The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2019

# 脳波計を用いた恐怖の定量化に関する研究

## A Research on Quantification of The Fear Using EEG

金丸 竣樹[*1] Shunki Kanamaru　横田 悠右[*2] Yusuke Yokota　成瀬 康[*2] Yasusi Naruse　矢入 郁子[*1] Ikuko Yairi

[*1] 上智大学大学院 理工学研究科 理工学専攻情報学領域
Graduate School of Science and Technology, Sophia University #1

[*2] 国立研究法人 情報通信研究機構
National Institute of Information and Communications Technology #2

Recently, in the field of brain science, it has been reported that brain network related to fear sympathetic nervous activity was clarified by fMRI measurement. However, fMRI measurement under daily circumstances is difficult. If it is possible to detect fear with electroencephalograph in daily circumstances, objective fear indicators will be determined and used to control fear in the entertainment field and to reduce fear in medical services and so on. In this paper, we analyzed the characteristics of electroencephalogram data during fear and no fear by using frequency analysis from two experiments using VR horror game and experiments using horror movie with a dry electrode. As a result, there was significant difference in power spectral density between alpha wave fear and no fear.

## 1. はじめに

脳科学の分野では機能的核磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance imaging : fMRI)を用い，恐怖による交感神経活動の脳内ネットワークが明らかとなった[1]. しかし，fMRI は MRI 装置内で測定をするため日常的な状況下での恐怖感情の測定は困難である. 脳波計を用いて簡易的かつリアルタイム性高く恐怖を検出できれば，客観的な恐怖の指標を用いてエンターテイメント分野での恐怖の制御やフィードバックを得ること，医療サービスなどでの恐怖の低減といった実応用が可能となる. そこで本稿では，乾式の脳波計を用いて恐怖時の脳波の計測し，その特徴の分析を行う.

## 2. VR ホラーゲームを用いた実験

### 2.1 実験機器

“恐怖”の定義は曖昧であるため，実験における恐怖を定義する. 山根氏によると恐怖対象の現れとは「不気味・異様な存在者が，余裕ないほど近すぎて在ること」と述べている[2]. そこで本実験の恐怖の提示方法として，高い没入感を得ることができる VR (Virtual Reality) を用いることを計画した. VR ゲームは Oculus Rift 用ホラーゲーム「Dreadhalls」を用いた. 当ゲームでは，ランダムに生成されるダンジョンでプレイヤーはホラーオブジェクトを避けながら進むため，前述の恐怖の定義に当てはまる状況をランダムに得られる.

脳波計測はワイヤレス生体計測装置 Polymate Mini 108 とドライ電極を Oculus Rift CV1 に取り付けたものを利用した. 拡張 10-20 法[3]における前頭部電極位置 1 箇所(Fp2)，頭頂部電極位置 3 箇所(C3, Cz, C4)，後頭部電極位置 3 箇所(O1, Oz, O2)に電極を配置した. 全てのデータはサンプリング周波数 500Hz で計測した. また，脳波計測に加えて iPod Touch を加速度センサとして用い体動を計測し(加速度データ)，皮膚電気活動測定ユニット AP-U030 を用い精神性発汗を計測した（EDA データ）.

連絡先：金丸竣樹，上智大学理工学専攻情報学専攻，
〒232-0072 神奈川県横浜市南区永田東 1-34-18，
080-3729-1116, kanamaru@yairilab.net

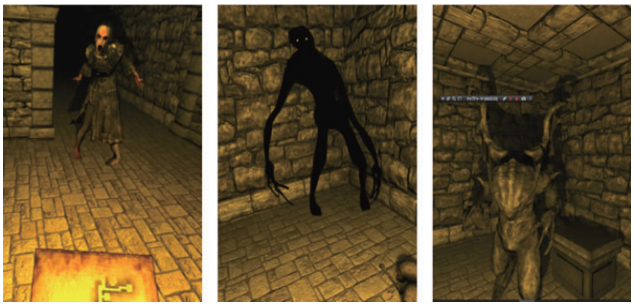

図 1 Dreadhalls のホラーオブジェクト
(左からゾンビ，黒い影，ガーゴイル)

### 2.2 実験概要

実験は VR ゲーム内の最初のチュートリアルで操作方法とゲーム内のアイテムに関する説明を行い，実際に「ゾンビ」と遭遇させた. その後，休憩を取り，スタートからゴールまでのランダムダンジョンプレイ中の脳波を計測した. ゲームのプレイ時間は約 20 分で，VR 酔いで体調を崩した場合は十分な休憩をとった.

実験協力者は健康な大学生 11 名(男性 11 名，年齢幅 22-25)である. その内 6 名において脳波計の端子の不備・イベントデータ数の不足が確認されたため分析対象から外した. 全ての協力者は，実験内容について十分に理解し，参加の同意を得た上で実験を行った.

図 2 脳波測定用 Oculus Rift

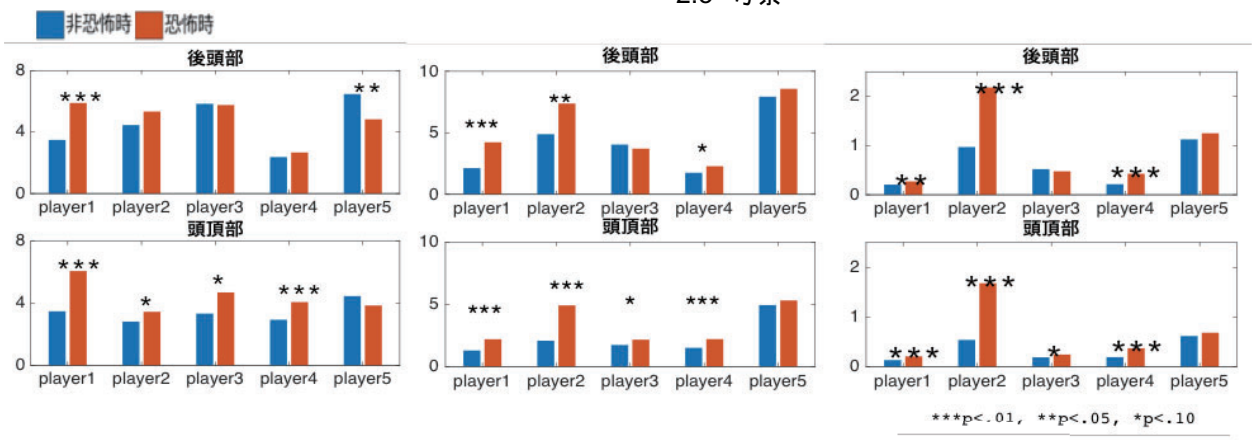


図 3 脳波におけるパワースペクトル密度(左からシータ波，アルファ波，ベータ波)

## 2.3 解析方法

得られた脳波データに対して Matlab を用いてバンドパスフィルタ，眼電アーチファクトの除去の前処理を行い，周波数解析によりパワースペクトル密度を算出した．VR ホラーゲームプレイ時の動画を元に，iPod Touch により得られた加速度データに閾値を設け，体動の大きい時刻の脳波データを破棄した．恐怖時のデータはEDA データの波形の立ち上がりからピークまでに潜時を加えた時間の脳波データとした[4]．非恐怖時のデータは EDA データの変化の割合が低く値の変動が少ない場面かつ，心拍間隔が全体の上位 10%の時間の脳波データとした．これらの恐怖･非恐怖の指標を元に，パワースペクトル密度を恐怖と非恐怖のデータに分類した．分類されたデータに対してデータの差の有意性を確かめるため t 検定を行った．

## 2.4 実験結果

図 3 に全ての実験協力者における，周波数帯域毎の恐怖時･非恐怖時のパワースペクトル密度を示す．また、表 1~3 に周波数帯域毎の恐怖時･非恐怖時のパワースペクトル密度の差(恐怖 - 非恐怖)を示す．シータ波について，後頭部(5 名中 2 名)，頭頂部(5 名中 2 名)で有意な差が確認された($p<.05$)．アルファ波について，実験協力者の後頭部(5 名中 2 名)，頭頂部(5 名中 3 名)において恐怖･非恐怖時の間に有意な差が見られた($p<.05$)．有意な差が見られた協力者において非恐怖時に比べ恐怖時の値が大きく出る傾向が確認された．ベータ波について，実験協力者の後頭部(5 名中 3 名)，頭頂部(5 名中 3 名)において恐怖･非恐怖時の間に有意な差が見られた($p<.05$)．有意な差が見られた協力者において非恐怖時に比べ恐怖時の値が大きく出る傾向が確認された．

表 1 シータ波のパワースペクトル密度の差

| | player1 | player2 | player3 | player4 | player5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 後頭部 | 2.630 | 0.746 | -0.097 | 0.346 | -1.465 |
| 頭頂部 | 2.671 | 0.626 | 1.201 | 1.084 | -0.469 |

表 2 アルファ波のパワースペクトル密度の差

| | player1 | player2 | player3 | player4 | player5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 後頭部 | 2.093 | 2.493 | -0.327 | 0.530 | 0.635 |
| 頭頂部 | 0.910 | 2.839 | 0.433 | 0.704 | 0.371 |

表 3 ベータ波のパワースペクトル密度の差

| | player1 | player2 | player3 | player4 | player5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 後頭部 | 0.058 | 1.268 | -0.073 | 0.201 | 0.076 |
| 頭頂部 | 0.075 | 1.188 | 0.035 | 0.171 | 0.043 |

## 2.5 考察

ベータ波の結果に関しては興奮状態や緊張状態で発生するという特徴と一致しているため，恐怖時･非恐怖時をある程度の妥当さで分類できたと言える．一方で，アルファ波の結果に関しては精神負荷がかかる時に活動が減少するという特徴と一致していない．これはネガティブな画像呈示前にアルファ波が強く減衰するという研究と関係していることが考えられる[5]．また，本実験の課題として次の二つのことが挙げられる．

- VR ホラーゲームのプレイ時に VR 酔いを訴える協力者がいたことにより，視覚誘導性自己運動感覚が脳波に影響している可能性があるということ[6][7]．
- 体動は閾値を超えたものに関して破棄しているため除去しきれていない細かな体動が解析データに含まれていることが考えられる，

# 3. ホラー映像を用いた実験

## 3.1 実験機器

VR ホラーゲームを用いた実験での課題点である体動ノイズと VR 酔いに関して考慮するために，恐怖の提示方法としてホラー映像のワンシーンを VR で見せることにした．ホラー映像の選定はホラー映画評論家の添野氏の監修の元で，観測対象の恐怖に近い 2 つの映像作品(貞子 VS 伽倻子，日本の怖い夜)から 3 つのシーンを用いた．映像はホラーイベントが起こるまでの時間が長く，グロテスクな表現を使っていない映像の中でも，ホラーイベントが起こるまでに何か起こりそうな「予感」を協力者に想起させるような映像とした．実験は乾式の脳波計のみを用いて行った．脳波計の電極位置を拡張 10-20 法における前頭部電極位置 2 箇所(Fp2，AP8)，前頭中心部電極位置 3 箇所(FC3，FCz，FC4)，後頭部電極位置(O1，O2)に変更した．

## 3.2 実験概要

実験は安静時の脳波を約 2 分間計測し，その後ホラー映像を 3 つ合わせたものを二度見てもらった．実験映像は全体で 10 分程度であり，ホラー映像の間には 30 秒間の休憩を設けた．二度目の映像視聴前には十分な休憩を設けて計測を行った．また，実験後に映像に対する評価と協力者の視聴状況についてアンケートを行い，恐怖･非恐怖の分類に用いた．

実験協力者は健康な大学生 8 名(男性 8 名，年齢幅 22-23)である．その内，恐怖を感じていないと実験後のアンケートで申告した 2 名と脳波計端子の一つが外れていた 1 名を分析対象から外した．全ての協力者は実験内容について十分に理解し，参加の同意を得た上で実験を行った．

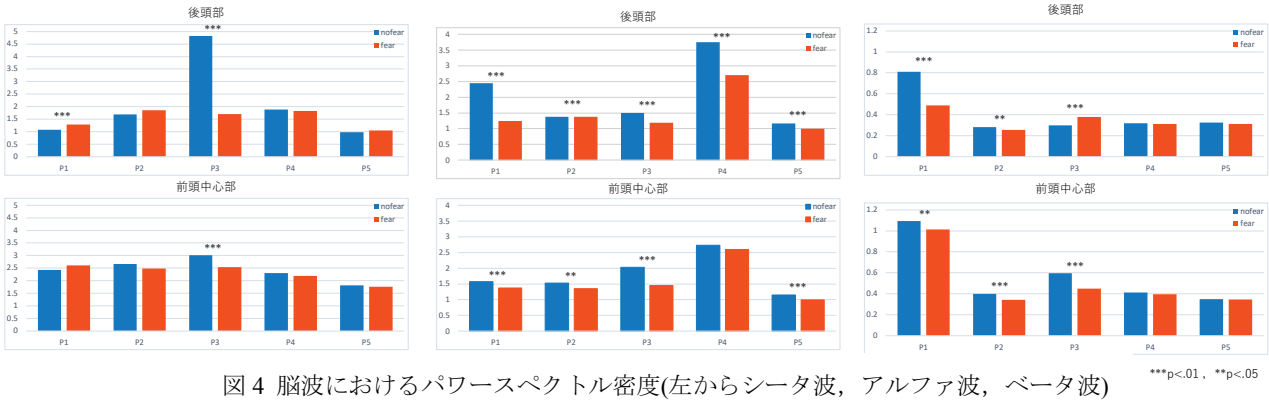


図 4 脳波におけるパワースペクトル密度(左からシータ波，アルファ波，ベータ波)

### 3.3 解析方法

2.3 と同様に脳波データの前処理を行い，周波数解析により各周波数帯のパワースペクトル密度を算出した．恐怖時のデータは一度目の映像視聴時に協力者がアンケートで恐怖を感じたと答えたホラーシーンの直前の脳波データとした．非恐怖時のデータは二度目の映像視聴時の恐怖時と同じタイミングの脳波データとした．抜き出した脳波データに対して Smirnov-Grubbs の棄却検定を用いて外れ値を除去し，データの差の有意性を確かめるために協力者毎に t 検定を行った．また，協力者毎に代表点求め，3 要因(恐怖・非恐怖．電極位置，周波数帯域)，周波数帯域におけるシータ波を除いた各 2 水準(恐怖・非恐怖，後頭部・前頭中心部，アルファ波・ベータ波)の分散分析を ANOVA4 on the Web を用いて行った．

### 3.4 実験結果

図 4 に各周波数帯域における各協力者(P1~P5)のパワースペクトル密度の平均値と t 検定の結果を示す．表 4~表 6 に各周波数帯域におけるパワースペクトル密度の差(恐怖 - 非恐怖)を示す．シータ波について後頭部(5 名中 2 名)，前頭中心部(5 名中 1 名)で恐怖・非恐怖の脳波データに有意な差(p<.01)が確認された．恐怖時と非恐怖時の値の差の傾向は一致しなかった．アルファ波について実験協力者の後頭部(5 名中 5 名，p<.01)，前頭中心部(5 名中 4 名，p<.05)において恐怖・非恐怖の脳波データに有意な差が見られた．有意な差が見られた協力者において非恐怖時に比べ恐怖時の値が小さく出る傾向が確認された．ベータ波についても実験協力者の後頭部(5 名中 3 名)，頭頂部(5 名中 3 名)において恐怖・非恐怖の脳波データに有意な差(p<.05)が確認された．P3 の後頭部を除く有意な差が見られた協力者において非恐怖時に比べ恐怖時の値が小さく出る傾向が確認された．

表 4 シータ波のパワースペクトル密度の差

| | Participant1 | Participant2 | Participant3 | Participant4 | Participant5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 後頭部 | 0.207 | 0.171 | -3.120 | -0.057 | 0.064 |
| 前頭中心部 | 0.181 | -0.187 | -0.482 | -0.113 | -0.058 |

表 5 アルファ波のパワースペクトル密度の差

| | Participant1 | Participant2 | Participant3 | Participant4 | Participant5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 後頭部 | -1.202 | -0.008 | -0.315 | -1.042 | -0.170 |
| 前頭中心部 | -0.208 | -0.169 | -0.586 | -0.139 | -0.157 |

表 6 ベータ波のパワースペクトル密度の差

| | Participant1 | Participant2 | Participant3 | Participant4 | Participant5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 後頭部 | -0.322 | -0.026 | 0.079 | -0.008 | -0.014 |
| 前頭中心部 | -0.078 | -0.059 | -0.150 | -0.019 | -0.003 |

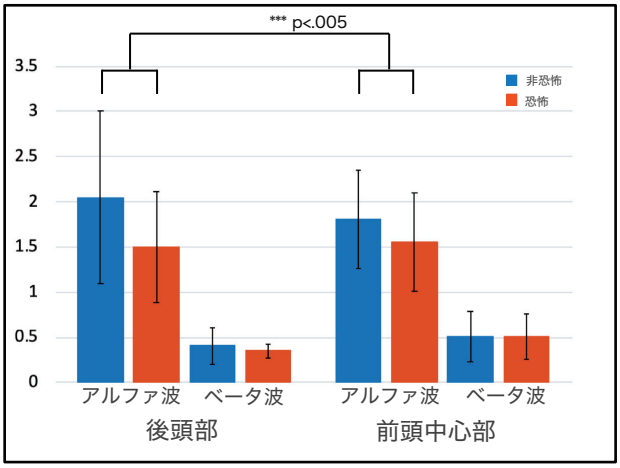


図 5 分散分析の結果

図 5 は協力者の代表点(それぞれの水準における加算平均値)における平均と標準偏差をまとめたものである．協力者の脳波データに対して 2(恐怖・非恐怖)×2(後頭部・前頭中心部)×2(アルファ波・ベータ波)の 3 要因の ANOVA による分散分析を行ったところ，恐怖ラベル(恐怖・非恐怖)と周波数帯域(アルファ波・ベータ波)において主効果が有意であった($F(1,4)=10.281$, $p<.05$), $F(1,4)=14.097$, $p<.05$)．また，一次の交互作用が要因間(恐怖ラベル×周波数帯域)で認められた($F(1,4)=11.023$), $p<.05$)が，他の交互作用は認められなかった．交互作用が確認された(恐怖ラベル×周波数帯域)要因において単純主効果を調べるために下位検定を行った．恐怖・非恐怖の要因におけるアルファ波の単純主効果が有意であったが($F(1,9)=20.599$, $p<.005$)，ベータ波に関しては有意でなかった($F(1,9)=0.463$, $p>.10$)．よって，分散分析の結果として恐怖・非恐怖においてアルファ波のパワースペクトル密度の差を見ることに意味があることがわかった．

### 3.5 考察

協力者毎の t 検定の結果と協力者グループ間に対する分散分析の結果から脳波測定位置による恐怖・非恐怖の影響の差は少なく，恐怖時の脳活動はアルファ波と関連があると考えられる．非恐怖時と比べ恐怖時のアルファ波が低いことからアルファ波の結果に関しては精神負荷がかかる時に活動が減少するという特徴があることからホラー映像視聴時にも同様の傾向が見られていると考えられる．一方で，ベータ波の結果に関して分散分析において単純主効果は認められなかった．また，パワースペクトル密度の差の傾向として非恐怖時と比べ恐怖時は協力者 3(P3)の後頭部を除いて減少傾向が見られた．認知活動に関わ

る前頭部において非恐怖時と比べ恐怖時の脳波が低く見られることから二度目の映像視聴時(非恐怖時)に認知活動が上がっている. 恐怖の脳波は興奮・緊張に関わってくることが考えられるため, この結果は一度目の映像視聴時(恐怖時)の方がベータ波は高くなるという仮説とは逆となった. これらの結果から次のようなことが考えられる.

- ホラーイベント前を恐怖時の脳波データとして利用しているため, 認知処理に関する情報を扱うベータ波では刺激に対する準備状態であることが考えられ, このベータ波の準備状態に個人差がある可能性が考えられる.
- 実験後の協力者アンケートにおいて複数の協力者(8名中3名)が実験の後半で乾式の脳波計による痛みを報告している. 痛みを報告しなかった協力者も多少の痛みを感じていたことが考えられる. 痛みがベータ波を増加させるという報告があることから, 乾式の脳波計の痛みによっても同様の傾向が出て いたことが考えられる[8][9].

## 4. 全体の考察

ホラー映像を用いた実験の分析ではVRホラーゲームを用いた実験の分析結果と比較すると全体的にパワースペクトル密度が小さくなった. これは細かな体動・眼球運動などのノイズを取り除けたということが考えられる. 一方で, VR ホラーゲームの没入感による恐怖刺激に比べてホラー映像の恐怖刺激が弱かった可能性も考えられるため刺激に関しても考慮していく必要がある. また, ホラー映像を用いた実験では VR 酔いを訴えた協力者がいなかったことから VR ホラーゲームを用いた実験での課題点に関しては解決できた. 課題を解決した上で行ったホラー映像を用いた実験から恐怖時にアルファ波が減少するという分析結果を得ることができた. アルファ波の波形を見ることで今後恐怖の定量化につなげていけるのではないかと考えられる. また, ベータ波に関しても恐怖時に減少傾向にあったが, これは脳波計の痛みに関して留意した上で慎重に調査していく必要がある. 今回ホラー映像を用いた実験では他の生理指標を恐怖・非恐怖の分類に用いることができなかった. 今後, 他の生理指標を含めた上でより緻密に定義した恐怖指標を用い, 恐怖の脳波がどの周波数帯域に出るか細かく見ていく必要がある. また, 実験はまだ初期段階であり, 協力者の数が少ないことから各周波数帯域でのパワースペクトル密度の傾向が一致しないこと, 分散分析の結果が一人一人の協力者に左右されやすいことが考えられる. 今後, より多くの協力者を得た上で分析を行うことでより確かな知見が得られると考えられる.

## 5. 終わりに

本稿では, 恐怖時の脳活動を明らかにするために乾式の脳波計を用いて健常な協力者を対象に二つの実験の視点から恐怖時の脳波の観測を試みた. 生理指標を用いた VR ホラーゲームによる実験では, 生理指標を元に恐怖・非恐怖の脳波データを分類し, 解析することでベータ波を見ることで恐怖時の脳波を測定できる可能性を示した. しかし, 恐怖以外の刺激である VR 特有の視覚誘導性自己運動感覚による酔い, VR ゲームプレイ時における細かな体動ノイズの混入などが脳波データに影響を与えている可能があり, これらの問題を解決した上で脳波データを解析する必要があった. 問題を解決するために計画したホラー映像を用いた実験では, 協力者がアンケートで主観的に怖さを感じたと答えた映像の一度目の映像視聴におけるホラーイベントが起こるまでの脳波を恐怖, 二度目の映像視聴時における同じタイミングの脳波データを非恐怖の脳波データを分類した. 分類された脳波データを解析することで, 非恐怖時に比べ恐怖時のアルファ波が減少する傾向が確認され, アルファ波での恐怖の定量化の可能性を示した. しかし, ベータ波に関しては仮説と異なる結果となり, 恐怖時の脳波の特徴としては弱い結果となった.

今後, 本稿における実験で得られた知見を裏付ける結果が求められる. そのために, 恐怖・非恐怖の指標をより明確に, かつ, より客観的に定義した上で協力者を集め, 細かい周波数帯域で広義的に分析を進めていく必要がある. また, 恐怖時の脳波をより明確な特徴を得た上で, 得られた恐怖時の脳波の特徴を用いて時間周波数解析や機械学習などを用いて時系列データ分析を行っていきたい.

## 謝辞

NICT 成瀬康博士, 横田悠右博士, ホラー映画評論家の添野知世氏に感謝いたします. また, 本実験に協力してくださった参加者の皆様に感謝いたします.

## 参考文献

[1] [Yoshihara 2016] Yoshihara Kazufumi: Neural correlates of fear-induced sympathetic response associated with the peripheral temperature change rate., NeuroImage, 134 , pp.522-531, 2016

[2] [山根一郎 2007] 山根一郎: 恐怖の現象学的心理学, 関係学研究(5), pp.113-129, 2007

[3] [Klem 1999] Klem, G., LuE`ders: The ten-twenty electrode system of the international federation, Electroencephalogr Clin Neurophysiol, Vol. 52, No. 3, pp. 3–6, 1999

[4] [廣田 2003] 廣田昭久: 新たな精神生理学的虚偽検出の指標: 規準化脈波容積の適用可能性, 生理心理学と精神生理学, Vol. 21, No. 3, pp. 217–230, 1999

[5] [Onoda 2008] Onoda K: Anterior cingulate cortex modulates preparatory activation during certain anticipation of negative picture, Neuropsychologia 46.1: 102-110, 2008

[6] [Hosoda 1994] Hosoda R: Evaluation of ride-quality and incidence of seasickness (3rd report), Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 1994 No. 176, pp. 517–524, 1994

[7] [福川 2003] 福川雅人: 乗り物酔い過程における心拍ゆらぎの解析, 関西造船協 会論文集, Vol. 2003, No. 240, pp. 237–242, 2003

[8] [江部 1979] 江部充: 図解脳波テキスト, 36-43, 文光堂, 東京,1979

[9] [伊藤 1988] 伊藤正男: 最新脳の科学 (1), 425-427, 同文書院, 東京,1988