

# セグウェイ乗車時における脳活動に関する基礎研究

## A Fundamental Study on Brain Activity during Segway Riding

指導教授 轟 朝 幸

M1009 齋 藤 和 仁

### 1. はじめに

セグウェイは、体重移動によって、直進やUターンなどができる交通手段である。セグウェイの大きな特徴として、直感的な操作が可能であることから、誰でも簡単にすぐに乗車できる点が挙げられる。しかし、これらのメリットは、定性的であり、客観的に証明されたものではない。そこで本稿において、光トポグラフィ装置(以下、NIRS)によってセグウェイ運転手の脳血流を測定し、セグウェイに乗ったとき、運転手の脳活動はどのような状態になるかを分析する。セグウェイ乗車によって、運転手がどのような状態になるかを脳分野の観点から明らかにする。

### 2. 研究の位置づけ

本稿と関連したセグウェイの既存研究は大まかに2種類ある。公道におけるセグウェイの共有性に関する研究とセグウェイツアーに関する研究である。前者の主な研究としては、中川ら<sup>1)</sup>による論文がある。セグウェイ、歩行者、自転車、小径自転車の4種類の交通手段がすれ違うとき、どの程度の距離で回避するかを明らかにした研究である。同時に、被験者の心理的効果に関するアンケートを実施した論文である。後者では、小林ら<sup>2)</sup>は、セグウェイツアーの満足度を諸々の要因に分け、どの要因が、最も影響したかを明らかにしている。また齋藤らの研究<sup>3)</sup>では、非集計モデルを用いて、どのような要因がセグウェイの乗車率を左右するかを明らかにした。しかし、これらの研究は、インタビューやアンケートによって得られたデータを基に結論を出している、そのため被験者の主観に依存しており、客観性や定量性に欠ける部分がある。客観的・定量的なデータを得るために、セグウェイを運転したとき脳の活動を計測することが有効であると考えられる。

セグウェイ運転手の心理状態を把握するため、本稿ではNIRSを用いる。NIRSは、近年に登場した脳の計測装置である。計測したデータは、現在においても解釈をどのようにすればいいかを研究している段階である。江部ら<sup>4)</sup>は、NIRSのデータから自動車ドライバの

認知負担度を定量的に把握し、ドライバの認知負担モデルの構築に一躍した。また渡邊ら<sup>5)</sup>は、拘束性の低いNIRSの利点を用いて、脳損傷者に装置をつけた状態で、ドライブシミュレーションを行ってもらった。取得したデータの結果から、脳損傷者の運転再開の可能性の有無について解析した。

NIRSのデータに関する研究としては、下茂らの音楽のリラゼーション効果を分析した論文<sup>6)</sup>がある。この論文において、被験者がリラックスした場合、前頭葉の反応が沈静化し、同時に前頭葉部分のNIRSデータの値も下がるという結果が出ている。この結果は、本稿の分析をする際に、参考にさせて頂いた。

以上のことから、NIRSのデータは、被験者の心理状態を定量的・客観的に分析する際には、有効であると考えられる。

### 3. NIRS

#### 3.1 NIRSの原理

NIRSは頭部にヘッドギアを装着し、プローブから投射される近赤外レーザー線によって、脳活動を計測する機械である。NIRSは近赤外分光法を利用している。近赤外レーザー光を脳に投射し、その反射光を分析することによって、酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの2種類を計測する。原理としては生体に吸収されにくい700-900nmの周波数帯の近赤外光を用いて投射した場合、生体組織によって散乱や吸収を受けて、一部は頭皮に還る。それを10-30mm離れた別の光ファイバで検出することにより、光信号を得る。投射から帰還するまでのあいだに神経活動がある大脳皮質を通った場合、脳の神経活動に伴って酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの濃度が変化する。赤外線分子の吸収係数は、酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンで波長に依存して異なるので、異なる波長を飛ばして、受信信号の変化を吸光度の変化に換算して光拡散方程式を解くことによって、酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンを独立して計測することが可能である。これら一連の計算は、修正 Lambert-beer の

法則に基づいている。以下にその基本式(1)を記す。

$$\log_{10} \left( \frac{I_1}{I_0} \right) = -\epsilon c l \quad (1)$$

$\epsilon$  ; モル吸光係数

$c$  ; 媒質のモル濃度(mol/mm<sup>3</sup>)

$l$  ; サンプル溶液を含む距離(mm)

$I_0$  ; 入射前の光の強度

$I_1$  ; 入射後の光の強度

### 3. 2 NIRSの有効性

本稿でNIRSの有効性を示す要因を以下に示す。

#### (1) 非侵襲性

非侵襲性とは、被験者の身体に対して器具の挿入を行わないために痛みなどを伴わないことを指す。NIRSは近赤外分光法によって計測するため、器具の挿入は必要なく、ヘッドギアを装着するのみとなる。そのため被験者の負担が少なく、かつ使用が簡便である。

#### (2) 携帯性

脳を計測する機械は、MEGやEEGによる計測が考えられる。しかし、これらの手法は被験者に対する拘束性が高く、移動しながらの計測はできない。それに対し、NIRSは、移動しながら、脳の活動を計測することが可能である。

### 3. 3 計測部位

本稿では、前頭葉の血流を測定する。脳における前頭葉の役割は、計画や社会性などの人間の高度な認知能力を司る部分である。そのため何かを考えたり、認知したり、緊張状態に陥ったりしたとき、脳血流が活性化すると考えられ、NIRSデータが大きく変動すると考えられる。逆にリラックスしているのであれば、データの変動が少なくなっていくと考えられる。

## 4. セグウェイの走行実験

### 4. 1 実験概要

実験の流れを図-1に記す。被験者は、最初に講習を5分間受講してもらう。講習の内容は、最初に30秒間、セグウェイに乗った状態で静止(レスト1)してもらい、12mの直線を、インストラクターの指示のもと、直進とUターンのみで往復してもらう。なお講習の間、イ

ンストラクターが、被験者に対して指示をし続ける。講習が終了したら、また30秒間静止(レスト2)し、その後には走行実験を行う。走行実験では、指定したコースを10分の間、走ってもらう。指定したコースは図-1の下部に示している。行きは直進し、帰りはコーンの間を蛇行しながら、進んでもらう。その動作を10分間し続ける。その後、最後に30秒間静止(レスト3)してもらう。本実験時には、NIRSのデータを採取すると同時に、走行の様子をビデオで記録した。

走行実験は、表-1上部に示す日時と場所で実施した。なお日中ではNIRSが太陽光の影響でデータの取得ができなくなるため、日が落ちる頃に実験を行った。

表-1下部に、被験者の概要を示す。被験者は全員で6名である。被験者の性別、健康状態、年齢が同じである。セグウェイの乗車経験に関しては、A, B, Cが実験以前にセグウェイの乗車経験を持ち、D, E, Fは、乗車経験がない被験者である。

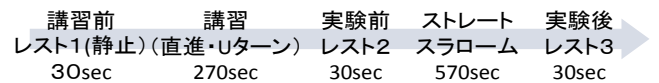


図-1 実験の流れ

表-1 実験の概要

日時	12月19日(水) 17:30~19:10					
場所	日本大学工学部 体育館 歩道橋下の通路					
被験者について						
被験者数	6名					
被験者ID	A	B	C	D	E	F
性別	男性					
健康状態	健康					
年齢	22歳					
経験	有			無		

## 5. 脳活動の分析

### 5. 1 分析方法

#### (1) 動作との関連性

実験時のビデオ記録から、実験データを以下の動作

ごとに区分けした。

- ① 講習前. 走行実験前. 走行実験後 ; レスト(静止)
- ② 講習時 ; 直進
- ③ 講習時 ; Uターン
- ④ 走行実験時 ; ストレート
- ⑤ 走行実験時 ; スラローム

本稿で主として用いる動作は①レスト, ④ストレートと⑤スラロームの3種類である。これらの走行時のNIRSデータを用いて, レスト状態における緊張度合いに関する分析, それに加えレスト状態, 及び動作時における分散分析と多重比較の2つの分析手法から被験者の脳活動の傾向を把握する。

### 5.2 セグウェイ乗車による緊張具合に関する分析

NIRSの既存研究において, リラックスした場合, NIRSデータの値が下がる傾向にあることが明らかとなっている。表-2は, 各被験者のそれぞれのレスト状態におけるデータ値の正と負を, 数えたものである。経験者であるほど, セグウェイの運転に緊張せず, データの値が小さく考えられる。そのような仮説から, 被験者それぞれの各レスト状態のデータの値の正の個数と負の個数の割合によって, その傾向を分析する。レスト状態を選択した理由は, もしセグウェイ乗車に慣れていないのであれば, ただ静止するだけでも, 初心者は緊張することが想定される。そのため, 動作時のデータと比べて, セグウェイの慣れ具合によって, 緊張しているかどうかを判別できるからである。

以上の分析を, 図-2にまとめる。表-2のデータに基づいて, 各レスト状態の傾向を, 表したものである。各レストには傾向を記しており, もしレスト状態のデータにおける正の個数の割合が9割以上ならば, +(プラス)の傾向にある。逆に負の個数の割合が9割以上ならば, -(マイナス)の傾向にある。あるいは, レスト状態のデータの内, 異なる符号の個数が1割以上あれば, ±(プラスマイナス)の傾向にあると判別している。その結果, 経験者群においては, 誰一人として同じ傾向を示しておらず, 三人三様である。逆に初心者群は, 3人中2名が同じ傾向であり, かつ全体的にわたって+の傾向を示している。よって, セグウェイの経験がない場合, NIRSデータのグラフが正の値であり続けていることから, 緊張していることが考えられる。しかし, 被験者によっては, 時間が経つにつれて, 段々とリラッ

クスしていくことが明らかとなった。経験者群に関しては, 図-2左図から, 三人三様の反応を示していることがわかる。経験者群がセグウェイの乗車経験があるゆえに, 喜びや楽しさなどの緊張以外の感情や周囲を見渡す余裕などによって生じることが要因として考えられる。これらの差が, 被験者の心理的要因とどのような関係にあるかを明らかにすることは今後の課題となる。

表-2 レスト状態のデータ分析

	レスト1			レスト2			レスト3		
	+	-	割合	+	-	割合	+	-	割合
A	37	123	76.9%	0	160	100.0%	0	157	100.0%
B	160	0	0.0%	149	1	0.7%	181	12	6.2%
C	162	3	1.8%	89	76	46.1%	163	0	0.0%
D	183	2	1.1%	135	0	0.0%	158	10	6.0%
E	160	0	0.0%	35	115	76.7%	0	183	100.0%
F	135	0	0.0%	160	0	0.0%	93	0	0.0%

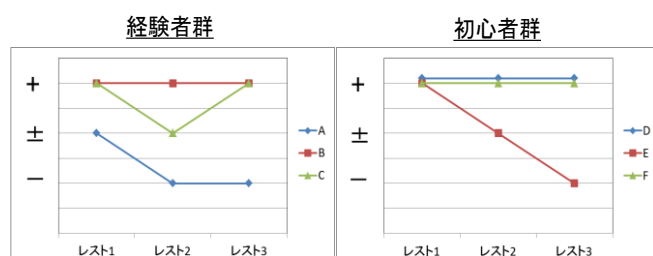


図-2 経験者群と初心者群の緊張の傾向

### 5.3 レスト時における分散分析

セグウェイ運転における緊張に対する落ち着きの進行を分析するために, レスト状態に対して分散分析を行う。なおこの分析には, 「経験の有無」という要素を入れて分析を行う。

表-3は, 各レスト状態を半分に分け, 前半と後半に対して, 分散分析を行った結果である。もし前半と後半に有意差が認められた場合, 被験者が徐々に落ち着いていった可能性が考えられる。

分析の結果(表-3)として, 経験の有無による有意差は認められた。しかし, 前半後半に対しては, 有意差が認められなかった。つまりレスト状態において, 初心者と経験者に有意な差があることが示された。これは, セグウェイの乗車経験によって生じた有意差であると考えられる。前半後半に対して, 有意差を認められなかった理由は, 30秒間静止するだけでは, 被験者が緊張から解放されて落ち着いたりするなどの, 心理的な変化がなかったためと考えられる。

表-3 レスト状態における分散分析結果

ソース	タイプ III 平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
修正モデル	2346.831 <sup>a</sup>	3	782.277	244.573	.000
切片	1835.543	1	1835.543	573.870	.000
経験の有無	2340.843	1	2340.843	731.848	.000
前半・後半	6.871	1	6.871	2.148	.143
経験の有無 * 前半・後半	.041	1	.041	.013	.910
誤差	8895.132	2781	3.199		
総和	12849.138	2785			
修正総和	11241.963	2784			

#### 5. 4 動作時における分散分析

動作時の分析を行う。表-4 は、被験者ごとの各動作に対して、分散分析を行ったものである。レスト状態の分析と同様に、経験の有無による有意差がないかを考慮している。その結果として、経験の有無と動作に対して、有意差が確認された。動作時の有意差に関しては、ストレートとスラロームに対して、操作の違いや注意の仕方の違いがあったため、前頭葉の働きに違いが生じたと考えられる。また経験の有無による有意差は、初心者と経験者に判断や心理状態に相違があったためと考えられる。

表-4 走行時における分散分析結果

ソース	タイプ III 平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
修正モデル	14551.245 <sup>a</sup>	5	2910.249	827.092	0.000
切片	5834.604	1	5834.604	1658.194	0.000
動作	161.603	2	80.802	22.964	.000
経験の有無	9063.148	1	9063.148	2575.746	0.000
動作 * 経験 の有無	34.534	2	17.267	4.907	.007
誤差	66002.839	18758	3.519		
総和	88455.830	18764			
修正総和	80554.084	18763			

レスト、ストレート、スラロームの間に対して、どの要因間で差があるかを比較するため、多重比較を行う。表-5 は、動作間の多重比較を行った結果をまとめたものである。結論として、全ての動作間において、有意確率が認められた。これは、各動作において、前頭葉の働きが異なる可能性を示している。

しかしストレートとスラロームの有意確率が、他の項目に比べて大きい。そのため、この2つの動作に関しては、前頭葉が同じような働きをしている可能性がある。今後の実験によってサンプルを増やした場合、有意確率が大きくなる可能性がある。

表-5 動作間の多重比較

(I) 動作		平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
レスト	スラローム	-.23756105053*	0.0471	0.0000	-0.3480	-0.1272
	ストレート	-.16075071576*	0.0506	0.0043	-0.2794	-0.0421
スラローム	レスト	.23756105053*	0.0471	0.0000	0.1272	0.3480
	ストレート	.07681033477*	0.0309	0.0347	0.0043	0.1493
ストレート	レスト	.16075071576*	0.0506	0.0043	0.0421	0.2794
	スラローム	-.07681033477*	0.0309	0.0347	-0.1493	-0.0043

#### 6. おわりに

主な研究の成果として、移動時における NIRS データを分析できたことが挙げられる。経験者と初心者の群、また各動作のそれぞれに緊張度合いの違いがあること、経験者には個人の特性が表れることが明らかとなった。

今後の課題として、NIRS データの分析方法をより洗練させることが必要である。またサンプル数を増やし、個人の性格と心理状態に対する NIRS データの関連性を明らかにすることが今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 中川智皓, 中野公彦, 古賀誉章, 須田義大, 川原崎由博, 小坂雄介: パーソナルスペースを用いたパーソナルモビリティと歩行者の親和性評価実験, 日本機械学会(C 編), Vol. 76, No. 770, pp. 2493-2499, 2010.
- 2) 小林康之, 轟朝幸, 西内裕晶: セグウェイツアーの満足度向上要因に関する研究, 第 45 回土木計画学研究発表・講演集, CD-ROM, 2012.
- 3) 齋藤和仁, 轟朝幸, 西内裕晶: 観光ツアーにおけるパーソナルトランスポーターの導入可能性に関する研究, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集.
- 4) 江部和俊, 大桑政幸, 稲垣大: ドライバの視聴覚認知に伴う負担度評価, 豊田中央研究所 R&D レビュー Vol. 34 No. 3, pp. 55-62, 1999.
- 5) 渡邊修, 武原格, 一杉正仁, 林泰史, 米本恭三: 脳損傷者の自動車運転中の脳血流動態—機能的近赤外分光法による計測—, 日本職業・災害医学会誌 JJOMT Vol. 59, No. 5, pp.238-244, 2011.
- 6) 岩坂正和下茂円, 菅生恵子, 揚原祥子, 杉田克生, 石井琢郎, 岩坂正和: NIRS 計測による脳血流パターンを指標とした音楽のリラクゼーション効果の評価, 千葉大学教育学部研究紀要 Vol.56, page.343-348, 2008