

# 大規模地震・津波後における被災港湾の バース・ウィンドウの把握・分析

赤倉 康寛<sup>1</sup>・小野 憲司<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 正会員 国土交通省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-y83ab@mlit.go.jp

<sup>2</sup> 正会員 京都大学教授 防災研究所港湾物流 BCP 研究分野 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)  
E-mail: ono.kenji.5z@kyoto-u.ac.jp

大規模地震・津波の発生時には、被災地域への緊急支援において大量輸送が可能な船舶に頼る部分が多い。受け入れる被災港湾は、使用できる施設が限定される状態にあり、より効率的なバース利用を、速やかに調整しなければならない。

以上の状況を踏まえ、本研究は、AIS データを用いて発災後のバース・ウィンドウを作成し、災害時の利用実態を把握・分析したものである。その結果、東北地方太平洋沖地震では利用可能な係留施設が著しく限定され受入能力が非常に低かったこと、熊本地震では緊急支援船により係留需要が大幅に増加していたことが判った。さらに、これらの結果を基に、被災港湾における事前準備及び発災後の効率的な施設利用についての考察を示した。

**Key Words :** large-scale disaster, emergency relief ship, berth window, AIS, port-BCP

## 1. 序論

南海トラフ巨大地震や首都直下地震等の大規模な地震・津波が発生した場合、被災地域への救援隊・重機の派遣や緊急物資の輸送は、大量輸送が可能な船舶に依る部分が多い。特に、陸路が遮断された地域では船舶に頼らざるを得ない。その際、被災港湾では、使用できる施設が限定される中で、災害対応の緊急支援船と通常から当該港湾を利用している船舶とが混在する状況となる。このような、非常に係留需要の多い状況下においては、より効率的なバース利用を、速やかに調整しなければならない。しかし、大規模災害時の港湾利用の実態は、データの入手が困難であるため例が見られない。各港湾は自港湾のターミナルの利用状況を把握しているが、その詳細は公開されていない。また、統計法に基づく基幹統計である港湾統計年報(国土交通省)においても、東北地方太平洋沖地震後において、被災港湾のデータに欠損が生じている。以上の状況を踏まえ、本研究は、東北地方太平洋沖地震及び平成28年熊本地震の被災港湾について、AIS (Automated Information System : 船舶自動識別装置) データを用いて発災後のバース・ウィンドウを作成し、災害時の利用実態を把握・分析したものである。

大規模地震・津波後の港湾輸送需要について、井上<sup>1)</sup>、

高橋ら<sup>2)</sup>が阪神・淡路大震災における船舶による支援実績を整理している。Akakura and Ono<sup>3)</sup>は、東北地方太平洋沖地震等のデータを基に、不定期船貨物と定期船貨物の発災後の輸送需要の推計手法をとりまとめている。しかし、これらは需要面の検討であって、当該需要への港湾側の対応は含まれていない。既往の研究の中では、Trepte and Rice<sup>4)</sup>が米国港湾において災害発生時の貨物取扱能力について論じているが、災害時にも全体輸送需要が変化しないとの前提である。赤倉ら<sup>5)</sup>は大規模地震・津波後のコンテナ輸送について、代替港湾での取扱能力を分析し、これを踏まえた代替港湾の推計手法を構築している。しかし、研究対象はコンテナ輸送のみであり、緊急支援による需要増は対象となっていない。大規模港湾のコンテナターミナルでは、災害時においてもコンテナ輸送が継続されるが、地方の港湾では、多くはない施設を有効利用するため、コンテナターミナルでの緊急支援船の受入も検討せざるを得ない。このような状況に対して、本研究は、被災港湾において、緊急支援船と平常利用船の両方を効率よく受け入れるための実態把握を行ったものである。以降、2.にてバース・ウィンドウの作成手法、3.にて東北地方太平洋沖地震及び平成28年熊本地震時の分析について述べ、4.にてとりまとめる。

## 2. バース・ウィンドウの作成方法

### (1) AIS データ

最初に、本研究において活用した AIS データの概要について述べる。AIS とは、9.11 米国テロを発端として、船舶同士の衝突を防ぎ、航行安全性を確保するため、船舶が以下の情報を VHF 電波により自動的に相互に交換する装置である。

- ・静的情報：船舶の IMO 番号, Call Sign, 船名, 全長, 船幅, 船種, アンテナの船内位置
- ・動的情報：船舶の現在位置, 針路, 速度, 船首方位, 航海状況, 回頭率
- ・航海関連情報：船舶の実喫水, 危険貨物の種類, 目的港, 到着予定時刻等

AIS は、2002 年に発効した SOLAS 条約 (The International Convention for the Safety of Life at Sea) により、以下の船舶に搭載が義務付けられている。

- ・全ての旅客船
- ・国際航海に従事する 300 総トン以上の船舶
- ・国際航海に従事しない 500 総トン以上の船舶

AIS から発信された電波は船舶だけでなく、地上や衛星においても受信可能である。なお、搭載が義務付けられていない小型船舶を対象とした簡易で安価な Class-B AIS も使用されている。

### (2) 作成手法

赤倉・安藤<sup>6)</sup>は、AIS データを活用したコンテナターミナルのバース・ウィンドウの作成手法を構築しており、本研究では同じ方法を使用した。

具体的には、分析対象バース前面に離着岸判定エリアを設定し(図-1)、当該エリアに進入した船舶が対地速度 1kt 未満を 1 分以上継続した場合を着岸、当該エリアを離れた船舶が対地速度 2kt 以上を 2 分以上継続した場合を離岸と判定するものである。大阪夢洲コンテナターミナルにおける検証では、1 週間の離着岸データに対して、対象とする全コンテナ船を捕捉し、実際の離着岸時間との差は平均約 5 分との結果であった。AIS を搭載していないコンテナ船の離着岸実績はなかった。

なお、バース・ウィンドウとは、一般に、バースへの

八代港 震災後2週間目

ターミナル	4/24	4/25	4/26	4/27	4/28	4/29	4/30
10m岸壁1-3	■	■	■	■	■	■	■
10m岸壁4			■				■
12-14m岸壁	■	■	■	■	■	■	■
7.5-9m岸壁	■	■	■				

凡例	
□	係船なし
■	1隻係船
■	複数係船

図-2 バース・ウィンドウの作成例

船舶(船社)への割り当て、あるいは、その全体を示したチャートを指す。本研究で作成したチャートは、厳密には、バース・ウィンドウの利用実績となるが、同じ形式のチャートであることから、バース・ウィンドウと称している。

### (3) 作成例と精度の検証

作成対象とした港湾は、震災後の AIS データが入手できた港湾として、東北地方太平洋沖地震前後の仙台塩釜港及び鹿島港、平成 28 年熊本地震前後の熊本港及び八代港である。いずれのデータについても、震災後の停電により、一部のデータは欠損していた。複数バースが連続的に利用されるケースが多いことから、単独もしくは複数バースから成るターミナル単位で把握した。期間は、地震前 1 週間と、同じ曜日の地震後 2 週間とした。この際、東北地方太平洋沖地震では、震災後数日間データが欠損していたため、1 週間空けた。

バース・ウィンドウの作成例を図-2 に示す。このようなバース・ウィンドウを作成すれば、ターミナルの船舶利用状況が一目で判別できる。例えば、八代港の震災後 2 週間目においては、10m 岸壁 1~3 や 7.5-9m 岸壁では利用率が非常に高かったのに対し、10m 岸壁 4 (コンテナターミナル) においては利用率が低くなっていた。

作成したバース・ウィンドウの精度を検証するために、平成 28 年熊本地震後の熊本港、八代港の港湾管理者及び国土交通省による入出港記録と比較した結果が、表-1 である。AIS 搭載船については、熊本港で一部の海上保安庁の巡視船、八代港で貨物船 1 隻のデータが確認できな

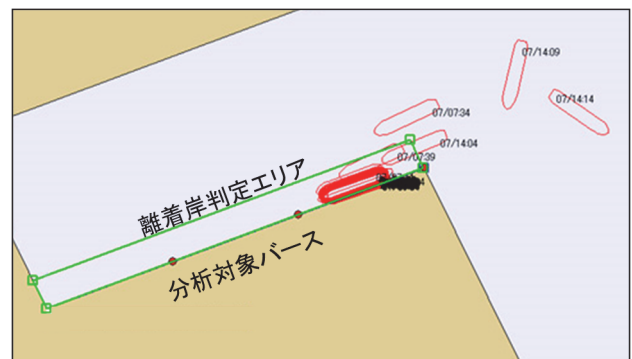


図-1 離着岸判定エリアの例

表-1 バース・ウィンドウ精度確認結果

港湾	船舶AIS種別	寄港隻数(4/17~30)		備考
		管理者・国	AIS	
熊本港	搭載	46	41	一部の巡視船確認できず
	非搭載	9	—	
八代港	搭載	19	18	貨物船AIS信号が途絶える
	非搭載	3	—	

※同一船の複数寄港も、複数隻数としてカウントした。

かった。発災後の停電により極一部のデータが欠損していたことに加え、巡視船は職務上位置確認を避ける必要性から停波していたものと想定された。前述の通り一定規模以上の船舶は、AISの搭載・作動が義務付けられているが、船員法施行規則第3条の16では、抑留・捕獲等航海の安全上やむを得ない場合に加え、航海の目的、様態、運航体制等を勘案し、国土交通大臣が告示で定めた以下の船舶はAISを常時作動させることが適切ではないとして例外が認められている。

- ・海上保安庁の船舶であって、警備救難の業務に従事するもの
- ・水産庁の船舶であって、漁業の取り締まり業務に従事するもの
- ・漁船であって、操業中のもの

したがって、熊本港で巡視船の一部が確認できなかったのはやむを得ないものである。しかし、東北地方太平洋沖地震でも巡視船が緊急支援を担っていることから、AISデータを用いた発災後の港湾の分析における課題であることが判明した。また、AIS非搭載船については、両港ともAIS搭載船に比べて隻数はわずかであった。なお、熊本・八代両港について、以降の分析ではAIS停止・非搭載船を考慮しなかった。東北地方太平洋沖地震と相対比較する上で、同じ条件であることが望ましいと考えたためである。

### 3. バース・ウィンドウの分析

#### (1) 対象ターミナル

表-2に分析対象のターミナルを示す。いずれも公共ターミナルであり、連続バースで一体的に運営されているものである。この中で、仙台塩釜港高砂ターミナル、熊本港7.5m岸壁ターミナル、八代港10m岸壁4ターミナルは、いずれもコンテナ専用である。なお、フェリーターミナルは着岸船が限定され、一般の緊急支援船の着岸が難しいことから対象から外した。

#### (2) 東北地方太平洋沖地震の被災港

被災港ターミナルのバース・ウィンドウを作成し、(1)式のバース占有率Rを整理した。

表-2 分析対象ターミナルの概要

港湾	ターミナル	バース長	バース水深	備考
仙台塩釜	高松	240m	-12m	
	中野1-2	425m	-10~12m	
	中野3-5	576m	-10m	完成自動車
	中野6	185m	-10m	
	雷神	410m	-7.5~9m	完成自動車
	高砂	600m	-12~14m	コンテナ
鹿島	北公共1	170m	-10m	
	北公共2	340m	-10m	一部コンテナ
	南公共1	370m	-10m	
	南公共2	260m	-7.5m	
	南公共3	260m	-7.5m	
	南公共4	370m	-10m	
熊本	7.5m岸壁	130m	-7.5m	コンテナ
	5.5m岸壁	270m	-5.5m	
	4.5m岸壁	120m	-4.5m	
八代	10m岸壁1-3	555m	-10m	
	10m岸壁4	185m	-10m	コンテナ
	12-14m岸壁	480m	-12~14m	
	7.5-9m岸壁	425m	-7.5~9m	

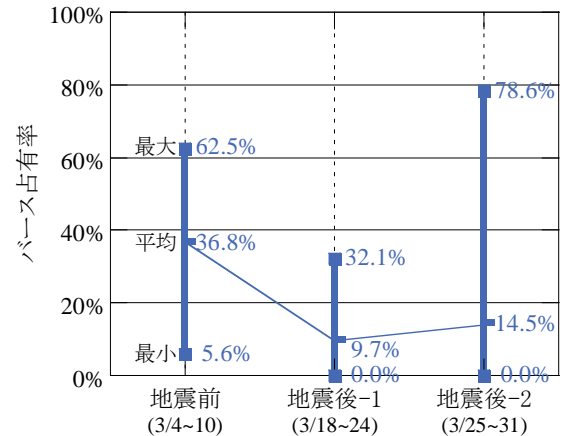


図-3 仙台塩釜港のバース占有率の推移

$$R = T_{Ship} / T_{All} \quad (1)$$

ここに、 $T_{Ship}$ :船舶着岸時間、 $T_{All}$ :全時間(1週間=168h)である。東北地方太平洋沖地震前後における仙台塩釜港及び鹿島港の結果が、図-3及び図-4である。いずれも各港の複数ターミナルの結果について、占有率の最大値・平均値・最小値の推移を示した。図-3の仙台塩釜港では、地震後の占有率が大きく低下していた。地震後3週間目(図中、地震後-2)においても平均占有率は低く、占有率:0%の使用不可ターミナルが複数あった。一方で、地震後3週目の最大占有率は、地震前より上昇しており、使用可能なターミナルに集中したものと想定される。図-4の鹿島港も同様で、地震後は平均占有率が一旦低下し、地震後3週間目に地震前に近いレベルまで回復したが、占有率:0%のターミナルも複数残っていた。さらに、地震後の最大占有率も、やはり地震前より上昇しており、集中利用の状況が見られた。

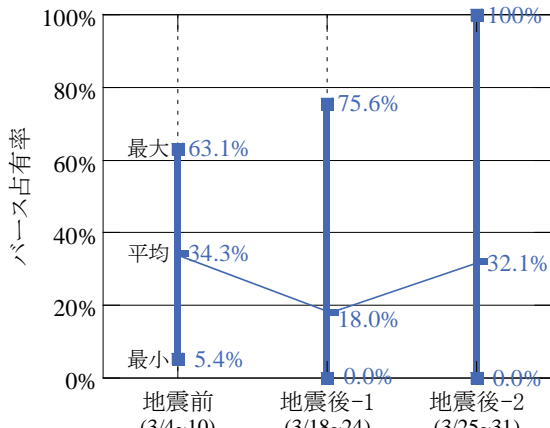


図-4 鹿島港のバス占有率の推移

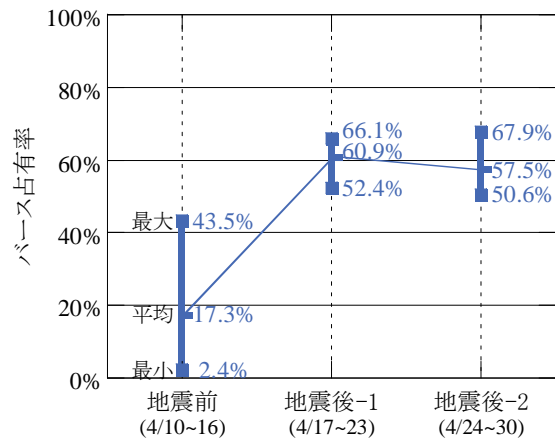


図-5 熊本港のバス占有率の推移

表-3 地震直後の鹿島港各ターミナルの供用状況

ターミナル	バス	当初状況	喫水制限の推移
北公共1	C岸壁	△	3/18(-6m)→3/20(-8m)
北公共2	D岸壁	×	
	E岸壁	×	
南公共1	A岸壁	×	
	B岸壁	×	
南公共2	C岸壁	△	3/22(-6m)→3/25解除
	D岸壁	△	〃
南公共3	E岸壁	△	〃
	F岸壁	△	〃
南公共4	G岸壁	△	3/22(-6m)→3/25(-8m)
	H岸壁	×	

供用水深 ○: 本来水深, △: 暫定水深, : 供用不可  
文献8)及び9)より整理

以上の結果と、地震後の実際の施設の状況とを対比させて確認する。表-3に地震後の鹿島港の各ターミナルの供用状況を示すが、震災直後に約半数のバスは供用不可であり、供用可能なバスであっても、津波による航路沈没物等のため、いずれも喫水制限が課されていた。さらに、地震被害のためにエプロンにおける荷重制限が課され、荷役に影響があった可能性も想定される。仙台塩釜港についても地震・津波により大きな被害を受けており、施設の利用状況は同様であった。同港において地震直後に喫水制限なく使用可能できたのは高松ターミナルだけであり、3月末時点で対象6ターミナル13バスのうち、5バスは使用不可であった。同港は、係留需要をコントロールするために、3月中は、港湾管理者が認めた緊急物資輸送等に從事した船舶に限定して利用可能としていた。

### (3) 平成28年熊本地震の被災港

前節の東北地方太平洋沖地震と同じ方法により、平成28年熊本地震前後の熊本港及び八代港のバス占有率の推移を整理した結果が、図-5及び図-6である。図-5の熊本港も、図-6の八代港も、地震後の平均バス占有率

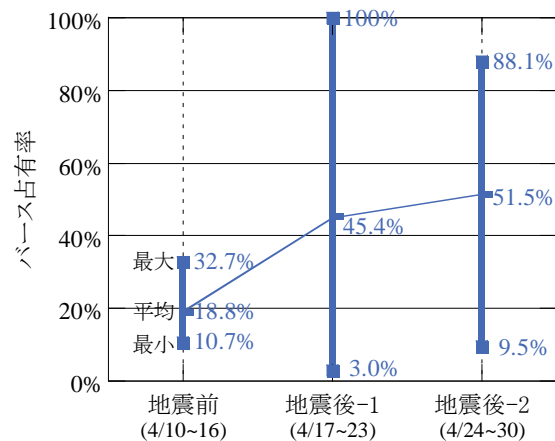


図-6 八代港のバス占有率の推移

は大きく上昇していた。緊急支援船の寄港により、係留需要が大幅に増加した結果である。一方、熊本港では、地震後の最大・最小バス占有率が平均値に近く、どのターミナルもほぼ均等に利用されていたのに対し、八代港では最大・最小バス占有率の幅が非常に大きくなっていた。この相違は、熊本港では平常時はコンテナ専用である-7.5m岸壁ターミナルを、緊急支援船に対しても使用可能としていたのに対し、八代港ではコンテナ専用の10m岸壁4を、地震後もコンテナ船専用としていた点が大きなき要因であった。熊本港では、外貿コンテナ船を早朝6時前後に着岸させ、数時間で荷役を行い、離岸後に緊急支援船を入港させていた。なお、両港湾の地震による被災状況については、熊本港ではコンテナターミナルのガントリークレーンの一部に破損が生じたが、部材を交換し4/23には供用再開している。八代港では-10m岸壁背後にクラックが発生したが、利用上の支障はなかった<sup>10)</sup>。

### (4) 係留需要の分析

これまで述べてきたように、東北地方太平洋沖地震における仙台塩釜港及び鹿島港は、港湾施設に甚大な被害が発生したため、相対的に被害が大きくなかった施設は



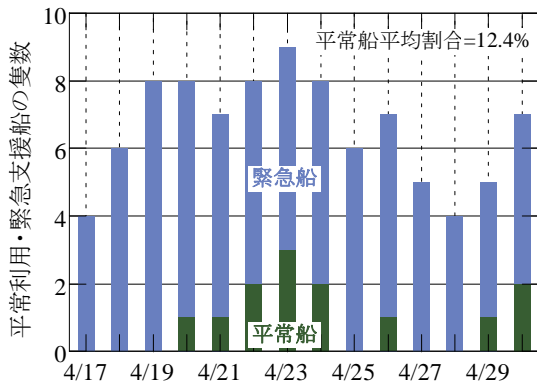


図-7 熊本港における平常利用船・緊急支援船の隻数

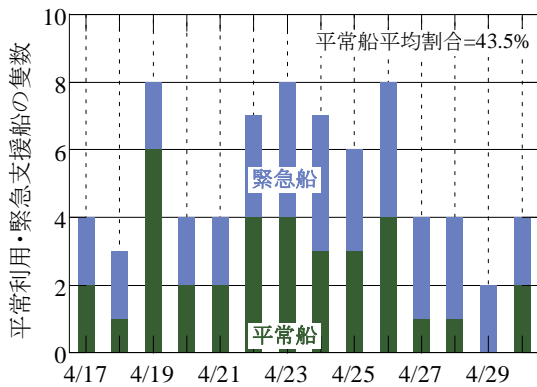


図-8 八代港における平常利用船・緊急支援船の隻数

喫水制限を掛けて暫定供用したものの係留需要には応えきれず、仙台塩釜港では緊急支援船等に利用を限定することで対応していた。一方、平成 28 年熊本地震における熊本港及び八代港では、港湾施設に大きな被害はなく、平常時より利用している船舶（平常利用船）と緊急支援船の両方の係留需要にできていたものと見られる。ここで、熊本港及び八代港の平常利用船及び緊急支援船の隻数の推移を見たのが図-7 及び図-8 であるが、熊本港の平常利用船の割合が平均 1 割強と非常に低かったのに対して、八代港は 4/27～29 を除けば概ね過半数以上が平常利用船となっていた。

大規模地震・津波が発生した場合、被災地では、企業等の被災により経済社会活動が停滞するため、平常時に当該港湾を利用していた貨物需要はある程度減少し、その後順次復旧していく<sup>3)</sup>。地震により大きな被害を受けた熊本市を主要な背後圏とする熊本港では、平常利用船の係留需要が一旦大きく低下し、一方で、緊急支援船の需要が大きく増加していた。これに対して、震源よりある程度距離のあった八代市では、平常利用船の係留需要はそれほど大きな影響を受けず、緊急支援船の需要が上乘せされたと考えられる。また、その緊急支援船の支援内訳も、水・電源供給やホテルシップが中心であり、物資輸送はなかった。これは、地震により被災地域内の道路には大きな被害があったものの、九州自動車道や国道

3 号線による被災地域へのアクセスが可能であったため、陸路が選択されたものである。もし、東北地方太平洋沖地震において東北自動車道や国道 6 号・45 号が大きな被害を受けたように、陸路によるアクセスが難しい状態になっていた場合、両港湾での係留需要はさらに増加していたであろう。

### (5) 今後に向けた考察

平成 28 年熊本地震においては、熊本港も八代港も施設に大きな被害がなかったが、もし、東北地方太平洋沖地震の鹿島港と同等の被害を受け、陸路も遮断された場合、使用可能な約半数の施設で係留需要に応えるのは、地震後の平均バース占有率が 5 割を超えていることから考えて、困難であったと想定される。同様に、南下トラフ巨大地震等今後の大規模地震・津波において、被災地の多くの港湾は、発災後の大きな需給ギャップに悩まされることになるだろう。したがって、特に、陸路の寸断可能性が高く船舶による支援に頼る部分の大きい地域では、対応策を早急に準備しておく必要がある。

大規模地震・津波後の係留需要増に対処する方法としては、(i) 港湾 BCP 等に基づいて施設の強靱化、復旧の迅速化を進めることにより、利用可能な施設を増加させる方法、(ii) 係留施設の効率的な利用により、受入可能船舶数を増加させる方法の二つが考えられる。前者については、国土強靱化基本法に基づくアクションプランにて 2016 年度中に重要港湾以上の全ての港湾で港湾 BCP を策定するとの目標が掲げられている。その中で、緊急支援船も含めて、係留需要にできる限り応えることができるように、地震・津波後に使用可能な施設を増やす耐震強化等を進めると共に、予め復旧手順や必要となる資機材の手配を想定・訓練しておき復旧をより早める検討を重ねる必要がある。後者の効率的な施設利用については、前述したとおり、熊本港の 7.5m 岸壁ターミナルにおいて、平常利用コンテナ船を早朝荷役で対応し、昼間に緊急支援船である巡視船を受け入れていた。使用可能な施設において、平常利用船と緊急支援船の共存を図ることは、一つの解決策である。また、同ターミナルにおいて、海上保安庁の巡視船の並列係留も行われていた(図-9)。これらの巡視船は、被災者への水や電源の供給、入浴支援等であったため、荷役はなかった。これも、利用可能な係留施設を有効活用する一つの方法である。

さらに、地震発生後に複数のターミナルにおいて、利用可能な時空間を探す上では、本研究で作成したバース・ウィンドウが活用可能である。例えば、各ターミナルの占有率を自動算定できるようにしておき、相対的に占有率の低いターミナルのバース・ウィンドウを確認して、一部の配船を変更するといった検討に使用できる。

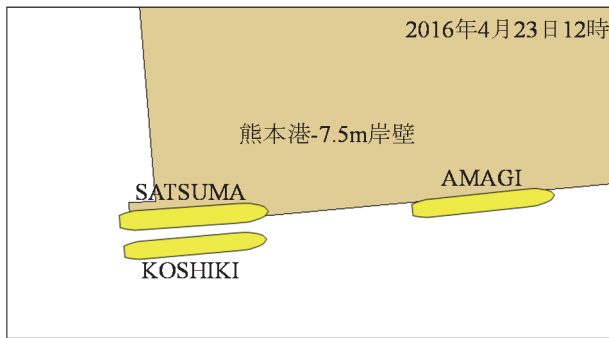


図-9 熊本港における巡視船の並列係留例 (AIS データ)

#### 4. 結論

本研究は、東北地方太平洋沖地震及び平成 28 年熊本地震の被災港湾について、AIS データを用いて地震後のバース・ウィンドウを作成し、災害時の利用実態を把握・分析したものである。その結果、東北地方太平洋沖地震の被災港湾においては、使用可能な係留施設が限られて受入能力が低く、仙台塩釜港では係留需要を限定することで対応していた。また、平成 28 年熊本地震の熊本・八代港では、発災後に緊急支援船による係留需要の大幅増が見られた。これらの状況を踏まえ、今後の大規模地震・津波の被災港湾が係留需要に対応するためには、港湾 BCP 等において施設の強靱化及び復旧の迅速化を進めると共に、平常利用船の荷役時間調整や緊急支援船の並列係留等発災後の施設の効率的な利用が必要であることを考察した。また、地震後のバース・ウィンドウの活用についても示した。

今後は、発災時の海上交通を利用した緊急支援をより円滑に進めるため、被災港湾を想定したより具体的な検討を進めていきたい。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 (15H02970) の助成を受けたものです。また、熊本港及び八代港の入出港記録につ

いて、熊本県土木部港湾課及び国土交通省港湾局海岸・防災課にご協力を頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 井上欣三：地震災害と船舶の活用—阪神大震災における船舶の活用実態と問題—, NAVIGATION, No.126, pp.1-11, 1995.
- 2) 高橋宏直, 中本隆, 吉村藤謙：兵庫県南部地震時の震災直後における海上輸送モードの対応状況に関する分析, 港湾技研資料, No.861, 1997.
- 3) Akakura, Y., and Ono, K.: Estimation method for port cargo demands after large-scale earthquakes and tsunamis, *Journal of JSCE*, Vol.5, pp113-122, 2017.
- 4) Trepte, K. and Rice Jr., J. B.: An initial exploration of port capacity bottlenecks in the USA port system and the implications on resilience, *International Journal Shipping and Transport Logistics*, Vol.6, No.3, pp.339-355, 2014.
- 5) Akakura, Y., Ono, K., Watanabe, T. and Kawamura, H.: Estimation of alternative ports for container transport after large-scale disasters –Estimation method and application to Port-BCPs–, *Journal of Integrated Disaster Risk Management*, Vol.5, No.2, pp.135-152, 2015.
- 6) 赤倉康寛, 安藤和也：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評価, 土木学会論文集 B3, Vol.68, No.2, pp.I\_1175-I\_1180, 2012.
- 7) 赤倉康寛, 小野憲司：大規模災害時の緊急物資等支援船の船型及び対応港湾施設の必要諸元, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, pp.810-815, 2016.
- 8) 国土交通省関東地方整備局, 茨城県土木部：鹿島港における復旧・復興方針～産業・物流復興プラン～, 2011.
- 9) 社団法人日本埋立浚渫協会：特集東日本大震災 本格化してきた被災港湾の復旧・復興工事, *Marine Voice*, Vol.276, Winter2012, 2012.
- 10) 国土交通省港湾局：平成 28 年熊本地震に係る港湾の対応状況について, 交通政策審議会, 第 63 回港湾分科会資料 1, 2016.

(2017.2.2 受付)

## ANALYSIS OF BERTH WINDOW OF STRICKEN PORT DUE TO LARGE-SCALE EARTHQUAKE AND TSUNAMI

Yasuhiro AKAKURA and Kenji ONO

The ships of means of mass transportation can play a big role in emergency relief logistics for after large-scale earthquake and tsunami. The berth utilization at disaster-stricken port should be arranged quickly and efficiently under the condition that the available berths are limited.

Against above mentioned background, this research grasped and analyzed the berth window of stricken port by using AIS data. As a result, the ports struck by the Great East Japan Earthquake lacked their berthing ability due to earthquake and tsunami damage, and the berthing needs of ports affected by the 2016 Kumamoto Earthquake surged by emergency relief ships. In addition, advance preparations and contingency plans for ports caused by future large-scale earthquake and tsunami was discussed.