

# グラビティモデルによるアメリカの航空輸送流動量の分析

井 尻 直 彦

## 1. はじめに

アメリカや中国のように国土が広大である国では、一般に東西や南北に離れた国内主要都市間を移動する旅客は、国土が狭小である国に比べ国内移動に移動費と移動時間という移動コストを相対的に多く支払う必要がある。もちろん国土が小さい場合も、移動コストが掛かるが絶対的にも相対的にも広大な国に比べてそのコストは小さい。この移動コストの存在が、経済活動に伴う移動を抑制する。移動距離が長くなる場合、あるいは公共的移動手段が無い場合、その移動コストは莫大になり、移動を抑制する以上に移動を不可能にすることもありえる。

本稿は、グラビティモデルを用いてアメリカにおける国内航空輸送量の決定要因を分析することを目的とする。これまでに航空輸送量に対してグラビティモデルを用いた先行研究では、国際的航空輸送を対象とするものが比較的多いようである。そこで、本稿では効率的な航空輸送システムが整っているアメリカを対象にして、グラビティモデルによって航空輸送量の決定要因を分析する。

本稿の構成は以下の通りである。まず、第1節においてアメリカの航空産業の規模を概観する。次に、第2節においてグラビティモデルの概要を解説する。そして、第3節では2005年のアメリカ国内の航空輸送流動量データによってグラビティモデルを用いて航空輸送流動量の決定要因を分析する。そこで、アメリカにおける航空輸送の

ハブ&スポークネットワークの存在を考慮するために、飛行距離の長短を区別したモデルを用いている。

## 2. アメリカの産業構造と航空輸送

ここでは、アメリカ経済における航空輸送業の規模とその推移を考察するために、表1に1990年と2000年代の業種別被雇用者シェアを示している。これによれば、アメリカ経済において製造業の被雇用者数は1990年以降、減少し続けている。一般に認識されているように、アメリカ経済では製造業が縮小傾向にあるのに対して、同時に教育・医療や建設業などサービス業が拡大傾向にある。このデータには航空輸送業という分類がなく、航空輸送業を含む、より広範な業種区分である輸送業等のみが記載されている。この輸送業の被雇用者シェアは、1990年と比べて2000年代においてもおよそ5%程度とほとんど変化していない。また、航空輸送業と補完的な産業と考えられる観光サービス業の被雇用者シェアも8%で、期間中ほぼ同じ水準となっている。このように被雇用者シェアからは、航空輸送業に関連する分野の拡大を確認することはできない。けれども輸送業と観光サービス業の2業種合計で約13%を占めており、これは商業と匹敵する規模であり、アメリカにおいて相対的に雇用規模の大きい産業となっていることが理解される。

表2には、アメリカが2005年に国際貿易に際して使用した輸送モードの比率が示されている。

表1. アメリカの被雇用者シェア

(%)

	1990	2000	2001	2002	2003	2004
Agriculture, forestry, fishing, and hunting	1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6
Mining	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
Construction	6.9	7.3	7.4	7.3	7.4	7.7
Manufacturing	16.8	14.4	13.5	12.6	12.3	11.8
Wholesale and retail trade	14.7	14.6	14.5	14.5	15.0	15.0
Information	2.9	3.0	2.9	2.7	2.7	2.5
Financial activities	7.1	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2
Professional and business services	9.4	10.0	10.3	10.3	10.1	10.1
Education and health services	17.5	19.1	19.6	20.2	20.5	20.6
<b>Leisure and hospitality</b>	<b>8.0</b>	<b>8.2</b>	<b>8.3</b>	<b>8.5</b>	<b>8.4</b>	<b>8.5</b>
<b>Transportation and utilities</b>	<b>5.1</b>	<b>5.4</b>	<b>5.3</b>	<b>5.3</b>	<b>5.0</b>	<b>5.0</b>
Other services	4.3	4.7	4.7	4.9	4.9	5.0
Public administration	4.7	4.5	4.5	4.6	4.5	4.6

出所) FHWA (2007), *Freight Facts and Figures 2006*, FHWA, Table1-1 より筆者作成.

表2. 米国・国際貿易の輸送モード 2005年

Mode	Value			Weight		
	Total trade	Exports	Imports	Total trade	Exports	Imports
Water	43.5%	28.9%	51.4%	77.6%	72.3%	79.6%
Air	25.3%	32.4%	21.5%	0.4%	0.6%	0.3%
Truck	19.0%	25.9%	15.3%	10.0%	16.5%	7.4%
Rail	4.5%	3.9%	4.9%	7.4%	8.8%	6.8%
Pipeline	2.0%	0.3%	2.9%	4.5%	0.9%	5.9%
Other, unknown, and miscellaneous	5.6%	8.5%	4.0%	0.3%	1.0%	0.0%

出所) FHWA (2007), *Freight Facts and Figures 2006*, FHWA, Table2-1M より筆者作成.

2005年には、金額で航空輸送は国際貿易の約25%を占めており、これは海上輸送に次ぐ規模になっている。重量では全体の1%も満たないほどの規模であるが、航空輸送が高付加価値製品の輸送にいかにも利用されているかが理解される。特に、輸出では金額で計ると、全体の約32%が航空輸送に依存している。これは海上輸送よりも多く、最も利用されている輸送モードである。輸入では海上輸送がほぼ半分を占めており、天然資源や原油などが船舶によって運ばれてきている。航空輸送も21%と海上輸送シェアとは大きく差があるが、2番目に多く利用されている手段である。このように現在では、航空輸送は雇用面においても、国際貿易においてもアメリカの経済を支えて

いる重要な輸送モードであり、かつ主要な産業となっている。

## 2.1 アメリカ国内輸送の現状

一般的に航空輸送は、旅客需要と貨物需要の2つに分けられる。貨物は、貨物専用機によって輸送されるが、旅客機に貨物や郵便を載せて輸送されることもある。航空輸送はこれら2つの需要により成長してきている。そこで、旅客数と貨物量の推移をしてみる。図1には、アメリカ運輸省(USDOT)の運輸統計局(BTS)が推計したTSI(Transportation Service Index)指標が示されている。これは2000年時点の旅客数、貨物量を100として計算したアメリカ国内の航空輸送の流動量

図 1. Transportation Service Index (TSI)

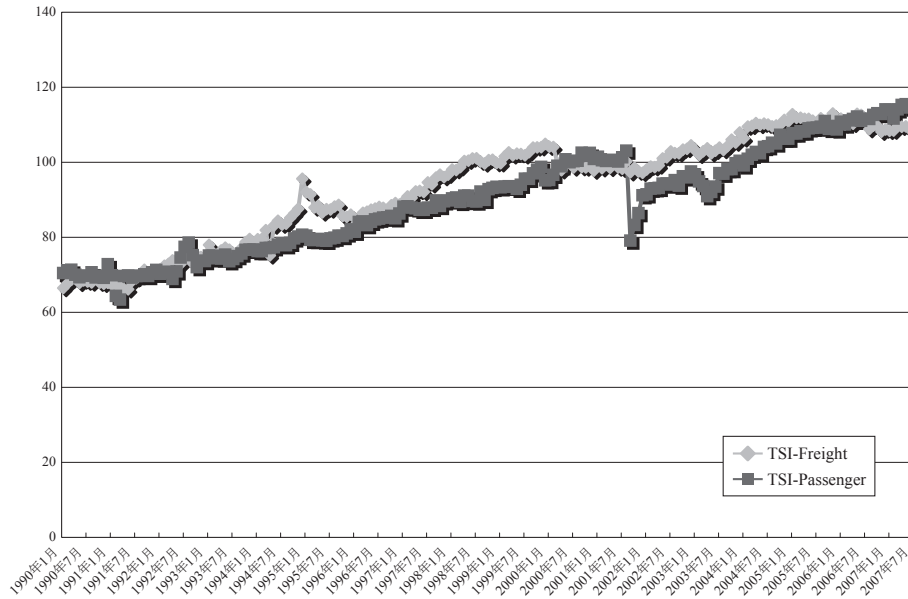


表 3. アメリカの大型ハブ空港における上位 30 空港

順位	州	都市	空港名	Locid	2006年旅客数	2005年旅客数	% Change
1	GA	Atlanta	Hartsfield - Jackson Atlanta International	ATL	41,352,038	42,402,653	-2.48%
2	IL	Chicago	Chicago O'Hare International	ORD	36,825,097	36,720,005	0.29%
3	CA	Los Angeles	Los Angeles International	LAX	29,357,327	29,372,272	-0.05%
4	TX	Fort Worth	Dallas/Fort Worth Paul International	DFW	28,627,749	28,079,147	1.95%
5	CO	Denver	Denver International	DEN	22,822,111	20,799,886	9.72%
6	NV	Las Vegas	McCarran International	LAS	22,028,521	21,402,676	2.92%
7	NY	New York	John F Kennedy International	JFK	21,071,501	20,260,359	4.00%
8	AZ	Phoenix	Phoenix Sky Harbor International	PHX	20,591,909	20,315,544	1.36%
9	TX	Houston	George Bush Intercontinental/Houston	IAH	20,479,291	19,032,196	7.60%
10	NJ	Newark	Newark Liberty International	EWR	17,804,107	16,444,959	8.26%
11	MI	Detroit	Detroit Metropolitan Wayne County	DTW	17,483,468	17,580,363	-0.55%
12	MN	Minneapolis	Minneapolis-St Paul International/Wold-Chamberlain	MSP	17,192,410	17,971,771	-4.34%
13	FL	Orlando	Orlando International	MCO	16,807,534	16,592,133	1.30%
14	CA	San Francisco	San Francisco International	SFO	16,236,592	16,070,133	1.04%
15	FL	Miami	Miami International	MIA	15,664,791	15,092,763	3.79%
16	PA	Philadelphia	Philadelphia International	PHL	15,390,848	15,376,569	0.09%
17	NC	Charlotte	Charlotte/Douglas International	CLT	14,749,568	14,009,608	5.28%
18	WA	Seattle	Seattle-Tacoma International	SEA	14,703,928	14,359,530	2.40%
19	MA	Boston	General Edward Lawrence Logan International	BOS	13,544,552	13,214,923	2.49%
20	NY	New York	La Guardia	LGA	12,925,697	13,014,314	-0.68%
21	VA	Dulles	Washington Dulles International	IAD	11,045,217	13,032,502	-15.25%
22	MD	Glen Burnie	Baltimore/Washington International Thurgood Marshal	BWI	10,297,607	9,829,432	4.76%
23	UT	Salt Lake City	Salt Lake City International	SLC	10,289,129	10,601,918	-2.95%
24	FL	Fort Lauderdale	Fort Lauderdale/Hollywood International	FLL	10,204,579	10,729,468	-4.89%
25	HI	Honolulu	Honolulu International	HNL	9,855,838	9,784,404	0.73%
26	FL	Tampa	Tampa International	TPA	9,187,865	9,297,643	-1.18%
27	VA	Arlington	Ronald Reagan Washington National	DCA	8,973,410	8,623,907	4.05%
28	IL	Chicago	Chicago Midway International	MDW	8,915,292	8,383,698	6.34%
29	CA	San Diego	San Diego International	SAN	8,724,442	8,628,648	1.11%
30	KY	Covington	Cincinnati/Northern Kentucky International	CVG	7,984,074	11,277,068	-29.20%

出所) U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Air Carrier Activity Information System (ACAIS) database, Passenger Boarding Data, available at [http://www.faa.gov/airports\\_airtraffic/airports/planning\\_capacity/passenger\\_allcargo\\_stats/passenger/media/cy05\\_primary\\_np\\_commercial.pdf](http://www.faa.gov/airports_airtraffic/airports/planning_capacity/passenger_allcargo_stats/passenger/media/cy05_primary_np_commercial.pdf)

表 4. 貨物取扱量による上位 25 空港

空 港 名	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
Anchorage, AK (Ted Stevens Anchorage International) <sup>2</sup>	10.8%	10.9%	12.2%	12.3%	13.3%
Memphis, TN (Memphis International)	8.5%	9.6%	12.0%	12.0%	12.0%
Louisville, KY (Louisville International-Standiford Field)	5.3%	5.6%	5.7%	5.7%	5.9%
Miami, FL (Miami International)	3.9%	4.3%	4.3%	4.4%	4.6%
Los Angeles, CA (Los Angeles International)	3.9%	4.1%	4.1%	4.3%	4.1%
New York, NY (John F. Kennedy International)	3.7%	3.6%	4.0%	4.0%	3.9%
Chicago, IL (O'Hare International)	2.8%	2.8%	3.0%	3.2%	3.2%
Indianapolis, IN (Indianapolis International)	3.9%	4.4%	3.2%	3.1%	3.1%
Newark, NJ (Newark Liberty International)	2.6%	2.5%	2.4%	2.5%	2.4%
Oakland, CA (Metropolitan Oakland International)	2.4%	2.3%	2.4%	2.3%	2.3%
Fort Worth, TX (Dallas/Fort Worth International)	2.3%	2.2%	2.0%	2.0%	1.9%
Philadelphia, PA (Philadelphia International)	1.9%	2.0%	2.0%	1.9%	1.8%
Ontario, CA (Ontario International)	1.6%	1.8%	2.0%	1.8%	1.8%
Atlanta, GA (William B. Hartsfield International)	1.5%	1.5%	1.6%	1.6%	1.6%
Covington/Cincinnati, OH (Cincinnati/Northern Kentucky International)	1.2%	1.4%	1.4%	1.5%	1.5%
Honolulu, HI (Honolulu International)	0.9%	1.1%	1.3%	1.4%	1.3%
Phoenix, AZ (Sky Harbor International)	1.2%	1.2%	1.2%	1.1%	1.1%
Dayton, OH (James M. Cox Dayton International)	3.0%	2.0%	1.2%	1.1%	1.1%
Denver, CO (Denver International)	1.2%	1.1%	1.1%	1.0%	1.0%
San Francisco, CA (San Francisco International)	1.7%	1.4%	1.4%	1.6%	1.0%
Portland, OR (Portland International)	1.2%	1.1%	1.1%	1.0%	1.0%
Houston, TX (George Bush Intercontinental)	0.6%	0.6%	0.7%	0.9%	0.9%
Minneapolis, MN (Minneapolis-St Paul International/Wold Chamberlain)	0.8%	0.8%	0.8%	0.9%	0.9%
Rockford, IL (Greater Rockford)	0.9%	1.0%	0.9%	0.9%	0.9%
Salt Lake City, UT (Salt Lake City International)	1.0%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%

注) 乗客を乗せている航空機によって輸送された貨物を含まない。

出所) U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Air Carrier Activity Information System (ACAIS) database, All-Cargo Data, available at [http://www.faa.gov/airports\\_airtraffic/airports/planning\\_capacity/passenger\\_allcargo\\_stats/passenger/index as of March 22, 2006](http://www.faa.gov/airports_airtraffic/airports/planning_capacity/passenger_allcargo_stats/passenger/index as of March 22, 2006).

の推移を示す指標である。これによれば、1990年と比較すると2007年前期では40ポイント程度増加している。前述したように、この期間において被雇用者数にはほとんど変化は見られなかったが、流動量では旅客、貨物ともに大きく増加していることが理解される。また、旅客においては2001年9月の同時多発テロの影響による減少も一時的に生じたが、全体的には旅客、貨物ともに1990年から2007年までの平均前月比成長率は約0.25%とほぼ同じペースで市場は拡大を続けてきており、安定成長を続けている。

次に、アメリカにおける2006年の空港利用旅客数で測った上位30空港のランキングが、表3に示されている。最も旅客数が多いのはアトランタ(ハーツフィールド)国際空港で、1年間に4億2千万人の旅客を運んでいる。そして、シカゴ(オヘア)国際空港、ロサンゼルス国際空港、テキサ

ス州ダラス(ダラス/フォートワース)空港、デンバー国際空港と続いている。これらの空港は世界ランクでもトップ10に入る巨大空港である。これら上位30空港はFAAの定義によってハブ空港、特にLarge Hub空港として分類されている空港である。

そして、表4には、貨物取扱量による空港ランキングが示されている。旅客数で計ったマイアミ、ニューヨーク、シカゴ空港等々のLarge Hub空港は貨物輸送においても重要な空港となっていることがわかる。貨物輸送量トップ3は、アンカレッジ、メンフィス、ルイビル空港であり、これらは旅客数ランキングではLarge Hub空港ではないが、貨物輸送における重要なハブ空港となっていることが理解される。アメリカにおいてほとんどの大規模空港は、旅客輸送のハブ空港であり、かつ貨物輸送の重要な拠点にもなっている。けれど

も、ルイビル空港やメンフィス空港のような旅客輸送をほとんど担当しない貨物輸送に特化したハブ空港<sup>1)</sup>が存在している。メンフィス空港は航空貨物輸送大手のFedEx社のハブ空港であり、ルイビル空港はライバルであるUPS社のハブ空港となっている。両社が扱う小口貨物は速達性がビジネスの基幹であり、高効率の輸送ネットワークを必要とする。そのため、アメリカ各地の大小の空港を顧客ニーズに応じて活用し、速達性と効率性を両立するために、小口貨物の限られた経由点を貨物ハブ空港として設置している。貨物の場合、輸送時間の縮小を「1日」をフル活用することによって達成している。つまり、大小の地方空港とハブ空港間の輸送は深夜の時間帯を利用し、ハブ空港の高効率の仕分機能を活用し、翌朝に送り先に届けることが可能となっている。それゆえ、各社はハブ空港を多数設置する必要は無く、仕分機能を持つ巨大な唯一のハブ空港を設置すればよい。したがって、小口貨物の2地点間移動は必ずしも最短距離とはならず、相対的に遠距離になるとしてもハブ空港を経由する。これが旅客との違いであると考えられる。旅客も輸送時間(移動時間)の縮小を目指しているが、深夜便を活用するのではなく、最短距離の航空路線を望んでいる。そのため、大小の各地の空港から最短距離にあるハブ空港を経由しようとする。それゆえ、旅客の場合には複数のハブ空港の設置が必要となる。このような違いが旅客と貨物の輸送には存在していると考えられる。航空貨物の特徴は、旅客便によっても輸送可能であるので、旅客需要の高い路線を経由して輸送される可能性がある。

## 2.2 グラビティモデルの概要

グラビティモデルを用いた航空輸送分野における近年の実証分析の先行研究として、アジア地域の航空輸送ネットワークを分析しているMatsumoto(2007)がある。他方、理論に関する先行研究のサーベイ<sup>2)</sup>として、Deardorff(1995)やEvenett & Keller(2002)がある。グラビティモ

デルは、国際貿易分野において研究蓄積が豊富に有り、近年ではミクロ経済学的精緻化が進んできている。またグラビティモデルを国際貿易だけではなく企業の立地動向にも応用する研究もある<sup>3)</sup>。このような研究は、新経済地理学、あるいは空間経済学の影響を受けており、進出先市場の潜在力やアクセス、産業集積度、賃金水準、2国間距離などを決定要因として分析している。標準的なグラビティモデルを国際貿易に適用した場合、グラビティ方程式は次の数式(1)として表される。

$$T_{ij} = A \frac{Y_i Y_j}{D_{ij}} \quad (1) \text{式}$$

ここで、 $T_{ij}$ は*i*国から*j*国への輸出量、 $Y$ はそれぞれの国(*i, j*国)の国民所得水準、 $D_{ij}$ は*i*国と*j*国間の距離を示している。そして $A$ は定数項である。このグラビティ方程式は、2国の所得水準がより高いところでは、輸出量がより大きくなるが、その反面2国間の距離が遠くなるにつれ、輸送コストが高くなるので輸出量が減少する、という関連性を示している。

このスタンダードなグラビティ方程式は、国際貿易以外のさまざまな2地点間の経済活動に伴う流動量を分析するためにも利用されている。たとえば、企業の移出入、自動車等の交通量、情報移動量などが代表的な応用例であろう。

本稿で取り上げている航空輸送量を対象とするグラビティモデルは、先行研究において経済学的な決定要因の分析だけでなく、Ceha & Ohta(1997)やGrosche et al.(2007)のように航空需要の予測に用いられることもある。これらのモデルは経済学における需要面を分析しており、需要量を予測し最適な供給量をシミュレートすることを目的としている。つまり、路線の改廃や空港キャパシティの拡充など、航空政策やインフラ整備計画と密接に関連している。その意味ではこのような研究は経済学の応用であるが、理論的根拠はいまだ明確ではないと言える。これは国際貿易において2国間貿易フローの説明に理論に先行して実

証的にグラビティモデルが用いられてきたことと似た状況である。マイクロ経済学的根拠を持つグラビティモデルが開発されたのは近年である。

Deardorff (1995) は、2 国間の国際貿易フローを分析するために、ヘクシャー＝オリーンモデルに基づいて、2 国間の需要規模と関税等の貿易障壁からグラビティモデルを導出している。輸送コスト、輸入関税など貿易障壁と両国間でホモセティックな需要パターンを想定した需要規模が説明変数となっている。このような理論的な先行研究によって最近では国際貿易分野で実証的なグラビティモデルの研究が進んできている。

ここで、Deardorff (1995) に従って、グラビティモデルの考え方を簡単に説明すると以下のようになる。まず、i 国と j 国という 2 国間 (あるいは 2 地域間) の貿易フローを考えよう。輸送コストが無い場合は、i 国から j 国への輸入額を次のように書くことができる。

$$IM_{ji} = Y_j Y_i / \Sigma Y = Y_j / \Sigma Y \cdot Y_i = s_j Y_i$$

- IM<sub>ji</sub> : j 国の i 国からの輸入額
- Y<sub>i</sub> : i 国の国民所得
- Y<sub>j</sub> : j 国の国民所得
- ΣY : 世界全体の国民所得 (あるいは Y<sup>W</sup>)
- s<sub>j</sub> : j 国の対世界所得シェア

つまり、i 国の所得規模に j 国の対世界所得シェアを乗じた値が j 国の i 国からの輸入額となる。また ij 間の貿易量は j 国の輸入額と輸出額の合計となり、以下のようになる。

$$\begin{aligned} ij \text{ 国間の貿易量 (輸入額+輸出額)} &= IM_{ij} + IM_{ji} \\ &= s_i Y_j + s_j Y_i \\ &= 2 (Y_i Y_j / \Sigma Y) \end{aligned}$$

このように 1 方向の貿易フロー (輸出, あるいは輸入) と双方向の貿易フロー (輸出と輸入の合計値) は上記の方法によって求められるとする。

次に、貿易に伴う輸送コスト (t) を考慮すると次の式を求めることができる。一方向の貿易フローの場合は、

$$IM'_{ji} = \frac{Y_i Y_j}{t \Sigma Y} \quad \text{— (2) 式となる。}$$

- IM'<sub>ji</sub> : 輸送コストを含む j 国の i 国からの輸入額
- t : 輸送コスト

これがシンプルなグラビティモデルと呼ばれている方程式である。これは輸送コストの分だけ、輸入額が少なくなることを示している。このグラビティ方程式を航空輸送に適用した場合は以下のような解釈になる。

航空輸送サービスの消費需要は、経済規模<sup>4)</sup> (あるいは人口規模) のより大きく、かつ移動コスト (移動時間と航空運賃) がより小さい 2 地点間でより増大する、と考えられる。旅客需要の場合は、代替的な交通手段が存在しても、航空輸送の機会費用が小さければ航空輸送が選択されることになる。貨物需要も同様である。ただ、航空輸送はトラック輸送等の陸路や水路の輸送に比べ、輸送品質が高いと考えられる。例えば、精密機器は輸送時の振動が大きいと価値を失うことになってしまう。そこで、輸送品質も考慮にいれて、貨物輸送が選択されるのであろう。旅客は、i 空港から j 空港まで移動したい場合は航空輸送サービスを購入する。旅客間の航空輸送サービスの選好は同一であると仮定する。これにより、ある 2 空港間の旅客数は各都市の所得規模に応じて決定されることになる。このとき、輸送コストが距離に応じて単調増加すると仮定すると、遠距離ほど輸送コストが大きくなり、旅客数を減少させることとなる。空港が所在する都市の所得水準が増加するとその空港を利用する旅客数は増加するが、2 空港間の距離が遠くなるとそれだけ旅客数を減少させることになる。

### 3. アメリカ国内航空輸送のグラビティモデルによる実証分析

アメリカ国内の航空輸送データを利用して、以下のような方法でグラビティモデルを検証してみる。データは、アメリカ運輸統計局 (BTS : Bureau of Transportation Statistics) の T100-Data bank の Domestic Market データを使用している。このデータは、アメリカ国内の空港間の旅客数、貨物量、郵便量、飛行距離等の情報を含んでいる。前述のようにグラビティモデルを推計するためには、各空港がある都市の諸経済変数が必要である。そこで、BEA (Bureau of Economic Analysis) のデータベースから都市人口、一人当たり所得水準などの経済データを利用している。この BTS データの空港所在都市はアメリカ・連邦情報処理標準 (FIPS : Federal Information Processing Standards Publication) で記載されておらず、独自の 5-7 桁の都市コードを使用している。他方で BEA データは FIPS の都市コードに準拠している。そこで、FIPS の都市コードを使用できないために、各データセットに記載されている都市名をキーとしてデータを結合させている。残念ながら、この方法では、BTS データにあるすべての空港所在都市をカバーできていない。そのため、約半分のデータを失っている。本稿の推計モデルでは、2006 年の航空輸送データと 2005 年の都市経済データを使用しており、経済状況が輸送需要に影響を及ぼすまでのラグを 1 年採っている。

#### 3.1 推計モデルの説明

ここでは先行研究と前述したシンプルなグラビティモデルに基づいて、推計モデルを以下のように設定している。つまり航空旅客数と航空貨物量は、離発着空港がある都市の経済規模と空港間距離 (飛行距離) によって決定されると考える。これが基本推計モデル①である。次に、先行研究と同様に都市の人口規模を考慮するため、経済規模を人口規模と一人当たり所得の 2 つの変数に分割

した推計モデルを設定している。これが推計モデル②である。そして、ハブ空港の影響を考察するため、ハブ空港ダミーを各路線の離発着空港に設定している (ハブ空港 = 1, ハブ空港以外 = 0)。また、ハブ&スポークによって構築されているアメリカ国内の航空ネットワークの現状を考慮するために飛行距離によってサンプルを抽出し分析している。

##### ①基本モデル推計式

$$\ln(V_{ij}) = \alpha + \beta_1 \ln(O) + \beta_2 \ln(D) - \beta_3 \ln(\text{Distance}_{ij}) + \beta_4 D\_OHUB + \beta_5 D\_DHUB + \varepsilon$$

$V_{ij}$  : 都市 i から都市 j への旅客 (Passenger),  
あるいは貨物量 (Freight)

O : 空港所在都市経済規模 (Origin)

D : 空港所在都市経済規模 (Destination)

D\_OHUB : Large ハブ空港ダミー (Origin)

D\_DHUB : Large ハブ空港ダミー (Destination)

##### ②経済規模を人口規模と一人当たり所得に分割した (人口・所得水準) モデルの推計式

$$\ln(V_{ij}) = \alpha + \beta_1 \ln(\text{Opop1}) + \beta_2 \ln(\text{Dpop2}) + \beta_3 \ln(\text{OIncome1}) + \beta_4 \ln(\text{Income2}) - \beta_5 \ln(\text{Distance}_{ij}) + \beta_6 D\_OHUB + \beta_7 D\_DHUB + \varepsilon$$

Opop : 空港所在都市人口規模 (Origin)

Dpop : 空港所在都市人口規模 (Destination)

OIncome : 空港所在都市一人当たり所得水準  
(Origin)

DIncome : 空港所在都市一人当たり所得水準  
(Destination)

#### 3.1.1 推計モデルに採用されている各変数の説明

上述の推計モデルで採用されている被説明変数

表5. 説明変数

説明変数		期待される符号条件
空港所在都市人口規模 (O)	LnOpop	+
空港所在都市一人当たり所得水準 (O)	LnOIncome	+
空港所在都市人口規模 (D)	LnDpop	+
空港所在都市一人当たり所得水準 (D)	LnDIncome	+
空港所在都市経済規模 (O)	LnO	+
空港所在都市経済規模 (D)	LnD	+
Large ハブ空港 (O) ダミー	D_OHUB	+
Large ハブ空港 (D) ダミー	D_DHUB	+
各路線の飛行距離	LnDist	-

注) 被説明変数, 説明変数は対数変換している.

O: Origin D: Destination

は, 各路線の航空旅客人数 (LnPass) と貨物輸送重量 (LnF) である. 各説明変数は以下の表5の通りである.

先のグラビティ方程式を用いて2空港間の旅客数の決定要因を推計するために, 出発・到着両空港の所在都市の経済データを利用している. 人口規模, 一人当たり所得水準, ハブ空港ダミー, 飛行距離を説明変数としている. 人口規模, 一人当たり所得水準が高くなれば, それだけ旅客が増加する. また, 旅客はハブ空港を経由して目的地まで移動するので, ハブ空港の利用者数は増加する. ここで使用しているデータは, 旅客の最終目的地を明示的に把握しておらず, 経由地であるハブ空港を出発空港か, 到着空港としている. そのためハブ空港ダミーを出発地, 到着地の両方に設定している. 飛行距離は, BTS データに記載してあるデータを使用している. 飛行距離は, 飛行時間, 旅客運賃の代理変数として使用している. これは, 旅客運賃等の費用が高くなればなるほど, 旅客数が減少すると考えられるからである. 一般に移動距離が長くなれば, 陸路よりも空路を使用すれば移動時間をより短縮することができ効率的である. この意味では, 飛行距離が長くなれば旅客数は増加する傾向になるはずである. けれども, ある程度, 移動距離が長くなると陸路との代替性が失われるであろう. したがって, 空路が唯一の移動手段となる. そのため, 旅客が目的地を限定的に選

択している場合, 運賃に対して非弾力的となる可能性がある. しかしながら, そもそも運賃が高くなるとその移動自体を止める可能性がある. あるいは利用回数を減らすこともあり得る. つまりは, 移動距離がある程度遠くなれば旅客数が減少する. 先行研究において飛行距離は, 符号条件が正になることも多い.

### 3.2 推計結果

表6に推計結果をまとめている. まず, すべての入手可能なデータセットを使用している Basic モデルの推計結果を示している. サンプル数は134,082である. この Basic モデルに加えて, 飛行距離によってサンプルを絞り込んだモデルをいくつか推計している. これは, アメリカ国内航空輸送網はハブ&スポークによって非常に整備されている. 都市間の移動は, 2空港間の移動ではなく経由地を含む3空港を利用する場合も多い. そのため, ハブ&スポークを考慮した実証分析が重要である. 旅客毎, 経由地を含む出発地から目的地までの移動データが利用できることが望ましい. しかしながらこのようなデータは一般に入手可能ではない. そこで, 本研究ではハブ&スポークを考慮するために, 飛行距離によってデータセットを分けて推計している. Basic モデルは全データを含んでおり, このデータに含まれる飛行距離別のサンプル数を表7に示している. これからわか



表 6. 推計結果

	①	②		①	②	
	lnPass	lnPass	lnPass	lnF	lnF	lnF
lnDist	-0.645 (78.74)**	-0.638 (78.01)**	-0.636 (75.43)**	0.46 (33.80)**	0.466 (34.19)**	0.439 (31.90)**
lnO	0.213 (29.96)**		0.522 (106.96)**	0.216 (17.48)**		-0.034 (3.85)**
lnD	0.211 (29.72)**		0.532 (109.35)**	0.139 (11.26)**		-0.12 (13.71)**
d_OHUB	1.213 (62.71)**	1.222 (63.26)**		-0.992 (30.73)**	-0.98 (30.33)**	
d_DHUB	1.254 (64.80)**	1.265 (65.49)**		-1.025 (31.70)**	-1.016 (31.40)**	
lnOpop		0.294 (34.76)**			0.252 (17.27)**	
lnDpop		0.286 (34.00)**			0.203 (13.98)**	
lnOincome		-0.694 (13.62)**			-0.211 (2.35)*	
lnDincome		-0.649 (12.83)**			-0.619 (6.85)**	
Constant	-1.268 (5.37)**	14.994 (21.59)**	-15.635 (88.52)**	-2.076 (5.18)**	8.871 (7.33)**	9.633 (31.66)**
Observations	134,400	134,400	134,400	81,988	81,988	81,988
R-squared	0.19	0.2	0.14	0.04	0.04	0.01

Note) Robust t-statistics in parentheses  
\*significant at 5% level; \*\*significant at 1% level

るように 500 マイルを下回るサンプルが多くなっている。各モデルの推計結果は以下の通りである。また、データセットはクロスセクションで、推計方法は OLS<sup>5)</sup>である。

### 3.2.1 Basic モデル (①) と人口・所得水準モデル (②)

まず、Basic モデル①ではすべての説明変数は統計的に 1% の有意水準である。各都市の経済規模が正、飛行距離は負と期待される符号条件を得ている。ハブ空港ダミーを説明変数としてモデルに加えてみると、離発着空港とも有意に正である。やはり離発着地の経済規模は旅客数を増加させる要因であり、都市間の距離が離れるほど旅客数は減少する傾向にある。つまり、この結果は経済規

表 7. 飛行距離別路線数 (旅客)

距離区分	路線数	Percent	Cum.
100Miles 以下	2,923	2.18	2.18
200Miles 以下	8,236	6.14	8.31
300Miles 以下	12,488	9.31	17.62
400Miles 以下	12,227	9.11	26.73
500Miles 以下	12,703	9.47	36.2
600Miles 以下	11,356	8.46	44.66
700Miles 以下	11,403	8.5	53.15
800Miles 以下	7,828	5.83	58.99
900Miles 以下	8,643	6.44	65.43
1000Miles 以下	7,839	5.84	71.27
1500Miles 以下	19,129	14.25	85.52
2000Miles 以下	9,796	7.3	92.82
3000Miles 以下	9,142	6.81	99.63
4000Miles 以下	492	0.37	100
Total	134,205	100	

模を用いたグラビティモデル理論を支持する結果となる。

次に、各都市の経済規模<sup>6)</sup>を人口規模と一人当たり所得水準に分割して、それぞれを説明変数として推計モデルに加えてみる。実証の先行研究においては所得水準よりも人口規模を説明変数とするケースが多い。このモデル②の推計結果は、グラビティモデルにおいて期待される符号条件を得ているわけではない。離発着空港周辺の人口規模は、先行研究と同様に有意に正であるが、一人当たり所得水準は有意に負になっており、グラビティモデルの理論的予測とは異なっている。つまり、モデル②の推計結果は離発着空港周辺の人口規模が大きく、一人当たり所得が低く、かつ相対的に近距離であるところで旅客数が多くなる傾向にあることを示している。ハブ空港ダミーはモデル①と同様に有意に正であり、旅客を増加させる要因となっている。

このように所得水準は理論的期待と反対の結果であるが、これは一人当たり所得水準データの持つ特性を考えなければいけないであろう。一人当たり所得は対象とする経済地域の平均値であり、例えば個人間に所得格差が大きい場合、一人当たり所得は正確にその地域の消費者の行動を表していない可能性もある。つまり、一人当たり所得が低くとも、地域内の所得格差が大きければ、航空機を利用する潜在的な旅客は十分に存在する可能性がある。一人当たり所得が高くとも、その逆もあり得る。各路線の需要規模の指標としては、ここでも人口規模が期待される結果である。

### 3.2.2 飛行距離別モデル

上述のように、一人当たり所得が期待と違う結果になることはハブ&スポークの航空ネットワークが推計結果に影響を及ぼしている可能性もある。そこでハブ&スポークが航空輸送のグラビティモデルに与えている影響を分析するために、距離別に推計モデルを分けて推計結果を比較してみる。また、理論モデルが示しているように、ある程度

距離と航空運賃が正の相関にあることを想定すると飛行距離は航空運賃の代理変数となる。すなわち、航空運賃の高い遠距離路線では一人当たり所得水準に影響を持つ可能性がある。これらの可能性を考慮するために、飛行距離を1000マイル以上、400マイル以下、300マイル以下、200マイル以下にわけて推計した結果を表8と表9に示している。

まず飛行距離が1000マイル以上のモデルの推計結果では、モデル①、②と比べて各説明変数の符号条件に変化は無く、有意水準も1%と高い。距離も一人当たり所得水準も有意に負になっている。やはり遠距離地間では旅客数は減少する傾向にある。一人当たり所得水準も期待とは違うままである。そこで代わりに経済規模を使用してみると、Basicモデルと同様に有意に正になる。1000マイル以上のサンプル<sup>7)</sup>でも推計結果に違いはない。

次に、400マイル以下、300マイル以下、200マイル以下にわけて推計している。その結果、400マイル以下では飛行距離は有意に負であるが、300マイル以下では有意に正になっている。この理由を直接的に推計できていないが、良く整備されたアメリカ航空輸送網のハブ&スポークにおいて移動に際しハブ空港を経由する必要があることが影響していると推測される。例えば、旅客は最終的な目的地までの最適な航空輸送ルートを達成するために、出発空港からより遠くても、最適なハブ空港を選択している可能性がある。

### 3.3 航空貨物モデル

アメリカ国内の旅客モデルに加えて、ここでは航空貨物モデルもグラビティモデルによって推計している。航空貨物モデルの推計結果においても各説明変数はすべて1%で有意となっている。しかし、各説明変数の符号条件は人口規模と一人当たり所得を除いて、旅客と異なる結果である。つまり飛行距離が正になっており、ハブ空港ダミーが負になっている。離発着空港周辺の一人当たり

表 8. 推計結果 (1000 マイルと 2000 マイルモデル)

	1000 マイル以上				2000 マイル以上			
	① lnPass	② lnPass	① lnF	② lnF	① lnPass	② lnPass	① lnF	② lnF
lnDist	-0.363 (9.05)**	-0.229 (5.54)**	1.249 (20.49)**	1.423 (22.45)**	2.238 (11.93)**	2.383 (12.53)**	4.282 (17.48)**	4.463 (18.23)**
lnO	0.12 (8.58)**		0.087 (3.85)**		0.11 (4.03)**		0.154 (3.59)**	
lnD	0.146 (10.51)**		0.117 (5.16)**		0.067 (2.44)*		0.206 (4.78)**	
d_OHUB	1.341 (38.16)**	1.328 (37.86)**	-0.519 (9.36)**	-0.523 (9.44)**	0.783 (10.69)**	0.778 (10.44)**	-0.752 (6.35)**	-0.751 (6.29)**
d_DHUB	1.346 (38.45)**	1.339 (38.33)**	-0.485 (8.79)**	-0.492 (8.93)**	0.865 (11.81)**	0.844 (11.38)**	-0.651 (5.63)**	-0.721 (6.18)**
lnOpop		0.204 (12.65)**		0.172 (6.65)**		0.152 (4.78)**		0.266 (5.53)**
lnDpop		15.612 (12.72)**	-4.723 (5.48)**	0.22 (8.56)**		-7.638 (2.89)**	-32.399 (14.33)**	0.361 (7.48)**
lnOincome		0.224 (14.09)**		-0.784 (5.48)**		0.123 (3.90)**		-1.316 (4.81)**
lnDincome		-0.783 (8.71)**		-1.02 (7.05)**		-0.387 (2.23)*		-1.649 (6.00)**
Constant	0.433 (-0.82)	-0.712 (8.11)**		12.346 (6.35)**	-16.894 (10.36)**	-0.553 (3.25)**		-2.551 (-0.6)
Observations	38607	38607	24469	24469	9642	9642	7085	7085
R-squared	0.17	0.17	0.02	0.03	0.07	0.07	0.07	0.08

Note) Robust t-statistics in parentheses  
 \*significant at 5% level; \*\*significant at 1% level

表 9. 距離別推計結果 (1000 マイル以下, 400 マイル以下, 300 マイル以下)

	1000 マイル以下		400 マイル以下		300 マイル以下		400 マイル以下		300 マイル以下	
	① lnPass	② lnPass	① lnPass	② lnPass	① lnPass	② lnPass	① lnF	② lnF	① lnF	② lnF
lnDist	-0.61 (50.46)**	-0.62 (51.68)**	-0.072 (2.77)**	-0.069 (2.72)**	0.172 (5.04)**	0.186 (5.52)**	0.348 (17.30)**	0.339 (16.81)**	0.592 (12.79)**	0.594 (12.84)**
lnO	0.251 (29.28)**		0.156 (11.54)**		0.13 (8.03)**		0.267 (18.70)**		0.156 (6.44)**	
lnD	0.237 (27.47)**		0.163 (11.88)**		0.148 (8.94)**		0.158 (11.23)**		0.049 (2.03)*	
d_OHUB	1.225 (50.36)**	1.243 (51.15)**	0.864 (20.13)**	0.877 (20.53)**	0.785 (14.45)**	0.782 (14.46)**	-1.29 (33.56)**	-1.275 (33.02)**	-1.734 (22.81)**	-1.744 (22.96)**
d_DHUB	1.162 (48.08)**	1.178 (48.78)**	0.868 (20.41)**	0.882 (20.84)**	0.83 (15.36)**	0.835 (15.52)**	-1.23 (32.23)**	-1.213 (31.67)**	-1.54 (21.03)**	-1.541 (20.96)**
lnOpop		0.335 (32.54)**		0.253 (15.13)**		0.226 (11.39)**		0.303 (17.77)**		0.271 (9.03)**
lnDpop		0.315 (30.46)**		0.252 (14.94)**		0.23 (11.58)**		0.22 (13.02)**		0.099 (3.32)**
lnOincome		-0.726 (11.40)**		-0.914 (8.56)**		-0.924 (7.02)**		-0.2 (-1.81)		-1.222 (5.34)**
lnDincome		-0.689 (10.83)**		-0.807 (7.64)**		-0.713 (5.51)**		-0.593 (5.35)**		-0.505 (2.23)*
Constant	-2.967 (10.49)**	14.698 (17.16)**	-1.37 (3.10)**	17.318 (13.02)**	-1.531 (2.98)**	15.929 (9.90)**	-2.905 (6.48)**	8.488 (5.79)**	1.525 (2.13)*	19.416 (8.01)**
Observations	95522	95522	35741	35741	23405	23405	57329	57329	16744	16744
R-squared	0.20	0.20	0.10	0.11	0.1	0.1	0.04	0.04	0.09	0.09

Note) Robust t-statistics in parentheses  
 \* significant at 5% level; \*\* significant at 1% level

所得水準は航空貨物モデルにおいても負になっている。この推計結果は、航空貨物量は人口規模が多い都市で多くなり、所得水準の高い都市やハブ空港では少なくなる傾向にある、ことを示している。たしかに航空貨物のハブ空港<sup>8)</sup>は旅客のハブ空港とは異っており、この結果は当然であろう。また、航空貨物の輸送料は、旅客の運賃と比べれば安く所得水準にあまり影響を受けていない可能性もある。飛行距離が正になっているが、これは先行研究でも飛行距離が正となる報告もある(Matsumoto, 2007)。貨物は、送り先が遠くなれば航空輸送のメリットが大きくなる。相対的に近距離であれば、陸送便で代替可能となる場合もあるが、遠距離では代替することは難しい。そのため輸送料金にも左右されるが<sup>9)</sup>、遠距離ほど航空貨物需要が多くなると考えられる。

#### 4. まとめ

本稿の推計結果にあるように、アメリカの国内航空輸送量を決定する要因として、一人当たり所得は有意であるが期待される符号条件ではない。地域の所得水準が高くなるほど利用者が減る傾向にある。一般に航空運賃は距離に応じて高価になるため、遠距離ほど高くなり利用客が減少する。だが、所得水準が高ければ遠距離でも旅客数がそれほど減少しない可能性があるが、期待に反して所得水準は旅客数を減少させる要因になっている。これは座席によって価格が違うことが影響している可能性がある。ここでの分析では、エコノミークラスとそれ以外を同じ扱いにしている。つまり運賃情報が不完全であることが推計結果に影響を及ぼしている可能性を否定できない。経済規模データでは期待される符号条件を得ていることから、総計的な需要規模は旅客数を増加させる要因となっている。より精緻な運賃情報を用いることができれば、推計結果を改善する余地はある。

本稿では、所得水準以外にも飛行距離など先行研究と異なる推計結果を得ている。このような実証的結果だけから、航空輸送に適用したグラビ

ティモデルの有効性を判断することは難しい。これらの結果は、旅客等の消費者が行っている合理的な意思決定プロセスの理論的根拠を明示的に航空輸送のグラビティモデルに取り入れることの必要性を示している。実証面では、価格情報などのデータの利用、経済理論面では消費者の意思決定プロセスの精緻化などが今後の課題である。

(日本大学経済学部准教授)

#### Data Appendix

**Name:** BTS, T-100 Domestic Market (All Carriers)

##### Description

出発空港と到着空港がアメリカ領土内である路線のデータが記載されている。

記載データは航空会社別、座席クラス別の搭乗旅客数、貨物量、郵便量、飛行距離、空港所在都市名およびコードなど32種類。

**Records:** 3,195,764

**Fields:** 32

**First Year:** 1990

**Last Year:** 2007

**Frequency:** Monthly

**Latest Available Data:** July, 2007

#### 注

- 1) 本共同研究グループは、日本大学経済学部経済科学研究所の共同研究の一環としてアメリカの航空貨物輸送のハブ空港を調査に訪れた。UPSとFedExのハブ空港(ルイビル空港、メンフィス空港)でインタビューを実施し、その現地調査報告を井尻(2006)にまとめている。
- 2) 国際貿易におけるグラビティモデルの理論と実証の先行研究に関しては、Feenstra(2003)が詳しい。
- 3) この分野の優れたサーベイとしてHead & Mayer(2004)がある。
- 4) 例えば、Ceha & Ohta(1997)は人口規模を使用しているように、航空輸送量の実証研究では人口規模を使用することが多いようである。
- 5) 統計ソフトはSTATAを使用している。

- 6) 都市  $i$  の経済規模 = 都市  $i$  の人口規模  $\times$  都市  $i$  の一人当たり所得
- 7) 500 マイル以上, 2000 マイル以上でもサンプルを抽出して推計しているが, 推計結果に違いは無く, Basic モデルを支持している.
- 8) 航空貨物大手 FedEx と UPS は, それぞれメンフィス空港とルイビル空港をハブ空港としている. この貨物ハブ空港に関しては井尻 (2006) を参照.
- 9) たとえば日本の輸出金額の 30 % は航空機によって輸送されている. 輸送料を考えれば船舶による輸送が圧倒的に有利である. また航空便と代替的な船舶の路線が存在している. それでも荷主は航空輸送のメリットを認めている. 貿易データに関しては井尻 (2006) 参照.

#### 参考文献

- 井尻直彦 (2006) 「米国の航空貨物ハブ空港からの教訓」『ていくおふ』第 114 号, pp.18-25.
- Ceha, R & H. Ohta (1997) “Prediction of Future Origin Destination Matrix of Air Passengers by Fratar and Gravity Models,” *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 33, Nos. 3-4, pp. 845-848.
- Deardorff, A. (1995) “Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Neoclassical World?” *NBER Working Papers Series* No. 5377, NBER.
- Evenett, S. and W. Keller (2003) “On Theories Explaining the Success of the Gravity Equation,” *Journal of Political Economy*, Vol. 110(2), pp. 281-316.
- Feenstra, R. (2003) *Advanced International Trade: Theory and Evidence*, Princeton: Princeton University Press.
- Grosche, T., Rothlauf, F. and A. Heinzl (2007) “Gravity models for airline passenger volume estimation,” *Journal of Air Transport Management*, Vol. 13, pp. 175-183.
- Head, K. and T. Mayer (2004) “The empirics of agglomeration and trade,” in V. Henderson and J.-F. Thisse (eds), *Handbook of Regional and Urban Economics*, Vol. IV, Amsterdam, North Holland, pp. 2609-2665.
- Matsumoto, H. (2007) “International air network structures and air traffic density of world cities,” *Transportation Research*, Part E 43, pp. 269-282.

