

## 輸送ネットワークの評価シミュレーション

中 辻 隆\*  
 奥 山 育 英\*\*  
 早 藤 能 伸\*\*\*  
 佐々木 芳 寛\*\*\*\*

### Applications of a Network Simulation Method to Marine Traffic Problems

Takashi NAKATUJI  
 Yasuhide OKUYAMA  
 Yoshinobu HAYAFUJI  
 Yoshihiro SASAKI

#### 要 旨

近年、数多くの掘り込み型の大規模港湾が建設されているが、その計画段階において、港内航路における船舶交通問題の解析は、必要不可欠なものである。同時に、大規模港湾においては、より合理的な計画の策定のためには、海上交通のみならず、臨海の交通をも含めた総合的な解析が必要である。

本研究においては、かかる問題の解析手法として、リンクとノードとをもって交通の場を表現し、一種の待ち合わせ問題のシミュレーションを行なうことにより、その航路等に含まれる問題点を評価するネットワークシミュレーション法について、いくつかの事例とともに報告したい。

#### Synopsis

It is necessary to analyze marine traffic problems in order to determine a rational plan of a port. This technical report presents a method, named a network simulation method, for analyses of them. In this method a simulation field is consisted of links and nodes and a network sytem is estimated by statistics with regard to links and nodes. We introdrce this network simulation method with some examples.

#### 1. ま え が き

近年、日本の経済の発展と土木技術の進歩によって、鹿島港、苫小牧東部港をはじめとして、数多くの掘り込み型の港湾が建設されているが、港湾の規模を決め、各施設の配置を検討する計画の段階においては、港湾建設予定地の自然条件、

将来の取扱貨物量などの経済条件およびその他の社会条件に加えて、港内航路における船舶の操船性、船舶同士の行合いを管理する管制あるいはバース待ち船の現象等の問題の解析が行なわれなければならない。

また、東京湾、伊勢湾、大阪湾、瀬戸内海そして関門海峡においては、近年の船舶の大型化に伴なう船舶交通の輻輳により、時には、船舶の衝突等の海難が生じ、航路の再編、再開発あるいは管制システムの導入等の早急な対策が待たれている。

航路や狭水道における船舶交通の問題を解析す

\* 助手 土木工学科

\*\* 室長 運輸省港湾技術研究所システム研究室

\*\*\* 室員 同 上 システム研究室

\*\*\*\* " 同 上 計 算 室

る方法の一つとして航路シミュレーションがある。これは船舶の運動性能および船舶をとりまく力学条件、管制条件に基づいて船舶の運動自体をシミュレートし、船舶の発生量と通行量の比、および変速、変針回数等をもって航路を評価するという手法である。しかし、ここでは、現象の把握において、数多くの理想化と近似化を含み、また実際の演算においても、電子計算機で多くのコア容量と長い計算時間を必要とするものが多い。

一方、数理解析的手法の一つとして、待ち合わせ理論がある。理想化された状態でのマクロ的な評価においては有効な手法であるが、大規模港湾に直接利用するには、船舶交通に対する管制の問題、あるいは港湾荷役に対するシフトの問題等々、実際上多くの無理を生ずる。

本研究においては、航路、狭水道あるいは時には臨海域をも含めて、解析の対象とする領域をリンクとノードから構成されるネットワークをもって表現し、船舶の動きを一種の待ち合わせ問題としてシミュレートすることによりそのネットワークに含まれている問題点の抽出評価を図ろうとするものである。即ち、通過時間の確率分布と同時に存在し得る船舶の最大数（容量）とが、前もって規定されているリンク、ノードにおける、待ち回数、待ち時間および待ち数等の状態確率の統計量をもって航路を評価しようとする手法である。本手法の開発および確立において我々の意図した点は次の二点である。

(1) ネットワークの中で、どこかの場所がネックとなるかというシステムのマクロ的評価に重点をおきシミュレーションモデルの作成にあたる。リンク、ノード内における個々の船舶の追い越しとか行き会い等の動きには注意を払わない。この事は、複雑な船舶の航行を簡潔にモデル化する事を可能ならしめシミュレーションプログラムの作成を容易にする。

(2) 本シミュレーションプログラムの広汎な活用を図るため、シミュレーションモデルの設定はイムプットデータにより行なうことにする。

以下、本シミュレーションモデルの概要をいくつかの適用例とともに報告したい。

## 2. ネットワークシミュレーションモデル

ネットワークシミュレーションとは与えられた容量と通過時間を有するリンクとノードの組合わせからなる交通網（ネットワーク）上を、あるノードから別のノードまで通過する物体の発生があつ

たとき、通過時間と容量の制限から、物体の流れを阻害するリンクやノードを見つけだし、また阻害によって被る被害の量を予測し、その交通網の欠点を数量的に撰握し、よりよい交通網計画を策定しようとするものである。

### 2. 1 リンクとノード

シミュレーションの場はリンクとノードにより構成される（図2-1）。ノードは図2-2に示す様に、発生、吸収、分岐、合流直進又は埠頭および交差の五種類の基本型に分類される。図2-1において、1と2は発生ノード、3、4、5は吸収ノード、6、10は分岐ノード、7、8は交差ノード、9は合流ノード、そして11は直進（又は埠頭）ノードである。リンクはノードとノードを結ぶもので、各リンク内では必ず一方通行であり、反対方向の通行がある時には新しいリンクとノードの

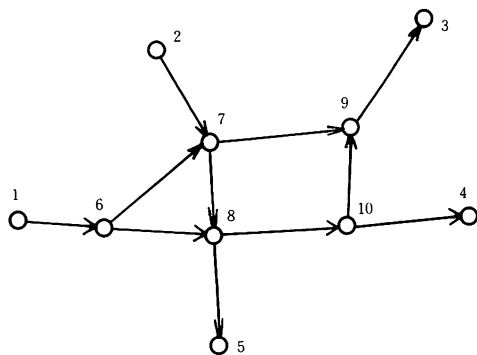


図2-1 リンクとノードから構成されるシミュレーションの場の例

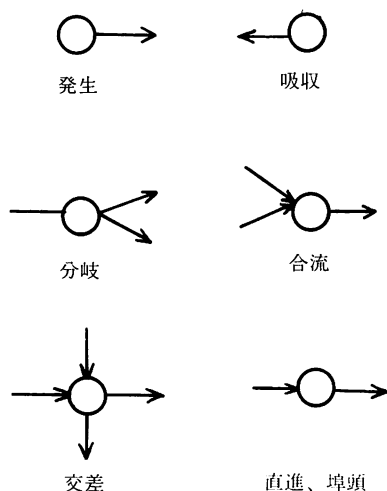


図2-2 ノードの種類

結合を形成しなければならない。図2-1の例においては、船舶の動く経路は次の4経路に限られる。

- ① 1→6→7→9→3
- ② 1→6→8→10→9→3
- ③ 1→6→8→10→4
- ④ 2→7→8→5

より複雑な航路においては、ダミーのリンクやノードが用いられる。例えば、交差ノードでは、右折、左折をしないこととして、その様な場合には、図2-3(1)の様に、分岐ノードと合流ノードとの組み合わせに帰着させる。また、分岐ノードでは、必ず2つに分岐することとし、3つ以上に分岐する場合には、図2-3(2)に示すように、2分岐の場合に帰着させる。3つ以上の合流においても同様である(図2-3(3))。

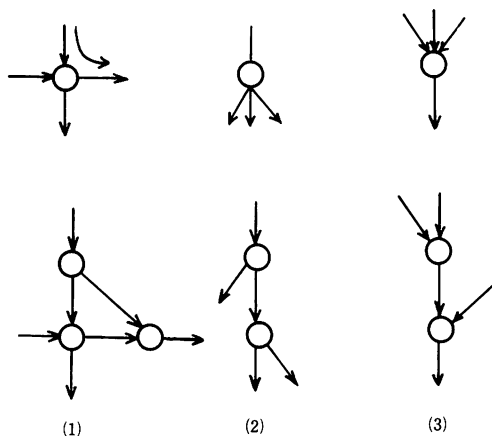


図2-3 ダミーノード

## 2.2 船の種類

船型、船種により必要に応じて10種類まで分類出来る。その設定はインプットデータにより行なう。また、船の種類毎に標準船換算された相当隻数が割り付けられる。

## 2.3 リンク、ノードの容量

各リンク、各ノードには観測調査より得られたデータをもとに、標準船換算による最大許容通過容量が与えられる。ただし、埠頭ノードにおいてはバース数が容量を規定する。

## 2.4 通過時間分布

各リンク、各ノードには、船の種類毎に、そこを通過するのに要する時間の確率分布が与えられる。

## 2.5 優先、非優先

合流、交差ノードにおいては、インプットデータで指定することにより、航路の優先、非優先を定める事が出来る。この指定がない時には、海上交通規則に従って右手船を優先としている。

## 2.6 管制

狭水道や湾口部では航行の安全を確保するために、大型船相互の行会を避ける様にする等の各種管制を実施することがある。シミュレーションモデルでは、全ての船をX、Y、Z船と分類し、「X船が指定された海域にさしかかった時には、特定された経路を進むX船およびY船はその海域に進むことが出来ず、既にその海域にあるX船およびY船は速やかにその海域を出る。Z船は何ら制限を受けることなく自由航行出来る。」ような管制モデルを用意している。同時にいくつかの海域で、いくつかのX、Y、Z船の任意な組み合わせにより管制を行なうことも出来る。時刻によって航行可能方向を指定する型の管制(信号管制)は、その海域の当該するリンク、ノードの容量を時刻に応じて適時変化させることにより設定可能である。表2-1にX、Y、Z船の相互規制関係を示す。

表2-1 管制船の組み合わせ

|   | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| X | × | × | ○ |
| Y | × | ○ | ○ |
| Z | ○ | ○ | ○ |

## 2.7 時間的変動機能

(1) 発生分布 入出港する船の隻数および船の種類分布は、日変動、週変動等の時間的変動性をもっている。そこで、発生分布は時間帯毎にその確率分布が変更出来るようにし、ピーク時間帯や深夜等の小交通量時間帯にも対応出来るようにした。

(2) リンク、ノード容量 早朝に漁船が操業したり、夜間の航行規制が行なわれる所では、航行し得る船の数(容量)は時刻によって変化する。これをリンク、ノード容量の時間的変動としてモデル化した。

(3) リンク、ノード通過時間分布 船の航行速度は、潮の流れの速さに依存するので、時刻によって大きく変動する事が予想される。各リンク、各ノードの通過時間(埠頭ノードにおいては荷役時間)を与える確率分布が、船の種類だけでなく、

時刻に依存するようにした。

(4) 管制 管制は時にはある時間帯のみ行なわれることがある。X, Y, Z 船の組み合わせ方および対象とする海域の指定を時刻に応じて変動出来るようにした。

## 2. 8 確率分布

船の発生時間および各リンク、各ノードの通過時間を規定する確率分布は任意の分布が可能である。本モデルにおいては、比較的使用頻度の高い、レギュラー分布、指数分布、およびフェーズ2と3のアーラン分布を組み込んで利用の便をはかっている。他の確率分布については、必要に応じインプットデータとして与えなければならない。

## 2. 9 シミュレーション法

シミュレーションの流れの概要を図2-4に示す。シミュレーションタイムはイベントシーケ

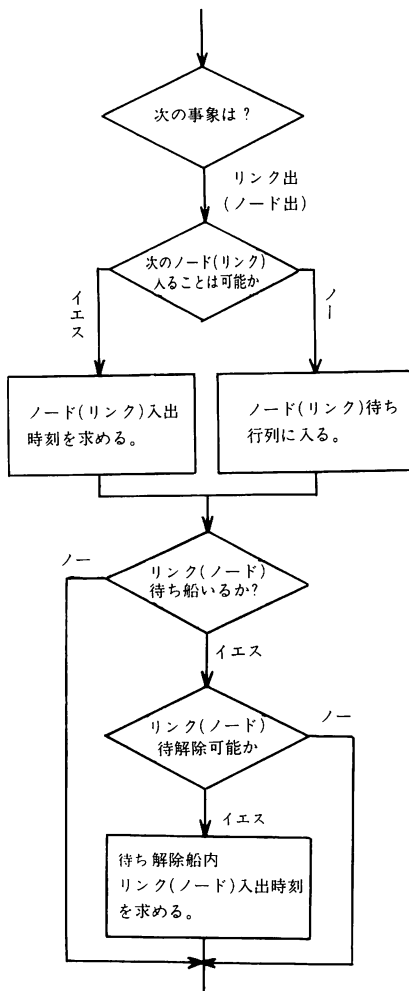


図2-4 シミュレーションの流れ

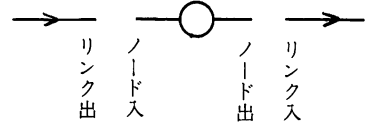


図2-5 事象の種類

ンシルによって進められる。イベント（事象）の基本型は図2-5に示す通り、ノード出、リンク入、リンク出、ノード入の4つである。

リンク入、ノード入の時刻は、次に入る予定のリンク、ノードの“空き状態”と管制条件とによって決定される。リンクやノードに当該船の入る余裕があり、管制上も進むことが許される時には、ノード出、リンク出の時刻がそれに続くリンク、ノードの入りの時刻となる。そうでない時には当該船はリンク待ち、ノード待ちの状態となり、他船のそのリンク、ノードでの出の事象が生じたり、管制の条件が解除されるまで待たなければならない。

リンク出、ノード出の時刻は、所定の確率分布に従って得られた通過時間をリンク入、ノード入の時刻に加えたものである。リンク内、ノード内で生起する他船との追い越し、あるいは行会い等の事象の発生には、本モデルにおいては考慮していない。

その他、交差ノードにおいては、優先船と非優先船との混在を許さないと仮定している。即ち、既に優先船が当該ノードを航行中である時には、非優先船は他の条件が許しても、当該ノードに入る事が出来ず、また、他船のノード出の事象が生じてもノード待ちを解除される事はない。その逆もしかりである。

## 2. 10 シミュレーション結果

ある船が吸収ノードに到着すると、当該船の、発生ノードから吸収ノードまでの全てのリンク、ノードでの入り及び出の時刻が、船種、航行経路等の情報とともに磁気テープに掃き出される。

## 2. 11 ネットワークの評価指標

2. 10 で得られた磁気テープを編集して、各リンク、各ノードでの

- (1) 待ち時間分布
- (2) 状態確率
- (3) のべ存在隻数分布

および各経路での

- (4) 通過時間分布
- (5) 待ち時間分布

を、ネットワークを評価する指標として求める。  
なお、必要に応じて他の評価指標を計算したい時には、再びシミュレーションを実施することなしに、任意に作られた統計解析プログラムによりこの磁気テープを編集することによって求めることが出来る。

3. 適用例

3. 1 大規模港湾計画に対する適用例

大規模港湾の将来計画の評価するためのケース・スタディとしてA港を例にとってみた。バー

ス配置は図3-1に見られる通りである。各バースの年間入港隻数、荷役時間（けい留、解らん時間含む）が与えられていると、各バース毎の到着率、利用率が計算される。

よりきめの細かいシミュレーションを行なうためには、各バース毎にノードを割りつけることが望ましいが、本解析においては、計算機のコア容量および演算時間を勘案して、本質的に大きな影響がないと判断されるいくつかのバースを一つにまとめてシミュレーションを行なった。表3-1～表3-3に各バース毎の値から加重平均して求

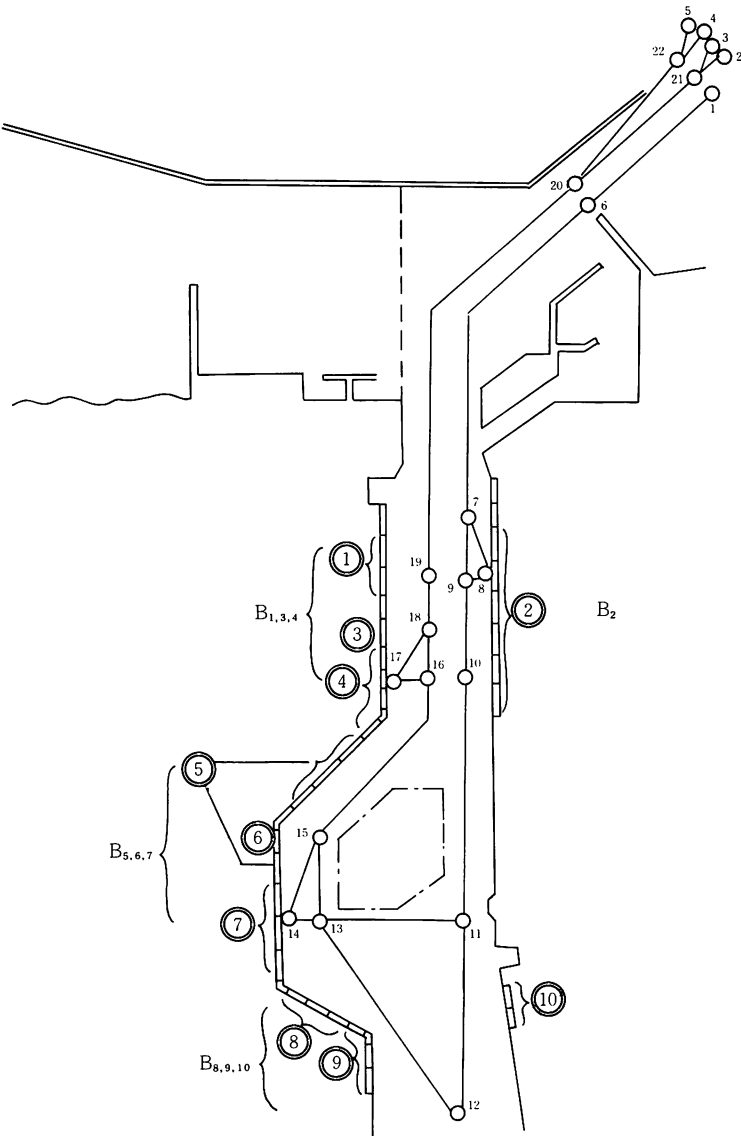


図3-1 ネットワークモデル例（A-港）

められた各バス群毎の到着率、接岸時間、および利用率が計算されている。シミュレーションは、この値を平均値として、到着はポアソン分布に、荷役はフェーズ2のアーラン分布に従うものとして行なわれた。

図3-1に本解析で用いられたネットワークを示す。表3-4、表3-5はそれぞれ各リンク、各ノードについての必要インプットデータである。

シミュレーションは300時間分行ない、統計量は30時から270時までの240時間分(10日分)で計算した。

表3-6からノード⑥、⑬、⑮、⑯、⑱で待ちが生じていることがわかる。表3-7にこれらノード待ち現象の詳細な統計量が与えられる。

このケースでは、これらの結果が示すように港内航路の問題は生じていないが、問題の生ずる場

合には、ノードに関する方向別の統計量、さらにはリンクに関する統計量をも求め、それらをもとに、港内航路ネットワークの再編成および場合によっては管制の導入等も考慮して解析を進めていくことになる。

### 3. 2 港湾の再開発計画に対する適用例

図3-2はB-港の将来計画が船舶航行に与える影響を検討するために組まれたネットワークモデルである。ノードは埠頭を表わし、ここでもモデルの簡略化のために、いくつかのバスが1つのノードに統合されている。

現在、利用度の高いバスは港奥部のB1～B4地区であるが、将来の取扱い貨物量の増大と航行船舶の大型化を考えるとB5水道およびB11水道において船舶航行の安全性に問題が生じると予想される。そこで

(1) 大型船はB5水道以南のB6地区やB11水道以東のB港湾外に。

(2) B-11水道湾曲部やB9地区及びB5水道以北に分散してけい留している漁船や遊漁船をB7地区に船だまりを設け集約させる。という方針で将来の整備計画が立案された時、現状、昭和55年、昭和66年時についてシミュレーションを行なってみた。

B港B11水道では、「1000G/T以上(タンカー

表3-2 バス別荷役時間(時間)

| 船型<br>バス            | I    | II   | III  | IV    | V     | VI    |
|---------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| B <sub>1,3,4</sub>  |      | 4.17 | 4.59 | 8.44  | 34.00 |       |
| B <sub>2</sub>      |      |      |      | 27.50 | 34.00 |       |
| B <sub>5,6,7</sub>  |      | 4.08 | 6.00 | 10.33 | 9.63  | 14.07 |
| B <sub>8,9,10</sub> | 2.83 | 3.50 | 5.69 | 9.26  |       |       |

表3-1 バス別到着率(隻/時)

| 船型<br>バス            | I        | II       | III      | IV       | V        | VI       | 計        |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| B <sub>1,3,4</sub>  |          | 0.025342 | 0.114498 | 0.065981 | 0.008447 |          | 0.214268 |
| B <sub>2</sub>      |          |          |          | 0.012443 | 0.026941 |          | 0.039384 |
| B <sub>5,6,7</sub>  |          | 0.001484 | 0.001484 | 0.002283 | 0.081963 | 0.049316 | 0.136530 |
| B <sub>8,9,10</sub> | 0.031621 | 0.114954 | 0.128654 | 0.56621  |          |          | 0.331849 |
| 計                   | 0.031621 | 0.141780 | 0.244635 | 0.137328 | 0.117352 |          | 0.722032 |

表3-3 バス別利用率

| バス                  | 延接岸時間    | 利用可能時間 <sup>*1</sup> | 利用率 <sup>*1</sup> | 利用可能時間 <sup>**2</sup> | 利用率 <sup>**2</sup> |
|---------------------|----------|----------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| B <sub>1,3,4</sub>  | 12932.63 | 61320.0              | 0.21              | 21315.84              | 0.61               |
| B <sub>2</sub>      | 11021.50 | 52560.0              | 0.25              | 18270.72              | 0.60               |
| B <sub>5,6,7</sub>  | 13163.11 | 70080.0              | 0.19              | 24360.96              | 0.54               |
| B <sub>8,9,10</sub> | 15301.62 | 70080.0              | 0.22              | 24360.96              | 0.63               |
| 計                   | 52418.86 | 254040.0             | 0.21              | 88308.48              | 0.59               |

\*1 1年中利用可能とした

\*\*2 静穏度を考慮した( $H_1 \leq 1.0\text{m}$ )

365日×24時間×バス数

304 ×10時間×バス数

表3-4 リンク情報

| ノード→ノード | 容 量 | 距 離  | 速力(ノット) | 通 過 時 間 | 計 算 上 の 距 離 |
|---------|-----|------|---------|---------|-------------|
| 1- 6    | ∞   | 1000 | 6       | 0       | 0           |
| 6- 7    | 2   | 2080 | 6       | 0.097   | 1000        |
| 7- 8    | 1   | 380  | 4       | 0.051   | 380         |
| 7- 9    | 1   | 380  | 6       | 0       | 0           |
| 8- 9    | 1   | 200  | 4       | 0       | 0           |
| 9-10    | 1   | 570  | 6       | 0       | 0           |
| 9-19    | 1   | 200  | 6       | 0       | 0           |
| 10-11   | 1   | 1430 | 6       | 0.039   | 430         |
| 10-16   | 1   | 200  | 6       | 0.001   | 0           |
| 11-12   | 1   | 1100 | 4       | 0.013   | 100         |
| 11-13   | 1   | 800  | 6       | 0       | 0           |
| 12-13   | 1   | 1100 | 4       | 0.013   | 100         |
| 13-14   | 1   | 250  | 4       | 0       | 0           |
| 13-15   | 1   | 480  | 6       | 0       | 0           |
| 14-15   | 1   | 500  | 4       | 0       | 0           |
| 15-16   | 1   | 1200 | 6       | 0.018   | 200         |
| 16-17   | 1   | 200  | 4       | 0       | 0           |
| 16-18   | 1   | 280  | 6       | 0       | 0           |
| 17-18   | 1   | 200  | 4       | 0       | 0           |
| 18-19   | 1   | 300  | 6       | 0       | 0           |
| 19-20   | 3   | 2600 | 6       | 0.234   | 2600        |
| 20-21   | ∞   | 1000 | 10      | 0.054   | 1000        |
| 20-22   | ∞   | 1000 | 10      | 0.054   | 1000        |
| 21- 2   | ∞   | 100  | 10      | 0.005   | 100         |
| 21- 3   | ∞   | 100  | 10      | 0.005   | 100         |
| 22- 4   | ∞   | 100  | 10      | 0.005   | 100         |
| 22- 5   | ∞   | 100  | 10      | 0.005   | 100         |

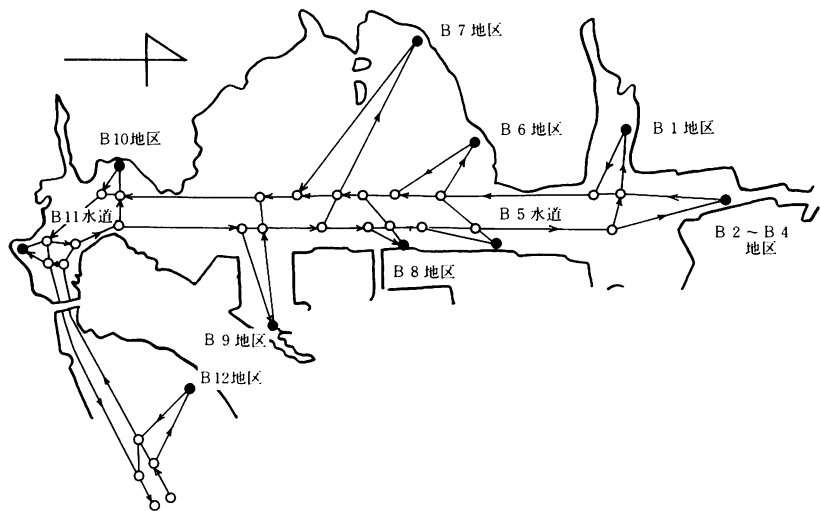


図 3-2 ネットワークモデル例 (B-港)

では 500 G/T 以上) の船舶が B 11 水道にさしかかった時には、反航する 100 G/T 以上の船舶は水道入口で待機しなければならない。」旨の管制が実施されている。

表3-6 ノード別統計量

| ノード番号 | 通過隻数 | 待ち時間0の通過隻数 | 平均待ち時間 | 待ち時間の標準偏差 |
|-------|------|------------|--------|-----------|
| ⑥     | 185. | 167.       | 0.00   | 0.020     |
| ⑦     | 185. | 185.       | 0.     | .0        |
| ⑧     | 7.   | 5.         | 0.     | 0.        |
| ⑨     | 185. | 185.       | 0.     | 0.        |
| ⑩     | 178. | 178.       | 0.     | 0.        |
| ⑪     | 116. | 116.       | 0.     | 0.        |
| ⑫     | 75.  | 75.        | 0.     | 0.        |
| ⑬     | 114. | 112.       | 0.00   | 0.011     |
| ⑭     | 41.  | 41.        | 0.     | 0.        |
| ⑮     | 110. | 108.       | 0.00   | 0.001     |
| ⑯     | 172. | 166.       | 0.00   | 0.009     |
| ⑰     | 63.  | 63.        | 0.     | 0.        |
| ⑱     | 172. | 171.       | 0.00   | 0.002     |
| ㉑     | 179. | 175.       | 0.00   | 0.001     |

シミュレーションは 3.1 と同じく、各々のケースについて 10 日間分実施した。

表 3-8 は船の種類のカテゴリ表である。図 3-3 に B 5 水道を北上する船と南下する船について待ち隻数、平均待ち時間の年推移を示した。

3.3 狭水道における巨大船航行による影響を検討するための適用例

図 3-4 は、C 湾 C 1 水道における巨大船航行による影響を検討するために設定されたネットワークである。本水道を巨大船が通航している時には、反航する大型船以上の船舶は水道の入口で待機しなければならない旨の管制が実施されてお

表3-8 船の種類のカテゴリ例

| 船型  | 分 類                  | 船型   | 分 類                  |
|-----|----------------------|------|----------------------|
| I   | ～ 5 G/T              | V    | (タンカー)<br>500～100    |
| II  | 5～100                | VI   | 1000～6000            |
| III | 100～500              | VII  | (フェリー)<br>6000～10000 |
| IV  | (タンカー除く)<br>500～1000 | VIII | (フェリー)<br>10000～     |

表3-5 ノード情報

| ノード番号 | 種 類                      | 容量(隻) | バス別所要時間 (又は発生率) |        |       |        |        |        | 方向別所要時間          |
|-------|--------------------------|-------|-----------------|--------|-------|--------|--------|--------|------------------|
|       |                          |       | 船型 I            | II     | III   | IV     | V      | VI     |                  |
| ①     | 発 生                      |       |                 |        |       |        |        |        |                  |
| ②     | 吸収(B <sub>2</sub> )      |       |                 |        |       |        | (0.013 | 0.027) |                  |
| ③     | 吸収(B <sub>8,9,10</sub> ) |       | (0.032          | 0.115  | 0.129 | 0.567) |        |        |                  |
| ④     | 吸収(B <sub>5,6,7</sub> )  |       |                 | (0.002 | 0.002 | 0.003  | 0.082  | 0.050) |                  |
| ⑤     | 吸収(B <sub>1,3,4</sub> )  |       |                 | (0.028 | 0.115 | 0.066  | 0.009) |        |                  |
| ⑥     | ダミー                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | 0.080            |
| ⑦     | 分 岐                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | →⑧0.090, →⑨0.090 |
| ⑧     | バス B <sub>2</sub>        | 6     |                 |        |       | 27.50  | 34.00  |        |                  |
| ⑨     | 交 差                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | ⑦→0.034, ⑧→0.027 |
|       | 分 岐                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | →⑪0.051, →⑯0.051 |
| ⑪     | 分 岐                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | →⑫0.090, →⑬0.090 |
| ⑫     | バス B <sub>8,9,10</sub>   | 8     | 2.83            | 3.50   | 5.69  | 9.26   |        |        |                  |
| ⑬     | 交 差                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | ⑪→0.072, ⑫→0.090 |
| ⑭     | バス B <sub>1,5,6,7</sub>  | 8     |                 | 4.08   | 6.00  | 10.33  | 9.63   | 14.09  |                  |
| ⑮     | 合 流                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | ⑬→0.043, ⑭→0.067 |
| ⑯     | 交 差                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | ⑩→0.018, ⑮→0.080 |
| ⑰     | バス B <sub>1,3,4</sub>    | 7     |                 | 4.17   | 4.59  | 8.44   | 34.00  |        |                  |
| ⑱     | 合 流                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | ⑯→0.025, ⑰→0.027 |
| ⑲     | 合 流                      | 1     |                 |        |       |        |        |        | ⑨→0.018, ⑱→0.027 |
| ⑳     | 分岐(ダミー)                  | 1     |                 |        |       |        |        |        | 0                |
| ㉑     | 分岐(ダミー)                  | 1     |                 |        |       |        |        |        | 0                |
| ㉒     | 分岐(ダミー)                  | 1     |                 |        |       |        |        |        | 0                |

表3-7 待ちの生じたノードにおける統計量

| ノード |                | 1隻も待たなかった<br>状態  | 1隻待つ<br>状態     | 2隻待つ<br>状態     | 3隻以上<br>待つ状態   | トータル<br>待ち時間 | トータル<br>待ち時間 | 待った船の平均<br>待ち時間 |
|-----|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|
| ⑥   | 状態継続時間<br>状態確率 | 239.207<br>0.997 | 0.715<br>0.003 | 0.078<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.871        | 18           | 0.048           |
| ⑬   | 状態継続時間<br>状態確率 | 239.827<br>0.999 | 0.773<br>0.001 | 0.000<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.173        | 2            | 0.087           |
| ⑮   | 状態継続時間<br>状態確率 | 239.994<br>1.000 | 0.006<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.006        | 1            | 0.006           |
| ⑯   | 状態継続時間<br>状態確率 | 239.774<br>0.999 | 0.226<br>0.001 | 0.000<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.226        | 6            | 0.038           |
| ⑱   | 状態継続時間<br>状態確率 | 239.976<br>1.000 | 0.024<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.024        | 1            | 0.024           |
| ⑲   | 状態継続時間<br>状態確率 | 239.985<br>1.000 | 0.015<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.015        | 4            | 0.004           |

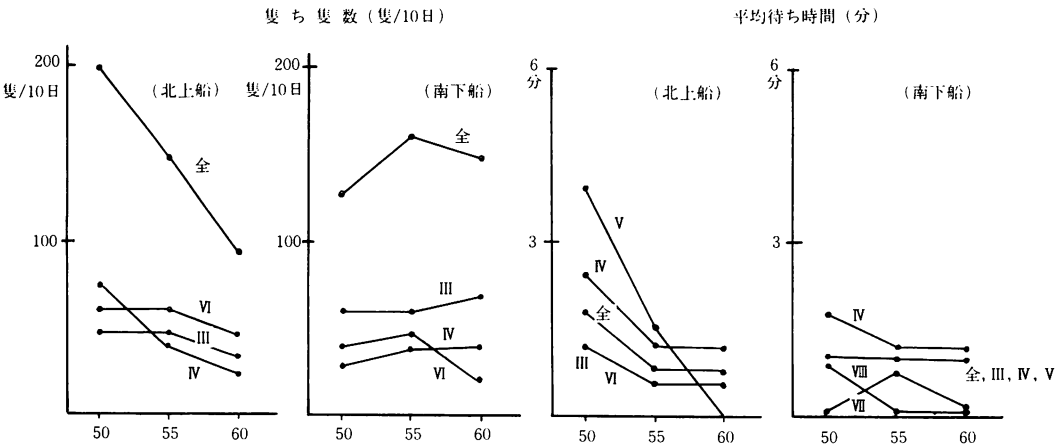


図3-3 待ち隻数、平均待ち時間に関する統計量

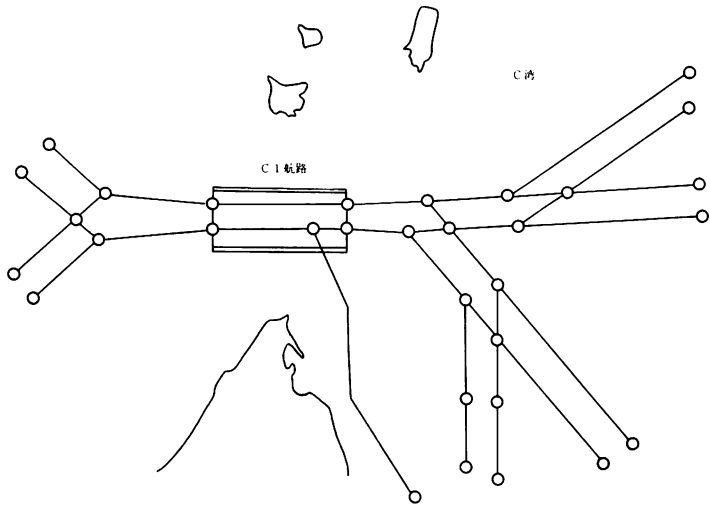


図3-4 ネットワークモデル例 (C-港)

り、また、航路周辺に出漁する漁船によって通航容量が時間的に変動する。本例においても10日分の演算が行なわれた。

#### 4. あ と が き

港内航路や狭水道航路を航行する船舶の港湾計画の一環としての航路体系あるいは施設配置計画に与える影響をマクロ的に評価する手法としてネットワークシミュレーション法は十分有用性をもつことが確かめられた。今後の課題としては、管制の方式一つとっても各港それぞれ異った方式がとられており、さらに広範囲の問題に対応出来るよう汎用性を高めるとともに、船舶交通のみならず臨海交通までも含めた問題、あるいは他の輸送交通機関問題への活用等を行きたい。

#### 参 考 文 献

1. 中辻, 奥山, 早藤; “輸送ネットワークの評価シミュレーション”, 土木学会第31回年次学術講演会概要集第IV部門 1976
2. 中辻, 奥山, 佐々木; “輸送ネットワークの評価シミュレーションの拡張”, 土木学会第32回年次学術講演会概要集第IV部門, 1977
3. 奥山, 早藤, 中辻, 佐々木, 吉田; “水域計画手法に関する研究”, 昭和51年度港湾技術研究所講演会講演集, 1976, 運輸省港湾技術研究所
4. 奥山, 早藤, 佐々木, 中辻; “海上航行船舶挙動に関する研究(第1報)”, 港湾技術研究所報告, 第15巻1号, 1976, 3, 運輸省港湾技術研究所
5. 奥山, 早藤, 中辻, 佐々木, 吉田; “海上航行船舶挙動に関する研究(第2報)”, 港湾技術研究所報告, 第16巻1号, 1977, 3, 運輸省港湾技術研究所
6. 奥山, 早藤, 吉田, 中辻; “海上航行船舶挙動に関する研究(第3報)”, 港湾技術研究所報告, 第17巻1号, 1978, 3, 運輸省港湾技術研究所
7. 早藤, 奥山, 中辻; “航行船舶の挙動に関する観測法ならびに解析法について”, 土木学会第31回年次学術講演会概要集第IV部門, 1976
8. 奥山, 早藤, 笹嶋, 佐々木(芳), 佐々木(典); “埠用滞船シミュレーションプログラムの開発”, 港湾技術研究所資料, No. 222, 1975, 6 運輸省港湾技術研究所

(昭和53年11月30日受理)