

極東地域における国際航空貨物流動モデルと流動パターンの分析*
*A Hypothetical Modeling of Air-cargo Transportation in The Far East**

石倉 智樹** 稲村 肇***

Tomoki ISHIKURA**, Hajime INAMURA***

1. 研究の背景および目的

現在、航空貨物輸送需要は大きく成長を続けているが、その流動パターンについて言及した研究は行われていない。旅客輸送の分野では、航空企業の戦略決定に主眼がおかれた、ハブ・アンド・スポーク型ネットワーク(HS)におけるネットワークフローモデル¹⁾²⁾³⁾が発展している。しかし、相対的に収益率の低い貨物輸送需要に対して航空企業が積極的に戦略変更を行うことは少なく、むしろ需要者側である荷主・フレイトフォワードの経路選択行動が航空貨物フロー決定の重要な要素となると考えられる。需要者の行動に着目したネットワークフロー推定には交通配分問題が有効な手法となる。海上コンテナ貨物輸送需要推定においても交通配分問題を応用した研究⁴⁾⁵⁾が行われている。国際航空貨物輸送では、ハブ空港間の幹線航空路線とローカル空港路線のサービスレベルの格差や、貨物ターミナルのハンドリングコストにおける規模の経済性などの特徴を考慮する必要がある。本研究は、これらの特性を内包した国際航空貨物流動推定モデルの構築を行う。さらに、極東地域を対象にモデルを適用し、パラメータ感度分析を通じて、モデルの挙動、リンク属性の状況変化とネットワークフローとの関係を考察する。

2. モデルの構築

(1) 航空貨物輸送ネットワークの構成

航空貨物の輸送経路は、複数輸送モードをコーディネートして地点間輸送サービスを構築するフレイトフォワードにより決定される場合が多い。本研

究では国際航空貨物輸送ネットワークの構成要素として、航空輸送、陸上輸送、貨物ターミナル施設における貨物ハンドリングを考える。航空輸送については、ハブ空港間を結ぶ幹線航空輸送とローカル空港間を利用する航空輸送の属性を区別する。貨物ハンドリングは、ハブ空港の貨物施設における積み込み・積み卸し・トランシップ等を表し、これを貨物流動の一部として扱う。

ネットワークは以下の属性を持つノードとリンクにより構成されるものとする。

● ノード

始点ノード(O)：貨物輸送の始点。

終点ノード(D)：貨物輸送の終点。

ハブ空港発 ノード(HD)：ハブ空港を出発するノード。

ハブ空港着 ノード(HA)：ハブ空港へ到着するノード。

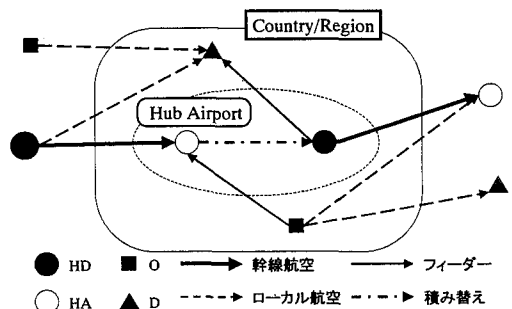
● リンク

幹線航空輸送リンク：HD→HA、ハブ空港間の航空輸送リンク。

ローカル航空輸送リンク：O→HA、O→D、HD→D、幹線航空輸送を介さない航空輸送を表すリンク。

フィーダー輸送リンク：O→HA、HD→D、貨物輸送発着点とハブ空港を結ぶ国内輸送を表すリンク。

積み替えリンク：HA→HD、空港における積み替えを表すリンク。



図一1 航空貨物輸送のネットワーク

*Key Words 物資流動, 空港計画, 航空貨物流動
 **学生員 情報修 東北大学大学院 情報科学研究科
 ***F 会員 工博 東北大学大学院教授 情報科学研究科
 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06
 TEL.022(217)7497 FAX.022(217)7494

OD間の輸送経路はこれらのリンクの組み合わせにより形成される。各々のリンクに対してリンクコスト関数が定義され、貨物フローは通過するリンクのリンクコスト総和をもとに経路配分される。本研究ではリンクコスト関数をリンクの属性ごとに変化させることで、それぞれのリンク特性を考慮する。

(2) リンクコスト関数

本研究は、各属性リンクについてのリンクコスト関数を以下のように定式化する。

(a) 幹線航空輸送リンク、ローカル航空輸送リンク、フィーダー輸送リンク

$$C_{TAa} = \alpha_{TA} \cdot d_a \quad (1)$$

$$C_{LAa} = \alpha_{LA} \cdot d_a \quad (2)$$

$$C_{Fa} = \alpha_F \cdot d_a \quad (3)$$

C_{TAa} : 幹線航空輸送リンク a のリンクコスト (\$/ton)

C_{LAa} : ローカル航空輸送リンク a のリンクコスト (\$/ton)

C_{Fa} : フィーダーリンク a のリンクコスト (\$/ton)

d_a : リンク a におけるリンク長, 空港間距離 (km)

$\alpha_{TA}, \alpha_{LA}, \alpha_F$: パラメータ (\$ per ton · km)

幹線およびローカル航空輸送、フィーダー輸送におけるリンクコストはリンクフローに依存せず、リンク長のみで線形関数と仮定する。モデル構造の簡略化のために、リンクの容量も無視する。各属性のリンクコスト関数におけるパラメータは、ユーザーに認識される単位輸送コストを表す。本研究は、輸送コストを単に金銭的な費用としてではなく、輸送時間や他のサービスレベルの影響を内包した一般化費用として考える。

(b) 積み替えリンク

$$C_{Ta} = f_T(q_a) = \frac{\beta}{q_a} + \gamma \quad (4)$$

$$TC_{Ta} = C_{Ta}(q_a) \cdot q_a = \beta + \gamma \cdot q_a \quad (5)$$

C_{Ta} : 積み替えリンク a のリンクコスト関数 (\$/ton)

q_a : リンク a のリンクフロー (ton)

β (\$), γ (\$ per ton): パラメータ

TC_{Ta} : 積み替えリンク a においてリンクフロー q_a が通過したときのコスト

積み替えリンクにおけるフローは、ハブ空港貨物施設内での貨物取扱量を表している。空港貨物ターミナル施設では施設費用や人件費などの大きな固定費用のため、規模の経済性が作用し、貨物取扱量に伴い平均費用が低下すると考えられる。このため、フレイトフォワーダーが貨物ターミナル施設を経由するルートにフローを集中させるインセンティブがはたらき、大空港への需要集中の一要因となりうる。本研究では積み替えリンクのリンクコスト構造を(5)式のような単純な線形関数と仮定する。すなわち、リンクコスト関数は平均費用として表され、(4)式に示されるリンクフローに依存する関数となる。

3. ケーススタディ

(1) 対象ネットワーク

ケーススタディとして、極東地域の国際航空貨物ネットワークにモデルを適用する。分析では、リンクコスト関数のパラメータを外生変数として扱い、出力結果の比較を行う。

本研究において、東アジアの中心的役割を持つ香港、ソウル、台北、上海、北京、成田、関西の7空港をハブ空港として扱う。貨物ODとなる地点は、上記ハブ空港の後背地、日本国内の主要空港(札幌、仙台、名古屋、広島、福岡)および、極東地域において日本国内のいずれかの空港とデイリーサービスによりリンクされている空港と想定する。貨物輸送需要は極東地域内の流動に加えて、対北米、欧州、東南アジアの航空貨物需要を考慮した。OD貨物需要は、既存統計データ⁷⁸⁾を用いた。

本研究では、全ての空港が国外の全空港に対して国際航空路線を持ち、全ての空港がリンクされているネットワークを仮定する。すなわち、貨物輸送ODは直行ルートとハブ空港経由ルートの双方により連結される。なお、配分手法としては分割配分法を採用し、需要分割回数は5回とした。

(a) ローカル航空輸送リンクの特性に関する分析

輸送スピードが重要視される航空貨物輸送において、発送タイミングを失うことのお機会費用は大きい。そのため、許容搭載量・運行頻度などのサービスレベルが幹線航空輸送リンクよりも相対的に低い

ローカル航空輸送リンクでは、実質的にリンクコストが大きいと考えられる。そこで、ローカル航空リンクのパラメータに関して出力結果の比較分析を行い、幹線航空輸送とローカル航空輸送のサービスレベルの差について考察する。

分析では、幹線リンクのリンクコスト関数パラメータ α_{LA} を1トンキロあたり0.3\$とした。この値は、主要航空会社の貨物部門の収入を国際航空貨物有償トンキロで除した値を参考としたものである。すなわち、幹線航空リンクにおけるリンクコストは運賃のみを考慮したものである。また、ここではフィーダーリンクのパラメータ α_F を3(\$/ton kilo), 積み替えリンクについて β を1000000(\$), γ を1(\$/ton)とした場合の結果を示す。図-2 ハブ空港における取扱量の出力結果を示す。

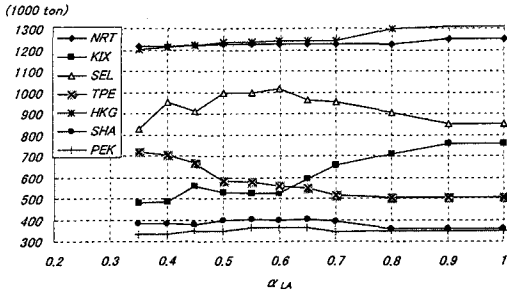
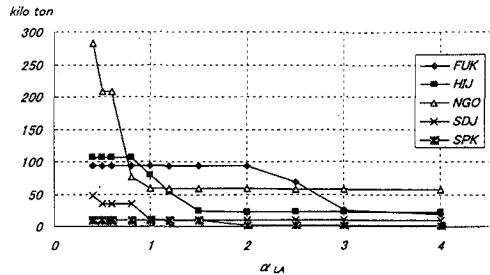


図-2 α_{LA} とハブ空港通過フロー

結果より、ソウル(SEL), 台北(TPE), 関西(KIX)の3空港がローカル航空輸送リンクのパラメータに対して敏感に反応していることが確認される。 α_{LA} が0.6以上では、 α_{LA} の増加に伴いソウルの貨物取扱量が減少し、関西空港では増加する傾向がある。台北の貨物フローは α_{LA} に関して単調減少した。 α_{LA} が小さくなることは、ローカル空港へ連結する航空路線のサービスレベルが向上することと同義である。これらの結果は、ローカル空港へ乗り入れる路線の頻度を増やす等のサービスレベル変化が、ソウルや台北の航空貨物フローへ大きな影響を及ぼす可能性を示している。同時に、ローカル航空サービスを介して、これら3空港がハブ空港として競合関係にあることも考えられる。

日本のローカル空港における国際直行路線、すなわちローカル航空リンクの出力結果(図-3)を見る

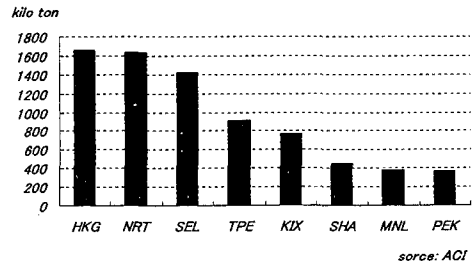
と、名古屋, 福岡, 広島空港発着のフローが敏感に反応していることが確認できる。これらの空港の国際直行路線フローが、ソウルや台北の貨物量に大き



く影響していると思われる。

図-3 α_{LA} と地方空港の国際直行路線フロー

東アジア主要空港における航空貨物取扱量実績(1998)を図-4に示す。分析結果と実績を比較すると、各空港の貨物フローの相対的關係という点では、 α_{LA} が0.5から0.6のときの結果が実績と近い値を示している。これは単位距離あたりの一般化費用が、ローカル航空輸送リンクでは幹線航空輸送リンクの約



2倍であることを意味する。

図-4 東アジア主要空港の貨物取扱実績(1998)

(b) 幹線リンクとフィーダーリンクの特性に関する分析

フィーダーリンクのリンクコスト関数パラメータについても、ローカルリンクにおける分析と同様に比較分析を行った。陸上輸送は輸送スピード、移動のフレキシビリティにおいて航空輸送とは全く異なる性質を持つ。

図-5にフィーダーリンクパラメータに関する、ハブ空港における貨物フローの比較分析の結果を示す。図-5は、 α_{FA} , β , γ については前節と同じ値

を用い、 α_{LA} を 0.6 と仮定した場合の結果である。この結果から、ソウルと関西における貨物が敏感に反応していることがわかる。フィーダーリンクのパラメータが 1.0 を越えると、パラメータ増加に伴い、ソウルの貨物が増加し、関西の貨物が減少している。成田の貨物もパラメータ増加に伴い緩やかに減少している。国内輸送の単位コストが大きくなると、関西空港は地理的に近いソウルを経由するルートに貨物需要を奪われるという結果となる。陸上輸送のコストが低下すれば、国内の国際空港を利用する割合が増加すると考えられる。特に、フィーダーリンクにおけるトンキロあたり単位輸送コストが大きいと考えられる。

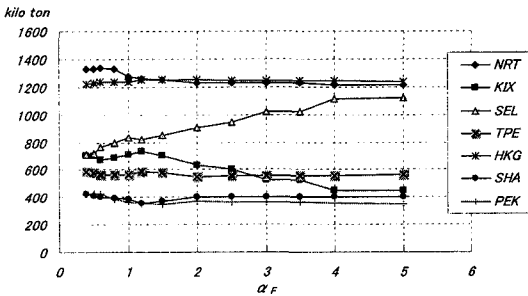


図-5 α_F とハブ空港通過フロー

(c) 幹線リンクとトランシップリンクの特性に関する分析

トランシップリンクに関しても同様の比較分析を行った。他のリンクコストのパラメータを固定して固定費用を表す β と可変費用を表す γ を変化させながら結果を比較した。 γ がリンクフローへ及ぼす影響はほとんど見られなかった。 β が 2 億(\$)程度までの値の間では、リンクフローへの明確な影響はあまり表れなかった。

本モデルのフレームにおいては、パラメータに対して安定的にリンクフローが求められ、ネットワークフローがハブ空港施設通過費用の変化から受ける影響が小さいという結果が導かれた。

4. 結論

本研究は、交通配分問題を応用し、国際航空貨物フローモデルを構築した。モデルにおいて、旅客と異なり積み替え時に施設規模の経済性が存在する状

況を明示的に扱った。モデルを極東地域の国際航空貨物ネットワークに適用し、リンクコスト関数に関する比較分析を行うことにより、極東地域の航空貨物フローの特徴が示された。

各ハブ空港における推定貨物フローは、リンクコスト関数のパラメータ変化に対して非線形に反応を示した。これはハブ空港における需要予測において単純な回帰モデル等を用いることにより大きな予測ミスが発生する危険性を示唆している。すなわち、ネットワークを通じて空港間でパフォーマンスが相互影響することが表されており、航空輸送の分析において実際のネットワーク形状を考慮することの重要性が高いということである。本研究の成果は、ローカル航空や陸上輸送の状況変化が貨物流動パターンに劇的な変化を及ぼす可能性を示唆している。

本研究で構築したモデルは非常に単純化されたネットワークとリンクコストを想定しているため、部分的な改良を加えることでさらに多様な分析に適用することが可能である。

参考・引用文献

- 1) Brueckner, J.K. and P.T. Spiller: Competition and Mergers in Airline Hub-and-Spoke Network, 1991, International Journal of Industrial Organization, vol.9, pp.323-342
- 2) Zhang, A: An Analysis of Fortress Hubs in Airline Networks, 1996, Journal of Transport Economics and Policy, vol.30(3), pp.293-307
- 3) Nero, G: A Note on the Competitive Advantage of Large Hub-and-Spoke Networks, 1999, Transportation Research Part-E, vol.35, pp.225-239
- 4) 稲村肇, 中村匡弘, 具滋永: 海上フィーダー輸送を考慮した外資コンテナ貨物の需要予測モデル, 1997, 土木学会論文集, No.562, IV-35, pp.133-140
- 5) 家田仁, 柴崎隆一, 内藤智樹: 日本の国内輸送も組み込んだアジア圏国際コンテナ貨物流動モデル, 1999, 土木計画学研究・論文集, vol.16, pp.731-741
- 6) 平成9年度国際航空貨物動態調査報告書, 運輸省航空局, 1998
- 7) Digest of Statistics, ICAO, 1997