

1. はじめに

海上交通は陸上交通と異なり対象が1トン未満の小舟から数十万トンに及び超巨大船までが、同一海域を通航し立体交差が許されないこと、操縦が自動車等と比して困難であり、その性能も船種船型により様々であることなどから、陸上交通工学におけるような体系的理論も未だ確立されておらず、そのため①海上交通実態の観測を行い、それらの②整理・解析結果をもとに、③シミュレーションプログラムを開発し、現実の数多くの問題に対応していくという手順が多くとられてきた。筆者らは、①および②に関し、昭和65年「霞ヶ浦航行に関するシンポジウム—土木学会」において「海上交通への電子計算機の応用」と題し、海上交通の実態観測手法と観測データ処理システムについて述べた。今回は数年前より開発してきた③のシミュレーションが、実際の問題に直面し、改良変更が加えられ、海事関係者をはじめとする多くの方々の御指導も賜り、ここに一応の完成が見られたので報告したい。

2. シミュレーションの概要

従来、船舶交通の評価シミュレーションは、船および船をとりまく力学的・運動学的特性に基づいて、ある管制条件、自然条件のもとで運動自体をミクロにシミュレートし、発生量と通過量および変針・変速回数等の開数を計画評価の基本としているものが多かった。しかしそこには、現象の把握において多くの近い近似を含み、また実際の演算においても電子計算機の莫大な容量と計算時間を必要とすることが避けられず、広大な海域をシミュレートさせるには現実的でなく、別の方法によらざるを得ないこととなった。

そこで、視点を換え、交通をマクロに評価するシミュレーション(※下ネットワーク・シミュレーションという)の開発が求められた。そこでは、シミュレーションの場を、リンク(連結の手段)とノード(結節点)の連なりからなるネットワークで表現し、各々のリンクとノードにはそこを通過する時間の確率分布と、そこに存在し得る船の最大数(※下容量という)を与える。このような場を船は、コース毎に与えられている確率分布に従い発生し、その船固有の速力で与えられたコースを航行する。ここで次に入ろうとするリンクの容量が他船によりすでに一杯になっていれば当該リンクの手前で待ち、また通過しようとするノードが、他船により、容量が一杯になっていたり、または異方向の船が通過している場合には当該ノードの手前で待つ。このシミュレーションでは、各ノード・リンクの待ち隻数、待ち時間等に関する統計量を求め、それらにより、与えられた計画の評価を行う。

3. ネットワーク・シミュレーションの基本モデル

ネットワーク・シミュレーションで用いる主な用語は次の通りである。

〔リンクとノード〕—本のリンクは必ず一方通行であり、二つ以上のレーンがあるときは、平行して新しいノードとリンクの結合をつくる。図-1のようにノードには、発生、吸収、分岐、合流、交差の5種があるが複雑な航路においては、他のノードやリンクを用いる。

〔優先・非優先〕合流・交差点ノードにおいて、船路・船種・船型により優先・非優先が定められる。

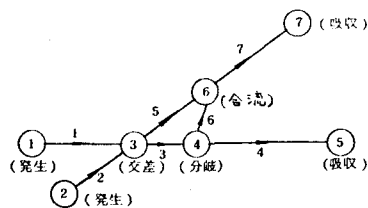


図-1 ノードの種類

〔閉塞領域〕 船が互に入らない領域で前方 $6.4 \times L$ (船の長さ)、後方 $1.6 \times L$

左右方向へそれぞれ $1.6 \times L$ と言われている。

〔事象〕 図-2 のとおりの4種類である。ノード出から次のリンク入までに時

間差があればリンク待ちであり、リンク出から次のノード入までに時間差があれば、ノード待ちである。

シミュレーションのフローを図-3に示した。シミュレーション・タイムはイベント・シーケンシャルにより進める。リンクやノードにその時点に存在する船の当量(閉塞領域)より大きな空きスペースがあれば、ノード出又はリンク入の時刻がそれに続くリンク又はノードの入の時刻となるが、すでに当該船の当量の入る余裕のないときは、リンク待ちあるいはノード待ちとなり、余裕のできたときに待ちが解除され、その時刻がノード入、リンク入の時刻となる。

なお、交差ノードおよび合流ノードでは、優先船と非優先船、または、先にノード入した船と後からノードに入ろうとする船の道行方向が異なる場合には、その両者が同時に混在しないようにしている。すなわち、優先船または異なる方向の船がノードと航行中は、非優先船または、交差船はノード容量に余裕があっても入ることができず、また、異なる方向のノード出があっても航行船が続いている場合には、ノード待ちは解除されない。

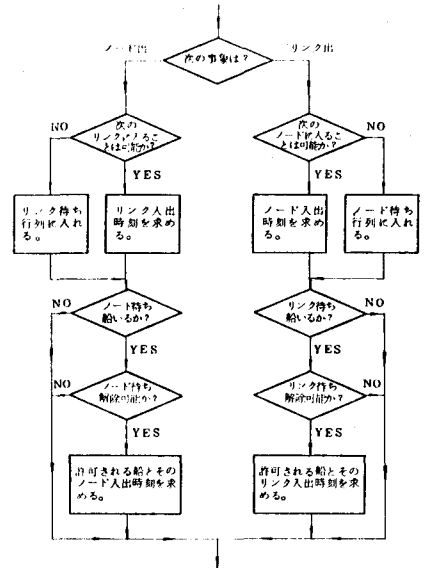


図-3 シミュレーションのフロー

4. 航路部分のノード・リンクの容量と通過時間の考え方

ノードに関しては、航路幅を容量の基準に、リンクに関しては航路面積を基準にとっている。すなわちノードにおける船の当量は、側方閉塞領域で考え、その通過時間は、前方閉塞領域 $a \times L$ を速さ v で除いたものとす。長さ $a \times L$ のぶんは次のリンクの長さから差し引くことで整合性を保たせた。従ってその次のリンクの長さ L とすると、その船のリンク通過時間は $(L - a \times L) / v$ で与えられる。リンクの容量は、長さ $\times$ 幅であるが、長さが船種・船型により異なるため、そのリンクを通過する船の平均長さ $\bar{l}$ で代表させて、リンク容量を近似的に与えた。このとき、リンクを通過する船の当量は、 $a \times L \times b \times L$ (=閉塞領域)としている。場合によっては上記の手法で計算したリンクの長さか、負の場合もあり得るが、その時は止むを得ず0とし、通過時間・容量とも矛盾しないよう配慮して近似値で利用している。

5. ネットワーク・シミュレーションの主な機能

ネットワーク・シミュレーションが、マクロ的に交通量をとりえる上で、非常に有効であることが経験的に確められ、多くの港湾、海域で適用事例が増えるに従い、既述の基本的モデルだけでは、不満足となり、そこでより汎用性を持たせるために、次の機能が加えられた。

- i) 発生分布の時間変動年間あるいは月間の平均値を与え発生はランダムとしている手法に併し、時間帯毎に平均値を与え、その時間帯内では、平均値のランダム発生とし、ピーク時間帯や深夜等の小交通量時間帯を区別できるようにした。
- ii) リンク容量の時間変動航路内での漁船の操業状況が時間変動したり、特定の船の夜間入港規制、又は荒天のため港内静穏長が一定時間悪化している場合の入港規制措置の機能をもたせた。
- iii) ノード・リンクの容量・通過時間の場所による変更閉塞領域や船の運力が、港外、港内、あるいは

- はスリップ内で変化する現象を考慮したり、スリップ内での大型船の離着岸を考慮する機能である。
- iv) 航行管制 ----- 港湾・航路において実施されている、特定の船が航路航行中他の船の進入を禁止したり、特定の時間帯に航路が一方通行になったり、主航路航行船の航路横断船に対する優先通航位置等の機能である。
- v) フルバス待ちとフルバスの場合の他の空バスへのバス変更 ----- ノードの通過時間分布の代わりに、バスの係留時間分布を与えれば、バス待ち問題への応用手法としてこのシミュレーションは利用できるが、目指したバスがフルバスでも他の空きバスを探し、そのバスに着岸する機能である。

6. 入力情報

入力情報は、必要最少限に留め、下記の情報をもとに、シミュレーションに必要なテーブルを作成する。

- i) 船種・船型 ----- 船種・船型別の全長 L と船速 V を与える。
- ii) 閉塞領域と航路幅 ----- 閉塞領域 $a \times L$ と、個別閉塞領域 $b \times L$ とし、 a, b および航路幅 W を与える。
- iii) コース情報 ----- コース番号とその経路をノード番号列で与える。
- iv) ノード座標 ----- ノード番号とその座標値 (x, y) を与える。
- v) 船舶交通量 ----- コース別・船種船型別の単位時間当りの発生交通量を与える。フェリーのように定刻に出港・入港するものはその時刻を与える。
- vi) 管制情報 ----- 管制航路、管制対象船、航路入・出信号時間帯、航路進入禁止時間帯を与える。
- vii) バス情報 ----- バス数、平均係留時間、係留時間の分布形、フルバスの場合の待機泊地リングまたはバス変更が許されるバス番号等を与える。
- viii) その他 ----- シミュレーション時間、プリント指定の有無等の情報を与える。

7. 出力結果 (統計諸表・図とシミュレーション過程の16mm映画フィルム)

シミュレーション実行プログラムでは、入力データの加工および出力結果である統計量の作成は行わず、入力プログラムから受け渡された膨大なデータ・ファイルを利用してシミュレーションを実行し、船舶の状態変化とその時刻のみを記録し、すべて出力用ファイルにはき出すのみである。従って出力結果を求めるには、シミュレーションを再度実行することなく、そのファイルを用いてプログラミングするだけで足りる。図-4 は、出力図の例であるが、この種の出力以外にも、このシミュレーションで一般的に必要と思われる、待ち隻数、待ち時間、待ちの状態確率、航路あるいはバスの利用率に関する統計量(表および図面)は、コントロール・カードを用意するだけで容易に得られるようにしている。

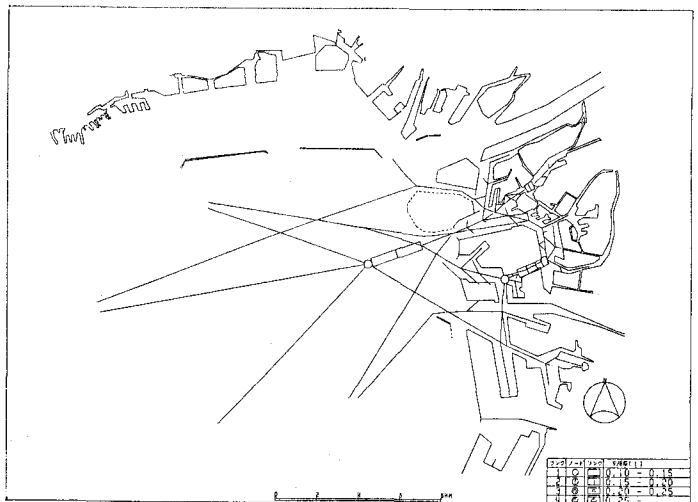


図-4 シミュレーションの出力図例

又、シミュレーション過程そのもの

を、COMにより16%映画化が可能である。従来とかく“シミュレーション”の説明が、前提条件とフローチャートの説明のみで行われ、その内容については、シミュレーション作者の良心にまかされ、いわばブラックボックスであった点を反省し、且わが国の公共事業の多くが住民との合意を得て、計画が実行に移されていく傾向にあって、調査結果そのものが、「専門的で、理解しにくい」という欠点をいくらかでも軽減しようという意図から、シミュレーション過程の16%映画化システムを開発した。実験観測結果の16%映画化システムも既に開発しているが、大阪湾の実験観測から得られた映画の1コマを図-5に、又、同じ大阪湾のシミュレーション過程の映画の1コマを図-6に示した。

シンポジウム当日には、この二種類の映画を用いて説明を行う予定である。

8. おわりに

ネットワーク・シミュレーションは、開発着手から今日までに6年以上の歳月を要しているが、その間に、①東京湾②伊勢湾、③備前瀬戸、④高知港、⑤西宮小牧港、⑥東宮小牧港、⑦秋田湾、⑧大阪湾、⑨瀬戸内海、⑩東城新港、⑪大阪港、⑫神戸港、⑬横浜港の港湾計画、航路体系等の計画調査に広く適用され、多くの方々から貴重な御指導・御意見を賜り、その結果、ここに一応の集大成が行われたと言えよう。しかしながら、本シミュレーションは

港湾・航路の海上交通をマクロ的・総合的にまずつかまえることを、その一目的としており、船舶の操縦性能、あるいは操船者の抱く心理的負担、避航判断の個人差、自然条件の操船への影響等々の問題は敢えて無視してきた。一オ、港湾・航路を利用する船舶の数は年々増加の傾向にあり、また同時に船舶の種類も多様化、専用化の傾向にあり港湾・航路の計画にあたっては従来にも増して一層きめ細い検討が求められており、今後はそれらの点も考慮した操船シミュレーションあるいは、操船シミュレータの開発の必要があろう。

最後に、このシミュレーションの開発にあたり、運輸省の各港湾建設局、海上保安庁、北海道開発局、港湾管理者、および日本海難防止協会の関係者各位の格別な御協力を賜り、ここに改めて深甚の意を表する次第である。

【参考文献】 ミニでは、シミュレーションの開発過程に関するものだけに留め、適用例についてのものは省略した。

- 1) 奥山；電算機利用に関するシンポジウム講演概要——土木学会，昭和52年11月
- 2) 奥山他；輸送ネットワークの評価シミュレーション，土木学会オ31回年次学術講演会概要集オ4部，昭和51年10月
- 3) 奥山他；輸送ネットワークの計画シミュレーションの拡張，土木学会オ32回年次学術講演会概要集オ4部，昭和52年10月
- 4) 奥山他；輸送ネットワークの評価シミュレーションの開発，土木学会オ33回年次学術講演会概要集オ4部，昭和53年9月
- 5) 奥山；海上交通系のマクロ評価シミュレーション，土木学会オ34回年次学術講演会概要集オ4部，昭和54年10月
- 6) 奥山；海上交通シミュレーションの開発と応用，昭和54年度港湾技術研究所講演会講演集，昭和54年12月
- 7) 海上交通安全システムに関する調査研究，日本海難防止協会，昭和54年3月

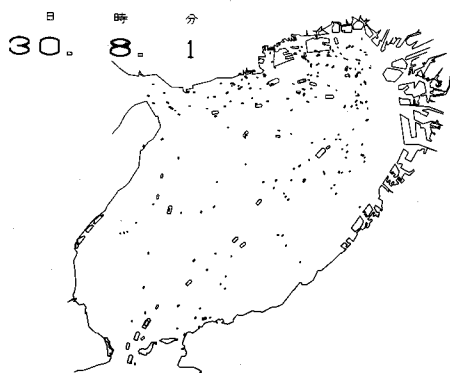


図-5 実験観測結果(昭和54年5月)

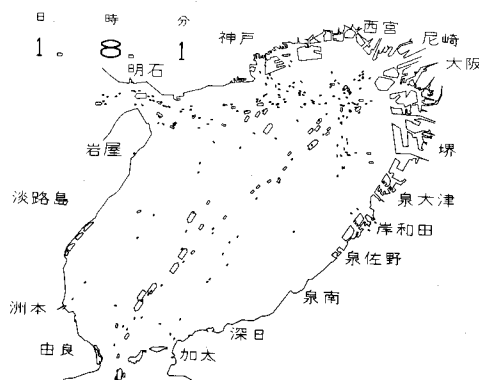


図-6 シミュレーション結果