国際貨物空港の立地に関する一考案

京都大学工学部　正員　長尾義三
京都大学工学部　学生員　則武通彦
京都大学工学部　学生員　○山田孝嗣

1) はじめに

産業の高度化に伴なう運賃負担力のある貨物，すなわち時間価値の高い貨物の増加，また航空機の大型化，高速化，専用化による相対運賃の低下あるいは著しい経済成長による個人所得の増大などの諸要因によって，近年航空貨物量の増加はめざましく，将来もこの傾向が続くことが予想されている。運政審の需要予測によると昭和60年の国際航空貨物量は500万トンに達するとみられており，この値は現在の航空貨物量の50倍にあたる。

このような外的条件に対して，現在のわが国の空港処理能力は不十分であり，将来の輸送体制に支障をきたさないためには，大巾な処理能力の向上を行なわなければならないと考えられる。よって本考案においては，わが国に新しく国際貨物空港を建設する必要があるという背景のもとに，どこに，どのくらいの規模の空港をいくつ建設すれば国民経済的にみて最適であるかという問題に対して，数理計画法を用いたモデルを提案する。

2) 問題のパターンと定式化

図－1

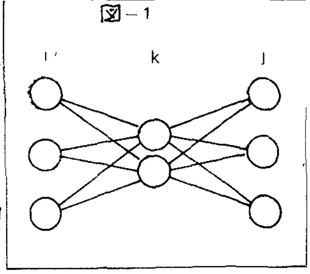


図1は空港立地のパターンを示したものである。iは国内地域ブロック，kはわが国の空港，jは外国の空港を表わしている。

iで発生した貨物は空港kへ輸送され，さらにkからjへと空輸される。よって，この輸送システムにおいて発生する費用としては，ik間の内陸輸送費用と，空港kの建設費用およびkj間の輸送費用との3つが考えられる。ただkj間の輸送費用については，特定のjについて考えると，kj間の距離が十分長いのでkが国内のどこに位置しても輸送費用は変わらないと考えられるので省略する。しかし，空港を複数建設する場合には取扱貨物量によって運航形態が変化するので，kj間の考慮が必要となるであろう。

また評価基準としては，内陸輸送費と空港建設費との和が最小，すなわち総費用最小を用いた。この基準は，空港建設による便益に対する研究が十分行なわれていない現在においては，一応妥当なものであると思われる。

以上の考察のもとにこの問題の定式化を行なうと次のようになる。

$$\min Z = \sum_k \sum_i t(i,k)\cdot x(i,k) + \sum_k F(k)\cdot y(k) \qquad (1)$$

subject to

$$D(i) = \sum_k x(i,k) \qquad (2)$$

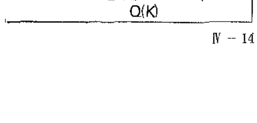
$$Q(k) \geqq \sum_i x(i,k) \qquad (3)$$

$$Q = \sum_k \sum_i x(i,k) \qquad (4)$$

$t(i,k)$．ik間の単位重量当り輸送費（円/トン）
$D(i)$：ブロックiの発生吸収貨物量（トン/年）
$x(i,k)$．ik間の輸送貨物量（トン/年）
$F(k)$．空港kの建設費用（円/年）
$y(k)$．$\begin{cases} 1：空港を k 地点に建設する時 \\ 0．空港を k 地点に建設しない時 \end{cases}$
$Q(k)$：空港の取扱貨物量（トン/年）
Q　：全国発生吸収貨物量（トン/年）

図－2

図－3



さて，空港建設費用と取扱貨物量との関係は一般には線形とならないで，図2のように空港の取扱能力のあるレベルで不連続となることが予想される。しかし本考察では，この区間線形関数を図3のような区間一定値関数に近似し，さらに全国発生吸収貨物量が少ない段階，すなわち$Q^4(k)$までの区間を対象とする。

よって，$F(k)$は$Q(k)$に関係なく一定であると考える。

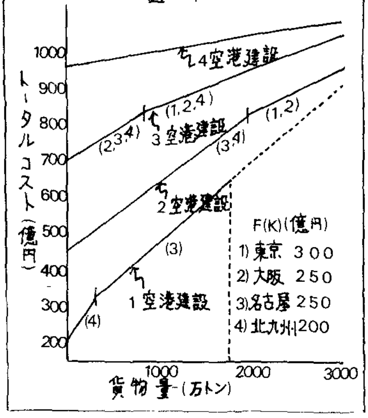
3) 数理計画法によるアプローチ

a) 線形計画法による解法

この方法は，候補地群の中から開港する候補地を選ぶ組合せをすべて列挙し，各々の場合の目的関数の値を求め，その中から最小のものを選んで最適解とするものである。

すなわち，各kについて$y(k)$を0か1に固定し，式(1)の右辺第2項を定数化し，問題を単純な輸送問題へおきかえてしまうのである。この方法では必ず最適解は求まるが，候補地の数が多くなるにつれて組合せの数が指数的に増加し，計算時間が膨大になる。そこで，候補地数nの値が大きくなると次に述べる方法が有利になる。

図—4



b) 混合整数計画法による解法

まず2)で行なった定式化を次のように変形する。

$$\min Z = \sum_k \sum_i C(i,k)\,X(i,k) + \sum_k F(k)\cdot y(k) \qquad (5)$$

$$\sum_{k \in N_i} X(i,k) = 1 \qquad i = 1, 2 \cdots\cdots m \qquad (6)$$

$$0 \leqq \sum_{i \in P_k} X(i,k) \leqq n_k\, y(k) \qquad k = 1, 2 \cdots\cdots n \qquad (7)$$

$$y(k) = 0 \text{ or } 1 \quad (\text{Integer}) \qquad (8)$$

$C(i,k)$: $t(i,k)\cdot D(i)$

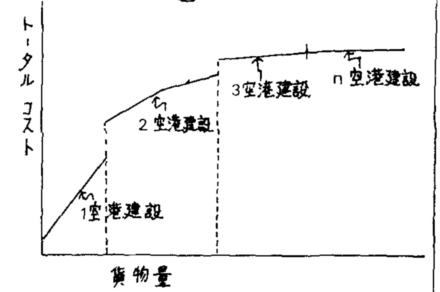
$X(i,k)$: $x(i,k)/D(i)$

N_i : ブロックiから輸送される空港kの集合

P_k : 空港kに輸送されるブロックiの集合

n_k : P_kに含まれるブロック数

図—5



空港の取扱能力が無限大であるとの前提のもとでは，$X(i,k)$は0か1のどちらかの値をとることは明らかなので，(7)式の右2項の間には等号が成立，よって$y(k)$は$X(i,k)$で表わされる。これを(5)式に代入すれば(5)式はLP問題となるので目的関数の値が求まる。

4) おわりに

図4は実際に計算を行なった結果である。これより明らかなように，取扱貨物量の小さい間は建設費の安い候補地が有利であるが，貨物量が増すにつれて勾配の小さい，すなわち単位重量当りの総輸送費用の小さな候補地の方が有利になることがわかる。さらにこの結果を一般化すると，図5を得ることができる。したがって，$F(k)$の値や候補地の数を変化させた場合についてこのような標準化されたグラフをあらかじめ作成しておけば，計画者が多地域からなる空港立地の代替案選定を行なう際の貴重な資料になると考えられる。

参考文献 Basher M Khumawala　An Efficient Branch and Bound Algolithm For the Warehouse Location Problem, Management Science Vol 18 August 1972