

ISSN 1346-7328

国総研資料 第897号
平成 28 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.897

March 2016

潮位を利用した航路航行実態に関する分析

木下 真吾・安部 智久

An Analysis on Actual Practices of Waterway Navigation Using Tidal Window

Shingo KINOSHITA, Motohisa ABE

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

潮位を利用した航路航行実態に関する分析

木下真吾* ・ 安部智久**

要 旨

我が国各港で効率的な輸送を促進させるため、長期間を要する航路整備期間中に当面の効率性を確保する手法として潮位を利用した航行が考えられる。潮位利用は一定のリスクがあり、それを回避するための安全対策が必要になってくるが、その実態はよく知られていない。

本資料では、国内外における潮位利用に係るリスクの考え方や運用基準等を整理するとともに、AIS データを用いて航路航行実態を分析し、航路航行時の潮位利用検討方針や喫水管理等の現状の配慮事項等について考察する。

キーワード：潮位利用，航路，UKC，Tidal Window

* 港湾研究部 港湾計画研究室 交流研究員
** 港湾研究部 港湾計画研究室長

An Analysis on Actual Practices of Waterway Navigation Using Tidal Window

Shingo KINOSHITA *
Motohisa ABE **

Synopsis

In order to promote efficient transport by large vessels in the ports of Japan, one useful method is to use the tidal window in cases where it takes a long time to dredge waterways. As such waterway navigation has certain risks, safety measures are necessary. However, its actual practices have not been well examined.

This paper organizes the risks, operational standards etc. regarding the use of the tidal window throughout the world. Furthermore, this paper analyzes actual conditions and practices such as tidal use policies or draft management of waterway navigation by AIS.

Keywords: Tide Use, Waterway, UKC, Tidal Window

* Visiting Research Engineer of Planning Division, Port and Harbor Department
** Head of Planning Division, Port and Harbor Department

目 次

1. 序論	1
2. 技術基準と潮位等	1
2.1 技術基準	1
2.2 潮位高	3
2.3 潮位利用のメリット・デメリット	3
3. 海外の潮位利用状況	5
3.1 英国の潮位利用事例のヒアリング調査	5
3.2 海外の潮位利用事例の文献調査	5
4. 国内の潮位利用実態調査	8
4.1 アンケート調査の概要	8
4.2 アンケート調査結果	8
5. AISデータを使った潮位利用実態の分析	10
5.1 国内事例の分析	10
5.2 海外事例の分析	13
6. 考察	18
7. 結論	22
謝辞	22
参考文献	22

1. 序論

資源、エネルギー、食糧等の安定的かつ安価な供給のため、大型船舶を用いた一括大量輸送による物流コスト削減を目指し、平成23年に鉄鉱石、石炭、穀物を取り扱う国際バルク戦略港湾が選定された。それぞれの港湾は平成27年及び平成32年までに品目に応じた最大級の輸送船舶の満載での入港に対応することを目標としているが、そのための航路や泊地、岸壁などの大規模な港湾整備には長期間を要することになる。このため、運航の促進策として潮位利用等の規制緩和を求める港湾も見受けられる。

潮位を利用したばら積み貨物船の入港に関して、赤倉ら¹⁾は以下のように取り纏めている。

- ・我が国の港湾においては、一般的に、航路航行における潮位利用が可能となっているものの、統一した基準は見当たらない
- ・船舶の最大喫水に対して10%といった固定的な余裕水深の規定となっており、潮位を利用した入港方法に改善の余地があるものと考えられる

そして、我が国と世界各港での潮位利用について航路水深・入港最大喫水を整理・分析するとともに、Tidal Window（潮位を利用することにより航行が可能となる時間帯）や港湾の施設の技術上の基準・同解説²⁾（以下「技術基準」と言う）における航路水深の性能照査における第2区分の活用について考察し、水域施設の整備基準やガイドラインを整理・分析している。その上で、UKC（Under Keel Clearance、図-1.1参照）を管理するシステムの導入として第2区分を活用した効率的且つ合理的な入港運用の方法を提案するとともに、我が国の港湾計画における潮位利用を前提とした航路水深設定の可能性についても考察している。

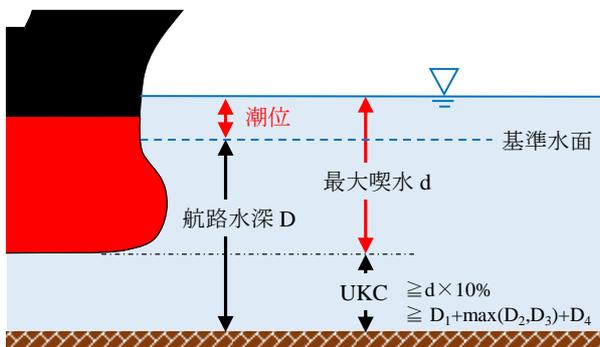


図-1.1 UKCについて

しかしながら、潮位を利用した大型船の航行には一定のリスクがあり、それを回避するための安全対策が必要になってくる。このため、計画どおりの航路整備が完了す

るまでの期間においては、自船及び他船が安全に航行できるように対応策を講じ、それを実施する必要があるとともに、港湾関係者や運航関係者の合意が必要であるが、個々の港で対応内容に差があるものと考えられる。これには、上記のとおり赤倉らが示した「統一した基準は見当たらない」ことが一因しているものと考えられる。また、潮位高は地域差があるため、利用可能な潮位に対する考え方が異なることも一因として挙げられる。

すなわち、我が国各港で効率的な輸送を促進させるため、長期間を要する航路整備期間中に当面の効率性を確保する手法の一つとして潮位を利用した航行があるが、その実態はよく知られていない。

本資料では、各港が利用実態や環境に合った潮位を利用した航行に向けた参考資料となるよう、国内外における潮位利用に係るリスクの考え方や運用基準等を整理・分析し、航路航行時の潮位利用検討方針や喫水管理等の現状の配慮事項等について考察する。

2. 技術基準と潮位等

2.1 技術基準

航路水深等に係る技術基準の基本的な事項については赤倉ら¹⁾がまとめているが、本資料の分析内容に関連する事項を本節で再度整理しておく。

(1) 基準水面

技術基準における航路の基準水面は、以下のとおりである。

港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示

第一章 総則

第一節 定義

(用語の定義)

第一条 この告示において使用する用語は、港湾の施設の技術上の基準を定める省令において使用する用語の例によるほか、次の各号に掲げる用語の定義は、それぞれ該当各号に定めるところによる。

(一部省略)

十三 港湾管理用基準面 技術基準対象施設を建設し、改良し、又は維持する場合において基準となる水面であって、最低水面（水路業務法施行令（平成十三年政令第四百三十三号）第一条の規定に基づき定められた最低水面をいう。）をいう。ただし、潮汐の影響が大きくない湖沼又は河川に係る技術基準対象施設の港湾管理用基準面にあつては、港湾の利用の安全を確保するため渇水期等における水位の極めて低い状態を勘案して定めるものとする。

最低水面 (C.D.L)

平均水面から主要4分潮 (M₂, S₂, K₁, O₁) の振幅の和だけ低い水準面である。

このことから、基準水面は最低水面であり、港湾計画を定める際に用いる水深は潮位高を含んでいないことが分かる。

(2) 航路水深

技術基準における航路水深の性能照査の基本は、表-2.1のとおりである。

航路水深を構成する鉛直方向の成分に関して、技術基準の対象船舶及び航行環境を特定できない場合の第1区

分及び特定できる場合の第2区分における航路水深には潮位が含まれていない。また、UKCの成分は技術基準の第2区分に示すとおりD₁, D₂, D₃, D₄であると解釈できる。

D₁の航走中の船首沈下量は航海速力の2乗に比例するため、低速航行することでD₁を抑制できる。D₂のHeavingとPitchingによる船首沈下量と、D₃のHeavingとPitchingによる船底ビルジ部沈下量は、うねり等の長い周期の波浪中の航行を回避することでゼロと見なすことができる。D₄はUKCの中の不明確要素を包含した余裕水深であり船型に応じて50cm以上を設定することになる。このことから、航行制限を設けることでD₁~D₃を抑制することでUKCを調整することが可能であると言える。

表-2.1 技術基準における航路水深の性能照査の基本

(1) 第1区分における必要な航路水深は、以下の値を用いることができる。

- ① うねり等の波浪の影響が想定されない港内等の航路 : D=1.10d
- ② うねり等の波浪の影響が想定される港外等の航路 : D=1.15d
- ③ 強いうねり等の波浪が想定される外洋等の航路 : D=1.20d

ここに、

D: 航路水深 (m)

d: 対象船舶の係船状態等の静水状態における最大喫水 (m)

(2) 第2区分における必要な航路水深は式 (2.2.2) により算定することができる。

$$D = d + D_1 + \max(D_2, D_3) + D_4 \quad (2.2.2)$$

ここに、

D: 航路水深 (m)

d: 対象船舶の係船状態等の静水状態における最大喫水 (m)

D₁: 航走中の船首沈下量 (m)

D₂: HeavingとPitchingによる船首沈下量 (λ>0.45Lppの場合における追加項目) (m)

D₃: HeavingとPitchingによる船底ビルジ部沈下量 (TR≠TEの場合における追加項目) (m)

D₄: 余裕水深 (m)

λ: うねり等の波浪の波長 (m)

Lpp: 垂線間長 (m)

TR: 対象船舶の固有横揺周期 (s)

TE: 検討の対象となるうねり等の波浪と対象船舶との出会い周期 (s)

(3) 共通事項

- ① 検討の対象となるうねりは、対象船舶の船長と対象海域での波長との相対的な関係で決まる。
- ② 対象船舶の係船状態等の静水状態における最大喫水dは、最大においてもd=d₀ (d₀: 満載喫水) と考えられる。ただし、対象とする運用条件においてはd<d₀となる。
- ③ 航路水深Dについては、以下の点を考慮できる。

(a) 潮位: 航行時点の潮位は一般に最低水面を超えており、この最低水面上の潮位は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。

(b) 水深精度: 海図の水深データの誤差は危険側となる可能性があるが、浚渫が実施された場合は計画水深に対して一般的には水深に余裕がある。このため、水深が十分に調査された結果において当該計画水深に対する余裕の水深分は実施の運用における水深を増加させる要素として考慮できる。

(c) その他: 必要に応じて、気圧、海底面の底質、海底の障害物、海水比重等について考慮することが望ましい。

(3) 潮位利用の現状

技術基準の記載のとおり「最低水面上の潮位は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」ため、現状でも潮位利用は可能である。航路整備前や整備中において予算制約等により航路水深がすぐに確保できない場合、既設航路水深に潮位を加えて計画航路水深が確保できたと見なして船舶を運航させている事例などが存在する。この場合、技術基準に関する記載内容は既設の水域施設や係留施設の諸元が大型の入港船舶の港内操船に支障を来たさないか安全性の判断材料として用られる。

2.2 潮位高

表-2.2 に示すとおり、電子潮見表 2015 年版（一般財団法人 日本水路協会）を用いて全国各地の国際バルク戦略港湾及びその他港湾における地点の潮位高の最大値・最小値・平均値を整理した。なお、電子潮見表は予測値であり気圧などの影響は考慮されておらず、実際の潮位値とは異なる。また、基準水面は海図水深 0m としている。

これによると、潮位高は地理的特性や地形によって大きな差が出るのが分かる。北海道から茨城県に掛ける太平洋側港湾においては最大値 200cm 未満、平均値 100cm 未満となっており、東京都から鹿児島県に掛ける三大湾や太平洋側港湾においては概ね最大値 200cm 以上、平均値 100cm 以上となっている。また、水島港から宇部港などの瀬戸内の港湾では最大値が 350cm 以上、平均値が 180cm 以上となっており、全国的にも高い潮位を有する。一方で、青森港や日本海側の新潟港では最大値が 100cm 未満と比較的小さい値となっている。

また、潮位高の最小値は全国的にマイナスとなっており、海面が最低水面を下回る「マイナス潮位」が発生しているため、喫水管理をして入出港している船舶にとっては注意が必要である。

表-2.3 は、気象庁ホームページより 2014 年における実際に観測された潮位（実測潮位）と天文潮位（予測潮位）との差を示す潮位偏差を表したものである。船舶航行という観点で見れば、最大値など潮位偏差がプラスの値となるものは水深を増加させる要素となるため安全側に働くが、潮位偏差がマイナスの値となるものは水深を減少させる要素となるため危険側に働く。表-2.3 のとおり、最小値はいずれの地点も-20cm を下回り、名古屋では-43cm となっており、天文潮位高を大きく下回る水位が観測されている。

潮位高は長期の先まで予測が可能であり、予測値は海上保安庁ホームページ等でも公開されて入手は容易であるが、実際の潮位高は気圧の影響や、うねりなどの長周期波の波高が下がった時などによって予測値を下回る可能

性があるため、予測値を用いた船舶の運航管理には一定のリスクがあることに留意しておく必要がある。

表-2.2 予測潮位高の最大値・最小値・平均値

単位: cm			
地点	最大値	最小値	平均値
釧路	149.2	-2.3	87
室蘭	171.6	-0.7	95
青森	81.7	-10.9	37
新潟東港	45.9	-21.0	17
小名浜	151.0	-8.2	84
鹿嶋	154.9	-7.0	89
君津	205.6	-11.6	115
芝浦(東京)	215.6	-11.2	120
田子の浦	181.6	-8.9	97
清水	179.3	-15.8	95
名古屋	271.0	-25.4	140
神戸	182.7	-21.8	95
水島	368.5	-11.0	190
福山	407.7	-17.0	210
徳山	353.3	-20.1	180
宇部	412.7	-30.5	210
高知	211.4	-25.5	108
福岡	244.1	-19.8	110
志布志	234.5	-27.2	116
那覇	241.9	-25.5	118

資料: 電子潮見表2015年版より著者ら作成

表-2.3 潮位偏差の最大値・最小値

単位: cm		
地点	最大値	最小値
小名浜	27	-30
富山	33	-25
東京	66	-34
名古屋	72	-43
神戸	114	-26
宇野	77	-23

資料: 気象庁ホームページより著者ら作成

2.3 潮位利用のメリット・デメリット

(1) ばら積み貨物船の船型の特徴

潮位利用のメリットとデメリットを概説する前に、まず、ばら積み貨物船について船型の特徴を分析する。

図-2.1～図-2.3 は、Lloyd's List Intelligence 社が提供する 2014 年船舶諸元データベースのうち、ばら積み貨物船を抽出し整理したものであり、喫水データが明らかに特異値を示し、且つ他社が提供するデータベースと異なる船舶を除き 10,218 隻の現存船を対象としている。

図-2.1 は載貨重量トン数と喫水の関係を示したものであり、累乗近似式の決定係数は 0.946 が得られた。図-2.2 は排水トン数と喫水との関係を示したものであり、排水

トン数はデータベース上で空欄となっているものが多かったが、図-2.1と同様に累乗近似式のあてはまりがよく、決定係数は0.922が得られた。図-2.3は全長と喫水の関係を示したものであり、多少のばらつきはあるが線形近似となり、決定係数は0.897が得られた。

これらのことから、ばら積み貨物船の喫水は載貨重量トン数などの他の諸元との関係性が強いことが分かる。

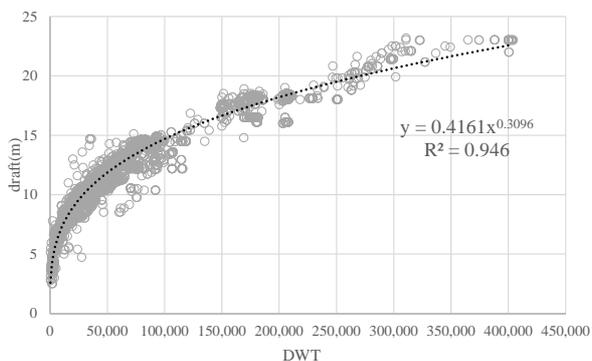


図-2.1 ばら積み貨物船の載貨重量トン数と喫水の関係

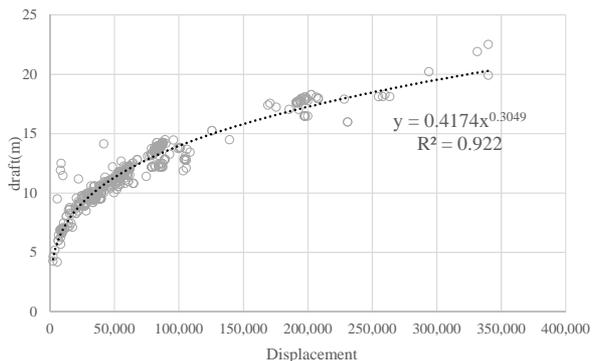


図-2.2 ばら積み貨物船の排水トン数と喫水の関係

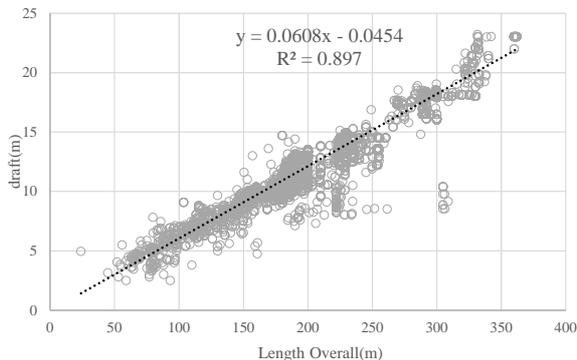


図-2.3 ばら積み貨物船の全長と喫水の関係

(2) 潮位利用のメリット

荷主企業にとって、潮位を利用して航路水深を増加させることで深喫水船を活用することが可能となれば、減載運航から満載運航へ、または載貨重量トン数の大きい船舶へ切り替えることで航海あたりの貨物輸送量を増やすことができ、これにより貨物輸送単価の削減が期待できる。表-2.4は図-2.1～図-2.3を基に喫水に対応するそれぞれの諸元の標準的な値を示したものである。例えば、喫水10mで満載入港していた船舶が喫水12mの満載入港へ切り替わることにより、1回あたりの輸送量を約1.8倍(2.9万トンから5.2万トン)に増加することが出来ることを示している。

資源や食糧の多くを輸入に頼る我が国においては、潮位利用によるこれらの低価格での調達の二次波及効果として産業の国際競争力強化や暮らしへの波及、荷主企業の増益に伴う新たな設備投資につながるものと考えられる。さらに、地方公共団体等の港湾管理者にとっては、荷主企業の増益に伴う法人税の増収や雇用の拡大にもつながる。

港湾管理者や国土交通省など港湾の整備者側にとっては、長期に渡る航路整備の完了を待たずに船舶大型化等による輸送効率化を図ることが可能となり、航路整備事業の早期の効果発現が期待できる。また、潮位利用の積極的な活用により、航路浚渫で発生する土砂の処分場整備が制約となることを避けられる。

海域利用者にとっては、輸送の効率化によって大型船舶の往来が減少して海域輻輳が緩和され、海難リスクの減少が期待できる。

表-2.4 ばら積み貨物船の各喫水に対応する標準的な諸元

喫水 (m)	標準載貨重量 トン数DWT	標準排水トン数 DSP	標準全長 (m)
10	29,000	33,000	165
11	39,000	46,000	182
12	52,000	61,000	198
13	67,000	79,000	215
14	86,000	101,000	231
15	107,000	126,000	247
16	132,000	156,000	264
17	160,000	191,000	280
18	193,000	230,000	297

※図-2.1～図-2.3を基に計算

(3)潮位利用のデメリット

荷主企業にとっては、潮位を利用することで十分な水深を確保できない時間帯が発生するため、入港制限により港湾沖で潮待ち滞船して航海時間が数時間増加する可能性がある。これにより用船料が増加し貨物輸送単価が上昇するとともに、入港隻数の多いバースではバース稼働率が低下する可能性も考えられる。また、潮位利用船舶の喫水や潮位を管理する必要があることから荷主企業の負担となる。

港湾管理者にとっては、入港船舶の大型化や積載量の増加により、安全な入出港離着岸を支援するために岸壁や防舷材等の強化が必要に応じて求められる。その一例として表-2.4 に示すとおり、排水トン数が積載量と同じように増加するため高性能の防舷材が必要となるとともに、全長が増加するためそれに対応できる岸壁延長あるいは係留施設等の増強も必要となる。

海域利用者にとっては、高潮位時に潮位利用船の入港を妨げないように航路等の特定の水域における行き会いを調整するための対応が求められる。行き会い調整が十分でなければ、衝突や座礁のリスクを負うことになる。

また、潮位利用船が航路航行時に万が一機関停止し、低潮位時に航路内で座礁した場合、本船の救援や航路の機能不全による海域利用者の避航・迂回、貨物の損傷などリスクの増大が考えられる。

3. 海外の潮位利用状況

海外では、地形的に制約を受けている港湾や潮位高を十分に有している港湾において、積極的に潮位を利用した運航を実施している事例がある。我が国における航路計画は技術基準を適用しており、一般的に海外のガイドラインは用いられないが、欧州や米国等においては港湾や操船、船体運動に精通する専門家らによってまとめられた航路設計ガイドラインである PIANC REPORT No.121-2014 "HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES"が信頼され使用されている。そこには潮位や Tidal Window に関する記載があり、潮位を利用した運航は一般的なものとなっている。

このことから、海外事例において潮位利用のリスクの考え方や余裕水深の確保等に関して調査した。

なお、海外では河川の河口域や内陸域に港湾が整備されている箇所も多く、河川の水流を考慮した運航をしていることに留意しておく必要がある。

3.1 英国の潮位利用事例のヒアリング調査

英国における潮位利用のリスクの考え方や安全対策の合意形成について、世界各港で港湾計画等のコンサルテ

ィングの経験を持つ HR Wallingford 社にヒアリング調査を行った。以下に調査結果を示す。

英国や欧州では船舶の潮位利用を日常的に行っている。ただし、コンテナ船やフェリー、RORO 船のような定時性が求められる船種について行うことは稀である。また LNG 船については、万が一海難が発生した際の影響が甚大であるため、潮位利用を許可されないのが実情である。

潮位利用のリスクはあると認識しており、それは①潮位の予測誤差、②船側の喫水の計算間違い、③荷役の遅れや機関の停止といった不測事態が挙げられる。

ただ、風速や霧といった他の不確定リスクと比較すれば、潮位はかなりの精度で予測ができるため、ある程度の規則性を持つ Tidal Window の観点で見ればリスクが高いとは言えず、気象の方が予測できない要素である。

英国では潮位利用に関する明確な規制はない。しかし、港長（通例、英国では港湾管理者の下にある航行当局の下に置かれる）が現場レベルで許可を与えている。この許可がないと潮位利用による運航はできない。場合によっては、港長・ターミナル側・船社の3者で安全を確認し、合意する。この判断は港湾毎に異なり、あくまでローカルレベルで UKC や安全対策等を決めている。また、港湾の商業的な観点も重要視されるため、ターミナル側からすれば潮位利用による運航は施設の稼働率に関わるため合意形成に関与している。

UKC は海底の底質も関係する。ロッテルダムやアントワープでは海底の泥の密度を配慮した UKC の考え方を導入している。

3.2 海外の潮位利用事例の文献調査

3.2.1 PIANC（国際航路協会）

PIANC REPORT³⁾に記載されている内容を以下に紹介する。

「水位は天文潮と気象に影響し、時間と場所が変わる。十分な潮位高または長時間潮汐の影響を受ける航路においては、潮汐全体を航路航行に終始利用できるかどうかを判断する。異なる喫水の船が多く入出港する港湾においては、適切な Tidal Window を設定して運航することがよい。入港船舶が上げ潮時に航路を航行する場合は、高潮位前に港外から入港して、高潮位時に港内に到着させる。更なる注意点としては、最大喫水の出港船舶が長い航路（例えば海外の河川）を航行する際に潮位が上がってくる方向に向かって航行することとなるため、これに配慮した計画が必要となる。つまり、船舶が上げ潮に出港を開始し、航路航行中に満潮時が経過し、干潮時に船舶が洋上に到達するようになる。」

また、PIANCにおいて Vantorre らは 2008 年に Flemish 航路で深喫水船の Tidal Window を予測するためのリスクベースの基準を開発した。その ProToel ツールは Tidal Window を決定することができ、航路航行中に船底が海底に触れる確率を計算している。入力データは船の特性や航行速度、潮位、波浪、海底地形、ルート、出発時刻が含まれている。

3.2.2 オーストラリア・ニュージーランドの例

O'Brien (2002)⁴⁾によれば、オーストラリアやニュージーランドの幾つかの港湾では Tidal Window を計算するシステムを 1993 年以降順次導入して運用を開始しており、船舶の深喫水化と Tidal Window の拡張をもたらしている。システムに取り入れられている DUKC (Dynamic UKC) は準リアルタイムの UKC 予測システムであり、次の要素が UKC の要件として必要である。リアルタイムの潮位、リアルタイムの波高と波の周期、波向、リアルタイムの潮流速と方向、海底水深、船舶のトリムや Squat (航走中の船首沈下量)、旋回・横揺れによる沈下量、船舶速度、船舶加速度と減速度である。DUKC システムは一定値の UKC 基準を用いるよりも大きな喫水や広い Tidal Window を利用できるようにする。また、DUKC システムは船種や水路、各港での潮位や波浪状況に応じて改良されている。

Kelareva ら⁵⁾は、DUKC システムはばら積み貨物輸送港の港湾管理者が安全を維持したまま貨物量の最大化を目指したものであり、出港スケジュールと喫水を簡素化するツールと述べている。船舶の垂線間長や幅、出港予定時刻のスケジュール、タグボートの必要隻数を入力し、それらを勘案して港全体で複数船の出港スケジュールを計算する。使用する潮位データは予測値である。UKC は、潮位や航路水深、喫水、Squat、旋回・横揺れによる沈下量、波浪による船体動揺によって計算でき、UKC が安全域を下回って DUKC システムが出港不可と示しても、最終判断はパイロットと船長に委ねられる。DUKC システムはインターネットでも確認でき、波浪や潮位のリアルタイム情報や船舶の UKC が表示され、パイロットと船長が確認できるようになっている。

オーストラリア政府機関であるオーストラリア海事安全局の資料 (2007)⁶⁾によれば、オーストラリアとニュージーランドの港湾では、システムによるリアルタイム UKC 管理体制を導入しているところが多く、次の港湾が導入しているとのことである。

オーストラリア ; Port of Hay Point/Dalrymple Bay,
Port of Fremantle, Port of Brisbane,
Port of Newcastle, Port of Dampier,
Port of Geraldton, Port of Bunbury,
Port Hedland,

加えて Port of Melbourne と Port of Geelong も同じシステムを導入を準備している。
ニュージーランド ; Port of Whangarei, Port of Taranaki,
Port of Napier
Port of Gisborne で NZ の 4 番目の導入が確定している。

3.2.3 ベルギー・オランダ (一部地域) の例

Vantorre ら⁷⁾は 2014 年の PIANC World Congress San Francisco にて水深や喫水等の鉛直成分や UKC の考え方等について示している。

潮位の高低や喫水、Squat、風や波による鉛直方向の動揺など船底と海底の間の構成要素は、船底位置の不確実性の要因となることがある。

鉛直方向の構成要素は、以下のとおりである。

- 船舶の積み付け状況 (船舶のしなりを含む船尾/船体中央/船首の喫水)
- Squat による船舶の上下動揺
- 航路屈曲部での遠心力による船舶の上下動揺
- 波による船舶の上下動揺 (heave, pitch, roll)
- 風による船舶の上下動揺

航路の設計に関わらず、既存航路への入港方針は決定論的手法もしくは確率論的手法に分類される。スヘルデ川とその河口の西部におけるオランダとベルギーの港湾 (フリシンゲン (オランダ)、テルネーゼン (オランダ)、ヘント (ベルギー)、アントワープ (ベルギー)) で、船舶航行マネジメントとして決定論的方法から確率論的方法へのシフトすることの効果を調査しており、その両方法については以下のとおりである。

決定論的手法は UKC を基準とする。決定論的方法の総 UKC 基準は現在、スヘルデ川とその河口やベルギー北西部地域の航路で適用されている。航路の底質によって値が変わり、UKC は 10~20% に設定されている。

確率論的手法は、深喫水船の航行における船底接触の受け入れられる確率を基本とすることから、より最適な航路の利用につながる可能性がある。最終的には確率ではなくリスク (確率×重大さ) で評価し、航路の種類 (一般航路もしくは特定工業用航路) や底質 (固い・普通・軟らかい)、人命又は環境影響へのリスク特性により船底接触を受け入れられる再現期間が変化する。一例として、ベルギー北西部及びスヘルデ川河口域で潮位利用をする船舶は年間 800 隻で、低リスク且つ軟らかい底質の一般航路における再現期間は 25 年として、許容できる船底接触の確率は 5×10^{-5} となる。

PIANC の文献³⁾において、Van de Kaa (1984) によれば、船底接触の適用基準は通常 10^{-4} 、極端な環境状況で 10^{-2} であるとしている。Dand and Lyon (1993) は座礁の確率は 3×10^{-5} であると述べている。Savenije (1996) によれば、

ロッテルダム港(オランダ)の入港基準は船底接触の再現期間を25年として船底接触の確率を 1.6×10^{-4} としている。

3.2.4 ロッテルダム港の例

オーストラリア海事安全局の資料⁶⁾によれば、ヨーロッパ内のリアルタイムUKCシステムのうち最も実用化されているのはロッテルダム港であるとしている。17.4m以上の喫水の船舶に対して、確率論的UKC手法に基づいて移動時間等の入港計画が提示される。これはHARAP(HARbour APproach)として知られている既存のコンピュータモデルを使用して行われる。HARAPは確率モデルであり、港内水域で使用するためにAVV交通研究センター(オランダの輸送や公共事業、水管理を管轄する省における専門部署の一つ)によって開発されたものである。

現在は、PROTIDE(PRObabilistic TIdal window DEtermination)と呼ばれるTidal Windowを計算するためのWebベースのアプリケーションが導入されている。PROTIDEは水深や喫水、潮位の他にsquatや操船・波浪による応答を組み合わせて船底接触の確率を計算し、希望する安全性の確率を維持しながら港湾の利便性を最大化できるとされている⁸⁾。

3.2.5 ポーランドの例とUKCを構成する要素の不確実性

Gucmaら⁹⁾は、入港時のUKCの安全性を確立するための安全管理システムに関する考え方について論文を執筆している。UKCを決めるための船底接触の確率論的手法はオランダや英国、デンマーク、ポーランドにおいて広く使われていると紹介している。また著者は安全管理のための複数のモデルを提案しており、その中にUKCモデルというものがある。このモデルの主な仮定として、水深計測の不確実性や入港喫水の決定における不確実性、軟泥層の厚さなどの誤差を反映していることが特徴である。詳細は以下のとおりである。

$$UKC = (h_s + r_m + r_s + \Delta pm + r_n) - (T + r_t + r_p + r_f + S_i)$$

ここで、

- h_s : 最新的水深
- r_m : 軟泥層厚さのばらつき (-0.1~0.1m)
- r_s : 測深の誤差 (-0.1~0.1m)
- Δpm : 水面高
- r_n : 操船余裕
- T : 喫水
- r_t : 喫水決定の不確実性 (-0.1~0.1m)
- r_p : 横揺れに伴うビルジ部の沈下量の誤差
- r_f : 特別な天候条件における波高
- S_i : squat

3.2.6 香港の例

香港の水先諮問委員会が2005年に提示した資料¹⁰⁾によれば、喫水14.5mを超える大型コンテナ船に対応するために、UKCを一律10%とする基準からDUKC基準への切り替えを過去に検討している。

検討手法としては、GPSをコンテナ船に積み込んで航行時の船体の沈下量を観測する調査と、関係者へのヒアリング及びアンケート調査を行っている。観測調査では16隻の大型コンテナ船の延べ20航行において、3台のGPSを用いた計測によって、外洋に接続する航路とコンテナターミナルの泊地の間で船体の沈下量を解析している。その結果、静水状態での喫水の10%以上の沈下量が確認されており、船尾トリムや船体の横揺れに伴うビルジ部の沈下も考慮すれば更なるUKCが必要となるとして、船速の抑制が必要であると示している。

関係者へのヒアリング及びアンケート調査においては、逼迫しているコンテナターミナルオペレーションや高潮位時における入出港を考慮したUKCシステムを導入するとなれば非常に複雑なものになるとの回答を得た。

以上の調査結果から、UKCシステムの導入は検討当時の時点では推奨できず、UKCを一律10%とするシンプルな基準が妥当であると結論付けている。

3.2.7 まとめ

多くの海外港湾において、水深や喫水、潮位等から余裕水深を設定するStaticな手法と、Dynamic UKCのように水深、喫水、潮位の他にUKCやsquat、海象影響などリアルタイムに近い情報を取り入れて入出港を判断する手法の2種類が使われている。オーストラリアや欧州などの港湾では、後者の手法を基にUKCや入港条件に応じた入港計画を計算し、それを関係者で情報共有できるシステムを導入・運用している。また、一部の港湾では海底の底質等に応じて船底接触の確率を定め、その確率とTidal Windowから入港の判断を下している箇所もある。

4. 国内の潮位利用実態調査

4.1 アンケート調査の概要

潮位利用を実施していると見られる港湾を対象として、その実態や安全対策などについて2015年6月にアンケート調査を行った。アンケートの回答者については、公共バースで実施している事例は港湾管理者、専用バースは荷主企業とした。

4.2 アンケート調査結果

(1) 潮位利用の基本情報

表-4.1は港ごとに潮位利用の基本情報を整理したものであり、要点は以下のとおりである。

- ・アンケートを回収した7事例のうち、公共岸壁が4事例、専用岸壁が3事例であり、全てにおいてばら積み貨物船による運航であった。
- ・海上出入区分は輸入が6事例、輸出が1事例であった。
- ・現状の航路水深は港湾によって様々であるが、全ての港湾において最浅所部の水深を航路水深と見なしている。
- ・余裕水深は全ての港湾において入港時の喫水の10%以上としており、これは技術基準における航路水深の第1区分の考え方が定着しているためと推察される。
- ・入港最大喫水と航路水深、余裕水深の関係から算出した最大必要潮位は1.1m程度から最大3.5m程度であった。港によって潮位高が大きく異なり、港の独自運用ルールから最大必要潮位に大きな差があることが分かった。各港において全ての船舶がこれら潮位を利用して入出港していることではないが、高潮位時の時間帯のみ入出港可能な事例も存在する。
- ・対象バースにおける入出港隻数は年間100隻(月8隻)程度から年間24隻(月2隻)程度であり、バース稼働率に大きな差が見られる。
- ・上記隻数のうち潮位利用を実施している隻数の割合は40%程度から100%であり、港湾・バースによって異なる。

- ・表-4.1に記載していない調査結果としては、学識者や関係者等で組織される航行安全対策検討委員会を開催していない事例が確認できた。
- ・港湾Cにおいては年間入港隻数及び潮位利用実施期間について明確な回答が得られなかった。

(2) 潮位利用実施にあたり指摘されているリスク

潮位利用を実施するにあたって関係官庁から指摘されているリスクについて質問したところ、高潮位を必要とする港から、接岸後数時間以内に津波が来ると退避できない状況があるという回答があり、津波来襲時の速やかな港外退避を問題提起されていることが分かった。

(3) 潮位利用を行う上での対応

表-4.2は輸入の事例を対象として港ごとに潮位利用を行う上での対応を整理したものであり、要点は以下のとおりである。

- ・全ての事例において水先人を乗船させている。この場合、船舶の運航条件は水先引受基準を満たす必要があるとともに、入港前にはスケジュール確認などの水先人との事前調整が必要となっている。
- ・入港前の特別な申請について、公共バースにおける実施事例が深喫水船着岸許可申請書やチェックリスト等を港湾管理者へ提出しており、専用バースの1事例では海上保安部へ潮位計算書を提出していることが分かった。また、公共バースの1事例においては、予測潮位値や荷役速度を踏まえた1時間毎の喫水の変化を示す荷役スケジュールを提出していることも分かった。
- ・これらのことから、潮位利用船舶の入港の際には事前に海上保安部や港湾管理者、水先人と適宜必要な調整をしている模様である。

表-4.1 アンケート調査結果表(基本情報)

港湾	A	B	C	D	E	F	G
公共/専用バース	公共	公共	公共	専用	専用	公共	専用
潮位利用船舶	ばら積み貨物船						
海上出入区分	輸入	輸入	輸入	輸入	輸入	輸入	輸出
現状航路水深	14m	12.8m	12m	11.5m	11m	10.5m	11m
余裕水深	入港時喫水の10%以上						
最大必要潮位(計算値)	1.4m程度	1.3m程度	1.1m程度	1.2m程度	3.5m程度	1.5m程度	2.2m程度
対象バース年間入港隻数	48隻程度	50隻程度	—	24隻程度	100隻程度	50隻程度	60隻程度
年間入港隻数のうち潮位利用する頻度	90%程度	90%程度	年13隻	40%程度	80%程度	100%	55%程度

- ・公共バースの 2 事例において、出港後の状況報告として岸壁利用報告書を提出している。
- ・上記 2 事例においては、安全管理組織を設置してバース管理する現場責任者を常駐させ、安全管理体制を構築している。その他、専用バースの 1 事例では社内の独自体制により責任者を配置している。
- ・大半の港において、港湾関係者で構成する連絡協議会を設置して情報共有している。そのうちの 2 事例において特別な連絡網を整備してスムーズな連絡体制を構築している。
- ・潮位利用船舶は高潮位時のみの限られた時間に入出港することから他船との行き会い調整が必要となるため、航路幅が限られる多くの港湾で対応策を取っている。具体策としては、連絡協議会を通じて関係者へ事前周知することや、ポータルラジオ局を活用した情報提供により周知すること、私設信号を設定してバース利用船

船の自主航行調整をすることで他船との行き会いを回避していることがあった。

- ・急な荒天時や津波来襲時など緊急時における対応としては、専用バースの 1 事例で社内の独自マニュアルに基づく対応を取ると回答があり、公共バースの 2 事例においては緊急離岸に対応するため迅速に曳船が手配可能な体制を常時確保している対策があった。そのうちの 1 事例では常時安全に離岸出港できるよう航路水深及び潮位を考慮した荷役スケジュールを作成しており、入港前の特別申請で港湾管理者へ提出しているものは緊急時の対策となっていることが分かった。

潮位利用の条件（航路等の水域施設の状況、潮位利用しようとする対象の船舶等）が異なるため、対応もケースバイケースとなっているものとみられる。

表-4.2 アンケート調査結果表（潮位利用を行う上での対応）

潮位利用を行う上での対応		港 湾					
		A	B	C	D	E	F
基本情報	公共/専用バース	公共	公共	公共	専用	専用	公共
	水先人の乗船	○	○	○	○	○	○
入港前の特別な申請	港湾管理者へ深喫水船着岸許可申請書やチェックリスト等を提出	○	○	○			○
	海上保安部へ潮位計算書を提出				○		
	荷役スケジュール(1時間毎の喫水変化)を提出						○
出港後の状況報告	港湾管理者に岸壁利用報告書を提出		○				○
バース責任者の配置	安全管理組織の現場責任者が岸壁に常駐 その他(具体的な内容は未回答)		○		○		○
潮位・UKC管理システム	専用ソフトを使用					○	
連絡協議会などを設置		○	○	○		○	○
特別連絡網を整備		○				○	
行き会いなど他船との調整	連絡協議会を通じて事前周知					○	
	ポータルラジオ局を活用した情報提供		○	○			○
	私設信号による自主航行調整を行い、航路内で他船と行き会わない様調整	○					
荒天時・津波来襲の対応	独自マニュアルに基づく対応				○		
	緊急離岸時に対応するため迅速に曳船が手配可能な体制を常時確保		○				○
	常時安全に離岸出港できるよう航路水深及び潮位を考慮した荷役スケジュールの作成						○

5. AIS データを使った潮位利用実態の分析

AIS とは Automatic Identification System (船舶自動識別装置) の略称であり、船舶の名称、位置、針路、速力及び目的地などの情報を VHF 帯の電波に乗せて周囲を航行する船舶や陸上の運航支援施設などに知らせる装置である。IMO の規則により、300 総トン数以上の国際航海する船舶、500 総トン数以上の国際航海をしない船舶及び国際航海する全旅客船は、AIS Class A タイプの搭載義務が課せられている¹¹⁾。

この AIS データを使用して潮位利用を行っている船舶の航路航行実態を分析した。

5.1 国内事例の分析

本節における分析は、潮位利用を実施している国際バルク戦略港湾と前章のアンケート調査を実施した港湾のうち、国土技術政策総合研究所 港湾研究部港湾計画研究室が保有している AIS データを本分析に活用可能な港湾を対象とした。AIS データは台風の直撃や接近がなかった 2015 年 4 月の 1 ヶ月分を使用し、潮位高は電子潮見表 (予測値) を使用した。

潮位利用の有無については、AIS データに含まれる喫水情報とバースに接続する航路水深、入航時必要となる余裕水深の関係から判断した。

なお、AIS データにおける喫水情報は運航関係者が現場で確認できる有用な情報であるが、船舶側による任意入力であるため全船舶において必ずしも信用できる情報ではないことに留意する必要がある。

(1) 入港隻数と潮位利用割合

対象貨物を鉄鉱石、石炭、穀物とし、それらを輸送する船舶が着岸しているバースにおいて、1 ヶ月間の入港隻数とそのうち潮位利用をした隻数を表-5.1 に示す。

本分析で対象としたバースへ着岸した隻数は計 86 隻であり、鉄鉱石港湾が 52 隻、石炭港湾が 29 隻、穀物港湾が 5 隻であった。鉄鉱石港湾の隻数が多い理由としては、1 港の中で複数バースを使用しているとともに、バース稼働率が非常に高いことである。

入港隻数のうち潮位利用を行なったと見なすことができる隻数は、鉄鉱石港湾が 28 隻でありその割合が 54%、石炭港湾が 24 隻でありその割合が 83%、穀物港湾が 3 隻でありその割合が 60%であった。石炭港湾が他の港湾よりも潮位利用割合が高いことから、現状の水域施設を最大限活かした輸送を実施している。そのため、石炭の荷主企業は更なる航路増深による大型船の活用を要望しているものと推測される。

なお、これらの隻数は 4 月 1 日 0 時の時点で既に入港し係留していた船舶を含んでいる。

表-5.1 対象港湾における潮位利用隻数等

	鉄鉱石 港湾	石炭 港湾	穀物 港湾
入港隻数	52	29	5
うち潮位利用	28	24	3
潮位利用割合	54%	83%	60%

(2) 各船舶の必要潮位高と入航のタイミング

図-5.1 は、本分析で定義した潮汐状況 (上げ潮時・ピーク時・下げ潮時) をイメージにしたものである。分析に使用した電子潮見表 2015 年版は毎正時の予測潮位であり、本分析では高潮時の潮位から 5% 差までをピーク時とし、その後を上げ潮時と下げ潮時に 3 分類している。

この潮汐状況別に、分析対象とした港湾において潮位を利用して入航 (航路に進入) した船舶が入港喫水に対して十分な余裕水深を確保するために必要とする潮位高を示したものが図-5.2 である。

なお、潮位は毎正時のデータであるため、入航した時点の潮位は AIS ログの時刻を基に前後の毎正時潮位を按分して計算した。

図-5.2 のとおり、上げ潮時に入航した船舶が 28 隻、ピーク時が 10 隻、下げ潮時が 11 隻であり、上げ潮時が半数以上を占めていた。また、下げ潮時における必要潮位が比較的 low、上げ潮時における必要潮位が高いことから、潮位が低くても入航可能な船舶は潮汐状況にあまり配慮せず入航している一方で、高潮位が必要な船舶は時間的に余裕が持てる上げ潮時に入航しており、リスクを意識した入航計画を立てて運航しているものと推察される。

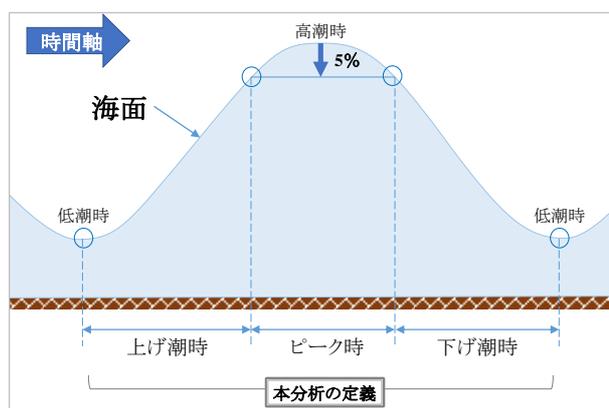


図-5.1 本分析における潮汐状況の定義

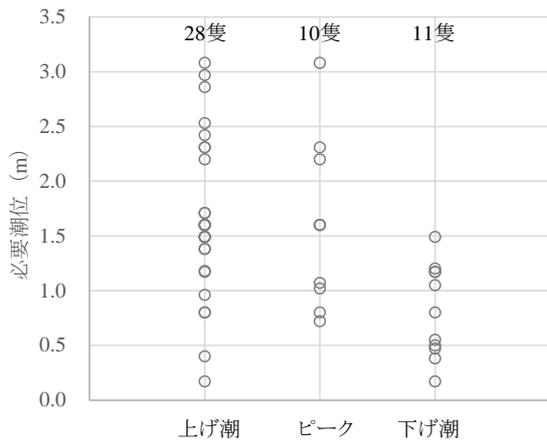


図-5.2 潮汐状況別 入航時必要潮位
(対象港湾における潮位利用船舶のみ)

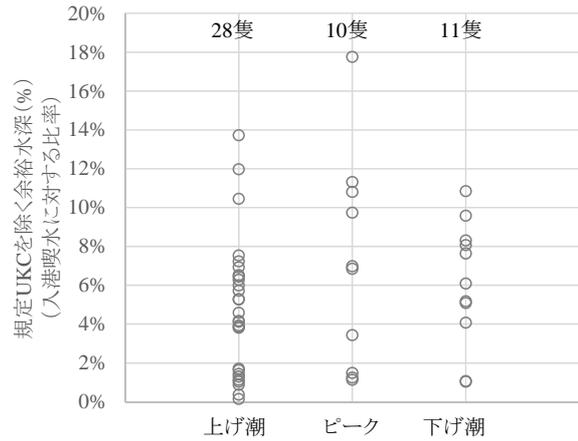


図-5.3 潮汐状況別 余裕水深
(対象港湾における潮位利用船舶のみ)

(3) 潮汐状況別 余裕水深

技術基準に示されているように、航路航行時には船底接触を避けるために一定の余裕水深を確保する必要がある。余裕水深の設定方法は港湾や運航者によって様々であるが、第1区分に示される入港喫水の10%を余裕水深とする事例が多い。そこでアンケート結果等を基に、港湾毎に入港時に確保する必要がある余裕水深(入港喫水の10%など)を規定UKCと定め、規定UKCを除く各船舶の余裕水深が入航時にどの程度あったかを図-5.3のとおり整理した。

潮汐状況別の隻数は前述の図-5.2と同じであるが、上げ潮時における入航隻数28隻のうち9隻は規定UKCを除く余裕水深が入港喫水の2%以下であり、最も小さいものは0.1%であった。また、ピーク時においても3隻が規定UKCを除く余裕水深が入港喫水の2%以下であった。

計算上「規定UKCを除く余裕水深が入港喫水の0.1%」という結果が出たことに関して、入航する船舶を管理する企業や組織は著者が使用したような潮位予測値を基に運航計画を策定し、入航のタイミングを判断しているものと想定されるが、航路航行後の高潮位の時間を十分に確保するために潮位予測値を信頼して規定UKC以外の余裕を持たせず入港させているケースがあるものと考えられる。規定UKCには船体動揺による沈下量のほかに余裕水深が考慮されているが、2.2節で述べたように低気圧の影響を受けた時や、周期の長い波の波高が下がった時などには実際の潮位が予測潮位を下回るリスクも想定されるため、これも配慮した運航計画が望まれる。

(4) 航路内の船速

図-5.4は規定UKCを除く各船舶の余裕水深と航路内における最大船速の分布を示したものである。航走中の船首沈下量は船速の2乗に比例するため、余裕水深と船速の関係を整理してみた。各航行の船速は入航した時が速く、対象バースに近づくに連れて低下していくが、港によって航路長さや航路からのバース位置が異なるため、余裕水深と航路内最大船速に関係性は見られなかった。全体としては概ね10ノット以下の航行であった。また、規定UKCを除く余裕水深が入港喫水の2%以下となっているものは9ノット未満であることから、余裕ある潮位高を確保できていない時には操船者はより慎重な入航を実施しているものと考えられる。

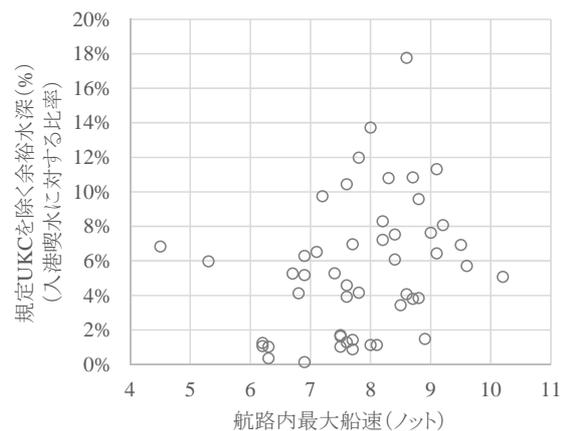


図-5.4 余裕水深と航路内船速
(対象港湾における潮位利用船舶のみ)

(5) 推定積載率

図-5.5は各品目バルク港湾別に入港喫水から算定した積載率の分布を示したものである。積載率の計算方法は谷本ら¹²⁾が示したものを等使用し、船幅が32.26m以下の船型はパナマックス、船幅が32.26mより大きい船型はポストパナマックス、17万DWT超の船型はケーブルサイズと分類して計算式を適用した。

鉄鉱石と石炭、穀物港湾のそれぞれで推定積載率が100%近いものから80%を切るものまで幅広くあった。資源や食糧となるこれら貨物は様々な品種があり荷主企業が指定する量が調達されることや貨物の比重が異なるため、常に満載状態で輸送されるものと限らないが、図-5.5の結果から入港可能な喫水になるよう積載量を調整しているケースがあると同時に、減載状態になることを承知の上で大型船を用船してスケールメリットを活かした輸送を実施しているものと考えられる。

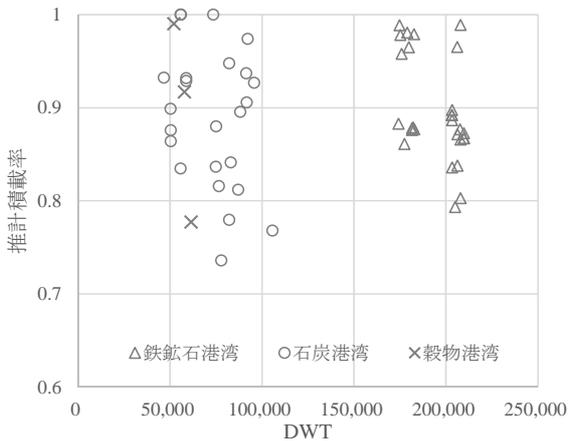


図-5.5 推定積載率の分布
(対象港湾における潮位利用船舶のみ)

(6) 入港隻数と錨泊隻数

図-5.6は港湾毎に入港前港湾沖の錨泊隻数と1バースあたりの受入隻数の分布を示したものである。1バースあたりの受入隻数は、1ヵ月間の入港隻数をバース数で割ったものとした。傾向としては1バースあたりの受入隻数が多い、つまり高稼働率のバースほど港湾沖で滞船する隻数が多いことを示している。また、夜間における入出港が認められていない港湾やバース背後のヤードの貨物受け入れ態勢など港湾によって抱える状況が異なることから、潮位利用実施の有無による滞船の影響は錨泊隻数から読み取ることが出来なかった。

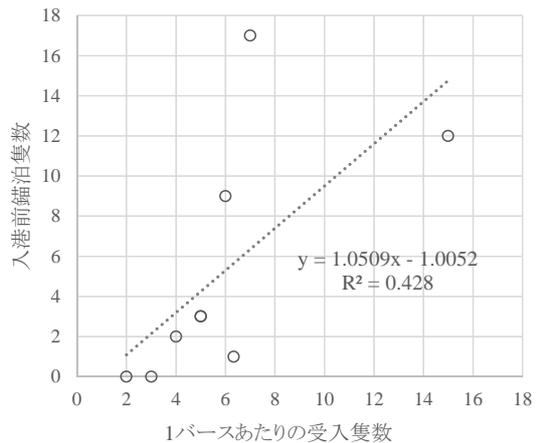


図-5.6 錨泊隻数と1バースあたりの受入隻数
(対象港湾における全船舶)

(7) 遅延状況の例

当初予定していた到着時刻からどの程度の遅れが発生しているか表現するため、ある港湾を例に挙げて各船舶の実際の入航時刻とETA(到着予定時刻でありAISデータに含まれる情報)の差を遅延時間として、到着時に既に係留・滞船していた隻数との関係を示したものが図-5.7である。傾向としては、到着時に係留・滞船していた船舶がない時には遅延時間が短く、到着時に係留・滞船していた船舶がいる時には遅延時間がかなり長くなる傾向にあることが分かる。また、潮位利用を行うための潮待ち滞船を行っているのであれば数時間程度の遅延が発生するものと考えられるが、図-5.7では半日以上も遅延している船舶が多いため潮位利用に伴う滞船は効率性を下げる大きな要因となっておらず、それに以上にバースの稼働率やヤードの貨物受け入れ態勢、夜間入出港制限などの要因が影響しているものと考えられる。なお、本分析におけるサンプルデータでは潮位利用なしにおいて到着時に係留・滞船していた船舶がないケースしか見られなかったとともに、潮位利用の有無による遅延の影響は見るができなかった。

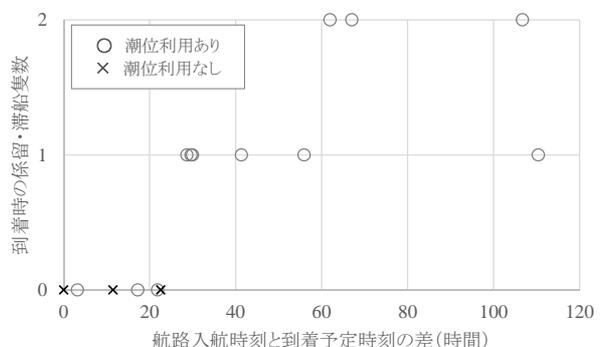


図-5.7 遅延時間と滞船状況

(8) 錨泊場所と退避場所の重複

入港待ちを行うために船舶が港湾沖で錨泊している場所と、過去に台風が直撃あるいは接近した際に港外退避した場所を見比べた。その結果、通常時に占有する錨泊場所と退避場所が重複する港湾が多いことが分かった。そのため、錨泊中に荒天を迎えてその場所で退避する場合には、他船との競合が想定されるため他船との間隔を十分に確保しておくとともに、他の錨泊候補場所も念頭に入れておく必要があると考えられる。

5.2 海外事例の分析

本節における分析は潮位利用を実施していると見られる海外港湾を対象として、AISデータを用いて潮位利用実態を分析した。なお、AISデータはLloyd's List Intelligence社が提供する2014年10月の1ヵ月分を使用して分析を行なった。

本分析は文献を基に一般的な規制や運航ルールから運航実態を再現して考察したものであり、現地の詳細な規制や運航ルールを全て網羅できていないことに留意する必要がある。

5.2.1 Newcastle

Newcastle 港はオーストラリア東部に位置する石炭積出港であり河口に整備されている。表-5.2 に示されるように最大バース水深 16.5m が確保され、230,000DWT を超える船舶が入港可能であるが、航路入口が水深 15.2m しか確保されていない。UKC は日本の第1区分と同じように喫水の10%となっているが、バース係留時には0.3mである。

表-5.3 に示すとおり、Newcastle 港における2014年10月のばら積み貨物船の出港隻数はAISデータから計104隻が確認でき、最大喫水は15.5mであった。航路最低水深が15.2mでありUKCは喫水の10%としていることから、計算上では喫水が13.9m以上であれば潮位を利用する必要がある、潮位利用船舶は39隻で全体の37%を占めている。

表-5.2 Newcastle 港の港湾施設情報

航路水深 (m)	※最浅所部	15.2
最大バース水深 (m)		16.5
上記水深のバース延長 (m)		3,172
入港最大船型	船長 (m)	300
	船幅 (m)	55
	喫水 (m)	16.2
	載貨重量トン (DWT)	232,000
Minimum UKC (航路)	喫水の10%	
Minimum UKC (バース)		0.3m

出典: IHS Global Limited, Sea-web2015より著者ら作成

表-5.3 2014年10月のばら積み貨物船出港実隻数

出港時喫水	隻数	備考
5.0-5.9m	2	
6.0-6.9m	5	
7.0-7.9m	7	
8.0-8.9m	4	
9.0-9.9m	6	
10.0-10.9m	6	
11.0-11.9m	4	
12.0-12.9m	12	
13.0-13.8m	19	
13.9m	2	潮位利用必要
14.0-14.9m	23	潮位利用必要
15.0-15.5m	14	潮位利用必要
計	104	

図-5.8 は潮位利用をした船舶の航跡を描写したものである。バース前面の泊地は非常に狭隘であり、航路も大きく屈曲している。図中における東経 151.79° ラインの周辺は航路入口にあたり、水深が 15.2m となっている。

図-5.9 は、この東経 151.79° ラインにおける通航船の喫水データと Newcastle 港の潮位データを用いて、10月1日～7日における水深と喫水の関係を図化したものである。航路最低水深に潮位を加えたものを曲線で描写しており、これは実際の航路水深を表現したものである。また、通航時の喫水に UKC10%を加えたものを丸でプロットしており、これは当該船舶が通航時に必要とする水深を表現している。つまり、実際の航路水深を表現した曲線の最小値より通航時に必要とする水深の丸が上になれば、潮位利用をする必要があるものと判断できる。図-5.9 では曲線と丸の数が重複していることから、深喫水船が最大潮位を利用して出港していることが分かる。河川流の流入により一定の増深効果はあるものと考えられるが、潮位情報が船舶の安全性を大きく左右するため、厳格な情報収集が行われているものと考えられる。

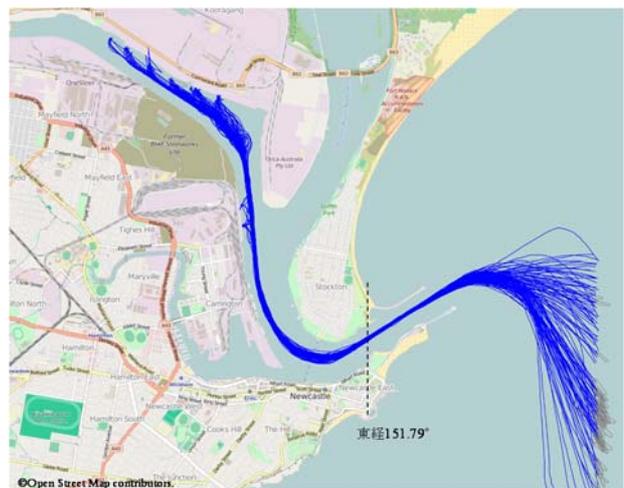


図-5.8 10月の航跡
(ばら積み貨物船, 喫水 13.9m 以上で出港した船舶)

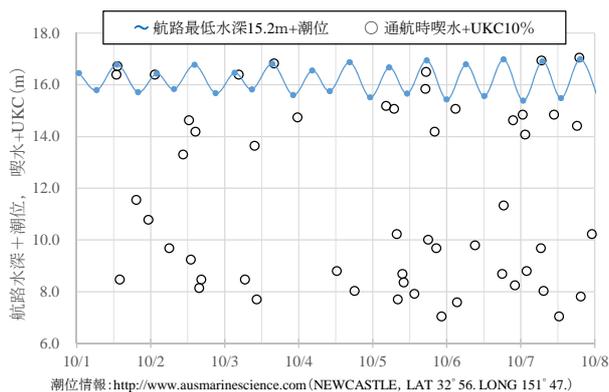


図-5.9 航路水深と通航船喫水
(2014年10月1日～7日, Newcastle 港)

図-5.10 は東経 151.79° ラインにおける通航時の喫水と航行速度の関係を示したものである。潮位利用を必要としない船舶においては最大 10 ノット程度の航行が見られたが、喫水 13.9m 以上で潮位利用が必要となる船舶は概ね最大 6 ノットであり、航走中における船首沈下量 (squat) の抑制に配慮しているものと見られる。

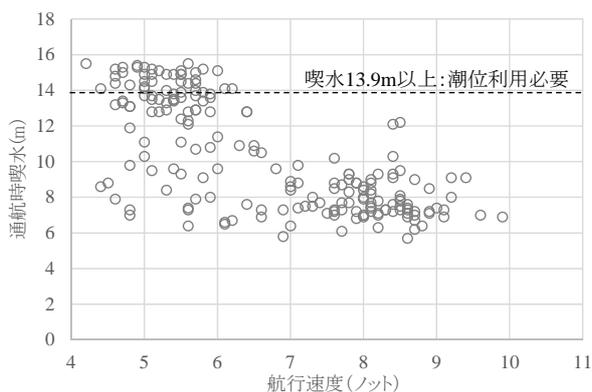


図-5.10 通航船喫水と航行速度の分布
(2014年10月, Newcastle 港)

5.2.2 Port Hedland

オーストラリア西部に位置し、鉄鉱石積出港である Port Hedland 港は年間約 3.7 億トンの貨物量を取扱い、約 2,400 隻の船舶が入出港している¹³⁾。全てが鉄鉱石を輸送しているものではないが 1 隻平均 15 万トンを輸送している計算になり、表-5.4 に示すとおり最大で 30 万トン超のばら積み貨物船が入出港可能である。Port Hedland 港の航路と回頭泊地水深は 16.4m 以下であるが、潮位は高潮時に 6m を超えるため、潮位を利用して喫水が航路水深を上回る状態で出港している。Port Hedland 港は航路や港内の水域は場所によって水深が異なるとともに、うねりの波高と水域の水深に応じた UKC が詳細に定められており、かなり複雑な運用

ルールではあるが、3.2 節でも示したとおり Dynamic UKC System を導入して運航を管理しているとのことである。

表-5.5 は AIS データを解析し、喫水が 14m 以上であり潮位利用を必要とする出港隻数をカウントしたものである。1 ヶ月間で 198 隻の大型船の出港が確認でき、最大喫水は 19.0m であり、喫水が 18.0m～18.9m となっている隻数が最も多かった。

表-5.4 Port Hedland 港の港湾施設情報

航路水深 (m)	※港内入口	14.3
最大バース水深 (m)		19.7
水深19m以上のバース延長 (m)		4,042
入港 船長 (m)		340
最大 喫水 (m)		19.8
船型 排水トン (t)		330,000
Minimum UKC (港内入口)		1.3m

出典: Shipping guides LTD, Guide to Port Entryより著者ら作成

表-5.5 2014年10月のばら積み貨物船出港実隻数

出港時喫水	隻数
14.0-14.9m	16
15.0-15.9m	6
16.0-16.9m	10
17.0-17.9m	73
18.0-18.9m	92
19.0m	1
計	198

注: 喫水14.0m以上の隻数をカウントしている

図-5.11 は大潮期であった 10 月 25 日のばら積み貨物船の航跡を描写したものであり、狭隘な港内の中に複数のバースと係留船が確認できる。また、港外での航跡が重複して一本の線に見えることから、船舶同士の行き会いをしない航路が沖まで整備されており、大型船は航路外の水域を一切航行できないことが分かる。さらに、Port Hedland は鉄鉱石積出港であり、入港時は空載、出港時は満載あるいは減載状態となることから、喫水が深くなる出港時の回頭操船を回避するために係留船は全て出船着棧である。

港内入口の Hunt Point と呼ばれる水域では、水深が 14.3m であり、うねりの波高が 0.25m 以下であれば UKC は 1.3m 確保することとなっている。この規制を分析の設定条件として、Hunt Point 周辺の南緯 20.30° 以南における通航船の喫水データと Port Hedland 港の潮位データを用いて、10 月 1 日～7 日における水深と喫水の間関係を図化したものが図-5.12 である。航路最低水深に潮位を加えたものを曲線で、通航時の喫水に UKC1.3m を加えたものを丸でプロットしている。潮位データが Hunt Point から少し離れた地点のものであることや、本分析の設定条件と実際の運航規制の

違いなどから、一部のプロットが曲線よりやや上に描写されているが、Newcastle 港と同様に深喫水船が潮位を最大限利用して出港していることが分かる。また、航路内において大型船舶の行き会いをさせていないことや、高潮位時のみ深喫水船を出港させることができることから、浅喫水船は深喫水船が利用しないその他の時間帯を狙って入港していることも分かる。



図-5.11 10月25日の航跡（大型のばら積み貨物船）

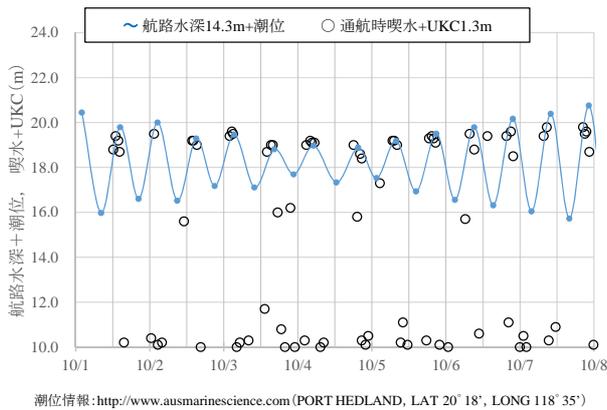


図-5.12 航路水深と通航船喫水
(2014年10月1日～7日, Port Hedland 港)

図-5.13 は南緯 20.305~20.30° 通航時の喫水と航行速度の関係を示したものである。潮位利用を必要としない船舶については例外もあるが概ね最大 10 ノットの航行が見られ、喫水 13m 以上で潮位利用が必要となる船舶は概ね最大 7 ノットであり、航走中における船首沈下量を抑制している可能性があることから、潮位や喫水と同様に航行速度も管理されているものと考えられる。

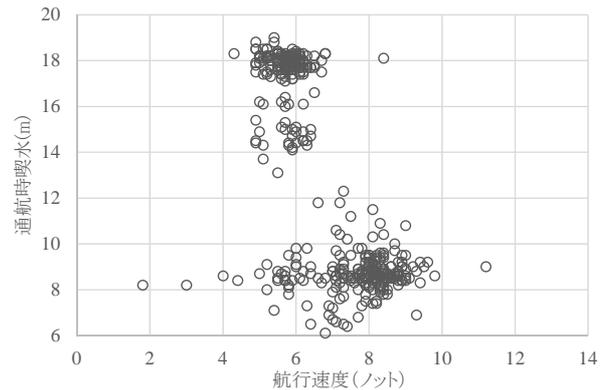


図-5.13 通航船喫水と航行速度の分布
(2014年10月, Port Hedland 港)

5.2.3 New York / New Jersey (コンテナ)

米国東岸に位置する New York / New Jersey 港はコンテナを年間 550 万 TEU 程度¹³⁾取り扱っている。中でも Elizabeth Marine Terminal と Port Newark が主要コンテナターミナルである。図-5.14 は New York / New Jersey 港におけるフルコンテナ船の航跡を描写したものであり、船舶の大半が Kill Van Kull 川を通航し、Elizabeth Marine Terminal と Port Newark がある Newark 湾へアプローチしていることが分かる。

表-5.6 に示すとおり Elizabeth Marine Terminal と Port Newark の岸壁は水深 50ft (約 15.2m) が確保されているが、Kill Van Kull は水深 45ft (約 13.7m) となっている。また、Newark 湾及び Kill Van Kull において最小 UKC は 2ft (約 0.6m) である。

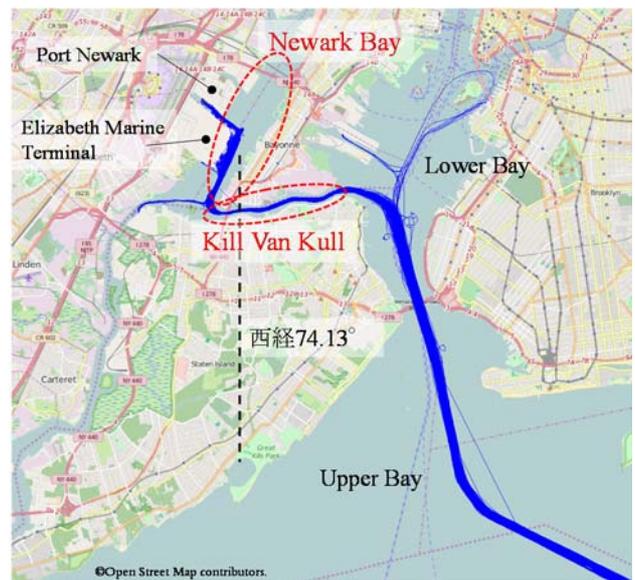


図-5.14 New York / New Jersey 港の水域と主要ターミナル
(航跡は 2014 年 10 月のフルコンテナ船のみ描写)

表-5.6 New York / New Jersey 港の港湾施設情報
(対象水域施設：Kill Van Kull 及び Newark Bay)

航路水深(m)	13.7m(45ft)
最大バース水深(m)	15.2m(50ft)
Minimum UKC	0.6m(2ft)

出典：IHS Global Limited, Sea-web2015より著者ら作成

表-5.7 に示すとおり，New York / New Jersey 港における 2014 年 10 月のフルコンテナ船実隻数は AIS データから計 103 隻が確認され，最大喫水は 14.3m であった．Kill Van Kull の最低水深が 13.7m で UKC は 0.6m とされることから計算上では喫水が 13.2m 以上であれば潮位を利用する必要がある．潮位利用船舶は 9 隻で全体の約 9% を占めており，ばら積み貨物船を対象とした Newcastle 港などに比べて潮位利用の割合は低い．この理由としては，コンテナ船は各港での積み卸しがあるため満載状態になりにくいことと，潮位待ちを回避して定時性を確保するために深喫水船を投入していないことが考えられる．

図-5.15 は西経 74.13° ラインにおける通航船の喫水データと Kill Van Kull 周辺の潮位データを用いて，10 月 1 日～7 日における水深と喫水の関係を図化したものである．Kill Van Kull や Elizabeth Marine Terminal などでは 5～6m の潮位高が発生することから，深喫水船は高潮位時を狙った通航を行っていることが分かる．ただ，UKC が 0.6m であり他港に比べて小さい航行条件となっていることや，低潮位時には水深が十分に確保できないこともあり，過度に潮位高を利用せずに運航していることが分かる．なお，喫水が水深を超えてしまっているものがあるため最適な潮位データを使用できていない可能性があることに留意する必要がある．

図-5.16 は同水域における通航時の喫水と航行速度の関係を示したものである．概ね最大 9 ノットの航行であり，全体的に速度を抑制して航行しているものと推察され，潮位利用船舶の特徴は見られなかった．

表-5.7 2014 年 10 月の喫水別フルコンテナ船実隻数
(対象水域施設：Kill Van Kull)

通航時最大喫水	隻数	備考
7.0-7.9m	2	
8.0-8.9m	4	
9.0-9.9m	7	
10.0-10.9m	15	
11.0-11.9m	28	
12.0-13.1 m	38	
13.2-13.9m	6	潮位利用必要
14.0-14.3m	3	潮位利用必要
計	103	

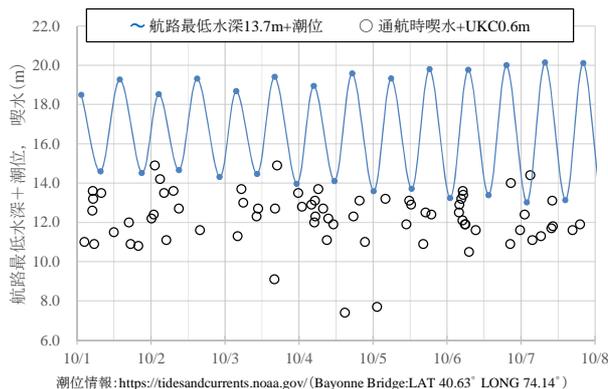


図-5.15 航路水深と通航船喫水
(2014 年 10 月 1 日～7 日，Kill Van Kull)

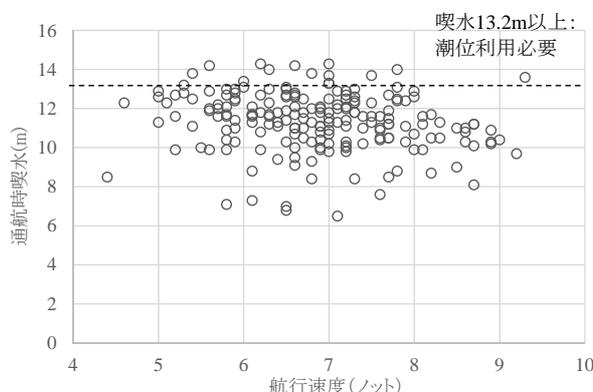


図-5.16 通航船喫水と航行速度の分布
(2014 年 10 月，Kill Van Kull)

5.2.4 Bremerhaven (コンテナ)

Bremerhaven 港はドイツ北西部の北海へ流れる Weser 川の河口に位置する (図-5.17 参照)．Weser 川の上流域には Bremen 港があり，Bremen 港と Bremerhaven 港の 2 港でコンテナを年間 600 万 TEU 超取り扱っている．Bremerhaven 港の河川航路は水深 14.0m が確保されており，コンテナターミナルは水深 14.5m の岸壁が 4,920m (14 バース) 整備されている¹³⁾．なお，港湾オペレーターである Eurogate が公開している 2015 年 9 月時点の Port Information によれば河川航路は水深 14.5m となっているが，Sea-web2015 の 10 月時点 (IHS Global Limited) 及び Guide to Port Entry 2015-2016 (Shipping Guides Limited) は水深 14.0m との記載となっており，AIS データは 2014 年 10 月時点のものであるため，本資料においては水深 14.0m として整理・分析している．

表-5.8 に示すとおり最小 UKC は船幅の 1% を推奨しているが，大型船については別途規制があり Panamax 級が喫水 12.8m 以上で，Post Panamax 級が喫水 12.5m 以上で潮位を利用することとなっている¹³⁾．そのため，大型船の UKC は 1.2～1.5m 程度を確保する必要があると考えられる．

表-5.9 に示すとおり、Bremerhaven 港における 2014 年 10 月のフルコンテナ船実隻数は計 221 隻が確認され、そのうち最大喫水は 13.5m であった。喫水 12.5m 以上で潮位利用が必要であると設定した場合、潮位利用船舶は 5 隻で全体の約 2% を占め、潮位利用の割合は低いことが分かる。



図-5.17 Bremerhaven 港の水域とターミナル
(航跡は 2014 年 10 月のフルコンテナ船のみ描写※)
※著者らは AIS データをバース前面水域のみ所有しているため航跡が短くなっている。

表-5.8 Bremerhaven 港の港湾施設情報

航路水深(m) ※最浅所部	14.0
最大バース水深(m)	14.5
水深14m以上のバース延長(m)	4,920
入港最大船型 船長(m)	400
(コンテナ船) 喫水(m)	14.5
Minimum UKC (推奨)	船幅の1%

出典: Shipping guides LTD, Guide to Port Entryより著者ら作成

表-5.9 2014 年 10 月の喫水別フルコンテナ船実隻数

通航時最大喫水	隻数	備考
7.0m未満又は不明	119	
7.0-7.9m	18	
8.0-8.9m	24	
9.0-9.9m	20	
10.0-10.9m	16	
11.0-11.9m	13	
12.0-12.4 m	6	
12.5 -13.5m	5	潮位利用必要
計	221	

図-5.18 は北緯 53.603° のコンテナターミナルの北端ラインにおける通航船の喫水データと Bremerhaven の潮位データ

ータを用いて、10月3日～9日における水深と喫水の関係を図化したものである。UKCは船型によって異なるが図-5.18においては一律1.5mと設定した。Bremerhavenにおける潮位は最大4m程度発生している。潮位利用を必要とする深喫水船は過度な潮位高を利用していない一方で、入港及び出港ともの潮位利用船があり、上げ潮時からピーク時にかけて航路航行が見られることから、出港時には長いアプローチ水路を安全に航行するために、あるいは入港時には港内操船を行うために Tidal Window の幅を有効に活用しているものと考えられる。

図-5.19 は同水域における通航時の喫水と航行速度の関係を示したものである。Bremerhaven 港は大半が 10 ノットを超える航行であり、速いものでは 19 ノット近くが確認された。潮位利用船舶や喫水の大きい船舶ほど速度を落としている傾向にあるが、直線的な水域が続いており、航路水深や十分な UKC が確保されているため航走中における船首沈下量に対しては特段の配慮をしていないものと考えられる。

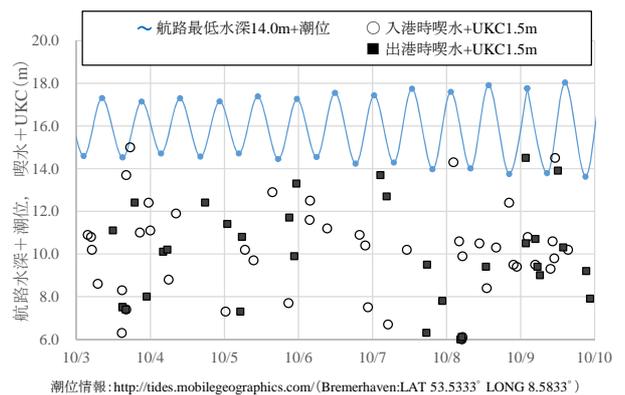


図-5.18 航路水深と通航船喫水
(2014 年 10 月 3 日～9 日, Bremerhaven 港)

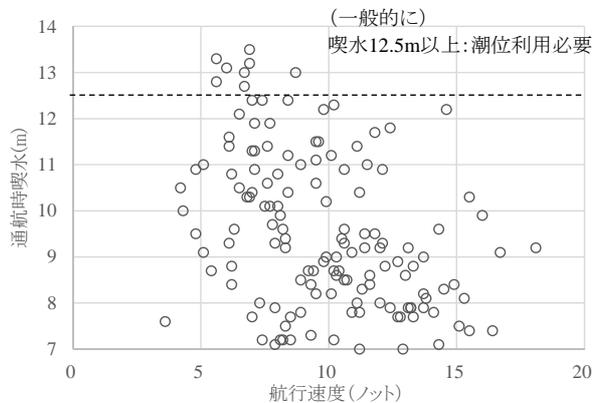


図-5.19 通航船喫水と航行速度の分布
(2014 年 10 月, Bremerhaven 港)

6. 考察

本章では前章までの国内外の事例や航路航行実態の分析結果等を踏まえ、潮位利用を行おうとする際に配慮事項となり得る項目を示す。

なお、本資料は航路における潮位利用に関して記載するものであり、その他の水域施設に関して言及するものではない。また本章は、これまで潮位利用の対応状況についての情報が少なかったことに鑑み、潮位利用を実施している港湾において実施されている対応等を基に、配慮事項となり得る項目を例示的に列挙したものである。実際の対応は港湾の状況に応じてケースバイケースで判断されるものである。

【潮位利用の適性】

潮位利用に際し、十分に潮位高があるかどうかについては港湾の所在地域により異なる。

(考え方)

本研究においても三大湾や太平洋側、瀬戸内、九州等に位置する港湾では 1m を超える潮位があることが明らかになっており、これは航路水深を増加させる要素として期待できる。

海外でも潮位利用のリスクはあると認識されており、それは潮位の予測誤差、船側の喫水の計算間違い、荷役の遅れや機関の停止といった不測事態が挙げている。日本においては、加えて津波来襲もリスクであると考えられる。それぞれのリスクに対する考え方は下記に記載するが、潮位は規則性を持ち、高い精度で予測ができるため決してリスクが高い航行環境要因とは言えず、風速や霧といった不確定リスクの方が予測は難しい。

アンケート結果から潮位利用を実施している港湾が複数あることが分かり、また赤倉らりが水先引受基準における潮位利用の記載内容を整理しており、多くの水先区において潮位利用が可能となっている。

【潮位利用の対象船種】

船種によって潮位利用への適性は異なる。

(考え方)

対象船種について、本研究での事例調査では、ばら積み船の事例が多数みられた。ばら積み貨物船は積出港にて鉄鉱石や石炭、穀物等の貨物を積み込む際、船体の安定性を計算して計画を立てることから、入港時の喫水を予想しやすいとともに、荷主が特定できることから喫水管理を含む運航計画が立てやすい。また、ばら積み貨物船はコンテナ船のように強く定時性が求められない面もあるため、高潮位時を狙った航路航行を行なうことも比較的容

易であろう。

一方で、コンテナ船については海外港湾において潮位利用を実施していることを確認したが、その隻数の割合は高くない。コンテナ船は各港で荷の積み卸しがあり航海毎に喫水が変動するため、入港時及び出港時における喫水の把握・管理が難しいと考えられる。また、ウィークリーサービスを基本とした寄港スケジュールが計画されており各港への寄港の定時性が求められるため、潮汐と入港のタイミングが合わないことや潮待ちに伴うターミナルオペレーションへの影響が想定される。

危険物船やフェリーについては、万が一喫水管理がうまく実施されず座礁等の海難が発生した場合における人命被害や環境被害が甚大となることに留意する必要がある。これについては欧州でも同様の考え方が為されており、LNG 船は潮位利用を許可されないのが実情である。

【常時維持すべき UKC の水準】

UKC 水準の設定が重要である。

(考え方)

UKC の確保は、船舶の安全航行において重要な要素である。我が国港湾における入出港船舶の喫水の実態では、UKC を最大喫水の 10% としている例が多く、現状では技術基準の第 1 区分における考え方が適用されているものとみられる。

第 1 区分における UKC を導入する場合は、うねり等の波浪の影響が想定されない港内等の航路では UKC を最大喫水の 10%、うねり等の波浪の影響が想定される港外等の航路では UKC を最大喫水の 15%、強いうねり等の波浪が想定される外洋の航路では UKC を最大喫水の 20% とすることとなる。

他方、第 2 区分における UKC を導入しようとする場合は、船舶諸元や海象条件、航行速度から算定し設定することとなる。これについては、赤倉らりは航路算定プログラム J-Fairway を活用した UKC 管理システムの導入を提案している。第 1 区分に比べて航行可能時間が増加すること確認しており、効率的かつ合理的な入港運用が可能であるとしている。

国内外の港湾の中で潮位利用時に高潮位を必要とする航行や UKC が小さい事例においては、船底接触を避けるために航行速度を落として航走中における船首沈下量を抑制し UKC を確保しているものとみられる。

【潮位利用の実施期間】

潮位利用を行う期間に配慮する必要がある。

(考え方)

本来であれば、高潮位時のみ入港できるような施策ではなく、常時入出港できるような十分な航路水深を確保しておくことが望まれよう。しかしながら、航路整備は長期間に渡るため企業活動の進展に影響を与えかねないため、航路浚渫が完了するまでの期間で暫定的に潮位利用を実施することも考えられる。今後入港する船舶が既存の施設規模あるいは計画規模より大きい場合、航路増深を行う必要があるが、制約上それが難しい場合には、暫定的な措置として実際の航路航行において潮位を利用することで効率性を向上させる。

その他の潮位利用の導入ケースとして、低頻度で大型船を入港させたい場合が想定される。これについても航路を浚渫しては入港の実現が長期化するため、このケースにおいても安全対策を講じた上で暫定的な措置として潮位利用を行うことも検討に値する。

【潮位予測値の取り扱い】

潮位予測値と実測値との間に差がある場合がある。

(考え方)

表-2.3 に示したとおり実際の潮位高は、低気圧の影響を受ける時やうねりなどの長周期波の波高が下がった時など、予測値を下回る可能性がある。また、海面が最低水面を下回るマイナス潮位が発生しており、喫水管理をして入出港している船舶に対しては注意が必要である。

【津波来襲に向けた対応，荒天時の対応】

津波来襲時や荒天時の対応がリスク要因として認識されている。

(考え方)

津波の来襲に備えることは我が国港湾の課題である。この項目で対象とする事項は潮位利用実施時における津波来襲に向けた対応であり、潮位利用の有無に関わらず対応すべき課題、例えば津波来襲までに時間的余裕が無い場合や、引き波の発生により水深が確保できない場合などの対応についてはこの項目で言及しないことを前置きしておくとともに、具体的な津波対策は日本航海学会の提言¹⁴⁾等を参照されたい。

本資料では、アンケート調査で把握できた事例を基に、潮位利用に際して津波来襲前に出港し港外退避するため対策例を2つ挙げる。

対策例の1点目は、迅速に曳船が手配可能な体制を常時確保しておくことである。対象船種としているばら積

み貨物船は大型船になればスラスターを搭載しておらず、限られた水域での回頭操船や横移動が出来ないため自力での出港操船が難しい。そのため、出港操船を支援する曳船が常時手配できる体制を構築しておくことで安全性が高まる。

対策例の2点目は、潮汐により変動する航路水深に対して常時十分なUKCが確保できる喫水となるように荷役スケジュールを立てて実行することである。これを確立させるためには、上げ潮時に入港可能なTidal Windowが出現したら速やかに入港・着岸して高潮位の間荷役を行い、ある程度喫水を減らしておく取り組みが必要となる。最高潮位近傍時のみ入港できるような運航計画ではこの実現が難しくなるとともに、岸壁やヤード側の荷役能力や受入体制も問われるが、比較的潮位の高い地域や低潮時の海面高さが高い日では取り組み易いと考えられる。

上記の「航路水深に対して常時十分なUKCが確保できる」例として、表-6.1のケースA、Bの試算を行った。対象船舶の諸元と貨物積載率・相当喫水率の関係は谷本ら¹²⁾の資料を参考とし、水域施設条件及び荷役条件並びに潮位予測値は実際の港湾をモデルとした。ケースAとBは同日で入港時刻を4時間ずらしたもので、ケースAが上げ潮時の入港、ケースBがピーク時の入港であり、荷役速度と喫水の上昇速度は同じである。結果として、ケースAは低潮時に航路水深に対してUKCが17%以上であるのに対し、ケースBは低潮時にUKCが10%未満となり、仮にこの時刻に緊急出港することになった場合、航路の利用条件を満たせていないことになる。したがって、入港のタイミングや速やかな荷役作業はUKCの確保に大きな影響を与えることが分かる。

その他に、常時出港可能にしておくことは荒天時における対策にもつながる。大型船については、荒天時に港外退避が求められるため、港内操船時または係留荷役時において荒天が予想される場合には、速やかに出港できる状況を確認しておくことが必要となる。

【潮位利用を利用した運航の検討】

航路水深と整備完了時期を勘案の上、船型（積載率）や潮位高、UKC、バース稼働率、ターミナル荷役保管能力等を踏まえコスト的観点から適切な入出港計画を検討することにより、効率性を向上し得る。

(考え方)

潮位利用を実施するには港湾固有の状況や対応方法が考えられる。例えば、航路水深の確保に関しては新規の航路浚渫工事や埋没に伴う維持浚渫工事があるとともに、期間ごとに水深を段階的に確保する進め方もある。また、潮位利用を行う上でどの程度の潮位高を利用するのか、

船型や積載率はどの程度まで受け入れられるのかなど、ハード整備と連動した受入要件や航行環境の整理も検討に値する。

この際、航路水深とその整備完了時期を勘案の上、船型（積載率）や潮位高、UKC、バース稼働率、ターミナル荷役保管能力、航行環境等を踏まえコスト的観点から適切な入出港計画を検討すれば効率性を高めることができるものと考えられる。

【潮位利用の可否の判断】

法令等に基づき、関係者と事前調整を行った上で潮位利用が可能となるのが通例である。

（考え方）

港湾を利用するにあたり港則法や水先法、条例の法令等を遵守する必要がある。そのため、潮位利用を実施する前には関係者との調整を行い、運航計画や安全対策について協議・合意することが求められるのが通例である。安全対策については、表-4.2 のアンケート結果で整理したような項目が存在する。

【情報共有】

常時喫水や潮位などの状況の把握とその共有を行うことにより、安全性が向上し得る。

（考え方）

潮位利用を行う船舶は毎回同じ船舶ではなく、異なる諸元や喫水の船舶となることが多いため、各船舶の入港前の適切な時期に入港船舶の喫水や入港時の潮位、水深を把握することも安全性の向上のための一つの方策である。この喫水管理計画と照らし合わせた入港時及び荷役中の実喫水の確認や、荷役の遅れや機関の停止といった不測事態など現場での対応のため、責任者の配置や本船と常時連絡が取れる体制の構築を行っている事例もあった。

【錨泊中における他船航行への影響】

錨泊する場合他船の位置への配慮が必要となる場合がある。

（考え方）

AIS データを用いた分析では、バース空き待ちや潮待ちのために港外で錨泊している船舶を多数確認した。対象バースへの入港を待つ船舶以外にも、入出港船舶や港外を通過する船舶が存在するため、それら船舶の航行を妨げないような対応が必要となる場合もあることに留意が必要である。

表-6.1 航路水深に対して常時 UKC を確保する喫水管理の試算例

参考: 国土技術政策総合研究所資料No.834(表-2.9, 表-2.10, 図2-14)

対象船型 (Post Panamax)

全長	239.0m
垂線間長	219.9m
船幅	36.5m
満載喫水	14.14m
最大積載貨物重量	85,071DWT

LMの一部結果とLM Model
(参考資料におけるケースNo.2)

積載貨物重量	83,243DWT
相当喫水(=入港喫水)	13.91m
貨物積載率	97.1%
相当喫水率	98.4%

試算における設定

①水域施設条件

航路水深	14.0m
UKC	喫水の10%以上

②荷役条件

荷役機械能力	1,500t/h
荷役機械台数	2
荷役効率	70%
バース荷役能力	2,100t/h

貨物積載率と相当喫水率の関係

$$Y=0.4816e^{0.7216X} \quad X: \text{貨物積載率}, \quad Y: \text{相当喫水率}$$

ケースA(5時に入港開始した場合)

時刻(正時)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
潮位(cm)	108.4	136.1	164.9	187.3	197.6	192.1	170.2	135.4	95.2	58.4	33.2	25.5	37.3
航路水深(m)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
行動	錨泊中	入港開始	着岸完了	荷役開始	荷役中								
喫水(m)	13.91	13.91	13.91	13.91	13.55	13.31	13.08	12.85	12.62	12.40	12.18	11.96	11.75
積載量(t)	83,243	83,243	83,243	83,243	81,143	79,043	76,943	74,843	72,743	70,643	68,543	66,443	64,343
貨物積載率	97.1%	97.1%	97.1%	97.1%	95.4%	92.9%	90.4%	88.0%	85.5%	83.0%	80.6%	78.1%	75.6%
累計荷揚量(t)	-	-	-	0	2,100	4,200	6,300	8,400	10,500	12,600	14,700	16,800	18,900
余裕水深(m)	1.17	1.45	1.74	1.96	2.42	2.61	2.62	2.51	2.33	2.19	2.15	2.29	2.62
UKC	8.4%	10.4%	12.5%	14.1%	17.9%	19.6%	20.1%	19.5%	18.5%	17.6%	17.7%	19.1%	22.3%
入出港可否	不可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可	可

ケースB(ケースAと同日9時に入港開始した場合)

時刻(正時)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
潮位(cm)	197.6	192.1	170.2	135.4	95.2	58.4	33.2	25.5	37.3	65.6	103.3	141.8	172.7
航路水深(m)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
行動	錨泊中	入港開始	着岸完了	荷役開始	荷役中	荷役中	荷役中	荷役中	荷役中	荷役中	荷役中	荷役中	荷役中
喫水(m)	13.91	13.91	13.91	13.91	13.55	13.31	13.08	12.85	12.62	12.40	12.18	11.96	11.75
積載量(t)	83,243	83,243	83,243	83,243	81,143	79,043	76,943	74,843	72,743	70,643	68,543	66,443	64,343
貨物積載率	97.1%	97.1%	97.1%	97.1%	95.4%	92.9%	90.4%	88.0%	85.5%	83.0%	80.6%	78.1%	75.6%
累計荷揚量(t)	-	-	-	0	2,100	4,200	6,300	8,400	10,500	12,600	14,700	16,800	18,900
余裕水深(m)	2.07	2.01	1.79	1.44	1.40	1.27	1.25	1.41	1.75	2.26	2.85	3.45	3.97
UKC	14.9%	14.5%	12.9%	10.4%	10.3%	9.5%	9.6%	10.9%	13.9%	18.2%	23.4%	28.9%	33.8%
入出港可否	可	可	可	可	可	不可	不可	可	可	可	可	可	可

7. 結論

本研究は、航路航行時における船舶の潮位利用について、国内外の事例を基に航行実態やリスクを整理し、潮位利用検討方針や喫水管理等の考え方について考察したものである。本研究の結論は以下のとおりである。

- (1) 三大湾や太平洋側、瀬戸内、九州等の港湾では一定の潮位高が予測されており、航路水深を増加させる要素として期待できる。
- (2) 潮位を利用することでばら積み貨物船の航海あたりの貨物輸送量を増やすことができ、これにより貨物輸送単価の削減効果が発生する。例えば、喫水 10m で満載入港していた船舶が喫水 12m の満載入港へ切り替わることにより、輸送量を約 1.8 倍にすることが出来る。
- (3) 欧州ではばら積み貨物船の潮位利用を日常的に行っている。しかし、コンテナやフェリー、RORO の潮位利用は稀であり、LNG 船は許可されていない。潮位利用のリスクは潮位の予測誤差や船側の喫水の計算間違い、荷役の遅れや機関の停止といった不測事態であると認識されている一方で、潮位よりも気象の方が予測できないためリスクが高いと認識されている。
- (4) オーストラリアをはじめとして潮位利用を積極的に導入している海外港湾では、船舶諸元や入出港スケジュール等を入力データとしたリアルタイムで港全体の運航と喫水管理できるシステムが導入されており、パイロットや船長らの関係者が情報共有できる体制を構築している。
- (5) 国内でも多数の潮位利用事例があり、港毎に喫水管理や情報共有等の安全対策を講じているが、港によって利用する潮位高や安全対策の内容は様々であった。
- (6) AIS データを用いて国内港湾における潮位利用の実態を分析した結果、潮位利用船は高潮位の間に着離岸完了と荷揚開始を実施すべく上げ潮時に入港している傾向にあった。また、港湾沖で錨泊している船舶は半日以上待っているものが多いため、潮位利用に伴う滞船は効率性を下げる大きな要因となっておらず、それ以上にバースの稼働率やヤードの貨物受け入れ態勢、夜間入出港制限など他の要因が影響していた。
- (7) AIS データを用いて海外の 4 港湾における潮位利用の実態を分析した結果、オーストラリアにおけるばら積

み貨物船については潮位利用の頻度が高く、その大半が最大潮位を利用していることが分かった。

またコンテナ船の潮位利用事例を確認することができた。入港するコンテナ船のうち潮位利用の頻度は 1 割未満であり、潮位高も高いものを必要とおらず余裕水深を十分に確保できる環境にあった。その中で航行速度の抑制や Tidal Window の幅を有効に活用した時間に余裕のある運航が見られた。

- (8) 潮位は恒常性があり、それを予測できる環境が整っているため、十分な潮位高を有する港湾においては輸送方法や航行環境に適した安全対策を講じることで潮位を利用した運航が可能となることも想定できる。

本資料では、国内外の事例や航路航行実態の分析結果等を踏まえ、航路航行時の潮位利用について配慮されている事項等を考察した。

今後の課題としては、財政制約の下、安全を確保するための港湾整備と、効率的な輸送を実現するための潮位利用をうまく組み合わせた港湾政策について議論・検討していく必要がある。

また、本資料では扱っていないが、大型客船等が橋桁下を通過する際に低潮位を利用したエアドラフトの確保の考え方についても検討していく必要がある。

(2016 年 2 月 16 日受付)

謝辞

本研究に際して、港湾研究部及び国土技術政策総合研究所所内の方々から貴重なご助言を頂きました。また、アンケート調査については港湾管理者及び荷主企業のご担当者にご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 赤倉康寛、瀬間基広：潮位を利用したバルクキャリアの入港に関する考察、国土技術政策総合研究所 研究報告 No.47, 2011
- 2) (社)日本港湾協会、国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 19 年 7 月）、2007
- 3) PIANC : REPORT No.121 "HARBOUR APPROACH CHANNELS DESIGN GUIDELINES", 2014
- 4) Terry O'Brien : Experience Using Dynamic Underkeel Clearance Systems: Selected Case Studies and Recent Developments, 2002
- 5) Elena Kelareva : DUKC Optimiser: Maximising cargo Throughput at a Bulk Export Port, 2012

- 6) Australian Maritime Safety Authority (AMSA) : Assistance with the implementation of an Under Keel Clearance System for Torres Strait, 2007
- 7) Marc Vantorre, Maxim Candries and Jeroen Verwilligen : Optimisation of Tidal Window for Deep-Drafted Vessels by means of a probabilistic approach policy for access channels with depth limitations , PIANC World Congress San Francisco, USA, 2014
- 8) Charta Software : PROTIDE, Web, 2015
- 9) L.Gucma & M.Schoeneich : Navigational risk management with under-keel clearance consideration , Maritime University of Szczecin, Poland, 2011
- 10) Pilotage Advisory Committee : Study on the Development of an Underkeel Clearance System, 2005
- 11) 今津隼馬, 榎野純 : 新版電波航法, 成山堂書店, 2012
- 12) 谷本剛, 安部智久 : 超大型バルク船の減載時の船舶挙動に関する分析, 国土技術政策総合研究所資料 No.834, 2015
- 13) IHS Global Limited : Sea-web2015
- 14) 公益社団法人日本航海学会ホームページ
<http://members.j-navigation.org/doc/sympo3-3.pdf>

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 897 March 2016

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019