

距離画像センサによる2車線道路の 交通量計測に向けた撮影条件の検討

安藤 匠平¹・石坂 哲宏²・佐田 達典³

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:cssy13001@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:ishizaka.tetsuhiro@nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

国土交通省が実施する道路交通センサスでは、機械による交通量計測が行われている。しかし、既存の可搬型の計測機器では2車線道路の計測が行えないことや、黒色車両が検知されにくい課題が存在する。本研究では、既存の計測機器の課題を克服できる可能性を有している距離画像センサに着目し、既存の交通量・地点速度計測以上の精度向上のため、フレームレートやシャッター時間の撮影条件を検討した。

検証の結果、交通流計測のための距離画像センサの最適な撮影条件は、フレームレート30fpsシャッター時間20msecとなった。また、この撮影条件を用いることで、1・2車線道路を走行する車両を89%で検知可能とし、地点速度の計測は、標準偏差値7km/hで計測可能とした。

Key Words : Range Image Sensor, Traffic Volume Measurement, Shoot Condition

1. はじめに

国土交通省が実施する道路交通センサスの一般交通量調査では、コスト縮減への強い社会的要請の中、交通量常時観測装置や可搬式のトラフィックカウンター等の機械式の調査方法を基本としている¹⁾。機械による観測区間は、高速道路では全区間、高規格幹線道路を除く直轄国道では約3割程度で実施されている。機械観測区間の拡大、および取得データを用いた近接区間の推定により、交通量調査の効率化を推進している²⁾。

このうち、調査に用いられる既存の可搬型計測機器は、高所設置型と車道設置型に大別される。ここで、高所設置型は、計測に一定のコンストラクトが必要なことや、影の影響を受けやすいこと、さらに、道路交通センサスの調査区間全てに高所で計測可能な場所があるとは限らず計測場所に制約がある^{3) 4)}。そのため、一般には車道設置型が有意であるとされている。この方法は、機器を歩道や路側に計測機器を設置するため、計測場所に左右されない特徴がある。

ここで、既存の計測機器は、磁気式と近赤外線式がある。磁気式⁵⁾は、車線毎に機器が必要なことに加え、機械の設置・撤去時に一時的な交通規制が必要である。近

赤外線式⁶⁾は、歩道や路肩などに機器を設置するので交通規制が不要となるが、1車線道路のみを計測対象としていること、また、交通量計測や速度計測に複数台の機器が必要となる制約が存在する。

そこで著書らは、交通規制が不要となり、1台で2車線道路を計測する可能性がある距離画像センサを歩道に設置する方法を検討してきた⁶⁾。これまでの距離画像による研究において、交通量計測手法の確立や実際の交通流観測実験を通して、実用化に向けた検討を行ってきた⁷⁾。

本研究では、さらなる精度向上のために、シャッター時間やフレームレートなどの撮影条件の検討を行うことを目的とする。

2. 距離画像センサ

距離画像センサとは、画像内に写る対象物までの距離を画素毎にリアルタイムに計測する装置である。測定原理は、TOF (Time-of-Flight) 方式を用いて、距離画像センサの投光LEDから照射した照射光が対象物に反射して、CCDカメラに戻る時間までを計算し、対象物までの距離データ (0~15m) と、反射の強さを示す反射強度デー

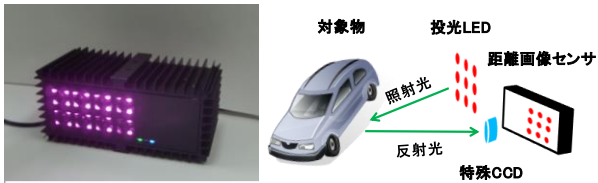


図-1 距離画像センサ (左) と測定原理 (右)

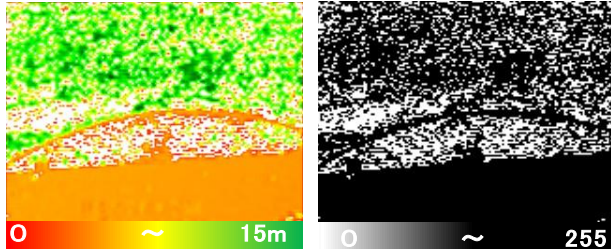


図-2 距離データ (左) と反射強度データ (右)

タ (0~255) が出力される。図-1に、距離画像センサと測定原理を示し、図-2に、距離データと反射強度データを示す。本研究では、オプテックス社製の距離画像センサ (ZC-1050U-HP) を使用する。表-1に、機器性能の一覧を示す。計測データは、水平160×垂直120の約2万点のピクセル毎に出力される⁸⁾。

距離画像センサを交通流計測に適応した場合、既存の可搬型の計測機器と比較して、以下のようなメリットがあると考えられる。

- ① 対象物までの距離や形状を3次元で計測できるため、従来手法である2次元画像を用いた車両検知のための複雑な処理が不要となる。
- ② 車線毎に走行する車両をデータ内で分離した処理を行えば、車両同士が重なる場合でも、1台で2車線道路の計測可能性を有している。
- ③ 距離画像センサの機器性能の向上により、最大60fpsで計測可能なことや、対象物までの距離、および移動速度に応じたシャッター時間の設定が可能となる。

3. 距離画像センサを用いた交通流計測に関する既存研究と本研究の位置づけ

(1) 既存の方法による交通量計測手法

距離画像センサを用いた道路交通センサ調査における交通量計測への適応に関する著書らの既存研究として、一見ら⁷⁾は、距離画像センサを図-3示すような歩道に設置し、計測した距離データを用いて、2車線道路を走行する車両を車線毎に判別し、交通量を計測する手法を構築した。さらに、1車線道路を対象とした地点速度・車種判別手法を構築した。しかし、構築した手法は、黒色

表-1 距離画像センサの機器性能⁸⁾

画角	水平50° 垂直:37° 対角59°
画素数	出力画素 水平:176pixel × 垂直:132pixel
	有効画素 水平:160pixel × 垂直:120pixel
変調周波数	10MHz
検出距離	0.5~15m
フレームレート	1~60fps
シャッター時間	1~20msec
出力フォーマット	距離データ(16bit) 反射強度データ(16bit)
撮影モード	Normal・Fast・LongRange・Fine
使用周囲照度	100,000lux以下
サイズ	70×160×75mm
本体質量	600g以下

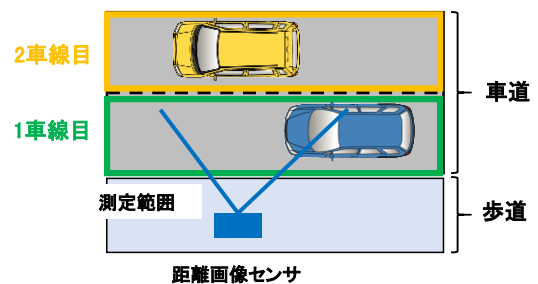


図-3 距離画像センサによる2車線道路の計測イメージ

車両が検知されないこと、また、地点速度の計測手法については、走行速度によって計測精度が大きく低下する課題がある。著書ら⁹⁾は、太陽光などの外乱光の影響を受ける条件下において、反射強度データの時系列変化から、2車線道路における黒色車両の交通量計測を行う手法を構築した。

以上より、既存の交通量計測手法では、2車線道路を走行する黒色を含めた車両の交通量計測に加え、1車線道路を対象とした地点速度・車種判別手法を構築している。今後、実用化に向けた課題として、距離画像センサによる交通量計測に適応するための撮影条件の検討することにより、交通量計測、および地点速度の計測精度が向上すると考えられる。

(2) 本研究の位置づけ

本研究では、既存の交通量、および地点速度計測手法以上の精度向上のために、シャッター時間やフレームレートなどの撮影条件の検討を行う。

ここで、本研究で目標とする交通量計測精度として、既存のCCTVによる交通量観測装置が100±10%の検知率で実用化されていることから⁹⁾、2車線道路の交通量計測を90%以上の検知率とした。地点速度に関しては、既存の赤外線式機器の計測精度6km/h (2σ: 20~80km/h) 以上とした⁹⁾。

4. 距離画像センサによる交通量計測のための撮影条件

距離画像センサによる交通流計測のための撮影条件として、シャッター時間 (msec) , およびフレームレート (fps) を挙げる。

距離画像センサにおけるシャッター時間とは、一般的なカメラの露光設定と類似しており、フレーム毎の投光時間の合計である。ここで、シャッター時間を長く設定するほど、計測する被写体により多くの光量を照射でき、精度の高い距離データが取得可能である。しかし、被写体が移動する場合、画像がブレることにより、鮮明に映らない可能性がある¹⁰⁾。

フレームレートとは、1秒間に何コマの静止画が記録されているかを表す数値であり、フレームレートが高いほど、被写体の動きが滑らかな動画が記録される。

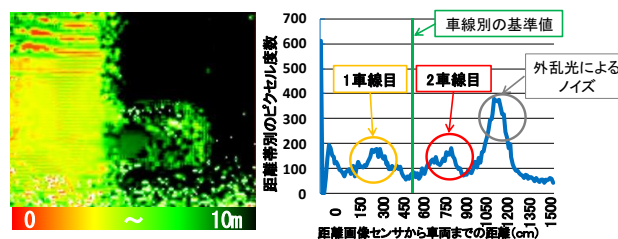


図-4 車両進入時の距離画像センサ (左) と距離帯別の度数分布 (右)

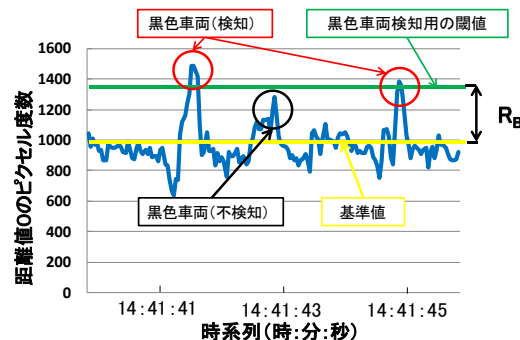


図-5 黒色車両検知のための設定値の例

5. 交通量計測手法と地点速度の算出手法

(1) 既存の交通量計測方法

2車線道路の交通量計測は、黒色車両と黒色以外の車両で手法が異なる。

(a) 黒色以外の車両

黒色以外の車両の検知手法は、距離画像センサから計測して出力された距離データを用いる⁷⁾。具体的には、センサから取得された距離情報をピクセル毎に集計し、距離帯別 (10cm間隔) の度数分布で表した「距離帯別度数分布」から行う。この手法は、車両の進入と同時に大きな度数分布が出現し、車両の退出と同時に出現した度数分布が消え、車両を車線別に判別する。図-4に、車両進入時の距離画像と距離帯別の度数分布を示す。

次に、距離画像センサの計測範囲内に車両が存在する場合の検知するための幅を閾値として車線毎に設定し、閾値を上回る場合を車両の進入として判断し、閾値を下回った場合、車両が通過したと判定して1台を検知する。設定した閾値により、通過する黒色以外の車両を全検知する。

(b) 黒色車両の検知手法

黒色車両の検知手法は、距離画像センサから計測して出力された反射強度データを用いる⁶⁾。図-5に、太陽光の影響を受ける条件下における反射強度0のピクセル度数の時系列を示す。ここで、黒色車両は、車両なしと比較して、反射強度0のピクセル度数が増加していることが確認される。これは、車体のボディ部分がセンサからの照射光を反射しないためである。

この反射強度データの変化を車両として検知するために、まず、車両が存在しない状態の10回分のデータを抜

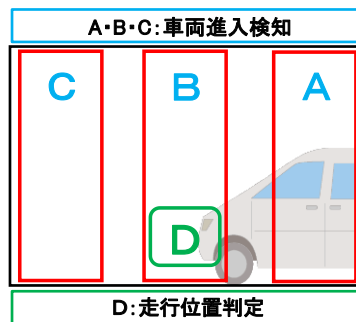


図-6 画像内の分割イメージ

き出し、反射強度0のピクセル度数の平均値を算出し、これを基準値として設定する。次に、車両が存在する場合のピクセル度数の変化を検知する幅を R_B として適宜設定する。車両通過時において、距離値0のピクセル度数が車両検知用の閾値を上回る場合を検知とみなし、通過する車両を全検知するように R_B を設定した。

(2) 地点速度の算出手法

(a) 検知ゾーンの設定

地点速度の算出は、1車線交通を対象として、距離画像センサから計測した車両先端部分の距離データの変化から検知する。既存研究では、距離データ内に2つのゾーンを設定し、車両の進入・退出を算出している⁷⁾。本研究では、車両の位置をより詳細に把握するため、図-6に示すようなA・B・Cの3つのゾーンを設け、ゾーン毎の車両先端の進入時間差を算出する。また、ゾーンDより、距離画像センサと車両のまでの距離を算出し、車両の走行位置を把握する。

(b) 地点速度の算出方法

地点速度は、距離画像内における車両先端部分の移動

距離から通過に有した時間を除して求める。ここで、車両先端部分の移動距離の算出には、ゾーンDを用いる。まず、ゾーンD内に車両が進入した際の距離データの平均値を算出し、この値をdとする。次に、車両の移動距離Lを(1)式を用いて求める。

$$L = 2 \left\{ d \tan \left(\frac{\theta}{2} \times \frac{1}{\alpha/2} \right) \right\} \quad (1)$$

L : 実際の移動幅 (m) , d : 車両までの距離 (m)

θ : 画角 (°) , α : 水平画素 (画素)

l : 有効画素 (画素)

(c)車両検知手法

車両の検知手法は、黒色以外の車両検知手法と同様に、設定したゾーン毎に距離帯別の度数分布を作成する。また、ゾーン毎に車両の進入を検知するための閾値を設定し、走行する車両を検知する。

6. 距離画像センサの撮影条件の検討に向けた実証実験

(1) 実験目的

距離画像センサのシャッター時間、およびフレームレートを複数設定して車両を計測し、交通量計測を行うための最適な計測条件を明らかにする。

(2) 実験概要

距離画像センサを車両から3m, 6m, 9m, 12m, 15m, の3m毎に離し、車体側面に正対するように高さ1.4mで計測した。計測は、日本大学理工学部船橋キャンパスの交通総合試験路で、11:00~12:00の1時間行い、計測時の周囲照度は約50,000luxである。

次に、実験方法として、車両が静止している場合、および移動した場合の白色・黒色車両を距離画像センサにより計測した。表-2に、距離画像センサの撮影条件を示す。ここで、設定したシャッター時間20msec, 8msecは、フレームレート30fps, 60fpsに対する最大値である。なお、移動計測実験では、設定距離・撮影条件毎に1度ずつ走行した。

(3) 検証方法

(a)白色車両の検証方法

白色車両の検証方法は、距離画像センサから出力された距離データを用いる。まず、静止計測実験では、車体のボディ部分の距離データを10×10pixelを選択し、フレーム毎の距離データの標準偏差を算出し、シャッター時間・設定距離毎に比較する。

表-2 車両の計測方法

項目	静止計測	移動計測	
設定距離	3m, 6m, 9m, 12m, 15m		
フレームレート	30fps	30fps	60fps
シャッター時間	3msec, 6msec, 8msec, 20msec	3msec, 6msec, 8msec, 20msec	3msec, 6msec, 8msec
走行速度	10km/h, 30km/h, 50km/h		

表-3 検知ゾーンの規格と検知基準

項目	規格 (垂直×水平)	検知用閾値	距離の指定範囲
ゾーンA・B・C	120×30pixel	13	6m
ゾーンD	30×30pixel	6	6m

次に、移動計測実験では、2つの方法から検証する。1つ目に、走行速度・シャッター時間毎に図-4に示すような距離帯別の度数分布を作成し、車両検知を行うための閾値を検討する。

2つ目に、提案手法と既存手法⁷⁾毎に地点速度の算出を行い、結果の比較を行う。具体的にはシャッター時間・フレームレート毎に算出された地点速度を比較し、本研究で提案した手法の計測精度、および速度算出のための撮影条件を検討する。表-3に、地点速度算出のための各ゾーンの規格を示す。

(b)黒色車両の検証方法

黒色車両の検証方法は、距離画像センサから出力された反射強度データを用いる。はじめに、車両静止計測では、車体側面のデータを用いてシャッター時間、および設定距離毎に反射強度値0のピクセル度数の変化を検証する。

次に、移動計測による検証方法として、車両が距離画像センサの計測範囲内に通過した際の反射強度値0のピクセル度数の時系列変化より、設定距離・シャッター時間毎に車両検知のための閾値の検討を行った。

7. 検証結果

(1) 白色車両

(a)車両静止計測

静止時の距離データを用いた検証結果として、図-7に、設定距離毎におけるフレーム毎の距離データの標準偏差値の算出結果を示す。検証の結果、センサから車両までの距離12mまでは、一部の結果を除き、全てのシャッター時間において、標準偏差値65 (cm) 以下であることを明らかとした。また、シャッター時間を20msecと設定した場合、最大で5cm以下で車両を計測することが確認され、シャッター時間を長く設定することで、フレーム

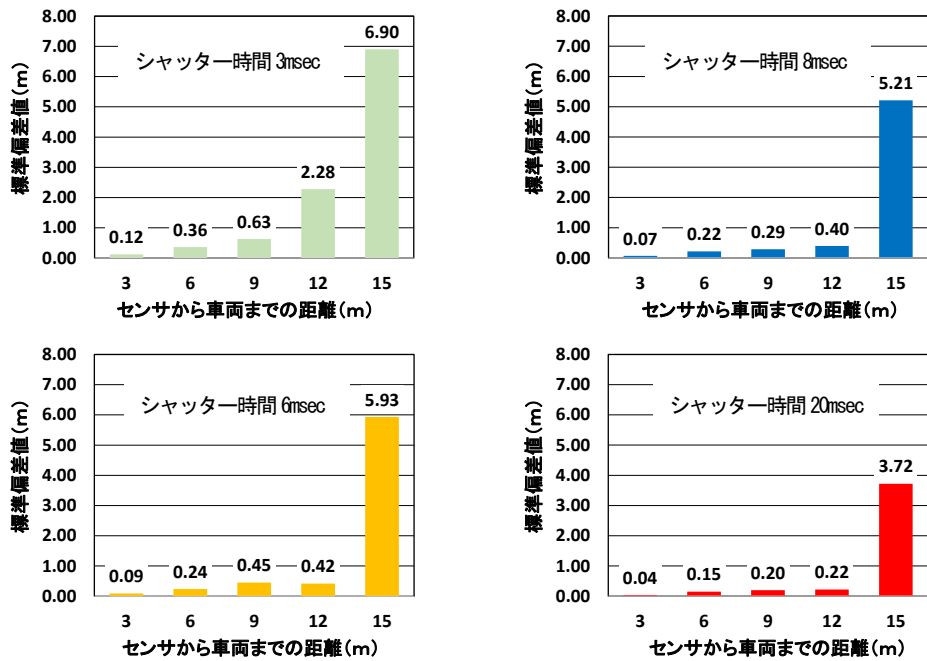


図-7 フレームレート 30fps における設定距離・シャッター時間毎の標準偏差値

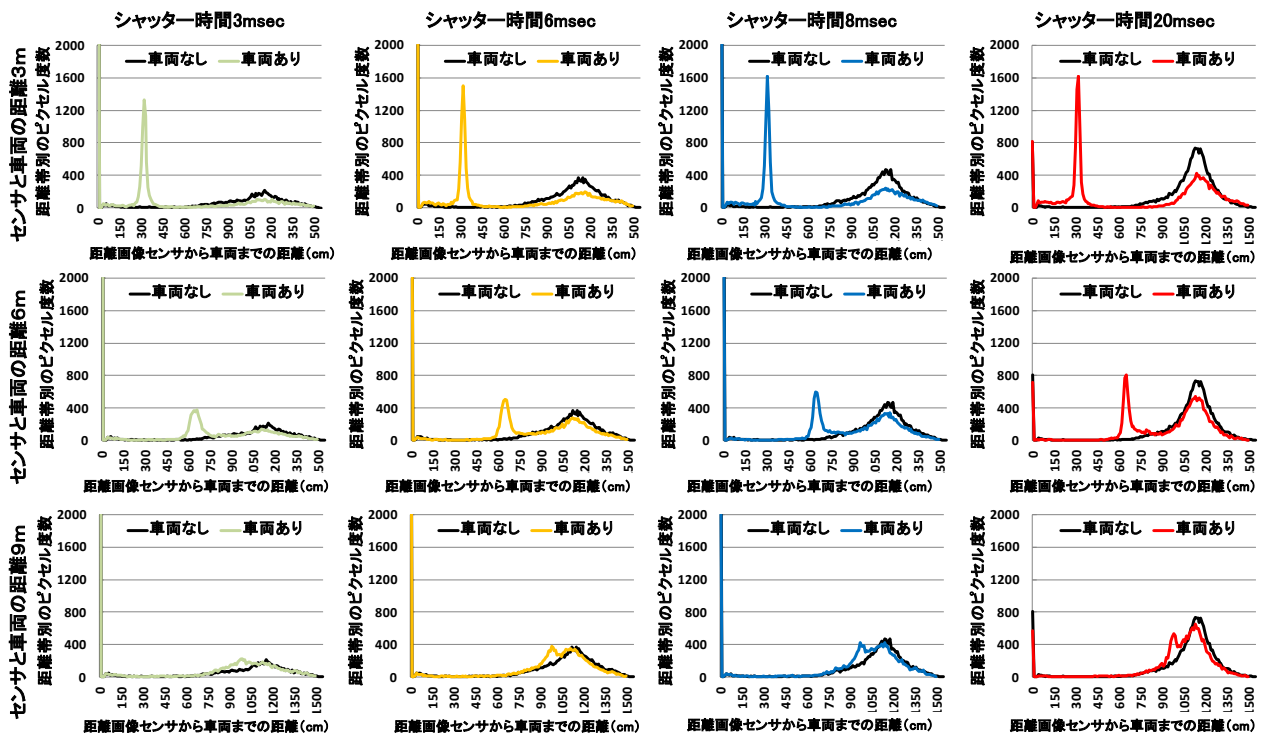


図-8 フレームレート 30fps における設定距離・シャッター時間毎の距離帯別の度数分布

毎の距離データのバラつきが少ないことが確認された。

次に、センサから車両までの距離15mにおける標準偏差毎値は、シャッター時間を長く設定するほど小さくなるが、設定した全てのシャッター時間において、3m以上となった。これは、センサからの照射光量が車両側面に十分に照射されず、一部の車両データが取得されなかったためだと考えられる。

(b)車両移動計測

次に、移動計測時の距離データと交通量計測のための

最適な測定条件の検証結果について、図-8に、速度50km/hにおける設定距離・シャッター時間毎の距離帯別の度数分布を示す。検証は、距離画像センサと車両までの距離を3m、6m、9mと設定した場合の結果である。検証の結果、距離画像センサから車両までの距離が9m離れた場合でも、車両なしと比較して出現度数が確認された。

表-4に、設定距離9mにおける距離帯別の度数分布による車両検知用の閾値の検証結果を示す。検証の結果、

表-4 設定距離9mにおける車両検知のための閾値の検討結果

項目	距離帯別のピクセル度数			
	車両なし	車両あり	閾値	
シャッター時間	3msec	64	152	100
	6msec	91	210	150
	8msec	106	227	150
	20msec	82	242	150

表-5 地点速度の算出結果

項目	シャッター時間	フレームレート			
		30fps		60fps	
		既存手法 (km/h)	提案手法 (km/h)	既存手法 (km/h)	提案手法 (km/h)
	3msec	46.2	39.6	47.9	47
	6msec	56.1	46.8	52.2	47.4
	8msec	65.9	52.7	56.3	50.6
	20msec	47.5	50.7		

シャッター時間3msecでは車両検知用の閾値を100程度、シャッター時間6msec, 8msec, 20msecでは、150程度に設定することで、距離画像センサから9m離れた走行車両を検知することを明らかとした。

また、距離画像センサから車両までの距離から離れた対象物を撮影する場合、シャッター時間を長く設定することで、距離画像センサからの照射光をより多く受光できるため、距離帯別の度数分布に出現する車両データのピクセル度数が多くなり、2車線の交通量計測に有効であると考えられる。さらに、距離画像センサから9m離れた位置の車両まで検知出来れば、車線毎の道路幅員を考慮¹¹⁾しても、2車線道路の交通量計測の可能性を有していると考えられる。

次に、地点速度の検証結果について、表-5に、既存手法と提案手法による地点速度の算出結果を示す。検証は、距離画像センサと車両までの距離3mの場合における走行速度50km/hのみを行い、フレームレート、およびシャッター時間毎の地点速度の算出結果について、既存手法と提案手法の比較を行った。

図-9に、フレームレート30fps、シャッター時間3msec, 6msec, 8msec, 20msecと設定した場合の走行速度と算出結果の速度差を示す。検証の結果、フレームレート30fpsと設定した場合、既存手法と比較して、シャッター時間3msecを除き、速度誤差が少ないことが確認された。この理由として、シャッター時間を短く設定した場合、走行車両に多くの光量を照射できず、車両出現度数の変化が少なくなる。そのため、設定したゾーン毎に車両を検知する時間が長くなり、走行速度よりも低い結果になったと考えられる。また、シャッター時間を長く設定すると、センサから車両までの距離をより正確に計測できるため、車両の走行位置が詳細に把握され、走行速度に近い算出結果となったと考えられる。

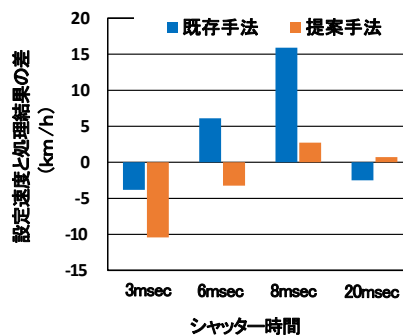


図-9 フレームレート 30fps における速度算出結果

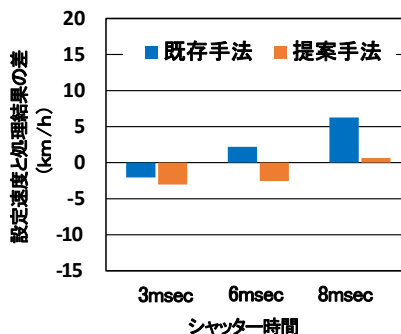


図-10 フレームレート 60fps における速度算出結果

図-10に、フレームレート60fps、シャッター時間3msec, 6msec, 8msecと設定した場合における、走行速度と算出結果の速度差を示す。検証の結果、シャッター時間3msec, 6msecと設定した場合、既存手法、および提案手法ともに概ね5km/hの速度誤差で計測可能であることが確認された。また、シャッター時間を8msecと設定した場合、既存手法と比較して速度誤差が小さい走行速度に近い算出結果となった。

ここで、本実験では、設定した撮影条件毎に1度しか走行していないため、今後、計測条件毎に複数回走行し、計測精度の評価を行う必要があると考えられる。

(2) 黒色車両

(a) 車両静止計測

黒色車両の車両静止計測の検証結果として、図-11～14に、設定距離毎のシャッター時間毎の反射強度0のピクセル度数の結果を示す。検証の結果、設定した全てのシャッター時間において、センサから9mまでは、車両なしと比較して、反射強度0のピクセル度数が増加することが確認された。また、センサから12～15mに設定した場合、車両の有無による大きなデータ変化は確認されなかった。

したがって、本検証では、距離画像センサから車両までの距離を9mまでは、車両として検知する可能性があるとした。

(b) 車両移動計測

次に、車両移動計測の実験結果について、図-15～18

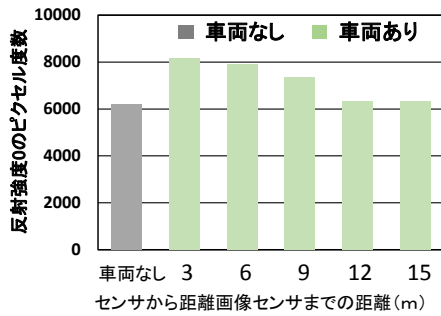


図-11 シャッター時間 3msec の反射強度 0 のピクセル度数

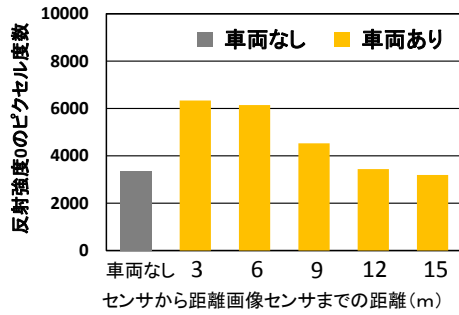


図-12 シャッター時間 6msec の反射強度 0 のピクセル度数

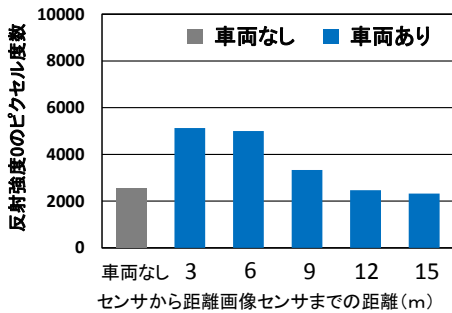


図-13 シャッター時間 8msec の反射強度 0 のピクセル度数

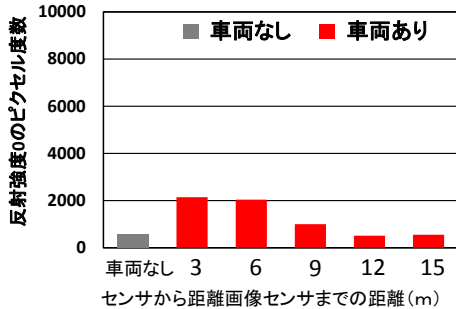


図-14 シャッター時間 20msec の反射強度 0 のピクセル度数

に、走行速度30km/hにおけるシャッター時間毎の反射強度0の時系列変化を示す。検証は、センサと車両までの距離3m、6m、9mとした場合の結果である。検証の結果、距離画像センサと車両までが9m離れた場合でも、車両なしと比較して、反射強度0のピクセル度数が増加していることが確認された。

表-6に、設定距離9mにおける黒色車両検知用の閾値の検討結果を示す。シャッター時間3msec、6msec、8msecでは車両検知用の閾値を1500程度、シャッター時間20msecでは250程度に設定すれば、距離画像センサから

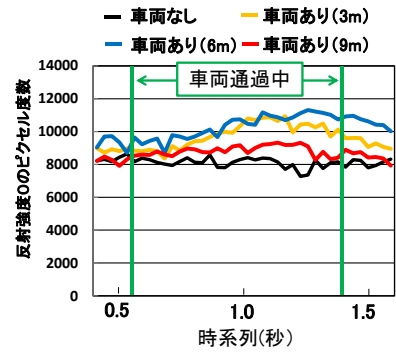


図-15 シャッター時間 3msec における反射強度 0 のピクセル度数の時系列変化

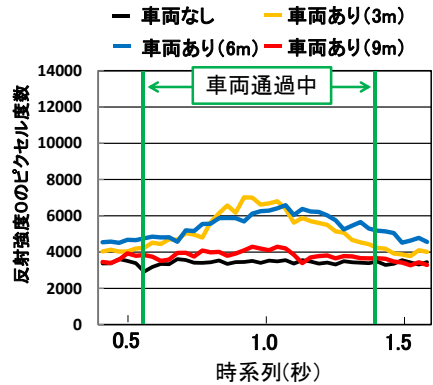


図-16 シャッター時間 6msec における反射強度 0 のピクセル度数の時系列変化

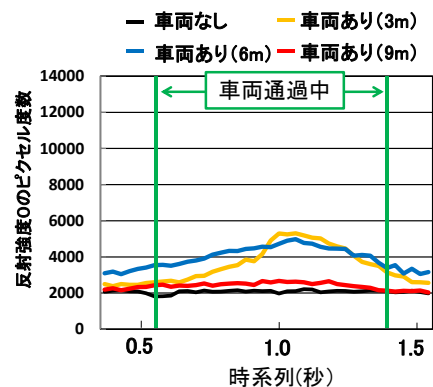


図-17 シャッター時間 8msec における反射強度 0 のピクセル度数の時系列変化

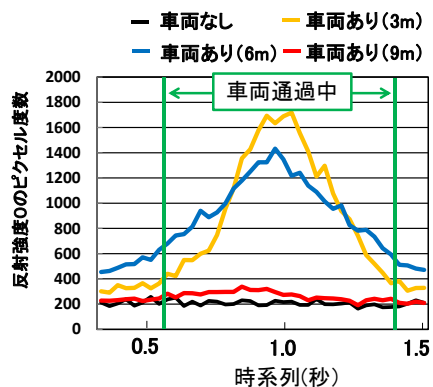


図-18 シャッター時間 20msec における反射強度 0 のピクセル度数の時系列変化

表-6 設定距離9mにおける黒色車両検知用の閾値

項目		反射強度0のピクセル度数		
		車両なし	車両有り	閾値 R_B
シャッター 時間	3msec	8503	796	1500
	6msec	4290	903	1500
	8msec	2666	627	1500
	20msec	338	154	250

9mまでは走行車両を検知することを明らかとした。

検証結果より、距離画像センサを用いた交通流計測のための撮影条件の検討を目的とした実証実験の結果をまとめる。

- ① 静止計測における白色車両の実験結果より、シャッター時間を長く設定するほど、フレーム毎の距離データの標準偏差値が小さくなること、また、シャッター時間を20msecと設定した場合、最大で5cmのバラつきで計測可能である。
- ② 移動計測における白色車両の実験結果より、距離画像センサから9m離れた位置までは、距離データの変化から車両として検知可能であることを明らかとした。また、提案した地点速度手法を用いることで、一部の算出結果を除き、既存手法と比較して速度誤差がの少ない結果となった。さらに、フレームレート30fpsでは20msec、フレームレート60fpsでは8msecの場合、走行速度に近い算出結果となった。
- ③ 静止計測における黒色車両の実験結果より、設定した全てのシャッター時間において、距離画像センサから9mまでは、センサからの照射光を反射しないことによる反射強度0のピクセル度数が増加することを明らかとした。
- ④ 移動計測における黒色車両の実験結果より、反射強度0のピクセル度数の時系列変化を用いることで、車両データの変化から、黒色車両を検知する可能性を有していることが確認された。

以上から、距離画像センサを用いた2車線道路の交通量のための撮影条件は、フレームレート30fpsシャッター時間20msec、およびフレームレート60fpsシャッター時間8msecの2つとした。

次に、検討した2つの撮影条件を用いて、一般道路を走行する車両を計測し、既存の交通量計測手法、および構築した地点速度の計測手法の有効性を明らかにするため、実証実験を行った。

表-7 車両検知基準

項目	検知用の閾値	車線別の基準値	距離の指定範囲
距離帯別のピクセル度数	1車線目:200 2車線目:150	7m	0~9m

8. 距離画像センサによる交通量計測のための撮影条件を用いた実証実験

(1) 検証目的

距離画像センサで設定した撮影条件を用いて、2車線道路の交通量の計測、および構築した地点速度の算出手法の適応を検討するため、一般道路を走行する車両を計測した。

(2) 実験概要

2台の距離画像センサを通過車両から3m離して、車両側面に正対になるように高さ14mで歩道に設置し、以下に示す2つの撮影条件をセンサ毎に設定した。

条件A：フレームレート30fps、シャッター時間20msec

条件B：フレームレート60fps、シャッター時間8msec

計測は、片側2車線の船橋市国道16号小室交差点で13:45~14:45の1時間行い、周囲照度は約50,000luxである。

次に、交通量計測の検証方法として、表-7に、車両検知基準を示す。検証は、センサから取得したデータと実交通量との照合を行うため、同時にビデオカメラによる撮影を行った。また、黒色車両は、反射強度データによる車両検知用の閾値 R_B を複数設定し、車両の検知台数と誤検知の回数を考慮して最適な閾値を求める。地点速度の検証方法として、スピードガンで1車線交通を対象として計測した走行速度と、撮影条件毎の算出結果結果の比較について、標準偏差値、RMS値、速度差別の頻度を求めた。ここで、地点速度のための各ゾーンの規格・検知基準・距離の指定範囲については、表-3と同じである。

(3) 検証結果

(a) 交通量計測

表-8に、黒色以外の車両の検知結果を示す。検証は、設定した撮影条件毎に検知率の比較を行った。

検証の結果、1車線目車両について、条件Aでは99%、条件Bでは94%となり、目標とする交通量計測精度90%を上回る結果となった。2車線目の車両の計測結果について、条件Aでは79%、条件Bでは77%という結果となり、両撮影条件ともに1車線目車両と比較して検知率が大き

表-8 黒色以外の車両の検知結果

項目	1車線目(台)		2車線目(台)	
	条件A	条件B	条件A	条件B
実測値	531		557	
処理結果	529	498	441	431
不検知車両	2	33	116	126
誤検知回数	1	0	0	0
検知率	99%	94%	79%	77%

表-9 黒色車両の検知結果

項目	実測値	R _B =250	R _B =300	R _B =350	R _B =400	R _B =450	R _B =500	R _B =550
検知台数(台)	95	86	86	82	76	72	67	67
検知率	-	91%	91%	86%	80%	76%	71%	71%
誤検知	-	112	6	1	0	0	0	0

表-10 実交通量と車両検知手法の比較

項目	1車線目(台)	2車線目(台)
実測値	1183	
黒色以外の車両	529	441
黒色車両	86	
合計台数	1056	
検知率	89%	

く低下した。その原因として、車線毎に走行する車両同士が重なることにより、2車線目を走行する車両データが全く計測されない、または、一部の車両データが計測されても、検知基準に達しないため不検知となったと考えられる。今後、交通量の検知精度の向上には、走行する車両同士が重なる場合でも、一部の車両データから検知する手法の検討が必要だと考えられる。

表-9に、黒色車両の検知結果を示す。検証は、車両検知用の閾値 R_B の設定を変化させて行い、1・2車線を走行する全ての車両台数との比較を行った。

検証の結果、R_B=300の時、91%の検知率となった。ここで、車両検知用の閾値R_B=300より低く設定した場合、検知率は向上するが、路面や太陽光などの外乱光を車両として誤検知する回数が著しく多くなった。よって、1・2車線道路の黒色車両の検知のための最適な閾値をR_B=300とした。

ここで、検知されない車両とは、車線毎に走行する車両同士が重なり2車線目を走行する車両データが全く計測されない車両である。また、構築された手法は、車両を車線別に判別されないため、今後、黒色車両を対象とした車線判別手法の検討が必要であると考えられる。

表-10に、実交通量と交通量計測手法との比較を示す。検証の結果、1車線目・2車線目を合わせて1056台の車両を計測し、実交通量との比較より、89%で検知可能とし

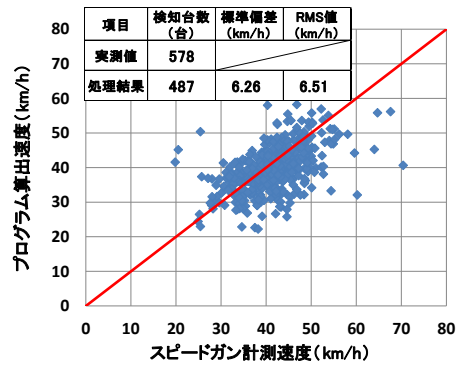


図-19 撮影条件Aにおける地点速度算出結果

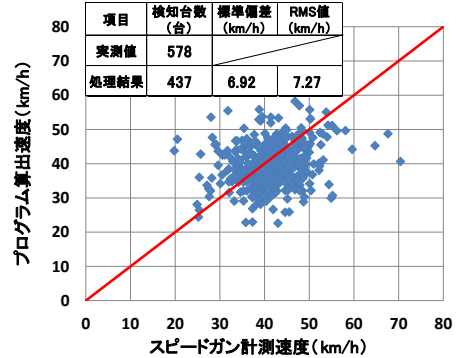


図-20 撮影条件Bにおける地点速度算出結果

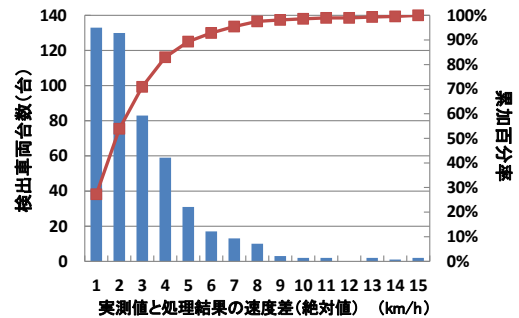


図-21 撮影条件Aにおける処理結果との速度差別頻度

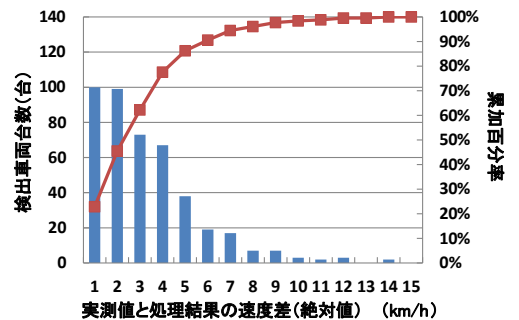


図-22 撮影条件Bにおける処理結果との速度差別頻度

た。

(b)地点速度計測

図-19および図-20に、撮影条件ごとの地点速度の処理結果を示す。検証の結果、条件Aの標準偏差値は6.26 (km/h)、条件Bでは6.92 (km/h) となり、目標とする既存の計測機器の精度に及ばない結果となった。しかし、どちらの撮影条件においても誤差7km/h以下のバラつきで計測されることが確認された。次に、RMS値について

て、条件Aでは6.26 (km/h) , 条件Bは6.92 (km/h) となり、シャッター時間を長く設定する程、バラつきの少ない結果であることが確認された。

図-21および図-22に、撮影条件毎の実測値との速度差別頻度を示す。検証の結果、撮影条件Aでは、実測値との速度差が4km/h以内の結果が全体の54%、10km/h以内が89%を占める結果となり、撮影条件Bについて、実測値との速度差が4km/h以内の結果が全体の46%、10km/h以内が86%となった。したがって、フレームレートを高く設定するよりも、シャッター時間を長く設定することが地点速度計測に有意であることが確認された。

ここで、不検知の車両とは、距離画像センサの照射光量を反射しない黒色の車両が挙げられる。黒色車両は、距離画像センサからの照射光を反射しにくく、距離画像センサと車両との距離が正確に出力されないため、計測精度が大きく低下する原因となる。今後、黒色車両を含めた地点速度の算出手法の検討が必要である。

以上より、フレームレートを高く設定するよりも、シャッター時間を長く設定することで、より正確な車両の距離データを出力できることから、本研究における距離画像センサを用いた交通量計測のための最適な撮影条件はフレームレート30fps、シャッター時間20msecとなった。

9. おわりに

本研究では、距離画像センサを用いた2車線道路の交通量計測に向けて、フレームレート、およびシャッター時間の撮影条件の検討するための検証実験を行った。検証の結果、距離画像センサによる交通量計測のための最適な撮影条件は、フレームレート30fpsシャッター時間20msecとなった。

この撮影条件を用いて一般道における検証実験の結果より、交通量計測について、2車線道路を走行する車両を89%で検知可能とした。また、地点速度に関しては、実測値と比較して標準偏差値7km/hで計測可能とし、シャッター時間を長く設定することが計測に有意であることが確認された。

今後の課題として、交通量計測手法については、2車線目車両の検知精度の向上を挙げる。具体的には、車線毎に走行する車両同士が重なる場合でも、計測された一部の車両データから検知する手法の構築が必要である。また、地点速度の計測手法については、黒色車両を対象とした計測手法の構築が必要である。さらに、本研究で明らかにした距離画像センサの撮影条件を用いて、他の観測条件での実験を行い、計測精度の評価を行いたい。

謝辞：本研究を進めるにあたり、ご協力いただいた

PHMの高田知典氏、(株) オプテックスの村田記一氏、(株) 伊藤忠テクノソリューションズの岩本智行氏に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 上坂克己・門間俊幸・橋本浩良・松本俊輔・大脇鉄也：道路交通調査の新たな展開～5年に1度から365日24時間へ、土木計画学研究・講演集, Vol.43, CD-ROM, 2011.
- 2) 一般財団法人国土技術開発センター：道路交通データに関する話題、<<http://www.jice.or.jp/jishu/t2/pdf/siryu23.pdf>>, (入手 2014.7.6)
- 3) 鈴木一史・中村英樹：交通流解析のためのビデオ画像処理システム Traffic Analyzer の開発と性能検証：土木学会論文集 D Vol.62, No.3, pp276-287, 2006.7.
- 4) 中川淳・相川徹郎：安全で快適な道路環境の実現に貢献する画像処理装置、東芝レビュー (一般論文), Vol.65.No.47.pp45-47, 2010.7.
- 5) 東俊孝・高田知典・井坪慎二・内田淳：道路交通センサのための次世代情報収集システムの開発、土木情報利用技術論文集, Vol.15, pp.103-110, 2006.10.
- 6) 安藤匠平・佐田達典・石坂哲宏：距離画像センサを用いた交通流計測手法の複数車線・黒色車両への適応、土木計画学研究・講演集 CR-ROM, Vol.47, 2013.6.
- 7) 一見健太・佐田達典・石坂哲宏・千葉史隆：距離画像センサを用いた新たな交通流計測手法の提案、土木計画学研究・講演集 CR-ROM, Vol.45, No.47, 2012.6.
- 8) オプテックス(株) ホームページ：3次元距離画像カメラ、<<http://www.optex.co.jp/product/3d.html>>, (入手 2014.7.21)
- 9) 泉典宏・牧野浩志・上篠俊介・田中淳・竹平誠治・後藤秀典：画像センサの活用方法に関する研究、土木計画学研究・講演集 CD-ROM, Vol.45, No.48, 2012.6.
- 10) 株式会社オプテックス距離画像カメラ ZC-1000 シリーズ SDK マニュアル (入手 2014.7.21)
- 11) 社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用, pp.178-180, 2004.

(?????.?.? 受付)