

1. はじめに

成長著しい国際航空貨物の円滑な流動を促進すべく、より効率的な物流体系構築を目指した空港政策計画が必要とされる。そのためには国際航空貨物の流動量予測および分析が不可欠であるが、予測・分析の基礎的要素となる輸送経路決定要因の実態が明らかになっておらず、その解明が最も重要とも言える課題である。

本研究の目的は、我が国の国際航空貨物輸送における輸送経路決定の要因を明確化することである。経路決定要因分析のためには、荷主の選択行動に関するデータが必要とされるが、そのような既存データは存在しない。このため、本研究は、航空貨物フォワーダーに対して、荷主の輸送サービスメニュー選択に関するアンケート調査を行い、独自のデータを収集した。このデータセットを用い、航空貨物輸送経路決定に関わる要因について、AHP手法により定量分析を行った。

2. 既存研究と本研究の位置付け

航空と同様に国際物流の手段である、海上コンテナ貨物輸送の経路決定要因について、荷主の行動に着目した花岡ら(2000)、岡本(1999)の研究実績がある。花岡ら(2000)は、港湾特性、荷主特性、貨物特性のそれぞれに関わる要因を抽出し、荷主の業種別に選択行動が異なることを示した。岡本(1999)は、海上および陸上費用、寄港頻度等を用いた非集計ロジットモデルにより、荷主の港湾選択行動をモデル化した。

海上コンテナ輸送における港湾選択においては金銭的費用の影響が卓越する。しかし、輸送スピードが海運と大きく異なる航空輸送においては、海上コンテナ貨物荷主の選択行動が当てはまるとは限らない。この点について、浅野ら(1989)による輸出航空貨物の空港選択に関する回帰的な要因分析により、距離、時間、運行頻度が抽出され、特に運行頻度が国際航空貨物に大きな影響を及ぼすことが示された。しかし、浅野ら(1989)の結果は、国内における空港選択という、物流経路の一部分に限定されたものであり、荷送人から荷受人までの輸送経路特性を把握するには、対象部分を広げる必要がある。

国際航空貨物の輸送は、混載輸送が中心であるため、流動特性の概略を把握するには航空貨物フォワーダーの行動に着目した分析が有効である。福田ら(2000)は、地方空港におけるフォワーダーによる輸出航空貨物の経路選択特性分析を行い、貨物の搭載スペースや通関の利便性などが輸送経路決定に影響する要因となることを発

見した。しかし、福田ら(2000)の結果は、地方空港における輸送経路選択行動を対象としたものであり、一般的な航空貨物輸送経路決定過程の特性を明らかにしたとは言い難い。そこで筆者ら(石倉ら(2003))は、我が国における国際航空貨物輸送の実態を包括的に把握するため、17社の航空貨物フォワーダー業者(これらの業者による国際航空貨物取扱量合計は我が国における総取扱量の80%強となる)を対象としたヒアリング調査を実施した。この先行研究により、経路決定に影響する航空貨物独特の要因が抽出され、航空貨物流動に関する知見がさらに蓄積された。本研究は、この成果を受け、荷主による国際航空貨物の輸送経路選択に影響すると考えられる、各要因の重要度を分析する。

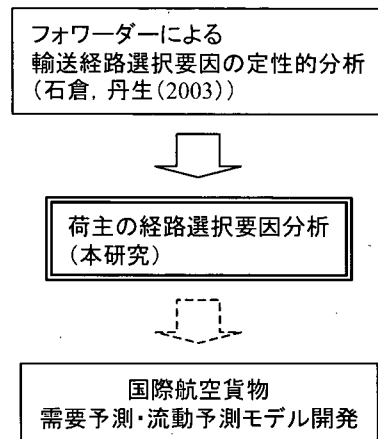


図-1 本研究の位置付け

上述の先行研究(石倉ら(2003))は、フォワーダーが実際に輸送を行う際に影響する要因と荷主が経路選択の際に重視する要因を区別せずに議論している。しかし、輸送運賃の最終的な負担者、すなわち意思決定者は貨物の荷主である。需要予測モデルや貨物流動予測モデルにおいては、経路選択行動の前提条件により結果が大きく影響を受けるため、実際の意思決定者の選択行動こそを適切に取り扱う必要がある。本研究は、将来のモデル開発を念頭に置き、その経路選択行動部分のモデル構築を支援する基礎的分析としての役割を担うものである。

3. 経路選択要因の分析

3.1 航空貨物フォワーダーへのアンケート調査

福田ら(2000)や筆者らがフォワーダーに対するヒアリング調査から把握した輸送経路決定要因については、その影響を定量的に分析するためのデータが存在しない。また、貨物の輸送経路選択は、一般に、フォワーダーに

より作成される輸送メニューから荷主が選択することによって行われるが、航空貨物の荷主を特定化し、その選択行動把握に関する調査のためのスクリーニング（輸送過程における調査断面設定）も困難である。

これらの理由のため、本研究は、フォワーダーに対するアンケート調査から、荷主の選択行動を分析した。フォワーダー側から観察された荷主の選択行動は、必ずしも荷主の意思決定過程を正確に反映しているとは限らない。しかし、フォワーダーは荷主の物流行動に最も近い位置で接することができる主体である。したがって、フォワーダーも概ね、荷主の輸送経路選択行動に関する情報を得ていると考えることもできよう。

本研究に用いた調査は、(社)航空貨物運送協会の会員企業 80 社に対して行った。回答は 52 社より得られた（回答率 65.0%）。調査内容は、輸送経路決定プロセス、荷主が輸送経路選択に優先する要因、国内の各空港利用状況、我が国の国際空港における問題点、空港航空政策に対する要望等である。本研究は、これらのうち、経路選択行動に関する項目についての結果を利用した。

3.2 輸送経路決定プロセスの特徴

先行研究（石倉ら（2003））による航空貨物輸送経路決定プロセスに関するヒアリング結果を基に、本研究では、経路決定過程の特徴について分析を行った。調査では、複数の輸送経路決定プロセスについて、そのプロセスが採用される割合を調査した。具体的には、以下のような設問である。

設問：「貨物の輸送経路はどのように決定しますか。下記のケースのうち、件数ベースでみたおおよその割合をご記入ください。」

回答：

- ① フォワーダーが運賃、出発・到着時間、利用エアライン等のメニューを示し、顧客が選択する（随意契約）
- ② フォワーダーが運賃、出発・到着時間、利用エアライン等のメニューを示し、顧客が選択する（入札）
- ③ 顧客から出発・到着時間、利用エアライン等のリクエストがあり、それに対してフォワーダーが運賃を提示し、顧客が選択する（随意契約）
- ④ 顧客から出発・到着時間、利用エアライン等のリクエストがあり、それに対してフォワーダーが運賃を提示し、顧客が選択する（入札）
- ⑤ 顧客から運賃を含めてリクエストされる
- ⑥ その他

回答は、これらの選択肢それぞれについて、各選択肢の採択される割合を記入するという形式でなされている。全回答 52 社のうち、有効回答数は 50 サンプルであった。回答選択肢の①および②は、フォワーダー側から輸送メニューを提示し、荷主が既成輸送メニュー内から選択を行うものである。選択肢③および④は、輸送メニューに関するリクエストが荷主から提出され、フォワーダーが輸送メニューに値付けし、荷主が選択肢を決定するものである。⑤は、全ての輸送形態と運賃が荷主から指定され、フォワーダーは輸送手段手配のみに特化するものである。⑥のその他形式の例として、フォワーダーへの完全委託、荷受人からのルート指定などがある。

この設問の回答結果について、各選択肢の採択割合の平均値を、図-2 に示す。

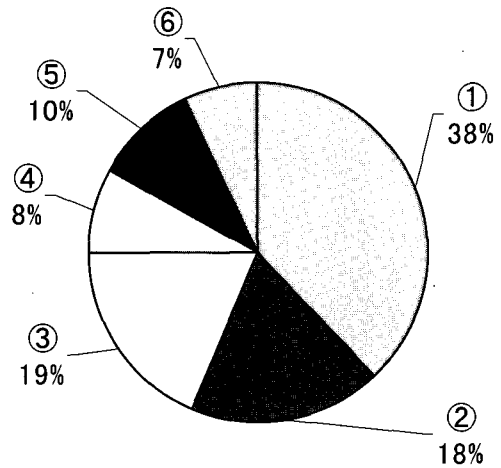


図-2 輸送経路決定プロセス採択割合の平均値

この結果より、①、②のような、フォワーダーによる輸送サービスメニュー設定が、主要な契約形態であることがわかる。一方で、②や④のように、入札による経路決定や、⑤の荷主による全サービス特性指定という経路決定プロセスの割合も高く、荷主の航空物流コストに対する関心が高いことがうかがわれる。

入札契約では、輸送業者を特定せず、業者間に低価格競争を強いるため、物流コストの低廉化がもたらされる。③、④、⑤のような、荷主による輸送経路指定は、航空貨物輸送がサプライチェーン構築のためのモードとしての結果と考えられる。フォワーダーによる輸送メニュー作成がまだ中心的であるが、荷主による物流制御のケー

スが増加していくと予想される。今後、フォワーダーには、混載という旧来の業務形態に加えて、保管や在庫調整も含む総合的な物流管理機能が要求されていくものと考えられる。

要がある。

3.3 経路決定要因間の重要度比較

(1) AHP による分析の概要

の輸送経路決定要因に関するヒアリング結果より、経路選択において特に重視される要因が明らかになった。本研究では、これらの要因が経路決定に対してどれだけ影響しているのかを分析する。

一般的な旅客交通行動分析では、旅客のトリップデータから選択行動を分析するという手法が主として利用される。しかし、国際航空貨物輸送においては、荷主の選択行動を把握するための資料が限定されている。唯一とも言える貨物流動データは、国際航空貨物動態調査報告書であるが、先述のヒアリング結果より得られた経路選択要因を検証できるデータまでは含まれていない。なぜなら、動態調査は、航空貨物運送状に記載された情報を統計的に処理したものであり、輸送経路選択要因分析を目的としたものではないからである。そこで、本研究は独自のアンケート調査を通じて、経路選択行動の実態を分析した。

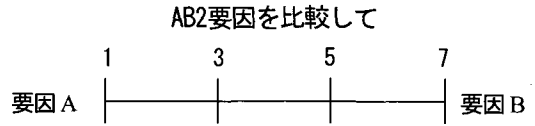
分析に際しては、先述のヒアリング結果を基に主な経路選択要因を列挙し、フォワーダー業者の視点から観察された、荷主による各要因間の重要度合比較の状況を調査した。具体的には、フォワーダーに対して荷主が考慮すると考えられる経路選択要因を提示し、それらの一対比較を通じて、AHP により各要因のウェイトを算出した。

経路選択要因の候補として挙げた項目は、以下の6項目である。

- ①輸送経路トータルの運賃
- ②輸送経路トータルの輸送時間（リードタイム）
- ③フライトの発着時間
- ④定時性
- ⑤品質の保持・セキュリティ
- ⑥直行便か否か（経由回数）

要素間の重要度の尺度は図-3のように与えた。

本調査は、対象である各フォワーダー業者に対して、輸送サービスメニュー選択の際に、荷主が①から⑥の各要因間の重要度比較をどのように判断しているか、図-3の形式による回答を依頼した。全52サンプルが、有効回答として採択された。なお、本調査では、フォワーダーの意思決定ではなく、フォワーダーにより観察された荷主の意思決定の構造を対象としていることに留意する必



1：重視度合は同程度，3：やや重視
5：かなり重視，7：絶対に重視

図-3 要因間の重要度尺度

(2) ウェイト値の平均値と標準偏差に関する分析

AHP による分析では、回答を得た全52フォワーダー業者について、各要因に対する重要度ウェイトが算出される。まず、回答結果を集計的に観察し、フォワーダーの回答から得られた各要因の重要度ウェイトの平均値と標準偏差を基に考察する。分析結果は表-1のとおりである。

表-1 経路選択要因のウェイト

要因	平均	標準偏差
①輸送経路トータルの運賃	0.29	0.12
②輸送経路トータルの輸送時間	0.16	0.07
③フライトの発着時間	0.09	0.07
④定時性	0.12	0.07
⑤品質の保持・セキュリティ	0.18	0.09
⑥直行便か否か(経由回数)	0.15	0.09

表-1の結果より、輸送運賃の重要度合が、他要因に比べて著しく大きいことが明らかである。これに次いで、品質保持セキュリティ、トータル輸送時間（リードタイム）、経由回数が重要視されている。

先行研究（石倉ら（2003））では、一部のフォワーダー業者に対するヒアリング結果からではあるが、近年、荷主のサービスメニュー選択において、運賃の重視度合が非常に高まっているという知見が得られている。本分析により、そのことが裏付けられたと言えよう。

注目すべき結果は、品質の保持・セキュリティという質的要因の重要度合が高いという点である。航空貨物は海運貨物に比べて単価が高いため、貨物の盗難やダメージ等による損害は大きい。このため、地上ハンドリングの信頼性が高い空港が選択される傾向にある。逆に見れば、欧州における一部の空港のように、盗難が多発する経路が敬遠されやすいという傾向が、定量的分析からも明確になった。このような質的要因が、リードタイムよりも優先的であるという結果は、本研究による新たな知

見である。

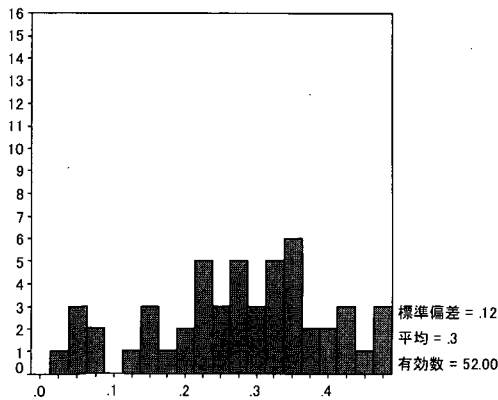
フライトの発着時間については、平均的な重要度ウエイトは低いものの、そのばらつきは相対的に大きい。これは、一部に、定常的サプライチェーンを構築し、輸送スケジュールを特に重視する荷主が存在することの影響と考えられる。

定時性に関するウエイトはさほど大きくないが、航空輸送の定時スケジュール運航は、選択における前提条件となっているため、この結果を盲目に解釈すると、誤った認識の原因となる。この数値は、微少なディレイ等に対する、荷主の認識と判断することができる。

(3) ウエイト値の分布形に関する分析

前項では、算出されたウエイト値の集計値である、平均値と標準偏差に関して考察したが、全サンプルについてのウエイト値の分布を直接観察することにより、各要因の特性をさらに詳細に把握することができる。以下では、各サンプルに対するウエイト値をヒストグラムとして示し、その分布形を基に分析を行う。

図-4は、「運賃」に関するウエイト値の分布を示している。この結果を見ると、比較的平らな分布を示していることがわかる。したがって、運賃以外の要因を重視する荷主顧客を中心とするフォワーダーの数も多いと解釈することができる。しかし、全体的に高いウエイト値であることから、運賃という直接的な金銭コストが、荷主の経路選択行動において支配的な要因となっていることも同時に理解できる。



運賃

図-4 「運賃」に関するウエイト値分布

図-5は、「トータル輸送時間（リードタイム）」に関するウエイト値分布である。運賃の場合に比べると分布の幅が小さくなっている。したがって、輸送時間の長さ自

体を最重要視する荷主が少ないと解釈することができる。この結果は、国際航空貨物の品目として、国際間水平分業化された生産過程における中間品が多いという実態に関連すると考えられる。中間品の早着は、保管料や保険料などの在庫コスト増加につながるため、単なる「早さ」は、輸送におけるメリットとはならない場合が多い。需要予測モデルの作成時等には、こうした航空貨物輸送の特徴に留意しなければならない。

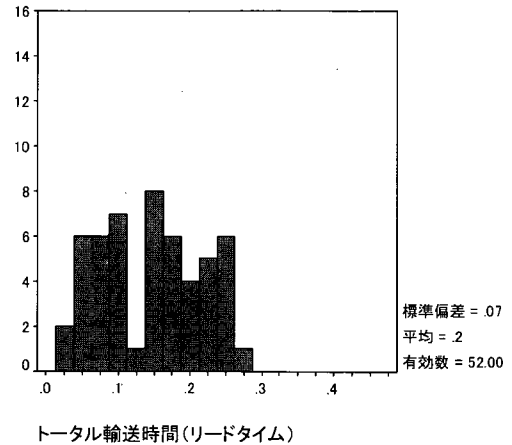


図-5 「トータル輸送時間」に関するウエイト値分布

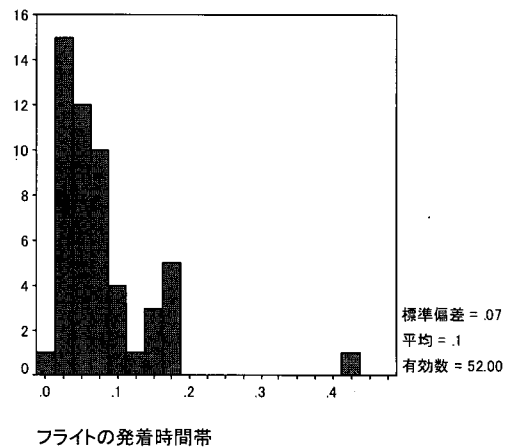
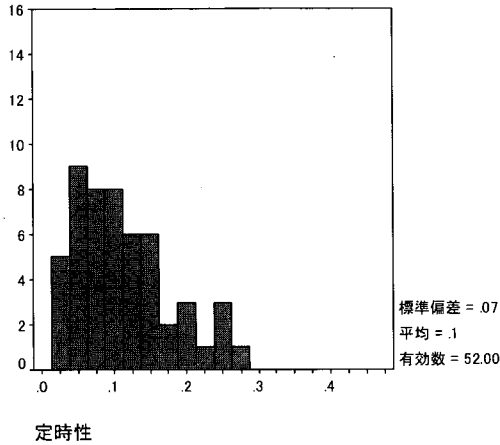


図-6 「フライト発着時間帯」に関するウエイト値分布

図-6は、「フライトの発着時間帯」に関するウエイト値分布を示したものである。発着時間帯についてのウエイト値は、分布幅が非常に小さく、全項の分析からも明らかのように、平均値も最小である。すなわち、荷主の経路選択行動においては、相対的に重視されていない要素であると言える。先行研究(石倉ら(2003))では、フ

フォワーダーが輸送経路決定の際に重視する要因として発着時刻が挙げられていたが、これは、フォワーダーの輸送サービスメニュー設計に影響することを意味しており、荷主の経路選択要因とは性格を異にしているということであろう。すなわちフライトの発着時刻は、荷主のニーズである、輸送の一般化費用削減という目的に対しては、直接的影響が小さく、フォワーダーによる選択肢設計に影響する技術的要因としての性格を持つと言えよう。



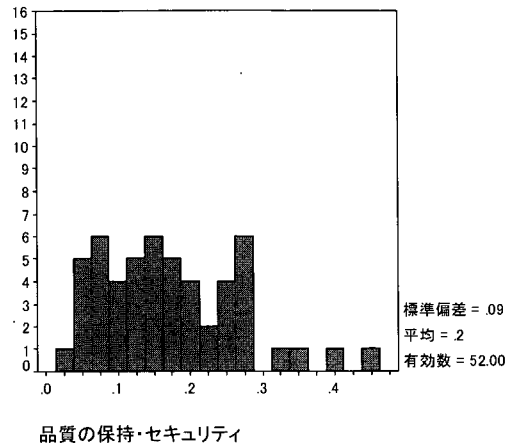
定時性

図-7 「定時性」に関するウエイト値分布

図-7は、「定時性」に関するウエイト値分布を示している。定時性についてもフライト発着時間の場合と似た分布形となっている。ヒアリング調査においては、輸送スケジュールの正確性に対するニーズが大きいという情報も得られており、このことは航空貨物輸送の経路選択要因分析結果としては、一見すると直感的認識とは異なるように見える結果である。しかし、航空輸送というモード自体が、運航スケジュールの定時性に対する信頼性が高いので、航空輸送の経路間では、定時性についての差異が小さい。したがって、本研究のアンケート調査からは、定時性要因が大きなウエイトを持たないという結果が生じたものと考えられる。仮に、海運等の他輸送モードとの輸送機関選択が行われれば、定時性という要因に対して、本分析結果と大きく異なる評価が得られる可能性がある。

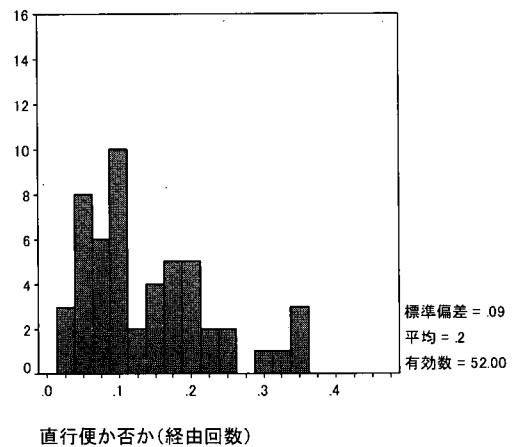
図-8では、「品質保持・セキュリティ」に関するウエイト値の分布が表されている。運賃やリードタイムに対する評価と同様に、比較的平らなウエイト値分布となっている。リードタイムに関するウエイト値の分布と比較すると、全体的に、品質保持・セキュリティに関するウエイト値が大きく、輸送サービスの質的要因が荷主の経路

選択において非常に重要となっていることが理解できる。航空を利用する品目の単価は、海運に比べて著しく高いため、貨物へのダメージやロストによる荷主の損失は大きい。このような輸送経路選択肢の質的な特性は、従来の選択モデルではほとんど考慮されることがなかったものであり、今後の需要予測モデル構築にあたり、重要な検討項目とすべき点である。



品質の保持・セキュリティ

図-8 「品質保持・セキュリティ」に関するウエイト値分布



直行便か否か(経由回数)

図-9 「直行便か否か」に関するウエイト値分布

図-9は、「直行便か否か(経由回数)」に関するウエイト値の分布を示している。定時性についての分布形と類似していることが観察される。分布の頂点が左側に寄った形となっており、直行便であることを重視する荷主の割合は小さいと推定される。経由地や積み換え回数が増えると、必然的に盗難やダメージのリスクが高くなるの

で、このようなリスクを重視する荷主が多い場合に、当該要因のウエイトが高くなっていると考えられる。

4. おわりに

本研究は、我が国の国際航空貨物輸送における輸送経路決定の要因を明確化することを目的とし、フォワーダー業者に対するアンケート調査データを基に経路選択の特性について分析を行った。

本研究の採用した AHP については、その理論的厳密性に対して批判の大きい手法である。また、本来の使用方法である代替案の総合評価という目的には用いず、選択要因のウエイト算出のみに AHP を適用している。

しかし、国際航空貨物流動に関する統計資料が十分に存在すれば、理論面で優れる非集計行動モデルのような手法が採用できるが、現実的にはそのような分析に適用可能な資料は存在しない。また、個別荷主の選択行動把握の調査も、多大な労力とコストを伴うため、効率的とは言いがたい。本研究は、このような制約下において、国際航空貨物の経路決定要因を定量分析し、分析手法の厳密性を犠牲にしても、新たな知見の獲得を目指したものである。

その結果、過去の研究成果からは知り得なかった、国際航空貨物輸送の経路選択行動の特性を発見することができた。特に、既存の経路選択モデルでは考慮されていない、輸送経路の安全性のような質的要因の重要性が本研究により示された。また、データ制約により正確に把握することが困難な輸送運賃が、荷主の経路選択行動に大きく影響するものであり、運賃データの推定が航空貨物流動予測において重要な課題であることも明らかになった。今後は、本研究の成果を発展させ、需要予測手法や空港政策・物流政策の評価ツールに反映させていきたいと考えている。

最後に、本研究の遂行にあたりご協力いただいた、社団法人航空貨物運送協会および会員企業の方々にこの場を借りて謝意を表させていただきます。

(2004年2月16日)

参考文献

- 花岡伸也, 石黒一彦, 菊地竜也, 稲村肇 (2000): 業種別の貨物流動からみた国際コンテナ貨物取扱荷主の港湾選択行動分析, 土木計画学研究・論文集, No.17, 835-840
- 岡本直久 (1999): 中核国際港湾整備の効果と今後の方向, 運輸政策研究, vol.2 No.3, 2-8

浅野順司, 鹿島茂 (1989): 国際航空貨物航空貨物需要の発生・集中及び空港選択に関する分析, 土木計画学研究講演集, No.12, pp459-464

福田和光, 石倉智樹, 稲村肇 (2000): フレイトフォワードの行動に着目した輸出航空貨物の輸送経路特性, 土木計画学研究・講演集, No.23(2), 617-620

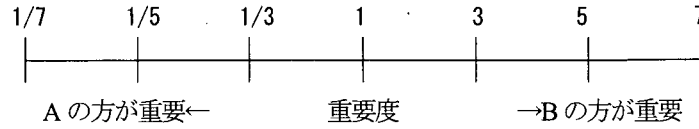
石倉智樹, 丹生清輝 (2003): 我が国の国際航空貨物輸送における課題と空港政策戦略, 土木計画学研究・講演集, No.27, CD-ROM

国土交通省航空局 (2002): 平成13年度国際航空貨物動態調査報告書

木下栄蔵 (2000): AHP の理論と実際, 日科技連

付録 AHP 分析における各要因のウエイト値算出方法

本文 3.3 節における図-3 の一対比較の結果に対して、以下のような値を設定する。すなわち、A 対 B の組合せに関する評価値は、B 対 A の組合せに関する評価値の逆数となるように、各回答者の評価結果が得られる。



付図-1 一対比較における重要度評価の数値化

このようにして数値化された評価結果を基に、以下のようなマトリクスを作成する。

付表-1 項目間重要度一対比較行列の例

B \ A	①	②	③	④	⑤	⑥
①	1	3	5	3	3	3
②	0.33	1	5	3	1	3
③	0.2	0.2	1	0.33	0.33	0.33
④	0.33	0.33	3	1	0.33	3
⑤	0.33	1	3	3	1	1
⑥	0.33	0.33	3	0.33	1	1

付表-1 として得られた一対比較行列を A と定義し、その i 行 j 列成分を α_{ij} と表す。

評価項目 a, b, c, \dots それぞれに対して、重要度ウエイトを w_a, w_b, w_c, \dots と定義する。各項目間の一対比較評価に推移率が満足されるとすれば、

$$\alpha_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \tag{1}$$

という関係が成立する。このとき、一対比較行列に重要度ウエイトベクトルを乗じると

$$Aw = nw \tag{2}$$

(ただし、 $w = [w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4 \ w_5 \ w_6]^T$, n : 評価項目の数; 本研究では $n=6$)

であるため、 n が一対比較行列の固有値かつ重要度ウエイトベクトル w が固有ベクトルとなる。しかし、実際に得られたデータでは、(1)式が満足されない。そこで、

$$Av = \lambda v \tag{3}$$

から最大固有値 λ_{\max} を求め、これに対応する固有ベクトル v を算出する。(3)式は(1)式と同型であることから、 v を w の近似と解釈し、正規化されたベクトル v を重要度ウエイトとして算出する。算出された λ_{\max} が n に近い値であるほど、重要度ウエイトが良好な数値であると言える。