フェリーボートへの自動車の最適積み込み計画に関する研究

永岩健一郎*・山田 猛敏**

Research of Loading Plan of Cars into a Ferryboat

Ken'ichiro NAGAIWA and Taketoshi YAMADA

Abstract

A car loading into a ferryboat depends on an experience and an intuition of a planer, and a type of incoming car and an order of the arrival differ every ferry-service, so it is not easy task to plan the best loading every time.

In this paper, we establish the best plan of car loading, and examine a solution to the effective method.

We clarify that a cutting plane method has an instability in its convergence and a backtrack method needs a long calculation time.

So, we developed a heuristic loading algorithm and carried out some case studies. As a result, we certified that it was an effective algorithm of good convergence-rate and quick computation time.

1. はじめに

わが国は大小の島々から成り立っている。自動車交通の普及と共に、その主たる島々は橋梁により結ばれてきている。しかし、橋梁の整備されていない島々との自動車交通には、フェリーボートを利用せざるをえない。現在、229航路に484隻のフェリーボートが就航している。航路は、大別すると配船トリップパターンと地理的接続パターンとに分けられる。配船トリップパターンは、2港間往復型、多港間往復型、多港間巡回型の3つに分類することができる。また、地理的接続パターンは、陸路が迂回して海上がバイパス路となっているバイパス型、4島（北海道、本州、四国、九州）と周辺の離島を接続する4島離島間接続型、離島と離島を接続する離島間接続型、陸路と航路が平行している陸路競合型、北海道、本州、四国、九州間を接続する4島間接続型に分類することができる。この中で、陸路競合型、バイパス型、4島間型（北海道を除く）は代替交通路として陸路または橋梁が存在するが、その比率は27.5%である。つまり、多くの航路では、代替交通路が存在しない絶対的立場で運営がなされている。そのうえ、フェリーボートの運航ダイヤは離散的であり、その利用に関して、自由度は決して高いとは言えない。

我々の実態調査により、利用者が目的の出発便に乗船するつもりで、フェリーターミナルに到着しているながらも、積み込みの方法によって、必ずしも乗船できない場合が発生することが観測された。それは、自動車の積み込み作業が、作業員の経験と勘に大きく依存しており、到着してくる自動車の車種およびターミナルへの到着順が各便毎に異なるため、その都度最適積み込み計画を行うことが容易でないためである。物理的に乗船できないのではなく、積み込みの方法により積み残されると、次便までの無駄な待ち時間は、利用者にとっては大きな不利益となる。

一方、積み込みの最適化は、利用者へのサービス向上と共に、運航者側にとっても積載率の向上につながる。

そこで、本研究では、フェリーターミナルに到着する自動車を、フェリーの車両積載甲板に、最適に積

* 正会員 広島商船高等専門学校流通情報工学科（〒725-02 広島県豊田郡東野町4272-1）

**正会員 東京商船大学（〒135 東京都江東区越中島2-1-6）

み込む計画を支援するシステムを提案するものである。積み残しへの対処としては、臨時便の運航や運航間隔の短縮といった方法を用いることも可能であるが、今回は考慮しないことにする。

2. 自動車積み込みのシステム化に関するアプローチ

フェリーボートの利用者は、目的の出発時刻に対して一定の余裕をもってフェリーターミナルに到着する。長距離の大型フェリー航路等は、出港の数時間前を乗船手続きの締切時刻としている場合もある。

各航路を利用する自動車の車種は、ある一定の分布をしているようであるが、自動車がターミナルに到着する順番ごとの車種は、各便ごとに異なる。

自動車のフェリーボートへの積み込みは、一般の貨物の積み込みの場合と異なり作業員の指示により利用者が自ら運転して行っている。そのため、車両積載甲板には、積み込みの誘導のために自動車の全幅と自動車からの乗降を考慮してレーンが設けられている。フェリーボートにおける自動車の諸元の定義は、道路運送車両法の規定に基づいている。道路運送車両法による自動車の諸元は、全幅は2.5m以下、全長は12m以下と規定されている。大小様々な自動車を比較してみれば、全幅の最小値と最大値の間隔は、全長のそれより格段に小さい。それに、フェリー運航規則により危険物車両などの特殊な自動車の運転者以外は客室へ乗船することになっている。そこで、車両甲板上で乗降スペースが必要となるため、自動車はレーンに従って直列に積み込まれているようである。

図1 フェリーボートへの自動車の積み込みの例

Noの数字は到着順

括弧の数字は自動車の全長

斜線部の数字は残りスペース

積み込まれる自動車は、ターミナルへの到着順に陸揚げ順が考慮され、中央のレーンを基準に、残りスペースの大きいレーンに誘導されている。しかし、このアルゴリズムによれば、積み込みの最適化は、積

み込んでいく途中の判断に依存してしまい、結果的に積み残しが発生しているようである。図1(a)に示すように、レーンに僅かずつスペースが残ることになる。この場合は、残りスペースの和が4 mとなるが、もし4 mの自動車が、13番目に到着し乗船待ちをしているとしても、このままでは乗船できないことになる。

そこで、図1(b)に示すような最適積み込み計画を、積み込み以前に立案することが出来れば、この自動車は乗船できることになり、積載台数が増加し積載率の向上になる。

そこで、物理的に乗船可能な台数の自動車が、ターミナルに到着してから出港時刻までの比較的短時間に、最適積み込み計画の立案を支援するシステムの開発を目的として、以下に示すような定式化を行い、解法の検討を行った。

この問題の特徴は、一般の貨物積み合わせ問題では考慮されていない、到着順に積み込み、積み卸すことを考慮している点である。

(1) 定式化

到着する自動車の全長は、厳密には各車異なるわけであるが、積載時の前後間隔を考慮して、フェリー運賃表にあるように3 m以上4 m未満を切り上げて4 mの車とし、各1 mステップ毎に区分することにする。

自動車の全幅は、各レーンへの積み付けを直列と考えるため、一定とする。

自動車の重量は、積み込み時にも考慮されていないため、パラメータに含めないことにした。

・定式化

制約条件式

$$\sum N_j \leq \sum_{i=1}^M L_i \quad (1.1)$$

ただし、

N_j : j 番目に到着した自動車の全長

M : レーンの数

L_i : i 列目のレーンの長さ

$\sum N_j$: 到着してくる自動車の全長の累積和で、 Σ は j について条件を満足するまで集計するものとする。

$$\sum_{j=1}^{j_{\max}} N_j X_{ij} \leq L_i \quad (i=1, M) \quad (1.2)$$

ただし、

$X_{ij} = (0 \text{ or } 1)$: j 番目に到着した自動車を i 列目のレーンに割り付けるとき1, そうでないときは0

$j_{\max}$: 総レーン長に対する可能積み込み台数で、制約条件式(1.1)における j の最大値

$\sum N_j X_{ij}$: レーン i における積み込み長さ

$$\sum_{i=1}^M X_{ij} = 1 \quad (j=1, j_{\max}) \quad (1.3)$$

$$\text{全ての変数が整数} \quad (1.4)$$

目的関数

$$\max \sum N_j \quad (1.5)$$

この問題は、線形計画問題に帰着できるが、線形計画問題は実数変数にて解を求めるわけであり、全変数が整数であるという条件があるために、線形計画問題の強力な解法であるシンプレックス法を用いても、解が整数として求められるとは限らない。

そこで、この問題の最適化計算は、整数計画法によって解くことができる。整数計画法の代表的な手法を以下に述べ、計算の適用と問題点を検討する。

また、この問題では、制約条件式(1. 1)は満足しても、自動車1台が単位であり、整数条件のため各レーンへの積み込みが物理的に困難なケースが発生する。そのため、積み込み不可能を当初判断しなければならないのであるが、到着順に重みを大きくして計算しても、計算が終了しないと判断できない問題点がある。

3. 厳密解法

全整数区間の代表的な厳密解法の手法として、切除平面法とバックトラック法および分枝限定法がある。ここでは、これらの解法を説明し、例題の計算を行ってそれらの特徴を調べ、適用性等を比較検討する。

3.1 切除平面法

この解法は、すべての変数が整数であるという制約条件式のある線形計画問題の解法として、提案された手法である。この方法は、まず全ての変数に対する整数条件をゆるめ、その結果得られた線形計画問題を解くことから始まる。

その結果が、全て整数であれば条件を満足しているので終了する。しかし、実数解である場合がほとんどである。そこで、次の性質を持つ制約条件式を新たにつけ加え、最初の問題と同値な問題を次々に作っていき、最適解に到達しようという方法である。すなわち、整数条件をゆるめた場合のシンプレックスタブローが終了した時点で、求められた独立変数の値の最も大きい小数部分を持つ変数を取り、新しい制約条件式を得るために、その制約条件式内のすべての係数をこれらと合同(2つの数はこれらの差が整数あるいは0のときに合同であるという)な非負の数で置き換えて得られた式が、右辺の定数の小数部分より大または等しいという不等式をつくるだけでよい。

例えば、この条件を満足する次のような行が得られたとする。

$$X1+1.7 \cdot X2-1.5 \cdot X3+0 \cdot X4-5.6 \cdot X5+1.2 \cdot X6=15.5$$

この制約条件式から、新しい制約条件式は、次のように、

$$0 \cdot X1+0.7 \cdot X2+0.5 \cdot X3+0 \cdot X4+0.4 \cdot X5+0.2 \cdot X6 \geq 0.5$$

変換される。この制約式をスタート時点のタブロー表に加えて、解き直して行く。これを、理論的には有限回の繰り返しで、最適解が求められることも証明されている。

今回は、文献(2)に基づき、実数型のシンプレックスプログラムに以上のアルゴリズムを付加して、プログラムの開発を行い、有用性を検討した。

3.2 バックトラック法

現在、整数計画法で広く用いられているのは、分枝限定法である。しかし、この問題の解法に分枝限定法を用いる場合は、分枝操作が複雑になり、生成される解かれてゆく副問題の列挙木のサイズが増大すると考えられる。しかも、最適解を求める過程では、分岐して出来た既存組み合わせをすべて記憶しておかなければならないため、使用する計算機の記憶容量に依存してしまう。また、前述したように、各便毎の車種別到着分布は常に一定値を有する定常的なものではなく、同一分布をしていても到着順は異なる場合がほとんどである。そのため、各便毎に少しずつ異なる問題を、最初から解いてゆく必要がある。このように、分枝限定法をこの問題に適用することは、極めて困難である。そこで、最適解を求める手法として、系統的な総当たり法であるバックトラック法を用いた。

バックトラック法は、系統的なトリートメントを同一組み合わせがないように生成し、自動車を各レーンへ割付

けながら、レーン長の上限を超えたならばトリーの変更を行って、最適解が見つかるまで繰り返し計算を行う解法である。

そこで、次のようなレーンに割り付けるためのレーン数 M と同次元で、 i 番目のみが1その他は0であるベクトル f_i ($i=1, M$) をつぎのように定義して、系統的なトリーの生成に用いた。

$$f_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, f_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \dots, f_M = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$N = \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_{jmax} \end{pmatrix} \quad L = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ LM \end{pmatrix}$$

$$F = [f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_{jmax}}], (i_1, i_2, \dots, i_{jmax}=1, M)$$

ただし、

N : $jmax$ 次元の列ベクトルであり、 N_j は到着順 j の自動車の全長

L : M 次元の列ベクトルであり、 L_i は i 列目のレーンの長さ

F : $M \times jmax$ 行列であり、各列のベクトル f_i はお互いに独立として、 $i=1, M$ まで系統的に変化させる

として、つぎの制約条件式

$$Y \cdot N \leq L \quad (3.1)$$

を満足するまで、繰り返し実行するプログラムを開発した。総当たりの後、前述した積み込み不可能で解が求められない場合は、最後に到着した車両を削除して、再度実行する。

3.3 計算例と各手法の比較

切除平面法とバックトラック法において以下の例題を解いたが、ここではその結果を示し各手法の特徴を比較した。なお、計算には、一般に広く普及しているパソコン (CPU80386, 16MHz, メインメモリ640K バイト) を使用した。車両の到着分布は、東京湾フェリー航路を用いている (図2参照)。輸送車両の全長分布に基づき、モンテカルロ法により、到着してくる車両の大きさを決定することにする。

表1 切除平面法による計算結果

(1) 切除平面法の例題

表1に示すような車両甲板2種類に対し計算を行ってみた。手法の評価として、各ケースについて、到着してくる車両の分布を乱数の初期値を変えることにより変化させ試行を繰り返し、計算時間を求めた。また、切除平面法は、一般に解の不安定性があると言われていたため、収束率を求めることにする。

例題としては、レーン数、レーン長が若干小さいが、パソコンの主記憶容量の制限から、これ以上大き

No	レーン数	レーン長	相当船型	平均到着台数	平均計算時間	標準偏差	収束率
1-11	4	40m	1000GT	30.3台	8分3秒	4分53秒	77.0%
1-12	4	80m	2500GT	61.6台	24分8秒	12分57秒	82.5%

(試行回数200)

いモデルへの適用ができなかった。

(2) バックトラック法の例題

バックトラック法は、最悪の場合は総当たりをするわけであるから、必ず最適解に到達する。しかし、計算時間が幾何級数的に増大するので、到着台数に対する計算時間を求めることにした。レーン数は4レーンとし、1レーンの長さを少しずつ長くして、到着台数を徐々に増加させながら計算を行った。到着台数が同数でも到着車両の分布によっては、計算時間が変動するので、試行を繰り返し平均値を求めている。その結果を、図3に示す。

図2 東京湾フェリー航路の利用車両の全長分布
(久里浜-金谷)

図3 バックトラック法における計算時間 (試行回数100)

(3) 計算結果と考察

例題の結果から、次のことがわかる。

- ① 切除平面法は、最適解への収束が早い場合もあるが、一般に言われているように小規模問題に対しても計算の不安定性が確認された。理論的には有限回の繰り返しで最適解が求まるわけであるが、計算時間が長くなることや、条件が新たに付加されて行く過程で徐々にシンプレックスタブローが大きくなってしまい、計算機の記憶容量を超えてしまうこと等の問題が発生した。また、繰り返し計算の回数が増加すると、有効桁数の問題や桁落ち等の問題が発生した。
- ② バックトラック法は、最適解に全て到達するが、計算時間が長く、最大積載台数が少ないフェリーへの積載計画には適用できるが、積載台数が多くなると適用が難しくなる。今回、使用したパソコンでは、到着台数15台までが適用可能と思われる。

現在、計算機の処理能力が飛躍的に進歩しており、徐々に適用範囲は拡大していくと考えられるが、積載台数が1台増す毎にレーン数に応じて、計算時間が幾何級数的に増大していくため、計算負荷の少ない手法を適用することが望ましいと考える。

計算結果より、厳密解法である切除平面法及びバックトラック法のいずれも、解法としては適用困難なことがわかる。また、到着順を無視して、各全長毎に集計し、積み込み計画を行う方法も検討したが、計算効率の向上にはならなかった。

そこで、現状の積み込み作業を基本とした、ヒューリスティックな解法アルゴリズムを近似解法として検討した。

4. 近似解法

以上示したように、整数計画法の代表的な解法である切除平面法、バックトラック法のどちらを用いて

も解の不安定性, 計算時間の問題などが残る。そこで, 積み込みアルゴリズムを近似解法として提案し, また, 作業員の経験を積み込み以前に有効に活用するために, 計算アルゴリズムによる積み込みの過程をグラフィック表示させ, 計算機との対話を可能にし, 効率的に積み込み計画を行えるシステムの開発を行った。

(1) 積み込みアルゴリズム

このアルゴリズムは, 通常行われている到着順に, 残余長の最も長いレーンに順番に積み込む方法に基づいて積み込みを行い, 制約条件式 (1. 1) を満足しているのに, 積み残しが生じた場合に各レーンの残余長のうち最も長いレーンに注目して, そのレーンを積み込み待ちをしている自動車を積み込める長さにまで拡張するものである。

使用する記号の説明は以下のとおりである。

- M : レーンの数
- Li : レーン i の長さ
- Nk : k 番目に到着した車の長さ
- Ts : 予定積み込み台数
- Ls : 予定積み込み長さ
- q : 乗船待ち台数
- Qt : 乗船待ち順番 t の自動車の長さ
- Ti : レーン i の積み込み済み台数
- Yi : レーン i の積み込み済み長さ
- Sij : レーン i の j 番目に積み込まれた自動車の長さ

各ステップ毎に, グラフィック表示しながら計算を進め, オペレータはグラフィック画面との対話が思考錯誤的に行えるようになっており, 最適解を探索できたら, 何時でも割り込み可能なシステムとなっている。

手順 1. $Ls = 0$, $Ts = 0$, $k = 1$, $Ti = 0$ とする。

手順 2. $Ls > \sum Li$ となる直前の自動車まで積み込み可能であり, 到着順に自動車を図 1 に示したような, 通常行われている最長残余レーン i に, $Ts = Ts + 1$, $Ls = Ls + Nk$, $Yi = Yi + Nk$, $Sij = Nk$, $k = k + 1$, $Ti = Ti + 1$, $j = Ti$ とし積み込みを行いながら手順 2. を繰り返す。

手順 3. $Yi \leq Li$ であれば最適積み込みとなり終了する。

手順 4. $Yi > Li$ であれば $Yi \leq Li$ となるまで, そのレーンの最後尾の自動車を積み卸し, 到着順番の早い順に乗船待ち行列に並べる。手順 2. においては, 各レーンに積み込みながらも, 到着してくる自動車の長さを直線的に累積して乗船可能の判定をしている。そのため, 各レーンに割り付ける場合には積み込み不可能となる組み合わせが考えられる。すなわち, 降着順に乗船の可能性はあるが最悪の場合には, 乗船できないことになる。

手順 5. レーン i における残余長 ($Li - Yi$) が, i 以外のレーン m に割り付けられている自動車の長さと同じか長いものがあればレーン i に移動させる。もし移動可能であればそのレーン m の残余長は拡張されたことになり, q の先頭の車両を積み込んで ($q = q - 1$) $Ym \leq Lm$ を満足し, $q = 0$ となれば手順 9 へ進む。

手順 6. $q \geq 1$ であれば, 残余レーン長の長い順に, レーン i の j 番目に積み込まれている車両とその他のレーン m の n 番目に積み込まれている車両の長さの差 ($Sij - Smn$) とレーン i の残余レーン長 ($Li - Yi$) の和 $\{(Sij - Smn) + (Li - Yi)\}$ が Q_1 と等しいか長く, かつ車両を入れ替えた場合に $Ym \leq Lm$ を満足する組み合わせを探索する。探索ができたならば q の先頭の車両を積み込んで ($q = q - 1$) 6. を繰り返し, $q = 0$ となれば手順 9 へ進む。

手順 7. 探索ができなければ, ($Sij - Smn$) が正であり, かつ車両を入れ替えた場合に $Ym \leq Lm$ を満足する組み合わせを探索し, その都度車両の交換を行って, レーン i の残余長を拡張して行き, Q_1 と等しいか長くなれば, 積み込みを行い ($q = q - 1$) 7. を繰り返し, $q = 0$ となれば手順 9 へ進

む。

手順8. 手順1. ~ 7. まで実行しても $q \geq 1$ であり, その車両が最降着順であれば, この時点で q については乗船不可能と判断して手順9へ進む。そうでなければ, 最降着車両を q に加えて手順4へ戻る。

手順9. 車両の移動を行うと到着順が変動するため, 積み卸し優先順に車種毎, レーン毎にソーティングを行い, その結果を最適積み込みプランとして, 計算機の画面とプリンターに出力する。

(2) 計算結果と分析

計算は, 3章の例題に加えて大きい問題について行ってみた。その結果を表2に示す。

この結果より, 本研究で提案した近似解法は, 厳密解法である切除平面法, バックトラック法と比較すると, 収束率ではバックトラック法に若干及ばないものの比較的高く, 処理時間は格段に短く, 最適積み込み計画の支援システムのアルゴリズムとして有用であると思われる。

それに, 比較的大きいモデルに対しての処理時間も短く, また大きいモデルほど収束率が向上する。収束率が向上するのは, 自動車数が多いほど, 入れ替え候補が多くなり, 結果的に早く収束するためと思われる。

ただ, 収束しないケースは, 自動車を1対1で比較しているため, 手順6., 手順7. で入れ替えの候補が存在しない場合である。その対策としては, 1対2の組み合わせかそれ以上を考える必要がある。しかし, アルゴリズムが複雑になり, 最終的には総当たりに近い近づいていくため, 処理速度の低下が生じるものと思われる。この問題に対しては, 車両甲板のサイズと処理速度との関係として, 今後の課題としたい。

表2 積み込みアルゴリズムによる計算結果

NO	バース数	バース長	相当船型	平均到着台数	平均計算時間	標準偏差	収束率
ケース1	4	40m	1000GT	30.3台	4.5秒	0.9秒	86.7%
ケース2	4	80m	2500GT	61.6台	7.5秒	1.2秒	96.0%
ケース3	6	100m	5000GT	113.8台	16.1秒	2.6秒	97.7%

(試行回数200)

5. おわりに

本研究では, フェリーポートへの最適積み込み計画を定式化し, 最適解の解法を検討した。厳密解法である切除平面法には解の不安定性が見られ, バックトラック法は処理時間の問題があり, 現時点においては有用性が低いことが明らかになった。そこで, 近似解法として, 積み込みアルゴリズムを提案し, ケーススタディを行った。その結果, 近似解法は収束率は高く, 処理時間も十分満足できる範囲であり, 有用な手法であることが確認された。

また, 運用上収益性の高い車両の積み込みを優先したい場合には, 到着順を優先順に変更すれば, 容易に可能となる。

ただし, 何れの手法を用いても, 制約条件式(1. 1)を満足するが, 積み付け不可能を積み込み計画プログラムを実行する以前に判定できない。その判定のためにも, 実用上計算負荷の少ない手法を用いる必要がある。整数計画で定式化される問題は多いと思われるが, 現時点では, 処理速度が速い一般解法が提案されていない。計算機の進歩はあるものの, 計算負荷の少ない方法の検討は必要であると思われる。

最後に, 本研究を行うにあたり多大なご協力をいただいた全国のフェリー会社の方々, 特に実態調査を行った中四国フェリーの竹原・波方自動車航送組合の方々, 整数計画法について有益な助言をいただいた東京商船大学福田平八郎教授, データの収集整理と画面設計, システムの試行実験については, 広島商船高等専門学校流通情報工学科2期生谷本陽子, 木村直子両名の協力によるところが大きく, ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 運輸省地域交通局海上交通課: 全国フェリー・旅客船ガイド, 1991年下期号
- (2) 金田数正: OR 手法と FORTRAN, 内田老鶴圃, 1985
- (3) ELLIS HOROWITZ, SARTAJ SAHNI: FUNDAMENTALS OF COMPUTER ALGORITHMS,

COMPUTER SCIENCE PRESS, 1978

- (4) Edward M. Reingold, Jurg Nievergelt, Narsingh Deo : Combinatorial Algorithms Theory and Practice, PRENTICE-HALL, 1977
- (5) 永岩健一郎：国内中短距離フェリー航路の基礎分析, 広島商船高等専門学校紀要, 第14号, pp. 201-208, 1992
- (6) 岡田章子, 田辺真由美：中四国フェリー航路の実態調査に基づく将来予測, 広島商船高等専門学校流通情報工学科1989年度卒業論文
- (7) 谷本陽子, 木村直子：フェリーにおける車両の最適積み込みについて, 広島商船高等専門学校流通情報工学科1990年度卒業論文
- (8) 相良信子：数理計画法入門, 森北出版, 1983
- (9) 小野勝章：計算を中心とした線形計画法, 日科技連, 1976
- (10) 今野 浩, 鈴木久敏：整数計画法と組み合わせ最適化, 日科技連, 1982

質 疑 応 答

今井昭夫(神戸商船大学)：① 既往の Cutting Stock 問題で本問題に適用できるものがあるかどうか。もしあれば, 著者の開発したものと何らかの比較をされたのか教えてください。② 近似解法の解の良さはどの程度でしょうか。収束率としては分かりますが, 最悪の場合, 平均の場合, どの程度積み残し(積み残しがでた解の発生件数でなく)が発生するのか教えてください。③ 計画が早くできて, 実際に荷役する時間が長くなると実用性が低下する危険がありますが, この点について開発された解法はいかがでしょうか。

永岩健一郎：ご討論ありがとうございます。

- ① 既往の Cutting Stock 問題においては, 今回の問題で考慮した先入れ先出しが考慮されていない点と一般に解法のアルゴリズムが対象としている問題に固定されているため比較検討はいたしておりません。
- ② 近似解法において収束する解は, 全て最適解であります。非収束率が, このアルゴリズムにおける誤答率となります。収束した場合は積み残しは発生しませんし, 非収束の場合でも積み残しがあるから収束しないわけではなく, このアルゴリズムの不備であります。条件式(1. 1)において一時的に積み込み可能と判断された自動車を計算後, 積み込み不可能と判断するため, この場合での積み残しは発生します。しかし, 物理的に乗船できませんので, 厳密には積み残しとはならないため, 発生率は求めておりません。
- ③ この問題に検討した厳密解法及び近似解法における最適解は, 先ほども申しましたように, 先入れ先出しの制約条件がありますから, 荷役時間に影響を与えることはありません。