

地域条件に応じたDRTシステムの設定に関する基礎的検討*

A Basic Study on Provision of Appropriate Demand Responsive Transport System*

福本雅之**・吉田樹***・加藤博和****・秋山哲男*****

By Masayuki FUKUMOTO**・Itsuki YOSHIDA***・Hirokazu KATO****・Tetsuo AKIYAMA*****

1. はじめに

近年、地域公共交通の確保策として DRT(Demand Responsive Transport)が導入される例が全国各地で多くなってきている。主として、定時定路線型の運行が事業的に成立しにくい人口低密度地区を中心に導入されているが、竹内ら¹⁾が指摘するように、人口密度の高い地域でも自家用車や既存公共交通機関を利用できない移動制約者に利用者を限定したり、定時定路線運行でカバーすることの困難な時間・地区での運行を設定する場合にも、DRTの適用が選択肢として考えられる。

DRT導入の利点として、一般に①利用者にとっては、移動希望時刻に近く、またドアトゥドアに近い運行を行うことから、利便性が向上すること、②運行事業者にとっては、需要に応じて運行することから、乗客の存在しない便や区間については運行する必要がなくなり、無駄な運行を削減できること、が挙げられる。しかしながら、DRTと一言で言っても、ドアトゥドア運行を行うものから、基本的には定時定路線運行を行うが、特定の施設に呼び出し装置を設け、呼び出しがあるときだけ迂回運行を行うものまで、様々な運行形態が考えられ、それによって利用者の利便性は異なってくる。また、DRTは利用者の需要に応じ、運行経路やスケジュールが変化するため、高価な情報通信技術が必要となったり、利用者が増加しすぎると配車が不可能になる、といった問題を内在しており、運行事業者にとって有利であると判断することもできない。

そこで本研究では、DRTシステムについて、その多様な運行形態を整理し、各地の運行事例の位置づけを行う。加えて、DRTの適用可能性について、DRTの導入に適した地域条件を需要密度と運行エリアの形状を基に

簡便なシミュレーションによって明らかにする。これらを通じて、地域条件に応じて適用すべきDRTシステムについての基礎的な知見を得ることを目的とする。また、STS(Special Transport System)とDRTの関係についても考察する。

2. DRTの運行形態に関する整理

(1) システムが提供できる利便性と容量制約

公共交通による移動抵抗は、アクセス・待ち・移動・イグレスの各抵抗から構成され、これらを軽減することによってサービス水準が向上する。DRTはこれらのうち、アクセス・待ち・イグレスの各抵抗を減らす。このことは特に移動制約者を対象としたSTSにおいて重要であり、STSにおいてDRTが適用される理由でもある。しかし、利用者が全体として多く、空間的に低密に存在する場合には、迂回運行が多くなって移動抵抗が増えるなど利便性低下を招く。こうした場合、ある程度サービスのきめ細かさを下げたDRTシステムとするのが適当と考えられる。

一方、運行事業者にとって、乗客がいない運行を省略できることはDRTのメリットである。しかし、あまりに利用者が多いと配車が追いつかず、容量をオーバーしたり、迂回運行による運行効率悪化を引き起こすといった問題点がある。金ほか²⁾は、スウェーデンにおけるDRT(フレックスルート)を例に挙げ、きめ細かなMP(Meeting Point: 停車地)を設置したことで、増加傾向にあったタクシー型STSの需要を減らし、乗合による効率化が図られたと指摘している。

以上、DRTの適用可能性は、対象地域・対象者の需要特性と運行形態やMPの配置形状との関係によって、a)利用者の利便性、および、b)供給者の運行効率(本研究では運行単価の逆数、つまり、費用1円で何人キロを輸送できるかとして定義する)、の2つがどのように変化するかを評価することによってはじめて判断できる。通常は、線方向の需要密度が低いほど、定時定路線に比べDRTの方が有利となる。これらを概念的に示したものが図-1、図-2である。

*キーワード: 公共交通計画、地区交通計画、公共交通運用

** 学生員、修(工)、名古屋大学大学院 環境学研究科
(名古屋市千種区不老町、TEL 052-789-3828、
E-mail fukumoto@urban.env.nagoya-u.ac.jp)

*** 学生員、修(都市科学)、東京都立大学大学院 都市科学研究科(八王子市南大沢1-1、TEL 0426-77-2360、
E-mail itsuki-y@mue.biglobe.ne.jp)

**** 正員、博(工)、名古屋大学大学院助教授 環境学研究科

***** 正員、工博、首都大学東京大学院教授 都市環境科学研究科

(2) システムの分類軸

DRTの運行形態について整理した既往研究として、元田ら³⁾や原ら⁴⁾によるものが存在するが、多様な運行形態を統一した尺度で比較しているとはいえない。

本研究ではDRTの多様なシステム特性を、A)乗降地点、B)経路、C)ダイヤ、の3つの自由度、という統一した尺度から整理する。

A) 乗降地点の自由度

決まった乗降地点（停留所・MP）で乗降することとしているか否かであり、両者の中間的なものも考えられる（表-1）。

B) 経路の自由度

定められた経路上のみを運行するか否かである。中間的なものとして、基本的には定められた経路上を運行するが、迂回ルートを設定、呼び出しがある場合には迂回ルートを経由するものが挙げられる（表-2）。

C) ダイヤの自由度

定められたダイヤに従って運行するか否かである。中間的なものとして、ダイヤは決まっているが、利用客のない場合には運行を行わないもの（目安の時刻は存在する）がある（表-3）。

日本の主な事例を上記分類軸に沿って分類したものを表-4に示す。またこれを3次元空間上にプロットしたものが図-3である。

(3) システム設定において考慮すべき地域条件

DRT導入にあたって、上記A)~C)それぞれの選択とその組み合わせは、以下に説明する地域条件によって異なる。

a) エリアの形状

運行対象エリアの形状として、1)中心街から沢に沿って集落が点在するなど線的に広がっている場合と、2)中心街を中心として集落が散在しているなど面的に広がっ

表-1 乗降地点の自由度

全部固定	定められた停留所・MPでのみ乗降可能
部分固定	定められた停留所・MP以外での乗降も可能
全部自由	定められた停留所・MPが存在しない

表-2 経路の自由度

全部固定	定められた運行経路上を必ず通って運行
部分固定	基本的には定められた運行経路上を運行するが、呼び出しに応じて迂回するルートが存在
全部自由	定められた運行経路が存在しない

表-3 ダイヤの自由度

全部固定	利用客の有無にかかわらず、定められた運行時刻に必ず運行
部分固定	時刻は定められているが、利用客がなければ運行せず
全部自由	定められた運行時刻が存在せず、呼び出しに応じて随時運行

ている場合が両極端として考えられる。住民の移動の向きには、通常、一定の方向性がある（朝は中心地へ向かい、夕方はその逆など）ため、1)線的なエリアの場合には、起終点と目安の時刻を決めることによって集落ごとの利用者を拾うような運行が可能であるが、2)面的なエリアの場合、利用者の需要に応じて集落に寄るような運行が不可能であり、より自由度が高いDRTが有利とな

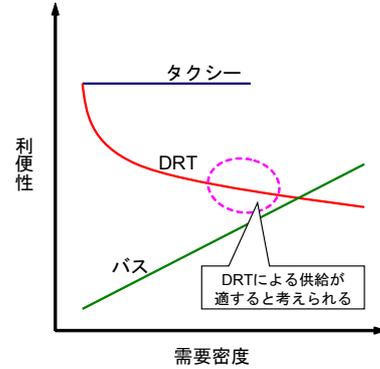


図-1 需要密度と利便性の関係

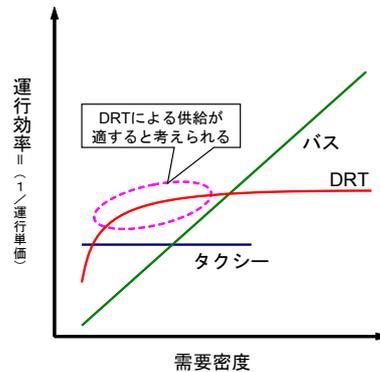


図-2 需要密度と運行効率の関係

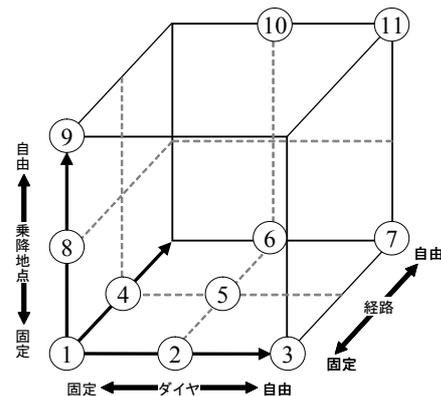


図-3 DRTの分類軸と各事例のプロット
(表-4の番号に対応)

表-4 DRTの運行形態の分類と日本の代表的な運行事例

乗降地	ダイヤ	経路	代表的な事例	運行地域
①	固定	固定	乗合路線バス	-
②	固定	目安有	舞鶴・杉山・登尾バス	京都府舞鶴市
③	固定	自由	能勢デマンドバス	大阪府能勢町 (現在は運行されていない)
④	固定	固定	東急トランセ	東京都渋谷区・目黒区
⑤	固定	目安有	福地ふれあいバス	青森県南部町(旧福地村)
⑥	固定	目安有	多摩のりタク (フレックスルート)	東京都多摩市 (スウェーデン)
⑦	固定	自由	中村まちバス	高知県四万十市(旧中村市)
⑧	目安有	固定	フリー降車バス	-
⑨	自由	固定	フリー乗降バス	-
⑩	自由	目安有	小高e-まちタクシー	福島県南相馬市(旧小高町)
⑪	自由	自由	タクシー	-

ってくる。

b) 移動需要の発生時刻の分布

通勤・通学などのように、特定の時間に需要が固まって発生したり、ある特定の地点で複数の需要が同時に発生する、すなわち需要が密に発生する場合、一つ一つの需要に応じ乗客を拾うことは困難となるため、集約停留所を設けるなどして、乗降地点の自由度を下げる必要がある。また、需要が固まって発生することからダイヤも固定することができる。つまり、路線バスのような定時定路線型の運行が適している。

一方、昼間時のように人によって外出時間が異なるなど、需要が粗に発生する場合、需要に応じて配車する方が運行効率が高まり、DRTの適用可能性が大きくなる。

(4) STS の効率的な供給と DRT

STS として DRT が適用されることが多い理由として、高齢者や障害者といった移動制約者にとっては、アクセス・待ち・イグレス抵抗の重みが大きく、DRT によってそれが軽減できることで利便性が向上するからである。しかしながら、STS においても、その効率的な供給という視点から評価される必要がある。

日本の STS では、それ自体の供給量が不十分である上、ほとんどが個別輸送で対応している状況にある。その背景として、STS には目安のスケジュールがないうえ、特に都市部では目的地が多岐にわたることから、相乗りのマネジメントが困難である点が考えられる。しかしながら、必ずしも全ての移動制約者を個別輸送で対応する必要はなく、例えば、福祉有償運送の対象となっている中で、人工透析による定期的な通院需要等は相乗りで対応させることも可能であると考えられる。DRT は、路線バスよりもきめ細かなサービスを相乗りで供給する交通モードであることから、先に述べたスウェーデンの例のように、相乗り可能な移動制約者を不特定多数向けの DRT で対応し、相乗り不可能な人に個別輸送型 STS を供給することによって、移動制約者のモビリティ向上と効率的な供給の実現を図ることが可能になる。そのため、今後は、STS でカバーすべきニーズの特性や相乗り可能なニーズについて整理していくが必要になる。

3. DRT 適用可能性のシミュレーションによる検討

本研究では、公共交通もしくは STS を供給するにあたっての DRT の導入適性について、需要密度と MP 配置形状との関連を簡便なシミュレーションによって分析し、(1)利用者の利便性、および、(2)供給者の運行効率、の2つの観点から検討する。なお、シミュレートにあたって以下の設定を行う。

- ・ 図-4 に示す格子状の街路を想定し、MP を街路の交差点部に配する。
- ・ MP 数は 36 個で固定し、南北方向と東西方向の MP 数を 3 通りに設定する (①南北 6×6、②南北 9×東西 4、③南北 18×東西 2)。
- ・ 1 運行あたりの乗車人数 (需要密度) を 3 名、5 名、10 名と変化させる。

(1) 利用者の利便性の観点

以下の仮定の下、1 運行 (始点から終点) の運行距離を計測するシミュレーションを行う。

- ・ MP 間のリンク距離を全て「1」として、最も左上 (北西) にある MP を「始点」、最も左下 (南西) にある MP を「終点」とする。
- ・ 乗客はすべての MP から等確率に発生するものとし、全員が「終点」を目的地とする。つまり、一定の方向性を持つ Semi-Dynamic 型の運行形態を仮定する。
- ・ 各々の MP の配置パターンについて、乗客の発生する全ての MP を最短で経由する始点から終点までの距離 (運行距離) を計測する。

上記の試行を 200 回繰り返したとき、計測された運行距離の中央値を示した結果が図-5 である。より正方形に近い MP 配置パターンほど、1 運行あたりの乗車人数の増加に伴って運行距離が長くなり過度な迂回を強いられる一方で、より正方形に近い配置パターンでは、乗車密度が高くなっても運行距離の増加はさほど大きくならない。つまり、MP の配置パターンが正方形に近い場

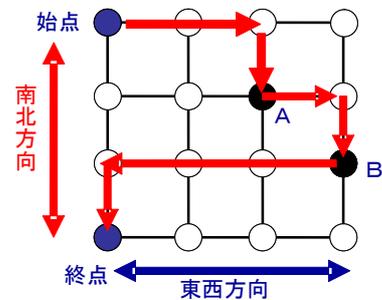


図-4 MPの配置想定

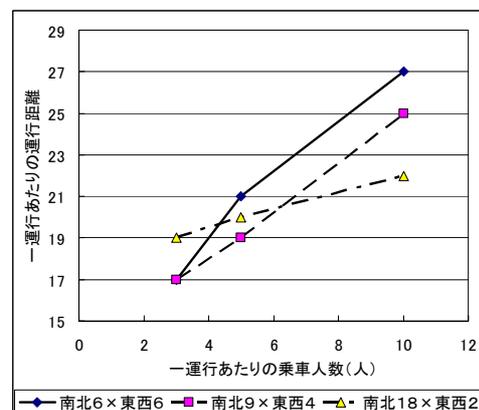


図-5 乗車密度と運行距離の関係

合は、より小規模な需要密度でないと DRT の適用可能性は低くなる。なお、発地と着地に一定の方向性がない Dynamic 型では、正方形に近い MP の配置パターンケースでのみ Semi-Dynamic 型よりも迂回乗車を強えず優位になることが分かっており、DRT の適用範囲は極めて小さくなる⁵⁾。

(2) 供給者の運行効率の観点

次に、起終点が不定の Dynamic 型運行形態を想定して、DRT の運行効率がどの程度になるかについて、以下の仮定⁵⁾の下、シミュレーションを行なう。

- 乗車地と降車地は全ての MP から等確率で発生する。
- 乗車順序は、北にある MP ほど、また西にある MP ほど優先し、図-6 に示した数字のように決定する。
- 各々の仮定の下、MP 配置パターンについて、簡単のために、1 番目に乗車した利用者が最短経路で着地へ到達できるとした場合に、2 番目の利用者の発地が経路上に存在する確率を計測することにより、相乗りが成立する割合を求める。(図-6 の例を用いれば、最初に乗車する A が着地である 7 番の MP へ向かう最短経路上に、次に乗車する B の発地があれば相乗りが成立すると考える。)

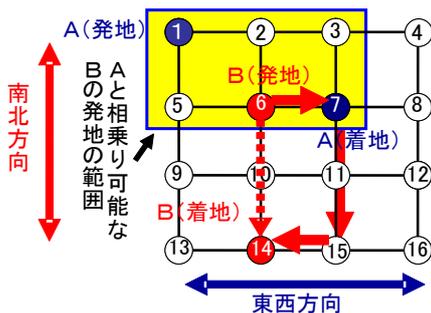


図-6 相乗り成立可能性の考え方

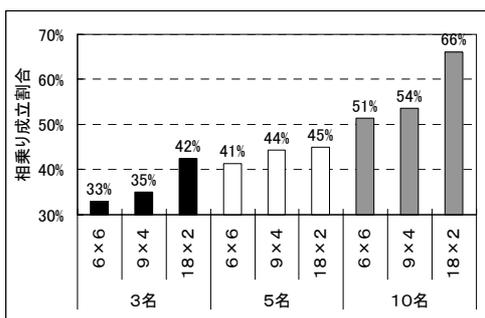


図-7 相乗り成立割合の推計結果

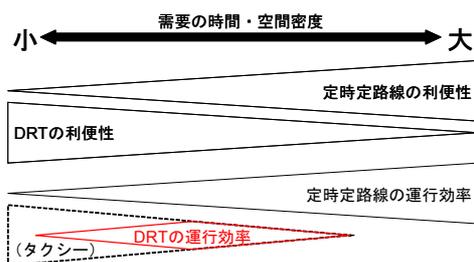


図-8 需要と利便性・採算性の関係

りが成立すると考える。)

上記の試行を 20,000 回繰り返したとき、1 運行あたり乗車人員が増えるほど、また、長方形に近い MP 配置パターンにあるほど、相乗りの成立割合が高まること分かる(図-7)。しかしながら、Dynamic 型の運行形態は、長方形に近い MP 配置パターンでは乗客の迂回距離が長くなる傾向にあることが分かっているうえ、乗車密度が増加しても同様の結果になる⁵⁾。相乗りによる運行効率の確保は利用者便益とのトレードオフの中で考えていく必要がある。

以上の考察をもとに、需要密度と利用者の利便性、および運行効率(採算性)の観点から、定時定路線型の形態と DRT を対比した概念を整理すると以下のようになる(図-8)。DRT は需要密度の低い場合に利便性が高くなるものの、運行効率とのトレードオフを考えていく必要がある。また、需要密度が高い場合には、定時定路線の運行効率が高くなる。

4. 結論

本研究では、バスとタクシーの中間的モードである DRT の多様な形態を、①乗降地点、②経路、③ダイヤの 3 つの自由度によって整理した。次に、DRT の適用可能性について、需要密度や運行形態、ならびに MP の配置形状の違いに着目して考察した。その結果、起終点を持つ Semi-Dynamic の運行形態では、より長方形的な MP の配置形状であるほど迂回距離が短くなり利便性が高まるうえ、乗車効率も確保されることが明らかになった。しかし、Semi-Dynamic の運行形態であっても正方形的な MP の配置パターンである場合や、方向性のない Dynamic の運行形態では、乗車効率と利便性との間にトレードオフが見られた。

今後は、本稿で整理した多様な DRT 運行形態と地域条件とを考慮したシミュレーションを行うとともに、実例における利用状況と、利便性や運行効率のデータを調査し、より実用性の高い DRT 導入適性検討手法の構築へと展開する予定である。

【参考文献】

- 1) 竹内龍介・大蔵泉・中村文彦：郊外地域での日中行動を対象にした DRT システムの需要推計に関する研究，第 23 回交通工学研究発表会，pp.261-264，2003。
- 2) 金載昊・秋山哲男・鎌田実：フレキシブルバス運行実験の利用特性と予約配車システムの適用性について，第 23 回交通工学研究発表会，pp.265-268，2003。
- 3) 元田良孝・若林武文・山口善英：零石町フレキシブルバスの運行について，第 29 回土木計画学研究・講演集 CD-ROM，2004。
- 4) 原文宏・秋山哲男：公共交通としての DRT の将来展望，第 31 回土木計画学研究・講演集 CD-ROM，2005。
- 5) 吉田樹・秋山哲男・金載昊：都市部における DRT システムとその適用可能性，土木計画学研究・論文集(投稿中)