出入港時の要素操船性能について—I.

—— 出入港操船と要素操船性能 ——

小瀬 邦治*・日當 博喜**

On Elemental Performances of Harbour Approaching and Departing Maneuvers of Ships — I.

Kuniji KOSE and Hiroyoshi HINATA

Abstract

Many kinds of indices have been proposed to express ships' maneuverabilities, such as K , T values derived from well-known zig-zag tests, steady turning characteristics from spiral or reverse spiral tests and so on. These are very convenient for expressing ship abilities in simplified maneuvering motions. But it is easily understood that these are not adequate for performance indices of maneuvering motions in harbours.

In the present report, a new concept is proposed to express maneuvering performances of ships in harbours. Gathering and analysing ship handling plans for approaching to and departing from many berths, it is pointed out that various maneuvering motions in harbour are classified into the following four groups: course keeping and course changing with/without speed change, turning and drifting to the lateral direction. Ship performances in these motions are called as "elemental performances of harbour maneuvers" in the present report. The performances are good indices for ship maneuverabilities in harbours.

1. は じ め に

昨今、船の専用化が著しく進んだ結果、船の操縦性能もまた著しく特殊化する傾向にある。例えば、船の有する馬力に対して、大型タンカーの場合には相対的に質量が巨大になるし、またPCCの場合には風圧力が巨大になる等である。このような状況下、造船側では、こうした船の特殊性を考慮した初期設計が必要となるし、運航条件、例えば出入りする港湾の制限を考えた操縦性設計が問題となる。つまり、個々の船にどのような性能をもたせればよいかが問われる事態となっている。また港湾側にとっては、個々の港にどのような船まで出入りさせるかという港湾の運用計画の見直しが必要となるし、さらには、これらの船を出入りさせるにはどのような港湾を作ればよいか、あるいは改良すればよいかという建設計画が問題となる。続いて、運航者側にとっては、このような船はどのような性能をもっているかが深刻な問題となり、従ってこのような船を扱うにはどのような操船をすればよいかという問題が船毎に、また港湾毎に問われるようになった。

ところで、浅水時とか低速時とかでは問題も残っているが、昨今の船体運動力学の手法を用いると、船の操縦運動の推定計算はある程度可能になってきた⁽¹⁾⁽²⁾。こうなると、計算はできるが、はたしてどのような性能を計算すれば、上記の判断に役立つのかという問題意識が浮上することになる。種々の操船局面のうち、船の性能の限界が明瞭になり、安全性の確保が求められるのは、あるいは操船者の技術が極限まで要求されるのは港内における操船の局面であるから、この局面での種々の判断に役立つ形で船の性能表示を考えるべきことになろう。

筆者らは最近、大型タンカーの出入港における安全性評価の為の調査に参加する機会⁽³⁾を得た。その調査時に、従来から用いられている船の操縦性能を表現する為の指標が、このような局面での判断には必ずしも有効でない

* 広島大学工学部（東広島市西条町大字下見）

** 海上保安大学校（呉市若葉町5-1）

という経験を持った。また、IMO で検討されている Maneuvering Booklet に対する日本提案をまとめる審議のプロセスで、操船者側から、それに盛り込んで欲しいという要請のあった項目⁽⁴⁾は、そのほとんどが港域における操船にかかわるものであったことも記憶に新しい。こうした経験を通じて、港内における操船を考える場合、船の性能をどのような指標で表現すべきかという問題の重要性を教えられた。

筆者らは必ずしも十分操船に通じた者ではないが、上記の如き経験から出入港時の要素操船性能という概念の重要性に気づくに至った。しかし、今の段階では、必ずしも船の性能を具体的に表現する方法まで認識が具体化しているわけではないが、少なくとも基本的な考え方について、問題提起をさせて頂き、諸賢のご批判を得て、今後の検討の方向を確立したいと考える。

2. 船の操縦性能と要素操船性能

戦後、船の操縦を動力学的の問題として取り扱うようになり、その過程で、船の操縦性能を表現する指標が種々提案されるに至った。その代表的なものとして、野本によって針路安定性、追従性、旋回性という三つの基本要素がとりあげられ、Z 試験解析より得られた操縦性指数 K , T を性能の指標として用いることが提案された。また、スパイラル試験、逆スパイラル試験から得られる定常旋回時の舵角と旋回角速度の関係は、肥大船型に見られる負の旋回抵抗モーメントの特徴を与えるために、大変重要な性能の目安として活用されている。

こうした性能表示は、主として、主機出力一定であるとかのように単純な、そして最も基本的な操船の局面における性能を扱っており、船自体の固有の操縦性能を表すという点において、大変有益なものである。この観点から言うと、こうした基本的かつ単純な運動における性能表現は今後共に重要であり、いわば船である為の必要条件を定めるのに役立つ。

しかし、港内のような安全性に最も関りあうような局面では、主機や舵が自在に組み合わせられ操作されるのみならず、曳船を使ったりして複雑多様な操船が行われている。このような操船を考える時、上記の性能指標を参考にして操船指針を得たり、操船法を検討したり、さらには安全性の評価を行うのは難しいように見える。つまり、上記の性能指標は実際の運航に十分な性能条件を与えるものではないと考えられる。

筆者らは番の州シーバースにおける大型タンカーの離着棧の安全性を検討するに際し、次の三つのステップを経て安全性の評価を試みた⁽²⁾。つまり、

- ① 合理的な操船計画を立案する。
- ② その計画された操船を分解し、個々の局面における要素操船を考え、それぞれについて計画に必要な性能が得られるかを検討する。この検討にもとづき、必要ならば操船計画を再構成する。
- ③ 実時間シミュレーションにより、この操船計画にもとづく出入港の安全性を総合的に確認する。

こうした検討を通じて得られた操船計画を図1に示す。この一連の操船を部分に分けると、次のような単純な操船の組み合わせと考えることができる。

- ① ほぼ定速を保ちつつ保針する。
- ② ほぼ定速を保ちつつ変針する。
- ③ 保針しながら減速し、停止する。
- ④ ほとんど停止した状態から船首を

図1 番の州シーバースに入港する VLCC 操船計画例

中心に回頭させる。

⑤ 横移動して着桟する。

もちろん、実際の操船は連続的なものであり、一つの動作が終わらないうちに次の動作が始まるが、これを無理に分解するとこのような単純な操船の組み合わせと考えられるというわけである。本稿で言う要素操船というのは、このように実際の複雑な操船の要素になっているような基本的で、常用される操船をいう。

ここでもう一段の単純化を考える。実際の操船は、人間と船とが一体となったフィードバック制御、あるいは外力その他の影響を予測し、それをキャンセルする為のフィードフォワード制御であり、人間の制御能力と分かち難く結びついている。しかし、人間の制御特性は保針中のような最も単純な条件下で知られるのみで、このような場合におけるモデルは得がたいから、その時々に応じて単純な制御則を用いることである。例えば、変針の場合は最短時間応答のバンバン制御として考えられるし、保針の場合は基本的な針路安定性が確保されているとすれば、外力との釣り合いのみを考える等である。

こうした考えを導入すると、上記の性能は船体運動力学の分野で開発された船の操縦運動の数学モデルを用いて計算可能になる。

例えば、自力で保針している際には、

- ① 風に抗して船首方位を維持し得る舵角
- ② その時の横流れ角
- ③ 潮流によって生じる横流れ角

といった性能表現が有益で、これらは計算できることになる。

もう一つ重要なことは、港内においては例えば曳船のような補助的操船手段が活用されることである。これは操船の自由度を増す。この場合、原理的には多くの操船手段の使用法毎に性能計算をすることになるが、運動学的に見て効果的な使用法を考えると、一般に常用される曳船の使用法を考えると、実際には限られたケースが対象になると見込まれる。別の言い方をすると、原理的には多種多様な操船法がありうるが、要素操船性能という場合、それらの中から有効なものをしぼって考えるという観点を導入するということである。

以上のことからわかるように要素操船性能は船一般に対して同じ要領で計算するものではない。個々の船の性能の特徴を考え、さらに曳船の隻数、配置あるいはその使用法についても合理的な判断を下した上で、実際の出入港時に用いるような操船時の性能という意味になる。従って、この要素操船性能を考えるに際しては、個々の船毎にどのような操船をした時の性能を計算すればよいかが重要になる。そこで、大変大きな船に対してはこれこれの操船法を考えて、他方風圧力の大きな船についてはそれを考慮してというように、船をその性能、特徴を考えてグループ分けし、それぞれに対して適切な操船法を考え、その下での操船性能の表現を考えることになる。

3. 出入港操船の実際からみた要素操船性能

要素操船性能に関する上記の考え方からすると、それぞれの船が出入港時にどのように操船されているかを分析することが重要になる。筆者らは、

この点ほとんど素人であり、実際に港内でどのように操船すべきかについて、確たることがいえる経験をもたないが、しかし港湾毎、正確には桟橋毎に、いわゆる港湾計画が立案されており、そこに出入りし得る最大船型を決める為に専門家による詳細な検討がなされている。この多くの例では、その港湾で推奨し得る操船パターンが図示されている。例えば番の州シーバースの場合、前記の図1がそうである。

表1 調査の対象とした港湾

No	港 湾	No	港 湾	No	港 湾
1	水 島 港	8	大 阪 港	15	岩 国 港
2	玉 島 港	9	堺 泉 北 港	16	松 山 港
3	尾 道 糸 崎 港	10	阪 南 港	17	坂 出 港
4	福 山 港	11	尼崎西宮芦屋港	18	今 治 港
5	呉 港	12	東 播 磨 港	19	宇 和 島 港
6	広 島 港	13	姫 路 港	20	詫 間 港
7	横島シーバース	14	徳山下松港	21	神 戸 港

そこで瀬戸内海水域における代表的な港湾21箇所95ケースの操船計画^{(5)~(9)}を入手し、そこでどのような操船が行われており、代表的な要素操船は何か、どのような補助手段をどのように使っているか等について調査することにした。調査の対象とした港湾を表1に掲げる。その結果を以下順に検討したい。

3. 1 主要な要素操船

まず、これらの調査例から、港内において用いる要素操船について考えてみたのが表2である。これらの操船計画の中に含まれている船の運動を単純な要素に分けると、大雑把に保針、変針、その場回頭および横移動の四つに絞れそうである。さらにその各々を次の如く分類する。

まず、保針については、一定速時、加速時および減速時の保針に分ける。これは保針中の舵効きが船速と主機出力の組み合わせによって大幅に変化するという事情を考慮する為である。

一方変針についても、同様の考えで一定速時、加速時および減速時という三つに分けられる。バース直前では減速しながら変針し、そのままバースに平行にして停止するという操船が少なくないが、これについては直進しながらの減速と一旦停止して後のその場回頭に分けて考えた。

また、その場回頭については、回頭中心の違いによって、およそ船首、船尾および艀中心の回頭の三つに分けられる。表2より、着岸時の操船パターンでは、ほとんどが船首を中心とした回頭と考えてよさそうである。

最後に横移動であるが、そのほとんどは真横への移動と考えられる。また、これらの他にも、後方へ引くとか、前方に引く等の操船パターンも見られるが、主要なものに絞ればこうなりそうであるということである。

3. 2 曳船使用に関する条件

前節までは、港内操船ではどのような運動が実現されなければならないかという点について考えてきた。そこで今度は、これをどういう手段で実現するかについて考える。本船のプロペラと舵、さらに装備しておればサイドスラスターが用いられるのは当然のことであるが、港内の操船は曳船という補助手段の存在を抜きにしては考えられない。そこで、曳船をどの程度用いているかについて検討した。

まず、船の大きさと曳船使用との関係を示したのが図2である。船長 L_{OA} をベースに、自力および他力操船の度数を縦軸にとってある。これをみると、船長約150m(約1万DWT)付近を境にして、ほぼ自力操船と他力操船にわけられそうなのが分かる。

港内における風および潮流という外力条件の厳しさが曳船使用率に及ぼす影響についても調査してみたが、船の大きさの影響が第一義的であり、それに較べると外力の強弱が曳船使用率に及ぼす影響

は小さいと考えられるような結果を得た。しかしこれはむしろ、風力条件の厳しい時には出入港しないとか、憩流時に入港する等の配慮がなされた為かも知れず、今後、調査対象の拡大も含めて検討したい。

着岸・離岸の際にバース付近で回頭させる場合に必要とされる回頭量の大きさは、操船の難易に影響を及ぼす

表2 出入港時の要素操船パターンの分類
(主に他力操船の場合)

単位: ケース

	要素操船性能の種類		入港時	出港時
	保 針	一 定 速 加 速 減速(停止を含む)		
1			42 0 64	0 46 0
2	変 針	一 定 速 加 速 減 速	10 0 25	1 29 0
3	その場回頭	船 首 中 心 船 尾 中 心 艀 中 心	28 0 4	18 20 24
4	横 移 動	真 横 斜 航	39 0	36 1

図2 船の大きさと曳船使用との関係

可能性があり、それが曳船使用に効いてくるとも考えられることから、この必要回頭量の大きさが曳船使用にどう効いてくるかを調べた。

まず、バースにアプローチしてきた船を、バース前面で一旦停止させた後、回頭させバースに平行にするという操船がしばしばみられる。そこで、この着岸させるまでの所要回頭角を船長をベースにまとめたものが図3である。曳船使用に対して、回頭角の大きさもわずかに影響しているようであるが、基本的には船の大きさで決まってくるようである。

同様に、離棧の場合を考える。離棧させ、出港コースにのせるまでに必要な回頭角を船長をベースにまとめたものが図4である。これを見ても着岸の場合同様、基本的には船の大きさで決まってくるようである。

以上、曳船の隻数についての調査結果を紹介した。隻数はほぼ船のサイズによって決まりそうだというのが一応の結論であるが、本稿の最初に述べた如き船の性能の特殊化をも十分に考慮した上で問題を考えるには事例不足の感がある。

さらに、隻数のみではなく、曳船の配置、使い方も要素操船性能を考える際の極めて重要な前提条件である。しかし、この調査例の中ではある程度多数隻の曳船（例えば3～6隻）を使う場合、その配置パターンの一般性を判断するだけの事例数がないので、ある程度のまとめの得られた少数隻の場合を含めて今回は報告を控えさせて頂いた。今後、少なくとも日本の代表的港湾をカバーするような事例を得て検討したいと考える。

4. 終わりに

この研究においては、操船するという立場から、しかも最も困難な出入港時を対象として、船の操縦性能を考えるには要素操船性能という考えが有効であることを指摘した。そして実際の出入港操船の分析から、加減速をも伴いつつ保針、変針する、その場回頭するそして横移動するという運動が基本になることを示した。

今後、これらの運動の性能の個々について、曳船のような補助手段の使い方も考慮して検討したい。この際まず、代表的で、問題の多い船種例えば VLCC や PCC の要素操船をとり上げたいと考えている。ここで、予定とちがい、本稿でこうした検討例を示し得なかったことをお詫びしたい。

さらに言うと、今後、要素操船性能について一般的に語り得るようにする為には、船を操縦性能という観点から分類し、グループ化し、それと操船手段の使い方を対応づけることが必要となる。この点についても、調査対象を拡大しつつ検討したい。

本研究で提案した要素操船性能という考え方に至る過程で、日本造船研究協会 R R 742 分科会(小山健夫主査)と神戸海難防止研究会の坂出港番の州シーバース安全問題調査特別委員会(中村彰一委員長)における議論、とりわけ神戸商船大学本田啓之輔教授との議論に教えられるところが多かった。記して謝す次第である。

図3 着岸時、バース前面における所要回頭角が曳船数に及ぼす影響

図4 離棧出港時の所要回頭角が使用曳船数に及ぼす影響

参 考 文 献

- (1) 小瀬邦治, 日當博喜, 橋詰泰久, 二川栄二郎: 低速で航行する船の操縦運動モデルについて, 日本造船学会論文集, 第 155 号, 1984
- (2) 小瀬邦治, 日當博喜, 菅野賢治, 本田啓之輔: 出入港操船の安全性に関するシミュレータスタディの例, 日本造船学会論文集, 第 156 号, 1984
- (3) 番の州シーバースに離着棧する大型タンカーの運航実態に関する調査研究
- (4) 日本造船研究協会第 7 基準研究部会: 国際規則と船舶設計等との関連に関する調査研究報告書(別冊) 一船舶の操縦性能に関する研究, 昭和59年 3 月
- (5) 神戸海難防止研究会: 海防研月報, 第 275 号~第 388 号, 昭和50年 1 月~昭和60年 3 月
- (6) 神戸海難防止研究会: 坂出港番の州シーバースに着離棧する大型タンカーの安全性に関する調査研究報告書, 昭和58年12月
- (7) 徳山下松港港湾計画資料, 昭和57年 8 月
- (8) 尾道糸崎港港湾計画書(改訂案), 昭和60年 6 月
- (9) 日正汽船㈱: 操船参考資料

質 疑 応 答

久々宮 久(東京商船大学): 緊急事態に対応する操船は, 第 5 の操船要素として検討される見込みでしょうか?

日當博喜: 例えば全力後進とか最大舵角による旋回とかが従来, 緊急時の操船性能として示されています。こうした性能を第 5 グループとして考えるべきか, 第 1~第 4 グループの中に, 例えば最強の運動を表示するべきか, 今後検討するつもりです。また, この議論以前に港内における緊急時の操船とは何かという問題も重要かと考えます。

鶴田三郎(東京商船大学): 講演中の後ろから 2 枚目のスライドで示された斜線の決定法についてお教え下さい。

日當博喜: 図を整理してみて, 大体船のサイズが曳船の隻数を決める際の主要因だということがわかりましたので, 港内において必要とされる運動の大きさが及ぼす影響については詳しい検討はしておりません。図中の斜線は全くの目分量でかいたものです。

原 潔(神戸商船大学): 使用された港湾計画上の操船計画には時間的な要素が入っているのでしょうか。また, それらは提案されている要素操船性能の中にどのように考慮されていますか。

日當博喜: ご討論ありがとうございます。用いました操船計画には, 時間はほとんど記入されておりません。従って, 使われる運動の強さについても十分な情報がないということになります。しかし, 要素操船性能の場合, 有次元の情報を含まねばならないでしょうから性能の表現法の問題として考えたいと思います。