

旅行者の航空・鉄道選択モデル

～カーボン・オフセット導入の影響評価～

2005MM065 渋谷聖也

指導教員：伏見正則

1 はじめに

日本国内における都市間の移動手段として主流なのは鉄道であるが、航空を利用する人も増加してきている。交通手段として鉄道と航空を比較した場合それぞれメリット、デメリットが挙げられ、旅行者はどの交通機関を使い移動すべきかという選択が与えられる。本研究では旅行者が交通手段として航空を使うべきか、鉄道を使うべきかを旅行時間と交通費に注目し、旅行者にとっての効用が高い方を選択した場合のモデル化を図る。また、今日では環境へ配慮する関心が社会的に高まっている。そこで本研究では環境問題の対策として注目されているカーボン・オフセットを導入した場合、どのような変化を及ぼすかも調べる。

2 交通機関選択モデル

2.1 モデルの説明

国内の各都道府県に代表点を設定し、その代表点間を旅行するものとする。旅行方法として使用する交通機関は鉄道または航空の2つとする。それぞれの旅行方法で旅行時間、費用、CO₂排出量を求めるため鉄道ネットワークと航空ネットワークを作成する。航空、鉄道ともに実際に運行されている路線をネットワークとし、旅行者はこのネットワーク間を移動するものとする。旅行方法は鉄道を利用する場合と航空を利用する場合の2つにし、2つの選択肢のうち必ず一方を選択するという状況のもとで、1つを選択する確率を与えるモデルである2項ロジットモデルを用いる。それぞれの旅行時間、交通費を不便度としてロジット関数にあてはめ、旅行者の人数を配分する。

2.2 ロジット関数

旅行者の配分方法にはさまざまな方法があるが本研究では非集計行動モデルの中でもっとも広く利用されているロジットモデル[1, 2]を用いる。ある都市間を旅行する際、航空を利用したときの不便度を A とし、鉄道を利用したときの不便度を B とすると、航空を利用する旅行者の配分率は、

$$\frac{e^{-kA}}{e^{-kA} + e^{-kB}}, \quad k > 0$$

となる。 k は不便度の確率項のバラツキを示すパラメータである。この配分率に応じて旅行者の人数を決定する。

2.3 パラメータの推定

2.2 節ではパラメータを k の1つしか用いていないが、旅行時間と交通費それぞれにかかる重みが違うため、実際には旅行時間にかかるパラメータ、交通費にかかるパラメータの2つを用いる。本研究でのパラメータの推定に

は、計算で得られた予測値と実際の値の差の二乗和を最小にする最小二乗法を用いる。

2.4 不便度

各交通機関を利用した際にかかる所要時間、費用、またCO₂排出量を不便度としてロジット関数にあてはめる。ただしCO₂排出量はカーボン・オフセットとして算出するため、交通費に加えることにする。

代表点間における鉄道、航空での移動にかかる時間は国土交通省の発表しているデータ[3]に基づく。鉄道運賃は「駅すばあと」を用いて調べ、航空運賃は全日本空輸、日本航空の2社の運行されている路線運賃[4, 5]から調べた。またカーボン・オフセットの計算には鉄道の場合には代表点間距離と1人が1移動する際に排出するCO₂量19g[6]を掛け、CO₂排出量1kg当たり5円として計算し、交通費に加えるものとする。航空の場合は、日本カーボンオフセットのwebページ[7]を利用して各空港間の旅行の際に発生するCO₂排出量を調べ、同様に1kg当たり5円として計算し、その料金を航空運賃に上乗せする。

3 ネットワーク

代表点を各都道府県に1カ所ずつおく。代表点は各都道府県の県庁所在地のあるJR駅とする。都道府県間流動表の中で北海道は道北(旭川)、道東(釧路)、道央(札幌)、道南(函館)の4地域に分けられているため、北海道についてはこの4地域にも代表点を設置する。また沖縄は他県を結ぶ鉄道が無いため代表点には入れない。よって代表点は全部で49カ所になる。

日本には約100の空港があるが本研究ではANAとJALの2社の航空会社で実際に都市間で運行されている53カ所の空港を対象とする。こちらも他県や他地域とつながっている鉄道の無い沖縄や離島にある空港は対象外とする。これらの代表点、空港をノードとしてネットワークを作成する。

4 旅行者の配分

以下の記号を定義し、旅行者数を配分する。

S : 代表点49カ所の集合

$\lambda = (i, j)$: 代表点 $i \in S$ から代表点 $j \in S$ への旅行経路

Λ : 全ての λ の集合

W_λ : $\lambda \in \Lambda$ の旅行者数

F_λ : $\lambda \in \Lambda$ の航空ネットワークでの不便度

R_λ : $\lambda \in \Lambda$ の鉄道ネットワークでの不便度

α : 移動時間にかかるパラメータ

β : 交通費にかかるパラメータ

F_t^λ : F_λ における移動時間

F_c^λ : F_λ における交通費

$R_t^\lambda: R_\lambda$ における移動時間

$R_c^\lambda: R_\lambda$ における交通費

ロジットモデルによる航空の利用者数は次のよう
あらわすことができる。

$$W_\lambda \cdot \frac{e^{-(\alpha F_t^\lambda + \beta F_c^\lambda)}}{e^{-(\alpha F_t^\lambda + \beta F_c^\lambda)} + e^{-(\alpha R_t^\lambda + \beta R_c^\lambda)}}, \lambda \in \Lambda$$

鉄道の利用者数は、 W_λ から上記の航空利用者数を引いたものとなる。このように計算された交通機関別の人数と国土交通省の発表している実際のデータとを比較する。

5 実行結果

ここでは代表点間で航空の直行便が運行されており、各路線の最安値の航空運賃を用いた5つの代表点「札幌(道央)、宮城、東京、大阪、福岡」を実行結果として示す。

表1 国土交通省のデータ

出発地	目的地	旅行者数	航空利用者数	鉄道利用者数
札幌	宮城	1062	902	160
札幌	東京	6724	6548	176
札幌	大阪	1394	1302	92
札幌	福岡	475	409	66
宮城	札幌	766	711	55
宮城	東京	7223	10	7213
宮城	大阪	616	542	74
宮城	福岡	153	144	9
東京	札幌	6884	6679	205
東京	宮城	7626	3	7623
東京	大阪	18017	5002	13015
東京	福岡	6675	5990	685
大阪	札幌	1714	1606	108
大阪	宮城	795	739	56
大阪	東京	16628	5378	11250
大阪	福岡	4205	1180	3025
福岡	札幌	466	424	42
福岡	宮城	171	164	7
福岡	東京	6796	5898	898
福岡	大阪	4128	1031	3097

表2 実行結果 航空割引運賃

出発地	目的地	航空利用者数	鉄道利用者数	航空相対誤差
札幌	宮城	776	286	0.13956
札幌	東京	5229	1495	0.20138
札幌	大阪	1180	214	0.09381
札幌	福岡	423	52	-0.09545
宮城	札幌	561	205	0.21109
宮城	東京	3160	4063	-314.97820
宮城	大阪	388	228	0.28386
宮城	福岡	110	43	0.23877
東京	札幌	5345	1539	0.19974
東京	宮城	3262	4364	-1086.30773
東京	大阪	10151	7866	-1.02930
東京	福岡	4407	2268	0.26430
大阪	札幌	1453	261	0.08556
大阪	宮城	508	287	0.31287
大阪	東京	9408	7220	-0.74944
大阪	福岡	2399	1806	-1.03313
福岡	札幌	415	51	0.02090
福岡	宮城	122	49	0.25612
福岡	東京	4479	2317	0.24056
福岡	大阪	2340	1788	-1.26976

表3 実行結果 オフセット導入(航空割引運賃)

出発地	目的地	航空利用者数	鉄道利用者数	航空相対誤差
札幌	宮城	777	285	0.13809
札幌	東京	5238	1486	0.20004
札幌	大阪	1182	212	0.09221
札幌	福岡	424	51	-0.03680
宮城	札幌	562	204	0.20969
宮城	東京	3136	4087	-312.55801
宮城	大阪	387	229	0.28564
宮城	福岡	109	44	0.24015
東京	札幌	5354	1530	0.19842
東京	宮城	3235	4391	-1077.32026
東京	大阪	10124	7893	-1.02404
東京	福岡	4395	2280	0.26627
大阪	札幌	1455	259	0.09395
大阪	宮城	507	288	0.31434
大阪	東京	9385	7243	-0.74509
大阪	福岡	2392	1813	-1.02741
福岡	札幌	416	50	0.01963
福岡	宮城	122	49	0.25756
福岡	東京	4467	2329	0.24262
福岡	大阪	2333	1795	-1.26301

表1は秋期平日1日の出発地・目的地別の都道府県流動表を用いたデータ[3]である。航空利用者数の総和は44,662人、鉄道利用者数の総和は47,856人となっており、わずかに鉄道を利用する人が多いことがわかる。カーボン・オフセット導入前の実行結果を表2、導入後の結果を表3に示す。オフセット導入前の予測航空利用者数の総和は56,116人、予測鉄道利用者数の総和は36,402人となり、全体的に航空の利用者が多くなる結果が得られた。区間別に見ると宮城-東京間の航空利用者数が大きく増加し、航空運賃を値下げすることで航空を選択する旅行者が増えると言える。オフセット導入後の予測航空利用者数の総和は56,001人、予測鉄道利用者数の総和は36,517人となり、わずかにCO₂の排出量の少ない鉄道を利用する人数が増えたがほとんど変化はなく、カーボン・オフセットの導入は旅行者に影響を与えないという結果が得られた。

6 おわりに

航空運賃を値下げすることで航空利用者は増えるという結果が得られた。航空運賃は様々な料金設定があり、実際には旅行者個人によって料金は変動する。本研究ではパラメータの推定に最小二乗法を用いたが、推定方法には、様々な方法があるので別の推定法を用いたときの結果と比較することで、交通機関別の予測者人数がさらに正確に得られる可能性がある。また、全ての代表点間や、さらに細かい代表点の設置方法によってより正確な計算結果が得られるだろう。今回CO₂排出量1kg当たり5円と計算したが現在正確な価格は設定されていない。単価が上がればオフセット導入後の各交通機関の利用者数も変わってくるかもしれない。最後に、旅行者が交通機関を選択する際、料金、時間の他にサービスを考慮する旅行者も多いと思われる。このサービスを取り入れた旅行者の配分方法のモデルの考案も大きな課題である。

参考文献

- [1] 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際。社団法人土木学会，東京，1995。
- [2] 上嶋悠紀代：鉄道との競合を考慮した航空路線再編成モデル。南山大学 数理情報学部 数理科学科 2007年度卒業論文。
- [3] 国土交通省：全国幹線旅客純流動調査交通機関別流動表。
<http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryudou/download.html>
- [4] 全日本空輸：ANA SKY WEB
<http://www.ana.co.jp/asw/index.jsp>
- [5] 日本航空：日本航空ホームページ
<http://www.jal.co.jp/>
- [6] 社団法人 日本民営鉄道教会ホームページ
<http://www.mintetsu.or.jp/index.html>
- [7] 日本カーボンオフセット
<http://www.co-j.jp/home/>