

我が国の主要空港における航空ネットワークとハブ（拠点）性の 定量的評価に関する研究－関西国際空港の活性化に向けた政策提言－

神戸大学大学院海事科学研究科 教授 松本秀暢

本研究の主な目的は、まず、国際航空旅客流動数・貨物流動量の観点から、我が国とアジア地域における主要都市との比較の下で、大阪のハブ（拠点）性を検証することである。そして、我が国の国際拠点空港、およびアジア地域の主要国際空港との比較の下で、関西国際空港の航空ネットワークを評価することである。分析結果からは、中国本土の3都市、および第2階層都市のハブ（拠点）性が上昇すると同時に、それら都市における国際空港の航空ネットワークは、急速に拡大していることが明らかとなった。その一方で、大阪のハブ（拠点）性、および関西国際空港の航空ネットワークは、相対的に小さいことが判明した。

キーワード：重力モデル、NetScan、航空ネットワーク、拠点性、大阪、関西国際空港

1. はじめに

アジア地域では、各国政府が大規模国際空港の整備や既存空港の拡張を推進すると同時に、世界の3大インテグレーターであるFedEx、UPS、およびDHLが、同地域内において、ハブ・アンド・スポーク型航空貨物輸送ネットワークの形成を積極的に展開した結果、国際航空輸送ハブを巡って、国境を越えた都市間競争が起きている。

その一方で、我が国では、東京国際空港の再国際化、低費用航空会社（LCC）時代の到来、あるいは、空港事業運営権の民間売却をはじめ、世界の航空規制緩和と空港民営化の潮流の中で、特に、2010年代に入ってから、大きな転換期を迎えている。そして、アジア諸国を中心としたインバウンド旅客需要の拡大を背景として、現在、国内外の航空会社による新規路線の開設や既存路線の拡充が相次いでいる。

以上のような背景を踏まえた上で、本研究の主な目的は、まず、国際航空流動の観点から、我が国とアジア地域における主要都市との比較の下で、大阪のハブ（拠点）性を検証することである。そして、我が国の国際拠点空港、およびアジア地域の主要国際空港との比較の下で、関西国際空港の航空ネットワークを評価することである。

2. 国際航空流動からみたアジア主要都市における拠点性の検証

2.1 分析対象

図 2.1 は、本研究が分析対象とする地域と都市を示したものである。ここで、分析対象都市については、GaWC（2016）¹⁾において、「Gamma-」以上に位置付けられた都市のうち、2000年から継続的にランク付けされている都市を取り上げた。ただし、データの関係上、深圳を除外した結果、合計15都市となっている。

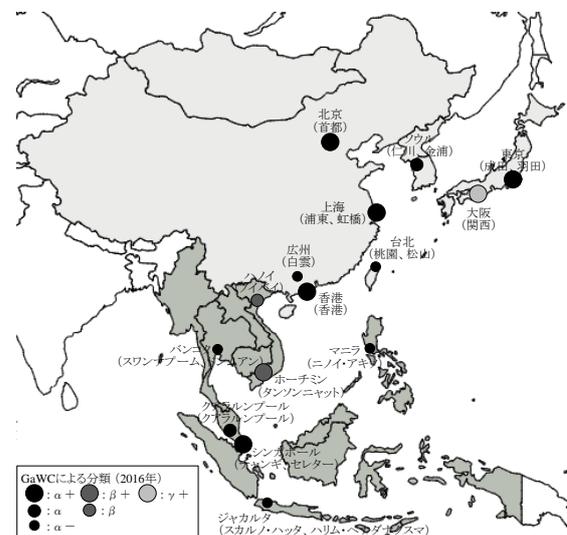


図 2.1 アジア地域と世界都市（2016年）

2.2 分析方法

以下では、アジア地域における都市間国際航空旅客流動数・貨物流動量を説明するために、重力モデルを用いて分析を行う。同モデルは、航空旅客・貨物流動の空間的秩序や法則性、さらには拠点性を明らかにするために利用されることが多い (Matsumoto (2004, 2007)^{2),3)}、Matsumoto et al. (2016)⁴⁾、Matsumoto and Domae (2018, 2019)^{5),6)}。

被説明変数は、都市間国際航空旅客が双方向で1万人以上の都市ペアの流動数、そして都市間国際航空貨物が双方向で100トン以上の都市ペアの流動量であり、図2.1で示したアジア地域を出発地、あるいは到着地とする全ての都市ペアを分析対象とした。そして、各都市が属する国の1人当たり実質GDP、都市圏人口、および都市間距離を説明変数とし、さらに、都市の拠点性を検証するために、図2.1で示した合計15都市に対して、都市ダミー変数を導入した。

ここでは、同変数のパラメーター推定値の大きさによって、国際航空輸送からみたアジア主要都市のハブ(拠点)性を、定量的に評価する。同時に、新空港の開港やインテグレーターハブの開設が、都市の拠点性に与える影響も検証する。

以上を踏まえて、(1)式のようにモデルを特定化し、対数変換した上で、最小2乗法によって各パラメーターの推定を行った。

$$T_{ij} = A \frac{(G_i G_j)^\alpha (P_i P_j)^\beta \exp(\alpha C_1) \exp(\alpha C_2) \exp(\alpha C_3) \dots \exp(\alpha C_{13}) \exp(\alpha C_{14}) \exp(\alpha C_{15})}{(D_{ij})^\gamma} \quad (1)$$

ここで、

T_{ij} : 都市ij間の国際航空旅客流動数・貨物流動量

G_i : 都市iの属する国の1人当たり実質GDP (2010年価格/USドル換算)

G_j : 都市jの属する国の1人当たり実質GDP (2010年価格/USドル換算)

P_i : 都市iの都市圏人口(千人)

P_j : 都市jの都市圏人口(千人)

D_{ij} : 都市ij間の距離(km)

$C_1 \sim C_{15}$: 都市ダミー変数 (C_1 : シンガポール、 C_2 : 香港、 C_3 : 北京、 C_4 : 東京、 C_5 : 上海、 C_6 : ソウル、 C_7 : クアラルンプール、 C_8 : ジャカルタ、 C_9 : バンコク、 C_{10} : 台北、 C_{11} : 広州、 C_{12} : マニラ、 C_{13} : ホーチミン、 C_{14} : ハノイ、 C_{15} : 大阪)

A: 定数項

2.3 分析結果

2.3.1 2016年の推定結果

表2.1は、2016年における分析結果を示したものである。本モデルの適合度は相対的に良好であり、説明変数についても、大阪を除く全ての変数が1%水準で有意であることから、本モデルは、域内を含むアジア地域発着の国際航空旅客・貨物流動パターンを、かなりの程度、説明していると判断できるだろう。

各説明変数のパラメーター推定値については、まず、GDP、人口、および距離のパラメーター推定値は相対的に小さく、同地域における都市間国際航空旅客流動数・貨物流動量を説明する上で、これら基本的な3変数の重要性は小さいといえる。また、貨物に関する距離の推定値はマイナスとなっており、これは、インテグレーターによるハブ・アンド・スポーク型輸送ネットワーク・システムの影響を反映した結果であると考えられるだろう。

次に、都市ダミー変数については、全都市がプラスを示しており、すなわち、基本3変数で説明される以上の国際航空旅客流動数・貨物流動量の発着地となっているといえる。そして、旅客については、クアラルンプール、香港、バンコク、およびマニラの拠点性が、貨物に関しては、香港、上海、ハノイ、バンコク、ソウル、ホーチミン、および広州の拠点性が大きいと判断できる。これらの都市のうち、クアラルンプール、香港、上海、ソウル、広州、およびバンコクでは、2000年前後に新空港が開港している。同時に、貨物については、ベトナム2都市を除いた全ての都市において、3大インテグレーターのうちいずれかが貨物ハブを開設している。このように、都市ダミー変数は、基本3変数では説明できない都市の一面を明らかにしているといえる。

表2.1 2016年における推定結果

変数	GalV (2016年)	旅客				貨物			
		非標準化係数	標準化係数	t値	Sig.	非標準化係数	標準化係数	t値	Sig.
定数項	GA	6.80	0.60	11.28**	0.00	-5.03	1.11	-4.50**	0.00
GDP	α	0.18	0.02	0.24	7.58**	0.00	0.36	0.04	8.32**
人口	β	0.10	0.02	0.12	3.99**	0.00	0.17	0.04	0.13
距離	γ	0.16	0.04	0.12	4.41**	0.00	-0.21	0.06	-0.11
シンガポール	Alpha +	0.83 (2.30)	0.17	0.13	5.02**	0.00	0.67 (1.94)	0.25	0.08
香港	Alpha +	1.34 (3.83)	0.12	0.32	11.21**	0.00	2.12 (8.32)	0.18	0.39
北京	Alpha +	0.93 (2.52)	0.13	0.21	7.4**	0.00	1.40 (4.04)	0.20	0.22
東京	Alpha +	0.99 (2.69)	0.14	0.22	6.86**	0.00	1.46 (4.31)	0.22	0.24
上海	Alpha +	1.09 (2.97)	0.13	0.24	8.33**	0.00	2.08 (8.00)	0.21	0.31
ソウル	Alpha +	1.06 (2.87)	0.11	0.28	9.32**	0.00	1.85 (6.35)	0.18	0.35
クアラルンプール	Alpha +	1.83 (6.23)	0.15	0.32	12.38**	0.00	3.01 (7.24)	0.24	0.12
ジャカルタ	Alpha +	0.80 (2.23)	0.21	0.10	3.82**	0.00	0.90 (2.47)	0.32	0.08
バンコク	Alpha +	1.32 (3.74)	0.12	0.32	11.24**	0.00	1.91 (6.77)	0.19	0.32
台北	Alpha +	1.03 (2.79)	0.22	0.12	4.59**	0.00	1.12 (3.06)	0.32	0.10
広州	Alpha +	0.95 (2.57)	0.15	0.17	6.56**	0.00	1.56 (4.75)	0.24	0.19
マニラ	Alpha +	1.13 (3.10)	0.16	0.19	7.14**	0.00	0.96 (2.61)	0.25	0.12
ホーチミン	Beta +	0.94 (2.56)	0.18	0.13	5.12**	0.00	1.71 (5.53)	0.30	0.17
ハノイ	Beta +	1.02 (2.78)	0.20	0.14	5.24**	0.00	1.95 (7.01)	0.31	0.18
大阪	Gamma +	0.22 (1.25)	0.16	0.04	1.43	0.15	0.36 (1.43)	0.24	0.05
Adj R ²				0.40					0.38
観測数				1,048					884

注1) **は1%水準で、*は5%水準で有意を表す。
注2) []内の数値は、eを“都市ダミー変数のパラメーター推定値”乗した数値、すなわち、国際航空輸送からみた都市の拠点性を表す。

2.3.2 時系列的変化（1982年－2016年）

これらの各パラメーター推定値の大きさが、どのように推移してきたかを検証するために、1982年から2015年までの34年間の都市間国際航空旅客流動数・貨物流動量に対しても、重力モデルによる分析を行った。推定結果は、1982年の各パラメーター推定値を1と基準化した上で、旅客は図2.2に、そして貨物については図2.3に示されている。

まず、基本3変数については、特に、距離のパラメーター推定値に焦点を当てると、分析対象期間中に大きく低下していることが観察される。これは、距離が移動抵抗として小さくなってきていることを意味しており、国際航空輸送分野におけるハブ・アンド・スポーク・システム（HSS）の進展や、LCCの興隆の影響が表れていると解釈できる。同時に、航空機の技術革新が進行した結果、飛行時間の短縮が図られていることも、距離のパラメーター推定値に、影響していると考えられる。

次に、都市ダミー変数については、「Alpha+」都市の中では、上海、北京、および香港が大きく上昇しており、特に、旅客と貨物ともに、上海の拠点性の上昇が顕著であることが観察される。これら5都市に次ぐ「Alpha」都市については、多少の上下変動はあるものの、基本的に上昇基調にあり、特に、旅客におけるクアラルンプールの拠点性が大きくなっていることが分かる。「Alpha-」都市に関しては、旅客および貨物ともに、広州とバンコクが上昇基調にあり、特に、広州の拠点性が急激に上昇している。そして、「Beta」および「Gamma」都市については、旅客におけるホーチミンの拠点性上昇が顕著であり、貨物におけるホーチミン、ハノイ、および大阪についても、基本的に上昇傾向にあることが分かるだろう。

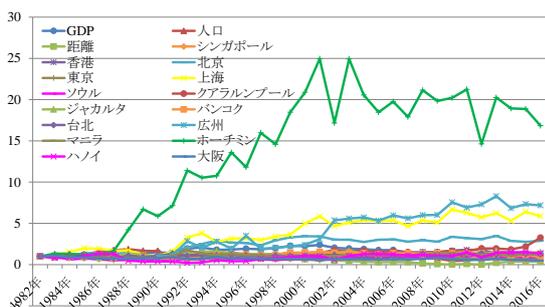


図 2.2 都市間国際航空旅客流動における決定要因の時系列的推移（1982年=1）

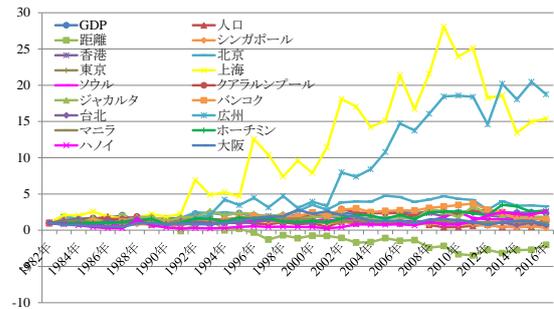


図 2.3 都市間国際航空貨物流動における決定要因の時系列的推移（1982年=1）

3. アジア主要国際空港における航空ネットワークの評価

3.1 分析対象

以下では、図3.1に示すように、航空ネットワークを4タイプに類型化する。

- ①ダイレクト・コネクション（直行便）
出発地（A）と目的地（B）を直接結ぶフライト
 - ②インダイレクト・コネクション（経由便）
経由地（X）での乗り換えを伴う、出発地（A）と目的地（B）を結ぶフライト
 - ③オンワード・コネクション（乗継便）
経由地（B）で乗り継いで、出発地（A）と目的地（D）を結ぶフライト
 - ④ハブ・コネクション（接続便）
経由地（A）で接続する、出発地（C）と目的地（B）を結ぶフライト
- ダイレクト・コネクションとインダイレクト・コネクションは、空港の（潜在的な）目的地数の評価、そしてハブ・コネクションは、空港のハブとしての評価といえる。

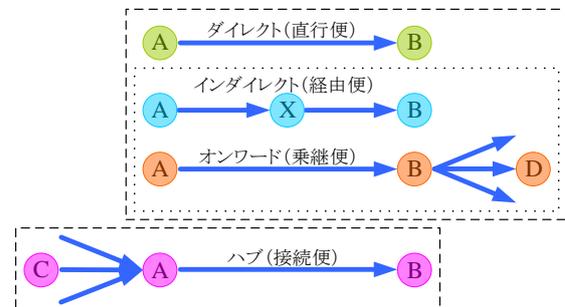


図 3.1 航空ネットワークの類型化

分析対象空港は、我が国の国際拠点空港である成田国際空港、東京国際空港、関西国際空港、および中部国際空港である。そして、アジア地域の主要11国際空港（仁川国際空港、北京首都国際空港、上海浦東国際空港、広州白雲国際空港、香港国際空港、台湾桃園国際

空港、成田国際空港、スワンナプーム国際空港、クアラルンプール国際空港、シンガポール・チャンギ国際空港、およびスカルノ・ハッタ国際空港) についても、我が国における国際拠点4空港との比較対象として取り上げた。

3.2 分析方法

ここでは、NetScan モデルによってインダイレクト・コネクションとハブ・コネクションの質を定量化し、理論上のダイレクト・コネクションに転換する (Burghouwt and Veldhuis (2006) ⁷⁾、De Wit et al. (2009) ⁸⁾、Burghouwt et al. (2009) ⁹⁾)。図 3.2 は、NetScan モデルの概要を示している。

まず、第1段階として、OAGのフライト情報から、ダイレクト・コネクションを検索する。そして、このダイレクト・コネクションから、最小/最大接続時間を設定した上で、インダイレクト・コネクションとハブ・コネクションを構築する。ここで、最大接続時間は一律420分、最小接続時間については、国内路線同士は30分、国内路線・国際路線同士と国際路線同士は45分と設定したが、世界の上位50空港に関しては、公表されている実際の最小接続時間を採用した。

次に、第2段階として、全てのコネクションに対して、0から1の間でクオリティー指数を割り当てる。ノンストップであるダイレクト・コネクションには、最大クオリティー指数である1が割り当てられる。インダイレクト・コネクションとハブ・コネクションについては、乗換時間や迂回飛行に伴う追加的な旅行時間を反映して、クオリティー指数は1未満となる。そして、総旅行時間がある閾値を超えた場合、インダイレクト・コネクションとハブ・コネクションのクオリティー指数は0となる。ここで、インダイレクト・コネクションとハブ・コネクションの閾値は、当該2空港間における理論上のダイレクト・コネクションの飛行時間によって決まる。理論上のダイレクト・コネクションの飛行時間は、出発地と目的地の地理的位置、飛行速度、および離陸と着陸に必要な時間によって決定される。さらに、同モデルでは、乗り換えに伴って発生する物理的/心理的な負担を考慮し、乗換時間にこれらの費用を反映したペナルティーを科す。最終的に、クオリティー指

数と当該2空港間の便数を掛けることによって、コネクティビティー・ユニット (CNU)、すなわち、理論上のダイレクト・コネクション数が算出される。

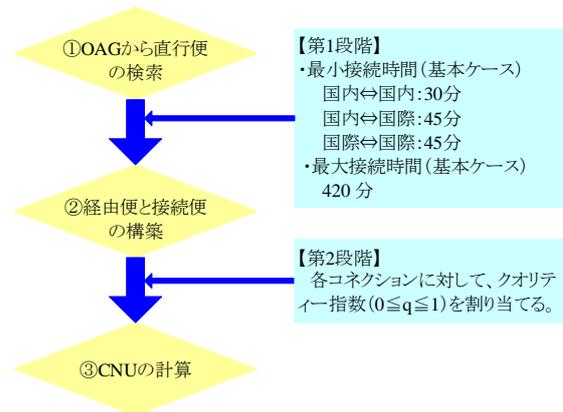


図 3.2 NetScan モデルの概要

3.3 分析結果

3.3.1 航空ネットワークの比較

図 3.3 は、2017年9月第3週における分析対象15空港のダイレクト・コネクション、インダイレクト・コネクション、およびハブ・コネクションの大きさを示したものである。

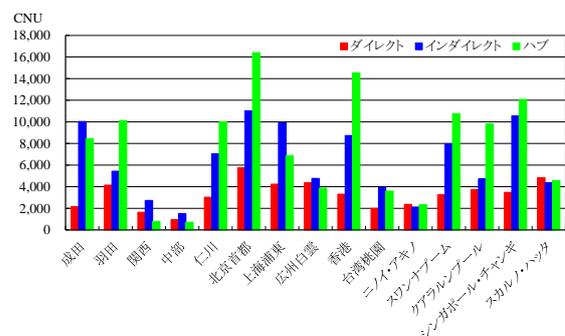


図 3.3 日本の国際拠点空港とアジア主要国際空港における航空ネットワークの比較

まず、我が国の国際拠点空港については、成田のインダイレクト・コネクションとハブ・コネクション、そして羽田のハブ・コネクションが絶対的に大きい一方で、関西と中部においては、全てのコネクションを通して、極めて小さいことが観察される。

次に、比較対象であるアジア地域の主要国際空港に関しては、まず、ダイレクト・コネクションについては、北京首都、広州白雲、上海浦東、および香港の中国主要4空港が顕著であった。その他、アセアン主要4空港(スカルノ・ハッタ、クアラルンプール、シンガポール・チャンギ、およびスワンナプーム)、

そして仁川も多いことが分かるだろう。インダイレクト・コネクションについては、成田以外には、北京首都とシンガポール・チャンギが 10,000 CNU を上回っていた。一方、ハブ・コネクションについては、羽田以外には、北京首都、香港、シンガポール・チャンギ、さらには、スワンナプームと仁川が 10,000 CNU を超えていた。

3.3.2 航空ネットワークの拡大

表 3.1 は、分析対象 15 空港におけるダイレクト、インダイレクト、およびハブの各コネクションについて、2001 年から 2017 年までの増加率を示したものである。

最も高い増加率は、全てのコネクションを通して、中国本土の主要 3 空港で観察された。特に、上海浦東におけるハブ・コネクションの増加は顕著であり、北京首都のハブ・コネクション、そして広州白雲のインダイレクト・コネクションとハブ・コネクションについても、大きく増加していることが分かる。この背景としては、中国経済の急成長に加えて、各空港を拠点に運航している航空会社のアライアンス加盟が挙げられる。例えば、北京首都をハブとする中国国際航空は、2007 年にスターアライアンスに加盟した。また、広州白雲をハブとする中国南方航空、および上海浦東をハブとする中国東方航空は、各々、2007 年と 2011 年にスカイチームに加盟した。さらに、上海浦東は 1999 年に、そして広州白雲は 2004 年に開港しており、それに伴う空港容量の増大が、これら 2 空港における航空ネットワークの拡大に寄与したといえる。

一方、我が国の国際拠点空港については、2010 年 10 月に再国際化した羽田における航空ネットワークの急速な拡大が顕著である。同空港のインダイレクト・コネクションは、分析対象 15 空港の中でも 2 番目に増加しており、ハブ・コネクションについても、中国本

表 3.1 日本とアジア地域の主要国際空港における航空ネットワークの拡大率(単位:%)

	ダイレクト・コネクション			インダイレクト・コネクション			ハブ・コネクション		
	2001-2009	2009-2017	2001-2017	2001-2009	2009-2017	2001-2017	2001-2009	2009-2017	2001-2017
成田	31	33	75	9	11	19	155	12	189
羽田	28	31	67	37	1,793	2,494	115	656	1,528
関西	-18	68	39	-46	25	-32	-31	21	-17
中部	8	13	22	-14	4	-11	-1	60	58
仁川	71	85	218	25	58	98	206	102	521
北京首都	126	21	173	100	108	314	870	21	1,079
上海浦東	311	70	598	196	106	510	3,046	312	12,876
広州白雲	166	36	262	769	251	2,955	380	1,093	5,630
香港	22	45	77	13	50	69	121	121	387
台湾桃園	9	69	85	-27	166	94	19	135	179
インドアキノ	53	36	108	-15	65	40	139	68	303
スワンナプーム	30	36	78	7	34	43	32	122	192
クアラルンプール	92	66	218	37	95	168	42	86	164
シンガポール・チャンギ	31	46	92	-1	49	47	33	69	126
スカルハット	88	106	288	51	147	273	157	210	697

土の 3 空港を除けば、充実した国内路線と新たに開設された国際路線の接続が実現した結果、極めて高い増加率を記録した。

その一方で、成田、関西、および中部のインダイレクト・コネクション、そして関西のハブ・コネクションは減少しており、その原因の 1 つとして、2010 年における日本航空の経営破綻に伴う路線縮小が挙げられる。

3.3.3 路線別航空ネットワーク

図 3.4 および図 3.5 は、2001 年、2009 年、および 2017 年の各年 9 月第 3 週における関西国際空港のダイレクト・コネクションとインダイレクト・コネクションの合計値 (CNU)、すなわち、(潜在的な) 目的地数、およびハブ・コネクション (CNU) について、路線別にその推移を示したものである。図 3.4 からは、関西の北アメリカ路線は縮小しているものの、アジア路線が拡大していることが分かる。そして、図 3.5 からは、オセアニア、ヨーロッパ、および北アメリカの各路線におけるハブ・コネクションは減少しているものの、国内路線とアジア路線では、順調に増加していることが観察されるだろう。

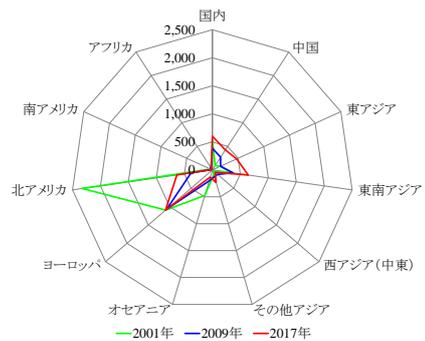


図 3.4 関西国際空港における路線別(潜在的)目的地数の推移(単位:CNU)

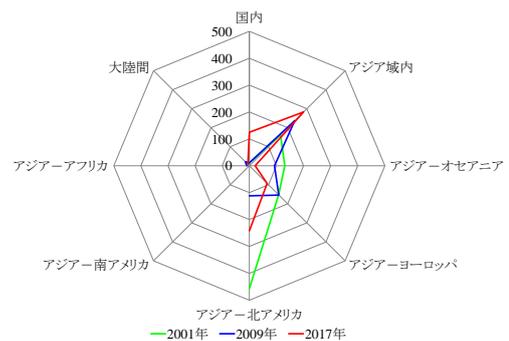


図 3.5 関西国際空港における路線別ハブ・コネクションの推移(単位:CNU)

4. おわりに

本研究の成果をまとめると、以下の6点を指摘できるだろう。

1. 重力モデルによる2016年の分析結果からは、旅客については、クアラルンプール、香港、バンコク、マニラ、上海、ソウル、および台北の拠点性が、貨物に関しては、ハノイ、上海、香港、バンコク、ホーチミン、ソウル、および広州の拠点性が大きいことが明らかとなった。大阪については、基本3変数で説明される以上の国際航空旅客流動数・貨物流動量の発着地となっていたが、他都市と比較して、その拠点性は大きくはなかった。
2. 1982年から2016年までの35年間における時系列的考察からは、中国4都市の拠点性が大きく上昇しており、特に、上海と広州における貨物の拠点性上昇が顕著であった。そして、ソウルやバンコク、クアラルンプールをはじめ、第2階層都市が、急速に拠点性を上昇させていることが判明した。大阪についても、基本的に上昇傾向にあることが観察された。
3. 新空港の開港には、旅客と貨物における都市の拠点性を向上させる効果が、インテグレーターによる貨物ハブの開設には、貨物における都市の拠点性を向上させる効果が認められた。大阪に関しては、関西が開港した1994年以降の数年間において、貨物における拠点性が上昇していた。その一方で、2014年に開設されたFedExの北太平洋地区ハブの効果は、現時点では、明確には認められなかった。
4. NetScanモデルによる分析結果からは、中国本土の3空港をはじめ、アジア地域における主要国際空港の航空ネットワークは急速に拡大している一方で、我が国における国際拠点空港の航空ネットワークは、相対的に縮小していることが明らかとなった。しかしながら、羽田については、再国際化以降、その航空ネットワークは急速に拡大していた。
5. 関西における航空ネットワークに関しては、成田や羽田、あるいは、アジア地域の主要国際空港と比較して、その規模は絶対的に小さく、経年的には、インダイレクト・コネクションとハブ・コネク

ションが減少していた。

6. 関西の路線別航空ネットワークについては、アジア路線において、ダイレクト・コネクションとインダイレクト・コネクションの合計（潜在的な目的地数）が、国内路線とアジア路線において、ハブ・コネクションが増加していた。

謝 辞

本研究に取り組む機会を与えていただきました黒田勝彦理事長をはじめ、一般財団法人関西空港調査会の皆さまに、心より深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) The World According to GaWC (2016) (<https://www.lboro.ac.uk/gawc/world2016t.html>) (2018年8月1日閲覧)
- 2) Matsumoto, H., 2004. International urban systems and air passenger and cargo flows: some calculations. *Journal of Air Transport Management* 10(4), 239-47.
- 3) Matsumoto, H., 2007. International air network structures and air traffic density of world cities. *Transportation Research Part E* 43(3), 269-82.
- 4) Matsumoto, H., Domae, K., O'Connor, K., 2016. Business connectivity, air transport and the urban hierarchy: a case study in East Asia. *Journal of Transport Geography* 54, 132-139.
- 5) Matsumoto, H., Domae, K., 2018. The effects of new international airports and integrator's hubs on the mobility of cities in urban hierarchies: a case study in East and Southeast Asia. *Journal of Air Transport Management* 71, 160-166.
- 6) Matsumoto, H., Domae, K., 2019. Assessment of hub status of cities in Europe and Asia from an international air traffic perspective. *Journal of Air Transport Management*, in press.
- 7) Burghouwt, G., Veldhuis, J., 2006. The competitive position of hub airports in the transatlantic market. *Journal of Air Transportation* 11(1), 106-130.
- 8) De Wit, J., Veldhuis, J., Burghouwt, G., Matsumoto, H., 2009. Competitive position of primary airports in the Asia-Pacific Rim. *Pacific Economic Review* 14(5), 639-650.
- 9) Burghouwt, G., De Wit, J., Veldhuis, J., Matsumoto, H., 2009. Air network performance and hub competitive position: Evaluation of primary airports in East and Southeast Asia. *Journal of Airport Management* 3(4), 384-400.