

物流費用を考慮した海上一航空国際貨物輸送モード選択モデル試案

近年, 2008年秋の経済危機以前より, わが国の国際航空貨物は減少傾向を示している. 本研究では, その要因を貿易統計から把握し, 航空と競合関係にある海上輸送との分担関係を説明し得る, 輸送モード選択モデルを提案する. 具体的には, 貿易統計から, 最近の航空貨物減少の主要因の1つとして考えられる輸出入貨物の落ち込みが大きいことが確認された. また, 輸送モード選択モデルでは, 物流総費用を考慮し, 輸送日数や輸送費用に加え, 商品価格下落率や在庫費用も含んだ新たなモデルを検討した. 主要都市間の輸送サービスレベルや, 例として扱った電機製品の商品価格, および価格下落率などを用いたモデル感度分析から, 本モデルの妥当性が検証された.

キーワード | 国際貨物流動, 輸送モード選択モデル, 物流費用

坪井竹彦

TSUBOI, Takehiko

博(工) 東芝物流(株) 経営企画部 主任

兵藤哲朗

HYODO, Tetsuro

工博 東京海洋大学流通情報工学科教授

脇田哲也

WAKITA, Tetsuya

東芝物流(株) 物流技術部 グループ長

1—はじめに

2008年秋の経済危機以降, 世界的に貨物需要は落ち込んでいるが, わが国の国際航空貨物については, それ以前より低落傾向にあり, 様々な要因の存在が示唆されてきた. 羽田空港の国際化や, 成田空港の滑走路延伸事業の完成を控え, わが国の国際航空貨物の将来像を真摯に議論すべき時期に差し掛かっているが, 目の当たりにしている需要減少は, 長期的な施策展開の足かせにもなっている. それ故, 数年前から始まった国際航空貨物の需要変動要因を整理し, その原因を考察する意義は小さくないと考える.

さて, 一般には国際航空貨物の落ち込みの原因としては, ①原油価格高騰による燃料費の増加, ②SCM(Supply Chain Management)技術の向上による海上輸送の効率化, ③緊急輸送を要する品目の減少 などが想定されている. このうち, ③については, その発生量を予測することや, 品目を特定化することは困難であるが, ①②は一般的な輸送モード分担モデルで扱われる変数で説明可能と思われる. しかしながら, 貨物輸送の場合, 商品価格は多種多様であり, 単に所要時間と費用だけで分担関係が説明できるわけではない.

本研究では, まず貿易統計から, 2007年までの国際航空流動傾向を把握し, その変動の詳細について考察を試みる(2章). 次に, 荷主の立場からみた物流費用を考慮した, 海上一航空の輸送モード選択モデルを定式化し, 主要な都市間におけるモード選択特性について考察を加

える(3章). 以上より, いかなる要因が輸送モード選択に影響を及ぼし得るかを整理し, 近年の傾向とあわせて考察することが本研究の目的である.

なお, データ制約上, 2008年以降の需要減少傾向は2章の分析対象外とする.

2—貿易統計からみた航空貨物の輸出入の傾向

2.1 貿易統計の分析手順

財務省貿易統計は, わが国の輸出入統計として極めて詳細な情報を提供している. 税関統計でもあるため, 件単位で申告金額が判明するし, この10年間の統計はホームページを通じて, CSVファイルとして容易に入手可能である. 本研究でも, 2000年~2007年の暦年の航空貨物を対象にデータを入手, 整備した.

まず200カ国以上に及ぶ取引国から, 輸出額と輸入額の間で, 極端な乖離がないこと(貴金属輸入が卓越する国などの排除)を念頭に, 輸出入額の上位20カ国を表1の通り選んだ. なお, この20カ国で, 2007年の輸出額合計の91.5%, 輸入額合計の87.4%を占める.

貿易統計は金額ベースの統計であり, 重量は必ずしも補足できるとは限らない. これは, 統計上, 「個数」「枚数」などの品目形状に応じた数量記載が認められているためである. 本分析では, その条件を勘案した上で, 重量が記載されたデータのみを取り上げ, 重量計算を行うことにした. この場合, どの程度の件数が重量計算対象となるかを確認するため, 重量計算可能であった貿易額の全体

■表—1 我が国貿易相手20カ国の2007年輸出入概況〔「順位」は20カ国内の順位〕

2007	輸出					輸入				
	金額 億円	重量 万トン	重量 把握率	金額 順位	重量 順位	金額 億円	重量 万トン	重量 把握率	金額 順位	重量 順位
アメリカ	42,038	14.8	0.72	1	1	43,960	14.4	0.79	1	2
中国	41,221	13.8	0.70	2	2	31,163	21.6	0.68	2	1
台湾	24,476	7.3	0.73	4	3	13,889	4.6	0.41	4	4
韓国	19,304	6.4	0.72	5	4	9,352	2.2	0.38	5	11
香港	25,195	5.6	0.64	3	5	1,195	0.3	0.73	17	18
ドイツ	12,820	4.1	0.77	7	6	9,220	4.5	0.88	6	5
タイ	8,072	3.9	0.64	8	7	6,168	4.2	0.66	7	6
シンガポール	12,922	2.9	0.66	6	8	15,861	5.7	0.55	3	3
オランダ	5,957	2.4	0.61	10	9	1,341	0.9	0.90	15	17
マレーシア	7,768	2.4	0.77	9	10	5,770	2.6	0.60	9	7
フィリピン	5,514	1.9	0.74	11	11	4,221	1.6	0.41	13	13
イギリス	5,447	1.8	0.69	12	12	4,966	1.8	0.92	11	12
メキシコ	1,724	1.8	0.76	16	13	1,191	1.3	0.73	18	15
フランス	2,858	1.2	0.68	13	14	6,070	2.3	0.91	8	10
イタリア	1,735	1.1	0.75	15	15	5,251	2.5	0.95	10	8
インドネシア	1,541	1.1	0.74	18	16	1,197	2.3	0.71	16	9
カナダ	1,595	0.6	0.67	17	17	1,369	1.0	0.73	14	16
オーストラリア	1,936	0.6	0.73	14	18	867	1.4	0.94	19	14
南アフリカ	265	0.3	0.67	20	19	4,558	0.1	1.00	12	19
ロシア	530	0.2	0.45	19	20	592	0.0	0.98	20	20

量に占める割合を参考値として計算することとした(表—1の「重量把握率」)。

2.2 20カ国の輸出入実績について

表—1を見ると、輸出入共にアメリカと中国の実績値が突出していることが分かる。これに加えて、台湾、韓国、香港、シンガポールなどが貿易額の上位を占めている。今回作成した重量データも貿易額と同様の順位となっている。「重量把握率」を見ると、上位国でも、一部の国で50%以下の値をとるが、概ね70%以上が把握されていることから、本分析では採用した方法による重量計算値を用いた

考察を行うこととする。

表—2, 3では、20カ国の対前年比を、輸出入別、金額・重量別にまとめている。表中、白抜き数字は1以下、すなわち対前年比の減少を表している。

輸出では、金額・重量ともに2001年の値が大きく減少しているが、これはアメリカ同時多発テロの影響である。その後、輸出額は2005年に若干の落ち込みが見られるものの、2006年に回復し、2007年は増減傾向がばらついている。輸出重量は、2005年以降、減少傾向にある国が約半数であり、特にアメリカでも減少が継続していることが分かる。

■表—2 20カ国の対前年比の値(輸出)[白抜きは減少]

	輸出金額							輸出重量						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
韓国	0.86	1.16	1.15	1.17	1.02	1.04	1.00	0.84	1.18	1.13	1.18	1.08	1.02	0.96
中国	1.07	1.59	1.61	1.16	1.10	1.25	1.24	0.96	1.43	1.43	1.23	1.11	1.15	1.11
台湾	0.69	1.16	1.02	1.26	0.98	1.15	1.09	0.69	1.25	1.16	1.24	0.84	1.10	1.03
香港	0.91	1.32	1.20	1.17	1.07	1.08	1.06	0.83	1.33	1.09	1.13	0.97	1.01	1.01
タイ	0.94	1.12	1.09	1.17	1.03	1.13	1.06	0.86	1.34	1.07	1.31	1.06	0.87	0.94
シンガポール	0.77	0.98	0.98	1.20	0.99	1.13	1.05	0.67	1.17	0.83	1.18	0.94	1.14	1.05
マレーシア	0.83	1.05	0.92	1.03	0.99	1.26	1.05	0.63	1.17	0.97	1.14	1.00	1.08	0.93
フィリピン	0.90	1.13	0.96	0.99	0.92	1.02	0.97	0.80	1.18	0.97	1.06	0.95	1.00	0.94
インドネシア	0.80	1.07	1.05	1.12	0.87	0.86	1.15	0.76	1.26	1.24	1.21	0.96	0.80	1.04
イギリス	0.79	0.94	0.99	1.00	1.05	1.15	0.94	0.78	0.93	0.90	1.21	0.94	1.02	0.90
オランダ	0.97	0.86	1.18	1.17	0.93	1.22	1.16	0.66	1.12	1.31	1.17	0.99	1.24	1.14
フランス	0.88	0.91	1.05	1.20	0.89	1.01	0.97	0.82	1.07	0.98	1.49	0.89	0.83	0.99
ドイツ	0.83	0.84	1.10	1.07	1.00	1.16	1.18	0.78	0.88	1.40	1.06	1.13	0.98	1.00
イタリア	0.83	0.95	1.05	1.11	0.91	1.21	1.02	0.72	0.98	1.17	1.30	0.95	1.13	1.09
ロシア	1.86	1.20	1.28	1.16	1.35	1.23	1.14	1.70	0.95	1.71	1.09	1.32	1.35	1.30
カナダ	0.89	0.90	0.98	1.11	1.25	1.17	0.91	0.75	1.38	0.90	1.17	1.11	0.97	0.90
アメリカ	0.82	0.95	0.90	1.07	1.02	1.08	1.02	0.71	1.37	0.94	1.31	0.96	0.91	0.95
メキシコ	0.68	0.85	0.87	1.48	1.34	1.28	0.89	0.69	1.11	0.82	1.67	1.30	1.48	0.89
南アフリカ	1.12	1.00	1.14	1.40	1.18	1.28	0.93	1.07	1.08	1.16	1.58	1.19	1.14	1.09
オーストラリア	0.80	0.98	1.21	1.13	0.95	1.39	1.19	0.77	1.25	1.00	1.25	0.98	1.07	0.84

■表—3 20カ国の対前年比の値(輸入)[白抜きは減少]

	輸入金額							輸入重量						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
韓国	0.89	1.07	1.18	1.13	1.02	1.06	1.05	1.06	0.74	1.02	1.12	1.03	0.79	0.94
中国	1.13	1.32	1.26	1.23	1.20	1.12	1.03	0.92	1.14	1.16	1.24	1.06	1.00	0.98
台湾	0.86	1.03	0.98	1.10	1.09	1.28	0.98	0.92	1.14	0.97	0.90	0.87	0.95	1.12
香港	0.94	1.07	0.85	1.15	0.99	1.00	0.97	0.86	1.01	0.77	0.89	0.95	0.90	0.87
タイ	0.99	1.11	1.08	1.20	1.12	1.07	1.03	1.00	1.15	1.04	1.17	0.97	1.01	0.86
シンガポール	0.97	1.02	1.01	1.10	1.06	1.08	1.02	0.94	0.86	0.96	1.20	0.94	0.98	0.92
マレーシア	0.87	0.84	1.06	1.08	0.95	1.14	1.09	0.85	1.14	1.02	1.16	1.15	1.06	0.94
フィリピン	1.01	1.03	0.96	1.11	0.85	0.97	1.02	0.94	1.06	1.02	1.01	1.05	1.00	0.96
インドネシア	0.95	1.06	0.97	0.99	1.00	1.04	1.01	0.91	1.20	0.85	1.07	0.93	0.89	1.17
イギリス	1.02	0.88	0.92	1.05	1.11	1.09	1.05	1.15	0.91	1.05	0.95	1.01	0.91	0.95
オランダ	0.99	1.03	0.87	0.95	1.20	1.06	1.36	0.87	1.00	0.80	0.91	1.01	0.91	0.92
フランス	1.11	1.12	0.97	1.01	1.04	1.11	1.13	1.06	0.94	1.00	0.93	1.01	0.99	1.05
ドイツ	1.17	1.01	1.09	1.11	1.08	1.09	1.06	1.02	0.99	1.02	1.06	1.01	1.04	1.03
イタリア	1.16	1.03	1.04	1.05	1.04	1.09	1.00	1.06	0.92	0.94	0.99	0.93	1.04	0.90
ロシア	0.70	0.39	1.14	1.31	0.78	1.42	1.15	1.04	0.66	1.57	1.17	0.90	0.81	0.87
カナダ	1.16	1.01	0.99	0.88	1.24	1.06	0.92	0.92	1.28	0.95	0.99	1.07	0.97	0.90
アメリカ	0.98	0.94	0.92	1.02	1.07	1.14	1.01	0.90	1.02	0.93	1.08	0.98	0.93	0.96
メキシコ	1.03	0.93	0.93	1.21	1.23	1.13	1.15	0.85	1.02	1.27	1.23	1.07	0.98	0.90
南アフリカ	0.90	0.96	0.95	1.40	1.28	1.70	1.19	1.09	0.91	0.93	0.81	1.16	1.07	0.70
オーストラリア	0.90	1.27	0.67	1.02	1.26	0.94	0.97	1.09	0.87	0.86	1.01	0.83	1.06	0.70

さて、表—3の輸入対前年比は、輸出以上に明確な傾向を示している。すなわち、輸出で確認される2004年の伸びは必ずしも明確でなく、金額は総じて増加傾向にある(白抜き部分が相対的に少ない)。しかしながら、輸入重量については、2005年以降、全般的な減少傾向に陥っており、減少幅も大きいことが見て取れる。

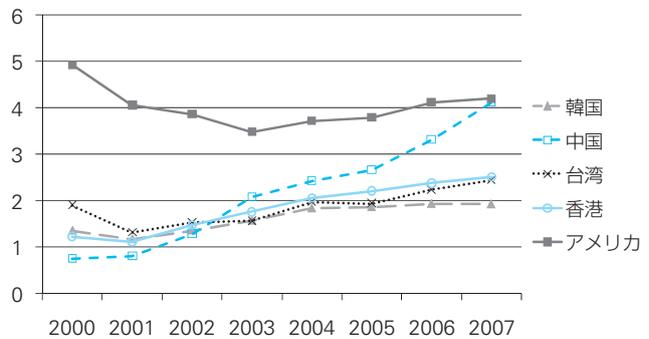
以上より、航空貨物では、金額ベースでは、輸出入ともに緩やかな増加傾向にあったが、重量ベースでは、特に輸入貨物で近年、減少していることが分かった。

2.3 上位5カ国の傾向分析

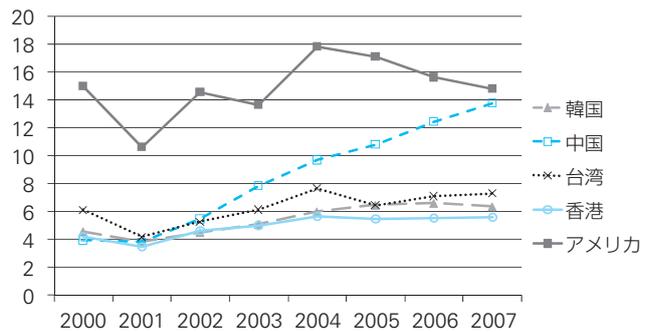
経年的な傾向をさらに詳しく考察するため、輸出入各々で上位5カ国を選び、同様に金額と重量の推移をグラフ化した。なお、輸出では、韓国・中国・台湾・香港・アメリカを、輸入では、韓国・中国・台湾・シンガポール・アメリカを選んだ。

図—1, 2より、輸出ではアメリカで2005年以降、金額は増えているにもかかわらず、重量が減少していることが特徴的である。中国を除く他の国でも、重量は伸び悩んでいるが、金額は若干増加傾向にあり、輸送品目の高付加価値化が進んでいることが想像される。一方、中国は旺盛な経済成長に裏打ちされ、2001年以降は金額も重量も大幅に伸びており、特に金額の増加率は重量を上回っていることが確認できる。

一方、輸入の推移を見ると、アメリカは2004年以降、金額と重量が逆の傾向になっており、分析期間内で、輸入重量が一貫して減少している(図—4)。金額の増加が続く中国でも、2005年以降、重量は伸びなくなっている。他の国



■図—1 金額の推移(輸出)[縦軸:兆円/年]



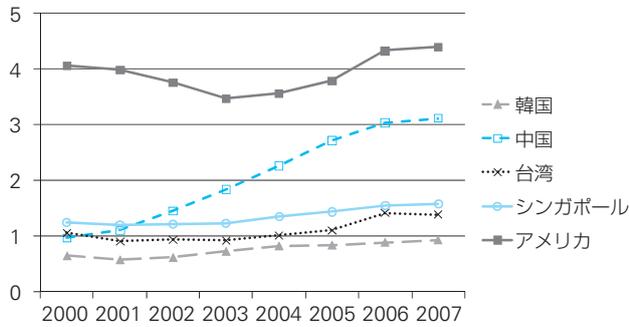
■図—2 重量の推移(輸出)[縦軸:万トン/年]

では、台湾が一貫した重量減少、シンガポールと韓国は、中国同様、2005年以降の重量伸び悩みという推移を示す。

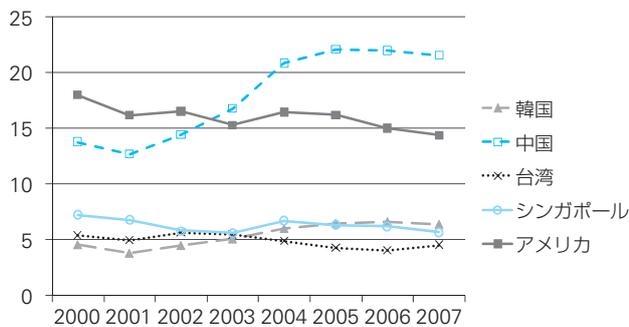
以上より、輸入貨物については、2005年以降、重量が金額増とは逆に、全般的に減少傾向の局面になっていることが分かった。

2.4 米中の品目構成に着目した分析

次に、輸出入ともに上位2位である、アメリカと中国に着目し、貿易統計に記載されている品目別に金額、重量を



■図-3 金額の推移(輸入) [縦軸: 兆円/年]



■図-4 重量の推移(輸入) [縦軸: 万トン/年]

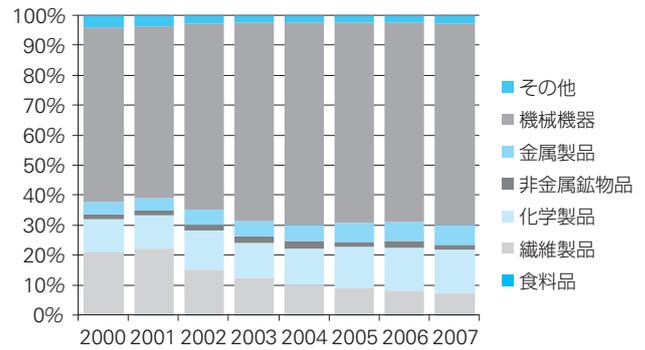
分析する。なお、本分析では考察を容易にするため、貿易統計の「部」を表-4のように7品目に再分類した。

■表-4 本分析における品目分類

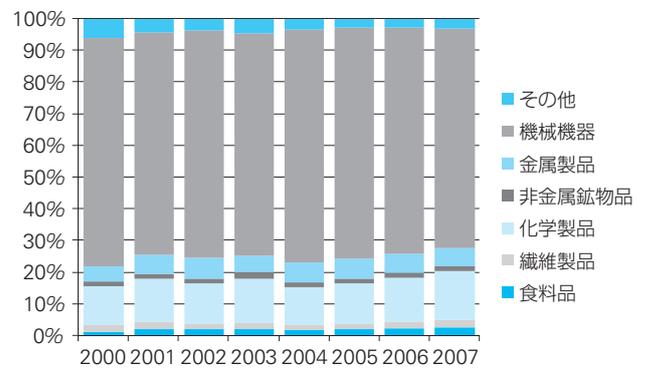
品目分類表			
部	貿易統計分類	部	本分析の分類
1	動物	1	食料品
2	植物	1	食料品
3	動植物油脂	1	食料品
4	調整食料品	1	食料品
5	鉱物性生産品	3	化学製品
6	化学工業品	3	化学製品
7	プラゴム製品	3	化学製品
8	皮革装身具	2	繊維製品
9	木材製品	4	非金属鉱物品
10	パルプ繊維素製品	7	その他
11	紡績用繊維	2	繊維製品
12	履物帽子傘	2	繊維製品
13	石セメントガラス	4	非金属鉱物品
14	貴金属	5	金属製品
15	鉄鋼アルミ製品	5	金属製品
16	機械電機部品	6	機械機器
17	車両輸送関連品	6	機械機器
18	光学時計機器	6	機械機器
19	武器銃砲弾	6	機械機器
20	家具玩具雑品	7	その他
21	美術骨董品	7	その他

図-5,6は中国,アメリカの輸出品目の重量構成率である。国際航空貨物では、緊急性の高い車両機器や、パソコンなど電機製品が「機械機器」に含まれるため、そのシェアが高くなっている。アメリカの品目構成率に大きな変化はないが、中国への輸出では、繊維製品のシェアが半減していることが特徴的である。日本製の繊維を中国

に輸出し、中国で加工していた従来のプロセスが、原料の多国籍化により、必ずしも日本からの輸出に頼ることなく調達可能になったこと、および、海上シフトにも一因があると想像される。



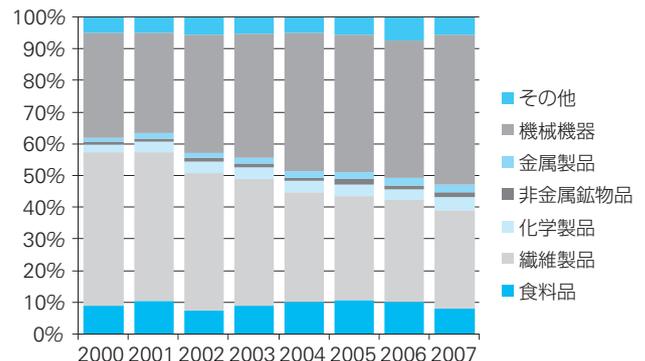
■図-5 重量の品目構成率(中国・輸出)



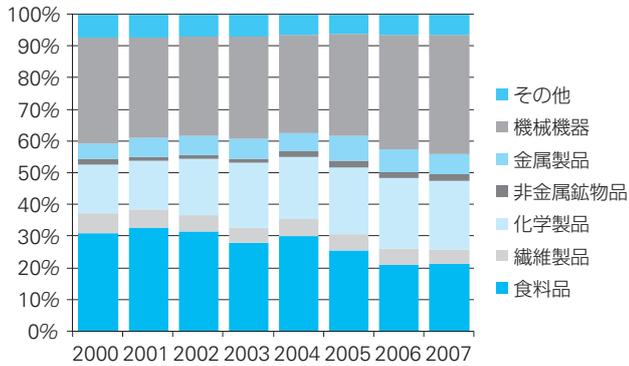
■図-6 重量の品目構成率(アメリカ・輸出)

前節で、輸入重量の減少傾向が確認されていたが、図-7,8を見ると、中国では機械機器のシェアが高まり、そのシェアが繊維製品から転換していることが分かる。中国からの繊維輸入の減少がその主要因と見なせるが、繊維全体の輸入量の減少が考えにくいので、この原因として、海上シフトが想定されよう。

アメリカからの輸入量では、食料品のシェアの低下が目撃を引く。代わりに化学製品や機械機器は若干、シェアが増加しつつある。必ずしも輸入食料品の詳細は明らかでないが、海上シフトや、他の国への代替が進行していることが想像される。



■図-7 重量の品目構成率(中国・輸入)



■図-8 重量の品目構成率(アメリカ・輸入)

次に、両国の品目別重量金額換算値(以降、「重金係数」と称する)を算出した。この値は、貿易統計で重量に関する単位が記載されてあった金額を、重量で除することで求めている。なお、貿易統計上の輸入金額には運賃と保険料が含まれるため、保険料を含んだ国際輸送の運賃推移を調査¹⁾した(図-9)。その結果、航空輸送は期間中ほとんど変化せず、海上輸送は、2006年までの上昇率は4.5%であり、2006年から2007年にかけて約20%上昇していた。以上により、輸入の重金係数と比較して上昇率とその上昇の推移が異なるため、運賃は輸入重金係数に影響を与えていないと判断した。

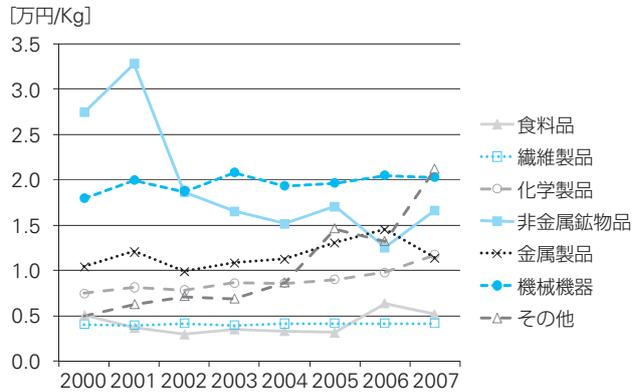


■図-9 2000年を100とした両輸送モードの運賃推移

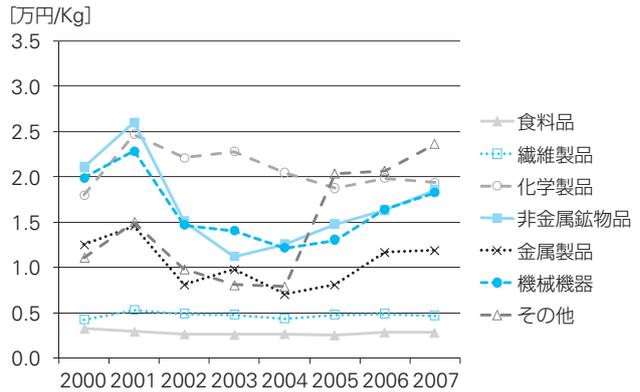
中国輸出の重金係数を見ると(図-10)、貿易量で高いシェアを有する、機械機器、化学製品、繊維製品の3品目では大きな変化がなく、品目の付加価値が安定していると想定される。

アメリカへの輸出(図-11)では、機械機器など変動が大きい品目が多く、特に2005年以降、重金係数が増大する傾向にあり、やはり高付加価値化が進行していると言える。

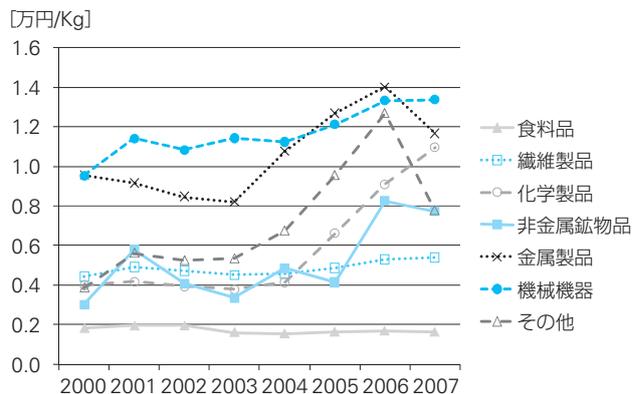
中国からの輸入重金係数(図-12)は、繊維製品を除いて、2004年以降、増加傾向にある品目が殆どであり、中国からの輸入品高付加価値化が進展していると考えられる。化学製品や、機械機器の伸びから、中国国内における製品生産能力の向上が示唆されよう。



■図-10 重金係数の推移(中国・輸出)[万円/Kg]



■図-11 重金係数の推移(アメリカ・輸出)[万円/Kg]



■図-12 重金係数の推移(中国・輸入)[万円/Kg]

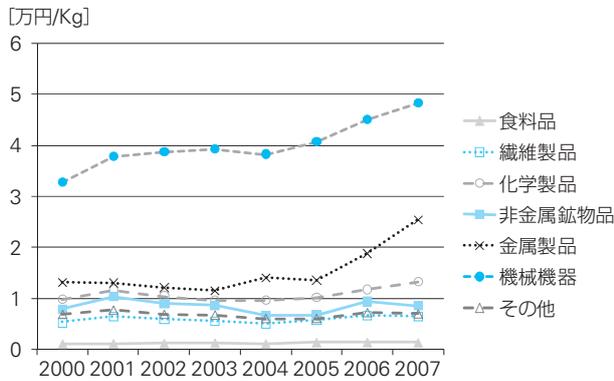
アメリカからの輸入では、機械機器の高額な単価が目につくが、他の品目も概ね増加傾向にあることが分かる。

以上の分析より、本研究の主眼である、海上—航空のモード分担関係を考察する場合、機械機器の重要性が高いことから、次章では電機製品を例に、輸送モード分担モデルの検討を行うこととする。

3—物流費用を考慮した輸送モード選択モデル

3.1 輸送モード選択モデルの概要

海上輸送と航空輸送の運賃を比較すると、圧倒的に航空運賃が高価である。しかしリードタイムの差は大きく、例えば、東京からロンドンまでの輸送リードタイムは、海上輸



■図—13 重金係数の推移(アメリカ・輸入)[万円/Kg]

送が約1ヶ月間、航空輸送が2日間と両者に大きな開きがある。さて、昨今の消費者向け商品販売価格(以後単に販売価格と略す)は下落が激しく、輸送リードタイムが長くなると、輸送中に大きく商品価値が毀損してしまうリスクがある。このため、運賃が安価な海上輸送が、輸送手段として常に航空に勝るとはいえない。そこで、本研究では従来からも用いられてきている²⁾輸送費用に、輸送中の販売価格の下落リスクを考慮した輸送モード選択モデルを構築することとした。

3.1.1 輸送モード選択モデルの定式化

輸送モード選択モデルは、2つの輸送モードを、物流総費用により比較し、より安価なモードを選択することを前提とする。選択モデルは、①費用算定式、②選択条件式の2式により構成される。

3.1.2 モデルに組み入れる費用項目の検討

本研究では、モデル構築に用いる費用として、「輸送費用」「価値低減費用」「在庫費用」の3項目を選定した。

(1)輸送費用

発地国および着地国内の輸送費は、どの輸送モードでも同一と仮定し、ここでは、国際輸送費用のみをモデル式に組み入れることとした。すなわち、分析で扱われる費用は、発着地の港間・空港間の費用となる。

(2)価値低減費用

商品の価値が低下する費用として、以下の2項目をモデル式に組み入れる。なお、両者とも日数に比例した費用となるが、この日数には、輸送日数に加え、倉庫などにおける在庫日数が加算されるとする。

①販売価格の下落費用

品目によっては、販売価格の下落率が大きいことがある。すると、輸送および在庫にかかる日数が長いと、比例して販売価格が大きく下落してしまい、結果として損失を被ることになる。その損失額を、ここでは価格下落費用としている。

②商品の金利費用

従来より、物流費用を計上するときに多用される方法である。輸送・在庫日数分、商品が販売できないことを仮定し、相当する輸送日数分の金利を、金利費用とする。

(3)国内物流拠点の在庫費用

輸送モードが異なれば、その運行頻度も異なる場合が多く、次回の入荷までに必要な在庫量も異なる。例えば、毎日運航であれば、平均在庫日数は0.5日であるが、週1回運航では3.5日となる。そこで、この輸送頻度の差異を考慮するため、平均在庫日数にかかる在庫費用を、モデル式に組み入れた。この在庫費用は必要となる保管スペースの借り上げ費用である。

3.1.3 費用算定式の定義

本モデルでは、3.1.2の費用の考え方に基づき、1m³あたりの1回の国際輸送にかかる費用算定式を、次のように定義した。

総費用＝輸送費用＋価値低減費用＋在庫費用
これより、輸送手段の総費用は、式(1)となる。

$$TC_i = C_i + FC_i + SPC_i \quad (1)$$

輸送費用： C_i [万円/m³]

価値低減費用： FC_i [円/m³]

在庫費用： SPC_i [万円/m³]

また、価値低減費用は、以下で与えられる。

$$\text{価値低減費用} = \text{販売価格} \times (\text{輸送日数} + \text{平均在庫日数}) \times (\text{価格下落率} + \text{金利})$$

これより、輸送手段*i*における価値低減費用は、式(2)のように表せる。

$$FC_i = PR \times \left(TR_i + \frac{7}{2FR_i} \right) \times \left(\frac{INT}{100 \cdot 365} + \frac{ATR}{100} \right) \quad (2)$$

販売価格： PR [万円/m³]、輸送日数： TR_i [日]

輸送頻度： FR_i [便/週]、金利： INT [%/年]

価格下落率： ATR [%/日]

また、在庫費用推計式は、以下の通りとする。

$$\text{在庫費用} = (\text{平均在庫量} + \text{安全在庫量}) \times \text{在庫保管単位費用}$$

これにより、輸送手段における在庫費用を、式(3)で定義する。

$$SPC_i = \left[\frac{7}{FR_i} + k\sigma \sqrt{\frac{7}{FR_i}} \right] \times \frac{SC}{30} \quad (3)$$

出庫の標準偏差： σ 、安全係数： k 、

在庫保管単位費用： SC [万円/(m³・月)]

なお、式(3)の右辺括弧内第2項は、在庫管理の初歩的なテキストでも確認可能な、在庫管理方式における発注点方式の安全在庫数を表す式である。

3.1.4 選択条件式の定義

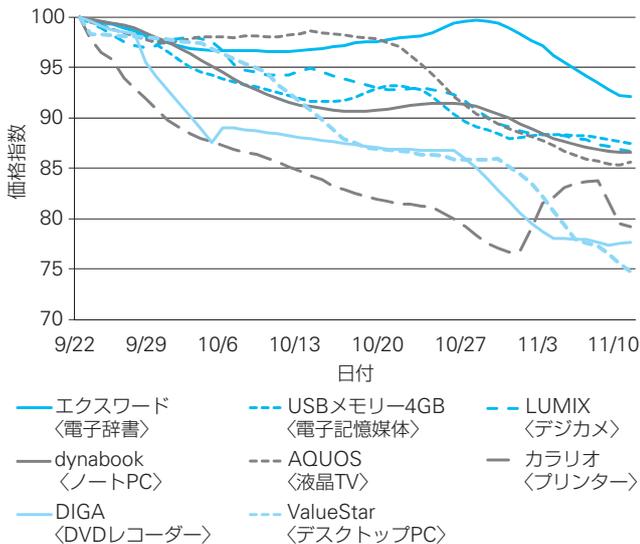
輸送モード*i*と*j*の選択条件式は、以下の通りで、本分析では確率的な選択条件は考慮しないこととする。

$TC_i < TC_j$: モード*i*を選択

$TC_i > TC_j$: モード*j*を選択

3.2 価格下落率の実態

ここでは、本分析モデルの特徴である、販売価格の下落の実態を把握する。価格下落が大きく、しかも海外生産が多い家電製品に着目し、2008年9月22日から同年11月10日までの50日間における販売価格の推移を調査³⁾した(図一14)。なお、各商品の販売価格が異なるため、9月22日の調査価格を100とした指数を用いて図示した。製品別にみると、日単位の商品下落率は0.16~0.33%と開きがあるが、今回調査した全56製品の平均下落率は0.25%であり、輸送リードタイムが長くなると、販売価格の下落効果に起因する費用増の実態が明らかとなった。また、上記期間中だけではなく長期的な価格変動⁴⁾も調べた。その結果、家電製品は1990年以降一貫して下落傾向にあり、その下落率も毎年約15%であり変動していないことが明らかとなった。



■図一14 家電製品における販売価格の推移³⁾

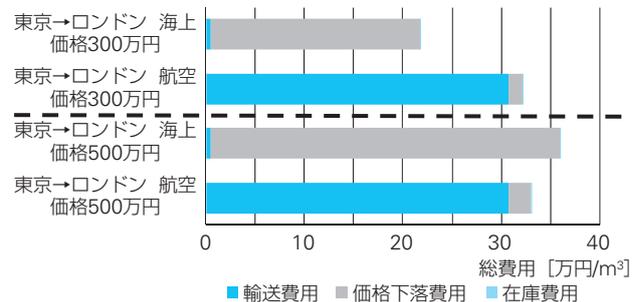
3.3 輸送モード選択モデルによる分担関係の考察

3.1で定義した輸送モード選択モデルを使用し、サンプルデータによりその特性を把握する。なお、サンプルデータは、東京→ロンドン間の海上コンテナ輸送と航空輸送の比較を想定しており、設定する各種変数値は表一5のとおりとする。式(1)に表一5のパラメータを代入し、海上コンテナ輸送と航空輸送の総費用を求めたものが、図一15である。

結果を見ると、販売価格が1m³あたり300万円の場合は航空輸送の物流総費用が海上輸送より高く、500万円

■表一5 使用したパラメーター一覧

パラメータ	海上輸送	航空輸送
備考		
輸送費用 (C) [万円/m ³]	0.38	30.72
輸送日数 (TR) [日]	24	1
* 海上輸送—OOCLJapanのHPより (2009年1月時点) * 航空輸送—CrgoTariff 2008年10月号より		
輸送頻度 (FR) [便/週]	1	5
* 大手電機メーカー Aからのヒアリングにより		
価格下落率 (ATR) [%/日]	0.25	
* 価格.comによる対象商品の平均値		
金利 (INT) [%/年]	3.0	
* 筆者らの想定値 (2009年1月の日銀長期金利-2%前半)		
在庫スペース費用 SC [万円/(m ³ ・月)]	0.35	
安全係数 k	1.65	
出庫の標準偏差 σ	0.65	
* 大手電機メーカー Aからのヒアリングにより		



■図一15 東京→ロンドン間の販売価格別の輸送モード別総費用の比較

の場合は海上輸送の方が高い。これは、価格に比例して価格下落費用が増大し、総費用への影響が大きくなるからである。また、航空輸送は総費用の大半を輸送費用が占めており、海上輸送は総費用の大半を価値低減費用が占めている。これより、航空、海上輸送は、それぞれ異なる物流費用構造を有しており、販売価格により適切な輸送手段が異なることが確認できた。

3.4 東京発世界主要7都市間の物流費用構造の考察

本節では、東京を発地とし、世界7主要都市向けの航空輸送と海上輸送のモード選択の特徴を把握し、物流費用構造の相違についてモデル推計結果を通じた考察を行う。

3.4.1 総費用同額曲線の導出

両モードにおける選択領域を明らかにするため、式(1)を用いて、両モードの総費用が等しくなる販売価格を求める式を導出する。

両モードの物流総費用が等しくなる、 $TC_i = TC_j$ の条件に式(1)を代入すると、輸送モード*i*と*j*の総費用が等しくなる境界線(本研究では、総費用同額曲線と称する)が導出される。そこで、 $TC_i = TC_j$ と式(1)を販売価格*PR*について解くと、以下の式を得る。

$$PR = \frac{100 \times [(C_A - C_S) + (SPC_A - SPC_S)]}{\left(\frac{INT}{365} + ATR\right) \times \left[(TR_S - TR_A) + \frac{7}{2} \left(\frac{1}{FR_S} - \frac{1}{FR_A}\right)\right]} \quad (4)$$

3.4.2 総費用同額曲線における各変数間関係

両輸送モードの選択要因の一つである、販売価格PRの決定に大きな影響を与える変数を明らかにするため、式(4)の各変数に着目し、式内の変数をX, Y, Zにまとめると、式(5)のようになる。なお、変数XとY, Z間には乗除関係にあるので、PRへの影響度について、大小関係を判断することはできない。しかしX内の各パラメータは加減関係にあるので、PRへの影響度について、その影響の大きさを判別することが可能であろう。Y内やZ内についても同様である。

$$PR = \frac{100 \times X}{Y \times Z} \quad (5)$$

次に、式(5)に表-5のパラメータを代入すると、式(6)を得る。

$$PR = \frac{100 \times [(30.72 - 0.38) + (0.7233 - 2.6483)]}{\left(\frac{3}{365} + 0.25\right) \times \left[(24 - 1) + \frac{7}{2} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{5}\right)\right]} \quad (6)$$

ここで、式(5)の変数X, Y, Zと式(6)の数値を対応させて、X, Y, Zを数値で表すと、式(7)~(9)となる。

$$X = (C_A - C_S) + (SPC_A - SPC_S) = (30.34) + (-1.93) \quad (7)$$

$$Y = \frac{INT}{365} + ATR = (0.008 + 0.25) \quad (8)$$

$$Z = (TR_S - TR_A) + \frac{7}{2} \left(\frac{1}{FR_S} - \frac{1}{FR_A}\right) = (23) + (2.8) \quad (9)$$

式(7)より、Xは1m³あたりの輸送コストの差分(C_A-C_S)と在庫費用差分(SPC_A-SPC_S)の加算式であるが、絶対値の関係でみると、C_A-C_Sの値がSPC_A-SPC_Sの値よりも大きいことが分かる。このため、輸送費用差(C_A-C_S)がモード選択に多大な影響を与えていることが分かる。

式(8)のYは金利(INT)と価格下落率(ATR)の加算式であるが、価格下落率は金利よりも30倍程度大きく、物流費用を大きく左右する要因であることが分かる。

輸送日数の差分(TR_A-TR_S)と輸送頻度の差分(1/FR_A-1/FR_S)の加算式であるZ(式(9))を見ると、輸送日数差は頻度よりも10倍程度大きく、値の大小に大きな影響を与えている。

以上より、両輸送モードの総費用が等しくなる販売価格(PR)決定において、大きな影響を与える変数は、輸送費用差(C_A-C_S)と価格下落率(ATR)、および輸送日数差(TR_S-TR_A)の3変数であることが明らかとなった。ここでは東京

→ロンドンを例にとり、数値を設定したが、同様の傾向は他の長距離の都市間でも認めることができる。

3.4.3 総費用同額曲線に大きな影響を与える3変数の感度分析

ここでは、東京を発地とし、世界7主要都市向けの航空輸送と海上輸送のモード選択の特徴を考察する。そこで、表-5および表-6の種々の変数を式(4)に代入し、変数間の代替関係を図示することで、感度分析を行うこととした。表-5と同様に、海上輸送費と輸送日数はOOCL JAPAN⁵⁾のデータを、航空輸送費と輸送日数はCARGO TARIFF⁶⁾の数値を使用し(表-6)、その他の変数値は表-5の数値を使用する。なお、メルボルンとバンクーバー、ニューヨークの海上輸送費は非公開のため、一律に0.5万円と仮定した。

■表-6 各都市のパラメータ一覧

都市名	手段	運賃 [万円]	輸送日数 [日]	輸送頻度 [便/週]
ロンドン	海上	0.4	24	1
	航空	30.7	1	5
ドバイ	海上	0.7	20	1
	航空	32.2	1	5
シンガポール	海上	0.4	9	1
	航空	16.5	1	5
香港	海上	0.4	4	1
	航空	10.4	1	5
メルボルン	海上	0.5	19	1
	航空	21.2	1	5
バンクーバー	海上	0.5	21	1
	航空	18.0	1	5
ニューヨーク	海上	0.5	26	1
	航空	21.5	1	5

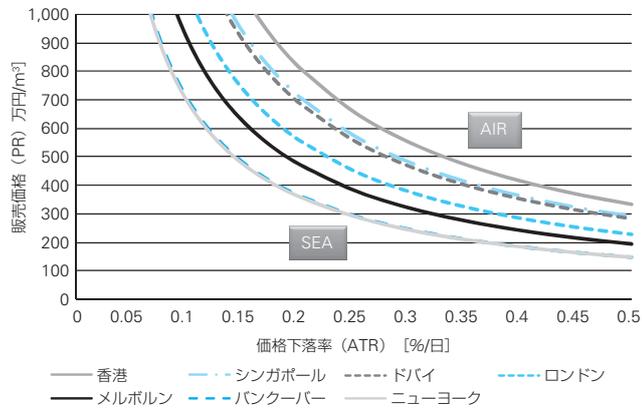
(1) 販売価格と価格下落率の関係

東京から海外主要7都市間の販売価格(PR)と、価格下落率(ATR)との関係はロンドンを例にとると式(10)のようになる。

$$PR_{LND} = \frac{100 \times [(30.7 - 0.4) + (0.72 - 2.65)]}{\left(\frac{3}{365} + ATR\right) \times \left[(24 - 1) + \frac{7}{2} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{5}\right)\right]} = \frac{117.27}{\left(ATR + \frac{3}{365}\right)} \quad (10)$$

同様にその他6都市の総費用同額曲線を作成し、これらを図-16に表した。総費用同額線が下にあるほど航空輸送を選択する領域が増えることになる。東京から比較的近距离に位置するアジア圏への輸送は、海上輸送と航空輸送で輸送日数の差があまり生じないため、価格下落費用の影響が少ない。しかし、欧米など遠方への輸送となると海上輸送と航空輸送で輸送日数の差が開き、価格下落費用の影響が大きくなる。ゆえに、最も距離の近い香

港への輸送は、高価格でかつ価格下落率が高くないと航空輸送が選択されないが、逆に、最も遠方であるニューヨークへの輸送は、航空輸送が選択される領域が広く、販売価格と価格下落率の下限値は共に低いレベルにある(図の「AIR」領域が広い)ことが理解できる。



■図一16 販売価格(PR)と価格下落率(ATR)の関係

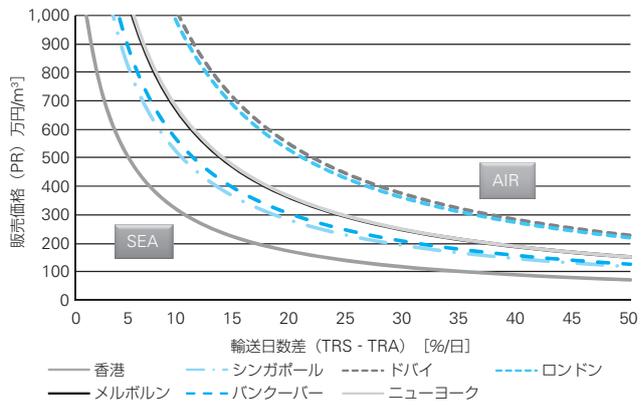
3.2の分析結果から、本分析が対象とする電機製品の平均的な価格下落率は0.25[%/日]なので、図一16より、ニューヨークでは販売価格約300[万円/m³]、近距離に位置する香港では約700[万円/m³]以上が航空輸送を選択する結果となっている。ここで、筆者らの実務の経験から、図一13で取り上げた各商品の1m³あたりの販売価格を想定し、選択すべき輸送手段を検討する。販売価格が1m³あたり300万円以下の商品は、液晶TVとプリンター、デスクトップPCが該当し、これらは海上輸送が適切である。次に300万円から700万円の商品は、DVDレコーダーとノートPCが該当し、これらは距離により海上輸送と航空輸送を使い分けすることが適切となる。最後に700万円以上となる商品は、残りの電子辞書とデジカメ、USBメモリーが該当し、これらは航空輸送が適切である。以上の検討により、1m³あたりといった輸送単位でみると、家電製品というカテゴリにおいても多様な販売価格帯が含まれており、選択すべき輸送手段が異なることが指摘できる。

(2)販売価格と輸送日数差の関係

東京から海外主要7都市間の販売価格と輸送日数差との関係を、(1)と同様の手法により図一17の通りに作成した。図一16とは大小関係が異なるが、類似した反比例の曲線となり、輸送日数差が大きくなると、航空輸送を選択する領域が広がるということが分かる。これは逆の見方をすれば、海上輸送の日数を短縮することにより、いわゆる海上シフトが進展することを表している。具体的には、SCMの進展など、在庫日数の減少もあわせて、近年の動向の実態を把握する必要がある。

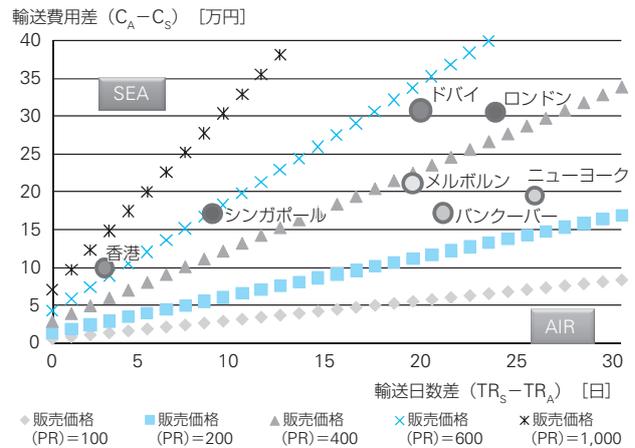
(3)販売価格と輸送費用差、輸送日数差の関係

販売価格と輸送日数差、輸送費用差の3変数による輸



■図一17 販売価格(PR)と輸送日数差($TR_S - TR_A$)の関係

送モードの選択領域を、図一18に表した。もっとも東京に距離の近い香港やシンガポールへの輸送は、販売価格が600万円のラインより上にあり、海上輸送を選択する領域に位置する。しかし、その他遠方の都市は、600万円のラインより下にあり、航空輸送の選択領域に位置している。また、日数差が同程度のニューヨークとロンドンでは、相対的にロンドンの航空費用が割高となっており、400万円ラインで見れば、5万円の航空運賃減で海上から航空にシフト可能であることも見て取れる。



■図一18 販売価格と輸送費用差と輸送日数差による輸送モードの選択領域

4—おわりに

本研究では、近年のわが国の国際航空貨物の減少傾向を、公的な統計により詳細に把握した。その結果、特に輸入貨物において重量の減少が顕著になりつつあることが確認された。また、代表的な国においては、さらに品目別の動向も考察し、その中でもシェアの高い機械機器を念頭においた、海上—航空間の輸送モード選択モデル式を提案した。分析結果より、従来よりモデルに取り込まれてきた所要日数と輸送費用に加え、価格下落率がモード選択に大きな影響を与え得ることが示唆された。

定量的な分析に資する商品流動データは現時点で準備できていないため、モデルの統計的な妥当性は未確認である。しかし、筆者らの実務経験からは、モデルの挙動に大きな問題点はなく、関係する実務者へのヒアリングでも、モデルの妥当性に疑義は指摘されなかった。

次なる課題は以下の通りと考えている。

- ①過去の商品輸送実績データを用いた、モデル説明力の確認
- ②両モードの物流費用を効用関数とした、確率的選択モデルの検討
- ③本研究で取り込むことができなかった、在庫費用における人件費や、イニシャルコストの導入可能性
- ④本論文では考慮していない為替レートの変動が貿易量の変化に与える影響分析

末筆であるが、本分析に協力頂いた、横塚洋平氏(元東京海洋大学学部生、現(株)ダイフク)に感謝する次第である。

参考文献

- 1)日本銀行, 企業向けサービス価格指数 <http://www.boj.or.jp/theme/research/stat/pi/cspi/index.htm>
- 2)例えば, 梶田ひかる[2005], “在庫リスクと物流システム選択”, 月刊ロジステクス, 2005年9月号, pp. 1~3.
- 3)価格.com [http://kakaku.com/より\(情報掲載承認済み\)](http://kakaku.com/より(情報掲載承認済み))
- 4)総務省, 消費者物価指数 <http://www.stat.go.jp/data/cpi/>
- 5)OOCL JAPAN <http://www.oocl.com/japan/jpn>
- 6)CARGO TARIFF, 2008年10月号, (株)OFC

(原稿受付 2009年5月7日)

International Marine/Air Cargo Modal Split Model Considering Logistics Cost

By Takehiko TSUBOI, Tetsuro HYODO and Tetsuya WAKITA

The total volume of international air cargo from/to Japan has been decreasing after 2004. The purposes of this paper are to investigate the characteristics of recent air cargo by “Foreign Trade Statistics” and to develop modal split model between marine and air transport. We clarified that one of the decline’s reasons was based on the decreasing import goods. The developed modal split model calibrates logistics cost which involves time, cost, inventory cost and obsolescence cost. We applied the model to several international OD pairs, and it was verified that the model has sufficient applicability.

Key Words : **International Cargo Flow, Modal Split Model, Logistics Cost**
