

路線バスの活性化による都市交通環境の改善（第2報）

- バス路線の充実度に関する数値評価手法の検討 -

交通システム研究領域 大野 寛之 林田 守正 日岐 喜治 佐藤 安弘
環境研究領域 紙屋 雄史 自動車安全研究領域 柳澤 治茂

1. はじめに

地球温暖化防止のための国際公約として、我が国は2010年における二酸化炭素（CO₂）排出量を1990年比で6%削減することを義務づけられている。しかしながら現状を見る限り、目標達成は極めて困難な状況と言わざるを得ない。中でも、運輸部門からのCO₂排出量は2001年度実績が1990年比で23%の増加となっており、中でも自家用自動車からの排出増が大きくなっている⁽¹⁾。こうした状況を打破し、運輸部門からのCO₂排出を削減するためには自家用交通に流れた旅客を公共交通に呼び戻すことが重要だと思われるが、改正道路運送法が施行された2002年以降は、路線バス事業への新規参入に対する規制が緩和される一方で、既存路線の廃止も届け出制となり容易となったことから、黒字を出しにくい地域からのバス事業者の撤退が増えることも懸念されている。温暖化等の環境問題と併せ、人口が高齢化する中での高齢者の移動手段の確保の点からも、公共交通機関とりわけバスの果たす役割は今後増大していくことが考えられ、また、バス事業を活性化していくことも重要だと考えられる。そのためにはバス路線網の充実や乗心地等のサービス改善により利用者の増加を図ることが重要であると思われる。

本報では路線網の充実度や潜在的バス利用者の評価システムを検討した。また、数値評価の妥当性を高める基礎資料を得るために、前年度とは別の路線を選定してバス車両の貸切運行による走行実態調査を行い、幾つかの問題点と改善策について考察した。

2. バス路線評価システム

2.1. システム概要

本システムの骨格となるGISソフトウェアはMapInfo社製「MapInfo Professional[®] 7.0」を使用し

ている。地図情報データとして、現時点での対象地域として「簡易道路地図データ（関東）」を備えている。また、対象地域の人口データとして、平成12年の国勢調査を基にした「町丁・字等別集計データ」を利用している。

2.2. 路線充実度システム

(1) 路線設定 地図上の任意のポイントをマウスで指定することで、路線の起点、通過点および終点を指定することにより路線の設定を行う。また、停留所も路線上の任意の点に設定することが可能である。

(2) ネットワーク充実度評価 路線の面的充実度を評価する指標として、フラクタル次元による定量化⁽²⁾を行うことができる。設定路線を含む領域を指定し、メッシュ分割を行い面的充実度の自動計算を行う。

(3) 基礎的集客力の推定 設定路線周辺地域の人口データから、その路線の潜在的利用者数と基礎的集客能力を推定する。集客範囲は路線を中心とした一定幅の領域で定義される。

2.3. 路線競合分析

潜在的なバス需要が存在する地域を見出すために、比較的人口が密集していながら既存バス路線から離れているか、あるいはバス停はあるものの運行本数が1日に数本程度に限られる等の交通不便地域を見つけ出す作業が必要となる。その作業を行うため、本システムは既存バス停の位置情報データを備えており、バス停から一定範囲をカバーエリアとして表示することができる（図1）。既存バス停のカバーエリアに入らない地域は地図上にグレーのエリアで表示され、交通不便地域の分布が視覚的に表現される。

これを見ることにより、既存路線を避けながら仮想的な新規路線及びバス停を地図上に設定することができる（図2）。設定した新規路線に関して新たに設置されるバス停のカバーエリアを計算し、その路線が

できることにより交通不便地域から抜け出すことのできる地域の人口分布から新規路線の需要予測が可能となる（図3）。また、既存路線とカバーエリアが競合する比率も計算される。

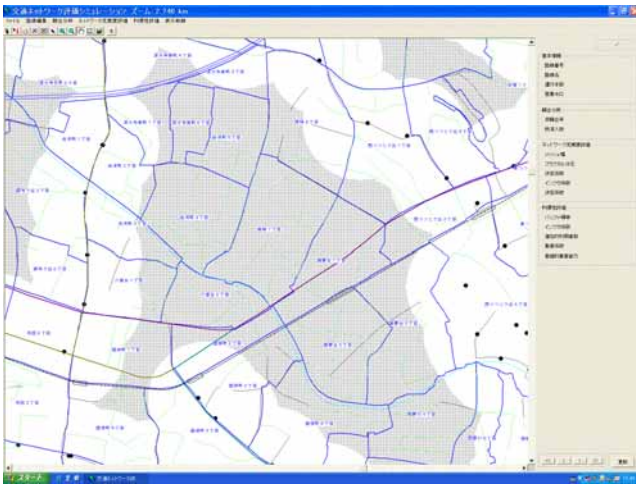


図1. 既存バス停とカバーエリアの分析

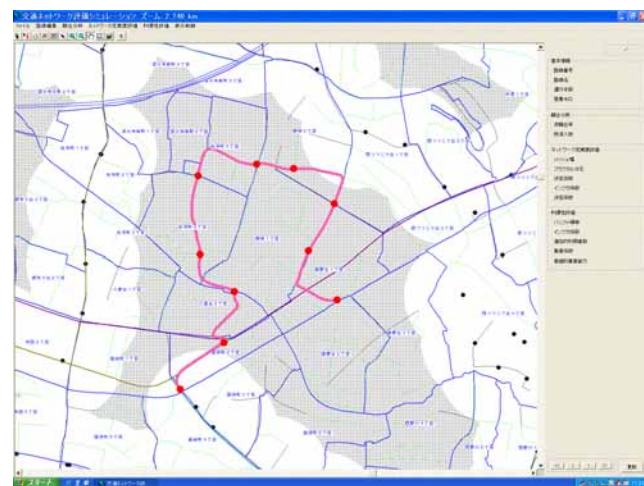


図2. 仮想路線の設定

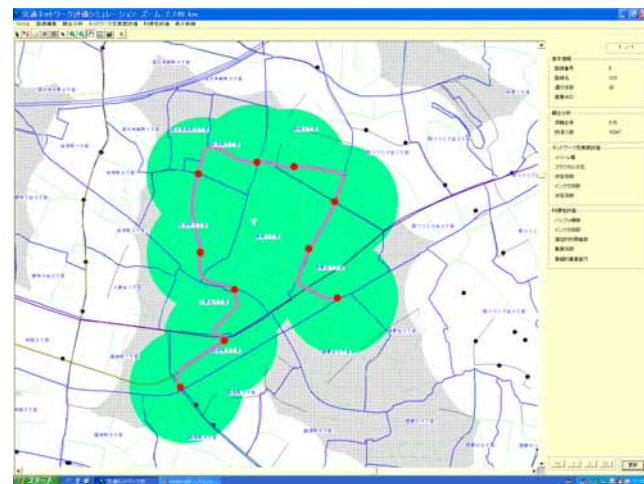


図3. 競合分析

2.4. 今後の開発計画

2.4.1. 停留所配置計算機能

現在のシステムは地図上に示された交通不便地域を目で確認しながら、道路地図を基に人間の手で直感的に路線を描いている。今後は GIS の計算機能を生かし人口分布を基に道路地図上の適切な位置にバス停を配置するシステムを開発する予定である。

また、ダイヤモンド運行をするコミュニティバスを想定し、需要の多い主バス停と、需要が少なく「呼び」が発生したときのみ迂回運行するバス停を設定できるようにすることも計画している。

2.4.2. 最適ルート計算機能

配置されたバス停と、想定されるバスルートの最終目的地（最寄り駅や集客施設等）を結ぶ最適ルートを自動計算により求める。この際、距離最短を求める計算はもちろん、速度制限や渋滞による速度低下を考慮した最短時間ルートについても計算を行えるようにする。

2.4.3. 実現への課題

現在入手可能な人口データは町丁・字等別の集計データであり、極めて目の粗いものとなっている。そのため、例えば居住者のいない公園緑地等の座標に、その地区の人口が分布しているように見えることもあり得る（図4）。地方自治体と協力する等により、詳しい人口分布データを知ることが重要である。

また、既存のバス路線の運行本数等に関わる情報は事業者により入手の容易性に大きな開きがあり、現状は「自らの足で」バス路線を確認しなければならない例がほとんどである。

GIS の活用のためにはこうした基礎的データの充実が必要不可欠である。

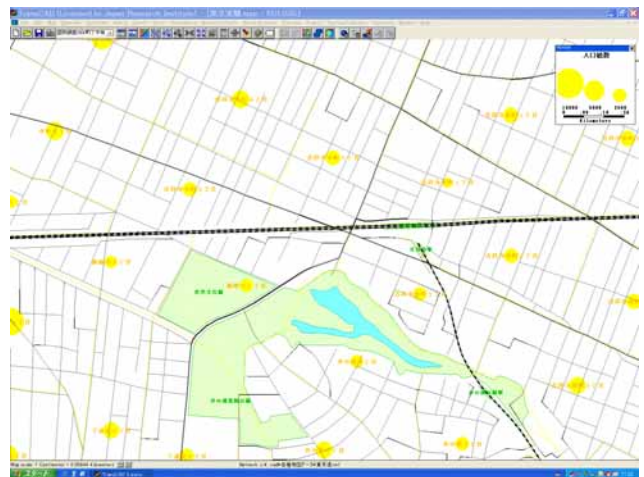


図4. GIS上に表現された人口分布の例

3 . 都市路線バスの走行実態調査

3 . 1 . 調査対象路線と測定の方法

表 1 に、調査を行ったバス路線の概要を示す。東京都内の地下鉄駅と臨海副都心地区を結ぶ約 4.4km の区間であり、経路は 4 ~ 8 車線の、特に大型トラック、コンテナ輸送車等の通行量が多い幹線道路である。

表 1 調査対象としたバス路線の概要

Bus Stop	Distance from Last B.S.(km)	Accumulated Disatnce (km)	B.S. Location
BS-1 (Subway Station)	-	0.0	at 8-lane Road
BS-2	0.1	0.1	
BS-3	0.6	0.7	
BS-4	0.2	0.9	
BS-5	0.2	1.1	(R. Turn) at 4-lane Road
BS-6	0.1	1.2	at 4-lane Road
BS-7	0.3	1.5	
BS-8	0.4	1.9	
BS-9	0.4	2.3	
BS-10	0.4	2.7	Drop at Side Way
BS-11	0.4	3.1	at 6-lane Road
BS-12	1.3	4.4	Bus Terminal
Average	0.4	-	-

図 5 に、データ収集システムの概要を示す。路線バス車両をバス事業者から借りきって、車体後部に非接触車速計を取り付け、実際の営業運行と同様の路上走行を行って車速データを測定した。また車内に加速度計を取り付け、走行中の前後方向の加速度を検出した。さらに、停留所での乗降時間とそれ以外の停車時間とを判別するために、手動式の直流電圧発生器により信号を出力した。それらのデータは客席に設置した小型データロガーに収録した。供試車両は、全長 10.2 m、全幅 2.5m、定員 63 名で機械変速方式の路線用大型バスである。路上走行の際の途中停留所への停車パターンとして、「全部に停車」、「1つおきに停車」、および「全部を通過」の三通りを設定し、一箇所当たりの乗降のための停車時間は 10 秒ずつとした⁽³⁾。

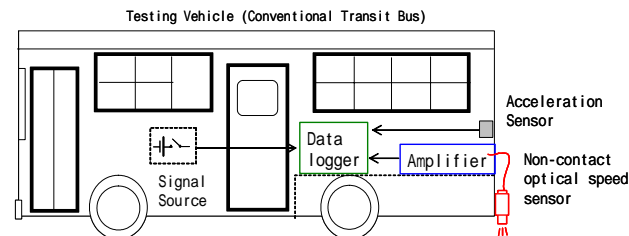


図 5 . 実車走行データ収集システム

なお停留所 1 から停留所 12 へ向かう場合と、その逆の場合では、停留所の配置等に若干の違いがあるた

め、データの集計は運転方向別に行った。本報告ではそのうちの前者のデータを解析対象とした。図 6 に、路線における測定の状況を示す。



図 6 . 臨海地区路線での測定状況 (停留所 1 付近)

3 . 2 . 測定結果と考察

3 . 2 . 1 . 運転状態の概要

図 7 に、調査区間の途中の全停留所に停車しながら表 1 の停留所 1 から停留所 12 への運転を行って測定した車速パターンの一例を示す。各々の区間運転を構成するショートトリップ(発進から停止に至る走行の最小単位、以下「トリップ」という)の大部分は加速または減速であり、定速走行部分は極めて少ない。

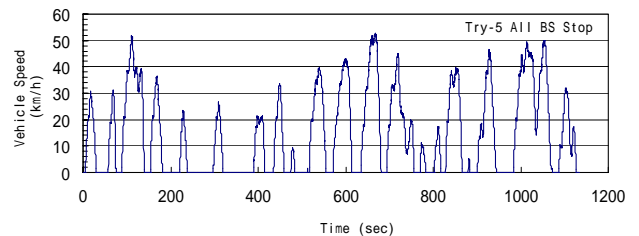


図 7 . 臨海路線走行における車速パターンの測定例

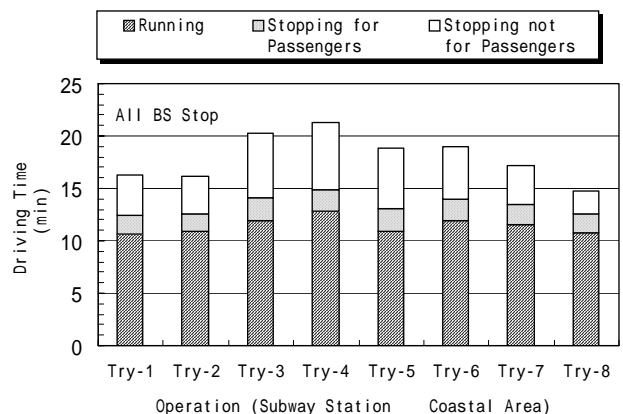


図 8 . 路線走行繰り返しにおける運転時間 (全停留所に停車)

図8に、このような区間運転を8回繰り返した際の、各々の区間運転に要した時間とその内訳を示す。全運転時間は15~20分程度であり、そのうちの30~40%が停車時間である。また停車時間のうち2/3~3/4が乗降以外の信号待ち等によるものであり、その割合が多いほど走行時間も長びく傾向が見られる。これは主に交通量の多寡や渋滞の有無による影響が強いものと考えられる。

図9に、上記の運転における最高車速、平均車速、および距離ベースの発進・停止頻度(ショートトリップの1km当たりの数)を示す。最高車速は50km/h前後であり、前報の調査対象とした都市近郊の路線よりも10km/h程度高い。停車時間を含めた全時間平均車速は12~18km/hであり、最も速い運転では最も遅い運転の約1.5倍を示す。走行中のみの平均車速は20~25km/hであり、全時間平均車速よりもバラツキが少ない。これらの平均車速は前報の近郊路線の調査結果を若干上回り、逆に発進・停止頻度はやや低い。これは走行する道路の車線数が多く、また車の流れも全般的に速いためと考えられる。なお最高車速と平均車速との関連性は弱く、例えば8回目の運転を2回目と比較すると、最高車速は10km/h上回るが、走行中の平均車速はほぼ同等である。

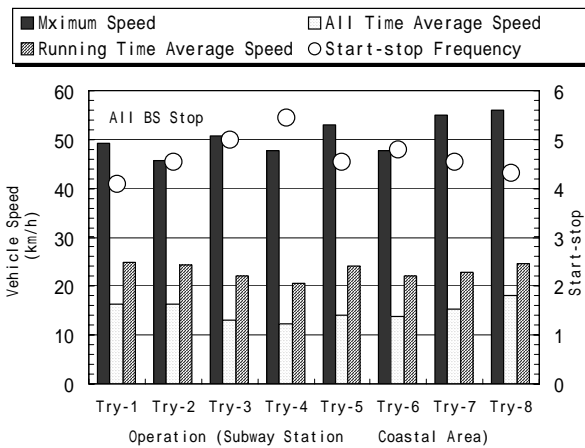


図9. 路線走行における車速と発進・停止頻度

図10に、図8および図9の全ての運転に含まれる162個のショートトリップ(以下、「トリップ」という)毎の最高車速の分布を示す。最高車速が40~50km/hおよび30~40km/hのトリップがそれぞれ全トリップの約1/4ずつを占めており、これに次いで最高車速20~30km/hのトリップが多い。また最高車速が50km/hを超えるトリップは6%程度と少ない。これは道路の

速度制限によるほか、乗客の安全確保のためにトラック等よりも車速を抑制するためと考えられる。したがって、図9において最高車速が50km/hを超えるような運転でも、それに近い車速域での走行は短時間であるため、最高車速の高さが平均車速の向上にあまり寄与していないものと考えられる。

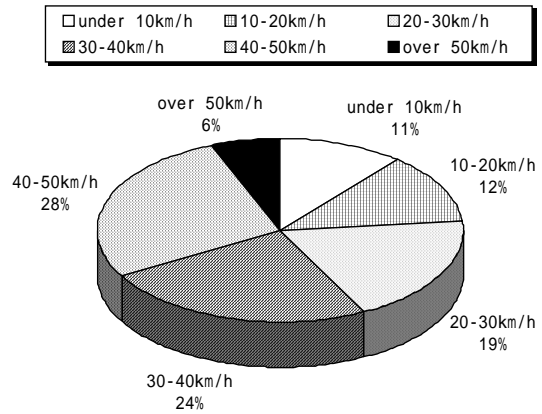


図10. ショートトリップ毎の最高車速の分布

3.2.2. 停車する停留所数と車速について

図11に、途中停留所に対し「1つおきに停車」および「全部を通過」として運転した場合の最高車速と平均車速を、「全部に停車」の場合と共に示す。

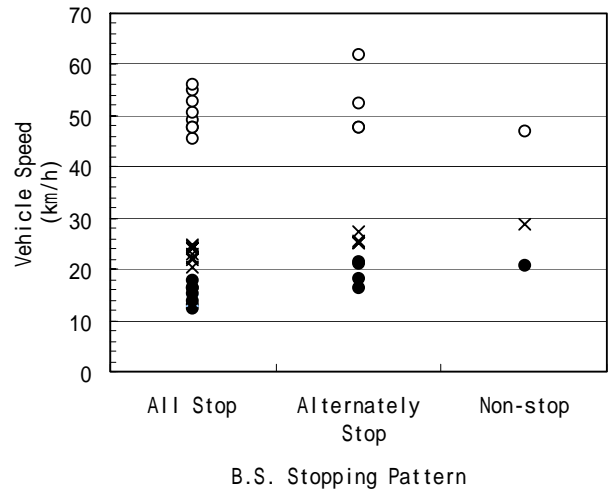


図11. 停車パターンの違いによる車速の差
(: 最高 : 全時間平均 x : 走行中平均)

各運転毎のバラツキがみられるが、「1つおきに停車」もしくは「全部を通過」とした場合を、「全部に停車」の場合と平均値同士で比較すると、最高車速は特に変化がみられないが、全時間平均車速はそれぞれ約30%および40%向上する。また走行中の平均車速も約10%および25%向上している。これは、乗降

時間の削減による停車時間の短縮がそれぞれ 10%強および 20%強であるのに対し、車速向上の効果が大きく顕れているといえる。停留所数を削減すると路線バスを利便性は低下するが、一方でバスの平均車速の低さが利用低下の一因となっていることは否めない。輸送需要の動向に適切に応じて、一部または全部の途中停留所を通過する「急行便」を設定することは、時間短縮だけでなく、加減速頻度の低減という点からも有効なサービス改善策であると考えられる。

3.2.3. 加減速の挙動について

図 12 に、トリップの車速変化の一例（トリップ距離 175m）を示す。図中の実線は測定値を示す。また点線はエンジン駆動方式に代えて変速操作が不要である電気モータ駆動を採用し⁽⁴⁾、停車から 50km/h の間の加減速度を ±4km/h/sec（一定）に保つと仮定した場合の計算値を示す。測定値の変速段 2 速で発進してから 15km/h に達するまでの平均的な加速度は約 4km/h/sec を示す。しかしそれに続いて 2 回の変速操作に伴う加速の中断を計 4 秒程余儀なくされ、また上位の変速段にシフトすると車両駆動力が低下するため、発進から最高車速の 50km/h に達するまでに 23 秒を要し、その平均加速度は 2.2km/h 程度に留まる。これに対し、上記のような電気モータ駆動方式を採用すれば、50km/h に達する所要時間は半減される。また減速度も測定値より緩和されながら、トリップ全体の所要時間は約 10 秒短縮されるものと予測される。

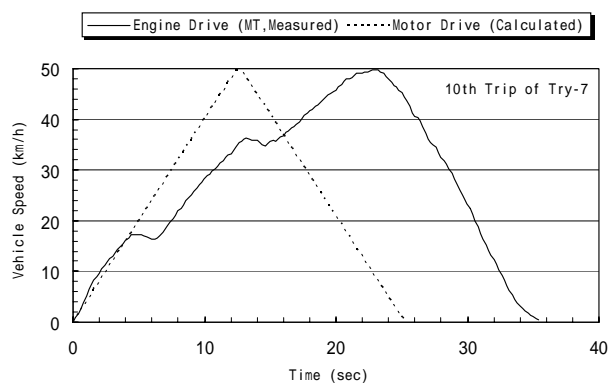


図 12. ショートトリップの車速変化の例

図 13 に、図 7 の運転のうちの一回を例に取り、車速に対する瞬間的な加速度の出現分布を示す。最も急な加速度、減速度はそれぞれ 6km/h/sec、8km/h/sec 程度に達するが、これは立席乗客が安全に姿勢を保てる限界に近いが、もしくはそれ以上の値と考えられる

(3)。特に制動時の停止直前に大きな減速度が現れている。これは減速停止の際は加速時に比べ、先行車両の挙動や交通信号機の指示が支配的なことに加え、低速域で制動装置の摩擦係数が高まり制動力が増大するためと考えられるが、特に立席の乗客には姿勢の保持が困難になることが懸念される。したがって、路線バス車両にシリーズハイブリッド等の電気モータ駆動方式を採用すれば、加速・減速の円滑化によって所要時間の短縮と安全性・快適性の向上が実現し、さらに低公害、省エネルギーにも繋がると予測されるが、製造コストが従来型のバスより大幅に上昇することが難点である。しかし鉄道車両と比べれば車両寿命の差を考慮しても費用的な負担は明らかに小さいので、需要が多いが鉄軌道導入には至らないようなバス路線には積極的に導入を検討すべきと考える。

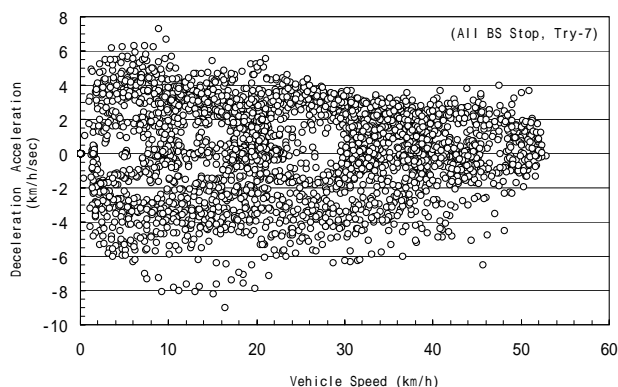


図 13. 瞬間的な加速度の出現頻度分布
(全停留所に停車)

3.2.4. 交通流の円滑な道路におけるバス運行の支障について

図 14 に、表 1 に示した停留所 3 および停留所 4 の付近の道路交通状況を示す。この部分の道路は 8 車線（片側 4 車線）であり、交通流は概ね円滑で走行速度も高い。しかしバス停留所に接している最も左側の車線上では、多数の大型トラック等の違法な路上駐車が恒常化している。路線バスが停留所での乗客の乗降を終えて発進する際は、前方は駐車車両に遮られているため右側車線に出る必要があるが、そのためには 50 ~ 60km で次々と到来する後続車両の流れが一時的に途切れるタイミングを待たねばならない。これは、「路線バスの遅延は渋滞によって引き起こされる」という一般的な認識に反するもので、むしろ道路が広く車の流れが速い故に生じている問題といえる。

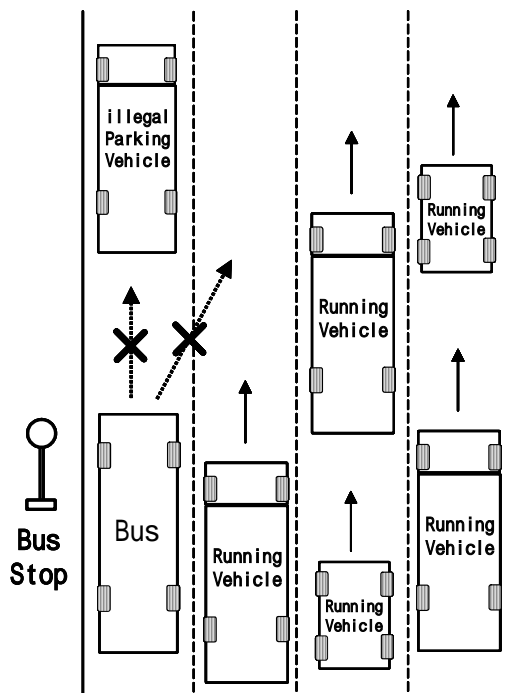


図 14 停留所 4 付近の道路交通状況

図 15 に、これら 2 つの停留所において所定の乗降時間が終了後、車両が発進するまでの遅れ時間を測定した結果を示す。乗降終了後直ちに発進できた場合もあるが、多くの場合で数秒から数十秒の遅れが生じている。特に停留所 4 の場合、その先約 150m の地点で右折するため最左車線から途中 2 車線を跨いで最も右側の車線へ移る必要があり、これら 3 車線の交通流が全て途切れるのを待たねばならないため、発進の遅れが 50 秒前後にも達する場合は観察される。

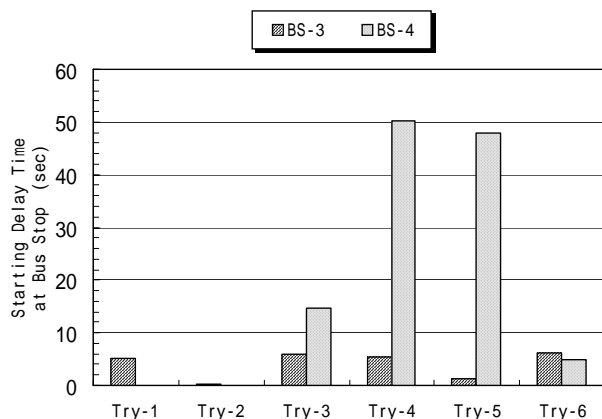


図 15 . 停留所 3・停留所 4 における発進の遅れ時間

このようなケースでは、路上駐車を取り締まり強化だけでは限界があるので、最も左側の車線を終日バス

専用レーンとするか、後続車の追突防止に留意するひとつがあるものの一部の都市で導入されている張り出し形(テラス型停留所)への変更が望ましいと考えられる⁽⁶⁾。また、これも既に一部の都市で導入されているが、複数車線を跨いで右折する際に後続車に妨げられないように、バスのみが左側車線から右折できるシステムを構築することも必要に応じて検討すべきと考える⁽⁶⁾。

4.まとめ

- (1) 地理情報システム上で動作するアプリケーションを用いて、バス路線の競合分析や、人口データを用いたバス停配置支援システム等の手法を検討した。
- (2) 臨海副都心地区のバス路線において、バス車両を用いた実地調査を行い、走行の実態を把握して幾つかの改善策を考察した。

参考文献

- (1) 平成 15 年度国土交通白書、国土交通省、
- (2) 藤井 他、「LRT ネットワークの充実度合いの定量化方法と基礎的集客能力の推定方法について」、平成 14 年鉄道技術連合シンポジウム J-Rail 2002 講演論文集、P.223-226、2002 年 11 月
- (3) 紙屋 他、「路線バスの走行実態調査とその分析」、日本産業技術教育学会第 14 回関東支部大会講演論文集、2002 年 12 月
- (4) 林田 他、「都市バスの実走行解析に基づくシリーズハイブリッド方式の活用」、自動車技術会 2002 年秋季学術講演会前刷集 No.82-02、P.5-8
- (5) 大野、他、「加速刺激に対する立位姿勢の安定性に関する研究」、人間工学第 29 巻特別号
- (6) 鈴木、「路線バスの現在・未来 PART2」、P.41-48、グランプリ出版 (2001)