

# マルチモーダル輸送における積替ステーションの配置問題

2020SS015 堀田晃子

指導教員：佐々木美裕

## 1 はじめに

現在、物流業界では人手不足が問題となっており、業務の効率化が急務である。業務の効率化は人手不足解消だけでなく、コスト削減やサービスの向上にも繋がる。

効率化を実現するための手段の1つに、マルチモーダル輸送の導入がある。マルチモーダル輸送とは、複数の交通機関を連携させる輸送方法である [2]。

## 2 マルチモーダル輸送

図1はマルチモーダルを導入していない輸送の例、図2はマルチモーダル輸送の例である。従来は図1のように出発点から到着点まで1つの交通機関で輸送することが多かった。マルチモーダル輸送は図2のように、出発点から貨物駅まではトラック輸送、貨物駅間は鉄道輸送、貨物駅から到着点まではトラック輸送となるように複数の交通機関を利用する輸送方式である。

鉄道輸送はトラック輸送に比べて二酸化炭素の排出が少なく、大量輸送が可能であるという長所がある。しかし、固定ダイヤで決まったルートでしか輸送することができないという短所もある [1]。複数の交通機関を連携させることによって互いの長所短所を補い、より効率的な輸送が可能になると考えられているが、現在は、交通機関は個々で管理・運行されていることが多く、連携は実現していない。

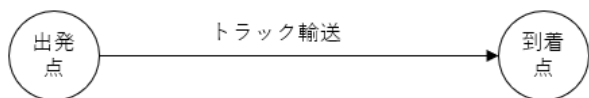


図1 従来の輸送

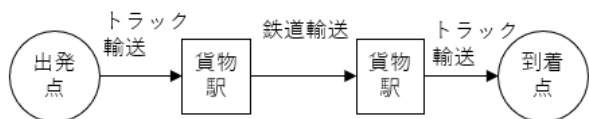


図2 マルチモーダル輸送

## 3 積替ステーションの配置

マルチモーダル輸送を導入するためには、荷物をトラックから鉄道コンテナに積み替える作業が必要となる。通常、積み替え作業は貨物駅構内に設置される積替ステーションで行う。積替ステーション内には、トラックで荷物を持ち込むための環境が整備されており、コンテナ専用トラック以外のトラックからの積み替えも可能である。

本研究では、鉄道輸送とトラック輸送を合わせた、図3のようなモデルを考える。

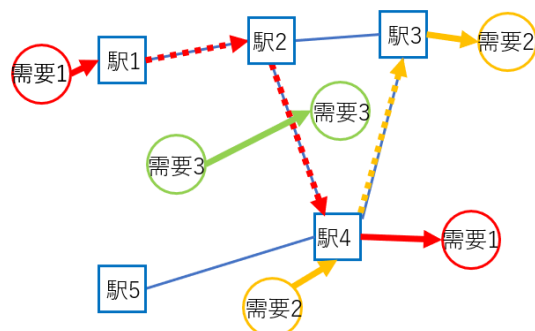


図3 トラック輸送と鉄道輸送を合わせたモデル

貨物駅を積替ステーション候補地し、積替ステーションを配置した貨物駅はトラック輸送と連携できる。図3の青色が鉄道ネットワークであり、貨物駅間のルートは所与とする。実線の枝はトラック輸送、点線の枝は鉄道輸送を示す。荷物の輸送はトラック輸送かマルチモーダル輸送のいずれかを行い、全ての需要点間の需要を満たさなければならない。図3の需要1, 2はマルチモーダル輸送、需要3はトラック輸送の例を示す。鉄道ネットワーク上の貨物駅間のルートは所与とし、各貨物駅間には容量制約がある。積替ステーション、各貨物駅間には容量制約がある。コストは輸送量と輸送距離によって決まり、総輸送コストの最小化を目的とする。

## 4 定式化

以下の記号を定義する。

$N$ : 需要点の集合。

$K$ : 貨物駅 (積替ステーション候補地) の集合。

$a$ : トラック輸送にかかるトンキロあたりのコスト。

$b$ : 鉄道輸送にかかるトンキロあたりのコスト。

$d_{ik}$ : 需要点  $i \in N$  と貨物駅  $k \in K$  の距離。

$e_{ij}$ : 需要点  $i \in N$  と需要点  $j \in N$  の距離。

$g_{kl}$ : 貨物駅  $k \in K$  と貨物駅  $l \in K$  の距離。

$w_{ij}$ : 需要点  $i \in N$  から需要点  $j \in N$  への輸送量。

$c_k$ : 積替ステーション  $k \in K$  の容量。

$f_{kl}$ : 貨物駅  $k \in K$  から貨物駅  $l \in K$  の容量。

$p$ : 配置する積替ステーションの数。

次に以下の決定変数を定義する。

$x_{ijkl}$ : 需要点  $i \in N$  から需要点  $j \in N$  へ貨物駅  $k \in K$  から貨物駅  $l \in K$  を経由して輸送する荷物の量。

$y_k = \begin{cases} 1: & \text{候補地 } k \in K \text{ に積替ステーションを配置する。} \\ 0: & \text{上記以外。} \end{cases}$

$z_{ij}$ : 需要点  $i \in N$  から需要点  $j \in N$  へ直接トラックで輸送する荷物の量。

定式化は以下ようになる。

$$\min. \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} \sum_{j \in N} \sum_{l \in K} \{a(d_{ik} + d_{jl}) + bg_{kl}\} x_{ijkl} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} ae_{ij} z_{ij}, \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{l \in K} (x_{ijkl} + x_{ijlk}) \leq c_k y_k, \quad k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in K} x_{ijkl} + z_{ij} = w_{ij}, \quad i, j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} y_k \leq p, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ijkl} \leq f_{kl}, \quad k, l \in K \quad (5)$$

$$x_{ijkl} \geq 0, \quad i, j \in N, k, l \in K \quad (6)$$

$$y_k \in \{0, 1\}, \quad k \in K \quad (7)$$

$$z_{ij} \geq 0, \quad i, j \in N \quad (8)$$

(1) の第 1 項は需要点から貨物駅への輸送、貨物駅から需要点への輸送、貨物駅から貨物駅への輸送にかかるトラック輸送のコストの総和であり、第 2 項は需要点から需要点への輸送にかかるコストの総和である。これらの和の最小化を目的とする。(2) は積替ステーション  $k \in K$  へ輸送できる荷物量と  $k \in K$  から輸送する荷物の量の合計は  $c_k$  以下であることを示す制約である。(3) は需要点  $i \in N$  から需要点  $j \in N$  へ輸送する荷物の量は需要量  $w_{ij}$  に等しいことを示す制約である。(4) は  $p$  個の積替ステーションを配置することを示す制約である。(5) は貨物駅  $k \in K$  から貨物駅  $l \in K$  へ輸送する荷物の量は  $f_{kl}$  以下であることを示す制約である。(6) は  $x_{ijkl}$  の非負制約である。(7) は  $y_k$  のバイナリ制約である。(8) は  $z_{kl}$  の非負制約である。

## 5 実行結果

本州を対象として輸送コスト  $a, b$  に二酸化炭素排出量を用いて問題を解く。貨物駅を JR 貨物のコンテナを取り扱っている駅、需要点を県庁所在地とする。積替ステーション配置数ごとの計算結果を表 1 に示す。

表 1 より、積替ステーションを 1 つも配置しないときは全駅に配置した時と比較すると、二酸化炭素排出量が約 2 分の 1 になることがわかる。積替ステーションを全駅に配置したときの二酸化炭素排出量の内訳は、トラック輸送が 33,527t、鉄道輸送が 8,376t である。2021 年の全国の貨物自動車における二酸化炭素排出量は 1 日あたり約 201,726t である [3]。本州を対象とした計算実験であるため直接比較はできないが、全駅に積替ステーションを配置するとトラック輸送での二酸化炭素排出量が約 6 分の 1 となった。東京貨物、広島貨物は鉄道本数が多い駅上位 1, 2 位であるため、積替ステーションは鉄道運行本数の多い駅に配置するべきということもわかる。図 4 のオレンジの枝は  $p=57$  のときのトラック輸送ルートを示している。このときのトラック輸送最長距離は需要点広島 - 兵庫間で

表 1 計算結果

配置数	CO2 排出量 (t)	配置駅
0	94,302	なし
2	93,681	東京貨物, 広島貨物
3	93,196	宇都宮貨物, 東京貨物, 広島貨物
55	42,052	大館, 高岡貨物以外
56	41,968	大館以外
57	41,904	全駅

252km である。 $p=0-3$  のときの最長距離は需要点青森 - 山口で 1,100km である。マルチモーダル輸送によって、トラック輸送距離を大幅に減らせることがわかった。

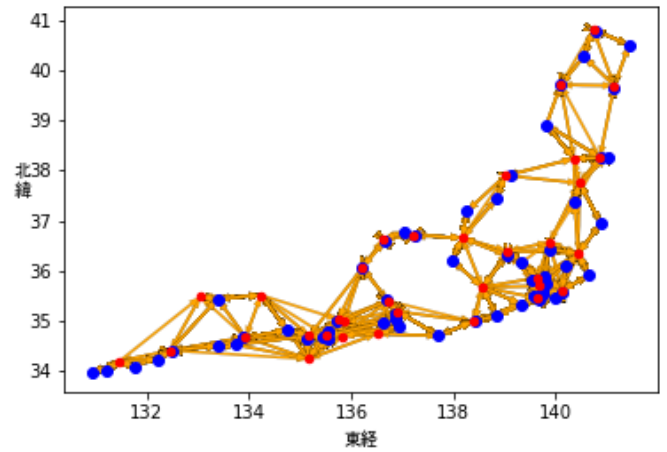


図 4 トラック輸送 ( $p=57$ )

## 6 おわりに

本研究では、マルチモーダル輸送導入のための積替ステーションの最適配置を求め、どこからどこへを鉄道輸送すべきかを求めた。その結果、マルチモーダル輸送の導入によって二酸化炭素排出量を大幅に削減できることがわかった。

## 参考文献

- [1] 国土交通省. <今後の鉄道物流のあり方に関する検討会> 鉄道物流を取り巻く現状及び検討会の設置について. <https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001472970.pdf>. 2023 年 5 月 2 日閲覧.
- [2] 国土交通省. モーダルシフトとは. <https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/modalshift.html>. 2023 年 5 月 2 日閲覧.
- [3] 国土交通省. 運輸部門における二酸化炭素排出量. [https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei\\_environment\\_tk\\_000007.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html).
- [4] 日本貨物鉄道株式会社. 新座貨物ターミナル駅構内「積替ステーション」の開設について. [https://www.jrfreight.co.jp/info/2020/files/20200616\\_01.pdf](https://www.jrfreight.co.jp/info/2020/files/20200616_01.pdf). 2023 年 7 月 4 日閲覧.