

水域計画シミュレータの開発

Simulator for Marine Traffic Planning

奥山 育英* 早藤 能伸**

By Yasuhide OKUYAMA & Yoshinobu HAYAFUJI

In marine traffic planning, many traffic simulations have been developed. Most of them are used in estimating the traffic capacities of channels, macroscopically, based on congestions and safety obtained as results of the simulation. But in the stage of actual planning just before the construction of port facilities or the realization of traffic controls, planners require more detailed information. Simulator for Marine Traffic Planning is developed in order to satisfy these requirements. This report contains the general guidance and applications of Simulator.

1. はじめに

海上交通計画においては、従来から、海上交通の実態観測と解析、海上交通で主役をになう船舶の寸法に関する解析、理論的な解析、海上交通シミュレーションによる解析等いずれも、海上交通を大局的見地から考察する手法が利用されてきた。

実際、現実の海上交通計画においては、未知の部分が多過ぎることから、また、社会から要請される計画への期待が、どちらかといえば細部にこだわらずに全体に対して寄せられることから、計画担当者は余り徹視的でなく巨視的な計画情報を必要とすることが多かった。

しかし、全体的な計画が関係者の了解を得て実行に移る段階になると、より詳細な情報を必要とする。例えば、海上交通において新たな交通管制を計画しようとするときには、計画全体としては、新たに必要な施設、管

制によって影響を受ける船舶の隻数、船舶どうしの出会い回数の減少、航行時間の増減等が問題となる。これらの問題が解決すると、管制待ちの船舶が安全に待機できる水域の検討、航行援助施設の量と質と設置場所、出会いの際の適正可航幅の確保等、より詳細な計画がひき続いて計画担当者に要請される。

そのために、海上交通計画におけるより詳細な計画情報を計画担当者に提供することが要請され、そのために水域計画シミュレータを開発した。

ここでは、水域計画シミュレータの導入の背景、次に水域計画シミュレータの概要、最後に、この装置の水域計画への応用の展望を扱う。

2. 水域計画シミュレータ開発の背景

航路・泊地計画等の水域施設の計画および航路の航行方法に関する計画を水域計画とよぶと、航路の幅・水深・方向の計画、泊地の広さ・形状・アプローチ方法の計画、航路網の交通体系の計画等は水域計画である。これらの水域計画は、水域を利用する船舶の船種・船型およ

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 システム研究室長（〒239 横須賀市長瀬3-1-1）

** 正会員 運輸省港湾技術研究所 主任研究官

び操縦性能によって著しく変動し、計画を策定することが非常に困難である。運輸省港湾局で決めている技術基準においても、水域施設の編にあっては「望ましい」、「考慮することとする」、「適切に定めるものとする」、「慎重に定める」、「適切に計画する」、「…の場合はこの限りではない」といった表現が多い。基準の文章にしても「長い航路にあっては」、「交通量の多い場合は」と述べられてはいるものの、長い航路といったときの長さや交通量の隻数が具体的に記述されていない。また、基準の内容にしても、最近のV.L.C.C.に見られる巨大船・コンテナ船・P.C.C.・液化ガス船等の新型船にはそのまま適用するには対応付けが難しく、現実には関係者の意見を聴取した上で計画を作成している。これらの点は、基準が不備と言うよりも、予算上の制約と危険の限界まで挑戦できないといった安全上の制約から実船実験で確かめることが不可能であるといった宿命によるものともいえよう。

しかし、最近の科学技術の進展は目覚ましく、実船と性能がほとんど変わらない船舶操縦シミュレータが開発され、航海士の訓練や教育に利用されるようになった。その結果、実船では不可能な実験も、シミュレータを利用することによって、可能になった。この船舶操縦シミュレータに手を加えて水域計画シミュレータを開発し、実船さながらの実験を行い、水域計画策定の際に必要な計画情報を得ることを試みた。

船舶操縦シミュレータは、操船シミュレータとも呼ばれるが、当初、巨大船建造計画における船舶性能の追求のために開発され、その後、その精度の素晴らしさから、航海士の教育・訓練にも利用されるようになり、訓練専用のシミュレータも開発されるようになった。精緻な操船シミュレータは、そのパラメータの数が多くしかもノウハウに属して明らかにされず、また、視覚部の装置が非常に大がかりであるため、非常に高価で、世界的にも設置台数は多くない。しかし、本格的シミュレータはその運動モデルが精密であり、視覚再現部を含む操船感覚が実船に非常に近いことから、最近、欧米諸国を中心として港湾計画への応用という新たな展開がなされはじめた。

このような趨勢において、港湾計画の研究分野においても積極的にこの手法を取り入れて研究を進めるため、操船シミュレータを基にして水域計画専用のシミュレータを開発した。

水域計画シミュレータは、物理現象の解明における模型実験と同じ性質のものであり、水域計画の策定にあたって、シミュレータの航跡記録等の解析により、操船者

の指示に基づく船舶の挙動の定量的な計測を可能とするものである。

3. 水域計画シミュレータの概要

3.1 操船シミュレータ

水域計画シミュレータは、操船シミュレータを基本としていることから、ここで内外の代表的な操船シミュレータを概観し、操船シミュレータの特徴をみる。

東京商船大学に設置されている船舶操縦シミュレータは、運動モデルとして2階非線型微分方程式が用いられ、外力条件として、浅水影響（シャロウエフェクト）、側壁影響（バンクエフェクト）、タグボート、風、潮流を考慮している。視覚部については、水平角が220度の点光源によるパノラマ投影方式が採用されている。

神戸商船大学の操船シミュレータは、運動モデルとして加減速時における操船特性を考慮したモデルが用いられ、視覚部はテレビカメラおよびプロジェクタを利用する方式がとられている。

石川島播磨重工（IHI）の操船シミュレータは、運動モデルとしては流力モデルを採用し、視覚部としては、背景、自船、他船、ブイをプロジェクタで映写し、波頭を16mm映画で写しだす合成方式を採用している。

国内の操船シミュレータでは、このほかに、大阪大学に浅水影響、側壁影響、風、潮流を考慮したシミュレータが、また広島大学にアナログコンピュータを使用し、視覚部は点光源方式のシミュレータが設置されている。

国外の操船シミュレータとしては、スウェーデンの海事研究センターが1967年に設置しており、外力条件として波、風、潮流等を可能とし、視覚再現方式として、ブラウン管7台を使用するCGI(Computer Generated Image)方式をとっている。

英国航海大学には、浅水影響およびタグボートを考慮でき、夜間16点光源による視覚部を持つシミュレータがある。

米国では、世界最大規模といわれる CAORF (Computer Aided Operations Research Facility) が、1976年に多くの外力条件を考慮できるCGI方式による操船シミュレータを設置している。

ドイツにはSchool of Maritime Studiesに振動台上にブリッジを備えつけたシミュレータが設置されている。これは、船舶の操船、視覚に加えて船舶のローリング、ピッチングの揺れをも考慮したものである。

以上の操船シミュレータから、その構成要素または機能面について以下の分類が可能である。

運動計算部の装置には、ディジタルタイプとアナログタイプのコンピュータの2タイプがあり、さらにディジタルタイプの場合、16ビット以下のものと32ビットスーパーミニコンの2種類が使用されている。

視覚再現方式には、

- i) CGI-プロジェクター方式、
- ii) CGI-TVスクリーン方式、
- iii) TVカメラプロジェクタ方式、
- iv) 点光源-影絵方式、
- v) フィルム・スライド-投影方式、
- vi) これらの組合せによる方式

等がある。

船舶の基本運動モデルに、次の外力条件のいくつかを考慮しているが、同時にすべてを考慮しているものは見当らない。外力条件としては、

- i) 浅水影響、
- ii) 側壁影響、
- iii) 通過船影響、
- iv) 風、
- v) 潮流、
- vi) 波、
- vii) タグポート、
- viii) サイドスラスト

等がある。

上記の例から、操船シミュレータの特性として、

- i) 外力条件を含む運動モデルが複雑であること
 - ii) 視界が全方向のものが望まれること、
- さらに、他の交通機関のシミュレータに比べ
- iii) 船舶の場合、操作に対する装置の応答が極めて遅いこと

等が挙げられる。

水域計画シミュレータの基本部分を形成する操船シミュレータの導入にあたって、これらの調査結果をもとにして、さらに目的および予算をも勘案して、次のことがらを考慮した。

- i) シミュレータモデルは、システムとしての信頼性が高く、出来得れば現に操船訓練等に使用されており、実績のあるものであること。
- ii) シミュレートの場合である対象港湾あるいは対象水域施設が、シミュレータに固有のものではなくいかなる代替計画案に対しても適用可能となるように、場の設定条件が汎用性を有すること。
- iii) シミュレータの外力条件に、風、潮流、波が設定可能であること。また、他船の航行を許すこととしさらにこれらについて、シミュレーション実行中、ダイナミックに設定・変更が可能であること。
- iv) シミュレータによる操船実験記録から、計画のための各種の解析が可能であること。

以上のことがらを勘案して導入した水域計画シミュレータは、

- i) 運動モデルは、IHI製の操船シミュレータと同一である。
- ii) 視覚再現部は、CGI方式とし、カラーグラフィック・ディスプレイにより平面図描画方式である。
- iii) 模擬操作記録ならびに運動経過について即座に、解析図面が得られるデータ解析システムと一体化している。

などの特徴を有している。

水域計画シミュレータの外観を図-1に示す。

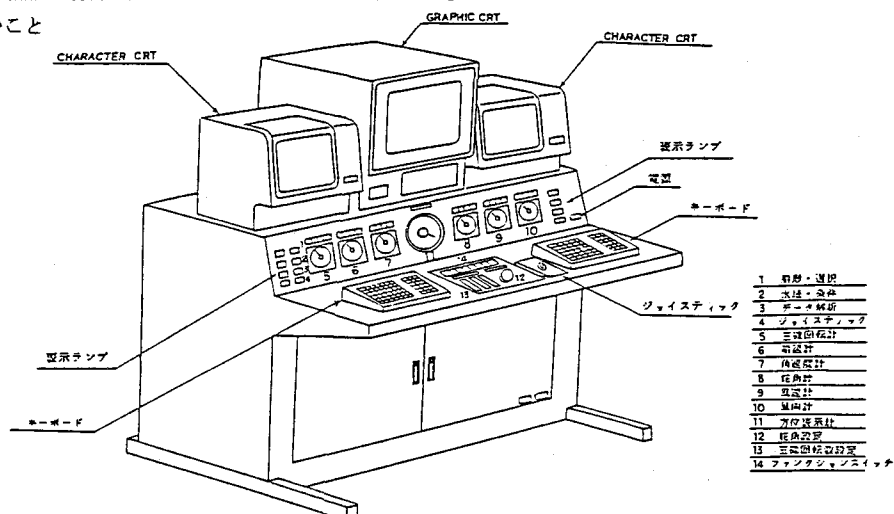


図-1 水域計画シミュレータ

3.2 水域計画シミュレータの構成

水域計画シミュレータは、船舶の船橋（ブリッジ）における操舵、主機操縦等の操船動作に伴って生じる船舶の運動を模擬再現し、これに基づいて、計画対象水域施設の形状、規模等計画要素を解明・分析し、あるいは、

水域施設計画を利用船舶の操船者の視点から評価するものである。

水域計画シミュレータは、設定部Ⅰ、設定部Ⅱ、制御部、計算部、表示部、記録部Ⅰ、記録部Ⅱおよびデータによって構成される。（図-2参照）

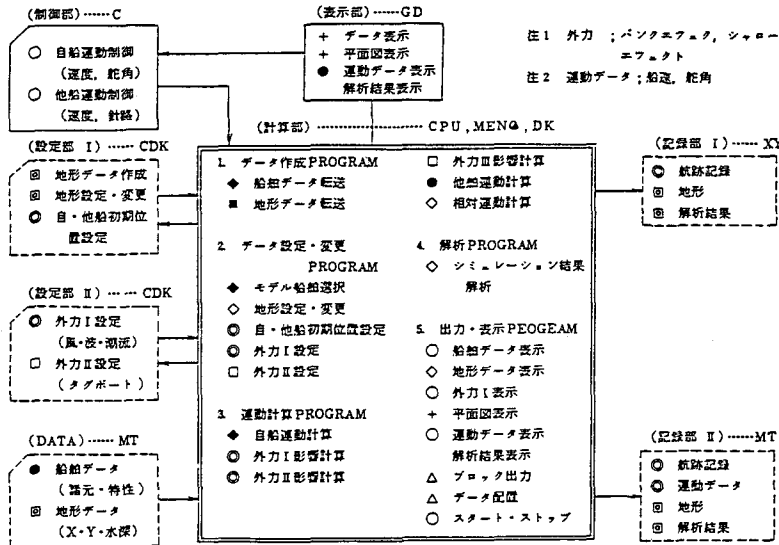


図-2 水域計画シミュレータの概念

3.3 水域計画シミュレータの操作方法

1) 実験方法の概要

シミュレーション実行過程は、図-3のとおりである。図で、破線枠内が計画条件、自然条件および評価等を表わし、実線枠内が水域計画シミュレータの操作を表わす。

まず、港湾計画に基づき、水域施設、外郭施設、係留施設の法線計画代替案がシミュレーションの条件として与えられる。これらの計画図面を座標読取装置によって座標データとし、これらを水域条件データとして、入力するとともに内部に記録・登録する。水域条件設定と同時に、入出港時における気象・海象条件データをあわせて登録する。

次に、船舶条件については、自船と他船に分けて考える。自船は、対象船型、操縦性能等のデータを新たに設定し、または既在のデータを選定し、シミュレータ内部に記録・登録する。他船は、経路および速力を時系列の形で設定する。

操船実験は、以上の条件を設定してから、自船の主機および舵操作を行って、所定の入出港操船等を実施する形で行われる。実時間で模擬される運動結果およびすべ

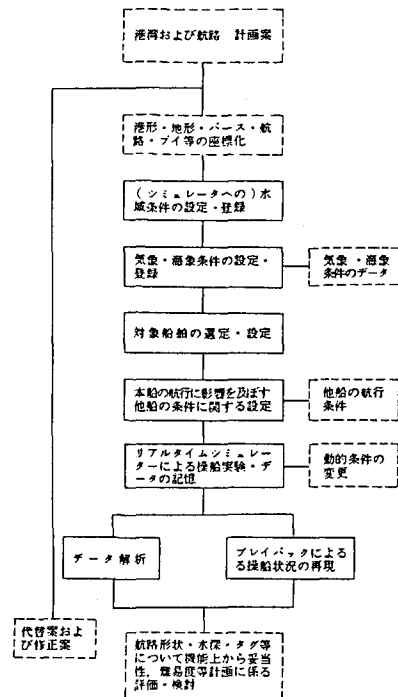


図-3 シミュレーション実行過程（実線枠内がシミュレータを使用）

ての操船操作は、磁気テープに記録される。

実験結果の記録は、各種の解析に使用される。場合によっては、プレイバックにより操船状況の再現にも利用される。

以上の実験および解析の終了後、これらに対する評価を行う。必要であれば、計画を修正して、再度、初めから実験を繰り返す。なお、図-3の実線で示す枠内の作業は、おのおのを単独で実施することが可能である。

2) 条件の設定

シミュレーション条件の設定は、コンソールパネル上の“水域条件”ボタンを押すことにより、水域条件設定プログラムが起動し、“水域条件”ボタンのランプが点灯し、データ入力に関する応答が準備されたことを操作者に知らせる。同時に、キャラクタディスプレイとキーボードによる対話による応答が始まる。

(1) 水域条件の設定

防波堤、バース、航路等の具体的水域条件の設定は、対話で、最初に要求してくる項目である。ディスプレイ上に表示される下記4種類の作業内容のうちの1つを選択する。

- i) 新たに港の基本航路パターンを作成する。
- ii) 既に登録済みの基本航路パターンのタイトルを表示する。
- iii) 実行可能な実航路パターンを作成する。
- iv) 既に登録済みの実航路パターンのタイトルを表示する。

地形を含んで水域施設パターンは、20ケースまで登録可能である。既に登録されている水域施設パターンを使用する場合は、登録番号により指定する。なお、パターンは二重構造になっており、湾形に対応する基本航路パターンとシミュレーションの代替案に対応する実航路パターンの2種類がある。実航路パターンはシミュレーション実行時の設定水域条件そのものである。

ii) またはiv) を選択するとそれぞれの登録済みパターンのタイトルを表示し、現在、選択されているパターン番号がマーキングされる。必要に応じ、マーキング番号を変更することで、水域条件の設定が変更される。

i) の指定によって、地形・航路・防波堤等の図形データを、グラフィック入力する。すなわち、ジョイスティックレバー&タッチボタンを操作することにより、ディスプレイ上のカーソルおよびカーソルの座標を見て、直接図形データを入力し、水域条件の設定を行う。

カラー・ディスプレイ上には、入力した地形、防波堤等が逐次表示され、その確認を行うことができる。

iii) の指定によって実航路パターンの作成・変更およ

び設定・登録等の作業の指示を行う。実航路パターンを作成するものになるパターンとしては、基本航路パターンおよび実航路パターンのいずれでも指定可能である。

このとき同時に設定条件のうち、シミュレーション時間、シミュレーションの計算時間間隔、操船に関する評価式に基づく計算の有無の指定、開始時の自船の位置・船首方向・初速等も設定する。

(2) 気象・海象条件の設定

気象・海象条件は、風向・風速、波向・波高、潮流（方向・速さ）について、実航路パターン設定時に、その中の気象コントロールの中で指定する。時系列データにより、5つの時間帯まで設定可能である。

(3) 他船の設定

他船の設定は、同時に最大6船まで可能とした。

1船ごとにコースと速力を指定することにより他船を航行させる機能である。この場合、操船結果によって他船のコースと速力をリアルタイムで変更することが可能である。

(4) 対象船舶の選定と設定

対象船舶は、20種類まで登録可能である。現時点で登録されている船種・船型は3種類で、それらは、

- i) 450,000 重量トンタンカー、フルロードコンディション
- ii) 200,000 重量トンタンカー、フルロードコンディション
- iii) 60,000 重量トンバルクキャリア、フルロードコンディション

である。

船型の若干の変更あるいは浅水影響に対しては、舵面積の変更により、代用することが可能である。船舶設定の具体的な操作方法是コンソール制御盤上の“船舶設定”ボタンを押すことにより、そのプログラムを起動して行う。この時、コンソール上部のキャラクタ・ディスプレイ管面上に、次の作業内容が表示され、その選択を要求してくる。

- i) 磁気テープに登録されているデータの中から、該当する船舶データ（パラメータ）をシミュレータに登録する。
- ii) 既登録の船舶データのそのタイトル表示および船舶データの選定を行う。
- iii) 既登録の船舶データの一部を変更する。
- iv) 既登録の船舶データをプリンタに印字する。

これらに関する基本的な操作方法は、いままで述べてきた方法と同様であるから、以下、設定条件内容のみを述べる。

i) を選択した場合は、船体形状に関する諸元

- ① 全長
- ② 水面上投影面積
- ③ 水面下投影面積
- ④ 前方投影面積
- ⑤ 後方投影面積ならびに主機回転数
- ① 前進 5 段階 (NAV.FULL、FULL、HALF SLOW、SLOW、DEAD SLOW)

- ② 後進 4 段階 (FULL、HALF SLOW、SLOW、DEAD SLOW)

と対応する速力を設定し、磁気テープのデータとともにシミュレータに登録する。

iii) を指定した場合には、既登録の船舶データのうちの舵形状

- ① 舵高さ
- ② 舵幅
- ③ 舵面積
- ④ 舵アスペクト比

および舵の応答特性

- ① 時定数
- ② 最大舵角

等のデータを変更・認定・登録する。

3) 実行およびプレイバック

水域条件、船舶条件その他の条件がすべてが設定されるとシミュレータの操船が可能となる。実行に先だってシミュレータ自身の初期設定を行わなければならない。シミュレータの初期設定は、コンソール上の“準備”ボタンを押すことにより行われ、約 1 分後、準備のための計算が終了すると、コンソール上の“休止”ランプが点灯しスタンバイ状態となる。

“開始”ボタンのセットにより、開始ボタンが緑色に点灯し、実行に入る。実行中は、カラーグラフィック・ディスプレイ上に、実航路パターンと自船および他船を 2 秒間隔でフラッシュ更新しつつ表示するほか、船橋内の航海計器である、

- ① 自船の針路を表示するジャイロレピータ
- ② 主機回転計
- ③ 船速計
- ④ 回頭角速度計
- ⑤ 舵角計
- ⑥ 風向計
- ⑦ 風速計

等のメータに、これら諸量がリアルタイムで表示され、さらに経過時間がデジタル表示される。

シミュレータ操作者は、これらの機器、計器を参照しつつ、入出港のコースに沿って航行するための操船操作

を行う。

シミュレーション実行途中における条件の変更は、操縦者以外の実験担当者によって行われる。変更可能な条件は、

i) 気象・海象条件の変更

ii) 他船の航行ルート、針路、速力等の変更

の 2 つで、コンソール上の“データ変更”ボタンを押すことにより、データ変更プログラムが起動される。この場合、自船の船舶運動計算が中断されることなく、操縦者は何らの干渉を受けない。これらの変更は、キャラクター・ディスプレイ上に表示される会話形式の応答により変更が行われる。

シミュレーションの終了は、シミュレーション経過時間が、シミュレーション（上限）タイムを越えた場合に自動的に停止し終了する。そのほか、操舵コンソール上の“休止”ボタンを押すと中断し、そのあと再開しなければ、終了する。

操船操作、ならびに船舶運動に関するすべての実行記録は、磁気テープに格納される。この磁気テープは、模擬操船の再現にも利用される。すなわち、コンソール上の“プレイバック”ボタンを押すことにより、グラフィック・ディスプレイの上には航路パターンと自、他船が表示され、コンソール上の航海計器が記録どおり動く。

4) 解析・評価

MT ハンドラに実行経過が記録されている磁気テープを装着した状態で、操舵コンソール上の“データ解析”ボタンを押すと、キャラクターディスプレイには、下記の作業メニューを表示し、選択の入力要求をする。

i) 航跡図の作成

ii) 解析グラフの作成

iii) データ項目の時系列表の印字

航跡図の作成は、シミュレーションの時間帯、スケール、作図エリア、タイムマーカ時間間隔等の作図パラメータを入力することにより、X-Y プロットに航跡図が自動的に図化される。

ii) の場合は、1 枚のグラフに横軸を時間軸とし、縦軸に最大 5 変量を自動的にプロットする自動作図プログラムが作動する。この場合の作図パラメータは、シミュレーション時間帯、縦軸・横軸のスケールおよび範囲をグラフ化しようとする変量ごとに指定する。

iii) の印字は、プリンタに経過時間帯ごとのデータ項目を作表するもので、内容的には ii) と同一のものである。

4. 水域計画シミュレータの計画への適用

4.1 概説

水域計画において、航行中の船舶の正確な動きを知ることが重要である。しかし、それを予測することは極めて困難である。海上の交通の場である港内や航路では、波、風、潮流があり、船舶の航行はこれらの影響を大きく受ける。さらに、操船者がそのつど判断を下した結果が最終的な船舶の動きとなることから、船舶は航行のたびごとに異なった航跡を描く。このような困難の中で、水域計画は過去の実績および海事関係者との調整等により進められてきた。定量的根拠を示すに足る分析手法が開発されていなかったことから、定性的な判断にゆだねられていた。しかし、水域計画シミュレータの利用により、より定量化された分析手法を開発することが可能となった。水域計画に水域計画シミュレータを適用するにあたっては、次の二つの方法が考えられる。

第一に、個々の具体的な水域計画について船長や航海士等の船舶操縦経験者による模擬実験を実施し、施設形状等に関する評価検討を積み重ねて形状等の評価を直接行う方法である。この場合、模擬実験のデータを多数収集することにより、操船パターンの把握に努め、操船パターンをある程度把握することにより、航海士の資格を持たない者による操船実験も可能となって汎用性が増すことも考えられる。

第二は、水域計画シミュレータによって、実験では実験不可能な船舶の性能テストを数多く行い、船舶の性能を完全に把握し、それを基にして計画を評価する方法である。この方法の評価は、第一の方法によるチェックによって可能である。

ここでは、まず第一の例としてM港の計画を、第二の例として水域施設計画の基準策定手法に関する提案を取り上げて、水域計画シミュレータの応用を展望する。

4.2 港湾建設計画への適用

M港の計画は、1987年に年間推定貨物取扱量約400万トン、2000年に年間推定貨物取扱量約2300万トンを見込み、1987年までの短期計画で13バース、2000年には45バースを想定する遠大な計画である。

この港湾開発計画で航路法線、航路形状、航路幅を決定するに先立ってこの港湾を利用することが想定されている6万トン級の撤積船の操船面からの検討を水域計画シミュレータで行った例を述べる。

約6kmの延長をもつ外港および内港航路に対し、原計画では6万トン級船舶の場合、185m～200m規模の航路幅員が想定されていた。この航路を船舶が航行する場合の限界的な自然条件としては波浪と潮流に関しては

港外と港内で異なる値で与えられ、さらに風速についても条件が想定されていた。

このような条件の下で、入出港操船の難易度を検討するために、水域計画シミュレータを利用した。シミュレータ操作者は船長経験も永いパイロット有資格者が行った。

図-4は、防波堤外側の航路幅を200mで計画し、与えられた気象・海象条件のもとで、初速8ノットで入港し、バース前面のターニングベースンで微速のまま、着岸体勢で実験を終了した場合の航跡である。

結果の航跡図によると、船は潮流をうち消すため、船首を進路右側に傾けて、速力を次第に落としながら防波堤開口部まで進んだ。そこからは、風の影響のみを考慮して、航路屈曲部をゆるやかに左旋回し、一層速力を落として目標地点に到達している。航跡全体をみると航路中央部をスムーズな曲線を描いて目標地点まで到達している。

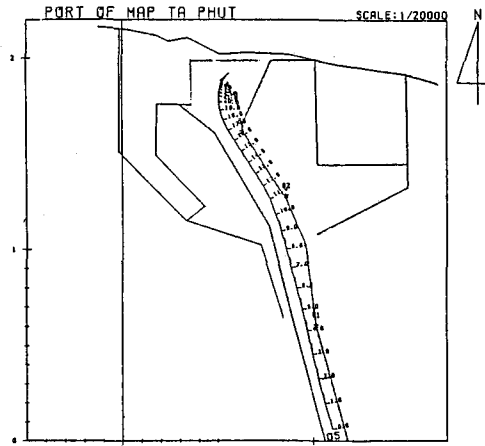


図-4 入港・航路図

なお、航跡図の他に、経過時間に対応した速力、船首方位、主機関設定回転数、設定舵角、X座標、Y座標等200項目に及ぶ模擬実験結果が、出力可能である。

図-5は、図-4に対応した速力、設定機関数、船首方位、設定舵角である。

航路幅、航路形状等に関する操船上の評価および計画の妥当性については、上記実験結果に基づいて港湾計画者、海上保安庁等関係諸官庁、パイロット等、海事関係者を含む多方面の専門家による検討がなされるものと考えられる。

4.3 水域施設計画の基準策定の展望

操船における基本特性として、旋回時の旋回半径および減速、変針時の舵角と変針角度の関係および新進路距離、減速時の進出距離等があげられる。

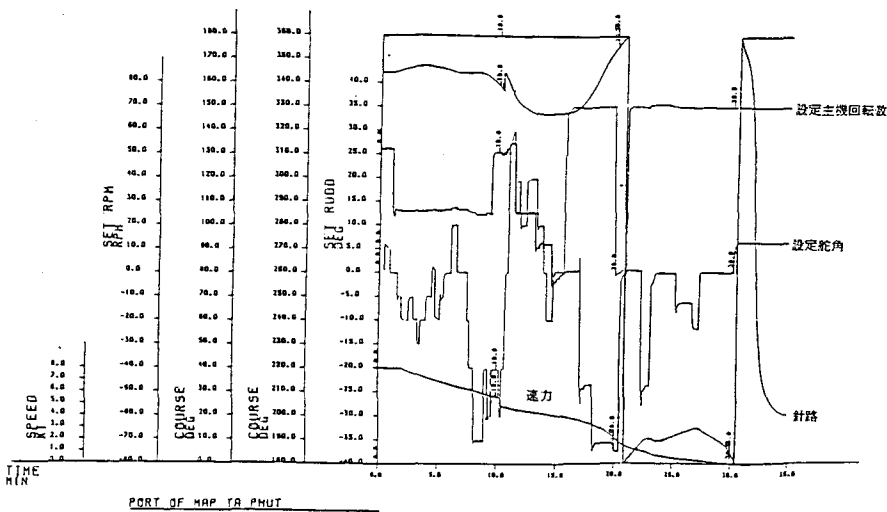


図-5 入港・操舵角等記録

図-6は、4.1の実験船が速力15ノットで旋回した時の航跡の一例である。このとき、変針動作のエネルギー消費による減速状況も得ることが可能である。

数多くの船舶で、舵角、速力、機関回転数等を変えて各種の船舶性能テスト結果の図面等を作成しておけば、水域計画上のミクロな問題点は相当解決が可能であると思われる。

実際の計画にあたっては、さらに、計画対象水域を通過する最も操船性のわるい船舶で検討すればよい。

その結果、4.1で述べたような水域計画シミュレータによる実船さながらの実験は、ある程度かたまった計画の妥当性を検討するのに有効である。計画をそこまでかためるには、水域計画シミュレータによる数多くの船舶性能テストの解析結果を駆使した手法に移行していくことが予想される。

実際、一つの水域計画が与えられたとき、非常に上手

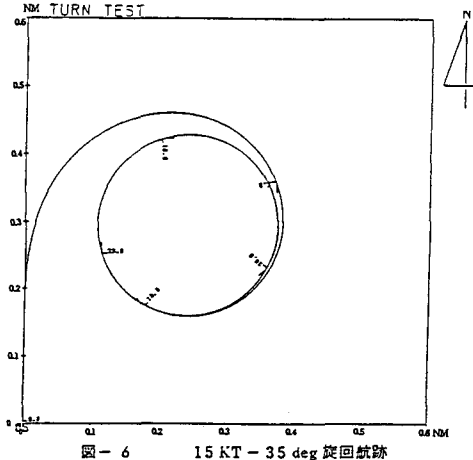


図-6 15 KT - 35 deg 旋回航跡

な操船者がシミュレータで問題なく操船できても、よい水域計画であるという保証はない。各種の船舶性能図を基にして検討するほうが、よりよい水域計画が作成されよう。

5. おわりに

水域計画シミュレータは、港湾計画、特に航路計画をはじめとする水域計画にとって、ミクロな計画情報を得るために必要不可欠な道具になるものと予想される。

ここでは、水域計画シミュレータの概要と適用方法の展望を述べたに過ぎないが、主要な結果は以下の通りである。

- (1) 港湾計画におけるミクロな計画情報を得るために操船シミュレータを基本とした水域計画シミュレータを開発した。
- (2) 水域計画シミュレータを利用して、実船では不可能な入出港操船を航海士が行うことによって事前に水域計画施設計画の検討が可能となった。
- (3) 水域計画シミュレータの利用により数多くの操船実験が可能となり、水域計画における技術基準の見直しが可能となった。

最後に、より広範な計画に対応するために、実験船の多様化、外力としてタグボートの利用、浅水影響、側壁影響、サイドスラスト等の機能の付加、4.1で述べた型の検討のために船のブリッジから眺めた刻々と変る景観の作成が早急に望まれる。本研究は、世界的にも今後期待される分野に属し、港湾計画、特に航路計画をはじめとする水域計画にとって、ミクロな計画情報を得るために必要不可欠の道具になるものと予想される。