特殊車両の折進可否判定に向けた交差点諸元の自動計測手法の検討

藤村　和紀[1]・坪田　隆宏[2]・島津　弘輝[3]

[1]非会員　愛媛大学　工学部工学科（〒790-8577 愛媛県松山市文京町３番）
E-mail: fujimura.kazuki20@cee.ehime-u.ac.jp

[2]正会員　愛媛大学准教授　大学院理工学研究科（〒790-8577 愛媛県松山市文京町３番）
E-mail:t.tsubota@cee.ehime-u.ac.jp (Corresponding Author)

[3]非会員　愛媛大学　工学部工学科（〒790-8577 愛媛県松山市文京町３番）

近年，特殊車両の通行許可申請件数が増加傾向にあり，審査の迅速化を目指して通行可否審査の自動化が求められている．その一環として，交差点諸元と特殊車両の折進可否情報を用いた折進可否判定モデルの構築が進められており，概ね良好な判定精度が確認されている．しかし，同モデルで使用する交差点諸元値は衛星画像等から人手で読み取る必要がある為，学習データの拡充に人的コストが生じるという課題が残る．そこで本研究では，折進可否判定モデルに必要となる交差点要素の自動計測手法を検討する．はじめに，折進可否判定精度に影響を与える交差点要素を把握するために，先行研究で構築したモデルについて，入力データの感度分析を実施した．次に，モデル精度に対して感度の高い交差点要素について，Opev CV を活用した交差点衛星画像からの自動計測方法を構築した．最後に，自動計測の精度評価を実施し，今後の課題について考察した．

Key Words: *特殊車両，交差点，画像処理，OpenCV*

1. はじめに

我が国の物流業界においては車両大型化による輸送の効率化が進められているが，車両寸法や重量に関する一般的制限値を超えるような特殊車両（以下、“特車”）の通行に際しては，道路構造と車両諸元の関係を踏まえた事前審査が必要となる．審査には道路情報便覧システムが活用され，便覧収録道路に対しては迅速な通行許可審査が実施できるが，便覧未収録の道路を含む経路の審査では未収録箇所の通行条件を手作業で判定することから時間を要する．その為，未収録道路に対する折進可否判定の自動化技術の開発と導入が求められている．

筆者らは交差点における折進可否自動判定モデルの構築を目指しており，これまでに交差点平面図から読み取った交差点構造諸元値を入力とし，方向別折進可否を出力とする深層学習モデルを構築している [1)]．しかし，同モデルで使用する交差点諸元値は衛星画像等から作業員が人手で読み取る必要があるため，入力データの収集に多大な人的コストが生じるという課題を抱えている．

そこで，本稿では折進可否自動判定モデルの入力値として必要となる交差点諸元値の自動計測手法を検討する．はじめに，折進可否判定精度に影響を与える交差点要素を把握するために，先行研究で構築したモデル [1)]について，入力データの感度分析を実施する．次に，モデル精度に対して感度の高い交差点要素について，Opev CV を活用した交差点衛星画像からの自動計測手法を構築する．最後に，自動計測の精度評価，ならびに折進可否判定モデル精度への影響について考察する．

2. 折進可否判定モデルの概要

(1) 特車の折進可否条件

特車の折進可否条件は、道路情報便覧の調査資料作成マニュアル [2)]に定められた分類値（分類値 1）に基づいて

判定される．分類値 1 とは，車両分類 0 の折進可否を定義しており，**表-1** に示す 3 分類が設定されている．これらの分類は，車両の走行軌跡図を判定対象交差点の平面図に重ね合わせることで判定される．本研究では，特殊車両通行許可に関わる電子データの収集支援ツール（以下、「軌跡ツール」）[3]を用いて，交差点衛星画像に走行軌跡図を重ね合わせ，分類値 1 の定義に従って折進可否条件を判定し，同データを収集する．

表-1 分類値 1 に基づく折進可否条件

区分記号	×	C	B
定義	折進不可	対向車線を侵して折進可	対向車線を侵さず折進可

(2) 使用データの概要

モデルの構築に使用するデータは，主に四国の各都市から選定した 217 交差点における 1,247 折進から収集した．対象交差点の選定においては，交差点形状と折進可否条件のバランスに配慮した．分析に使用する交差点諸元値は，Google map の計測機能を基本としつつ，必要に応じて Google Street View による観測，あるいは現地調査を実施して収集した．具体的には，上記の 1,247 折進に対して，交差点面積，流入/流出停止線間距離，流入/流出幅員，中央分離帯/歩道縁石の有無，折進角度等を収集し，データベース化した．折進可否条件については，先述の通り，折進毎に軌跡ツールを用いて折進可否判定を行いデータベース化した．

収集した 1,247 折進データのうち，学習データと検証データにそれぞれ 610 折進と 262 折進を使用し，残りの 375 折進をテストデータとして精度確認に使用した．

(3) 折進可否判定モデル

多層パーセプトロンニューラルネットワークモデルを用いて折進可否自動判定モデルを構築した．折進可否判定結果は車両分類毎に異なるが，本研究では最も折進条件の厳しい車両分類 0 のみを対象とした．モデル入力層から交差点諸元値を入力し，出力層にて折進可否判定：×，C，B の 3 値分類結果を得る．活性化関数には ReLU を使用し，損失関数には多値分類問題に適した交差エントロピー誤差を用いた．評価指標にはクラス別の正解率を使用し，モデルの層数やニューロン数等のハイパーパラメータを調整して最適なモデル構造を探索した．構築したモデルにより，**図-1** に示すように全体正解率で 76%の判定精度を得た．

続いて，入力項目の感度分析を実施した．全入力データを使用して構築したモデルと，いずれか 1 つの入力項目を除外して構築したモデルの正解率を比較した結果を**図-2** に示す．全項目を使用した場合に最も正解率が高くなり，いずれかの項目を除外すると正解率が低下するが，項目によって低下の程度が異なることが分かる．特に，幅員，折進角度，停止線間距離，および交差点面積を除外した場合に正解率が大きく低下していることから，これらの項目が折進可否条件の判定に強い影響を与えていることが明らかとなった．

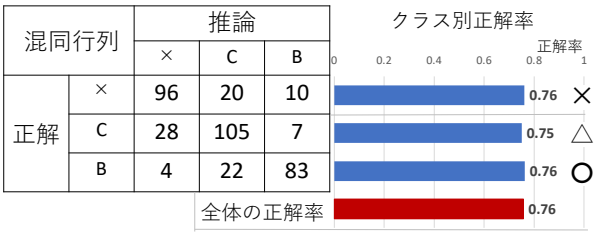


図-1 自動判定モデルの正解率と混同行列

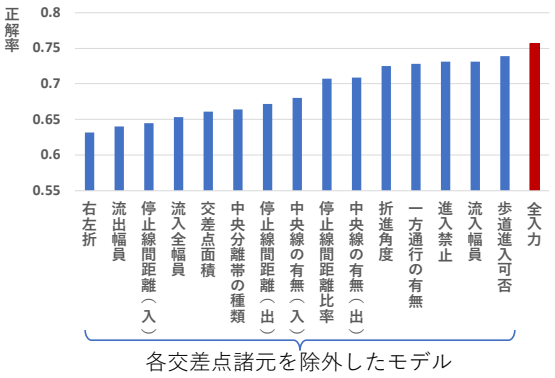


図-2 入力値の感度分析結果

4. 交差点諸元の自動計測手法の概要

(1) 使用データ

本研究で構築する交差点諸元の自動計測手法では，交差点の航空写真に基づくセマンティックセグメンテーションによる交差点諸元の判別結果[4]を使用する．**図-3** に示す画像は，地上解像度 5 ㎝の交差点航空写真と，同写真から交差点諸元を自動判別した画像（以下，“アノテーション画像”）を示しており，画像サイズは 1024×1024（pixel）である．アノテーション画像における交差点構造の RGB 値を**表-1** に示す．本研究では，同 RGB 値に基づいて交差点諸元の位置を認識することで，折進可否判定に必要となる情報の自動計測を行う．

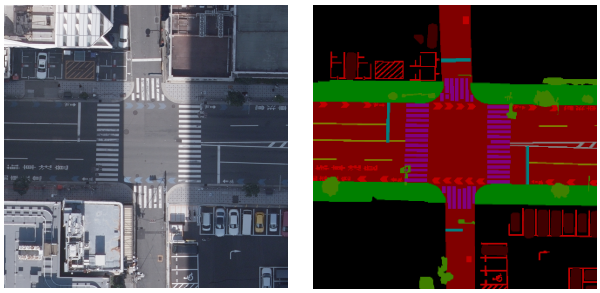


図-3　交差点航空写真(左)と同交差点諸元の自動判別結果(右)

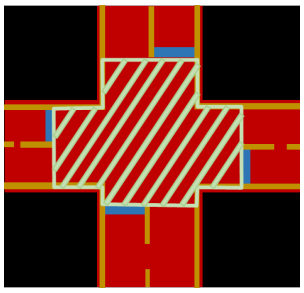


図-4　交差点面積の計測

表-1　交差点構造の R, G, B 値

交差点構造	R	G	B
背景	0	0	0
車道	128	0	0
歩道	0	128	0
区画線	128	128	0
中央分離帯	0	0	128
横断報道	128	0	128
停止線	0	128	128
ゼブラゾーン	128	128	128
自動車	64	0	0
その他白線	192	0	0
オクルージョン	64	128	0

(2) OpenCV

交差点諸元の自動計測手法には OpenCV を活用する．OpenCV とは，画像処理に使用されるオープンソースライブラリである．主に画像の入出力，画像処理や画像解析，機械学習，3 次元計測などといった分野で使用されている．OpenCV を活用した自動計測モデルに計測の対象となる交差点諸元の判定画像を入力し，色や構造の輪郭を検出することで交差点諸元の自動計測を可能とすることを目指す．

(3) 自動計測手法

折進可否自動判定モデルに使用する交差点諸元のうち，本稿では交差点面積と停止線間距離の 2 つの諸元の自動抽出手法を構築する．以下，交差点諸元の定義および構築した 2 つの自動抽出手法について説明する．

a) 交差点面積

交差点面積の定義は停止線の内側，すなわち交差点中央側に縁に囲まれた領域を指す．具体的には，図-4 の斜線部分の領域面積を示す．

図-5 には交差点面積の計測までの手順を示す．まず対象交差点の画像を入力し，読み込む．続いて，アノテーション画像内の白線，横断歩道，区画線，ゼブラゾーンの RGB 値を車道の RGB 値に変換する(図-6)．これは交差点面積の計測時には停止線の内側における車道(赤)の領域面積を計測するが，車道以外の要素が存在すると，同要素の面積が交差点面積から除外されてしまう為である．次に，停止線の 4 つ角のうち内側(交差点中央側)の 2 点の座標を指定し，線を延長する．4 つの停止線を延長することで交差点内の停止線の内側の領域を含むような矩形を得る(図-7)．この矩形領域の中の車道領域が交差点面積となるため車道の RGB 値で色を検出し，次にその輪郭を検出する(図-8)．そして，検出した輪郭の領域内の面積を算出する．ここで算出される値はピクセル単位であるため，最後に実際の寸法に変換することで交差点面積が出力される．地上解像度 5 ㎝の画像を使用しているため，寸法の変換は 5cm / 1pixel として行っている．

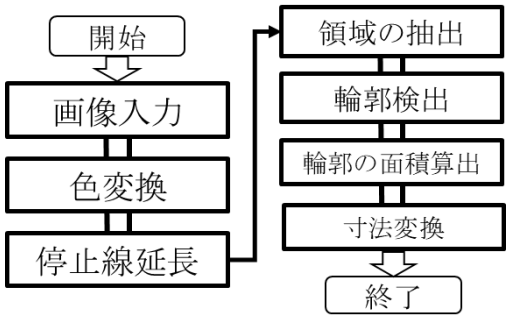


図-5　交差点面積の自動抽出手順

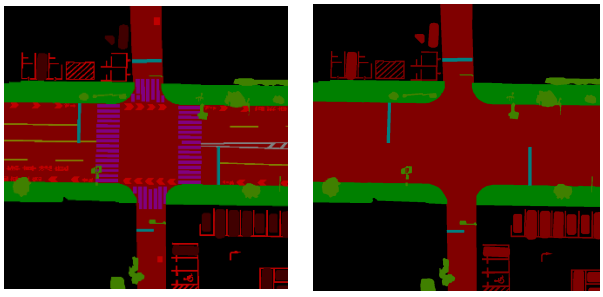


図-6　色変換前(左)と後(右)のアノテーション画像

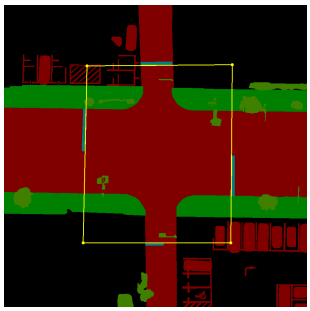


図-7 停止線延長による領域の抽出



図-8 交差点面積の領域検出

b) 停止線間距離

停止線間距離とは，交差点内で対向する停止線対の距離であり，具体的には，図-9 内の黒両矢印が示す距離を指す.

①中央線がある場合または停止線が車道の片側にある場合，停止線の 4 つ角のうち交差点内側の車道中央の角で計測する.

②車道の真ん中に停止線がある場合，停止線の 4 つ角のうち交差点内側の 2 点の中点で計測する.

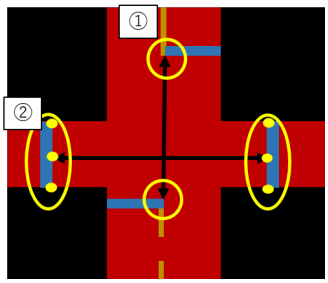


図-9 停止線間距離の計測

図-10 には停止線間距離の計測までの手順を示す．まず対象交差点の画像を入力し，読み込む．次に停止線の輪郭を検出するために RGB 値を使って停止線を抽出し，位置座標を特定する．そして，停止線の色の輪郭を検出する.

続いて，停止線の輪郭の座標に基づき 1 つの停止線を構成する長方形の 4 つ角の座標を特定する(図-11)．距離を計測するために取得した座標から停止線間距離の両端となる 2 点を指定し，2 点間の距離を算出する．最後に、交差点面積と同様に実際の寸法に変換することで、停止線間距離が出力される(図-12).

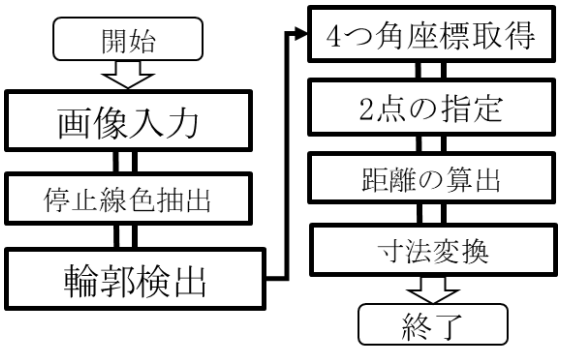


図-10 停止線間距離の自動抽出手順

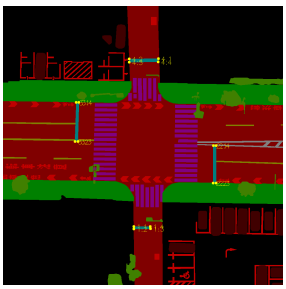


図-11 各停止線の 4 つ角の座標取得

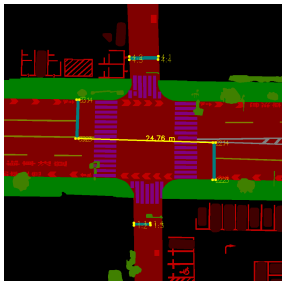


図-12 計測した停止線間距離

(4) 結果

本研究では 9 交差点の航空写真を対象に，構築した自動抽出手法を用いて交差点面積と停止線間距離の自動計測を行った．また，自動計測の精度を検証するために同じ 9 交差点の画像を対象に手動計測も行った.

交差点面積の自動計測と手動計測の結果を表-2 に，停止線間距離の自動計測と手動計測の結果を表-3 に示す．また，これらの結果から自動計測の精度を検証するために自動計測と手動計測の比較した散布図を図-13 と図-14 に示す.

表-2 交差点面積の自動・手動計測結果

交差点	自動（㎡）	手動（㎡）
1	125.90	139.35
2	476.58	465.41

3	451.64	447.88
4	256.05	252.20
5	157.70	131.89
6	323.11	260.78
7	281.39	246.11
8	431.49	413.84
9	361.23	274.49

表-3　停止線間距離の自動・手動計測結果

交差点(南北・東西)		自動 (m)	手動 (m)
1	南北	18.25	18.20
	東西	11.56	11.46
2	南北	32.34	31.42
	東西	31.85	31.50
3	南北	30.60	30.90
	東西	24.76	24.81
4	南北	27.60	28.03
	東西	17.06	17.66
5	南北	11.61	11.84
	東西	21.39	22.27
6	南北	22.96	22.40
	東西	22.45	22.94
7	南北	26.45	26.60
	東西	18.86	18.96
8	南北	32.61	32.87
	東西	23.97	24.00
9	南北	27.95	27.70
	東西	17.75	17.80

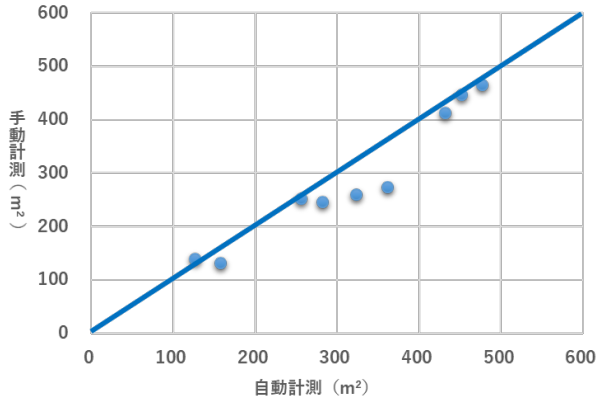


図-13　交差点面積の自動・手動計測の比較結果

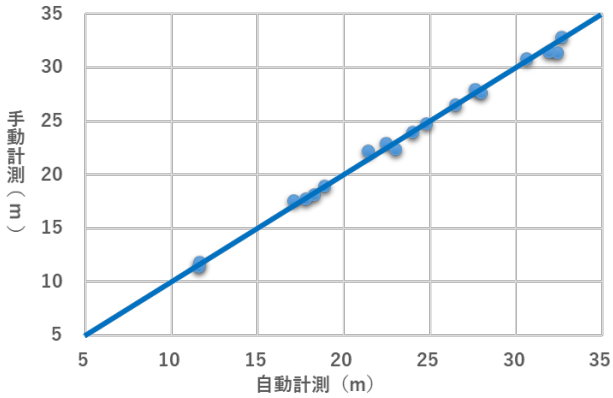


図-14　停止線間距離の自動・手動計測の比較結果

交差点面積においては自動計測と手動計測の結果が近い値となる交差点もあったが，約 100㎡程度の誤差が生じる交差点も存在することから，交差点の形状等によっては十分な精度が得られていないことが分かる．一方、停止線間距離においては、すべての交差点で誤差は小さく，高精度に自動計測できていることが分かる．

5.　まとめと今後の課題

(1) 本研究のまとめ

本研究では，折進可否判定モデルに必要となる交差点要素の自動計測手法を検討した．はじめに，先行研究で構築した折進可否自動判定モデルについて，入力データの感度分析を実施して，判定精度に影響を与える交差点要素を把握した．次に，モデル精度に対して感度の高い交差点要素のうち，交差点面積と停止線間距離に着目して，Opev CV を活用した交差点衛星画像からの自動計測手法を構築した．最後に，自動計測の精度評価を実施した．その結果，停止線間距離については概ね良好な計測精度を確認できたが，交差点面積については一部の交差点において計測誤差が大きくなるため，計測手法の改良の必要性を確認した．

(2) 今後の課題

交差点面積の計測において手動計測との誤差が生じた交差点があった．考えられる原因としては手法を構築する過程で車道の色の領域面積を求めるためにアノテーション画像の白線の色を車道の色に変換していることが挙げられる．Google Earth を用いた手動計測では白線に沿って計測することが前提であるため，白線の有無は自動計測に影響を与えてしまう．

また，本稿で提案する自動計測手法においては，一部に人手による操作が必要となるステップが存在し，全自動計測に至っているとは言えない．全自動化に向けた改良は今後の課題としたい．また，交差点諸元の自動抽出

手法が構築後は、自動計測データと手動計測データを用いて折進可否判定モデル精度への影響について検証する予定である.

謝辞：本研究は国土交通省道路局の「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」制度により実施されたものである．ここに記して謝意を表する.

REFERENCES

1) 島津弘輝, 坪田隆宏, 中谷勇太, 塩見康博：交差点諸元による特殊車両の折進可否判定モデルの構築，第 66 回土木計画学研究発表会, 2022.
2) 国土交通省:調査資料作成マニュアル(令和 2 年度版), 2020.
3) 国土交通省：道路情報便覧表示システム（V1909-190901）, 2019.
4) 志野有, 塩見康博:交差点における特殊車両の折進条件の自動判定アルゴリズム，第 20 回 ITS シンポジウム 2022, 2022.

(Received October 13, 2023)
(Accepted ***, 2023)**

AUTOMATIC MEASUREMENT OF INTERSECTION GEOMETRY FOR JUDGEMENT OF TURNING CONDITIONOF OVER-SIZE/OVER-WEIGHT VEHICLES AT INTERSECTIONS

Kazuki FUJIMURA, Takahiro TSUBOTA and Hiroki SHIMAZU