

遺伝的アルゴリズムを用いた公共バースの割当法*

A Berth Allocation Problem in the Public Berth System by Genetic Algorithm

西村悦子**, 今井昭夫***

Etsuko NISHIMURA, Akio IMAI

1. はじめに

近年、近隣アジア諸国における急速な経済の発展に伴い港湾整備が進展しているが、これらの国での港湾関連コストが低いことから日本の港湾におけるハブとしての機能が危ぶまれている。したがって、日本の港湾がハブとして発展していくには、港湾関連コストを低減させ、サービス水準を向上させることが重要である。現在ほとんどのコンテナターミナルが船会社へ専用貸しされているが、このため寄港数がさほど多くない場合には、バースに空きが生じることがある。このバースの空きがコストを相対的に高くする結果となっている。そこで本研究では、船会社への専用貸しをなくし、ある船はどのバースでもサービスを受けることができるような複数バースの共同利用を提案する。つまり、現在ではほとんどが在来船が対象となっている公共バース形式をコンテナ船においても用いることを考える。これによってバース数を現状より削減でき、コストを低減させることが可能になる。

このような公共利用形式のコンテナ港では、船とバースの割当の仕方がバースのパフォーマンスに大きく影響する。そこで、船のバースへの効率的な割当法を検討する。我々はすでに、ラグランジュ緩和問題(LR)を使った劣勾配法でバース割当を検討した^[1]。これは、各バースに同時に1隻しか係留できないことを仮定している。しかし、現実には2隻の船が1つのバースに同時に係留される場合が存在しており、1隻のみの係留はあまり現実的ではない。そこで本研究では、遺伝的アルゴリズム(GA)を

用いて、同時係留を可能にした場合の効率的なバース割当の方法を検討する。

2. 問題の定式化

バース割当の評価はバースの公共性の点から、総在港時間(つまり各船のバース待ち時間と荷役時間の合計の総和)の最小化が適切であると考えられる。

荷役時間に関しては公共形式の場合、おそらく各バースとも同一性能の荷役機器を用意すると考えられ、バースごとに荷役時間は異ならないと考えられる。しかし動的にバースと船の割当を決定するため、必ずしもある船の荷役するコンテナが当該船の係留バース近傍に蔵置されるとは限らない。このような場合、荷役方式にもよるが、船の係留バースが異なれば荷役時間に差が出てくる可能性がある。したがって、割当結果によって総在港時間は異なる。

バース割当において、以下の係留条件と荷役時間を仮定する。

(a) 係留条件

- ①各船は必ずいずれかのバースに1回係留される
- ②当該船の係留バースにおいて、当該船の全長に係留の際必要となる延長を考慮した必要延長と、船の必要延長の和が当該バース岸壁長を超えなければ、それらは同時係留可能とする
- ③各船はバースの水深がその船の喫水に安全距離を加えた必要水深以上のバースに割当る

(b) 荷役時間

荷役時間は係留されるバースによって、必ずしも同じではない

したがって、本問題は式(1)―式(10)のような一種の割当問題になる。ここで、

$i (= 1, \dots, I) \in B$: バース番号 (I : 対象バース数)

$j (= 1, \dots, T) \in V$: 船番号 (T : 対象船舶の隻数)

*キーワード: ターミナル計画、港湾計画

**学生員 工修 神戸商船大学大学院 海上輸送システム科学専攻

***正会員 工博 神戸商船大学教授 輸送システム工学講座

(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1, TEL 078-431-6261,

FAX 078-431-6365, E-mail: pdmb@bun.ti.kshosen.ac.jp)

C_{ij} : 船 j がバース i で行う荷役時間

A_j : 船 j の到着時間

WD_i : バース i の水深

DR_j : 船 j の喫水に安全距離を加えた必要水深

QL_i : バース i の岸壁長

L_j : 船 j の全長に係留の際に必要なになる延長を考慮した必要延長

x_{ij} : もし船 j がバース i に係留されるとき 1, そうでないとき 0 である 0-1 整数変数

$y_{jj'}$: あるバースにおいて船 j と船 j' との係留時刻が重なっているとき 1, そうでないとき 0 である 0-1 整数変数

m_j : 船 j の係留開始時刻

本問題は、次のように定式化される。

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} (m_j - A_j + C_{ij}) x_{ij} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i \in B} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in V \quad (2)$$

$$m_j - A_j \geq 0, \quad \forall j \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in B} (WD_i - DR_j) x_{ij} \geq 0, \quad \forall j \in V \quad (4)$$

$$(m_j - m_{j'})^2 (m_j + \sum_{i \in B} C_{ij'} x_{ij'} - m_j) (m_j + \sum_{i \in B} C_{ij} x_{ij} - m_{j'}) y_{jj'} \geq 0, \quad \forall i \in B, j \in V, j' \in V - \{j\} \quad (5)$$

$$(m_j - m_{j'})^2 (m_j + \sum_{i \in B} C_{ij'} x_{ij'} - m_j) (m_j + \sum_{i \in B} C_{ij} x_{ij} - m_{j'}) (1 - y_{jj'} x_{ij'}) \leq 0, \quad \forall i \in B, j \in V, j' \in V - \{j\} \quad (6)$$

$$\sum_{i \in B} (QL_i - \sum_{j' \in V - \{j\}} L_{j'} y_{jj'} x_{ij'} - L_j) x_{ij} \geq 0, \quad \forall j \in V \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in B, j \in V \quad (8)$$

$$y_{jj'} \in \{0, 1\}, \quad \forall j, j' \in V \quad (9)$$

$$m_j \text{ is integer}, \quad \forall j \in V \quad (10)$$

上記のモデルで決定変数は、 x_{ij} 、 $y_{jj'}$ と m_j である。

制約式(2)は必ずいずれかのバースに係留されることを保証し、式(3)は各船は入港後に係留されることを意味している。式(4)は船 j の必要水深が係留されるバース i の水深を超えないことを保証している。式(5)、(6)は船 j と船 j' が当該バースで同時に係留されているかという係留状況を示し、両船の係留開

始時刻から出港時刻までに重なる時間があれば $y_{jj'}=1$ 、なければ $y_{jj'}=0$ となる。式(7)はバース i において、船 j の必要延長と、同時に係留される船 j' の必要延長との和が、バース i の岸壁長を超えないことを保証している。

3. 解法

本問題は最適解を求めるのが困難であるので、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて近似的に解く。GA というのは、自然界における生物の進化モデルである。すなわち、世代を形成している個体の集合の中で、環境への適応度の高い個体が次世代によって多く生き残り、また交叉および突然変異を起こしながら次の世代を形成していく過程を模した最適化手法である。GA の処理の流れを図 1 に示す。ここで、本問題の目的関数を適応度に、解の候補を個体にそれぞれ対応させる。

(1) 個体の表現

船のバースへの割当の候補、つまりどの船がどのバースでどの順に係留されるかを配列によって表現する必要がある。ここでは、以下の個体の表現方法を用いることにした。

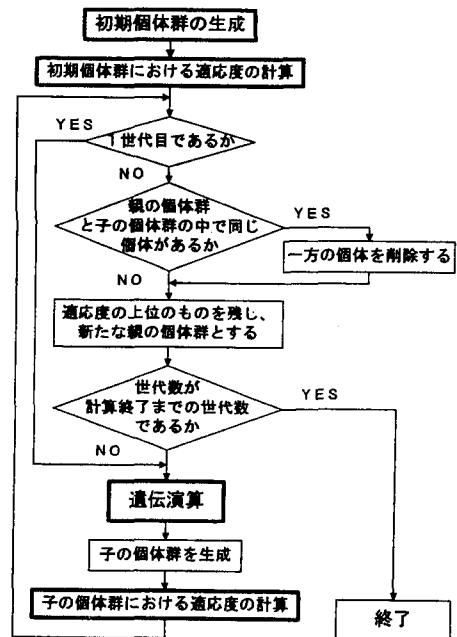


図 1 GA の処理手順

図 2 に、9 隻の船を 2 バースに割当てる場合での表現例を示す。この例では、バース 1 に船 2、8、5、9 の順で係留され、バース 2 には船 4、7、3、1、6 の順で係留されることを示している。

の期間に分けてバース割当の計算を行う。

荷役時間は、実績データではある船が実際に係留されたバースでの荷役時間はわかっているが、その船が他のバースで荷役にどのくらいかかるかわからない。そこで、各バースのコンテナ個あたりの荷役時間と各船の荷役コンテナ数の積の値をその船が各バースでかかる荷役時間とする。

(2) 緩和法とGAとの比較

まず、GAによる割当法の解の精度をみるために、各バースである時点では1隻しか係留できないこと

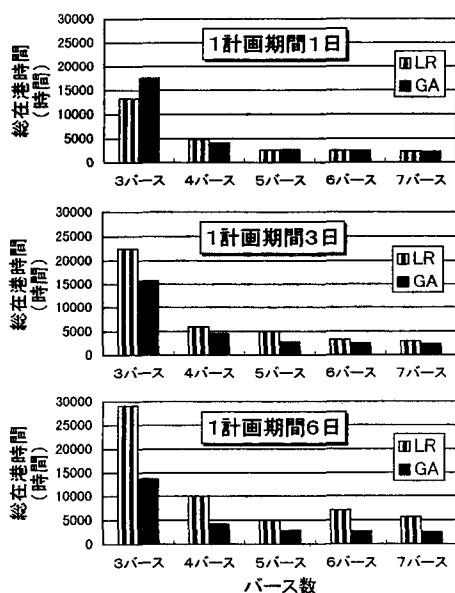


図3 既存の解法との比較

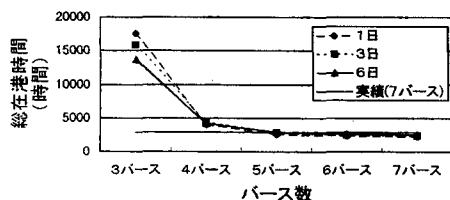


図4 単一係留での計算結果

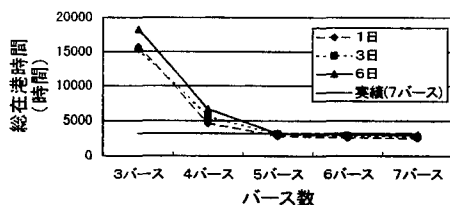


図5 同時係留、水深を考慮した計算結果

を条件として、既存の研究で提案したLRによる割当法との解の比較を行った。

図3は各期間幅に対して、供用バース数を3～7まで変化させた場合のLRによる総在港時間とGAによるその値を示している。これより、それぞれの総在港時間を比較すると、1計画期間1日の供用バース3の時以外はほぼ同じか、GAによる割当法の方が値が良くなっていることがわかる。また図4でGAによる割当法と実績との比較を行うと、3バースでは多少計画期間幅によって差はあるが、それ以外は期間幅による解への影響はほとんどないようにみうけられる。したがって、GAによる割当法は1回の計算の規模、つまり対象船の隻数にあまり左右されないといえる。

(3) 同時係留を許した問題と実績との比較

実績を分析した結果、実際には1つのバースに2隻の船が同時に係留されるケースが存在した。そこで次に、同時係留と水深を考慮して、実績データでの船の入港時刻を用いて係留計画を行った。

図5に供用バース数を3～7まで変化させた場合の総在港時間を示すが、当時7バース使用可能であったが供用バース数5バースでも実績の総在港時間とほぼ同じかそれ以下になっており、現状より2バース少ない5バースでも現状とほぼ同じサービスが提供できることがわかる。また計画期間幅を変化させて計算しているが、1期間が1日での総在港時間が他に比べて比較的短くなっており、1回の計算の規模が大きくなって対象船が増えると全体の総在港時間が若干長くなっている。

5. おわりに

本研究では、日本の港湾のハブ機能を取り戻すために、バースの共同利用による港湾コストの削減を考え、その運用に必要な船とバースを割当てる方法をGAを用いて検討した。計算結果から提案した解法は現状の2/3のバース数でも現状とほぼ同じサービスが提供できることが明らかとなった。

参考文献 [1] 今井昭夫, 西村悦子, 計画開始時刻を考慮した公共バースの割当法, 土木計画学研究・論文集, No. 15, 1998. 掲載予定