

タクシーによる貨客混載システムの導入可能性に関する分析

公共システム研究室 小澤 陽

1. はじめに

地方では人口減少や担い手不足が深刻化しており、公共交通や宅配サービスの継続性が懸念されている。この背景のもとで、公共交通の車両を用いて旅客と貨物を運搬する貨客混載システムに注目が集まっている。この仕組みにより、公共交通事業者の経営の改善と宅配事業者の人手不足を同時に解決することが期待される。しかし、運搬する宅配貨物量が多いと運行時間が大きく増大しうるなど、システムの導入が経営の改善に資するかは必ずしも自明ではなく、システムの導入に躊躇する事業者も少なくないと考えられる。

そこで本研究では、公共交通としてタクシーを取り上げ、システムを導入した場合の事業性を試算するための整数計画モデルを構築する。その上で、実際の履歴データを用いて貨客混載システムの稼動状況を実証的に分析し、その結果に基づいて貨客混載システムの導入可能性について考察する。

2. 本研究の考え方

システムを導入する際、事業者が最も関心を寄せる一つの事項は利益であろう。そこで、オペレーションズ・リサーチ分野における割り当て問題を用いて運行をシミュレーションし、利益を導出する。まずは費用の導出方法について、時間地理学における時空間平面を用いて説明する。

図1の○、●のノードはそれぞれ作業（旅客や貨物の運送業務）の開始、終了の時空間座標を表す。任意の作業を i 、作業 i の開始の座標を s_i 、終了のそれを g_i で表すと、作業は時空間平面では (s_i, g_i) の二つの座標のペアで表される。図1では (s_1, g_1) 、 (s_2, g_2) 、 (s_3, g_3) の3つの旅客の作業がある。車両が車庫（一般には、事業者の営業所）に相当する地点Aにあるとすると、このことは地点Aに g_0 のノードがあることで表現される。同時に、この日の終わりに車両は地点Aに戻らなければならないとすると、このことは地点Aにノード s_n があることで表現される。車両の走行速度には上限があるため、ある時間内に到達可能な空間の範囲は限定される。所与の走行速度のもとで g_0, g_1, g_2 から到達可能な空間の範囲は、それらから伸びる点線で囲まれた内部の領域で示される。

一日の車両の運行をシミュレーションすることは、ある作業の後にどの作業をするのかを求めることでなされる。また、すべての作業を充足することを前提とした上で、最も車両の運行距離や費用が小さくなるような運行の計画を求めることができる。

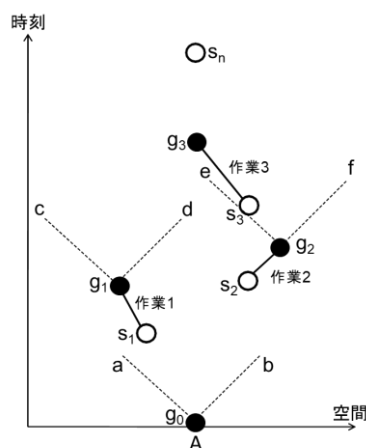


図1 時空間平面における作業の例示

3. モデルの構築

任意の作業を i ($0 \leq i \leq n$) で表す。ただし、 $i=0$ は一日の始業時刻に車両が車庫にあること、また、 $i=n$ は一日の終業時刻に車両が車庫にあることを表している。作業 i を終えた直後に作業 j に車両を割り当てるか否かを表す変数を次式の x_{ij} で表す。ただし、 $i \rightarrow j$ は作業 i を終えた直後に作業 j に車両を割り当てることを意味する。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & (i \rightarrow j \text{ の場合}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (1)$$

$$(1 \leq i, j \leq n-1)$$

事業者が保有する車両の台数が N 台であるとする。一日の始めと終わりに車庫に N 台車両がある条件は、次式のように表される。

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} = \sum_{i=0}^{n-1} x_{in} = N \quad (2)$$

作業 $i \rightarrow j$ に要する運行費用を c_{ij} で表すと、事業者が運行時間を最小化することは次式の目的関数で表される。

$$\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

任意の作業 i の開始時刻を $y_{i,in}$ 、終了時刻を $y_{i,out}$ 、作業 i の活動時間を Δ_i で表す。これらには、以下の関係がある。

$$y_{i,out} = y_{i,in} + \Delta i \quad (1 \leq i \leq n-1) \quad (4)$$

なお、旅客、貨物の作業ともに活動時間 Δ_i は所与として与える。旅客の作業は開始と終了時刻がともに所与であるのに対して、貨物の作業についてはこれらが変数である。すなわち、事業者はいつどこに貨物を運送するのかを決定する。

作業 $i \rightarrow j$ を実施する場合、作業 i を終えてから作業 j を開始するまでの時間内に車両を運送できなければならない。したがって、作業 $i \rightarrow j$ の実現可能性は次式で表すことができる。

$$x_{ij} \leq 1 + \mu(y_{j,in} - y_{i,out} - c_{ij}) \quad (5)$$

$$(0 \leq i \leq n-1, 1 \leq j \leq n)$$

ただし、 $\mu (>0)$ は右边が0以下になることを防ぐための定数である。

事業者はすべての作業を実施しなければならない。この制約は、次式で表される。

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (1 \leq i \leq n-1) \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} x_{ij} = 1 \quad (1 \leq j \leq n-1) \quad (7)$$

運転手は昼休憩をとる必要がある。選択可能な休憩時間の集合を R で表す。すると、すべての運転手が昼休憩をとる制約は次式で表される。

$$\sum_{i \in R} x_{ij} = \sum_{j \in R} x_{ij} = N \quad (8)$$

$$\sum_{i \in R} \sum_{j \in R} x_{ij} = 0 \quad (9)$$

式(3)によって求められるシステム導入前の運行時間を C_0 、システム導入前の運行時間を C_1 で表す。すると、システム導入前に比べた導入後における利益の増分は、次式で表される。ただし、貨物の作業の集合を K 、宅配物一個当たりの単価を w 、車両の単位運行時間の費用を b とし、第一項は貨物を運送することに伴う収入の増加分、第二項は費用の増加分である。

$$w \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j \in K} x_{ij} - b(C_1 - C_0) \quad (10)$$

4. 事例分析

対象地域を鳥取県若桜町とする。若桜町のタクシー事業者の履歴データを旅客のデータとして用いる。履歴データは、平成17年の約2ヶ月間

における311件の記録である。また、若桜町内の集落に宅配サービスを行うことを想定し、平均で50個/日、75個/日、100個/日の宅配貨物量があるものとした。これらの貨物量を基に、各集落の人口ならびに事業所数の割合に応じてポアソン乱数を生成させ、宅配物の配達先の分布パターンをそれぞれ5つ作成した。

システム導入後における利益の増加分を図2に示す。この図より多くの貨物量を扱うことはタクシー事業者により多くの利益をもたらすことが分かる。一方、貨物量が多いと限られた運転手でのマンパワーでは対応できない可能性がある。そこで、車両ごとの運行時間と運転手の人数を求めた上で、その人数を合計した値をその日にタクシー事業者が要する運転手の人数(以下では、「必要人数」と略す)とする。なお、実際のデータを踏まえると、一日当たりに従事できる運転手の人数は最大で5人であったと考えられる。

10月28日における1日当たりの宅配貨物量が平均で75個である場合の運行時間帯と必要人数を図3に示す。この結果から75個以上の配達を担う場合には、運転手に残業を依頼しないと対応できない日が生じることが分かる。

以上のように、本手法によりシステムの導入に際する有益な情報を提供することができる。

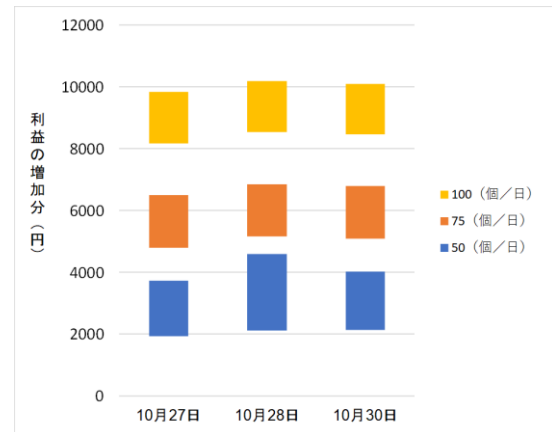


図2 宅配貨物量に応じた利益の増加分

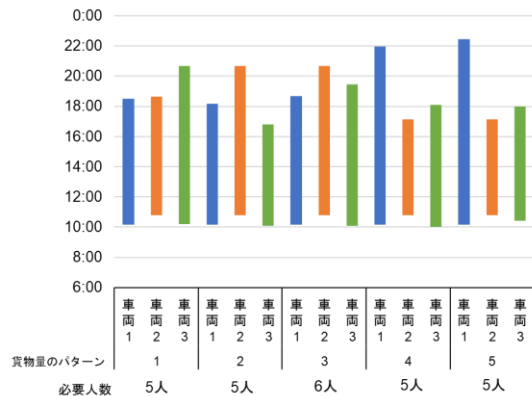


図3 システム導入後の運行時間帯と必要人数 (10月28日, 75個/日)