

大学通学交通施策の検討のための居住交通割当モデルの研究

Study of Residence and Commuting Mode Allocation Model for Design of University's Transportation Policy

川口康弘*

Yasuhiro KAWAGUCHI

*地域計画学研究室 (指導教員: 奥村誠 教授)

Recent transportation policy for university students requires wider evaluations in order to promote cooperative activities of the stakeholders. An optimization model to allocate residential areas and commuting modes to students is proposed in this study. The model solutions for Tohoku University show that the income of bus operator fluctuates unstably and becomes either positive or negative, affected by a small price change of the Bus Free-Pass. Therefore, the profitability cannot become a reason for the bus operator to sustain the Free-Pass policy. On the other hand, housing cost decreases stably after the Free-Pass is introduced, then they can expect the effect of the Pass, making a reasonable residential choice, but only in longer time range. This effect can be grasped only by wider consideration both of residential choice and commuting mode choice together.

Key Words : transportation planning, integrated land use- transportation modeling, longitudinal analysis

1. はじめに

人々のニーズの多様化によりこれまでのニーズ追従型の交通計画は限界に直面しつつある。住民はこれまでのようにサービスが提供されるのを一方的に待っているだけでは、自分にあったサービスを享受できる可能性は小さい。今後は、サービスに対し共通のニーズを持つものが集まり共にサービスを利用し支えていくという協働型の交通施策が不可欠になってくる。近年では、産学官の協働で行われている大学の交通施策も幾つか存在しており¹⁾、今後もこのような大学との協働を前提とした運営が必要となる場合が多くなると考えられる。

このような協働型の交通政策を考える上では、利用者の利便性や事業者の利益にとどまらず、政策によって大学が得られる多様な効果も含めて総合的に評価・判断する必要がある。この際、政策の目的の中には学生が十分認識していないような項目も含まれているため、現在の学生の認識と行動の合理性に基礎をおく行動モデル²⁾を用いた分析では十分とは言えない。むしろ、集団の中の構成員が同様の認識を持ち、集団全体として合理的な行動を取った場合に獲得できる効果を把握できるような、規範的なモデルが必要であると考えられる。

そこで本研究では、入学時及び学年進行に伴う通学キャンパスの変更時に学生が直面する居住地および交通手段の選択に着目し、与えられた交通政策のもとで学生生活を送る間に負担する各種費用の学生全体の総和を最小化するような、居住地・交通手段最適割当モデルを構築する。そして提案されている交通政策がどのような効果を持つかを多角的に分析することを試みる。

2. モデルの定式化

(1) モデルの設定

大学生の学生生活期間である4年間、または修士課程を含めた6年間の間にかかる諸費用を計算し、それを学生全体で最小化する居住地と通学手段を割り当てる最適化モデルを考える。本研究ではおおむね2年おきに行われる通学キャンパスの変更やそれに伴う引越しを考慮に入れ、以下のモデルにおいても2年を1期間として3期にわたる計算を行う。諸費用としては、住宅費用として家賃と引越し費用、交通費用として移動金銭費用、移動時間費用、バイク購入費用、バイク維持費用、そして事故リスク費用、環境負荷費用を考慮する。

(2) 定式化

本モデルにおける操作変数は学部、学年ごとの学生の交通手段と居住地への割当数である。すなわち操作変数は $X_{j,k}^{h,i} \geq 0$ と表される。ただし $h \in H$: 学年, $i \in I$: 学部, $j \in J$: 交通手段, $k \in K$: 居住地, である。

以上より、学生生活にかかる費用の学生全体の総和 C を最小化する問題は、以下のように定式化できる。

$$\min C = HC + TC + TAC + ELC \quad (1)$$

$$s.t. \quad \sum_j \sum_k X_{j,k}^{h,i} = P^{h,i} \quad \forall h, i \quad (2)$$

$$\sum_h \sum_i \sum_j X_{j,k}^{h,i} \leq A_k \quad \forall k \quad (3)$$

HC : 住宅費用
 TC : 交通費用
 TAC : 事故リスク費用
 ELC : 環境負荷費用
 $P^{h,i}$: 2学年1学部の人数
 A_k : 地域kの居住容量

制約条件式(2)は学生が全て配分されることを表し、式(3)は地域ごとの居住容量制約を表す。

そして(1)における住宅費用，交通費用，事故リスク費用，環境負荷費用の定式化については次に説明する．

a) 住宅費用

住宅費用としては総家賃と総引越し費用の二つで構成されるものと考え，それぞれ以下のように定式化できる．

$$HHC = 24 \sum_k \left(H_k \sum_h \sum_i \sum_j X_{j,k}^{h,i} \right) \quad (4)$$

$$MC = Y \left(\sum_h \sum_i \sum_k N_k^{h,i} \right) \quad (5)$$

$$\sum_j X_{j,k}^{h,i} = S_k^{h,i} + M_k^{h,i} \quad h=1, H-1 \quad \forall i, k \quad (6)$$

$$\sum_j X_{j,k}^{h+1,i} = S_k^{h,i} + N_k^{h,i} \quad h=1, H-1 \quad \forall i, k \quad (7)$$

$$\sum_k M_k^{h,i} = \sum_k N_k^{h,i} \quad \forall i, h=1 \quad (8)$$

$$\sum_k M_k^{h,i} = \sum_k N_k^{h,i} + O^{h,i} \quad \forall i, h=2 \quad (9)$$

H_k : 地域kの平均家賃

Y : 1人当たり1回の引越しにかかる単位費用

$M_k^{h,i}$: h期とh+1期の間に地域kから他地域に転出する学期h学部的人数

$N_k^{h,i}$: h期とh+1期の間に他地域から地域kに転入する学期h学部的人数

$S_k^{h,i}$: h期とh+1期の間に地域kに留まる学期h学部的人数

$O^{h,i}$: 2期終了後卒業する学部的人数

式(4)は1期間である2年間の総家賃を表し，式(5)は学生生活の中で引越しが行われた場合の総引越し費用を表している．また，制約式(6)はh期に地域kに住む学部iの学生数は来期も同じ地域kに留まる学生と他地域に転出する学生の二通りに分けられることを表しており，式(7)はh+1期に地域kに住む学部iの学生数は前期から同じ地域kに留まっている学生と他地域から転入してきた学生の二通りに分けられることを表している．転出者数 $M_k^{h,i}$ の中には(9)式に示すように卒業する学生も含まれるため(5)式における引越し人数には転入者数である $N_k^{h,i}$ を用いている．

b) 交通費用

交通費用として考える移動金銭費用，移動時間費用，バイク購入費用，バイク維持費用は利用者数に応じて単位費用，時間ごとの原単位を掛けて求めることとし，それぞれ次のように定式化できる．

$$TcC = TrC \left(\sum_h \sum_i \sum_j \sum_k fc_{j,k}^{h,i} X_{j,k}^{h,i} \right) \quad (10)$$

$$McC = TrC \times TV \times \left(\sum_h \sum_i \sum_j \sum_k TiC_{j,k}^{h,i} X_{j,k}^{h,i} \right) \quad (11)$$

$$TcU = TrU \left(\sum_h \sum_i \sum_j \sum_k fu_{j,k}^{h,i} X_{j,k}^{h,i} \right) \quad (12)$$

$$McU = TrU \times TV \times \left(\sum_h \sum_i \sum_j \sum_k TiU_{j,k}^{h,i} X_{j,k}^{h,i} \right) \quad (13)$$

$$BC = \alpha \sum_h \sum_i \sum_k G_k^{h,i} \quad (14)$$

$$BMC = \beta \sum_h \sum_i \sum_k \left((H+1-h)G^h \right) \quad (15)$$

$$s.t. \quad X_{j,k}^{h,i} = \sum_{h=1}^h G_k^{h,i} \quad j=1 \quad \forall h, i, k \quad (16)$$

$fc_{j,k}^{h,i}$: 居住地 キャンパス間の移動金銭費用

$fu_{j,k}^{h,i}$: 居住地 都心間の移動金銭費用

TV : 時間価値

TrC : 1期間の居住地 キャンパス間のトリップ数

TrU : 1期間の居住地 都心間のトリップ数

$TiC_{j,k}^{h,i}$: 居住地 キャンパス間の所要時間

$TiU_{j,k}$: 居住地 都心間の所要時間

$G_k^{h,i}$: h期にバイクを購入した人数

α : 1台当りバイク購入費用

β : 1台当りの1期間(2年間)のバイク保険料

式(10)と(12)はそれぞれ1期間の居住地 キャンパス間の通学金銭費用と居住地 都心間の移動金銭費用を表し，式(11)と(13)はそれぞれ居住地 キャンパス間の移動時間費用と居住地 都心間の移動時間費用を表している．式(14)は学生全体でのバイク購入費用，式(15)はバイク維持費用を表している．また制約式(16)は，バイク利用者は一度バイクを購入したら，それ以後は他の交通手段には移らないという制約条件を表す．

c) 事故リスク費用

事故リスク費用の計算式は走行キロに比例して交通事故が発生すると考え，通学時と都心への移動時に分けて以下のように定式化できる．

$$TRC1 = \sum_j \left(TAC_j \times TAN_j \times TrC \sum_h \sum_i \sum_k disc_{j,k}^{h,i} \cdot X_{j,k}^{h,i} \right) \quad (17)$$

$$TRC2 = \sum_j \left(TAC_j \times TAN_j \times TrU \sum_h \sum_i \sum_k disu_{j,k} \cdot X_{j,k}^{h,i} \right) \quad (18)$$

$$TRC = TRC1 + TRC2 \quad (19)$$

TAC_j : 事故を起こした場合に支払う平均費用

TAN_j : 走行キロ当たりの交通事故件数

$disc_{j,k}^{h,i}$: 居住地 通学キャンパス間の移動距離

$disu_{j,k}$: 居住地 都心間の移動距離

式(17)式(18)はそれぞれ居住地 キャンパス間の移動，居住地 都心間の移動に伴う事故リスク費用である．

d) 環境負荷費用

環境負荷費用は交通手段ごとの移動距離に基づいて計算するものとし以下のように定式化できる．

$$ELC1 = CT \left(\sum_j dc_j \left(TrC \sum_h \sum_i \sum_k X_{j,k}^{h,i} TiC_{j,k}^{h,i} \right) \right) \quad (20)$$

$$ELC2 = CT \left(\sum_j dc_j \left(TrU \sum_h \sum_i \sum_k X_{j,k}^{h,i} TiU_{j,k} \right) \right) \quad (21)$$

$$ELC = ELC1 + ELC2 \quad (22)$$

CT : 炭素税(円/CO₂-t)

dc_j : 交通手段jのCO₂排出係数(g/min)

式(20)式(21)はそれぞれ居住地 キャンパス間の移動、居住地 都心間の移動に伴う環境負荷費用である。

3. 東北大学への適用

(1) 分析の対象

本研究では東北大学を対象に分析を行う。学生の居住地として考慮する地域については、東北大学の学生および教職員の住所の郵便番号が記録された2007年度のデータの集計結果を参考に、東北大学生の居住割合が高い地域を設定した(図1)。また、現段階では居住割合が低いバス路線網が充実している都心部やその周辺地域については、今後のバスサービスレベルの変化次第では居住割合が増加する可能性があると考え、対象地域に加えた。また、都心の代表点は仙台駅前と考える。

(2) 使用するデータ

本研究で用いる学生数は東北大学 HP に掲載されている2009年5月1日現在の学部・大学院学生数を利用した。居住容量は住宅地図データベース Zmap-TOWN のデータを ArcGIS を用いて大字ごとにアパート・マンションの部屋数を集計して求めた。大字別平均家賃は、新入生向けに発行される物件情報紙に掲載されているエリア別平均家賃や地域別の物件の平均家賃をもとに作成した。所要時間を求めるための道路距離の算出には ArcGIS の Network Analyst 機能を用い、居住地 キャンパス間と居住地 都心間の最短経路を求めた。バスの運賃と所要時間は仙台市交通局 HP に掲載されている市営バスの時刻表・運賃表を基に作成した。事故リスク費用の計算に用いる走行キロ当たりの事故件数は東北大学発行の資料を基に設定し、環境負荷費用の計算に用いる炭素税や排出係数は環境省 HP を基に設定した。

(3) 大学生の行動の設定

本研究で対象とする学部は文系学部、工学部、理・薬学部、医・歯学部、農学部、の5つの学部とする。そして彼らは週5回通学し、週1回都心へ出掛けるものとする。通常この移動の際の交通手段はバイク、バス、自転車のいずれかを利用するが、冬季の路面凍結によりバイク・自転車が利用不可能な時期は、通常時の交通手段がバイク・自転車の学生はバスまたは徒歩のうち一般化費用の



図1 対象地域

小さい手段を選択するものとする。その際バス利用になった者はフリーバス運賃が導入されてもそれを使用せず通常運賃で支払うものとする。また、バイクを利用する場合はバイク購入費用とバイク維持費用を支払わなければならないものとする。なお、起伏による自転車の困難さを表現するため起伏の激しい経路を自転車で移動する場合、平地での平均自転車速度の半分で移動するものとする。

進学に伴うキャンパスの変更時期は1期と2期の間とする。また引越しが行われる場合もこの時期に行われることとなり、その際引越し費用が必要になると考える。

(4) 政策の設定

初めに通常バス運賃制度の下で居住地・交通手段最適割当モデルを解く。運賃政策としては一ヶ月定額制のバスフリーバスを取り上げ、様々なフリーバスの運賃水準のもとで同モデルを解く。

(5) 最適割当結果の実現可能性

もし最適化モデルの割当て結果がどのグループの学生にも正の影響を持つなら、その賛成が得やすく、実現可能性は大きいと考えられる。入手した実データのみでは計測出来ない引越し費用を除く費用を算定した結果、最適化モデルの解における学期・学部別の総費用は、実データに基づいて計算された現状での総費用よりも減少していることから(図2)、モデルの解の実現可能性は小さくないと考える。

(6) フリーバス運賃導入効果

フリーバス導入の影響は、バス利用者数の変化が小さい運賃が9000円~4500円の間と、バス利用者数の増加が大きくなる4000円以下の運賃領域とで特徴が異なる。

まず前者のフリーバス運賃が9000円から4500円の領域では、フリーバスの運賃を少し変えるだけでバス収入の増減は不安定に変化する。一方で住宅費用である家賃と引越し費用はフリーバス運賃の導入により常に減少し、その値も安定していることから、学生が居住地選択をより合理的に行えるようになる効果が期待できることが分

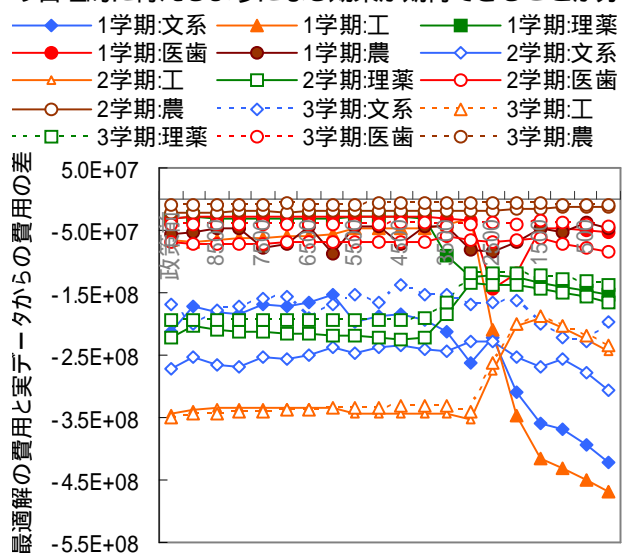


図2 最適化による総費用と実データによる総費用の比較

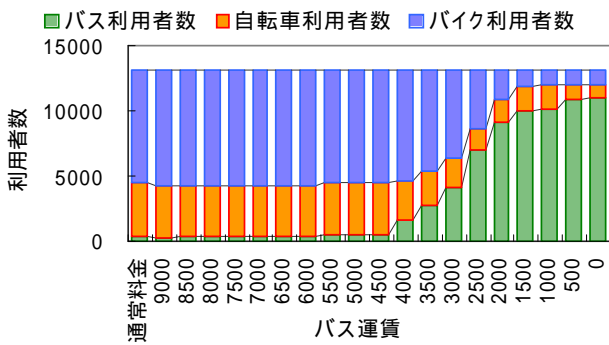


図3 交通手段シェアの変化

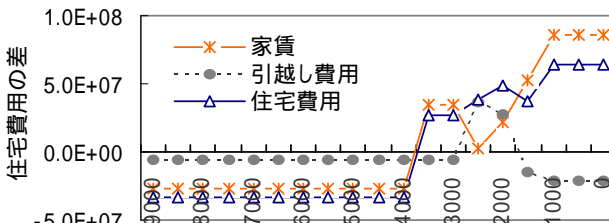


図4 フリーパス運賃導入による住宅費用の変化

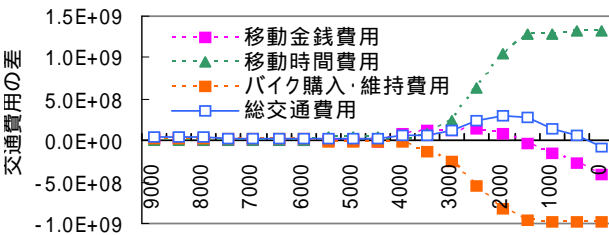


図5 フリーパス運賃導入による交通費用の変化

かる．よってこの運賃帯ではバス利用者の増加によるバス収入の増加やバイク利用者の減少による事故リスク費用の減少の効果は期待できないが、学生のより経済的な居住地の選択を可能にするという効果が最も大きい．

次にフリーパス運賃が4000円以下の領域については、フリーパス運賃が安くなったことによりバスに便利な、より都心に近い地域に居住する者が多くなり、それに伴い家賃は増加する．バス収入は増加するが、利用者の大幅な増加に対応すべく増便などの追加的な経費を考えると、効果として評価することが適当ではない．この料金帯では事故リスク費用と環境負荷費用が効果の期待できる項目である．大学が、フリーパスの導入によって事故リスクの低減や環境負荷低減を目指すのであれば、この料金帯まで運賃を下げる必要があると言える．

4. おわりに

(1) 結論

本研究では学生が在学期間内に負担する各種費用の学生全体の総和を最小化する、居住地・交通手段最適割当モデルを構築し、東北大学を対象としてバスフリーパス制度の意義について多角的な分析を行った．バス収入はフリーパス運賃を少し変えるだけで増減が不安定に変化するため、事業者の収入のみに限定し評価するとフリーパス制度の導入は困難である．一方、住宅費用である家賃と引越し費用はフリーパスの導入により安定的に減少することから、学生が居住地選択を合理的

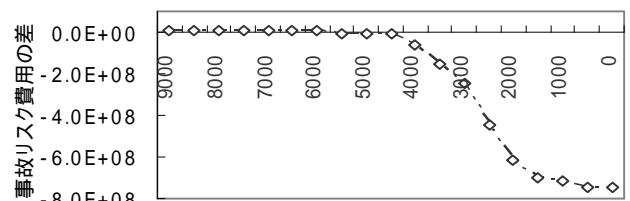


図6 フリーパス運賃導入による事故リスク費用の変化

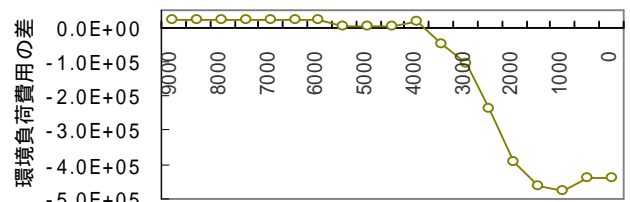


図7 フリーパス運賃導入による環境負荷費用の変化

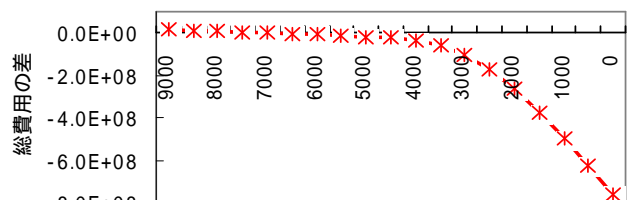


図8 フリーパス運賃導入による総費用の変化

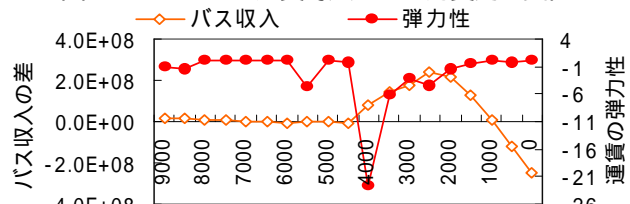


図9 フリーパス運賃導入によるバス収入・弾力性の変化

に行える効果が期待できることが分かる．つまりフリーパス制度はバス利用者の運賃減少効果以外に、学生のより経済的な居住地の選択を可能にするという長期的な効果を持つことがわかった．この効果は、本研究のような居住地の選択と交通を同時に考える総合的な分析により初めて把握できたものである．

(2) 今後の課題

地域の特徴を表すものとして用いたキャンパス・都心への利便性や家賃以外に居住地選択に影響があると考えられる要素の考慮、バス容量制約の設定、東北大学生が居住可能な容量の設定を行い、より詳細に分析を行うことが望ましい．

参考文献

- 1) 谷口綾子, 鈴木春菜, 浅見知秀, 藤井聡, 石田東生: 郊外型大学キャンパスにおけるバスを主体としたモビリティ・マネジメントの展望と課題, 都市計画論文集, 42(3), pp.943-948, 2007
- 2) J.Bilbao Ubillos, Fernandez Sainz: The influence of quality and price on the demand for urban transport: the case of university students, Transportation Research part A 38(2004)

(2010年2月8日提出)