

体動情報に基づくドライバの漫然運転リアルタイム検出

永作 浩^{*1} 屋所 健司^{*1} 稲垣 敏之^{*2} 古川 宏^{*2} 伊藤 誠^{*2}

Real-time Detection of Driver's Inattentiveness via Body Movement Analysis

Hiroshi Nagasaku^{*1}, Kenji Yadokoro^{*1},

Toshiyuki Inagaki^{*2}, Hiroshi Furukawa^{*2} and Makoto Itoh^{*2}

Abstract – One of major causes of the traffic fatal accidents is a driver's inattentiveness. The purpose of our study is to develop a method for real-time detection of driver's inattentiveness on the basis of body movement. We conduct an experiment with utilizing a fixed based driving simulator in order to investigate how the driver's body movement, when he or she becomes inattentive to the driving. We assume that driver's inattentiveness is induced when a driver is performing a subtask. Three types of subtasks are given, "Mental arithmetic task", "Memory task", "Information retrieval task". The result shows that the driver's body tends to move when he or she is induced drowsy, and that the body movement is reduced when the "Mental arithmetic task" is given.

Keywords: driving support, safety, inattentiveness, real-time detection and body movement

1. はじめに

交通死亡事故件数を法令違反別に見ると、漫然運転（構成比 14.3%）が最も多く、続いて脇見運転（同 13.0%）、最高速度違反（同 10.9%）の順に多くなっている^[1]。エアバックや ABS といった安全対策によって、それまで最多であった最高速度違反による死亡事故件数は、10 年間で最大時の 40%以下にまで減少した。さらに近年では、先行車の速度に応じて適切な車間距離を維持し自動追従走行をする Adaptive Cruise Control（ACC）などが開発され、ドライバの運転負担の軽減、ひいては安全性の向上が期待されている。他方で、漫然運転に対する有効な手段は未だ講じられていない。また、ACC は本来の目的であるドライバの負担軽減、快適性や利便性の向上に寄与している反面、覚醒度の低下をもたらす可能性が指摘されている^[2]。そこで ACC が本格的に導入される前に、可能な限り漫然運転への対策を講じることが必要になる。

現在、ドライバの覚醒低下を検出する方法として脳波や眼球運動が有力視され研究されている^{[3],[4]}。しかし、これらの方法は、ドライバを強く拘束することが問題視されている。またこの中でも比較的拘束感の弱い眼球運動は、眼鏡やサングラスをかけたドライバに対して十分な精度が得られないという問題もある。そこで、脳波や眼球運動以外にもドライバの状態推定ができる指標を発見することが必要となる。本研究では比較的拘束感が少ないと思われる体動情報（特に重心位置の変化）に注目

する。すでに、暗算中に重心位置の変化が小さくなること^[5]や、覚醒度の変化が立位姿勢時の重心位置と関わりがあることが報告されている^[6]。このように、重心位置はワークロードや覚醒度と深い関わりがあると考えられる。本研究では、ドライビングシミュレータを用いた認知工学的実験により、重心位置に着目して漫然運転検出の可能性を明らかにすることを目的とする。なお、運転支援装置として ACC を用いた場合と、何も用いず走行した場合（以降マニュアル走行と表記する）とで検出できる体動の特徴に差があるのかも明らかにする。

2. 漫然運転の分類

広辞苑によると、漫然とは、「心にとめて深く考えず、またははっきりとした目的や意識を持たないさま」と定義されている。従って、漫然運転とは深く考えず、明確な目的を持たずに運転することと定義できる。

しかし、目的が生成されない原因は多岐に渡ると考えられる。そこで本研究ではまず、漫然運転を分類し、取り扱う領域を明確にする。

2.1 リソース配分の観点から見た漫然運転

人間の情報処理資源（リソース）を一定とし、ある作業の実施により、その作業の負担に応じた処理資源が消費されると仮定する。この観点から考えた場合、漫然運転の原因は大きく以下の3つに分類できる。

- I. 眠気や疲労により十分なリソースが使用できない場合。
- II. 運転に必要なリソースは十分に使用できるが、ぼんやりとしておりリソースを用いようとしていない場合。
- III. 運転に必要なリソースは十分に使用できるが、

*1:筑波大学大学院 システム情報工学研究科

*1: Graduate School of Systems and Information Engineering
University of Tsukuba

*2: Faculty of Systems and Information Engineering, University of
Tsukuba.

会話や目的地の探索など、運転操作とは直接関係ない作業にリソースを振り分けている場合、

IIはドライバが積極的に運転に取り組めばある程度回避することができる漫然運転である。しかし、I、IIIは、ドライバが懸命に努力しても起こりうる可能性があるため、システムによる支援がより必要な漫然運転だと考えられる。そこで本研究では、体動情報からリソースが不十分である場合、特に眠気を検出することに取り組む。次に、他の作業に意識を向けている状態を検出することに取り組む。

3. 検出方法

3.1 眠気の検出方法

立位姿勢で眠気を感じたとき、重心動揺が大きくなることが知られている。これは我々が平常時、無意識に保とうとしている体のバランス維持機能が、眠気により十分働かなくなるためだと言われている。そこで、運転姿勢をとっている状態においても、眠気により重心位置の変化が大きくなると予想した。ドライバの重心位置に着目し、単位時間当たりの体動回数をカウントすることによりドライバの眠気を推定する。

3.2 体動による漫然運転の検出方法

ドライバは他の仕事を行うと共に、事故回避のため運転にもかなりの意識を向けなければならない。従って、運転以外のことにリソースを向けた運転では、ドライバの精神的緊張度が平常状態に比べ高まっていると考えられる。緊張することで体が固くなる結果、ドライバの体動が減少すると予想した。

そこで、ドライバの重心位置の変化に着目し、他の仕事に意識が向いている状態を推定する。

3.3 データ解析のプログラム

図1のように得られる重心位置の高周波成分は、ドライバの微細な体動とセンサのノイズを、低周波成分は重心位置の絶対的な位置を示している。これらは持っている情報の質が異なるため、2つの周波数を区別して考えなければならない。

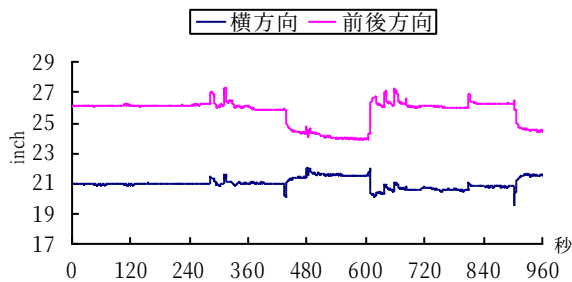


図1 被験者D, 重心位置 (暗算, ACC 1回目)

Fig.1 Subject D, barycentric position (Mental arithmetic task, ACC 1st).

そこで、周波数解析を行うプログラムとして、現在の重心位置と直前に計測した重心位置との差分を取るもの

を用意した。ある一定以下の小さい差分を取り除くことで高周波成分のノイズを除去することができる。また、低周波成分は座り直しなどの大きな動作をとったときしか現れないため、ある一定以上の大きい差分を取り出すことで低周波成分を抽出することができる。事前に行った予備実験の知見から本研究では、直前の重心位置との差が0.1inch (2.56mm) 以下であるものは体動とみなさず、1.0inch (25.6mm) 以上の重心位置の変化をドライバの意図が入った体動と判断する。図1の、単位時間(20秒)あたりの0.1~1.0inchの体動回数を出力したものが図2である。

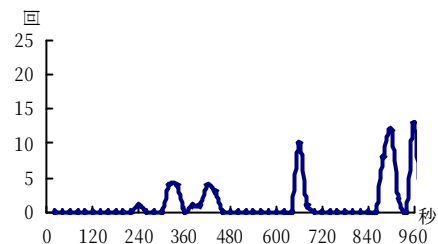


図2 被験者D, 体動回数 (暗算, ACC1回目)

Fig.2 Subject D, body movement frequency (Mental arithmetic task, ACC 1st).

周波数解析に用いられる手法としてはフーリエ変換が一般的である。そこで差分による周波数解析との相関を取った(図3)。相関係数は被験者によらず90%以上で、全体の平均は92.15%となった。これより差分による周波数解析は簡単でありながら高精度検出が可能であることが示される。また、フーリエ変換はある程度のデータ数が必要であれば用いることはできないが、差分にその制約はない。そのためリアルタイム検出に強いと言う特徴を持つ。なお、フーリエ変換には、大きな波を近似するため前後に小さな波を複数作り出すという性質がある。これによりフーリエ変換では、実際よりも体動が多くカウントされることになる。これが、10割の相関が得られない原因である。

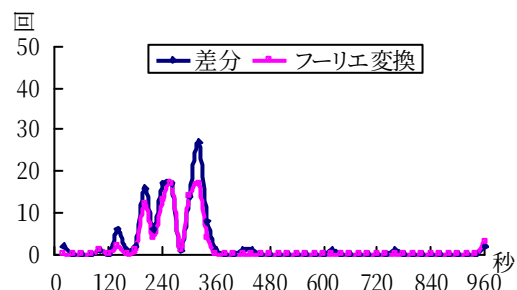


図3 被験者D, フーリエ変換と差分の相関

Fig.3 Subject D, Correlation of Fourier transforms and difference.

4. 実験

4.1 実験の目的

運転中に注意をそらすようなサブタスクを与えること

により漫然運転を誘発させ、体動情報から漫然運転が検出できるかを明らかにする。また、眠気をもよおした時に、体動情報から眠気が検出できるかを明らかにする。

さらに、サブタスクを与えることによる運転行動への影響が、ACCの使用の有無に依存するか否かを調べる。

4.2 眠気・漫然運転を誘発させる方法

緊張状態から開放された時や、単調な作業を続けている時に眠気を感じることが知られている^{[7][8]}。また、実験中、他の仕事に意識を向ける漫然運転がいつ起こるか判断する方法がない。そこで、被験者に2分毎にサブタスクを提示する事によって、一定時間の間に漫然運転を意図的に誘発しう状況と、眠気に影響する緊張状態を作り出す状況を用意した。

4.3 サブタスクの種類

一般的にドライバは認知、判断、操作を繰り返しながら運転されると言われる。漫然運転はこの中でも認知、判断がおろそかになり、操作に悪影響を及ぼすものと考えられる。この考えを、人間の情報処理とリソースの関係を記述したCacciabueのモデル^[9]に当てはめると図4のように考えられる。

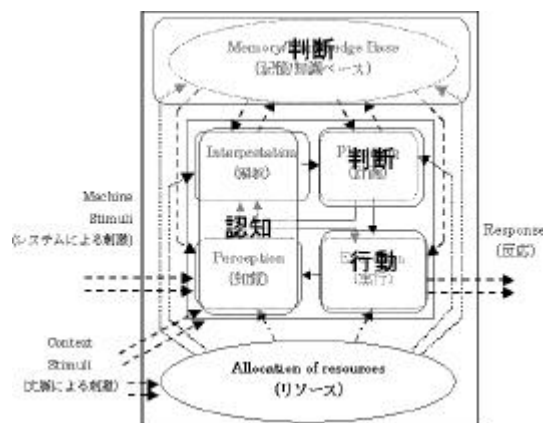


図4 RMCと運転処理モデルとの関係

Fig.4 Relation between RMC and Driving model

これより知覚、解釈、記憶、計画の各処理に負荷を与えることで、ドライバの認知、判断をおろそかにすることができると思われる。そこで被験者に以下のようなサブタスクを与えた。なお、使用する処理により体動への影響が異なる可能性がある。そこで各々の処理に特化した負荷を与えられるようサブタスクを選択した。サブタスクは事前に録音した音声データを用い、運転中スピーカーから被験者に聞かせた。

- I. 情報検索：知覚、解釈に特に負荷を与えるもので、物語からキーワード(人名)を発見させた。キーワードを発見した被験者は、ハンドルに付いたボタンを押すことになる。このタスクは渋滞情報などをラジオから獲得する行為に相当している。
- II. 暗記：記憶に特に負荷を与えるもので、マジカルナンバーに基づき7つの数字の暗記を行わ

せた。2秒間隔で7つの数字を提示した後、2分後に提示された順に全ての数字を口頭で答えさせた。このタスクは電話番号を覚える行為や、目的地への目印を覚える行為に相当している。

- III. 暗算：計画に特に負荷を与えるもので、3秒間隔で1桁の足し引き算を行わせた。このタスクは同乗者との会話や密な通信に相当している。

4.4 実験計画

普通自動車免許を有する女性2名、男性2名の計4名(年齢22~27歳)を被験者とする。被験者は各サブタスク条件下でマニュアル走行とACCを使用した走行を4回ずつ行う。従って、1人の被験者の実験回数は表1ようになる。サブタスクの提示は、暗算、暗記、情報検索の順に行う。この時、マニュアル走行4回、ACCを使用した走行4回、計32データを取得してから次のサブタスクを提示するようにした。

表1 1人の被験者の実験回数

Table 1 Experiment frequency of one subject.

	暗算	暗記	情報検索
マニュアル	4回	4回	4回
ACC	4回	4回	4回

4.5 実験手順

1人の被験者について、表2の走行を1日に2度行った。36分中、ACCを使用している時間と使用していない時間はそれぞれ18分ずつである。被験者により、前半18分にACCを用いている場合と後半18分にACCを用いている場合がある。また、各走行の間には15分程度の休憩を取った。実験開始2分後から、被験者へのサブタスクの提示を始める。サブタスクの有無による体動の変化を見るため、以後2分毎にサブタスクを提示した。なお、走行開始直後の2分間と、18-20分の2分間は、ACCの操作をする際に、被験者本来の意図でない体動が現れる。そのため、データの解析には使用しない。

表2 サブタスクが与えられるタイミング

Table 2 Period when subtask is given.

時間	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10
タスク	無※	有	無	有	無
時間	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
タスク	有	無	有	無	無※
時間	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30
タスク	有	無	有	無	有
時間	30-32	32-34	34-36		
タスク	無	有	無		

※ACCの動作状態を切り替えるため、データ解析には用いない。

4.6 実験装置

本研究では、片側2車線の高速度道路環境を模擬するドライビングシミュレータを用いる。走行するコースは直

線路と、ゆるいカーブ（R800，R2000）とで構成されており、周囲の車に急ブレーキ、急ハンドルなどの危険な行為は起こさせない。ドライバは、ペダル操作、ステアリング操作、ACCの作動操作を行うことができる。閉眼時間はアイマークレコーダ（ISCAN 社製）を使用し 60Hz で計測した。また、体動の変化は、44×48 個のセンサを持つ体圧シート（NITTA 社製）を背中と座部に 1 枚ずつ用い 2Hz で計測した。

5. 実験結果

5.1 眠気の検出結果

眠気を感じると 320ms 以上の長い閉眼時間の割合が増えることが知られている^[4]。そのため 320ms 以上の長い閉眼時間が短時間で乱発した時、特に眠気を感じていると判断した。また、定性的なものとしてはビデオ画像、被験者による自己申告を用いた。その結果、特に眠気を感じていると思われる状況は全 96 データ 1536 分の実験中、45 データ 300 分であった。図 5 は閉眼時間と 20 秒あたりの体動回数の時間的変化を表したものである。図 5 より、閉眼時間と体動回数は同じような波形を描くことが分かる。これは他のデータにおいても共通であった。このグラフより、体動回数が極端に増える場所は長い閉眼時間が多く、眠気が原因である可能性が高いと言える。これより、体動から眠気が検出できる可能性が示された。体動が極端に増加している箇所は眠気が原因であると特定できたため、以降ではこのデータを取り扱わず、眠気以外のデータで議論する。

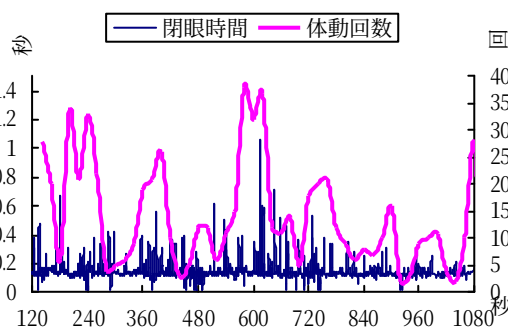


図 5 被験者 C，閉眼時間と体動回数（暗算，マニュアル 1 回目）

Fig.5 Subject C, eye closure time and body movement frequency (mental calculation, manual 1st).

5.2 情報検索タスク遂行時の体動

1 回の走行において、情報検索有りの 8 分間の体動回数と、情報検索無しの 8 分間の体動回数を比較した。比較対象となる体動回数を ACC 走行 4 回，マニュアル走行 4 回についてそれぞれカウントしたものが図 6 である。

情報検索中の体動回数を無しの状態の体動回数で割り比率を出す。20%以上の差があったとき、違いがあるものとした。これにより、情報検索を行うことで、ドライバの体動が減少する傾向が全 32 データ中 19 データで見

られた。次に前述したプログラムを用い、時系列的にドライバの体動を見た（図 7）。下線が引いてあるところでサブタスクが行われている。しかし、情報検索の有無による明確な体動の差を見つけることはできなかった。

以上の結果の 1 解釈として、情報獲得が体動に与える影響は小さなものであり、数分単位で判断することは困難である可能性が挙げられる。その場合、情報獲得に意識を向けているドライバを検出するには、ある程度まとまった時間のデータを収集する必要がある。

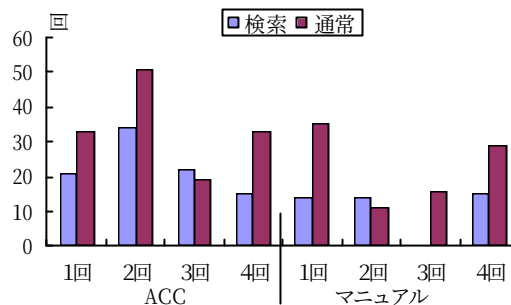


図 6 被験者 C，8 分の体動回数（情報検索）

Fig.6 Subject C, body movement frequency of 8 minutes (Information retrieval task).

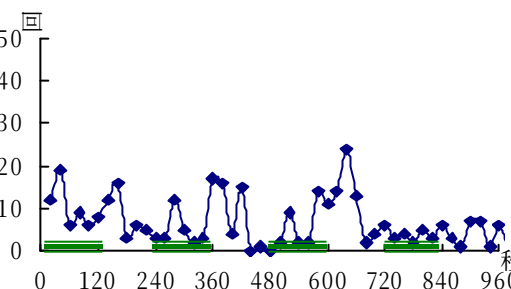


図 7 被験者 C，20 秒毎の体動回数（情報検索，ACC3 回目）

Fig.7 Subject C, body movement frequency every 20 seconds (Information retrieval task, ACC 3rd).

5.3 暗記タスク遂行時の体動

全 32 データ中、ドライバの体動が減少するデータが 5 個，増加するデータが 9 個，ほとんど違いが見られないデータが 18 個であった。これより、体動からドライバが記憶を用いた処理を行っていることを検出することはできなかった。

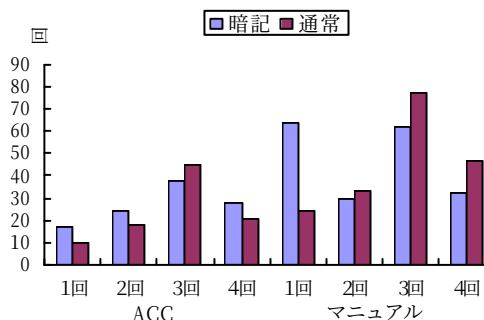


図 8 被験者 B，8 分の体動回数（暗記）

Fig.8 Subject B, body movement frequency of 8 minutes (Memory task).

5.4 暗算タスク遂行時の体動

暗算を行うことで、ドライバの体動が減少する傾向が全 32 データ中 26 データで見られた。

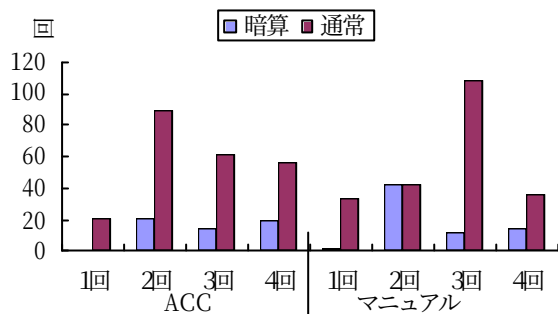


図9 被験者 D, 8 分の体動回数 (暗算)

Fig.9 Subject D, body movement frequency of 8 minutes (Mental arithmetic task).

また、前述したプログラムを用いドライバの体動回数を時系列的に表示する (図 10)。図より、時系列的に見ても暗算の有無により体動が変化していることがわかる。

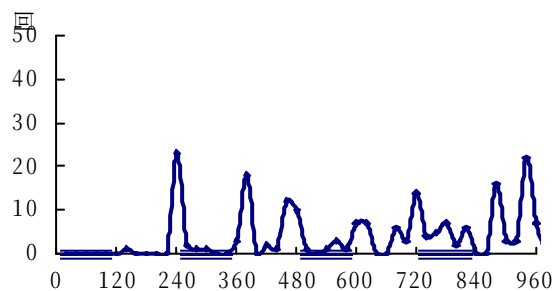


図 10 被験者 C, 20 秒毎の体動回数 (暗算, ACC1 回目)

Fig.10 Subject C, body movement frequency every 20 seconds (Mental arithmetic task, ACC 1st).

定性的な差を検出することができたため、最後に 8 分間毎の体動回数を統計的に比較した。サブタスクの有無、ACC の使用状況を要因として、被験者毎に 2 要因の分散分析を行ったところ、3 人の被験者 (B, D, C) において、暗算ありと暗算なしとで体動回数に有意な差 ($p < 0.05$) が見られた。また、被験者 A は統計的には有意な差を認められなかったものの、 p 値が 0.0544 と非常に棄却域に近い値を示していた。なお、交互作用と ACC の使用状況による主効果は見られなかった。これより、システムの使用に関係せず暗算をすることでドライバの体動が減少するといえる。

なお、ここでは統計的処理に 8 分間の体動回数を用いているが、それは本実験では体動を 2 Hz で計測しており、1, 2 分では統計処理に用いる体動回数の標本が小さかったためである。定性的にグラフを見ても数分単位で十分に判別できることから、サンプリング周波数を挙げることで、8 分間より短い時間で識別できる可能性は十分にある。

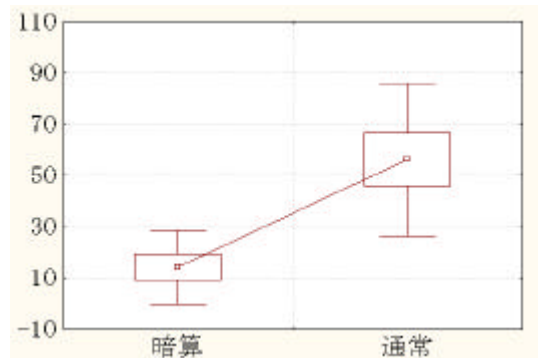


図 11 被験者 D, 体動回数の分散 (暗算)

Fig.11 Subject D, decentralization of body movement (Mental arithmetic task).

6. 考察

6.1 体動での検出力に関する考察

サブタスクの種類により体動での検出のしやすさに違いがあった。この原因として以下の 2 つが考えられる。

1. 情報検索や記憶に使用するリソースは、運転行動に使用するリソースとは別種のものであり、サブタスクを実施しても運転行動に干渉しない。
2. 情報検索や記憶が与える精神負荷が暗算に比べ小さい。

暗算は返答に対するタイムプレッシャーが強く、2 分間休むことなく意識を向けることが求められる。これに対し、情報検索や記憶はタイムプレッシャーが弱く、情報検索はキーワードに関連しそうな箇所だけ、記憶は数字が提示される序盤 12 秒しか大きな意識を向けることを必要としない。また、被験者のコメントからも暗算に対する負荷が高いことが述べられている。これより、体動による検出力に差があった原因は、精神的負荷の大きさによる可能性が高い。

6.2 漫然運転の検出手法に関する考察

ドライバの状態推定の方法としては、本実験のようにある一定期間のデータを収集して解析する手法と、その時現れた体動から状態を逐次推定していく方法が考えられる。例えば、体動の減少が顕著であった暗算を例にとると、単位時間ごとの体動を数えて、体動が少ないと思われる時間が何秒間連続したかによって漫然運転発生の確信度を高めていくといったものである。

20 秒間に 2 回以下しか体動が見られない状況を体動が少ない状況とし、これが 60 秒間続いた時、漫然運転が生じている可能性があるとして、実験で取得した同データを解析した。その結果、リアルタイム性が高く、暗算による体動の減少を大まかに捉えることが可能であることが判明した (図 12)。しかし体動の減少は条件によらず、ごく普通に生じうる。そのため、暗算の有無を誤検知してしまうことも少なくない。特に普段から体動回数が少ない被験者では、この傾向が顕著になる (図 13)。これ

は判断に使える標本数が少ないため生じる問題である。そのため、誤検知の少ない高精度な検出アルゴリズムを作成するにはサンプリング周波数を上げ、より微細な体動も検出する必要があると思われる。図13と同条件の4データの合計を描いたものが図14である。暗算による体動の減少がより明確に見ることができる。サンプリング周波数を4倍にすることでこれと同じ標本数を集めることが可能なため、同様の議論ができる可能性がある。

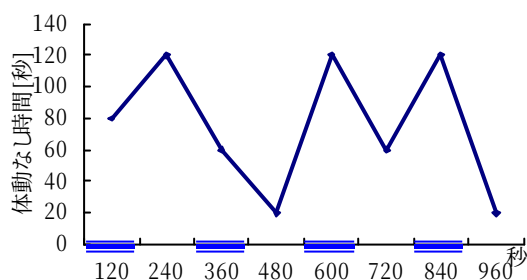


図12 被験者D, 体動の減少(暗算, ACC1)

Fig.12 Subject D, decreases of body movement (Mental arithmetic task, ACC 1st).

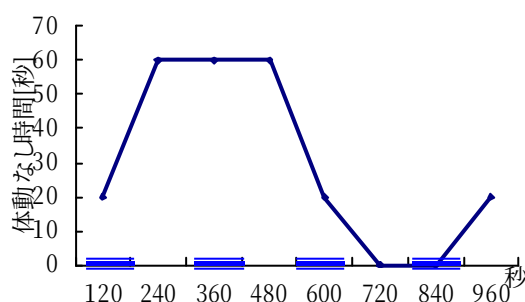


図13 被験者C, 体動の減少(暗算, ACC4)

Fig.13 Subject C, decreases of body movement (Mental arithmetic task, ACC 4th).

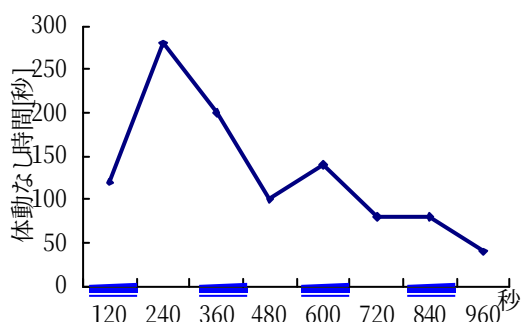


図14 被験者C, 体動の減少(暗算, ACC)

Fig.14 Subject C, decreases of body movement (Mental arithmetic task, ACC).

7. まとめ

本研究では、ドライバの眠気、知覚、解釈、計画が体動情報から同定できうことが示された。また、検出に必要な特徴は、ACCを使用しているか否かには依存しない。

一定期間の体動回数を比較し漫然運転を検出する方法と、現在の体動の移り変わりから漫然運転を検出する方法の特徴を紹介したが、どちらもサンプリング周波数を上げることで精度、推定速度の向上が見込めると考える。

今後の課題として、漫然運転検出のための適切なサンプリング周波数を決めること、アルゴリズムを作成することが挙げられる。また、実車の振動に耐えうるものかの検討、既存の指標と情報を統合することにより、ドライバの状態推定の精度がどのように変化するかの検討も重要になる。

8. 参考文献

- [1] 警視庁ホームページ
<http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/>
- [2] 宇野宏, 内田信行, 野口昌弘: ドライバの覚醒水準に及ぼす運転支援装置の影響; 自動車研究, Vol.24, No.9, pp.391-394 (2002).
- [3] 中野倫明, 杉山和彦, 水野守倫, 山本新: 居眠り検知のためのまばたき検出と覚醒度推定; 電子情報通信学会, Vol.95, No.44, pp.73-80 (1995).
- [4] 濱田尊裕, 白井了, 小林史和, 伊藤丈裕, 井東道昌, 足立和正, 中野倫明, 山本新: ドライバの運転状態の検知-個人差に対応した閉眼時間からの意識レベルの検知-; JST 科学技術文献ファイル, (2003).
- [5] 相澤直行, 青木和夫, 吉田義之: 精神作業の重心動揺への影響; 人間工学, Vol.30, No.4, pp.223-231 (1994).
- [6] 中野紀夫, 荒木和典, 道盛章弘, 井邊浩行, 萩原啓, 小山恵美: 覚醒レベルが立位姿勢維持能力に及ぼす影響; 日本睡眠学会, No.1, p.30 (2000).
- [7] 橋本邦衛: 安全人間工学; 中央労働災害防止協会, (1984).
- [8] 芳賀茂: メンタルワークロードの理論と測定; 日本出版サービス, p50 (2001).
- [9] P.Carlo Cacciabue, Carlo Mauri, Douglas Owen: The development of a model and simulation of an aviation maintenance technician task performance; Cogn Tech Work, Vol.5, pp.229-247 (2003).