

経路検索エンジンを用いた 公共交通のサービス水準評価 ～広島県公共交通ネットワーク情報提供・ 移動活発化推進事業における乗換課題抽出～

高田 加奈子¹・太田 恒平¹・前田 雅人²・藤原 章正³

¹非会員 株式会社ナビタイムジャパン 交通コンサルティング事業（〒107-0062 東京都港区南青山3-8-38）

E-mail: kanako-takata@navitime.co.jp, kohei-ota@navitime.co.jp

²非会員 株式会社地域未来研究所 中国四国事務所（〒732-0827 広島県広島市南区稲荷町1-1）

E-mail: maeda@refrec.jp

³正会員 広島大学大学院 国際協力研究科（〒739-8529 広島県東広島市鏡山1-5-1）

E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp

公共交通を中心としたまちづくりの推進のためには、複数の交通手段の乗継ぎ環境の評価・改善等を通じて、生活交通を維持・活性化を図ることが必要である。しかし、複数の交通事業者間の横断的な乗換を伴う経路情報を網羅的に分析し、サービス水準を評価することは容易ではない。一方インターネット環境においては、時刻表データを用いた民間の経路検索サービスが普及しており、それを用いることで効率的な評価が可能になりつつある。

本研究では、広島県内の鉄道・バス・フェリーの時刻表データを整備した上で、それらを経路検索エンジンに投入し、算出された経路を分析することで、乗換を伴う経路のサービス水準の評価、乗換課題の抽出を行う。また、経路検索エンジンを活用した経路評価手法の今後の展開可能性について考察する。

Key Words : route search engine, evaluation of levels-of-services, public transportation, timetable

1. はじめに

公共交通を中心としたまちづくりの推進のためには、複数の交通手段の乗換環境の評価・改善等を通じて、生活交通の維持・活性化を図ることが必要である。そのため、複数の交通機関を組み合わせる総合的に交通体系を分析する手法¹⁾が開発されている。また、利用者と事業者の双方のコストを考慮した上での最適化²⁾や、地域内の路線単位等の時刻表を考慮したサービス水準の評価³⁾も行われている。しかし、鉄道だけでなくバスを含めた時刻表データを用いた広域・網羅的な分析は、データ整備等に課題があり、実施は容易ではない。

一方インターネット環境においては、バスを含めた時刻表データを用いた民間の経路検索サービスが普及しており、それを交通分析に援用することでサービス水準評価が可能になると考えられる。

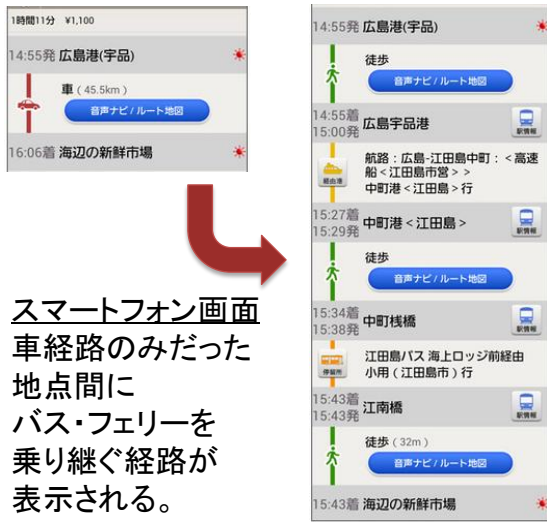
以上の背景の元、本研究では、鉄道・バス・フェリー

の時刻表データを整備し、それらを経路検索エンジンに投入して算出した経路を分析することで、乗換を伴う経路のサービス水準の多様性と利便性の評価や、乗換課題の抽出が可能であることを示す。さらに、経路検索エンジンを活用した経路評価手法の今後の展開可能性について考察する。

2. 時刻表データの整備

本研究で使用した時刻表データおよび分析システムは、広島県が平成24年5月に創設した「広島県公共交通ネットワーク情報提供・移動活発化推進事業」（以下「本事業」）の一環として、県主導のもと筆者の所属するナビタイムジャパンが整備したものである。

本事業において広島県は、公共交通利用促進による地域活性化を検討するため、公共交通の課題改善及び公共交通事業者等が連携する仕組みの構築を事業目的に掲げ



スマートフォン画面
車経路のみだった
地点間に
バス・フェリーを
乗り継ぐ経路が
表示される。

図2 時刻表データ整備前後における
スマートフォン上での経路検索サービス画面の差異

表2 ナビタイムジャパンの広島県内における
バス・航路時刻表データ量の推移

項目	H24.3.31 時点	H25.3.31 時点	整備対象に 対する達成率
バス対応事業者・ 市町数	7	39	100%
バス対応路線数	999	1,819	100%
航路対応路線数	3	55	100%

た。検討の場として年4回の本事業検討会議及び個別検討のための年6回のワーキンググループが設けられ、広島県内の鉄道、航空機、バス、航路の主要交通事業者10社、観光関係者1社、5市町のほか、オブザーバとして筆者らが参加した。

本事業において広島県が複数交通事業者の時刻表データの整備を主導した目的は以下の二つである。一つは、パソコンや携帯電話、スマートフォンから利用可能な民間経路検索サービスにおいて、県内の公共交通サービスの包括的な検索を可能にし、県内外の移動活性化を促すことである。経路検索サービスに時刻表データが導入されたことで、自動車の経路のみが表示されていた地点間にバス・フェリーを乗り継ぐドア to ドアの経路が表示されるようになった(図2)。もう一つの目的が、本研究の主要テーマである、複数交通手段に跨った乗換課題の抽出である。

経路検索サービス事業者に時刻表データが提供されていないバス路線については、運行事業者・市町に対し、事業趣旨・進捗状況・提供効果等を県が直接説明したことにより、整備が可能となった。平成24年10月時点で各経路検索サービス事業者へ提供された時刻表データには、民間路線バスについては一部路線を除き全事業者の

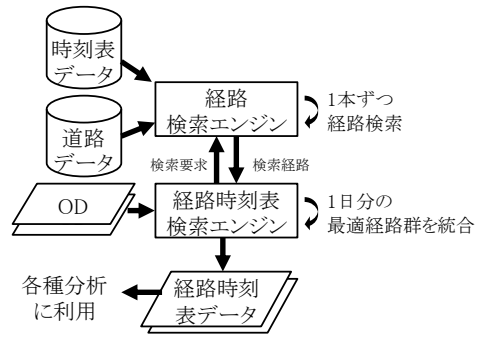


図1 経路時刻表エンジンのシステム構成図

表1 一般化費用の項目

項目	係数	算出根拠
(1)金銭	1	
(2)乗車時間 ・乗換時間	34.8[円/分]	毎月勤労統計調査[地方調査]—平成23年分結果概要, 事業所規模5人以上 調査産業計 広島県平均より時間価値を算出。
(3)出発待ち 時間	24.4[円/分]	(2)の0.8倍。経路検索サービスの実績値を参考。
(4)OD周辺 徒歩時間	41.8[円/分]	(2)の1.2倍。経路検索サービスの実績値を参考。
(5)乗換回数	348[円/回]	(2)の10分相当。鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル(2012年改訂版)より。

路線が、市町運行バスについては市町が効果の見込みがないと判断して提供しなかった一部を除き全ての定時定路線が含まれている。それらは、各社の経路検索サービスに順次反映された(表2)。

3. 分析の概要

(1) 分析対象経路の算出方法

本研究においては、OD毎の1日の出発時刻別の最適経路群(以下「経路時刻表」)のデータを分析対象とした。経路時刻表を生成する経路時刻表エンジン(図1)は、与えられたODに対するドア to ドアの最適経路を、経路検索エンジン、時刻表データ及び道路データを用いて算出し、それを出発日時をずらしながら繰り返すことで、1日分の経路時刻表を生成する。

経路検索の際には、算出経路の実用性を高めるため、一般化費用を考慮した。ただし処理を高速に行うため、経路検索中に考慮する一般化費用は近似値とした。そこで、一般化費用優先の経路群だけでなく乗換回数優先の経路群も算出した上で、それらの中から各出発日時において一般化費用が最小になった経路群のみを経路時刻表データに残すこととした。算出に利用した一般化費用の項目を表1に示す。係数については、値の入手が容易な

所得接近法による時間価値を元に、既存の実績値を参考に設定した。

(2) ODペア

広島県内の移動を「県内移動」（平日の住民の日常移動）と「観光移動」（休日の観光客移動）という2つのODペアに区分して分析した（表3）。県内移動については、県内各市区町役場から広島中心部の紙屋町交差点とし、非通勤客の利用を想定して平日の日中を分析対象時間帯とした。観光移動については、広域交通拠点（空港や新幹線駅、バスターミナル等）から県内の主要観光地（宮島、原爆ドーム、鞆の浦、しまなみ海道関連施設等、県全域を対象）とし、観光客の利用が多いと想定される土曜日の朝～晩を分析対象とした。なお、分析は1つのペアの往復に対して行う。

表3 分析に用いたODペアの概要

OD分類	パターン数	分析対象時間帯
県内移動	30	H25.3.15(金) 10-16時
観光移動	49	H25.3.16(土) 09-19時

(3) 分析項目

本研究では、複数事業者・路線の時刻表データを整備したことで可能になる分析に注力した。複数事業者・路線の時刻表を考慮することでまず、最適経路上で利用する交通モード・路線自体が変わる。それらの多様性について4章にて分析する。さらに、利用する交通モード・路線の差異、さらには利用する便の違いに伴う、乗換や出発待ち時間といった経路の利便性の変化を5章にて分析する。また6章では、複数のODの経路群を重ね合わせ、乗換結節点の利用数や利便性を明らかにすることで、本事業の主目的でもある乗換結節点に特化した分析を行う。

4. 経路の多様性の分析

同一OD間の候補経路が多様であることは、路線同士がネットワークとして機能していることを示し、利用者の多様な価値観への対応という観点からは好ましい状況と考えられる。しかし、経路選択モデルを一定にしているにもかかわらず経路が多様になることは、最適な経路選択に必要な情報量の増大を意味する。場合によっては情報不足により利用者が意図せぬ経路を選択してしまう可能性もある。その結果、利用者に公共交通が煩雑で不便と感じられてしまう可能性も生じやすくなる。特に広島中心部へのアクセスにおいては、多くのバス路線が並行しているため、利用者にとってどの路線にどこから乗

るのが最適なのか分かりづらい。そこで本章では、最適経路の多様性について、評価指標を設定して分析を行う。

(1) 経路の多様性の数値評価

OD毎に乗降・乗換に利用した地点、及びその間の公共交通機関のモードの組合せ数の指標を「交通モードパターン数」と呼ぶこととする。「交通モードパターン数」では同モードの路線の違いは考慮せず、途中で利用する路線の違いも含めた組み合わせ数を「路線パターン数」として別の指標とした。ある仮のODについて、各指標を計算した例を表4に示す。交通モードパターン数は、経路1と2を除き、乗車地点、乗車路線の交通モード、乗換地点、降車地点のいずれかが互いに異なるため、4となる。路線パターン数は、経路1,2も乗車路線2が異なるため、交通モードパターン数よりも増えて5となる。

表4 経路多様性評価指標の計算例

(交通モードパターン数は4、路線パターンは5となる)

経路	乗車地点	乗車路線1		乗換地点	乗車路線2		降車地点
		名称	モード		名称	モード	
1	A	α	バス	C	β	バス	B
2	A	α	バス	C	γ	バス	B
3	A	α	バス	C	δ	鉄道	B
4	A	α	バス	C	β	バス	D
5	A	ε	バス	-	-	-	B

これらの経路多様性の評価指標について、OD分類別の平均値と最大値を表5に示す。平均値は、交通モードパターン数が2.7、4.0、路線パターン数は県内移動が6.0、5.8と、多くのパターンがあることがわかる。このうち、県内移動で交通モードパターンが最多の7、路線パターン数が12となったOD（東区役所→紙屋町交差点）の経路の多様性を表6に示す。

表5 経路多様性の数値評価結果

OD分類	交通モードパターン数		路線パターン数	
	平均	最大	平均	最大
県内移動	2.7	7	6.0	19
観光移動	4.0	13	5.8	20

(2) 考察

本結果は、経路検索システムで機械的に最適経路を算出しているため、パターン数について実態よりも多く感じられるような数値が出ている可能性がある。例えば、隣接するバス停でも一般化費用の僅かな差により経路選択結果に差異が見られた。また、実際のバス停では同方向の路線として束ねて案内されている路線が、経路検索システム上では別路線として管理されている場合がある。例えば「広島電鉄 熊野広島線」は、経路に応じて5路

表6 県内移動で交通モードパターンが最大のODにおける経路の多様性（東区役所→紙屋町交差点）

交通モードパターン	路線	経路数
バス	東区役所前(広島市)-県庁前(広島県)(バス)	
	広島電鉄2号線	38
	広島電鉄2号線<ソレイユ>	6
	広島電鉄2号線<府中南公民館>	2
	広島電鉄2号線<矢賀駅入口>	1
	荒神町-紙屋町	
	21 [洋光台団地-広島駅][広島バス]-21-2[グランドプリンスホテル方面][広島バス]	18
	愛宕町(広島県)-紙屋町県庁前	
	27 中山線[広島バス]	6
	東区役所前(広島市)-広島バスセンター	
	29 深川線[矢賀・大洲経由バスセンター方面][広島バス]	5
	東区役所前(広島市)-紙屋町	
	広島電鉄2号線	4
	荒神町-広島バスセンター	
畑賀線新道[興畑-広島バスセンター][芸陽バス]	1	
鉄道	猿猴橋町-紙屋町東	
	広島市電2号線	12
	広島市電1号線	10
	広島市電6号線	5
総計		108

線としてデータ化されている。しかしこういったデータ化に伴い表面化した細かな経路情報は、情報として複雑であるということの現れでもあり、現地で利用者が認識や選択に迷うポイントであると考えられる。

本結果で示されたような複雑な経路情報を踏まえた上で、バス路線を含めた最適な経路を選択することは、特に観光客等の不慣れた利用者にとっては難しく、丁寧な情報提供が必要とされるが、掲示物等現地での静的な情報提供だけでは、場所や一覧性、更新時期の制約により利用パターンを網羅することが困難な面もある。利用者毎のニーズや日時に応じた情報提供策のひとつとして、本事業において整備したドア to ドアの経路検索サービスを活用することで、公共交通が本来持つ利便性を利用者により的確に伝え、公共交通の利用を促進することが期待される。

5. 経路のサービス水準評価

本章では、経路のサービス水準について分析を行う。特に、時刻表を考慮することで便により格差が大きくなると考えられる「乗換」や「出発待ち時間」を中心に分析を行う。

分析では、OD 毎のサービス水準の平均的な評価より

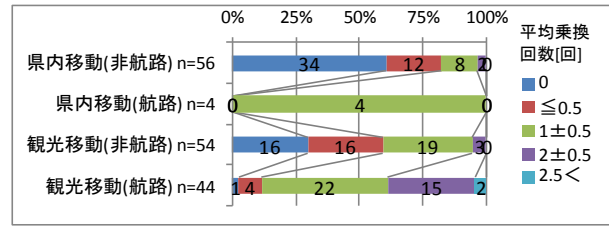


図3 乗換回数の分布

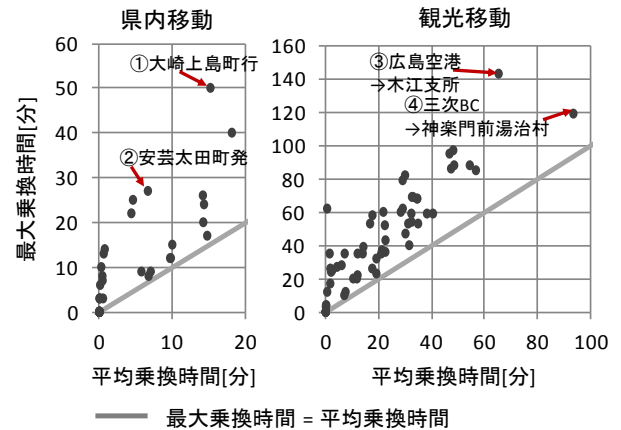


図4 乗換時間の平均値と最大値の分布

も極端にサービス水準が低いと考えられる経路の抽出に重きを置く。その理由は次の3点である。1点目は、ニーズに応じた運行頻度等のサービス水準は平均的には既に設定されていると考えられるためである。2点目は、利用者にとっての公共交通の信用性を上げるためには、ボトムアップとして最悪値のサービス水準を上げることが重要と考えられるためである。3点目は、運行頻度が1時間あたり1本以下というような低頻度なODにおいては最低限の移動権の確保が重要と考えられるためである。

対象OD内の経路群の平均値算出には、出発地に利用者がランダムに到着した場合の期待値を算出するため、前の便からの間隔によって重みをつけた加重平均を用いた。単純平均を用いる場合と比べた利点としては、例えば、サービス水準が高い便Aのすぐ後に、それを補完するようなサービス水準の低い便Bが続くようなパターンダイヤにおいて、両便の間値ではなく実際に利用が集中すると考えられる便Aの値に近い平均値を算出することができる点がある。

(1) 乗換利便性の分析

まず、本分析で使用したODの乗換利便性の基本的な傾向として、乗換回数の分布を把握する(図3)。なお、航路を含む場合と含まない場合とで乗換回数が大きく異なるため、それらを分けて表示した。県内移動については、非航路では0回が過半を占め、1.5回を上回るのは2ODのみである。航路についても1.5回を上回るものは

無い。市役所・町役場から広島中心部までは少ない乗換回数で移動できることがわかる。観光移動については、非航路、航路ともに県内移動よりも回数が多くなっている。続いて、乗換時間の平均値と最大値の分布を図4に示す。県内移動に関しては、平均値は全て20分以下となるが、最大値が20分以上となっているODが8個存在する。

以降、乗換時間が長い経路の例(表7)について、その原因等を分析する。

県内移動のうち、乗換時間が最大の44分かかっている経路①大崎上島町行きは、日中40~110分間隔で運行されている高速バスから、日中65~105分間隔で運航されているフェリーへの乗換経路である。同高速バスはフェリー港内に入り乗換移動は短いため、乗換待ち時間を短縮することで経路としての利便性が大きく向上すると考えられる。

経路②及び③は、高速道路付近のバス停における乗換に時間がかかっている例である。県内移動のうち、平均乗換時間は10分以下だが最大乗換時間が27分の経路②安芸太田町役場発は、一般路線バスから長距離高速バスへの乗換経路である。観光移動のうち乗換時間が最大143分となっている経路③広島空港→木江支所は乗換3回を含む経路であり、河内インターバス停における空港連絡バスから広島BC発の高速バスへの乗継に74分を要している。同ODは、図5に示す通り11:25発の経路以外も乗り換え時間が全体的に長い傾向にある。広島県においては県内都市間や空港連絡の高速バス網が発達し、高速バス同士や一般路線バスとの乗換が可能なバス停が、高速道路脇やIC付近に整備されている。これらの乗換時間を短縮することで、地域内路線と都市間路線との連携や、広島BC発着路線と空港連絡路線との連携が改善され、高速バス路線を中心とした公共交通ネットワークの利便性がより高まると考えられる。

観光移動のうち乗換時間が最大119分となっている経路④三次BC(バスセンター)→神楽門前湯治村は、表8のように吉田営業所到着の10分前や1分前に乗換先の便が発車しているため、乗換時間が2時間近くかかっている。本経路に関しては、ダイヤを少しずつただけで乗換時間が大幅に短縮されると考えられる。

(2) 出発待ち時間の分析

空白時間帯の発生防止の観点からは、出発までの待ち時間すなわち運行間隔が平準化されていることが望ましい。そこで、分析対象期間中の経路が3本以上存在したODについて、平均間隔(ここでは加重平均ではなく単純平均とする)と、最大間隔の平準間隔に対する比(最大間隔比と呼ぶ)の分布を図6に示す。

表7 乗換時間が長い経路の例

<p>経路① 11:50 出発 紙屋町交差点 (徒歩2分,164m) 11:52 発 紙屋町県庁前 ↓ 27 中山線[広島バス] 11:58 着 広島駅(南口) 乗換6分 12:04 発 広島駅(南口) ↓ 広島県内かぐや姫号 [高速バス] 13:16 着 竹原フェリー港内 乗換44分 14:00 発 竹原港<北崎港> ↓ 航路:竹原-大崎上島 14:30 着 大崎上島白水港 (徒歩2分,171m) 14:33 到着 大崎上島町役場</p>	<p>経路② 11:10 出発 安芸太田町役場 (徒歩0分,59m) 11:11 発 安芸太田町役場 ↓ 広島電鉄 三段峡線<在来> 11:40 着 下津浪 乗換27分 12:07 発 加計バスストップ ↓ 広島-島根広益線[高速バス] 12:48 着 広島バスセンター (徒歩0分,53m) 12:49 到着 紙屋町交差点</p>
<p>経路③ 11:25 出発 広島空港 (徒歩0分,100m) 11:25 発 広島空港 ↓ 高屋東工業団地-広島空港 [空港連絡バス] 11:30 着 河内インター 乗換74分 12:44 発 河内インター ↓ 広島県内かぐや姫号 [高速バス] 13:16 着 竹原フェリー港内 乗換14分 13:30 発 竹原港<北崎港> ↓ 航路:竹原-大崎上島 13:55 着 大崎上島垂水港 乗換55分 14:50 発 垂水フェリー前 ↓ 広島コミュニティ 明石・太田・外表線 15:05 着 木江支所 (徒歩0分,20m) 15:05 到着 木江支所</p>	<p>経路④ 13:16 出発 三次BC (徒歩0分,0m) 13:16 発 三次バスセンター ↓ 備北交通吉田線 13:59 着 吉田営業所 乗換119分 15:58 発 吉田営業所 ↓ 備北交通美土里線 16:20 着 Aコープ前 (徒歩19分,1294m) 16:39 到着 神楽門前湯治村</p>

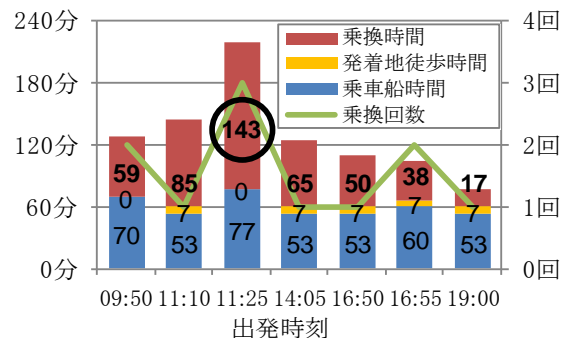


図5 経路③広島空港→木江支所の最適経路群の所要時間と乗換回数

表8 経路④吉田営業所における乗換発着時刻

三次バスセンター	吉田営業所	神楽門前湯治村
発	着	着
		13:49 14:21
13:16	13:59	(↑到着10分前に発車)
		15:58 16:20
15:16	15:59	(↑到着1分前に発車)

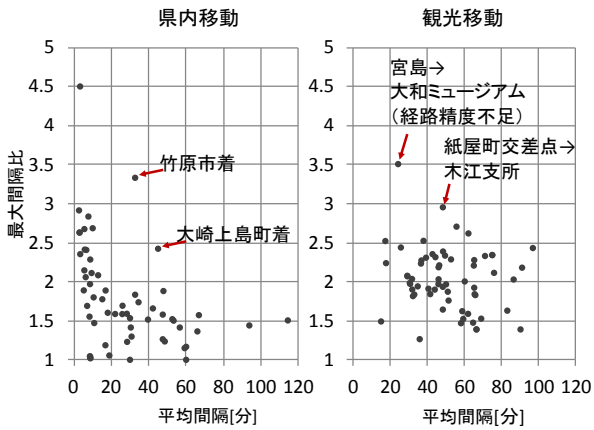


図6 平均間隔と最大間隔比（最大間隔／平均間隔）の分布

運行間隔の平準化が重要と考えられる県内移動においては、平均間隔が20分以上かつ最大間隔比が2倍を超えていたのは60OD中2ODのみであり、間隔が比較的平準化されていると考えられる。その2ODについては、いずれも広島BC→竹原地区の高速バス「かぐや姫号」が10:00発の後に11:50発まで間隔が空いているために最大間隔比が大きくなっている。

観光移動においては、県内移動よりも最大間隔比が大きい傾向にある。平均間隔が20分以上かつ最大間隔比が2倍を超えていたのは63OD中30OD存在した。ただし最大間隔比が最大となっている宮島→大和ミュージアムに関しては、経路検索の際の運賃の考慮精度不足により最適経路が算出されず、間隔が空く結果となっている。具体的には、所要時間は短いが高運賃は2700～3850円と高い広島宇品港経由の航路乗継経路が優先的に算出されたために、所要時間は長いが高運賃は990円と安い宮島口経由の経路が算出されにくくなったためである。最大間隔比が次に大きい木江支所→紙屋町交差点の経路については、出発地の最寄り港である木江天満港FT（フェリーターミナル）から竹原へのフェリーが1日6本と少なく、また付近の大崎上島垂水港を経由する補完経路が無

い時間帯のため、間隔比が大きくなっている。

(3) 一般化費用を用いた低サービス水準の要因判別

ここまで乗換と出発待ち時間に着目した分析を行ってきたが、4章で述べた通り、同一ODであっても最適経路のパターンは様々であり、乗車船時間や金銭費用も出発時刻によって大きく異なる。そこで、便毎に出発待ち時間も含めた一般化費用を算出し、最も高費用な経路について、サービス水準低下の主要因を判定した。判定方法は、一般化費用が最大となった経路の乗車船時間・乗換（乗換時間と乗換回数の和）・金銭費用・出発待ち時間の各費用内訳と、当該ODにおける各費用内訳の平均値との差を算出し、最も費用差が大きかった項目を低サービス水準の主要因とした。

算出結果を図8に示す。乗換利便性や出発待ち時間の分析と同様、県内移動よりも観光移動の方が最大一般化費用比が大きい、すなわちサービス水準にばらつきが大きい傾向が分かる。最大一般化費用比が1.2を超え、平均一般化費用が県内移動で4000円以上、観光移動で8000円以上の経路は、いずれも乗換と乗車船時間が主要因であった。県内移動で最大一般化費用比が最大の経路①は長距離路線バスの経路であり、高速道路経由に空白時間帯があるため在来経路で時間がかかっていることが費用増加の要因である。観光移動で最大一般化費用比

表9 最大一般化費用比が高い経路の例

<p>経路① 12:50 出発 安芸太田町役場 (徒歩0分,59m) 12:51 発 安芸太田町役場 ↓ 広島電鉄 三段峡線<在来> 14:52 着 広島バスセンター (徒歩0分,19m) 14:52 到着 紙屋町交差点</p>	<p>経路② 13:26 出発 千光寺 (尾道) (徒歩6分,423m) 13:32 発 長江口 (広島県) ↓ おのみちバス [如水館線] 13:40 着 尾道駅前 乗換10分 13:50 発 尾道駅前 ↓ おのみちバス [新駅線] 14:00 着 亀川 (広島県) (徒歩5分,400m) 14:06 到着 新尾道駅</p>
--	---

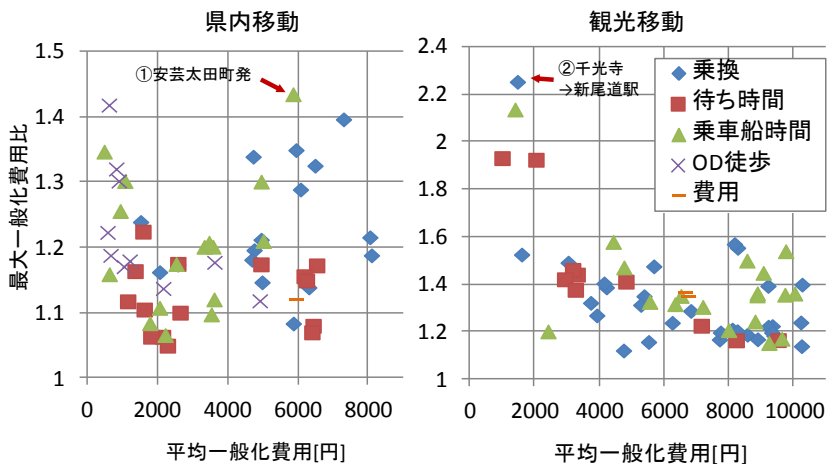


図8 一般化費用最大経路の利便性低下要因

表 10 県内移動の利用経路数上位の乗換パターン

拠点1	モード1	拠点2	モード2	ODペア数	経路数	乗換時間[分]		利用経路数上位のODペア	
						最大	平均	ODペア	経路数
広島	鉄道	広島駅(南口)	バス	7	126	15	8	東広島市役所～紙屋町交差点	45
								坂町役場～紙屋町交差点	39
								三原市役所～紙屋町交差点	23
大竹	鉄道	大竹駅	バス	1	15	18	9	大竹市役所～紙屋町交差点	15
横川(広島県)	鉄道	横川駅前	バス	2	14	12	8	大竹市役所～紙屋町交差点	13
広島港(宇品)	鉄道	広島宇品港	航路	1	14	17	14	江田島市役所～紙屋町交差点	14
竹原港<北崎港>	航路	竹原フェリー港内	バス	1	14	44	21	大崎上島町役場～紙屋町交差点	14
広島駅(南口)	バス	広島駅(南口)	バス	3	10	6	4	竹原市役所～紙屋町交差点	5

が最大の経路②は、直通バスが無い時間帯のため乗換が1回多く発生していることによる。

6. 乗換結節点に関する分析

複数の交通手段を組み合わせた公共交通網の利便性を高めるためには、乗換結節点の利便性を高めることが重要である。中心部へのアクセスにおいてバスや路面電車の依存度が高い広島県では、乗換結節点の改良が盛んに行われている。また、都市間輸送や空港アクセスの高速バス路線には、高坂バスストップや河内インター等の結節点が設けられている。そこで本章では、複数の経路検索結果を重ね合わせることで、利用経路の多い乗換結節点と乗換時間の長い乗換結節点について分析を行う。

(1) 利用経路の多い乗換結節点の分析

県内移動のみを対象に、多くの経路で利用されていた乗換パターンを表 10 に示す。ここで乗換パターンとは、乗換前の拠点と交通モード、及び乗換後の拠点と交通モードの組合せを両方向分まとめたものである。

利用経路数及び OD ペア数共に最多のパターンは、広島駅における鉄道から南口のバスへの乗換である。OD ペア別に経路数を見ると、東広島市・坂町・三原市等、広島バスセンターへの直通高速バスが無い、広島市以東の各市町からの経路が多い。続いて駅と市役所が離れている大竹駅における鉄道からバスへの乗換が多い。続く

表 12 交通モード組合せ別の乗換時間が 20 分以上かかる乗換の割合

	県内移動			観光移動		
	鉄道	バス	航路	鉄道	バス	航路
鉄道	0%			0%		
バス	1%	7%		16%	35%	
航路	0%	59%	無し	22%	37%	100%

横川駅及び広島宇品港は、いずれも広島市中心部へのアクセスにおける乗換結節点として整備されている拠点⁴⁾である。横川駅については、本分析の県内移動で用いた OD ペアに、可部線や山陽本線(広島以西)の駅が近い起点が無かったため利用が少なかったが、同沿線からの経路についても、同様の乗換傾向があると考えられる。

乗換時間については、広島市内の広島駅・横川駅・広島宇品港においては、運行頻度が高いこともありいずれも平均 10 分以下、最大 15 分以下と短い。一方、竹原港においては、運行頻度が比較的低い高速バスと航路の乗換ということもあり、平均 21 分、最大 44 分と乗換時間は比較的に長くなっている。

(2) 乗換時間の長い乗換結節点の分析

交通モードの組合せ別に、乗り換え時間が 20 分以上かかる乗換の割合を集計した(表 12)。その結果、乗換に時間がかかっているのは、県内移動・観光移動ともに航路を含む乗換、加えて観光移動においてはバスからバスへの乗換であることが分かった。最大乗換時間が長

表 13 乗換時間が長い乗換パターン

(最大乗り換え時間順。平均乗換時間 20 分以上のみ。観光移動については最大乗換時間が 60 分以上のみ。)

	順位	拠点1	モード1	拠点2	モード2	ODペア数	乗換時間[分]		乗換パターン分類	
							最大	平均		
県内移動	1	竹原港<北崎港>	航路	竹原フェリー港内	バス	1	14	44	航路とバス	
	2	河内	鉄道	河内駅前	バス	1	2	36	低頻度路線バス	
	3	加計バスストップ	バス	下津浪	バス	1	2	27	高速バス	
	4	大崎上島垂水港	航路	垂水フェリー前	バス	1	1	20	航路とバス	
観光移動	1	東城小学校前	バス	東城小学校前	バス	1	5	161	106	高速バス
	2	吉田営業所	バス	吉田営業所	バス	1	6	119	51	低頻度路線バス
	3	竹原港<北崎港>	航路	竹原フェリー港内	バス	8	47	85	26	航路とバス
	4	広島北インター	バス	広島北インター入口	バス	2	5	82	33	高速バス
	5	広島北インター	バス	広島北インター	バス	2	5	77	27	高速バス
	6	河内インター	バス	河内インター	バス	4	10	74	31	高速バス
	7	三原港FT	航路	三原棧橋	バス	1	13	67	32	航路とバス

い乗換パターンの抽出結果をに示す。乗換前後の路線を元に乗換パターンを分類したところ、航路とバス、高速バス、低頻度路線バスに分類された。高速バス5件のうち4件は高速道路付近のバスストップにおける乗換であった。これらの乗換パターンが課題であることは5章(1)の経路を軸とした乗換利便性の分析の中でも抽出されたが、乗換を軸に分析することで、特定の1経路に限らない共通の乗換課題であることが明らかとなった。

7. 今後の課題と展開可能性

(1) 課題

a) 検索経路の最適化

経路利便性評価のための最適性という面で、検索された経路について下記のような課題が明らかとなった。

まず、発着地を厳密に一点に指定しなければならないことにより、隣接拠点同士の利用優先度に差がついてしまうことがあった。例えば、JR 駅の「広島」、路面電車の「広島駅前」、バス停の「広島駅(南口)」や「広島駅新幹線口」等は隣接しており、厳密な発着地を指定する必要のない利便性評価の際には、それらの利用優先度に差は無いと考えられる。従って、複数拠点を発着地として指定できるようになれば、より適切な経路を算出できるようになると考えられる。

また、5章(2)で述べたような経路検索中の近似計算の精度の問題により最適経路が算出されない課題もあった。このような課題は処理高速化のため一定程度の発生はやむを得ないが、事前に特定路線を利用禁止にする、今回2つ設定したコストモデルをさらに増やす等の対策により、軽減が可能と考えられる。

b) 処理時間の短縮

本研究において経路検索結果の算出には、Intel Xeon E5506(2.13GHz, コア数4) CPUを搭載した3台のWindowsマシンを用い、同時に12の経路を並列で算出した。全790Dペア・8,509経路の算出には、延べ17時間32分を要した。一般化費用順にマージした結果採用されない経路も多かったため、1経路あたりの算出時間は7.4秒とコンシューマサービスにおける検索時間よりも多くかかっている。今後さらにOD数を増やして分析を行うためには処理時間の短縮が期待される。具体的な施策としては、OD付近の徒歩経路算出の省略、同一ODの連続検索を前提とした途中計算結果の流用等が考えられる。

(2) 展開可能性

a) 他地域における実施

本分析に必須なデータは、時刻表データと分析対象ODパターンデータのみである。筆者らは、鉄道・航空

路線であれば全国の、バス路線も多くの都市部の時刻表データを整備済みなため、本分析の他地域における実施は容易である。

b) 需要データの投入と改善優先度付け

本研究において用いたODは、県内移動については空間的網羅性、観光移動については広島県内で課題として従前より定性的に認識されていた箇所を中心として設定したものであり、定量的な交通需要に基づいて設定されたものではない。実際の経路課題改善にあたっては、交通需要を考慮した優先度付けも必要となってくる。しかし広島県内のように交通需要データの入手が困難な地域も多い。そこで期待されるのが、各交通事業者の保有する輸送実績データの活用である。とりわけ、複数事業者の記録が集約、統合されているICカードの利用履歴データの活用⁵⁾は、乗換を含む経路利便性の評価と組み合わせた分析には極めて有効であると考えられる。

c) 経路検索やサービス水準評価モデルの多様化

本研究の経路算出の際のコストモデルは固定としたが、例えば高齢者の利用が多いと考えられる経路については乗換や歩行のコストを高くする等、個人差を考慮した多様なパターンを設定することが望ましい。また、サービス水準の評価はランダム到着を想定して行ったが、利用者の発車待ち行動や、所要時間不確実性や混雑等の動的な運行情報の考慮が可能になれば、より利用者の実感に合った結果になると期待される。

d) 課題解決支援情報の追加

本研究においては、算出経路をデータ分析対象としたが、そこに現れた課題の解決策検討の際には、前後の便や並行路線等、算出経路以外のデータも参照する必要がある。最適解の提示までを自動で行うのは容易ではないが、乗換先の路線の1本前の発車時刻や、最適経路として利用されなかった便の抽出等の情報を事前に算出しておくことで、課題解決を支援することができると考えられる。

e) 経路時刻表の一般利用者向け提供

本研究において算出した任意のOD間の1日分の経路時刻表は、一般利用者にとっても有用と考えられる。例えば、経路時刻表をダウンロード可能なWebシステムを構築し、公共交通網の利便性を正しく伝えその利用を促進するツールとして活用することが期待される。これを用いて、自宅から職場、学校、買い物先、病院等利用頻度の高い目的地への経路時刻表を予め紙等に出力しておけば、経路検索サービスの扱いに不慣れた利用者も容易に経路を把握できる。また商業施設や公共施設において、代表的な拠点までの経路時刻表を掲示することも考えられる。

8. まとめ

本研究の、複数事業者・路線の時刻表データ及び経路検索エンジンを用いた、広島県内の公共交通のサービス水準評価分析により得られた知見は下記の通りである。

1. 経路多様性の定量評価ができた。その結果、例えば県内移動においては、交通モードパターン数が平均 2.7、路線パターン数が 6.0 と経路の多様性に富んでいることが分かった。
2. OD 間の各出発時刻における最適経路群を、乗換・出発待ち時間・一般化費用の観点で評価し、サービス水準の低い経路を抽出できた。さらに、サービス水準低下の要因を、一般化費用の内訳を分析することで判別することができた。その結果、最大一般化費用比が 1.2 を超え、平均一般化費用が県内移動で 4000 円以上、観光移動で 8000 円以上の経路は、いずれも乗換と乗車船時間が主要因であることがわかった。
3. 利用経路の多い乗換結節点の抽出及びその特徴の分析ができた。その結果、県内移動において、広島駅が 30OD ペアのうち 7OD ペアにおいて利用されていること、広島市内の乗換結節点の乗換時間が最大 15 分以下と短いこと、竹原港の乗換時間が最大 44 分と長いことが分かった。また、乗換時間が長い乗換パターンとして、航路とバス、高速バス、低頻度路線バスとがあることがわかった。
4. 今後の課題として、検索経路の最適化、処理時間の短縮があることが分かった。今後の展開可能性として、他地域における実施、需要データの投入と改善優先度付け、経路検索やサービス水準評価モデルの多様化、課題解決支援情報の追加、経路

時刻表の一般利用者向け提供を提案した。

謝辞：

本研究は、本事業（平成 24 年度広島県公共交通ネットワーク情報提供・移動活性化推進事業）検討会における分析結果を元により詳細な分析を行ったものである。本事業にて多大なる助言や協力をいただいた広島県を始めとする検討会委員の皆様、また時刻表データ整備にあたりご協力をいただいた交通事業者や市町運行路線のご担当の皆様へ感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省 総合政策局参事官室: NITAS の機能紹介, http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/soukou/nitas/110701_NITAS.pdf, 2011.
- 2) Shimamoto Hiroshi, Murayama Naoki, Fujiwara Akimasa, Zhang Junyi: Evaluation of an existing bus network using a transit network optimisation model: a case study of the Hiroshima City Bus network, *Transportation*, Vol-37(5), 2010.
- 3) 赤星健太郎, 高松瑞代, 田口東, 石井儀光, 小坂知義: 低頻度な公共交通網を有する地域の移動利便性の評価手法に関する研究, *都市計画論文集*, Vol-47, NO.3, 2012
- 4) 広島電鉄: 電車事業への取り組み - 交通結節点の改善, <http://www.hiroden.co.jp/train/torikumi/kessetuten.htm>
- 5) 日下部貴彦, 高木勇弥, 井料隆雅, 朝倉康夫: IC カードシステムによる改札通過データを活用した乗車列車推定方法の開発, *土木計画学研究論文集*, Vol.26, 2009

(2013.5.7 受付)

EVALUATION OF LEVELS-OF-SERVICES FOR PUBLIC TRANSPORTATION USING ROUTE SEARCH ENGINE IN HIROSHIMA

Kanako TAKATA, Kohei OTA, Masato MAEDA, Akimasa FUJIWARA