

自転車曲がり走行時における妨害要因の簡易モデル化に関する研究

Simple Model of Disturbing Factors during Bicycle Turning

屋井研究室 及川 晋平
(学籍番号：06_03974)

1. はじめに

近年、自転車利用の増加に伴い、自転車事故件数が増加している。その原因の1つに、我が国における自転車走行空間の不備を挙げられる。特に自転車走行空間のうち専用空間の割合はわずか2%ほどしかなく¹⁾、大抵は歩行者や自動車との混在空間である。そのため、自転車レーンを含め、適切な自転車走行空間を整備することが緊急の課題と言える。その際、現在の利用者の多くが歩道から外に出ることを危険と感じている実態があることから、一部の社会実験を除き、安全で適切な空間の設計について十分検討が進められていない。

ここで注目されるのが自転車シミュレータ（以降CSとする）で、これは、映像画面とハンドル、ペダル等によって自転車走行を再現するシミュレータである。CSの利点として社会実験よりも安全に繰り返し実験可能であること、しかし、開発段階のため実験に耐えるシステムはまだ存在しない。

本研究ではCSの今後の開発を念頭に、自転車ふらつき挙動を再現するために、ふらつき挙動を簡易なモデルで表現することを目的とした。そのため、ふらつきを引き起こす要因を、複数の要因が絡み合う曲がり走行等において検討している。

2. 既往研究との位置付け

既往研究では、二輪車モデル²⁾や二輪車制御³⁾は扱われており、また、ペダルの踏力や疲労に関する研究⁴⁾は行われている。

しかし、二輪車とペダルを合わせた「自転車」のモデルの研究は見当たらず、その点について本研究は新しい試みであると言える。また、二輪車の厳密なモデルは微分方程式を含んだ複雑なものになって

おり、実現象との整合性がとりづらい。そのため、実現象との整合性のとれた、簡易なモデル化を行うことが本研究の重要な挑戦である。

3. モデルの理論

CSへ組み込むためのふらつきのモデル化のため、CSへの入力・出力に合わせた、モデルの入出力を検討した。その結果、今回のモデルへの入力は傾き角度(ϕ)、ペダル(PD)、速度(v)とし、出力はハンドル角度(ψ)とした。角度の定義は図1に示す。これは、実現象を再現するために要因の整理を行った結果

(図2)、この3点を組み込めば、十分な再現性が望まれると考えられたためである。よって、今回求めるモデルは下式のように表現でき、各要因のモデルは理論及び観察結果を踏まえモデルを仮定している。

$$\psi = \phi(v) + \phi(PD) + \phi(v)$$

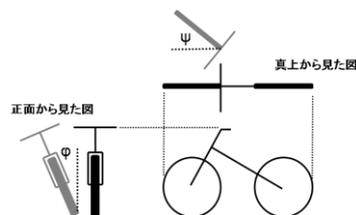


図1：ハンドル角度(ψ)、傾き角度(ϕ)の定義

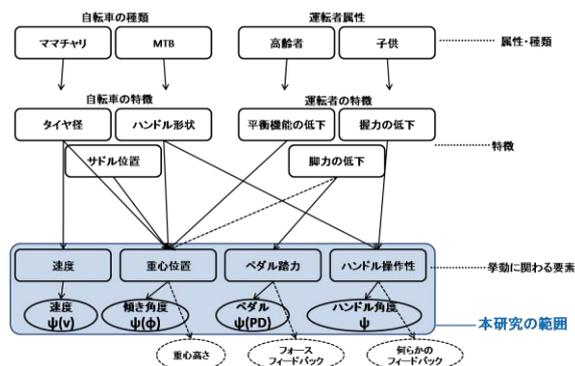


図2：要因の整理

4. パラメータ推定

3. で示したモデルに含まれるパラメータを実走実験より求めた。実験は要因が極端に生じる状況で行い、傾き角度(ϕ)はスラローム走行、ペダル(PD)はギア重直進走行、速度(v)は速度別直進走行とした。観測はビデオカメラで撮影し、解析は動画を0.2秒ごとのbmp画像を用いて行った。

推定されたパラメータを代入したモデル式を下式に示す。ペダルのみ個人差が大きいため、被験者ごとに異なるモデルとなっている。ここで θ はペダル角度で左足が上部にあるときを 0° とする。また、 $\Delta\phi(v)$ は標準偏差を示し、この値を足して上限、引いて下限として、範囲を示すモデルとなっている。

$$\phi = \phi(\phi) + \phi(\text{PD}) \pm \Delta\phi(v)$$

$$\phi(\phi) = 0.5259\phi$$

$$\phi(\text{PD})-S = 15\sin\left[\frac{\pi}{90^\circ}(\theta - 180^\circ)\right]$$

$$\phi(\text{PD})-W = 15\sin\left[\frac{\pi}{90^\circ}(\theta - 180^\circ)\right]$$

$$\phi(\text{PD})-T = -28e^{-0.015(\theta - 135^\circ)}\sin\left[\frac{\pi}{45}(\theta - 135^\circ)\right]$$

$$\Delta\phi(v) = 37.523 \times \frac{1}{v}$$

5. モデルの再現性検証

4. のパラメータより求めたモデルを図3に示す。ここでは例として rider S のモデルを載せる。実験値は青線で、点線部がモデルの範囲である。傾向は概ね再現出来ていると考えられる。

また、実験値との詳細比較を行った。結果を図4に示す。縦軸を実験値、横軸をモデルとしている。誤差の原因として、モデルでは傾き角度モデル $\phi(\phi)$ のピーク値を過小評価し、ふらつき要因が発生してからハンドル角度へ影響するまでの時間(以降遅れ時間とする)を考慮していないと仮定し、これらを考慮した試験モデルを用いて、試験での実験値との比較を行った。その結果が図5になる。青線が試験での実験値、赤線がモデルを表わす。実験値との比較を見ると(右図)、図4と同様の傾向を示している。よって、本来ならば、ピーク値はモデルより大きく、遅れ時間が発生していると言える。

6. まとめ

本研究の成果として、自転車のふらつき現象の簡

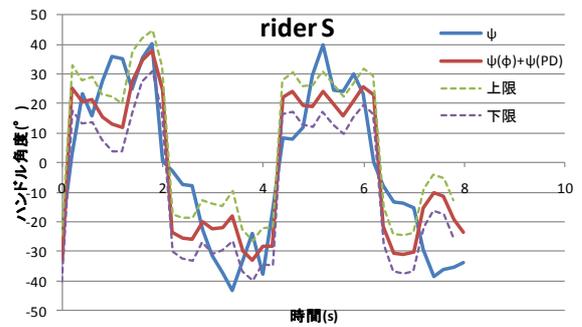


図3：モデルと実験値

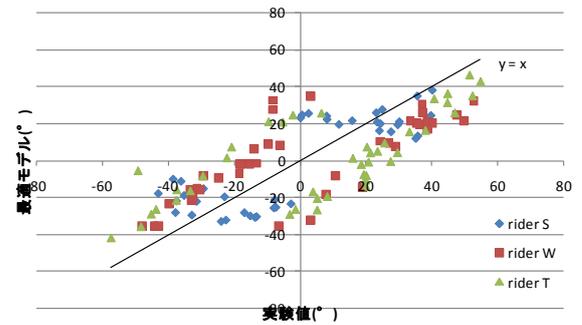


図4：モデルと実験値の比較

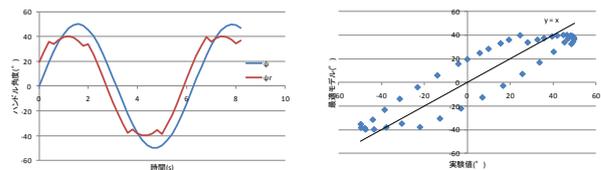


図5：試験モデルと試験での実験値との比較

易なモデル化を行った。また、ふらつきの複合要因として、傾き角度、ペダル、速度(特に低速)、その他の誤差要因が挙げられることを示した。

今後の課題として、モデルの再現性向上のために、傾き角度によるふらつきの影響を正確に評価すること、遅れ時間を考慮することが挙げられる。また、今回は観測を画像解析で行ったが、精度が高くないため、ハンドル角度や傾き角度を直接測定することで精度を上げることも課題である。

7. 参考文献

- 1) 第81回交通工学講習会 自転車〜ひとつの交通モードとして〜
- 2) 例えば, Sharp,R.S. : The Stability and Control of Motorcycles, Journal Mechanical Engineering Science, Vol.13, No.5, pp316-329, 1971.
- 3) 例えば, 佐口太一, 吉田和夫, 高橋正樹: 自立走行自転車ロボットの安定化走行制御, 日本機械学会論文集, 6, 2006.
- 4) 例えば, 佐藤孝之, 西山哲成: 負荷強度増加に伴うペダル踏力ベクトルの変化, 日本体育学会第56回大会, 2005.