

鉄道駅における歩行者データの取得および活用方法に関する一考察*

A Study on Methods of Acquisition and Usage of Pedestrian Transferring Data at Railway Station*

日比野 直彦**，中山 泰成***，内山 久雄****，高平 剛*****

By Naohiko HIBINO**, Taisei NAKAYAMA***, Hisao UCHIYAMA**** and Takeshi TAKAHIRA*****

1. はじめに

近年、首都圏における鉄道サービスの改善は、都市化の進展による空間的制約、運賃収入の低迷による財政的制約により、大規模に実施することは困難である¹⁾。一方で、高齢社会の到来、価値観の多様化に伴い、既存の輸送サービスの改善に特化した鉄道事業の運営では、これらのニーズに十分に応えることは不可能である。

このような中、鉄道サービスを向上させる一方策として鉄道駅構内のサービス改善が注目されている。例えば、交通バリアフリー法の施行に伴い、エスカレータ、エレベータの設置等、多くの鉄道駅構内でバリアフリー化工事が推進されている。また、鉄道駅構内の多機能化、有効活用を目的に「エキナカ」の再整備が積極的に行なわれ、鉄道駅は交通結節点のみならず、地域の拠点としての役割をも担いつつある。このように、鉄道駅構内のリフォームは、鉄道サービス改善の新たな施策として、今まさに着目されている。

しかしながら、実際の鉄道駅の再整備において歩行者の行動は十分に考慮されていないのが現状である。例えば、階段幅は、利用人数等の集計データを基に経験的に決定されているに過ぎず、結果として現在の駅整備は必ずしも歩行サービス水準の改善に対して十分な効果を上げてはいるとは言えない。これは、鉄道駅構内における歩行者の行動データの取得方法とその分析方法が確立されておらず、鉄道駅のリフォームが着目されているにも拘わらず、歩行者の行動が十分に反映されていないことが1つの原因である。

このような問題意識を持つ本研究では、鉄道駅構内の歩行者の行動分析に4次元パスデータ(x, y, z, t)の利用が有効であることに着目する。すなわち本研究では、今後の駅再整備に向けた歩行者の4次元パスデータを用いた分析可能なシステムの開発を前提として、比較的安価かつ効率的に歩行者行動データの取得可能なシステムの開発を試みる。

2. 4次元パスの取得

筆者らは、これまでに図1のような街路空間での4次元パスデータ取得の経験を持っている²⁾。歩行者行動の分析に4次元パスデータが適している利点として、①個々の歩行者の行動に着目することが可能な点、②歩行者の行動を追跡することが可能な点、③歩行速度、空間モデル等既存のサービス指標が算出可能な点等が挙げられる。このような利点は有しているものの、軌跡データの取得を人手に依存する場合、多大な労力と時間を必要とするため、従来は長時間にわたるデータ取得が困難であった。

これに対して、近年、ビデオ映像をはじめとする様々な手法により、歩行者の4次元パスの効率的な取得が試みられてきている。鍛ら³⁾⁴⁾は、フレーム間差分により歩行者の認識のみならず、90%以上の精度で歩行者を追跡することに成功している。また、長谷川⁵⁾は、複数視点を用いることにより、一方の視点での歩行者の軌跡が途切れる場合でも、他方の軌跡との対応関係からその部分を補間することにより、歩行軌跡図の作成の精度向上を試みている。中村ら⁶⁾は、熱赤外カメラを用いることにより、歩行者が交錯している場合でも、その追跡に成功している。このように、近年のITおよび画像処理技術の進歩により、歩行者の4次元パスの自動取得技術は、街路空間においては確立されつつあると言える。

しかしながら、鉄道駅において上述の方法を適用して4次元パスを取得することは容易ではない。街路と鉄道駅構内を比較すると鉄道駅構内での4次元パスの取得には、①屋内にてデータ取得をする場合が多く、ビデオカメラ等の測定機器の設置高が3m程度に限られる場合が多い、②朝の通勤・通学時間帯は、旅客の集中による著しい混雑が発生する、③障害物の存在のために広範囲でのデータ取得が困難なため、高密度に測定機器を設置する必要がある等の難問が存在する。そのために、フレーム間差分法、背景差分法等の一般的に用いられている現在の画像処理技術を適用すると、図2、図3のように歩行者が見かけ上重なり合うことにより、コンピュータでの識別が困難になるオクルージョンが発生してしまう。また、柴崎ら⁷⁾は、レーザセンサを用いることにより3cmの精度で歩行軌跡図を作成しているが、レーザセンサ、熱赤外カメラは普及が進んでおらず高価なために、

* キーワード：鉄道駅、乗換サービス、歩行者、ビデオ映像

** 正員、博(工)、(財)運輸政策研究機構 運輸政策研究所
〔東京都港区虎ノ門3-8-19 虎ノ門マリビル3F〕
TEL: 03-5470-8415, E-mail: hibino@jterc.or.jp

*** 学生員、学(工)、東京理科大学 大学院 理工学研究科

**** フェロ員、工博、東京理科大学 理工学部 教授

***** 正員、修(工)、東日本旅客鉄道(株)

高密度に多数の駅に設置することは、資金的に困難である。

そこで、本研究では、比較的安価でありかつ既存の設備を活用できることから、監視カメラを4次元パスの取得に応用することを想定する。監視カメラは、図4のように現在、新宿駅、東京駅等の大規模な改良工事が行なわれているターミナルや、新幹線品川駅等の新規に開業している駅を始めとして、券売機や改札口の付近は勿論のこと、通路に沿って等間隔で設置されている等、高密度に設置されている。従って、これらの監視カメラを4次元パスデータの取得に活用することは非常に有用である。また、画像処理におけるオクルージョン問題に対しては、新たな手法を提案することにより解決を図る。

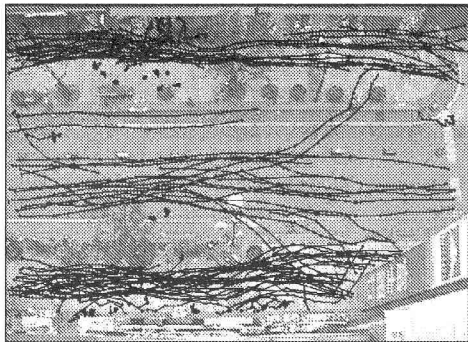


図1 街路空間での4次元パスの取得例



図2 フレーム間差分法による処理画像



図3 背景差分法による処理画像

3. 調査概要

前章でのデータ取得方法の検討結果を踏まえ、東武鉄道 柏駅で歩行者流動調査を実施する。柏駅は、図5に示すとおり、環状路線の野田線と放射状路線の常磐線の乗換え駅であり、平成12年度大都市交通センサスによると朝の通勤・通学時間帯には、1時間でおよそ27,000人の旅客が柏駅にて乗換えている。調査は、表1に示すとおり、平日朝の通勤・通学時間帯を含む時間帯にて実施し、監視カメラを模して天井に近い位置から歩行者流を撮影している。また、既存の調査手法であるマニュアルカウンタによる人数計測や、調査員の追跡による歩行時間の計測も、補完調査として行なっている。調査に用いたビデオカメラの配置は、図6に示すとおりである。なお、調査当日は、利用行動に大きな影響を及ぼすほどの大幅なダイヤの乱れの発生はない。

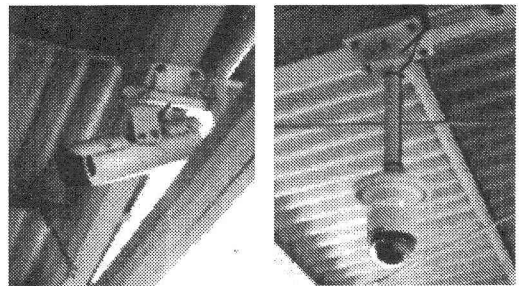


図4 鉄道駅に設置されている監視カメラ



図5 柏駅の位置

表1 調査概要

調査名	柏駅における歩行者流動調査
実施駅	東武鉄道 柏駅構内
調査日	平成14年9月18日(水), 19日(木) 両日とも6:45~12:00
調査範囲	7,8番ホーム → ラッチ → 東西自由通路
調査内容	①ビデオカメラによる歩行者流の撮影 ②マニュアルカウンタによる人数計測 ③ストップウォッチによる歩行時間計測

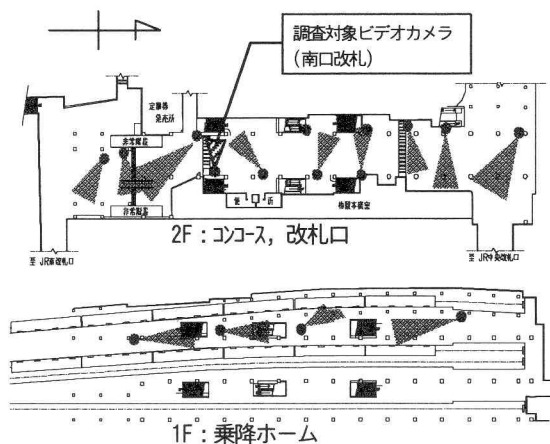


図6 カメラの配置点と撮影範囲



図7 ビデオ映像 (南口改札)

4. 歩行者データ自動取得システムの開発

図7は、図6に示される南口改札付近における天井の直下およそ3mの高さから撮影しているビデオ映像である。多くの鉄道駅は、このように天井高が低いためにビデオ撮影時の俯角が浅く、歩行者が見かけ上で重なり易い。さらに、図7が示すように朝の通勤・通学時間帯は極端な密集状態である。これらの原因により発生するオクルージョンに対し、図2、図3で個々の歩行者の全身が判別しづらいことが見て取れることから、差分法等で主に用いられている全身を認識するアルゴリズムでは、歩行者を個別に認識することは困難である。そこで、本研究では、歩行者の頭部が目視においても容易に確認することに着目し、オクルージョンの低減を図るべく、全身ではなく歩行者の頭部のみに着目してテンプレートマッチングを用いた手法を新たに適用する。

(1) 自動取得システムのアルゴリズム

図8は歩行者を検出し、追跡するアルゴリズムを示している。以下にその特徴的な点を列記する。

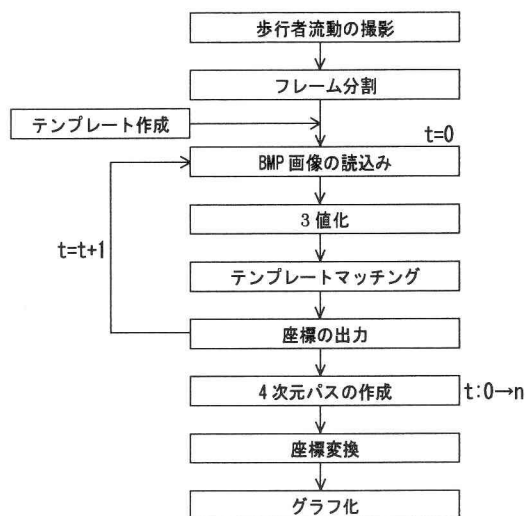


図8 歩行者検出・追跡のアルゴリズム

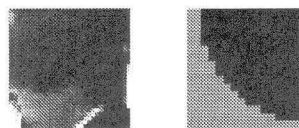


図9 歩行者頭部のビデオ映像(左)とテンプレート(右)

3値化：ビデオ映像からの歩行者データの取得にあたり、処理速度の向上と個々の歩行者の細かな特徴を統一する目的から、画像の単純化を行なう必要がある。しかしながら、本調査で取得しているビデオ映像に2値化処理を適用すると、オクルージョンが発生した場合に個々の歩行者の分離が不可能となる。一方、256色グレースケールでは、テンプレートが複雑化して、逆にマッチングが困難となる。そこで、本研究では、人間の頭部色が主として黒と肌色により形成されていることに着目し、黒・肌色・その他の色を、それぞれ黒・灰・白に変換し、画像を3値化する。肌色は皮膚色の個体差により若干の違いが認められるが、日本人の皮膚のカラーバランスには大きな変化は無いことから、その明暗に関わらず肌色のみを抽出することに成功している。これにより、頭部を認識するために必要な情報を最低限保持しつつ、余分な情報を削除することが可能となり、マッチング精度の向上が図られる。

テンプレートの作成：本システムでは、3値化した画像から歩行者の頭部のみを抽出するために、人間の頭部のテンプレートを作成している。南口改札のビデオ映像において歩行者の頭部は、歩行者の頭髮が右上、顔面が左下の位置に見えることから、右上を黒、左下を灰色とした図9のようなテンプレートを作成している。また、

ビデオ映像内での見かけの歩行者の大きさは、画像の手前側で大きく、奥へ向かうにつれて小さくなることから、テンプレートのサイズは画面手前側用として15×15 pixel、画面奥側用として9×9 pixelとしている。

テンプレートマッチング： 本システムで採用しているテンプレートマッチングでは、作成したテンプレートを1 pixelずつ移動させ、その都度3値化処理画像とテンプレートを照合してテンプレートに合致する部分を検索する。マッチングの判定基準は、3値化画像とテンプレートが、黒色で60 % 以上、灰色で20 % 以上80 % 以下の割合で一致する場合とし、このときマッチングした画像領域の中心座標を出力する。マッチングした画像領域には、図10で示される枠を実行画面に表示する。また、同一の画像内で連続してテンプレートがマッチングした場合、これらは1人の同じ歩行者の頭部へのマッチングであると判断し、それらの座標値の平均値を出力する。

4次元パスデータの作成： 本システムでは、ビデオ座標内での一般的な歩行速度の範囲を30 (pixel/秒) 以上60 (pixel/秒) 以下とし、1フレーム間に上記範囲内で進行方向へ移動している座標点を、同一人物の点である判断し、ビデオ座標系での個人毎の時系列データとして集計している。ビデオ座標系から測地座標系への変換には、アフィン変換を用いて変換を行ない⁹⁾、MS Excelに個人毎の4次元パスデータとして出力している。

(2) 認識精度の検証

ケーススタディとして、柏駅へ8時05分に到着した列車の降車客流動に対し、8時05分17秒から8時07分50秒までの2分33秒にわたり本システムを適用し、通過人数を計測している。また、ビデオ映像よりマニュアルカウンタを用いて人手による人数計測を実施し、この値を真値としている。図11に示される比較結果から、マニュアルカウンタの計測人数が490人(100%)であるのに対して、本システムの人数計測結果は560人(113%)であり、



図10 マッチング処理画像

このうち、頭部を正確に検出している人数は、403人(84%)である。従って、本システムにより取得している通過人数の計測結果は、John J. Fruin が提案している空間モジュールや流動係数といった歩行サービス水準⁹⁾を算出するのに必要な精度を有している。

本計測において生じたシステム出力人数に対する誤差の内訳を表2に示す。検出漏れの原因は、歩行者が密集していることに起因する頭部のオクルージョンが最も多い。また、過剰検出の原因は、手足の肌色と暗色系の服の重なりを誤検出したことによるものであり、これが本システムの人数計測結果を全体的に増加させる原因となっている。これらの問題の解決策として、適切な計測範囲の設定、マッチング条件の変更、鍛⁴⁾の追跡アルゴリズムの適用等が、今後の課題である。

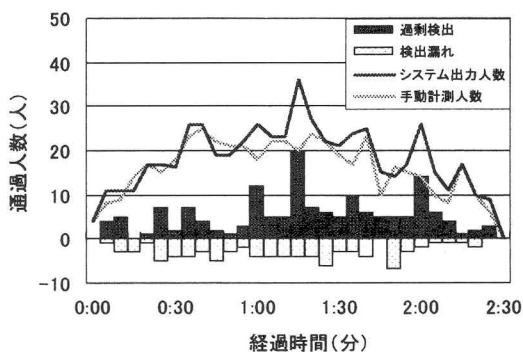


図11 通過人数の変化

表2 誤差の発生原因

検出漏れ			
原因	元画像	処理画像	件数 (割合)
オクルージョン			48 (-9%)
テンプレートとの不一致			16 (-3%)
近接する歩行者の統合			23 (-4%)
過剰検出			
手の誤検出			157 (+28%)

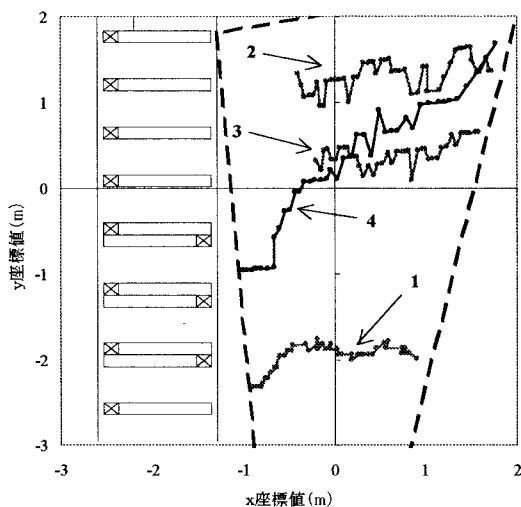


図12 歩行者の軌跡図の取得例

(3) 時系列の位置座標の計測

本システムでは、測地座標に変換された歩行者の時系列の位置座標を集約することにより歩行者の軌跡が得られ、駅構内における歩行者の行動を4次元パスデータとして取得することが可能となる。4人の歩行者の軌跡の出力例が図12に示されている。手動で取得している真値と比較した結果、画面奥では俯角が浅いために、誤差の変動が大きくなっているが、画面手前については10cm以内の精度で軌跡図を作成している。

この結果、歩行者個人の時間変化に伴う歩行速度の算出も可能にしておき、例えば、歩行者4が、改札口手前で歩行速度を低下させている傾向が見て取れる。なお、個々の歩行者の歩行速度は、1秒間隔で取得した場合、真値と比較して0.5 km/h 以内の精度である。また、これらの軌跡図は、4次元パスとしてMS Excelに歩行者毎に位置情報 (x, y, z, t) として格納されており、これらを集計することにより、歩行速度以外にも空間モジュール、流動係数等の集計化された既存の歩行サービス水準指標についても容易に算出することが可能である。このことから、本システムは汎用性の高いデータを自動的に取得・作成することが期待されるシステムであると言える。

5. 本システム改善への試み

(1) 位置精度の向上

南口改札を対象としたケーススタディでは、画面奥側に位置情報の精度の低下が認められている。これは、① 測地座標系へ座標変換を行なう際に、1pixelのビデオ座標の変動が画面の手前側では0.3cm程度であるのに対し、通路の奥側では2.8cmにまで拡大してしまうこと、② 複数点で1人の頭部にマッチングする場合にはマッ

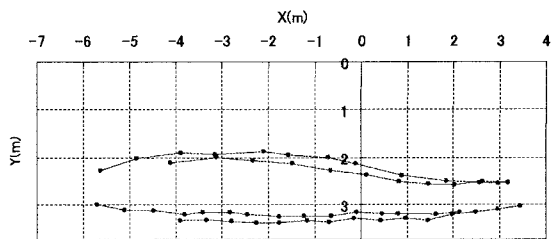


図13 2台のカメラにより取得される軌跡図

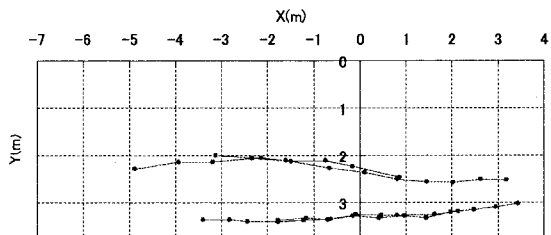


図14 座標軸回転後の軌跡図

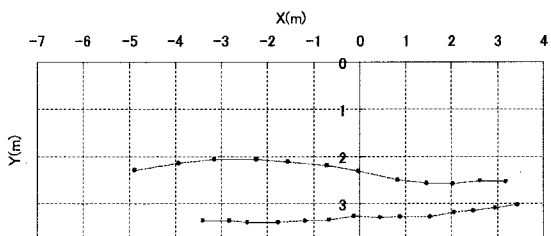


図15 統合後の軌跡図

ング箇所の平均値を採用していること等が原因として挙げられる。この問題の解決策として、画像処理アルゴリズムの改良では、マッチング判定の基準を厳密に定めることや②の場合には中央値を採用すること、また、撮影方法の改良では、複数のカメラを組み合わせることでカメラ1台あたりの撮影範囲を縮小することにより、位置情報のさらなる精度向上が期待される。

(2) 長区間の4次元パスデータの取得

筆者らが提案している乗換え駅改良による鉄道ネットワークフローのコントロールに必要な乗換え時間等の算出^{10) 11)}には、降車から乗車までの乗換え行動全体を通してデータの取得が必要である。また、1人の歩行者が受けるサービス水準は、滞留、交錯流等の影響により時々刻々と変化しているため、連続した4次元パスデータを取得しなければならない。また、前述の精度向上のためにも、連続撮影が必要である。1台のカメラによるデータ取得では、取得可能な4次元パスの区間長は、およそ5m程度であるため、図15に示すとおり複数のカメラにより取得された軌跡図を統合する必要がある。

図13は、2台のカメラから手動により取得している2人の歩行者についての軌跡図であり、図中の隣り合う点の間隔は1/2秒である。2台のカメラから個別に取得され

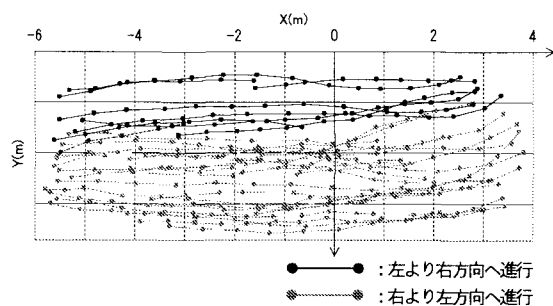


図16 軌跡図の重ね合わせ

る同一地点の座標値は、カメラの設置方向やアフィン変換時の誤差を含んでいるため、両者の位置情報を統合するために、座標系を移動、回転する。次に図14に示すとおり、2台のカメラにより座標値を取得している領域では、両座標値の平均値を採用する。以上の方法により、手動により連続した軌跡図の作成が可能であることを確認している。今後、本システムの位置座標の取得精度が向上することで、複数のカメラ間で取得される軌跡図の統合を自動的にこなすことは可能になると考えられる。

(3) 光量変化への対応

長時間にわたるデータ取得を行なう場合、夜間、曇天等に伴う光量変化が生じる。その結果、本研究で開発しているアルゴリズムでは、閾値を固定して3値化処理を行なっているため、光量の変化に伴う明度の変化により、黒・肌色・白の抽出の割合が変化する。このため、全体の明度に応じて閾値の設定を変更する等、3値化のアルゴリズムの改良が必要である。

5. おわりに

(1) 結論

本研究は、これまでデータ取得方法が確立されていなかったために、駅整備において十分に検討されていなかった鉄道駅構内での歩行者行動分析に対し、既存の監視カメラを活用を想定しつつ、新たに情報処理技術を適用することにより、比較的安価かつ効率的に歩行者の4次元パスデータを取得可能なシステムの開発を試みた。この結果、個々の歩行軌跡図の作成については、今後も精度向上の課題が残るものの、歩行者の頭部の検出については比較的良い精度での人数の計測を可能とした。これにより、流動流動係数や空間モジュール等の混雑状況を表す指標の作成に必要なデータについては、その自動取得も可能とした。

また、位置情報の取得精度の向上により、4次元パスデータについてもその活用が可能となる。今後、本システムの更なる改良により、本研究が歩行者の行動データを反映した鉄道駅の再整備の一助となることが期待される。

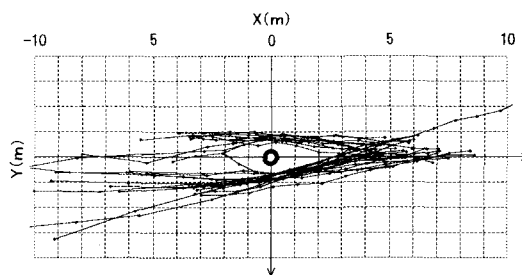


図17 歩行者のすれ違い時の相対軌跡図

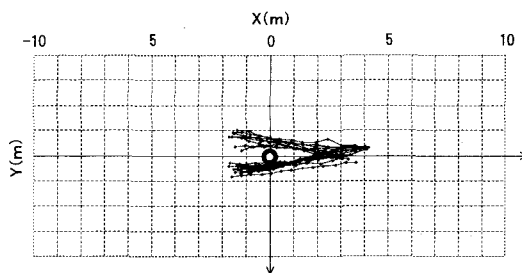


図18 歩行者の追い越し時の相対軌跡図

(2) 今後の展望

本研究で開発している歩行者データの自動取得システムにより、図17、図18のような軌跡図を取得することが可能となる。図16は、歩行軌跡図の重ね合わせであり、全体的な傾向として、歩行者は進行方向に対して通路の左側によって歩行している傾向が見て取れる。また、このような軌跡図を重ね合わせは、デッドスペースの発見にも有効である。一方、図17は、移動中の歩行者同士の相対的な位置関係を示したものである。歩行者の進行方向をX軸の正の方向とし、歩行者の位置座標を原点に固定することにより、すれ違う相手もしくは追い越す相手との位置関係を視覚的に表現しており、行動の違いにより回避行動の開始点が異なることが見て取れる¹³⁾。

このような実際に歩行者の軌跡図をもとに、現在、セルラーオートマトン法を適用し、歩行者行動モデルの構築を試みている。これにより、エスカレータ等の設置に伴う歩行者流への影響のみならず、進行方向の区分による歩行者流の変化等、歩行者行動を考慮に入れた乗換え環境の改善施策^{13), 14)}の提案が可能となる。

謝辞： 本研究での歩行者流動調査に際し、東武鉄道(株)の皆様には、多大なるご協力を賜った。また、本研究は、文部科学省科学研究費（若手研究（B）15760401）の研究助成を受けて実施している。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 森地茂：東京圏の鉄道のあゆみと未来，(財)運輸政策研究機構，2000
- 2) 鈴木雄高，日比野直彦，毛利雄一，兵藤哲朗：ビデオ画像を用いた歩行者挙動分析に関する考察，交通工学研究発表会・論文報告集，pp153-156，2001
- 3) 鍛佳代子，内田恭輔，三浦純，白井良明：交錯流動の発生する街路空間における複数歩行者の自動追跡，日本建築学会技術報告集 第14号，pp359-364，2001
- 4) 鍛佳代子：画像処理による歩行者流動の自動追尾方法，日本建築学会計画系論文集 第493号，pp195-200，1997
- 5) 長谷川為春，馬原德行，全炳東：複数視点映像による歩行者天国の観測，第7回画像センシングシンポジウム講演論文集，pp417-421，2001
- 6) 中村匡伸，趙卉菁，柴崎亮介：熱赤外カメラを用いた歩行者追尾手法の提案，全国測量技術大会 2004 学生フォーラム 2004，http://www.chikatsu-lab.g.dendai.ac.jp/s_forum/pdf/2002/18_nakamura.pdf
- 7) 辻本誠，志田弘二，建部謙治：歩行解析への画像処理技術の応用に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集 第436号，pp41-47，1992
- 8) 内山久雄：高速道路における工事時の自動車車両のミクロ的な合流挙動特性解析，土木学会論文集 No.542/IV-32，pp79-97，1996
- 9) John J. Fruin，長島正充 訳：歩行者の空間，鹿島出版会，1974
- 10) 高平剛，日比野直彦，内山久雄：鉄道駅整備計画へのビデオ画像を用いた歩行者行動分析の適用に関する一考察，鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp.603 - 606，2002
- 11) 高平剛，日比野直彦，内山久雄：鉄道駅におけるビデオ画像を用いた歩行者流動データ自動取得方法に関する研究，土木学会 第58回年次学術講演会講演概要集 第4部，CD-ROM，2003
- 12) 高柳英明，佐野友紀，渡辺仁史：群集交差流動における歩行領域確保に関する研究—歩行領域モデルを用いた解析—，日本建築学会計画系論文集 第549号，pp185-191，2001
- 13) 森下信：セルオートマトン 複雑現象の具現化，(株)養賢堂，pp130-158，2003
- 14) Naohiko HIBINO and Hisao UCHIYAMA: An Estimation of Transfer Time at Railway Station with the Help of Computer Aided Design and Computer Graphics, Journal of the EASTS Vol.4 No.1, pp.135 - 147, 2001

鉄道駅における歩行者データの取得および活用方法に関する一考察

日比野 直彦，中山 泰成，内山 久雄，高平 剛

本研究は，今後の鉄道整備における乗換え歩行者データの取得および活用の必要性を議論し，その取得方法を提案するものである。現在，改札記録，時刻表等から旅客フローをある程度正確に計測することが可能となっている。しかしながら，駅構内における乗換え歩行者の行動に関しては，その重要性が指摘されているにも拘わらず，データ取得，それらを用いた分析が十分になされていないのが現状である。そこで，本研究では，① 歩行者の全数調査が可能である点，② ITの発展により容易に画像処理技術の適用が可能となった点，③ 分析範囲が駅構内に限られ広域でない点等から，ビデオ映像に画像処理を適用するシステムを開発し，歩行者データの取得を試みている。

A Study on Methods of Acquisition and Usage of Pedestrian Transferring Data

By Naohiko HIBINO, Taisei NAKAYAMA, Hisao UCHIYAMA and Takeshi TAKAHIRA

This study focuses on the importance of the acquisition of the passengers transferring data and application to the planning of railway station amelioration, and proposes an obtaining method of the behavioral data. It is important to use the 4-dimensionality path data of the passengers in interchange stations for the improvement of the transfer LOS. Little attention, however, has been given to the acquisition of the data, because the conventional planning has not considered the passengers behavior. The study develops an acquisition system of the 4-dimensionality path data of the passengers from the video images with the help of the image processing technique.