

Title	レオンティエフ体系における構造変化の分析：住宅生産を中心として
Sub Title	Empirical analysis of structural change in the Leontief system : an application of the engineering method to a housing sector
Author	荒木, 義明
Publisher	慶應義塾経済学会
Publication year	1978
Jtitle	三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.71, No.4 (1978. 8) ,p.595(155)- 606(166)
JaLC DOI	10.14991/001.19780801-0155
Abstract	
Notes	研究ノート p. 158, 159乱丁
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-19780801-0155

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

レオンティエフ体系における構造変化の分析

—住宅生産を中心として—

荒木 義 明

一 分析の目的と方法

経済発展過程の顕著な特徴は、経済規模の拡大と、それに伴う構造変化に表われる。この論文の主要な目的は、経済発展の過程できわめて重要な役割を果たす構造変化について、その変化をひき起こす基本的な要因を、基礎的な工学的関係を用いて実験的に確定することである。

この分析において、構造変化とは W. Leontief の投入産出分析における投入係数行列の変化を指すものとする⁽¹⁾。従って、この投入係数の変化が、いかなる要因で生じうるかが、直接の分析対象となる。投入係数の変化に関する観察事実は、これまでに多く見い出されてきたが、その変化要因の実証的分析については、未だ十分な成果が得られているとはいえない。その理由は経済構造の変化は、異なる部門間の単なる量的な変化によってのみ説明されるものではなく、本質的には、資本及び生産物の特性 (property) という質的な要素の変化とかかわっているからである。この質的な要素に対しては、これまで単に分類上の問題として処理される例が多かったが、本研究では、より基礎的な工学的変数を新たに導入することによって、この問題を統一的に処理することを試みる。このことによって分析の自律度はより高められることになる。このような接近の有効性を端的に表わす部門として、本研究では住宅部門を対象としたが、分析の方法は、基本的に全部門に対して適用しうるものである。

一般に、商品の特性は、産出特性と投入特性に分け

られる。これらは、本来工学的設計法則によって相互に関連づけられるべきものであろう⁽²⁾。これまでの諸研究によって、多くの産業での代表的特性の一つが、生産規模の大きさにあることが、経験的に確認されてきた⁽³⁾。建築物の場合も、その例外ではない。ただ、建築物の生産規模を表わす「空間量」は、更に少なくとも二つのディメンジョンに分解することができる。一つは、床等により構成される水平面であり、他は、壁等により構成される垂直面である。そして、これらの間の代替関係の存在が、木造から非木造へ、更には鉄筋コンクリート造から鉄骨鉄筋コンクリート造へのシフトといった建築部門の構造変化を説明する主たる要因となる。

以下、次節では、特性と産業分類の関係を中心に、三節では、経済全体からみた構造変化に関する観察事実とその意味について述べる。四節では、住宅部門の特性と、この部門での構造変化に関する観察事実を記述し、五節で特性概念を導入した分析モデルを提示する。そこでは、工学的生産関数、投入関数、費用関数が理論模型に基づいて、異なる素原材料系統群に属する商品ごとに計測される。その結果、地価を中心とした投入物価格の変化が、異なる素原材料系統群に属する商品の代替を通じて、構造変化をひき起こすことが、自律度の高い関係式によって示される。

二 産業分類

構造変化の分析を行なうためには、まず投入産出分析の基本的概念である「部門」が、どのような実体概

注(1) この定義は、Leontief[7] p. 19による。

(2) この点に関しては Chenery [4] および小尾 [1] の先駆的な研究を参照せよ。

(3) たとえば、Ozaki [8] を見よ。

念と対応するかということを決めねばならない。部門の設定は、分析の目的に対して適切な基準のもとになされねばならないが、投入産出分析では、投入係数の変化を安定的に把握するという視点において最適な方法が要求される。例えば、W. Leontief は、一般的に次のような基準を設けている。

- (a)生産物の同一性
- (b)費用構造の量的・質的類似性

前者は、産出特性、後者は、投入特性にそれぞれ対応している。理論的には、分類の数学的条件である acceptability condition を充たせばよいわけであるが、実際の見地からは、プロダクト・ミックスの影響をできるだけ排除するために、次の条件を近似的に充たす必要がある。(6) 列の集計は、

$$A_{ij} = a_{j1} \left(\frac{X_1}{\sum_{j=1}^n X_j} \right) + a_{j2} \left(\frac{X_2}{\sum_{j=1}^n X_j} \right) + \dots + a_{jn} \left(\frac{X_n}{\sum_{j=1}^n X_j} \right)$$

$$= a_{i1} W_1 + a_{i2} W_2 + \dots + a_{in} W_n \quad (2.1)$$

ここで、

A_{ij} : 集計後の投入係数ベクトル

a_{ij} : 集計前の個別の投入係数ベクトル

X_j : 集計前の個別の商品生産量

A_{ij} が、相対的に安定しているための条件は、

- (1)同一部門に属する各個別商品の投入係数 a_{ij} が、相互に類似していること。
- (2)同一部門における各個別の商品構成が安定していること。

(1)は、集計される商品が、類似の生産関数を持つことを要求し、(2)は、生産過程において補完的關係にある商品群の生産量が、一定の構成比を持つことを要求

注(4) Leontief [6] p.30 参照。

(5) Chenery and Clark [5] p. 34~p. 39を参照せよ。

(6) ある最終生産物が、消費されるまでには、種々の加工工程・

流通工程を経由するのが普通である。右図は、それらを簡略化して図にしてある(尾崎・石田 [3] 参照)。W. Leontief が、かつて [6] で定式化したように、経済体系を単純化して、線型連立方程式で表現すれば、あらゆる商品の投入係数が、素原材料、土地及び労働の線型結合として表わしうることをこの図から推察できよう。技術変化によるこの結合の変化が、構造変化といわれるものである。部門設定の観点からすると、相対的に安定した部分を見出すために、図のような生産プロセスの概念を導入するのが便利である。多くの商品生産において、商品自体に組み込まれるマテリアルよりも、サービス提供を主とする一般投入部分の投入係数の方が変動しやすいことが観察によって確認できる。生産工程の最終段階に近づく程、プロセスは複合的になり原材料選択の幅は広がることになる。基本的に生産プロセスは、物の流れに対し、一つの方向性を持つ故に、費用変化の波及もそれに従う。他方、素原材料の生産には、他の素原材料の生産を原理的には要しないことから、素原材料は、プロセスの高次の生産物に対してばかりでなく、他の素原材料に対しても生産技術的に独立である。これらの理由から、素原材料及びそこから出発した中間段階までの商品群が、部門設定の基礎となると考えられる。

している。

素原材料系統ごとの、生産プロセスに沿う加工度段階を考慮して配列された分類表は、上記の条件を比較的満足することが分っている。このような分類に従えば、加工度の低いものから高いものへ順次移行する生産プロセスを通じて、投入フローの三角性と主要素原材料群ごとのブロック独立性が、再配列された投入・産出表の中に明確に現れてくることが知られている。(6) この観察に基づけば、一見不規則に見える投入係数の変化は、これら素原材料系統群の代替として、また加工段階ごとの投入割合の変化として有効に分析され得ると推論できよう。

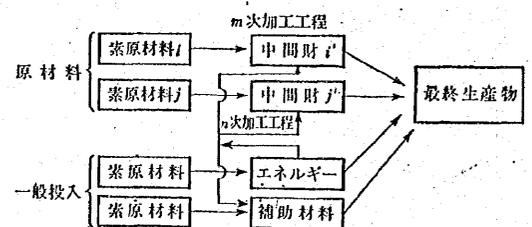
ところで、現実の商品分類は、一般に最終財に近づく程、それら商品の持つ機能(用途)によって定義され、素原材料に近づく程、その生産過程における原料構成を基準として定義される。これらの基準を斟酌すると、構造変化を説明する要因として、同一機能を達成するうえで、異なる素原材料系統群に属する商品間の顕著な代替現象に着目することが特に重要なことになる。この視点が、以下の分析の中心となる。

三 構造変化の観察

レオンティエフ体系において、投入係数行列の変化の要因は、主として、次の3つに起因する。

- (1)要素代替
- (2)規模の経済性・非経済性
- (3)プロダクト・ミックス

この研究では、プロダクト・ミックスの概念を、次



のように厳密に定義する。すなわち、プロダクト・ミックスとは、類似の産出特性のもとで、異なる原材料と生産方法を有する商品間の代替をいう。例えば、住宅の場合には、「居住空間の提供」という同一特性のもとで、異なった素原材料系統群を有する木造から非木造へのシフト、更に非木造の中での鉄筋コンクリート造から鉄骨鉄筋コンクリート造へのシフト等⁽⁷⁾を指している。

これらの諸要因は、必ずしも相互に排他的ではない。商品間で規模の経済性の程度が異なれば、各商品の単位費用は、相対的に変化し、それが供給価格を変動させる。各企業が、このような相対価格や生産規模の変化に応じてより合理的な生産方法を選択するとすれば、同一機能を果たす各種商品間においても、代替関係が生ずることになる。経済の発展過程では、特に、各商品ごとの生産要素単位投入量の変化だけでなく、同一商品機能をもちながらその素原材料を異にする商品間の代替がきわめて重要であり、これが構造変化の大きな説明因子となるのである。

さて、二節で述べた産業分類基準による46×46部門投入・産出表を用いて、1960年から1970年にかけて生じた経済全体の構造変化を観察してみよう。観察は投入・産出表の行の変化と列の変化について行なわれた。ここでは行の変化についての観察のみが第1表①-②に示されている。この表は、各行ごとに、直接及び間接に必要とされた商品原単位の変化率と相対価格の平均の変化の関係を示す。

この表を原料系統別にみると、動・植物を直接原料とする系統の商品群の使用原単位が低下している産業が多い反面、鉱物、化石を原料とする系統の商品群のそれが上昇している産業が増加する傾向にある。前者は、相対的に稀少で加工段階での生産性も低いので、使用量の増大につれて相対価格も上昇しやすいのに対し、後者は、ほぼその逆のことがいえる。鉱物、化石原料系統のうちでも、採掘コストや硬度・可塑性といった物理的特性に優れた金属、原油系統の商品群は、広い用途に使用され、加工段階での規模の経済性と相まって、各産業における使用割合が上昇している。

表には掲げなかったが、列の変化については、次のような事実がみられた。まず、加工段階ごとに投入部

分を集約してみると、特に最終財産業群では、より高加工度商品を投入する割合が増加している。また、多くの産業で、エネルギー、補助材料の使用原単位が増大している。これらの事実は、生産の迂回化と関係があり、特に建築部門では、現場労働の生産性を上昇させるためのプレファブ化の進行等の結果であると考えられる。列における他の特徴的な変化として、生産量の変化率と投入係数の変化率の間に関係があること、また各産業への投入物のうち、産出物に直接組込まれるマテリアル部分が、他の投入物に比して相対的に投入係数の変化率が小さいことを観察できる。更に、マテリアル部分だけをみると、加工度の高い産業の投入係数変化率の方が、加工度の低い産業のそれよりも大きくなる傾向がある。

経済体系全体からみた投入係数の変化には、以上のような規則性があるが、これらは、平均的傾向であり、必ずしも個別の産業に等しく妥当するものではない。しかし、個々の産業は、他の産業と相互依存の関係にあるからその結果として、経済全体の構造変化に一定の方向性が観察されてくるのである。しかしながら、前述したように、相対価格や生産量の変化だけでは、各産業ごとの構造変化を必ずしも十分に説明できない。そこで、産業ごとの構造変化をより厳密に把握するためには、各産業の特性を考慮したより詳細な分析図式を設計する必要がある。

このような観点から、特定部門(住宅)に焦点を絞って、産業特性を考慮した構造変化の要因分析を、以下で行なうことにする。

四 住宅部門の特性と観察事実

構造変化の分析対象として、先ず住宅を選択したのは、次の理由による。

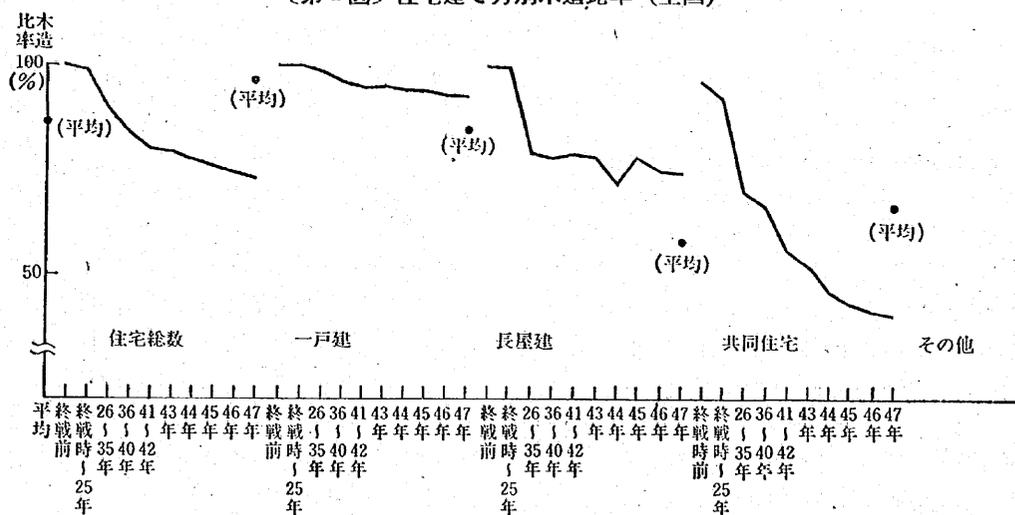
(1)住宅は、最も加工度の高い商品の一つであり、投入係数の変化が大きい。また同一機能を達成するのに、異なる素原材料系統群に属する商品が各種存在するので、プロダクト・ミックスの分析に適すること。

(2)建築物の費用は、資材と労務の占める割合が高く、かつ個々の建築物ごとに工事費計算がなされるので、建築物の特性は、産出特性で代表できる。このこ

注(7) このような例は、住宅以外の商品にも、しばしばみられる。例えば、家具(木製→金属製)、電力(水力→火力)、輸送(鉄道→自動車)等の部門においてであり、それぞれの分野で技術変化の重要な部分を占めている。プロダクト・ミックスを広義に解釈する場合には、同一部門内の異なるアクティビティのレベルが相対的に変化することを指すこともある。

レオンティエフ体系における構造変化の分析

〔第1図〕住宅建て方別木造比率（全国）



(資料) 総理府統計局「昭和48年住宅統計調査報告」より作成。

(注) データは48年9月現在の住宅ストック。従って、年次は一種のヴィンテージである。

とは、各種の関数の計測を容易にする。

(3)建築物は、諸産業の資本財の一部を構成する。従って、建築物の特性を吟味することは、諸産業の資本財の一部の特性を吟味することになる。この資本財の特性を解明することは、諸産業における構造変化を分析するにあたって不可欠であること。

以上である。

ここで、住宅部門の構造変化の要因分析に関連した fact-findings を整理しておこう。

①建築(住宅)部門においては、建設戸数及び総延

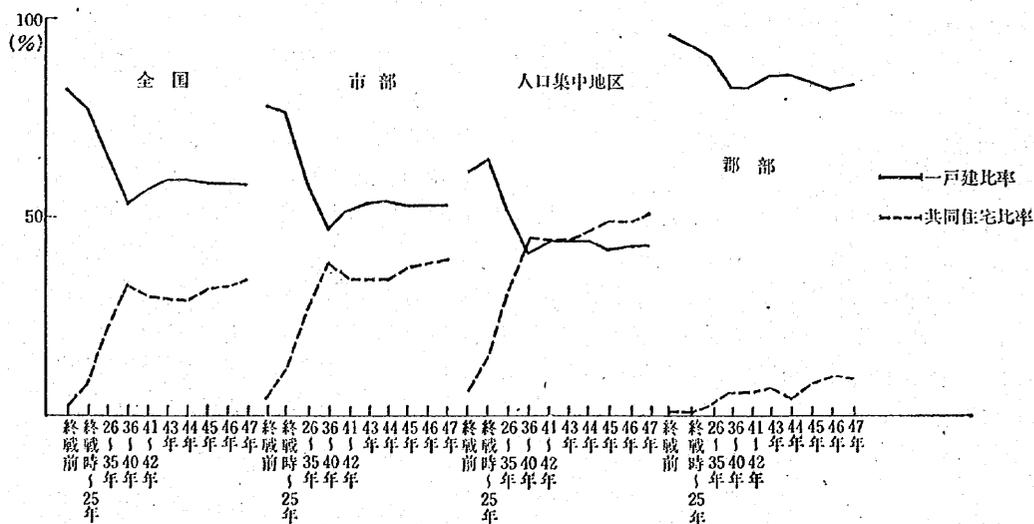
床面積に占める木造の比率が、一貫して低下する傾向がある(第1図)。

②建築構造別(例えば、木造、非木造)にみた投入係数は、比較的安定している。

③建て方別にみると、一戸建て住宅の木造比率が高い。共同住宅は、木造比率が低く、しかもその比率は、年々低下している(第1図)。これらの建て方と建築構造の関係には、地域差はみられない。

④地価の高い所(住宅密度の高い所)は、木造比率や一戸建て比率が低く、逆に非木造や共同住宅の割合が

〔第2図〕地域別建て方比率の推移



(資料) 第1図と同じ。

(注) 一戸建比率、共同住宅比率を引いた残りには、長屋建て、その他、不詳の分が含まれている。

〔第1表〕各系統商品を使用する部門の当該商品原単位増加率と相対価格

①直接原単位変化分(1960-1970)

$\delta_1(\%)$	部門番号	価格指数 (平均)	$\left(\frac{P_{1970}}{P_{1960}} \times 100\right)$
$75 \leq \delta_1 \leq 100$	24, 38, 39	90	P: 価格
$50 \leq \delta_1 < 70$	8, 34, 40, 43, 19, 11, 10, 20, 13, 41	112	
$25 \leq \delta_1 < 50$	46, 37, 21, 6, 28, 35, 9, 44, 15, 12, 25, 18, 14, 7, 42, 45	139	
$0 \leq \delta_1 < 25$	27, 26, 16, 33, 22, 29, 31, 32, 17, 36	128	

②直接・間接原単位変化分(1960-1970)

$\delta_2(\%)$	部門番号	価格指数 (平均)
$75 \leq \delta_2 \leq 100$	35, 39, 38, 24, 40	94
$50 \leq \delta_2 < 75$	28, 20, 6, 25, 43, 8, 46, 11	128
$25 \leq \delta_2 < 50$	42, 19, 37, 41, 10, 44, 12, 9, 21, 13, 45	150
$0 \leq \delta_2 < 25$	15, 18, 33, 14, 26, 27, 34, 32, 22, 16, 7, 29, 17, 31, 36	125

(注) 資料: 行管庁他「昭和45年基準実質価格接続産業連関表」

なお、価格指数は、1960=100とした。

〔説明〕任意の素原材料系統商品群の全経済への浸透度を、次の指標で近似する。

$$\delta_i = \left(\frac{n_i^j(+)}{n_i^j} \right)$$

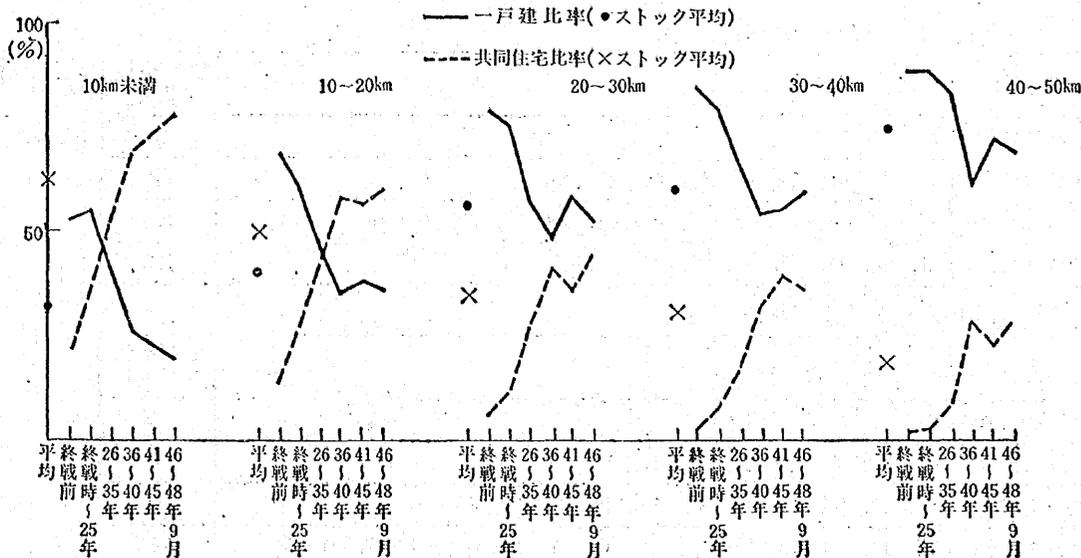
ここに、分母の n_i^j は、両比較時点で、第 i 商品が使用された部門の合計(和集合)であり、分子の $n_i^j(+)$ はそのうち投入係数の変化分($da_{ij} = a_{ij}1970 - a_{ij}1960$)がプラスの符号をとった部門の数である。従って、 $\delta > 50\%$ は、その系統商品が、全経済を通じて使用される割合が上昇した部門が増加したことを示し、 $\delta < 50\%$ は、その割合が低下した産業が増加したことを示すことになる。

δ の大きさと価格指数は、弱い負の相関を示すが、 $0 \leq \delta < 25$ の範囲では、この傾向は逆転しており、相対価格だけで δ の変化を説明するのは困難である。なお、 δ_i は、分子を逆行列係数の変化分が、プラスの符号をとった部門数とした。

〔部門名〕

- | | |
|------------------|-----------------------|
| 1 住宅新建築(木造) | 26 動植物性原油 |
| 2 住宅新建築(非木造) | 27 天然作物系統(農産魚貝類) |
| 3 非住宅新建築(木造) | 28 窯業原料系統 |
| 4 非住宅新建築(非木造) | 29 天然系繊維原料系統 |
| 5 公共事業・その他建設 | 30 狩猟業 |
| 6 建設用資材 | 31 林産物系統 |
| 7 民生用機器 | 32 製紙・薬用作物・生ゴム |
| 8 産業用機械 | 33 石炭及び原塩・硫化鉱 |
| 9 その他の機械 | 34 砂糖原料系統 |
| 10 その他の最終工業生産物 | 35 原油及び天然ガス系統 |
| 11 鉄鋼系統 | 36 燃料系統Ⅰ(木炭・亜炭) |
| 12 非鉄系統 | 37 燃料系統Ⅱ(電力・ガス) |
| 13 食糧系統 | 38 燃料系統Ⅲ(灯油・軽油・重油) |
| 14 土石製品及び石棉製品 | 39 医薬品 |
| 15 織物系統 | 40 補助材料 |
| 16 紡績系系統 | 41 補修 |
| 17 製革・毛皮 | 42 上・下水道・清掃業 |
| 18 原木系統 | 43 卸売・小売業、保険・金融・不動産業 |
| 19 インク・染料及び塗料系統 | 44 運輸・通信 |
| 20 化学系統Ⅰ(石油・石炭系) | 45 公務・その他のサービス |
| 21 化学系統Ⅱ(原塩系) | 46 分類不明 |
| 22 化学系統Ⅲ(動植物油系) | |
| 23 敷物原料作物 | ** 鉄屑・非鉄金属屑は除外。 |
| 24 鉄鉱石系統 | なお、23敷物原料作物、30狩猟業は、表の |
| 25 非鉄鉱石系統 | 計算では使用していない。 |

〔第3図〕京浜大都市圏距離別建て方比率の推移



(資料) 第1図と同じ。

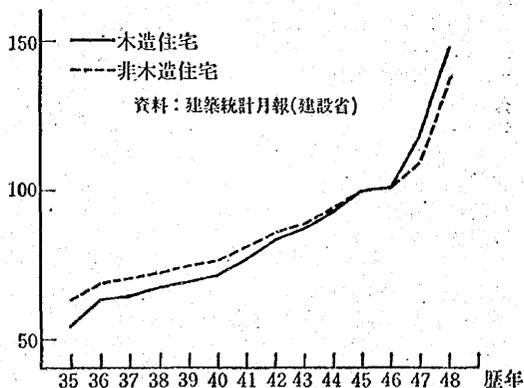
(注) 距離は、東京都市所在地を中心点とした同心円の半径を表わしている。

高い(第2図, 第3図)。

⑤住宅の平均的規模は、年々大きくなっており、高層化もすすんでいる。

⑥住宅の主要投入の相対価格のうち、特に賃金と地価の上昇が著しい。建築構造別(木造・非木造)に、土地を除いた費用の相対的關係をみると、第4図に示されるごとく、木造のそれが上昇しているが、さほどの開きはない。しかし、平均的床面積当り工事費の絶対額で見れば、概して非木造の方が高い。

〔第4図〕建築工事費デフレーター(昭和45年=100)



以上が、主要な観察事実である。

住宅に要求される主な機能は、居住空間を提供することである。住宅を生産するについては、生活のための空間を確保するために、安全性、居住性、環境条件(通勤時間、社会施設等)及び制度的制約(建築基準法)を斟酌することが、實際上重要なことはいうまでもない。そこで、生産関数を定式化するにあたっては、これら住宅の機能に関する諸制約のうち、特に安全性という基準を重視し、その制約のもたらす効果を考慮する。

異なる材料系統を持つ商品が、同一機能を持つ他商品と代替するという観点から、居住空間の提供という同一機能を持ちながら、主要材料の異なる商品の種類を述べておこう。これらは、建築構造による分類から、主として次の5項目のもので代表されている。⁽⁶⁾

- ①木造(1~2階)
- ②ブロック造(1~2階)
- ③鉄筋コンクリート造(5, 6階以下)
- ④鉄骨鉄筋コンクリート造(20階以下)
- ⑤鉄骨造(20階以上の高層ビル)⁽⁹⁾

以上5種類の建築構造は、必要とされる建物の規模

注(8) この点に関しては、建築学大系[10]を参照した。

(9) ①木造——架橋式構造で、力学的に比較的規模の小さい建築物に適する。2階以下であれば、ある程度耐風・耐震性のある物を作ることは可能である。ただ、耐火性・耐久性に欠ける。

②ブロック造——組積式構造で、壁厚が厚く、開口部は大きくとりにくい。耐震性は小さいが、コンクリート、鉄筋等で補強したものが多い。防音性があり、連続住宅によく用いられる。やはり、小規模の建築物に適する。

③鉄筋コンクリート造——コンクリートは、圧縮には強いが、引張りには弱いので、これを鉄筋で補強した一体式構造である。これは、線構造形式(ラーメン式)と面構造形式(壁式等)に分けられる。住宅の場合、部屋の大きさの関

や投入物の相対価格が与えられることにより選択される。本稿では、鉄筋コンクリート造と鉄骨鉄筋コンクリート造の選択の問題を扱うことにする。

五 分析と結果

この節での問題設定を明確にするために、前節で得られた fact-findings を簡単に要約しておく。まず、戦後一貫して、木造住宅から非木造住宅への材料系統の異なる商品間代替が起こっており、この傾向は、共同住宅において特に顕著である。建て方別の木造から非木造へのシフトのパターンの地域差は見られないが、ただ一戸建て比率（共同住宅比率）は、地価の高い所ほど低い（高い）。建築生産の主要インプットのうち特に上昇したものは、賃金と地価である。建築上物のみの木造・非木造の相対費用に関していえば、観察期間中、上昇しているとはいえ、それ程の大きさではない。これらの観察事実から、特に地価と建て方、従って構造決定の間に何らかの因果関係があることが推察できる。この節での分析は、この関係を特に鉄筋コンクリート造と鉄骨鉄筋コンクリート造について明らかにすることを目的とする。ただし、需要側の要因と相対価格は、外生的に処理している。

(1) 生産関数

住宅の生産とは、工学的観点からすれば、特定の物理的特性を持った材料（木材・鉄骨等）を、エネルギー投入（労働も含む）によって居住空間をもたらすように

変形することである。その際、先述したような安全性や生理学要求を満たすように設計する必要がある。⁽¹⁰⁾

生産関数を定式化するにあたって、生産関数と関連の深い構造力学的概念をまず検討する。安全面からすると、建物の安定性を保つための力のバランスを考慮することが、非常に重要になるが、荷重と外力に耐えようようにするための構造計算が、その中心である。荷重は、①自重（建物自体の重量）、②積載荷重（建物の床や屋根にかかる物や人の重量）、③積雪荷重（床や屋根にかかる雪の重量）等があり、外力は、①風圧力②地震力等が主なものである。これらの力に耐えようように、建物の形や規模、地盤の状態等によって、建て方・建築構造・材料選択等が決定される。建築工学的には、特定構造（例えば、ラーメン構造）や特定材料（例えば、鉄筋コンクリート梁）等、個々のケースについての構造計算はよくなされ、工学的関係式もかなり明らかになっている。しかしながら、建物全体のこうした工学的関係式を厳密さを犠牲にせず簡潔な形で把握することは、現状では不可能に近い。そこで、次に示すような単純化された関係式をもって、工学的生産関数の統計的近似式とする。

建築物に、荷重や外力がかかると、建築物を構成する各部材には、引張力とか圧縮力等の力がかかる。建築物の各部分の設計上重要な工学的変数（例えば梁のたわみ角）は、多かれ少なかれ、このような力の関数となっている。従って、建築のアウトプットである空間量は、荷重や外力に耐えよう力の関数である。すなわち

係で、間仕切壁が多く、壁量が多くなることから、後者の形式がとられることが多い。耐久性・耐火性はあるが、自重が大きい。

◎鉄骨鉄筋コンクリート造——鉄骨のまわりに、鉄筋とコンクリートをめぐらして一体とした構造である。普通、架構を構成する柱・はりに鉄骨が入られる。鉄骨だけでは、圧縮部材の座屈があるが、鉄筋コンクリートで補強してあるので、強度も耐力も強い。耐火性・耐久性に優れるが、自重はやはり大きい。

◎鉄骨造——鉄骨は、強度が高いため高層建築でも他材料に比べ自重は小さい。ただ鉄骨の圧縮材は座屈しやすいため、構造力学上、この点留意しなければならない。鉄骨材は、ねばりがあるが、高熱に当たると耐力を失い、空気に触れると酸化するので、耐火被覆、耐錆塗料等をほどこす必要がある。

注(10) 建築物が作られる場合、最初に建築工学者によって、構造計画が練られるのが普通である。建物自体については、建物内部の力の流れのバランスの計算をしたり、最適な構造材料の選択等を行なう。また、本来都市計画に基づき、外部環境との調和を考えねばならないが、現時点では、この点に十分な配慮がなされているとはいえない。この分析でも、建物自体の問題にその範囲を限定している。構造計画では、平面計画・立面計画・地盤や基礎等が、建築構造力学の立場から検討される。特に、一定規模以上の建物についての安全面でのチェックは、建築基準法によって義務づけられている。

(11) ここでの生産関数の考え方は、主として、工学的生産関数のそれによっている（例えば、Chenery [4] 小尾 [1] 参照）。

この考え方による一つの事例として、建築物の設計に影響を与える外力のうち、地震力のケースを扱ってみよう（通常、建築設計上用いられる震度概念を使う。例えば佐野 [7] 参照。（次頁へ続く。）

$$q=q(f) \quad (5-1)$$

q :有効居住空間量

f :荷重や外力に耐えうる力

周知のように、力は質量に比例するから、

$$f=f(m) \quad m:質量 \quad (5-2)$$

更に、質量は、水平面と垂直面の密度を所与として、

$$m=\bar{\rho}s=m(\bar{\rho}_1h, \bar{\rho}_2v)=m'(h, v') \quad (5-3)$$

s :体積

$\bar{\rho}$:密度(定数)

$\bar{\rho}_1$:水平面の密度(定数)

$\bar{\rho}_2$:垂直面の密度(定数)

h :水平面の面積

v :垂直面の面積, v' :垂直面の長さ

ここで注意を要するのは、 h, v' によって、建築物の産出及び投入特性をある程度代表させうる点である。結局、生産関数は、

$$q=q'(h, v') \quad (5-4)$$

となる。

ここでの理論変数 q, h, v' に対応する観察変数には、延床面積 Q , 建築面積 H , 階数(地上+地下) V をとることにして、次式のように特定化される。

$$Q=\alpha H^\beta V^\gamma \quad \alpha, \beta, \gamma \text{はパラメーター} \quad (5-5)$$

〔第2表〕 生産関数の計測結果

$$Q=\alpha H^\beta V^\gamma$$

パラメーター	α	β	γ	R^2
建築構造				
鉄筋 コンクリート造	1.3463 (1.677)	0.9282 (32.947)	1.0159 (21.875)	0.9389
鉄骨鉄筋 コンクリート造	1.7980 (1.981)	0.8475 (24.083)	1.0873 (10.583)	0.9242

()内は、t-value である。

自由度は、鉄筋コンクリート造119, 鉄骨鉄筋コンクリート造65。

使用した資料については、注(13)の説明を参照せよ。

(5-5)式による計測結果は、第2表に示されている。この計測結果によると、まず両建築構造とも、 $\beta < \gamma$ で

いま、単純化のために、建築物を剛体に近似する。剛体の重量(W)は、

$$W=mg \quad (5-1') \quad m:質量, g:重力定数$$

この剛体を乗せている地盤が、加速度 l で動くと、この剛体にかかる慣性力(f_e)は、

$$f_e=ml=\frac{l}{g}W=l'W \quad (5-2')$$

ここで、 l' を震度といい、実際の設計上では、基準震度、構造、地盤状態、地域特性等を勘案して決められる。建築設計上、この地震力によってかかる建築物への転倒モーメントや構造部材への曲げ応力等を考慮することが必要になるのである。

あり、また鉄骨鉄筋コンクリート造の γ の方が、鉄筋コンクリート造の γ より大きいことは、前者がより高層向きであることを表わしていると理解される。

(2) 費用方程式

建築物のコスト計算に関する考え方は種々あるが、代表的なものは、建築工事科目別に工事費を表記する方法と、建築物を各部分(部位)に分けて、その各々について工事費を表記する方法である。前者は、工種(職種)別分類を基準として、工程別にほぼ順番に配列されている。この方法は、特に工事の施工の利便を計って作成されたものである。また、工事科目が決まると、その工事に使われる材料の種類も、ほぼ定まると考えてよい。現在なされているコスト計算の大部分がこの方法によっている。今回の分析にも、この分類法による工事費実績データを使用した。後者の分類法は、建築物を構成する部位(床・壁・天井等)ごとの合成単価と数量を計算したものを積み上げていくものである。この考え方は、建築設計の際のコスト計算をする場合には便利であろうと思われるので、我々の分析に役立つように以下定式化してみる。

まず、建築物の部分別に工事を分けると、①仮設、②基礎、③骨組、④壁、⑤床、⑥屋根、⑦天井、⑧設備の各工事が、主なものであり、更に建築物各構造部分ごとの仕上工事がある。各部分は、それぞれ一定の機能を持っているが、材料は特定化されていない。ここでは、建築物全体についての費用方程式を求めたいので、各部分については、かなり簡略化して考えることにしたい。

まず記号を設定しておく。

Q :延床面積, x :建築物内の一住戸の横辺の長さ,

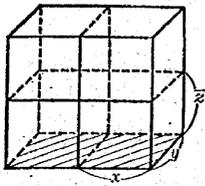
y :建築物内の一住戸の縦辺の長さ, z :階高,

H :建築面積, V :階数, n :一フロアに組み

入れられる戸数,

δ :辺長比($\delta = n \frac{x}{y}$), N :建築物内の総戸数

〔第5図〕建築物の概略図



zは階高を，斜線部分は建築面積Hを示す。

この考え方の要点は，居住空間を作っている仕切りの各々の体積—近似的に面積—と，その単価を求めてコストを計算するということである。いま，建築物の形は，直方体として，各フロア—に住戸は，一列になっ

ているとする。

①仮設 (T) 近似的に建築物の重量に比例すると仮定する。

$$T = t g \rho n x y z V = t g \rho z H V \quad (t, g, \rho: \text{定数}) \quad (5.6)$$

②基礎 B 仮設と同じ。

$$B = b g \rho n x y z V = b g \rho z H V \quad (b: \text{定数}) \quad (5.7)$$

③骨組 (S) 仮設と同じ。

$$S = s g n x y z V = s g z H V \quad (s: \text{定数}) \quad (5.8)$$

④壁 壁を構成する部分の面積を求める。

外壁 (W_o)

$$W_o = 2w_o y z (1 + \delta) = 2w_o \sqrt{\frac{H}{\delta}} z V (1 + \delta) \quad (w_o: \text{定数}) \quad (5.9)$$

内壁 (W_i)

$$W_i = w_i (n-1) y z V = w_i (n-1) \sqrt{\frac{H}{\delta}} z V \quad (w_i: \text{定数}) \quad (5.10)$$

⑤床 (F)

$$F = f \delta y^2 V = f H V \quad (f: \text{定数}) \quad (5.11)$$

⑥屋根 (R)

$$R = r \delta y^2 = r H \quad (r: \text{定数}) \quad (5.12)$$

⑦天井 (I)

$$I = i \delta y^2 = i H \quad (i: \text{定数}) \quad (5.13)$$

⑧設備 (E) 建築物の体積に比例すると仮定。

$$E = e n x y z V = e z H V \quad (e: \text{定数}) \quad (5.14)$$

上記の①～⑧のコストの和が，建築上物の総コストとなる。更に敷地は，

敷地 (A) —法律で規制される最小敷地面積

$$A = k n x y = k H \quad (k: \text{定数}) \quad (5.15)$$

総コスト (C) は，従って，

$$C = P_T t g \rho z H z + P_B b g \rho z H V + P_S s g \rho z H V + P_W o$$

$$2w_o \sqrt{\frac{H}{\delta}} z V (1 + \delta) + P_W i w_i (n-1) \sqrt{\frac{H}{\delta}} z V +$$

$$P_F f H V + P_R r H + P_I i H + P_E e z H V + P_A k H \quad (5.16)$$

(P は，各部位の合成単価)

かくして，(5-5) 式を制約にして，(5.16) 式を最小化すれば，費用最小化図式ができ上がる。しかし，現時点では，各部位ごとの合成単価及び面積を計算するためのデータは，利用可能でない。しかし，前述したように，工事科目別実績データは存在するので，これを使用することによって，コスト計算を可能ならしめるように，実験計画として次の計測図式が再構築された。

(3) 計測のための図式

単純化された工学的生産関数は，(5.5) 式のままであるが，費用方程式は，部位別でなく，材料・労務別 (工事科目別) に書きなおされる。すなわち，総コスト (C) は，

$$C = \sum_{i=1}^n P_i x_i + P_A k H \quad (5.17)$$

P_i : 各材料・労務 (工事科目) 単価, P_A : 地価, H : 建築面積, x_i : 各材料・労務数量, k : 定数 (建ぺい率の逆数)

このままでは，費用最小化図式にのらないので，経済学的変数と工学的変数の関係を表わす投入関数を導入する。すなわち，

$$x_i = x_i (h, v') \quad (5.18)$$

h : 水平面の面積, v' : 垂直面の高さ

(5.18) 式の一つの特定化としては，次の線型式が考えられる。なお計測結果は，第3表に示されている。

$$x_i = a_i + b_i H + c_i V \quad (5.19)$$

費用方程式は，従って

$$C = \sum_{i=1}^n P_i (a_i + b_i H + c_i V) + P_A k H \quad (5.20)$$

(5.5) 式を制約にして，(5.20) 式を最小化する。

$$L = C - \lambda (\alpha H^\beta V^\gamma - Q) \quad (5.21)$$

$$\frac{\partial L}{\partial H} = \sum_{i=1}^n P_i b_i + P_A k - \lambda \beta \frac{Q}{H} = 0 \quad (5.22)$$

$$\frac{\partial L}{\partial V} = \sum_{i=1}^n P_i c_i - \lambda \gamma \frac{Q}{V} = 0 \quad (5.23)$$

(5.5), (5.22), (5.23) より，建築面積と階数の需要関数が求められる。

注(12) 建設機械等の資本財の使用コストは，仮設費・基礎工事費の中に，機械器具費・運搬費等の名目で算入される。

$$H = \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\beta+\gamma}} \left(\frac{\beta}{\gamma} \frac{\sum P_i c_i}{\sum P_i b_i + P_A k}\right)^{\frac{\gamma}{\beta+\gamma}} Q^{\frac{1}{\beta+\gamma}} \quad (5.23)$$

$$V = \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{\gamma}{\beta+\gamma}} \left(\frac{\gamma}{\beta} \frac{\sum P_i b_i + P_A k}{\sum P_i c_i}\right)^{\frac{\beta}{\beta+\gamma}} Q^{\frac{1}{\beta+\gamma}} \quad (5.24)$$

〔第3表〕投入関数

パラメーター	A	B	C	R ²
建築構造				
鉄筋 コンクリート造	-128625.0 (6.135)	332.653 (18.507)	31530.4 (8.580)	0.7985
鉄骨鉄筋 コンクリート造	-246426.0 (2.771)	303.834 (7.977)	47444.3 (5.672)	0.6237

() 内は、t-value。R²は、自由度調整済決定係数。

純工事費(単位:千円)

$$X = \sum P_i x_i$$

$$= \sum P_i a_i + \sum P_i b_i H + \sum P_i c_i V$$

$$= A + BH + CV$$

〔説明〕本来、投入関数は、物量で計測されねばならないが、全投入物について利用可能なデータが存在するわけではない。今回は、クロス・セクションデータを使用したこともあって、one dollars' worth の考え方に基づいて各工事別工事費(P_ix_i)を基礎に投入関数を計測した。但し、主要投入物については、注(13)において、物理的単位に基づく投入関数の計測結果を示しておいた。

注(13) 以下に、労働投入およびコンクリート、型わく、鉄筋について、物理的単位による投入関数の計測結果を示しておく。

(1)現場作業員数(人×日)雇用形態を問わない。

$$L = a_1 + b_1 H + c_1 V$$

パラメーター	a ₁	b ₁	c ₁	R ²
建築構造				
鉄筋 コンクリート造	-4614.14 (5.95)	9.58 (12.75)	1142.99 (8.34)	0.7246
鉄骨鉄筋 コンクリート造	-6172.73 (3.07)	9.61 (11.17)	1251.90 (6.58)	0.7357

() 内は、t-value。R²は、自由度調整済決定係数。

(3) 型わく(m²)

$$M = a_2 + b_2 H + c_2 V$$

パラメーター	a ₂	b ₂	c ₂	R ²
建築構造				
鉄筋 コンクリート造	-8137.05 (8.85)	17.56 (22.66)	1867.22 (11.57)	0.8626
鉄骨鉄筋 コンクリート造	-19689.7 (4.10)	21.73 (10.37)	2819.29 (6.20)	0.7085

〔説明〕以上の計測結果から、説明変数H、Vが、建築物の主要投入物に対し、有意に影響していることが判明する。

先の生産関数及び投入関数計測のために用いたデータは、産業連関表の基礎資料の一部となる建設工業経営研究会「昭和49年建築工事原価分析情報」の個表である。なお、このデータの利用及び計算について、東京都立大学工学部島田良一助教授に御協力頂いた。記して、感謝致します。

(14) 建設地における地盤の状態やその他の自然条件、あるいは日照権問題の有無などにより階数制約が決まる。

これらの式から分るように、建築物の規模・材料・労務の相対価格が一定の場合、地価(P_A)の高低により、建築物の垂直面、水平面への需要が異なる。土地の相対価格が上昇していく過程では、垂直面の需要が相対的に高まり、建築物は高層化される。この結果、土地生産性の低い一戸建から共同住宅へ、また建築構造上でも、より高層化が可能な構造へシフトしていくのである。計測結果は、各構造とも、建築物の規模の経済性が働いていることを示している。

(5.20), (5.24), (5.25) より、費用関数は、

$$C = \sum_{i=1}^n P_i a_i + \left\{ \left(\frac{\beta}{\gamma}\right)^{\frac{\gamma}{\beta+\gamma}} + \left(\frac{\gamma}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\beta+\gamma}} \right\} \left(\sum_{i=1}^n P_i c_i + P_A k \right)$$

$$\left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\beta+\gamma}} \left(\frac{\beta}{\gamma}\right)^{\frac{\gamma}{\beta+\gamma}} Q^{\frac{1}{\beta+\gamma}} \quad (5.26)$$

この式に、第2表及び第3表の計測結果を代入し、地価(P_A)、建ぺい率の逆数(k)及び延床面積(Q)を適当に与えることによって、平均費用を求めることが可能である。第6-1図は、最高階数制約を付けない場合の構造別平均費用曲線が描かれている。この場合、鉄筋コンクリート造(RC)の方が、鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC)よりも、規模の経済性の程度が大きい。地価以外の投入物価格一定のもとで、階数制約を付けることにより、①RCの制約される階数

(2)コンクリート(m³)

$$C_r = a_3 + b_3 H + c_3 V$$

パラメーター	a ₃	b ₃	c ₃	R ²
建築構造				
鉄筋 コンクリート造	-1282.60 (5.88)	2.47 (13.45)	277.27 (7.25)	0.6931
鉄骨鉄筋 コンクリート造	-3543.29 (4.98)	3.07 (9.93)	468.54 (6.97)	0.7071

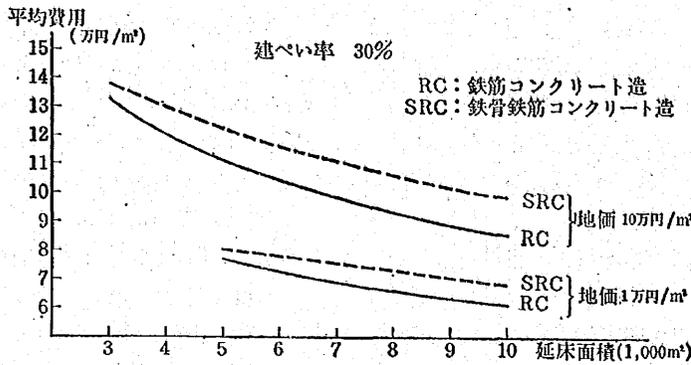
(4) 鉄筋(t)

$$R = a_4 + b_4 H + c_4 V$$

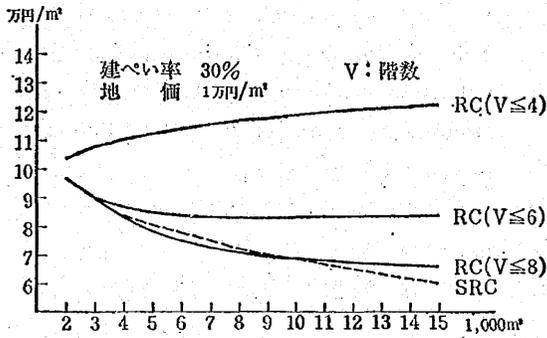
パラメーター	a ₄	b ₄	c ₄	R ²
建築構造				
鉄筋 コンクリート造	-155.07 (10.10)	0.28 (21.59)	35.05 (13.08)	0.8631
鉄骨鉄筋 コンクリート造	-371.92 (4.33)	0.33 (8.88)	51.19 (6.32)	0.6603

レオンティエフ体系における構造変化の分析

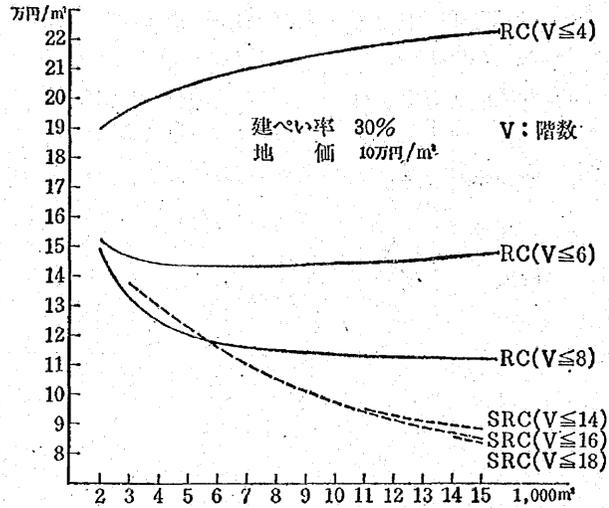
〔第6-1図〕 建築構造選択と地価の関係 (階数無制約)



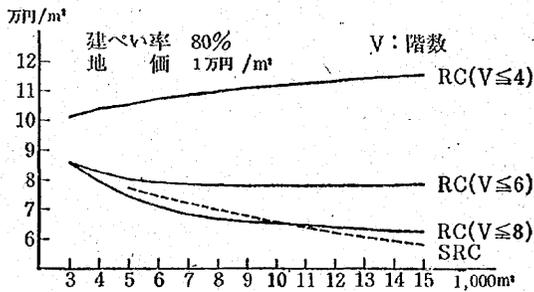
〔第6-2図〕 鉄筋コンクリート造 (RC) 鉄骨鉄筋コンクリート造 (SRC) の平均費用曲線



〔第6-3図〕 構造別平均費用曲線



〔第6-4図〕 構造別平均費用曲線



が、少なければ少ない程、②建ぺい率が小さければ小さい程、また③地価が高ければ高い程、RCとSRCの平均費用の逆転が、より小規模な延床面積の段階で起こることを知ることができる(第6-2, 6-3, 6-4図参照)。

六 結論と要約

経済が発展していく過程では、単に各商品ごとの生産性の上昇だけでなく、同一機能を持ち、かつ異なる

技術・材料系統に属する商品間の代替がきわめて重要である。これらの代替は、また構造変化の主要な説明因子となる。ここでは、住宅部門について、その代替現象がいかなる要因で起こるかを分析した。

住宅部門では、戦後、特に共同住宅において、木造から非木造へのソフト、更には、非木造の中でも鉄筋コンクリート造から鉄骨鉄筋コンクリート造へのソフトがみられる。また地価の高い所での共同住宅比率が高くなる傾向もある。居住空間を形成する幾何学的側面に着目して、これらの工学的関係を調べた結果、相

対価格の変化により、居住空間を構成する水平面と垂直面との間に代替関係が生ずることがわかった。特に、土地の相対価格が上がれば、垂直面への需要が高まる。また、建築上物のみの計測結果から、各建築構造とも、規模の経済性が働くことも判明した。これらことから建築物の高層化、共同住宅化が促進される。その結果、高層化が可能な建築構造へのシフトが起こるわけである。

住宅部門の構造変化は、建築規模、相対価格、そして技術的特性(特に水平面、垂直面で代表される)によって、そのかなりの部分が説明可能である。そして、この分析で明らかにされた建築物の特性は、同時にあらゆる産業に投入されている資本の建築部分の特性でもあることを付記しておきたい。

参 考 文 献

- [1] 小尾恵一郎「生産構造の計測と与件—生産関数計測における工学的資料の援用について」三田学会雑誌第49巻5月号, p. 37~p. 55.
- [2] 尾崎巖「規模の経済性とレオンティエフ投入係数の変化」慶應義塾大学産業研究所シリーズ195, 1966-67.
- [3] 尾崎巖・石田孝造「経済の基本的構造の決定(一)—投入・産出分析の手法による—」慶應義塾大学産業研究所シリーズNo. 277.
- [4] Hollis B. Chenery, "Process and Production Functions from Engineering Data" in W. Leontief and others, *Studies in the Structure of the American Economy*, Oxford University Press, New York, 1953.
- [5] H. B. Chenery and P. G. Clark, *Interindustry Economics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1959.
- [6] W. Leontief, *The Structure of the American Economy, 1919-1939*, Oxford University Press, New York, second edition, 1951.
- [7] W. Leontief, "Structural Change" in *Studies in the Structure of the American Economy*, 1953.
- [8] Ozaki, I. "Economies of Scale and Input-Output Coefficients" in *Input-Output Techniques Vol. 2, Applications of Input-Output Analysis*. Edited by A. P. Carter & A. Brody Amsterdam, North Holland Publishing Company, 1970.
- [9] 佐野利器, 高等建築学第26巻「家屋耐震耐風構造」, 常盤書房.
- [10] 建築学大系編集委員会編, 建築学大系各巻, 彰国社版.

(慶應義塾大学経済学研究科研究生)