

1、はじめに

近年、経済発展及び人間活動の拡大とともに、CO₂などの温室効果ガスの排出が増加している。この増加に伴う、地球の表面温度の上昇は、干ばつ・水資源不足などの被害をもたらし、世界的な問題となっている。この問題を解決するために 1997 年に第 3 回気候変動枠組条約締約国会議において京都議定書が採択され、先進国に 1990 年と比べ 5%の削減目標が設定された。さらに、EU で先行実施された排出権取引が近い将来世界に広がると想定される。特に CO₂ 排出量が多い輸送企業は CO₂ の規制が益々厳しい対応が迫られることが予想される。また、この対応のため運賃の上昇も考えられる。

一方、ZARA は航空機を用いたアパレル製品の空輸を行っており、店舗への配送時の温室効果ガスの排出が多くなっている。このため排出規制が強くなれば、ZARA は工場や物流センターの立地を見直す必要が出てくると考えられる。

そこで、本研究では排出権取引が ZARA のサプライチェーン・ネットワークに与える影響を検討することとする。

2、排出権取引

排出権取引は、国や企業ごとに温室効果ガスの排出枠（キャップ）を割り当て、枠を超えて排出した国（企業）と余っている国（企業）との間で排出枠を取引する制度である。これにより温室効果ガスの排出量を一定の範囲内に収めることを目的としている。

この経済的な手法は、企業の利益に直結し、各企業は積極的に対応している。2005 年から 2008 年までの CO₂、1 トンあたりの排出権取引価格は 17 ユーロから 36 ユーロで変動し、2008 年 12 月現在、23 ユーロ弱である。

3、ZARA の現状

スペインにある ZARA はアパレル業界における大手企業の一つである。2007 年の売上高は 94.35 億ユーロであり、営業利益率が 17.5%と非常に良い経営状態にある。ちなみに、世界最大手のアメリカの GAP は、2007 年の売上高が 122.67 億ユーロで、営業利益率は 8.3%である。

図 1 に ZARA のサプライチェーン・ネットワークの概要を示す。

ZARA では、原材料量を産地から全て物流センターに調達する。商品の生産を決定すれば、原材料をトラックで工場へ輸送し、生産する。そして生産が終わり次第、商品を物流センターへ横持ちする。ここで仕分け、ラベル貼りを行い、EU 域内の店舗にはトラック便で 24 時間以内に配送し、それ以外の地域は空輸で 48 時間以内に配送する。

4、定式化

4.1 総費用の定式化

ZARA のサプライチェーン・ネットワーク上においてかかる費用を次のように定式化する

目的関数（総費用の内訳）

原材料費用、調達費用、物流センター費用、横持ち費用、生産費用、配送費用、店舗費用

$$c1 \cdot \sum_{s \in S} \sum_{b \in B} (x_{sb} + TT_{sb} \cdot x_{sb})$$

原材料費用

$$c2 \cdot \sum_{s \in S} \sum_{b \in B} x_{sb} \cdot DIS_{sb}$$

調達輸送費用

物流センター費用 入出庫のみ考慮

①原材料 ②製品

$$\textcircled{1} \sum_{b \in B} \left(c3_b + c4_b \cdot \left(\sum_{s \in S} x_{sb} + \sum_{k \in K} (x_{bk} + TT_{bk} \cdot x_{bk}) \right) \right)$$

$$\textcircled{2} \sum_{b \in B} \left(c3_b + c4_b \cdot \left(\sum_{k \in K} y_{kb} + \sum_{t \in T} (y_{bt} + TT_{bt} \cdot y_{bt}) \right) \right)$$

横持ち費用

$$c5 \cdot \sum_{b \in B} \sum_{k \in K} (x_{bk} \cdot DIS_{bk} + y_{kb} \cdot DIS_{kb})$$

生産費用

$$\sum_{k \in K} \left(c6_k + c7_k \cdot \sum_{b \in B} (y_{kb} + TT_{kb} \cdot y_{kb} + SKY \cdot y_{kb}) \right)$$

$$c8 \cdot \sum_{b \in B} \sum_{t \in T} y_{bt} \cdot DIS_{bt}$$

配送費用

店舗費用 入庫のみ考慮

$$\sum_{t \in T} \left(c9 + c10 \cdot \sum_{b \in B} y_{bt} \right)$$

制約条件

$$\sum_{b \in B} y_{bt} = DEM_t + STY \cdot DEM_t, \quad t \in T$$

$$\sum_{k \in K} y_{kb} = \sum_{t \in T} y_{bt} + SBY \cdot \sum_{t \in T} y_{bt} + \sum_{t \in T} TT_{bt} \cdot y_{bt}, \quad b \in B$$

$$\sum_{k \in K} x_{bk} = \sum_{b \in B} y_{kb} + SKY \cdot \sum_{b \in B} y_{kb} + SKX \cdot$$

$$\sum_{b \in B} y_{kb} + \sum_{b \in B} TT_{kb} \cdot y_{kb}, \quad k \in K$$

$$\sum_{s \in S} x_{sb} = \sum_{k \in K} x_{bk} + SBX \cdot \sum_{k \in K} x_{bk} +$$

$$\sum_{k \in K} TT_{bk} \cdot x_{bk}, \quad b \in B$$

$$x, y \geq 0$$

4.2 排出権取引にかかる費用の定式化

なお、排出権取引にかかる費用 (CO2 費用) は排出枠を超えた CO2 排出量に比例するとして定式化した。各項目は費用と同じである。

調達輸送 CO2

$$g2 \cdot \sum_{s \in S} \sum_{b \in B} x_{sb} \cdot DIS_{sb}$$

物流センターCO2。①原材料;②製品

$$\textcircled{1} \sum_{b \in B} \left(g3_b + g4_b \cdot \left(\sum_{s \in S} x_{sb} + \sum_{k \in K} (x_{bk} + TT_{bk} \cdot x_{bk}) \right) \right)$$

$$\textcircled{2} \sum_{b \in B} \left(g3_b + g4_b \cdot \sum_{k \in K} y_{kb} + \sum_{t \in T} (y_{bt} + TT_{bt} \cdot y_{bt}) \right)$$

横持ち CO2

$$g5 \cdot \sum_{b \in B} \sum_{k \in K} (x_{bk} \cdot DIS_{bk} + y_{kb} \cdot DIS_{kb})$$

生産 CO2

$$\sum_{k \in K} \left(g6_k + g7_k \cdot \sum_{b \in B} (y_{kb} + TT_{kb} \cdot y_{kb} + SKY \cdot y_{kb}) \right)$$

配送 CO2

$$g8 \cdot \sum_{b \in B} \sum_{t \in T} y_{bt} \cdot DIS_{bt}$$

店舗 CO2

$$\sum_{t \in T} \left(g9 + g10 \cdot \sum_{b \in B} y_{bt} \right)$$

CO2 排出量は次のように求められる

$$CO2 \text{ 費用} = C13 \times (CO2 \text{ 排出量} - \text{排出枠})$$

4.3 記号の一覧

次は、単位を示す(Mm=百万メートル)

①費用

原材料費用 (ユーロ・枚/年); C1 原料単価

調達費用 (ユーロ・枚/Mm); C2 調達単価

物流センター費用 (ユーロ・枚/年) C4 物流センター費用

横持ち費用 (ユーロ・枚/Mm) C5 横持ち単価

生産費用 (ユーロ・枚/年) C7 生産単価

配送費用 (ユーロ・枚/Mm) C8 配送単価

店舗費用 (ユーロ/枚) C10 保管単価

C3,C6,C9: 固定費用 (百万ユーロ)

C13:CO2 単価 (ユーロ/トン)

②CO2 排出量にかかる費用 (ユーロ)

調達 CO2 (トン・枚/Mm); g2:調達 CO2 排出係数

物流センターCO2 (トン・枚/年); g4:物流センター原材料/製品の CO2 排出係数

横持ち CO2 (トン・枚/Mm); g5:横持ち CO2 排出係数

生産 CO2 (トン・枚/年); g7:製品生産 CO2 排出係数

配送 CO2 (トン・枚/Mm); g8:配送 CO2 排出係数

店舗 CO2 (トン/枚); g10:製品保管 CO2 排出係数

g3,g6,g9:固定 CO2 排出係数

各項目の説明

X:原材料 (枚) Y:製品 (枚)

S:サプライヤー T:店舗

B:物流センター K:工場

TT:時間 (年) DIS:距離 (百万メートル)

DEM:店舗需要 (枚)

SKX:工場原材料在庫回転期間 (日)

SBX:物流センター原材料在庫回転期間 (日)

SKY:工場製品在庫回転期間 (日)

SBY:物流センター製品在庫回転期間 (日)

STY:店舗製品在庫回転期間 (日)

5、検討及び考察

5.1 検討内容

本研究では下記の2つについて検討を行う。

- (1) 空輸による高速・高頻度配送の理由解明
 - (2) 排出権取引がネットワークに与える影響
- なお、(2)の検討では図1のネットワークと図2に示すネットワークを比較する。そして、一極集中の生産・配送（現状）と地域生産・販売（分散）における排出権取引の影響の相違について検討する。

次に、検討で用いる各単価等の設定について説明する

全てのパラメーターの設定は日本経済産業省・中国統計局のデータをもとに設定した。

表1は現状費用、表2は分散費用を示す。

5.2 空輸による高速・高頻度配送の理由解明

ZARAでは遠隔地への配送に航空機を用いている。ここではこの理由について検討する。なお、検討では簡単ために航空機と船舶の2種類の輸送手段を想定する。

図3は、船舶を用いた場合の総費用と等しくなる航空機を用いた場合の配送単価と店舗における在庫回転期間を求めた図である。

図中の実線は総費用の等しい場合を示し、実線の右上は船舶の方が航空機より総費用が安い範囲を示す。そして、実線の左下は航空機の方が船舶より総費用が安い範囲を示す。

したがって、店舗における在庫回転期間が短ければ、配送にかかる費用が高くても総費用を低減できることが分かる。

なお、この理由は店舗及び配送中の在庫にある。図4は、店舗における在庫回転期間を変化させた場合の在庫量の変化を示している。

図4から在庫回転期間が短ければ、航空機のほうが在庫が少ないである。在庫量が少なくこの在庫にかかる費用の差が、配送費用の上昇を補っていることが分かる。

5.3 排出権取引がネットワークに与える影響

排出権枠と取引価格の変化がZARAのサプライチェーン・ネットワークに与える影響を検討する。

まず、現状と分散のネットワークにおける総費用とCO₂排出量の比較を表3に示す。

表3より現状の方が分散よりもCO₂排出量が1割も多い。これは、空輸による遠距離配送を行っているためである。また、現状の方の総費用が安いのは、分散による新規の工場・物流センターの固定費及び分散ネットワークの横持ち距離が増加したため、横持ち費用が増えたことによる。

次に、CO₂の取引価格を変化させた場合の現状と分散の総費用について検討する。

図5は、排出枠をもっとも厳しく排出する全てのCO₂を対象とする場合の取引価格と総費用の関係を示した図である。

取引価格の上昇に伴って分散の場合の総費用が安くなるのが分かる。これは、先に表に示したCO₂排出量が少ないためである。

以上のことから将来、厳しく排出枠が課せられ、取引価格が上昇すれば、ZARAは今の工場及び物流センターの配置を見直し、サプライチェーン・ネットワークを再構築する必要に迫られることが分かった。

5.4 排出枠の影響

先の検討で、取引価格が上昇すればZARAは既存のサプライチェーン・ネットワークを見直す必要があることが分かった。

しかし、この見直しは排出枠の設定によって異なる傾向を示す。

図6に、排出枠を変化させた場合の現状と分散の総費用の分岐点を示す。

図から排出枠の変化により、現状と分散の総費用等しい取引価格の変化することがわかった。

6、おわりに

本研究では、ZARAにおける空輸を用いた高速・高頻度の配送理由について解明するとともに、排出権取引がZARAのサプライチェーン・ネットワークに与える影響について検討した。その結果、次のことが分かった。

- (1) 店舗における在庫回転期間を短縮できれば、配送費用が上昇しても総費用を安くできることが分かった。

(2) 排出権取引が導入されて厳しい排出枠が企業に課せられ、取引価格が上昇すれば、ZARA は物流センター等の配置を見直し、分散型のサプライチェーン・ネットワークを再構築必要性に迫られることが分かった。

参考文献

- 1、ZARA の年度報告書 (2003-2007)
- 2、南 知恵子:「ファッション・リテールにおけるサプライチェーン・マネジメントの進化」、BUSINESS INSIGHT SPRING 2006,p22-31

下記は図及び表を示す。

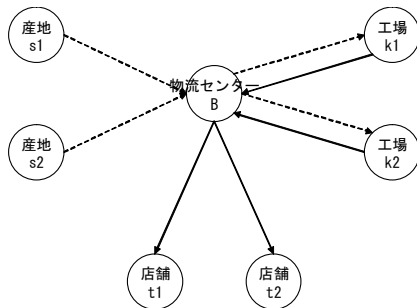


図1 ZARA のサプライチェーン・ネットワーク

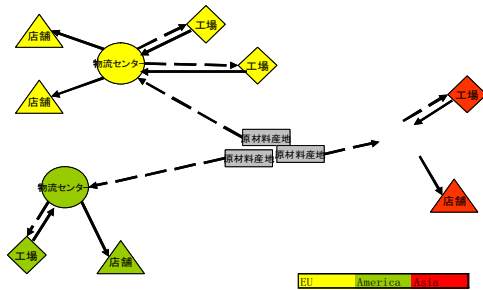


図2 分散型のサプライチェーン・ネットワーク

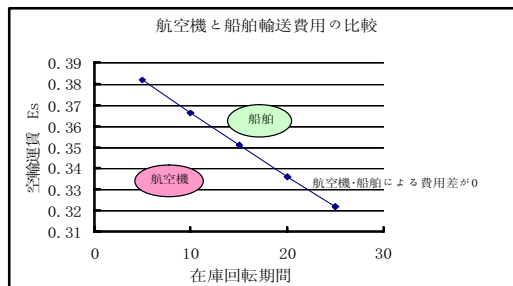


図3、航空機と船舶を用いた場合の総費用の比較

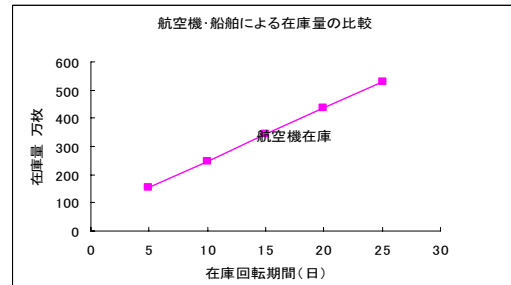


図4 航空機・船舶による在庫量の比較

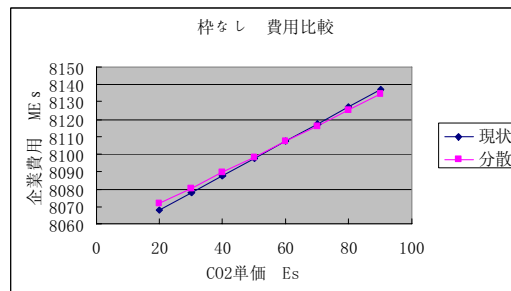


図5 総費用と CO2 単価の関係図

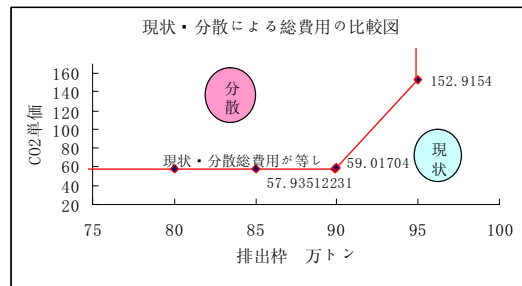


図6 排出枠を変化させた場合の影響

表1 現状費用

現状	費用ユーロ			M=Million	
C1	C2	C3(M)	C4	C5	C6(M)
1	0.09	6	0.3	0.17	
C6(M)	C7	C8	C9(M)	C10	
3	2	0.17	0.7	0.3	
		0.35			

表2 分散費用

分散	費用ユーロ			M=Million		
C1	C2	C3(M)	C4	C5	C6(M)	
Spain	1	0.09	6	0.3	0.17	3
Mexico	1	0.09	6	0.3	0.17	3
China	1	0.09	6	0.3	0.17	3
C7	C8	C9(M)	C10	新開投入 (M)		
Spain	2	0.17	0.7	0.3		
Mexico	1.2	0.35	0.7	0.3		
China	0.9	0.35	0.7	0.3	212	

表3 現状・分散費用及びCO2排出量の比較

費用百万ユーロ	現状	分散	CO2排出量 T	現状	分散
原材料費用	959.67	940.34			
調達輸送費用	461.49	413.39	調達輸送CO2	108381.70	100449.22
物流センター費用	891.14	875.35	物流センターCO2	83603.80	78615.58
貯蔵費用	184.43	192.90	貯蔵CO2	84622.76	118095.06
生産費用	2524.12	2529.19	生産CO2	83861.87	87963.27
配送費用	308.62	171.52	配送CO2	248319.00	140354.69
店舗費用	2716.21	2718.81	店舗CO2	372633.50	373006.53
設備		212.00			
合計	8048.69	8053.50	合計	981422.63	898484.96