

研究助成実施報告書

助成実施年度	2019 年度
研究課題（タイトル）	地上付近の高さにおける画像センシング技術を用いた安価で簡易な 駐車場管理システムの開発
研究者名※	泊 尚志
所属組織※	東北工業大学 工学部 准教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市交通システム、エネルギー計画
助成金額	144 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団2019年度研究助成実施報告書

所属機関名

東北工業大学

申請者氏名

泊 尚 志

研究課題	地上付近の高さにおける画像センシング技術を用いた 安価で簡易な駐車場管理システムの開発
(概要)	
<p>本研究は、公営の無料駐車場等を対象とした簡易で安価な駐車場管理システムの開発をねらいとするものである。特に地上付近の高さにおいて画像センシング技術を用いて自動車を捕捉する方法により駐車場の空車状況を把握するための安価で簡易な管理システムの開発を試みるものである。研究対象地域である女川町中心部の駐車場における満空情報の管理にかかわるニーズを把握したうえで、駐車場出入口付近において地上付近の高さで自動車の入出庫の様子をとらえるための安価で簡易なシステムを構築する。予備実験を実施し、入出庫判断を行うのに適したカメラの設置条件を検討する。そして対象地域の駐車場で入出庫管理の実験を実施したところ実用的な精度は得られなかったが、誤検出の原因とシステムの改善方策について考察する。</p>	

1. 研究の目的
<p>本研究は、宮城県女川町を対象として、簡易で安価な駐車場管理システムを開発し、東日本大震災からの復興まちづくりにおいて観光振興を遂行している地域等に適用して来訪者への駐車場案内を円滑にすることを目的とするものである。</p> <p>本研究で対象とする復興まちづくりの地域では、極めて限られた予算の制約の下で観光マーケティングおよび観光政策を実施する必要があるため、導入時点では駐車場管理において商用のシステムを採用することは容易でなく、簡易なものであっても安価なシステムにニーズがある。また、高い位置でのカメラの設置を可能にする建造物等がない場合が多く、地上に近い高さで画像センシングをして駐車場の自動車を捕捉する必要がある。さらに、入出庫が入庫および出庫のレーンの定まっていない比較的幅広い空間で行われることが多く、自動車の入出庫を把握するためにはナンバープレートを読み取る方法以外の方法によって画像センシングを用いることが合理的であると考えられる。</p> <p>以上を踏まえて、本研究では、対象地域における地上付近の高さにおいて画像センシング技術を用いて自動車を捕捉する方法により、駐車場の空車状況を把握するための安価で簡易な駐車場管理システムを開発する。したがって、地上付近の高さにおいて自動車そのものを検出する点に独創性がある。</p>

2. 研究の経過
(i) システム開発のための調整
本研究の位置付けおよび方向性を確立するために、研究ニーズの詳細について確認を行った。

本研究で対象とする女川町中心部の駐車場は、JR 女川駅および地域の拠点施設であるシーパルピア女川の周辺 7 箇所に点在し、すべて公営駐車場として無料で運用されている。駐車可能台数は 10 台程度から 70 台程度である。これらの駐車場は、平時には駐車容量に余裕があるが、来訪者でにぎわう週末や特にイベント開催時に混雑することがある。そのため、駐車場の管理者は点在する駐車場の状況の一つ一つ回って確認する必要がある。本研究では、このような駐車場における駐車台数の管理、すなわち自動車の入出庫の管理を容易に行うためのシステムを安価で開発することを改めてねらいとする。

自動車の入出庫の管理や、駐車場の満車・空車情報（「満空情報」と呼ぶ）の管理をするシステムはすでに数多く存在している。特にコインパーキングや大型商業施設の駐車場等で商用に導入されたシステムがある。例として、入庫と出庫の際にゲートのバーを開閉することで駐車台数の管理を行うものがある（ゲート式）。また、駐車マスごとに設置されたセンサーが駐車台数を管理する方法もある（ポール設置型ロックレスシステム等）。あるいはロック板を用いるものやループコイル等のセンサーを埋設するタイプのものもある。しかしこれらの仕組みは、導入する機器の費用だけでも高額であり、たとえばロック板の場合 10 台の駐車場で 300 万円がかかる。しかし、本研究で対象とする駐車場では、駐車場管理の初期の段階においては設置費用および維持管理費用の負担をできるだけ抑えたシステムの導入を必要とすることから、これらのシステムの導入は困難である。

また、平面の駐車場において高所に設置したカメラで駐車場全体を俯瞰することによって駐車台数を管理する方法もある（たとえば文献 1)~3)）。これに対して、本研究で対象とする女川町中心部の駐車場においては、駐車場を俯瞰できるような高いポールや、周囲に高い建物が無い。

一方、駐車場の出入口にカメラを設置して、出入りする自動車のナンバープレートを検出することで満空情報を管理している例もある（車番読取型、先述のゲート式等と併用される場合がある）。このシステムにおいて自動車の入庫および出庫が判別されるのは、検出する地点を通過する自動車が入庫または出庫に限られているためである。しかしながら写真 1 のとおり、女川町中心部の駐車場出入口は、停止線こそ引いてあるものの入庫する自動車と出庫する自動車が空間的には分離できておらず、車番の読取だけで入出庫の判断を行うことが困難である。

以上を踏まえて、本研究では、駐車場出入口付近において地上付近の高さで自動車の入出庫の様子をとらえることを検討する。具体的には、画像センシング技術により自動車の入出庫の判別を行う簡易なシステムを安価で開発する。



写真 1 女川町中心部の駐車場出入口の様子

(ii) システムの開発と予備実験

(i)に基づいて、本研究では対象の駐車場出入口にカメラを設置し、自動車の動きから入出庫を判別する簡易なシステムを安価で開発する。ここでいう「安価」とは、ハード面では格安で普及している小型マイクロコンピュータおよびその周辺機器の利用、ソフト面では急速に普及している画像センシング技術の利用によって、システム構築にかかわる費用を格安に抑えることを指す。自動車の検知には8千円程度で購入できるマイクロコンピュータである Raspberry Pi (4 Model B) と千円程度で購入できる Pi Camera (Ver.1) を用いる (写真 2)。また、コードに使用した言語は Python3 (3.7.3) である。これに加えて、画像処理に必要な画像処理オープンソースライブラリの OpenCV3.4.6 を使用した。なお、当初は駐車場とモニタリング用の PC 間の通信の設置を予定していたが、感染症拡大の影響により移動および維持管理の都合から省略した。



写真 2 使用した Raspberry PI (右) と PI Camera

自動車の捕捉から入出庫の判断までの流れは次のとおりとする。

1) 画像取得

出入りする自動車を撮影する。なお画角内で自動車の移動を検出するためにフレームレートを 5fps に設定した。

2) 移動体の抽出

画角内の移動体を抽出する。抽出方法にはフレーム間差分を用いることとした。なお移動体を抽出する時点では自動車であるかどうかの判断はできない。そこで移動体が指定した面積を上回るときに移動体の外枠を描画するように設定した。また画角内で自動車の外枠が描画される最大値に面積指定を行った。この処理によって、車両以外、たとえば人などの検出を防ぐことができる。ただし、指定した数値を満たせば自動車以外でも枠を描画してしまう場合がある。

3) 移動体の追跡

抽出した自動車の画角内の座標を追跡し、移動方向をとらえる。

4) 入出庫判断

移動体の追跡の結果から、自動車の入庫・出庫を判断する。この際、3 フレーム分の外枠の中心座標を比較して、それが増加または減少していれば入庫または出庫と判断する (撮影地点によって異なる)。

以上の方法では、入庫する自動車と出庫する自動車の照合は行っていないため、たとえば自動車ごとの停車時間 (滞在時間) 等に関するデータは取得できない。

次に、以上の方法による入出庫判断を行うのに適したカメラの設置条件を検討するために予備実験を行った。検討事項は、カメラの設置高と自動車進行方向に対するカメラの水平方向角度、

およびカメラから自動車までの距離である。これらの値を複数設けて比較した。比較の方法は、各条件の下でカメラの前を同一自動車が 5 往復する場合に検出する車両数によることとした。予備実験は、2021 年 1 月 11 日（月）に東北工業大学八木山キャンパス駐車場（仙台市太白区）にて実施した。各検討事項の設定は次のとおりである：

- ・ カメラの設置高：地上からレンズ中央まで 100cm, 150cm, 200cm, 220cm
- ・ カメラの水平方向角度：出庫する自動車の進行方向を 0°として、90°, 75°, 60°, 45°
※自動車は往復するため、入庫の場合は 180°からこれらの値を差し引いた値が対象となる。
- ・ カメラから自動車までの距離：2.5m, 5m
- ・ その他の条件
 - 自動車：セダンタイプ、ボディーカラー白
 - 車速：15kph（ただし運転者による制御）
 - カメラの鉛直方向角度：0°（設置高 100cm, 150cm の場合）、下方 23°（同 200cm, 220cm の場合）

以上の予備実験の結果、カメラの設置高 220cm、カメラの水平方向 45°のときに最も自動車を検出した（表 1）。

表 1 予備実験の結果（検出した車両数）

カメラ高さ	設置高 100cm				設置高 150cm			
	自動車まで 2.5m		自動車まで 5m		自動車まで 2.5m		自動車まで 5m	
カメラ位置	入庫方向	出庫方向	入庫方向	出庫方向	入庫方向	出庫方向	入庫方向	出庫方向
カメラ水平方向角度								
90°	3	3	3	1	4	4	3	1
75°	4	5	3	3	4	5	4	3
60°	4	4	3	3	5	4	2	4
45°	2	2	0	0	3	1	0	0
カメラ高さ	設置高 200cm				設置高 220cm			
	自動車まで 2.5m		自動車まで 5m		自動車まで 2.5m		自動車まで 5m	
カメラ位置	入庫方向	出庫方向	入庫方向	出庫方向	入庫方向	出庫方向	入庫方向	出庫方向
カメラ水平方向角度								
90°	4	2	3	2	4	2	3	2
75°	3	2	3	3	4	1	2	4
60°	3	3	4	5	3	3	5	5
45°	4	4	4	5	4	5	4	5

まずカメラの水平方向角度は、小さいほど自動車の走行奇跡が画角内で長く収められるため 45°での検出精度が最も高かったと考えられる。なお、45°未満の場合について追加的に調べてみたところ、画角が走行軌跡を捉えない方向になってしまい自動車の検出が困難であった。次に設置高による違いに着目すると、設置高 100cm, 150cm の場合にはカメラの鉛直方向角度が 0°にならざるを得ないところ、設置高 200cm, 220cm の場合にはカメラの鉛直方向角度が下方 23°になることから比較的カメラから近い画角を捉えることができたと考えられる。以下では、以上の結果に基づいてカメラ設置高 220cm、カメラ水平方向角度 45°を基準とした機器の設置条件を用いることとする。

(iii) 実験と考察

(ii)に基づいて、対象地域の駐車場にて自動車の入出庫の検出実験を実施した。女川町中心部の

6箇所の駐車場のうち女川町まちなか交流館南側に位置する町営無料駐車場の出入口2箇所(出入口1, 出入口2とする)に(ii)と同様の機器を1台ずつ設置し, 自動車検出の精度を調べた. 実験は, 2021年1月23日(土)の午後に実施した. なお, 同日の天候は曇りで, 電柱が揺れる程度に風が吹いていた. 機器においては入出庫を判断した際の, そのうち1フレームを保存した. また, 機器稼働中は, 出入口を通過した自動車台数を目測でも記録した. 機器の記録と目測の記録の差異をもって機器の検出精度を調べる.

はじめに, 調査中に各出入口を通過した自動車台数および機器の記録は表2のとおりとなった. すなわち, システムが検出した入出庫件数のうち, 正しく検出した場合の割合は, 出入口1および出入口2ともに約35%であった. また実際の入出庫台数に対してシステムが正しく検出した場合の割合は, 出入口1で50%, 出入口2で約43%であった.

次に, 誤検出の内容別に集計した結果, 表3のとおりとなった. すなわち, 誤検出の内容としては未検出が多く, そのほかに自動車以外の検出が多く記録された. ここで自動車以外の検出内容を確認したところ, 主に複数人で歩く人々であった. そのほかに, 車両に多重検出と入出庫の逆判定が記録された.

表2 自動車の検出結果

	入出庫台数(目測)	入出庫検出件数 (誤検出を含む)	検出件数のうち 正しく検出した場合の数
出入口1	26	37	13
出入口2	44	53	19

表3 入出庫別検出結果

	目測の 台数	検出台数 (誤検出を含む)	正しく検出した 場合の数	未検出	二重 検出	三重 検出	自動車以 外の検出	逆判定
出入口1(入庫)	15	12	7	6	順方向0 逆方向1	0	3	1
出入口1(出庫)	11	25	5	4	順方向3 逆方向0	順方向0 逆方向1	8	0
出入口2(入庫)	14	27	7	5	順方向1 逆方向1	0	1	0
出入口2(出庫)	30	26	12	7	順方向3 逆方向5	順方向2 逆方向2	7	2

本実験の結果, 構築したシステムでは実用的な精度が得られなかった. そこで, 表3のように分類した誤検出の原因と, 対処の方法について考察し, システム改善の方向性を検討する.

はじめに, 未検出が発生した原因は, 自動車の車速が大きすぎる場合に, 自動車がカメラの面角内を移動した際の外枠の座標の変化が入出庫判断フレーム数に満たないためであると考えられる. この原因への対処方法としては, 撮影フレームレートを大きくすること, あるいは入出庫判断に用いるフレーム数を減らすこと等が考え得る. 一方, 多重検出が発生した原因は, 自動車の車速が小さすぎる場合に, 自動車がカメラの面角内を移動した際の外枠の座標の変化が, 入出庫判断フレーム数を複数回満たすためであると考えられる. この原因への対象方法としては, 撮影フレームレートを小さくすること, あるいは入出庫判断に用いるフレーム数を増やすこと等が考え得る. そのため, 未検出と多重検出では真逆の対処を考えることになり, そうした処置は困難である. そのため, 未検出および多重検出に対する処置としては, その他として検出アルゴリズムの再考が求められる.

入出庫の逆判定および多重検出における逆判定について, 原因はいずれも, 検出対象の自動車

が想定する走行ラインから大幅に外れることによるものと考え得る。すなわち、カメラの画角内を移動する際に差分による座標の変化が設定と異なるためである。したがって、このような走行位置が想定から外れる場合にも対応するのであれば、自動車抽出方法を差分によるものから機械学習の導入に変更することと、検出アルゴリズムの再考が挙げられる。

さいごに、自動車以外の検出については、差分により抽出した移動体の分類が不十分であることが原因と考え得る。特に対象地域においては家族連れなど複数人がまとまってカメラの画角内を移動する機会が多いことが想定される。この場合、差分量が自動車の通過時と同等になり、複数人が自動車として検出されてしまう。この原因への対処方法としては、移動体の外枠を描画する面積を大きくすることとか、自動車抽出方法を差分によるものから機械学習の導入に変更することが挙げられる。しかし移動体の外枠描画の面積を大きくすると自動車をも検出しない恐れがあるため、自動車抽出方法の改善のみが考え得るだろう。

以上のように、本研究で開発を試みた簡易なシステムでは駐車場に入出庫する自動車を判別して把握するには満たなかったが、システム改善における課題が明らかになった。

参考文献

- 1) 山田啓一, 水野守倫, 山本新, 村埜克明, 砂原秀一: 画像を用いた駐車場状況監視システム, 電気学会論文誌, C 120 巻, 6 号, 2000.
- 2) 市橋秀友, 堅多達也, 藤吉誠, 野津亮, 本多克宏: ファジィ C 平均識別機による駐車場のカメラ方式車両検知システム, 知能と情報, 22 巻, 6 号, 2010.
- 3) 山崎瑠香, 佐々木拓馬, 花泉弘: ステレオカメラを用いる空き駐車スペース検出法, 日本機械学会第 59 回自動制御連合講演会, 2016.

3. 研究の成果

本研究の成果は、次のようにまとめられる：

- ・ 研究対象地域である女川町中心部の駐車場における満空情報の管理にかかわるニーズを把握した；
- ・ そのうえで、具体的には駐車場出入口付近において地上付近の高さで自動車の入出庫の様子をとらえるための安価で簡易なシステムを構築した；
- ・ 入出庫判断を行うのに適したカメラの設置条件を予備実験により検討した；
- ・ 対象地域の駐車場で入出庫管理の実験を実施したところ実用的な精度は得られなかったが、誤検出の原因とシステムの改善方策について考察した。

4. 今後の課題

2. (iii)で論じたとおり、本研究ではシステムの改善における課題が明らかになった。それらは、主に自動車検出アルゴリズムの再考と、自動車抽出方法の改善である。後者は特に、差分によるものから機械学習を用いる方法に変更することである。

本研究では感染症拡大に伴う活動内容の制約を受けて内容の一部を修正して実施したが、このような自動車検出にかかわる事項は当初のねらいと整合する。自動車のボディタイプ別あるいは時間帯および日照条件別の認識率等に関する検証を行い、システムの実用化に向けた改善および精度向上を図る予定である。