原らは、強制的な情報提示によって会話を活性化させたり内容を広げたりするのではなく、参加者が居心地のよい環境になることを目指したシステム、サイバー囲炉裏 IRORI を構築している[76]。テーブルトップディスプレイの画面上のオブジェクトを触ることで、そのオブジェクトにリンクされた URL の Web ページが別のデスクトップディスプレイに表示されるシステムになっている。参加者が触れるディスプレイと情報が表示されるディスプレイが異なるので、強制的に Web ページを見せて話題を制限するということがなく、参加者のその空間での滞在時間と会話の量を増やす効果があったと報告している。

### 2.4.3 まとめ

以上で述べてきたように、これまでに様々な形態のディスプレイ環境が提案され、それぞれの環境においてユーザのとりうるインタラクションが明らかになりつつある。特に、ユーザの状況を暗黙的に把握し、ユーザへさり気ない情報提示を行うアンビエント情報社会の考えに基づいた研究は増えており、生活空間に溶け込む情報環境として期待されている。コミュニケーションの参加者へ情報を提示するシステムも様々なものが考案されており、実際に参加者の会話行動に影響を与えることや、会話満足度を向上させることが確認されている[65, 81, 114]。ただし、従来の多くのシステムにおける問題点として、情報提示を行うディスプレイによって参加者の人数や立ち位置、立ち振る舞いなどが制限されてしまうことが挙げられる。会話を支援するための情報提示の種類や方法は多岐に渡るが、液晶ディスプレイなどを用いた簡素なシステムにて単一の方法で情報を提示するが多い。このようなシステムでは、表示された情報と会話参加者との対応付けを確認する場合など、複雑な情報をわかりやすく表示することは難しい。さらに、この情報の理解のために参加者らの注意が常にディスプレイに向いてしまうなど、自然な会話が阻害されることも考えられる。また、多人数の会話や人が自由に動き回るような場面では会話構造や盛り上がりなどといった状況も時々刻々と変化するため、会話の状況に合わせて多様な情報を提示することが求められる。これらのことから、コミュニケーションの円滑化において認知的情報提示を実現するためには、ユーザの自然な会話や行動を阻害せず、多様な情報を容易に理解可能な情報提示環境を確立することが必要であると考えられる。

# 第3章 空間認知を考慮したビューポート制御手法

## 3.1 はじめに

2.2節で述べたように、視覚を用いた個人ユーザへの情報提示の中でもビューポート制御は認知的負荷が大きいと言え、インターフェースの改善が望まれている。ビューポート制御はコンテンツを俯瞰するカメラ視点の動作についての課題と捉えられることが多いっており、ズームなどのカメラ操作をユーザの入力に連動させることにより、操作を切り替える手間を省き、よりスムーズで素早いインタラクションを実現することがわかっている。しかし、地図などの大規模なコンテンツでは、操作しているうちに現在地を見失ってしまうなど、カメラ操作の連動がかえって認知的負荷を増大させることもある。このため、認知的負荷を低く保つことが可能なカメラ操作の連動方法の検討が望まれる。

そこで本研究では、人が実空間を認知する際に「既知の地点の場所」が重要とされることを考慮し、ユーザが定めた基準点を常に画面内に収めるように滑らかにカメラ視点操作を連動させるビューポート制御手法 Anchored Navigation を提案する。本章では、この提案手法の詳細なアルゴリズムや、提案手法を評価するための実験について述べ、提案手法が認知的情報提示を実現できたかどうかを考察する。

## 3.2 Anchored Navigation

### 3.2.1 コンセプト

ビューポート制御における認知的問題の解決を目指し、ここではビューポート制御で扱うコンテンツの中でも認知的負荷が高いとされる地図 [23] に着目し、地図を把握する際にも行われるプロセスである、人の空間認知について考える。人が実空間において距離感や方向感覚を掴むための空間認知をする際には、その空間内のオブジェクト位置などを記

憶することなどにより、認知地図と呼ばれる、頭の中に描かれる地理的情報のイメージが形成される。人の方向感覚や道順などの空間推論は、この認知地図に蓄えられた情報を利用することによって行われると考えられており [9]、特に未知の場所において空間認知する際には、その認知地図の形成やその保持にあたって、人は既知の場所と現在地との位置関係を照合する心的処理を行なっていることが示されている [38]。このことから、画面上の大規模なコンテンツを閲覧する場合でも、ユーザが既知の場所と現在地との位置関係の照合により、そのコンテンツの認知地図の形成がなされるのではないかと推測される。パンとズームの連動を採用する手法の1つである SDAZ[51] では、自動的なズームイン・ズームアウトの繰り返しにより既知の場所がユーザの意図に反して画面外に出てしまうことが認知的負荷を増大させる要因の1つであると考えられるが、この既知の場所を常に画面内に収めておくことで、常に認知的負荷の低いビューポート制御が可能になると考えられる。そこで、提案手法である Anchored Navigation では、ユーザが基準としている既知の場所（これをアンカーとする）を常にビューポートに収めるようにカメラ視点を滑らかに動かすことを基本コンセプトとする。

また SDAZ は、ドラッグ開始点からの距離が大きくなるほどスクロールが高速になるという操作方法であるが、このような速度をドラッグで調整する操作方法は、マウスやペンなどのデバイスには向きとされており [130]、Pan & Zoom[100] (PZ) と同様の、移動距離をドラッグで調整するパン操作が望ましい。また、ドキュメントのナビゲーションにカメラのチルトを適用している Perspective Viewing[42] は、目的地にたどり着くまでに複数の場所を訪れる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 [44]、地図ナビゲーションにおいてもチルトを導入することでパフォーマンスの向上が期待される。

これらのこと考慮し、Anchored Navigation では、パン操作にズームとチルトを連動させ、ユーザが指定する地図上の1点であるアンカーを常にビューポートに収める2つの手法 Anchored Zoom (AZ), Anchored Zoom and Tilt (AZT) を実装する。これら2手法は、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、常にアンカー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ため、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、指などによるシングルタッチのディスプレイ環境でも使うことができる。

以下では地図コンテンツにおいて、アンカーを  $O$ 、ビューポートの中心の地点を  $P$ 、 $OP$  間の地図上の距離を  $r$  とした際の、提案手法の詳細について述べる。ただし、アンカー  $O$

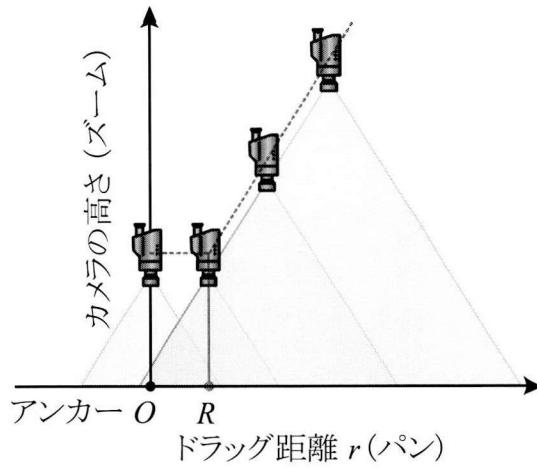


図 3.1: AZ のカメラ操作

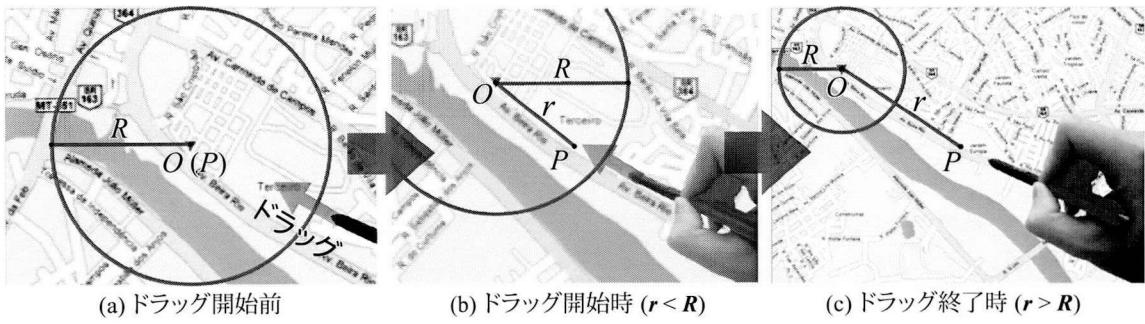


図 3.2: AZ のビューポート遷移の様子

はユーザが指定することができ、 $O$  の初期位置は  $P$  と同じ位置とする。

### 3.2.2 Anchored Zoom

AZ のカメラ操作の概要を図 3.1 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 3.2 に示す。AZ 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 3.2(b))。 $R$  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 3.2(c))、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に決定している。この  $r$  の長さをビューポートの短辺の半分の長さとすることで、アンカー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、ユーザはアンカー  $O$  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アンカーがビューポートの中心となるようにズームインされる。

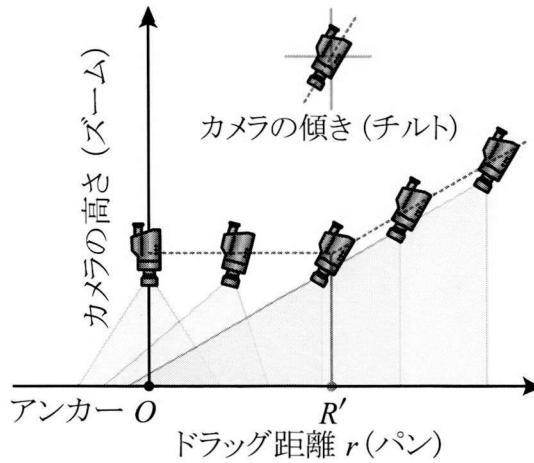


図 3.3: AZT のカメラ操作

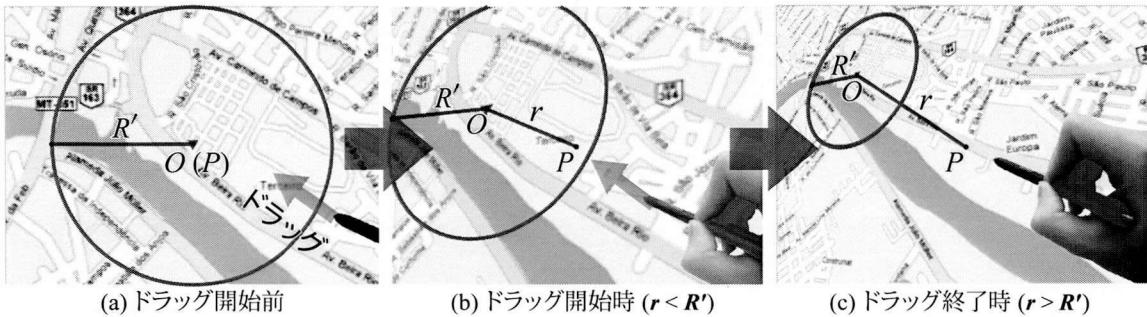


図 3.4: AZT のビューポート制御の様子

### 3.2.3 Anchored Zoom and Tilt

カメラをチルトさせ、遠くまで俯瞰させる向きにはいくつかの方法が考えられるが、ユーザは既知であるアンカー付近よりも、パンすることによって新しく獲得する領域の方を詳しく観察したい状況が多いと推測できる。したがって、新しく獲得する領域をより大きく表示できるようにカメラをチルトさせる手法を提案する。

AZT のカメラ操作の概要を図 3.3 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 3.4 に示す。AZT 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 3.3 に示すような、アンカー  $O$  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 3.4(b)),  $R'$  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3.4(c)). また, AZと同様にアンカーを置き直すことができる.

AZTでは, アンカーをビューポートに収めるためのズームとチルトの割合, およびチルト角度の最大値を与える閾値  $R'$  といったパラメータはそれぞれ一意に定まらない.  $R'$  を大きくすると, アンカーから遠く離れた場所でもあまりズームアウトせずに観察することができるが, その分大きくチルトさせる必要があり, コンテンツの変形も大きくなってしまうというトレードオフの関係がある. そこで, これらのパラメータを決定するため, 予備実験を通じて, コンテンツの変形が主観的な悪印象を与えないチルトの最大角度を検討した. 5名の参加者(男性5名, 平均22.6歳)に, チルトの角度を2.5度ずつ変化させながら画面外のターゲットを探索するタスクを行なってもらったところ, 角度が27.5度以上になるとビューポート制御に対して悪印象を持った参加者が複数見られた. このことから, AZTにおけるチルトの最大角度を25度とした. このチルトの最大角度において, アンカー  $O$  をビューポート内に収められるドラッグ距離の最大値として, 閾値  $R'$  を, チルトしない場合の閾値である  $R$  の1.8倍と決定した.

### 3.3 評価実験

#### 3.3.1 概要

前節で提案したAZとAZTを評価するため, 従来手法と比較する実験を行う. 比較に用いる手法は, マウス, ペン, 指などによる幅広い入力方法で用いることができる手法の中で, 広く普及しているPZと, 操作を連動させるという点で提案手法と共通しているSDAZとする. 実験タスクとしては, 地図ナビゲーションとしてごく一般的であると言える, 画面外に配置された目的地へ到達する状況を想定したものとする. この状況において, ユーザは目的地を速やかに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や道順などの情報を得ることも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, 獲得タスクと位置把握タスクの2つを実施する. 獲得タスクは画面外に配置されたターゲットを探して獲得するタスクである. このタスクでは, ターゲットの視覚探索ではなく, ビューポート制御の効率について焦点を当ててパフォーマンスを測定するため, タスクの内容は, 比較的発見しやすいターゲットをシステムが明示的に提示し, それを探索して獲得するという基本的なものとする. また, 提案手法のアルゴリズ



図 3.5: 実験風景

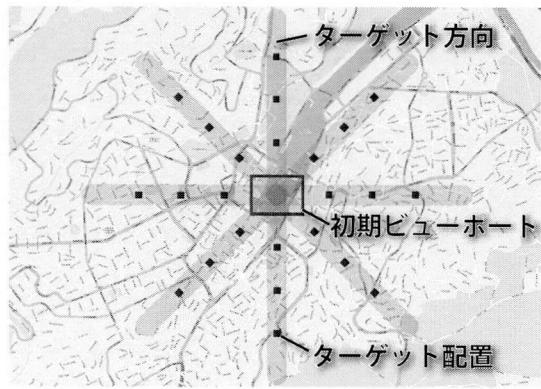


図 3.6: ターゲットの配置

ムの性質上、移動する距離によってパフォーマンスが左右されると考えられるため、ターゲット距離を実験要因に含める。実験ではマウスなどの様々な入力デバイスを用いることもできるが、今回はパンとズームの切り替えが困難で、連動させることによる効果がより期待できるペンデバイスを用いる。

### 3.3.2 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、 $1,024 \times 768$  pixels の解像度で使用する。入力にはタブレット PC 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 3.5 に示す。

### 3.3.3 参加者

参加者は男性 8 名、女性 4 名の合計 12 名で平均 23.8 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おり、そのうち 7 名にタブレット PC の使用経験がある。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。

### 3.3.4 実験計画

実験はビューポート制御手法 (PZ, SDAZ, AZ, AZT), 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 12 条件をそれぞれ 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, ターゲットはすべて画面外にあり, 上下方向, 左右方向それぞれについてターゲット距離の 15% 以内の誤差でばらつきを持たせて配置する. 手法の順序は参加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の順序はランダムとする.

獲得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なるべきであるが, 本実験ではターゲットの視覚探索にかかる時間に大きくばらつきが出るのを防ぐため, 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表示する. また, 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, 実際の地図探索において, 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も想定している. Google Maps などの多くの地図サービスでは, ズームレベルが 2 倍になる毎に縮尺の異なる地図画像に切り替えられるため, これを模して, *threHeight* は *initHeight* の 2 倍とする. また, どの手法でも参加者にパンとズームの両方を適度な頻度で使用してもらうために *maxHeight* を調整し, *initHeight* の 5 倍とする. これは, 少なくともターゲット距離が 2,600 pixels のときに, ズームアウトのみによってターゲットを発見できないズームレベルである.

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, 1 km 未満の目的地へ徒歩で移動することを想定したターゲット距離を設定する. さらに画面解像度などから地図の縮尺 (*initHeight* において約 1,400 分の 1) を決定する. このときの地図上でのターゲットの距離は. 最も長いもので約 1 km に相当し, 画面上では *initHeight* におけるビューポートの長辺の 3 倍程度の距離となっている. 初期状態のビューポートからのターゲットの配置を図 3.6 に示す. 地図画像は, ターゲットまでの距離感を参加者が把握するために与える情報であると同時に, ターゲットを探索する際の適度なノイズ情報としての役割を持つ. 本実験では, 3 都市 (日本の埼玉県坂戸市, ドイツの Stuttgart, ブラジルの Cuiabá) における, 極端に目立つランドマーク等のない地図領域を選び, グレースケールにして用いる. 実験終了後には, いずれの参加者もこれらの地図中の都市に関する知識がないこと



図 3.7: 獲得タスクの初期画面

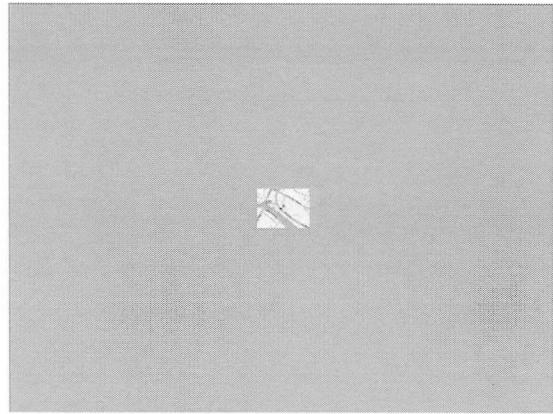


図 3.8: 位置把握タスクの初期画面

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。

### 3.3.5 獲得タスク

図 3.7 に、獲得タスクにおける初期画面を示す。初期状態において、カメラは地図画像中心の真上、 $initHeight$ の高さに位置しており、表示されている地図は、今回用意した地図画像全体 ( $10,500 \times 7,500$  pixels) の約 100 分の 1 の領域 ( $1,024 \times 768$  pixels) にあたる。出発地は赤色の三角形で表され、初期画面ではビューポートの中心に据えられている。また、ターゲットの視覚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の方向を緑色の矢印 2つにより示す。図 3.7 では出発地から見て右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、参加者は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。なお、ズームのアニメーション中に何らかの入力があった場合、その処理はアニメーションの終了後になされる。

### 3.3.5.1 PZ

一般的な地図サービスと同様の操作でビューポートを制御する。パン操作はドラッグによって行われ、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種類を用意し、参加者はこれらを任意で使用する。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。

### 3.3.5.2 SDAZ

PZとは逆方向、すなわちドラッグする方向へスクロールし、ドラッグ開始点からの距離が長くなるほどスクロール速度も大きくなり、同時にズームアウトされる。実装はIgarashiらが提案しているアルゴリズム [51] をもとにして行っているが、詳細なパラメータは今回の実験システム内の自然な振る舞いを考慮して決定している。具体的には、ドラッグする距離が 50 pixels 以上になるとスクロール中に自動的にズームアウトされ、約 500 pixels を超えるとカメラの高さが  $maxHeight$  に達する。これ以上ドラッグする距離が大きくなても、スクロール速度やカメラの高さは増加しない。また、ドラッグをやめたときには、ズームレベルが初期のズームレベルに徐々に近付いていくような緩衝効果を設け、急激なズームインを防ぐ。なお、この緩衝効果のアニメーション中にも常にスクロールの操作ができる。

### 3.3.5.3 AZ と AZT

パン操作はドラッグによって行われ、それに連動して自動的にズームおよびチルトがなされる。また、ダブルクリックした場所にアンカーを置き直し、その場所をビューポートの中心とするようスクロールされると同時に、 $initHeight$  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、それ以上アンカーから遠ざかる方向へのパン操作ができなくなるが、ターゲットの発見は、どのターゲット

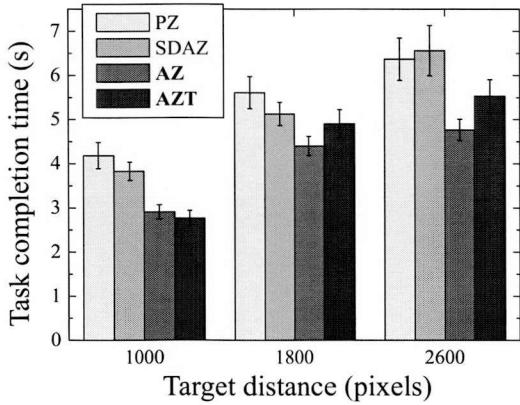


図 3.9: ターゲット距離 vs. 獲得タスク完了時間

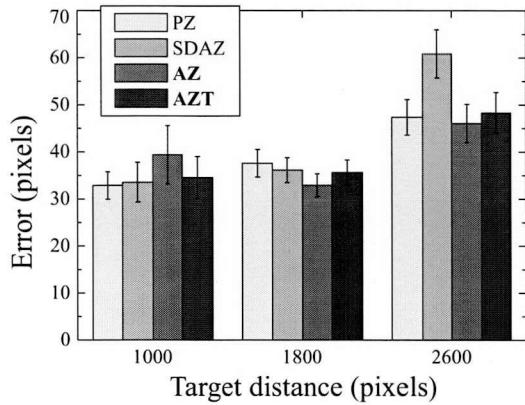


図 3.10: ターゲット距離 vs. 位置把握の誤差

距離の条件においてもアンカーを置き直さずに可能である。ただし、最も短いターゲット距離 1000 pixels 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、獲得にはアンカーの置き直しが必須となる。

### 3.3.6 位置把握タスク

位置把握タスクは、全ての手法において共通の手順で、獲得タスクの後に毎回行われ、獲得タスク中に得られたターゲットまでの距離感や方向感覚の正確さを測定する。図 3.8 に、位置把握タスクの初期画面を示す。図のように、画面中央には直前の獲得タスクで用いられた地図画像のうち、獲得タスク開始時のビューポート領域（図 3.7 に相当する領域）部分のみが縮小されて表示される。参加者はこの表示を手がかりとし、獲得タスクにおいてターゲットがあったと思われる位置を、灰色の領域から推測してクリックする。獲得タスク開始時のビューポート領域以外の部分を灰色にして隠しているのは、ターゲット周辺の道路や川などのコンテキストの情報による推測を避けるためである。参加者によってクリックされた位置は青色で表示されるが、画面上を右クリックすることでキャンセルが可能で、何回でも別の位置に変更することができる。画面上を再度クリックすると隠されていた領域が表示され、実際のターゲットの位置が橙色で表示される。

獲得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 参加者あたり 96 試行する。獲得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, 各手法の主観評価を7段階尺度で測定する. 練習は, 各手法に慣れるまで, 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.

### 3.3.7 実験結果

図3.9に, 各ビューポート制御手法におけるターゲット距離と獲得タスク完了時間の関係を示す. 同図のエラーバーは標準誤差を表しており, 本節の以下のグラフでも同様である. ターゲット距離と手法の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, 手法 ( $F(3, 33) = 21.3, p < .01$ ) とターゲット距離 ( $F(2, 22) = 70.7, p < .01$ ) とともに主効果が見られ, また, 手法とターゲット距離の交互作用が認められた ( $F(6, 66) = 2.65, p < .05$ ). 手法の主効果についてBonferroniの多重比較を行った結果, AZと従来の2手法, AZTと従来の2手法との間のタスク完了時間にそれぞれ有意差が見られた ( $p < .05$ ). ターゲット距離の主効果についても同様の比較を行ったところ, ターゲットが遠くなるにつれて有意にタスク完了時間が増加することがわかつた ( $p < .01$ ). また, 交互作用について単純主効果を分析したところ, PZではターゲット距離が遠くなると有意にタスク完了時間が増加しているのに対し ( $p < .05$ ), SDAZ, AZ, AZTの3手法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つた ( $p > .05$ ). このことは, 自動的にズームが運動する3手法では長いターゲット距離でも探索するのにかかる時間はさほど増大しないことを示唆している. ターゲット距離ごとに各手法のタスク完了時間を比較すると, AZはすべてのターゲット距離で従来の2手法それよりも有意に速く ( $p < .05$ ), AZTはターゲット距離1,000 pixelsのときのみ従来の2手法より有意に速かつた ( $p < .05$ ). SDAZとPZとの間には, どのターゲット距離においても有意差は確認されなかつた ( $p > .05$ ).

図3.10に, 各ビューポート制御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, 手法に主効果は見られなかつた ( $F(3, 33) = 1.81, p > .05$ ). ターゲット距離には主効果が見られ ( $F(2, 22) = 8.19, p < .01$ ), ターゲットが遠くなるほど誤差も大きくなる傾向が見られた. ターゲット距離ごとに各手法を比較すると, ターゲット距離2,600 pixelsのときのSDAZが, AZに比べ有意に大きな誤差であることがわかつた ( $p < .05$ ).

図3.11に, 各ビューポート制御手法における, 参加者による7段階評定 (7: 良い, 1:

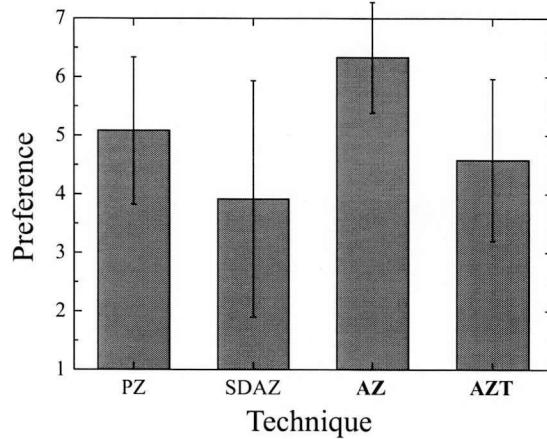


図 3.11: ビューポート制御手法 vs. 主観評価

悪い) での主観評価の関係を示す. この結果から, AZ が最も高い評価を得ており, 続いて PZ, AZT, SDAZ の順に好まれていたことがわかる. また, 参加者 12 名のうち 8 名が AZ を, 2 名が PZ を, 1 名が AZT を, 1 名が SDAZ を, それぞれ最も好ましい手法として選んだ.

## 3.4 議論

### 3.4.1 獲得タスクについて

提案手法である AZ と AZT が, 従来手法である PZ と SDAZ に比べ, 短い時間でターゲットを獲得することができた. PZ では, 獲得タスク開始時に *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るなど, パンとズームの操作を個別に用いることによる操作量の多さがタスク完了時間の増大に大きく影響したと考えられる. それに比べ SDAZ では, ズームアウトが自動的になされるため, 大局のビューポートを得るまでの時間は短縮できていたことが実験中見受けられた. しかし, SDAZ は速度によるスクロール操作であるため, 直線的なスクロールでは負荷は小さいものの, 2 次元的なビューポートの微調整は難しく, ターゲットを発見してから獲得するまでに多くの時間がかかったと考えられる. 一方で提案手法は, 大局のビューポートを得るまでの時間と, ターゲット発見から獲得までの時間が共に速かった. これは, 自動的なズームにより, 単純な操作でスムーズに大局へアクセスできたことに加え, PZ と同様の変位量に依存したパン操作により, ビューポートの細かな制御も比較的容易であったことが要因として挙げられる. さらに, アンカーが常に画

面外に出ないことから、参加者は現在地を見失ってしまうことを恐れることなく、素早くドラッグができていたことも考えられる。以上のことと踏まえると、紛らわしいオブジェクトが散在している場合や地名を読み取る必要のある場合など、コンテンツを詳細に観察するタスクでは、より細かなビューポートの微調整が必要とされ、提案手法と SDAZ とのパフォーマンスの差はさらに大きくなると予想される。

AZT ではチルトさせることにより、アンカー付近を表示しながら見たい領域を大きく表示することができるため、ターゲット獲得にかかる時間の短縮が見込まれた。実際に、ターゲット距離 1,000 pixels での獲得タスク完了時間は 4 手法のなかで最も速かったものの、ターゲット距離が長くなると AZ より低いパフォーマンスとなった。これは、地図の幾何学的な情報が失われ、ターゲットを発見しづらくなるというチルトの悪影響があったからであると考えられる。移動する距離が長くなるほどこの影響が大きくなり、タスク完了時間の増大につながったと推測される。

PZ はターゲット距離が大きくなるほどタスク完了時間も有意に増加しているのに対し、AZ, AZT および SDAZ ではターゲット距離 1,800 pixels と 2,600 pixels との間には差が見られなかった。これは、ターゲットへ向けてスクロールする際にズームが連動することにより、距離が長い場合でも実質的なスクロール量は少なくなり、ターゲットを速やかに発見できたためであると考えられる。

### 3.4.2 位置把握タスクについて

位置把握タスクの誤差は手法間に主効果が見られなかったが、提案手法が PZ や SDAZ よりも獲得タスク完了時間が小さかったことを考慮すると、提案手法は短い探索時間で従来手法と同等の位置把握性能を担保することができたと言える。また、ターゲット距離が 2,600 pixels のときには、SDAZ が他手法に比べ大きな誤差を生じている。これは、PZ ではズームレベルをユーザ側が手動で制御するのに対し、SDAZ ではシステム側が自動的に変更するため、ユーザの距離感や方向感覚などの認知的把握がそれに追いつかなかつたことが要因の一つとして考えられる。特にターゲット距離が大きくなると、動的なズームイン・ズームアウトが繰り返されることになり、出発地からの相対位置がわからなくなってしまったと推察される。提案手法では、ズームレベルはシステム側で変更されるものの、アンカーを画面内に収め続けることで、出発地から現在位置までの距離感や方向感覚を維持しながら閲覧できていたと考えられ、認知的負荷が軽減されていたと言える。

今回行った位置把握タスクは、ユーザが距離感や方向感覚を保ちながらビューポートを制御できているかを測定するためのものであった。さらに、獲得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参加者が想定できたという効果もあったと考えられ、このようなタスクを課すことは有効であった。

### 3.4.3 主観評価について

PZは、普段から使い慣れている参加者が多く、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、操作量が多いことや、スライダの操作が面倒であることを欠点に挙げている参加者が多かった。AZは獲得タスクと位置把握タスクの両方で安定して高いパフォーマンスであり、主観評価も4手法の中で最も良い評価となつた。参加者によるアンケートでも、操作量が少ない、現在地を把握しやすいなど、概ね肯定的な意見が得られた。また、AZでは自動的にズームレベルが変わるために、ドラッグ量とビューポート上での地図のスクロール量が一致しないという特徴を持つ。しかし、このことに対して否定的な印象を持った参加者はいなかったことから、AZは、使い慣れているPZとほぼ同様の操作方法で直感的に扱えていたことが伺える。一方でAZTは、AZとほぼ同等のパフォーマンスでありながら、主観評価は低かった。これは主に、チルトにより地図が変形して表示されることに不快感を抱いた参加者がいたことによるものであると考えられる。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になることがあり、気持ち悪い、酔いそうになるなどの意見があった。SDAZは、大半の参加者はズームインしたい場所にズームインしてくれない、少しだけスクロールするのが難しい等、ビューポートを制御することの難しさを理由に低く評価していたが、慣れればターゲットを発見しやすいといった肯定的な意見も複数あった。また、SDAZではスクロール中にしか大局を観察することができないため、手で画面が隠れてしまうことを欠点に挙げる参加者もいた。

### 3.4.4 提案手法の有効範囲と今後の展望

評価実験における2つのタスクにより、提案手法が従来手法に比べ、少ない認知的負荷で効率的にビューポート制御ができていることを確認でき、認知的情報提示が実現された

と言える。ただし本実験では、比較的短い距離、すなわち、ビューポートの約3画面分以内の距離にある目的地までたどり着くことを想定したタスク設計であった。目的地までの距離が非常に遠い場合には、アンカーをビューポートに収めるために、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。したがって、提案手法にはターゲット距離に依存する有効範囲が存在すると考えられる。そのため、今後の展望として、実験条件を拡張し、提案手法の地図ナビゲーションにおける有効範囲を明らかにした上で、その範囲外での改善方法について検討することが挙げられる。また、モバイルディスプレイやテーブルトップディスプレイなど、様々な種類のディスプレイサイズの条件も検討することも考えられる。これらに加え、遠く離れた場所を目指す際に適していると考えられる Overview + Detail などの可視化手法についても、評価の比較対象とすることや、Fukatsu らの提案している座標系対連動法 [35] をもとに、詳細と大局のビューポートをうまく連携させるカメラ制御について検討することなども有意義であると考えられる。

また、実験後に実施したアンケートで、ほぼ全員の参加者が、地図が繰り返し使われたことによる慣れはなかったと答えており、地図が繰り返し使われたことに気づかなかったと答えた人もいた。このことから、地図の内容を覚えることによる効果は少なかったと考えられる。しかし、実際の地図の閲覧時には、目的地までの相対的な位置関係だけでなく、地名や道順などの詳細な情報をじっくりと眺める必要が生じることも多い。本実験ではこのような状況をカバーしなかったが、今後は道順を把握するタスクや、地図の地名を詳しく見る必要のあるタスクなど、視覚探索を必要とする複雑なタスクを用いて、より一般的な提案手法のパフォーマンスを明らかにすることが今後の展望として挙げられる。

また、本実験は入力としてペンデバイスを用いたが、複数のカメラ操作を連動させられるという点はどの入力デバイスにも共通する利点であるため、提案手法は様々な入力環境で利用可能だと考えられる。マウスを用いた場合、スクロールホイールにより Pan & Zoom のパフォーマンスが上がる事が推測されるが、操作の切り替えが小さくなるものの、その頻度が減るわけではないので、提案手法に比べると低いパフォーマンスになると考えられる。指による入力は、基本的なインタラクションはペンデバイスとほぼ同様であるため、本実験と同様の効果が得られるのではないかと考えられる。ただし、近年整備されつつあるマルチタッチ入力の環境では、ピンチイン・ピンチアウトなどにより、パンとズームをスムーズに切り替えられるようになってきている。このため、提案手法とマルチタッチ入力による操作との比較をすることや、さらに提案手法にマルチタッチ入力ならで

はのインタラクションを導入することも考えられる。

提案手法の使用感に関して、ダブルクリックによってアンカーを置き直すと元のアンカーの情報を失い、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、過去のアンカーを記憶する方法や、アンカーだけでなく複数点をビューポートに収める方法などの、機能の拡張を考えられる。AZTでは、短いターゲット距離ではAZに比べ若干オブジェクトの獲得時間では優っていたものの、その他ではAZとほぼ同等であり、位置把握がしづらくなるという印象をユーザに与えていた。これを改善するためには、チルトの方法や角度について考慮することだけでなく、カメラの軌跡なども含めて総括的に検討する必要があると考えられる。そのため、今後の展望としては、実世界のカメラワークにおけるカメラ軌跡を参考にして、ユーザに不快感を与えない滑らかなパン・ズーム・チルトの運動方法について検討することが考えられる。また、本実験では認知的負荷が高いとされている地図を用いて提案手法を評価したが、ドキュメントやリンク・ノード図などの別の2次元コンテンツにおいて提案手法を適用することや、3次元仮想空間のウォータースルーやファイル階層のナビゲーションなど、2次元ではない情報の閲覧へ提案手法を拡張することも、今後の展望として考えられる。

### 3.5 おわりに

本章では、人の空間認知における心的処理のプロセスを考慮し、ユーザの指定するアンカーポイントに基づいてパン操作にズームとチルトを連動させる Anchored Navigation を提案した。この手法を獲得タスクと位置把握タスクの2つのタスクにより評価した結果、カメラ操作を個別に操作する手法や速度に基づいて連動させる既存手法に比べ、提案手法のパフォーマンスが高いことを明らかにした。このことから、提案手法は認知的負荷を軽減させて効率的にビューポート制御を行う手法であることがわかり、視覚を用いた個人ユーザへの認知的情報提示が実現されたと言える。

今後の展望としては、他の2次元コンテンツにおける提案手法の適用や、3次元仮想空間のウォータースルーやファイル階層のナビゲーションなど、異種のビューポート制御への提案手法の拡張などが考えられる。

# 第4章 身近な振動触覚を用いた情報提示手法

## 4.1 はじめに

2.3節で述べたように、我々の生活に深く関わる触覚を再現・伝達するために多くの研究がなされており、最近では非常に微細な感覚まで再現できるようになっている。また、紙を破る爽快感、虫が手の上を這う異様な感覚、人と抱きしめ合う安心感などを提示可能な、触覚を用いたエンタテインメントや遠隔コミュニケーションのシステムが多数提案されており、触覚を提示することで人に多様な印象を与えることが明らかになっている。一方、振動触覚を用いた情報提示は、生活空間における様々な物体に導入可能で、ユーザは触れているだけで情報を知覚できるため、生活空間に溶け込む個人ユーザへの認知的情報提示として期待される。しかし、これまでに検討されているシステムでは、振動モータのオン・オフを制御することによる少ない情報量の提示に留まっており、ユーザに多くのパターンの情報を提示したり、楽しさや心地良さといった多様な印象を与えることは難しい。我々が普段感じている振動触覚を再現し、これを情報提示に利用すれば、情報の細かな差異や、楽しさや心地良さなどの多様な印象を伝達することが可能になり、本来五感では知覚できない情報や認識しづらい情報でも、直感的に把握されるのではないかと考えられる。

そこで本研究では、触覚を用いた個人ユーザへの認知的情報提示を目指し、身近な触覚を利用した、情報の「可振化」手法を提案する。可振化とは、もともと振動では表現されない様々な情報を振動触覚として提示可能にするという意味の造語である。可振化により、視覚や聴覚を用いずに、対象に触れているだけで多様な情報を提示可能になり、特に、本来五感では知覚できない情報の直感的な把握が可能になると考えられる。

このような可振化を、我々の生活空間における身近な道具を用いて実現するべきであると考えられるが、本研究では、普段から振動を人に伝達している身近な道具として、雨傘に着目する。雨を遮るために用いられる傘は、その使い方を誰もが知っている身近な存在

であり、人に雨を知覚させる、いわば人と雨をつなぐインターフェースとしての役割を担っていると言える。また、人は小降りであれば柔らかい雰囲気を、土砂降りであれば危険な雰囲気を感じることができ、雨は人に様々な印象を与える多面性を持っている。このため、傘による振動触覚を用いることで、個人ユーザへの多様な認知的情報提示が可能になると期待される。本章では、まず雨の振動触覚を再現して楽しむことのできる傘型インターフェース「アソブレラ」について述べる。次に、このアソブレラを拡張し、降り注ぐ情報の代表例である紫外線を可振化する傘型インターフェース「U-brella」について述べる。このU-brellaを用いた実験により情報が実際に降り注いでいると感じられていたかについてまとめ、可振化がユーザに与えた効果について考察する。

## 4.2 降雨時の振動触覚を再現する傘型インターフェース「アソブレラ」

### 4.2.1 概要

雨の振動触覚を再現して楽しむことのできる傘型インターフェース「アソブレラ」を提案する。雨の持つ独特の雰囲気には、雨が降っている情景、雨粒が傘布に当たる音、手元に伝わる振動、あるいは雨の匂いなど様々な要素が含まれると考えられるが、その中でも我々は、傘布に当たった雨粒によって生じ、傘軸によって手元に伝わる振動が特に重要であると考え、この振動を再現するためにスピーカとマイクの原理を利用した振動再現機構を実装する。これを用いて降雨時の振動触覚を再現することに加え、アソブレラが楽しさ、危なさなどの多様な印象をユーザに与えられるかを調べるため、雨以外の様々な物体が降り注ぐ感覚を体験することができるアプリケーション例についても検討する。本節では、まずこれまでになされている傘型デバイスの研究について述べ、その後アソブレラの実装と性能評価、さらに、アプリケーション例とユーザによる主観評価について述べる。

### 4.2.2 傘型デバイス

傘は古くから私たちの生活の中で用いられており、これらを用いたインターラクションツールの研究も、近年数多く行われている。



図 4.1: Ambient Umbrella

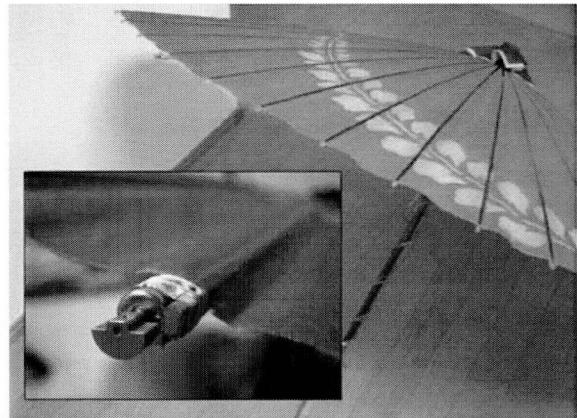


図 4.2: Oto-Sigure[62]

普段の傘としての用途に LED を組み合わせて情報提示を行う例として, Ambient Devices 社の Ambient Umbrella<sup>1</sup> や materious デザイングループの forecast<sup>2</sup>, Sang-Kyun Park による LightDrops<sup>3</sup> などが挙げられる. Ambient Umbrella は, 図 4.1 のようにグリップ部分に LED と受信機が仕込まれており, ネット経由でローカルな天気予報情報を受信し, 天気に応じて LED が発光することでユーザへ情報提示を行う. また, forecast は, PC と Wi-Fi 接続した傘立てが, 天気予報情報を受信し, その情報に応じて, 傘立てに立てられている forecast の柄の部分が様々な色に発光することでユーザへ情報提示を行う. 外出時に Ambient Umbrella や forecast が光っていたら傘を持って出掛けることをユーザに促すような, 日常に直感的な情報提示を含ませるアイテムである. LightDrops は, 雨粒の落下によるエネルギーを利用し, 傘に取り付けられた LED を発光させる傘型デバイスである. 傘布として, ポリフッ化ビニリデン (PVDF) という圧電体の膜を使用しており, 雨粒が膜に衝突する振動を電気エネルギーへ変換し, LED がこの電力で発行する. 雨が強くなるほど LED の輝度も増すため, 天候の変化に応じた情報を出力できる. また, 雨の日は歩行者, 車両運転者ともに視界が悪くなるため, LightDrops が発光することで注意喚起や安全確保に繋がる. これらは傘の一部に LED 等を付けることにより, その日の天候情報や, 車両運転者への警告など付加的な情報の提示に役立つと考えられる.

その他にも, 傘自体の形状や特徴を利用したデバイスの研究がいくつかなされている.

図 4.2 に示す神山らの Oto-Shigure[62] は, 傘を用いた音響再生システムである. 傘軸か

<sup>1</sup><http://www.ambientdevices.com/>

<sup>2</sup><http://www.materious.com/projects/forecast/>

<sup>3</sup><http://www.yankodesign.com/2008/12/08/umbrella-lights-the-way/>



図 4.3: Pileus[80]

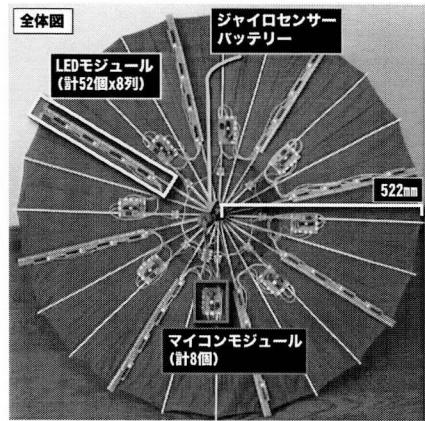


図 4.4: PhantomParasol[121]

ら放射状に伸びる骨の先端に振動子を取り付け、傘布をスピーカの振動板として振動させることで、傘型のドームそのものがスピーカとなり、空間的な音響効果を生み出すことを可能にしている。

Matsumoto らの Pileus[80] は、図 4.3 のように傘布の内側をスクリーンとして利用することで、歩行中の画像閲覧を可能にしている。また、無線 LAN への接続機能を持ち、傘の上部に取り付けられたカメラにより撮影した画像を画像共有 Web サイトにアップロードできる。傘のグリップ部分に取り付けられたボタンやグリップの回転により、画像をブラウジングすることも可能である。その他、デバイス内部には GPS 端末や電子コンパスが搭載されており、ユーザの現在地に応じて傘布に地図を表示することで、ナビゲーションとして用いることも可能である。同様に傘を視覚的なディスプレイとして利用している例として、図 4.4 に示す Tsukada らの PhantomParasol[121] が挙げられる。このデバイスは、傘に複数列の LED とジャイロセンサを取り付け、LED の残像効果を用いることにより、傘を把持している状態と回転させている状態とで異なる情報を提示することができる。

一方で、降雨感覚の再現を目指すシステムもある。村井らにより提案された Rhythm of the Rain [86] は、図 4.5(a) に示すように、視聴覚と触覚を用いて雨の感覚を体験できるアトラクションである。ヘッドマウントディスプレイを用いた雨の映像と音の提示のほか、図 4.5(b) に示すように、振動モータを傘布の周囲に備えたデバイスを実装し、雨粒が傘に当たる触覚を提示している。しかし、振動触覚は複数個の振動モータをランダムに回転させるという単純な方法で生成されており、実際の降雨感覚がどの程度再現されているかという評価もなされていない。

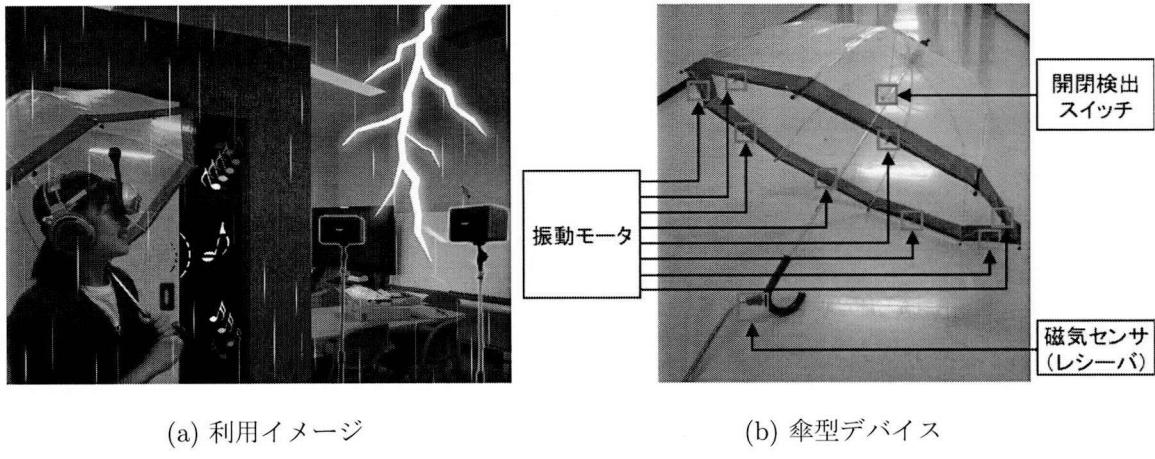


図 4.5: Rhythm of the Rain[86]

以上に挙げた傘型デバイスは、形状や可動性の高さといった傘の特徴に注目し、その特徴を利用して視聴覚情報を提示するものがほとんどである。降雨感覚の再現を目指す Rhythm of the Rain[86] も、厳密な振動触覚の再現を目指しているわけではなく、雨の持つ多面性を表現するためには、新たな機構を検討する必要がある。

### 4.2.3 実装

アソブレラの実装にあたり、まずは降雨を知覚するために振動触覚が重要なことを確認する予備実験を行った。実験では、シャワーによる降雨環境で傘を差し、視覚、聴覚、傘から手元へ伝わる振動のうちいずれか1つ、または2つを遮断し、その際の実験参加者が感じる雨の感覚について回答してもらった。視覚の遮断にはアイマスクを、聴覚の遮断には耳栓を使用した。また、振動を遮断する条件では、緩衝材を傘軸に巻いた状態で傘を持してもらった。参加者は7名（男性6名、女性1名、平均22.4歳）で、全条件の組み合わせである6通りをランダムな順序で体験してもらった。この結果、視覚や聴覚のいずれかを遮断したとき、または視覚と聴覚の両方を遮断したときには、他の感覚によって雨が降っていると十分に認識できていたことがわかった。一方で、振動を遮断したときには、雨が降っているという臨場感が少なく、振動が提示された場合に比べて不自然に感じるという意見が多く得られた。したがって、降雨を知覚するためには振動触覚が大きな要素となっており、これを再現するための機構を考案する必要があると言える。

図 4.6 に、アソブレラの概観を示す。雨粒が傘布に当たると、その振動が傘布を支える傘軸を通して手元に伝わる。傘に降りかかる雨粒の大きさや時間間隔は不規則であり、振

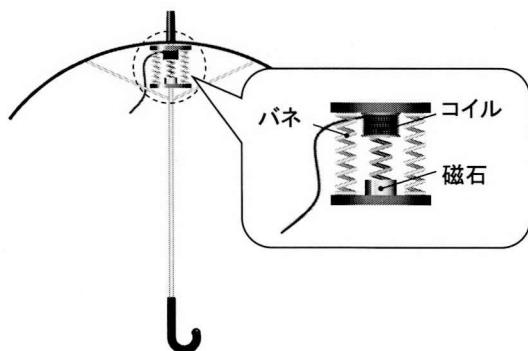


図 4.6: アソブレラの概観図

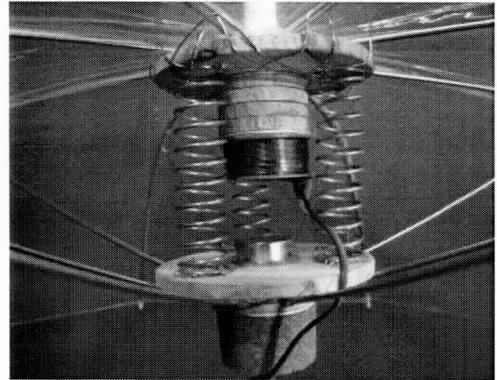


図 4.7: 振動記録・再生装置

動の強弱やタイミングは非常に複雑なものとなるため、既存のアクチュエータによってこれを再現することは難しい。そこで我々は、ダイナミック・マイクとダイナミック・スピーカの原理に着目し、図 4.7 に示すような、実際の振動を同一の装置で記録、再生できる振動記録・再生装置を提案する。振動記録・再生装置の実装に当たっては、様々な種類や数のバネ、磁石の組合せを試し、経験的に最も振動再現性の高かった組合せを採用する。その結果、この装置（直径 105 mm、高さ 90 mm）は、2枚の板で3本のバネ（自由長 75 mm、外径 22.6 mm、線径 1.8 mm、材質ステンレス）を挟み、一方の板にコイル（200 回巻、鉄心を含む）を、もう一方の板にネオジム磁石（直径 30 mm、厚さ 10 mm、磁束密度 450 mT）を固定した構造とした。振動記録・再生装置の質量は 376 g である。図 4.6 のように、この振動記録・再生装置を傘軸と傘布の間に取り付け、バネが傘軸の代わりに傘の重みを支えるようにすることで、アソブレラを実装する。総質量は 763 g である。アソブレラの傘布に雨粒が当たると、その振動が上下運動としてバネに伝わり、コイルと磁石との距離が変化する。このときダイナミック・マイクと同様に電磁誘導によって生じる電気信号を取得することで、雨による振動を記録する。また、記録した振動のデータをアソブレラに出力することで、ダイナミック・スピーカと同様に雨の振動を再生する。また、振動の記録や再生の際に特別な処理をする必要がないため、実時間で振動を再現することも可能である。

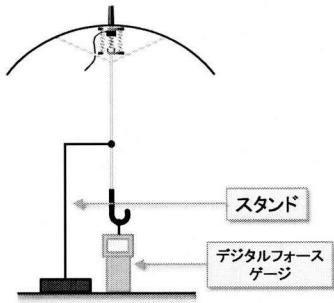


図 4.8: 性能評価の実験環境

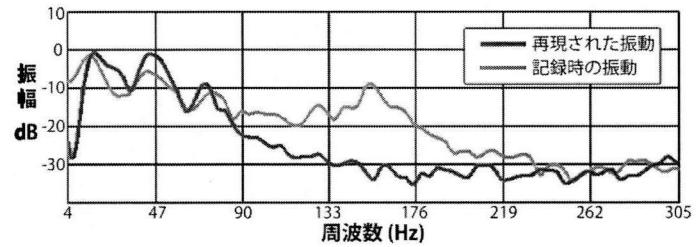


図 4.9: アソブレラの周波数特性

#### 4.2.4 性能評価

アソブレラの振動再現性を評価するため、実際の雨を記録する際のアソブレラの取っ手部分の振動と、ここで記録された振動を再生し、再現された雨の取っ手部分の振動との周波数特性を比較する。

性能評価に用いたシステムを図 4.8 に示す。図のように、振動波形を取得するためのデジタルフォースゲージ ((株) イマダ製) を床に、アソブレラを、振動に影響を与えないようにサポートする特製のスタンドにそれぞれ設置する。この環境において、シャワーを用いた擬似的な雨をアソブレラにより記録すると同時に、デジタルフォースゲージによりアソブレラの取っ手に発生している振動波形を 30 秒間取得する。次に、アソブレラにより記録された前述の振動データを同様の環境で再生し、得られた振動波形を比較する。アソブレラ上に降らせる雨はシャワーを用いて擬似的に再現し、その強さは気象用語<sup>4</sup>において中程度の雨とされる 4 mm/h とする。デジタルフォースゲージのサンプリング周波数は 1000 Hz とし、人の皮膚が感知できる 300 Hz 程度までの振動 [79] を特に観測する。

図 4.9 に、記録時と再現された振動の周波数特性を示す。図から、記録時の振動には 15 Hz, 45 Hz, 75 Hz, 155 Hz 付近にそれぞれ凸が見られ、この周波数帯を持つ振動が多く含まれることがわかる。一方で再現された振動では、10 Hz 未満や 155 Hz 付近では大きな減衰が見られ、再現できていない周波数も存在するが、その他の周波数帯 (15 Hz, 45 Hz, 75 Hz 付近) では記録時の振動と似通った特性を持っていることがわかる。この特性が雨の振動の再現に対して影響を与えるかどうかというアソブレラの雨感覚再現性について、ユーザによる主観評価を用いて次節で検討する。

<sup>4</sup>[http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/yougo\\_hp/kousui.html](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/yougo_hp/kousui.html)

#### 4.2.5 ユーザ評価1: 実際の雨との比較による評価実験

前節での性能評価から、アソブレラは雨の振動をほとんどの周波数帯において再現できることが明らかになったが、この再現された振動が利用者にどのように知覚されるかについても調べる必要がある。そこで本節では、アソブレラを用いて雨が降っているという感覚を利用者に提示できているかを確かめるための主観評価による実験について述べる。アソブレラで再生される振動のみに着目し、視覚情報や聴覚情報などを取り除いたとき、その振動だけで雨の降る感覚を人に提示できているかについて、実際の雨と比較する実験により評価する。参加者は、19歳から24歳の男性8名である。

##### 4.2.5.1 実験内容

本実験では、シャワーを用いて擬似的に再現した雨の振動と、それを事前にアソブレラで記録し、再生した振動を参加者が区別できるかを評価する。もし参加者が正確にシャワーによる振動とアソブレラによる振動を区別できない場合はアソブレラで提示された振動は実際の振動と類似しており、参加者に雨が降っているという感覚を提示できたと言える。

気象庁の定めている気象用語では、3 mm/h未満の雨が「弱い雨」、30 mm/h以上50 mm/h未満の雨が「激しい雨」と定義されている。また、4 mm/h以上10 mm/h未満の雨には呼称がなく、中程度の雨と捉えられる。そこで、比較する雨として、シャワーを加減し、弱(1 mm/h)、中(4 mm/h)、強(40 mm/h)（カッコ内はそれぞれのおおよその降水量）の3段階の強度を設定する。各降水量の雨の間には、体感的にかなりの差があり、普段傘を差して、その振動、音、雨粒の落ちる様子を知覚すれば十分に区別できる。

参加者は、弱、中、強の雨をランダムな順番で、さらにそれぞれの強さにおいて、シャワーによる雨とアソブレラによって再現される雨を、これもランダムな順番で30秒ずつ続けて体験してもらう。30秒という体験時間は、予備実験により、参加者が雨の振動を知覚しはじめ、吟味し、最終的に結論を出すために十分な時間として決定している。実験中、参加者はアイマスクをし、大音量の雨音をヘッドホンで聴き続けなければならないという大きな負担を強いられるため、試行回数はそれぞれの雨の強さにつき1回とする。参加者は、同じ強さの雨において、シャワーによる雨とアソブレラによって再現された雨を体験した直後、どちらがどちらの雨かを回答する。実験終了後、参加者には2種の振動を区別した根拠についてアンケート調査を実施する。



図 4.10: ユーザ評価 1 の実験風景

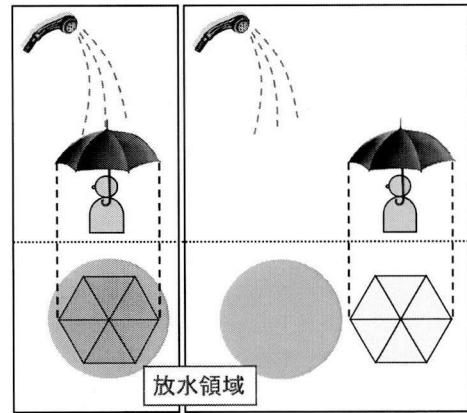


図 4.11: ユーザ評価 1 における放水方法

実験中の参加者の様子を図 4.10 に示す。まず、参加者は自分の正面側で両手を用いて傘を把持する。また、アイマスク、レインコート、長靴を着用し、ヘッドホンを装着する。これにより、降雨を感じる他の要素である、雨が降る様子や雨音、飛沫など視覚、聴覚、皮膚感覚から得られる情報を遮断する。また、参加者は振動を感じるために、手袋は装着せずに素手で傘を把持する。このとき、シャワーを用いて雨を降らせると、雨水の飛沫が手に当たる可能性があり、これを理由に振動を判断される可能性がある。また、濡れた土やコンクリートから匂いが生じると考えられ、匂いの有無によっても判断される可能性がある。そこで、シャワーとアソブレラのどちらの振動を体験する場合も、実験中は常時水を放水し、環境を極力等しくすることで、これらの要素から判断されることを防ぐ。実験中の放水方法を、図 4.11 に示す。図に示すように、シャワーによる振動を体験してもらう際は、参加者が持つ傘の傘布部分に満遍なく水がかかるように放水する。アソブレラによる振動を体験してもらう際は、参加者の正面側に向かって水を放水する。これにより手元にかかる飛沫ができるだけ等しくなるようにする。

#### 4.2.5.2 実験結果と考察

表 4.1 に、各降水量における判別率の結果を示す。判別率とは、全試行のうち、シャワーによる振動とアソブレラによる振動を正しく区別できた回数の割合である。表より、判別率はどの降水量においても 50 % に近い割合となった。これは、シャワーによる振動とアソブレラによる振動を区別できた参加者と区別できなかった参加者の人数がほぼ同数であ

り、2種の振動が区別し難いことを意味するため、アソブレラによって参加者に雨の感覚を十分に参加者に提示できていたと言える。

さらに、実験後のアンケートによると、ほとんどの参加者は2種の振動をほぼ勘で判断しており、根拠は特になしと述べた。その理由として、2種の振動は極めて似た感覚であったという意見や、振動の強弱の明瞭さや不規則なタイミングに着目したが判断できなかつたという意見が挙げられた。参加者の1人は、どの降水量に関してもシャワーによる振動とアソブレラによる振動を確実に判別できたと述べたにも関わらず、結果は全て不正解であった。このように、アンケートの結果も、アソブレラによる振動が実際の雨に極めて近い体験であったことを示唆するものとなった。

ただし、降水量40 mm/hでは、判別率が62.5%という結果になった。2種の振動を区別できた参加者から、上から押さえられるような重量感の有無で差を感じたという意見を得た。一方で、2種の振動を区別できなかつた参加者から、アソブレラによる振動の方に重みを感じたという意見もあった。

以上の実験結果から、参加者はシャワーによる振動とアソブレラによる振動をほとんど区別できず、また、2種の雨を区別するときに特に根拠がなかつたことから、4.2.4節で述べたアソブレラの周波数特性の雨感覚再現性に対する影響はほとんどなく、アソブレラによって再生される振動は本物とほぼ同等に感じられ、十分に雨が降っているという感覚を提示できていることがわかつた。これは、それぞれの参加者によって2種の振動を区別する方法や観点が異なり、結果において参加者間で特に偏りが見られなかつたことからも確認できる。

また、アソブレラは傘布が上下することによる磁界の変化を記録しているため、重量感を提示することはできない。しかし、降水量40 mm/hの条件でも判別率は半数に近かつたことやアンケート結果から、この影響は小さく、雨の感覚を提示するためにはこの機構

表 4.1: ユーザ評価1の実験結果

| 雨の種類 (降水量)     | 判別率    |
|----------------|--------|
| 弱い雨 (1 mm/h)   | 50.0 % |
| 中程度の雨 (4 mm/h) | 50.0 % |
| 強い雨 (40 mm/h)  | 62.5 % |
| 平均             | 54.2 % |

で十分であると考えられる。

#### 4.2.6 ユーザ評価2: アンケートによる主観評価

ユーザ評価1の結果から、アソブレラを用いて雨による振動感覚を十分に提示できることがわかった。本実験では、誰もが直感的に楽しむことのできる情報提示デバイスや、おもちゃ、ゲームなどのエンタテインメントへアソブレラを応用することを見据え、ユーザに楽しさ、危なさなどの多様な印象を与えられるかを調べる実験を行う。このため、雨以外の様々な物体が降り注ぐ感覚を体験することができるインсталレーションを実装する。アンケート評価では、このインсталレーションのデモンストレーションを通じて、比較的単調な振動である雨と、雨以外の様々な物体が降り注ぐ感覚を体験してもらい、まず体験者がそれらの振動を区別できるのかを調べる。また、このような種々の“雨”を体感できるシステムにより多様な印象を与えられるかを確かめる。

実験参加者に提示する“雨”として、硬さ、大きさ、素材、形状などが異なり、定性的には似通っている振動を発生させると考えられる物体を選ぶ。本実験では、小雨、大雨、ビー玉、BB弾、スパゲッティ、ゴム製の蛇、動物のぬいぐるみ、バケツの水の8種類とする。また、これらの振動を判別できているかを調べるため、表4.2に示すような7通りの比較対を用意する。これらの組合せは、記録時の様子やこれまでの予備実験での体験者からの意見などを参考に、振動が類似していると思われるもの（表4.2中の比較対2~4）と、そうでないもの（比較対5~7）を選んでいる。

表4.2: ユーザ評価2における比較対のパターン

| # | 比較対    |   |          |
|---|--------|---|----------|
| 1 | 小雨     | — | 大雨       |
| 2 | スパゲッティ | — | ゴム製の蛇    |
| 3 | スパゲッティ | — | 動物のぬいぐるみ |
| 4 | ゴム製の蛇  | — | 動物のぬいぐるみ |
| 5 | 大雨     | — | ビー玉      |
| 6 | ビー玉    | — | BB弾      |
| 7 | スパゲッティ | — | バケツの水    |

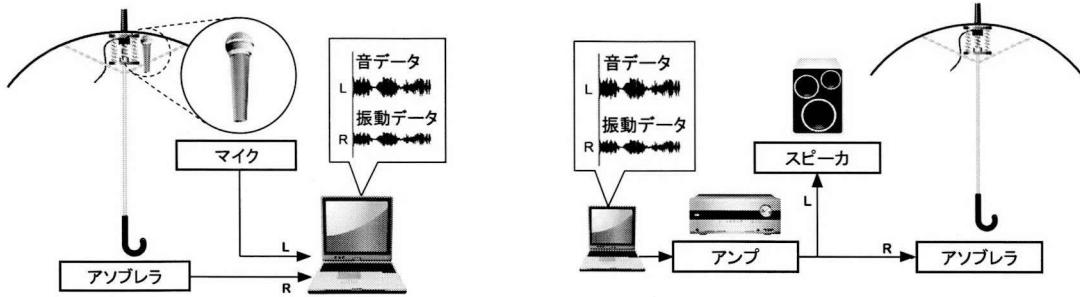


図 4.12: 振動記録時のシステム構成

図 4.13: 振動再生時のシステム構成



図 4.14: ユーザ評価 2 の実験風景

#### 4.2.6.1 実験内容

あらかじめ、図 4.12 に示すシステムの環境において、小雨や大雨、ビー玉、スパゲッティなどを含む 8 種類の“雨”を実際にアソブレラ上に降らせ、その振動を記録しておく。このとき、傘布付近にマイクを設置し、同時に音も記録する。“雨”を体験するときは、図 4.13 に示す環境において、記録した振動データと音データのボリュームをアンプによって調節し、それぞれをアソブレラとスピーカにより再生する。さらに、振動の記録風景を撮影した映像を、振動に同期させてプロジェクタで提示する。実験風景を図 4.14 に示す。

各参加者は、8 種類のうち 4~5 種類の“雨”を順に体験する。参加者に提示する“雨”は、表 4.2 にある 7 種類の比較対のうち、我々の選ぶ 3 つの対に含まれる“雨”とする。その比較対は、1 つが {小雨一大雨} とし、残りの 2 つは、振動が類似していると思われる対とそうでない対から 1 つずつ選ぶ。例えば、ある参加者は比較対 1, 2, 5 に含まれる、小雨、大雨、スパゲッティ、ゴム製の蛇、ビー玉の 5 種類を体験する。つまり、{小雨一大

雨} 以外の比較対は、参加者間で異なるものを提示することになるが、それぞれの比較対ごとの体験者数がほぼ同数となるよう調整する。また、小雨と大雨は初めに体験してもらい、それ以降の“雨”の提示順序はランダムとする。提示時間は1種類の“雨”につき30秒程度とする。

体験終了後、参加者は次の2項目についてアンケートに答え、各項目について、自由にコメントを記入する。

Q1. {小雨－大雨}について、実際の雨と同じような振動が感じられたか。

Q2. 体験した“雨”を比べ、振動の違いがわかったか。

Q1に関しては、5段階評価（1：全く異なる－5：全く等しい）で回答する。Q2に関しては、3種類の比較対について、振動を区別できたか区別できなかつたかのどちらかを二者択一で回答する。

#### 4.2.6.2 実験結果と考察

アンケート調査は、2009年8月3日から7日に米国ニューオリンズでACM主催のもと開催された、コンピュータグラフィックスとインタラクティブシステムに関する国際会議であるSIGGRAPH 2009のEmerging Technologiesにて、アソブレラをデモンストレーション発表した際に行った。1000人以上の体験者のうち、10歳から62歳まで平均31.8歳の男性293名、女性129名、性別不明22名の計444名に対してアンケートを実施した。

この結果、アンケートのQ1の平均評定は4.16であり、標準偏差は0.66であった。参加者からは、実際に傘の上に雨の水滴が落ちてきたように感じるという意見が多く得られた。例えば、振動だけでも雨だと感じるという意見に加え、音と映像が付加されていることでより本物らしく感じるという意見があった。これらの結果は、ユーザ評価1の実験結果を支持している。

Q2に関して、図4.15にアンケートの結果を示す。一対比較を行った組合せに対して、区別できると答えた割合は、{小雨－大雨}が一番高く99%であり、{スパゲッティーゴムの蛇のおもちゃ}が一番低く86%であった。しかしながら、振動が類似している対とそうでない対に関わらず、85%以上の割合で個々の“雨”を区別できた。これにより、アソブレラは傘布に当たる物体の違いも提示できていると言える。参加者からは、それぞれの“雨”的振動の違いが判別できる理由として、例えば、ビー玉とBB弾の“雨”を比

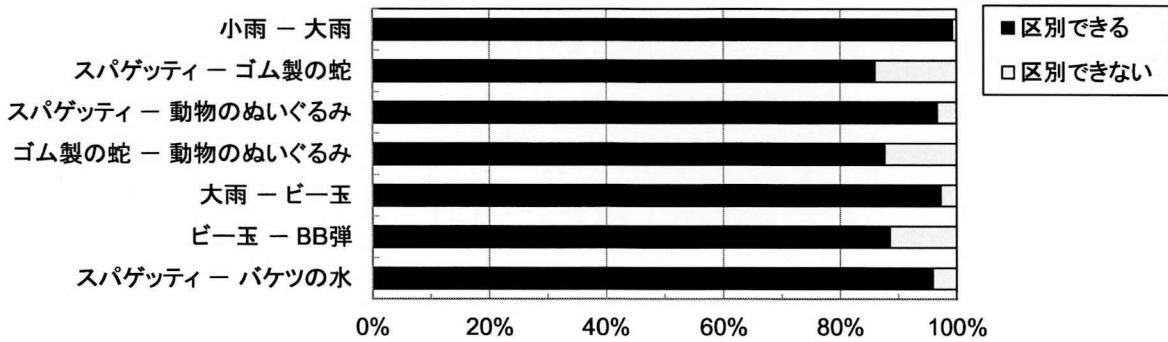


図 4.15: ユーザ評価 2 における各比較対のアンケート結果

較したとき、振動の強弱の違いから判別できる点や、スパゲッティとバケツの水を比較したとき、振動のタイミングの違いから判別できるという点が挙げられた。また、蛇のおもちゃに関してはゴムが傘布表面でバウンドしている感覚が得られたという意見や、雨は柔らかい衝突で、ビー玉は硬質な衝突である感覚が得られたという意見も得た。したがって、アソブレラに音や映像を組み合わせた環境では、物体の質量や大きさだけでなく、素材や硬さの違いなど、非常に豊富な種類の“雨”体験が可能であると言える。ただし、アソブレラの構造上、質量を提示することはできないため、バケツの水に関しては、水の重量感が無くあまりリアルに感じないという意見が多かった。しかし、バケツの水以外ではそのような感想はほとんど無かった。これは、ビー玉などの、他に比べて重みのある物体では、記録される振動の振幅も大きく、擬似的な重みのような感覚を瞬間的には与えられていたからであると考えられる。

アンケートの自由記述欄では、多くの参加者から様々な意見を得た。特に、傘を利用したアイデアがユニークで、シンプルだが、とにかく楽しいという意見が多かった。実際、周囲から見ているだけの人たちは何が起こっているのかわからずに困惑していたが、一度アソブレラを手に持って体験したときには、体験者は歓声を上げ、思わず傘布に手を触れて確かめたり、傘の外に手を出して上を見上げたりと、何かが上から実際に降ってきたかのような反応を見せた。さらに、雨だけでなく風の影響を含めた雨の体験がしたいといった意見や、軽量化やワイヤレス化、バケツの水を受け止めるときの重みを体感したいなど、システムの改良点についての意見も得られた。

#### 4.2.7 議論

##### 4.2.7.1 アソブレラのエンタテインメント性について

2つの評価実験から、アソブレラは雨が降っているという感覚を振動のみで十分に利用者に提示することができ、さらに、音や映像を組み合わせたシステムは、様々な物体が降ってくる楽しい“雨”体験を可能にすることがわかった。人が日常的に経験している雨は、年齢、性別、国籍などに関わらず共通のものであり、ただ手持するだけで扱える道具である傘は直感的なインターフェースとなっていたと言える。したがって、アソブレラは、奇妙な“雨”を体感できる子供向けのおもちゃとして、または、どのような“雨”が降ってきたかを当てて楽しめるゲームとしてなど、幅広い人々に受け入れられる可能性を秘めている。

アソブレラによる降雨感覚体験を改善するために解決すべき課題として、デバイスの軽量化および可搬化が挙げられる。現状のデバイスは一般的な傘の2倍弱の重量であることから、傘を持ちしているという感覚のリアリティを阻害していた恐れがある。また、このデバイスの動作にはPCとアンプを接続する必要があり、屋外で利用することは難しい。これらについては、4.3節での可振化デバイスの実装において、改善を検討する。

##### 4.2.7.2 アソブレラの応用可能性について

ユーザ評価2の結果から、アソブレラは単に雨が降っている感覚を再現するだけでなく、雨以外の様々な物体を上から降らせた感覚を提示することもでき、アソブレラの振動による表現の多様性と、エンタテインメント性の高さが確認できたと言える。このアソブレラを用いれば、本章の冒頭で述べた可振化を実現するための振動触覚ディスプレイとして用いることができると考えられる。この可振化については、4.3節以降で詳細に述べる。

その他に考えられる応用例として、遠隔地間の利用者2人が同じ雨の雰囲気を共有する、いわば「相合い傘」のような体験を可能にする“Tele-rain”が挙げられる。このアプリケーションは、アソブレラが入出力一体であるという点と、振動再現の実時間性が高いという点を利用し、図4.16に示すように、2つのアソブレラ間で雨の感覚をリアルタイムに伝達する。記録された振動は音のデータと同様に扱えるので、音声チャットのアプリケーションを用いることで容易に実現可能である。また、入出力を2チャネルに分けることにより、双方向での振動の伝達も可能になると考えられる。このようなTele-rainア

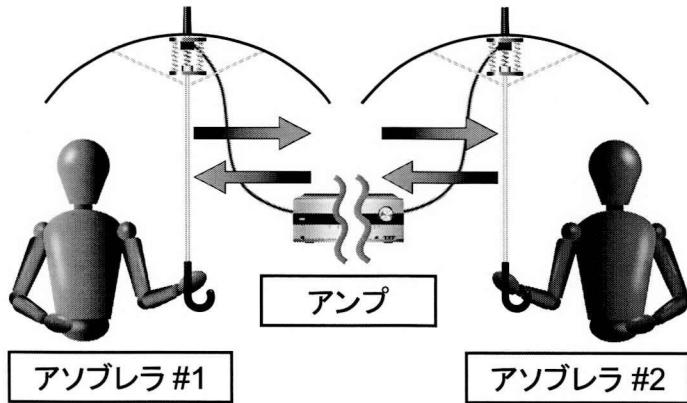


図 4.16: Tele-rain のシステム構成

プリケーションについて、実際に利用し、遠隔地間で降雨感覚をリアルタイムに共有することの有用性や応用可能性について検討することが、アソブレラの今後の展望として挙げられる。

### 4.3 降り注ぐ紫外線情報を可振化する傘型インターフェース「U-brella」

#### 4.3.1 概要

前節では、降雨時に傘が受ける振動を記録し、それを再生することで降雨感覚を再現する傘型インターフェースであるアソブレラを実現させた。評価実験により、アソブレラは振動の不規則なタイミングや振幅の変化まで再現できているなど、傘布によって生じる振動触覚の多様な表現が可能であり、エンタテインメントにも利用可能であることがわかった。このため、ユーザに様々な印象を与える情報提示が可能であると考えられるが、現状のアソブレラは、振動を体験するためには前もってその振動を記録する必要がある。この点を解決すれば、アソブレラを用い、情報の多寡や様々な印象をユーザにわかりやすく提示するインターフェースとして応用できると考えられる。

そこで本節では、様々な情報を振動として提示する「可振化」の提案と、可振化の実現例としてアソブレラを拡張させた傘型インターフェース U-brella の実現について述べる。可振化とは、もともと振動では表現されない様々な情報を変換し、振動として提示可能にす

るという意味の造語であり、特に、本来五感では知覚不可能な情報を振動として提示することで、直感的に知覚可能になることが期待される。

本節ではまず、アソブレラを用いて情報の多寡を表現可能とするため、降雨量に応じた降雨の振動を人工的に作成することを目指す。作成した降雨の振動が、実際の雨の振動だと知覚できるかどうかを、評価実験を通じて調査する。また、従来は主として注意喚起に使用されてきた振動ディスプレイ（例えば、丹羽ら[89]）を多様な印象を提示可能とするため、アソブレラを通して提示された振動がどのような印象をユーザに与えているかを調査する必要がある。このため、周波数や振幅などの特性の異なる振動を提示し、ユーザに与えた印象をアンケートにより評価する。

以上の実験から得られた知見を踏まえ、実際に降り注ぐ情報の一例として紫外線を可振化する傘型インターフェース U-brella を実装する。紫外線は、五感では知覚が難しく時には警告が必要な情報であることや、普段から遮るために傘が使用されることなどから、傘型デバイスを用いた可振化の対象として適していると考えられる。U-brella を実現するため、まずは PC やオーディオアンプなどをデバイスに内蔵する可搬化について検討する。その後、U-brella を用いて可振化された紫外線をユーザに提示する実験を行い、可振化がもたらす効果について考察する。

### 4.3.2 予備実験：雨量の異なる振動の一対比較

#### 4.3.2.1 実験概要

可振化の第一段階として、情報の多寡をアソブレラを用いて提示可能とすることを目指す。アソブレラは記録した振動しか再現できないため連続量を提示することができないが、単純な振幅の増減のみでこれを提示できる可能性がある。そこで、振幅を操作して人工的に作り出した雨と実際の降雨データとの振動を、アソブレラを用いて比較する実験を行う。この実験を通して、降雨量の異なる雨の振動も、振幅を変化させるだけで表現できるかどうかを調べる。実験の参加者は、20～22歳の男女7名で、1人あたりの実験時間は30分であった。

本実験では、参加者にアソブレラを通じて前述の2種類の雨の振動を体験してもらい、それらの違いを判別してもらった。本実験では、あらかじめアソブレラにより記録しておいた3種類の雨データを使用する。内訳は、「弱い雨」として 1mm/h、「中程度の雨」として 4mm/h、「強い雨」として 40mm/h の雨の3種類である。これらは、前節での実験と同

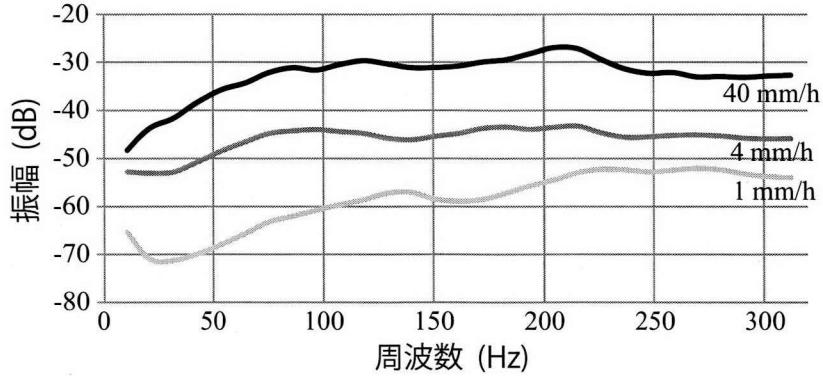


図 4.17: 各雨量における雨の振動の周波数解析結果

様、気象用語の定義に基づいて決定している。

これらの弱い雨、中程度の雨、強い雨の3種類の雨を周波数解析した結果を図4.17に示す。それぞれの雨量の間で振幅は大きく異なるが、150Hzより高い周波数に注目すると、3種類ともほぼ同程度の振幅の分布になっており、周波数特性はやや似ていることがわかる。そこで、各雨量の振動における振幅のみを変化させることで、異なる雨量の感覚を提示することができるか試みる。各雨量につき、異なる雨量データの振幅の平均値を同じ値にすることで、擬似的な雨量データを作成する。例えば、1mm/hの雨量については、4mm/hと40mm/hの雨量データの振幅をそれぞれ小さくすることにより、体感的な振幅が1mm/hのデータとほぼ同等の振動を生成する。本節では、元の振動をRealデータ、擬似的に生成した振動をFakeデータと呼び、これらを比較する。実験では、RealデータとFakeデータの対に加え、Realデータ同士の対を用意し、それぞれの雨量につき6セットずつ、ランダムな順番で体験してもらう。比較は、3秒のブランクを間に挟み、それぞれの雨を10秒ずつ体験する。1セット終了する度に参加者には2つの振動の違いを5段階で評価してもらう。なお、違いの度合いを5段階で答えてもらうためのスコアの解釈が参加者によって異なり、評価が難しいことが予備検討から明らかになったため、リッカート尺度ではなく、(1: 違わない、2: わずかに違う、3: 少し違う、4: かなり違う、5: 全く違う)のように各スコアの定義を明記したものを使用する。

#### 4.3.2.2 実験結果と議論

図4.18にアンケート結果のグラフを示す。それぞれの雨量ごとに各比較対におけるアンケートの平均値を示しており、3つの棒グラフのうち左側はRealデータ同士の比較対、

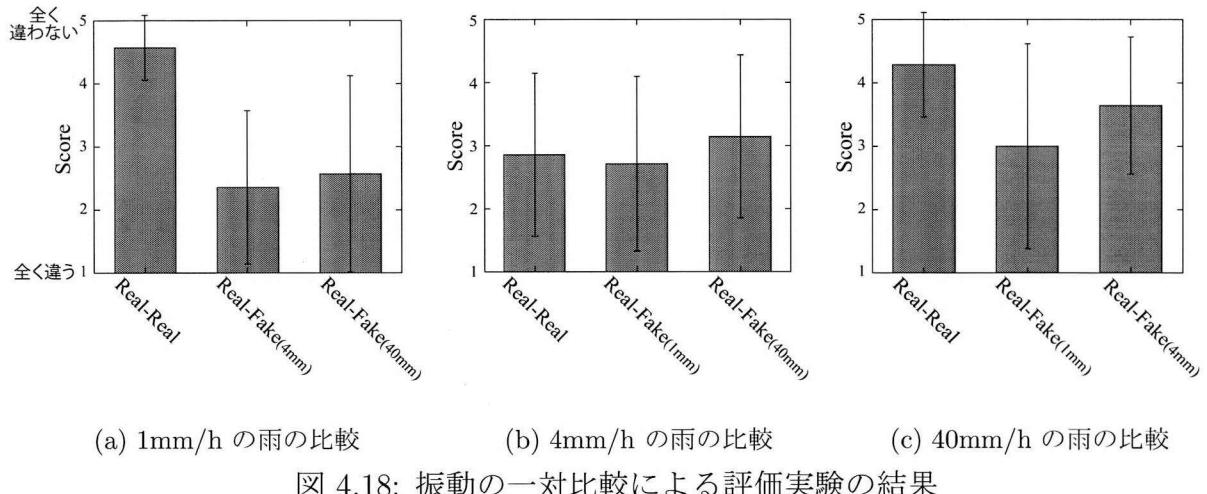


図 4.18: 振動の一対比較による評価実験の結果

残りの 2 つは Real データと Fake データの比較対となっている。ノンパラメトリックな検定手法である Kruskal-Wallis 検定による解析の結果、弱い雨（図 4.18(a)）ではスコア間に差が認められ ( $\chi^2(2) = 19.1, p < .01$ )、Scheffe の多重比較を行ったところ、Real データ同士の比較対と Fake データを含む比較対のいずれにも有意差が見られた ( $p < .01$ )。このことから、Real データ同士の比較に比べて Fake データとの比較は異なる振動だと感じられていたことがわかった。一方で中程度の雨（図 4.18(b)）では、同様の検定を行った結果、比較対に差は認められなかった ( $\chi^2(2) = 0.664, p > .05$ )。強い雨（図 4.18(c)）の場合も同様に、比較対に差は見られず ( $\chi^2(2) = 0.0637, p > .05$ )、Real データ同士の比較と Fake データを含む比較は同程度、似た振動だと感じられていたことがわかった。

実験結果から、弱い雨の場合には Fake データは異なる振動として区別されていたことがわかる。弱い雨の Real データは、他のデータと比べると 25Hz 付近の周波数成分が含まれておらず、この違いにより Fake データと区別された可能性が考えられる。ただし、Fake データを含む比較対ではアンケート値の分散が大きく、異なる振動を区別できているかどうかは個人差が大きいことも窺える。

一方で、中程度の雨と強い雨の場合には、比較対の間で違いがあまりわからなかった人が多かったことがわかる。特に、Real データ同士の比較対は全く同じ振動であるにもかかわらず、中程度の雨では半数以上の参加者が「かなり違う」や「全く違う」と答えていた。このことから、人が傘を把持している手で知覚される振動はあまり高い精度を持っておらず、ある程度似通った周波数成分と振幅を持つ振動は区別できないと推測される。実際、この予備実験で使用した雨は、降雨量によって雨粒の大きさが異なっていたが、この

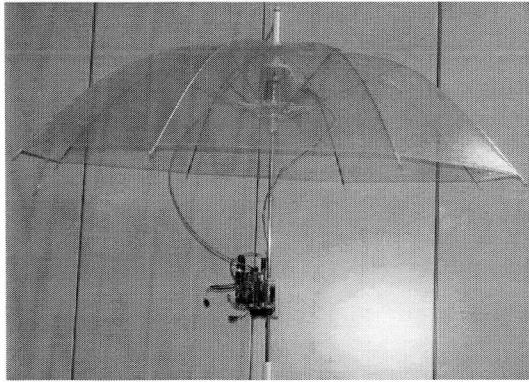


図 4.19: U-brella の概観

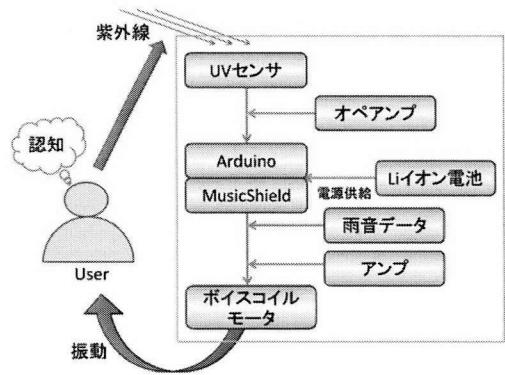


図 4.20: U-brella のシステムフロー

ことはあまり主観的な印象の違いには影響を及ぼさなかったことがわかる。したがって、弱い雨の場合には周波数を考慮する必要があるものの、振幅のみを変化させることで、連続的な雨量の多寡を人に提示可能であることが示唆された。

### 4.3.3 実装

#### 4.3.3.1 概要

傘を用いた情報提示の代表的な例として、紫外線量の可振化を行うシステム U-brella を実装する。U-brella の実現により、紫外線を遮る行為そのものによって紫外線量を振動で体感することができる。これを実現するため、まずは従来システムであるアソブレラの可搬化を目指す。このためには、アソブレラで用いられてきた振動機構の効率化を図り、システム全体を軽量化する必要がある。さらに、従来は PC やオーディオアンプなどの外部機器の接続が必要であったが、これらを小型化することで傘本体に収まるように設計する。また、紫外線量の情報を可振化するために、紫外線センサを傘の頭頂部に取り付け、その紫外線量に応じた振動の制御を行う。

#### 4.3.3.2 システム構成

U-brella のプロトタイプの概観を図 4.19 に、そのシステムフローを図 4.20 にそれぞれ示す。まず、入力装置として、傘の頭頂部に紫外線センサがあり、入力された値に応じた

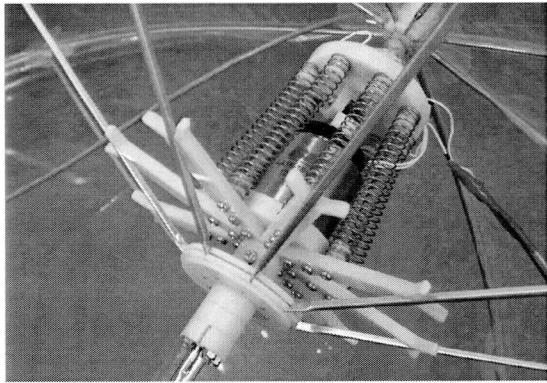


図 4.21: U-brella の振動機構

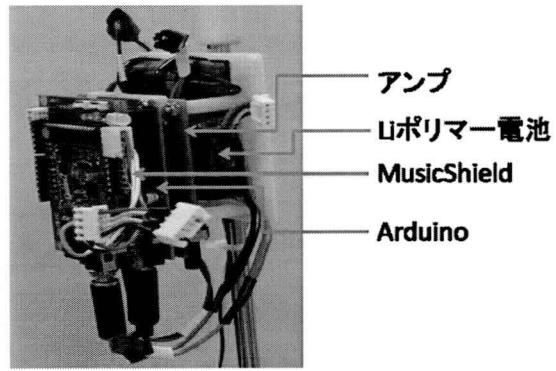


図 4.22: U-brella の制御機構

処理を行うための制御機構がある。その処理に応じて、出力装置であるボイスコイルモータで振動として出力する。

デバイスの可搬化を実現するためには、従来のアソブレラで用いられてきた機構に様々な改良を加える必要があった。従来の振動機構は、PC と大型のアンプを外部に接続し、電流を増幅させてから振動機構へ送信することで振動させていたため、アソブレラの利用にはオーディオアンプと PC が必要であり、持ち運びができないものであった。この問題を解決するため、振動機構をアンプが極力小型のもので済むような効率化を図る必要がある。

このために、磁石とコイルの間に生じる磁界について検討した。U-brella の振動機構の概観を図 4.21 に示す。アソブレラの機構では、ネオジム磁石とコイルとの間に一定の距離を設け、磁石とコイルの斥力と引力によって電流を発生させていたが、この構造では、コイルから誘導電流により発生した磁界の多くが磁石の外部に逃げてしまう。そこで U-brella では、磁気閉回路の構造を持つボイスコイルモータ (BEI 社製、LA16-16-001A) を採用し、振動出力装置として実装した。磁気閉回路の構造は、コイルを磁石で覆うことにより、発生した磁界が全て磁石内にとどまるため、その出力は格段に向上することが期待される。

振動機構を支える部分は、従来のアソブレラでは固定部を木製にしていたが、軽量化や振動の減衰の軽減などのため、ABS 製の素材に変更し、支える部分の薄型化を行った。また、従来のアソブレラでは磁石とコイルの間に斥力と引力を実現するためのバネを 3 本用いていたが、これよりもバネ定数が低く、軽量なバネ (SR441HT、自由長 80 mm、外径 8.9 mm、線径 0.8 mm、材質ステンレス) 8 本で支えるように変更した。これは、傘の

骨組みが8本であるため、8本のバネで支える方が安定性が増し、かつ従来の3本のバネ（総重量48g）に比べ、今回採用した8本のバネ（総重量16g）の方が軽いためである。また、アンプは20W（最大40W）の出力が可能な小型のステレオデジタルアンプ（イーケイジャパン社、PS-3246）を選択した。これらの改善により、アソブレラで必要としていた電源電圧（70W）よりも少ない出力でのデバイスの動作が可能となった。

紫外線情報を可振化するため、傘の頭頂部と同じ直径を持つ円柱型のアクリル製の物体を作り、そこに紫外線センサ（浜松ホトニクス社、G5842UV）を埋め込み、接着材により傘の頭頂部へ取り付けた。紫外線センサで取得した情報は、紫外線の強さに応じて電流の強さとなって出力されるが、センサ自体から出力される電流は $10^{-3}$ mA程度のオーダーのため非常に微弱である。このため、オペアンプによって出力を増幅し、Arduinoに入力するようにした。

また、これまでアソブレラの動作にはPCへの接続が必要であったものの、PCの音声録音と再生の機能しか使用していなかったため、これを制御機構内にまとめた。図4.22に示すU-brellaの制御機構は、入力された値に応じた処理を制御するマイクロコンピュータ（Arduino Duemilanove 328）と音声の再生機能を拡張する基板（galileo7社、MusicShield），電源装置とデジタルパワーアンプの4つの機構から成る。電源供給にはLiイオン電池を3セル結合させたものを使用した。このLiイオン電池は、過放電を行うとLiイオン電池の内部を破壊してしまうため、過放電を防ぐ必要がある。この制御はArduinoで、臨界値に近づくとLEDを点灯させて警告するようにした。制御機構は、手元の傘の柄のすぐ上方に配置しており、紫外線センサによって入力された紫外線量に応じて、出力であるボイスコイルモータの振動のための信号が制御機構から送られる。

以上のようにして実装されたU-brella全体の質量は、994gであった。アソブレラの763gに比べるとやや重いが、今回の機構ではやや重量のある制御機構が手元付近に配置されており、重心が把持点に近づいたため、持ちやすさに関しては改善されていると考えられる。

#### 4.3.3.3 ソフトウェア

センサから得られた紫外線量に応じた雨の振動を提示するための制御をArduinoによって行う。紫外線量は、気象庁が定義しているUVインデックス<sup>5</sup>と呼ばれる指標により、人

<sup>5</sup>[http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/uvhp/3-41uvindex\\_define.html](http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/uvhp/3-41uvindex_define.html)



図 4.23: 実験風景

体へ及ぼす影響の大きさを概算することができ、この値に応じて弱い、中程度、強い、非常に強い、極端に強いの 5 段階に分けられている。U-brella では、このような紫外線量に応じた雨の振動を発生させる。

U-brella を通じてユーザに提示する振動は、降雨時の振動触覚とする。これは、予備実験において、周波数や振幅の異なる正弦波や方形波などの振動も検討したが、傘型のデバイスから提示される振動としては雨の振動を用いることが利用者にとって最も自然で、降り注いでいる情報を最も認知的に体感しやすいと考えられたからである。この振動触覚には、4mm/h の降雨時にアソブレラによって記録されたデータを用いる。人工的に作り出した雨と実際の雨との区別が難しいことは、前節の予備実験で確認されたため、この振動の振幅を線形的に増減させることで紫外線量の強弱を表現する。

紫外線量に応じた振動の振幅を決定するための予備実験として、実際に U-brella を日向・日陰の箇所に設置し、日光の出ている時間帯に紫外線量を一時間程度測定した。測定時期の 11 月は、紫外線のあまり強くない時期にあたり、測定した時間帯である 11 時頃は、UV インデックスが中程度に上がり始める頃である。本実装では、紫外線センサで時間内に測定された電流値の最大値をもとに、ユーザに提示する雨の振動データの最大振幅を決定した。

#### 4.3.4 評価実験

##### 4.3.4.1 実験概要

実装した U-brella を参加者に実際に使用してもらい、可振化がもたらす効果を調査した。実験場所は、関西学院大学神戸三田キャンパス内で、晴天時に U-brella を使用して、

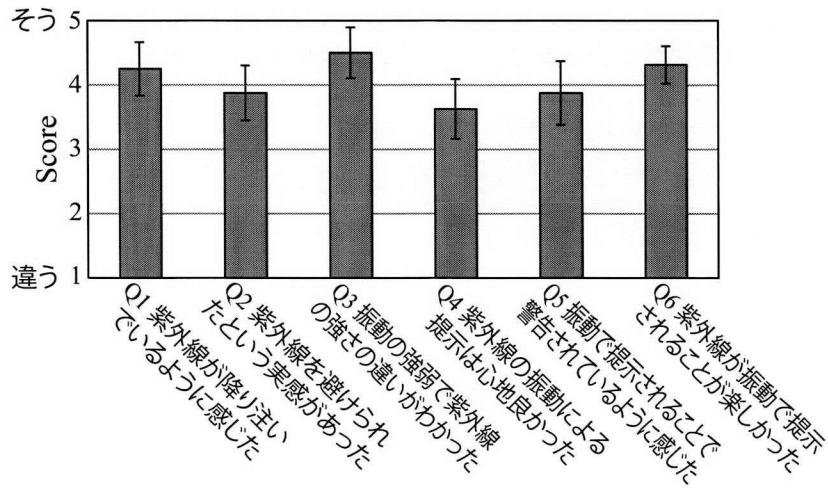


図 4.24: 各雨量における雨の振動の周波数解析結果

日向と日陰や木陰を自由に行き来してもらった。図 4.23 に実験風景を示す。気象庁発表の神戸市における UV インデックスは 3 で、中程度の紫外線の強さに分類される<sup>6</sup>。実験の参加者は 16 名（男性 14 名、女性 2 名、平均 22 歳）で、実験時間は 1 人あたり約 6 分であった。実験の終了後に 5 段階のリッカート尺度（1：ちがう – 5：そう）による質問と、体験についての感想を尋ねる自由記述形式からなるアンケートに回答してもらった。アンケート項目は下記の 6 つであり、Q1～Q3 は可振化により降り注ぐ情報が認知的に提示されていたかを確認するための質問、Q4～Q6 は可振化が参加者に与える印象を尋ねるための質問であった。

- Q1. 紫外線が実際に降り注いでいるように感じた。
- Q2. 紫外線を避けられたという実感があった。
- Q3. 振動の強弱で紫外線の強さの違いがわかった。
- Q4. 紫外線の振動による提示は心地良かった。
- Q5. 紫外線が振動で提示されることで警告されているように感じた。
- Q6. 紫外線が振動として提示されることが楽しかった。

#### 4.3.4.2 実験結果と議論

実験の終了後のアンケートから、様々な U-brella の使用感やその有効性などに関する回答が得られた。図 4.24 に、アンケート結果を示す。まず、可振化が実現できていたかどうか

<sup>6</sup>[http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/uvhp/3-40uvindex\\_manual.html](http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/uvhp/3-40uvindex_manual.html)

かを確認した Q1～Q3 では、4 付近または 4 以上の高いスコアが得られた。Q1 と Q2 からは、本来五感では知覚できない情報である紫外線が振動として感じられることで、実際にそれが降り注いでいることが実感されており、また傘によってそれを避けられているという実感も与えられていることがわかった。自由記述の回答においても、「紫外線が降り注いでいることが実感できるとそれを避けようと努力したくなる」「日陰に入ることを意識した」という意見や、実験の時期が 11 月だったこともあり、「太陽のありがたみを感じることができた」という意見が得られ、普段何気なく浴びている紫外線が実感できたことに対する喜びや驚きの声が多く上がった。また、Q3 の結果から、参加者が紫外線の強弱をつぶさに知ることができていたことがわかった。自由記述ではこの強弱を感じ取れたことに対するコメントが多く、「少しの陰の違いにも反応して振動が変化したので、よくできていると思う」「紫外線が降り注ぐ量の違いを実感できてその違いに驚いた」「木漏れ日の微妙な当たり具合も感じることができた」など、概ね好意的なものであった。

次に、可振化された振動が参加者に与えた印象を確認するための項目である Q4～Q6 でも、4 付近の高いスコアが得られており、振動を受けることによって楽しさ、心地良さを与えつつも、情報を警告としても捉えられていたことが窺える。このことから、可振化により、紫外線量に関する情報が提示されるだけでなく、多様な印象をも想起させられたと言える。単純な振動モータによる情報提示の場合、U-brella のような振幅の細かな制御ができないため、このような多様な印象を与えることは難しいと考えられるが、この実験では他の情報提示手法との比較は行っていないため、主観評価値については慎重に扱う必要がある。

自由記述の回答では楽しさに関するコメントが多くを占め、「紫外線量を実際に肌で感じるという体験は新鮮で楽しかった」「振動が刻一刻と変化するので体験していて楽しむことができた」などが得られた。このことからも、体験自体が多くの参加者にとって、これまでに経験したことのないものであったことが窺える。

一方で、デバイスや体験に関して改善を望む意見もあり、特に U-brella の軽量化を望む意見が多かった。本節で述べた改良により、アソブレラに比べ少ない電圧で同程度の振動を発生させられるようになり、デバイスを可搬化することに成功した。しかし、デバイス自体の重量は増しているため、これを普段持ち歩いたり差したりして利用するにはさらなる軽量化が必要である。今後の展望として、制御を U-brella 本体で行う方法ではなく、ユーザが持ち歩く携帯端末と無線通信して制御することにより制御機構を省くことなど、軽量化について検討することが考えられる。

また、アンケートの結果から、提示された振動は参加者に警告されているように感じられていたことがわかったが、一方で「あまり危機感を感じたというわけではなかった」と述べた参加者もあり、与える印象には個人差があることも明らかになった。さらに、本実験では、実験を実施した時期に合わせて振幅の強さを決定したが、夏と冬では紫外線量は大きく異なるため、これらの違いがわかるように利用者に提示するためには、単純な振幅の強弱だけでは不十分である。したがって、可振化手法の今後の展望としては、複数の異なる振動を、紫外線の強さに応じて合成して用いることが考えられる。雨による傘の振動は、雨量だけでなく雨粒の大きさなどによっても異なるものとなるため、紫外線量が弱いときには雨粒の小さい雨の振動を、強いときには雨粒の大きい雨の振動を高い割合で合成することで、より警告の意図を持った情報を提示できる可能性がある。さらに、U-brellaは紫外線の可振化デバイスに留まらず、五感では知覚しにくい花粉、放射線、スモッグなど多くの情報を可振化できると考えられ、これらを区別可能とするために、さらなる多様な振動の表現が必要になる。その他の今後の展望として、前節で検討したビー玉やバケツの水の振動など、雨以外の振動を用いることにより、与える印象のバリエーションを増やすことで、このような多様な振動の表現を実現することが挙げられる。

#### 4.4 おわりに

本研究では、身近な触覚を利用した情報の「可振化」手法を提案し、身近な触覚として傘による降雨の振動触覚に着目した例について検討した。まず雨の感覚を再現して楽しむことのできる傘型インターフェースであるアソブレラを提案し、振動提示により利用者に様々な印象を与えられることや、利用者を楽しませられることを確認した。その後、アソブレラを拡張し、降り注ぐ情報である紫外線量を可振化する傘型インターフェース U-brella を構築した。これを用いて、実際に屋外で紫外線の可振化を体験してもらう実験を行った結果、利用者に降り注ぐ紫外線の有無や強弱が直感的に把握され、さらに楽しさや心地良さといった多様な印象を想起させられていたことがわかった。このことから、可振化手法を用いることで、触覚を用いた個人ユーザへの認知的情報提示を実現できたと言える。今後の展望としては、デバイスの軽量化、より広いスケールでの紫外線量の強弱を表現するための提示手法の検討、さらに、紫外線以外の可振化などが挙げられる。

# 第5章 コミュニケーション円滑化のための部屋型情報環境

## 5.1 はじめに

第3章では視覚、第4章では触覚を用いた認知的情報提示手法により、複雑な情報や知覚が難しい情報を、個人ユーザーへ向けてわかりやすく提示することを実現した。しかし、情報提示の対象とするユーザーが複数人の場合、認知的情報提示の実現にはさらなる検討が必要である。

まず、2.4節で述べたように、複数人へ向けた情報提示は、会議室、美術館、ショッピングモールなどの生活場面で利用されることが増えている。このため、単に情報をわかりやすく提示することだけでなく、ユーザーの行動やユーザー間のインタラクションを阻害せずに、さり気なく働きかけることが求められる。第3章で検討した、視覚を用いた個人ユーザーへの認知的情報提示は、ユーザーによる入力に応じた情報を表示するという明示的・直接的な情報提示であると言えるが、これに加えて、ユーザーの状況に応じて自然に働きかける暗黙的・間接的な情報提示についても検討する必要がある。

さらに、複数人ユーザーへ情報提示する際、各ユーザーの状態や所望する情報は様々であるため、パブリックな情報やプライベートな情報の制御を適切に行う必要がある。先行研究（例えば[72]など）では、プライベートな情報提示には携帯端末による視覚情報を用いることが多いが、ユーザーの注意を向けさせることなく自然に情報を提示するためには触覚情報を用いることが望ましく、第4章で検討した可振化手法が適用可能であると考えられる。このように、複数人ユーザーへの認知的情報提示を実現するためには、視覚・触覚を統合させ、自然にユーザーへ働きかける情報提示環境が必要であると考えられる。

本章では、複数人への情報提示が用いられる様々な用途の中でも、コミュニケーション支援に着目する。これは、コミュニケーションが我々の社会生活において不可欠であり、支援することの社会的ニーズが大きいことや、コミュニケーション支援のためには、会話状況や目的に応じた複雑な情報提示の制御が必要とされることが理由として挙げられる。

2.4節で述べた、コミュニケーション支援のための情報提示システムの主な問題点として、情報提示を行うディスプレイによって参加者の人数や立ち位置、立ち振る舞いなどが制限されてしまうことが挙げられる。例えば、Proactive Displays[81]における情報提示は、参加者同士の関係性をノードやリンクで示す比較的複雑なものと言えるが、参加者の名前や顔写真を用いることを前提としている上に、表示された情報と会話参加者との対応付けを確認する必要があり、会話の中で瞬時に理解できるとは言いがたい。また、この情報の理解のために参加者らの注意が常にディスプレイに向いてしまうなど、自然な会話が阻害されることも考えられる。これに加え、多人数の会話や人が自由に動き回るような場面では会話構造や盛り上がりなどといった状況も時々刻々と変化するため、会話の状況に合わせて多様な情報を適切なユーザへ提示することが求められる。これらのことから、コミュニケーションの円滑化のための複数人ユーザへの認知的情報提示を実現するためには、ユーザの自然な会話や行動を妨げず、多様な情報を適切なユーザへ提示可能な環境の確立が必要である。

そこで本研究では、多人数でのコミュニケーションを部屋全体で活性化させる情報環境 Ambient Suite を提案する。Ambient Suite では、参加者の周囲の環境全体がディスプレイとなっているため、参加者らは普段通りの自然な会話の中で、提示される情報を自然に利用できるようになると考えられる。また、部屋内の壁や床などに配置された視覚によるディスプレイ群や、参加者が身に付ける触覚によるディスプレイを有機的に連携させることにより、パブリックな情報、プライベートな情報、利用者の立ち位置に依存する情報などの、情報の特性に応じた提示が可能となる。このため、どの情報が誰に向けたものなのかという対応付けがわかりやすく、多様な形で表現することができると考えられる。

本研究では、この Ambient Suite を、懇親会などの立食パーティの場面に適用した Ambient Party Room を構築する。立食パーティは、人の位置が固定でないため、他の会話場面に比べて直感的な情報提示が困難であると考えられ、また比較的面識の少ない人同士が会話することが多いため、コミュニケーション支援の必要性も高いと考えられる。本章では、Ambient Party Room の実装の詳細と、これを用いた初対面の男女6人による会話実験について述べる。この実験結果から、構築したシステムによる情報提示が会話の中で自然に利用され、実際に会話を活性化させられたかを考察する。

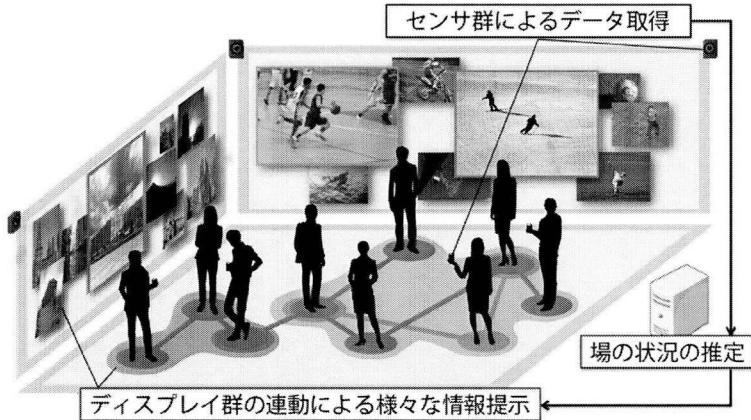


図 5.1: Ambient Suite のコンセプト

## 5.2 Ambient Suite

Ambient Suite の概要を図 5.1 に示す。suite には「特別室」や「ひとそろいの」などという意味があり、Ambient Suite は、ユーザを取り囲む環境により、会話を活性化させるための情報を参加者にわかりやすく、また参加者らの行動や会話を妨げずに提示することを目的とした部屋型システムの名称である。システム内では、部屋に設置された、または参加者が保持・装着した様々なセンサにより、各参加者にできるだけ負担をかけずに会話や行動を取得する。例えば、位置センサやマイクなどのセンサ群により参加者の発話状況やジェスチャなどの非言語情報を取得し、リアルタイムに会話の活性度などといったその場の状況を推定する。また、その状況に応じた情報を、部屋内に配置されたディスプレイ群に表示する。ディスプレイ群は、壁ディスプレイや床ディスプレイなどの、参加者を取り囲むように配置された視覚情報を提示するためのものと、参加者各々が身に付ける、触覚情報を提示するためのものからなる。これらを連携させて、パブリックな情報、プライベートな情報、人の位置に応じた情報など、多様な形で情報を提示し、会話の活性化につなげる。

壁ディスプレイでは、全員が共有可能であるパブリックな情報を表示する。床ディスプレイは、参加者の足下に情報を表示できるため、位置指示や位置に応じた情報提示が可能である。特に、会話において参加者同士の共通点や関係性などを表すことは非常に重要であり [81, 96]、このような複数人に関連する情報を直感的に提示するためには、人の立ち位置に合わせて床に情報を表示することが有用であると考えられる。さらに、各参加者が身に付ける、または把持する物体（後述の立食パーティにおける例ではコップ）に振動提

示装置を取り付けることで、会話中にプライベートな情報を提示できると考えられる。この振動触覚の提示には、第4章で検討した可振化手法を適用することが考えられる。

このように、部屋全体を情報提示環境とし、ディスプレイ群を有機的に連携させることにより、参加者らがディスプレイ付近に集まるなどの影響を及ぼすことなく、普段通りの自然な会話の中で、提示された情報を利用できると考えられる。また、情報の特性に応じて提示方法を切り替えることが可能となるため、どの情報が誰に向けたものなのかという対応付けがわかりやすく、多様な形で表現することが可能である。これに加え、会話人数の動的な変化や、立食パーティのように参加者が部屋内を自由に動き回る場面でも、適切なユーザへ情報を伝達できると考えられる。

## 5.3 Ambient Party Room

### 5.3.1 概要

Ambient Suite を、懇親会などの立食パーティの場面で利用することを想定した環境である Ambient Party Room を構築する。立食パーティの場面では、参加者同士の会話が盛り上がり、お互いが仲良くなることが重要であると考えられ、参加者は会場内を自由に動き回ることができるという特徴がある。以下では、こうした特徴に応じた Ambient Party Room のセンシングデバイス、ディスプレイデバイスや情報提示について検討する。

### 5.3.2 実装

#### 5.3.2.1 センサ

会話状況を推定しようとする研究は 2.4.2.1 節に述べたように多く存在するが、パーティの場面での利用を考慮すると、会話の内容や構造よりも、会話の盛り上がりに注目すべきだと考えられる。そこで本実装では、梶村ら [61] により提案されている場の活性度の算出式を利用する。

$$\begin{aligned}
 \text{Activity} &= 4.6 \times 10^{-4} \times ST + 6.1 \times 10^{-6} \times HA \\
 &+ 9.8 \times 10^{-4} \times HR + 0.57 \quad (R^2 = 0.42)
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

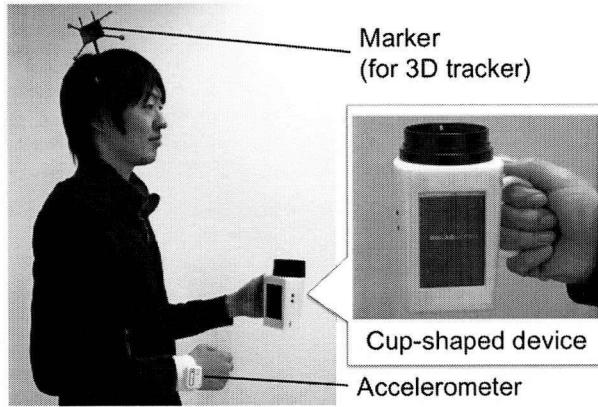


図 5.2: 頭部マーカ, カップ型デバイス, 加速度センサ

ここで,  $Activity$  は場の活性度,  $ST$  は発話時間 (秒),  $HA$  は手のジェスチャ加速度 ( $m/sec^2$ ),  $HR$  は頭部回転回数 (回) を表し, 場の活性度はいずれの非言語行動が増えても場の活性度が大きくなることがわかる. また, 場の活性度の算出には発話, 頭部の向き, 手のジェスチャに関する非言語情報を使用するため, これらをセンサにより取得する必要がある.

参加者それぞれの発話情報やジェスチャを取得するため, 図 5.2 に示すように, マイクや加速度センサなどのセンシング機能をカップに統合したデバイスを構築する. 立食パーティの場面では, 参加者が自身のカップを持つことが多く, また保持者からカップが大きく離れることが少ないため, 装着不要であるカップをセンシングデバイスとして用いることは有効だと考えられる. 実装は, iPod touch を分解し, 各種センサとタッチディスプレイをカップに埋め込むことで実現する. 取得された発話や加速度の情報は, Wi-Fi ネットワークでリアルタイムにサーバに送信される. また, このデバイスはタッチディスプレイを備えるため, 各参加者への情報提示や, 参加者による情報入力にも用いることができる.

カップを持たない方の手のジェスチャを取得するために, 加速度センサ (ATR-Promotions, WAA-006) を参加者の腕に装着する. 取得されたデータの通信には Bluetooth を用いる. 頭部の向きを取得するセンサとしては, 赤外線カメラによる 3 次元位置センサ (OptiTrack FLEX:V100R2) を用いる. 参加者の頭部にマーカを装着することにより, 頭部の位置や方向を計測でき, 視線方向の代用にもなると考えられる. 参加者は図 5.2 のように, カップ型デバイス, 加速度センサ, 3 次元位置センサのためのカチューシャ型のマーカを装着する.

### 5.3.2.2 ディスプレイ

パーティにおける会話場面では、参加者間で情報共有ができ、会話が盛り上がるが最も重要である。ディスプレイ群からの情報提示として、視覚と触覚を用いることはすでに述べたが、触覚を用いたプライベートな情報提示よりも、情報共有をするため環境を構築することを重視し、本システムでは壁ディスプレイ・床ディスプレイの連携による視覚を用いた情報提示に焦点を当てる。

壁ディスプレイは、部屋内の壁の2辺（対辺）に対して短焦点プロジェクタ（SANYO, PDG-DWL2500J）による映像投影で実装する。これは、部屋の中の参加者がどの方向を向いていても容易に情報を獲得できるからである。また、床ディスプレイにも同様の短焦点プロジェクタを用いた。プロジェクタの前に参加者が立った場合のオクルージョンを軽減するために、部屋の対辺2カ所から同じ映像を投影し、重ね合わせる。各参加者が把持するカップ型デバイスからは、埋め込まれたタッチディスプレイによる視覚情報の提示が可能であるほか、振動モータを接続することで、触覚情報の提示も可能である。

### 5.3.3 刺激情報の検討

コミュニケーションを活性化するためにディスプレイから提示される情報を、本論文では刺激情報と呼ぶ。立食パーティの場面におけるコミュニケーション活性化のための刺激情報の基本方針は、参加者の会話が盛り上がり、お互いが仲良くなるよう、参加者同士で共有できる情報を与えることである。ただし、話題を強制的に変更させるなど、システムが参加者の会話を阻害することのないよう、適度な刺激とすることも心がける。先行研究では、参加者の会話行動情報のフィードバックや、参加者の関心に基づいた刺激情報が主に検討されており、Ambient Party Roomでは、これらをパーティ場面で利用することを考慮した2種類の刺激情報について検討する。

#### 5.3.3.1 刺激情報1: 参加者の会話に基づく動的な情報のフィードバック（FB 刺激情報）

Meeting Mediator[65]がブレインストーミングにおいてより協力的な会話を支援するなど、非言語情報の可視化によって会話中の行動が改善されることがわかっている。この考えに基づき、本システムではパーティの場面において重要と考えられる場の盛り上がり度合いを可視化する刺激情報について検討する。

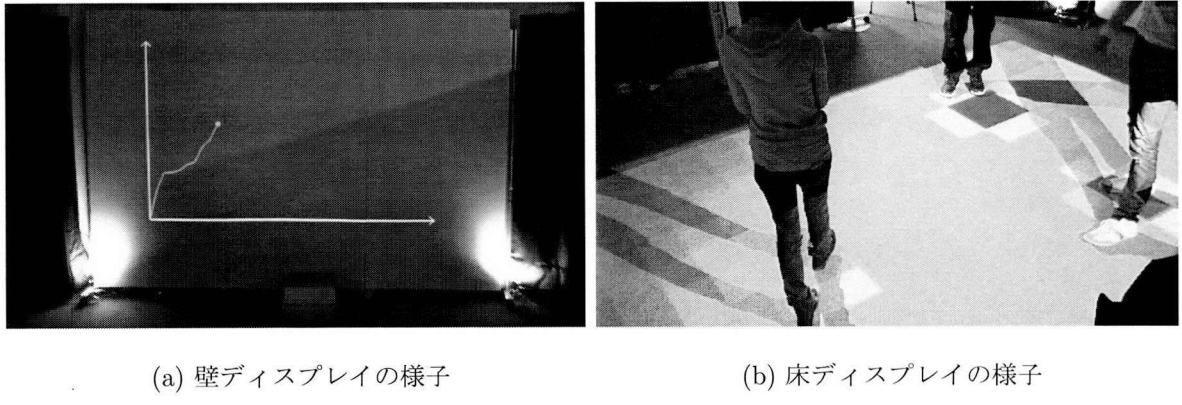


図 5.3: FB 刺激情報

図 5.3 に、壁ディスプレイと床ディスプレイへの FB 刺激情報の様子を示す。図 5.3(a) のように、システムにより算出された場の活性度の時間変化を表す折れ線グラフが壁ディスプレイに表示される。場の活性度は、式 5.1 により 10 秒ごとに計算される。このグラフから、参加者がその時点の場の活性度を把握することにより、場の活性度を高めたり、または維持しようとする行為が誘発され、場に何らかの影響を及ぼすことが期待できる。床ディスプレイには、図 5.3(b) のように、参加者ごとの活性度が可視化される。これには、グラフと同様に式 5.1 が用いられるが、リアルタイム性を視覚的に高めるため、5 秒ごとに更新する。床ディスプレイに表示する活性度はヒートマップのように色で表され、活性度が高い人の足元ほど赤く、活性度が低くなるほど赤色→黄色→緑色→黒色の順で変化していく。この床の情報提示により、それぞれの参加者や全体の活性度、およびその偏りなどが視認できるため、壁ディスプレイと合わせることで、その時点の場の状態とその分布を把握することができる。その結果、活性度が低い人に積極的に話しかけようとする行為の誘発などが期待される。このように、部屋型の情報空間の利点を活かし、壁ディスプレイと床ディスプレイを連動させ、パブリックな情報と場所依存の 2 種類の情報を表示する。

### 5.3.3.2 刺激情報 2: 参加者のプロフィールに基づく静的な刺激情報（興味刺激情報）

人が自己自身の経験や価値観などの情報を他者に話すことを自己開示と呼び、自己開示は初対面かどうかに関わらず、人が親密になるための重要な過程であるとされている [117]。このため、参加者らが関心のある話題やプロフィールに基づいた情報を提示することにより自己開示を促すことが有効と考えられ、Proactive Displays[81] などの多くの

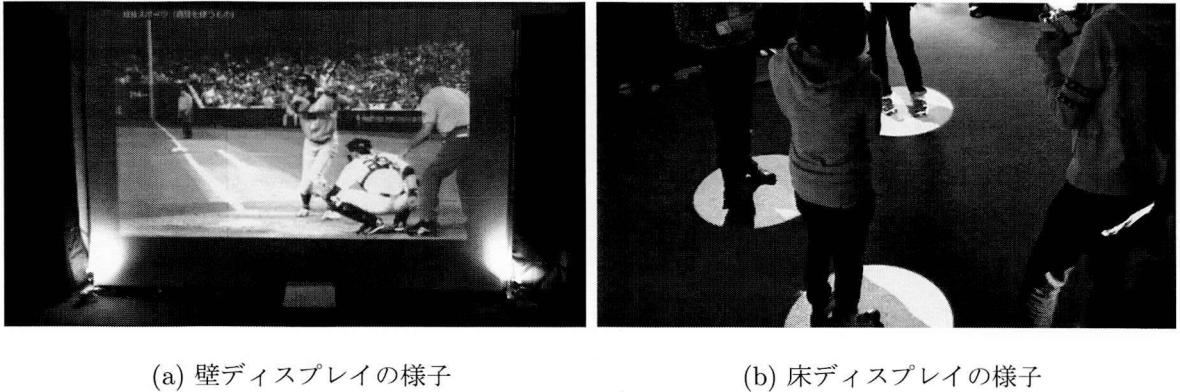


図 5.4: 興味刺激情報

先行研究でも用いられている。本実装では、パーティの場面で比較的面識が少ない人同士が会話することを考慮し、参加者の共通の趣味を見つけやすくする刺激情報について検討した。

図 5.4 に、壁ディスプレイと床ディスプレイへの興味刺激情報の様子を示す。図 5.4(a)のように、壁ディスプレイには、ある特定の項目についての写真を表示し、一定時間ごとに写真を切り替える。本実装では、予備検討の結果から、写真 1 枚あたり 30 秒表示させることとした。一方で床ディスプレイには、図 5.4(b) のように、提示している項目に高い興味を持つ人をスポットライトのように光らせる情報提示を行う。この表示により、壁ディスプレイに提示される情報に誰が興味を持っているのかを認識でき、たとえ参加者同士が離れていたり、違う会話グループに属していたりしても、これを把握できる。この刺激情報においても、壁と床 2 種類のディスプレイを連動させ、参加者同士の会話のきっかけや話題づくりを支援する。

## 5.4 評価実験

### 5.4.1 概要

実装した Ambient Party Room による情報提示が参加者に直感的に理解されて会話の中で自然に利用されるか、また実際に会話を活性化させられるかを評価するため、立食パーティの場面を想定し、男女混合のグループで実際に会話してもらう実験を行った。実験は、本システムが最も必要と考えられる、面識の少ない人同士の会話を対象とし、グループの人数は、構築した部屋の広さなどを考慮し、男女 3 人ずつの 6 人とした。実験で

は、会話の状況を認識するためのセンサデータの取得精度について、また、壁と床のディスプレイにより連携された情報の効果について確認した。さらに、情報提示により実際に参加者の会話が活性化したかどうかについて、参加者による主観評価と、参加者の非言語行動量を比較することにより評価した。

#### 5.4.2 参加者

実験参加者は、大学生または大学院生の日本人 101 名（男性 51 名 :  $21.95 \pm 1.42$  歳、女性 50 名（1 名欠席）:  $21.46 \pm 1.45$  歳、全体 :  $21.71 \pm 1.46$  歳）であった。参加者グループ内に知り合い同士が含まれていた場合、会話の形成と行動に影響を与える。そこで、グループ間の条件をできるだけ等しくするため、グループ内の 6 人全員が初対面同士となるように、学部や所属部活・サークルを考慮してグループを構成した。また、少なくとも同性同士での上下関係を意識せずに会話ができるようにするために、同性同士の年齢差が小さくなるように考慮して同性 3 人を選んだ。その結果、同性 3 人で最年長の参加者と最年少の参加者の年齢差は男性で平均 2.00 歳、女性で平均 2.76 歳であり、グループ 6 人全体での最年長の参加者と最年少の参加者の年齢差は平均 3.88 歳であった。

#### 5.4.3 実験環境

実験環境として用意した Ambient Suite は、図 5.5 に示すように、約  $25 \text{ m}^2$  ( $5.5 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ ) の仕切られた領域であった。壁ディスプレイは約 130 インチであり、床ディスプレイは約 200 インチの大きさであった。プロジェクタからの投影映像を鮮明に表示するために部屋の照明は抑え、間接照明を設置した。部屋の窓際は暗幕で覆い、また実験中は部屋を閉め切って、外部の音が極力入らないように配慮した。天井または壁に 3 次元位置センサの赤外線カメラを 8 台設置した。また、事後解析のためのビデオカメラ 3 台を、実験者の作業領域に参加者に見えないように設置した。

5.3 節で述べた通り、参加者は 3 次元位置センサのマーカを頭部に、加速度センサを非利き手に装着し、カップ型デバイスを利き手に持つ。また、参加者同士の識別のため、A ~ F の文字が書かれた札を首から提げる。センサにより非言語行動を検出するための詳細なパラメータは、同じ環境を用いた予備実験により決定した。複数人が同時に発話している状況でも発話時間を正確に計測するため、発話と見なすための閾値は、カップ保持者本

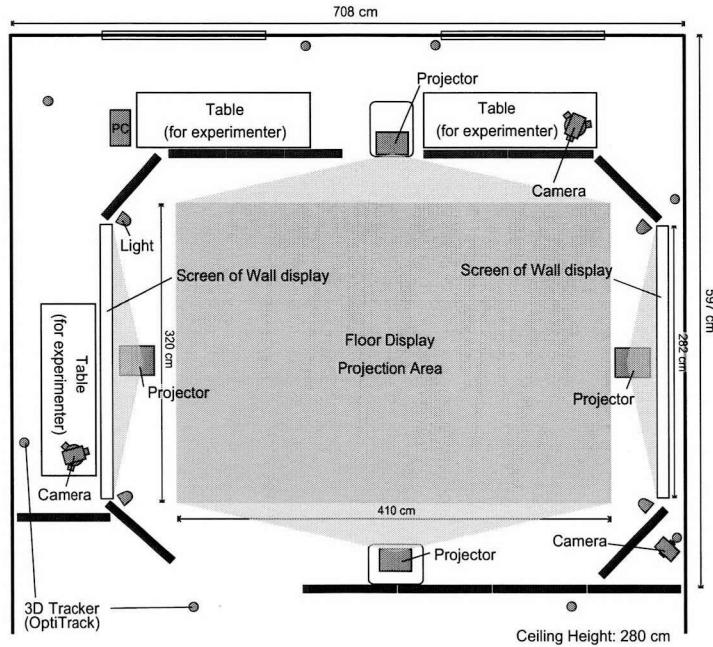


図 5.5: 実験環境

人の発話音量よりも小さく、カップ保持者以外の発話音量よりも大きくする必要がある。本実験で用いたマイクでは、音量の最大値が 0 dB, 最小値が -120 dB として表されるが、予備実験の結果、閾値の音量を -43 dB とし、この音量を超えた時間の合計値を発話時間として算出した。頭部回転は、頭の揺れなどのノイズを排除できるよう、参加者の頭部が左右のどちらかに 10 度以上動いたときに 1 回とカウントすることとした。手のジェスチャは、先行研究 [61] を参考にし、加速度センサの検出値が  $200 \text{ mm/sec}^2$  を超えたときに 1 回とカウントした。また、サンプリング周波数は、発話は 4 Hz, 頭部回転は 10 Hz, 手の加速度は 2 Hz とした。これらは、活性度 [61] の算出に十分なサンプリングができることと、システムへの負荷の両方を考慮して決定した。

#### 5.4.4 実験手順

実験の前に参加者同士の対面や会話が極力起きないよう配慮した上で、実験についての同意書と、会話中に提示する情報を選定するための質問紙に記入を求めた。事前に参加者が興味を持っていると考えられる項目（「球技スポーツ（道具を使うもの）」, 「球技スポーツ（道具を使わないもの）」, 「球技以外のスポーツ」, 「アウトドア」, 「音楽」, 「音楽鑑賞」, 「芸術」, 「芸術鑑賞」, 「ボードゲーム」, 「ボランティア」の 10 項目）を、参加者

らのクラブやサークル活動を参考に選出した。参加者には事前質問紙にて、この10項目から興味のある順に1から5位まで順位を付けてもらい、そのうち多くの人の興味が集中しているものから順に3項目を用いた。興味刺激情報の内容は、それぞれの項目に関する写真とし、実験者が事前にこれら10項目に関する写真をWebから4枚ずつ選定した。4枚の写真のうち2枚は、それぞれの項目に関する一般的な活動風景の写真で、との2枚はそれぞれの項目における有名な人や場所などについての写真とした。例えば、「球技スポーツ（道具を使わないもの）」では、ラグビーの一般的な活動風景、バスケットボールの一般的な活動風景、サッカー日本男子代表選手の写真、バレーボール日本女子代表の選手の写真の4枚を使用した。

質問紙への回答が終わると、参加者にセンサや名札を装着してもらい、お茶を入れた状態のカップ型デバイスを手渡して会話領域へ誘導した。実験は、12分間の会話を情報提示有り・無しの2条件でそれぞれ1回ずつ、計2回行う。どちらの条件でも、お互いが仲良くなるように自由に会話するように教示し、また情報提示有りの場合は、提示される情報を参考にしても構わないと指示した。なお、情報提示の有無の条件は、情報提示無し、有りの順番で固定した。これは、会話の前半で情報提示を導入した場合、特にそれに続く後半部分にも提示された情報についての話題が話されるなどの特異な影響を及ぼす可能性が高く、通常の会話と見なしにくくなるためである。また、会話の前後半による慣れの影響に比べ、参加者グループ間の差の影響が非常に大きいことが予備実験から明らかになり、被験者内実験計画にすることが好ましかったためである。提示する刺激情報は、前節で述べた2種類（FB刺激情報、興味刺激情報）であり、これを6分間ずつ提示することとし、提示する順番は参加者全体でカウンターバランスを取った。また、12分間の会話が1回終わる毎にセンサを一度外して、会話に関する質問紙に回答してもらった。2回の会話と質問紙への回答が終わったら、最後に謝礼を渡して実験を終了した。

なお、実験では、12分間の会話中2分毎に、手元のカップ型デバイスのタッチディスプレイを用いて、現在の場の盛り上がりについて評価する手続きを設けていたが、別の解析を目的としているために本論文では扱わない。このアンケートの回答中に会話を中断する様子は一部見られたものの、回数を経るにつれて減り、事後アンケートでも大きな影響がなかったことを確認している。

### 5.4.5 質問紙

参加者の会話や情報提示に対する印象を評価するため、12分の会話が終わる毎に、質問紙への回答を参加者に求めた。質問紙は、8段階のリッカート尺度（1：ちがう – 8：そう）の3項目と5段階のリッカート尺度（1：ちがう – 5：そう）の7項目で構成されていた。ただし、刺激情報についての質問であるQ9とQ10は、情報提示有りの条件の会話後にのみ回答を求めた。質問項目を以下に示す。

#### 8段階で回答を求める項目

- Q1. 協力的に会話が進んだ。
- Q2. 会話はしにくいものだった。
- Q3. 相互に興味を持って会話ができた。

#### 5段階で回答を求める項目

- Q4. 場が盛り上がった。
- Q5. 場全体としてリーダーシップが執られていた。
- Q6. 同性と会話ができた。
- Q7. 異性と会話ができた。
- Q8. 他の人と知識を共有できた。
- Q9. FB刺激情報を参考にして会話ができた。
- Q10. 興味刺激情報を参考にして会話ができた。

8段階の項目であるQ1～Q3は、Bernieriらが会話の満足度を測定するために使用した質問項目[17]の一部である。5段階の項目であるQ4～Q8は、情報提示の会話への影響を調べるための質問であり、梶村らの研究で用いられた場の活性度に関する質問項目[61]を参考に作成した。Q4は場が活性化されていたかを問う最も重要な質問であるのに対し、Q5～8は、活性化以外の要素で会話の質に変化が見られたかを調べるための質問であった。Q9とQ10は、2種類の刺激情報の効果を評価するためであった。

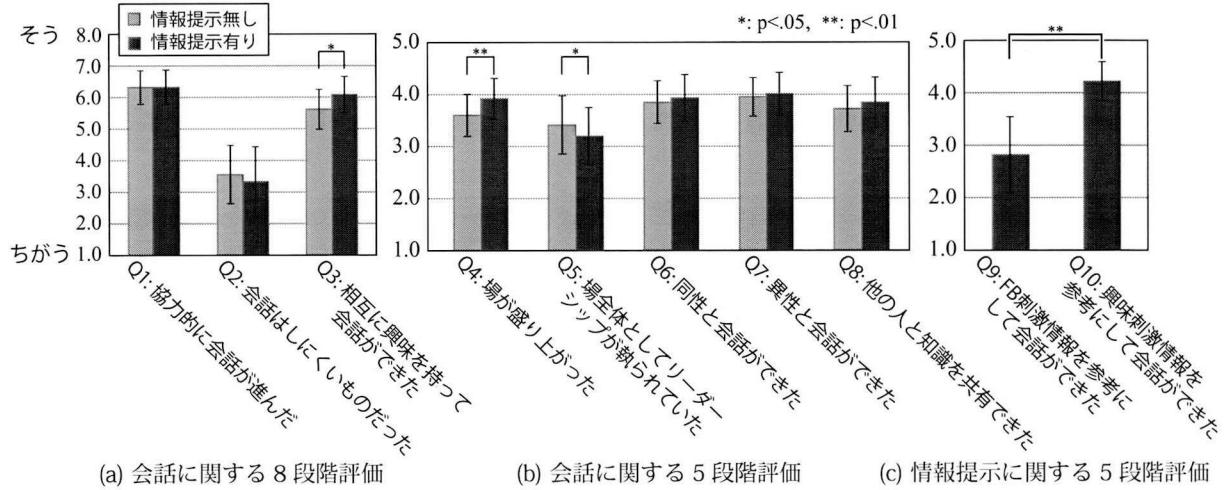


図 5.6: 会話に関する質問の評定値

## 5.4.6 実験結果

### 5.4.6.1 質問紙

図 5.6(a) に 8 段階尺度の結果を, 5.6(b) に 5 段階尺度の結果をそれぞれ示す. グラフは情報提示有り / 無しの 2 条件における主観評価値の平均値を表す. Wilcoxon の符号付順位和検定による解析の結果, 8 段階尺度の質問項目では, Q3 「相互に興味を持って会話ができた」での情報提示有りのスコア 6.07 のほうが, 情報提示無しのスコア 5.61 に比べ有意に高かった ( $z = 2.27, p < .05$ ). その他の項目では有意差は見られず ( $p > .05$ ), Q1 は情報提示有りと無しが同スコアで, Q2 は情報提示有りのときに若干ポジティブなスコアとなった. 5 段階尺度の質問項目では, Q4 「場が盛り上がった」について, 情報提示有りのスコア 3.92 のほうが, 情報提示無しのスコア 3.60 に比べ有意に高かった ( $z = 2.78, p < .01$ ). また, Q5 「場全体としてリーダーシップが取られていた」について, 情報提示有りのスコア 3.19 のほうが, 情報提示無しのスコア 3.41 に比べ有意に低かった ( $z = 2.17, p < .05$ ). Q6~Q8 については, 有意差は見られなかった ( $p > .05$ ) が, 平均値としては, すべての項目で若干情報提示有りのほうが高い傾向にあった.

図 5.6(c) に, 刺激情報についての参加者による 5 段階評価の結果を示す. Q10 「興味刺激情報を参考にして会話ができた」のスコアが 4.22 であり, 中間の値である 3 を大きく上回り, また, 場の活性度の可視化についての質問である Q9 「FB 刺激情報を参考にし

て会話ができた」の 2.82 と比較しても有意に高かった ( $z = 6.51, p < .01$ ). このことから, 場の活性度の可視化よりも興味刺激情報についての刺激情報が好まれていたことがわかった.

#### 5.4.6.2 会話行動の観察

参加者全員が趣旨を理解し, 実験は滞りなく行われた. 会話の進め方については特に教示を与えなかつたが, 全てのグループが, 情報提示の有無に関わらず 6 人で 1 つの輪を作り会話をした. 実験中の話題は, どのグループにおいても, 各参加者の所属学部, 研究内容, 出身地, 趣味などの自己紹介に関するものや, そこから派生した最近の流行やニュースなどが多くを占めていた. 会話の盛り上がりは, 予備実験と同様, グループ間で顕著な差が見られた. 人見知りをせずに活発に話す人や, 他人に話を積極的に振るなどのリーダーシップを執る人がグループ内にいる場合には, 会話がテンポ良く進み, 笑いや感嘆などが頻繁に観察された. 一方で, 沈黙が頻繁に起こるなど, 情報提示の有無に関わらず, 会話が盛り上がらなかつたグループも少數ながら見受けられた. また, 全体として女性のほうが活発に話しており, リーダーシップを執る人も女性に比較的多く見られた.

興味刺激情報では, ほとんどのグループが壁ディスプレイに表示される写真に関連する話題を取り上げていた. 写真が定期的に切り替わることで, 話者が交代しながら活発な会話が続くことが多く見られ, Q5 のスコアを裏付けていると言える. また, 吹奏楽についての話題の途中で壁ディスプレイに吹奏楽の写真が表示された際, 1 人が「この楽器がクラリネットですよね」と指示しながら説明し, その後全員が壁ディスプレイの前に集まって話すシーンも見られた. 一方で FB 刺激情報では, 興味刺激情報に比べると会話には利用されることは少なく, Q9 と Q10 のスコアの大小と同様の結果であった. 実験中には, 「グラフが上がるようには話を盛り上げていきましょう」や「あ, 今盛り下がってきてる」という発言があるなど, FB 刺激情報のグラフの変動を見て意識的に会話を盛り上げようとする様子が観察されたが, 「どう話題にすればいいかわからない」と述べる者や, 「実際のパーティでこんな情報を出されたら恥ずかしい」と述べる者もいた.

#### 5.4.6.3 非言語行動量

実験では, 3 次元位置センサ, 加速度センサ, マイクの 3 つのセンサからデータを取得した. 3 次元位置センサでは全データが取得できたのに対し, 加速度センサでは 1 回の会

表 5.1: 非言語行動量の比較

|              | 情報提示無し |       | 情報提示有り |       |
|--------------|--------|-------|--------|-------|
|              | Avg.   | SD    | Avg.   | SD    |
| 合計発話時間 (sec) | 77.78  | 18.45 | 83.38  | 18.55 |
| 頭部回転回数 (回)   | 71.02  | 11.51 | 86.31  | 17.67 |
| ジェスチャ回数 (回)  | 22.90  | 10.76 | 23.72  | 10.91 |

話で Bluetooth の接続不良があり、データの取得率は 94.1% となった。マイクでは端子の接触不良が原因でデータ欠損が見られ、取得率は 98.0% であった。これらの取得された非言語情報を会話の状況認識に用いた。

表 5.1 に、情報提示有り・無しの各条件における 3 種類の非言語行動量を示す。表中の Avg. の数値は、グループにおける参加者 1 人あたり 12 分間の合計値を表し、SD は 17 グループのデータの標準偏差を表す。それぞれの非言語行動は、4.2 節で定義されたものである。この結果から、平均値としては、全ての非言語行動が情報提示無しに比べて情報提示有りの条件で増加していたことがわかった。2 条件間の t 検定の結果、頭部回転にのみ有意差が見られた ( $t(16) = 4.76, p < .01$ )。また、全ての非言語行動について、情報提示有りと無しとの差に比べ、グループ間のばらつきが大きいことがわかる。グループごとの発話量を詳しく調べたところ、会話の前後半を通して発話量が最も多かったグループ（1 人あたり 230.8 秒）は、最も少なかったグループ（1 人あたり 109.2 秒）の 2 倍以上であり、観察結果で述べた通り、会話の盛り上がりに大きな差があったことがわかる。

また、FB 刺激情報と興味刺激情報との非言語行動量の比較を t 検定により行ったが、発話時間、頭部回転回数、ジェスチャ回数のいずれにも有意な差は見られなかった ( $p > .05$ )。

## 5.5 議論

### 5.5.1 Ambient Party Room の有効性について

実験では、ほぼ全てのセンサデータは 2 Hz 以上の周波数で問題なく取得できており、これらを場の活性度のリアルタイムな解析に用いることができた。したがって、本システムの構成で、会話の状況を認識するために十分なセンサデータを取得可能であると言える。

また、ディスプレイも様々な種類の情報を提示するための環境として十分機能してい

た。本実験では、壁ディスプレイはパブリックな情報を表示するのに対し、床ディスプレイは立ち位置に依存する情報を表示する役割であった。これらのディスプレイ間の詳細な関係を教示していなかったが、参加者は関連性を直感的に理解し、システムについて話すなど楽しんでいる様子が窺えた。また、スクリーンを直接指示するために参加者が動き、位置関係が大きく変更しても、情報を正しく共有できていた。

さらに、本システムによる情報提示が、参加者らの会話や行動を妨げず、自然に用いられていたことも確認された。その1つとして、情報提示の有無に関わらず、参加者らが輪を形作って会話していたことが挙げられる。これは、床ディスプレイによる効果が大きかったと考えられる。壁ディスプレイと比較すると床ディスプレイは各参加者の立ち位置に関わらず見え、また壁に比べて少ない視線移動で見ることができるため、会話の中でスムーズな情報共有が可能になっていたと推測される。また、床ディスプレイは、各参加者の足下に情報が表示されるため、利用者が下を向いてしまい会話に悪影響が出るのではないかと懸念された。しかし、実際にはそのようなことは見受けられず、会話が途切れた間や話題が無くなった際に参照されることが多かった。一方で壁ディスプレイは、文字や写真などの向きがある情報を場全体として共有する際には有用であり、ディスプレイごとの役割に応じて適切に連携できていたと言える。以上のことから、部屋型環境を用いて有機的にディスプレイを連携させることにより、会話の中で自然に利用される情報提示が可能になっていたと言える。

質問紙の結果から、情報提示有りの条件では、情報提示無しの条件に比べて参加者は互いに興味を持って会話でき、場が盛り上がったと感じており、同時に非言語行動量の増加も確認された。提示された情報は、会話の序盤における話題や、一時的に話題が途切れたときに会話を再開するための材料として利用される様子が多く見られ、システムが適度に会話を支援できていたことが窺える。ただし、本実験では実験計画上、情報提示の有無の順序が固定されており、参加者の慣れによる影響も考えられるため、これらの結果は慎重に扱う必要がある。しかしながら、情報提示有りの条件では、会話中のリーダの存在が情報提示無しの条件に比べて薄く感じられるなど、慣れだけでは説明できない変化があつたことも事実である。こうした事実は、情報提示は会話の活性度を維持するだけでなく、均衡度などといった会話の質を変化させる効果があることを示唆している。今後の展望としては、グループ内での発話量の変化や偏りなどを解析し、情報提示の影響を詳細に調べることが考えられる。

また、本実験では、男女の参加者を募ったことを考慮して、性差にも着目して調査した

が、同性間、異性間のいずれの質問項目でも、情報提示有りと無しの間に有意差が見られなかった。これは、本実験で用いた提示情報がクラブやサークルなどあまり性別によらない一般的な内容であったことが要因として考えられる。また、そのような内容であるがゆえに異性間でも隔て無く会話が盛り上がっている様子も観察されていた。情報刺激の今後の可能性の1つとしては、合コンなどの異なる性別間での会話を支援することを目指し、性別に応じた刺激情報の影響を調査することが考えられる。

### 5.5.2 刺激情報について

実験結果から、情報提示は場の活性化に貢献したことは示されたが、今回検討した2種類の刺激情報の間で、参加者の反応は大きく異なっていた。興味刺激情報では、壁ディスプレイに表示される写真は頻繁に話題に取り上げられており、質問紙のQ10でも高いスコアを得た。したがって、この刺激情報により参加者同士の自己開示が促進されていたと考えられ、本システムは人が親密になる過程の広い範囲で有用だと言える。また、参加者の多くは、壁に表示されている写真に誰が興味を持っているのかを床の表示で確認しながら会話しており、壁ディスプレイと床ディスプレイが効果的に用いられていたことも窺える。

一方でFB刺激情報は、会話にはあまり利用されず、Q9のスコアも中間の値である3を下回った。このことから、FB刺激情報は参加者の会話に直接的に影響を与えることが少ない、弱い刺激であることがわかる。また、参加者に無意識下での非言語行動の増加を促すことを期待していたが、そのような効果も確認されなかった。これは、本実験がお互いに仲良くなるために自由に会話するというタスクであり、FB刺激情報を省みる必要性が少なかったことが要因の一つとして考えられる。関連研究で広く検討されている可視化技術の効果は、会話の目的に大きく依存すると考えられており、FB刺激情報も、グループミーティングなどの、参加者ごとの貢献度が重視されるタスクにおいては効果を発揮する可能性がある。また、刺激情報の今後の方向性として、Balaamらの手法[11]のように、参加者にフィードバックしていることを悟られないようにする情報提示について検討することも考えられる。

### 5.5.3 今後の展望

本実験では、立食パーティの場面を想定した会話において、部屋型情報環境による情報提示が参加者に直感的に理解されて会話の中で自然に利用されていたことや、実際に会話を活性化させられたことを確認できた。このことから、複数人ユーザへの認知的情報提示を実現できた。以下では、今後このような情報提示環境を様々な場面で利用するための、今後の展望について述べる。

まず、本実験では6人での会話について検討したが、パーティ場面を想定した場合、さらに大規模な環境を考慮すれば有意義であると考えられる。本実装で用いたセンサやディスプレイデバイスは特性上、より広範囲・多人数の環境に十分対応可能であると考えられるが、人数が増えることにより、会話グループが複数に分かれるなど、会話構造が大きく変化する可能性がある。したがって、今後の展望としては、このような大規模な環境を構築し、会話構造の分析や、複数の会話グループが散在する状況における認知的情報提示手法の検討などが考えられる。

また、本システムでは用いなかった、触覚によるプライベートな情報提示について検討することも、より多様な認知的情報提示を実現するために有用であると考えられる。本実験において、FB 刺激情報が壁や床に提示されることを良く思わない参加者もいたため、このようなプライベートな情報提示は必要な場面もあると考えられる。カップ型デバイスは、本実験ではセンシングにのみ用いたが、視覚または触覚提示によるプライベートな情報提示をすることが可能であるため、今後の展望としては、第4章で検討した可振化手法を用い、心臓の鼓動などの身近な振動触覚を用いて可振化させたプライベートな情報提示の検討が挙げられる。

さらに、本システムでは、興味刺激情報のために参加者が興味を事前に入力する必要があったが、この負担を軽減させるため、参加者のSNSと連動させて興味を自動抽出する方法や、音声のリアルタイム認識によりキーワードを抽出する方法などが考えられる。また、本システムで用いた情報提示は時間や会話の状況に応じて変化していくものであったが、話題が流動的に変化して多様な状態に移行し続けることを考慮すると、刺激情報の種類や強弱を状況に応じて変動させる手法を検討することも有意義であると考えられる。このため、場の活性度[61]やその他の会話構造を推定する先行研究を利用するなどして、刺激情報の内容を適応的に制御するアルゴリズムを検討することも今後の方向性として考えられる。

## 5.6 おわりに

本章では多人数でのコミュニケーションを部屋全体として支援する情報環境 Ambient Suite を提案し、立食パーティの場面を想定した部屋型システム Ambient Party Room を構築した。これを用いた会話実験の結果、壁や床を連携させた情報提示が各参加者に直感的に理解され、会話の中で自然に用いられていたことがわかり、壁と床のディスプレイを連携させた情報提示により実際に場が活性化されたことも明らかになった。今後の展望としては、触覚を用いたプライベートな情報提示の検討や、より大規模な環境での利用を想定したシステムを構築などが挙げられる。



## 第6章 結論

本論文では、視覚や触覚を用いた個人ユーザへの認知的情報提示や、それらを統合する複数人ユーザへの認知的情報提示を用いたヒューマンインターフェースを提案・検討した結果について述べてきた。まず個人ユーザへの視覚を用いた情報提示における認知的負荷の問題を解決するため、人の空間認知を考慮したビューポート制御インターフェースである Anchored Navigation を提案し、評価実験を通してこの負荷の軽減を確認した。次に、個人ユーザへの触覚を用いた認知的情報提示を実現するため、情報を身近な振動触覚に変換して提示する「可振化」手法を提案し、身近な自然現象である降雨の振動触覚を用いたデバイスであるアソブレラおよび U-brella を作成して可振化の有用性を評価した。最後に、複数人ユーザへの視覚・触覚を用いた認知的情報提示を実現する情報提示環境の代表例として、コミュニケーションの円滑化を目指して壁や床のディスプレイを連携させて用いる部屋型システム Ambient Suite を提案し、会話実験によりその有用性を評価した。以下では、本論文の内容を要約し、今後の展望についてまとめる。

第2章では、まずヒューマンインターフェースにおける認知的負荷の知見について述べ、本研究で検討する認知的情報提示の方向性を示した。次に、個人ユーザへの視覚を用いた情報提示として、現在までに提案されているビューポート制御インターフェースについて述べ、カメラ操作を連動させる手法の優位性と問題点について述べた。続いて、個人ユーザへの触覚を用いた情報提示として、実世界の触覚の再現手法に関する研究や、振動触覚による情報提示手法について述べ、実世界の触覚の再現が認知的情報提示として利用できる可能性について述べた。さらに、複数人ユーザへの情報提示について全般的に述べ、その代表例であるコミュニケーション支援に関する研究についてまとめた後、複数人ユーザに対する認知的情報提示が難しいことを述べた。

第3章では、ビューポート制御インターフェースについて述べた。人が空間認知する際に行われる心的処理のプロセスから着想を得て、ユーザに既知の基準点を常に画面に收めるようにカメラ視点のパン・ズーム・チルトを滑らかに連動させるインターフェースである Anchored Navigation を提案した。この手法を評価するため、画面外オブジェクトの獲得

タスクと位置把握タスクの2つのタスクにより従来手法であるPan & ZoomやSDAZと比較する実験を行った。その結果、獲得タスクではAnchored Navigationが従来手法に比べて早くタスクを終了でき、位置把握タスクでは、SDAZより少ない誤差であったのに加え、主観評価では提案手法が他手法を大きく上回った。これらの結果から、提案手法を用いたことによる認知的負荷の軽減について議論するとともに、ターゲット距離に関する有効範囲についても考察し、最後に今後の展望を述べた。

第4章では、身近な触覚を用いた情報提示について検討した結果を述べた。情報を身近な触覚に変換して提示する「可振化」手法を提案し、身近な触覚として傘による降雨感覚に着目した例について検討した。まず降雨感覚を振動を用いて再現する傘型インターフェースであるアソブレラを実装し、振動表現の多様性やエンタテインメント性について確認した。さらに、アソブレラを拡張させて、降り注ぐ情報である紫外線量を振動として可振化する傘型インターフェースU-brellaを実装した。このU-brellaを用いた実験の結果、降り注ぐ紫外線の強弱が振動により実感され、また楽しさや心地良さなどの印象も想起させられていたことがわかった。この結果から、可振化の有用性や、この情報提示手法の応用例について述べた。

第5章では、複数人によるコミュニケーションを円滑化する情報提示について検討した結果を述べた。壁や床のディスプレイを用いて複数人ユーザへ柔軟な情報提示をすることにより会話の活性化を目指す部屋型情報環境であるAmbient Suiteを提案し、立食パーティの場面に適用したシステムであるAmbient Party Roomの実装について述べた。このシステムを用いた101名による会話実験の結果、壁や床を連携させた情報提示が会話の中で自然に用いられており、情報提示無しの条件に比べ、有りの条件において会話が活性化していたことがわかった。以上の結果から、Ambient Suiteの有用性について議論し、より参加者の人数の多い環境や、提示すべき情報を動的に切り替える手法などの今後の展望について述べた。

以上の研究を通して、認知的情報提示により、これまで複雑で理解が難しかった情報や、五感では知覚できなかった情報の把握が容易になり、情報を獲得する効率が向上したことや、情報を自然に受け取ることのできる環境が実現されたことを確認できた。これらのことから、本研究で提案した認知的情報提示は人とコンピュータとの自然なインタラクションに貢献し、コンピュータが生活空間に溶け込むアンビエント情報社会の実現にも寄与すると期待される。これに加え、認知的情報提示の実現により、楽しさや心地良さなどの多様な印象を想起させたり、ユーザ間のインタラクションを活性化させたりといった、

我々の生活を豊かにする付加的な効果も確認された。今後、ユーザが扱う情報はさらに多様化・複雑化していくと考えられるが、認知的情報提示を用いることで、それらを意識させず、楽しさや心地良さを伴うようなインターラクションが実現可能であると考えられる。本論文で提案した情報提示手法が様々なアプリケーションで導入され、我々の生活をより豊かにする情報社会の実現に寄与することに期待したい。



## 謝辞

本研究をまとめるにあたって、研究に対する考え方、研究者としての姿勢などについて懇切なる御指導、御支援を賜わりました大阪大学サイバーメディアセンター 竹村 治雄 教授に厚く感謝申し上げます。

本研究の全過程を通じて、研究に対する視点の持ち方、研究を進める上で背景となる技術動向の捉え方、研究の展望などについて懇切なる御指導、御支援を賜わりました関西学院大学理工学部 岸野 文郎 教授に厚く感謝申し上げます。

本論文をまとめるにあたり、貴重なお時間を割いて頂き、懇切なる御指導と有益な御助言を賜りました大阪大学大学院情報科学研究科情報システム工学専攻 尾上 孝雄 教授、ならびに大阪大学サイバーメディアセンター 清川 清 准教授に深く感謝申し上げます。

本研究の全過程を通じて、直接の御指導、御助言、御討論を頂きました大阪大学クリエイティブユニット 伊藤 雄一 准教授に深く感謝申し上げます。

大阪大学大学院情報科学研究科情報システム工学専攻 今井 正治 教授、中前 幸治 教授、土屋 達弘 教授、中村 真 教授、山田 晃久 教授には様々な面で御指導を頂き、厚く感謝申し上げます。

本研究を推進するにあたり、研究方針に関して御助言頂き、様々な場面でご支援を頂きました東北大学電気通信研究所 北村 喜文 教授に心より感謝申し上げます。

本研究を推進するにあたり、直接の御指導を頂き、日頃から惜しみない御支援を頂きました東北大学電気通信研究所 高嶋 和毅 助教に心より感謝申し上げます。

本研究をまとめるにあたり、研究方針に関して御助言、御討論を頂きました大阪大学サイバーメディアセンター 伊達 進 准教授、中澤 篤志 講師、間下 以大 助教に心より感謝申し上げます。

共同研究者として、有益な御討論を頂き、多大なる御支援を頂きました大阪大学大学院情報科学研究科情報ネットワーク学専攻 大崎 博之 准教授、静岡大学電子工学研究所 香川 景一郎 准教授、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 小野 直亮 助教、大阪大学大学院経済学研究科 津川 翔 助教に心より感謝申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、対人社会心理学に関して有益な御助言、御討論を頂きました東京未来大学 大坊 郁夫 学長、東北大学電気通信研究所 横山 ひとみ 博士、大阪大学大学院人間科学研究科 藤原 健 氏、平井（前田） 奈穂 さんに厚く御礼申し上げます。

海外インターンシップ中に、本研究への暖かいご助言を頂き、種々の面でご支援頂きましたカンタベリー大学 Mark Billinghurst 教授、ウースター工科大学 Robert W. Linderman 准教授に深く感謝致します。

本研究を遂行するにあたり、評価実験環境の構築に関して多大なるご協力を頂きました大阪大学大学院情報科学研究科バイオ情報工学専攻 安藤 英由樹 准教授、デバイスの実装にあたり懇切なるご指導を頂きました株式会社システムワット 菊地 日出男 氏に心より感謝致します。

研究、私生活を通じ、惜しみない御指導、御助言、御協力を頂きました株式会社ユニティ 村上 礼繁 氏、三菱電機株式会社 櫻井 智史 博士、大阪大学大学院情報科学研究科バイオ情報学専攻 丹羽 真隆 博士、沖電気工業株式会社 山口 徳郎 博士、高度情報科学技術研究機構 高田 大輔 博士、大阪大学大学院情報科学研究科情報システム工学専攻 Christian Nitschke 博士、繁田 浩功 氏に深く感謝の意を表します。

本研究を進めるにあたり、著者の所属した研究チームの先輩として、多大なる御支援を頂きました三菱電機株式会社 築谷 喬之 博士、株式会社日本総合研究所 朝日 元生 氏に感謝の意を表します。住友化学株式会社 尾崎 麻耶 さん、ソニー株式会社 菊川 哲也 氏、深澤 遼 氏、株式会社日立製作所 吉田 愛 さん、大阪大学大学院情報科学研究科情報システム工学専攻 中島 康祐 氏、林 勇介 氏、オリンパス株式会社 梶村 康祐 氏、フューチャーアーキテクト株式会社 大脇 正憲 氏、関西学院大学 大学院理工学研究科 藤井 佑一 氏にも研究を進める上で日頃から有益な御討論を頂いたことに感謝の意を表します。研究、私生活を通じ、多数の貴重な御助言、御支援を頂いた、大阪大学大学院情報科学研究科情報システム工学専攻 竹村研究室、尾上研究室、マルチメディア工学専攻 旧岸野研究室、細田研究室の諸氏に心から感謝致します。

多くのご支援を頂いた竹村研究室秘書 林 由紀 さん、細田研究室秘書 安永 美樹 さん、大阪大学クリエイティブユニット うし山 祐佳 さんに厚く御礼申し上げます。

最後に、研究生活を送る上で、暖かい御支援と多大なる御理解を頂いた、両親を始めとする家族に心から感謝と御礼を申し上げます。

## 参考文献

- [1] C. Ahlberg and B. Shneiderman. The alphaslider: a compact and rapid selector. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '94)*, pp. 365–371, 1994.
- [2] 赤羽歩, 佐藤誠. 触覚の構造と仕組み(生理的・心理的側面からみた感覚, <特集>映像情報メディアと感覚). 映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア, Vol. 57, No. 11, pp. 1417–1418, 2003.
- [3] J. Alexander and A. Cockburn. An empirical characterisation of electronic document navigation. In *Proc. of graphics interface 2008 (GI '08)*, pp. 123–130, 2008.
- [4] J. Alexander, A. Cockburn, S. Fitchett, C. Gutwin, and S. Greenberg. Revisiting read wear: analysis, design, and evaluation of a footprints scrollbar. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*, pp. 1665–1674, 2009.
- [5] J. R. Anderson. *Cognitive Psychology and its Implications*. W. H. Freeman and Co., 1980.
- [6] 青木孝文, 三武裕玄, 長谷川晶一, 佐藤誠. ワイヤによる皮膚感覚刺激を用いた指先装着型接触感提示デバイス. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 14, No. 3, pp. 421–428, 2009.
- [7] C. Appert and J. Fekete. OrthoZoom scroller: 1d multi-scale navigation. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)*, pp. 21–30, 2006.
- [8] C. Arditò, M. F. Costabile, R. Lanzilotti, and A. L. Simeone. Sharable multitouch screens in cultural heritage and tourism applications. In *Visual Languages and*

- Human-Centric Computing (VL/HCC)*, pp. 271–272, 2010.
- [9] 浅村亮彦. 方向感覚と空間推論時における視点との関連. 商学討究, Vol. 49, No. 1, pp. 215–238, 1998.
- [10] T. Asano, E. Sharlin, Y. Kitamura, K. Takashima, and F. Kishino. Predictive interaction using the delphian desktop. In *Proc. of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '05)*, pp. 133–141, 2005.
- [11] M. Balaam, G. Fitzpatrick, J. Good, and E. Harris. Enhancing interactional synchrony with an ambient display. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*, pp. 867–876, 2011.
- [12] P. Baudisch, N. Good, V. Bellotti, and P. K. Schraedley. Keeping things in context: a comparative evaluation of focus plus context screens, overviews, and zooming. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '02)*, pp. 259–266, 2002.
- [13] P. Baudisch and R. Rosenthal. Halo: a technique for visualizing off-screen objects. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '03)*, pp. 481–488, 2003.
- [14] B. B. Bederson and J. D. Hollan. Pad++: a zooming graphical interface for exploring alternate interface physics. In *Proc. of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '94)*, pp. 17–26, 1994.
- [15] T. Bergstrom and K. Karahalios. Conversation Clock: visualizing audio patterns in co-located groups. In *Proc. of the 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '07)*, pp. 78–86, 2007.
- [16] T. Bergstrom and K. Karahalios. Conversation Votes: enabling anonymous cues. In *Proc. of International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07)*, pp. 2279–2284, 2007.

- [17] F. Bernieri, J. S. Gillis, J. M. Davis, and J. E. Grahe. Dyad rapport and the accuracy of its judgment across situations: a lens model analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 71, No. 1, pp. 110–129, 1996.
- [18] G. Beyer, F. Alt, J. Müller, A. Schmidt, K. Isakovic, S. Klose, M. Schiewe, and I. Haulsen. Audience behavior around large interactive cylindrical screens. In *Proc. of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems (CHI '11)*, pp. 1021–1030, 2011.
- [19] X. Bi, T. Moscovich, G. Ramos, R. Balakrishnan, and K. Hinckley. An exploration of pen rolling for pen-based interaction. In *Proc. of the 21st annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '08)*, pp. 191–200, 2008.
- [20] S. Brave and A. Dahley. inTouch: a medium for haptic interpersonal communication. In *CHI '97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '97)*, pp. 363–364, 1997.
- [21] 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 the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99)*, pp. 544–551, 1999.
- [22] S. K. Card, A. Newell, and T. P. Moran. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. L. Erlbaum Associates Inc., 1983.
- [23] A. Cockburn, A. Karlson, and B. B. Bederson. A review of overview+detail, zooming, and focus+context interfaces. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, Vol. 41, No. 1, pp. 2:1–2:31, 2009.
- [24] A. Cockburn, J. Savage, and A. Wallace. Tuning and testing scrolling interfaces that automatically zoom. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*, pp. 71–80, 2005.
- [25] 大坊郁夫. しぐさのコミュニケーション-人は親しみをいかに伝えあうか-. サイエンス社, 1998.
- [26] 大坊郁夫. 対人コミュニケーションの社会性. 対人社会心理学研究, pp. 1–6, 2001.

- [27] B. de Ruyter and E. Aarts. Ambient intelligence: visualizing the future. In *Proc. of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI '04)*, pp. 203–208, 2004.
- [28] J. M. DiMicco, A. Pandolfo, and W. Bender. Influencing group participation with a shared display. In *Proc. of Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW '04)*, pp. 614–623, 2004.
- [29] 遠藤隆介, 伊藤雄一, 中島康祐, 藤田和之, 岸野文郎. マルチタッチディスプレイを用いたプランニングができるデジタルサイネージシステムの提案. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 106, pp. 37–42, 2012.
- [30] 藤井佑一, 岸野文郎, 藤田和之, 伊藤雄一. 振動ディスプレイを用いた情報可振化インタフェースの一検討. 日本バーチャルリアリティ学会第16回大会論文集, pp. 14C-1, 2011.
- [31] 藤井佑一, 岸野文郎, 藤田和之, 中島康祐, 伊藤雄一, 菊池日出男. U-brella: 降り注ぐ情報を可振化するポータブル傘型インタフェース. 日本バーチャルリアリティ学会第17回大会論文集, pp. 34D-1, 2012.
- [32] 藤田和之, 伊藤雄一, 吉田愛, 尾崎麻耶, 菊川哲也, 深澤遼, 高嶋和毅, 北村喜文, 岸野文郎. アソブレラ: 振動を記録・再生可能な傘型アンビエントインタフェース. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 3, pp. 397–405, 2010.
- [33] 藤田和之, 高嶋和毅, 築谷喬之, 朝日元生, 伊藤雄一, 北村喜文, 岸野文郎. 地図ナビゲーションにおけるパン操作とズーム/チルト運動を用いたビューポート制御手法の提案. 電子情報通信学会論文誌, Vol. 93-D, No. 11, pp. 2454–2465, 2010.
- [34] 藤田和之, 高嶋和毅, 伊藤雄一, 大崎博之, 小野直亮, 香川景一郎, 津川翔, 中島康祐, 林勇介, 岸野文郎. Ambient suite を用いたパーティ場面における部屋型会話支援システムの実装と評価. 電子情報通信学会論文誌, Vol. 96-D, No. 1, pp. 120–132, 2013.
- [35] S. Fukatsu, Y. Kitamura, and Kishino F. Manipulation of viewpoints in 3d environment using interlocked motion of coordinate pairs. *Proc. of IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT'03)*, pp. 327–334, 2003.

- [36] G. W. Furnas. Generalized fisheye views. *ACM SIGCHI Bulletin*, Vol. 17, No. 4, pp. 16–23, 1986.
- [37] G. W. Furnas and B. B. Bederson. Space-scale diagrams: understanding multiscale interfaces. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '95)*, pp. 234–241, 1995.
- [38] T. Garling, A. Book, and E. Lindberg. Cognitive mapping of large-scale environments: The interrelationship of action plans, acquisition, and orientation. *Environment and Behavior*, Vol. 16, No. 1, pp. 3–34, 1984.
- [39] D. Gatica-Perez, I. McCowan, D. Zhang, and S. Bengio. Detecting group interest-level in meetings. In *Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '05)*, pp. 489–492, 2005.
- [40] J. J. Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Lawrence Erlbaum Associates, 1979.
- [41] K. Grønbæk, O. S. Iversen, K. J. Kortbek, K. R. Nielsen, and L. Aagaard. iGame-Floor: a platform for co-located collaborative games. In *Proc. of the international conference on Advances in computer entertainment technology (ACE '07)*, pp. 64–71, 2007.
- [42] Y. Guiard, M. Beaudouin-Lafon, Y. Du, C. Appert, J. Fekete, and O. Chapuis. Shakespeare's complete works as a benchmark for evaluating multiscale document navigation techniques. In *Proc. of the 2006 AVI workshop on BEyond time and errors: novel evaluation methods for information visualization (BELIV '06)*, pp. 1–6, 2006.
- [43] Y. Guiard, O. Chapuis, Y. Du, and M. Beaudouin-Lafon. Allowing camera tilts for document navigation in the standard gui: a discussion and an experiment. In *Proc. of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI '06)*, pp. 241–244, 2006.
- [44] Y. Guiard, Y. Du, and O. Chapuis. Quantifying degree of goal directedness in document navigation: application to the evaluation of the perspective-drag technique.

- In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07)*, pp. 327–336, 2007.
- [45] S. Gustafson, P. Baudisch, C. Gutwin, and P. Irani. Wedge: clutter-free visualization of off-screen locations. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '08)*, pp. 787–796, 2008.
- [46] C. Gutwin and C. Fedak. Interacting with big interfaces on small screens: a comparison of fisheye, zoom, and panning techniques. In *Proc. of Graphics Interface 2004 (GI '04)*, pp. 145–152, 2004.
- [47] Y. Hashimoto, N. Nagaya, M. Kojima, S. Miyajima, J. Ohtaki, A. Yamamoto, T. Mitani, and M. Inami. Straw-like user interface: virtual experience of the sensation of drinking using a straw. In *Proc. of 3rd International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '06)*, p. 42, 2006.
- [48] Y. Hirata and M. Sato. 3-dimensional interface device for virtual work space. In *Intelligent Robots and Systems*, Vol. 2, pp. 889–896, 1992.
- [49] K. Hornbæk and E. Frøkjær. Reading of electronic documents: The usability of linear, fisheye, and overview+detail interfaces. In *Proc. of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '01)*, pp. 293–300, 2001.
- [50] 坊農真弓, 鈴木紀子, 片桐恭弘. 多人数组会話における参与構造分析-インタラクション行動から興味対象を抽出する. *認知科学*, Vol. 11, No. 3, pp. 214–227, 2004.
- [51] T. Igarashi and K. Hinckley. Speed-dependent automatic zooming for browsing large documents. In *Proc. of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '00)*, pp. 139–148, 2000.
- [52] P. Irani, C. Gutwin, G. Partridge, and M. Nezhadasl. Techniques for interacting with off-screen content. In *Proc. of the 11th IFIP TC 13 international conference on Human-computer interaction - Volume Part II (INTERACT'07)*, pp. 234–249, 2007.

- [53] P. Irani, C. Gutwin, and X. D. Yang. Improving selection of off-screen targets with hopping. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)*, pp. 299–308, 2006.
- [54] E. W. Ishak and S. K. Feiner. Content-aware scrolling. In *Proc. of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '06)*, pp. 155–158, 2006.
- [55] H. Ishii, C. Wisneski, S. Brave, A. Dahley, M. Gorbet, B. Ullmer, and P. Yarin. ambientROOM: integrating ambient media with architectural space. In *CHI 98 Conference Summary on Human Factors in Computing Systems (CHI '98)*, pp. 173–174, 1998.
- [56] O. Sejer Iversen, K. J. Kortbek, K. R. Nielsen, and L. Aagaard. Stepstone: an interactive floor application for hearing impaired children with a cochlear implant. In *Proc. of the 6th international conference on Interaction design and children (IDC '07)*, pp. 117–124, 2007.
- [57] 岩田洋夫. 3-3 触覚・力覚に対する感性の情報処理 (3. 感性情報処理, <特集>感性情報学). 電子情報通信学会誌, Vol. 92, No. 11, pp. 946–948, 2009.
- [58] D. B. Jayagopi, S. Ba, J. M. Odobez, and D. Gatica-Perez. Predicting two facets of social verticality in meetings from five-minute time slices and nonverbal cues. In *Proc. of International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI '08)*, pp. 45–52, 2008.
- [59] S. Jones, M. Jones, G. Marsden, D. Patel, and A. Cockburn. An evaluation of integrated zooming and scrolling on small screens. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 63, No. 3, pp. 271–303, 2005.
- [60] H. Kajimoto, N. Kawakami, S. Tachi, and M. Inami. SmartTouch: Electric skin to touch the untouchable. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 24, No. 1, pp. 36–43, 2004.

- [61] 梶村康祐, 高嶋和毅, 山口徳郎, 北村喜文, 岸野文郎, 前田奈穂, 藤原健, 横山ひとみ, 大坊郁夫. 3人会話における「場の活性度」の自己と第三者の評価の比較. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 185, pp. 43–48, 2010.
- [62] 神山友輔, 田中舞, 田中浩也. Oto-shigure: 傘を用いた音響再生コミュニケーションシステム. バーチャルリアリティ学会・ウェアラブル/ユビキタスVR研究会, 2007.
- [63] L. Kennedy and D. Ellis. Pitch-based emphasis detection for characterization of meeting recordings. In *Proc. of IEEE workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (ASRU '03)*, pp. 243–248, 2003.
- [64] A. Khan, B. Komalo, J. Stam, G. Fitzmaurice, and G. Kurtenbach. HoverCam: interactive 3D navigation for proximal object inspection. In *Proc. of the 2005 symposium on Interactive 3D graphics and games (I3D '05)*, pp. 73–80, 2005.
- [65] T. Kim, A. Chang, L. Holland, and A. S. Pentland. Meeting Mediator: enhancing group collaboration using sociometric feedback. In *Proc. of Computer Supported Cooperative Work (CSCW '08)*, pp. 457–466, 2008.
- [66] 児島陽平, 伊藤雄一, 藤田和之, 中島康祐, 尾上孝雄. 空間内の複数人員配置のための指示位置提示手法に関する検討. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 106, pp. 17–22, 2012.
- [67] 昆陽雅司, 山内敬大, 岡本正吾, 日高佑輔, 前野隆司, 田所諭. 複数の触感因子を伝えるマスター・スレーブ型触力覚伝達システム. 第15回ロボティクスシンポジア予稿集, pp. 541–547, 2010.
- [68] 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, pp. B1–1, 2009.
- [69] S. Kumano, K. Otsuka, D. Mikami, and J. Yamato. Recognizing communicative facial expressions for discovering interpersonal emotions in group meetings. In *Proc. of International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI '09)*, pp. 99–106, 2009.
- [70] B. Laurel. *The art of human-computer interface design*. Addison-Wesley, 1990.

- [71] S. P. Lee, F. Farbiz, and A. D. Cheok. Touchy.internet: a cybernetics system for human-pet interaction through the internet. In *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '03)*, 2003.
- [72] A. Madan, R. Caneel, and A. S. Pentland. GroupMedia: Distributed multi-modal interfaces. In *Proc. of International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI '04)*, pp. 309–316, 2004.
- [73] T. Maekawa, Y. Itoh, K. Takamoto, K. Tamada, T. Maeda, Y. Kitamura, and F. Kishino. Tearable: haptic display that presents a sense of tearing real paper. In *Proc. of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '09)*, pp. 27–30, 2009.
- [74] T. H. Massie and J. K. Salisbury. The PHANToM haptic interface: a device for probing virtual objects. *the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, Vol. 55, No. 1, pp. 295–299, 1994.
- [75] T. Masui, K. Kashiwagi, and George R. Borden, I. V. Elastic graphical interfaces to precise data manipulation. In *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems (CHI '95)*, pp. 143–144, 1995.
- [76] 松原孝志, 白杵正郎, 杉山公造, 西本一志. 言い訳オブジェクトとサイバー囲炉裏:共有インフォーマル空間におけるコミュニケーションを触発するメディアの提案. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 12, pp. 3174–3187, 2003.
- [77] 松田完, 西本一志. Nuneas: 大規模組織内での偶発的な出会いを利用した情報共有の促進とヒューマンネットワーク活性化支援の試み. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, pp. 3571–3581, 2002.
- [78] 松田完, 西本一志. 談話の杜: インフォーマルスペースにおける実世界での出会いを利用した効率的な情報共有システム. 情報処理学会研究報告, Vol. 2002, No. 31, pp. 109–114, 2002.
- [79] 松丸隆文. 生体機能工学 バイオメカニズム・ライブラリー. 東京電機大学出版局, 2008.

- [80] T. Matsumoto and S. Hashimoto. Pileus internet umbrella: tangible mobile interface of a lovely umbrella. In *3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '09)*, pp. 41–42, 2009.
- [81] D. W. McDonald, J. F. McCarthy, S. Soroczak, D. H. Nguyen, and A. M. Rashid. Proactive displays: supporting awareness in fluid social environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Vol. 14, No. 4, pp. 1–31, 2008.
- [82] A. Mehrabian. Communication without words. *Psychological Today*, Vol. 2, pp. 53–55, 1968.
- [83] 森田篤史, 山下邦弘, 國藤進. インタレスト・コンシェルジエ:“待ち状況”に共通興味を案内する情報提供サービスシステム. インタラクション2003講演論文集, pp. 189–190, 2003.
- [84] T. Moscovich, F. Chevalier, N. Henry, E. Pietriga, and J. Fekete. Topology-aware navigation in large networks. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*, pp. 2319–2328, 2009.
- [85] T. Moscovich and J. F. Hughes. Navigating documents with the virtual scroll ring. In *Proc. of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '04)*, pp. 57–60, 2004.
- [86] 村井嘉彦, 深川亜美, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行. Rhythm of the rain in 3d - 視聴覚3d-mr空間の表現力を体験できる複合現実型アトラクション -. 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会論文集, pp. 560–563, 2008.
- [87] 村田正幸. アンビエント情報社会の実現に向けた取組み. 電子情報通信学会誌, Vol. 93, No. 3, pp. 233–238, 2010.
- [88] D. Nekrasovski, A. Bodnar, J. McGrenere, F. Guimbretière, and T. Munzner. An evaluation of pan & zoom and rubber sheet navigation with and without an overview. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)*, pp. 11–20, 2006.

- [89] 丹羽真隆, 伊藤雄一, 岸野文郎, 野間春生, 柳田康幸, 保坂憲一, 久米祐一郎. 振動触覚を用いた情報提示のための仮現運動と刺激条件. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 14, No. 2, pp. 223–232, 2009.
- [90] D. A. Norman. *Cognitive Engineering*. Lawrence Erlbaum Associates, 1986.
- [91] D. A. Norman. *The Psychology of Everyday Things*. Basic Books, New York, 1988.
- [92] D. A. Norman. Affordance, conventions, and design. *Interactions*, Vol. 6, No. 3, pp. 38–43, 1999.
- [93] D. A. Norman and D. G. Bobrow. On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, Vol. 7, No. 1, pp. 44–64, 1975.
- [94] C. North and B. Schneiderman. Snap-together visualization: a user interface for co-ordinating visualizations via relational schemata. In *Proc. of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI '00)*, pp. 128–135, 2000.
- [95] K. O'Hara and A. Sellen. A comparison of reading paper and on-line documents. In *Proc. of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (CHI '97)*, pp. 335–342, 1997.
- [96] 岡本昌之, 中西英之, 西村俊和, 石田亨. Silhouettell: 実空間での出会いにおけるアウェアネス支援. 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol. 98, pp. 701–708, 1998.
- [97] A. Olwal, S. Feiner, and S. Heyman. Rubbing and tapping for precise and rapid selection on touch-screen displays. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '08)*, pp. 295–304, 2008.
- [98] K. Otsuka, H. Sawada, and J. Yamato. Automatic interface of cross-modal nonverbal interactions in multiparty conversation. In *Proc. of International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI '07)*, pp. 255–262, 2007.
- [99] T. Partala, M. Luimula, and O. Saukko. Automatic rotation and zooming in mobile roadmaps. In *Proc. of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI '06)*, pp. 255–258, 2006.

- [100] K. Perlin and D. Fox. Pad: an alternative approach to the computer interface. In *Proc. of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '93)*, pp. 57–64, 1993.
- [101] E. Piateski and L. A. Jones. Vibrotactile pattern recognition on the arm and torso. In *Proc. of the First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC '05)*, pp. 90–95, 2005.
- [102] E. Pietriga and C. Appert. Sigma lenses: focus-context transitions combining space, time and translucence. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '08)*, pp. 1343–1352, 2008.
- [103] E. Pietriga, C. Appert, and M. Beaudouin-Lafon. Pointing and beyond: an operationalization and preliminary evaluation of multi-scale searching. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07)*, pp. 1215–1224, 2007.
- [104] J. Rasmussen. *Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering*. Elsevier Science Inc., 1986.
- [105] J. L. Reisman, P. L. Davidson, and J. Y. Han. A screen-space formulation for 2D and 3D direct manipulation. In *Proc. of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '09)*, pp. 69–78, 2009.
- [106] J. Rekimoto. Tilting operations for small screen interfaces. In *Proc. of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '96)*, pp. 167–168, 1996.
- [107] D. C. Robbins, E. Cutrell, R. Sarin, and E. Horvitz. ZoneZoom: map navigation for smartphones with recursive view segmentation. In *Proc. of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI '04)*, pp. 231–234, 2004.
- [108] A. H. Rupert. An instrumentation solution for reducing spatial disorientation mishaps. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, Vol. 19, No. 2, pp. 71–80, 2000.

- [109] K. Sato, Y. Sato, M. Sato, S. Fukushima, Y. Okano, K. Matsuo, S. Ooshima, Y. Kojima, R. Matsue, S. Nakata, Y. Hashimoto, and H. Kajimoto. Ants in the Pants. In *SIGGRAPH New Tech Demos*, p. 3, 2008.
- [110] J. Savage and A. Cockburn. Comparing automatic and manual zooming methods for acquiring off-screen targets. In *People and Computers XIX II - The Bigger Picture*, pp. 439–454. 2006.
- [111] G. M. Smith and M. C. Schraefel. The radial scroll tool: scrolling support for stylus- or touch-based document navigation. In *Proc. of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '04)*, pp. 53–56, 2004.
- [112] R. Stiefelhagen, J. Yang, and A. Waibel. Modeling focus of attention for meeting indexing based on multiple cues. *IEEE Transaction on Neural Networks*, Vol. 13, No. 4, pp. 928–938, 2002.
- [113] R. Stiefelhagen and J. Zhu. Head orientation and gaze direction in meetings. *Extended Abstract of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '02)*, pp. 858–859, 2002.
- [114] J. Sturm, O. H. Herwijnen, A. Eyck, and J. Terken. Influencing social dynamics in meetings through a peripheral display. In *Proc. of International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'07)*, pp. 263–270, 2007.
- [115] 高嶋和毅, Sriram Subramanian, 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.
- [116] D. S. Tan, G. G. Robertson, and M. Czerwinski. Exploring 3D navigation: combining speed-coupled flying with orbiting. In *Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '01)*, pp. 418–425, 2001.
- [117] 丹野宏昭, 下斗米淳, 松井豊. 親密化過程における自己開示機能の探索的検討-自己開示に対する願望・義務感の分析から-. 対人社会心理学研究, Vol. 5, pp. 67–75, 2005.

- [118] J. K. S. Teh, A. D. Cheok, R. L. Peiris, Y. Choi, V. Thuong, and S. Lai. Huggy Pajama: a mobile parent and child hugging communication system. In *Proc. of the 7th international conference on Interaction design and children (IDC '08)*, pp. 250–257, 2008.
- [119] 戸田泰史, 平松達也, 西田豊明, 角康之, 塚原裕史, 岩崎弘利. 視線とジェスチャによる車内会話量子の提示と獲得. 人工知能学会全国大会論文集, pp. 3C3–6, 2008.
- [120] 徳永弘子, 湯浅将英, 武川直樹. 3人会話における発話交替時の視線行動分析-聞き手の立場から見た発話・非発話の戦略-. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 106, No. 268, pp. 23–28, 2006.
- [121] K. Tsukada and T. Masui. PhantomParasol: a parasol-type display transitioning from ambient to detailed. In *Adjunct Proc. of 4th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive '06)*, pp. 97–101, 2006.
- [122] K. Tsukada and M. Yasumura. ActiveBelt: belt-type wearable tactile display for directional navigation. In *Proc. of the 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '04)*, Vol. 3205, pp. 384–399, 2004.
- [123] J. B. F. van Erp, H. A. Veltman, and H. A. H. C. van Veen. A tactile cockpit instrument to support altitude control. In *the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (HFES '03)*, pp. 114–118, 2003.
- [124] J. J. van Wijk and W. A. A. Nuij. Smooth and efficient zooming and panning. In *Proc. of the Ninth annual IEEE conference on Information visualization (INFOVIS'03)*, pp. 15–22, 2003.
- [125] J. J. van Wijk and W. A. A. Nuij. A model for smooth viewing and navigation of large 2D information spaces. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 10, No. 4, pp. 447–458, 2004.
- [126] D. Vogel and R. Balakrishnan. Interactive public ambient displays: transitioning from implicit to explicit, public to personal, interaction with multiple users. In *Proc. of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '04)*, pp. 137–146, 2004.

- [127] C. Ware and M. Lewis. The DragMag image magnifier. In *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems (CHI '95)*, pp. 407–408, 1995.
- [128] B. Wrede and E. Shriberg. Spotting “Hot Spots” in meetings: human judgments and prosodic cues. In *Proc. of 8th European conference on speech communication and technology (Eurospeech '03)*, pp. 2805–2808, 2003.
- [129] Y. Yanagida, M. Kakita, R. W. Lindeman, Y. Kume, and N. Tetsutani. Vibrotactile letter reading using a low-resolution tactor array. In *Proc. of the 12th International Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (HAPTICS '04)*, pp. 400–406, 2004.
- [130] S Zhai. User performance in relation to 3d input device design. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol. 32, No. 4, pp. 50–54, 1998.
- [131] M. Ziefle, C. Röcker, L. Klack, K. Kasugai, E. Jakobs, T. Schmitz-Rode, P. Russell, and J. Borchers. eHealth - enhancing mobility with aging. In *Adjunct Proc. of the 3rd European Conference on Ambient Intelligence (AmI '09)*, pp. 25–28, 2009.
- [132] 矢野博明, 小木哲朗, 廣瀬通孝. 振動子を用いた全身触覚提示デバイスの開発(<特集>ハaptiックインターフェース). *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 3, No. 3, pp. 141–147, 1998.

