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

赤倉 康寛¹・安藤 和也²

¹正会員 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:akakura-y2k9@ysk.nilim.go.jp

²国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:andou-k87s3@ysk.nilim.go.jp

国際海上コンテナ輸送量が伸び続けてきた中で、積み替えの容易なコンテナ貨物を巡る港湾間競争は、激しさを増してきた。我が国においても、釜山等に伍するサービスを提供し東アジア主要港として選択される港湾を目指した国際コンテナ戦略港湾政策が進展中である。

港湾間競争を勝ち抜くためには、ターミナル運営の効率化のため、稼働率を向上させる必要がある。そこで、本研究では、コンテナターミナルの稼働率を測る方法の一つとして、バース・ウィンドウの作成手法を構築し、主要ターミナルのバース占有率を比較分析した。

Key Words : container terminal, berth window, berth occupancy rate, AIS

1. 序論

国際海上コンテナ輸送量が伸び続けてきた中で、積み替えの容易なコンテナ貨物を巡る港湾間競争は、激しさを増してきた。香港・Singaporeがいち早く東アジアのハブ港湾としての地位を確立し、次いで釜山や高雄が台頭してきたが、2000年代には、中国本土港湾の伸びが著しく、2010年には、コンテナ取扱量において、ついに上海が世界一位となった。

日本の港湾は、東アジアにおける日本発着コンテナ貨物量割合の低下や阪神・淡路大震災による影響等により、その地位を低下させてきた。これに対し、アジア主要港並みのサービス水準や港湾コストの実現を目指したスーパー中枢港湾政策が展開され、さらに「選択」と「集中」により、釜山等に伍するサービスを提供し東アジア主要港として選択される港湾を目指した国際コンテナ戦略港湾政策が推進されている。

港湾間競争を勝ち抜くためには、ターミナル運営の効率化のため、稼働率を向上させる必要がある。そのためには、世界での現状の稼働率を把握し、彼我の差を確認する必要がある。しかし、他国港湾のターミナル稼働率を図る手法は、これまでのところ見当たらなかった。以上の背景の下、本研究は、コンテナターミナルの稼働率

を測る方法の一つとして、AISデータによるバース・ウィンドウの作成手法を構築し、主要ターミナルのバース占有率を比較分析する。

2. 分析手法

(1) 使用データ

使用データは、各港におけるAISデータである。AIS (Automatic Identification System : 船舶自動識別装置) とは、2001年9月の米国同時多発テロを契機に、SOLAS (海上人命安全) 条約にて設置が義務づけられた装置であり、自船の船名や位置等を周期的に発信する。国際航海に従事する300総トン以上の船舶 (旅客船は全て) 及び国際航海に従事しない500総トン以上の船舶が、搭載を義務付けられている。

国土技術政策総合研究所においては、研究所及び地方整備局等において受信したAISデータを、事後的に解析するためのソフトウェアを開発し、効率的・効果的な港湾の整備・運営のための研究を実施している。本研究においても、日本港湾については、この受信データを用いた。海外港湾については、LLI (Lloyd's List Intelligence) によるAISデータを用いた。

対象としたコンテナターミナルは、表-1のとおり。

表-1 分析対象コンテナターミナル

港湾／ターミナル	バース延長 (m)	バース水深 (m)
東京 大井コンテナふ頭	2,345	15.0
横浜 南本牧ふ頭	700	16.0
名古屋 飛島ふ頭南側	700	16.0
大阪 夢洲	1,100	16.0
神戸 ポートアイランドPC13-15	1,050	15.0
釜山 新港北	4,300	16.0
光陽 CT10-16	2,300	16.0
高雄 No.4	2,213	14.0
香港 Kwai Chung CT8	1,380	15.0
Singapore Pasir Panjang P23-26	1,340	16.0
Los Angeles Pier400	2,180	16.7
Long Beach TTI	1,524	16.8
Seattle Terminal 18	1,353	15.2
Antwerp Gateway	2,470	17.0
Le Havre Ocean	1,700	13.5

図-1 離着岸判定エリアの設定例

AISデータが入手できた港湾において、最も水深が深く、大型コンテナ船が着岸できるターミナルを選定した。対象期間は、2010年10月3日からの4週間である。

(2) バース・ウィンドウの作成

バース・ウィンドウの作成には、各船の離着岸時間及び停泊位置のデータが必要となる。

離着岸時間については、図-1のとおり、バース前面海域に離着岸判定エリアを設定し、対地速度データを用いて、以下に判定した。

着岸：離着岸判定エリアに進入した船舶において、対地速度1kt未満のAIS信号が1分以上継続して観測されたとき。

離岸：離着岸判定エリアを離れた船舶において、対地速度2kt以上のAIS信号が2分以上継続して観測されたとき。

離着岸の判定結果を、大阪港夢洲ターミナルの実績データ⁹⁾により検証した。まず、AISデータにより離着岸が捕捉されたコンテナ船の数は総計108隻であり、これは実績データと比較して過不足がなかった。次に、占有時間の差を整理したのが、図-2である。実績データとAISデータを比較すると、着岸はAISデータが少し早め、離岸はAISデータが少し遅めとなっていたが、両者を合わ

図-2 大阪港夢洲ターミナルでの離着岸判定の検証結果

せた占有時間の差は、一部の例外を除き1時間以内であり、平均すると約5分であった。このことから、構築したシステムにおいて、離着岸が適切に判定できていると言える。

停泊位置については、AIS信号の位置情報を用いた。この位置情報は、当該船のGPSアンテナの位置である。船によっては、このアンテナ位置データが空欄の場合があり、その際、アンテナ位置を推測するため、停泊位置が、実際より多少ずれた位置になる可能性がある。

着岸船の占有範囲は、アンテナ位置データを基に、着岸船の全長に船首尾係船索の長さを加えた範囲となる。船首尾係船索は、一般的な利用形態として、バース法線方向と角度30度²⁾で張るものとした。実際には、もう少し係船索の角度を急にして、詰めて着岸する場合もある。

なお、バース占有の対象はコンテナの輸送を行う船舶のみであり、タンカー、タグ等はバース占有から控除した。また、当然ながら、AISを搭載していない船舶は捕捉されないが、本研究の対象とする大型コンテナ船が着岸するターミナルではほとんど想定されず、大阪港夢洲ターミナルでは、該当はなかった。

あと、バース・ウィンドウとは、本来、バースへの船舶(船社)の割り当て、あるいは、その全体を示したチャートを目指す。従って、本研究で作成手法を構築したチャートは、厳密には、バース・ウィンドウの利用実績結果となるが、同じ形式のチャートであることから、本研究では、これについてもバース・ウィンドウと称する。

(3) バース占有率の算定

バース・ウィンドウは、一目で稼働状況を把握することができる特徴があるが、世界各国のターミナルの相互比較を可能とするため、さらに、(1)式によるバース占有率 OR を定義した。

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

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。このバース占有率により、ターミナルの稼働状況の比較分析が容易になる。

図-3 大阪港夢洲ターミナルのバス・ウィンドウ (2010年10月3日～9日)

図-4 香港港Kwai Chung CT8のバス・ウィンドウ (2010年10月3日～9日)

3. 分析結果

(1) バス・ウィンドウ

作成したバス・ウィンドウの例として、大阪港夢洲ターミナルと香港港Kwai Chung CT8の1週間分を示したのが、図-3及び図-4である。青色で囲まれた部分が、船舶が占有していた時間及び範囲を示す。図-3の大阪(夢洲)の場合、10月3日午後～10月4日午前にかけて着岸船がない状態であったが、一方、3バースのターミナルに対し、10月5・7・8日には4隻同時着岸している時間帯が見られた。図-4の香港(CT8)の場合、10月7日午後から10月9日午前にかけて着岸船がないか、1隻の状態であった。同ターミナルは、オペレーターによりEastとWestに区分され、さらに両者は2バースずつとなっているが、4隻同時着岸は10月6日だけであった。

また、大阪と香港を比較すると、着岸隻数は大阪の方が多し一方、着岸船の大きさは香港の方が大きいことや、両港の一船当たりの着岸時間には、それほど大きな差がないことが判る。

このように、バス・ウィンドウの作成により、各ターミナルの稼働状況が容易に把握可能となった。

(2) バース占有率

全対象ターミナルについて、(1)式で定義したバース占有率ORの算定結果を示したのが、図-5である。バス・ウィンドウの作成結果より、日本のターミナルについては、平日と土日の利用状況に差が見られたことから、全日に加え、平日及び土日についても算定した。

全日のバース占有率では、Singapore (P23-26) が50%を超え飛び抜けていたが、その他のターミナルは概ね25～35%の範囲の中にあった。日本のターミナルについても、26～34%の範囲にあり、海外のターミナルの標準レベルのバース占有率が確保されていた。

次に、平日と土日の状況を確認すると、平日のバース占有率では、横浜(南本牧)・名古屋(飛島南)が40%を超えるなど、日本のターミナルは、海外ターミナルの標準レベルより高かった。一方、土日のバース占有率では、名古屋(飛島南)・神戸(PC13-15)が10%を切るなど、海外ターミナルの標準レベルに比べて、東京(大井)を除き低かった。海外ターミナルでは、Seattle(T18)・高雄(No.4)・香港(CT8)等、どちらかと言えば、平日より土日の占有率の方が高いターミナルが多かった。

図5 世界の主要コンテナターミナルのバース占有率 (2010年10月3日～30日)

(3) 曜日別バース占有率

平日と土日のバース占有率において、日本と海外のターミナルで差異が見られたことから、さらに詳細に、曜日別のバース占有率の推移を見たのが、図-6である。日本は横浜(南本牧)及び名古屋(飛島南)、海外は釜山(新港北)、Singapore (P23-26)、Los Angeles (Pier400)及びAntwerp (Gateway)を採りあげた。

まず、Singaporeは、バース占有率が概ね60%前後であり、高い占有率で安定していた。釜山やAntwerpも、20%弱～30%強の間で安定していた。

これに対し、横浜は日曜日、名古屋は土・日曜日において、バース占有率が10%を切っており非常に低い一方、横浜の火・水・木曜日、名古屋の月・水・木曜日はバース占有率が50%を超え、Singapore並みとなっていた。Los Angelesも、火・水曜日が50%を超える一方、木～日曜日は20%に満たず、高低の差が大きかった。

日本のターミナルでは、神戸(PC13-15)も横浜・名古屋と同じ傾向である一方、東京(大井)は、曜日による高低がほとんど無く30%前後で安定していた。大阪(夢洲)は、両者の中間で、土・日曜日の占有率は低下するものの20%弱で留まっていた。

図-6 主要ターミナルの曜日別占有率

図-7 主要ターミナルの平日の時間帯別占有率

(4) 時間帯別バース占有率

さらに、平日の稼働状況の特徴を明らかにするために、時間帯別のバース占有率の推移を見たのが、図-7である。対象としたターミナルは、図-6と同じである。この時間帯別は、データ処理の関係で、バース・ウィンドウから算定しており、バース占有範囲の判定単位は20mとなっている。

図-7より、時間帯別のバース占有率も、曜日別と似た傾向であり、Singaporeは50～60%強で安定、釜山、Los Angeles、Antwerpも概ね30%前後で安定していたのに対し、

横浜及び名古屋は、深夜から明け方に低下、午前中に急増し、日中はSingapore並みまで高くなっていた。

日本のターミナルでは、東京・神戸も、深夜から明け方に低下、午前中に急増していた。大阪は、日本の他港に比べれば、相対的には安定しており、午前中の増加はそれ程急激ではなかった。

4. バース占有率の要因分析

(1) 入出港・荷役に係る費用の割増

入出港や荷役に係る費用の割増は、船社が、各船のバース離着岸予定時刻を決める際の、重要な要因の一つと考えられる。そこで、主要港の日・祝日及び夜間（時間外）の割増率を整理したのが、表-2である。入手できた範囲での比較であり、また、Tariff上の料金と実態料金には差がある場合もあると想定されるが、日本のターミナルの割増率は、海外に比べて概して高めであった。このことが、日曜日や夜間のバース占有率に影響を与えている可能性が想定される。

表-2 入出港・荷役に係る費用の割増率

港湾	料金		曳船		水先		綱取・放		港湾荷役	
	日祝	夜間	日祝	夜間	日祝	夜間	日祝	夜間	日祝	夜間
東京	+5	+6-10	0	+5	+15	+6-12	+10	+6-12		
横浜	+6	+6-10	0	+5	+6	+6-10	+10	+6-12		
名古屋	+5	+5-10	0	+5	+5	+5-10	+10	+6-12		
大阪	+2	+6-12	0	+5	+5	+7.5	+10	+6-12		
神戸	+2	+6-12	0	+5	+5	+7.5	+10	+6-12		
釜山	+3	+3	+3	+5	+5	+5	+5	+5		
高雄	+3	+3	0	+5	+3	+5	+4	+4-6		
香港	+10	+5-10	0	0	0	+7.5	0	0		
Singapore	0	0	0	0	-	-	-	-		
L. A.	-	-	0	0	-	-	+5	+5		
L. B.	-	-	0	0	-	-	-	-		
Antwerp	+5	+2.5	-	-	-	-	-	-		
Le Havre	-	-	-	-	-	-	+4-5	+5		

*"+5"は5割増し, "-"は情報無しを示す. 各港Tariff等より作成.

(2) 離着岸時間帯及び占有時間

次に、主要ターミナルのバース離着岸の時間帯を確認した結果が、表-3である。日当たりの10%以上の離着岸が集中している時間帯を整理した。着岸では、横浜で7～8時台、名古屋で7時台に、離岸では、横浜で16時台、名古屋で14～16時台に集中があったことから、昼間の時間帯に荷役を行うスケジュールが組まれていることが判る。日本のターミナルは、東京・大阪・神戸も同じ傾向であり、いずれも、20%前後が7時台に着岸し、16時台に離岸の集中が見られた。

これに対し、釜山、Singapore、Antwerpは離着岸が分散されていた。Los Angelesは、着岸が11～13時台、離岸が1～2時台及び10～11時台に集中があり、昼間の時間帯での荷役確保とのスケジュールにはなっていない。

さらに、主要ターミナルの1隻当たりの平均占有時間を整理したのが、表-4である。全船舶で見ると、横浜やAntwerpが短く、Los Angelesが長くなっていた。ただし、各ターミナルでは、着岸するコンテナ船の大きさにも差がある。そこで、Over Panamax船に限って、平均占有時間を見たところ、横浜、次いで名古屋が短くなっていた。一方、Singaporeは約1日、Los Angelesに至っては約2.5日占有しており、ターミナルにより大きな差が見られた。

日本のターミナルにおける占有時間は、総じて短めであり、平均占有時間は東京・大阪でも10時間強、神戸では5時間弱であった。これは、一回の寄港における積卸コンテナ量が多くない³⁾ことに起因している。そのため、荷役等の時間外割増がなるべく少なくなるスケジュールとして、7時台に着岸が集中していると推察される。すなわち、荷役の通常料金の時間帯が8:30～16:30であることから、例えば、7:00に着岸、8:30から荷役、17:00に離岸すれば、占有時間は10時間となる。

占有時間の長い海外のターミナルでは、割増料金の時間帯における荷役は、どのようなスケジュールで離着岸しても発生するとすれば、ある程度安定した占有率となるものと推察される。

表-3 主要ターミナルで離着岸割合が10%超の時間帯

ターミナル	着岸	離岸
横浜(南本牧)	0, 7, 8, 19	11, 16, 23
名古屋(飛島南)	7(44%)	4, 14, 15, 16
釜山(新港北)	なし	なし
Singapore (P23-26)	なし	なし
L. A. (Pier400)	11, 12, 13, 21	1, 2, 10, 11
Antwerp (Gateway)	なし	12

表-4 主要ターミナルの平均占有時間 (時間)

ターミナル	全船舶	Over Panamax
横浜(南本牧)	5.3	11.4
名古屋(飛島南)	11.0	14.5
釜山(新港北)	10.3	14.7
Singapore (P23-26)	18.5	24.9
L. A. (Pier400)	33.5	60.2
Antwerp (Gateway)	6.1	22.1

表-5 五大港間の距離及び航行時間

航路	距離(nm)	航行時間(h)
東京／横浜－名古屋	249/238	12.5/11.9
名古屋－大阪／神戸	261/257	13.1/12.9
東京／横浜－大阪／神戸	367-383	18.4-19.2

*航行時間は、20ktにて算定。

(3) その他の要因

離着岸時間に影響を与える可能性のある要因として、前後に寄港する港湾との関係が考えられる。そこで、日本の五大港間の距離及び航行時間を整理したのが、表-5である。東京／横浜－名古屋及び名古屋－大阪／神戸の航路距離はいずれも250 nm前後のため、20 ktでの航行時間は12時間前後となる。そのため、前港湾を17時台に離岸すれば、次港湾には翌7時台に十分着岸可能となる。また、東京／横浜－大阪／神戸の航路距離は370 nm前後、航行時間約19時間となるため、前港湾を13時台に離岸すれば、少し遅いが8時台には次港湾に着岸可能となる。実際に、対象期間中に、表-5に記載する寄港パターンが

69隻見られたが、そのうち約1/4の16隻が、1港目：7～8時台着岸→約4時間 or 約9時間係留→2港目：午前中入港となっていた。このように、五大港間の距離が、着岸時間の集中を促している可能性がある。

また、ターミナルのゲートオープン時間も、直接的ではないものの、HDS（ホット・デリバリー・サービス：港到着後即日引渡）等を考慮すると、離着岸時間に影響を与える可能性がある。ゲートオープン時間は、日本のターミナルは、平日8:30-16:30、日祝日はクローズであるのに対し、釜山、高雄、香港、Singapore、Los Angelesは、基本的に24時間フルオープンとなっていた。ただし、日本でも、現在、国土交通省の社会実験において、五大港等では、追加料金が必要となるものの、夜間や早朝のゲートオープンも行われている。

(4) 考察

最後に、港湾運営の更なる効率化のため、日本のターミナルの稼働率向上の可能性について、考察を加える。

まず、曜日別・時間帯別のいずれにおいても、日本のターミナルは、海外（Singaporeを除く）に比べても、ピーク時のバース占有率は高くなっており、現状と同じ利用形態においては、これ以上の占有率向上は容易ではないと考えられる。

一方、土日のバース占有率低下については、横浜、名古屋、神戸は顕著であったのに対し、東京は平日と大きな差がなかった。東京では、ターミナルの日曜利用促進のため、荷主ニーズの喚起や各種料金の減免措置等が行われてきており、これらが効果を発揮した可能性がある。ただ、名古屋でも、日曜荷役船の入港料等を減免していることから、利用船社や荷主の特徴、ヤードやゲートの混雑状況等他の要因が関係している可能性もある。

夜間のバース占有率の低下については、荷役が昼間に終わる限り、なかなか改善は困難である。五大港間の距離も変更しようがない。一方、今後、基幹航路への大型船投入等によりコンテナ船の大型化が見込まれるため、国際コンテナ戦略港湾政策による京浜・阪神港へのコンテナ集荷と相まって、荷役時間が長期化し、平準化が進

む可能性がある。現在でも、東京、横浜では1回の積卸量が一定量を超えた場合の係留施設使用料等の減免措置が実施されているが、更に荷役時間の長期化に対応し、例えば、半夜（16:30-21:30）の割増率を、社会実験により低減させ、その効果を確認する方法も考えられる。

5. 結論

本研究は、コンテナターミナルの稼働率を測る方法の一つとして、AISデータによるバース・ウィンドウの作成手法を構築し、主要ターミナルのバース占有率を比較分析したものである。本研究の結論は、以下のとおり。

- (1) AISデータを用いたバース・ウィンドウ作成手法を構築した。
- (2) 日本の主要ターミナルのバース占有率は、全日では海外ターミナルの標準レベル、平日に限定すると高いレベルにあった。
- (3) 日本の主要ターミナルは、曜日別時間帯別のバース占有率の高低が大きかった。その理由は、荷役にかかる時間が短いため、時間外割増が必要とならない範囲での利用が多くなっていることが一つの要因と推察された。また、港間距離の関与の可能性も示唆された。なお、本研究の成果は、稼働率の定量評価に加え、さらに、これを踏まえた、各港湾における最適なバース・ウィンドウや、複数ターミナルでの最適な運用方法等港湾計画における検討に活用可能と考えている。

謝辞：本システムの構築に当たっては、(株)アイ・エイチ・アイ・マリンの柴田勝規エンジニアリング事業本部ITシステム部長にご協力をいただきました。

参考文献

- 1) (社)大阪港振興協会：大阪港使用状況－着岸状況検索, <http://www.port.city.osaka.jp>, 2012.
- 2) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp.943, 2007.
- 3) 高橋宏直, 赤倉康寛, 舟橋香：全世界のコンテナ船寄港実績に関する分析, 運輸政策研究, Vol.5, No.1, pp.15-21, 2002.

ANALYSIS OF BERTH OCCUPANCY RATE OF WORLD CONTAINER TERMINALS BY THE DEVELOPMENT OF BERTH WINDOW WITH USING AIS DATA

Yasuhiro AKAKURA and Kazuya ANDOU

Volume of world container cargo has been increasing rapidly and competition among container ports has been intensifying. Each container terminal aims to improve occupancy rate to survive against this competition. Also in Japan, the international container strategic port policy is progressing.

In this background, this study developed the procedure to make berth window by using AIS data and analyzed berth occupancy rate of world container terminals.