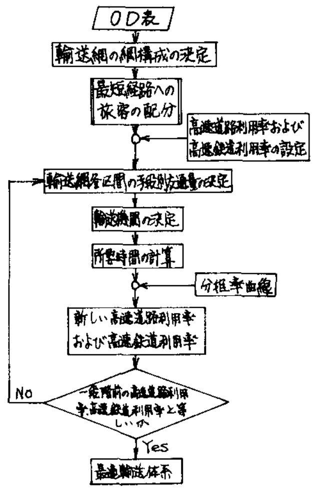
Ⅳ-31　ダイナミックプログラミングを用いた最適交通体系の決定に関する一考察

名古屋大学大学院　学生員○堀田信寿
名古屋大学工学部　正員　河上省吾

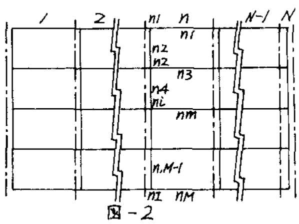
1. はじめに　　都市における人と物の流れである都市交通は、単に移動ということだけでなく都市施設の分布や、都市自体の形態をも支配する。現代の都市問題を考えてみると、その多くは交通問題に起因するものである。交通問題には、事故、渋滞などのように現象的なものから、それらの原因となっている計画上の問題など様々なものがある。そのうちの1つとして、都市内の各地点間の旅客輸送需要が予測されたとき、それをさばくために、いかなる輸送機関を採用し、輸送需要に対してどのような輸送網を構成するのが最も合理的であるかという問題がある。本研究においては、合理的な輸送体系とは、全旅客の輸送費用と輸送所要時間および公害等交通に伴うマイナス費用を金額に換算したものの総和が最小になるものであると考え、輸送網各部分に採用する最適輸送機関を決定する方法について検討する。ここでは、図－1に示したように、輸送需要が与えられたとき、都市施設の面より輸送網の網構成を求め、つぎに旅客を配分し、あらかじめ設定した鉄道および高速道路利用率を用いて各区間の交通量を求める。与えられた交通量に最も適した輸送機関の決定を行った後、それぞれの輸送機関における所要時間を求め、分担率曲線から決められる鉄道および高速道路利用率を再び設定し、上記作業を繰返し、このような操作を仮定した鉄道および高速道路利用率と分担率曲線から求められる利用率が一致するまで計算を行って最終的に、最適な輸送機関を決定するわけである。なお、本研究では、旅客輸送機関としては、自動車と高速鉄道を考える。



図－1

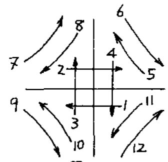
2. 輸送網への旅客の配分　　都市内各地点間の旅客輸送需要が与えられたとき、まずいかなる輸送網を構成するかを決める。既存の都市に新しい輸送網を構成する場合は、輸送施設の建設費や用地取得の制限を受け、一般には既設の道路またはその他の輸送施設に利用しやすい地帯を輸送機関の路線に利用せざるを得ないから、まず都市施設の面から網構成を求める。輸送網への旅客の配分は、本研究では便宜的に、都市内の旅客輸送を円滑に能率よく行うためにはすべて最短経路で輸送するのが望ましいという仮定を設ける。そして与えられた地点間OD旅客を輸送網に最短経路で配分し、輸送網上各区間の通過人員を求める。

3. 輸送網上の最適輸送機関の決定　　都市における輸送機関の構成として、一般街路のみの場合、一般街路と都市高速道路が併設される場合、一般街路と高速鉄道が併設される場合の3通りを考え、輸送網の各区間における通過人員から、その区間で採用すべき最適輸送機関を決める方法について述べる。上記3通りの輸送機関構成を、それぞれの走行費用、時間費用、交通に伴うマイナスの費用および相互の乗換えの不便さも考慮して、どの区間に採用するかを決定する。　　輸送網として図－2で与えられるものを考える。図に鎖線－・－・－で示したような境界線を設けて輸送網を分割する。この分割でできた小部分を区域と呼び、区域の境界線または路線の交点で区切られた線分を区間と呼ぶ。区域を$1,2,\cdots,n,\cdots,N$で表わし、区域nの区間を$n1,n2,\cdots,nm,\cdots,nM$で表わす。また路線相互または路線と区域境界線の交点は$nI,nII,\cdots,ni,\cdots,nI$で表わす。区域の分割に際しては、区域$n$の区間（$n,2i-$



図－2

1)(n,2i+1)の間を結ぶ路線は2本以下であるようにする。区間nmの通過人員はR_{nm}で表わし、交点niでの方向別通過人員は$S_{ni}^{(j)}$（jは、図－3の方向を示す）で表わす。いま、区間nmの1人当たりの輸送機関k_{nm}の輸送費を$C_{nm}^{(k_{nm})}$（k_{nm}は、一般街路のみの場合1、一般街路に高速道路が併設される場合2、一般街路に高速鉄道が併設される場合3）とし、区間距離をD_{nm}、接続点での交通機関k_pからk_q（$p,q=1$ or 2 or 3）への乗換え時間を$t(k_p,k_q)$（$t(k_p,k_q)=t(k_q,k_p)$, $k_p=k_q$のとき$t(k_p,k_q)=0$）、1人当たりの時間価値をa、輸送機関k_{nm}の区間速度を$v_{nm}^{(k_{nm})}$、区間nmでの鉄道および高速道路利用率をα_{nm}, β_{nm}（ただし、それぞれの交通機関が存在しない場合は0とする）、区間nmでの各種交通機関1人当たり単位距離当たりの交通に伴うマイナスの費用を$d_{nm}^{(k_{nm})}$とする。計算の都合上次のような関数を設定する。



図－3

$$\varepsilon_p(k_1,k_2)=\begin{cases}1: k_1 \neq k_2 \text{ または } (k_1-p)(k_2-p)=0 \quad (k_1 \neq k_1) \\ 0: k_1 = k_2 \text{ または } (k_1-p)(k_2-p) \neq 0\end{cases} \qquad (p=1,2,3)$$

区域nでの総交通費（走行費用＋時間費用＋マイナス費用＋乗換抵抗費用）は次のようになる（紙数の都合上、高速鉄道併設の場合のみで式を進めるが、他の2つの場合は、$k_{nm}=1$のとき、α_{nm}を$1-\alpha_{nm}-\beta_{nm}$、$k_{nm}=2$のとき、α_{nm}をβ_{nm}、ε_3をそれぞれε_1、ε_2に置き換え、下記の式すべてに加えたものが総交通費である）。

$$\begin{aligned}Y_n(k_{n1},k_{n2},\cdots,k_{nm},\cdots,k_{nM}) &= \sum_{m=1}^{M} R_{nm}\alpha_{nm}D_{nm}\left(C_{nm}^{(k_{nm})}+a/v_{nm}^{(k_{nm})}+d_{nm}^{(k_{nm})}\right)+\sum_{i=1}^{I} a\{\varepsilon_3(k_{n,2i-1},k_{n-1,2i-1})S_{ni}^{(1)}\alpha_{n,m}t \\ &+\varepsilon_3(k_{n,2i-1},k_{n-1,2i-1})S_{ni}^{(2)}\alpha_{n-1,m}t+\varepsilon_3(k_{n,2i},k_{n,2i-2})S_{ni}^{(3)}\alpha_{n,m+1}t+\varepsilon_3(k_{n,2i},k_{n,2i-2})S_{ni}^{(4)}\alpha_{n,m-1}t+\varepsilon_3(k_{n,2i+1},k_{n,2i-2})S_{ni}^{(5)}\alpha_{n,m}t \\ &+\varepsilon_3(k_{n,2i+1},k_{n,2i-2})S_{ni}^{(6)}\alpha_{n,m+1}t+\varepsilon_3(k_{n-1,2i+1},k_{n,2i-2})S_{ni}^{(7)}\alpha_{n-1,m}t+\varepsilon_3(k_{n-1,2i-1},k_{n,2i-2})S_{ni}^{(8)}\alpha_{n,m-1}t+\varepsilon_3(k_{n-1,2i-1},k_{n,2i})S_{ni}^{(9)}\alpha_{n-1,m}t \\ &+\varepsilon_3(k_{n-1,2i-1},k_{n,2i})S_{ni}^{(10)}\alpha_{n,m+1}t+\varepsilon_3(k_{n,2i-1},k_{n,2i})S_{ni}^{(11)}\alpha_{n,m}t+\varepsilon_3(k_{n,2i-1},k_{n,2i})S_{ni}^{(12)}\alpha_{n,m+1}t\}\end{aligned} \qquad (1)$$

なお、乗換時間tについてはεと同じ添字であるためカッコを省略した。ここに、$S_{n1}^{(3)}=S_{n1}^{(4)}=S_{n1}^{(5)}=S_{n1}^{(6)}=S_{n1}^{(7)}=S_{n1}^{(8)}=0$, $S_{nI}^{(3)}=S_{nI}^{(4)}=S_{nI}^{(9)}=S_{nI}^{(10)}=S_{nI}^{(11)}=S_{nI}^{(12)}=0$, $S_{Ni}^{(1)}=S_{Ni}^{(2)}=S_{Ni}^{(5)}=S_{Ni}^{(6)}=S_{Ni}^{(11)}=S_{Ni}^{(12)}=0$, $S_{1i}^{(1)}=S_{1i}^{(2)}=S_{1i}^{(7)}=S_{1i}^{(8)}=S_{1i}^{(9)}=S_{1i}^{(10)}=0$ である。

与えられた輸送網の各区間で最適輸送機関を採用するとき、この輸送体系での総輸送費Yは次のようになる。

$$Y=\sum_{n=1}^{N} Y_n(k_{n1},k_{n2},\cdots,k_{nm},\cdots,k_{nM}) \qquad (2)$$

このYを最小にする$(k_{n1},k_{n2},\cdots,k_{nm},\cdots,k_{nM})$が最適輸送機関を与えることになる。

次にDynamic Programmingの手法を応用してYを最小にする$\{k_{nm}\}$, $n=1,2,\cdots,n,\cdots,N$, $m=1,2,\cdots,m,\cdots,M$を求める方法を示す。

$$f_n(k_{n-1,1},k_{n-1,3},\cdots,k_{n-1,M})=\underset{\{k_{l1},k_{l2},\cdots,k_{lm},\cdots,k_{lM}\}}{Min}\sum_{l=n}^{N} Y_l(k_{l1},k_{l2},\cdots,k_{lm},\cdots,k_{lM}), \quad k_{em}=0 \qquad (3)$$

なる関数を定義すると $f_1(0,0,\cdots,0)=\underset{\{(k_{l1},k_{l2},\cdots,k_{lm},\cdots,k_{lM})\}}{Min}\sum_{l=1}^{N} Y_l(k_{l1},k_{l2},\cdots,k_{lm},\cdots,k_{lM})$ (4) が輸送網全体の最適計画における総輸送費を表わしており、このときの$\{(k_{l1},k_{l2},\cdots,k_{lm},\cdots,k_{lM})\}$を求めれば輸送網各区間における最適輸送機関を求めることができる。いま式(3)を用いると、

$$f_{n-1}(k_{n-2,1},k_{n-2,3},\cdots,k_{n-2,M})=\underset{(k_{n-1,1},k_{n-1,2},\cdots,k_{n-1,m},\cdots,k_{n-1,M})}{Min}\{Y_n(k_{n-1,1},k_{n-1,2},\cdots,k_{n-1,m},\cdots,k_{n-1,M})+f_n(k_{n-1,1},k_{n-1,3},\cdots,k_{n-1,M})\} \qquad (5)$$

という$n=1,2,\cdots,N$に対する繰返しの関係を得る。また、$f_{N+1}(0,0,\cdots,0)=0$ であるから次式を得る。

$$\begin{aligned}f_N(k_{N-1,1},k_{N-1,3},\cdots,k_{N-1,M}) &= \underset{(k_{N,2},k_{N,4},\cdots,k_{N,M-1})}{Min}\sum_{h=1}^{\frac{M-1}{2}} R_{N,2h}D_{N,2h}\alpha_{N,2h}\left(C_{N,2h}^{(k_{N,2h})}+a/v_{N,2h}^{(k_{N,2h})}+d_{N,2h}^{(k_{N,2h})}\right)+\sum_{i=1}^{I} a\{\varepsilon_3(k_{N,2i},k_{N,2i-2})S_{Ni}^{(3)}\alpha_{N,m+1}t \\ &+\varepsilon_3(k_{N,2i},k_{N,2i-2})S_{Ni}^{(4)}\alpha_{N,m-1}t+\varepsilon_3(k_{N-1,2i-1},k_{N,2i-2})S_{Ni}^{(7)}\alpha_{N-1,m}t+\varepsilon_3(k_{N-1,2i-1},k_{N,2i-2})S_{Ni}^{(8)}\alpha_{N,m-1}t+\varepsilon_3(k_{N-1,2i-1},k_{N,2i})S_{Ni}^{(9)}\alpha_{N-1,m}t+\varepsilon_3(k_{N-1,2i-1},k_{N,2i})S_{Ni}^{(10)}\alpha_{N,m+1}t\}\end{aligned}$$

ここに、$S_{N1}^{(3)}=S_{N1}^{(4)}=S_{N1}^{(5)}=S_{N1}^{(6)}=0$, $S_{NI}^{(3)}=S_{NI}^{(4)}=S_{NI}^{(6)}=S_{NI}^{(10)}=0$である。　上式により$(k_{N-1,1},k_{N-1,3},\cdots,k_{N-1,M})$の各組合せ（$3^{\frac{M-1}{2}}$通り）に対する$f_N(k_{N-1,1},k_{N-1,3},\cdots,k_{N-1,M})$を求めると、式(5)の繰返し関係を用いて$f_n(k_{n-1,1},k_{n-1,3},\cdots,k_{n-1,M})$を順次求めることができる。そして$f_2(k_{1,1},k_{1,3},\cdots,k_{1,M})$が求まると次式によって$f_1(0,0,\cdots,0)$を求めることができる。

$$f_1(0,0,\cdots,0)=\underset{(k_{1,1},k_{1,2},\cdots,k_{1,M})}{Min}\{Y_1(k_{1,1},k_{1,2},\cdots,k_{1,m},\cdots,k_{1,M})+f_2(k_{1,1},k_{1,3},\cdots,k_{1,M})\} \qquad (6)$$

ここに、$S_{1i}^{(1)}=S_{1i}^{(2)}=S_{1i}^{(7)}=S_{1i}^{(8)}=S_{1i}^{(9)}=S_{1i}^{(10)}=0$, $S_{11}^{(3)}=S_{11}^{(4)}=S_{11}^{(5)}=S_{11}^{(6)}=0$, $S_{1I}^{(3)}=S_{1I}^{(4)}=S_{1I}^{(11)}=S_{1I}^{(12)}=0$ である。式(6)によって区域1の最適輸送機関が決まると、さきに計算した$f_n(k_{n,1},k_{n,3},\cdots,k_{n,M})$により順次$(k_{n,1},k_{n,2},\cdots,k_{n,m},\cdots,k_{n,M})$を決めることができる。よって輸送網の各部分での最適輸送機関が得られる。

参考文献：河上省吾「旅客輸送網計画に関する一考察」 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, S'39