

東アジアの航空ネットワークにおける 国際航空旅客流動に関する分析*

An Analysis of Passenger Flow in East Asian Air Transport Network*

石倉智樹**

By Tomoki ISHIKURA**

1. 国際航空ネットワークのトレンドと本研究の目的

米国国内や欧州の航空ネットワークでは、低コストキャリアの台頭により二地点間輸送の形態が拡大し、ハブアンドスポークス全盛の時代から大きな変化が生じている。この傾向は一部のアジア地域にも表れつつある。また、中国をはじめとする東アジア諸国では、経済成長に後押しされた航空需要の伸びが大きく、高い水準の成長率を示している。

こうした国際航空市場のダイナミックな動きを考慮すると、我が国の空港航空政策の計画においても、本国だけではなく東アジア全体の航空市場を視野に入れる必要があると言えよう。本研究は、東アジアの航空輸送市場を見据えた政策決定を支援するツールとして、東アジアの国際航空ネットワークにおける旅客流動分析モデルを構築し、今後予想される外生的インパクトに対する航空旅客流動の変化について考察する。

2. 航空ネットワークの需要分析に関する既存研究

航空旅客の経路選択行動を扱った研究としては、米国国内航空旅客を対象とした Kanafani and Ghobrial¹⁾が先駆的業績である。それ以降の航空旅客需要分析においては、サンフランシスコ地域の空港選択を分析した Harvey²⁾に代表されるように、

Nested Logit Model が最も一般的手法として採用されている。我が国における航空需要予測手法・分析手法についても、機関や経路の「選択」をモデル化する方法が主流であり、古市ら³⁾、森地ら⁴⁾等のように、Nested Logit Model による需要予測モデルへと発展が進んでいる。

対象を東アジア圏域における国際航空ネットワークとする研究に限定すれば、屋井ら⁵⁾が、ネットワークの特性および国際航空旅客の選好特性分析、航空サービス整備効果評価を行っている。竹林ら⁶⁾は、旅客とエアラインの関係を Nash 均衡と見なして国際航空旅客市場をモデル化しており、旅客の経路選択行動は利用者均衡配分により表現されている。旅客の経路選択をネットワーク配分問題として捉えると、経路決定に関わる要因をリンクの特性として扱うことができるため、巨大なネットワークを対象とする場合やネットワーク自体が変化する場合の旅客流動分析が容易となる。

本研究は、東アジア全域における広範な航空路線ネットワークにおける需要分析を目的としており、ネットワーク配分モデルのアプローチを利用する。ただし、本研究は、空港・航空政策変化やエアラインの路線戦略の変化に対する国際航空旅客流動への影響を主眼点としており、航空会社の行動は本研究の範囲外として外生的に扱う。

3. モデル

(1) モデルにおけるネットワークの概念

本モデルは、航空輸送ネットワークを、以下のようないようなノードとリンクから構成されるネットワークとして表現する。

ノードについては、以下の4属性を定義する。

*キーワード：空港計画，東アジア，航空ネットワーク

**正員，博(情報科学)，国土技術政策総合研究所
(横須賀市長瀬 3-1-1，TEL: 046-844-5032，
E-mail: ishikura-t92y2@ysk.nilim.go.jp)

Departure ノード：空港から出発（離陸）する際の発地

Arrival ノード：空港に到着（着陸）する際の着地

Origin ノード：トリップが発生するノード

Destination ノード：トリップが吸収されるノード
リンクについては、以下の3属性を定義する。

Flight リンク：航空輸送を表すリンク

Transit リンク：トランジットを表すリンク

Generation および Concentration リンク：セントロイド（Origin および Concentration ノード）と空港との間のトリップを表すリンク

以上のネットワーク構成の概念を、空港における旅客フローを中心として、図 - 1 に示す。

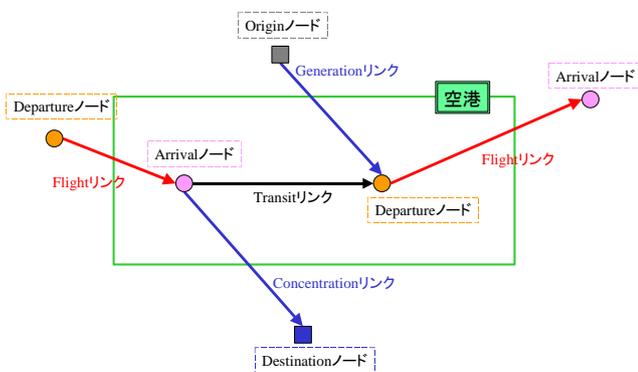


図 - 1 航空ネットワークの概念

航空旅客の流動は、ネットワーク上のリンクを流れるフローとして表される。任意の地点間の OD 旅客流動は、Origin ノードから Destination ノードへの総フローとして定義される。

(2) リンクコストの定義

本研究では、国際航空輸送の所要時間をリンクコスト指標と見なしてモデル化を行う。旅客の経路選択の際には、時間指標だけではなく、運賃などの金銭的費用も重要な要因と考えられる。しかし、本研究では、通常国際航空運賃は OD（パス）毎に設定されており、リンク（フライト）毎の運賃を特定し推定することが困難、エアラインのイールド等集計データからキロあたり運賃推定を行うと、実質的には時間指標と何ら変わらない、等の理由から、金銭費用については考慮しない。この点の改良は今後の課題の一つである。

Flight リンクにおけるリンクコスト関数を以下のように想定する。

$$C_{Fij} = \left(LT_{ij} + \frac{T}{2F_{ij}} \right) \cdot f(Q_{ij}) \quad (1)$$

C_{Fij} : ノード ij 間を結ぶ Flight リンクのリンクコスト

LT_{ij} : ij 間のラインホール時間

F_{ij} : ij 間の航空便数

T : 利用可能時間 (=1年:定数)

Q_{ij} : ij 間のリンクフロー

(1)式において $f(Q_{ij})$ は混雑によるコスト増加効果を表す項であり、以下のように想定する。

$$f(Q_{ij}) = \left[1 + \alpha_1 \cdot \left(\frac{Q_{ij}}{\beta \cdot Capa_{ij}} \right)^{\alpha_2} \right] \quad (2)$$

$Capa_{ij}$: ij 間の輸送容量

$\alpha_1, \alpha_2, \beta$: パラメータ

式(2)において、 α_1 と α_2 は混雑によるリンクコスト増加の度合いを表すパラメータである。同様に、 β は、混雑状況が発生する段階でのロードファクターに関連するパラメータである。

Transit リンクにおいては、以下のようにリンクコスト関数を想定する。

$$C_{Tij} = TR_{ij} \quad (3)$$

C_{Tij} : ノード ij 間の Transit リンクのリンクコスト

TR_{ij} : ij 間のトランジット時間

本モデルでは、トランジットの際に要する時間コスト要因として、乗り継ぎ時間のみを対象とした。

Generation および Concentration リンクについては、コストが生じないものと仮定している。国際間旅客流動において、旅客の発生集中地に関する OD 情報を厳密に把握することは困難であり、現実には、空港間 OD ベースでの発生集中地が最も詳細な単位のデータとなることが多い。このため本研究では旅客の発生集中地を空港群（都市圏）単位として扱い、アクセス・イグレスに相当する Generation リンクと Concentration リンクでは、移動抵抗を考慮しない。

(3) モデルのパラメータ推定および再現性

上記のモデルを需要固定型利用者均衡 (UEFD) 問題として捉え、リンクコスト関数のパラメータ推

定を行う。本研究は、リンク情報のデータとして ICAO 統計の Traffic by Flight Stage (以下 TF) データを用いた。TF データは、ICAO によるエアラインへの質問調査を基に作成されるため、未報告がある場合、データ欠損が生じるが、OAG 時刻表の週間便数を年間拡大することにより補完した。

国際旅客 OD データとしては、ICAO 統計の On Flight Origin and Destination (以下 OFOD) データを用いた。OFOD データは、企業情報保護のため 2 社以上のエアラインが運航している OD のみが公表されている。このため、単一社運航の国際 OD が含まれないという問題がある。しかし、アジア地域全般を対象とする旅客 OD データとして、より望ましいデータは存在しないため本研究では当該データを利用することとした。

モデルの対象となる空港は、ミャンマー以東のアジア地域諸国において、国際路線が就航する空港とした。パラメータ推定において、国際旅客 OD を UEFD 配分し、各 Flight リンクのリンクフローを推定し、残差自乗和を最小にするパラメータの組み合わせを探索する方法を用いた。

表 - 1 Flight リンクのパラメータ

パラメータ	値
1	0.7089
2	2.2112
	0.91

1 と 2 は、整数計画問題のメタ戦略解法である、多スタート法とシミュレーテッド・アニーリング法を併用することにより、パラメータベクトルを離散的に探索し、ヒューリスティックに推定した。に関しては、対象とする地域の航空ネットワークの中で最大のロードファクターである 0.91 とした。

Transit リンクを設定するにあたり、トランジット可能な国際空港を前提条件として与えた。選定の基準として、作成した航空路線ネットワークデータを基に、発着路線数が 60 以上である空港を、Transit リンクを持つ空港として定義した。この選定条件は、理論的実証的根拠を持つものではなく、改善を検討する余地はある。Transit リンクにおけるトランジット時間は、OAG 時刻表に示されている Minimum connecting times を基に、際際、際内、内際乗り継ぎ

時間の平均値とした。

現状再現性の検証は、2000 年 TF データの旅客数実績と推定リンクフロー (Flight リンク) を比較することによって行った。リンクベースで見た実績値と推定フローの再現性を、図 - 2 に示す。

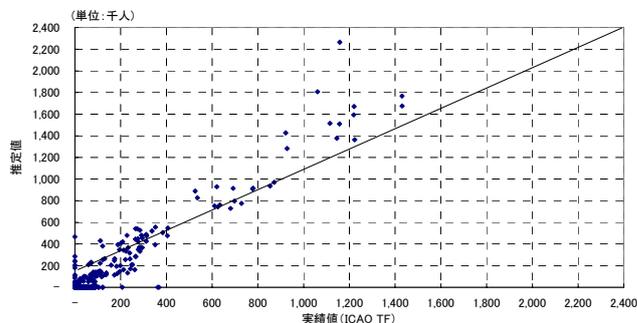


図 - 2 Flight リンクフローの再現性

図 - 2 より、リンクフローの残差は、全体的に過大推計の傾向となることが確認できる。残差が大きいリンクは、クアラルンプール、シンガポール、バンコク、香港等を結ぶリンクに集中している。その原因を特定することは困難であるが、今後、ネットワーク概念やリンクコスト定義の改良により改善する必要がある。

Flight リンクのフローを発着空港毎に集計し、各空港における発着国際航空旅客需要の推定値を算出した。旅客数が上位である空港を対象に、推定値と ACI により報告されている国際旅客需要実績値を比較した結果を、図 - 3 に示す。

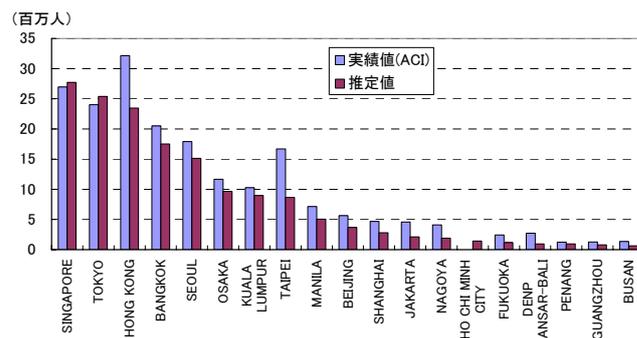


図 - 3 空港需要で見た再現性

空港毎の国際航空需要について、一部の空港を除き、全体的な傾向は再現されているように見られる。図 - 3 において、香港の実績値が推定値よりも非常に大きいことについて、ACI 統計では中国本土路線を国際路線として集計していることに対し、OFOD データでは国内路線として見なされ、データに含ま

れていないことが原因として考えられる。推定値が実績値よりも小さな値を示している場合には、データ制約により OD 需要の入力値が単一エアラインの運航する OD 需要を含んでいないことが影響していると考えられる。

トランジット旅客需要の再現性についても、推定値の乖離が大きい空港が多いが、需要規模の傾向は概ね表現されている（図 - 4）。

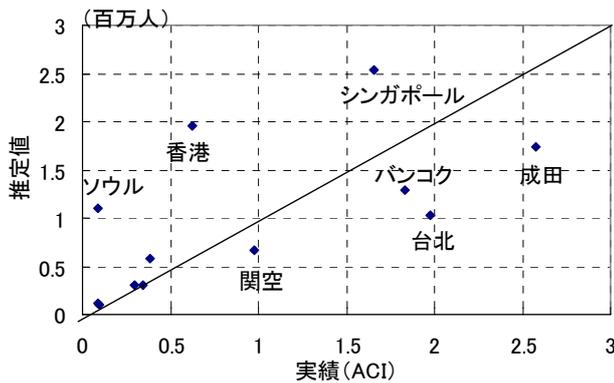


図 - 4 トランジット旅客の再現性

4. 東アジアの航空ネットワークにおける将来シナリオ分析

本章は、構築したモデルを利用し将来の東アジア航空ネットワークにおいて予想されるシナリオについて、旅客流動変化を推定する。本モデルは、OD 需要とエアラインの路線設定を外生条件としており、ネットワークを流れる旅客需要のみが出力値となる。

ここでは、将来シナリオとして中国発着の OD 需要が増加した場合、アジア地域の機材サイズが小型化した場合を想定し、路線需要と空港需要への影響を分析した。なお、紙面の都合上、分析結果の詳細は講演時に示す。

5. まとめ

本研究で開発したモデルは、標準的な利用者均衡配分問題の概念を利用し、ネットワークとリンクコストの考え方について、国際航空輸送を反映するよう応用したものである。本モデルには、供給側であるエアラインの行動を外生としているという課題があるが、国際航空輸送市場は多くの規制により自由

競争市場ではないという背景がある。需要者側の行動に特化した分析を目的とする場合には、供給側である航空ネットワークを外生シナリオ化することは一定の妥当性を持つと考えられる。本研究はこのような視点から、東アジアの航空ネットワークにおける旅客流動について、今後生じうる状況をシミュレーションしたものである。

モデルの現況再現性については、まだ改善の余地が大きい。手法の技術的側面について、トランジットの表現方法が単純化されていることや、利用者均衡配分を利用しているため、経路間にコスト差がある場合には高コスト経路が一切利用されないという問題がある。Transit の考え方の見直しや SUE 問題への展開により、フロー量自体の推定精度を高めることが今後の課題である。

参考文献

- 1) Kanafani, A. and Ghobrial, A.: Airline Hubbing – Some Implications for Airport Economics, Transportation Research -A vol.19A, No.1, 15-27, 1985
- 2) Harvey, G.: Airport Choice in a Multiple Airport Region, Transportation Research -A vol.21A, No.6, 439-449, 1987
- 3) 古市正彦, Koppelman, F.: 国際航空旅客需要に関する統合型予測モデルの開発, 土木計画学研究・論文集, No.11, 239-246, 1993
- 4) 森地茂, 屋井鉄雄, 兵藤哲朗: わが国の国際航空旅客の需要構造に関する研究, 土木学会論文集, No.482, -22, 27-36, 1994
- 5) 屋井鉄雄, 高田和幸, 岡本直久: 東アジア圏域の国際航空ネットワークの進展とその効果に関する研究, 土木学会論文集, No.597, -40, 71-85, 1998
- 6) 竹林幹雄, 黒田勝彦, 鈴木秀彦, 宮内敏昌: 完全競争市場として見た国際航空旅客輸送市場のモデル分析, 土木学会論文集, No.674, -51, 35-48, 2001