

# 意思決定支援のための 疑似触覚を利用したビジュアルインタラクションの機構設計 Toward Visual Interaction Design for Supporting Decision Making

中小路 久美代\*<sup>1</sup>  
Kumiyo Nakakoji

山本 恭裕\*<sup>2</sup>  
Yasuhiro Yamamoto

松原 伸人\*<sup>1</sup>  
Nobuto Matsubara

\*<sup>1</sup> 株式会社 SRA  
Software Research Associates, Inc.

\*<sup>2</sup> 東京工業大学  
Tokyo Institute of Technology

This paper proposes the method that uses pseudo-haptic feedback as a way to communicate weight representing constraints in decision making. Taking a simple group assignment task as an object-to-think-with, we argue that a user's experience of dragging an object to assign to a group would be enriched if the object's constraints are represented through visual interactivity where other dependent objects are tied to the object through virtual invisible strings. The type of each constraint may be reflected to the stiffness and the length of each string. We present our initial implementation to model such a string, and describe prototyped touch-based tools to demonstrate the visual interaction mechanism in communicating constraints.

## 1. はじめに

本研究は、コストとしてモデル化することが難しいような制約を、ビジュアルなインタラクティブ性を介した重さとしてユーザにフィードバックする機構を探るものである。複数オブジェクトをいくつかのグループに分けるといった資源配分の案を人手で作り替えていくユーザの操作に対して、「移動するのが重く感じる」といった感覚を生じさせる疑似触覚の仕組みを応用する。

疑似触覚とは、マウスや手指の動きと、それに対応して動くビジュアルなオブジェクトの表現の移動速度のマッピングを、ある時点で突然変化させることによって、オブジェクトの動きを重く感じたり軽く感じたりするような触力覚の錯覚を指す[Lecuyer 2009].

本研究では、ビジュアルに表示されている1個のオブジェクトを、あるグループを表現する領域に向かってドラッグしてアサインしようとする際に、疑似触覚のフィードバックを利用することで、そのオブジェクトを重く感じたり、あるいは別のオブジェクトがそのオブジェクトにひきずられていくように感じたりすることを可能とする機構の構築を目指している。

Zhang らは、ハノイの塔の同型問題を利用して、どのような表現形態がユーザの問題解決時の認知的負荷に影響するかを分析している[Zhang, Norman 1994]. 一般的なハノイの塔問題では、「一つの棒からは、その棒に重なっている一番小さな輪しか移せない」というルールは、輪が上下に重なって棒にささっているという物理的な制約により自明となっている。しかし問題の表現方法を変えて、輪を重ねずに平面におくと、このルールが自明ではなくなる。Zhang らの Representational Analysis の研究では、輪の大きさの代わりに、モノの大きさ、モノの色、およびモノのかたちを使った、ハノイの塔の同型問題を作成し、表現を変えるとタスクの難しさが大きく変化する、ということを認知的負荷という観点から分析している[Zhang, Norman 1994].

連絡先: 中小路久美代, (株)SRA 先端技術研究所,  
kumiyo@sra.co.jp

連絡先: 山本恭裕, 東京工業大学 精密工学研究所,  
yxy@acm.org

連絡先: 松原伸人, (株)SRA 先端技術研究所,  
matubara@sra.co.jp

我々は、資源配分といった意思決定タスクを行う際に、制約を数字や色で表現することは、必ずしも認知的負荷が低いものではないと考える。「重要」という言葉が示すように、「重い」ものは大切であったり動かしにくかったりすることを、人間は日常的に体得している[Koike et al. 2006]. 我々のアプローチは、意思決定における制約などの条件を、体感的な「重さ/ウェイト」としてユーザにフィードバックしようとするものである。これにより、問題の状況や制約といった情報を、より効果的に人間が理解することができ、より質の高い問題解決のプロセスにつながると考えている。

## 2. 「重さ」のコミュニケーション

### 2.1 疑似触覚フィードバックの利用

重さの表現としてはこれまで、数値(12.54kg)で表現するか、あるいは言葉(「重い」「軽い」)で表現するという方法がとられてきた。フィジカルコンピューティングの普及に伴い、アクチュエーターを装着して物理的な重さとして表現することも可能となりつつある。Emotional Touch では、小型のフルレンジスピーカーを用いて触覚を提示することで微妙な感覚を表現するデバイスを構築している[Hashimoto et al. 2009]. 力のかかった腕の筋電信号を計測し、これを、屈筋と伸筋への低周波刺激信号として「書き込む」ことで、実際に腕に重さがかかったような感覚を生じさせる手法も提案されている。

これに対して我々は、疑似触覚の仕組みを利用して、ビジュアルなインタラクションにより、重さをユーザに対してコミュニケーションするという手法を採っている[Nakakoji et al. 2010].

疑似触覚(あるいは疑似力覚ともいう)は、視覚による知覚と、固有受容知覚(自分で感じている体の動き)との間に不整合が生じた際に、視覚による情報が優勢になるという脳の特長から、固有受容知覚に錯覚が生じる現象を指す[Lecuyer 2009]. たとえば、マウスを等速で動かしている際に、画面上に表示されているマウスカーソルの動きが、急に遅くなったり速くなったりすると、マウスカーソルが移動している画面上に凸な部分や凹んだ部分があるように感じる。視覚から得られるマウスカーソルの動きの情報を受けて、まるで手が力を受けたように感じる現象である。疑似触覚は、物体の固さ[Lecuyer et al. 2000]やテクスチャ

[Lecuyer et al. 2004], さらには空気の流れ(風)[Pusch et al. 2008]に関しても生じることが実験により確かめられてきている。

我々は、このような人間(脳)の認識メカニズムを利用して、ユーザがオブジェクトを選択しようとしたらドラッグしようとしたらする際に、システムがオブジェクトの表示形状を変化させたりオブジェクトの移動速度を落としたりすることで、ユーザに、オブジェクトが動きにくいと感じさせたり、重いと感じさせたりすることができる。これによって、そのオブジェクトにかかっている制約や、複数オブジェクト間の関係に関する制約を、ユーザに対してフィードバックすることが可能となる。

## 2.2 センシフト情報環境 TCieX

我々はこれまで、どのようなビジュアルな表現と動きのマッピングをおこなえば人がどう感じるかを試行的に試しながらデザイン支援をおこなうセンシフト情報環境 TCieX (Touch-Centric interaction embodiment eXploratorium) を構築してきた[Nakakoji et al. 2011].

Lecuyer[2009]は、与えられた触覚のプロパティに関する擬似触覚をフィードバックするシステムをデザインするにあたっては、以下の三つのことを行う必要があるとしている。

(1) その触覚属性を制御し、空間のパラメータと関連づける法則を見出す。

(2) その触覚属性に関する空間のパラメータについて、視覚と触覚の間での感覚矛盾が生じるようにする。

(3) その空間パラメータの視覚的フィードバックを変更して、目的とする触覚のプロパティを知覚させ擬似触覚を生じさせる。

TCieX では、iPad とのタッチインタラクションを中心として、手指の動きとビジュアルな表現との様々なマッピングとそのパラメータを体験するためのツール群を実装したものである。TCieX 上で様々なパラメータを体験していくことにより、目指す重さをコミュニケーションできるようなビジュアルなインタラクティブ性のデザインの支援を行う[Nakakoji et al. 2011].

たとえばその中の一つ two panes は、手指の動きに応じて動くオブジェクトの移動速度およびビジュアルなサイズを変更させるパラメータ設定を、様々に変更しながら試行できるようなツールである。

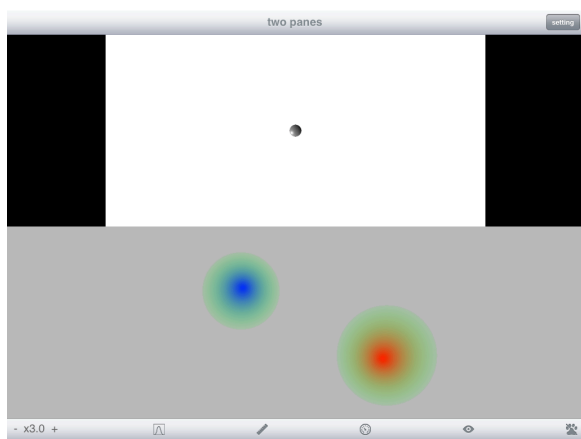


図 1: センシフト情報環境 TCieX の two panes ツール

画面は、表示エリアと操作エリアとして上下に 2 分割されている(図 1)。操作エリア上を指でタッチすると、操作エリア上の指の位置が表示エリアの座標にマッピングされ、操作エリア上での指の動きと連携して、表示エリア内の銀色のオブジェクトが動く。

操作エリア上には、緑と青(あるいは赤)のグラデーションがかかった円を、減速(あるいは加速)エリアとして配置することができる。操作エリアにおいて手指を水平に動かしていき、減速エリアに手指がかかった瞬間に、対応して動いていた銀色のオブジェクトの移動スピードを減速し、表示サイズを小さくするような、倍率パラメータやマッピングの関数をプロファイルとして選択することができる。これにより、視覚と触覚の間で感覚矛盾を生じさせ、銀色のオブジェクトが重くなったように感じたり、表示エリアの表面に凹凸があるように感じたりする。

## 3. 資源配分タスク

本研究では、上述のような疑似触覚という脳の特徴的な機構を利用して、資源配分タスクにおける制約を、ビジュアルなインタラクティブ性を介してフィードバックするような環境の構築を目指している。

我々のアプローチを説明するための題材として、シンプルな資源配分課題を示す。

課題: A, B, C, D, E の 5 名を、2 名と 3 名からなる二つのグループに分ける。

制約 1: E は B と同じグループに入りたい

制約 2: B と C とは互いに同じグループに入りたい

制約 3: D は A とは別のグループが良い

制約 4: A は 2 名の方のグループに入りたい

制約 5: A は E とは別のグループにして欲しい

実際に 5 人を二つのグループに分けようとする時、これらの制約を全て満たす解は存在しないことは明らかである。どれかの制約を満たさないうままに、どこかで妥協しながらグループ分けをしなければならないことになる。

小学校の先生が生徒の席替えをしようとする時や、看護師長が看護師の勤務表を作成しようとする時には、このような資源配分タスクは、規模、制約共に、それぞれ桁違いに複雑になる。制約そのものや制約間の優先順位をコストとして表現できれば、最適化問題として最適解を見つけることは可能かもしれないが、席替えといったような人的資源を配分タスクにおいては、制約をコストとしてモデル化することは困難である。コストとしてモデル化できる場所はモデル化し、最適化問題として部分的な解を見出しつつ、徐々に案を作っていくながら、随時、どの制約が満たされ、どの制約が満たされなくなるかを意識しつつ、作成していけるような環境が必要であると考えられる。

## 4. ビジュアルなインタラクティブ性

我々は、あるオブジェクトをあるグループに割当てようとする際に、そのオブジェクトとのインタラクティブ性を介して、こういった制約条件が伝わるような環境の構築を目指している。ただしここでいう制約とは、場合によっては満足することができないような、不確定な要素を含む制約である。

### 4.1 二者間の関係

前節で示した 5 人を二つのグループに分ける資源配分タスクにおける制約としては、(1)ヒト同士の関係に関わるものと、(2)ヒトと割当先(グループ)との関係に関わるものとの 2 種類が考えられる。

人同士の関係として、

制約 1: E は B と同じグループに入りたい

制約 2: B と C とは互いに同じグループに入りたい

という二つの制約を考える。

制約 1 は、一方向的な関係である。E は B と一緒にグループに入りたいが、B は E と同じグループでも良いしそうでなくても

構わない, という状況である. このような状況において, B をあるグループにアサインしようとユーザがドラッグしていく場合に, E が B の動きについていくような表現で表すことを考える. 逆に, E をあるグループにアサインしようとドラッグするときには, B は E にはついてこないようなビジュアルな表現を考える.

制約 2 は, 双方向的な関係である. B と C とは同じグループに入りたいという制約に沿えば, B をあるグループにアサインするために動かすと, C も必ずついてくる, といった表現となる. C を操作しようとする際には, B が必ずついてくるといった表現となる.

## 4.2 ひものメタファ

本研究では, 人をひとりずつグループにアサインしていく際に, 人同士がひもでつながれているような動きで, その制約を表現する. ひもの硬さやひもの長さをパラメータとして変えることで, 制約の種類や強さを, ビジュアルなインタラクティブリティとして表現できると考えている.

例えば,

制約 1: E は B と同じグループに入りたい

という E と B の関係を表す際には, E を操作してグループにアサインする際には, E と B との間には長い柔らかいひもがつながっていて, E の動きとは無関係に B は留まったままとする.

B を操作してグループにアサインする際には, B と E との間に, 短いひもがつながっていると考える. B を操作してグループにアサインするために動かすと, E がひきづられてついてくるような動きとなる.

制約 2: B と C とは互いに同じグループに入りたいについては, B と C とが針金のように硬いひもでつながっていると考える. B を動かしても, C を動かしても, それぞれもう一人がついてくるような動きとなる.

二つのオブジェクトの間をつなぐ, ひもの長さや硬さの関係は, 以下のようになる(図 2).

硬めのひもでつながれていれば, その二つのオブジェクトの間には, 同じ動きを示すような制約がかかる.

十分に長い柔らかめのひもでつながれていれば, 一つのオ



(a) 硬い針金でつながれた黒いオブジェクトは両者のビジュアルな位置関係を保って移動する



(b) 柔らかい短いひもでつながれた黒いオブジェクトは白いオブジェクトからの距離がひもの長さを超えると追従する



(c) 柔らかい長いひもでつながれた黒いオブジェクトは白いオブジェクトを動かしても動かない

図 2: 二つのオブジェクトの関係をそれらをつなぐひもの硬さと長さで表現する(白いオブジェクトをドラッグして動かした場合)

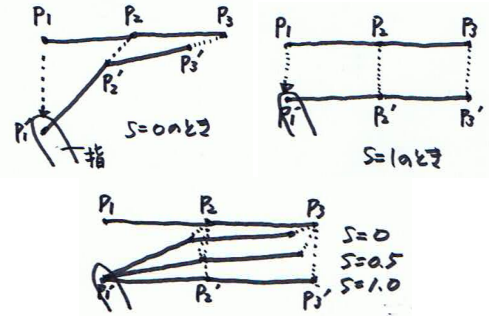


図 3: ひもの硬さや柔らかさを実現する仕組み

ブジェクトの動きは, もう一つのオブジェクトの動きには影響しない.

短めの柔らかめのひもでつながれていると, オブジェクト間の距離がひもの長さよりも十分に短い間は, 一つのオブジェクトの動きは, もう一つのオブジェクトの動きにはほとんど影響しないが, 一つのオブジェクトがある程度の距離(ひもの長さを超えて)以上移動しようとする, もう一つのオブジェクトもその動きに追従する.

## 5. プロトタイプツール

前述のひものメタファをインタラクティブリティとして実装するにあたり, ひもを表現するプロトタイプと, ひもでつながれた二つのオブジェクトの操作を体験してみるような環境を, Apple iPad 上で構築した.

### 5.1 ひもの実装

ひもは, 等間隔で並ぶ  $N$  個の順序付きの点列として設計した. オブジェクトをつなぐひもとしては, 両端の点の操作のみとなるが, ひもの硬さや柔らかさといったものを疑似触覚フィードバックとして体験できるように, ひも上のあらゆる点を 1 点, 手指でタッチすることにより選択しドラッグ(移動)できるようなものとして実装した.

ドラッグして移動した点  $P_n(X,Y)$  に隣節する点  $P_{n-1}$  は,  $P_n$  が  $P_{n'}$  に移動するに伴い引きずられて  $P_{n-1}'$  に移動する. その移動量および向きが, ひもの硬度パラメータ  $s[0..1]$  によって定まり移動量が伝播する仕組みである. ユーザがドラッグして移動した点  $P_n$  からひもの両端の点に向かって, 各点が順に隣接する点を引っぱることで, ひものように振る舞うように見える.  $s=0$  で最も柔らかなひもとなり,  $s=1$  で最も硬いひもとなる.

図 3 に, 概要を示す.

このようにして実装したひもを, 様々なひもの硬度属性を変えながら体験する環境を実装した(図 4). この環境においては, ひもの硬度属性に加えて, ひもの初期形状, ひもを構成する各点のビジュアル表現, ひもの見た目の太さ, ひもの色, ひもを構成する隣接する点間の距離, およびひもを構成する隣接する点列の並びパターンを, 画面下部の設定エリアにおいて設定することができる.

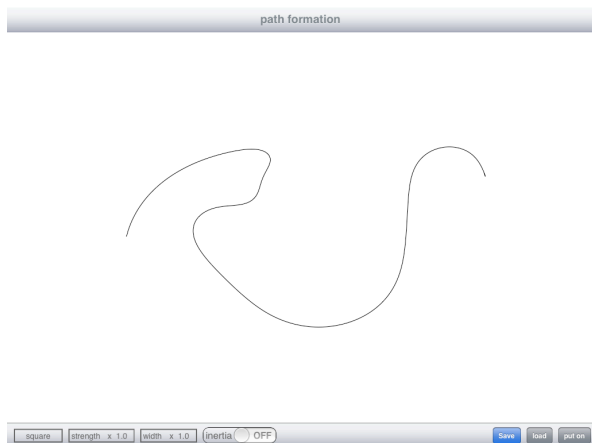


図 4: 様々なひもの硬さを体験する環境

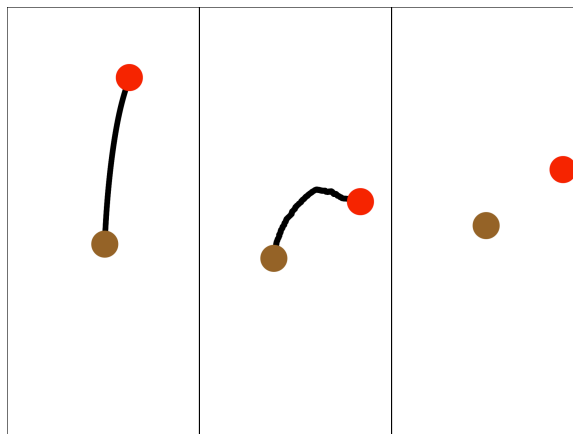


図 5: 二つのオブジェクト間の制約関係を体験する環境

## 5.2 オブジェクト間の制約の表現

二つのドラッグにより移動可能なオブジェクトを、5.1 で説明したひもの両端に配置し、ひもでつないだ状態にして、オブジェクトの動きを体験する環境を実装した(図 5)。ひもの表示/非表示のスイッチ、ひもを構成する点の数による長さの変更、およびひもの硬度パラメータの変更、を組み合わせたパターンで、オブジェクトの動きを制約としてどのように感じるかを3種類まで比較しながら体験することができる。目指す環境ではオブジェクトのみを表示し、ひもを表示するものではないが、体感しながら確かめるためには、随時ひもの振る舞いを見てチェックできることが必要であることがわかった。

## 6. 今後の展開

資源配分課題における二つのオブジェクト間に存在する制約を、オブジェクトをつなぐ仮想的なひもの硬さと長さを利用して表現することで、制約を重さとして擬似的に感じられるような体験環境を構築した。

非対称なオブジェクトの関係や、複数個のオブジェクトの制約が同時にかかるような関係では、1個のオブジェクトに複数のひもがつながることになる。ひもの硬さや長さといったパラメータを、ユーザの操作状況に応じて動的に変化させながらフィードバックすることで、疑似触覚を利用したビジュアルインタラクションの機構が実現できると考えている。

現在は、視覚的なインタラクティブ性の機構に着目しているが、音によるフィードバックを組み合わせることも考えている。画面上の左右の両端から等速で一直線上を移動する二つの物体を表示している際に、視覚的な表示のみのときには二つの物体が交叉してそれぞれが画面上の両端を往復しているように見えるが、二つの物体が交差する瞬間に音を表示することでそれら二つの物体が衝突して跳ね返っているように見えるといった音に関する錯覚の存在が知られている[柏野 2010]。オブジェクトの移動時に、移動がしにくそうな音の表現を同期しておこなえば、オブジェクトと配分される先(グループ)との制約関係のフィードバックとして有効となるのではないかと考えている。

## 謝辞

本研究の一部は、科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(CREST)「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」プログラムの支援によるものである。

## 参考文献

- [Hashimoto et al. 2009] Hashimoto, Y., Nakata, S., and Kajimoto, H. 2009. Novel tactile display for emotional tactile experience, Proceedings of ACE'09, ACM Press, New York, NY, pp. 124-131, Athens, Greek, 2009.
- [Koike et al. 2006] Koike, Y., Yamamoto, Y., Nakakoji, K., Tele-Kinesthetic Interaction: Using Hand Muscles to Interact With a Tangible 3D Object, SIGGRAPH2006, Emerging Technologies, Boston, MA., July, 2006.
- [Lecuyer et al. 2000] Lecuyer, A., Coquillart, S., Kheddar, A., Richard, P., Coiffet, P., Pseudo-haptic Feedback: Can Isometric Input Devices Simulate Force Feedback?, Proceedings of VR 2000, 2000.
- [Lecuyer et al. 2004] Lecuyer, A., Burkhardt, J.M., Etienne, L., Feeling Bumps and Holes Without a Haptic Interface, The Perception of Pseudo-Haptic Textures, Proceedings of CHI2004, Vienna, Austria, pp.239-246, 2004.
- [Lecuyer 2009] Lecuyer, A., Simulating Haptic Feedback Using Vision: A Survey of Research and Applications of Pseudo-Haptic Feedback, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.18, No.1, pp.39-53, MIT Press, February 2009.
- [Nakakoji et al. 2010] Nakakoji, K., Yamamoto, Y., Koike, Y., Toward Principles for Visual Interaction Design for Communicating Weight by using Pseudo-Haptic Feedback, Proceedings of Create 10 Conference, Edinburgh, UK, pp.68-73, June-July, 2010.
- [Nakakoji et al. 2011] K. Nakakoji, Y. Yamamoto, N. Matsubara, TCieX: An Environment for Designing and Experiencing A Variety of Visuo-Haptic Sensory Conflicts, Proceedings of the PIVE 2011, pp.23-26, Singapore, 2011.
- [Pusch et al. 2008] Pusch, A., Martin, O., Coquillart, S., HEMP: Hand-Displacement-Based Pseudo-Haptics: A Study of a Force Field Application, Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interfaces, pp.50-66, 2008.
- [Zhang, Norman 1994] Zhang, J. and Norman, D. A., Representations in distributed cognitive tasks, Cognitive Science, Vol. 18, pp.87-122, 1994.
- [柏野 2010] 柏野牧夫, 音のイリュージョン: 知覚を生み出す脳の戦略, 岩波科学ライブラリー 168, 岩波書店, 2010.