

世界のコンテナターミナルにおける船舶の沖待ち時間の把握・分析

赤倉 康寛¹・高橋 宏直²

¹ 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)
E-mail: akakura-y83ab@mlit.go.jp (Corresponding Author)

² 正会員 一般財団法人みなと総合研究財団 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-1-10)
E-mail: takahashi@wave.or.jp

近年、コンテナ船の遅延が大きな問題となっており、船舶大型化に伴うアライアンスの再編によって航路サービスが集約され、特定の港湾・コンテナターミナルへ寄港が集中していることが主要な原因の一つとみられる。

以上の状況を踏まえ、本研究は、世界のコンテナターミナルを対象に、遅延を引き起こす船舶の沖待ちを把握し、沖待ち時間に及ぼす影響を分析したものである。各船の沖待ち時間は、AIS データを利用して、船舶の入港から着岸までの時間に着目して算定した。算定結果により、各ターミナルの沖待ち時間は、バース占有率の上昇に従い急激に増加する傾向があることに加え、着岸船の到着遅延、荷役時間の長期化やターミナルのスケジュール特性が大きく関わっていることが明らかになった。

Key Words : container shipping, supply chain, punctuality, terminal, offshore waiting

1. 序論

現在の世界経済は、広範で精緻なサプライチェーンに大きく依存しており、その中で海上コンテナ輸送が果たしている役割は非常に大きい。そのコンテナ輸送において、近年、遅延が大きな問題となっている。船舶大型化に伴うアライアンスの再編によって航路サービスが集約され、特定の港湾・コンテナターミナルへ寄港が集中していることが主要な原因の一つとみられる。赤倉¹⁾によれば、2018年の東西基幹コンテナ航路の遅延の約8割は欧米及び中国の港湾において発生していた。以上の状況を踏まえ、本研究は、世界のコンテナターミナルを対象に、遅延を引き起こす船舶の沖待ちを把握し、沖待ち時間に及ぼす要因を分析したものである。

1990年代からの経済のグローバル化の潮流の中で、Maersk社の先導によりコンテナ船の大型化が続き、最大船の輸送能力は約5千TEUから2万4千TEUまで増加した。船型の大型化は、船社・アライアンスの再編を促し、2017年4月以降、東西基幹航路の航路サービスは3アライアンスにより提供されている。Sea-Intelligence²⁾によれば、図-1に示すとおり、このころからコンテナ輸送の遅延が増加してきており、世界のコンテナ輸送サービスにおいて、予定日時から24時間以内の到着船の割合を示す定時到着率は2016年の83%から2020年64%に低

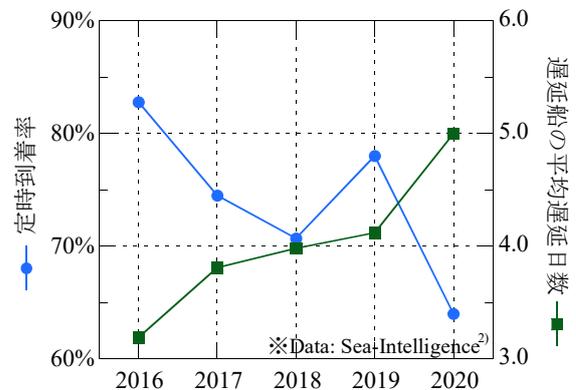


図-1 コンテナ船の定時到着率及び遅延船の平均遅延時間

下し、遅延船の平均遅延日数は3.2日から5.0日に増加している。ジャスト・イン・タイムに代表される高効率なグローバル・サプライチェーンは部品の生産停止や輸送停滞等の混乱に対して脆弱な面があり、欧米工場に5~7日程度の在庫しか持たない日系企業もある中で、この遅れの影響は非常に大きいと想定され、度々、航空便による追加輸送が必要となった可能性がある。

コンテナ船は、ターミナル沖合海域への到着時に、着岸可能なバースが確保できない場合、沖待ちをする。この沖待ちは、当該船の以降の遅延を増加させるだけでなく、同ターミナルを利用する後続船へも連鎖的に沖待ちや遅延を発生させる可能性がある。しかし、沖待ち隻数・

時間の実績を発表しているターミナルは見当たらない。高ら³⁾は、船速が3 kt未満、かつ、バース近傍に位置しない船舶を沖待ち船として、大阪湾内での沖待ちの実態を把握した。また、Marine Traffic⁴⁾は、各港の錨泊海域を指定して停泊隻数・時間を港湾混雑の指標として提供している。しかし、いずれも着岸ターミナルは把握できず、沖待ち時間に及ぼす要因は分析されていない。

2. 沖待ち時間の算定方法

(1) 沖待ちの海域と形態

多くの港湾では錨泊海域を指定しているが、数が十分ではないこともあり、それ以外の海域における沖待ちも多い³⁾。また、待つ方法としては、アンカーを下ろして錨泊をする方法だけでなく、漂流や減速により待つこともある。図-2は、錨泊及び漂流により沖待ちをした船舶の航跡例である。上図では、錨泊位置で船舶の航跡が同心円状に重なっていたのに対し、下図の漂流は全く異なった航跡であった。このような沖待ちを把握するためには、コンテナターミナルの沖合の相当広い海域を対象として船舶の動静を把握する必要がある。

(2) AIS データ

船舶の動静は、高ら³⁾やMarine Traffic⁴⁾と同じく、一定規模(国際航海する貨物船は300 GT)以上の船舶に搭載が義務付けられており、自船の船名、位置、針路、速力等を一定間隔で発信するAIS(自動船舶識別装置)のデータを用いた。現在、船舶から送信されるAISデータは地上に設置されたアンテナだけでなく、衛星でも受信が可能である。地上のアンテナでは、周辺海域を高密度に把握可能であるが、沖合海域の把握は難しい。一方、衛星のアンテナでは、衛星が上空を通過する場合にのみ受信できるため密度は低いが、大洋上でも把握が出来る。本研究では、コンテナターミナルの沖合海域における船舶の動静を把握する必要があることから、LLI(Lloyd's List Intelligence)とCLS(Collecte Localisation Satellites)による地上と衛星の両方のアンテナにより把握されたデータを全て統合して使用した。対象港湾は、Los Angeles, Long Beach, Rotterdam, 上海(洋山)及び寧波港、対象期間は2019年10月の一ヶ月である。

(3) 算定方法

ターミナル毎に、着岸船の沖待ち状況を把握するため、各船が入港から着岸までに要した時間に着目して沖待ち時間を算定することとした。まず、図-3のように、各港にて入港判定エリアを設定すると共に、各ターミナルの前面海域に着岸判定エリアを設定する。入港判定エリア

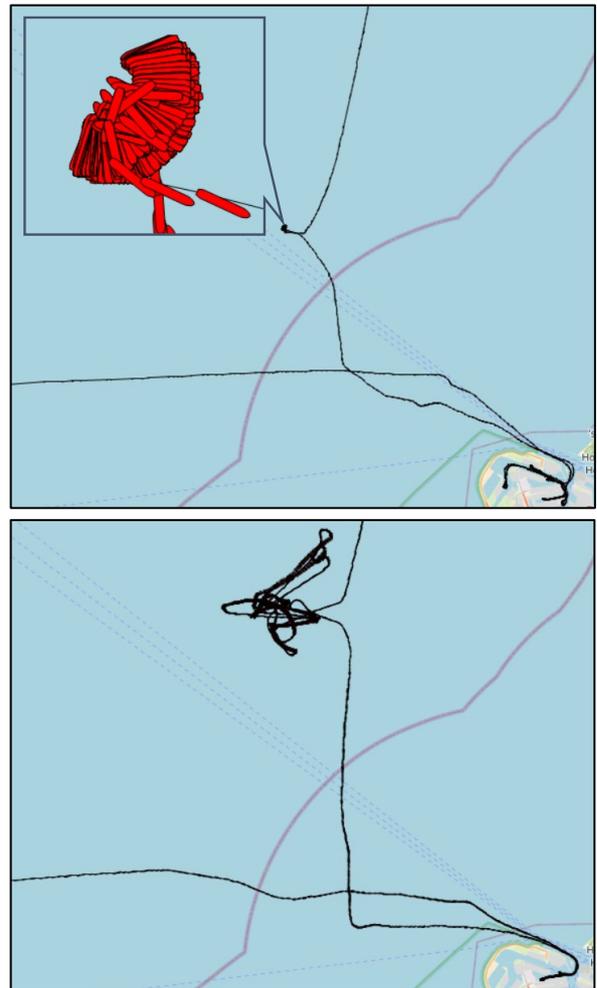


図-2 沖待ちにおける航跡の例(上:錨泊,下:漂流)

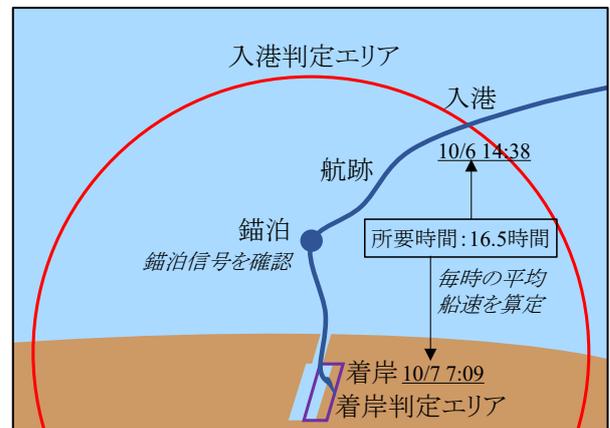


図-3 入港・着岸エリアの設定と航跡のイメージ

は、錨泊や漂流をした海域を覆うように、港により異なるが50 km程度の規模で、どこから入港しても同じ距離となるように円形で設定した。この入港判定エリアの外側から内側に船舶が移動した時点を入港と判定し、着岸判定エリアにおいて10分間以上1 kt以下を継続した時点を着岸と判定した。また、同港内のターミナル間移動の場合に必要な離岸は、10分間以上1 kt以上を継続した時点とした。

表-1 沖待ち時間算定のイメージ

番号	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	
沖待ち時間	0	0	0	0	0	0	2	2	3	4	9	11	
所要時間	1	13.7	13.8	17.4	13.6	10.1	16.5	9.0	10.4	9.7	8.0	10.6	10.3
	2	13.7	12.7	11.7	10.6	9.7	6.5	3.3	3.4	1.3	8.6	0.7	2.0
	3				0.5	1.7	3.2	0.0	4.2	0.7	4.0	0.7	0.0
	4							10.7	5.2	2.4	4.2	0.7	0.0
	5							3.3	2.1	4.5	3.3	0.7	0.0
	6									0.8	5.4	0.7	0.3
	7							沖待ち時間			0.5	0.7	0.1
	8											0.7	0.0
	9											6.3	0.0
	10											9.8	0.0
	11											7.4	0.0
	12											4.7	3.2
	13												10.0
	14												1.0

通常航行
 錨泊信号発信中
 船速3.0kt未満
 錨泊信号 & 船速3.0kt未満
 ※各セルの数値は平均船速(kt)

入港時点と着岸時点の判定により、着岸船全船の入港から着岸までの所要時間が算定できる。この所要時間がある閾値以上の場合に沖待ちをしていたと判定し、沖待ち時間を算出する。表-1にイメージを示すが、着岸全船を所要時間で昇順に並べ、番号[7]~[12]が沖待ち船との判定である。まず、錨泊していてもAISの錨泊信号が発信されない場合が多いことを踏まえ、各船の毎時の平均船速と錨泊信号を併用して、沖待ち船を把握した。船速は、高らの研究³⁾を参考に、着岸時を除き、3kt未満が2時間以上継続した場合とした。表-1では、番号[7][9][11][12]が、平均船速・錨泊信号より沖待ち船と判定され、沖待ちをしていない船の中で最も所要時間が長い番号[6]により、沖待ち判定の閾値、すなわち入港から着岸までが正味の航行所要時間が3時間となり、各船の沖待ち時間が算定できる。番号[8][10]については、錨泊・船速では該当しなかったが、所要時間から、漂流や減速により沖待ちをしていたとみられる。また、同港湾内のターミナル間の移動についても、同じ方法により算定した。

AISデータの処理に当たっては、突然地理的に離れた位置に飛ぶようなイレギュラーなデータが見られる場合があり、2地点間の船速を算定して、30kt以上の場合には、原因となる位置情報を取り除いた。

3. 算定結果と要因分析

(1) 算定結果

欧米及び中国の5港湾の主要ターミナルでの沖待ち隻数・時間の算定結果を表-2に示す。まず、各港湾への着岸船では、Los Angeles (LAX) 及びLong Beach (LGB) 港は着岸隻数が少ないが、基本的に長距離の本船のみで、各船の着岸時間が非常に長い。上海(洋山)港も、本船がほとんどを占めているが、ターミナルの規模が大きい

表-2 各ターミナルの沖待ち隻数・時間 (2019年10月)

港湾	ターミナル	バース長 (m)	着岸船 (隻)	沖待ち船 (隻)	沖待ち時間 (時間)
LAX	APMT	2,230	18	0	0
	China Shipping	764	10	0	0
	Eagle Marine	1,216	10	0	0
	Ever Green	1,648	8	0	0
	TraPac	1,650	8	0	0
	Yang Ming	1,236	9	0	0
	Yusen	1,864	12	0	0
LGB	Pier A	1,097	18	0	0
	Pier C	549	9	0	0
	Pier E	865	8	0	0
	Pier G	1,622	10	1	15
	Pier J	1,806	9	0	0
	Pier T	1,524	26	3	25
	RTM	APMT MV2	1,000	67	24
APMT	1,600	103	27	380	
ECT Delta-N	1,030	59	16	103	
ECT Delta-S	2,650	224	84	1,077	
Euromax	1,500	177	47	427	
RWG	1,700	150	40	418	
上海	Yangshan P I-II	3,000	97	21	176
	Yangshan P III	2,600	78	24	248
	Yangshan P IV	2,350	70	20	191
寧波	BSCT	1,258	98	24	445
	Daxie	1,500	81	19	234
	Ganji	1,700	92	23	286
	Meishan	1,800	130	37	596
	NBCT	1,258	115	45	851
	Yuandong	1,700	114	21	257

ため隻数が多かった。一方、Rotterdam (RTM) と寧波港は、着岸時間の短い近距離のフィーダー船の着岸も多かった。沖待ちについては、Los Angeles 港や Long Beach 港ではほとんど発生していなかったのに対し、特に着岸隻数の多い Rotterdam 港や寧波港では、沖待ち隻数が多く、各船が沖待ちした時間を合計した沖待ち時間も長くなっていた。なお、Long Beach 港の Pier A では1週間以上に及ぶ長期の沖待ちが見られたが、スケジュール上の予定着岸日に着岸をしていることから、船社の都合でのスケジュール調整とみなして、データから控除した。

各ターミナルにおいて、着岸船の中で沖待ちをした隻数の割合が多いほど、長い沖待ちを強いられる可能性がある。そこで、表-2で沖待ちが生じたターミナルについて、沖待ち隻数の割合と、沖待ち船における平均沖待ち時間の関係性を見たのが図-4である。平均沖待ち時間は、概ね8~19時間であり、沖待ち隻数の割合とは特段の関係性は見出せなかった。各船の沖待ち時間は、各船の遅延時間と、当該船の到着時のターミナルのスケジュールにより決まり、偶然の要素が大きいのではないかと推察される。

(2) ターミナルの混雑度と沖待ちの関係

沖待ちは、到着時に、ターミナルのバースに空きがな

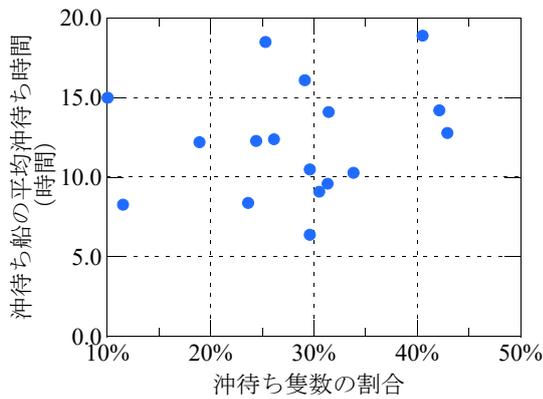


図-4 沖待ち隻数の割合と沖待ち船の平均沖待ち時間

いことにより発生する。そのため、ターミナルが混雑するほど、沖待ちが発生しやすくなり、その時間も長くなる可能性がある。本研究では、ターミナルの混雑度を表す指標として、赤倉ら⁵⁾によるバース占有率を使用した。バース占有率 OR は(1)式により定義される。

$$OR = \frac{\sum_{ship} (L_{ship} \times T_{ship})}{L_{All} \times T_{All}} \quad (1)$$

ここに、 $L_{ship} \cdot T_{ship}$: 各船の占有長・占有時間, $L_{All} \cdot T_{All}$: 全延長・全時間である。占有長 L_{ship} には係留索に必要とされるバース長も見込んだ。

各ターミナルのバース占有率と、バース 100 m 当たりの 1 ヶ月の沖待ち時間との関係を、図-5 に示す。全般的には、バース占有率は、バース長当たりの沖待ち時間との関係性が認められ、特に、占有率が 30% 台半ばを超えた辺りから、占有率の増加に対して、沖待ち時間が急激に増加する傾向が見られた。着岸船が遅れて到着した場合や荷役時間が予定を超過した場合、バース占有率が高いターミナルでは、沖待ちが生じやすく、また、生じた沖待ちが連鎖的に後続の着岸船の沖待ちに繋がる可能性も高い。一方で、回帰曲線の再現性はそれほど高くはなく、占有率が 50% を超えているにもかかわらず沖待ち時間は非常に少ない Long Beach 港の Pier T や、占有率が 30% 台半ばで沖待ち時間が 20 時間を超えた Rotterdam 港の APMT が見られたことから、他にも沖待ち時間に影響を与える大きな要因があることも想定された。

(3) 沖待ち時間に影響のある要因

もともと、全ての着岸船がスケジュール通りに到着し、予定時間までに離岸すれば沖待ちは発生しない。したがって、沖待ち時間は、(i) どれだけ着岸船が遅延し、着岸時間が延びたのかの実績と、(ii) 到着の遅延や着岸時間の延長をどこまで吸収できるスケジュールなのかとのスケジュール特性の 2 点に影響を受けると考えられる。

(i) 到着の遅延と着岸時間の長期化について、4 つのターミナルで実績を確認した結果が、図-6 及び図-7 である。スケジュールが確認出来た長距離の本船のみを対象

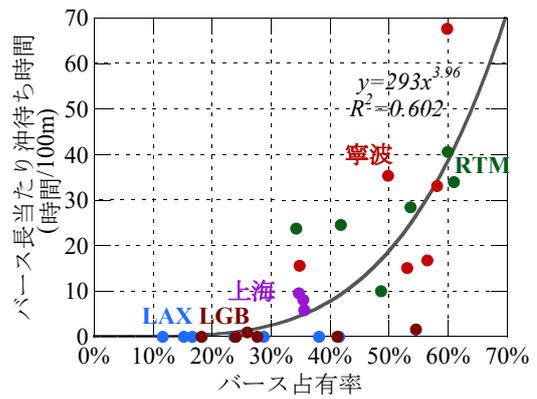


図-5 バース占有率とバース長当たりの沖待ち時間

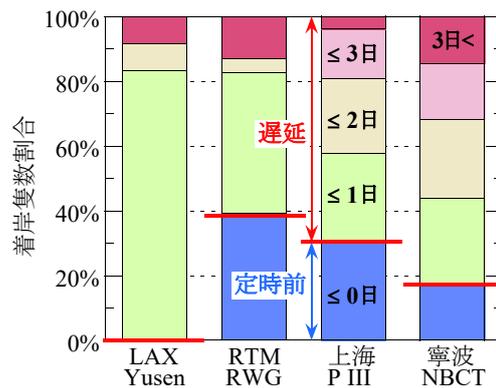


図-6 到着の遅延の割合とその日数

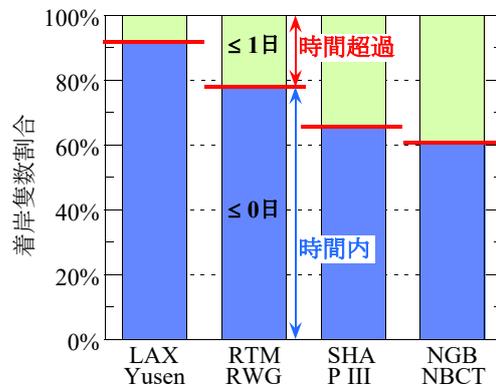
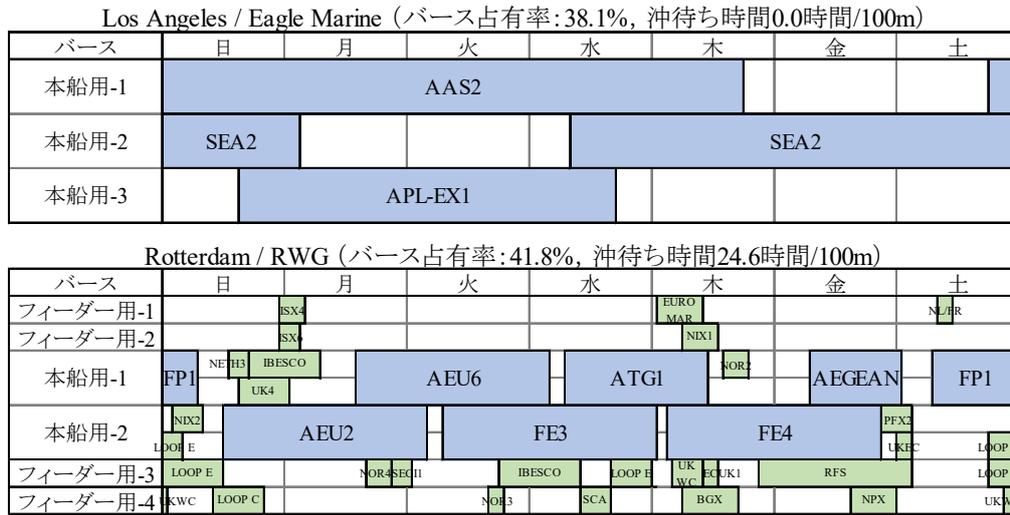


図-7 着岸時間の長期化の割合とその日数

とした。図-6 では、約 6 割～全ての船が遅れて到着しており、上海港 Phase III や寧波港 NBCT では 1 日以上が遅延も多かった。特に、NBCT では 2 日以上が遅延が約 1/3 も占めていたが、同ターミナルは図-5 においてバース長当たりの遅延時間が最も長かった。図-7 では、約 6～9 割の船の着岸時間が時間内に収まっており、着岸時間が 1 日より多く超過したケースはなかった。この結果から見ると、調査時点では、着岸時間の長期化より到着の遅延の方が沖待ち発生に大きく影響していたと推察される。

(ii) スケジュール特性については、同程度のバース占有率を示した 2 つのターミナルで、スケジュール上の着岸位置・サービスを示すバース・ウィンドウを作成した



本船については、全てスケジュールを使用した。フィーダー船はスケジュールが把握できない場合、実績から平均的な着岸・離岸時刻を設定した。

図-8 バース・ウィンドウの比較例 (2019年10月時点)

(図-8). Los Angeles 港の Eagle Marine では、3つの本船用バースに3つのサービスが着岸しており、同サービスの前船に追いつかない限り沖待ちは生じず、実際にも生じていなかった。一方、Rotterdam 港の RWG では、バース数が多いものの、数多くの本船サービスとフィーダーサービスが着岸するスケジュールであり、本船間においても着岸間隔が短い部分が多く存在していた。このようなスケジュールの場合、到着船の遅延や着岸時間の長期化によって、沖待ちが生じやすい。ここで、両ターミナルのバース占有率は対象期間中の実際の数値であり、図-8のスケジュールから算定されるものとは異なる。実際の着岸時間はスケジュールより短くなる場合が多く(図-7)、見かけの占有率は小さく出ている。

以上より、ターミナルの沖待ち時間はバース占有率が高くなるほど長くなる傾向があるが、到着の遅延や着岸時間の長期化と、スケジュールが遅延をどれだけ吸収できるかによって、その長さは変化すると考えられる。

4. 考察

(1) コンテナ輸送の定時性の向上に向けて

本研究の成果により、各港各ターミナルにおいて沖待ち時間に相違があることが明らかになった。Notteboom⁶⁾によれば、東西基幹航路の遅延の約2/3は港湾・ターミナルの混雑が原因となっている。同時に、遅延が沖待ちの大きな原因であることも、本研究にて推察された。大きな問題となっているコンテナサービスの遅延を少しでも減少させるためには、ターミナル混雑が遅延を発生させ、遅延が沖待ちを発生させるとの悪循環を解消するのが有効である。その一つの方法として、ターミナルにおけるバース割り当ての最適化があり、数多くの研究が積み重ねられてきている。ここでは、他の方法として、各

ターミナルの沖待ち時間を、統計データとして把握することを提案する。各ターミナルでは、着岸船の管理のため、沖待ち時間を把握しているが、公表されていない、比較や分析を行うことは現時点では難しい。本研究は対象港湾・期間に限られており、多くのターミナルにおける継続的な分析が必要である。また、相互比較を可能とすることは、ターミナル間の競争の促進にも繋がる。さらに、沖待ち時間は、ターミナルの既存施設の有効活用や、更なる施設整備の必要性を見極める観点からも重要なデータである。加えて、スポットでコンテナ輸送を利用する荷主にとっては、長い沖待ちが発生しているターミナルに着岸するサービスを避けることにより、定時性を確保できる可能性が高まる。図-9は、Marine Traffic⁴⁾において、月4回程度、各港の沖合で錨泊していたコンテナ船の隻数を確認した結果であるが、2019年10月には沖待ちがほとんどなかった Long Beach 港では、2020年の冬期には、コンテナ貨物量の急増により、着岸時間が長期化し、臨時船の投入も相まって、沖待ち隻数が大幅に増加していた。もし、このようなデータがターミナル別に把握可能であれば、荷主のサービス選択における参照情報が増加し、輸送の定時性を高めることが可能となる。将来的には、コンテナ貨物の到着時刻予測に繋げることも可能かも知れない。

(2) ターミナル再編の効果

本研究の分析結果では、同港湾内でもターミナルによりバース占有率や沖待ち時間に差が見られた。また、図-8の Rotterdam 港の RWG では、日曜日～月曜日早朝及び木曜日が混雑していたが、ターミナルにより混雑する曜日や時間帯が異なる可能性がある。現在、東西基幹コンテナ航路のアライアンスは3つになっているが、運営の効率性や積み替えの利便性を踏まえれば、同アライアンスのサービスは、同一ターミナルへの着岸が望まれる。

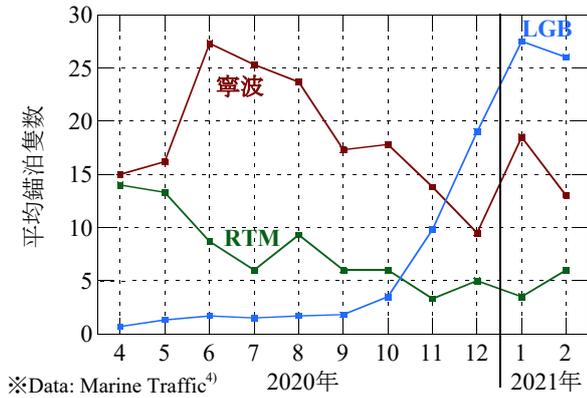


図-9 沖合で錨泊中のコンテナ船の隻数

このような観点から、ターミナルの再編や寄港ターミナルの集約の動きが見られており、例えば、香港港では、2019年1月に4つのターミナルが Hong Kong Sea Port Alliance を結成し、事実上1ターミナルに再編された。横浜港では、全4バースが完成した南本牧ふ頭で、Maersk による一体運用が開始されており、2021年春には ONE も寄港を集約する。釜山新港では、複数ターミナルを使うアライアンスによるターミナル間の横持ちが問題となっており、将来的に、単一ターミナルのように運営する方向を検討している。一方で、例えば Los Angeles 港では、China Shipping, Ever Green, Yan Ming, Yusen といった船社保有のターミナルが多く、利用が分散している。小規模なターミナルは、曜日や時間帯によるサービスの集中に対して余裕がなく、ターミナル間の積み替えには横持ちが発生する。ターミナル再編の進展による沖待ち時間、さらには、定時性の向上を期待したい。

5. 結論

本研究は、世界のコンテナターミナルを対象に、遅延を引き起こす船舶の沖待ちを把握し、沖待ち時間に及ぼ

す影響を分析したものである。

本研究では、AIS データを利用して、船舶の入港から着岸までの時間に着目して、錨泊だけでなく漂流や減速による沖待ちの算定方法を構築した。

世界の5港湾のコンテナターミナルの1ヶ月間の算定結果では、各ターミナルの沖待ち時間は、特にバース占有率が30%台半ばを超える辺りから、占有率の上昇に従って急激に増加する傾向があることに加え、着岸船の到着遅延、荷役時間の長期化やターミナルのスケジュール特性が大きく関わっていることが明らかになった。

今後は、日本のターミナルを把握対象に含めると共に、沖待ち発生に及ぼす影響の分析を深めていきたい。

謝辞: AIS データ分析ツールの開発に当たっては、IMC の柴田勝規部長及び SEH の梶原真一部長にご助力をいただきました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 赤倉康寛：東西基幹コンテナ航路の定時性の把握と遅延要因の分析, 土木学会論文集 D3, Vol.76, No.1, pp.33-42, 2020.
- 2) Sea-Intelligence: Global Liner Performance Report (Jan 29th, 2021), Press Room, 2021.
- 3) 高欣佳・牧野秀成・古莊雅生：AIS データを用いた沖待ち船舶の航行実態解析に関する研究, 土木学会論文集 B3, Vol.70, No.2, pp.I_948-I_953, 2014.
- 4) Marine Traffic: Understanding Port Congestion, Resources, <https://www.marinetraffic.com/>
- 5) 赤倉康寛, 安東和也：AIS データを利用した世界主要コンテナターミナルのバース・ウィンドウ作成による稼働率分析, 土木学会論文集 B3, Vol.68, No.2, pp.I_1175-I_1180, 2012.
- 6) Notteboom E., T.: The Time Factor in Liner Shipping Services, Maritime Economics & Logistics, Vol.8, pp.19-39, 2006.

(Received February 4, 2021)

(Accepted April 23, 2021)

GRASPING AND ANALYZING OF OFFSHORE WAITING TIME AT WORLD CONTAINER TERMINALS

Yasuhiro AKAKURA and Hironao TAKAHASHI

Delay of container services is the big problem in recent years. One of the causes is considered the concentration of calling at specific ports and terminals, which had been induced by revision of alliances.

Based on this background, this study analyzed offshore waiting time, which is the main factor of delay, in world container terminals. Waiting time of each ship was calculated by spent time from port entry to berthing by utilizing AIS data. From the result, it was revealed that offshore waiting time of each terminal linked to berth occupancy ratio, delay of berthing ship, and characteristic of schedule.