クルーズ船の大型化・高性能化と 港湾利用実態に関する分析

安部 智久¹

¹ 正会員 国土技術政策総合研究所 (〒223-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)
E-mail: abc-m92y3@mlit.go.jp

近年全長 300m を超える大型のクルーズ船の入港が増加傾向にある。このようなクルーズ船はより大きな回頭水域等の水域施設を必要とする一方で、ポッド式の推進方式等を備え操船性が向上しているといわれている。本研究は、港湾整備や入港時の評価への参考情報を得ることを目的に、船舶データベースによるクルーズ船の大型化・高性能化の傾向の分析と、AIS データを用いた大型船の国内外の回頭に注目した港湾の水域利用実態について分析を行うものである。その結果、クルーズ船の高性能化と大型化との関連性、高性能クルーズ船の必要回頭水域規模等についての知見を得た。

Key Words: cruise vessels, turning basin, navigability, pod propulsion system

1. 序論

船舶の入港に際し港湾内で安全に回頭できる水域が確保されることが必要である。近年全長が 300m を越える大型のクルーズ船の我が国港湾への寄港が増加傾向にある。大型化が水域の確保を困難とする一方、ポッド式推進方式ならびに強力な出力のスラスターを備えた高性能なクルーズ船が増えている。本研究は入港評価や港湾整備の参考となる情報を提供することを念頭に、クルーズ船の大型化と高性能化に関する動向の分析ならびに、港湾内での回頭に着目した AIS データを用いた国内外の港湾利用実態の分析等を行うものである。

2. 既往の文献等

港湾の技術基準¹⁾においては、スラスターやタグボートを用いた場合の回頭水域は直径 2L の円 (L: 対象船舶の全長) とすることができるとの記載があり、入港の評価においては一般的にこの数値が目安とされる。この一方、最近の国交省港湾局による通達において性能の高いクルーズ船が挙げられ、これらは 2L よりも狭い水域で自力で回頭できる能力があるとされている。

クルーズ船の港湾内での回頭を扱った既往の研究について、小菅ら (2014)²⁾ は世界の主要なクルーズ港のスペースの特徴を分析しまた長崎港での回頭実態を AIS データで分析している。岸田・安部 (2017)³⁾ は世界の主要港でのクルーズ船の回頭円規模を AIS データにより把

握し 2L を下回る回頭規模を確認している。城戸・岩崎 (2018)⁴⁾ は鳥取港を例に風や潮流を考慮した操船シミュレーションによる、港湾操船 (回頭や着岸) 評価事例を示している。本研究は、風と潮流について直接考慮せず、AIS データによる航跡のみによる分析を行う。これは、入港がなされるのは予め決められた風速等の条件下のみであるが、本研究はこのような通常の入港時における船舶の挙動を分析することを目的としているため (入港条件を決めることを目的とはしていないため) である。

3. 船舶データベースを用いた分析

世界を就航する船舶データベースであるクラークソンデータを用い、船舶の最近の大型化と船舶の諸元・性能との関連性を分析した。対象は船齢 30 年以内の約 450 隻である。図-1 は船舶規模 (旅客人員) と建造年の関係であり、点一つ一つがクルーズ船の情報である。規模の経済性を追求し、経年的に大型化の傾向がみられる。図-2 ~ 図-4 は同様に船の諸元 (全長, 船幅, 満載喫水) である。船幅は最大値で 2000 年頃に 40m 程度のものが出現して以降、パナマ運河の拡張後も 45m を超えるものもあるが 5m 程度の増加にとどまっている。満載喫水は一部 10m を超えるものがあるが、それ以外について増加は緩やかである。この一方全長が長くなっており、90 年代後半以降約 50m 単位で増加しており、また現在最大の 360m が出現して既に 10 年以上が経過している。

クルーズ船の高性能化の動向を分析した。高性能船と

は「ポッド式の推進方式を備えスラスター合計3基以上」ならびに「同じく舵式でスラスター合計5基以上」とした。船舶規模別にみると5万総トン（概ね全長230m）を超えると半数以上、10万総トン（概ね全長300m）を超えると約7割が高性能船となる。一方で高性能船以外も依然として建造・投入されており（図-5）、またクルーズ船社ごとに高性能船の導入状況は異なる（表-1）。

図-1 クルーズ船の建造年と旅客定員の関係

図-2 クルーズ船の建造年と全長との関係

図-3 クルーズ船の建造年と船幅との関係

これらを踏まえ考察を行う。第一にクルーズ船社は規模の経済性を追求し、特に90年代後半以降船舶の大型化・旅客定員の増加を進めてきたが、この大型化は全長Lの増大という形で船型に反映されている。第二に、このような長大なクルーズ船の操船の負担を軽減するために高性能化が図られ、狭い水域においても回頭できる性能が具備される傾向にあるものと考えられる。

図-4 クルーズ船の建造年と満載喫水との関係

図-5 クルーズ船の規模と性能との関係

表-1 クルーズ船社別の高性能船導入動向

オペレーター	高性能船	その他	高性能船割合	合計隻数
C社	16	10	61.5%	26
R社	18	7	72.0%	25
M社	4	12	25.0%	16
N社	13	3	81.3%	16
P社	11	5	68.8%	16
D社	8	6	57.1%	14
H社	8	6	57.1%	14
A社		10	0.0%	10
E社	7	3	70.0%	10
T社	6	1	85.7%	7
P社	4	2	66.7%	6
F社		5	0.0%	5
G社	1	3	25.0%	4
Q社	1	2	33.3%	3
H社	2	1	66.7%	3

4. 大型クルーズ船の港湾内の回頭形態

国土技術政策総合研究所所有のAIS分析ツールを用い航跡を分析した。対象は5万総トン以上とした。分析期間は最大1ヶ月間であり、入手したデータから分析対象年は2014～2019年とした。2014年というやや古い分析時期もあるが、この時点ですでに22万総トンの最大船型は就航している。分析ツールでは一定期間の航跡を重ねて表示することができる。地形データはOpenStreetMapを用い、AISデータにより全長が把握できるため、地形と全長を同じ縮尺で表示している。入出港の状況が分かるよう1つの航跡について赤で表示している。

a) サザンプトン港 (図-6)

欧州北海側の代表的なクルーズ港の一つであり、河川の河口に位置する。3か所で集中的に回頭する。同じ回頭水域では、同様の操船によると見られる回頭の航跡がみられるが、その位置や大きさは、航跡によって互いに少しずつずれて(「航跡のずれ」が存在して)いる。

図-6 サザンプトン港 (2014年10月の20日間, 20隻分の航跡)

図-7 マルセイユ港 (2014年10月の15日間, 22隻分の航跡)

b) マルセイユ港 (図-7)

欧州地中海側の代表的なクルーズ港の一つである。防波堤内の狭い水域3箇所が回頭のための水域として利用されている。このうち1箇所は岸壁前面にある。

c) マイアミ港 (図-8)

カリブ海クルーズの拠点港である。多くのバースがあるが、回頭は図左上に位置する狭い水域に集中している。水域が狭いためその場回頭を行い、「航跡のずれ」は小さくなっている。

d) 横浜港 (図-9)

従来からの大栈橋に加え、2019年の春にベイブリッジ外側の大黒ターミナルでの利用が開始された(図-9 右側)。大栈橋付近では比較的水域が狭いため、同じ操船形態が見られる一方、大黒埠頭については前面が広いため自由度が高く、回頭のための複数の操船形態が見られる。

e) 上海港 (図-10)

長江河口に位置する外高橋地区にクルーズターミナルが立地し2バースの岸壁が確認される。前面水域が広い

回頭水域の拡大図

回頭水域の拡大図

図-8 マイアミ港 (2015年1月の15日間, 22隻分の航跡)

図-9 横浜港 (2019年5月, 7隻分の航跡)

図-10 上海港 (2014年10月の25日間, 4隻分の航跡)

ため水域利用の自由度が高くさまざまな形態の回頭がみられ、また「航跡のずれ」が大きい。

上記港を含め世界の28港について分析を行ったが、以下の傾向が見られた。

第一に、欧米の港湾など狭い水域で回頭する場合、回頭する水域が集中する傾向にある。他方、広い水域で回

頭する場合は回頭の自由度が大きく集中度が小さくなる。後者はアジアの港湾で見られた傾向である。第二に、一つの回頭水域に着目した場合、クルーズ船は、同じような航跡（操船方法）で回頭する傾向がみられる。ただし回頭のケースによって回頭の位置や水域規模が少しずつ異なる「航跡のずれ」が見られる。

5. 高性能船の回頭水域規模分析

高性能船の回頭水域規模を分析するため、入港時の航跡について、円を当てはめその直径規模を測定した。ここで回頭円の規模は水域の広さに左右されると考えられる（すなわち、余裕がある水域では広い水域を使って回頭する）ため、3つのタイプに分類した。

タイプ1は、入港船の全長 L に対して $2L$ よりも広い水域が確保できる場合（図-11）、タイプ2は $2L$ と同程度の水域が確保できる場合（図-12）、タイプ3は $2L$ が確保できない場合である（図-13）。図-14は実際の回頭規模の分析の一例（タイプ3）であるが、狭い水域で回頭しその規模は約 $1.1L$ である。このような分析を欧米、アジアの港湾へ入港した51ケースについて実施し、タイプ別に回頭水域の規模を比較した（図-15ならびに表-2）。

回頭水域の広いタイプについて標準偏差が大きくまた平均値が大きい。これは水域が広いほうが水域利用の自由度が高く大回りしている傾向を示すものである。最低 $1.1L$ 程度で回せる場合もある一方、風などの影響によってそれ以上の規模になる場合もある。最も水域が狭いタイプ3の最大値である、約 $1.6L$ が高性能クルーズ船の必要最低限の水域規模の目安とみられる。

なお、高性能クルーズ船以外についてはタグによる航行支援を受けることが通例であり、回頭水域が小さくなっていることが予想される。しかし、タグボートはAISの搭載義務対象ではなく、また分析ソフトによる挙動の分析ができないため、本研究では対象外とした。

図-11 タイプ1（円は $2L$ を直径とした円）

図-12 タイプ2（円は $2L$ を直径とした円）

図-13 タイプ3（円は $2L$ を直径とした円）

図-14 回頭円の分析例（約 $1.1L$ ，タイプ3）

図-15 タイプ毎の回頭円規模の実測値

表-2 タイプ毎の回頭円規模の平均値と標準偏差

	平均	最大	最小	標準偏差
タイプ1	1.6	2.3	1.1	0.10
タイプ2	1.5	2.0	1.2	0.08
タイプ3	1.3	1.6	1.1	0.02

船の性能以外にも、地形的な影響は操船者への圧迫感等心理的な影響を及ぼし得るため、回頭規模の一要因となる。操船者の視点からの評価のためには、シミュレーションによる操船実験等が必要となる。

6. 港湾整備・利用に関する考察

以上の分析から港湾整備・利用に関する考察を行う。第一に、高性能船の最低限の回頭規模の目安として

1.6L が得られたが、これは個別のクルーズ船が所与の水域において回頭そのものが可能かを示す目安を示すものと考えられる。一方、複数の船舶が利用する港湾施設（回頭泊地）の整備では、「操船のずれ」や高性能船以外の大型のクルーズ船入港にも配慮し、1.6L より大きな水域規模を確保すべきと考えられる。船長経験者や学識者に対して実施したヒアリングにおいて、2L 未満の水域での回頭は緊張を伴って操船する必要がある、またクルーズ船の性能に幅があることから、水域整備では2L 程度の確保が望ましいとの指摘がなされた。

第二に、欧米の港湾を中心に船舶の回頭が集中する水域が見られた。欧米では以前からクルーズ市場が発達し港湾が整備されたが、当初想定としたクルーズ船よりも大型のクルーズ船が入港し、回頭水域が限られていることが要因と考えられる。大型クルーズ船のスラスター出力は小さい水準でも 6,600kW 程度とされ、RORO 船や大型コンテナ船に比較し大きいことから（表-3）、回頭が集中する水域で洗掘による影響が懸念される。我が国港湾でも、高性能なクルーズ船の入港の増加に伴い今後洗掘が課題となりえる。水深の管理において AIS データの活用（航跡の分析による回頭集中箇所の把握）が有益であろう。また回頭水域が狭い場合には岸壁近傍での回頭集中の可能性があり、このような場合には岸壁構造への影響を避けるため、岸壁構造への影響がない一定の水域を回頭水域として指定・管理することも検討に値しよう。

表-3 スラスター数と出力の比較

コンテナ船	・スラスター1基あたりの出力は最大3,000kW
	・2,500kW * 2基のパウスラスター (マースクTriple-Eクラスの場合)
	・1,800kW * 2基のパウスラスター (CMA CGM Marco Poloの場合)
RORO 船	・1,500kWのパウスラスターを2~3基備えることが一般的
クルーズ船 (大型)	・3~4基のスラスターを備えることが一般的
	・スラスター1基あたりの出力は 2,200~5,500kW

出典：文献⁵⁾を元に作成

7. まとめ

本研究では、船舶データベースによる船舶の大型化・高性能化の動向を分析した上で、AIS データを用いて大型クルーズ船の回頭時の水域利用実態について分析を行い、今後の港湾整備・利用に関する考察を行った。その結果、高性能船については1.6L 程度が最低限の回頭水域規模と考えられるが、施設整備としての回頭円規模は操船の容易性等に配慮しこれより大きくすべきであること等を考察した。今後の課題を以下に示す。

第一に、本研究では対象外とした高性能船以外のクルーズ船に関してタグボートによる操船支援の実態について分析し、高性能船との比較を行うことができれば、必要な水域規模をより明確に評価することができる。第二に、本分析では回頭水域の範囲は人の判断で描かれており、誤差が入り得る。分析における精度の向上も課題である。今後も知見・分析を蓄積し、安全で効率的な水域施設の整備に繋げていきたい。

謝辞：横浜港の AIS データを第三管区海上保安本部からご提供頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説, p904, 2018.
- 2) 小菅雄紀, 池田良穂, 三宅成司郎: AIS データに基づく大型クルーズ客船の離着岸に必要な港内スペースの解析, 日本クルーズ&フェリー学会論文集, Vol.4, pp36-43, 2014.
- 3) 岸田正也, 安部智久: 最近の大型クルーズ船を対象とした水域施設計画に関する基礎的研究, 土木学会年講概要集, 2017.
- 4) 城戸裕晶, 岩崎寛希: 鳥瞰型操船シミュレータを用いた鳥取港における大型客船航行安全評価, 日本クルーズ&フェリー学会論文集, Vol.5, pp1-10, 2015.
- 5) PIANC: *Guidelines for Protecting Berthing Structures from Scour Caused by Ships*, PIANC WG Report No.180, pp36-41, 2015.

(Received February 6, 2020)

(Accepted May 1, 2020)

Analysis on the Trends of Vessel Size/Navigability and the Actual Vessel Movements in Port Water Areas, Focusing on Cruise Vessels

Motohisa ABE

In Japan the numbers of port calls by large cruise vessels have been increasing. It is becoming more and more significant to prepare adequate spaces in ports for safe navigation. While the sizes of cruise vessels are getting larger, it is known that recent cruise vessels tend to be equipped with pod propulsion systems and strong thrusters, in order to secure good navigability.

The purpose of this study to obtain relevant information for port planning and safety assessment, by examining the trends in vessel sizes and propulsion systems, and by analyzing the use of water areas by large cruise vessels focusing on turning at ports, under the utilization of AIS data.