

道路交通環境と自動車運転行動のデータマイニングによる運転者特性 抽出手法の開発

Development of Driver Characteristic Extraction Method Using Data Mining of Road
Traffic Environment and Automobile Driving Behavior

主任研究員名：金子 哲也

分担研究員名：北澤 章平

総括

本研究では多種多様な個々の自動車ドライバ特性のみならず、その個人内変動にも注目した解析として独創的な考えを有している。申請者はこれまで、人間のドライバが感受するリスク感覚を考慮した考え方として、リスクポテンシャルを用いた自動運転車両のための制御目標生成技術を確立してきた。本アルゴリズムの基本概念は、ヒューマンドライバが車両周辺環境の認知物体から感受する危険感覚（リスクポテンシャル）を推定、定量化してモデリングし、車両運動がリスク最小となる制御目標（目標軌跡、ハンドル操舵、目標速度パターン）をモデル化する手法である。本研究ではこのモデルを応用、発展させ道路交通安全の重要事項となる操縦者の認知機能の異常状態や運転技能の不足、危険度などをリアルタイムに検出する技術を確立するための基礎検討である。

本研究における学術的課題を以下に示す。

- ① 多様な操縦者の運転特性を詳細に表現するモデルからの特徴抽出手法。
- ② 個々の操縦者の運転特性変化を詳細に表現するアルゴリズムの構築。
- ③ ドライバの運転行動特徴抽出に有効な実道路交通下における場面抽出。
- ④ 運転車両周辺環境データと運転行動モデルにより定量化された運転行動特徴抽出。
- ⑤ ④のデータ蓄積による運転行動特性変化の定量化、危険、異常状態検出手法の提案。

上記において最も学術的に重要度の高い課題は、②多様なモビリティ操縦者の運転特性を詳細に表現するモデルからの特徴抽出手法、および③個々の操縦者の運転特性変化を詳細に表現するアルゴリズムの構築である。これは、人間工学と制御工学の観点から運転動作の特徴を詳細に表現できるモデルを構築し、適用する必要がある。

本研究では、運転行動の特徴抽出アルゴリズムにおいて、これまで申請者が主に自動運転車両の制御目標生成アルゴリズムの開発に活用してきたリスクポテンシャルドライバモデルのモデリング手法を応用する。本ドライバモデルの基本的考えとして、自動車のドライバは車両周辺の状況を知覚、認知し、危険（リスク）の最も少なくすることを目標に操縦動作を行っているものとする考えから提案されている。なお、ここでドライバに危険感覚を及ぼす物体とは、図 1 に示すように、走行路上の他車両、歩行者や障害物などの顕在的な物体のみならず、見通しの悪い交差点からの物体の進入予測によるリスク感覚などの潜在的リスクも運転行動に影響を与える要素として考える。また、車線規制などの交通法規についてもドラ

イバに与えるリスク要因と考える。先行研究により、図 2 に示すように、物体に対する接近リスク値は指数関数で定義する可能であるということを用いて、各物体のリスク値を設定する。これらの認識物体からの距離に対して、瞬時心拍の上昇などの生体計測や主観評価により説明し構築されたモデルである。本モデルのコンセプトを、本研究課題に応用することは有効であり、かつ学術的に独創的手法であると考えられる。

本研究では、前述の考えを用い、自車両周辺環境情報とドライバの運転行動計測データから、そのドライバが感受しているリスク感覚を推定（前述の自動運転アルゴリズムの逆演算になる）し、個々の要素ごとに推定したリスクポテンシャル場を合成することで、特定の環境下におけるドライバ運転特性固有のマップを生成する。個々ドライバの知覚、認知、操作の過程の個人差の表現やドライバ個人の変動を示すことができると考える。

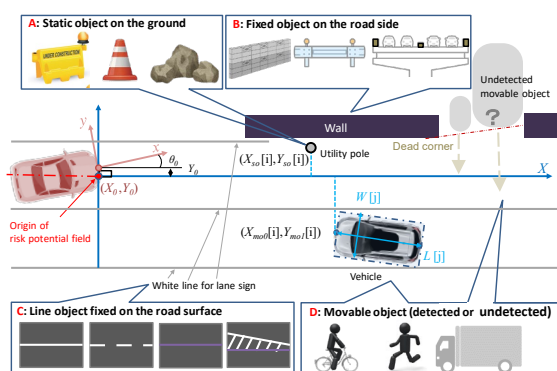


図 1 道路交通物体の分類

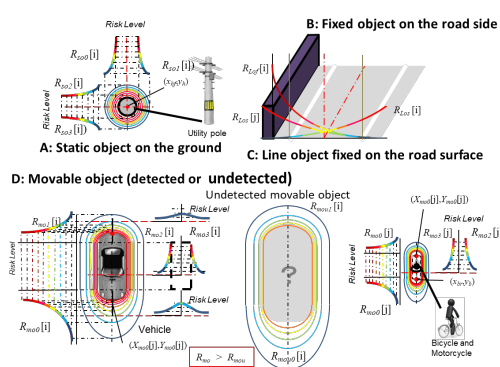


図 2 道路交通物体のリスクポテンシャル関数化

上記の課題に対して、研究期間に得られた結果の概要を以下に示す。

1. 交通環境ダイナミックマップにおける路面摩擦データベース構築に関する研究

本研究において自動車の走行環境情報の取得は重要課題である。そこで、一般走行実験による路面摩擦計測手法とタイヤと路面間の摩擦で生じる非線形特性をも推定する手法を確立し、環境情報との相関性をビッグデータとして活用可能なデータベースを構築する。これを現在多くの次世代車両開発の分野で要求されている道路交通のダイナミックマップに関連付けることで、これを有効活用した車両運動制御の提案を行った。先行研究で行ってきたタイヤ-路面摩擦特性の計測・推定手法について説明を行い、その計測用タイヤの未検討課題と推定手法に関する課題について述べた。μ-s 特性推定精度向上手法として、線形特性を示すタイヤモデルの非線形係数の関係から想定される最大静摩擦係数を用いた手法を提案した。その結果、先行研究で提案されていた推定精度向上手法に比べ、2 倍以上の精度向上が確認できた。

2. ドライバの運転行動を再現するドライバモデルパラメータの定量化手法

本研究では、これまで行ってきたリスクポテンシャルを用いたドライバモデルにより、交通リスク評価の検討を行うことを目的とし、個々のドライバ行動の違いを定量化する。また、ヒューマンドライバは様々な理由でその運転行動は一定で無く、ある程度のばらつきや揺らぎが存在することから、リスクポテンシャルドライバモ

デルのパラメータ同定手法とその運用について検討を行った。ドライビングシミュレータを用いてヒューマンドライバの運転行動を計測し、周辺の交通参加者から感受する危険感覚を確率変数として定量化し、この結果による運転行動の再現性について検証を行った。

その結果、リスクポテンシャルパラメータを確率変数として取り扱うことで、ヒューマンドライバの行動に表れる「ばらつき」をドライバの特徴量の一部ととらえ定量的に表現することができた。またドライバモデルによってドライバ毎に異なる走行経路を精度良く再現出来ることを検証した。

交通環境ダイナミックマップにおける 路面摩擦データベース構築に関する研究

金子 哲也（工学部交通機械工学科）

1. はじめに

自動車の性能はドライバーの操作により唯一制御可能な外力は、タイヤと路面間の摩擦力であり、その特性設計は自動車の運動性能にとって支配的要素である。

そのタイヤは様々な工夫や改善が施され、現在のゴムを用いた空気入りタイヤの形となった。一方で車両側の運動性能を向上させるものとして、ABS（Anti-lock Brake System, アンチロックブレーキシステム）をはじめ、車両が不安定な状態を検知すると、各種センサから得られた情報を基に、各輪の制動力や駆動力を自動統合制御するDYC（Direct Yaw-moment Control, ダイレクトヨーモーメントコントロール）の一つである、ESP（Electronic Stability Program, 横滑り防止装置）等が導入されている。

このように、車両の走行性能を向上させるために様々な改善が繰り返され、今日の走行安定性を維持している。しかし、前述のように自動車の運動特性はタイヤと路面間の摩擦力が支配している。その摩擦特性は道路の舗装状態、材質などの様々なインフラ条件に加え、雨天、雪氷状態、気温変化などの環境変化に対して高い依存性がある。現在実用化に向けた技術開発競争が激しいADAS（Advanced Driver-Assistance System, 先進運転支援システム）や自動運転と呼ばれるシステムの多くでは、走行環境は良好な条件や特定の条件を前提としている場合が多く、その機能の有効な作動条件は極めて限られている。そのため、今後様々な環境を走行する自動運転車両を想定したとき、車両運動制御に重要である路面摩擦情報が備わっていなければ、そのシステムの機能を正確に作動させることができないと考えられる。また、フィンランドの研究グループであるRoad Cloudの報告では、システムが全ての運転タスクを実施する自動運転レベル4以上においては、時々刻々と変化する詳細な路面摩擦情報が把握できなければ、車両運動制御の最適化が困難であると報告されている(1)。そこで現在は、タイヤと路面間の詳細な摩擦特性を計測するために、図1に示すような1輪タイプのグリップテスタを用い一部の道路で計測が行われている。この時のスリップ率と摩擦係数の関係を μ -s特性として扱うが、このような計測機では連続的にスリップ率を変化させることで、その μ -s特性を計測している。そのため、距離でその計測結果を見た場合、路面全体を詳細に計測することはできない。



Fig.1 One wheel type grip tester

本研究は上記のような状況を踏まえて 2020 年度から始まった産学連携プロジェクト「先進路面摩擦データベース構築」における研究課題に取り組んだものである。本プロジェクトでは、一般走行実験による路面摩擦計測手法とタイヤと路面間の摩擦で生じる非線形特性をも推定する手法を確立し、環境情報との相関性をビッグデータとして活用可能なデータベースを構築する。これを現在多くの次世代車両開発の分野で要求されている道路交通のダイナミックマップに関連付けることで、これを有効活用した車両運動制御の提案を目標としている。

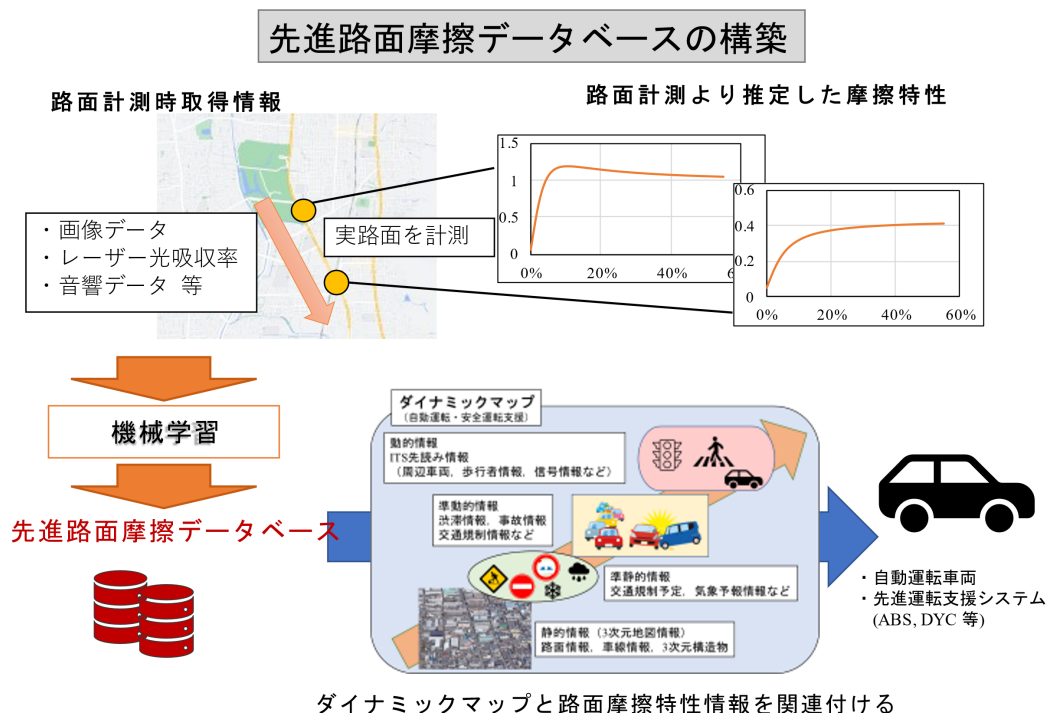


Fig.2 Hierarchy of dynamic map

そこで先行研究では、先進路面摩擦データベースの構築のために、 μ - s 特性の計測手法と推定手法について基本設計をした(2)。しかし、予定をしている計測機器で用いる計測タイヤの特性が把握できておらず、計測時の条件が決められていない。また、推定手法では、その計測した摩擦係数より、路面摩擦特性全体を推定する精度が悪く、今後の自動運転車両の発展を考えると不十分である(3)。

本研究では、上記のような課題から、計測で用いる計測用タイヤのタイヤ試験を行い、計測時のタイヤ条件の選定をした。次に、新たに提案する μ - s 特性推定精度向上手法について述べる。

2. 先進路面摩擦データベースの構築

現在自動運転の高度化を図るために、ダイナミックマップの構築が進められている。しかし、ここでは詳細な路面状態を計測したようなデータは含まれていない。そこで、実路面のタイヤと路面間の詳細な μ - s 特性を計測・推定する手法を用い、先進路面摩擦データベースの構築を行う。そして先進路面摩擦データベースとダイナミックマップを組み合わせ、車両運動制御に活用できる情報を提供する。その概要図を図 2 に示す。こ

の先進路面摩擦データベースを構築するために路面摩擦計測時に取得した位置情報の他、路面の画像データやレーザ光の吸収率等の環境情報を同時取得してビッグデータとして蓄積することで、時々刻々と変化する環境に対する μ -s 特性を推定する機械学習を行うシステムの構築をする。

3. μ -s 特性計測手法

先進路面摩擦データベースを構築していくために、先行研究では計測手法の基本的な設計と、新たに提案する計測装置の検討が進められている(2)。しかし、実路面で計測を行うために用いる計測用タイヤのタイヤ特性が明らかにされていない。そこで、計測用タイヤのタイヤ試験を行い、その結果より実路面を計測する際のタイヤ条件を選定した。

3.1 実路における路面摩擦係数計測・推定手法

一般路において μ -s 特性の計測を行う際、1 章でも説明したように 1 輪タイプの計測装置を用いることが多い。しかし、このような装置では詳細な μ -s 特性を計測はできない。そこで、先行研究ではスリップ率を固定した複数輪で、その摩擦係数を計測し、計測した複数の摩擦係数からマジックフォーミュラタイヤモデル（以降 MF タイヤモデルと示す）を用いて μ -s 特性全体を推定する手法が提案されている(2)。MF タイヤモデルはタイヤ特性を近似化する際に用いられる一般的な式で、H.Pacejka が考案し、年々改良が重ねられてきた(4)。先行研究ではこの式を簡易化した式 1 を用いた。

$$\mu = a \sin\{b \tan^{-1}(cs)\} + d \quad (1)$$

この式を用い推定をする上で、まず図 1, 3 に示すタイヤ試験機で、計測用タイヤの μ -s 特性の計測をした。複数回条件を変更して計測した 36 セットの結果を図 4 に示す。



Fig.3 Tire testing machine used to measure tire characteristics

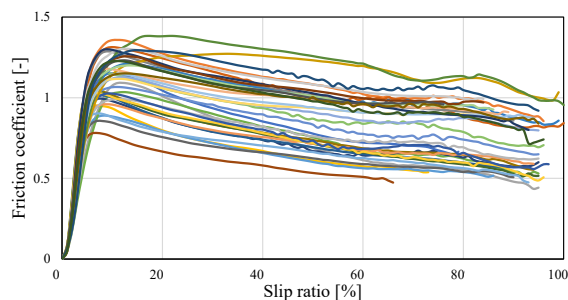


Fig.4 Results of tire test

この μ - s 特性の特徴を抽出し、検討した結果、スリップ率 3[%], 10[%], 17[%]の 3 点の摩擦係数より推定が行えることが分かった(2). その 3 点の摩擦係数より式 1 を用いて推定した結果の一例を図 5 に示す. この推定結果より、3 点の摩擦係数から推定が行えることから、計測で用いるスリップ率は 3[%], 10[%], 17[%]とし、図 6 に示すような計測用トレーラを作製した. このトレーラでは、歯数の異なるスプロケットを用い、駆動用タイヤ（メインタイヤ）の回転数を減速して計測用タイヤを回転させる. このチェーン・スプロケットの関係から、計測用タイヤを一定のスリップ率で走行させることができる. この時に計測用タイヤの車軸に取り付けたロードセルで制動力と路面反力を計測する.

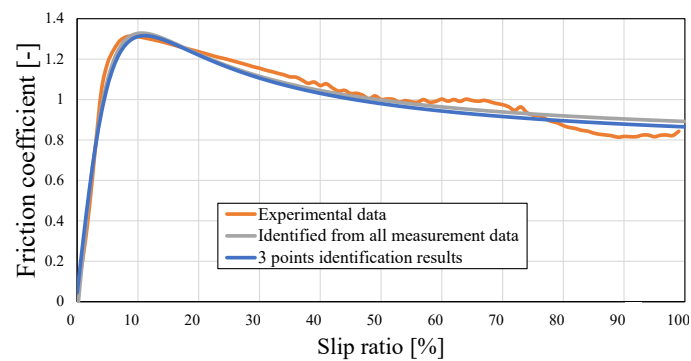


Fig.5 Comparing experimental data, identified from all measurement data and 3 points identification results

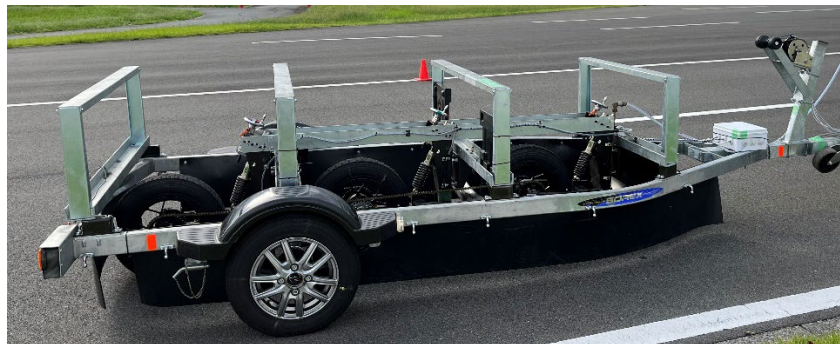


Fig.6 Measurement trailer measures road friction by three condition slip ratio

3.2 路面摩擦計測時のタイヤ条件

前節では先行研究で行ってきた計測装置の基本設計について述べた. しかし、実路面で計測を行う際の計測用タイヤの条件が決められていない. そこで、計測用タイヤのタイヤ試験を表 1 に示す路面反力 5 条件、内圧 4 条件で計測を行い、その結果より実路面の摩擦係数を計測する際の条件選定をした.

Table.1 Measurement conditions of tire test

路面反力[N]				
250	500	750	1000	2000
内圧[kPa]				
150	200	250	300	

まず路面反力の検討をするために、内圧 200[kPa]における各路面反力の摩擦特性を計測した。その結果を図 7 に示す。路面反力が大きいほど最大摩擦係数（ピーク μ ）が低くなり、それを示すスリップ率も低くなっていることがわかる。実路面計測時には道路交通法等の制限から、一輪あたりの路面反力を抑える必要があるため、一般的な μ -s 特性に近い条件として、250[N]、500[N]、750[N]が最適と考えた。しかし、250[N]ではその路面反力が小さいことからノイズが発生していることから、500[N]と 750[N]の 2 条件で検討を進めた。

このどちらかを決めるために、上記の 2 条件で表 1 に示した各内圧で試験を行った。その各内圧におけるピーク μ とそれを示すスリップ率との関係を図 8 に示す。どちらの条件においても、ピーク μ の差はみられない。しかし、それを示すスリップ率では、路面反力 500[N]ではスリップ率 16[%]前後で変動が少ないのに対し、750[N]では大きく変動していることがわかる。この結果より、路面反力は 500[N]が適していると考えた。

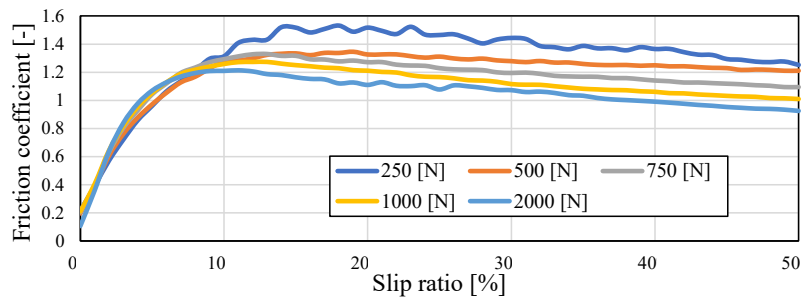


Fig.7 Results of tire test at inner pressure 200[kPa]

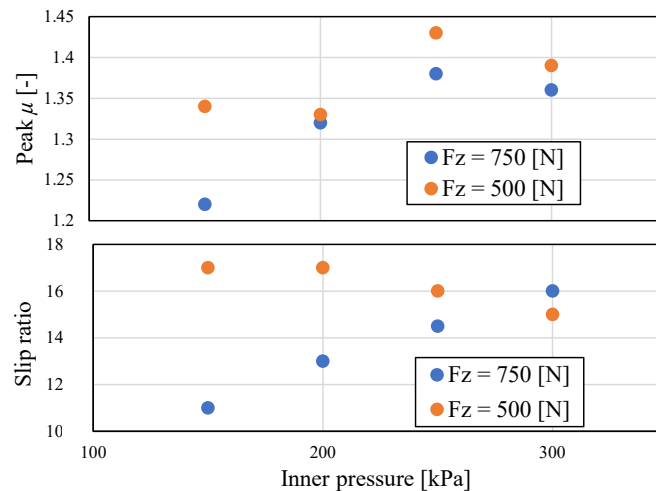


Fig.8 Relationship between inner pressure and characteristics at each road reaction force

最後に内圧の条件を決めるために、路面反力 500[N]にて内圧 4 条件でタイヤ試験を行った結果を図 9 に示す。ピーク μ 、それを示すスリップ率、全体像を一般的なタイヤ特性と似ているものを選定した結果 150[kPa]が適当であると考え、実路面摩擦係数計測時の条件は路面反力 500[N]、内圧 150[kPa]とした。

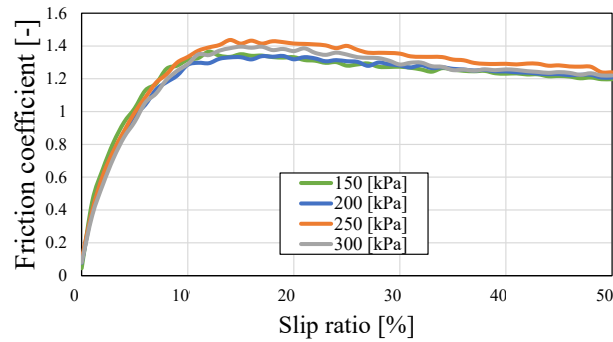


Fig.9 Results of tire test at road reaction force 500[N]

4. μ -s 特性推定手法

3章で示したように、3点のスリップ率からその μ -s 特性の全体を推定できることが分かった。しかしながら、図 10 に示すように、計測条件によっては推定精度が悪い物も存在するため、4点目であるロック μ を推定することで推定精度の向上が提案されてきた(3)(5)。しかし、ロック μ の推定精度が悪い事が課題となっている。そこで、提案する推定精度向上手法について述べる。

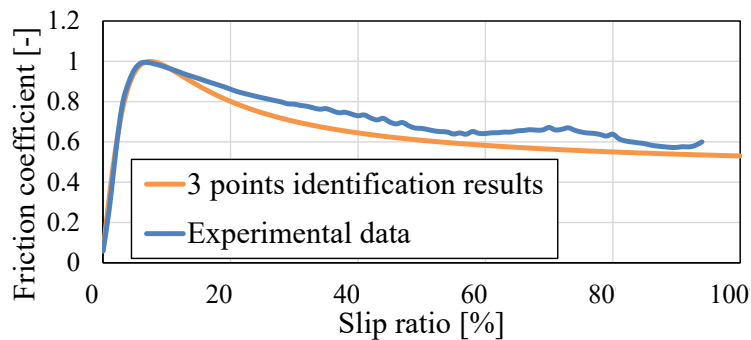


Fig.10 Estimation bad result at 3points friction coefficient

4.1 μ -s 特性推定精度向上手法

先行研究では簡易化した MF タイヤモデルを用いたが、提案する手法では発生するタイヤ力を物理現象として捉えるために、各係数に意味を持たせやすいピュアスリップの MF タイヤモデルを用いる(4)。その式を以下に示す。

$$\mu = D \sin [C \tan^{(-1)} \{B \alpha - E (B \alpha \tan^{(-1)} - B \alpha)\}] + S_v \quad (2)$$

$$\alpha = s + S_h \quad (3)$$

ここでは、タイヤ力の発生において用いられる物理モデルとしてタイヤ表面を無数の弾性変形ブラシで表現したブラッシュモデルで説明する。ブラッシュモデルではタイヤ表面上に粘着域とすべり域が混在している。スリップ率が比較的低い時には粘着域である静摩擦力が支配的で、トレッド面タイヤゴムの弾性変形の影響により、スリップ率に対して線形関係となる。そこからさらにスリップ率が上昇するとすべり域である動摩擦力の影響が大きくなるため、曲率を描くように変化する。静摩擦時の線形関係となって

いる傾きである制動係数は，MF タイヤモデルでは係数 BCD の関数とすることができる．この線形特性から「すべり」の影響が加わらないと仮定した場合，タイヤの最大摩擦係数（係数 D 相当）を示すスリップ率では，図 11 の赤丸で示す最大静摩擦係数を示していると想定される．

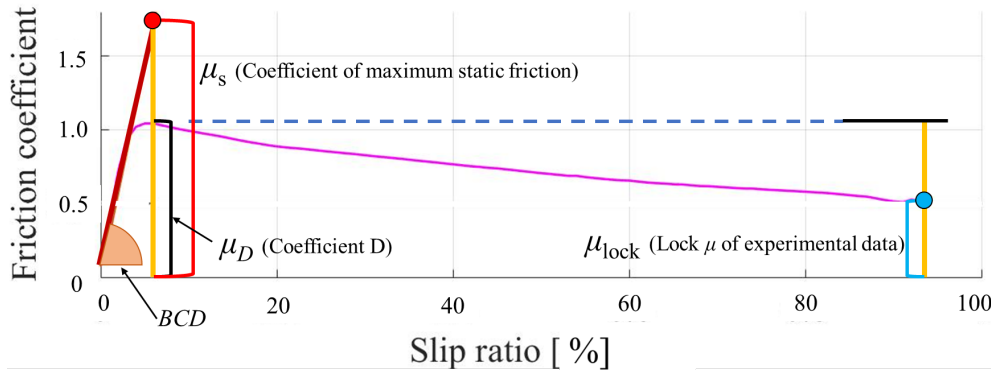


Fig.11 Coefficient of static and dynamic friction in μ - s characteristics

この関係より，最大摩擦係数と最大静摩擦係数 ($\mu_{(R_s)} = \mu_D / \mu_s$)，ロック μ と最大摩擦係数 ($\mu_{(R_{lock})} = \mu_{lock} / \mu_D$) のそれぞれの比率より相関関係を調査した．その結果，図 12 に示すように強い適合性を示し，この近似式を以下に示す．

$$\mu_{(R_{lock})} = 10.846 [\mu_{(R_s)}]^2 - 12.722 \mu_{(R_s)} + 4.239 \quad (4)$$

この近似式を用いてロック μ を推定し，計測する 3 点の路面摩擦係数と合わせ，4 点の路面摩擦係数より， μ - s 特性全体の推定をする．推定には式 2，式 3 のピュアスリップの MF タイヤモデルを用い，最小二乗法により推定をする．その推定結果の一例を図 13 に示す．この手法によりロック μ の推定精度が向上したことから，先行研究の手法では 36 個のデータ中 7 個に対して，提案手法では 23 個対応できていることが確認できた．この結果より，低いスリップ率での制動係数を用いて，想定される最大静摩擦係数を用いたロック μ の推定手法は非常に有効であると言える．しかし，図 13 の下に示すように精度が低下する条件もある．そこで， μ - s 特性が示す曲率と MF タイヤモデルの各係数との関係について研究をした．

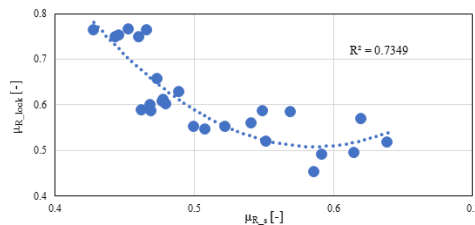


Fig.12 Relationship between μ_{R_s} and $\mu_{R_{lock}}$

4.2 μ - s 特性における最大摩擦係数近傍の曲率を考慮した推定手法

ピュアスリップの MF タイヤモデルで用いられる係数の内， μ - s 特性の曲率への影響が高い係数 C と係数 E があり，今回はその曲率と係数 C との関係性を調査した．求める平均曲率については図 14 の赤丸で示す，最大摩擦係数を示すスリップ率を原点とし，

様々なスリップ率の範囲において、平均曲率を求め、係数 C との相関関係を確認した。その結果、原点の $-0\sim+3[\%]$ の範囲において図 15 に示すように、係数 C と曲率との適合性が高いことが確認できた。しかし、先進路面摩擦データベースの構築をするためには、環境条件を加味する必要がある。そこで、図 15 の結果を Dry 路面と Wet 路面とで分けたものを図 16 に示す。この結果より、Wet 路面では相関関係が高いものの、Dry 路面では分散が高く、推定精度を低下させている原因であると考えられる。主な原因として、タイヤトレッドゴムの温度依存性が関係していると考えられる。そのため、今後実路面で計測・推定を行っていく際には、Dry 路面と Wet 路面では別の推定手法を提案する必要があると考えられる。

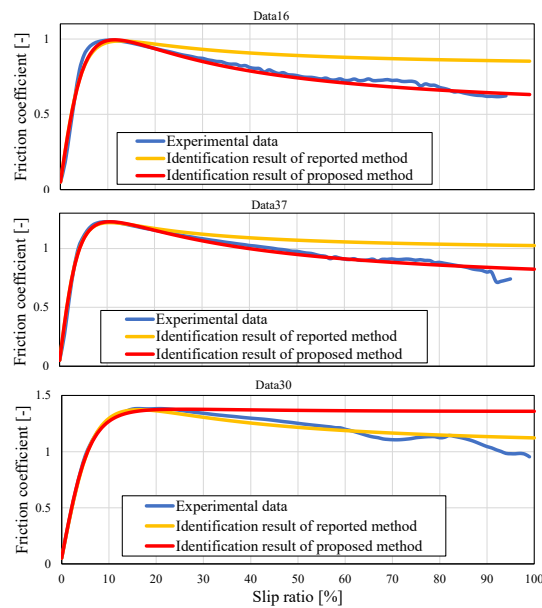


Fig.13 Estimation results of proposed method

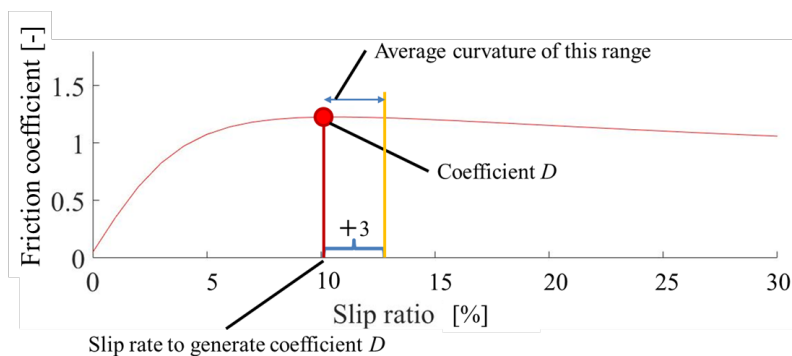


Fig.14 Range of average curvature

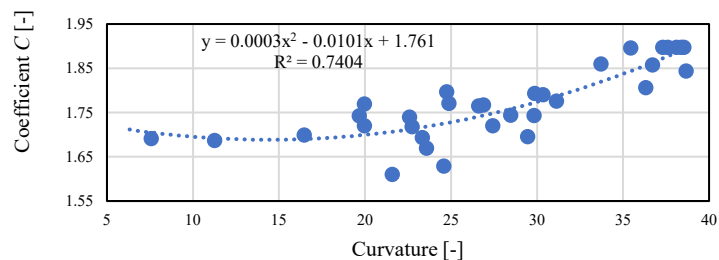


Fig.15 Relationship between curvature and coefficient C

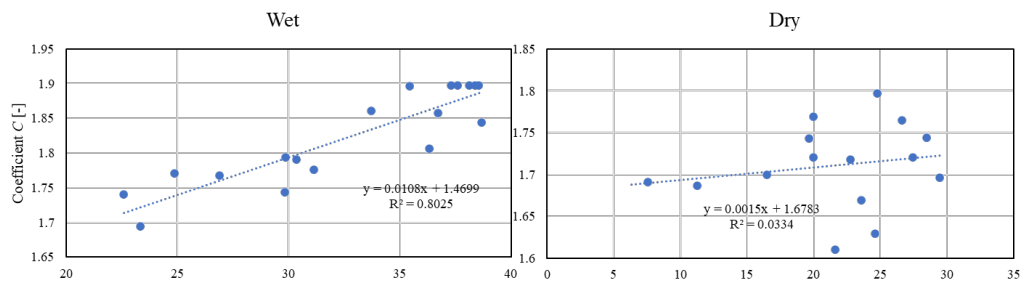


Fig.16 Relationship each element

5. まとめ

本稿では、先行研究で行ってきた計測・推定手法について説明を行い、その計測用タイヤの未検討課題と推定手法に関する課題について述べた。まず、計測用タイヤのタイヤ試験を行い、実路面摩擦係数計測時最適な路面反力と内圧を決定した。

次に、 μ -s 特性推定精度向上手法として、線形特性を示す係数 BCD の関係から想定される最大静摩擦係数を用いた手法を提案した。その結果、先行研究で提案されていた推定精度向上手法に比べ、2 倍以上の精度向上が確認できた。しかし、精度が悪い条件も存在していたため、 μ -s 特性が示す曲率と MF タイヤモデルの各係数との関係性を研究した。その結果、Dry 路面ではタイヤの温度依存性の影響が大きいと考えられ、その μ -s 特性の推定精度を低下させている原因であることが分かった。

今後実路面で計測・推定を行っていくには、Dry 路面と Wet 路面とで別の推定手法を提案する必要があると考えられる。また、その温度依存性を抑えるために、計測トレーラにタイヤを冷やす散水装置を用いるなど、対策を行う必要があると考えられる。

参考文献

- (1) RoadCloud Oy, Connected Car Data: Improving Autonomous Vehicle Safety at All Levels (2020)
- (2) 景山一郎, 小林ゆき, 原口哲之理, 浅井基博, 松本学, 実路面の摩擦特性計測に関する研究 -計測システムの基本設計について-, 自動車技術会論文集, Vol.51, No.5, pp.924-930 (2020)
- (3) 栗谷川幸代, 景山一郎, 原口哲之理, 浅井基博, 松本学, 実路面の摩擦特性計測に関する研究 -路面摩擦特性推定手法の改善-, 自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集 (2021)
- (4) Pacejka, H. B., Tire and Vehicle Dynamics, (2012)
- (5) 栗谷川幸代, 景山一郎, 原口哲之理, 金子哲也, 浅井基博, 多比良峻, 松本学, 実路面の摩擦特性計測に関する研究 -路面摩擦特性指標の推定手法構築-, 自動車技術会論文集, Vol.53, No.2, pp.379-384 (2022)

ドライバの運転行動を再現する ドライバモデルパラメータの定量化手法

北澤 章平（全学教育機構テクニカルセンター）

自動運転車両への社会の注目は高まっており，条件付運転自動化車両（レベル 3）が市場に登場している．今後も運行設計領域は拡大され，より高レベルの運転自動化が目指されている一方，自動運転技術の適用範囲拡大により交通環境には新たな事故要因が生じ，既存車両との自動運転車両が混在する交通においては事前のリスク評価が重要となる．また，多種多様な交通場面を事前に完全に想定することは現実的でなく，複雑な交通状況を詳細に再現する必要がある．本研究ではこれまで行ってきたリスクポテンシャルを用いたドライバモデルにより，交通リスク評価の検討を行うことを目的とし，個々のドライバ行動の違いを定量化する．また，ヒューマンドライバは様々な理由でその運転行動は一定で無く，ある程度のばらつきや揺らぎが存在することから，リスクポテンシャルドライバモデルのパラメータ同定手法とその運用について検討を行った．

我々が構築したリスクポテンシャルを用いた自律走行車両の制御目標生成アルゴリズムの概要を図 1 に示す．ドライバは自車が他車両や車線区分から受ける危険感覚を最小に留めるよう経路を選択し，かつ走行経路の生成には自車の運動特性を考慮する．自車周辺の交通要素である車線や走行路上の物体から受けるリスク R について前後，左右方向の危険感を指数関数により図 2 のように定義した．ここで $C[i]$ は障害物から感受する危険感覚の大きさを考慮したリスクポテンシャル関数のゲイン， $\tau_x[i]$ ， $\tau_{xr}[i]$ および $\tau_y[i]$ はリスクポテンシャルの広がり性を示すパラメータである．この考えを用いて，推定対象とする運転行動において走行経路，車速，ドライバの経路選択に影響を与える進路上の障害物となる交通物体や車線区分などの情報を収集した．

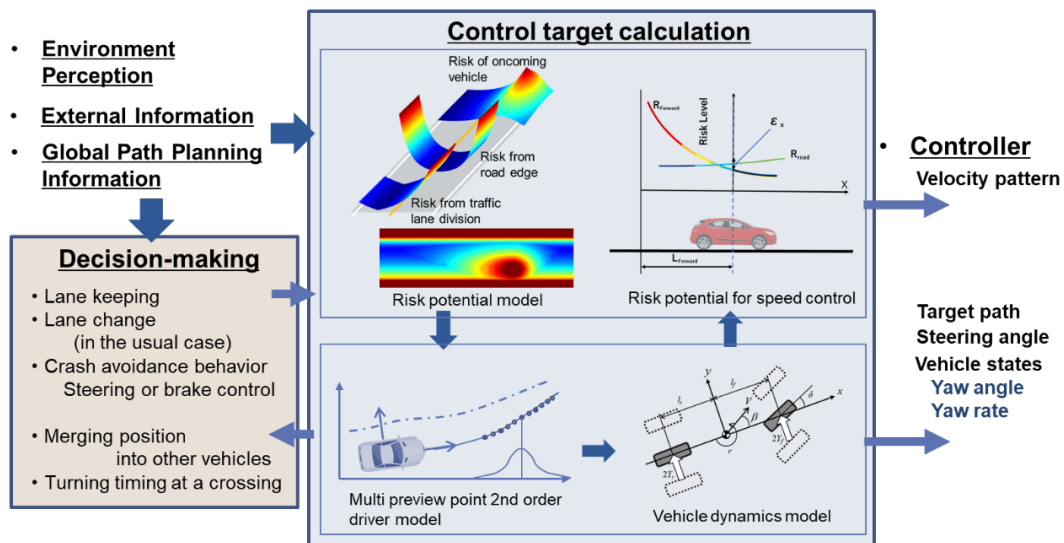


Fig.1 Schematic diagram of control target calculation algorithm

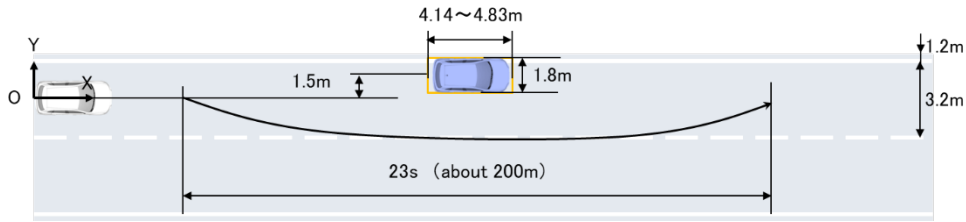


Fig.4 Passing situation of driving scenario in driving simulator

から横方向に大きく回避する傾向が見られた。得られた運転行動データを用いて駐車車両から感受するリスクポテンシャルパラメータ τ_{Obxr} , τ_{Obxf} , τ_{Oby} および注視時間 T_p を推定した結果の一例を図 5 に示す。推定されたりリスクポテンシャルパラメータは概ね正規分布に従うと見てとることができることから、パラメータの平均値および標準偏差を求め分布を調べた結果、良好な結果が得られた。このことからリスクポテンシャルパラメータを確率変数として取り扱うことが望ましいことがわかる。また、得られた結果を用いた検証では、ヒューマンドライバの運転行動をよく再現できることが確認できた。

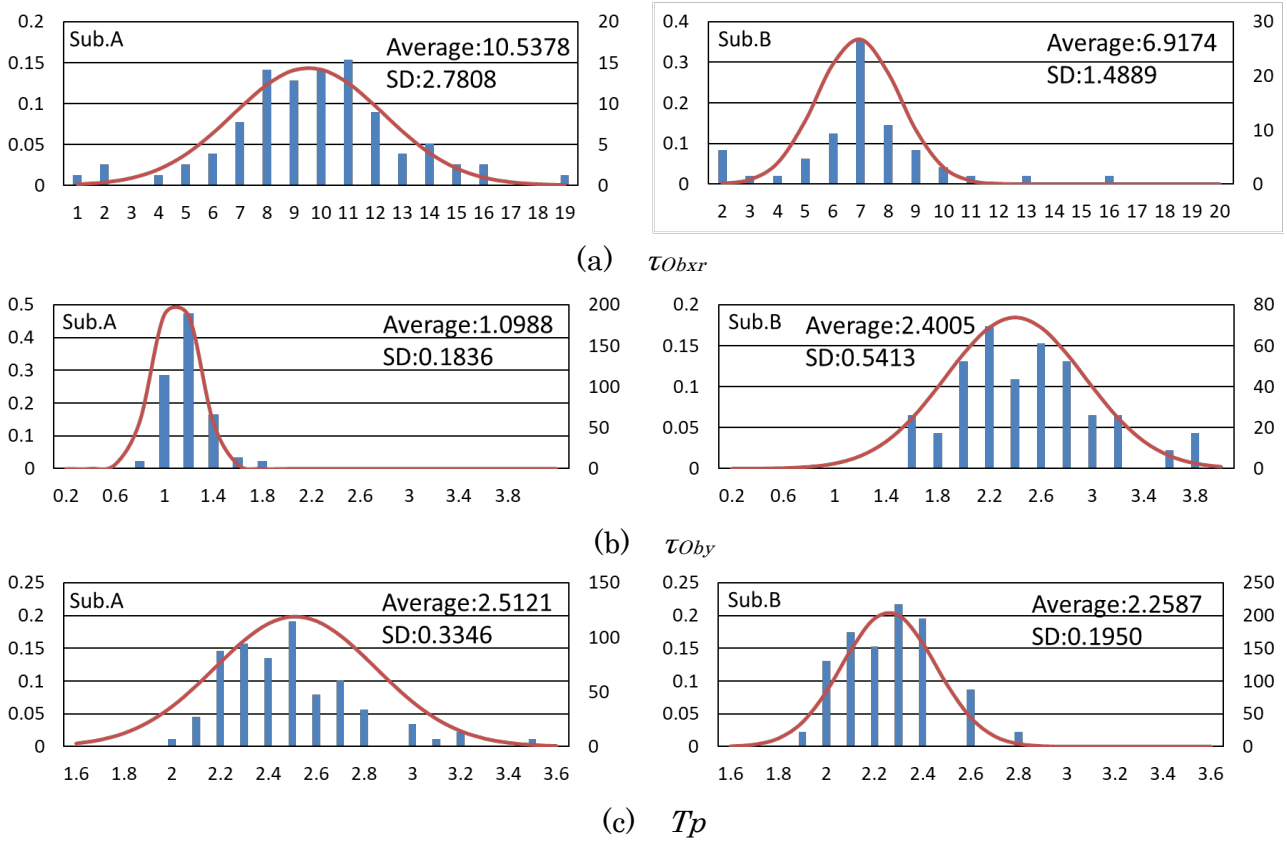


Fig.5 Estimated results and distributions of parameters in each subjects

以上のことより、ドライビングシミュレータを用いてヒューマンドライバの運転行動を計測し、周辺の交通参加者から感受する危険感覚を確率変数として定量化し、この結果による運転行動の再現性について検証を行った。リスクポテンシャルパラメータを確率変数として取り扱うことで、ヒューマンドライバの行動に表れる「ばらつき」をドライバの特徴量の一部ととらえ定量的に表現することができた。またドライバモデルによってドライバ毎に異なる走行経路を精度良く再現出来ることを検証した。