

第 部 コンテナ積載容量を考慮したアライアンス船団の最適配送計画のモデル化

神戸大学工学部	学生会員	下山 彰宏
神戸大学工学部	正会員	竹林 幹雄
神戸大学大学院自然科学研究科	学生会員	吉岡 龍右
神戸大学工学部	正会員	黒田 勝彦

1. はじめに

本研究では、海上輸送を含むサプライチェーン全体の効率的な輸送体系のあり方を考究するにあたり、輸送業者や企業のロジスティクス部門のスペースマッチングに着目する。そして、スペースマッチングにおけるフォワーダー間の調整を合理的に行う方法論を提案し、コンテナ積載容量を考慮したアライアンス船団の配送計画最適化モデルを構築する。

2. モデル

まず、以下に本モデル内の市場における基本的な前提条件を示す。

- 1) 市場内には複数の港湾が存在し、それぞれが海上定期輸送航路で接続されているものとする。
- 2) 各港湾の背後圏にはそれぞれ生産地と消費地が1つずつ存在するものとする。
- 3) 各生産地にはフォワーダーが1社ずつ存在するものとする。
- 4) 貨物を出すためには海運に頼らなければならない。

ここで、フォワーダーは顧客の都合のみ考えて配送計画を立てるものとする。顧客の都合というのは、消費地における貨物の納期を守ることである。それが行えない場合には、フォワーダーは顧客に対して賠償金の支払いなど何らかのペナルティが課されるものと考えられる。よって、本モデルでは納期を守れなかった場合に与えられるペナルティを最適化問題の中に組み込むことにする。本モデルは、フォワーダーを複数想定しているので、それぞれの配送計画に関する全ての意向が完全に保障されるとは限らない。そのため、複数の意思決定者間の調整を行うためのモデルの枠組みが必要となる。そこで、本モデルでは、フォワーダーの配送計画を調整する組織としてHQ(Head Quarter)を新たな主体として想定する。ここでは、フォワーダーの

配送計画調整を円滑に消化するために、各フォワーダーに対して強い影響力を持ち、船の割り当てスペース数を設定する権限を持つ主体として考える。つまり、フォワーダーはHQによって割り当てられたスペース数を制約として配送計画を立てなければならない。HQは本モデルにおいて想定するネットワーク全体の海上輸送システムの状態を最適化することを第一の目的とする。よって、HQはできる限り多くの貨物が納期に間に合うようなスペースの配分を行う。

フォワーダーは rs 間を経路 k で移動する貨物数 $x^{rs,k}$ を明示的な操作変数としてコストを最小化する。フォワーダーの最適化問題は次のように定式化される。

【最適化問題：フォワーダー】

$$Obj: z^r(x^{rs,k}) = \sum_{rs} \sum_k c_k x^{rs,k} + \sum_{rs} \sum_t \sum_k x_{(t)}^{rs} \left\{ \delta_{(t)}^{rs,f} T_{(t),k}^{rs,f} P^f + \delta_{(t)}^{rs,s} T_{(t),k}^{rs,s} P^s \right\} \rightarrow \min \quad (1)$$

subject to

$$x^{rs,k} \leq X^{rs,k} \quad \text{for all } rs, k \quad (2)$$

ここで、

$x^{rs,k}$: rs 間を経路 k で移動する貨物数

c_k : 経路 k で移動する貨物の運送費

$x_{(t)}^{rs}$: 任意の t 期に発生し rs 間を移動する貨物数、

$\delta_{(t)}^{rs,f}$: 納期前に貨物が到着したとき1、そうでないとき0となるクロネッカーデルタ

$T_{(t),k}^{rs,f}$: 貨物の到着が納期から前にずれた時間

P^f : 納期前に貨物が到着した場合に与えられる貨物1つあたりのペナルティコスト

$\delta_{(t)}^{rs,s}$: 納期後に貨物が到着したとき1、そうでないとき0となるクロネッカーデルタ

$T_{(t),k}^{rs,s}$: 貨物の遅延時間

P^s : 納期後に貨物が到着した場合に与えられる貨物1つあたりのペナルティコスト

$X^{rs,k}$: HQ から指定される船の割り当てスペース数である。(1)の右辺第1項は貨物の総運送費用を表し、第2項は先ほど述べたペナルティを表す。本モデルでは、これを指定された納期に到着する予定であった全貨物量、貨物の到着が納期からずれた期間、単位量・単位時間あたりのペナルティコストの積を計算することで表現する。また、式(2)は容量制約式である。

続いて、HQ は各フォワーダーへの船の割り当てスペース数を明示的な操作変数としてネットワーク全体のコストを最小化する。HQ の最適化問題は以下のように定式化される。

【最適化問題：HQ】

$$Obj: z^{HQ}(X^{rs,k}) = \sum_{rs} \sum_t \sum_k x_{(t)}^{rs} \left\{ \delta_{(t)}^{rs,f} T_{(t),k}^{rs,f} P^f + \delta_{(t)}^{rs,s} T_{(t),k}^{rs,s} P^s \right\} \rightarrow \min \quad (3)$$

subject to

$$X_{l,t} \leq V_{l,t} \quad \text{for all } l,t \quad (4)$$

ここで、

$X_{l,t}$: 各リンク、時間帯ごとの割り当てスペース数

$V_{l,t}$: 各リンク、時間帯ごとのコンテナ積載容量

である。HQ はできる限り多くの貨物が納期に間に合うようなスペースの配分を行うことを目的とするため、HQ の目的はシステム全体のペナルティコストの最小化であると設定した。また、式(4)は容量制約式である。

本研究では定期的な期間を何度も繰り返す円環的な時間を考える。最適化の期間（以後、この期間を1サイクルとする）を $t = [0, T]$ とし、そのサイクルが終了すれば、また、0 から T までのサイクルが同じように繰り返される。この期間内に発生した貨物は1サイクル後、周期的に同量発生するものとする。このように定義することで最適化期間内でシステムが安定となり、定常解を求めることができる。

船の運航スケジュールの表現については、最適化する期間を任意の時間帯に分割し、離散的に表現する。そうすることにより、各時間帯に出発するのか、運行中なのか、到着するのか、あるいは停泊中なのかなど、

船ごとにその状態を判断することが可能となる。この考え方により、全ての船の動きが簡略化し、捉えやすくなる。本来、船のスケジュールは定刻として出発および到着の時間が設定されているため、この考え方によって得られる最適解も実際の最適配送スケジュールを近似したものである。したがって、設定する時間帯の幅が狭ければ狭いほど実情に近い近似解を得ることができるといえる。

3. 数値計算

本モデルでは、ネットワーク、船の運航スケジュール、発生 OD 貨物数、消費地における納期、リンクコストは与件とし、数値計算を行った。

表1はリンク容量を1000としてフォワーダーの最適化問題を解いた結果である。リンク1が容量を超えていることがわかる。このとき、HQ が配送計画に介入する。

表1 フォワーダー計算結果

	rs	12	23	31	12	24	41
FWD.num	rs \ l	1	2	3	4	5	6
1	12	500	0	0	0	0	0
1	13	200	200	0	0	0	0
1	14	200	0	0	0	0	0
2	21	0	400	0	0	0	0
2	23	0	100	0	0	0	0
2	24	0	0	0	0	0	0
3	31	0	0	100	0	0	0
3	32	300	0	300	0	0	0
3	34	0	0	200	200	0	0
4	41	0	0	0	0	0	400
4	42	0	0	0	300	0	300
4	43	0	0	0	300	0	300
		1200	700	600	800	0	1000

次に、表1はHQの最適化問題の計算結果である。この表を見てわかる通り、コンフリクトが解消され、貨物がリンク容量以下に収まることになる。今回、システム全体のペナルティコストは0であった。

表2 HQ 計算結果

	rs	12	23	31	12	24	41
FWD.num	rs \ l	1	2	3	4	5	6
1	12	0	0	0	500	0	0
1	13	200	200	0	0	0	0
1	14	0	0	0	200	200	0
2	21	0	400	400	0	0	0
2	23	0	100	0	0	0	0
2	24	0	0	0	0	300	0
3	31	0	0	100	0	0	0
3	32	300	0	300	0	0	0
3	34	200	0	200	0	200	0
4	41	0	0	0	0	0	400
4	42	0	0	0	300	0	300
4	43	300	0	0	0	0	300
		1000	700	1000	1000	700	1000

本紙面の都合上、モデルの精度および結果の詳細は講演時に発表する。

参考文献

- 1) 黒沢直紀：ハブ・スポーク型航空輸送ネットワークにおけるスケジュール調整の最適化手法，2006