

快適な仮想現実の構築のための動揺病発生メカニズムの解明

Elucidation of neurophysiological mechanisms of the motion sickness to develop a comfortable virtual reality system

1091018



研究代表者

(独) 産業技術総合研究所

主任研究員

中 川 誠 司

【研究の目的】

仮想現実 (Virtual Reality: VR) が産業、教育、医療などの様々な場面で広く利用されるようになった。VR 体験時には、しばしば身体的不快感 (吐き気などを伴う「酔い」症状=動揺病: motion sickness) が生じることが報告されているが、これらの発生メカニズムには不明な点が多い。今後、VR が一層普及していくのは必至であり、その快適性・安全性の確保は不可欠である。

VR と動揺病の発生の関係を調べた研究は、過去にごく少数ながら存在する (秋月ら, 2002, 中川・大須賀 1997 など)。しかしながら、報告数が限られていることに加えて、動揺病発生の様式は VR のタイプに依存して変化する。そのため、様々な VR に共通するような構築指針は存在しなかった。本質的な対策のためには、個々の VR についての主観的 (心理学的) な調査だけでなく、動揺病発生の神経生理基盤そのものに対する理解が不可欠であると思われる。

動揺病は、前庭覚 (内耳に存在。頭部の加速度を検知)、深部知覚 (関節や足の裏に存在。自らの体の動きや重力を検知) および視覚、それぞれの感覚情報の融合が阻害されて生じるものと考えられている (Brandt 1991)。動揺病発生の神経生理メカニズムについては動物実験による検討が数多く行われてきたが、それらの実験では動物に振動や回転運動を与えることに

よって動揺病を発症させており、主として前庭覚、深部知覚を刺激している。対して、VR で生じる動揺病症状は主に視覚入力のみ起因するものであり、動物実験での発症メカニズムをそのまま当てはめることはできない。また、VR による動揺病発生の神経生理メカニズムを検討した例は過去にも存在しない。

本研究では、申請者らが持つヒトを対象とした非侵襲計測の技術を応用して、動揺病に関連した中枢神経生理メカニズムの解明を目的とする。しかしながら、動揺病発生時の脳活動の計測は容易ではないうえ、いくらかの危険性を伴う。そこで、本研究では、その発生メカニズムに関して、動揺病と類似した神経機序を持つと考えられる、視覚誘導性自己運動感覚 (vection) の中枢神経メカニズムの解明に取り組んだ。

【研究の内容と成果】

1. 方法

脳磁界計測を用いて vection の中枢神経メカニズムの解明に取り組んだ。vection は、自らが回転運動しているかのように知覚される回転 (circular) vection と、自らが直線運動しているかのように知覚される直線 (linear) vection に分けられる。回転 vection と直線 vection を誘起するような視覚刺激を被験者に呈示し、その際の vection 強度の主観評価および脳活動を

記録した。

1-1. 刺激

Fig. 1 に示した刺激装置を用いて、以下の4条件の視覚刺激を被験者に呈示した (Fig. 2)。

- (a) 画面中心点に向かって直線加速度運動するドット群 (LV)
- (b) 画面上の無作為な点に向かって直線加速度運動するドット群 (no-LV)
- (c) 画面中心点を軸として反時計回りに回転運動するドット群 (CV)
- (d) 画面上の無作為な点を軸として反時計

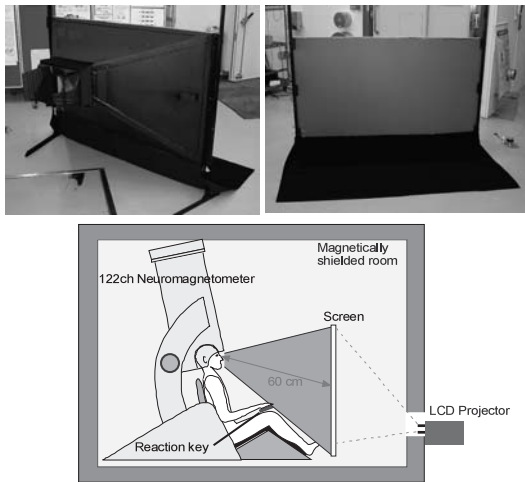


Fig. 1 視覚刺激呈示用スクリーン

Vection を惹起するため、広い視野を刺激可能な視覚刺激装置を開発した。被験者にスクリーンを覗き窓から見させることで、呈示刺激以外の視覚情報が入力されないようにした。

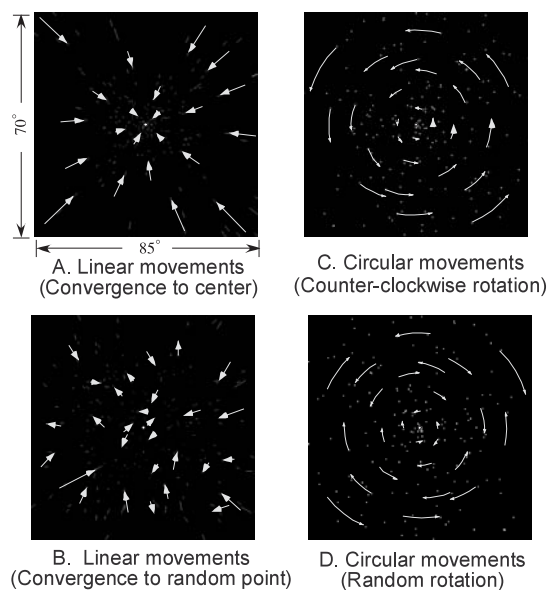


Fig. 2 呈示された視覚刺激

刺激 A および B に対して vection が発生する

回りに回転運動するドット群 (no-CV)

LV および no-LV 刺激の回転角速度を 10, 20, 40, 80, 160 deg/s, CV および no-CV 刺激の視角速度を 1.05, 2.1, 4.2, 8.4, 16.8 deg/s と変化させた。以下の二種類の条件で実験を行った。

実験 I : それぞれの視覚刺激のドット群の速度は一定とし、vection 発生時の自発脳磁図の計測を行った

実験 II : それぞれの視覚刺激のドットの運動速度をときおり変化させ、速度変化に対する誘発脳磁図を計測した。

1-2. 被験者

事前のテストにおいて、刺激条件 (a) に対して“自らの身体が後退運動する感覚” (backward linear vection), および刺激条件 (c) に対して“自らの身体が時計回りに回転運動する感覚” (clockwise circular vection) が知覚された被験者 7 名 (男性 5 名, 22-34 歳, 右利き) を用いた。被験者には、vection 発生中はボタンを押しておくこと、また刺激呈示中は固視点を注視するように教示した。

また、脳磁界計測に先立った実験において、定速条件における LV および CV の強度比較、刺激の運動速度を変化させたときの主観的運動速度の計測を行った。

1-3. 脳磁図計測と解析

誘発脳磁図は 122 ch 全頭型 DC-SQUID 磁束計 (Neuromag-122™) を用いて計測された。計測データは 0.03-100 Hz のアナログフィルタを通してサンプリング周波数 400 Hz で A/D 変換したのち、100 回以上の加算平均を行った。なお、磁界が 3,000 fT/cm, 垂直眼電図が 150 μ V を越えた epoch は加算平均から除外した。

計測されたデータに対して、以下の解析を施した。

実験 I : 自発脳磁図の周波数スペクトル変化を

観察した。

実験Ⅱ：加算平均で得られた脳磁図データから、Minimum Norm Estimation 法 (L2-MNE 法) によって脳内活動源を推定した。さらに、脳内各部位において被験者間の検定 (voxel-by-voxel paired-T test) を行い、vection 発生に伴って有意な活動が見られた部位を同定した。

2. 結果

2-1. 主観評価

Fig. 3にLVおよびCVに対するベクション強度を示す。LVにおける強度を1.0とした場合の相対値を示す。CVに対する相対強度は1.03で、LVとはほぼ同等となっている。また、コントロール条件ではほとんどベクションは発生し

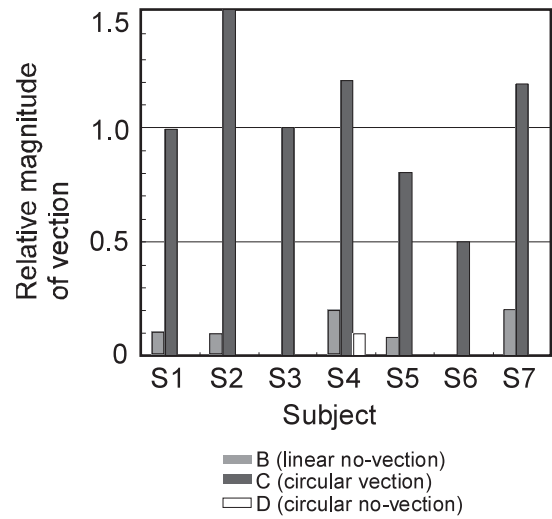


Fig. 3 回転/直線 vection の強度比較

ていない。また、刺激の運動速度の増大に伴って、主観的運動速度も増大することがわかった。

2-2. 皮質活動

Fig. 4に実験Ⅰにおける vection 発生中の自

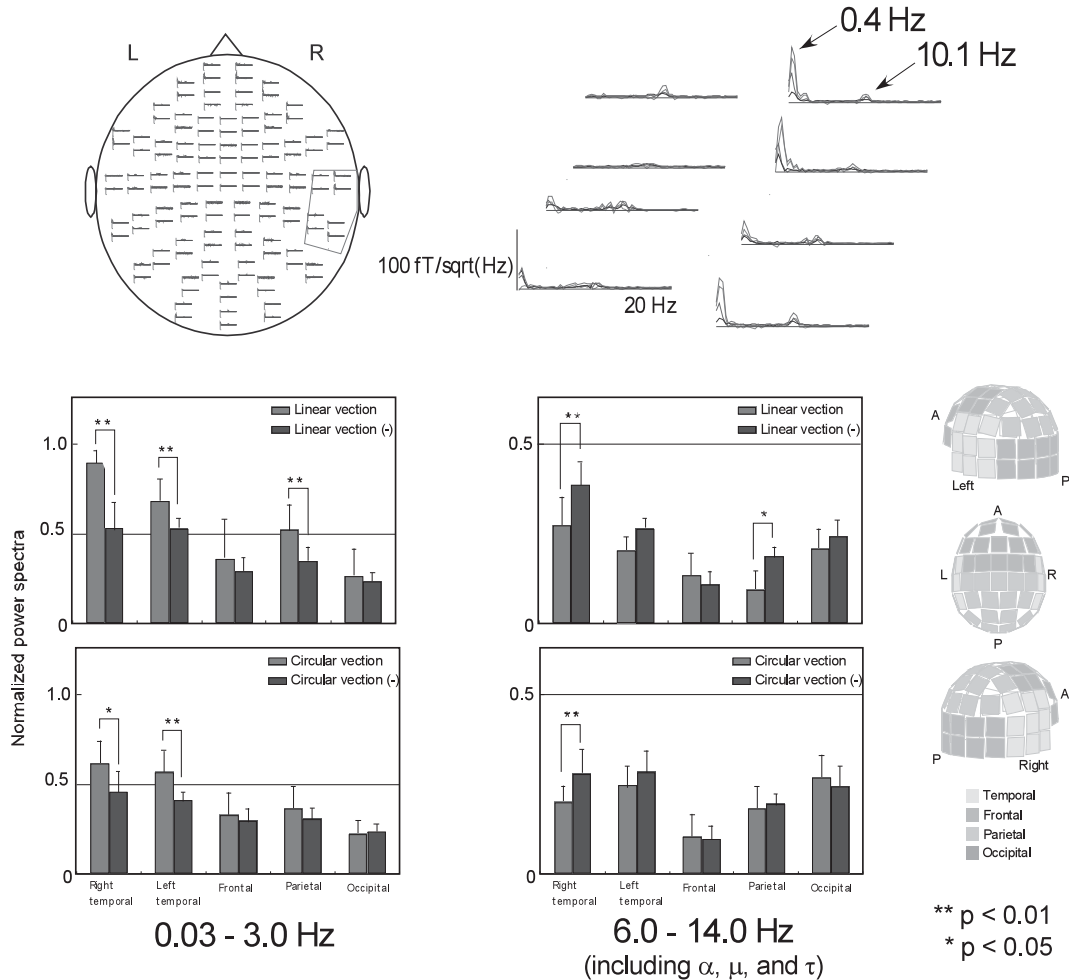
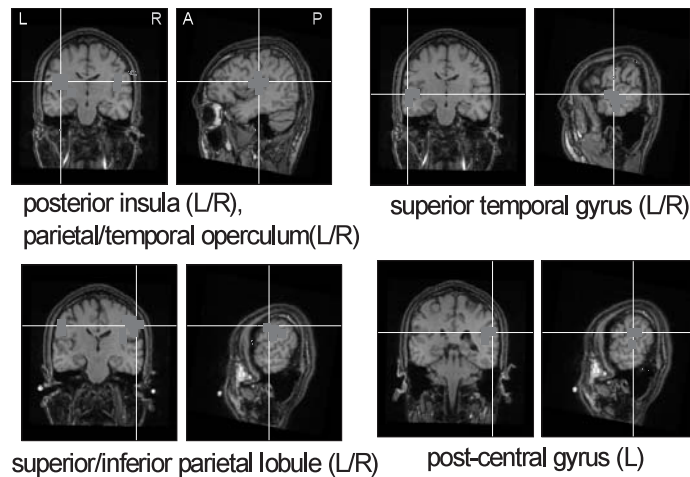


Fig. 4 実験Ⅰにおける自発活動の解析結果

Linear vection



Circular vection

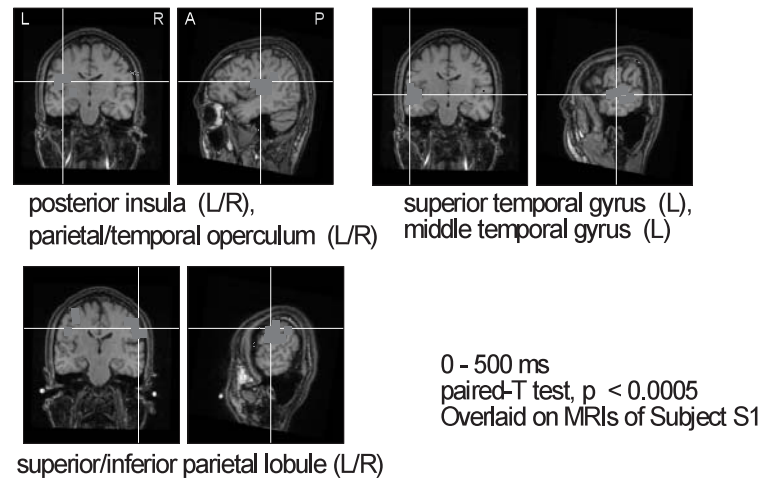


Fig.5 実験IIにおいて計測された誘発脳磁界から推定されたvectionに関与する脳内活動部位

発活動の解析結果を示す。Vection が知覚される条件 LV および CV においては、vection が知覚されない条件 no-LV および no-CV に比べて、それぞれ側頭部や頭頂部における自発活動の周波数パワーが 0.03-3.0 Hz において上昇し 6.0-14 Hz において減少した。

Fig.5 に L2-MNE 法による脳内活動源推定結果を示す。条件 LV および CV においては、no-LV および no-CV に比べて島後部、頭頂葉、中心溝付近の活動が有意に増大した。LV と CV の間の差異は観察されなかった。

3. 考察

いくつかの先行研究によって、高次機能処理に伴って低周波成分が出現することが報告されている。また、感覚入力によって、その感覚処

理に携わる領野の律動活動が減少するという報告もある。本研究において側頭部や頭頂葉で観察された周波数スペクトルの変化は、vection 発生に関わる脳活動を反映していると考えられることができる。

vection 発生時の有意な活動増加が観察された島後部、頭頂葉、中心溝付近は、先行研究によってヒトにおける前庭皮質とされている部位である。この結果は、前庭皮質がvection 発生にも関与していること、さらには視覚や前庭覚、深部知覚などの情報の統合的処理を行っていることを示唆する。

4. まとめ

本研究では動揺病の生理メカニズムの解明を目指して、類似した神経機序を持つとされる

vection 発生中の中枢神経メカニズムを脳磁界計測によって調べた。その結果、島後部、頭頂葉、中心溝付近といった所謂“前庭皮質”が活動していることを見いだした。これらが視覚や前庭覚、深部知覚の感覚情報の統合処理を行っている部位であるとすれば、これらの活動を計測することで、vection、ひいては動揺病の発生状況を客観的に評価することが可能になるかもしれない。また、これまでの研究から、動揺病は中枢性めまい（めまい患者の約3割を占める）と同様な発生機序を持つと考えられている。本研究で得られる知見は、めまい治療に対して

も有用な情報を与える可能性がある。

[研究の発表，論文等]

口頭発表

中川誠司，中川あや，ベクシヨンの脳内メカニズム：
脳磁界計測による検討，第57回日本宇宙航空環境
医学会大会予稿集，pp. 39-39，2011

誌上発表

中川誠司，中川あや，ベクシヨンの脳内メカニズム：
脳磁界計測による検討，宇宙航空環境医学，48（1），
2012