

バルクキャリアの入港喫水を増加させるUKC予測・管理手法の提案

ドライバルク貨物を輸送するバルクキャリアが急激に大型化してきているが、我が国のバルク貨物輸入港湾の多くは高度成長期に整備されており、この流れに対応できていない。平成23年5月末に国際バルク戦略港湾が選定され、今後整備が進められることとなるが、東日本大震災の復旧・復興が優先される中では、整備完了までにはある程度の期間を要することとなる。そのため、整備完了までの間、既存施設において、安全性に支障がない範囲で、可能な限り大型のバルクキャリアを受け入れる必要がある。本研究では、以上の状況を踏まえ、潮位を有効に利用し、バルクキャリアの入港喫水を増加させるUKC予測・管理手法を提案する。

キーワード **バルクキャリア, 潮位, 航路, 喫水, UKC**

赤倉康寛

AKAKURA, Yasuhiro

博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾計画研究室長

瀬間基広

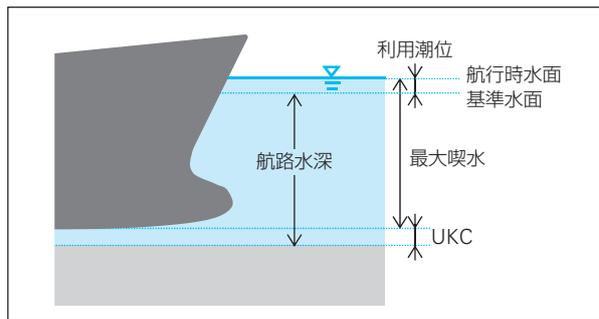
SEMA, Motohiro

国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾計画研究室研究員

1 序論

ドライバルク貨物を輸送するバルクキャリアが急激に大型化してきている。我が国のバルク貨物輸入港湾の多くは、高度成長期に整備されており、この大型化の流れに対応できていない。平成23年5月末に国際バルク戦略港湾が選定され、今後整備が進められることとなるが、限られた予算において、東日本大震災の復旧・復興が優先される中では、整備完了までにある程度の期間を要することとなる。したがって、この整備完了までの間は、既存施設において、安全性に支障がない範囲で、可能な限り大型のバルクキャリアを受け入れる必要がある。本研究は、以上の状況を踏まえ、潮位を有効に利用し、バルクキャリアの入港喫水を増加させるUKC(Under Keel Clearance)予測・管理手法を提案するものである。

船舶が入港可能な最大喫水は、利用潮位とUKCにより定まる。図一1に示すとおり、航路水深に利用潮位を加えた航行時の水深は、船舶の最大喫水にUKCを加えた値に等しくなる。従って、なるべく大きな喫水の船舶を入港させるためには、利用潮位を増加させるか、UKCを減少させるしかないが、潮位変動は、港湾により定まる。UKCについては、従来、最大喫水の10%とする考え方が一般的であったが、船舶や気象・海象条件により必要とされるUKCを個別に算定し、管理するシステムが開発され、オーストラリア¹⁾、²⁾、ニュージーランド²⁾、オランダ³⁾、⁴⁾やアメリカ⁵⁾では既に長期にわたり運用されている。一方、我が国では、統一的な基準等は見当たらず、従来の固定



■図一1 航路水深・最大喫水・利用潮位・UKCの関係

的なUKCを使用し、利用潮位も制限が課されている港湾が多い。

航路の水深は、海象等が入港限界の条件下で設定されている。そのため、通常の、より穏やかな海象条件下では、必要なUKCは小さくなる。このUKCの確保により航行可能との運用にすれば、安全性を確保した上で、入港喫水の増加が可能となる。本研究では、この考え方に基づき、以下、2章において世界のバルク港湾での入出港運用について整理した上で、3章において航路諸元算定プログラムJ-Fairwayを活用したUKC予測・管理手法を提案し、実際の港湾における試算結果を示す。なお、本研究は、国際バルク戦略港湾を念頭に置いているが、これは、我が国のバルク港湾の置かれた状況だけでなく、バルク貨物輸送が不定期輸送であり、バルクキャリアの船速は、定期船であるコンテナ船やフェリーより遅い、いわば“急がない”貨物であり、潮待ちを許容しやすいことをも踏まえたものである。本研究で提案するUKC予測・管理手法は、原理的には船種・港湾に限定無く使用可能である。

2—世界のバルク港湾の入出港運用

2.1 世界のバルク港湾のデータ

世界のバルク港湾における入出港時の潮位利用の状況を概観するため、データを整理し、分析する。

2.1.1 使用データ

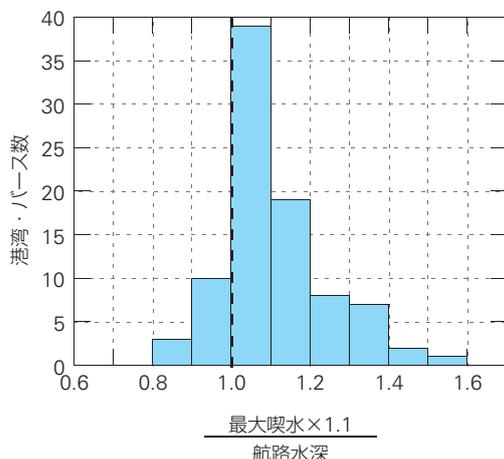
各港湾の入出港運用や、航路水深(航路の中で一番浅い部分の水深)及び最大喫水(航路航行可能な船舶の最大の喫水)を、各港湾のPort Informationに加え、文献(6)～(10)の情報を基に整理した。対象は、三大バルク貨物(石炭・鉄鉱石・穀物)の世界の主要積出港(Newcastle, Port Hedland, Tubarao, South Louisiana等、内訳は豪州:10, 北米:10, 南米:11, アフリカ:2, アジア:9)及び東アジアの主要荷揚港(衣浦, 舟山(馬迹山), 鹿島等、内訳は日本:35, 中国:18, 韓国:6, 台湾:5)で、106港湾・バースである。

2.1.2 潮位利用に関する記述

各港湾の入出港運用に関する情報の中で、入出港における航路航行時の潮位利用の可否の記載を確認した。その結果、全体の約6割に当たる61港湾・バースで、潮位の利用が可能である旨の記載が確認された。潮位利用が不可能である旨の記載はほとんど無く、残り4割については利用の可否は判断できない状態であった。

2.1.3 航路水深と最大喫水

約4割の港湾・バースで、航路航行時の潮位利用の可否が不明であったことから、航路水深と最大喫水の比較により、潮位利用の有無を推察する。欧州水先人会や日本の港湾の施設の技術上の基準・同解説¹¹⁾(以降、「技術基準」という)では、港内航路では、UKCは最大喫水の10%とされていることを踏まえ、航路水深と最大喫水×1.1(=最大喫水+UKC)とを比較した結果が、図一2であ



■図一2 航路水深と最大喫水×1.1の比較

る。両データが確認できた89港湾・バースのうち、85%を超える76港湾・バースで、最大喫水×1.1/航路喫水が1.0より大きくなっており、全データの平均値は1.13、利用潮位の平均値は1.9mであった。この結果より、大半の港湾では、航路航行時の潮位利用が認められていると推察される。

2.2 日本の港湾の入出港運用

日本の港湾における入出港の制度及び各港湾における運用を整理する。

2.2.1 制度面

(1) 港湾管理者

港湾管理者は、港湾管理条例に基づき、公共バース:係留施設利用許可、専用バース:水域占有許可を行うため、この際、入港可能な最大喫水を確認している。参照される技術基準¹¹⁾では、解説において、潮位を「実際の航路の利用において水深を増加させる要素として考慮できる」と記載されている。

(2) 港長

港長は、港則法に基づく港湾管理者からの係留施設使用届において、係留船舶の最大喫水を確認しており、海上交通安全確保の立場から、指導・調整が行われている。

(3) 水先人

水先人は、水先引受基準を定めており、その中には最大喫水が含まれている。同基準は、強制水先区はもちろんのこと、運用上原則水先人の乗船が必要とされている水先区においても、入出港の判断基準となる。東京湾区、伊勢湾区、阪神区(大阪港)の基準では、いずれも潮位を利用可能であるものの、最大喫水は海図記載水深(=航路水深)までで制限されている¹²⁾。

2.2.2 各港湾の運用

(1) 全体データ

穀物、石炭及び鉄鉱石の荷揚港である博多・徳山下松及び木更津の3港湾について、ヒアリングにより入出港運用の状況を把握した。その結果のうち、航路水深・最大喫水等のデータをまとめたのが、表一1である。4航路とも、UKCは最大喫水の約10%であった。

(2) 博多港の例

博多港では、港湾管理者である福岡市港湾局、港長及び安全対策協議会(水先人、代理店等で構成)が共同で、「博多港船舶入出港及び岸壁利用基準」を定めている。同基準では、最大喫水の10%のUKCが確保されれば潮位

■表—1 日本港湾における入出港運用データ

港湾/航路	航路水深	最大喫水	利用潮位	UKC
博多港 中央航路	12.0m	12.0m	1.2m	d 10%
徳山下松港 徳山西航路	12.8m	12.8m	1.2m	d 10%
徳山下松港 新南陽航路	10.0m	10.9m	1.8m	d 10%
木更津港 木更津航路	19.0m	18.0m	1.0m	d 11%

注：UKCのd 10%は、最大喫水の10%を示す。

の利用が可能であり、最大喫水はバース水深を超えないこと等が規定されている。

(3)徳山下松港の例

徳山下松港では、徳山西航路及び新南陽航路の幅・水深が、港湾計画に定める諸元に達していないことから、関係者間で暫定利用基準が定められている。同基準では、徳山西航路は、最大喫水は海図記載水深(=航路水深)までであるが、新南陽航路では、特定措置として海図記載水深を超えて利用可能となっている。暫定利用に当たっては、規定のチェックリストにより、船型や航行方法、新南陽航路では緊急離岸を想定した荷役スケジュールまで確認した上で、通航が許可されている。

(4)木更津港の例

木更津港は強制水先区にあるため、東京湾水先区水先会の引受基準が、そのまま入出港可否の判断となる。引受基準では、潮位を利用して、喫水17m以上の船舶に対し、UKCに最大喫水の11%が必要となっている他、入出港時の潮流についても定められている。入出港の判断を容易にするため、バース保有者である新日本製鐵君津製鐵所では、潮位・潮流の予測値を基に、入出港船の喫水に対して、即座に航行可能時間を示す「潮位・潮流予測システム」を開発し、運用している。我が国の港湾において、航路航行可能時間を示すTidal Windowを運用している数少ない例ではないかと思われる。

2.3 海外の港湾の入出港運用

海外の港湾における入出港運用を整理すると共に、先進のUKC予測・管理システムについても概観する。

2.3.1 各港湾の運用

(1)全体データ

海外の石炭・鉄鉱石積出・荷揚港の5港湾について、Port Information等により入出港運用の状況を把握した。そのデータをまとめたのが、表—2である。Tanjung Bara

■表—2 海外港湾における入出港運用データ

港湾/航路	航路水深	最大喫水	利用潮位	UKC
Tubarao Port Access Channel	22.5m	21.3m	1.3m	—
Saldanha Bay Port Turning Basin	23.2m	21.5m	1.9m	—
Tanjung Bara Port Departure Channel	18.0m	18.8m	2.8m	1.25m
Port Hedland Main Shipping Channel	14.3m	20.0m	7.6m	DUKC
Port of Rotterdam Euro-Maas Channel	23.4m	22.6m	1.8m	HARAP

Port やPort Hedlandでは、利用潮位が、日本の港湾に比べて大きくなっていった。

(2)Tubarao Portの例

ブラジル鉄鉱石メジャーValeが管理・運営する鉄鉱石積出港湾。常時入出港可能な喫水が20mであることから、UKCは最大喫水の概ね10%と推察される。

(3)Saldanha Bay Portの例

南アフリカの鉄鉱石積出港湾。国営港湾公社が管理・運営。同港では、予測困難なうねりが発生する。そのため、鉄鉱石積出バースからの出港船の最大喫水は21.5mだが、うち0.25m分は港長の裁量に依るとされている。

(4)Tanjung Bara Portの例

インドネシアの石炭積出港湾で、民間会社PT Kaltim Prima Coalが所有・運営。UKCは、最大喫水に依らず、入港時で0.75m、出港時で1.25mとなっている。

(5)Port Hedlandの例

オーストラリアの鉄鉱石積出港湾で、Port Hedland Port Authorityが管理・運営。同港は、40km以上の長大な航路に、7m以上の大きな潮差があるため、1995年よりUKCを予測・管理するDUKC(Dynamic Under Keel Clearance)システムを導入し、航路水深に比して、喫水の大きな船の航行を確保している。

(6)Port of Rotterdamの例

欧州最大の鉄鉱石荷揚港で、市・国が出資するPort Authorityが管理・運営。総延長57kmの長大なアクセス航路がある。同港では、1985年より、UKCを予測・管理するHARAP(HARbour APproach)を運用しており、当時より、世界最大^{注1)}の36万DWT鉄石専用船が入港している。現在は、同システムを発展させたPROTIDE(Probabilistic Tidal Window Determination System)を開発中である。

2.3.2 UKC予測・管理システム

UKCを固定的な数値(最大喫水の10%等)とするのではなく、気象・海象、船舶諸元、船速、実喫水等によりそれぞれ算定し、管理するUKC予測・管理システムが、既に開発され、オーストラリア¹⁾、²⁾、ニュージーランド²⁾、オランダ³⁾、⁴⁾、アメリカ⁵⁾で10年以上にわたり運用されている。前述のPort Hedlandの例では、システム導入により、最大喫水が平均65cm大きくなり、平均8千トンの追加積載が可能となった(Capesize)他、航路航行可能時間帯が長くなったことにより、船舶の入出港が、毎年50隻以上増加したと報告されている¹⁾。

また、UKC予測・管理システムの長所は、どのような海象・気象等の条件においても、ある一定の安全性を保持できることである。すなわち、穏やかな海象・気象においてはUKCを小さくできることに加え、うねりが強い場合などは、最大喫水の10%以上のUKCが必要となる場合がある²⁾。一定の安全性を保持することにより、結果として底触等の危険性を削減できるため、このUKC予測・管理システムの導入は、安全面からも、有用性が高い。Port of Rotterdamで運用されているHARAPでは、航路の供用期間25年間において、航行船が底触し軽微な損傷が発生する確率を10%(237年に1度)以下で管理し³⁾、実際には2005年までの20年間で、潮位利用が必要な船の底触事故は発生していない⁴⁾。

3——J-Fairwayを活用したUKC予測・管理手法

3.1 航路諸元算定プログラムJ-Fairway

J-Fairwayは、現行の港湾施設の技術基準¹¹⁾の航路諸元算定方法(第2区分照査)に準拠した算定プログラムであり、(社)日本航海学会規格委員会と国土技術政策総合研究所とが共同開発したものである。技術基準¹¹⁾では、航路の必要水深 D を、以下に算定できるとしている。

$$D=d+D_1+\max(D_2, D_3)+D_4 \quad (1)$$

ここに、 d :最大喫水

D_1 :航走中の船首沈下量

D_2 :縦揺れによる船首沈下量

D_3 :横揺れによる船底ビルジ部沈下量

D_4 :余裕水深

このうち、波浪に起因する揺れによる沈下量 $D_2 \cdot D_3$ は、ある一定の波浪環境下において発生するため、UKCとして常時必要なのは航走中の船首沈下量(Squat) D_1 及び余裕水深 D_4 である。ここで、港湾計画において航路水深を定める場合には、入港限界の波浪条件を用いるため、 D_2 もしくは D_3 が発生する。しかし、一般の、より穏やかな環境下では、入港限界の状態より $D_2 \cdot D_3$ の値が小さかったり、発生しない波浪条件であったりするため、(1)式による必要水深が小さくなる。そのため、安全性を損なうことなく、

最大喫水の増加、もしくは、航路航行可能時間の増加が見込めることとなる。

3.2 J-Fairwayを活用したUKC予測試算

具体の港湾において、UKCを最大喫水の10%とした場合(以降、「UKC10%」という)とJ-Fairwayを活用した場合の必要水深を試算し、比較する。

3.2.1 試算手法

(1)手順

試算の手順は、以下のとおり。

- ①各港湾・時間の潮位予測値を入手。
- ②UKC10%として必要水深を算定し、“最大喫水×1.1”と“航路水深+潮位予測値”とを比較することにより、航路航行可否を判定。
- ③各港湾・時間の波浪予測値を入手。
- ④J-Fairwayにより航路の必要水深を算定し、“航路水深+潮位予測値”と比較することにより、航路航行可否を判定。

なお、航路航行可否の判定では、試算であることから、他の諸条件を考慮していない。実際には、潮流等の条件も加味される場合や、航路航行に要する時間から数時間の連続確保が条件となっている場合、さらには、夜間入港が認められていない場合もある。

(2)対象港湾・船型

試算の対象とした港湾及び船型は、表一3のとおり。国際バルク戦略港湾に選定された港湾において、現状で想定される最大級の船型を対象とした。航路航行速度は、一般的な速度として6ktと設定した。

■表一3 試算対象港湾及び船型

港湾	品種	航路水深 (m)	対象船型 $L \times B \times d_{full}/d$ (m)
小名浜	石炭	14.0	8.8万DWT幅広浅喫水型 230×38×13.8/13.8
鹿島	鉄鉱石	19.0	23万DWT・VLOC 327×52×18.1/18.1
木更津	鉄鉱石	19.0	33万DWT・VLOC 340×60×21.2/18.0
名古屋	穀物	12.0	7.5万DWT・Panamax 225×32.3×14.2/11.9
志布志	穀物	13.0	7.5万DWT・Panamax 225×32.3×14.2/13.0

注：DWT：載貨重量トン、L：全長、B：船幅、 d_{full}/d ：満載/最大喫水

(3)使用データ

試算期間は、平成23年6月14日～27日の2週間、データピッチは1時間である。①の潮位予測値は、海上保安庁Web¹³⁾のデータを用い、③の波浪予測値は、(財)沿岸技術

研究センターの沿岸気象海象情報配信システムCOMEINS Web¹⁴による波浪ポイント予測において、航路近傍の前日夕刻のデータを用いた。波浪予測データの推計方法及び精度は文献15)に詳細があるが、その中では、1ヶ月の推計値に対する実測値の精度として、波高:0.82~0.97, 周期:0.70~0.91の相関係数が得られたとされている。

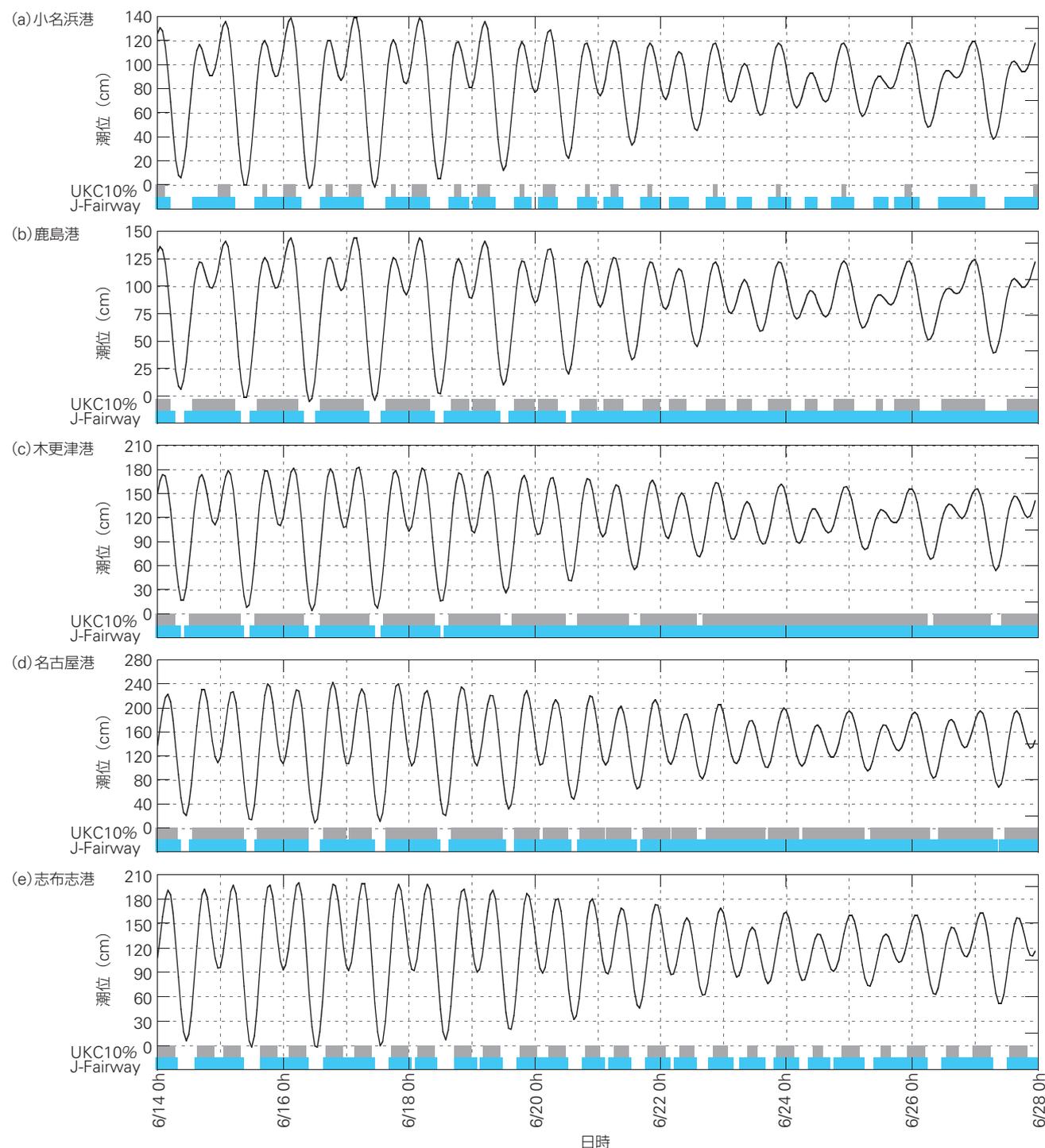
3.2.2 試算結果

(1) 航路航行可能時間の比較

各港湾の試算結果について、各時間帯の潮位と、UKC10% (灰色)及びJ-Fairway (青色)の航行可能時間帯

を示したのが、図-3である。試算した5港湾全てにおいて、UKC10%よりJ-Fairwayによる航行可能時間の方が長くなっていた。特に、(a)小名浜港や(e)志布志港では、両者の差が顕著であった。

航路航行可能時間の試算結果をまとめたのが、表-4の「航行可能時間率」の列である。J-Fairwayによる航行可能時間率は、UKC10%より、13~46%ポイント長くなっていた。一日あたりの平均航行可能時間に換算すると、3.1~11時間に相当する。潮待ちは、当該船の入港が遅くなるだけでなく、荷役~出港、さらには、同じバースを使用する後続船の遅れをも招くため、この差は大きいと考えられる。



■図-3 各港湾における潮位と航行可能時間帯の試算結果(平成23年6月14日~27日)

■表—4 試算結果のまとめ

港湾	航行可能時間率 (日当たり平均時間)		最大喫水 増加量 (cm)	追積可能 トン数 (MT)
	UKC10%	J-Fairway		
	UKC10% (3.4)	J-Fairway (14.4)		
小名浜	14.0% (3.4)	59.8% (14.4)	34	2,500
鹿島	56.5% (13.6)	91.4% (21.9)	60	9,000
木更津	83.0% (19.9)	96.1% (23.1)	55	11,200
名古屋	77.7% (18.6)	90.5% (21.7)	37	2,400
志布志	43.8% (10.5)	71.4% (17.1)	35	2,300

(2)最大喫水増加量・追積トン数の試算

試算結果では、J-FairwayによるUKCが、常時、最大喫水の10%より小さくなった。このUKCの差を確認したのが、表—4の「最大喫水増加量」の列である。J-Fairwayにより、34~60cmの喫水の増加が可能となっていた。仮に、各港において、最大限まで潮位を利用可能で、UKC10%と同じ航行可能時間で運用とした場合、J-Fairwayの活用で各船の積載量を増加させることが出来る。その増加量が、表—4の「追積可能トン数」の列であるが、Panamaxクラスで2千トン超、VLOCでは約1万トンの追加積載が可能と試算された。これは、各船の満載積載量の約3%に相当するため、輸送費に与える影響は大きいものと推察される。ただし、実際に追加積載が可能であるかどうかは、積出港側の条件にも依る。

(3)波浪動揺に対する分析

対象期間：2週間における試算において、J-Fairwayによる算定では、全ての港湾・時間において、結果として、波浪による船体動揺での沈下 $D_2 \cdot D_3$ (式(1)参照)は、いずれも発生しなかった。これは、期間中に発生が予測された有義波の周期が、波浪による沈下 $D_2 \cdot D_3$ が生じる帯域より短かったためである。ここで、通年における使用を想定し、まず、試算期間中に各港湾で発生が予測された最大有義波と、波浪沈下が生じる波周期の下限値とを整理したのが、表—5である。試算期間中の最大有義波は、外海に面している小名浜港、鹿島港、志布志港では有義波高が1.0mを超え、その周期も6~9秒と長くなっていた。一方、湾内の木更津港、名古屋港では、有義波高が50cm以下、周期も4秒以下であった。これに対し、波浪沈下が生じる波周期は、縦揺れではPanamaxクラスで約9.5秒、VLOCで約14秒、横揺れではいずれも16秒以上となっていた。両者を比較すると、小名浜港と志布志港では、差が2秒以内と近くなっていたが、その他の港湾では、両者には大きな差があった。

次に、各港湾において、通年で、波浪沈下が生じる周期

■表—5 最大有義波と波浪沈下が生じる波周期下限値

港湾	期間中最大有義波		波浪沈下の下限周期 (s)	
	波高 (m)	周期 (s)	D_2 (縦揺れ)	D_3 (横揺れ)
小名浜	1.64	7.7	9.5	17.5
鹿島	1.80	6.3	13.6	20.4
木更津	0.36	2.6	14.1	22.0
名古屋	0.45	3.6	9.9	16.1
志布志	1.72	8.9	9.6	16.1

の有義波の発生状況を確認するため、各港湾に一番近いナウファス(全国港湾波浪情報網：NOWPHAS (Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HAbourS))観測地点の有義波データを文献16)より整理したのが、表—6である。観測地点は、水深から判るように、いずれも沖合にあるため、波高も周期も検討対象の航路上より、かなり大きいものと推察される。この点を踏まえつつ、データを確認すると、まず2009年の最大有義波の周期は、ナウファス観測地点の小名浜及び志布志湾において、それぞれ小名浜港及び志布志港の縦揺れ沈下の下限値(表—5)より長くなっていた。また、2009年中に顕著な高波をもたらした気象じょう乱16回について、それぞれ対応する港湾での縦揺れ沈下が生じる波周期より長い周期の有義波が発生した回数を確認したところ、ナウファス観測地点の小名浜、常陸那珂及び志布志湾において、それぞれ小名浜港、鹿島港及び志布志港の下限値(表—5)を超える有義波が発生していた。外洋に面しているこれらの港湾では、波浪沈下が生じる有義波の発生可能性が、湾内の港湾に比べて、相対的に高いと言える。

■表—6 ナウファス観測地点での2009年有義波データ

ナウファス 観測地点	水深 (m)	2009年最大有義波		気象じょう乱 縦揺れ回数
		波高 (m)	周期 (s)	
小名浜	23.8	5.22	10.9	9
常陸那珂	30.3	6.67	8.5	1
第二海堡	28.8	2.20	6.4	0
伊勢湾	26.9	2.54	5.0	0
志布志湾	35.0	3.44	16.0	3

注：縦揺れ回数は、文献16)にて、顕著気象じょう乱(全16回)のうち、表—5の D_2 (縦揺れ)下限以上の周期の波が発生した回数。

波浪沈下が生じた場合に、どの程度の水深が必要となるのかを試算した結果が、表—7である。有義波高は、試算期間中の最大有義波(表—5)と、鹿島港の水先引受基準が波高2.0m以下である¹²⁾ことを踏まえて、外洋に面した港湾では2.0m、湾内では1.0mと設定し、波向きは、試算期間中に一番多かった方向とした。試算結果では、縦揺れ(D_2)・横揺れ(D_3)発生時の最大必要水深は、いずれもUKC10%より大きくなっていた。もし、このような波浪中で入港する場合、UKC10%では不足であり、安全性確保のため、UKCをさらに大きくとらなければならない。実際

には、鹿島港の水先引受基準では波浪の波長は対象船舶の全長の1/3以下とされている¹²⁾ように、表—7のような悪天候時の入港は想定されないが、波浪沈下が生じる場合においては、UKCを最大喫水の10%以上確保しなければならない場合も、可能性としてはあり得る。

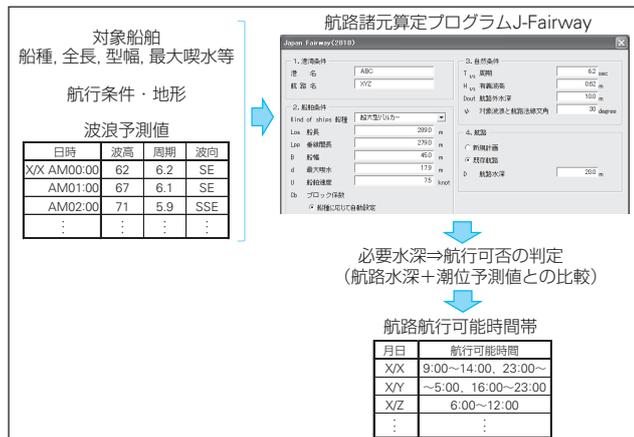
■表—7 最大波浪沈下発生時の必要水深試算

港湾	設定波高 (m)	最大D ₂ 発生時		最大D ₃ 発生時	
		周期 (s)	必要水深 (m)	周期 (s)	必要水深 (m)
小名浜	2.0	14.0	15.74	17.5	18.47
鹿島	2.0	20.0	20.21	20.4	23.69
木更津	1.0	43.0	19.82	22.0	20.35
名古屋	1.0	22.5	13.80	16.1	14.11
志布志	2.0	14.0	14.84	16.1	17.46

3.3 運用に向けた考察

UKC予測・管理システムは、多様な船種・船型や航行環境に対して、ある一定の安全性を確保した上で、穏やかな航行環境下では、より多くの貨物の積載、もしくは、より長い航行可能時間の確保が可能となるものである。本研究で提案する、J-Fairwayを活用したUKC予測・管理システムを、図—4に示す。まず、入港が想定される対象船舶の諸元や航行条件・地形に加え、各日時の波浪予測値をJ-Fairwayに入力する。その結果、当該日時に航路を航行するのに必要な水深が算定され、航路水深+当該日時の潮位予測値との比較により、航路航行の可否が判定できる。判定結果を整理することにより、波浪予測値が出ている範囲内(現在は8日先まで)で、航路航行可能時間帯(Tidal Window)が整理されることとなる。留意が必要なのは、波浪予測値は予測期間が短くなるほど精度が高くなることから、予測値の更新に併せて、航路航行可否の判定結果が変わる可能性があることである。さらに、潮位予測値と実際の潮位との差、海図記載水深と実際的水深との差の有無についても、確認が必要である。

一方、UKC予測・管理システムの導入により、潮位を有



■図—4 J-Fairway を活用したUKC予測・管理システムの運用想定

効に活用して入港喫水を増加させる場合、航路水深=海図記載水深を超えた喫水での航路航行が必要となる。現状の日本では、2.2.1(3)節でも記載したとおり、基本的には最大喫水は、航路水深を超えない範囲とされている港湾が多い。これは、万が一航路上で航行が出来なくなっても、最大喫水が航路水深以下であれば、底触を避けることが出来るための規定と推察される。ここで、最大喫水が航路水深を超えている割合を、日本と海外の港湾で確認したところ、表—8のとおり、日本では前述の徳山下松港新南陽地区のように特例的措置であるのに対し、海外では過半数が海図水深を超えた喫水での航路航行が可能となっていた。特に、UKC予測・管理システムが導入されているオーストラリアでは、8港湾中、7港湾で最大喫水が航路水深を超えていた。もちろん、国・港湾によって事情は異なっており、例えば、前述のPort Hedlandでは40km超の航路があるが、その中で水深が14.3mである区間は限られる。このような場合、水深の浅いポイントを中心にUKCを予測・管理し、万が一航行不能となった場合には、水深の深い箇所へタグによる曳航が可能と考えられる。これに対し、日本では、航路全域にわたり、同一水深で浚渫される場合が多い。そのため、J-Fairwayを活用したUKC予測・管理システムの運用において、海図記載水深を大きく超えた最大喫水で運用する場合には、航行不能となった場合に航路外にタグにより曳航可能であるかどうかを確認し、航路が非常に長い場合には、必要に応じ、退避水域を設けることも一つの方法として考えられる。

■表—8 航路水深超の喫水船利用可能な港湾・バース数

港湾・バース	全データ	航路水深超の利用可能	
		データ数	割合
日本港湾	31	4	12.9%
海外港湾	58	33	56.9%

UKC予測・管理システムを運用させるためには、入港基準や運用の大きな変更に加え、Tidal Windowの作成・公開、さらには場合により、航路の設計についても検討が必要となる可能性もある。しかし、システムを導入すれば、より長い航路航行時間が確保でき、潮待ち時間が減少する。先船優先の原則の中で、大型船の潮待ち時間の減少は、バースの利用効率の大きな向上が期待できる。あるいは、最大喫水を増加させる場合、貨物積載量の増加により、輸送費が低減し、荷主企業の競争力の強化に資するものとなる。さらには、UKCが最大喫水の10%を超えるような悪天候時においても、同一の安全性による入港可否が判定やUKCの管理が可能となり、航行安全性の向上に繋がる。このように、システムの導入は様々な面において、大きな効果が期待できるものである。

4—結論

本研究は、潮位を有効に利用し、バルクキャリアの入港喫水を増加させるため、航路諸元算定プログラムJ-Fairwayを活用したUKC(Under Keel Clearance)予測・管理手法を提案したものである。本研究の結論は、以下のとおり。

- (1)世界の主要なバルク港湾の大半では、最大喫水の1.1倍が航路水深を超えており、航路航行に潮位を利用していると推察された。
- (2)日本港湾では、港湾管理者への係留施設使用許可・水域占有許可、港長への係留施設使用届けや水先人の引受基準により入出港の判定基準が定められ、UKCは最大喫水の10%程度が多い。
- (3)オーストラリアの主要港やロッテルダム港等では、対象船舶や気象・海象条件によりUKCを予測・管理するシステムを、既に長期間運用している。
- (4)J-Fairwayを活用したUKC予測・管理システムについて、5港湾で行った試算では、UKCを最大喫水の10%とした場合に比べて、入港喫水が大きくなり、大幅に航行可能時間が増加した。航行可能時間を変えない場合、満載積載量の約3%の追加積載が可能であった。

本研究は、国際バルク戦略港湾を念頭に、UKC予測・管理システムの導入を提案した。しかし、このシステム自体は、船種を限定するものではなく、他の不定期船や一部潮位を利用せざるを得ないコンテナ船等の定期船でも活用可能である。導入されれば、港湾運営全体の効率化に対しても、大きな効果が期待できる。

本研究の成果は、既存施設の効率化によって、高度成長期に整備されたバルク対応施設の、いわば延命措置ともなり得るものであるが、既に就航している最大級の船舶が満載で入港できるものではなく、バルクキャリアの大型化に対して抜本的な施設拡張が急がれる事態に変化はない。東日本大震災の復旧・復興を進めつつ、国際バルク戦略港湾の整備についても着実に進め、我が国産業の国際競争力や食糧供給の安定性の維持・強化を進める

必要がある。

謝辞：各港湾の入港運用について、博多港では福岡市港湾局及び博多港ふ頭(株)に、徳山下松港では山口県土木建築部港湾課に、木更津港では新日鐵君津製鐵所・日鐵物流君津(株)及び海洋興業(株)にご協力いただきました。また、波浪予測値の利用に当たっては、(財)沿岸技術研究センターにご協力いただきました。ここに記し、感謝の意を表します。

注

注1)現在の世界最大の鉱石専用船は、40万DWTとなっている(2011年5月就航)。

参考文献

- 1)“Clearing the way”, *World Port Development*, December 2007.
- 2)Terry O’ Brien[2002], “Experience using Dynamic Underkeel Clearance Systems: Selected Case Studies and Recent Development”, *PIANC*, Sept 2002.
- 3)R.Ph.A.C. Savenije[1998], “Safety Criteria for Approach Channels”, *ISOPE’98*, Vol. IV, pp. 484-491.
- 4)Ruud Bouw[2005], “Admittance Policy Tidal Bound Ships”, *AVV Transport Research Center*.
- 5)Andrew Silver and Jon Etxegoien[2010], “Environmental Monitoring and Operator Guidance System and Channel Analysis and Depth Evaluation Tool”, *Seaframe*, Vol. 6, Issue 1, pp. 14-16.
- 6)Shipping Guides[2008], *Guide to Port Entry 2009/2010*.
- 7)Global Ports[2011], “Dry Cargo Port Database”, (online), <http://www.gports.com/pages/>, 2011/8/17.
- 8)Lloyd’s Maritime Intelligence Unit[2009], *Ports of the World 2009*.
- 9)IHS Fairplay[2010], “Ports Guide Online”, (online), <http://www.portguide.com/>, 2010/10/29.
- 10)(社)日本港湾協会[2010], 『日本の港湾2010』.
- 11)(社)日本港湾協会[2007], 国土交通省監修, 『港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成19年7月)』.
- 12)(社)日本海難防止協会[2002], 『2002水先区情報(全国版)』
- 13)海上保安庁海洋情報部[2011], “潮汐推算”, (オンライン), <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>, 2011/8/22.
- 14)(財)沿岸技術研究センター[2011], “COMEINS Web”, (オンライン), <http://comeins.jp/Login.html>, 2011/6/27.
- 15)江口一平・松浦邦明・松藤絵理子・本橋昌志・三嶋宣明・岡田弘三[2009], “NOWPHAS沿岸波浪観測値の沿岸波浪予報へのリアルタイム同化による予測精度の向上—沿岸気象海象情報配信システム(COMEINS)の高度化—”, 『海洋開発論文集』, pp. 885-890.
- 16)河合弘泰・佐藤真・川口浩二・関克己[2011], “全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2009)”, 『港湾空港技術研究所資料』, No. 1226.

(原稿受付 2011年9月12日)

A Proposal for Enlarging the Maximum Draft of Bulk Carrier by Using UKC Forecast/Control System

By Yasuhiro AKAKURA and Motohiro SEMA

The sizes of bulk carriers have been getting larger and larger. In Japan, international bulk strategic ports have been already selected, and will be developed hereafter. But, because of the Great East Japan Earthquake disaster, some delay of this development plans are assumed. Based on this condition, this study proposes port entry procedure by using UKC forecast/control system. By this procedure, maximum draft of port entry ship will be enlarged.

Key Words : *bulk carrier, tidal level, fairway depth, maximum draft, UKC*