法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-05

自動車運転技術の定量化

ONDA, Keisuke / 恩田, 圭輔

(発行年 / Year)
2012-03-24
(学位授与年月日 / Date of Granted)
2012-03-24
(学位名 / Degree Name)
修士(工学)
(学位授与機関 / Degree Grantor)
法政大学 (Hosei University)

法政大学　2011 年度修士論文

自動車運転技術の定量化

自動車の挙動と運転疲労

指導教授　渡辺嘉二郎

法政大学工学研究科
システム工学(システム系)専攻修士課程
10R6108 恩田（オンダ）　圭輔（ケイスケ）

Abstract

The most important element is safety to the development and driving of the car. The system that examines the driver fatigue to improve safety is developed in the present study. The speed of the car is used as a means to examine tiredness. The advantage is not to restrain the driver and to be installed hardware easily. The system promotes the sage driving by 1uantifying the driving skill, and feeding back an appropriate driving. Moreover, the application such as tracks to the driving management system can be expected by monitoring tiredness.Keywords : safety , tiredness , speed , driving skill

目次

第１章　はじめに 6
第１節　研究背景とその概要 6
第１項　研究の取り組み 6
第２項　研究の指針 6
第３項　研究の概要 7
第２節　自動車事故の実態 8
第１項　交通事故と安全技術 8
第２項　死亡事故と安全技術 9
第３節　安全技術の取り組みと課題 10
第４節　安全技術と運転技術の定量化 11
第１項　運転技術の定量化について 11
第２項　交通事故の原因 11
第３項　運転の愉しさ 12
第４項　自動車システムの開発 12
第５項　運転技術と疲労 12
第５節　疲労とは 13
第１項　疲労の定義 13
第２項　疲労の取得方法 14
第２章　研究目的 15
第１節　研究の新規性 15
第２節　研究の進め方 15
第１項　目標 15
第２項　基礎研究と応用研究 15
第３章　使用機器 17
第４章　GPS を用いた定量化ヒューリスティクスアルゴリズム 22
第１節　運転技術の指標 22
第２節　運転技術と自動車挙動の定性的関係 23
第３節　ヒューリスティクスアルゴリズム概要 24
第１項　フィルター処理 25
第２項　加速度計算 25
第３項　速度 PP 算出方法 25
第４項　加速 PP 算出方法 25
第５項　減速 PP 算出方法 26
第６項　総 Poor Point 算出方法 26
第７項　運転評価 26
第８項　ヒューリスティクスアルゴリズム出力 27
第５章　RF-ECG を用いた生体解析システム 29
第１節　心拍変動と人体との関係 29
第２節　心拍変動の周波数帯領域 30
第３節　疲労ついて 30
第６章　ヒューリスティクスアルゴリズム基礎実験 31
第１節　実験内容 31
第２節　実験結果 31
第３節　考察と改良 39

第１項　アルゴリズムの改良内容 39
第２項　改良後の解析結果 40
第４節　考察と改良 2 42
第１項　アルゴリズムの改良内容 2 42
第２項　改良後の解析結果 2 43
第７章　GPS を用いた定量化オプティマイズアルゴリズム 45
第１節　入力 45
第２節　処理 46
第１項　フィルター処理 46
第２項　加速度計算 46
第３項　Poor Point の基本式 46
第４項　走行状態と重み 47
第５項　速度 PP 算出方法 48
第６項　加速 PP 算出方法 48
第７項　減速 PP 算出方法 49
第８項　総 Poor Point 算出方法 49
第３節　出力 50
第８章　オプティマイズアルゴリズム確認実験 51
第１節　実験内容 51
第２節　実験結果 51
第３節　実験考察 53
第４節　実験結論 54
第９章　DR9100 ドライブレコーダを用いた運転技術の定量化 55
第１節　入力 56
第２節　処理 57
第２項　加速・減速 PP 計算（走行状態による Poor Point） 59
第３項　速度 PP 計算（速さによる Poor Point） 63
第４項　Poor Point の算出 63
第５項　変換係数 64
第６項　Poor Point 算出方法まとめ 66
第３節　Poor Point 計算の例 67
第４節　出力 70
第１項　Ｔ分移動平均 Poor Point 70
第２項　Poor Point 変化率 71
第３項　蓄積疲労 72
第４項　今後安全運転可能時間 74
第５項　総運行時間と渋滞時間と渋滞率（%） 75
第６項　運転総合評価（点） 76
第７項　運転アドバイス 76
第５節　出力結果例 77
第１項　Ｔ分移動平均 Poor Point 79
第２項　Poor Point 変化率 80
第３項　蓄積疲労 81
第４項　今後安全運転可能時間 82
第５項　総運行時間と渋滞時間と渋滞率（%） 83
第６項　運転総合評価（点） 83

第７項　運転アドバイス 83
第１０章　ドライブレコーダを用いた定量化システムの検証実験 84
第１節　実験目的 84
第２節　実験方法 84
第３節　結果 84
第４節　考察 85
第５節　結論 86
第１１章　おわりに 87

第１章 はじめに

本研究は自動車運転技術の定量化に取り組む．定量化の指標として運転疲労に着目した．すなわち運転技術を「疲れにくい運転・安全な運転を上手な運転．疲れやすい運転・危険な運転を下手な運転.」と定義する．以下，研究の背景と経緯を説明する．

第１節　研究背景とその概要

本研究は自動車事故の削減が第一の目標である．自動車事故は社会における大きな課題のひとつであり，国際的に注目されている．日本では世界一安全な道路交通を目指しており，2018 年を目途に交通事故死者数 2500 人以下にすることを目標として掲げている．目標達成のために道路事情の改善や，ドライバーの意識改革，自動車の安全技術の向上に取り組んでいる．本研究では安全技術の向上に対する取り組みである．安全技術の向上として国や企業は ITS の導入や ASV・DSSS などに取り組んでいる．これらの技術は大きく分けて 2 つの視点からアプローチを行なっている．1 つは自動操縦化，1 つはインタフェースの改善である．特に後者は自動車と人間の結びつきを強化し，交通安全だけでなく自動車運転の愉しさを高めるなどの結果にも寄与する．

第１項　研究の取り組み

著者は自動車の愉しさを損なうことなく(むしろ高めるべく)自動車の安全技術に取り組む．具体的にはドライバーの運転技術の定量化である．また，運転技術の指標として運転疲労に着目した．自動車事故の多くは注意力の散漫が原因であり，自動車の運転は(特に公道での運転では)精神的安定を前提条件として成り立っているためである．なお，本研究は公道を運転する上での運転技術について取り組む．サーキットやモータースポーツなどの自動車の限界付近で操作する運転技術は公道運転においても応用できる部分は大いにあるがここでは省く．公道の運転技術では限界の状況に陥らないことが最も重要であると考え，そのための取り組みについて追及するためである．以下「運転技術」とは公道を運転する上での運転技術を示す．

第２項　研究の指針

運転技術とはさまざまな要旨をもつ．公道では老若男女さまざまな人間が運転を行なっているためである．「目的地に早く到着すること」「振動をあまり与えずに運転すること」など幾つかの運転技術があるがここでは「安心・安全な運転を行えているかどうか」を運転技術と定義する．しかしながら，抽象的な指針で定量化システムを確立しても，信憑性に欠ける．そこで，ドライバーの疲労度合いに着目した．安心・安全な運転とはすなわち生態的負担も少ない運転であると考えたからである．また，自動車の運転によりドライバーは大小のストレスを受け，それが疲労となる．自動車事故の多くは運転者の注意力の不足・散漫によるが，注意力はドライバーの疲労度に大きく左右される．そこでドライバーの運転技術の定量化として運転疲労を指針とする．疲労度合をもとに運転技術を数値化し，ユーザへフィードバックを行うと，ストレスの少ない運転，より適切な休憩をとる運転などへ運転技術の改善が期待できる．よって事故防止に寄与できる．

第３項　研究の概要

本研究では運転疲労を元に運転技術の定量化をする．運転における疲労を調べる場合，一般的に測定対象者への束縛や自動車への特別な加工を行なって測定する．しかしながら，それではシステムの導入や運用が煩わしいものとなってしまう．交通事故の削減はシステムを普及させることも重要な要素である為，容易に導入できるシステムの構築を行う．そのために自動車の挙動に着目した．よって本研究では，自動車の動きと疲労の関係を実験で調べ，その結果を用いて自動車運転技術の定量化システムを構築する．

この考え方に基づき，ここでは，ドライブレコーダと GPS を使用しドライバーの運転技術を得る(疲労度を算定する)システムの考案を提案する．

第２節　　自動車事故の実態

交通事故，特に死亡事故は最も防ぐべき事象である．自動車は社会に欠かせない存在であるがその反面人の命を奪う危険性を持っている．そこで，交通事故の原因を明らかにし，削減に取り組む．

第１項　交通事故と安全技術

統計局によると日本における交通事故は年間 75 万件発生し，うち死亡事故は 5000 件である．ここ数年はインフラの整備や衝突安全技術の発展により死傷者数は減少しているものの，平成 21 年では 4,914 人の死者が出ており，まだまだ安全対策が必要な状態である．

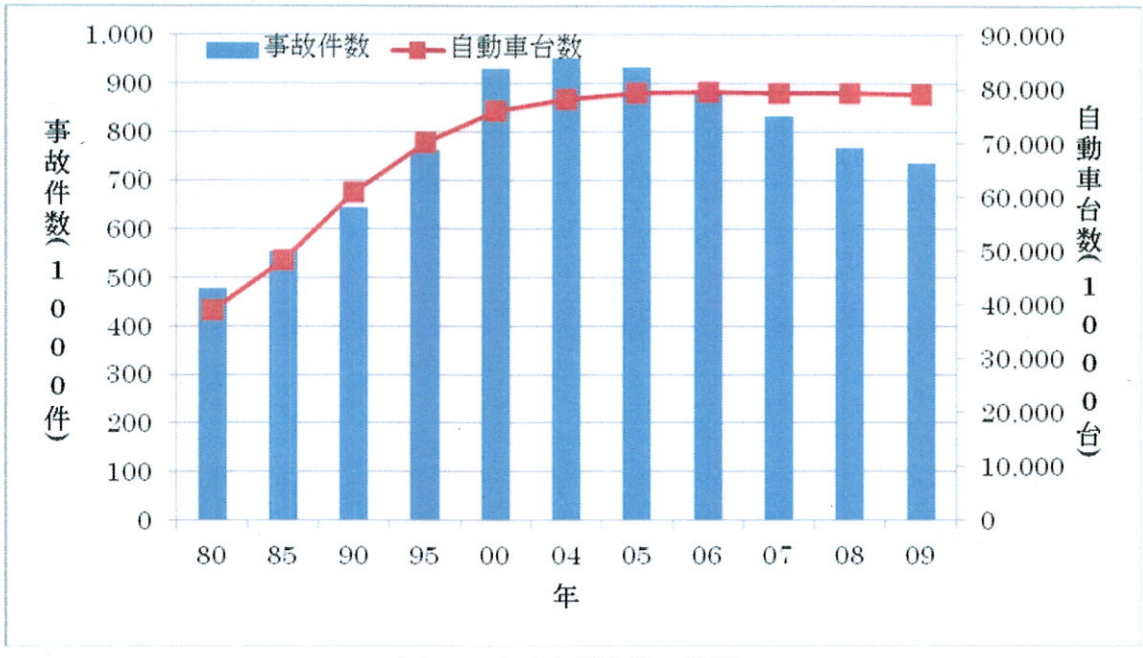


図 1　交通事故件数の推移

自動車の普及と比例して交通事故件数が上昇している．今現在では自動車の登録台数は頭打ちになったものの登録台数の増加と同時に事故件数も上昇し，最も多いときは年間事故件数が 90 万件を超え社会的に問題となっていた．当時の傾向を見ると交通事故が発生する比率は大きく変わることなく時代が移り変わっている様子がわかる．その後，安全に対する意識や技術の発展により自動車台数に対して交通事故件数は減少傾向に転じている．すなわち，2005 年までは効果的な安全技術やその取り組みがなされておらず，近年になりやっと安全に対して強い関心が芽生えてきたと言える．

ここで何が言いたいのかというと，安全技術は本格的な取り組みがわずか数年前に始まったばかりであるということである．すなわち技術(特にパッシブセーフティ)としてまだまだ未成熟であり，さらなる技術進歩が見込めるということである．

第２項　死亡事故と安全技術

死亡事故は 90 年代において交通事故件数が増える一方で減少傾向を示している．これは衝突安全技術(アクティブセーフティ)の普及によってもたらされた結果だと考える．また自動車台数が頭打ちとなって以降，交通事故件数の減少と同程度の減少を示している．

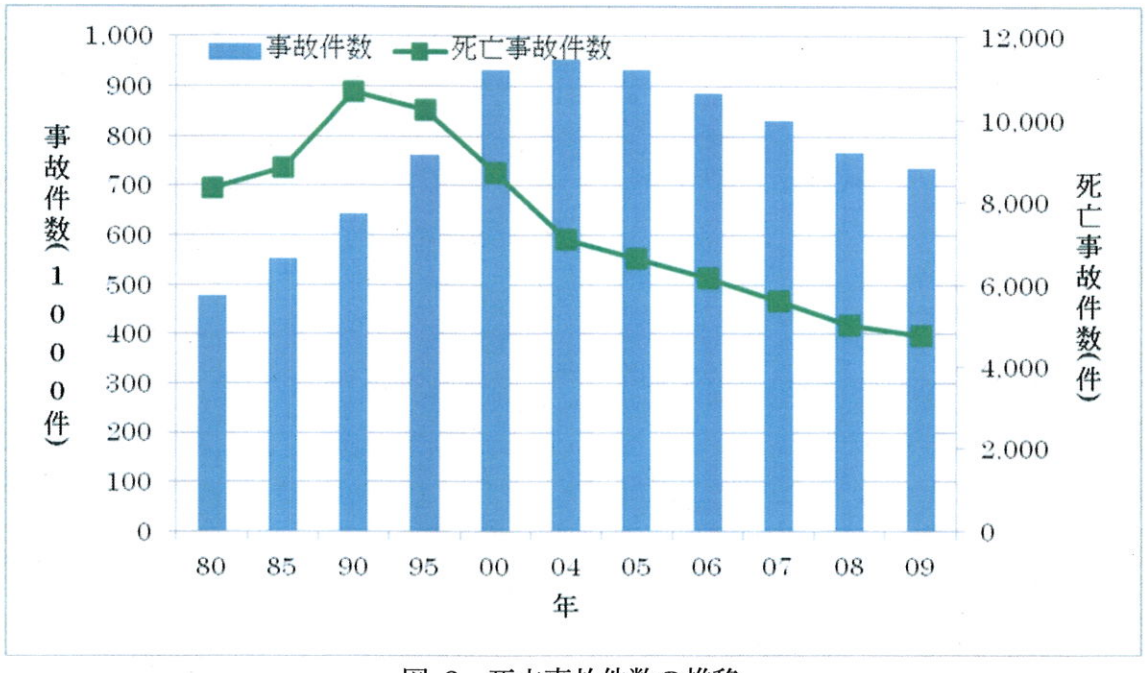


図 2　死亡事故件数の推移

すなわち，交通事故件数に対する死亡事故の比率は変化しておらず，実質的には交通事故死者数を減少させている主な要因は現状では交通事故そのものの件数を減らすことで実現しているとも言える．

第３節　　安全技術の取り組みと課題

安全技術にはアクティブセーフティとパッシブセーフティとの 2 つがある．アクティブセーフティとは車体が衝突したときの技術的試みを指し，具体的にはエアーバッグや衝突安全ボディが挙げられる．この技術は衝突したときに乗組員や衝突対象を守るための技術である．パッシブセーフティとは車体が交通事故を起こさないための技術である．具体的には横滑り防止装置や車線離脱警告装置が挙げられる．すなわち，交通事故を減らすための技術的な試みである．また，パッシブセーフティは国や企業は先進技術として ITS や ASV，DSSS に取り組んでいる．

本研究はパッシブセーフティについての取り組みである．以下パッシブセーフティの先進技術について説明する．

○ ITS(Inteligent Transport System)

ITS とは人と道路と自動車の間で情報の受発信を行い，道路交通が抱える事故や渋滞，環境対策など，様々な課題を解決するためのシステムである．内交通事故を減らすための安全・安心を提供するための取り組みを記す．

車車間通信・路車間通信を用いたインフラ協調型を含む安全運転システムの開発・実用化が進められてきており，情報通信技術・自動車制御技術の進化と共に，信頼性・耐久性の高い交通安全システムの構築が求められている．

簡単にまとめると無線通信技術を用いて，自動車に危険を知らせるなど自動車単体ではなく，インフラの改良や自動車社会そのものを情報社会に組み込む取り組みである．(不特定多数の利用者に対して情報を提供するシステム)

○ ASV(先進安全自動車)

ASV とは先進技術を利用してドライバーの安全運転を支援するシステムを搭載した自動車のことを示す．例えば，前者の ITS を取り入れた自動車や車体に取り付けたセンサを用いて非常ブレーキを掛ける自動車などが挙げられる．

具体的な技術として衝突被害軽減ブレーキがある．現在大型トラックが起こす事故状況の半分は追突事故であり，その時に死亡事故へと発展するケースが乗用車に比べ約 12 倍も高い．そこで衝突時のエネルギーを減らし，死亡事故を減らす試みである．システムはセンサを用いて前方の障害物を検知し，障害物との距離を監視することから始まります．次に自車の速度から計算し，衝突が避けられないと判断された時に自動でブレーキを行い衝突時の速度を少しでも抑える．

このように自動車そのものに対して，制御技術を搭載し事故を防ぐまたは軽減する自動車(技術)を示す．

○ DSSS(安全運転支援システム)

DSSS とはドライバーが安全に運転できるように支援するシステムを示す．警視庁が中心となって開発している技術．路側に設置された光ビーコンから車両周辺の道路情報や信号情報・接近車情報などを受信し，ドライバーの運転操作や車両の走行状態から総合的に判断しドライバーへ注意喚起するシステムである．ITS と類似しているが，DSSS は安全運転支援に重点を置いており，ドライバーに提供する情報はピンポイントである．

簡単にまとめると光ビーコンや自動車の操作・状態から得られる情報を元に「安全運転を実現するためのアドバイスを提供するシステム」である．

第４節　　安全技術と運転技術の定量化

本研究は先進的なパッシブセーフティの中で最もDSSSに近い技術である．ドライバーの運転技術の定量化に対する取り組みは芯として「安全運転を実現するためのアドバイスを提供するシステム」であるからだ．

第１項　運転技術の定量化について

自動車運転技術の定量化とはドライバーが自動車を運転することに対する集中力や関心を高めるための取り組みである．その結果安全運転に繋がると考える．自動車の運転に対する集中力や関心について着目した理由は以下の 2 つである．一つは交通事故の原因が集中力に起因しているということ，一つは自動車を愛する人間としてユーザにその愉しさを伝えたいということである．

第２項　交通事故の原因

交通事故を法令違反別で統計した時に最も多いのが安全運転義務違反である．安全運転義務とは運転操作不適，漫然運転，脇見運転，動静不注視，安全不確認，安全速度などが挙げられる．すなわち，交通事故を減らすためにはこれらの違反項目を減らすことが最も近道である．そこで，ドライバーの精神状態に着目した．運転に対する集中力や突かれ度合いなどをコントロールすることで漫然運転などを防ぐことに繋がり，結果として交通事故が減少する．

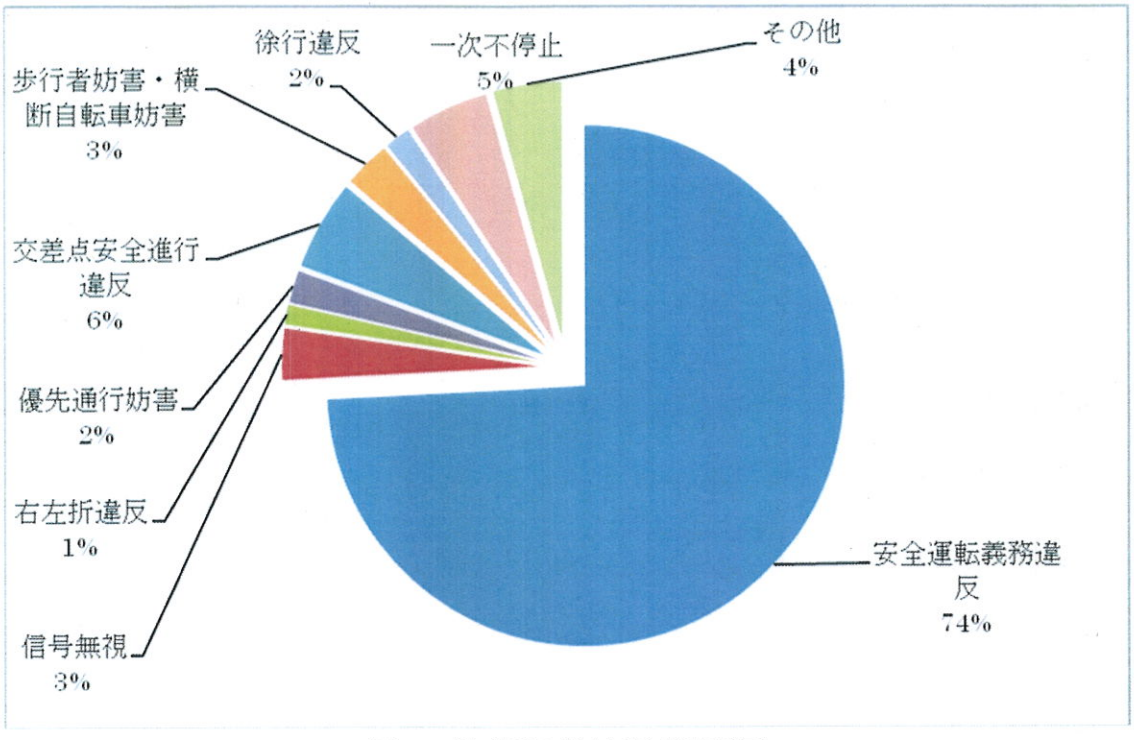


図 3　法令違反別交通事故原因

第３項　運転の愉しさ

運転の愉しさを知ること，自動車を好きになるということは結果として交通事故削減に繋がると考える．ここで注意したい点は超過速度などの攻撃的な運転を愉しさと伝えるのではないということである．本システムでは安全運転を行うことの愉しさを伝えることに着目している．具体的には法定速度内での適切なスピードコントロール，運転者・同乗者共に過度な疲労感を与えない操作など，「道路状況を乱さない・地球環境を犯さない・交通事故を起こさない」を満たす運転，すなわち公道を運転する上での”上手な運転”である．

運転の愉しさとは物体を自由に操る愉しさに起因するが，既存の操作技術に満足することなく，追求し続ける愉しさを与えることによってより高められる．加えて，操ることの愉しさを知っている人は更に高みを目指し，知らない人はソレを知ることができる．結果，運転に対する関心が高まり，一層集中した運転が実現すると考えた．

第４項　自動車システムの開発

自動車の制御や安全技術を提供する場合，守るべき項目が 8 つある．

①システムが動作する上でドライバーの意思や意図を確認できること

②システムは安全な運転となる支援を行うこと

③ドライバーはシステムの支援内容を確認できること

④ドライバーがシステムに過度の依存や不信を抱かず適正な信頼が得られること

⑤システムが行う制御をドライバーがオーバーライドできること

⑥システムの支援を超えたときドライバーへ運転操作の切り替えが円滑に行えること

⑦システムの動作により安全性が後退しないこと

⑧システムについて理解を得られる素地が社会に形成されていること

このように，ドライバーの操作が一番に考えられている．すなわち，根底としてドライバーが適切な運転を行える環境を与えることが最も重要だと言える．よって本研究では，最も事故件数の多い安全運転義務に対して，ドライバー自身が適切な対応を行えるように支援するためのシステムである．

第５項　運転技術と疲労

システムを構築するための指標として本研究では「運転疲労」に着目した．安全運転義務の多くは運転の注意力が関係している．自動車の運転によりドライバーは大小のストレスを受け，それが疲労となる．自動車事故の多くは運転者の注意力の不足・散漫によるが，注意力はドライバーの疲労度に大きく左右される．また，公道における運転技術とは安定した運転が必要とされる．従来の研究によって，危険を感じる運転やヒヤリハットが発生する状況では，ドライバーは極度の緊張状態(=疲労の溜まる状態)に陥っていることがわかっている．すなわち，運転における「運転ストレス」を基準とし運転技術の定量化を行うことで，結果として公道における”上手な運転”であると考えたからである．

第５節　　疲労とは

前節にて自動車の運転技術とは，ドライバーの疲労度合いと因果関係があるとした．自動車運転における疲労とはISO-6385 によれば，運転システムにおいて運転者の生理的・心理的状態を乱すように作用する外的条件や要求の総量を“運転負荷（外的負担)”，運転負荷が個人の特性や能力と関係して与える影響を“運転負担（内的反応)”とし，局所的あるいは全身的であるが病的でない運転負担の表れで，休憩によって完全に取り除くことができるものを指す．

疲労について気を付けたいことは「疲労」と「疲労感」，「疲労」と「ストレス」は異なるということである．一般に「疲労」は「疲労感」とほぼ同義語で使われている．すなわち，疲労は主観的な表現と解釈される傾向にある．しかし実際は「疲労」と「疲労感」とはまったく異なる．たとえば，つまらない単純作業はすぐに飽きて疲れてしまうが，やりがいのある仕事や楽しい作業は総じて疲労感が少ない．このように「疲労感」は意欲や達成感に大きく影響される．すなわち実際の「疲労」は「疲労感」とまったく別に存在する．「疲労感」とは異なる「疲労」とは，身体的あるいは精神的負荷を連続して与えられたときにみられる一時的な身体的および精神的パフォーマンスの低下現象と定義できる．パフォーマンスの低下は身体的および精神的作業能力の質的あるいは量的な低下を意味する．ようするに，「疲労」は現象を表している．その現象の原因となるのが「ストレス」である．「ストレス」とは生物学的には何らかの刺激によって生体に生じた歪みの状態を意味している．生体に生じた歪みは自律神経の活動に影響を与える．自律神経は，交感神経と副交感神経からなる．交感神経は，心拍数を増やし血圧を上昇させ人間が活動するのに必要な身体の条件を作るように働く．副交感神経は，心拍数を下げ血圧を下げ人間が休息するのに適切な身体状況を作る働きをしている．この２つの相反する神経の働きのバランスによって，身体全体として活動の方向か休息の方向に向いているのかが決まる．また一般に外界からストレスが加わると，交感神経が活動を強めることがわかっている．

第１項　疲労の定義

疲労とは外的条件や影響によって“運転負荷（外的負担)”が蓄積して行き，結果として“運転負担（内的反応)”が現れるということである．疲労の原因はストレスであることから，本研究では「外的条件や要求をストレス」「運転負担を疲労」として表す．すなわち，それぞれの関係は，「単位時間あたりの自動車運転でストレスが発生し，ストレスの積み重ねで疲労が溜まる.」ということである．よって，ストレスを定量化しこれを積算することによって疲労を得る．ストレスは自律神経の活動に影響を与える．具体的には交感神経の活動を強めることがわかっている．交感神経の活動は心拍変動を解析することによって調べることが可能である．したがって疲労とは，心拍変動を解析して得られる交感神経の活動量を積算した結果である．

第２項　疲労の取得方法

本研究における疲労は心拍変動を解析して得られる交感神経の活動量を積算した結果を用いる．心拍変動は心拍一拍ごとの変動を測定することにより心臓の自律神経緊張の指標となる．心拍変動の検討には，心拍の周期変動の周波数セに分をパワースペクトル解析する．心拍変動のパワースペクトル解析は 3 つの周波数領域に分けられる．

VLF：低周波数成分(0-0.05Hz)　交感神経活動一部副交感神経活動により影響を受ける

LF：中間周波数成分(0.05-0.20Hz)　交感神経と副交感神経活動によって影響を受ける

HF：高周波数成分(0.20-0.35Hz)　副交感神経活動によって影響を受ける

副交感神経刺激に対する迅速な心拍応答と，交感神経刺激に対する緩徐な応答のためそれぞれ交感神経，副交感神経優位の周波数帯の差が生ずる．また，これらの要素により交感神経活動を調べる．これを得るための要素を記す．

LF/HF：交感神経機能の指標として用いられる

心拍変動はドライバーに取り付ける生体センサから得られる RR 間隔を元に調べる．RR 間隔とは心臓の電気的ドライな活動の様子を記した時に鼓動単位でのピーク値の間隔を示す(心拍数の解析)．

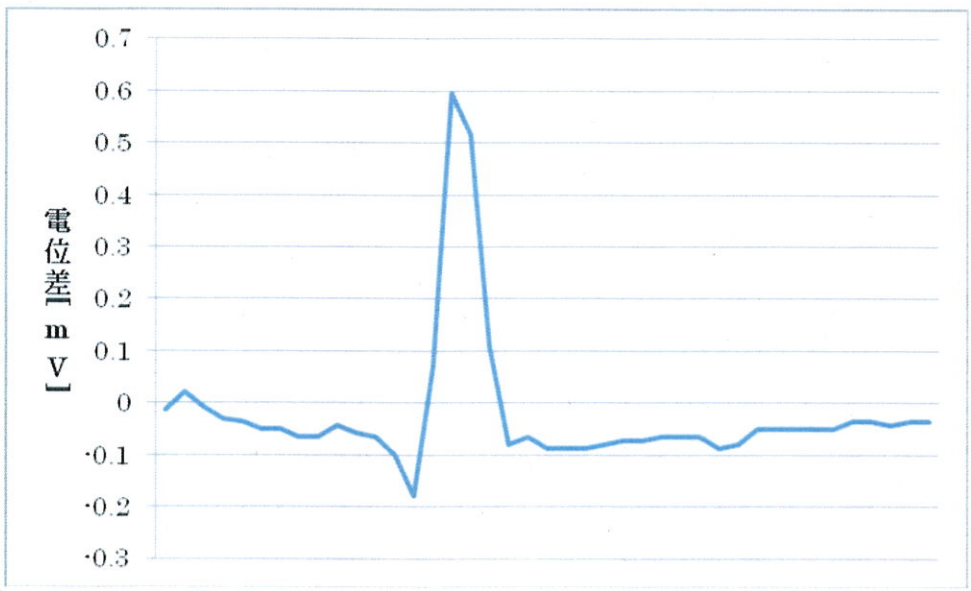


図 4　心電図

そして，この RR 間隔を解析することによって交感神経系の活動を知ることができる．交感神経とは自律神経系の一つで，運動や恐怖などによって活性化する．また，総じてストレスを感じるときに交感神経は活発に働く．すなわち，交感神経の活動イコールストレスと言える．本研究では運転中に測定した心拍変動より導く RR 間隔を元に調べる交感神経の活動を運転によるストレスだと考え，運転以外の要因は考えないものとする．実験結果で得られた交感神経の反応はすべて運転によって受けたストレスが原因だと考える．

第２章 研究目的

自動車運転技術の定量化を実現する.

第１節　　研究の新規性

運転技術の定量化は加速度センサを使用したエコドライブ評価システムや乗り心地判定システムが商品化されている．それに対して本研究は車速情報を用いて定量化に取り組む．新規性としては，疲労を評価基準としている点である．自動車におけるドライバーの疲労度合い(精神状態)を調べる試みは「運転手にセンサを取り付ける」「座席にセンサを取り付ける」等，身体的・金銭的に厳しい手段が殆どである．そして，測定で得られた情報のフィードバックは"休憩を促す"という一遍的なものである．本研究では疲労と車速の相関を調べることによって，疲れが表に出るのを事前予測する・疲れが現れにくい運転方法をアドバイスするなど，従来のシステムとは異なり一層ユーザに情報が提供できる．加えて「疲労」という一偏だけにとらわれず，総合的に運転技術として評価する．また，使用データは車速だけなので，非常に汎用性が高い.

第２節　　研究の進め方

第１項　目標

DR-9100(HORIBA 製ドライブレコーダ)より得られる車速データを用いて自動車運転技術の定量化を行う．ドライブレコーダは１分毎の最高速度・平均速度・最低速度が得られる．ドライブレコーダはデータ数が限られる代わりに管理・運用を容易にし，トラック業者やタクシー業者などの多数車両管理に向いている．しかしながら，データ数が非常に小さい為，自動車の挙動を調べる精度に難がある．そこで，Photomate887(GPS)より得られる車速データを用いて自動車運転技術の定量化を行う．GPS は 5Hz で位置情報とそれを元にした速度が得られる．すなわち，データ量が大きい分精度の高い結果を得ることが可能である．すなわち，本研究では GPS を用いて定量化システムを構築した後，そのノウハウを使ってドライブレコーダによる定量化システムを作成する．また，技量の基準は生体センサを用いたドライバーの疲労から作成する.

第２項　基礎研究と応用研究

基礎研究としてはじめに GPS を利用した，経験則を元にアルゴリズムを作成する．このアルゴリズムをヒューリスティクスアルゴリズムと呼ぶ．その後実験を行い，ヒューリスティクスアルゴリズムによる定量化システムの結果と生体センサによって得る運転ストレスの結果を比較する．「交感神経の活動が著しく少ない場合は慢性運転」「交感神経の活動が著しく多い場合は危険運転」と判断し，そのような生体反応が得られるときの車速データの特徴を割り出し，アルゴリズムに反映する．以上の作業を繰り返すことによって経験的ではなく論理的な運転技術の定量化システムを完成させる．そして，完成したアルゴリズムをオプティマイズアルゴリズムと呼ぶ．また，実験段階で観測できた結果は「運転疲労」を考えるときに疲労の原因や結果である．よってその方面においても参考にすることができる.

応用研究として，オプティマイズアルゴリズムを参考にドライブレコーダ向けのシステムの開発を行う．これによってユーザの使い勝手に応じてシステムを使い分けることが可能となる．また，得られた結果を元に数値を出力するだけでなく，その改善方法などをフィードバックする.

この流れを図 5 にフローチャートで記す.

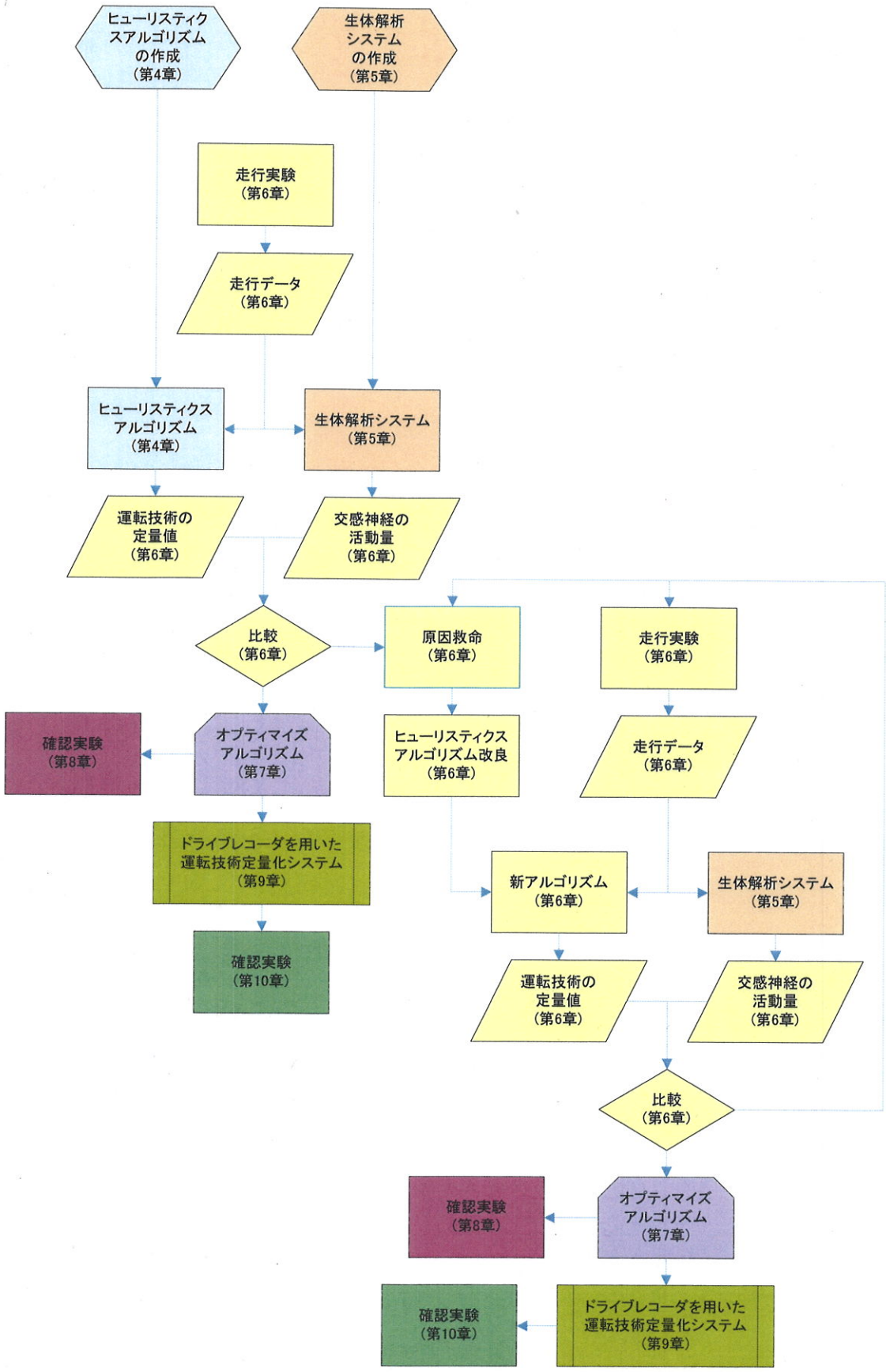

ヒューリスティクスアルゴリズムの作成（第4章）
生体解析システムの作成（第5章）
走行実験（第6章）
走行データ（第6章）
ヒューリスティクスアルゴリズム（第4章）
生体解析システム（第5章）
運転技術の定量値（第6章）
交感神経の活動量（第6章）
比較（第6章）
原因救命（第6章）
走行実験（第6章）
確認実験（第8章）
オプティマイズアルゴリズム（第7章）
ヒューリスティクスアルゴリズム改良（第6章）
走行データ（第6章）
ドライブレコーダを用いた運転技術定量化システム（第9章）
新アルゴリズム（第6章）
生体解析システム（第5章）
確認実験（第10章）
運転技術の定量値（第6章）
交感神経の活動量（第6章）
比較（第6章）
確認実験（第8章）
オプティマイズアルゴリズム（第7章）
確認実験（第10章）
ドライブレコーダを用いた運転技術定量化システム（第9章）

図 5　研究の流れフロー

第３章 使用機器

本研究で開発するシステムの装置や，実験で使用する機器について記述する．主に，データを取得するための装置やそれの取り付け対象である．自動車に取り付けるセンサは車速を取得し，ドライバーに取り付けるサンサは心拍データを取得するために用いる．

□ DR-9100(HORIBA 製ドライブレコーダ)

車速や定められた条件を満たすときに得られるイベントデータが得られるドライブレコーダである．走行データを 2 つの CSV ファイルに出力する．

運行データ:1 分毎の最高速度・平均速度・最低速度を出力
Event データ:検出されたイベントの種類と時間を出力

データは 1 分ごとにまとめられた出力が行われる．そのため細かい車体の挙動を直接得ることができないため，最高速度・平均速度・最低速度より解析・予測して挙動を調べる．表 1 に仕様を記す．

表 1 DR-9100 仕様

外形寸法	113(W)×92(D)×25(H)mm
電源電圧	DC12/24V
記録メディア	SDカード(２GB)
センサー入力	車速パルス入力
GPS	搭載

データ数が非常に小さい為，自動車の挙動を調べる精度に難がある．しかしながら，データ数が小さいことにより，携帯電話回線を用いて通信費用を掛けずにサーバーにデータを無線送信することが可能である．すなわち，データ管理の観点においては非常に有効である．その反面詳細な解析が行えない．そのため，実験で解析を行う場合は DR-9100 ではなく GPS を用いて行う．GPS で自動車の挙動と運転疲労の関係性を調べた後，その結果を参考に，DR-9100 を用いたシステムの開発を行う．表 2 に実験で使用する入力データ(csv)の一例を添付する．

表 2　DR-9100 からの入力データ(csv)

ファイルバ-	0											
CA18	2010/12/11974/06/(	2010/12/1	27181.44	1997/07/1	########	速度オーバ	35497269	1.39E+08	12	63.5	12	
CA02	########	速度オーバ	35502176	1.39E+08	49	79.1	284					
CA02	########	速度オーバ	35505643	1.39E+08	23	77.7	195					
CA02	########	速度オーバ	35527562	1.39E+08	37	96	688					
CA02	########	速度オーバ	35532243	1.39E+08	15	63.5	14					
CA19	2010/12/11974/06/(	1997/07/1	25569.03	0001/01/01	00:00:00							
日時	緯度	経度	測位	パルス速度	パルス速度	パルス速度	GPS速度(三	GPS速度(最	GPS速度(最	走行距離	外部入力	
2010/12/17 17:53	35445522	1.39E+08	A	5.4	24	0	4.5	20.7	0	88	32	
2010/12/17 17:54	35446562	1.39E+08	A	11.8	33.9	0	13.2	33.8	0	195	0	
2010/12/17 17:55	35447266	1.39E+08	A	9.8	26.8	0	8.9	26.9	0	162	0	
2010/12/17 17:56	35449553	1.39E+08	A	25.8	31	9.8	25.8	31.7	10.6	428	0	
2010/12/17 17:57	35451282	1.39E+08	A	28.6	40.9	4.2	30.4	43.6	14.3	475	0	
2010/12/17 17:58	35452089	1.39E+08	A	18.6	33.9	0	19.5	33.6	0	309	0	
2010/12/17 17:59	35452780	1.39E+08	V	14.9	25.4	0	15	25.9	0	246	0	
2010/12/17 18:00	35453492	1.39E+08	A	14.8	24	0	15.5	25.2	2.1	245	0	
2010/12/17 18:01	35453864	1.39E+08	A	7.5	29.6	0	9	29.3	0	124	0	
2010/12/17 18:02	35453522	1.39E+08	A	10	31	0	10.2	32.4	0	165	0	
2010/12/17 18:03	35453612	1.39E+08	A	3.9	15.5	0	4.7	15.7	0	64	0	
2010/12/17 18:04	35453702	1.39E+08	A	0	0	0	0.8	4.1	0	0	0	
2010/12/17 18:05	35453665	1.39E+08	A	0	0	0	1	9	0	0	0	
2010/12/17 18:06	35453716	1.39E+08	A	2.3	12.7	0	3.5	10.8	0	38	0	
2010/12/17 18:07	35454744	1.39E+08	A	20.2	35.3	0	20.1	36.5	0	335	0	
2010/12/17 18:08	35455468	1.39E+08	A	12.7	32.4	0	10.8	33.1	0	211	0	
2010/12/17 18:09	35456135	1.39E+08	A	11.7	32.4	0	11.5	30.9	0	194	0	
2010/12/17 18:10	35457330	1.39E+08	A	22.2	43.7	2.8	22.4	46.8	2.7	367	0	
2010/12/17 18:11	35460293	1.39E+08	A	33.7	40.9	19.7	33.1	41.7	18.6	559	0	
2010/12/17 18:12	35461906	1.39E+08	A	23.6	39.5	2.8	22	36	3.3	390	0	
2010/12/17 18:13	35463430	1.39E+08	A	14.5	32.4	0	16.6	35.5	0	240	0	
2010/12/17 18:14	35464449	1.39E+08	A	22.2	49.4	0	20.6	49.1	0	368	0	
2010/12/17 18:15	35464453	1.39E+08	A	11.5	31	0	11.3	24.6	0	190	0	
2010/12/17 18:16	35469297	1.39E+08	A	52.6	57.9	35.3	52.2	60.3	18.8	874	0	
2010/12/17 18:17	35470921	1.39E+08	A	17.4	52.2	0	19.5	56.1	0	289	0	
2010/12/17 18:18	35471056	1.39E+08	A	1.1	14.1	0	1.6	14.8	0	18	0	
2010/12/17 18:19	35472086	1.39E+08	A	19.1	46.6	0	18.2	48.6	0	317	0	
2010/12/17 18:20	35473989	1.39E+08	A	30.1	43.7	16.9	30.5	46	14.3	499	0	
2010/12/17 18:21	35476437	1.39E+08	A	36.2	46.6	25.4	36.9	48.2	26.3	601	0	
2010/12/17 18:22	35478242	1.39E+08	A	22.7	48	0	23.9	45.9	0	377	0	
2010/12/17 18:23	35478955	1.39E+08	A	10.8	39.5	0	9.2	38.6	0	178	0	
2010/12/17 18:24	35479692	1.39E+08	A	11.4	35.3	0	11.5	35.7	0	188	0	
2010/12/17 18:25	35481454	1.39E+08	A	24.8	52.2	0	24.8	51.9	0	412	0	
2010/12/17 18:26	35481887	1.39E+08	A	5.2	9.8	1.4	5.6	10.2	2.4	84	0	
2010/12/17 18:27	35482014	1.39E+08	A	1.5	8.4	0	1.6	9.3	0	23	0	
2010/12/17 18:28	35482411	1.39E+08	A	4.7	12.7	0	5	13.1	0	77	0	
2010/12/17 18:29	35482511	1.39E+08	A	2.2	22.6	0	1.7	22.9	0	37	0	

□Photomate887(GPS)

DR-9100 と反してサンプリング周波数 5Hz と多く，細かい車体の挙動を直接得ることができる．詳細なデータが取得できる反面データ量が多い点がデメリットである．表 3 に仕様を記す．実験では GPS による車速を解析した挙動結果と，交感神経の活動量を比較する．この結果を用いて DR-9100 を用いた運転技術の定量化システムを構築する．また，GPS では車速だけでなく，標高や走行位置・進行方向も割り出すことができるため非常に応用が効く．本研究はサンプリング間隔 5Hz で行う．表 4 に入力データの一例を記す．

表 3 Photomate887 仕様

精度	位置:3m 速度:0.1m/s
更新レート	5Hz
感度	-148dBm
最大速度	515m/s
加速限界	4G
出力形式	NMEA 0183 v3.01
測地系	WGS-84

表 4 Photomate887 からの入力データ(csv)

RCR	TIME	VALID	LATITUDE	LONGITUD	HEIGHT	SPEED	HDOP	NSAT
T	10:04.0	SPS	35.92329	139.6188	20.7	0.463	1.8	4
T	10:04.2	SPS	35.92329	139.6188	21.7	0.426	1.8	4
T	10:04.4	SPS	35.9233	139.6188	23	0.167	1.8	4
T	10:04.6	SPS	35.92331	139.6188	24	0.222	1.8	4
T	10:04.8	SPS	35.92331	139.6188	24.5	0.593	1.8	4
T	10:05.0	SPS	35.92331	139.6188	25	0.463	1.8	4
T	10:05.2	SPS	35.92331	139.6188	25.3	0.074	1.8	4
T	10:05.4	SPS	35.92331	139.6188	25.2	0.241	3.8	4
T	10:05.6	SPS	35.92329	139.6188	24.9	0.444	1.8	4
T	10:05.8	SPS	35.92328	139.6188	24.5	0.63	1.8	4
T	10:06.0	SPS	35.92327	139.6188	24.2	0.87	1.8	4
T	10:06.2	SPS	35.92327	139.6188	23.6	1	1.8	4
T	10:06.4	SPS	35.92326	139.6188	23.2	0.907	1.8	4
T	10:06.6	SPS	35.92327	139.6188	23	0.648	1.8	4
T	10:06.8	SPS	35.92328	139.6188	22.7	0.444	1.8	4
T	10:07.0	SPS	35.92328	139.6188	22.5	0.389	1.8	4
T	10:07.2	SPS	35.92329	139.6188	22.3	0.389	1.8	4
T	10:07.4	SPS	35.92329	139.6188	22.3	0.482	1.8	4
T	10:07.6	SPS	35.92329	139.6188	22.2	0.667	1.8	4
T	10:07.8	SPS	35.92329	139.6188	22	0.796	1.8	4
T	10:08.0	SPS	35.92329	139.6188	21.9	0.778	1.8	4
T	10:08.2	SPS	35.92329	139.6188	21.8	0.722	1.8	4
T	10:08.4	SPS	35.92329	139.6188	21.6	0.685	1.8	4
T	10:08.6	SPS	35.92329	139.6188	21.6	0.63	1.8	4
T	10:08.8	SPS	35.92329	139.6188	21.5	0.426	1.1	7
T	10:09.0	SPS	35.92329	139.6188	21.4	0.389	1.1	7
T	10:09.2	SPS	35.92329	139.6188	21.4	0.352	1.1	7

□RF-ECG(生体センサ)

実験で使用する生体センサである．サンプリング間隔は 102Hz で行う．ドライバーに取り付け，心拍を取得するために用いる．本研究では心拍の変化から心拍変動を取得し，交感神経の活動量を調べる．交感神経の活動はイコールストレスであり，ストレスは疲労の原因となる．生体センサの仕様を表 5 に記す．

表 5 RF-ECG 仕様

入力インピーダンス	100MΩ以上
ゲイン	60dB
低域遮断周波数	0.16Hz
高域遮断周波数	100Hz
サンプリングレート	100Hz

RF-ECG は実験で取得した心拍情報を元に交感神経の活動量を調べ，車速との相関を調べるために使用する．自動車の運転技術は運転疲労との因果関係が強く，よりストレスの少ない運転が行えることが優れた運転技術だと考えたためである．そこで車速を元に自動車の挙動を解析し，交感神経がより多く活動する自動車の挙動は下手な運転だと定義することができる．本センサはその指標となる交感神経の活動量を調べるために用いる．

表 6 RF-ECG からの入力データ(csv)

start time	2011/10/27	10:09:26	samples	483994			
no	sampling(Hz)	timestamp	ecg(mV)	x(g)	y(g)	z(g)	℃
1	102	14331	−0.036	−0.11	0.85	−0.48	23.9
2	102	14332	−0.007	−0.1	0.86	−0.48	23.9
3	102	14333	−0.05	−0.1	0.88	−0.48	23.9
4	102	14334	−0.036	−0.11	0.87	−0.48	23.9
5	102	14335	−0.05	−0.11	0.87	−0.48	23.9
6	102	14336	0	−0.1	0.86	−0.48	23.9
7	102	14337	0.007	−0.09	0.85	−0.49	23.9
8	102	14338	0	−0.1	0.86	−0.48	23.9
9	102	14339	−0.022	−0.08	0.88	−0.5	23.9
10	102	14340	−0.014	−0.1	0.86	−0.49	23.9
11	102	14341	−0.007	−0.1	0.86	−0.49	23.9
12	102	14342	−0.014	−0.1	0.85	−0.48	23.9
13	102	14343	−0.029	−0.1	0.87	−0.48	23.9
14	102	14344	−0.036	−0.1	0.86	−0.48	23.9
15	102	14345	−0.029	−0.08	0.87	−0.49	23.9
16	102	14346	−0.007	−0.1	0.84	−0.49	23.9
17	102	14347	−0.022	−0.1	0.85	−0.49	23.9
18	102	14348	−0.05	−0.11	0.85	−0.49	23.9
19	102	14349	−0.014	−0.09	0.85	−0.48	23.9
20	102	14350	−0.079	−0.1	0.86	−0.47	23.9

□実験対象

実験で対象とするドライバーや自動車を記す．実験車両は複数台仕様したが，ドライバーは一人だけである．また，ドライブレコーダは三菱 FTO のみに取り付ける．

実験ドライバー	→	恩田圭輔　運転歴 6 年　健康状態良好
実験車両	→	三菱:FTO　V 型 6 気筒 2000ccNA　5MT
実験車両	→	フォード:フォーカス　直列 4 気筒 1600ccNA　5AT

第４章 GPS を用いた定量化ヒューリスティクスアルゴリズム

はじめに，ヒューリスティクスアルゴリズムを作成する．実験や解析の精度を重視するために入力情報には GPS で取得する車速を用いる．ヒューリスティクスアルゴリズムとは，実験データや研究的理論の決定的な裏付けを持たないアルゴリズムである．主に，「行政や法律で定められた数値や基準」「一般的な知識」「著者の主観」を元に作成する．

第１節　　運転技術の指標

ヒューリスティクスアルゴリズムを作成するにあたり，運転技術の指標を定める．評価基準は次の 3 テーマに分けて取り決める．それぞれの信頼度の高さは表記する順番に準拠する．「行政や法律で定められた数値や基準」「一般的な知識」「著者の主観」

「行政や法律で定められた数値や基準，心得」

- 法定速度
- ふんわりアクセル e スタート
- 加減速の少ない運転
- 早めのアクセルオフ
- 道路における危険を防止する
- その他交通の安全と円滑を図る
- 道路の交通に起因する障害の防止に資する

「一般的な知識」

- 流れに沿った運転
- 急のつく動作をしない
- 同乗者が安心して乗れる運転
- 周囲に危険を与えない運転

「著者の主観」

- 低発進時は振動を与えないほどスムーズに
- テールランプを無闇に点灯させない
- 車間距離は前車より 2 秒あける
- ヒヤリハットの発生は運転技術の乱れが原因

また，運転技術の良し悪しは前提として「運転における疲労(ストレス)と相関を持つ」という考えに基づいている．すなわち，ここで定めた運転技術の評価基準は絶対ではない．今後の実験によって変動する．

第２節　運転技術と自動車挙動の定性的関係

運転技術の指標を元に定量化を行う．入力情報は速度と，計算で導く加速度である．出力はストレス値と比較しやすいように下手な運転度合い"Poor Point "の数値で行う．同時に，数値を元に「GOOD」「NOMAL」「POOR」の 3 段階評価を行う．

Poor Point は以下のように定める．運転技術の指標より，著しい速度の変化は危険な運転(上手ではない運転)と仮定することができる．よって，加速度と比例した PP を加算する．また，今後は正の加速度を加速度，負の加速度を減速度と呼ぶ．すなわち，加速度が発生するときと減速度が発生するときに Poor Point が与えられる．加えて，法令を違反した運転に対して PP を加算する．すなわち，速度が法定速度を守られていない場合に PP が加算される．以上の要因から Poor Point の定性的関係を以下に定める．

(a) Poor Point は減速を行う減速度に比例する(減速 PP と呼ぶ)

(b) Poor Point は加速を行う加速度に比例する(加速 PP と呼ぶ)

(c) Poor Point は法定速度を超える運転時間に比例する(速度 PP と呼ぶ)

よって，Poor Point は各要素に比例定数を掛けた結果で得ることができる．この比例定数を重みと呼ぶ．これらを式 1-4 にまとめる．

$$PPd(k) = Cd \times acc_d(k)$$ **数式 1 減速 PP**

$$PPa(k) = Ca \times acc_a(k)$$ **数式 2 加速 PP**

$$PPv(k) = Cv \times v(k)$$ **数式 3 速度 PP**

$$PoorPo\mathrm{int}(k) = PPd(k) + PPa(k) + PPv(k)$$ **数式 4 Poor Point**

運転の評価は「GOOD」「NOMAL」「POOR」の 3 段階評価を行う．この結果は Poor Point が閾値に対して大きいかどうかで判定を行う．

第３節　　ヒューリスティクスアルゴリズム概要

前節の定性的関係よりヒューリスティクスアルゴリズムを作成する．ヒューリスティクスアルゴリズムとは，経験則に基づいて作成するアルゴリズムである．はじめに，運転技術を定量化した出力を Poor Point (下手な運転度合い)で表すと定めた．そして，Poor Point を得るために前節で定めた定性的関係を使用する．よって，Poor Point は速度や加速度に比例定数(重み)を掛け合わせることで算出する．また，比例定数は経験則によって設定した．この取り組みを図 6 にフローを示し，詳細を説明する．

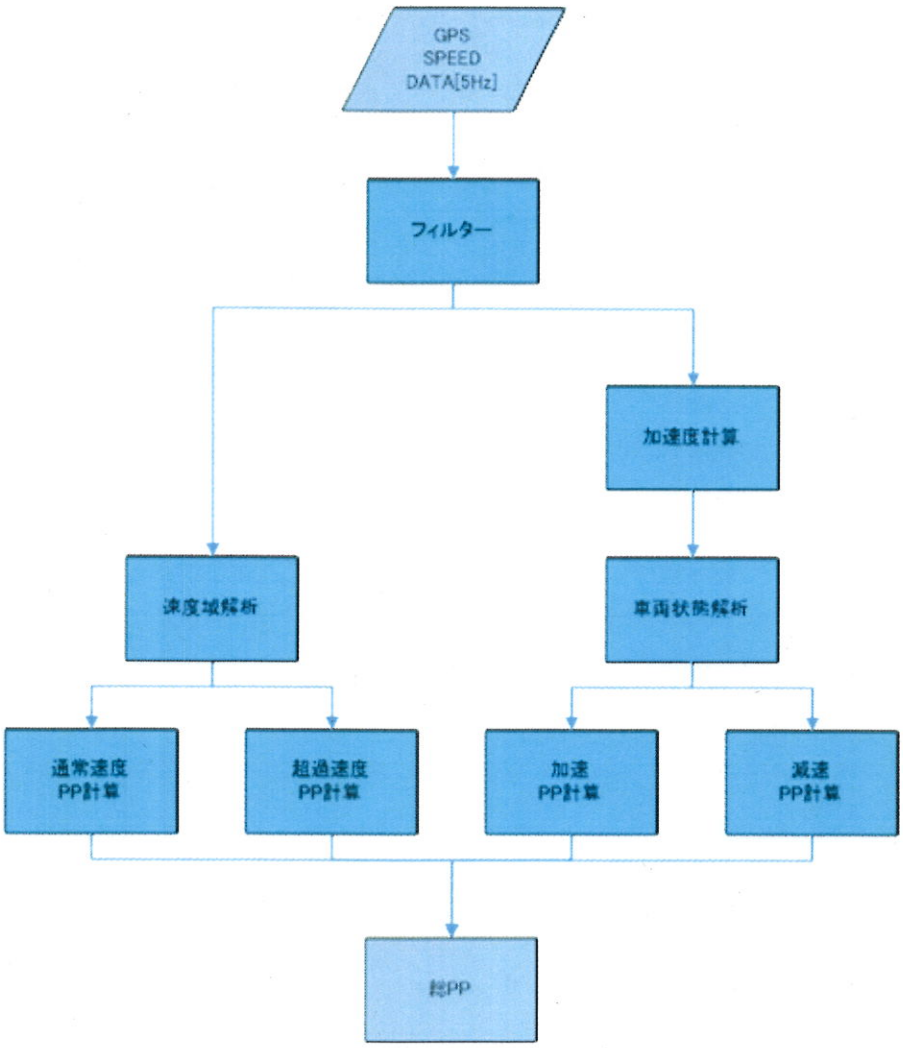


図 6　ヒューリスティクスアルゴリズムフロー

GPS で得られる情報を元に Poor Point を算出する．使用する GPS データは 5Hz の速度情報である．入力情報にフィルター処理を行ったのち，速度を微分し，加速度を得る．その後，速度・加速度に比例定数をかけ合わせて Poor Point を算出する．以下詳細を説明する．

第１項　フィルター処理

GPS で取得した速度情報には誤差や微細な変化も含まれる．本研究で使用したい速度データは「加速度が判断できる」「減速度が判断できる」「定速走行が判断できる」「停止状態が判断できる」という４要素を検出できればよい．このことより GPS から取得した生データにフィルター処理を施し，要素検出を行いやすくする．わかりやすくまとめたフィルターの内容は以下である．

「速度が 0.04km/h 未満はすべて 0.00km/h とする」
「前データとの速度差(加速度)が 0.04km/h 未満はすべて速度変化がないこととする.」

第２項　加速度計算

現時間データから前時間データの速度を引いた値である．正の結果を加速度，負の結果を減速度と呼ぶ．以下に計算式を記す．

$$acc(k) = v(k) - v(k-1)$$

数式 5 加速度

第３項　速度 PP 算出方法

速度 PP は定性的関係の一つである「Poor Point は法定速度を超える運転時間に比例する」という考えを用いる．すなわち，速度に対して比例定数(重み)を掛けることで導く．これを式 6 で表す．

$$PPv(k) = Cv \times v(k)$$

数式 6 速度 PP

また，重みは速度域に応じて変化するように設定した．これは法定違反を考慮に入れた為である．表 7 に重みとその条件を示す．

表 7 速度 PP の重み変化

条件	重み(Cv)
30km/h未満	0.025
30km/h以上 50km/h未満	0.01
50km/h以上 70km/h未満	0.015
70km/h以上	0.04

第４項　加速 PP 算出方法

加速度の計算結果が正であるとき，その時間は加速していると考える．加速 PP は定性的関係の一つである「Poor Point は加速を行う加速度に比例する」という考えを用いる．すなわち，加速度に対して比例定数(重み)を掛けることで導く．ヒューリスティクスアルゴリズムではこの重みを 1.5 とした．これを式 7 で表す．

$$PPa(k) = Ca \times acc_a(k)$$

数式 7 加速 PP

(Ca=1.5)

第５項　減速 PP 算出方法

加速度の計算結果が負であるとき，その時間は減速していると考える．減速 PP は定性的関係の一つである「Poor Point は減速を行う減速度に比例する」という考えを用いる．すなわち，減速度に対して比例定数(重み)を掛けることで導く．ヒューリスティクスアルゴリズムではこの重みを 2.0 とした．これを式 8 で表す．

$$PPd(k) = Cd \times acc_d(k) \qquad \text{数式 8 減速 PP}$$

(Cd=2.0)

第６項　総 Poor Point 算出方法

PP は前にも述べたとおり，交感神経の数値と近似する関係をもつ．交感神経の計算は通常１分間分の心拍数を解析して算出する．今回比較に使用する解析アルゴリズムもその道理である．よって，比較解析を行いやすいように，Poor Point の出力として１分ごとにまとめたデータを用いる．すなわち，サンプリングを 5Hz で行なっているため，300 個分の各 PP を積算した結果が Poor Point として出力される．これを式 9 で表す．

$$PoorPo\,\mathrm{int}(n) = PPd(m) + PPa(m) + PPv(m) \qquad \text{数式 9 Poor Point}$$

$$m = \sum_{1+(n-1)\times 300} n \times 300$$

第７項　運転評価

「POOR」「NOMAL」「GOOD」の３段階評価で運転の評価を表示する．また，最終的に製品としてシステムを構築した場合の出力に当たる．PP の数値の大きさに総じて割り当てを行う．また，同時に交感神経のデータを用いた評価方法についても記述する．出力内容は 1 分ごとに行う．また，これらの平均が総合評価となる．この結果が類似した出力が行えれば，本システムは完成したといえる．表 8 に Poor Point の運転評価を，表 9 に交感神経活動量の運転評価を記す．

表 8 Poor Point の評価割り振り

条件	評価
50 ≦ Poor Point	POOR
35 ≦ Poor Point < 50	NOMAL
Poor Point <35	GOOD

表 9 交感神経活動量の評価割り振り

条件	評価
50 ≦ LF/HF，LF/HF < 10	POOR
35 ≦ LF/HF <50	NOMAL
10 < LF/HF <35	GOOD

第８項　ヒューリスティクスアルゴリズム出力

定量化システムにおける出力について記述する．この内容が運転技術を解析した結果であり，ユーザでフィードバックすることで交通事故削減を実現する．

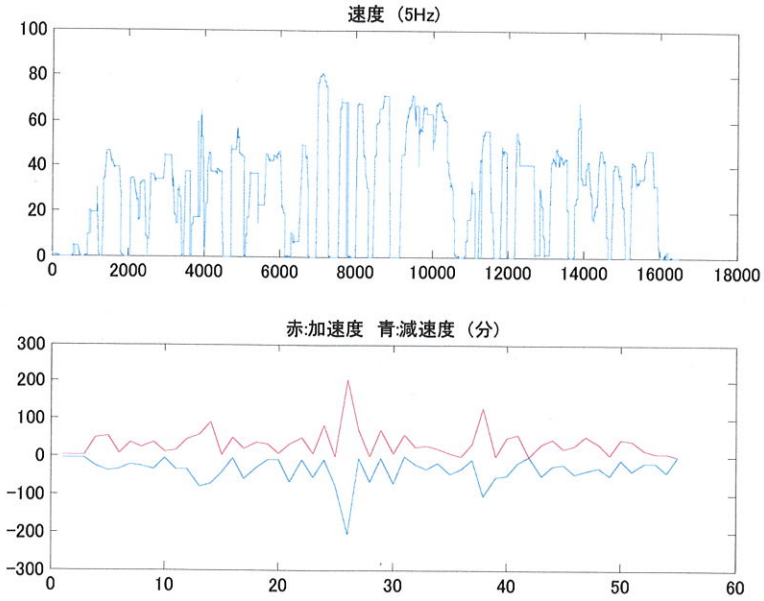


図 7 車速・加速度の出力例

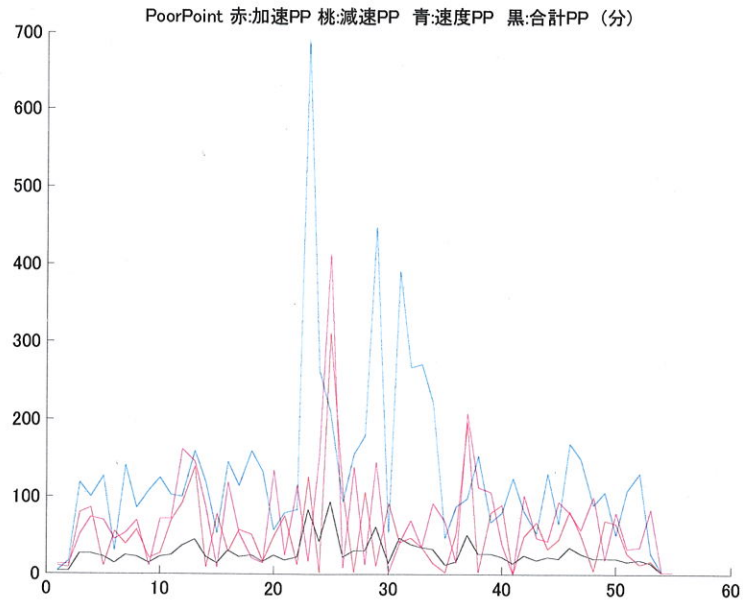


図 8 PoorPoint の内訳出力例

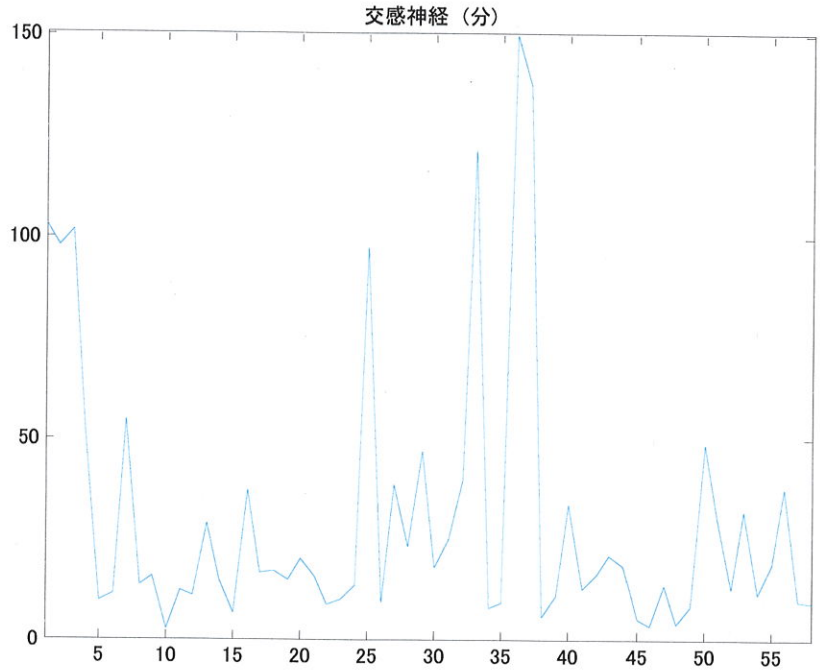


図 9 交感神経活動量の出力例

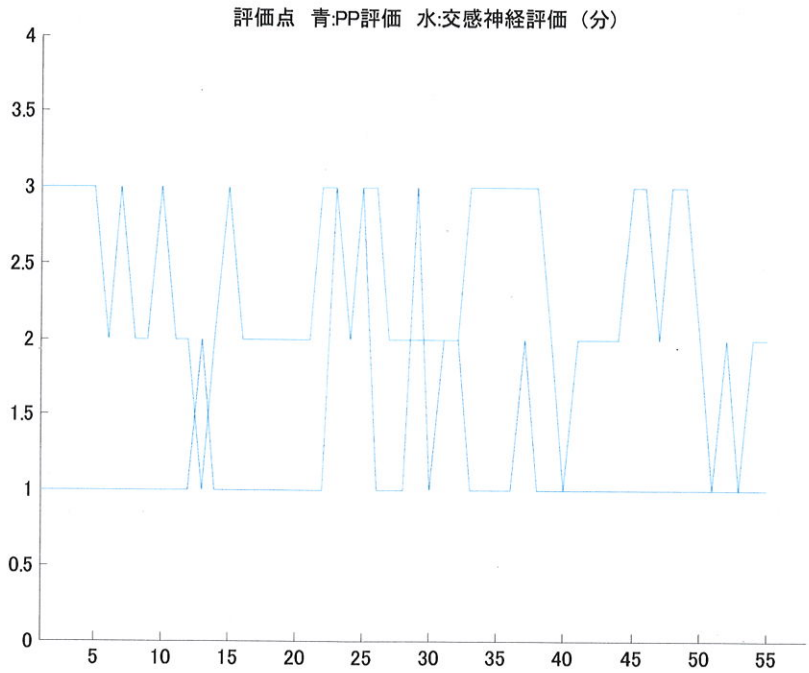


図 10 運転評価の出力例

第５章 RF-ECG を用いた生体解析システム

RF-ECG を用いた生体解析システムについて説明する．心拍変動を用いた解析は自律神経の活動の様子を調べることが可能である．本研究では自律神経の中でも，生態的にストレスを表す交感神経の活動量を知りたい．そこで，生体センサを用いて取得した結果より交感神経活動量を得るためのシステムを作成する．また，交感神経の活動量を得る手法は確立しているため，ここではその概要について説明する．

第１節　　心拍変動と人体との関係

自律神経を調べるにあたって，深く関係があるのが心拍である．人の心拍動は安静時において規則正しく行われているのではなく，実際は絶えず変動を行っている．これは呼吸や体循環の調節に伴う自律神経によるものである．そのため，十分量の自律神経遮断薬を投与された人間の心臓や，自律神経が遮断された状態である移植された心臓は心拍動の揺らぎはなくなり規則正しいリズムを刻むようになる．

この心拍のゆらぎを心拍変動（Heart Rate Variability）と呼び，心電図で得られる心拍波形の R 派と R 派の心拍動間隔(RRI：R-R Interval)から算出することができる．

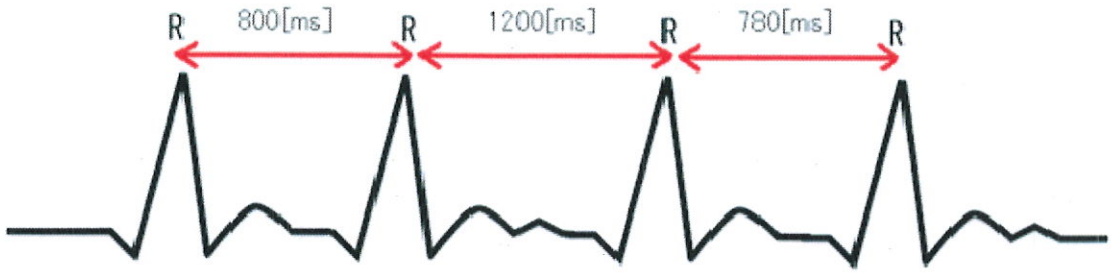


図 11 RRI

心拍変動（Heart Rate Variability）をスペクトル解析することによって，自律神経の機能をはじめとした健康に関する重要な情報を得ることが出来る.心拍変動の周波数帯は主に 3 つの領域に分かれる．

第２節　　心拍変動の周波数帯領域

心拍は，安静時において規則正しく行われているのではなく，実際は絶えず変動を行っている．しかしカオスな変動ではなく自律神経の影響を受け，一定のリズムをとりながら変動を行っている．そこで心拍変動を周波数解析することによって，自律神経を周波数で見ることが可能になる．

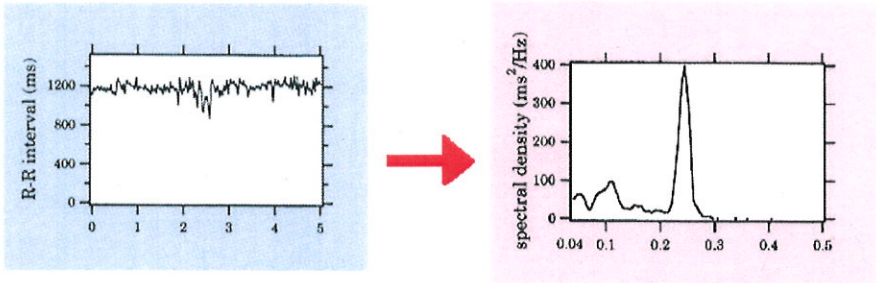


図 12 心拍変動の周波数帯領域

VLF:　超低周波数成分（0-0.05Hz）：

体温調整系，血管運動,ホルモン等多様な心肺機能が関連する．

LF:　低周波数成分（0.05-0.20Hz）：

交感神経活動と副交感神経活動の指標となり，精神的ストレスに関連する．交感神経が活発になると血圧，心拍数，血糖値が上昇し，筋肉の緊張が高まりストレスに対応しやすい状態を作る．

HF:　高周波数成分（0.20-0.35Hz）：

副交感神経の指標となり，呼吸活動に関係する．呼吸周期や心拍運動とも関係が深く，副交感神経が活発になると血圧低下や筋肉の弛緩が認められリラックス状態を作る．

第３節　　疲労ついて

心拍変動に周波数解析を行い自律神経の特徴が見られる周波数帯に着目することで疲労の指標となるものを考えることが出来る．生態的なストレスが加わると低周波領域のパワーが相対的に上昇し，規則的な呼吸性変動(0.2～0.3 Hz)が減少する．よって，これらの周波数帯のパワーを積分することで得られた値のLF/HF値が大きいほどストレス状態となる．すなわち，本研究ではLF/HF値を疲労度合いの指標として扱うことにする．

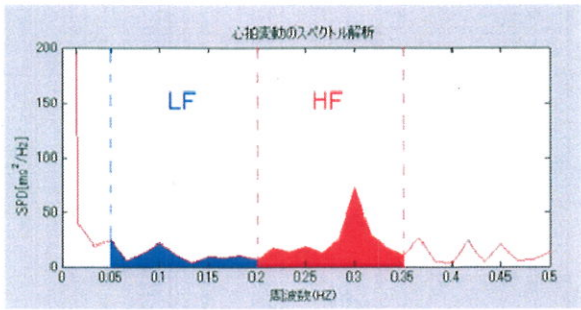


図 13 心拍変動のスペクトル解析

第６章 ヒューリスティクスアルゴリズム基礎実験

ヒューリスティクスアルゴリズムをオプティマイズアルゴリズムへと近づけるために実験を行う．

第１節　　実験内容

はじめに各種センサや記録媒体を取り付ける．ドライバーには生体センサ．車体にはGPS，動画撮影用のカメラを取り付ける．自動車はフォードのフォーカスと三菱のFTOを用いる．ドライバーはすべての実験において同一人物である．実験回数は14回行った．この結果を用いて，アルゴリズムの最適化を図る．最適化の手法は強化学習を用いて重みの値を求める．また，実験動画と交感神経の活動量を比較し，運転における疲労の原因を調べる．

第２節　　実験結果

複数回行った実験の一部を用いて考察をまとめる．本実験は11月27日にフォードフォーカスを用いて法政大学小金井キャンパスから埼玉県大宮駅まで走行した実験と，同じく11月27日にミツビシFTOを用いて埼玉県大宮駅から法政大学小金井キャンパスまで走行した実験の結果を考察する．それぞれの走行は環境や車体が異なるが，疲労の原因を調べた結果が等しければその原因の信憑性が高いといえる．

◇11月27日フォードフォーカス

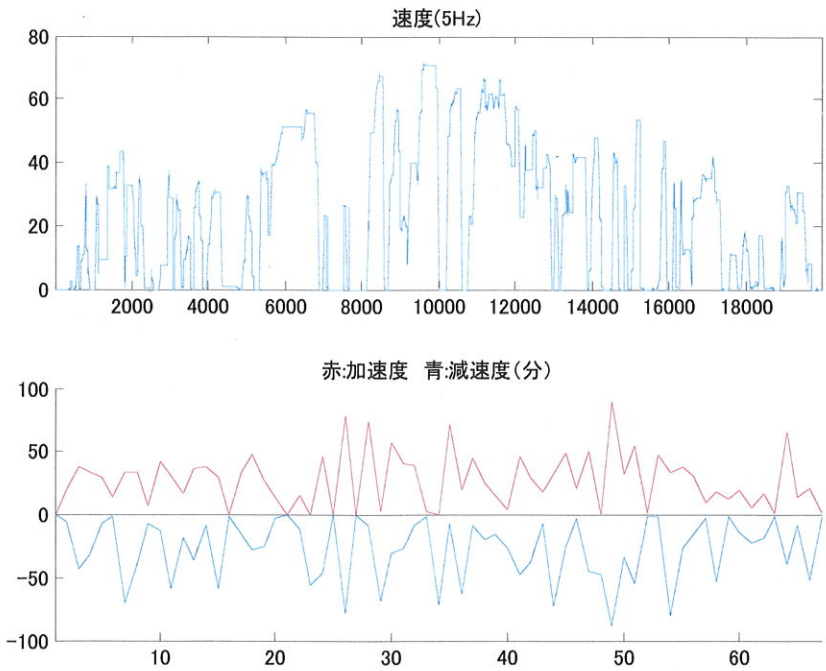


図 14 車速と加速度

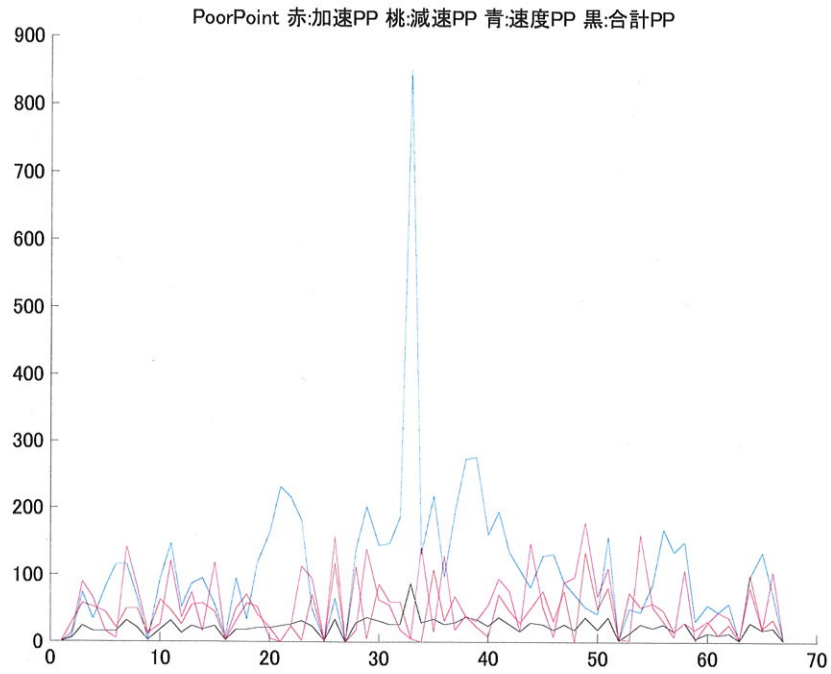


図 15 Poor Point 内訳

Poor Point を求めるための定性的関係は以下の 3 項目である

(a) Poor Point は減速を行う減速度に比例する

(b) Poor Point は加速を行う加速度に比例する

(c) Poor Point は法定速度を超える運転時間に比例する

Poor Point を得るにあたってこの 3 つをそれぞれ確認する．この結果より，速度 PP が高い出力をしている様子が観測できる．また，この時の比例定数(重み)は強化学習を用いて補正する．

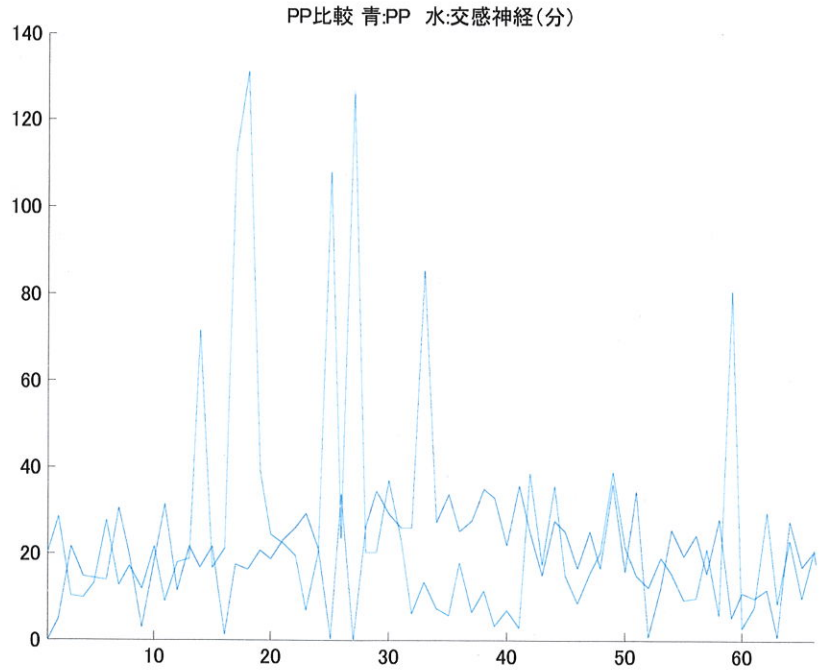


図 16 PP と交感神経活動量の比較

図 16 は Poor Point と交感神経活動量を示す．10 分～30 分の間は交感神経の反応が著しく多いときがあり，動画を確認するといずれも停止を行なっているときであった．すなわち，交感神経は車両が停止しているときに活動している．官能評価においても同じ結果が伺えた．それは，停止後に鼓動の激しさを感じる結果や，発進直前に鼓動の激しさを感じるという結果である．

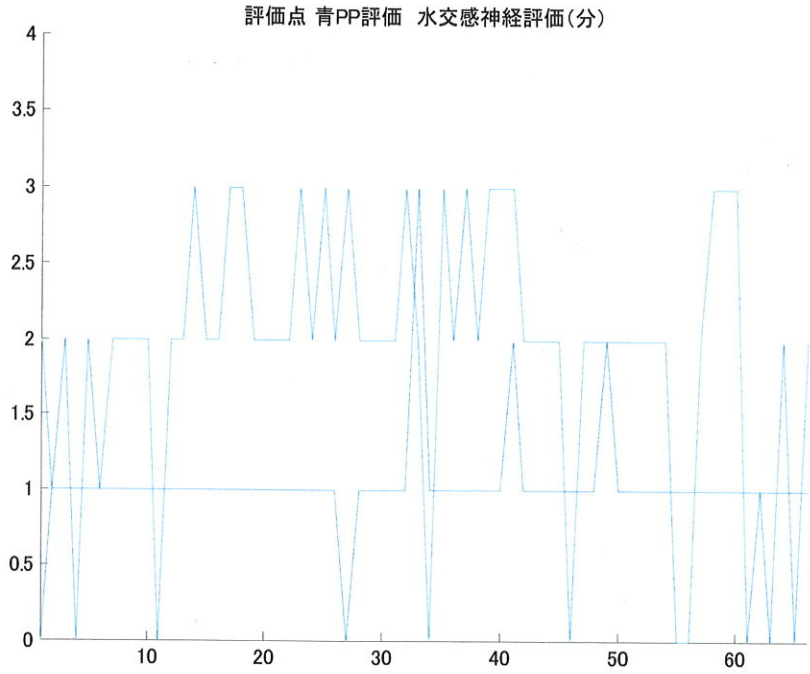


図 17 運転評価

図 17 に運転評価の結果を記す．この結果が最終的な出力としてドライベーへ運転技術の評価を下す指標となるものである．数値が高いほど下手な運転，低いほど上手な運転であることを示す．

今回の結果は Poor Point と交感神経で出力結果がかけ離れて(相関係数=0.07)おり，Poor Point のアルゴリズムだけでなく評価基準も再考する必要があるかもしれない．

◇11 月 27 日ミツビシ FTO

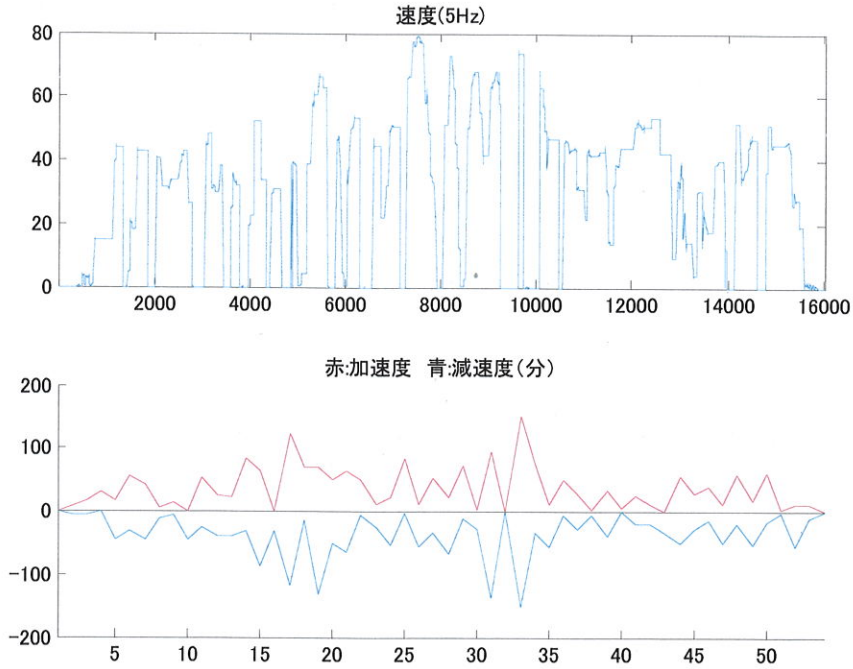


図 18 車速と加速度

以降，ミツビシの FTO で走行した時の解析結果を記す．図 18 は走行結果の車速とその加速度である．

前回のフォードフォーカス同様の運転手と走行ルートである．また，異なる点として車両以外に走行時間帯(こちらは夜間に走行)である．道路状況は渋滞もなく，比較的一般的な走行をおこなったと考える．

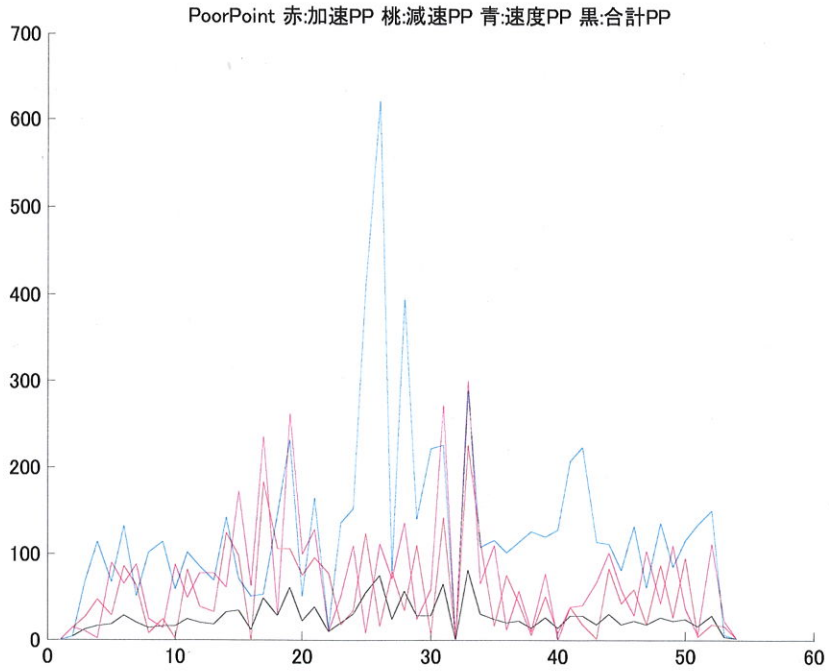


図 19 Poor Point の内訳

図 19 では Poor Point を求めるための各 PP を分けて記す．フォーカスでの結果と同様速度 PP が高い出力をしている様子が観測できる．そこで，比例定数(重み)を強化学習の考え方を元に補正を行う．また，過剰な出力が確認できる時間帯は速度情報と合わせて確認すると，超過速度(70km/h 以上)と判断された時であることが伺える．

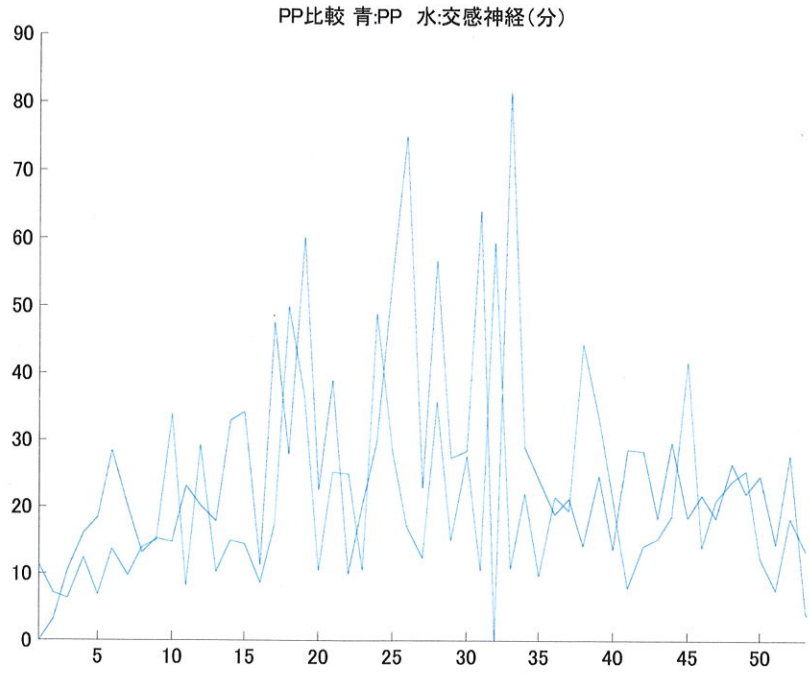


図 20 Poor Point と交感神経活動量比較

図 20 は Poor Point と交感神経活動量を示す．フォーカスの時と同様に 32 分の時の結果で，交感神経の活動が著しく反応している反面，Poor Point が小さい出力である．このときの車速データと比較すると，長時間の停止を行なっている様子がわかる．

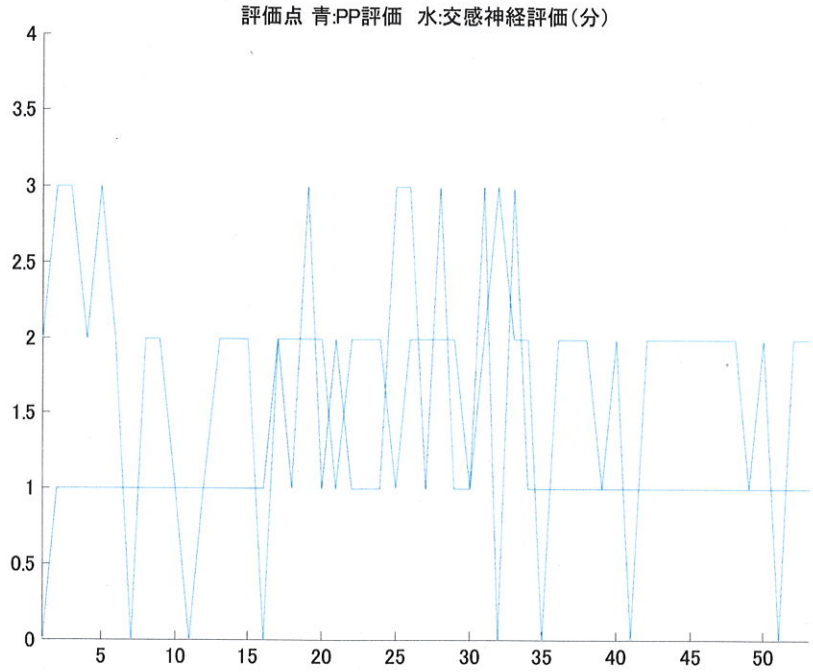


図 21 運転評価

図 21 に運転評価の結果を記す．中盤の時間帯に下手な運転だと判断された瞬間が多く観測できる．この結果は中盤の時間帯では早い速度での運転が多く，同時に加速度が大きくなっていることが原因だと考えられる．交感神経の活動についても，この時間帯によい評価がでることはなく，加減速の大きさと交感神経の活動量は比較的相関していると考えられる．

第３節　　考察と改良

以上の結果を元に交感神経が活動をする条件をまとめる．その条件を元に Poor Point を得るためのアルゴリズムを改良する．

第１項　アルゴリズムの改良内容

① 停止するとき，またはしているときに交感神経が著しく反応している

車速のデータより，「停止」を検知する．「停止」を判断した場合は Poor Point が大きく出力されるとよい．具体的には「停止」と判断した前の時間における減速 PP を算出するための重みを大きくする．

「停止」の条件は速度=0 の時とした．減速 PP は「停止」と検知したときより前の連続した減速を「停止するための減速」と判断し，重みを増す．また，停止直後の 3 秒間はより大きい重みを与えた．この時の減速 PP は，新たに停止 PP として算出結果の合計を「停止」した時間に与える．また，長い停止時間(3 秒以上)の場合は定量値として停止 PP に 1 秒ごとに 5PP 加算する．

② 各 PP の出力が多すぎる場合，少なすぎる場合がある

最も確認しやすいものは速度 PP が原因で交感神経のグラフと比べて，PP の出力が大きくなりすぎてしまう時間帯があることである．また，減速を行うときの交感神経の反応は PP と比べて大きく出力されている場合も多い．そこで，各 PP を求めるための比例定数(重み)を操作する．主に強化学習を用いて参考値を導き，その結果を元に重みを変化させた．

第２項　改良後の解析結果

前項を元にアルゴリズムを改良した．同実験の結果を用いて，再度解析を行った結果を記す．

◇11 月 27 日フォードフォーカス

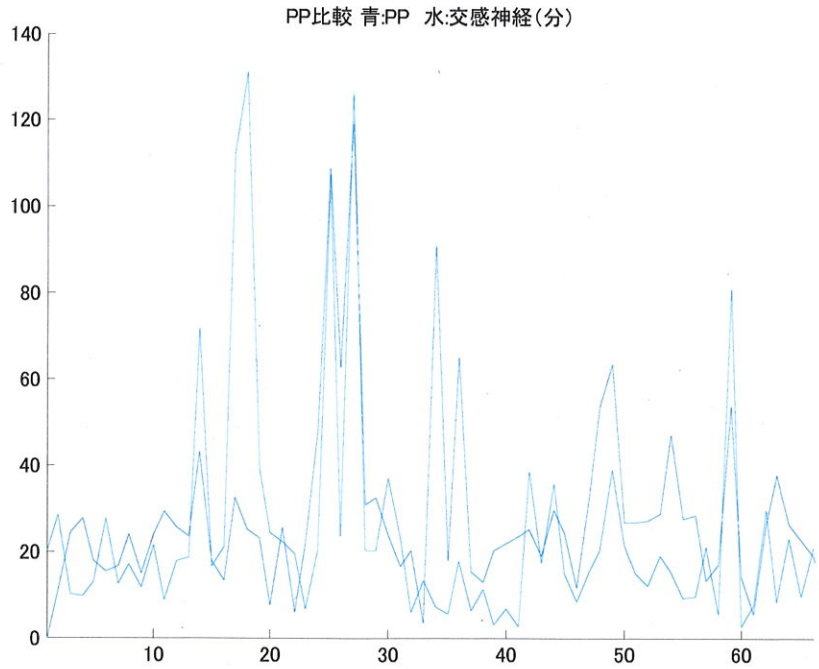


図 22 Poor Point と交感神経活動量比較

「停止」を Poor Point の上昇条件に加えた為，停止を行ったときに反応していた交感神経活動の結果に対して，同程度の結果を出力している様子がわかる．しかしながら，時間帯によっては Poor Point が交感神経の反応に対して大きく出力しすぎてしまっている時間帯もある．また，重みに緩急を与えたため，特徴となる状況(急な速度の変化や停止など)以外では出力が安定した．そのため，特徴的な運転を行った時の反応が顕著に確認できる．

◇11 月 27 日ミツビシ FTO

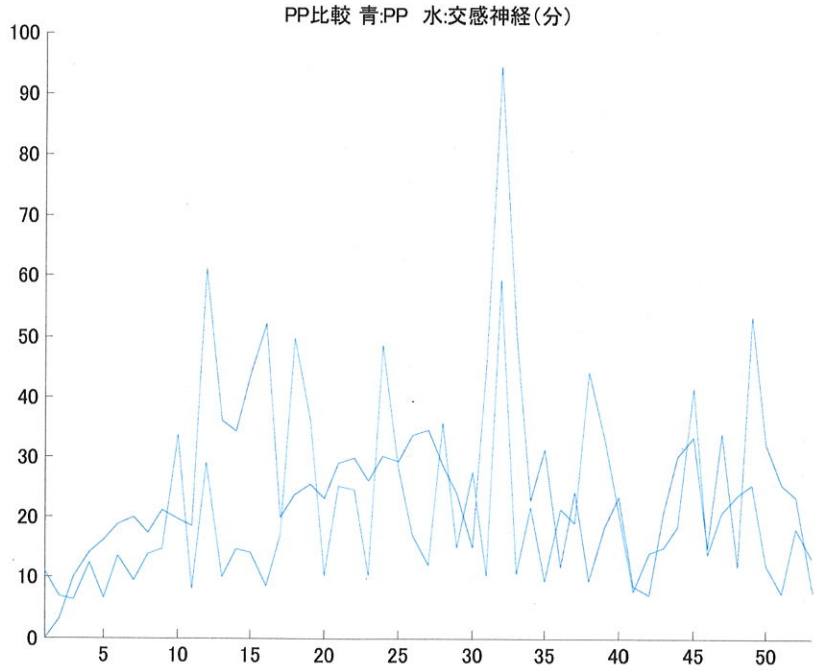


図 23 Poor Point と交感神経活動量比較

フォードと同様に,「停止」を与えたことによって,交感神経の活動に対して追従した Poor Point の結果が得られている．しかしながら，FTO の結果では停止時の反応は同じ様な結果が観測できるが，その量が異なっている．すなわち，同じ「停止」でも条件に応じてその反応量が異なることがわかる．

また動画での結果と比較すると，交感神経の活動は右左折を行うときにも反応している様子が伺えた．交通事故の多くは交差点で発生するケースが多く，この結果は交通事故量においても裏付けられる．

第４節　　考察と改良２

アルゴリズムの改良を行った後，再び解析した結果を確認する．このように，実験・解析・考察を繰り返して，アルゴリズムの最適化を行なっていく．本論ではこの仮定を本節で打ち切るが改良した内容はオプティマイズアルゴリズムについて記載する第 7 章にまとめる．

第１項　アルゴリズムの改良内容２

①「停止」にも幾つか種類が存在する

「停止」を加えたことによって，交感神経が大きく反応しているときの，PP 値の出力が追従するようになった．しかしながら時間帯によっては，PP が交感神経に対して大きく出力しすぎてしまっている時間帯もある．この原因は同じ停止でも，交感神経が大きく反応する場合と，それほど反応を示さない場合があるからだといえる．そこで，実験動画・車速データを確認したところ，安定した運転からの停止はあまり交感神経が反応せず，不安定だと考えられる運転を行ってからの停止動作では交感神経の反応が大きく出ている傾向が見受けられた．

そこで，「安定した運転」と「不安定な運転」を定義し，それぞれの運転状態に応じて，停止を行った時の PP 値の出力に変化を与える．それぞれ，の運転状態は自動車が発進してから停止するまでの間を１タームとし，タームごとで運転状態を判定することとした．

② 右左折時に交感神経の反応が伺える

交感神経の活動量と実験の走行動画を比較すると，自動車が曲がるときに交感神経が反応している様子が伺える．この結果は交通事故の発生件数が，交差点が多いという点においても裏付けられる．そこで，GPS で取得できる緯度と経度を入力情報として活用する．観測される地点の変化を見ることで，自動車の進行方向を算出する．指向方向の変化を自動車の右左折であると判断し，このときの速度 PP を得るための重みを増す．また，重みの大きさは左折<右折とする．具体的には左折時には重みを 15 倍，右折時には重みを 20 倍増やす．

第２項　改良後の解析結果２

◇11 月 27 日フォードフォーカス

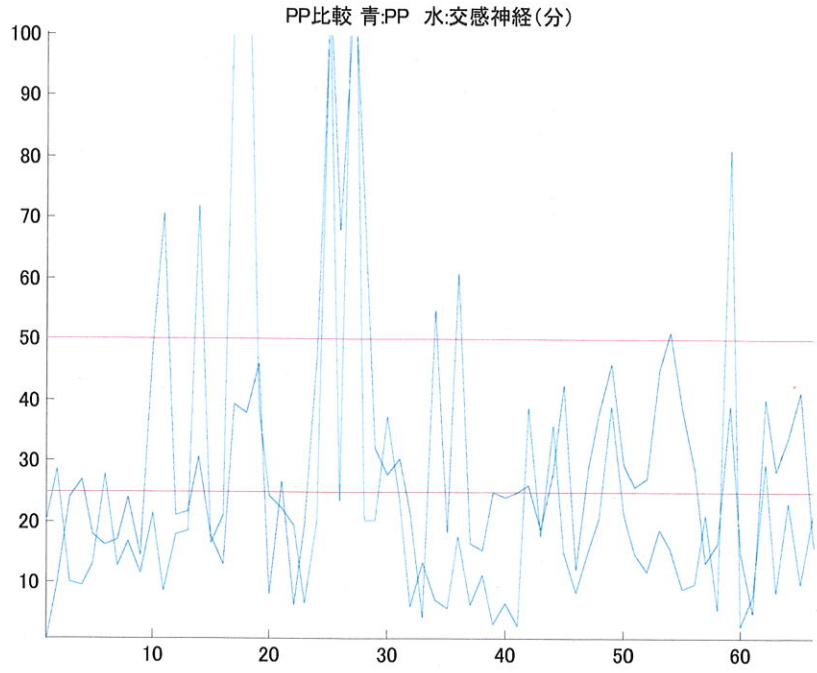


図 24 PoorPoint と交感神経活動量比較

「停止」を行うことによる Poor Point の上昇量を条件に応じて変化させた．その結果，交感神経の反応と比較して大きく出力され過ぎた時間帯における出力量が多少抑えられた．

新たに右左折による Poor Point の上昇条件を加えたが，これが原因で 10 分前後の時間帯で交感神経と比べて Poor Point の出力が大きくなってしまっている．しかしながら，20 分手前の時間帯に Poor Point の出力が増え，交感神経の活動量に一層近づいた．また 30 分手前の時間においても，「安定した運転」の「停止」だと判断されたにもかかわらず，Poor Point は大きく出力されている．

◇11 月 27 日ミツビシ FTO

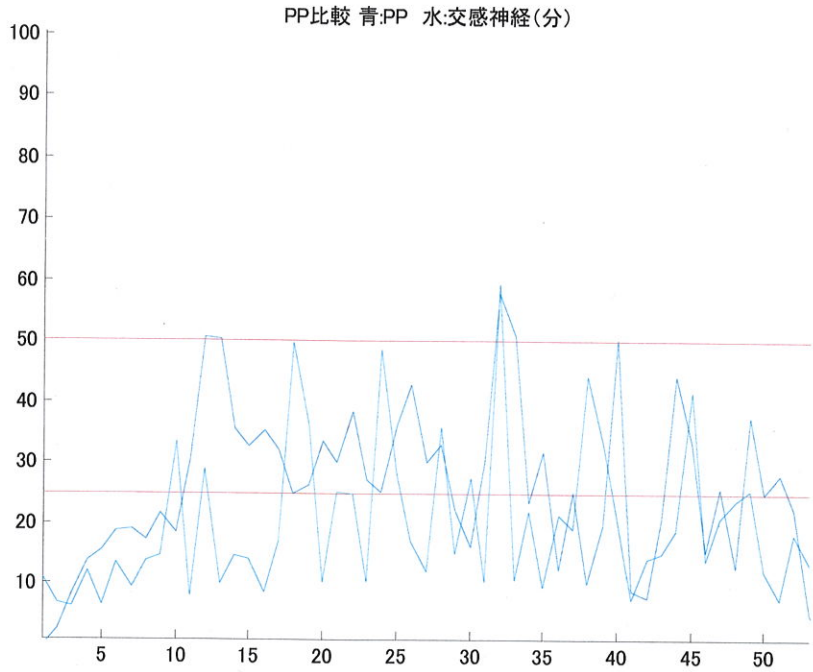


図 25 Poor Point と交感神経活動量比較

FTO の交感神経の反応はフォードの結果と比べて，著しい反応は見られないものの，中間量程度を上下している様子が伺える．この様子は Poor Point の結果にも伺うことができる．フォードの結果と比べて著しく大きく反応を出すことはなく，全体の上限値は共に交感神経の活動量とほぼ同じである．

この結果より，Poor Point は詳細に交感神経の活動を追従することは困難であるが，総合的な運転の評価はかなり高い精度があるのではないかと考えられる．

第７章 GPS を用いた定量化オプティマイズアルゴリズム

実験をもとにヒューリスティクスアルゴリズムの改良を行った．その結果得られたアルゴリズムをオプティマイズアルゴリズムと名づけ，その詳細を記す．図 26 に作成したアルゴリズムのフローの記す．

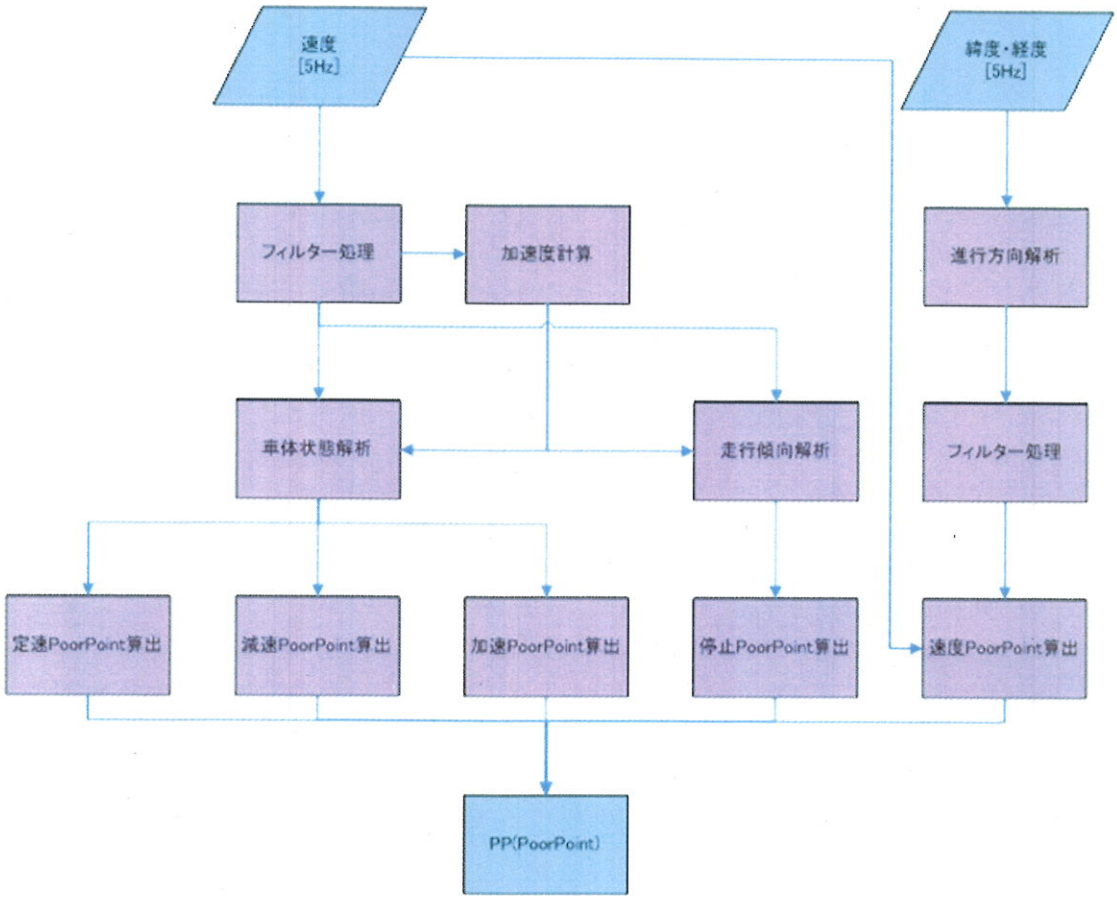


図 26 オプティマイズアルゴリズムフロー

第１節　　入力

入力データは GPS から得られる 5Hz の SPEED データと緯度・経度である．これらのデータを用いて運転技術を定量化した Poor Point を計算する．Poor Point は数値が大きいほど，下手な運転をしていることを示し，数値が低いほど適切な運転が行えているとする．また，ここでの適切な運転とは道路における危険を防止し，その他交通の安全と円滑を図り，及び道路の交通に起因する障害を発生させない運転を示す．(道路交通法第一章第一条より抜粋)

第２節　　処理

PP 加算条件(定性的関係)を元に SPEED データ・緯度経度から Poor Point を算出する．Poor Point の加算は速度・加速度を元に走行状態に応じて係数(重み)を変化させて与える．走行状態は以下 10 つで分類される．各走行状態を検出する条件と，係数(重み)を記す．

第１項　フィルター処理

GPS で取得した速度情報には誤差や微細な変化も含まれる．本研究で使用したい速度データは「加速度が判断できる」「減速度が判断できる」「定速走行が判断できる」「停止状態が判断できる」という４要素を検出できればよい．このことより GPS から取得した生データにフィルター処理を施し，要素検出を行いやすくする．わかりやすくまとめたフィルターの内容は以下である．

「速度が 0.04km/h 未満はすべて 0.00km/h とする」
「前データとの速度差(加速度)が 0.04km/h 未満はすべて速度変化がないこととする．」

第２項　加速度計算

現時間データから前時間データの速度を引いた値である．正の結果を加速度，負の結果を減速度と呼ぶ．以下に計算式を記す．

$$acc(k) = v(k) - v(k-1)$$ 数式 10 加速度

第３項　Poor Point の基本式

Poor Point は速度・加速度を元に走行状態に応じて係数(重み)を変化して与えるとした．これを式 11-14 で表すと以下のようになる．

$$PPd(k) = Cd \times acc_d(k)$$ 数式 11 減速 PP

$$PPa(k) = Ca \times acc_a(k)$$ 数式 12 加速 PP

$$PPv(k) = Cv \times v(k)$$ 数式 13 速度 PP

$$PoorPo\mathrm{int}(k) = PPd(k) + PPa(k) + PPv(k)$$ 数式 14 Poor Point

このときの C が係数(重み)である．この値を自動車の走行状態に応じて変化させることによって，自動車運転技術の定量化を図る．

第４項　走行状態と重み

第３項で Poor Point は速度や加速度に重みを掛けあわせることで算出すると述べた．また，重みは走行状態に応じて変化するとした．ここでは走行状態の種類とその条件，そして重みの与え方について説明する．

○停止状態

車速=0 となる状態である．この時，停止するまでの連続した減速度に重みを増す．加えて，停止時間に応じて PP を与える．また，この PP は事前の走行状態が安定運転か不安定運転かによって大きさが変動する．

○発進加速状態

加速度の大きさに比例した PP を与える．また，急加速を行った場合は重みを増す．急加速の条件はふんわりアクセル e スタートに準拠する．

○定速状態

停止以外の速度変化が生じていない状態のときを指す．この状態の時は速度 PP の重みを 0 とする．

○停止減速状態

停止と判断された前の連続した減速を指す．減速度の大きさに比例した PP を与える．急ブレーキと判断された場合は重みを増す．急ブレーキの定義は 0.5G 以上の場合とする．

○速度調整加減速状態

定速走行後の発進停止を伴わない加減速を示す．この状態が発生する運転は不適切な車間距離であると判断し，重みを増す．

○右左折状態

主に交差点での右左折を想定している．交差点は最も交通事故が発生する道路環境の一つであり，特に右左折動作を行うときはその危険性は増す．交感神経の反応でも交差点通行時は緊張状態になっている．そこで，重みを増し，PP が多く発生するように調整する．

○超過速度状態

制限速度は道路で異なるが，ここではすべて 70km/h を基準速度として扱う．この速度を超えた運転は速度の重みを増す．

○安定運転状態

発進～停止まで単位で判定を行う．結果は安定か不安定化の 2 種で出力する．判断方法は加減速度の回数と量が閾値よりも小さいときに安定運転だとする．

○不安定運転状態

発進～停止まで単位で判定を行う．結果は安定か不安定化の 2 種で出力する．判断方法は加減速度の回数と量が閾値よりも小さいときに安定運転だとする．

○渋滞状態

自動車が渋滞した道路を通行しているのかどうかを判断する．渋滞の条件は 3 つで構成される．1 分間に 3 回以上の停止が行われる運転が 5 分間以上持続する場合．2 分以上の停止が続く運転が 5 分以上持続する場合．30km/h 未満の運転が 5 分以上持続する場合．これらの場合は渋滞と判断し，Poor Point に 1 秒間につき 5PP 与える．

第５項　速度 PP 算出方法

速度 PP は定性的関係の一つである「Poor Point は法定速度を超える運転時間に比例する」という考えを用いる．すなわち，速度に対して比例定数(重み)を掛けることで導く．これを式 15 で表す．

$$PPv(k) = Cv \times v(k)$$

数式 15 速度 PP

また，重みは速度域に応じて変化するように設定した．これは法定違反を考慮に入れた為である．表 10 に重みとその条件を示す．

表 10 速度 PP の重み変化

条件	重み(Cv)
30km/h未満	0.025
30km/h以上 50km/h未満	0.01
50km/h以上 70km/h未満	0.015
70km/h以上	0.025

加えて，走行状態に応じて重みを増す．自動車が右左折状態であると検知した時間帯は重みを左折のときは 15 倍，右折のときは 20 倍する．

第６項　加速 PP 算出方法

加速度の計算結果が正であるとき，その時間は加速していると考える．加速 PP は定性的関係の一つである「Poor Point は加速を行う加速度に比例する」という考えを用いる．すなわち，加速度に対して比例定数(重み)を掛けることで導く．オプティマイズアルゴリズムではこの重みの基準値を 1.5 とした．これを式 16 で表す．

$$PPa(k) = Ca \times acc_a(k)$$

数式 16 加速 PP

(Ca=1.5)

加えて，走行状態に応じて重みを増す．

自動車が発進加速状態であると検知した場合は「ふんわりアクセル e スタート」を基準に，1.14m/s² よりも小さい場合は Ca=1.5 を大きい場合は Ca=1.7 を与える．

自動車が速度調整加減速状態であると検知した場合は重みを 1.2 倍する．

第７項　減速 PP 算出方法

加速度の計算結果が負であるとき，その時間は減速していると考える．減速 PP は定性的関係の一つである「Poor Point は減速を行う減速度に比例する」という考えを用いる．すなわち，減速度に対して比例定数(重み)を掛けることで導く．オプティマイズアルゴリズムではこの重みの基準値を 2.0 とした．これを式 17 で表す．

$$PPd(k) = Cd \times acc_d(k)$$ **数式 17 減速 PP**

(Cd=2.0)

加えて，走行状態に応じて減速 PP を変化させる．

自動車が停止だと判断された場合，停止に至るまでの連続した減速を停止減速状態とし，このときの減速 PP を停止 PP として扱う．定速 PP は停止減速状態における減速 PP の重みを 0.5 とし，停止に至るまでの減速 PP を合計値である．また，停止 PP は同タームにおいて安定した運転の場合は停止時間(s)に 2PP を掛けあわせた結果を，不安定な運転の場合は 5PP を掛けあわせた結果を加算する．

第８項　総 Poor Point 算出方法

PP は前にも述べたとおり，交感神経の数値と近似する関係をもつ．交感神経の計算は通常１分間分の心拍数を解析して算出する．今回比較に使用する解析アルゴリズムもその道理である．よって，比較解析を行いやすいように，Poor Point の出力として１分ごとにまとめたデータを用いる．すなわち，サンプリングを 5Hz で行なっているため，300 個分の各 PP を積算した結果が Poor Point として出力される．これを式 18 で表す．

$$PoorPo\,\mathrm{int}(n) = PPd(m) + PPa(m) + PPv(m)$$ **数式 18 Poor Point**

$$m = \sum_{1+(n-1)\times 300} n \times 300$$

第３節　　出力

出力内容は，ヒューリスティクスアルゴリズムと同様である．

第８章 オプティマイズアルゴリズム確認実験

オプティマイズアルゴリズムの動作確認を行うための実験を行う．

第１節　　実験内容

はじめに各種センサや記録媒体を取り付ける．ドライバーには生体センサ．車体にはGPS，動画撮影用のカメラを取り付ける．自動車は三菱の FTO を用いた．走行ルートは法政大学小金井キャンパスから埼玉県の大宮駅までで行う．所要時間を 1 時間程度，大通りから生活道も利用する道を選択した．また，走行は夜間に行った．

第２節　　実験結果

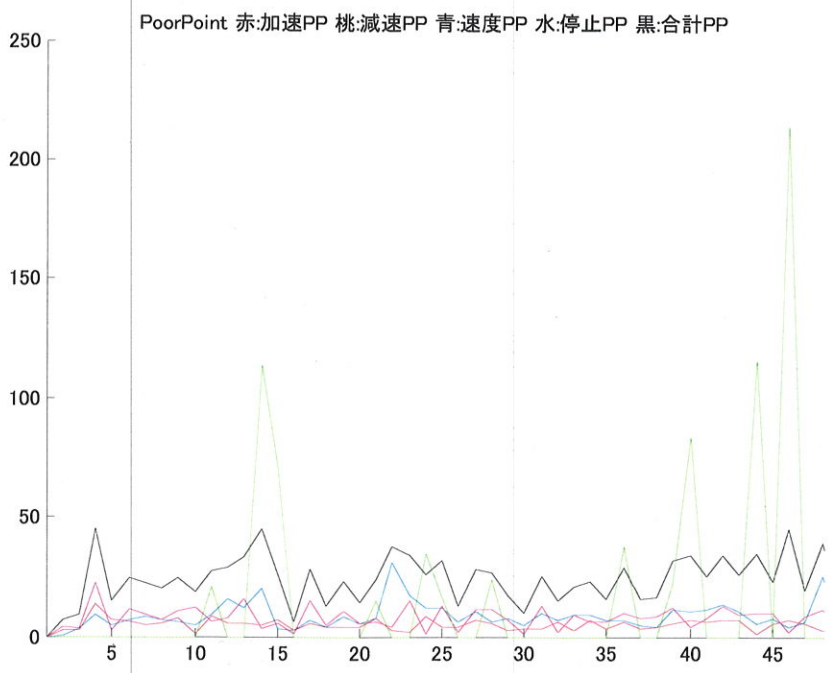


図 27　Poor Point の内訳

Poor Point の内訳を確認すると停止 PP が随所に確認でき，その値はそれぞれ大きく異なっている．これは「停止」の仕方に応じて異なった結果が出ていることがわかる．また，速度 PP はヒューリスティクスアルゴリズムと比べて小さくなり，22 分程度の交感神経の活動量が増している時間帯に特に出力している様子がわかる．

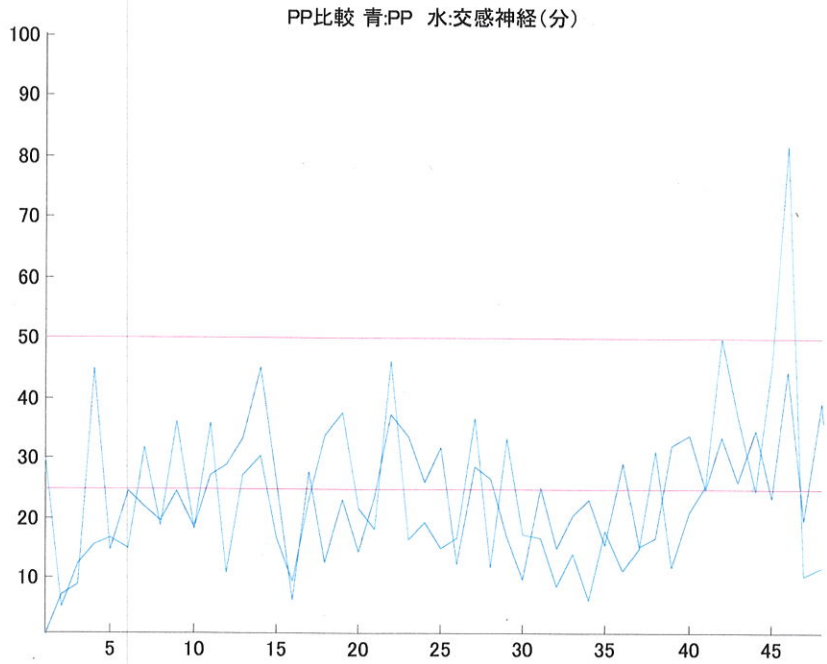


図 28 Poor Point と交感神経の比較

図 28 は Poor Point と交感神経の活動量を比較したグラフを示す．結果は Poor Point，交感神経共に比較的低い値を指しているが，46 分の時に大きく交感神経が反応している．この時間において Poor Point の内訳より，ある程度の大きさで反応はしているものの，交感神経の出力には至っていない．

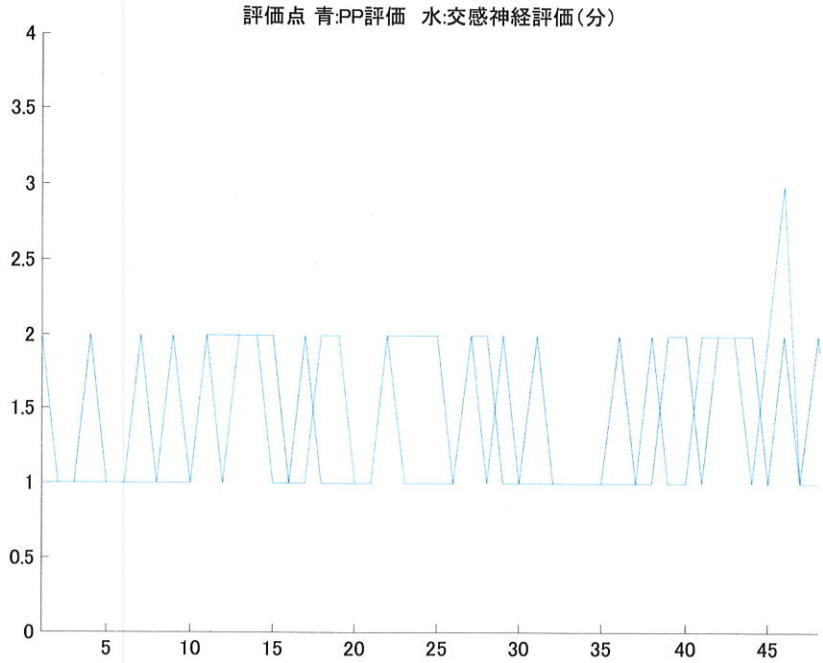


図 29 運転評価

最後に運転技術を総合的に評価した結果である．交感神経の出力結果を用いた評価と比べると，悪い評価(大きい数値)が出力される傾向にある．

第３節　　実験考察

イプティマイズアルゴリズムを作成するために用いた結果と比べると差異は大きく出ている．

走行開始5分ほどの時にPPが大きく出力される原因は高架線通過によるGPSの測位誤差が原因である．

10 分前後の時間帯では信号による減速を繰り返しているが，停止に至っていない運転が続く．しかしこの時も減速の度に交感神経の反応が伺える．

全域において動画を確認すると市街地や道幅が狭い環境や交通量に応じて交感神経が働く様子も見られた．

第４節　　実験結論

自動車の挙動から運転技術を定量化することは可能だと言える．但しドライバーの直接センシングではないため運転技術イコール運転疲労だとした場合，自動車の挙動のみで運転技術を得ることは難しいが類似した出力を得ることが可能である．

Poor Point が多く出力される条件をまとめると

適切な車間距離が確保できていない・周囲の流れにのれていない場合

定められた速度域を超過した運転を行なっている場合

複雑な操作が求められる場合(右左折や速度コントロール)

「不安定な運転」を行なっている場合(発現は集中力が切れたとき)

があげられる．以上で GPS と生体センサを用いた実験による運転技術の解析システムの作成を終える．

続いて，ドライブレコーダを用いた運転技術の定量化システムの構築を行う．このシステムはデータ数が限られるが変わりにデータ管理が容易であり，一般運用を行う用途に優れている．また，以上の取り組みでは実現しなかった出力形態についても追求する．適切な情報をドライバーに伝えることで，初めて安全技術に寄与することが可能である．

第９章 DR9100 ドライブレコーダを用いた運転技術の定量化

DR-9100(HORIBA 製ドライブレコーダ)より得られる車速データを用いて自動車運転技術の定量化を行う．ドライブレコーダは１分毎の最高速度・平均速度・最低速度が得られる．ドライブレコーダはデータ数が限られる代わりに管理・運用を容易にし，トラック業者やタクシー業者などの多数車両管理に向いている．しかしながら，データ数が非常に小さい為，自動車の挙動を調べる精度に難がある．そこで，Photomate887(GPS)より得られる車速データを用いて自動車運転技術の定量化を行うシステムを構築した．そのノウハウを使ってドライブレコーダによる定量化システムを作成する．DR9100 を用いた自動車運転技術の定量化システムのアルゴリズムフローを図 30 に記す．

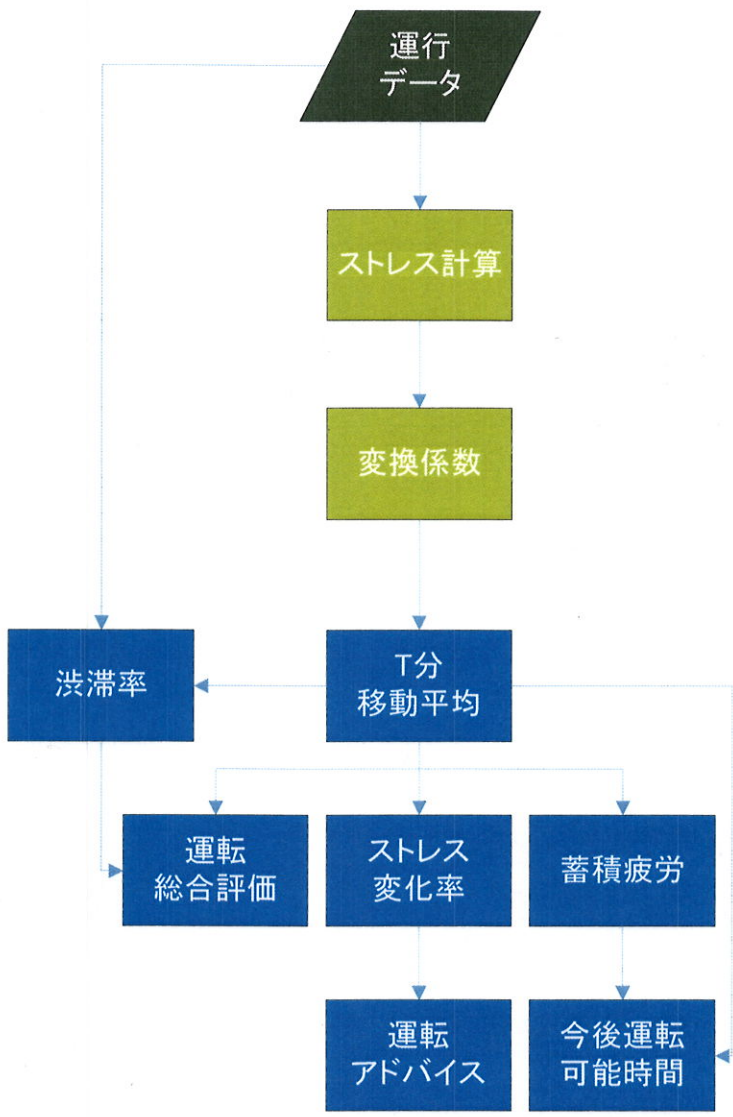


図 30 DR9100 を用いた自動車運転技術の定量化システム

アルゴリズムはまず，走行によって得られる CSV のデータを取得することから始まり，そのデータを用いて Poor Point を出力する．処理は 1 分毎で行う．算出した Poor Point の傾向から，運転の疲労や各種出力を導く．

第１節　　入力

入力データは運行データ及び運転データの一つである時間データである．運行データから運転技術量であるに Poor Point を計算する．また，Poor Point は疲労の原因や発現を元に作成された．すなわち，Poor Point は単位時間(分)当たりの疲労と定義することができる．したがって出力の一つである疲労は，Poor Point を積算することで導く．表 11 に実験で使用する入力データ(csv)の一例を添付する．

表 11 DR-9100 からの入力データ(csv)

ファイルバ-	0											
CA18	2010/12/1	1974/06/(	2010/12/1	27181.44	1997/07/1	########	速度オーバ	35497269	1.39E+08	12	63.5	12
CA02	########	速度オーバ	35502176	1.39E+08	49	79.1	284					
CA02	########	速度オーバ	35505643	1.39E+08	23	77.7	195					
CA02	########	速度オーバ	35527562	1.39E+08	37	96	688					
CA02	########	速度オーバ	35532243	1.39E+08	15	63.5	14					
CA19	2010/12/1	1974/06/(	1997/07/1	25569.03	0001/01/01 00:00:00							

日時	緯度	経度	測位	パルス速度	パルス速度	パルス速度	GPS速度(	GPS速度(	GPS速度(	走行距離	外部入力
2010/12/17 17:53	35445522	1.39E+08	A	5.4	24	0	4.5	20.7	0	88	32
2010/12/17 17:54	35446562	1.39E+08	A	11.8	33.9	0	13.2	33.8	0	195	0
2010/12/17 17:55	35447266	1.39E+08	A	9.8	26.8	0	8.9	26.9	0	162	0
2010/12/17 17:56	35449553	1.39E+08	A	25.8	31	9.8	25.8	31.7	10.6	428	0
2010/12/17 17:57	35451282	1.39E+08	A	28.6	40.9	4.2	30.4	43.6	14.3	475	0
2010/12/17 17:58	35452089	1.39E+08	A	18.6	33.9	0	19.5	33.6	0	309	0
2010/12/17 17:59	35452780	1.39E+08	V	14.9	25.4	0	15	25.9	0	246	0
2010/12/17 18:00	35453492	1.39E+08	A	14.8	24	0	15.5	25.2	2.1	245	0
2010/12/17 18:01	35453864	1.39E+08	A	7.5	29.6	0	9	29.3	0	124	0
2010/12/17 18:02	35453522	1.39E+08	A	10	31	0	10.2	32.4	0	165	0
2010/12/17 18:03	35453612	1.39E+08	A	3.9	15.5	0	4.7	15.7	0	64	0
2010/12/17 18:04	35453702	1.39E+08	A	0	0	0	0.8	4.1	0	0	0
2010/12/17 18:05	35453665	1.39E+08	A	0	0	0	1	9	0	0	0
2010/12/17 18:06	35453716	1.39E+08	A	2.3	12.7	0	3.5	10.8	0	38	0
2010/12/17 18:07	35454744	1.39E+08	A	20.2	35.3	0	20.1	36.5	0	335	0
2010/12/17 18:08	35455468	1.39E+08	A	12.7	32.4	0	10.8	33.1	0	211	0
2010/12/17 18:09	35456135	1.39E+08	A	11.7	32.4	0	11.5	30.9	0	194	0
2010/12/17 18:10	35457330	1.39E+08	A	22.2	43.7	2.8	22.4	46.8	2.7	367	0
2010/12/17 18:11	35460293	1.39E+08	A	33.7	40.9	19.7	33.1	41.7	18.6	559	0
2010/12/17 18:12	35461906	1.39E+08	A	23.6	39.5	2.8	22	36	3.3	390	0
2010/12/17 18:13	35463430	1.39E+08	A	14.5	32.4	0	16.6	35.5	0	240	0
2010/12/17 18:14	35464449	1.39E+08	A	22.2	49.4	0	20.6	49.1	0	368	0
2010/12/17 18:15	35464453	1.39E+08	A	11.5	31	0	11.3	24.6	0	190	0
2010/12/17 18:16	35469297	1.39E+08	A	52.6	57.9	35.3	52.2	60.3	18.8	874	0
2010/12/17 18:17	35470921	1.39E+08	A	17.4	52.2	0	19.5	56.1	0	289	0
2010/12/17 18:18	35471056	1.39E+08	A	1.1	14.1	0	1.6	14.8	0	18	0
2010/12/17 18:19	35472086	1.39E+08	A	19.1	46.6	0	18.2	48.6	0	317	0
2010/12/17 18:20	35473989	1.39E+08	A	30.1	43.7	16.9	30.5	46	14.3	499	0
2010/12/17 18:21	35476437	1.39E+08	A	36.2	46.6	25.4	36.9	48.2	26.3	601	0
2010/12/17 18:22	35478242	1.39E+08	A	22.7	48	0	23.9	45.9	0	377	0
2010/12/17 18:23	35478955	1.39E+08	A	10.8	39.5	0	9.2	38.6	0	178	0
2010/12/17 18:24	35479692	1.39E+08	A	11.4	35.3	0	11.5	35.7	0	188	0
2010/12/17 18:25	35481454	1.39E+08	A	24.8	52.2	0	24.8	51.9	0	412	0
2010/12/17 18:26	35481887	1.39E+08	A	5.2	9.8	1.4	5.6	10.2	2.4	84	0
2010/12/17 18:27	35482014	1.39E+08	A	1.5	8.4	0	1.6	9.3	0	23	0
2010/12/17 18:28	35482411	1.39E+08	A	4.7	12.7	0	5	13.1	0	77	0
2010/12/17 18:29	35482511	1.39E+08	A	2.2	22.6	0	1.7	22.9	0	37	0

第２節　　処理

Poor Point の加算条件(定性的関係)を元に SPEED データから Poor Point を算出する．定性的関係を以下に記す.

Poor Point は減速を行う減速度に比例する

Poor Point は加速を行う加速度に比例する

Poor Point は法定速度を超える運転時間に比例する

また，前章までの試みによって自動車の挙動と疲労は以下の関係があることがわかった.

適切な車間距離が確保できていない・周囲の流れにのれていない場合

定められた速度域を超過した運転を行なっている場合

複雑な操作が求められる場合(右左折や速度コントロール)

「不安定な運転」を行なっている場合(発現は集中力が切れたとき)

そこで，ここではこれらを合わせた新たな定性的関係を定義する．従来であれば，走行の特徴は詳細な速度情報を用いて得ることができたが，今回は情報量が限られるためである．そこで，新たに定性的関係を定め，アルゴリズムの構築に簡略化を図る．定性的関係を以下に記す.

(a) 走行状態から停止を行う減速 PP は減速度の大きさに比例する

(b) 走行状態から減速を行う減速 PP は減速度の大きさに比例する

(c) 停止状態から発進を行う加速 PP は加速度の大きさに比例する

(d) 走行状態から加速を行う加速 PP は加速度の大きさに比例する

(e) 速さによる速度 PP は速度の大きさに比例する

以上の要素をもとにドライブレコーダを用いた自動車運転の定量化を行うシステムを作成する．アルゴリズムはまず，走行によって得られる CSV のデータを取得することから始まり，そのデータを用いて Poor Point を出力する．処理は 1 分毎のデータで行い運転技術を算出する．算出した結果の傾向から，疲労や各種出力を導く．出力は下手な運転度合い Poor Point で表す．このフローを図 31 に示す.

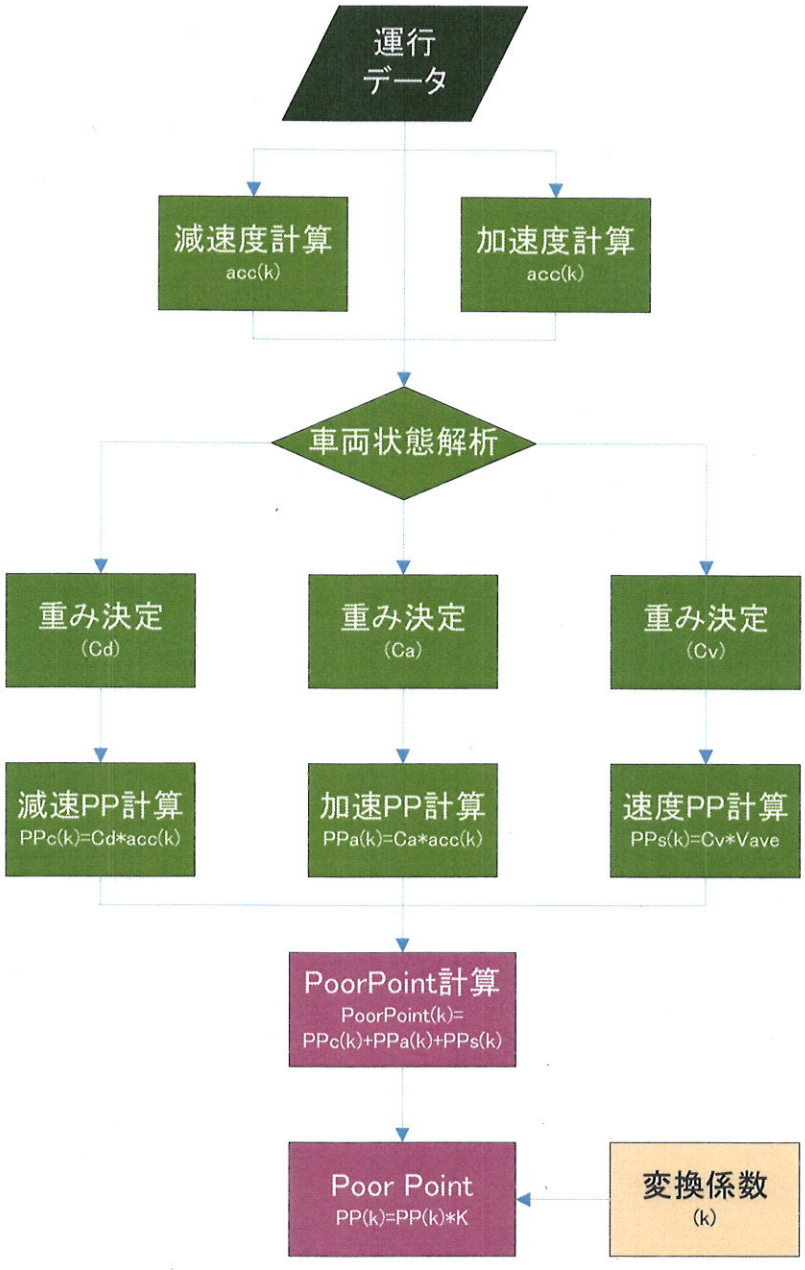


図 31　**Poor Point** の算出方法フロー

第２項　加速・減速 PP 計算（走行状態による Poor Point）

加減速度を元に Poor Point を計算する．定性的関係として，減速度，加速度が比例関係にあることと定義する．すなわち，入力データで得られる 1 分毎の速度から加速度を算出する必要がある．加速度は単位時間あたりの速度変化で導くことが可能である．すなわち，1 分間における速度変化は(最大速度) – (最小速度) で求められる．しかしながら，速度変化に要した時間を定めなければ加速度が得られない．そこで，1 分間における速度の変化を考察する．図 32 に 1 分間における速度変化の一例を示す．

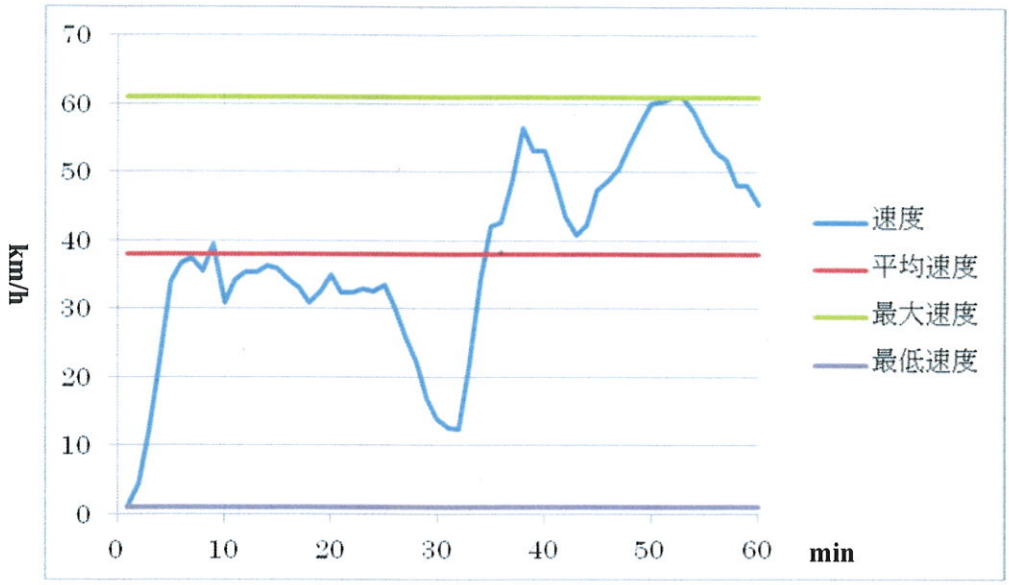


図 32 1 分間の速度変化例

本システムで使用できる入力信号は「平均速度」「最大速度」「最低速度」の 3 つである．これらの信号を用いて 1 分間の「速度変化」を予測したい．そこでまず，速度から以下の特徴を抽出した

□1 分間における速度変化は，減速要素が多い」または「加速要素が多い」のどちらか
　例では「加速要素が多い」と呼べる．

□事象として，必ず「減速」と「加速」の両要素で構成されている
　速度は常に変化し，速度変化が生じない時間は存在しない(最大速度=0 は除く)

□例外は含まないとする
　数秒間のみ急加速および急減速を行い，それ以外は停止する等例外を含まない

これらの特徴を元に「速度変化」を予測する．まず，はじめに 1 分間の速度変化を矩形的に考えた．すなわち 1 分間の速度をグラフに示したとき，その図は最大速度と最低速度で構成される．この時速度変化の事象は「減速要素が多い」または「加速要素が多い」の 2 系統が考えることができる．加えて平均速度から，最大速度である時間の比率を知ることができる．すなわち考えうるパターンとして，「最低速度へ向かう時(減速要素が多い)」と「最高速度へ向かう時(加速要素が多い)」の要素ごとに「最大速度の比率が多いとき」「最大速度の比率が少ないとき」の計 4 パターンが挙げられる．それぞれのパターンを考え，減速度と加速度を導く．

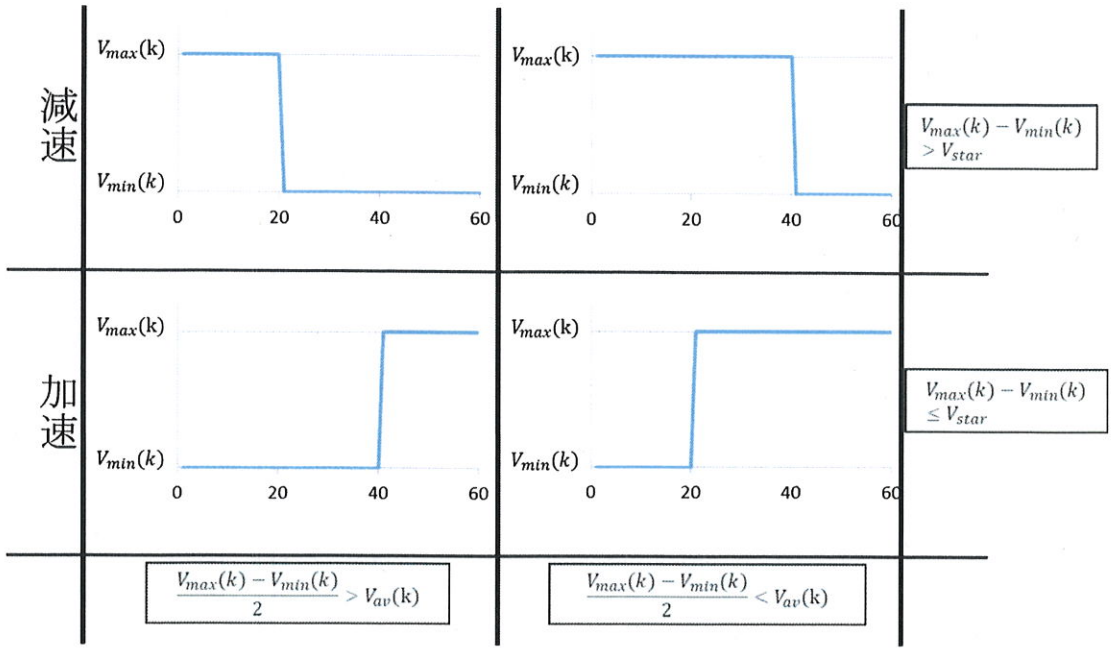


図 33 1 分間の速度変化パターン

減加速度を求めるために 3 データの情報を元に，1 分間の速度変化の事象は 4 パターンのうちどこに属するのかを判別する．まず，「最大速度の比率がどの程度か」を求めることは計算で容易に求めることが可能である．それは平均速度が最大速度と最低速度の差の半分と比べて大きいか小さいかで求めることができる．次に「減速か加速か」を判断するが，本システムでは速度変化の大きさに着目した．具体的には減速は加速と比べ，速度変化が大きいと仮定した．これは 1 秒毎の実験データを参照した場合に減速時の加速度が比較的加速時と比べて大きくなる傾向がある為でもある．また，どの程度の速度差でパターンの推測を行うかがカギとなる．ここでの閾値 Vstar は実験的に 35km/h とした(35km/h という数値は実験データから推測し妥当と判定したもの)．パターンの判別によって減速か加速かを判断する．

ここまで，1 分間における速度変化が「減速または加速要素の多さ(減速か加速か)」を調べることをとりあげた．次に 1 分間における主な出来事を推定する試みをする．これは 1 分間の速度の様子が Poor Point と速度の定性的関係で取り上げた(a)停止・(b)減速・(c)発進・(d)加速のどれに当てはまるのかを決定する試みである(以下状態推定と記す)．この状態推定は簡単に，「減速要素が多く最低速度がゼロであるとき(a)停止」「減速要素が多く最低速度がゼロではないとき(b)減速」「加速要素が多く最低速度がゼロであるとき(c)発進」「加速要素が多く最低速度がゼロではないとき(d)加速」とした．

文頭で取り上げた通り, Poor Point を計算するために加速度を算出することが必要である．そして必要なデータは“減加速に要した時間”である．3 データからは最大速度である時間(Δt_x)と最低速度である時間(Δt_n)を式 19 によってもとめることができる．そこで，この時間を速度変化に要した時間として扱うこととした．

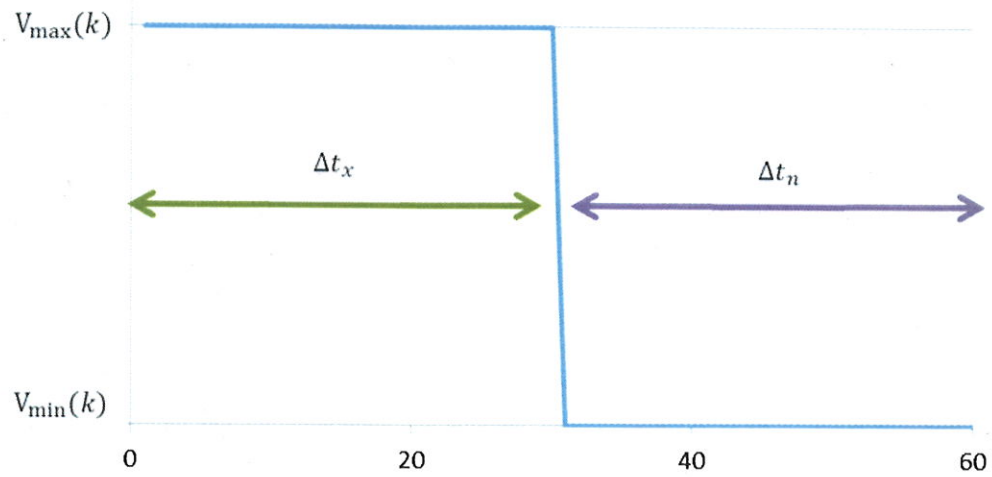


図 34 速度変化に要した時間

$$\Delta t_n(k) = \frac{V_{\max}(k) - V_{av}(k)}{V_{\max}(k) - V_{\min}(k)} \quad \Delta t_x(k) = \frac{V_{av}(k) - V_{\min}(k)}{V_{\max}(k) - V_{\min}(k)}$$

数式 19 時間

1 分間における速度変化の特徴から，「減速」「加速」の行動がどの時間においても必ず生じていることをとりあげている．すなわち 60 秒間の速度の要素を抽出した場合

(減速している時間) ＋ (加速している時間) ＝ 60 秒

の関係が成り立つことがいえる．よって，計算で得られる最大速度である時間(Δt_x)と最低速度である時間(Δt_n)をそれぞれ「減速するのに要した時間」「加速するのに要した時間」として割り振ることとした．割り振り方は数値の大きさと状態推定の結果を利用する．状態推定によって得られた状態が主な動作であるから，計算結果はその状態(減速 or 加速)での数値が逆の状態(加速 or 減速)よりも数値を大きく出力したい．そこで，減加速度を計算するときに使用する Δt の割り振りを以下のように定めた

$$\Delta t_{\min}(k) = \min\{\Delta t_n(k), \Delta t_x(k)\}$$

数式 20 配分

$$\Delta t_{\max}(k) = \max\{\Delta t_n(k), \Delta t_x(k)\}$$

数式 21 配分

(a)停止 or (b)減速の場合 … 減速度: Δt_{min} 加速度: Δt_{max}
(c)発進 or(d)加速の場合 … 減速度: Δt_{max} 加速度: Δt_{min}

速度変化に要する時間の設定を行った．この結果をもちいて減速度，加速度を算出する．そのための計算式を式 22-23 に示す．

$$acc_d(k) = \frac{V_{\max}(k) - V_{\min}(k)}{\Delta t_{\min}(k) or \Delta t_{\max}(k)}$$ 数式 22 減速度

$$acc_a(k) = \frac{V_{\max}(k) - V_{\min}(k)}{\Delta t_{\min}(k) or \Delta t_{\max}(k)}$$ 数式 23 加速度

減速度・加速度を得た．この結果を用いて加速 PP と減速 PP を計算する．加速 PP は定量的関係より，比例関係にあることが定義されている．すなわち，求めた加速度に比例定数を掛けることによって加速 PP を求めることができる．そこで比例定数を決める．比例定数を重みと呼ぶこととすれば減速度の重みを Cd，加速度の重みを Ca とする．この重みは状態推定の結果を利用する．実験の結果を参考に具体的な重みを決定した．状態推定と重みの関係を表 12 に示す．

表 12 状態推定の条件と重み

状態推定結果	条件	重み
(a) 停止	(Vmax-Vmin) > Vstar && Vmin=0	Cd=2.5,Ca=1
(b) 減速	(Vmax-Vmin) > Vstar	Cd=1.5,Ca=1
(c) 発進	(Vmax-Vmin) <= Vstar && Vmin=0	Cd=1,Ca=2
(d) 加速	(Vmax-Vmin) <= Vstar	Cd=1,Ca=1.5

以上で減加速度と比例定数(重み)を決定した．この結果から減加速による Poor Point を求める．算出方法を式 24-25 に示す．

$$Sd(k) = Cd \times acc_d(k)$$ 数式 24 減速 PP

$$Sa(k) = Ca \times acc_a(k)$$ 数式 25 加速 PP

第３項　速度 PP 計算（速さによる Poor Point）

速度による Poor Point を決める．速度 PP は測定値(速度)に対して重みを掛けることで算出する．続いて重み（Cv）について述べる．速度 PP を考える上で，通常運転による速度(例えば法定速度以下)では大きなストレスにはならないと考えた．これは「ストレスは主に外力を受けることで感じる」と定義しているためである．よって，通常の運転(法定速度以下)の運転を行っているときは重みを小さく設定した．しかしながら，速度に比例して目から入る情報量が上昇する分疲労を感じると考え重みをゼロにはしない．

くわえて，一定以上の速度超過での走行ないし慣れない速度(超過速度)に達した時は速度によるストレスは上昇すると考えた．これは慣れない行動をすることはヒヤリハットに通じる要素であるからだ（実験により，ヒヤリハットはストレスを感じることを確認している）．そこで，速度 PP での重みを表 13 のとおり設定した．

超過速度とは閾速度 V_{sta}×2(=70)とし，慣れるまでの時間は閾時間 T_{star}(=5)とした．すなわち，最高速度が V_{star}×2 を超えた瞬間，慣れるまでの時間(T_{star})，その後の超過速度運転では重みを変化する．これは，速度超過した瞬間に大きなストレスを感じ，超過速度を持続している間は法定速度以下での運転と比べてストレスを受けるためである．

表 13 速度の重み

速度状態	状態条件	重み
通常	Vmax < 30km/h	Cv=0.25
通常	30km/h <= Vmax < 50km/h	Cv=0.1
通常	50km/h <= Vmax < Vstar×2	Cv=0.15
超過速度達成時	Vstar×2 < Vmax	Cv=2.5
超過速度(不慣れ)	Vstar×2 < Vmax && 持続時間 < Tstar	Cv=1.5
超過速度(慣れ)	Vstar×2 < Vmax && 持続時間 > Tstar	Cv=0.25

Vmax … 最高速度　*Vstar* … 速度の閾値(=35)　*Tstar* … 時間の閾値(=5)
Cv … 速度の重み

以上の結果から速度 PP を計算する．速度における Poor Point の算出方法を式 26 に示す．

$$PPv(k) = Cv \times (V_{av}(k)/5)^2$$

数式 26 速度 PP

第４項　Poor Point の算出

以上のアプローチから Poor Point を求める．Poor Point は各要素の PP を足し合わせることで得る．式に Poor Point の計算式を示す．

$$PP(k) = PPd(k) + PPa(k) + PPv(k)$$

数式 27 Poor Point

第５項　変換係数

今回のシステムは出力の１つに運転疲労がある．これは単位時間当たりの Poor Point を積算した結果であり，「疲労とはストレス(Poor Point)が原因で発生する」という定理に基づいている．そこで，4 時間(設定時間)の通常運転で疲労が 100 となるように調整する．これは，厚生労働省が定めた自動車運転者の労働条件をもとに定義した．つまり（通常運転時の Poor Point）×240 分＝疲労度 100 の関係が成り立つ．この場合通常運転時の Poor Point は 0.416（100/240）と表わされる．そこで本システムでの通常運転での Poor Point を見出し，先の Poor Point と比較可能にするため変換係数を見出だす必要がある．すなわちこのシステムでの通常道路状況で通常運転を 4 時間行った時にそこで求められた Poor Point に変換係数 ***K*** を掛け，その時の疲労が 100 となるようにする．本研究では以下のとおり ***K*** を実験的に求めた．

連続運転４時間とするのは厚生労働大臣が自動車運転者の労働条件の改善を図ることを目的に定め，自動車運送業者が守らなければいけない「自動車運転者の労働時間等の改善のための基準」（平成元年告示)の規定で，連続運転は４時間としこの段階で 30 分以上の休憩が必要とされていることを根拠とした．

なお，最大連続運転可能時間は最大 4 時間とし，その範囲内でユーザが任意に設定を行うことができることとする(例えば 2 時間)．この場合変換係数 ***K*** も変化させる必要がある．

変換係数 ***K*** を定めるためにまず，通常道路状況と通常運転を定義しなければならない．そこで，以下のルールを定めた．

・通常道路状況のルール
　① 高速道路でない道路
　② 渋滞でない道路
　③ 大通り(国道や圏央道)と生活路(それ以外の通り)を含む
　④ 時間帯重みを受けない
・通常運転のルール
　① 法定速度を守る
　② イベントの影響を受けない
　③ 基本的に流れに乗った運転を心掛ける
　④ ふんわりアクセル等低燃費運転を心掛ける
　⑤ 原則危険運転を行わない(危険回避を適切に行う)

変換係数 ***K*** を求めるために，ルールに従った走行実験を行う．そのデータを通常道路状況での通常運転をした結果として扱う．

ルールに適合する道として

「東京都東久留米市役所　～　埼玉県さいたま市大宮駅」を利用する．

このルートは主に　国道 463 号線　と　国道 17 号線　を利用し，加えてそれらを結ぶ都道などで構成されている．大通りと生活道を含む点と走行距離・時間からルールを満たし，適切な実験を行えるルートであると判断した．

実験は渋滞を避け，休日の午前中や夜間に通常運転を心掛けて 10 回行った．また，往路・復路は同意であるとする．

変換係数は通常道路状況での通常運転を 4 時間行った時に疲労が 100 とするための値であるため，「実験で得られた Poor Point の平均値×$K=240/100$」の関係式によって K の値を導くことができる．

以上の実験による変換係数 K の値は

$$0.0013$$

と定めた．

この数値をこのシステムでの K のデフォルト値として考える．

図 35 変換係数決定のために行った実験の走行ルート

デフォルト値の係数 ***K*** は上記のように実験的に定める方式のほか，係数 ***K*** を学習により設定する方式も採用する．係数 K をユーザの運転傾向に応じて設定を行うことができるため，ユーザの平均的な自動車の使い方を考慮した ***K*** を与えることが可能となる．

学習の計算式は式 28 に示す．学習は疲労の解析を行った後に行われ，次解析時に学習された係数 ***K*** を使用する．係数 K をユーザ自らの運転結果から導くことにより，"普段の自分の運転と比較した結果"が得られる．さらに，この複数人で得られた複数の係数 ***K*** を比較すればドライバーごとの傾向も得られる．

$$K_{cal} = K_{old} \times \frac{100}{average(PP_{pro}) \times K_{time}}$$

数式 28 変換係数

$$K_{new} \Leftarrow \frac{K_{old} \times count + K_{cal}}{count + 1}$$

Kcal … 走行後の ***K*** の値　*Kold* … 学習前の ***K*** の値(初期値:0.0013)
average(PPpro) … Poor Point の平均値　*Ktime* … 連続運転可能時間(240)
Knew … 学習した ***K*** の値　*count* … いままでの学習回数

学習回数の上限はユーザが任意に設定することが可能である．

第 6 項　Poor Point 算出方法まとめ

加速，減速度 PP・速度 PP から，ドライバーが受ける 1 分毎の Poor Point を式 29 で求める．

$$PP(k) = PPd(k) + PPa(k) + PPv(k)$$

$$PP(k) = PP(k) \times K$$

数式 29 Poor Point

第３節　　Poor Point 計算の例

ある 1 分間における Poor Point の計算例を記載する．ある 1 分間とは図の速度変化を利用する．

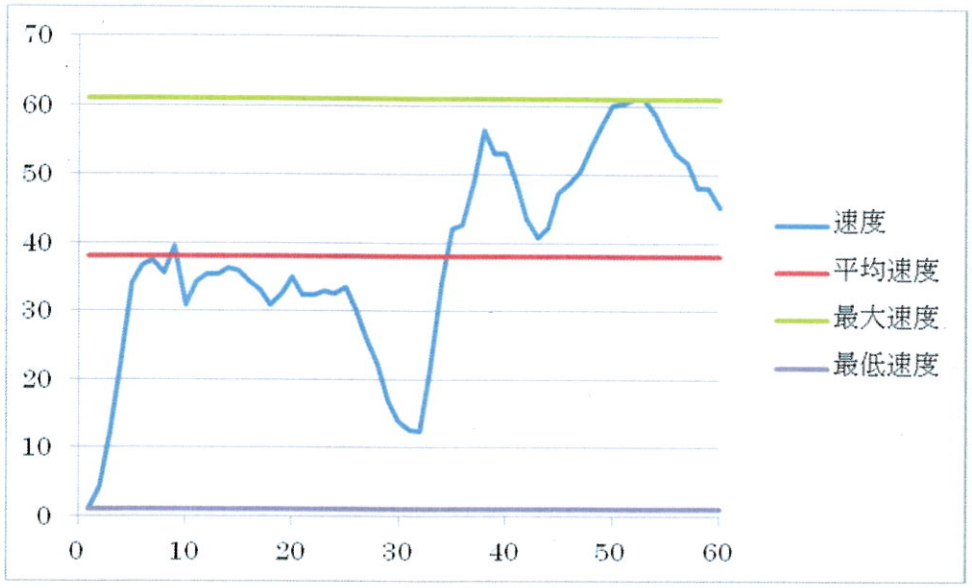


図 36 1 分間の速度変化例

図より最大速度・平均速度・最低速度の数値を読み取り，以下の 3 データを定義する．

最大速度(V_{max})：62km/h
平均速度(V_{av})：37km/h
最低速度(V_{min})：02km/h

これらの 3 データからまず加速度を求める．加速度を求めるための過程としてパターンと状態推定を行う．速度差を計算すると

$$V_{\max} - V_{\min} = 62 - 2 = 60 > V_{star}(=35)$$

$$V_{\min} \neq 0$$

と導けることから，この 1 分間における主な状態は　「減速」　であるといえる．加えて

$$\frac{V_{\max} - V_{\min}}{2} = \frac{62-2}{2} = 30 < V_{av}(=37)$$

と導けることから，この 1 分間を矩形的に考えたとき　「最大速度の比率が大きい」　といえる．

すなわち，

$$acc_d = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{\Delta t_{\min}} \qquad (\Delta t_{\min} = \Delta t_n = \frac{V_{\max} - V_{av}}{V_{\max} - V_{\min}} = \frac{62-37}{62-2} \cong 0.42)$$

$$acc_a = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{\Delta t_{\max}} \qquad (\Delta t_{\max} = \Delta t_x = \frac{V_{av} - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} = \frac{37-2}{62-2} \cong 0.58)$$

で加速度を求めることができるため

$$acc_d = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{\Delta t_{\min}} = \frac{62-2}{0.42} \cong 142.86$$

$$acc_a = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{\Delta t_{\max}} = \frac{62-2}{0.58} \cong 103.45$$

また状態推定結果が　「減速」　であることから，減加速度における PP を求めるための比例定数は

Cd=1.5　Ca=1

であるから，減加速度による PP は

$$PPd = Cd \times acc_d = 1.5 \times 142.86 \cong 214.29$$

$$PPa = Ca \times acc_a = 1 \times 103.45 \cong 103.45$$

と求まった．

さらに，速度による PP を求める．速度超過について判定を行うと

$$V_{\max} < V_{star} \times 2 (= 70)$$

と導けることから，この 1 分間における速度状態は　「通常」　であるといえるから

Cv=0.1

であり，速度 PP は

$$PPv = Cv \times V_{av} = 0.1 \times 37 \cong 3.7$$

と求まった．

したがって，この 1 分間における減速度と速度 PP は

$$PP = PPd + PPa + PPv = 214.29 + 103.45 + 3.7 \cong 323.21$$

であり，変換後の Poor Point は

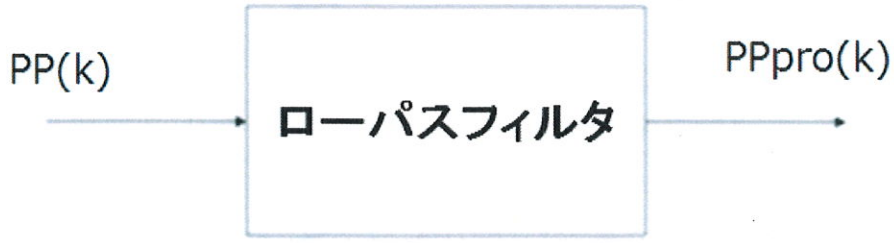
$$PP = PP \times K = 323.21 \times 0.0013 \cong 0.42$$

となり，この 1 分間における運転技術量を導くことができた.

第４節　　出力

第１項　Ｔ分移動平均 Poor Point

前節までで求められた Poor Point を T 分 (=10 分)で移動平均を行い，1 分毎の Poor Point の凹凸を平滑化する．平滑化処理は巡回型ローパスフィルタによる．これは，Poor Point 計算における推定誤差の平滑化を行い補正するもの（単時間の数値ではなく，全体の流れを考慮した数値にする）である．この結果は横軸を時間としたグラフで出力を行い，視覚的に分毎の Poor Point の大きさを観ることができる．
この処理をブロック線図で記すと



で表される．

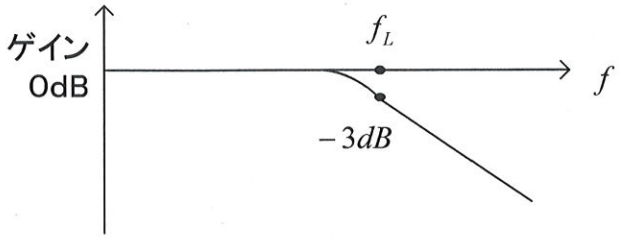
したがって，計算式 30 で移動平均 Poor Point を求めることができる．

$$PP_{pro}(k) = p \times PP_{pro}(k-1) + q \times PP(k) \qquad \left(PP_{pro}(1) = 0\right)$$ **数式 30 移動平均**

$$\boxed{p = \exp(-1/T), q = 1 - p, T = 10}$$

また，通常道路状況，通常運転においての Poor Point が一定値とした場合，***PP(k)*240(4 時間) = 100*** となることから，***PP(k)=100/240=0.416*** である．この PP***(k)***が通常道路状況，通常運転での運転技術量であり，Poor Point の基準値である．すなわち，実際の走行結果から算出した ***PP(k)***の値が，基準値に対して大きければ下手な運転・小さければ上手な運転を ***k*** 分において行ったといえる．

・ローパスフィルタ



⊿t[s]　：A/D 変換サンプリング間隔(1 分)

$\left(T_L[s]\right.$　：ローパスフィルタ時定数　$\left.T_L = \dfrac{1}{2\pi f_L}\right)$

k　：離散時間 $= \Delta t[s]$ 毎の時間

PP(k)　：求まる Poor Point

PPpro(k)　：T_L 時間分にあたり平均された Poor Point

第２項　Poor Point 変化率

移動平均 Poor Point を不完全微分して，Poor Point 変化率を求める．この結果は横軸を時間としたグラフで出力を行い，視覚的に Poor Point の傾向を観ることができる．この結果は運転アドバイスで使用する．
この処理をブロック線図で記すと

で表される．

したがって，以下の式 31 よって不完全微分を行い，Poor Point の傾向を測ることができる．

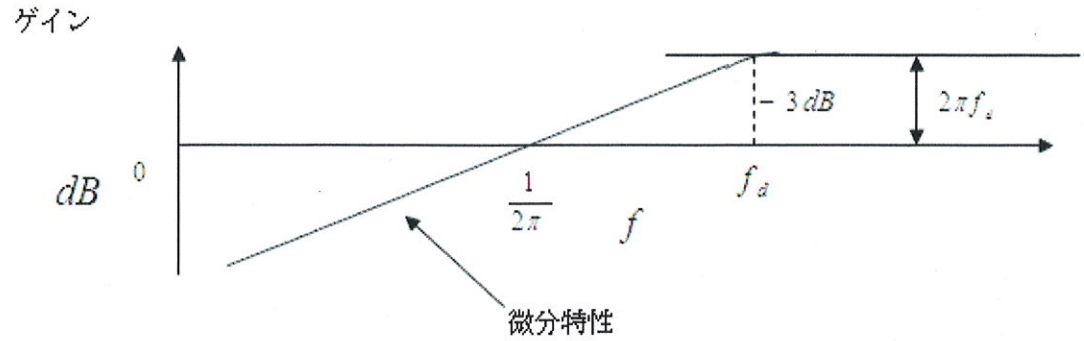
$$x(k+1) = p \cdot x(k) + q \cdot PP(k) \quad x(0) = PP(0)$$

$$PP_{dif}(k) = 2\pi f_d \{PP(k) - x(k)\}$$ **数式 31 変化率**

$$\boxed{p = \exp(-1/T), q = 1 - p, T = 10}$$

この取り組みをした結果，Poor Point の変化推移をみることができる．変化推移をみることによって，ドライバーの運転傾向を考察することができる．

・不完全微分



⊿t[s]　：A/D 変換サンプリング間隔

$\left(T_d[s] \right.$　：微分時定数　$\left. T_d = \dfrac{1}{2\pi f_d} \right)$

k　：離散時間　$= \Delta t[s]$ 毎の時間

PP(k)　：求まる Poor Point
PPdif(k)　：Poor Point の変化率

第３項　蓄積疲労

移動平均 Poor Point を積分して，累積疲労を求める．本研究では 1 分毎に受ける Poor Point の和を疲労だと定義している．すなわちこの累積値が疲労であり，通常運転・道路状況において 4 時間の運転をしたときに 100 とした場合，実際の走行においてどの程度の数値が出てくるのかが重要である．

蓄積疲労は完全積分により計算する．結果を棒グラフなどで示す．
この処理をブロック線図で記すと

で表される．

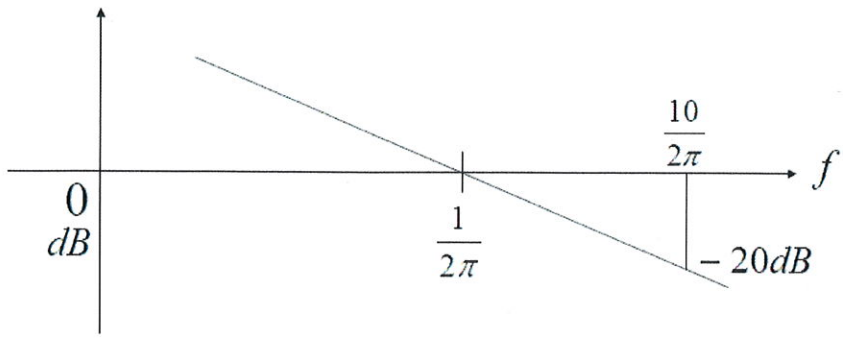
したがって，計算式 32 によって完全微分を行い，蓄積疲労を求めることができる．

$$PP_{\mathrm{int}}(1) = PP_{pro}(1) + PP_{rest}$$

$$PP_{\mathrm{int}}(k) = PP_{\mathrm{int}}(k-1) + PP_{pro}(k)$$

数式 32 蓄積疲労

・完全積分



⊿t[s]　：A/D 変換サンプリング間隔

k　：離散時間　　$= \Delta t[s]$ 毎の時間

PPpro(k)　：T_L 時間内の平均 Poor Point

PPint(k)　：時刻 k までに累積された Poor Point で，疲労に比例

蓄積疲労を考える上で休憩時間がある場合の疲労は，程度は別として回復するものと考える．しかし入力データの制約により「休憩」を定義することは困難であるため IG-OFF 時を運転離脱時間≒休憩時間とみなした．疲労回復は IG-OFF の間は時定数 ***Tr***(=30)で累積疲労を減少させる試みをする．そのため本研究では前回の蓄積疲労を記録し，IG-ON 時に前回の IG-OFF 時の蓄積疲労から経過時間(***rest_time***)により疲労回復(30 分で 37%まで疲労を減少する(定常特性，速応性，及び，安定性を同時に満足させるために 1 次遅れ要素を取り入れている)し，減少した蓄積疲労を初期値とし，この値から積算を行っていく．休憩によって減少した疲労を式 33 によって求める．加えて，休憩を含む疲労の蓄積の様子を模した図 37 を記す．

$$PP_{rest} = PP_{\mathrm{int}\_IG-OFF} \times \exp(-rest\_time / Tr)$$ **数式 33 休息**

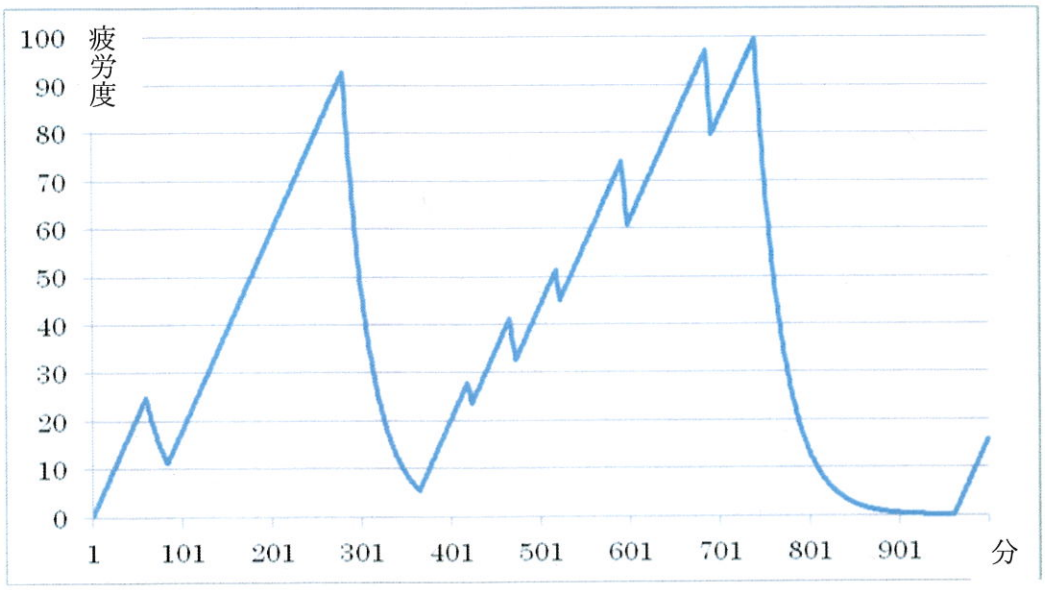


図 37 休憩を含む疲労蓄積の例

また，現状では IG-OFF となった時間から IG-ON となる時間までの間を休憩として判断し，疲労を減少させている．しかしながら，実際の休憩はそれだけに留まらずアイドリング状態で休憩を行う場合も存在する．そのため，Event データの利用や休憩の定義付けによってアイドリング状態での休憩時間を調べる，反映させる必要がある．

第４項　今後安全運転可能時間

k [分]の時間まで連続走行した．これ以後，現在の走行状況で運転を継続すると，何分後に休憩が必要となる疲労の 100 に達するかの時間である．

現在の平均 Poor Point を計算し，その運転を維持した場合に残り，どの程度の時間で疲労が 100 となるのかを示す．但し，連続運転時間が 4 時間を超えてはいけない．そのため，計算上超えてしまう結果が得られた場合は時間データから純粋な残り時間を表示する．以上を式 34 に示す．

$$time_{\lim}(k) = \frac{100 - PP_{\text{int}}(k)}{average(PP_{pro}(1:k))}$$

数式 34 安全時間

$$if\left(time_{\lim} + t > K_{time}\right) \Rightarrow time_{\lim} = K_{time} - t$$

この出力はドライバーに対してリアルタイムに表示することを想定した出力である．その機能がない場合は，事後処理の出力としての表現方法を検討する必要がある．

例：あなたの運転は，最大〇〇分で休憩が必要です．

第５項　総運行時間と渋滞時間と渋滞率 (%)

運行データにおいて渋滞であると判断された時間の比率を示す．本研究では最低速度が 0km/hr であり平均速度が $V_{star}/2$ 未満の場合が T_{star} 分以上持続している時を渋滞（正確には低速・断続的運転時間と表現したほうが良いかもしれない）と呼ぶ．また，閾値(V_{star}・T_{star})を変化させることによって渋滞検出の度合いを変化させることが可能である．閾値を運転環境(都内・郊外)に応じて変化させることにより，精度を高めることが可能である．出力はこの運転においてどれくらいの時間が渋滞に巻き込まれたかを示す．出力は総走行時間($\boldsymbol{drive_{count}}$)，渋滞している時間帯($\boldsymbol{time_{jam}}$)，総渋滞時間($\boldsymbol{sum_{jam}}$)，渋滞率($\boldsymbol{car_{jam}}$)である．以上の内容をプログラム例で記す．また，渋滞率の計算を式 35-36 に示す．

例

```
if V_min(k)==0 && V_av(k)<(V_star/2)
    j_count=c_count+1;
    if j_count>=T_star
        jam_count(i-T_star:i)=1;
    end
else
    j_count=0;
end
```

$$drive_{count} = length(data)$$

$$time_{jam} = k$$

$$sum_{jam} = sum(j\_count)$$ 数式 35 渋滞量

$$car_{jam} = (sum_{jam} / drive_{count}) \times 100$$ 数式 36 渋滞率

第６項　運転総合評価（点）

走行結果から運転技術の総合点を示す出力である．評価は IG-ON から IG-OFF までの区間に得られるデータを元に，運転技術を 100 点満点で評価する．本研究では 50 点を基準点として評価点を与える．具体的には，平均的な運転を行った場合は 50 点を与え，すぐれた運転を行った比率に応じて加減点を行う．以上の考えから，運転技術の点数化は Poor Point の基準値(100/最大連続運転可能時間)との誤差率で定めるとした．また，評価アルゴリズムは渋滞時間を除いた時間帯における Poor Point の平均を用いる(渋滞時間はドライバーの運転技術に依存しないためここでは評価対象から省いたが，渋滞を含めた評価も出すことも可能である．この場合は使用する道路によって評価点を比較するなど，運転環境を考えるときに有効である．)．運転総合評価は式 37 により導く．例) 基準との誤差が 30%だけ Poor Point 平均が低い場合は 50 点+30=80 点．基準との誤差が 25%だけ Poor Point 平均が高い場合は 50 点-25=25 点と与える．

$$n = 100 / K_{time} - average(S_{pro}(k - time_{jam}))$$
$$valuator = (n / (100 / K_{time})) \times 100 + 50$$

数式 37 評価

現状では CSV の出力単位で評価を行っている．また，アルゴリズムを見直すことによって一日単位で評価を出すことも可能である．

第７項　運転アドバイス

どのような運転が原因で Poor Point が大きくなってしまったかを示す．ドライバーはこの結果を元に次運転時に的確な改善を行うことができる．アドバイスの出力は今回 3 種類だが，Poor Point を求めるアルゴリズムの発展により，アドバイス項目の発展も見込むことができる．アドバイスの出力は Poor Point の主な構成要素である加速度・減速度・速度の 3 つの要素から求める．具体的には，Poor Point の変化量(PP_{dif})が最も大きい時間帯における，もっとも Poor Point に影響を与えている要素に応じた運転アドバイスを出力する．運転アドバイスにより表示されるアドバイス項目と出力条件は表 14 に示す．

表 14 運転アドバイス

アドバイス項目	出現条件(PPdifが最大の時間)
加速が急です。 緩やかな加速を心がけましょう	PPa(k) > PPd(k),PPv(k)
ブレーキが急です。 予測運転を心がけましょう	PPd(k) > PPs(k),PPv(k)
速度が早いです。 法定速度を守りましょう	PPv(k) > PPs(k),PPd(k)

第５節　　出力結果例

以上の処理によって得られる出力の様子を示す．今回出力のために使用するデータは埼玉県大宮から東京都東久留米までの運転をおこなったものである．走行環境は夜間，運転方法は日常通りである．また，道路状況に渋滞はなかったが，信号が原因で頻繁に発進と停止を繰り返す時間帯があった．図 38 に測定された走行データを示す．

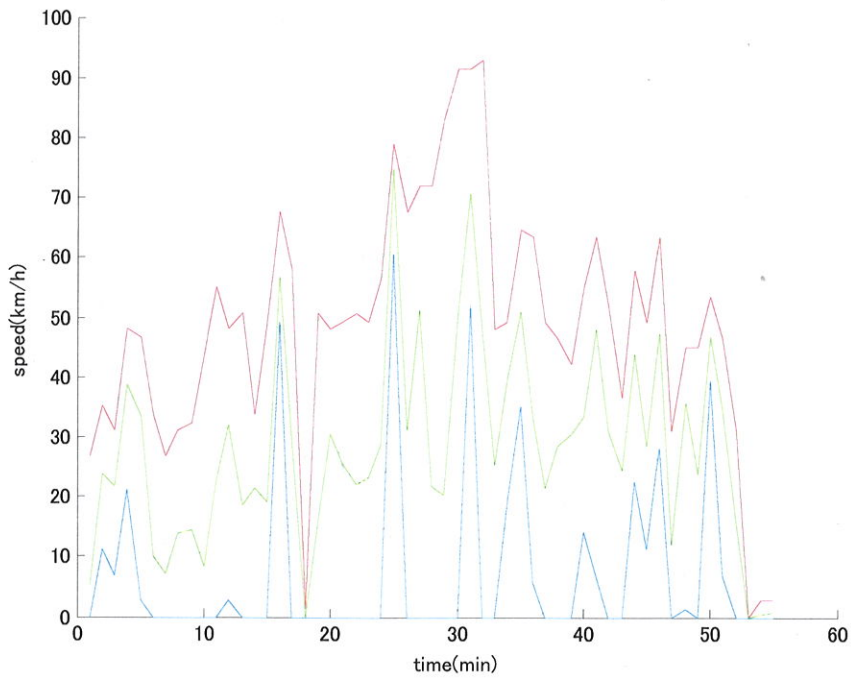


図 38 運行データ(赤:最大速度 青:最低速度 緑:平均速度)

20 分単位での考察

・0~20 分区間

走行開始時は住宅街，駅前，市街地を走行している．平均速度の低さ，最高速度の不安定さが確認できる．

・20~40 分区間

大通りを走行している時間帯である．平均速度，最高速度の速さが確認できる．但し，最低速度が 0 となる時間が多く発生している．

・40~60 分区間

市街地，住宅地を走行している時間帯である．

入力から加速 PP，減速度 PP，速度 PP の計算を行った結果を図に示す．

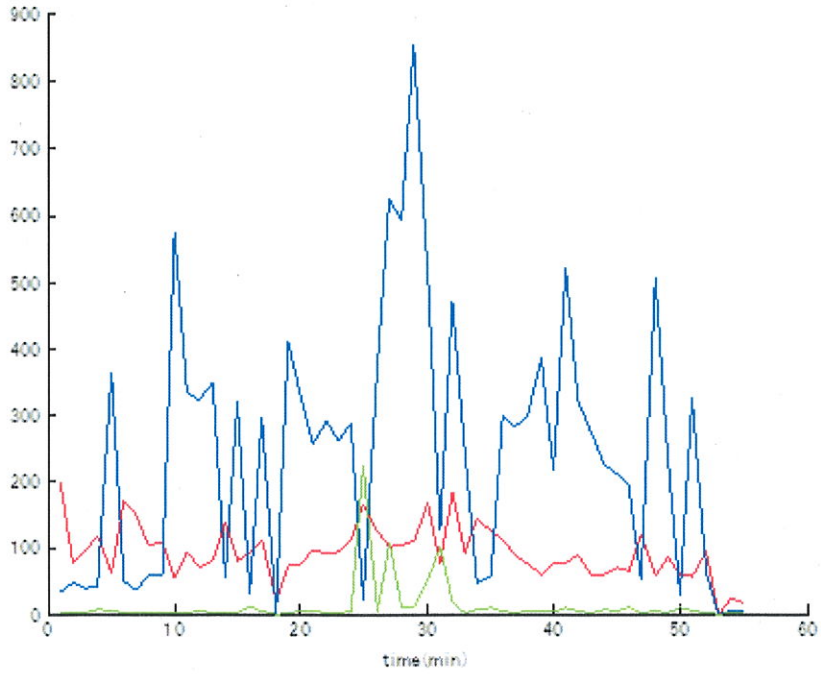


図 39 疲労の比率(青:減速 PP 赤:加速 PP 緑:速度 PP)

この出力を見ることによって，主な Poor Point の要素である減速・加速・速度によって受ける Poor Point の比率が観測できる．現段階において，ドライバーの癖や走行環境に応じた係数の変化は，それぞれの要素を積算した値の係数にのみ反映されるが，減速・加速・速度における Poor Point の大きさの比率に関しても係数を変化することにより調整が可能である．

また，運転アドバイスはこの 3 要素の関係で判断するが，明らかに減速の要素が大きくなっている．すなわち現状ではアドバイスの出力は減速に対することが頻出してしまう．こちらについても今後調整が必要である．

第１項　Ｔ分移動平均 Poor Point

Poor Point と，移動平均 Poor Point の結果を図 40 に示す．

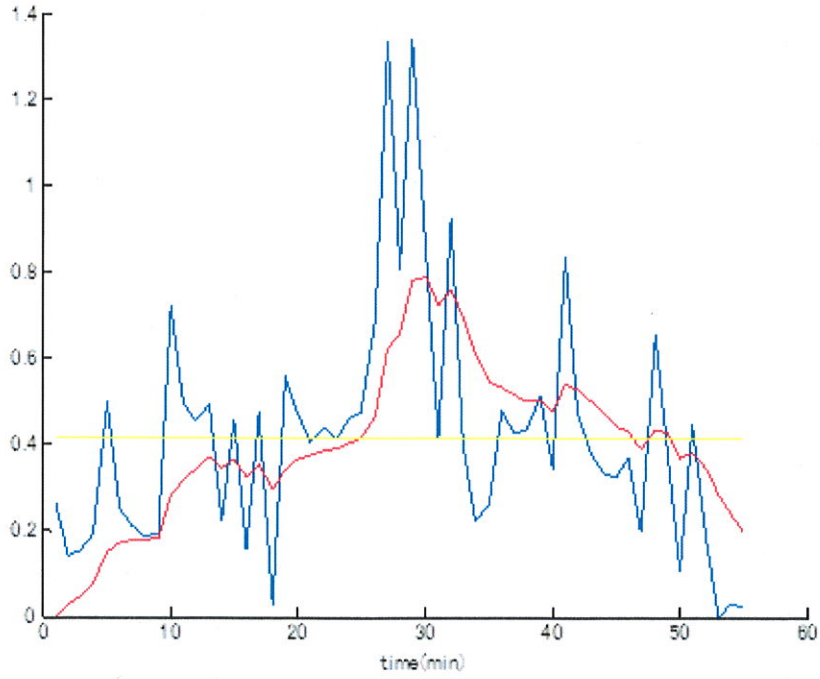


図 40 Poor Point (青:Poor Point 赤:移動平均 黄:基準線)

この出力を見ることによって単位分あたりにおける Poor Point を見ることができる．赤線は移動平均を行った結果であり，単純に言えばノイズを除去した結果である．運行データと比較・考察すると最高速度と最低速度の差が多ければ多いほど，Poor Point の値が大きく出力されている．

第２項　Poor Point 変化率

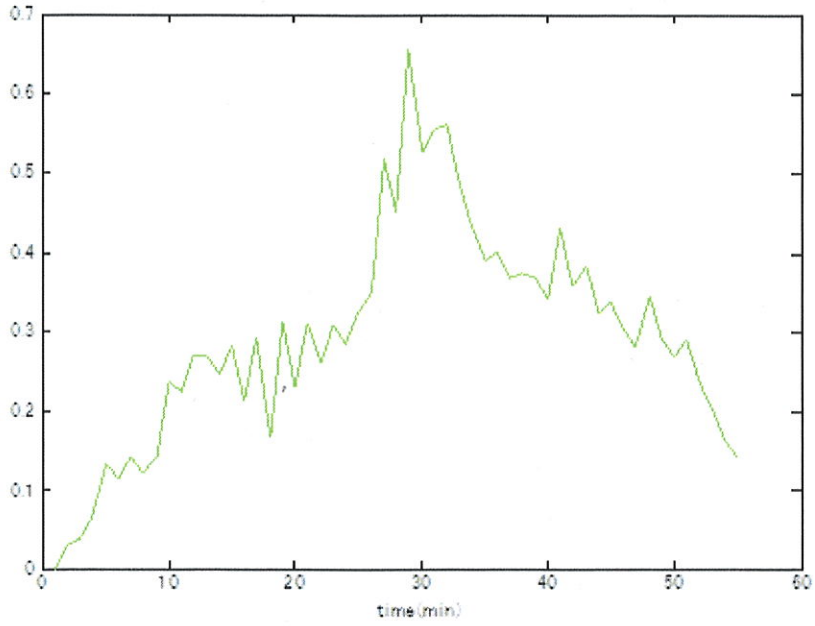


図 41 Poor Point 変化率

移動平均 Poor Point を不完全微分した結果を出力している．この結果をみることによって Poor Point の変化量を観測することができる．すなわち，Poor Point が著しく変化する時間帯を調べている．このグラフが「乱れている場合は不安定な運転」「乱れていない場合は安定した運転」をおこなっているといえる．

第３項　蓄積疲労

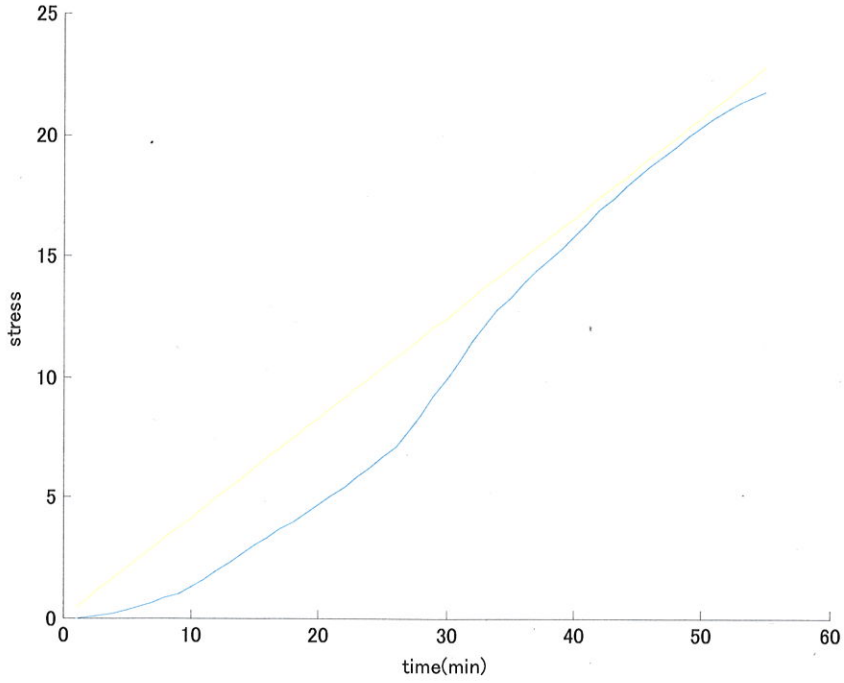


図 42 疲労 (青:蓄積疲労 黄:基準線)

移動平均 Poor Point を積分した結果を出力している．本研究では単位時間あたりの疲労を Poor Point と定義しているため，この値が疲労である．この値は，平均的な走行を行った場合は 4 時間(240 分)で 100 となる．すなわち，下手な運転を行う場合は 4 時間未満で 100 に達する．この出力は本研究の目標でもある自動車の運転における疲労度を示すものでもある．以下付加出力として示している．

第４項　今後安全運転可能時間

１分毎に今後安全運転可能時間を示す．出力は１分毎の処理ごとに表示する．

```
残り時間[min] >>
  239
残り時間[min] >>
  238
残り時間[min] >>
  237
残り時間[min] >>
  236
残り時間[min] >>
  235
残り時間[min] >>
  234
残り時間[min] >>
  233
残り時間[min] >>
  232
残り時間[min] >>
  231
残り時間[min] >>
  230
残り時間[min] >>
  229
残り時間[min] >>
  228
残り時間[min] >>
  227
残り時間[min] >>
  226
残り時間[min] >>
  225
残り時間[min] >>
  224
残り時間[min] >>
  223
残り時間[min] >>
  222
残り時間[min] >>
  221
残り時間[min] >>
  220
残り時間[min] >>
  219
残り時間[min] >>
  218
残り時間[min] >>
  217
残り時間[min] >>
  216
残り時間[min] >>
  215
残り時間[min] >>
  214
残り時間[min] >>
  213
残り時間[min] >>
  212
残り時間[min] >>
  196.3388
残り時間[min] >>
  188.6664
残り時間[min] >>
  188.2288
残り時間[min] >>
  180.1614
残り時間[min] >>
  180.0914
残り時間[min] >>
  182.7725
残り時間[min] >>
  184.5302
残り時間[min] >>
  183.1153
残り時間[min] >>
  182.4024
残り時間[min] >>
  181.5820
残り時間[min] >>
  179.7727
残り時間[min] >>
  180.0863
残り時間[min] >>
  174.5114
残り時間[min] >>
  173.3094
残り時間[min] >>
  173.1871
残り時間[min] >>
  173.5045
残り時間[min] >>
  173.8748
残り時間[min] >>
  173.7468
残り時間[min] >>
  175.5865
残り時間[min] >>
  172.3837
残り時間[min] >>
  172.1043
残り時間[min] >>
  174.5261
残り時間[min] >>
  173.4607
残り時間[min] >>
  175.0501
残り時間[min] >>
  178.4165
残り時間[min] >>
  181.5339
残り時間[min] >>
  184.6912
```

図 43 今後運転可能時間

今後安全運転可能時間とは，Poor Point の傾向から今後も同じ運転を続けた場合，残りどの程度の連続運転が可能かを出力している．

運転可能時間の結果から，前半には基準値よりも上手な運転が行われているため，今後安全運転可能時間は１分間運転することにつき，残りの運転可能時間は１分ずつ減少がしている．しかしながら，後半では基準値と比べ，下手な運転となってしまっているため，１分間の運転につき運転可能時間は１分以上減少してしまっている．

すなわち，出力結果から理想的な運転を行っているのか，下手な運転を行っているのかを判断することが可能である．加えて，残り時間を具体的に記すことによって休憩の必要性を見ることができる．

第５項　総運行時間と渋滞時間と渋滞率 (%)

```
総走行時間[分] >>
    55

渋滞時間[走行分後] >>
     5     6     7     8     9    10

総渋滞時間[分] >>
     6

渋滞率[%] >>
   10.9091
```

図 44 渋滞率

実験データから，走行時間と渋滞だと判定された時間帯や比率を解析した結果の出力である．出力結果から，走行開始 5~10 分間．計 6 分間渋滞に巻き込まれていることがわかる．しかしながら，実際の走行環境では渋滞ではなく短時間で複数回信号機での停止である．精確な渋滞検出を行うためには最低でも単位秒あたりの速度データが必要だと考える．しかしながら，単位分あたりの速度データにおいても，渋滞と似た環境を渋滞であると出力することは可能である．

第６項　運転総合評価 (点)

```
評価点 >>
   56.1370
```

図 45 運転評価

運転の結果を点数化した出力である．今回の運転は 56 点であり，50 点を超えているため平均的な運転よりも優れた運転を行っているといえる．運転技術の点数化は運転の技量を単純に数字として判別することが可能なため，この数値を見るだけでも運転の結果が判断できる．

第７項　運転アドバイス

```
ブレーキが急です。予測運転を心掛けましょう
```

図 46 運転アドバイス

運転結果から，文字として結果を表示し，課題を示す．出力は図で示した通り，減速要素が出ている．Poor Point と速度の関係をさらに深め，Poor Point を求めるための要素を増やすことによって，アドバイスのバリエーションも必然と増やすことが可能である．

第１０章　　ドライブレコーダを用いた定量化システムの検証実験

第１節　　実験目的

走行実験を行い，そこで得られたデータに対してアルゴリズムを適用する．得られた疲労と生体センサで解析を行った結果の疲労(交感神経優位量)を比較し，アルゴリズムの信頼性を考察する．

第２節　　実験方法

自動車に DR-9100 を，ドライバーに生体センサ(AC-301A)を取り付けて走行実験を行う．走行ルートは大宮駅西口から法政大学小金井キャンパスまでのルートで行う．

第３節　　結果

走行実験で得られたデータを図に示す．アルゴリズムではこの結果を用いて Poor Point を算出する．算出された Poor Point の結果は図に示す．また，ドライバーに取り付けた生体センサのデータを解析することによって Poor Point を導くことができる．この結果を図に示す．疲労は Poor Point を積算することによって求めることができる．各分単位における蓄積された疲労をグラフ化した．その結果を図に示す．同時に生体センサから得られる Poor Point を積算した結果(疲労)もプロットする．

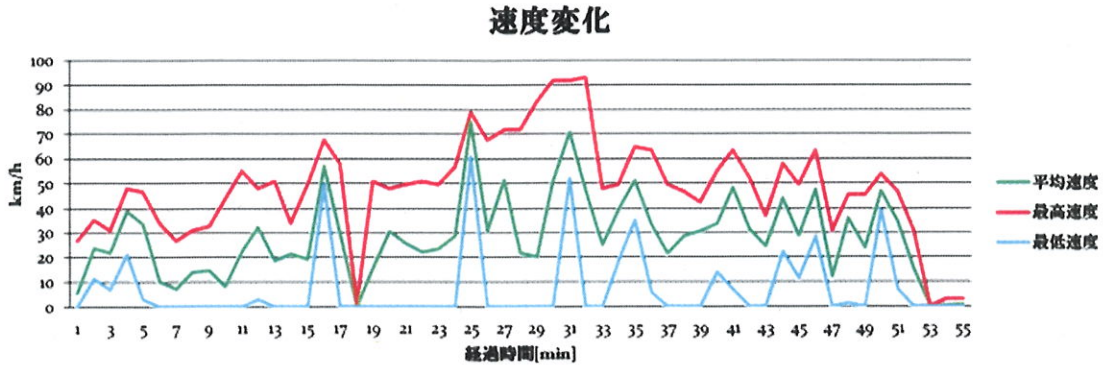


図 47 走行実験結果

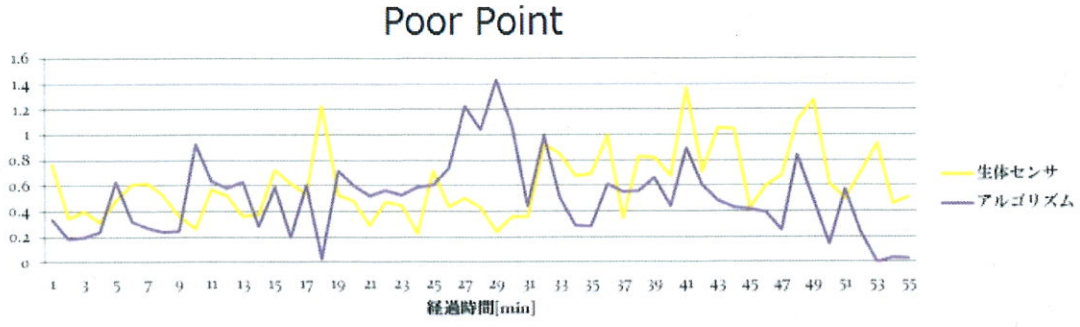


図 48 Poor Point の算出結果比較

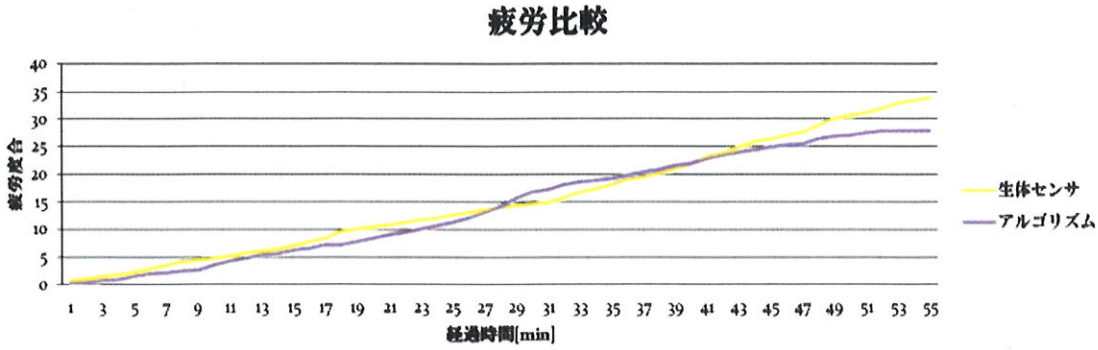


図 49 疲労の算出結果比較

疲労の算出結果を比較したグラフを見ると，生体センサを用いて得られる疲労とアルゴリズムを用いた解析結果は比較的近似している．すなわち，アルゴリズムにおける疲労の算出は信頼できるといえる．

第４節　　考察

疲労を得るために用いられる Poor Point を考察する．数値の差異はあるものの，傾向としては類似している．この結果は，変換係数の調整によって補正を行うことができるため，傾向が類似しているのであれば，アルゴリズムによる Poor Point の算出は信頼がおけるものであるいといえる．しかしながら 18 分前後や 28 分前後のデータを見ると，ストレスと Poor Point の結果は大きく異なってしまっている．このときの速度変化は 18 分前後の時は最低速度と最高速度の差は小さく，28 分前後の時は最低速度と最高速度の差は大きいことがわかる．その結果アルゴリズムの仕様に準拠し，18 分前後では Poor Point は小さく，28 分前後では Poor Point は大きいと出力されている．それに対し生体センサでは逆の結果が得られている．この原因は「速度のトレンド」によるものであると考えられる．18 分前後では速度が周囲の速度と比べて大きく変動している．すなわち，本アルゴリズムにおいては 1 分間内のデータのみを用いて Poor Point を算出しているが，その前後のトレンドも同時に考える必要があることを示している．

第５節　　結論

1分毎に得られる最低速度・平均速度・最高速度を用いて疲労度を推定するシステムは構築可能であるといえる．本研究では車速を用いて疲労度合いを求める手法の一つにすぎないが本アルゴリズムは信頼できる手法の一つである．また，研究で用いているドライブレコーダは自動車1台分しかないため，特定車種と(保険の関係上)限られたドライバーでの実験が主となる．

車速を用いてドライバーの疲労度合いを調べるアルゴリズムを作成した．このシステムで得られる疲労度は生体センサを用いて得られる疲労度(数値的に最も信頼できるであろう疲労度)と比較すると，同値とまではいかないものの比較的近似した結果が得られた．すなわち，再考を繰り返すことによってより近い数値が得られる可能性がある．また実験結果より，アルゴリズムの展望を発見した．今後の課題として取り組みたい．

本資料では疲労の算出について主に取り上げた．しかしながら冒頭にも取り上げた通り運転技術の改善につなげるシステムが最終目的となる．アプローチとしては出力のバリエーションで取り組んでいる．たとえばストレスの傾向を解析し，ドライバーの悪い癖を発見する手法．走行結果より運転技術の点数化を行い，同時に改善のためのアドバイスを提示する手法などが挙げられる．どれも基本となるストレスの計算や道路状態の解析が重要となるため今回取り上げたアルゴリズムの重要性は変わらない．

第１１章　　おわりに

自動車の運転技術を定量化した.

本研究では運転技術は下手な運転度合い Poor Point として定量化した. 定量化を行うために自動車の速度情報を用いた. また, 定量化の指標として心拍変動を解析して得る交感神経の活動量を用いた.

はじめに実験にて, 自動車の挙動と交感神経の活動量にどのような相関があるのかを調べた. その結果, 基本的な関係として車速や加速度の大きさと交感神経活動量の大きさに比例関係があることが伺えた. その結果, 車速と交感神経の定性的関係を以下に定めた.

Poor Point は減速を行う減速度に比例する

Poor Point は加速を行う加速度に比例する

Poor Point は法定速度を超える運転時間に比例する

この定性的関係より, 簡易な運転技術の定量化システムを構築した. ここで作成したシステムの結果と交感神経活動量の結果を比較する実験を行ったところ, 交感神経が活動する条件には以下の関係を伺うことができた.

適切な車間距離が確保できていない・周囲の流れにのれていない場合

定められた速度域を超過した運転を行なっている場合

複雑な操作が求められる場合(右左折や速度コントロール)

「不安定な運転」を行なっている場合(発現は集中力が切れたとき)

この結果をもとに, 5Hz の速度情報を解析する自動車運転技術の定量化システムを構築した. システムの動作より自動車の挙動から運転技術を定量化することは可能だと言える. 但しドライバーの直接センシングではないため運転技術イコール運転疲労だとした場合, 自動車の挙動のみで運転技術を得ることは難しいが類似した出力を得ることが可能である.

加えて，1/60Hz の速度情報を解析する自動車運転技術の定量化システムを構築した．従来であれば，走行の特徴は詳細な速度情報を用いて得ることができたが，今回は情報量が限られる．そこで，交感神経の特徴を組み合わせた新たな定性的関係を定義する．新たに定性的関係を定め，アルゴリズムの構築に簡略化を図る．定性的関係を以下に記す．

走行状態から停止を行う減速 PP は減速度の大きさに比例する

走行状態から減速を行う減速 PP は減速度の大きさに比例する

停止状態から発進を行う加速 PP は加速度の大きさに比例する

走行状態から加速を行う加速 PP は加速度の大きさに比例する

速さによる速度 PP は速度の大きさに比例する

1/60Hz の速度情報を用いた定量化システムより，1 分毎に得られる最低速度・平均速度・最高速度を用いて疲労度を推定するシステムは構築可能であるといえる．本研究では車速を用いて疲労度合いを求める手法の一つにすぎないが本アルゴリズムは信頼できる手法の一つである．

同時に，車速を用いてドライバーの疲労度合いを調べるアルゴリズムを作成した．このシステムで得られる疲労度は生体センサを用いて得られる疲労度と比較すると，比較的近似した結果が得られた．これは，交感神経がより活動する運転と，そうでない運転を行った場合の Poor Point が，詳細な結果は得られないものの，平均値は近い結果が得られることより言える．

本研究では疲労の算出について主に取り上げた．しかしながら冒頭にも取り上げた通り運転技術の改善につなげるシステムが最終目的となる．アプローチとしては出力のバリエーションで取り組んでいる．運転技術を解析した結果，ブレーキが荒いなど，具体的なアドバイスを行うことによって運転技術の改善と，それに伴う交通安全へと寄与できる．

謝辞

本研究を進めるにあたり，御指導を頂いた渡辺嘉二郎教授，小林一行教授に深く感謝します．両先生には学部 4 年の頃には，IGVC や RWRC 参加というすばらしい機会を与えていただきました．大学院では，国際会議である SICE への参加や研究の面だけでなく就職活動等大変お世話になり，重ねて感謝申し上げます．

共同研究を行った石川倫明さんには学会，IGVC，RWRC，参加にあたっての技術的・能力的な面から，プライベートに至るまで気に掛けて頂きまして，この場をかりて深く感謝申し上げます．気さくに接してくださったことで，精神的にも・能力的にも大きく成長できたと思います．

また，大学院 1 年の冬より共に取り組みを始めた住友三井オートモティブシステムズさんとの開発は，学生の身分でありながら社会的な責任や取り組み方，知識を学ぶ最高の機会でした．この場を借りて感謝申し上げます．

最後に，学部・大学院含め 6 年間，不自由なく勉学に集中できる環境を提供していただいた両親・家族に感謝します．

2012 年 2 月 24 日

恩田　圭輔