

第3章 産業モデルによる電力需要の分析

熊倉 修 浜田 宗雄 富田 輝博

- 1. 分析の視点
 - 2. モデルの構造
 - 3. 関数の説明
 - 3.1 製品需要関数、生産量決定式
 - 3.2 電力需要関数
 - 4. 内挿シミュレーション
 - 5. 外挿シミュレーション
- 付 録

1. 分析の視点

産業用の電力消費量は、一般に2つの要素に分解することができる。

$$\text{電力消費量} = (\text{生産量}) \times (\text{電力消費量/生産量})$$

十分に細かく分割した、業種あるいは工程について考えるならば、右辺の2つの項目について、経済的のみならず技術的（工学的）な分析が可能となるであろう。

第1項の生産量は、主として生産物の国内需要・輸出入や、要素市場の条件など経済的要因によって直接影響をうける、これに対して、第2項の電力原単位は、一般的には経済的要因によって規定されているとしても、個々の業種または工程については、新技術の導入、設備大型化、資源再利用、エネルギーの有効利用などの技術的条件によっても規定されている。

本章の目的は、このような視点から、産業用電力需要の変化を、産業内の工程別または業種別（以下、特別な場合をのぞき、工程で統一する）の生産量の変化、つまりプロダクト・ミックスの変化と、工程別の電力原単位の変化の2つの側面から分析することである。

今回、報告するのは、紙パルプ産業、非鉄金属産業、化学工業、機械産業の4産業についての計量経済モデルの作成作業の現段階における中間報告である¹⁾。

2. モデルの構造

各モデル（機械産業をのぞく）においては、工程別の生産量は、主として、工程間のマテリアル・フローによって規定される。（機械産業モデルはその性質からしてマテリアル・フローからの接近ではない。）

各産業の工程間の連関について、次のような想定を行なっている。

- ① これらの産業においては、工程間のマテリアル・フロー（原材料の流れ）は技術的にはほぼ決定される。
- ② また各工程が同一企業内にあるか、または企業系列によって結ばれている場合が多い。
- ③ そこで生産量が市場条件によって調整さ

1) くわしくは、浜田宗雄「産業モデルによる電力需要の分析(1)―化学工業における電力需要モデル」内部資料 No. 133、熊倉修「同上(2)―紙パルプ産業、非鉄金属産業モデル」内部資料 No. 135、富田輝博「同上(3)―機械産業モデル」内部資料 No. 136を参照。

れるというメカニズムを、各産業の最終工程の生産物と原料輸入に対してだけ考える。

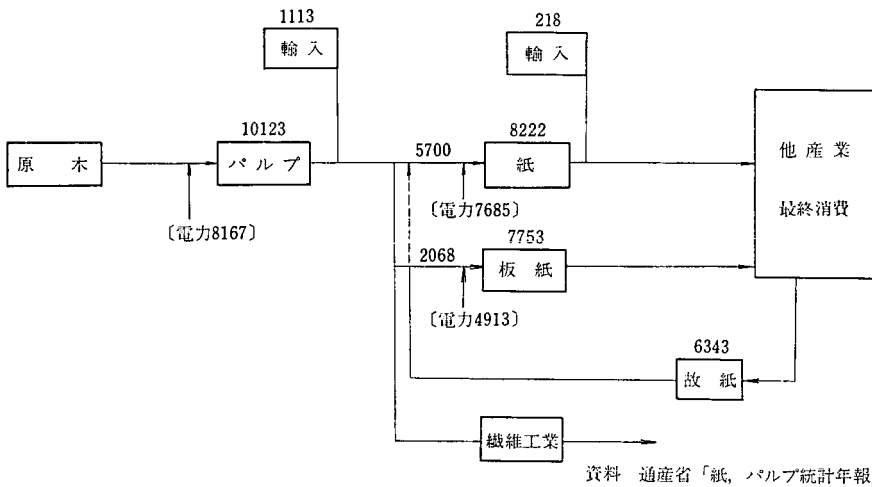
つまり最終工程の生産量が決定されれば、原料投入決定式によって、それ以前の段階の工程の生産量が（原料投入量－原料輸入量という関係を通して）決定される。一方、各工程の生産物の価格は、その工程の原料コスト、電力コスト

トによって原料段階から製品段階へと順次決定される。

図1～3は、紙パルプ、非鉄金属、化学の3産業について、工程間のマテリアル・フローを示したものである。ここに示した工程間の連関を通じて、工程別生産量、生産価格などの相互依存関係が規定されてくるのである。

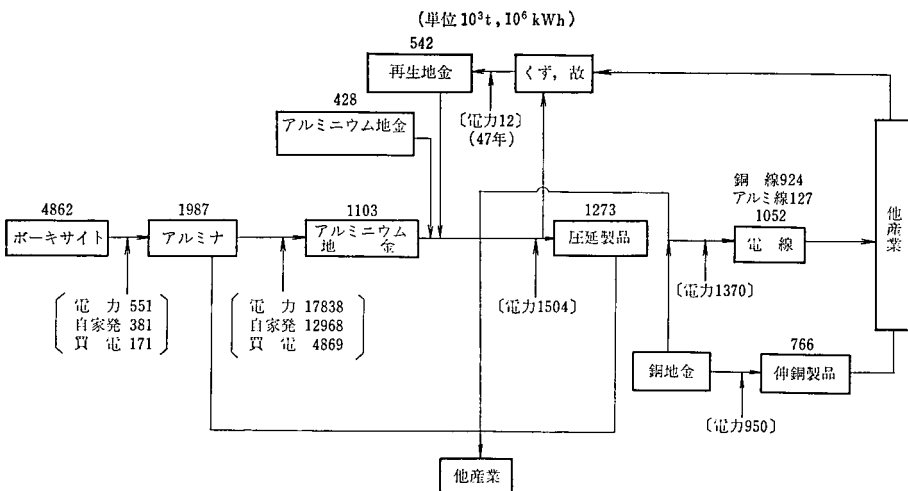
工程別の電力需要量は、上記の視点から、生

(単位 10^3 t, 10^6 kWh)



資料 通産省「紙、パルプ統計年報」

図1 紙パルプ産業のマテリアル・フローと電力消費（48年）



資料 通産省「非鉄金属製品統計年報」

図2 非鉄金属工業のマテリアル・フローと電力消費（48年）

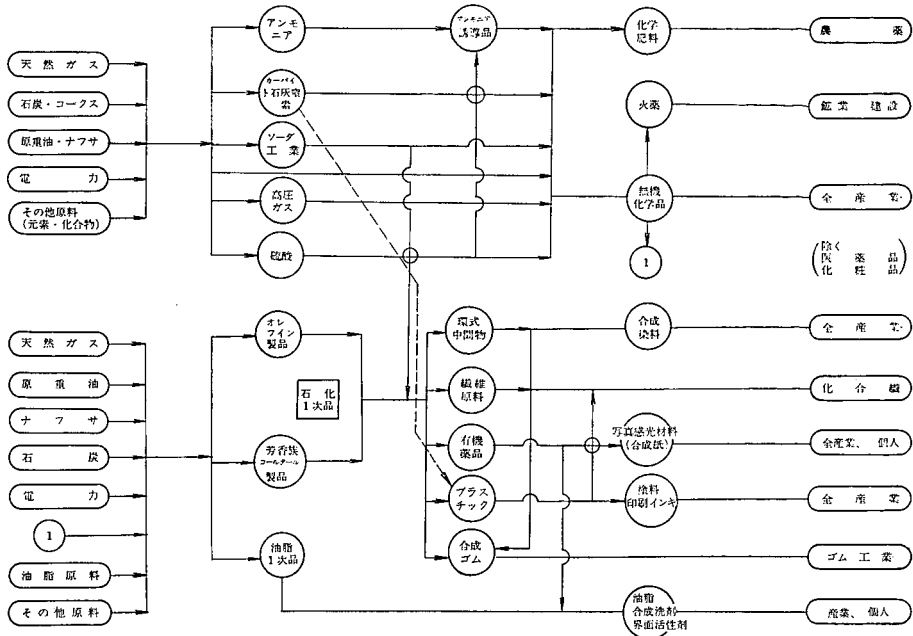


図3 化学工業のマテリアル・フロー

産量と電力消費量との間の物量的な関係を通じて説明される。工程別の電力消費量（ここでは自家発と買電を加えた総電力消費量をとっている）は、少なくとも次の2つの側面からの説明が必要であろう。

- ① 電力価格の（相対的）変化による直接的な電力消費量の変化
- ② 資本設備の変更，技術変化によるエネルギー原単位の変化

しかし，ここでは，前者のエネルギー価格の変化の電力原単位におよぼす効果を明示的に組み入れることを試みた。後者の問題については，その具体的内容には深く立入らなかった。

このような目的と視点のもとに，現在までに紙パルプ，非鉄金属，化学，機械の4産業について計量経済モデルを作成した。各モデルの概要を表1に示した。各産業は，次のような工程または業種に分割した。

| 産業 | 工程または業種 |
|------|--------------------------------------------------|
| 紙パルプ | パルプ，紙，板紙 |
| 非鉄金属 | アルミナ，アルミニウム新地金，アルミニウム再生地金，アルミニウム圧延，伸銅製品，電線ケーブル |
| 化学 | アンモニア・誘導品，カーバイド・石灰窒素，ソーダ工業製品，有機化学製品，無機化学・その他化学製品 |
| 機械 | 電気機械，輸送機械，一般・精密機械 |

表1 産業モデルの概要

| 産業 | 推定した因数 | | | | その他 | 定義式 (本数) | 主な外生変数* | 使用した主な統計** データ |
|-------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------|-----------------------|
| | 電力需要因数 | 製品需要因数 | 製品価格決定式 | 輸出入因数 | | | | |
| 紙・パルプ | パルプ、紙、板紙 | パルプ（紙用、板紙用、繊維用）、紙、板紙 | パルプ、紙、板紙 | パルプ輸入、紙輸入 | 紙生産量、板紙生産量、故紙回収量、故紙価格、木材投入量 | 3 | パルプ輸入価格 パルプ用木材価格 繊維産業生産指数 | 生産動態統計 |
| 非鉄金属 | アルミナ、アルミニウム、アルミニウム合金、伸銅製品、電線ケーブル | アルミナ、アルミニウム、アルミニウム合金、伸銅製品、電線ケーブル | アルミニウム アルミニウム合金 | アルミニウム輸入 ボーキサイト輸入 | アルミニウム回収量 アルミニウムくず回収量 | 1 | 銅価格 | 生産動態統計 |
| 化学 | アンモニア・誘導品、カーバイド・石灰窒素、ソーダ工業製品、有機化学製品、無機化学・その他化学製品 | アンモニア・誘導品、カーバイド・石灰窒素、ソーダ工業製品、有機化学製品、無機化学・その他化学製品 | アンモニア・誘導品、カーバイド・石灰窒素、ソーダ工業製品、有機化学製品、無機化学・その他化学製品 | — | 原材料需要因数 アンモニア・誘導品（天然ガス、ナフサ） カーバイド・石灰窒素（石灰、コークス） ソーダ工業（工業塩） 有機化学製品（天然ガス、原油） （ナフサ、石灰） | 0 | 天然ガス価格 ナフサ価格 石灰価格 コークス価格 工業塩価格 農業生産指数 | 生産動態統計 日本電力調査委員会資料 |
| 機械 | 電気機械、輸送機械、一般・精密機械 | 電気機械、輸送機械、一般・精密機械 | 電気機械、輸送機械、一般・精密機械 | 電気機械輸出、輸送機械（造船、自動車）輸出、一般・精密機械輸出 | | 4 | 世界輸出品量指数 船舶輸出単価 | 通産統計 電力調査統計月報 |

* 4モデル共通の外生変数として、鉱工業生産指数、卸売物価指数、消費者物価指数、重油価格指数、大口電力平均単価などがある。
** 生産量および電力消費量として使用したデータのみを掲げた。

モデルを構成する主な関数は次のようなものである。

電力需要関数：工程別電力消費量は、工程別生産量と電力価格、製品価格などによって決まる。

製品需要関数：工程別生産量または製品需要量は鉱工業生産指数と製品価格などによって決まる。

製品価格指数：工程別の原材料投入量、電力消費量、労務費などによって製品価格が決まる。

これらの他に輸出入関数、資源回収量決定式、原材料需要関数などがある。

なお、各モデルはマテリアル・フローや価格などを通じての産業間の相互依存関係、マクロ的要因の個別産業への影響などを齊合的に説明できるように、外生変数は、マクロ変数については各産業共通のものを採用し、他産業についての変数は、各モデルの内生変数を採用するように努めた²⁾。なお使用した統計データは、30年代前半から48年または49年（産業によって若干異なる）の年次データである。データの出所については表1を参照のこと。

以下、主として紙パルプ産業モデルを例にしながらモデルの構造、関数の推定結果、シミュレーション・テストの結果などについて述べていくことにする（紙パルプ産業モデルの方程式体系については付録参照）。

紙パルプ産業モデルは、紙パルプ産業をパルプ、紙、板紙の3つの工程に分け³⁾、それぞれの工程について、生産量、生産物価格、電力消費量などの決定のメカニズムを18本の構造方程式と3本の恒等式で表現したものである。使用したデータは35年～48年の年次データである。

紙パルプ産業モデルの主要な変数間の因果関

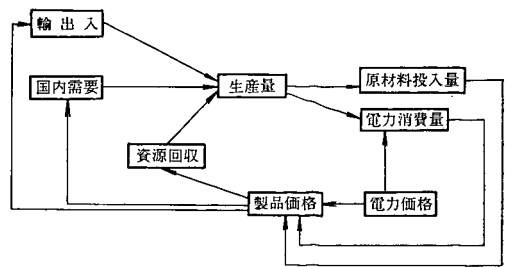


図4 紙パルプ産業モデル，主要な因果関係

係は図4に示すとおりである。

まず、工程間の生産量は、各工程生産物に対する国内需要、輸出入、資源再利用などの条件によって決まる。紙生産量は国内需要マイナス輸入、板紙生産量は国内需要、パルプ生産量は、紙、板紙生産用および繊維産業用のパルプ需要量、マイナス輸入量、マイナス故紙回収量によってそれぞれ決まる。なお、紙、板紙については在庫ストックをモデルに組入れて、需給関係の短期的変動を説明している。すなわち、当期の在庫ストックは、前期の在庫ストックプラス今期の在庫増加（生産量－需要量）で定まるが、今期の生産量は、前期の需給条件、すなわち在庫水準を反映して決定されるのである。

次に工程別生産量が定まると、それぞれの工程について、原材料投入量と電力消費量が決まる。こうして決定された原材料投入量と電力消費量は、原材料価格、電力価格とともに、製品価格を決め、それが国内需要量、輸入量などに

2) 各モデルの目的は、各産業の電力需要の決定メカニズムを個別具体的に説明しようとするものである。この意味において、今回の作業では、マクロ・モデルとのリンク、各産業モデルの連動などを目指すよりは、むしろ、マクロ的分析をサポートするための情報提供を行なうことに重点をおいていた。

3) 工程の分割は、生産動態統計のパルプ、紙、板紙という分類に従っている。標準産業分類によるパルプ、紙、紙加工品製造業のうち、紙製品製造業、紙型容器製造業などは、生産動態統計には含まれていない。これらの業種は、電力消費量の面から見れば、この産業に占める比重は小さい。同様に電力消費量に生産動態統計のデータを使用した非鉄金属産業についても、標準産業分類による非鉄金属製造業との産業分類上のくいちがいがあ

影響する。

3. 関数の説明

主要な関数について、関数の具体的意味、推定結果などについて簡単にのべよう。

3.1 製品需給関数、生産量決定式など

紙パルプ産業においては、各工程における原料代替の可能性は比較的小さく、工程間の中間製品の流れは、技術的にも安定的である。そこで、主として板紙の原料となるパルプと故紙との代替関係をのぞいて、紙および板紙の生産に必要な原材料の投入量は、紙および板紙の生産量によって基本的には規定されていると考えることができる。そこで、紙パルプ産業においては、この産業の最終製品である紙、板紙について、製品需要関数を推定し、パルプの需要量は紙、板紙の生産量とパルプを原材料として使用する繊維産業の生産指数の関数であると考えた。そしてパルプの国内生産量は、パルプの需要量マイナス、輸入量として決まる。

このような考え方は、非鉄金属産業についてもそのままあてはまる。化学工業についても基本的には同様であるが、工程間のマテリアル・フローが複雑であるうえ、対象期間においても、技術転換が顕著であった。たとえば、塩化ビニール・モノマーの製法の変化によるカルシウム・カーバイド需要の減退など、産業内のマテリアル・フローに大きな変化があった。このような構造変化を反映させるために、化学工業モデルにおいては、サンプル期間の前半と後半で異なった製品需要関数を推定したり、技術ダミーを導入するなどの工夫を行なっている。

次にそれぞれの産業について、価格メカニズムによって需給が調整されることを明示的にモデルに組入れるために、需要関数の説明変数に

製品価格を入れるよう試みた。また紙パ産業モデルでは、次のように在庫ストックをモデルに組入れて、在庫の調整による需給調整についても考慮した。

製品需要関数

$$O_i^d = f(\bar{P}, P_i)$$

生産量決定式

$$O_i = f(O_{i,t-1}, J_{i,t-1})$$

在庫ストック

$$J_i = J_{i,t-1} + O_i - O_i^d$$

O_i^d : 工程別製品需要量

P_i : 製品価格

O_i : 工程別生産量

J_i : 工程別在庫ストック

紙パルプ、非鉄金属産業では、資源再利用の問題をモデルに明示的に組入れた。各工程への原料投入は、前の工程の生産または輸入、回収資源（紙パでは故紙、非鉄ではアルミニウム故、くず）によってまかなわれるのである。したがって、原料の供給を何に求めるかによって、各工程の生産量は異なってくるし、電力消費量も異なってくる。資源の再利用の動向は電力需要に対しても大きな影響を及ぼす。とくにアルミニウム地金の場合、新地金と再生地金の電力原単位には大きな差がある。

紙パ産業モデルを例にとりて、資源再利用のモデルでの扱いを簡単に説明しよう。モデルでは、故紙回収率は、故紙価格によって決定され、回収された故紙は次の年にパルプとともに板紙用の原料として使用されると想定している。

故紙価格

$$P_{KOSI} = f(P_2)$$

故紙回収量決定式

$$\frac{KOSI}{O_2 + O_3} = f(P_{KOSI})$$

表 2 製品需要関数推定結果
(単純最小自乗法, 対数線型)

| | const. | 鉱工業生産指数 | 他産業(他工程)生産量 | 製品価格(相対価格) | その他 | 決定係数 | ダービン・ワトソン比 |
|--------------|-----------|--------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------|------------|
| (1) 紙パルプ | | | | | | | |
| パルプ(紙用) | 0.129909 | | 0.974241 (紙) (87.0) | | | 0.912 | 1.098 |
| パルプ(板紙用) | 0.164166 | | 1.00562 (板紙) (83.4) | | | 0.998 | 1.316 |
| パルプ(繊維用) | 3.72737 | | 0.627203 (繊維) (1.5) | | | 0.237 | 0.771 |
| 紙 | 5.59810 | 0.708695 (49.1) | | | | 0.995 | 1.246 |
| 板紙 | 4.57264 | 0.891406 (38.5) | | -0.384055 ⁽²⁾ (2.1) | | 0.992 | 1.756 |
| (2) 非鉄金属 | | | | | | | |
| アルミナ | 3.52939 | | 0.781207 (アルミ) (25.5) (ニウム) | | | 0.981 | 0.919 |
| アルミニウム | 0.0221422 | | 1.04158 (アルミ) (32.6) (庄延) | | | 0.989 | 1.149 |
| 再生アルミ | -2.88466 | | 1.14831 (アルミ故) (29.0) (くず回収量) | | | 0.986 | 1.057 |
| アルミ庄延 | 6.79942 | 1.46576 (7.3) | | -0.818671 ⁽¹⁾ (1.1) | | 0.985 | 1.825 |
| 伸銅製品 | 9.94953 | 0.711478 (7.3) | | -0.182166 ⁽³⁾ (0.9) | | 0.899 | 1.753 |
| 電線ケーブル | 9.27570 | 0.906436 (22.1) | | | | 0.976 | 1.811 |
| (3) 化学 | | | | | | | |
| アンモニア・誘導品(1) | 6.2913 | | 1.7056 (農業) (5.1) | -0.3479 ⁽¹⁾ (1.6) | | 0.892 | 1.080 |
| 同上(2) | 3.5414 | | 0.3069 (無機化学) (4.2) (その他化学) +1.0473 (農業) (3.6) | | | 0.948 | 0.849 |
| カーバイド・石灰窒素 | 6.3296 | | 0.5730 (アンモニア) (4.9) (誘導品) | -0.6738 ⁽³⁾ (2.2) | 0.1197 (技術ダ) (ミー) | | |
| ソーダ工業 | 2.6494 | | 0.3621 (有機化学) (3.4) +0.4197 (無機化学) (2.6) | -0.4422 ⁽³⁾ (2.1) | | | |
| 有機化学 | 1.43904 | 1.1700 (6.3) | | -1.1752 ⁽¹⁾ (3.6) | | 0.995 | 1.704 |
| 無機化学, その他化学 | 1.04943 | 0.7876 (33.2) | | -0.1088 ⁽³⁾ (1.3) | | 0.994 | 1.333 |
| (4) 機械 | | | | | | | |
| 電気機械 | -1.5548 | 1.3306 (14.17) | | -0.3055 ⁽¹⁾ (0.97) | | 0.988 | 0.72 |
| 輸送機械 | -1.0557 | 1.2439 (1.59) | | -0.0108 ⁽¹⁾ (0.04) | | 0.991 | 1.33 |
| 一般・精密機械 | -0.6129 | 1.1145 (3.42) | | | | 0.988 | 0.96 |

注) (1) 製品価格指数/卸売物価指数(総平均)

(2) (1)の変化率

(3) 製品価格指数/他工程製品価格指数

被説明変数は, 紙パルプ, 非鉄金属は, 生産量(トン), 化学, 機械は生産指数である。

板紙用原料投入量決定式

$$(RM_3 + KOSI) = f(O_3)$$

P_{KOSI} : 故紙価格

P_2 : 紙価格

$KOSI$: 故紙回収量

O_2 : 紙生産量

O_3 : 板紙生産量

RM_3 : 板紙用パルプ投入量

非鉄金属産業モデルにおいても、故、くずの扱いは、ほぼ同様である。

なお、ここでは、新原料と回収原料を原料としては同質であると想定していること、回収原料の混合比率について技術的制約が設定されていないこと、回収された故、くずがすべて原料として使用されることなどかなり非現実的な仮定がなされている。

4 産業モデルに採用された、製品需要関数、原材料投入量決定式を表2に示した。これらのうち、製品需要関数として、鉱工業生産指数と製品価格を説明変数として推定されたのは、紙*、板紙、アルミ圧延、伸銅製品、電線ケーブル*、有機化学、無機化学、電気機械、輸送機械、一般・精密機械の各業種、工程である（*印は、説明変数としての価格が統計的有意性をみたさなかったもの）。その他は、原材料投入量決定式として、供給先の生産量を説明変数として推定されている。

3.2 電力需要関数

前述のように、ここでは、工程別の生産量によって電力消費量を説明した。資本設備の変化、技術の変化などの要因をのぞけば、工程別の電力需要量は次のような経済的要因によって影響をうけるであろう。

① 電力価格とその他エネルギー価格との相対価格によって、電力とその他エネルギー

の代替がおこる。

② 自家発による電力消費がかなりのウェイトである場合（紙パ、非鉄金属、化学）には、自家発コスト、買電価格のそれぞれが電力消費およびその自家発、買電への配分に影響する。

③ 資本設備の稼働率が、電力原単位に影響を及ぼす。

ここで推定したのは、工程別の電力総消費量（自家発+買電）を、生産量と電力（買電）価格（またはその相対価格）によって説明するという、最も単純な型の関数である。この意味でこの電力需要関数は、電力需要の決定メカニズムの説明としては、暫定的なものである。

表3に、電力需要関数の推定結果を示す。工程別に推定すると、電力需要関数の説明変数として電力価格が有意に入るケースは少ない。このことは工程別に見れば、電力価格の変化による直接的な電力消費量への影響は、軽微なものであり、電力消費量は生産量によって、ほとんど固定的に決ってしまうことを示している。産業中分類（たとえば、紙パルプ産業計）などある程度、アグリゲートされた産業分類によって、電力価格変化の電力消費量への影響（電力原単位の変化）について推定すると、見かけ上、電力価格に対する電力需要の弾力性が大きく推定される。しかしこの効果も、その一部は工程別の電力原単位の変化によるものではなく、むしろ産業内の工程別生産量の変化を通じての間接的効果であると考えることができよう。

工程別の電力消費量は、電力と石油・石炭など他のエネルギーとの代替、自家発の役割、技術変化（製法の変化、プラント規模の拡大、公害防止設備の増加など）の諸要因によって影響される。したがって今後生産量と電力消費量と

表 3 電力需要関数の推定結果
(単純最小自乗法, 対数線型)

| | const | 生産量 | 電力価格 (相対価格) | その他 | 決定係数 | ダービン・ワトソン比 |
|------------|-----------|---------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|-------|------------|
| (1) 紙パルプ | | | | | | |
| パルプ | -0.814384 | 0.973439 (27.1) | 0.243053 ⁽¹⁾ (0.9) | | 0.987 | 1.002 |
| 紙 | -2.11574 | 1.22977 (18.5) | | | 0.963 | 2.307 |
| 板紙 | -1.66364 | 1.14195 (51.7) | | | 0.995 | 1.673 |
| (2) 非鉄金属 | | | | | | |
| アルミナ | -7.41155 | 0.910470 (43.4) | 0.18187 ⁽²⁾ (1.6) | | 0.995 | 2.105 |
| アルミニウム | -3.40103 | 0.918808 (112.9) | 0.127399 ⁽²⁾ (2.3) | | 0.999 | 1.379 |
| 再生アルミ | -0.702619 | 1.26907 (60.6) | | | 0.997 | 2.316 |
| アルミ圧延 | -4.15257 | 0.815810 (73.8) | | | 0.998 | 1.578 |
| 伸銅製品 | -4.74850 | 0.860646 (13.5) | | | 0.938 | 1.640 |
| 電線ケーブル | -7.23526 | 1.05443 (25.0) | | | 0.981 | 1.736 |
| (3) 化学 | | | | | | |
| アンモニア・誘導品 | -4.7590 | 0.8589 (4.0) | | 0.8817(ダミー) (3.6)変数 -0.4243(ダミー) (5.0)変数 | 0.894 | 2.236 |
| カーバイド・石灰窒素 | -2.4334 | 1.0035 (46.6) | | | 0.994 | 1.625 |
| ソーダ工業 | -4.3041 | 1.2477 (27.5) | -0.1873 ⁽¹⁾ (1.2) | | 0.996 | 1.524 |
| 有機化学 (1) | -16.2716 | 1.8555 (10.7) | | | 0.958 | 1.098 |
| 同 (2) | -1.7547 | 0.7419 (18.7) | | 0.1636(ダミー) (変数) | 0.995 | 0.928 |
| 無機化学 | -6.3178 | 1.1518 (26.3) | | | 0.980 | 0.824 |
| (4) 機械 | | | | | | |
| 電気機械 | 4.9580 | 0.7593 (40.8) | -0.1399 ⁽²⁾ (1.4) | | 0.994 | 1.04 |
| 輸送機械 | 4.4379 | 1.0296 (40.4) | -0.2843 ⁽²⁾ (2.1) | | 0.993 | 0.70 |
| 一般・精密機械 | 3.8993 | 0.9014 (35.8) | | | 0.989 | 1.20 |

注) (1) 電力価格/製品価格
(2) 電力価格/重油価格

の関係をより実態に則した形でモデルに組み入れるためには、これらの要因を考慮することが必要である。

紙パ産業について、この問題に関するいくつかの参考式を次にあげる。

$$\alpha * EL / (B * PE + \gamma * CO) = 0.224754 + 0.720702 * (\alpha * EL / (B * PE + \gamma * CO)_{-1}) - 0.962375 (P_{EL} / P_0) \quad (4.4)$$

$$(0.5)$$

$$R^2 = 0.639 \quad D - W = 2.316$$

・電力と他のエネルギーとの代替

紙パ産業においては、35年~48年の期間において電力とその他のエネルギーとの間の代替は明確には見られない。紙パ産業について計測すると、

PE: 石油消費量 (t)

CO: 石炭消費量 (t)

(α, β, γ はカロリー換算のための係数)

となって、価格に関して統計的に有意な結果は得られなかった。しかし、エネルギー代替の長期的な趨勢を何らかの形でモデルに組入れることは必要であろう。

・ 自家発、買電の関係

35年～48年の期間に、紙パ産業においては、自家発の比重が急速に上昇した。この傾向は長期的にみれば電力料金の動きのみによって説明することは困難であろうが、短期的には電力価格が自家発、買電比率に影響を及ぼしていると考えられる。

紙パ産業計について下記の式が得られた(図5)。

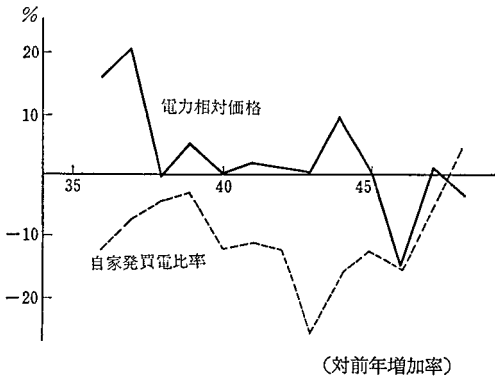


図5 電力料金の相対価格と自家発電買電比率の変動

$$EL_A/EL_B = 3.88964 - 21.2912 * (P_{EL}/P_0) \quad (1.8)$$

$$-0.190321 * T \quad (16.9)$$

$$R^2 = 0.973 \quad D-W = 0.925$$

EL_A; 買電

EL_B; 自家発

資料; 「生産動態統計」

・ 公害防止投資の電力消費への影響

パルプ産業における電力原単位は、45年ごろ

までは漸減傾向を示していたが、46年から上昇に転じた。電力原単位と公害防止投資との間には、次のような関係が計測された(図6)⁴⁾。

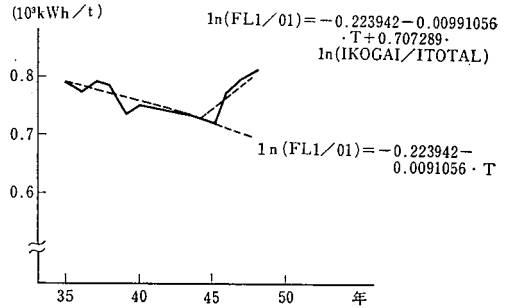


図6 紙パ産業における電力原単位の推移

$$\ln(EL_1/O_1) = 0.223942 - 0.0091056 * T \quad (2.4)$$

$$+ 0.707289 * \ln(I_{KOGAI}/I_{TOTAL}) \quad (2.9)$$

$$\bar{R}^2 = 0.331 \quad D-W = 1.571$$

I_{KOGAI}: 紙パ産業計、公害防止投資額

I_{TOTAL}: 紙パ産業計、投資総額

EL₁: パルプ産業電力消費量

O₁: パルプ産業生産量

資料; 通産省「主要産業の設備投資計画」など

4. 内挿シミュレーション

これらのモデルの外生変数を変化させて、それが、生産量、電力消費量などに対してどのような影響をおよぼすかをしらべた。サンプル期間中に電力価格または、鋳工業生産指数が実績より10%高かった場合についてのシミュレーション結果を表4に示す。

紙パルプ産業モデルの場合、電力価格および

4) この関係は機械産業においても見られた。

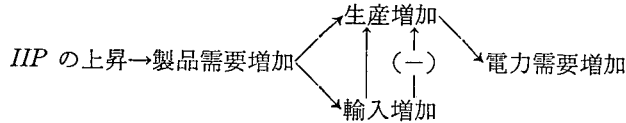
$$\ln EL/O = 4.8002 + 0.0260 \ln(I_{KOGAI}/I_{TOTAL}) \quad (2.31)$$

$$-0.0187 * T \quad (4.36)$$

$$R^2 = 0.666 \quad D-W = 1.45$$

鉱工業の生産水準の変化が、次のような因果関係を通じて、生産量、電力消費量に波及していく過程が考慮されている。

(1) IIP の上昇



(2) 電力価格の上昇

電力料金の変化による生産量、電力消費量などへの直接、間接効果をしらべる。ここでの（電力消費量の変化/電力価格の変化）は、間接効果も含めた、電力需要の価格弾力性を示すことになる。

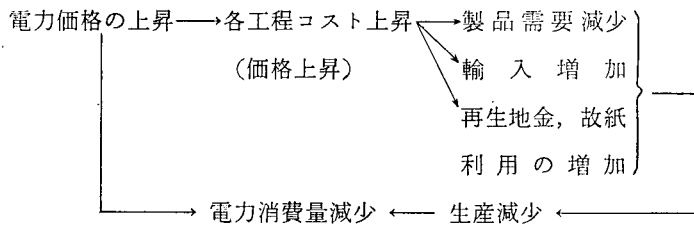


表 4 内挿シミュレーションの結果
(スタンダード・ケースからの乖離, %)

| | IIP 10% アップ | | PEL 10% アップ | |
|---------------------|----------------|-------|----------------|-------|
| | 生産量 | 電力消費量 | 生産量 | 電力消費量 |
| 紙 パルプ | | | | |
| パ ル プ | 9.2 | 8.2 | -0.7 | -2.7 |
| 紙 | 7.1 | 8.7 | -0.1 | -0.1 |
| 板 | 8.9 | 10.2 | -0.1 | -0.1 |
| 非 鉄 金 属 | | | | |
| ア ル ミ ナ | 9.2 | 8.3 | -8.9 | -9.7 |
| ア ル ミ ニ ウ ム | 11.9 | 11.0 | -11.3 | -11.4 |
| 再生アルミニウム | 12.5 | 16.0 | -0.1 | 0.3 |
| ア ル ミ 圧 延 | 14.7 | 11.8 | -5.6 | -4.6 |
| 伸 銅 製 品 | 7.0 | 6.1 | 1.3 | 1.2 |
| 電 線 ケ ー ブ ル | 9.0 | 9.6 | 0.0 | 0.0 |
| 化 学 | | | | |
| ア ン モ ニ ア ・ 誘 導 品 | 1.0 | 0.9 | -0.6 | -0.5 |
| カ ー バ イ ド ・ 石 灰 窒 素 | 1.4 | 9.6 | -1.9 | -3.8 |
| 有 機 化 学 製 品 | 7.8 | 1.5 | -2.4 | -2.0 |
| 無 機 化 学 製 品 | 14.9 | 10.9 | -1.5 | -1.1 |
| 無 機 化 学 ・ そ の 他 | 8.0 | 9.2 | -0.3 | -0.3 |
| 機 械 | | | | |
| 電 気 機 械 | 12.2 | 9.2 | 0.0 | -1.3 |
| 輸 送 機 械 | 10.7 | 11.3 | 0.0 | -2.7 |
| 一 般 ・ 精 密 機 械 | 10.7 | 9.6 | 0.0 | 0.0 |

注) シミュレーション期間は、紙パルプ、非鉄金属、40年~48年、化学45年~49年、機械35年~49年と不統一であるが、結果に大きな影響はない。

第2の電力価格上昇の場合について、くわしく述べよう。

電力価格上昇による電力消費量への影響については、このシミュレーション・テストでは、2つの経路による複合的效果が推定されている。すなわち、電力価格の上昇により生産物価格が上昇し、それによって工程別生産量が変化し、したがって電力消費量が変化するという効果（間接効果）と、生産量の変化を伴わず、直接、工程別の電力消費量を変化させるという効果（直接効果）とである。

紙パルプ産業モデルにおいては、電力需要関数の説明変数として電力価格が入っているのは、パルプ工程のみである。パルプ工程においては、他の事情に変化がなければ、電力価格が10%上昇すると、その直接的効果として、電力消費量は2.4%低下することになる。表に示したパルプの電力消費量の減少率-2.7%のうち、残りの0.3%は、生産量の変化を経由した

間接的な電力消費量の変化ということになる。

また紙、板紙の電力消費量への影響 -0.1% はすべて間接効果ということになる。

5. 外挿シミュレーション

「中期モデル」の外挿シミュレーションの標準ケースの外生変数から、産業モデルの55年までの外生変数を推定して、55年までのシミュレーションを行なった⁵⁾。外挿期間は、紙パルプ、非鉄金属が49年～55年、化学、機械が50年～55年である。

二つのモデル間で対応させた変数と、その推定方法は次のとおりである。

| 産業モデル | 中期モデル |
|----------------|---------------------------|
| (1) <i>IIP</i> | <i>SMG</i> / (実質鉱工業生産額) |
| (2) <i>WPI</i> | <i>PSMG</i> (鉱工業製品生産者価格) |
| (3) <i>CPI</i> | <i>PC</i> (個人消費支出デフレーター) |
| (4) <i>PO</i> | <i>PM*OIL</i> (鉱物性燃料価格指数) |
| (5) <i>PEL</i> | <i>PELEC</i> (電力計平均単価) |

推定方法

(1), (2), (3): 統計式 (35年～48年) から推定

(4), (5): 49年実績値×各年度の伸び率

なお、中期モデルのデータは年度ベース、産業モデルは暦年ベースであるが、この相違はここでは無視した。49年、50年の外挿値が実績値とかなりくい違っているのは、このことの影響があると思われる。

表5にシミュレーションに使った主要な外生変数の数値を示した。

表6に、シミュレーション結果をまとめた。これらの予測値は、サンプル期間の構造がその

表5 外挿シミュレーションの結果

| | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
|------------|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <i>IIP</i> | 123.8 | 121.6 (-1.8) | 127.5 (4.9) | 134.6 (5.6) | 142.7 (6.0) | 152.4 (6.8) | 161.9 (6.2) |
| <i>WPI</i> | 152.2 | 156.5 (2.8) | 164.8 (5.3) | 173.0 (5.0) | 181.1 (4.7) | 188.2 (3.9) | 196.1 (4.2) |
| <i>CPI</i> | 156.7 | 171.8 (9.6) | 186.3 (8.4) | 199.4 (7.0) | 214.7 (7.7) | 227.8 (6.1) | 242.7 (6.5) |
| <i>PO</i> | 257.5 | 276.8 (7.5) | 294.8 (6.5) | 303.6 (3.0) | 312.8 (3.0) | 322.1 (3.0) | 331.8 (3.0) |
| <i>PEL</i> | 7.72 | 8.42 (9.1) | 9.37 (11.3) | 9.83 (4.9) | 10.33 (5.1) | 108.4 (4.9) | 11.38 (5.0) |

IIP, WPI, CPI, PO: 45年基準指数

PEL: 大口電力計平均単価 (円/kWh)

まま延長されるという仮定の下に推定されたものであり、当然考慮されなければならない、各産業についての個別具体的条件についての検討は今回は行なわなかった⁶⁾。予測値にみられる2, 3の傾向をのべておこう。

- 50年～55年の生産量の伸び率は、4産業のうち、アルミ圧延、有機化学製品、電気機械、輸送機械が、鉱工業生産指数より高く、それ以外は低くなっている。
- 紙パルプ、非鉄金属では、パルプ輸入の増加、アルミ輸入、再生アルミ生産の増加にもなって、中間製品の生産の伸び率が低く、紙、板紙、アルミ圧延など最終製品の伸び率が高くなっている。

化学工業では、有機化学、無機化学、ソーダ工業の伸び率が比較的高い。機械産業では、伸び率は、電気機械、輸送機械、一般・精密機械の順となっている。

- 電力需要は、生産量の推移とほぼ一致している。なお、電力原単位は紙、板紙で上昇している他は、全般に低下傾向を示している。

5) 第2章「中期モデルとシミュレーション分析」参照。

6) たとえば紙パルプ産業の場合、オイル・ショック、環境問題の深刻化、電力価格の上昇などにともなう輸出入の変化、故紙再利用状況の変化、自家発電電比率の変化、プロセス蒸気の有効利用の進展など、多くの問題が検討されなければならない。

表 6 予 測 結 果

(1) 生 産 (上段: 45年基準指数, 下段: 伸び率)

(2) 電力消費量

| | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
|--------------|-------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 紙 パルプ | | | | | | | |
| パルプ | 110.7 | 102.1 -7.8 | 105.0 2.8 | 110.5 5.3 | 112.6 2.0 | 118.7 5.4 | 124.1 4.5 |
| 紙 | 116.0 | 112.7 -2.9 | 116.2 3.1 | 120.6 3.8 | 125.7 4.2 | 131.6 4.7 | 137.3 4.3 |
| 板紙 | 133.0 | 119.4 -10.2 | 122.6 2.7 | 136.6 11.4 | 130.4 -9.5 | 141.9 8.7 | 150.3 6.0 |
| 紙パルプ計 | 118.2 | 110.0 -6.9 | 113.2 2.9 | 120.6 6.5 | 121.5 0.7 | 128.9 6.1 | 135.2 4.9 |
| 非鉄金属 | | | | | | | |
| アルミナ | 123.3 | 118.7 -3.7 | 116.9 -1.5 | 125.1 7.1 | 131.4 5.0 | 137.6 4.7 | 142.8 3.8 |
| アルミニウム | 129.4 | 123.2 -4.8 | 121.0 -1.8 | 132.0 9.1 | 140.4 6.3 | 148.9 6.1 | 156.2 4.9 |
| 再生アルミ | 149.7 | 127.3 -14.9 | 136.6 7.3 | 140.7 2.3 | 153.1 8.8 | 168.3 9.9 | 185.7 10.3 |
| アルミ圧延 | 133.8 | 124.1 -7.3 | 127.4 2.7 | 137.5 8.0 | 149.0 8.3 | 162.3 8.9 | 175.8 8.3 |
| 伸銅製品 | 131.1 | 130.4 -0.6 | 136.6 4.7 | 142.2 4.1 | 149.0 4.7 | 157.0 5.4 | 164.5 4.8 |
| 電線ケーブル | 127.4 | 125.3 -1.7 | 130.9 4.5 | 137.4 5.0 | 144.9 5.5 | 153.9 6.2 | 162.5 5.6 |
| 非鉄金属計 | 129.7 | 123.5 -4.8 | 125.5 1.6 | 133.6 6.5 | 141.7 6.1 | 150.9 6.4 | 159.6 5.7 |
| 化 学 | | | | | | | |
| アンモニア・誘導品 | 110.8 | 112.2 1.2 | 113.6 1.2 | 114.6 0.9 | 115.1 0.4 | 114.9 -0.2 | |
| カーバイド・石灰窒素 | 51.0 | 51.7 1.3 | 52.9 2.3 | 53.7 1.6 | 54.0 0.5 | 53.7 -0.6 | |
| ソーダ工業製品 | 116.5 | 119.8 2.9 | 125.7 4.9 | 132.1 5.1 | 139.2 5.4 | 146.3 5.1 | |
| 有機化学製品 | 95.5 | 100.8 5.5 | 100.8 10.2 | 111.1 10.1 | 122.4 10.2 | 134.9 10.2 | 147.6 9.5 |
| 無機化学・その他化学製品 | 121.8 | 126.6 4.0 | 132.3 4.5 | 138.7 4.8 | 146.2 5.4 | 153.4 4.9 | |
| 化 学 計 | 104.3 | 108.9 4.5 | 116.8 7.3 | 125.5 7.4 | 135.2 7.7 | 144.8 7.1 | |
| 機 械 | | | | | | | |
| 電気機械 | 138.7 | 151.2 9.0 | 165.2 9.3 | 181.1 9.6 | 199.0 9.9 | 217.3 9.2 | |
| 輸送機械 | 141.6 | 150.9 6.6 | 161.5 7.0 | 173.9 7.7 | 187.8 8.0 | 201.7 7.4 | |
| 一般・精密機械 | 117.8 | 124.6 5.8 | 132.9 6.7 | 142.3 7.1 | 153.1 7.6 | 163.8 7.0 | |
| 機 械 計 | 131.4 | 140.9 7.2 | 151.8 7.7 | 164.2 8.2 | 178.3 8.6 | 192.4 7.9 | |

| | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
|--------------|-------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 紙 パルプ | | | | | | | |
| パルプ | 105.8 | 97.3 -8.1 | 98.0 0.7 | 101.9 4.0 | 103.5 1.1 | 107.3 4.2 | 110.9 3.4 |
| 紙 | 123.4 | 119.1 -3.5 | 123.7 3.9 | 129.4 5.1 | 136.1 5.9 | 144.1 5.9 | 151.8 5.4 |
| 板紙 | 139.7 | 123.6 -11.6 | 127.5 3.2 | 144.1 13.1 | 136.8 -5.1 | 150.5 10.1 | 160.8 6.8 |
| 紙パルプ計 | 120.3 | 111.7 -7.2 | 114.6 2.6 | 122.2 6.6 | 123.5 1.1 | 131.4 6.4 | 138.1 5.1 |
| 非鉄金属 | | | | | | | |
| アルミナ | 131.9 | 126.6 -3.8 | 124.3 -2.1 | 131.6 5.9 | 137.1 4.2 | 142.6 4.0 | 147.0 3.1 |
| アルミニウム | 134.2 | 128.1 -4.5 | 125.3 -2.2 | 135.4 8.1 | 143.0 5.6 | 150.1 5.3 | 156.8 4.2 |
| 再生アルミ | 187.5 | 150.0 -20.0 | 162.5 8.3 | 162.5 0.0 | 187.5 15.4 | 212.5 13.3 | 237.5 11.8 |
| アルミ圧延 | 127.0 | 119.5 -6.1 | 122.1 2.2 | 130.0 6.5 | 138.7 6.7 | 148.8 7.3 | 158.8 6.7 |
| 伸銅製品 | 125.3 | 124.7 -0.4 | 129.7 4.0 | 134.5 3.7 | 139.9 4.0 | 146.3 4.6 | 152.2 4.0 |
| 電線ケーブル | 122.6 | 122.3 -0.2 | 128.0 4.6 | 134.7 5.3 | 142.5 5.8 | 151.7 6.4 | 160.8 6.0 |
| 非鉄金属計 | 132.5 | 127.0 -4.1 | 125.5 -1.2 | 134.9 7.5 | 142.4 5.6 | 150.1 5.4 | 156.8 4.4 |
| 化 学 | | | | | | | |
| アンモニア・誘導品 | 55.2 | 65.8 1.0 | 66.5 1.1 | 67.1 0.8 | 67.3 0.3 | 67.2 -0.2 | |
| カーバイド・石灰窒素 | 52.0 | 52.7 1.3 | 53.9 2.3 | 54.8 1.6 | 55.0 0.5 | 54.7 -0.6 | |
| ソーダ工業製品 | 111.7 | 114.9 2.9 | 121.7 5.9 | 129.0 6.0 | 137.3 6.5 | 145.6 6.0 | |
| 有機化学製品 | 95.5 | 99.3 3.5 | 106.8 7.5 | 114.7 7.4 | 123.3 7.5 | 131.9 6.9 | |
| 無機化学・その他化学製品 | 122.9 | 128.5 4.6 | 135.2 5.2 | 142.7 5.6 | 151.6 6.3 | 160.3 5.7 | |
| 化 学 計 | 100.3 | 103.9 3.5 | 109.5 5.4 | 115.6 5.6 | 122.5 5.9 | 129.1 5.4 | |
| 機 械 | | | | | | | |
| 電気機械 | 121.9 | 128.7 5.6 | 136.4 6.0 | 144.9 6.2 | 154.2 6.4 | 163.4 6.0 | |
| 輸送機械 | 137.9 | 143.9 4.4 | 152.6 6.0 | 162.6 6.6 | 173.9 6.9 | 184.9 6.3 | |
| 一般・精密機械 | 110.5 | 115.7 4.7 | 121.9 5.4 | 128.9 5.7 | 136.9 6.2 | 144.6 5.6 | |
| 機 械 計 | 127.5 | 133.6 4.8 | 141.4 5.8 | 150.4 6.4 | 160.4 6.6 | 170.2 6.1 | |

付 録

紙パルプ産業モデル

(1) 変 数

標本期間: 35年~48年 添字 $i=1$: パルプ, 2 : 紙, 3 : 板紙

内生変数 (21)

| | | | |
|-------------|-------------|-----------------------|---------------|
| EL_i | 工程別電力消費量 | 10^6 kWh | 生産動態統計 |
| O_i | 工程別生産量 | 10^3 t | " |
| P_i | 製品価格指数 | 45=年100 | 日銀物価指数年報 |
| O_i^d | 製品別国内需要量 | 10^3 t | 生産動態統計 |
| RM_2 | 紙生産用パルプ投入量 | 10^3 t | " |
| RM_3 | 板紙生産用パルプ投入量 | 10^3 t | " |
| RM_{SENI} | 繊維産業パルプ投入量 | 10^3 t | " |
| RM_1 | パルプ生産用木材投入量 | 10^3 m ³ | " |
| M_1 | パルプ輸入量 | 10^3 m ³ | " |
| $KOSI$ | 故紙回収量 | 10^3 t | " |
| P_{KOSI} | 故紙価格 | 円/10 kg | 紙, パルプ・ハンドブック |
| T_i | 在庫ストック | 10^3 t | 生産動態統計 |

外生変数 (10)

| | | | |
|-------------|--------------|---------|----------|
| IIP | 工業生産指数 | 45年=100 | 通産省 |
| PEL | 大口電力平均単価 | 円/kWh | 電気事業便覧 |
| PO | 重油価格指数 (C重油) | 45年=100 | 日銀物価指数年報 |
| CPI | 消費者物価指数 (総合) | 45年=100 | 総理府 |
| WPI | 卸売物価指数 (総平均) | 45年=100 | 日銀物価指数年報 |
| $P_{I.M}$ | パルプ輸入価格指数 | 45年=100 | " |
| P_W | パルプ用木材価格指数 | 45年=100 | " |
| P_{PM} | 紙, 板紙輸入価格 | 万円/t | 大蔵省 |
| IP_{SENI} | 繊維産業生産指数 | 45年=100 | 通産省 |
| T | 時間 | 35年=1 | |

(2) 方程式体系

() 内はパラメータの t 値, R^2 自由度修正済決定係数

$D-W$ はダービン・ワトソン統計量を示す。

| 電力需要関数 | $R^2/D-W$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| $\ln EL_1 = -0.814384 + 0.973439 \ln O_1 - 0.243053 \ln(PEL/P_1)$ (27.1) (0.9) | 0.987 1.002 |
| $\ln EL_2 = -2.11574 + 1.22977 \ln O_2$ (18.5) | 0.963 2.307 |
| $\ln EL_3 = -1.66364 + 1.14195 \ln O_3$ (51.7) | 0.995 1.673 |
| 製品需要関数 | |
| $\ln O_2^d = 5.59810 + 0.708695 \ln \bar{IIP}$ (49.1) | 0.995 1.246 |

$$\ln O_2^d = 4.57264 + 0.891406 \ln IIP - 0.384055 \ln \left(\frac{P_3}{P_{3,-1}} \right) / \left(\frac{WPI}{WPI_{-1}} \right) \quad 0.992 \quad 1.756$$

(38.5) (2.1)

輸入関数

$$\ln M_1 = -10.7730 + 1.39426 \cdot \ln O_1^d - 1.76315 \ln (\bar{P}_M / P_1) \quad 0.933 \quad 0.738$$

(7.2) (3.1)

$$\ln M_2 = 18.9616 + 1.99844 \ln O_2^d - 2.37081 \ln (P_{PM} / P_2) \quad 0.971 \quad 2.762$$

(4.8) (8.7)

生産量決定式

$$\ln O_2 = -0.0580495 + 1.02816 \ln O_2^d - 0.0328386 \ln J_{2,-1} \quad 0.999 \quad 1.856$$

(52.5) (2.1)

$$\ln O_3 = 0.352525 + 0.992183 \ln O_3^d - 0.0614366 \ln J_{3,-1} \quad 0.996 \quad 2.267$$

(51.6) (4.8)

価格関数

$$\ln P_1 = 4.77725 + 0.722275 \ln (RM_1 \cdot \bar{P}_W \cdot 0.06 + EL \cdot PEL) - \ln O_1 \quad 0.960 \quad 2.192$$

(2.0)

$$\ln P_2 = 0.089886 + 1.06309 \ln (RM_2 \cdot P_1 \cdot 0.438 + EL_2 \cdot PEL) - \ln O_2 \quad 0.987 \quad 2.315$$

(4.3)

$$\ln P_3 = 1.01987 + 0.928259 \ln (PM_3 + KOSI) \cdot P_1 \cdot 0.438 + EL_3 \cdot PEL - \ln O_3 \quad 0.984 \quad 1.402$$

(3.7)

バルブ投入量決定式

$$\ln RM_2 = 0.129909 + 0.974241 \ln O_2 \quad 0.912 \quad 1.098$$

(87.0)

$$\ln (RM_3 + KOSI) = 0.164166 + 1.00562 \ln O_3 \quad 0.998 \quad 1.316$$

(83.4)

$$\ln RM_{SENI} = 3.72737 + 0.627203 \ln \bar{IP}_{SENI} - 0.0403765 \cdot \bar{T} \quad 0.237 \quad 0.771$$

(1.5) (1.3)

木材投入量決定式

$$\ln RM_1 = 1.72878 + 0.98232 \ln O_1 \quad 0.998 \quad 0.344$$

(72.5)

故紙回収量決定式

$$\ln \left(\frac{KOSI}{O_2 + O_3} \right) = -1.93389 + 0.211540 \ln P_{KOSI} + 0.00695524 \bar{T} \quad 0.749 \quad 2.312$$

(5.0) (3.2)

故紙価格決定式

$$\ln P_{KOSI} = -7.95784 + 2.90000 \ln P_2 + 0.0415101 \bar{T} \quad 0.709 \quad 1.639$$

(4.9) (2.8)

恒等式.

$$O_1 = RM_2 + RM_3 + RM_{SENI} - M_1$$

$$J_2 = J_{2,t-1} + O_2 - O_2^d + M_2$$

$$J_3 = J_{3,t-1} + O_3 - O_3^d$$

| | | | |
|-------|------|---------|------------|
| (くまくら | おさむ | 電力経済研究部 | 電気事業経済研究室) |
| はまだ | むねお | 電力経済研究部 | 経済統計研究室) |
| とみた | てるひろ | 電力経済研究部 | 電気事業経済研究室) |