

SFC ディスカッションペーパー
SFC-DP 2015-003

投入産出型 GSCM と振替価格の決定

小坂弘行（総合政策学部名誉教授）

hkosaka@sfc.keio.ac.jp

2015 年 9 月

投入産出型 GSCM と振替価格の決定

小坂弘行

総合政策学部名誉教授

〒252-8520 藤沢市遠藤 5322

E-mail:hkosaka@sfc.keio.ac.jp

要約

冷戦が崩壊した 90 年代以降、メガコンペティションの時代に突入した。競争は外国ばかりではなく、国内でも国際競争が展開されている。したがって生産を営む企業は、自然に競争に晒されていると言えよう。その負の結果として経済格差を招来している。生産の場面ではコンピュータ化が進展し、多くの局面でコンピュータが仕事をなしている。そのコアになるものが、Supply Chain Management(SCM)であるが、国際に対応して、Global Supply Chain Management(GSCM)と言われる。本稿は GSCM の生産の記述と計画のスケジューリングに、レオンチェフが構想した投入産出分析の方法を採用し、有効性を問うものである。従来、この分野の基本的な方法として LP が主流であるが、LP は生産の立ち上げ時の検討には向いているものの、日常的なオペレーションの場面の記述には向いていない。

1. イントロダクション

冷戦の崩壊を受けて 90 年代以降、日本企業はメガコンペティションの時代に入った。競争は海外での競争のみならず、国内でも国際競争が展開されている。それと同時に SCM もグローバル SCM（以降、GSCM）に移行せざるを得ない事態に立ち至っている。

本稿は GSCM の定式化を目指すものである。一般に、GSCM も含めた SCM の定式化において、2 つの事柄に注意を払う必要がある。

a) 生産の立上げと日々オペレーションの区別

定式化は、生産の立上げ時に起こる問題と、生産の日々のオペレーションに起こる問題を峻別しなければならない。それを混在させている論考もある。本稿は、日々のオペレーションを目指すものである。

b) 方法論

定式化で使われる方法論は、LP や最適制御であったりするが、後者など実際には使えない。本稿は、従来の LP 主体の方法に代わり、投入産出型 SCM を提示し、方法としては行列演算を主体とする。国内 SCM は既に、X.Lin and K.R.Polenske(1998)があり¹、そのひな形に沿って、GSCM の展開を示す。

V.Albino,C.Izzo and S.Kuhts(2002)も X.Lin and K.R.Polenske(1998)に沿って GSCM の展開を示すが、彼我の違いは、2 点にある。本稿では在庫（製品在庫＋原材料在庫）を組み込んだこと、振替価格を導出したことである。また振替価格と同様、価格決定も容易に導出が出来る。

2. Lin&Polenske の仮説的例題

企業の生産の記述は、会計的には製造原価明細書、あるいはその基礎には原価計算がある。本稿では財務会計的にはなく、管理会計的に生産を取り上げるので、X.Lin and K.R.Polenske(1998)にしたがってその概要を述べる。その内容を把握することが、以下の記述の基礎のなるので、彼らの例題をしっかりと理解しておくことが肝要である。

2.1 生産の記述

表 2.1 は、ある企業の年次の生産活動を簡略的に示している。

¹ 本稿で述べる投入産出モデルは、レオンチェフの投入産出モデルと異なるが、その精神は受け継いでいる。

表 2.1 : 投入・産出の取引の記述

	unit	Coke oven	Blast furnace	Converter	Final outcome
Main products					
coke	Ktonne	213.5	-213.5	0.0	0.0
iron	Ktonne	0.0	474.5	-454.5	20.0
steel	Ktonne	0.0	0.0	500.0	500.0
Purchased inputs²					
Iron ore	Ktonne	0.0	-711.8	0.0	-711.8
coal	Ktonne	-294.2	-80.7	0.0	-374.9
steel scrap	Ktonne	0.0	0.0	90.9	90.9
limestone	Ktonne	0.0	0.0	-36.4	-36.4
others	Ktonne	0.0	-730.0	-50.0	-780.0
By-products and waste					
coke oven gas	Ktonne	28.5	0.0	0.0	28.5
blast furnace gas	Ktonne	0.0	1091.5	0.0	1091.5
converter flue gas	Ktonne	0.0	0.0	318.2	318.2
ammonia water	Ktonne	47.5	0.0	0.0	47.5
tar	Ktonne	4.7	0.0	0.0	4.7
slag	Ktonne	0.0	170.8	522.7	693.6
Primary inputs					
capital	\$1000	-9490.9	-23727.3	-20000.0	-53218.2
labor	p.year	-95.0	-300.0	-630.0	-1025.0
Main products	Ktonne	213.5	474.5	500.0	

数値のプラスは output、マイナスは input を示す。上の数値を後での展開を進める上で以下のように行列による記号的表現を用いる。表の数値は、生産の立ち上がり時には、標準的な生産数値として設定され、また立ち上げ後には、何らかの最適な生産が模索されていると想定する。

² 投入原材料のみが取り上げられているが、原材料在庫も考慮できる。

表 2.2 : 取引の行列表現

Item		process				Final output
		1	2	.	n	
Main products	1	\tilde{Z}_{11}	\tilde{Z}_{12}	.	\tilde{Z}_{1n}	Z_1
	2	\tilde{Z}_{21}	\tilde{Z}_{22}	.	\tilde{Z}_{2n}	Z_2

	n	\tilde{Z}_{n1}	\tilde{Z}_{n2}	.	\tilde{Z}_{nn}	Z_n
Purchased inputs³	1	\tilde{M}_{11}	\tilde{M}_{12}	.	\tilde{M}_{1n}	M_1
	2	\tilde{M}_{21}	\tilde{M}_{22}	.	\tilde{M}_{2n}	M_2
	3	\tilde{M}_{31}	\tilde{M}_{32}	.	\tilde{M}_{3n}	M_3
By-products and waste	1	\tilde{W}_{11}	\tilde{W}_{12}	.	\tilde{W}_{1n}	W_1
	2	\tilde{W}_{21}	\tilde{W}_{22}	.	\tilde{W}_{2n}	W_2
	3	\tilde{W}_{31}	\tilde{W}_{32}	.	\tilde{W}_{3n}	W_3
Primary inputs	1	\tilde{V}_{11}	\tilde{V}_{12}	.	\tilde{V}_{1n}	V_1
	2	\tilde{V}_{21}	\tilde{V}_{22}	.	\tilde{V}_{2n}	V_2
	3	\tilde{V}_{31}	\tilde{V}_{32}	.	\tilde{V}_{3n}	V_3
Process main products		X_1^z	X_2^z	.	X_n^z	

ここで生産の横ベクトル X^z は、 Z の対角要素である。順次、製品、投入原材料、副産物・廃棄物、付加価値関係の恒等的関係を示す。

$$\sum_{j=1}^n \tilde{Z}_{ij} = Z_i \quad i=1,2,\dots,n \quad \tilde{Z} \times u = Z \quad (2.1)$$

u : 要素が 1 の縦ベクトル

$$\sum_{j=1}^n \tilde{M}_{ij} = M_i \quad i=1,2,\dots,n \quad \tilde{M} \times u = M \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{W}_{ij} = W_i \quad i=1,2,\dots,n \quad \tilde{W} \times u = W \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{V}_{ij} = V_i \quad i=1,2,\dots,n \quad \tilde{V} \times u = V \quad (2.4)$$

(2.1)-(2.4)の右辺は何れも縦ベクトルである。最後に、製品取引の対角要素を取り出して、

³ 各工程への投入待ちの原材料在庫も考慮できる。その際、式 (2.2) で、 $INV\tilde{M} \times u = INVM$ が追加される。最終製品の在庫とは区別される。なお原材料在庫に焦点のある JIT 生産システムについて、小谷(1987)、宮崎・西山(1987)、大野・坊・荒川(2011)が参考になろう。また本稿では扱わないが、在庫や生産の追加的コスト分析には、C. H. Holt, F. Modigliani, J. F. Muth and H. A. Simon(1960)が参考になろう。

横ベクトルにしたものが以下である。

$$X^z = (X_1^z \quad X_2^z \quad \dots \quad X_n^z) = (Z_{11} \quad Z_{22} \quad \dots \quad Z_{mm}) \quad (2.5)$$

2.2 生産の計画

生産の記述と生産の計画は異なる。すなわち分析の部品が異なる。以下のように生産 1 単位に必要なプロセス要素の需要を定義する。

$$a_{ij} = \frac{Z_{ij}}{X_j} \quad A = (a_{ij}) \quad (2.6)$$

同様に、原材料、副産物・廃棄物、付加価値項目がでる。

$$b_{ij} = \frac{M_{ij}}{X_j} \quad B = (b_{ij}) \quad (2.7)$$

$$c_{ij} = \frac{W_{ij}}{X_j} \quad C = (c_{ij}) \quad (2.8)$$

$$d_{ij} = \frac{V_{ij}}{X_j} \quad D = (d_{ij}) \quad (2.8)$$

上の仮説を採用すると 4 つの関係式がでる。

$$Z = AX \quad X = (X^z)' \quad (2.9)$$

これからも Z と X は一般に異なることが分かる。

$$M = BX \quad (2.10)$$

$$W = CX \quad (2.11)$$

$$V = DX \quad (2.12)$$

したがって、 Z が与えられると、4 つの物量が以下で決定する。

$$X = A^{-1}Z \quad (2.13)$$

$$M = BX = BA^{-1}Z \quad (2.14)$$

$$W = CX = CA^{-1}Z \quad (2.15)$$

$$V = DX = DA^{-1}Z \quad (2.16)$$

以上が X.Lin and K.R.Polenske(1998)の全容である。つまり Z が決まると全てが決定する。

3. 多国籍企業の GSCM

以下では、生産と販売が 5 段階で、かつ多国間で PC の生産が行われる企業の GSCM を取り上げよう。

3.1 多国籍企業の生産の記述

B.C.Arntzen,G.G.Brown,T.P.Harrison and L.L.Trafton(1995)で述べられている実際にある PC を生産する多国籍企業の生産を取り上げよう。

図 3.1 財の流れ

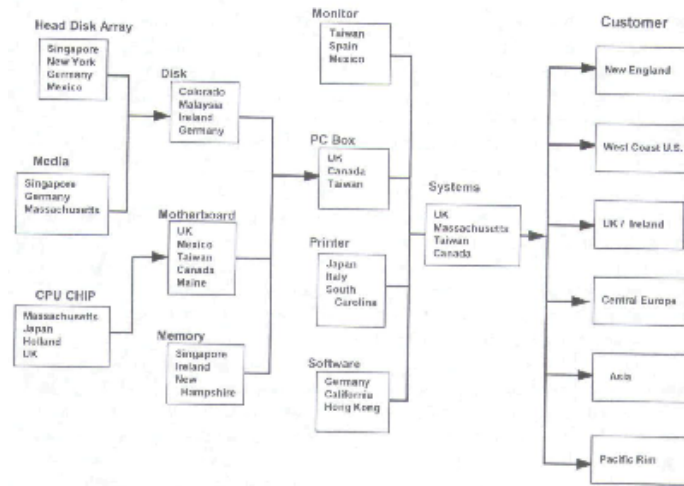


図 3.1 の財の流れを表に直したものが、表 3.1 である。

表 3.1 : 多国籍企業の生産例

第 1 段階	生産地	次工程
Hard Disk Array	Singapore, New York, Germany, Mexico	Disk
Media	Singapore, Germany, Massachusetts	Disk
CPU Chip	Massachusetts, Japan, Holland, UK	Motherboard
第 2 段階		
Disk	Colorado, Malaysia, Ireland, Germany	PC Box
Motherboard	UK, Mexico, Taiwan, Canada, Maine	PC Box
Memory	Singapore, Ireland, New Hampshire	PC Box
第 3 段階		
PC Box	UK, Canada, Taiwan	Systems
Monitor	Taiwan, Spain, Mexico	Systems
Printer	Japan, Italy, South Carolina	Systems
Software	Germany, California, Hong Kong	Systems
第 4 段階		
Systems	UK, Massachusetts, Taiwan, Canada	Customer
第 5 段階		
Customer	New England, West Coast(US), UK/Ireland, Central Europe, Asia, Pacific Rim	

X.Lin and K.R.Polenske(1998)に沿って、生産の流れを詳しくみよう。表示は例題でもみた通り、物理単位である。

3.2 生産の計画

つぎに多国籍企業の生産の計画について述べる。表は長いので補論 1 に示してある。注目すべきは、PC の生産で中心は、Motherboard、PC Box、Systems の流れである。この 3 者は密接に絡むので、1ヶ所で一貫生産がなされる。英国、カナダ、台湾がそれを担っている。

3.2.1 諸仮定

前と同様、生産 1 単位に必要なプロセス要素の需要がでる。

$$a_{l,ij}^k = \frac{\tilde{Z}_{l,ij}^k}{X_{l,j}^k} \quad A_l^k = (a_{l,ij}^k) \quad k : \text{国} \quad l : \text{生産段階}^4 \quad (3.1)$$

以下同様に、原材料、副産物・廃棄物、付加価値項目がでる。

$$b_{l,ij}^k = \frac{\tilde{M}_{l,ij}^k}{X_{l,j}^k} \quad B_l^k = (b_{l,ij}^k) \quad (3.2)$$

ここで部品投入は供給元が異なれば、別の部品の投入として係数で決めて構わない。生産の立ち上げ時に輸送コスト等を勘案して配分比率が決まっていると仮定する。

$$c_{l,ij}^k = \frac{\tilde{W}_{l,ij}^k}{X_{l,j}^k} \quad C_l^k = (c_{l,ij}^k) \quad (3.3)$$

$$d_{l,ij}^k = \frac{\tilde{V}_{l,ij}^k}{X_{l,j}^k} \quad D_l^k = (d_{l,ij}^k) \quad (3.4)$$

3.2.2 第4段階：最終製品/原材料投入/副産物・廃棄物/付加価値

最終段階のPCの完成品は、英国、米マサチューセッツ州、台湾、カナダでなされる。最終段階のPCの完成⁵をみるのであるが、上の仮定から、第4生産段階でつぎの関係が言える。

$$Z_4^k = A_4^k (X_4^k)' \quad k = uk, ma, twn, can \quad (3.5)$$

X_4^k は横ベクトルで、上のダッシュは縦ベクトルへの転置を意味している。

したがって生産の決定式は以下となる。

$$(X_4^k)' = (A_4^k)^{-1} Z_4^k \quad k = uk, ma, twn, can \quad (3.6)$$

原材料の部品別（PC Box、Monitor、Printer、Software）の原材料需要の決定式は以下となる。

$$\text{PC Box} \quad \begin{pmatrix} M_{3a,4}^{uk,k} \\ M_{3a,4}^{can,k} \\ M_{3a,4}^{twn,k} \end{pmatrix} = B_4^k (X_4^k)' = B_4^k (A_4^k)^{-1} Z_4^k \quad k = uk, ma, twn, can \quad (3.7)$$

上で述べたように供給先配分 $M_{3a,4}^{h,k}$ ($h = uk, can, twn$) も決まっているとしている。

$$\text{Monitor} \quad \begin{pmatrix} M_{3b,4}^{twn,k} \\ M_{3b,4}^{spn,k} \\ M_{3b,4}^{mex,k} \end{pmatrix} = B_4^k (X_4^k)' = B_4^k (A_4^k)^{-1} Z_4^k \quad k = uk, ma, twn, can \quad (3.8)$$

その地域別配分 $M_{3b,4}^{h,k}$ ($h = twn, spn, mex$) も決まる。

$$\text{Printer} \quad \begin{pmatrix} M_{3c,4}^{jpn,k} \\ M_{3c,4}^{ita,k} \\ M_{3c,4}^{sc,k} \end{pmatrix} = B_4^k (X_4^k)' = B_4^k (A_4^k)^{-1} Z_4^k \quad k = uk, ma, twn, can \quad (3.9)$$

その地域別配分 $M_{3c,4}^{h,k}$ ($h = jpn, ita, sc$) も決まる。

⁴ 第 l 段階に同じ生産国で複数のプラントがある時、区別するため英文字を付けている。

⁵ アセンブルの段階は、検査や包装などがあり複数の工程からなる。

$$\text{Software} \quad \begin{pmatrix} M_{3d,4}^{ger,k} \\ M_{3d,4}^{cal,k} \\ M_{3d,4}^{hk,k} \end{pmatrix} = B_4^k (X_4^k)' = B_4^k (A_4^k)^{-1} Z_4^k \quad k = uk, ma, twn, can \quad (3.10)$$

その地域別配分 $M_{3d,4}^{h,k}$ ($h = ger, cal, hk$) も決まる。

また副産物・廃棄物の排出はつぎである。

$$W_4^k = C_4^k (X_4^k)' = C_4^k (A_4^k)^{-1} Z_4^k \quad k = uk, ma, twn, can \quad (3.11)$$

付加価値項目（おもに賃金・資本減耗）は以下で決定する。

$$V_4^k = D_4^k (X_4^k)' = D_4^k (A_4^k)^{-1} Z_4^k \quad k = uk, ma, twn, can \quad (3.12)$$

以上で第 4 段階の生産が完結する。

3.2.3 第 3 段階

第 4 段階の PC の完成品の生産を受けて、第 3 段階では、PC Box、Monitor、Printer、Software を生産する。第 4 段階の第 k 国への第 3 段階の投入は、PC Box、Monitor、Printer、Software となる。中間投入とはいえ完成品である、完成品を納入している。以下は、4 つの供給品の供給を示している。

PC Box

PC Box の生産は、英国、カナダ、台湾である。第 4 段階から以下が決定する。

$$Z_3^{uk} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{uk,h} \quad Z_3^{can} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{can,h} \quad Z_3^{twm} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{twm,h} \quad (3.13)$$

上の生産のために原材料需要は 3 国を一括して以下と生る。

$$\begin{pmatrix} M_{2,3}^{col,k} \\ M_{2,3}^{mls,k} \\ M_{2,3}^{ire,k} \\ M_{2,3}^{ger,k} \\ M_{2,3}^{uk,k} \\ M_{2,3}^{mex,k} \\ M_{2,3}^{twm,k} \\ M_{2,3}^{can,k} \\ M_{2,3}^{mai,k} \\ M_{2,3}^{sgp,k} \\ M_{2,3}^{ire,k} \\ M_{2,3}^{nh,k} \end{pmatrix} = B_3^k (A_3^k)^{-1} Z_3^k \quad (k = uk, can, twm) \quad (3.14)$$

副産物発生、付加価値部門需要が発生する。

$$W_3^{uk} = C_3^{uk} (A_3^{uk})^{-1} Z_3^{uk}, W_3^{can} = C_3^{can} (A_3^{can})^{-1} Z_3^{can}, W_3^{twm} = C_3^{twm} (A_3^{twm})^{-1} Z_3^{twm} \quad (3.15)$$

$$V_3^{uk} = D_3^{uk} (A_3^{uk})^{-1} Z_3^{uk}, V_3^{can} = D_3^{can} (A_3^{can})^{-1} Z_3^{can}, V_3^{twm} = D_3^{twm} (A_3^{twm})^{-1} Z_3^{twm} \quad (3.16)$$

Monitor

モニターの生産は、台湾、カナダ、メキシコで行われる。

$$Z_{3m}^{twm} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{twm,h} \quad Z_3^{spn} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{spn,h} \quad Z_3^{mex} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{mex,h} \quad (3.17)$$

モニターの生産への原材料の実際には投入はあるが、明示されないのので省略する。副産物・破棄物の排出と付加価値の発生は以下となる。

$$W_{3m}^{twn} = C_{3m}^{twn} (A_{3m}^{twn})^{-1} Z_{3m}^{twn} \quad W_3^{spn} = C_3^{spn} (A_3^{spn})^{-1} Z_3^{spn} \quad W_3^{mex} = C_3^{mex} (A_3^{mex})^{-1} Z_3^{mex} \quad (3.18)$$

$$V_{3m}^{twn} = D_{3m}^{twn} (A_{3m}^{twn})^{-1} Z_{3m}^{twn} \quad V_3^{spn} = D_3^{spn} (A_3^{spn})^{-1} Z_3^{spn} \quad V_3^{mex} = D_3^{mex} (A_3^{mex})^{-1} Z_3^{mex} \quad (3.19)$$

Printer

プリンターの生産は、日本、イタリア、米サウスカロライナ州で行われる。

$$Z_3^{jpn} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{jpn,h} \quad Z_3^{ita} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{ita,h} \quad Z_3^{sc} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{sc,h} \quad (3.20)$$

$$W_3^{jpn} = C_3^{jpn} (A_3^{jpn})^{-1} Z_3^{jpn}, W_3^{ita} = C_3^{ita} (A_3^{ita})^{-1} Z_3^{ita} \quad W_3^{sc} = C_3^{sc} (A_3^{sc})^{-1} Z_3^{sc} \quad (3.21)$$

$$V_3^{jpn} = D_3^{jpn} (A_3^{jpn})^{-1} Z_3^{jpn} \quad V_3^{ita} = D_3^{ita} (A_3^{ita})^{-1} Z_3^{ita} \quad V_3^{sc} = D_3^{sc} (A_3^{sc})^{-1} Z_3^{sc} \quad (3.22)$$

Software

ソフトウェアの生産は、ドイツ、カナダ、香港で行われる。

$$Z_3^{ger} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{ger,h} \quad Z_3^{cal} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{cal,h} \quad Z_3^{hk} = \sum_{h=uk,ma,twn,can} M_{3,4}^{hk,h} \quad (3.23)$$

$$W_3^{ger} = C_3^{ger} (A_3^{ger})^{-1} Z_3^{ger} \quad W_3^{cal} = C_3^{cal} (A_3^{cal})^{-1} Z_3^{cal} \quad W_3^{hk} = C_3^{hk} (A_3^{hk})^{-1} Z_3^{hk} \quad (3.24)$$

$$V_3^{ger} = D_3^{ger} (A_3^{ger})^{-1} Z_3^{ger} \quad V_3^{cal} = D_3^{cal} (A_3^{cal})^{-1} Z_3^{cal} \quad V_3^{hk} = D_3^{hk} (A_3^{hk})^{-1} Z_3^{hk} \quad (3.25)$$

以上で第 3 段階の生産が完結する。

3.2.4 第 2 段階

第 2 段階の生産は、ディスク、マザーボード、メモリーである。

Disk

ディスクの生産は、米コロラド州、マレーシア、アイルランド、ドイツで行われる。

$$Z_2^{col} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{col,h} \quad Z_2^{mls} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{mls,h} \quad Z_2^{ire} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{ire,h} \quad Z_2^{ger} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{ger,h} \quad (3.26)$$

$$\begin{pmatrix} M_{1h,2}^{sgp,k} \\ M_{1,2}^{ny,k} \\ M_{1h,2}^{ger,k} \\ M_{1,2}^{mex,k} \\ M_{1m,2}^{sgp,k} \\ M_{1m,2}^{ger,k} \\ M_{1,2}^{ma,k} \end{pmatrix} = B_2^k (A_2^k)^{-1} Z_2^k \quad (k = col, mls, ire, ger) \quad (3.27)$$

副産物発生、付加価値部門が発生する。

$$W_2^{col} = C_2^{col} (A_2^{col})^{-1} Z_2^{col}, W_2^{mls} = C_2^{mls} (A_2^{mls})^{-1} Z_2^{mls},$$

$$W_2^{ire} = C_2^{ire} (A_2^{ire})^{-1} Z_2^{ire} \quad W_2^{ger} = C_2^{ger} (A_2^{ger})^{-1} Z_2^{ger} \quad (3.29)$$

$$V_2^{col} = D_2^{col} (A_2^{col})^{-1} Z_2^{col}, V_2^{mls} = D_2^{mls} (A_2^{mls})^{-1} Z_2^{mls},$$

$$V_2^{ire} = D_2^{ire} (A_2^{ire})^{-1} Z_2^{ire} \quad V_2^{ger} = D_2^{ger} (A_2^{ger})^{-1} Z_2^{ger} \quad (3.30)$$

Motherboard

マザーボードの生産は、英国、メキシコ、台湾、カナダ、米メイン州で行われる。

$$Z_2^{uk} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{uk,h} \quad Z_2^{mex} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{mex,h} \quad Z_2^{twn} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{twn,h}$$

$$Z_2^{can} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{can,h} \quad Z_2^{mai} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{mai,h} \quad (3.31)$$

$$\begin{pmatrix} M_{1,2}^{ma,k} \\ M_{1,2}^{jpn,k} \\ M_{1,2}^{hol,k} \\ M_{1,2}^{uk,k} \end{pmatrix} = B_2^k (A_2^k)^{-1} Z_2^k \quad (k = uk, mex, twn, can, mai) \quad (3.32)$$

副産物発生、付加価値部門が発生する。

$$W_2^{uk} = C_2^{uk} (A_2^{uk})^{-1} Z_2^{uk}, \quad W_2^{mex} = C_2^{mex} (A_2^{mex})^{-1} Z_2^{mex}, \quad W_2^{twn} = C_2^{twn} (A_2^{twn})^{-1} Z_2^{twn}$$

$$W_2^{can} = C_2^{can} (A_2^{can})^{-1} Z_2^{can} \quad W_2^{mai} = C_2^{mai} (A_2^{mai})^{-1} Z_2^{mai} \quad (3.33)$$

$$V_2^{uk} = D_2^{uk} (A_2^{uk})^{-1} Z_2^{uk}, \quad V_2^{mex} = D_2^{mex} (A_2^{mex})^{-1} Z_2^{mex}, \quad V_2^{twn} = D_2^{twn} (A_2^{twn})^{-1} Z_2^{twn}$$

$$V_2^{can} = D_2^{can} (A_2^{can})^{-1} Z_2^{can} \quad V_2^{mai} = D_2^{mai} (A_2^{mai})^{-1} Z_2^{mai} \quad (3.34)$$

Memory

メモリーの生産は、シンガポール、アイルランド、米ニューハンプシャー州で行われる。

$$Z_2^{sgp} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{sgp,h} \quad Z_2^{ire} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{ire,h} \quad Z_2^{nh} = \sum_{h=uk,can,twn} M_{2,3}^{nh,h} \quad (3.35)$$

$$W_2^{sgp} = C_2^{sgp} (A_2^{sgp})^{-1} Z_2^{sgp} \quad W_2^{ire} = C_2^{ire} (A_2^{ire})^{-1} Z_2^{ire} \quad W_2^{nh} = C_2^{nh} (A_2^{nh})^{-1} Z_2^{nh} \quad (3.36)$$

$$V_2^{sgp} = D_2^{sgp} (A_2^{sgp})^{-1} Z_2^{sgp}, \quad V_2^{ire} = D_2^{ire} (A_2^{ire})^{-1} Z_2^{ire}, \quad V_2^{nh} = D_2^{nh} (A_2^{nh})^{-1} Z_2^{nh} \quad (3.37)$$

3.2.5 第1段階

第1段階の生産は、ハードデスク、メディア、CPUである。

Hard Disk Array

ディスクの生産は、シンガポール、米ニューヨーク州、ドイツ、メキシコで行われる。

$$Z_1^{sgp} = \sum_{h=col,mls,ire,ger} M_{1,2}^{sgp,h} \quad Z_1^{ny} = \sum_{h=col,mls,ire,ger} M_{1,2}^{ny,h}$$

$$Z_{1h}^{ger} = \sum_{h=col,mls,ire,ger} M_{1h,2}^{ger,h} \quad Z_1^{mex} = \sum_{h=col,mls,ire,ger} M_{1,2}^{mex,h} \quad (3.38)$$

$$W_1^{sgp} = C_1^{sgp} (A_1^{sgp})^{-1} Z_1^{sgp} \quad W_1^{ny} = C_1^{ny} (A_1^{ny})^{-1} Z_1^{ny}$$

$$W_{1h}^{ger} = C_{1h}^{ger} (A_{1h}^{ger})^{-1} Z_{1h}^{ger} \quad W_1^{mex} = C_1^{mex} (A_1^{mex})^{-1} Z_1^{mex} \quad (3.39)$$

$$V_1^{sgp} = D_1^{sgp} (A_1^{sgp})^{-1} Z_1^{sgp} \quad V_1^{ny} = D_1^{ny} (A_1^{ny})^{-1} Z_1^{ny}$$

$$V_1^{ger} = D_1^{ger} (A_1^{ger})^{-1} Z_1^{ger} \quad V_1^{mex} = D_1^{mex} (A_1^{mex})^{-1} Z_1^{mex} \quad (3.40)$$

Media

メディアの生産は、英国、シンガポール、ドイツ、米マサチューセッツ州で行われる。

$$Z_1^{uk} = \sum_{h=col,mls,ire,ger} M_{1,2}^{uk,h} \quad Z_1^{sgp} = \sum_{h=col,mls,ire,ger} M_{1,2}^{sgp,h}$$

$$Z_{1m}^{ger} = \sum_{h=col,mls,ire,ger} M_{1m,2}^{ger,h} \quad Z_1^{ma} = \sum_{h=col,mls,ire,ger} M_{1,2}^{ma,h} \quad (3.41)$$

$$W_1^{uk} = C_1^{uk} (A_1^{uk})^{-1} Z_1^{uk} \quad W_1^{sgp} = C_1^{sgp} (A_1^{sgp})^{-1} Z_1^{sgp}$$

$$W_{1m}^{ger} = C_{1m}^{ger} (A_{1m}^{ger})^{-1} Z_{1m}^{ger} \quad W_1^{ma} = C_1^{ma} (A_1^{ma})^{-1} Z_1^{ma} \quad (3.42)$$

$$V_1^{uk} = D_1^{uk} (A_1^{uk})^{-1} Z_1^{uk} \quad V_1^{sgp} = D_1^{sgp} (A_1^{sgp})^{-1} Z_1^{sgp}$$

$$V_1^{ger} = D_1^{ger} (A_1^{ger})^{-1} Z_1^{ger} \quad V_1^{ma} = D_1^{ma} (A_1^{ma})^{-1} Z_1^{ma} \quad (3.43)$$

CPU Chip

CPUの生産は、米マサチューセッツ州、日本、オランダ、英国で行われる。

$$\begin{aligned} Z_1^{ma} &= \sum_{h=uk,mex,tnw,can,mai} M_{1,2}^{ma,h} & Z_1^{jpn} &= \sum_{h=uk,mex,tnw,can,mai} M_{1,2}^{jpn,h} \\ Z_1^{hol} &= \sum_{h=uk,mex,tnw,can,mai} M_{1,2}^{hol,h} & Z_1^{uk} &= \sum_{h=uk,mex,tnw,can,mai} M_{1,2}^{uk,h} \end{aligned} \quad (3.44)$$

$$\begin{aligned} W_1^{ma} &= C_1^{ma} (A_1^{ma})^{-1} Z_1^{ma} & W_1^{jpn} &= C_1^{jpn} (A_1^{jpn})^{-1} Z_1^{jpn} \\ W_1^{hol} &= C_1^{hol} (A_1^{hol})^{-1} Z_1^{hol} & W_1^{uk} &= C_1^{uk} (A_1^{uk})^{-1} Z_1^{uk} \end{aligned} \quad (3.45)$$

$$\begin{aligned} V_1^{ma} &= D_1^{ma} (A_1^{ma})^{-1} Z_1^{ma} & V_1^{jpn} &= D_1^{jpn} (A_1^{jpn})^{-1} Z_1^{jpn} \\ V_1^{hol} &= D_1^{hol} (A_1^{hol})^{-1} Z_1^{hol} & V_1^{uk} &= D_1^{uk} (A_1^{uk})^{-1} Z_1^{uk} \end{aligned} \quad (3.46)$$

3.2.6 第5段階：販売

販売先は、表 3.1 でみるが如く、New England(米東部、*ne*)、West Coast(米西部、*wc*)、UK/Ireland(欧州北部、*ukir*)、Central Europe(欧州中部、*ce*)、Asia(他アジア、*as*)、Pacific Rim(環太平洋、*pr*)の6地域となっている。表 3.2 の最右列から販路先を取り上げると以下となる。

$$Z_4^{uk} = \sum_{k=ne,wc,ukir,ce,as,pr} (Z_4^{uk,k} + INVF_4^{uk,k}) \quad (3.47)$$

$Z_4^{uk,k}, INVF_4^{uk,k}$: 英国産の第 k 地域への需要と製品在庫⁶

$$Z_4^{ma} = \sum_{k=ne,wc,ukir,ce,as,pr} (Z_4^{ma,k} + INVF_4^{ma,k}) \quad (3.48)$$

$Z_4^{ma,k}, INVF_4^{ma,k}$: マサチューセッツ州産の第 k 地域へ需要と製品在庫

$$Z_4^{tnw} = \sum_{k=ne,wc,ukir,ce,as,pr} (Z_4^{tnw,k} + INVF_4^{tnw,k}) \quad (3.49)$$

$Z_4^{tnw,k}, INVF_4^{tnw,k}$: 台湾産の第 k 地域への需要と製品在庫

$$Z_4^{can} = \sum_{k=ne,wc,ukir,ce,as,pr} (Z_4^{can,k} + INVF_4^{can,k}) \quad (3.50)$$

$Z_4^{can,k}, INVF_4^{can,k}$: カナダ産の第 k 地域への需要と製品在庫

4つの供給地域は、平等に6地域に販路を求めようにはなっているが、実際は地域の役割分担がなされる。GSCMは、販売と在庫の需要予測が決まると、生産が始動する仕組みになっている。その意味で需要予測は重要な役割を担う。すなわち具体的に $Z_4^{h,k}$ の需要予

⁶ 意図した製品在庫であり、他方、実施段階で意図しない製品在庫がでる。所謂、売れ過ぎと売れ残りである。

測や在庫 $INVE_4^{h,k}$ が必要となる。単位は物量単位であるから、計量経済分析をするには、説明変数は実質量が当てがわれる。当該地域の生産、人口等々の説明変数を用いて回帰分析が必要となる。時系列データを用いて回帰分析を試みるなら、例えば、日本では一橋大学経済研究所に 107 部門に詳細分割された産業別生産データ JIP があるので、その 48 番目の部門が「電子計算機・同付属品」となっているので、これを説明変数として利用できる⁷。為替レート等にも需要予測が必要となる。

3.2.7 需要予測と生産／在庫計画

需要予測がされたなら、それに合わせるように生産と在庫の計画をする。ここで仮説的な数値を上げて需給管理の実態を垣間見る。さて需給管理のための 2 つの手段は、稼働率調整を中心にした生産調整と在庫調整である。ここで生産を正規生産と残業生産、外注生産の 3 つを考える。正規生産に比較して、残業生産や外注生産はコストが高くなる。突発的な需要の増減は主に意図しない在庫で対処する。古典的な完全競争での価格による需給調整はあるが、価格は利潤極大化によりなされるので、企業は短期的需給調整を目的に価格決定をしない。企業の需給管理の手順は、長期の需要予測を上でみたような方法でおこない、それに見合うように生産／在庫計画を立てることである。生産の変化はなるべく避け、在庫は持たないのが最善である⁸。表 3.2 には、松井(2005)で取り上げられた数値例で、当初の 1 年間の 1 月単位の需要予測があり、それをベースに、コストを勘案して正規生産、残業生産、外注生産の計画値が決定され、同時に、総生産から予測を引いて意図した在庫変化が計算される。(同書 115 頁) 当初の需要予測は一般に外れる宿命にあり、実績値は出荷値となって表れる。予測値と出荷値の乖離が意図しない在庫変化である。これらの数値例に、表には意図せざる在庫が付加されている。在庫ストック＝意図しない在庫変化＋意図した在庫変化となっている。

表 3.2 生産／在庫計画

期間	予測	出荷	意図しない在庫	正規生産	残業生産	外注生産	総生産	意図した在庫	在庫
01 月	2300	2100	200	800	0	0	800	0	200
02 月	2082	2050	32	2000	82	0	2082	0	232
03 月	2360	2100	260	2000	250	110	2360	0	492
04 月	2128	2200	-72	2000	128	0	2128	0	420
05 月	2140	2150	-10	2000	140	0	2140	0	410
06 月	2102	2140	-38	2000	250	145	2395	293	665
07 月	2366	2350	16	2000	250	400	2650	284	965
08 月	2374	2400	-26	2000	250	400	2650	276	1215
09 月	2651	2630	21	2000	250	400	2650	-1	1235
10 月	2668	2580	88	2000	250	400	2650	-18	1305
11 月	2586	2600	-14	2000	250	400	2650	59	1350
12 月	2548	2590	-42	2000	250	400	2650	107	1499
合計	28305			22800	2350	2655	27805		

この表では予測値が決まるとコストから正規、残業、外注生産の区分が決まり、結果として意図した在庫が決まり、出荷額が逐次明示されても、3 種の生産計画が修正されることはないが、実際には修正を受けるざるを得ない。如何に当初生産／在庫計画を学習して修正を加えるかが重要な課題となる。これについては別稿で扱う予定である。

⁷ 実務レベルでは、やや多めの需要を想定し、それに沿って生産計画を立てているようである。

⁸ 生産と在庫の最適化は、C.H.Holt, F.Modigliani, J.F.Muth and H.A.Simon(1960) に詳しい。

4. 利潤と振替価格の決定

いままで物量単位の表示であったが、利潤は貨幣単位であるので価格を掛けて貨幣単位に移行する必要がある。C.J.Vidal and M.Goetschalckx(2001)は GSCM のプラント間の振替価格と輸送コストの問題を LP で扱っている⁹。しかし計算はかなり複雑なようである。本稿は振替価格決定は LP よりは簡略に扱うことができる。

記号

p_4^k : 第 k 国通貨表示の販売価格 w_4^k : 第 k 国通貨表示の賃金率

L_4^k : 第 k 国の雇用 DEP_4^k : 第 k 国通貨表示の原価償却額

t_m^k : k 国への輸入に掛かる関税率 t_π^k : k 国の法人税率

$\tau_{i,i+1}^{h,k}$: 第 h 国通貨表示の単位当たり輸送コスト

第 h 国の第 i 段階で生産された製品の、第 k 国の第 $i+1$ 段階に掛かる輸送費を表す。同じプラント内で掛からない場合はゼロとなる。第 i 段階のコスト負担となる。コストの評価は、実際の輸送コストの他に輸送時間を勘案してもよい。ここで $T_{4,5}^{h,k}$ は最終製品の消費地への輸送コストを表す。

$p_{i,i+1}^{h,k}$: 第 h 国第 i 段階から第 k 国第 $i+1$ 段階への投入財 $M_{i,i+1}^{h,k}$ に掛かる振替価格

ただし第 h 国通貨表示 したがって $p_{i,i+1}^{h,k} M_{i,i+1}^{h,k}$ が名目額

e^h : 第 h 国の為替レート (対米ドル)

π_i^k : 第 k 国通貨表示の第 i 段階の第 k 国の利潤、ただし在庫保管費用は考慮されていない。

最終段階の第 k 国の利潤は、売上高から資本減耗、賃金、原材料コスト、輸送コストを引いたものになる¹⁰。

$$\begin{aligned} \pi_4^k = & p_4^k Z_4^k + \sum_{l=ne,wc,ukir,ce,as,pr} \tau_{4,5}^{k,l} Z_4^{k,l} + DEP_4^k + w_4^k L_4^k & (4.1) \\ & + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{uk,k}) p_{3,4}^{uk,k} M_{3,4}^{uk,k} (e^k / e^{uk}) + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{can,k}) p_{3,4}^{can,k} M_{3,4}^{can,k} (e^k / e^{can}) \\ & + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{twn,k}) p_{3,4}^{twn,k} M_{3,4}^{twn,k} (e^k / e^{twn}) \\ & + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{twn,k}) p_{3,4}^{twn,k} M_{3,4}^{twn,k} (e^k / e^{twn}) + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{spn,k}) p_{3,4}^{spn,k} M_{3,4}^{spn,k} (e^k / e^{spn}) \\ & + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{mex,k}) p_{3,4}^{mex,k} M_{3,4}^{mex,k} (e^k / e^{mex}) \\ & + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{jpn,k}) p_{3,4}^{jpn,k} M_{3,4}^{jpn,k} (e^k / e^{jpn}) + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{ita,k}) p_{3,4}^{ita,k} M_{3,4}^{ita,k} (e^k / e^{ita}) \\ & + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{sc,k}) p_{3,4}^{sc,k} M_{3,4}^{sc,k} (e^k / e^{us}) \\ & + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{ger,k}) p_{3,4}^{ger,k} M_{3,4}^{ger,k} (e^k / e^{ger}) + (1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{cal,k}) p_{3,4}^{cal,k} M_{3,4}^{cal,k} (e^k / e^{us}) \end{aligned}$$

⁹ LP 処理は最適解を凸多面体の端点を探索することから、条件の変化が最適解に即座に反映されない欠点がある。

¹⁰ 投入物には定義の段階でマイナスの符号がつけてあるので、原材料投入等はマイナスとなっていない。

$$+(1+t_m^k)(1+\tau_{3,4}^{hk,k})p_{3,4}^{hk,k}M_{3,4}^{hk,k}(e^k/e^{hk})$$

ここから法人税が引かれるので、法人税を引いた利潤 $\tilde{\pi}_4^k$ は、

$$\tilde{\pi}_4^k = \pi_4^k - t_\pi^k \pi_4^k = (1-t_\pi^k)\pi_4^k \quad (4.2)$$

同様に、 $\tilde{\pi}_3^k$ 、 $\tilde{\pi}_2^k$ 、 $\tilde{\pi}_1^k$ についても計算が可能となる（詳細は省略）。

いま台湾の利潤のみを考えよう。台湾の販売先は、アジアと環太平洋のみ、また PC Box と Monitor は台湾、Printer は日本、Software は香港から納入を受ける。

$$\begin{aligned} \pi_4^{tw} &= p_4^{tw} Z_4^{tw} + \sum_{l=as,pr} \tau_{4,5}^{tw,l} Z_4^{tw,l} + DEP_4^{tw} + w_4^{tw} L_4^{tw} \\ &+ p_{3p,4}^{tw,tw} M_{3,4}^{tw,tw} + p_{3m,4}^{tw,k} M_{3,4}^{tw,tw} \\ &+ (1+t_m^{tw})(1+\tau_{3,4}^{jpn,tw})p_{3,4}^{jpn,tw} M_{3,4}^{jpn,tw} (e^{tw}/e^{jpn}) \\ &+ (1+t_m^{tw})(1+\tau_{3,4}^{hk,tw})p_{3,4}^{hk,tw} M_{3,4}^{hk,tw} (e^{tw}/e^{hk}) \end{aligned} \quad (4.3)$$

さてここで

$$\begin{aligned} \pi_3^{tw} &= p_3^{tw} Z_3^{tw} + DEP_3^{tw} + w_3^{tw} L_3^{tw} \\ &+ (1+t_m^{tw})(1+\tau_{3,4}^{tw,tw})p_{3p,4}^{tw,tw} M_{3,4}^{tw,tw} (e^{tw}/e^{tw}) \\ &+ (1+t_m^{tw})(1+\tau_{3,4}^{tw,k})p_{3m,4}^{tw,tw} M_{3,4}^{tw,tw} (e^{tw}/e^{tw}) \\ &+ (1+t_m^{tw})(1+\tau_{3,4}^{jpn,tw})p_{3,4}^{jpn,tw} M_{3,4}^{jpn,tw} (e^{tw}/e^{jpn}) \\ &+ (1+t_m^{tw})(1+\tau_{3,4}^{hk,tw})p_{3,4}^{hk,tw} M_{3,4}^{hk,tw} (e^{tw}/e^{hk}) \end{aligned} \quad (4.4)$$

ただし消費地への交通費は入っていない。つぎに台湾の生産に投入される部品の振替価格について考えよう¹¹。ここで代表的に日本からの振替価格 $p_{3,4}^{jpn,tw}$ の最適値を模索するために、以下の目標関数を考える¹²。

$$\begin{aligned} f_{3,4}^{jpn,tw} &= -\frac{1}{2}g_4^{tw} \left(p_{3,4}^{jpn,tw} - \bar{p}_{3,4}^{jpn,tw} \right)^2 + \frac{1}{Z_4^{tw*}} \tilde{\pi}_4^{tw} \\ &= -\frac{1}{2}g_4^{tw} \left(p_{3,4}^{jpn,tw} - \bar{p}_{3,4}^{jpn,tw} \right)^2 + \frac{1}{Z_4^{tw*}} (1-t_\pi^{tw})\pi_4^{tw} \end{aligned} \quad (4.5)$$

$\bar{p}_{3,4}^{jpn,tw}$: 目標水準 Z_4^{tw*} : Z_4^{tw} の正常水準

とする。振替価格 $p_{3,4}^{jpn,tw}$ の最適値を考える。

$$\frac{\partial f_{3,4}^{jpn,tw}}{\partial p_{3,4}^{jpn,tw}} = -g_4^{tw} \left(p_{3,4}^{jpn,tw} - \bar{p}_{3,4}^{jpn,tw} \right) + \frac{(1-t_\pi^{tw})}{Z_4^{tw*}} \frac{\partial p_4^{tw}}{\partial p_{3,4}^{jpn,tw}} \frac{\partial (p_4^{tw} Z_4^{tw})}{\partial p_4^{tw}}$$

¹¹ 門田(1989)では、色々な振替価格の決定が論じられている。

¹² 目標値を定めない方式も考えられる。その場合、さらに自由に振替価格が動く。

$$\begin{aligned}
& + \frac{(1-t_{\pi}^{twn})}{Z_4^{twn*}}(1+t_m^{twn})(1+\tau_{3,4}^{jpn,twn})M_{3,4}^{jpn,twn}(e^{twn}/e^{jpn}) \\
= & -g_4^{twn}(p_{3,4}^{jpn,twn}-\bar{p}_{3,4}^{jpn,twn})+\frac{(1-t_{\pi}^{twn})}{Z_4^{twn*}}\frac{\partial p_4^{twn}}{\partial p_{3,4}^{jpn,twn}}\left(Z_4^{twn}+p_4^{twn}\frac{\partial Z_4^{twn}}{\partial p_4^{twn}}\right) \\
& + \frac{(1-t_{\pi}^{twn})}{Z_4^{twn*}}(1+t_m^{twn})(1+\tau_{3,4}^{jpn,twn})M_{3,4}^{jpn,twn}(e^{twn}/e^{jpn})=0 \tag{4.6}
\end{aligned}$$

最適な振替価格は以下で求められる。そのために、根岸の主観的需要関数¹³を片側対数 $\log Z_4^{twn} = -\delta_4^{twn} p_4^{twn}$ とすると、 $\partial Z_4^{twn} / \partial p_4^{twn} = -\delta_4^{twn} Z_4^{twn}$ である。また価格間弾力性 $\partial \log p_4^{twn} / \partial \log p_{3,4}^{jpn,twn} = \varepsilon_{3,4}^{jpn,twn}$ とすると、 $\partial p_4^{twn} / \partial p_{3,4}^{jpn,twn} = \varepsilon_{3,4}^{jpn,twn} (p_4^{twn} / p_{3,4}^{jpn,twn})$ である。2つの関係を式(4.6)に入れる。

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f_{3,4}^{jpn,twn}}{\partial p_{3,4}^{jpn,twn}} = & -g_4^{twn}(p_{3,4}^{jpn,twn}-\bar{p}_{3,4}^{jpn,twn})+\frac{(1-t_{\pi}^{twn})}{Z_4^{twn*}}\varepsilon_{3,4}^{jpn,twn}\frac{p_4^{twn}}{p_{3,4}^{jpn,twn}}(Z_4^{twn}-\delta_4^{twn}p_4^{twn}Z_4^{twn}) \\
& + \frac{(1-t_{\pi}^{twn})}{Z_4^{twn*}}(1+t_m^{twn})(1+\tau_{3,4}^{jpn,twn})M_{3,4}^{jpn,twn}(e^{twn}/e^{jpn})=0
\end{aligned}$$

ここで、 $Z_4^{twn*} = Z_4^{twn}$ とおく。

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f_{3,4}^{jpn,twn}}{\partial p_{3,4}^{jpn,twn}} = & -g_4^{twn}(p_{3,4}^{jpn,twn}-\bar{p}_{3,4}^{jpn,twn})+(1-t_{\pi}^{twn})\varepsilon_{3,4}^{jpn,twn}\frac{p_4^{twn}}{p_{3,4}^{jpn,twn}}(1-\delta_4^{twn}p_4^{twn}) \\
& + \frac{(1-t_{\pi}^{twn})}{Z_4^{twn}}(1+t_m^{twn})(1+\tau_{3,4}^{jpn,twn})M_{3,4}^{jpn,twn}(e^{twn}/e^{jpn})=0
\end{aligned}$$

$p_{3,4}^{jpn,twn}$ で整理すると以下。

$$\begin{aligned}
p_{3,4}^{jpn,twn} = & \bar{p}_{3,4}^{jpn,twn} + \frac{(1-t_{\pi}^{twn})}{g_4^{twn}} \left[\varepsilon_{3,4}^{jpn,twn} \frac{p_4^{twn}}{p_{3,4}^{jpn,twn}} (1-\delta_4^{twn}p_4^{twn}) \right. \\
& \left. + (1+t_m^{twn})(1+\tau_{3,4}^{jpn,twn}) \frac{e^{twn}M_{3,4}^{jpn,twn}}{e^{jpn}Z_4^{twn}} \right] \tag{4.7}
\end{aligned}$$

括弧の中は、振替価格が1単位増加した時の限界利益を表す。限界利益の正負により価格の変更のあり方が異なる。限界利益がプラスなら目標振替価格より大、限界利益がマイナスなら目標振替価格より小となる。右辺にも被説明変数 $p_{3,4}^{jpn,twn}$ が登場する。

その点を改善するため、価格間弾力性を $\partial p_4^{twn} / \partial p_{3,4}^{jpn,twn} = \varepsilon_{3,4}^{jpn,twn}$ とすると、

$$p_{3,4}^{jpn,twn} = \bar{p}_{3,4}^{jpn,twn} + \frac{(1-t_{\pi}^{twn})}{g_4^{twn}} \left[\varepsilon_{3,4}^{jpn,twn} (1-\delta_4^{twn}p_4^{twn}) \right]$$

¹³ T.Negishi(1961)を参照。

$$-\left. (1 + t_m^{tw}) (1 + \tau_{3,4}^{jpn,twn}) \frac{e^{tw} M_{3,4}^{jpn,twn}}{e^{jpn} Z_4^{tw}} \right] \quad (4.8)$$

となる。振替価格の決定以外にも、市場価格を同様に論ずることができる。その場合、振替価格の全てに最適解を入れ、その後で価格を決定する。

5. 仮説的数値例

台湾関連の GSCM を取り上げる。

表 5.1 生産の段階

第 1 段階	生産地	次工程	通貨単位
Hard Disk Array	Singapore	Disk	シンガポールドル
Media	Singapore	Disk	シンガポールドル
CPU Chip	Japan	Motherboard	円
第 2 段階			
Disk	Malaysia	PC Box	リンギ
Motherboard	Taiwan	PC Box	台湾ドル
Memory	Singapore	PC Box	シンガポールドル
第 3 段階			
PC Box	Taiwan	Systems	台湾ドル
Monitor	Taiwan	Systems	台湾ドル
Printer	Japan	Systems	円
Software	Hong Kong	Systems	香港ドル
第 4 段階			
Systems	Taiwan	Customer	台湾ドル
第 5 段階			
Customer	Asia, Pacific Rim		

表 5.2 製品・原材料の取引関係

		TWN	JPN	HK	MLS	SGP	
Systems(4)	TWN	Z_4^{nm} X_4^{nm}					$Z_4^{nm} = \sum_{k=ac,wc,abir,cc,as,pr} (Z_4^{nm,k} + INV I_4^{nm,k})$
PC Box(3)	TWN	Z_{3p}^{nm} X_{3p}^{nm} $M_{3p,4}^{nm,nm}$					
Monitor(3)	TWN	Z_{3m}^{nm} X_{3m}^{nm} $M_{3m,4}^{nm,nm}$					
Printer(3)	JPN		Z_3^{jpn} X_3^{jpn} $M_{3,4}^{jpn,nm}$				
Software(3)	HK			Z_3^{hk} X_3^{hk} $M_{3,4}^{hk,nm}$			
Disk(2)	MLS				Z_2^{mls} X_2^{mls} $M_{2,3}^{mls,nm}$		
Motherboard(2)	TWN	Z_2^{nm} X_2^{nm} $M_{2,3}^{nm,nm}$					
Memory(2)	SGP					Z_2^{sgp} X_2^{sgp} $M_{2,3}^{sgp,nm}$	
Hard Disk Array(1)	SGP					Z_1^{sgp} X_1^{sgp} $M_{12}^{sgp,mls}$	
Media(1)	SGP					Z_1^{sgp} X_1^{sgp} $M_{12}^{sgp,mls}$	
CPU Chip(1)	JPN		Z_1^{jpn} X_1^{jpn} $M_{12}^{jpn,nm}$				

上の生産工程で投入がない、第 1 段階の Hard Disk Array、Media、CPU Chip、第 2 段階の Memory、第 3 段階の Monitor、Printer、Software は、実際には投入はあるが、投入なしの生産工程として扱う。したがって入力ありの生産工程は、第 2 段階の Disk、Motherboard、第 3 段階の PC Box、第 4 段階の Systems となる。製品と原材料投入のみを取り上げ、副産物、付加価値項目は捨象している。

第4段階 Systems : 台湾

Systems の生産工程

最終段階のアSEMBル工程である。今では検査工程は組み立て工程に組み込まれている。また、ラインをより効率的に動かすため、これまで組立工程の最後に集中していた梱包工程を組立ラインの途中に分散させることで、一人あたりの作業時間を平準化し、組立リードタイムの削減にも寄与している。したがって梱包工程も組み込まれている。しかしここでは組み立てと検査・梱包を別にして2工程とする。

表 5.3 : Systems の投入・産出の取引の記述

	unit	組立工程	検査・梱包工程	最終製品
Main products				
組み立て	台	500	-500	0
検査・梱包	台	0	500	500.0
Purchased inputs				
PC Box	個	-500	0	-500
Monitor	台	0	-500	-500
Printer	台	0	-500	-500
Software	セット	-500	0.0	-500
Main products	セット	500	500	

係数

	unit	組立工程	検査・梱包工程
Main products			
組み立て	台	1.0	-1.0
検査・梱包	台	0	1.0
Purchased inputs			
PC Box	個	-1.0	0.0
Monitor	台	0.0	-1.0
Printer	台	0.0	-1.0
Software	セット	-1.0	-0.0
Main products	セット	500	500

$X_{4(1)}^{twn}$: 検査・梱包前の製品

$X_{4(2)}^{twn}$: 検査・梱包後の製品

$$\begin{pmatrix} Z_{4(1)}^{twn} \\ Z_{4(2)}^{twn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0 & -1.0 \\ 0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{4(1)}^{twn} \\ X_{4(2)}^{twn} \end{pmatrix} \quad Z_4^{twn} = A_4^{twn} X_4^{twn}$$

$M_{3p,4}^{twn,twn}$: 台湾製の PC Box

$M_{3m,4}^{twn,twn}$: 台湾製の Monitor

$M_{3,4}^{jpn,twn}$: 日本製の Printer

$M_{3,4}^{hk,twn}$: 香港製の Software

$$\begin{pmatrix} M_{3p,4}^{twn,twn} \\ M_{3m,4}^{twn,twn} \\ M_{3,4}^{jpn,twn} \\ M_{3,4}^{hk,twn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.0 & 0.0 \\ 0.0 & -1.0 \\ 0.0 & -1.0 \\ -1.0 & 0.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{4(1)}^{twn} \\ X_{4(2)}^{twn} \end{pmatrix} \quad M_{3,4}^{twn} = B_4^{twn} X_4^{twn}$$

$$X_4^{twn} = (A_4^{twn})^{-1} Z_4^{twn}$$

$$M_{3,4}^{twn} = B_4^{twn} X_4^{twn} = B_4^{twn} (A_4^{twn})^{-1} Z_4^{twn}$$

第 3 段階 + 第 2 段階

PC Box + Motherboard : 台湾

PC の頭脳部の生産工程で、Motherboard に日本からの CPU Chip を埋め込み、マレーシアからの Disk とシンガポールからの Memory を取り付けて PC Box が完成する。

a) SMT 工程

何もない状態のマザーボードは、まずひとつ目の機械を通り、チップを実装する部分にハンダが印刷される工程は印刷機。次はチップを実装していく工程。ハイスピードマウンタという機械によって、ハンダを印刷した部分に秒間 10 チップという速さでチップが実装。機械の側面には多数のロールが装着、このロールに各種のチップが貼り付けられている。次に、オーブンのような加熱器でハンダを溶かし、マザーボード上にチップを固定していく(リフロー工程)。チップが実装されたマザーボードは、ひとつひとつ穴あきシートを被せ、次のプロセスへ。穴あきシートによる確認作業は、製品の製造プロセスのなかで何度か、そのプロセス毎に異なるシートを合わせることで行われる。また、実装されたチップを光学的にチェックする機械も用意。レンズがチップ上の刻印を読み取り、正しいチップであることを確認。BIOS を焼く機械は、ロールから取り出された BIOS チップをアームがピックアップし、書き込みが行われる。書き込み完了のマーキングを施された後、再度ロールに巻かれていく。

b) DIP 工程

メモリソケットや拡張スロットなどの大きなコンポーネントは、ハンダ量が多いため、SMT プロセスではなく DIP プロセスで実装。DIP プロセスでは、SMT よりも高い温度でハンダ付けが行われている。

表 5.4 : PC Box/Motherboard の投入・産出の取引の記述

	unit	SMT 工程	DIP 工程	最終製品
Main products				
SMT 工程	個	500	-500	500 Motherboard
DIP 工程		0	500	500 PC Box
Purchased inputs				
CPU Chip	個	-500	0	-500
Disk	個	0	-500	-500
Memory	個	0	-500	-500
Main products	セット	500	500	

係数

	unit	SMT 工程	DIP 工程
Main products			
SMT 工程		1.0	-1.0
DIP 工程		0	1.0
Purchased inputs			
CPU Chip		-1.0	0
Disk		0	-1.0
Memory		0	-1.0

Monitor : 台湾 Printer : 日本 Software : 香港

$$Z_{3p}^{tw} = X_{3p}^{tw}$$

$$\begin{pmatrix} M_{2,3}^{tw,tw} \\ M_{2,3}^{jpn,tw} \\ M_{2,3}^{hk,tw} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.0 \\ -1.0 \\ -1.0 \end{pmatrix} X_{3p}^{tw} \quad M_{2,3p}^{tw} = B_{3p}^{tw} X_{3p}^{tw}$$

第 2 段階

Disk マレーシア

シンガポール製の Hard Disk と Media を組み込む。

表 5.5 : Disk の投入・産出の取引の記述

	unit	組み立て工程	最終製品
Main products			
組み立て	個	500	500
Purchased inputs			
Hard Disk	個	-500	-500
Media	個	-500	-500
Main Products	セット	500	500

係数

	unit	組み立て工程
Main products		
組み立て		1.0
Purchased inputs		
Hard Disk		-1.0
Media		-1.0

日本製 CPU Chip を組み込んで、台湾で Motherboard が生産される。他にシンガポールでは Memory が生産される。

第 1 段階

シンガポールで Hard Disk と Media、日本で CPU Chip が生産される。

振替価格

以上の実物的取引で国境間にまたがる振替価格の問題を考えよう。PC であるから日本円で約 5 万円として、台湾ドルだと 1.26337666 万台湾ドルであるから、台湾ドルの価格

$p_4^{twn} = 12$ としよう。日本製の Printer の納入価格として、 $p_{3,4}^{jpn,twn} = 10$ とする。以下のよう

に既定値を定める。 $p_4^{twn} = 12$ 、 $\bar{p}_{3,4}^{jpn,twn} = 10$ 、 $g_4^{twn} = 0.5$ 、 $t_\pi^{twn} = 0.3$ 、 $\delta_4^{twn} = 0.5$ 、 $Z_4^{twn} = 500$ 、

$M_{3,4}^{jpn,twn} = 500$ 、 $e^{twn} = 30$ 、 $e^{jpn} = 100$ 、 $e^{twn} = 30$ 、 $t_m^{twn} = 0.05$ 、 $\tau_{3,4}^{jpn,twn} = 0.1$ 、 $\varepsilon_{3,4}^{jpn,twn} = 0.2$ と

している。上で台湾の法人税率、台湾の販売価格が明示され、また両国の為替レートも明示的に含む。以下の 3 つのパラメータを変化させて、式(4.7)、式(4.8)にしたがって振替価格を計算したものが表 5.6 である。

表 5.6 振替価格の代替値

scenario	t_π^{twn}	δ_4^{twn}	e^{jpn}	p_4^{twn}	(4.7)	(4.8)
1 baseline	0.3	0.5	100	12	7.172679	8.1149
2	0.2	0.5	100	12	6.484856	7.8456
3	0.3	0.005	100	12	9.836006	9.7781
4	0.3	0.001	100	12	9.851860	9.79154
5	0.3	0.5	120	12	7.291788	8.19575

双方のモデルで目標値を 10 を標準とした。台湾の法人税率の低下は振替価格を低下させ、日本の為替レートの円安は振替価格を低下させ、PC の小売価格の上昇は振替価格も上げる、と言ったことが確認できる。

6. 結語

最後に、幾つかの GSCM に関連する点を述べ、結論とする。

a) 生産形態の区別とコスト計算

企業のコスト計算は企業会計原則の即して記述がなされる。費目別（材料、労務、経費）と部門別（製造部門と補助部門）にコストを計算し、生産形態に応じてコスト計算が区別される。単純総合原価計算は見込生産＋同種製品を反復連続的に生産する形態、等級別総合原価計算は見込生産＋同種製品を連続生産するが、その製品の形状、大きさ、品位等によって等級に区別する生産する形態、組別総合原価計算は見込生産＋異種製品を組別に連続生産する形態、個別原価計算は受注生産の原価計算、つまり種類を異にする製品を個別的に生産する形態というように峻別される。本稿は、主に製造業の見込型生産を念頭に、投入産出型 GSCM と付随する振替価格の最適決定の考察を行ったが、受注型生産でも有効だろう。またサービス業については製造業ほどには複雑ではないだろうが、別の考察が必要になるかも入れない。さらに近年製造業 SCM が、他分野の農林水産等への適用が行われており、今後工業生産の手法が他産業にも拡大するだろう。

b) SCM のクラウド化

SCM ソフトとして、SAP、Oracle、Asprova 等が知られている。また某大手企業のように自前の SCM を構築しているものもある。特に SAP は日本でも大手企業に採用されてはいるが、スタンドアロン対応が基本で、中堅企業向きにシステムが組まれており、大手企業用にカスタマイズしなければならず、したがって使いにくく大変なコスト増を強いられているようである。実働しているシステムの移行は簡単には行かず、過去の慣行を受けつがざるを得ない側面もあろうが、クラウド化の流れで脱 SAP をする必要がある。特に GSCM に至っては、個別スタンドアロン型は向いておらず、クラウド型に移行すべきである。近年、大手企業でもクラウド型に移行が急速に進展している。

クラウドの利用は主にデータベースとの関連で注目すべきである。提供している大手は、グーグル・アプリケーション・エンジン(GAE)、アマゾン・ウェブ・サービス (AWS)、マイクロソフト Azure、また中小ではサイボーズの kintone 等が注目されている。クラウドの上で SCM や以下の ALM のシステムと一体化することが必要となる。データの解析は、クラウド上で行うのがベストであるが、クラウド上に解析ソフトが備わっている可能性は現状では低く、したがって解析は非クラウドで行い結果をクラウドに戻すのが当面の処置策だろう。解析ソフトは、計量経済分析では EViews であったり、LP では GAMS であったりする。専門の解析ソフトが別の解析ソフト専門のクラウドで利用されるようになればさらによい。また外部に最適性を検討するコンサルティング機関が存在するのも将来の課題だろう。

c) SCM と ALM の一体化

さらにまた近年、当然のこととは云え、SCM と本稿でも扱った利潤等に関連して ALM（資産負債管理）との融合が進んでいて、ALM/SCM は一体化していると考えてよい。会計的には、ALM は貸借対照勘定、SCM が損益計算と原価計算の勘定を表現していて、2 つないしは 3 つは現実には一体化している。

d) SCM の予測システムの拡充

需給調整しているのは外でもない企業自身であり、供給は自身でコントロールできるが、需要はマーケティング活動はあるものの直接コントロールはできない。実際の場面では多めの予測をして対処していると言われるが、まともな需要予測がなされていないのが実情である。ただ最近、ビッグデータを介して予測をするが流行だが、それも踏まえて計量経済学的予測が望まれる。需給管理に特化したモジュールが必要となる。

e) 最適化手法

SCM で現実には最適化はあまり行われていない。学術的には、LP や最適制御が主流であるが、本文中でも述べたように、LP では条件変化が速やかに最適解に反映されない。しかし何らかの意味で最適化は必要で、その意味で本稿の行列演算を基本とした最適化は導入し易いだろう。

f) 多国間多部門システムとの関連

GSCM の財の流れは、経済学の国際産業連関システム（多国間多部門システム

Multi-Country/Multi-Sector System,MCMS)の財の流れと似ている。すなわち産業連関システムは、会計的には損益計算と原価計算を一体化したものであり、SCMも同様に2つの勘定体系を表現している。2つの派生したシステムは基幹体系が同じであるから相互に通底している。それらを国際的に拡張したGSCMもMCMSも相互に似た表現体系になるのも当然のことと言えよう。したがってGSCMをより理論的整備が進んでいるMCMSに近づけることも今後必要になるだろう。したがって経済学上のコスト関数等の議論もSCMで有用なツールとなることが期待される。

g)IoTとSCM

近年、IoT(Internet of Things)というものが唱導されてきている。IoTは稼働する機械や機器にinternetが組み込まれることで、生産者側のみならず、消費者側からもリアルタイムの情報が入り込む可能性を秘めている。生産側では、IoTはSCMの中に組み込まれ、生産を革新する可能性がある。

注目されているのはドイツの「インダストリー 4.0」の動きである。構想は個々の企業を超えて、産業レベルで結びつきを強めようとしている。ドイツでは既に産業集積があるのが、ノルトライン・ヴェストファーレン州、同州のさまざまなセクターがインダストリー 4.0への挑戦を始めている。州都がデュッセルドルフであり、他にはドルトムント、ボン、ケルンなどがあり、オランダ、ベルギーの両国と国境を接し、欧州のほぼ中央に位置するという地の利がある。交通関係では、州内に6つもの国際空港を持ち、世界中の都市に直行便でリンク、鉄道では2011年1月にはデュイスブルクと中国・重慶とを結ぶ全長1万1000km以上の貨物鉄道路線も開通。そのためのソフトも開発されつつある。CyproSはスマートファクトリーに関連したCPSの運用方式・ツールの開発、Kapaflexcyは自律生産システム、Prosenseは人工知能システムとインテリジェントセンサーに基づいた生産管理、Autonomik for Industrie 4.0は自律制御システム、It's OWL (Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe)はスマートファクトリーのモデル構築・運用実証などがある。経済学者の目からみると、既存企業を取り込んだ管理産業社会を目指しているようだ。中国も巻き込みたい意図が感じられ、社会主義経済の方向にあるような印象を抱く。生産管理システムなどは、既に世界的に有名なSAPが主役を担うだろう。SAPを採用しなければ、インダストリー 4.0に参加できないなどという事態に立ち至るかも知れぬという危惧をもつ。既存企業を、生産のIoTを通じたマイクロレベルで囲い込み、産業への新規参入が出来にくいのではとの懸念が働く。欧州はEUという広範な基盤を背景に囲い込みがしたい思惑がある。

ドイツに対抗して米国は、2014年3月、インダストリアル・インターネット・コンソーシアムというのを立ち上げた。同組織は、機械や機器、インテリジェント・アナリティクス、職場の人々の相互接続性の開発、採用、使用拡大を促進するために結成された開かれた会員組織で、24カ国から167組織が参加。AT&T、シスコ、GE、IBM、インテルが設立したこの組織は、優先事項を調整し、産業インターネット技術を可能にするという。日本にも支部があって米国のシステムを推進している。

対する日本は、トヨタのJIT生産システム、小松のシステム等にみられる如く、個別企業のレベルでは既に導入されてきているものであり、日本は先行している分野であると言える。しかし日本の市場は単独では狭いので、欧州や米国と連携することが望ましいだろう。日本の戦略としては、個々で技術をもっている企業は、米国や欧州とどのように繋げるかを課題。これらの企業も含めて、欧米のシステムに接続するためのシステム使用料、ロイヤリティをなるべく抑えることが必要だろう。

参考文献

01) Albino, V., C. Izzo and S. Kuhts, 2002, "Input-Output Models for the Analysis of a Local/Global Supply Chain," *International Journal of Production Economics*, Vol. 78, pp. 119-131.

02) Arntzen, B. C., G. G. Brown, T. P. Harrison and L. L. Trafton, 1995, "Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation," *Interface*, Vol. 25, pp. 69-93.

- 03)Holt,C.H.,F.Modighiani,J.F.Muth and H.A.Simon,1960,Planning Production, Inventories, and Work Force,Prentice-Hall,Inc.
- 04)Hua,G.,S.Wang and T.C.E.Cheng,2012,”Optimal Pricing and Order Quantity for the Newsvendor Problem with Free Shipping,” International Journal of Production Economics,Vol.135,pp.162-169.
- 05)ジャストインタイム生産システム研究会編,2004,ジャストインタイム生産システム,日刊工業新聞社.
- 06)小谷重徳,1987,かんぱん方式の数理,オペレーションズリサーチ,Vol.32,730-738.
- 07)久保幹雄,2003,ロジステック工学,朝倉書店.
- 08)Lin,X. and K.R.Polenske,1998,”Input-Output Modeling of Production Processes for Business Management,” Structural Change and Economic Dynamics,Vol.9,pp.206-225.
- 09)松井正之,2005,生産企業のマネジメント,共立出版.
- 10)松井正之・藤川裕晃・石井信明,2009,需給マネジメント,朝倉書店.
- 11)宮崎茂次・西山徳幸,1987,トヨタ生産システムにおけるかんぱん方式の最適運用法,日本経営工学会誌,Vol.32,No.2,126-131.
- 12)門田安弘,1989,振替価格と利益配分の基礎,同文館。
- 13)Negishi,T.,1961,“Monopolistic Competition and General Equilibrium”, The Review of Economic Studies,Vol.28,No.3,pp.196-201.
- 14)大野勝久・坊敏隆・荒川雅裕,2011,最適かんぱん方式とニューロ DP による SCM の最適化に関する研究,京都大学数理解析研究所講究録,第 1734 巻 148-155.
- 15)Vidal,C.J. and M.Goetschalckx,2001,”A Global Supply Chain Model with Transfer Pricing and Transportation Cost Allocation,” European Journal of Operations Research,Vol.129,pp.134-158.

補論 1 : GSCM の多国籍生産形態の行列表示

PC 生産の多国籍企業の GSCM の財の流れを少々長いが行列で示す。

表 : GSCM の財の流れ

		U	M	T	C	S	M	J	I	S	G	C	H	C	M	I	M	S	N	N	H		
		K	A	W	A	N	N	X	N	A	R	L	K	O	L	S	E	I	P	H	Y	O	
Systems	U	Z_4^{uk}																					
	K	W_4^{uk}																					
		V_4^{uk}																					
		X_4^{uk}																					
	M		Z_4^{ma}																				
	A		W_4^{ma}																				
			V_4^{ma}																				
			X_4^{ma}																				
	T			Z_4^{tm}																			
	W																						

$$Z_4^{uk} = \sum_{k=ne,wc,akr,ce,d}$$

$$Z_4^{ma} = \sum_{k=ne,wc,akr,ce,d}$$

$$Z_4^{tm} = \sum_{k=ne,wc,akr,ce,d}$$

PC Box	N U K			W_4^{nm}																		
				V_4^{nm}																		
				X_4^{nm}																		
		C A N			Z_3^{cm}																	
					W_4^{cm}																	
					V_4^{cm}																	
					X_4^{cm}																	
			Z_3^{nk}																			
		W_3^{nk}																				
		V_3^{nk}																				
		X_3^{nk}																				
		$M_{3,4}^{nk}$	$M_{3,4}^{nk,m}$	$M_{3,4}^{nk}$	$M_{3,4}^{nk}$																	
	C A N			Z_3^{cm}																		
				W_3^{cm}																		
				V_3^{cm}																		
				X_3^{cm}																		
	$M_{3,4}^{cm}$	$M_{3,4}^{cm,m}$	$M_{3,4}^{cm}$	$M_{3,4}^{cm}$																		
T W N			Z_{3p}^{nm}																			
			W_{3p}^{nm}																			
			V_{3p}^{nm}																			
			X_{3p}^{nm}																			
		M_{3p}^{nm}	$M_{3p,4}^{nm,m}$	M_{3p}^{nm}	M_{3p}^{nm}																	
T W N			Z_{3m}^{nm}																			
			W_{3m}^{nm}																			
			V_{3m}^{nm}																			
Monitor																				$Z_4^{cm} = \sum_{k=nc,wc,ur,ps} Z_4^k$		

Media	S																		Z_1^{sgp}			
	G																		W_1^{sgp}			
	P																		V_1^{sgp}			
																			X_1^{sgp}			
CPU Chip	G																					
	E																					
	R																					
CPU Chip	M																					
	A																					
CPU Chip	M																					
	A																					
CPU Chip	J																					
	P																					
	N																					
CPU Chip	H																					
	O																					
	L																					
CPU Chip	U																					
	K																					

Abbreviation: cal(California, USA), can(Canada), col(Colorado, USA), ger(Germany),
hk(Hong Kong), hol(Holland), ire(Ireland), ita(Italy), jpn(Japan), mai(Maine, USA),
ma(Massachusetts, USA), mex(Mexico), mls(Malaysia), nh(New Hampshire, USA),
ny(New York, USA), sc(South Carolina, USA), sgp(Singapore), spn(Spain), twn(Taiwan).