

仮想空間への身体動作の適応と ユーザへの身体的影響の考察

芝田 圭佑¹ 濱川 礼²

概要: 本論文では人間の動作を仮想空間上に適応し、その身体的影響について考察した。従来仮想空間への身体動作の反映は関節ごとの動きを精密に取得できるデバイスに重点がなされていた。しかし、大規模なデバイスの開発や情報取得のための厳しい制約など問題が発生することが多い。そこで我々はユーザの重心移動を動きに反映させることで、厳しい制約をかけなくてもユーザに感覚のフィードバックができるのではないかと考えた。また仮想空間での体験は普段行えないことを容易にすることに主眼が置かれることが多く、日常生活の記憶から感覚情報を作り出している人間にとってその影響力は未知である。そのため仮想空間での自分と現実との自分の動きを連動させることでの身体影響について実験を行った。

キーワード: 仮想現実, 視覚, ヘッドマウントディスプレイ

KEISUKE SHIBATA¹ REI HAMAKAWA²

1. はじめに

本論文では仮想空間上に感圧センサーを用いることでユーザの身体動作を適応し、その身体的影響について考察した。

2. 背景

人間は視覚優位の生物だと言われており、一節では視覚を通して得る情報は五感の情報判断の割合の約8割を占めていると言われている [1]。開発の歴史においても視覚を用いた製品は時代時代の中心として大衆に広く普及している。その最たるものがテレビやPCモニター等で利用されているディスプレイである。ディスプレイは我々の生活の中に溶け込み、技術発展とともに様々な方式が考案されている。そして現代新たなディスプレイとして注目されているのがヘッドマウントディスプレイである [2]。これは頭部に装着するディスプレイで高い没入感や利便性を獲得

した。一人称視点であるという特徴故、娯楽方面で扱われることが多かったが、最近では医療、建築、製品設計など様々な面で用いられることも多い。しかし現在ヘッドマウントディスプレイは大きな問題を抱えている。それは使用者が体調不良を起こしやすい点にある。これは特に非透過型と呼ばれるタイプで発生しやすく、ヘッドマウントディスプレイを用いたシステムでは共通の問題として挙げられている [3]。我々も前研究にてヘッドマウントディスプレイを用いて汎用的な動物の視覚体験システムを構築した [4]。システムの評価自体は高評価であったものの、被験者10名中8名が体調不良を訴え、吐き気、目眩といった症状が発生した。これは3D酔いと呼ばれ、ディスプレイ普及とともに存在が知られることとなっていたが、ヘッドマウントディスプレイの利用により急速な広がりを見せている。

3. 3D酔いの影響と原因

3D酔いの主な症状は吐き気、目眩、頭痛といった俗にいう乗り物酔いと呼ばれるものに酷似している。これは共に平衡感覚を司っている三半規管が影響していると考えられており、三半規管の機能に異常をきたした場合このような

¹ 中京大学 情報工学研究科
Chukyo University

² 中京大学 工学部
Chukyo University

症状となって現れる [3]。原因は視認している視覚情報と三半規管によって取得されている自身の平衡感覚のズレにより発生する。眼で見ている情報が動いている場合、本来の感覚であれば自身の身体は動いているはずである。しかしディスプレイで取得した映像が動いているのであって、身体を動かすことでの視覚変化ではないため、そこで感覚のズレが発生する。これにより脳が情報を誤認し、3D酔いを引き起こしてしまう。この酔いはズレが激しければ激しいほど大きく現れる。従来のディスプレイではよほど近くで視認しないかぎり画面外の情報も取得するため、仮想に再現されたものだと理解することが可能であった。しかしヘッドマウントディスプレイは高い没入感を得ることが現在の主流である。高い没入感は視覚情報を現実のものであると錯覚を起こしやすいため、ズレが大きくなり問題となってしまっている。また3D酔いは非常に個人差が大きいことが言われている。同じ環境にいる人によっても個人により酔い酔わないは様々である。これについては様々な要因が議論されているが、その一つが脳の学習能力である。先ほど説明した三半規管と映像のズレについても元々は個人が長年過ごしてきた経験が覆されてしまったために発生してしまっただけの問題である。元に3D酔いの近い存在である乗り物酔いは経験により慣れることが広く知られており、普段から酔いの原因である乗り物に乗っている人物は酔いづらい。これは身体が培ってきた経験にヘッドマウントディスプレイの映像を上手くすり合わせることができれば改善が見込めることが考えられる。前述で動物の視覚再現による3D酔いの発生を取り上げた。動物の視覚という経験がない情報が原因であるのならば、人間の積み上げた経験の中で動物の視覚に近い動きを行うことができれば3D酔いは改善・抑制される。

4. 目的

仮想空間へ身体動作を適応することで現在までに開発したシステムの改善を目的とする。前研究で3D酔いが発生しユーザに対しての大きな負荷となっていることは述べた。現状3D酔いを改善・抑制を達成する場合、最も効率的な方法としてはユーザの動作に応じた操作を実装することである。特に移動動作は視覚情報と平衡感覚に多大な影響を与えるため、ユーザが歩いているという感覚を正しく読み取り、仮想空間上、ひいては視覚情報としてアウトプットすることが重要である。そこで我々はどんなシステムにも適当な動作入力システムを構築する。3D酔いはヘッドマウントディスプレイを使うシステムの大きな共通の問題である。モーションキャプチャーや身体に装着した多数の加速度センサーによる動作推定を用いれば詳細な動作再現が可能である。しかしそのようなシステムは大規模な構築や厳しい制約に晒されてしまい、共通の課題解決が必要な現状に不向きである。そのため我々は感圧センサーを用

い、人間の重心を取得することにより動作適応を行うことができるのではないかと考えた。感圧センサーであれば物理的に取得された重さの情報以外考慮することがないため、膨大な情報処理による遅延や周りの環境による不具合にも左右されにくい。また体験システムは人間の歩行動作だけではない。動物の視覚を体験できるシステムの登場とともに、四足歩行など普段行わない動作適応の必要性も出てきている。その都度システムを変更することなく、重心移動という歩行の共通項による再現は3D酔いの改善だけではなく、高い汎用性を獲得することも可能である。

5. 関連研究

3D酔いを軽減するため擬似移動感覚を作り出し抑制しようとする研究として [5] があげられる。この研究では移動時に発生する重力加速を頭部にモータを用いて加速度を加えることで擬似再現しようと試みている。頭部に装着したヘッドギアにモータを装着し、頭部を引っ張ることで首や頭部周辺の筋肉からの体性感覚から移動感覚を呈示している。

3D酔いを特殊なカメラワークを用いることで改善しようとする研究として [6] があげられる。3D酔いの原因のひとつである視点の頻繁な変更をバレリーナの回転運動予防策で用いられる固視抑制というテクニックを用いて緩和しようとしている。固視抑制は体は動かしても頭部をそれに伴い動かし、視線を可能な限り一点に固定させることによって抑制する手法である。この手法をカメラワークに利用することで仮想空間上での視点変化を極力少なくし、3D酔いの改善を行う。

5.1 関連研究との差異

[5][6] は手法は異なるが、3D酔いを誘発させる原因である視覚と現実とのズレを解決する手段として研究を行っている。[5] は本システムと同様に移動感覚を作り出すことで、酔いを軽減しようとしているが、本システムでは実際に体を動かすことで極力感覚のズレを起こさない手法を考案している。

6. 提案手法

本システムは感圧センサーにより人間の重心移動を取得し、人間の動作に応じた移動命令として出力する。また重心移動を用いることにより二足歩行だけでなく、四足歩行の取得も可能である。本システムでは動作推定と移動方向処理に分かれて処理を行っている。動作推定は重心移動から現在ユーザがどのような動きを行い、それに応じた移動命令を出せばいいか決定する。その後、移動命令時に移動する方向についての決定を行う。



図 1 バランス Wii ボード [7]

6.1 感圧センサー

本システムでは重心移動を二次元的に取得するため4箇所の感圧センサーを使用している。さらに人間の利用が前提となるため既存の感圧センサーでは強度の問題で不安が残る。そのため本研究では感圧センサーにバランス Wii ボード (図 1) を用いる [7]。これは対角線上に4箇所感圧センサーを持ち Bluetooth を介して PC にセンサー値送信することができる。また対象体重が136kg 以下のためほとんどのユーザを対象として扱うことが可能である。

6.2 ヘッドマウントディスプレイ

ヘッドマウントディスプレイには多くの種類が存在するが、本システムでは非透過型ヘッドマウントディスプレイである Oculus Rift DK2 を用いている [8]。これは加速度センサーやジャイロセンサー、赤外線カメラ搭載による高いヘッドトラッキング能力を持っているためである。本システムでは感圧センサーにより動作取得を行っているが、本来歩行は移動を伴うものである。感圧センサーは固定デバイスであり、歩行に追従することはできない。そのためユーザは足踏み運動を行うことにより歩行としているが、この場合移動は発生しないため、直進動作しか行うことができない。そのため移動方向はユーザの頭部の正面方向に沿う形を取っており、Oculus Rift のヘッドトラッキング能力を活かしている。

6.3 動作推定

ユーザの重心移動から現在どの動作を行っているか判定を行っている。現在歩行、停止の二つの状態から成り立っている。この二つを感圧センサーから取得した値により遷移させることにより、移動動作を実装している。

6.3.1 歩行

ユーザが一定周期で重心を左右に移動させている状態 図 2。重心が中央を跨ぎ波上に重心が移動する。波の周期が早ければ早いほど激しく足を動かしていることとなるが、ただ波型周期を歩行動作と断定すると、非常に小さい波、たとえば生理現象による小さな揺れについても反応してしまうため、波の大きさに閾値を設定し、それ以下の値

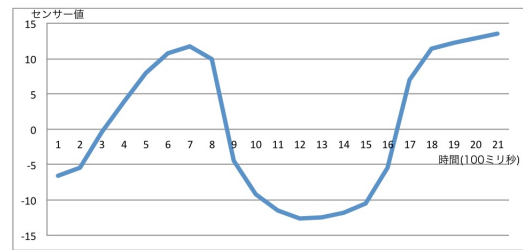


図 2 歩行時の左右の重心移動



図 3 四足歩行時のユーザの姿勢

がきた場合、歩行として処理しない。

6.3.2 停止

動いていない状態。重心は中央付近で停止している。もしくは一定時間以内に波の周期がなく、一方に重心を傾けている状態。歩行状態中重心の移動が観測できなくなった場合、停止状態に移行する。中央から重心がはずれ左右への大きな波を観測したとき、歩行状態に移行する。

6.3.3 四足歩行の処理

四足歩行は二足歩行である人間では完全に動きを模倣することはできない。そのため人間のできる動作のうち比較的 四足歩行に近い 図 3 のような四つんばい姿勢で動作取得を行う。

四つんばい姿勢時の左右の重心移動の値を 図 4 に示す。

図 2、図 4 を比較しても重心移動値は酷似しており、二足歩行と同一の判定基準でも状態推定を行うことができる。

7. 評価実験

本システムの有効性を調べるため評価者 6 名に対して評価実験を行った。Oculus Rift SDK 付属の Oculus World Demo 図 5 と前システムである動物シミュレータ 図 6 をそれぞれキーボードと本システムで操作してもらい 3D 酔いの度合いについて調べた。Oculus World Demo では二足歩行の人間の操作を、動物シミュレータでは四足歩行の

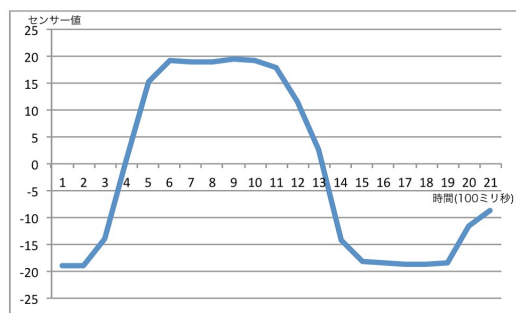


図 4 四足歩行時の左右の重心移動



図 5 Oculus World Demo

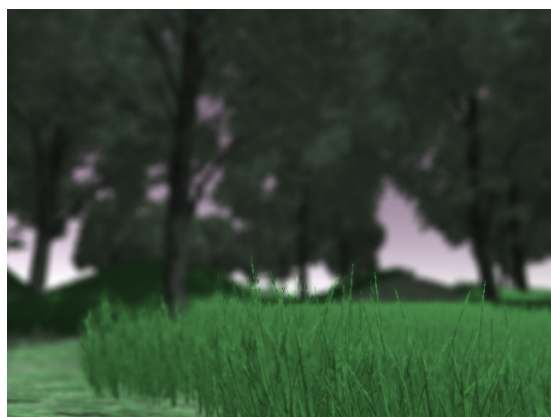


図 6 動物シミュレータ

動物の操作をそれぞれ行った。今回 3D 酔いを測る指標として Simulator Sickness Questionnaire[9] を用いた。これはシミュレーション酔いの度合いを示すため、被験者に対して 4 段階 16 項目について質問を結果に重み付けすることにより、3D 酔いの発生のしやすさについて評価するためのものである。評価内容と評価により集計結果を表 1 に示す。Nausea、Oculomotor、Disorientation はそれぞれ対応する質問結果の合計を算出し、定数を掛けることにより 3D 酔いの評価指数として用いる。評価結果を図 7 図 10 に示す。

評価結果から全項目で本システム利用による 3D 酔いの

項目	Nausea	Oculomotor	Disorientation
General discomfort	1	1	0
Fatigue	0	1	0
Headache	0	1	0
Eye strain	0	1	0
Difficulty focusing	0	1	1
Salivation increasing	1	0	0
Sweating	1	0	0
Nausea	1	0	1
Difficulty concentrating	1	1	0
Fullness of the Head	0	0	1
Blurred vision	0	1	1
Dizziness with eyes open	0	0	1
Dizziness with eyes closed	0	0	1
Vertigo	0	0	1
Stomach awareness	1	0	0
Burping	1	0	0

表 1 Simulator Sickness Questionnaire 評価表

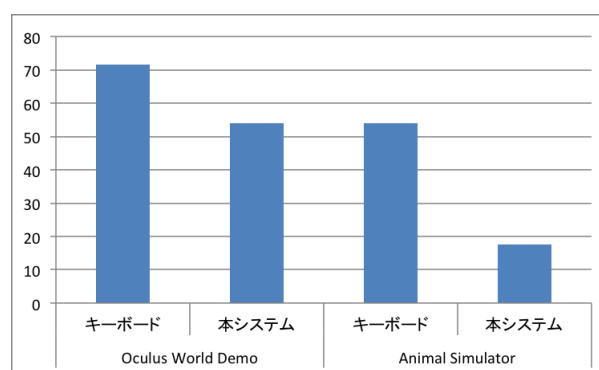


図 7 Nausea 評価結果

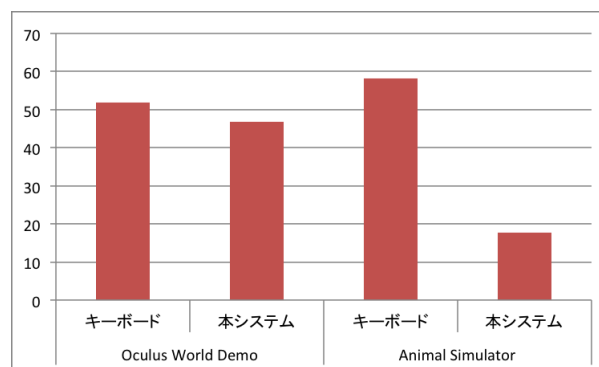


図 8 Oculomotor 評価結果

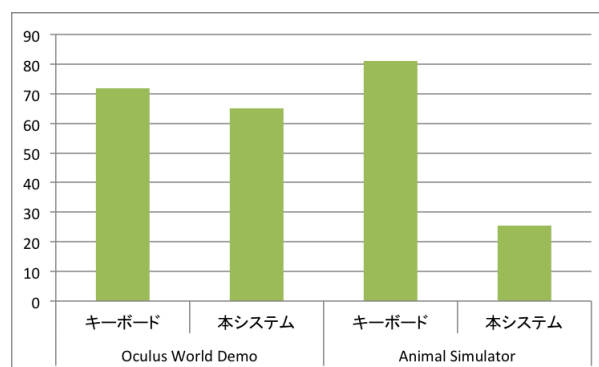


図 9 Disorientation 評価結果

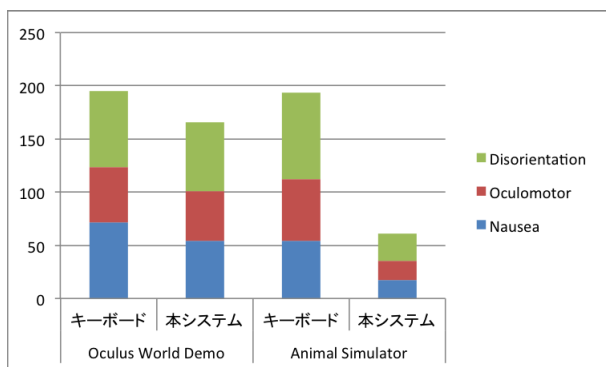


図 10 総合評価

改善効果が見られる。特に動物シミュレータでは顕著でスコアが半分以下と大幅な低下となっており、本システムの有用性が現れる結果となった。原因として二つ挙げられる。一つは普段とのギャップである。3D酔いを引き起こしている原因の一部は今まで過ごした人生の経験と映像とのギャップによるズレであるとは先に述べた。動物の視覚は現実では体験できないものであるため非常に大きなギャップを背負っており、大きな3D酔いを引き起こしている。逆に言えばギャップが大きいため、多少の改善であっても比較的大きな効果が期待できる。四足歩行を人間に適應することは現状不可能である。しかし今回の結果により改善が見られたということは、人間が四足歩行を真似して自身の操作で動かしていると脳が思うことが重要なのではないかと考えられる。二つ目は比較的広い空間を用いての体験であったためである。本システムの移動についてはヘッドマウントディスプレイで取得した頭部の方向に沿って移動を行う。しかし使用デバイスの都合上急旋回が難しいため、徐々に曲がることしかできない。その結果 Oculus World Demo など室内が含まれているものについては狭い空間で、急な角度での方向転換を強いられるため、操作が難しくなり、その分ユーザに負担を強いるため、3D酔いを引き起こしやすくなっていると考えられる。動物シミュレーションで使用している仮想空間は草原のため非常に広い空間のため、方向転換の無理が発生しづらい。以上により大幅な改善があったのではないかと推測される。尚 Oculus World Demo についてもある程度の改善も見られ、特に階段の上り降りの際に発生する強烈な違和感が無くなるとの意見もあり、操作性を向上させることができればさらに高い効果が期待できると考えられる。

次に被験者本人に本システムの使用感についての評価を行った。その結果が図 11、図 12 である。

図 11 では殆どの方がキーボードよりも本システムのほうが酔いにくいという回答を得られた。キーボードの方が酔いにくいと回答した要因として、強烈な違和感は少ないが断続的な違和感があるとの意見が得られた。これは次の質問で顕著に現れている。図 12 では大小違いはあるもの

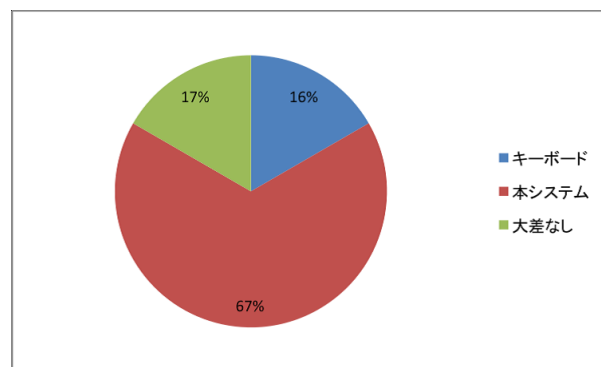


図 11 どちらのシステムが酔いにくかったか

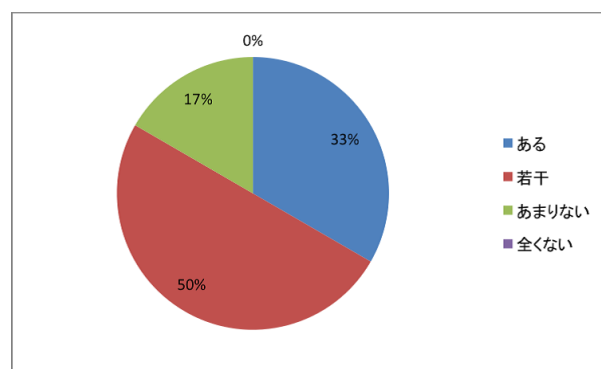


図 12 違和感があったか

の全員が違和感を訴えている。これは仮想空間での自分の速度と自分が歩いている動作感覚からの速度の不一致が原因と考えられる。本システムは既存体験部分を極力操作せずに動作入力のみで3D酔いを改善できるかという点に焦点を当てていた。しかし、違和感の排除を行おうとした場合、身体動作と密接に連携した再現が必要であるため、動作を歩行、停止と閾値による動作推定を行うのではなく、センサーにより取得された重心の移動周期に合わせた速度で移動させることが求められる。

8. 今後

本システム利用により3D酔いが改善・抑制されることは証明した。しかし現状でも方向転換の見直しや移動距離と動作すり合わせなど改善する点は存在する。既存のパラメータの精緻化や新たな理論の構築などシステムの改良を行っていく。また3D酔いは緩和することはできても全く無くすることは不可能に近い。これは感覚齟齬だけではなく幾つもの要因が複雑に絡まっているためである。今回は主要因であった動作による解決を目指したシステムを構築したが、3D酔いの理解を深め、人の全身感覚でのすり合わせを考えていく。

参考文献

- [1] 視聴覚教育技術向上訓練の研究, <http://www2s.biglobe.ne.jp/ganko/kikaku/polytech/1-5.html>

- [2] TechCrunch モバイルさえ飲み込む VR/AR 市場、2020 年には 1500 億ドルの市場規模に、
<http://jp.techcrunch.com/2015/04/08/20150406augmented-and-virtual-reality-to-hit-150-billion-by-2020/>
- [3] Oculus ベストプラクティス、
<http://static.oculus.com/documentation/pdfs/ja-jp/intro-vr/latest/bp.pdf>
- [4] 芝田圭佑, 濱川礼: 人間の身体機能特徴を応用した汎用動物視覚体験システム
- [5] 牧浦敏則: 頭部揺動を用いた移動感覚の呈示に関する研究, 2003
- [6] 会田恒: 3DCG ウォークスルーにおける「酔い」の分析とその改善に関する研究 2003
- [7] パラックス Wii ボード
http://onlineshop.nintendo.co.jp/shop/item_detail?item_id=1118354
- [8] Oculus Rift 公式ホームページ, <https://www.oculus.com/>
- [9] Kennedy, Lane, Berbaum, Lilienthal: Simulator Sickness Questionnaire, 1993