

一般論文

マーシャリングを最小化する海上コンテナの直感的蔵置方法

張 寧*、渡 邊 豊**

Intuitional Algorithm of Stacking Marine Containers to minimize Marshalling

Ning ZHANG* and Yutaka WATANABE**

船積みされる大量の海上コンテナは、港湾の敷地が限られるため事前に港湾内に多段に蔵置される。船舶の洋上での安全性の観点から、船積み時には、蔵置から重たいコンテナを先に取り出して船倉に荷役する必要がある。しかし荷主は、重さとは無関係に海上コンテナを港湾に届けるので、到着順に海上コンテナを蔵置すれば、軽いコンテナの下に蔵置された重いコンテナを取り出すためのマーシャリング（再荷役・荷繰り作業）が発生する。マーシャリングは、時間・労力・コストが無駄になり貨物の荷痛みも生じるので、軽減すべきである。本研究は、重さに無関係に時間的に不規則に港湾に到着する海上コンテナに対して、優勢な海上コンテナの到着が劣勢な到着を港湾敷地占有において凌駕してゆく、直感的な蔵置アルゴリズムを提案する。このアルゴリズムによりマーシャリングを最小にできることを、実在した海上コンテナの港湾への到着データに適用して立証する。

Hundreds of thousands of containers are stacked at port terminals waiting to be loaded into ships because of limited space in the ports terminals. Heavier containers have priority to be loaded onto ships first to ensure safe stability of ships at sea. There are two ways to assign priority. One is active marshaling of containers to discharge heavier containers first if heavier ones are stacked below lighter ones. Such stacking conditions often occur when port terminals accept containers delivered by shippers and stack them irrespective of their weights. The other is no marshaling, with direct discharge from heavier available containers because all containers have been stacked automatically: the heavier containers are always stacked onto lighter ones, irrespective of the timing of their delivery to the terminals.

This paper presents a proposal for an intuitional algorithm that supports the latter, based on the concept of the game of Go. Real information related to exporting containers delivered to the Port of Yokohama in Japan was applied to prove the algorithm.

キーワード：荷役、港湾物流、荷傷み、港湾混雑、船体安定

Keywords: cargo handling, port logistics, cargo damage, port congestion, ship stability

* 東京海洋大学大学院, Graduate School of Tokyo University of Marine Science and Technology.

** 連絡者(Corresponding author), 東京海洋大学大学院 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6),
Tokyo University of Marine Science and Technology, 2-1-6 Etchujima Koto-ku, Tokyo 135-8533, Japan,
TEL: 03-5245-7370, FAX: 03-5245-7370, Email: ywatana@kaiyodai.ac.jp

1. はじめに

海上コンテナは、多数の荷主群から港湾に運ばれ、数日から2週間に及び船積みを待つ。港湾は敷地の制限から、海上コンテナはクレーン荷役の許される限界の高さに段積される。

海上コンテナを段積することを、港湾物流では、蔵置(ぞうち)と呼んでいる。本研究も、この呼称に従う。また、これ以後、海上コンテナのことを、コンテナと略称する。

洋上で船舶の転覆を防止する観点から、船体の重心位置を下げるため、コンテナ船には、より重いコンテナから順に船倉に積む必要がある。港湾において、重たいコンテナが軽いコンテナの上段に蔵置されていれば、上から順にコンテナを蔵置から取り出し、そのまま船積みすれば、上記を達成できる。

荷主から軽いコンテナが絶えず重たいコンテナより先に到着して、その到着順に港湾でコンテナを蔵置できれば上記となる。しかし、コンテナを港湾に送る各荷主は、自身の事情で貨物を生産、消費、調達する。結果として港湾では、コンテナは重さによらず時間的に不規則に到着することになり、先に到着して蔵置済みの重いコンテナの上に、後から到着した軽いコンテナを蔵置せざるを得ないことが、多々発生する。

このような状態の蔵置から船積みのために重いコンテナを取り出すためには、

上部の軽いコンテナを先に取り出して別のコンテナの上に仮蔵置し、その後に重たいコンテナを取り出す、再荷役が必要になる。この再荷役のことを、港湾物流ではマーシャリングと呼んでいる。本研究も、この呼称に従う。

マーシャリングは、荷役コストを増加させ作業時間も浪費する。さらに、内部に積載されている包装貨物に衝撃や擦れなどのストレスを与え、荷傷みのリスク増加の一因となる。

そこで本研究は、重さとは無関係にコンテナが港湾に到着しても、必ず重たいコンテナが軽いコンテナの上に蔵置されてゆく、直観的なアルゴリズムを提案する。横浜港において船積みされた、実在の輸出コンテナのコンテナターミナルへの到着データを入手し、このアルゴリズムにより構築したシミュレーションモデルに当該データを適用して、本研究が提案する蔵置方法の実効性を検証する。

2. 港湾に生じるマーシャリング

港湾に十分な敷地があれば、コンテナは蔵置せずに台車に載せて平置きすることでマーシャリングは発生しない¹⁾。しかし、世界経済の進展とともに、貿易貨物が集中する港湾は各国で狭隘化し、コンテナを港湾で段積する蔵置が全世界で一般化した。蔵置の普及により蔵置の段の下方にあるコンテナを取り出す際に生じる、他のコンテナに対する再荷役や荷

繰り作業がマーシャリングである。

マーシャリングの軽減に向けて、コンテナの港湾への到着タイミングの規則性を見出そうとした研究がある²⁾。これは、コンテナ船の出港に対して船積みされるコンテナは、出港日の2週間前から港湾への搬入が開始されるという、港湾物流の慣習に着眼したものである³⁾。一方、港湾には背後圏の経済活動が反映され、各地域の経済活動も相違し景気の浮揚にも影響されることから⁴⁾、マーシャリングを是として港湾全体の荷役効率性を指標化した研究もある⁵⁾。

しかしながら、マーシャリングは、Fig.1に示すとおり、大型の重機である港湾クレーンを頻繁に動かすことになるから、その作業に要するコストは高額となり港湾内の作業時間も浪費する。これは、港湾混雑を助長し、コンテナの港湾への到着をより不規則に助長してしまう。さらに、数十トンに及ぶ重量物であるコンテナが、別のコンテナの上に着地するときの衝撃は、内部の包装貨物に荷傷みのリスクを与えるのは自明であり、マーシャリングは本来無用の長物である。港湾へ

のコンテナの到着が、不規則で事前に把握できないための苦肉の対応策と言える。

3. 優勢な到着が支配的となる直観的蔵置アルゴリズム

3.1 港湾におけるOR適用の限界

コンテナの港湾への到着は、コンテナ船の出港日の2週間前から始まり、すべてのコンテナが港湾に到着済みとなるのは、コンテナ船の出港日の前夜である。また港湾では、到着してくるコンテナが入構検査待ちのために長蛇の列を作って待機する。これはゲート待ち渋滞と呼ばれ、その行列長は数百メートルから数キロに及ぶ⁶⁾ (Fig.2)。この原因は、一台の到着コンテナに対して多様な検査（コンテナ現物確認、運転手持参の各種出荷船積み書類照合、運転手本人に対するセキュリティチェック等々）、が必要になるからである。これら一連のプロセスをすべてクリアしたのちに、コンテナを港湾のどの位置に蔵置するか判断に入る。この判断に許される時間はほんの1~2秒しかない⁷⁾。

一つのコンテナ船に船積みされるコンテナは数百から数千個に及び、すべてのコンテナの重さも到着日時のタイミングも、みな異なる。加えて、出港当日になるまで船積みコンテナ群の全情報が明らかにならない。

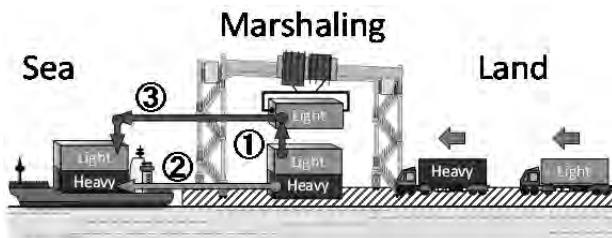


Fig.1 Marshaling of containers in ports terminals.

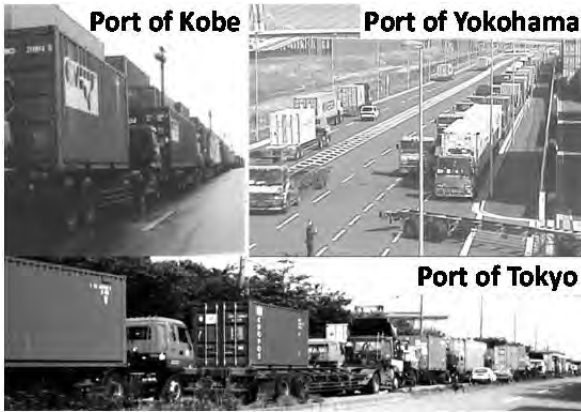


Fig. 2 Traffic congestion at port terminals in Japan
Source: Professor Yutaka Watanabe

計算によって最適解を見出す典型的手法は、OR（オペレーションズリサーチ）である。しかし、港湾に OR を適用した研究は、散見されるに留まっている⁸⁾⁹⁾。この理由としては、まず、OR がすべての情報有り既の前提であるからだ。事前に情報が無いコンテナの蔵置問題には OR は不向きである。

仮にすべての情報が事前に明らかでも、OR によるコンテナの蔵置組合せ計算は、港湾業務に必要な情報量から鑑みると、組合せ爆発のリスクが極めて高く、さらに、高額な利用料金を要する大型計算機を用いたとしても、港湾物流現場においてリアルタイムに 1~2 秒で答えを提供するのは酷となる。これが港湾分野で OR が普及しない事情である。

一方、最近の研究では、AI や Heuristic Algorithm をコンテナターミナルのオペレーションの改善に用いる試みも成され

ている¹⁰⁾。これらの新規なアプローチは、自動運転の分野で最も期待が高まっている。その実用化には、ビッグデータの存在が前提であり、本研究の前提である事前に情報が皆無というアプローチとは異なるものである。また、自動運転の実現には、これから数年以上はかかるという技術評価が現在においては定説であることから、海上コンテナの蔵置問題に上述のアプローチを実用化させてゆくのは、時期尚早と考えられる。

3.2 限られた港湾内敷地におけるコンテナの段積み蔵置

港湾には、コンテナを段積みするためのクレーンが備わっている。その名称は、トランスファークレーン、テナークレーン、ヤードクレーンの3つが主であるが、呼び方の相違を問わず、その形態はみな Fig.1 に図示した門型クレーンとなっている。この門型クレーンの下側に、コンテナは5段を上限として段積できる。クレーンの左右の脚の間のスペースに、6列の段積を置くことができる。したがって、コンテナの段積×6列が一つのブロックを構成し、コンテナの到着と共にブロック数が増えて港湾内の敷地を占有してゆく。これがコンテナの蔵置である (Fig.3)。

なお、コンテナの段積の上限は、クレーンの高さの観点では5段であるが、現実には、マーシャリングへの対応の必要

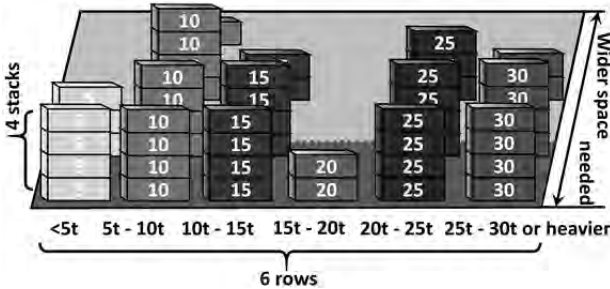


Fig. 3 Simple container stacking only by weight rank

性から4段とするのが一般的である。

ここで、最も単純かつマーシャリングを避けられるコンテナの蔵置方法を考えてみる。その方法は、まず、コンテナの重さを蔵置の列数に合わせて6つのグループに、次のように分類する。

- i) 5トン未満
- ii) 5トン以上10トン未満
- iii) 10トン以上15トン未満
- iv) 15トン以上20トン未満
- v) 20トン以上25トン未満
- vi) 25トン以上

コンテナ船の大きさは、数千トンから数万トンに及ぶので、コンテナ一つの重さを五トン区切りに分類しても、船積み時に船体の重心位置を下げの観点では問題にならない。

この重量分類に基づいて、最も軽い i) に属するコンテナを左端に、その隣に ii) に属するコンテナを、同様に一番重い vi) に属するコンテナを右端に蔵置すれば、船積み時にコンテナを取り出すと

ときには、右端のコンテナから取り出しをはじめ、順次左隣の列に移って取り出すことで、必ずより重いコンテナが先に、コンテナ船に積み込まれてゆくことになり、船体の重心位置を下げられる。これを、重量属性指定列のみへの蔵置と呼ぶ。

しかし、このやり方は現実的ではない。上述の i) から vi) に振り分けられる各分類のコンテナの総数は異なるので、港湾の敷地は、最大数の分類の列にブロック数を合わせなければならず、その他の分類の列においては、無蔵置の敷地と空間が大幅に生じてしまう (Fig.3)。実際に現実の港湾では、Fig.4 に示すとおり、無蔵置の空間を残すことは許されず、コンテナは可能な限り段数を高めて蔵置し、限られた港湾敷地においてコンテナ蔵置総数を可能な限り増やすオペレーションが求められる。

前述のとおり、荷主はコンテナの重さのことは考慮せずに港湾にコンテナを送ってくるので、結果として港湾では、重たいコンテナが先に到着し、後から到着した軽いコンテナを重たいコンテナの上に段積せざるを得ない状況が多々発生し、船積み時にマーシャリングせざるを得なくなるのである。これを、到着順無差別蔵置と呼ぶ。

Fig.4 に示した状況は世界各国の港湾で常態であり、このような狭隘高段積な蔵置に対してマーシャリングを行うことは、時間、コスト、労力の無駄となるの



Fig.4 High stacked containers in the Port of Shanghai.

Source: Professor Yutaka Watanabe

みならず、船積み荷役作業と港湾ゲートでのコンテナの受け渡し作業に遅延を生じて港湾混雑を悪化させ、さらに、マーシャリング時の衝撃がコンテナ内部の包装貨物の荷痛みを助長してしまう。

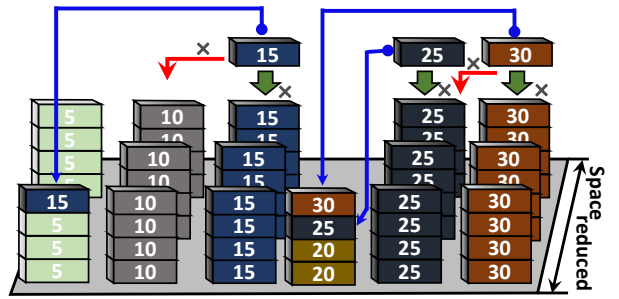
3.3 優勢な到着が敷地占有を支配する直感的な蔵置方法

Fig.3 に示した方法では、港湾敷地が大幅に無駄になってしまう。これを解消するには、前節に示した i)~vi)による列の分類に妨げられずに、空いている所（3段以下の列）にコンテナを置けばよい。但し、その時に、必ず重たいコンテナが軽いコンテナより上に蔵置されなければならない。加えて、ある時点で港湾に到着した1つのコンテナに対して、この蔵置を行った時に、その後、どのような重さのコンテナがどれだけの個数で港湾に到着するかは、不明である。

この状況に類似しているのが囲碁である。まだ無数の碁盤の目が残っている序盤戦の時点から、優勢を得た者はより有利に碁盤の目を占有してゆく。ひとたび占有された碁盤の目は、もはや取り返すことはできず、残されている碁盤の目を求めて劣勢を跳ね返すしかない。そして、勝敗が決する頃には、碁盤は余すところなく目が基石で埋まっている。

なお、海上コンテナの蔵置は立体的に成されるが、マーシャリングを行わない前提で一つのコンテナを蔵置する場合は、各蔵置列の最上部のみについて蔵置の可否を判断することになる。これは平面的な場での判断と同値となるので碁の考え方と共通性があると考えられる。

本研究は、この考え方をコンテナの蔵置に応用する¹¹⁾。到着数が多い重いグループのコンテナが、到着数の少ない軽いグループのコンテナの上に優先的に蔵置されてゆく。具体的には Fig.5 に示すとおりである



<5t 5t - 10t 10t - 15t 15t - 20t 20t - 25t 25t - 30t or heavier

Fig.5 Strategy of stacking heavier container higher by the concept of superiority occupation over inferiority.

ここで、通常の蔵置ではマーシャリングが余儀なくなる、コンテナは重さに無関係な到着をし、各コンテナの重量分類列はすでに上限段数まで達していると仮定する。例として、25トン、30トン、15トンのランダムな到着順を考える。最初に到着した25トンのコンテナは、最上段が空いている20トンの蔵置列に蔵置する。次に到着した30トンのコンテナは、20トンの蔵置列に25トンのコンテナが蔵置されたが、まだ上限段数に達していないので、ここに蔵置する。最後に到着した15トンのコンテナは、5トンの蔵置列の一つ最上段が空いているところがあるので、そこに蔵置する。このように、すべてのコンテナが、自身より軽いコンテナの上に絶えず蔵置されてゆくという考え方である。

3.4 優勢な到着が敷地占有を支配する直感的な蔵置アルゴリズム

Fig.5 に示した蔵置方法のアルゴリズムをフローチャート化すると、Fig.6 となる。このアルゴリズムに基づいて、蔵置シミュレーションモデルを構築した。

4. 海上コンテナの蔵置シミュレーション

4.1 蔵置シミュレーションに適用する実在した海上コンテナの到着データ

本研究に理解を示す、横浜港のコンテナターミナルオペレーター（社秘より社名は匿名）より得た、下記の Table1 に示

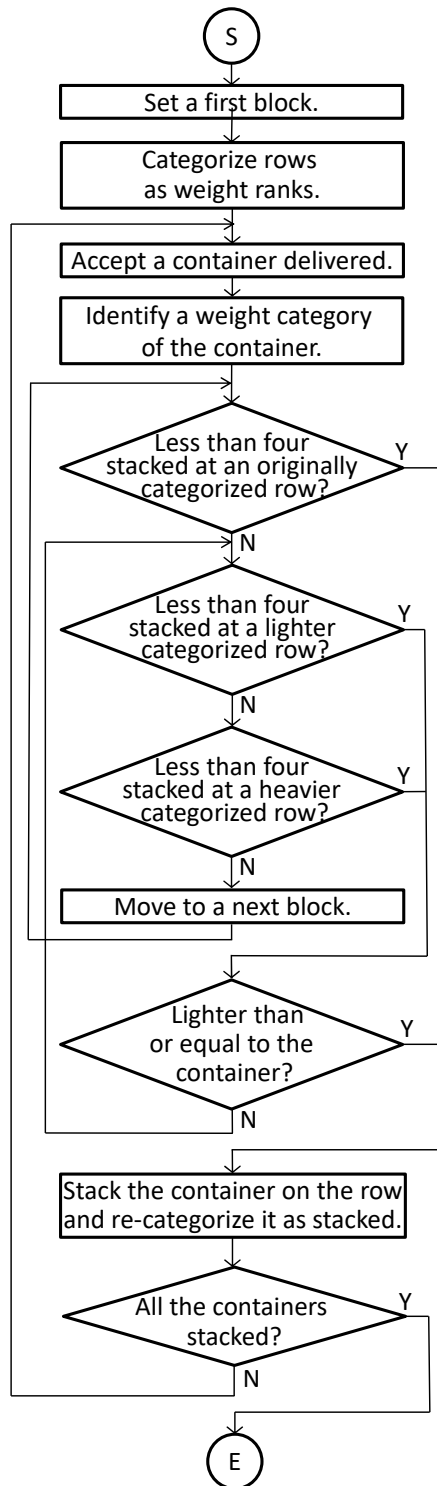


Fig.6 Intuitive algorithm of stacking containers to avoid marshaling.

す実在した海上コンテナの到着データを、蔵置シミュレーションに適用する。

Table 1 Data applied to stacking simulations

Duration of containers delivered to the port terminal	During two weeks preceding ship departure
Type of containers	40 foot containers
Unit of weight	kg
Time stamp on delivery of containers	day/hour/minute
Purpose of delivery	Exporting containers from shippers in Japan
Number of ships	8
Number of containers	2214
Observation	Weeks of the year during 2000–2010

4.2 蔵置シミュレーション結果

Table 1 に示した実在データを、前章で述べた下記の3つの蔵置方法に適用し、蔵置シミュレーションを行った。

- (1) 優勢到着が敷地占有を支配する直感的な蔵置 (Intuitional: **Fig.5, Fig.6**)
- (2) 重量属性指定列のみへの蔵置 (Weight rank only: **Fig.3**)
- (3) 到着順無差別蔵置 (Order of delivery)

その結果は、**Table 2** となった。

優勢到着が敷地占有を支配する直感的な蔵置では、蔵置完了に必要なブロック数が、到着順無差別蔵置と同じく最少となった。これに対して、重量属性指定列のみへの蔵置では、蔵置完了必要ブロック数が、上記の2つの蔵置方法より約2倍程度に多く必要となっている。

Table 2 Results of container stacking simulations

Ship code	Areas for port of calls	Number of containers	Stack algorithm	Number of blocks
42	East Asia	154	Intuitional	7
			Weight rank only	17
			Order of delivery	7
44	Asia, Middle East, Europe, North America	373	Intuitional	16
			Weight rank only	29
			Order of delivery	16
221	Asia, Europe	685	Intuitional	29
			Weight rank only	44
			Order of delivery	29
243	Asia, North America, Europe	370	Intuitional	16
			Weight rank only	30
			Order of delivery	16
608	Asia, North America, Europe	390	Intuitional	17
			Weight rank only	22
			Order of delivery	17
926	Asia, North America, South America	80	Intuitional	4
			Weight rank only	7
			Order of delivery	4
958	n/a	80	Intuitional	4
			Weight rank only	11
			Order of delivery	4
21	n/a	84	Intuitional	4
			Weight rank only	6
			Order of delivery	4

本シミュレーションにおいて、優勢到着が敷地占有を支配する直感的な蔵置による判断に要する時間は、最多のコンテナ数を有する Ship code 221 を例に取れば、総時間 1.17 秒となり、これをコンテナ 1 個あたりに換算すると 0.0017 秒となる。

Fig.7 は、**Table 2** に示した蔵置シミュレーション結果を、任意のブロック (Ship code 221 の先頭から 19 番目のブロック) において列と段で示したものである。

優勢到着が敷地占有を支配する直感的な蔵置の場合は、重たいコンテナが軽い

コンテナより絶えず上に蔵置されながら、どの列も余すことなく最高段の4段まで蔵置し尽されているのに対して、重量属性指定列のみへの蔵置の場合は、3段以下の蔵置しかなく、数字がゼロになっている箇所（数字がゼロになっている箇所）が散見される。したがって、すべてのコンテナに対する蔵置を完了した時には、より多くのブロック数が必要となってしまふ。

5. 蔵置シミュレーション結果の検証

5.1 蔵置からコンテナを取り出す一般的なアルゴリズム

船積み時に、蔵置から重たいコンテナを順に取り出そうとしたときに、軽いコンテナが重たいコンテナの上に蔵置され

Ship code: 221, Weight unit of containers: kg

10620	16192	13380	9212	14600	14930
10150	11304	11604	9212	9780	14750
9462	10100	10954	9100	9212	14500
9212	9620	10198	7837	9212	9750

Block No.19 stacked by the intuitional algorithm

0	9358	14773	19660	24300	0
0	9550	13910	19160	24700	0
4680	5800	13139	15500	23300	0
4120	9872	14650	16650	23400	0

Block No.19 stacked by the weight rank only algorithm

23410	10348	13400	6500	11120	10348
9750	13554	16192	14600	14500	10048
11304	10150	9212	10620	13554	9780
9212	11604	13734	17640	13380	10100

Block No.19 stacked by the order of containers delivered

Fig.7 Stacked containers arrayed in a block.

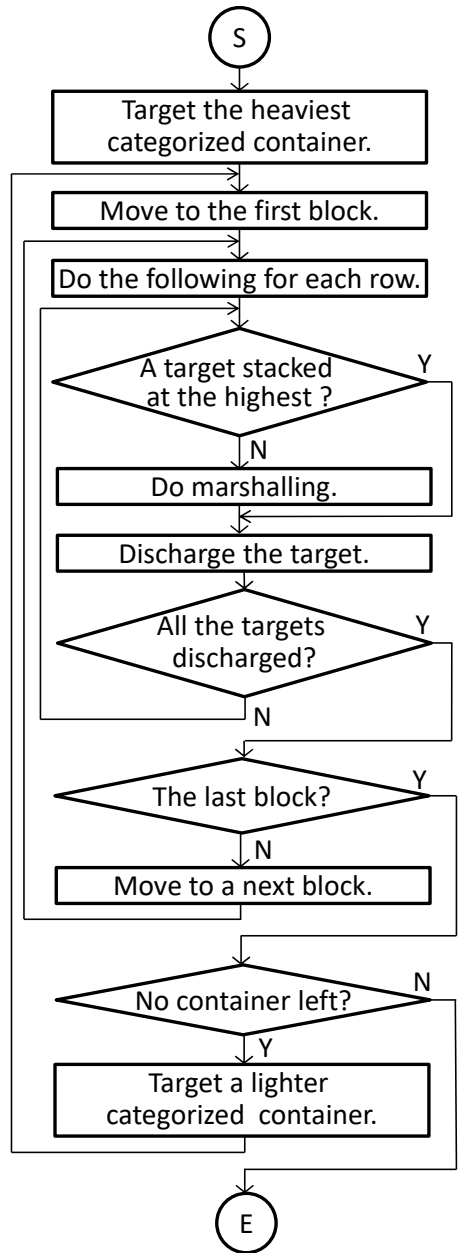


Fig.8 A general algorithm to discharge containers stacked in ports

ていた場合は、マーシャリングを行う必要がある。このような、マーシャリングを伴うコンテナを蔵置から取り出す一般的な方法³⁾は、Fig.8のとおりである。

5.2 蔵置からコンテナを取り出すシミュレーション分析結果

Fig.8 に基づく蔵置からコンテナを取り出すシミュレーションモデルを構築し、Table 2 に示された蔵置シミュレーション結果に対して、コンテナを取り出すシミュレーションを行った。

このシミュレーションは、3.2 節に示した 6 つのグループにおいて、まず最も重いグループのコンテナを蔵置最前列から最後尾列に向けてすべてを取り出し、順次より軽いグループのコンテナを同様にすべて取り出すことを繰り返して、全グループすべてのコンテナを蔵置から取り出すものである。このプロセスにおいて、重いコンテナの上に軽いコンテナが蔵置されているとマーシャリングが発生し、至近の位置にマーシャリングされたコンテナが再蔵置される仕組みになっている。

このシミュレーションの結果は、Table 3 となった。このシミュレーション分析では、本研究が提案する優勢到着が敷地占有を支配する直感的な蔵置と、到着順無差別蔵置とを比較し、マーシャリング回数の相違と有無を検証した。

Table 3 から明らかなおおり、前者はブロック数が後者と同数に維持されながらも、8 隻の船舶に対するコンテナの到着

Table 3 Results of container discharging simulations

Ship code	Stack algorithm	Number of discharges	Number of marshalling
42	Intuitional	154	0
	Order of delivery		54
44	Intuitional	373	0
	Order of delivery		229
221	Intuitional	685	0
	Order of delivery		331
243	Intuitional	370	0
	Order of delivery		237
608	Intuitional	390	0
	Order of delivery		227
926	Intuitional	80	0
	Order of delivery		41
958	Intuitional	80	0
	Order of delivery		38
21	Intuitional	84	0
	Order of delivery		43

データ全てに対してマーシャリングの発生を回避できた。これに対して、後者は、コンテナを直接取り出した荷役回数に加えて、その半数にも及ぶマーシャリングが必要となった。

本シミュレーションにおいて、優勢到着が敷地占有を支配する直感的な蔵置に対する取り出し位置判断に要する時間は、最多のコンテナ数を有する Ship code 221 を例に取れば、総時間 0.005 秒となり、コンテナ 1 個当たりに換算すると 0.000007 秒となる。到着順無差別蔵置の場合は、総時間 0.006 秒となり、コンテナ 1 個当たりに換算すると 0.000009 秒となる。

取り出し時の判断計算上の時間比較は意味を成さないが、1 つのコンテナに対するマーシャリングに要する荷役作業実

時間は数分かかる。仮にコンテナ一つ当たりのマーシャリングに要する当該時間を1分と仮定しても、Ship code 221 を例に取れば、到着順無差別蔵置に対するマーシャリングに要する総時間は331分となり、優勢到着が敷地占有を支配する直感的な蔵置より5時間半もの荷役作業時間を余計に要する。

6. おわりに

本研究は、船積み時にマーシャリングを生じず、複雑な計算負荷も必要としない直感的なコンテナの蔵置アルゴリズムを提案した。実在したデータに対するシミュレーションと、その結果に対する検証の双方から、本提案の実効性を評価することができる。

本研究は、輸出コンテナの重さの優先順位から安全な船積みを前提とした。輸入コンテナについては、時間的品質劣化が早い食品類はコンテナターミナルから早く引き取られ、家具やアパレル系は市場売れ行きを見極めるため蔵置期間が長くなる等、産業品目分類ごとに優先順位を定められる。トランシップについても、仕向け港への航路数と寄稿頻度により船積み優先度を定められる。したがって、本研究で開発したアルゴリズムは、輸入コンテナとトランシップにも応用可能と

考えられる。

今後は、コンテナターミナルオペレーターの協力を得て、本提案を実際の港湾に実装してゆくことが課題である。

<参考文献>

- 1) Muller, G., "Intermodal Freight Transportation", Illinois: Intermodal Association of North America (1999)
- 2) Sou, E. "An Algorithm of Stacking Marine Containers for Prioritizing Orders of Loading into Ships", Master thesis, Graduate School of Tokyo University of Marine Science and Technology (2015)
- 3) 森田亮、角田樹来、"コンテナターミナルにおける海上コンテナのオペレーション"、日本包装学会誌、Vol.23, No.1, p. 7 (2014)
- 4) 堀崎昌則、谷口充久、"海上コンテナの有効活用述 ~これからのラウンドユースと国内転用~"、日本包装学会誌、Vol.23, No.1, p. 13 (2014)
- 5) Weilin L., and Watanabe, Y., "Statistical Guidelines for Developing Container Terminal", Conference Proceedings of the International Association of Maritime Economists: p.995 (2001)

- 6) Watanabe, Y., and Oikawa, T., “Environmental Impact of Intermodal Transportation by Trucks on ports”, Conference Proceedings of the International Association of Maritime Economists: p.864 (2003)
- 7) 渡部大輔、”海上コンテナに関するサプライチェーンセキュリティと情報通信技術の現状”、日本包装学会誌、Vol.23, No.1, p. 21 (2014)
- 8) Tajima, H., “An Innovative Management System of Database for Intermodal Container Transportation”, Logistics System 10 (2): p.21 (2001)
- 9) Yizhong, D., and Xiaolong, H., “A Practical Optimal Model of Berth Planning at a Container Terminal”, Journal of the Marine Engineering Society in Japan 41 (9): p.176 (2006)
- 10) Héctor J.Carloa., Kees Jan and Roodbergen, “Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions”, European Journal of Operational Research, Volume 235, Issue 2: p.412 (2014)
- 11) Zhang, N., and Watanabe, Y., “Stacking Sequence of Marine Container Minimizing Space in Container Terminals”, Journal of Traffic and Transportation Engineering 4 (2): p.86 (2016)
- (原稿受付 2017年8月10日)
(採録受理 2017年9月21日)