

ロードプライシング導入による 都市環境改善効果

客員研究員 唐渡 広志
客員研究員 八田 達夫
客員研究員 久米 良昭

2008 年 11 月 25 日
運輸政策研究所・研究報告

1

研究の背景

■ 近年の容積率規制緩和型の都市再開発

□ 容積率規制

- ・ 敷地面積に対する延べ床面積の大きさを用途や立地に応じて規制

□ 高度利用地区や再開発等促進区の適用区域の見直し

- ・ 容積率規制の緩和による都心部の再構築
 - ✓ 事業所立地, 家計立地, 通勤パターンの変化
 - ✓ → 交通流の変化 → 外部不経済の増大

■ 規制緩和による道路や鉄道における混雑外部不経済, 自動車利用による環境外部不経済の増大

■ 集積の経済による恩恵を保持しながら, 外部性を内部 化するようなロードプライシング設定の可能性

研究の目的

- 都市の再開発によって事業所集積が進み道路交通量が拡大する状況を想定した上で、一般道・高速道に対する課金が交通ならびに都市環境にどのような影響をもたらすか

1. 容積率規制の緩和による一般道・高速道の交通流変化、速度関数の推定
2. 交通速度変化による時間費用変化の計測
3. 一般道・高速道への課金による混雑外部不経済と環境外部不経済の内部化

本報告は1と2の成果を述べる

主な成果

- **速度関数**(自動車の平均速度と密度の対応関係)についての新しい推定モデルを検討。
 - 一般道に関する空間パネルデータを用いて速度関数の固定効果モデルを推定
- 従来の研究
 - 特定路線一定区間における車両の大量観察
- 本研究
 - 交差点区間で集計された交通流をデータとして利用
 - 都市全体の外部効果を測定するために多様な路線、交差点区間のサンプルを利用.

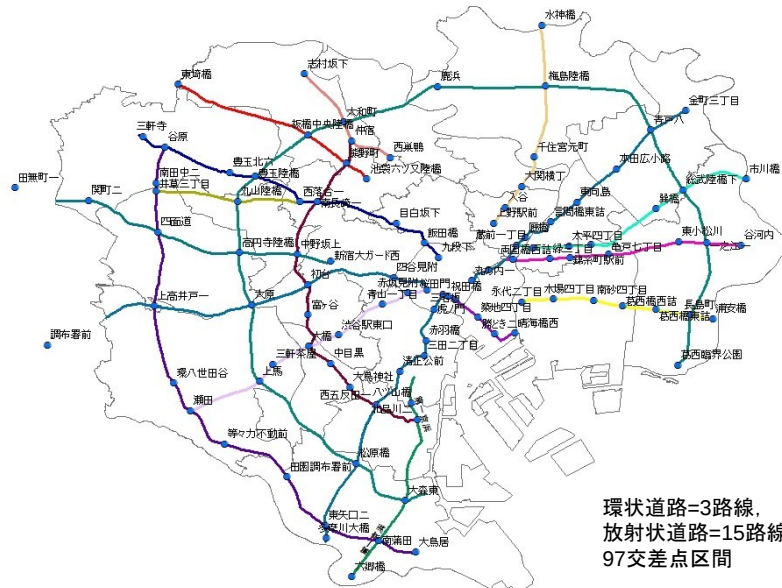
速度関数の推定のためのデータ

5

データ

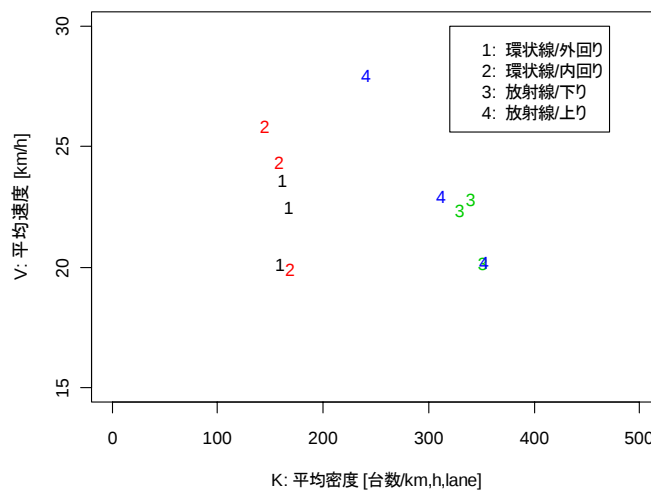
- 「交通量統計表」警視庁交通部, 平成17年
 - 主要交差点における自動車流出・流入量を1時間ごとに集計(7時-19時)
- 「警視庁交通年鑑」警視庁交通部, 平成17年
 - 環状線5路線と放射線15路線の主要交差点間の平均旅行時間と平均速度
- データ・サイズ
 - 二つのデータをマッチングさせて, 環状道路3路線, 放射状道路15路線における97交差点区間のデータを利用.
 - $582 = \{ 97 \text{区間, 上り・下り, } 7 \cdot 13 \cdot 17 \text{時} \}$

路線と主要交差点



(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 7

平均速度と平均密度

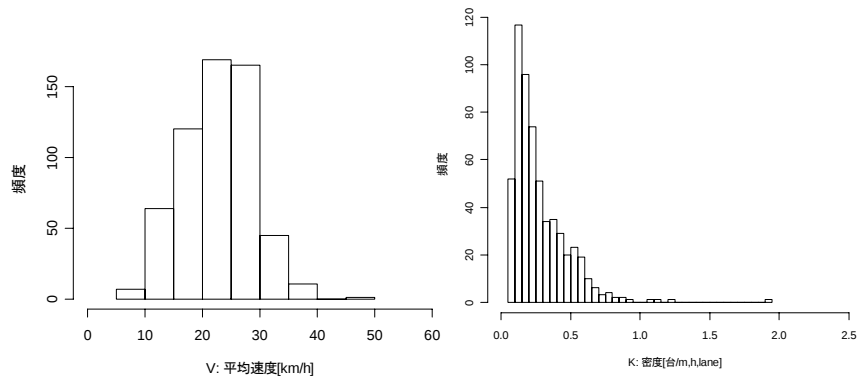


	交差点区間数	平均区間距離
環状道路	27	3.5 km
放射状道路	70	2.2 km

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 8

記述統計

	平均	標準偏差	最小値	最大値
V: 平均速度 [km/h] ^a	22.81	6.15	5.90	45.60
K: 密度 [台/m,h,車線] ^b	0.28	0.19	0.05	1.94
INNER: 内回り（上り）のとき ^c	0.50	0.50	0.00	1.00
SIGNAL: 信号密度 [信号数/区間距離km] ^d	4.72	1.74	0.81	13.00



(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 ⁹

推定モデル

古典的K-V曲線

- (1) $V = V_f(1 - K/K_j)$ Greenshield(1935)
- (2) $V = V_c \ln(K_j/K)$ Greenberg(1959)
- (3) $V = V_f \exp[-K/K_c]$ Underwood(1961)
- (4) $V = V_f \exp[-0.5(K/K_c)^2]$ Drake et. al.(1967)

V_f : 自由速度 ($K = 0$ に対応する速度),
 V_c : 臨界速度 (交通流が最大のときの速度),
 K_j : 飽和密度 (停止状態にあって交通流が0のときの密度),
 K_c : 臨界密度 (交通流が最大のときの密度)

パネルデータによる速度の推定モデル

$$(5) y_{it} = \beta x_{it} + \gamma_2 D_2 INNER_i + \gamma_3 D_3 INNER_i + \delta_2 D_2 SIGNAL_i + \delta_3 D_3 SIGNAL_i + \tau_2 D_2 + \tau_3 D_3 + u_{it}$$

$$(6) u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (i = 1, 2, \dots, 194, \quad t = 1, 2, 3)$$

D_2 : 13 時台のとき 1, それ以外のとき 0

D_3 : 17 時台のとき 1, それ以外のとき 0

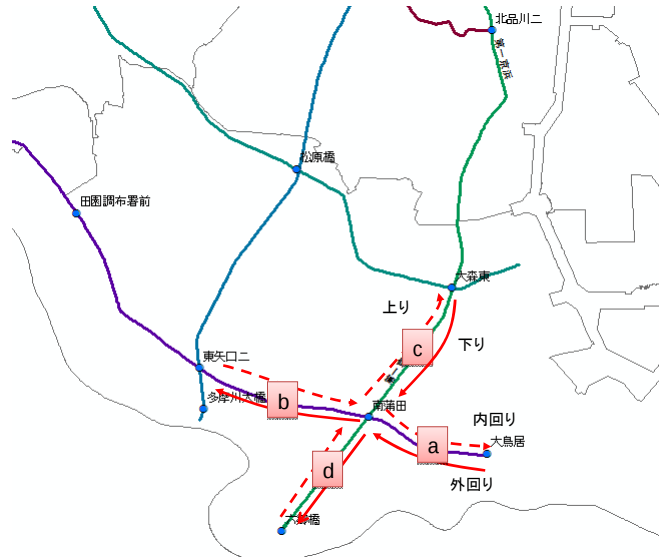
u_{it} : エラーコンポーネント

α_i : 観察できない個別効果 (固定効果またはランダム効果)

ε_{it} : 攪乱項

$y_{it} = V_{it}, x_{it} = K_{it}$	(1) Greenberg type
$y_{it} = V_{it}, x_{it} = \ln K_{it}$	(2) Greensheild type
$y_{it} = \ln V_{it}, x_{it} = K_{it}$	(3) Underwood type
$y_{it} = \ln V_{it}, x_{it} = K_{it}^2$	(4) Drake type

交差点区間の隣接



(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 13

一方向的な空間的相関

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & ij \text{ 間の交通流が連続しているとき} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

		外回り（下り）				内回り（上り）				
		区間a	区間b	区間c	区間d	区間a	区間b	区間c	区間d	
外回り（下り）	区間a	0	1	0	1	0	0	1	0	
	区間b	0	0	0	0	0	0	0	0	
	区間c	0	1	0	1	1	0	0	0	
	区間d	0	0	0	0	0	0	0	0	
内回り（上り）	区間a	0	0	0	0	0	0	0	0	
	区間b	0	0	0	1	1	0	1	0	
	区間c	0	0	0	0	0	0	0	0	
	区間d	0	1	0	0	1	0	1	0	

$$\text{空間重み行列の要素: } w_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_j c_{ij}}$$

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 14

空間的自己相関モデル

空間ラグモデル

$$y_{it} = \rho \sum_j w_{ij} y_{jt} + \beta x_{it} + \gamma_2 D_2 INNER_i + \gamma_3 D_3 INNER_i \\ + \delta_2 D_2 SIGNAL_i + \delta_3 D_3 SIGNAL_i + \tau_2 D_2 + \tau_3 D_3 + u_{it} \quad (8)$$

空間エラーモデル

$$(5) \text{ with: } u_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} = \lambda \sum_j w_{ij} \varepsilon_{jt} + \mu_{it} \quad (9) \\ \mu_{it} \sim i.i.d.$$

推定方法

■ (5) [with (6)]をパネル推定

1. $H_0: \alpha_i = \alpha$ –F test
 - OLS(プーリングデータ) vs. LSDV(固定効果モデル)
2. H_0 : 個別効果が説明変数と相関する –Hausman test
 - ランダム効果モデル vs. 固定効果モデル
3. H_0 : 空間的自己相関がない –Moran's I test
4. $H_0: \rho = 0$ –Lagrange Multiplier test (Baltagi et.al. 2007, 2008)
5. $H_0: \lambda = 0$ –Lagrange Multiplier test (Baltagi et.al. 2007, 2008)

1と2が棄却されたら固定効果モデルを採択. 3が棄却されたら, 4,5を実行. 4が棄却されたら(8)式を, 5が棄却されたら(5)式[with (9)]を推定

(8)式の推定: 空間2段階最小2乗法 (Anselin 1988)

(9)式を含む(5)式の推定: 積率法＋一般化最小2乗法

(Kapoor, Kelejian and Prucha 2007, Lee 2007)

推定結果の解釈

17

表-4-3. 平均速度関数の推定結果 (3)Underwood型

固定効果モデル (5)with(6)					
variable	coef.	p-value			
K	-0.464	[.003]	R ²	0.739	
D ₂ INNER	0.266	[.000]	F (Group Effect)	5.193	[.000]
D ₃ INNER	0.418	[.000]	Hausman Test: χ^2	68.184	[.000]
D ₂ SIGNAL	-0.029	[.008]	Moran's I	6.153	[.000]
D ₃ SIGNAL	-0.015	[.164]	LM ($H_0: \rho = 0$)	0.593	[.441]
D ₂	0.012	[.843]	LM ($H_0: \lambda = 0$)	11.593	[.001]
D ₃	-0.205	[.001]			

F (Group Effect) – プーリングOLSよりも固定効果を選択

Hausman Test: χ^2 – ランダム効果を棄却

Moran's I – 空間自己相関を検出

LM ($H_0: \rho = 0$) – $\rho = 0$ は棄却できない.

LM ($H_0: \lambda = 0$) – $\lambda = 0$ は棄却される

表-4-3. 平均速度関数の推定結果 (3)Underwood型

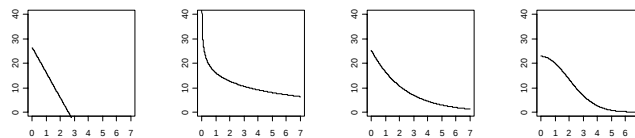
攪乱項の自己相関を考慮して一般化最小2乗法で推定

Method of Moments + Generalized Least Squares		
variable	coef.	p-value
K	-0.431	[.005]
D ₂ INNER	0.262	[.000]
D ₃ INNER	0.419	[.000]
D ₂ SIGNAL	-0.028	[.008]
D ₃ SIGNAL	-0.016	[.162]
D ₂	0.011	[.850]
D ₃	-0.205	[.001]
1	0.396	
R ²	0.917	
LM (H ₀ : s _a ² = 0)	1.342	[.247]

sample size = 582

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 19

エラーコンポーネント，空間自己相関の検定



	[1]Greenshield		[2]Greenberg		[3]Underwood		[4]Drake et. al.	
	統計量	p値	統計量	p値	統計量	p値	統計量	p値
F (Group Effect)	5.699	[.000]	5.747	[.000]	5.193	[.000]	5.100	[.000]
Hausman Test: χ^2	74.826	[.000]	76.923	[.000]	68.184	[.000]	65.385	[.000]
Moran's I: N(0,1)	6.407	[.000]	6.422	[.000]	6.153	[.000]	6.134	[.000]
LM (H ₀ : $\rho = 0$) : χ^2	1.465	[.226]	1.489	[.222]	0.593	[.441]	0.584	[.445]
LM (H ₀ : $\lambda = 0$) : χ^2	12.607	[.000]	12.655	[.000]	11.593	[.001]	11.539	[.001]

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 20

表-4-1. 平均速度関数の推定結果 (1) Greenshield型

Dependent variable: V

variable	FE(5)with(6)		FE-GM(5)with(9)	
	coef.	p-value	coef.	p-value
K	-11.066	[.000]	-10.328	[.001]
D ₂ INNER	5.761	[.000]	5.560	[.000]
D ₃ INNER	8.766	[.000]	8.715	[.000]
D ₂ SIGNAL	-0.598	[.007]	-0.593	[.006]
D ₃ SIGNAL	-0.288	[.190]	-0.302	[.182]
D ₂	-0.567	[.627]	-0.494	[.661]
D ₃	-4.887	[.000]	-4.874	[.000]
λ			0.383	
R ²	0.757		0.800	
F (Group Effect)	5.699	[.000]		
Hausman Test: χ^2	74.826	[.000]		
Moran's I	6.407	[.000]		
LM ($H_0: \rho = 0$)	1.465	[.226]		
LM ($H_0: \lambda = 0$)	12.607	[.000]		
LM ($H_0: \sigma_a^2 = 0$)	0.188	[.665]		

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 21

表-4-2. 平均速度関数の推定結果 (2)Greenberg型

Dependent variable: V

variable	FE(5)with(6)		FE-GM(5)with(9)	
	coef.	p-value	coef.	p-value
ln K	-5.244	[.000]	-4.979	[.000]
D ₂ INNER	5.246	[.000]	5.072	[.000]
D ₃ INNER	8.128	[.000]	8.111	[.000]
D ₂ SIGNAL	-0.527	[.017]	-0.531	[.014]
D ₃ SIGNAL	-0.203	[.352]	-0.225	[.320]
D ₂	-0.425	[.716]	-0.325	[.773]
D ₃	-4.659	[.000]	-4.642	[.000]
λ			0.382	
R ²	0.759		0.801	
F (Group Effect)	5.747	[.000]		
Hausman Test: χ^2	76.923	[.000]		
Moran's I	6.422	[.000]		
LM ($H_0: \rho = 0$)	1.489	[.222]		
LM ($H_0: \lambda = 0$)	12.655	[.000]		
LM ($H_0: \sigma_a^2 = 0$)	0.132	[.716]		

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 22

表-4-3. 平均速度関数の推定結果 (3)Underwood型

Dependent variable: $\ln V$

variable	FE(5)with(6)		FE-GM(5)with(9)	
	coef.	p-value	coef.	p-value
K	-0.464	[.003]	-0.431	[.005]
D ₂ INNER	0.266	[.000]	0.262	[.000]
D ₃ INNER	0.418	[.000]	0.419	[.000]
D ₂ SIGNAL	-0.029	[.008]	-0.028	[.008]
D ₃ SIGNAL	-0.015	[.164]	-0.016	[.162]
D ₂	0.012	[.843]	0.011	[.850]
D ₃	-0.205	[.001]	-0.205	[.001]
λ			0.396	
R^2	0.739		0.917	
F (Group Effect)	5.193	[.000]		
Hausman Test: χ^2	68.184	[.000]		
Moran's I	6.153	[.000]		
$LM (H_0: \rho = 0)$	0.593	[.441]		
$LM (H_0: \lambda = 0)$	11.593	[.001]		
$LM (H_0: \sigma_u^2 = 0)$	1.342	[.247]		

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 23

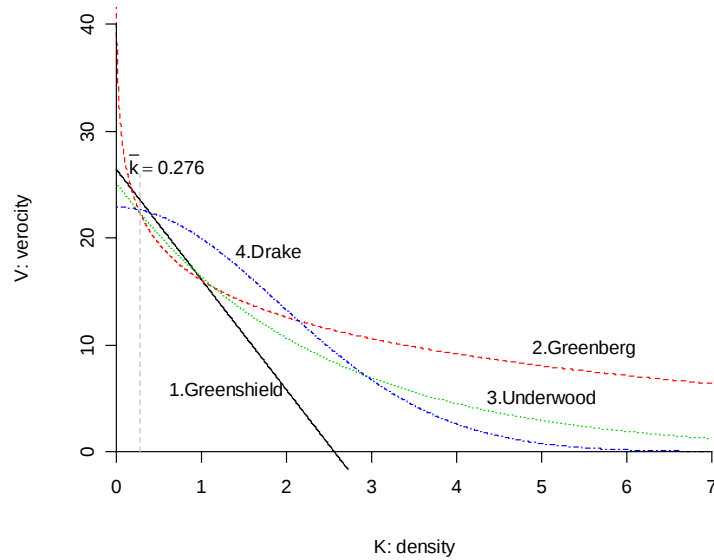
表-4-4. 平均速度関数の推定結果 (4)Drake型

Dependent variable: $\ln V$

variable	FE(5)with(6)		FE-GM(5)with(9)	
	coef.	p-value	coef.	p-value
K ²	-0.156	[.045]	-0.136	[.074]
D ₂ INNER	0.290	[.000]	0.285	[.000]
D ₃ INNER	0.448	[.000]	0.448	[.000]
D ₂ SIGNAL	-0.031	[.004]	-0.031	[.004]
D ₃ SIGNAL	-0.016	[.148]	-0.017	[.139]
D ₂	0.003	[.965]	0.004	[.946]
D ₃	-0.229	[.000]	-0.227	[.000]
λ			0.404	
R^2	0.735		0.917	
F (Group Effect)	5.100	[.000]		
Hausman Test: χ^2	65.385	[.000]		
Moran's I	6.134	[.000]		
$LM (H_0: \rho = 0)$	0.584	[.445]		
$LM (H_0: \lambda = 0)$	11.539	[.001]		
$LM (H_0: \sigma_u^2 = 0)$	1.579	[.209]		

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 24

速度関数の理論値

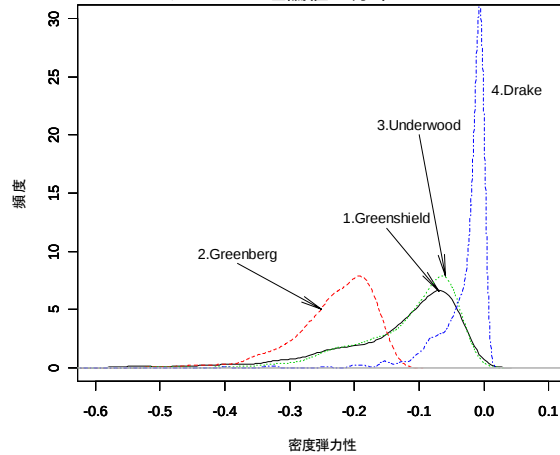


(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 25

弾性値の比較

代表的密度における平均速度の密度弾性値 $e = \frac{dV_{it}/V_{it}}{dK_{it}/K_{it}}$

582サンプルの理論値の分布



	平均値周りの密度弾性値
1. Greenshield型	-0.125
2. Greenberg型	-0.218
3. Underwood型	-0.119
4. Drake型	-0.015

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 26

まとめ

- 再開発によって道路交通量が拡大する状況下における、一般道における交通速度と交通密度の対応関係を検討した。
- 交差点区間の集計値を用いて、空間パネルデータ分析を行った。
- 推定モデルにおいて、固定効果および攪乱項における空間自己回帰過程が観察された。
- 密度弾性値を平均値周りで比較したところ、4つの古典的関数タイプで理論値分布に違いがみられた。

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 27

今後の研究課題

容積率規制の緩和(千代田区)によって事業所立地が変化 → 交通流が変化
(主要交差点での交通が56.28%増大)

表6. 時間に関する機会費用(規制緩和がなければ得られたであろう利益)

	1.Greenshield 型	2.Greenberg 型	3.Underwood 型	4.Drake型
追加的旅行時間[分/日, 人]	2.14	3.73	2.04	0.26
一人当たり機会費用[円/年, 人]	29,988	52,299	28,549	3,599
23区機会費用[億円/年]	432.4	754.1	411.6	51.9

- ・高速道も含めた混雑, 環境外部性に対する効果も検討する予定
- ・容積率規制緩和の便益と費用の測定
→ 八田・唐渡(2007)運輸政策研究 Vol.9,NO.4

(C) Assoc. Prof. Dr. Hiroshi KARATO/Prof. Dr. Tatsuo HATTA/Prof. Yoshiaki KUME, Institute for Transport Policy Studies, 2008 28