

## 2 都市モデルを用いた交通整備の評価に関する研究\*

Impact of Transport Improvement in the Context of A System of Two Cities

小池淳司\*\*, 上田孝行\*\*\*, 森杉壽芳\*\*\*\*,

By Atsushi KOIKE, Takayuki UEDA, Hisayoshi MORISUGI

### 1. はじめに

わが国における都市問題の多くは人口の偏った集中、すなわち、東京一極集中問題に起因している問題が多くみられる。例えば、都心部での過密化は交通渋滞・地価高騰などの混雑現象やそれによる環境破壊を生み、地方部での過疎化は都市の衰退化を引き起こしている。これらの問題を解決することは国土計画上の重要な課題の一つであるといわれている。そして、新幹線整備や高速道路網整備が地方分散策の代表として、計画・実施されてきている。しかし、我が国の経済成長は東京一極集中とともに成りえてきたことを考えると、一概に東京一極集中が我々の社会的厚生を引き下げているとはいえない。

すなわち、国土計画案の評価を行う上で重要となってくることは、1)その計画でどのような人口分布が実現されるのか、2)また、その結果、国民全体の社会的厚生はどのようなになるのか、という2点に集約できる。しかし、現在までに提案されている国土計画案には人口集中を是正すると言った固定的な観点からのみによって提案されているものがあることも事実である。

そこで、交通整備に代表される国土計画案を人口分布・社会的厚生の両方の観点から評価できるモデルが必要となる。この問題に対し、地域科学の分野を中心に複数都市のシステムをモデル化し分析する、いわゆる、A System of Cities モデルによる分析手法がある。

本研究ではこのモデルを応用し、交通整備の効果を人口分布・社会的厚生の両方から評価できる2都市モデルを構築することを第一の目的とする。本研究で取り扱うモデルの先駆者的研究として坂下<sup>1)</sup>の研究があげられるが、坂下のモデルでは地方公共財の最適配分を議論するモデルであるため都市内モデルの特徴を有しており都市間の財・サービスの流れ、すなわち、都市間の交通条件の変化を考慮することが出来ない。また、結果の考察に関しては、森杉・大野・小池<sup>2)</sup>が一般均衡のフレームで数種の公共投資のパターンを評価し、ある特定な均衡状態（一極集中状況下）では公共投資を実施することで社会的厚生が低下するおそれがあることを示している。しかし、その理論的背景・要因等に関しては十分ふれられていない。そこで、本研究では一極集中状況下の立地均衡状態での都市内交通整備と都市間交通整備を人口分布・社会的厚生（効用水準）の変化から解析的に評価することを最終的な目的とする。

### 2. A System of Two Cities モデル

#### 2-1. モデルの仮定

モデル構築に際し、図-1に示すような都市空間を想定し、以下のような仮定をおく。

- (1)都市空間は2都市（都市1・都市2）とその他の地域で構成されている。
- (2)社会は3部門（世帯、企業、不在地主）と3市場（合成財・土地・労働市場）で構成されている。
- (3)交通費用はIceberg（冰山）型<sup>3)</sup>でモデル化している。  
すなわち、交通企業は輸送対象財の生産地での購入費用プラス輸送費用を消費地での売却収入により回収していることとなる。
- (4)都市の人口規模により引き起こされる各種外部性は効用関数と生産関数で考慮する。

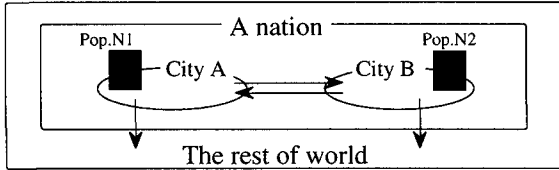
\* キーワーズ：プロジェクト評価、国土計画

\*\* 正員 工修 岐阜大学助手 工学部土木工学科  
(岐阜市柳戸 1-1, TEL:058-293-2445, FAX:058-230-1248)

\*\*\* 正員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科  
(岐阜市柳戸 1-1, TEL:058-293-2447, FAX:058-230-1248)

\*\*\*\* 正員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科  
(岐阜市柳戸 1-1, TEL:058-293-2441, FAX:058-230-1248)

- (5)各都市には1つの集計的な企業を仮定し、全く別の合成財を生産しているものとする。
- (6)人口移動は都市1・都市2間のみを考慮し、その他の都市とは人口移動は起こらないものとする。また、両都市（都市1・都市2）の総人口は一定とする。



図－1 2都市モデル

## 2-2. 世帯の行動モデル

すべての世帯は2都市のいずれかに居住し、自都市に勤務するものと仮定する。このとき都市*i*に居住する世帯の効用 $V_i$ は、都市*i*合成財 $z_i$ 、都市*j*合成財 $z_j$ と土地サービス $q_i$ の各需要水準と住環境などを表す外部性 $A_i$ で表せられるものとする。そして、世帯は所得制約の下で効用を最大にするものと仮定し、次のように定式化する。

$$V_i = \max_{z_i, z_j, q_i} \alpha_i \ln z_i + \alpha_j \ln z_j + \beta \ln q_i + A_i \quad (1.a)$$

$$s.t. \left( \frac{p_i}{\tau_{ii}} \right) z_i + \left( \frac{p_j}{\tau_{ij}} \right) z_j + r_i q_i = w_i \quad (1.b)$$

ただし、

$p_i$ ：都市*i*合成財の輸送前価格

$r_i$ ：都市*i*の住宅地代

$\tau_{ij}$ ：都市*i*から都市*j*へのIceberg型交通費用

$w_i$ ：都市*i*の賃金所得

$\alpha_i, \alpha_j, \beta$ ：正のパラメータ ( $\alpha_i + \alpha_j + \beta = 1$ )

式(1.a), (1.b)を解くと、各需要関数と最大効用水準を示す間接効用関数を得る。

$$z_i = \alpha_i \left( \frac{w_i \tau_{ii}}{p_i} \right), \quad z_j = \alpha_j \left( \frac{w_j \tau_{ij}}{p_j} \right), \quad q_i = \beta \left( \frac{w_i}{r_i} \right) \quad (2)$$

$$V_i = \ln w_i - \alpha_i (\ln p_i - \ln \tau_{ii}) - \alpha_j (\ln p_j - \ln \tau_{ij}) - \beta \ln r_i + A_i + \text{const.} \quad (3)$$

## 2-2. 企業の行動モデル

各都市で集計された企業の利潤 $\pi_i$ は労働 $N_i$ 、土地

サービス $L_i$ （一定）の各需要水準、および都市*i*合成財 $Z_i$ の供給水準によって表されるものと仮定する。そして、集計された企業はマーシャル的な外部性<sup>4)</sup>を含む生産技術制約の下で利潤を最大にするものと仮定し、次のように定式化する。

$$\pi_i = \max_{Z_i, N_i} p_i Z_i - w_i N_i - R_i L_i \quad (4.a)$$

$$s.t. Z_i = B_i N_i^{\gamma_i} L_i^{\delta_i} \quad (4.b)$$

ただし、

$N_i$ ：都市*i*の人口

$R_i$ ：都市*i*の業務地代（一定）

$\gamma_i, \delta_i$ ：正のパラメータ ( $\gamma_i + \delta_i = 1$ )

$B_i$ ：生産に対する外部性

式(4.a), (4.b)より限界生産力と要素価格の一致条件と収穫一定より間接利潤ゼロの条件が得られる。

$$w_i = \gamma_i p_i B_i N_i^{\gamma_i-1} L_i^{\delta_i} \quad (5.a)$$

$$R_i = \delta_i p_i B_i N_i^{\gamma_i} L_i^{\delta_i-1} \quad (5.b)$$

$$\text{and automatically } \pi_i = 0 \quad (5.c)$$

## 2-3. 市場均衡条件式

本モデルでの市場均衡条件は、各都市の合成財市場の需給均衡条件、居住地の需給均衡条件、労働サービスの需給均衡条件である。合成財市場は2都市以外のその他の地域の需要も考慮している。また、労働市場は先に示した限界生産力と要素価格の一致条件をそのまま用いることができる。ここで、両都市で居住地の土地供給量を一定と仮定している。

$$Z_i = N_i \alpha_i \left( \frac{w_i \tau_{ii}}{p_i} \right) + N_j \alpha_j \left( \frac{w_j \tau_{ij}}{p_j} \right) + C_i \alpha_i \left( \frac{\tau_{ii}}{p_i} \right) \quad (6.a)$$

$$N_i \beta_i \left( \frac{w_i}{r_i} \right) = l_i \quad (6.b)$$

and (5) for  $i=1,2$ .

ただし、

$C$ ：その他の地域の需要ポテンシャル

subscript  $I$ ：その他の地域

$l_i$ ：都市*i*の居住地供給量（一定）

## 2-4. 外部性

人口の集中化現象は集積の不経済と集積の経済を引

き起こす。そこで、本モデルでは効用関数に混雑現象や環境問題などの集積の不経済を負の外部性として、生産関数に集積の経済を正の外部性としてモデル化し以下のように定式化する。なお、世帯にとっての集積の経済は企業の生産関数を通して間接的に影響することとなる。

$$A_i = N_i^{\phi_i} \quad (7.b)$$

$$B_i = N_i^{\varepsilon_i} \quad (7.a)$$

ただし、

$\phi_i, \varepsilon_i$  : それぞれ負, 正のパラメータ

## 2-5. 人口の関数としての間接効用関数

市場均衡条件から各財・サービスの価格変数を人口および外生変数の関数として解き、式(3)の間接効用関数に代入することにより人口の関数である間接効用関数を得る<sup>5)</sup>。

$$\begin{aligned} V_i = & \left\{ \alpha_i (\gamma_i + \varepsilon_i) - 1 \right\} \ln N_i + \alpha_j (\gamma_j + \varepsilon_j) \ln N_j + N^{\phi_i} \\ & + \alpha_j \left[ \ln \left( \frac{\alpha_j \gamma_j C_{ji} \tau_{ji}}{1 - \alpha_j \gamma_j \tau_{ji}} \tau_{ji} + C_{ji} \tau_{ji} \right) - \ln \left( \frac{\alpha_i \gamma_i C_{ii} \tau_{ii}}{1 - \alpha_i \gamma_i \tau_{ii}} \tau_{ii} + C_{ii} \tau_{ii} \right) \right] \\ & - \alpha_i \delta_i \ln L_i + \alpha_j \delta_j \ln L_j + \alpha_i \ln \tau_{ii} + \alpha_j \ln \tau_{jj} + \beta \ln l_i \end{aligned} \quad (8)$$

また、この関数は以下の条件を満たすことにより、最低限一つのピークを持つ関数である。

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_i}{\partial N_i} & \rightarrow -\infty \quad \text{as } N_i \rightarrow N_T \\ \frac{\partial V_i}{\partial N_i} & \rightarrow \infty \quad \text{as } N_i \rightarrow 0 \end{aligned} \quad (9)$$

ただし、

$N_T$  : 都市1と都市2の総人口

## 2-5. 立地均衡

世帯の立地選択行動は両都市の効用水準が等しくなるように立地するとする。すなわち、立地均衡条件は両都市総人口一定条件とあわせて以下のように与えられる。

$$V^* = V_i(N_i, N_j) = V_j(N_i, N_j) \quad (10.a)$$

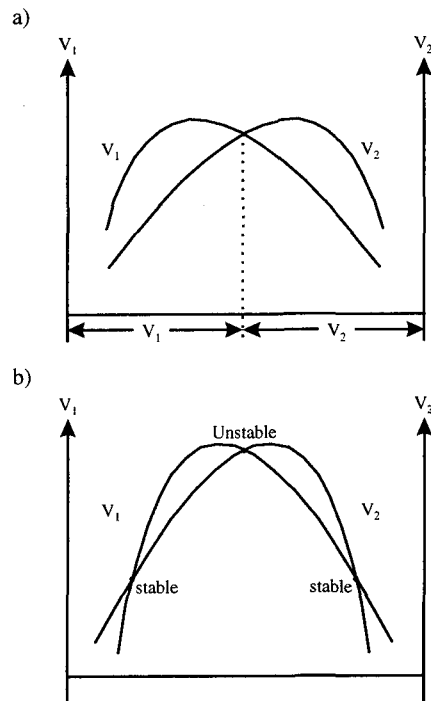
$$N_T = N_i + N_j \quad (10.b)$$

ただし、

subscript \* : 均衡状態を表す

## 2-6. 一極集中状況下での立地均衡の仮定

本モデルでは外生変数およびパラメータの値によりいくつかの立地均衡状態が表現できる。図-2はこのモデルで表現できる特徴的な均衡状態を示している。ここで a)は J. V. Henderson の A System of Cities<sup>6)</sup>モデルでの立地均衡状態、b)は Krugman P. の Second Nature<sup>7)</sup>の立地均衡状態を表現している。また、c)は、森杉・大野・小池<sup>2)</sup>が公共投資が社会的厚生を低下させる可能性がある均衡状態、すなわち、一極集中状況下での立地均衡である。そこで本研究では、この一極集中状況下での立地均衡状態を仮定し公共投資の評価を行う。なお、それ以外の均衡状態での公共投資の評価については既存の研究<sup>8)</sup>ですでに比較静学が行われている。一極集中状況下とは図-2 c)に示すように都市1では人口の増加とともに効用水準が減少し、都市2では人口の増加とともに効用水準が増大するような状況で立地均衡が成立しているような状況を仮定する。言い換えると、この場合、都市1に対する一極集中状況下であるといえる。また、このような均衡状態が表現できるパラメータの条件に関しては次節の数値シミュレーションでその一例を示している。



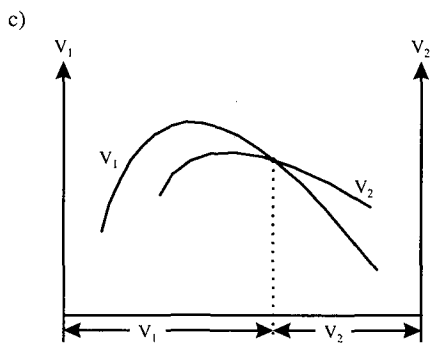


図-2 本モデルで表現可能な立地均衡

### 3. 交通整備の効果

#### 3-1. 比較静学分析

交通プロジェクトは Iceberg 型の交通費用の増加として3種類の交通整備を考慮することができる。すなわち、都市1の都市内交通整備、都市2の都市内交通整備、都市間交通整備である。それぞれの整備に対し比較静学分析を行うと以下ようになる。

##### (1) 都市1の都市内交通整備 ( $d\tau_{11}>0$ )

この整備の比較静学は以下になる。

$$dN_1^* = - \frac{\frac{\partial V_1}{\partial \tau_{11}} - \frac{\partial V_2}{\partial \tau_{11}}}{\left( \frac{\partial V_1}{\partial N_1} - \frac{\partial V_2}{\partial N_1} \right)} d\tau_{11} \quad (11.a)$$

ここで、左辺の分母が正になることからサミュエルソンの安定条件<sup>9)</sup>より都市1の人口の変化は分子の符号によって決まる。その結果、都市1の都市内交通整備の効果は図-3のようになる。すなわち、交通整備によって人口が都市1により集中し両都市の効用水準が減少する結果となることがわかる。

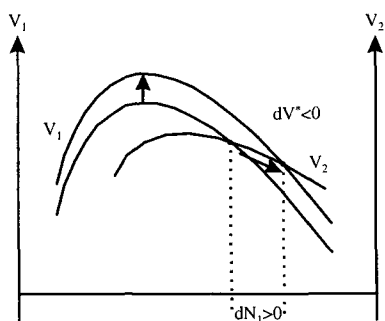


図-3 都市1の都市内交通整備の効果

##### (2) 都市2の都市内交通整備 ( $d\tau_{22}>0$ )

この整備の比較静学は以下になる。

$$dN_1^* = - \frac{\frac{\partial V_1}{\partial \tau_{22}} - \frac{\partial V_2}{\partial \tau_{22}}}{\left( \frac{\partial V_1}{\partial N_1} - \frac{\partial V_2}{\partial N_1} \right)} d\tau_{22} \quad (11.b)$$

この結果から、都市2の都市内交通整備の効果は図-4のようになり、交通整備によって人口が都市1から都市2へ分散し両都市の効用水準が増加することがわかった。

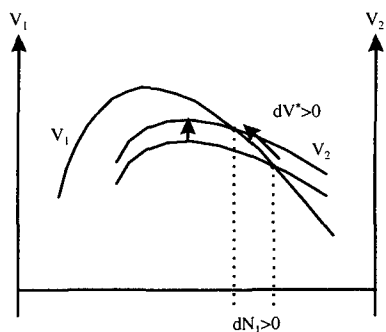


図-4 都市2の都市内交通整備の効果

##### (3) 都市間交通整備 ( $d\tau_{12}>0$ )

この整備の比較静学は以下になる。

$$dN_1^* = - \frac{\frac{\partial V_1}{\partial \tau_{12}} - \frac{\partial V_2}{\partial \tau_{12}}}{\left( \frac{\partial V_1}{\partial N_1} - \frac{\partial V_2}{\partial N_1} \right)} d\tau_{12} \quad (11.c)$$

この結果から、都市間交通整備の効果は図-5のようになり、交通整備の効果はパラメータの値に依存し、人口移動、効用水準の変化は特定できないことがわかった。

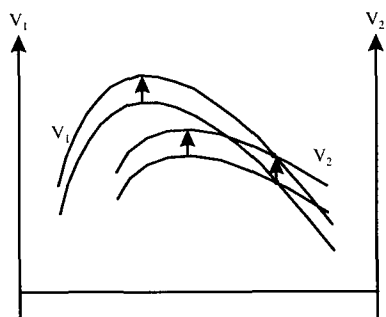


図-5 都市間交通整備の効果

以上の結果をまとめると以下の表となる。すなわち、一極集中状況下で既存集積地へ交通整備を実施すると、さらなる人口集中を生み社会的厚生（効用水準）を低下させることがわかる。また逆に一極集中状況下で既存集積地でない都市へ交通整備を実施すると、その都市だけでなく既存集積地の社会的厚生（効用水準）をも上昇させることがわかる。

表－１ 一極集中状況下での交通整備の効果

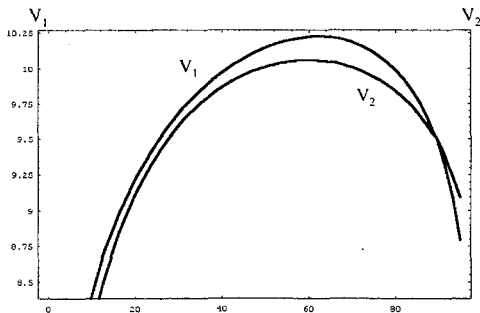
| 交通整備 | $d\tau_{11} > 0$         | $d\tau_{22} > 0$         | $d\tau_{12} > 0$         |
|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 人口移動 | $dN_1 > 0$<br>$dN_2 < 0$ | $dN_1 < 0$<br>$dN_2 > 0$ | $dN_1 = ?$<br>$dN_2 = ?$ |
| 効用水準 | $dV^* < 0$               | $dV^* > 0$               | $dV^* = ?$               |

### ３－２ 数値シミュレーション

次に、都市間交通整備における人口移動の方向・効用水準の変化、および、効用水準の変化量の比較のため、数値シミュレーションを行った。数値シミュレーション実施に際し、以下のように外生変数とパラメータを設定した。なお、交通整備は Iceberg 型の交通費用の増加として捉える。

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \alpha_2 = 0.3 \\
 \beta &= 0.2 \\
 \gamma_1 &= \gamma_2 = 0.5 \\
 \delta_1 &= \delta_2 = 0.5 \\
 \varepsilon_1 &= \varepsilon_2 = 3.5 \\
 \phi_1 &= 0.31, \phi_2 = 0.32 \\
 \tau_{11} &= \tau_{22} = \tau_{12} = 0.5 \\
 N_T &= 100
 \end{aligned}$$

この場合の立地均衡は図－７のようになり一極集中状況下を表現している。その時の交通整備の効果は表－２のように算出された。



図－７ 数値シミュレーションの立地均衡

表－２ 一極集中状況下での交通整備の効果

| 交通整備 | $\tau_{11}:0.5 \rightarrow 0.6$ | $\tau_{22}:0.5 \rightarrow 0.6$ | $\tau_{12}:0.5 \rightarrow 0.6$ |
|------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 人口移動 | $dN_1 = 1.6$<br>$dN_2 = -1.6$   | $dN_1 = -3.7$<br>$dN_2 = 3.7$   | $dN_1 < 0$<br>$dN_2 > 0$        |
| 効用水準 | $dV^* = -2.6$                   | $dV^* = 3.0$                    | $dV^* = 3.1$                    |

都市内交通整備に関しては、都市２に交通整備を行った場合は、整備を行わない都市１にも同じだけの効用水準の増大を生む。これは、モデルが長期的・確定的な立地均衡状態を仮定していることを考えると自然な結論である。しかし、都市１に交通整備を行った場合は、両都市の効用水準を低下させる結果となる。このことは、仮に費用がかからないプロジェクトであったとしても実行しないほうがよい場合があることを意味している。

次に、都市間交通整備に関しては、この数値シミュレーションの結果からは、多少の人口分散を誘発し、効用水準を向上させる結果となった。この結論は外生変数・パラメータの設定に依存するものであるが、一極集中状況下の立地均衡状態では人口分散を伴えばそれに伴い効用水準が向上し、逆に人口集中を引き起こせばそれに伴い効用水準が低下することがわかった。

### ４．まとめ

本研究では、各種の立地均衡状態を表現できる２都市モデルを構築し、一極集中状況下での交通整備の効果を分析した。その結果、一極集中状況下で既存集積地へ交通整備を実施すると、さらなる人口集中を生み社会的厚生を低下させ、また、既存集積地でない都市へ交通整備を実施すると、人口を発散させ整備実施都市だけでなく、既存集積地の社会的厚生をも向上させることが判った。

以上の結果は、ある特定な効用関数と立地均衡状態のみで成立するものであり、一般性を有するものではない。しかし、国土計画を評価する際には、このような複数都市のフレームで人口分布と社会的厚生の両方の観点から評価が可能なモデルで議論しなければ、プロジェクトそのものが社会的厚生を低下させる恐れがあるといえる。

# 【参考文献】

- 1)坂下昇：地方公共財の地域間最適配分，宇沢弘文，茂木愛一郎編，社会的共通資本，東京大学出版会，pp.185-221, 1994.
- 2)森杉壽芳，大野栄治，小池淳司：一極集中状況下の公共投資に関する研究，土木計画学研究講演集，No.16, pp.847-852, 1993.
- 3)吉田哲生：交通投資が地域に及ぼす便益の統一的評価手法に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.2, pp.181-187, 1985.
- 4)Henderson, V. : The sizes and types of cities, American Economic Review, 64, 1974.
- 5)Hisa MORISUGI, Taka UEDA: On the derivation of utility as a function of population, 土木学会第 49 回年次講演集第 4 部講演集, pp.914-915, 1993.
- 6)J. V. Henderson : Economic Theory and Cities, Academic Press, 1985.
- 7)Krugman, P. : Geography and Trade, MIT Press, 1991.
- 8)例えば、上田孝行，谷下雅義，川口有一郎：立地均衡を考慮した国土整備に関する一考察，土木学会第 45 回年次学術講演会，IV, pp562-563, 1992.
- 9)上田孝行：交通改善による情報交流の利便性増大に伴う企業立地変化のモデル分析，土木学会第 46 回年次学術講演集，IV, pp460-461, 1993.
- 10)Varian, H.R.: Microeconomics Analysis, Norton & Company, 1984.

---

## 2 都市モデルを用いた交通整備の評価に関する研究

小池淳司，上田孝行，森杉壽芳，

### 概要

わが国における都市問題の多くは人口の偏った集中、すなわち、東京一極集中に起因している問題が多くみられる。この問題を解決することは国土計画上の重要な課題の一つであるが、どのような交通整備がこれらの問題を改善するのか、さらには、地方分散策が国民にとって望ましいのか、と言った問題に答えることは出来ていない。すなわち、これらの国土計画を人口分布・社会的厚生観点からは評価されていないのが現実である。そこで、本研究では、各種交通整備の評価を人口分布・社会的厚生の变化から評価できる 2 都市モデル(A System of Two Cities Model)を構築し、一極集中状況下での立地均衡状態での交通整備の評価を行った。

---

## Impact of Transport Improvement in the Context of A System of Two Cities

By Atsushi KOIKE, Takayuki UEDA, Hisayoshi MORISUGI

### ABSTRACT

Unbalanced distribution of population, or mono-polar concentration, into the metropolitan area is the most serious issue in nationwide spatial planning. With the above background, this paper aims first, at showing a framework of modeling a system of cities and some examples of population distributions, or patterns of equilibrium geography. Then, the impact of transport investment under the mono-polar concentration is to be examined. For this purpose of the study, we build a socio-economic model within the framework of Walrasian multi-market equilibrium, and analyze the impact of transport investment on the population distribution and on the social welfare.

---