

# 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

波床 正敏<sup>1</sup>・伊藤 雅<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>正会員 広島工業大学教授 工学部環境土木工学科(〒731-5193 広島市佐伯区三宅2-1-1)  
E-mail: t.itoh.sn@cc.it-hiroshima.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。一方、日本の路面電車の走行環境を改善するにあたって、欧州のLRTを参考にすれば、具体的にどのような箇所をどのように改善すれば効果的かという分析が必要になるが、国内の走行状態についても詳しい調査が必要である。

そこで本研究では国内の路面電車の走行速度を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...）と走行速度の関係について分析するものである。将来的には、海外のLRTについても同様の調査と分析を行うことにより、前述のような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。

*Key Words : operating speed, street car, light rail vehicle, 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ます。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、他の交通に対する優先度、街路などの走行環境、全体の街路網など、様々な観点で追い付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。

わが国では路面電車の最高速度は軌道法で40km/hに制限されるとともに、加減速の鈍い旧式車両の使用、頻繁な交通信号による停止など、様々な制約により走行時の速度そのものも遅いように感じられる。電車の走行速度や加減速については、幹線鉄道などでは詳しい分析が行われ、車両の検討や運転方法の検討などがおこなわれているものの、国内の路面電車についてはあまり詳しい分析が行われてこなかった。そればかりか、分析以前に、古い路面電車車両の中には速度計が設置すらされていないものもいまだに運行されている状況である。

### (2) 本研究の目的

日本の路面電車に関して、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（軌道の位置、信号等の存在、専用通路の存在、電停の配置、など）と比較して分析することで、日本の路面電車の走行環境について運転速度の面から考察を行うことを目的とした。本研究そのものでは調査・分析対象としないが、将来的には、海外のLRTについても同様の調査と分析を行うことにより、前述のような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と考えている。

路面電車の速度の測定方法としては、速度計測に対応したGPSロガーを使って測定する。この計測結果と街路状況を考慮した分析を行うこととする。

## 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、本研究では表-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路面電車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、通常の鉄道の列車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（トンネルやビル陰など）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に示す国内8都市の計9路線である。いずれも基本は軌道法に基づく路面電車であるが、京阪電鉄の石山坂本線の対象区間は全線専用軌道である。また広島電鉄の2系統のうち、宮島線は鉄道事業法に基づく区間である。岡山電軌、長崎電軌、豊橋鉄道には専用軌道はなく路面軌道のみである。表-3には各対象区間

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	測定対象路線	区間と電停数(両端含)	区間長と所要時間	計測日	備考
大阪市 堺市	阪堺電軌軌道 上町線・阪堺線	天王寺駅前-浜寺駅前 29箇所	13.8km, 49分	2016/5/15, 2016/9/25, 2016/10/1	路面, 専用軌道
京都市	京福電鉄 嵐山本線	嵐山-四條大宮 13箇所	7.2km, 24分	2016/10/8	路面, 専用軌道
京都市 大津市	京阪電鉄 京津線	京阪山科-浜大津 6箇所	6.0km, 12分	2016/10/9, 2016/10/15	専用軌道, 路面
大津市	京阪電鉄 石山坂本線	浜大津-石山寺 12箇所	6.7km, 17分	2016/10/9, 2016/10/15	専用軌道のみ
岡山市	岡山電軌軌道 東山線	岡山駅前-東山 10箇所	3.0km, 18分	2016/8/11, 2016/11/3	路面のみ
広島市	広島電鉄 宮島線・2号線	広島駅前-広島宮島口 40箇所	21.5km, 67分	2016/8/11, 2016/11/3, 2016/11/4	鉄道線(専用), 路面
広島市	広島電鉄 8号線	横川駅-江波 12箇所	4.3km, 23分	2017/3/1	路面のみ
長崎市	長崎電軌軌道 1号系統	赤迫-正覚寺下 26箇所	7.3km, 37分	2016/11/4, 2016/11/5, 2016/11/6	路面のみ
豊橋市	豊橋鉄道 市内線	駅前-赤岩口 13箇所	4.8km, 21分	2016/8/16	路面のみ

の電停数、区間長、標準的な所要時間についても示している。

(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. 路面電車の運転速度の測定結果と考察

(1) 阪堺電気軌道の測定結果

測定結果をもとに位置と速度の関係を分析して図示したものが図-1である。横軸に天王寺駅前電停からの距離、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道路外の専用軌道であり、それ以外については路面の併用区間であるが、2.0km附近から3.4km附近までの区間については軌道敷内に自動車が入り込むような区間、堺市内の7.5km附近から10.0km附近までの区間については、道路中央に軌道が敷設されているが車道とは植栽などで完全に分離された走行路が確保されている区間である。

緑色の印をつけた専用軌道区間では最高速度が40km/h程度に抑えられているものの、電停以外に停止することがなく、また電停間隔も広めであるため、路面区間に比べて走行速度は高めであることがわかる。

低速運転されているのは天王寺駅前附近であり、電停以外にも複数箇所で電車が停止してしまっていることがわかる。専用軌道区間でも4.0km附近で低速になっており、ここは附近に急曲線が連続していることが影響しているものと考えられる。堺市内の車道と植栽で分離され

た区間では、路面区間としては速度は高めであるものの、電停以外での停止が多いことや電停の数が多いことなどが影響して絶対的に速度が高いわけではない。

**(2) 京福電鉄嵐山本線の測定結果**

位置と速度の関係を分析して図示したものが図-2である。横軸に嵐電嵐山駅からの距離、縦軸に当該位置における運転速度を示しており、上部に緑色の印をつけた区間は専用軌道であり、それ以外は路面区間である。全線にわたって専用軌道区間が多いが、3.5km附近（太秦天神川電停付近）や、4.0-5.2km附近に路面区間がある。

区間によらず最高速度は40km/h程度以下になっており、特に専用軌道か併用軌道かによる違いは明確では無い。全般的に電停間隔が短めであるため、専用軌道区間でも運転速度は遅い。2.0-2.5km附近では専用軌道区間であるにもかかわらず走行速度の上昇が緩やかであるが、ここは三条通という大きめの街路を横切る区間であるた

め、このことが影響しているものと考えられる。2.9km附近でもいったん速度を落とした上で電停に進入しているが、ここも大きな踏切のような構造になっており、このことが影響している。5.2-5.5km附近でも加減速が緩やかであるが、ここは急曲線が2カ所存在するとともに、大通りを横切る区間が2カ所存在している。終点附近で速度が低めになっているのは、折り返して使用しているホームが空くのを待っているからであると考えられる。

**(3) 京阪電鉄京津線の測定結果**

結果を図-3に示す。横軸に京阪山科駅からの距離、縦軸に運転速度を示しており、緑色の印をつけた区間は専用軌道である。5.3km附近以降は天津市内の路面区間である。軌道法に基づく区間ではあるが、京都市営地下鉄東西線に直通する4両編成の高床式の電車が運転されている。

京都市東部の京阪山科から県境を越えて天津市内の上

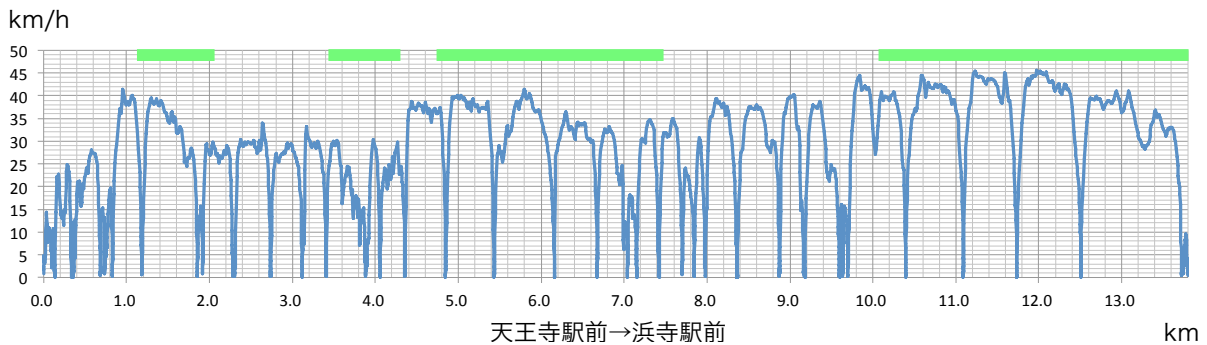


図-1 阪堺電気軌道の測定結果（単一系列車のみ）

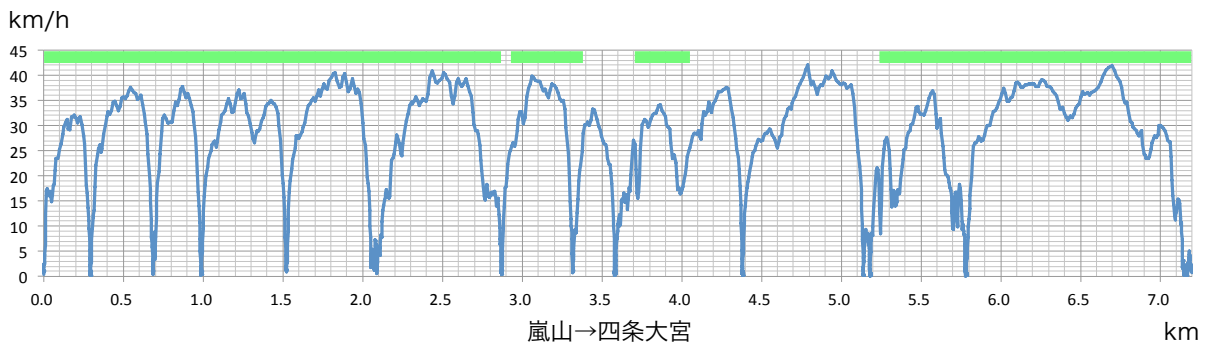


図-2 京福電鉄嵐山本線の測定結果（単一系列車のみ）

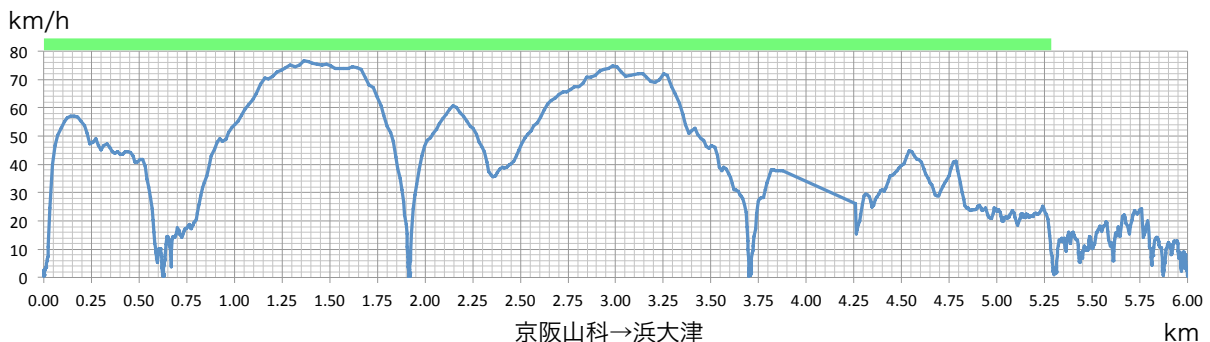


図-3 京阪電鉄京津線の測定結果（単一系列車のみ）

栄町までは専用軌道であるが、山岳鉄道と表現するのが適当であるような区間であり、特に逢坂山付近ではトンネルの前後に急曲線と急勾配が存在している。京阪山科-四宮間および上栄町-浜大津間は500m程度の停留所間隔であるが、それ以外は1km程度以上となっており、他路線とはかなり傾向が異なっている。このため、最高速度は70km/hを超えており、海外のLRTと遜色がない。しかし、3.7km附近以降は峠越え区間であり、専用区間であっても速度が低い。大津市内の路面区間では、信号による停止はほとんどないものの、運転速度はかなり低くなっている。

**(4) 京阪電鉄石山坂本線の測定結果**

結果を図-4に示す。横軸に浜大津駅からの距離、縦軸に運転速度を示している。全線専用軌道区間であり、測定対象区間には路面区間はない。

路面区間がないため、駅間距離が大きいところでは最高速度が60km/h以上に達しており、比較的高速運転である。また、電停間が300m程度の区間でも他路線の路面区間などに比べると比較的高速である。3.2km附近、4.0km附近、4.8km附近、5.2-5.5km附近などにおいて速度が低めに頭打ちになっているが、これらはいずれも急曲線の存在する区間である。

**(5) 岡山電気軌道東山線の測定結果**

結果を図-5に示す。横軸に岡山駅前電停からの距離、縦軸に運転速度を示している。全線路面併用軌道区間で

あり、専用軌道区間は無い。

全線路面併用軌道であるため、完全に停止してしまう機会は少ないものの、信号機での停止をなるべく避けるために10km/h程度でののろのろ運転が続く。それ以外の部分についても20km/h程度しか速度を出していない。電停間隔も短いため、信号による停止がないような場合でも最高速度が35km/hに達する程度である。

**(6) 広島電鉄2号線の測定結果**

結果を図-6に示す。横軸に広島駅前電停からの距離、縦軸に運転速度を示している。5km附近までは市内の街路上の路面軌道であり、専用区間は無い。それ以降終点までは鉄道事業法に基づく鉄道線であり、LRTとしてとらえるならば軌道（市内線）と鉄道（宮島線）を直通するという点ではトラムトレインの定義に当てはまる。ただし、欧州のトラムトレインではトラム部分、トレイン部分ともに駅間電停間距離は広電よりも大きい。

市内線部分は最高速度が40km/hまでで運転されるとともに信号による停止や電停での停止が多い。20km/h程度までの速度で運転されている電停間も存在している。距離的には市内線部分と鉄道線部分の比率は約1:3であるが、所要時間の点では市内線部分の方が時間がかかっている。鉄道線部分については駅間が長めであるために60km/h程度までの速度で運転されている。前述のように鉄道線としては駅間距離は小さいので約15kmの距離に約30分を要している。

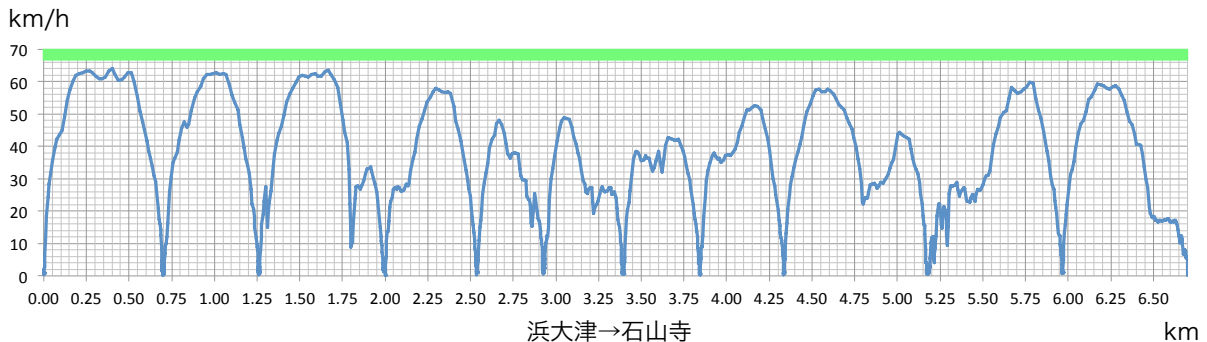


図-4 京阪電鉄石山坂本線の測定結果（単一列車のみ）

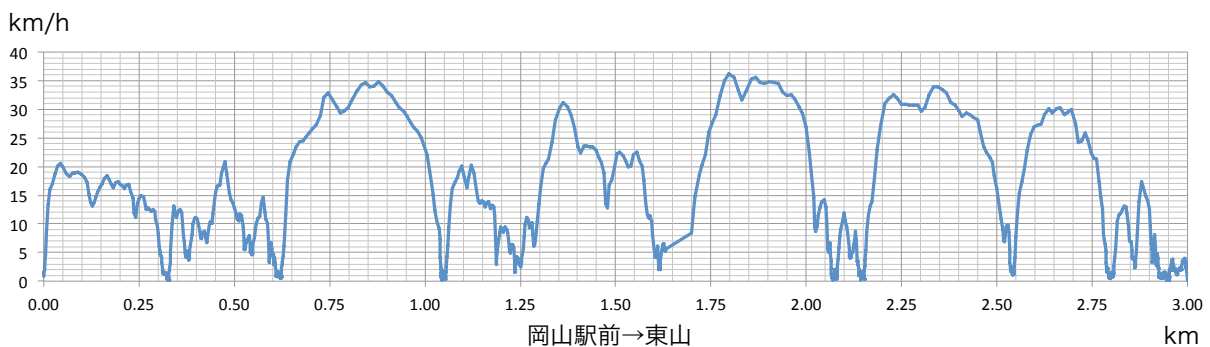


図-5 岡山電気軌道東山線の測定結果（単一列車のみ）

**(7) 広島電鉄8号線の測定結果**

結果を図-7に示す。横軸に江波電停からの距離、縦軸に運転速度を示している。全区間が路面軌道であり、専用区間は無い。

電停が多いほか、信号も多いため、停止もしくはほぼ停止状態になった回数が20回以上あり、50-100m間隔で停止発進を繰り返している箇所もある。このため、全般的に運転速度は遅い。全区間での最高速度は約40km/hであるものの、ほとんどの電停間で30km/hが実質的な最高速度になっている。

**(8) 長崎電気軌道1号系統の測定結果**

結果を図-8に示す。横軸に赤迫電停からの距離、縦軸に運転速度を示している。1.5-2.8km附近が専用軌道区間であり、その他は路面併用軌道である。

専用軌道区間はあまり長くない、電停間距離も短いた

め、前後の路面軌道区間と比べて明確に高速運転されているとは言いがたい状況である。5km附近が長崎駅前電停であるが、赤迫からここまでは路面区間が多いものの比較的運転速度は大きめである。しかし、長崎駅前以後については停止する回数が増える。これは、長崎駅前までは幹線道路上もしくは幹線道路に並行する比較的単純な路線であるのに対し、長崎駅前以後は右左折や路線の分岐、観光地や繁華街を要する電停が数多く存在し、これらが速度低下の要因になっている。

**(9) 豊橋鉄道市内線の測定結果**

結果を図-9に示す。横軸に駅前電停（豊橋駅）からの距離、縦軸に運転速度を示している。全区間路面軌道であり、末端の約1.2kmが単線区間になっている。

駅前から市役所前付近（1.4km附近）までは右左折があるととも信号待ちが多く、わずか1kmあまりの間に

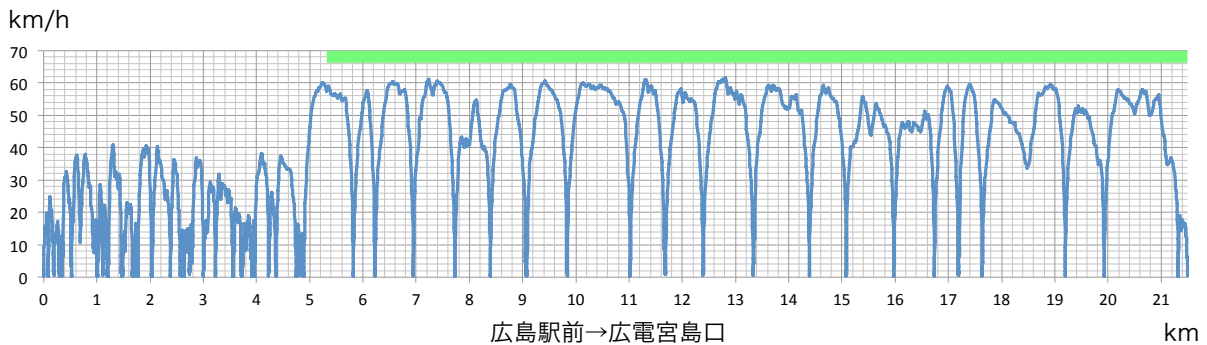


図-6 広島電鉄2号線の測定結果（単一列車のみ）

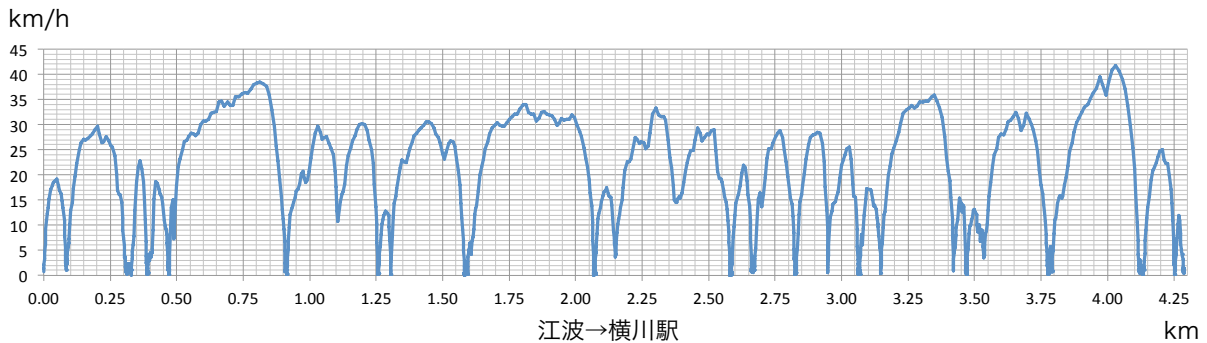


図-7 広島電鉄8号線の測定結果（単一列車のみ）

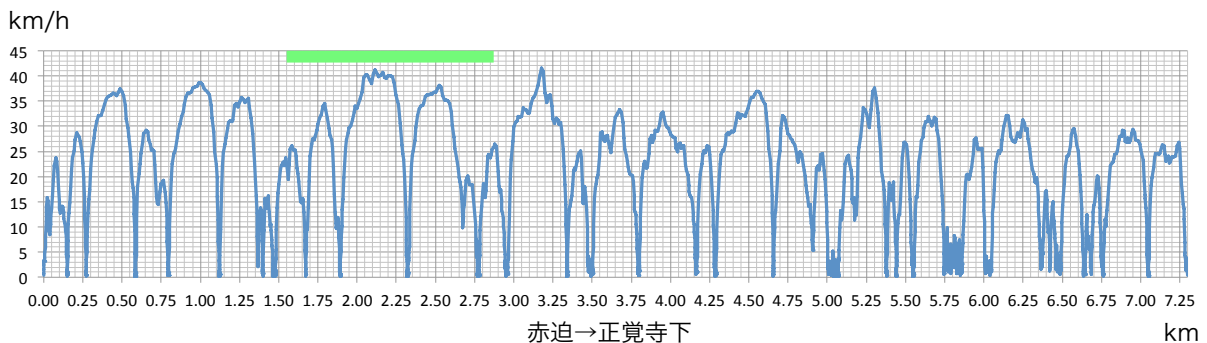


図-8 長崎電気軌道1号系統の測定結果（単一列車のみ）

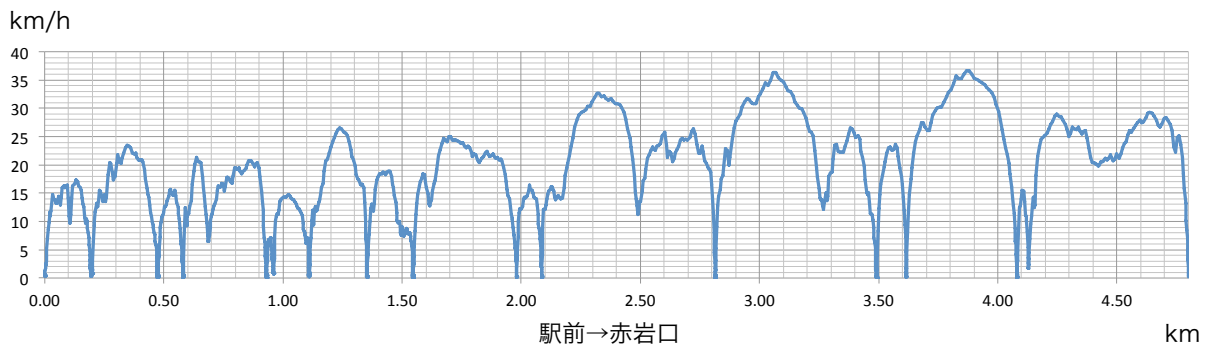


図-9 豊橋鉄道市内線の測定結果（単一列車のみ）

6-7回の停止があるとともに、低速運転が続く。その先については電停が少なくなるとともに乗降客が少ないために通過する電停も少なくなき、停止の機会も少なくなる。このため運転速度は上昇するがせいぜい30km/h程度での走行である。

末端の単線区間については、無駄な待ち時間が少なくなるように運転ダイヤが組まれているため、走行状況に関しては特に複線区間との大きな違いはない。

#### 4. 結果のまとめと今後の課題

本研究では、路面電車の走行速度をGPSを使用して連続的に測定し、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、急曲線が存在すると専用軌道であっても速度が小さくなること、信号の多い区間では信号待ちの停止回数が多い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、区間ごとのこまめな誤差除去が課題である。また、海外でも同様に測定結果を得ることは可能であり、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実施する必要がある。

(2017. 4. 28 受付)

## A SURVEY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN TRAVELING ENVIRONMENT OF STREETCARS IN JAPAN AND THEIR DRIVING SPEED

Masatoshi HATOKO and Tadashi ITOH