

将来交通所要時間情報の不確実性が土地利用・交通に与える影響*

Information Uncertainty in the Future Travel Time and the Effect on Land Use and Transportation in a City*

鈴木温**・宮本和明***

By Atsushi SUZUKI and Kazuaki MIYAMOTO

1. はじめに

現在わが国の地方中枢・中核都市の多くでは、モータリゼーションの進行に支えられて、郊外部で人口が増加し、中心部で減少する傾向が続いている。都市の郊外化は、さらなる自動車交通量の増大をもたらす、交通混雑や環境悪化などの深刻な問題を引き起こしている。従来の交通計画では、計画目標年次に想定される人口や就業者分布等を与件として、整備すべきハードおよびソフトの施策立案を行ってきた。しかし、国および多くの地方自治体財政の現在および将来の状況から、必然的に整備できる交通施設を極めて限定的なものになること、他、長期的に見た人口変動を考えると、交通計画のアプローチ自体を考え直す時期に来ているといえる。

これに対して、宮本¹⁾は、中期的に整備可能な交通施設をまず明確にし、その前提の下で社会的に見て望ましい土地利用分布を誘導する逆転のアプローチを提案している。またその手段として将来の自動車交通所要時間を図面化した「自動車交通長期予測図」、別名「自動車交通ハザードマップ」情報の提供を提案している²⁾。これは、情報の不完全性による市場の失敗を改善するために、郊外化に伴う将来の交通所要時間の増大に関するより正確な情報を提供する趣旨である。

同様の考え方に災害危険度の地図情報が挙げられる。これは、一般にハザードマップと言われている。山口・多々納³⁾は、災害ハザードマップによる情報提供が立地選択に与える影響を単一中心都市を仮定した理論モデルによって分析している。災害ハザードマップにおける自然災害のようなリスクは、災害発生確率分布が情報を受取る住民の行動とは独立に与えられ、情報提供後も災害発生確率は変化しない。それに対して将来の交通所要時間は、将来の土地利用に密接に関連する。そのため、

将来の交通所要時間の情報を提供することによって、それを受取った住民の将来の交通所要時間に関する期待が修正され居住地選択行動も変化する。その結果、土地利用が変化し、交通所要時間も当初予測していたものとは違いが生じる。多々納⁴⁾は、このように将来の不確実性が情報提供と独立でない場合、情報提供効果は必ずしも正にならないことを示している。

宮本による交通ハザードマップの提案¹⁾は、極めて概念的なものであり、情報提供効果に関する理論的裏付けが不明確であった。これを受けて、鈴木・宮本⁵⁾は、将来の交通所要時間に関する情報提供が土地利用と交通に与える効果・影響を都市経済学のアプローチを用いて分析した。しかし、この研究では、将来交通所要時間の期待値の変化による立地均衡解の変化が示されたが、不確実性を表す分散の変化については、ふれられていない。また、効用関数をコブ・ダグラス型に特定化した場合のみの比較静学分析しか行われていない。

そこで本研究では、既存のモデルを発展させ、一般的な効用関数の下で、将来交通所要時間に関する主観的期待値と分散が情報提供によって変化する場合の土地利用や住民の厚生の変化について明らかにすることを目的としている。具体的には、都市経済モデルの比較静学分析により、その特性を明らかにした上で、さらに、情報に対する反応をベイズの定理を用いモデル化し、数値シミュレーションを行うことによって、情報に対する信頼度の感度についても分析している。

2. 立地選択モデルの構築

(1) モデルの前提条件

都市は、図-1に示すように単一の中心業務地区(CBD)を持ち、中心($i=c$)と郊外($i=s$)の2つの居住地がある。それぞれの地区は、集約的な1本の集約的な道路によって結ばれている。CBDと中心居住地を結ぶリンクを $j=I$ 、中心居住地と郊外居住地を結ぶリンクを $j=II$ とする。中心居住地、郊外居住地の面積は、それぞれ L_c, L_s とし、外生的に与えられる。都市人口は、 N で、同一の選好を持つ個人からなる。都市住民は、全員

*キーワード：土地利用、住宅立地、地区交通計画、計画手法論

**正会員、工博、国土交通省国土技術政策総合研究所

〒305-0804、つくば市旭1番地、TEL:0298-64-2211(内線3773)

FAX:0298-64-2547、e-mail:suzuki-a2p4@nilim.go.jp

***フェロー、工博、東北大学東北アジア研究センター

〒980-8576、宮城県仙台市青葉区川内、TEL:022-217-7475

FAX:022-217-7477、e-mail:miyamoto@plan.civil.tohoku.ac.jp

どちらかの居住地に住み、全員が同時に CBD に通勤のための交通を行う。都市住民は、一定の賃金率 w で働く。中心居住地、郊外居住地の人口は、それぞれ N_1, N_2 で表される。閉鎖都市を仮定し、土地は不在地主が所有する。

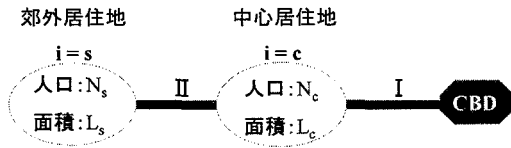


図-1 都市構造の仮定

(2) 家計の立地選択行動

都市の居住者がその時々状況に合わせて、容易に、すなわち、費用がかからず居住地を変更できるならば、立地選択行動において将来の状況を考慮する必要はない。しかし、実際には無視できない移動コストが存在するために、容易には居住地を変更する事ができない。そのため将来の状態に対する不確実性の下で立地選択を行わなければならない。本研究では、大きな移住費用のため立地選択後に居住地を変更することが困難な世帯を考える。実際、持ち家世帯の移動費用は十分に大きく、特に郊外の持ち家立地者にとっては、妥当な仮定と考えられる。

交通所要時間 t_{ki} は、将来の都市への流入交通によって変動すると考える。したがって t_{ki} は、確率変数であり、確定的には把握できない。居住地選択は、将来の交通状況があらわれる前に行う。よって、世帯は居住地選択にあたり将来の交通所要時間分布を予測する。居住地 i を選択したときの将来交通所要時間の主観的期待を確率密度関数 $\omega(t_{ki})$ であらわす。また、交通所要時間 t_{ki} の期待値と分散は、以下のように与える。

$$\begin{aligned} E[t_{ki}] &= \int t_{ki} \omega(t_{ki}) dt_{ki} = \mu_i \\ E[(t_{ki} - \mu_i)^2] &= \int (t_{ki} - \mu_i)^2 \omega(t_{ki}) dt_{ki} = \sigma_i^2 \end{aligned} \quad (1)$$

情報提供主体は、将来の交通状況を予測し、住民が居住地を選択する前に情報を知らせる。宮本¹⁾によれば、自動車交通ハザードマップは、およそ10年後の将来の交通状況を想定していることから、本研究においても「将来」といった場合は、およそ10年先を見据えている。

世帯は、予算制約と時間制約の下、合成財 z 、土地 h 、余暇 t を消費し、効用 $U(z, h, t)$ を得る。交通費用は、金銭費用と時間費用に分けられる。金銭費用は交通量から独立であるとし、将来の不確実性は存在しないと考える。時間費用は交通所要時間に時間価値を乗じた値である。

世帯は、将来交通所要時間の不確実性の下、期待効用が最大になるように各財の選択を行う。世帯の期待効用最大化行動は、以下のように定式化できる。

$$\max_{z, h, t_i} E[U_i(z, h, t_i)] \quad (2)$$

$$\text{subject to } \begin{cases} z + R_i h + m_i = w t_w \\ t_i + t_w + \tilde{t}_{ki} = \bar{t} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 R : 地代、 c : 金銭的交通費用、 w : 賃金率、 t_w : 労働時間、 $\tilde{t}_k$: 交通所要時間を表す。制約条件の上段は予算制約、下段は時間制約を表している。(2)式は、 t_w と t_i を消去することによって、(3)式のように書きかえられる。

$$z + w t_i + R h = w(\bar{t} - \tilde{t}_{ki}) - m_i \quad (4)$$

(3)式のように合成財と余暇を分離すると計算が複雑になるため、ここでは、 w : 一定の特殊なケースを考える。この場合、 $Z = z + w t_i$ とおき直すことによって(2),(3)式の問題は、(5),(6)式のように単純化することができる。

$$\max_{Z, h} E[U_i(Z, h)] \quad (5)$$

$$\text{subject to } Z + R_i h = w(\bar{t} - \tilde{t}_{ki}) - m_i \quad (6)$$

家計は、交通所要時間の不確実性を含んだ(一般化)予算制約の下で期待効用を最大化するように土地の消費量 h を選択する問題と考えることができる。(6)式の合成財 Z を効用関数に代入すると(5),(6)式は(7)式のような最大化問題に置き換えることができる。

$$E[U_i] = \int U_i(w(\bar{t} - \tilde{t}_{ki}) - m_i - R_i h, h) \omega(t_{ki}) dt_{ki} \quad (7)$$

(7)式の最大化1階条件は、以下のように与えられる。

$$\frac{\partial E[U_i]}{\partial h} = E \left[\frac{\partial U_i}{\partial Z} \frac{\partial Z}{\partial h} + \frac{\partial U_i}{\partial h} \right] = E \left[-R \frac{\partial U_i}{\partial Z} + \frac{\partial U_i}{\partial h} \right] = 0 \quad (8)$$

(8)式の最大化1階条件と(6)式の制約式から合成財、土地に関するマーシャルの需要関数 $z(\cdot)$ 、 $h(\cdot)$ は、次のように求まる。

$$h_i = h(w\bar{t}, m_i, \mu_i, \sigma_i^2, R_i) \quad (9)$$

$$Z_i = Z(w\bar{t}, m_i, \mu_i, \sigma_i^2, \tilde{t}_{ki}, R_i) \quad (10)$$

土地の需要は、立地決定時に確定的に定まる関数となるが、余暇需要は、交通所要時間の変動に連動した確率的な関数となる。つまり交通所要時間の増加は、合成財の減少として住民の効用に影響する。(9),(10)式から間接期待効用関数が求まる。

$$V_i = E \left[U_i \left(Z(w\bar{t}, m_i, \mu_i, \sigma_i^2, \tilde{t}_{ki}, R_i), h(w\bar{t}, m_i, \mu_i, \sigma_i^2, R_i) \right) \right] \quad (11)$$

(3) 市場均衡条件

市場均衡条件は、両地域の期待効用が一致する

$$V_c = V_s \quad (12)$$

である。また、閉鎖都市の仮定から、

$$N_c + N_s = N \quad (13)$$

が成り立つ。各居住地の人口は、

$$N_i = L_i / h_i(w\bar{t}, m_i, \mu_i, \sigma_i^2, R_i) \quad (14)$$

と表すことができる。(12), (13), (14)式から均衡地代 R_i^* 、人口 N_i^* 、期待効用水準 EV^* が内生的に求まる。さらに各財の最適消費量 z^*, h^* が決定する。

(4) 実現交通所要時間, 実現効用

将来交通所要時間の不確実性の下での土地利用は, 住民の主観的な期待によって決定される。しかし実際に達成される将来交通所要時間(実現交通所要時間)は, 当初の予想と一致する保証はない。また, 実際に得られる効用水準(実現効用水準)も異なると考えられる。各リンクの将来交通所要時間 t_j は, 都市住民による交通量 q_j , その他の交通量 Q_j , インフラ整備水準 S_j に依存し, リンクパフォーマンス関数 $f_j(q_j, Q_j, S_j)$ によって表される。各居住地の住民の実現交通所要時間は,

$$\begin{aligned}\hat{t}_{ki} &= t^I = f^I(q_c, Q_c, S_c) \\ \hat{t}_{ks} &= t^I + t^II = f^I(q_c, Q_c, S_c) + f^{II}(q_s, Q_s, S_s)\end{aligned}\quad (15)$$

と表される。なお, リンクパフォーマンス関数は,

$$\frac{\partial f^I}{\partial q} < 0, \frac{\partial f^I}{\partial Q} < 0, \frac{\partial f^I}{\partial S} > 0 \quad (16)$$

とする。都市住民の自動車交通量 q_j は, 各居住地の人口 N_i と自動車分担率 θ_i ($\theta_c < \theta_s$) から

$$\begin{aligned}q_c &= \theta_c N_c^* + \theta_s N_s^* \\ q_s &= \theta_s N_s^*\end{aligned}\quad (17)$$

と表せるとする。実際に顕在化する実現交通所要時間は, 当初の予測とは異なることから実際に得られる効用水準(実現効用水準)は, 当初の期待効用水準とは異なる。実際に都市住民が得ることのできる実現効用水準は, 以下のように与える。

$$\hat{V}_i[z_i^*, h_i^*, t_i(\hat{t}_k)] \quad (18)$$

また, 効率性の基準となる社会厚生関数を

$$W = N_c^* \hat{V}_c + N_s^* \hat{V}_s \quad (19)$$

と定義する。

3. 比較静学分析

(1) リスクに対する態度と立地選択

Leland⁶⁾, Papageorgiou and Pines⁷⁾に倣い, テーラー展開を施し近似する。ここで(6)式の不確実な将来交通所要時間 $\hat{t}_k$ をその期待値 μ に置き換えた問題を考える。この確定的な制約式の下で得られる需要関数, 間接効用関数をそれぞれ

$$\bar{h}_i = h(w\bar{t}, m_i, \mu_i, R_i) \quad (20)$$

$$\bar{Z}_i = Z(w\bar{t}, m_i, \mu_i, \bar{t}_{ki}, R_i) \quad (21)$$

$$\bar{V}_i = U(\bar{Z}(w\bar{t}, m_i, \mu_i, R_i), \bar{h}(w\bar{t}, m_i, \mu_i, R_i)) \quad (22)$$

と表す。ここで(11)式に関して, 将来交通所要時間の期待値 μ のまわりでテーラー展開を施す。

$$\begin{aligned}V_i &\approx E\left[\bar{V} - w \frac{\partial \bar{V}_i}{\partial Z} (\hat{t}_{ki} - \mu_i) + \frac{w^2}{2} \frac{\partial^2 \bar{V}_i}{\partial Z^2} (\hat{t}_{ki} - \mu_i)^2 + \dots\right] \\ &= \bar{V}_i + \frac{w^2}{2} \frac{\partial^2 \bar{V}_i}{\partial Z^2} \sigma_i^2\end{aligned}\quad (23)$$

以上の(23)式から

$$\text{sign} \frac{\partial V}{\partial \sigma} = \text{sign} \frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial Z^2} \quad (24)$$

が成り立つ。通常用いられる仮定は, 合成財に関して限界効用逓減であるので, この場合リスク回避的である。

以降の比較静学分析では, 特に断りのない限り

$$\partial^2 \bar{V} / \partial Z^2 < 0 \quad (25)$$

を仮定する。

また, 既存研究⁶⁾⁷⁾によれば, 不確実性の増大による土地の消費量は, 効用関数の形状に依存し,

$$\text{sign} \frac{\partial h}{\partial \sigma} = \text{sign} \left(-R \frac{\partial^3 U}{\partial Z^3} + \frac{\partial^3 U}{\partial Z^2 \partial h} \right) \quad (26)$$

となる。(26)式は, (8)式を(23)式と同様にテーラー展開したときの σ の係数から得られる。

本研究では, 右辺の括弧の中の符号がマイナスのケース(Principle of Decreasing Risk Aversion to Concentration)⁶⁾を仮定する。

(2) 均衡土地利用への影響

前章で構築した都市経済モデルの解の性質を比較静学によって明らかにする。情報の有無によって将来交通所要時間に関する主観的期待が異なる。主観的期待は, 人口分布と均衡地代の解の中に将来交通所要時間の期待値 μ と分散 σ^2 の形であらわれる。そこで期待値 μ と分散 σ^2 が変化したときに主観的期待によって決定する立地均衡解の変化を分析する。

期待効用, 均衡地代, 人口を将来交通所要時間の期待値 μ によって偏微分すると, 表一のような結果が得られる。証明は, 付録(1)に示す。

表一 均衡土地利用の比較静学結果

	V	R _c	R _s	N _c	N _s
Increase in μ_c	—	—	+	—	+
Increase in μ_s	—	+	—	+	—

将来交通所要時間情報を提供する場合, μ_c と μ_s が同時に変化することがほとんどであると考えられる。そのとき, 住民がどちらの居住地に移動するかを検討する。 N_c を μ_c と μ_s について全微分する。

$$dN_c = \frac{\partial N_c}{\partial \mu_c} d\mu_c + \frac{\partial N_c}{\partial \mu_s} d\mu_s \quad (27)$$

ここで, 自動車交通ハザードマップによる情報提供は, 将来の交通所要時間が増大するような都市への適用を考えているので, $d\mu_s \geq d\mu_c \geq 0$ となるケースを考える。このとき,

$$\left| \frac{\partial N_c}{\partial \mu_c} \right| < \left| \frac{\partial N_c}{\partial \mu_s} \right| \quad (28)$$

となることから（証明は付録（2）に示す），

$$dN_c \geq 0 \quad (29)$$

が得られる。

この結果は，郊外居住地の住民の交通所要時間は，中心居住地と比べると長いと，時間制約式から合成財消費は少なくなる。合成財に関する限界効用逓減の性質から合成財消費の少ない郊外の方が交通所要時間の増加による限界不効用が大きくなる。

将来交通所要時間の不確実性の度合い（分散）の変化は，期待効用，人口，地代の結果を σ に関して偏微分し，表-2の性質が得られる。なお，情報提供を行うと主観的な期待の分散が減少することが予想されるため，表-2に示した符号は，分散が減少した場合の立地均衡解の符号の変化を表している。表-2の結果の証明は，付録（3）に示す。

表-2 σ_c, σ_s の比較静学結果

	V	R _c	R _s	N _c	N _s
Decrease in σ_c	+	+	-	+	-
Decrease in σ_s	+	-	+	-	+

期待値 μ と同様に σ_c と σ_s に関して N_c を全微分する。

$$dN_c = \frac{\partial N_c}{\partial \sigma_c} d\sigma_c + \frac{\partial N_c}{\partial \sigma_s} d\sigma_s \quad (30)$$

このとき， μ の変化と同様に

$$\left| \frac{\partial N_c}{\partial \sigma_c} \right| < \left| \frac{\partial N_c}{\partial \sigma_s} \right| \quad (31)$$

が得られる。（証明は，付録（4））

情報提供者が信頼性の高い情報を提供する場合，情報提供によって将来交通所要時間の分散は，減少することが予想される。また，交通所要時間の長い郊外居住地のほうが分散の変化量は大きいと考えることは自然である。したがって， $d\sigma_s \leq d\sigma_c < 0$ と仮定する。このとき，

$$dN_c < 0 \quad (32)$$

が得られる。

(29),(32)式の結果から将来交通所要時間情報が提供される場合， μ の増大によって $dN_c > 0$ が予想されるが，逆に情報提供による不確実性の低下が $dN_c < 0$ をもたらす。よって，変化の方向は， $d\mu_c, d\mu_s, d\sigma_c, d\sigma_s$ の相対的な大きさによって変化の方向が決定される。以下では，期待値の変化に比べ，分散の変化が十分に小さい場合を考える。

（3）実現交通所要時間・実現効用水準への影響

μ_1, μ_2 が変化したときの実現交通所要時間以下の(33),(34)式のように得られる。

$$dt_{kc} = \frac{\partial t_{kc}}{\partial \mu_c} d\mu_c + \frac{\partial t_{kc}}{\partial \mu_s} d\mu_s \\ = (\theta_c - \theta_s) \frac{\partial f^1}{\partial q_c} \left(\frac{\partial N_c}{\partial \mu_c} d\mu_1 + \frac{\partial N_c}{\partial \mu_s} d\mu_s \right) \quad (33)$$

$$dt_{ks} = \frac{\partial t_{ks}}{\partial \mu_c} d\mu_c + \frac{\partial t_{ks}}{\partial \mu_s} d\mu_s \\ = \left[(\theta_c - \theta_s) \frac{\partial f^1}{\partial q_c} - \theta_s \frac{\partial f^2}{\partial q_s} \right] \left(\frac{\partial N_c}{\partial \mu_c} d\mu_1 + \frac{\partial N_c}{\partial \mu_s} d\mu_s \right) \quad (34)$$

$\hat{t}_{kc}, \hat{t}_{ks}$ は，ともに中心居住地の人口変化の方向と逆の符号となることからわかる。 σ_1, σ_2 の変化についても同様に人口分布に依存する。

実現交通所要時間の符号が人口分布に依存するため，実現効用も人口分布に依存する。情報提供を行い，中心居住地の人口が増加する場合，郊外居住地の住民は，交通所要時間の減少と地代の減少のため実現効用が増加する。一方，中心居住地の符号は地代の上昇と交通所要時間の減少がトレードオフになるため一意に定まらず，関数やパラメータに依存する。以上の結果を表-3に示す。

表-3 実現交通所要時間，実現効用の変化

	$\hat{t}_{kc}$	$\hat{t}_{ks}$	$\hat{V}_{kc}$	$\hat{V}_{ks}$
Increase in N_c	-	-	?	+
Decrease in N_c	+	+	?	-

4. 情報の信頼性と数値シミュレーション

（1）期待修正のモデル化

世帯の主観的期待は，公的主体の将来交通所要時間情報が提供されることによって修正される。ここで世帯の期待修正は，以下のようなベイズの定理に従うとする。

$$\omega'(\tilde{t}_{ki} | \tau_i) = \frac{\omega(\tilde{t}_{ki}) p(\tau_i | \tilde{t}_{ki})}{\int \omega(\tilde{t}_{ki}) p(\tau_i | \tilde{t}_{ki})} \quad (35)$$

ここで， $p(\tau_i | \tilde{t}_{ki})$ は，情報の将来交通所要時間に関する尤度関数である。主観的期待の確率密度関数と情報の尤度をそれぞれ正規分布と仮定すると，(35)式は，

$$\omega'(\tilde{t}_{ki} | \tau_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma'^2}} \exp \left\{ -\frac{(\tilde{t}_{ki} - \mu')^2}{2\sigma'^2} \right\} \quad (36)$$

$$\mu' = \frac{\frac{1}{\sigma^2} \mu + \frac{1}{v^2} \tau}{\frac{1}{\sigma^2} + \frac{1}{v^2}}, \quad \frac{1}{\sigma'^2} = \frac{1}{\sigma^2} + \frac{1}{v^2} \quad (37)$$

のように表され，(36)式は，情報 τ_i を受け取った世帯の将来交通所要時間に関する主観的期待分布となる。この分布の期待値と分散は，(37)式のように表される。

(2) 数値シミュレーション

解析的な比較静学分析によって符号が決まらない部分がある。また、情報に対する信頼性によっても結果が異なる。そこで関数を特定化し、数値シミュレーションによって補完的な分析を行った。各パラメータの値は、千大都市圏のデータを参考に表-4のように設定した。

効用関数は、以下のようなコブ・ダグラス型の関数を設定する。

$$U = Z^{\alpha} h^{\beta} \quad (38)$$

数値シミュレーションでは、効用関数がリスク中立になるようにパラメータを設定($\alpha=1$)しているため、分散による影響はない。リンクパフォーマンス関数は、以下のようなBPR関数を用いることとする。

$$l_j = l_j^0 \{1 + a_j((q_j + Q_j)/S_j)^b\} \quad (38)$$

主観的期待の分散と情報の尤度の分散は、期待値に比例すると考える。そこで、以下の式が成り立つとする。

$$\sqrt{\sigma_i^2} = \frac{1}{5} \mu_i, \quad \sqrt{v_i^2} = k \tau_i \quad (39)$$

ここで、パラメータ k の大きさによって情報の分散が変化するので、 k は、情報に対する信頼度を表すパラメータと考えることができる。 k の値を変動させることによって情報に対する反応の感度分析を行う。

表-4 設定数値

効用関数パラメータ		居住地面積(ha)		将来交通所要時間期待値(分)	
α	β	L_c	L_s	μ_c	μ_s
1	0.1	1000	1000	25	40
自動車分担率		全人口(万人)		賃金率(円/時)	
θ_c	θ_s	N	W		
0.4	0.7	100	2000		
リンクパフォーマンス関数パラメータ(両リンク共通)			利用可能時間(時)		
a	b	l_0	$\bar{t}:13$		
2.62	5	7.5			

通過交通の交通量 Q_c, Q_s によって将来交通所要時間 t_k は変化する。道路ストック量 S は、一定とする。世帯は、居住地選択前に将来交通所要時間を予測するが、期待値 μ_c, μ_s をそれぞれ25分、40分と予測したとする。そのときの Q_c, Q_s は、それぞれ15万台、10万台に対応する。

住民の将来交通所要時間に関する期待が実際よりも過小である場合、公共による情報提供により改善の余地がある。ここで将来の Q_c, Q_s が、それぞれ20万台、15万台となるケースを想定する。前章で分析したように期待所要時間 μ_1, μ_2 の増大は期待効用の低下を招く。しかし自動車分担率の高い郊外居住地の人口が減少することで、実現効用は情報を提供しない場合に比べ改善される。情報を与えなかった場合の将来交通所要時間は、 $\hat{t}_{kc}=32.6$ 分、 $\hat{t}_{ks}=53.9$ 分となる。よって、 $\tau_c=32.6$ 分、 $\tau_s=53.9$ 分という将来交通所要時間情報を提供することになる。以下では、 k の値を変化させたときの実現交通所要時間、実現効用、社会厚生の変化を示す。

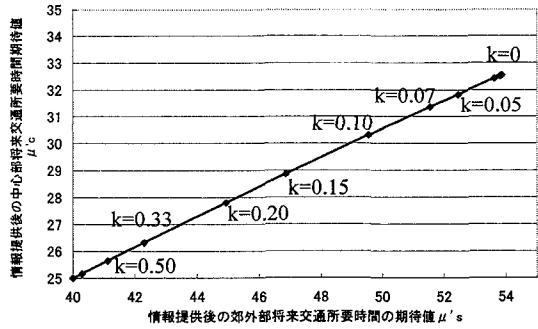


図-2 k の変化と修正後の期待値 μ' 。

図-2は、(39)式における係数 k の変化につれて期待修正後の将来交通所要時間に関する期待値の変化を表したものである。 k が0のときは、情報を完全に信じることを表し、 k が大きくなるにつれ、情報に対する信頼度が低下し、自らの当初の期待値に近づいていくことがわかる。 k の変化にしたがって中心部の世帯の主観的期待も同様に变化する。

k が ∞ から0になるに従い、中心部の人口が増加し、両地区の実現交通所要時間が減少する。情報を完全に信じる($k=0$)ときの中心部の人口は、情報がない場合($k=\infty$)の時と比べ、約4万人多くなり、交通所要時間は、中心部で約2分、郊外部で約6分減少する。

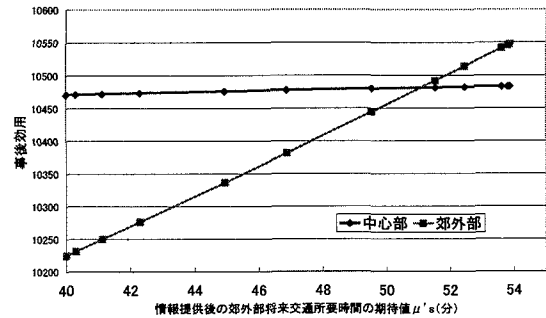
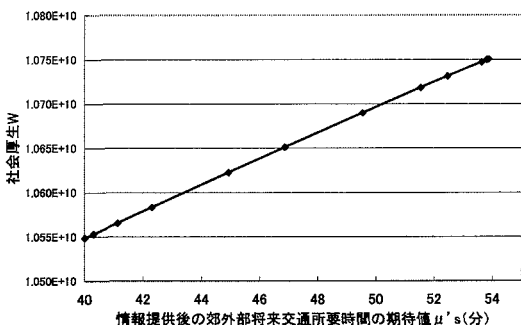


図-3 情報の信頼度と両地区の実現効用

図-3は、期待修正後の郊外交通所要時間期待値と実現効用の関係を示している。比較静学分析の結果では、中心部の符号は、地代増加と交通所要時間減少のトレードオフがあり定まらなかった。数値シミュレーションの結果、情報提供によって郊外部の実現効用は増加し、中心部もわずかながら増加していることがわかった。しかしパラメータの値によっては、中心部の効用は減少することもありうる。結果は、主に効用関数やリンクパフォーマンス関数のパラメータに依存し、例えば、土地に関する選好(α)が相対的に大きくなれば、交通所要時間減少による効果よりも地代上昇の不効用の方が上回り場合がある。

図-4は、期待修正後の郊外交通所要時間期待値と社会厚生の変化を示している。これによると情報を与える

ことによって社会厚生は増加していることがわかる。また、情報の信用度が増加するにつれて社会厚生が増加することがわかる。



図—4 情報の信頼度と社会厚生の変化

ここで、図—3と見比べてみると、実現効用の交差する点と社会厚生が最大になる点が一致しない。実現効用の一致点（長期的市場均衡点）と社会厚生が最大になる点が一致しないのは、交通混雑の外部費用が発生しているためであり、これを補正するには、課税などのその他の政策を援用する必要がある。郊外部の実現効用が中心部の実現効用よりも大きくなっているため郊外部へ移動する誘引が働く、そのため長期的には、両地域の効用が一致する長期均衡に落ち着くと考えられる。

5. おわりに

本研究では、将来交通所要時間情報の提供による立地誘導効果を都市経済モデルによって分析した。その結果、既存の研究成果に加えて次のような新たな知見を得た。

- 1) 郊外部と中心部の住民では、交通所要時間に関する限界効用が違いため、期待所要時間の変化が同程度でも郊外部の方が敏感に反応し、中心部の人口が増加する。
- 2) 分散の変化も期待値と同様に郊外部の方が敏感に反応する。情報提供による不確実性の減少は、リスク回避の場合、郊外部の人口を増加させる。
- 3) 将来交通所要時間の主観的期待の期待値が実現値よりも過小であり、分散の変化が小さい場合、情報提供によって両地域の期待効用は低下するが、郊外部の人口が減少するため情報を提供しない場合に比べ交通量が減少し、実現交通所要時間が短縮する。数値シミュレーションの結果、郊外部で1トリップあたり最大約12%の交通所要時間の短縮効果があった。この場合、郊外部の実現効用は改善するが、中心部の実現交通所要時間は、地代の増大とのトレードオフで符号が決まらない。
- 4) 情報に対する信用度が高くなるほど情報提供効果は大きくあらわれる。

5) 両地域の実現効用水準が一致する点と社会厚生が最大になる点は一致しない。これは交通混雑の外部性による市場の失敗によるものと考えられ、長期的には情報提供では外部性による失敗は改善できないと考えられる。

一方、静学的な都市経済モデルの分析で以上のような有益な結果が得られ、基本的な性質は明らかになったが、静学モデルでは、表現しきれない点もいくつかある。これらの問題点を解決するには、動学的なモデルの構築や持家世帯の立地行動を明示化等さらに発展的な分析が必要となる。また、実用化に向けては、期待形成メカニズムと情報に対する反応などの実証分析も今後の課題としたい。

付録

(1) 表1の結果の証明

$\bar{V} = U(w(t-\mu) - R\bar{h}, \bar{h})$ と定義すると、

間接期待効用関数は、

$$E[V] = \bar{V} + \frac{w^2 \sigma^2}{2} \frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial Z^2} \quad (\text{付1})$$

と表される。

(付1) を μ について偏微分すると、包絡線定理より、

$$\begin{aligned} \frac{\partial E[V]}{\partial \mu} &= \frac{\partial \bar{V}}{\partial Z} \frac{\partial Z}{\partial \mu} + \frac{w^2 \sigma^2}{2} \frac{\partial^3 \bar{V}}{\partial Z^3} \frac{\partial Z}{\partial \mu} \\ &= -w \left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial Z} + \frac{w^2 \sigma^2}{2} \frac{\partial^3 \bar{V}}{\partial Z^3} \right) < 0 \end{aligned} \quad (\text{付2})$$

となる。(付2)の結果は、両居住地で共通である。

次に地代が変化する場合、

$$\frac{\partial E[V_c]}{\partial \mu_c} + \frac{\partial E[V_s]}{\partial \mu_c} \frac{\partial R_c}{\partial \mu_c} \quad (\text{付3})$$

となる。このとき地代が変化しなければ、 $E[V_c] < E[V_s]$ となるので、人口が郊外部へ移動し、閉鎖都市の条件

(13) 式を考慮すると、

$$\frac{\partial N_c}{\partial \mu_c} < 0, \frac{\partial N_s}{\partial \mu_c} > 0 \quad (\text{付4})$$

が得られる。さらに面積制約 (14) 式より、

$$\frac{\partial N_c}{\partial \mu_c} = -\frac{\bar{L}_c}{h_c^2} \left(\frac{\partial h_c}{\partial R_c} \frac{\partial R_c}{\partial \mu_c} + \frac{\partial h_c}{\partial \mu_c} \right) < 0 \quad (\text{付5})$$

$$\frac{\partial N_s}{\partial \mu_c} = -\frac{\bar{L}_s}{h_s^2} \frac{\partial h_s}{\partial R_s} \frac{\partial R_s}{\partial \mu_c} > 0 \quad (\text{付6})$$

となるので、

$$\frac{\partial R_c}{\partial \mu_c} < 0, \frac{\partial R_s}{\partial \mu_c} > 0 \quad (\text{付7})$$

が証明される。郊外部の将来交通所要時間の期待値の変化も同様に求めることができる。

(2) (28)式の証明

(付2) 式で、

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial Z} > 0, \frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial Z^2} < 0 \quad (\text{付 8})$$

を考慮すると,

$$\frac{\partial^3 \bar{V}}{\partial Z^3} > 0, \frac{\partial^4 \bar{V}}{\partial Z^4} < 0 \quad (\text{付 9})$$

が得られる。

(付 8) (付 9) より, は, $\partial \bar{V} / \partial Z, \partial^3 \bar{V} / \partial^3 Z$ ともに符号が正の単調減少関数となる。したがって,

$$Z_c > Z_s \text{ では,} \quad 0 < \frac{\partial \bar{V}_c}{\partial Z_c} < \frac{\partial \bar{V}_s}{\partial Z_s}, 0 < \frac{\partial^3 \bar{V}_c}{\partial Z_c^3} < \frac{\partial^3 \bar{V}_s}{\partial Z_s^3} \quad (\text{付 10})$$

が成り立つ。(付 2), (付 10) 式より,

$$\frac{\partial E[V_s]}{\partial \mu_s} < \frac{\partial E[V_c]}{\partial \mu_c} < 0 \quad (\text{付 11})$$

が得られる。次に各居住地の期待効用を両地区の将来交通所要時間の期待値に関して全微分すると,

$$\begin{aligned} dE[V_c] &= \left(\frac{\partial E[V_c]}{\partial \mu_c} + \frac{\partial E[V_c]}{\partial R_c} \frac{\partial R_c}{\partial \mu_c} \right) d\mu_c + \frac{\partial E[V_s]}{\partial R_s} \frac{\partial R_s}{\partial \mu_s} d\mu_s \\ &= \frac{\partial E[V_c]}{\partial \mu_c} d\mu_c + \frac{\partial E[V_c]}{\partial R_c} dR_c \end{aligned} \quad (\text{付 12})$$

$$\begin{aligned} dE[V_s] &= \frac{\partial E[V_s]}{\partial R_c} \frac{\partial R_c}{\partial \mu_c} d\mu_c + \left(\frac{\partial E[V_s]}{\partial \mu_s} + \frac{\partial E[V_s]}{\partial R_s} \frac{\partial R_s}{\partial \mu_s} \right) d\mu_s \\ &= \frac{\partial E[V_s]}{\partial \mu_s} d\mu_s + \frac{\partial E[V_s]}{\partial R_s} dR_s \end{aligned} \quad (\text{付 13})$$

中心, 郊外両居住地の将来交通所要時間の期待値が変化した場合, (付 12), (付 13) のように期待効用が変化する。ここで, もし地代が変化しなければ, (付 11) の結果から, $d\mu_s \geq d\mu_c > 0$ のとき,

$$dE[V_s] < dE[V_c] < 0 \quad (\text{付 14})$$

となるので, 両地区の期待効用が一致するところまで人口が移動し, 閉鎖都市の仮定を考慮すると,

$$dR_s < 0 < dR_c \quad (\text{付 15})$$

が成り立つ。

一方, (14) 式より, 中心居住地の人口を μ_c, μ_s で偏微分すると, (付 5), (付 6) が得られる。これを (27) 式に代入すると,

$$\begin{aligned} dN_c &= -\frac{\bar{L}_c}{h_c^2} \left[\frac{\partial h_c}{\partial R_c} \left(\frac{\partial R_c}{\partial \mu_c} d\mu_c + \frac{\partial R_c}{\partial \mu_s} d\mu_s \right) + \frac{\partial h_s}{\partial \mu_c} d\mu_c \right] \\ &= -\frac{\bar{L}_c}{h_c^2} \left[\frac{\partial h_c}{\partial R_c} dR_c + \frac{\partial h_s}{\partial \mu_c} d\mu_c \right] > 0 \end{aligned} \quad (\text{付 16})$$

となり, $d\mu_s \geq d\mu_c > 0$ のとき, $dN_c > 0$ となることから証明される。よって, (28) 式が成り立つ。

(3) 表 2 の結果の証明

(24) 式より合成財消費に関して限界効用が逓減する

ときには, 将来交通所要時間の増大に対してリスク回避的であり,

$$\frac{E[V_c]}{\partial \sigma_c} < 0, \frac{E[V_s]}{\partial \sigma_s} < 0 \quad (\text{付 17})$$

となる。

次に地代が変化する場合,

$$\frac{\partial E[V_c]}{\partial \sigma_c} + \frac{\partial E[V_c]}{\partial R_c} \frac{\partial R_c}{\partial \sigma_c} \quad (\text{付 18})$$

となる。このとき地代が変化しなければ, $E[V_c] < E[V_s]$ となるので, 人口が郊外部へ移動し, 閉鎖都市の条件 (13) を考慮すると,

$$\frac{\partial N_c}{\partial \sigma_c} < 0, \frac{\partial N_s}{\partial \sigma_s} > 0 \quad (\text{付 19})$$

となる。さらに面積制約 (14) 式の両辺を σ で偏微分すると,

$$\frac{\partial N_c}{\partial \sigma_c} = -\frac{\bar{L}_c}{h_c^2} \left(\frac{\partial h_c}{\partial R_c} \frac{\partial R_c}{\partial \sigma_c} + \frac{\partial h_c}{\partial \sigma_c} \right) < 0 \quad (\text{付 20})$$

$$\frac{\partial N_s}{\partial \sigma_s} = -\frac{\bar{L}_s}{h_s^2} \frac{\partial h_s}{\partial R_s} \frac{\partial R_s}{\partial \sigma_s} > 0 \quad (\text{付 21})$$

となる。ここで $\partial h_c / \partial \sigma_c$ の符号は, (26) 式より $-R \partial^3 U / \partial Z^3 + \partial^3 U / \partial Z^2 \partial h$ の符号に依存する。ここでは,

$$-R \frac{\partial^3 U}{\partial Z^3} + \frac{\partial^3 U}{\partial Z^2 \partial h} < 0 \quad (\text{付 22})$$

の仮定から $\partial h_c / \partial \sigma_c < 0$ となり, (付 20), (付 21) 式から

$$\frac{\partial R_c}{\partial \sigma_c} < 0, \frac{\partial R_s}{\partial \sigma_s} > 0 \quad (\text{付 23})$$

となる。したがって, 均衡期待効用水準は, (付 24) 式のように負となる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial E[V]}{\partial \sigma_c} &= \frac{\partial E[V_c]}{\partial \sigma_c} + \frac{\partial E[V_c]}{\partial R_c} \frac{\partial R_c}{\partial \sigma_c} \\ &= \frac{\partial E[V_s]}{\partial R_s} \frac{\partial R_s}{\partial \sigma_c} < 0 \end{aligned} \quad (\text{付 24})$$

郊外居住地の将来交通所要時間の不確実性が変化する場合も同様となる。

(4) (31) 式の証明

(付 8) (付 9) より, $\partial \bar{V} / \partial Z, \partial^3 \bar{V} / \partial^3 Z$ は, ともに符号が正の単調減少関数となる。したがって, $Z_c > Z_s$ では,

$$\frac{\partial^2 \bar{V}_s}{\partial Z_s^2} < \frac{\partial^2 \bar{V}_c}{\partial Z_c^2} < 0 \quad (\text{付 25})$$

となる。(23), (付 25) 式から

$$\frac{\partial E[V_s]}{\partial \mu_s} < \frac{\partial E[V_c]}{\partial \mu_c} < 0 \quad (\text{付 26})$$

が得られる。

次に各居住地の期待効用を両地区の将来交通所要時間の不確実性に関して全微分すると、

$$\begin{aligned} dE[V_c] &= \left(\frac{\partial E[V_c]}{\partial \sigma_c} + \frac{\partial E[V_c]}{\partial R_c} \frac{\partial R_c}{\partial \sigma_c} \right) d\sigma_c + \frac{\partial E[V_s]}{\partial R_s} \frac{\partial R_s}{\partial \sigma_c} d\sigma_s \\ &= \frac{\partial E[V_c]}{\partial \sigma_c} d\sigma_c + \frac{\partial E[V_c]}{\partial R_c} dR_c \quad (\text{付 27}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dE[V_s] &= \frac{\partial E[V_s]}{\partial R_c} \frac{\partial R_c}{\partial \sigma_c} d\sigma_c + \left(\frac{\partial E[V_s]}{\partial \sigma_s} + \frac{\partial E[V_s]}{\partial R_s} \frac{\partial R_s}{\partial \sigma_s} \right) d\sigma_s \\ &= \frac{\partial E[V_s]}{\partial \sigma_s} d\sigma_s + \frac{\partial E[V_s]}{\partial R_s} dR_s \quad (\text{付 28}) \end{aligned}$$

中心、郊外両居住地の将来交通所要時間の不確実性が変化した場合、(付 27)、(付 28) のように期待効用が変化する。ここで、もし地代が変化しなければ、(付 25) の結果から、 $0 < d\sigma_c \leq d\mu_s$ のとき、

$$0 < dE[V_c] < dE[V_s] \quad (\text{付 29})$$

となるので、両地区の期待効用が一致するところまで人口が移動し、閉鎖都市の仮定を考慮すると、

$$dR_c < 0 < dR_s \quad (\text{付 30})$$

が成り立つ。

一方、(14) 式より、中心居住地の人口を μ_c 、 μ_s で偏微分すると、(付 20)、(付 21) が得られる。これを (30) 式に代入すると、

$$\begin{aligned} dN_c &= -\frac{\bar{L}_c}{h_c^2} \left[\frac{\partial h_c}{\partial R_c} \left(\frac{\partial R_c}{\partial \sigma_c} d\sigma_c + \frac{\partial R_c}{\partial \sigma_s} d\sigma_s \right) + \frac{\partial h_s}{\partial \sigma_c} d\sigma_c \right] \\ &= -\frac{\bar{L}_c}{h_c^2} \left[\frac{\partial h_c}{\partial R_c} dR_c + \frac{\partial h_s}{\partial \sigma_c} d\sigma_c \right] < 0 \quad (\text{付 31}) \end{aligned}$$

となり $d\sigma_s \leq d\sigma_c < 0$ のとき、 $dN_c < 0$ となることが証明される。よって、(31) 式が成り立つ。

参考文献

- 1)宮本和明：交通計画における逆転のアプローチ—交通施設整備を与件とした土地利用の誘導—、運輸と経済、第60巻、第6号、pp24-25,2000
- 2)仙台都市圏総合都市交通計画協議会：仙台都市圏都市交通の提言、仙台都市圏総合都市交通体系調査のあらまし、2000
- 3)山口健太郎・多々納裕一・田中成尚・岡田憲夫、単一中心都市における甚大な災害リスクに関する情報の提供効果に関する分析、土木計画学研究・論文集、No.16,pp333-340,1999
- 3)多々納裕一：交通情報システムのための情報経済学、土木計画学ワンデーセミナーシリーズ第7回、交通情報をとりまく諸問題、土木学会土木計画研究委員会、pp48-57,1995
- 5)鈴木温・宮本和明：将来交通所要時間情報の立地誘導効果に関する研究、日本都市計画学会学術研究論文集、pp.667-672, No.36, 2001
- 6)Leland, : Saving and Uncertainty, The precautionary Demand for Saving, Quarterly Journal of Economics 82, pp465-473, 1968
- 7)Papageorgiou, Y and Pines, D : The Impact of Transportation Cost Uncertainty on Urban Structure, Regional Science and Urban Economics, 18, pp 247-260, 1988
- 8)DeSalvo, J.S. and Eeckhoudt, : Household Behavior under Income Uncertainty in a Monocentric Urban Area, Journal of Urban Economics 11, pp98-111, 1982

将来交通所要時間情報の不確実性が土地利用・交通に与える影響*

鈴木温**・宮本和明***

本研究は、自動車交通ハザードマップによる将来交通所要時間情報の提供が土地利用、交通、住民の厚生与える影響を都市経済モデルによる分析によって理論的に明らかにしている。すでに将来交通所要時間の期待値の変化による影響の分析は、特定の効用関数を仮定したモデルによって示されているが、本研究では、一般的な効用関数の下で、将来交通所要時間に関する主観的期待の分散が情報提供によって変化した場合の土地利用や住民の厚生の変化も比較静学分析によって調べる。また、情報に対する反応をベイズの定理を用いモデル化し、情報に対する信頼度の感度についても数値シミュレーションによる分析を行い、情報の有用性を明らかにした。

Information Uncertainty in the Future Travel Time and the Effect on Land Use and Transportation in a City*

By Atsushi SUZUKI and Kazuaki MIYAMOTO

This study theoretically analyzes the effect of information provision about a future car travel time on land use, transportation and the welfare of urban residents. Besides the results of former studies, a change of variance is investigated with a general utility function in a comparative statics. Reaction to the information is modeled with Bayes' theorem and a sensitivity test of information reliability is analyzed in a numerical simulation.