

# 規模の経済を考慮した準動学 SCGE モデルによる都市部交通渋滞の影響評価

## Evaluation of traffic congestion by using dynamic SCGE model with increasing return to scale

小池淳司\*\*, 川本信秀\*\*\*

By Atsushi Koike\*\*, Nobuhide Kawamoto\*\*\*

### 1. はじめに

都市部での自動車交通による交通渋滞は慢性化しており、長期的な経済成長にまで影響すると予測されている。伝統的な交通需要予測法に基づく渋滞シミュレーションにおいては経済成長率など、交通以外の要因に関しては外生的シナリオとして取り扱うため、渋滞が経済成長にどの程度影響を及ぼすかを知ることは不可能である。本研究では、準動学空間的応用一般均衡モデルを用いて、交通渋滞が引き起こす経済活動への影響を定量的に評価することを目的としている。また、経済活動の立地変化を内生的に表現するため、規模の経済性を考慮したモデルを提案する。

上記と同様の問題意識の下、Mun<sup>1)</sup>、(その実証分析である、文世一<sup>2)</sup>)は、中間投入を捨象するものの、規模の経済性を考慮した空間的応用一般均衡分析を提案している。このモデルは人口移動、およびそれに伴う資本移動を考慮し、人口集積が企業の生産性(TFP)を進歩させることを前提としたモデル構造になっている。しかしながら、長期的な均衡状態を描写する静学的分析となっている。

本研究で提案するモデルは、基本的にはMunのモデルと同一の構造をしているが、均衡状態の捉え方が異なっている。具体的には、本研究での経済的均衡は短期均衡と長期均衡の2種類の均衡を考慮している。短期均衡では、人口・資本および生産性は外生変数として取り扱い、一方、長期均衡では、人口移動および資本蓄積の均衡を考慮し、それに伴い、集積の経済性による技術進歩を内生的に求めている。つまり、短期均衡では完全競争市場を前提としており、長期均衡状態(あるいは、時点間均衡)を通じて、規模の経済性を表現している。

このような準動学空間的応用一般均衡モデルを用いるメリットは、規模の経済性による複数均衡の問題を排除できる点、時間経過に伴う経済状態を定量的に評価

できる点などがあげられる。一方で、長期均衡状態を表現するモデルがどの程度妥当であるかの検証が難しい、また、現実的に均衡状態へ移行するまでに必要な時間とモデル内で想定している時間はどの程度妥当であるかなどの問題点は指摘されるであろう。本研究では上記の問題点は知りつつ、規模の経済性を考慮した準動学空間的応用一般均衡モデルの交通渋滞の影響評価に適用する。

### 2. 準動学空間的応用一般均衡モデル

社会経済に対して以下の仮定を設ける。

多地域多産業で構成された経済を想定する。

短期均衡モデル、長期均衡モデルの時間的に分離可能な2つのモデルから構成される。

企業は資本と労働からなる生産要素を投入し、生産財の生産活動を行い、家計は生産要素の供給と、財の消費活動を行う。なお、中間財を考慮しない。

交通抵抗をアイスパーク型で考慮する。

域外輸入と域外輸出を考慮する。

人口集中による集積の経済をマーシャル型生産関数により考慮する。

住宅供給は一定とする。

経済成長は外生的人口成長シナリオと内生的技術進歩および資本蓄積によって明らかにされる。

各経済主体は、限定的視野の下、最適化行動を行う。

#### 2-1 短期均衡モデル

短期均衡モデルは人口・資本分布、各企業の生産技術を外生変数とした多地域多部門のSCGEモデルである。

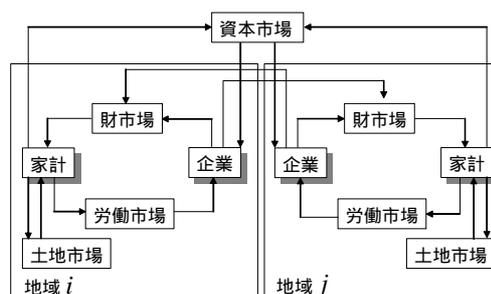


図 - 1 短期均衡モデルの概略

キーワード：規模の経済、準動学空間的応用一般均衡分析

\*\*正員 工博 鳥取大学工学部社会開発システム工学科

\*\*\*学生員 鳥取大学大学院 博士前期課程

(〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101,

email:koike@sse.tottori-u.ac.jp)

短期均衡モデルは先行研究であるMun<sup>1)</sup>によるSCGEモデルから人口移動および規模の経済を除いた構造を想定している。図-1に短期均衡モデルの概略を示す。本モデルは多地域多産業を対象としているため、モデルの簡略下のため、以下のサフィックスを導入する。なお、短期均衡モデルにおいては時間を表すサフィックス $t$ を省略する。

地域を表すサフィックス： $\mathbf{I} \in \{1, 2, \dots, i, \dots, I\}$

財を表すサフィックス： $\mathbf{M} \in \{1, 2, \dots, m, \dots, M\}$

人口分布： $N \in \{N_1, N_2, \dots, N_I\}$

ただし、 $\sum_{i \in \mathbf{I}} N_i = T$ ：総人口

### 2-1-1 企業行動モデル

各地域には生産財ごとに1つの企業が存在し、各企業は労働・資本を投入し、生産財を生産するものとする。

以下に地域 $i$ において財 $j$ を生産する企業の生産関数をコブダグラス型で仮定すると以下ようになる。

$$y_i^m = A_i^m(N_i)(L_i^m)^{\alpha_i^m}(K_i^m)^{1-\alpha_i^m} \quad (1)$$

ただし、 $y_i^m$ ：生産量、 $L_i^m$ ：労働、 $K_i^m$ ：資本、 $\alpha_i^m$ ：分配パラメータ、 $A_i^m(N_i)$ ：効率パラメータ（ただし、短期均衡では一定）

企業の生産性（TFP）は人口集積によって向上するとし、集積の経済性を以下のように定式化する。

$$A_i^m(N_i) = A_i^m N_i^{\gamma^m} \quad (2)$$

ただし、 $\gamma^m$ ：集積の経済性を表すパラメータ、 $0 \leq \gamma^m \leq 1$

生産に関する最適化問題は以下のように生産技術制約下での利潤最大化行動となる。

$$\begin{aligned} \max q_i^m y_i^m - w_i L_i^m - r_i K_i^m \\ \text{s.t. } y_i^m = A_i^m(N_i)(L_i^m)^{\alpha_i^m}(K_i^m)^{1-\alpha_i^m} \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 $w_i$ ：賃金率、 $r$ ：資本レント、 $q_i^m$ ：f.o.b price

上式より、生産要素需要関数 $L_i^m$ 、 $K_i^m$ とf.o.b price  $q_i^m$ が得られる。

$$L_i^m = \frac{\alpha_i^m}{w_i} q_i^m y_i^m \quad (4)$$

$$K_i^m = \frac{1-\alpha_i^m}{r} q_i^m y_i^m \quad (5)$$

$$\begin{aligned} q_i^m(N_i, w_i, r) &= C_i^m(N_i, w_i, r) \\ &= \frac{N_i^{-\gamma^m} w_i^{\alpha_i^m} r^{1-\alpha_i^m}}{A_i^m \alpha_i^{\alpha_i^m} (1-\alpha_i^m)^{1-\alpha_i^m}} \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、 $C_i^m$ ：平均価格費用

### 2-2-2 家計行動モデル

各地域には代表的な家計が存在し、自地域と他地域の財 $j$ を消費するものとする。以下のように家計行動を所得制約下で効用最大化として定式化する。

$$U(h_i, x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^M) = \max \beta^0 \frac{\bar{H}_i}{N_i} + \sum_{m \in \mathbf{M}} \beta^m \ln x_i^m \quad (7)$$

$$\text{s.t. } \bar{l}_i w_i + p_i^h \frac{\bar{H}_i}{N_i} + r \frac{\bar{K}}{T} = \sum_{m \in \mathbf{M}} p_i^m x_i^m + p_i^h \frac{\bar{H}_i}{N_i}$$

ただし、 $U$ ：効用水準、 $x_i^m$ ：財 $m$ の消費水準、 $\alpha, \beta^m$ ：消費の分配パラメータ、 $\bar{H}_i$ ：住宅供給または土地供給、 $h_i$ ：一人あたりの住宅供給または土地供給、 $h_i = \bar{H}_i / N_i$ 、 $p_i^h$ ：住宅地の地代、 $p_i^m$ ：c.i.f. price、 $\bar{K}$ ：総資本供給、 $\bar{l}_i$ ：一人当たりの労働投入量、 $\bar{l}_i = \sum_{m \in \mathbf{M}} L_i^m / N_i$ 、 $\beta^0 = 1 - \sum_{m \in \mathbf{M}} \beta^m$

上式より、消費財の需要関数 $x_i^m$ 、住宅・土地の需要関数 $h_i$ が得られる。

$$x_i^m = \frac{\beta^m}{1-\beta^0} \frac{1}{p_i^m} \left( \bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} \right) \quad (8)$$

$$\frac{\bar{H}_i}{N_i} = \frac{\beta^0}{1-\beta^0} \frac{1}{p_i^h} \left( \bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} \right) \quad (9)$$

### 2-2-3 地域間交易モデル

Harkerモデル<sup>3)</sup>に基づいて、各地域の需要者はc.i.f. 価格が最小となるように生産地価格を購入先として選ぶとする。地域 $j$ に住む需要者が生産地 $i$ を購入先として選択したとし、その誤差をガンベル分布に従うと仮定すると、その選択確率は、次式で表される。

$$s_{ij}^m = \frac{y_j^m \exp[-\lambda^m q_j^m (1+t_{ij}^m)]}{\sum_{k \in \mathbf{I}} y_k^m \exp[-\lambda^m q_k^m (1+t_{kj}^m)]} \quad (10)$$

ただし、 $t_{ij}^m$ ：マークアップ率（あるいは、交通所要時間）、 $\lambda^m$ ：ロジットパラメータ

この確率を用いることで財 $m$ が地域 $i$ から地域 $j$ へ供給される地域間交易量は次のように表される。

$$z_{ij}^m = \{N_j x_j^m - I_j^m + E_j^m\} s_{ij}^m \quad (11)$$

ただし、 $z_{ij}^m$ ：地域間の財の交易量、 $I_j^m$ ：対象地域外から移輸入される財の量、 $E_j^m$ ：対象地域外に移輸出される財の量

また、c.i.f. priceは次の状態を満たしている。

$$p_j^m = \sum_{i \in \mathbf{I}} s_{ij}^m q_i^m (1+t_{ij}^m) \quad (12)$$

### 2-1-4 市場均衡条件式

短期均衡モデルは以下の市場均衡条件が成立する。

$$\text{労働市場} \quad \sum_{m \in \mathbf{M}} L_i^m = \bar{L}_i \quad (13)$$

$$\text{資本市場} \quad r \left( \sum_{i \in \mathbf{I}} \sum_{m \in \mathbf{M}} K_i^m - \bar{K} \right) = \sum_{i \in \mathbf{I}} \sum_{m \in \mathbf{M}} q_i^m E_i^m - \sum_{i \in \mathbf{I}} \sum_{m \in \mathbf{M}} p_i^m I_i^m \quad (14)$$

$$\text{財市場(需要)} \quad N_j x_j^m - I_j^m + E_j^m = \sum_{i \in \mathbf{I}} z_{ij}^m \quad (15)$$

$$\text{財市場(供給)} \quad y_j^m = \sum_{j \in \mathbf{I}} (1+t_{ij}^m) z_{ij}^m \quad (16)$$

## 2 - 2 長期均衡モデル

長期均衡モデルでは短期均衡の均衡結果を得て、次期の人口分布、資本蓄積量および技術進歩を決定する。

### 2 - 2 - 1 人口移動モデル

家計は不完全な情報の下で、最も高い効用を得ることができる地域に移動する。この行動を以下のように定式化する。ここで、每期ある一定の割合 ( $\phi$ ) の世帯のみが移動することを仮定している。また、世帯においては集積の経済性による賃金上昇が移動のインセンティブになる。一方、過度の人口集積による土地・住宅の混雑が発生し、均衡にいたることを想定している。

$$N_i^{t+1} = N_i^t - \frac{(1-\phi)}{T} + \frac{\exp \theta (u_i - c_i)}{\sum_{i \in I} \exp \theta (u_i - c_i)} \phi T \quad (17)$$

$$L_i^{t+1} = \frac{N_i^{t+1}}{T} (\bar{L}^t + \Delta L^t) \quad (18)$$

ただし、 $\phi, \theta$  : パラメータ、 $u_i$  : 地域  $i$  の効用水準、 $c_i$  : 地域特有の効用、 $N_i^t$  :  $t$  期の地域  $i$  における人口、 $L_i^t$  :  $t$  期の地域  $i$  における労働、 $\bar{L}^t = \sum_{i \in I} L_i^t$ 、 $\Delta L^t = \sum_{i \in I} L_i^t - \sum_{i \in I} L_i^{t-1}$

### 2 - 2 - 2 資本蓄積モデル

短期均衡モデルの消費の一部が投資財として投資されるとすると以下の関係が成り立つ。

$$i_i^m = \sigma_i^m x_i^m \quad (19)$$

ただし、 $i_i^m$  : 財投資、 $\sigma_i^m$  : 投資比率

したがって、資本蓄積過程は以下のように定式化することができる。

$$\bar{K}^{t+1} = (1-\delta) \bar{K}^t + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} i_i^{m,t} \quad (20)$$

ただし、 $\delta$  : 資本減耗率、 $\bar{K}^t$  :  $t$  期の資本、 $i_i^{m,t}$  :  $t$  期の財投資

## 3. 実証分析

実証分析として、オランダにおける交通渋滞による社会経済への影響分析を実施した。オランダの 12 地域 8 産業を分析対象とした。交通渋滞のシナリオはオランダの Amsterdam (Noord-Holland)、Rotterdam (Zuid-Holland)、Breda (Noord-Brabant) および Utrecht (Utrecht) の都市を結んだランドスタッドエリアで交通渋滞が発生し、輸送費用が年々増加していくことを想定した。具体的には Utrecht、Noord-Holland における地域内交通と移出入の輸送費用が每期 3% ずつ増加し、Zuid-Holland、Noord-Brabant の地域内交通と移出入の輸送費用が每期 10% ずつ増加していくとした。

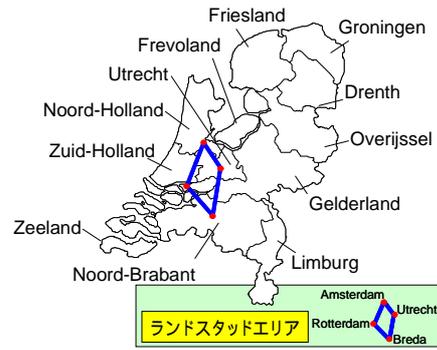


図 - 2 実証分析の対象地域

計算結果は、以下のとおりである。まず、渋滞による経済的被害は図 3 のようになる。なお、経済的被害は等価の変差 EV の概念で定義して定量化した。一方、一人あたりの経済的被害は図 4 のようになった。

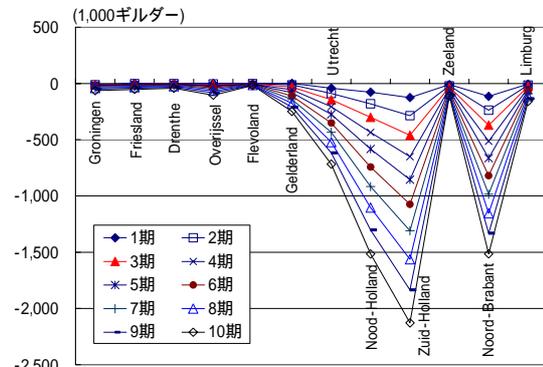


図 - 3 渋滞による経済的被害

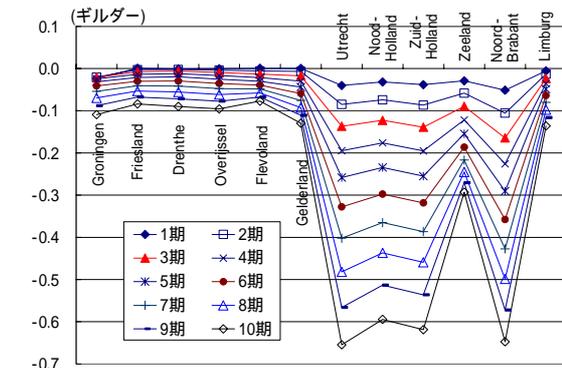


図 - 4 一人あたりの経済的被害

図 - 4 は一人あたりの便益の空間的・時間的推移が示されている。まず、渋滞発生地域 (ランドスタッドエリア) では年々マイナスの便益が増加している。その増加は逡増的である。これは集積の経済性がマイナスに働いているためである。一方、それ以外の地域では特に Zeeland 地域の不便益が大きい。これは、この地域がランドスタッドエリアと地理的に近くその間の交易量が大きいことに依存している。それ以外の地域では、シミュレーション当初はプラスの便益が計測される。これは、

地域間競争により、相対的に地方地域での生産財価格が安くなり、その結果、所得が上昇するためである。しかしながら、時間の経過とともに、それら地方地域もマイナスの便益となる。これは、渋滞発生地域の不経済効果が地域間交易を通じて地方地域へ影響した結果であると解釈できる。さらに、地方地域では時間経過と共に、一人あたり便益額の大きさの順序が地域間で入れ替わるとい現象が観察できる。このような現象は静学分析の範囲では観察することは出来ない。

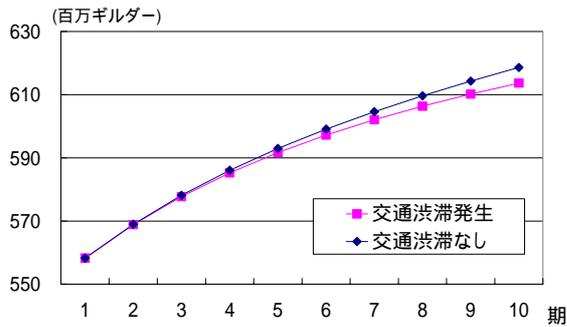


図 - 5 GDP への影響

図 - 5 は渋滞が発生する場合と発生しない場合のオランダ全体での GDP の時間的推移を示している。交通渋滞が年々慢性的に発生していくため、集積の経済性がマイナスに働き、渋滞が発生する場合、渋滞が発生しない場合と比べ、GDP は逡減して行く。その影響は 10 期には GDP の約 0.8% にのぼる。

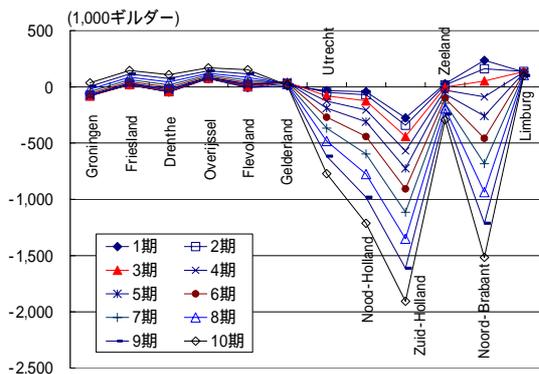


図 - 6 GRP の変化

図 - 6 は GRP の空間的・時間的推移を示している。渋滞発生地域と Zeeland では GRP がともに減少している。特に、渋滞発生地域において Zuid-Holland, Noord-Holland, Noord-Brabant の減少量が大きいのは、初期においてこれらの地域は人口集中地域であり、渋滞発生による人口減少の影響、すなわち、集積の経済性の現象が大きいためであると考えられる。それに対し、渋滞が発生しない地域では GRP は増加している。

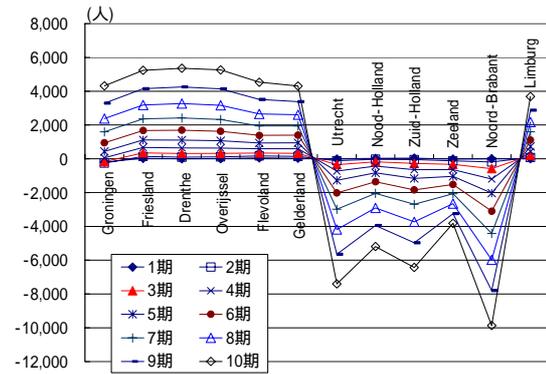


図 - 7 人口分布の変化

図 - 7 は人口分布の空間的・時間的推移を示している。交通渋滞が発生する地域と交通渋滞発生地域に比較的近い地域に位置する Zeeland の人口が減少している。渋滞発生地域では Noord-Brabant において人口減少が著しい。これは、この地域が移出入に依存した需要構造であったために渋滞発生により、大きな影響を受けたためである。一方、渋滞が発生しない地域では、Drenth が最も人口が増加している。これは、この地域は渋滞発生地域への移出入が少なく、渋滞による不経済効果が少ないためである。

#### 5. おわりに

本研究では準動学 SCGE モデルを用いることにより交通渋滞が引き起こす時間的・空間的効果を計測した。また、準動学 SCGE モデルを用いることによって交通量の変化に応じた地域別の便益、社会経済指標の時間推移を把握することが可能となった。準動学 SCGE を用いて、交通渋滞が引き起こす影響を空間的あるいは時間経過とともに把握することにより、都市圏域での交通施設整備の有効なアカウンタビリティとして利用することができる。一方で、今回のケースでは渋滞発生現象をシナリオで与えている。しかしながら、本来、渋滞現象は経済活動により内生的に表現可能な社会的環境であるので、より興味深い分析を行うためにはこれらの関係を忠実にモデル化する必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) Mun S.I.: Transport network and system of cities, *Journal of Urban Economic*, pp.205-221, 1997.
- 2) 文世一: 地域幹線道路網整備の評価 - 集積の経済にもとづく多地域モデルの適用, 土木計画学ワンデーセミナー・シリーズ 15, 応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用, 1998.
- 3) Haker, P. T.: Predicting Intercity Freight Flows, VNU Science Press BV, 1987.