# IV-93　最適ターミナル立地の分権的達成について

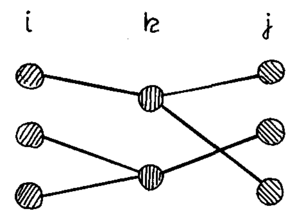
京都大　工学部　正　長尾義三
三菱総合研究所　正　森杉寿芳
○運輸省　港湾局　正　山田孝嗣

## 1.　はじめに

本研究は，異なる輸送機関の結節点であるターミナルの立地選定に関する問題を対象として，その最適立地パターンの選定方法およびその分権的達成についての考察を行なったものである。

## 2.　モデルのパターン

図－1




本研究で対象とするモデルを図－1に示す。すなわち，輸送客体の移動は供給地(i)→ターミナル(k)→需要地(j)というルートで行なわれる。また $i$，$k$，$j$ の数および，それぞれの供給量，最大取扱能力，需要量は与えられているものとする。

記号　$S(i)$：$i$ での供給量　，　$D(j)$：$j$ での需要量

$Q(k,s)$：ターミナル $k$ を $s$ 規模で建設した時の最大取扱能力

## 3.　ターミナル立地に伴なう費用および便益

ターミナルの立地に伴なって発生する費用には，ターミナル建設費用（土地収用費を含む），ターミナル維持管理費用，アクセス路建設費用のように，ターミナルの規模の関数と考えられる費用と，公害防止費用およびターミナル通過費用のように，ターミナルでの取扱量の関数と考えられる費用とがある。

これに対して便益としては，(1)輸送費用および輸送時間の減少，(2)外部経済効果，(3)事故や貨物の損傷の減少(4)快適さ，便利さ，信用性の増加等が考えられる。

## 4.　モデルの定式化

以上の考察より，NPV最大という評価基準でもって定式化を行なうと，本モデルは以下のような混合整数計画問題として書き下せる。

$$\mathrm{MAX} \rightarrow \left\{ T - \sum_i \sum_k \sum_j \sum_s c(i,k,j,s)\cdot x(i,k,j,s) \right\} - \sum_k \sum_s F(k,s)\cdot y(k,s) - \sum_i \sum_k \sum_j \sum_s p(k)\cdot x(i,k,j,s)$$

$$\Rightarrow \mathrm{MIN} \rightarrow \sum_i \sum_k \sum_j \sum_s c(i,k,j,s)\cdot x(i,k,j,s) + \sum_i \sum_k \sum_j \sum_s p(k)\cdot x(i,k,j,s) + \sum_k \sum_s F(k,s)\cdot y(k,s)$$

制約条件(1)　供給地での制約　$\sum_k \sum_j \sum_s x(i,k,j,s) \leqq S(i)$　　双対変数　$u(i)$

(2)　需要地での制約　$\sum_i \sum_k \sum_s x(i,k,j,s) \geqq D(j)$　　$v(j)$

(3)　ターミナルでの制約　$\sum_i \sum_j x(i,k,j,s) \leqq Q(k,s)\cdot y(k,s)$　　$w(k,s)$

(4)　$0 \leqq y(k,s) \leqq 1$　　(4′)　$y(k,s) = 0$ or $1$

## 5.　混合整数計画問題の双対性

4におけるような非線型問題に対する双対問題については，バラスによって提案されており，これを本モデルに適用すると双対問題は次のようになる。

$$\underset{y}{\mathrm{MIN}}\cdot\underset{u,v,w}{\mathrm{MAX}} \longrightarrow \sum_j v(j)\cdot D(j) - \sum_i u(i)\cdot S(i) - \sum_k \sum_s Q(k,s)\cdot w(k,s)\, y(k,s) + \sum_k \sum_s F(k,s)\cdot y(k,s)$$

制約条件　$v(j) - u(i) + w(k,s) \leqq c(i,k,j,s) + p(k)$　　$y(k,s)$ : $0$ or $1$　　integer

主問題および双対問題の最適解を $(\bar{x},\bar{y})$, $(\bar{u},\bar{v},\bar{w})$ とすれば，次の双対定理が成り立つ。

$$\left\{ S(i) - \sum_j \sum_k \sum_s \bar{x}(i,k,j,s) \right\} \bar{u}(i) = 0 \quad \cdots\cdots\cdots (5)$$

$$\left\{ \sum_i \sum_k \sum_s \bar{x}(i,k,j,s) - D(j) \right\} \bar{v}(j) = 0 \quad \cdots\cdots\cdots (6)$$

$$\left\{ Q(k,s)\cdot\bar{y}(k,s) - \sum_i \sum_j \bar{x}(i,k,j,s) \right\} \bar{w}(k,s) = 0 \quad \cdots\cdots\cdots (7)$$

$$\left\{ c(i,k,j,s) + p(k) - \bar{v}(j) + \bar{u}(i) - \bar{w}(k,s) \right\} \cdot \bar{x}(i,k,j,s) = 0 \quad \cdots\cdots (8)$$

$$z^* = \sum_j \bar{v}(j)\cdot D(j) - \sum_i \bar{u}(i)\cdot S(i) + \sum_k \sum_s F(k,s)\cdot\bar{y}(k,s) - \sum_k \sum_s Q(k,s)\,\bar{w}(k,s)\,\bar{y}(k,s) = \sum_i \sum_k \sum_j \sum_s c(i,k,j,s)\cdot\bar{x}(i,k,j,s) +$$

$$\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s p(k)\cdot\bar{x}(i,k,j,s)-\sum_k\sum_s F(k,s)\cdot\bar{y}(k,s) \quad \cdots\cdots\cdots (9)$$

6.　　双対変数の解釈

$\bar{u}(i)$, $\bar{v}(j)$, $\bar{w}(k,s)$の経済的な意味を考えてみると，$\bar{u}(i)=\frac{\partial Z^*}{\partial S(i)}$ なる関係より，$u(i)$は$i$地域での供給量が1単位増加した時の総費用の限界的な変化を示している。供給量が非弾力的であると仮定すれば，これは$i$地での客体の，流通費用中の生産価格と解釈することができる。同様に$\bar{v}(j)=\frac{\partial Z^*}{\partial D(j)}$ なる関係より，$v(j)$は$j$地での客体の価格と考えることができる。また，$\bar{w}(k,s)$については，能力制約によって最適ルートを変更せざるを得なくなった場合の輸送費用の増加を表わすと考えられる。

7.　　分権的達成について

4.のモデルによる最適解は，国民経済的な観点からの中央計画主体の意図する立地パターンであるが，実際には種々の経済主体が関係しており，それぞれ各自の利潤を最大にしようとするので，最適パターンの達成は困難となる。いま(1)中央計画主体，(2)ターミナル建設主体，(3)荷主の3経済主体を考える。

そして，ターミナル建設主体の便益を次のように定義する。

$$\pi_1(k)=\sum_i\sum_j\sum_s \alpha\{\bar{v}(j)-\bar{u}(i)-c(i,k,j,s)\}x(i,k,j,s)-\alpha\cdot p(k)\sum_i\sum_j\sum_s x(i,k,j,s)+\sum_s\{R(k,s)-F(k,s)\}y(k,s) \quad \cdots\cdots (10)$$

$R(k,s)=F(k,s)-\alpha\cdot\bar{w}(k,s)\cdot Q(k,s)$　　　$\bar{y}(k,s)=1$に対して補助金

$R(k,s)=\min\{0,\ F(k,s)-\alpha\cdot\bar{w}(k,s)\cdot Q(k,s)\}$　　　$\bar{y}(k,s)=0$に対して罰金

制約条件(1)～(4)のもとで$\sum_k \pi_1(k)$の最大化問題を考えると，次のような最小化問題を得る。

$$\mathrm{MIN}\rightarrow\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s \alpha\cdot c(i,k,j,s)\cdot x_1(i,k,j,s)+\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s \alpha\cdot p(k)\cdot x_1(i,k,j,s)+\sum_k\sum_s\{F(k,s)-R(k,s)\}y_1(k,s) \quad \cdots (11)$$

最適解を$(\bar{x}_1,\bar{y}_1)$，双対問題の最適解を$(\bar{u}_1,\bar{v}_1,\bar{w}_1)$とすれば，双対定理より

$$\{S(i)-\sum_j\sum_k\sum_s \bar{x}_1(i,k,j,s)\}\bar{u}_1(i)=0 \quad \cdots\cdots (12)$$

$$\{\sum_i\sum_k\sum_s \bar{x}_1(i,k,j,s)-D(j)\}\bar{v}_1(j)=0 \quad \cdots\cdots (13)$$

$$\{Q(k,s)\cdot\bar{y}_1(k,s)-\sum_i\sum_j \bar{x}_1(i,k,j,s)\}\bar{w}_1(k,s)=0 \quad \cdots\cdots\cdots (14)$$

$$\{\alpha\cdot c(i,k,j,s)+\alpha\cdot p(k)-\bar{v}_1(j)+\bar{u}_1(i)-\bar{w}_1(k,s)\}\bar{x}_1(i,k,j,s)=0 \quad \cdots (15)$$

$\pi_1(k)$は最適解において0となり，それ以外では非正となる。

同様にして，荷主の便益を次のように定義する。

$$\pi_2(i)=\sum_k\sum_j\sum_s (1-\alpha)\{\bar{v}(j)-\bar{u}(i)-c(i,k,j,s)-\bar{w}(k,s)\}x(i,k,j,s)-\sum_k\sum_j\sum_s (1-\alpha)\cdot p(k)\cdot x(i,k,j,s) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

制約条件(1)～(4)のもとで$\sum_i \pi_2(i)$の最大化問題を考えると，次のような最小化問題が得られる。

$$\mathrm{MIN}\rightarrow\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s (1-\alpha)\cdot c(i,k,j,s)\,x_2(i,k,j,s)+\sum_i\sum_k\sum_j\sum_s p(k)(1-\alpha)\cdot x_2(i,k,j,s) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

最適解を$(\bar{x}_2,\bar{y}_2)$，双対問題の最適解を$(\bar{u}_2,\bar{v}_2,\bar{w}_2)$とすれば，前と同様に双対定理より

$$\{S(i)-\sum_j\sum_k\sum_s \bar{x}_2(i,k,j,s)\}\cdot\bar{u}_2(i)=0 \quad \cdots\cdots (18)$$

$$\{\sum_i\sum_k\sum_s \bar{x}_2(i,k,j,s)-D(j)\}\cdot\bar{v}_2(j)=0 \quad \cdots\cdots (19)$$

$$\{Q(k,s)\cdot\bar{y}_2(k,s)-\sum_i\sum_j \bar{x}_2(i,k,j,s)\}\bar{w}_2(k,s)=0 \quad \cdots\cdots\cdots (20)$$

$$\{(1-\alpha)\cdot c(i,k,j,s)+(1-\alpha)p(k)-\bar{v}_2(j)+\bar{u}_2(i)-\bar{w}_2(k,s)\}\bar{x}_2(i,k,j,s)=0 \quad \cdots (21)$$

$\pi_2(i)$は最適解において0となり，それ以外では非正となる。

(5)～(8)，(12)～(15)，(18)～(21)より　$\bar{x}=\bar{x}_1=\bar{x}_2$，$\bar{y}=\bar{y}_1=\bar{y}_2$となる。（但し$0<\alpha<1$）

以上より，ターミナルの最適立地パターンを分権的に達成するためには，中央計画主体が次のような政策を行なえばよいと考えられる。(イ)ターミナル建設主体に，通過によって発生する便益の$\alpha$を通過料として荷主に課すことを認める。(ロ)ターミナル建設主体に，公害防止費用の$\alpha$を負担させる。(ハ)荷主に　公害防止費用の$(1-\alpha)$を負担させる。(ニ)最適候補地の最適規模計画には，$F(k,s)-\alpha\cdot\bar{w}(k,s)\cdot Q(k,s)$なる補助金を与える。(ホ)最適でない候補地の計画には$\min\{0,\ F(k,s)-\alpha\cdot\bar{w}(k,s)\cdot Q(k,s)\}$なる罰金を課す。(ヘ)ターミナル$k$を通過する荷主から，$(1-\alpha)\bar{w}(k,s)$なる混雑税を徴収する。

上記の関係を図に示すと，右図のようになる。

図－2