

Gravity Space : VRHMD で体験する重力をテーマとしたインタラクティブ・アート

猪原拓実¹ 児玉幸子¹

概要 : 空間に制限がなく、自由に移動することができる VR 空間の特徴を活かしたインタラクティブアート《Gravity Space》を制作した。《Gravity Space》ではプレイヤーが質量を持った「星」を出現させ、その「星」が互いに重力を受けて動く様を軌跡によって表現する。軌跡の集合体を、参照画像の色彩で彩ることも可能である。VRHMD を用いて 19 人に実際に体験してもらい、アンケート結果を考察した。

1. はじめに

VR 上では空間に制限がなく無限に広がり、上下左右だけでなく全方向に自由に移動することが可能である。その特性を活かしたインタラクティブ・アートのテーマとして重力を使うことを考案した。重力は無限に広がる宇宙空間で質量の塊同士であれば無限遠にいても微小ながら影響を与え合う力である。そして、重力は力の原理自体は単純であるが、多数の重力が働き合うと複雑で予測困難な動きを物体にもたらす。

作品 Gravity Space では、プレイヤーは三次元空間を自由に移動しながら「星」を出現させることができる。「星」は質量を持つ球体であり、「星」と「星」は互いの質量によって重力の影響を受けて引かれ合う。プレイヤーは「星」が移動した軌跡を観察することで「星」の動きを把握できる。また、その軌跡の集合は自然に存在する花の美しさを体現する。重力が描いた美しい軌跡の集合を鑑賞者は 3 次元空間を自由に動くことで観察できる。

2. 関連事例

「Gravicells[グラヴィセルズ]—重力と抵抗」[1]は床面にラインを投影し、空間に仮想的な力学場を構築することで、そこにいる人々を取り巻く重力を表現したインスタレーションである。鑑賞者がその空間に足を踏み入ると鑑賞者に合わせてそのラインが歪む。それによって空間全体が大きく変容していくことで普段忘れていた重力に自覚的になれる作品である。この作品と Gravity Space は重力を用い、重力の影響で空間全体が変容するという共通点がある。しかし、Gravicells の重力は我々人間に大きく影響を与えている地球からの一方的な重力であり、宇宙で星々に影響を与え合う相互の重力にフォーカスしていない。また、現状の

Gravity Space は一人で体験するものであり、他の参加者の影響を受けない。

《Path》[2]は Processing[3]を作った Casey Reas による作品で、Braitenberg vehicle[4]を模した動きのアルゴリズムを用いて 2 次元 CG を描画した。Braitenberg vehicle は、動物の世界のモデル化のための思考実験である。最も簡単な例は 2 種類の乗り物として、ある刺激に対して向かっていく動きをする乗り物とその刺激から遠ざかる動きをする乗り物を考えるものである。この Braitenberg vehicle のアルゴリズムを用いて 2 次元 CG を描画したものが Path である。この Path で描かれる乗り物の軌跡は密なところと疎なところがある。Path の軌跡は 2D であるが《Gravity Space》で描かれる 3D の「星」の軌跡と似ている。

3. Gravity Space

3.1 コンセプト

Gravity Space は重力をテーマにした VR インタラクティブ・アートである。二物体間に働く重力は(1)の式で表される。重力は二物体の距離が遠いほど弱く、近いほど強い力である。また、二物体の質量の積が大きいのほど強く働く力である。

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad \text{--- (1)}$$

作品の空間内には、プレイヤーが出現させる「星」、その動きの記録である軌跡、「星」を生み出す VR のコントローラーのみが存在する。「星」は鑑賞者が与えた初速度と他の「星」からの重力の影響だけで運動する。

重力に関する性質で有名なものとして三体問題がある。これは、重力に従って動く二体の運動は明らかになっているが、三体以上になると特殊な配置以外では数式を解くこ

¹ 電気通信大学大学院 情報理工学専攻 情報学専攻

とができず運動を明らかにできないという問題である。この作品では多数の「星」を出現させることでそれぞれの「星」が三体以上の多数の重力の影響を受け、「星」が予測できない複雑な動きをする。その複雑な動きを軌跡によって記録し、プレイヤーは空間を探索することで軌跡を鑑賞し、運動の複雑さを鑑賞することができる。

作品が存在する VR 空間は無限の大きさで、重力も無限遠の彼方まで働く。ユーザーは前後上下左右すべての方向に動くことができ、自由にその空間を探索できる。

3.2 システム概要

本研究のシステムで用いるハードウェアは、PC、VRHMD の Oculus Quest 2 とそのコントローラーである。ソフトウェアは、Unity で作成した。その中では、CG をリアルタイムに HMD へ送り、HMD とコントローラーの情報を PC へ送ることを繰り返している。HMD を装着した人の視野では、HMD を傾けた方向の映像が見え、両手に持つコントローラーの入力によって 3DCG 空間を自由に移動し、自由な視点から空間を観察できる。コントローラーのボタンを押しながらコントローラーを振ることで、振った方向に「星」を出現させることができる。「星」の初速度はコントローラーを振る速さによって変化する。図 1 にシステムの概要図を示す。

作品では、「星」を最大 1024 個、出現させることができる。「星」は他の「星」すべての重力の影響を受けて動く。この重力の計算はフレーム毎に行われる。その方法を以下に示す。

- ① ある一つの重力を受ける「星」を選び、その他の重力を与える「星」を一つ選ぶ
- ② その二体で(1)の重力の計算を行う
- ③ 同様にして重力を受ける「星」以外の空間に存在する全ての「星」と二体での重力の計算を行う
- ④ ③の結果を合算し、重力を受ける「星」に結果を力として与える
- ⑤ 全ての「星」に対して①から④の行程を行う

今回誤差はあるがフレームレートは平均して 30FPS 前後である。そのため完全に現実通りの重力の計算はできていないが十分に重力のシミュレーションはできていると考える。この計算を Unity にてリアルタイムで行うために Compute Shader を用いて GPU 上で処理を実行した。

「星」と「星」が衝突した時は「星」が消滅したり、ひとつになったりせずに互いの重力に強く引かれあって絡まり合った連星となり新たな運動を再び続ける。

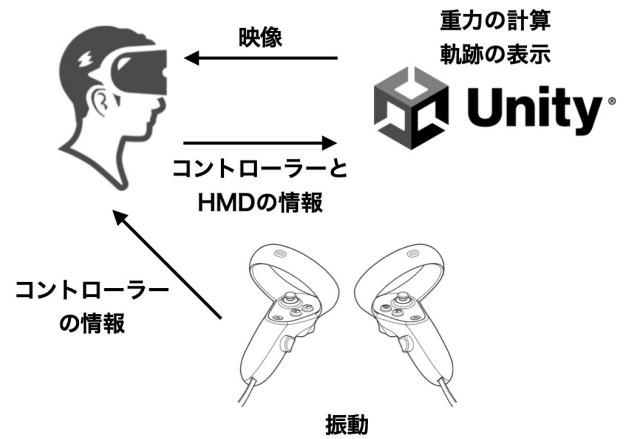


図 1 システム概要

3.3 軌跡

開発の途中では、軌跡の色を「星」が出現した位置の座標からランダムに単色に決定する図 2 に示した「単色方式」を採用していた。この場合は軌跡の独立性が色で担保される。そのため、ある「星」が出現してからその時点までの動きを追いやすい。しかし「星」の数が多くなった時に重力によって強く「星」が引かれあい、軌跡同士が重なり、軌跡の集合体ができる。その時にばらばらな色から構成された軌跡の集合体は個々の軌跡を把握しにくい。さらに集合としてみてもわかりにくいものになってしまう。

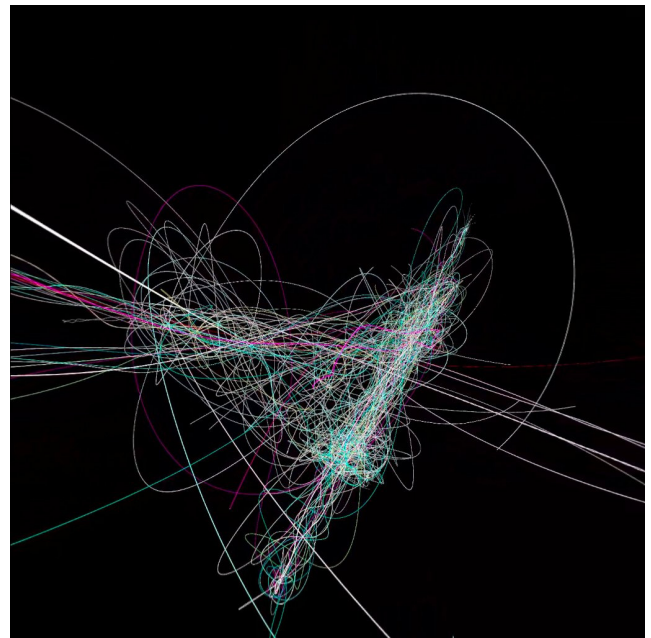


図 2 「単色方式」の軌跡の様子

「単色方式」の欠点から軌跡の集合として綺麗に見えてかつ単体の軌跡としても綺麗に見える方法が必要とされた。それを実現する方法として図 3 に示す「塗り絵方式」を考案した。その方法を以下に示す。

- ① 参照画像を用意する
- ② 画像から算出された色を xy 座標平面に再帰的に割り当てる(z座標は xy 座標が同じであれば同じ色が割り当てられる)
- ③ 「星」が通過した座標に軌跡を表示し②で割り当てられた色にする

これにより軌跡が単色ではなく、座標によって決定される複雑な色になる。また、軌跡が集まって集合体となった時にも近い座標は近い色になるため統一感が生まれる。しかし、個々の「星」の軌跡を単色の色で区別できないので軌跡ごとの独立性は失われる。そのため、ある「星」にかかる重力の影響を追うのが難しく鑑賞者はより集合としての軌跡、重力の影響を観察するようになる。

「塗り絵方式」の元となる参照画像を選定する際に、軌跡になった時に人工的な画像より自然の画像の方がより色合いが豊かに感じられる。「星」の出し方によっては軌跡の集合体ができ、全体として花のように見えることがあった。図3に参照画像を花として塗り絵方式で軌跡を描いて時の様子を示す。

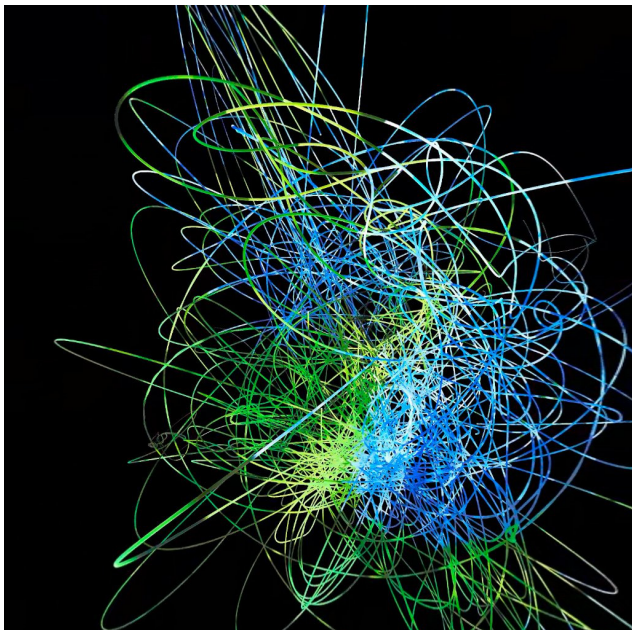


図3 「塗り絵方式」の軌跡の様子
(上が参照画像, 下が実際に描画された画像)

3.4 インタラクション

この作品で用いた VRHMD は Oculus Quest 2(Meta)である。VRHMD には標準機能として頭を動かした方向の映像が見える機能がある。また、VRHMD を装着した状態で現実世界を移動すると同様に VR 上の視野に反映される。Oculus Quest 2 には専用のコントローラーがついており、その位置のトラッキングはコントローラーに埋め込まれた赤外線 LED を HMD で取得することで行われている。この機能を使って Gravity Space では体験中の VR 画面上で現実の位置に近い場所へコントローラーを表示している。コントローラーには振動機能も存在している。

Gravity Space では「星」を出現させる時にコントローラーを振動させるフィードバックを採用した。「星」は、コントローラーのトリガーを押し、トリガーを離すタイミングで出現する。「星」が出現する場所はトリガーを離れた場所から自分の視界の正面方向に数 m 進んだ場所である。これは視界のすぐ目の前に「星」や軌跡が表示されて画面が見えなくなることを防ぐためである。「星」の初速度の計算手順は、初めに、コントローラーのトリガーを押した時のコントローラーの位置とトリガーを離れた位置の距離の差分を計算する。次に、それにかかった時間で割る。最後に「星」の質量の範囲から設定してある、生じるであろう重力の大きさに合わせた倍率が掛け合わさって「星」の初速度となる。鑑賞者がより早く、長い距離コントローラーを振るほど「星」の初速度が速くなる。このコントローラーによる星を出現させるインタラクションの様子を図4に示す。

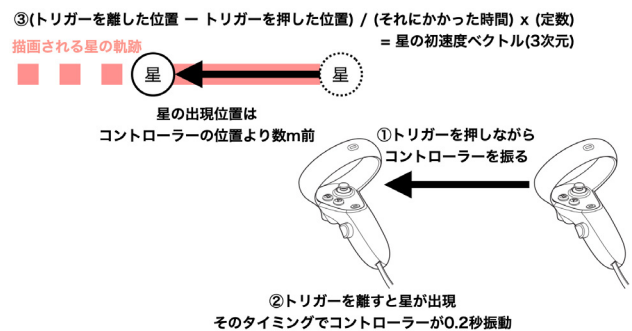


図4 コントローラーによる「星」を出現させる
インタラクションの様子

三次元上の移動は左手のコントローラースティックで行う。上下に倒すと前進後退し、左右に倒すと左右に移動する。移動の速度は、左右の「星」を出現させない小さい方のトリガーを押すことで変えることができ、4段階変更することができる。「星」は多数出現させると全体として強い重力が生じ大きく動く。それに合わせて移動するために移動速度の変更が必要となる。コントローラーの A, B, X, Y ボタンのいずれかを押しと視点回転する。視点の移動

は右手のコントローラーのスティック入力で行う。上下に倒すと上下に視点を移動し、左右に倒すと左右に視点が移動する。この左右のコントローラーからの入力で三次元空間を思い通りの方向に思い通りのスピードで移動し、自由に鑑賞できる。

4. アンケート実験

2021年12月4,5日に「調布市文化会館 たづくり」にて行われた「調布メディアアートラボ Vision in Motion 2021 一道具とからだを動かして、変化する光と音、イメージで遊ぼう!」の中で体験会を行った。体験会では、10歳から65歳までの男女19人に体験してもらいアンケートを行った。

4.1 体験の手順と内容

初めにこの作品の操作方法を口頭で説明し、VRHMDを被ってもらう。その後、1分間ほど移動や操作の練習をする。最後に本番として重力の設定を変えた3つの場合を体験1から順にそれぞれ約2分、合計約6分の体験をした。その約2分の体験のうち最初の1分45秒は「星」を自由に出すことができるが、その後は「星」を出すことができず、自分が出した「星」の軌跡をじっくり鑑賞する「鑑賞モード」に移行する。「鑑賞モード」中も星は重力の影響を受けて動き続ける。体験した人の様子を見つつ30秒ほどで「鑑賞モード」を終了し、次の体験に移る。

3つの体験では「星」の質量の範囲が変わり、重力の強さが変わる。「星」の質量は出現させる時にランダムで決まる。そのランダムの範囲が体験ごとに変わる。範囲は移動練習時と体験1が最も狭く、体験2は体験1の10倍、体験3は体験1の10000倍の範囲となって重力が大きくなっている。これによって体験ごとに大きく「星」の動き方が変わり、体験が進むほど大きな重力が発生し、「星」の動きがダイナミックになっていく。

4.2 体験内容

・移動練習

この体験では、初めて「星」を出現させて重力を体験してもらい移動の練習もしてもらう。移動練習では、他の体験とは違い連続した3つの「星」にしか重力が働かないようにして三体問題を体験してもらうことにした。つまり、1番最初に出現させた「星」を1番目として、2番目、3番目は互いに重力を受けて運動するが、それ以後の「星」からは何の影響も受けない。同様に4番目、5番目、6番目は互いに重力を受け、7番目、8番目、9番目はまた別に互いに重力を受けて運動する。こうすることで鑑賞者は重力の影響を受けて「星」が運動するとはどういうことかがわかりやすくなると考えた。また、移動練習だけは色を「単色方式」で決めている。

・体験1

ここから本番の体験が始まり、この体験1が最も重力が小さいと同時に「星」に与えられる初速度も小さい。そのため、「星」が重力にひかれる様子をじっくりと鑑賞することができる。しかし、コントローラーを振って「星」を出現させる動作に慣れていなかったり、うまく三次元上で移動ができていないなどVRやゲームの基本的な操作に慣れていない人はすべての「星」が一箇所に固まってしまうことなどがありうまく重力を体験できていなかった。「塗り絵方式」の参照画像は青のアジサイの写真である。

・体験2

この体験では、実験1よりも重力が大きく、「星」に与えられる初速度とのバランスが良く調整されている。そのため、ほとんどの人が重力の様子を観察したり、「星」を出現させることを楽しむことができた。また、色合いが綺麗であるとの感想が多く、白と緑が連続している部分から長ネギを連想した人もいた。「塗り絵方式」の参照画像は白のアジサイの写真である。

・体験3

最後の体験では、他の2つの体験よりも重力が非常に強く、「星」に与えられる初速度も非常に大きい。重力が大きいためその場に複数個の「星」をほとんど初速度を与えずに出現させても、互いの重力に引かれて「星」がダイナミックに運動する。また、空間に「星」が少ない時に初速度を大きくして「星」を出現させると非常に遠いところまで「星」が飛んでいってしまかなか帰ってこないことがある。最も多くの人がこの体験が一番面白かったと答えたが、体験する人によってはあまり自分で「星」をコントロールしている感覚が得られないことに不満を持つ人もいた。「塗り絵方式」の参照画像は赤のツツジの写真である。

5. 考察

体験会でアンケートを行った。アンケートはBrigid Costelloが”A Pleasure Framework” [5]において提唱した遊びにおける喜びを分類する13種類の項目について5段階で聞かれる。5段階は5. とても感じる, 4. まあまあ感じる, 3. どちらでもない, 2. あまり感じない, 1. 感じない, である。このアンケートの結果をまとめ、項目ごとの相関係数を階層クラスタ分析した。その結果を大きく3種類の項目に分けてそれぞれの特性をまとめた。

1つ目が想像性のグループである。この項目は、Gravity Spaceの体験から何か鑑賞者が空想したかどうか深く関連するグループである。具体的には、13種類の喜びの分類のうち想像、創造、魅了、危険の項目が合わさったものである。

2つ目が身体性のグループである。この項目は、Gravity Spaceの体験から何か鑑賞者が自分の体を使っていると思ったかが深く関連するグループである。具体的には、13種類

の喜びの分類のうち探索, 感覚, 発見, 上達, 目標達成, 違反の項目が合わさったものである。

3 つ目が関係性のグループである。この項目は, Gravity Space の体験から何か鑑賞者が他の人とのつながりを感じたかが深く関連するグループである。具体的には, 13 種類の喜びの分類のうち友愛, 共感, シミュレーションの項目が合わさったものである。

アンケートでその項目をよく感じたものは上から順に 1 の想像性, 2 の身体性, 3 の関係性であると考察した。その順番はそれぞれのグループに属する 13 種類の項目の平均点に基づく。想像性のグループが一番高いことから Gravity Space の体験で「星」の軌跡が作り出した集合体や軌跡そのものから鑑賞者が喜びを感じていることがわかる。逆に関係性のグループが低いので《Gravity Space》には他者とのつながりをあまり感じないことがわかった。

表 1 13 種類の喜びの分類とそれを独自に
3 グループに分けた結果

喜びのグループ	13 種類の喜びの分類	19 人の平均点
1. 想像性	想像：想像上の創造物を知覚している感覚	4.37
	創造：何かを創造している, または自分自身が創造的に表現をしている感覚	4.21
	魅了：何かに魅了されて, とりこになった感覚	3.84
	危険：恐怖感, または危機感	2.53
2. 身体性	探索：未知の領域を探検している感覚	4.37
	感覚：身体的な感覚が喚起されている感覚	3.58
	発見：何かを発見, または見出している感覚	3.53
	上達：技術や腕前を磨いたり, それを行使している感覚	3.26
	目標達成：目標を達成しようとしている感覚	2.89
	違反：規則を破っている感覚	2.05
3. 関係性	友愛：誰かと友情や仲間意識, 親密さを育てている感覚	1.89
	共感：誰かと感情や知覚を共有している感覚	2.16
	シミュレーション：現実にある事柄をシミュレーションしている感覚	3.00

重力を使用し, 動きを伴うゲームや遊びにおいて, ユーザー体験に影響を与える 5 つの項目 (リアリズム, 感情, 挑戦, 多様性, 社会性) をフレームワークとして提供した Perttu Hämäläinen らによる研究がある[6]。この研究を参照しながら Gravity Space について考察を行った。

・リアリズム

この項目は, 重力がどのようにリアリズムを生み出すか, あるいは損なうか, また, 重力の知覚をどのように操作してリアリズムを超えたファンタジー体験を生み出せるかについて関係している。Gravity Space では, 重力のシミュレーションの計算を行なっており, それが主題であると言えるのでリアリズムは非常に高い。

・感情

この項目は, 重力の感情的, 情緒的, 審美的な経験について関係している。Gravity Space では, 表 1 の危険の項目の平均点が低いように, 重力によって恐怖感やスリルなどを味わうことはほとんどなく感情は低いと言える。

・挑戦

この項目は, 重力がどのように意味ある, あるいは偶発的な課題を動作に与えるかについて関係している。Gravity Space では, 鑑賞者が「星」を自由に出現させることができ, その「星」を出現させる位置や初速度によって軌跡をある程度コントロールできる。また, 重力の結果得られる軌跡を鑑賞者が望む方向から鑑賞するために移動することは難しい。これらが鑑賞者にとって課題になりうるため挑戦はあると考えられる。

・動きの多様性

この項目は, 重力によって引き起こされるチャレンジや複雑さが, 動きの多様性を促進させるかについて関係している。「星」が引き合う様子は少しの誤差で後々の動きが大きく変わるため体験内容そのものと体の動かし方の多様性は非常に高いと言える。

・社会性

この項目は, 重力によって可能になる, あるいは妨げられる社会的経験に関係している。アンケート結果で関係性のグループの結果が低かったように他者との関わりはないため社会性はほとんどないと言える。

以上からフレームワークの 5 つの項目のうちリアリズム, 挑戦, 動きの多様性の項目は高く, 感情, 社会性の項目は低いと考えられる。

Gravity Space は重力の複雑さを軌跡で表現することで体感してもらうことを目的とし, また, 軌跡の集合体から美しさや創造性を感じてもらうことを目的としている。ここまでの 2 つのフレームワークを用いた結果からこの Gravity Space は想像性, 動きの多様性が高いと考えられ, 上記の目的を達成していると考えられる。元々はコロナ禍の影響でリアルではないバーチャル上で VR を用いて他者と現実ではできないインタラクティブ・アートを体験してもらうこ

とを最終目標としていた。しかし、現在は一人でしか体験できないため関係性や社会性が低い結果となっている。この目標を達成するために複数人での体験を可能にできるようにしていきたい。

6. 今後の展望

アンケート結果から Gravity Space は他者とのつながりを感じさせることができる体験ではないことがわかった。今後は、複数人で同時に体験できるようにしたい。他の人が出した「星」と自分が出した「星」が重力によって引かれあうことで他者を感じることができるようになり、コミュニケーションが生まれると考えられる。また、鑑賞者がまったく予想していない重力の楽しみ方や軌跡の動きを他の人と一緒に探究することができる。

また、「塗り絵方式」では三次元上に二次元の絵を描いているだけであり、三次元で軌跡を見られることを活かしきれていない。そのため、三次元上で三次元的にそれぞれの座標に意味のある色を割り当てる、あるいは、できた軌跡の形に合わせて色を持たせることができるようにするなどの改善をしたいと考えている。

参考文献

- [1] 三上晴子, 市川創太. “gravicells—重力と抵抗”. 2004, <https://www.ycam.jp/events/2004/gravicells/>, (参照 2021-12-19).
- [2] Casey Reas. “Path”. 2001, https://reas.com/path_p/, (参照 2021-12-19).
- [3] Casey Reas, Benjamin Fry. “Processing”. <https://processing.org/>, (参照 2021-12-20).
- [4] Valentino Braitenberg. *Vehicles: Experiments in synthetic psychology*, Cambridge, MA: MIT Press, 1984.
- [5] Brigid Costello. A pleasure framework, *Leonardo* Vol. 40 Number. 4, pp. 370-371, 2007.
- [6] Perttu Hämmäläinen, Joe Marshall, Raine Kajastila, Richard Byrne, Florian "Floyd" Mueller. Utilizing Gravity in Movement-Based Games and Play Share on, *CHI PLAY. ACM*, 67-77, 2015.