

相乗り推進によるデマンド交通システムの効率化の方策検討

～三条市「ひめさゆり」を例に～

山本 子龍¹, 佐野 可寸志², 鳩山紀一郎³, 高橋貴生⁴, 伊藤潤⁵
Shiryu YAMAMOTO, Kazushi SANÔ, Kiichiro HATOYAMA, Takao TAKAHASHI, Jun ITO

「ひめさゆり」では料金改定により利用が減少し、行政負担額はある程度減少したが、相乗りの増加はできていないということが判明した。しかし、相乗りの増加の可能性も確認できた。そこで、相乗りの可能性の検討をプログラムで行った。プログラムの結果、ある条件下で最大50%以上の利用者が相乗り可能ということが判明した。そして、実際に利用者が最大限相乗りした際に、行政負担額がどの程度削減されるのかを検証した。その結果、実際に発生した行政負担額と比較し、41.1%削減することができることが判明した。交通事業者ヒアリング調査の結果を踏まえて、「ひめさゆり」の窓口の集約、相乗りに対して市の補助金を割増して交通事業者に支払う、一人乗りの料金を上げる、または相乗りの料金を下げるといった三つの相乗り推進政策を提案するに至った。

1. はじめに

1.1 背景

近年、人口減少や高齢化社会、バス事業の規制緩和を背景に地方では採算が合わないバス路線が廃止、減便される等、高齢者や運転免許を持たない人々の移動手段が消失し、外出行動が制限されている。このような背景を受けて、コミュニティバスや乗合タクシーを導入する自治体が増加している。

新潟県三条市は、新潟県のほぼ中央に位置する市であり、中越地方に分類される。人口は約10万人、高齢者人口は約2万5千人であり、市民のおよそ4人に1人が高齢者である。

新潟県三条市でも乗合タクシー「ひめさゆり」を平成23年6月から運行している。停留所が三条市内のほぼ全域に設置されており、料金も安いと便利性の高いシステムとなっているが、行政負担額の増加により平成26年1月から運賃を値上げするなどの対策を行っている。原因として指摘されているのが、利用者の約80%が1人で利用していることにある。1人での利用は通常のタクシー料金との差額が大きくなりやすいため、行政負担額が増加する。今後も「ひめさゆり」安定して提供するためには行政負担額を削減することが必要となる。

1.2 目的

本研究では、「ひめさゆり」の相乗率に着目し、利用者同士を相乗りペアとしてマッチングを行うことで、「ひめさゆり」の行政負担額の削減の可能性を検証する。また、デマンドタクシーの相乗りマッチング方法をいくつか提案し、相乗率向上の可能性を検討、また相乗率向上による行政負担額の変動について検討することが目的である。

2. 三条市「ひめさゆり」

「ひめさゆり」は三条市のデマンドタクシーとして平成23年6月から運行している。導入された背景としては、マイカー依存の拡大による公共交通利用者の低下、採算の取れないバス路線の廃止、市町村合併による交通空白地域の拡大、高齢化社会による交通弱者の増加などの公共交通の衰退が問題となっていたことである。そこで、平成19年度に三条市地域公共交通協議会を設置し、「三条市地域公共交通総合連携計画」を策定、平成20年10月から2年間、市内2地区でデマンド交通の運行実験を行い、すべての市民が公共交通を利用できるよう、三条市全域で利用できるデマンド乗合タクシー「ひめさゆり」を導入した。

「ひめさゆり」三条市全域にある611ヶ所の停留所で乗り降りが可能で、三条市以外に住んでいる人も利用す

1 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻
2 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻
3 長岡技術科学大学 産学融合トップランナー育成センター
4 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻
5 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻

ることできる。タクシー会社へ電話で予約をして利用でき、運行は平日のみで、利用時間は 8:00~18:00 である。また、通常のタクシーより料金が安くなっている。「1人で乗車する」場合と「乗合いで乗車（複数乗車）する」場合で料金が異なり、1人乗車の場合は運行の距離ごとに料金が変わり、相乗り乗車の場合はエリア間の移動に応じて料金が変わる。この料金制度は運行サービスの向上と持続性を確保するため、自治体による従来の運行経費負担や運賃設定ではなく、交通事業者や利用者が乗合利用するインセンティブが働く仕組みとして、乗車人数によって自治体から支払われる金額が上がり、利用者の運賃が安価となる基準が導入された。「ひめさゆり」導入後、利用者は徐々に増加傾向であったが、利用者は1人での利用が多く、相乗率が低かったため、自治体が支払う負担額は増加傾向にあった。そのため、平成26年1月6日から現在の利用料金に改定がなされた。¹⁾表1、表2は「ひめさゆり」の利用料金、図1は運行エリアである。

「ひめさゆり」導入により、高齢者の外出機会が増加し、家族による送迎の負担が軽減されるといった効果が見られている。利用者に行ったアンケートでは、料金改定前は94%が満足、料金改定後は81%が満足と回答されており、評価が高いことが伺える。また、高齢者による自動車運転の減少により、高齢者事故件数も減少している。²⁾

表1 一人での利用料金

適用範囲	H23.6~H25.12	H26.1~
~2km未満	300円	500円
2km~3km未満	400円	600円
3km~5km未満	500円	700円
5km~7km未満	700円	900円
7km~10km未満	800円	1100円
10km~15km未満	1000円	1500円
15km~20km未満	1500円	1800円
20km~30km未満	2500円	2500円
30km以上	3000円	3000円

表2 二人以上での利用料金

適用範囲		H23.6~H25.12	H26.1~
料金A	エリア内の移動 北エリア⇄市街地エリア 南エリア⇄市街地エリア	300円	400円
	下田エリア⇄市街地エリア 下田エリア⇄北エリア 下田エリア⇄南エリア 北エリア⇄南エリア	600円	800円

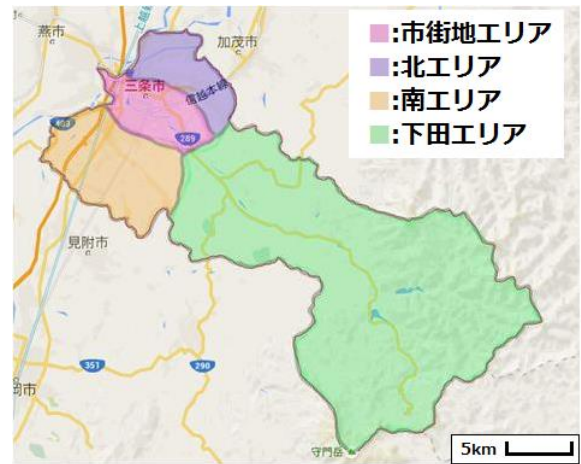


図1 三条市の地図と「ひめさゆり」の運行エリア

3. 「ひめさゆり」の現状把握

値上げ前後で「ひめさゆり」の利用状況を把握するために、「ひめさゆり」の利用が記録されている利用実績データを分析し、現状把握を行った。平成25年のデータ数は68,372、平成27年のデータ数は44,951である。

図2は「ひめさゆり」の導入後からの利用者と行政負担額の推移である。「ひめさゆり」導入後、利用者は年々増加していたものの、料金改定によって、利用者数は約25%減少した。前述したように利用者が減少し、運行回数が減ったため、市が補填する行政負担額は減少する。実際に図からも読み取れるように行政負担額は約40%減少している。料金改定後は行政負担額、利用者数ともに微減している。

表3に距離別の運行回数と相乗率を示す。この表から特に短い距離における運行回数が減少し、平成25年から平成27年にかけて、運行回数が約34.3%減少したことがわかる。特に短い距離における運行回数は顕著に減少しており、2km未満では半分ほどになっている。利用料金値上げにより利用者が減少したことで、運行回数も減少し、行政負担額は約40%減少した。¹⁾相乗率を比較すると、利用料金改定前と改定後でほとんど変化していないことがわかる。運賃を値上げするだけでは相乗り促進にはなっていないということが見て取れる。利用距離が短いほど相乗率も低い傾向にあり、利用者の多い5km未満の相乗率は平均より低い。5km未満の距離での利用のほとんどは市街地付近での利用だと予想され、ここでの利用者は「ひめさゆり」を乗合タクシーではなく格安の通常タクシーとして考えている傾向がある。

表4は平成27年のエリア別の運行回数である。市街地エリアが発または到着となる運行が圧倒的に多いことが見て取れる。下田エリアから市街地エリアへの運行は比較的多いものの、南エリアや北エリアへの運行はほとんどない。北エリア内での運行が少ないのは、井栗のコミュニティバスの存在が関係していると思われる。

表5は平成27年のエリア別の相乗率である。エリア

ごとで大きく差があることが見て取れる。料金が高くなる下田、南、北エリア間は非常に相乗率が高い。逆に相乗率が低いのは、市街地エリア内や南エリア内の移動である。市街地エリアや南エリアは街中になるため、移動距離が短く、一人あたりの料金が低いと思われる。その中でも市街地エリアは非常に運行回数が多いため、短距離の移動でも相乗りを増やすことが求められる。

相乗率向上を目指すにあたって、現状の「ひめさゆり」にはどの程度相乗りを増加させられる可能性があるのかをQGISと利用実績データ内のODデータを使って図示化したものが図3である。ODデータは停留所の番号と停留所の緯度経度を使用している。緯度経度をノードデータにし、出発と到着をリンクデータとして直線で表している。この図から利用者に相乗りをしてもらえそうなODが存在することが視覚的にわかる。特に市街地付近では運行が多いことが見て取れる。前述の分析で相乗率が低いことも判明しており、相乗り増加の可能性があると考えられる。また、下田や郊外から市街地にかけてもいくつかのODが存在することが見受けられる。移動時間長さや利用料金高さを考慮すれば、これらのODもマッチングすることができるかもしれないと考えている。

以上のことから「ひめさゆり」の課題は、相乗り利用者が少なく、運行回数が多いため、行政負担額が高いことにある。料金改定で大きく減少したとはいえ、いまだに4500万円近く使われている。この料金改定後の行政負担額の減少も相乗りが増加したわけではなく、単に利用回数が減ったためであり、利用者に利用の制限をかけてしまった形となっている。相乗りの内容も知り合い同士の相乗りがほとんどで、他人との相乗りという乗合タクシーとしての使い方はされていない。今後、「ひめさゆり」を持続的な公共交通にしていくためには、相乗り利用の推進は必要不可欠であると思われる。

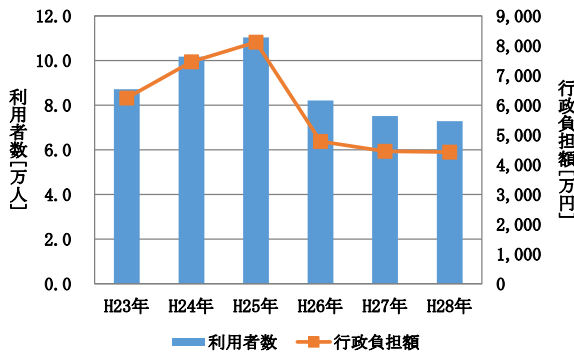


図2 「ひめさゆり」の利用者数と行政負担額の推移

表3 距離別の運行回数と相乗率

適用範囲	運行回数				相乗率		
	H25年	H27年	増減	増減率	H25年	H27年	増減
～2 km未満	13,816	6,549	-7,267	-52.6%	4.8%	3.7%	-1.1
2 km～3 km未満	13,193	8,414	-4,779	-36.2%	9.3%	10.7%	+1.4
3 km～5 km未満	20,486	13,947	-6,539	-31.9%	16.5%	16.5%	-0.1
5 km～7 km未満	9,009	6,911	-2,098	-23.3%	25.9%	29.3%	+3.4
7 km～10 km未満	5,643	4,191	-1,452	-25.7%	35.9%	36.0%	+0.1
10 km～15 km未満	3,942	3,007	-935	-23.7%	25.3%	25.1%	-0.2
15 km～20 km未満	1,319	1,200	-119	-9.0%	36.3%	33.4%	-2.9
20 km～30 km未満	955	725	-230	-24.1%	53.4%	38.6%	-14.8
30 km以上	4	1	-3	-75.0%	100.0%	100.0%	0
計	68,367	44,945	-23,422	-34.3%	17.0%	18.7%	+1.7

表4 平成27年(値上後)の運行回数

運行回数	到着					
	下田	市街地	南	北	計	
出発	下田	1,274	2,484	25	99	3,882
	市街地	2,927	23,882	3,219	3,276	33,304
	南	22	3,438	632	160	4,252
	北	80	3,177	167	87	3,511
	計	4,303	32,981	4,043	3,622	44,949

表5 平成27年(値上後)の相乗率

相乗率	到着					
	下田	市街地	南	北	計	
出発	下田	25.8%	24.4%	64.0%	49.5%	25.8%
	市街地	20.5%	12.6%	29.6%	22.3%	15.9%
	南	68.2%	27.7%	12.7%	66.3%	27.1%
	北	47.5%	24.6%	64.7%	26.4%	27.1%
	計	22.8%	16.2%	28.6%	25.1%	18.7%

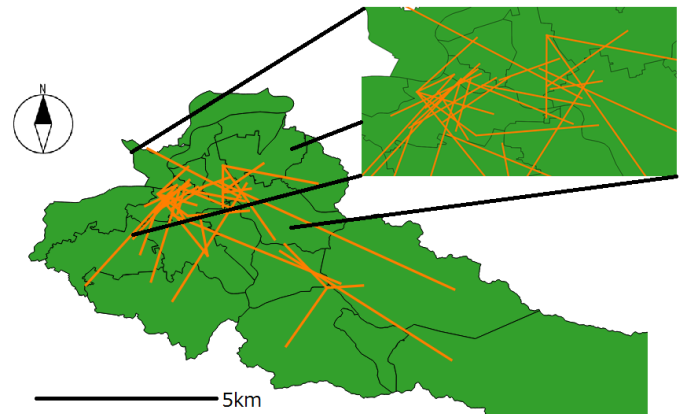


図3 QGISを用いたODの図示化
H27年4月1日10時-12時

4. 相乗りの可能性検討

4.1 基本的な考え方

これまでの結果を踏まえて、現状の「ひめさゆり」の利用実績データを使って相乗りしてもらおうことが可能であったと思われるOD同士を検討するプログラムを作成することにした。

あるOD1から一定の距離の範囲内に存在する別のOD2を見つけることで相乗り可能なOD同士として抽出していくというプログラムを作成する。OD2の出発点O2からOD1に垂直な(最短な)直線roの距離を求める。到着点D2も同様にrdを求め、roとrdがOD1の線分からの許容距離Rの範囲に含まれるOD2を抽出する。許容距離R

は政策変数であり、許容待ち時間Tも政策変数として設定する。許容待ち時間は01から02（逆も然り）まで移動時間を考慮した時間で、許容距離と同様に変更していくことを考えている。また、ODの向きも条件として考慮する。例えば、OD同士の方向が真逆であった場合、roやrdが許容距離Rの範囲内であったとしても、相乗りをしてもらうのは難しいと考えられるからである。

4.2 結果

平成27年の6月のデータを用いて相乗りの可能性がある利用者の検討を行った。OD数は5,039で、検討前の相乗率は18.0%である。図4は相乗りの可能性がある利用者の割合と許容距離Rのグラフである。グラフから許容待ち時間T、許容距離Rともに割合に大きく影響していることがわかる。また、許容待ち時間が何分であっても許容距離が1.0kmを超えるとグラフの上昇が緩やかになっているのが見取れる。許容待ち時間についても30分から割合の増加が停滞しているのがわかる。

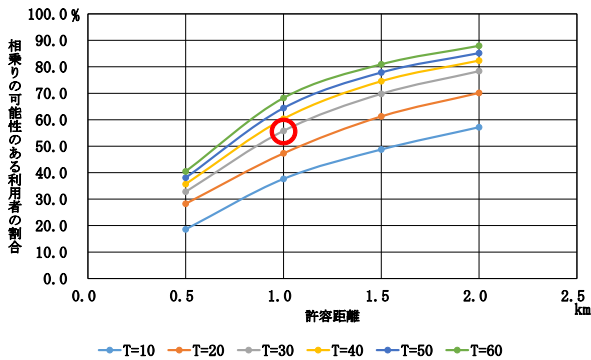


図4 相乗りの可能性のある利用者の割合と許容距離Rのグラフ

5. 行政負担額の算出

5.1 道路ネットワークの作成

行政負担額はタクシーの通常料金とひめさゆり利用料金の差額である。利用実績データに載っていないタクシーの通常料金を求めるためには、実際に走行した距離が必要となる。また、4章で行った可能性の検証は、相乗り増加の可能性の割合では、全OD中相乗り相手がいる割合を示しているが、実際には一人の利用者に相乗り相手の候補が複数人いる状態である。このままでは実際の行政負担額を算出することができない。マッチング相手を選択するにあたって、運行距離が短くなる相手を選定する。これらのことからOD間つまり停留所間の距離を算出する必要がある。そこで、DRMデータを元にSISを用いて道路ネットワークを作成した。作成した道路ネットワークを図5に示す。出力した道路ネットワークデータのノード数は1,467、リンク数は3,999、距離データはリンクデータに付随している。一方通行の道路も再現し

ている。

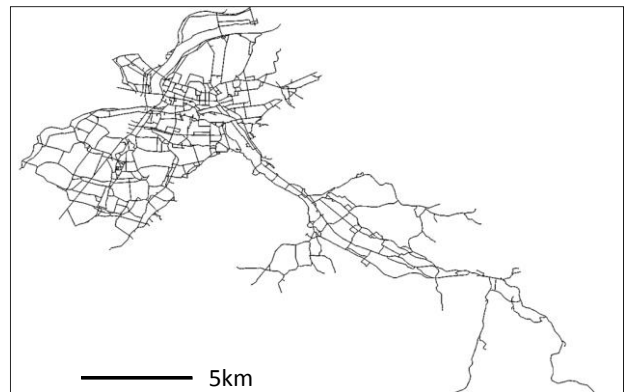


図5 作成した三条市の道路ネットワーク

5.2 マッチングプログラム

SISを使って得た距離データを元に、「ひめさゆり」の各停留所間の距離を算出し、これを用いて相乗りした際にOD間の距離が最短になる相乗り相手とのマッチングを行った。このマッチングプログラムでもFortran90を使用している。

SISを用いて作成した道路ネットワークデータを使って、停留所間の距離を算出し、停留所間距離表にする。停留所間の最短経路を求めるには、ダイクストラ法を用いる。停留所間距離表を作成後、4章で行ったマッチング結果であるODにそれぞれの距離を算出する。相乗りであるため2~4の停留所を使用することになる。それらの距離を停留所の停留所間距離表を用いて算出する。その後、同じ利用者が複数の利用者をマッチングされている状態であるものを、その中で一番運行距離が短くなるように選定する。マッチングされる利用者1と利用者2に同じ利用者が複数回出ないようにマッチングしているということである。さらに利用者1、利用者2含めて同じ利用者は複数存在しないように選定する。4章の結果から政策変数を許容距離R=1.0km、許容待ち時間T=30分に固定してマッチングを行っている。

5.3 行政負担額の算出

マッチングの結果を用いて行政負担額を算出した。行政負担額の計算方法は

$$\text{行政負担額} = \text{タクシーの通常料金} \times 0.8 - \text{「ひめさゆり」の料金}$$

つまり、「ひめさゆり」を運行した際に、「ひめさゆり」の料金と本来発生するはずだった通常のタクシーの0.8倍の料金の差額を市が補填しているということである。当初は差分の全額が補助金で支払われていたが国の補助金が少なくなり、現在ではタクシーの通常料金の8

割分の補填になっている。利用実績データの6月すべてのODのタクシーの通常料金と「ひめさゆり」の料金を算出し、一年間の行政負担額が求める。タクシーの通常料金はすべてのODの距離を前述したプログラムを用いて求め、通常のタクシー運賃と照らし合わせて算出することができる。また、「ひめさゆり」の料金も決まっており、停留所のエリアを調べることで算出が可能になっている。相乗り料金算出に再びプログラムを使用している。タクシーの通常料金の算出、「ひめさゆり」の料金の算出とともに、これまでにマッチングされた利用者は相乗りの料金で算出し、マッチングされていない利用者は利用実績データに基づいて、一人乗り、または相乗りとして利用料金を算出する。

マッチングの結果を図6に示す。マッチング率は運行回数に対するマッチングされた運行の割合である。マッチング率は距離が短いほど高い傾向があり、距離帯における運行回数の多さより距離自体が短いことのほうがマッチング率に影響している。これは距離が短いほど、起終点が許容距離内に収まりやすいからだと考えられる。

表6に結果を示す。平成27年の「ひめさゆり」の行政負担額は約4,455万円である。³⁾このことから現行の制度である「ひめさゆり」の窓口を交通事業者別にした場合の削減割合は約34.9%の行政負担額削減が可能となることが検証できた。また、受付窓口を統一するという条件で、最大約41.1%に留まった。

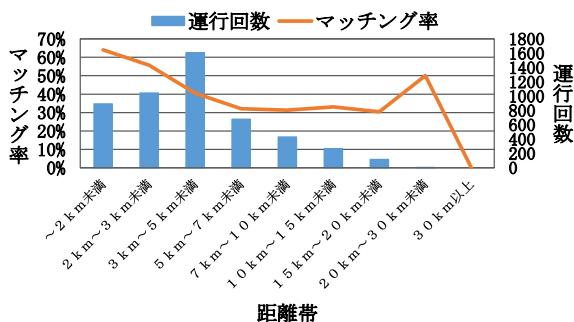


図6 平成27年6月におけるマッチング結果

表6 マッチング後の行政負担額

	ひめさゆり 運賃 (円)	通常タクシー 運賃 (円)	行政負担額 (円)
平成27年実数	-	-	44,550,000
窓口別	平成27年6月	3,084,400	2,479,721
	12ヶ月換算	36,065,622	81,325,978
	削減割合		34.9%
窓口統一	平成27年6月	3,498,100	2,245,676
	12ヶ月換算	40,902,980	83,951,844
	削減割合		41.1%

6. 相乗り推進政策の提案

6.1 交通事業者ヒアリング

表7 交通事業者ヒアリング調査の概要

調査名	交通事業者ヒアリング調査
調査対象	「ひめさゆり」運行タクシー会社 株式会社 エスタクシー
調査方法	現地（会社）でのヒアリング
調査目的	「ひめさゆり」や相乗りに対しての現場の意見 や状況の把握 相乗りマッチングに対する理解の確認

表7にヒアリング調査の概要を示す。ヒアリング結果をまとめると、「ひめさゆり」の運行は通常のタクシー運行より優先して運行するようなことはしておらず、通常のタクシー運行と同列で運行している。また、「ひめさゆり」の利用者は新規が多く、通常タクシーでは代替できないので、今後も続けていきたいという考えであった。相乗りのマッチングについては、現状で交通事業者が窓口でマッチングを行うとオペレーターが対応しきれなくなることが予想され、運用は難しいという見解であった。

6.2 相乗り推進政策の提案

これまでの結果から、三条市の重要な公共交通の一つである「ひめさゆり」が持続的な公共交通として、発展するための相乗り推進政策を提案する。

一つ目は「ひめさゆり」の窓口を三条市もしくは交通事業者が持ち回りで担当し、利用者をマッチングして、各社にエリアの強みを生かした配分をするという政策である。現在は各社のオペレーターが「ひめさゆり」の窓口を担当しており、利用者に電話をかけ直して時間調整を行ったりする必要があるマッチング作業は負担が大きいという意見がヒアリング調査により得られている。また、現在のシステムでは他社の利用者同士をマッチングすることは不可能である。しかし、窓口が統一されることですべての「ひめさゆり」利用者同士がマッチングの対象となる。窓口の人員を必要とする問題が解決できれば、行政負担額の削減に大きく繋がる政策と言える。

二つ目は相乗りに対して市の補助金を割増して交通事業者者にインセンティブを与える政策である。現在、三条市が交通事業者者に支払っている補助金は通常のタクシー料金と「ひめさゆり」料金の差額から大体8割くらいになっている。そこで、たとえば相乗りに限り補助金を増加させることによって、交通事業者者にインセンティブを与えることができ、相乗りを増やす努力をしてくれる。三条市も相乗りが増え、行政負担額を抑えることができる。

三つ目は一人乗りの料金を上げる、または相乗りの際

に待ち時間だけ料金を下げて利用者にインセンティブを持たせるといった料金を設定しなおすという政策である。利用者に直接働きかける政策になるので、相乗り増加を期待できる。しかし、料金の値上げは利用者減少の可能性が多分に含まれるため、注意が必要である。また、「ひめさゆり」は安いタクシーではなく、乗合タクシーであるという意識付けにも繋がる。

これらの政策は一つだけでなく併用することも可能であり、「ひめさゆり」が持続的な公共交通として、発展する一助になればと考え提案した。

これらの提案が費用的に実現可能であるかを概算した。提案1では、二人のアルバイトを雇うことで250万円、提案2では、相乗りに関し補助金を10割で支払う計算で760万円、提案3では、先行研究²⁾で判明している待ち時間1分につき約2円の支払い意思額が減少することを考慮し、相乗り料金を60円値下げしたと仮定し193万円、合計1,203万円必要であることが判明した。行政負担額の最大の削減費が2,626万円であるので、1,423万円削減できることが算出された。このことから費用的には実現可能な範囲であることがわかった。

表8 相乗り推進施策の費用の概算

提案1	1万円/日×250日=250万円
提案2	(相乗り10割) (現行の8割) 3,386万円 - 2,626万円 = 760万円
提案3	(相乗値下(60円)) 2,819万円 - 2,626万円 = 193万円
計	250万円+760万円+193万円=1,203万円
差額	2,626万円-1,203万円=1,423万円

7. まとめ

本研究では、三条市の公共交通を維持するために「ひめさゆり」の相乗率に着目し、分析を行うことで、「ひめさゆり」の行政負担額の削減の可能性を検証することを目的に研究を行ってきた。

最初に「ひめさゆり」の現状を知るために、利用実績データを使った分析を行った。そこから、料金改定により利用が減少し、行政負担額はある程度減少したが、相乗りは増加しておらず、利用者を維持したまま行政負担額を削減することはできていないということが判明した。しかし、利用者のODを地図上に表現してみると、相乗りの増加が見込めないような状況ではないことが確認できた。

次に、実際に利用実績データを使って、「ひめさゆり」利用者の相乗りの可能性の検討を行った。プログラ

ムの結果、許容距離R=1.0km、許容待ち時間T=30分の条件下では最大で半分以上の利用者が相乗り可能な状況であるということが判明した。

さらに、実際に利用者が最大限相乗りした際に、行政負担額がどの程度削減されるのかを検証した。その結果、交通事業者が各々に「ひめさゆり」を運行している現行の制度では、34.9%削減することができると判明した。また、実際に発生した行政負担額と比較し、41.1%の削減に留まった。

これまでの結果を踏まえて、今後どのような相乗り推進政策を打ち立てれば、相乗りを増加し、「ひめさゆり」を持続的な公共交通にしていけるのかを検討した。利用者をマッチングし、行政負担額を下げるだけでは、三条市にはメリットがあっても交通事業者は運行回数が減るデメリットが発生する。また、利用者をマッチングするには実際に「ひめさゆり」を運行している交通事業者の意見を聞く必要があると考え、ヒアリング調査を行った。その結果、相乗りのマッチングは、現状で交通事業者が窓口でマッチングを行うとオペレーターが対応しきれなくなることが予想され、運用は難しいという見解であった。ヒアリングを経て、相乗り推進政策の提案を行った。一つ目は「ひめさゆり」の窓口の集約、二つ目は相乗りに対して市の補助金を割増して交通事業者にインセンティブを与える、三つ目は一人乗りの料金を上げる、または相乗りの際に待ち時間だけ料金を下げるというものである。どの政策も相乗りマッチングを今までよりも増加することができるものであり、併用して導入することも可能である。

謝辞

本稿で掲載した分析結果の一部は、三条市市民部環境課よりご提供いただいた「ひめさゆり」利用実績データを筆者が加工したものです。データをご提供いただいた同課担当の皆様へ深く謝意を表します。また、ヒアリング調査に協力していただいた株式会社エスタクシーの皆様方に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 三条市デマンド交通「ひめさゆり」：三条市HP
<http://www.city.sanjo.niigata.jp/kankyo/page00273.html>
- 2) 南 亮太郎, 佐野 可寸志, 西内 裕晶：三条市乗合タクシーの利用者実態と乗合推進施策評価, 長岡技術科学大学大学院工学研究科平成27年度修士論文
- 3) 三条市地域公共交通協議会 H30年度第4回資料