

GIS を活用した中山間地域の公共交通計画支援ツールの開発^{*1} Development of GIS-aid Planning System for Public Transportation in Depopulated Rural Areas

森山 昌幸^{*2} 藤原 章正^{*3} 杉恵 頼寧^{*4}

By Masayuki MORIYAMA, Akimasa FUJIWARA, Yoriyasu SUGIE

1. はじめに

平成14年2月のバス事業の規制緩和や平成17年度に向けた市町村合併の進捗に伴い、バスを中心とした公共交通サービスの見直しが課題となっている。特に過疎化や高齢化の進行が顕著な中山間地域の高齢者にとって、公共交通サービスは医療・福祉・買物等の生活を営むために必要不可欠な装置となっている。中山間地域における公共交通の運行は、低密度な分散型居住形態や地形的な条件から、非効率にならざるを得ない路線が多い状況である。このような中、各自治体は財政難のおり、より効率的・効果的な運行計画を作成することが必要となっている。

計画に当たっては、運行計画代替案に対する需要予測結果からの料金収入と運行経費から、その採算性を検討し自治体が補填する費用を算出するとともに、採算性以外の評価指標から総合的にその妥当性を検討する必要がある。また、計画代替案では、従来の固定ルート・ダイヤでの乗合路線だけでなく、多様な形態の運行サービスを検討する必要がある。近年では、Demand Responsive Transit (DRT) と呼ばれる電話等による予約（需要）に応じて柔軟なルートを実行する交通システムや需要に適した車両サイズによる運行など、数多くの運行形態の工夫がなされている¹⁾。

本研究では上述のような課題に対応するために、中山間地域の公共交通計画を支援するGISベースのツールを開発する。具体的には、筆者らがこれまで提案した非集計需要予測モデル²⁾と運行経費算出からの採算性検討と採算性以外の評価指標を分析するシステム³⁾を中山間地域のGISデータベースに組み込んで、簡便に路線の評価が可能なものとする。このように個々に開発された需要予測モデルや各種評価システムをGISベースの簡易なツールとして統合することによって、従来は交通専門家に

依存してきたDRT等の需要予測等を、地図上で路線やサービス内容を入力するだけで容易に行うことが可能となる。また、数多くの計画代替案を抽出し、地域の実情にあった運行計画案を比較検討することが容易となることが期待される。

2. 公共交通計画におけるGISの適用

公共交通サービスの需要予測に関するGISの適用は、駅やバス停を中心とした空間検索機能、あるいは非集計行動モデルとの統合によって、容易に計画代替案に対する需要予測が可能となり、路線選定と組み合わせで活用することも容易である。このような公共交通サービスの需要予測や運行計画に対してGISを適用した研究は、近年数多く行われている。都市部の鉄道計画支援システムとして開発されたGRAPEは、GISの機能を活用して路線選定、需要予測、財務分析、費用便益分析を容易に行うものである^{4,5,6)}。

杉尾ら⁷⁾は、GISと電子地図、人口等の諸データを統合し、バス路線および路線網の評価指標を算出することで公共輸送網計画を支援するシステムの構築を検討している。

本研究においても、GISの空間検索機能やネットワーク解析機能を用いてデータを作成するとともに、需要予

*キーワード：公共交通計画、GIS、公共交通需要

*2 正員、工博、広島大学大学院国際協力研究科博士課程
(島根県出雲市渡橋町327-1, TEL:0853-22-9690,
E-mail:mmoriyam@ta2.so-net.ne.jp)

*3 正員、工博、広島大学大学院国際協力研究科
(東広島市鏡山1-5-1, TEL:0824-24-6921,
E-mail:afujiw@hiroshima-u.ac.jp)

*4 正員、工博、広島大学大学院工学研究科
(東広島市鏡山1-4-1, TEL:0824-24-7826,
E-mail:ysugie@hiroshima-u.ac.jp)

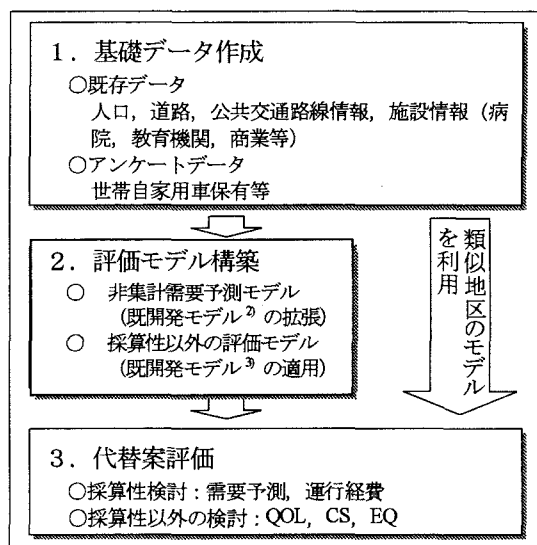


図1 支援システムの構成

測モデルと運行経費算出システムおよび採算性以外の評価指標モデルに対してGISを適用する。当該システムは、図1に示すような基礎データ作成、評価モデル構築、代替案評価といった一連のフローを簡便に操作可能となるように開発されている。第2ステップの評価モデルでは、筆者らが提案した中山間地域における公共交通の利用頻度予測モデルを適用した需要予測システム²⁾と公共交通サービスによる「暮らしやすさ(QOL指標)」「顧客満足度(CS指標)」「集落間の平等性(EQ指標)」から構成される採算性以外の評価システム³⁾から構成されている。

3. 支援システムの概要

(1) 支援システムの構成と特徴

本システムは、自治体等の計画者が中山間地域における公共交通の運行計画を支援するためのツールである。システムは、「基礎データ作成」、「評価モデル構築」、「代替案評価」から構成されている(図1)。第一ステップの基礎データ作成では、システムの基本となるGISのデータベースを構築するものであり、計画対象地域の年齢階層別人口、病院や買物施設等の主要施設の立地、公共交通データといった既存統計データ等を集約する。さらに、アンケート調査結果により必要事項を追加して計画支援に必要となる基礎データを整理する。

第二ステップの評価モデル構築では、対象地域に適した政策変数組及び効用関数形を選択し、需要予測モデルの推定を行う。特性が類似している地域において構築したモデルが存在する場合には、新たなモデル推定を行わずに引用することも考えられ、地域の公共交通計画策定にかかる労力を大幅に削減することが可能になるものと思われる。

第三ステップの代替案評価では、多様な運行形態のバス代替案を想定し、構築した需要予測モデルに各代替案のサービス水準等をGIS上で入力し、シミュレーションにより1ヶ月当たりの利用者数(料金収入)と当該運行サービスに掛かる運行経費を計算する。さらに、各集落におけるQOL指標、CS指標、EQ指標の算出を行い、これら評価結果をGIS上に表示する。

本システムの特徴を以下に列記する。

- ① 通常の移動を自動車に依存している地域における高齢者等の生活交通確保を対象とする。
- ② 4段階推定法では算出が難しい潜在化した需要量を予測する。
- ③ 需要量や採算性だけでなく、生活の質などの評価指標も採用する。
- ④ 最適解を求めるシステムではなく、既存の車両や地元意向を反映した運行計画代替案に対する評価を簡便に行うことで、数多くの代替案から当該地域に適した評価

視点からの計画案を抽出することが可能となる。

(2) GISデータベースの概要

本システムでは、各種評価を実施する前に、GIS上での作業の基礎となるデータベースを構築する必要がある。データベースは「公共交通データ」「集落特性データ」「拠点施設データ」に分けられ、その概要は以下のとおりである。

- ① 公共交通データ：路線名、ルート、ダイヤ、運行形態、バス停等
- ② 集落特性データ：年齢階層別人口、高齢化率、利用バス停と集落中心からの距離、路線便数、買物・通院先と所要時間・運賃等
- ③ 拠点施設データ：拠点的な買物施設及び病院のサービスデータ(営業日・時間、利用バス停と距離等)

本システムの特徴として、需要予測や各種評価を行う基礎単位に集落を用いていることが挙げられる。集落データは、人口の重心位置をGIS上に表示して、上記の各種情報を持たせている。従来の都市部を対象としたGISを活用したシミュレーションツールでは、人口メッシュデータ等を用いて駅やバス停を中心とした面的な情報検索を行っているものが多い。これに対して、本システムでは集落を点データとして扱っており、各種計算を容易に行うことが出来る。特に山間部では、各集落は谷筋の可住地に点在しており、面的な情報を必要としない場合が多い。さらに、このような地域では、交通政策のみならず教育や福祉政策についても集落単位で実施されることが多く、公共交通計画以外の用途でもシステムを有効

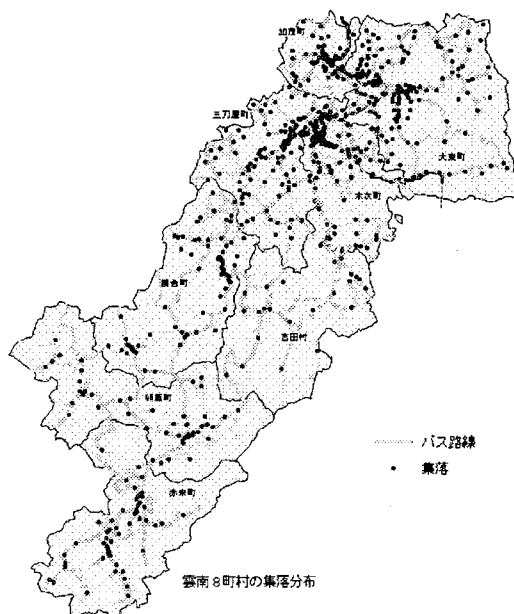


図2 対象地域の集落分布

活用できるとともに、自治体の計画者にとって政策の評価がより理解しやすいという利点を有している。

(3) 採算性検討システム

(a) 需要予測モデル

採算性を検討するために、計画代替案の運行サービス水準に対する需要を予測する必要がある。ここでは、対象とする公共交通のみに着目し、当該交通機関を利用した1ヶ月の外出回数を予測するモデルを構築する。筆者らは、トビットモデルを適用した利用頻度予測モデルを提案した²⁾。しかしながら、Maddalaが指摘するように、トビットモデルは潜在変数が原理的には負の値をとることができ、観測されたゼロの値がセンサーや観測不能のために生じる場合にだけこのモデルが適用できるという限界がある⁹⁾。このトビットモデルの適用の限界に対して、前述の予測モデルは厳密にはこれを満たしていないため、本研究では対象とする交通機関を利用するかしないかの選択と利用する回数の需要関数からなる離散連続モデルを新たに構築する。

また、中山間地域の生活交通では、需要予測における交通サービス要因間の不完全代替性が確認されており⁹⁾、全ての連結型の意思決定方法に近い選好がなされていると考えることができる。そのため、本システムではSwait¹⁰⁾によって提案された部分効用の閾値の前後で限界効用が変化することによって非補償型の表現が可能な効用関数を適用して、モデルを構築する。さらに、IT技術を活用したDRTに関して、調査対象地域で運行されているドア・ツー・ドア型のシステムを考慮できるものとし、DRTのダミー変数を取り入れている。

離散連続モデルは、対象とする交通機関を利用するという条件付き間接効用関数を定義することによって、ロワの恒等式から導出できる。結果的に、選択肢*i*に対する条件付き需要関数 x_i と離散選択確率 P_i は、下式となる。

$$x_i = \left(\alpha_i - \frac{\beta_i}{\theta} \right) + \beta_i p_i + \theta y + \psi w_i + \eta \quad (1)$$

$$P_i = \Phi(V_i) = \Phi\left(\left(\alpha_i + \beta_i p_i + \theta y + \psi w_i + \eta\right) \cdot \exp(-\theta p_i)\right) \quad (2)$$

ここで、 p_i は公共交通サービスの運行間隔で、選ばれた選択肢に依存する。 y は可処分時間、 w_i は、選択肢*i*と意思決定者の観測された特性のベクトル値関数、 η は意思決定者の観測されない特性を表すもの、 α_i 、 β_i 、 θ はスカラーパラメータ、 ψ はパラメータのベクトルである。

離散連続モデルの推定には、完全情報最尤推定法と選択性修正法が用いられる。前者については計算手順が困難であり、実際に適用された事例はほとんどない。一方、

後者の選択性修正法では、まず最尤推定法により離散選択モデルの効用関数を推定し、次に離散選択確率で定義された選択性修正項を需要関数に導入し、最小二乗法により必要なパラメータを推定するという段階的推定法を採用している。この方法では、本来離散選択モデルと連続量の需要関数とで同じ値になる共通のパラメータが、段階推定のため異なる推定値となってしまう。溝上ら¹¹⁾は、このパラメータを一致させるために、段階推定法を繰り返して実施する方法を提案した。

本研究では、共通パラメータの一致性は保証されないものの、推定が容易である一般的な選択性修正法を適用して推定を行う。選択性修正法とは、一般的に離散連続モデルで考慮される選択性バイアスを考慮するものである。

選択性バイアスの修正は、式(1)の需要関数に以下のように選択性修正項 C_i を導入することで行うことができる。

$$x_i = \left(\alpha - \frac{\beta_i}{\theta} \right) + \beta_i p_i + \theta y + \psi w_i + \tau_i C_i + \eta \quad (3)$$

ここで

$$\tau_i = -\frac{\sqrt{6\sigma^2}}{\pi} \rho_i, \quad C_i = \left[\frac{P_j \ln P_j}{1 - P_j} + \ln P_i \right] \quad (4)$$

推定は実際の利用回数と x_i の推定値の残差を被説明変数とし、選択性修正項と定数項を説明変数とする回帰式を最小二乗法によって行う。

この推定法の手順は、まず式(2)において $\eta = 0$ として、最尤推定法によって公共交通利用の2項プロビットモデルのパラメータ α_i 、 β_i 、 θ 、 ψ を推定した後、これらの値を用いて選択確率を計算し、選択性修正項 C_i を求める。次に、選択性修正項を導入した利用頻度の需要関数式(3)に、最小二乗法を適用して α_i 、 β_i 、 θ 、 ψ と τ_i を改めて推定するものである。

以上のような選択性修正法によるモデルの推定を行う。利用したデータは、表1に示す島根県の中山間地域で実施した4種類のアンケート調査から得られたものである³⁾。モデルの推定結果を表2に示す。離散選択を表す2項プロビットモデルの適合度をみると、尤度比は0.2

表1 アンケート調査結果の概要

調査種類	木次バス	DRT	6町村合併	2町合併
調査時期	H13年9月	H14年7月	H14年11月	H15年1月
配布方法	自治会を通じて配布			
回収方法	自治会回収	自治会回収	郵送回収	自治会回収
配布数	476	641	2,925	1,096
回収数	460	496	1,576	861
回収率	96.6%	77.4%	53.9%	78.6%

表2 離散連続モデルの推定結果

説明変数	2項プロビット	需要関数
世帯自動車保有ダミー	-4.980 **	-1.096 **
年 齢	0.098 **	0.019 **
免許証保有ダミー	-2.929 **	-0.956 **
女性ダミー	2.804 **	0.369 **
可処分時間	0.828 **	0.036
中心部からの距離	0.416 **	0.088 **
デマンドダミー	-8.699 **	-1.511 **
バス停までの距離	-7.481 **	-1.107 **
バス停距離の差分 閾値 (600m)	4.030 **	0.545 *
バス料金 (単位 100 円)	-0.752 **	-0.179 **
バスの運行間隔	-0.152	-0.012
定数項	-7.459 **	1.143 *
選択性修正項		-0.164 **
初期尤度	-1314.20	
最終尤度	-1049.47	
尤度比	0.197	
的中率	71.3%	
重相関係数		0.408
F 値		34
サンプル数	1896	1896

() 内はt値 ** 1%有意 * 5%有意
に近づき良好な適合度が得られた。

公共交通のサービス水準の要因における非補償型モデルの限界効用の変化点を示す閾値は、データの数値を変えた計算トライアルの結果求められる。結果として、バス停までの距離だけがこの変化点の閾値を有し、その値は 600m となった。各パラメータでは、バスの運行間隔のみ有意とならなかった。これは元々運行本数が少ない中山間地域ではバスが運行されるかどうかの問題であり、バスダイヤに合わせた生活を営むために、極端なサービス向上がなされていない現在の状況では、運行間隔はバス利用にあまり影響しないことを示している。また、パラメータの符号は全て論理的に妥当なものとなった。

連続需要関数では、重相関係数が 0.408 と適合度は低い結果となった。この原因は、本モデルが高齢者の公共交通による外出行動を交通サービス水準と一般的な個人属性で説明しているが、実際の高齢者の行動では病院への通院の必要性といった通常の統計データ等では把握できない要因が大きく関わっていることが考えられる。しかし、適合度をF値でみると 34 を示し、有意水準 5% のF検定量よりも大きくなるため、本モデルで利用したパラメータベクトルが一定の説明力を有していることが確認できる。各パラメータでは、離散選択モデルと同様に全ての説明変数の符号が論理的に妥当な結果となった。

(b) 運行経費算出システム

計画代替案に対する運行経費についても、GIS 上で容

易に算出することが可能である。GIS 上で運行経路を作成し、1 日の運行便数と料金のデータを入力することによって運行経費の算出を行う。

運行経費算出システムは、「路線延長」「バスタイプ (大型、中型、マイクロ等)」「バス台数」を基本条件として、人件費、燃料費等、維持修繕費、諸経費から構成されるものとする。各経費算出の考え方を以下に示す。

- ① 人件費：人件費＝バスの実働台数×予備率×1 人当たり支出額
- ② 燃料費等：バスタイプ毎の (燃費に基づく軽油代＋オイル交換費＋タイヤ交換費) を運行路線代替案の路線延長より算出
- ③ 維持修繕費：バスタイプ毎の (車検費＋法定点検費＋修理費) を算出
- ④ 諸経費：その他必要な諸経費 上記 (①＋②＋③) ×経費率

(3) 採算性以外の評価システム³⁾

(a) 集落の生活のしやすさ：QOL 指標

高齢化が進む過疎集落では、高齢者等の生活を支えていくために、医療、福祉、買物等の施策を総合的に進めていく必要がある。交通環境はこのような施策に密接に関連しており、公共交通計画の評価指標として、導入あるいは改善する交通サービスが生活のしやすさに及ぼす影響を考慮する必要がある。ここでは、集落の生活環境に対する総合的な満足度を集落の QOL (Quality of Life) 指標と定義付ける。

QOL 指標はアンケート調査における満足度の 5 段階評価値を用い、オーダードプロビットモデルを適用して、交通サービス水準の変化が QOL に及ぼす影響を分析する。

(b) 交通システムの利用しやすさ：CS 指標

集落の生活のしやすさに加えて、利用者の主観的評価指標として、公共交通サービスの顧客満足度を CS (Customer Satisfaction) 指標を適用している。ここでは、QOL と同様にアンケート調査結果の CS の 5 段階評価値を用い、料金やバス停までの距離などの各サービス水準と CS との関係をオーダードプロビットモデルで分析を行う。

(c) 集落間の平等性：EQ 指標

従来の民間事業者が運行するバスサービスでは、運行効率が重視され、主たる幹線道路を主体に運行経路が設定されていた。これに対して、自治体が発行する公共交通サービスでは、きめ細やかなルート設定がなされることが多くなっている。このような状況の中、当該住民の居住地がどこであっても等質な外出機会を担保する視点が重要になっている。さらに、各地で市町村合併が進む中、市街地周辺集落と山間部集落の各種サービスの平等

表 3 4つの評価指標の特徴

指標の種類	評価の対象	指標の質	評価の範囲
採算性 (PR 指標)	供給側（あるいは運営者）の投入可能な予算に応じた適正な公共交通サービス水準を評価する。	供給する交通サービス水準に対する需要量と運行経費からの客観的な指標である。	供給する公共交通サービス全体、及び個別路線の評価を行う。
暮らしやすさ (QOL 指標)	需要側（あるいは利用者）の集落の住環境に着目して、公共交通サービスの改善によって住民の暮らしやすさの水準の向上を評価する。	利用者の暮らしやすさに対する満足度の5段階評価値といった主観的な指標であるが、集落の平均的な評価値として客観的な指標に近づけている。	個人単位に算出される評価値を、集落に居住する平均的な個人属性で地区単位の指標としている。これによって、集落を経由する個別路線の評価を行う。
顧客満足度 (CS 指標)	需要側（あるいは利用者）の公共交通サービスに対する満足度を評価する。	QOLと同様に、利用者の公共交通サービスに対する満足度の5段階評価値といった主観的な指標であるが、集落の平均的な評価値として客観的な指標に近づけている。	QOLと同様に、個人単位に算出される評価値を、集落に居住する平均的な個人属性で地区単位の指標としている。これによって、集落を経由する個別路線の評価を行う。
平等性 (EQ 指標)	需要側（あるいは利用者）の居住する集落間のサービスの違いを評価するものであり、対象地域全域での最低水準のサービス享受の可否や市町村合併等での地域間格差の是正を図る。	様々な公共交通サービスの要因（例えばバス停距離）といった客観的な指標を適用する。	供給する公共交通サービス全体、及び個別路線の評価を行う。

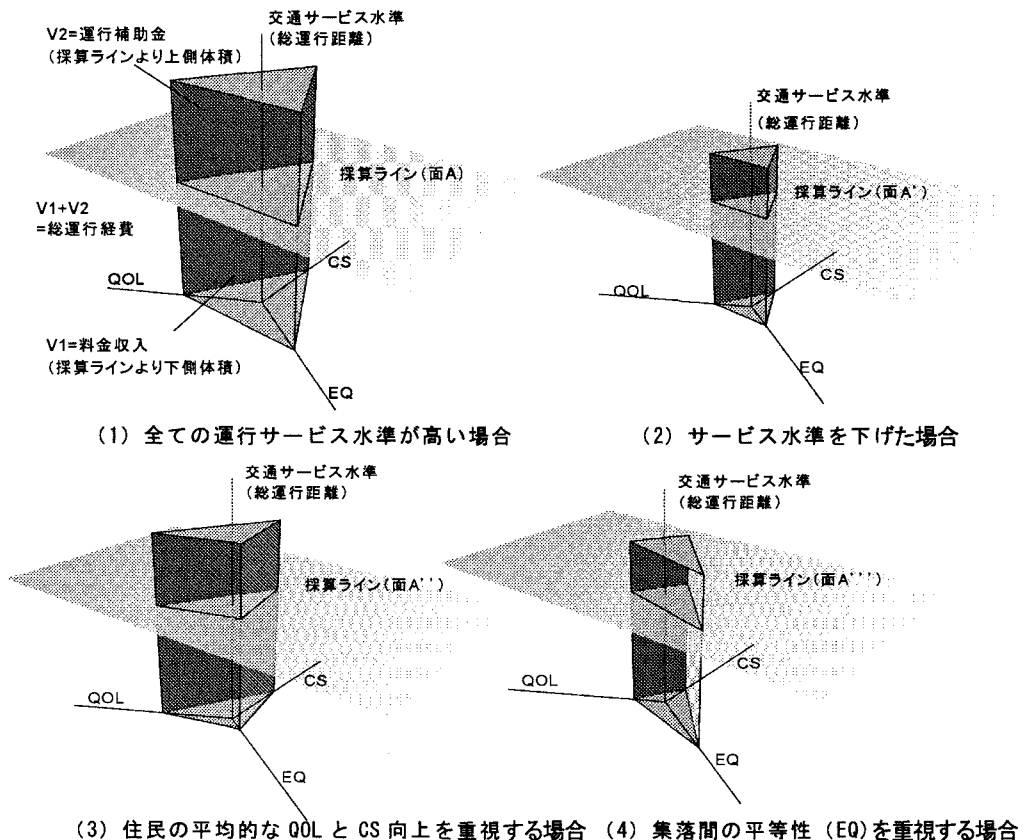


図 3 採算性と採算性以外の評価指標の関係図

性や最低限のサービス水準の議論は不可避なものとなっている。そこで、集落間の平等性（Equality：EQ）が交通計画の指標として必要となる。

EQ 指標は、GIS の検索機能を活用して様々な要因に対する平等性を考慮することが可能である。考え得る要因としては、バス停までの距離、通院に掛かる費用、通院にかかる所要時間等が挙げられる。本分析では、バス停までの距離を適用する。

(4) 各指標の特徴と適用

前述の採算性及び採算性以外の3つの指標の特徴は表3にまとめる通りである。これらの指標は必ずしも独立ではなく、時には相乗効果をもつ場合があったり、時には相反する場合もある。実際の公共交通計画に当たって、どの指標を重視し優先すべきかは、対象地域の置かれた環境によって異なる。したがって、その判断は政策決定者の裁量によることになり、各指標は判断のための客観的資料として位置づけられる。

図3は採算性と採算性以外の評価指標の関係を示したものである。縦軸に提供する公共交通運行のサービス水準を取る、これは導入する公共交通の総運行距離と考えることもできる。また、底面の3軸を採算性以外の評価指標とする。当該サービスに対する運行経費は、住民が享受できるサービス水準と総運行距離に比例するため、三角柱の体積で表すことができる。三角柱の頂点は上方に増加すると（運行のサービス水準を向上させると）採算性以外の評価指標が増加するため、底面積が増加するが、同時に体積も増加するため運行経費が増加する。収支が均衡する採算ラインは底面に平行な水平面（面A）で示され、人口集積が多い地区であればより上方に位置することとなり、料金収入以外の補助金等の投入によって下方に移動する。

従来は、採算性つまり縦軸の交通サービス水準に対する体積の比だけが非常に重視されて公共交通の運行がなされてきた。しかしながら、今後の中山間地域の公共交通計画に際しては、住民が享受できる生活水準を考慮して、その運行水準を決定することが必要である。つまり公共交通計画者である自治体が住民に保障する生活の水準を決定して、必要となる底面の面積を確保する運行計画を行うことが重要となる。このような考え方を行くと、採算ライン上側の体積である投入費用は公共交通サービスを補助するものという位置づけではなく、住民の生活水準をある一定水準以上に維持するために必要な行政経費であると考えることができる。

また、同じ採算性による運行であっても底面の三角形の形状を正三角形に近づけるのか、平等性に特化した形状とするのかといった個々の詳細計画の決定も行う必要があり、自治体の行政サービスのあり方に対する考えに

依存するものである。

以上に示した採算性以外の評価指標に対する評価モデル（オーダードプロビットモデル）の推定結果等の詳細については、文献3)を参照されたい。

5. 中山間地域自治体を対象としたケーススタディ

本節では、支援システムを活用して、現在80条の路線バスを運行している自治体を対象にして、4つの評価指標を適用した公共交通計画のケーススタディを実施する。対象自治体は、人口約8,600人（H12年）面積82.68km²の過疎化が進展する自治体である。当該自治体では、民間バス事業者の撤退後にスクールバスを有効活用して、図4に示すように町全域をカバーするような3系統の路線バスが運行されている。しかしながら、道路や集落分布の状況から、バスルートから離れている集落が多く、運行サービスも2路線が1日4往復、1路線が1日5往復とその水準は高いものではない。

現況のバス停までの距離の平等性をみると、仮に集落中心から1km以内を計画の基準にすると、4集落が基準をオーバーしていることが図5から確認できる。

このような公共交通運行の状況に対して、ここでは①現況バス路線でサービス変更、②バス路線の改良を伴うサービス変更、③DRT 運行によるサービス改善の3種類のシナリオを設定して詳細な分析を行う。②バス路線の

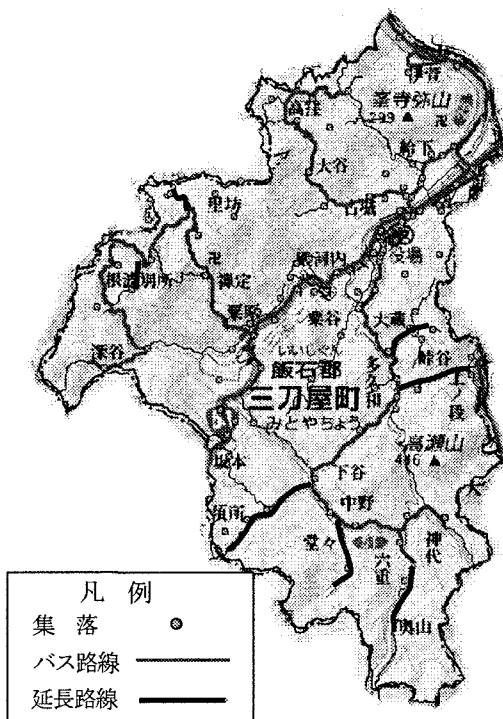


図4 対象自治体のバス路線と集落分布



図5 現況路線のバス停までの距離に対するEQ指標

改良では、バス運行が可能な道路が存在する集落に対して、支線を設定して迂回ルートを追加する案を検討する(図4)。また、DRTでは、対象地区を2分割した運行区域を設定した運行計画代替案を検討する。

以上のような計画代替案に対して、採算性分析と採算性以外の分析を適用して総合的な評価を行うものとする。当該システムを適用した分析結果は、交通計画の専門家

でない自治体職員等が直感的にサービスに対する効果を把握できるように、GIS上で視覚的に表現することが可能となる。現況の分析結果の事例を図6に示す。

採算性のシミュレーション結果を表4に示す。ここで、最上段が現況サービスを示している。現況路線のサービス変化の影響をみると、現況で200円の料金を100円にすることによって需要は現在の約1.5倍見込まれる結果となった。しかしながら、料金低下による料金収入の減少によって収支は現況よりも劣る結果となり、中山間地域のように人口集積が低く、料金低下に見合った需要増がない地域においては、ワンコインバスは低すぎる設定であるといえる。また、運行本数を現況の4~5便から6便に増加した場合には、需要増加への感度が低く、収入増よりも運行経費が増大することによって収支が低くなる結果となった。中山間地域における公共交通サービスは、一般的に1日3往復から6往復といった低い水準で運行されており、便数が増ければ利用者の各種生活活動の利便性向上につながるものの、直接的な需要増加は見込めないことが確認できる。

路線の一部を改良して現在バス停が遠い集落まで延長した計画案では、バス停距離が近くなることから需要が大きく増加して収支も向上する結果となった。このことから、中山間地域の公共交通計画では、可能な限り分散する集落を通過する路線計画が有効であることが確認できる。結果的には、固定ルート型の路線バスでは路線改良を行い、料金や運行便数を現況水準とした案が最も収支が高く、採算性に優れる結果となった。

DRTでは、需要予測結果が非常に低い結果となった。これは需要予測モデル構築で適用した掛合町におけるDRT利用実績が低いことに起因している。つまり、現在運行しているDRTサービスに対する住民の評価は高い

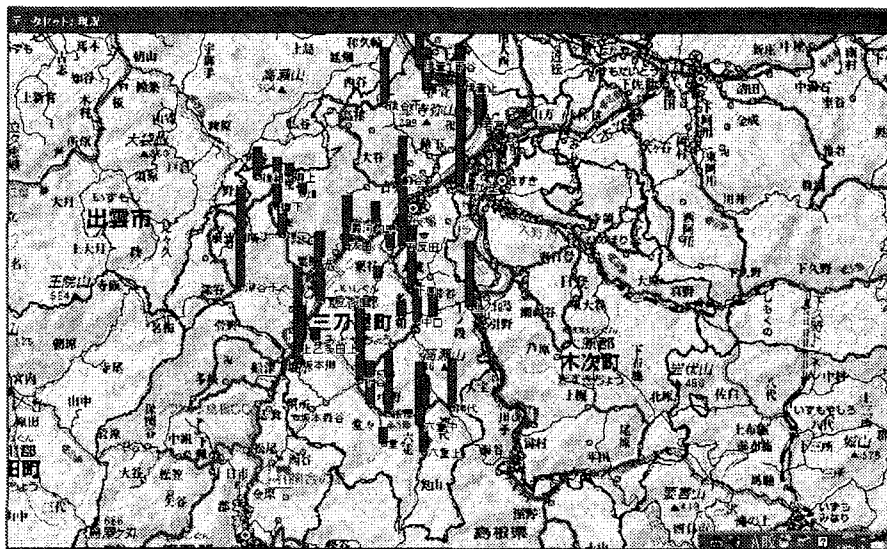


図6 現況路線サービスの需要予測の出力例

表 4 採算性のシミュレーション結果

ルート	料金 (円)	運行本数 (本/日)	需要予測 結 果 (人/月)	料金収入 (千円/月)	運行経費 (千円/月)	収 支 (千円/月)	現況との差 (千円/月)
現況路線	200	4 or 5	1071	214	1261	-1047	0
	100	4 or 5	1617	161	1261	-1100	-52
	300	4 or 5	920	276	1311	-1035	12
	200	6	1194	238	1409	-1170	-123
	100	6	1716	171	1409	-1237	-190
	300	6	782	234	1409	-1175	-127
路線改良	200	4 or 5	1806	361	1288	-927	119
	100	4 or 5	2017	201	1288	-1087	-39
	300	4 or 5	925	277	1347	-1069	-21
	200	6	1936	387	1463	-1076	-28
	100	6	2150	214	1463	-1248	-200
	300	6	960	288	1463	-1175	-127
DRT	100	5.5	1294	129	945	-816	231
	200	5.5	825	165	945	-780	267
	300	5.5	475	142	945	-803	244
	400	5.5	172	68	945	-876	171

ものの、予約の煩わしさへの抵抗等から、実際の利用者は少なくなっているものと考えられる。今後、DRT の需要増を図るためには、一般的な利用者の乗車意向の障壁となっている要因を分析して、例えば 30 分前までの予約の必要性を緩和するなど、より利用しやすいサービスを提供することが不可欠である。

需要は少なくなるものの、対象地域では予約システムについて既存システムの活用が可能となるため、DRT では運行経費が非常に安く抑えられる。そのため、路線バスに比べて収支が向上するとともに、現在バス路線が離れている集落においてもドア・ツー・ドアのサービスが提供されることとなる。

次に、採算性以外の分析を実施する。分析対象は、図 7 に示すような現在のバス路線から離れている 5 集落に着目する。料金を全て 200 円と設定した場合における、5 集落のシミュレーション結果を表 5 に示す。ここで、QOL 指標と CS 指標は、需要予測モデルと同様な島根県における 4 種類のアンケート調査結果（表 1）を適用して推定したオーダープロビットモデルによって計算している。各指標は GIS 集落データを用いて集落単位で計算され、モデルから算出される 5 段階評価値の確率の期待値を算出して、その結果を 10 段階評価値に換算したものである。

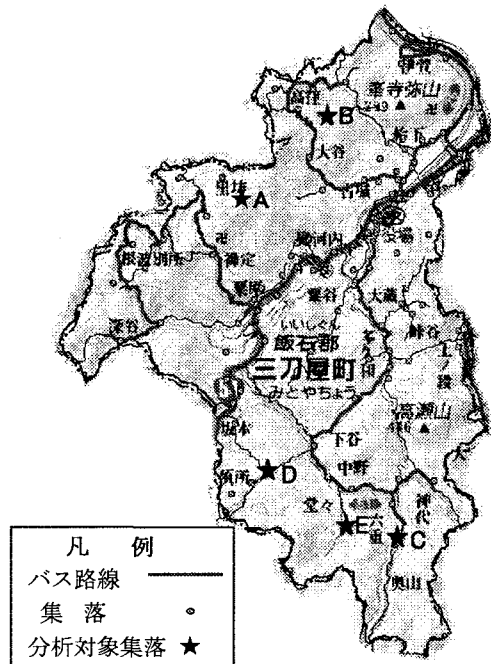


図 7 採算性以外の分析対象集落

表5 採算性以外の評価指標のシミュレーション結果

ルート	集落名	A	B	C	D	E
現況路線	運行本数 (本/日)	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0
	バス停距離 (km)	0.87	0.67	0.42	0.97	0.90
	QOL	4.85	5.24	4.80	4.87	4.67
	CS	4.48	4.81	4.75	4.47	4.54
	EQ	77.2% (バス停 500m以内の集落割合)				
路線改良	運行本数 (本/日)	4.0	5.0	4.0	4.0	4.0
	バス停距離 (km)	0.87	0.03	0.08	0.35	0.08
	QOL	4.96	5.96	5.44	5.52	5.52
	CS	4.49	5.21	6.24	6.06	6.20
	EQ	90.6% (バス停 500m以内の集落割合)				
DRT	運行本数 (本/日)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
	バス停距離 (km)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	QOL	5.60	5.61	5.34	5.55	5.43
	CS	6.01	6.01	6.11	6.03	6.08
	EQ	100.0% (バス停 500m以内の集落割合)				

現況では、分析対象とする全ての集落で QOL, CS とともに中間値 5 を下回る結果となった。これに対して、集落の近くまでバス路線を延長する改良案では、集落 C, D, E で中間値 5 を上回ることができた。ただし、集落 A と B では道路幅員が狭小であるためバス路線の延長が困難なため運行本数のみの増便であり、QOL, CS は中間値 5 を下回る結果となった。DRT の計画案では、全ての集落でドア・ツー・ドアのサービスが提供できるために、QOL, CS 指標ともに中間値 5 を超える高い評価結果を得ることが可能となる。また、バス停までの距離 500m 以下という基準に対する EQ 指標も 100% の達成度が確保されることとなる。

以上の結果から、収支に基づく採算性からみると、路線バスでは現在バス停が遠い集落まで支線を延長した路線改良案 (料金 200 円、運行本数 4~5 便) が、また DRT では料金 200 円によるサービス提供が効率的であることが確認できる。また、採算性以外の評価指標では、路線改良を行ってバス停までの距離を近づけることによって、QOL 及び CS 指標は 5 以上となり生活のしやすさや交通の利便性は向上することになる。しかしながら、バスが

運行できない路線上の集落では、バス停距離が減少しないため利便性の向上が図れない結果となった。このような地域では、ジャンボタクシーサイズで狭隘道路の運行も可能な DRT を運行することによって、QOL と CS が 5 以上に向上できることとなる。ただし、現行路線バスはスクールバスに一般客が混乗するサービスであり、DRT 計画を実施しても朝夕のスクールバス運行は必要となるため、現実的に最適となる計画代替案は路線改良によって一部集落の近くまで路線を延長して、料金と運行本数を現況のままとする計画が推奨される。

以上のように、当該システムを適用して採算性と採算性以外の指標を算出することにより、行政担当者や交通事業者にとっては公共交通計画が比較的容易に実施できることが確認できる。

6. おわりに

本研究では、中山間地域の公共交通計画を支援する GIS ベースのシステムを開発した。交通計画代替案の評価指標として、採算性だけでなく QOL 指標, CS 指標,

EQ 指標を取り入れた。評価モデル部分をブラックボックスとして類似地区のパラメータを活用する場合などでは、GIS 上に路線を記入して料金や運行本数を入力するだけで、採算性やそれ以外の評価指標の結果が出力可能となる。そのため、このような簡便なツールを使用することによって、必ずしも交通計画の専門家でない自治体職員が容易に効率的・効果的な公共交通計画を立案することが可能となる。さらに、GIS を活用して運行計画代替案に対する各種評価をビジュアル化することによって、住民に対する説明や合意形成も容易になるものと考えられる。

今後は、各評価モデルの精緻化を図るとともに、結果の出力方法、データ更新の方法を検討し、操作性の向上を図る必要がある。

謝 辞

本研究は「地域交通 IT ソリューションシステム構築に向けての産・学・官共同調査研究」における成果の一部であり、調査研究に当たっては、中国運輸局、島根県中山間地域研究センター、(株)理研産業をはじめとする民間企業の関係者の方々の協力を賜りました。また、採算性の考え方等に関して、土木計画学「バス研究小委員会」における福島工業高等専門学校芥川一則助教授をはじめとする委員の皆様との議論が参考になりました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 竹内龍介, 大蔵泉, 中村文彦: DRT システムコストモデルに関する研究, 第 26 回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2002.
- 2) Moriyama, M., Fujiwara, A., Sugie, Y. and Zhang, J.: Development of a travel frequency forecasting system for bus service in depopulated areas, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5, pp.1576-1590, 2003.
- 3) 森山昌幸, 藤原章正, 杉恵頼寧: 過疎地域における公共交通サービスの評価指標の提案, 都市計画論文集, No.38-3, pp.475-480, 2003.
- 4) 内山久雄, 日比野直彦: アクセス交通を考慮した首都圏鉄道計画への GIS の適用, 運輸政策研究, Vol. 2, No. 4, pp. 12-20, 2000.
- 5) 瓜生良知, 佐藤政季, 伊藤真: GIS を活用した交通計画支援システム (GRAPE) の開発, 土木学会誌, Vol. 88, No. 3, pp. 45-47, 2003.
- 6) 高久寿夫: GIS による鉄道計画支援システムの開発, 土木学会誌, Vol. 85, pp. 26-27, 2000.
- 7) 杉尾恵太, 磯部友彦, 竹内伝史: きめ細やかな公共輸送網計画のための支援システムに関する基礎的研究, 土木学会第 56 回年次学術講演会, pp.72-73, 2001.
- 8) Maddala, G. S.: 計量経済分析の方法, シーエーピー出版, 1996.
- 9) 森山昌幸, 藤原章正, 杉恵頼寧, 小霜陽子: GIS データベースを活用した過疎地域のバス運行計画支援ツールの開発, 第 22 回交通工学研究発表解論文報告集, pp.261-264, 2002.
- 10) Swait, J.: A non-compensatory choice model incorporating attribute cutoffs, *Transportation Research Part B*, Vol.35, pp.903-928, 2001.
- 11) 溝上章志, 柿本竜治, 竹林秀基: 地域間物流の輸送手段/ロットサイズ同時予測への離散-連続選択モデルの適用可能性, 土木計画学研究・論文集, Vol.14, pp.535-542, 1997.

GIS を活用した中山間地域の公共交通計画支援ツールの開発

森山 昌幸 藤原 章正 杉恵 頼寧

本研究では、中山間地域の公共交通計画を支援する GIS ベースのシステムを開発した。交通計画代替案の評価指標として、採算性だけでなく QOL 指標, CS 指標, EQ 指標を取り入れた。採算性の検討では、利用頻度予測モデルとして、連結型の意志決定方法を表現できる非補償型効用関数を有する離散連続モデルを適用した。また、採算性以外の評価指標である QOL 指標, CS 指標では、アンケートの 5 段階評価値を利用したオーダードプロビットモデルを適用した。本システムを適用した中山間地域におけるケーススタディから、当該システムの有効性が明らかになり、効果的で効率的な公共交通計画に寄与することが確認できた。

Development of GIS-aid Planning System for Public Transportation in Depopulated Rural Areas

By Masayuki MORIYAMA, Akimasa FUJIWARA, Yoriyasu SUGIE

This paper aims to develop a GIS-aid planning system for public transportation in depopulated rural areas. The proposed system consists of travel demand forecasting system that evaluates the profitability of transportation planning alternatives, and evaluation system for non-monetary indices (i.e., Quality of Life, Customer Satisfaction and Equality). Travel frequency is estimated by using a discrete-continuous model, which is based on a non-compensatory utility function to represent conjunctive choice strategies. QOL and CS indices are calculated using an ordered probit model. Empirical analysis indicates that the proposed system is useful to evaluate the effects of improving levels of public transportation services and can consequently contribute to develop public transportation plans efficiently.