

# 造船CIMの経済性評価手法について

染谷 実\*

## A Study on Procedures for Shipbuilding CIM Justification By Minoru Someya\*

### Abstract

The major benefits of CIM often are not the historically highlighted tangible benefits of labor cost reduction and capacity expansion, but intangible benefits that contribute to quality, shorter lead times, morale and company image. Therefore, CIM investments need to be justified in a broad context relative to the competitive positioning, and possibly even survival, of a firm.

However, in traditional justification methods, those non-monetary benefits could not be included. New approaches to justification that recognize intangible benefits are urgently needed.

The author has proposed a procedure, consisting of a few promising methods, for shipbuilding CIM justification, in which non-monetary benefits are emphasized and the risks involved are assessed.

Further, in order to verify that the KCIM-method, which is main part of the procedure, is effective in evaluating the synergy effect of a shipbuilding CIM, the author has made a macro model of the future Japanese shipbuilding industry and performed computer simulations.

### 目次

- |                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| 1. はじめに         | 3.4 リスク分析               |
| 2. CIMの経済性評価の意義 | 3.5 システムズ・アプローチ         |
| 3. CIMの経済性評価手法  | 3.6 インフォメーション・エコノミクス    |
| 3.1 在来手法        | 4. 造船CIMの経済性評価手法        |
| 3.2 スコアリングモデル   | 4.1 造船業の問題点と造船CIMの狙い    |
| 3.3 価値分析        | 4.2 造船CIMの経済性評価の基本的な考え方 |
|                 | 4.3 造船CIMの経済性評価手順       |
|                 | 5. 例題                   |

---

\* システム技術部

原稿受付 平成4年4月28日

- 5.1 KSIM法の理論的根拠
- 5.2 システムの変数
- 5.3 相互関係の構造化
- 5.4 シミュレーションの結果および実行環境

## 6. まとめ

### 参考文献

#### 1. はじめに

CIM(Computer Integrated Manufacturing)は開発投資の多大化と長期化を伴い、リスクが避けがたいため、その実施にあたっては従来の設備投資にもまして経済性の評価が重要なものとなる。しかしながら、CIMはまだ歴史も浅く、その効果の把握が困難な問題となっている。その理由は、本来、物と情報の流れを一体化することによるCIMの効果として期待されるのは、コスト削減のような定量的に把握できるものよりもむしろ競争力、品質や企業イメージの向上、リードタイム(受注から出荷にいたる期間または製品開発

期間のこと)の短縮といった定性的なものであることによる。造船CIMの場合もこのような定性的効果の把握が重要であることに変わりはなく、本研究において合理的な経済性評価のあり方について検討を行った。

#### 2. CIMの経済性評価の意義

CIM化は投資額が大きいだけでなく、工場の境界を超えた初めてのシステムであり、このシステムの成否は、事業あるいは企業そのものの存在を脅かしかねないほどの意味を持っており、CIM化投資の経済性評価は非常に重要な問題となっている。<sup>1),2)</sup>

しかしながら、「コンピュータとネットワーク技術により、物と情報の流れを一体化して把握し、経営の効率化を図ろうとする、自律機能のあるフレキシブルな生産システム」<sup>3)</sup>として定義されるCIMの設備投資の経済性評価は次のような理由で非常に難しい。

第一に、表-1のCIM導入の目標についてのある実態調査結果<sup>4)</sup>が示すように、CIMのもたらす効果とし

表-1 CIM導入の狙い

① リードタイムの短縮(製品開発期間、発注-発送期間)	73.9 (%)
② 生産・販売、販売・技術、生産・技術の部門間連携強化	58.4
③ 多品種少量受注・生産への対応	52.2
④ 工場マネジメントの革新	26.1
⑤ 顧客サービスの向上	15.9
⑥ 間接労務費・直接労務費の低減	15.5
⑦ 仕掛品の削減	15.5
⑧ 市場動向、マーケット情報のタイムリーな授受	14.6

出典：「経営課題実態調査」(社)日本能率協会)から抜粋

て期待されているのは、リードタイムや製品開発期間の短縮、生産・販売、販売・技術、生産・技術の部門間連携強化、多品種少量受注・生産への対応のように、その効果の把握が企業の戦略的見地から行われるべきようなものが主となっていることである。こうした効果は、労務費の低減のような直接にコスト換算が可能な量と異なり、定量的な把握が難しく、このため従来の設備投資のように、人間を機械に置き換えた場合の費用と効果を比較してCIMの経済性を評価するだけでは不十分なものとなる。

また、費用についても、CIMが全社的な統合システ

ムであることから、組織面に及ぼす影響や新しい技術の開発導入に伴うリスクを考慮して評価しなければならないという問題がある。

この様な背景から、米国においては、CIMの経済性評価について数百もの論文が発表されており、最近ではインフォメーション・エコノミクス<sup>5)</sup>のように理論的に体系化された手法として発表されているものもある。

以上のようにCIMの経済性評価は、単なる経営学上の問題にとどまらず、システム工学の領域にも及ぶ新しい研究の分野となっていることから、船舶技術研究

所においても「造船CIMの開発における先導的技術分野の研究」の一環として、造船CIMの経済性評価に対する基本的な取り組み方について検討してきた。<sup>6),7)</sup>

### 3. CIMの経済性評価手法

造船CIMの経済性評価について論じる前に、一般産業のCIMの経済性評価において有望と考えられている手法について調査した結果を次にまとめた。

#### 3.1 在来手法

従来、設備投資の効果の評価は、投資回収期間法、正味現在価値法や投資収益率法など金額に換算して行ってきた。これらの在来手法は、単純明快でデータの収集も容易であるという長所を持つが、コストに換算できない効果を評価するには適せず、また、計算に際して入力するデータ自体に含まれている不確定の要素については考慮していないという欠点がある。

##### ①投資回収期間法(Return on Investment)

投資のリスクを評価するもので、収益によって投資を何年で回収できるかチェックし、回収期間の短い方を選ぶなどの選択の際に用いる。

##### ②正味現価法(Net Present Value)

ある投資計画があって、それを実行したら得られるであろう将来の予想総収益の現在価値をV、同じく将来の予想総費用の現在価値をCとすると、 $V - C$ のことを正味現在価値(NPV)といい、NPVのより大きい方を有利と判定する方法。

##### ③投資収益率法

投資額に対して得られる年間収益がどのくらいの収益率になるかを計算し、高いものが有利とする方法。

#### 3.2 スコアリングモデル

検討対象の代替案について、評価項目ごとに点数付けを行い、各項目ごとの比較または合計点により、各案の総合評価を行う方法の総称でプロファイルチャート、ウェイト付けモデルやAHPなどの手法がある。

スコアリングモデルは定性的な評価項目について点数をいかに与えるかが正しい評価のポイントとなる。

#### 3.3 価値分析

部分的な開発を行って、システムの定性的、定量的な効果を把握し、プロジェクトの実行可能性を評価するものである。図-1に示すように二段階から構成され、まず、パイロットプラント段階では、資本投資

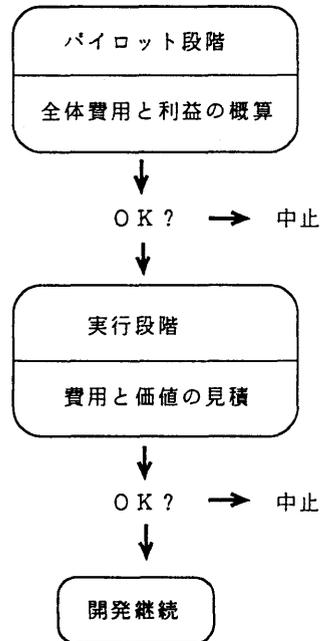


図-1 価値分析

というよりはむしろ研究開発投資として部分的な機能を持つ小規模なプロジェクトを設定し、もたらされる利益とコストを評価する。パイロットプラント段階で期待通りの利益がでると判断されれば、次に実行段階では、完全な機能を備えたシステムを対象としてコストに見合う効用があるかどうかを判断する。こうして常に、開発された部分の成果を基に全体システムの成果予測を繰り返しながらシステムの完成に近づけていく。

本格的な造船CIMの開発に先駆けて、(財)シップ・アンド・オーシャン財団が平成元年度から3年計画で行った「造船CIMSパイロットモデルの開発研究」は、この価値分析の考え方に沿ったものといえる。

#### 3.4 リスク分析

リスク分析は、在来手法において考慮されていなかったデータの不確定性を確率を使って処理するもので、計算の入力値として、平均値など単一の値でなく、関係者への質問によって得られた確率変数を用い、計算結果を確率の形で表す。図-2はリスク分析の例として、あるシステムを選択する場合の代替案A, B, C, Dの指標としてNPV(正味現在価値)を選び、その確

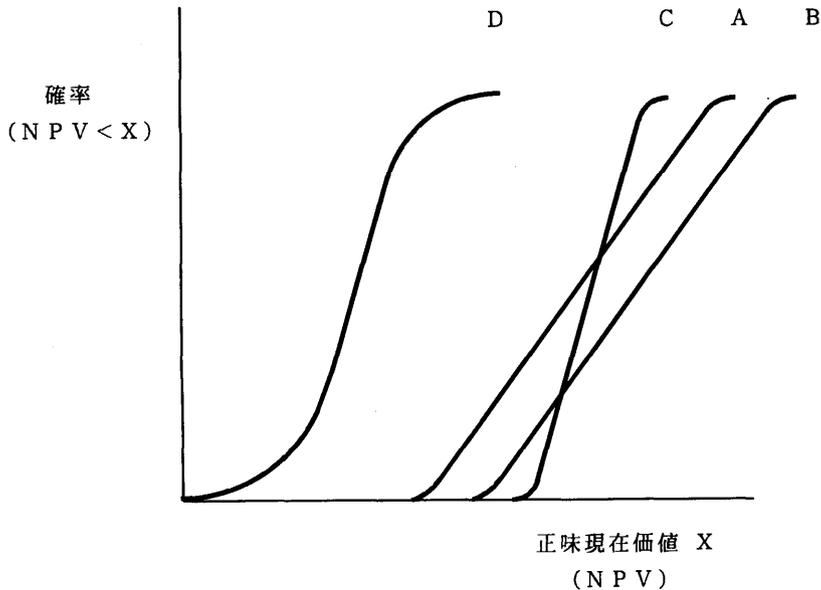


図-2 リスク分析

率分布を累積分布曲線の形でそれぞれ表したものである。プロジェクトAとプロジェクトBを比べた場合、任意の正味現在価値Xに対して、プロジェクトBの累積分布曲線は、プロジェクトAの累積分布曲線の右側にきており単純にプロジェクトBを選択すればよい。しかし、プロジェクトAとプロジェクトCを比較した場合は、あるNPV値をとりうる確率は、両曲線の交点を境として逆転するので、期待するNPVの大きさによっては選択が異なることになる。

### 3.5 システムズ・アプローチ<sup>8)</sup>

CIMのもたらす波及効果、相乗効果を考察し、統合化の生み出す経済的価値を捉えるために、定量的および定性的な効果を併せて含んだ項目間の相互の関連づけをした因果連鎖図を作成することが有効である。(図-6参照)

これをさらに発展させ、因果連鎖図によって表されたシステムの時間的変化を調べるために、カナダのブリテッシュ・コロンビア大学のJ・ケイン教授によって開発されたKSIM法(Kane's Simulation)<sup>8)</sup>やシステム・ダイナミクス法<sup>8),9)</sup>などのシステムズ・アプローチの手法によってシミュレーションを行うことが考えられる。

システムズ・アプローチでは、高度な専門知識を有

する専門家が難解で精緻な定式化によってシミュレーション・モデルを作る代わりに、幅広い分野から代表者が集まって問題を探求し、構造化し、その時間的変化をオンラインでシミュレーションすることによって、問題の解決法を探る。

システムズ・アプローチではシミュレーションにより得られた結果そのものよりも、代替案の評価のフィードバックを繰り返しながら参加者が次第に合意を形成していくプロセス自体に重要な意義がある。

### 3.6 インフォメーション・エコノミクス

情報システムの投資評価の新しい手法として、最近注目されているインフォメーション・エコノミクスにおいては、情報システムのもたらす真の利益は事業における変化から生まれるとして、従来の利益の概念を超えた事業全体にもたらされる成果という観点から情報システムの経済性を捉えようとしている。

即ち、インフォメーション・エコノミクスにおいては、3.1の在来手法における入力情報として、①伝統的費用対利益分析に、②価値連結効果分析、③価値加速効果分析、④価値再編成効果分析、⑤イノベーション効果分析を加えて、利益の概念を拡張している。

さらに事業面での価値とリスクとして、①戦略支援価値、②競争優位価値、③経営情報管理価値、④競争

対応価値、⑤プロジェクト実行上あるいは組織面でのリスクを分析し、技術面での価値とリスクとして、①戦略的システム基盤価値、②定義の曖昧さによる不確実性、③技術面での不確実性、④情報システム基盤に関するリスクを分析している。

#### 4. 造船CIMの経済性評価手法

##### 4.1 造船業の問題点と造船CIMの狙い

現在、造船業界は労働集約的な体質を変え、魅力ある近代産業への変革を目指して造船CIMの研究開発に取り組んでいる。造船CIM研究開発の推進母体である(財)シップ・アンド・オーシャン財団では平成元年度から、3カ年計画で「造船CIMSパイロットモデルの開発研究」を行ったが、その報告書<sup>10)</sup>を参考として、造船業が抱える問題点並びに造船CIMによってそれをどう解決しているかとしているかをまとめてみた。

まず、問題点は次のようなものである。

- ・船は現在の機械システムの中では最も大規模なものの一つであり、典型的な個別生産品であるため、大量生産することができない。

このため、各部門の多人数が、必ずしも前提条件の整ってない中で短期間のうちに同時並行的に作業を進めなければならず、膨大な情報の生成、伝達が繰り返されることから、情報の質、量、タイミングの面で不備が生じている。

また、大量生産の場合、工程が徹底的に分析、分解され、個々の作業が単純化されているため作業者のスキルが介在する余地は殆どなくなってきているのにたいして、個別生産の造船業では、製造情報が図面や工作指示書に十分に明示されていないことが多い。

従来の造船業は多数の熟練技術者、熟練工を養成し、配置して以上のような不具合に対処してきた。

- ・製品の需要は、世界経済の動向によって左右されるもので、いわゆる「売れ筋」が絶えず変動するような不特定多数の消費者を対象にしたものではない。
- ・作業環境の面ではクリーンルームに代表される大量生産品の工場にたいして、造船所では工作物が巨大であるため屋外での作業が避けられず、作業内容も「きつい」、「汚い」、「危険」であるため造船業はいわゆる「3K産業」の典型にあげられている。このため、若年の労働者が不足し、将来大量の熟練労働者が一挙に退職した場合に技能の伝承ができないのではないかと危ぶまれている。

このように大量生産型の産業と比べて近代化が遅れ、劣後産業化が懸念されている造船業のCIMによる改革の狙いは、次のようなものである。

- ・定型的、非生産的作業の極小化による設計・生産業務の総合効率の向上
- ・コンピュータを用いたシミュレーションによる設計、生産の最適化
- ・熟練を要しない作業方法の確立
- ・技術開発力、生産技術力の向上
- ・装置化、自動化の促進

##### 4.2 造船CIMの経済性評価の基本的な考え方

4.1で述べたように、造船CIMの規模は巨大で、業界の体質改善をも目指しており、及ぼす影響が極めて大きいものであることから、その経済性評価も重要な問題となっている。

(財)シップ・アンド・オーシャン財団が行った「造船CIMSパイロットモデルの開発研究」においては、技術的な問題点だけでなく経済性も含めて造船CIMの実現の可能性について検討されている。即ち、ある標準的な造船所をモデルとして設定し、CIMの効果と費用について定量的な評価を行ったもので、今後、本格的な開発の開始とともに、各造船所がそれぞれの事情に応じて個々にCIM導入の経済性評価を行っていく場合の参考となるものである。

ただし、労働者の質の維持や、需要変動への対応、労働者の不足の問題、作業環境や待遇の改善による造船業の魅力を回復するというような定量化のしにくい主観的な要因をどう評価するかについては同財団でも具体的な検討はされていない。このような、主観的な要因は、造船所を近代化し、国際競争力を維持して、21世紀にも存続していくという企業の目的に直接関係しており、CIM経済性評価に欠かせない検討項目である。定量的な経済性評価では必ずしも良い結果が得られなくても、戦略的な見地から高く評価されれば、造船CIMの実施は正当化されるべきであろう。

そのような、造船CIMの経済性を戦略的に評価するための手法として、本研究ではシステムズ・アプローチの一手法であるKSIM法をとり上げてみた。

KSIM法は定量的な変数と定性的な変数を同時に扱うことができ、造船CIMのもたらす波及効果を検討するのに最適と考えられるからである。

各部門から代表者が参加してシミュレーションを行い、意志決定を行うKSIM法では、ディスカッションを

通じて参加者のコミュニケーションが図れ、政策決定に対する合意が得られやすくなり、CIM導入計画がスムーズに実行に移されるといふ効果も期待できる。

最後に、造船CIMは技術的には未だ開発中の段階にあり、期待したとおりの効果が得られるかどうかは問題であり、また、造船CIMの実施が従来の設計、生産のあり方を変え、造船所の組織にも影響を与えることから、リスクの評価には十分配慮する必要がある。以上のリスクおよび造船CIMのもたらす定量的な効果

のよりきめ細かな把握のために、インフォメーション・エコノミクスなどの新しいアプローチによって従来の経済性評価手法を補うことも合理的な造船CIMの経済性評価のためには必要となろう。

#### 4.3 造船CIMの経済性評価手順

以上の点を考慮し、各造船所における造船CIMの経済性評価の具体的な手順について図-3にまとめてみた。

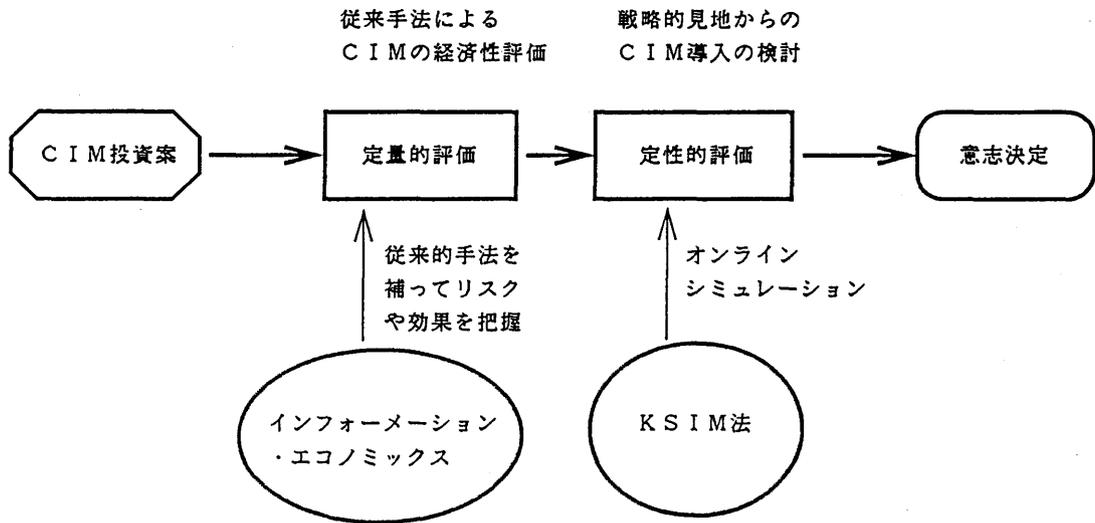


図-3 造船CIMの経済性評価手順

①はじめに、在来手法を中心として生産性の向上、コストの削減のような定量的な効果および費用を見積もることによって造船CIMの経済性を評価する。この場合インフォメーション・エコノミクスの考えを取り入れて、CIMのもたらす効果をなるべく幅広く捉え、また、造船CIMは現在開発中の技術であり、組織に与える影響も大きいことからリスクについても十分に検討する。

②戦略的な見地からの検討では、企業の目的などを考慮しながら造船CIMのもたらす波及効果を把握することに重点をおく。そのために、定量的な変数だけではなく、数量化しにくい主観的な変数も同時に扱えるシミュレーション技法であるKSIM法を用いて、経営幹部はもとより営業、設計、生産、技術の幅広い部門から代表者が参加して、造船CIMの導入についてシ

ミュレーションを行う。このKSIM法によって定量的な波及効果についても十分な理解を持った上で、①の定量的な経済性評価の結果を考慮しながら最終的に意志決定を行う。

なお、KSIM法の手順について示すと図-4のようになる。

はじめにKSIM法を適用する問題のレベル、領域、代替案について参加者の間で合意を形成する。即ち、企業の戦略的目標、導入する予定の造船CIMの目的と内容、造船所の内外の諸要因を考慮して、各部門、事業所、全社の何れのレベルでKSIM法を適用するか、シミュレーションの期間はどの位にするか、船舶の需要予測はどれを用いるかなどについて討論しながら決定していく。

次に、システムの変数を同定し、定義し、変数名を

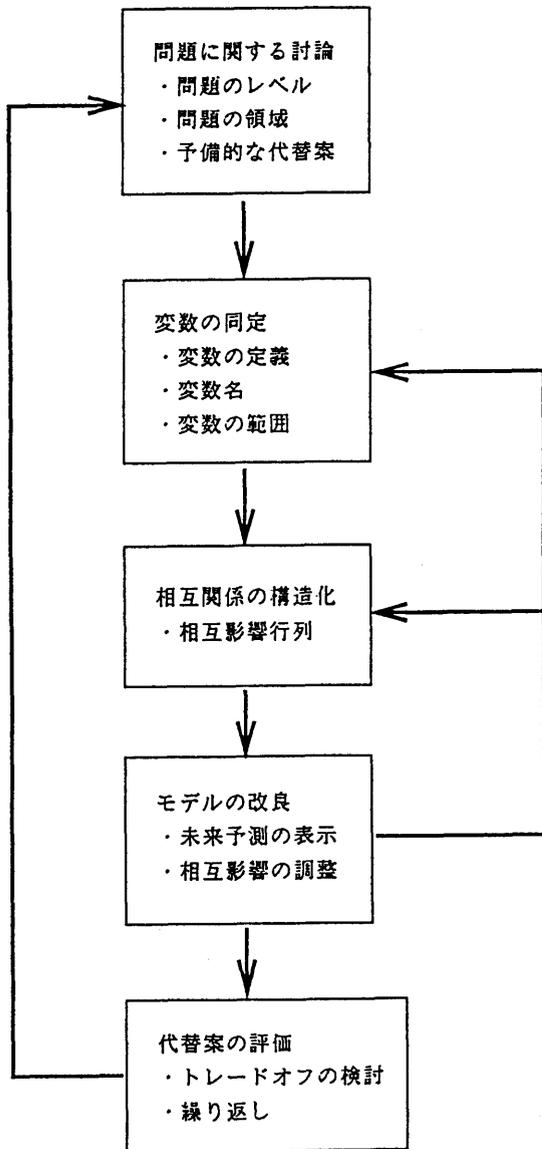


図-4 KSIM法のフローチャート

つけ、そして、各変数の最大値と最小値を決めて、最大値を1に、最小値を0に正規化する。

相互関係の構造化においては、変数同士が及ぼし合っているプラスおよびマイナスの影響を数値によって表し、モデルの構造を確定する。

システムの時間的変化を探求するため、その場で行うシミュレーションは、KSIM法の中心となるもので、

変数や係数などモデルを修正したり改良したりしながら、参加者がモデルに満足し、各変数が実際の状況をうまく表わしているという同意に達するまでこのステップを繰り返す（フィードバック）。

最後の代替案の評価では、「CIM化の推進」のような代替案（外力）をシステムに与え、その結果システムがどう変化するかをコンピュータのアウトプットを見ながら議論する。この代替案は1つに限らず、別の代替案があれば、最初に戻って手順を繰り返す。

シミュレーションには、システム工学に知識のない人達も参加し、その場で変数や影響係数を変えて参加者の意見を反映させなければならないことから、KSIM法の実行環境は、対話型でグラフィカル・ユーザー・インターフェースにも優れたプログラミング言語によって構築する必要がある。

## 5. 例題

4.3で提案した造船CIMの経済性評価の手順は、本来、CIMを導入しようとする造船所が各自の事情や固有のデータを考慮して、それぞれ進めていくべき性質のものである。当研究所においては、個々の造船所の具体的事情を把握することが難しく、また、国立研究機関としての立場上からマクロな見地から問題を取り上げるのがよりふさわしい。

そこで本節では、造船CIMとわが国造船業の将来というマクロな問題を例題としてとり上げながら、造船CIMの経済性評価手順の中で、KSIM法が戦略的見地からのCIM導入の評価に有効であることを示し、また、シミュレーションを実行する環境について問題点を探るために、実際にワークステーション上にモデルを構築してシミュレーションを行った。

なお、シミュレーションのモデルを作るにあたっては、日本造船学会誌753号の特集：「日本造船業の現状と将来」<sup>11)</sup>およびシップ・アンド・オーシャン財団の「造船CIMSパイロットモデルの開発研究報告書」<sup>10)</sup>を参考とした。

### 5.1 KSIM法の理論的根拠

例題のモデルと計算結果について述べる前に、まず、KSIM法の理論的根拠について説明することにする。

KSIM法では、まず、システム変数  $x_1 \cdots x_n$  を同定し、次にこれらの変数が相互に及ぼし合う影響の大きさを表す  $a_{ij}$  の行列、 $A = [a_{ij}]$  並びに変数が相互に及ぼし合う影響の変化率を表す  $b_{ij}$  の行列、 $B = [b_{ij}]$

表-2 相互影響の行列  $A = [a_{ij}]$

V \ U	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
造船業の魅力 (X <sub>1</sub> )	-1.0	0.3	0.0	0.0	0.5	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0
収益性 (X <sub>2</sub> )	0.0	0.0	1.2	0.0	-0.7	(q)	(q)	0.0	-1.0	-0.5
生産性 (X <sub>3</sub> )	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
労働力の質 (X <sub>4</sub> )	0.0	0.0	0.0	(p)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F A化 (X <sub>5</sub> )	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

Y<sub>1</sub>; 建造量 (平準化), Y<sub>2</sub>; 建造量 (集中化), Y<sub>3</sub>; システム化, Y<sub>4</sub>; CIM化の費用, Y<sub>5</sub>; 造船業の賃金水準

表-3 相互影響の変化率の行列  $B = [b_{ij}]$

V \ U	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
造船業の魅力 (X <sub>1</sub> )	0.0	0.1	0.0	0.0	1.0	0.2	0.2	0.2	0.0	3.0
収益性 (X <sub>2</sub> )	0.0	0.0	3.0	0.0	-2.5	0.5	0.5	1.0	0.0	0.0
生産性 (X <sub>3</sub> )	0.1	0.0	0.0	2.0	2.0	0.5	0.5	1.5	0.0	0.5
労働力の質 (X <sub>4</sub> )	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	2.0
F A化 (X <sub>5</sub> )	0.0	0.3	0.0	-0.3	-1.0	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0

Y<sub>1</sub>; 建造量 (平準化), Y<sub>2</sub>; 建造量 (集中化), Y<sub>3</sub>; システム化, Y<sub>4</sub>; CIM化の費用, Y<sub>5</sub>; 造船業の賃金水準

を作る。(表-2、3参照; 数字は列変数Uが行変数Vへ与える影響の程度を表わす)

システムの予測は、次式を用いて繰り返し計算することによって得られる。

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t)^p \dots (1)$$

ここでシステム変数  $x_i$  は有界で  $0 \leq x(t) \leq 1 \dots (2)$

指数部は、他の変数による影響の関数で

$$p_i(t) = \frac{1 + \frac{\Delta t}{2} \sum_{j=1}^n \left\{ a_{ij} x_j + b_{ij} \frac{dx_j}{dt} \right\} - \left( a_{ii} x_i + b_{ii} \frac{dx_i}{dt} \right)}{1 + \frac{\Delta t}{2} \sum_{j=1}^n \left\{ a_{ij} x_j + b_{ij} \frac{dx_j}{dt} \right\} + \left( a_{ii} x_i + b_{ii} \frac{dx_i}{dt} \right)} \dots (3)$$

あるいは

$$p_i(t) = \frac{1 + \Delta t \sum_{j=1}^n \left| a_{ij} \text{の負項の値} \cdot x_j + b_{ij} \frac{dx_j}{dt} \text{の負項の値} \right|}{1 + \Delta t \sum_{j=1}^n \left( a_{ij} \text{の正項の値} \cdot x_j + b_{ij} \frac{dx_j}{dt} \text{の正項の値} \right)} \dots (4)$$

t は時間、 $\Delta t$  は微小区分時間である。  
 $a_{ij}$  は  $x_j$  から  $x_i$  への影響を表し、 $a > 0$  の場合は、 $x_i$  の増加に、 $a < 0$  の場合は  $x_i$  の減少につながる。  
 $b_{ij}$  は  $x_j$  から  $x_i$  への影響の変化率  $\frac{d(\ln x_j)}{dt}$  を表し、 $b_{ij}(dx_j/dt) > 0$  の場合は  $x_i$  の増加に、また  $b_{ij}(dx_j/dt) < 0$  の場合は  $x_i$  の減少につながる。

上式の結果、システムの時間的変化は次のような性質を持つ。

- ① システム変数は有界である。
- ② 変数の値の増減は他の変数からの影響の総和の正負に従う。

- ③変数がその上限、あるいは下限に近づくと他から受ける影響に対する応答は0に近づく。
- ④他の変数が一定の時、ある変数が増大するにつれ、システムに与える影響も増大する。

## 5.2 システムの変数

例題でとり上げた問題は、わが国造船業が将来に抱えている需要の変動、熟練労働者の減少、造船業の魅力の回復などの問題の解決に、造船CIMおよび労働者の賃金の上昇の対策がどのような効果を持つかということである。

問題の範囲は日本国内だけに限り、シミュレーションの期間は今後30年間、 $\Delta t = 1$ 年とした。

定量的でハードな変数と定性的でソフトな変数を同一のモデルで扱うことによって、造船CIMが及ぼす定性的な波及効果をKSIM法によりシミュレーションでできることを示すために、変数には、生産性、予測建造量、FA化などの定量化が可能なものと、造船業の魅力、労働者の質など定量化が難しかったり、定量化ができないいわゆるソフトな変数を取りませた。

各変数の持つ意味は次の通りである。

### (a) 造船業の魅力 ( $X_1$ )

造船業の持つイメージでソフトな変数である。”きつい”、”汚い”、”危険” および ”安い” の頭文字を取った「3K+Y」という従来の造船業が持つマイナスのイメージを表す言葉があるが、 $X_1$ はこの言葉と正反対の意味を持つ。

### (b) 収益性 ( $X_2$ )

造船所が収益を生み出せる経営体質にあることを表す。 $X_2$ が大きい程、投資をする余力があるということになる。

### (c) 生産性 ( $X_3$ )

労働生産性のことで、単位あたりの労働力が生み出す付加価値を表す。現在、シップアンドオーシャン財団が開発中の造船CIMにおいては、この生産性を2倍にすることを目指している。<sup>10)</sup>

### (d) 労働力の質 ( $X_4$ )

労働者の持つ技量、経験を表しており、将来、季節工や女性労働者が増えると、この労働力の質が低下することが危惧されている。なお、この要因は技術研修などによって改善することができるものである。

### (e) FA化 ( $X_5$ )

造船業が自動車産業などの他の製造業に較べて著しく遅れている分野である工場の自動化(Factory Au-

tomation)の程度を表す。FAの定義を明確に行うことによって定量化が可能なる量ではあるが、現在まで調査例はなく文献等から推定した。

以上の変数 $X_1$ は、他の変数に影響を及ぼすと同時に、他の変数から影響を受けることによって、その値が変化する。この他に、他の変数に影響を及ぼすがその値自身は他の変数から影響を受けない変数 $Y_1$ として、以下のものを選んだ。これらの変数は外界からの条件をインプットするために用いる。(図-5参照のこと)

### (f) 予測建造量 ( $Y_1, Y_2$ )

今後、30年間に亘ってのわが国における船舶の年間の予測建造量(単位はc, g, t)のことで、 $Y_1$ は運輸大臣の諮問に対する海運造船合理化審議会(以下、海造審という)の平成2年12月の答申「21世紀を展望したこれからの造船対策のあり方について」から数字をとっている。(ただし、2011年以降は、著者の推定値である)

$Y_2$ は、一時的に実需以上の船舶の受注、建造が集中すると想定した場合の年間の予測建造量である。今後30年間の総建造量は、 $Y_1$ の場合と同数であるが、建造の山と谷が $Y_1$ の場合よりも急になっている。

### (g) システム化 ( $Y_3$ )

CIMの導入によって、造船所におけるシステム化の度合いがどのように変化していくかをインプットするための変数。

### (h) CIM化の費用 ( $Y_4$ )

システムの開発順序に従って、部分的、連続的に導入されていくことになる造船CIMの費用をインプットするための変数。

### (i) 造船業の賃金水準 ( $Y_5$ )

現在、製造業で最下位の造船業の賃金を製造業全体の平均値まで引き上げるという代替案をシミュレーションしてみるための変数で、製造業全体の1人当たり平均人件費(賞与・退職金を含む。)を、1.0とした場合、これに対する造船業界の人件費の比率を表す。

各変数の最大値及び最小値並びに初期値は以下のように定めた。

$X_1$ : 造船業の魅力

いわゆるソフトな変数で、ある程度任意に決めなければならない数字。職場環境や待遇面で恵まれているホワイトカラー、サービス業などでは、この値は1に近いと考えられる。

$X_2$ : 収益性

## 外部変数のインプット

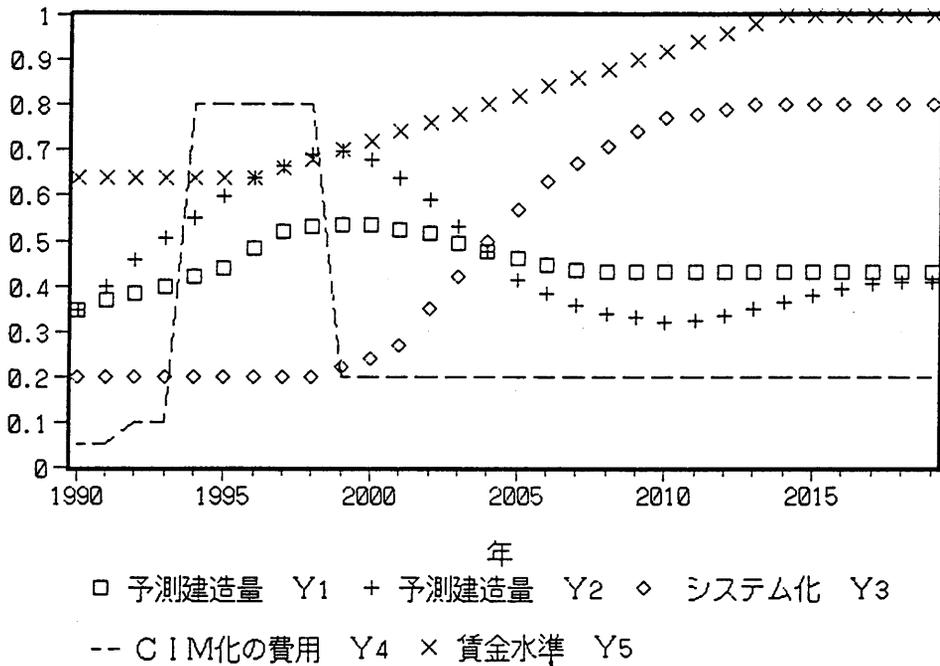


図-5 外界からのインプット

0.5を採算ぎりぎりのラインとし、これより大きいと利益が生み出せる状態、これ以下だと赤字の状態を表す。初期値は0.5とした。

$X_3$ ：生産性

造船CIMでは、これを二倍にすることを目標としており、今後30年間に現在の3倍を大幅に越えることはないと考え、初期値を0.3とした。

$X_4$ ：労働力の質

これもソフトな変数の一つであり、将来、熟練工の退職によって大幅に低下することが見越される。初期値は0.6とした。

$X_5$ ：FA化

定量化が可能な量であるが、そのような定義付けによってわが国の造船業全体としてどれ位FA化されているか正確に把握することは難しく、全くFA化されていない状態を0.0、完全に無人化されている状態を1.0として考え、文献等を参考としてある程度任意に初期値を定めた。

$Y_1, Y_2$ ：予測建造量

海造審答申の需要予測から、わが国において今後30年間、建造量が1000 c. g. tを越えることはないとして、 $Y_1, Y_2$ の最大値を1000 c. g. tとし、最小値を0 c. g. tとした。

$Y_3$ ：システム化

システム化が全く行なわれていない状態を0.0、造船所の各業務においてシステム化が100%進んでいる状態を1.0とする。

現在の造船業においても、システム化はある程度進んでおり、 $Y_3$ の初期値を0.2とした。また、現在開発中の造船CIMは、例え、成功したとしても、完璧なシステムになることはありえず、更に改良の余地が見込まれることから、 $Y_3$ の最大値を0.8とした。

$Y_4$ ：CIM化の費用

造船CIMの実施に必要な開発、導入並びに運用の費用を開発スケジュールに沿って割り振った。

$Y_5$ ：賃金水準

東証1部企業人件費650社調査より、初期値は、0.64とした。また、最大値は全製造業の平均に達した場合の1.0である。

シミュレーションに用いた外部変数 $Y_1 \sim Y_5$ の値を時系列的にグラフにすると、図-5のようになる。

5.3 相互関係の構造化

システム変数が互いにどのような影響を及ぼし合っているかを考慮し、図-6のように造船業の将来予測の因果連鎖図を作った。図-6中、実線はプラス、破線はマイナスの影響を表しており、また、( )内には

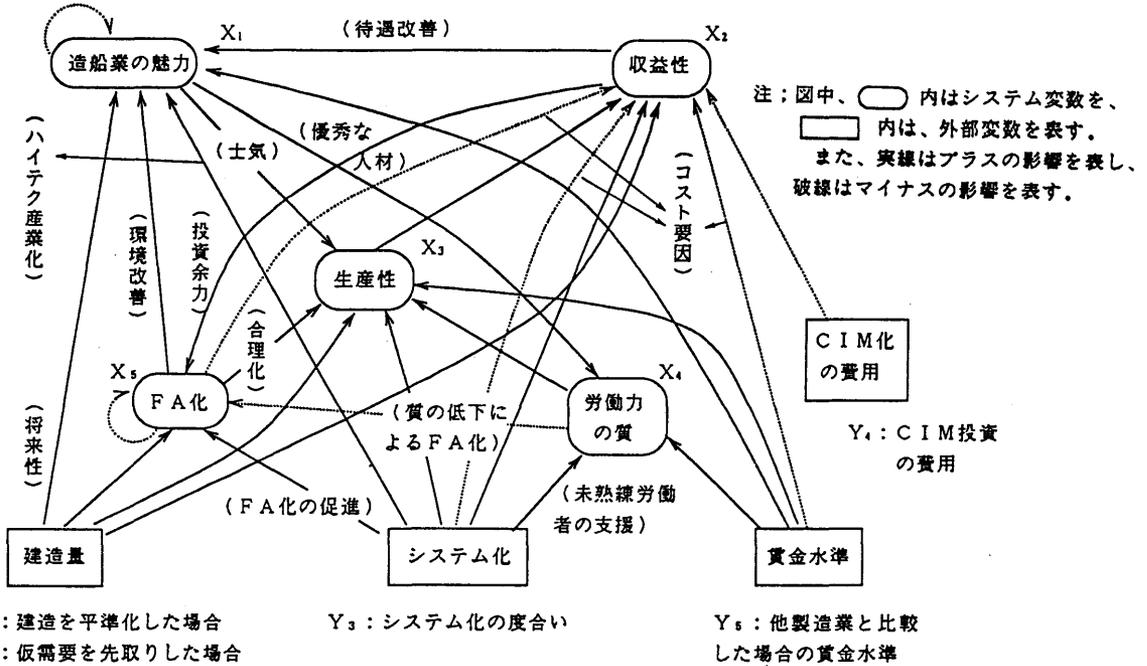


図-6 造船CIMの因果連鎖図

影響の内容を簡単に説明した。

そして、それらの影響の度合いを-3から+3までの数値で評価した結果を、表-2と表-3に変数間の相互影響および相互影響の変化率の係数として行列の形で表示した。行列の各要素は、列変数(U)から行変数(V)への影響の値である。

これらの係数は原則として一定であるが、以下の特別の場合については変化するものとした。

即ち、十数年後に予想される熟練労働者の大量退職による労働力の質の大幅な低下を反映するために、行列中の(p)は、繰り返し数 $NT \leq 13$ では-0.1であるが、 $NT > 13$ では-1.0とする。

また、船舶建造量の急減によって、船価が低下し、余剰人員や、設備の処理のために収益が悪化すること

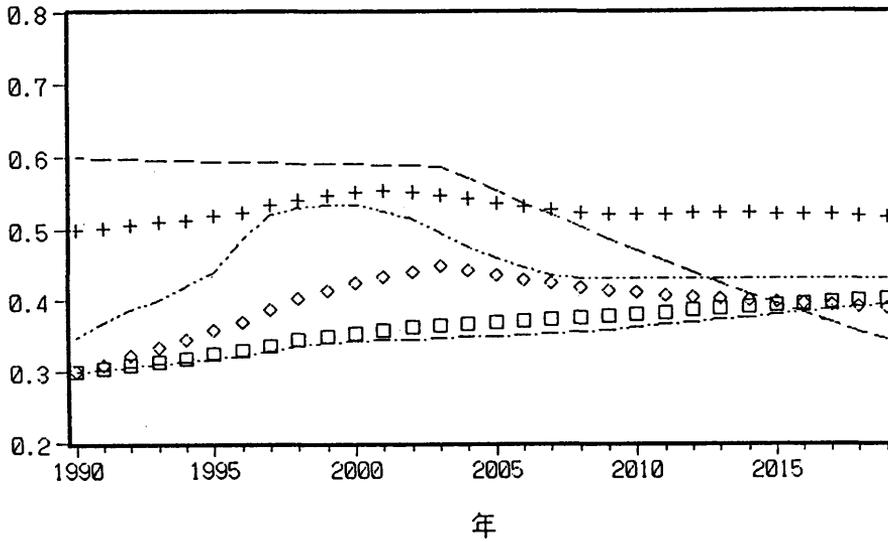
を表すために、(q)の値は、 $\frac{dy_i}{dt} > 0$ のときは0.1、 $\frac{dy_i}{dt} = 0$ のときは、0.0、 $-0.2 \leq \frac{dy_i}{dt} < 0$ のときは-0.3、 $-0.3 \leq \frac{dy_i}{dt} < -0.2$ のときは-0.5、 $\frac{dy_i}{dt} < -0.3$ のときは、-1.0とする。

5.4 シミュレーションの結果および実行環境

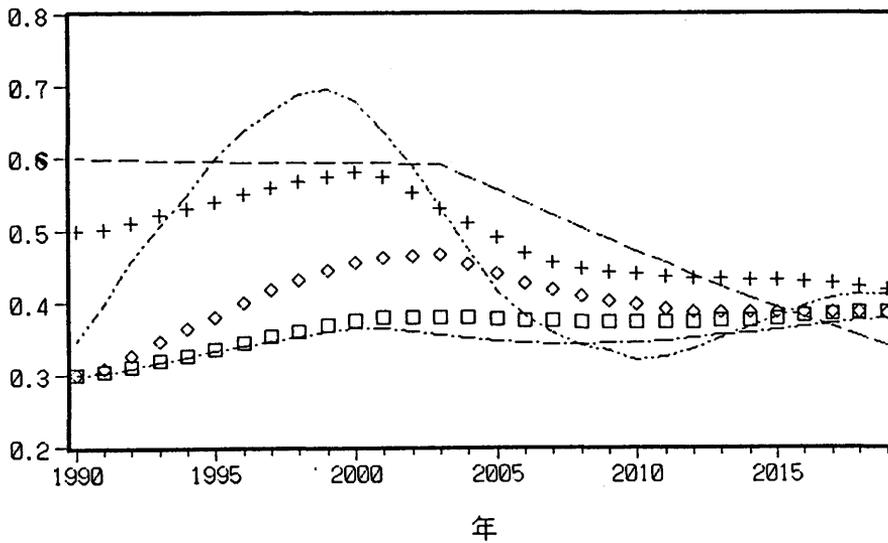
最初に、基本的な場合として造船業を活性化するための対策を特に行わないケースについて、システムの各変数の挙動が以下に述べるような造船業の将来の姿を反映するように変数行列の値を定め、シミュレーションを行い、図-7の結果を得た。

造船業を活性化するための対策を特に行わない場合、今後10年間は、建造量の増加傾向に支えられて収益は

(建造の平準化)



(建造の集中化)

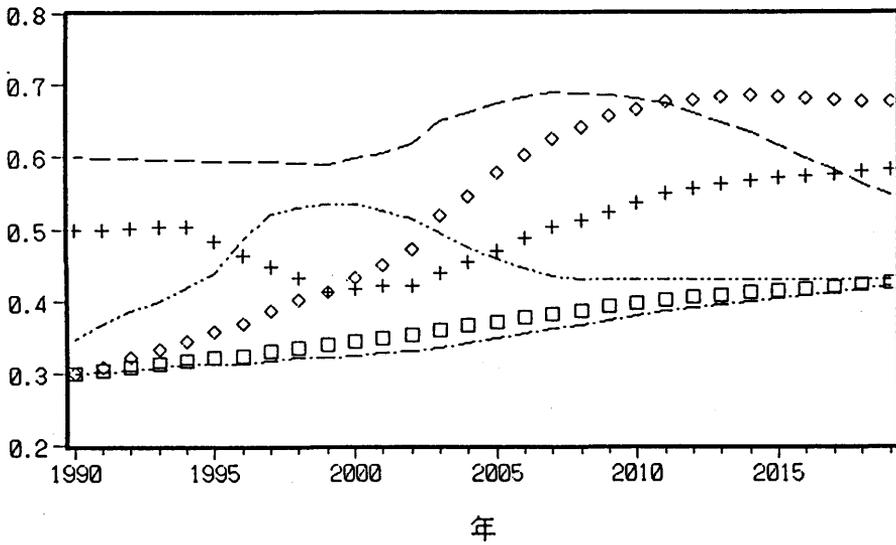


□ 造船業の魅力 + 収益性 ◇ 生産性 -- 労働力の質 --- FA化 ---- 生産高

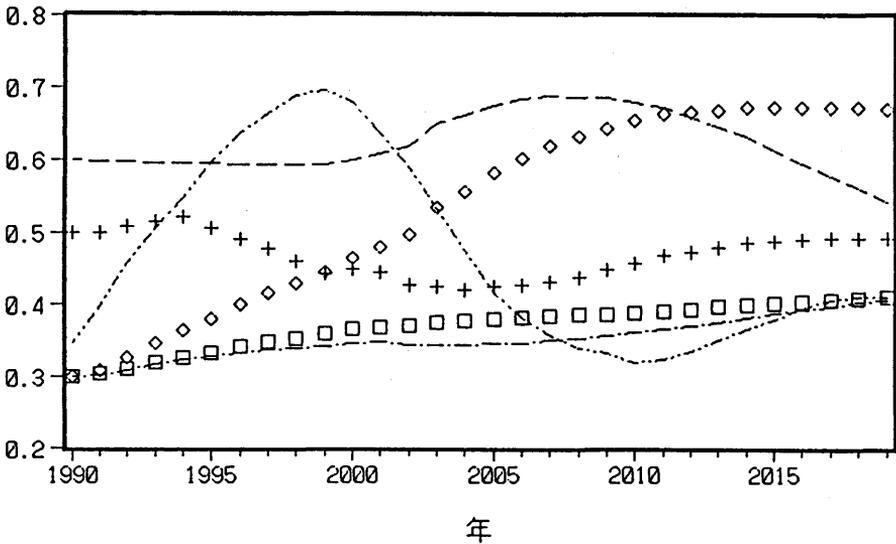
図-7 シミュレーションの結果 (基本的なケース)

— 対策を行なわなかった場合 —

(建造の平準化)



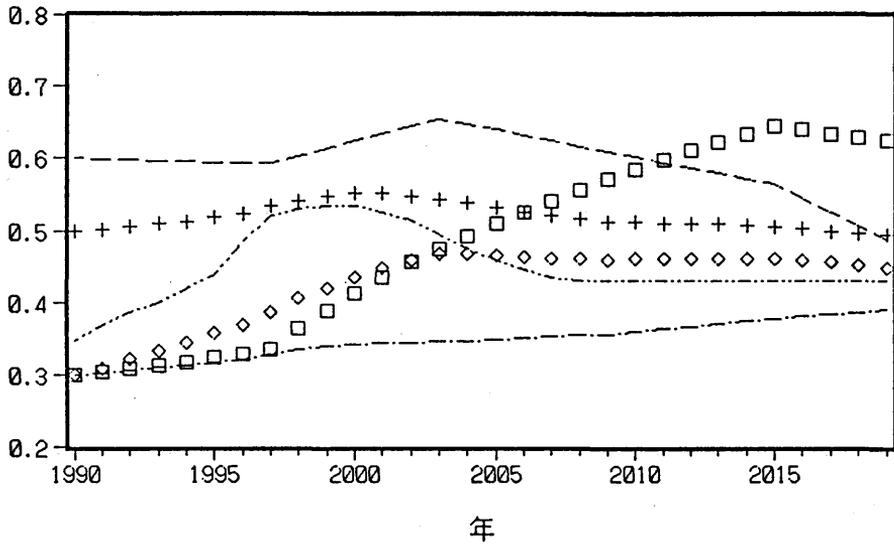
(建造の集中化)



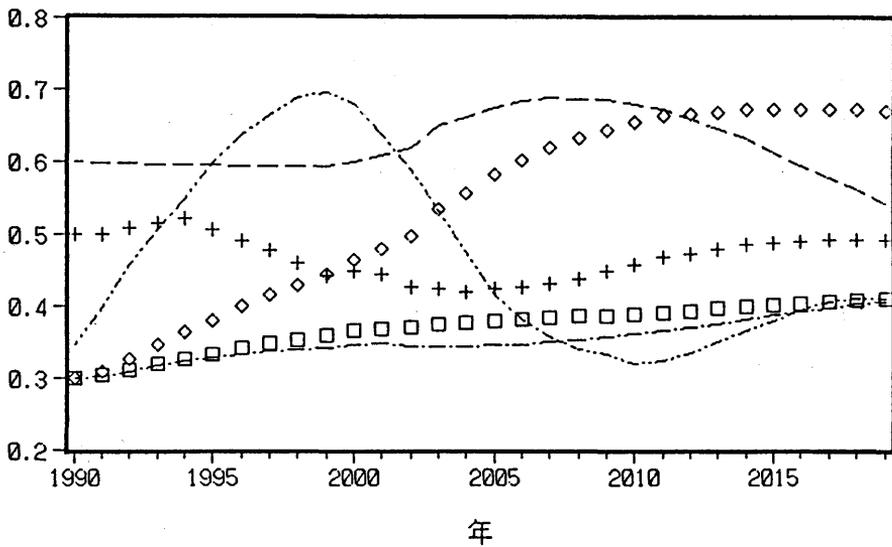
□ 造船業の魅力 + 収益性 ◇ 生産性 -- 労働力の質 --- FA化 ---- 生産高

図-8 シミュレーションの結果(代替案A)  
—造船CIMを実施した場合—

(建造の平準化)



(建造の集中化)



□ 造船業の魅力 + 収益性 ◇ 生産性 -- 労働力の質 --- FA化 ---- 生産高

図-9 シミュレーションの結果 (代替案B)  
—賃金を改善した場合—

増加する傾向にあるが、やがて建造量は減少に転じ、また、熟練労働者の大量退職によって生産性の伸びも頭打ちとなり、業績は低迷するものと予測される。FA化による職場環境の改善も進まず、“3K+Y”という言葉に象徴される造船業の劣後産業的イメージはいつこうに改善されない。建造量に大きな山と谷が発生するアンバランスがあると、労働力の余剰対策のために業績はさらに悪化する。(図-7下図参照)

この基本的なシミュレーションに対して代替案Aとして、造船業のCIM化という対策を行った場合、即ち、外部変数として $Y_3$ (システム化)、 $Y_4$ (CIMの費用)をインプットした場合のシミュレーション結果が図-8である。この結果から、以下のような、変化が読みとれる。CIM投資のために、一時的に業績が下がるが、建造量がピークを越えた十数年後にCIMの効果が現れて、生産性が向上するため、業績は順調に回復し、熟練労働者の大量退職による労働者の質の低下をも補うことができる。FA化もある程度進むが、コスト高のため大幅には伸びない。このため、3K+Yという造船業のマイナスのイメージはそれほど改善されない。

また、代替案Bとして、労働者の賃金を他の製造業並に引き上げるといふ対策を行った場合のシミュレーション結果が図-9で、外部変数として $Y_5$ をインプットしたものである。これによると、3K+Yという造船業のイメージは大幅に改善され、生産性の低下もある程度はくい止めることができるが収益を増加することはできない。

以上の、シミュレーション結果は、定量的な議論の材料を提供するものとはいえないが、定性的には、常識的な結果が出ており、定量的な変数および主観的な変数を同時に扱っても妥当なシミュレーション結果が得られることを確認できた。

各造船所において、KSIM法を行うには、個別の事情によって、問題の適用範囲やモデルをさらに工夫する必要があろうが、経済性評価モデルの基本的な構造は、本例題のシミュレーションモデルと共通点が多いと考えられ、戦略的見地からCIM導入を検討するのにKSIM法は十分に役に立つと考えられる。

なお、本例題では、問題の定式化やモデルの構造化は著者が独自の判断で行った。例題の目的は、戦略的見地からの造船CIMの経済性評価に、KSIM法を適用できるかどうかを検討することにあり、シミュレーションの結果自体を以て、わが国の造船業の施策に関し

て、提言を行うような意図はないことを付記しておく。

KSIM法によるシミュレーションの実行環境は、プログラミング言語にはFORTRANを、ハードウェアにはEWS4800/30を用いた。本例題の実施にあたっては、変数行列などのデータの入力やシミュレーション結果の表示などを何回も繰り返さなければならなかったが、特にユーザー・インターフェースは準備しなかったため、それらの作業がかなり煩わしかった。多数の参加者を相手にオンラインでKSIM法のシミュレーションを行うには、より対話的で、グラフィック機能にも優れたユーザー・インターフェースを整える必要がある。

## 6. まとめ

CIMの経済性評価手法について調査を行い、その結果に基づいてCIM投資のリスクや、定性的な波及効果を把握することを重視した造船CIMの経済性評価手順を提案した。

上記手順の中で、KSIM法による戦略的見地からのCIM導入の経済性評価について、造船CIMとわが国造船業の将来というマクロな問題を例題としてとり上げて、実際にシミュレーション計算を行い、その有効性を確認し、また、シミュレーションの実行環境について検討を行った。

## 参考文献

- 1) 日本電子工業振興協会；「FFS委員会報告書」(1988,1989)
- 2) Jack Meredith; "New Justification Approaches for CIM Technologies", CIM REVIEW(Spring 1987)
- 3) 経営システム技術研究会；「CIM経営高度化のために」、日刊工業新聞社
- 4) (社団法人)日本能率協会；「経営課題実態調査」(生産部門)
- 5) マリリン・パーカー他；「情報システム投資の経済学」、日経BP社
- 6) 染谷 実；「造船CIMの経済性を検討するための手法について」、第56回船研講演会講演集、(1990.11)
- 7) 染谷 実、その他；「造船CIMの経済性を検討するための手法について」(第2報)、第58回船研講演会講演集、(1991.12)
- 8) 河村他；「参加型システムズ・アプローチ」、日刊

## 工業新聞社

- 9) 大来佐武郎監訳；成長の限界（ローマ・クラブ「人類の危機」レポート）、ダイヤモンド社
- 10) (財)シップ・アンド・オーシャン財団；「造船CIMSパイロットモデルの開発研究報告書」（1992）
- 11) 造船学会；「日本造船業の現状と将来—私の立場から見て」、日本造船学会誌第753号（1992.3）
- 12) 造船学会；「造船におけるシステム技術」（1989.1）
- 13) 松島桂樹；「CIMで変わる製造業」、工業調査会（1990.8）