

低速時における自転車転倒の予測

鈴木 愛一郎[†] 岡 誠[‡] 森 博彦[‡]

東京都市大学 工学研究科 システム情報工学専攻[†]

東京都市大学 知識工学部 経営システム工学科[‡]

1. 研究背景

日本における自転車保有率は1人辺り0.67台とノルウェーに続いて6位となっており、日本人にとって身近な乗り物である。大人子供・免許の有無にかかわらず運転できるものであり、世代に隔てなく多くの人が所有する特性を持つ。それゆえに誰でも事故にあいいう可能性をはらんでいる。日本は自転車乗車中死者率が2番目に高い国である。警察庁によると、平成16年から25年にかけての10年間自転車事故の内訳は約80%以上が対自動車事故であり、25年現在も高い比率で推移している。また警察庁の平成23年「自転車総合対策」により、自転車は道幅3m未満の歩道を原則通行禁止となった。そのため自転車が車道を通行する機会が増えており、道路上におけるリスクは増していると考えられる。そのような状況下で、転倒した自転車運転者が後続の自動車に撥ねられて死亡する事故も発生している。

2. 研究目的

上記のような背景より、自転車が安全に安心して走行できるシステムを作ることが大切だと考えた。本研究では自転車の危険な振る舞い（転倒やよろけ）をより早く・正確に予測、周囲に伝達することで事故減少への貢献を目指した。

3. 関連研究

自転車のふるまいに関する研究として斎藤らは、走行中の自転車のハンドル振れ角・ローリング角加速度、走行速度を計測し、前期高齢者と若年者の走行中の振る舞いを比較した。その結果、ハンドル操作、走行軌跡幅において若年者と前期高齢者との間で振る舞いに差が見られた[1]。このことから、本研究における実験においては被験者の年齢を考慮する必要があると考えられる。今回は松井の実験結果と比較を行うために対象を若年者に限定した。

松井は自転車の転倒やふらつきといった危険な振る舞いをドライバに事前に伝えることで、自動車と自転車の事故を減らす試みを行った[2]。

Prediction of bicycle fall over at low speed

[†]Aiichiro Suzuki

[‡]Makoto Oka, Hirohiko Mori

^{†‡}Tokyo City University

結果、転倒の直前にハンドル角とロール角の相関が低下する傾向を発見し、独自に作成した危険な振る舞い（転倒）の予測基準では、最良で60%の予測率を示した。しかし、松井が考えた基準では危険な振る舞い（転倒）の約1秒前での予測にとどまっており、後方からくる自動車が危険を察知し、行動するまでに必要な時間が確保されているとは言にくい。また、予測できなかった転倒事例や、予測基準を満たしたのに転倒しなかった事柄が論文にて報告されている。それらのことから、より早く・より正確な予測が必要だと思われる。

4. システム

4.1. 自転車転倒の特性

今回、転倒を予測するためにロール角（自転車の傾き）・速度・ハンドル角・重心の合計4つのパラメータを測定している。この4つのパラメータを測定する理由を以下に記載する。まず自転車は一般的に低速であると不安定だが、ある程度の速度に達すると安定して走行することが出来る。不安定なときはバランスをとるために大きなハンドル操作が必要になるが、安定しているときは小さなハンドル操作を行うだけで走行できる。そのように自転車のバランスとハンドル操作、走行速度は大きく関係していると考えられる。また、自転車が曲がるとき、意識していなくとも自転車は傾いた方向に曲がる。これは操縦者が意図したカーブを走行するために無意識的に傾きを調整し、遠心力との釣り合いをとるためである。また、転倒の原因を考えたとき、重心も一つ影響を与えているのではないかと考えた。二輪車は荷重の変化によって曲がる特性を持っている。

2輪のレース等を見るとカーブに対して体が内側に入っていることを多くの場面で確認できる。自転車は傾くとそれに合わせてハンドルが切れる仕組みとなっており、その傾きを掌るのが重心である。これらのパラメータが自転車の振る舞いとして転倒にかかわってくると考えた。そこで、下記のような装置を製作した。

4.2. 計測装置

自転車は車輪径26インチのシティサイクル“LARGHETTO”を用いた。重心を推定するためには、圧力センサ・歪センサを用いた。ま

た、速度を測定するために、ホールIC（磁気センサー）を用いた。ロール角の測定には、ジャイロセンサと加速度センサを用いた。ハンドル角を求めるためには、可変抵抗を用いた。これら複数のセンサの電気信号を、リアキャリアに設置したArduinoにより制御し、無線モジュールXBeeを用いてノートPCへデータを送信している（図1）。



図1 実験で使用した自転車

5. スラローム走行実験

低速時における転倒につながる状況を擬似再現するためである。スラローム走行実験を行った。これは、転倒直前の挙動・転倒しない時の挙動の比較を行い、挙動の違いから転倒予測を行うことを目的としている。

被験者は10人、いずれも20代（男8人、女2人）である。コースは間隔ランダムなパイロンを用いスラローム走行を2コースにて行った（パイロン間隔2.5・2・2.5・2・2m（以下、コースA）、2・1.5・1.5・2・2m（以下、コースB）の2コース）図2。合計で98回の走行データを収集した。

実際に転倒すると怪我の可能性があったため、プロテクタを着用し、コース途中で足をついた場合に「転倒」と判断することとした。

結果、スラローム走行にてコースAにて10回、コースBにおいては11回の転倒が発生した。

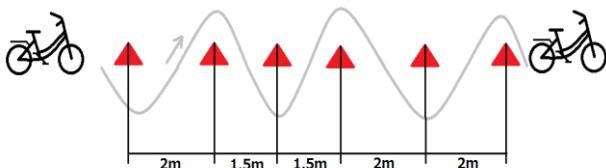


図2 スラローム走行コースB

6. 分析

今後の分析について述べる。以前、パイロンが等間隔（2m、2.5m）で置かれた時のデータより、「ハンドル角とロール角、重心とロール角、重心とハンドル角」の組み合わせにおいて相関分析を行った。

その結果、ハンドル角とロール角の相関分析においては松井の提唱した通り、成功時には正の相関が大きくなり、失敗時には転倒のおよそ1秒前に負の相関が大きくなる傾向を発見した。一方で、完走時、転倒時のいずれにおいても、走りをはじめは負の相関が大きくなった。これは松井の研究において述べられているいわゆる低速時のふらつきを示しているのだと思われる。しかし、予測が転倒の約1秒前では自動車がブレーキを掛けて、危険を避けるのに必要な時間が確保されているかは不確定である。今後、自動車の停止時間等も考慮した予測基準を構築する必要があると思われる。いずれにせよ、転倒データ数が少なく有意であることは確認できていない。そのため、今回の実験から有意であるか否かを明らかにする予定である。

他に、依然のデータより標準偏差分析を行った。転倒直前にハンドルのブレや急なパラメータ変化があると仮定したためである。その振る舞いを数値的に捉えるため「推定重心x座標、ハンドル角、ロール角」それぞれにおいて「0.5秒、1秒、1.5秒、2秒間隔」各々標準偏差分析を行った。その結果、推定重心x座標において完走時と転倒時における振る舞いに差と見られる傾向を確認した。1つは、転倒直前になると標準偏差が±1.1（cm）以上（0.5秒間隔）現れるという振る舞いである。2つ目は、転倒直前に0.2秒以上標準偏差値が1.1cm以上大きくなる（1秒間隔）振る舞いも見られた。ただし、当てはまらない例もあり、有意な差であるかを確認するためには標本数を増やす必要がある。これについても合わせて確認を予定している。

7. おわりに

本研究では、自転車の周囲に対して危険を事前に伝え被害を避ける又は軽減することを目的に自転車の転倒データ・完走データを観測した。今後は、それらを基に転倒の予測基準を策定する予定である。

参考資料

- [1] 斎藤健治, 井上伸一, 細谷 聡, 清田 勝: "ハンドルと車体のふれから見た高齢者の自転車走行の特徴", 人間工学, 39(5), p 241-249, 2003
- [2] 松井賢太 "走行中の自転車の危険な振る舞いの予測", 東京都市大学, 2011年度修士論文