

# 自転車走行時のデータに基づく走行状態の推定

## Estimation of riding states based on data from bicycle riding

○菅野航太, 高梨宏之

○Kota Sugeno, Hiroyuki Takanashi

日本大学

Nihon University

**キーワード** : 予防安全 (Preventive Safety), 自転車 (Bicycle), 走行状態評価 (Riding State Index)

**連絡先** : 〒 963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原 1 日本大学 工学部 電気電子工学科  
菅野航太, Tel.: (024)956-8790, E-mail: ceko22010@g.nihon-u.ac.jp

### 1. はじめに

日本の自転車保有率は1人あたり0.67台とノルウェーに続き6位となっており, 日本人にとって身近な乗り物である<sup>1)</sup>. 国内における2014~2022年の全交通事故数, 自転車事故件数 (Fig. 1) は年々減少しているが, 全交通事故件数に占める自転車事故比率は2016年以降増加傾向にある<sup>2)</sup>. また, 東京都内での自転車が関与する事故は, 2021年は13,332件, 2022年は15,276件である. さらに, 東京都内での2022年の自転車事故関与率推移は, 46.0%と, 過去5年間で最高値<sup>3)</sup>である. 現在, 自転車事故低減に向け, 専用レーンや法規制面の整備は進められているものの, 自転車本体上での事故低減の方策は十分議論されていない<sup>4)</sup>. 自動車ではドライブレコーダによって事故の特徴を把握できるが, 自転車にはそのような装置を設置する傾向がない. そのため, 自転車に同様の装置を設置することで走行時の様子を把握することができるため, 走行中の自転車から得られる, 速度, 加速度, ハ

ンドル角などに基づき, 走行状態の評価を行うことで自転車事故を低減できるのではないかと考えた. 関連研究では, 赤外線測距センサを用いた雨中走行パターン解析と照明センサを用いた昼夜検知パターン解析による環境影響を考慮した自転車事故防止システムの研究<sup>4)</sup>が行われているが, 危険走行時の検討がされていないことが課題として挙げられる. そこで, 映像記録と多様な走行データから走行状態を判断するために, 自転車版ドライブレコーダが必要と考えた. 先行研究<sup>5)</sup>では, Raspberry Pi を用いて走行状態を記録するため, 自転車用走行ログ記録装置 (サイクルレコーダ) を製作した.

本研究では, 走行中の自転車から得られる速度, 加速度, ハンドル角, 前方の映像に基づき, 自転車の走行状態を評価する指標に関する検討を行うことを目的とする. 走行中の自転車から得られる速度, 加速度, ハンドル角に基づき, 直進走行時, 蛇行走行時, 勾配走行時の走行状態を指標値によって評価した. さらに新指標を提案し, 旧指標との比較を行った.

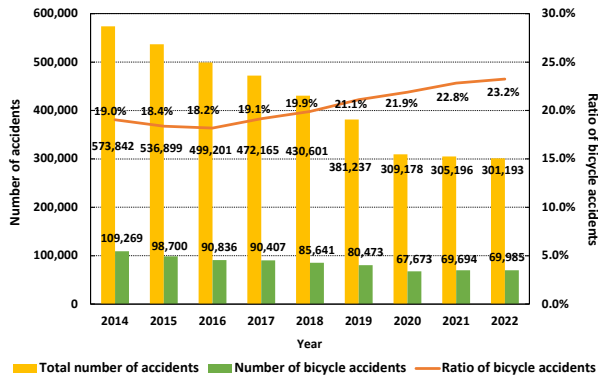


Fig. 1: 交通事故数推移. Changes in the number of traffic accidents.

## 2. サイクルレコーダ

### 2.1 サイクルレコーダの構成

Fig. 2 にサイクルレコーダの構成を示す. 自転車のハンドルは, 他のフレーム部分とは異なる動きになる. そのため, 進行方向に対して左右を  $x$  軸, 前後を  $y$  軸, 上下を  $z$  軸として前輪部と後輪部それぞれに加速度センサを取り付け, 自転車前後の動きを計測する. また, ハンドル中央にロータリエンコーダを固定し, ハンドルの回転方向と角度を計測できるようにした. さらに, カメラで前方を記録することで, 走行時の天気, 路面状況, 障害物, 進行方向などの様々な情報を得ることもできる. 加えて, タイヤのスポークを検出し, 自転車の速度計測を行うファイバセンサは, 前輪フレーム部に設置した. カメラをカゴに固定し Raspberry Pi はカゴの中に入れ, サイクルコンピュータはハンドル中央, ロータリエンコーダはハンドルの回転軸に固定し, ファイバセンサは前輪フレーム部に設置した. そして, 自転車には自動車のようにバッテリーを搭載していないため, モバイルバッテリーを用いて電力供給した.

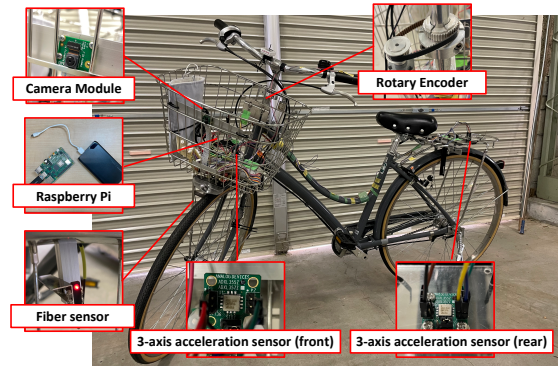


Fig. 2: サイクルレコーダの構成. Configuration of Cycle Recorder.

### 2.2 サイクルレコーダの仕様

Table 1 にサイクルレコーダの仕様を示す. Raspberry Pi の起動が完了すると, 計測が開始される. しかし, 起動が完了するタイミングがわからないため, 計測開始時間に遅れが生じる. また, データ取得は加速度センサが 100[ms] 周期, カメラモジュールが 500[ms] 周期, ロータリエンコーダとファイバセンサが電圧のエッジ立上り検出時に行われる. そして, 取得したデータはカメラが 500[ms] 周期, それ以外が 250[ms] 周期で csv 出力される.

Table 1: サイクルレコーダの仕様. Specifications of Cycle Recorder

Category	Specification	Sampling
Computer	Raspberry Pi 4(Model B)	-
	CPU:1.2GHz Voltage:5(V), 2.5(A)	
3-Axis Acc Sensor	$\pm 2/\pm 4/\pm 8(G)$	100[ms]
Rotary Encoder	500PPR	Voltage rise
	Incremental type	
Camera Module	30fps	500[ms]
	Max resolution 3280 × 2464	
Fiber Sensor	Red 4-element LED (Wavelength 640nm)	Voltage rise

### 3. 自転車走行状態の評価指標

本研究では、走行中の自転車から得られる速度、加速度、ハンドル角などに基づいて、自転車の走行状態を評価する。ここでは、ふらつきや急停止など周囲に危険を及ぼす可能性のある走行状態の危険走行と、それ以外の走行状態である安定走行を想定する。危険走行は、周囲の歩行者などに危険を及ぼす可能性があるほか、運転手自身にも転倒の可能性がある。このような自転車に対しては、何らかの警報を発する必要がある。その上で周囲に通知することも有効と考えられる。そのためには、常に自転車の走行状態を評価する指標が必要である。自転車の加速度、ハンドル角、速度に基づき、指標を用いて、走行状態の評価を行う。

式(1)は、旧指標である。今回は、新指標として式(2)を用いて旧指標との比較を行う。

$$\alpha_o(t) = \frac{a_x(t) + a_y(t) + a_z(t)}{v(t)} \delta(t) \quad (1)$$

$$\alpha_n(t) = \frac{a_X(t) + a_Y(t) + a_Z(t)}{v(t)} \delta(t) \quad (2)$$

ここで、 $a_x(t), a_y(t), a_z(t)$  [m/s<sup>2</sup>] はそれぞれ左右、前後、上下方向の加速度、 $a_X(t), a_Y(t), a_Z(t)$  は前部と後部のそれぞれ左右、前後、上下方向における加速度差、 $\delta(t)$ [deg.] はハンドル角、 $v(t)$  [m/s] は自転車の速度である。指標  $\alpha(t)$  は、まず停止している場合には、速度が 0[m/s] であるため、指標  $\alpha(t)$  は無限大となる。つぎに、左右へのふらつきがなく、一定速度で直進走行していると仮定すると、水平方向加速度  $a_x(t), a_y(t)$  はほぼ 0[m/s<sup>2</sup>] であり、上下方向加速度  $a_z(t)$  は重力加速度  $g$  とほぼ等しい 9.8[m/s<sup>2</sup>] である。また、ふらつきがほとんどない場合、ハンドル角の変化もほぼ 0[deg.] と見なせる。つまり、一定速度で走行している場合の指標  $\alpha(t)$  は 0 に近づく。通常の走行では、安全に走行しているとしてもハンドル角は一定の範囲で絶えず変化する。

式(1)の分子は、定常走行時は 9.8[m/s<sup>2</sup>]、式(2)の分子は 0[m/s<sup>2</sup>] 付近の値であり、前後または左右に傾斜した場合、上下方向と前後または左右方向の加速度が変化するが、正負の符号変化が生じることはない。ただし、自転車が完全に倒れた状態では、分子の値に大きな変化は生じないが、 $xy$  平面が 90[deg.] 回転することになるので、各軸の加速度出力に基づく判定が必要である。ハンドル角測定用のロータリエンコーダは、正面を 0[deg.] としたとき、正転時に増加、逆転時に減少するよう取り付けられているため、式(1),(2)の指標  $\alpha(t)$  もそれに合わせ正負に変化する<sup>5)</sup>。

## 4. 自転車走行データ

### 4.1 測定・実験方法

自転車走行データの測定は 2 コースで行った。コース 1 は、直進走行と蛇行走行を Fig. 3(a) に示す、日本大学工学部内の道路 100[m] で行った。走行路面はアスファルト、走行速度は 15[km/h] である。コース 2 は、急勾配走行を Fig. 3(b) に示す、福島県郡山市永徳橋付近のサイクリングロード 100[m] で行った。走行路面はアスファルト、最大勾配は 11.6% である。また、コース 2 の勾配走行は、直進走行であり、走行速度は一定ではない。



(a) コース 1. Course 1<sup>6)</sup>.



(b) コース 2. Course 2<sup>7)</sup>.

Fig. 3: 走行コース. Outline of test course.

## 4.2 直進走行時

Fig. 4 は、直進走行時の前部加速度、後部加速度、ハンドル角、速度である。自転車の漕ぎ始め 21[s] 付近は、加速をしていることから  $y$  軸加速度は増加している。その際、 $x, z$  軸加速度に大きな変化は見られない。22~36[s] は一定速度で直進走行中のため、3 軸の加速度に大きな変化はない。また、37[s] 以降は減速をしているため、 $y$  軸加速度は減少している。ハンドル角は、自転車漕ぎ始めの 21~25[s] は直進走行中であるが速度不安定のため、ハンドル角が変化している。22[s] 以降は速度が安定したことから、自転車漕ぎ始めと比較すると、ハンドル角の変化は小さい。ここで示す速度は、検出したスポークから算出された速度の異常値を除去するため、サンプリングごとの速度値が前回値から 6[km/h] 以上増加、3[km/h] 以上減少した値は、前回値に置換し、移動平均処理をしたものである。自転車漕ぎ始めから 22[s] までは加速をしているため、速度は増加している。23~40[s] は、15[km/h] 一定で走行しているため、速度の変化は小さい。そして、41[s] 以降は減速している。

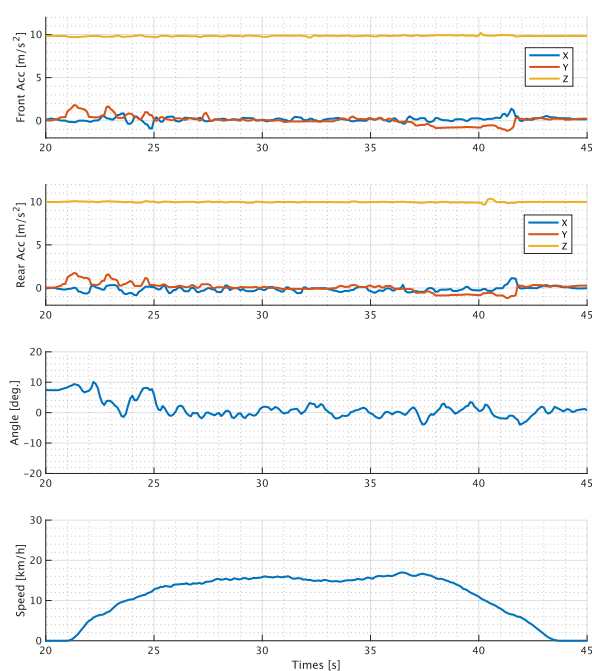


Fig. 4: 直進走行時の各測定値。Each measured value when running straight ahead.

Fig. 5 は、直進走行時における旧指標値の変化である。21~24[s] は、低速で走行しているため、指標の分母が小さいことから指標値の変化は大きくなっている。25~40[s] は速度が 15[km/h] で安定し、加速度やハンドル角の変化も小さいことから、指標値の変化も小さい。41[s] 以降は減速し停止するため、指標値は増加する。加減速、直進走行時がわかることから、指標値から、走行状態を推測することができる。

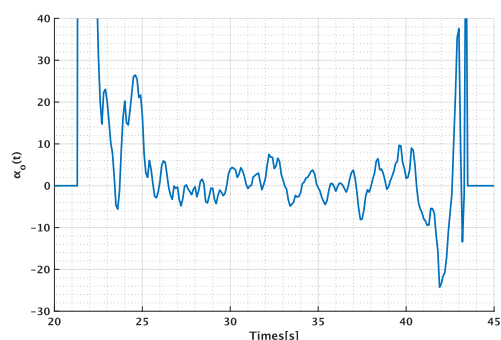


Fig. 5: 直進走行時の旧指標値。Old index value for straight driving.

Fig. 6 は、直進走行時における新指標値の変化である。Fig. 5 と比較すると、指標値の増減が小さい。これは、直進走行をしていることから、前後輪の加速度差が 0 に近づき、ハンドル角の変化も小さいためである。また、Fig. 5 では、20~25[s] の停止から漕ぎ始め、42~45[s] の減速から停止の状態は確認できた。しかし、Fig. 6 では、停止から自転車漕ぎ始めを確認することはできたが、指標値の変化が小さいため、減速から停止の状態を確認することは困難である。

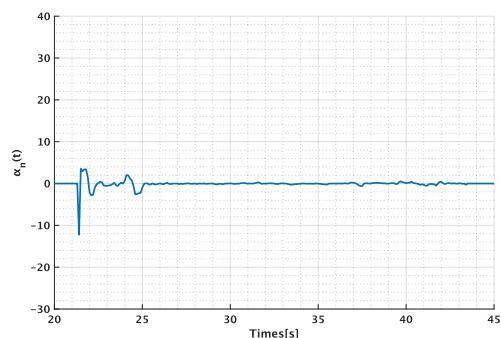


Fig. 6: 直進走行時の新指標値。New index value for straight driving.



### 4.3 蛇行走行時

Fig. 7は、蛇行走行時の前部加速度、後部加速度、ハンドル角、速度の変化である。加速度は、自転車の漕ぎ始め 21~24[s] は、15[km/h] まで加速をしていることから、 $y$  軸加速度は増加している。その際、 $x, z$  軸加速度に大きな変化は見られない。30~48[s] は蛇行走行をしたため、 $x, z$  加速度は増減を繰り返している。また、蛇行走行は速度を一定に保つことは難しいため、 $y$  軸加速度も増減を繰り返している。ハンドル角は、21~30[s] は蛇行前の直進走行であり、ハンドル角の変化は小さい。31~48[s] 区間で蛇行走行をしており、ハンドル角は  $-10 \sim 15$ [deg.] で増減を繰り返している。直進走行時と比較すると、蛇行走行時のハンドル角の変化は大きいことがわかる。ここで示す速度は、Fig. 4と同様の異常値除去と移動平均処理を行ったものである。21~30[s] で 15[km/h] まで直進走行で加速し、31~42[s] は蛇行走行をしていたため、15[km/h] 一定で走行することが難しいことから、速度変化しやすい。また、42[s] 以降から減速をし始め、52[s] で停止した。

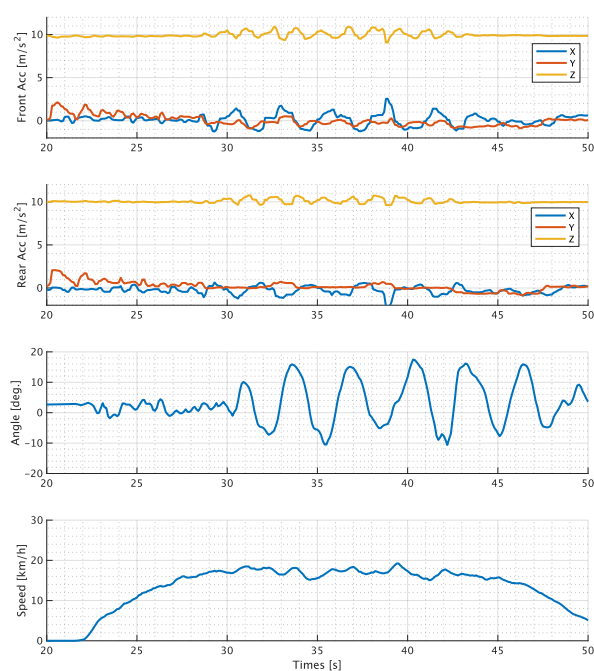


Fig. 7: 蛇行走行時の各測定値。Each measured value during meandering.

Fig. 8は、蛇行走行時の旧指標値変化である。22~23[s] は指標値は増減しているが、これは加速度やハンドル角に大きな変化はないが、直進走行時よりも低い速度が検出されたことで生じたものである。23~30[s] は直進走行で加速をしているため、指標値の変化は小さい、31~48[s] は、蛇行走行をしているため、加速度およびハンドル角、速度が変化することから、指標値は、増減を繰り返している。

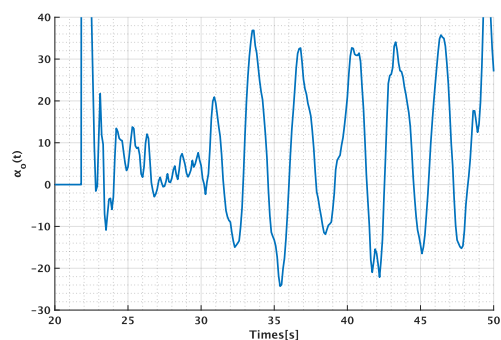


Fig. 8: 蛇行走行時の旧指標値。Old index value for meandering.

Fig. 9は、蛇行走行時の新指標値変化である。22~23[s] は、低速走行であるため、指標値は +10 増加した。23~30[s] は直進走行で加速をしているため、指標値の変化は小さい。31[s] 以降は蛇行走行をしたが、45[s] 以降から Fig. 8では蛇行走行は確認できた。しかし、Fig. 9では、指標値変化が小さく、走行状態を推測することが難しい。これは、前後輪の加速度差が小さくなり、ハンドル角が速度で割られていることが指標値に大きく影響しているためである。

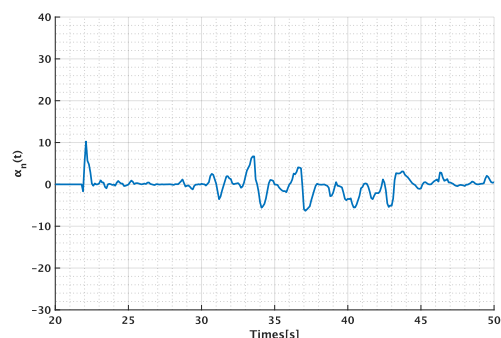


Fig. 9: 蛇行走行時の新指標値。New index value for meandering.

#### 4.4 上り坂走行時

Fig. 10 は、上り坂走行時における各パラメータである。5~8[s] は、加速をしていることから、 $y$  軸加速度は増加している。12~24[s] は上り坂を走行中であり、 $x,y$  軸加速度が増減を繰り返している。25[s] 以降は、減速していることから、 $y$  軸加速度は減少した。ハンドル角は、坂を登り切った 23~25[s] で変化したが、26[s] 以降では、速度が安定かつ、直進走行をしていたため、Fig. 4 の直進走行時と似たハンドル角の変化となった。ここで示す速度は、Fig. 4, Fig. 7 と同様の異常値除去と移動平均処理を行ったものである。5~11[s] は平坦な道を直進走行しているため、速度は徐々に増加している。また、12[s] から坂を上るにつれ速度が減少し、上り切った 25[s] 以降は増加した。

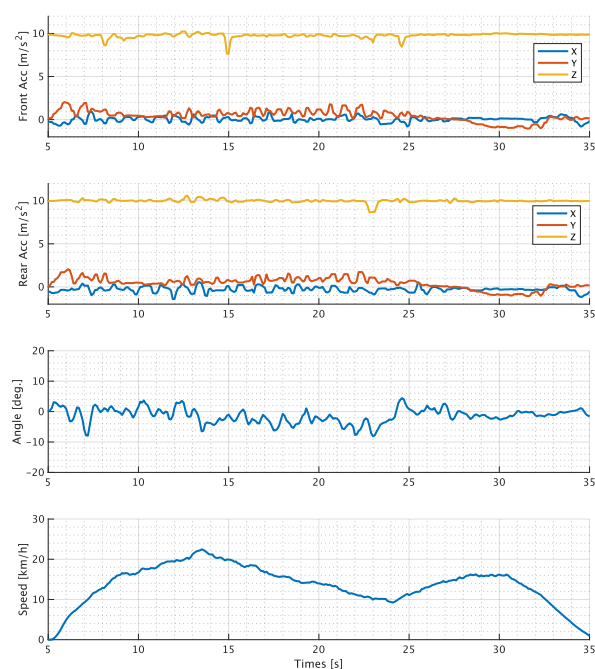


Fig. 10: 上り坂走行時の各測定値. Each measured value during meandering.

Fig. 11 は、上り坂走行時における旧指標値の変化である。5~8, 23~25, 33~35[s] の加減速を指標値の増減から確認できる。また、12~25[s] で上り坂を走行しているが、指標値から確認することは困難である。よって、走行状態を推測するには、各パラメータが必要となってくる。

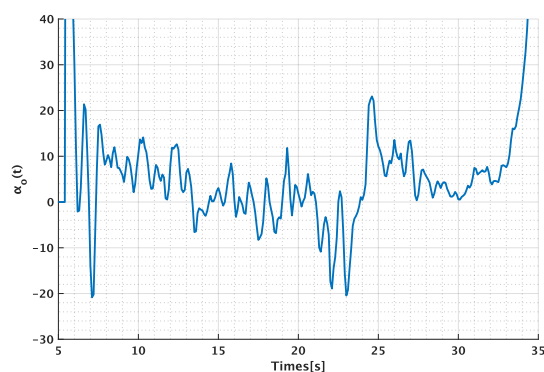


Fig. 11: 上り坂走行時の旧指標値. Old index value for steep gradient running.

Fig. 12 は、上り坂走行時における新指標値の変化である。加減速をしているため、指標値は、22, 23, 24.5[s] で減少している。Fig. 6 の直進走行時と比較すると、指標値変化の範囲が似ているため、直進走行であることはわかるが、走行環境を推測することは困難である。

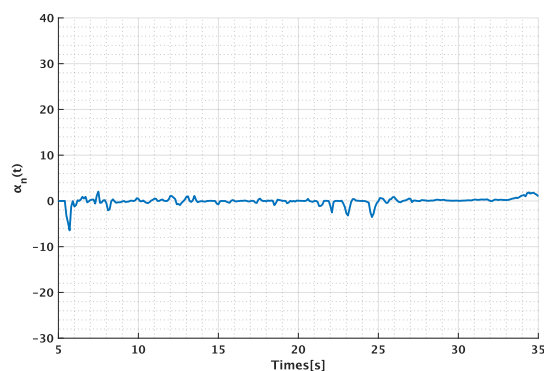


Fig. 12: 上り坂走行時の新指標値. New index value for steep gradient running.

## 4.5 下り坂走行時

Fig. 13は、下り坂走行時の各パラメータである。15[s]から下り坂を走行していることから、 $y$ 軸加速度は減少し続けている。その際の $x$ 軸加速度は、直進走行であることから前部加速度、後部加速度共に大きな変化は見られなかった。27[s]以降は、ブレーキをかけ、減速しているため $y$ 軸加速度はさらに減少し続けるため、下り坂走行時と減速時の区別をつけることが難しい。ハンドル角は、直進走行中かつ速度が安定していることから、Fig. 4の直進走行時と似たハンドル角変化となった。ここで示す速度は、サンプリングごとの速度値が前回値よりも8[km/h]以上増加、5[km/h]以上減少した値は、前回値に置換し、移動平均処理をしたものである。自転車を漕ぎ始めて15[s]で下り坂を走行し、そこから徐々に速度が増加している。28[s]で最高速度30[km/h]に達し、29[s]以降減速したため、速度は減少した。

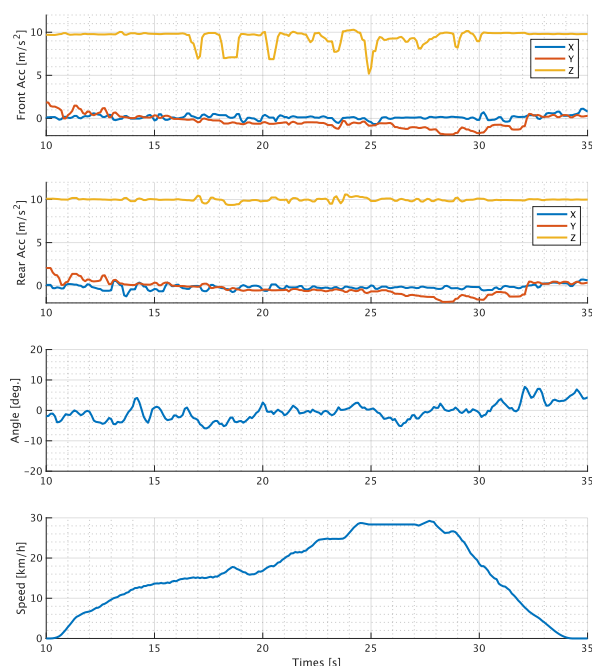


Fig. 13: 下り坂走行時の各測定値. Each measured value when running downhill.

Fig. 14は、下り坂走行時における旧指標値の変化である。10～14[s]は加速をしているため、指標値は徐々に減少している。また、15～32[s]で下り坂を走行している。そのため、加速度、ハンドル角の変化が小さく、速度が高いことから、指標値変化が小さい。

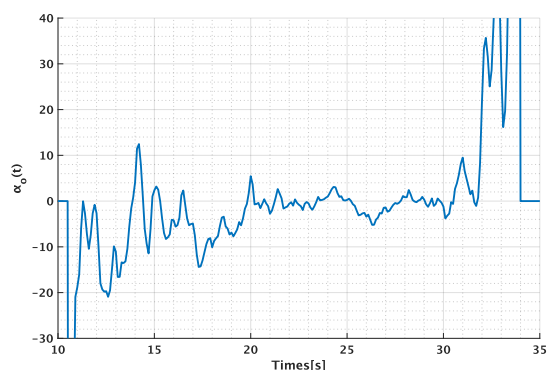


Fig. 14: 下り坂走行時の旧指標値. Old index value for steep gradient running.

Fig. 15は、下り坂走行時における新指標値の変化である。Fig. 14と比較すると全体的に指標値変化は小さい。また、下り坂走行時は、Fig. 6の直進走行時と似た指標値変化であるため、直進走行中であることはわかるが、走行環境を推測することは困難である。

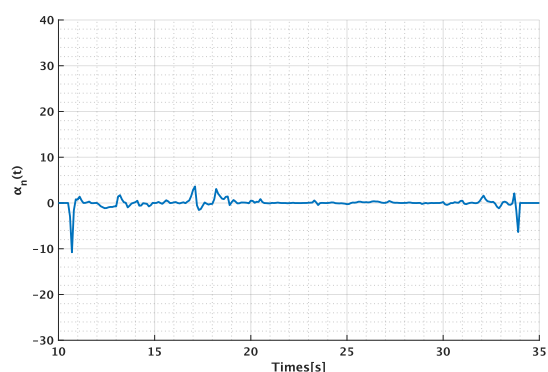


Fig. 15: 下り坂走行時の新指標値. New index value for steep gradient running.

## 4.6 考察

それぞれの走行状態の旧指標値を比較すると、直進走行と蛇行走行の推測をすることができる。これは、加速度、ハンドル角の変化が直進走行時は小さく、蛇行走行時は大きいためである。一方、勾配走行時は、旧指標値の大きさから勾配走行中の推測をすることはできない。また、新指標値においても、直進走行と蛇行走行の推測をすることはできるが、加速度変化が大きく、ハンドル角の変化が小さい場合、前部加速度、後部加速度の差が小さくなり、指標値も小さくなるため、走行状態を推測できない場合がある。勾配走行時は、新指標値の大きさから勾配走行の推測をすることはできない。新指標値は、前部加速度、後部加速度の差をとることから、全体的に指標値の変化が小さくなる。そのため新指標値は、旧指標値よりも走行状態を推測することが難しい場合がある。

## 5. おわりに

今回は、直進走行時、蛇行走行時、勾配走行時における走行状態を指標値によって評価した。また、新指標を提案し、旧指標との指標値比較を行った。直進走行時、蛇行走行時の新旧指標値を比較すると、蛇行走行時の新旧指標値の増減が大きいことがわかる。これは、蛇行走行時に、加速度、ハンドル角、速度が変化しやすいためである。よって、直進走行時よりも蛇行走行時の方が危険な走行状態であると判断できる。さらに、勾配走行時は、新旧指標値から、勾配の走行状態を推測することができなかった。しかし、勾配走行中は、特に $y$ 軸加速度が変化するため、加速度から勾配走行中であることを推測することができる。そのため、各測定値を基に走行状態を推測し、指標値から危険度判別を行うことが好ましい。

今後は、指標値の大きさで自転車走行状態の危険度水準を区別する必要がある。また、走行

状況を事後に確認するためにカメラを使用しているが、道路標識や障害物等の環境認識をし、環境情報と走行状態指標に基づく危険度判断システムの検討を行う。

## 参考文献

- 1) 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, 情報処理学会第79回全国大会, 4G-06 (2017)
- 2) <https://www.nippon.com/ja/japan-data/h01669/>  
(2023/7/15 アクセス)
- 3) 都内自転車の交通事故発生状況  
(令和4年度中)  
[https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/about\\_mpd/jokyo\\_tokei/tokei\\_jokyo/bicycle.files/001\\_04.pdf](https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/about_mpd/jokyo_tokei/tokei_jokyo/bicycle.files/001_04.pdf)  
(2023/7/15 アクセス)
- 4) 山崎和人, 宮澤雄介, 平山雅之: センサを用いた走行パターン解析による自転車事故防止システムの提案, 情報処理学会第77回全国大会, 5J-02 (2015)
- 5) 高梨宏之, 唐嘉序: 自転車の走行状態評価に関する検討, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020, 1P2-C14 (2020)
- 6) <https://www.google.com/maps/@37.3585668,140.3778645,693m/data=!3m1!1e3> (2023/3/23 アクセス)
- 7) <https://maps.app.goo.gl/m4MwdVe4xBnLyLtN9>  
(2023/10/5 アクセス)