

# 専用船による完成車の輸送計画へのACOの適応

岡崎啓佑\* 石原良晃\*\*

## A Heuristics on Transportation Plan for Finished Cars by Pure Car Carriers Using ACO

Keisuke OKAZAKI, and Yoshiaki ISHIHARA

### Abstract

This paper aims to propose a heuristic method for a transportation plan of finished cars by pure car carriers. In automobile manufacturers, finished cars are transported by trailers and pure car carriers. In this paper, we propose a heuristic method using an ant colony optimization(ACO),and clarify the effectiveness of our proposed method.

Key words: Pure car carriers, Transportation plan, Ant colony optimization

### 1. 序論

組立工場で組み立てられた完成車の輸送方法にはトレーラーを使って輸送する陸上輸送と自動車専用船を使って輸送をする海上輸送の2種類がある。海上輸送は、海に面している日本の立地条件を最大限に生かし、一度に大量の自動車を輸送することができる。また、海上輸送はCO<sub>2</sub>削減効果が大きいと言われていて、環境への負荷は少ないため、M社では自動車輸送全体の約84%が海上輸送されている[1]。

本研究では、海上輸送を対象として、専用船を用いた完成車の輸送計画問題を立案することを目的とする。

### 2. 専用船による輸送

完成車輸送の歴史は組立工場から販売拠点まで運転して輸送する自走から始まり、トレーラーを使った陸上輸送、専用船を使った海上輸送と発展していった[2]。図1は1965年から1985年までの自動車輸送の方法を示したものである。

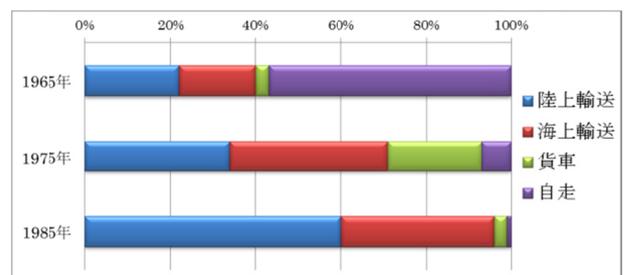


図1 完成車輸送方法による輸送比率[2]

1965年には自走で完成車の輸送を行っていた。しかし、トレーラーの普及によって1975年には93%が輸送機器を使った輸送となった。1985年には陸上輸送が60%を占め、海上輸送も36%を占めている。

組立工場で組み立ての終わった完成車は生産工場付近の港へトレーラーを使って輸送される。港へ輸送された完成車は専用船を使って国内や海外の港(サービスセンター)へ輸送され、オプション部品の取り付けなどの作業が行われる。作業終了後トレーラーを使ってディーラーの元へ輸送される。図2に完成車輸送の概念図を示す。

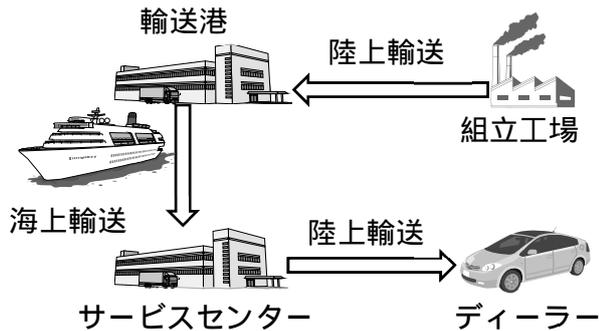


図 2 完成車輸送の概念図

国内の完成車の輸送事例を示す。T 海運は国内のサービスセンターへ輸送を行っている。図 3 に T 海運のサービスセンターを示す。T 海運はこれらのサービスセンターへ輸送する為に(1)~(4)の 4 つの航路を持っている[3]。

- (1)北海道・東北航路
- (2)東北・関東航路
- (3)関東・中四国・九州航路
- (4)鹿児島・沖縄航路

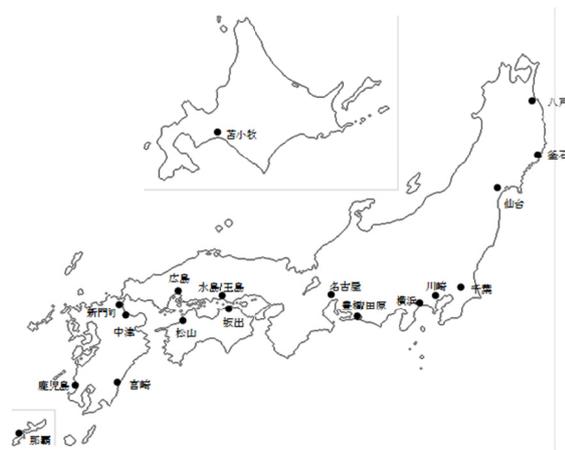


図 3 T 海運のサービスセンター([3]より作成)

### 3. 輸送計画モデル

本研究では計画期間中の専用船による完成車の輸送計画を立案するため、輸送計画モデルを構築する[4]。

#### 3.1 対象とするシステム

以下のようなシステムを対象として輸送計画モデルを構築する。

- (1)専用船による輸送のみを対象とする

- (2)各船の積載量は異なるものとする
- (3)完成車の種類を 1 種類とする
- (4)荷役時間帯を考慮する

本研究では、1 つの生産地から複数のサービスセンターまで、積載可能量の異なる船を輸送手段とした時間枠制約のある完成車の輸送システムを対象とする。

#### 3.2 モデルの前提条件

輸送計画モデルを構築するため、以下の条件を設定する。

- (1)各期のサービスセンター向け完成車の生産量を所与とする。
- (2)生産地及び目的地における荷役時間帯は同一とする。
- (3)各専用船の速度(能力)は同一とする。
- (4)各専用船の積載能力は異なるものとする。
- (5)生産地を 1 箇所とし、各サービスセンターへの輸送は生産地と目的地の往復により行われる。
- (6)専用船の輸送経路は、輸送経路データベースから抽出される。

#### 3.3 記号の説明

輸送計画モデルを構築するために、以下のような記号を用いる。

- $K$  : 専用船台数
- $R^k$  : 専用船  $k$  の輸送経路数
- $L$  : サービスセンターの数
- $t_l$  : 生産地から目的地  $l$  までの輸送時間
- $T$  : 計画期数
- $E_l$  : 目的地  $l$  に同時入港出来る専用船の台数
- $Q^k$  : 専用船  $k$  の積載可能量
- $D_t^l$  :  $t$  期中に完成する目的地  $l$  向けの完成車台数
- $\delta_{l,t}^{k,r}$  : 専用船  $k$  が輸送経路  $r$  を選択した場合に  $t$  期に生産地から目的地  $l$  へ配送するかどうかを示す係数
- $r_{l,t}^{k,r}$  : 専用船  $k$  が輸送経路  $r$  を選択した場合に  $t$  期に目的地  $l$  に到着するかどうかを示す係数
- $P_{l,t}^{k,r}$  : 専用船  $k$  が輸送経路  $r$  を選択した場合に、 $t$  期に目的地  $l$  への輸送する量

$X_r^k$  : 専用船  $k$  が輸送経路  $r$  を選択するかどうかを示す変数

$I_t^l$  :  $t$  期首に生産地にある目的地  $l$  向けの在庫量

(1)輸送船台数 : 5

(2)サービスセンター数 : 5

(3)計画期間数 : 10

### 3.4 輸送計画モデルの定式化

本研究では、各専用船による輸送量が最大になるように完成車を割り当てる事を考える。そのために、以下の式を用いる。

(1)目的関数

$$Z = \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{R^k} \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T \delta_{l,t}^{k,r} \cdot P_{l,t}^{k,r} \rightarrow Max \quad (1)$$

(2)完成車の在庫量に関する条件

$$I_{t+1}^l = I_t^l + D_t^l - \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{R^k} \delta_{l,t}^{k,r} \cdot P_{l,t}^{k,r} \quad (2)$$

$(l = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T)$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{R^k} \delta_{l,t}^{k,r} \cdot P_{l,t}^{k,r} \leq I_t^l \quad (3)$$

$(l = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T)$

(3)各専用船の積載可能量に関する条件

$$P_{l,t}^{k,r} \leq Q^k \cdot X_r^k \quad (4)$$

$(k = 1, \dots, K, r = 1, \dots, R^k, l = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T)$

(4)目的地における専用船の同時入港条件

$$\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{R^k} r_{l,t}^{k,r} \cdot X_r^k \leq E_l \quad (5)$$

$(l = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T)$

(5)輸送経路に関する条件

$$\sum_{r=1}^{R^k} X_r^k = 1 \quad (k = 1, \dots, K) \quad (6)$$

$$X_r^k \in \{0,1\} \quad (l = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T) \quad (7)$$

(6)変数の非負条件

$$P_{l,t}^{k,r} \geq 0 \quad (8)$$

$(k = 1, \dots, K, r = 1, \dots, R^k, l = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T)$

$$I_{l,t}^{k,r} \geq 0 \quad (l = 1, \dots, L, t = 1, \dots, T) \quad (9)$$

(2)~(9)までの式を制約条件とし、式(1)を最大にする問題を専用船による完成車の輸送計画問題モデルと呼ぶ。

### 4. 数理計画ソフトウェアを用いた厳密解法

3.4 で作成した輸送計画モデルを FICO Xpress を使って厳密解を求めた。入力データを(1)~(3)と表1で示し、Xpress を使って求めた輸送計画モデルの解を表2で示す。

表 1.1 各専用船積載可能台数

		輸送船番号				
		1	2	3	4	5
		300	300	550	300	250

表 1.2 サービスセンター向け完成車台数

		サービスセンター番号				
		1	2	3	4	5
計 画 期 間	1	50	150	200	200	50
	2	100	100	150	100	100
	3	50	150	100	150	50
	4	100	100	100	100	50
	5	50	150	150	250	150
	6	50	150	200	200	150
	7	100	100	150	100	100
	8	50	150	100	150	50
	9	100	100	100	100	100
	10	50	150	150	250	50

表 1.3 サービスセンター向け初期在庫量

		サービスセンター番号				
		1	2	3	4	5
		100	200	100	0	100

表 2. 数理計画ソフトウェアによる輸送計画

		輸送船番号				
		1	2	3	4	5
期	1					
	2	1	2	3		5
		150	300	300		150
	3					
	4			4	3	2
				450	200	250
	5					
	6	1	2	4	5	
		300	250	350	300	
	7					
8			3	5	4	
			550	300	250	
9						
10	1	4	2	3	5	
	300	300	550	300	150	

輸送計画モデルの解を求めることはできたが、Xpress を使って厳密解を求めるためには膨大な処

理時間が必要となる。そこで、ACO(Ant Colony Optimization)を用いて近似解法を提案する。

### 5. ACO を用いたヒューリスティクス解法

4.で述べたように本研究で対象とする輸送計画問題は非常に多くの解候補がある問題であり、数理計画ソフトウェアによる厳密解法では膨大な時間がかかる。このような問題の解を導く方法として、メタヒューリスティクス解法を用いて近似解として解を導く方法が数多く研究されている。本研究ではメタヒューリスティクス手法の一手法である ACO を用いて近似解を求める手法を提案する。

#### 5.1 ACO の概略

メタヒューリスティクス手法の1つである ACO は蟻が餌を探して巣に戻るまでの行動を模して考えられた近似解法である。

蟻はランダムに徘徊して餌を探索する。餌を見つけた蟻は巣に戻る際フェロモンと呼ばれる揮発性物質を分泌しながら巣に戻る。その後、分泌されたフェロモンを辿って餌にたどり着き、同じようにフェロモンを分泌しながら巣に戻る。最初に巣に戻った時点では複数匹の蟻のフェロモンが存在するが、この流れを繰り返す行うことで餌と巣の往復に長時間かかる道に分泌されたフェロモンは徐々に揮発し、短時間で餌と巣を往復できる道に分泌されたフェロモンは上塗りされて濃くなっていく。最終的に1つの道にだけフェロモンが残りそれが最短距離となる。図4は蟻の行動とフェロモンの関係を表している。



図 4 蟻とフェロモンの関係

#### 5.2 輸送経路パターン

本研究では輸送ルートをあらかじめパターン化しヒューリスティクス値

て使用することとする。輸送経路パターンとは生産地から各サービスセンターを巡回し、生産地に戻ってくる輸送ルートのことを指す。実際の専用船の航路はあらかじめ決まっているため、本研究も同様に航路を輸送経路パターンとしてデータベース化しておくこととする。

#### 5.3 輸送計画モデルへの ACO の適応

ACO を用いた解法を提案する為に以下の記号を設定する。

$M$  : 輸送経路パターン数

$C^k$  : 専用船  $k$  の最大積載量

$Ph_{l,m}^k$  : フェロモン量

$Pr_{l,m}^k$  : 選択確率

$\eta_{l,m}^k$  : ヒューリスティクス値

$SS_{l,m}^k$  :  $l$  期における輸送経路パターン  $m$  上のサービスセンター向けの完成車の在庫量

$SP_{l,m}^k$  :  $l$  期に専用船  $k$  が輸送経路パターン  $m$  を選択した時の輸送量

$SP\_Max^k$  : 計画期間中に専用船  $k$  が輸送できる最大量

$\alpha$  : フェロモン値の影響程度を示すパラメータ

$\beta$  : ヒューリスティクス値の影響程度を示すパラメータ

以上の記号を用いて輸送計画モデルへの ACO の適応を行う。輸送計画問題へ ACO を適応させた場合の輸送経路パターン選択確率は以下の式で表す。

輸送経路パターン選択確率

$$Pr_{l,m}^k = \frac{(ph_{l,m}^k)^\alpha (\eta_{l,m}^k)^\beta}{\sum_{i_1}^T \sum_{j_1}^M (Ph_{i_1,j_1}^k)^\alpha (\eta_{i_1,j_1}^k)^\beta} \quad (10)$$

フェロモン量揮発

$$Ph_{l,m}^k = Ph_{l,m}^k \cdot (1 - \alpha) \quad (11)$$

フェロモン量上塗り

$$Ph_{l,m}^k = Ph_{l,m}^k + \frac{SP_{l,m}^k}{SP\_Max^k} \quad (12)$$

$$\eta_{l,m}^k = \begin{cases} \frac{SS_{l,m}}{C^k} & \\ 1 & \text{(初めて1を超えた時)} \\ 0 & \text{(それ以降の時)} \end{cases} \quad (13)$$

#### 5.4 実行結果の考察

表 3-1、表 3-2 はそれぞれ輸送経路パターンと輸送時間の入力データである。表 4 は ACO を用いた輸送計画モデルの解である。

- (1)輸送船台数：7
- (2)サービスセンター数：5
- (3)計画期間数：30
- (4)輸送経路数：6

表 3.1 輸送経路パターン

輸 送 パ タ ー ン 番 号	1	1
	2	2
	3	3
	4	4
	5	5
	6	1→2

表 3.2 拠点間の輸送時間

	サービスセンター番号					
	0	1	2	3	4	5
0	0	48	36	24	12	12
1	48	0	12	24	24	12
2	36	12	0	12	12	36
3	24	24	12	0	24	24
4	12	24	12	24	0	12
5	12	12	36	24	12	0

数理計画ソフトウェアで求めた輸送量の合計は 5700、ACO で求めた輸送量の合計は 5500 であった。Xpress による厳密解と本研究で立案した ACO による近似解の相対誤差は約 3%であった。また、厳密解法による計算時間は 3745 秒必要であったが、ACO を用いた解法による計算時間は 25 秒しか必要としなかった。

本研究では複数拠点へ輸送を行う輸送経路パターンを選択できるようにしたが、この数値例での最良解ではその輸送経路パターンが選択されなかった。しかし、計算途中で作成される解の中には複数拠点への輸送を行う輸送経路パターンも選択されていた。

表 4 は、計画期間が 30 期の輸送計画を作成したものである。ACO を用いた解法による計画期間 30 期の輸送計画の計算時間は 57 秒であり、早い時間で最良解を導くことができた。

#### 6. まとめ

本研究では、自動車産業における完成車の輸送において、海上輸送部分にあたる専用船による輸送を対象として、専用船による完成車の輸送計画の立案に対して ACO を適応し以下のことを明らかにした。

- (1) 専用船による完成車の輸送計画を立案するための輸送計画モデルを構築した。
- (2) 輸送計画モデルへ ACO を適応させ、数値例を用いてその性能を評価し、有効性を明らかにした。

今後の課題として、組立工場が複数ある場合の輸送計画の立案を行う事や、ACO 適応による性能評価する事が挙げられる。

#### 参考文献

[1]<http://www.mazda.co.jp/csr/download/pdf/2001/j20012g.pdf>

[2]<http://www.toyotayusou.co.jp/company/transport/>

[3]<http://www.toyofuji.co.jp/company/index.html>

[4]反田健太郎、石原良晃、“専用船による完成車の輸送計画の一解法”、大島商船高等専門学校紀要 第 43 号 pp47-52 (2010)

表4 ACOを用いた輸送計画モデルの解

		1	2	3	4	5	6	7
1	AM							
	PM							
2	AM		3 300					
	PM							
3	AM			3 150	4 250	2 300		
	PM							
4	AM							
	PM							
5	AM					4 250		
	PM			2 300				
6	AM	3 300						
	PM							
7	AM					4 200	5 300	
	PM							
8	AM			1 550				
	PM	2 250						
9	AM					4 250	3 300	
	PM							
10	AM		2 250					
	PM							
11	AM					2 250		
	PM				1 250		4 300	
12	AM							
	PM	3 300		2 300				
13	AM						3 300	
	PM							
14	AM							
	PM							
15	AM		2 250		1 250	4 250		
	PM						5 300	

		1	2	3	4	5	6	7
16	AM			3 250	5 300			
	PM							
17	AM						4 250	5 300
	PM							
18	AM		4 300					
	PM							
19	AM						4 250	
	PM					2 250		
20	AM		2 300		4 300			
	PM	3 250						
21	AM						4 250	
	PM							
22	AM			5 400	3 300			
	PM							
23	AM	1 300				5 250	2 250	3 300
	PM							
24	AM		2 300	3 300				
	PM				4 300			
25	AM							
	PM							
26	AM					5 250	4 300	
	PM							
27	AM						2 250	
	PM	4 300						
28	AM		5 300	3 550		4 250		
	PM							
29	AM				2 300			4 300
	PM							
30	AM	3 300	2 300			5 200		
	PM			1 550				