

本棚のメタファの複合によるハノイの塔の拡張と評価

安藤 健翔ⁱ 伊藤 彰教ⁱⁱ 渡邊 賢悟ⁱⁱⁱ 近藤邦雄ⁱⁱ 三上 浩司ⁱⁱ 吉岡英樹ⁱⁱ

ⁱ 東京工科大学大学院 バイオ・情報メディア研究科 〒192-0914 東京都八王子市片倉町 1404-1

ⁱⁱ 東京工科大学 〒192-0914 東京都八王子市片倉町 1404-1

ⁱⁱⁱ 渡辺電気株式会社 〒180-0022 東京都武蔵野市境 1-22-9 レジデンス武蔵境 301

E-mail: ⁱ and.8492@gmail.com, ⁱⁱ {akinori, kondo, mikami, yoshioka}@stf.teu.ac.jp, ⁱⁱⁱ kengo@kengolab.net

概要 ハノイの塔は難易度のバリエーションがほぼ存在しないため、段階的なプレイ習熟のためのステージ設計の幅が少ない。本研究ではハノイの塔のモデル化および再構築を行い、本棚をメタファとしたゲームを開発し理論的な難易度の拡張を可能とした。また、難易度上昇に対するプレイ負荷軽減のため、メタファの利用が効果的であることを比較実験により確認した。

キーワード ハノイの塔, レベルデザイン, 負荷軽減, メタファ, パズルゲーム

1. はじめに

「ハノイの塔」は、100 年以上昔から存在する木製のパズルゲームである。ハノイの塔は 3 本の杭と大きさの異なる複数の円盤で構成され「小さな円盤の上に大きな円盤を積まない」というルールのもと、端に積まれた円盤を逆の端に移動させることで完成となる。

ハノイの塔は子供向けの知育玩具として、また認知科学における問題解決学習の過程を分析するための実験器具として広く用いられている^{[1][2][3]}。しかし、実物のハノイの塔における円盤の入れ替えはすべて手動で行うため、煩雑で作業的であり、円滑な試行の障害となっている。

ゲーム性についても、基本的に杭の数が 3 本に限定され、初期配置も 1 パターンしか提示されないため、難易度は円盤の枚数の増減にのみ左右されバリエーションがほぼ存在しない。そのため、段階的なプレイの習熟や、ユーザを飽きさせないためのステージ設計の幅が少ない。

そこで本研究では、タブレットデバイスを用いたアプリケーション「ハノイの本」を制作した^{[4][5]}。タッチ操作による快適なオブジェクトの移動を可能にするとともに、「本を綺麗に片付ける」という行為の快感・達成感に注目し、ハノイの塔の「大きさ順に積んでいく」というルールと、「本を長さ順に並べ替える」という行為の双方が持つ共通のメタファを利用することで、ハノイの塔の学習効果をそのままに、高度なゲーム性

の拡張を実現した。また、この作品をゲームとして継続的にプレイヤーにプレイさせるため、多彩な手続き学習を支援する仕組みを実装した。具体的には、ステージ設計の柔軟さを利用した段階的な難易度設計や、タッチ、グラフィック、サウンドにおけるインタラクションデザインの最適化を行い、快感・達成感の強化による手続き学習の促進を図った。

しかし、実際にメタファの利用やステージ設計、インタラクションの工夫がプレイに与えた影響については未検証であり、その効果は不明である。そこで本研究では、従来のハノイの塔やタブレット上でプレイできるハノイの塔、ボードゲームとして制作した「ハノイの本」との比較実験により、本手法の有意性を明らかにした。

2. 関連研究と事例

タッチパネルを使用した、ハノイの塔がモチーフになっている参考事例として、『ハノイの塔(Tower of Hanoi) -Olympic』⁽¹⁾がある。これは iOS デバイス上でプレイできるハノイの塔で、実物と同じく 3 本の杭の中で円盤を動かすものだが、難易度の差異は円盤の数の増減に留まっている。

RosKreativ 社の『Клипы Руденко』⁽²⁾という製品は、物理的な制限を設けることでルールが遵守される工夫をしている。この作品は、閉じられた横長の輪の中に、ハノイの塔の円盤にあたるクリップがぶら下がる形で

重なって設置されており、円盤の上下関係を機械的に実現している。

本研究とこれらの関連研究・事例との違いは、ハノイの塔のルールをそのままに、本と本棚の要素を組み合わせることで、ゲーム性の拡張とゲームプレイの快感・達成感の増強を図っている点である。

3. 手続き学習の促進

「ハノイの塔」問題を解決するためには、ルールに従った試行錯誤を行い、その個別の手順を抽象化して認知し、解決のための手段を探る必要がある。また、最終的な解法が再帰的な構造を持つという特徴があり、円盤の枚数に関わらず最適解が一意に定まる。そのため、試行錯誤から得られた解法を条件が異なる場面に比較的簡易に適用可能であり、解法を更に抽象化して理解するという過程も体験できる。しかし、ハノイの塔は 3 本の杭の上で手順を行うというルール及び最適解が一意に定まるという特徴から、難易度を円盤の枚数の増減によってしか変更できない。2 枚の場合は簡易すぎて試行錯誤そのものがほぼ生じないために、3 枚～5 枚程度で行われることが多いが、3 枚と 4 枚、4 枚と 5 枚の間に大きな難易度の隔たりが存在する。

本研究で制作したアプリケーションでは、本及び障害物の数とそれらの初期配置により、多彩な難易度のステージを設計することができる。多彩な課題を提示することで、ハノイの塔が本来持つ手続き学習効果の促進を狙った。

4. ユーザインタフェース

本アプリケーションを制作するにあたり、タブレットデバイスを用いることでゲームルールの遵守と快適なオブジェクトの移動を実現したが、その他にもグラフィック及びサウンドインタラクションの工夫により、ユーザ体験の充実を図った。本章で記述する機能により、ユーザのモチベーションが低下するのを防ぎ、プレイの快適性向上、達成感の増強を実現する。

4.1 タッチインタラクション

本自体にタッチ判定を設定した場合、範囲が小さく、意図した操作を行うことが困難になる。そのため、スペース内であればタッチ場所に関わらず、その 1 番上または右端の本を掴んだ状態にする。置く際は正確にスペース内で指が離される必要はなく、本棚枠外の余白部分であっても自動的に該当スペースを判断し配置処理を行う。これによって、パズルに慣れたユーザが高速に操作を行っても誤検知が起きにくくなっている。

4.2 グラフィックインタラクション

長さの近い本の場合、一見してどちらの方がより長いかは分かりづらく、どの本が次に左下からの正位置に置かれるべき本なのか、掴んでいる本が移動先に置けるのかなどが判断しづらい。そのため、次に挙げる各種機能を実装した。

まずは本ごとの色とデザインの違いである。各本を正しく並べた場合、滑らかなグラデーションになるように配色を行っており、長さの比較を補助している。

また、次に置かれるべき最も長い本を点滅させるという機能がある。この機能がなかった場合、プレイヤーは次に置くべき最も長い本を自ら比較しながら探さねばならず、大きなストレスになってしまう。正しい位置に置かれていない中で最も長い本を点滅させることで、次に操作すべき対象を判断しやすくし、ストレスの軽減を図った。

さらに、本を保持したまましばらく経過すると、ヒントとして、置くことが不可能な場所を暗転させる機能や、更なる長さ関係比較の補助として、操作を行わずにしばらく経過すると、本の近くに長さ順に番号を表示する機能を実装した。

4.3 サウンドインタラクション

パズルの特性上、ゲームの過程でユーザが本の長さの関係を見誤り、下段に間違った本を配置した際に気付かずに続けてしまう場合がある。これを避けるため、正しい位置に配置された際には通常と異なる特殊なサウンドエフェクトが再生される。このサウンドエフェクトは正解冊数が増える毎に徐々に音階が上がってい

く。また、ゲーム中の BGM についても工夫を行った。ゲーム開始時は少ない楽器数で演奏されたトラックを再生し、本が 2 冊正解の位置に配置される毎にトラックが最大 5 つまで順次追加されていく。

これらのサウンドインタラクションによって、展開の遅いゲーム序盤では徐々に楽器が追加されていき、整頓が済み正しい位置への配置が高速になるゲーム終盤では、完成した BGM による盛り上がりと、連続で鳴る正解 SE によってゲームクリアに向かう高揚感を演出している。

5. 評価実験

本章では、本手法の有効性を検証するため行った評価実験について記述する。

5.1 実験概要

難易度上昇に対するプレイ負荷軽減とプレイ継続のため、メタファの利用と本アプリケーションのインタフェイスが効果的であることを検証するため、従来のハノイの塔、タブレットデバイスでプレイするハノイの塔、物理的なオブジェクトを操作するハノイの本、タブレットデバイスでプレイするハノイの本で比較実験を行った。

被験者には「飽きたら次のゲームをプレイしてください」「一度別のゲームに行ったら戻らないでください」「1 つのゲームを何度もプレイするのは構いません」という条件を最初に説明し、それぞれの環境でのプレイ時間を測定した。また実験後にアンケートを行い、それぞれの環境で「何回ゲームをクリアしたか」「オブジェクトは動かしやすかったか」「クリア時に達成感を得られたか」の 2 項目について、5 段階評価で回答を得た。被験者は東京工科大学の学生 12 名である。

従来のハノイの塔には、ハナヤマ社の『WOODY STYLE ハノイの塔』⁽³⁾を用いた。タブレットデバイスでのハノイの塔には Jinguk Hong の iOS アプリケーション『ハノイの塔(Tower of Hanoi) -Olympic』⁽⁴⁾を用いた。物理的なハノイの本には、プレイ画面である本棚と、操作対象である本を印刷し、スチレンボードに貼り付

けたものを使用した。さらにハノイの本の各ステージの初期状態を印刷したものを用意し、順番にプレイしてもらった形とした。

5.2 実験結果

それぞれの環境でのプレイ時間の平均と標準偏差は次の通りである。

表 1:プレイ時間平均と標準偏差

環境	平均	標準偏差
ハノイの塔（木製）	235 秒	290.16
ハノイの塔（タブレット）	139 秒	67.52
「ハノイの本」（スチレンボード）	338 秒	309.11
「ハノイの本」（タブレット）	318 秒	154.35

また、各環境でのクリア回数の平均は次のとおりである。

表 2:クリア回数平均

環境	平均
ハノイの塔（木製）	1.33 回
ハノイの塔（タブレット）	2.33 回
「ハノイの本」（スチレンボード）	4.83 回
「ハノイの本」（タブレット）	7.67 回

プレイ時間の平均はハノイの本（スチレンボード）が最も長い結果となったが、標準偏差が大きく、クリア回数平均もハノイの本（タブレット）と比べ低い結果となっている。これにより、楽しんでプレイした時間が長いというより、作業としての時間が長かったと考えられる。それに対しハノイの本（タブレット）は、ハノイの本（スチレンボード）とほぼ同等のプレイ時間平均ながら、標準偏差も小さく、クリア回数平均も最も多い結果となった。これにより、実際のプレイに費やした時間が多く、楽しんでプレイしていたことが示唆される。

「オブジェクトは動かしやすかったか」「クリア時に達成感を得られたか」の 2 項目については、回答結果に対して SPSS により Wilcoxon の符号付き順位和検定

を行い、4つの環境での各回答項目の比較を行った。これにともない、Bonferroniの多重比較を行い、有意確率を0.0125($\approx 0.05/4$)とした。

項目「オブジェクトは動かしやすかったか」の検定結果は、ハノイの塔(木製)とハノイの本(iOS)の間($p=0.004$)、ハノイの本(ボード)とハノイの本(iOS)の間($p=0.003$)で有意差($p<0.0125$)が認められた。これにより、本手法はハノイの塔(木製)とハノイの本(ボード)よりオブジェクトが動かしやすいということが示されている。項目「クリア時に達成感を得られたか」の検定結果では、どのペアの間でも有意差は認められなかった。

6. まとめ

従来のハノイの塔ではできなかった幅広い難易度のステージ設計を可能にし、タッチ・グラフィック・サウンドインタラクションの工夫により、円滑な操作とプレイにおける快感・達成感の強化を図った。これにより、初心者向けの簡単なステージから、上級者向けの非常に高難易度なステージまで作ることができ、多彩な手続き学習を支援するゲーム設計によりゲームプレイの促進が実現できた。

また、評価実験により、本ゲームが従来手法と比べプレイを継続してもらいやすく、高い操作性を実現していることを明らかにした。

文 献

- [1] Anzai Yuichiro, Simon Herbert A., (1979). The theory of learning by doing. *Psychological Review*. Vol.86(2), Mar 1979, 124-140.
- [2] 村田和香 (1994). 「ハノイの塔」パズルを用いた高齢者の問題解決過程の分析 北海道大学医療技術短期大学部紀要 7, 81-87.
- [3] 伊藤智哉 他 (2010). 概念と手続きの相互作用による知識構成—ハノイの塔の協調学習— 日本認知科学大会発表論文集(CD-ROM) 27th ROMBUNNO, 2-6.
- [4] 戀津魁 他 (2013). ハノイの本 映像情報メディア学会技術報告 37(17), 169-170.
- [5] 安藤健翔 他 (2014). 多彩な手続き学習を促進するシステムの開発—ハノイの塔と本棚のメタファを複合したパズルゲーム— インタラクション 2014 予稿集 633-638.

ゲーム

- (1) 『ハノイの塔(Tower of Hanoi) -Olympic』, Jinguk Hong, 2013. (iOS)
- (2) 『Клипы Руденко』, RosKreativ, (プラスチック製玩具)
- (3) 『WOODY STYLE ハノイの塔』, ハナヤマ, 2008. (木製玩具)

Extension and Evaluation of the Tower of Hanoi by the composite of bookshelf metaphor

Kensho ANDOⁱ Akinori ITOⁱⁱ Kengo WATANABEⁱⁱⁱ

Kunio KONDOⁱⁱ Koji MIKAMIⁱⁱ and Hideki YOSHIOKAⁱⁱ

ⁱ Tokyo University of Technology Graduate School 1404-1 Katakuramachi, Hachioji, Tokyo 192-0914 Japan

ⁱⁱ Tokyo University of Technology 1404-1 Katakuramachi, Hachioji, Tokyo 192-0914 Japan

ⁱⁱⁱ Watanabe-DENKI Inc. Residence Musashisakai 301 1-22-9 Sakai, Musashino, Tokyo 180-0022 Japan

E-mail: ⁱ and.8492@gmail.com, ⁱⁱ {akinori, kondo, mikami, yoshioka}@stf.teu.ac.jp, ⁱⁱⁱ kengo@kengolab.net

Abstract Variations of difficulty does not exist almost Tower of Hanoi. Therefore, stage designs for gradual learning cannot be performed. In this study, we design and modeling of Tower of Hanoi. And, we developed a game that is using bookshelf metaphor, it was possible to extend the difficulty theoretical. Also, we were confirmed by a statistical test that for the play load reduction for the degree of difficulty increases, the use of metaphor is effective.

Keywords Tower of Hanoi, Level design, Load reduction, metaphor, Puzzle Game