

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

志野 有*¹ 塩見 康博*²
立命館大学大学院 理工学研究科*¹
立命館大学 理工学部*²

特殊車両の走行にあたっては事前の通行許可の申請が必要であるが交差点の折進条件などは道路管理者がマニュアルで実施する為、審査期間が長いことが課題となっている。先行研究では、車両力学を考慮した Path finding algorithm を用い、交差点折進時の軌跡を作図し、折進条件の目視判定を行う手法を構築した。本研究では、さらなる省力化を図る為、予め通行不可領域を段階的に少なくするような複数の図面に対して、折進軌跡を作図する。それに基づいて、折進条件を目視ではなく、自動的に判定する為の手法を提案する。シミュレーションで得られた判定は条件付き通行可のものが多く厳しい判定を下す傾向にあることが分かった。

An automatic judgement algorithm of turning conditions of over-size/over-weight vehicles at intersections

Tamotsu SHINO*¹ Yasuhiro SHIOMI*²
Graduate School of science and engineering, Ritsumeikan University *¹
College of Science and Engineering, Ritsumeikan University *²

An over-size/over-weight (OSOW) vehicle needs a permission allowing to travel on road network. This review period tends to be long since road administrators have to manually check if OSOW vehicles can turn at intersections, which deteriorates the efficiency of goods transport. In this study, to reduce the amount of labor required for the review process, the turning trajectory is drawn by using path finding algorithm for various maps in which no-passing zones in an intersection are gradually reduced. Based on these trajectories, we propose a method to automatically judge the turning condition of OSOW vehicles at intersections. It was found that the judgments obtained from the simulation tended to give severe judgments, with many of the judgments being conditionally passable.

Keyword: Over-size/Over-weight Vehicles, Path Finding, Intersection, Turning Trajectory

1. 背景

近年、物流需要が高まり、大型車両の需要が年々

増加している。大型車両の中でも、車両の構造が特殊である車両、あるいは輸送する貨物が特殊な車両

で、車両制限令第3条第1項に基づく車両の幅、長さ、高さおよび総重量のいずれかの一般的制限値を超えたり、橋、高架の道路、トンネル等で総重量、高さのいずれかの制限値を超えたりする車両のことを特殊車両という。道路法第47条の2¹⁾²⁾によると特殊車両は道路を通行するには特殊車両通行許可が必要であるが、申請して認可が下りるのに約28日（令和元年度の平均審査日数³⁾）を要するため、効率的・機動的な輸送が妨げられているのが現状である。

この審査プロセスでは、申請された経路に対し、経路に含まれている橋梁に問題はないか、高架下は十分な高さがあるか、交差点を右左折することはできるかが判定される。国道などの主要な道路では、特殊車両の通行を想定した交通条件の情報などを収録した審査用のデータベース（道路情報便覧¹⁾）が整備されている。その一方、市町村道などでは、道路情報便覧の整備が必ずしも十分には進められていないのが現状である。そのため、申請経路内に含まれる交差点一つ一つに対し、図面に走行軌跡を写し、目視により折進の可否を判定する手法がとられるのが一般的であり、走行認可が下りるまで時間がかかる要因の一つとなっている。

特殊車両申請期間の問題は、平時の特別車両通行に対する負荷はもちろん大きいですが、災害時の陸上輸送に対する影響は甚大なものである。2016年の熊本地震⁶⁾では被災地を発着する特殊車両について最優先で審査するように措置したが、審査が間に合わず、審査を中止せざるを得ない状況に陥った。

特殊車両の申請処理を早める主な対策として、自動審査が可能となる電子データの整備、申請書自動チェック機能の追加、審査内容の簡素化などを行っている。自動審査が可能となる電子データの整備は、例えばスパン情報と呼ばれる特殊車両交差点間の道路の情報はMMS（モバイルマッピングシステム）の活用が進められている。しかし、折進については効率化の見通しが定かでないのが現状である。

そこで本研究では、交差点における車両の折進可否を判定の効率化を図るため、経路探索シミュレーションを用いた折進判定手法を構築する。具体的には、歩道や中央分離帯、対向車線など車両の進入が望ましくないエリアと進入しても問題ないエリアに分けた二値画像を作成し、出発点から到達点までの最適な軌跡を、Path finding modelを用いて探索・描画する。先行研究⁴⁾では物理的な制約で進入可/不可領域を識別した二値画像に基づき折進軌跡を描画

し、目視で折進条件を判定する手法を構築した。それに対し、本研究では進入可/不可領域を物理的な制約だけではなく、進入の望ましさに応じて判別した4種類の二値画像を作成し、それぞれに対して折進の可否判断を行うように提案手法を拡張した。これにより、国土交通省が設定する折進条件を目視に頼らず、自動的に判定することが可能となる。判定結果の妥当性を確かめるために、道路情報便覧⁵⁾に登録されている判定値、および特殊車両通行に関する電子データ収集支援ツールを用いた目視判定結果との比較検証も行う。上述の二値画像は停止線位置や中央線、横断歩道など路面標示に関する道路電子データがない交差点であっても、空中写真から画像処理によって生成することが可能である。これにより、交差点での特車の折進条件判定に関わる時間をなるべく抑えられることが期待される。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

本章では特殊車両に関する研究、および特殊車両通行許可制度に基づいた適正な道路利用による維持管理について既存研究を整理するとともに、既存研究に対する本研究の位置づけを明確にする。

2-1 特殊車両に関する研究

Matuszkova et al.⁷⁾は輸送需要の高まりにより、近年、世界中で見られるようになった寸法制限を大きく超過する特大車両、通称LHVに関して、安全上のリスクと交通流動性の問題の両方を引き起こす可能性のある道路区間について、各国の特殊車両許可システムの現状を交えながら述べている。ここでは、LHVの走行は高速道路のインターチェンジやジャンクションのランプは問題なく通行できる一方、交差点通行に問題が発生することが分かった。左折時は勿論、カーブの曲径に余裕のある右折時に対向車線はみだしが見られない場合でもトレーラの後端部が歩道にぶつかるリスクがあるということを明らかにしている。

2-2 特殊車両通行許可精度に基づいた適正な道路利用に関する維持管理

特殊車両通行許可制度に基づいた適正な道路利用による維持管理について考察している研究はいくつかある。石井ら⁸⁾は道路構造物の老朽化が急速に進行していることに対し、道路維持管理の長期化対策について述べている。道路の劣化を早める要因として重量制限を超過した特殊車両に着目し、これら違

反車両が道路構造物に実際に与える影響について言及している。また、鈴木ら⁹⁾は、プローブデータにより作成される推定走行経路と、許可証データから作成される規定走行経路を照合する手法を提案している。特殊車両が許可経路を外れて走行している状況を模擬した実験車両のプローブデータを用いて、複数手法の比較・制度検証を行っている。さらにこの検証により、違反走行抽出率と判定正解率を明らかにしている。

2-3 本研究の位置づけ

貨物需要の高まりによる特殊車両の需要が増加傾向にあるなか、申請許可システムの整備や特殊車両が通行する箇所の維持管理、および通行許可システムの審査短縮効率化の対策や研究は進められている。しかしながら、交差点での通行がより周りへの接触リスクが高く、より複雑な因子が影響を及ぼすものの、折進判定の効率化に関する取り組みは筆者の知る限りでは進められていないのが現状である。本研究では特殊車両の通行時に接触リスクが比較的大きいとみられる交差点に着目し、Path finding algorithm に基づき折進条件の判定を試みる点に新規性がある。

3. 折進条件判定アルゴリズム

本研究では空中写真からセグメンテーションした画像を生成し、それに基づいて進入可・不可領域を識別したバイナリイメージを生成したのちに進入可領域を拡大させながら path finding algorithm で軌跡を描画し、段階的に折進条件を判定するアルゴリズム

を提案する。本章では交差点平面図の作成と、車両軌跡の探索・生成方法について示す。

3-1 バイナリイメージの作成

図-1 の様に、空中画像を活用し生成されたセグメンテーション画像からバイナリイメージを作成した。バイナリイメージとは別名二値画像とも呼ばれ、ピクセルごとのデータが 0 か 1 のみで構成するデジタル画像 (0 が黒色背景, 1 が白色物体) のことである。一般的に扱われる色は白と黒である。今回の場合、バイナリイメージは、進入可領域と進入不可領域にレイヤ分けした画像のことを指す。セグメンテーション画像は別途教師画像として作成したアノテーション画像を用いた。セグメンテーション画像は 11 のレイヤに RGB 値で分けられる。進入可領域と進入不可領域は表-3 の様に 4 種類、分類した。一般に車両が通行して問題ない領域を進入可に、車両が通行すると問題があり衝突や事故の恐れがある領域を進入不可と定義する。判定のアルゴリズムは図-2 に示す。

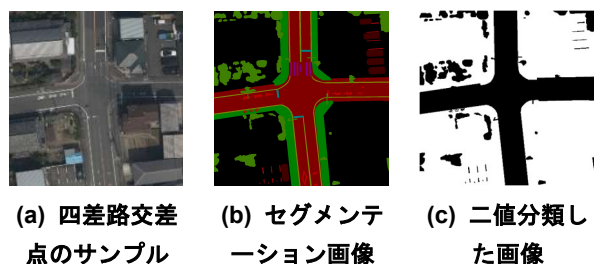


図-1 空中写真から二値分類するまでの画像

表-2 4段階進入可不可振り分け

段階1 条件なし	段階2 対向はみだしを許容しない	段階3 対向はみだしを許容	段階4 隅角部侵入を許容
背景	背景	背景	背景
中央分離帯	中央分離帯	中央分離帯	中央分離帯
歩道	歩道	歩道	歩道
区画線 (センターライン)	区画線 (センターライン)	区画線 (センターライン)	区画線 (センターライン)
区画線 (車両境界線)	区画線 (車両境界線)	区画線 (車両境界線)	区画線 (車両境界線)
車道	車道	車道	車道
横断歩道	横断歩道	横断歩道	横断歩道
停止線	停止線	停止線	停止線
ゼブラゾーン	ゼブラゾーン	ゼブラゾーン	ゼブラゾーン
自動車	自動車	自動車	自動車
その他白線	その他白線	その他白線	その他白線
オクルージョン部分	オクルージョン部分	オクルージョン部分	オクルージョン部分

進入可領域

進入不可領域

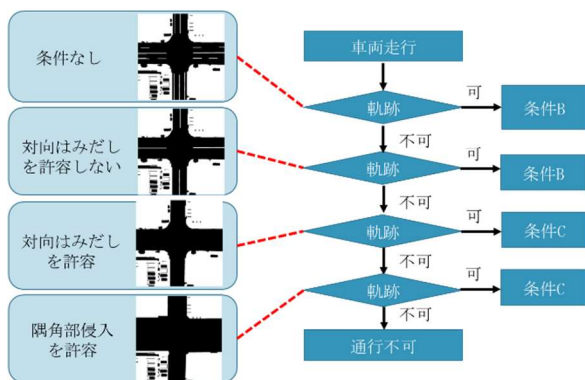


図-2 判定アルゴリズムフロー

3-2 折進不可領域輪郭線の抽出

バイナリイメージ内の1つのオブジェクトの境界をトレースする。これは、コストマップを作成するのに進入不可領域を構成する図形の頂点座標を出力するためである。白黒画像のバイナリ形式への変換やバイナリイメージ内のオブジェクトの輪郭線抽出はモルフォロジー再構成¹⁰⁾をベースにしたアルゴリズムを使用した。モルフォロジー画像処理はデジタル画像の加工や解析に用いられ、イメージ内のオブジェクトを強調したり小さな物体や線などのノイズ除去を行ったりする。モルフォロジー画像処理の基本演算として膨張と収縮の二つの演算がある。膨張は、二値画像の白色領域を減らす処理である。注目画素の近傍に1（白色物体）が存在すれば、注目画素を1（白色物体）に置換する。一方、収縮は膨張の逆で注目画素の近傍に0（黒色背景）が存在すれば、注目画素を0（黒色背景）に置換する。元画像の輪郭は膨張と収縮の差をとれば抽出することが出来る。輪郭抽出後の白色物体の座標を抽出する。座標点はシミュレーション上に障害物を設定する際の障害物を囲む座標として入力し、図-3の様に表示される。この地図をグリッドマップと呼ぶ。



図-3 グリッドマップ

3-3 Path finding model を用いた軌跡の作成

進入不可領域を構成する図形の頂点座標を求めた後、Navigation Toolbox でグリッドマップを作成する。

グリッドマップとは、格子地図の一種で、各セルが障害物に基づいてコストを持つグリッド状のマップである。二値画像からグリッドマップに変換する時、ピクセル一つあたり $1[m]*1[m]$ としてマップに書き換えられる。ただし、空中写真の1ピクセルは $5[cm]*5[cm]$ に相当し、出力されたグリッドマップは実際の20倍 ($1[m]/20[cm]$) であるため、進行不可領域の輪郭座標をすべて20分の1に直し、解像度5cmに合わせた。Bai Li et al.11) は、Extended Hybrid A path planning を用いてトラクタ・トレーラに拡張しており、トラクタ・トレーラ車両の軌道計画問題を、(i) 車両運動制約、(ii) 境界条件、および (iii) 衝突回避制約のもとで、時間-エネルギーコスト関数を最小化する一般的な最適制御問題として定式化している。

4. 判定検証

本章ではシミュレーションの設定条件と交差点選定を示しシミュレーションの結果を示す。また作成したシミュレーションで適切に折進レベルを判断できるか他の2つの手法との判定レベルの比較を行う。

4-1 交差点画像の選定と出力軌跡

シミュレーション時に必要な、車両の大きさや旋回半径を指すエージェント規格パラメータ、エージェントの走行パラメータ、コストマップ出力範囲、Extended Hybrid A* path planning に関わるパラメータを設定し、表-3~5に示す。

シミュレーションする交差点は以下の5つの条件が満たされているものとする。

- i) 折進情報が掲載されている
- ii) 折進方向は左折のみ
- iii) 車両分類に限らず通行条件がA、BまたはCであり、個別審査ではない
- iv) 進入禁止の制限がない
- v) 元の交差点画像の画角ができるだけ広くとられている

車両が発着時に画角内に入りきらなければならないためシミュレーションが行われやすい程度で元の交差点空中写真に停止線や区画線、横断歩道など交差点付近まで遍く写っている交差点を選ぶ。これらの条件を踏まえ、18の交差点を評価対象とした。出力軌跡の一例として東大阪市長田駅付近交差点のシミュレーション結果を図-4に示す。起終点座標の指定は車線内を目分量で指定し、流入側流出側共に停止線から離れた場所を指定した。

表-3 エージェント規格パラメータ

パラメータ	設定
ホイールベース 車両の前輪軸と後輪軸の距離	7.2[m]
フロントオーバーハング 前輪軸と車両前端部の距離	1.94[m]
リアオーバーハング 後輪軸と車両後端部の距離	1.855[m]
車体幅	2.490[m]
車体長	10.995[m]
旋回半径	3.018[m]

表-4 走行パラメータ

パラメータ	設定
最高速度	2.5[m/s]
最大加速度	0.5[m/s ²]
前輪の操舵角	0.7[rad]
操舵率	0.5
最小旋回半径	$\frac{1}{\kappa_{max}}$ [m]

表-5 出力範囲パラメータ

パラメータ	設定
後進時のペナルティ	10
方向転換時のペナルティ	0
ハンドル角変更時のペナルティ	0

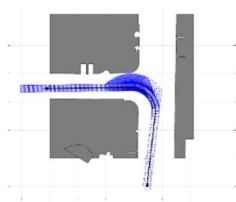


図-4 各交差点折進のシミュレーション結果

4-2 使用するデータの概要

本研究では、国際航業株式会社が撮影した高解像度オルソ画像を使用した。地上解像度 5cm の空中写真で、1 メッシュ当たり 8000×6000 (pixel) の画像となっている。また、1024×1024pixel にトリミングされた交差点画像を扱った。対象地域は①高槻市、②東大阪市、③枚方市とし、全 120 交差点を扱った。

4-3 シミュレーション出力軌跡の折進条件判定

折進条件判定は国土交通省が定める車両通行時の

寸法に関する条件に従う。この条件は、対向車線にはみだしが見られるかどうかを基準とする。対向車線はみだしが見られると予測される場合、特車前後どちらかに誘導車を配置し、周囲に注意を促すことで安全に折進するようにする。この時、折進条件は C か個別判定になる。

また、シミュレーションで出力された軌跡が、特殊車両通行許可審査で扱ううえで有効か検証する。検証方法としては、シミュレーション、特殊車両通行許可審査で実際に扱われる特殊車両通行許可に関する電子データの収集支援ツール 12)¹²⁾それぞれで出力された軌跡の目視による折進判定、道路情報便覧¹⁾に登録されている通行条件の 3 つの折進条件を比較し、交差点折進毎に判定を整理し、表-6 に示す。シミュレーションでの判定方法は、対向はみだしを許容しない段階 2 までを判定 B と、対向はみだしを許容する段階 3 からを判定 C と定義した。特殊車両は車両寸法から 4 つに分類されており、判定は車両分類ごとに行われている。本研究では車両分類 II に相当する日野自動車 10t トラック車型 LDG-GK8JWAA¹³⁾単車が走行することを想定した。

シミュレーションと軌跡ツールの判定は 25 折進中 7 折進で違いが見られた。この 7 折進は全て、シミュレーションで判定 C に軌跡ツールで判定 B になった。シミュレーションと軌跡ツールで判定に違いが見られた折進の例として交差点 1 折進 2 と交差点 4 折進 1 を図-5 に示す。図-5(b)の交差点は左から上に折進し、段階 4 でも軌跡が描けなかったものである。7 つの折進では細い道路から大きな道路へ進入しているものが多い。各手法で判定を比較したところ、シミュレーションが最も厳しい判定を示した。各判定手法の判定差異の要因が不明である為、検証する交差点を増やしたり、車両諸元のバリエーションを増やしたりすることで、各判定手法で判定が異なる要因を明らかにすべきである。



(a)交差点 1 折進 2 (b)交差点 4 折進 1
図-6 判定誤差が出た折進

5. まとめ

本研究では、特殊車両通行許可審査時の交差点における折進条件を Path finding algorithm を用いて軌

跡を描画することで判定し、進入可領域の異なる複数の地図を用い、段階的に折進条件を判定することの有用性を示し、先行研究より機械的なアルゴリズムであることを示した。今後は、シミュレーションの交差点の数を増やし判定検証を行い、精度を高める必要がある。

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。

参考文献

- 1) 国土交通省, 特車通行許可の審査の現状について. <https://www.mlit.go.jp/common/001296085.pdf>
- 2) 国土交通省関東地方整備局: 特殊車両の通行許可申請, 8 19 2021. Available: https://www.ktr.mlit.go.jp/road/sinsei/road_sinsei00

表-6 各手法の判定比較

交差点		提案 手法	軌跡 ツール	便覧 登録
交差点 1	折進 1	C	C	B
	折進 2	C	B	B
交差点 2	折進 1	C	C	B
	折進 2	C	B	B
	折進 3	C	C	B
	折進 4	B	B	B
交差点 3	折進 1	C	C	B
	折進 2	B	B	B
	折進 3	C	C	B
	折進 4	B	B	B
交差点 4	折進 1	C	B	B
交差点 5	折進 1	B	B	B
交差点 6	折進 1	C	C	B
	折進 2	C	C	B
	折進 3	C	C	B
	折進 4	C	C	B
交差点 7	折進 1	B	B	B
交差点 8	折進 1	C	C	B
交差点 9	折進 1	C	B	B
	折進 2	C	B	B
交差点 10	折進 1	C	C	B
交差点 11	折進 1	C	B	B
	折進 2	C	C	B
交差点 12	折進 1	C	C	B
交差点 13	折進 1	C	B	B

000011.html.: 3 1 2022.

- 3) 国土交通省: 特殊車両の通行許可・取り締まり実績, . Available: <https://www.mlit.go.jp/road/tokusya/pdf/kyoka-jisseki.pdf.22.2022>.
- 4) 志野有,塩見康博: Path planning model を用いた特殊車両の折進可否判定の自動化, 第66回土木計画学研究発表会論文講演集, 2022.
- 5) 国土交通省: 道路情報便覧表示システム, Available:<https://www2.tokusya.ktr.mlit.go.jp/roadinfo/>.
- 6) 国土交通省: 第 54 回基本政策部会配布資料-資料2熊本地震を踏まえた課題と論点, 第 54 回基本政策部会配布, 2016.
- 7) Matuszkova, R., Heczko, M., Cepil, J., Radimsky, M.: Issues of using Longer Heavier Vehicles on Roads, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 317, Issue 1, pp. 012040, 2018.
- 8) 石井充, 米川高広, 特殊車両通行許可制度の遵守による戦略的維持管理, 第 57 回 (平成 25 年度) 北海道開発技術研究発表会, 2014.
- 9) 鈴木彰一, 田中良寛, 佐治秀剛, 牧野浩志: ITS スポットを用いた特殊車両の走行状況確認方法の提案と実験データによる検証, 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 2 号(特集号B), pp. B_47-B_52, 2015.
- 10) Soille, P.: Morphological Image Analysis: Principles and Applications, Springer-Verlag,1999, pp.173-174.
- 11) Bai Li: Tractor-Trailer Vehicle Trajectory Planning in Narrow Environments with a Progressively Constrained Optimal Control Approach, IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, vol. 5, no. 3, pp. 414-425, 2019.
- 12) 国土交通省: 特殊車両通行許可に関する電子データ収集支援ツール, Available: <https://lg47web.tokusya.ktr.mlit.go.jp/binrangis/main.php>.
- 13) 行列のできるトラック相談所, Available: <http://torack7.blog.fc2.com/blog-entry-144.html>.