

トランジットモールにおける LRT騒音の測定結果分析

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

LRTを特徴づける要素の一つとしてトランジットモール(TM)があり、海外には多数の実例が存在する。しかし、日本ではTMの構造およびモール内における歩行者の通行状況などに対する実態の理解が十分ではなく、特に交通管理者において「TM=危険な街路」というイメージが定着してしまっている可能性がある。このことは、日本においてTMが実現しにくくなっている原因の一つではないかと思われる。

LRTは旧来の路面電車に比べて低騒音・低振動の軌道交通であるとされているが、繁華街の街路では、歩行者がLRVの接近に気付きにくくなる原因となる可能性がある。そこで、本研究では、海外のTMを走行するLRVの発する騒音レベルを実際に測定し、街路構造やモール内における歩行者の通行状況に与える影響について分析を行う。この分析に基づいて、わが国でTMを実現するには、安全上どのような課題が存在するかについて考察を行う。

Key Words : transit mall, noise level, light rail vehicle, pedestrian behaviour

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年月が経過したが、日本では未だに旧式の路面電車を低床式のLRV(LRT用の電車)に置き換える程度にとどまっているのが現状であり、LRTシステムを構成する他の要素の実現はほとんどなされていない。例えば、中心市街地活性化が期待されているトランジットモール(以下、TM)については、自動車と電車の共存方法、TMにおける歩行者と車両の共存など、わが国では未経験な部分が多いため、関係諸機関の理解を得にくく、実現しにくい状況にあるものと考えられる。

わが国ではTMに関しては歩行者と電車やバス等との接触事故が懸念されているが、これまでは道路から歩行者をいかに隔離すべきかという視点で道路行政が行われてきたため、どのような状況ならば共存可能かといった点を議論するための基礎的な情報・知見の蓄積が不足していると考えられる。

(2) これまでの研究と本研究の目的

本研究に至るまでの研究としては、TMの街路の幅員構成の研究¹⁾やTMにおける歩行者の横断行動の研究²⁾、あるいは街路に沿っての歩行時に軌道部分を歩行する割合に関する研究³⁾などをおこなってきた。その結果、基

本的な行動として、横断歩行者は十分な安全を確保しながら横断すること、歩道の整備状態によって軌道上歩行の状態が変わることなどが分析された。

LRTが運行されている都市では、例えば写真-1のような歩行者に対する注意喚起の表示を見かける(この写真は、LRTの方が優先されることを示すもの)。これは、LRVが従来から使用されてきた路面電車に比べて走行音が静かであるため、接近に気付きにくいことを反映してのものと考えられる。わが国でLRTシステムを導入する際にも、特にTMのような混合交通状態を許す街路では検討を要する課題となる可能性がある。

そこで本研究では、TMとなっている街路に関して、LRVが通過する際にどの程度の騒音を発生させているかについて海外のいくつかの都市において実測し、その測定結果について、日本の街路で測定した騒音測定結果と比較分析することで、音の面から安全性について考察を



写真-1 歩行者への注意喚起の例(Strasbourg)



写真-2 Bremen (Obernstraße)



写真-3 Erfurt (Anger)



写真-4 Magdeburg (Breiter Weg)



写真-5 Chemnitz (Straße der Nationen)



写真-6 Kassel (Obere Königsstraße)



写真-7 Würzburg (Eichhornstraße)



写真-8 Frankfurt (Willy-Brandt-Platz)

TMというよりは歩行者が自由に移動できる状態の広場を軌道が横断している状態に近い。また、Magdeburgについても幅員が大きく(約45m)、専用軌道の両側に植栽を介して広幅員の歩道が設置されている形態に近い。

(2) 測定方法

測定に使用した騒音計は表-2に示すような普通騒音計を用い、同表に示したモードによって、表-3のような位置において計測した。

実際の街路で測定したため、走行するLRVから騒音計までの距離がそれぞれ異なっており、そのままでは相互

表-2 測定器の諸元

項目	内容
メーカー	TERMARS
型番	TM-102
規格	IEC60651 TYPE 2
周波数レンジ	31.5Hz-8kHz
測定範囲	30-130dB
分解能	0.1dB
精度	±1.5dB (94dB/1kHz時)
周波数特性	A特性で測定
応答速度	FASTで測定

の比較などがしにくい。そこで、以下の式を使って距離による減衰量を計算し、軌道中心から2mの位置の場合に換算した。(1)式は線音源に対する距離減衰に関する近似式であり、音源からの距離が線音源の長さの $1/\pi$ より近い場合において、距離が倍になる毎に3dB低減することを反映したものである⁹⁾。LRVの車長(20~30m)に比べて測定器から音源までの距離が十分近いことから、この式を用いて補正する。

$$D=10 \log_{10} (r/r_0) \quad (1)$$

D : 減衰量(dB)

r : 軌道中心から測定器まで(m)

r_0 : 基準となる距離($r_0=2m$)

LRVの騒音レベルについては、LRT通過時に最大音圧を測定したが、手前の軌道、奥の軌道それぞれ5列車ずつ測定した。また、暗騒音についてはLRV等が通行していない静穏な状況下において1分間騒音レベルを測定し、最小値と最大値の中間値(平均)を暗騒音とした。LRVの通過以外にあまり大きなレベル変化が無いので、等価騒音レベルによる計測と大きな差は無いと思われる。

(3) 等価騒音レベルと最大騒音レベル

前述のように騒音レベルの測定は等価騒音レベルで表示するのが標準的であり、騒音に関する生活環境水準という視点ではこのような表記が適切である。しかし、本研究の場合は歩行者の安全、すなわち歩行者がLRVの走行に気付きやすいかという視点での分析であるため、最大騒音レベルを計測した。なお、TMの騒音環境について考察する場合には、LRVが接近する場合を想定して最大音圧の値と暗騒音の値とを用いて等価騒音レベルへの換算を行って評価する必要があるが、本研究の目的はTMにおけるLRV走行の音環境の評価ではなく、歩行者の安全面の評価であるので、等価騒音レベルについては考慮しない。

4. 測定結果

(1) LRV走行音の騒音レベル

表-3 測定器から各軌道中心までの距離

都市名	手前の軌道	奥の軌道	地上高
Bremen	8.0m	11.0m	1.2m
Erfurt	3.6m	9.3m	1.2m
Magdeburg	2.9m	6.8m	1.2m
Chemnitz	7.6m	11.0m	1.2m
Kassel	2.6m	6.1m	1.2m
Würzburg	3.2m	6.0m	1.2m
Frankfurt	2.3m	6.0m	1.2m

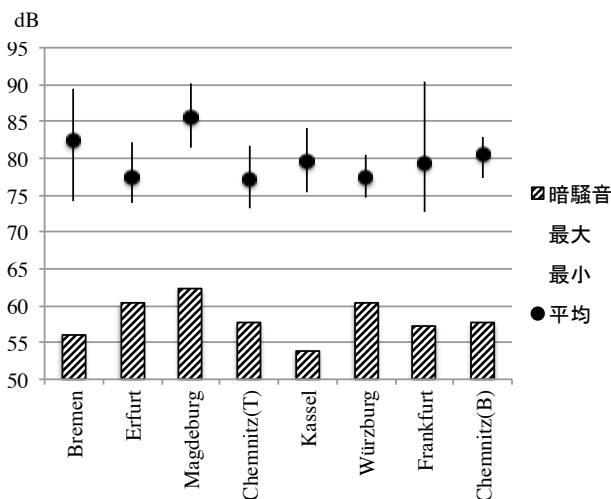


図-3 LRT走行音の騒音レベル

図-3は測定結果について図示したものである。LRV走行音については前章(2)項の方法で測定位置が2mであるように換算し、手前、奥両者合わせて各都市10本の列車の騒音最大値(L_{max})の平均、最大、最小を図示している。Chemnitzについては、バスが多数運行されていたので、参考のためにバスの騒音についても同じ図に示した。Chemnitz(T)がLRV、同(B)がバスである。

7都市のLRVの走行音の騒音レベルはMagdeburgが最大で85.6dB、Chemnitzが最小で77.1dBであり、平均は79.8dBであった。なお、Chemnitzのバスは80.4dBであり、LRVの方が約3dB静かであった。暗騒音については、Magdeburgが最大で62.2dB、Frankfurtが最小で57.3dB、平均は58.2dBであった。この値は図-2の商業地の値(62dB)と比べてやや静かである程度であり、自動車の走行が無いことを考慮すると概ね妥当な計測結果であると考えられる。走行音と暗騒音の差は、Bremenが最大で26.5dB、Erfurtが最小で17.0dB、平均は21.6dBであった。

バスの走行音に比べてLRVの走行音はやや小さいが、大幅に小さいというほどではなかった。また、停止してしまった場合にはほぼ無音になるが、少なくとも通常の走行速度(TMでは10~20km/h程度)では接近に気付きにくいほど小さな音であるというわけではない。

HVやEVが街路走行時に静かすぎるのが課題となっ

ているが、これらの走行音は10km/h程度以下の走行時には50dB以下となり^{10),11)}、街路の暗騒音に紛れる可能性があるが、LRVの走行音については通常走行時には暗騒音との差は20dB以上あり、判別しにくい状況では無い。ただし、LRVについても完全に停車してしまうとほぼ無音になってしまうため、実際の街路走行時にはカウベルのような音を発して注意喚起をしながら走行していることが多い。

(2) 軌道の状況と走行音の騒音レベルについて

LRT用の軌道は樹脂充填されていることが特徴であり、この状態が走行音に影響を与えていると思われる。写真-9は走行音の大きかったMagdeburgの軌道、写真-10と写真-11はそれぞれ走行音の小さかったErfurtおよびChemnitzの軌道である。これらの写真を見ると、ErfurtやChemnitzの軌道には樹脂が充填されていることが十分確認できるが、Magdeburgの軌道では管理状態が悪く、樹脂の充填が十分ではないように見える。このような管理状態が走行音の発生状況に影響を与えている可能性がある。

(3) 暗騒音の大きさについて



写真-9 Magdeburg の軌道



写真-10 Erfurt の軌道

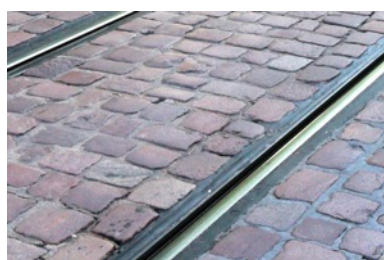


写真-11 Chemnitz の軌道

暗騒音が最も小さかったのはKasselであるが、ここだけが日曜日の計測であり、人通りが極めて少なく、店舗営業も少ない時間帯であったことが影響していると思われる。また、暗騒音が最も大きかったのはMagdeburgであるが、店舗が営業していたほか、広幅員の歩道が公園のようになっており、噴水が常時稼働しているなどの状況が影響していると思われる。

5. 軌道横断行動に与える影響に関する考察

(1) 走行音が聞こえ始める位置に関する考察

TMではLRVが接近するにつれて走行音が大きくなることで歩行者が気付きやすくなる。本研究では最接近時の最大音量の計測を行っていることから、接近時の音量変化を計算によって求めることで、暗騒音との比較から、走行音が聞こえ始める位置を推測し、軌道の横断歩行行動に与える影響を分析する。

距離による音圧の減衰についての(1)式は、線音源長の $1/\pi$ 程度の距離までの減衰式であるが、それ以遠については以下の式で減衰量を計算することとする。(2)式は距離が倍になる毎に6dB低減することを反映した近似式である。

$$D' = 20 \log_{10}(r/r_1) \quad (2)$$

D' : 減衰量(dB)

r : 軌道中心から測定器まで(m)

r_1 : 基準となる距離($r_1 = a/3.14$)

a : 列車長($a = 30\text{m}$)

列車長を30m、測定位置を軌道中心から2m、最接近時の音圧を79.8dB(前章の測定結果の平均)とした場合では(1)(2)による計算の結果、距離と走行音の音圧は図-4のような関係になる。暗騒音レベルを58.2dB(前章の測定結果の平均)とすると、LRVの走行音が暗騒音レベルと同等になるのは(列車の中心が)計算上約54m手前の時点である。列車長を30mと設定したことを考慮すると、列車の前面が約39m($=54-30/2$)手前の位置までやってきた段階

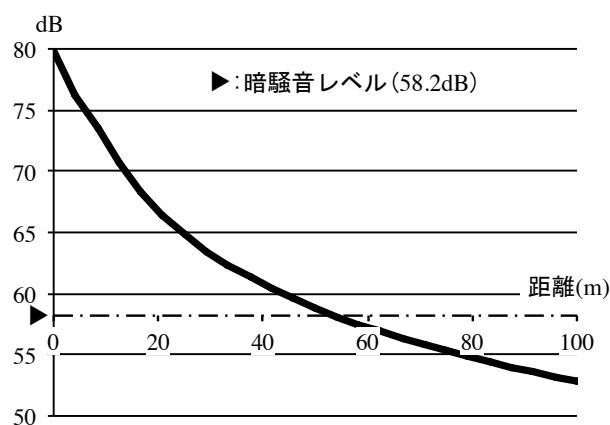


図-4 距離とLRT走行音の騒音レベル

で暗騒音レベルと同等の音圧になる。TMにおけるLRVの走行速度は最高25km/h程度、実際には例えばMannheimで平均12.1km/h、Karlsruheで平均15.7km/hの走行速度¹²⁾であるが、両者の平均の13.9km/hで計算すると35mを走行するのに要する時間は約9.1秒である。

(2) 軌道横断行動分析結果との照合

歩行者の軌道横断を分析した文献¹²⁾では、歩行者横断後にLRVが到達するまでの時隔が短い場合に特徴的な行動が見られた。これに関して文献¹²⁾のデータを再構成して図示したものが図-5である。同図はLRVと歩行者の時隔が20秒以下の場合を取り上げ、文献¹²⁾の調査対象のMannheimとKarlsruheの両者について頻度の加積曲線を求めたものである。直前横断の場合は参考用の「均等」(緑線、横断者の発生が均等分布)に比べて「直前」横断の曲線(青線)は下方にきている。11秒程度以下でその傾向が現れ始め、4秒程度未満ではほとんど横断しない。

さて、LRVの走行速度を前項と同じ13.9km/hで計算すると、LRV通過4秒前のLRV前面の位置は歩行者から15.4m、11秒前の位置は42.5mである。音圧については図-4の曲線から求めると、通過4秒前で63.1dB、12秒前で57.6dBであり、直前横断が減少し始める11秒前におけるLRVの音圧は暗騒音と同程度であることがわかる。

このように、LRVの走行音が街路の暗騒音と同程度以上になるタイミングと歩行者が軌道横断を見送り始めるタイミングがほぼ同じであり、TMにおける歩行者の軌道横断にとって、LRVの走行音は重要な役割を果たしていると思われる。

6. 本研究のまとめと今後の課題

本研究では、トランジットモール(TM)におけるLRVの発する騒音を測定して分析することで、LRVの走行音がTMにおける歩行者の軌道横断に与える影響について考察を行った。わが国でTMを整備する際にも、単に歩行者とLRVとの視覚的な見通しだけでなく、音環境についても配慮が必要と思われる。

今後の研究課題としては、日本の街路の音環境について測定を行って本研究の結果と比較を行ったり、TM実現のために、具体的にどのような点について配慮や対策を行うべきかなどについて考察を行うことが必要と思われる。

謝辞：本研究は科研費基盤研究C(課題番号24560651)の助成を受けたものである。

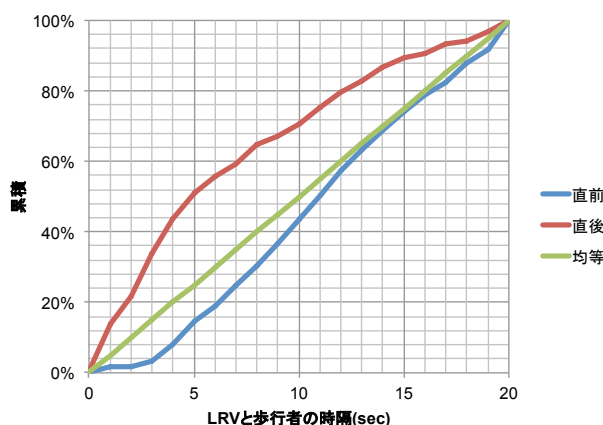


図-5 時隔20秒以下の場合に関する加積曲線

参考文献

- 1) 野中邦宏・波床正敏・西田圭佑・大島秀樹：海外都市のLRT走行空間との比較に基づく日本の街路断面の課題考察，土木計画学研究講演集43，CD-ROM，2011。
- 2) 平山理恵・波床正敏・ペリー史子・吉川耕司・塚本直幸：ビデオ調査に基づくトランジットモールにおける歩行者のLRT軌道横断に関する分析，土木計画学研究講演集45，CD-ROM，2012。
- 3) 波床正敏・ペリー史子・吉川耕司・塚本直幸・伊藤雅：トランジットモールの断面構造と歩行者の通行状況に関する分析，土木計画学研究講演集47，CD-ROM，2013。
- 4) 環境基本法(最終改正2012年6月27日)，<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H05/H05HO091.html>，2014年3月11日取得。
- 5) 環境省：騒音に係る環境基準について(改正2012年3月30日)，<http://www.env.go.jp/kijun/oto1-1.html>，2014年3月11日取得。
- 6) 小野測器：小野測器技術レポート「騒音計とは」，http://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c_support/newreport/noise/souon_3.htm#mark6_5，2014年3月11日取得。
- 7) 全国環境研協議会：騒音の目安，<http://www.env.go.jp/air/ippan/meyasu.pdf>，2014年3月12日取得。
- 8) 菊地英男・木戸一博：新しい「騒音の目安」調査について，宮城県保健環境センター年報，第28号，2010，<http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/95533.pdf>，2014年3月12日取得。
- 9) (社)日本計量振興協会編：改訂騒音と振動の計測，pp. 25-28，コロナ社，2003。
- 10) 国土交通省：「ハイブリッド車等の静音性に関する対策について(報告)」の取りまとめ等について，2010，http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000049.html，2014年3月12日取得。
- 11) 独立行政法人交通安全環境研究所：車両接近通報装置に関する調査結果，<http://www.mlit.go.jp/common/000044181.pdf>，2014年3月12日取得。
- 12) 波床正敏・ペリー史子・塚本直幸・吉川耕司・伊藤雅：トランジットモールにおける歩行者のLRT軌道横断に関する分析，都市計画論文集No.48-3，pp.411-416，2013。

(2014. 4. 25 受付)

A STUDY ON MEASUREMENT OF SOUND PRESSURE LEVEL CAUSED BY
LIGHT RAIL VEHICLE ON TRANSIT MALL

Masatoshi HATOKO