

# 自転車のふらつき走行に特有の車体挙動検出手法の提案

## Bicycle Wobbling Detection Method Compared with Stable Drives

鈴木健太郎<sup>†</sup> 佐藤 哲司<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 筑波大学情報学群知識情報・図書館学類 〒305-8550 茨城県つくば市春日 1-2

<sup>††</sup> 筑波大学図書館情報メディア研究科 〒305-8550 茨城県つくば市春日 1-2

E-mail: <sup>†</sup>{ksuzuki,satoh}@ce.slis.tsukuba.ac.jp

あらまし 自転車は、日常的によく使われている移動手段である。しかし、自転車は、路面の凹凸や、横風あるいは積載する荷物の重さや載せ方によって、運転者の意向に反して走行中にふらつくことがある。本研究では、安定性を欠いた際の走行であるふらつき走行を対象に、ふらつき時の車体の挙動を、他の走行時の車体挙動と比較することによって、検出する手法を提案する。提案手法では、自転車走行中の車体挙動データとして、車体の傾き、ハンドルの切れ角、ハンドルの方角、速度を取得する。その後、走行実験を行い、各走行の際の、車体挙動データを比較し、走行の分類を行なった結果十分な分類精度を得ることができたため報告する。

キーワード 自転車、ふらつき、車体挙動

### 1. はじめに

自転車は、環境に優しい乗り物であることや、車などに比べて小回りが利くなどの利点から、学生、主婦、高齢者など幅広い世代で支持されており、日常的によく使われている移動手段である。

しかし、自転車は、路面の凹凸や横風、あるいは積載する荷物の重さや載せ方によって、運転者の意向に反して走行中にふらつくことがある。また高齢者などがふらつきながら自転車を運転することで、歩行者や自動車と接触するなどの事故も少なからず発生している。このような「ふらつき」の発生が要因となって、自転車の利用をあきらめてしまうケースがある。

自転車走行が安定する要因としては、車輪が回転することによって、回転軸の方向に姿勢を保ち続けるジャイロ効果の性質や、前輪の操舵回転の中心軸と垂直線部の傾きを示す自転車のキャスト角が一般的に挙げられている。しかし、Kooijman [1]らの先行研究にて、自転車は多くの要因が複雑に絡み合っただけで安定走行することが証明されており、すべてを解明しきれてはいない。

本論文では、自転車の走行中の安定性に関して、ふらついてしまった際の挙動に着目し、安定走行時とふらつき走行時の車体挙動の比較を行うことで、ふらつき時特有の車体挙動を検出できると考えた。自転車の走行中の車体挙動を複数のセンサを用いて計測し、通常時の運転状態（直進走行時、右左折走行時、蛇行走行時）とふらつき走行時の運転状態を比較することによって、ふらつき時の特有の車体挙動の検出を行うことを目的とする。

以下、本論文では、第2章では本研究に先行する関連論文について整理し、本研究の位置付けを明確にする。第3章にて本研究の手法である走行挙動データの取得方法と、走行挙動データを利用した比較方法について記述する。第4章にて各走行時の

車体挙動を検出するための実験を行い、各走行の比較を行うことによってふらつき時特有の車体挙動を検出する。最後に第5章にて本研究の成果についての結論を述べる。

### 2. 先行研究

自転車の挙動データを利用する研究は盛んに行われている。後藤ら [2] は後輪軸横に設置した3軸加速度から、3次元の加速度データを取得し、自転車の後方反射板の位置に搭載したLEDによって、後方通知を行う手法を提案している。また斉藤ら [3] の研究では、加速度センサのデータを利用してYaw(ヨーイング角)、Pitch(ピッチ角)、Roll(ローリング角)という3つの角度のデータとGPSから緯度、経度、高度を取得し、障害物や坂道、路面状態といった走行状態を認識するユーザー参加型の道路モニタリングを行っている。

ふらつきに関する研究としては、神田 [4] の研究がある。この研究では、自転車にとりつけた4台のCCDカメラとブレーキ時に点灯するLEDカメラを利用して、運転者の反応時間と走行速度、ふらつき量に注視行動という4つのパラメータを取得し、携帯電話を操作させた際に自転車走行中のふらつき量に及ぼす影響の考察を行っている。また宮之上ら [5] は自転車の傾き、ハンドル操舵、ペダル操作、速度、振動特性やタイヤ特性を利用してモデルを推定しふらつき走行のシミュレータを開発している。

本研究では、走行中の自転車の車体挙動データに着目し、ふらつき走行と他の走行を分類することによって、ふらつき時の特有の挙動を検出するという点に新規性がある。ふらつきに関して、車体挙動を用いたシミュレーターを開発した宮之上ら [5] との違いは、走行を比較してふらつき時と他の走行との分類をするという点である。

### 3. 提案手法

#### 3.1 自転車の走行状態

本研究では、走行中の自転車の状態を以下の5つに分類できると仮定する。

- ・直進走行状態... まっすぐ進む走行
- ・右折走行状態... 右方向に曲がる走行
- ・左折走行状態... 左方向に曲がる走行
- ・蛇行走行状態... 連続的に左右にハンドルを動かしての走行
- ・ふらつき走行状態... 安定せず左右に揺れている走行

提案手法では、上記の5つの状態の走行を行なった際のデータを取得し、それぞれのデータを比較していくことによって、ふらつき走行中の特有の車体挙動の検出を行なっていくこととする。上記の通り本研究では走行状態を5つに分類できると仮定している。蛇行走行とは、連続して左右にハンドルを切った際に生じる走行状態のことである。例えば前方に障害物が見えた際に、障害物を一旦避けるために右方向にハンドルを切って右側に移動し、再び左側にハンドルを切るという動作を行うことによって最終的な進行方向は変わらずに障害物だけ避けるという動作が行われる。こうした動作を行う際に生じる走行を蛇行走行とする。ふらつき走行状態とは走行中にフラフラと右や左に動き走行の軌跡が定まっていない場合に生じる走行状態のことである。ふらつき走行状態の際には、運転者の意向に反してふらふらしており安定性のない走行状態となっているため、危険性が高い。本研究では、これらの走行挙動を比較することで、安定性に関する新たな知見を得ていくこととする。

#### 3.2 車体挙動の計測

走行中は、スマートフォン(iPhone 6)とスピードセンサを用いてデータを取得する。取得するデータは、以下4つである。

- ・車体の傾き(加速度センサ)
- ・走行中の速度(スピードセンサ)
- ・ハンドルの切れ角(ジャイロセンサ)
- ・ハンドルの方角(磁気センサ)

ハンドルに取り付けたスマートフォンに内蔵された加速度センサ、磁気センサ、ジャイロセンサを利用して、車体の傾き、ハンドルの方角、ハンドルの切れ角を求めると同時に、車輪に搭載したスピードセンサを利用して走行中の速度のデータの取得を行う。取得したデータに関してはswiftコードを用いたiosアプリを開発し、データをcsv形式で保存できる形とした。各センサデータから車体の傾き、ハンドルの方角、算出するためには、次の式を利用した。

$$\text{車体の傾き (degree)} = \tan^{-1}\left(\frac{x \text{ 軸方向の加速度データ}}{z \text{ 軸方向の加速度データ}}\right) - (3.1)$$

$$\text{ハンドルの方角 (degree)} = \tan^{-1}\left(\frac{x \text{ 軸方向の磁気データ}}{y \text{ 軸方向の磁気データ}}\right) - (3.2)$$

ハンドルの切れ角の計算には、取得したジャイロデータに0.1秒間隔での時間積分を利用した。上記の3つの方法を利用して計測したデータには大量のノイズが発生していたため、移動平均フィルタを用いて平滑化を行なう事でノイズの除去を行なっ

ている。

速度のデータ取得には、前輪のフロントフォーク部分にスピードセンサ polar speed sensor(polar 社)を取り付けて行なった。通常、速度を算出する際には、車輪のスプーク部分の一箇所に磁石を取り付け、磁石から発せられる磁力をセンサが検知することによって車輪の回転数を調べ、速度を算出しているが、この方法では5~15秒の周期の間隔でしか速度をはかることができず、本手法のように自転車の細かい挙動を観測する場合には不適切な方法である。そこで前輪に取り付ける磁石の数を6つにすることでより細かく速度を検出できるようにした。

#### 3.3 走行状態の判別方法

車体の傾き、ハンドルの方角、ハンドルの切れ角のデータに対してFFT(Fast Fourier Transform)を行なったものを特徴量として算出し、分類器による走行の分類を行なった。12人に6種類の走行データを2個ずつ取得してもらったためサンプルデータの合計は144個であった。特徴量として取得した走行データは以下の通りである。

- ・直進走行
- ・右折走行
- ・左折直進走行
- ・蛇行直進走行
- ・ふらつき走行(小さい重りを乗せた時)
- ・ふらつき走行(大きい重りを乗せた時)

これらの走行から取得した車体の傾き、ハンドルの方角、ハンドルの切れ角のデータの、開始3秒から15秒までのデータを取り出し、FFTの処理を行い、3つのデータを連結させて一つのサンプルとした。また分類には次の3つの分類器を利用した。

- ・SVM(support vector machine)
- ・決定木学習
- ・ランダムフォレスト

分類器を使用の際には、グリッドサーチを用いて各パラメータのチューニングを行ない、続いて5分割交差検定により学習機

の性能評価を行い、Precision, Recall, F値の算出した。

### 4. 走行実験

#### 4.1 実験概要

通常時の走行とふらつき時の走行挙動のデータを取得するために走行実験を行なった。走行実験では先述した4つの走行を行なってもらい、各走行データの収集を行なった。

##### 直進走行実験

スタート地点から30mの間隔でゴール地点を設定し、できる限り遅い速度(およそ5km/h~10km/h)で直進走行を指示した。できる限り遅い走行にした理由は、ふらつき走行の際に速い速度で走行してしまうとジャイロ効果が働いてしまい安定走行のデータが取れてしまう可能性があるため、ふらつき走行時ではできる限り遅い速度で走行してもらう必要がある。本実験では走行状態以外の条件を統一するため直進走行の際にもできる限り遅い速度で走行してもらうように指示している。走

行は2回行なった。

#### 右折走行, 左折走行実験

直進走行実験の時と同程度の速度で, 右折または左折走行を指示した。緩やかに右折, 左折する走行を1回ずつと, ほぼ直角に近い急な右折と左折を1回ずつ行なった。スタート地点とゴール地点の間隔はおよそ30mで右折走行, 左折走行共に2回ずつ行なった。

#### 蛇行走行実験

スタート地点から30mの間隔でゴール地点を設定し, その間に7.5m間隔でコーンを3つ設置する。被験者には目印となるコーンに沿って, 直進走行時と同じ速度でジグザグに走行してもらいデータの取得を行なった。走行は2回行なった。

#### ふらつき走行実験

スタート地点から30mの間隔でゴール地点を設定し, 自転車のハンドルに重りをつけ, 走行を指示した。重りはペットボトルを袋に入れ, 両ハンドルにかける形とし, 転びそうになったら, 無理せずに両足で着地するように指示し, 怪我をしないことを優先して安全面に十分な考慮をして実験を行った。実験の際には, 実験を行う前に, 自転車の両ハンドルに重りをつけ自由走行をしてもらい, 自転車の両ハンドルにかけるペットボトルの数を被験者に調整してもらいながら, ふらつきのデータが取れつつ, 安全面の確保ができる重りの量を調節してもらった。その後, 被験者に直進走行とできる限り同じスピードでスタート地点から, ゴール地点までの間を直進走行するように指示して走行してもらい, 重りによってふらついている時の走行データを収集した。ふらつき走行実験で取得する走行データは次の2種類の走行時のデータである。

- ・調整した重りの量の半分の重りをつけての走行(ふらつき大)
- ・調整した重りをつけての走行(ふらつき小)

各走行, 2回ずつ行なった。実験時の様子を図1に示す。



[a] 直進走行実験の様子



[b] 右左折走行実験の様子



[c] 蛇行走行実験の様子



[d] ふらつき走行実験の様子

図 1: 各走行実験の様子

## 4.2 実験参加者の自転車操縦能力

自転車を操縦する際の熟練度などによっても走行中の走行挙動が変化することが考えられる。そのため事前アンケートを利用して実験参加者を初級者, 中級者, 上級者の3つのクラスに分けた。クラス分けは, 次の内容で事前アンケートを行い回答内容によって行なった。アンケート内容は以下の通りである

普段の生活でどれくらい自転車に乗っていますか?

日常生活で使っていると答えた方

- ・何年間くらい自転車に乗っていますか?
- ・現在の一週間ごとの走行距離は平均でどのくらいになりますか?
- ・自転車に乗る際に所持している荷物について教えてください。(置く位置などについての質問)
- ・普段乗っている自転車の種類に関してお聞かせください(シティサイクル, クロスバイクなど)
- ・ふらついた際の状況についてお聞きします。どのような状況で, どれくらいの頻度で起きかなどを自由記述で教えてください。

過去に乗っていたと答えた方

- ・最後に乗ったのはいつになりますか?

全く乗らないと答えた方

- ・全く乗らない理由についてお聞かせください

自転車の事故について

- ・自転車事故で大きな怪我を負ったことがありますか?(捻挫, 骨折など)
- ・事故の際の詳細について差し支えない程度で教えてください

初級者の基準には「普段の生活でどれくらい自転車に乗っていますか?」という質問に対して過去に乗っていたが, 今は乗っていないという答えを示した人と, 過去に自転車で大きな事故を負った人(全治1ヶ月以上の怪我など)を初級者というくくりにした。上級者の基準に関しては, シティサイクルなどに比べて比較的バランスのとりのクロスバイクやロードバイクを普段から利用してる人, 『現在の一週間ごとの走行距離は平均でどのくらいになりますか?』という質問で10km以上走っているという人, 普段の生活で子供を後ろに乗せて自転車の走行を行なっている人を上級者というくくりにした。以上2つのクラスに該当しなかった人は中級者というくくりにした。合計12人中, 初級者は5人, 中級者は3人, 上級者は4人というクラス分けとなった。

## 4.3 実験結果

### 4.3.1 直進走行

直進走行実験によって計測された実験結果の一部を図1に示す。左の縦軸は車体の傾き, ハンドルの方角, ハンドルの切れ角の3つの角度の大きさ(degree)を表しており, 右の縦軸は車体の速度(km/h)の大きさを表している。横軸は測定開始から

の経過時間を表している。実線で表しているのは車体の傾き、破線で表しているのはハンドルの方角、点線で表しているのはハンドルの切れ角、破線と点線で表しているのは速度である。直進走行の際には、走り出しのスピードが出てない時に、ハンドルの方角、ハンドルの切れ角の変化が激しいことから、ハンドルを左右に振りバランスをとっている動作を参加者全員から確認することができた。また、ハンドルや車体の傾きのブレの大きさを見るために、分散値と標準偏差を計算した(表 1)。結果は中級者の分散値が一番低く、初級者と上級者の分散値は近い値となった。初級者と上級者の分散が近い値となった理由は、実験をする際に実験参加者に速度を遅く保つように指示を与えていたが、その指示を受け自転車の運転に余裕を持っている上級者が初級者や中級者に比べて、より遅い速度で走行している場合が多く、速度が遅いためジャイロ効果の恩恵を十分に受けられなかったためだと考えられる。図 2 に示したグラフは、初級者と上級者がほぼ同じ速度で直進走行している際の走行データであるが、この結果を見ると初級者の方が上級者に比べてハンドルを大きく切っていることが分かる。これらのことから上級者は初級者に比べて、走行の際の各挙動が小さくなっており、少ない動作でバランスを取ろうとしていることがわかる。

表 1: 各挙動の統計データ平均 (直進走行時)

|       | 初級者    |       | 中級者    |       | 上級者     |        |
|-------|--------|-------|--------|-------|---------|--------|
|       | 分散     | 標準偏差  | 分散     | 標準偏差  | 分散      | 標準偏差   |
| 車体の傾き | 8.486  | 2.904 | 6.456  | 2.512 | 10.054  | 3.158  |
| 切れ角   | 97.406 | 9.558 | 58.173 | 7.601 | 108.308 | 10.406 |
| 方角    | 35.95  | 5.716 | 38.376 | 6.169 | 46.465  | 6.706  |

#### 4.3.2 右折走行、左折走行

右左折走行実験の際には急な右左折と緩やかな右左折の 4 種類の走行実験を行なった。各走行の際の実験結果を図 3、図 4 に示す。右左折の動作の際には、初級者、中級者、上級者に関係なく同じ挙動を示しており、熟練度による差異はなかった。急な右左折の際にどの被験者にも共通していた点は、曲がる際にハンドルの向きが変化し始めてから約 1 秒の遅延が起きて車体が傾いている点である。これらの結果から走行中に曲がろうとする際には、先にハンドルを動かしてから遅れて車体を傾けて曲がっていると考察することができる。緩やかな右左折の際にはハンドルの向きに大きな変化はなく、車体の傾きはほとんど傾いていない。このことから緩やかに曲がる際には、車体の傾きはそのまま安定姿勢を保ち続け、ハンドルの向きを少しだけ変えて、曲がっていることがわかる。

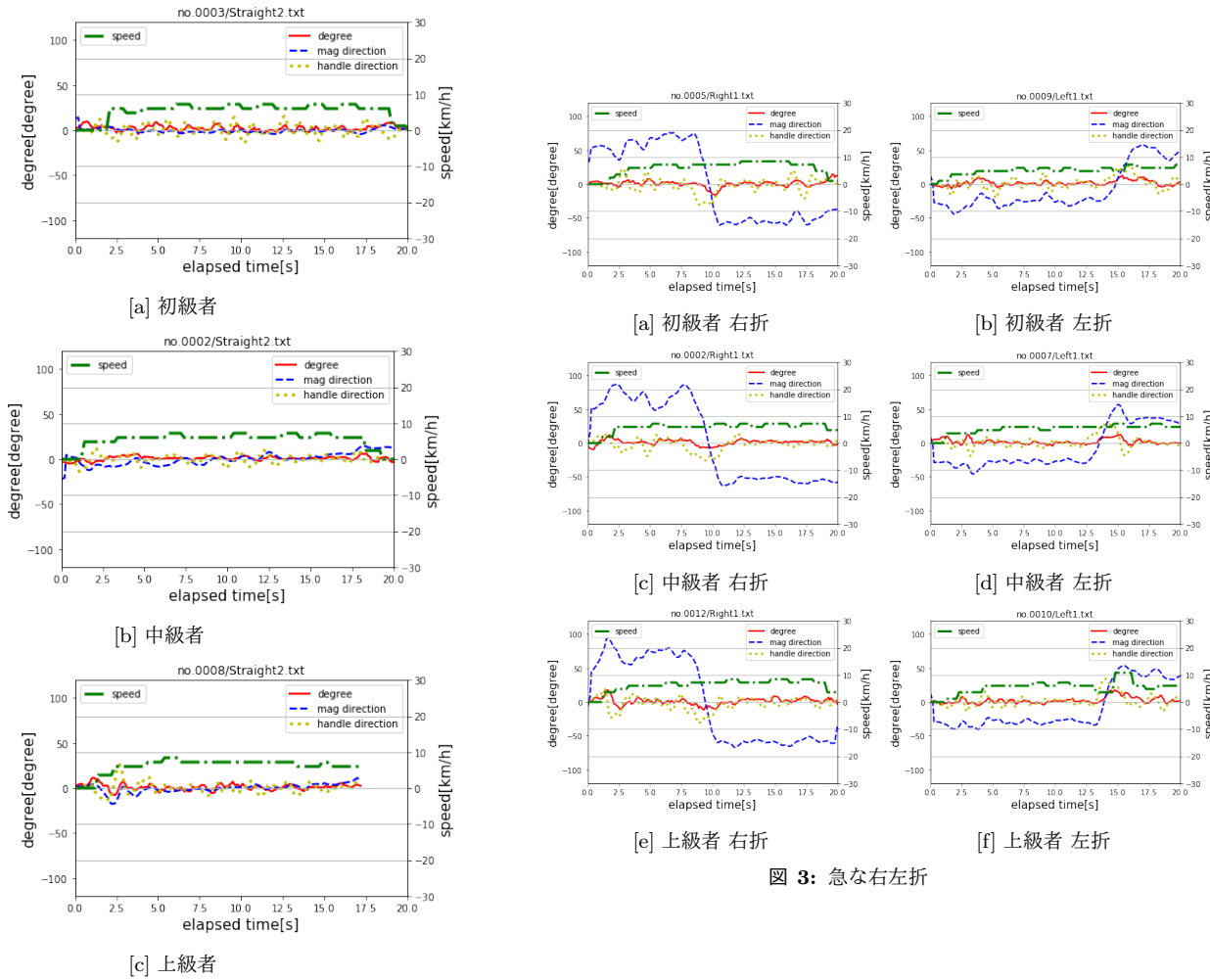


図 2: 直進走行実験

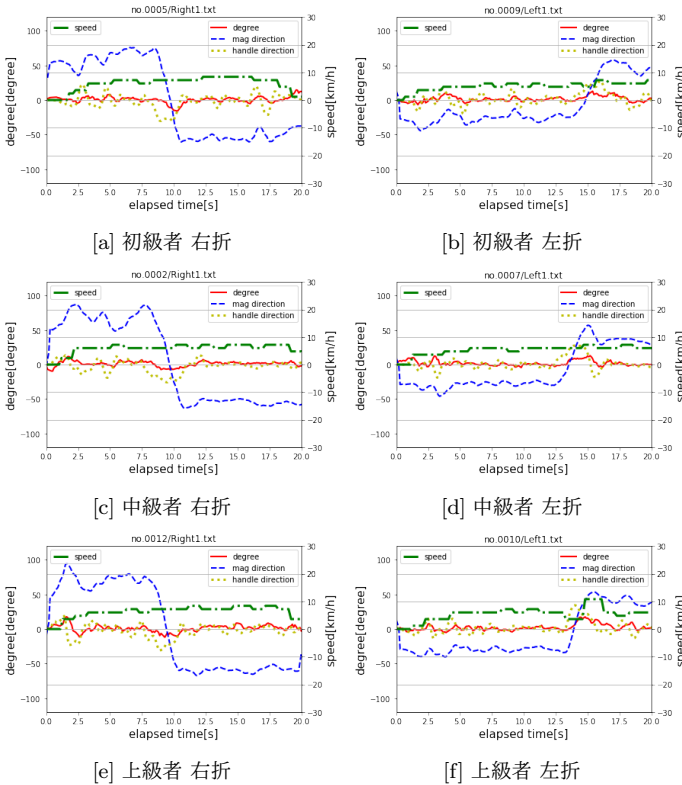


図 3: 急な右左折

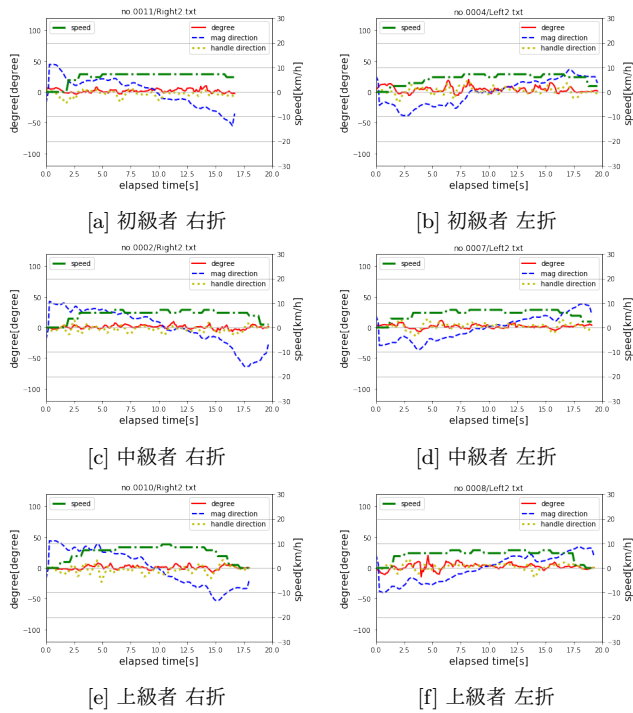


図 4: 緩やかな右左折

#### 4.3.3 蛇行走行

蛇行走行実験によって計測された実験結果の一部を図 5 に示す。

蛇行走行の際には緩やかに曲がる動作や急に曲がる動作が、連続して起きていた。クラスによって挙動が変わるということではなかったが、曲がり方に人それぞれ個性が出ており、ハンドルを切るタイミングを早めて緩やかにコーンを避ける場合もあれば、コーンの直前でハンドルを切って小回りで障害物を避ける場合もあった。

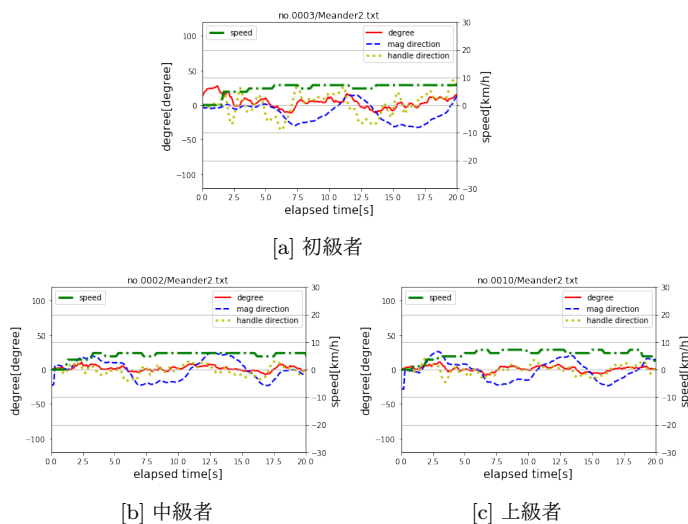


図 5: 蛇行走行実験

#### 4.3.4 ふらつき走行

ふらつき走行実験によって計測された実験結果を図 6 に示す。左側は重さが小さい方の重りを載せた際の走行挙動、右側は重

さが大きい方の重りを載せた際の走行挙動である。車体の傾きの波形と、ハンドルの切れ角の波形が重なっている部分が多くっており、右左折走行や蛇行走行の際に起きていたハンドルの切れ角が変化してから、車体の傾きが変化するという結果とは違う挙動となっていることが分かる。この部分がふらつき走行時の特有の挙動ではないかと考えられる。表 2, 表 3 は車体の傾き、ハンドルの方角、ハンドルの切れ角の分散と標準偏差の平均を算出した結果である。重りが半分の際は初級者、中級者、上級者の、どのクラスも近い値が出ており運転技術による差は出ていなかったが、重りを全て載せた時は初級者の車体の傾きの分散が、中級者、上級者の倍の値が出ており運転技術によってふらつき度合いが大きくなっている。また、ハンドルの切れ角においては初級者、中級者、上級者の順番に分散の値が小さくなっており、運転の技術が高ければ高いほど、ハンドルを小さく動かしてバランスを取ろうとする傾向が強くなるのが結果より考察できる。

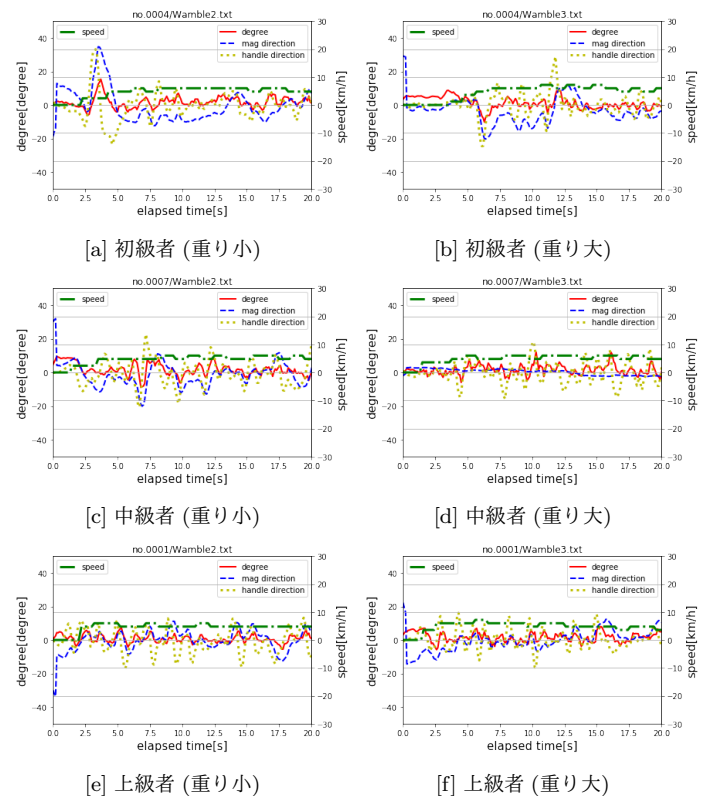


図 6: ふらつき走行実験

|       | 初級者     |        | 中級者    |       | 上級者     |       |
|-------|---------|--------|--------|-------|---------|-------|
|       | 分散      | 標準偏差   | 分散     | 標準偏差  | 分散      | 標準偏差  |
| 車体の傾き | 57.163  | 7.384  | 50.234 | 7.083 | 54.296  | 7.149 |
| 切れ角   | 105.774 | 10.119 | 83.683 | 8.903 | 103.102 | 9.994 |
| 方角    | 13.572  | 3.537  | 11.135 | 3.269 | 12.217  | 3.458 |



表 2: 各挙動の統計データ平均 (重りを全部載せた時のふらつき走行時)

|       | 初級者     |        | 中級者     |       | 上級者     |        |
|-------|---------|--------|---------|-------|---------|--------|
|       | 分散      | 標準偏差   | 分散      | 標準偏差  | 分散      | 標準偏差   |
| 車体の傾き | 112.113 | 10.474 | 43.933  | 5.901 | 58.224  | 7.486  |
| 切れ角   | 149.255 | 11.982 | 125.531 | 10.91 | 108.308 | 10.406 |
| 方角    | 13.32   | 3.59   | 10.997  | 3.278 | 11.236  | 3.339  |

4.3.5 機械学習を用いた分類

走行データに対して SVM, 決定木, ランダムフォレストの 3 つの分類器で 6 値分類を行なった結果を, 表 4, 表 5, 表 6 に示す. これらの表は行方向に並んでいる正解データにに対して, 列方向に予測した結果の数を表示している混同行列であり, 単位行列の形に近ければ近くなるほど, モデルの性能が高いということが言える. 実験結果より各分類器に共通して言えることは, ふらつき小とふらつき大を誤分類することが最も多い. 次に多いのが直進走行と 2 種類のふらつき走行を誤分類する場合である. 誤分類が多くなるということは, データ同士の差異が小さいということなのでこの結果から, 直進走行時にも小さくふらつきながら走行しているということが言える. 3 番目に多く誤分類したのは右折と左折のデータである. 誤分類をした原因は分類器に学習させるデータに対して, FFT を行なっている点が原因だと考えられる. FFT する前の挙動のデータを見れば, 右に曲がっているか, 左に曲がっているかは一目瞭然であるが, FFT を行なったことによって周波数空間に変換している. そのため, 左右対象なだけで基本的な動作は同じである右折と左折の分類はうまくいかなかったと考えられる. 次に各分類の際にモデルの評価値として, Precision, Recall, F 値を算出したため結果を表 7 に示す. 結果から分かる通り 6 走行の分類を行なった際には SVM で分類する場合が一番精度が出ており, およそ 56 %の確率で分類できていることがわかる.

表 3: SVM による 6 走行分類の混同行列

|     | 予測値 |    |    |    |     |     |
|-----|-----|----|----|----|-----|-----|
|     | 直進  | 右折 | 左折 | 蛇行 | ふら小 | ふら大 |
| 直進  | 10  | 2  | 0  | 2  | 6   | 4   |
| 右折  | 1   | 17 | 4  | 0  | 0   | 2   |
| 左折  | 0   | 5  | 13 | 3  | 0   | 3   |
| 蛇行  | 3   | 0  | 0  | 19 | 1   | 1   |
| ふら小 | 5   | 0  | 0  | 1  | 13  | 5   |
| ふら大 | 6   | 0  | 1  | 2  | 7   | 8   |

表 4: 決定木による 6 走行分類の混同行列

|     | 予測値 |    |    |    |     |     |
|-----|-----|----|----|----|-----|-----|
|     | 直進  | 右折 | 左折 | 蛇行 | ふら小 | ふら大 |
| 直進  | 5   | 0  | 0  | 3  | 9   | 7   |
| 右折  | 1   | 10 | 6  | 5  | 1   | 1   |
| 左折  | 0   | 6  | 10 | 5  | 2   | 1   |
| 蛇行  | 2   | 1  | 1  | 14 | 3   | 3   |
| ふら小 | 2   | 0  | 0  | 4  | 14  | 4   |
| ふら大 | 2   | 0  | 1  | 3  | 12  | 6   |

表 5: ランダムフォレストによる 6 走行分類の混同行列

|     | 予測値 |    |    |    |     |     |
|-----|-----|----|----|----|-----|-----|
|     | 直進  | 右折 | 左折 | 蛇行 | ふら小 | ふら大 |
| 直進  | 11  | 0  | 2  | 1  | 5   | 5   |
| 右折  | 1   | 13 | 8  | 1  | 0   | 1   |
| 左折  | 0   | 9  | 11 | 1  | 2   | 1   |
| 蛇行  | 2   | 0  | 0  | 20 | 1   | 1   |
| ふら小 | 4   | 0  | 0  | 2  | 13  | 5   |
| ふら大 | 3   | 0  | 0  | 2  | 13  | 6   |

表 6: 6 走行分類の識別精度

|           | precision | recall | F 値  |
|-----------|-----------|--------|------|
| SVM       | 0.56      | 0.56   | 0.56 |
| 決定木       | 0.43      | 0.41   | 0.40 |
| ランダムフォレスト | 0.51      | 0.51   | 0.51 |

4.3.6 直進走行とふらつき走行の分類

先述の通り, 直進走行とふらつき走行は誤分類をしているケースが多い. そこで直進走行, ふらつき走行 (重りを半分載せた時), ふらつき走行 (重りを全部載せた時) の 3 つだけを交差検定を行なった. 結果を表 8, 表 9, 表 10 に示す. どの結果においても, ふらつき大をふらつき小と間違えているパターンが一番多く, ふらつき大は全ての分類器にて正確に分類できていないことがわかる. 次に多いのは直進走行をふらつき小に誤分類してしまうパターンである. この結果からも直進走行時にも, 小さくふらつきながら走行しているということを結論づけることができる. 全体的にどのサンプルに対しても, ふらつき小と予測されている場合が多かった. また各分類の際にモデルの評価値として, Precision, Recall, F 値を算出したため結果を表 11 に示す. 結果から分かる通り 3 走行の分類を行なった際には決定木分類の場合が一番精度が出ており, およそ 44 %の確率で分類できている.

表 7: SVM による 3 走行分類の混同行列

|     | 予測値 |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
|     | 直進  | ふら小 | ふら大 |
| 直進  | 8   | 13  | 3   |
| ふら小 | 3   | 11  | 10  |
| ふら大 | 4   | 14  | 6   |

表 8: 決定木による 3 走行分類の混同行列

|     | 予測値 |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
|     | 直進  | ふら小 | ふら大 |
| 直進  | 8   | 10  | 6   |
| ふら小 | 1   | 14  | 9   |
| ふら大 | 3   | 15  | 6   |

表 9: ランダムフォレストによる 3 走行分類の混合行列

|     | 予測値 |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
|     | 直進  | ふら小 | ふら大 |
| 直進  | 11  | 10  | 3   |
| ふら小 | 6   | 12  | 6   |
| ふら大 | 5   | 14  | 5   |

表 10: 3 走行分類の識別精度

|           | precision | recall | F 値  |
|-----------|-----------|--------|------|
| SVM       | 0.38      | 0.35   | 0.35 |
| 決定木       | 0.44      | 0.39   | 0.39 |
| ランダムフォレスト | 0.40      | 0.39   | 0.38 |

5. 結 論

本研究では自転車の車体挙動を用いて、ふらつき時と通常時の挙動を比較することによって、ふらつき時特有の車体挙動を検出した。車体挙動としては、市販の自転車のハンドル部分に加速度センサ、磁気センサ、ジャイロセンサが搭載されているスマートフォンを取り付け、自転車の傾き、ハンドルの方角、ハンドルの切れ角を取得した。また自転車のフロントフォーク部分に取り付けたスピードセンサを利用して、自転車の速度も計測した。走行実験を行い通常走行である、直進走行、右折走行、左折走行、蛇行走行とふらつき走行の 4 つの走行データを取得した。取得したデータに対しては車体の傾き、ハンドルの方角、ハンドルの切れ角データに対して、FFT の処理を用いて周波数空間に落とし込み、3 つのデータを連結したものを特徴量として、分類を行なった。分類の結果ふらつき走行を大小 2 つに分け、6 走行の分類を行なった場合は SVM において 0.56 の精度を示した。また、直進走行とふらつき走行大小による 3 値分類を行なった際には決定木学習にて 0.44 の精度を検出した。いずれの実験においても直進走行とふらつき走行を誤分類するパターンが多かったことから、直進走行とふらつき走行は挙動が似ているということが結論づけられる。これにより直進走行時は常に安定して走行できているわけではなく、半ふらつき状態で走行していると考察できる。今後は、実際に一般道などを走行した際の車体挙動から、ふらつき走行時の特有の車体挙動を見極め、より正確に走行分類できるようにすることが課題となる。

文 献

[1] J. D. G. Kooijman, J. P. Meijaard, Jim M. Papadopoulos, Andy Ruina, and A. L. Schwab1. A bicycle can be self-stable without gyroscopic or caster effects. *SCIENCE*, Vol. 332, No. science.1201959, pp. 339–342, 2011.

[2] 後藤秀信. 3 軸加速度センサを用いた自転車の挙動認識. 九州工業大学大学院 修士論文, Vol. 1, No. 1, pp. 1–54, 2013.

[3] 斉藤裕樹, 菅生啓示, 間博人, テーブウィロージャナボンニワット, 戸辺義人. sbike:参加型センシングを志向した モバイルセンシングによる自転車走行状態収集・共有機構. 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 2, pp. 770–782, 2012.

[4] 神田直弥. 携帯電話の使用が自転車走行におよぼす影響. 東北公

益文科大学総合研究論集, Vol. 31, No. 1, pp. 1–31, 2016.

[5] 宮之上慶. 自転車シミュレータの開発におけるふらつき挙動の再現性に関する研究. 東京工業大学環境・社会理工学院 土木・環境工学系 都市・環境学コース 修士論文, Vol. 1, No. 1, pp. 1–4, 2013.