

時空間MRFを用いた自転車走行環境 評価手法の適用に関する研究

田中 淳¹・山中 英生²・上條 俊介³・松原 淳⁴・道工 敏央⁵・寺崎 健雄⁶・木下 康之⁷

¹正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)

E-mail: tanaka-at@oriconsul.com

²正会員 徳島大学

³正会員 東京大学

⁴正会員 交通エコロジー・モビリティ財団

⁵正会員 株式会社エイテック

⁶非正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ

⁷非正会員 株式会社エイテック

近年の自転車走行環境の改善に向けた動きが活発であり、その計画にあたっては利用実態に応じた整備形態の検討や評価が重要となる。これまでの筆者らは、時空間MRF技術を活用した画像解析技術により、自転車及び歩行者の挙動について精度良く解析できることを確認したものの、様々な環境条件への適用性や自転車と歩行者の形状の違いの自動判別には課題を残していた。そこで、本研究では、環境条件の異なる複数地点において映像を収集し、得られた映像を自転車と歩行者の自動判別アルゴリズムを用いて画像解析を行った結果、ビデオ映像の画角に関わらず、比較的精度よく自転車と歩行者の解析できることを確認した。また、同解析データを用いて自転車走行環境の評価を各種指標を用いて行った結果、各地点及び各指標の特性を把握できた。

Key Words : *image processing analyzes, Spatio-Temporal MRF, bicycle*

1. はじめに

近年、自転車利用が高まる一方で、歩道上で通行ルールを守らない自転車等により、自転車対歩行者の事故は10年前と比較し約1.6倍に増加している¹⁾。また、交通事故全体における自転車関連事故の割合もこの10年間で増加している¹⁾。

このような状況に鑑み、平成23年10月には警察庁から、「良好な自転車交通秩序の実現のための総合対策」が打ち出されたところである。また、平成24年4月には安全で快適な自転車利用環境の創出に向けた検討委員会から、「みんなにやさしい自転車環境—安全で快適な自転車利用環境の創出に向けた提言（以下、提言という）」が発表され、自転車通行空間の計画、設計等に関するガイドラインが提示された。同提言では、自転車通行空間の整備形態について、「自転車は“車両”であるという大原則に基づき、車道通行させることを検討すること」としており、自転車は歩道を通行させないことを原則としている。しかしながら、自転車道等の整備が困難な場合は、既に自転車歩行者道が整備されていることや歩行者と自

転車の交通量を踏まえて歩行者と自転車を分離する必要がない場合に限り、当面の整備形態として、自転車歩行者道を活用することを検討する、としている。

実態としては自転車歩行者道は多く整備されており、今後これらの箇所について分離の必要性について適正に評価することが重要となってくる。

一方、これまでの筆者らの研究²⁾では、時空間MRF技術³⁾を活用した画像解析技術により、自転車と歩行者の詳細な挙動データを収集し、すれ違い時の最接近距離や走行軌跡等の調査及び分析を比較的簡易にかつ精度よく解析できた。しかしながら、様々な環境条件（撮影角度、高さ等）への適用性や自転車と歩行者の形状の違いの自動判別には課題を残していた。

このような状況を踏まえ、本研究では、環境条件の異なる複数地点において映像を収集し、得られた映像を自転車と歩行者の自動判別アルゴリズムを用いて画像解析を行い、その精度を検証した。また、同解析データを用いて自転車走行環境の評価を各種指標を用いて分析を行い、それを比較検証した。

具体的な分析内容及び方法は以下の通りである。

a) 自転車・歩行者の検出精度の検証

環境条件の異なる4地点においてビデオ調査を実施し、得られた映像をもとに、自転車と歩行者の自動判別アルゴリズムによる計測を実施した。その結果と目視で計測した結果を比較し、自動判別の精度の検証を行った。

b) 自転車環境評価指標への適用

同解析データを用いて、自転車と歩行者の交通量、速度、走行位置等の自転車走行環境の評価指標を算出し、地点毎の特徴について分析、考察した。また、自転車と歩行者の分離必要性に関する既往研究を参考に、提案されている評価指標により地点毎の特徴を把握するとともに、各指標の特徴を比較分析した。

2. 自転車と歩行者の分離手法

本研究で利用した「HOG学習判別機を用いた自転車と歩行者の分離手法」は、HOG(Histogram of Oriented Gradient)特徴量⁹⁾と学習判別アルゴリズムのFisher⁹⁾を用い、高精度の自転車・歩行者分離を実現している。また、判別モジュールを実システムに搭載し、時系列判定結果を多数決で評価する事による最終判定を行うことで更に高い検出率を達成している¹¹⁾。本手法に関する詳細の説明は別に譲るが、その概要を以下に示す。

HOG特徴量という対象領域のエッジ方向の分布より自転車と歩行者の判別を行う。図-1は歩行者と自転車の画像からHOG特徴量を抽出し、それをヒストグラム化したものである。自転車のヒストグラムを見ると、自転車のハンドルやタイヤの直線部分が色濃く表現されているのに対し、歩行者の場合は、特徴が少ないことがわかる。これらの特徴を元に、自転車と歩行者の判別を行っている。

また、自転車と歩行者の分離には線形分類器を用いる。ここで言う線形分類器とは、特徴の線型結合の値に基づいて分類を行う確率的分類器であり、機械学習において、分類は項目群を特徴値に基づいてグループに分類することを目的とする。その中でも、Fisher線形判別機は、様々な物体判別研究において広く使われている。そこで、Fisher判別機とHOG特徴量を組み合わせて、パターン認識の判別機として使う。学習データとして、道路に設置した固定カメラから歩行者と自転車の画像を10,000枚ずつ収集した。その例を図-2に示す。同図から判るように、自転車と歩行者の一連の動作は、その姿勢の変化、特に足の動きに注目することでおよそ3パターンに分けられる。したがって、一人のオブジェクトに対し3つの姿勢に該当する画像を切り出し学習データとして用いている。

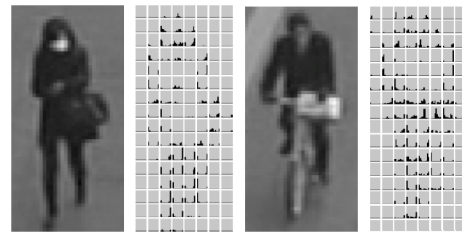


図-1 HOG特徴量の抽出結果

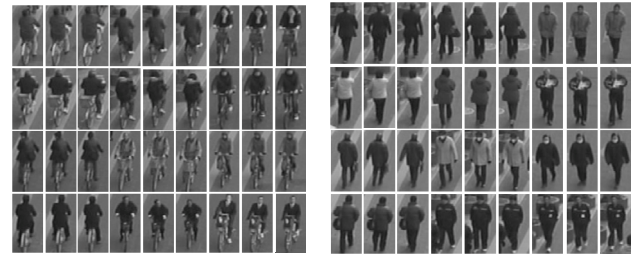


図-2 学習データの例 (左：自転車, 右：歩行者)

3. 分析対象地点の概要

分析対象地点は、表-1及び図-3に示した4地点とした。地点の選定にあたっては、交通量や車道の車線数や制限速度など環境条件に違いを持たせるように留意した。歩道幅員(実質通行可能な幅)は各箇所3~4mと概ね同程度とした。ビデオの設置位置は高さ5~7m以上とし、画角は正面と斜めの2パターンとした。

分析対象時間帯は、歩行者および自転車の多い状況を評価するため、通勤の多い朝ピークの時間帯の30分間(8:00~8:30)を対象とした。

4. 自転車・歩行者の検出精度の検証

時空間MRFによる自転車・歩行者の検出及び分離の分離手法の検出精度を把握するため、ビデオ画像から目視により計測したデータを真値とし、時空間MRFによる計測値と比較した。精度は自転車・歩行者の合計交通量と、自転車・歩行者の判別結果に分けて整理した(表-2)。

(1) 自転車・歩行者の交通量の精度

自転車・歩行者の合計の交通量を見ると、各地点で90%以上の精度となっており、比較的精度よく交通量を取得できていることがわかる。全体的な傾向としては、目視に対して、時空間MRFで取得した交通量がアンダーカウントとなっている。

これは、並んで歩く歩行者を1人として計測してしまうことが主要因となっている(図-4)。歩行者の横幅は想定されることから、横幅に閾値を与え、分離することで改善の余地はある。同図の地点4の画角では、1人では48ピクセル程度、2人では96ピクセル程度となってい

る。

表-1 分析対象箇所

地点	地点名	路線名	ビデオ設置場所	設置高さ(m)	画角の向き	日交通量*	車線数	制限速度	備考
1	西新宿5丁目	淀橋渋谷本町線	沿道施設2階	5.5	やや斜め	20,205	2	40	
2	新宿中央公園中央	新宿副都心3号線	歩道橋	7.0	正面	11,115	4	50	両側に駐車帯
3	新宿中央公園南西	新宿副都心13号線	歩道橋	6.0	正面	16,835	4	50	両側に駐車帯
4	文化学園大学	国道20号	歩道橋	6.4	やや斜め	61,493	8	60	

※ H22 道路交通センサス 平日の24時間自動車類交通量より

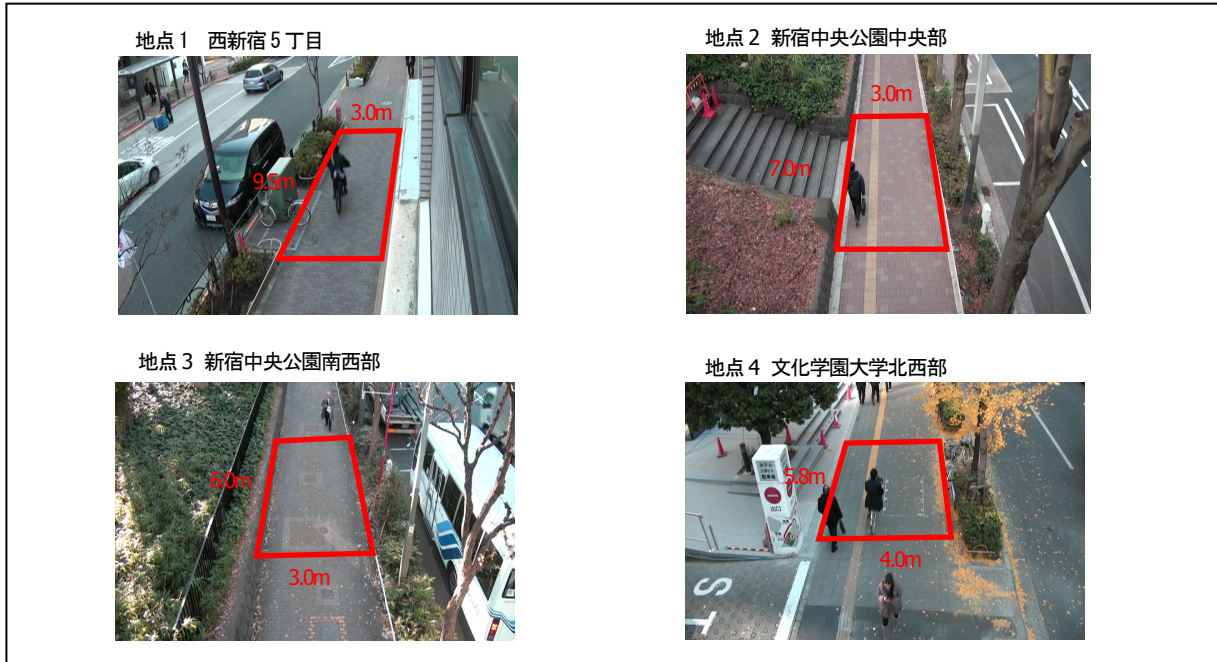


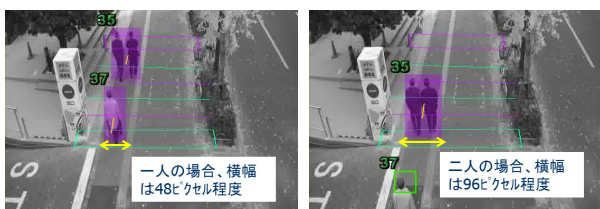
図-3 対象箇所の画角と計測範囲（画像がビデオの画角，四角枠が計測範囲）

図-4 歩行者の誤認の状況

そこで、96ピクセル以上の歩行者を2人として試算すると、交通量の精度は、92%から96%に改善することができる。これについては比較的簡易に対応が可能であるため、今後自動化を図りたい。

表-2 自転車歩行者の判別結果一覧

No.		地点1	地点2	地点3	地点4	
画像解析による計測状況	目視	263	171	105	494	
	MRF	236	165	96	453	
	取得率	90%	96%	91%	92%	
歩行者 自転車 の判別 状況	歩行者	正解	169	122	37	379
		不正解	4	22	7	42
		計	173	144	44	421
	自転車	正解	59	20	49	28
		不正解	4	1	3	4
		計	63	21	52	32
	計	正解率	98%	85%	84%	90%
正解		228	142	86	407	
不正解		8	23	10	46	
	計	236	165	96	453	
	正解率	97%	86%	90%	90%	



(2) 自転車・歩行者の判別精度

自転車と歩行者の判別の正解率（表-2）を見ると、全体の正解率が、86%~97%となっており、概ね正確に判別できていることがわかった。属性別では、歩行者の正解率は85%~98%、自転車の正解率は88%~95%となった。

正解率が若干低くなっている事象に着目すると、歩行者の正解率が90%未満である地点2、地点3は、画角が正面を向いており、撮影方向と進行方向が一致していることが共通している。撮影方向と進行方向が同じであると、歩行者がまっすぐに写るため、自転車の特徴である縦のエッジが出やすく、自転車に誤認している可能性がある。自転車の正解率を見ると、地点4の正解率が88%と他より低くなっているのは、歩道上の歩行者が多く、自転車が蛇行して通行している状態が見られるため、判別を行う際に、形状を安定して取得しにくいことが考えられる。これらの知見は、今後の調査時の画角設定やプログラム改良の際に活用していきたい。

また、これまでの筆者らの研究²⁾では自転車と歩行者の判別は、速度が2.8m/s以上を自転車、2.8m/s未満は歩行

者として簡易的に判別する方法を採用しており、速度の高い歩行者や速度の低い自転車の判別に課題があった。ここで、地点1を例に速度で判別した結果と、本判別手法を用いた結果を比較した(表-3)。この結果、歩行者についてはそれほど差は見られなかったが、自転車については正解率が7ポイント上昇する結果となった。これは、人混みの中をゆっくり走らざるを得ないような自転車をより正確に計測できているためである。このような状況は歩行者と自転車の危険なすれ違い等の問題が発生しているような場面と考えられ、この成果は有意義である。

自動判別による不正解8サンプルのうち、速度4m/s(14.4km/h)以上の自転車を、歩行者と誤検知しているものが2サンプル存在した。このように、歩行者としては希な速度の場合は自転車と判別することなど、画像と速度を組み合わせた判別方法とすることも今後の精度向上につながると考えられる。

以上、自転車と歩行者の交通量と判別精度について、検証した結果、課題は残るものの十分実用レベルに達する精度となっていると言える。

表-3 判別方法別の正解率の比較(地点1)

属性	目視		速度での判別		自動判別	
			計測数	割合	計測数	割合
歩行者	173	正解	170	98%	169	98%
		不正解	3	2%	4	2%
		計	173	100%	173	100%
自転車	63	正解	55	87%	59	94%
		不正解	8	13%	4	6%
		計	63	100%	63	100%
計	236	正解	225	95%	228	97%
		不正解	11	5%	8	3%
		計	236	100%	236	100%

5. 自転車走行環境評価指標への適用

精度検証時の解析データを用いて、各地点の特徴と、自転車と歩行者の分離必要性に関する評価を行った。

(1) 各地点の特徴の分析

画像処理により得られた交通量、速度、通行位置等の基本的な指標に着目し、各調査地点の特徴の分析を行った。

a) 歩行者及び自転車の交通量

各調査地点の歩行者交通量及び自転車交通量の関係を図-5に示す。地点3を除いて自転車交通量よりも歩行者交通量の方が多くなっている。特に地点4では歩行者交通量421人/30分に対して、自転車交通量は32台/30分となっており、交通量に占める自転車の割合が7%と最も低くなっている。地点1及び地点2は、歩行者自転車の合計交通量がそれぞれ237人/30分、165人/30分となっており、

地点4よりも少ないが、交通量に占める自転車の割合は27%、13%と高くなっている。

一方、地点3は歩行者と自転車がほぼ同数が通行している状況となっている。

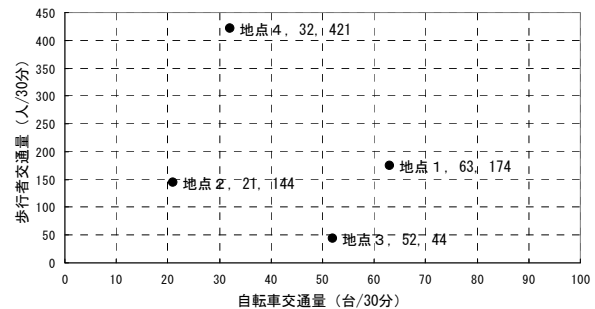


図-5 歩行者交通量と自転車交通量

b) 自転車の走行速度

図-6は、各地点の自転車の平均速度と標準偏差、速度の最大値と最小値を示したものである。

平均速度は、各地点とも15~17km/hとなっており大きな差はない。標準偏差や最大値・最小値については各調査地点で異なった特徴を示している。

地点1ではデータのばらつきを大きく、比較的の高い速度で走行している自転車と、低速の自転車が混在している状況にあるといえる。

地点2は平均速度が他の調査地点よりも高く、標準偏差も小さい。これは、自転車交通量が21台/30分と他の地点よりも少なく、自転車が比較的自由に走行している状況であると考えられる。

地点4は平均速度が最も低くなっている。また、標準偏差も比較的小さく、ばらつきが少ない。これは、自転車交通量に対して歩行者交通量が非常に多いため、自転車が歩行者の間隙をぬって走行しており、高い速度が出にくい状況となっているためと考えられる。

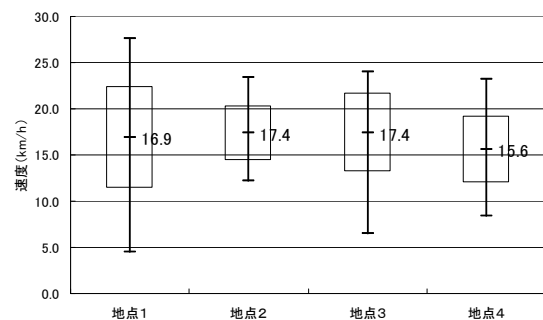


図-6 自転車の走行速度

c) 歩行者及び自転車の通行位置

図-7及び図-8は、自転車と歩行者のそれぞれの通行位置別に交通量を示したものである。歩道幅員を6つのブロックに分け、そのうち車道側の3つのブロックと民地側側の3つのブロックで交通量を集計した。また、図-9及び図-10は、通行方向に対する通行位置別に集計したものである。

地点1は、自転車は車道側を通行する傾向がより高い。進行方向に対しては80%以上が左側を通行していることから、通行方向によって民地側と車道側で分かれて通行している状況にあると言える。

地点2及び地点3は、自転車・歩行者ともに民地側を通行する傾向が高い。また、通行する方向に対する通行位置は、通行方向別に左側通行と右側通行に傾向が分かれていることから、歩道内の民地側に自転車と歩行者の通行が偏っているといえる。

地点4は、歩行者は民地側を通行する傾向が高いが、自転車は車道側と民地側で同等な交通量となっている。通行方向に対しては、自転車歩行者ともに左側通行の傾向が強く、歩道の民地側と車道側で、自転車と歩行者が同方向に通行していることがうかがえる。

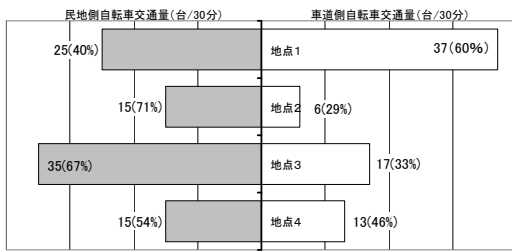


図-7 自転車の歩道上における走行位置

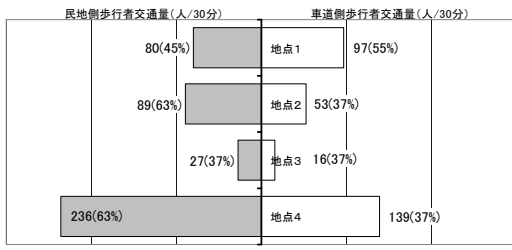


図-8 歩行者の歩道上における通行位置

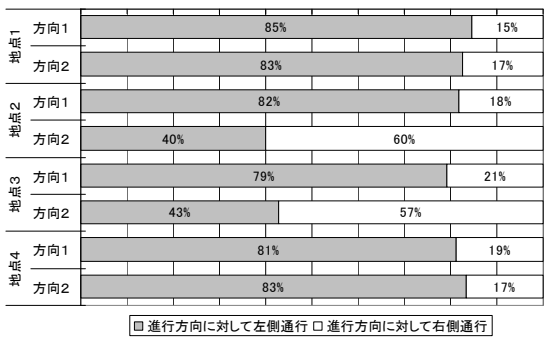


図-9 自転車の通行方向に対する通行位置

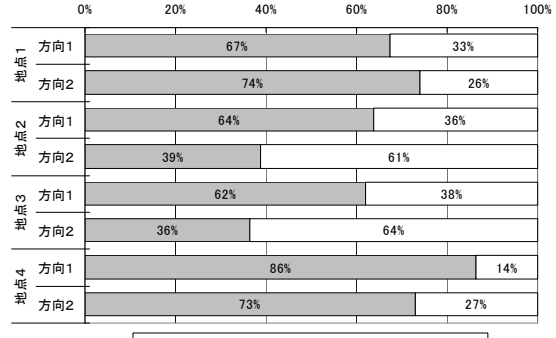


図-10 歩行者の通行方向に対する通行位置

画像処理により得られた指標から、各地点の特徴を考察した。このように、交通量のみでなく、速度、通行位置等の指標を地点別に比較することで、各地点の特徴が明確となる。交通量以外の調査や解析は人手では労力がかかるが、時空間MRFを活用することで効率化を図ることが可能となる。

(2) 自転車歩行者の混在交通の評価

自転車走行環境の整備にあたっては、自転車・歩行者の交通量や、車道の交通状況等に即した整備が重要であり、自転車と歩行者の混在させる場合や混在を回避・解消すべき場合について、自転車・歩行者交通量の境界部分での危険度の評価が課題であるといえる(図-11)。

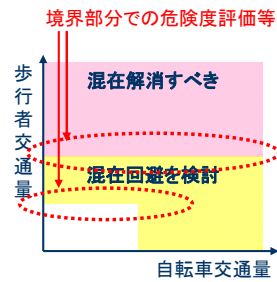


図-11 交通量と自転車空間整備のイメージ

自転車歩行者の混在交通に関して、その分離の必要性や危険度評価については以下に示すような手法が提案されている。

a)山中⁶⁾は交通密度に着目し、歩行者換算係数を用いて歩行者と自転車の混在交通状態を空間密度により評価する手法を提案している。

b)山中⁸⁾は歩行者・自転車交通量と平均速度、標準偏差、自歩道の有効幅員から「不快な追越」等が発生する頻度を推計する交錯頻度モデルを開発し、得られた交錯指標により評価する方法を提案している。

c)大脇⁹⁾は交通シミュレーションを用いて幅員別に歩行者交通量と自転車交通量を変化させた時の不快な交錯を予測して、交通量と錯綜頻度から評価する方法を提案し、歩行者・自転車の分離必要度の判定方法を提案している。この手法では、自転車交通量と歩行者交通量のみで分離の必要度を算出することが可能であるが、歩行者・自転車の行動モデルを仮定したシミュレーションのため現実の挙動との関連性が課題となっている。

d)清田¹⁰⁾は歩道や自転車歩行者道などの供用空間で実際に起こっている種々の錯綜場面を撮影し、第三者的な立場から各場面の危険度を評価してもらう方法を試みている。さらに、これらの危険レベルと自転車の速度や歩行者と自転車の最小すれ違い間隔、歩行者密度などの交通条件を結びつけた危険度予測モデルを提案している。

e)山中⁸⁾は、すれ違いおよび追越し時の危険認知距離

とし、すれ違い時は1.25m、追越し時は自転車視点と歩行者視点で違いがあり、自転車視点では1.25m、歩行者視点では1.50mとなり、これを下回るとき不快感が生じるとしている。

本稿では、上記の既往研究を参考に各調査地点の評価指標を算出し、評価を試みた。

a) 歩行者換算存在密度による評価

歩行者換算密度の算出にあたっては、撮影した各地点の映像について0.2秒ピッチであらかじめ定めたエリア内に存在する歩行者と自転車に人数を計測し、刻々の密度を算出した後に5秒間の平均密度として算出した。自転車の歩行者換算係数は、自転車1台あたり歩行者2.56人として歩行者換算存在密度を算出した⁹⁾。

図-12は、各地点の歩行者換算存在密度の平均と最大値、標準偏差を示したものである。歩行者換算存在密度は、10人/100m²未満であることが歩行者に影響の少ないサービスレベルであり、20人/100m²以上となると半数以上に危険感が生じることが示されている⁹⁾。

各地点の歩行者換算存在密度を比較すると、地点1と地点4が平均値では高くなっており、10人/100m²以上となる瞬間も発生している。特に地点1は瞬間的には23.3人/100m²となり、歩行者が危険を感じている状況となっている。これは地点1が駅近く、集団で歩行するような状況が発生しているためと考えられる。

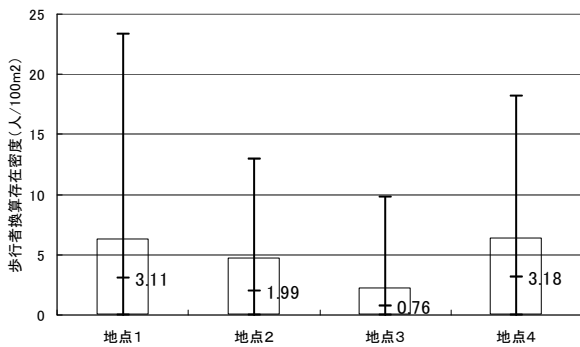


図-12 歩行者換算存在密度

b) 交錯頻度による評価

山中³⁾は、自転車走行空間の整備を進めるには、自歩道における自転車と歩行者の混在交通の状況を評価し、緊急性の高い路線を選んで、効率的に施策を進めることが政策効果の確保の面からみても重要であると指摘している。その上で、比較的計測のしやすい自転車・歩行者交通量、自転車・歩行者の平均速度、標準偏差、有効幅員から自転車・歩行者の交錯指標（区間長1mあたり、1分間あたり）を推計するモデルを開発している。

このモデルにより、地点1から地点4について交錯指標を算出したものが図-13である。各地点を比較すると、

地点4が交錯指標が最も高く、危険感や不快感が高い状況であると言え、地点1から地点4のなかでは優先度が最も高い地点であるといえる。次いで、地点1が交錯指標が高くなっている。地点4が最も高くなった理由は、地点4は他の地点に比べて歩行者・自転車交通量が多いことに加え、自転車の平均速度が低いことで、交錯の機会が多くなっているためである。

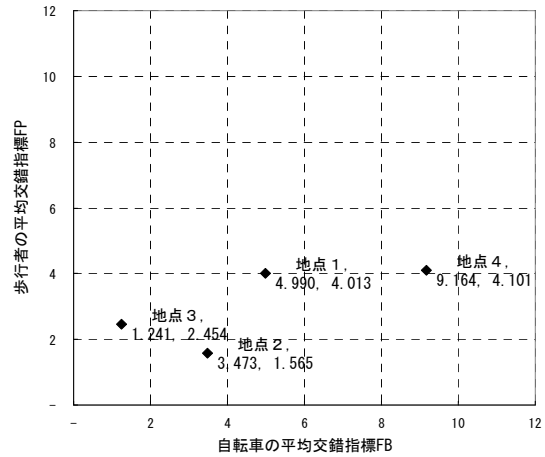


図-13 歩行者・自転車の交錯指標

c) 分離必要度による評価

大脇⁹⁾は、比較的データ収集が容易な自転車交通量と歩行者交通量のみによる評価を試みている。「不快な追越等」の発生回数を幅員別の回帰パラメータにより次式で表現している。

$$D'_{all} = \alpha Q_b \times Q_p + \beta Q_b^2 + \gamma Q_p^2$$

α , β , γ は係数であり、幅員別に設定される。

上記のモデルにより地点1から地点4について、 D'_{all} を算出すると、図-14とおりととなる。

地点1から地点4を比較すると、地点4が最も分離必要度は高くなっており、次いで地点1が高くなっている。地点2と地点3を比較すると、歩行者と自転車交通量の総量が多く、また歩行者交通量がより多い地点2の方が分離必要度は高い結果となった。

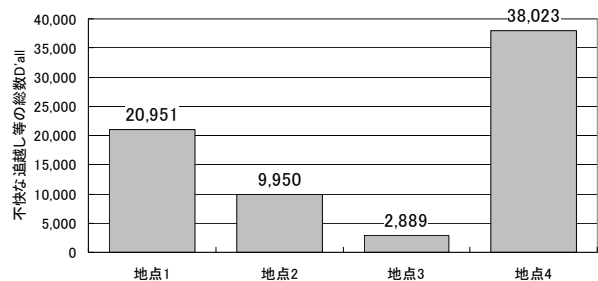


図-14 各地点の危険度 D'_{all}

d) 危険度による評価

清田¹⁰⁾は、歩行者は自転車の走行速度や最小間隔等を主観的に判断し、危険の程度（レベル）を判定する。こ

の危険レベルが閾値を越えるとき、危険が知覚されるとい概念を取り入れたモデルを提案している。

このモデルでは、知覚された危険度D、及び閾値D₀のレベルは以下の通り表現される。

$$D = -0.036x_1 + 0.081x_2 \quad \text{ここに、} D_0 = -4.338$$

歩行者と自転車の間の側方間隔が広く、自転車速度が低くなれば、歩行者が自転車に対して危険を近くする確率は低下する。

このモデルにより今回調査を実施した地点1から地点4について評価を行った結果が表-3及び図-15である。

地点1から地点4のなかで危険度の平均値が閾値(-4.338)を超えたのは地点1のみである。他の地点は平均的には閾値を下回る。地点1は、閾値を越えた割合が63.8%と最も高くなっている。

地点4は、平均的には閾値を下回るものの、危険度の最大値は4地点の中で最も高くなっている。しかし、閾値を越える割合は30.3%とそれほど高くはない。これは、地点4は歩行者の交通量が多く自転車と歩行者がすれ違い際の側方間隔が小さくなる傾向にあるが、すれ違い時の自転車の速度が比較的に低いためであると考えられる。

表-3 各地点の危険度Dと閾値D₀を越える割合

危険度D	地点1	地点2	地点3	地点4
平均値	-3.633	-6.441	-5.433	-5.791
最大	0.402	-2.931	-2.910	0.995
最小	-7.125	-10.109	-9.172	-10.280
標準偏差	1.813	1.829	2.191	2.850
D ₀ を超える割合	63.6%	15.4%	42.9%	30.3%

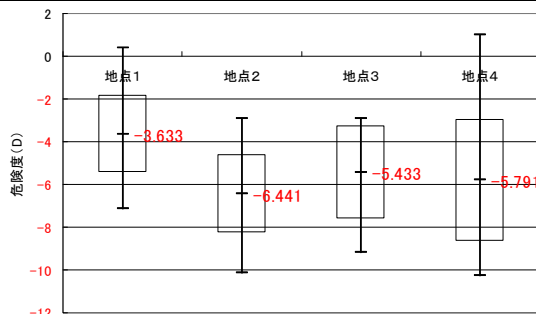


図-15 各地点の危険度D

e) 不快なすれ違い距離と自転車速度に着目した評価

より危険な状況の評価するため、前述の不快なすれ違い距離に加えて評価した。図-16は、地点1から地点4において発生した歩行者と自転車のすれ違い(3.0m以内でのすれ違い)について、すれ違い時の速度との関係を示したものである。

最もすれ違いが多かったのは地点4であった。歩行者の交通量が多いため、自転車と歩行者のすれ違いの機会が多いためであるが、すれ違い時の速度は5.0~10.0に集中しており自転車が比較的高い速度ですれ違っているものは少ない。

地点2及び地点3は、地点4に比べてやや高い速度でのすれ違いもみられるが、すれ違い時の距離は大部分は1.5m以上となっている。

地点1については、他の地点に比べて走行速度のばらつきが大きく、15km/h以上で走行している自転車も存在する。すれ違い時の距離に着目すると、1.5m未満のすれ違いも存在する。特に、自転車が高速で走行している際の近距離でのすれ違いが他の地点よりも多く発生しており、4地点の中では最も危険な錯綜が発生していると考えられる。

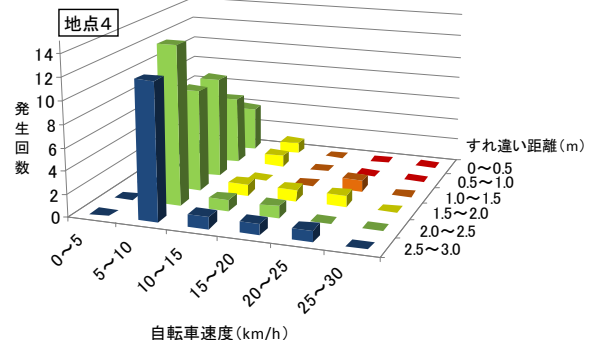
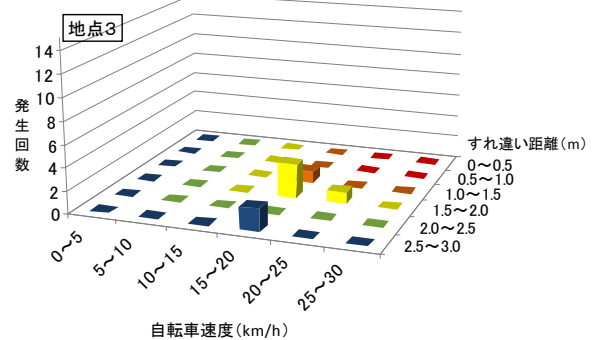
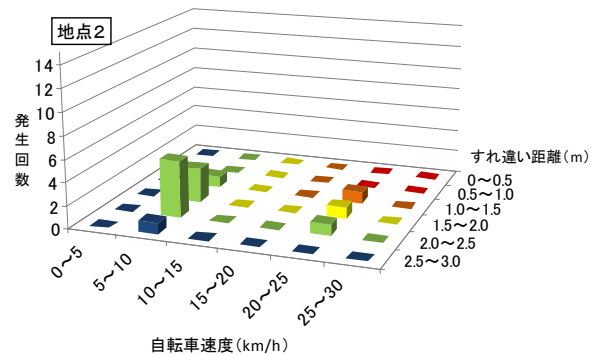
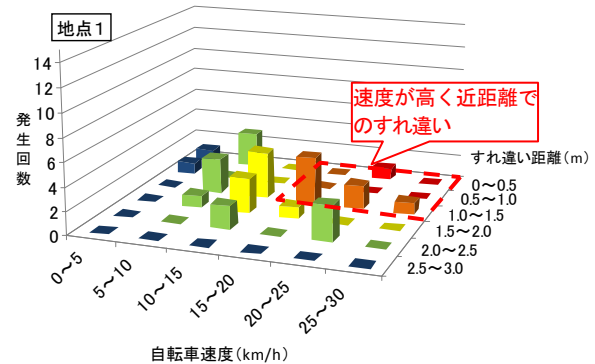


図-16 各地点の自転車速度とすれ違い時の距離

表-5 各地点のすれ違いの発生状況

地点名	すれ違い回数	すれ違い距離1.5m以下		速度15km/h以上		すれ違い距離1.5m以下かつ速度15km/h以上	
		頻度	割合	頻度	割合	頻度	割合
1 西新宿5丁目	33	20	61%	12	36%	8	24%
2 新宿中央公園中央	13	2	15%	3	23%	1	8%
3 新宿中央公園南西	7	1	14%	7	100%	1	14%
4 文化学園大学	66	23	35%	6	9%	1	2%

以上、既往研究を参考に各調査地点について、分離必要性に関する評価を試みた。その結果、各指標において地点1と地点4が特に問題があるといった結果になった。しかしながら、交錯頻度や分離必要度といったマクロ的な交通流（自転車や歩行者交通量等）をインプット条件としている手法では地点4が最も問題箇所となり、歩行者換算存在密度、危険度、不快なすれ違い距離と自転車速度といった時々刻々とした状態を再現している手法では地点1が最も問題となるといった違いがあった。

地点4は歩行者交通量は非常に多いためであり、地点1は主に速度の早い自転車と歩行者とのすれ違いが問題となっている。これら2箇所は両方とも自転車と歩行者は分離すべき箇所ということであろうが、地点1のような危険性は個々の車両挙動を捉えることで初めて明らかとなるものであり、自転車と歩行者の分離施策を実施する上でも後押しとなるであろう。

5. まとめと今後の課題

本稿では、時空間MRFを活用した解析の精度検証並びに、調査結果を活用して自歩道における自転車歩行者の混在交通の評価を試みた。

自転車と歩行者の交通量、判別の精度ともに90%程度といった良好な結果が得られた。

得られたデータにより、交通量、速度、走行位置等の基礎的な指標と、自転車歩行者混在交通の評価を試みた。これらの評価には、これまではビデオ撮影した映像から自転車や歩行者の個々の軌跡や速度を読み取る必要があり、計測に非常に多くの労力を必要としていたが、時空間MRFを用いることで、半自動的に計測が可能となった。また、自歩道上で発生している交錯について、すれ違い時等の間隔やその時の速度についても計測が可能であり、高い速度かつ近距離でのすれ違い等の発生状況等、自歩道上の時々刻々の状況の評価することが可能であるため、新たな評価方法への展開が期待できる。

最後に、自転車走行空間の整備及び評価においては、自歩道上での交通状況だけでなく、車道の自動車の交通状況も重要な視点の1つであるため、今後時空間MRFを活用して歩道と車道の交通状況を同時に調査する手法等について検討を行う必要があると考えられる。また、本稿では自歩道の単路部に着目した調査・評価を行ったが、交差点やバス停部、さらに横断歩道橋の階段部等の特殊部についての評価についても今後の課題である。

謝辞：本研究の歩行者自転車判別評価の部分は、総務省のICTグリーンイノベーション推進事業（PREDICT）により実施された。

参考文献

- 1) 警察庁：交通事故発生状況 (<http://www.npa.go.jp/toukei/koutuu48/home.htm>)
- 2) 田中淳, 山中英生, 上條俊介, 松原淳, 道工敏央：時空間 MRF を用いた自転車走行環境評価手法, 土木計画学研究・講演集 Vol.43, 2011年5月.
- 3) 上條俊介, 松下康之, 池内克史, 坂内正夫：時空間 Markov Random Filed モデルによる隠れにロバストな車両トラッキング, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J83-D-II No.12, pp.2597-2609, 2000年12月.
- 4) N. Dalal, B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2 (2005) 886-893.
- 5) Mika, S.; Ratsch, G.; Weston, J.; Scholkopf, B.; Mullers, K.R.; , "Fisher discriminant analysis with kernels," Neural Networks for Signal Processing IX, 1999. Proceedings of the 1999 IEEE Signal Processing Society Workshop , vol., no., pp.41-48, Aug 1999.
- 6) 山中英生：自転車の走行環境評価について一混在交通に着目して一, 交通工学, pp.20-26, Vol.40, No.5, 2005.
- 7) 山中英生ほか：自転車交通特性, 交通工学ハンドブック 2005,3-4, CD-ROM.
- 8) 山中英生ほか：交錯指標による自転車・歩行者混合交通サービスレベル評価方法と分離必要度の分析, 土木学会論文集 D3(土木計画学) Vol.68 No.1, pp.49-58, 2012.
- 9) 大脇鉄也ほか：シミュレーションを活用した歩行者自転車混合交通の分離必要度の評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM, 2009.
- 10) 清田勝ほか：歩行者と自転車の共用空間における歩行者の危険度評価, 交通工学, pp.75-83, Vol.41, No.1, 2006.
- 11) 上條俊介, 坂内正夫：時空間 MRF モデルに基づく車両と歩行者の統一的トラッキング, 情報処理学会 CVIM 論文誌第 10 号「街を観る」 Vol.45 No.SIG 13(CVIM 10), pp.54-63, 2004年12月.

(2012.5.受付)