

幼児同乗を考慮した自転車の走行不安定さを評価する指標の検討

高木駿¹ 渡邊恭佑¹ 岡誠² 森博彦¹

概要: 本研究では、自転車を運転する際の幼児同乗による主観的な運転のしづらさや怖さの違いを反映した客観的な指標を提案する。提案する指標は、自転車のハンドル角、ロール角を用いて特異スペクトル変換を行うことで算出することができる。提案する指標の有効性を確認するために、複数の自転車で幼児を模した幼児を、前/後/前後に乗せて走行した際の走行データを使用した。その結果、提案した指標は幼児同乗条件の違いによる運転のしづらさや怖さを反映していることが分かった。

キーワード: 幼児同乗用自転車, 特異スペクトル変換, 信号処理

Examination of index for evaluating bicycle instability considering children riding

SYUN TAKAGI^{†1} KYOSUKE WATANABE^{†1} MAKOTO OKA^{†1}
HIROHIKO MORI^{†1}

Abstract: In this study, we propose an objective index that reflects the difference in subjective difficulty and fear of driving with children when riding a bicycle. The proposed index can be calculated by applying singular spectrum analysis using the handle angle and roll angle of the bicycle. In order to verify the effectiveness of the proposed index, we used driving data when driving dummy dolls imitating a child on multiple bicycles in front / back / front and back. As a result, it was found that the proposed index reflects the difficulty and fear of driving due to the difference in riding conditions for children.

Keywords: bicycle, singular spectral transform, signal processing

1. はじめに

幼児を幼稚園に送り迎えする際や幼児を連れて買い物に行く際に、自転車が使われることは多い。自転車は自動車と比較して使用する際のコストが低く、非常に手軽に使える乗り物であることから、現代でも多くの人が利用している。その一方で、幼児が同乗した自転車が転倒し、幼児が緊急搬送される事例が昨今でも多く散見しており、問題となっている [1]。このような問題を解決するためには、自転車の設計特性や走行路等の外乱要因と自転車の走行不安定性の関係を調査し、安全に使用できる幼児同乗用自転車を設計することが望ましい。消費者庁でも幼児同乗中の自転車についての調査結果 [1]から、自転車の転倒リスク低減を検討する際は自転車の設計段階で品質評価を行う際に客観評価と主観評価のバランスの取れた評価を行う必要性を述べている [2]。しかし、走行不安定性に関する明確な基準や定量化できる評価方法は存在しないため [1]、設計段階で自転車の走行不安定性を評価するためにはアンケートなどを用いた主観的な評価に頼っているのが現状である。

客観的な走行不安定さの指標が確立することで、リアルタイムに自転車の走行不安定さを評価することが可能となる。リアルタイムに自転車の走行不安定さを評価することができれば、自転車の品質評価でテスト走行を行う際に、どのような状況下で自転車が不安定になるのかをより詳細に分析することが可能となる。また、客観的な指標が確立できれば、その指標を自転車の転倒予測等にも応用できることが期待される。自転車の走行不安定さを客観的に評価することを目的とした研究として、自転車の危険な振る舞いの検出や、自転車の転倒予測を行ったものが挙げられるが [3][4]、これらの研究では幼児同乗用ではない一般の自転車を対象としている。幼児同乗用自転車は幼児を乗せた際に重心の位置等が変化するため、一般自転車に関する研究結果を幼児同乗用自転車に適用することには疑問が残る。幼児同乗用自転車の転倒事故低減を実現するためには、幼児を乗せていない自転車だけではなく、幼児同乗用自転車にも対応可能な走行不安定さの評価方法を確立する必要がある。

以上の背景を踏まえて、本研究では幼児同乗用自転車の

¹ 東京都市大学総合理工学研究科情報専攻
Tokyo City University Graduate School of Integrative Science and Engineering Informatics

² 東京都市大学情報工学部知能情報工学科
Tokyo City University Faculty of Information Technology Intelligent Systems

走行中における不安定さを定量化する指標を提案し、提案指標の有効性を検討した。指標の検討のために、走行を行った際の主観的な運転のしにくさや怖さと提案する指標の比較を行うことで提案指標の有効性の確認を行った。

以降、2章では関連研究について述べ、4章では本研究で使用した自転車の走行データについて説明する。5章では、提案する指標の算出方法を解説し、6章から提案指標の有効性を議論する。

2. 関連研究

自転車の不安定な挙動を分析した研究として松井 [3]、鈴木ら [4]の研究が挙げられる。この研究では、ハンドル角と自転車の進行方向に対する回転角度であるロール角の相関を求め、それをもとに自転車の危険な振る舞いの検知・転倒予測を行っている。しかし、1種類の自転車で提案手法の検証を行っており、幼児同乗による影響も考慮していない。とりわけ、幼児を乗せた際には自転車の重量や重心が変化するため、ロール角やハンドル角の挙動が一般の自転車とは異なる。そのため、松井、鈴木らの手法をそのまま幼児同乗用自転車に適用させることは難しい。

自転車の乗り心地を生理指標から評価する試みとして、豊島ら [5]の研究が挙げられる。この研究では、自転車のトレイルの長さによって発生した自転車の乗り心地の差異を筋電及び脳波から評価しようとしている。しかし、脳波などの生理指標は外乱の影響を受けやすく個人差も大きいため、指標としての信憑性に欠ける。

幼児同乗用自転車を対象としたものでは篠原ら [6]の研究が挙げられる。この研究では自転車で段差を乗り越えた際に、運転者や同乗した幼児がどのような振動に暴露されるかを検証している。しかし、この研究は搭乗者に加わる振動そのものに焦点をあてた研究であり、自転車の挙動や、不安定さに焦点をあてた研究ではない。

消費者庁でも幼児同乗用自転車の走行安定性について調査を行い、自転車の走行安定性が低くなる走行条件や自転車の設計特性と走行安定性についてまとめている [1]。この調査では幼児同乗用自転車の走行安定性を評価するために、様々な走行条件下でセンサを取り付けた自転車を被験者に走行させ、センサから取得した値に対して様々な分析を行っている。例として、マハラノビス距離やハンドル角時系列のパワースペクトルを用いることで、運転のしにくい走行条件下と運転のしやすい走行条件下で自転車の挙動がどれほど変化するか、特定の走行条件下でハンドルのブレがどれほどあったか、等をまとめている。しかし消費者庁の調査で使われたこれらの値は被験者の主観的な「運転のしにくさ・怖さ」とは一致しておらず、自転車の走行安定性とどのように関係しているのかも依然として不明である。

以上をまとめると、現状、自転車の走行を客観的なデー

タを用いて評価するような研究は多く存在するが、幼児同乗用自転車に適用可能な走行不安定さを評価できる客観的指標は存在しない。また、幼児同乗用自転車を対象に走行の挙動を客観的指標により分析した事例はあるが、それらの指標は、走行不安定さとどのように関係しているのかもわからない。

3. 目的

幼児同乗用自転車に適用可能な走行不安定さを反映した客観的指標を提案する。本研究における走行不安定さとは、自転車走行中において転倒を防ぐことへの努力の程度である。

客観的な走行不安定さを評価する手法を確立することで、品質評価を行う際に客観評価と主観評価のバランスの取れた評価を行うことが可能となる。その結果、設計段階で自転車の走行不安定さについてのより詳細な分析が可能となる。本研究の結果は幼児同乗用自転車の転倒事故低減に貢献するものである。

4. 検証データ

この章では、提案する指標の有効性を検証するために使用したデータの説明を行う。

4.1 実験

使用した自転車の走行データは、著者らの協力のもと、幼児同乗用自転車の走行安定性を評価するために消費者庁が行った実験 [1]で収集したデータの一部である。

特に今回使用したデータは、電動アシストありの幼児同乗用自転車4種と電動アシストなしの幼児同乗用自転車4種を用いて、幼児の同乗位置や走行速度を変えながらスラローム走行を行ったデータである。走行路は5.6メートル間隔でパイロンを置き、一回の走行で3回のスラロームを行う経路となっている。幼児の同乗位置は前/後/前後の3条件、走行速度は、低速/高速の2条件で走行している。また、被験者は、幼児同乗用自転車の使用経験がある20代の男性1名と30代の女性2名である。自転車8条件、幼児同乗条件3条件、速度条件2条件、被験者3名で、計144種のスラローム走行のデータとなるが、アシストあり自転車のうちの一つについては計測値にノイズが大きく混入していたため、18種のデータについては今回使用していない。

また、走行後に主観評価として、運転のしにくさと怖さについてありを4、なしを0として5段階で被験者に評価してもらっている。

4.2 ハンドル角速度・ロール角の算出

自転車の加速度、傾き、ハンドル角、速度、被験者の重心の位置などを収集するために、実験では自転車に様々なセンサを取り付けてデータを計測している。本研究では計測した値からハンドル角速度とロール角を求め、それを使用して提案指標を算出した。ハンドル角速度はロータリー

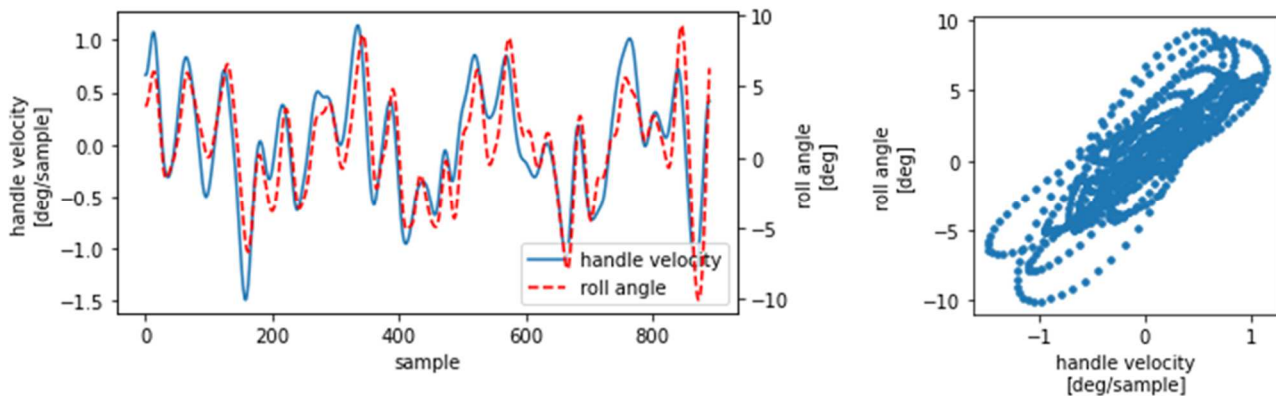


図 2 左図:ハンドル角速度とロール角の時系列 右図:ハンドル角速度とロール角の散布図

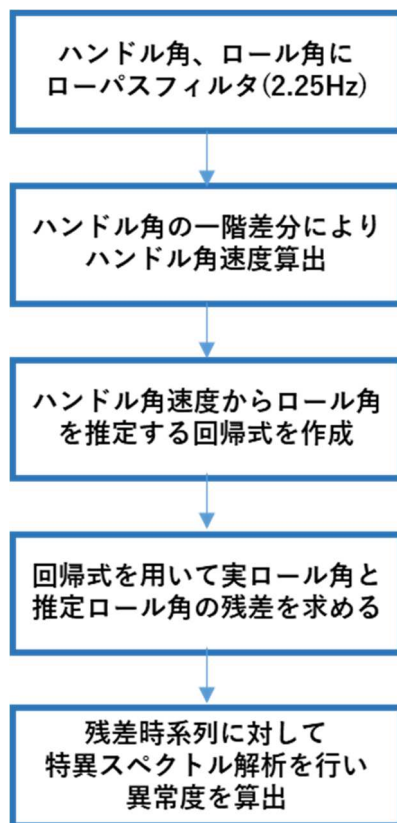


図 1 指標算出手順

エンコーダーで計測されたハンドル角に対して 2.25Hz のローパスフィルタを適用後、一階差分を求めることでハンドル角速度とした。次に、ロール角はフレームに取り付けた 6 軸センサ(加速度/角速度)から出力された値にカルマンフィルタを適用することで算出した。すべての計測値はサンプリング周波数 50Hz で計測されている。

5. 指標の算出

自転車は曲がる際にハンドルをきるだけでは適切に曲がることはできず、適切に曲がる際には、ハンドルをきることで車体を傾けることが必要となる [7]。このことから安定した走行においては、ハンドル角のみ、もしくはロー

ル角のみが変化することはめったにないと考えられる。そこで、ロール角のみ、もしくはハンドル角のみが突然変化するような瞬間を検知することで、不安定な走行を評価できるのではないかと考えた。提案指標ではハンドル角とロール角の関係を線形式で表し、その関係性が大きく変化した状態を不安定な走行として捉えるように指標を考案した。本研究で提案する指標の算出手順を図 1 に示す。

まずハンドル角とロール角に対して 2.25Hz のローパスフィルタ(4 次バターワースフィルタ)を適用する。フィルタ後のハンドル角の一階差分を求め、これをハンドル角速度とする。図 2 に算出したハンドル角速度とロール角の時系列データと散布図を示す。ハンドル角速度とロール角の散布図から、ハンドル角速度とロール角に強い正の相関が見られる。自転車は一般的にロール角が変化した後遅れてハンドル角が変化するという特性を持っている。ハンドル角をハンドル角速度に変換する操作を行うことでハンドル角の位相をずらし、ロール角とハンドル角の関係を線形式で表現できるようにしている。

次に、走行条件ごとにハンドル角速度からロール角を推定する単回帰式を作成する。これは、その自転車のハンドル角速度とロール角の線形関係を式に落とし込むことを目的としたものである。回帰係数は最小二乗法により求めた。

回帰式を求めた後、計測したハンドル角速度を用いてロール角を推定する。推定したロール角と計測したロール角から、残差を求めて残差時系列を作成する。残差が大きくなる箇所は、ハンドル角速度とロール角の線形関係が大きく変化したと考えることができる。

最後に残差時系列に対して特異スペクトル変換を適用し、異常度時系列を算出する。残差時系列に対して得意スペクトル変換を行うことで、残差の大きさそのもので不安定さの評価を行うのではなく、残差時系列の振る舞いの急激な変化によって不安定さの評価を行うことができると考えた。本研究ではこの手順により求めた異常度を、自転車の走行不安定さを評価するための指標として提案する。

5.1 特異スペクトル変換による異常度の算出

特異スペクトル変換について概説を行い、異常度の算出方法を説明する。本研究では、特異スペクトル変換によって時系列データの特徴を抽出し、それをもとに異常度の算出を行う。

特異スペクトル変換ではまず、任意の時系列データ x を(1)式に示す行列 X のようにした時に、その X を(2)式のように分解する。

$$X = \begin{pmatrix} x_t & x_{t+1} & \cdots & x_{t+N-1} \\ x_{t+1} & x_{t+2} & & x_{t+N} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{t+M-1} & x_{t+M} & \cdots & x_{t+N+M-1} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$X = U\Gamma^{1/2}V^T \quad (2)$$

(2)式を X の特異値分解と呼ぶ。(2)式のように分解することで、時系列データ x から特徴的な時系列を取り出すことができる。(2)式における Γ の対角成分には、 XX^T 、 X^TX の固有値が大きい順に格納されており、 U 、 V には、その固有値に対応した固有ベクトルが左から順に格納されている。ここで、 Γ に格納された固有値の平方根を大きい順に第 1 特異値、第 2 特異値、...と呼ぶ。第 1 特異値から順に、それに対応した固有ベクトルを複数使用して時系列 X を復元することで、元の時系列のノイズ除去や、特徴抽出を行うことができる。

異常度の算出には、ある時刻 t とその時刻よりも k 時刻前の $t-k$ のデータから、(1)式のように行列 X_t と X_{t-k} を作る。その 2 つの時系列に対して特異値分解を行い(3)(4)の形に分解する。

$$X_t = U_t\Gamma_t^{1/2}V_t^T \quad (3)$$

$$X_{t-k} = U_{t-k}\Gamma_{t-k}^{1/2}V_{t-k}^T \quad (4)$$

分解後は、任意の固有値(第 n 特異値)までに対応した特異ベクトルを使用して、以下の(5)式から時刻 t における異常度を算出する。

$$a(t, k) = 1 - \left\| U_t^{(n)T} U_{t-k}^{(n)} \right\| \quad (5)$$

本研究においては、残差時系列に対して特異スペクトル変換を行うため、この異常度が大きいほど、過去の残差時系列と現在の残差時系列の様子が異なるということになる。今回は、(1)式における $M=50$ 、 $N=25$ 、(4)式における $k=20$ 、異常度の算出には第 2 特異値($n=2$)までを使用した。

6. 評価方法

本研究では 2 通りの方法で提案指標が走行不安定さの評価指標として有効かどうかを検証する。

6.1 異常度時系列の有効性検証

まず、自転車の走行が不安定になるであろう走行条件下と、比較的安定した走行が可能である走行条件下の走行デ

ータに対して提案指標の算出を行う。2 つのデータを比較することで、不安定な走行条件下で今回提案する指標がどのように変化するかを確認する。今回は安定した走行条件下における走行データとして平らな道をスラローム走行(以下平地スラローム走行)したデータを使用し、走行が不安定になる走行条件のデータとして 5cm の段差を上り下りしながらスラローム走行(以下段差スラローム走行)をしたデータを使用する。段差を乗り越えるような自転車走行はバランスを崩しやすく、実際の幼児同乗用自転車の転倒事故でも段差乗り越えが要因となって転倒する事例も多い [1]。そのため、今回は段差スラローム走行をした際のデータを不安定な走行条件下のデータとした。なお、段差スラローム走行データは段差乗り越え時に生じる上下加速度がノイズとなりロール角の推定値に影響してしまう。上下加速度の影響を小さくするために、段差スラローム走行データにおけるロール角には窓幅 100 サンプルの hampel フィルタを適用し、スパイクノイズの除去を行った。また、評価に使用する段差スラローム走行データについても、段差によるノイズの影響が小さいデータを選んだ。

段差によるノイズの影響を考慮して提案指標の有効性を確認することは難しいため、6.2 節では平地スラローム走行のデータを使用して提案指標の有効性を検討する。

6.2 異常度による走行不安定性の評価

幼児の同乗条件によって発生した走行不安定さを提案指標により評価が可能かを確認し、提案指標の有効性を検討する。主観評価から得られた運転のしにくさや運転の怖さを主観的な走行不安定さとし、主観評価と提案する指標の比較を行った。主観評価と提案する指標の比較を行うことで、提案指標が何を反映した指標であるかを考察し、提案指標の有効性を検討する。また、節 6.1 における評価では段差による上下加速度がロール角の推定値に影響を与えてしまい、異常度の変化が段差のノイズによるものなのか、走行不安定さによるものなのかを切り分けることが難しい。そのため、6.2 節の評価方法では扱う走行データを平地スラローム走行データのみとし、その中で走行条件が変化したときに異常度がどのように変化するかを確認する。

主観評価については同乗条件(幼児の前乗せ/後乗せ/前後乗せ)ごとに平均値を求めた。自転車に幼児を乗せることで、車体の重量や重心が変化するため、同乗条件を変化させることが車体の傾きやハンドルの制御の難易度を変化させることに繋がると考えられる。同乗条件ごとに平均した主観評価の得点から、同乗条件によって変化する主観的な運転のしにくさや運転の怖さを確認することができる。

提案指標については、その走行条件における運転のしにくさを評価しなかったため、各走行条件で 4 章の手順により異常度の時系列を求めた後に平均値を求めた。求めた平均値をその走行条件における走行不安定さとした。評価の際には、幼児同乗条件の違いによって発生した運転のしづ

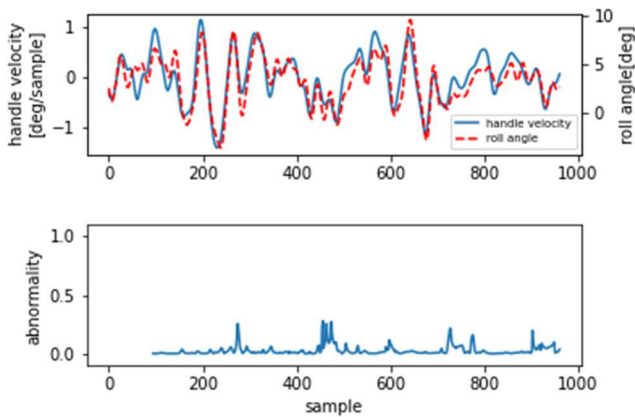


図 3 平地スラローム走行における走行データと異常度時系列

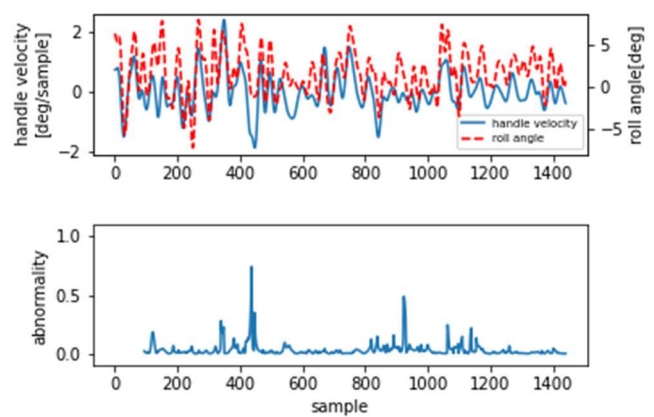


図 4 段差スラローム走行における走行データと異常度時系列

上図：ハンドル角速度(青実線)とロール角(赤点線)の時系列

下図：異常度時系列

らさなどを確認したいため、求めた走行不安定さに対して、同乗条件ごとに平均値を求めた。

また、既存手法との比較を行うために、松井が提案する自転車の危険なふるまいの検出手法 [3]を参考にした走行不安定さも算出した。松井の研究ではハンドル角とロール角の相関係数を窓幅を決めて各サンプルごとに求めていくと、相関係数が負の値を取った後は転倒する可能性が高いと述べている。松井らの研究結果から今回の走行データの走行不安定さを求めるために、走行条件ごとに窓幅 1.5 秒でハンドル角とロール角の相関係数を求めていき、相関係数の時系列を求めた後、時系列が負の値を取っている割合を求めることで、それを既存手法により求めた走行不安定さとした。こちらの走行不安定さについても、同乗条件ごとに平均値を求めた。

同乗条件ごとに平均した提案指標、既存手法から求めた走行不安定さと主観評価の得点を比較することで、求めた走行不安定と同乗条件によって変化する主観的な走行不安定さがどのように関係しているのかを考察する。

7. 結果

図 3 図 4 上図は平地スラロームと段差スラローム走行データにおけるハンドル角速度とロール角、下図は異常度時系列である。図 3 図 4 を確認すると、図 2 と同じようにハンドル角速度とロール角が基本的には同じ挙動を示していることがわかる。また、異常度時系列を確認すると段差スラローム走行では、400 サンプルあたりで異常度が 0.5 を超える値を取っていることがわかる。特に平地スラローム走行と比較すると、段差スラローム走行の異常度時系列は大きな値を取っていることがわかる。

表 1 に各同乗条件における主観的な運転のしにくさや怖さの平均値を示す。表 1 を確認すると、主観的な運転の

しづらさや怖さも、前後、後、前の順で大きいことがわかる。図 5 に同乗条件ごとの提案指標により求めた走行不安定さを示す。提案指標による走行不安定さに対して、多重比較(steel-dwass 法:有意水準 $\alpha = 0.05$)を行ったところ、すべての条件間に有意差が認められ、幼児同乗条件の前後、後、前の順で異常度が大きいことが分かった。図 6 に既存手法により求めた走行不安定さを示す。既存手法により求めた走行不安定さに対して多重比較(steel-dwass 法:有意水準 $\alpha = 0.05$)を行ったところ、すべての条件間で有意な差は認められなかった。

8. 考察

8.1 不安定走行条件下における提案指標の変化

不安定な走行条件下において提案指標がどのような変化をするかを確認するために、平地スラローム走行と段差スラローム走行中における異常度時系列の変化を確認した。その結果、段差スラローム走行では平地スラローム走行と比較して瞬間的に異常度が大きくなるような瞬間を確認できた。6.1 節でも述べたように段差スラローム走行では段差を上り下りしながらスラローム走行を行うような走行条件であるため、自転車の走行が不安定になりやすい。実際の幼児同乗用自転車の転倒事故事例でも段差を越える際に転倒してしまうような事例がある。そのため、今回の走行データも転倒までには至らなかったが、平地を走行したものと比較すると走行不安定さの高い走行データであったと考えられる。特に図 4 の 400 サンプル目では異常度の値が 0.5 を超える大きな値を取っているが、その時点におけるハンドル角速度とロール角を確認すると(図 4 上)ハンドル角速度とロール角が異なるふるまいをしていることがわかる。これは段差を乗り越えたことによって自転車に段差の衝撃が加わり、自転車のバランスが崩れそうになった結果、も

表 1 同乗条件ごとの主観評価平均値

	後	前	前後
運転のしにくさ	0.87	0.77	1.13
怖さ	0.83	0.72	0.93

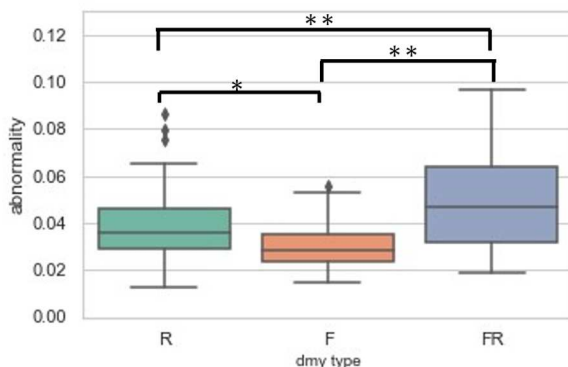


図 5 提案指標による走行不安定さ
同乗条件ごとの平均値(R:後 F:前 FR:前後)

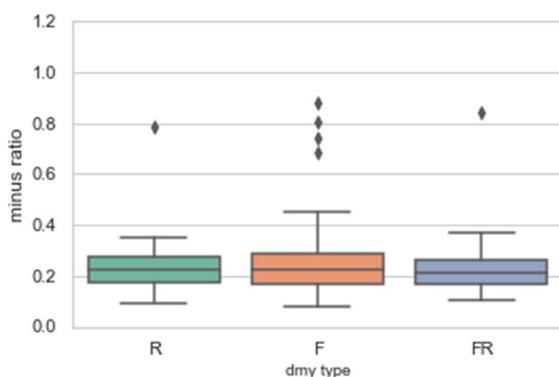


図 6 既存手法による走行不安定さ
同乗条件ごとの平均値(R:後 F:前 FR:前後)

しくは段差乗り越えによる上下加速度によるノイズがロール角に影響した結果として現れたものであると考えられる。

以上のことから、今回提案する指標は5章でも述べたように、安定した走行条件において見られるハンドル角速度とロール角の関係が崩れた際に反応して大きな値を取る指標ではないかと考えられる。そのため、今回得られた結果は、提案する指標が自転車の走行不安定さ評価に有効であることを示唆するものである。

8.2 同乗条件による提案指標の変化

提案する指標の有効性を確認するために、幼児の同乗位置ごとの主観的な走行不安定さと、提案指標、既存手法による走行不安定さを確認した。

主観評価については、幼児を前後に乗せた条件が一番運転がしづらく、次いで、後条件、前条件となった。これは、幼児を乗せて運転することで、自転車の重心が変化し、ハンドルの操舵感や車体を傾ける際の重心の移動等の操作感が変わったことによって発生した差異だと推察される。特に前後条件で運転のしにくさが大きくなっているが、前後条件の場合は、前条件による運転のしにくさと後条件による運転のしにくさを同時に受ける条件となっているため、特に運転のしにくさが大きな値となったと考えられる。前条件よりも後条件の方が運転のしにくさが大きくなった要因としては、今回使用した自転車の中に幼児を前に乗せることを推奨した自転車(前乗せタイプの自転車)がいくつかあったことが挙げられる。前乗せタイプの自転車では、自転車の前かごの位置に幼児のための椅子が設置してあり、前に子どもを乗せた際の重心の変化が前乗せタイプではない自転車と比べて変化が少なく、それにより、前条件において前乗せタイプの自転車で走行した際に、一般の自転車と操作感があまり変化しなかった結果、運転のしにくさの得点が大きくならなかったものと推察される。

一方で、提案指標についても、前後、後、前の順で値が大きくなっていった。これについても、幼児を乗せることによって発生した重心や重量の変化によって、自転車の操作が不安定となり、それを提案指標が反映した結果であると考えられる。提案する指標は、残差時系列に対して特異スペクトル変換を行うことで得られる数値となっている。3章でも説明したように、この指標はハンドル角速度とロール角の線形関係が大きく変わったときに大きな値を取ると考えられる。そのため、操作が不安定になることで、ハンドル角速度とロール角の線形関係が大きく変化した結果、残差時系列の振る舞いが大きく変化し、提案指標はそれに反応して大きな値を取ると予想される。今回の結果についても、同乗条件の違いによって自転車の操作感が変化することで、意図したとおりの走行ができず、適切なハンドル角速度とロール角の関係性が崩れることで、残差時系列の振る舞いの変化、ひいては提案指標の値の差異につながったものと推察される。

また、既存手法により求めた走行不安定さを確認すると、求めた走行不安定さは同乗条件間で有意な差は認められず、主観的な運転のしにくさと連動した値の変化をしていないことが分かった。既存手法により求めた走行不安定さが主観評価と連動した変化をしていなかった要因としては、今回提案した指標と既存手法では、検出できる走行不安定さが異なっていることがあげられる。松井らの研究では単一の自転車でスラローム走行を行った際の転倒直前のふるまいに着目している。そのため、曲がろうとしたが上手く曲がり切れずに転倒した際にどのような挙動であったかを見ていることになると考えられる。対して幼児同乗によって発生した走行不安定さは自転車に幼児を乗せることによ

て、被験者の重心移動による自転車の重心変化やハンドルの操作を被験者が意図したとおりに行いづらくなった結果発生したものと考えられる。そのため今回の結果は、既存手法により求めた走行不安定さと提案手法により求めた走行不安定さがそれぞれ異なる不安定な挙動を検出していたことを示唆するものであると思われる。

以上のことから、主観評価と提案指標、どちらの値の差異も自転車の操作の不安定さが起因したものと推察される。このことから、今回の結果は、提案した指標が幼児同乗によって発生した運転のしにくさに起因する走行不安定さを反映していることを示唆するものであると予想される。また、提案指標と既存手法により求めた走行不安定さでは、指標に反映される走行不安定さが異なることが分かった。今回提案する指標は、運転者が自転車の重心位置やハンドルの角度を意図したとおりに制御しづらくなった結果発生した走行不安定さを検知する指標として有効であると考えられる。

9. まとめ

本稿では幼児同乗用自転車の走行不安定さを評価する指標の提案を行い、提案指標の検討を行った。その結果、提案手法により求めた走行不安定さは幼児同乗によって発生した運転のしにくさ等に起因する走行不安定さを反映した指標であることが示唆された。

10. 今後の課題

今回、提案する指標の有効性を確認するために使用したデータはスラローム走行のみだったため、直線走行等に対してもこの指標が活用できるかは不明である。また、走行中のどのタイミングで運転者が不安定さを感じたかについてもわからないため、提案する指標がリアルタイムに走行不安定さを反映しているかはまだわからない。今後、追加で実験を行い提案指標の有効性についてさらに検討していきたい。

謝辞 実験を協力して頂いた消費者庁の方々と品質工学会の方々にこの場を借りて深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 消費者安全調査委員会，“消費者安全調査委員会「幼児同乗中の電動アシスト自転車の事故」調査報告書関連資料，” 2020.
- [2] 消費者安全調査委員会，“消費者安全法第 33 条の規定に基づく意見，” 2020.
- [3] 松井健太，森博彦，“自転車の危険な振る舞いの検出，” *情報処理学会第 73 回全国大会*， pp. 3-121-3-122， 2011.

- [4] 鈴木愛一郎，岡誠，森博彦，“低速時における自転車転倒の予測，” *情報処理学会大 79 回全国大会*， pp. 1-87-1-88， 2017.
- [5] 豊島紀樹，満倉靖恵，“筋電及び脳波を用いた自転車の乗り心地評価のための一解析，” *電気学会電子・情報・システム部門大会*， pp. 560-565， 2015.
- [6] 篠原大樹，大田慎一郎，“幼児二人同乗自転車の振動特性に関する実験的研究，” *人間工学会論文誌*， pp. 343-350， 2015.
- [7] 大井喜久夫，大井みさほ，鈴木康平，くろり科学ずかん 自転車のなぜ，玉川大学出版部， 2015.