

# グローバル製造業のコストモデルとその実装

濱本 正明 (東京大学)

後藤 正幸 (東京大学)

松島 克守 (東京大学)

森 雅彦 (株式会社森精機製作所)

**概要:** 1985年以降の円高傾向を受け、日本の製造業はコスト削減、為替リスク削減及び貿易摩擦解消を求め北米、アジアへと海外への生産拠点の移行を進めてきた。更なる経済のグローバル化が進む中、この傾向は今後も続くものと予想される。しかし、グローバルな企業活動には為替変動リスク、関税、カントリーリスクなどといった数多くの要因が業績に大きく影響するため、海外進出以前にこれらの要因の影響を定量的に評価、検討することが必須である。

本論文では、海外進出を検討する際に重要な評価項目の一つである製造コストという側面に着目し、グローバルに生産販売を行う製造業、主に加工組立業の製造コスト構造をモデル化し、意思決定に必要な様々な要求に対応できる定量的コストモデルの表現手法を提案した。本手法により、汎用性のあるモデルが構築でき、かつ様々な角度から経営意思決定支援のためのコストシミュレーションが可能となる。また、工作機械メーカーであるM社を対象に、今後の海外進出計画として現実的な幾つかのケースを設定し、提案モデルを用いたwhat-if分析を行い、モデルの有効性を検証した。

**キーワード:** コストモデル, コストシミュレータ, グローバル製造業, ビジネスモデル

## 1. 背景と目的

### 1.1 背景

急速な経済のグローバル化や規制緩和、情報革命などを受け、国境を越えてグローバルな活動を行う企業が増えている。企業間の競争は更に激しくなり、生き残りのためには市場確保やコスト削減、スピード経営が不可欠となった。このような背景の下で、企業はグローバル市場やコスト面などからの比較優位を得るために、為替リスクを始めとする各種リスクを抑えつつ経営資源をグローバルに最適配置、調整することを求められている。

1985年のプラザ合意以降の急速な円高を受け、日本の製造業もコスト削減を求めアジアへ、為替リスク削減、貿易摩擦解消を狙い北米へと海外展開を進めてきた。その結果、図1.1に見るように日本の製造業の海外生産比率は、1998年の3%から1998年には13.8%まで上昇した。更に今後は、2001年の中国WTO正式加盟を受け、新たな生産拠点、市場を求め中国への進出が大きく増大することが見込まれている。

しかし、変動相場制のもとでは製造コストは為替変動により大きく変動し、ときには大きな損失を企業へともたらすことがある。同図に1991年から2000年までのUS\$レートの変動幅(年間の最安値と最高値の差)を示す。このように、為替は一年の間にも大きく変動している。また、為替変動は企業にとっては外部要因であり、制御不可能である。海外での生産、販売を行う企業にとっては、この為替変動の影響が利益を大きく左右する。

このような状況において、グローバルな経営資源配置を最適に行うためには、事前に詳細かつ可能な限り正確にコストを見積もり、為替変動などによる影響を予測する必要がある。また、海外での生産を始めた後においても、各経営資源の最適な割り当ては為替によって変化する。

また、海外での現地生産においては為替のみならず、生産台数(稼働率)など様々な要因がコストを大きく左右することがわかっている。

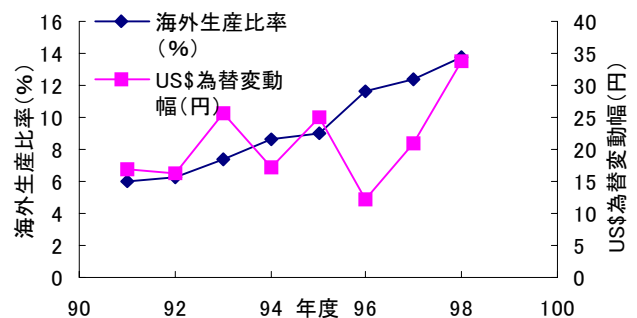


図 1.1 海外生産比率と為替変動幅

## 1.2 本研究の目的

本研究では海外進出を検討する際に重要な評価項目の一つである製造コストという側面に着目する。通常、海外進出のような経営意思決定では単にコストの総和を検討するだけでなく、コストの項目別構成比、不確定要因の影響など様々な切り口からの検討が重要であり、製造コストをコストモデルとして構造を作りこみ、様々な要求に答えて結果を示すことが必要である。

以上のような背景を踏まえ、本研究では、下のような要件を満たすコストモデルの構築手法を提案することを目的とする。

- ・あらゆる What-if に素早く答える
- ・プロダクトミクスへ対応（従来研究では1機種のみ）
- ・シミュレーション結果を様々な切り口から分析できる
- ・精密なコスト構造を容易に表現できる

企業が海外展開を計る際のシミュレータは、従来からいくつかの研究がなされており、完成度の高いコストシミュレータとして UNIDO(United Nation Industrial Development Organization)が開発した COMFAR がある[1]。UNIDO は開発途上国の工業発展を支援するという目的のため、特に興業投資案件を評価するための研究を行っており、その成果の多くはマニュアル・出版物として公表された。しかし、財務シミュレーション、フィージビリティスタディを主な目的として作られており、操作性も追及されているため逆に解析の自由度という点では低い。いわば財務専門家でない経営者でも容易に利用でき、かつ結果を示せることで海外進出の正当性を客観的に説明できるツールと考えられる。すなわち、コストを構造的に把握し、様々な状況を様々な切り口からシミュレートすることで細かい分析を行う目的にはあまり適していない。

本研究では、日本及びドイツにて主に原価計算を目的として発展してきた構造マトリクス[2]-[4]と呼ばれる手法を導入し、グローバルに生産販売を行う製造業のコストシミュレータの構築手法を提案する。本手法により、汎用性のあるモデルが構築でき、かつ様々な角度から経営意思決定支援のためのコストシミュレーションが可能となる。また、工作機械メーカーである M 社を対象に、今後の海外進出計画として現実的な幾つかのケースを設定し、提案モデルを用いた what-if 分析を行い、モデルの有効性を検証する。

## 2. 構造マトリクス

ここでは本稿におけるコストモデルの記述法として用いている構造マトリクスという手法について簡単にまとめる。構造マトリクスとは、ドイツ及び日本にて研究開発されてきた、マトリクスベースによる計算手法である。

図 2.1(a)のようなマトリクスとベクトルの演算は、構造マトリクスでは(b)のように、上辺部、中央部、左辺部として表現される。上辺部と中央部内の一行に注目し、縦に並んだ要素を掛け合わせ、横に和をとったものが左辺部へと入る。

また、構造マトリクスでは、上辺部と左辺部に同名の要素があるときは、図 2.2(a)のように先に左辺部を計算し、その結果が上辺部へと回り込み、順次計算が進められる。

さらに、各要素をマトリクスとしても同様な計算が可能であり、構造マトリクスでは(b)のようにマトリクスの縦積・横和によって転回処理が進められる。

この手法により、膨大な量のマトリクスの演算を一枚のテ

ーブル上に表現できる。また、計算ロジックが常にテーブル

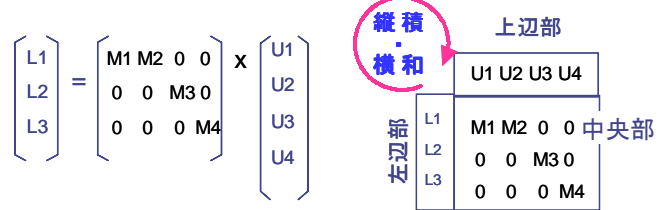


図 2.1(a)マトリクスとベクトルの積

(b)縦積・横和による表現

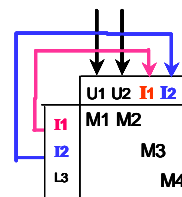
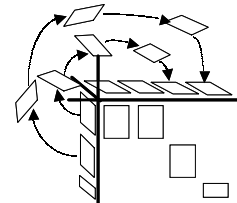


図 2.2(a)転回処理



(b)マトリクスへの拡張

上に見えるため、システム的设计、維持、変更が容易に行えるという利点がある。さらに、テーブル間のデータフローを定義し連結させることで、原価計算などの膨大なステップを要求する業務計算を系統的に構築することができる。

## 3. コストモデル構築手法

### 3.1 コストシミュレーションの原理

以下に、簡単なコスト構造の一例を示す。

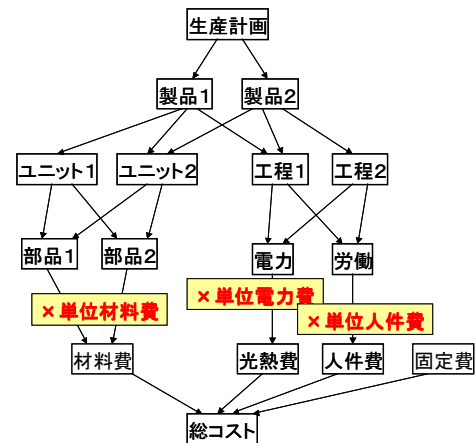


図 3.1 単純なコスト構造の一例

なお、各矢印は数量情報を有し、最上部の生産計画より順次、構造が展開されていく。その結果、最下層（図中では、部品 1,2,電力,労働にあたる）には、指定された生産計画を遂行する際に要求される各資源の数量が現れる。このようにして得られた要求資源に、各単価を掛け、固定費との和をとれば総コストが得られる。

また、コスト構造は一意的ではなく、対象とする業界、環境などに応じて適切なものを作成する必要がある。

こうして得られたコスト構造を用いて、様々なコストシミュレーションを行うことができる。各資源の単価は、地域、工場によって異なり、これらの数字を適切に入れ替えることで、あらゆる what-if のもとでのコストを算出する。

### 3.2 コストシミュレータ概要

図 3.2 に本研究にて作成するコストシミュレータの概要を示す。

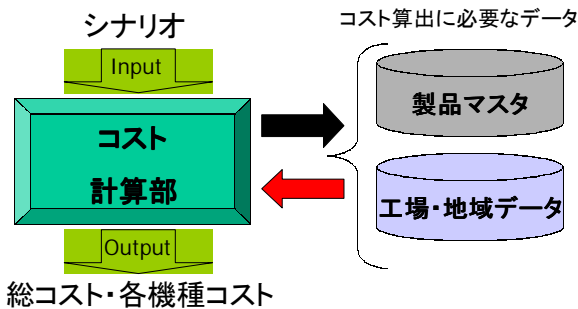


図 3.2 コストシミュレータ概要

シミュレータへの入力されるシナリオには、以下の項目がある。

- ・進出先
- ・生産台数
- ・生産経路
- ・納入先
- ・進出先の工場規模（人員配置，機械設備台数，土地面積）

このシナリオを受け取ったコスト計算部は、コスト算出に必要なデータを右側の各マスタへ参照し、その数字を用いて、総コスト・各機種一台当たりコストを算出する。

製品マスタは図 3.1 中のコスト構造を展開する部分、また工場・地域データは各資源の単価を格納している。

また、シナリオを入力する部分、シミュレーション結果を受け取る部分を 1 つのインターフェイスとして作成することで、モデルを使用する側が中身を意識せずに様々なシミュレーションを行うことが可能となる。

## 4. コストモデル試作

### 4.1 コストシミュレータ概要

本研究では、工作機械メーカーである M 社を対象とし、提案手法によるコストモデルの構築を行った。

製品については、実際には数十種類のものがあるが、M 社の主力製品である CNC 旋盤，立形 MC，横形 MC より主要な機種を一台ずつ選び、3 機種のプロダクトミクスとした。

- ・CNC 旋盤 SL253
- ・立形 MC SV503
- ・横形 MC SH503

各機種の材料構成を図 4.1 に示す。なお、下線を引いたものは、海外での調達難しいもの、灰色網掛け部は、ユニッ

ト組立の後、ライン組付するものを示している。

SL253	SH503	SV503
NC コントローラ	NC コントローラ	NC コントローラ
制御盤	制御盤	制御盤
本体	電装品	APC
X 軸	ベッド	ベッド
Z 軸	コラム	コラム
横送り台	主軸頭(鋳物)	主軸頭(鋳物)
サドル	主軸ユニット	主軸ユニット
主軸台	テーブル	テーブル
心押台	サドル	X 軸
刃物台	X 軸	Y 軸
板金セット	Y 軸	Z 軸
スプラッシュガード	Z 軸	ATC
ホースセット	ATC	マガジン
配管	マガジン	カバー
機器・特別付属品	カバー	配管
	配管	機器・特別付属品
	機器・特別付属品	

図 4.1 各機種の材料構成

コスト内訳としては、以下の項目を設定した。

- ・材料費
- ・人件費
- ・減価償却費
- ・販売物流費
- ・その他経費

また、各項目内に作成した小項目の一部を下に示す。

人件費	販売物流費
開発	梱包費
総務	陸送費
経理	通関手数料・船積費用
サービス	海上運賃
組立	関税
機械	...
...	

図 4.2 コスト小項目（人件費，販売物流費）

また、シナリオ入力、及びシミュレーション結果のグラフ表示を行うインターフェイスには以下の機能を持たせた。

- ・GUI によりシナリオを簡単に入力できる
- ・WWW より最新の為替情報を入手できる
- ・シミュレーション結果を様々な切り口から、即座に表示できる

## 5. コストモデルの試用

提案したコストシミュレータ構築手法の有効性を検証する

ため、現実の意思決定の問題を対象とし、実際にコストシミュレータを試作、運用した結果について述べる。具体的には工作機械メーカーの海外進出の意思決定問題を対象とし、工作機械特有の問題を考慮したコストモデルの構築、シミュレーションを行う。以下では、まず工作機械メーカーを取り巻く環境と課題を述べたあと、そのような問題設定に適合し実際に運用可能なシミュレータを構築した手順とコストモデルの詳細、及びシミュレーション結果について述べる。

### 5.1 日本の工作機械業界を取り巻く状況

製造業のグローバル化が一層進む中、工作機械業界では、1980年代後半から1990年代前半にかけて主要メーカーが北米、欧州、アジアへと生産拠点を築き海外生産を進めてきた。

その背景には、世界の市場に対応するには現地生産の方がコスト的なメリットがあること、現地生産により資材や部品の購入、製品の販売等の取引を全て現地通貨で行うことができ、為替リスクが軽減されることなどがある。また、当時は貿易摩擦から生じた輸出自主規制により、海外の需要の増加に対して輸出では対応できなくなったこともあげられる。そのため、工作機械メーカーのみならず、自動車や家電などの製造業が海外への展開を余儀なくされた。さらに、工作機械メーカーの主な顧客は、輸送機器メーカー、家電メーカー、精密機械メーカーなどであり、これらの他の製造業が海外進出を果たすにつれ工作機械の需要自体も海外へと移動していき、工作機械の国内需要の減少と海外需要の増加を促進させた。このような市場環境の変化や外交問題のため、工作機械メーカーは海外進出を進めることとなったといえる。

本研究にて対象とするM社では、海外進出を検討した時期もあったが、結局完全に国内で生産し輸出するという方針をとってきた。結果としてM社は他社に比べて営業成績が極めて良好であったという経緯がある。その結果、「M社の営業成績が優れていたのは、国内生産モデルの方が海外生産モデルより優れていたからなのか?」という疑問が生じる。すなわち、1980年代に海外生産が有利と判断して海外進出に踏み切った他社の経営判断が甘かったという仮説である。その検証のためには詳細なコストモデルを構築し、様々な状況でシミュレーションを行う必要がある。

以上のような背景のもと、本稿では仮にM社が北米の需要に対して現地生産する、すなわち北米に生産拠点を設けた場合、現状の国内生産よりもコスト面で優れるのかどうかという問題を検証するため、構築したコストシミュレータを北米生産モデルと国内生産モデルの比較に適用した。

### 5.2 シナリオの設定

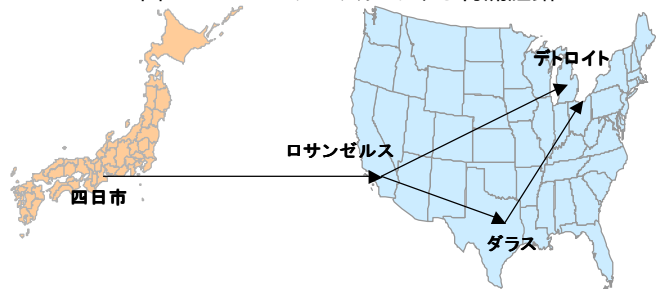
北米進出における工場立地の候補については様々な可能性がある。そこで、シアトル、シャーロットなどを候補地として行った予備シミュレーションの結果、ダラステクニカルセンタを工場として利用する有効性が認められたため、ダラス工場にしばって詳細に検討した。

本シナリオにおいては、ダラステクニカルセンタを工場として利用する2種類のケース、及び国内で生産しアメリカへ納入するケースを比較する。これら3つのケースを表5.1に示す。また図5.1には物流経路を示した。需要は実際には北米全体に存在するが、本稿では自動車産業が発達し需要が多いデトロイトに製品を納入するという場合を想定している。

表5.1 本研究で検討する3つのケース

	ユニット組立	ライン組立	納入
ケース1	国内	国内	ロス→デトロイト
ケース2	国内	ダラス	デトロイト
ケース3	ダラス	ダラス	デトロイト

図5.1 3つのケースにおける物流経路



進出先の工場規模については、過去10年間の北米における販売実績より、月間の生産可能台数(工場のキャパシティ)を以下のように設定した。

- SL253 80台
- SV503 30台
- SH503 40台

この生産可能台数を元に各機械設備台数、人員配置を算出する。

### 5.3 シミュレーション結果

#### 5.3.1 生産可能台数150台フル生産した場合

まず、最も基本となる生産可能台数150台生産の総コストの為替レート変動に対する変化を図5.1, 5.2に示す。

図5.2 総コストの為替レート変動に対する変化(円換算)

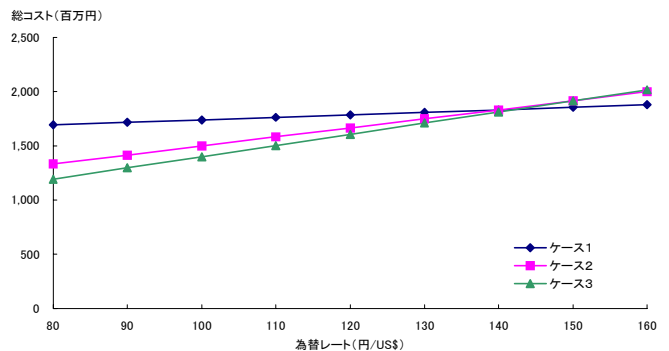
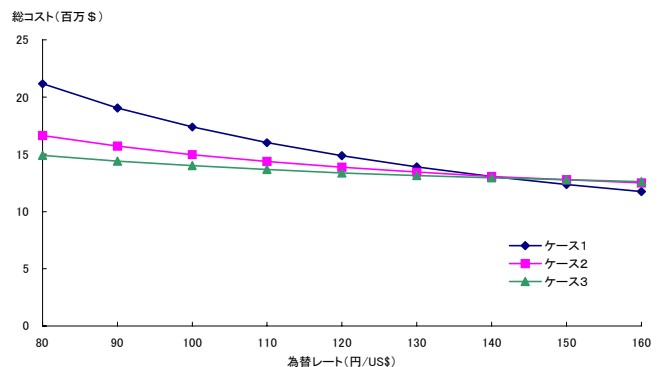


図5.3 総コストの為替レート変動に対する変化(ドル換算)



このシミュレーション結果より、以下のことがわかる。

いずれのケースにおいても、円決算ならば円安になるにつれ高コストとなり、ドル決算ならば円安になるにつれ低コストとなる。  
 \$1=¥140よりも円高であればケース3が最も有利であり、円安ならばケース1が最も有利となる。すなわち、国内生産と海外生産でのコストが同じになるブレイクイーンの点は\$1=¥140となる。  
 為替レートが変動するとき、円決算ならばケース1が最もコストの変動幅が小さく、ケース3が最も変動幅が大きい。逆に、\$決算ならばケース3が小さく、ケース1が大きい。

### 5.3.2 操業度の変化による各機種単位コストの変化

前節では最も理想的なフル生産の場合を想定した結果を示した。しかし、実際には需要は変動し、常に操業度を100%に保てるとは限らない。

そこで次に操業度が落ちた場合のコストの振る舞いを見るため、操業度を横軸、各製品の1台当たりコストを縦軸にとった図を示す。

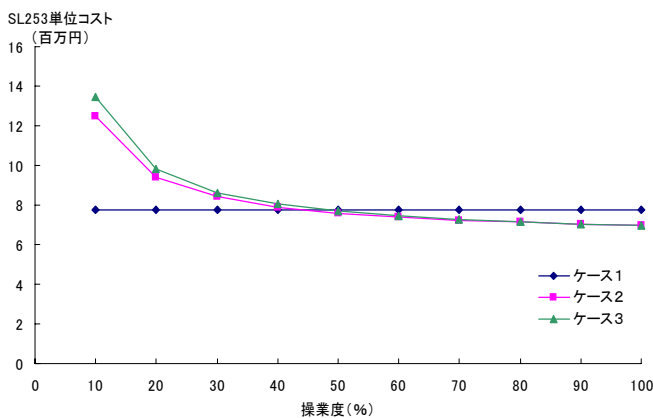


図 5.4 操業度の変化による SL253 単位コストの変化 (\$1=¥121 の場合)

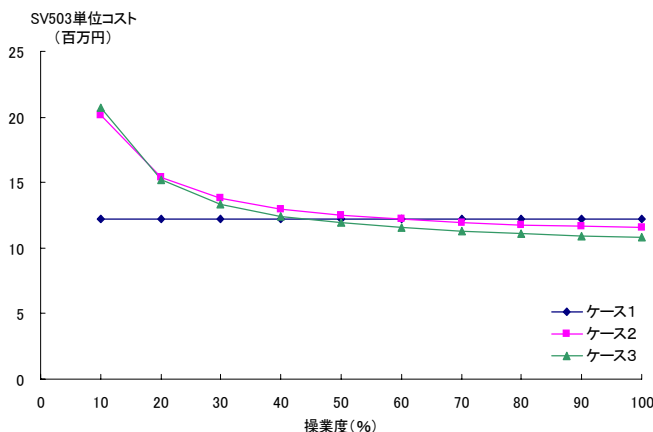


図 5.5 操業度の変化による SV503 単位コストの変化 (\$1=¥121 の場合)

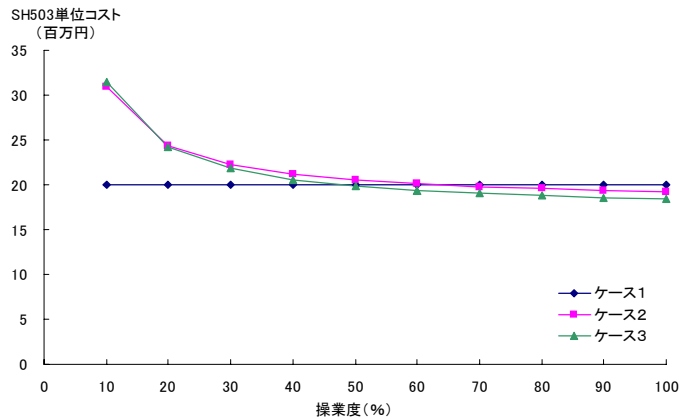


図 5.6 操業度の変化による SH503 単位コストの変化 (\$1=¥121 の場合)

以上の結果より、以下のことがわかる。

現地生産を行うケース2, 3においては、操業度が下がるにつれてスケールメリットが利かなくなり、単位コストは上昇する。

操業度が50%を維持できない状況では、国内生産ケース1に対する現地生産ケース2, 3の優位性は完全に失われる。

### 5.3.3 操業度-為替レート平面における各ケースの最適領域

以上のように、総コストや各機種単位コストは為替の変動や、操業度の影響を大きく受ける。そこで、横軸に操業度、縦軸に為替レートをとり、各ケースが最適となる領域に分けることを試みる。結果を図5.7に示す。

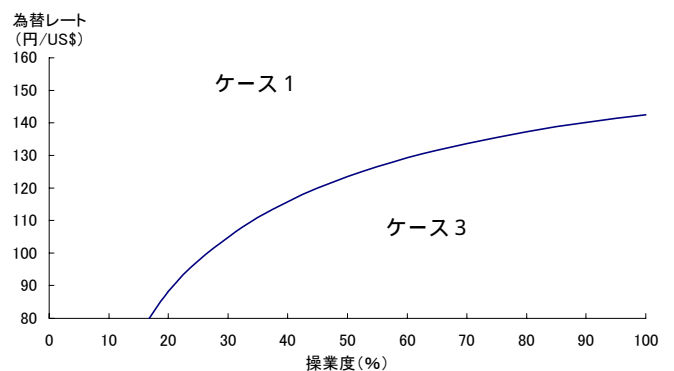


図 5.7 操業度-為替レート平面における各ケースの最適領域

以上の結果より、以下のことがわかる。

円安になるにつれて、国内生産に対する優位性を発揮するのに求められる操業度は高くなる。

ある一定のレートよりも円安になれば、100%の操業度を実現したとしても、現地生産の優位性は発揮されない。為替レートが\$1=¥80~¥160の範囲においては、いかなる

操業度においても、ケース2が最も優位となることはない。

### 5.3 考察

#### 1) 生産可能台数フルに生産した場合のコスト

総コストの為替レート変動に対する変化を見ると、コストを円換算して見た場合と、ドル換算して見た場合では為替レートに対する変化が異なる。どちらのグラフにおいても\$1=¥140より円高ならば、現地生産のケース3が最も有利、円安ならばケース1の国内生産が有利であることを示している。円換算を前提とすれば、コスト面ではケース3, 2, 1の順に優位であり、為替変動に対するリスクとしてはケース1, 2, 3の順であると言える。

しかし、ドル建てで入ってくる売上を次期の製造コストに充てることを考慮すれば、ケース3が最も為替変動の影響を受けずに利益を確保できるビジネスモデルだと考えられる。また、1990~1999年の10年間の平均為替レート\$1=¥121で考えると、ケース3が最も有利である。

#### 2) 操業度の変化による各機種単位コストの変化

各機種とも操業度が下がるにつれて、スケールメリットが利かなくなり現地生産の各機種単位コストは上昇する。US\$1=¥121という為替レートのもとでは、ケース1とケース3とがブレイクイーンになるのはSL253が47%、SV503は43%、SH503は45%程度のときである。また、このブレイクイーンとなる操業度を下回るとき、単位コストは急激に上昇する曲線を描くことがわかる。

このように、海外生産では操業度を高く保つ必要があり、工場を設立する際にはその生産可能台数、すなわち工場の規模を適切に設定することが極めて重要であることがわかる。もしM社が1990年代にダラステクニカルセンタを利用して海外進出を果たしていたならば、M社の業績は更に向上していた、というのが有川論文[1]の1つの結論だが、進出の際に需要を読み間違え、実際の需要以上の規模をもつ工場を設立していたとしたら、この結論は変わってくると思われる。

実際に海外進出を果たした業界他社の業績が、M社のそれよりも劣るという事実には、他社が需要を読み間違えて海外に工場を設立したのではないかと、という仮説も考えられる。以上のように、コストは為替レートおよび操業度、すなわち生産台数の影響を大きく受けることがわかる。

#### 3) 操業度、為替の変化による各ケース間のブレイクイーンの軌跡

ケース2が最も優位となる領域が無いことから、いかなる為替レート、操業度においても、ケース2がコスト面で最適となることは無いといえる。しかし、1)の考察にて述べたように、ケース2はコストは中程度、為替変動によるリスクも中程度とあり、市場及び為替の状況次第では1つの戦略となる可能性も考えられる。いずれにせよ、このようなグラフを進出以前に用意することは、最適な意思決定を素早く行わなければいけない状況において、大きな意義を持つと考えられる。

このように、グローバル製造業における製造コストは様々な要因の影響を大きく受ける。アメリカ進出のコストシミュレーションにおける有川論文[2]の1つの結論は、「為替レートが\$1=¥130よりも円高ならば、フル生産時のコストはダラスにて現地生産の方が、国内生産よりも優れている。」であった。つまり、ケース1とケース3がブレイクイーンとなるのは、\$1=¥130のときということである。これに対し、3機種のプロダクトミクスをシミュレーションした本研究では、

フル生産時のブレイクイーンは\$1=¥140となり、現地生産がより有利となった。

これは、より多くの製品を現地生産にすることで、スケールメリットが利いたものと考えられる。しかし、\$1=¥121の下で、ケース1とケース3がブレイクイーンとなる操業度は50%弱と変わらない。しかも、マシニングセンタは高付加価値製品であり、現地生産に向けて大規模な設備投資が必要であり、操業度が落ちたときのコスト上昇も大きい。さらに、北米においては売れ行きもあまり安定しないため、操業度50%を維持し続けるのは難しいと考えられる。つまり、安定した需要を確保することが、進出の前提といえる。

### 6. 結論

本研究によるコストシミュレータ構築手法、及び試作シミュレータによって以下の点が拡張され、より精密化されたコストモデルを提案することができた。

有川モデルが1機種のコストを扱っていたに対し、多機種のプロダクトミクスを容易に扱えるようになった。提案モデルでは、コストという側面に関して様々なシミュレーションを行い、生産台数や為替変動による影響を定量的に評価することが極めて容易となった。インターフェイスについて試作を行い、扱いやすいシミュレータを構築した。機種を追加してコストシミュレーションを行いたいなどの要求に対し、容易に対処することが可能となった。今回の試用では用いなかったが、各部材に対して個別に生産経路(調達~加工~組立)を指定できるようモデルを作成したことで、アジア地域におけるコンピュータ産業のような業界を対象としてシミュレーションすることも可能である。

以上より、本稿で掲げたコストシミュレータの要件をみたくコストモデル、コストシミュレータの構築手法を提案でき、試作シミュレータを実データで運用することにより、その有効性が示されたといえる。

また、本コストシミュレータを用いたシミュレーションにより、次の知見が得られた。

過去10年間の平均為替レートにおいて、海外生産は最適なシナリオを設定さえできれば、国内生産よりコスト面で優れることが明らかとなった。国内生産と海外生産でのコストが同じになる為替レートのブレイクイーン点はフル生産時で\$1=¥140となり、これより円高であれば海外生産の方がコスト面で優れる。しかし、海外生産はシナリオや生産台数などによってコストが大きく変化するため、「なんでも海外でやればコストダウンができる」のではなく、適切なビジネスモデルのもとに海外進出を果たさなければならない。

今後はさらに他の業種などについてもコストシミュレータを適用し、その有効性を検討したい。

#### 参考文献

- [1] 馬場敏幸, 松下正良, 玄場公規: "中小企業海外進出のビジネスモデル評価手法に関する分析", ビジネスモデル学会年次大会一般講演予稿集, pp. 32-37, (2001)
- [2] 有川隼矢: "グローバル製造業のビジネスモデルに関する実証比較研究", 東京大学卒業論文, (2001)
- [3] 外山呷之, 柴直樹, 飯島淳一: "構造マトリクスにおけるタイプ記号の諸性質とビジネス構造の表現に関する一考察", 経営情報学会誌, Vol. 9, No. 1, pp. 1-17, (2000)
- [4] 外山呷之, 飯島淳一: "構造マトリクスによる生産・コス

ト要因の統合モデル”, 経営情報学会誌, Vol. 9 No. 1,  
pp. 79-93, (2000)