

潜在需要評価手法に基づく被災地域における 地域公共交通の維持確保方針の検討

吉野 大介¹・山根 啓典²・西尾 建人³・羽藤 英二⁴

¹正会員 復建調査設計株式会社 総合計画部 (〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目8-15)
E-mail:d-yoshino@fukken.co.jp

²正会員 復建調査設計株式会社 総合計画部 (〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目8-15)
E-mail:h-yamane@fukken.co.jp

³非会員 陸前高田市企画部企画政策課 (〒029-2292 岩手県陸前高田市高田町字鳴石42-5)
※名古屋市派遣職員 名古屋市総務局付け (〒460-8508 名古屋市中区三の丸三丁目1-1)
E-mail:k.nishio.br@city.nagoya.lg.jp

⁴正会員 東京大学大学院教授 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷七丁目3-1)
E-mail:hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

公共交通のサービス設計にあたっては、公平性と効率性両視点からの検証が必要である。特に地域公共交通に関しては、地域行政の限界公的負担額の観点から、ターゲットとすべき地区と施策を明確にした、戦略的な施策展開が求められる。

本研究では、各地区の潜在的な公共交通需要量をDEA（包絡分析法）をもとに定量化し、需要の顕在化にあたって優先的に施策展開を図るべき地区とその地区における具体的なベンチマークを明確化する手法を提案した。また、開発モデルを東日本大震災で甚大な被害を受けた岩手県陸前高田市に適用し、震災後の現在の地区別の特性を踏まえた上で、今後利用促進を重点的に図るべき地区や利用促進の具体的な方向性等について提案した。

Key Words : *potential evaluation, local transport plan, DEA, mobility management, DRT*

1. はじめに

(1) 公共交通サービス設計における公平性と効率性

公共交通政策策定の主目的は市民のモビリティ確保にあり、特に自動車利用が難しい交通弱者への公共交通サービスの提供によって社会的生活を実現させることに對することに対する社会的意義は大きい。このような公共性の確保は公共交通事業の目標のひとつであるが、同時に、事業として継続するためには事業効率性の確保も重要な視点となる。従って、竹内¹⁾が言及しているように、公共交通事業については、効率性の追求を公平性の枠の中で進めることが必要である。

公共性の確保のためであれば、公共交通事業への公的負担は行われて然るべきであるが、地域行政にとって公共負担の能力には限界があるため、限定的な需要のために莫大な公的財源を費やすことは正当化されるべきことではない。よって、限界公的負担額の観点から、地域内全エリアへの網羅的な施策実施が難しい場合は、エリア

内各地区の潜在的な公共交通需要量（以降潜在需要と呼ぶ）を定量化した上で、ある程度まとまった潜在需要があり、新規公共交通の導入やサービス改変、モビリティ・マネジメント等の外的インパクトによって効率的に公共交通利用の開拓が見込まれる地区に対して、優先的に接触していくことが施策実施に係る費用対効果の観点からは望ましいと言える。

(2) 従来の地域公共交通サービス設計手法と本研究の位置づけ

ここでは地域公共交通サービス設計手法に関する既往研究を整理し、本研究の位置づけを明確化するとともに、本研究で援用する方法論の特徴と新規性について述べる。

a) 需要予測と供給方法に関する研究

従来の伝統的なバス路線のサービス設計手法（例えば枝村ら²⁾、天野ら³⁾）では、基本的には対象地域の総走行キロ・時間を最小化するような路線網、運行頻度、待ち時間の設計を行う数理最適化手法が用いられてきた。こ

これらの研究は都市圏全体の最適化を目的変数に設定するため、個別路線に着目して分析・評価する視点は取られてこなかった。しかしながら、竹内ら⁴⁾が指摘するように、昨今のバス業界における採算路線と不採算路線（特に生活路線）の二極化進行の中、同じ路線バスであっても採算・不採算の分類によって経営目標や管理指標が全く異なるため、個別路線の特性を踏まえた評価の必要性は高い。

このような背景のもと、需要予測の側面からは、森山ら⁵⁾が過疎地域の生活路線を対象として、離散連続モデルを用いて需要予測モデルを構築し、公共交通運行計画のシミュレーションを行っており、提案モデルは様々なケーススタディにおいて採用されている。また、供給方法の設計の側面からの研究としては、コンジョイント分析やCVMを適用して沿線住民の視点からミニマム水準を議論する研究が数多く行われてきている（例えば、田邊⁶⁾など）。

一方で、主要な利用者として高齢者・身障者が想定される地域公共交通の重要な視点として需要の顕在・潜在が挙げられる。高齢者・障害者交通の分析においては、身体的制約条件や低水準の交通サービス条件に抑制されて潜在化した交通需要を考慮することが必要であるという課題認識のもと、森山ら⁷⁾は非補償ルールに基づく非集計行動モデルの適用により潜在需要を考慮した交通需要分析を行っている。ただし、潜在需要はこれらの利用者の身体的特性に起因するものだけではなく、公共交通のサービスインに至るまでの心理的抵抗が及ぼす影響も大きい。例えば、林ら⁸⁾はデマンドバス利用者数の予測にあたっての説明変数として地元説明会の有無を設定しており、説明会の有無が利用者の拡大に有意に作用していることを確認している。しかし、これらの心理的抵抗は、行政による説明会等の接触機会の有無だけでなく、世帯内やコミュニティ内での普段のコミュニケーション充実度、個人の情報感度の高さ等、様々な要因に左右されるため、回帰分析の中でこれらの外的要因の有効性を語ろうとすると、アドホックな手法に陥りやすいという問題がある。

この課題を解決するための1つのアプローチとして、本研究では、心理的抵抗要因を説明変数として扱わず、あくまで社会経済的指標から潜在需要を計測し、需要の顕在化が顕著なベンチマークとなる地区を参考にすることにより、各地区において今後取るべき施策を明確化する方法を提案する。

b) 潜在需要の評価方法と顕在化のためのアプローチ

潜在需要の評価については、竹内ら⁴⁾によって提案された公共交通の利用実態の評価を実乗車人員ではなく潜在需要によって行うという路線ポテンシャルの考え方が

一般的である。路線ポテンシャルとは、「バス路線の沿線地域がどの程度の需要を発生する可能性を持つか」を表す指標である。路線ポテンシャルの導入により、路線別の効率性の議論が明確になるだけでなく、各路線の性格を踏まえた公共交通計画の策定が可能となり、同指標はその後の多くのバス路線計画に関連する研究に援用されている。例えば杉尾ら⁹⁾はGISを用いて路線ポテンシャルと限定依存人口を計測し、その結果をバス路線網代替案作成に活用する研究を行っている。また、溝上ら¹⁰⁾は竹内ら⁴⁾や杉尾ら⁹⁾の考え方を踏襲し、バス輸送の持つ生産効率性と潜在需要の顕在化可能性という2つの視点からバス路線の特性評価を行い、バス路線の路線別特性評価に基づく熊本都市圏のバス路線網の再編計画を検討している。

本研究においても、竹内ら⁴⁾の路線ポテンシャルの考え方を潜在需要評価モデルの開発に援用する。しかし、従来の路線ポテンシャルの考え方を本研究に適用する際に考慮すべき事項が3点ある。まず1点目は、同一地区内に複数の公共交通体系が導入されている場合の評価である。このような地区においてサービス変更や利用促進策を実施する際には、公共交通体系の総合的な利用可能性を踏まえた提案が必要とされる。そのためには、従来の路線別に独立したポテンシャル計測ではなく、居住地区ベースでの路線複合的な潜在需要の計測、ひいては複数交通機関の需要を同時に扱うことができるモデルの採用が必要となる。しかしながら、従来の重回帰モデル等に基づくポテンシャル指標ではこのような表現は困難である。2点目は、複数交通機関の需要を扱う際に地区間の異質性を考慮することの重要性である。居住者にとってみれば、公共交通手段により希望する移動が実現できれば本人にとっての効用は高まるはずである。一方で、両交通手段がいずれも容易に活用できる場合についても、選択肢集合の拡大により利用者にとっての効用は当然高まる。つまり、各地区の公共交通機関の利用可能性に応じて潜在需要の評価軸は異なるべきであり、交通機関の重みづけは全地区で一様ではない。しかしながら、重回帰分析や原単位を用いたポテンシャル評価ではこのような非画一的尺度による評価が実現できない。3点目は、需要顕在化の際のベンチマークの有効性である。仮に上述の非画一的な尺度を導入した場合、各地区の交通実態に即した評価が可能になるが、顕在化に向けたアプローチについても非画一的となるため、ベンチマークとなる地区の明確化、そしてベンチマーク地区におけるこれまでの需要顕在化の取組み事例が今後の各地区の施策検討の際に有効な指標となる。

以上をまとめると、ポテンシャル指標を援用して公共交通の潜在需要を計測する際には、コミュニティにお

る総合的な公共交通の利便性を踏まえるため、居住地区ベースで複数の交通機関を同時に評価して潜在需要を計測すること、顕在化のためのベンチマークの設定が重要となる。これらの要件をクリアした評価手法として、本研究ではDEA（包絡分析法）を採用する。

c) DEAに基づく潜在需要評価のイメージ

DEAはCharnes et al.¹¹⁾によって経営分析手法のひとつとして開発され、計算の容易性、理解の容易性から様々な分野において、効率性評価手法として利用されてきたモデルである。DEAは線形計画法によって構築された効率的フロンティアに基づいて各事業体（本研究では事業体＝地区で定義）の効率性の評価を行う手法である。本手法は最も優れたパフォーマンスを示す地区をもとに効率的フロンティアを計測し、この効率的フロンティアを一つのベンチマークとして、他の地区を相対的に評価することができる。

DEAによる効率性計測イメージを図-1に示す。地区A～Eのプロットは各地区の生産活動の結果を示す。ここで、A～Dにより形成されるパレート最適ラインを効率的フロンティアと呼び、フロンティア曲線上の地区はD効率性が1（効率的）である。一方、地区Eについては効率的フロンティアと比較すると非効率的であり、D効率値はOE/OPにより算出される。また、ここで、Eにとって効率化に向けて参照すべきベンチマーク地区はA、Bである。

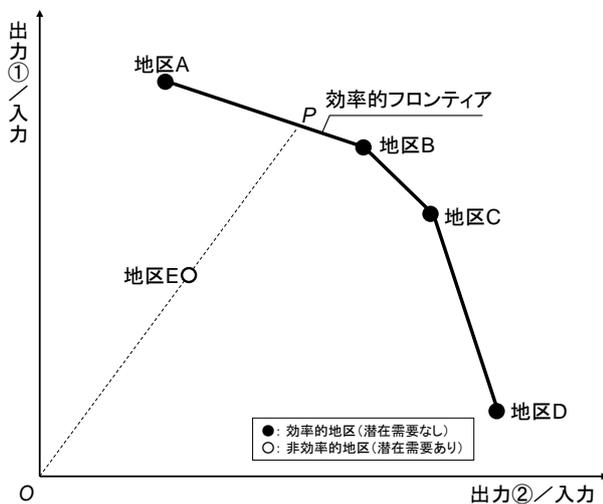


図-1 1入力2出力型DEAの効率性計測イメージ

DEAの特徴として、以下の点が挙げられる。

- ①生産活動における出力項目と入力項目による「出力/入力」の比例尺度により効率性を計測
- ②最も優れた事業体をもとに効率的フロンティアを計測し、これをベンチマークとした相对比较を行う
- ③入力・出力項目を複数設定しても、比例尺度による効

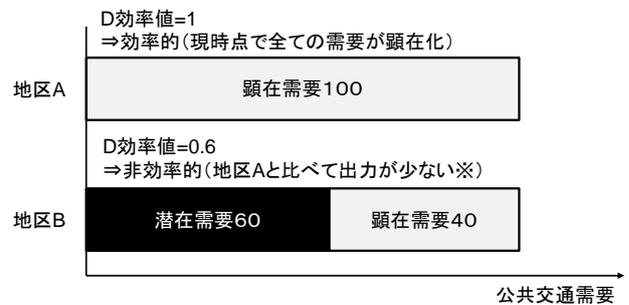
率性の値（D効率値）を算出することができる

- ④データの単位（貨幣ベース、数量ベースなど）の制約を受けない
- ⑤相対評価のため、優れた事業体と比較し「どの部分」が「どの程度」劣るか定量化することが可能
- ⑥各事業体に対して定量的な改善策の提示が可能
- ⑦複数のデータを扱う際のパラメータ（ウェイト値）を内生的に決定するノンパラメトリック手法であり、重みづけの恣意性を排除することが可能

前項b)にて述べたとおり、本研究では複数交通手段による需要を同時に評価する多出力型のモデルが必要とされていること、地区によって各交通手段の評価ウェイトが可変であること、そして需要顕在化のためにベンチマークの設定が求められていることから、同モデルの採用は研究の目的に合致すると判断した。

DEAは国内外での空港経営の効率性分析において適用事例が多いほか、都市間公共交通サービスの充足状況のマクロ的評価¹²⁾やバス事業の経営効率性の評価¹³⁾及び合併や買収に伴う経営効率性の時系列分析¹⁴⁾等、公共交通部門の生産効率性分析への適用事例は数多く存在する。

本研究におけるDEAの活用イメージは図-2に示す通りである。まず、D効率値を「公共交通利用者数/公共交通利用者に影響を及ぼす要因」により定義し、各地区のベンチマーク地区（優位集合）における公共交通利用状況を踏まえて各地区の潜在需要を算出する。つまり、ある地区（図-2内地区A）においてD効率値=1であれば、当該地区は潜在需要が残っておらず、すべて顕在化していると判断される。ただし、あくまで、分析対象エリア内の地区の相対的な比較による判断であり、潜在需要の絶対値を計測しているわけではない点に留意する。一方、D効率値<1である場合（図-2内地区B）は、潜在需要が残存しており、顕在化に向けた取組みの必要性が高い地区であると判断される。特に、D効率値がゼロに近い地区ほど伸びしろが大きい地区である。また、潜在需要の顕在化に向けた取組みの際に各地区が参照すべき先導的なベンチマーク地区は各地区の優位集合により判断する。



※地区ABで入力条件が全て同じ場合を想定

図-2 D効率値による潜在需要の算出イメージ

なお、本研究と類似したアプローチを採用している研究として、東本ら¹⁵⁾の研究があり、本研究と同様にDEAの派生モデルであるNetwork DEAを用いて、札幌市のバス路線を対象に事業者目線での経営効率と利用者視点でのサービス効率評価を行っている。ただし、同研究においてはDEAによって得られた最適化案をもとにインフラ整備や運賃、運行経費などの供給方法の設計に反映させるアプローチを採用しているが、本研究ではDEAを潜在需要の算出、つまり現行のサービスレベルのもとでどれだけ利用促進が可能であるかを検討する用途で活用している点が新しい。

2. 潜在需要評価手法の構築

(1) モデル式

DEAの代表的なモデルとしてCCRモデルとBCCモデルがある。前者は効率的フロンティアにおいて規模の収穫を一定として仮定したものであり、後者は規模の収穫を一定としていないモデルである。本研究では、利用誘発要因に応じて公共交通利用者が変化し、その変化が一定と仮定してCCRモデルを採用する。

任意の地区 k に関するCCRモデルの式形は以下の通りである。

$$\text{Max} \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \quad (1a)$$

$$\text{s.t.} \quad -\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq 0 \quad (j=1, \dots, n) \quad (1b)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1$$

$$v_i \geq 0 \quad (i=1, \dots, m)$$

$$u_r \geq 0 \quad (r=1, \dots, s)$$

ここで、 x_{ij} , y_{rj} は地区 j における変数 i , r の入出力量、 u_r は出力変数 r に対する最適ウェイト、 v_i は入力変数 i に対する最適ウェイト、 n は対象地区数 ($j=1, \dots, n$)、 m , s は入出力変数の数を示す。

式(1a)(1b)の双対問題は実数 θ と双対変数 λ を用いて式(2a)(2b)のように表すことができる。

$$\text{Min} \quad \theta \quad (2a)$$

$$\text{s.t.} \quad -\sum_{i=1}^m x_{ij} \lambda_j + \theta x_{ik} \geq 0 \quad (i=1, \dots, m) \quad (2b)$$

$$\sum_{r=1}^s y_{rj} \lambda_j \geq y_{rk} \quad (r=1, \dots, s)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, n)$$

θ : 制約なし

ここで、 λ_j は地区 j のウェイト値、 θ は最小化問題におけ

るD効率値である。

(2) 入出力変数の設定

モデルの出力変数については、地区内の公共交通の顕在需要を示す指標（各交通機関の利用者数等）、入力変数については、出力変数に対して正の相関があるもの（高齢人口、停留所までの近接性、公共交通の運行頻度、地区内立地施設の集客力等）を選定する。本研究で具体的に設定した指標については、次章のケーススタディで詳述する。

3. 陸前高田市におけるケーススタディの概要

(1) 陸前高田市における公共交通の諸元

前章で構築した潜在需要評価手法を岩手県陸前高田市の公共交通の評価に適用する。同市は東日本大震災により引き起こされた大津波によって甚大な被害を受けた都市であり、津波被害に伴う車両の損失、外出時に同行していたパートナーの喪失、高齢化の進行に伴う運転能力の低下等に伴い、自身で運転できない交通弱者に対する公共交通によるモビリティ確保が求められている。このような社会的ニーズに対し、市及び交通事業者は震災後、様々な態様の公共交通機関を実証実験として導入してきた。平成26年4月現在、市内交通は路線定期運行が5路線（乗合バス、乗合マイクロバス、乗合タクシー。以降まとめて路線バスと呼ぶ）整備されており、上記路線を補完する位置づけで区域運行2路線（以降デマンド交通と呼ぶ）が整備されている。また、本研究では分析対象としないが、地域間幹線交通として、JR大船渡線BRT及び路線バス3路線が市内に乗り入れている。

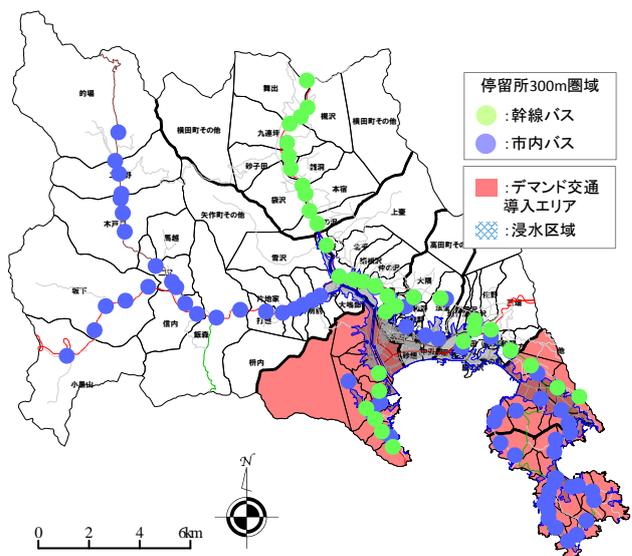


図-3 陸前高田市内のバス停勢力圏

一方で、同市の地域公共交通の運営状況は芳しくない。震災前はバス事業者が市内全路線の運行事業者として参画していたが、震災後の建設業界等へのドライバーの流出、市内バスターミナルの損失、車両の老朽化等によりバス事業者単独での市内全路線の維持が困難な状態に陥った。そのため、現在は一部路線を除き市内公共交通については地元タクシー事業者に委託している。なお、市内公共交通はいずれも道路運送法21条による実証実験事業を平成27年度まで計画しているが、その後の実験継続は現時点では確定していないことから、今後の2年間で本格運行に向けた道筋を明確化する必要がある。

陸前高田市¹⁰⁾によると、現在の市内路線バスについては、いずれも収支率が2割以下に落ち込む中、利用者も概ね横ばい傾向にあり、新規顧客の開拓は十分に進んでいるとは言えない。被災地域の不便な生活に配慮した低価格での運賃設定など、被災地域特有の厳しい生活環境も収支率を低下させている要因であるため、他都市との横並びでの比較はできないが、少なくとも利用促進による運賃収入の確保が今後の大きな課題であることに間違いない。

しかしながら、市内公共交通事業者の被災状況や震災後の運営実態を踏まえると、現状のサービス内容に対する抜本的な改正は困難であり、既存サービスの中でどれだけ効率的に利用者を維持確保していくかが今後の重要なテーマとなっている¹⁰⁾。その点で、平成25年2月から実証実験を開始したデマンド交通については、当初は予約運行に対する心理的抵抗や広報不足等により利用が伸び悩んでいたものの、利用者へのヒアリング等に基づく度重なるサービス内容の改正、応急仮設住宅における説明会の開催、試乗会の実施等の活動により堅調に利用者が増加しており、このような取組みは今後の同市における公共交通の維持確保方針のひとつの形として考えられる(図-4参照)。

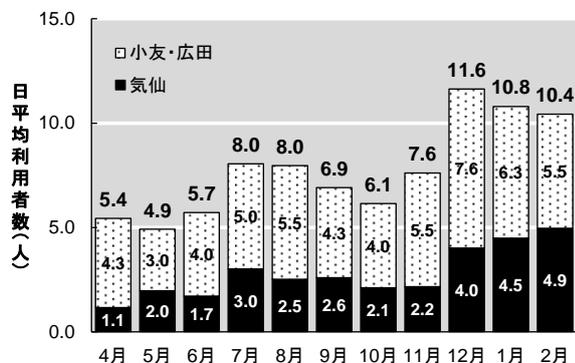


図-4 陸前高田市デマンド交通の利用者数の推移 (H25年度)
資料：陸前高田市提供

デマンド交通における成功事例を踏まえ、路線バスも含めた市内公共交通サービス設計の見直しやモビリティ・マネジメント施策の導入が公共交通の利用促進に好影響を及ぼすことは想像に難くないが、地域行政の公的負担の制限や交通事業者の経営状況等を踏まえると施策の展開には限度がある。このような問題意識のもと、本研究では現在の市内各地区の公共交通の潜在需要を計測した上で、今後積極的に利用促進を図っていくべき地区を明確化する。また、算出結果に基づき、潜在需要を顕在化の上で有効な施策のあり方についても考察する。

(2) 分析対象エリアの設定

分析対象エリアについては基本的には陸前高田市域とするが、地域間幹線交通の乗降客データの取得が難しいことから市内路線バス及びデマンド交通が運行されている地区に限定した。

また、分析エリアの区分は平成22年国勢調査における小地域に準じて設定している。ただし、浸水に伴い無人となった地区や震災前に無人だったが応急仮設住宅の建設により居住地が新たに発生した地区など、平成22年時点と居住形態が大きく変化した地区については適宜集約・分割している。

(3) 入出力変数の設定

設定した評価モデルの入出力変数は表-1の通りである。

表-1 入出力変数

	変数	出典
入力	70歳以上人口[人]	住民基本台帳(H24.3)
	停留所アクセス距離[m] (※順位逆転処理済みのものを設定)	町丁・字中心から最寄りの停留所までの平均距離により設定 (市内路線バスへの距離を算出しており、幹線交通は除外)
	地区内バス路線の運行頻度[便/日]	時刻表より設定
	地区内に立地する買物・医療施設の集客力[人/日]	市民アンケート調査の回答者数より設定
出力	デマンド交通利用者数[人/年]	デマンド交通予約実績データ(登録者居住地ベースで集計)
	地区内停留所の路線バス乗降客数[人/日]	地区内に立地する停留所別乗降客数を合計 (市内路線バスのみ計測しており、幹線交通は除外)

出力変数については、公共交通の顕在需要を表現する指標として、地区別デマンド交通利用者数及び地区別路線バス乗降客数を使用した。ただし、路線バスについて

は地区別乗降客数の調査を行っていないため、停留所勢圏を300mと仮定し、停留所別乗降客数を勢圏と地区境界の重複状況を踏まえて振り分け、地区別の利用者数を算出した。ここで、勢圏が複数地区を跨ぐ場合は地区別人口比により按分している。乗降客数については路線バス・デマンド交通とも平成25年度1年間の延べ利用者数の実績をもとに設定しているが、矢作町内を運行する合場線・合場線については年間データを収集していないため、平成25年度に実施した9日間の乗降客データを年間データに拡大したものをを用いている。

一方で入力変数は出力変数との正の相関がある指標を選出しており、70歳以上人口については平成24年3月末時点の住民基本台帳を基に設定した。ただしデータ上、浸水区域において居住者が存在しているなど、震災前からデータの更新が行われていない箇所もあるため、現地踏査を踏まえ、明らかに民家が立地していない地区については居住者をゼロに置換している。停留所アクセス距離については、現行の路線バス停留所のポイントデータと現況の道路網データ及び各町丁・字の中心地点のポイントデータをGIS上で整理し、最短経路探索により小地域内に含まれる町丁・字中心と最寄停留所までの平均距離を算出することにより設定した。ただし、出力変数との正の相関を仮定した変数を入力変数には選定する必要があるため、アクセス距離については刀根¹⁷⁾を参考に順位逆転処理を行った値を設定している。また、各小地域内を運行するバス路線の運行頻度については、市が公表するバス時刻表（H25.3時点）により設定した。地区内に立地する買物・医療施設の集客力については、陸前高田市¹⁸⁾から、「市民が普段よく訪問する施設（買物施設及び医療施設）」の回答者数をもとに設定した。

なお、本来であれば市内路線だけでなく、地域間路線やJR大船渡線BRTの利用可能性も含めたポテンシャル評価を行うべきであるが、市内路線以外の停留所別乗降客数データの入手が叶わなかったため、市内路線に限定した評価を行っている。

(4) 分析ケース

分析ケースはa)～c)に示す3ケースで設定した。

a) ケース①：現行の潜在需要評価

現行の潜在需要については、表-1に示す現況の入出力変数を用いてD効率値を計測することで評価する。

b) ケース②：デマンド交通の導入に伴う需要顕在化の評価

表-1に示す現況の入出力変数のうち、出力変数のデマンド交通利用者を除外した1出力型のCCRモデルによりD効率値を算出し、(1)の結果との比較により評価を行う。

c) ケース③：デマンド交通のサービス改変に伴う需要

顕在化の評価

表-1に示す入出力変数のうち、デマンド交通利用者を外生的に変化させた場合のD効率値を算出し、(1)の結果との比較により評価を行う。ここでの分析ケースは「ケース③-1：ダイヤ改正及び増便（現行のダイヤに対し、時間帯変更もしくは増便により、利用者が使いたい時間に使える状況になる状態）」及び「ケース③-2：当日予約への対応（現在、利用者は前日夕方までに電話予約を行う必要があるが、これに対して当日予約を許容する場合）」の2ケースを設定した。

各ケースのデマンド交通利用者数のシミュレーションについては、平成25年度にデマンド交通登録者を対象に実施したアンケート調査結果に基づき、デマンド交通非利用者（97人）のうち、ケース③-1については「ダイヤ改正及び増便が行われた場合デマンド交通を利用する（9人、9.2%）」、ケース③-2については「当日予約に対応した場合デマンド交通を利用する（21人、21.6%）」と回答した者の割合(A)、そして各地区におけるデマンド交通登録者のうち未利用者の人数(B)と現行デマンド利用者の年間平均利用回数（14.1回/年）(C)をもとに、(A)×(B)×(C)によりサービス改変に伴う年間利用者の増加量を推定した。そして、設定したデマンド交通利用者数をもとにD効率値を算出した。

表-2 分析ケース

ケース①：現況の潜在需要評価
ケース②：デマンド交通の導入に伴う需要顕在化の評価
ケース③：デマンド交通のサービス改変に伴う需要顕在化の評価
ケース③-1：ダイヤ改正及び増便
ケース③-2：当日予約への対応

4. 現行の潜在需要評価

前章(4)で示したケースのうち、「ケース①：現行の潜在需要評価」の算出結果について以下に取りまとめる。

(1) D効率値及び優位集合の算出結果

DEAにより算出されたD効率値及び優位集合の算出結果を表-3に示す。

効率的な地区（潜在需要が残存していない地区）は神崎地区、古谷地区、片地家地区、滝の里地区、西の沢地区の5地区（図-5参照）である。特に神崎地区及び片地家地区が多く地区に参照されており、両地区でこれまで実施されてきた需要顕在化施策については、多くの地区において参考になる可能性がある。なお、大字別にみる

表-3 D効率値及び優位集合算出結果

地区名	D効率値	優位集合(λ)	
気仙町 <平均> 0.493	神崎	神崎(1.000)	
	町裏	神崎(0.121)	
	砂盛※	0	
	垂井ヶ沢	0.579 神崎(0.455)	
	川口	0.138 神崎(0.182)	
	二日市	0.593 神崎(2.225), 片地家(0.198)	
	湊	0.340 片地家(0.030)	
	古谷	古谷(1.000)	
	上長部	0.879 神崎(1.465), 古谷(0.698), 片地家(0.060)	
	双六	0.399 神崎(0.740), 片地家(0.133)	
	要谷	0.833 神崎(1.308), 古谷(0.653), 片地家(0.060)	
	福伏	0.111 神崎(0.088), 古谷(0.033), 片地家(0.026)	
	三日市	0.113 古谷(0.039), 片地家(0.033)	
	函替	0.069 神崎(0.197)	
小友町 <平均> 0.473	中西	0.570 神崎(0.844), 古谷(0.619)	
	柳沢	0.973 神崎(1.250), 片地家(0.324)	
	財当	0.083 神崎(0.182)	
	谷地館	0.709 神崎(3.394)	
	小ヶ口	0.267 神崎(0.451), 片地家(0.081), 滝の里(0.006)	
	茂里花	0.597 神崎(0.194), 古谷(0.478), 片地家(0.011), 西の沢(0.017)	
	沢辺	0.184 神崎(0.197)	
	矢の浦	0.789 古谷(0.477), 片地家(0.028)	
	モビリア	0.848 神崎(1.126), 古谷(0.591), 片地家(0.085)	
	大祝	0.039 神崎(0.091)	
	蒲田	0.248 神崎(0.550), 片地家(0.083)	
	六ヶ浦	0.133 神崎(0.213), 古谷(0.101), 片地家(0.011)	
	赤坂角地	0.569 神崎(1.889), 片地家(0.190)	
	集	0.208 神崎(0.112), 片地家(0.069)	
久保	0.273 神崎(0.585), 片地家(0.091)		
中沢	0.127 神崎(0.509), 片地家(0.042)		
泊	0.481 神崎(2.801), 古谷(0.259), 片地家(0.074)		
大久保	0.612 神崎(3.365), 片地家(0.153), 滝の里(0.038)		
前花貝	0.343 神崎(0.808), 片地家(0.114)		
越田	0		
長船崎	0.007 神崎(0.014), 片地家(0.002)		
袖野	0.299 神崎(0.865), 片地家(0.100)		
長洞	0.165 神崎(0.383), 片地家(0.055)		
矢作町 <平均> 0.287	雪沢	0	
	大嶋部	0	
	越戸内	0.113 片地家(0.106), 西の沢(0.002)	
	諏訪	0.206 神崎(0.250), 片地家(0.206)	
	神明前	0.083 片地家(0.079)	
	片地家	片地家(1.000)	
	打越	0	
	枳内※	0	
	飯森	0.127 片地家(0.099)	
	信内	0.136 神崎(0.011), 片地家(0.132), 滝の里(0.003)	
	二又	0.292 神崎(0.088), 片地家(0.276), 滝の里(0.012)	
	馬越	0.078 片地家(0.016)	
	木戸口	0.921 神崎(1.167), 片地家(0.460)	
	二田野	0.190 神崎(0.132), 片地家(0.095)	
的場	0.889 神崎(0.683), 片地家(0.445)		
坂下	0.286 神崎(0.291), 片地家(0.143)		
小黒山	0.552 片地家(0.270)		
竹駒町 <平均> 0.345	滝の里	滝の里(1.000)	
	仲の沢	0.264 神崎(0.209), 片地家(0.259), 滝の里(0.003)	
	細根沢	0.051 片地家(0.047)	
	館	0.064 神崎(0.016), 片地家(0.064)	
	高田町 <平均> 0.243	柳ヶ沢	0
	大石沖※	0	
	鳴石	0.577 片地家(0.474), 滝の里(0.164)	
	本丸	0.281 神崎(0.513), 片地家(0.094)	
	裏田	0	
	砂畑※	0	
	大隈	0.269 片地家(0.228), 滝の里(0.010)	
	中和野	0	
	西和野	0.262 神崎(0.157), 片地家(0.262)	
	長砂	0.936 神崎(2.404), 片地家(0.312)	
中長砂	0.428 神崎(0.399), 片地家(0.138), 滝の里(0.003)		
法量	0.168 片地家(0.152), 滝の里(0.002)		
米崎町 <平均> 0.148	高畑	0	
	佐野	0	
	西の沢	西の沢(1.000)	
	糠塚沢	0	
	地竹沢	0	
	沼田	0	
	神田	0	
	松峰	0.556 神崎(2.461), 片地家(0.185)	
	脇の沢	0	
	堂の前	0	
	樋の口	0.356 片地家(0.035), 滝の里(0.053), 西の沢(0.150)	
	和野	0.009 神崎(0.012), 片地家(0.006)	
	和方	0.009 神崎(0.005), 片地家(0.006)	

※印の地区は無人地区

と、気仙町、小友町については、D効率値の平均値が他地区と比較して高く、地区間の値のばらつきも比較的小さい。反面、その他の地域については、D効率値のばらつきが大きい他、公共交通利用者が存在していない地区(D効率値=0)が含まれている。

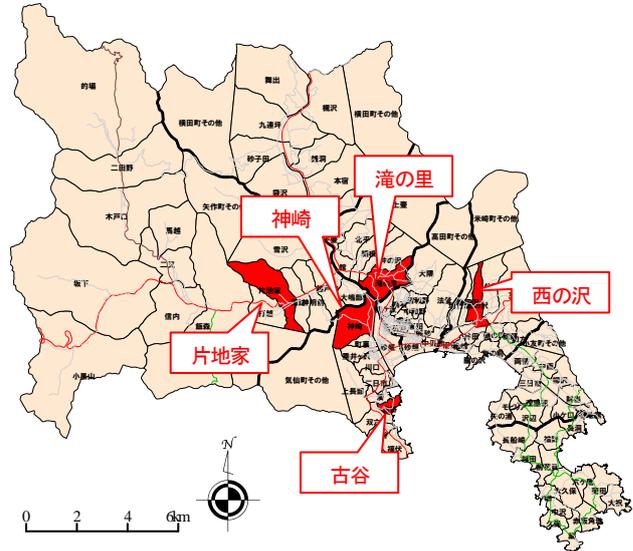


図-5 D効率値が1の地区の位置図(赤色箇所)

(2) 効率性の高い地区に関するプロファイリング分析

(1)で算出したD効率値をもとに、優位集合所属地区に着目して具体的な公共交通の利用実態を検証することで、潜在需要の顕在化において必要な要件を整理する。表-4に各地区における入出力変数の値を示す。

表-4 優位集合所属地区における入出力変数の値

	70歳以上 人口 [人]	停留所距 離 [m]	路線バス 便数 [便/日]	集客度 [人/日]	デマンド利 用者 [人/年]	路線バス 利用者 [人/年]
神崎	28	2,689	0	0	66	0
古谷	52	734	4	0	128	156
片地家	45	430	12	0	0	2,548
滝の里	172	475	16	510	0	8,720
西の沢	50	325	20	378	0	6,224

a) 神崎地区(デマンド対象地区)

神崎地区は気仙町内の気仙川右岸に位置する地区であり、バス路線である国道45号から2~3キロ離れた場所に位置する。気仙川沿いは浸水区域であり、現在も住居は立地していない。現在、住民は気仙川から数百メートル内陸に入った浸水区域外に残っており、人口規模は小さい。

同地区は最寄り停留所までの距離が非常に遠いことからデマンド交通導入以前は交通空白地域であったが、デマンド交通導入後、ロコミにより利用が広まり、現在は利用者数自体は少ないものの、家族や集落内の知人同士で予定を合わせる形で定期的にデマンド交通が利用され

ている。

b) 古谷地区（デマンド対象地区）

気仙町内の広田湾に面する高台に位置し、沿岸部の一部は浸水したが、多くの世帯が震災前と同じ場所で生活している。路線バス停留所が地区内に立地していないため最寄り停留所までの距離が若干長いが利用者は一定数確保されている。一方で、同地区内集会所において平成25年度にデマンド交通に関する説明会を実施したこととその後の説明会参加者の口コミでの情報拡散により、デマンド交通利用者は増加傾向にある。

c) 片地家地区（デマンド対象地区外）

片地家地区はJR陸前矢作駅（休止中）周辺を含む地区である。内陸部で浸水被害区域からは外れている。陸前矢作駅周辺は周囲の中心地区に位置づけられており、民家が密集しており、かつ路線バス停留所へのアクセスも容易である。加えて、地区内を運行する路線バスの運行頻度についても他地域と比較すると多いことから、路線バスの利用者が多い地区である。

d) 滝の里地区（デマンド対象地区外）

滝の里地区は、震災以降、商業施設や金融機関等の立地が集中した地区であり、多くの市民の買物目的地となっている。これらの生活利便施設と停留所のアクセスも比較的容易であることから、公共交通を利用して来訪する者も多い。滝の里地区最寄の見世前停留所（及び隣接するマイヤ滝の里店停留所）は市内停留所の中でも利用者数が多い停留所のひとつである。

e) 西の沢地区（デマンド対象地区外）

西の沢地区は、震災以降、総合病院である県立高田病院の仮設診療所が建設されたため、現在、多くの通院者の目的地となっている地区である。病院前には路線バス停留所が設置されており、通院者による路線バスの利用が非常に多い地区である。

(3) 優位集合の特性を踏まえた今後の施策展開案

a) デマンド交通利用の促進（神崎・古谷地区型）

神崎・古谷地区は入力変数に対して出力変数のうちデマンド交通の利用者が比較的多い地区である。神崎地区については、これまでに家族・コミュニティ内でのデマンド交通利用者同士の口コミにより利用拡大が図られており、古谷地区については市職員及びコンサルタントによるデマンド交通説明会の実施が有効に機能し、利用者増につながっている。

両地区を優位集合に設定している地区についてはこれらの取組みを参照し、地域展開を図っていくことが望ましい。

b) 路線バス利用の促進（片地家地区型）

片地家地区は入力変数に対して出力変数のうち路線バ

スの利用が比較的活発な地区である。同地区は震災前に駅前地区であり、市内内陸部の交通結節点であった名残で、現在も日常生活においてバス利用が定着している。

市内においてバス利用が活発でない地区の中にはバスの行先や運行便数を把握していない人が多いが、同地区の利用者は市内だけでなく、乗継により大船渡市等にもアクセスしており、ダイヤについても概ね頭に入っている。

片地家地区を優位地区に設定している地区については、同地区の住民のバス利用スタイルを紹介し、具体的な利用イメージを持ってもらう形の取り組みが有効であると思われる。

c) 施設ベースでの公共交通利用促進（滝の里・西の沢地区型）

滝の里・西の沢両地区については、地区内に集客力の強い買物施設・医療施設を保有しているため、まとまった公共交通利用がある。つまり、これらの地区を優先集合に設定する地区は、需要の顕在化によりまとまった需要が確保できる可能性がある。

顕在化にあたっては、地区内の商業施設・医療施設来訪者の公共交通利用の誘導が有効であると考えられるため、各施設と連携した利用促進策が求められる。

5. デマンド交通のサービス変化による需要顕在化の評価

デマンド交通利用者数を外生的に変化させてD効率値を算出することにより、デマンド交通の導入が交通需要顕在化の観点でこれまでに果たしてきた役割（3章(4)のケース②）及び今後のサービス改変により期待される需要顕在化効果（同じくケース③-1及び③-2）を示す。

(1) ケース②：デマンド交通の導入に伴う需要顕在化評価

デマンド交通導入前後での各地区のD効率値の変化をもとに、デマンド交通導入に伴う潜在需要の顕在化の状況について検証した。結果を図-6に示す。なお、D効率値の算出はケース①と同様の地区セットで行ったが、図内にはデマンド交通が導入されている気仙町、小友町、広田町内の地区のみプロットしている（以降、ケース③についても同様である）。

神崎地区、古谷地区、谷地館地区、矢の浦地区などは路線バス単体のD効率値は極めて低く、路線バスのみでは需要が潜在化している状況にあるが、デマンド交通の補完により地区全体の需要が大きく顕在化していることがわかる。反面、図内45度線上の地区はデマンド交通の導入による潜在需要の顕在化が現時点では進んでいない

状況にある。ただし、柳沢地区のように路線バスの効率性だけで1に近いD効率値を示している地区は、路線バスのみで需要の顕在化が図られていることを意味するため、利用促進の接触対象としての優先順位は低い。一方で、越田地区のように、45度線上の地区の中でも原点に近い位置にプロットされている地区については、現行の路線バスとデマンド交通の組み合わせでも十分な需要の顕在化が図られていないことになる。なお、越田地区については震災以降、地区内に立地していた停留所が廃止になったため、最寄バス停までの徒歩距離が約1.2kmと高齢者にとっては路線バスの利用が極めて困難である。しかし、デマンド交通については玄関前送迎であるため全地区をフラットにカバーしていることから、同地区においてもデマンド交通の利活用により潜在需要の顕在化を図ることができる可能性は高く、今後住民に対して積極的にPRを図っていくことが望ましい。

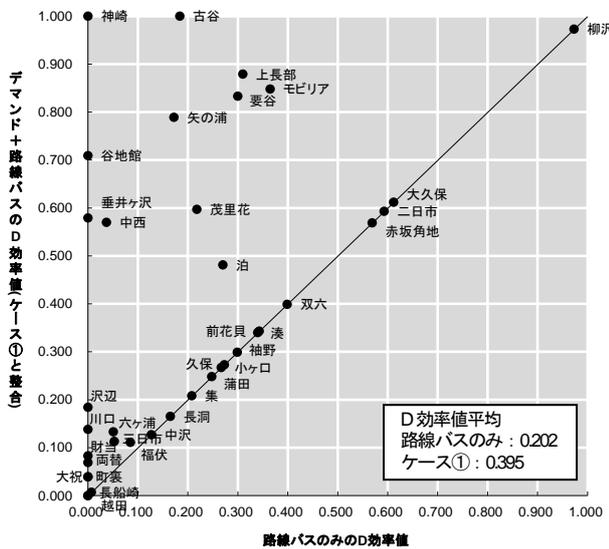


図-6 デマンド交通導入前後でのD効率値の変化(ケース②)

(2) ケース③：デマンド交通のサービス改変に伴う需要顕在化評価

サービス改変前後でのD効率値の変化を図-7及び図-8に示す。まず、「ケース③-1：ダイヤ改正及び増便」については、上長部地区でD効率値が1に達するほか、矢の浦地区、谷地館地区、沢辺地区、泊地区、六ヶ浦地区等で需要の顕在化が進む。しかし、ダイヤ変更については利用インセンティブとしての効果が若干弱く、大きな顕在化が進まない可能性が高い。

ケース③-2：当日予約に関しては、ケース③-1に加えて越田地区や福伏地区などケース①ではD効率値がゼロに近い地区においても需要の顕在化が大きく進み、特に現行でD効率値が0.2程度の沢辺地区では当日の予約対応

によりD効率値が0.8程度にまで上昇するなど、各地でドラスティックな効果が期待できる。一方で、例えば古谷地区など、現行で既に需要の顕在化が進行しており、更なる顕在化が進まない地区ではケース①に対してD効率値が低下する地区も見受けられる。これらの地区については、ケース③-2において新たに優位集合となった地区の取組みを参照するとともに、新たなデマンド交通登録者を募集するなど、フロンティア・シフトを促す取組みが必要とされる。

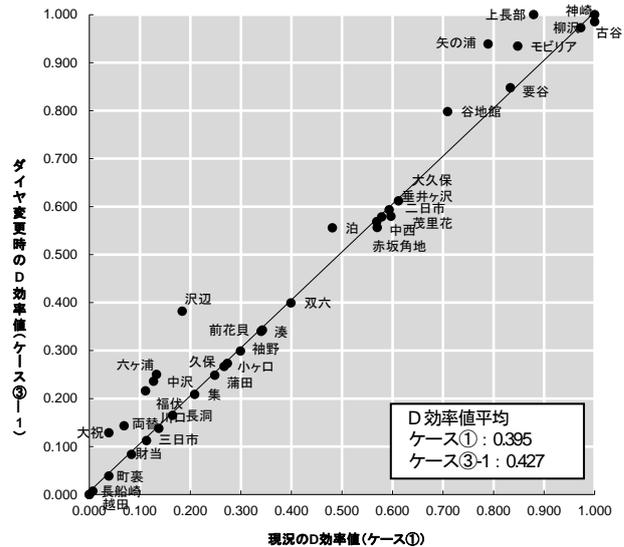


図-7 ダイヤ変更によるD効率値の変化(ケース③-1)

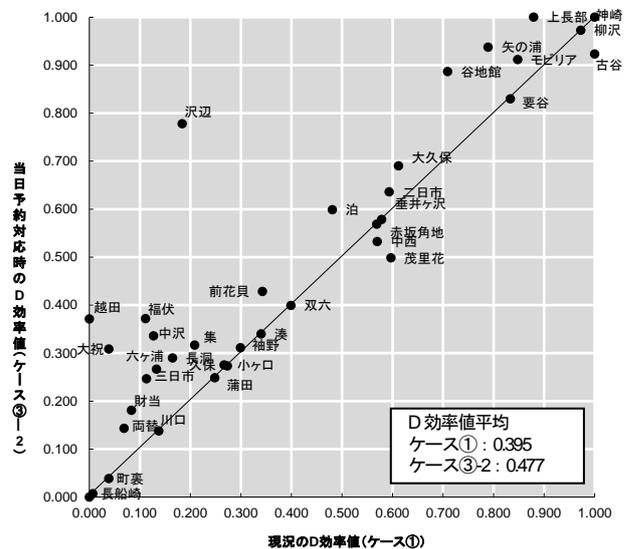


図-8 当日予約対応によるD効率値の変化(ケース③-2)

6. おわりに

本研究では、公平性と効率性を両立させた公共交通事業の立案に向けて、公共交通の潜在需要に着目して今後

の利用活性化の優先順位の検討方法，具体的な施策の検討に資する潜在需要評価手法の開発を行った。

また，ケーススタディの対象として陸前高田市を選定し，構築モデルを適用することにより，市内各地区における公共交通の潜在需要及び顕在化に向けた方向性の検討を行った。また，デマンド交通のサービス内容に着目した施策実施に伴う顕在化効果についてのシミュレーションを行った。本研究により得られた知見をもとに，今後同市における公共交通のサービスレベル設計及びモビリティ・マネジメントの対象地域選定等の実装に繋げていくとともに，他地区における適用可能性についても併せて検討していく必要がある。

なお，ケーススタディにあたっては，データの利用可能性等の制約により，妥協案を採用した部分もあることから，今後も精査が必要である。特に，乗降データの計測手法については，本来であれば地区ベースで路線バスの利用者を観測すべきであるが，本研究では停留所ベースの利用者を集約する形で設定しているため，一部地区では乗降実態と整合していない可能性がある。また，幹線交通の乗降客数データを計測していないことから，地域内公共交通のみの評価に留まっており，市内公共交通の体系的な整理ができていない点も課題であり，今後追加的な調査が求められる。また，分析ケース②・ケース③においては，現行のデマンド交通登録者を固定して需要顕在化を検証したが，サービス改正によって期待される新規登録者の拡大も踏まえたモデルに拡張する必要がある。また，より具体的な公共交通サービス設計への展開を考えると，例えば，運賃や運行便数，待ち時間等のサービスレベルを連続的に変化させた際の潜在需要の変化についても感度分析的に検証されることが望ましいため，今後の課題とする。

謝辞：本研究を進めるにあたり，資料収集や各種調査にご協力いただいた陸前高田市企画政策課の皆様，岩手県交通株式会社の山下剛毅氏，陸前高田市デマンド交通予約センターの柴田紗希氏，及びデマンド交通の運行業者である株式会社気仙タクシー，高田タクシー有限公司，有限会社高田交通の皆様がこの場を借りて感謝申し上げます。なお，本稿の内容についての全ての責任は筆者が負うものであります。

参考文献

- 1) 竹内伝史：路線バスにおける公共負担の設計，土木計画学研究・講演集，Vol.29，CD-ROM，2004。
- 2) 枝村俊郎，森津秀夫，松田宏，土井元治：最適バス路線網構築システム，土木学会論文集，Vol.300，pp.95-107，

1980。

- 3) 天野光三，銭谷善信，近東信明：都市街路網におけるバス系統の設定計画モデルに関する研究，土木学会論文集，Vol.325，pp.143-154，1982。
- 4) 竹内伝史，山田寿史：都市バスにおける公的補助の論理とその判断指標としての路線ポテンシャル，土木学会論文集，Vol.425/IV-14，pp.183-192，1991。
- 5) 森山昌幸，藤原章正，張峻屹，杉恵頼寧：中山間地域における高齢者対応型公共交通サービスの需要予測モデルの提案，土木学会論文集，Vol.786/IV-67，pp.39-51，2005。
- 6) 田邊勝巳：地域交通におけるミニマム基準の考え方—選択型コンジョイント分析によるアプローチ—，運輸政策研究，Vol.7，No.4，pp.27-35，2005。
- 7) 森山昌幸，藤原章正，杉恵頼寧：交通サービス水準の制約により潜在化した交通需要の分析，土木計画学研究・講演集，Vol.25，CD-ROM，2002。
- 8) 林光伸，湯沢昭：デマンドバス導入のための需要予測と運行形態の評価に関する一考察，日本都市計画学会都市計画論文集，Vol.41，No.3，2006。
- 9) 杉尾恵太，磯部友彦，竹内伝史：GISを用いたバス路線網計画支援システムの構築—潜在需要の把握による路線評価について—，土木計画学研究・論文集，Vol.18，No.4，pp.617-626，2001。
- 10) 溝上章志，柿本竜治，橋本淳也：路線別特性評価に基づくバス路線網再編手法の提案，土木学会論文集，Vol.793/IV-68，pp.27-39，2005。
- 11) Chames,A., Cooper,W.W., and Rhodes,E.: Measuring efficiency of decision making units, *European Journals of Operational Research*, Vol.2, pp.429-444, 1978.
- 12) 荒谷太郎，轟朝幸：マルムキスト指数を用いた都市間公共交通モビリティの時系列変化の要因分析，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.67，No.5，pp.939-945，2011。
- 13) 平井健二，小池淳司，喜多秀行：DEA手法による公営企業の運営効率性評価—公営バス事業を事例とした評価—，土木計画学研究・論文集，Vol.26，No.1，pp.133-140，2009。
- 14) Cowie, J. and Asenova, D.: Organisation form, scale effects and efficiency in the British bus industry, *Transportation*, Vol.26, pp.231-248, 1999.
- 15) 東本靖史，岸邦宏，佐藤馨一：包絡分析法を用いたバス路線の総合効率性評価に関する研究—札幌市のバス路線を事例として—，日本都市計画学会都市計画論文集，Vol.40，No.3，pp.379-384，2005。
- 16) 陸前高田市：平成 26 年度市内公共交通の運行方針 (案) について，2013。
- 17) 刀根薫：経営効率性の測定と改善，日科技連，1993。

(?????.?.? 受付)

A PROPOSAL ON THE MAINTENANCE OF LOCAL PUBLIC TRANSPORT PLAN IN THE DISASTER AREA BASED ON THE POTENTIAL DEMAND ASSESSMENT

Daisuke YOSHINO, Hironori YAMANE, Kento NISHIO and Eiji HATO

The Securing of the fairness and efficiency will be required to design the service of public transportation. Especially, about local transport, the target areas and policies should be clarify, because of the limited public burden. In this study, the potential public transport demand quantified by using Data Envelopment Analysis (DEA). And by using the results of the estimation, improvement priorities and benchmark sets will be clarify. In addition, the development model is applied to Rikuzentakata city (Iwate pref.), and we studied for potential to implement of the model by the case study approach.