IV-204　大都市圏域における物資輸送計画に関するモデル分析

京都大学工学部　正　員　吉川和広
京都大学工学部　正　員　小林潔司
京都大学大学院　学生員　○谷岡和範

1. はじめに　近年、社会・経済活動の活発化，複雑化の結果、大都市圏域における交通問題は極めて複雑な構造をもつようになってきている。このような複雑な交通問題を抜本的に解決するためには、交通を発生・集中させる種々の活動の配置状態を交通の側面からみてより望ましい方向へ誘導するように努力すると同時に、このような都市活動の配置状態と斉合のとれるような幹線道路の建設・整備計画を立案していくことが重要であると考える。このような問題意識のもとで、本研究では上述のような幹線道路の建設・整備計画にアプローチする第一歩として、道路交通の中でも特に物資の輸送に伴う交通に着目し、このような交通の機能をより増進させるような産業活動の配置パターン，物資の輸送パターンや分布交通のパターンを規範的に求めるような計画問題を取り上げることとした。そして、この計画問題に対して以下で述べるようなモデル分析を行って、物資輸送に伴う交通機能をできるだけ増進させるような望ましい産業活動配置パターンと交通施設の整備状況の関係について分析を行っていくこととした。そこでまず、計画目標として広域的な交通機能の増進を目的とする「総走行距離のてい減」「総走行時間のてい減」「総走行費用のてい減」という複数の目標を取り上げ、これら複数の目標をできる限り達成することを目的として物資の輸送計画問題を目標計画法を用いて定式化する。さらに道路計画者の立場から道路ネットワークパターンを計画変数として取り上げるとともに、さらに上位の土地利用計画における都市活動の配置パターンに関する整備方針を当該の計画問題における計画パラメータと考える。そしてこれらの計画変数や計画パラメータを変化させることにより、上述のように道路交通の機能を増進させるような道路ネットワークのパターンと産業活動の配置パターンの関連関係，さらには物資の輸送パターンや分布交通のパターンとの関連関係についても分析していくこととする。また、本モデルを用いて京阪神都市圏を対象とした実証分析を行い、幹線道路網計画に関する計画情報およびさらに上位の地域計画のための交通現象の側面からみた望ましい活動配置パターンに関する計画情報の提示を試みることとする。

2. モデル化　(1)モデル化のための前提条件；①圏域内の各地域において、各財の需要量と供給量の間には均衡が保たれている。②ある財を1単位重量生産するのに必要な他の財の量(投入係数)は、各地域ごとに一定であると仮定する。③各地域において、各財の中間需要量全体に占める圏域外からの移入量の割合は一定であると仮定する。(以下この割合を「域外依存率」と呼ぶこととする。)④土地利用計画における活動の配置パターンに関する整備方針を、当該問題においては各ゾーンにおける産業活動の立地量に関する制約条件式として考慮することとする。

(2)定式化；ここでは、以上の前提条件のもとでL字型効用関数を想定した目標計画法を用いて、活動の配置状態と物資の輸送パターンを同時に変数として取り入れたようなモデルの定式化を行う。

(a)　物理的制約条件

（各地域における物資の連続条件）

$$Y_i^r=(1-a_{ii}^r)S_i^{rr}-\sum_{j\neq i}a_{ij}^r S_j^{rr}-(1-\beta_i^r)\sum_j a_{ij}^r\Big(\sum_{\substack{s\neq r\\ s\in\{I\}}}S_j^{rs}+\sum_{s\in\{J\}}S_j^{rs}\Big)+\sum_{\substack{s\neq r\\ s\in\{I\}}}S_i^{sr}\quad\cdots(1)$$

$$\sum_{s\in\{J\}}S_i^{sr}=\beta_i^r\sum_j a_{ij}^r\Big(\sum_{s\in\{I\}}S_j^{rs}+\sum_{s\in\{J\}}S_j^{rs}\Big)\quad\begin{pmatrix}i=1,\cdots,M\\ r=1,\cdots,R\end{pmatrix}\quad\cdots(2)$$

ここでS_i^{rs}はrゾーン($r=1,\cdots,R$)よりsゾーン($s=1,\cdots,R$)へ輸送されるi財($i=1,\cdots,M$)の量，Y_i^rはrゾーンにおけるi財の最終需要量，a_{ij}^rはrゾーンでj財1単位重量を生産するのに必要なi財の量，β_i^rはrゾーンにおけるi財の「域外依存率」である。また$\{I\}$,$\{J\}$はそれぞれ域内,域外に属するゾーンの集合を表す。

（圏域外からの移入量，圏域外への移出量に関する制約式）

$$\sum_r S_i^{sr}\leqq\overline{S_i^s}\qquad(i=1,\cdots,M)\ (s\in\{J\})\quad\cdots(3)$$

$$\sum_r S_i^{rs}\geqq\underline{S_i^s}\qquad(i=1,\cdots,M)\ (s\in\{J\})\quad\cdots(4)$$

ここで$\overline{S_i^s}$，$\underline{S_i^s}$はそれぞれ圏域外のsゾーンからのi財の移入量の上限値，sゾーンへのi財の移出量の下限値である。

（断面交通量の制約式）

$$\sum_r\sum_s\sum_i\delta(rst)\cdot t_i^{rs}+g_t\leqq F_t\qquad(t=1,\cdots,T)\quad\cdots(5)$$

ここに$t_i^{rs}=S_i^{rs}/\alpha_i$である。ただし$\alpha_i$は$i$財を輸送する場合の貨物

車1台あたりの平均積載重量，F_tはt断面（$t=1,\cdots,T$）における断面交通容量，g_tはt断面を通過する貨物車以外の交通量，さらに$\delta(rst)$はODペア（rs）の交通がt断面を通過するとき1，他は0をとる定数である。

（業種の立地量に関する制約式）

$$\sum_i \sum_{r\in(\ell)} g_i^r X_i^r \leqq Q_\ell \quad (\ell=1,\cdots,L) \quad \cdots(6) \qquad \sum_i l_i^r X_i^r \leqq L^r \quad (r=1,\cdots,R) \quad \cdots(7)$$

$$\sum_r \sum_i \delta_i^r X_i^r \leqq P^\circ \quad \cdots(8) \qquad \underline{X_i^r} \leqq X_i^r \leqq \overline{X_i^r} \quad \begin{pmatrix} i=1,\cdots,M \\ r=1,\cdots,R \end{pmatrix} \quad \cdots(9)$$

ここでg_i^r，l_i^r，δ_i^rはそれぞれrゾーンにおいてi財1単位重量を生産するときに必要な工業用水使用原単位，土地使用原単位，必要労働者数であり、X_i^rはrゾーンにおけるi財の生産量，Q_ℓ，L^r，P°はそれぞれℓ水系における供給可能工業用水量，rゾーンにおける供給可能土地面積，圏域内における供給可能労働者数である。また$\underline{X_i^r}$，$\overline{X_i^r}$はそれぞれrゾーンにおけるi業種の立地量の下限値，上限値を表す（計画パラメータ）。

(b) 目標制約条件式

（総走行距離のてい減）

$$\sum_r \sum_s \sum_i t_i^{rs} \cdot D_{rs} - y_D + z_D = G_D \quad \cdots(10)$$

$$\sum_r \sum_s \sum_i t_i^{rs} \cdot D_{rs} \leqq g_D \quad \cdots(11)$$

（総走行時間のてい減）

$$\sum_r \sum_s \sum_i t_i^{rs} \cdot T_{rs} - y_T + z_T = G_T \quad \cdots(12)$$

$$\sum_r \sum_s \sum_i t_i^{rs} \cdot T_{rs} \leqq g_T \quad \cdots(13)$$

（総走行費用のてい減）

$$\sum_r \sum_s \sum_i t_i^{rs} \cdot C_{rs} - y_C + z_C = G_C \quad \cdots(14)$$

$$\sum_r \sum_s \sum_i t_i^{rs} \cdot C_{rs} \leqq g_C \quad \cdots(15)$$

（各目標の達成度の均衡を図る制約条件式）

$$y_D/\lambda_D = y_T/\lambda_T = y_C/\lambda_C \quad \cdots(16)$$

ここでD_{rs}，T_{rs}，C_{rs}はそれぞれODペア（rs）の平均走行距離，平均走行時間，平均走行費用を表す。またG，gは各目標の満足水準，許容水準であり、$\lambda=g-G$である。さらにy，zは満足水準からのカイ離を示す補助変数である。

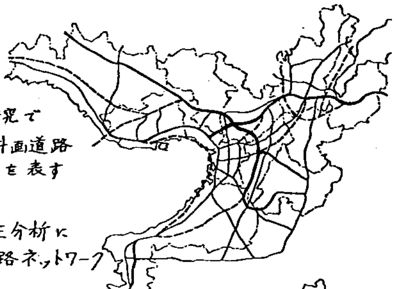
(c) 目的関数　以上の制約条件式のもとで補助変数yのうちの任意の1つを最小化することにより、目標全体の不達成度の最小化を図る。

$$y_D \rightarrow min. \quad \cdots(17)$$

3. 実証分析　2.で定式化したモデルを具体的に京阪神都市圏における幹線道路網の建設・整備計画に適用して実証分析を行った。表-1，図-1はその際に用いた入力情報の一部である。なお本研究では図-1中に破線で示すような計画道路の建設の有無の組合せによって数種の道路ネットワークを設定して計算を行った。紙面の都合上ここではこのような計算ケースの中でも特にすべての計画道路を建設したと考えたような計算ケースの結果を示すにとどめることとし、他のケースの計算結果についての詳細は講演時に述べることとする。以下、例示した計算結果より明らかとなった主な点をとりまとめて示すと、①現状の道路ネットワークでは将来の交通需要を充足できず、幹線道路の建設・整備が必要となる。②計画幹線道路のうちでも特に湾岸道路の建設は、京阪神都市圏における物資輸送に伴う道路交通の機能の増進に対して、極めて有効な手段であると考えられる。③例として取り上げたような本ケースのように、大阪湾岸地域の中でも特に泉南，大阪，神戸地域において金属・化学製品製造業の集積を図り、大阪府東部，泉南地域において機械器具・軽工業品製造業の集積を図るという産業活動の配置方針のもとで湾岸道路の建設・整備を行った場合、物資輸送に伴う道路交通の機能の増進が図られることがわかった。

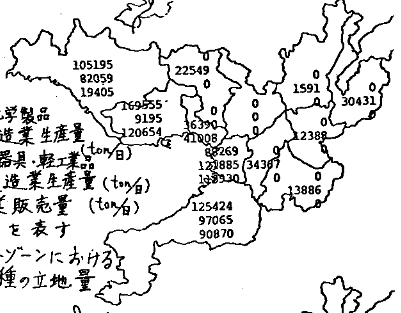
表-1 各目標の満足水準・許容水準

	満足水準	許容水準
総走行距離（km·台）	94,580,000	164,420,000
総走行時間（分·台）	176,030,000	267,970,000
総走行費用（円·台）	2,345,070,000	4,122,130,000



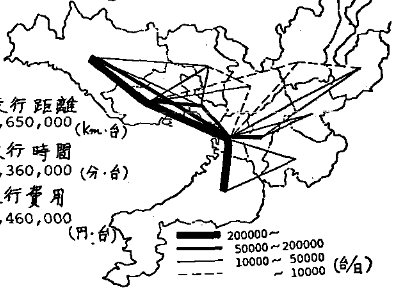
破線は本研究でとりあげた計画道路を表す

図-1　実証分析に用いた道路ネットワーク



上より順に
・金属・化学製品製造業生産量（ton/日）
・機械器具・軽工業品製造業生産量（ton/日）
・卸売業販売量（ton/日）
を表す

図-2　各ゾーンにおける各業種の立地量



・総走行距離
94,650,000（km·台）
・総走行時間
176,360,000（分·台）
・総走行費用
2,351,460,000（円·台）

図-3　分布交通のパターン