

(報告論文)  
**生産性パラドックスへの一つの解釈**

Static and Dynamic Unit TFP の提案

黒田昌裕  
 野村浩二

キーワード：コンセプチュアライゼーション、生産性パラドックス、  
 Dynamic Inverse 理論、全要素生産性（TFP） 静学的ユニット・  
 TFP、動学的ユニット・TFP、ユニット・ストラクチャー、

1. はじめに

近年のOECD統計によれば、先進各国のマクロレベルでの生産性成長率は、1970年代の後半以来下降傾向が見られている。特に近年の経済の回復期における実質投資の伸びと生産性上昇の伸び悩みとの間には、ある種パラドキシカルといえるような逆行的傾向すら指摘できるのである。直感的には、OECD各国における最近の情報、通信技術の革新的進歩に支えられた旺盛な実質投資にもかかわらず、それが期待されるような生産性上昇に結びついていないという形で表現することもできる。一方で米国経済に見られるように、生産性の伸びがなく、失業率統計は従来水準をかなり下回るほどの経済の過熱状態を示しているにもかかわらず、物価水準は安定しておりインフレの危険を示していないという、パラドキシカルな観察事実も指摘できる。米国連邦準備制度理事会グリーンズパン議長が提起した生産性の測定に関する、いわゆる“Conceptualization Problem”といわれる課題は、こうした実際の経済の動きに関連した素朴な疑問に端を発しているように思える（Greenspan [1995] [1996]）。しかしながら、この問題提起は生産性の測定に関わる統計上の問題というのみならず、近年の情報通信に代表される技術の特性とそれが経済に与える影響とに大きく関わる重要な課題を含んでいるように思える。別の表現をすれば、ここでの“Conceptualization Problem”とは、新しい技術の経済に与える影響を明示的に捉えることによって、それが従来技術と異なった経済構造に変位をもたらしているとすれば、それを概念規定するという点に課題があるといえることができる。この

本稿は、1997年7月22日に開催されたワークショップ「コンセプチュアライゼーションを巡って」への報告論文をもとに若干の修正を加えたものである。

黒田 昌裕 慶應義塾大学教授  
 野村 浩二 慶應義塾大学助手

課題への接近は幾つかの段階に分けて考えることができるかもしれない。第一に全要素生産性 ( Total Factor Productivity : TFP ) の測定に関わる問題から整理しておくべきであろう。しばしば指摘されるように、全要素生産性の成長率の測定は通常産出および投入量の伸び率の差または産出および投入物の価格の変化率の差で定義される、いわゆる観察の残差としてなされることから、必然的に測定誤差 ( Measurement Error ) を含んだものとならざるを得ない。産出・投入の測定誤差に関わる問題として、最も重要なものの一つは、その質的变化の捕捉の問題であろう。ヘドニック・アプローチに代表される投入産出の数量および価格指数の策定に際しての質変化の評価は、生産性の測定に質変化の捕捉がいかに影響を与えるかを明確に示しているものといえる。

もう一つの測定誤差の可能性は、集計上のバイアス ( Aggregation Bias ) からくるものである。産業レベルもしくはマクロレベルでの生産性の測定は、当然のことながら種々の異質的な産出・投入を集計した指数の変化率から導き出されることになる。各種の産出・投入要素それぞれの生産への寄与度が異なっていることから、産出・投入の集計指数はその差異を反映したものでなければならない。単純な和集計はその差異を無視したことによって当然集計のバイアスを伴うことになり、それがTFPの成長率の測定にも影響を及ぼすことになる。我々は、すでにKuroda and Shimpo [ 1992 ] でその問題を捉えている。そこでその結果によれば、集計レベルでの生産性の測定に際しては、産出・投入指数の算定に際しての集計バイアスの問題は無視できないほど大きく、前ページで指摘した個別の産出・投入指数の質的变化を考慮しても、市場構造を通じた各種の産出・投入の構成要素の変化を集計に際して考慮することが重要であるとの帰結を得ている。

生産性の測定に際してのこれらの測定誤差の問題は重要である。初めに述べたいいわゆる生産性パラドックスの問題も、最近の技術革新がもたらした産出・投入両面における質的变化や市場での産出・投入の構成ウエイトの変化を考慮することによってTFP成長率の測定をより精緻にし、その下方バイアスを修正できるとすれば、パラドシカルな疑問に一つの解釈を与えることになるからである。しかし、ここではその課題については他の分析に譲るとして、近年の技術が経済の構造変化に与える影響、そしてその技術の持つ特性を把握するという“ Conceptualization Problem ” のもう一つの基本的課題に接近してみようと思う。

特に、TFP成長の波及効果 ( Spillover Effect ) の観点から、それが日本経済の構造変化に与えた影響を捉えることに焦点を当てたいと考えている。この論文での分析枠組みは、基本的には、投入・産出分析の動学的逆行列アプローチ ( Dynamic Inverse Approach ) に礎を置いている。Dynamic Inverseのアプローチでは、経済の構造変化を中間投入係数、雇用係数の変化、そして資本係数の変化という構造パラメーターの変位によって定義している。ここでは、特に資本係数の変化に関して、時系列的に固定資本ストック・マトリックスを推計することによって、近年の革新的技術のもたらした資本係数の変化が経済の構造にいかなる影響を及ぼしたかに注目

し、その技術特性を捉えようと考えている。次節でまず、1955-92年について、産業43部門分類名目および不変価格表示（1985年価格）での資本投入量を日本経済について測定することから始める。

フローおよびストックで把握された固定資本マトリックスの資料から、産業部門別に資本係数の時系列変化と、資本の内訳としての資本財構成の変化を観測することができる。それらの変化は技術の変化を体化していると考えられることから、一つの技術の特性およびその時系列的な変化を抽出することが可能である。第3節では、そこで求められた観測事実の整理を行う。第4節では、Dynamic Inverse理論に基づく構造変化の評価の分析枠組みを提示する。そこで産業の生産効率を把握する分析尺度として、従来の全要素生産性の測定 of 拡張としての静学的小および動学的ユニット全要素生産性（Static and Dynamic Unit Total Factor Productivity）と呼ぶ2つの概念を提案する。第5節で、この概念を用いて近年の情報通信に代表される技術革新が持つ経済への構造的意味について考察し、生産性パラドックスといわれる当初の疑問に関する一つの答えを示したいと考えている。

## 2. 資本投入量の測定と資本ストック

ここでは、すべての技術の新しい開発は本来、新規の資本投資に体化され、そしてそれによって生じる資本ストックの構成変化に伴って、他の生産要素との代替を発生させたり、全要素生産性に変化をもたらしたりすることを前提にしている。その前提の基で、次節以降に展開する資本形成の構造的変化が生産性に及ぼす効果を分析するために、まず固定資本形成マトリックスおよび固定資本ストック・マトリックスを時系列推計することから始めなければならない<sup>1</sup>。

まず、償却資産のストックの推計に際しては、恒久棚卸法（Perpetual Inventory Method）を用いている。ここで  $I_m^j$  を第  $j$  産業における第  $m$  資産についてなされた粗資本投資、 $\mu_m^j$  を第  $j$  産業で用いられた第  $m$  資産の償却率（ただし、 $0 < \mu_m^j < 1$ ）とすると資本ストックとフローに関して次の関係が仮定できる。

$$\begin{aligned} K_m^j(T) &= I_m^j(T) + (1 - \mu_m^j) K_m^j(T-1) \\ &= \sum_{S=1}^T (1 - \mu_m^j)^{T-S} I_m^j(S) \\ &\quad + (1 - \mu_m^j) K_m^j(0) \quad (m=1, \dots, M; j=1, \dots, J) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $K_m^j(0)$  は第  $j$  産業第  $m$  資産の基準時(0)の不変価格の資産ストック額を表すものとする。資本ストックの時系列推計のために(1)の第2式を用いることになるが、この定式化における重要な仮定は、資産の償却率が時点間で一定

1 詳細については、黒田・新保・野村・小林 [1997] 第3節参照のこと。

であり、産業と資産形態が特定されれば、過去の純投資の時間経路とは独立であるとしている点である。この仮定の妥当性については、Jorgenson [ 1974 ] において議論された、Renewal Theoryの帰結に基づいている。一方で、米国では一連の Hulten and Wykoff [ 1981a ][ 1981b ]、Hulten [ 1990 ] による計測によって、また我が国においては我々の中古車市場および住宅賃貸市場での計測によって、償却パターンの近似としての有効性が確認されている。

その帰結を先取りすれば、償却率推計の方法としてあらかじめ近似的に償却パターンに幾何分布を仮定した上でそれを推計することもできる。特に幾何分布の特殊型として、Double Decliningバランスを仮定した場合には、償却率は、資産の平均耐用年数を  $N_m^j$  としたとき、 $\mu_m^j = [ \frac{2}{N_m^j} ]$  で近似されることになる。

ここでは、上記の ( 1 ) 式の定式化に基づき、償却率を推計することとする。( 1 ) は、次のように  $T$  次の実数多項式  $P(x)$  に書き換えることができる。

$$P(x) = \sum_{S=0}^T a_S x^S = 0 \quad (2)$$

ここで、

$$x = 1 - \mu_m^j$$

$$a_0 = I_m^j(T) - K_m^j(T),$$

$$a_S = I_m^j(T-S), \quad (0 < S < T)$$

および

$$a_T = K_m^j(0)$$

ここでは簡単化のために産業、資産は明示していないけれども、先の定式をこのような多項式と考えれば、この多項式の解  $x$  から、 $1 - x$  として、償却率  $\mu_m^j$  を求めることができる。多項式のパラメーター  $\{ a_S \}$  は、ベンチマークとしての初期時点 ( 0 ) と最終時点 (  $T$  ) の資産ストック  $K_m^j(0)$  および  $K_m^j(T)$  とフローの投資系列  $I_m^j(T)$  を与えることによって確定することができる。資産ストックに初期時点と最終時点の 2 時点をベンチマークとしていることから、この方式をダブルベンチマーク ( Double Benchmark ) 方式と呼んでいる。

## 2.1 資本ストック系列の推計

我々の資本ストックの推計は、民間企業、公的企業および産業に格付けされない社会資本ストックの3つに分割されている。民間、公的企業の産業区分は表1に示した43産業部門に格付けされており、また社会資本は表2に示すように、中分類13資産、細分類52資産に分割推計している。

表1 産業分類

部門番号	産業名	部門番号	産業名
1	農林水産業	23	自動車製造業
2	石炭鉱業	24	その他輸送機械製造業
3	その他鉱業	25	精密機械製造業
4	建設業	26	その他製造業
5	食料品製造業	27	鉄道輸送業
6	繊維工業	28	道路輸送業
7	衣服製造業	29	水運業
8	木材木製品製造業	30	航空輸送業
9	家具備品製造業	31	倉庫サービス業
10	紙・パルプ製造業	32	通信業
11	出版印刷業	33	電力業
12	化学工業	34	ガス業
13	石油製品製造業	35	水道
14	石炭製品製造業	36	卸・小売業
15	ゴム製品製造業	37	金融・保険業
16	皮革製品製造業	38	不動産業
17	窯業土石製造業	39	教育
18	鉄鋼業	40	研究
19	非鉄金属製造業	41	医療・保健・社会保障
20	金属製品製造業	42	その他サービス
21	一般機械製造業	43	公務
22	電気機械製造業		

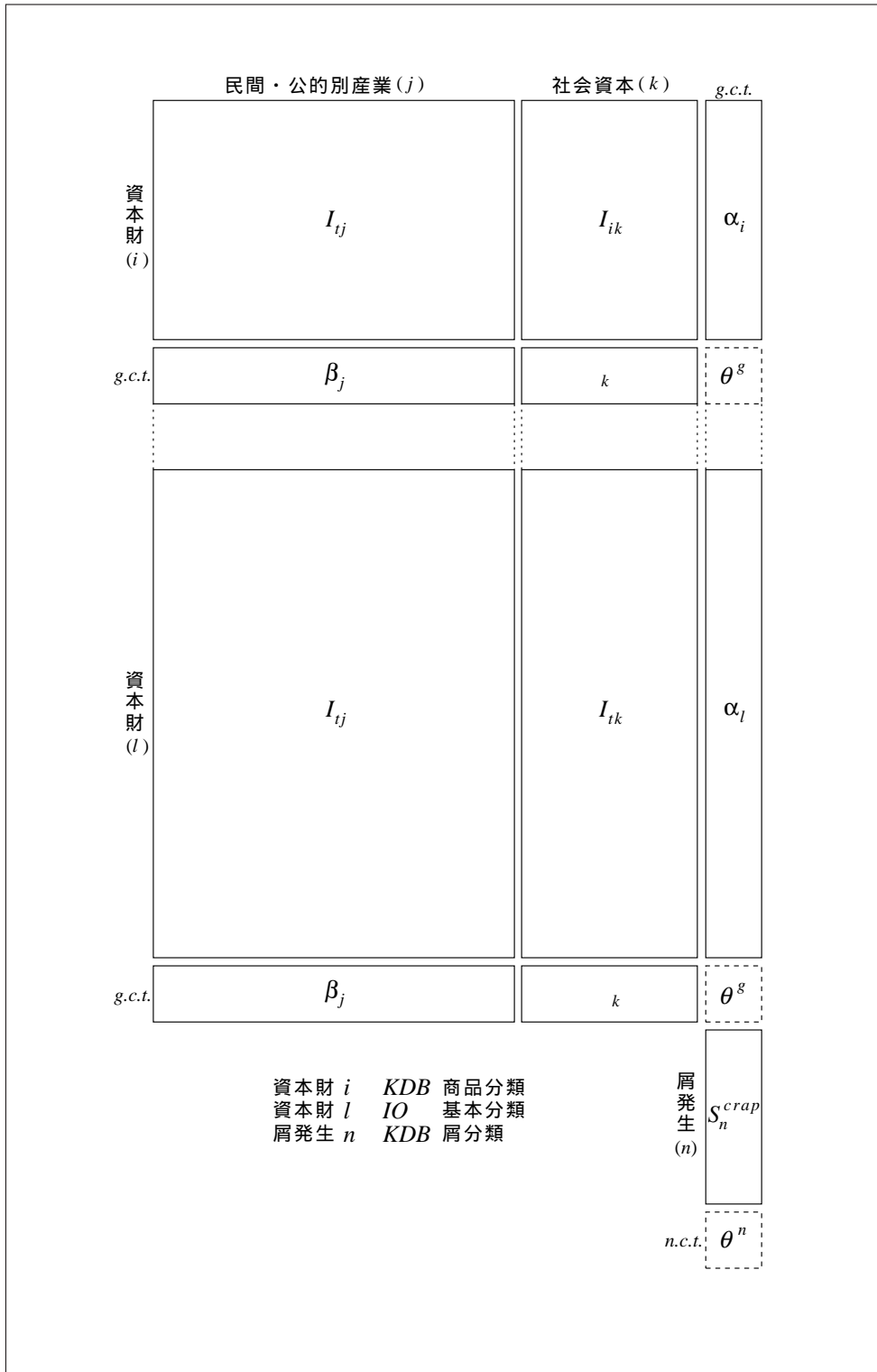
表2 社会資本部門分類

部門番号	部門	部門番号	部門
440.	住宅	522.	緑地保全
450.	鉄道軌道	523.	下水道
460.	有料道路	524.	下水道終末処理施設
461.	高速道路	530.	国土保全
462.	有料道路(国道・地方道)	531.	治山
470.	道路	532.	河川
471.	道路(国道)	533.	砂防・地滑り対策
472.	道路(主要地方道)	534.	海岸
473.	道路(都道府県道)	540.	土地造成
474.	道路(市町村道)	550.	災害復旧
475.	その他道路	5501.	有料道路
480.	街路	5502.	道路(国道)
481.	街路(国道)	5503.	道路(主要地方道)
482.	街路(主要地方道)	5504.	道路(都道府県道)
483.	街路(都道府県道)	5505.	道路(市町村道)
484.	街路(市町村道)	5506.	街路
490.	橋梁	5507.	橋梁(国道)
491.	橋梁(道路:国道)	5508.	橋梁(主要地方道)
492.	橋梁(道路:主要地方道)	5509.	橋梁(都道府県道)
493.	橋梁(道路:都道府県道)	5510.	橋梁(市町村道)
494.	橋梁(道路:市町村道)	5511.	港湾
495.	橋梁(道路:その他道路)	5512.	公園
496.	橋梁(街路:国道)	5513.	下水道
497.	橋梁(街路:主要地方道)	5514.	下水道終末処理施設
498.	橋梁(街路:都道府県道)	5515.	治山施設
499.	橋梁(街路:市町村道)	5516.	河川
500.	港湾	5517.	砂防・地滑り対策
510.	空港	5518.	海岸
520.	環境衛生	560.	鉱害復旧
521.	公園		

民間および公的企業の資産は、78分類の資本財項目に対応する。78の資本財分類は産業連関表基本表の商品分類に対応しており、図1に示す形の固定資本マトリックスが時系列で推計されることになる。図1の下段のマトリックス、 $I_{ij}$ は民間、公的企業の固定資本形成マトリックスに対応しており、行78資本財分類、列43産業分類となっている。

下段の表示のもう一つの部分 $I_{ik}$ は、社会資本のマトリックスに対応しており、社会資本は産業に格付けすることなく、上記の細分類52資産について表示されることになる。一方、図の上段のマトリックス $I_{ij}$ および $I_{ik}$ は下段のマトリックスの資本財分類を産業43部門に集計したものを表している。行列の行集計ベクトル $\alpha_i$ と $\alpha_l$ は、

図1 KDB固定資本マトリックスの形式



それぞれ産業連関表の国内総固定資本形成ベクトルに対応している。またその一国全体の合計<sup>2</sup>は、スクラップの取り扱いなど若干の概念調整をすれば、国民経済計算（System of National Accounts）体系の国内総資本形成に等しくなる。

推計作業は、民間、公的企業についての固定資本形成フロー・マトリックスを時系列（1955-92年）で推計することから始める。フロー・マトリックスは、行78資本財、列43産業に分類されている。1955年および1970年の2点をベンチマークとするDouble Benchmark方式により、各資産の償却率を推計することが次の推計作業となる。ここでは、資本財78資産は、中分類12の資産形態に格付けされ、産業43産業、資産形態12分類ごとの償却率の推計を行った。償却率の推計の後、ベンチマークとしての資産ストックとフローの資本形成マトリックスとから、毎年の固定資本のストック・マトリックスを求めることができる。1955年および1970年のベンチマークの資本ストックは産業別に両年の経済企画庁推計の国富調査（*National Wealth Survey*；NWS）から求めることができる<sup>2</sup>。

1970年産業連関表と整合的に推計されている固定資本マトリックスのストック・マトリックスの情報を用いて、民間および公的企業の産業別資本ストックを資本財形態別のマトリックスに展開した後、産業連関表の資本財別のデフレータを用いて1985年不変価格表示の固定資本ストック・マトリックスの両年の推計を得る。

次に、産業別資本財別の不変価格表示の投資額の時系列推計値が必要となる。産業別の民間企業の粗投資系列は、企画庁の民間企業の粗資本ストック（*Gross Capital Stock of Private Firms*；GCSPF）から得ることができるが、資本財分類の情報はそれにはない。また、産業分類も我々の43部門に対応しない部分があり、製造業については、工業統計（*Census of Manufacturing, Reported by Industry*；CMRI）、サービス業については各種サービス業統計によって補完推計することによって、産業分類の整合性を図ることが必要となる。民間粗投資額の一国全体の集計は、スクラップなどの概念を調整した上で、SNAと整合的になるべく推計を行っている。他方、粗投資額の資本財別構成に関しては、民間企業の総合計として産業連関表の総民間固定資本形成のベクトルとして、1960年以来5年おきに観測することができる。民間総固定資本のフロー・マトリックスに関しては、1975年の産業連関表基本表に整合的な形で推計されており、ここではその情報をベンチマークとして用いることによって、上で推計された産業別および資本財別の各年の投資額と整合する固定資本形成マトリックスを補完推計している。推計方法はKEO-RAS法と呼んでおり、詳細についてはKuroda [1988]を参照されたい。一方、公的企業については、各公的企業の貸借対照表の情報から、粗投資額を求めることができる。また粗投資額は、各企業の資産表の財産目録から資本財の増分に対応づけることができる。公的企業の各々を産業43部門に格付けすることによって、産業別公的企業の資本財別の粗投

2 国富調査としては1960、1965年にも実施されているが、サンプルが少なく、ここで用いた両年と比較して不安定な推計となっているので、ここでは利用しなかった。



表3 民間企業の産業別資本ストックの推移

(単位:1985年価格10億円)

	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
1.農林水産業	3274	3325	4744	9505	17950	22804	24896	27127
2.石炭鉱業	449	329	340	318	522	713	760	703
3.その他鉱業	186	198	380	619	1050	1048	1073	1141
4.建設業	236	377	1225	3039	8072	11911	14715	19954
5.食料品製造業	617	687	1616	3038	6264	8327	10796	14186
6.繊維工業	1231	1213	1632	2567	3896	3898	4306	5077
7.衣服製造業	54	82	192	442	722	907	1074	1399
8.木材木製品	289	225	390	688	1399	1409	1323	1496
9.家具備品	97	81	190	396	814	951	1003	1282
10.紙・パルプ	252	524	882	1678	4254	5571	6598	8612
11.出版・印刷業	111	162	460	969	1830	2442	3467	5261
12.化学工業	839	1658	3448	6317	12739	16093	19839	25499
13.石油製品	220	261	528	1316	3024	3778	4564	5255
14.石炭製品	36	63	178	489	994	1231	1216	1344
15.ゴム製造業	56	82	164	384	937	1240	1703	2344
16.皮革製造業	18	24	38	63	90	109	129	169
17.窯業土石	273	532	1172	2317	4776	5677	7262	9237
18.鉄鋼業	902	1991	3451	7500	15081	19820	22300	24673
19.非鉄金属	275	322	630	1477	2901	3482	4585	6152
20.金属製品	95	234	575	1741	4392	6247	8759	12209
21.一般機械	225	516	1287	3543	7935	9858	13461	18583
22.電気機械	310	1094	1642	3355	6404	8798	15133	25819
23.自動車	193	566	1475	3355	7035	9125	13750	20382
24.その他輸送機械	206	237	400	870	2797	2516	2487	2563
25.精密機械	55	82	170	470	1320	1505	2591	4054
26.その他製造業	53	135	436	1012	2707	3458	4984	7455
27.鉄道輸送	575	1036	1406	1682	3071	3507	4035	8912
28.道路輸送	146	1202	1283	1910	4586	7112	10194	12203
29.水運	762	1189	1613	2727	3972	4151	5006	5275
30.航空輸送	38	296	866	1795	3256	3824	4646	5958
31.倉庫	121	162	224	350	610	707	795	1288
32.通信	48	58	137	169	532	736	2293	11796
33.電力	3496	5167	6440	9012	18277	29519	38465	46661
34.ガス供給	174	296	415	776	1657	2815	3508	3852
35.水道業	21	10	21	41	74	170	308	666
36.卸・小売業	3317	3888	6884	11252	22687	33609	40945	55073
37.金融・保険業	728	1359	2890	4673	6651	7931	9736	15251
38.不動産業	226	269	946	2048	5573	7600	10196	17654
39.教育	943	702	994	1326	1928	2561	3236	4055
40.研究	33	33	32	37	76	94	221	354
41.医療サービス	552	150	281	568	2319	5544	9620	15204
42.その他サービス	3274	3088	3879	5083	9727	16839	32546	61168
総計	25005	33907	55953	100919	204903	279638	368525	517344
家計住宅	66604	50364	51380	74590	117121	147579	155612	185847

資ベクトルをも求めることができる。公的企業の一国集計はSNAに整合的でなければならない。我々の推計では、公的企業の固定資本形成マトリックスについても、民間企業のそれと同様KEO-RAS法によって全体のバランス調整を行っている。結果的には公的企業の固定資本形成のフロー・マトリックス（1985年不変価格表示）が1955年から1992年までの毎年推計される。

資本ストック・マトリックス推計のための次のステップは、各産業、各資本財について償却率の推定値を求めることである。先に用意した1955年および1970年の固定資本ストック・マトリックスをベンチマークとし、推計された資本形成のフロー・マトリックスをもう一つの資料として、上述の多項式方式（polynomial method）を用いて償却率の推計を試みている。1970年以降の償却率については、新しい技術の資本財への体化が進み、償却率に変化が見られるかもしれないという観点から、レンタル市場や中古市場の情報を用いて再推計を試みている。

1970年以降の償却率の推計が新しい技術を体化し、有為に1970年以前の推計と差異が認められる場合には、70年以降については、新推計の償却率を用いることとしている。これら民間、公的企業別、産業別資本財形態別の資本償却率が与えられることによって、1955年および1970年をストックのベンチマークとして、毎年の資本形成のフロー・マトリックスを積み上げることによって、1955年から1992年までの民間、公的企業別産業43部門、資本財78分類別の固定資本ストック・マトリックスの推計値を得ることができる。推計されたストック・マトリックスは、1985年不変価格表示となっている。

$$A_m^j(T) = \sum_{s=1}^T (1-\mu_m^j)_{T-s} I_m^j(S) + (1-\mu_m^j)_T A_m^j(1995). \quad (3)$$

表4は推計結果から1955年から1990年までの民間企業の資本ストック（各年期末ストック）の成長率を年率で示したものである。推計期間を次の7つのサブ期間に区切っている（1955-60、1960-65、1965-70、1970-75、1975-80、1980-85、1985-90年）。結果によれば、民間企業の資本形成の伸びは、水道業を除いて、1975年以降はそれ以前と比して明らかに減衰傾向にある。1980年代に入って、電気機械、自動車工業、精密機械、通信、教育など7部門において回復傾向が顕著となっている。別途我々が推計している産業部門別の労働投入量の伸び率と比較すると、1960年から75年までの各5年おきの期間において、明らかに資本投入量の伸び率のほうが大きくなっている。とりわけ1960年から65年の5カ年においては、43産業部門のうち28の産業部門で資本ストックは年率10%を超える伸び率を示している。いわゆる石油危機後、電力、ガス、医療サービス、その他サービスといった産業を除くすべての産業で資本の伸び率は大幅な低下を経験する。1980年代に入って上で述べたように幾つかの産業（1980-85年では、43産業中16産業で、また1985年以降は26産業）で回復が見られることとなっている。とりわけ電気機械製造業、精密機械製造業、通信業などで高い伸び率を示しているのが、近年の特徴の一つといえる。

表4 民間企業資本ストックの年平均成長率の推移

(単位:%)

	1955-60	1960-65	1965-70	1970-75	1975-80	1980-85	1985-90
1.農林水産業	0.31	7.11	13.90	12.72	4.79	1.76	1.72
2.石炭鉱業	-6.21	0.62	-1.31	9.89	6.24	1.27	-1.55
3.その他鉱業	1.24	13.01	9.75	10.57	-0.04	0.48	1.23
4.建設業	9.40	23.56	18.18	19.54	7.78	4.23	6.09
5.食料品製造業	2.15	17.11	12.62	14.48	5.69	5.19	5.46
6.繊維工業	-0.29	5.93	9.06	8.34	0.01	1.99	3.30
7.衣服製造業	8.55	16.92	16.67	9.81	4.58	3.38	5.29
8.木材木製品	-4.99	10.94	11.38	14.18	0.15	-1.26	2.46
9.家具備品	-3.58	17.17	14.67	14.39	3.11	1.06	4.91
10.紙・パルプ	14.60	10.41	12.88	18.60	5.39	3.39	5.33
11.出版・印刷業	7.57	20.80	14.90	12.73	5.77	7.01	8.34
12.化学工業	13.64	14.64	12.11	14.03	4.68	4.18	5.02
13.石油製品	3.47	14.06	18.29	16.63	4.45	3.78	2.82
14.石炭製品	11.31	20.66	20.20	14.18	4.26	-0.24	2.01
15.ゴム製造業	7.58	13.97	17.03	17.82	5.61	6.35	6.38
16.皮革製造業	5.15	9.59	10.17	6.96	3.92	3.32	5.42
17.窯業土石	13.34	15.79	13.63	14.47	3.46	4.92	4.81
18.鉄鋼業	15.84	11.00	15.52	13.97	5.47	2.36	2.02
19.非鉄金属	3.13	13.41	17.06	13.50	3.65	5.50	5.88
20.金属製品	18.09	17.95	22.18	18.50	7.05	6.76	6.64
21.一般機械	16.63	18.26	20.25	16.13	4.34	6.23	6.45
22.電気機械	25.20	8.12	14.29	12.93	6.35	10.85	10.68
23.自動車	21.58	19.15	16.44	14.81	5.20	8.20	7.87
24.その他輸送機械	2.78	10.48	15.56	23.35	-2.12	-0.23	0.61
25.精密機械	7.90	14.59	20.27	20.67	2.63	10.86	8.96
26.その他製造業	18.89	23.39	16.83	19.68	4.90	7.31	8.05
27.鉄道輸送	11.79	6.11	3.58	12.04	2.66	2.80	15.85
28.道路輸送	42.11	1.30	7.96	17.52	8.78	7.20	3.60
29.水運	8.90	6.10	10.51	7.52	0.88	3.75	1.05
30.航空輸送	40.93	21.51	14.57	11.91	3.22	3.90	4.97
31.倉庫	5.91	6.40	8.99	11.11	2.92	2.36	9.65
32.通信業	3.72	17.24	4.27	22.89	6.50	22.74	32.76
33.電力	7.81	4.41	6.72	14.14	9.59	5.29	3.86
34.ガス供給	10.66	6.77	12.50	15.18	10.60	4.40	1.87
35.水道業	-14.18	14.05	13.11	12.15	16.54	11.84	15.44
36.卸・小売業	3.18	11.42	9.83	14.02	7.86	3.95	5.93
37.金融・保険業	12.49	15.09	9.61	7.06	3.52	4.10	8.98
38.不動産業	3.47	25.13	15.46	20.02	6.20	5.88	10.98
39.教育	-5.90	6.95	5.77	7.49	5.68	4.68	4.51
40.研究	-0.17	-0.54	2.94	14.50	4.18	17.22	9.38
41.医療サービス	-26.07	12.58	14.07	28.13	17.43	11.02	9.15
42.その他サービス	-1.17	4.56	5.41	12.98	10.98	13.18	12.62
総計	6.09	10.02	11.80	14.16	6.22	5.52	6.78

表5は、公的企業の資本ストックの推定値を示している。公的企業の資本ストックの伸び率は、1955年からの各5年ごとに1990年まで、6.00%、10.90%、9.77%、13.37%、8.18%、4.55%、2.28%と経常的に高い伸びを示している<sup>3</sup>。

表5 公的企業の資本ストックの推移

(単位：1985年価格10億円)

	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
1.農林水産業	730	1246	2231	3979	8392	13921	19406	24860
3.その他鉱業	0	0	0	6	9	8	6	10
4.建設業	90	127	226	358	486	490	499	506
5.食料品製造業	176	96	129	145	215	276	218	154
11.印刷・出版業	2	3	27	27	25	26	31	38
12.化学工業	1	1	1	3	4	5	10	13
20.金属製品	0	1	5	7	8	8	8	9
27.鉄道輸送	153	189	421	703	1192	1704	1699	1505
28.道路輸送	1	14	92	196	398	490	645	742
29.水運	4	13	35	67	130	158	200	322
30.航空輸送	0	0	1	6	19	30	34	59
32.通信業	891	1572	3541	6531	12751	17094	18285	13881
33.電力	1087	1467	1491	1159	1172	1350	1507	1273
34.ガス供給	6	9	15	18	46	77	111	147
35.水道業	0	451	1286	2757	6359	9599	12070	14548
36.卸・小売業	5	18	50	123	403	570	629	717
37.金融・保険業	18	19	46	54	75	204	204	522
38.不動産業	1	0	1	2	25	60	148	207
39.教育	1178	1630	2850	4411	8448	13597	16926	19758
40.研究	27	110	191	324	747	1169	1466	1956
41.医療サービス	94	225	585	1463	3105	4848	6670	8484
42.その他サービス	16	59	269	601	1690	2742	3566	4627
43.公務	2906	2726	3710	5095	9017	13941	19071	21560
総計	7388	9975	17204	28036	54716	82366	103410	115898

3 表における1989年以降の公的企業の資本ストックの推定値においては、時系列の比較のために公的企業の民営化による補正を行っていないことに注意。

最後に、推計された社会資本ストックの推移を示したのが表6である。社会資本ストックは1955年以来ほぼ安定的に蓄積されてきている。1965年以来有料道路、一般道路、空港、公園、下水道などの拡大が特に著しい。社会資本の成長率のピークは、その社会資本の内容によって大きく異なっているのが特徴である。それぞれ、道路（1960-65）港湾（1970-75）空港（1965-70）公園（1985-90）下水道（1970-75）森林（1970-75）河川（1975-80）砂防（1965-70）海岸（1960-65）等となっている。有料道路が1965年には道路全体の0.090%のシェアにすぎなかったものが、1990年には23.14%にまで拡大しているのも大きな特徴である。

表6 資産形態別社会資本ストックの推移

上段：1985年価格10億円、下段：年平均成長率（単位：%）

	公的住宅	鉄道軌道	有料道路	一般道路	港湾	空港	公園
1955	1143	7340	42	4687	1939	16	620
1960	1559	7316	208	6452	1961	24	523
1965	2585	8822	1036	11649	2497	63	509
1970	4778	11496	2756	20017	3411	181	676
1975	8438	14947	5683	30281	4777	421	1055
1980	10633	18778	8670	39763	6146	528	1716
1985	11107	20230	12176	47878	7295	548	2691
1990	11121	18782	18120	60206	8813	846	4754
1955-60	6.21	-0.07	31.95	6.39	0.23	8.92	-3.39
1960-65	10.11	3.75	32.16	11.82	4.83	19.05	-0.56
1965-70	12.29	5.29	19.56	10.83	6.24	20.98	5.69
1970-75	11.37	5.25	14.48	8.28	6.74	16.89	8.89
1975-80	4.62	4.56	8.45	5.45	5.04	4.50	9.74
1980-85	0.87	1.49	6.79	3.71	3.43	0.76	9.00
1985-90	0.03	-1.49	7.95	4.58	3.78	8.67	11.38

	下水道	治山	河川	砂防	海岸	土地造成	総計
1955	1302	652	3465	332	423	6	21967
1960	1070	705	3539	485	496	150	24488
1965	1444	884	4260	764	747	1056	36317
1970	2843	1188	5694	1228	934	2879	58080
1975	6315	1662	7938	1915	1204	5878	90513
1980	11443	2278	11125	2860	1536	7966	123442
1985	16055	2728	14266	3740	1835	9694	150244
1990	22039	3356	18146	4748	2235	11282	184450
1955-60	-3.93	1.56	0.42	7.62	3.17	63.16	2.17
1960-65	6.00	4.51	3.71	9.08	8.22	39.07	7.88
1965-70	13.55	5.91	5.80	9.48	4.47	20.06	9.39
1970-75	15.96	6.73	6.65	8.89	5.08	14.27	8.87
1975-80	11.89	6.30	6.75	8.03	4.87	6.08	6.21
1980-85	6.77	3.61	4.97	5.36	3.55	3.93	3.93
1985-90	6.34	4.15	4.81	4.77	3.95	3.03	4.10

### 3. 資本係数における構造変化

前節で述べた資本ストックの推計から、1955年から92年までの年次時系列資料として、民間・公的企業別産業43部門別資本財78分類の固定資本ストック・マトリックスを求めることができた。固定資本ストック・マトリックスは、1985年の不変価格表示となっている。73資本財をここで次の12分類（1.農林水産、2.建築土木、3.繊維製品、4.木材木製品、5.家具備品、6.金属製品、7.一般機械、8.電気機械、9.自動車、10.その他輸送機械、11.精密機械、12.その他製品）の資産形態に集計して、資本係数を定義することから始めよう。資本係数は次のように定義される。

$$b_{ij} = K_{ij} / X_j, \quad (i=1, \dots, 12, j=1, \dots, 43) \quad (4)$$

ここで、 $K_{ij}$  は民間、公的企業合計の  $j$  産業の  $i$  資産を表すものとする、上で定義された資本係数の時系列変位から、その産業における構造変化を読み取ることができる。資本係数の時系列的推移は、技術状態の変化を反映して、資本集約度もしくは資本生産性の変化を示している。技術変化を体化した資本係数の変化と合わせて、構造変化は中間投入係数や雇用係数の変化にも現れているものと考えられる。従って、技術変化に伴う構造変化の評価はそれらを総合的に評価する分析枠組みが必要であり、次節でそれを扱うこととするが、ここではそれに先立って、資本係数の変化にのみ注目しておこう。

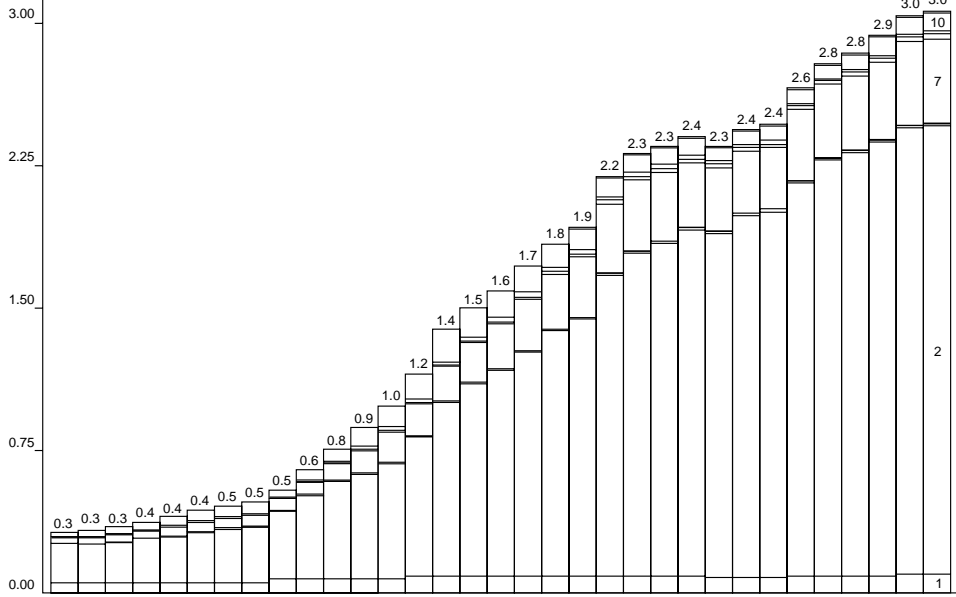
ここでは、1.農林水産業、4.建設業、6.繊維工業、18.鉄鋼業、21.一般機械製造業、22.電気機械製造業、23.自動車製造業、そして33.電力業の資本係数の典型的な変動を示す8業種を取り上げて、その時系列推移の特徴を挙げてみよう。

農林水産業の資本係数は、資本財の合計で、1960年の0.3から1992年の3.0まで上昇している。このことは、逆に資本の部分生産性はこの間農林水産業においては、急速な低下傾向にあったといえることができる。資本財の構成は80年代に入って一般機械の資本形成に占めるウエイトが拡大していることが注目されるけれども、全体の70%は依然として、建築・土木によって占められている。しかも、建築・土木の資本形成のほとんどが、公的企業の資本形成となっているのもこの部門の特徴である。建設業の資本生産性も時系列的には、徐々に低下傾向にある。そしてこの部門では、資本財の構成に関しては、建設業部門自体からの資本財投入、いわば自部門投入のウエイトが大きいことが特徴となっている。繊維工業の資本係数の変化はさらに特徴的である。この部門では、1960年代の資本係数の推移はかなり安定的であったにもかかわらず、70年代に入って急速に上昇し、80年代までそれが続く。資本係数は結果的には、1960年の0.2から1992年の0.7まで上昇するが、近年その資本財の構成が、一般機械や電気機械のウエイトを急速に拡大させているのが目立つ。鉄鋼業においては、1985年以降その傾向は若干緩むが、1960年以来一貫して資本係数は上昇し続けてきた。1960年の0.2から1992年の1.0まで拡大するが、その間

資産に占める一般機械や電気機械のシェアが拡大、それに対して建築・土木のウエイトが低下してきている。一般機械部門の資本係数は、石油危機後0.3から0.5まで上昇するが、その資本財構成は、ここでも建設財のウエイトが低下し、電気機械の割合が拡大している。電気機械部門の資本係数の動きは、1960年代以来、継続的に低下、すなわち資本生産性が向上している。これは43部門の中でただ一つの例外的動きである。しかも1975年以降は、その資本財構成の面でも、建設財のウエイトが低下し、電気機械、自部門からの投入が大きくなっている。

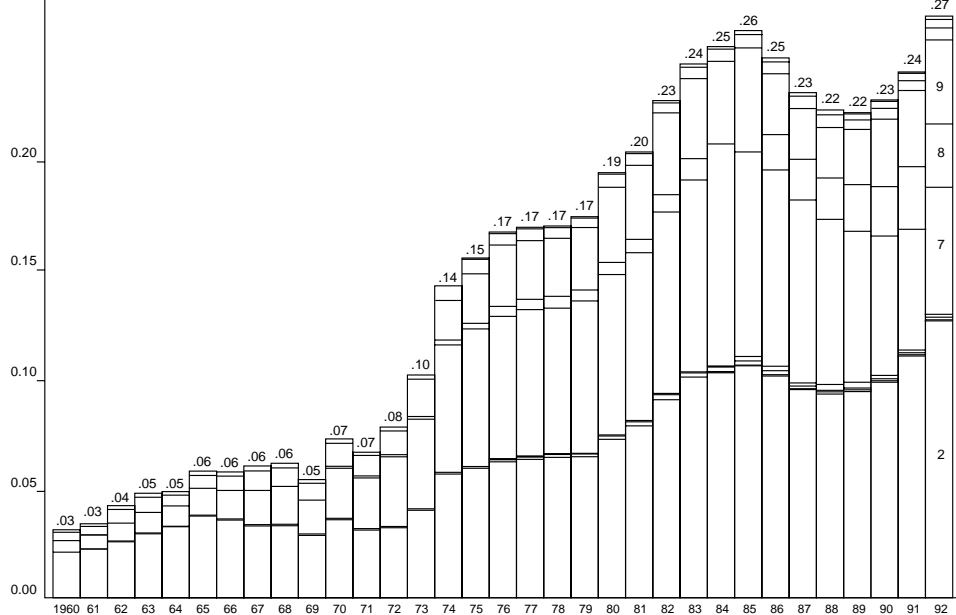
自動車工業部門の資本係数の変化は、他の部門に比べて安定的に推移している。しかし近年、ここでも電気機械や一般機械の資本財のウエイトが増し、建設財のウエイトの低下が顕著である。最後に、電力業については、1970年代の初めで資本係数の動きが完全に屈折している。これは電力供給に原子力発電の導入が本格化したことと符合しており、原子力発電所の建設が電力部門の資本係数を急速に大きくしていったといえる。

### 1. 農林水産業の資本係数の変化



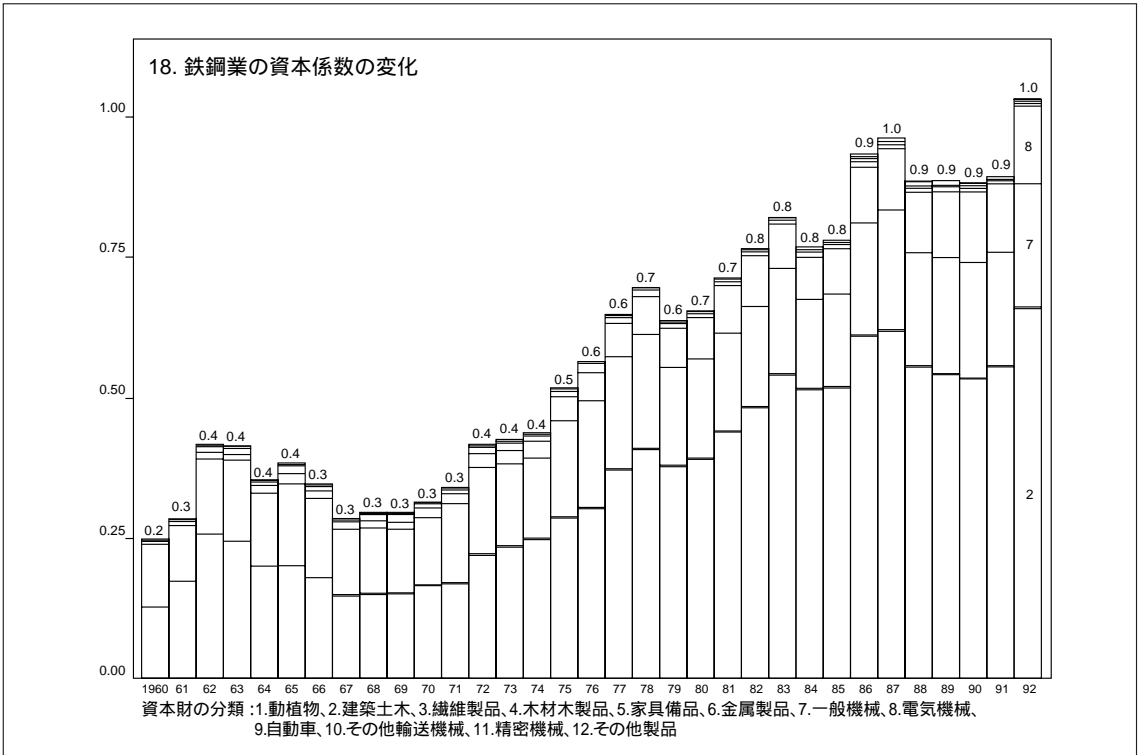
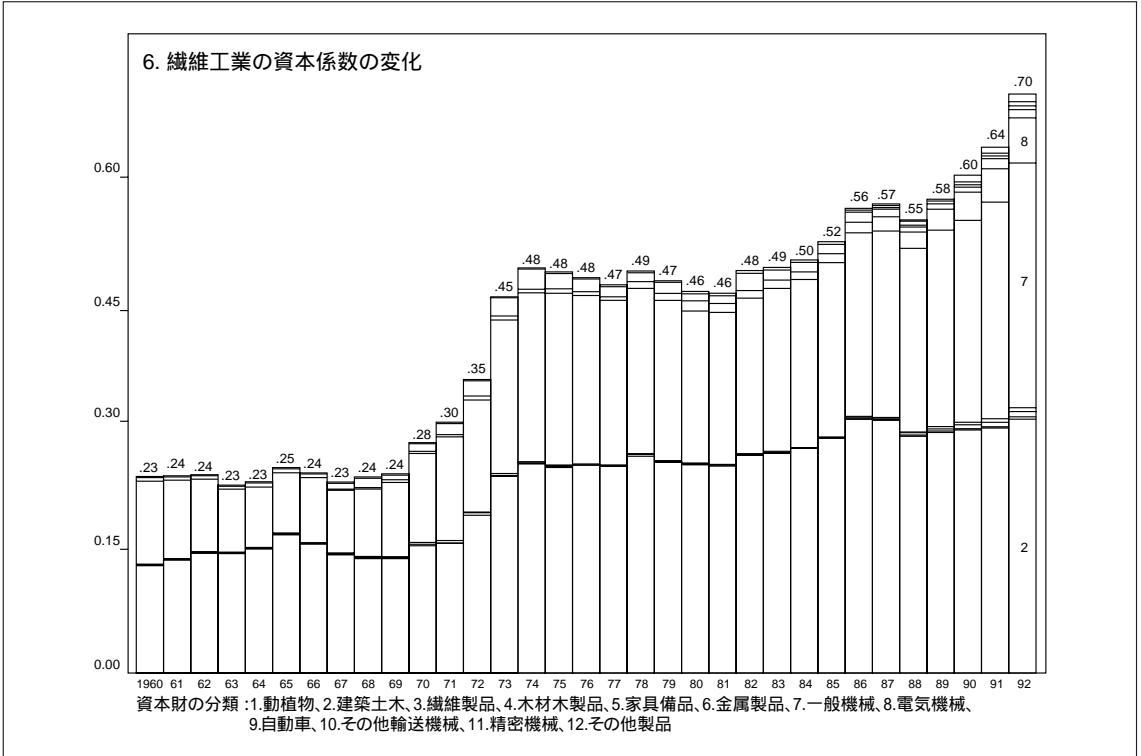
資本財の分類 : 1. 動植物、2. 建築土木、3. 繊維製品、4. 木材木製品、5. 家具備品、6. 金属製品、7. 一般機械、8. 電気機械、  
9. 自動車、10. その他輸送機械、11. 精密機械、12. その他製品

### 4. 建設業の資本係数の変化

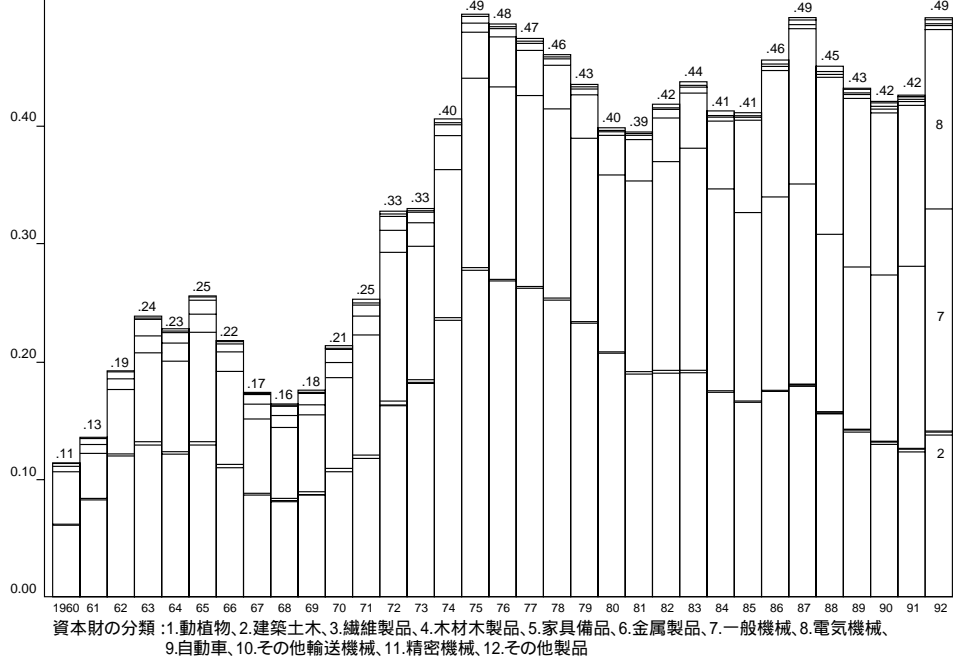


資本財の分類 : 1. 動植物、2. 建築土木、3. 繊維製品、4. 木材木製品、5. 家具備品、6. 金属製品、7. 一般機械、8. 電気機械、  
9. 自動車、10. その他輸送機械、11. 精密機械、12. その他製品

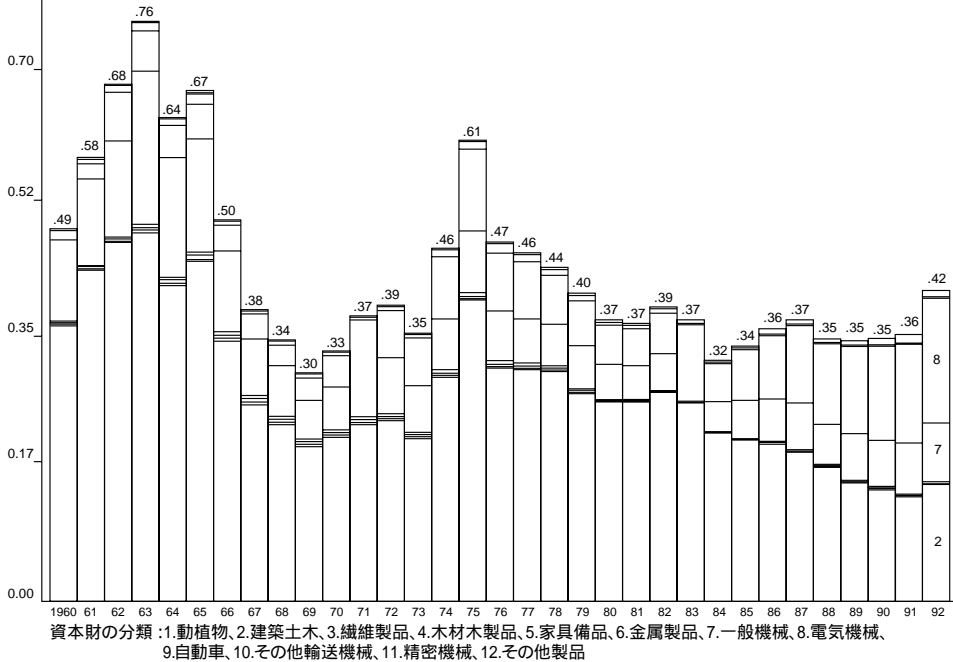




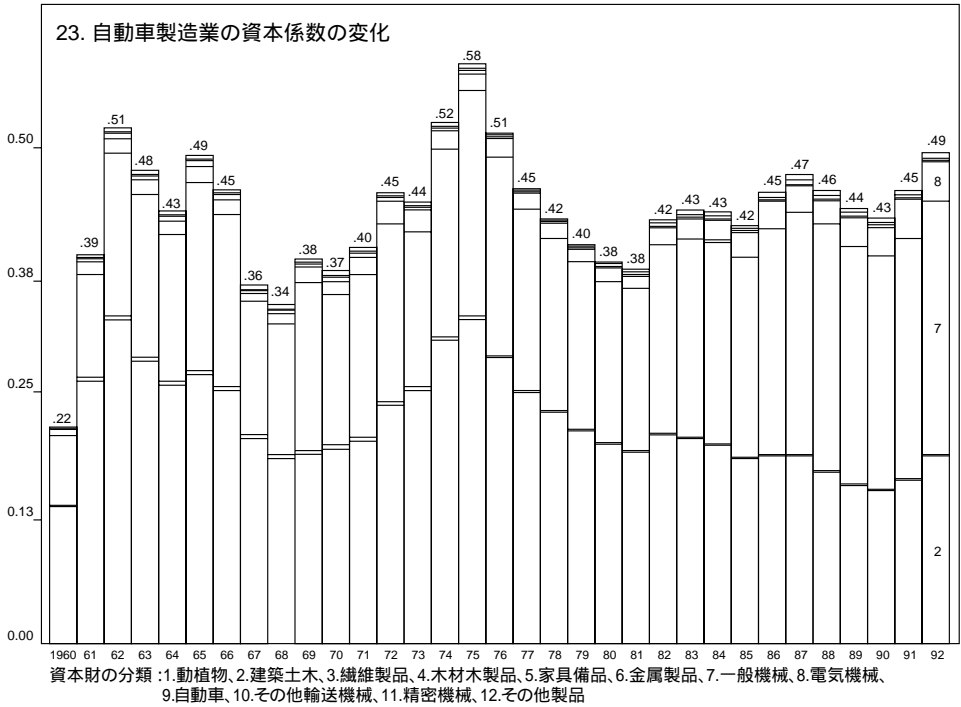
21. 一般機械製造業の資本係数の変化



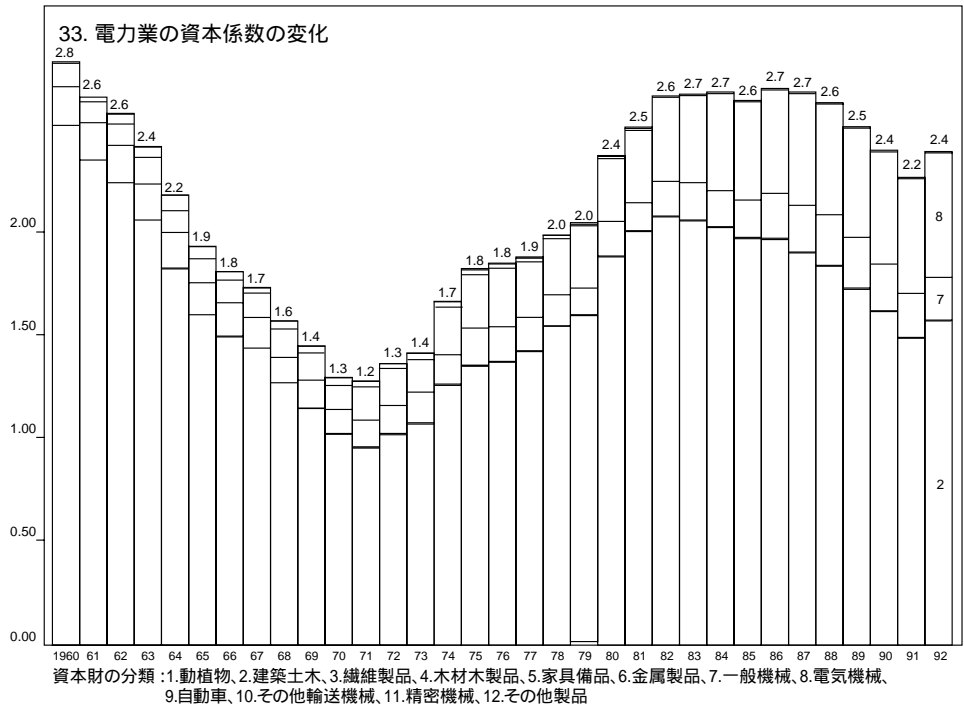
22. 電気機械製造業の資本係数の変化



23. 自動車製造業の資本係数の変化



33. 電力業の資本係数の変化



## 4. ユニット・ストラクチャーと動学的逆行列体系

前節で概括したように、43の各産業部門において、資本係数の値は時系列的に推移を示して、1960年以来経済の供給構造が大きく変化してきたことを物語っている。とりわけほとんどの産業部門において、資本係数の拡大に伴って、資本財構成が建築・土木から、一般機械、電気機械にウエイトを移していることが注目される。そして、同時に電気機械や一般機械部門の資本生産性が、産業43部門のなかでは例外的に向上してきているという点にも注目しておかなければならない。こうした資本係数の動きは、その時点での技術状態を反映しており、生産に際しての中間投入係数や雇用係数、そして最終的には全要素生産性にも経済システム全体として影響を持っていると考えるべきであろう。これらの構造変化の意味を明確にするのがこの節の目的である。構造変化の意味を明らかにするために、ここでは、“ユニット・ストラクチャー (Unit Structure)” という概念とLeontief [ 1970 ] による“動学的逆行列体系 (Dynamic Inverse)” という2つの概念を導入する。まず、ユニット・ストラクチャーの意味から明らかにしよう。

ある特定商品のユニット・ストラクチャーは、ある商品の1単位の最終需要を満たすための直接、間接の生産波及を中間投入係数  $A_t$  と労働および資本の生産要素の投入係数  $l_t$  および  $k_t$  によって記述したものであり、各種の商品間の生産体系における相互依存性を抽出することができる。

ある商品について着目すると、その商品自体の生産における技術特性のみならず、中間投入という形で直接、間接に波及する多様な商品の生産技術にも依存しているといえる。体系の技術構造を中間投入係数や労働・資本の投入係数（雇用係数、資本係数）で捉えるものとすれば、その技術特性を反映した形で、ある商品生産のユニット・ストラクチャーが求められることになる。ユニット・ストラクチャーが、特定商品のある時点での生産技術の総体を表しているとするれば、そこからその技術の持つ効率性もしくは生産性を総合的に把握できるかもしれない。ユニット・ストラクチャーがある時点の商品生産技術の総体を反映しているという意味で、そこで把握される生産効率尺度を“静学的ユニット全要素生産性 (Static Unit Total Factor Productivity)” と呼ぶことにする。後に示すように、これは従来のある生産部門の生産性尺度としての全要素生産性の概念を拡張したものである。ユニット・ストラクチャーの概念を表現すると次のように表すことができる。ここで  $A_t$  は  $t$  年の中間投入係数、 $F_t$  は最終需要ベクトル、 $X_t$  は産出ベクトル、 $V_t$  は付加価値ベクトル、そして  $i$  は単位ベクトルを表すものとしたとき、

$$A_t X_t + F_t = X_t \quad (5)$$

$$i' V_t = F_t i \quad (6)$$

もし、 $A_i$  が非特異行列とすれば、

$$X_i = (I - A_i)^{-1} F_i = B_i F_i \quad (7)$$

このとき、次の体系を  $j$  商品生産のための “ユニット・システム (Unit System)” と定義しよう。

$$A_i \hat{B}_j i + f_j^* = B_j, \quad (8)$$

および

$$i' v^* = f_j^* i \quad (9)$$

ここで  $\hat{B}_j$  は、逆行列  $(I - A_i)^{-1}$  の  $j$  行を対角要素にもつ対角行列、 $f_j^*$  は、 $j$  要素のみが 1、それ以外の要素を 0 とする最終需要ベクトル、そして  $v^*$  は単位付加価値を表す列ベクトルである。この体系において、

$$U^{(j)} = u_{ik}^{(j)} = A_i \hat{B}_j \quad (10)$$

は、1 単位の  $j$  商品の最終需要を生産するのに必要な直接・間接の中間財の波及を示しており、これを “静的ユニット・ストラクチャー (Static Unit Structure)” と呼ぶ。ユニット・ストラクチャーに対応する各生産部門の雇用係数、資本係数を与えれば、 $j$  部門の最終需要 1 単位を満たすために必要な直接・間接の中間需要、労働、資本の投入量を求めることができる。そして、それらの投入構造は、その時点での中間投入係数、雇用係数、資本係数などによって記述された技術構造に依存しており、その変化が技術構造の変位を表しているとすれば、ここでのユニット・ストラクチャーの変位によって、体系の構造変化を反映した生産効率変化の尺度を求めることができる。

ここで、次のように、 $j$  商品生産に際して任意の  $k$ , ( $k = 1, \dots, n$ ) 部門の生産効率変化率を定義することができる。

$$v_{Tk}^t = \frac{\dot{X}_k}{X_k} - \sum_i v_{xik} \frac{\dot{X}_{ik}}{X_{ik}} - v_{Lk} \frac{\dot{L}_k}{L_k} - v_{Kk} \frac{\dot{K}_k}{K_k}, \quad (k=1, \dots, n) \quad (11)$$

ここで、 $X_k$ ,  $X_{ik}$ ,  $L_k$ ,  $K_k$  はそれぞれ、 $j$  部門の最終需要 1 単位のために直接、間接に必要な  $k$  部門の産出、中間投入、労働、資本の投入量を表している。また  $v_{xik}$ ,  $v_{Lk}$ ,  $v_{Kk}$  は、それぞれ中間財、労働、資本投入コスト・シェアを表す。このとき、(11) 式の  $k$  部門のコストバランス式に対応して、通常に全要素生産性の成長率の尺度を次のように定義することができる。 $j$  部門の最終需要 1 単位を満たすに必要な直接・間接の生産波及は、ユニット・ストラクチャーで表現される  $k$  ( $k=1, \dots, n$ )

部門に及んでいる。従って、 $j$  商品生産のための生産効率は、(11) 式で定義された  $k$  ( $k=1, \dots, n$ ) 部門の生産性成長率の尺度を集計したものとして定義することができる。

$$v_{Tj}^t = \sum_k \frac{p_k X_k}{p_v V} v_{Tk}^t \quad (12)$$

ここで、 $p_k$  は  $j$  商品の産出価格、 $p_v V$  は  $j$  商品生産に際して直接、間接に発生した付加価値額の総計であり、発生した労働および資本の要素所得の集計 ( $\sum_k L_{kPLk}$  および  $\sum_k K_{kPKk}$ ) にも対応している。

$v_{Tj}^t$  は、 $j$  商品の最終需要 1 単位を満たすに必要な直接、間接の生産のためのユニット・ストラクチャーによって定義された生産効率の変化率の尺度である。 $j$  商品生産のための技術構造を経済体系全体のシステムとして把握することになり、これを  $j$  商品生産における、静学的ユニット全要素生産性 (Static Unit-TFP) と呼ぶことにする。

この“ユニット・ストラクチャー”や“静学的ユニット全要素生産性”の概念は、ある特定年次の  $j$  商品生産の生産構造および生産効率に対応した概念である。ある  $t$  年の  $j$  商品生産には、その部門の過去の投資の累積としての資本ストックもしくはそれが産み出す資本サービスを投入している。資本蓄積の過去の歴史的経緯に着目すると、その資本ストックはそれを投資した時点の生産技術構造を反映しているはずである。従って、 $t$  時点の  $j$  商品の生産の技術構造は、資本蓄積の過去の経緯を辿るとその各時点での技術の構造を体化しており、動学的にそれらを総合することによって、 $t$  時点の  $j$  商品の技術効率を評価できることになる。資本蓄積を辿った過去への生産波及の算定は、Leontief の“動学的逆行列”の概念を用いることになる。

動学的逆行列の枠組みを整理すると次のようになる。まず、次の  $n$  個の商品生産のバランス方程式から始めよう。

$$A_t x_t + I_t^P i + I_t^G i + c_t = x_t \quad (13)$$

ここで、 $I_t^P$  は民間および公的企業の固定資本形成マトリックス、 $I_t^G$  は社会資本形成マトリックス、また  $c_t$  は資本形成を除く最終需要ベクトルを表すものとする。 $I_t^P$  は先に説明した恒久棚卸法を用いて、償却率  $\delta^P$  を与えたとき、固定資本ストック・マトリックス  $K_t^P (n \times n)$  と次のように対応している。

$$I_t^P = K_{t+1}^P - (I - \hat{\delta}^P) K_t^P \quad (14)$$

同様に社会資本形成に関しても、そのストック・マトリックスを定義することができる。

$$I_t^G = K_{t+1}^G \Phi^{GP} - (I - \hat{\delta}^G) K_t^G \Phi^{GP} \quad (15)$$

$K_t^G$  は  $n$  商品  $\times$   $m$  社会資本ストックの行列であり、ここでは産業格付けのコンバーター  $\Phi^{GP}(m \times n)$  によって特定の社会資本を、そこからのサービスを楽しむ産業へに対応させている。社会資本を産業に格付けすることは本来難しいが、ここでは公園や下水道などのように産業に格付け困難な生活関連社会資本を除いて、仮想的にそのサービスの帰属する産業を設定し、格付け困難なものは他の最終需要  $c_t$  に加算して体系のバランスを保っている。(14) 式および (15) 式を (13) 式に代入して、資本係数行列  $B_t$  を用いてバランス式を書き直すと次の関係式を得る。

$$(I - G_t)x_t + B_{t+1}x_{t+1} = c_t, \quad (16)$$

ただし、

$$G_t = A_t - (I - \hat{\delta}^P) B_t^P - (I - \hat{\delta}^G) B_t^G \quad (17)$$

$$B_t = B_t^P + B_t^G \quad (18)$$

(16) 式は過去に遡って考えることができる。いま、現在の  $t$  時点にたつて、過去の体系を再現するとすれば、次のように書くことができよう。

$$\begin{pmatrix} G_{t-} & B_{t-} & & & \\ & \ddots & \ddots & & \\ & & G_{t-2} & B_{t-1} & \\ & & & G_{t-1} & B_t \\ & & & & G_t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{t-} \\ \vdots \\ x_{t-2} \\ x_{t-1} \\ x_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_{t-} \\ \vdots \\ c_{t-2} \\ c_{t-1} \\ c_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{t-} \\ \vdots \\ x_{t-2} \\ x_{t-1} \\ x_t \end{pmatrix} \quad (19)$$

ここで、 $G_t$  は  $I - A_t$  である。(19) 式は  $t$  時点の消費  $c_t$  を実現するために必要な静学的かつ動学的に波及する間接・直接の生産波及の系列を与えていることになる。動学的波及部分は、 $t$  時点の生産に投入された資本の過去の蓄積過程に遡って、その直接、間接の生産波及を算定していることを意味する。(19) 式において  $t$  時点の  $j$  商品だけに 1 単位の需要が与えられたとすると、第 1 行は“動学的ユニット・ストラクチャー (Dynamic Unit Structure)”を表しており、先に定義した“静学的ユニット・ストラクチャー (Static Unit Structure)”に対応している。

我々の推計した 1960-92 年の中間投入係数行列、資本係数行列を用いて、特定商品の 1 単位の最終需要を満たすに必要な直接、間接の生産波及を動学的に求めることができる。各時点の技術は、その中間投入係数と資本係数行列によって評価され、

その変化が構造変化を表すものと考えている。また、雇用係数の変化を考慮することによって、動学的な波及における、雇用必要量を求めることもできる。資本の投入については、この動学モデルでは、すべて商品生産に還元されており、本源的生産要素としては、労働投入のみが明示的には残ることに注意すべきである。ここで、この動学的ユニット・ストラクチャーの概念を用いて、ある  $t$  時点の最終需要としての  $j$  商品 1 単位を生産する際の動学的波及をすべて勘案した形での生産効率の尺度を提案することができる。その投入は、動学的に算定された中間投入と労働投入である。まず、 $t$  時点の  $j$  商品 1 単位需要を満たすための過去の特定時点  $t - m$ 、( $m = 1, \dots, \infty$ ) での  $k$ 、( $k = 1, \dots, n$ ) 部門の生産効率の尺度を次のように定義することができる。

$$v_{Tk}^{t-m} = \left(\frac{\dot{X}_k}{X_k}\right)^{t-m} - \sum_i v_{xik} \left(\frac{\dot{X}_{ik}}{X_{ik}}\right)^{t-m} - v_{Lk} \left(\frac{\dot{L}_k}{L_k}\right)^{t-m} \quad (20)$$

これは、 $T$  時点の  $j$  商品の 1 単位の最終需要を満たすに必要なある特定部門 ( $k$ ) かつ過去特定時点 ( $t - m$ ) の全要素生産性の成長率を表しており、これを  $k$ 、( $k = 1, \dots, n$ ) 部門について集計することができる。

$$v_T^{t-m} = \sum_k \left(\frac{p_k X_k}{p_v V}\right)^{t-m} v_{Tk}^{t-m} \quad (21)$$

ここで定義された (21) 式での全要素生産性の成長率は、さらに動学的な波及  $t - m$  ( $m = 1, \dots, \infty$ ) を考えて、時間的プロセスを集計することができる。

$$v_{TT}^t = \sum_m \sum_k \left(\frac{p_k X_k}{\sum_m p_v V}\right)^{t-m} v_{Tk}^{t-m} \quad (22)$$

この尺度  $v_{TT}^t$  を我々は、動学的ユニット TFP (Dynamic Unit-TFP) の成長率と呼ぶ。この概念を用いることによって、ある特定時点  $t$  の特定商品  $j$  の生産の生産効率をその必要とする資本ストックの過去の生産への波及まで勘案した形で評価できることになる。そこで用いられる中間投入係数や資本投入係数、雇用係数が技術の構造変化を体化しており、技術変化の影響を構造パラメーターの変化の総合的尺度として評価できることになる。前述したように、資本係数の最近のトレンドは、一般機械や電気機械のウエイトを大きく拡大しており、それ自身が最近の新しい技術の特性を具現しているものと考えられる。こうした新しい技術の生産性に与える影響を直接、間接の波及を通じて、関連するすべての商品生産について評価できることになる。

(12) 式で定義した静学的ユニット全要素生産性および (22) 式で定義した動学的ユニット全要素生産性の尺度は、特定の  $j$  商品の最終需要 1 単位を満たすに必要な生産の効率を関連するすべての商品について、静学的および動学的に集計したものである。この概念を用いて、一国の GDP もしくは国内最終需要の実現に対応した各時点の全要素生産性の成長率を算定することも可能である。そこでは、(12) 式



および(22)式の展開において、最終需要ベクトルを特定の $j$ 商品1単位とする代わりに、各時点に観察される国内最終需要の構成ベクトルを与えることによって、それを実現するための集計された全要素生産性成長率の尺度を得ることができる。さらに最終需要の需要要素として消費、投資、輸出に分解して、それぞれに関しての生産効率を算定することも興味深い。

## 5. 我が国における構造変化と生産効率の推移

通常定義される部門別全要素生産性成長率とここで定義した静学的ユニットTFP成長率の測定結果を比較することから始めよう。表7と表8がそれぞれの結果である。前述のように、通常の定義の部門別全要素生産性は、その部門自体の生産効率の尺度であるのに対して、静学的ユニットTFPは、特定商品の生産に関連するユニット・ストラクチャーを反映したすべての関連商品生産の効率を集計した効率尺度である。表7に示された通常の部門別全要素生産性の測定結果によれば、ほとんどの部門で1960年代の高度経済成長期の生産性の伸びが、1970年代前半に急速な屈折をみる。70年代後半には、部門によって跛行性を示すものの若干の回復を示しているが、80年代とりわけ80年代後半には、再び停滞する部門が多くなっている。その中で、化学工業、ゴム製品製造業、金属製品製造業、一般機械、電気機械、精密機械、通信業、卸・小売業などは堅調な生産性の伸びを示しているのが特徴といえる。表8に示した静学的ユニットTFP成長率の結果は、生産波及の連鎖を通じて、自部門の生産性上昇・下降の傾向が他部門にも影響することによって、その傾向が助長される性質を持っていることを示している。部門別の生産性上昇率が停滞した、1970年代の前半はその傾向が顕著で、皮革製品製造業を除くすべての部門で、静学的ユニットTFPの成長率は、通常の部門別TFP成長率よりさらに悪化している。逆に、1980年代に入ってから静学的ユニットTFPの成長率は、多くの部門で部門別生産性の上昇率を上回っており、生産技術の部門間連鎖の特性が生産性波及に影響して、各部門別生産性の停滞を補完する役割を示していることが観察できる。先に指摘したように、80年代に入って幾つかの部門では、生産性の上昇が引き続き観測されており、それらの生産性上昇の波及が、すべての産業に生産性上昇の連鎖を起こしているものとみることができる。

例えば、農林水産業の自部門の生産性は、1980-85年の期間を除いてすべての期間で下降傾向を示している。それにもかかわらず、70年代の前半を除いて、静学的ユニットTFPは自部門生産性の停滞を補完する形で働いている。一般機械や電気機械製造業でもその傾向は顕著である。

動学的ユニットTFPの測定結果に注目しよう。動学的逆行列の枠組みを用いて、ある特定年における、特定産業部門の最終需要1単位を満たすに必要な動学的な生産波及を計算してみると、すべての部門で、必要生産の波及は、過去10年程度で減衰する傾向にあることが確かめられる。そこからいわゆる最終需要商品の動学的乗

表7 産業別TFPの年平均成長率

	1960-65	1965-70	1970-75	1975-80	1980-85	1985-90
1.農林水産業	-1.3077	-4.3221	-3.3016	-2.4688	1.5785	-0.1974
2.石炭鉱業	3.8811	-0.3878	1.2771	-0.2889	-1.6105	-1.7632
3.その他鉱業	4.4893	8.8258	-4.7350	3.3521	-1.3112	0.7910
4.建設業	-0.6095	0.8505	-0.4919	-1.6646	0.6742	1.3549
5.食料品	0.0113	0.3943	-1.6787	2.1207	0.4095	-0.7967
6.繊維工業	0.7578	1.1515	0.5108	1.8962	0.0621	1.2304
7.衣服	-0.0427	1.7720	0.8461	0.7811	-0.0379	-0.6712
8.木材木製品	1.8399	1.2007	1.0502	-2.7758	4.6759	-0.6181
9.家具備品	0.0496	1.8068	1.1657	1.2556	0.3766	1.4214
10.紙・パルプ	2.4421	2.2873	-1.4226	0.7936	1.5967	2.1654
11.印刷・出版	-4.1313	-3.1734	-1.9146	0.0544	0.6344	1.0549
12.化学工業	2.7707	4.9361	-1.8884	1.4397	2.6167	1.6342
13.石油製品	4.0592	0.3054	-5.8485	-1.3468	0.2224	7.4601
14.石炭製品	-0.6847	2.1301	-5.0960	-6.6112	-0.8756	2.4796
15.ゴム製品	2.8239	2.7447	-2.0794	0.7218	1.3812	3.4169
16.皮革製品	3.7839	0.4059	3.6165	-2.6481	1.1115	-0.6034
17.窯業土石	2.6059	0.7939	-1.9768	1.4394	1.1999	1.6556
18.鉄鋼業	-0.0154	1.9992	0.1969	0.9408	-0.3389	0.3613
19.非鉄金属	-0.1351	0.7294	2.7689	2.4247	2.0591	0.2801
20.金属製品	2.8911	2.1074	-0.7550	2.1963	0.7989	1.4219
21.一般機械	-0.1367	2.6666	-0.7238	2.8382	1.7006	1.0546
22.電気機械	1.8461	6.1067	1.9931	5.7103	2.1493	3.4755
23.自動車	0.9089	5.0628	2.0070	3.3043	0.7801	0.7465
24.他輸送機械	5.1026	0.4876	-5.0888	1.3701	1.7506	1.4038
25.精密機械	4.4876	4.6906	0.3390	6.8586	1.6426	0.6412
26.他製造業	3.1183	4.0118	-1.1778	1.6722	1.2636	0.5820
27.鉄道輸送	1.2072	0.0707	0.2298	-6.9686	2.8033	1.9171
28.道路輸送	1.3181	4.5826	-9.3917	1.2409	-0.8960	0.7901
29.水運	0.2880	7.9355	-1.6750	1.1446	2.4544	-2.9659
30.航空輸送	9.0226	4.1891	9.0837	2.3454	2.7712	0.8766
31.倉庫	2.9782	5.7793	-3.7156	6.1078	0.5425	0.1161
32.通信	4.5557	3.6786	-0.6545	4.9151	5.4584	4.7433
33.電力	3.8477	5.9104	-2.9874	-1.4776	2.2659	2.0111
34.ガス	3.8952	1.8433	-1.2478	0.7191	1.5502	3.7512
35.水道	-3.5270	1.2446	-5.4244	-3.3220	-2.8816	-0.7331
36.卸・小売	7.1881	5.3540	-0.2659	3.0210	0.0949	3.8118
37.金融保険	5.5362	0.4879	-0.3705	-0.1567	4.0564	1.0889
38.不動産業	5.6265	-0.1291	-2.8262	-0.6861	0.7860	-0.3331
39.教育	2.8088	3.2496	3.6762	-2.9407	-1.8137	-0.8030
40.研究	6.6442	4.7453	-1.8705	1.9826	-5.2463	-0.4816
41.医療	2.5538	0.3339	5.9443	-2.2433	-1.0273	-3.8555
42.他サービス	-6.0195	1.6479	-3.9797	0.9994	-1.4490	-2.3343
43.公務	4.6701	5.8536	8.7946	-3.6579	0.1032	1.8943

表8 産業別Static Unit-TFPの年平均成長率

	1960-65	1965-70	1970-75	1975-80	1980-85	1985-90
1.農林水産業	-0.8710	-4.2143	-5.0595	-2.2520	2.5838	0.4224
2.石炭鉱業	4.5011	1.4707	-0.7413	-0.0010	-0.8582	-1.1111
3.その他鉱業	5.7886	10.2580	-6.2949	4.1796	-0.5575	2.2040
4.建設業	1.9016	4.6281	-2.5073	-0.3961	1.6776	2.5185
5.食料品	0.1293	-0.4985	-4.9516	1.9850	1.7522	-0.2096
6.繊維工業	2.7263	4.2506	-1.5260	3.6467	1.6602	3.1541
7.衣服	2.6538	5.3501	-0.7186	2.8242	0.9636	1.1687
8.木材木製品	2.2025	0.0658	-2.0414	-3.7326	6.9270	0.0796
9.家具備品	2.3977	4.5308	-0.6667	1.5541	2.3813	2.4512
10.紙・パルプ	5.1786	5.5148	-4.5933	1.3326	3.9843	4.3944
11.印刷・出版	-2.3612	-0.8895	-4.1974	0.8446	2.0993	2.4585
12.化学工業	6.0342	9.6538	-5.2038	2.6686	4.6474	3.4405
13.石油製品	4.2628	0.6153	-6.6108	-1.2135	0.4678	8.1491
14.石炭製品	1.6046	4.2602	-7.0153	-7.1860	-0.9367	3.0802
15.ゴム製品	5.1842	6.5512	-4.1788	1.9194	3.0948	5.0464
16.皮革製品	8.5287	3.3193	4.3431	-2.3608	2.8968	0.1552
17.窯業土石	5.0320	5.0088	-5.2366	2.7080	1.9606	3.0699
18.鉄鋼業	1.6058	7.7867	-1.7826	1.4190	-0.0727	1.7919
19.非鉄金属	3.7721	8.7168	0.9332	5.4914	4.3779	1.5926
20.金属製品	4.3685	5.9150	-2.0795	3.3919	1.4112	2.4789
21.一般機械	1.3060	7.3788	-1.9518	5.7575	3.2430	2.5937
22.電気機械	4.0548	11.8970	1.3414	9.0530	3.8494	5.9231
23.自動車	3.2606	10.8287	1.5521	6.6313	2.2809	2.7389
24.他輸送機械	7.6626	4.8338	-7.0837	3.3813	3.2480	3.0030
25.精密機械	7.0828	8.9303	-0.3720	9.5766	3.1281	1.8736
26.他製造業	5.9031	8.1545	-3.8291	3.0055	3.3720	2.1203
27.鉄道輸送	3.0243	1.6352	-1.9731	-6.1998	3.5238	2.2419
28.道路輸送	2.3333	6.1912	-10.2870	1.8285	-0.4865	1.4815
29.水運	1.5071	10.9124	-3.0295	1.8525	4.2648	-2.7567
30.航空輸送	11.3572	6.1315	7.9388	3.5064	4.0744	2.0325
31.倉庫	3.4205	6.8405	-5.6140	6.4616	1.0566	0.2052
32.通信	4.7596	4.1355	-1.4277	5.1463	5.2896	4.9797
33.電力	4.5203	6.6429	-4.8534	-1.6834	2.4658	2.5643
34.ガス	4.9419	2.7329	-2.1905	3.9083	2.0216	3.9044
35.水道	-3.1095	2.3160	-7.3048	-3.6003	-1.7915	0.0616
36.卸・小売	8.2365	6.7221	-1.4032	3.4770	0.7190	4.2479
37.金融保険	5.4298	1.3509	-1.5342	0.2614	4.5193	1.0451
38.不動産業	5.8691	0.4185	-3.1804	-0.6926	1.0732	-0.2453
39.教育	2.6103	4.1838	3.2145	-2.8556	-1.6433	-0.6086
40.研究	6.1856	5.7750	-3.0835	2.2919	-5.0097	-0.2791
41.医療	4.2327	2.8539	4.1853	-1.4248	0.0906	-2.7871
42.他サービス	-4.6120	3.5857	-5.7576	1.7402	-0.4889	-1.4768
43.公務	5.6705	7.1161	7.6592	-3.3134	0.4751	2.2577

表9 産業別Dynamic Unit-TFPの年平均成長率

	1970-75	1975-80	1980-85	1985-90
1.農林水産業	-2.2790	-2.6317	1.5333	0.6850
2.石炭鉱業	-4.4393	-0.7217	-1.1370	-6.3471
3.その他鉱業	-1.8268	5.6029	1.3169	4.1859
4.建設業	1.4701	0.6559	2.3198	4.2201
5.食料品	-2.8898	2.3760	1.8281	1.3313
6.繊維工業	0.8058	4.7147	3.1124	4.7031
7.衣服	1.6113	3.3548	2.0228	2.6532
8.木材木製品	1.0999	-4.4979	7.9188	0.6123
9.家具備品	2.5372	1.2530	3.4254	3.3402
10.紙・パルプ	-1.7425	2.4998	4.7308	6.3626
11.印刷・出版	-1.5909	1.3973	2.9004	4.0175
12.化学工業	-2.2657	3.5825	5.2407	5.6562
13.石油製品	-5.8090	-0.0148	0.6832	10.6335
14.石炭製品	-6.4876	-5.6901	0.0908	1.4124
15.ゴム製品	-2.6921	3.1247	3.6483	6.3996
16.皮革製品	7.9675	-0.3172	2.5801	1.2962
17.窯業土石	-2.3030	3.2118	2.1039	4.9658
18.鉄鋼業	0.6999	2.6810	0.4330	3.8527
19.非鉄金属	3.2777	7.5830	3.4984	4.5632
20.金属製品	0.6366	3.6701	0.9555	3.9991
21.一般機械	0.6198	6.5612	4.5068	5.0387
22.電気機械	5.0818	9.8984	5.0155	7.9444
23.自動車	3.6990	8.7458	3.0192	4.1987
24.他輸送機械	-4.9727	4.9327	3.4767	4.6106
25.精密機械	2.2844	11.3045	2.7687	3.3155
26.他製造業	-0.8597	3.6117	4.3360	3.5126
27.鉄道輸送	-0.2211	-3.9472	1.8763	5.5564
28.道路輸送	-5.3017	0.6071	0.5630	4.0326
29.水運	2.1123	0.9871	3.6442	-2.0024
30.航空輸送	7.4987	7.3549	4.3717	5.1771
31.倉庫	-1.6223	6.4430	1.7181	1.9357
32.通信	5.6489	0.1968	6.5992	8.2108
33.電力	-0.5969	-0.5920	1.9297	5.5362
34.ガス	3.3754	4.6903	0.6797	6.8394
35.水道	-5.3636	-1.8461	1.7057	2.2770
36.卸・小売	2.0026	4.2955	1.6125	5.5408
37.金融保険	1.7724	1.7513	5.5082	2.6388
38.不動産業	-1.9181	0.7078	0.4283	-0.2783
39.教育	2.9225	-3.7591	-2.4127	0.5217
40.研究	-2.5443	1.7445	-3.0759	1.0413
41.医療	6.8286	-0.3763	0.4396	-1.3107
42.他サービス	-2.7600	1.8008	0.7127	0.1916
43.公務	8.6809	-4.2797	0.2824	3.1698

数 (Dynamic Multiplier) を算定してみると、建設業、化学工業、窯業・土石工業、鉄鋼業、金属工業、一般機械、電気機械、自動車などの投資財部門や卸・小売業や金融・保険業などのサービス部門で大きい値を示している。さらに(22)式に基づき、ある特定年  $t$  における特定部門の最終需要 1 単位の需要を満たすに必要な間接・直接の動学的生産波及に結果として、その生産効率の変化を求めることができる。表 9 がその結果を示している。動学的な生産波及は先に述べたようにほぼ 10 年遡って減衰することから、我々の観測資料では 1970 年以降の動学的 TFP 上昇率を算定することができる。表では、1970 年以降 5 年おきの年平均成長率を部門別に示しておく。我々は、体系の構造変化を構造パラメータ  $A_t$ 、 $B_t$  および  $l_t$  の変化として捉えている。ここでは資本係数  $B_t$  には、民間企業、公的企業および産業に格付け可能な社会資本をすべて集計したものと扱っている。社会資本は、11 分類 (1. 公的住宅、2. 鉄道軌道、3. 有料道路、4. 一般道路、5. 港湾、6. 空港、7. 治山、8. 河川改良、9. 砂防、10. 海岸補修、11. 土地造成) に区分されており、それぞれを特定産業に格付けしている。上記の社会資本のうち、7、8、9 および 10 は農林水産業、2 は鉄道輸送、3 および 4 は道路輸送、5 および 6 は水運および航空輸送、そして 1 および 11 は不動産業に格付けしている。

ここでの構造パラメータの変化は、動学的ユニット TFP (Dynamic Unit-TFP) の成長率に反映されるものと考えている。表 9 にその推定結果を示している。各期間での成長率は、期間の最終年を基点として算定される動学的ユニット TFP と期間の初期年を基点として算定されるそれとの差を年率換算したものである。先に述べたように、近年の情報関連技術の特性は、各産業部門の資本ストックの資本財構成に反映しているものと考えている。資本係数の変化を見て指摘したように、近年のその特性は各部門に共通して、一般機械や電気機械部門からの資本財のウエイトが増加していることであり、それが過去資本ストックのウエイトとして大きなウエイトを示していた建築・土木を代替している傾向にあった。通常の TFP 尺度で各産業部門の生産性成長率を観察したとき、近年、一般機械、電気機械、精密機械の生産性の伸びが顕著であり、それらの部門の生産性の上昇は、他の部門での資本ストック構成の変化に反映して、動学的な全要素生産性の上昇率を高めることが予想される。表 7 の通常の TFP 尺度では、近年 1985-90 年の生産性変化では、43 部門中 23 部門で生産性上昇率は、80 年代前半の 5 力年の平均を下回っている。ここでは、近年の技術革新の特性を読み取ることは困難である。一方、表 8 で示した、静学的ユニット TFP の尺度でも、この間、先の 5 力年に比して改良が認められるのは、43 部門中 20 部門であり、通常の TFP 尺度に比べて生産性波及の効果による改善が若干は認められるもののそれほど顕著に技術特性を示しているわけではない。他方、表 9 に要約した動学的ユニット TFP によれば、ほとんどの部門で生産性は大幅に上昇していることが観察できる。

43 部門中 32 部門で、改善がみられる。さらに静学的ユニット TFP と比較した場合、1985-90 年の期間については、動学的ユニット TFP の成長率がほとんどの部門で上回っている。低下の傾向を示している部門は、石炭鉱業、石炭製品、不動産業の

3部門のみであり、動学的には、一般機械、電気機械、精密機械、通信といった近年の技術革新によって生産性の伸びている部門の他部門への波及が影響していることを確認することができる。

最後にいままでの産業部門別生産性の動向を一国全体の集計レベルで観測してみたい。前節で述べたように、静学的ユニットTFP および動学的ユニットTFPに関しては、最終需要の構成を特定産業の最終需要1単位を与える代わりに、最終需要の観察される構成ベクトルを与える形で一国全体に集計することが可能である。その場合、最終需要の構成は、家計消費ベクトル、固定資本形成ベクトル、輸出ベクトル、そしてそれらの集計としての国内最終需要ベクトルとそれぞれについて与えることができ、それぞれの最終需要を1単位実現するための生産効率について、その伸び率を算定できることになる。表10が、その結果を要約したものである。また、図2および3が、各系列の時系列変移を示したものである。表10の第1行の成長率は通常のTFP尺度の一国集計の成長率である。確かに、1970年代前半の屈折の時期以降、生産性の伸び率は小さく、1985年以降若干の改善を示しているにすぎない。これを静学的ユニットTFP成長率で算定した場合、国内最終需要ウエイトの集計では、1970年代後半からの成長率は、通常のTFP尺度の成長率をかえって下回ることになる。これは、需要項目別に分解してみると、家計消費のウエイトによる部分が大きく影響していることがわかる。これに対して動学的ユニットTFPの成長率は、国内最終需要ウエイトのものでも、明らかに生産性上昇が1980年代以降、とりわけ1985年以降加速していることが示されている。最終需要項目別に算定しても、家計消費ウエイトでもかなりの改善を示しており、固定資本形成および輸出ウエイトの場合、年率で5%にも上っていることがわかる。時系列のこれらの生産性の推移については、図2および3で確認でき、その推移が通常のTFP尺度をかなりの程度上回っており、しかも近年、それが加速していることを読み取ることができる。近年、資本係数の資本財構成の動きの中で、一般機械、電気機械といった資本財のウエイトが拡大していることを先に指摘したが、その変化、そしてそれらの部門での生産性の上昇の大きさが動学的ユニットTFPには反映され、ここでの結果をもたらしているものと考えることができる。

表10 各種TFP集計値の年平均成長率

TFP	需要構成	1960-65	1965-70	1970-75	1975-80	1980-85	1985-90
TFP		2.9648	4.7810	-1.7343	1.4948	1.4947	1.6470
Unit	消費	2.6184	2.9049	-2.8977	1.4001	1.1657	0.8166
-TFP	投資	2.5451	6.1306	-1.8703	1.7141	2.0787	2.9895
	輸出	3.1655	7.4444	-2.2947	4.3958	2.7089	3.0089
	国内最終需要	2.6862	4.2824	-1.7952	1.1001	1.2779	1.4602
Dynamic	消費	—	—	0.1691	1.8896	2.0075	2.7743
Unit	投資	—	—	1.7550	2.8037	2.8067	4.7510
-TFP	輸出	—	—	1.1295	6.2669	3.6796	5.0347
	国内最終需要	—	—	1.1747	1.5789	1.9172	3.3246

図2 集計レベル静学的ユニット TFP

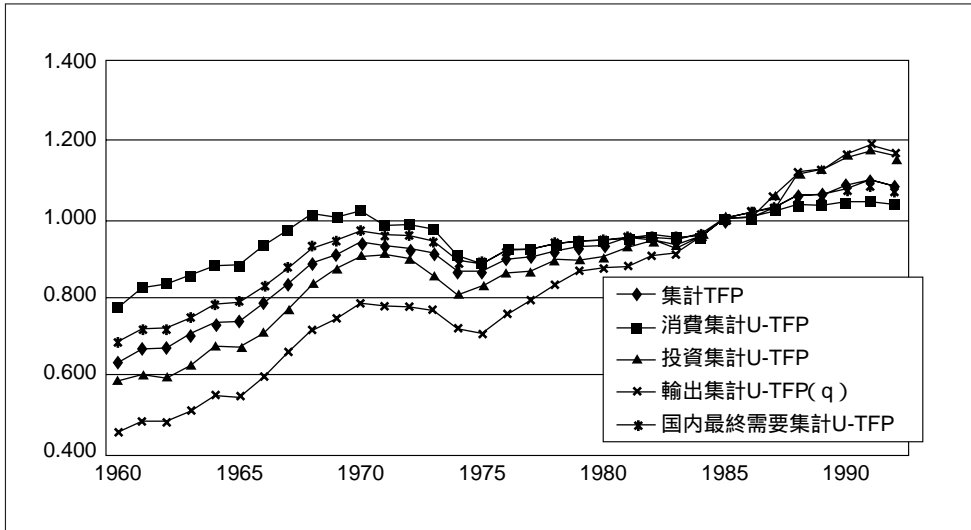
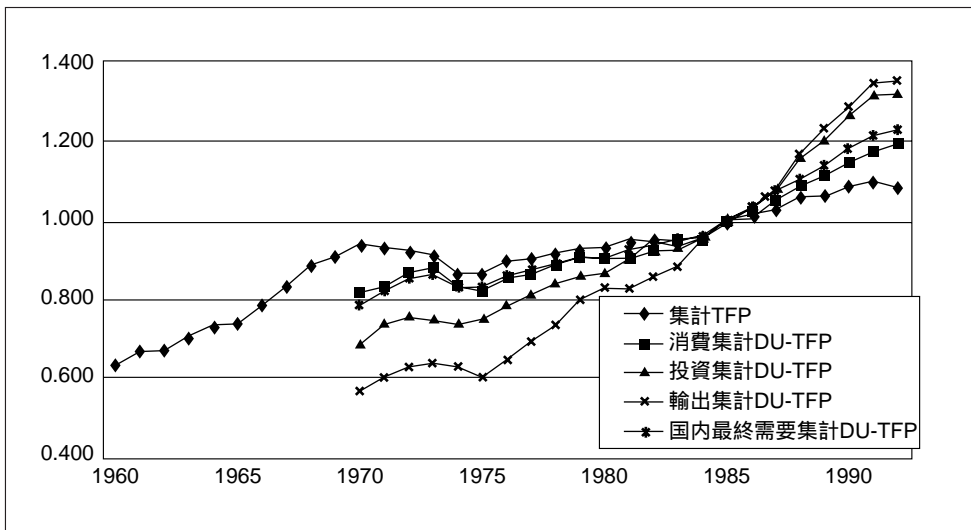


図3 集計レベル動学的ユニットTFP



## 6. 結びにかえて

本稿では、全要素生産性成長率の推移に関して、近年の革新的技術進歩の持つ意味を評価することを目指した。そもそものこの課題の発端は、近年しばしば指摘される、いわゆる生産性パラドックスといわれる直感的な疑問に始まっている。ここでは、近年の生産性の動き、とりわけ全要素生産性で測定された生産性成長率の停滞の傾向と投資やインフレ率の動きとの間に見られる一見奇妙な矛盾した動きをパラドックスと表現している。この問題には、全要素生産性の測定に際しての測定誤差の問題も大きな未解決の問題である。産出・投入の数量・価格の測定に際しての質的变化をいかに把握するか、また一国への集計に際しての集計バイアスをいかに除くかといった問題は、別途考えなければならない重要な課題である。ここでのアプローチは、これら測定の誤差の分析とは別に、近年の技術革新が持つ特性から生産性の動きに、従来の TFP 尺度では捕捉できない部分があるかもしれないという観点から、パラドックスの解明を行っている。通常の TFP 尺度が、特定産業の投入・産出に着目しているのに対して、ここでは、経済体系の部門間の相互依存性に着目して、生産性を把握することを提案している。それが、静学的ユニット TFP と動学的ユニット TFP の概念である。前者が、静学的にある産業の商品生産のための部門間相互依存の特性を把握しようとしているのに対して、後者は、各産業部門の資本ストックの過去における蓄積にまで遡って、動学的に生産性を把握しようとしている。我々の得た結果によれば、近年の情報技術を中心とする技術革新の生産性向上への影響は、通常の実産性尺度で算定されたものよりもかなりの程度高く、動学的ユニット TFP による生産性の把握こそが、近年の技術構造の特性を把握できる尺度となっていることを示すことができる。生産性パラドックスといわれる現象は、生産性の成長率を過小に評価していることからくるということになるかもしれない。



## 参考文献

- 尾崎 巖、「経済発展の構造分析（三） - 経済の基本的構造の決定 - 」、『三田学会雑誌』、73 巻 5 号、1980年10月、pp. 66-94
- 黒田昌裕・新保一成・野村浩二・小林信行、『KEOデータベース - 産出および資本・労働投入の測定 - 』、KEOモノグラフシリーズ No. 8、1997年
- Akerlof, G. A., “The Market for Lemons : Quality Uncertainty and the Market Mechanism,” *Western Economic Journal*, Vol. 84, 1970, pp. 488-500.
- Diewert, W. E., *The Measurement of the Economic Benefits of Infrastructure Services*, Vol. 278, Springer-Verlag, 1986.
- Feldstein, M. S. and Rothschild, M., “Towards an Economic Theory of Replacement Investment,” *Econometrica*, Vol.42, 1974, pp. 393-423.
- Greenspan, A., Speech at the Economic Club of Chicago, 1995.
- , Keynote Speech at the Conference held by the Federal Reserve Bank of Kansas, 1996.
- Hall, R. E., “Technical Change and Capital from the Point of View of the Dual,” *The Review of Economic Studies*, Vol.35, 1968, pp. 35-46.
- , “The Measurement of Quality Change from Vintage Price Data, in Griliches, Z. ed.,” *Price Indexes and Quality Change : Studies in New Methods of Measurement*, Harvard University Press, 1971, chapter8, pp. 240-271.
- Hulten, C. R., “The Measurement of Capital, in Berndt, E. R. and Triplett, J. E. eds.,” *Fifty Years of Economic Measurement : The Jubilee of the Conference on Research in Income and Wealth*, The University of Chicago Press, 1990, chapter4, pp. 119-158.
- , and Wykoff, F. C., “The Estimation of Economic Depreciation Using Vintage Asset Prices : An Application of the Box-Cox Power Transformation,” *Journal of Econometrics*, Vol. 15, 1981, pp. 367-396.
- , “The Measurement of Economic Depreciation, in Hulten,C.R. ed.,” *Depreciation, Inflation, and the Taxation of Income from Capital*, Washington: The Urban Institute Press, 1981, pp. 81-125.
- Jorgenson, D. W., “Capital Theory and Investment Behavior,” *American Economic Review*, Vol. 53, 1963, pp. 247-274.
- , “The Economic Theory of Replacement and Depreciation, in Sellekaerts,W. ed.,” *Econometrics and Economic Theory ; Essays in Honour of Jan Tinbergen*, New York: Macmillan, 1974, chapter10, pp. 189-221.
- Kuroda, M. and Shimpō, K., “Sources of Aggregate Economic Growth in Japan during the Period 1960-85,” *Journal of Input-Output Analysis*, Vol. 1, 1992, pp. 55-70.
- Kuroda, M., “A method of estimation for updating transaction matrix in the input-output relationships, in Uno, K. and Shishido, S. eds.,” *Statistical Data Bank Systems, Socio-Economic Database and Model Building in Japan*, North-Holland : Amsterdam, 1988, chapter2, pp. 128-148.

Leontief, W. W., "The Dynamic Inverse, in Carter, A. P. and Brody, A. eds.," *Contributions to Input-Output Analysis*, Amsterdam: North-Holland Publishing, 1970, pp. 17-46.