

LRTおよびBRTの走行環境と 走行速度の関係性に関する調査

波床 正敏¹

¹正会員 大阪産業大学教授 工学部都市創造工学科(〒574-8530 大阪府大東市中垣内3-1-1)
E-mail: hatoko@ce.osaka-sandai.ac.jp

欧州のLRTはトランジットモールでは低速走行、市街地を抜けると高速走行できると紹介されるが、実際にどのような走行環境の時にどのような速度で運転されているのかは明確ではない。昨年度は、日本の路面電車の走行状態について調査を実施したが、本研究では欧州のLRTの走行速度をGPSを用いて調査し、走行環境（リザーベーション方法、専用通路設置、交差点配置、etc...）と走行速度の関係分析を試みるものである。また、類似交通機関であるBRTについても調査を行って同様の分析を試みる。LRTの速度調査はKarlsruhe, Saarbrücken, Strasbourg, Freiburgを対象とし、BRTの速度調査はNancy, Metz, Strasbourgを対象とした。

本研究の調査結果と昨年度の調査結果を比較することにより、日本の路面電車の走行環境に関する改善点を具体的に明らかにすることができると考えられる。

Key Words : operating speed, light rail transit, bus rapid transit, street environment

1. はじめに

(1) 研究の背景

LRTが新しい都市交通として注目が集まるようになって少なからずの年月が経過したが、日本では古い路面電車車両を低床LRVに置き換える程度にとどまっており、サービス水準の差は今だに大きな隔たりがあると感じられる。運賃体系、運賃収受方法、優先度、走行環境、全体の街路網など、様々な観点で追いつかなければならない点が存在しているが、電車の走行状況そのものについても大きな差があると思われる。

(2) 本研究の目的

昨年度は日本の路面電車の走行速度に関する調査を行ったが、日本の路面電車の走行水準が海外のものに比べてどの程度であるのか明らかにするためには、海外のLRTについても同様の調査と分析を行う必要がある。そこで、本年度は欧州6都市の計7路線（内、鉄輪式のLRTが4路線、BRTが3路線、詳細後述）について運行されている速度を実際に計測し、その計測結果について、沿道の交通環境と比較して分析する。これにより、昨年度調査と合わせて、日本の路面電車の走行環境の改善点の分析を詳しく行うことができる。速度測定は、速度計測に対応したGPSロガーを用いる。

2. 路面電車の運転速度の測定方法について

(1) GPSを使用した調査

路面電車の速度を測定する方法については、本研究の関連研究と同様に表-1のような速度計測に対応したGPSロガーを使用し、この装置を携帯してLRTやBRTに乗車して計測対象区間を10回（5往復相当）以上実際に通過して計測する。測定結果として得られた時刻と速度のデータを分析し、通常の鉄道における運転曲線に相当する図を作成することとした。記録は原則として1秒ごとに行われるように設定した。なお、GPS電波の受信状態が悪い場合（ビル陰など）は結果が記録されないため、計測間隔が開く場合がある。

例えば表-2はGPSに記録されたログのうち、速度に関する情報を抜き出したものの一部である。このデータを解析して路線上の電車の位置と速度の関係を知ることができる。

(2) 調査対象都市と路線

計測を行った都市は表-3に示す欧州6都市の計7路線である。鉄輪式のLRTが4路線、ゴムタイヤトラムのBRTが1路線、専用通路が確保された連節バスによるBRTが2路線である。表-3には各計測対象区間の電停数、区間長、標準的な所要時間、路線概要についても示した。

(3) 誤差の調整

GPSによる速度の測定結果を元に位置を計算してゆくと、位置の誤差が蓄積するため、測定対象の全区間についての計算上の路線長(Lc)と地図上での路線長(Lm)を比較し、両者が一致するように一定値(Lm/Lc)をGPSによる速度の測定結果を元に計算した値に乗じて調整した。

3. LRTの運転速度の測定結果と考察

(1) Karlsruheの測定結果

図-1はKarlsruheの1号系統に関する調査結果であり、横軸にOberreit Badeniaplatz電停（南西端の起点）からの距離、縦軸には当該位置における運転速度を示している。速度測定そのものは10回以上行われているが、本稿における分析はそのうちの1回分についての考察である（他路線も同様）。上部に緑色の印をつけた区間は専用軌道（道路外の新設軌道または一般車両の進入が困難な構造を有する中央敷設の軌道）であり、灰色の印をつけた区

表-1 GPSロガーの主要諸元

項目	内容
機器名	Holux M-241（および相当品）
最小計測間隔	1Hz
位置精度(Non DGPS)	3m以内（CEP=平均誤差半径）
速度精度(Non DGPS)	0.1m/s（約0.4km/h）
水平偏差(DGPS)	2.2m未満（95%信頼限界）
垂直偏差(DGPS)	5m未満（95%信頼限界）
最大高度	18,000m
最大速度	515m/sec（1854km/h）

表-2 GPSロガーの記録例(必要部分抜粋)

TP	経度	緯度	km/h	年	月	日	時	分	秒
1841	129.858246	32.793343	23.8	2016	11	4	7	2	44
1842	129.858307	32.793301	23.5	2016	11	4	7	2	45
1843	129.858353	32.793262	22.6	2016	11	4	7	2	46
1844	129.858398	32.793224	19.3	2016	11	4	7	2	47
1845	129.858444	32.79319	16.3	2016	11	4	7	2	48
1846	129.858475	32.793159	14.1	2016	11	4	7	2	49

表-3 測定対象都市と路線

都市名	対象路線	区間（停留所数[両端含]）	区間長と所要時間	計測日	備考
Karlsruhe(独)	1号線	Oberreit Badeniaplatz - Durlach Turmberg (26)	11.5km, 37分	2017/9/1, 2017/9/11	鉄輪式LRT, 路面併用軌道, 専用軌道, Transit Mall, 一部単線
Saarbrücken(独)	S1号線	Siedlerheim - Sarreguemines (21)	20.8km, 39分	2017/9/2 - 2017/9/3	鉄輪式LRT, 路面併用軌道, 鉄道線乗入, 一部単線
Strasbourg(仏)	C線	Gare Centrale - Neuhof Rodolphe Reuss (17)	8.0km, 28分	2017/9/7 - 2017/9/9	鉄輪式LRT, 専用軌道, 路面併用軌道, Transit Mall
Freiburg(独)	3号線	Innsbrucker Straße - Munzinger Straße (21)	9.2km, 31分	2017/9/9 - 2017/9/10	鉄輪式LRT, 専用軌道, 路面併用軌道, Transit Mall
Nancy(仏)	1号線	Essey Mouzimpré - Vandoeuvre CHU Brabois (28)	10.0km, 38分	2017/9/5 - 2017/9/6	BRT(TVR[ゴムタイヤトラム]), 一般車共用区間, Transit Mall, 専用区間
Metz(仏)	MB線	Cité U - Maternité (21)	11.2km, 33分	2017/9/4 - 2017/9/5	BRT(3連式連節バス), Transit Mall, 一般車共用区間, 専用区間, 一部単線運用
Strasbourg(仏)	G線	Gare Centrale - Espace Européen de l'Entreprise (12)	5.1km, 15分	2017/9/7 - 2017/9/9	BRT(2連式連節バス), 一般車共用区間, 専用区間, 一部単線運用

間は片寄せで敷設された軌道、赤色の印をつけた区間は一般車両の進入が禁止されたいわゆるトランジットモール区間である。水色の印をつけた区間は鉄道線への乗入れ区間であり、何も印を付けていない区間は（法的規制はともかく）一般車両の進入が可能な構造の区間である。以下、この節の分析に関する図は同様の作図方法によるものである。

図-1に示すように5.0km附近から6.1km附近までの中心街通過区間はトランジットモールになっており、それ以外の区間でもかなりの割合の区間で専用の軌道が確保されている。

緑色の印をつけた専用軌道区間のうち0.0kmから3.3km附近までについては植栽などにより一般の車道と分離された区間である。交差する道路が多いことが影響していると思われるが、この区間での速度は40~50km/h程度以下に抑えられている。3.3km附近から3.9km附近までは狭い街路に敷設されており、一部は単線区間になっている。ここから6.6km附近までは目抜き通りのKaiserstraßeなどを走行しており、速度は30km/h程度以下に抑えられている。7.2km附近から10.2km附近までは幹線道路の中央部にバラスト軌道が敷設された形態になっており、駅間が長く、交差する道路も少ないことから高速運転が行われている。10.3km附近からはKarlsruheに隣接するDurlachの旧市街中心部を走行しており、運転速度が低い。全線での表定速度の実測値は18.4km/h、最高速度は80.3km/hであった。

(2) Saarbrückenの測定結果

図-2はSaarbrückenのS1系統に関する調査結果であり、横軸にSaarbrücken市街のほぼ北端に位置するSiedlerheim電停からの距離、縦軸に当該位置における運転速度を示しており、上部に印をつけた区間の意味は図-1と同様である。中心街を通過する部分の多くは街路の片側に軌道をまとめて敷設する片寄せになっており、駅前広場の部

分はトランジットモールになっている。6.2km 附近以降、終点の Sarreguemines までは貨物列車や急行列車なども走行する鉄道線上を走る。この鉄道線区間では独仏間の国境をまたぐ。

Siedlerheim 電停を出発してすぐに道路中央に軌道が敷設されている区間を走行し、一般車両が軌道へ進入することは物理的に可能ではあるものの、複線の線路間にポール等の障害物が設置されており、一般車両が交差点以外で軌道を横断することを防いでいる。市街地通過部分は片寄せ区間が多く、これも一般車両が交差点以外で軌道を横断する機会を減少させていると思われる。6.2km 附近の Saarbrücken-Brebach 駅から先は鉄道線上を走行するため、運転最高速度は 90~100km/h 程度になっている。ただし、駅間距離が 2~3km 程度のため最高速度での走行時間は余り長くない。全線での表定速度の実測値は 28.8km/h、最高速度は 97.3km/h であった。

(3) Strasbourg の測定結果

図-3 は Strasbourg の C 線に関する調査結果であり、横軸に SNCF 駅前の Gare Centrale 電停からの距離、縦軸に運転速度を示しており、全線にわたって市街地を走行しているにもかかわらず、この路線でも多くの区間で専用軌道が確保されている。専用軌道でない区間でも軌道の片寄せ敷設が比較的多用されている。

駅前広場を出ると 0.3km 附近までは道路中央部分に軌道が敷設されている区間を通過する。ここは元々は駐車

場として使われていた空間であり、一般の車線とは歩道や自転車道付きの街路樹帯で分離されている（日本では見かけない街路構造）。その先は一般車両も走行する街路であるが軌道は片寄せが基本となっており、中心街の交通広場になっている Homme de Fer 付近では一般車両の進入禁止区間、République 広場では公園の一部を走行する。ここまでの運転速度はかなり遅く、20km/h 程度以下である。2.2km 附近から先については、道路中央部に位置する元々駐車場であった空間が歩道と街路樹の植栽になっており、その左右に軌道と車道が配置されるというかなり特殊な街路断面の区間を走行する（一種の片寄せ軌道）。ここでも速度は 30km/h 程度までの低速で走行する。3.1km 附近から先は道路中央に敷設された芝生軌道などを走行し、専用軌道区間が多くなるが、停留所間隔が短く、30km/h 程度までの低速走行である。全線での表定速度の実測値は 14.8km/h、最高速度は 38.9km/h であった。

(4) Freiburg の測定結果

図-4 は Freiburg の 3 号線に関する調査結果であり、横軸には Vauban 地区の Innsbrucker Straße 電停からの距離、縦軸に運転速度を示している。1.5km 附近からの 200m 程度は鉄道線路かをくぐる部分であり、一般車両との併用軌道になっている。また 2.8km 附近から 3.9km 附近までについても道路中央部への敷設であるが、軌道部分と車道部分に数 cm 程度の段差が付いており、不用意に一般車が侵

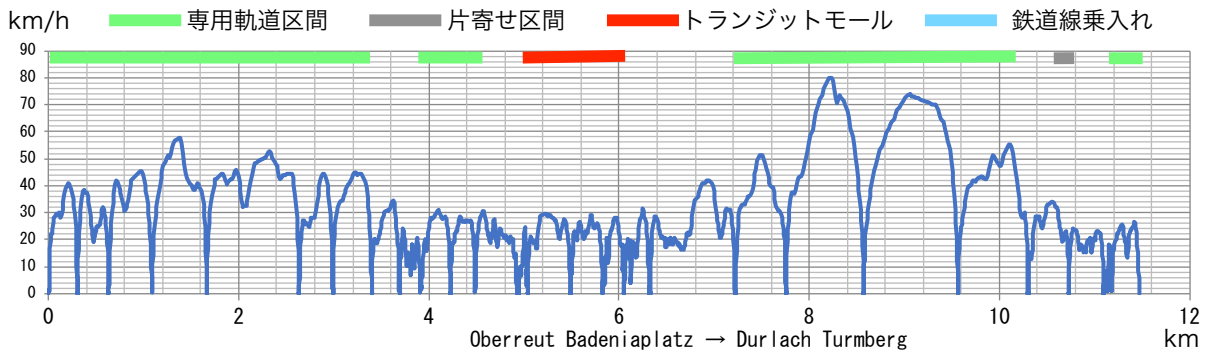


図-1 Karlsruhe の測定結果 (単一列車のみ)

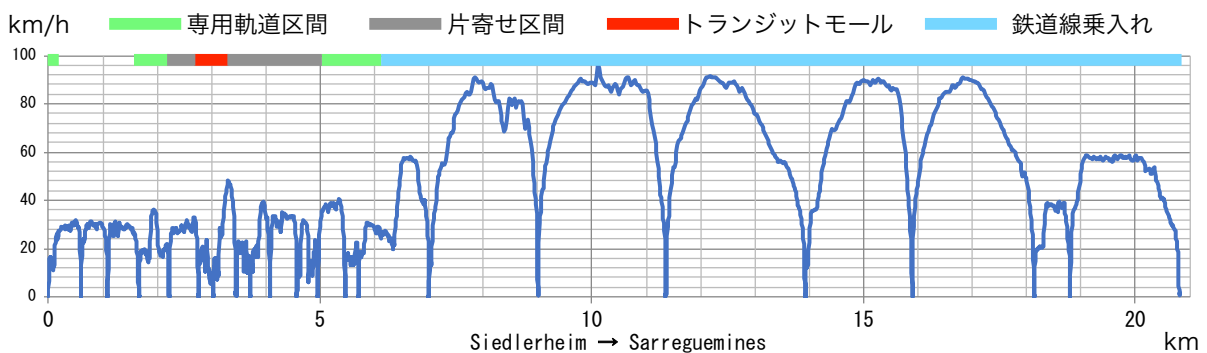


図-2 Saarbrücken の測定結果 (単一列車のみ)

入することを防いでいる（一部は一般車両との併用軌道）。3.9km附近から先はトランジットモールになっている。それ以外の大部分の区間は専用軌道化されており、道路中央部への敷設であっても緑化軌道化されるなどして一般車両の侵入を防いでいる。

運転速度は大部分が40km/h程度以下であり、トランジットモールでは20km/h程度以下になっている。全線での表定速度の実測値は17.6km/h、最高速度は46.0km/hであった。

4. BRTの運転速度の測定結果と考察

(1) Nancyの測定結果

図-5はNancyの1号系統に関する調査結果であり、横軸にEssey Mouzimpré停留所（東端の起点であるバスターミナル）からの距離、縦軸には当該位置における運転速度を示している。速度測定そのものはLRTの場合と同じく10回以上行われているが、図-5はそのうちの1回分についてである（他路線も同様）。上部に緑色の印をつけた区間は専用道路（一般車用の道路とは別に設置された道路、または一般車も走行する道路ではあるが、分離帯等で一般車用の車線と完全に分離された車線が確保された区間）であり、灰色の印をつけた区間はBRT（またはバス）用の専用レーンの確保された車道区間である。赤色の印をつけた区間は一般車両の進入が禁止されたいわゆるトランジットモールである。無印は一般道路を一般車

両とともに運転している状態である。以下、この節の分析に関する図は同様の作図方法によるものである。Nancyについては専用道路は無い。

Nancyの1号系統はTVRというゴムタイヤトラムであり、Essey Mouzimpré電停からの約1.7kmは連節バスとして走行し、7.4km附近までの区間については1本レールで案内されるトラムモードで運転される。その先は終点手前まで再び連節バスとして走行し、終点附近で再度トラムモードで運転される。トラムモード区間では専用車線が確保され、中心街はトランジットモールである。

走行速度はバスモード区間とトラムモード区間で大きな違いは見られず、概ね40km/h以下で運転されている。西側のバスモード区間のうち、西端付近で運転速度がやや高い（50km/h程度）のは、この区間が幹線道路上の走行区間になっているからである。一方、中心街のトランジットモールでは20km/h程度以下になっている。全線での表定速度の実測値は13.4km/h、最高速度は53.5km/hであった。

(2) Metzの測定結果

図-6はMetzのMB線に関する調査結果であり、横軸にSaulcy島の Cité U 停留所からの距離、縦軸に運転速度を示している。MetzのMB線は3連節構造の連節バスが使われており、一部区間を除いて全線にわたって専用通路が確保されている。中心市街地を通過する部分は一般車も通行できる道路の一部に専用レーンが設けられた形になっ

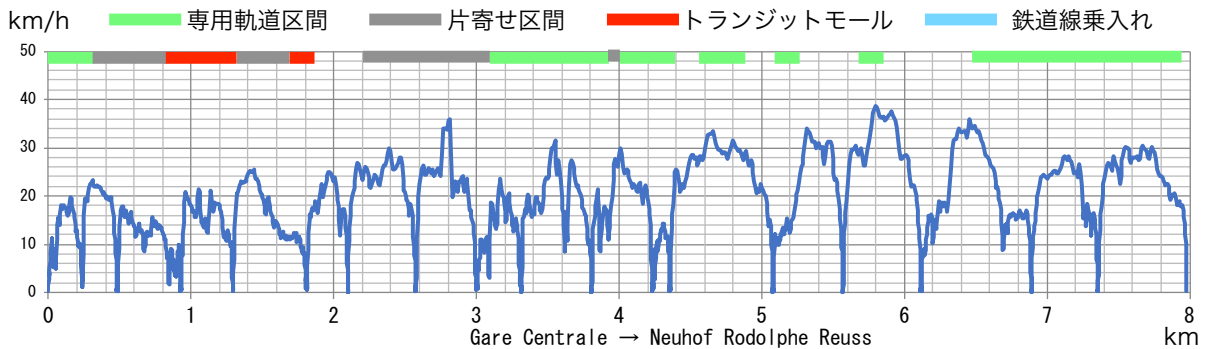


図-3 Strasbourg(C Line)の測定結果（単一列車のみ）

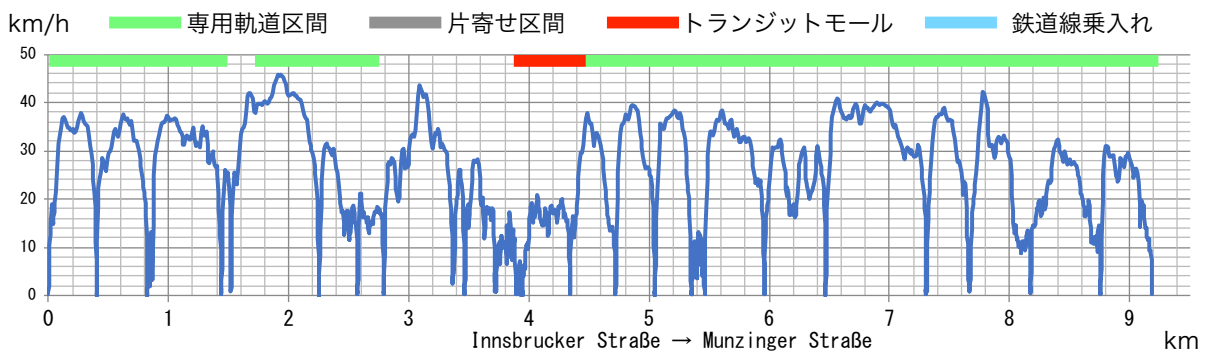


図-4 Freiburgの測定結果（単一列車のみ）

ており、郊外部では一般車も通行できる道路の一部に分離帯で区切られた専用通路を確保するか、あるいは専用の道路が設置されている。中心街では一般車の進入が禁止された区間も設定されている。

Saulcy島から中心街にかけての2.7kmまでの範囲では幅員が十分ではない区間が存在し、交差点での右左折も多く、30km/h程度以下での運転になっている。SNCF駅前も一部に一般車の進入が禁止された区間がある。2.9km附近よりも先については専用車線区間とした部分であってもバスレーンと一般車線との間には数cm程度の段差が設けられており、不用意な車両の進入機会を減らしていると思われる。この区間での走行速度も40km/h程度以下である。専用道路区間では、一般車の走行する車線とは分離帯などで区切られた走行路が確保され、8.6km附近

から終点までの区間では一般車の走行する道路とは別経路の専用道路が確保されており、40～50km/h程度で走行する。全線での表定速度の実測値は21.2km/h、最高速度は50.6km/hであった。

(3) Strasbourgの測定結果

図-7はStrasbourgのG線に関する調査結果であり、横軸にSNCF駅前のGare Centrale停留所からの距離、縦軸に運転速度を示している。2連節のバスが用いられており、かなりの割合の区間において専用レーンもしくは専用道路が確保されている。中央駅から北部の新規開発地に向かう路線であり、トランジットモール区間は無い。

基本的にはバス路線であるにもかかわらず専用道路の区間では停留所間が500～700m程度あり、40～50km/h程

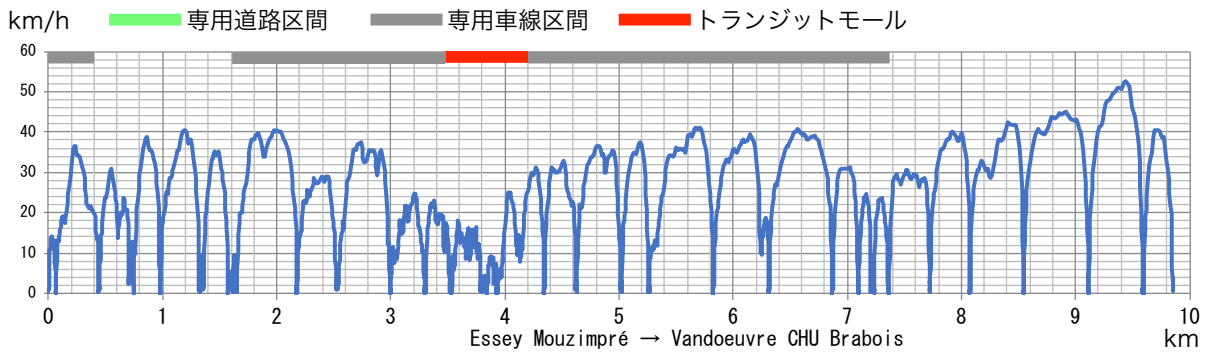


図-5 Nancyの測定結果（単一列車のみ）

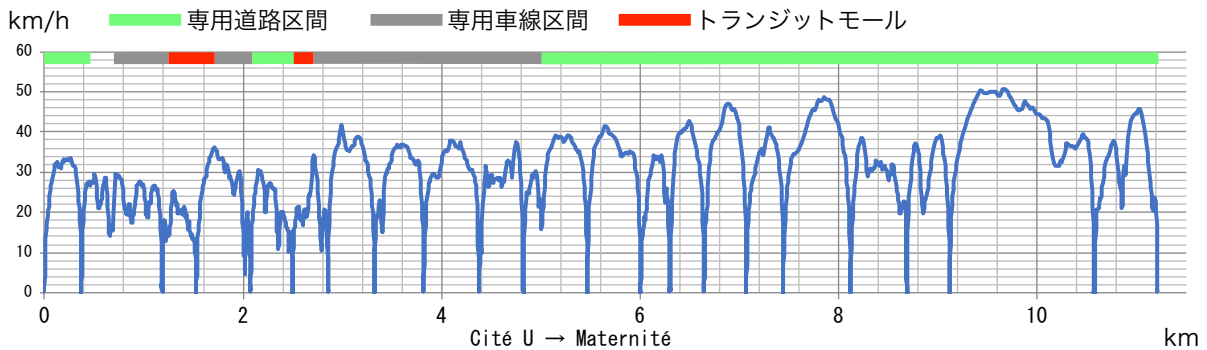


図-6 Metzの測定結果（単一列車のみ）

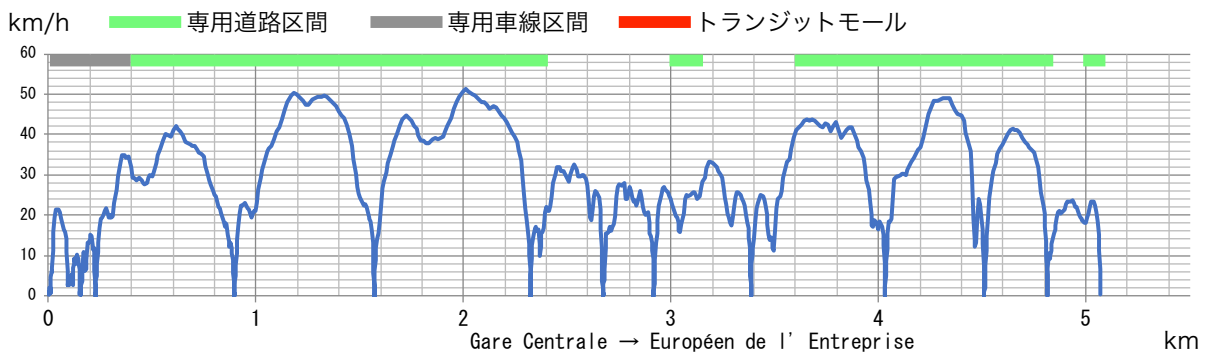


図-7 Strasbourg(G Line)の測定結果（単一列車のみ）

度で走行する区間が比較的長い。途中、専用道路が途切れている箇所があるが、ここでは集合住宅が多数建ち並ぶ地区を通過しており、運転速度は20～30km/hになっている。全線での表定速度の実測値は18.1km/h、最高速度は51.3km/hであった。

5. 結果のまとめと今後の課題

本研究では、欧州の6都市の計7路線（LRTが4路線、BRTが3路線）の走行速度をGPSを使用して連続的に測定するとともに、その結果を用いて電車の位置と速度の関係を分析した。

その結果、専用軌道では路面軌道に比べて走行速度が大きいこと、電停間距離が大きいほど運転速度が大きくなること、鉄道線への乗入れではかなり高速運転されていることなどがわかった。

一方、研究課題としては、1秒ごとのGPSの測定結果を

用いて位置を計算する（積分する）という方法を用いたため誤差が蓄積しやすく、本研究では調整を行ったものの、同じ路線でも誤差の大きい区間とそうでない区間が存在しているようである。複数回の測定結果を重ねあわせて偶然的な誤差を除去するには位置の誤差の除去が前提となるため、電停位置を基準にするなどして区間ごとのこまめな誤差除去が喫緊の課題である。また、国内での同様の調査も既に実施しており、比較分析を行ってゆくことも課題である。さらに、走行環境の与える細かな影響についての詳しい分析も必要である。

参考文献

- 1) 波床正敏, 伊藤雅: わが国の路面電車の走行環境と走行速度の関係性に関する調査, 土木計画学研究講演集, Vol.55, CD-ROM, 2017.

(2018. 4. 27 受付)

A SURVEY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN TRAVELING ENVIRONMENT OF LIGHT RAIL TRANSIT OR BUS RAPID TRANSIT AND THEIR DRIVING SPEED

Masatoshi HATOKO