土木学会論文報告集
第255号・1976年11月

外部不経済を考慮したターミナル立地選定とその分権的達成

METHOD OF TERMINAL LOCATION AND DECENTRALIZED DECISION-MAKING UNDER EXTERNAL DISECONOMY

長尾義三*・森杉寿芳**・山田孝嗣***
By Yoshimi NAGAO, Hisayoshi MORISUGI and Takashi YAMADA

1. 概説

全国的規模での交通幹線網を整備しようとする場合，ターミナルの配置が問題になる．

この種の問題の基本形は，倉庫もしくは工場等の立地問題におけるようなフィックスド・チャージ問題 Fixed Charge Problem として，数理計画法でしばしば取り上げられてきた[1)~7)]．しかし，駅，空港，港湾，あるいはトラックターミナルなどのターミナルが大規模になり，用いられる輸送機関が大型化，高速化，多量化するにつれて，周辺地域に与える負の影響も著しくなり，単に問題を流通費用最小という評価でとらえるだけでは不十分となってきており，その影響のためにこれらターミナルの立地が容易でなくなってきている．

この対策としては，発生源対策として輸送機関の技術的改良，あるいは負の影響の生じない立地を考えるのが第一であるが，これも不可能に近い場合，影響圏をも考慮した総合的な立地計画方法論を策定する必要がある．

これについて著者らは，立地の決定されたターミナルについて，周辺地域の整備計画の一つの手法を提示したのであるが[11)]，ターミナルの立地選定を含む問題把握のもとでのこの種の問題の取り扱い方の一つを物流を例にとってここに新たに提示する．

さて物流の合理化は，生産・消費部門とならんで，一国の経済の安定成長に欠くことのできない流通部門の合理化の基盤となるものであるが，物流活動が流通経済に果たす役割のみ重視し，それがもたらす外部不経済を無視しては国民経済的最適化もしくは社会の厚生福祉の最大化は望めない．

社会資本としてのターミナルの計画設計に用いられる一つの定量的評価方法として，内外ともに費用便益分析が用いられる場合があるが，多くの場合，物流部門の内部経済，すなわち，物流部門に発生する便益と費用との対比に終始することが多い[10),12)]．もっとも国民経済全体に与える影響という観点から評価しようとする試みもあるが，元来，費用便益分析の本来の任務ではない[13)]．しかし，この分析が一つのプロジェクトの代替案評価に有効であっても，物流部門のみの純現在価値，もしくは費用便益比の最大化を指向することであっては，国民経済的に望ましい評価法とはいえない．ここで次のような評価式を提案する．すなわち

$$R=B/C=(B_p+\sum_{S=1}^{N}B_S)/(C_P+\sum_{S=1}^{N}C_S)>1 \qquad \cdots\cdots(1)$$

かつ，$B_P>C_P$, $B_S>C_S$ が成立しなければならないと考える．ここに，B, C は便益および費用を表わし，サフィックスの P, S は直接または間接，いいかえれば物流部門直接の関係者と，間接に影響を受ける N 個の階層もしくは地域をあらわしている．よって制約項の前者は，物流部門の便益が費用を上回ることを意味しており，後者は影響圏を適当な地域および階層に分割した場合に，その便益が費用を上回ることを意味している．このことは，P が意図する物流システムがおかれる S という社会を考慮して，(1) そこにおける B_S, C_S の水準を把握することと，(2) $B_S-C_S>0$ となるように計画を操作するという2つの問題を新たに提起したことになる．

(1) はいわゆる外部経済，不経済すなわち経済学的な環境問題を取り入れることであり，(2) は分権的達成の方法論を導き出すことである．

本論文はこのような観点から，従来のターミナル立地論が，物流システムの合理化，すなわち B_P/C_P の最大化にすぎなかったことに反省を加え，$B_P-C_P>0$ のほかに $B_S-C_S>0$ の制約のもとでの立地選定理論を新

* 正会員　工博　京都大学教授　工学部交通土木工学教室
** 正会員　M.A.　三菱総合研究所　研究員
*** 正会員　工修　運輸省港湾局

たに提起しようとするものである．

2．立地選定モデル

（1） モデルの仮定

ターミナルを必要とする基本的パターンが図—1に示される．供給地 $i(i=1, 2, \cdots, I)$ で発生した輸送客体はターミナル k $(k=1, 2, \cdots, K)$ を経由して需要地 j $(j=1, 2, \cdots, J)$ に吸収される．実際の物流現象はこの逆の流れも含まれる．

ここでのモデルの仮定は以下のとおりである．

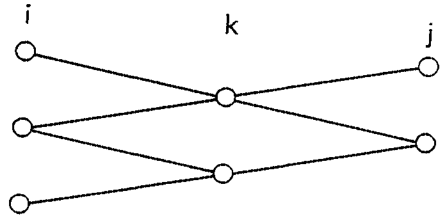

Fig. 1 Pattern of Terminal Location

a） 供給地および需要地は与えられており，その個数はそれぞれ I, J 個である．

b） i および j での発生量 $S(i)$，吸収量 $D(j)$ は計画年次について外生的に与えられており，価格に対して非弾力的である．すなわち，非弾力性需要のもとで，静学的な取り扱いを行う．

c） $\sum_i S(i)=\sum_j D(j)$ である．

d） ターミナルの候補地の数は有限個 K として与えられている．

e） 各ターミナルの各規模ごとの経済的取り扱い量（経済的能力）は外生的に与えられている．これは設計容量等といわれているものである．

これらの仮定は，一般のターミナル立地選定モデルにおいて用いられているものである．

（2） 費用と便益

プロジェクトの評価には，費用最小化基準もしくは効率性基準等に基づいて得られた代替案について環境アセスメントを行い，選択をする方法もあるが，ここでは，前もって主要な環境変化要因を選択し，条件が厳しくなるように負の効果を費用として算入し，費用便益分析によって代替案選択の基準を得る方法を用いることにする[11]．これは，環境アセスメント手法の確立していない現在，代替案選択について定量的な評価基準に費用便益分析を用いることは最も客観的情報をうる一つの方法であるという根拠に基づく．

まず費用および便益項目を列挙すると，次のようになる．

a） 費用項目

① ターミナル建設費用 $C_{F_1}(k)$

$$C_{F_1}(k)=\sum_s F_1(k, s)\cdot y(k, s) \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

ここに

$F_1(k, s)$：k 地域に s 規模のターミナルを建設する場合の建設費の等額毎年費用（円/年）

$y(k, s)$：k 地域に s 規模のターミナルを建設する場合 1，そうでない時，0 の値をとる 0-1 変数

② ターミナル維持管理費用 $C_{F_2}(k)$

$$C_{F_2}(k)=\sum_s F_2(k, s)\cdot y(k, s) \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

ここに

$F_2(k, s)$：k 地域に s 規模のターミナルを建設する場合の毎年維持管理費用（円/年）

③ アクセス路建設費用 $C_{F_3}(k)$

$$C_{F_3}(k)=\sum_s F_3(k, s)\cdot y(k, s) \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

ここに

$F_3(k, s)$：k 地域に s 規模のターミナルを建設する場合のアクセス路建設の等額毎年費用（円/年）

④ 公害防止費用 $C_P(k)$

毎年の公害防止費用には i) ターミナル自体に関連したものと ii) アクセス路に関連したものの2種類考えられるが，どちらもターミナルを通過する輸送客体量および周辺の土地利用状況の関数になると考えられる．

$$C_P(k)=\sum_r f_r{}^k[g_r\{\sum_i \sum_j \sum_s x(i, k, j, s)\}] \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

ここに

$x(i, k, j, s)$：k 地域に s 規模のターミナルを建設する場合の k を経由する (i, j) 間年間輸送客体（トン/年）

g_r：輸送客体量と r 種公害量との変換関数（r 種公害測定単位/トン）

$f_r{}^k$：k における r 種公害の防止費用関数（円/r 種公害測定単位）

b） 便益項目

① 輸送費の減少による便益 B_1

$$B_1=C_1-C_2 \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

ここに

C_1：ターミナル建設を行わない場合に，計画目標（需要）を処理するために必要な毎年の総輸送費用（円/年）

C_2：新たにターミナル建設を行った場合の毎年の総輸送費用（円/年）

② 輸送時間の減少による便益 B_2

$$B_2=w(T_1-T_2) \quad\cdots\cdots(7)$$

ここに

w：輸送客体の時間価値（円/時間）

T_1：ターミナル建設を行わなかった場合の年間総輸送時間（時間/年）

T_2：新たにターミナル建設を行った場合の年間総輸送時間（時間/年）

(3) 評価関数

純便益を貨幣単位で毎年価額として表わすと

$$NV=B_1+B_2-C_{F_1}-C_{F_2}-C_{F_3}-C_P \quad\cdots\cdots(8)$$

となり，これを最大にするようなターミナルの立地を考えればよいことになる．

ここで B_1, B_2 の中に含まれる C_1, wT_1 は与件の数値であるから式 (8) の評価式は

$$Z=C_2+wT_2+C_{F_1}+C_{F_2}+C_{F_3}+C_P \quad\cdots\cdots(9)$$

を最小にすることと同値になる．

式 (2) から式 (5) までを k について加え合わせて式 (9) に代入すれば

$$Z=C_2+wT_2+\sum_k\sum_s F(k,s)\cdot y(k,s) + \sum_k\sum_r f_r{}^k\{g_r(\sum_i\sum_j\sum_s x(i,k,j,s)\} \quad\cdots\cdots(10)$$

を得る．

ここに $F(k,s)=\sum_{h=1}^{3}F_h(k,s)$ である．

いま，輸送費用は i, k, j, s について輸送客体量 x に比例すると仮定すれば

$$C_2(G)=\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s C(i,k,j,s)x(i,k,j,s) \quad\cdots\cdots(11)$$

ここに

$C(i,j,k,s)$：k 地域の s 規模のターミナルを経由する (i,j) 間輸送 単位あたりの輸送費用（円/トン）

また，総輸送時間は待ち時間を含む遅れの時間に関する項と定速運行による輸送時間に関する項に分割して考えることができるので，前者を t_1，後者を t_2 とすれば

$$wT_2=\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s\{t_1(k,s)+t_2(i,k,j)\}w \cdot x(i,k,j,s) \quad\cdots\cdots(12)$$

と表わせる．

(4) 制約条件

a) 吸収地における制約

$$\sum_i\sum_k\sum_s x(i,k,j,s)\geq D(j) \quad\cdots\cdots(13)$$

$D(j)$：j 地域における年間需要量（トン/年）

b) 発生地における制約

$$\sum_k\sum_j\sum_s x(i,k,j,s)\leq S(i) \quad\cdots\cdots(14)$$

$S(i)$：i 地域における年間供給量（トン/年）

c) ターミナルでの容量制約

$$\sum_i\sum_j x(i,k,j,s)\leqq Q(k,s)\cdot y(k,s) \quad\cdots\cdots(15)$$

$Q(k,s)$：ターミナル k を s 規模で建設した時の経済的能力（トン/年）

d) 整数条件

$$y(k,s)=0 \text{ or } 1 \quad\cdots\cdots(16)$$

すなわち，問題は式 (13)～(16) の制約条件のもとで式 (10) を最小とする混合整数計画問題として定式化されたことになる．特に，$f_r{}^k$, g_r が線型であるという仮定のもとでは混合整数線型計画問題となり，これに対しては種々のアルゴリズムが開発されている[1)~7)]．

(5) 双対問題

前述の費用最小化問題の各制約式に対する双対変数を $u(j)$, $v(i)$, $w(k,s)$ とすれば，双対問題は次のようになる[9)]．

$$\min_y \max_{u,v,w} V=\sum_j u(j)D(j) -\sum_i v(i)\cdot S(i)+\sum_k\sum_s F(k,s)y(k,s) -\sum_k\sum_s w(k,s)Q(k,s)y(k,s) \quad\cdots\cdots(17)$$

ここに制約条件は

$$u(j)-v(i)-w(k,s)\leqq C(i,k,j,s)+P_k \quad\cdots\cdots(18)$$

$$u(j), v(i), w(k,s)\geq 0 \quad\cdots\cdots(19)$$

$$y(k,s)=0 \text{ or } 1 \quad\cdots\cdots(20)$$

である．ここでは，モデルを簡単化するため，時間費用は輸送費用の中に含め，また $f_r{}^k$ および q_r は線型性を仮定して $P_k(=\sum_r f_r{}^k)$ として示している．

主問題の最適解を $(\bar{x}, \bar{y})$，双対問題の最適解を $(\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}, \bar{y})$ とすれば双対定理より，次の関係が成立する．

$$\{\sum_i\sum_k\sum_s \bar{x}(i,k,j,s)-D(j)\}\bar{u}(j)=0 \quad\cdots(21)$$

$$\{S(i)-\sum_k\sum_j\sum_s \bar{x}(i,k,j,s)\}\bar{v}(i)=0 \quad\cdots\cdots(22)$$

$$\{Q(k,s)\bar{y}(k,s)-\sum_i\sum_j \bar{x}(i,k,j,s)\}\bar{w}(k,s) =0 \quad\cdots\cdots(23)$$

$$\{C(i,k,j,s)+P_k-\bar{u}(j)+\bar{v}(i) +\bar{w}(k,s)\}\bar{x}(i,k,j,s)=0 \quad\cdots(24)$$

$$\begin{aligned} Z^*&=\sum_j \bar{u}(j)D(j)-\sum_i \bar{v}(i)S(i) +\sum_k\sum_s F(k,s)\bar{y}(k,s) -\sum_k\sum_s \bar{w}(k,i)Q(k,s)\bar{y}(k,s)\\ &=\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s C(i,k,j,s)\bar{x}(i,k,j,s) +\sum_k\sum_s F(k,s)\bar{y}(k,s) +\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s P_k\bar{x}(i,k,j,s) \end{aligned} \quad\cdots\cdots(25)$$

(6) 双対解の解釈

双対定理を用いて双対解の解釈を行うと以下のように

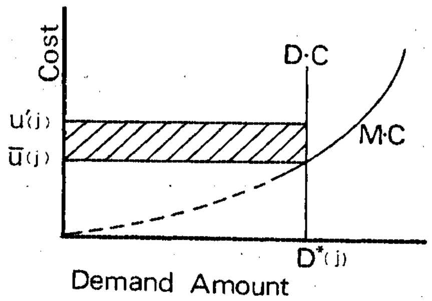

Fig. 2 Economic Interpretation of Dual Problem Solution $\bar{u}(j)$

なる.

a) $\bar{u}(j)$ の解釈

最適な $\bar{y}(k,s)$ のもとでは

$$\bar{u}(j)=\frac{\partial Z^*}{\partial D(j)} \quad \cdots\cdots(26)$$

すなわち $\bar{u}(j)$ は需要を限界的に一単位変化させた場合のトータルコストの限界的な変化を示す．需要についてその妥当性が保証されており，しかも需要が非弾力的であり完全競争が成りたっているとすれば，図—**2** より $\bar{u}(j)$ は輸送容体の需要地 j における均衡価格 Shadow Price と考えることができる．すなわち，この価格が図—**2** において，$u'(j)$ の場合には斜線部で示した部分だけ，利用者便益が減少し，施設もしくは交通サービスの提供者に不公平な利得をもたらすことになる．

b) $\bar{v}(i)$ の解釈

最適な $\bar{y}(k,s)$ のもとでは

$$\bar{v}(i)=-\frac{\partial Z^*}{\partial S(i)} \quad \cdots\cdots(27)$$

i 地域での発生量が限界的に一単位増加した場合のトータルコストの限界的な変化を表わす．$\bar{u}(j)$ の場合と同様に発生量が非弾力的であると仮定すれば $\bar{v}(i)$ は輸送容体の供給地 i における均衡価格と解釈することができる．

c) $\bar{w}(k,s)$ の解釈

最適な $\bar{y}(k,s)$ のもとでは

$$\bar{w}(k,s)=-\frac{\partial Z^*}{\partial Q(k,s)} \quad \cdots\cdots(28)$$

これはターミナルの経済的容量が限界的に一単位変化した場合のトータルコストの限界的な変化を示す．若干の計算により，これは容量の制限があるためにそのターミナルを通過するルートを変更せざるを得なくなった場合の輸送費の増加を表わすと解釈できる．

3．ターミナル立地に伴う環境問題

ターミナル立地は，その種類によっても異なるが，自然および生態系のほか，景観，コミュニティーなどの人文系に少なからぬ影響を及ぼす[14]．いろいろな環境項目について，十分な環境影響事前評価を行わなければならないのはいうまでもないが，道路，空港，鉄道，港湾等に関連するターミナル立地において特に問題になるのは，交通の増加に伴う排気ガス，騒音，振動等の発生である．

これらへの対策としては，発生源である交通機関そのものの改良，防音壁，高架，地下道，堀割などの公害防止施設の整備とさらに，影響圏を影響の程度に応じてランク付けして，新しく土地利用計画を策定し，周辺整備計画を並行して行うことなどが考えられる．

実際にはこれらの方式を組み合わせ，地域住民の合意の得られる水準まで整備を行うことになる．この方法については，われわれの一部がすでに発表した方法を用いる[11]．

すなわち，ターミナルおよびアクセス路周辺（公害の影響する範囲）地域を幾つかのメッシュに区切り，考えうる環境項目の現況水準 ${}_mA_l$（l 地区の第 m 評価項目の水準を表わす），n 用途の第 m 評価項目の環境基準を ${}_nG_m$ とした時，${}_nG_m \geq {}_mA_l$ ならば改良の必要はない．しかし，ターミナルの立地によって ${}_mA_l \geq {}_nG_m$ となれば，改良，用途の転換，もしくは移転を行い $\min_n\{{}_nG_m\} \geq {}_mA_l$ となるよう整備を行ってゆく．そして周辺地域の用途が目的の土地利用の需要を満たすまで費用最小化基準のもとで環境整備を行わなくてはならないとするのである．この作業を $x(i,k,j,s)$ の各規模に応じて行えば，公害防止費用 C_P を図—**3** のように示すことができる．

4．分権的達成の手法

（1） 立地計画実施に伴う問題

3．に述べたように，ターミナル k での輸送および交通量が決まれば発生する騒音，振動，排気ガスなどの量が予測され，土地利用の状態に対応してそれらの防止費

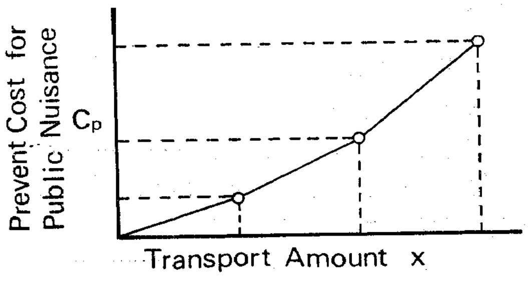

Fig. 3 Prevent Cost for Public Nuisance

用，もしくは，環境基準をそれぞれ満足するような土地利用形態に整備する費用が計算される．ターミナルkにおいて式(5) があらかじめxの関数として **図―3** のように求められておれば，国民経済的にみて好ましいターミナル立地計画は，**2**．で述べたように，開発されたアルゴリズムで解を得ることができる．しかし現実には，個々の地域のターミナルの建設管理主体は地方公共団体であることが多く，地域の住民意識を重視せねばならず，また，輸送業などの利用者は全国均一運賃料金制といった公共料金の制度的制約などから，国民経済的な観点からみて好ましい行動をとるとは必ずしもいえない．たとえば，大都市周辺にターミナルを立地すれば，外部不経済が大きいにも拘わらず輸送業者の負担とならず，むしろ利益が大きいところから，輸送はこのターミナルに集中するであろう．それに比べて，公害防止費用の少ないターミナルは通常輸送コストを余計に要するであろうから敬遠されることになるような例が多い．

(2)　分権的達成の方法

そこで，国民経済的にみて好ましい物流経路を実際に辿らせるために，費用負担，便益の移転，補助金，課徴金制度を採用し調整する必要がある．どのようにすればよいかが以下の所論となる．

いま経済主体として次の3主体を考え，それぞれが純便益最大化行動を取ると考える．

① 中央計画主体（調整主体）

② ターミナル建設管理主体（施設の提供主体）

③ 利用者もしくは荷主（輸送業者と協力して，地域の輸送需要を満たすために輸送を行うものとする．ここでは輸送業者間の便益の帰属については問題にしない）

中央計画主体の調整の方法として，次の6項目からなる政策が考えられる．

① ターミナル建設管理主体に当該ターミナルを通過する輸送活動によって発生する便益のα倍 ($0 \leq \alpha \leq 1$) をターミナルの使用料として利用者（荷主）に課すことを認める．

② ターミナル建設管理主体に，当該ターミナルを通過する輸送活動によって発生する公害防止費用のα倍（前出）を負担させる．

③ 式 (8) を最大にするという意味で全体的最適な候補地の最適な規模計画に対しては，

$$F(k, s)-\alpha \cdot Q(k,s)\overline{w}(k, s)$$

なる補助金を与える．

④ 全体的にみて，最適でない候補地の計画に対して

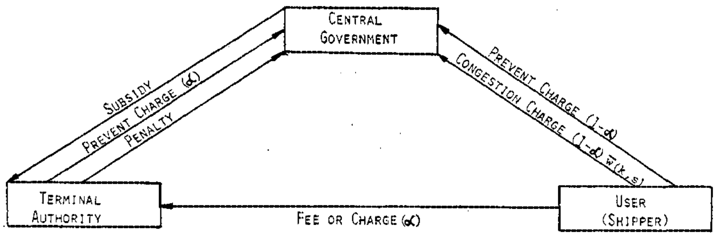

Fig. 4　Decentralized System

は，

$$\min\{0,\ F(k, s)-\alpha Q(k, s)\overline{w}(k, s)\}$$

なる罰金もしくは課徴金を課す．

⑤ 容量が一杯のターミナルを利用する利用者（荷主）には $(1-\alpha)\overline{w}(k, s)$ なる混雑料を課す．

⑥ 利用者（荷主）に彼が利用するターミナルにおいて発生する公害防止費用の $(1-\alpha)$ 倍を負担させる．

以上を図示すると **図―4** のような分権的達成 Decentralized system のフロー図を描くことができる．

ここでαは中央計画主体によって決定される政策変数と考えることができる．

すなわち，ターミナルのような公共的色彩の強い施設の整備については，ターミナル建設管理主体がそれを行うべきであるが，施設を利用する活動によって発生する不経済については，それを利用者が負担すべきであるとの観点からみれば $\alpha=0$ となるであろうし，利用者（荷主）から使用料をとり，そのかわり，施設を利用する活動から生ずる不経済についてもそれなりの負担をするとの観点からは $\alpha>0$ となるであろう．

(3)　分権的達成のモデル同定

さて，実際にこのような政策によって最適なターミナル立地パターンが分権的に達成されることの証明を次に行う．

(2) において示した ①～⑥ の政策のもとでのターミナル建設管理主体の純便益は次のように定義できる．

$$\begin{aligned}\pi_1(k) = &\sum_i\sum_j\sum_s \alpha\{\overline{u}(j)-\overline{v}(i)-C(i, k, j, s)\}\\ &\times x(i, k, j, s)-\alpha P_k\sum_i\sum_j\sum_s x(i, k, j, s)\\ &+\sum_s\{R(k, s)-F(k, s)\}y(k, s) \quad \cdots(29)\end{aligned}$$

ここで $R(k, s)$ はターミナル建設管理主体に対する中央計画主体の補助金あるいは罰金を表わす．

すなわち

$\overline{y}(k, s)=1$：最適な候補地の最適な規模計画に対しては次の $R(k, s)$ なる補助金を与える．

$$R(k, s)=F(k, s)-\alpha\overline{w}(k, s)Q(k, s) \quad \cdots\cdots(30)$$

$\overline{y}(k, s)=0$：立地しない方が最適な候補地の建設計画に対しては，次の $R(k, s)$ なる罰金を

課す．

$$R(k,s)=\min\{0,\ F(k,s)-\alpha\bar{w}(k,s)Q(k,s)\}\quad\cdots\cdots(31)$$

$\pi_1(k)$ の各項は次のとおりである．

第１項：ターミナル k を通過する輸送活動によって発生する便益の α 倍をターミナル使用料として徴収すると仮定した時の収入

第２項：ターミナル k を通過する輸送活動によって発生する公害防止費用の α 倍をターミナル建設管理主体が負担すると仮定した時の負担額

第３項：上述の補助金および罰金

ターミナル建設管理主体の純便益最大化行動は，利用者（荷主）の輸送活動（$x(i,k,j,s)$ の値）によって異なる．いま $x(i,k,j,s)$ が $\bar{x}(i,k,j,s)$ として与えられたならば，ターミナル建設管理主体の純便益最大化行動は次のように定式化できる．

$$\begin{aligned}\max_{y(k,s)}\ \pi_1(k)=&\sum_i\sum_j\sum_s\alpha\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)\\&-C(i,k,j,s)\}\bar{x}(i,k,j,s)\\&-\alpha P_k\sum_i\sum_j\sum_s\bar{x}(i,k,j,s)\\&+\sum_s\{R(k,s)-F(k,s)\}y(k,s)\end{aligned}\quad\cdots\cdots(32)$$

$$Q(k,s)y(k,s)\geq\sum_i\sum_j\bar{x}(i,k,j,s)\quad\cdots\cdots(33)$$

$$y(k,s)=0\ \text{or}\ 1\quad\cdots\cdots(34)$$

次に輸送活動 $x(i,k,j,s)$ を行う利用者（荷主）の純便益は下記のように定義できる．

$$\begin{aligned}\pi_2(i,k,j)=&(1-\alpha)\sum_s\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)\\&-C(i,k,j,s)\}x(i,k,j,s)\\&-(1-\alpha)\sum_s\bar{w}(k,s)x(i,k,j,s)\\&-(1-\alpha)\sum_s P_k x(i,k,j,s)\end{aligned}\quad\cdots(35)$$

$\pi_2(i,k,j)$ の各項は次のとおりである．

第１項：輸送活動によって得られる利益（ターミナル使用料を差し引いたもの）

第２項：容量が一杯のターミナルを通過する場合に支払う混雑料

第３項：輸送活動によって発生する公害防止費用の（$1-\alpha$）倍を負担すると仮定した時の負担額

ターミナル建設管理主体の場合と同様，利用者（荷主）の純便益最大化行動は，ターミナルの立地パターンによって異なる．いま，ターミナルの立地パターンが $\bar{y}(k,s)$ と与えたならば，利用者（荷主）の利潤最大化行動は次のように定式化できる．

$$\begin{aligned}\max_{x(i,k,j,s)}\ \pi_2(i,k,j)=&\sum_s(1-\alpha)\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)\\&-C(i,k,j,s)\}x(i,k,j,s)\\&-\sum_s(1-\alpha)P_k x(i,k,j,s)\\&-(1-\alpha)\sum_s\bar{w}(k,s)x(i,k,j,s)\end{aligned}\quad\cdots\cdots(36)$$

$$\sum_i\sum_k\sum_s x(i,k,j,s)\geq D(j)\quad\cdots\cdots(37)$$

$$-\sum_j\sum_k\sum_s x(i,k,j,s)\geq -S(i)\quad\cdots(38)$$

$$-\sum_i\sum_j x(i,k,j,s)+Q(k,s)\bar{y}(h,s)\geq 0\quad\cdots\cdots(39)$$

①～⑥ の政策によって，最適な立地パターンが分権的に達成されるためには，次の２点が証明されねばならない．

① ターミナル建設管理主体および利用者（荷主）のそれぞれの純便益最大化行動が均衡する．

② しかもその均衡解が全体的最適解と一致する．

という２つの条件である．

ここで全体的最適解を（$\bar{x}$, $\bar{y}$）とすると，双対定理より次の条件が成り立つ（**2**．**(5)** 参照）．

$$\{\sum_i\sum_k\sum_s\bar{x}(i,k,j,s)-D(j)\}\bar{u}(j)=0\quad\cdots(21')$$

$$\{S(i)-\sum_k\sum_j\sum_s\bar{x}(i,k,j,s)\}\bar{v}(i)=0\quad\cdots\cdots(22')$$

$$\{Q(k,s)\bar{y}(k,s)-\sum_i\sum_j\bar{x}(i,k,j,s)\}\bar{w}(k,s)=0\quad\cdots\cdots(23')$$

$$\begin{aligned}\{C(i,k,j,s)+P_k-\bar{u}(j)+\bar{v}(i)\\+\bar{w}(k,s)\}\bar{x}(i,k,j,s)=0\end{aligned}\quad\cdots\cdots(24')$$

$$\begin{aligned}&\sum_j\bar{u}(j)D(j)-\sum_i\bar{v}(i)S(i)\\&\quad+\sum_k\sum_s F(k,s)\bar{y}(k,s)\\&\quad-\sum_k\sum_s\bar{w}(k,s)Q(k,s)\bar{y}(k,s)\\&=\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s C(i,k,j,s)\bar{x}(i,k,j,s)\\&\quad+\sum_s\sum_k F(k,s)\bar{y}(k,s)+\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s P_k\bar{x}(i,k,j,s)\end{aligned}\quad\cdots\cdots(25')$$

まず十分条件について説明を行う．すなわち（$\bar{x}$, $\bar{y}$）がそれぞれの経済主体の純便益を最大にする均衡解になっていることを証明する．

ターミナル建設管理主体 k に関して述べるならば，$\bar{x}$ が与えられた時の純便益最大化行動は次のようになる．

$$\begin{aligned}\max_{y(k,s)}\ \pi_i(k)=&\sum_i\sum_j\sum_s\alpha\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)\\&-C(i,k,j,s)\}\bar{x}(i,k,j,s)\\&-\alpha P_k\sum_i\sum_j\sum_s\bar{x}(i,k,j,s)+\sum_s\{R(k,s)\\&-F(k,s)\}y(k,s)\end{aligned}\quad\cdots\cdots(40)$$

$$\sum_s Q(k,s)y(k,s)\geq\sum_i\sum_j\bar{x}(i,k,j,s)\quad\cdots\cdots(41)$$

$$y(k,s)=0\ \text{or}\ 1\quad\cdots\cdots(42)$$

$\bar{y}(k,s)=1$ なるようなターミナル k の代替案 s を採用した場合には，$\pi_1(k)$ は

$$\begin{aligned}\pi_1(k)=&\sum_i\sum_j\sum_s\alpha\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)-C(i,k,j,s)\\&-P_k\}\bar{x}(i,k,j,s)\end{aligned}$$

$$-\alpha\sum_{s} Q(k,s)\bar{y}(k,s)\bar{w}(k,s) \cdots\cdots(43)$$

式 (23′) および (24′) より

$$\pi_1(k)=\sum_i\sum_j\sum_s \alpha\{\bar{u}(j)-v(i)-C(i,k,j,s)-\bar{w}(k,s)-P_k\}\bar{x}(i,k,j,s)=0\cdots(44)$$

$\bar{y}(k,s)=1$ なるターミナル代替案のうちで，ただ1つでも採用せず，かつ $\bar{y}(k,s)=0$ なる代替案をすべて採用しない場合は需要を満足しない．

また $\bar{y}(k,s)=0$ なるターミナルの代替案を1つでも採用すると

㋑ $F(k,s)>\alpha Q(k,s)\bar{w}(k,s)$ の場合

$$\pi_1(k)=\sum_i\sum_j\sum_s \alpha\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)-C(i,k,j,s)-P_k\}\bar{x}(i,k,j,s)-\sum_s F(k,s)y(k,s)$$
$$\leq -\sum_s F(k,s)y(k,s)<0 \cdots\cdots\cdots(45)$$

$$\therefore\ \pi_1(k)<0 \cdots\cdots(46)$$

㋺ $F(k,s)\leq\alpha Q(k,s)\bar{w}(k,s)$ の場合

$$\pi_1(k)=\sum_i\sum_j\sum_s \alpha\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)-C(i,k,j,s)-P_k\}\bar{x}(i,k,j,s)-\alpha\sum_s Q(k,s)\bar{w}(k,s)y(k,s)$$
$$\leq -\alpha\sum_s Q(k,s)\bar{w}(k,s)y(k,s)<0 \cdots\cdots(47)$$

$$\therefore\ \pi_1(k)<0 \cdots\cdots(48)$$

$\bar{y}(k,s)=0$ なるターミナルの代替案を採用しない場合は

$$\pi_1(k)=0 \cdots\cdots(49)$$

したがって $\bar{y}(k,s)$ が最適解である．

次に利用者（荷主）に関して述べるならば，$\bar{y}$ が与えられた場合の，純便益最大化行動は以下のように定式化できる．

$$\max_{x(i,k,j,s)} \pi_2(i,k,j)=(1-\alpha)\sum_s\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)-C(i,k,j,s)\}x(i,k,j,s)-(1-\alpha)\sum_s \bar{w}(k,s)x(i,k,j,s)-(1-\alpha)\sum_s P_k x(i,k,j,s) \cdots\cdots\cdots(50)$$

$$\sum_i\sum_k\sum_s x(i,k,j,s)\geq D(j) \cdots\cdots(51)$$

$$\sum_k\sum_j\sum_s x(i,k,j,s)\leq S(i) \cdots\cdots(52)$$

$$\sum_i\sum_j x(i,k,j,s)\leq Q(k,s)\bar{y}(k,s) \cdots\cdots\cdots(53)$$

この場合の最適解は次のような過程で $\bar{x}$ となる．

$\pi_2(i,k,j)$ は双対定理 (24′) より，$\bar{x}(i,k,j,s)$ に対して0となり，それ以外の $x(i,k,j,s)$ に対しては0より小さくなるので $\bar{x}(i,k,j,s)$ が最適解である．

ゆえに $(\bar{x},\bar{y})$ は，それぞれの経済主体の純便益を最大とする均衡解となることがわかったわけである．次に必要条件を考える．

いま $(\bar{x},\bar{y})$ とは違った均衡解 $(\hat{x},\hat{y})$ が存在したと仮定する．このような $\hat{x}$ が与件となった場合のターミナル建設管理主体の純便益最大化行動を考える．

この純便益最大化行動は次のようになる．

$$\max_{y(k,s)} \pi_1(k)=\alpha\sum_i\sum_j\sum_s\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)-C(i,k,j,s)\}\hat{x}(i,k,j,s)-\alpha P_k\sum_i\sum_j\sum_s \hat{x}(i,k,j,s)+\sum_s\{R(k,s)-F(k,s)\}y(k,s) \cdots(54)$$

$$Q(k,s)y(k,s)\geq\sum_i\sum_j \hat{x}(i,k,j,s) \cdots\cdots(55)$$

$$y(k,s)=0 \text{ or } 1 \cdots\cdots(56)$$

均衡解が存在するためには上記の最適解が $\hat{y}(k,s)$ とならなければならない．

① $\bar{y}(k,s)=1$ なる k,s に対して $\hat{y}(k,s)=1$ となる場合，k ターミナル建設管理主体の s 代替案による純便益 $\pi_1'(k,s)$ は式 (18) より

$$\pi_1'(k,s)=\alpha\sum_i\sum_j\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)-C(i,k,j,s)-P_k-\bar{w}(k,s)\}\hat{x}(i,k,j,s)\leq 0 \cdots\cdots(57)$$

② $\bar{y}(k,s)=0$ なる k,s に対して $\hat{y}(k,s)=1$ となる場合，$\pi_1'(k,s)$ は次の㋑, ㋺の2つの場合に分かれ，

㋑ $F(k,s)>\alpha\bar{w}(k,s)Q(k,s)$ の場合

$$\pi_1'(k,s)=\alpha\sum_i\sum_j\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)-C(i,k,j,s)-P_k\}\hat{x}(i,k,j,s)-F(k,s)y(k,s)$$
$$\leq -F(k,s)y(k,s)<0 \cdots\cdots\cdots(58)$$

$$\therefore\ \pi_1'(k,s)<0 \cdots\cdots(59)$$

㋺ $F(k,s)\leq\alpha\bar{w}(k,s)Q(k,s)$ の場合

$$\pi_1'(k,s)=\alpha\sum_i\sum_j\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)-C(i,k,j\ s)-P_k\}\hat{x}(i,k,j,s)-\alpha\bar{w}(k,s)Q(k,s)<0 \cdots\cdots(60)$$

∵ この場合 $\bar{w}(k,s)\geq 0$ と仮定しているので式 (18) より中かっこの中は負となる．

$$\therefore\ \pi_1'(k,s)<0 \cdots\cdots(61)$$

③ $\bar{y}(k,s)=1$ となる k,s に対して $\hat{y}(k,s)=0$ となる場合には，

$$\pi_1'(k,s)=0 \cdots\cdots(62)$$

④ また，$\bar{y}(k,s)=0$ となる k,s について $\hat{y}(k,s)=0$ となる場合

$$\pi_1'(k,s)=0 \cdots\cdots(63)$$

各ターミナル建設管理主体の純便益は①, ②, ③および④の場合の純便益をいくつか合計したものになるが，すべてのターミナル建設管理主体に対して③, ④のみの組み合わせはありえない．なぜならば需要制約を満足しないからである．また少なくとも1つの②の場合の純便益を含むターミナル建設管理主体が存在する．なぜならば最初の仮定が $\bar{y}(k,s)\neq\hat{y}(k,s)$ だからである．

そのようなターミナル建設管理主体の純便益 $\pi_1(k,s)$ は，必ず負となるのでターミナル建設は行われないであ

ろう．

したがって $\hat{y}$ は均衡解ではない．

次にターミナル建設管理主体の均衡解 $\hat{y}$ を与件とした場合の利用者（荷主）の純便益最大化行動を考えると，

$$\max_{x(i,k,j,s)} \pi_2(i,k,j)=(1-\alpha)\sum_s\{\bar{u}(j)-\bar{v}(i)-C(i,k,j,s)\}x(i,k,j,s)-(1-\alpha)\sum_s P_k x(i,k,j,s)-(1-\alpha)\sum_s \bar{w}(k,s)x(i,k,j,s) \quad \cdots(64)$$

$$\sum_i\sum_k\sum_s x(i,k,j,s)\geq D(j) \quad \cdots\cdots(65)$$

$$\sum_j\sum_k\sum_s x(i,k,j,s)\leq S(i) \quad \cdots\cdots(66)$$

$$\sum_i\sum_j x(i,k,j,s)\leq Q(k,s)\hat{y}(k,s) \quad \cdots\cdots(67)$$

均衡解が存在するためには，この問題の最適解が $\hat{x}$ とならなければならないが，双対定理より

$\hat{x}(i,k,j,s)=\bar{x}(i,k,j,s)$ となる利用者に対しては，$\pi_2(i,k,j)=0$ となり，$\hat{x}(i,k,j,s)\neq\bar{x}(i,k,j,s)$ となる利用者に対しては $\pi_2(i,k,j)<0$ となるものが発生する．したがって，$\hat{x}$ のうちの $\bar{x}$ に一致しない輸送活動の中に損失を発生するものが生じ，当該輸送活動は行われなくなり，需要制約を満足しなくなる．したがって $(\bar{x},\bar{y})$ 以外にターミナル建設管理主体および利用者（荷主）の純便益を最大にするような均衡解はないことが証明できたのである．

ゆえに①～⑥の政策によってターミナルの最適立地パターンを分権的に達成することができる．

5．計算例と考察

ここでは，**2**．および **4**．で定式化したモデルおよび最適パターンの分権的達成の手法を，実際の計算例を用いて考察する．吸収地3，発生地1，ターミナル候補地2，(A, B) 規模数1・2なるモデルを対象とする．輸送費用 $C(j,k,s)$ を **表—1** に，ターミナルの固定費用を規模別に **表—2** に，吸収地での需要量を **表—3** に，ターミナルの経済的容量を規模別に **表—4** に，公害防止費用を **表—5** に示す．定式化を行うと以下のとおりである．ただし，ここでは発生地の1つであるので，$x(j,h,s)$ および $C(j,k,s)$ はそれぞれ，s 規模のターミナル k 経由の j 地域に吸収される輸送量および輸送費を示し，$y(k,s)$ は s 規模のターミナル k の建設の有無を示す．また，金額の単位 1 000 万円，貨物量の単位1万トンとする．

Table 1 Transportation Cost $C(j,k,s)$ (Yen/ton unit)

i \ k, s	A 1	A 2	B 1	B 2
1	3	3	2	2
2	2	2	5	5
3	4	4	1	1

Table 2 Terminal Fixed Cost (10^7 Yne unit)

s \ k	A	B
1	1 000	1 500
2	2 000	3 000

Table 3 Demand Amount at Destination (10^4 ton unit)

i	Demand Amount
1	30
2	15
3	25

Table 4 Terminal Economical Capacity (10^4 ton unit)

s \ k	A	B
1	30	30
2	100	100

Table 5 Prevent Cost for Public Nuisance (10^4 yen/ton unit)

C_P \ k	A	B
P_k	2	1

$$Z=5x(1,A,1)+3x(1,B,1)+4x(2,A,1)+6x(2,B,1)+6x(3,A,1)+2x(3,B,1)+5x(1,A,2)+3x(1,B,2)+4x(2,A,2)+6x(2,B,2)+6x(3,B,2)+2x(3,B,2)+1\,000\,y(A,1)+2\,000\,y(A,2)+1\,500\,y(B,1)+3\,000\,y(B,2) \quad \cdots\cdots(68)$$

$$x(1,A,1)+x(1,B,1)+x(1,A,2)+x(1,B,2)\geq 30 \quad \cdots\cdots(69)$$

$$x(2,A,1)+x(2,B,1)+x(2,A,2)+x(2,B,2)\geq 15 \quad \cdots\cdots(70)$$

$$x(3,A,1)+x(3,B,1)+x(3,A,2)+x(3,B,2)\geq 25 \quad \cdots\cdots(71)$$

$$-x(1,A,1)-x(1,B,1)-x(2,A,1)-x(2,B,1)-x(3,A,1)-x(3,B,1)-x(1,A,2)-x(2,B,2)-x(2,A,2)-x(2,B,2)-x(3,A,2)-x(3,B,2)\geq -70 \quad \cdots\cdots(72)$$

$$-x(1,A,1)-x(2,A,1)-x(3,A,1)+30\,y(A,1)\geq 0 \quad \cdots\cdots(73)$$

$$-x(1,A,2)-x(2,A,2)-x(3,A,2)+100\,y(A,2)\geq 0 \quad \cdots\cdots(74)$$

$$-x(1,B,1)-x(2,B,1)-x(3,B,1)+30\,y(B,1)\geq 0 \quad \cdots\cdots(75)$$

$$-x(1,B,2)-x(2,B,2)-x(3,B,2)+100\,y(B,2)\geq 0 \quad \cdots\cdots(76)$$

この最適解および双対問題の最適解を求めると

$\bar{x}(1,A,2)=30$　　$\bar{y}(A,2)=1$

$\bar{x}(2,A,2)=15$　　それ以外の x, y は0

$\bar{x}(3,A,2)=25$

$\bar{u}_{(1)}=5,\ \bar{u}_{(2)}=4,\ \bar{u}_{(3)}=6,\ \bar{v}=0$

$\bar{w}(A,1)=0,\ \bar{w}(A,2)=0,\ \bar{w}(B,1)=4,$

$\bar{w}(B,2)=4$

ここで各主体の純便益を考える．ターミナル建設管理主体 A の純便益 $\pi_1(A)$ は，$\alpha=0.5$ として計算すると

$$\pi_1(A)=0.5\sum_{j=1}^{3}\sum_{s=1}^{2}\{\bar{u}(j)-\bar{v}-C(j,A,s)-P_A\}x(j,A,s)$$

$$+\sum_{s=1}^{2}\{R(A,s)-F(A,s)\}\,y(A,s)$$

定義より（式（30），（31）参照）

$$R(A,1)=\min\{0,\ F(A,1)-0.5\,Q(A,1)\bar{w}(A,1)\}=0 \quad \text{（罰金）}$$

$$R(A,2)=F(A,2)-0.5\,Q(A,2)\bar{w}(A,2)=2\,000 \quad \text{（補助金）}$$

よって

$$\pi_1(A)=0.5[\{(5-0-3-2)\times 0+(4-0-2-2)\times 0+(6-0-4-2)\times 0\}+\{(5-0-3-2)\times 30+(4-0-2-2)\times 15+(6-0-4-2)\times 25\}]+(0-1\,000)\times 0+(2\,000-2\,000)\times 1=0$$

同様にしてターミナル建設管理主体 B の純便益 $\pi_1(B)$ は

$$R(B,1)=\min\{0,\ F(B,1)-0.5\,Q(B,1)\bar{w}(B,1)\}=0 \quad \text{（罰金）}$$

$$R(B,2)=\min\{0,\ F(B,2)-0.5\,Q(B,2)\bar{w}(B,2)\}=0 \quad \text{（罰金）}$$

であり，$\bar{x}(i,B,1,s)=\bar{y}(B,s)=0$ なので $\pi_1(B)=0$ となる．

次に利用者の純便益を考えると

$$\pi_2(1,A,1)=0.5\sum_{s=1}^{2}\{a(1)-\bar{v}-C(1,A,s)-P_A-\bar{w}(A,s)\}x(1,A,s)=0.5\{(5-0-3-2-0)\times 0+(5-0-3-2-0)\times 30\}=0$$

同様にして

$$\pi_2(1,B,1)=0.5\{(3-0-2-1-4)\times 0+(3-0-2-1-4)\times 0\}=0$$

$$\pi_2(2,A,1)=0.5\{(4-0-2-2-0)\times 0+(4-0-2-2-0)\times 15\}=0$$

$$\pi_2(2,B,1)=0.5\{(6-0-5-1-4)\times 0+(6-0-5-1-4)\times 0\}=0$$

$$\pi_2(3,A,1)=0.5\{(6-0-4-2-0)\times 0+(6-0-4-2-0)\times 25\}=0$$

$$\pi_2(3,B,1)=0.5\{(2-0-1-1-4)\times 0+(2-0-1-1-4)\times 0\}=0$$

となる．すなわち各経済主体の純便益は最適解においてはすべて0になる．

次に補助金，罰金政策を取らなかった場合を考えてみると，その時の各経済主体の純便益は以下のようになる．

$$\pi_1(A)=0.5\sum_{j=1}^{3}\sum_{s=1}^{2}\{a(j)-\bar{v}-C(j,A,s)-P_A\}x(j,A,s)-\sum_{s=1}^{2}F(A,s)y(A,s)=-2\,000$$

$$\pi_1(B)=0.5\sum_{j=1}^{3}\sum_{s=1}^{2}\{a(j)-\bar{v}-C(j,B,s)-P_B\}x(j,B,s)-\sum_{s=1}^{2}F(B,s)y(B,s)=0$$

$$\pi_2(j,k,1)\le 0 \quad (j=1,2,3\ \ k=A,B)$$

したがって，ターミナル建設管理主体 A の純便益は負となり，ターミナル建設は行われないという結果が生じる．

これでは国民経済的な立場から見て最適なターミナル立地パターンはターミナル建設管理主体の犠牲負担なくしては達成されないことになり，不合理となる．

6．結　　論

ターミナル立地問題は倉庫もしくは工場立地問題と同様，フィックスド・チャージ問題として，古くからその最適解を求めるアルゴリズムが開発されてきた．しかし，これは物流システムの合理化の観点からのみ考察されたものであって，開かれたシステムとしての環境問題が考慮されることはなかった．

最近，環境事前評価が問題となっているが，効率的なターミナル立地が実行不可能と判断され，中止もしくは不経済な追加工事や支出が要請されるようになると，国民経済的な観点からみて最適かどうか疑問となる．

本研究では国民経済的意義に新しい解釈を加え，費用便益分析の拡張によって，最適解を得る方法を提示した．

モデルは，一般に混合整数計画問題と称せられる分野に属するが，その双対問題を展開することによって，ターミナル建設管理主体および利用者（荷主）の便益および費用を知ることができる．これを利用して，分権的達成のための使用料，混雑料，補助金および罰金の制度の基礎となる考え方を定量的に示すことができた．また，これを簡単なモデルに適用して，その実用性を証明した．

これは，従来，国民経済的によい計画でも，実際はそのように利用されない事実に対して一つの指針を与えたものといえる．しかし，実際にあたっては次のような問題点がある．

（1） 費用便益分析の持っている諸問題点，すなわち便益費用の計測の精度，特に公害防止費用の的確な算定，割引率の問題はそのまま本研究の問題点ともなる．

（2） 5．に示した例では，解は容易に求まるが，変数の数が多くなった時，また，費用関数，変換関数が非線形となった場合のアルゴリズムの開発が必要となる．

（3） 本モデルでは，需要，発生量を外生的に与えているが，実際にはターミナルの立地状況によって需要，

発生量は変化するであろう．すなわち，これらの非弾力性の仮定は実際的でない．また，たとえ需要供給量が非弾力的であっても，時系列に変化する．比較静学の問題としてこれらの変化を取り入れなかったことは，実際に適用する場合，長期にわたっては不公正を招く結果ともなる．

（4） 使用料，補助金，罰金を従量制にしたことは，運輸行政上別な問題を生じせしめることになるだろうが，本研究では，これらに対する考察は加えていない．公共料金，課税の問題は，財政，物価等の観点からも検討されなければならない．

以上のほかに，輸送交通量，費用，便益の算定等は不確実性を伴うものであるが，本研究ではこれらの不確実性に対する対応を詳細に行っているわけではない．

一つの方法論を提示する場合，以上列挙した諸点は実用性を著しく損うものであるが，現在用いられているターミナルの立地選定と，利用に関する管理運営の方法は定性領域から脱し得ず，国民経済的にみて合理性を有していると思えない．本研究が，ある評価基準のもとで，最適解が存在し，それを実行するためには，管理，運営の方策が伴わねばならないことを示唆しうれば，その目的の大半を達したことになる．精度の高い基礎的資料の集積が特にこの種の研究の発展に望まれる．

参 考 文 献

1) Baumol, W.J. and P. Wolfe : A Warehause-Location Problem, Operations Res., Vol. 6, pp. 252-263, 1958.

2) Efroymson, M.A. and T.L. Ray : A Branch-Bound Algorithm for Plant Location, Operations Res., Vol. 14, No. 3, pp. 361-368, 1966.

3) Khumanwala, R.M. : An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Warehouse Location Problem, Management Science, Vol. 18, No. 12, pp. 718-731, 1972.

4) Manns, A.S. : Plant Location under Economy of Scale, Decentralization and Computation, Management Science, Vol. 11, pp. 213-235, 1964.

5) Spielberg, K. : Algorithms for the Simple Plant Location Problem with Some Side Conditions, Operations Research, Vol. 17, pp. 85-111, 1969.

6) Steinberg, D.I. : The Fixed Charge Problem, Naval Research Logistic Quarterly, Vol. 17, No. 2, pp. 217-235, 1970.

7) Gray, P. : Mixed Integer Programming Algorithms for Site Selection and Other Fixed Charge Problems Having Capacity Constraints, SED-Special Report, Nov. 1967.

8) Garfinkel, R.S. and G.L. Nemhauser : Integer Programming, John Wiley & Sons, 1972.

9) Balas, E. : Duality in Discrete Programming, pp. 179～198, in Proceedings of the Princeton Symposium on Mathematical Programming, ed. by Kuhn, H.W., Princeton University Press, 1970.

10) Adler, H.A. : Economic Appraisal of Transport Projects, A Manual with Case Studies, Indiana University Press, 1971. 鳥山正光訳：交通プロジェクトの経済評価，東洋経済新報社，昭和48年.

11) 長尾義三・若井郁次郎・林恒一郎：環境インパクトをもつプロジェクト周辺地域の整備計画手法，土木学会論文報告集第243号，pp. 61-70, 1975.

12) 宮川公男編：PPBS の原理と分析，有斐閣，昭和44年.

13) 交通投資計画委員会編：港湾投資の地域開発に及ぼす効果に関する調査報告書，運輸経済研究センター，昭和45, 46および47年.

14) 島津康男訳：環境アセスメント—原則と方法—，スコープシリーズ 1，環境情報科学センター，1975.

（1976.3.13・受付）