期待効用値を用いた最適コンテナ船荷役の近似解法

今井 昭夫*・三木 楯彦*

A Heuristic Algorithm with Expected Utility for an Optimal Sequence of Loading Containers into a Containerized Ship

Akio IMAI, Tatehiko MIKI

Abstract

It is rather difficult to obtain an optimal sequence of loading containers into a containerized ship by computerized algorithm because it has two different objective functions; optimization of vessel condition like GM, and minimization of the number of containers to shift for picking up target containers on a container terminal. This paper describes a heuristic algorithm for the optimal loading sequence problem. The problem formulated as an integer programming problem with one objective function including the expected number of containers to shift and the contribution rate for GM is solved by the algorithm which consists of two solution methods, i. e., the classical assignment problem by Hungarian method and the integer programming by branch and bound method.

In our algorithm a basic approximate solution is obtained by the assignment problem first. If the GM value associated with this solution is satisfied by the ship's condition, then this solution becomes optimal. Otherwise, a revised approximate solution, which offers a GM value more than or equal to the minimum GM, is calculated by the integer programming method.

1. はじめに

コンテナ船の船積みシーケンスの決定は、GM値等の本船コンディションを良好にし、かつシャーシ方式を別にすればヤード蔵置コンテナを取り出すときの障害コンテナのシフト数を最小にする必要があり、したがって船積み計画の立案は難しくそのコンピュータ処理化もあまり進んでいない。このような積み付け問題は、どの蔵置位置のコンテナを何番目に積み付けるかを決定することであり、ORの割当問題の一種と考えられる。しかし通常の割当問題として解を求めることは次の2点から容易ではない。

- ① この問題は本船コンディションの最良化と、蔵置コンテナのシフト数最小化という2目的問題である。
- ② 通常本船船倉内の積み付け位置は、積み付け順序と1対1の対応がある。したがって本船コンディションの1つであるGM値は積み付け順序を表す変数で表現でき、割当問題として定式化可能である。しかし蔵置コンテナのシフト数は積み付け順序を表す変数の線形結合としては表せられない。つまり各蔵置位置のコンテナに順番を独立に割り当てる段階ではシフト数は求められず、一連の順序付けを決定して初めて求められ、したがって割当問題として定式化が不可能である。

これらからたとえ①の問題が解決できたとしても、この種の割当問題の厳密解は総当たり法でなければ求められない^{(1),(2)}。

そこで今回、シフト数に期待値の概念を導入して、数理計画法によるコンテナ船積み付け計画の近似解法を提案する。

* 正会員 神戸商船大学(〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

2. 近似解法の概要

2.1 積み付け問題の前提

本近似解法では対象とする積み付け計画に次の仮定を置く。

- ① ヤード上の1 BAYの蔵置コンテナを本船の1 BAYに積み付ける問題を対象とする。
- ② 評価される目的関数は本船コンディションとしてのGM値と蔵置コンテナのシフト数の2つとする。
- ③ 蔵置コンテナは3段積みとし、取り出しは3段蔵置能力のストラドルキャリアで行う。したがってコンテナを持っているストラドルキャリアは3段に積まれているコンテナ上を通過できない。
- ④ 蔵置コンテナを取り出して本船に積む場合、ストラドルキャリアの走行距離を短くするため、通常蔵置コンテナを海側から取り出すが、そのために多くのコンテナのシフトが発生するときは山側から遠廻りして取り出すこともある。本問題ではこのような山側アプローチを許すと、その場合のストラドルキャリアの走行距離を1つの評価尺度にする必要があり、問題が複雑になる。そこで今回は蔵置コンテナを取り出す方向は海側だけとし、山側から取り出す迂回ルートは考えない。
- ⑤ 通常の積み付け作業で蔵置コンテナのシフトが発生した場合、その数が少なければエプロン上に仮置きしてシフトの増加を防いだりするが、本解法では被シフトコンテナは目的のコンテナ取り出し後、元の位置に戻すと仮定する。

2.2 近似解法の考え方

積み付け計画の数理計画的解法は先に述べた2つの問題点があり容易ではない。そこでこれらを次のように対処する。

① 2目的問題

多目的数理計画手法としては目標計画法 (Goal Programming)⁽³⁾ 等いくつか開発されているが、それらの解法は何れも容易ではない。多目的問題を通常の線形計画問題にする方法の1つは、複数の目的関数に重み付けを行って線形結合し、1目的関数にすることである。そこで今回はこの方法により積み付け問題を1目的関数にする。この場合問題になるのは元の目的関数に付ける重みであるが、次のように求める。

実際の積み付け計画を立案するプランナーは長年の経験から、本船コンディションとシフト数の2つの問題を考慮しながら積み付け計画を立案している。つまり人間が各目的関数に重みを付けて計画をしていると考えられる。そこでいくつかのプランナーの積み付け例のデータを主成分分析し、その第1主成分の係数をGMの目的関数とシフト数の目的関数の重みとする。なお厳密にはこれらの重みの値は、本船の前港での積み付け状態によって異なるが、積み付け例が少ししか入手できなかったため、今回はこの点に関する配慮は行わなかった。

② 積み付け順序とシフト数の関係

積み付け問題を割当問題として表す場合、蔵置位置とその積み付け順序を表す変数を用いて、式(1)のように制約式と目的関数を与える。

$$\begin{array}{ll}
 \text{Maximize } Z = c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + \cdots & \\
 \quad \quad \quad + c_{ij}x_{ij} + \cdots + c_{nn}x_{nn} & \\
 \text{subject to } x_{11} + x_{12} + \cdots + x_{1n} = 1 & \\
 \quad \quad \quad \vdots & \\
 \quad \quad \quad x_{n1} + x_{n2} + \cdots + x_{nn} = 1 & \\
 \quad \quad \quad x_{11} + x_{21} + \cdots + x_{n1} = 1 & \\
 \quad \quad \quad \vdots & \\
 \quad \quad \quad x_{1n} + x_{2n} + \cdots + x_{nn} = 1 &
 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Maximize } Z = c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + \cdots \\ \text{subject to } x_{11} + x_{12} + \cdots + x_{1n} = 1 \\ \vdots \\ x_{n1} + x_{n2} + \cdots + x_{nn} = 1 \\ x_{11} + x_{21} + \cdots + x_{n1} = 1 \\ \vdots \\ x_{1n} + x_{2n} + \cdots + x_{nn} = 1 \end{array}} \right\} \cdots (1)$$

ただし、 x_{ij} : i 位置のコンテナを j 番目に積むとき1, そうでないとき0を示す整数変数

しかし先に述べたように、蔵置コンテナのシフト数は通常の割当問題のように積み付け順序を表す変数の線形結合としては表せられない。つまりたとえば最下段の蔵置コンテナの積み付け順序を5番目にした場合、それを取り出すときにシフトを要する個数は、4番目までにどのコンテナを取り出したかによって異なる。したがって順番を独立に割り当てる段階ではシフト数は求められず、一連の順序付けを決定して初めて求められる。

そこで各蔵置コンテナに積み付け順序を与える時点での厳密なシフト数の代わりに、式(2)に示すような、ある i 位置のコンテナをある j 番目に取り出すときに必要な期待シフト数を考える。この期待シフト数は各蔵置コンテナに独立に順番を与える時点で求められる。

$$S_{ij} = \{1 - (j - 1) / (N - 1)\} B_i \quad \dots(2)$$

ここで、 S_{ij} : i 位置のコンテナを j 番目に取り出す場合の期待シフト数

B_i : i 位置のコンテナを最初に取り出す場合の障害コンテナ数

N : 船積みコンテナ個数

期待シフト数の求め方はまず図1の斜線で示したコンテナを最初に取り出すと仮定した場合の障害コンテナ数 B_i を計算する。これは図1で◎で示されているコンテナの総数である。そして例えば斜線のコンテナの取り出し順序を3番とするのであれば、3番までに障害コンテナがまだ取り出されずその位置に残っている確率を式(2)の $\{ \}$ 内のようにして求め、これに障害個数を掛けて期待シフト数とする。

図1 蔵置コンテナの取り出し方向と障害コンテナの状態

3. 積み付けシーケンスの主成分分析

主成分分析は多数の变量をもとに、それら变量に含まれる共通要素を抽出して、なんらかの指標を作るための多変量解析手法である。積み付けシーケンスを主成分分析する場合、元の変量数は式(2)で示される期待シフト数と、式(3)で示されるGM寄与率である。

$$G_{ij} = D_j T_i / \sum_i T_i \quad \dots\dots(3)$$

$$(i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, N)$$

ここで、 G_{ij} : i 蔵置位置のコンテナを j 番目に積み込むときのGM寄与率

D_j : 本船メタセンタ高さから、積み込み順番 j に対応した船倉内高さまでの距離

T_i : i 蔵置位置のコンテナの重量

そしてこれら2変数から式(4)のように新たに作られる指標が、積み付け計画の目的関数になる。

$$C_{ij} = \alpha S_{ij} + \beta G_{ij} \quad \dots\dots(4)$$

ここで、 C_{ij} : i 蔵置位置のコンテナを j 番目に積み込むときの合成評価値

GM寄与率とはある積み付け順序で(船倉のある位置に)積まれたコンテナが、GMにどれだけの寄与をしているかを示すもので、全コンテナのGM寄与率の合計が本船のGMになる。そして本船内の積み付け位置は図2のように積み付け順序で一意的に決められているので、順序を割り当てる時点で船倉内位置が決まり、したがってGM寄与率も決定できる。なおコンテナの重量はコンテナ中央に作用すると仮定する。

主成分分析の対象データは神戸港に寄港した、600TEU、2000TEU、2600TEU積みの3隻の神戸港積みコンテナの荷役データである。各船とも前寄港地でいくつかのコンテナを船積みしているので、既船積み分の少ない船倉(BAY)を抽出して主成分分析した。シフト数の変量としては2.2で述べた期待シフト数を用いる。当データのヤード蔵置状態は1ヤードBAYに複数船のコンテナが蔵置されている。その

番号は積み付け順序を示す						TIER
6	18	30	36	24	12	12
5	17	29	35	23	11	10
4	16	28	34	22	10	8
3	15	27	33	21	9	6
2	14	26	32	20	8	4
1	13	25	31	19	7	2
SLOT	6	4	2	1	3	5

図2 船倉への積み付け順序

ため期待シフト数の計算では、他船向けコンテナは障害コンテナには含めていない。またデータ数が少ないため、各船毎には主成分分析せず、全データで分析した。さらにGM寄与率の計算では各船のメタセンタ位置が必要であるが、それが不明であったので上甲板上に仮定し、寄与率の値はコンテナ1個の高さで除して無次元化した値を使った。

表1は分析結果であるが、ホールド積み、オンデッキ積みに分けて分析した。なおこれら合成変量は最も寄与率の高い第1主成分である。分析結果を見ると、オンデッキ積み、ホールド積み何れにおいても、GM寄与率と期待シフト数の重みの符号が逆、つまりGMを大きくしようとするとシフト数も大きくなり、その意味ではこの結果は妥当性があると考えられる。そして2変量の重みはほぼ同じであり、プランナーは結果的にはGMとシフト数をほぼ同じ程度に評価している結果となった。また主成分分析での合成変量の寄与率は、オンデッキ積みの方がかなり高くなっている。

以上の結果より、積み付け問題の目的関数の重みは符号が逆で、その絶対値を同じにすれば妥当と考えられる。

表1 積み付けシーケンスの主成分分析結果

積み付け位置	重み (因子負加重)		寄与率
	GM寄与率	期待シフト数	
オンデッキ	0.709554 (0.821339)	-0.704651 (-0.815663)	58.75%
ホールド	0.714192 (0.774151)	-0.699950 (-0.758714)	67.00%

4. 積み付けシーケンスの近似解法

4.1 問題の定式化

さて3. で述べたようにGM寄与率とシフト数は1目的関数に合成できる。そこで本問題を次式のように定式化して、数理計画的に解を求める。

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } \sum_i \sum_j C_{ij} x_{ij} \\
 & \quad (i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, N) \\
 & \text{subject to } \sum_i x_{ij} = 1, \sum_j x_{ij} = 1 \\
 & \quad \sum_i \sum_j G_{ij} x_{ij} \geq G^L \\
 & \quad x_{ij} \in \{0, 1\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

ただし、 x_{ij} : i 位置のコンテナを j 番目に積むとき1、そうでないとき0である整数変数

G^L : 最小GM

式(5)で不等号の式は本船に必要な最小GMよりも大きなGMを求めるための条件であり、もしこの条件式がなければ通常の割当問題になる。そこで本積み付け問題を図3のように処理する。つまりまず式(5)から最小GMの制約条件を除いて、通常の割当問題としてハンガリア法で解を求め、これを基本近似解とする。もし得られたGMが満足できれば処理終了とし、そうでなければ最小GMを与えて、式(5)の問題を分枝限定法により解き、改善近似解を求める。

この手順ではまず基本近似解を求めて、そのGMが不適当な場合、次に改善近似解を求める方法を取っているが、この方法より、はじめから最小GMを与えて改善近似解を求める方が適当だと思われる。しかし基本近似解の計算量より改善近似解の計算量の方が、通常はるかに多いので、このような手順にしている。

4.2 分枝限定法による改善近似解の解法

分枝限定法の処理手順は以下のとおりである。

(ステップ1) 式(5)の問題(P_0)の変数 x_{ij} の整数制約を取り除いた、式(6)のような連続緩和問題(C_0)をまず考え、これを線形計画法で解を求める。なおこの問題には実行可能解があると仮定する。

図3 近似解法の処理手順

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } \sum_i \sum_j C_{ij} x_{ij} \\
 & (i = 1, 2, \dots, N, \quad j = 1, 2, \dots, N) \\
 & \text{subject to } \sum_i x_{ij} = 1, \sum_j x_{ij} = 1 \\
 & \quad \sum_i \sum_j G_{ij} x_{ij} \geq G^L \\
 & \quad x_{ij} \geq 0
 \end{aligned} \quad \dots\dots(6)$$

(ステップ2) この解で全 x_{ij} が整数であれば、それが最適解である。もしそうでなければ非整数である x_{ij} を1つ選んで、次の2つの子問題 (P_1) と (P_2) を生成する。

(P_1): 問題 (P_0) において、その整数変数 x_{ij} を1に固定した問題

(P_2): 問題 (P_0) において、その整数変数 x_{ij} を0に固定した問題

(ステップ3) そしてこれらの問題それぞれについて、連続緩和問題 (C_1) と (C_2) を生成し、これを未分枝頂点とする。そして以下で示すルールで未分枝頂点を選び、これを上記のような解を求める処理を繰り返して、図4のように未分枝頂点を増やしていく。これら頂点の連続緩和問題の解が全て整数であれば、これを暫定解とし、問題の値を暫定値とする。なお暫定値を計算する場合、目的関数の期待シフト数の値は、決定された取り出し順での実際のシフト数に計算し直す。そして以下の条件のとき子問題の生成を止め (分枝の限定)、全ての分枝が終わった段階で、得られた暫定値の中で最大の値の解を改善近似解とする。

さて分枝限定条件と未分枝頂点選択ルールは以下のとおりである。

① 分枝限定条件

- (i) すでに暫定解が少なくとも1つ求まっている場合で、子問題の連続緩和問題 (C_n) の解に1つでも非整数の x_{ij} があったとき、この問題の値が最大の暫定値よりも小さければ分枝停止とする。
- (ii) 子問題の連続緩和問題 (C_n) の解が全て整数であれば分枝停止とする。
- (iii) 子問題の連続緩和問題 (C_n) に実行可能解がない場合分枝停止とする。

② 未分枝頂点選択ルール

- (i) 本問題は割当問題なので子問題の中のある非整数の $x_{i'j'}$ を1に固定すれば、式(7)に示す x_{ij} の集合 X_1 と X_2 は0に固定でき、この問題の子問題の変数が激減する。

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \{x_{ij} \mid i \neq i', j = j'\} \\
 X_2 &= \{x_{ij} \mid i = i', j \neq j'\}
 \end{aligned} \quad \dots\dots(7)$$

したがって一般に $x_{ij} = 1$ の未分枝頂点を選べば、早く新たな暫定解が求められる可能性が高い。そこで新たにできた子問題の頂点 ($N+1$) と ($N+2$) の両方が未分枝の場合、 $x_{ij} = 1$ の未分枝頂点を選ぶ。

- (ii) 頂点 ($N+1$) と ($N+2$) の一方だけが未分枝の場合は、その未分枝頂点を選ぶ。

(iii) 頂点 ($N+1$) と ($N+2$) の両方が分枝停止の場合、1つも暫定解が求まっていないときは最も最近に作られた未分枝頂点を、暫定解が1つ以上求まっているときは、その連続緩和問題の値が最大である未分枝頂点を選ぶ。

さて分枝限定条件の (i) で述べたように、子問題の連続緩和問題の値が、今まで求まっている暫定値の最大よりも小さければ分枝停止としている。最大化問題でこの分枝限定条件を用いるのは、整数問題の値 $\leq$ 連続緩和問題の値、が保証される場合である。本研究においては期待シフト数を用いているため、必ずしもこの条件が成り立つとは限らないが、分枝の増加を防ぐため (i) の分枝限定条件を課しており、そのためより大きな暫定値が求まる可能性を犠牲にしている場合もある。

図4 分枝限定法の分枝状態

5. 適用事例

5.1 基本近似解の例

適用事例としてまず基本近似解の積み付けシーケンスのパターンの例を示す。図5のようなヤード上3段積み12 SLOTに蔵置されている36個のコンテナを、6 SLOT, 6 TIERのコンテナ船のホールドに積み付ける。コンテナの重量は3~23トンで、図中重量を3区分してハッチングで表している。コンテナ船のメタセンタ位置は上甲板にあると仮定する。式(4)で示される目的関数での重みは($\alpha = -1$, $\beta = 1$)としている。

基本近似解は図5のようなシーケンスになり、コンテナ高さで除して無次元化したGMは3.83, つまり本船の重心Gは上甲板から約4段目のコンテナ位置になった。シフトはSLOT 2の最上段のコンテナを1番目に取り出すため、1回発生している。このコンテナ積みの場合、最大のGMは4.21で、最悪(改善近似解を求める場合に設定する最小GMと区別するため、以下最悪と記す)のGMは1.79であるので、仮想的な船であるため厳密には議論できないが近似解の値は良好だと思われる。

図5 基本近似解の計算例

5.2 ヤード蔵置パターンの変化による基本近似解の影響

つぎにヤード上3段積み5 SLOTに蔵置されている15個のコンテナを、3 SLOT, 5 TIERのコンテナ船の船倉に積み付ける場合を考える。なお船倉への積み付け順序は図2と同じパターンとする。蔵置コンテナの重量は4~24トンとし、蔵置パターンを変化させ、つまり取り出し難さを変化させて、基本近似解の違いを考察する。

そこでまずコンテナの蔵置状態を表す指標を定義する。キャリア方式でコンテナを取り出す場合、取り出す状態だけで考えれば、図6のような鋸歯状式に取るのが最良と考えられている。したがってこの理想的な取り出し順序に従って重いコンテナが蔵置されていれば、理想的な取り出し順序で最大のGMが得られる。そこでこの状態を理想蔵置と呼び、そしてある蔵置状態が与えられたとき、式(8)のように各コンテナの位置とそのコンテナの理想蔵置における位置の距離の差を合計する。この値 R を蔵置指数と呼ぶことにする。したがって蔵置指数の値が大きければ理想蔵置状態との乖離が大きいことになる。なお距離差はヤード上のSLOT方向の距離差の絶対値とTIER方向の距離差の絶対値の和とする。

図6 蔵置コンテナの理想的な取り出し方

$$R = \sum_y |y - Q_y| \quad \dots\dots(8)$$

ただし、 y : コンテナの蔵置位置

Q_y : y 位置のコンテナの理想蔵置での位置

なおいま考えている本船の船倉は3 SLOT, 5 TIERであるのでGMを考えた場合、あるコンテナを1番目に積むのも6番目または11番目に積むのも、船倉では同じ高さに位置する。したがってある1個のコンテナは理想蔵置上の位置は3つ考えられる。そこで R の計算時、例えば重量順での上位3個のコンテナは R 値が最小になるよう、それらの理想蔵置での位置は3個の中で交換可能とする。

図7 蔵置状態の違いによる基本近似解の変化

図7は乱数を発生させて、それにより蔵置パターンを設定した場合の基本近似解のGMとシフト数である。蔵置指数は0～26であり、同じ指数値を持つ蔵置パターンが複数存在する場合は、GMとシフト数はその平均で表している。目的関数の重み (α , β) はそれらの絶対値の和が2になる条件の基で、表2のように5ケース設定した。 α はシフト数の重みであるので、絶対値の値が大きくなればシフトが少なくなるように目的関数の値が評価される。 β はGM寄与率の重みであるので、絶対値の値が大きくなればGMも大きくなるように目的関数の値が評価される。なおこのコンテナでは最大GMは3.15、最悪が1.85である。

図7によるとケース5 ($\alpha = 0$, $\beta = 2$) はシフト数は評価せずGMだけを評価するため、各蔵置パターンともGMは最大値である3.15になっている。その場合のシフト数は概ね蔵置指数値に比例して大きくなっており、妥当な結果といえる。他のケースに関しては、蔵置指数が大きくなるにしたがってGMは小さく、シフト数は多くなっている。つぎに (α , β) の変化の影響については、 β が小さくなるほどGMとシフト数は減少しており当然の結果となった。

以上より本船のコンディションが違えば、(α , β) を変化させることにより、その船に適した積み付けができる。つまり本船に必要なGMが小さければ、 α の絶対値を大きくしてコンテナシフト数を少なくすればいいし、逆に大きなGMが必要であれば、 β を大きくすればよい。

5.3 改善近似解の例

つぎに基本近似解のGMが適当でない場合、最小GMを与えて改善近似解を求めるが、その場合の計算例を示す。ここでは5.2の条件で蔵置指数が16の蔵置パターンで、最小GMを変化させて解の傾向を検討する。なお目的関数の重みは ($\alpha = -1$, $\beta = 1$) としている。

図8は基本近似解と各最小GMを与えた場合の改善近似解の内容であるが、最小GMを上げるにしたがって改善近似解のGMも上がり、シフト数もそれに比例して大きくなっている。

このように改善近似解は希望するGMを与えるが、先に述べたように改善近似解に要する計算量は基本近似解に比べてはるかに多い。GMは先の基本近似解で示したように (α , β) を変えることによって変化する。したがって (α , β) とGM、シフト数の定量的な関係が明確化できれば、基本近似解で満足なGMを得られる。今回はこの関係について深い考察は行わなかったが、今後行う余地がある。

表2 設定した目的関数の重み

ケース	α (シフト)	β (GM)
1	-1.00	1.00
2	-0.75	1.25
3	-0.50	1.50
4	-0.25	1.75
5	0	2.00

図8 改善近似解の計算例

6. おわりに

本研究ではコンテナ船荷役での、コンテナ積み付けシーケンスの最適化手法について検討した。もともとこの問題は多目的問題であるが、本研究ではGM値とコンテナシフト数の2目的問題に限定して検討した。シフト数を期待値で表し、さらに実際の積み付け計画例のデータを主成分分析することにより、これら目的関数を単一目

的関数に合成して数理計画的に解を求めた。この解法はヤード上の1 BAYのコンテナを本船の1 BAYへ積み込む場合に限定しているが、適用事例で示したように有効な近似解法であるといえる。

今後 (α, β) と GM, シフト数との定量的な関係を分析して、より短時間で近似解を求めるようにし、さらに複数ヤード BAY から本船の複数 BAY への荷役に拡張し、目的関数に本船の強度を含めた問題へ検討を進めたい。

参 考 文 献

- (1) 玉井修一：コンテナヤードオペレーションにおけるOR的研究，神戸商船大学博士論文，1976.2
- (2) 岡村修司：コンテナ船の積み付け計画におけるGM値の性質，神戸商船大学修士論文，1985.1
- (3) 玄 光男：線形計画・目標計画プログラム，電気書院，1985

質 疑 応 答

渡辺 豊（東京商船大学）：コンテナの荷役問題は、自動化がなかなか難しいといわれている中で、このような方法を提案されたことは、大変重要な研究であると感じております。そこで一つお教え願いたいのですが、現実のコンテナヤードでは、複数のバースがあり蔵置場所がいくつかあるのが普通であり、荷役も各バースと蔵置場所が横断的に行われることがあると思われます。この手法はこのような問題に対して、発展的に対応付けができるのでしょうか。

今井昭夫（神戸商船大学）：今回はヤード上1 BAYから本船上1 BAYの荷役を対象にしています。したがってこの手法のままでは複数BAYから複数BAY，さらに複数バースから複数船への荷役には使えません。本手法をこれらに応用するには、例えば、複数BAYであれば各BAY独立に本手法で計算するか、各BAYの荷役に重み付けを行って、複数BAYを1目的関数で評価して計画を立てる方法が考えられます。

山田猛敏（東京商船大学）：(1)計算の制約条件におけるGMの上限値に対する考慮について。

(2)目的関数の重み係数の説明に関して、前刷りの式(1)では α はGM, β はシフト数であるのに対し、論文の表2ではその逆としている点について。

今井昭夫（神戸商船大学）：(1)論文の式(5)中の不等式、 $\sum_i \sum_j G_{ij} x_{ij} \geq G^L$ がGMの下限の制約ですが、もしGMの上限値を設定するのであれば、同様に $\sum_i \sum_j G_{ij} x_{ij} \leq G^U$ (GM上限値)，という制約式を式(5)に設定すれば容易に対応できます。

(2)発表および本論文では α をシフト数, β をGMの重みとしており、前刷りと逆になっています。前刷りと発表および論文が逆になっていることをお詫びし、前刷りの方を本論文のように訂正させていただきます。