

港湾内貨物流動に関する研究

A STUDY ON THE CARGO FLOWS IN PORT

溝内俊一*・稲村肇**

By Toshikazu MIZOUCHI and Hajime INAMURA

1. ま え が き

近年、横浜港や神戸港といった大規模な港湾においては港湾内の舳による輻輳はもちろんのこと、臨港地域の陸上交通の混雑が恒常化して大きな問題となっている。この交通の中で大きな比重を占めているものに、ふ頭間の横持ち貨物輸送がある。このいわゆる横持ち輸送は臨海地域の交通安全、環境保全に対する悪影響のみならず輸送効率の低下という大きな国民経済的損失をもたらしている。

この問題の解決を目的とし、従来からふ頭内施設の充実、臨港道路の建設といった個別の対策は精力的に実施されてきた。しかし、前記のような大規模港湾においては臨海土地造成を中心とし、港湾がますます広域化、機能も多様化しているため、いわゆる隘路打開型の個別対策では対応できなくなっている。

したがってこのような港湾においては、肥大化する横持ち輸送を的確に解明、予測し、計画と管理を複合した政策の開発が強く求められているのである。

2. 本研究の目的

本研究ではまず港湾関係者へのヒヤリングからふ頭間貨物流動の発生機構を考察した。これによればふ頭間貨物流動を発生させる主たる原因は、次の3点に集約される。

- ① 船舶の着岸バースの不確実性
- ② 貨物発生の変動による荷捌・保管施設の容量の一時的不足
- ③ 港運業者等が保有する荷捌・保管施設の点在と、その自社施設の優先使用

一般に公共ふ頭の着岸バースは公共性のたてまえと船舶到着の不確実性を主たる理由として、原則として前日の午後3時頃から開始するバース会議により決定する。

一方、輸移出貨物は通常、船舶の到着の2週間くらい前から搬入されてくる。したがって、多くの場合、保管位置と積込み岸壁にずれが生じるのである。これに対する政策手段として、船舶の用途別、入港目的別、方面別バース利用規制が有効であると考えられる。また第2の変動性に関しては輸移出入貨物の量、着岸船舶の大きさ等を十分考慮した施設の配置を行うことによって、相当程度の効果が期待できるのである。第3の理由は最も困難な問題である。なぜなら業者はすべてのふ頭の近傍に適正規模の保管施設をもつことは不可能であるし、自社施設を公共施設に優先して利用することは資本生産性の観点から当然のことであるからである。しかし、いま、前2者の対策を講じ、保管施設立地の行政的誘導を行うことによって、この問題はある程度、良化の方向へ向かうことは期待できる。

したがってわれわれが取り上げるべき政策は前記の2者であることが明らかである。いま、2つの政策について考えてみよう。船舶に対し、ふ頭の利用規制を実施するという事は、当然着岸バースとその直背後に位置する施設との有機的あるいは一体的利用を意味する。すなわち施設の計画と利用規制は有機的に連結している性格のものなのである。したがって本研究においても、このソフト面とハード面という性格の異なる政策の効果を同時に評価できるようなものでなければならない。

本研究ではこれらの考察のもとに、船舶の到着から着岸、荷役、離岸という動静、また貨物の到着から保管、移動積込み（輸移入は逆の流れ）という動静を的確に把握できるようなモデルを作成する。そしてふ頭の利用規制、施設の配置という2つの政策のコンビネーションに関して多くのケーススタディーを実施し、ふ頭間貨物流動の面から予測評価することを目的とする。

* 正会員 元・運輸省港湾技術研究所計画基準研究室

** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所計画基準研究室長

3. 従来の研究

港湾内の施設の規模は、従来、貨物や船舶の到着のランダム性（ポアソン到着）に着目して待ち行列理論を使って決定されることが多かった。この方法は個別施設の規模の算定、あるいは港湾全体の施設総量（バース数等）の算定などには有力な手法である。しかし待ち行列理論は、施設が容量的に不足して貨物の収納が不可能のとき他ふ頭の施設へ横持ちするといった多数の窓口間の相互コンタクト（待ちが生じたら他の窓口を捜すこと）のモデル化には数多くの条件を設定せねばならず、必ずしも適用可能であるとはいえない。さらに、貨物発生の変動性、適用対象の大規模性（船舶、貨物、施設が複雑に種類分けされていること）、モデルの操作性の面からも同様のことがいえる。

一方、土木計画学の分野においては、一般の施設配置計画論として、物流施設、水資源施設等に関し多くの研究例がある。そこで通常用いられている混合整数計画法や線形計画法は、一般に施設配置計画問題を処理するには最も効率的な手法であるが、対象の大規模性に対しては変数の数が膨大になるという弱点をもち、貨物発生の変動性、施設間の相互コンタクトを表現することはきわめて困難である。

以上のことは、本研究が問題処理のためにシミュレーションモデルによるアプローチを選択した必然性を示している。

次に、港湾貨物の流動という面で既存の研究をみる。港湾貨物の流動は、① 船舶と水際線（岸壁、上屋等含む）との間、② 港湾内（ふ頭間）および③ 港湾と背後圏との間の流動に分割される。このうち、① および③ については過去に研究例があるものの、② については自動車にかかわる実態調査以外に研究例はない。

施設の利用規制に関しては、道路交通について交差点規制、一方通行規制等の効果にかかわる研究例は存在するが、船舶に関しては未開拓である。

以上から、本研究の特徴は、評価項目をふ頭間貨物流動としたこと、ふ頭の利用規制という制度面をモデル化したこと、施設計画に関連しては施設相互間コンタクトおよび対象の大規模化を表現できるシミュレーションモデルを手法として採用したことにあるといえる。さらに、モデルが施設計画とふ頭利用規制を一体化して同時に評価可能であることも大きな特徴といえる。

4. モデルの対象範囲

本モデルで対象とする貨物流動は港湾内およびふ頭間

の貨物流動であり（図-1 参照）、背後地・港湾間の流動は考慮しない。これは港湾-背後地間流動は本研究における輸送効率化の対象ではないし、また輸送経路が目的とするふ頭間貨物流動と異なる場合が少ないため、モデルの単純化、評価の明確化の観点から省略すべきと考えた。したがって、任意の時刻に到着する貨物はただちに港湾内の荷捌・保管施設を捜し搬入されることとなる。これは輸出の場合であるが輸入の場合も同様である。

対象とするふ頭としては港湾管理者が自ら管理運営する公共ふ頭のみである。これは専用ふ頭はいわゆる大口貨物を扱い、またその運航計画は単一、あるいは2~3の岸壁の所有主によって立てられるため、前記のようなふ頭間の横持ちが発生する例はほとんどない。これはコンテナふ頭会社の所有するコンテナバース、定期船（ライナー）バースについてもいえる。いわゆる公社バースはそのバースごとに単数あるいは複数の船社に専用貸付契約をしているため専用ふ頭と同様にふ頭間貨物流動の発生する例は少ない。

本モデルでは対象船舶を輸出入貨物を取り扱う定期船のみに限定している。移出入貨物を取り扱わない主たる理由は以下の2点である：

① 移出入貨物の輸送に携わる船舶は一般に小さく、総トン数で499トン以下の船舶が約3/4を占めているこれらの船舶に関しては統計上データが簡略化（岸壁係留時間は非計上）されているためモデル化に困難をきたす。

② 船が小型であることと、貨物が発生した場合はすぐに船が急行する（不定期船が多い）という形であるため1船当たりの品目数も荷主の数もきわめて少ない。したがって目的とするふ頭間貨物流動も発生しにくい。

また、本研究では不定期船を対象としていない。しかし、本モデルは後で述べるモデルの構造からわかるように不定期船を扱えないわけではない。ただ、不定期船に関する貨物の流動特性をデータとして収集しなかっただけである。その主たる理由は以下の2点である。

すなわち、

① 輸出入貨物で公共ふ頭を利用する不定期船の数は比較的少ない。すなわち、横浜港の昭和52年度の実績で約23%程度である。

② 不定期船は先の移出入貨物と同様に大口貨物が発生した場合チャーターまたはスペースチャーター（船倉の一部をチャーター）するという形が多く、一船当たりの品目数も荷主もおのずから限定されている。したがって事前にふ頭内の保管施設へ搬入されたり、あるいは輸入後ふ頭間で流動したりする割合は少ない。

以上のように本研究では貨物や船舶に関して対象を絞り込んでいるが、モデルの拡大は常に可能であるし、モ

デル作成にあたっては十分に貨物や船舶の動態を把握する必要があるのでデータの不完全な段階でモデル化することの危険性を考えれば絞り込むことは当然のことである。

5. モデルの基本的考え方

(1) 貨物と施設の種類

モデル化における種々の分類について述べる。

貨物の区分は、まず一般貨物とコンテナ貨物に分類され、コンテナ貨物はさらにCL(FCL)貨物とLCL貨物に分類された。ここでCL貨物(Full Container Load)とは一箱のコンテナが一荷主によって満たされ、港湾地区へ来た段階ですでにコンテナ化されている貨物のことである。LCL貨物(Less than Container Load)とは貨物の一ロットがコンテナ一箱に満たない貨物であり、港湾地区まではバラ貨物で搬入され、港湾地区内のCFS(Container Freight Station)で箱詰めされコンテナになるものである。輸入の場合も同様である。一般貨物は以降、在来貨物とよばれる。

船舶は用途別にフルコンテナ船(フルコン船)、セミコンテナ船(セミコン船)およびこれ以外の一般貨物船(在来船)に分類される。ここでフルコン船とはコンテナのみを専用に運ぶ船であり、セミコン船とは在来貨物をも積める(コンテナが主力であるが)船のことである。また、船舶は入港目的別に輸出専用船、輸入専用船、兼用船(輸出と輸入を行う)に分類される。

貨物の仕向地、仕出地の方面と船舶の航路には同一の区分を考えた。すなわち、北米、南米、欧州、豪州、アジア、アフリカおよびソ連の7方面(航路)である。

貨物の品目は港湾統計に使用する8品目の分類を採用する。

荷捌・保管施設は、公共上屋、公共荷捌場、私設上屋、CY、港外私設上屋および直送用ダミーの6種類に分類された。ここで私設上屋とは通常手倉とよばれる港運業者が自ら取り扱う貨物を荷捌・保管するための自ら所有する施設以外に、荷捌のために貨物が一時保管される営業倉庫も含むものとする。CY(Container Yard)とはコンテナを保管するための施設であり、荷捌のためのMY(Marshalling Yard)とは区別されているが、通常は一体化して利用されていることが多いため、ここではMYを含んだものを考えている。港外私設上屋とはふ頭地区以外に立地している私設上屋である。モデルの中では港湾内の施設容量が到着貨物に対して不足する場合に保管するという役割をもつ。ここでは容量は無限大で保管期間のみが与えられる。私設上屋からの貨物流動に

関しては背後地間流動として考え、いわゆるふ頭間貨物流動には含めない。ある割合の貨物は港湾内外の荷捌・保管施設を経由せず、メーカーの工場等から直接岸壁に運び込まれる。輸入の場合も同様のこの種の貨物は直送貨物とよばれる。本モデルではこのような直送貨物が到着した場合にはダミー施設を考え、そこに搬入されたと考える。もちろんこの場合、容量は無限大、保管期間は設定されず、ふ頭間貨物流動にも含まれない。また、ここではLCL貨物の荷捌のためのCFSは設定されていない。これは公共のコンテナふ頭においては公共性からコンテナ船以外に在来貨物を取り扱う在来船も荷役を行うためさらにCFSも設置するとなればシステムの複雑化を招くという理由による。そこで、ここでは全ふ頭のCYを除く施設にCFS機能、すなわち、バンニング、デバンニング機能をもたせることにする。実際、コンテナふ頭以外のふ頭でもコンテナ貨物の積卸しが行われており、そこにはCFSが存在しないにもかかわらず、一般の施設の内外でバンニング、デバンニング作業が行われている。これらを考え合わせればこの設定は妥当であるといえる。

(2) 貨物流動に関する仮定

モデルと現実における貨物の流動を比較し、貨物流動に関する本モデルにおける仮定を示す。設定された仮定は次の4点である(図-1~6参照)。

- ① 各ふ頭にはそれぞれある規模を設定された公共上屋、荷捌場、私設上屋を配し、コンテナふ頭にはCYも配する。
- ② 他港から(へ)の直接の解荷役(本船へ横付けする)は考慮しない。
- ③ 沖バースの利用は輸入船に限定する。
- ④ 貨物の種類と搬出入施設種類に関しては固有の対応関係を設定する。

まず、①は本モデルがふ頭内の貨物移動を評価対象に含めないことを意味する。大規模なふ頭ともなると両端を結ぶ距離は相当のものがあり貨物の移動距離としては決して小さくはないが、それでもフォークリフト、キャリア等で移動可能な範囲であり、一般道路をトラックで輸送しなければならぬふ頭間流動とは本質的に性格を異にする。ただし、ふ頭内移動でも一般道路を経る必要があるほど広大なふ頭の場合はモデル化にあたって適切な規模に分割すればよい。

②は、これを言い換えると、当該港湾に入港する船舶が積卸しする貨物はすべて当該港湾の施設を経由するということである。不定期船に比べ著しく経岸荷役率の高い定期船については、解荷役の多くを当該港湾の他ふ頭からの横持ちが占めるとみなせるので、この仮定によ

る誤差はさほど大きいものではない。また、参考までに付記すれば、解による港内のふ頭横持ちはシミュレーションの後輸送機関の識別を行えば十分考慮できるし、他港との陸上交通を經由した相互輸送は輸出入とも直送貨物として処理しているので問題ない。

③ については、実際には輸出船の場合もわずかな量の沖荷役が存在するが、本モデルではこれを無視する。

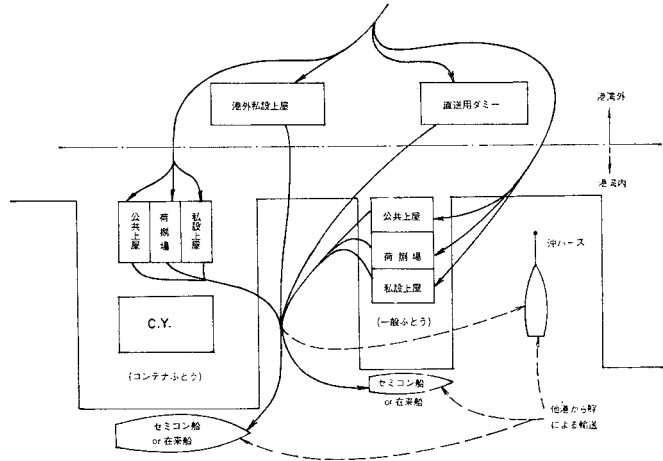
④ については次の関係を設定する。在来貨物は輸出入ともCYを除く荷捌、保管施設を1回だけ經由する。このとき經由施設がどのふ頭に属するかは問わない。LCL貨物はコンテナふ頭を經由する場合に(CYを除く施設がCFSとして機能するため)輸出時には(CY以外の施設→CY)、輸入時は(CY→CY以外の施設)というように2回施設を經由することになる。LCL貨物の一般ふ頭における扱いは在来貨物と同じである。CL貨物はCY、港外私設上屋および直送用ダミー以外の施設を經由しないものとする。

(3) 政策変数と感度分析項目

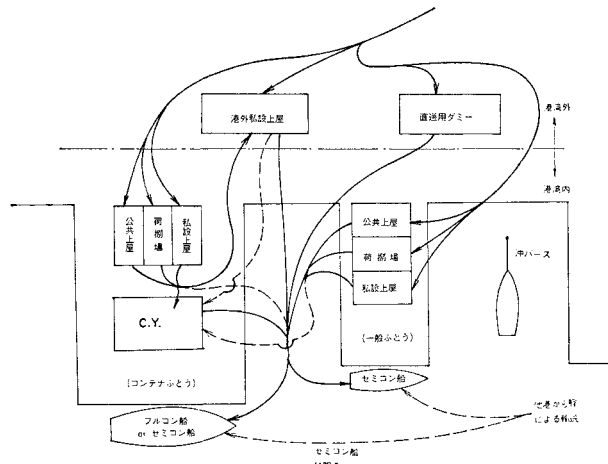
モデルで実験する政策は先に述べた船舶のふ頭利用の規制と各ふ頭別の施設容量である。

現在、定期船をもつ港湾のいくつかは条例等に基づいて利用規制を行っている。しかし、これは指定を受けた船が優先されるということであり、指定を受けるか否かは船社の判断にまかされている。すなわち優先ふ頭における指定船の数はコントロールできないということである。これに対して本モデルでは船舶の種類別にある一定割合を指定船とし、ふ頭の利用割合をあらかじめ決定しておく。また、一つの航路(方面)に関して指定ふ頭が複数存在する場合はそのふ頭間の利用割合もあらかじめ決めるという方法をとっている。すなわち船の指定割合、指定ふ頭の利用割合が政策変数となっているのである。

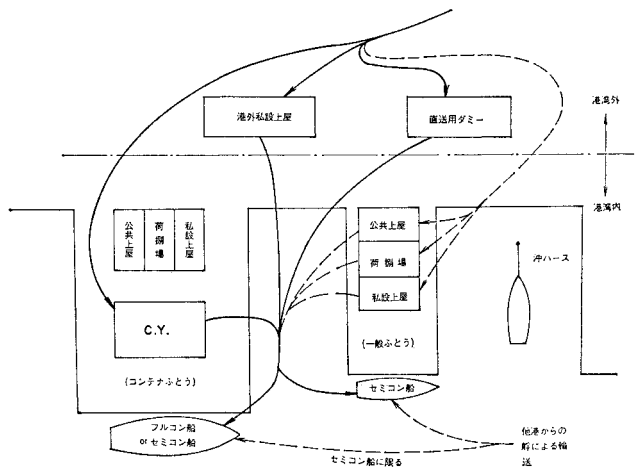
施設容量に関する政策(代替案)の決定にはいくつかの要素がある。すなわち、施設容量が大きければ大きいほどふ頭間流動が減ることは自明であるため、施設の総量の変化が一つの政策となる。また、港運業者にとって私設上屋と公共施設では使用の優先順位が異なるため、あるふ頭の容量を固定してもその比率が政策となる。また当然のことながら、施設総量を固定した場合の施設容量パターンの変化は大きな政策代替案である。



図一 モデル内での貨物の流れ(在来貨物, 輸出)



図二 モデル内での貨物の流れ(LCL貨物, 輸出)



図三 モデル内での貨物の流れ(CL貨物, 輸出)

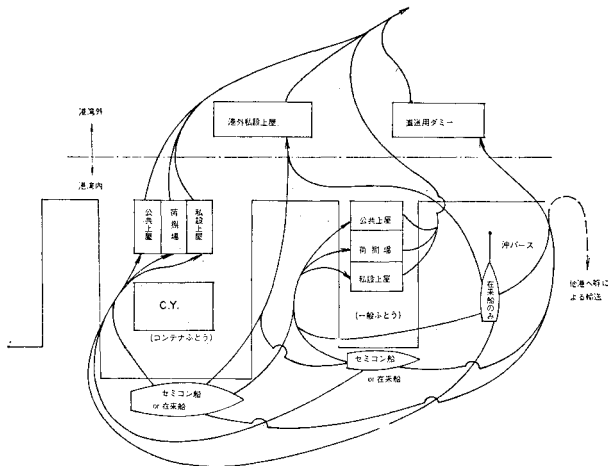


図-4 モデル内での貨物の流れ (在来貨物, 輸入)

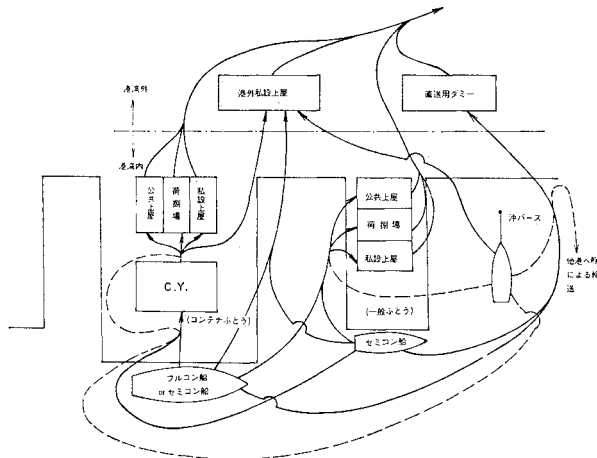


図-5 モデル内での貨物の流れ (LCL 貨物, 輸入)

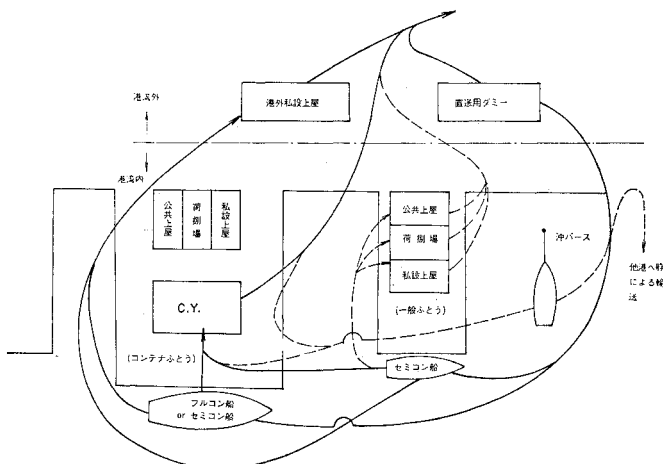


図-6 モデル内での貨物の流れ (CL 貨物, 輸入)

したがってこれらの施設容量に関する諸政策と先の利用規制の組合せが、評価すべき複合政策代替案を構成することになる。

諸政策によるふ頭間貨物流動を評価する際、政策変数とはなり得ず、かつその項目の値の変化が大きく評価値に影響を与えるものがある。それらの項目は感度分析を実施すべき項目である。

本研究では変動要素は数多いが、特に大きな影響を与えると思われる次の2項目を感度分析項目として取り上げる。

- ① 輸出貨物の到着分布
- ② 輸出貨物のふ頭指定割合 $\{V_{nk}\}$

① は貨物の変動性を示すものである。本来貨物はランダムに到着すると考えられるが、実際にはある周期 $\{P\}$ と振幅を $\{d\}$ もって平均値が変化する。施設容量が固定されている場合、この平均値の変化は施設の過不足に大きな影響を与える。したがってここではこの変動が変化した場合を感度分析によってみる。

ふ頭の指定割合が変化した場合、港運業者は当然それに合わせて貨物の搬入場所を変化させるだろう。これはふ頭間の横持ちは業者にとっても費用の増加を意味するからである。しかし、業者は私設上屋利用のメリットが大きいため、何らかのバランスをもって貨物の搬入場所を決めるに違いない。この直接的に制御不可能な貨物(船舶ではない)のふ頭指定割合はまた、ふ頭間流動に大きな影響を与えるといえる。そこで本研究ではこの貨物のふ頭指定割合を感度分析の対象とした。

なお、いま、到着分布とふ頭指定割合を輸出貨物に限定したのは輸入貨物は船舶の到着分布のランダム性とふ頭指定によってコントロールされるからである。

6. モデルの基本構造

モデルは大きく分けて、船舶処理サブモデル、輸出貨物処理サブモデル、輸入貨物処理サブモデルに分割される。モデルはイベントシークエンシャル型のシミュレーションモデルである。

(1) 船舶処理サブモデル

時間の経過に伴ってランダムに到着する船舶およびその属性は次のように決定される。まず船舶の用途別 (i : フルコン, セミコン, 在来), 入港目的別 (j : 輸出, 輸入, 兼

用), 方面別 (k) の月平均月間到着隻数 (A_{ijk}) を与える. 船舶の到着日間隔 (E_{ijk}) は $E_{ijk}=30/A_{ijk}$ で与えられる.

到着間隔はランダムとし, 指数分布の累積分布関数 F_{ijk}^N (ただし N は第 N 日目) から一様乱数を使って容易に計算される. このランダム性については過去に実証的に確かめられているが, 本モデルでは任意の分布型 (ある属性に対しては現実の分布型を使う等) をも採用できる入力様式をとっている.

用途, 入港目的, 方面の属性をもつ到着船舶には同様に乱数によって船型 (G/T ; 総トン数) が与えられる.

船舶が経岸荷役しないで沖で貨物の積卸しをする理由は品目やロット (各荷主当たりの荷物量) によってさまざまである. ただ本稿で取り扱っている定期船の沖荷役の率は少ない. そこで, 本モデルでは, 空きバースがないために沖荷役を行うという考え方を排し, 船舶の属性に対応して一定の沖荷役比率を設定するという考え方を採用する.

ふ頭の利用規制は以下のように取り扱われる.

船舶の用途 (i), 入港目的 (j) および方面 (k) 別に到着する隻数 (A_{ijk}) のうちふ頭の利用規制を受けない, すなわちランダムに着岸ふ頭を選ぶ船舶の割合を $\{1-U_{ijk}\}$ とする. このとき, ふ頭の数 $\{N\}$ とすれば, 各ふ頭に割り当てられる平均隻数は $\{\sum_{ijk} A_{ijk}(1-U_{ijk})/N\}$ となる. 一方, ふ頭の利用規制の指定を受ける隻数は, 船舶の属性ごとに $\{U_{ijk} \times A_{ijk}\}$ で与えられる. 以後 $\{U_{ijk}\}$ を単に指定割合とよぶ. 同一属性の船舶について指定されるふ頭が複数存在するときは指定割合にさらに重み $\{h_{ijk}^l\}$, ただし l はふ頭を示すサフィックス, $1 \leq l \leq N$, $\sum_l h_{ijk}^l = 1$ が付けられる. h_{ijk}^l は実績を中心とし複数のパターンが代替案として与えられる.

以上のことから, ある l なるふ頭に到着する, ある属性の平均隻数は下式で与えられる.

$$\sum_i \sum_j \sum_k (1-U_{ijk}) \cdot A_{ijk} / N + \sum_i \sum_j \sum_k (U_{ijk} \cdot A_{ijk} \cdot h_{ijk}^l)$$

すなわち本モデルでは指定ふ頭において第2項に示す隻数がその他のふ頭より増加するという形をとるのである. 結局, 船舶のふ頭利用規制という政策は $\{U_{ijk}\}$ と $\{h_{ijk}^l\}$ の組合せで表わされることになる.

入港船舶の着岸バース決定行動はモデルでは次のように処理される. 利用規制の指定を受ける船舶とそうでないものとは, 前者が常に指定ふ頭を対象にしてふ頭間の重みに応じてバース選びを行うのに対し, 後者は常に全ふ頭を対象にランダムなバース選びを行うという点を除けば, 両者はバース決定行動において差はない. ここでは, 前者について示す.

ある属性をもつ船舶の指定ふ頭が2つ以上存在すると

きは, ふ頭間の重みに応じて1つのふ頭を選ぶ. そのふ頭に位置し, 船舶の総トン数を超える容量をもつバースの中から容量の小さい順に空きバースを探す. 全バースが使用中で係留不能のときは, 残りの指定ふ頭の中からやはり指定割合に応じて1つのふ頭を選び, 同様に空きバースを探す. 2回の探索で容量的には係留可能であるにもかかわらず空きバースがないときは, 2つのふ頭の容量制限を満足するバースの中で最も早く空くバースの前で待つことにする. さらに, 2回の探索で容量的に係留可能なバースを見出すことができなかった船舶は2つのふ頭のうち最も容量制限の緩いバースの前で待つ.

このように, 沖バースも含めて着岸バースが決定されると, 用途別, 入港目的別および船型別の係留時間分布より係留時間が決定される.

(2) 輸出貨物処理サブモデル

輸出入の貨物は貨物の種類別, 品目別, 方面別の月間到着量と到着変動分布からランダムに到着させられる. この平均到着間隔が先に述べたように周期的に変動する. 変動幅は平均値の $d\%$ (ケーススタディーでは 0% , 10%), 周期は P 日 (ケーススタディーでは 14 日および 30 日) という形で折線で与えられる.

1個当たりの重量も貨物の種類別, 品目別の重量分布から確率的に決定される. 属性の決定を済ませた貨物は同様に種類別, 品目別の直送比率で直送貨物か否かの判定を受ける.

搬入施設の決定に関しては輸出貨物を船舶の利用規制を考慮してふ頭の選好を行う貨物と, それ以外の貨物で異なる. また貨物の種類によっても異なるため種類別に以下に記す.

在来貨物で利用規制を考慮する場合は以下のとおり. まず複数存在する指定ふ頭の中から2つのふ頭をランダムに選択する.

次に2ふ頭上の公共上屋, 荷捌場, 私設上屋の計6施設の中で空き率が最大の施設を捜し, ここに貨物を割り付ける. 6つの施設ですべて空きがない場合は, 次に全ふ頭 (指定ふ頭以外も含む) からランダムに2つのふ頭を選び同様の探索を行う. これでもなお, 空き施設がない場合は港外の私設上屋に搬入される. ここでふ頭ずつ2回しか選択を行わない理由は, ヒヤリングにより, 現実には業者が選択肢として保持するふ頭数は指定ふ頭で2か所程度, その他ふ頭を含めて3~4か所程度であることがわかっているからである.

指定ふ頭を考慮しない貨物の処理は全ふ頭からランダムに2ふ頭を2回選択して同様の探索を行い, 搬入施設を決定するという方法をとる.

LCL 貨物は先に示したようにコンテナふ頭における

扱いが在来貨物と異なる。すなわち、コンテナふ頭においては CY を除く 3 つの施設で荷捌を終えた貨物はその場で船舶の入港を待つのではなく、ただちに同一ふ頭上の CY に空きがあるか否かの判定が行われる。空いていないときはその貨物は港外私設上屋に向かう。

CL 貨物はすべてが CY に向かい、そこに空きがないときは港外私設上屋に搬入される。もちろん、CY が 2 ふ頭以上にまたがって存在するときは最初の選好で空き率最大のものが選ばれる。

(3) 輸入貨物処理サブモデル

発生貨物量を与えてランダムに到着させる輸出貨物と異なり、輸入貨物の到着は船舶側の属性によって規制される。貨物の種類別到着貨物量は以下のように定められる。

○在来貨物は以下のいずれかで計算される。

- (在来船の総トン数 G/T)
 - × (G/T ・積載量コンバータ)
- (セミコン船の G/T)
 - × (G/T ・積載量コンバータ)
 - × (セミコン船の在来貨物積載割合)

○LCL 貨物は以下のいずれかで計算される。

- (セミコン船の G/T)
 - × (G/T ・積載量コンバータ)
 - × (セミコン船コンテナ積載割合)
 - × (セミコン船の LCL 貨物割合)
- (フルコン船の G/T)
 - × (G/T ・積載量コンバータ)
 - × (コンテナの LCL 貨物割合)

○CL 貨物も同様に LCL 貨物算定式の LCL 貨物を CL 貨物に置き換えた式で算定される。

上記のうち G/T ・積載量コンバータとは以下のようなものである。一般に船舶の船型と最大の積荷量との間には船舶用途別におおむね一定の関係が成立する。しかし、実際に特定の港で積み込まれたり陸揚げされる 1 船当たりの貨物量の大きさは船舶の最大積載量をかなり下回る。この傾向が、定期航路に従事する船舶のように、いくつかの寄港地をもつ場合により顕著に現われることは明白である。そこで、船舶の G/T と陸揚げ貨物量(輸入時)あるいは G/T と積込貨物量(輸出時)の間に一定の比率を導入しこの比率で到着する船舶ごとに積卸し貨物量を決定するものとする。この比率をここでは“ G/T ・積載量コンバータ”とよんでいる。本モデルでは船舶用途別、船型別にこれを設定する。兼用船の場合は、陸揚時、積込時にそれぞれ輸入船、輸出船のコンバータが適用される。

また、セミコン船については上記の積載量に対し在来

貨物とコンテナ貨物の比率が必要となる。これは過去の実績をもとに輸出入別、船型別にあらかじめ定められる。

コンテナ貨物はさらに LCL 貨物と CL 貨物に区別される。これは過去の実績から輸出入別、方面別に LCL 貨物 (CL 貨物) の比率が定められる。

輸出時の到着貨物は個々に到着するのに対し、輸入時は貨物がまとまって到着する。このため、次にこれらの貨物を個々にバラして種類別に品目および重量を定めることになる。

輸入貨物の取扱いが輸出貨物と大きく異なるのは次の 2 点である。第 1 は沖取り貨物がある点である。沖取り貨物に関しては本来はある程度バースの位置によって搬入場所を選択すると思われるが、ここでは各ふ頭までの距離を考慮せず、全ふ頭を対象に施設を探索することとしている。第 2 の相違点は到着船舶の係岸ふ頭を優先することである。すなわち船舶が到着した時点で直送を含め、当該ふ頭上の施設を優先的に探索するのである。これ以外の操作は輸出貨物と同様である。

以上のようなモデルを各種の政策代替案のもとに使用して、目的であるふ頭間貨物流動が評価される。

7. ケーススタディーおよびその結果

ケーススタディーはふ頭間貨物流動問題が顕在化している横浜港を例にとりて実施された。ただし、本モデルでは外貨定期船のみを扱っているため、対象外のバース等を削除して整合をとっている。

政策代替案を組み合わせ実施したケースの概要が表 1 に示されている。ここで U は船舶の指定率、 V は貨物の指定率、 S は施設容量、 h はふ頭別の指定率の重みを示す。

本ケーススタディーのシミュレーション期間は 50 日間。そのうち定常状態に十分達するまでの 20 日間を除いた 30 日間によって結果の統計処理は行われている。

表中でケース 0 は横浜港の現況データから ${}^0U_{ijk}$, ${}^0h_{ijk}$, ${}^0S_{ij}$, ${}^0V_{mk}$ を算定して用いた基本ケースである。ケース 0' は施設計画に係る代替案間の差を明確にする目的で、施設容量のみを低下させ、平均施設稼働率が 1.0 に近づくように特に容量 $\{{}^0S_{ij}\}$ を設定した第 2 の基本ケースである。

ところでケース 0 において ${}^0U_{ijk}$, ${}^0h_{ijk}$ および ${}^0V_{mk}$ は入手可能なデータの集計のみでは求まらない。なぜなら現実の港湾においてはバース別の使用区分が定められているだけで指定率やふ頭間の配分はそれらが合成された形で実現されているからである。そこで本研究ではバース別の指定船の入港実績を制約とした単純な連立方程

式で現状の U, h, V を推計して基本ケース 0 に用いている（参考文献 5）参照）。 ${}^0S_{IJ}$ に関しては現状の搬出入貨物量および施設回転率から与えられる。

実施されたケースは大きく分けると次のようになる。

- ① 船舶の利用規制という政策による効果を（貨物のふ頭選好もこれに合わせて）みるためのケース I～ケース IV
- ② 施設の計画という政策の効果をみるためのケース V～ケース VIII
- ③ 感度分析項目としての貨物のふ頭選好を変化させたケース IX および X
- ④ 同じく、貨物の平均到着数の変動を周期および振幅（変動率）で動かしたケース XI および XII

ここでケース I は船舶のふ頭選好をランダムにすることによる効果をみるべく、指定率 $\{U_{ijk}\}$ を基本ケースの 1/2 にしたものである。

ケース II は船舶のふ頭選好を均一化したときの影響をみるべく、指定ふ頭間の配分割合 $\{h_{ijk}^l\}$ を均一にしたケースである。

ケース III と IV はともにランダムなふ頭選好を排除すべく U_{ijk} を 1.0 とした。ケース III ではこのふ頭規制を船舶の用途別、方面別で設定したのに対し、ケース IV で

は用途別、入港目的別に規制を考慮している。この規制は実績船舶の属性ごとの到着隻数を基準とし設定している。なお貨物のふ頭選択に関しては両ケースともに船の利用規制に合わせて設定している。

以上の 4 ケースは明らかに現実では採用しがたい極端なケース設定であるが、本研究で求めようとしているのはそれらの政策の影響であり最適解ではない。しかし、これらの極端な政策による影響をとらえることにより、実際のふ頭の増設あるいは新規港湾のふ頭計画、ふ頭管理に関し、実用的な情報を提供することが可能になると考える。

これらの 4 ケースを基本ケース 0 と比較したのが図 7 である。図中で修正前と表示されているのは 30 日間の計算機からのアウトプットである。修正後というのはランダムに到着する貨物の総量を基本ケースの貨物量に合わせるべく拡大または縮小したものである。以下の図も同様であり、結果の評価は修正後で行っている。

ケース I ではトンキロで 40 万トンキロ（約 20%）にもほるふ頭間流動が増加している。これを感覚的に判断しやすいうように 10 トントラックに換算すると 4 万台キロであり、空車率 5 割、本牧ふ頭、山下ふ頭間の距離（約 5 km：入口から入口が 2.5 km）を考えると月間

表-1 試算ケースの概要

ケース名	内 容	備 考
ケース I	●船舶のふ頭利用規制および貨物のふ頭選好をケース 0 に対し、1/2 とする。	${}^1U_{ijk} = {}^0U_{ijk}/2, {}^1V_{mk} = {}^0V_{mk}/2$
ケース II	●船舶のふ頭利用規制に係るふ頭間の重みを指定ふ頭すべてで均一化する。	${}^2U_{ijk} = {}^0U_{ijk}, {}^2h_{l'ijk} = {}^0h_{l'ijk}$
ケース III	●船舶のふ頭利用規制を船舶の用途別、方面別の違いに着目しまったく新たに設定する。貨物のふ頭選好もこれに合わせる。	${}^3U_{ijk} = {}^0U_{ijk}, {}^3h_{l'ijk} = {}^0h_{l'ijk}$ ${}^3V_{mk} = {}^0V_{mk}$
ケース IV	●船舶のふ頭利用規制をケース III におけるものに加え、さらに入港目的の違いも反映させて設定する。貨物についてもこれに合わせる。	${}^4U_{ijk} = {}^0U_{ijk}, {}^4h_{l'ijk} = {}^0h_{l'ijk}$ ${}^4V_{mk} = {}^0V_{mk}$
ケース V	●各ふ頭上の私設上屋容量を公共上屋に上乘せする。ただし、各ふ頭ごとにすべての施設についての容量の合計は不変。	${}^5S_{I1} = {}^0S_{I1} + {}^0S_{I3}, {}^5S_{I3} = 0$ $\sum_j {}^5S_{IJ} = \sum_j {}^0S_{IJ}$
ケース VI	●各ふ頭上の私設上屋容量を公共荷捌場に乗せする。ただし、各ふ頭ごとにすべての施設についての容量の合計は不変。	${}^6S_{I2} = {}^0S_{I2} + {}^0S_{I3}, {}^6S_{I3} = 0$ $\sum_j {}^6S_{IJ} = \sum_j {}^0S_{IJ}$
ケース VII	●各ふ頭上の公共上屋、荷捌場の容量を私設上屋に乗せする。ただし、各ふ頭ごとにすべての施設についての容量の合計は不変。	${}^7S_{I3} = {}^0S_{I3} + {}^0S_{I1} + {}^0S_{I2}$ ${}^7S_{I1} = {}^0S_{I1} = 0, \sum_j {}^7S_{IJ} = \sum_j {}^0S_{IJ}$
ケース VIII	●現状のふ頭ごとの貨物取扱能力比を考慮してふ頭ごとの施設容量比を新たに設定する。ただし、ふ頭ごとに施設間の容量量比は不変。	$\sum_j {}^8S_{IJ} = \sum_j {}^0S_{IJ}$ ${}^8S_{IJ} / \sum_j {}^8S_{IJ} = {}^0S_{IJ} / \sum_j {}^0S_{IJ}$
ケース IX	●輸出貨物のふ頭選好に際し、船舶のふ頭利用規制を考慮する度合をケース 0 の 0.75 倍とする。	${}^9V_{mk} = {}^0V_{mk} \times 0.75$
ケース X	●輸出貨物のふ頭選好に際し、船舶のふ頭利用規制を考慮する度合をケース 0 の 0.50 倍とする。	${}^{10}V_{mk} = {}^0V_{mk} \times 0.50$
ケース XI	●輸出貨物の発生変動ピッチを 14 日、振幅を 0.1 とする。	${}^{11}P(14日) = {}^0P(30日), {}^{11}d(0.1) = {}^0d(0.0)$
ケース XII	●輸出貨物の発生変動ピッチを 30 日、振幅を 0.1 とする。	${}^{12}P(30日) = {}^0P, {}^{12}d(0.1) = {}^0d$
ケース 0 および ケース 0'	●横浜港の現状を再現	${}^0U_{ijk} = {}^0U_{ijk}, {}^0h_{l'ijk} = {}^0h_{l'ijk}$ ${}^0V_{mk} = {}^0V_{mk}, {}^0S_{IJ} = {}^0S_{IJ}$

(注) 備考欄における各変数の添字の意味は次のとおり。

i ：船舶用途， j ：船舶入港目的， k ：船舶および貨物の方面（航路）， m ：貨物種類， I ：ふ頭， J ：施設

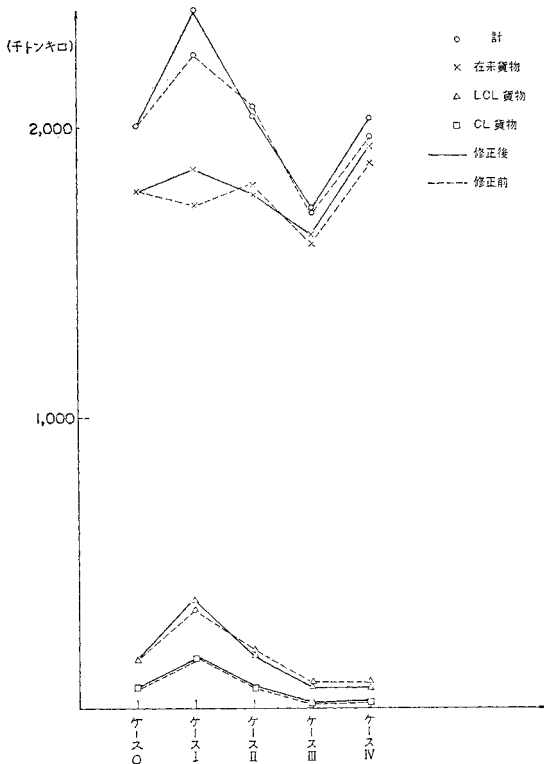


図-7 横持ちトンキロ (輸出+輸入)

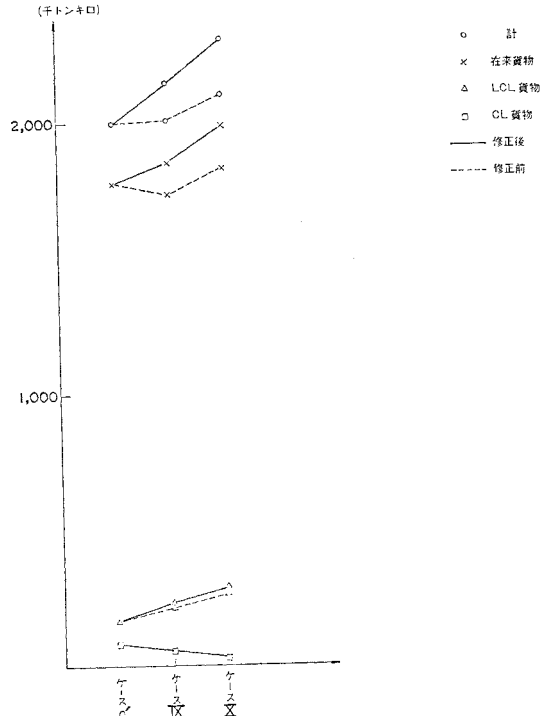


図-9 横持ちトンキロ (輸出+輸入)

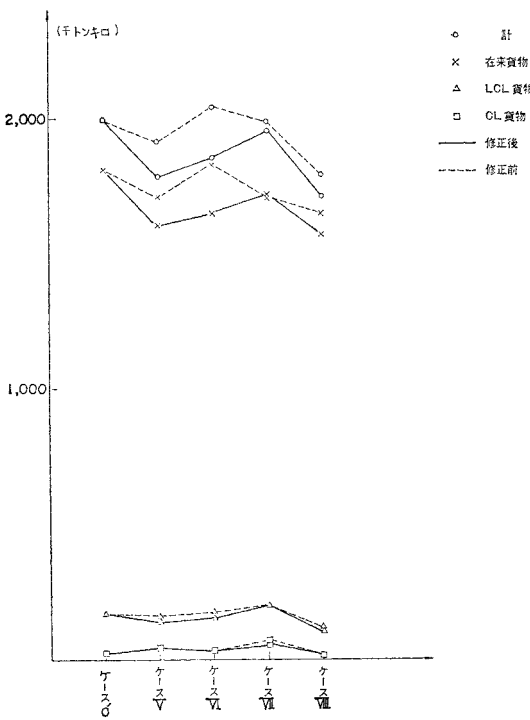


図-8 横持ちトンキロ (輸出+輸入)

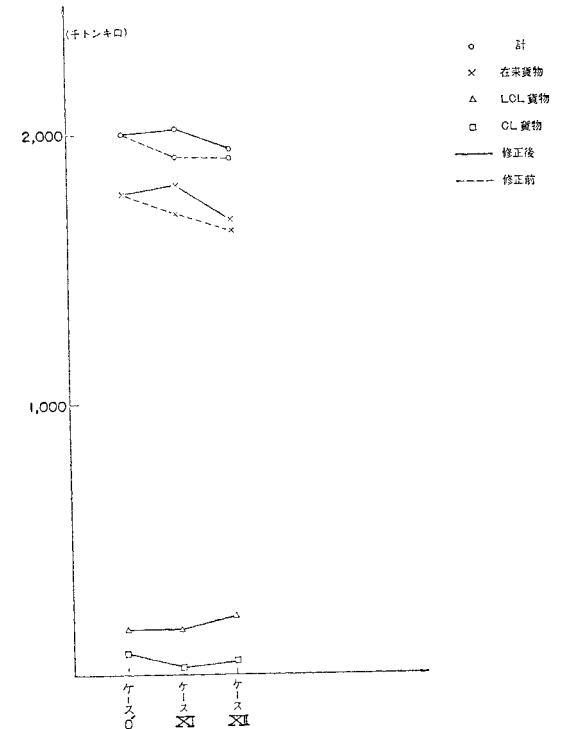


図-10 横持ちトンキロ (輸出+輸入)

16 000 台～32 000 台のトラック交通に相当することがわかる。

ケースⅡは現在の実績（基本ケース 0）が均一ケースに近いため、それほど大きな差は生じなかった。

ケースⅢは最もよい結果を示しているのに対しケースⅣではさしたる成果をあげていない。これはふ頭の利用規制を行う場合方面別に規制するのがよく、入港目的別に規制することはふ頭間流動を削減するという目的に対してはほとんど有効に機能しないことをものがたっている。

ケースⅤ、Ⅵ、Ⅶはそれぞれふ頭上の全施設容量を公共上屋のみ {Ⅴ}、公共荷捌場のみ {Ⅵ}、私設上屋のみ {Ⅶ} にした場合の影響をみたものである。またケースⅧはふ頭の貨物取扱能力に合わせふ頭別の施設容量を再配置したものである。これは先に述べたように総容量を低下させたケース 0' と比較している。結果が図—8 に示されている。

これを見るとケースⅤ、Ⅵ、Ⅶの中ではケースⅤが最もよく、ケースⅦが基本ケースとほとんど変わらない結果となっている。これはふ頭上の施設は公共を主力にした方がよいことを如実にものがたっており、現在の配分が私設上屋に偏しており、これがふ頭間流動を増大させていることがわかる。しかし、現実の公共上屋は利用の片寄りや混乱を防ぐ意味で半ば専用貸し（スパン貸しとよばれる）しており、これを運営の面から改善しない限りは公共上屋を単に増加させてもこのとおりにはならないことは銘記すべきである。

また、野積場ケース（Ⅵ）がⅤと比較して極端には悪くないことは定期船貨物でも野積場を利用できる貨物が相当程度あることを示しており、採算性（上屋の建設投資）を考えればある程度のバランスが必要であることを示している。

またケースⅧの結果はふ頭上の施設量を適正に変化させることにより、相当程度のふ頭間流動を減少させることができることを示している。

ケースⅨおよびⅩは貨物のふ頭選好の率を変化させたものである（図—9 参照）。この結果は業者のふ頭選好によってふ頭間流動がかなり顕著に変化することを示している。これからいえることは、これらの分析の結果の解釈にはかなりの幅をもたせねばならないということと、また管理指導という形で業者のふ頭選好率を上昇させる（たとえば組合を作らせて、各ふ頭の公共上屋を組合にスパン貸しする）といったソフトウェアの努力の必要性を示唆している。

ケースⅪ、Ⅻはいわゆる貨物の月末集中、月央集中といったものを 1 割程度見込んでシミュレートしたものである（図—10 参照）。これによればこの程度の変動はふ

頭間流動に対してさしたる影響を与えないことがわかった。

8. 結論ならびに今後の展望

以上のように、本論においては港湾内貨物流動のシミュレーションモデルの考え方、構造、横浜港における適用例を紹介した。本研究から得られた主たる結論は以下のとおり。

(1) 本稿で示したモデルはふ頭間貨物流動に対する各種の政策を評価するうえでは十分に実用性がある。

(2) 船舶のふ頭利用規制は船舶の用途別、方面別に実施することにより、かなりのふ頭間貨物流動を削減し得る。

(3) ふ頭上の施設は公共上屋を中心とし、野積場を含めた施設間バランス、ふ頭間の施設量バランスを考慮して建設すれば相当のふ頭間流動を削減し得る。

(4) 公共上屋のスパン貸しについては貨物のふ頭選好率を高めるような努力が必要である。

以上は膨大な現実データの収集に基づいたシミュレーションによる結論である。しかし、先に述べたように結果に関してはかなりの幅を考慮しなければならないことも判明したし、更に現実のふ頭間流動の実績ともつき合わせることは不可能であった（ふ頭間貨物流動の実査には莫大な費用が必要とされる）。

したがって今後は今回省略した外貿不定期船や内貿船への拡張、実態調査等による、データ面の充実、モデルの改良ならびに再現性の検証などが課題となっている。

しかし、本モデルは単にふ頭間貨物流動を評価するのみならず、その輸送機関分担を考えることにより、臨港交通施設整備計画にも使用可能であるし、また高効率なふ頭計画の実現、さらには新規港湾の最適施設配置計画にも援用可能であることを付記したい。

最後に、本研究を実施するにあたり、モデル開発に際し多大の助言と協力をいただいた運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所 寺内 潔次長（前・港湾技術研究所システム研究室）、ならびにデータ収集面での便宜と協力をいただいた横浜市港湾局企画課、各ふ頭事務所および横浜港における港湾運送業界の方々に深謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 工藤和夫：雑貨ふ頭の上屋・倉庫のシステム設計（第 1 報）、港湾技研報告、Vol. 11, No. 4, 1972.
- 2) 横浜市港湾局編：横浜港統計年報（昭和 52 年）
- 3) 横浜市港湾局編：横浜港公共ふ頭業務概況
- 4) 横浜市港湾局編：横浜市港湾関係例規集
- 5) 溝内俊一・稲村 肇：港湾内貨物流動に関する研究（第 1 報）、港湾技研報告、Vol. 20, No. 2, 1981.