

# スマートフォンを用いた危険な自転車運転検知 に向けた運転状況認識手法の実装

林 裕嵩<sup>1,a)</sup> 徐 安然<sup>1</sup> 周 中一<sup>1</sup> 矢谷 浩司<sup>1</sup>

**概要:** 心身の健康や混雑回避, 環境問題の観点から自転車利用が注目を集めている。しかし, 自転車利用者の多くは自転車の安全運転について学ぶ機会を十分に得られていないため, 知らずのうちに危険な運転をしてしまう可能性がある。従って, 自転車利用者を事故から守るためには支援が必要である。現在, 自動車の運転支援技術は広く研究されているが, 自転車の運転支援に関する研究は限られている。自動車と比較して自転車は走行位置や環境, 積載デバイスの制約など特有の問題が存在するため, 自動車支援技術をそのまま転用することは難しい。そこで, 本研究では自転車に搭載した速度センサとスマートフォンのカメラから乗車データを取得し, 運転後に自転車利用者にフィードバックをするための運転状況の認識と評価の手法を検討する。

## 1. はじめに

自転車の利用は, 心身の健康や混雑回避, 環境負荷の軽減などの観点から大きな注目を集めている。自転車を運転するためには自動車のように免許を取得する必要がなく, 簡単なトレーニングのみで充分であるので, 自転車は世界中で一般的な移動手段となっている。平成 30 年の日本国内の自転車保有台数は約 6,800 万台であり [13], 日本人の 2 人に 1 人程度が自転車を保有するほどにまで普及していることがわかる。

しかし, 自転車による危険運転が近年問題となっている。ここ数年を見ても, 自転車交通指導取締り検挙件数が全国的に増えており [15], ニュース等で話題に上がることもしばしばある。その原因の 1 つとして, 先に述べたように自転車運転が手軽であるために, 安全運転について知る機会が少ないままに自転車を運転し, 知らずに危険な運転をしてしまっている可能性がある。その結果, 実際に事故を起こすか, 検挙されるか, そうでなくともヒヤリハットを体験することで, 初めて危険な運転をしていることを自覚することとなる。実際に事故を起こしてしまうと, その影響は非常に大きい。運転者自身だけでなく, 歩行者や自動車へ被害を及ぼし, 最悪の場合死に至らしめてしまう可能性がある。実際に, 自転車の危険運転によって死亡事故やそれと同等の事故を起こし, 9,000 万円以上の損害賠償を命じられた例も存在する [14]。自動車運転においては, 様々

な支援技術が研究, 実装されている [3,6,11] が, 自転車と自動車には車両自体や運転環境, 速度, 積載できるデバイスの制約など多くの違いにより, 自動車の技術をそのまま自転車の運転利用することは難しい。

本研究では, ユーザが持つスマートフォンを利用し, 自転車運転中における危険な運転を検知するシステムの構築を目指す。特に, スマートフォンに搭載されているカメラを用い, 運転時の状況認識と運転者の顔の向きの認識を行い, 危険な運転となりかねない状況の検知を行う。これらの認識結果を運転終了後に提示することで, 運転者に対して自身の運転の振り返りを促すことがこのシステムの目的である。本稿では目指すシステムに向けて実装した運転状況認識手法とその予備的な実験の結果を報告する。

## 2. 関連研究

### 2.1 スマートフォンで自転車の運転認識を行った研究

Bikemate [7] はズボンのポケットに入れたスマートフォンの加速度・ジャイロ・GPS センサを用いて, 自転車の立ち漕ぎ・蛇行運転・逆走を検知する。このシステムでは検出に SVM を用いている。さらに, クラウドデータを用いた精度の向上も図っている。

また, Usami ら [12] は自転車のハンドルバーに設置したスマートフォンのジャイロセンサと加速度センサのデータを用いた自転車運転の認識手法を提案した。この手法ではランダムフォレストを使用し, 停止, 直進, 右折, 左折の 4 動作を認識した。

これらの研究は, 運転をセンシングして運転行動を認識

<sup>1</sup> 東京大学

<sup>a)</sup> h.hayashi@iis-lab.org

しているが、外的要因によって変化する外部環境を認識することができないという課題がある。例えば、自転車の前に歩行者がいた場合にいずれのシステムでもその状況を認識することができない。そこで、これらの外部環境を認識するために、本研究では身近なデバイスであるカメラの映像を利用することとした。

## 2.2 自転車運転の分析にカメラ画像を用いた研究

Cycling-Net [8] は、自転車のカメラ映像からニアミスを検出するディープラーニングモデルである。本モデルはカメラ映像から自転車同士や自転車とその他の道路上の物体とのニアミスが発生した場面を認識する。動画サイトにアップロードされている動画に人間の主観に基づいたニアミスの判定を付与した教師データを使用した。ここから、自転車の車載カメラデータからでも十分に自転車運転の状況認識を行えることがわかる。

危険運転が発生しうる場面を認識するためには、道路環境に合わせた認識をする必要があると考えられる。SURF [2] は、自転車にマウントしたスマートフォンのカメラから地面の様子を取得し、CNN により、アスファルト・砂利・石畳・草原・林道の5つの分類を行うシステムである。この研究からはスマートフォンのカメラが、自転車の運転環境認識に有用であるということがわかる。

そこで本研究では、スマートフォンを自転車に搭載し、スマートフォンのカメラを用いて外部環境を考慮した自転車運転の認識を行うこととした。

## 2.3 画像処理を用いた自動車の運転認識に関する研究

自動運転技術の開発により、自動車運転の認識を行う研究はこれまでの幅広く行われてきた。その中で、画像認識技術を用いる研究として、Semantic Segmentation と物体検出を用いる研究について述べる。

Semantic Segmentation とは、画像のピクセル1つ1つに対してクラス分けを行う手法である。自動車の周辺の環境を認識するために自動車運転画像に対し Semantic Segmentation で処理を行う研究は多数行われてきた。その中で Teichmann ら [11] は精度向上だけでなく、処理速度向上も図り、自動運転映像に対し、毎秒23フレーム以上での処理が可能であることを示した。従ってリアルタイムな自動車運転の処理が可能な程度にまで性能が向上していることがわかる。

物体検出は画像内に特定の物体が存在するか検出する手法である。Aleksa ら [3] は、晴天や曇天、夜、そして霧や雪といったさまざまな条件で物体検出ライブラリである YOLO v3 [10] を用いて物体検出を行った。自動車、トラック、歩行者、交通標識、ライトの検出を行い、その有効性を示した。

近年の自動車運転認識技術では、これらの画像処理だけ



図 1: 自転車にスマートフォンを搭載した様子。赤丸部分が本システムで制作したマウントである。カメラ用自撮り棒と自転車用のマウント等を組み合わせて制作した。



図 2: 自転車にスマートフォンを搭載するためのマウント。赤丸部分にスマートフォンを装着する。スマートフォンの内側カメラで運転者の顔を、外側カメラで自転車の正面の道路状況を捉える。

でなく、Radar や Lidar, GPS など複数のセンサモダリティを活用している。精度向上のために複数のセンサデータをどのように融合するかが課題となっている [6]。

しかし、自転車に大量のセンサを搭載することは積載量や電力、自転車に対するコスト等の観点から現実的ではない。そこで、本研究では身近なデバイスであるスマートフォンのカメラを利用し、自転車の正面方向の画像に Semantic Segmentation と物体検出を用いて運転状況の認識を行うこととした。

## 3. システム

### 3.1 スマートフォンのマウント

図 1, 2 のようにスマートフォン (Google pixel 5) を横向きで自転車にセットした。カメラ用自撮り棒と自転車用のマウント等を組み合わせて制作した。スマートフォンの外側カメラからは自転車正面が、内側カメラからは運転者の顔が映るように位置を調整をした。ただし、内側カメラは十分に広角ではないので、立ち漕ぎをしている際には面角から顔が出てしまう。

### 3.2 データ取得用アプリケーション

データ取得用に、Android 用のアプリケーションを制作

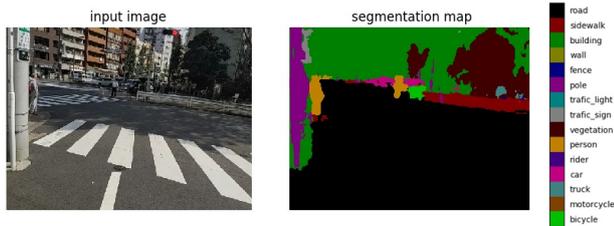


図 3: Deeplab v3+ [4] による Semantic Segmentation の例. 左側の入力画像に対し, 右側の画像のようにピクセルごとに分類される. 右端の凡例の色分けに従い結果を表示している.

した. このアプリケーションはスマートフォンの内外のカメラ画像と各種センサデータをフレームレートで 5 Hz で取得し保存した. なお, 本プロトタイプで使用しないデータ項目も, 今後のシステム設計次第で使用する可能性があるため取得, 保存している.

## 4. 動画処理

状況認識を行うために, スマートフォンの内外カメラから得られる画像に対して, 3 種類のライブラリを用いて処理を行った.

### 4.1 Semantic Segmentation

スマートフォンの外側カメラから取得した自転車正面の画像を, 縦 384px, 横 513px にリサイズし, Deeplab v3+ [4] を用いて Semantic Segmentation の処理をする. そして画像をピクセルごとにクラスを分けた. データセットは City Scapes [5] を用いて, 19 種類のクラスに分類する. 19 種類のクラスは road, sidewalk, building, wall, fence, pole, traffic light, traffic sign, vegetation, terrain, sky, person, rider, car, truck, bus, train, motorcycle, bicycle である. Semantic Segmentation の例を図 3 に示す. 左側の入力画像に対し, 右側の画像のようにピクセルごとに分類された. 右端の凡例の色分けに従い表示している.

### 4.2 一時停止標識の検出

一時停止標識の検出は Yolo v5 [9] を用いてを行ったこの検出のために Google 画像検索を用いて取得した一時停止標識画像のデータセットを構築し, 学習に使用した.

一時停止標識の検出の例を図 4 に示す. この場合, 画像内の矩形枠内に, 信頼度 0.96 で一時停止標識が検出されたことを意味している. 本プロトタイプでは, 信頼度 0.5 以上の時に検出した.

### 4.3 顔の検出と向きへの推定

スマートフォンの内側カメラから取得した顔画像から Openface [1] を用いて運転者の顔の向きを推定した. Openface では視線方向を推定することも可能であるが, 本システムでは顔とカメラの距離が大きく, 振動の影響



図 4: Yolo v5 [9] による検出の例. 矩形枠内に信頼度 0.96 で一時停止標識があることを意味している.

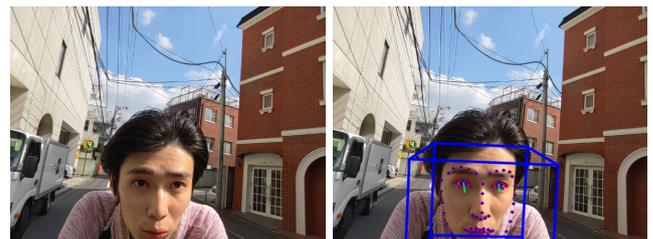


図 5: Openface [1] による顔の向き推定の結果. 左図の入力画像に対して, 結果を重ねた画像が右図である. 青色の立方体が顔の正面方向, 緑色の矢印が視線方向を示している. 本プロトタイプでは視線方向は使用していない.

もあるため, 正確な推定をすることができなかった. そこで, 顔の向きから運転者が見ている方向を推定することとした. 図 5 に, Openface による顔の向き推定の結果を示す. 青色の立方体が顔の正面方向, 緑色の矢印が視線方向を示している.

## 5. 自転車の運転状況認識

本研究ではプロトタイプとして, 一時停止標識, 歩行者, 自動車, 道路端の状況と運転者の顔の傾きの認識を行った. それぞれの詳細を以下に述べる.

### 5.1 一時停止標識の認識

自転車は一時停止標識の先に設置されている停止線の手前で, 一時停止をしなければならない. 一時停止標識は一般的に見通しの悪い交差点や非優先道路から優先道路へ侵入する交差点に設置されている.

一時停止標識の認識は次のように行った. 各フレームの Yolo v5 [9] による一時停止標識の検出の検出結果から式 1 の  $score_n$  を算出し,  $score_n$  が 1.5 を超えたときに, 一時停止標識が存在すると認識した. 複数フレームの結果を用いるのは, Yolo v5 による検出の信頼度の閾値を広げつつ, 誤検出に強くするためである. Yolo v5 による検出結果が正しい場合には一時停止標識に近づくに従って信頼度が大きくなるが, 誤っている場合は近づくに従って信頼度が小さくなることから, 式 1 を用いた.

$$score_n = \sum_{k=1}^n \left\{ \frac{1}{2^{n-k}} \cdot CS_k \right\} \quad (1)$$

$CS_k$  :  $k$  フレーム目における検出の信頼度.

## 5.2 歩行者の認識

自転車の正面に歩行者がいる場合、事故を起こしてしまう可能性は十分にある。また、自転車が歩行者のいる歩道を走行する際に徐行する必要があると道路交通法に定められている。自転車の正面に歩行者がおり、人数が多い、あるいは距離が近い場合は、自転車は十分に速度を落とす必要がある。

自転車が速度を落とす必要のある状況を認識するために歩行者の認識は次のように行った。スマートフォンの外側のカメラ映像に対する Deeplab の結果を用いた。各フレームごと歩行者 (pedestrian) と車道 (road) と認識されたピクセル数から、式 2 の  $score$  を算出し、 $score$  が 0.1 を超えたフレームに歩行者が存在すると認識した。

$$score = \frac{\text{歩行者のピクセル数}}{\text{車道のピクセル数}} \quad (2)$$

## 5.3 自動車の認識

道路交通法において、自転車が歩道を走れるのは許可された場所のみで、それ以外では車道を走行することが定められている。従って、自転車の安全な運転ためには歩行者だけでなく自動車との関係も重要となる。そこで、自動車が自転車の正面にいる場合を右側・左側に分けて認識した。

### 5.3.1 正面右側の自動車認識

自転車の右側に自動車がある場面として、車の横をすり抜ける場面や自動車に追い越されている場面が想定できる。自転車の正面右側にいる自動車を次のように認識した。スマートフォンの外側カメラ映像のうち、右半分の領域を 4 分割し、右端を除いた領域 (図 6 赤枠) の Deeplab の結果を用いた。この領域の自動車 (car, bus, truck) のピクセル数が 20,000 以上のときに自動車が存在すると認識した。自転車は道路の左側を走るため、幅の広い道路では画像の右端に自転車から遠い場所が画角内に入ることが多いため右端の領域を除いた。

### 5.3.2 正面左側の自動車認識

自転車の左側に自動車がある場面として、停車している自動車を追い越す場面が想定できる。自転車の正面左側にいる自動車を次のように認識した。スマートフォンの外側カメラ映像のうち、左半分の領域 (図 7 赤枠) の Deeplab の結果を用いた。この領域の自動車 (car, bus, truck) のピクセルのうち、道路 (road) のピクセルと隣り合っているピクセル数が 200 以上のときに自動車が存在すると認識し

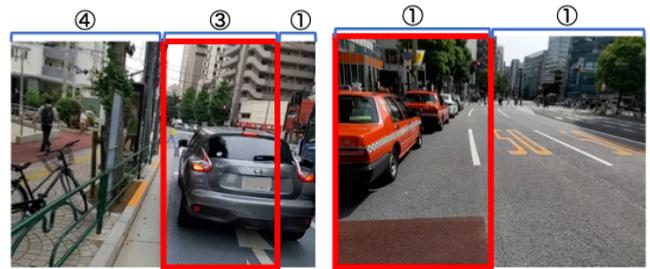


図 6: 左側の自動車を認識する際に用いた画像の領域。画像の右半分を 4 等分し、その右端を除いた領域である。なお、上部の数字は分割比である。

図 7: 左側の自動車を認識する際に用いた画像の領域。画像を左右に 2 等分した左側の領域である。なお、上部の数字は分割比である。



図 8: Deeplab の結果 (右図) とそのうち自動車のピクセルのうち道路と隣り合っているピクセル (左図) を表示している。入力画像は図 7 の画像である。

た。これは、道路以外の場所に駐車されている車を考慮から取り除くためである。

## 5.4 道路端の状況認識

自転車にとって、歩行者の飛び出しは大きな事故のリスクとなる。歩行者の飛び出しは、交差点だけでなく直線道路でも発生しうる。そこで、交差点ではない場所での飛び出しの可能性を認識するために、車道の端の状態に注目した。歩行者の飛び出しが発生する状況の一つとして、道路端に歩行者が立ち入りやすく、道路へ出るための妨げのない場所があると考えられる。そこで、道路の端から外側 30 ピクセルの Deeplab の結果を利用して認識を行った。道路端から外側に 30 ピクセルを図 9 に示す。Deeplab の結果のうち、fence(柵), vegetation(植生) のクラスのピクセルを“安全”, sidewalk(歩道), terrain(土や短草の地面) を“危険”とした。そして、“安全”と“危険”のピクセル数を比較し、多い方を認識結果として採用した。

なお、building(建物) のクラスは、建物の壁であれば飛び出しの危険はないが、建物の扉がある場合は飛び出しの危険がある。しかし、Cityscapes はこれを区別できるデータセットではないため今回は building のピクセルを認識に用いなかった。

## 5.5 顔の向き の推定

本システムのマウントでは、スマートフォンと顔の位置を常に同じ位置関係にすることはできない、さらに、運転

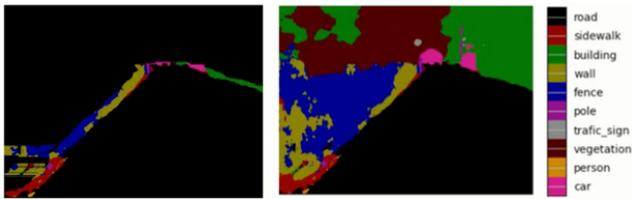


図 9: 道路端から外側に 30 ピクセル分 (左図) と Semantic Segmentation の結果 (右図) を表示している。Semantic Segmentation の結果を凡例に従って示している。なお、入力画像は図 19 の画像である。

者によっても顔の位置は異なる。すると、スマートフォンと顔の位置関係のみで顔の向きを推定すると、運転ごとに向きの基準が異なる事になる。運転ごとに正確にスマートフォンを固定し、顔の位置に合わせて校正できればよいが、毎回の自転車の運転時にそれを行うことは現実的ではない。そこで、本プロトタイプでは、自転車運転者は運転中の多くの時間で自転車の正面を向いて運転していると仮定し、顔の向きの平均 ( $\vec{f}$ ) を式 3 で算出し、自転車の正面方向とした。そして、自転車の正面方向と、それぞれのフレームにおける顔の向きとのなす角の大きさ ( $\theta$ ) を式 4 で導出した。また、立ち漕ぎ等で顔の位置が変わると、Openface で顔が検出されない、あるいは検出されても信頼度が下がってしまうので、Openface の検出信頼度も考慮に入れた。

$$\vec{f} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n c_k \vec{x}_k \quad (3)$$

$$\theta_k = \arccos(\vec{x}_k \cdot \vec{f}) \quad (4)$$

$\vec{f}$ : 推定された自転車正面方向の単位ベクトル

$n$ : 入力データの総フレーム数。

$\vec{x}_k$ :  $k$  フレーム目における顔方向の単位ベクトル。

ただし、顔が検出されない場合は  $\vec{0}$  とする。

$c_k$ :  $k$  フレーム目における顔検出の信頼度。

$\theta_k$ :  $k$  フレーム目における顔の向きと

自転車の正面方向とのなす角の大きさ。

## 6. 結果

東京大学本郷キャンパス (東京都文京区本郷) 付近の筆者による運転データを用いた。本プロトタイプによる状況認識の結果分析を行った。運転データは 33 回分で、1 データあたりの平均運転時間は 73 秒であった。想定した認識が行われた例と異なる認識が行われた例を以下に示す。

### 6.1 一時停止標識の認識

図 10 のように一時停止標識に近づいていくシーンで、一時停止標識の存在が認識された。また、図 11 のシーンで



図 10: 一時停止標識の存在が認識されたシーンの例。画像中央上部に一時停止標識がある。

図 11: 実際には一時停止標識がないが、Yolo が高い信頼度で一時停止を検出したシーン。本プロトタイプでは一時停止標識が存在すると認識しなかった。



図 12: 実際に一時停止標識が存在するが、本プロトタイプで一時停止標識の存在が認識されなかったシーン。画像中央上部に一時停止標識があり、右上を拡大画像に表示している。図 10 と比較して一時停止標識の位置が高く、振動によりぼやけている。



図 13: 自転車正面に歩行者が多数存在するシーンの例。歩行者の存在が認識された。

図 14: 自転車に近い場所に歩行者が存在するシーンの例。歩行者の存在が認識された。

は、Yolo は信頼度 0.8 で一時停止標識を検出するが、本プロトタイプは一時停止標識の存在を認識しなかった。以上のシーンでは、想定通りの認識を示した。

しかし、一時停止標識がありながら認識されなかったシーンも存在した。図 12 のシーンでは、一時停止標識が画像内にあるのに、本プロトタイプで一時停止標識の存在が認識されなかった。

### 6.2 歩行者の認識

図 13 のように自転車の正面に多数の人が存在する場合に歩行者の存在を認識した。また、図 14 のように歩行者の人数が少なくても自転車と距離が近い場合に歩行者の存在を認識した。



図 15: 自動車が右側に存在すると認識されたシーンの例。自動車の横をすり抜ける直前である。



図 16: 自動車が右側に存在すると認識されたシーンの例。自動車に追い越されている。



図 19: 安全な道路端と認識されたシーンの例。道路端には高い柵がある。



図 20: 危険な道路端と認識されたシーンの例。歩道と車道の間には遮るものがない。



図 17: 自動車が左側に存在すると認識されたシーンの例。停車中の自動車を追い越している。



図 18: 自動車が左側に存在すると認識されていないシーンの例。左側の駐車場に自動車が駐車されている。



図 21: 車道と歩道の上に低い柵があるシーンの例。危険な道路端と認識される。

## 6.3 自動車の認識

### 6.3.1 正面右側の自動車認識

停車中の自動車の左側をすり抜ける前のシーン (図 15) と自動車に追い越されるシーン (図 16) で、自動車が自転車の正面右側に存在すると認識された。

### 6.3.2 正面左側の自動車認識

路上に駐車されている自動車を追い越すシーン (図 17) で、自転車の左側に自動車が存在すると認識された。また、自動車が車道ではなく駐車場に存在するシーン (図 18) では自動車は存在すると認識されなかった。

## 6.4 道路端の状況認識

道路端から歩行者が飛び出してくる危険を認識した。図 19 は、安全な道路端と認識されたシーンである。道路端には高い柵が設置されている。図 20 は、危険な道路端と認識されたシーンである。道路端は歩道であり、歩道と車道の間には飛び出しを防止できるカーブレール等の物体が存在していない。

また、図 21 では、歩道と車道の上に低い柵がある。この場合は本プロトタイプでは危険な道路端と認識された。

## 6.5 顔の向き の推定

上下左右のいずれの方向に対しても顔の向きがずれが少ないシーンを図 22 に示す。この時の顔の正面方向からの向きがずれ ( $\theta$ ) はそれぞれ左から  $4.2^\circ$ 、 $4.3^\circ$  と算出された。また、顔が明らかに大きく横を向いているシーンを図 23 に示す。この時、Openface は正確に顔を検出すること

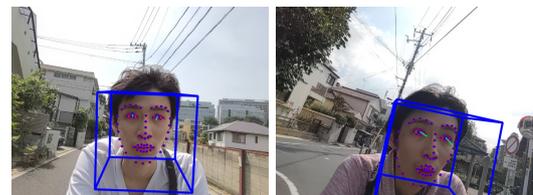


図 22: 顔が正面を向いているシーンの例。左図からそれぞれ  $\theta = 4.2^\circ$ 、 $4.3^\circ$  と算出された。



図 23: 明らかに正面を向いているシーンの例。顔が画面から外れており、Openface の顔検出の信頼度は 0.025。



図 24: 立ち漕ぎをしているシーンの例。顔が画面から外れており、Openface は顔を検出していない。

ができておらず、検出の信頼度が 0.025 と小さな値となった。しかし、今回の手法では、前述の場合以外で  $\theta$  の値に明らかな差が見られなかった。例として、 $\theta$  が約  $12^\circ$  と算出された 2 つのシーンを図 25 に示す。左図は横方向を向いているいわゆる脇見であるが、右図は斜め上方向を向いている (この方向には標識がある)。

## 7. 考察

### 7.1 一時停止標識の認識

Yolo が一時停止標識を検出してから、標識に近づくにつれ検出の信頼度が高くなり、式 1 の  $score_n$  が閾値を超えた時に本プロトタイプは一時停止標識の存在を認識する。認識された図 10 のシーンでは一時停止標識に近づくにつれ

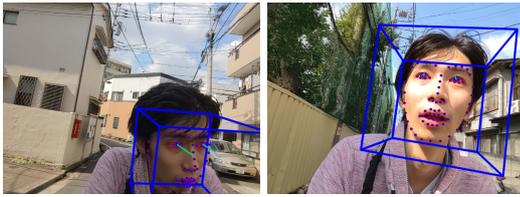


図 25:  $\theta$  が約  $12^\circ$  と算出された 2 つのシーン. 左図は横を向いているが, 右図は正面の標識を見ている.

て検出の信頼度が高くなるが, 認識されなかった図 11 のシーンでは, 物体に近づいても検出の信頼度が高くなりなため, 想定通りの認識となったと考えられる.

しかし, 誤った認識がされた図 12 のシーンでは, 他のシーンと比較すると一時停止標識が通常より高い位置に設置されている. スマートフォンの設置位置を考慮すると, 自転車と標識の距離が近づくに従い, カメラ画像の中で標識が大きくなるため Yolo による検出の信頼度が上がる. それと同時に画角の端の方に移動し, 最終的には画角外に移動するため, Yolo で検出されなくなる. 図 12 のシーンのように標識が高い位置にある場合, Yolo による物体検出の信頼度が十分に高くなる前に画角外に移動してしまうという問題がある. さらに, このシーンではスマートフォンの振動により画面がぼやけてしまっている. これらの要因で Yolo が正確な検出を行えず, 誤認識をしたと考えられる.

従って, 物体の位置や自転車の振動の課題に対応することで, 一時停止標識以外の標識や信号, 路面の道路標識の認識についても同様に存在を認識できることが期待される. 今回, 一時停止標識の検知に用いたデータセットが十分とは言えないため, 今後はデータセットの拡充や, 振動や速度に合わせてデータ取得のレートを調整することで解決できると考えられる.

## 7.2 歩行者の認識

図 13,14 のように自転車が歩行者と事故を起こす危険性のあり, 直ちに自転車は減速・徐行する必要があるシーンを認識した. 歩行者が存在するシーンでは, 適切な認識を行うことができる.

現在のプロトタイプは, 歩行者のいない歩道を走行していることを認識することができない. しかし, このような場所は潜在的に歩行者がいる可能性が高く, 道路交通法でも歩行者のいない歩道走行時は歩道の状況に合わせた安全な速度で走行することが定められている. したがって, 歩行者のいない歩道の処理については今後の課題となると考える.

## 7.3 自動車の認識

### 7.3.1 正面右側の自動車認識

停車中の自動車の左側をすり抜ける直前 (図 15) と自動車に追い越される (図 16) シーンでは, いずれも自転車と

自動車が接触する可能性があり, 自動車の存在を認識する必要がある. さらに前者の場合は自動車が停車していれば助手席や後部座席から降車するためにドアを開けることも想定されるまた, 後者は自転車運転手にとっては予測しづらく, 急に近い位置を追い越されると大きな事故の危険がある.

### 7.3.2 正面左側の自動車認識

路上に駐停車されている自動車を追い越すシーン (図 17) では運転席や後部座席から降車するためにドアを開けることや自転車が車線変更をする際に自動車と接触すること, 車の間から歩行者が飛び出すことが想定されるため, 自動車の存在を認識する必要がある.

自動車が車道ではなく駐車場に存在するシーン (図 18) では自動車は存在すると認識されなかったが, 道路上の自動車のみを認識に使用したためであると考えられる. 道路上以外に駐停車している自動車であれば, 車道を走っている自転車が追い越す必要はないので, 道路上の駐停車車両と比較して大きな危険はないと考えられる.

## 7.4 道路端の状況認識

図 19 のように道路端に高い柵があるシーンや図 20 のように道路端に障害物がないシーンでは, 想定通りに飛び出しの危険性が認識がされている. また, 図 21 のように, 低い柵がある場合は飛び出しの危険があると認識される. これが安全であるかは検討の余地があるが, 図 20 のように何も無いよりは安全であることは明らかである. 今回のプロトタイプでは歩行者の足元の地面に注目するために道路端の 30 ピクセル分のみを認識に利用した. しかし, 足元に空洞がある柵やガードレールが多いことから, 地面のみを考慮だけでは十分でないことがわかる.

## 7.5 顔の向き of 推定

図 22 のように顔が上下左右のいずれの方向に対しても顔の向きのずれが少ない場合に式 4 の  $\theta$  は小さくなる. 従って,  $\theta$  が小さいならば顔が正面を向いていることがわかる.

図 23 のように画顔が大きく横を向いている場合, Openface は正確に顔を検出することができなかった. 他に Openface の検出の信頼度が低くなったシーンとしても図 24 のように立ち漕ぎをしているシーンがあった. いずれの場合も顔の位置は適切な場所にはないので, Openface の検出の信頼度が小さい時は顔の位置が適切な場所にはないと考えられ, いずれも安全ではないと認識することが適切であると考えられる.

しかし, 今回の手法では, 前述の場合以外で  $\theta$  に差が見られなかった,  $\theta$  が約  $12^\circ$  と算出された図 25 の 2 つのシーンを比較すると, 左図では運転者は横方向を向いているが, 右図では斜め上方向を向いている (この時, 正面の標識を見ている). 2 シーンを比較すると, より危険なのは左図の



図 26: 存在しない自動車が認識されているシーンの例。日中は歩行者専用になっている道路である。

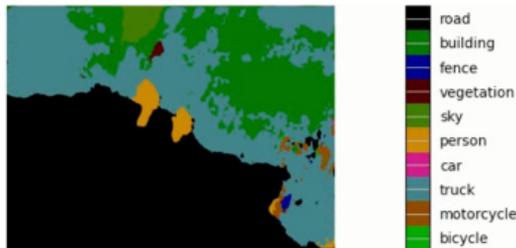


図 27: 図 26 を入力にした Deeplab の結果。building(緑) であるはずの部分が truck(水色) と認識された。

シーンであるが、この手法ではほぼ同じ評価ということになる。従って、顔の向きのずれの大きさだけでなく、その方向も考慮して状況認識を行うと、問題が改善する可能性があると考えられる。

## 7.6 その他

Deeplab の結果を用いて認識をした項目 (歩行者・自動車・道路端) に共通して、歩道などの歩行者専用道路を走っている際に想定しない結果となることがあった。図 26 にその例を、図 27 に入力画像の Deeplab の結果を示す。このシーンは幅の広い歩行者用の道路がであるが、本プロトタイプでは左右に車が存在しているという認識結果となる。道路の両端は building(建物) であるはずなのに Deeplab の結果は広い範囲を truck(トラック) と表示している。これは今回使用したデータセットの Cityscapes [5] が自動車の車載動画で作られていることが原因であると考えられる。

## 8. おわりに

本研究では、自転車にスマートフォンを搭載し、スマートフォンの内外カメラ画像から、一時停止標識、歩行者、自動車、道路端の状況と運転者の顔の向きの認識をする手法の実装と検討を行なった。

実際の自転車運転では常に異なる条件での運転となる、定量的な運転評価を行うためには、場所や時刻、運転者に依存せず、運転の危険性を比較することが必要であると考えられる。従って、今後はこれらの認識手法の改善を行なった上で、複数の認識手法を用いた一元的な評価手法について検討を進めていく。

謝辞 本研究の実施や本論文の執筆に際し、多くのアド

バイスをいただいた研究室の皆様へ深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Baltrusaitis, T. et al.: OpenFace 2.0: Facial Behavior Analysis Toolkit, *2018 13th IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition (FG 2018)*, pp. 59–66 (2018).
- [2] Beecken, J. and Reinhardt, A.: How Smooth is my Ride? Detecting Bikeway Conditions from Smartphone Video Streams, *2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, pp. 65–70 (2019).
- [3] Ćorović, A. et al.: The Real-Time Detection of Traffic Participants Using YOLO Algorithm, *2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR)*, pp. 1–4 (2018).
- [4] Chen, L.-C. et al.: Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation (2018).
- [5] Cordts, M. et al.: The Cityscapes Dataset for Semantic Urban Scene Understanding, *Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (2016).
- [6] Feng, D. et al.: Deep Multi-Modal Object Detection and Semantic Segmentation for Autonomous Driving: Datasets, Methods, and Challenges, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 22, No. 3, pp. 1341–1360 (2021).
- [7] Gu, W. et al.: BikeMate: Bike Riding Behavior Monitoring with Smartphones, *Proceedings of the 14th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services, MobiQuitous 2017, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery*, p. 313–322 (2017).
- [8] Ibrahim, M. R. et al.: CyclingNet: Detecting cycling near misses from video streams in complex urban scenes with deep learning (2021).
- [9] Jocher, G. et al.: ultralytics/yolov5: v6.0 - YOLOv5n 'Nano' models, Roboflow integration, TensorFlow export, OpenCV DNN support (2021).
- [10] Redmon, J. and Farhadi, A.: YOLOv3: An Incremental Improvement (2018).
- [11] Teichmann, M. et al.: MultiNet: Real-time Joint Semantic Reasoning for Autonomous Driving, *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, pp. 1013–1020 (2018).
- [12] Usami, Y. et al.: Bicycle Behavior Recognition using Sensors Equipped with Smartphone, *2018 IEEE 8th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)*, pp. 1–6 (2018).
- [13] 一般財団法人自転車産業振興協会: 平成 30 年度自転車保有実態に関する調査 報告書, [http://www.jbpi.or.jp/report\\_pdf/rep\\_jgy\\_181119\\_Part1.pdf](http://www.jbpi.or.jp/report_pdf/rep_jgy_181119_Part1.pdf) (2018).
- [14] 一般社団法人日本損害保険協会: 自転車事故の実態と備え, <https://www.sonpo.or.jp/report/publish/bousai/ctuevu00000053q3-att/jitensyasonae.pdf> (2021).
- [15] 警察庁: 自転車の交通指導取締り状況, <https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/bicycle/pdf/bicycle13.pdf>.