

通勤交通行動を考慮した過剰率に関する研究

Proportion Wasteful Index considering Journey-to-work Travel Behavior

室蘭工業大学	○学生員	間山大輔	(Daisuke MATAMA)
専修大学北海道短期大学	正 員	榊谷有三	(Yuzo MASUYA)
室蘭工業大学	フェロー	田村 亨	(Tohru TAMURA)
室蘭工業大学	フェロー	斉藤和夫	(Kazuo SAITO)

1. はじめに

通勤交通は、居住地から発生し従業地へと集中する交通によって形成されているとともに、日常的に行われていることから都市交通における主要な部分を占めている。このため環境負荷の軽減等から通勤交通における無駄通勤の削減、すなわち通勤者の移動距離あるいは通勤トリップ長を削減することが求められている。

通勤トリップ長の最小化を図る分析手法としては、従来から最適職住割当問題による職住割当の変更が提案されているが、既往の最適職住割当問題ではその数学的性質から解として得られる非 0 の OD 交通量はたかだか { (制約条件の本数) - 1 } 程度であり、実際の通勤者の交通行動を考慮することは不可能である。通勤トリップ長が通勤者の交通行動によって増減するにも関わらず、その通勤交通行動を考慮することができないため、算出される値は実際の通勤トリップ長よりも大幅に小さい値であり、それとともに過剰率も現実の通勤パターンとはかけ離れた値となっていた。

本研究では実際の通勤交通行動としてのプリファレンス曲線を組み込んだ最適職住割当問題を用いて実際の都市を対象に通勤トリップ長の最小値を算定し、既往の最適職住割当問題によって求められた通勤トリップ長の最小値との比較を行う。さらに過剰率の比較を行うなかで、都市間での最適な通勤パターンの差異や、通勤交通行動を考慮した最適化による変化及び影響を明確化することを目的とする。なお、本研究では札幌都市圏、旭川都市圏、函館都市圏を対象都市圏とし、それぞれのパーソントリップ調査のデータを基に最適化を行う。

2. 最適職住割当問題について

2.1 既往の最適職住割当問題

既往の最適職住割当問題では線形計画法を用い、以下の式(1)から式(3)の制約式の基で目的関数である式(4)の総通勤トリップ長の最小化を行う問題として定式化されている。本研究ではこのような最適職住割当問題を以後、「既往最適」問題と呼称する。

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = F_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = G_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (2)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \quad (4)$$

ここでは、以下をそれぞれ表している。

x_{ij} : ゾーン i における j 番目のゾーン間との OD 交通量

F_i : ゾーン i (居住地) における発生交通量

G_i : ゾーン i (従業地) における集中交通量

d_{ij} : ゾーン ij 間の距離

これらの制約式の基で算定される OD 交通量では、1. において述べたように非 0 の OD 交通の数に上限があり、大部分の OD 交通においてその交通量は 0 となる。通勤トリップ長は理論上の最小値を示すが、得られる OD 交通量は実際のそれとはかけ離れたものであり通勤トリップ長の最小値も現実的な値ではないと考えられる。

2.2 通勤交通行動を考慮した最適職住割当問題

前述の「既往最適」問題に対し、本研究で行った通勤交通行動を考慮した最適職住割当問題は以下の式(5)から(15)の制約式の基で目的関数である(16)の総通勤トリップ長の最小化を行う問題として定式化される。

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq F_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq G_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (6)$$

$$ug_j = G_i/T \quad (i=1, \dots, n) \quad (7)$$

$$c g_{ij} = c g_{i(j-1)} + ug_{ij} \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (8)$$

$$cf_{i(j-1)} = a_i c g_{i(j-1)}^2 + b_i c g_{i(j-1)} + c_i \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (9)$$

$$cf_{ij} = a_i c g_{ij}^2 + b_i c g_{ij} + c_i \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (10)$$

$$f_{ij} = cf_{ij} - cf_{i(j-1)} \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} = 1 \quad (12)$$

$$x_{ij} = F_i \cdot f_{ij} \quad (i=1, \dots, n)(j=1, \dots, n) \quad (13)$$

$$b_i = -2a_i \quad (14)$$

$$a_i + b_i + c_i = 1 \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot d_{ij} \rightarrow \min \quad (16)$$

ここでは、以下をそれぞれ表している。

T : 総トリップ数

ug_j : 従業地の立地量の相対比率

$ug_{ij}, c g_{ij}$: 立地量変化後のゾーン i における j 番目のゾーン間との OD 交通量

$cf_{i(j-1)}, cf_{ij}$: 2次曲線の回帰係数を用いたゾーンにおける $j-1$ 番目及び j 番目の累積比率
 f_{ij} : ゾーン i における j 番目のゾーン間との OD 交通量
 a_i, b_i, c_i : プリファレンス曲線の回帰係数・定数 (変数)

プリファレンス曲線は図-1 に示す既往の研究から二次曲線への回帰が可能とされており、この問題は前述の定式に示されているような非線形の最適化問題となる。また、二次曲線は図-1 に示すような座標(1.0, 1.0)を頂点とした上に凸の曲線を考えていることから式(14)、(15)をそれぞれ定式化している。本研究ではこのような通勤交通行動を考慮した最適職住割当問題を以後、「拡張最適」問題と呼称する。

3. 分析対象都市圏

本研究では過去に行われたパーソントリップ調査のデータのうち、札幌都市圏、旭川都市圏、函館都市圏の通勤交通の発生・集中交通量を対象に分析を試みる。各都市圏におけるゾーン数等のデータならびにゾーン区分は表-1 及び図-2 に示している。

本研究においては、各ゾーンにおける通勤交通行動は二次曲線で表されるプリファレンス曲線に従うものとしている。しかしながら、旭川都市圏、函館都市圏内には実際の通勤交通行動が明らかに二次曲線に従っていないゾーンが都市圏郊外部に少数存在しており、本研究ではそれらのゾーンは例外的な通勤交通パターンを持つゾーンとして通勤トリップ長の最小化から除外している。除外したゾーン数は旭川都市圏で7ゾーン、函館都市圏で6ゾーンであり、表-1 には除外後のゾーン数ならびにトリップ数をそれぞれ示している。以後、実際の通勤交通による値は、表図において「実際値」と表記する。

4. 分析結果

三都市圏を対象とした算定の結果、平均通勤トリップ長は表-1 ならびに図-3 に示すような結果となった。いずれの都市圏においても、「拡張最適」問題によって得られた平均通勤トリップ長は実際の通勤交通と「既往最適」問題の平均トリップ長の間にあり、さらに「既往最適」問題の値よりも実際の通勤交通に近い値に分布していることがわかる。このように、通勤交通行動を考慮した「拡張最適」問題に比べ「既往最適」問題の値は実際の通勤交通の値から大きく異なった値をとっており、「拡張最適」問題による値が現実的な値だと窺える。

4.1 過剰率

本研究では職住割当の変更によって削減することのできる通勤交通における無駄を明らかにする指標として、過剰率の算定を行っている。過剰率の算定には以下の式(17)を用い、算定結果は表-1 ならびに図-4 に示している。「既往最適」問題及び「拡張最適」問題それぞれにおける過剰率を比較すると、「既往最適」問題から算出された値がおおよそ 0.45~0.65 であるのに対し、「拡張最適」問題から算出された値では 0.15~0.25 程度である。これらの過剰率の値から、通勤交通における無駄は従来考えられていたほど大きくはなく、「拡張最適」問題によって算出された過剰率の値から削減可能な通勤距離は、必ず

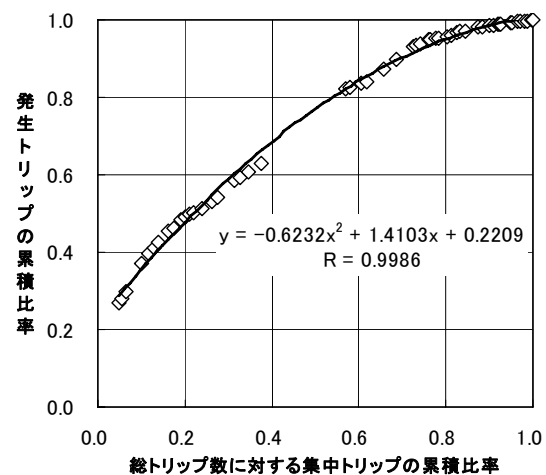


図-1 プリファレンス曲線

表-1 ゾーン数と総トリップ数

	札幌(1994)	旭川(2002)	函館(1999)
ゾーン数	53	45	49
トリップ数	606116	165746	113235
平均通勤トリップ長 (km)			
実際値	5.966	4.277	4.197
既往最適	3.066	1.524	1.683
拡張最適	5.056	3.574	3.216
過剰率			
既往最適	0.4861	0.6437	0.5990
拡張最適	0.1525	0.1644	0.2337

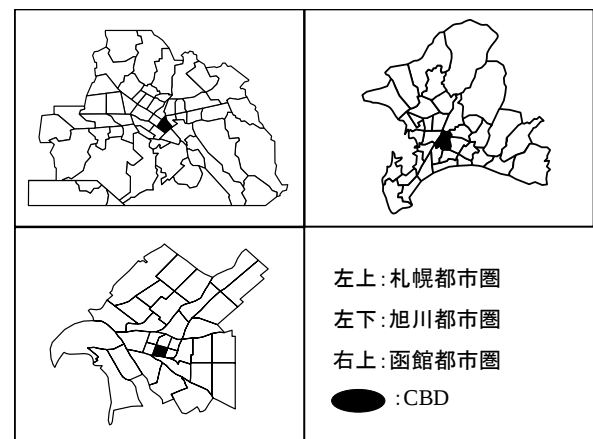


図-2 各都市圏におけるゾーン区分

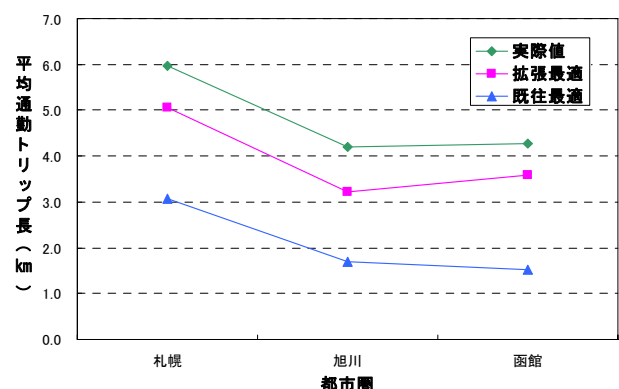


図-3 各平均通勤トリップ長

しも大きくないことが窺える。

$$\text{過剰率} = \frac{T_{act} - T_{min}}{T_{act}} \quad (17)$$

ここでは、以下をそれぞれ表している。

T_{act} : 実際の通勤トリップ長

T_{min} : 「拡張最適」問題による通勤トリップ長の最小値

各都市圏の間における「拡張最適」問題による過剰率は、札幌都市圏、旭川都市圏、函館都市圏の順に大きくなっており、総トリップ数ではその逆に札幌都市圏、旭川都市圏、函館都市圏の順に減少している。

4.2 累積頻度分布曲線

次に、各都市圏ならびに「実際の通勤交通」、「既往最適」問題、及び「拡張最適」問題のそれぞれにおける累積頻度分布曲線を作成した。作成した図は図-5、6、7に示す。図が示すとおり三都市圏において Y 軸に近いほうから「既往最適」問題、「拡張最適」問題、「実際の通勤交通」の順に曲線が分布しているとともに、「既往最適」問題を表す曲線が「拡張最適」問題に比べて実際の通勤交通を表す曲線から大きく離れている。これらの結果からも、「既往最適」問題では各ゾーンの通勤交通量が極近距離に存在する特定のゾーンにのみ集中しており現実的な通勤パターンとはいえない。一方、「拡張最適」問題では比較的遠距離の通勤トリップも発生しており、その曲線が実際の通勤交通を表す曲線に近い位置に分布し、形状も似ていることから、実際の通勤交通に近い通勤パターンとなっているといえる。

4.3 各ゾーンでの変化

さらに、本研究では最適化による三都市圏における各ゾーンの通勤交通行動の変化として図-8 に示すプリファレンス曲線の変化に着目した。

札幌都市圏の曲線は全体としてグラフの左上へとシフトしており、プリファレンス曲線の持つ「近距離トリップの比率が増すと左上へシフトする」という性質から通勤距離を減少させるような動きを見せているとわかる。通勤トリップ長の最小化（最適化）に従い各ゾーンにおいても平均通勤トリップ長が減少されている。一方、最小化によって平均通勤トリップ長が増加したのは全 53 ゾーン中わずかに 1 ゾーンであった。

しかしながら、旭川都市圏ならびに函館都市圏ではプリファレンス曲線の分布範囲は左上だけではなく右下へもシフトしており、通勤交通行動が近距離化したゾーンと遠距離化したゾーンが混在している。それとともに、各ゾーンでの平均通勤トリップ長が増加したゾーンと減少したゾーンも混在しており、旭川都市圏では全 45 ゾーン中 11 ゾーンにおいて、函館都市圏では全 49 ゾーン中 6 ゾーンにおいて平均通勤トリップ長が増加している。

一方、各ゾーンでの平均通勤トリップ長が 2.5 km 以上の大幅な減少をしているゾーンは札幌都市圏において 3 ゾーン、旭川都市圏において 8 ゾーン、函館都市圏において 12 ゾーン存在しており、職住割当パターンへの入れ替えによる通勤交通の最適化（通勤トリップ長の最小化）の効果が顕著に現れているゾーンも存在している。

これらのことは、図-8 に示すプリファレンス曲線に対する y 切片（回帰定数 c）の変化及び図-9 に示す回帰定数 c の分布域からも理解できる。すなわち、回帰定数 c は内々トリップ比率と相関が高いことから、c の変化が

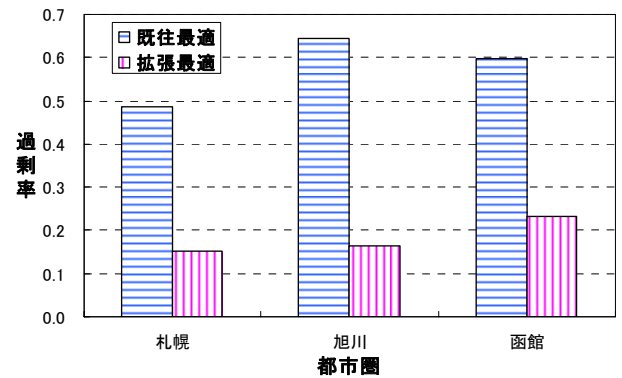


図-4 各都市圏における過剰率

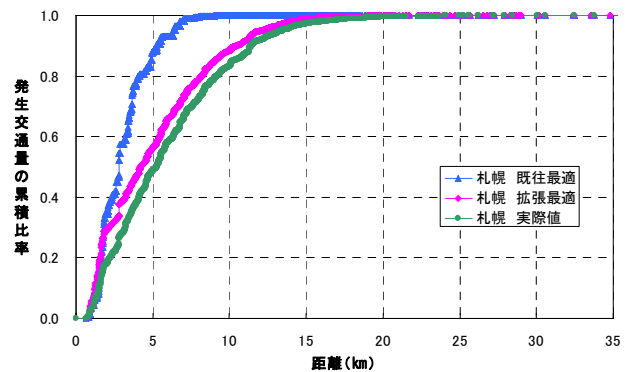


図-5 札幌都市圏における累積頻度分布曲線

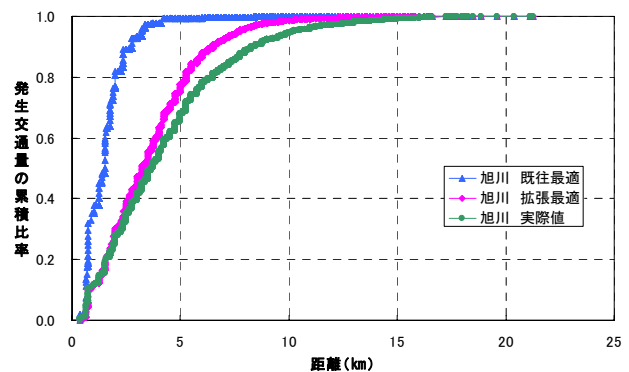


図-6 旭川都市圏における累積頻度分布曲線

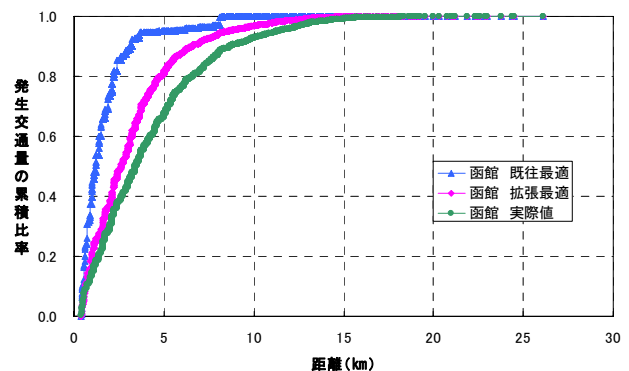


図-7 函館都市圏における累積頻度分布曲線

内々トリップ比率に変化を引き起こし、延いては通勤トリップ長にも影響を及ぼしている。

また、図-8 における最適化後の曲線の y 切片である回帰定数 c に着目すると、旭川都市圏、函館都市圏のプリファレンス曲線は視覚的にそれぞれ 4 つと 3 つのグル

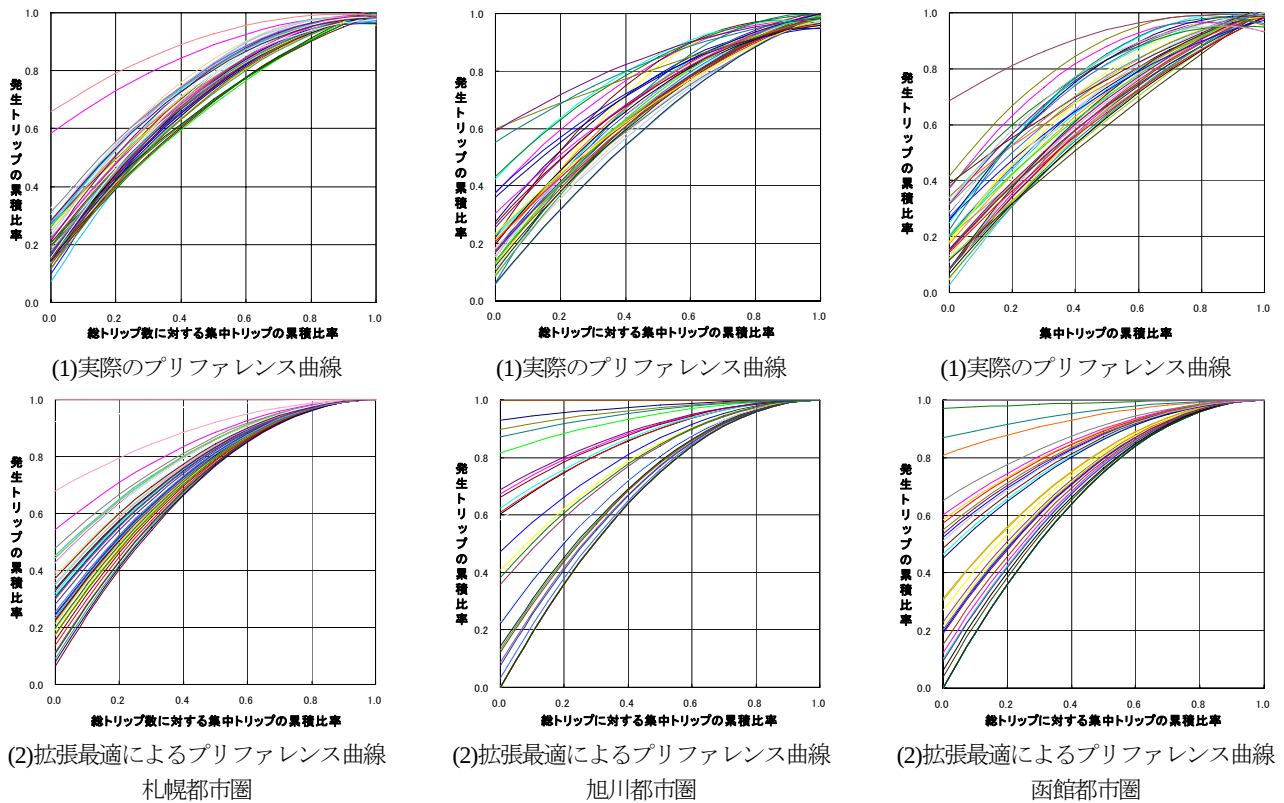


図-8 各都市圏のプリファレンス曲線の変化

ープに分けられる。このグループは図-10に示すようにCBDからみて郊外部ゾーンで回帰定数 c が高く、CBD周辺ゾーンにおいて低い傾向がある。このことから最適化によりCBD周辺ゾーンよりも郊外部ゾーンの方が近距離通勤を行い、逆に、CBD周辺ゾーンでは遠距離通勤を行う結果となっているとわかる。

これらのことから、旭川及び函館都市圏内には最適化によって通勤パターンが遠距離化あるいは非効率化したゾーンがCBD周辺に存在しているとわかる。したがって、職住分布構造としての各ゾーンの立地量に増減を促すことによって都市圏全体としての通勤トリップ長をより減少させることが可能だと推測される。

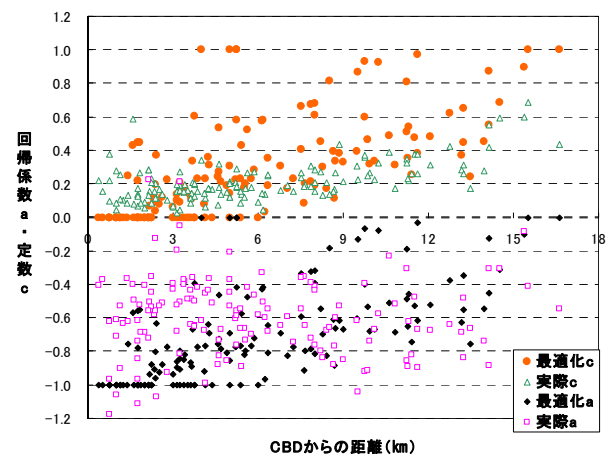
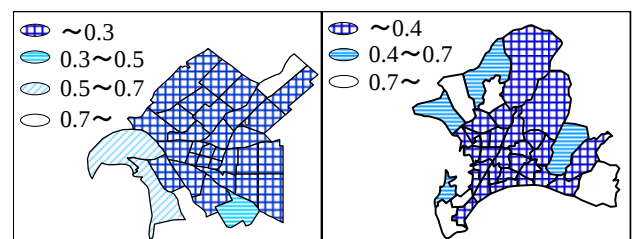
5. あとがき

以上、本研究においては実際の都市に対し通勤交通行動としてプリファレンス曲線を組み込んだ最適職住割当問題の適用と、その結果に関して考察を行った。三都市圏に対する適用の結果から、「拡張最適」問題が実際の都市圏において適用可能であるとともに、その適用によってより実際の通勤パターンの算出が可能であるとわかった。また、過剰率の値から通勤交通における削減すべき無駄は従来考えられていたほど大きくはなく、削減可能な通勤距離は必ずしも大きくないという結果を得た。

今後は本研究における算定の精度の改善や、除外されたゾーンのようなプリファレンス曲線が二次曲線に従わないゾーンを含めたうえでの通勤交通の最適化や、より多くの都市を対象とした都市間での比較を試みていく。

参考文献

- 1) 鈴木勉：職住割当の最適化による通勤交通エネルギーの削減効果、オペレーションズ・リサーチ、5月号、1994

図-9 回帰係数 a ・定数 c の変化図-10 旭川(左)及び函館(右)における回帰定数 c

- 2) 榎谷有三、神子島喬・下村光弘・田村亨・斎藤和夫：都市構造と通勤交通流動特性について、土木計画学研究・論文集 Vol.20 no.3、2002
- 3) Kang-Rae Ma・David Banister：Urban spatial change and excess commuting, Environment and Planning A, Vol39、2007