

都市鉄道整備水準指標に関する基礎的考察*

A Basic Study on the Indicator for measuring Services and Infrastructure Developments
of Urban Railways

平石 和昭**、夢沼 慶正**

by Kazuaki HIRAISHI, Yoshimasa TADENUMA

1. はじめに

海外、特に欧州の諸都市圏に比較して、日本の地方都市圏の都市鉄道整備水準は低い。しかしながら、地方都市圏においても、「住民のモビリティの向上」はもとより、「道路混雑の緩和」「運輸エネルギーの節約」「都市構造の適正化」「移動制約者の交通の確保」「都市交通環境の改善」等を目的として、都市鉄道整備水準の向上が要請されている。

地方都市圏において都市鉄道サービスを改善するための問題点の一つとして、投資の目安となる適切な整備水準指標がないことが挙げられる。首都圏をはじめとする大都市圏においては、「混雑率」を指標として新線建設、複々線化、車両の増設等の投資が行われているが、地方都市圏では、地方都市圏にふさわしい新たな整備水準指標を打ち出すことが重要であろう。

そこで本研究では、地方都市圏における交通政策上の重要課題であるCBDへのアクセスに着目した都市鉄道整備水準指標を提案し、人口50万人以上の29都市圏（東京、名古屋、大阪の三大都市圏を除く）を対象としてその有効性について検討した。

次いで、この指標を用いて、札幌、仙台、広島、福岡とドイツのフランクフルトとの間で、都市鉄道の整備水準の試算・比較を行った。

なお、本研究でいう「都市圏」は、同一時点、同一方法で整備された1990年国勢調査報告（従業地・通学地集計結果）による10%通勤・通学圏をもって定義した。

また、「都市鉄道」とは、郊外鉄道、地下鉄、モノレール・新交通システム、路面電車等都市圏内で輸送サービスを提供する鉄軌道全てを含んでいる。

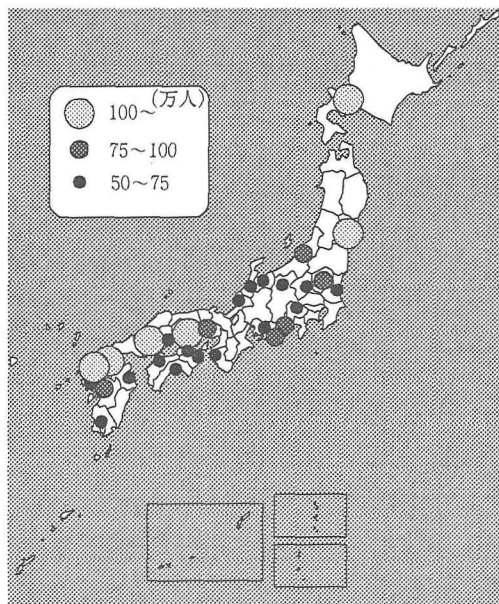


図-1 対象都市圏

2. 整備水準指標の提案と整備水準評価

(1) 従来型指標の限界

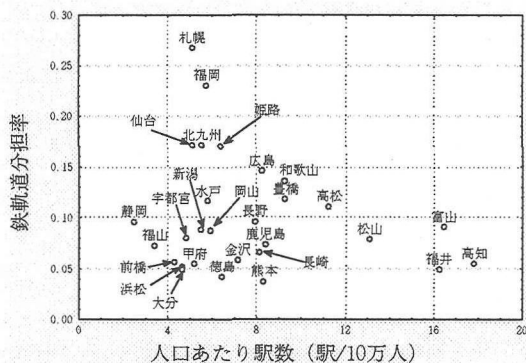
従来、マクロ的に都市鉄道の整備水準を測る指標としては、「人口あるいは面積あたり鉄道路線延長（路線密度）」や「人口あるいは面積あたり駅数（駅密度）」が用いられてきた。しかしながら、これらの指標は、都市鉄道の魅力度の代理指標と考えられる鉄軌道分担率の地域的な格差を適切に表現できていない。

図-2は、各都市圏における人口あたり駅数と鉄軌道分担率との関係をみたものである。鉄軌道分担率は、札幌、福岡がそれぞれ26.8%、23.1%と20%を超えており、仙台、水戸、豊橋、姫路、和歌山、広島、高松、北九州の各都市圏が10~20%、その他の都市圏は10%未満である。人口あたり駅数が多いほど鉄軌道の魅力度が増し、

*Key Words 鉄道計画、都市鉄道整備水準

**正会員、(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所
(〒105-0001 港区虎ノ門 3-18-19 tel.03-5470-8415)

鉄軌道分担率が高くなることが期待されるが、図－２は必ずしも期待どおりの結果を示していない。例えば、人口 10 万人あたりの駅数が 15 駅を超える富山、福井、高知の各都市圏の鉄軌道分担率は、それぞれ 9.1%、5.0%、5.5%といずれも 10%未満となっている。都市鉄道と競合関係にある他の交通手段の整備状況はみてはいないものの、人口あたり駅数という指標は、都市鉄道の魅力度を適切に表現しているとはいえない。



注：鉄軌道分担率は1990年国勢調査報告の通勤・通学交通手段データより算出

図-2 人口あたり駅数と鉄軌道分担率

(2) 新たな整備水準指標の提案

そこで本研究では、1990年国勢調査地域メッシュ統計（基準地域メッシュ：1km メッシュ）データを用いて、一般化費用概念に基づいた都市鉄道整備水準指標の提案を行い、鉄軌道分担率と比較・分析することにより有効性を確認した。

整備水準指標の提案にあたっては、CBD (Central Business District) へのアクセスに着目した。CBD、すなわち中心業務地区とは、一般に都市の中央部で事務所、官公署、金融機関、商店、慰安娯楽施設等が最大に集中している地区である。本研究では当該自治体へのヒアリングをもとに、基準地域メッシュ単位で CBD を設定した。

地方都市圏においては、自動車交通の優位のもとで中心市街地の空洞化が進行しているが、その再活性化を図るためには、公共交通による圏域内各地域から CBD への良好なアクセスを確保することが重要な課題である。本研究では、各都市圏ごとに、圏域内各メッシュから CBD までの鉄軌道利用による一般化費用の人口加重平均値(住

民1人あたりの一般化費用)を都市鉄道整備水準指標として提案した。所要時間および運賃・料金をマネータームで表現する一般化費用概念を用いたことにより、簡便でわかりやすい指標化が可能になったと考えている。ただし、一般化費用は、都市圏面積が大きいと高くなる傾向にあり、都市圏間比較を行う場合、面積格差が大きい場合はその調整が必要になってくる。そのため、都市圏の大きさを表す指標として CBD までの距離(直線距離)の人口加重平均値(住民1人あたりのCBDまでの距離)に着目し、一般化費用をこの CBD までの平均距離で除することにより、面積格差の調整を行った。

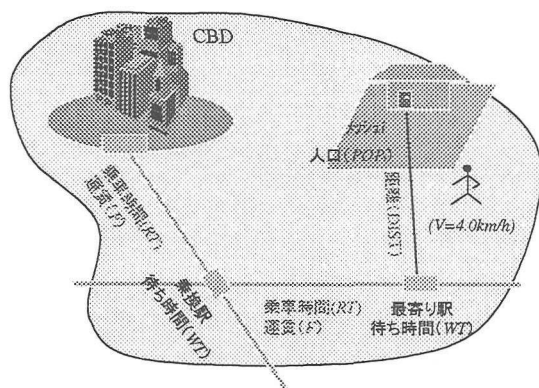


図-3 CBDへの一般化費用

以下に、各指標の定義を示す。なお、各メッシュから駅までは徒歩（時速 4km/h）でアクセスするものとした。待ち時間は列車運行間隔の半分とし、乗換え時間は乗換え駅相互での徒歩による所要時間とした。時間評価値は、選考接近法を用いて算出された岩倉¹⁾による試算値を用いている。

① メッシュ i から CBD までの一般化費用

$$GC_i = ACT_i \cdot ACTV + LHT_i \cdot LHTV + WAT_i \cdot WATV + EGT_i \cdot EGTV + F_i$$

ここで

GC_i : メッシュ i から CBD までの一般化費用 (円)

ACT_i : メッシュ i から駅までのアクセス時間 (分)

 LHT_i : 乘車時間 (分)

WAT: 待ち時間・乗換え時間 (分)

EGT: 駅から CBD までのイグレス時間 (分)

EGTV: イグレス時間の評価値 (40 円/分)

LHTV: 乗車時間の評価値 (26 円/分)

ACTV: アクセス時間の評価値 (33 円/分)

WATV: 待ち時間・乗換え時間の評価値 (45 円/分)

F_i : 鉄軌道の運賃[普通]・料金 (円)

② 平均一般化費用

$$AVG \cdot GC = \sum_i (GC_i \cdot POP_i) / \sum_i POP_i$$

ここで

$AVG \cdot GC$: 平均一般化費用 (円)

POP_i : メッシュ i の人口 (人)

③ 距離あたり平均一般化費用

$$AVG \cdot GCL = AVG \cdot GC / DIST$$

ただし

$$DIST = \sum_i (DIST_i \cdot POP_i) / \sum_i POP_i$$

ここで

$AVG \cdot GCL$: 距離あたり平均一般化費用 (円/人・km)

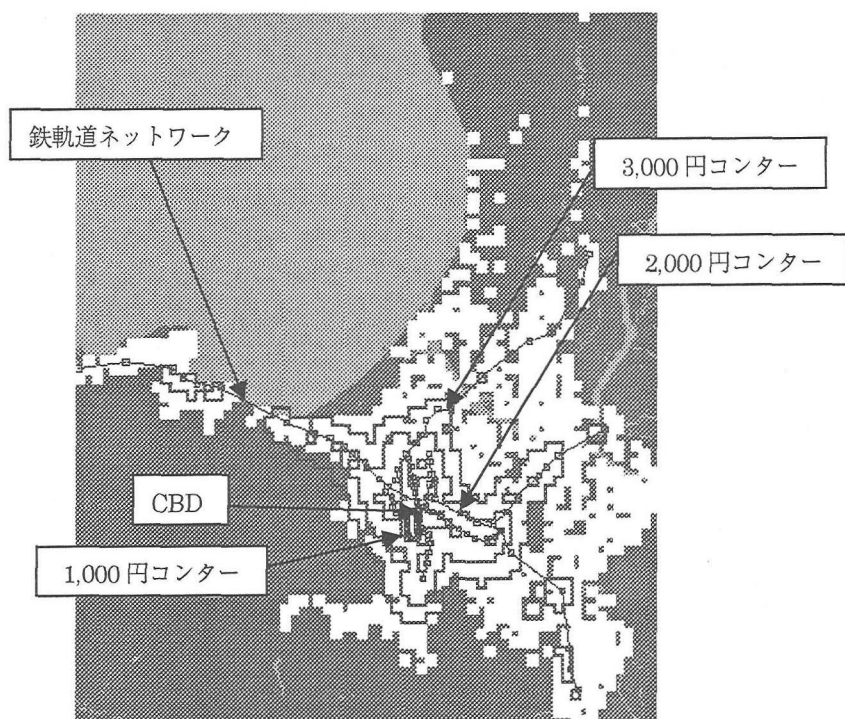
$DIST$: CBD までの平均距離 (km)

$DIST_i$: メッシュ i から CBD までの距離 (km)

参考までに、札幌都市圏を例にとって、人口分布構造、鉄軌道ネットワーク及び CBD を目的地として試算した一般化費用コンターを図-4に示す。

上記の定義による距離あたり平均一般化費用によって都市鉄道整備水準を表現することにより、次に示す改善が期待される。

- 1) メッシュデータの活用により、都市圏内の人口分布と鉄軌道ネットワークとの近接性（都市圏構造とその構造に対応した鉄軌道ネットワークの充足度）が表現できる。
- 2) 列車ダイヤ・乗り継ぎ利便性、運賃を取り込むことにより、高速性、フリークエンシー、乗換え利便性、低廉性等のソフト面でのサービス水準を表現できる。
- 3) 各都市圏の大きさの違いを考慮した地域間比較分析等により、目標水準の設定が可能になる。



注: 図中の白メキの部分は札幌都市圏での可住地を示している。

図-4 一般化費用の試算例 (札幌都市圏)

(3) 指標の有効性

人口 50 万人以上の 29 都市圏を対象に、距離あたり平均一般化費用を算出した。

各都市圏における距離あたり平均一般化費用と鉄軌道分担率とを比較したものが図-5である。一般化費用は、鉄軌道利用による所要時間と運賃・料金が構成されている。その値は高ければ高いほど鉄軌道利用に際しての抵抗となっていくため、一般化費用と鉄軌道分担率とは負の相関を有している。ただし、図中に示すように、都市圏は大きく A、B の 2 つのグループに区分した。前者は JR 中央駅が CBD に該当するメッシュに含まれていない都市圏である。後者は、北九州、静岡、浜松、福山等 JR 中央駅周辺に CBD が発達している都市圏である。A グループの都市圏は、多くの旅客が集中する JR 中央駅から CBD までのイグレスがあるために、B グループの都市圏と比較して一般化費用が高い値を示す傾向にある。後述の回帰分析においては、この両グループの違いをダミー処理している。鉄軌道分担率を被説明変数とし、距離あたり平均一般化費用を説明変数として回帰分析を行った結果を次に示す。両指標はいずれも自然対数をとっている。

$$\ln(RR) = 10.11574 - 2.20731 \times \ln(GCL) \\ (5.5387) \quad (-6.8482) \\ - 0.54637 \times DUMMY \quad (1) \\ (-3.9283) \\ R=0.8062 \quad R^2=0.6500 \\ ()内は t 値$$

ここで
RR：鉄軌道分担率
GCL：距離あたり平均一般化費用（円/人 km）
DUMMY：イグレス補正ダミー（JR 中央駅から CBD までのイグレスがある都市圏は 0、ない都市圏は 1）

上記の関係式(1)を書き換えると
$$RR = 24729.2 \times GCL^{-2.20731} \quad (\text{グループ A}) \\ RR = 14319.4 \times GCL^{-2.20731} \quad (\text{グループ B})$$

ある。ここで、グループ A とグループ B の鉄軌道分担率が一致する場合、両グループの一般化費用の間には次の関係が成り立つ。

$$GCL_B / GCL_A = 0.780729 \quad (2)$$

ですなわち、(2)式の値はグループ A に属する都市圏とグループ B に属する都市圏との間で鉄軌道整備水準を比較する際の調整係数となる。

さて、回帰分析の結果、鉄軌道分担率と距離あたり平均一般化費用の相関は 0.81 となった。図-2 に示す人口あたり駅数に比較して、鉄軌道分担率との相関が改善される結果となっている。

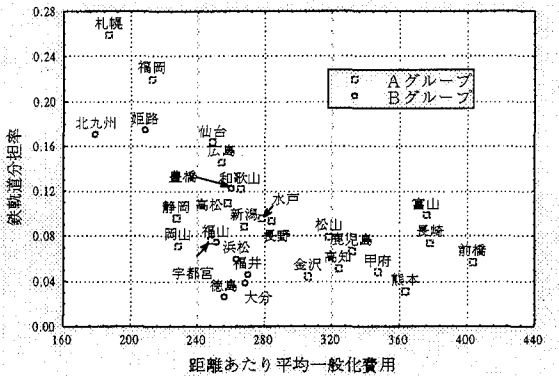
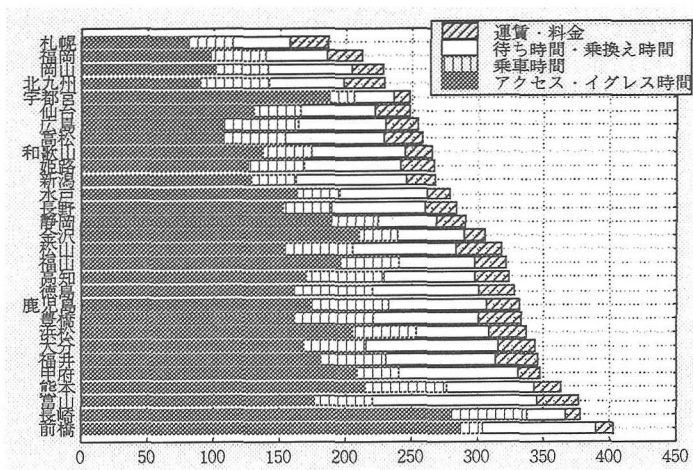


図-5 距離あたり平均一般化費用と鉄軌道分担率との比較

(4) 計測結果 (都市圏ランキング)

各都市圏における距離あたり平均一般化費用を図-6に示す。算出にあたっては、(2)式に示した調整係数を用いてグループ A とグループ B の間の調整を行っている。これらの値は、都市圏における都市鉄道整備水準を総合的に表現しており、いわば都市鉄道の整備水準にかかる都市圏ランキングともいえるものである。29 都市圏の中で最も整備水準の良好な都市圏は、距離あたり平均一般化費用が 187.1 円/km で最も低い札幌という結果になった。一方、最も整備水準が低い都市圏は、402.9 円/km の前橋という結果になった。距離あたり平均一般化費用を総合指標とみなすと、それは大きく 4 つの要素で構成されている。「駅までのアクセス・イグレス時間」「乗車時間」「待ち時間・乗換え時間」「運賃・料金」である。このような各要素に着目すると、各都市圏の強み・弱みを把握することができる。本研究では、これら 4 つの要素を示す指標として、住民 1 人あたりの「駅までのアクセス距離（アクセス利便性）」「平均列車速度（高速性）」「待ち時間・乗換え時間比率（フリークエンシー・乗換え利便性）」「キロあたり運賃（低廉性）」に着目し、都市圏にお

る各要素について整備水準の試算を行った。距離あたり平均一般化費用の小さい順に結果を示すと表－1のようになる。



注：グループBの距離あたり平均一般化費用の算出にあたっては、(2)式に示した調整係数を用いて調整を行っている。

図-6 CBDまでの距離あたり平均一般化費用
(都市鉄道整備水準にかかる都市圏ランキング)

表－1 要素別整備水準（住民1人あたり平均値）

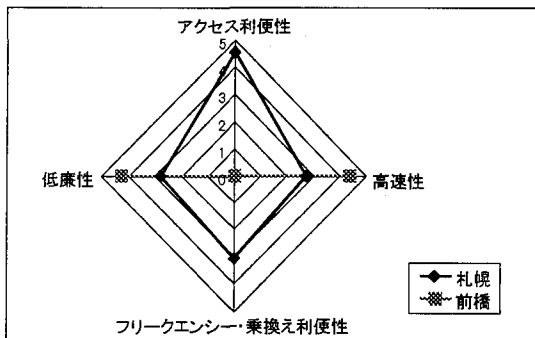
都市圏	駅までの アクセス距離 (km)	平均列車速度 (km/h)	待ち時間・ 乗換時間比率 (%)	キロあたり 運賃 (円/km)
札幌	1.73	38.9	42.9	43.5
福岡	2.16	37.0	39.4	33.7
岡山	2.76	41.8	47.9	27.0
北九州	1.76	45.5	38.6	25.0
宇都宮	3.59	59.5	48.1	19.6
仙台	2.75	36.9	48.0	40.9
広島	2.46	27.7	40.1	31.6
高松	2.00	34.9	48.6	33.4
和歌山	1.62	41.2	52.2	26.5
姫路	1.98	49.9	50.3	23.7
新潟	2.59	44.6	59.4	25.0
福井	2.66	41.9	49.7	27.7
水戸	2.96	50.5	54.2	20.0
長野	2.59	39.5	52.8	31.4
静岡	2.61	49.5	42.5	23.8
金沢	2.31	39.0	49.9	25.7
松山	1.77	26.9	47.3	44.4
福山	3.01	52.7	42.5	20.0
高知	3.47	19.2	40.1	74.0
徳島	2.28	33.6	43.5	23.9
鹿児島	2.81	21.3	42.3	41.4
豊橋	1.55	37.3	43.4	30.4
浜松	2.63	42.3	39.9	26.5
大分	2.61	43.7	55.1	22.8
甲府	2.90	48.7	62.2	21.1
熊本	3.59	18.1	38.0	31.0
富山	2.89	34.7	62.0	34.4
長崎	3.84	15.2	22.8	20.6
前橋	3.86	53.8	73.8	27.7

1)一般化費用を最小にする駅までのアクセス距離
2)待ち時間・乗換時間比率＝(待ち時間・乗換時間)÷(乗車時間＋待ち時間・乗換時間)

総合で上位の都市圏は、概ねアクセス利便性に優れている。宇都宮は、駅までのアクセス距離では3.59kmで相対的に劣っているものの、高速性や低廉性でカバーして上位に位置している。一方で、下位に位置する都市圏は、アクセス利便性ととも、フリークエンシー・乗換え利便性の水準が低い都市圏が多い。長崎は、100円均一運賃で運行される路面電車が長崎市内の基幹交通となっており、フリークエンシー・乗換え利便性や低廉性では優れた水準を示しているが、都市圏全体でのネットワーク不足や路面電車の表定速度が低いために、アクセス利便性や高速性の水準が低く、総合的な評価では下位に位置している。

各都市圏の強み・弱みをより明確に把握する場合は、次に示すレーダーチャートによる表現が適している。

最も整備水準が高い札幌と最も低い前橋の両都市圏について、個別要素ごとに整備水準を表現したものが図-7である。各要素ごとの値は、29都市圏の平均と標準偏差を用いて基準化した上で、最も高い整備水準を示す都市圏の値が「5」、最も低い整備水準を示す都市圏の値が「0」となるように調整している。



注1：個別要素を表す指標は次のとおり。いずれも住民1人当たりの平均値である

- アクセス利便性 → 駅までのアクセス距離
- 高速性 → 表定速度
- フリークエンシー・乗換え利便性 → 待ち時間・乗換え時間比率
- 低廉性 → キロ当たり運賃

注2：待ち時間・乗換え時間比率

$$= (\text{待ち時間} \cdot \text{乗換え時間}) / (\text{乗車時間} + \text{待ち時間} \cdot \text{乗換え時間})$$

図-7 要素別整備水準の評価

結果についてみると、札幌は、アクセス利便性を筆頭に、各要素ともに平均以上の水準を示している。これに対して前橋では、特にアクセス利便性とフリークエンシー・乗換え利便性が29都市圏中で最低水準にあり、これが総合的な評価を下げる要因になっている。

(5) 国際間での試算・比較

都市圏構造および都市鉄道ネットワークに関するデータがそろえば、日本の諸都市圏と海外の都市圏との間で、都市鉄道の整備水準を試算・比較することも可能である。

ここでは、都市圏人口で100万人台から200万人台の札幌、仙台、広島、福岡とドイツのフランクフルトとの間で、都市鉄道の整備水準を比較した。ただし、データ制約上、都市圏ベースではなく都市ベースでの比較となっている。フランクフルトでは、メッシュデータがないため、調査区のデータを代用している。調査区の平均面積は1.9km²で日本のメッシュデータよりも大きい。フランクフルトにおける「駅までのアクセス距離」は、日本のそれに比べて長い値を示す方向にバイアスがかかる。したがって、フランクフルトにおける一般化費用は、日本の諸都市における一般化費用に比べて大きな値を示す方向にバイアスがかかる点に留意されたい。

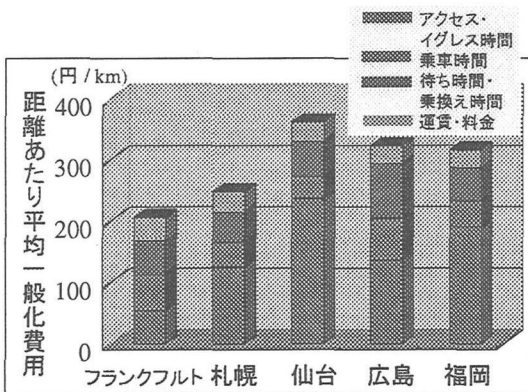
距離あたり平均一般化費用を比較した結果を図-8に示す。フランクフルトの距離あたり平均一般化費用が唯一200円/kmを下回っており、最も低い。アクセス利便性に関して大きな値を示す方向にバイアスがかかっているにもかかわらず、フランクフルトは距離あたり平均一般化費用において日本の諸都市を下回っており、他の日本の諸都市に比較して良好な都市鉄道整備水準を有しているものと試算された。

要素別に整備水準を比較したものが表-3である。全ての項目について、フランクフルトは他の日本の諸都市に比較して良好な水準を示している。特に、アクセス利便性を示す「駅までのアクセス距離」は、住民1人あたり平均590mで非常に優れた水準を示している。ドイツ鉄道によるSバーンと日本の諸都市におけるJRの整備延長はほぼ同程度であるため、アクセス距離の差は、地下鉄に相当するUバーンと路面電車の路線延長の違いによるところが大きい。また、フリークエンシー・乗換え利便性を示す「待ち時間・乗換え時間比率」でもフランクフルトは良好な水準を示しているが、これは、統合ダイヤを導入するなど、運輸連合を設立することによって事業者間調整を行っていること等の成果である。

このように要素ごとに試算・比較を行えば、より具体的な項目ごとに整備水準の乖離状況を数値で確認することができる。

表－２ 比較対象都市

	フランクフルト	札幌	仙台	広島	福岡
人口(千人) [都市圏人口]	653 千人 [2,600 千人]	1,671 千人 [2,107 千人]	918 千人 [1,436 千人]	1,086 千人 [1,759 千人]	1,237 千人 [2,175 千人]
可住地面積	248 km ²	473 km ²	328 km ²	508 km ²	289 km ²
路線延長	Sバーン 65 km Uバーン 56 km 路面電車 63 km	JR 54.5km 地下鉄 45.2km 路面電車 8.5km	JR 69.1 km 地下鉄 14.8 km	JR 105.7 km 広電郊外 8.7 km 路面電車 18.8 km 新交通※ ¹ 18.4 km	JR 68.0 km 西鉄 8.5 km 地下鉄 17.8 km
計測単位	調査区 (平均 1.9※ ² km ²)	国勢調査による基準地域メッシュ (1 km メッシュ)			

※¹ 広島市の新交通システムは1990年時点では開業していない※² 空港地区を除く平均面積である

図－８ 試算結果

表－３ 個別要素別試算結果

	フランクフルト	札幌	仙台	広島	福岡
駅までのアクセス距離 (m)	590	1710	2410	1840	2300
平均列車速度 (km/h)	35.4	33.6	30.3	20.6	32.4
待ち時間・乗換時間比率 (%)	34.3	41.1	49.6	43.5	43.4
キロあたり運賃 (円 / km)	39.2	49.4	56.7	40.1	41.8

注: 待ち時間・乗換時間比率 = 待ち時間・乗換え時間 / (乗車時間 + 待ち時間・乗換え時間)

化を図っていく上では、まず自らのポジションを客観的に認識した上で、目標水準を設定し、その達成に向けて具体的な施策を立案・実施していくことが重要である。今回提案した指標は、概念的に新しいものではないが、メッシュデータを用いて都市圏内の人口分布構造を反映した指標化を行うことにより、より実態に近い都市鉄道整備水準の表現が可能になったと考えている。また、一般に欧州の地方都市圏の都市鉄道は日本に比較して整備水準が高いと考えられているが、フランクフルトと札幌、仙台、広島、福岡において都市鉄道整備水準を試算・比較することにより、乖離状況を数値で確認した。

この指標の活用方向としては、都市圏間比較により各都市圏における目標水準の設定や弱点の把握を支援すること、及び具体的な都市鉄道整備施策を実施する場合に都市鉄道整備水準の改善効果を計測することなどがあげられよう。

今後は、新線建設や列車の増発等具体的な施策による改善効果の計測にこの指標を適用していき、実務への応用を図っていくことが必要と考えている。また、収集・整備したメッシュデータを活用することにより、複数の都市圏、複数の路線沿線を対象として、都市鉄道が成立するために駅勢圏が満たすべき条件について分析していきたいと考えている。

３．おわりに

地方都市圏が都市鉄道をはじめとする公共交通の強

参考文献

- 1) 岩倉：市場、行動および意識データを用いた都市鉄道整備の効果予測法に関する研究、東京工業大学学位論文、pp.56-61、1994
- 2) 蓼沼・清水・高久：GISを用いた鉄道新線の利用者便益の試算について、土木計画学研究・講演集 No.19(2)、pp.725-728、1996
- 3) 谷口・石田・小川・黒川：通勤・通学交通手段利用率の変化と都市特性の関連に関する基礎的研究、土木計画学研究・論文集 No.12、pp443-451、1995
- 4) 平石・蓼沼：都市鉄道整備水準評価指標に関する基礎的考察、土木計画学研究・講演集 No.20(2)、pp239-242、1997
- 5) 金森・荒・森口編：有斐閣経済辞典、pp 486-487、1971
- 6) Stadt Frankfurt am Main : Materialien zur Stadt-beobachtung, Die Frankfurter Ortsteile und Stadtbezirke Statistische Profile 1987-1995
- 7) Stadtwerke Frankfurt am Main GmbH : Fahrplan & Gesamtlinienplan、1996
- 8) Rhein-Main-Verkehrsverbund : The Mobility of the Future、1995

都市鉄道整備水準評価に関する基礎的考察

平石 和昭、蓼沼 慶正

概要

海外、特に欧州の諸都市圏に比較して、日本の地方都市圏の都市鉄道整備水準は低い。地方都市圏において都市鉄道サービスを改善するための問題点の一つとして、投資の目安となる適切な整備水準指標がないことが指摘できる。そこで、地方都市圏における交通政策上の重要な課題である CBD へのアクセスに着目し、一般化費用概念に用いて、都市鉄道整備水準を表す新たな指標の提案を行い、50 万人以上の 29 地方都市圏を対象としてその有効性の検討を行った。さらに、この指標を用いて、札幌、仙台、広島、福岡とドイツのフランクフルトとの間で都市鉄道整備水準の試算・比較を行い、目標水準設定に関する検討を行った。

A Basic Study on the Indicator for measuring Services and Infrastructure Developments of Urban Railways

Kazuaki HIRAISHI, Yoshimasa TADENUMA

ABSTRACT

In local metropolises, the congestion rate is not an accurate indicator of the performance of urban railway services. The absence of an accurate indicator is the major obstacle to investment of railways. So, we have given attention to the access to the CBD and proposed the indicator for measuring services and infrastructure developments of urban railways. We have calculated this indicator for 29 Japanese local metropolises and tested validity by the analysis of correlation with the modal share of railways.