

日本国際博覧会（大阪・関西万博）に向けた関西圏における
空港の航空旅客・航空貨物取扱量の効率性に関する考察
NTT データ数理システム社 Numerical Optimizer を用いた包絡分析（EDA）

大阪経済法科大学 経済学部 経営学科

山本 裕子・仕田 侑子

（深瀬 澄 研究室 4 年生）

目次

I. はじめに

II. 現状分析

1. 航空旅客
2. 航空貨物

III. 空港の効率性分析

1. 分析の目的
2. 分析に用いたデータ
3. 空港業務における投入資源
4. データ分析の統計手法

IV. 包絡分析（EDA）の結果の考察

1. 投入資源にかかる負荷
2. 投入資源の構成比
3. 生産フロンティアからみた効率性
4. 改善に向けた考察
 - (1)航空旅客・航空貨物
 - (2)航空貨物

V. 総括

I. はじめに

近時の日本では様々な国際的な催し物が開催される予定がある。2019 年に開催された G20 大阪サミットは記憶に新しいが、今後の予定としては、2020 年開催予定の東京オリンピック・パラリンピックや 2025 年開催予定の日本国際博覧会（大阪・関西万博）が挙げられる。これらに伴い、海外と日本・日本国内間など、関係者を含む多くの観光客の往来が見込まれる。その際、大半の人々が利用するのが空港である。

日本政府は訪日外国人旅行者数を 2020 年に 4,000 万人、2030 年には 6,000 万人との目標を掲げており、今後もますます日本を訪れる外国人の数が増えると予想される¹。2025 年開催予定の日本国際博覧会（大阪・関西万博）に向けて、関西圏への空の玄関口となる関西国際空港、大阪国際空港、神戸空港の 3 空港では、増大する航空旅客と航空貨物に対して、現状のキャパシティでは十分に対応しきれなくなる可能性も懸念される。さらに、最近では空港の自然災害に対する対策の見直しの必要性も浮き彫りとなり²、空港をフル稼働させるのは危険であり、稼働率に若干の余力を残しておくことが望ましい。

そこで、本論文では、関西国際空港、大阪国際空港、神戸空港への資源の投入量と、産出量としての取り扱う航空旅客および航空貨物の量的関係から効率性を計測し、処理能力を高めるために必要な取り組みについて考察する。

II. 現状分析

1. 航空旅客

大阪国際空港、関西国際空港、神戸空港における国内線航空旅客量は、2019 年 8 月現在でそれぞれ、1,608,287 人、656,446 人、330,172 人である。大阪国際空港では国内線のみが就航し、また、空港の運用時間には規定があるが³、大阪梅田へのアクセスが良いため、3 空港の中では国内線の乗客の集中している。

一方、関西圏で国際線が就航し、24 時間運用が可能なのは関西国際空港のみのため、インバウンドが多い。国際線利用者のうち、日本人は 822,210 人、外国人 1,380,910 人である。2019 年 8 月における国内全体の訪日外国人の数は 2,520,100

¹注：訪日外国人旅行者数の目標は「観光庁資料（2018 年 12 月 12 日発表）」より引用。

²注：これが明るみになったのは、2018 年 9 月に発生した台風 21 号の日本上陸に伴う関西国際空港の高潮による水没である。また、関西国際空港と対岸を結ぶ連絡橋が破損し、約 3,000 人が一時的に空港内に孤立した。それに伴い、関西国際空港周辺の護岸のかさ上げ工事を実施した。そして、2019 年 9 月に発生した台風 15 号では、首都圏の交通網が麻痺し、成田国際空港が孤立状態になった。そのことを踏まえ、10 月に発生した台風 19 号では、旅客便の受け入れを一時的に停止する事態となった。

³大阪空港周辺住民が、夜 9 時から翌朝 7 時までの航空機の夜間飛行の差し止めを求めて訴訟を起こした。1975 年に大阪高裁は人格権に基づき、差し止め請求を認めたが、1981 年に最高裁は差し止め請求を棄却した。

人であり、そのうち半数近くが関西国際空港を利用しているということになる⁴。

2. 航空貨物

大阪の中小企業等で生産された部品などは最寄りの関西国際空港から国内・海外ともに空輸ができる。

また、貨物専用機も就航しており、大型の貨物も輸送が可能であるため、関西国際空港が最も貨物の取扱量が多い（関西国際空港：62,300 t、大阪国際空港：10,423 t）。一方で、大手企業の工場が集積する京阪神から首都圏へ完成した製品を輸送する場合、大阪国際空港から東京国際空港（羽田）へは2便/時以上が就航しており、さらに主要空港をはじめ、地方空港へも多くの路線が就航しているため日本各地へ輸送する場合は大阪国際空港が多い⁵。

Ⅲ. 空港の効率性分析

1. 分析の目的

2025 年に関西で開催される予定の日本国際博覧会（大阪・関西万博）に向け、航空旅客および航空貨物の取扱量の増加が予測される。そこで、関西圏で操業している空港施設を最大限に有効活用するための方法について、関西国際空港、大阪国際空港（伊丹）、神戸空港の3事例について分析する。また、関西圏で国際線の運用は関西国際空港のみのため、その比較対象として、成田国際空港を例に挙げて比較する。

2. 分析に用いるデータ

関西の3空港、関西国際空港、大阪国際空港（伊丹）、神戸空港に成田国際空港を加えて、各空港における要素投入量に対する航空旅客数および貨物量について、効率性を比較した（表1に示す）。なお、要素投入量には、ターミナル延床面積（ha）、滑走路延長（2本を有する場合は合計、m）、スポット数（箇所）、従業員数（人）を、出力量には、航空旅客数（2019年8月1日～8月31日の期間累計、人）および貨物量（2019年8月1日～8月31日の期間累計、t）を用いた。

⁴注：2019年8月の訪日外国人の数は「日本政府観光局 別・年別統計データ（訪日外国人・出国外国人）2019年8月推計値」より引用。

⁵注 各空港の利用者数・取扱貨物量は「関西エアポート株式会社 ニュースリリース 関西国際空港・大阪国際空港・神戸空港 2019年8月利用状況」より引用

表1 分析に用いた4空港の要素投入量と出力量

入力データ	ターミナル 延床面積	滑走路 延長	スポット数	従業員数	運用 時間	出力データ	航空旅客数	貨物量
関西国際空港	30	7,500	62	17,363	24	関西国際空港	2,877,152	62,300
大阪国際空港	13	4,828	50	5,980	14	大阪国際空港	1,608,287	10,423
神戸空港	2	2,500	10	1,069	15	神戸空港	330,172	1.00E-07
成田国際空港	9	6,500	137	43,271	17	成田国際空港	4,208,294	166,067

出典 「関西エアポート株式会社 ニュースリリース 関西国際空港・大阪国際空港・神戸空港 2019年8月利用状況」および「成田国際空港株式会社 空港の運用状況 2019年成田国際空港運用状況4月-3月(年度)」より筆者作成。

注 神戸空港では航空貨物を扱っていないが、効果を分析するために厳密に0とせず近似値を用いている。

3. 分析に用いる変数と空港業務との関連について

分析で使用するスポットとは、空港内に航空機を駐機するための駐機場のことである。滑走路は離発着時に使用されるが、それ以外に、空港内に航空機を待機させるためのスポット数が効率性に強く影響すると考えられる。

空港では多くの従業員が航空貨物に従事している。従業員の業務内容として、乗客から預かった手荷物の他に、運送業者から預かった貨物・郵便などをパレットやコンテナに積み付けた後に計量し、航空機の側まで搬送して航空機の貨物室に搭載する。業務の例として、受託受付業務、到着引渡業務、搭載計画の作成業務などが挙げられる。また、貨物の中には火薬類、ガス、引火性液体、可燃性物質、酸化物質、毒物、放射性物質、腐食性物質など様々な危険物を取り扱うため、どの位置に何を搭載したのか正確に把握する必要がある。また、航空機はウェイトとバランスが非常に重要な乗り物であるため、計量した重量をもとに制限や規則に基づきながら、航空機内での貨物の搭載位置を決定し、飛行計画書を作成する。労働集約的な業務内容となっている。

分析における延べ床面積は、空港ごとに旅客ターミナルの延べ床面積を足し合わせている。ターミナルの数は大阪国際空港・神戸空港では1棟、関西国際空港では2棟だが、成田国際空港は3棟を有する。

分析における滑走路延長は、各空港が持つ複数の滑走路を足し合わせている。各空港が現在有する滑走路の本数は、神戸空港では1本、大阪国際空港・関西国際空港・成田国際空港では2本である。

4. データ分析に用いた統計手法

データ分析には、SFA (Stochastic Frontier Analysis) とよばれる手法を用いた。SFA は、企業が実際に行う生産と生産可能フロンティアの間に乖離が存在すると想定し、その乖離を非効率性として計測を行う分析手法である。計量経済学系の先行研究では、一次同時の仮定をおいてコブ・ダグラス型の生産関数を用いたり、データを対数変換してから用いているものも見られるが、ここでは、株式会社 NTT データ数理システムの Numerical Optimizer を利用し、線形計画問題的に包絡分析法 (EDA モデル) に当てはめてデータを変換せずにそのまま用いた。

包絡分析法 (EDA モデル) を SIMPLE のプログラムで記述すると表 2 のようになるが、データの登録については、EXCEL アドインと連携させて、シート上の選択範囲より読み込ませた。

表 2 分析に用いた SIMPLE プログラム

```
空港効率性の包絡分析法 (EDA モデル)
// 集合と添字
Set I(name="入力項目集合");
Element i(set=I);
Set J(name="出力項目集合");
Element j(set=J);
Set K(name="空港集合");
Element k(set=K);
Set Kbar(name="対象空港", superSet=K);
Element kbar(set=Kbar);
// パラメータ
Parameter inD(name="入力データ", index=(k,i));
Parameter outD(name="出力データ", index=(k,j));

// 変数
Variable inW(name="inW", index=i); // 入力項目に対する重み
Variable outW(name="outW", index=j); // 出力

// 目的関数
Objective f(name="f", type=maximize);
f = sum(outD[kbar,j]*outW[j], (kbar,j));

// 非負制約
```

```

0 <= inW[i];
0 <= outW[j];

// 制約式
sum(inD[kbar,i]*inW[i],i) == 1;
sum(outD[k,j]*outW[j],j) <= sum(inD[k,i]*inW[i],i);

// 求解
options.method = "simplex"; // 単体法の利用
solve();
// 結果出力
f.val.print();
inW.val.print();
outW.val.print();

```

IV. 包絡分析（EDA）の結果および考察

1. 投入資源負荷の空港間比較

分析には、24 時間空港の効果を比較するため、投入要素には、運行時間（含める/含めない）について 2 通り、出力量には、「旅客人数のみ」と「旅客人数＋航空貨物量」の 2 通りを組合せ、4 つのケースについて空港の功利性を測定した（表 3）。

表 3 分析に用いた入力データおよび出力データの組合せ

	入力データ(投入要素)					出力データ	
ケース1	ターミナル 延床面積	滑走路計	スポット数	従業員数		航空旅客数	
ケース2	ターミナル 延床面積	滑走路計	スポット数	従業員数	運用時間	航空旅客数	
ケース3	ターミナル 延床面積	滑走路計	スポット数	従業員数		航空旅客数	貨物量
ケース4	ターミナル 延床面積	滑走路計	スポット数	従業員数	運用時間	航空旅客数	貨物量

上記表 3 に示した 4 ケースについての分析結果をまとめると以下の表 4 ようになった。

なお、表中の計算結果において、例えば 1.07E-05 とは 0.0000107 を意味し、E-05 は計算エラー等ではなく 10^{-5} のオーダーを示している。これは投入要素のデータの桁数が大きいため、重み付けをする weight の係数が小さくなったためである。

表 4 表 3 による 4 ケースによる包絡分析の結果

weightの計算 航空旅客数の効率性

ケース1

入力データ	ターミナル 延床面積	滑走路 延長	スロット数	従業員数
関西国際空港	0.01202	1.07E-05	5.74E-03	1.14E-05
大阪国際空港	0.04387	3.59E-05	0.00E+00	4.57E-05
神戸空港	0.213696	1.75E-04	0.00E+00	2.23E-04
成田国際空港	0.016766	1.37E-05	0.00E+00	1.75E-05

出力データ	航空旅客数
関西国際空港	3.48E-07
大阪国際空港	6.22E-07
神戸空港	3.03E-06
成田国際空港	2.38E-07

目的 関数値
1
1
1

ケース2

入力データ	ターミナル 延床面積	滑走路 延長	スロット数	従業員数	運用 時間
関西国際空港	0.012947	0.00E+00	6.23E-03	1.08E-05	0
大阪国際空港	0.051045	0.00E+00	0.00E+00	4.76E-05	0.01
神戸空港	0.248646	0.00E+00	0.00E+00	2.32E-04	0.02
成田国際空港	0.019508	0.00E+00	0.00E+00	1.82E-05	0

出力データ	航空旅客数
関西国際空港	3.48E-07
大阪国際空港	6.22E-07
神戸空港	3.03E-06
成田国際空港	2.38E-07

目的 関数値
1
1
1

weightの計算 貨物量を合わせた効率性

ケース3

入力データ	ターミナル 延床面積	滑走路 延長	スロット数	従業員数
関西国際空港	0	0.00E+00	0.00E+00	5.76E-05
大阪国際空港	0.04387	3.59E-05	0.00E+00	4.57E-05
神戸空港	0.213696	1.75E-04	0.00E+00	2.23E-04
成田国際空港	0	0.00E+00	0.00E+00	2.31E-05

出力データ	航空旅客数	貨物量
関西国際空港	5.01E-08	1.37E-05
大阪国際空港	6.22E-07	0.00E+00
神戸空港	3.03E-06	0.00E+00
成田国際空港	0.00E+00	6.02E-06

目的 関数値
1
1
1

ケース4

入力データ	ターミナル 延床面積	滑走路 延長	スロット数	従業員数	運用 時間
関西国際空港	0	0.00E+00	0.00E+00	5.76E-05	0
大阪国際空港	0.051045	0.00E+00	0.00E+00	4.76E-05	0.01
神戸空港	0.248646	0.00E+00	0.00E+00	2.32E-04	0.02
成田国際空港	0	0.00E+00	0.00E+00	2.31E-05	0

出力データ	航空旅客数	貨物量
関西国際空港	5.01E-08	1.37E-05
大阪国際空港	6.22E-07	0.00E+00
神戸空港	3.03E-06	0.00E+00
成田国際空港	0.00E+00	6.02E-06

目的 関数値
1
1
1

まず、24 時間開港の効果について、ケース 1 とケース 2 を入力データ比較すると、運用時間を含めないケース 1 では、滑走路延長の weight に空港間の差が生じており、特に滑走路を 1 本しか有しない神戸空港では負荷が他の 3 空港に比べて高い値となっている。一方、運用時間を含めたケース 2 では、運用時間が短い大阪国際空港と神戸空港において、運用時間に負荷がかかっている。この結果から、航空輸送の実績については、空港の滑走路延長と運用時間は代替関係にあり、物理的には滑走路延長の短さは運用時間を延長することで補える可能性がある。

次に、出力データについて航空旅客数に航空貨物量を加えた場合について考察する。航空旅客のみのケース 1 と航空貨物を加えたケース 3 の入力データを比較すると、航空貨物量の出力が 0 の大阪空港と神戸空港ではターミナル延べ床面積の負荷に変化はみられない。しかし、関西国際空港と成田国際空港では、出力に航空貨物量を加えることで、ターミナル延べ床面積の負荷が低下する一方で、従業員数の負荷が増加している。この結果から、ターミナル延べ床面積は航空旅客に、従業員数は、航空貨物量に影響していることが確認された。

2. 投入資源構成比の空港間比較

さらに、4 空港の入力データについて、物理的な量ではなく、各投入要素（入力データ）に投入 weight を考慮した機能面から比較し、特徴を把握する。なお、投入要素ベクトルと weight ベクトルの内積として評価した値は、いずれも 1（100%）となり、各項の値は機能面からみた投入配分比となる（図 1）。

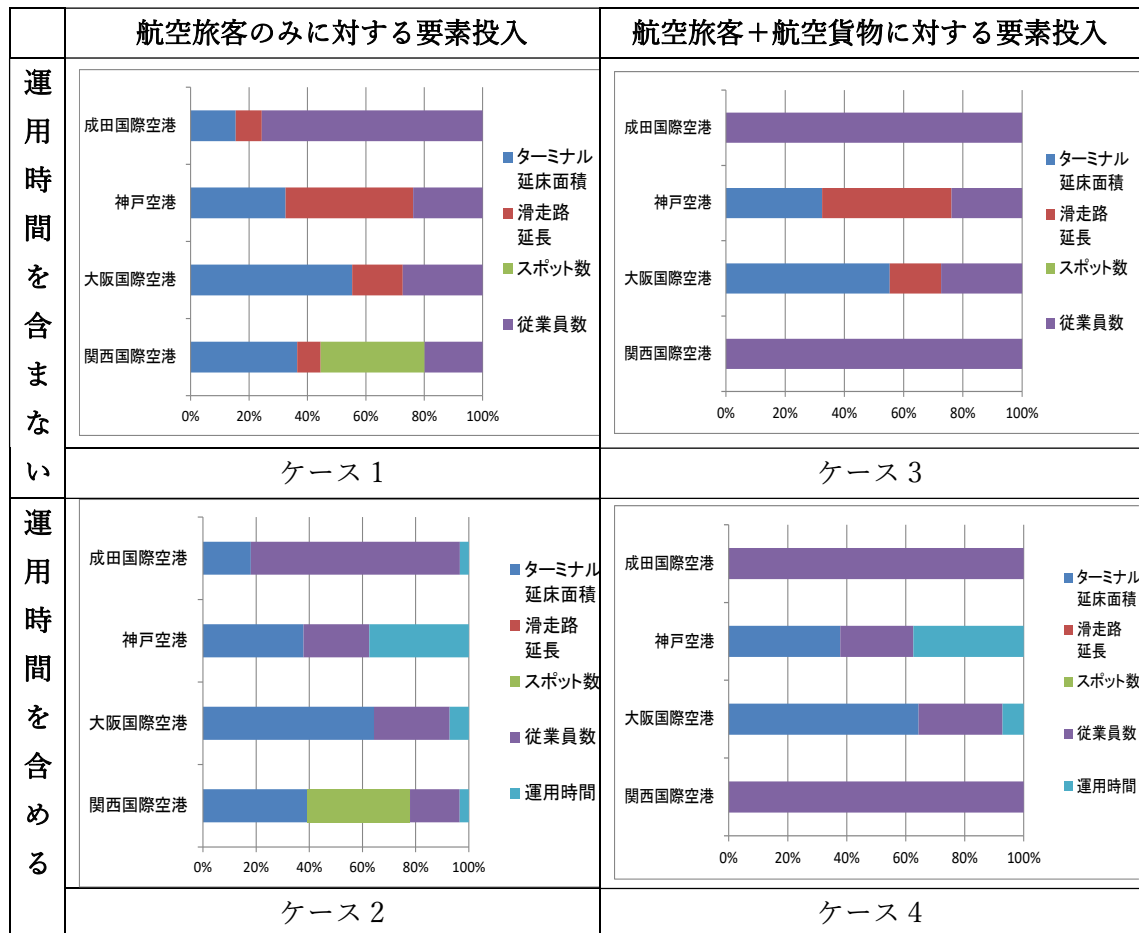
$$SumProduct = \sum_{i=1}^n w_i x_i \equiv 1$$

まず、出力データを航空旅客のみとした場合、ケース 1、ケース 2 では、左端にターミナル延べ床面積（ブルーで示される）がある程度の構成比を占めている。入力データに運用時間を含めないケース 1 では、滑走路延長の構成比（赤色で示される）が大きく、特に 1 本の滑走路を活用する神戸空港では顕著である。しかし、運用時間を含めるケース 2 では、中央の滑走路延長は消滅し、代わって右端に運用時間（水色で示される）がみられるようになり、やはり神戸空港ではこの傾向が顕著である。

次に、出力データ航空貨物を含めた場合、航空旅客数のみとする場合に比べて、関西国際空港と成田国際空港では、従業員数（紫で示される）の投入要素割合が大半を占めるようになる。関西国際空港では、ケース 2 では目立っていたスポット数（緑で示される）が、ケース 4 では消滅している。

以上より、航空貨物を扱うことにより労働集約型の資源投入が必要となるとこと、また、滑走路延長は運用時間により代替可能なことがうかがえる。

図1 ウェイトを考慮した投入要素構成比



3. 生産フロンティアと空港間の効率性比較

最後に、空港間の効率性について、現実性には若干欠けるが、滑走路延長(X)に対する航空旅客数(Y1)と航空貨物量(Y2)とで張られる生産フロンティアを描いて比較する。生産要素を滑走路延長のみに限定する理由は、それ以上の次元にしてしまうと、平面の紙面上に可視化することが困難になるからである。

出力データ：Y1＝航空旅客数、Y2＝航空貨物量

投入要素：X＝滑走路延長

とし、現状の投入産出比率は、1単位の要素投入に対する産出量を示す。

分析結果として、4空港の中で最も滑走路について、効率性が高いのは成田国際空港であった。これを目標とすれば、大阪国際空港では滑走路の効率性を2.2倍に、関西国際空港では1.1倍に改善することができるはずである。しかし、仮に改善が実現したとしても関西国際空港における滑走路延長の効率性は、成田空港や大阪国際空港に及ばない。

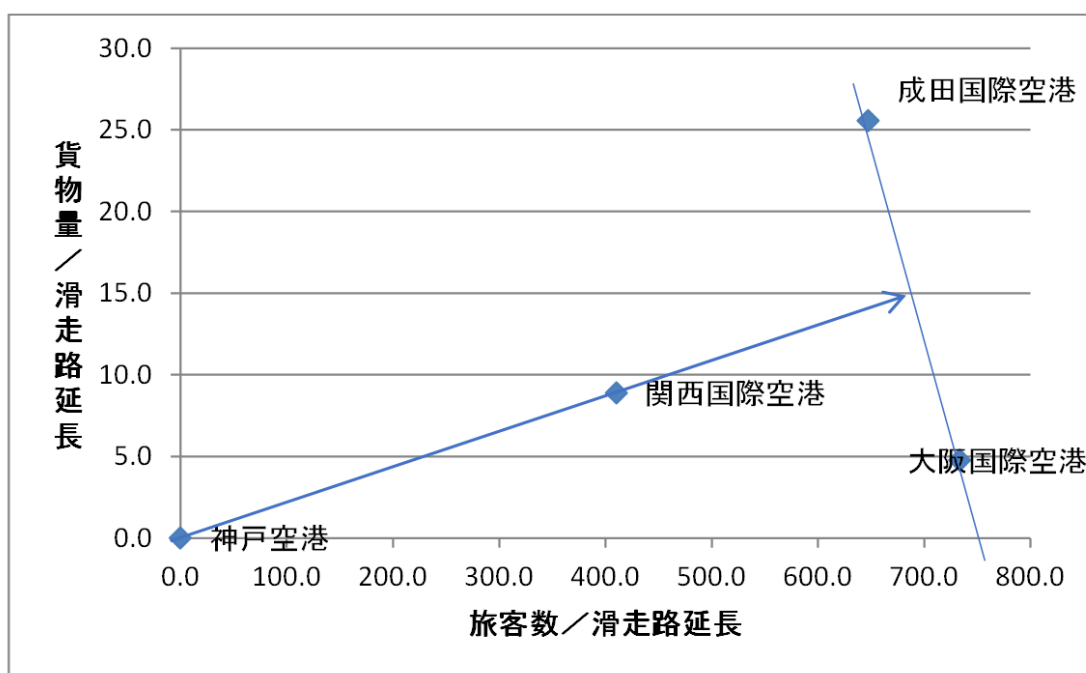
この理由としては、24 時間空港として運営時間が他の空港よりも長いため、相対的に滑走路延長が非効率になるものと考えられる。

表 5 現状の効率性と効率フロンティア

事業体	現状		改善度 η	効率フロンティア	
	Y1/X	Y2/X		η Y1/X	η Y2/X
関西国際空港	383.6	8.3	1.1	410.3	8.9
大阪国際空港	333.1	2.2	2.2	733.5	4.8
神戸空港	132.1	0.0		0.0	0.0
成田国際空港	647.4	25.5	1.0	647.4	25.5

※神戸空港については、航空貨物の取扱がないため、改善度 η が求まらなかった。

図 2 滑走路延長に関する生産フロンティア



4. 効率性の改善に向けた考察

大阪国際空港については、近隣住民との騒音公害をめぐる訴訟問題もあるため、運用時間の拡大による改善は現状では難しい。また、大阪国際空港の場合、埋め立てで作られた人工島ではなく、市街地に位置するため、滑走路延長に伴う、周辺の用地の確保についても困難である。そのため、滑走路延長と代替が可能である運用時間の拡大が最も効率的であると考え、騒音の問題を考えると航空機そのものの改良を含めて思考する必要がある。

また、神戸空港は、海に面した位置に存在するため、騒音や滑走路の増設・延

長に対する問題は発生しにくいと考えられるが、関西国際空港と同様に高潮への懸念がある。交通アクセスを調整する必要があるが、運用時間の延長は比較的に実施し易いであろう。

航空貨物を取り扱う関西国際空港と成田国際空港では、航空貨物取扱量に対して従業員数が十分ではなく、従業員に負荷がかかっている。今後、物流に注力することを踏まえると、まず、人材の確保が必須であると考ええる。

V. 総括

本研究では、2025 年に関西で開催される予定の日本国際博覧会（大阪・関西万博）に向け、関西圏にある空港施設を最大限に有効活用するための方法を分析した。分析結果より、空港施設・規定に対してどのような問題を抱え、改善できる余地があるかを明らかにすることができた。今後、2025 年の日本国際博覧会（大阪・関西万博）に向けて、日本政府が目標に掲げているように、日本・関西を含めた人や物の往来がさらに増大すると考える。

それまでに空港施設や空港を取り巻く環境の改善できる箇所から改善し、そのうえで日本国際博覧会（大阪・関西万博）を迎えることで、日本や関西に対する印象も変化すると考える。また、機材トラブルや地震・台風など緊急時や不測の事態に備えて、24 時間空港はあるに越したことはないが、関西国際空港は現状における効率面からすると、便数の少ない夜間の離発着が影響してあまり効率的であるとはいえない。時間制限を設けて空港を運用すると、より効率性を改善することができると考えられる。

参考文献

石丸清登(2010)『Excel でしっかり学ぶデータ分析』海文堂出版

利根薫(1993)『経営効率性の測定と改善』日科技連

関西エアポート株式会社(2019)「ニュースリリース 関西国際空港・大阪国際空港・神戸空港 2019 年 8 月利用状況」

成田国際空港株式会社 (2019)「空港の運用状況 2019 年成田国際空港運用状況 4 月-3 月 (年度)」

日本政府観光局 (2019)「年別統計データ (訪日外国人・出国外国人) 2019 年 8 月推計値」