

旅客流動を考慮した鉄道駅構内の混雑評価への加速度センサ適用可能性

中村 泰広* (鹿島建設)

日比野 直彦 森地 茂 (政策研究大学院大学)

A Study on the Applicability of Accelerometers to the Congestion Evaluation in the Railway Station
Considering the Influence of Passenger Flow

Yasuhiro Nakamura* (Kajima Corporation)

Naohiko Hibino, Shigeru Morichi, (National Graduate Institute for Policy Studies)

In Tokyo metropolitan area, most railway transfer stations are severely congested with many commuters, particularly in peak hours. In order to mitigate the congestion and enhance the safety and comfort of passengers, appropriate investment planning based on reliable indexes evaluating the congestion is required. This study proposes an efficient method of traffic survey and analysis, where, using accelerometers, the congestion in the concourse of the railway station is easily evaluated considering the influence of passenger flow. The study also confirms the applicability of the method by conducting case studies using actual traffic data.

キーワード: 駅構内, 旅客流動, 混雑, 加速度

(Keywords, railway station, passenger flow, congestion, acceleration)

1. はじめに

〈1・1〉 背景

我が国の都市鉄道は大都市の発展と集積に伴い想定以上の旅客増加による駅の混雑が表面化しており, 安全性や快適性向上の視点から混雑緩和策が求められている. 効率的な投資を行うためには混雑状況を適切に評価し, 優先順位を決定する必要があるが, 駅施設はその空間の広さや幅員等の物理的要素と併せて, 人の流れといった流動的要素が混雑の感じ方や快適性に影響を与えており評価が難しい.

一方で, 近年様々な分野の技術の進歩により, これまで取得困難であった多様なデータが取得可能となっている. 監視カメラ映像の旅客流動分析への活用や自動改札とICカード普及による交通データ取得等がその一例である. こうした技術の発展と調査手法の変化は旅客流動や歩行挙動に関するデータ取得と分析を容易にする可能性を秘めている.

〈1・2〉 研究の目的

鉄道駅, 特にコンコースでの混雑評価指標確立のためには旅客密度に加えて, 旅客流動の種類とその中で発生する交差, 交錯等の歩行挙動を的確に捉える必要がある. そこで, 本研究では鉄道駅の評価指標, 整備基準等の確立に向け, 加速度センサを利用した混雑状況の簡易な調査分析手法を検証し, その有用性を確認することを目的とする.

2. 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

駅の混雑や利便性については, 国土交通省鉄道局⁽¹⁾や財団法人運輸政策研究機構⁽²⁾⁽³⁾によって検討, 指標化提案がされているが, コンコースについては簡易な調査手法という前提もあり完全な指標化に至っていない. 身体的負荷に着目した乗換抵抗という観点では, 日本鉄道建設公団⁽⁴⁾や内山ら⁽⁵⁾, 大島ら⁽⁶⁾の研究が挙げられるが, これらは旅客流動や混雑状況に影響を受けにくい指標となっている. 加速度センサを用いた歩行分析や評価に関する手法は医学分野において散見されるが⁽⁷⁾, 多くが健常者と傷病者の身体的な差異を明らかにするものであり, 歩行環境が歩行挙動に与える影響について言及する研究は見られない. 本研究は, 駅の混雑指標の精度向上を図るために, 加速度センサを用いて歩行環境(旅客流動)と歩行挙動の関係性を明らかにするものと位置づける.

3. 使用機器と調査手順

〈3・1〉 使用機器

調査には, ワイヤレステクノロジー社製の加速度センサ「WAA-006」を用いる. この機器は3軸加速度センサと3軸ジャイロセンサを内蔵しており, 加速度と角速度の計測が可能である.

〈3・2〉 調査手順

加速度センサを調査員の腰部背中側に固定し, 加速度デ

ータを取得する。歩行時の身体挙動が加速度へ与える影響度合いや個人差を確認したのち、駅構内の特徴を把握するための調査を行う。(表 1 参照)

表 1 調査手順

調査	概要
基礎歩行調査	調査員個人および異なる調査員間の歩行時の身体挙動の差異、駅構内での旅客流動を想定した身体挙動の加速度変化を確認(調査員6名)。
駅構内歩行調査その1	基礎歩行調査で得られた結果を実際の駅構内の歩行挙動の中で検証(調査員2名)
駅構内歩行調査その2	複数の駅にて加速度データを取得・分析し、それぞれの駅の特徴を確認(調査員1名)

4. 基礎歩行挙動調査

〈4.1〉 調査方法

歩行環境が一定の状況である学内にて実施した基礎歩行調査における歩行挙動の種類を表 2 に示す。

表 2 基礎歩行調査の種類

歩行挙動の種類	概要
a) 自由歩行	調査員個人の通常の歩行(速度も任意)
b) 速度制限	自由歩行よりも半分程度の速度で歩行
c) 急停止	自由歩行から急停止し、再度通常歩行
d) 蛇行回避	対向者を余裕持って避けるように蛇行
e) 半身回避1 (外向半身)	自由歩行から対向者を避けるように側方へ外向きに半身回避(dより対向者接近)
f) 半身回避2 (内向半身)	自由歩行から対向者を避けるように側方へ内向きに半身回避(eより対向者接近)
g) 接触	自由歩行から対向者と肩が接触

〈4.2〉 調査結果

(1) 個人差 取得した加速度データの内、特徴的な波形の傾向を示した前後成分、回転成分の一部を表 3 に示す。加速度の波形には個人差が認められるが、各種歩行における自由歩行からの変化については同様の傾向が見られる。以下に全調査員共通で見られる波形の特徴を示す。

- ・速度制限、停止時には自由歩行よりも波形の振幅減少
- ・蛇行回避時は回転成分の波形の振幅、周期が増大

表 3 前後成分と回転成分の加速度波形

調査員	前後成分		回転成分	
	自由歩行	速度制限	自由歩行	蛇行回避
A				
B				
C				

(2) 歩行挙動と波形 表 4 に調査員 A の前後成分と回転成分の 2 つの波形を示す。外向半身、内向半身といった回避行動の分類や接触の判別は困難であったが、速度制限と急停止、大きな分類としての回避行動の波形の特徴は

全調査員共通であり、その違いを判別可能である。

表 4 歩行別の加速度波形の特徴

歩行	成分	変化	波形
自由歩行	前後	規則的	
	回転	規則的	
速度制限	前後	振幅: 減 周期: 大	
	回転	振幅: 減 波形乱れ	
急停止	前後	マイナスにピーク	
	回転	波形乱れ	
回避 2 外向半身	前後	振幅: 速度に依存	
	回転	振幅: 大 外向→内向	

5. コンコースでの歩行挙動調査

〈5.1〉 調査方法

基礎歩行調査の結果を踏まえ、鉄道駅コンコースの様々な旅客流動の中で歩行挙動の加速度変化を確認する。データ取得と同時にビデオ撮影を行い、波形から読み取れる情報を映像にて確認している。

〈5.2〉 調査結果

加速度波形の傾向は、基礎歩行調査と同様の結果であった。図 1 に示す追従歩行減速時には速度変化が前後成分の振幅の変化として表れ、図 2 に示す交錯状態では、a ~ f の回避行動が回転成分の乱れとして表れている。交錯時の細かな回避行動の組み合わせについてはその挙動を詳細に判別することは困難であるが、一歩行区間内での自由歩行の阻害度合いを、波形の乱れの「発生回数」や「継続時間」といった指標として得ることが可能である。

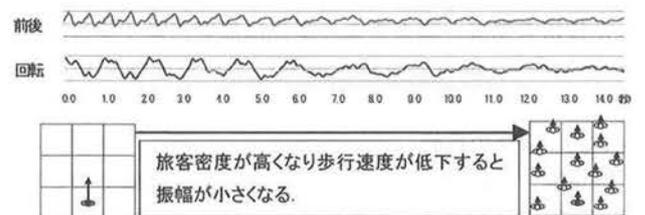


図 1 追従歩行減速時の加速度波形

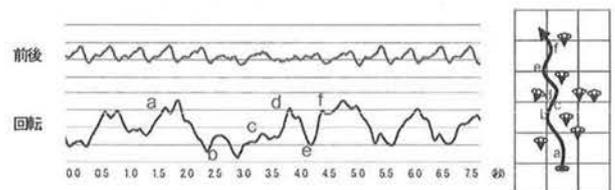


図 2 交錯状態の加速度波形

6. 旅客流動の特徴分析

〈6・1〉 調査方法

表 5 に示す 3 駅コンコースの代表的な経路を朝ピーク時間 (8:00~9:00) に複数回歩行し、歩行挙動の加速度データを取得する。得られた加速度波形から自由歩行と比較して波形が乱れた回数をカウントし、歩行時間の増加量との関係を確認する。

表 5 調査対象歩行経路

コンコース	歩行経路	調査日
表参道	千代田線 ⇄ 半蔵門・銀座線 (押上・浅草方面)	2010/3/3
茅場町	東西線 ⇄ 日比谷線 (北千住方面)	2010/3/5
高田馬場②	山手線 ⇄ 早稲田口改札	2010/3/2

〈6・2〉 歩行時間と減速・回避の関係に関する仮説

旅客流動の状況と歩行時間の増加量、加速度の乱れの関係については、表 6 のような関係性があると考えられる。

表 6 歩行時間と加速度変化の関係

旅客流動の状況	歩行時間増加	加速度変化(乱れ)	
		前後	回転
自由歩行	小	小	小
旅客密度低/不整流	小	小	大
旅客密度高/整流化	大	小	小
旅客密度高/不整流	大	大	大

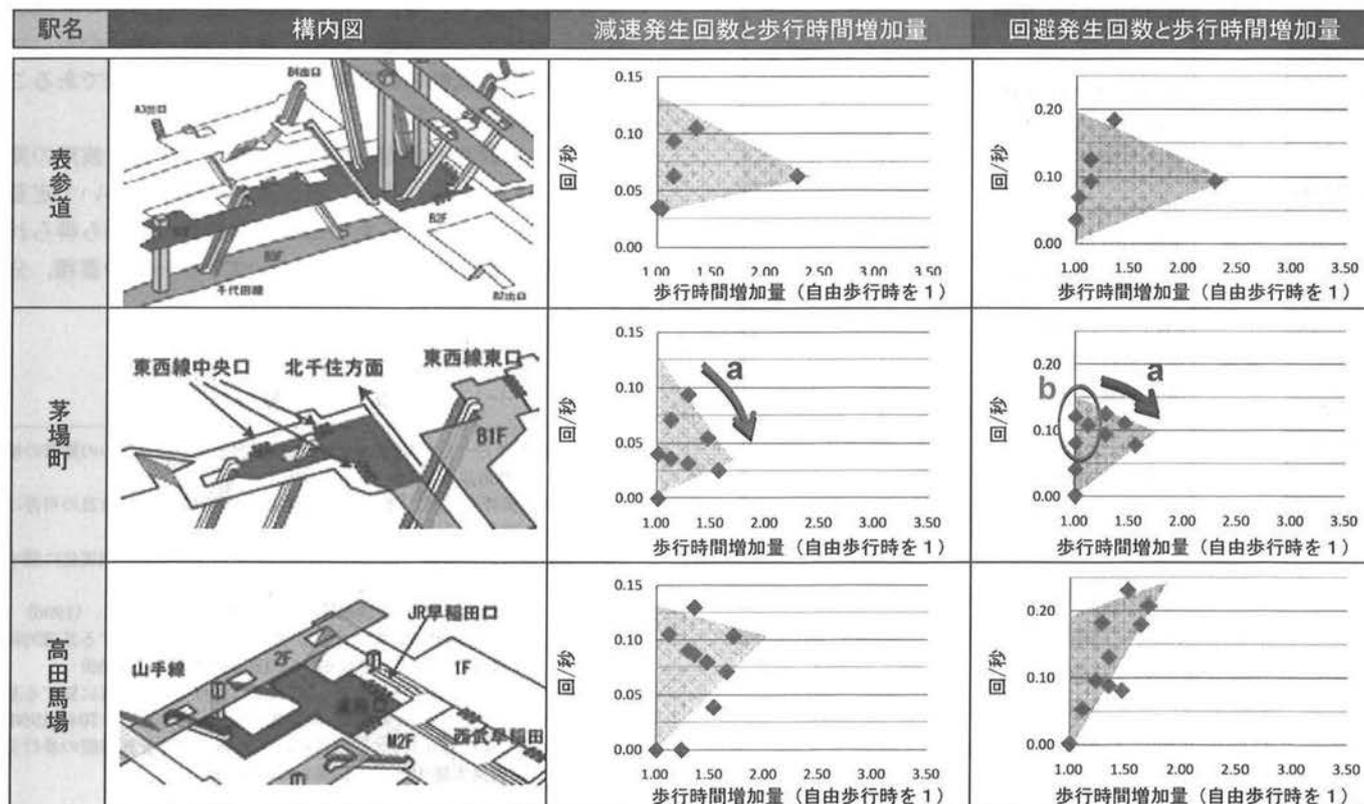
自由歩行時には、歩行時間の増加量、加速度変化ともに少ない。旅客密度は低い動線が錯綜しており流動が乱れている空間では、歩行速度を維持したまま余裕のある回避行動が多く発生し、回転成分の加速度変化だけが大きくなる。一方で、旅客密度が高いが皆が同じ方向へ進んでいるような流動の変化が少ない空間では、歩行時間は増加するが加速度の乱れは少ない。密度が高く流動も乱れている状況では、歩行時間が増加し加速度の変化も大きい。以上の仮説を踏まえて、調査結果を分析する。

〈6・3〉 分析結果

混雑していない状況を 1 として歩行時間増加量を算出し、減速、回避発生回数 (回/秒) との関係性を確認する (表 7 参照)。減速、回避ともその発生回数は、歩行時間増加率の上昇に伴い増加する傾向にあるが、ある一定のレベルを超えると増加が止まるもしくは減少に転じている。

この変化の表れ方は各コンコースで異なり、「茅場町」は「表参道」や「高田馬場」と比較して歩行時間増加率が低い段階で減速・回避発生回数ともに減少傾向となる (表 7 a 部)。すなわち、旅客密度が高くなるにつれて整流されやすい空間であるといえる。また、歩行時間増加量が低いときの回避発生が多いことから旅客密度が低い時に交錯が多いことが分かる (表 7 b 部)。今後、調査を拡大しサンプル数を増やすことで、各コンコースの特徴をより明確にすることが可能であると考えられる。

表 7 減速・回避発生回数と歩行時間増加量の調査結果



7. 加速度波形の周波数分析

〈7・1〉 分析の目的

周期的な波形のデータは、フーリエ変換を行うことで、どのような周波数の波が含まれているかを明らかにすることができる。そこで、加速度波形のフーリエ変換により周波数成分を分析し、下記の観点から数値的評価の可能性について検証する。

- I) 自由歩行時の周波数成分とその強さ
- II) 加速度変化が周波数成分に与える影響
- III) 停止、回避等の特徴的な歩行挙動の周波数成分

〈7・2〉 分析結果

基本歩行調査により取得した加速度波形をフーリエ変換して求めたパワースペクトル (以下、PS) と、ここから読み取れる事項を表 8 に示す。

表 8 歩行別のパワースペクトルの特徴

歩行	成分	特徴	波形
自由歩行	前後	2.05Hz に PS ピーク → 1 秒間に 2.05 歩	
	回転	前後成分の半分の周期 (左右 1 歩ずつで 1 周期)	
速度制限	前後	PS ピークが低周波側に移動し、強さも減少	
	回転	自由歩行と同じ傾向	
急停止	前後	PS ピークの周波数は自由歩行と同じだが、強さが減少	
	回転	PS ピークより低い周波数の波が増加 PS ピークの強さ減少	
回避 2 外向半身	前後	PS ピークの周波数は自由歩行と同じだが、強さが減少	
	回転	PS ピークより低い周波数の波が増加 PS ピークの変化小	

コンコースでの歩行挙動調査で取得した加速度波形の周波数分析結果も基礎歩行調査の分析結果と同様の傾向を示している (図 3 参照)。つまり、自由歩行時と比較して、一方向流で混雑発生による歩行速度低下時には前後成分の PS のピークが低周波側に移動すると共に強さが減少する。また、対向流等で回避行動をとると、回転成分が乱れること

から回転成分の PS ピークよりも低い周波数の波が顕著に多くなる。PS ピークの周波数、強さ、PS ピークよりも低周波側の波の強さの変化から一歩行区間における歩行速度の変化、停止、回避の発生量を分析し、コンコースの特徴を数値的に捉えることが可能であると考えられる。

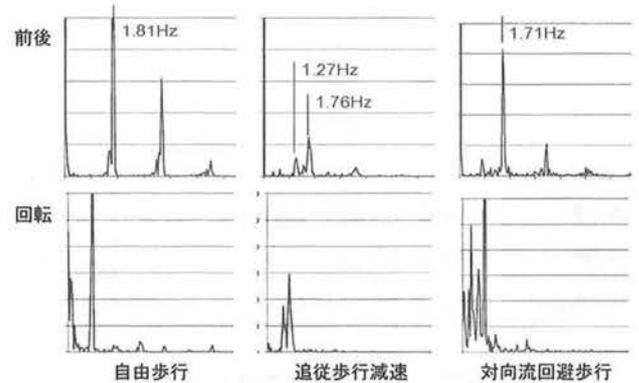


図 3 歩行別のパワースペクトルの特徴

8. おわりに

近年、東京都市圏では、鉄道ネットワークの拡大および過密な運行に起因した鉄道駅の混雑の問題が顕在化しており、改善に向けた早急な対応が求められている。本研究では、鉄道駅コンコースの混雑に関する評価指標を確立するために、旅客流動と歩行挙動の関係性に着目し、コンコース歩行時の加速度を分析することによって、旅客流動の特徴、混雑状況の判別を試みている。

その結果、加速度の波形、周波数分析から混雑状況での歩行挙動の変化を自由歩行からの差異として判別できることを明らかにしている。また、歩行時間の増加量と加速度の波形から抽出した減速・回避の発生回数との関係から、コンコースの旅客流動の特徴を判別することが可能であることを明らかにしている。

一方で、本研究では定性的な判別により加速度波形の変化点を抽出している。今後、旅客流動や混雑について定量的に分類し、定式化するためには、周波数分析から得られた数値 (周波数、PS の強さ) について、データの蓄積、分析を進めることが有用であると考えられる。

文 献

- (1) 鉄道局:「ターミナル駅における混雑解消を実現するための施策の検討」(2008.3, 2009.3)
- (2) 運輸政策研究機構:「駅等施設改良事業の具体的事案、改良の可否に関する調査」(2001)
- (3) 運輸政策研究機構:「鉄道利用者等に対する情報提供の深度化に関する調査 (乗換利便性の検討)」(2001)
- (4) 日本鉄道建設公団:「交通結節点のあり方に関する研究」(1996)
- (5) 内山久雄, 武藤雅成, 桜井章生:「鉄道の乗換抵抗に関する基礎的研究」, 土木計画学研究・講演集, No.12, pp.229-234, (1989)
- (6) 大島義, 松橋貞雄, 三浦秀一:「鉄道駅における乗換抵抗に関する基礎的研究」, 土木計画学研究・講演集, No.19(2), pp.701-704, (1996)
- (7) 例えば, 岡田哲:「間欠性跛行を呈する腰部脊柱管狭窄症の歩行分析」, 京府医大誌 108(2), pp.261-270, (1999)