Ⅰ－2　距離画像センサを用いた交通流調査のための基礎的研究

Fundamental Study on the Applicability of Range Image Sensor to Traffic Flow Investigation

一見健太[1]　・佐田達典[2]　・石坂哲宏[3]　・林佑樹[4]

Kenta ICHIMI, Tatsunori SADA,Tetsuhiro ISHIZAKA,Yuki HAYASHI

抄録：本研究では道路交通センサスで用いられる現行のトラフィックカウンターに代わり得るセンサとして，距離画像センサに注目し，実用化への検討を行った．距離画像センサは新しいセンサであり，センサ自体にどのような特性があるかは明らかにされていない．そこで，本研究では，距離別の測距精度を把握することと，車種判別を行うために移動体の速度，車長の算出精度を明らかにすることを目的とし，実験を行った．その結果，基礎実験結果から屋内では３ｍ から６ｍ まで安定した計測が行えること，屋外では３ｍ から４ｍ までが安定した計測が行えることがわかった．また，走行実験結果は５ｍから６ｍが速度，車長を算出する際に最適であることが判明した．

Abstract: The authors have investigated the applicability of the range image sensor as traffic counter used by road traffic census. The range image sensor is a new device to detect range data and image data simultaneously and the characteristic of this sensor has not been investigated. Then, in order to discuss the possibility of the sensor to the traffic flow investigation, the experiments were conducted to figure out ranging accuracy according to distance and calculation accuracy of vehicle speed and vehicle length. As a result, it recognized that the range detection precision is from 3m to 6m indoor, and from 3m to 4m outdoor by basic experiment. Moreover, it was shown that the best distances are from 5m to 6m to calculate vehicle speed and vehicle length by driving experiment.

キーワード：　距離画像センサ，交通流計測，速度，車長，フィルタリング

Keywords　：　**Range Image Sensor , Traffic Flow Investigation , Vehicle Speed , Vehicle Length , Filtering**

１．はじめに

国土交通省は，道路の計画立案・管理を行うため，全国道路・街路交通情勢調査を行っており，将来交通推計，道路計画，道路管理等に必要なデータを収集している．その調査は未だに手作業が中心であり，調査を経済的かつ効率的に行うことが求められている．調査の一部では，トラフィックカウンターが用いられており，その種類は簡易型と常設型の２種類に分類される．前者は設置と撤去の際に交通規制が必要となるため人件費がかかり，後者は非常に高価であるため，すべての調査地点に設置することは現実的ではない[1)].

そこで，トラフィックカウンターや既存の車両感知器の代替として，距離画像センサに注目し，実用化するための検討を行った．仮に本研究で用いたセンサが交通流計測で用いられ，実際に普及した場合，その導入コストは従来のトラフィックカウンター（常設型）に比べ, 大幅に抑えられる可能性があると考えられる．

本研究はこの距離画像センサを様々な状況に対応させて計測し，距離別の測距精度を把握することと，車種判別を行なうために移動体の速度，車長の算出精度を求めて, 計測特性を明らかにすることを目的とした．具体的には，距離画像センサで計測したデータが屋内と屋外でどのような違いが生じるか，対象物への距離に応じて測定精度がどのように変化するかの検証を行った．移動体計測実験では，実際に移動体の計測を行い，データから速度・車長を算出し，交通流計測における車種判別の可能性を検討した．

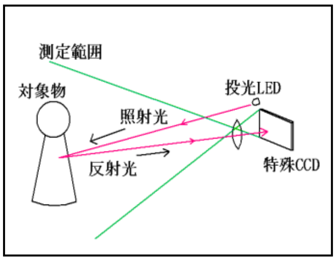
２．距離画像センサとは

距離画像センサとは，リアルタイムに形状と距離を計測し，動画として出力する装置である．**図－１**に距離画像センサの機器写真を示す．測定原理は**図－２**に示すように，センサから照射した光が，反射して返ってくる到達時間を計測し，画像情報を重ねることで対象の画像と対象までの距離を画素ごとに出力する[2)].

本研究ではPanasonic 社製距離画像センサ（D-IMager）を使用した．**表－１**に本センサの性能一覧を示す．本機器は，縦 120×横 160 の画素で構成された距離画像を

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，Tel :047-469-8147, E-mail : ichimi.kenta@trpt.cst.nihon-u.ac.jp)
２：正会員　博士（工）　日本大学　教授　理工学部　社会交通工学科
３：正会員　博士（工）　日本大学　助教　理工学部　社会交通工学科
４：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

図－１　距離画像センサ [2)]



図－２　測定原理 [2)]

図－３　実験状況（屋外）

図－４　実験状況（屋内）

表－１　距離画像センサ性能一覧 [2)]

測距画素数	水平：160画素×垂直：120画素
画角	水平：50°　垂直：36°
検出距離範囲	1.2m～9.0m
応答速度	12フレーム/秒
出力形式	距離データ：11bit
出力形式	濃淡データ：8bit
使用周囲照度	太陽光：10万lx以下
使用温度範囲	0℃～40℃
外形寸法	150mm×60mm×100mm
質量	880g

12Hz で出力する．検出距離範囲が 1.2m～9.0m であり，照度０～10 万 lx の太陽光の下でも検出可能であることが特徴である（検出距離範囲は個々の設定で変更することも可能）．また，小型で軽量であるため場所を選ばずに，計測が行うことができることも大きな利点の一つである．また欠点として，反射率が極端に低いものや光沢があり鏡面反射するもの，微細な形状や凹凸面は計測できない可能性がある．

３．既存研究と本研究の位置付け

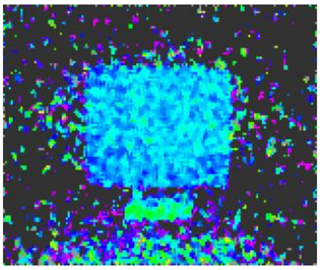
交通流計測の既存研究として，東ら（2006）は次世代道路交通センサスのための次世代情報収集システムの開発と題して，磁気センサ，超音波センサ，赤外線センサの比較を行い，車両検知ロジックなどを構築して交通流検知の実験を行っている [1)]．

上野ら（2002）は交通流計測のための車両の検出と追跡と題してビデオカメラを使用し，撮影した映像に背景差分処理を行った後，あらかじめ条件を指定したテンプレートマッチングを行い，車両の検出と追跡を行っている [3)]．

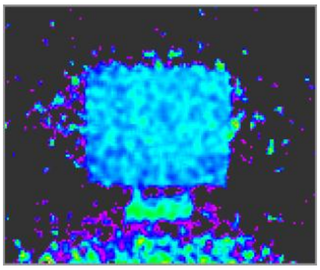
牧野（2006）は，画像処理センサを用いた車両挙動分析に基づく交通安全対策の提案と題して，都市内自動車専用道路の参宮橋カーブなどで AHS センサの導入実験を行い，実用化への検討を行っている [4)]．

また，岩崎ら（2005）は画像処理による車線別車両認識と題して，歩道に設置したビデオカメラから得た映像に用意したテンプレートマッチングを行い，車線別の車両認識を行っている [5)]．

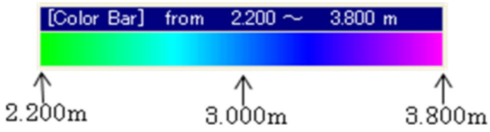
これら交通流計測を主題とした既存研究と本研究で



図－５　処理前データ
（例：３m）



図－６　処理後データ
（例：３m）



図－７　距離による色の違い
（例：３m）

用いる距離画像センサの大きな違いは，計測と同時に対象物までの距離が取得できるという点にある．すべての距離がわかるということは，物体の大きさや移動の幅もわかるため，速度や車長を算出する処理過程が複雑でなく，容易に算出処理が行えるということである．また，距離画像センサは通常のビデオカメラのようにある程度の明るさを確保しなくても計測が行えるため，夜間でも使用可能であるという点も大きな特徴の一つである．

距離画像センサの先行研究として著者ら(2008)は，自動車，自転車，歩行者という移動体を計測し，対象物が認識できる限界距離を検討した [6)]．本研究で用いる距離画像センサは昨年度製品化されたばかりである．そのため，未だユーザの利用環境における距離画像センサ自体の詳細な検証はされておらず，様々な分野への応用を検討する前にセンサ自体の検証を行う必要がある．本研究ではこの距離画像センサの基礎データを集めることと，交通流計測の基盤となる移動体の速度，車長を算出することにより計測特性を明らかにすることを目的とした．

４．基礎実験

（１）実験目的

距離画像センサで計測したデータが屋内と屋外で精度にどのような変化が生じるか，対象物への距離に応じて測定精度がどのように変化するかを検証した．また,フィルタリング処理の有効性も合わせて検証した．

（２）実験内容

距離画像センサから対象物までの距離を３m～10mに設定し，各１m 毎の距離で正対させるように対象物を設置し，それぞれ２回ずつ計測を行った．対象物はホワイトボードを使用し，屋内および屋外（屋根のある渡り廊下（日陰））で同じ計測を行い，それぞれ取得したデータから，精度の比較検証を行なった．ホワイトボードの大きさは縦 90cm×横 120cm，計測時間はそれぞれ５秒間である．**図－３**に屋外実験状況，**図－４**に屋内実験状況を示す．

（３）解析前の処理

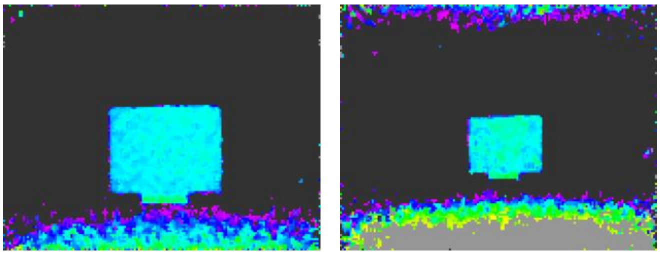
取得したデータから対象部のみを抽出しやすくするために空間フィルタリング処理を行った．画像が不要なノイズを有している時や，鮮明でない画像から線構造やエッジを抽出する時，空間フィルターを用いるとノイズ除去，画像の鮮明化，エッジの強調などを行なうことができる．本研究では数あるフィルターの中からローパスフィルター（３×３のウィンドーの平均値をあてはめる．効果は画像が平滑化され，細かいノイズが除去され，滑らかな画像が得られるがその反面，画像が多少ぼやけるという欠点がある）を採用し，以後の検証で使用していく．本研究では，画像内から対象物のみを抽出する必要があるため，対象物に含まれない細かいノイズ（対象物と同じ距離間に存在する，対象物とは関係ない画像内に存在する細かい雑音）を除去する必要がある．そのため，画像が平滑化されるローパスフィルターは本検証に最適であると判断し，採用することとした．

図－５に処理前の出力画像例（例：対象までの距離３m），**図－６**にローパスフィルターで処理を行った後の出力画像例を示す．また，**図－７**は出力画像の色情報（例：距離３m）について示す．センサに近いほど明るく，センサから遠いほど暗い色で表現される．処理後データは処理前に比べ，ノイズが減少し，対象物が判別しやすくなった．

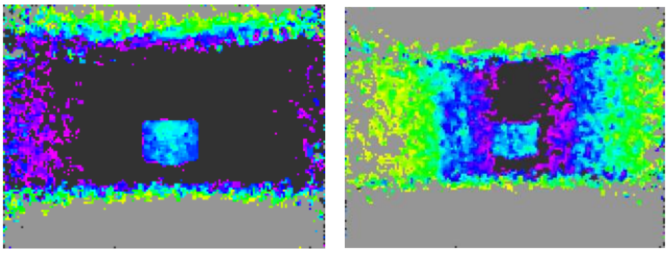
（４）解析方法

a）度数分布図による解析

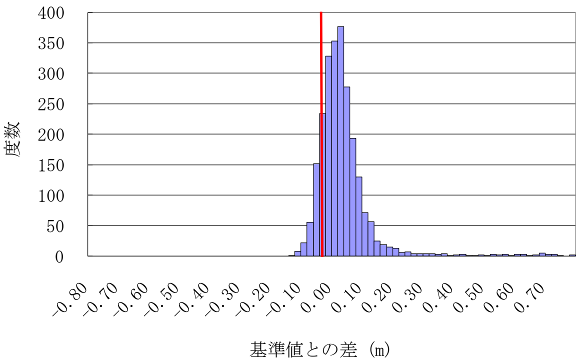
屋内で計測したデータと屋外で計測したデータの比較を行う．まず計測データの画素毎に距離を対象物中心に前後 80cm までの範囲を前後 2cm 毎に分け，それぞれに分布した個数を求め，度数分布図を作成し，データのバラつきを検証した．なお，この度数分布図はセンサから対象点までの斜距離を計算し，計測値との差を取ったものである．



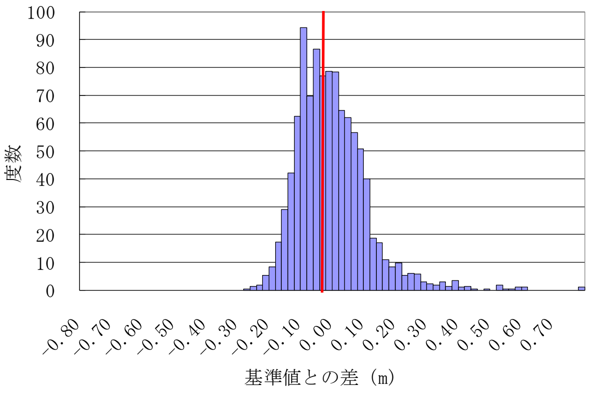
図－８　屋内計測出力画像例(左:4m, 右:6m)



図－９　屋内計測出力画像例(左:8m, 右:10m)



図－10　４m の度数分布図（屋内）

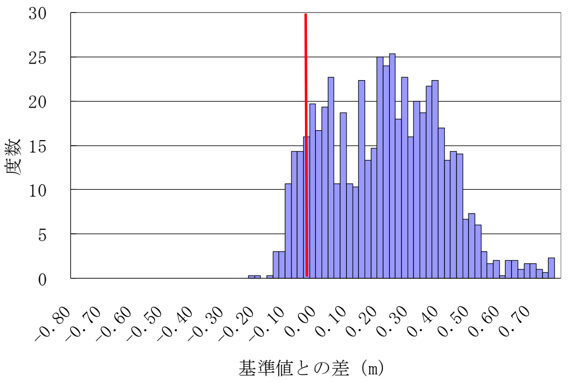


図－11　6m の度数分布図(屋内)

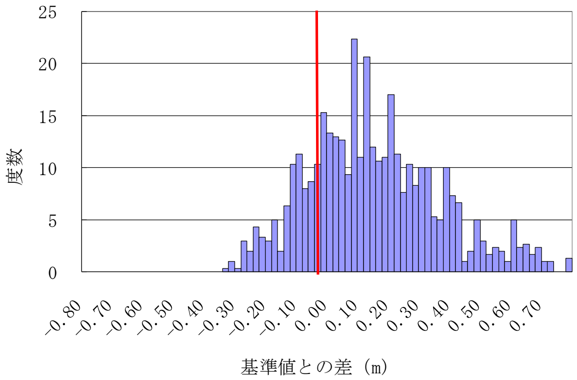
b）RMS 値による解析

計測精度の指標として RMS（Root Mean Square）値を求めた．RMS 値は下記の（１）式で算出でき，値が小さいほど高精度となる．

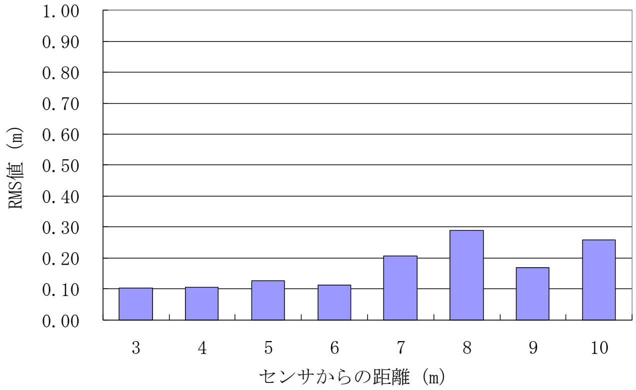
$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$



図－12　８ｍの度数分布図（屋内）



図－13　10mの度数分布図（屋内）



図－14　屋内計測の RMS 値

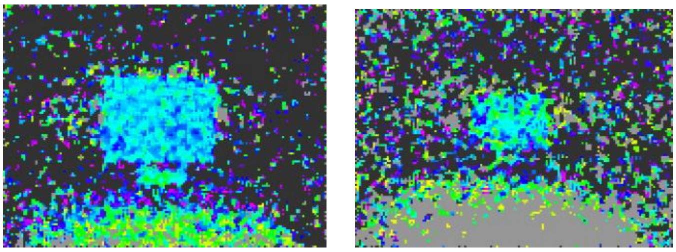
ここでχ_iは測定値から基準値（実験内容で設定した各距離）を引いた値を表す．

本検証では，基準値からのバラつきを把握するために平均値からのバラつきを求める標準偏差ではなく，RMS 値を採用する．

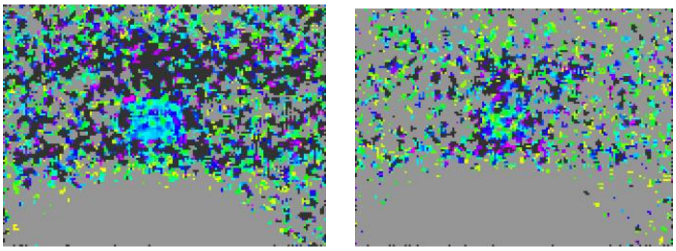
（５）解析結果

a）屋内計測結果

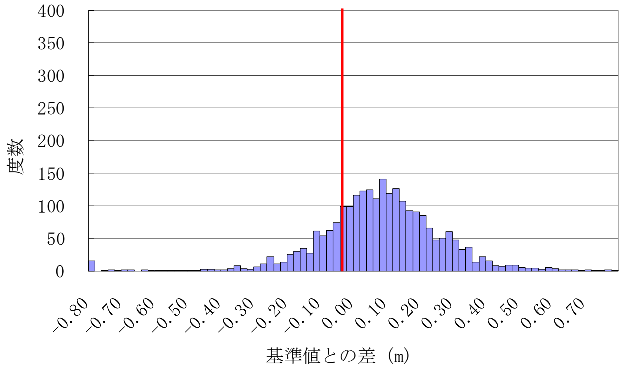
まず出力画像について示す．**図－８**，**図－９**はセンサからの距離４ｍと距離６ｍ，距離８ｍと距離 10m での出力画像例である．距離４ｍ，６ｍ ともにホワイトボードがしっかりと確認でき，それほど大きな違いは確認できなかった．しかし，距離８ｍ，10m では（屋内実験なので）室内の壁が画像内に入り，ホワイトボ



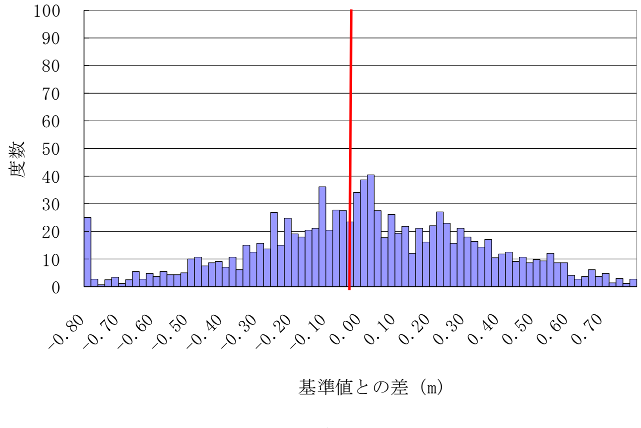
図－15　屋外計測出力画像例（左:4m, 右:6m）



図－16　屋外計測出力画像例（左:8m, 右:10m）



図－17　4mの度数分布図（屋外）

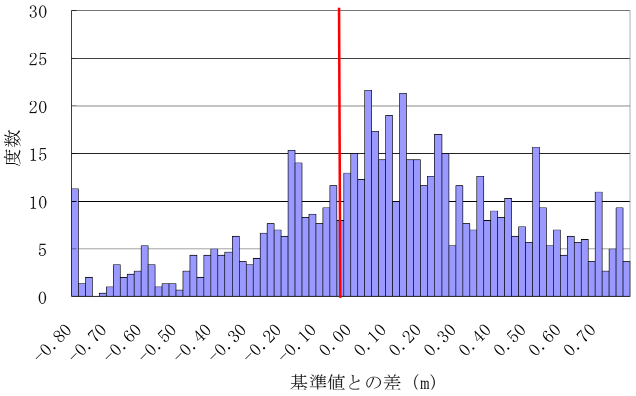


図－18　6mの度数分布図（屋外）

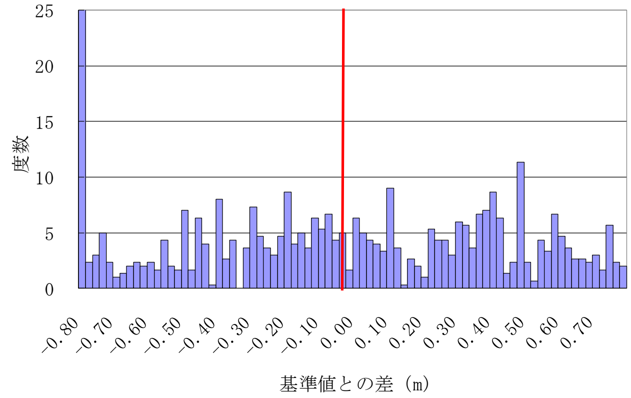
ードが確認しにくくなった．

次に度数分布図の結果について示す．**図－10**，**図－11**，**図－12**，**図－13** はセンサからの距離が４ｍ，６ｍ，８ｍ，10ｍ の度数分布図である．なお，度数分布図中央の赤いラインは，測定値から基準値を引いた値を表す．４ｍ では基準値付近に値が集中していたが，６ｍ の結果は４ｍ に比べ，値の分布が分散し，８ｍ，10ｍ になるとさらに大きく分布が広がった．

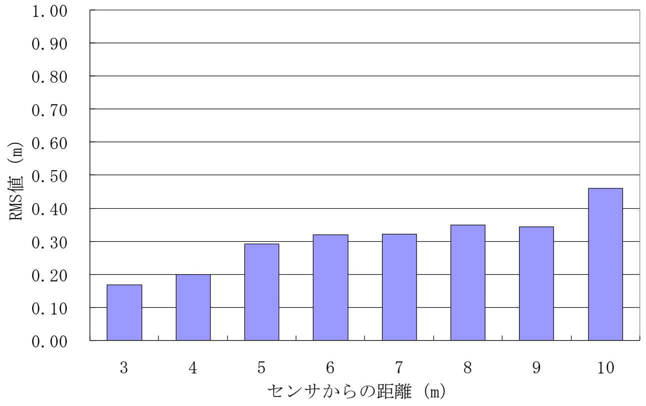
屋内計測の RMS 値の算出結果について示す．**図－**



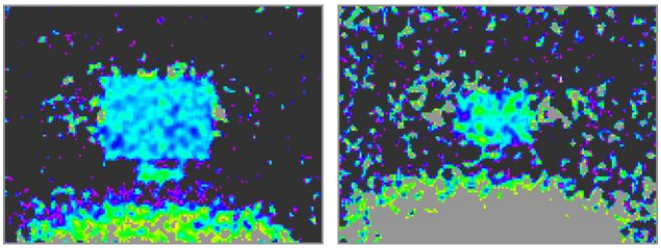
図－19　８m の度数分布図（屋外）



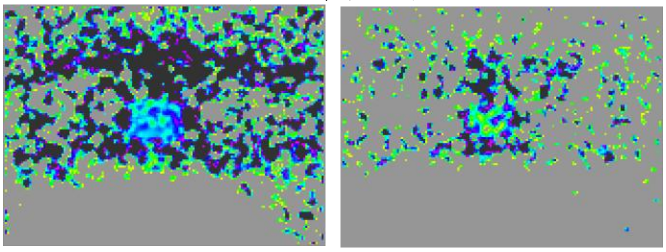
図－20　10m の度数分布図（屋外）



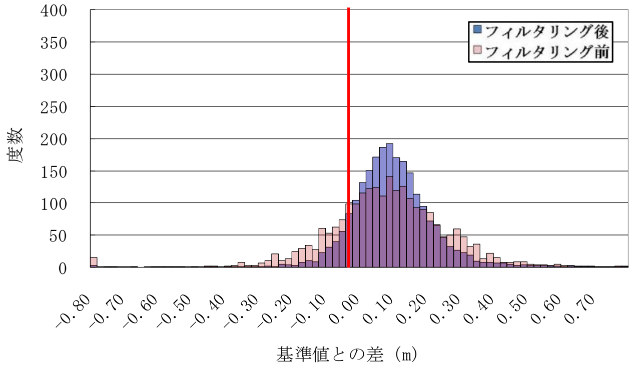
図－21　屋外計測の RMS 値



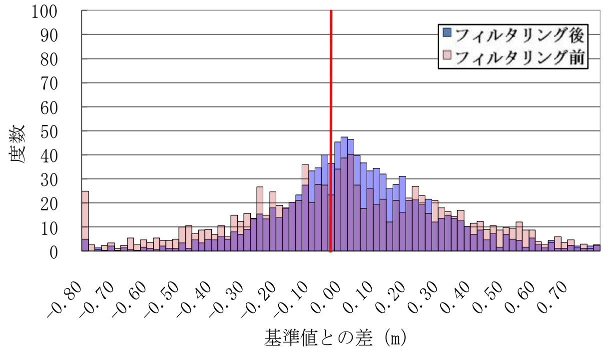
図－22　屋外計測(フィルタリング後)出力画像例
(左:4m, 右:6m)



図－23　屋外計測(フィルタリング後)出力画像例
(左:8m, 右:10m)



図－24　4m の度数分布図(フィルタリング後)



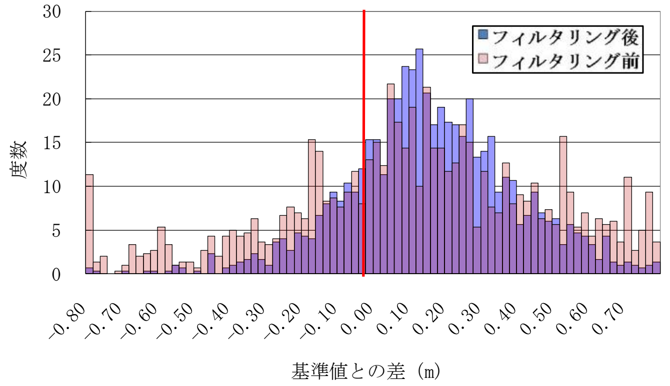
図－25　6m の度数分布図(フィルタリング後)

14 は屋内実験から算出した RMS 値をまとめたものである．３m～６m までは計測精度は変わらず，概ね 10cm 程度の範囲にバラつきが収まった．7m 以降になると RMS 値は上昇し，以降計測精度が低下することが判明した．

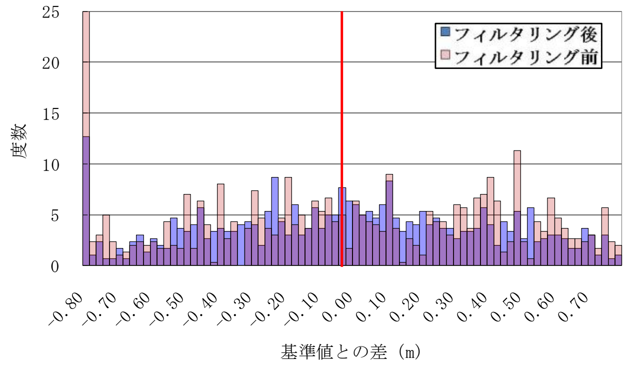
b）屋外計測結果

まず出力画像について示す．**図－15**，**図－16** はセンサからの距離４m と距離６m，距離８m と距離 10m での出力画像例である．出力画像は屋内計測と異なり，４m で計測に不要なノイズが入り，対象物を判断しづらく，６m ではさらに対象物の判断が難しくなった．８m，10m では対象物の確認は困難であった．

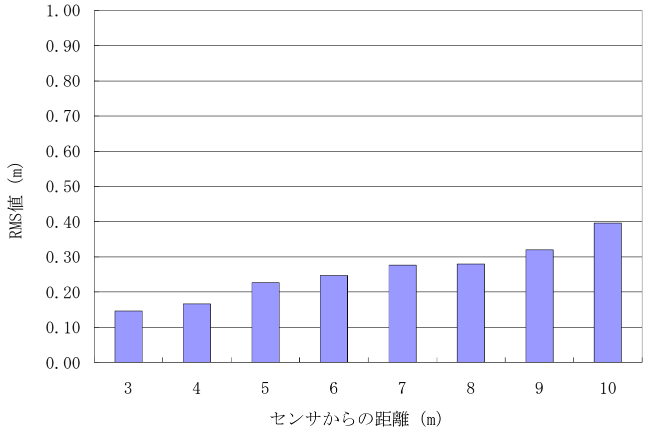
次に度数分布図の結果について示す．**図－17**，**図－18**，**図－19**，**図－20** はセンサからの距離が４m，６m，８m，10m の度数分布図である．屋内計測では基準値付近に値が集中していたのに対し，屋外計測では値が分散した．また，－0.80cm に極端の値が集中している理由は基準値から－0.80cm よりさらに前の値が存在するということである．これは太陽光の影響が考えら



図－26　８ｍの度数分布図（フィルタリング後）



図－27　10ｍの度数分布図（フィルタリング後）



図－28　屋外計測（フィルタリング後）の RMS 値

れる．

RMS 値の算出結果について示す．**図－21** は屋外実験から算出した RMS 値をまとめたものである．屋内計測では距離６ｍまで大きく変動することなく計測が行うことができたが，屋外計測では，距離に比例して RMS 値は上昇していった．特に４ｍと５ｍの RMS 値の差は 10cm 程度と一番大きく，屋外計測では４ｍまでが屋内計測と同程度の精度で計測が行えることが判明した．

屋外計測で計測精度が低下した原因として，太陽光の影響が大きいと考えられる．この Panasonic 社製距離画像センサは仕様により，太陽光が 10 万 lx 以下まで使用可能となっている．この実験では直接太陽光が当たらない場所で計測を行ったが，それでも大きく結果に影響が出ることが判明した．

また，今回太陽光を遮る物のない日向での計測も行った．日向はセンサから一番近い距離でもかなり多くのノイズが発生し，距離５ｍ程で対象物の確認が困難であり，計測には不向きであることが判明した．

c）屋外計測結果（フィルタリング処理後）

以下の結果は屋外計測結果にフィルタリング処理を行い，その有意性の確認を行なったものである．

まず出力画像について示す．**図－22**，**図－23** はセンサからの距離４ｍと距離６ｍ，距離８ｍと距離 10ｍ での出力画像例である．フィルタリング後の出力画像は，処理前と比べると明らかに細かいノイズが除去され，対象物が判別しやすくなった．

次に度数分布図の結果について示す．**図－24**，**図－25**，**図－26**，**図－27** はセンサからの距離が４ｍ，６ｍ，８ｍ，10ｍ の度数分布図である．薄い赤いグラフはフィルタリング前，青いグラフがフィルタリング後の結果であり，比較が行いやすいよう２つの結果を重ねて表現した．フィルタリング前の度数分布図とフィルタリング後の度数分布図を比べると基準値付近に値が集中したことや，ノイズが減ったことで極端に値が基準値から外れている箇所の分布が減少したのがわかる．

屋外計測（フィルタリング後）の RMS 値の算出結果について示す．**図－28** は屋外実験結果のフィルタリング処理後の RMS 値をまとめたものである．RMS 値はすべてにおいて値が減少し，計測精度が向上したことが確認できた．

このローパスフィルターは，距離画像において対象物のみを抽出しやすくする目的で導入する場合には有効であることが判明した．

５．移動体計測実験

（１）実験目的

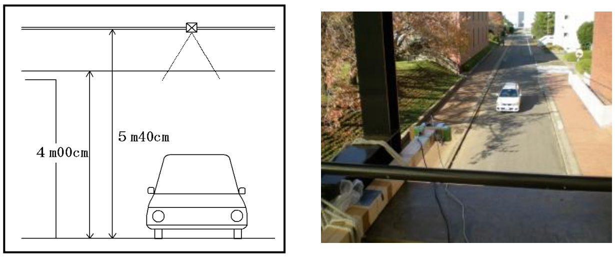
距離画像センサを用い，先行研究で行った移動体検知の基礎実験を様々な状況（詳細な速度・距離，上部からの計測等）に対応させて計測を行い，計測したデータから速度・車長を算出し，交通流計測における車種判別の可能性を検討した．

（２）実験内容

a）地上正対計測実験

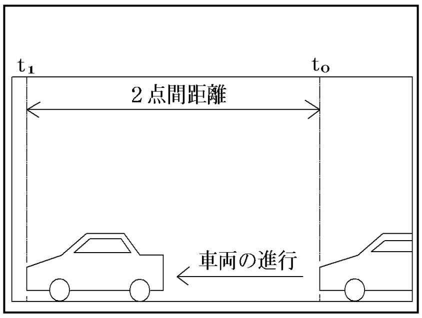
図－29 に自動車，二輪車の通過実験の状況を示す．センサの計測ライン上に交差させるように３ｍ～７ｍの距離上を１ｍ毎に自動車と二輪車に通過させて計測を行い，取得したデータから速度と車長を算出した．本実験は安全が確保できる交通総合試験路で行ったた

図－29　地上正対計測実験（左：自動車，右：二輪車）



図－30　上方からの計測実験

（左：実験方法，右：実験状況）



図－31　速度・車長算出方法

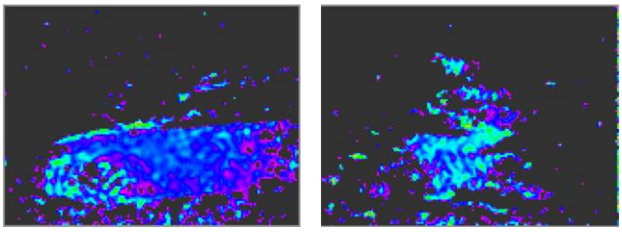
め，設定速度を 20km/h，40km/h，50km/h，60km/h とした．画像算出速度の精度比較には，計測時同時に取得していた GPS データから算出した速度と比較検証を行った．画像算出車長の比較は実験車両の寸法と行った．

b）上方からの計測実験

図－30 に実験方法と実験状況を示す．実験方法に示すように距離画像センサを下向きに設置し，センサ下の道路に自動車を通過させ,データの計測を行なった．地上正対計測実験を行った交通総合試験路では，本実験のようなセンサを下向きに設置できる箇所がないため,キャンパス内の講堂横の歩道橋にセンサを設置し，その下を車両に通過させる実験を行った．安全確保のため，車両の速度は 10km/h，20km/h の２通りに設定した．画像算出速度の精度比較には，講堂があり GPS が安定的に受信できなかったため，実験車両のメーター読み速度との比較を行った．画像算出車長の比較は実験車両の寸法と行った．

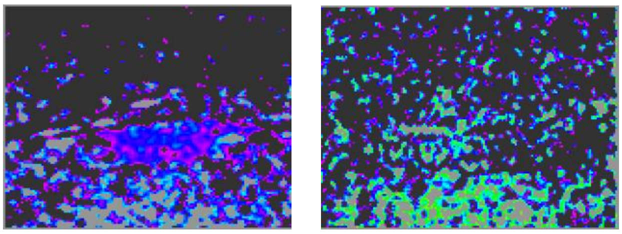
（３）解析前の処理

解析前の処理として，基礎実験の解析で行なったフィルタリング処理を行なった．



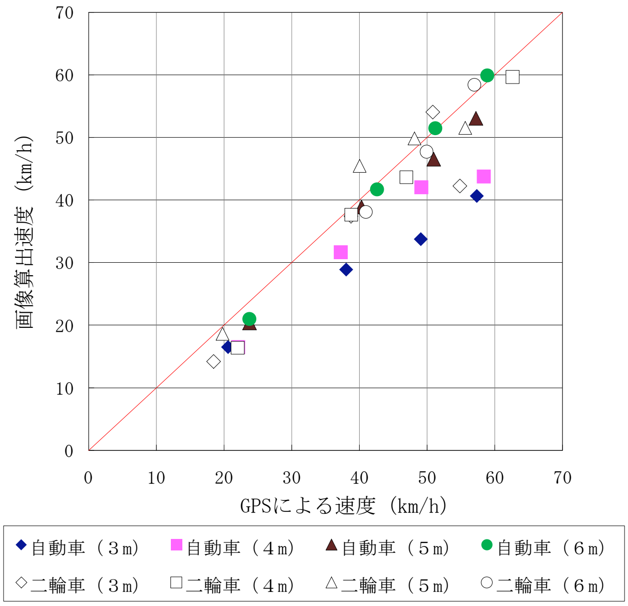
図－32　地上正対計測実験の出力画像例（３ｍ）

（左：自動車，右：二輪車）



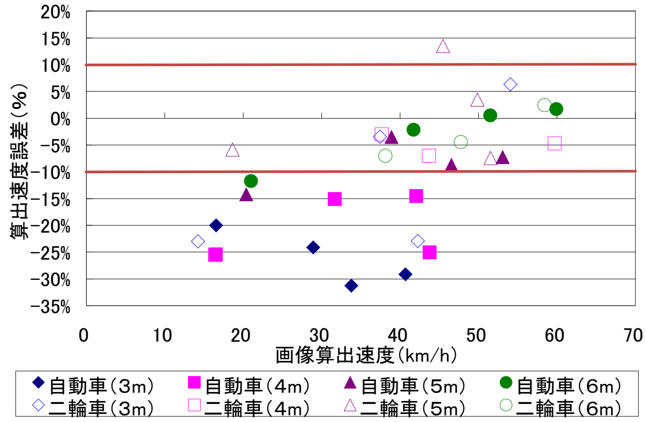
図－33　地上正対計測実験の出力画像例（６ｍ）

（左：自動車，右：二輪車）



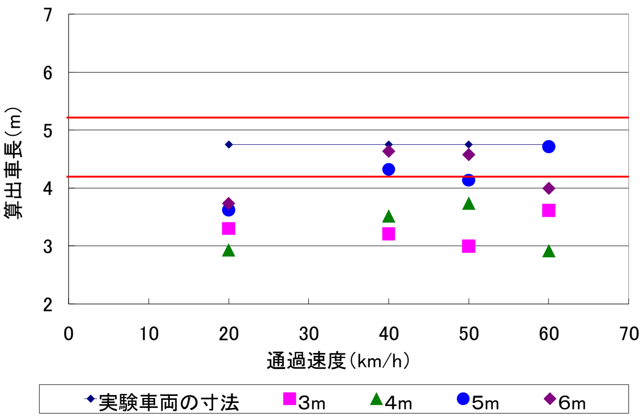
図－34　自動車・二輪車の速度算出結果

（地上正対計測実験）

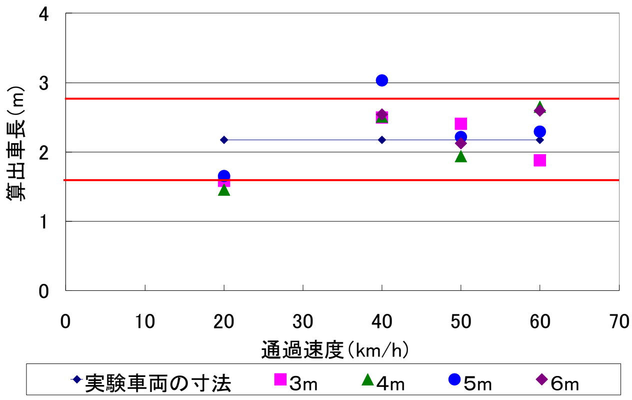


図－35　速度算出誤差分布

（地上正対計測実験）



図－36　車長算出結果（自動車）
（地上正対計測実験）



図－37　車長算出結果（二輪車）
（地上正対計測実験）

（４）解析方法

a）速度算出方法

図－31 に速度・車長の算出方法図を示す．速度算出方法は，１連の動画の中で，１番最初に車両の先端が進入した瞬間（t_0）と，先端が画像から通過し切る瞬間（t_1）の画素数を記録し，記録した２点間のラインの距離を算出し，有した秒数（フレーム数×１/12）で除することにより通過物体の速度を算出した．速度誤差の許容範囲は東ら [1]（2006）が示したように，（GPS データから算出した）速度の±10%程度と定めた．また自動車，二輪車で同じ算出方法を用いた．

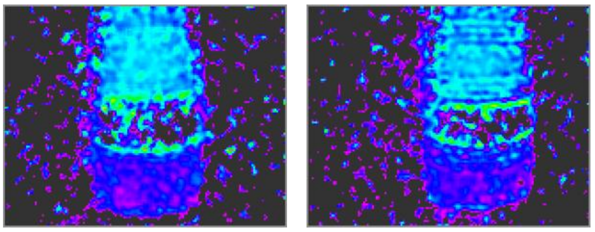
b）車長算出方法

車長算出方法は設定した１ライン（t_1）に車両の先端がかかり，完全に通過するまでの秒数を記録し，算出した速度に通過時間をかけ，通過物体の車長を算出した．車長誤差の許容範囲も同様に東ら [1]（2006）が示したように，実験車両の寸法から±50cm 程度と定めた．また速度算出同様に，自動車，二輪車で同じ算出方法を用いた．

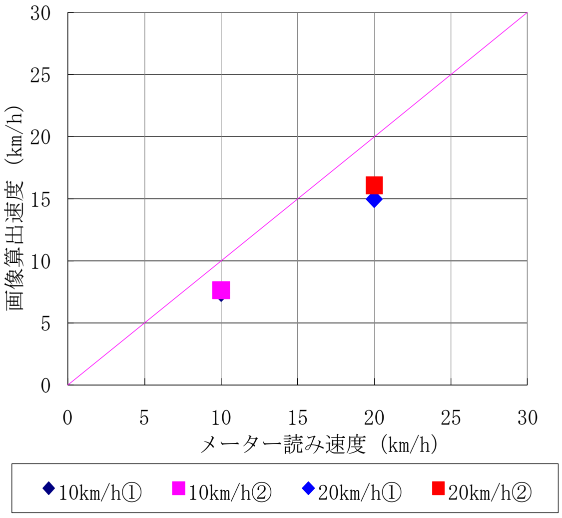
（５）解析結果

a）地上正対計測実験の速度・車長算出結果

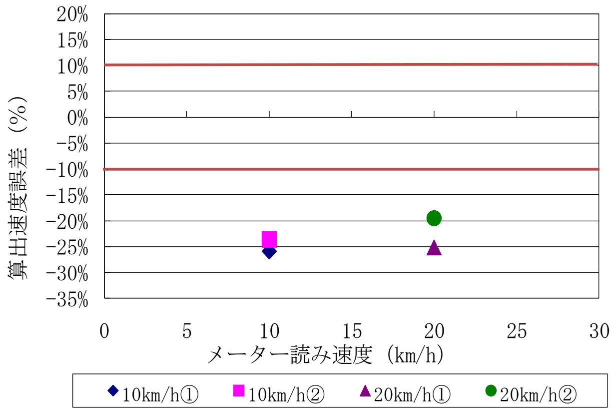
まず自動車の速度算出結果について示す．**図－32, 図－33** は地上正対実験の出力画像例，**図－34** に自動車・二輪車の速度算出結果，**図－35** は速度算出誤差の結果である．速度算出結果のグラフは赤いラインが設定した基準速度のラインとなる．速度算出誤差の結果は速度算出方法でも定義した赤いラインを許容範囲と定める．距離の近い３m，４m は設定速度より低く算出され，距離の遠い５m，６m は設定速度に近い値になり，６m で最も算出速度が設定速度に近い値になった．なお，距離７m は車両が確認できず，算出は不可能であった．



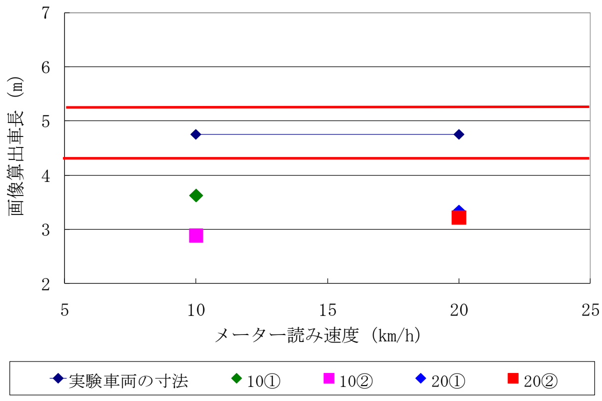
図－38　上方からの計測実験出力画像例
（左：10km/h，右：20km/h）



図－39　速度算出結果
（上方からの計測実験）



図－40　速度算出誤差分布
（上方からの計測実験）



図－41　車長算出結果
（上方からの計測実験）

次に二輪車の速度算出結果について示す．自動車の結果と比べると，距離が遠くなる毎に算出速度誤差が小さくなるといった規則的な結果にはならなかったが，自動車の結果に比べ，比較的許容範囲内に多く収まった．しかし，二輪車の場合，車両面積が自動車ほどないことから全体像の判別がしにくく，対象物のみの抽出がしにくかったことも規則的に結果が出なかったことに繋がっていると考えられる．

誤差の比較であるが，許容範囲内には自動車，二輪車共に距離５m，６m がほぼ収まっていた．

車長算出結果について示す．**図－36** は自動車の車長算出結果である．自動車の車長算出結果は，算出速度を用いて行ったため，速度算出結果と同じようにセンサからの距離が離れるほど算出精度は実験車両の寸法に近付いたが，多くは許容範囲内から外れてしまった．

二輪車の車長算出結果について示す，**図－37** は二輪車の車長算出結果である．自動車の結果と異なり，すべての距離でほぼ許容範囲内に収まっていた．自動車に比べ，面積の少ない二輪車は先端及び後端の判断しにくい反面，全体像が収まりやすかった

本検証でのこの設置方法は，実際の道路で計測を行う場合対向車線の車両が画像内に入ってしまう事が懸念されるかもしれない．通常のビデオカメラでの計測は対向車線の車両も捉えてしまうが，この距離画像センサは計測距離範囲を設定すれば計測車線のみを表示することも可能なので対向車線の影響はないと考えられる．

b）上方からの計測実験，速度・車長算出結果

図－38 は上方からの計測実験の出力画像例，**図－39** は速度算出結果，**図－40** は速度算出誤差の結果である．速度算出結果のグラフにおける赤いラインは設定した速度のラインでありメーター読みの速度を表している．また速度算出方法で，定義した許容範囲を赤いラインで速度算出誤差の結果に表現した．

図－38 の出力画像例をみると，上方計測実験では地上正対計測実験と異なり，背景が地面になり一定の距離を確保できること，カメラを下方に向けるために日光の影響を受けにくいなどの理由で，地上正対実験より距離情報の安定した画像を取得できた．しかしながら，速度算出結果で 10km/h，20km/h 共にメーター読み速度より値が小さく算出された．また，**図－41** に示すように車長算出結果に関しては，算出された速度が大きく異なったことが影響し，実験車両の寸法より小さく算出された．これらの原因として，真値速度と仮定したメーター読みの速度は十分な精度を有しているとは必ずしも言えない点があげられる．また，本速度算出方法では画素間距離を同一距離に車両があるとして定めているので，上方計測実験では車両の高さが車両の先端や後端で異なることが，速度の算出精度に影響した可能性があるといえる．

上方からの計測実験は地上正対実験と比較して画像が安定しているというメリットがあるので，今後は計測回数を十分に確保し，速度算出方法を距離が異なる場合でも算出できるように改善することができれば，交通流計測として適用可能性が大幅に向上することが期待できるといえる．

今回の上方からの計測実験はサンプル数が少なかったため，詳細な結果には至らなかった．今後は条件を増やし，再度実験を行う必要がある．

６．結論

（１）本研究の成果

本研究では距離画像センサを実際に導入するにあたり，センサ自体の検知特性を把握する検証を行い，以下の事項が明らかになった．

基礎実験から，屋内計測では３m から６m までがバラつきが 10cm 程度と安定した計測が行えた．屋外計測では屋内計測に比べ，計測誤差が大きく，距離に比例して誤差が増大することが確認できた．また，屋外計測は３m から４m までが安定して計測できる距離であることが判明した．さらにフィルタリングが有効であることも確認できた．

移動体計測実験から，速度と車長は画角の関係上，センサから距離を５m から６m 程度取ることが実測値に近い値で算出できることが判明した．実際の路上では，通過交通から５m から６m 離して，道路に交差するようにセンサを設置（地上正対計測実験のように）することが望ましいと考える．安全な歩道に設置することが望ましいが，植栽などある場合は設置高を変更して計測することも考えられる．現段階では多車線道路は想定していないため，まずは一車線道路での安定した計測を行うことを目標に以後検証を進めていく．また上方からの計測実験は距離が車両の高さで距離情

報が異なるため，算出方法の改善が必要であると同時に，サンプル数の確保が求められる．しかし，地上正対実験より安定して計測できることが判明した．

（２）今後の課題と展望

本研究では速度算出，車長算出で用いる境界部分の判別は目視で行なったが，誤差を無くすために，今後も境界部分を正確に判別するのは必須事項である．

今後はこの境界部分の判断の手法を構築することに加え，最も速度計測，車長算出が行いやすい画角の解明，実際の交通環境を想定し，夜間計測や異なる種類の車両の計測を行い，基礎データを作成する必要がある．本研究では画像上での判別を行なったが，将来的には動画でリアルタイムに処理を行なうことが目標である．

謝辞：本研究の実施に際して，株式会社タクモ清水哲也氏からご協力，ご指導をいただいた．ここに記して心より謝意を表す．

参考文献

1) 東俊孝，高田知典，井坪慎二，内田淳：道路交通センサス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 年
2) パナソニック電工株式会社：プレスリリース <http://panasondenko.co.jp/corp/news/0810/0810-11.htm>（入手 2008 年.11 月）
3) 上野和剛，松島宏典，内村圭一：交通流計測のための車両の検出と追跡，熊本県産学官技術交流会講演論文集，pp.242-243，2002 年
4) 牧野浩志，水谷博之，宗広祐司：画像処理センサを用いた車両挙動分析に基づく交通安全対策の提案，交通工学 Vol.41 No.5，pp.100-109，2006 年
5) 岩崎洋一郎，伊東山久斗：画像処理による車線別車両認識，電気情報通信学会総合大会，pp.309，2005 年
6) 林佑樹，一見健太，佐田達典，石坂哲宏：距離画像センサを用いた交通流検知に関する基礎的実験，土木情報利用技術講演集 Vol.34，pp.69-72，2009 年

（2010.5.28 受付）