

# 「港内操船と操船シミュレーター」

—操船シミュレーターで再現できないファジーな領域—

阪神水先区水先人会

水先人 鎌倉 四郎

## <講演概要>

操船シミュレーター装置の大型化と映像技術は場面のリアル化をもたらした。しかしながら、港内操船のシミュレーションに絞ったとき、主体的存在である船舶モデルの操縦性能及び横移動に、経験則が役立つ実操船と大きく異なる動きがある。港内操船習得にはふさわしくない特徴的なところを例示し、その要素と要因について考える。

最後に、現状のシミュレーターをいかにして活用するかの方法を提案した。

[報告書](#)

[講演資料 1](#)

[講演資料 2](#)

# 港内操船と操船シミュレータ

## 操船シミュレータに表現できないファジーな領域

### はじめに

コンピューターの演算機能・記憶装置の大容量化と映像技術の進展に伴って、操船シミュレータ装置の開発も日進月歩の感があります。

省みれば、船体の運動性能の数式化は造船工学における水槽模型実験や風洞実験の繰り返し、更に船舶の大型化に伴う操縦性能の研究と実船データによる修正など、流体力学を駆使して各種の運動方程式を導き出し、それらを再構成しその基礎が築かれたと考えます。そして、コンピューター機能の高度化が船体運動の合成ベクトルを瞬時に計算し、映像技術を使って立体画像に合成し表示する装置が、最近の操船シミュレータと理解しています。

私は、現在港内の着離岸操船を行う港内の水先業務についておりますが、就業以来約 13 年になろうとしています。その間約 5300 隻の大小様々、多種多様な船舶、長さ 30m の漁船から 350m を越えるコンテナ船、VLCC、LNG 船、そして自動車専用船、バルカー等、神戸・大阪両港に入港するあらゆるタイプの船舶の水先業務に就いてまいりました。その間ヒヤリハットは数え切れなく運よく大きな事故を招くことなく、現在に至っている思いであります。

### 操船シミュレータとの係わり

さて、最近に至るまで操船シミュレータ実験は主に港湾計画の策定段階における、船舶の安全な運航を確保できるかどうかの一検証手段として採用されてきました。新しい港湾計画の段階において、予定の水域及び施設と船舶との相関関係をビジュアルな画面に表現し、問題点の把握とその具体的な安全対策を策定するには有効な役割を果たしてきたと思います。(補足説明 1 参照)

ところで、船舶の安全な航行の確保については運航技術者の経験則に立脚した操船技術が重要な役割を果たすことは誰も認めるところでしょう。特に潜在的な危険やヒューマンエラーを呼ぶ現場の状況変化に、即時に対応しなければならない港内操船は経験則が非常に重要な役割を果たしています。港内を航行する多種多様な船舶の規則的な流れの中から、突然予想外な行動をとる船舶との出会い、また、時々刻々と変化する外力条件への対応、水先人は経験に頼りすぎているとの批判がありますが、体にしみこんだ体感として、きちんと危険を避けるとっさの判断回路ができあがっており、日々船舶の安全運航の確保に努めているわけであります。

このような港内操船業務に公的機関が認定する水先人の資格要件として、操船シミュレータ訓練が位置づけられました。非常に単純化された形、限られた水域と一定の大きさの

船舶に限定して、操船シミュレータを使って操船の基礎技能の評価を行うことになったわけであります。

しかしながら、私はここ数年間に港湾計画の変更に伴う、船舶航行安全対策の策定や過去の航行安全対策の見直しと検証という目的で、操船シミュレータ実験に度々参加してきましたが、そのたびに自分の経験則が通じない操船シミュレータに、大きな不満を残して現在に至っています。

#### 操船シミュレータ体験実績

船種	船型	着離棧業務	航行業務
LNG船	モス 12.5 万m <sup>3</sup>	9回	
コンテナ船	10 万総トン	2回	3回
同上	5 万総トン	4回	4回

#### 経験則が通じない苛立ち

その大きな不満とは、実船を扱うように実験船（シミュレータで操船する船舶を言う）が応答せず、自分の頭の中が混乱をきたし経験則から離れて画面上の映像を動かすことに専念せざるを得なくなってしまう、全く経験したことのない船体の動きに直面し、自分が蓄積してきた数々の経験則が有効に使えなくなってしまうのです。

一度は、操作画面の表示に集中せず、実際に操船する気持ちに立ち返りスクリーンを中心に着棧を試みたところ、船体の動きは自分の意図通りに応答せず長時間を要した経験があります。この時、私の対応はシミュレータで示された現象を敢えて実際の操船場面に引き戻して、タグボートや本船の主機、舵を使用したために動きが停滞し、長時間を要したのであります。具体的には着棧操船場面で、デジタル数値からタグボートはフル馬力で押すべきところを、経験則からはフルを使用したことはなく、ハーフ馬力で十分対応してきた、また、接岸速度を制御するためタグボートを引き方に待機させなければならないと判断し、引き方待機にすると停滞するなどであります。

それでは、私の経験則では理解できない実験船の特徴的なところを3点に絞って、港内への接近から着棧までの一連の動きの中で述べたいと思います。

実船と大きく異なる動きを示す場面を大型船のシミュレータ操船に限定して例示すると以下の通りであります。

##### (1) 航行中の場合（補足説明2参照）

一般に回頭速度が遅い。（回頭角加速度が小さい）直進運動中のわずかな変針では感じないが大角度変針を要する港域内・減速航行に入ると現れる。また、大角度変針後の速力低下が極端に現れるケースが多い。

##### (2) 回頭操船中の場合

弱い前進行き脚を持ちながら、タグボートを使用して船尾を押すが回頭の速度が上がらない。また、その逆に弱い後進行き脚を持ちながら船首を押すが効果が出ない。

これは主機と舵の効果を組み合わせた回頭においても同様の現象が見られる。

本来なら実船で見られるように、転心の移動で理論通り回頭速度は増加するはずである。

### (3) 接岸操船中の場合

港内水先人の役割の一番重要な局面であるが、残念ながら現在のシミュレータ装置では対応できない。体を乗り出して前後に注意しながら平行に着棧させる瞬間は3次元いや操船者の体感と心理状態を考えると4次元の世界ともいえる。

岸壁面まであと30cmに接近し船体・岸壁施設に損傷を与えないよう微妙な操船を強いられる最終且つ最も重要な局面の臨場感を再現できない難点がある。

具体的には接岸速度の惰力の変化を把握・予測できない。岸壁に平行接近中にタグボートの力を止めると極端にバラスを崩し微調整が取れないためにその対応に難渋する。

接岸角度(侵入角)を持たせる着岸となると非常に困難であり、最終段階での微妙な接岸速度の制御は不可能に近い。接岸舷の海面の波立ち、水の流れを把握できない。

### 再現が難しい要因と要素

次に、何故このような操船者の意図とは異なる現象が発生し、気持ちを苛立たせることになるのか、その要因と要素について私なりの見解を述べたいと思います。

港内操船は現在進行中の動きを把握して先の動きを予測し、期待する結果に船舶を制御する連続性を持った技術である。しかも直線的な動きだけではなく、船体の左右の動きと回頭運動を伴う幅を持った動きを制御しているわけであります。操船シミュレータがこの複雑な動きを運動方程式で正確に表現仕切れていないと考えます。

その大きな要因の一つに水面を浮かんで動く船体の見掛け上の質量とその重心位置の変化及び浮力中心との関係、さらには船体周りの水の動きとの関係が大きく作用しているのではないかと思います。

難解な運動方程式の解析は私の理解できるものではありませんが、数式化する過程で平均化や省略化が行われるため、船体の複雑な運動を正確に算入できないのではないかと思います。

そして、その誤差を発生させる主な要素は曲線の形状を持った船体の横移動に伴う、水圧と反撥力、渦を含む流圧及び風圧抵抗の算出誤差ではないでしょうか。操船シミュレータでは決められた変化が入力され、その方程式の範囲で作用するが、現実の操船場面においては、船体に働く力は方向もその大きさも時々刻々変化し、それらの要素が相乗的に作用するときは、シミュレータとは異なる予想外な現象もしばしば体験するところであります。そして、これらの要素は、シミュレータでは表現困難な領域となっているのではないのでしょうか。(補足説明3、4参照)

## 再現困難なファジーな領域

更に、操船シミュレータで船舶の港内操船に従事するとき、この幅を持った水先人の対処との間に別の隔たりが介在する、その隔たりを生じさせる要素が数量化できないファジーな領域を形成しています。それは

### (1) 機械の出力反応誤差

タグボートを使用して船体の移動を行うとき、タグボートの出力傾向は同じ能力であっても、実際の乗組員の出力操作の仕方、タグボート自身の姿勢制御や海面状態により出力は変化する。従って、シミュレータの制御信号で動くタグボートの行動特性とは大きな差が生まれる。断片的に一致する時間は存在するであろうが積算誤差は大きくなる。

### (2) 空間誤差

これは装置の巨大化で解決する以外にないが、オープンロードにおける判断能力と狭い擬似環境の中で行われるものとの間に差が生ずる。それは入ってくる情報の質に大きな差があり現実には無意識の内に、五感あるいは勘を働かせて総合的に対応するが、操船シミュレータではデジタル信号に頼らないと操船が非常に困難である。

このように人間の持つ判断能力の質、機械の出力反応誤差、水圧・流圧・風圧の地形的誤差、運動方程式には算入できない現象（人と機械の関係や3次元的な運動に対するもの）等の要素の存在が現実と乖離した動きとなって現れてくる。

従って、多様性のあるまた、いろいろな環境変化に対応した港内操船技術を現状の操船シミュレータでカバーできるとするシミュレータ過信は危険といわざるを得ません。

それでは、このような不可避の条件をシミュレータはどう対応するかの問題である。

### \* SF 映画「ダリル」(Data Analysing Robot Youth Lifeform 1985年)

ロボット少年ダリルが少年野球チームに入って、選手に成長していく場面があった。打つときはホームランばかりだが、守備でボールを捕った後どこに投げてよいのか判断できない。デジタル信号に従がう動作は取れても、予測に基づいた動作を取れない。

ダリル少年はストライクゾーンに来るボールのパターンを何度も何度も繰り返し覚えこまされ、やっとホームランを打つ能力は身につけたが、ヒットを打った時どの塁で止まり、見方のランナーとの関係及び守備側ボールにどう対処するのかを学ぶには至らなかった。

### \* 医療事故の多発

医療事故の原因、10月3日付け日本経済新聞(朝刊)に記載されていた内容から、最近の医師の技術不足、それから来る判断能力の低下による誤診が7割を占める。

これは何を物語っているかを推測すると、検査データに頼り患者と向き合う臨床経験不足が決定的な要因ではないか。即ち、データから判断することに専念するあまり、患者に隠

された生体としての反応を無視して、データのシミュレーションに専念しているからに他ならない。

### 船舶モデルの育成と活用

私は、この2つの例から発想を転換し現状の操船シミュレータをどれだけ教育すれば、一人前の操船技術者養成用シミュレータになれるのかを考えてみました。

先ず、港内操船（着離岸操船を含む）を実際と非常に異なる動きをする操船シミュレータで習得することが可能であると考え、極めて危険であることを申し述べておきます。なぜならば、操船シミュレータで習得した場面と異なる状況となった時、その操船者はパニック状態になり操船不能に陥るからです。

そこで、操船シミュレータを教育するという事はどういう事かと申しますと、先ず、対象水域と船舶モデル（船種・船型）を固定する。次に、もう一度原点に戻って船舶モデル類似船の実船データを徹底的に収集・解析して、繰り返し船舶モデルの操縦性能の修正に活用する。この作業を根気よく行い船舶モデルの操縦性能を実際の動きに近い状態に育成するのです。シミュレータを育てるというよりも船舶モデルを育てると言う方が正しいかもしれません。

そして、広範な操船技術を習得することは困難であっても、その成長した船舶モデルを限られた条件の下で操船シミュレータを使った訓練を通して、どのような船体運動が発生するかを学び、安全な操船（事前予測）に役立てることは有効であろうと考えます。

また、別の活用方法のひとつとして考えられるのは、限られた厳しい条件（実際には経験できにくい場面を想定すること）において船体がどのような動きを起こす可能性があり、その大きさが具体的にどのような数値としてあらわれるのか、それに対してどのような対策が取れるかを体験することは、実際の操船に活用できると思われる。

この観点から、当水先人会においても、厳しい気象条件を設定し投錨操船等具体的な緊急処置を、シミュレータで疑似体験する試みを始めております。（補足説明5参照）

### 結び

海技の伝承が大きな課題となってきた昨今、操船シミュレータの活用は大切であることを十分認識しているつもりではありますが、如何にして船舶モデルの操縦性能を定性的にも定量的にもより実船に近づけていくかが最大の課題でありましょう。現時点においては、操船シミュレータによる検証の限界をどこかを認識・線引きして、その活用を図る必要があると考えます。

以上

平成17年10月

## 補足説明

### 1 港湾計画について

新しい港湾計画それ自体は旧運輸省監修の「港湾の施設の技術上の基準」を満たす水域と施設の構造が基本的に維持されている。

### 2 回頭速度感覚

深喫水 VLCC やバルカー等の特殊な状態の船舶を除き、経験の多寡により差はあるが、大角度変針する場合に1分当りの角速度が

10度 < . . . 遅い (舵角を増加しようとする)

15度 . . . 良い (舵角を維持または減少させようとする)

16 ~ 20度 . . . 早い (舵中央または当舵を取る)

逆の見方をすれば、狭い水路または制限水域で、大角度変針しながらの航行を求められ場合の回頭角速度が、毎分10度以内の変針で航行できる時はあまり緊迫感を感じないが、この値を超えると、緊迫感が上昇すると思われる。

(例) 神戸港中央航路：六甲 RC-4/5 から出港して中央航路に入る場合

変針角度 = 90度、航進距離 = 7 cable、航進速力 = 平均5ノット 10.7度/分

大阪港港大橋下：同大橋下を通過して南港 C-1 に向かう場合

変針角度 = 65度、航進距離 = 6 cable、航進速力 = 平均5ノット 9.0度/分

### 3 数式化の誤差

船体が回頭をしながら横移動を伴う時において大きな誤差が生まれているようである。これは取りも直さず、本来、船体は前進運動に対して最も効率よく設計されており、その領域についての数値解析は完成されているよう。しかしながら、横移動と回頭更にその両者が同時に起きる運動についての数式化に未解決の問題があるのではないか。

### 4 船体周りの水圧、流圧及び渦流

係留岸壁に接近する過程でその形状にもよるが、岸壁側から受ける反撥力、岸壁と船体との間に発生する水流及び主機を発動したときに発生する船体周りの渦流等、余裕水深が少ないために複雑な関係が生じている。

### 5 標準的な船舶モデル

港内操船を対象とするならば、

- ・コンテナ船 : 2万総トン、6万総トン
- ・自動車専用線 : 3万総トン、5万総トン
- ・VLCC : 15万総トン
- ・LNG船 : 10万総トン

## 港内操船と操船シミュレータ（レジメ）

### —操船シミュレータに表現できないファジーな領域—

港内操船者の立場から、実際の体験を元に操船シミュレータの問題点と活用について話を進めます。

- 操船シミュレータに対する認識  
[大容量コンピューターと映像（ビデオ）技術の進歩]⇔[装置の開発・大型化]
- 操船実績  
[現職経験 13 年、扱い船舶数 5300 隻]⇔[漁船から VLCC まで]
- 操船シミュレータとの係わり ● 添付資料及び補足説明  
[シミュレータの検証目的]  
  
[シミュレータ実験の体験件数]
- 港内の船舶安全運航の確保と操船技術者の経験則  
[状況変化と即時対応] ⇔ [危険回避]
- 港内操船シミュレータ訓練  
[操船の基礎技能の習得への疑問]—経験則の否定—[シミュレータ実験への不信]
- 実船の動きとの乖離現象例  
[航行中]  
  
[回頭中]  
  
[接岸中]
- 再現を困難とさせる要因と要素  
[運動中の船体質量等]⇔[船体に働く水圧・流圧等]⇔[大きさ向きが常時変化]  
⇔[完全な数式化は難しい]⇔[実際との大きな誤差]⇔[シミュレータの現状の限界]
- 再現困難なファジーな領域

[機械操作の誤差]

[人の感覚を活用できない誤差]

「ダリル少年と医療事故」

船舶モデルの育成と活用

結び

再現可能な局面での擬似操作体験の有効活用

## 補足説明

### 1 港湾計画について

新しい港湾計画それ自体は旧運輸省監修の「港湾の施設の技術上の基準」を満たす水域と施設の構造が基本的に維持されている。

### 2 回頭速度感覚（極めて私的な感覚であるが）

深喫水 VLCC やバルカー等の特殊な状態の船舶を除き、経験の多寡により差はあるが、大角度変針する場合に1分当りの角速度が

10度< ……遅い（舵角を増加しようとする）

15度≤ ……良い（舵角を維持または減少させようとする）

16～20度≪ ……早い（舵中央または当舵を取る）

逆の見方をすれば、狭い水路または制限水域で、大角度変針しながらの航行を求められ場合の回頭角速度が、毎分10度以内の変針で航行できる時はあま緊迫感を感じないが、この値を超えると、緊迫感が上昇すると思われる。

(例) ①神戸港中央航路：六甲 RC-4/5 から出港して中央航路に入る場合

変針角度＝90度、航進距離＝7 cable、航進速力＝平均5ノット 10.7度/分

②大阪港港大橋下：同大橋下を通過して南港 C-1 に向かう場合

変針角度＝65度、航進距離＝6 cable、航進速力＝平均5ノット 9.0度/分

### 3 数式化の誤差

船体が回頭をしながら横移動を伴う時において大きな誤差が生まれているようである。これは取りも直さず、本来、船体は前進運動に対して最も効率よく設計されており、その領域についての数値解析は完成されていよう。しかしながら、横移動と回頭更にその両者が同時に起きる運動についての数式化に未解決の問題があるのではないか。

### 4 船体周りの水圧、流圧及び渦流

係留岸壁に接近する過程でその形状にもよるが、岸壁側から受ける反撥力、岸壁と船体との間に発生する水流及び主機を発動したときに発生する船体周りの渦流等、余裕水深が少ないために複雑な関係が生じている。

### 5 標準的な船舶モデル

港内操船を対象とするならば、

- ・コンテナ船：2万総トン、6万総トン
- ・自動車専用線：3万総トン、5万総トン
- ・VLCC：15万総トン
- ・LNG船：10万総トン

## 大型LNG船及びVLCC着離棧操船実績

(1993年2月～2004年12月)

	大ガス	大ガス -1	大ガス -2	計	東燃ゼネ石	コスモ石油	計
93～'94 入	1	16	2	19	7	4	11
出	1	14	1	16	11	5	16
95～'96 入	3	11	1	15	12	1	13
出	4	10	1	15	10	2	12
97～'98 入	6	16	8	30	6	4	10
出	4	7	15	26	8	8	16
99～'00 入	2	9	15	26	9	2	11
出	0	6	6	12	12	4	16
01～'02 入	2	7	12	21	10	2	12
出	2	6	3	11	12	2	14
03～'04 入	3	5	6	14	5	2	7
出	1	8	6	15	7	0	7
合計	29(17/12)	115(64/51)	76(44/32)	220(125/95)	109(49/60)	36(15/21)	145(64/81)

## 操船シミュレーター体験実績

	船 型	離着棧業務	航行業務
LNG船	モス12.5万m <sup>3</sup>	9回	
コンテナ船	10万t	2回	3回
同上	5万t	4回	4回