

船舶交通システムの研究

= 広域交通の一解析法 =

渡 辺 健 次* 浜 島 金 司*

Studies on the Marine Traffic Systems

= An Analysis of Traffic in Large =

by

Kenji WATANABE and Kinji HAMAJIMA

Abstract

In this paper, an analytical treatment for the marine traffic is presented. At an assumed region, the relations between several quantities (inflow Q and outflow Q' of ships, ship number S in the region and trip time distribution function $p(t)$,) are investigated.

The results are given as follow ;

- (1) $\bar{t} = S/Q$, where \bar{t} is mean trip time in the region.
- (2) Invariability of \bar{t} versus Q is reduced by the observations made on Uraga Suido, Kanmon Straits and Bisan Seto. Furthermore, "the linearity of the system" and "the connection of the regions" are discussed.

1. まえがき

多くの水路が分岐あるいは交差して複雑にいくつみさらに港などをもふくめた広い範囲にわたる水域をかんがえて、そのなかでの船舶交通をひとつの大きなシステムとしてとりあつかってゆくことは、交通工学の発展する方向からみて必然的とおもわれる。従来ごくせまい水域で、相当ばらつきの多いデータを観測によって得、その結果の意味するところを議論してきたのにたいし、この広域的な交通のとりあつかいは、あきらかにちがった手法をもってせねばならないであろう。観測は当然広範囲にわたる交通にたいしておこなわれなければならない。われわれの研究グループでは、すでにこの方向に沿ってある程度広い範囲の交通観測をこころみた。また理論解析にかんしても、種々のモデルの提出が予想される。

ところで、観測、およびその結果を解析するためのモデルについて、次のような制約があらわれてくる。まずひとつには、観測との関連において、交通状況の細部が得にくくなる傾向がある。つぎにその結果とし

て、また経験科学としての要請から、モデルは観測可能な量を基礎として組み立てられなければならない。

そこで考えられるのは、交通状況の細部にこだわることなく、比較的簡単に観測できる量をもちいて、全体の交通を表現できるようなモデルである。たとえば、ふつうよくもちいられるように、全体をいくつかの点とそれらを結ぶ水路によって構成されるネットワークとして表現し、各交通路での流れと各点での交通需要の発生消滅を観測し、適当な解析法によって、交通配分その他の最適交通管理をおこなおうとするモデルがある。これは完全にコントロールされかつ定常的な交通にたいし有効であり、またとりあつかう範囲が広域であればあるほど、極端にいえば全地球的であればあるほど有効である。

筆者はこれにたいし、かなり無秩序で非定常的であり、さらにそれほど大きくない範囲に限られた交通にたいし、それをひとつのブロックとみなし、必要に応じてこれらのブロックを接続してゆくことができるようなモデルを提案する。観測される量はまずこのブロック境界での流入流出であり、内部での交通の細部は

* 共通工学部 原稿受付：昭和47年12月15日

かならずしも知る必要はない。できれば、出力と入力のみが観測できるブラックボックスのようにとりあつかえることがのぞましい。そのとき、このブロック内部の交通特性をあらわすパラメータとして何をえらんだらよいか問題となる。それから、出入力としてはかならずしも交通量にかぎることもないだろう。結局えらんだパラメータおよび観測された諸量の組みあわせに対応して、また種々の解析法が存在することである。

ここでは比較的観測容易とみられる単位時間あたりの流入および流出量、すなわち境界における交通量、およびブロック内部に存在する量、それから一隻の船がブロックにはいつから出るまでの旅行時間、などをとって、それら諸量のあいだの関係をしらべてみる。定常状態を考えると、これらの関係をあらわす基礎的な定理がみいだされる。非定常の場合、旅行時間分布が変化しないという線形性を仮定して、これらの量のいくつかから残りの量をみいだす方法を考察する。さらに非線形性の考察にうつり、区内の代表的な水域における観測結果をこの性質にてらして検討する。さいごに、簡単にブロックの接続の問題を議論する。

2. 旅行時間にかんする定理

いま、単位時間あたりの流入、流出量を Q, Q' 、内在量を S 、旅行時間を t 、その平均を \bar{t} とすれば、つぎの定理がみいだされる。

〔定理〕 もし定常状態において循環とわき出しがブロック内に存在しなければ

$$Q' = Q \quad \bar{t} = S/Q$$

〔証明〕 規格化された旅行時間分布関数を $p(t)$ とする。ある時刻 t_0 において時間間隔 dt_0 のあいだに流入する量は Qdt_0 でそのうち時刻 t_1 に流出するものは

$$p(t_1 - t_0) Q dt_0$$

したがって全体として時刻 t_1 における流出量は

$$Q' = \int_{-\infty}^{t_1} p(t_1 - t_0) Q dt_0 = Q \int_0^{\infty} p(\xi) d\xi = Q$$

時刻 $t_2 (t_1 > t_2 > t_0)$ における内在量は、つぎのように計算される。

時刻 t_0 に流入した Qdt_0 のうち時刻 t_2 までに流出しない量は、 t_2 以後に流出する量の積分で

$$\int_{t_2}^{\infty} Q dt_0 p(t_1 - t_0) dt_1$$

となり、これを t_0 について $-\infty$ より t_2 まで積分して

$$S = \int_{t_2}^{\infty} \int_{-\infty}^{t_2} p(t_1 - t_0) Q dt_0 dt_1$$

(58)

$$\begin{aligned} &= Q \int_{t_2}^{\infty} \int_{t_1 - t_2}^{\infty} p(\eta) d\eta dt_1 \\ &= Q \int_0^{\infty} \int_{\xi}^{\infty} p(\eta) d\eta d\xi \\ &= Q \int_0^{\infty} \int_0^{\eta} p(\eta) d\xi d\eta \\ &= Q \int_0^{\infty} \eta p(\eta) d\eta \\ &= Q \bar{t} \end{aligned}$$

証明おわり。

循環やわき出しのある場合は、ブロックに適切な切断をくわえることによって定理が成立するようによい。このようにして、 Q, Q', S, \bar{t} のあいだの関係が得られた。この関係は種々の問題に応用できるごく一般的かつ常識的な関係で、たとえば無限に多いサービス窓口があるときの待ち行列、平均待ち時間あるいは平均サービス時間と到着の割りあいのあいだにも同様の関係がなりたつ。一般にあるブロック（たとえばホテルや駐車場）に流れこむもの（客、車）の時間的割りあいが一定であれば、そのゆらぎが無視できるという条件のもとで、平均の滞在時間とそのブロックの容量（室数や面積）のあいだに同様の関係がなりたつ。

さて、実際には定常状態の条件は容易に実現せず流入量のゆらぎは流出および内在量にもおなじくゆらぎを生じさせる。しかしゆらぎが小さい場合、ある時間にわたって平均すれば、近似的に定常状態とみなすことができるものとおもわれる。実例として浦賀水道における観測⁽¹⁾の結果の一部を図-1に示す。ある日の正午よりはじめて18時間にわたるブロック内在量の時間的変化をえがき、1時間ごとに区切ってそれぞれ1時間あたりの流入隻数および平均旅行時間（単位は分）をカッコ内に記入した。この流入量および平均旅行時間から計算される内在量を各1時間ごとに実線でしめした。これを見ると、12~13時および16~18時のあいだをのぞき、内在量の平均値は計算された値とよく一致する。16~18時のあいだも2時間にわたる平均をとれば、破線であらわしたようによく一致する。

定理の応用として交差点における時間おくれの問題をかながえる。もし交差点あるいはその付近で他船等の干渉がなければ、船は一定速度で運航し所定の時間で交差点の他の側から出てゆく。実際には干渉の結果旅行時間が長くなる。この干渉の過程の細部にはふれず、観測のみによって時間おくれをもとめてみよう。図-2のようにブロックをきめておいて、各水路の入口での流入 Q_i と流出 Q'_i を観測する。 ξ_i を入口から交差点までの距離、 Q_{ij} を水路から水路 j へ流れる交通量とする。定常状態とすれば $\sum Q_i - \sum Q'_i = \sum Q_{ij}$

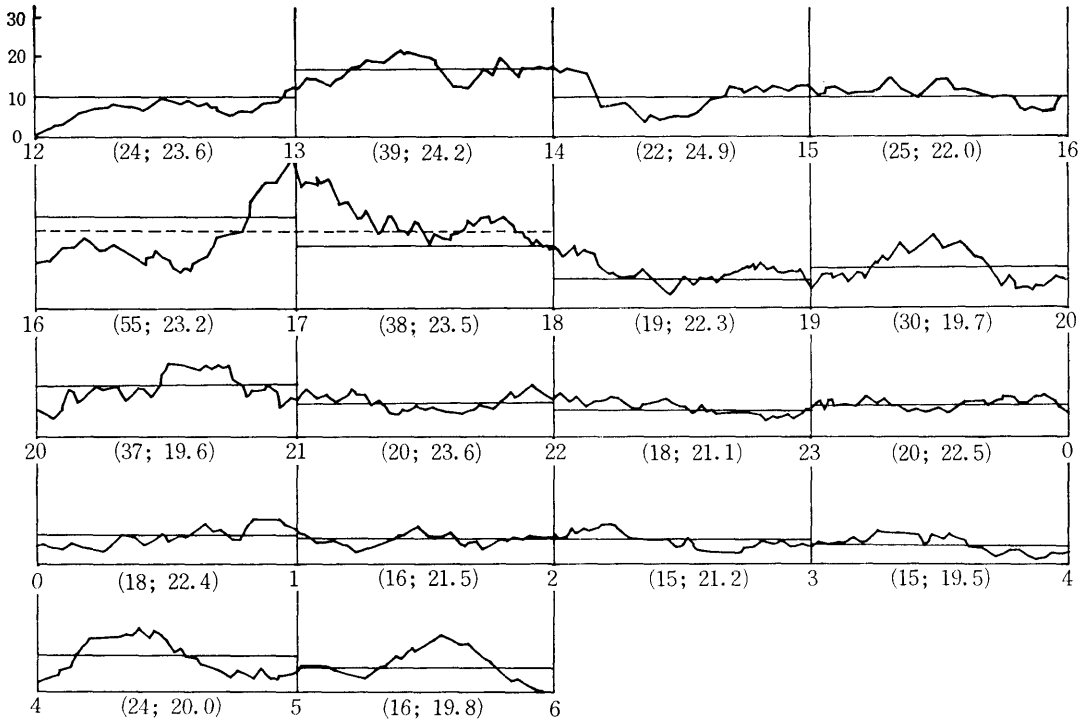


図1 内在量の時間的変化 (浦賀水道)

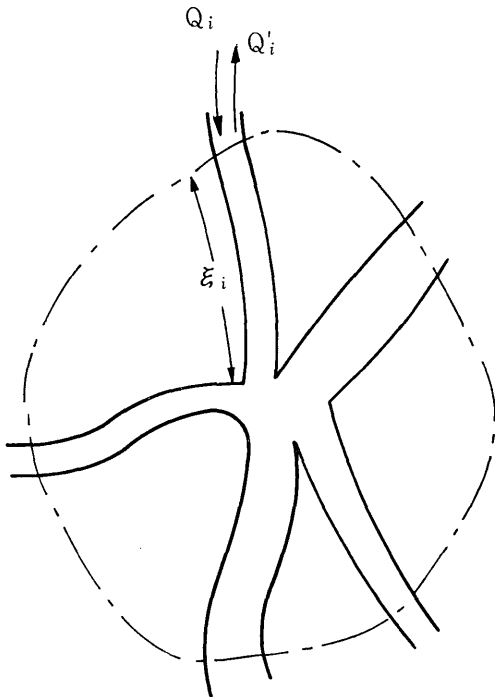


図2 交差点を中心とするブロック

であり、希望速度分布 $f(v)$ はどの流れ Q_{ij} にたいしても同じであると仮定すれば、希望旅行時間の平均は

$$\begin{aligned} & \frac{\sum_{i,j} Q_{ij}(\xi_i + \xi_j) / v_h \sum_i Q_i}{\sum_i Q_i} \\ &= \sum_i \xi_i (Q_i + Q'_i) / v_h \sum_i Q_i \end{aligned}$$

となる。ただし v_h は希望速度の調和平均である。一方平均旅行時間は定理によって

$$S / \sum Q_i$$

であるから平均時間おくれは、その差

$$[S - \sum \xi_i (Q_i + Q'_i) / v_h] / \sum Q_i$$

となる。 ξ_i を充分長くすれば入口における速度は希望速度にひとしいとみることができるから、観測のみによって時間おくれがもとめられる。

3. 線形性

流入量が変わるとき、旅行時間分布は一般に変化するとみてよい。もちろんその他の原因でも変化がおきる。ほかの条件を一定にして流入量を変化させるとき、分布 $p(t)$ が変化しないならば、工学の他の分野における概念との類似から、このブロック内の交通システムは線形である、とよぼう。

流入量変動するとき、流出量や内在量のあいだの

諸関係は

$$Q'(t_1) = \int_0^\infty Q(t_1 - \xi)p(\xi)d\xi$$

$$S(t_2) = \int_0^\infty p(\xi) \left[\int_{t_2 - \xi}^\infty Q(\zeta)d\zeta \right] d\xi$$

$$= \int_{-\infty}^{t_2} Q(\zeta)d\zeta - \int_{-\infty}^0 Q(\zeta)d\zeta$$

となり、ラプラス変換をおこなうと

$$L[Q'] = L[Q]L[p]$$

$$L[S] = L[Q](1 - L[p])/s$$

$$sL[S] = L[Q] - L[Q']$$

となる。ただし初期値はすべてゼロとした。この三個の関係式はたがいに独立でない。流入量の変動が簡単な場合をいくつか計算してみる。

(1) $Q(t) = Q_0 + \Delta S \delta(t)$

$$Q'(t) = \begin{cases} Q_0 & t < 0 \\ Q_0 + \Delta S p(t) & t > 0 \end{cases}$$

$$S(t) = \begin{cases} Q_0 t & t < 0 \\ Q_0 t + \Delta S \int_0^t p(\xi)d\xi & t > 0 \end{cases}$$

(2) $Q(t) = \begin{cases} Q_0 & t < 0 \\ Q_0 + \Delta Q & t > 0 \end{cases}$

$$Q'(t) = \begin{cases} Q_0 & t < 0 \\ Q_0 + \Delta Q \int_0^t p(\xi)d\xi & t > 0 \end{cases}$$

$$S(t) = \begin{cases} Q_0 t & t < 0 \\ Q_0 t + \Delta Q \left[t \int_0^\infty p(\xi)d\xi + \int_0^t \xi p(\xi)d\xi \right] & t > 0 \end{cases}$$

さて、以上の関係式によって、これら諸量のどれかが未知のとき、既知の他の量をつかってもとめる問題

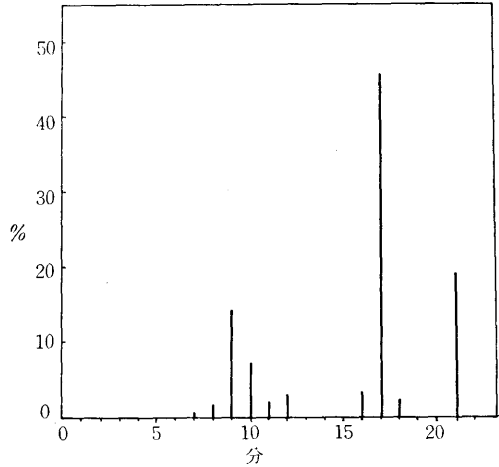


図3 旅行時間分布

をかんがえる。まず、時間の関数としてあたえられた流入量 $Q(t)$ と旅行時間分布 $p(t)$ からほかの量をもとめてみる。一例として、船舶交通にかんしておこなわれたシミュレーション⁽²⁾の結果に適用する。旅行時間分布は図-3のようであった。このような離散的な分布にたいして関数形は

$$p(t) = C_1 \delta(t - t_1) + C_2 \delta(t - t_2) + 1 \dots \dots$$

$$\sum C_i = 1$$

なるデルタ関数の一次結合の形にあらわすことができる。このとき

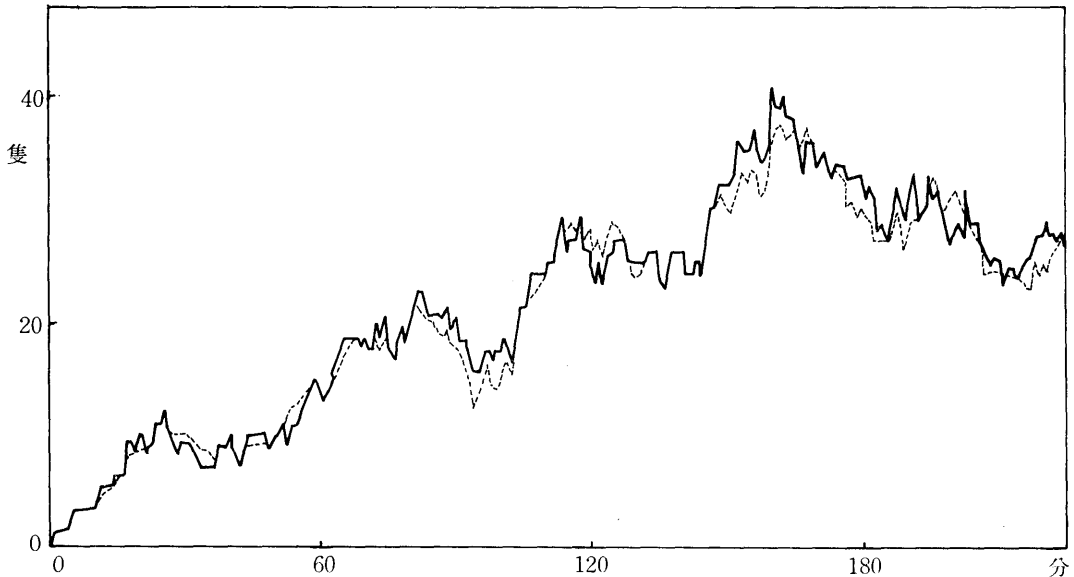


図4 内在量一観測値…計算値

$$Q'(t) = C_1 Q(t-t_1) + C_2 Q(t-t_2) + \dots$$

$$S(t) = C_1 \int_{t-t_1}^t Q(\xi) d\xi + C_2 \int_{t-t_2}^t Q(\xi) d\xi + \dots$$

となり、流入量関数 $Q(t)$ は実際には離散的であったにもかかわらず、 $S(t)$ の計算された値と実際の値は図-4 のようによく一致している。しかし Q' の計算にはこの離散性が原因でよい結果をもたらさない。

実際問題として観測が比較的容易なのは流入および流出量である。また、いまもちいているモデルおよびその解析法においては、ブロックの特性をあらわすパラメータとして旅行時間分布をとることが自然なので Q, Q' の時間変化を観測して、その結果から、 $S, p(t)$ などをもとめる問題を考察する。

もっとも簡単なのは、インパルス型の流入量変化をあたえてみて、流出量の式 $Q'(t) = Q_0 + \Delta S p(t)$ あるいは内在量の式 $Q_0 t + \Delta S \int_t^\infty p(\xi) d\xi$ から $p(t)$ を得ることである。しかし、実際の交通にこのような都合のよい変化がおきることはおぼろげで、大がかりな実験をおこなうことも現実的でない。そこで一般の場合の観測から、まず S をもとめることをかんがえよう。ある時刻で S がゼロのときがあれば、そこを時間の負の無限大

とみなして

$$S(t) = \int_{-\infty}^t Q(\xi) d\xi - \int_{-\infty}^t Q'(\xi) d\xi$$

により S がもとめられる。この流入流出関数を一度積分したものを H, H' とおく。図-5 は前記シミュレーションの結果から得た H, H' である。ところで図-5 の中で線分 AC はあきらかに内在量をあらわす。そして線分 AB の勾配は流入量 Q にひとしいから、定理

$$Q = S/\bar{t}$$

によって、線分 BC の長さは \bar{t} にひとしくならなければならない。 Q, Q' の離散性によって、 BC の長さは一定でなくばらつきをしめしている。これを平均すると、平均値16分14秒、標準偏差2分30秒を得る。一方旅行時間分布から得た平均値は15分48秒で、観測時間間隔が1分間であるから、両方の結果は誤差の範囲内で一致している。この方法で平均旅行時間がかなり精度よくもとめられることがわかった。

4. 非線形性について

非線形すなわち、旅行時間分布が流入量や内在量によって変化するような交通システムをかんがえる。ほ

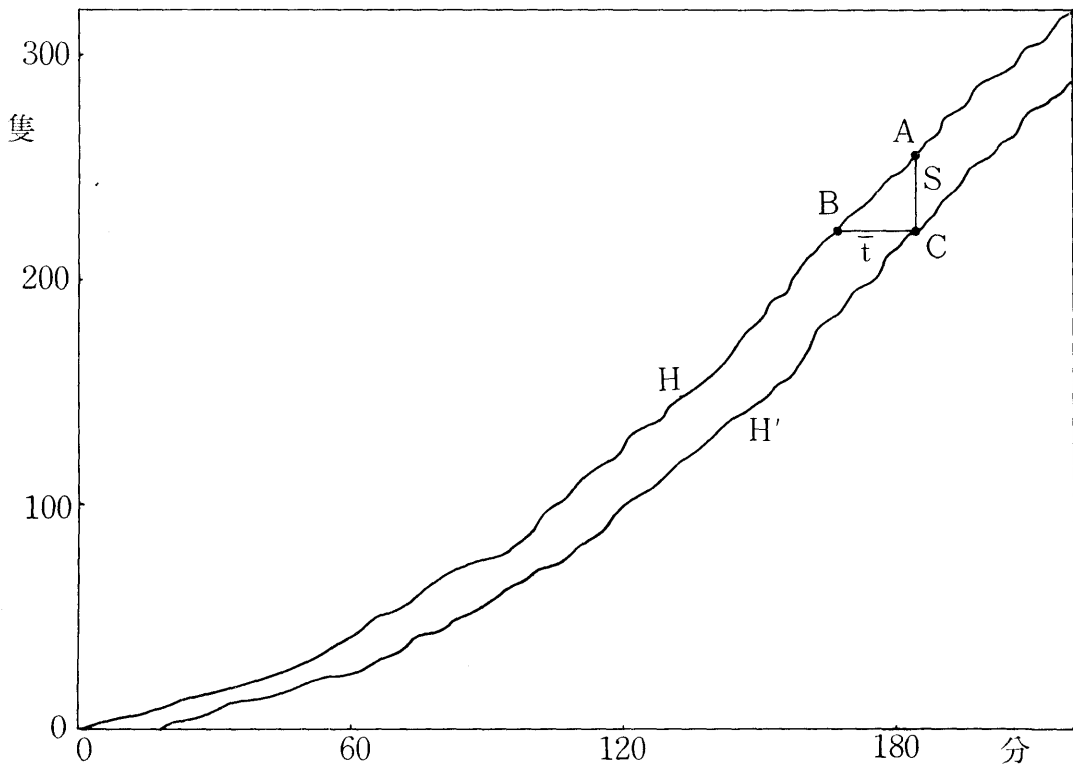


図5 流入および流出量積分曲線

かの分野の非線形問題とおなじように、この場合も解決困難な問題が多い。簡単な場合で $p(t)$ が流入量 Q に関係しその関数形が知られていれば

$$Q' = \int_{-\infty}^{t_1} Q(\xi) p[t_1 - \xi, Q(\xi)] d\xi$$

$$S = \int_{t_2}^{\infty} \int_{-\infty}^{t_2} Q(\xi) p[t_1 - \xi, Q(\xi)] d\xi dt_1$$

$$= \int_{-\infty}^{t_2} Q(\xi) \left[\int_{t_2 - \xi}^{\infty} p[\eta, Q(\xi)] d\eta \right] d\xi$$

となって一応の計算ができるが、逆に Q, Q' などから、旅行時間分布をその関数形までもとめることは困難である。さらに旅行時間分布が内在量 S にも関係することは自然であって、そのとき困難さはさらに増加する。

実際問題として、ブロックの特性をあらわすパラメータとしては、平均旅行時間やその分散などで充分と思われ、交通実態観測を唯一のよりどころとして議論を展開するというこの方法においては、分布関数形までもとめることは、その困難さにくらべてさほど意味あることとは思われない。分布関数形をもとめるには別の手法がかんがえられていて、たとえばシミュレーションおよびそれともなう統計力学的手法⁽⁹⁾、非線形性が主として交差の発生に原因するとみて旅行時間分布をもとめる手法⁽¹⁰⁾、などがある。

ここでは平均旅行時間のみを考慮し、非線形の場合でも定常状態では

$$t = S/Q$$

が成立することを考慮して、ゆっくりした Q の変動を仮定する。つぎのことがいえる。

- (1) Q が増加するとき、 S, t ともに増加。
- (2) $S \rightarrow 0$ のとき t は一定値にちかづく。
- (3) $S \rightarrow \infty$ のとき $t \rightarrow \infty$ 。

したがって、 Q が増加するとき

$$\Delta S / \bar{t} - S \Delta \bar{t} / \bar{t}^2 = \Delta Q > 0$$

で $1/Q = \bar{t}/S > \Delta \bar{t} / \Delta S$

が成立し、図-6のような関係がかんがえられ、 Q ま

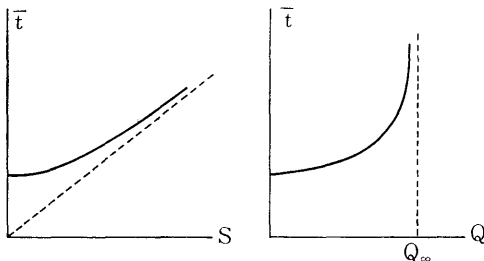


図6 非線形の場合 S, Q と \bar{t} の関係

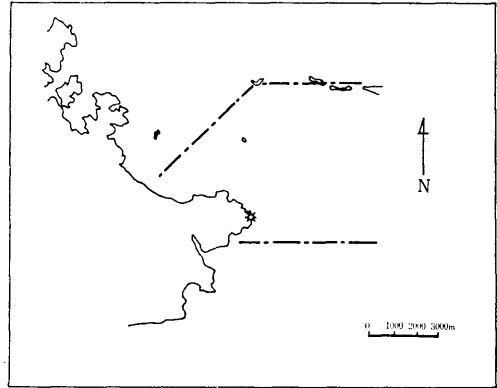


図7 浦賀水道

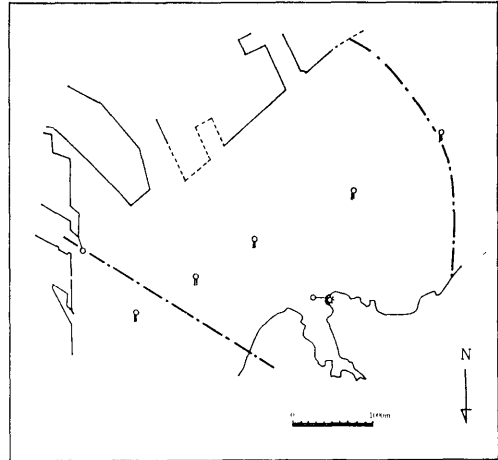


図8 関門海峡彦島付近

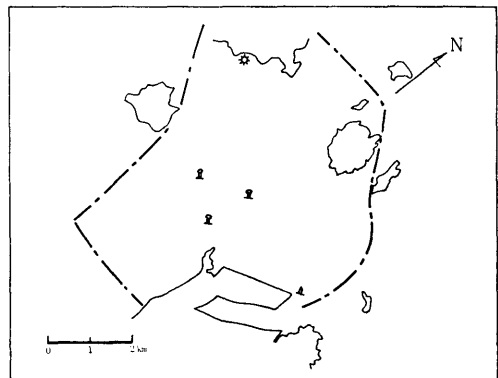


図9 備瀬戸西部本島付近

たは S が大きいほど非線形の度が強くなる。一例として、国内の代表的水域でこの非線形性を検討してみよう。図-7, 8, 9に、それぞれ浦賀水道⁽¹⁾、関門海

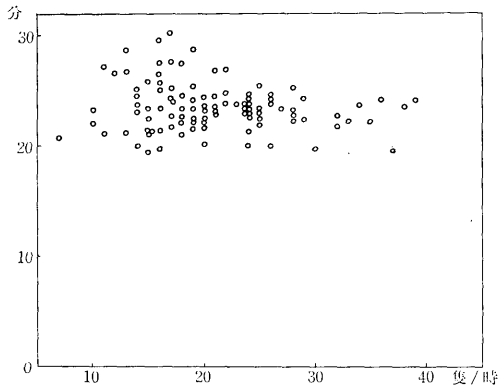


図10 平均旅行時間（浦賀水道）

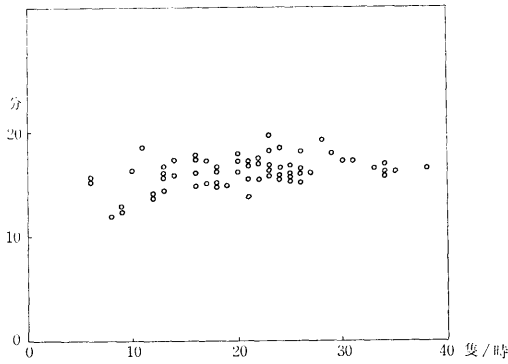


図11 平均旅行時間（関門海峡）

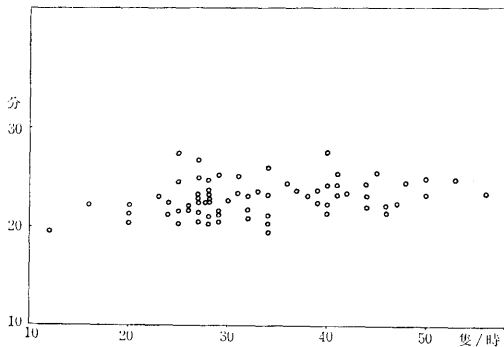


図12 平均旅行時間（備讃瀬戸）

峡⁶⁾、備讃瀬戸の一部水域にとったブロックを破線でしめしてある。観測はレーダ連続撮影装置をもちい、それぞれ昭和42、43年、昭和42年、昭和46年におこなわれたものである。観測手段の制約により、充分広い

範囲にわたってブロックをとることができなかった。図10、11、12はそれぞれの場所での1時間あたりの流入量と平均旅行時間の関係をあらわしたものである。サンプル数すなわち1時間あたりの流入量がすくないところでは、平均旅行時間のばらつきがみとめられるが、ほとんど \bar{t} には変化がないとみてよからう。関門海峡は浦賀水道にくらべかなりせまい水路であり、備讃瀬戸では交差がおこなわれているなど、かなりの非線形性が期待されたのであるが、やはり変化はみとめられなかった。この程度の交通量では、それぞれの水域の交通システムは線形とみなし得る。いいかえれば船舶の相互作用は全体に影響をおよぼすほどには大きくないということである。

だとすれば、現在のところ、交通の流れを効率よくすることを目的とするよりは、むしろ個々の船舶間の衝突など不測の事故を予防することを目的とした管制方法に力をそそぐ方がよいにおもわれる。

5. ブロックの接続について

全水域にわたる観測が困難な場合、あるいは水域中にあきらかに特殊な部分が存在するとき、いくつかのブロックに分割して観測解析をおこなうことがよりよいとおもわれる。これら別々のブロックを接続して全体をひとつのブロックとみなしたとき、 S 、 Q 、 \bar{t} などの量の関係はどうなるかをしらべてみる。図-13のようにブロック1とブロック2を接続する。このとき両ブロックの境界にふたつの流れ K_1 、 K_2 があらわれ、相互境界でない外部の境界における流入流出は、それぞれ図に示すようになり、次の関係式が成立する。

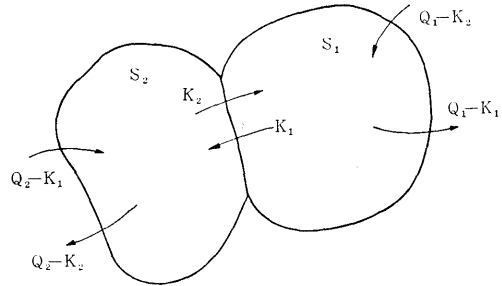


図13 定常状態でのブロックの接続

$$S_1 = Q_1 \bar{t}_1 \quad S_2 = Q_2 \bar{t}_2$$

$$S = S_1 + S_2 = Q_1 \bar{t}_1 + Q_2 \bar{t}_2$$

$$= (Q_1 + Q_2 - K_1 - K_2) \bar{t}$$

ゆえに

$$\bar{t} = \frac{Q_1 \bar{t}_1 + Q_2 \bar{t}_2}{Q_1 + Q_2 - K_1 - K_2} \geq \frac{Q_1 \bar{t}_1 + Q_2 \bar{t}_2}{Q_1 + Q_2}$$

となり、平均旅行時間は、それぞれの平均旅行時間の流入量加重平均よりも大きいかひとしい。つぎのような特殊な接続が考えられる。

(1) 並列接続；ブロック1と2の相互境界をよぎる流れがない。 $K_1=K_2=0$ ゆえに、

$$\bar{t} = \frac{Q_1 \bar{t}_1 + Q_2 \bar{t}_2}{Q_1 + Q_2}$$

しかし、この場合、わざわざブロックを接続する意味はないだろう。

(2) 直列接続；すべての流れはかならずブロック1と2を通過する。このとき、 $Q_2 - K_1 = K_2 = Q_1 - K_2$ 、ゆえに $\bar{t} = \bar{t}_1 + \bar{t}_2$

(3) 内包接続；ブロック2の流入流出はすべてブロック1との相互境界においてのみおきる。すなわち港とその外部水域を接続するような場合である。このとき $K_1 = K_2 = Q_2$ で

$$\bar{t} = \frac{Q_1 \bar{t}_1 + Q_2 \bar{t}_2}{Q_1 - Q_2}$$

となり、もし $Q_1 = Q_2$ ならば \bar{t} は無限大になる。しかし、これはブロック全体で循環のみがおこっていて流入流出がない場合である。

n 個のブロックを平面上において接続するとき同様にして

$$\bar{t} = \frac{\sum Q_i \bar{t}_i}{\sum Q_i - \sum K_{ij}} \geq \frac{\sum Q_i \bar{t}_i}{\sum Q_i}$$

となる。 K_{ij} はブロックからブロック j への流れであるが、 $n \geq 3$ のとき、 K_{ij} の項の数は $6(n-2)$ 個より多くはならない。

つぎに流入流出が変動しているが、線形のブロックを接続する場合をかながえる。一般の場合、基礎的な関係式に上述の諸量を代入すれば

$$\begin{aligned} Q_1'(t) + Q_2'(t) - K_1(t) - K_2(t) \\ = \int_0^\infty p(\xi) [Q_1 + Q_2 - K_1 - K_2] (t - \xi) d\xi \end{aligned}$$

などの式が得られるが、ここでは特殊な接続にたいしてのみ適用することにする。

(1) 直列接続。

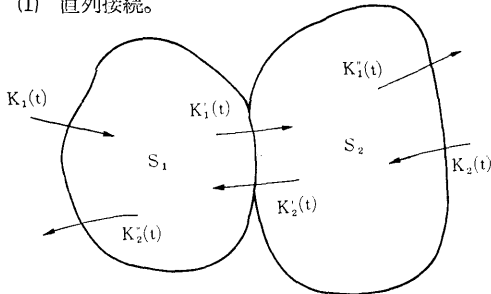


図14 線形ブロックの直列接続

図-14のようにそれぞれの流れをあらわすと。

$$\begin{aligned} K_1'(t) &= \int_0^\infty K_1(t-\xi) p_1(\xi) d\xi \\ K_1''(t) &= \int_0^\infty p_2(\eta) K_1'(t-\eta) d\eta \\ &= \int_0^\infty p_2(\eta) \int_0^\infty K_1(t-\eta-\xi) p_1(\xi) d\xi d\eta \\ &= \int_0^\infty K_1(t-\zeta) \left[\int_0^\zeta p_2(\eta) p_1(\zeta-\eta) d\eta \right] d\zeta \end{aligned}$$

同様に

$$\begin{aligned} K_2''(t) &= \int_0^\infty K_2(t-\xi) \left[\int_0^\xi p_1(\eta) p_2(\zeta-\eta) d\eta \right] d\xi \\ &= \int_0^\infty K_2(t-\zeta) \left[\int_0^\zeta p_2(\eta) p_1(\zeta-\eta) d\eta \right] d\zeta \end{aligned}$$

ゆえに

$$\begin{aligned} K_1''(t) + K_2''(t) \\ = \int_0^\infty [K_1(t-\zeta) + K_2(t-\zeta)] \\ \left[\int_0^\zeta p_2(\eta) p_1(\zeta-\eta) d\eta \right] d\zeta \end{aligned}$$

すなわち、接続したブロック全体の旅行時間分布は

$$p(\zeta) = \int_0^\zeta p_2(\eta) p_1(\zeta-\eta) d\eta$$

なるたたみこみ積分となる。

(2) 内包接続で図-15のようにすべての流れがかならずブロック2を通過する場合。

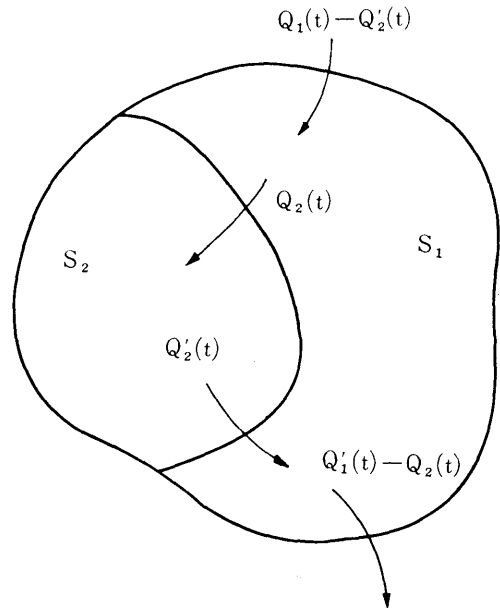


図15 特殊な内包接続

同様にして

$$p(\zeta) = \int_0^\zeta p_1(\xi) \int_0^{\zeta-\xi} p_2(\eta) p_1(\zeta-\xi-\eta) d\eta d\xi$$

が得られる。

6. むすび

広域交通の特性を、比較的観測容易な諸量のみをもちいて解析するひとつの方法を提案した。得られた結果はつぎのとおりであった。

(1) 平均旅行時間、内在量および流入量にかんする定理、さらに線形の条件のもとに、時間的変動があるときの関係式が得られた。

(2) 上の諸量のいくらかを知って残りをもとめる方法をみいだした。

(3) 実際に観測した各水域での非線形性を検討した。それによれば調査したかぎりでの国内各水域は非線形性をうんぬんできるほどの交通量に達していない。

(4) ブロックを接続するとき、諸量のあいだの関係式をもとめた。

ここに述べられている方法が唯一無二のものではなく、特性をあらわすパラメータや観測する諸量として別のものをとることによって、さらに内容の豊富な情報を得ることができよう。従来の方法にとらわれない新しい着想による発展を期待する。

おわりに、備讃瀬戸海上交通データを提供していただいた海上保安庁警備救難部航行安全課にたいしあつく感謝する。

参 考 文 献

- (1) 田中健一ほか；混合交通における交通量換算係数の研究
船舶技術研究所研究報告
Vol. 8, No. 3 昭和46年5月
- (2) 山田一成；シミュレーション結果の評価量について
船舶技術研究所研究発表会講演概要
第18回 昭和46年11月
- (3) 山田一成；船舶交通流における船の速度分布と通過時間分布の解析（未発表）
- (4) 渡辺健次；交差交通の研究 その2
船舶技術研究所研究報告
Vol. 9, No. 4 昭和47年7月
- (5) 田中健一ほか；閉塞領域におよぼす潮流の影響の研究
船舶技術研究所研究報告
Vol. 6, No. 3 昭和44年5月