

被災時の移動制約を考慮した公共交通サービス とモビリティ代替サービスの組合せ —資源と資源利用能力に着目して—

四辻 裕文¹・喜多 秀行²・越智 達也³

¹正会員 博(工) 神戸大学特命助教 自然科学系先端融合研究環 (〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:yotsutsuji@people.kobe-u.ac.jp

²正会員 工博 神戸大学大学院教授 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:kita@crystal.kobe-u.ac.jp

³学生会員 学(工) 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:132t117t@stu.kobe-u.ac.jp

被災後に公共交通の利用能力が低減したことで外出を伴う必須活動の機会が著しく失われた人々には、公共交通サービスによるモビリティの復旧と、移動販売配給車等のモビリティ代替サービスの提供を適宜組合せて、活動機会へのアクセシビリティを保障する必要があると考えられる。そのような必要性に対して、被災後に臨機応変な対応をとるのではなく、平常時から住民の被災時の潜在能力の低下を推量したうえで効率性を担保した包括的な生活支援サービス提供方法を計画しておくことが重要であると考えられる。

本稿では、資源と資源利用能力の組合せに基づく活動機会達成可能性を潜在能力と定義したうえで、被災後の移動制約を考慮した公共交通サービスとモビリティ代替サービスのサービス水準の組合せのあり方について、潜在能力を考慮しながら、両サービスのネットワーク配送計画問題として考察する。

Key Words : *Opportunity for activities, Resources, Availability, Mobility substitute, Saving method*

1. はじめに

被災時に、不幸にも、運転者は助かったがクルマを失った同乗者や、クルマは残ったが運転者を亡くした同乗者が存在する場合がある。平常時には意識せずとも誰かに移動を支えられてきたような人々が、災害によって移動に必要な「資源」（例えばクルマ）を滅失しただけでなく、「資源利用能力」（例えば運転者の送迎能力）も極度に低下すると事前に容易に想定できるのならば、もはや被災後になってから彼らのモビリティの確保を勘案するのでは、被災後に“待った無し”の状況下に陥るような彼らへの生活支援には不備があったと言わざるを得ないと考えられる。

被災後に公共交通の利用能力が低減したことで外出を伴う必須活動の機会が著しく失われた人々に対して、行政は、臨時バスのような公共交通サービスによるモビリティの復旧と、移動販売配給車のようなモビリティ代替サービスの提供を適宜組合せて、活動機会へのアクセシビリティを保障する必要があると考えられる。このとき、災害リスクが高い地域における行政は、被災者に対して

例えば買物機会を付与するために執行する近隣商店までの臨時バス並びに移動販売配給車の両サービス水準の設定について被災後に臨機応変な対応をとるのではなく、平常時から住民の被災時の潜在能力の低下を推量したうえで効率性を担保した包括的な生活支援サービス提供方法を計画しておくことが重要であると考えられる。

本研究では、アマルティア・センが提案した潜在能力の考え方を援用し、資源と資源利用能力の組合せに基づく活動機会達成可能性を潜在能力と定義し、被災後の移動制約を考慮した公共交通サービス（臨時バス）とモビリティ代替サービス（移動販売配給車）のサービス水準の組合せのあり方を、両サービスのネットワーク配送計画問題として考察する。

2. 枠組み

(1) 本研究における潜在能力の考え方

著者らの一連の研究では、セン¹⁾、鈴木・後藤²⁾による「福祉の経済学」（あるいは社会的選択理論）のコンテ

コストでの潜在能力の定義（もしくは再定義）を踏まえ、地域公共交通の計画方法論というコンテキストで潜在能力を定義することを考えている。鈴木・後藤²⁾によれば、個人の潜在能力は、彼が消費可能な資源、並びに、それらを利用する彼の資源利用能力によって規定されるものである（p.275）。潜在能力アプローチを地域公共交通計画の実践において採用する際には、これら「資源」「資源利用能力」を用いて、その計画方法論のコンテキストで「潜在能力」を再定義する必要がある。本研究では、図-1において、活動機会の達成度を「機能」、活動機会集合を「潜在能力」と再定義する。



図-1 本研究における潜在能力の考え方

図-1において、活動機会を達成する方法として例えば、買物をするために臨時バスを利用して近隣商店へと移動する方法や、商店まで移動せずとも移動販売配給車等を利用して居住地付近で買物をする方法がある。住民が臨時バスを利用するためには、仮設住居の付近に臨時バス停があり、商店までバスが運行されている必要がある。このようにサービスのみならず施設・ダイヤ等も含めた広い意味で活動機会達成に必要なものを本研究では「資源」と呼ぶ。また、住民が臨時バスを利用するためには、仮設住居から最寄りの臨時バス停まで徒歩で移動し、バスに乗りしなくてはならない。その際には当然、バス停までの移動能力やバスの乗降能力が必要となる。このような外出能力に加えて、その他にも認知能力等を含めた広い意味で、資源利用に必要な能力を本研究では「資源利用能力」と呼ぶ。本研究では、とりあえず、個々人の資源あるいは資源利用能力はそれぞれ排反事象であり、かつ計画者が識別可能であると仮定しておく。

一方、活動機会達成を包括的に支援する方策の立案には様々な切り口が考えられる。臨時バスや移動販売配給車は交通システムの一部にすぎないし、交通システムのみで被災後の住民の活動機会を支えることができるとは全く思わない。しかしながら、本研究は萌芽的ゆえに、まずは、臨時バスと移動販売配給車に着目してサービス水準割り当て計画策定支援を考えることにする。

(2) 既往研究との相違点

小宮山³⁾は、過疎地における活動機会保障手段として路線バスと移動施設（移動商店、移動郵便局）に着目

し、費用原単位法で運行コストを算出したうえで、シナリオごとの機会損失を比較することで効率的なサービス水準の組合せを考察している。しかし、住民の移動施設利用意向はアンケートで調査しているものの、それをサービス水準の設定において考慮してはいない。

一方、本研究では、住民の潜在能力をサービス水準の設定において考慮する。本研究で扱うネットワーク配送計画問題の解法（セービング法）それ自体には特段の新規性はないが、この潜在能力に着目している点が方法論的には新しい点であるといえよう。

3. モデル

本研究では、活動として買物に着目し、簡単のため、商店がある中心地Gの周辺に仮設住宅がI個点在しているとする。仮設住宅 $i=1 \dots I$ に居住する住民 $p=1 \dots P$ がサービス $k=1 \dots K$ を利用するために必要な資源に含まれるQ個の要素を $q_{pq}^k \in \{0,1\} (q = 1 \dots Q)$ とおき、Q個の資源に対応する資源利用能力の要素を各々、

$q_{pq}^k \in \{0,1\} (q = 1 \dots Q)$ とおき、仮設住宅iに居住する住民pにとってのサービスkに対する活動機会達成状況を $s_{pq}^k \in \{0,1\}$ とおく。

次に、中心地GとI個の仮設住宅からなるI+1個の地点間距離を $d_{ij} (=d_{ji})$ とし、サービスkが仮設住宅iの直後に仮設住宅jを巡回するときを $x_{ij}^k = 1$ 、それ以外を $x_{ij}^k = 0$ とし、サービスkの単位距離あたりの運行コストを l_k とおく。各サービスの1台あたりの巡回可能距離制約を D_k とし、サービスkが仮設住宅iを訪れるときを $y_i^k = 1$ 、それ以外を $y_i^k = 0$ とする。各サービスの運行コストは移動距離のみで決まると仮定する。

このとき、総提供費用最小化問題は、以下のように定式化される。

$$Y = \sum_k l_k \sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij}^k \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_k y_i^k \geq 1 \quad (i = 1 \dots I) \quad (2)$$

$$\sum_j x_{ij}^k = \sum_j x_{ji}^k = x_i^k \quad (i, j = 0, 1, \dots, I; k = 1, \dots, K) \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij}^k \leq D_k \quad (k = 1, \dots, K) \quad (4)$$

$$\sum_p s_{pi}^k (y_i^k - 1) = 0 \quad (i = 0, 1, \dots, I; k = 1, \dots, K) \quad (5)$$

$$\sum_{i,j \in w} x_{ij}^k \leq |w| - 1 \text{ for all } w \subset \{1, \dots, I\} \quad (6)$$

$$s_{pi}^k = \prod_q d_{pqi}^k y_{pqi}^k \quad (7)$$

式(1)は、目的関数であり、サービスの総提供費用Yの最小化である。各サービスの提供費用は移動距離に単位距離当たりの提供コストを乗じたものである。

式(2)は、仮設住宅iには必ずサービスが最低一種類以上提供されることを示す。

式(3)は、各サービスが各仮設住宅を訪れた直後にそこを去ることを示している。

式(4)は、各サービス車両の巡回可能距離制約を表す。

式(5)は、仮設住宅iに居住する各住民に対して有効な支援策を必ず1種類以上提供する制約条件である。

式(6)は、部分巡回路（中心地にルートが接続していないもの）を禁止する部分巡回路除去条件である。

式(7)は、仮設住宅iに住む住民pがサービスkを、どのような資源と資源利用能力のもとで使えるかを示した活動機会達成可能性を表す。

4. 近似解法

本研究では、前章の最適化問題の解法としてセービング法⁴⁾を改良して用いる。一般に、セービング法は、単一サービスの総配送距離最小化問題の解法として有益である。一方、本研究では、単位距離当たりの提供コストが異なる複数のサービスを考えているため、複数のサービスが仮設住宅の代表的個人の資源利用能力に応じて効率的に巡回するルートを決定するようなアルゴリズムを構築する必要がある。

本研究では、サービスkはバスと移動販売の2種類を考え、そのうえで仮設住宅のタイプを、タイプA: k=1のサービス提供が有効な仮設住宅、タイプB: k=2のサービス提供が有効な仮設住宅、タイプC: k=1,2のどちらの一方のサービス提供が有効な仮設住宅、タイプD: k=1,2の両方のサービス提供が有効な仮設住宅という4種類を考える。すなわち、4種類の仮設住宅と中心部Gとの間を2種類のサービスが巡回するものとする。

配送路変更による削減費用を表わすセービング値を求める際は、2つの仮設住宅が有するタイプの組み合わせ

によって、k=1,2それぞれのサービスが2仮設住宅を巡回して中心部に戻るルート（つまり、トライアド）を設定可能であるか否かという条件や、どちらのサービスも巡回可能な場合に総費用が安くなるサービスを巡回させるという条件ごとにセービング値を求め、値の大きい順にルートの効率性を計算していくことになる。

5. 数値計算事例

数値計算事例として、本研究ではデータ取得の都合上、実際の被災地にモデルを適用するのではなく、過疎地の土地利用データを用いる。仮設住宅と中心部の配置は、青森県平川市平賀地域の土地利用⁹⁾を参考に、中心部Gの周辺に仮設住宅A~Dに属する仮設住宅が10箇所置く。

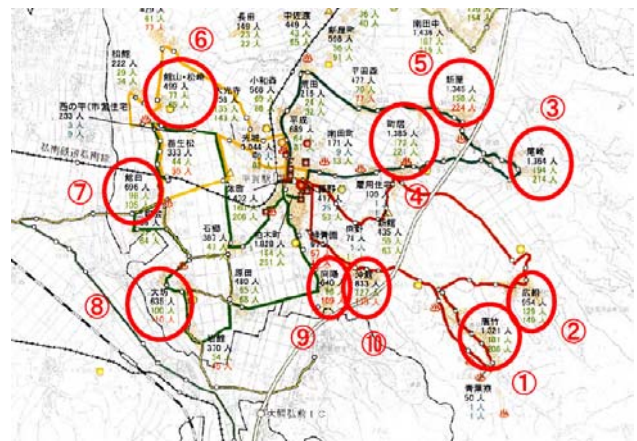


図-2 既存のバスルート、および仮設住宅の仮想立地

次に、バス ($k = 1$) と移動販売 ($k = 2$) の運行経路を総提供費用Yが最小化するように割り当てる。単位距離当たりのコストを $f_1 = 379(\text{円}/\text{km})$, $f_2 = 360(\text{円}/\text{km})$ とし、巡回可能距離制約を $D_1 = 30(\text{km}/\text{day})$,

$D_2 = 30(\text{km}/\text{day})$ とした下で得られた最適なサービスの割り当て経路を図-3の上図に示す。また、各仮設住宅のタイプを変化させた場合の結果を図-3の下図に示す。

図中において、仮設住宅番号右のカッコ内は仮設住宅のタイプを表しており、実線がバスのルート、破線が移動販売のルートを示す。現状のバスサービス提供費用と比較して、包括的支援策の削減効果が確認できた。

以上、非常に簡単ではあるが、住民の居住地ごとのタイプの資源と資源利用能力が有意かを事前に想定しておくことで、式(7)が示す活動機会達成可能性に含まれる資源並びに資源利用能力を操作しながら包括的支援策の立案を試みることができる。

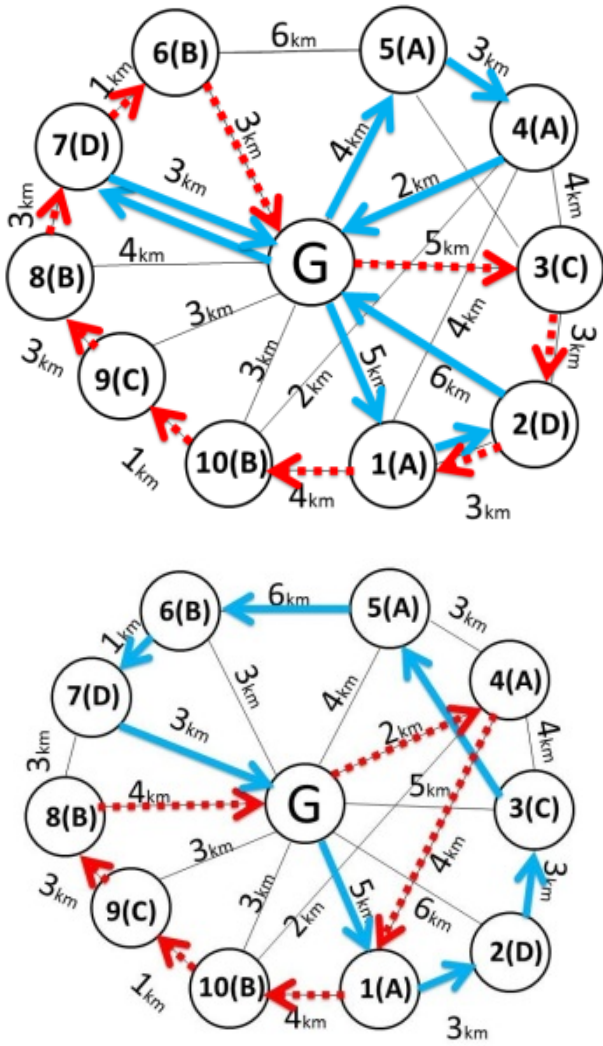


図-3 包括的支援策としてのバス・移動販売車の最適ルート

6. おわりに

本研究では、資源と資源利用能力の組合せに基づく活動機会達成可能性を潜在能力と定義し、被災後の移動制約を考慮した公共交通サービス（臨時バス）とモビリティ代替サービス（移動販売配給車）のサービス水準の組合せを検討するためのひとつの簡便なツールを提供できたと考えている。

参考文献

- 1) アマルティア・セン（鈴木興太郎訳）：財とその利用，第2章，福祉の経済学－財と潜在能力，pp.21-30，岩波出版，1988.
- 2) 鈴木興太郎，後藤玲子：社会的選択理論の再構成，第8章，アマルティア・セン－経済学と倫理学（改装新版），pp.249-280，実教出版，2002.
- 3) 小宮山直久，福本雅之，加藤博和：過疎地域住民の活動機会保障手段としての移動施設と公共交通機関との代替性に関する研究，第40回土木計画学研究・講演集，CD-ROM，2009.
- 4) 片山直登：容量制約をもつ最小木問題，第5章，ネットワーク設計問題，シリーズ応用最適化，朝倉書店，2008.
- 5) 平川市地域公共交通総合連携計画：http://www.city.hirakawa.lg.jp/docs/2010100800200/files/renkei.pdf.

(2013.5.6 受付)