

国内航空ネットワークの構築に関する基礎的研究 ー インドネシアの航空事情を踏まえて ー

A Study on Construction of Domestic Air Networks in INDONESIA

森 朝 幸* 榛 沢 芳 雄** 梅 沢 史 章***

by Tomoyuki TODOROKI, Yoshio HANZAWA and Fumiaki UMEZAWA

A domestic air transportation network is important for the economical and industrial development in developing countries such as Indonesia, and for the security, e.g. defense, medical service, et al. Indonesia has special reasons, because the territories are wide and the country is archipelagos which are composed of 13,677 islands.

Improvement of the domestic air transportation networks in Indonesia are proposed in this study.

At first, this research analyzed the situation of air transportation policy, facilities and demands in Indonesia, in order to find some problems.

Next, alternate domestic air transportation networks have been proposed using the concept of the hub & spoke system. And the networks are appraised so as to test feasibility of them, in terms of direct and indirect operating costs.

1. はじめに

インドネシアをはじめ開発途上にある国々では国土の発展、地域開発の促進のため、交通網の整備が急務となっている。航空輸送も幹線交通の一つとして、整備が急がれている。特にインドネシアにとって航空輸送は他交通機関に比べ重要である。その理由を以下にいくつか挙げてみた。

① インドネシアは大小13,677の島からなる世界最大の群島国家であり、陸上交通によるネットワーク形成は技術的・経済的に不可能である。

仮に、主要な5つの島だけを4本の海底トンネルで結ぶことが技術的に可能だとしても、総延長

約2,000kmのトンネルが必要となり、ユーロトンネルの建設費用で換算すると100兆円以上もの巨費を投じることになる。これは、関西新空港程度の大型空港を100港以上整備できる額にあたる。

② 水上輸送より航空輸送が求められている。

インドネシアの国土（国土面積は約200万km²）は東西に長く、海を挟んで東から西までの距離は約5,000kmもあり、アメリカ大陸の幅に匹敵する。この広大な国土ゆえ、長距離を迅速に移動のできる航空輸送の方が水上交通より必要性が高い。特に経済活動にとっては、移動時間の短縮は効果的であり、移動に対する高速化指向はますます進むと考えられる。

③ 医療のための輸送や緊急輸送等の福祉活動や国土の保全・防衛に航空が必要である。

前述の地理的特性がゆえ、例え経済的に見合わない場合でも、迅速性が求められる医療サービスや国土の防衛のために、航空輸送を整備しておく

* 学生員 工修 日本大学大学院 理工学研究科

** 正員 工博 日本大学教授 理工学部交通土木工学科

*** 学生員 日本大学大学院 理工学研究科

（〒274 千葉県船橋市習志野台7-24-1）

必要がある。

以上のような理由により、航空輸送の潜在的需要は大きく、これからますます需要が伸びると考えらる。しかし、開発途上にあるインドネシアでは、空港等の航空関連施設整備が遅れている一方、制度上の問題等から効率的な運用がなされていない。特に航空路線は需要状況に応じて対処的に開設されてきており、航空路線のネットワークは複雑化し、体系的なものではなくなっている。今後、航空事業の規制緩和が進めば戦略的に運用計画を立てることができ、空港等の整備も政策的・戦略的に進めることが必要となる。

そこで本稿では、まずインドネシアの国内航空輸送の概要を整理する。次に、航空ネットワーク形態について整理を行なう。最後に、一般に効率が良いとされるハブ&スポーク型ネットワークをインドネシア国内に適用し、その評価を試みるものである。

2. インドネシアの国内航空輸送^{(a)(b)(c)}

(1) 航空輸送産業の変遷

インドネシアの航空政策は保護主義的であり、フラッグ・キャリアのガルーダ・インドネシア航空（G I A）の育成に力をそそいできた。

政府は1949年にG I Aを設立し、以来G I Aは国際線を中心に運航を行っていた。国内線は空軍によって運航していたが、1962年には政府が設立したメルパチ・ヌサンタラ航空（M N A）に路線を引き継がせた。1978年にM N AはG I Aに吸収され、子会社となり、1980年代はG I Aが約30の主要な都市間の路線を運航し、地方都市へはM N Aが運航をしていたが、1989年になって国内線はG I AからM N Aに移譲されることになり、現在ではG I Aは14都市間の運航を行っているにすぎない。

その他、1960年代に3社、1970年代にチャーター会社が2社設立され、現在7社のエアラインがある。

(2) 航空輸送の整備状況

定期航空便が運航されている空港は、国際空港2港（スカルノハッタ、デンパサール）、準国際空港1港（メダン）、国内空港50港であり、全土にくまなく分布している。

国内航空ネットワークは国営航空会社のG I AとM N Aでほとんどを形成しており、国内航空輸送の

70%強のシェアを占めている。

次に、主要路線の航空運賃を他交通手段と比較して表-1に示した。インドネシアの航空運賃は他交通手段より数倍も高く、一般市民にとって、飛行機は高い乗物となっている。

(3) 航空の利用状況

インドネシアの国内輸送の機関分担を図-1に示す。旅客部門では道路交通が80%以上のシェアを占め、航空はわずかに7%を占めているにすぎない。しかし、日本でも航空のシェアは約4%であり、開発途上国の中でも航空の依存度は高い。貨物輸送は海運が70.5%を占め、地理的特性を反映している。

図-2は1976年を100とした国内の航空輸送実績の推移である。1986年までの10年間で旅客輸送量、貨物輸送量とも約2倍に増加している。しかし総輸送量は旅客、貨物ともに日本の10分の1程度である。

表-1 交通手段別運賃の比較

	路 線	バ ス	鉄 道	船 (海運)	航 空
インドネシア	デンパサール ～ジャカルタ	29	—	—	100
	ジャカルタ ～スラバヤ	15	25	18～49	100
日 本	東京～大阪	52～58	92	—	100
	東京～福岡	59	84	—	100

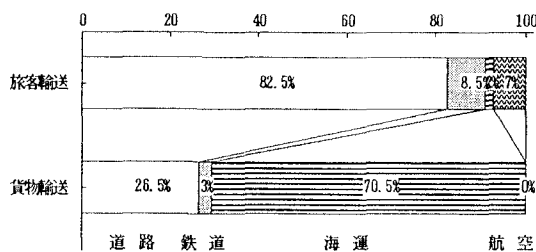


図-1 国内輸送の機関分担 (1984年)

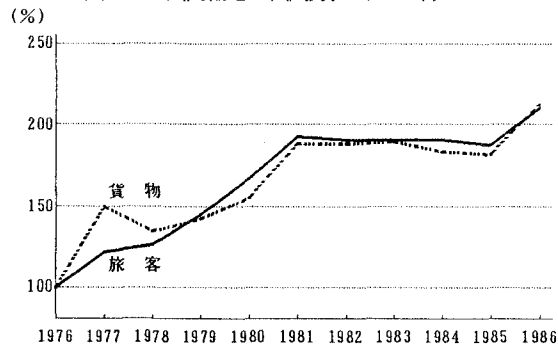


図-2 国内航空の輸送実績の推移

次に、路線別旅客の移動を図-3に示した。これを見ると、ジャカルタを発着とする路線に需要が集中している。特に、ジャカルタ・デンパサール（バリ）、ジャカルタ・スラバヤの各路線では、年間で一方30万人弱の旅客を輸送している。

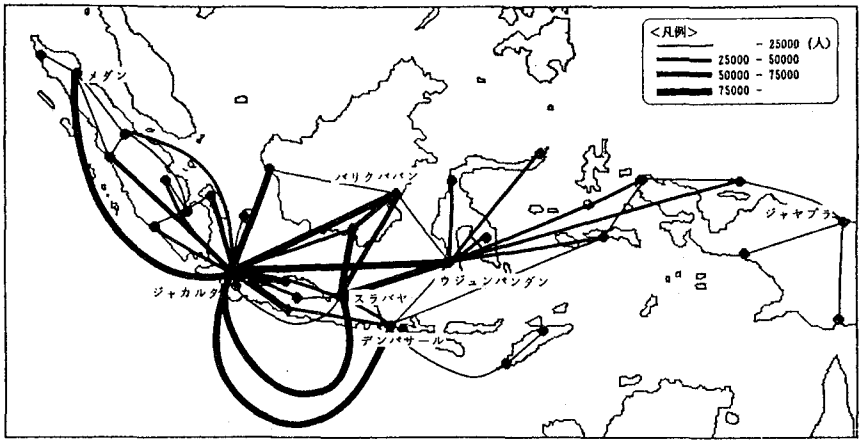


図-3 ガルーダインドネシア航空の国内航空ネットワーク（1984年）

3. 航空ネットワーク形態の整理¹⁾

航空ネットワークの形態は大きく2つに分けられる。一つはロビン&アラウンド型、もう一つはハブ&スポーク型のネットワーク形態である。前者は各空港間をダイレクト便により路線を結ぶものであり、後者はある空港を拠点的に整備し、その空港をハブ空港として、各空港から支線で結ぶものである。アメリカ合衆国等の航空先進国において、規制緩和の実施以降、エアラインにとって運航効率の優れたハブ&スポーク・システムによるネットワークが発達してきた。しかし、日本を始め東南アジア諸国の多くの国々では、需要に応じて順次路線を追加してきた結果、ハブ機能を持った空港が自然的に発生してきており、ハブ&スポーク型とロビン&アラウンド型の混合した複雑なネットワーク形態となっている。

そこで、2つのネットワーク形態の利点と欠点を整理してみた。その内容を表-2に示す。ハブ&スポーク型ネットワークは、少ない路線数で全空港を結ぶことが可能となり、事業者つまりエアラインにとって運航効率を上げることができる。利用者にとっても、どこの地域へでも同じ様に行け、公平性に優れているといったメリットを享受できる。しかし、利用者に迂回を強要するといったデメリットを与える。一方、ロビン&アラウンド型ネットワークは、機材や乗務員等の増設増員が必要となるが、これらの整備が充分に整っている場合には、事業者、利用者ともにデメリットが小さくなり有用である。

表-2 航空ネットワーク形態別の利点と欠点

		利 点	欠 点
ハブ & スポーク 型	利用者	- 便数の増加 → 時間的経路の減少 - 各地域へのモビリティの向上 → 公平性の向上 - 運航効率の向上 → 運賃の低下	- 直行便の減少 → 迂回、長時間の移動の強制 → 乗り換え回数が増加 - ハブ空港の混雑化 → 航空機の発着遅延 - 運賃不均衡 → 同路線でも運賃が異なる
	事業者	- 直行便の減少 → 利用率の向上 → 運航効率の向上 - 整備基地の拠点化 → 整備コストの削減 → 稼働率向上で他社依存を減らす ↓ - 他社の参入排除 ↓ - 自社の市場拡大、強化	- ハブ空港の混雑 → 航空機の発着遅延 → 荷物の紛失、誤搭載 - 競争力の低下、航空会社の衰退、および系列化
ロビン & アラウンド 型	利用者	- 直行便の増加 → 乗り換え回数の減少 → 空港が混雑しない → 航空機の発着遅延の減少	- 事業者の機材、人材の不足 → 路線数、便数の減少 → 迂回の強要
	事業者	- 整備基地の分散化 ↓ - 航空機の発着遅延の減少 ↓ - 利用者の信頼性の向上	- 直行便の増加 → 路線数の増加 → 機材、人材の不足 ↓ - スケジュールの複雑化

4. ハブ&スポーク型航空ネットワークの構築²⁾

(1) 航空ネットワーク構築の考え方

前節で述べたように2つのネットワーク形態には、それぞれ利点と欠点があるが、本研究では、施設整備が遅れぎみであるインドネシアの航空事情を踏まえて、運航効率の良いとされるハブ&スポーク型ネットワークを適用することを試みた。その手順を以下に示す。

- ① ハブ&スポーク型ネットワーク構築モデルにより、ハブ空港が1つの場合（シングル・ハブ・ネ

ットワーク)を構築する。

② シングル・ハブ・ネットワークをもとに、第2、第3、…のハブ空港を配置することにより、ハブ空港間をダイレクト便で結ぶようにネットワークを改良していく(マルチプル・ハブ・ネットワーク)。

③ 構築したハブ空港数の異なるそれぞれのネットワークの評価を行う。ここでは、事業者の運航効率による評価を試みた。

(2) ネットワークモデルの定式化²⁾

ハブ&スポーク型ネットワークの構築をハブ空港の配置の最適化問題として捉えてみる。つまり、点在するいくつかの空港のうち、ハブ施設をどこの空港に設置するかを決定するものである。各空港間の方向別移動量は所与とし、ネットワークの総移動量を最小とする最適化問題として定式化を行う。

1) シングル・ハブ・ネットワーク

点在する空港のうち、1港をハブ空港として利用するものとし、各空港から他の空港への移動には必ずハブ空港を経由することを前提とした場合、移動量と移動距離の総和(総移動距離)が最小となる空港をハブ空港の配置箇所として決定する。この最適化問題は次式のように定式化できる。

$$\text{Min}_{(H)} \sum_i \sum_j W_{ij} \{d(p_i, H) + d(H, p_j)\} \quad \dots (1)$$

ここに W_{ij} : 空港 i から空港 j への移動量
 H : ハブ施設の立地空港の位置
 p_i ($i=1 \dots n$): 空港 i の立地位置
 $d(x, y)$: x — y 間の距離

ここで、 i 空港の総発生移動量を O_i 、 j 空港の総集中移動量を D_j とすると、それぞれは、

$$O_i = \sum_j W_{ij}, \quad D_j = \sum_i W_{ij} \quad \dots (2)$$

となり、式(1)は次のように書ける。

$$\text{Min}_{(H)} \left\{ \sum_i O_i d(p_i, H) + \sum_j D_j d(H, p_j) \right\} \quad \dots (3)$$

式(3)が最小となる H をハブ空港と決定する。

2) マルチプル・ハブ・ネットワーク

第1のハブ空港を配置したネットワークをもとに、第2、第3、…のハブ空港を順次配置する。

ハブ空港が複数になった場合、ハブ空港以外のローカル空港は最も近いハブ空港から路線を引くと仮定する。このとき、2つの移動パターンが考えられる。つまり、一つはハブ空港を1港のみ経由する場合であり、これはシングル・ハブ・システムの場合と同様に定式化できる。もう一つはハブ空港を2港経由する場合である。2ハブ・システムの場合は次式のように定式化できる。

$$\text{Min}_{(H_1, H_2)} \sum_i \sum_j W_{ij} \{d(p_i, H_1) + d(H_1, H_2) + d(H_2, p_j)\} \quad \dots (4)$$

ここに H_k : 第 k ハブ施設の立地空港の位置

3ハブ以上の場合も同様な仮定のもとでモデル化できる。

(3) インドネシア国内への適用

ガルダ・インドネシア航空の就航していた32港を対象として、インドネシア国内における1984年

の旅客移動量データをもとに、このモデルの適用を試みた。その結果の一例として5ハブ・システムのネットワークを図-4に示す。第1ハブ空港は発生集中移動量の多いジャカルタとなった。第2はスラバヤ、第3はセマラン、第4はバリクパバン、第5はウ

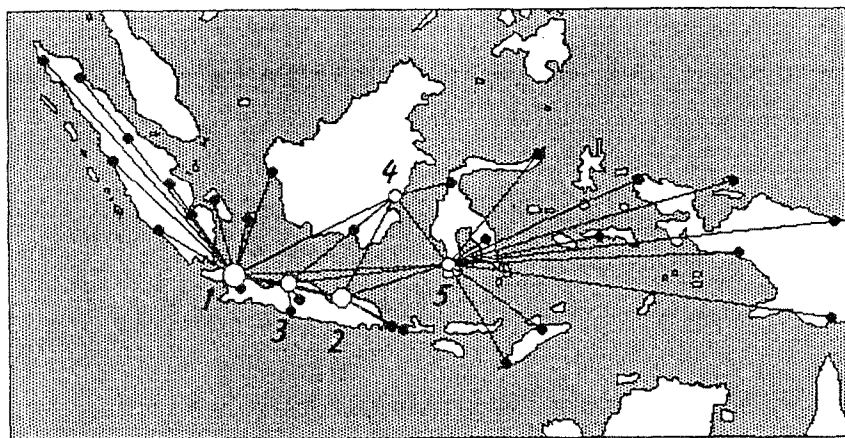


図-4 5ハブ・システムのネットワーク構築結果

ジュンパンダンとなり、需要の多いジャワ島内から配置する結果となった。また、最適解（総移動距離）はハブ空港を増加させるにつれて減少する結果となった。

5. 航空ネットワークの評価³⁾

構築したそれぞれのネットワークが交通事業者であるエアラインにとってどの程度の違いがあるのかを評価するため、各ネットワークでのエアラインの営業費を算出することを試みる。

試算の前提として、ネットワークの各々の路線での運航を1日1便以上とし、大きさの異なる3タイプの機材（座席数 100席、200席、400席）を路線別移動量に応じて割り振るとする。この前提のもとで、構築したハブ空港数の違うネットワークの総営業費を試算する。

エアラインの営業費は、ICAO等の国際機関で伝統的に採用している分類をもとに表-2のように大きく2つに分類した⁴⁾。直接営業費は主に運航にかかる費用であり、その決定要因としては、各路線での使用機材、路線区間距離が挙げられる。一般に機材が大きくなれば費用原単位は下がり、路線区間距離が伸びても費用原単位は下がるとされている。本研究では、図-5に示す直接営業費の原単位を設定した。また、間接営業費は空港（地上）での旅客の処理にかかる運送費や営業販売費（ターミナル費）等であり、その決定要因は旅客の発着人数である。本研究では空港発着1人当たり700円とした。以上の

各費用の原単位はあくまでも仮定であるが、ICAOやCAB等の費用構造の分析結果と日本のエアラインの収支報告から簡単に試算したものである^{4) 5)}。

一方、前述の運航パターンの前提にもとづいて算出したネットワーク別の費用決定要因

の試算結果を表-3に示す。

この試算結果と費用原単位から各ネットワーク別の総営業費（直接営業費＋間接営業費）を算出すると図-6のようになった。

1ハブから5ハブまでハブ空港数を増やすにつれて直接営業費が低下したのは、ネットワーク全体の飛行距離の低下による。逆に5ハブ以降上昇に転じたのは、区間距離の短い路線が徐々に増えたのに加え、

表-2 エアラインの営業費用の分類

	項目	内容
直接営業費	運航費	運航乗務員の給与、燃油費等
	整備費	運航機材整備・分解検査費等
	償却費	運航機材、地上の機材・施設の減価償却費等
	旅客費	客室乗務員の給与、機内食の提供費等
間接営業費	空港費	空港・航行援助施設使用料、手荷物取扱費等
	販売費	発券に携わる従業員・施設費、宣伝料等
	管理費	一般法人の本来的な経費等

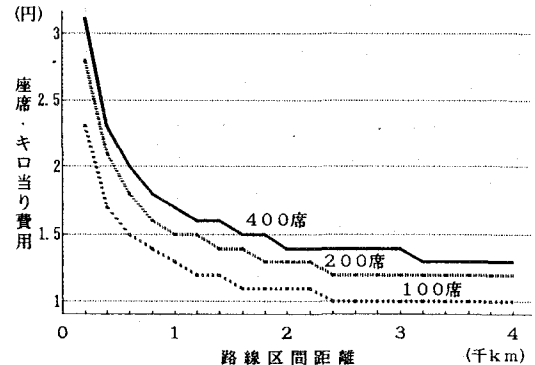


図-5 直接営業費原単位の関数

表-3 ネットワーク別費用決定要因の試算結果

		1HUB	2HUB	3HUB	4HUB	5HUB	6HUB	7HUB
使用機材数 (機)	100席	27	27	27	29	33	42	52
	200席	13	13	14	14	14	13	12
	400席	42	46	34	30	42	42	46
使用機材別 総飛行距離 (km)	100席	49,571	38,743	38,605	34,274	33,313	54,398	74,413
	200席	16,334	13,461	13,505	11,994	10,763	7,170	4,962
	400席	36,479	27,094	28,708	30,150	29,137	29,137	28,292
区 間 距 離 別 路 線 数 (本)	～200	2	3	6	7	8	9	11
	200～400	2	5	4	6	7	7	8
	400～600	5	5	5	5	5	6	7
	600～800	3	5	5	5	6	8	8
	800～1000	1	2	2	2	4	4	4
	1000～1200	5	3	3	4	3	3	2
	1200～1400	1	1	1	2	3	2	4
	1400～1600	3	2	2	2	1	1	0
	1600～1800	2	2	2	1	1	0	2
	1800～2000	1	1	1	0	2	0	0
	2000～km	1	4	4	4	2	0	7
発着人数(人)		6,112,076	6,813,109	6,597,866	6,756,030	6,208,606	6,198,446	6,810,233
総移動距離(千人キロ)		2,744,000	2,264,950	2,153,400	2,014,120	1,998,250	1,911,560	1,861,960

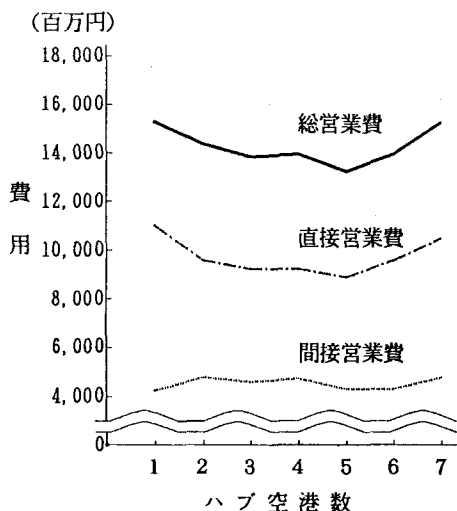


図-6 エアラインの営業費の算出結果

ハブ間の需要の少ない路線も増加したからである。これ以降も直接営業費は増加すると考えられる。

一方、本研究で前提とした運航条件では3回以上の乗り継ぎがないため、1ハブより2ハブの方が空港発着人数が多く、間接営業費も高くなった。これ以降、間接営業費は増減を繰り返しているが、直行便が増加するにしたがって間接営業費は減少し、最終的には、つまりハブ空港数が32港に達したとき最小となると考えられる。

本研究での仮定のもとでは5ハブ・システムのネットワークが費用最小となり、エアラインにとって最適なネットワークであるといえる。

6. おわりに

本稿ではインドネシアの国内航空の状況について報告するとともに、ハブ&スポーク型の航空ネットワークモデルにより、インドネシア国内の航空ネットワークを改築し、評価を試みた。以下ここでの問題点を整理し、今後の課題としたい。

- ① 将来のネットワークの構築には、将来の需要量を予測するモデルが必要である。特に、インドネシアをはじめとする開発途上国では、先進諸国に比べ、地域格差が大きい。需要の発生状況も異なり、綿密な需要分析が必要である。
- ② モデル構築には空港の整備状況や機材の制約を考慮すべきである。また地理的制約を克服し、地域開発を促進するには、地域特性も考慮したネットワーク構築モデルが必要である。
- ③ 今回はハブ&スポーク型ネットワークのみを扱ったが、このネットワークが最適とは限らない。このネットワークをもとに、直行便や乗り継ぎ便を加えるような改良手法が必要である。
- ④ 本研究では、航空ネットワークの評価を交通事業者であるエアライン側のみの分析にとどめたが、利用者側からの評価も必要である。

なお、本研究を進めるにあたり、アジア工科大学の福田敦助教授に多大なるご助言をいただいた。また、運輸省の岩見宣治氏、池上正春氏、全日本空輸の小沢康人氏、小野正博氏に貴重なご意見をいただいた。ここに感謝の意を表す次第である。

参考資料

- a) BIRO PUSAT STATISTIK; Statistik Indonesia, 1985~1989
- b) BIRO PUSAT STATISTIK; Air Transport Statistic, 1984
- c) MADIJONO; The Role and Development of Civil Aviation in Indonesia, 1985

参考文献

- 1) 轟・榛沢; ハブ&スポーク型航空ネットワークの構築について ~インドネシアの国内航空を例に~, 第18回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 220~221, 1991年
- 2) MORTON E. O'KELLY; The Location of Interacting Hub Facilities, Transportation Science, Vol. 20, No. 2, pp. 92~106, 1986
- 3) 森地・田村・近藤; わが国における地域航空サービスの導入可能性, 土木計画学研究講演集 No. 6, pp. 121~126, 1984年
- 4) RIGAS DOGANIS著, 中西・塩見・高橋訳; 国際航空輸送の経済学, 成山堂書店, 1990年
- 5) 増井・山内著; 航空輸送, 晃洋書房, 1990年