

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 223 June 1975

水路系における船舶交通シミュレーションプログラム (その1)

笹 嶋 博
奥 山 育 英
早 藤 能 伸
佐 々 木 芳 寛
佐 々 木 典 倫 子

運 輸 省 港 湾 技 術 研 究 所



目 次

要 旨	3
はじめに	3
第Ⅰ編 シミュレーション編	4
Ⅰ-1 はじめに	4
Ⅰ-2 任意形状水路系シミュレーションプログラム	4
Ⅰ-2-1 プログラム構成	4
Ⅰ-2-2 インพุットルーチン	6
Ⅰ-2-3 ジェネレーション、ターミネーションルーチン	8
Ⅰ-2-4 自然条件ルーチン	10
Ⅰ-2-5 航行ルーチン	10
Ⅰ-2-6 アウトプットルーチン	12
Ⅰ-2-7 シミュレーションコントロールルーチン	12
Ⅰ-2-8 港内航路シミュレーションルーチン	12
Ⅰ-3 サブプログラム	12
Ⅰ-4 プログラム実行手順	21
第Ⅱ編 シミュレーション資料編	22
Ⅱ-1 はじめに	22
Ⅱ-2 シミュレーション作成のための船舶航行特性	22
Ⅱ-2-1 安全確認領域	22
Ⅱ-2-2 閉塞領域	22
Ⅱ-2-3 増減速特性	24
Ⅱ-2-4 操縦性指数	26
Ⅱ-2-5 指向点	26
Ⅱ-2-6 カーブ操船	28
Ⅱ-2-7 避航操船	28
Ⅱ-2-8 優先条件	29
Ⅱ-3 シミュレーション作成のための航行条件特性	30
Ⅱ-3-1 ソフトウオール	30
Ⅱ-3-2 ハードウオール	31
Ⅱ-3-3 港口航路	31
Ⅱ-3-4 離接岸操船水域	31
Ⅱ-4 問題点と今後の方向	32
引用文献、参考文献	32

Marine Traffic Simulation Program

Hiroshi SASAJIMA *
Yasuhide OKUYAMA **
Yoshinobu HAYAFUJI ***
Yoshihiro SASAKI ***
Noriko SASAKI ***

Synopsis

This technical note is the explanation and the guide of marine traffic simulation program developed by the Systems Laboratory.

Factors affecting each ship behaviour are very complex, and some of them are assumed. In such cases, ship behaviour observations are greatly expected to simulate the actual marine traffic behaviour, so that the better planning of channels or fairways and the suitable marine traffic control, etc. are evaluated.

* Ex-member of the Systems Laboratory, Design Standard Division
** Chief of the Systems Laboratory, Design Standard Division
*** Member of the Systems Laboratory, Design Standard Division

水路系における船舶交通シミュレーションプログラム(その1)

笹 嶋 博 *
奥 山 育 英 **
早 藤 能 伸 ***
佐々木 芳 寛 ***
佐々木 典 倫子 ***

要 旨

本資料は任意形状水路系のシミュレーションプログラムを作成した結果を示したものであり、第I編ではサブプログラムの内容とシミュレーションの実行の手順を示し、プログラム実行の手引きとしてまとめた。また、第II編では、本シミュレーションプログラムを作成するために導入した種々の概念について説明を加えるとともに、仮定したモデル及び問題点を示し、水路系シミュレーションプログラムの汎用化及び本モデルの改良のために役立つ資料としてまとめた。更に付録として引用文献・参考文献を加え、モデルの改良のための手引きとした。

はじめに

近年、船舶交通量の増大とともに、海難も顕著なものとなってきているが、これら海難は内海狭水道と港湾に集中している。港湾の機能分析を行い、港湾システムの空間的な領域を考えると、これら海難の多発している港内水域と狭水道は当然このシステムに含まれてくる。すなわち、狭水道での海難や港内水域での海難は、港湾の本来の機能としての物流のターミナル機能に悪影響を及ぼす。特に港内水域での大事故は港湾機能を麻痺させるものである。

管制は海難の防止に役立つ。しかし、事故を防止する事のみ追求する管制方式では、他の機能の働きを減少させる結果ともなりかねない。このことは、安全問題と効率問題を扱うときに直面する大きな課題である。例えば、航路の交通容量とは、海難の危険レベルを定めた時の交通容量であり、危険レベルの設定方法と交通容量の決め方が問題となってくるのはこのよい例である。

以上述べてきたことは、海難を物流機能との関連という一側面から捉えたものであるが、港湾計画、航路整備計画を行う側面から捉えれば、航路、水域の規模、形状の変更によって航行の安全性がどの程度増大するかは重要な問題である。すなわち、船舶の航行水域の規模、形状の変更が交通量、安全性に及ぼす影響を明確に捉えたいという要望が強い。

港湾計画システムを確立させ、よりよい港湾建設技術

に役立てるために、水域、水路系システムの分析は急務である。

本資料は上述の問題意識のもとに、水域、水路系のシステム分析に役立つ水路系シミュレーションプログラムを作成した結果を示したものである。シミュレーションプログラムは作成する目的に応じて種々のタイプのものとなるため、本シミュレーションプログラムの方向が明らかとなるように、蛇足ながら上記まえがきを付した。

さて、本シミュレーションプログラムは、上述のごとく、① 水路系シミュレーションで取り扱いたい問題に対して変更、改良が容易なものとする。また、② 効率面、安全面の検討に容易に用いることができるものとする。更に、③ 水域、水路形状の変更に対して容易に対処できるものとする。という課題を満足するように作成することとした。本シミュレーションプログラムは水路系シミュレーションプログラムの第1ステップであり、改良、追加、変更が容易なように、サブプログラムを小さく分割した。また、統計量としても、今後の研究を通して必要なものが更に加えられるであろうから、別プログラム(集計プログラム)とした。更に、水路形状、水域形状の変更が容易なようにインプットルーチンを別プログラムとした。

本資料は、① 水路系シミュレーションプログラム作成のマニュアルであるとともに、② 改良のための下敷

* 前設計基準部 システム研究室
** 設計基準部 システム研究室長
*** 設計基準部 システム研究室

きとして便利のように3部から構成されている。第Ⅰ編はシミュレーション編であり、シミュレーションプログラムを中心とした解説及びシミュレーション実行手順について述べている。第Ⅱ編はシミュレーション作成の為に必要となった知識と本シミュレーションプログラムで定めたモデルについて述べている。また、本モデルの問題点と今後の方向についても若干考察を行っている。Ⅰ編、Ⅱ編に加えて従来研究成果の概要、引用・参考モデルの概要が載せてある。プログラムを作成する場合には第Ⅰ編を利用し、モデルの内容を改良しようとする場合には第Ⅱ編を利用し、更に各モデルについて研究を深めようとする場合には参考文献・引用文献を利用されたいと思う。

第Ⅰ編 シミュレーション編

【-1 はじめに

本編では、任意形状水路系のシミュレーションプログラムについて説明する。これは、本シミュレーションプログラムを実行するとき、あるいは改良して別の目的の

水路系シミュレーションプログラムを作成するときに便利のようにまとめたものである。

第2節では、本シミュレーションプログラムの構成と各ルーチンについて説明を加えた。

第3節では、各ルーチンで用いるサブプログラムについて説明を加えた。

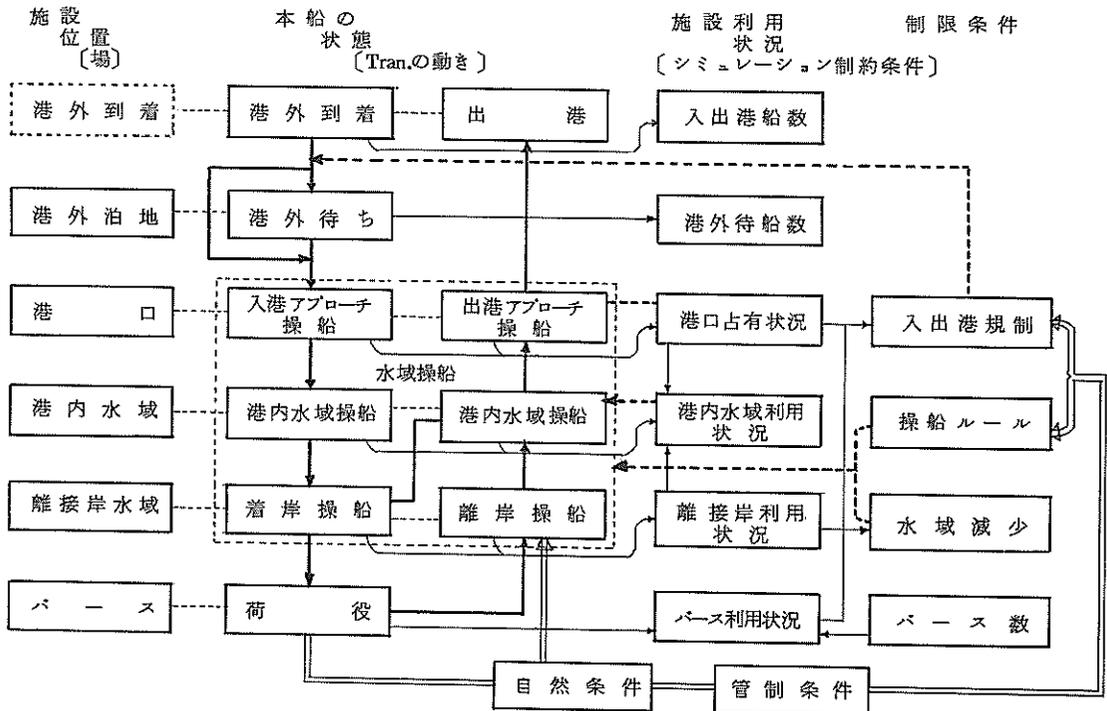
第4節では、任意形状水路系シミュレーションプログラムの実行手順について説明を加えた。

なお、プログラム及びプログラムリストは、システム研究室に保管されている。

1-2-1 プログラムの構成

本シミュレーションプログラムは、次に示す6つのメインルーチンから構成されている。

- 1) インพุットルーチン
- 2) ジェネレーション及びターミネーションルーチン
- 3) 自然条件ルーチン
- 4) 航行ルーチン
- 5) 管制ルーチン
- 6) アウトプットルーチン



→ Tran.の流れ -----場の関係 ——情報の流れ ---->規制,制限 ==>条件の制約

図1-2-1-1 シミュレーションの場 (港内の例)

これら各ルーチンはそれぞれ次のような役割をもっている。つまり、1)は、④航行水域、構造物形状等シミュレーション実行の場をインプットするルーチン、⑤発生させる船舶の到着率・船舶属性等シミュレートすべき船舶の特性をインプットするルーチン、⑥風速、風向、波高、潮流等の自然条件をインプットするルーチン、④出入港規制等の管制条件をインプットするルーチン、⑥その他、シミュレーション終了時刻等シミュレーションをコントロールする条件をインプットするルーチン等から構成されており、これらの特性をインプットするルーチンである。また、2)は、航行シミュレーションの場に船舶を発生させ、あるいはシミュレーションの場から消去させるルーチンであり、1)でインプットした特性を各船舶に与える役割をもっている。3)はシミュレーション実行の場の自然条件あるいは管制条件に影響を与える自然条件(風向、風速、波高、潮流等)を作成するルーチンであり、4)はシミュレーションの場に発生させた船舶を操船させるルーチンであり、5)はシミュレーション実行中に船舶の挙動を規制する管制条件を作っていくルーチンであり、6)は④航跡、⑤変針回数、⑥変速回数、④通過交通量等のアウトプットを

集計するルーチンである。

船舶は1)~3)及び5)の条件のもとに、ジュネレーション領域でジュネレートされ、衝突・乗りあげの生じない自らの操船方法を取りシミュレーションの場中を進み、ターミネーション領域でターミネートされる。つまり、本シミュレーションのトランザクションとしては船舶が用いられている。これらの関係を図示したものが図1-2-1-1及び図1-2-1-2である。図1-2-1-1は場の関係を明らかに示したもので、図1-2-1-2は情報の流れを明らかに示したものである。

本シミュレーションは、次の2方法を併用したものである。すなわち、①タイム・スライシング・メソッド(Time Slicing Method)と②イベント・シーケンシャル・メソッド(Event Sequential Method)が併用されている。

船舶航行シミュレーションにおいては、①船舶の存在する場が多様であり、②見合い関係の組合わせが多く、③個々の船舶が取り得る操船手段の代替案が多様であり、④個々の出合い状況に応じた予定行動の解析が十分には行われていないため、完全なイベント・シーケンシャル・メソッドを用いることが困難である。そのため、基本的

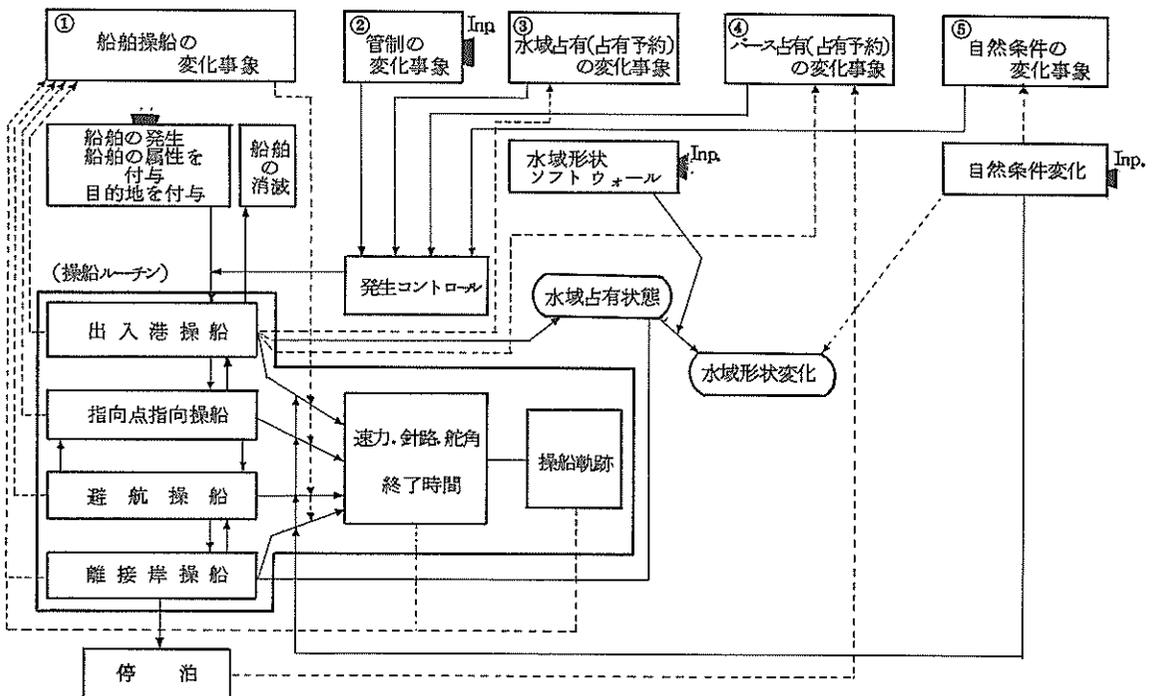


図1-2-1-2 シミュレーションの情報の流れ(港内の例)

にはイベント・シーケンシャル・メソッドをとることとするが、タイム・スライシング・メソッドを組合わせている。すなわち、タイムスライス幅 ΔT に変化する事象を列挙し、最早生起事象を見出し対象船舶と時刻を求めて、前時刻 T_a に位置の定まっている船舶との見合い関係から、対象船のつぎの行動を定めるといった方法をとった。この関係を示したものが図1-2-1-3である。

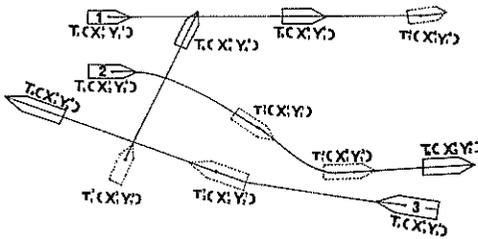


図1-2-1-3 タイムスライシングと
イベント・シーケンシャル・メソッド

この図において、まず時刻 T_a と T_b 間の事象変化を求めると、時刻 $t_1^1, t_1^2, t_2^1, t_2^2$ に事象が変化することがわかる。このうち最早生起事象は t_1^1 に第4番目の船舶が発生する事象であることがわかる。この第4番目の船舶が発生するときに位置の定まっている船舶は1, 2, 3船で、その時刻は T_a である。第1, 2, 3船の位置は $(X_1^a, Y_1^a), (X_2^a, Y_2^a), (X_3^a, Y_3^a)$ であり、第4船は他の船の T_a での位置に対して避航関係を調べて自船の行動を決定する。第4船の行動の決定が終れば、次の最早生起事象と対象船舶を求め、時刻 T_a と T_b 間に変化する事象のなくなるまで、この操作をくりかえす。もちろん、最早生起事象と対象船舶を求め対象船舶の行動を決めると、新しい変化事象が作成できるが、この事象変化が時刻 T_a と T_b の間で起こる場合には、この事象変化も次の最早生起事象を探すときには対象とする必要がある。

1-2-2 インพุットルーチン

インพุットルーチンは、前述のように5つのルーチン

D3 (227, 280)

6 $\phi = 180^\circ$
G3
(240, 260)

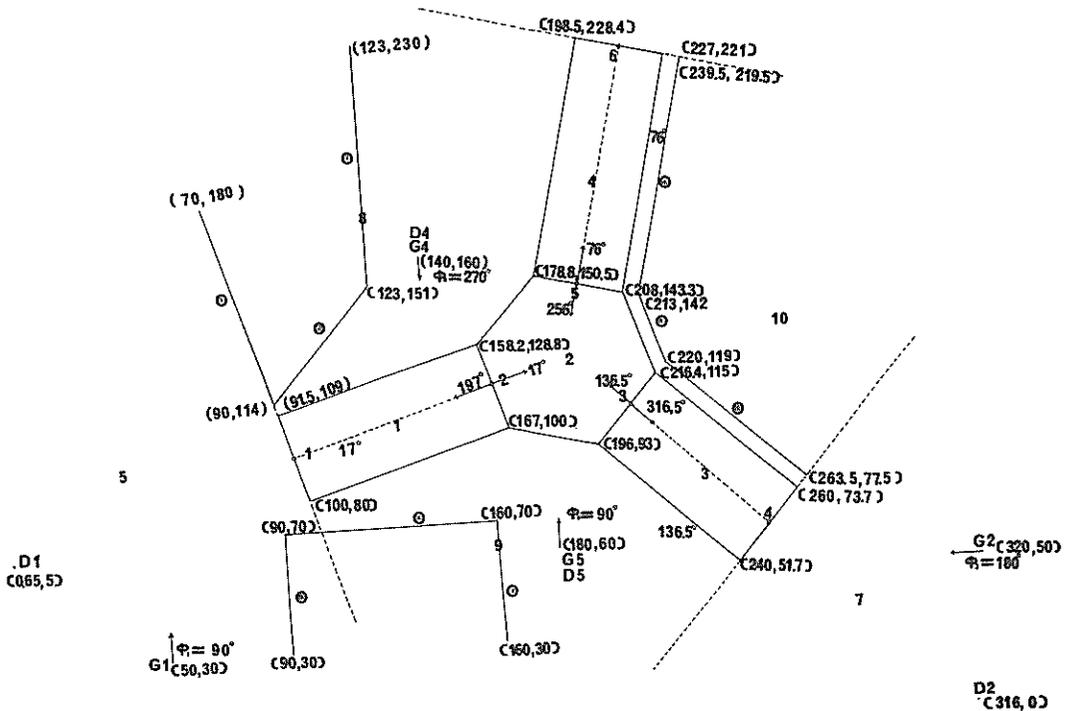


図1-2-2-1 航路形状の例

から構成されている。これら各ルーチンはそれぞれいくつかのサブプログラムから構成されているが、本節ではそれらのサブルーチンを列挙し、サブルーチン間の情報の流れを説明するとともに、各ルーチンの説明を行う。各サブルーチンの内容は 1-3 節に列挙してある。また、サブプログラムリストは (付録 2) に挙げてある。

本ルーチンは前述のように、以下に示す 5 つのルーチンから構成されている。

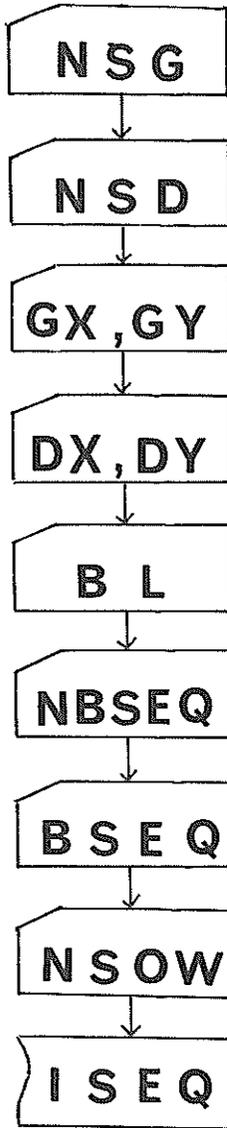


図 1-2-2-2 ソフトウォールのインプット

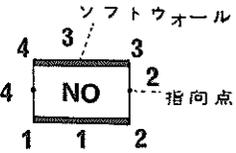
- ① 航行水域、構造物形状等シミュレーション実行の場をインプットするルーチン
- ② 発生させる船舶の到着率、船舶属性等、シミュレートすべき船舶の特性をインプットするルーチン
- ③ 自然条件をインプットするルーチン
- ④ 管制条件をインプットするルーチン
- ⑤ その他、シミュレーション終了時刻、タイムスライス幅等をインプットするルーチン

以下ではこれら各ルーチンについて順を追って説明を加えていく。

1-2-2-1 場のインプット
① 航行水域のインプット (ソフトウォール及び指向点のインプット)

ソフトウォールと指向点は水域ブロックという形式で与える。つまり、図 1-2-2-1 に示すように、水域ブロックは航路と指向点から構成されている。つまり、航路を六角形以下の尖多角形に分割し、航路中心に指向点を与える。この指向点は、船舶が実際にこの点を指向するという点である必要はなく、船種・船型によってこの指向点よりず

れた実際の指向点を与えることができる。インプット形式は図 1-2-2-2 に示した。ここで、NSG はジェネレーション位置から指向する指向点のナンバーと、ジェネレーション位置の存在する水域のナンバーを示し、NSD はターミネーション位置に向く指向点のナンバーと、ターミネーション位置の存在する水域ナンバーを示している。また、GX, GY はジェネレーション位置の座標、DX, DY はターミネーション位置の座標を示す。また、BL は水域 (航路水域のみ) ブロックの形状、座標、指向点数、指向点ナンバーを示し、NBSEQ は、各指向点が付属している水域ブロックのナンバーを示し、BSEQ は各指向点の針路方向角を示している。結局、ISEQ でジェネレーション位置からターミネーション位置までの指向点ナンバーのシーケンスが得られる。また、NSOW は各水域 (航路水域のみ) ブロックのソフトウォールナンバーをインプットするもので、これは BL をインプットした順序の第何番目の線分がソフトウォールに該当するかを示すものである。この関係を図 1-2-2-3 に示した。



NSOW (NO,1)=1
NSOW (NO,2)=3

図 1-2-2-3 航路ブロックナンバーとソフトウォール

② ハードウォールのインプット

ハードウォールは、水域 (航路ブロック以外の水域) ブロックを作成する。HW はハードウォールを構成する座標であり、HWD はハードウォールがとぎれているときに HW の第何番目までで区切れているかを示すものである。IHWW はハードウォール線分の存在する水域ブロックナンバーを示している。また、CWB は水域ブロックの隣接ブロックナンバーを示すものである。ハードウォールのインプット形式は図 1-2-2-4 に示した。

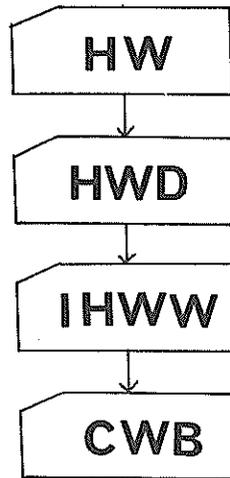


図 1-2-2-4 ハードウォールのインプット

1-2-2-2

船舶特性のインプット

船舶特性としては以下に示す 16 種のものを与える。

- ① 船種別到着隻数分布
- ② 船種別船群構成
- ③ 船種船群別総トン数分布
- ④ 船種別総トン数・船長関係
- ⑤ 船種別総トン数・型幅関係
- ⑥ 総トン数・排水トン関係
- ⑦ 排水トン・増減速係数関係
- ⑧ 船種別船長・必要停泊長関係
- ⑨ 船種別型幅・必要停泊幅関係
- ⑩ 船種別、航路航行船区別総トン数
- ⑪ 船種別貨物状態、船長、舵角別操縦性指数
- ⑫ 船種別、船長別必要操舵時間
- ⑬ 船種、船群別貨物量分布
- ⑭ パース長
- ⑮ 発生時速力
- ⑯ 発生時針路角

以上示したインプットデータのうちに、①②③⑬は各船舶に対して乱数を用いて割当てる船舶特性であるが、これら以外のものは、これらの特性にディペンデントさせて求めるものである。①②③⑬のインプットは、④ 0-1 の累積分布、⑤ ヒストグラム(物)、⑥ 実隻数、⑦ 実隻数累積分布のいずれでも与えることが可能であり、シミュレーションで用いるタイプは④であるので、① 計算機で④のタイプに変換し、⑩ 平均値を計算するようになってい

1-2-2-3 自然条件のインプット

自然条件としては、以下の3種のものを与える。

- ① 風速分布
- ② 風向分布
- ③ 波高分布

本シミュレーションでは潮流分布はインプットしていない。また、波向は風向に等しいものと仮定している。

これらの自然条件は船舶の本来の航行操船に影響を及ぼすものではなく、入出港、離接岸等特殊な操船のみで影響を及ぼすものである。したがって、特殊な操船面に影響を及ぼす風速、風向、波高の出現時間間隔分布をインプットすることになる。これらはいずれも乱数を割当て、用いるもので、シミュレーション実行中、現在の風速、風向、波高がどのような状態にあるかをつくりだすものである。

1-2-2-4 管制条件のインプット

管制条件としては、① 速力制限、② 航行優先関係、③ 避航方法、④ 発進規制等があるが、①は1-2-2-2でインプットしており、②③はシミュレーション内部に組込ん

であるので、ここでインプットすべきは、④ 発進規制のみである。これは港内航路シミュレーションであれば、入出港時間規制であるし、一般狭水道航路であれば、航路航行時間規制である。

1-2-2-5 その他条件のインプット

その他の条件としては、シミュレーションの実行をコントロールするものとして、① 発生最高隻数、② シミュレーション終了時刻がある。これらはどちらか一方をインプットすればよく、ジェネレーション時点でこれらの制限をこえるとシミュレーションが終了することになる。

以上述べてきたインプットデータの形式と順序は図1-2-2-5にまとめて示してある。これら各データをインプットする必要があるが、使用しない場合はブランクカードを入れる規定となっている。

1-2-3 ジェネレーション

ターミネーションルーチン

本節においても前節同様、各ルーチンのサブプログラム間の情報の流れについて説明する。

1) ジェネレーションルーチン

ジェネレーションルーチンは、① 船舶の発生時刻、② 船舶属性、③ 発生位置、④ 発生時速力、針路を求めるルーチンである。① 発生時刻は船種別に到着予定時刻として作成しておく、② 船舶属性としては、④ 船種、⑤ 船群、⑥ 総トン数、⑦ 船長、⑧ 型幅、⑨ 排水トン、⑩ 増減速係数、⑪ 必要停泊長、⑫ 必要停泊幅、⑬ 航路航行非航行の別、⑭ 貨物量又は停泊時間、⑮ 操縦性指数、⑯ 必要操舵時間、⑰ 離接岸水域占有予定時間があるが、これらは以下に述べるように決定される。すなわち、④ 船種は船種別の到着予定時刻が求められているので、最早到着予定時刻を求めると到着予定船種が決まる。⑤ 船群は船種別の船群構成比が与えられているので、乱数を割当て、どの船群に属するかを求める。⑥ 総トン数は船種、船群別に分布形が与えられているので、やはり乱数を割当てて求める。以上のように船種が求まると、この船種の船の船群と総トン数が各々独立に求まることになる。一方、⑦ 船長、⑧ 型幅、⑨ 排水トンは船種別の総トン数とこれらとの関係より一意的に求まり、⑩ 増減速係数は今求めた排水トンとの関係より一意的に求まる。また、⑪ 必要停泊長、⑫ 必要停泊幅は、それぞれ船種別の船長、型幅によって一意的に求まり、⑬ 航路航行・非航行の区別は船種別の総トン数によって一意的に求まる。⑭ 貨物量あるいは停泊時間は船種別に他の属性とは独立に求め、⑯ 必要操舵時間は船種別に船長によって一意的に求め、⑰ 離接岸水域占有時間は船長と離接岸方法とによって一意

船種別到着分布の数	船長、総トン数関係データ数	型幅、必要停泊幅関係データ数	船長、操舵必要時間関係	自然条件データ
到着時間間隔分布のデータ数	船長、総トン数関係	型幅、必要停泊幅関係	船種、船群別貨物量データ数	管制条件データ
到着時間間隔分布データのタイプ	型幅、総トン数関係データ数	航路航行、非航行判定トン数	貨物量データ	
到着時間間隔分布	型幅、総トン数関係	船種、船長別操縦性指数データ数	指向点グラフのリンク数	
船種別船群数	排水トン、総トン数関係データ数	船種別区分船長データ	指向点、水域ブロック関係	
船群データのタイプ	排水トン、総トン数関係	載荷状態別操縦性指数データ数	ジェネレーションターミネーションブロックと位置	
船種別船群構成	排水トン増減速係数関係データ数	舵角別操縦性指数データ数	ジェネレーションターミネーションブロック針路	
船群別総トン数分布のデータ数	排水トン増減速係数関係	区分舵角データ	発生速力制限	
総トン数データのタイプ	船長、必要停泊長関係データ数	操縦性指数データ	ソフトウェアールハードウェアール	
総トン数分布	船長、必要停泊長関係	船長、操舵必要時間関係データ数	シミュレーション終了時刻タイムスライス	

図1-2-2-5 インプットデータ

的に求める。①操縦性指数は無次元化されたKVTを船長・貨物状態によって一意的に求める。

また、③発生位置はジュネレーション位置によって一意的に求め、④発生時速力、針路も発生位置と船種、船長によって一意的に求めることとした。ここではジュネレーション位置は各々一つと仮定しているが、改良型としてジュネレーション方向を異ならせるルーチンも加えておいた。

このジュネレーションルーチンを用いると、発生させる①船舶の固有の属性、②初期条件が与えられる。ジュネレートされた船舶は必ずしも航行するとはかぎらない。このために、待ち泊地を設けて待ち泊地よりの発生を考慮する必要があるが、今回は待ち泊地に関する考察を省略し、ジュネレーションブロックで船舶が遅れると仮定した。つまり、ジュネレートされた船舶でもジュネレーションブロック前方に船舶が存在し、水域に発生できない場合には、ジュネレーションブロックで待機させることとした。このことによって、到着隻数が非常に多く、シミュレーション結果が定常的なものとならないときには、ジュネレーションブロック中の待ち船舶数がオーバーフローすることによって検出可能となる。すなわち、待ち行列論における ρ に対するものを付加したこととなる。

2) ターミネーションルーチン

船舶はターミネーションブロック内に入ったときに、シミュレーション中より消去される。本ルーチンで対象船舶がターミネーションブロックに入ったかを判定し、ターミネーションブロックに入ったトランズアクションをシステム中より消去する。

1-2-4 自然条件ルーチン

本ルーチンは、風速、風向、波高の自然条件をシミュレーション中に作成するルーチンであるが、今回は、管制条件に影響を及ぼす自然条件の生じる時刻を作成するルーチンのみ作成した。このことから、管制条件に影響を及ぼす風速、風向、波高がどのような時間間隔で生じているかダイナミックに設定されており、指定分布に従う乱数を用いて、このような自然条件が生じる時刻を求める。

1-2-5 航行ルーチン

本ルーチンは、本シミュレーションプログラムの主要部分となるもので、次に示す2つの主要なルーチンがある。

① カーブ操船ルーチン

② 避航操船ルーチン

①は指向点に向かって直進あるいは変針操船を行うもので、

他の船舶と出会い関係がない場合の操船方法であって、目船の望ましい操船軌跡をとる。②は指向点に向う操船途中で衝突の危険のある船舶と出会い関係が成立し、目船が避航義務船となった場合の操船方法である。

これら2つのルーチンは、船舶の軌跡を求め水域中船舶を移動させるものであり、いかに現実によくあうルーチンを作るかは、本シミュレーションプログラムの要である。しかし、これら2つのルーチンのみで船舶が水域中を移動することはできない。つまり、船舶の行動を規制する条件に照し合わせ、船舶挙動をコントロールするルーチンが必要である。このようなルーチンとしては、次のものがある。

③ 指向点を求めるルーチン

④ タイムスライス幅に変化する事象を求めるルーチン

⑤ 最早生起事象と対象船舶を求めるルーチン

⑥ 対象船舶の安全確認領域をセットするルーチン

⑦ 安全確認領域中の他船を求めるルーチン

⑧ 安全確認領域中の他船のうち、避航関係が生じる船舶を求めるルーチン

⑨ 閉塞領域をセットするルーチン

⑩ 避航関係の生じる船舶の相互の優先関係を求めるルーチン

⑪ 境界条件に対して避航軌跡が可能な避航方法であるかを判定するルーチン

すなわち、③は船舶が新たな指向点に向う水域に入った時に、船舶O-Dによって定まっている次の指向点を求めるルーチンであり、④はタイムを更新したときにタイムスライス幅中で変化の生じるイベントを求めるルーチンで、⑤は上記のイベント中で最も早く生起するイベントを求め、対象とする船舶を定めるルーチンである。⑥は、定まった対象船舶についての安全確認領域を平面座標の方程式として実際に定めるルーチンで、⑦は、この安全確認領域中に時刻 T_a から T_b に位置の定まっている船舶を求めるルーチンであり、この船舶に対してのみ対象船舶は影響を受けることになる。⑧は、⑦で求めた船舶のうちで、対象船舶と避航関係が生じる船舶を求めるルーチンであり、⑨はルーチン⑧で求めた避航関係の生じる船舶と対象船舶に対して閉塞領域を平面座標の方程式として実際に求めるルーチンである。⑩は避航関係の生じている船舶相互間の優先関係が、出会い関係、船型及び船舶の存在する水域でどのようになるかを求めるルーチンで、このときに変針角と舵角と変速量も求める。⑪は、⑩で定めた変針角と舵角と速力に対して②で避航軌跡を求めたのちに、この避航軌跡が境界条件としてのソフト

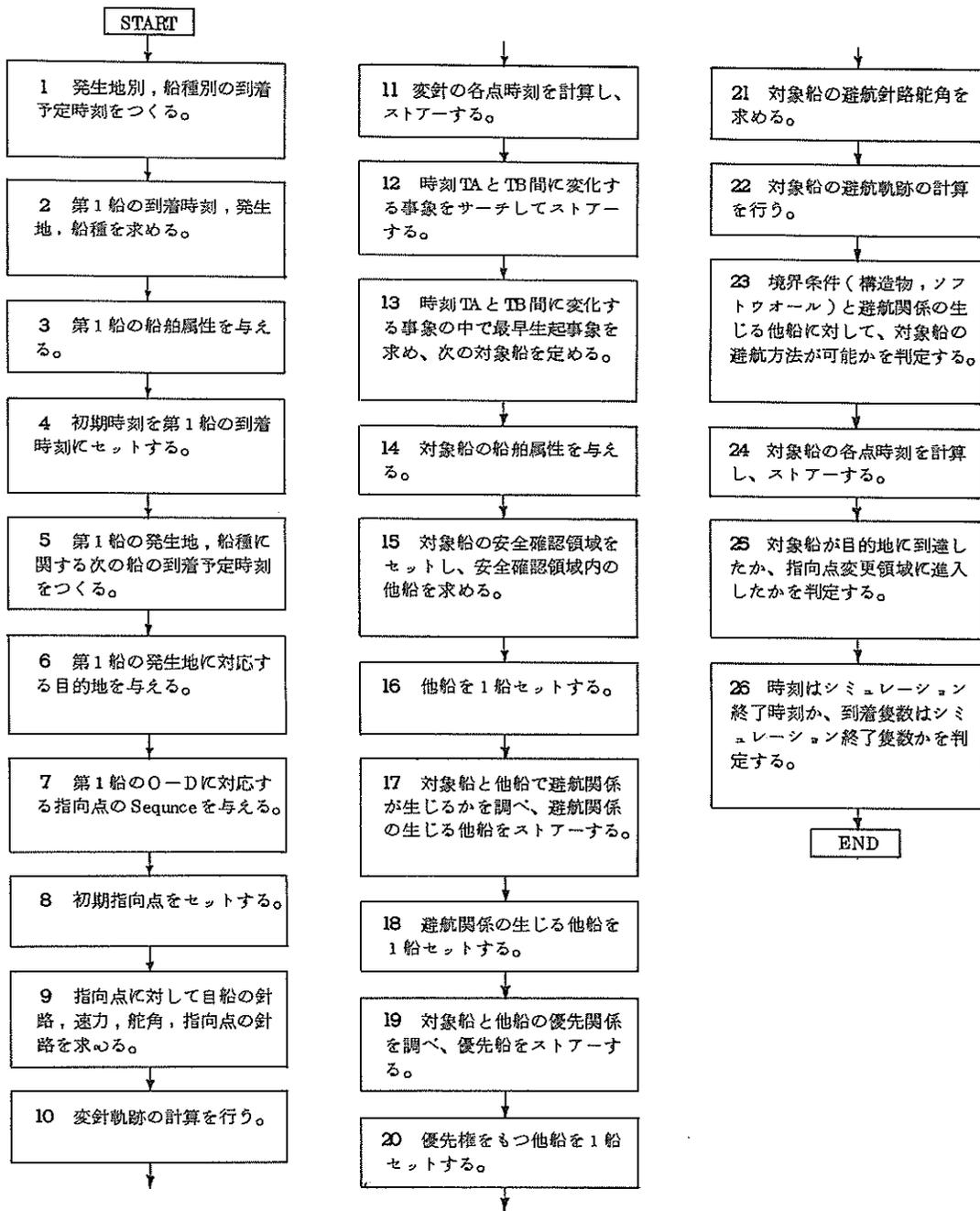


図1-2-5 航行ルーチン

ウォールとハードウォールを横切るか否かの判定を行うルーチンであり、横切れば避航方法を変更し、横切らなければこの避航軌跡をストアして、新しい最早生起事象と対象船舶を求める。

以上述べた各ルーチンで、船舶は水域内を航行する。この関係を図1-2-5に示した。

1-2-6 アウトプットルーチン

アウトプットするものとしては、①シミュレーションのインプットした条件がシミュレーション実行中予定通り使用されているかをチェックするための情報、②安全面の検討に必要な変針、変速回数等の情報、及び③船舶のある時刻の位置、船舶密度に関する情報、また効率面の検討に必要な④船舶交通量に関する情報等種々のものがある。更に今後の研究の展開、進展とともにアウトプットすべき情報量も増大すると考えられるため、本シミュレーションモデルでは、船舶に関する情報を全てMT (Magnetic Tape) にはき出し、後に必要な統計量を求める方式としている。

なお、航路形状、航跡図等の図化作業については、文献(5)17で述べたように、このシミュレーション結果を自動作図システムへつなぐことにより容易に求められる。

1-2-7 シミュレーションコントロールルーチン

シミュレーションコントロールルーチンとは、シミュレーションの実行(ラン)に対する条件を判定し、あるいは実行時間をコントロールするためのルーチンであり、次のルーチンから成りたっている。

- ① 時刻を進めたとき、この時刻がシミュレーション終了時刻T endより後の時刻であるかを判定するルーチン
- ② 船舶発生時において、これまで発生した船舶数がシミュレーション終了隻数N endに等しいかを判定するルーチン

以上2ルーチンの判定にかかった場合、シミュレーションの実行は終了し、アウトプットルーチンからの統計量を求める。

1-2-8 港内航路シミュレーションルーチン

以上述べてきた各ルーチンは、任意形状水路系のシミュレーションを実行する際に必要となるルーチンであるが、この任意形状水路系シミュレーションプログラムを港内航行シミュレーションプログラムとするためには、次に示すような新たなルーチンを加える必要がある。

- ① 待泊地ルーチン
- ② 港口航路管制ルーチン
- ③ バースルーチン

①は、入港不可能な船舶が港外で仮泊するときのルーチンであり、仮泊地での仮泊の状況、仮泊地からの発進等問題となる部分が多い。また、②は、港口航路での出入港を規制するルーチンであり、港内航行管制を行うときに重要なルーチンである。更に、③は、離接岸の操船水域を求め、接岸バースで荷役を行う時間を与える等、従来のキューイングシミュレーションルーチンの多くを含むものである。これらのルーチンの関係を図示すると、既出の図1-2-1-1で示される。このルーチンの基礎的な考え方は第Ⅱ編で述べてある。

1-3 サブプログラム

本シミュレーションプログラムで使用したサブプログラムについて本節で説明を加える。また、表1-3にサブプログラム一覧表を示した。

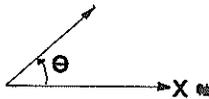
表1-3 サブプログラム一覧

① MFAI 1	⑳ SCCRO 2	㉑ HIKOJ O
② MUDEL	㉒ HEI 2	㉓ AUSEN
③ MRBACH	㉔ HEI 1	㉕ SGENT
④ MCHREA	㉖ DEAI	㉗ SMK B
⑤ MDEREA	㉘ USEN	㉙ SCARWG
⑥ MCHSPD	㉚ MFAI 2	㉛ SCARLA
⑦ MRXKXT	㉜ MRCIR 4	㉝ SCARBA
⑧ MACTKT	① RANSU	㉞ SCARWD
⑨ CROSS 1	㉟ INPIR	㊱ SCARCV
⑩ CROSS 2	㊲ RAN	㊳ SCARLB
⑪ MRCIR 1	㊴ CHOK	㊵ SCARBB
⑫ MRCIR 2	㊶ DEAI 1	㊷ SCARFA
⑬ ADD 2	㊸ DEAI 2	㊹ SCARSS
⑭ ADD 1	㊺ DEAI 3	㊻ SCARCA
⑮ ONLINE	㊼ DEAI 4	㊽ SCARSO
⑯ HARDW	㊾ HIKOSO	㊿ SGENV
⑰ SOFTW	㊿ GDESE	㊱ SCARB 3
⑱ MCCC	㊱ MAXMIN	㊲ SCARB 2
㊲ CCCRO 2	㊲ CURVE	㊳ SCARGN
㊳ CCCRO 1	㊳ GMIN 1	㊴ SCARB 1
㊴ SCCRO 1	㊴ SAZ 1	㊵ SGENFA

MFAI1 (F1, F2, FV, NA)

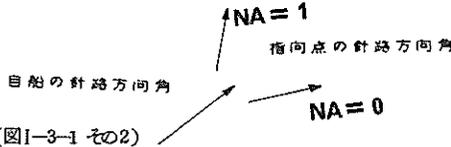
- ① 必要な変針量 (角度) を計算する。
 - ② $\vec{F1}^{*8}$: 自船の針路方向角 (度) ^{*1}
 $\vec{F2}^{*8}$: 指向点の針路方向角 (度) ^{*1}
 \vec{FV}^{*8} : 必要な変針角 (度) ^{*1}
 \vec{NA}^{*8} : 右旋回・左旋回の区別 ^{*2}
- ③ *1 角度は度単位でインプット・アウトプットする。
 角度の測り方はx軸方向を軸とし左回転方向を正とする。

$$0 \leq \theta \leq 360^\circ$$



(図I-3-1 その1)

*2 右旋回ならば NA=0, 左旋回ならば NA=1

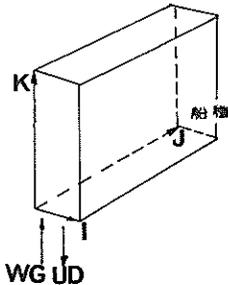


(図I-3-1 その2)

*3 →は本サブプログラムのインプット, ←は本サブプログラムのアウトプットを示す。

MUDEL (K, WG, UDEL, MARK, UD)

- ① 船種別の総トン数の違いによって対象船舶の常用舵角を求める。
 - ② \vec{K} : 船種 ($K \leq 5$)
 \vec{WG} : 総トン数
 \vec{MARK} : 常用舵角が求まったかどうかの判定 ^{*1}
 \vec{UDEL}^{*8} : 船種・総トン別常用舵角 (度)
 \vec{UD} : 対象船の常用舵角 (度)
- ③ *1 MARK=1 なら常用舵角が求まらなかった。インプットデータが悪い場合であるので修正する。
 *2 UDEL(2, 5, 10) は以下の通り。



(図I-3-2)

MREACH (US, SO, T, R)

- ① 速力に応じたリーチを求める。
- ② \vec{US} : 船の速力 (m/sec)
 \vec{SO} : 必要操舵時間 (sec)
 \vec{T} : 操縦性指数 (sec)
 \vec{R} : リーチ (m)

MCHREA (XL1, R, MARK)

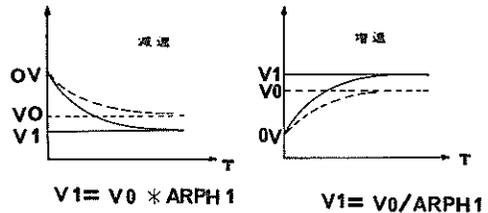
- ① 距離の大きさを比較する。
 - ② $\vec{XL1}, \vec{R}$: 2直線の距離 (m)
 \vec{MARK} : 大小の判定 ^{*1}
- ③ *1 MARK=1 ならば $XL1 < R$,
 MARK=0 ならば $XL1 \geq R$

MDEREA (XL1, R, XL2)

- ① 距離の差を求める。
- ② $\vec{XL1}$: 大距離 (m)
 \vec{R} : 小距離 (m)
 $\vec{XL2}$: 距離の差 (m) ≥ 0

MCHSPD (OV, VO, ARPH1, OS, ST)

- ① 変速のために進出必要距離 ^{*1} を求める。
 - ② \vec{OV} : 変速前の速力 (m/sec)
 \vec{VO} : 変速後の速力 (m/sec)
 $\vec{ARPH1}$: 到達速力比率 ^{*2}
 \vec{OS} : 増減速係数 (min)
 \vec{ST} : 進出必要距離
- ③ *1 進出必要距離とは、変速したとき目的速力を得るまでに航走する距離をいう。
 *2 本シミュレーションモデルで用いている増減速モデルでは、目標速力を得るため無限大の時間が必要であるため、到達速力比率を与えることによってこの時間の減少を図っている。下図で V1 を求めるための係数である。

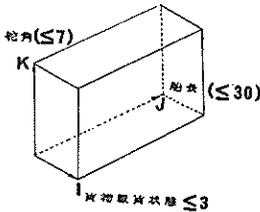


(図I-3-3)

MRXKXT (NO, MRCC, MDNO, XK, XT, XXK, XXT)

- ① 操縦性指数 (無次元量) を求める。
- ② \vec{NO} : 船長クラスの第何番を用いるかを示すナンバー
 \vec{MRCC} : 貨物量の載荷状態の第何番を用いるかを示すナンバー
 \vec{MDNO} : 舵角の第何番を用いるかを示すナンバー
 \vec{XK}^{*1} : 船長・載荷状態・舵角別操縦性指数 (K^r)
 \vec{XT}^{*1} : " " (T^r)
 \vec{XXK} : 選択した操縦性指数 (K^r)
 \vec{XXT} : " " (T^r)

③ *1 XK, XT は以下のとおり。



(図I-3-4)

MACTKT (XXK, XXT, V, XLA, YK, YT)

- ① 実際の操船に用いる操縦性指数^{*1}を求める。
- ② \vec{XXK}, \vec{XXT} : 用いる操縦性指数 (無次元量 K^r, T^r)
 \vec{V} : 船の速力 (m/sec)
 \vec{XLA} : 船長 (m)
 \vec{YK} : 用いる操縦性指数 K ($1/sec$)
 \vec{YT} : " " T (sec)

③ *1 K^r, T^r と K, T との関係は以下のとおりである。

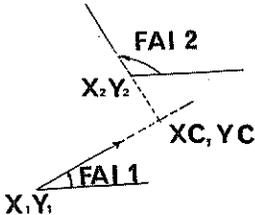
$$K = K^r \times (V/XLA)$$

$$T = T^r \times (XLA/V)$$

CROSS 1 ($X_1, Y_1, FAI_1, X_2, Y_2, FAI_2, XC, YC$)

- ① 2直線の交点^{*1}を求める。
- ② \vec{X}_1, \vec{Y}_1 : 直線1の1点の座標
 \vec{FAI}_1 : " 方向角 (度)
 \vec{X}_2, \vec{Y}_2 : 直線2の1点の座標
 \vec{FAI}_2 : " 方向角 (度)
 \vec{XC}, \vec{YC} : 2直線の交点の座標

③ *1 下図のような関係にある交点座標を求める。

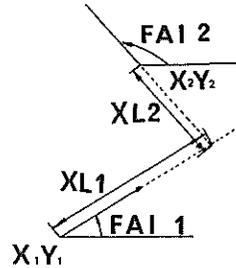


(図I-3-5)

CROSS 2 ($X_1, Y_1, FAI_1, X_2, Y_2, FAI_2, XL_1, XL_2$)

- ① 2直線上の2点から直線の交点までの距離^{*1}を求める。
- ② \vec{X}_1, \vec{Y}_1 : 直線1の1点の座標
 \vec{FAI}_1 : " 方向角 (度)
 \vec{X}_2, \vec{Y}_2 : 直線2の1点の座標
 \vec{FAI}_2 : " 方向角 (度)
 \vec{XL}_1 : 点 X_1, Y_1 から交点までの距離 (m)
 \vec{XL}_2 : 点 X_2, Y_2 " (m)

③ *1 下図のような関係にある XL_1, XL_2 を求める。



(図I-3-6)

MRCIR1 (V, YK, DEL, RC)

- ① 旋回軌跡の旋回半径を求める。^{*1}
- ② \vec{V} : 船の速力 (m/sec)
 \vec{YK} : 操縦性指数 K ($1/sec$)
 \vec{DEL} : 舵角 (度)
 \vec{RC} : 旋回半径 (m)

③ *1 旋回半径は以下の式で求めている。

$$RC = V * 180. / (3.1416 * DEL * YK)$$

MRCIR2 ($X_1, Y_1, F1, R, RC, FV, NA, XCS, YCS, XCE, YCE, XRC, YRC$)

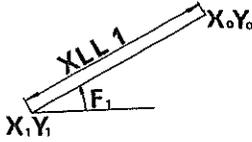
- ① カーブ操船の各位置を求める。
- ② \vec{X}_1, \vec{Y}_1 : カーブ操船開始位置の座標
 $\vec{F1}$: カーブ操船開始時の針路方向角 (度)
 \vec{R} : リーチ (m)
 \vec{RC} : 旋回半径
 \vec{FV} : 必要な変針角 (度)
 \vec{NA} : 右旋回, 左旋回の区別
 \vec{XCS}, \vec{YCS} : 旋回開始位置の座標
 \vec{XCE}, \vec{YCE} : 旋回終了位置の座標
 \vec{XRC}, \vec{YRC} : 旋回中心位置の座標

ADD 2 ($X_1, Y_1, F1, XLL_1, XO, YO$)

- ① 1地点からの方向角と距離より第2地点を求める。^{*1}
- ② \vec{X}_1, \vec{Y}_1 : 地点1の座標

\vec{F}_1 : 地点1の方向角(度)
 \vec{XLL}_1 : 地点1からの直線距離(m)
 \vec{X}_0, \vec{Y}_0 : 地点2の座標

③ *1 上記関係は下図のとおり。



(図I-3-7)

ADD1(X1, Y1, X2, Y2, XLL1)

- ① 2点間の距離を求める。
- ② \vec{X}_1, \vec{Y}_1 : 地点1の座標
 \vec{X}_2, \vec{Y}_2 : 地点2の座標
 \vec{XLL}_1 : 2点間の距離(m)

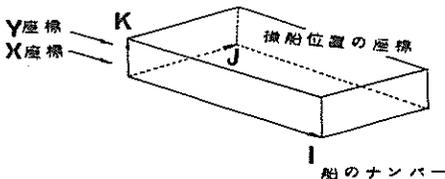
ONLINE(XC, YC, XCE, YCE, XE, YE, MARK2)

- ① 直線上の3点の1点が2点を結ぶ線分上にあるか否かの判定を行う。
- ② \vec{XC}, \vec{YC} : 線分の一端の座標
 \vec{XCE}, \vec{YCE} : 他の一端の座標
 \vec{XE}, \vec{YE} : 判定すべき第3点
 MARK2 : 判定^{*1}
- ③ *1 MARK2=1なら線分上
 MARK2=0なら線分の延長線上

HARDW(N1, ZZ, HW, IHWD, IHWW, NFN, NOS, MARK)

- ① ハードウォールを侵す航法か否かの判定を行う。
- ② \vec{N}_1 : 現在船が存在する水域ブロックのナンバー
 \vec{ZZ} : 操船位置の座標^{*1}
 \vec{HW} : ハードウォールの座標^{*2}
 \vec{IHWD} : ハードウォールを分割する座標が第何番目かを示すナンバー^{*3}
 \vec{IHWW} : ハードウォールの存在する水域ブロックナンバー^{*4}
 \vec{NFN} : 航路水域ブロックのトータル数
 \vec{NOS} : 操船位置の定まっている船のナンバー
 \vec{MARK} : 判定^{*5}

③ * ZZ(200, 5, 2)は以下のとおり。



(図I-3-8)

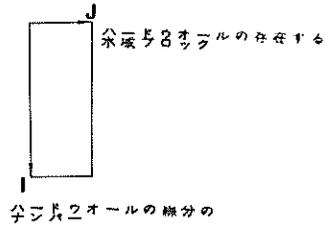
*2 HW(2, 100)は以下のとおり。



(図I-3-9)

*3 INWD(20)は上記HWが区切れているとき、第何番目までが一連のハードウォールであるかの区切を示すナンバー

*4 IHWW(100, 3)は以下のとおり。すなわち、ハードウォールを形成する線分は3水域までまたがることができる。



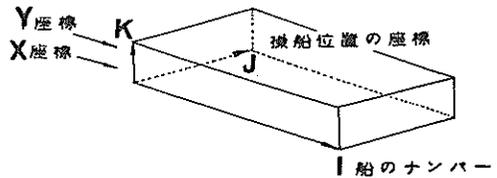
(図I-3-10)

*5 MARK=1ならハードウォールを侵す操船, MARK=0ならハードウォールを侵さない操船。

SOFTW(N1, NFN, NOS, ZZ, BL, NBSEQ, NSOW, MARK)

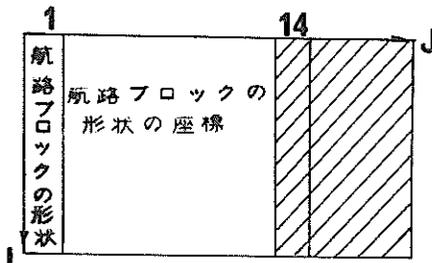
- ① ソフトウォールを侵す航法か否かの判定を行う。
- ② \vec{N}_1 : 現在船が存在する水域ブロックのナンバー
 \vec{NFN} : 航路水域ブロックのトータル数
 \vec{NOS} : 操船位置の定まっている船のナンバー
 \vec{ZZ} : 操船位置の座標^{*1}
 \vec{BL} : 航路ブロックの座標^{*2}
 \vec{NBSEQ} : ソフトウォールをつくる水域ブロックの順序^{*3}
 \vec{NSOW} : ソフトウォールをつくる水域ブロックのソフトウォール壁のナンバー^{*4}
 \vec{MARK} : 判定

③ *1 ZZ(200, 5, 2)は以下のとおり。



(図I-3-11)

*2 BL(20, 20)は以下の様になっているが、ここではこの一部分を用いる。

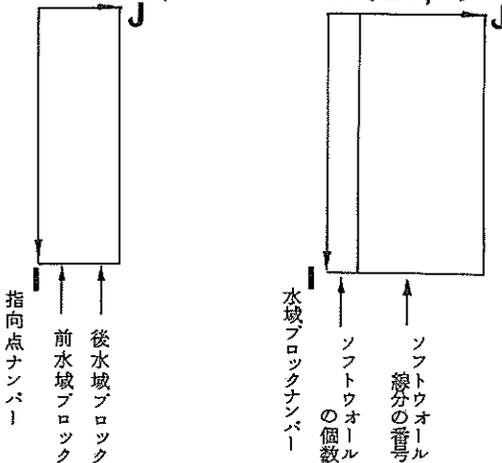


航路ブロックのナンバー

(図I-3-12)

*3 NBSEQ(20,2) *4 NSOW(20,7)

NBSEQ(20,2) NSOW(20,7)



(図I-3-13)

(図I-3-14)

*5 MARK=1ならソフトウォールを侵す操船
MARK=0ならソフトウォールを侵さない操船

MCCC(V3, SO, YT, YK, DEL, XO, YO, F1, F, NA, XCS
YCS, XOE, YOE, XCS1, YCS1, XOE1, YOE1)

① 避航操船軌跡^{*1}を求める。

- ② \vec{V}_3 : 船の速力 (m/sec)
 \vec{S}_0 : 必要操舵時間 (sec)
 \vec{Y}_T : 操縦性指数 (sec)
 \vec{Y}_K : " (1/sec)
 \vec{D}_{EL} : 舵角 (度)
 \vec{X}_0, \vec{Y}_0 : 船の現在位置の座標
 \vec{F}_1 : 船の現在位置の針路方向角 (度)
 \vec{F} : 変針角 (度)
 \vec{N}_A : 変針方向^{*2}
 $\vec{X}_{CS}, \vec{Y}_{CS}, \vec{X}_{OE}, \vec{Y}_{OE}, \vec{X}_{CS1}, \vec{Y}_{CS1}, \vec{X}_{OE1}, \vec{Y}_{OE1}$
: 避航操船位置

③ *1 図 参照

*2 NA=0なら右旋回, NA=1なら左旋回

CCCCRO2(RC1, RC2, X1, Y1, XC, YC, X3, Y3, F1, F2,
NA1, NA2, A1, B1, AZ1, A2, B2, AZ2, TO,
T2, V1, V2, MARK, MARK1)

① カーブ操船軌跡がお互いの閉塞領域を侵すか否かの判定を行う。

- \vec{RC}_1, \vec{RC}_2 : 2船の旋回半径の2乗 (m²)
 $\vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{X}_3, \vec{Y}_3$: 2船の旋回開始位置の座標
 \vec{X}_C, \vec{Y}_C : 2船の旋回軌跡の交点の座標
 \vec{F}_1, \vec{F}_2 : 2船の旋回開始位置の針路方向角(度)
 \vec{N}_A1, \vec{N}_A2 : 2船の旋回方向^{*1}
 \vec{A}_1, \vec{A}_2 : 2船の前方閉塞領域の長さ (m)
 \vec{B}_1, \vec{B}_2 : " 横方向 " (m)
 \vec{A}_Z1, \vec{A}_Z2 : " 後方 " (m)
 \vec{T}_0, \vec{T}_2 : 2船の旋回開始時刻 (sec)
 \vec{V}_1, \vec{V}_2 : 2船の速力 (m/sec)
 \vec{MARK} : 第2船が第1船の閉塞領域を侵すか否かの判定^{*2}
 \vec{MARK}_1 : 第1船が第2船の閉塞領域を侵すか否かの判定^{*3}

③ *1 NA1, NA2 = 0なら右旋回

NA1, NA2 = 1なら左旋回

*2 MARK, MARK1 = 1なら侵す

MARK, MARK1 = 0なら侵さない

CCCCRO1(X10, Y10, X1, Y1, X01, Y01, X3, Y3, X4, Y4,
RC1, RC2, XC, YC, MARK)

① カーブ操船軌跡の交点座標を求める。

- ② $\vec{X}_{10}, \vec{Y}_{10}$: 第1船の旋回中心位置の座標
 \vec{X}_1, \vec{Y}_1 : " 旋回開始位置の座標
 $\vec{X}_{01}, \vec{Y}_{01}$: 第2船の旋回中心位置の座標
 $\vec{X}_3, \vec{Y}_3, \vec{X}_4, \vec{Y}_4$: 第2船の旋回開始及び終了位置の座標
 \vec{RC}_1, \vec{RC}_2 : 2船の旋回半径 (m)
 \vec{X}_C, \vec{Y}_C : 交点の座標
 \vec{MARK} : 交差の判定^{*1}

③ *1 MARK = 0なら交差しない,

MARK = 1なら両円弧が交差する。

SCCRO1(X0, Y0, X1, Y1, X3, Y3, X4, Y4, R2, XC, YC,
MARK)

① 直線操船軌跡とカーブ操船軌跡の交点を求める。

- ② \vec{X}_0, \vec{Y}_0 : カーブ操船の旋回中心位置の座標

\vec{X}_1, \vec{Y}_1 : カーブ操船の旋回開始位置の座標
 \vec{X}_3, \vec{Y}_3 : 直線操船の始点位置の座標
 \vec{X}_4, \vec{Y}_4 : " 終点 "
 \vec{R}_2 : カーブ操船の旋回半径の2乗(m^2)
 \vec{X}_C, \vec{Y}_C : 交点の座標
 MARK : 交差の判定 *1

③ *1 MARK=0 なら交差しない, MARK=1 なら交差する。

SCCRO2(R2, XC, YC, X1, Y1, F1, X3, Y3, V1, V2, F2,
 A1, B1, AZ1, A2, B2, AZ2, TO, T2, MARK,
 MARK1)

① 直線操船軌跡とカーブ操船軌跡が互いの閉塞領域を侵すか否かの判定を行う。

② \vec{R}_2 : カーブ操船の旋回半径の2乗(m^2)
 \vec{X}_C, \vec{Y}_C : 交点の座標
 \vec{X}_1, \vec{Y}_1 : カーブ操船の旋回開始位置の座標
 \vec{F}_1 : " 針路方向角(度)
 \vec{X}_3, \vec{Y}_3 : 直線操船の始点位置の座標
 \vec{F}_2 : " 針路方向角(度)
 \vec{V}_1, \vec{V}_2 : カーブ操船と直線操船の船の速度
 \vec{A}_1, \vec{A}_2 : " 前方閉塞領域長(m)
 \vec{B}_1, \vec{B}_2 : " 横方向 " (m)
 \vec{AZ}_1, \vec{AZ}_2 : " 後方 " (m)
 \vec{T}_0, \vec{T}_2 : " 始点位置の時刻(sec)
 \vec{MARK}, \vec{MARK}_1 : 判定 *1

③ *1 MARK, MARK1 = 1 なら侵す,
 MARK, MARK1 = 0 なら侵さない。

HEI2(X, Y, F, A, B, AZ, X1, Y1, F1, A1, B1, A1Z,
 MARK, MARK1)

① 2船の閉塞領域内に他船が存在するか否かを判定する。

② $\vec{X}, \vec{Y}, \vec{X}_1, \vec{Y}_1$: 2船の位置の座標
 \vec{F}, \vec{F}_1 : 2船の針路方向角(度)
 \vec{A}, \vec{A}_1 : " 前方閉塞領域の長さ(m)
 \vec{B}, \vec{B}_1 : " 横方向 " (m)
 \vec{AZ}, \vec{A}_1Z : " 後方 " (m)
 \vec{MARK} : 第2船が第1船の閉塞領域を侵しているかの判定 *1
 \vec{MARK}_1 : 第1船が第2船の閉塞領域を侵しているかの判定 *1

③ *1 MARK, MARK1 = 1 なら侵している。
 MARK, MARK1 = 0 なら侵していない。

HEI1(X, Y, F, A, B, A1, X1, Y1, MARK)

① 閉塞領域内に他船が存在するか否かの判定を行う。

② \vec{X}, \vec{Y} : 自船の位置の座標
 \vec{F} : " 針路方向角(度)
 $\vec{A}, \vec{B}, \vec{A}_1$: " 前方, 横方向, 後方閉塞領域の長さ(m)
 \vec{X}_1, \vec{Y}_1 : 他船の位置の座標
 \vec{MARK} : 判定 *1

③ *1 MARK=1 なら存在, MARK=0 なら存在しない。

DEAI(F1, F2, ME1, ME2)

① 2船の出会い関係を求める。

② \vec{F}_1, \vec{F}_2 : 2船の針路方向角(度)
 \vec{ME}_1, \vec{ME}_2 : 2船の出会い関係 *1
 ③ *1 ME1, ME2 = 1 なら 2船は真向の関係
 " = 2 なら 自船の左舷に他船をみる横切り関係
 " = 3 " 右舷 "
 " = 4 なら 追いこし又は追従関係
 " = 5 なら 追いこされ又は追いつかれ関係

USEN(K1A, K2A, K3A, K5A, K1B, K2B, K3B, K5B,
 K4, ME)

① 優先関係を求める。

② $\vec{K1A}, \vec{K1B}$: 航路航行義務船, 非義務船の区別 *1
 $\vec{K2A}, \vec{K2B}$: 航路航行中か非航行中かの区別 *2
 $\vec{K3A}, \vec{K3B}$: 港口航路航行中か否かの区別 *3
 $\vec{K4}$: 出会い関係の区別 *4
 $\vec{K5A}, \vec{K5B}$: 航路に入ろうとする船か否かの区別 *5
 \vec{ME} : 優先関係 *6

③ *1 K1A, K1B = 1 なら航路航行義務船

K1A, K1B = 0 なら非義務船

*2 K2A, K2B = 1 なら航路航行中

K2A, K2B = 0 なら非航行中

*3 K3A, K3B = 0 なら港口航路以外の航路を航行中

K3A, K3B = 1 なら出港航路を航行中

K3A, K3B = 2 なら入港航路を航行中

*4 K4 = 1 なら真向の関係, K4 = 2 なら自船の左舷に他船

をみる横切り関係, K4 = 3 なら自船の右舷に

他船をみる横切り関係, K4 = 4 なら追い越し

関係, K4 = 5 なら追越され関係, K4 = 6 なら

追従, K4 = 7 なら被追従

*5 K5A, K5B = 1 なら航路に入ろうとする船

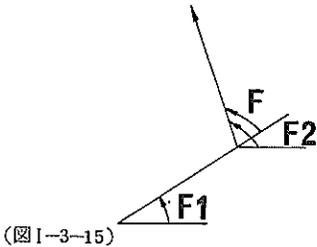
K5A, K5B = 0 ならそれ以外の船

*6 ME = 1 なら自船(第1船)が優先

ME = 2 なら他船(第2船)が優先

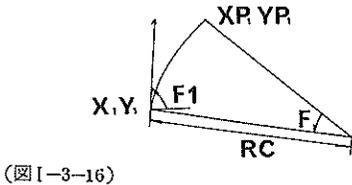
MFAI2(F1, F, NA, F2)

- ① 自船の針路方向角と変針量及び旋回方向を与えて変針後の針路方向角を求める。
- ② $\vec{F1}$: 自船の針路方向角(度)
 \vec{F} : 変針量(度)
 \vec{NA} : 旋回方向^{*1}
 $\vec{F2}$: 新針路方向角(度)
- ③ *1 NA=0 なら右旋回, NA=1 なら左旋回



MRCIRA(X1, Y1, F1, F, RC, NA, XP1, YP1)

- ① 旋回開始点と針路方向角及び旋回角・旋回半径・旋回方向を与えて旋回終了点を求める。
- ② $\vec{X1}, \vec{Y1}$: 旋回開始点の座標
 $\vec{F1}$: 針路方向角(度)
 \vec{F} : 旋回角(度)
 \vec{RC} : 旋回半径(m)
 \vec{NA} : 旋回方向
 $\vec{XP1}, \vec{YP1}$: 旋回終了点の座標



RANSU(R, IR, II, JJ)

- ① 任意乱数を作る関数
- ② \vec{R} : 用いる分布形
 \vec{IR} : 用いる一様乱数の初期値と定数項
 \vec{II} : 用いる分布乱数のナンバー
 \vec{JJ} : 用いる一様乱数のナンバー

INPIR(IR)

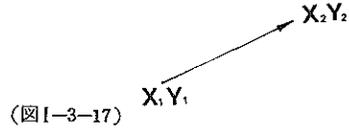
- ① 一様乱数の初期値と定数項をつくる。

RAN(IR, I)

- ① 一様乱数をつくる関数

CHOK(X, Y, X1, Y1, X2, Y2)

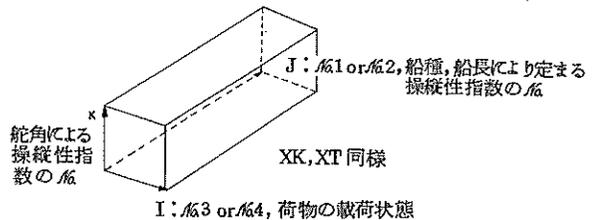
- ① 線分の右側・左側を判定するための関数
- ② X, Y : 判定すべき点の座標
 $X1, Y1, X2, Y2$: 線分の両端の座標^{*1}
- ③ *1 線分方向は下図のとおりとする。



DEAI1(XL1, XL2, XL, XK, XT, NO1, NO2, NO3, NO4, V1, V2, SO1, SO2, F, DEL, MAKE)

- ① 真向い関係の避航操船のための変針量と舵角を求める。
- ② $\vec{XL1}$: 自船の船長(m)
 $\vec{XL2}$: 他船の船長(m)
 \vec{XL} : 2船間の距離(m)
 \vec{XK}, \vec{XT} : 操縦性指数(無次元)のテーブル^{*1}
 $\vec{NO1}, \vec{NO3}$: 自船の操縦性指数の用いる番地
 $\vec{NO2}, \vec{NO4}$: 他船の "
 $\vec{V1}, \vec{V2}$: 2船の速度(m/sec)
 $\vec{SO1}, \vec{SO2}$: 2船の必要操舵時間(sec)
 \vec{F} : 避航操船のための変針量(度)
 \vec{DEL} : 舵角
 \vec{MAKE} : 変針によって避航が可能か否かの判定^{*2}
- ③ *1 操縦性指数のテーブルは以下のとおり。

XK(3, 30, 7), XT(3, 30, 7)



- *2 MAKE = 0 なら変針による避航可能
MAKE = 1 なら不可能

DEAI2(XL1, XL2, XL, XK, XT, NO1, NO2, NO3, NO4, V1, V2, SO1, SO2, F, DEL, MAKE)

- ① 追越し又は追従関係の避航操船のための変針量と舵角を求める。
- ② DEAI1 と同じ。

DEAI3(XL1,XL2,XL,XK,XT,NO1,NO2,NO3,NO4,
V1,V2,SO1,SO2,F,DEL,MAKE)

- ① 追越され又は被追従関係の避航操船のための変針量と舵角を求める。
- ② DEAI1 に同じ。

DEAI4(XL1,XL2,XL,XK,XT,NO1,NO2,NO3,NO4,
V1,V2,SO1,SO2,F,DEL,MAKE)

- ① 横切り船の避航操船のための変針量と舵角を求める。
- ② DEAI1 に同じ。

HIKOSO(V3,SO,YT,YK,DEL,XO,YO,F1,F,NA,XCS,
YCS,XOE,YOE,XRC,YRC,XCS1,YCS1,XCE1,
YCE1,XRC1,YRC1,TO,T1,T2,T3,T4)

- ① 変針による避航操船の操船軌跡と避航所要時間を求める。
- ② $\vec{V3}$: 速力 (m/sec)
 \vec{SO} : 必要操船時間 (sec)
 \vec{YT}, \vec{YK} : 操縦性指数

GDESE(IX,KKK,R,IR,ID)

- ① 発生船の目的地を求める。
- ② \vec{IX} : 船種
 \vec{KKK} : 全船種数
 \vec{R}, \vec{IR} : 分布乱数
 \vec{ID} : 目的地

CURVE(T1,T2,T3,T4,XO,YO,XCS,YCS,XOE,YOE,
XE,YE,V3,FV,X1,Y1,X2,Y2,F1,F2,XRC,
YRC,NA,RC)

- ① カーブ操船軌跡を求める。
- ② $\vec{T1}, \vec{T2}, \vec{T3}, \vec{T4}$: 軌跡の各点までの所要時間 (sec)
 $\vec{XO}, \vec{YO}, \vec{XCS}, \vec{YCS}, \vec{XOE}, \vec{YOE}, \vec{XE}, \vec{YE}$
: 軌跡の各点の座標
 $\vec{V3}$: 速力
 \vec{FV} : 変針量
 $\vec{X1}, \vec{Y1}, \vec{X2}, \vec{Y2}$: カーブ操船の開始及び終了位置の座標
 $\vec{F1}, \vec{F2}$: 自船及び指向点の針路方向角(度)
 \vec{XRC}, \vec{YRC} : 旋回中心点の座標
 \vec{NA} : 右旋回・左旋回の区別
 \vec{RC} : 旋回半径 (m)

MAXMIN(IX,ID,IXX,IDD)

- ① 発生地と目的地ナンバーの大小関係を求める。

- ② \vec{IX} : 発生地点のナンバー
 \vec{ID} : 目的地のナンバー
 \vec{IXX} : 小のナンバー
 \vec{IDD} : 大のナンバー

GMIN1(A,XMIN,IX,KKK)

- ① 最早到着時刻と船種を求める。
- ② \vec{A} : 船種別到着予定時刻
 \vec{XMIN} : 最早到着時刻
 \vec{IX} : 船種
 \vec{KKK} : 全船種数

SAZ1(X1,Y1,F1,A1,B1,AZ1,X1O,Y1O,MARK)

- ① 一船が他船の安全確認領域内に存在するか否かを判定する。
- ② $\vec{X1}, \vec{Y1}$: 船1の位置の座標
 $\vec{F1}$: 船1の針路方向角(度)
 $\vec{A1}, \vec{B1}, \vec{AZ1}$: 船1の安全確認領域の前方, 横方向, 後方距離 (m)
 $\vec{X1O}, \vec{Y1O}$: 船2の位置の座標
 \vec{MARK} : 安全確認領域内か否かの判定^{*1}
- ③ *1 MARK=0 なら安全確認領域外
MARK=1 なら安全確認領域内

HIKOJO(I,J1,AA,L1,ZZ,N1,N2,N3,N4,MARK,
F1,F2,A1,B1,AZ1,A2,B2,AZ2,TO,T2,
RC1,RC2,XO1,YO1,X1O,Y1O,V1,V2)

- ① 避航関係成立か否かの判定を行う。
- ② $\vec{I}, \vec{L1}$: 2船のナンバー
 $\vec{J1}$: 船1のカーブ操船の第何番目か
 \vec{AA}, \vec{ZZ} : 2船の軌跡
 $\vec{N1}, \vec{N2}, \vec{N3}, \vec{N4}$: 2船の軌跡がカーブ操船か避航操船かの判定^{*1}
 \vec{MARK} : 避航関係が成立するか否かの判定^{*2}
 $\vec{F1}, \vec{F2}$: 2船の針路方向角(度)
 $\vec{A1}, \vec{B1}, \vec{AZ1}, \vec{A2}, \vec{B2}, \vec{AZ2}$: 2船の閉塞領域の前方, 横方向, 後方距離 (m)
 $\vec{TO}, \vec{T2}$: 2船の現在対象としている時刻
 $\vec{RC1}, \vec{RC2}$: 2船の旋回半径 (m)
 $\vec{XO1}, \vec{YO1}, \vec{X1O}, \vec{Y1O}$: 2船の旋回中心の座標
 $\vec{V1}, \vec{V2}$: 2船の速力

- ③ *1 N1,N2は第1船に対するもので、N3,N4は第2船に対するものである。
カーブ操船の場合 N1(or N3)=3, N2(or N4)=0,

避航操船の場合 $N1(\text{or } N3)=2$, $N2(\text{or } N4)=4$
が入っている

- *2 MARK = 0 なら避航関係は成立しない
MARK = 1 なら避航関係が成立する。

AUSEN (NFN, I1, I2, F1, F2, V1, V2, K1A, K2A, K3A,
K5A, K1B, K2B, K3B, K5B, K4, FA, ME1, ME2,
MEA)

- ① 2船の優先関係を求める。
② \vec{NFN} : 航路水域ブロックの全数
 $\vec{I1}, \vec{I2}$: 2船のナンバー
 $\vec{F1}, \vec{F2}$: " 針路方向角(度)
 $\vec{V1}, \vec{V2}$: " 速力(m/sec)
 $\vec{K1A}, \vec{K1B}$: " 航路航行義務船か否かの区別^{*1}
 $\vec{K2A}, \vec{K2B}$: " 航路航行中かの区別^{*1}
 $\vec{K3A}, \vec{K3B}$: " 航路区域の区別^{*1}
 $\vec{K5B}, \vec{K5B}$: " 航路に入ろうとする船か否かの区別^{*1}
 $\vec{K4}$: " 出会いの関係^{*1}
 $\vec{ME1}, \vec{ME2}$: " 優先関係^{*1}
 \vec{MEA} : 第1船が優先船か否かの判定^{*2}

③ *1 USENに同じ。

- *2 MEA = 1 なら第1船が優先船,
MEA = 2 なら第1船は避航義務船

SGENT (K, R, IR, XMEAN, JJ, T1, T)

- ① 次の発生時刻を1つ作る。
② \vec{K} : 船種
 $\vec{R}, \vec{IR}, \vec{XMEAN}, \vec{JJ}$: 船種別到着分布の乱数
 $\vec{T1}$: 前の到着時刻
 \vec{T} : 次の到着時刻

SMKB (K, R, IR, XMEAN, JJ, IBO)

- ① 船群を与える。
② \vec{K} : 船種
 $\vec{R}, \vec{IR}, \vec{XMEAN}, \vec{JJ}$: 船群分布の乱数
 \vec{IBO} : 船群ナンバー

SCARWG (IBO, R, IR, XMEAN, JJ, WG)

- ① 船群に対応して総トン数を与える。
② \vec{IBO} : 船群ナンバー
 $\vec{R}, \vec{IR}, \vec{XMEAN}, \vec{JJ}$: 船群に対応する総トン数分布
乱数
 \vec{WG} : 総トン数

SCARLA (K, WGLA, WG, LA)

- ① 船長を与える。
② \vec{K} : 船種
 \vec{WGLA} : 総トン数・船長関係
 \vec{WG} : 総トン数
 \vec{LA} : 船長

SCARBA (K, WGLB, WG, BA)

- ① 型幅を与える。
② \vec{K} : 船種
 \vec{WGLB} : 総トン数・型幅関係
 \vec{WG} : 総トン数
 \vec{BA} : 型幅

SCARWD (K, WGWD, WG, WD)

- ① 排水トン数を与える。
② \vec{K} : 船種
 \vec{WGWD} : 総トン数・排水トン数関係
 \vec{WG} : 総トン数
 \vec{WD} : 排水トン数

SCARCV (K, WDCV, WD, CV)

- ① 増減速係数を求める。
② \vec{K} : 船種
 \vec{WDCV} : 排水トン・増減速係数関係
 \vec{WD} : 排水トン数
 \vec{CV} : 増減速係数(分)

SCARLB (K, ALBL, LA, LB)

- ① 必要停泊長を求める。
② \vec{K} : 船種
 \vec{ALBL} : 船長・必要停泊長関係
 \vec{LA} : 船長(m)
 \vec{LB} : 必要停泊長(m)

SCARBB (K, BABB, BA, BB)

- ① 必要停泊幅を求める。
② \vec{K} : 船種
 \vec{BABB} : 型幅・必要停泊幅関係
 \vec{BA} : 型幅(m)
 \vec{BB} : 必要停泊幅(m)

SCARFA (K, FAQQ, WG, KK)

- ① 航路航行義務船か否かの判定を行う。

- ② \vec{K} : 船種
 \vec{FAQQ} : 航路航行義務を区別するトン数
 \vec{WG} : 総トン数
 \vec{KK} : 航路航行義務船か否かの判定^{*1}
- ③ *1 $\vec{KK}=1$ なら航路航行義務船, $\vec{KK}=0$ なら非義務船

SCARSS (K, LAKT, LA, NO)

- ① 船種船長によって用いるべき操縦性指数テーブルのナンバーを求める。
- ② \vec{K} : 船種
 \vec{LAKT} : 船長別操縦性指数ナンバー
 \vec{LA} : 船長
 \vec{NO} : 用いる操縦性指数テーブルのナンバー

SCARCA (IBO, R, IR, XMEAN, JJ, CA)

- ① 貨物量を求める。
- ② \vec{IBO} : 船群のナンバー
 $\vec{R}, \vec{IR}, \vec{XMEAN}, \vec{JJ}$: 貨物量分布乱数
 \vec{CA} : 貨物量

SCARSO (K, XLASO, LA, SO)

- ① 操舵必要時間を求める。
- ② \vec{K} : 船種
 \vec{XLASO} : 船長・操舵必要時間関係
 \vec{LA} : 船長 (m)
 \vec{SO} : 操舵必要時間 (sec)

SGENN (K, WG, VU, XV)

- ① 速力を設定する。
- ② \vec{K} : 船種
 \vec{WG} : 総トン数
 \vec{VU} : 総トン数・初期速力関係
 \vec{XV} : 設定速力 (m/sec)

SCARB3 (NB, LBNO, JJ, NNBNN, IR)

- ① NB 個の使用可能なバースから任意のバースを選択する。
- ② \vec{NB} : 使用可能なバース数
 \vec{LBNO} : バーステーブル
 \vec{JJ}, \vec{IR} : 使用乱数のナンバーと乱数の初期値及び定数項
 \vec{NNBNN} : 選択したバースナンバー

SCARB2 (IBC, NB, LBNO, XLLB, MM)

- ① 船長制限により使用可能なバースを縮小する。
- ② \vec{IBC} : バースコンディションテーブル
 \vec{NB} : 使用可能なバース数
 \vec{LBNO} : バースナンバーテーブル
 \vec{XLLB} : バース長テーブル
 \vec{MM} : もとの使用可能なバース数

SCARGN (K, WG, XNGXYN, XNGXY, X, Y, NO)

- ① 船種・トン階別の発生位置を求める。
- ② \vec{K}, \vec{WG} : 船種, 総トン数
 \vec{XNGXYN} : 船種, 総トン別発生ブロックナンバーテーブル
 \vec{XNGXY} : 発生ブロック別発生位置の座標テーブル
 \vec{X}, \vec{Y} : 発生位置の座標
 \vec{NO} : 発生ブロックナンバー

SCARB1 (K, IBO, R, KKK, XLB, XLLA, M, LBNO, XLLB, MM)

- ① 船種・船群別の使用可能バースを求める。
- ② \vec{K}, \vec{IBO} : 船種・船群
 \vec{R} : 船種別船群構成テーブル
 \vec{KKK} : 船種数
 \vec{XLB} : 船長
 \vec{XLLA} : バース長テーブル
 \vec{M} : 船種船群別使用可能バースナンバー
 \vec{LBNO} : 使用可能バースナンバー
 \vec{XLLB} : 使用可能バースのバース長
 \vec{MM} : 使用可能バース数

SGENFA (NG, FAIG, FA)

- ① 発生ブロックの針路方向角を与える。
- ② \vec{NG} : 発生ブロックナンバー
 \vec{FAIG} : 発生ブロックの針路方向角
 \vec{FA} : 発進針路方向角 (度)

I-4 プログラム実行手順

本プログラムの実行は、次に示す3ステップから成立っている。

- ① インプットデータを読み作成するステップ
 ② メインステップ
 ③ アウトプットデータを集計するステップ
- すなわち、①ではシミュレーション実行に必要なインプットデータを与え、メインステップで必要な情報に変換する。また、②では①の情報をもとにしてシミュレーシ

ョンを実行し、MTに船舶挙動、操船に関する情報をアウトプットする。さらに、③では解析に必要な情報をMTより読み込み集計する。本シミュレーションモデルで標準形としている任意形状の水域シミュレーションを実行するときは、①インプットデータを作成し、③必要なアウトプットを指示するのみでよい。しかし、モデルの中味に変更を加える必要があるときは、メインステップのメインプログラム及び各サブプログラムに修正を加えていただきたい。

第Ⅱ編 シミュレーション資料編

Ⅱ-1 はじめに

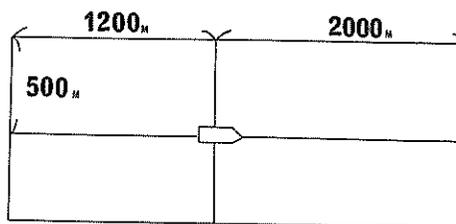
本編では、本シミュレーションプログラムで用いた種々の概念について説明する。本シミュレーションプログラムはキューイングシミュレーションプログラム (Queueing Simulation Program) と異なり、船舶の操船軌跡に関する情報が重要である。港内操船シミュレーションプログラムでは、もちろんキューイングシミュレーションプログラムと同じ情報も用いるが、船舶の操船軌跡に関する情報が重要であるから、本編では操船軌跡に関する情報について述べる。操船軌跡に関する情報としては、①船舶航行特性と、②航行規制、制約があり、第2節では①について、第3節では②について説明を加えた。これら操船軌跡に関しては、日本航海学会、各商船大学、日本海難防止協会、日本造船協会、日本造船研究協会等で研究成果が発表されているが、引用した資料内容、参考とした資料内容を付録1にまとめて示した。これら資料を参考として本シミュレーションプログラムは作成されているが、計算の簡略化のためにモデルを改良したのももある。第4節では、本シミュレーションプログラムの問題点と改良の方向を示した。

Ⅱ-2-1 安全確認領域

船舶は自船の目的地に向かって、自船の船舶属性にとって好ましい速力、針路、舵角をとり航行しようとするが、他船が同一の水域中に存在することによって干渉を受け、増減速、変針等の挙動を示す。このように、同一の水域中で船舶が他船によって干渉を受ける水域を安全確認領域と定める。つまり、自船の安全確認領域内に他船が存在する場合には、この船の存在によって自船は何らかの処置をとる必要がある。この処置は、①安全確認動作のみの場合もあり、②変速の場合もあり、③変針の場合もあり、また、④変速、変針を同時に行う場合もある。

安全確認領域は船舶の固有の属性によって、当然のことながら異なるものであるし、速力、舵角によっても異

なるものと考えられる。しかし、何トンクラスの船舶が、何メートル前後、あるいは横方向の船舶に注意すべきであるという規定はないし、既存調査からも求められていない。そこで、1~3 Km 程度の値を定め、今後の検討に待つこととした。また、安全確認領域の形状についても明らかな調査結果がないため、図Ⅱ-2-1-1に示すような長方形を仮定した。



図Ⅱ-2-1-1 安全確認領域

Ⅱ-2-2 閉塞領域

船舶の閉塞領域とは、一般的に云って、自船のまわりであり他船が侵入することのできない領域であるといえるが、従来より藤井氏等が用いている閉塞領域は、これとは少し異なり、相対的な船間距離の最頻値の生ずる前方距離及び後方距離であり、必ずしも上述の閉塞領域の意味と一致しない。また、鞠谷氏等の用いている衝突回避限界とも少し異なるものであり、自船のまわりであり他船が侵入することができない領域とは、なぜ侵入することができないかを明らかとし、この意味での閉塞領域と定めれば十分利用できる。ここでは、両船が通常の避航操船によって衝突回避が不可能な領域と考えることとする。

閉塞領域の形状は楕円であると認められているが、計算を容易にするため長方形形状を仮定する。

また、上述の意味から考えると、閉塞領域は船速に依存すると考えられる(即ち、極端な例では2船が停止しているときに閉塞領域は船の形状と等しくなる)が、速力に依存した閉塞領域に関する観測結果も手元にないため、図Ⅱ-2-2-1に示すように、速力に一次的に比例するデータをインプットできるようにした。今後の観測と解析により、船長、船速に依存した形状と大きさが定まるものとする。

また、図Ⅱ-2-2-2には藤井氏の提案された閉塞領域の式を図示したものを参考のために掲げておく。彼の定義通り速力との関係はこの図ではあらわれていない。

更に、鞠谷氏の提案された衝突回避限界は一般が保持船であり、他船が避航義務船であるが、図Ⅱ-2-2-3

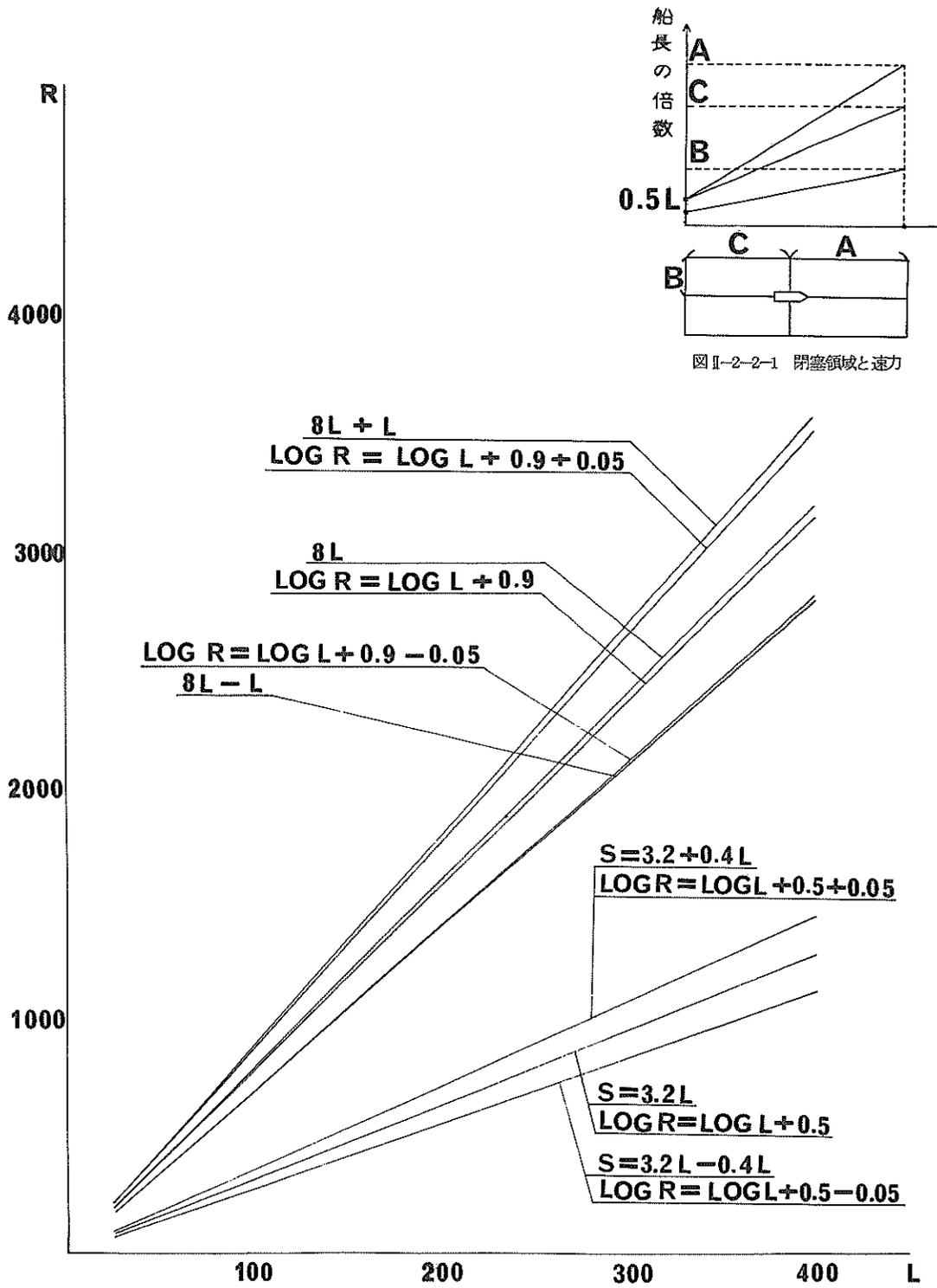


図 II-2-2-2 閉塞領域

図 II-2-2-1 閉塞領域と速力

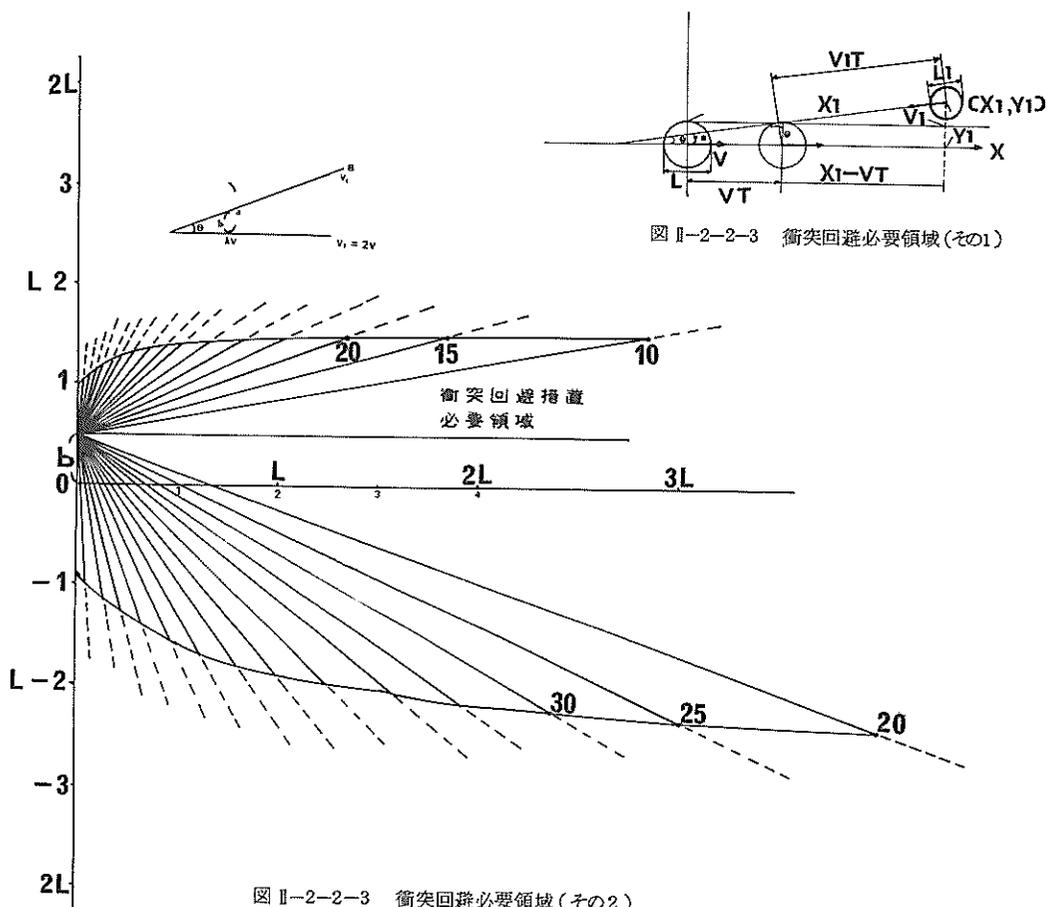


図 II-2-2-3 衝突回避必要領域(その2)

には両船ともに避航操船を行わないときの衝突回避の必要な領域の図を参考までに掲げておく。この図にも示されているように、この図は $V_1 = 2V$ の場合を示したものである。

II-2-3 増減速特性

船舶の増減速特性については種々の文献で検討されているように、速力が時間的に指数的に変化する。すなわち、次式で変速後の速力が求められる。

$$U = U_1 + (U_0 - U_1) \times 2^{-(t/c)} \dots\dots\dots \text{①}$$

ここに、 U_1 は変速目標速力(ノット)、 U_0 は現在速力(ノット)、 t は変速後の経過時間(分)、 c は比例定数(分)、 U は経過時間 t の時の速力(ノット)である。比例定数 c は減速係数で、時間は分単位である。この方程式では目標速力を定めるとき、その速力に到達するためには無限時間かかる。そこで、目標設定速力と目標速

力の比率 α を設定して、 U_1 に目標設定速力を置き、 U に目標速力を置いたときの変速所要時間 t_c を①式より求める方法をとった。つまり、 $U = U_1 \times \alpha$ として①式より t_c を求める。ここで、 α をいくらにとるかは議論の生じる所であるが、一応 0.95 とした。

また、増速に対しても今回は①式を用いることとした。減速係数 C は船舶の排水トンにディペンデして表 II-2-3-1 のように与えられている。今回のモデルではこの値を用いた。

一方、進出距離 S (マイル) は次式を用いている。

$$S = \frac{1}{60} \left\{ V_1 t + \frac{C(V_0 - V_1)}{0.693} \left(1 - 2^{-\frac{t}{C}} \right) \right\}$$

表Ⅱ-2-3-1 減速係数
減速係数 C

船舶の排水量	減速係数 C	船舶の排水量	減速係数 C	船舶の排水量	減速係数 C
トﾝ ~ 1000	分 1	トﾝ 28000 ~ 36000	分 8	トﾝ 105000 ~ 120000	分 15
1000 ~ 3000	2	36000 ~ 45000	9	120000 ~ 136000	16
3000 ~ 6000	3	45000 ~ 55000	10	136000 ~ 153000	17
6000 ~ 10000	4	55000 ~ 66000	11	153000 ~ 171000	18
10000 ~ 15000	5	66000 ~ 78000	12	171000 ~ 190000	19
15000 ~ 21000	6	78000 ~ 91000	13	190000 ~ 210000	20
21000 ~ 28000	7	91000 ~ 105000	14		

表Ⅱ-2-4-1 操縦性指数

$$(K = \frac{V}{L} K', T = \frac{L}{V} T', V: \text{平均速度, m/s})$$

船種・状態	L × B × D	d × dm	$\frac{\Delta}{L^3}$ (%)	V _{kt}	K'	T'	$\frac{F}{L^2 d}$	A _r /Ld	
① 貨物船, バラスト	114 × 16.4 × 9.3	4.180 × 3.27	2.30	15.7	0.76	0.49	0.096	1/30.2	15°
② " "	152 × 20.6 × 12.7	8.828 × 4.02	2.08	17.2	0.74	0.64	0.093	1/36.4	15°
③ " "	150 × 20.5 × 12.9	9.140 × 4.89	1.49	19	0.92	0.72	0.081	1/35.2	10°
④ 貨物船, 半載	"	13.840 × 7.05	0.53	18.5	1.00	1.22	0.085	1/46.8	10°
⑤ " 満載	"	19.000 × 9.23	0.25	18	1.25	1.55	0.089	1/61.2	10°
⑥ " "	157 × 19.6 × 12.5	16.000 × 8.25	0.44	17	1.29	1.48	0.077	1/69.4	10°
⑦ " "	140 × 19 × 10.5	16.050 × 8.35	0.50	15	1.70	1.93	0.096	1/59.9	10°
⑧ " "	133 × 18.6 × 10.4	15.160 × 8.10	0.78	14.5	1.69	2.77	0.103	1/65.4	10°
⑨ " "	112 × 16.2 × 9.0	9.980 × 7.42	0.75	11.5	2.25	2.53	0.105	1/64.2	10°
⑩ " "	86 × 12.5 × 6.5	4.493 × 5.66	0.31	8.5	2.07	2.06	0.106	1/64.2	10°
⑪ タンカー, バラスト	216 × 30.6 × 15.4	21.114 × 4.89	2.04	18	0.79	0.51	0.104	1/33.6	15°
⑫ " "	129 × 26.8 × 13.7	13.000 × 4.14	2.39	16	0.87	0.42	0.083	1/29.6	10°
⑬ " 満載	276 × 43 × 22.2	16.200 × 16.5	0	16.5	3.2	6.5	0.126	1/67.6	5°
⑭ " "	"	"	"	"	3.2	6.2	"	"	10°
⑮ " "	"	"	"	"	1.6	2.8	"	"	15°
⑯ " "	"	"	"	"	1.3	1.9	"	"	20°
⑰ " "	"	"	"	"	1.0	1.0	"	"	35°
⑱ " "	245 × 32.9 × 18.5	8.9760 × 13.3	"	17.8	1.69	3.54	0.110	1/72.5	10°
⑲ " "	210 × 30.5 × 15.3	6.0000 × 11.5	"	17	3.0	6.1	0.115	1/74.1	10°
⑳ " "	192 × 26.5 × 13.9	4.3100 × 10.4	"	16	1.70	3.44	0.109	1/71.9	10°
㉑ " "	185 × 25.2 × 13.4	3.7695 × 10.3	0.22	15.5	1.73	2.96	0.104	1/75.2	10°
㉒ " "	154 × 20 × 11.5	2.0583 × 9.02	0.21	12	2.26	2.96	0.094	1/71.9	10°
㉓ 捕鯨船, 帰港	57 × 9.7 × 5.1	1.304 × 4.37	2.62	16.5	1.29	0.80	0.090	1/27.7	15°
㉔ " 試運転	57 × 9.7 × 5.1	9.35 × 3.45	3.88	17	0.99	0.64	0.081	1/21.8	15°
㉕ 巡視船	51.5 × 7.7 × 4.5	5.34 × 2.73	0.60	13	1.66	1.62	0.072	1/40.	10°
㉖ 鉄道連絡船, 半載*	111 × 17.4 × 6.80	5.370 × 4.78	0.25	14.5	1.44	1.51	0.089	1/30.1*	15°
㉗ " " †	113 × 15.9 × 6.80	4.585 × 4.40	0.53	15	4.5	7.3	0.079	1/42.5†	15°
㉘ 小型客船*	80 × 13.4 × 6.25	2.325 × 3.88	2.02	17	0.95	1.65	0.091	1/31.9*	20°

* 二軸二舵, † 二軸単舵, 他は一軸単舵

II-2-4 操縦性指数

従来より、野本氏によって提案された船舶の操縦運動の方程式の一次近似式

$$T \frac{d\dot{\phi}}{dt} + \dot{\phi} = K\delta \dots\dots\dots ①$$

ϕ : 回頭角, δ : 舵角

において用いられる操縦性指数K(旋回性指数), T(追従性指数)はKempfのZ試験(Zig-zag Test)によって求められるが、これは、①船型, ②載荷状態, ③舵角, ④速力等によって変化するもので、その一例を表II-2-4-1及び図II-2-4-1に示した。

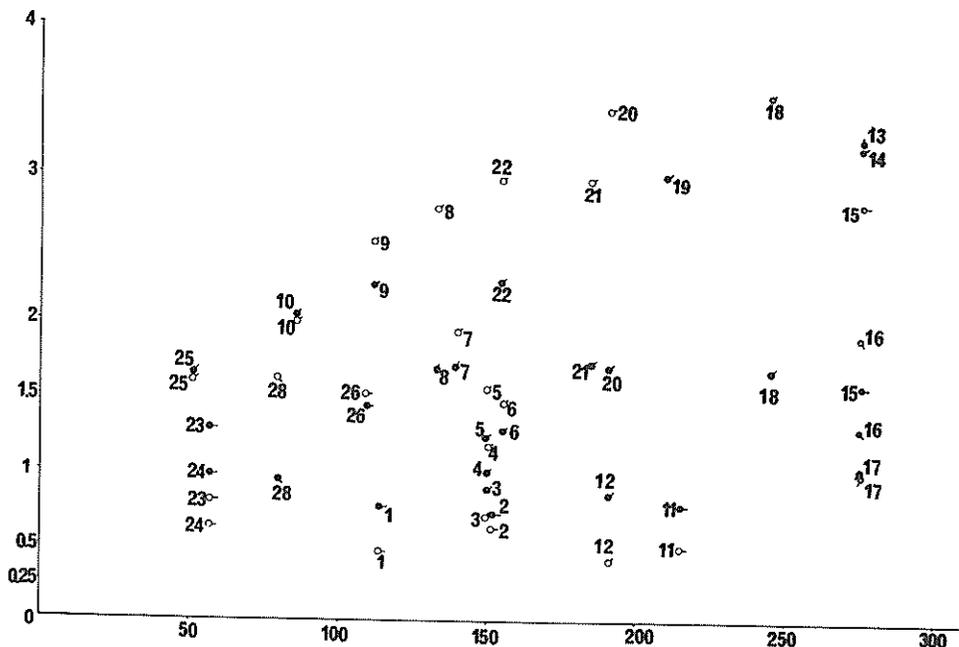
ここで、

$$K = (V/L) K' \text{ 1/sec}, T = (L/V) T' \text{ sec}$$

V = 平均速力 m/sec , L = 船長 m

である。 K' T' は無次元量である。

①式は変針軌跡を計算するとき用いることができるが、実際の操船では舵角を時間的に変化させるため、 K , T は操船中一定ではない。久々宮氏等によって舵角一定のとき K , T を一定とした旋回軌跡が計算されているが、その一例を図II-2-4-2に示す。

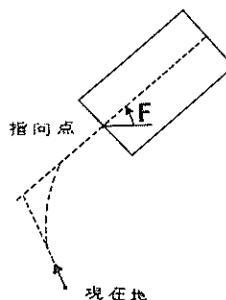


図II-2-4-1 操縦性指数

II-2-5 指向点

自船の針路は本来目標地点に向って直進することが望ましいが、航路、地形の影響によって直進できない場合も多い。そこで航路中心に針路角を与えてこれを指向点と定める。指向点は本来船舶がこの点を指向して操船する点であるが、各船型の船舶が必ずしも航路中心を指向する訳ではなく、船型によって中心点から偏らせるが、針路角は航路中心の指向角と等しいものとする。この関係を図示すると図II-2-5-1のようになる。

このように指向点とは、航路の形状に応じて船舶を変針させるために設けるもので、変針目標にかわるもので



図II-2-5-1 指向点

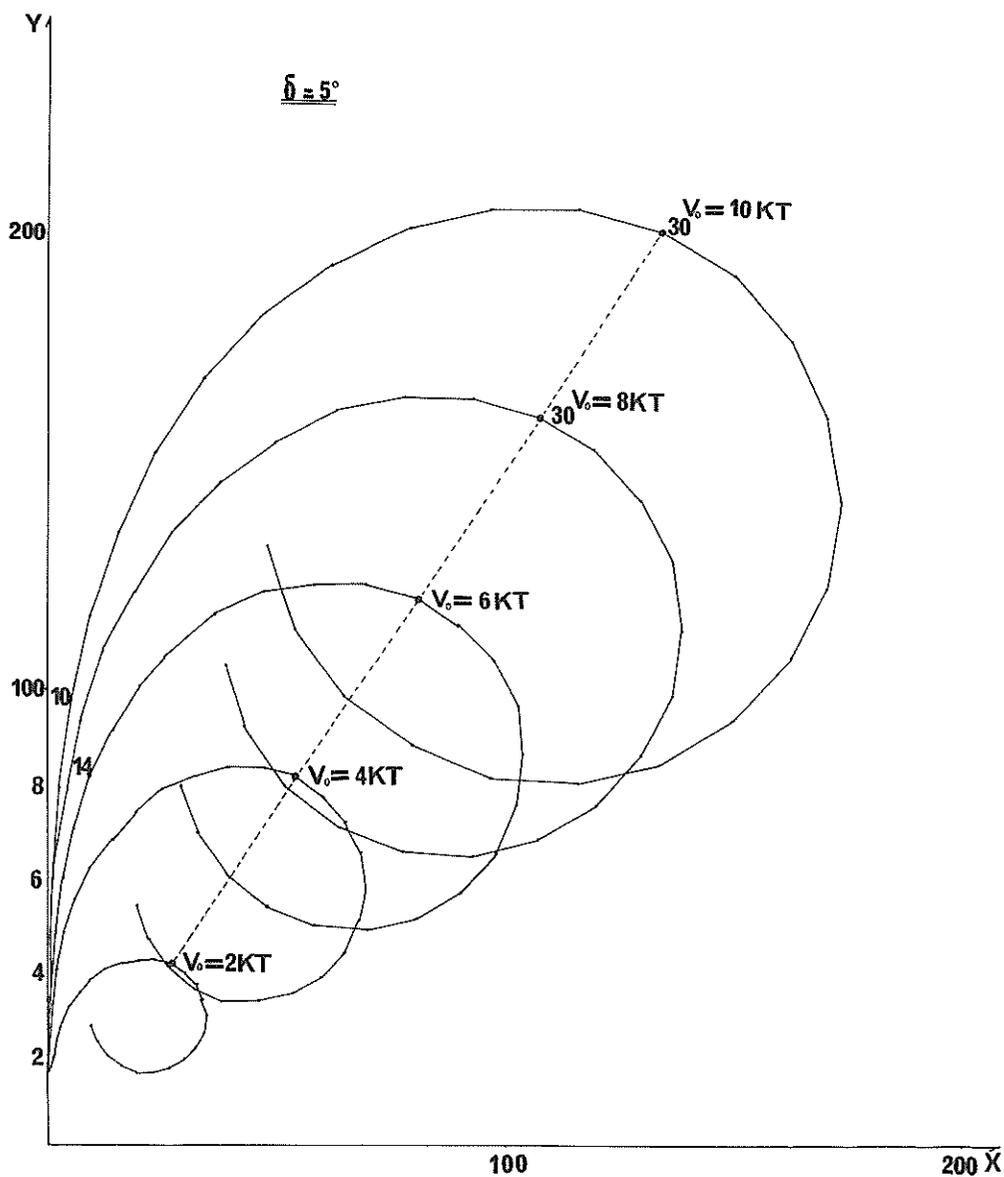


図 II-2-4-2 旋回軌跡

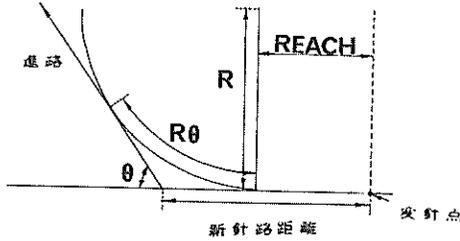
ある。したがって、航路外では船舶の目標地点及び発生地点でも、自船の指向する角度を与える必要があるが、こゝでは、発生及び吸収のときの角度は指向点とはみなさないこととしておく。

指向点は自船が指向する点であるが、この点を指向し

て操船しようとしても、必ずしもそのような操船を行えないことがある。つまり、指向操船を行おうとするとき他の船舶が操船軌跡上に存在し、船舶の避航関係が生じる場合である。このような場合には当然避航操船が優先し、船舶は指向点を通らない結果となる。

II-2-6 カーブ操船

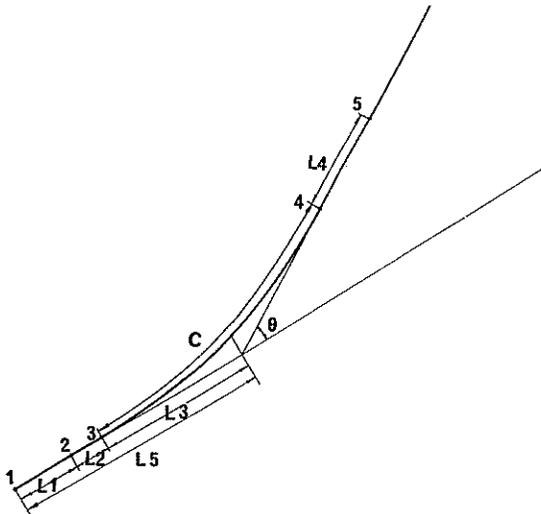
カーブ操船とは聞きなれない言葉であるが、指向点を指向するための変針操船であると定めておく。前述の指向点と指向角を与えても船舶の操船方法を定めないと、船舶の軌跡は求まらない。この操船方法はつぎのように定めておく、つまり、図II-2-6-1に示すように、直進→円旋回と一定速度で旋回するものとしておく。



図II-2-6-1 カーブ操船

円旋回で軌跡を計算すれば計算が容易であるため、旋回軌跡は円弧であると仮定しておく。

このカーブ操船では、カーブ操船途中でカーブにより減速されるが、今回はこの影響を考慮していない。つまり、カーブ操船中は一定速度で航行するものと仮定しておく。すなわち、カーブ操船で変速が必要である場合には、カーブ操船に入る手前の直進の時に変速を行うものとしておく。この関係を図II-2-6-2に示しておく。

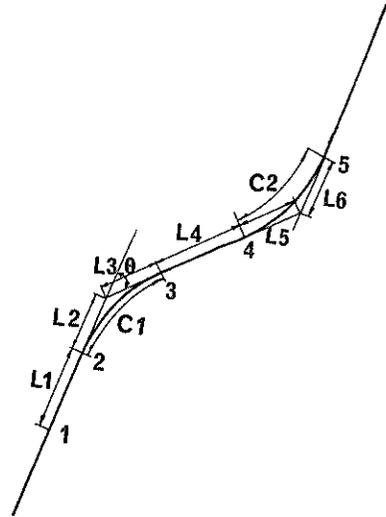


図II-2-6-2 変速を入れたカーブ操船

II-2-7 避航操船

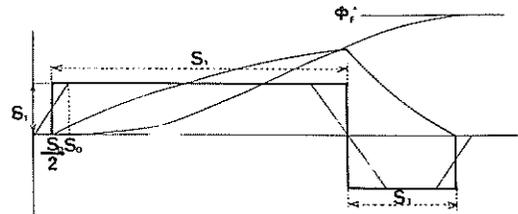
避航操船とは他の船舶を避航するための操船であり、

つぎの3種の操船方法がある。①変針, ②変速, ③緊急停止。これらの操船方法は通常組合わせて用いられるが、計算を簡単にするため、カーブ操船の場合と同様に、各々独立に用いられるものと仮定する。避航操船軌跡を求めるためには、上述の操船方法の他に、これら操船方法を用いる時点と順序を定める必要があるが、変針の場合には変速を行わないとしているから、前述のカーブ操船を2度行った方式で避航軌跡を求めることとする。すなわち図II-2-7-1に示すように、直進→円弧→直進→円弧で避航操船を行うこととする。



図II-2-7-1 避航操船軌跡の計算

この図において、直進する点1は船舶が避航操船のために転舵を開始する時の位置であり、円弧の途中であって舵をとり針路を変針角に保ち、後に逆方向の転舵を開始して、点2で変針を始め、円弧の途中で再び舵をとって、元の針路に保つ操船方法を示している。すなわち、この避航操船では変針を2度行わせる勘定となる。図II-2-7-2には避航操船の際の舵角、偏角を示しておく。

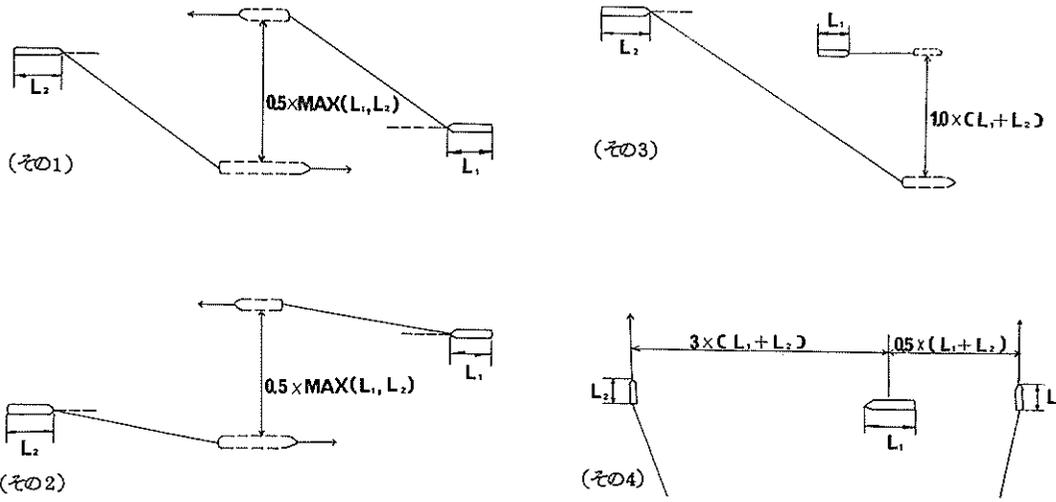


図II-2-7-2 避航操船の舵角と偏角

ここで S_0 は操舵必要時間、 S_1 はあて舵をとるまでの時間、 S_2 はあて舵をとる時間、 ϕ_f は変針角である。

避航操船を行うときに、変針に重点をおくか、変速に重点をおくかは重要な問題であるが、本シミュレーションでは変針を優先させることとした。つまり、避航開始時の速力を保持したまま変針を行い、避航軌跡を計算し、ソフトウォール・ハードウォールをクロスしないか、他船の閉塞領域を侵さないか等の避航可能条件を満たすかを判定し、可能な舵角、変針角をとっても避航が不可

能であったときに、はじめて減速操船を行うようにプログラムされている。また、変針可能な舵角は 30° までとし、変針量（変針角）も 30° までと仮定している。また、2船の出会い関係と避航操船の関係は図Ⅱ-2-7-3に示してある。つまり、避航操船を行う際に、2船の船間距離がこの図に示した距離以上へだて、避航を行うようにしている。



(図Ⅱ-2-7-3) 2船の出会い関係と避航操船の関係

Ⅱ-2-8 優先条件

前述の避航操船を行う場合は、2船が見合い関係になった場合であるが、このときにどちらの船舶が避航操船を行い、どちらの船舶が針路、速力保持操船を行うかを決めるのがこの優先条件である。本シミュレーションモデルでは、この優先条件を決めるために、基本的に以下の3法規の規定に従った。

- ① 海上交通安全法
- ② 衝突予防法
- ③ 港則法

これら法規のうち、操船に関係する部分のみまとめて表Ⅱ-2-8-1に示す。

しかし、上記法規の規定によっても明らかでない規定については、日本航海学会の通説に従うこととした。すなわち、見合い関係にある2船舶が避航の優先関係を決めるために、つきに示す要因をとりあげた。①見合い関係、②航路航行義務船、非義務船の別、③現在航路を航

行中か否かの判定、④航行水域の優先関係。

すなわち、①では、④其向の関係、⑤横切り関係、⑥追越し、追従関係かの判定を行い、②では船型によって、②航路航行を義務づけられた船か、⑤義務づけられていない船かの判定を行い、③では、避航開始を判定する時点で、④航路内を航行中か、⑥航路に入ろうとしている船か、⑦航路以外の水域を航行中かを判定し、④では、航路内であっても、例えば入出港航路のように、管制によって特殊な優先関係がある場合に、これら優先関係のある航路内を航行中か否かの判定を行う。

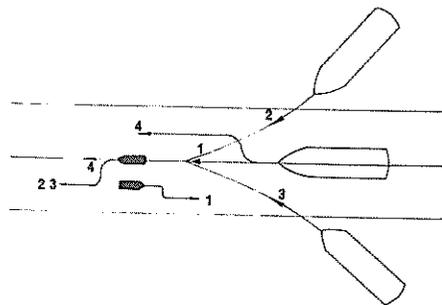
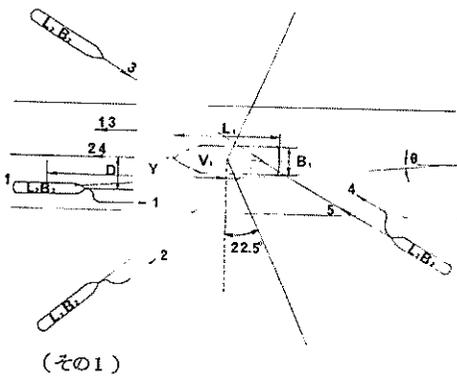
以上示した判定を組合わせて、2船の見合い関係が成立しているとき、2船の優先関係を決定する方法をとった。

この関係を 図Ⅱ-2-8-1に示す。

また、これら優先関係を判定する2船の見合い関係の成立する領域としては、前述の安全確認領域をとった。

表Ⅱ-2-8-1 法規による優先条件

	港 則 法	海 上 衝 突 予 防 法
① 出 入 港	出港船優先(15条)	
② 航 路	航路通航義務(12条)〔たゞし、特定港の雑種船以外の船舶〕	
③ 航路内航法及び航法	① 航路内航行船の優先(14条) ② 航路内並列航行の禁止(14条) ③ 右側航行義務(14条) ④ 航路内追越しの禁止(14条) ⑤ 雑種船の非優先(18条1) ⑥ 小型船の非優先(18条2) ⑦ 構造物付近の航法(17条) 右舷→近づく, 左舷→遠く	① 行き会い船……右舷避航(18条) ② 横切り船……他船を右舷に見る船の避航(19条), 保持船の協力動作事項(21条) ③ 船首方向の横切り禁止(22条) ④ 避航船の操船……減速, 停止, 後退 ⑤ 追越し船(正横後 22.3°より後方)の避航義務(24条)
④ 速 力	他の船舶に危険を及ぼさない速力(16条)	霧中速力は視程の半分の距離を停止距離とする速力(16条)
⑤ そ の 他	① 航路内投錨, 曳船解離の禁止(13条) ② 運輸大臣の航法規定権(19条) ③ 特定港の信号所による交通制限(36条の3) ④ 港長の船舶交通の制限権	① 航路筋で大型船の航行を避ける船舶($L \leq 19.8m$)(25条) ② 漁ろう中の船舶の進路を避ける(26条)



図Ⅱ-2-8-1 二船間の優先関係

Ⅱ-3-1 ソフトウォール

ソフトウォールとは、船舶が横切ることができる境界ではあるが、ある管制条件下では横切ることのできない境界をいう。すなわち、例えば航路航行義務船はある定められた出入口以外に航路境界を出ることはできないが、この出入口以外の航路境界をソフトウォールと呼ぶ。航路航行を義務づけられない船舶、例えば港内の雑種船はソフトウォールがないものとして航行できる。しかし、見合い関係が成立し、航路航行の判定を行う場合等には、雑種船であってもソフトウォールに無関係という訳には

いなくなる。このように、ソフトウォールとは船舶航行を管制する境界であり、本シミュレーションではこれを水路ブロックとして与えた。

前述のように指向点は水路ブロックの境界に与えられており、指向点のない水路ブロックの境界がソフトウォールとなる。したがって、指向点を指向するカーブ操船の場合にはソフトウォールを横切ることなく、ソフトウォールを横切るか否かの判定は無用であるが、避航操船の場合にはこの判定が必要となり、ソフトウォールを

横切るような避航操船は許されないこととなる。逆に言えば、ソフトウォールはシミュレーションを実施するときインプットとなるものであるが、このような形状となるようにソフトウォールと指向点を与える必要がある。

ソフトウォールは管制上の境界であって、これを横切ることが必ずしも海難につながるものではなく、実際の避航操船の場ではこれを横切る違反船もあるが、今回はこれ考えないこととした。

II-3-2 ハードウォール

ハードウォールは、水域と陸域を区別する境界であり、いずれの船舶もこれを侵すことはできない。これを侵す操船は乗揚げを意味する。したがって、本シミュレーションでは乗揚げは生じないように組んであることになる。また、ハードウォールは航路中には存在しないことになっている。したがって、ハードウォールのインプットもこのように与える必要がある。すなわち、ハードウォールは航路外の水域に与える必要がある。

ハードウォールをクロスするか否かの判定は、航路外の水域中を航行の船舶すべてについて行い必要がある。しかしながら、船舶の発生と吸収点に向うカーブ操船の場合には、ハードウォールを横切るか否かの判定は行っていないので、発生、吸収位置はこのような地点に選ぶ必要がある。例えば、漁港区へ出入する船舶の操船を取扱うときに、漁港区内部の動きを考えないとすれば、港口区の港口が漁船の発生、吸収地点となることはこの例である。

II-3-3 港口航路

港口航路は本来ソフトウォールの一部となり、航路ブロックに含まれるものであるが、管制条件が最も厳しい所であるから、特に切りはなして取扱った。すなわち、例えば港口航路とは航路航行義務船がこの航行を占有中は、他の船舶の航行が不可能な条件にすることの可能な航路ブロックであり、港内航行シミュレーションを行い管制方式を考慮する際、重要な航路ブロックである。しかし、このような管制方式を取扱わない場合には、インプットする必要はない。

港内航行シミュレーションでは、泊地とその閉塞領域が重要な問題となる。

II-3-4 離接岸水域及び制約水域

離接岸水域及び制約水域とは、船舶がこの水域を占有中は他の船舶がこの水域を侵すことのできない領域であり、船舶の行動が明なかでない場合や、明なかではあるが複雑な動きであって、技術的に決まっている場合には、この離接岸水域、制約水域と同様な取扱いが行える。港

口航路も一種の制約水域である。この他制約水域としては、作業船作業域、停泊船の閉塞領域（停泊船おしの閉塞領域ではない）等が挙げられる。

シミュレーションに取りあげた離接岸水域は図II-3-4-1に示した。これは、設計基準のものを少し修正した形となっている。

船舶はこれらの水域に入ると、これら水域を占有する状態となり、また、これら水域に存在する時間が与えられ、水域解除予定時刻が求められる。

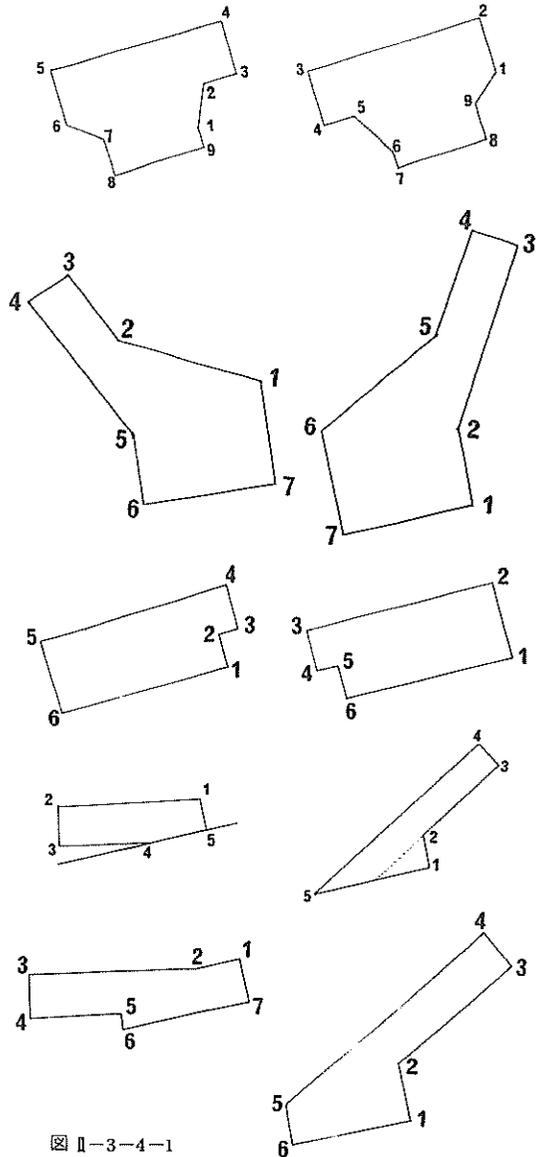


図 II-3-4-1

II-4 問題点と今後の方向

本シミュレーションプログラムでは、任意形状の水路と一般水域の小型船の航行をシミュレート可能なようにした。また、港内水路の航行シミュレーションを可能にしようとするものである。しかしながら、船舶操船特性や領域等を仮定した部分が多い。そこで、今後文献調査をより進めて、現在までに明らかとなっている船舶操船特性や領域をより明確に捉えたとともに、不明な箇所の調査、分析を進めていくこととする。また、自然条件は一部分しか取入れられていないため、今後の要請に応じて改良を加えていくこととする。以上はプログラムの改良に関するものであるが、さらに、シミュレーションアウトプットの評価、航路の規模、形状の変化に対応する交通量変化の評価の仕方、自然条件や交通量及び人的要素など、水域交通量に影響する要因の分析と評価を加え、今後の航路、水域計画への利用を図っていきたいと考えている。

(1975年3月31日受付)

参考文献；引用文献

(1) 閉塞領域、衝突回避限界について

- ① 鞠谷宏士；船の衝突回避限界について，日本航海学会誌，Vol 36，S 42.1
- ② 藤井彌平，田中健一，渡辺健次，山田一成，関正義；船舶の閉塞領域について，日本航海学会誌，Vol 35，S 41.7
- ③ 藤井彌平，田中健一，山田一成，沢井秀之，金丸貞己；中型船の閉塞領域について，日本航海学会誌，Vol 38，S 42.2
- ④ 藤井彌平，水城南海男；小型船に対する橋脚の閉塞領域について，日本航海学会誌，Vol 41，S 47.7
- ⑤ 田中健一，藤井彌平；航行船舶の閉塞領域に及ぼす潮流の影響について，日本航海学会誌 Vol 41，S 44.7
- ⑥ 田中健一，山田一成；閉塞領域に関する二三の要因について，日本航海学会誌，Vol 48，S 47.12
- ⑦ 杉崎昭生；閉塞領域の一考察，日本航海学会誌，Vol 48，S 47.12
- ⑧ 藤井彌平；避航領域についての一考察，日本航海学会誌，Vol 44，S 45.12
- ⑨ 大嶋良三，藤井彌平；横切の避航直径と避航領域，日本航海学会誌，Vol 47，S 47.8
- ⑩ 巻島勉；錨泊船の閉塞領域について，東京商船大学研究報告，Vol 24，S 49.2
- ⑪ 巻島勉；群をなして錨泊している船の分布について，東京商船大学研究報告，Vol 23，S 47.12

- ⑫ 西谷芳雄，岩崎敏寿；大阪湾における避泊船舶の分布，日本航海学会誌，Vol 46，S 46.12
- ⑬ 岡田正明他；横浜検疫錨地付近の船舶の停泊実態に関する調査，東京商船大学研究報告，Vol 21，S 45.10
- ⑭ 大神弘，西谷芳雄；大阪湾における避泊錨地面積について，日本航海学会誌，Vol 37，S 42.7
- ⑮ 長沢彰三；衝突の実態（回避措置），日本航海学会誌，Vol 41，S 44.7

(2) 船舶の増減速特性について

- ① 谷初蔵，榎田政幸；船の増減速運動の解法，日本航海学会誌，Vol 44，S 45.12
- ② 谷初蔵；巨大船操船用引船の作業力と巨大船の速度，東京商船大学研究報告，Vol 21，S 45.10
- ③ 茂在寅男，小林爽；「船舶用ブレーキ」の構想について，東京商船大学研究報告，Vol 20，S 44.10
- ④ 谷初蔵；Crash-Astern 操縦の停止距離に及ぼす船の旋回の影響 日本航海学会誌，Vol 33，S 40.7
- ⑤ 谷初蔵，榎田政幸；船の停止性能について，東京商船大学研究報告，Vol 20，S 44.10
- ⑥ 谷初蔵；投錨して緊急停止のできる速度の限界，日本航海学会誌，Vol 18，S 33.6
- ⑦ 佐藤孫七；海錨の使用について，日本航海学会誌，Vol 36，S 42.1
- ⑧ 谷初蔵，石倉弘；逆転停止性能の略算図表について，日本航海学会誌，Vol 37，S 42.7

(3) 避航について

- ① 杉崎昭生，大津皓平；出合いの一考察，日本航海学会誌，Vol 45，S 46.8
- ② 巻島勉；追越し（その確率論的考察），日本航海学会誌，Vol 36，S 42.1
- ③ 巻幡竹夫；航路を航行中の雑種船と一般船舶との航法についての考察，日本航海学会誌，Vol 44，S 45.12
- ④ 本田啓之輔，松木哲，間淵重昭，原潔，橋本武；複線交差航路の解析，神戸商船大学紀要・第二類，Vol 20，S 47.9
- ⑤ 杉崎昭生，大津皓平；運動学的に見た衝突現象-I，日本航海学会誌，Vol 50，S 48.12
- ⑥ 長畑司；避航の判断と操船者の特性，日本航海学会誌，Vol 48，S 47.12

(4) 船の旋回・変針特性について

- ① 野本謙作他；操縦性シンポジウムテキスト，造船協会，1964

- ② 赤崎繁；船の旋回圏について，造船協会会報，Vol 64，S 14. 6
- ③ 斎木功；Advance と変針目標について，日本航海学会誌，Vol 6，S 27. 6
- ④ 原潔；避航システムモデルによる衝突確率の考察，日本航海学会誌，Vol 50，S 48. 12
- ⑤ 原潔；船の衝突確率を任意の水域で推定する方法について，日本航海学会誌，Vol 46，S 46. 12
- ⑥ 原潔；超大型船の避航動作分析—船舶交通の統計的特性Ⅱ—，日本航海学会誌，Vol 37，S 42. 7
- ⑦ 久々宮久，師岡洋一，大杉勇，奥村宗行；旋回軌跡の計算について，日本航海学会誌，Vol 43，S 45. 7
- ⑧ 鞠谷宏士；舵が動く速さについて，日本航海学会誌，Vol 26，S 36. 12
- ⑨ 鞠谷宏士；狭水域に向う船の航跡についての一考察—横むき風流圧がある場合—，日本航海学会誌，Vol 37，S 42. 7
- ⑩ 山本平彌；操舵機馬力一定の条件下で操舵時間がアドヴァンスと回頭おくれに及ぼす影響—特に舵のアスペクト比の変化を考慮して—，日本航海学会誌，Vol 41，S 44. 7
- (5) その他・全般的なもの
- ① 日本海難防止協会；超大型船の手引き，S 45. 3
- ② 日本海難防止協会；海上の交通安全に関する調査研究中間報告書，S 44
- ③ 第二港湾建設局，日本海難防止協会；東京湾航路体系調査報告書（その1）. S 48. 3，（その2）. S 49. 3
- ④ 第二港湾建設局；東京湾湾口船舶交通量調査報告書（Ⅳ），S 46. 3
- ⑤ 日本海難防止協会；「小型網船の運航技術上の海難防止対策の研究」（完了報告書），S 46. 3
- ⑥ 第三港湾建設局；海上交通計画調査報告書（航路容量調査），S 48. 3
- ⑦ 第三港湾建設局；海上交通計画調査，備讃瀬戸東部をよび西部における船舶交通量調査報告書，S 48. 3
- ⑧ 第三港湾建設局，関西国際空港調査室；昭和47年度航路再編成調査（航路容量調査）報告書，S 48. 3
- ⑨ 第二港湾建設局，京浜港工事事務所；航路及び泊地の計画に関する研究，S 38
- ⑩ 元良誠三；船体運動力学，共立出版，S 39. 8
- ⑪ 杉原喜義；理論選用法，海文堂，S 39
- ⑫ 木俣昇，石崎肇士；シミュレーションによる航路計画の研究，土木学会論文報告集，Vol 194，1971. 10
- ⑬ 第四港湾建設局，小倉港工事事務所；関門航路計画資料（その2），S 49. 3
- ⑭ 藤井彌平；序説海上交通工学，
- ⑮ 原潔，井上欣三；VTR を利用した離着岸操船の計測法，日本航海学会誌，Vol 52，S 49. 12
- ⑯ 山田一成，田中健一；狭水路における船舶交通流のシミュレーション，日本航海学会誌，Vol 44，S 45. 12
- ⑰ 奥山育英，佐々木芳寛；船舶挙動の解析用作用図システム，港研資料，№212，1975. 3

港湾技研資料 No 223

1975・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 (有) 葵印刷工業

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.