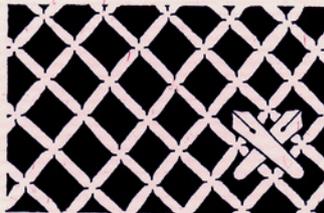


KEIO DISCUSSION PAPER



CALAMVS GLADIO FORTIOR

KEIO ECONOMIC OBSERVATORY
SANGYO KENKYUJO

KEIO UNIVERSITY

MITA MINATO-KU
TOKYO JAPAN

No 80

資本の測定概念

野村浩二

慶應義塾大学産業研究所

2002年11月

KEO Discussion Paper No.80

資本の測定概念*

野村浩二

慶應義塾大学産業研究所

nomura@sanken.keio.ac.jp

2002年11月

概要

資本は経済成長や生産分析においてもっとも重要な生産要素のひとつであるけれども、その測定においては尽きることのない問題を抱えたままである。本稿の目的は、資本の測定 (measurement of capital) のための概念を考察することにある。現在の資本の測定は、Dale Jorgenson、Robert Hall、Zvi Griliches などによって構築され、Charles Hulten などによって適用をみた資本の測定理論に則して展開され、精密な測定のための理論を提供する試みが継続されている。それは資本の測定におけるさまざまな限界を示すこととなったが、実証分析によって確認されなければならない問題も明確にした。資本の測定のためには、純粋に理論的な約束としての概念ではなく、観察に制約された測定のための諸概念の構築が必要である。それを測定概念と呼んでいる。一般に、生産要素としての資本の測定は、二つの意義を持っている。一つは、生産過程において投入される物的な資本投入量の測定であり、効率単位によって測定される資本ストックや資本サービス量を指す。もう一つは所有する資本価値 (capital value) の測定である。資本の能力や効率性が将来にわたっても提供されるという耐久的な性質によって、資本はある期間に使い尽くされることなく価値を貯える。一つの実体の持つ、この二つの側面は、資本の概念を伝統的に不明瞭なものとしていた。それは資本の双対アプローチ (dual approach) によって総括的に把握される。本稿ではおもにある時点に存在するひとつの同質的 (homogeneous) な資本財のみを想定している。そこには製造年代 (vintage) と設備年齢 (age) の異なる資本財が存在するであろう。前者は資本に体化された技術進歩 (capital embodied technology)、後者は経時的な劣化や磨耗 (decay) あるいは物理的償却 (physical depreciation) を反映して、その品質は異なっていると認識される。それぞれを比較可能なものとするためには品質の統御を可能にするような調整が為されなくてはならないし、実際に採用される諸仮定の持つ意味を資本の測定フレームワークから明らかにすることが重要であろう。また資本の双対アプローチによっては、資本ストックにおける粗概念、純概念および生産的資本概念を総括的に理解することができる。

* 本稿は資本の測定に関する諸概念を考察する preliminary な原稿である。資本の測定に関する諸概念については、慶應義塾大学 新保一成助教授、尾崎巖名誉教授、黒田昌裕教授との議論に多くを負っている。

1 資本の測定

1.1 資本と生産過程

資本 (capital) の精密な定義を与えることは困難であり、その対象とする範囲を先験的に規定することもまた困難である。一般に、あるいは理念的に用いられる“資本”という概念は、現在および将来の生産過程に投入される有形、無形な資本から、保有する貨幣や証券などの金融資産、さらには人的資本や知的資本、自然環境や各種の制度を含む社会的共通資本まで、きわめて広範な諸概念を包括して適用されている。資本の概念は、富、所得、生産あるいは消費といった概念から識別されるものでなければならないし、またそのような経済概念と独立に定義されるものでもない。本稿における資本は、“生産手段” (means of production) あるいは“生産要素” (factor input) としての、物的な、より正確には非金融的な資本に限られている。そして、その測定と分析を目的とする本稿においては、資本概念それ自体の定義ではなく、観察に制約を受けながらも測定可能であるような、資本の“測定概念”を構築しなければならない^{*1}。はじめに生産過程 (production process) の認識について考察しよう。資本の測定概念としての適用範囲は、生産過程の認識にともなって規定されることになるからである。

ある経済行動を生産過程として認識するためには、観察者においてそれが陰伏的か、あるいは明示的であるかに関わらず、いくつかの基準を必要としている。第一に、生産として捉えるための測定期間が規定されなくてはならない。生産は、一時点において定義されるものではなく、ある期間の設定を必要とする。第二に、われわれが対象とする生産の範疇である。これは生産の境界設定 (boundary of production) 問題と呼ばれている。一つの財貨・サービスを需要したとき、それが消費活動とは識別され、資本の形成過程 (投資活動) であると認識されるためには、また中間需要からも区分され、資本の利用過程 (生産要素投入) であると認識するためには、われわれの観察において想定される測定期間と生産の境界における設定とを欠くことはできない。その財が、分析や観察において想定される期間を超えて、生産過程において投入されるとき、もしくは生産過程において繰り返して利用されるとき、はじめてそれは“資本”として認識されることになる。

例示によって示そう。もし米の生産過程の把握において測定期間を1年とするのであれば、米の生産過程における投入物は、肥料などの中間財や労働投入に加え、生産要素としてのトラクターなどの資本投入を考慮しなければならない。それらはその測定期間中にすべてが使い尽くされず、将

^{*1} Joan Robinson[1956]はその著『資本蓄積論』においてKarl R. Popperによる次のような一文を引用している。「精密な定義を組み立てすぎて、定義の方が、その定義を適用する事柄よりも、ヨリ精密になることは無益である。」経験科学としての理論にとって、それを構成する諸変数の精密な定義は必ずしも必要条件ではない。その概念が適用される対象物と、それによる経験的な分析と予測における反証可能性こそ重要であると考えている。その意味で、純粋に理論的な約束としての概念ではなく、観察に制約された測定のための理論的な概念を考察する。これを“測定概念”と呼んでいる。

来の生産過程においてもサービスを提供するという意味で、中間投入とは区分される。もし短期に、1日ごとの生産を扱うのであれば、投入物のほとんどは（仕掛品などの在庫資産を含めて）資本の投入であると解される。そして長期にとれば、トラクターなどの資本財の過去における生産過程が、期中における生産過程として包含されることで、資本投入は消滅することになるだろう^{*2}。労働や土地などの本源的生産要素以外は、すべて中間投入物でしかない。

資本の利用過程（生産要素投入）における上記の考察は、資本の形成過程（投資）においても同様である。米の需要は、1年といった測定期間を設定するのであれば、最終需要のうちいくらかは消費的であり、いくらかは来期の生産のための（種子としての）需要によって投資的であると認識される。もし測定期間の基準を1日とみるのであれば、その需要先はすべて資本形成（仕掛品としての在庫投資）である。逆に、10年といったような長期にとるのであれば、中間消費も含め、需要のほとんどが消費的であると認識される。観察における測定期間を長期間にとるほど、同じ財であっても資本財から、消費財へと概念的な認識は変化し、資本形成は消滅してしまうであろう^{*3}。

資本の認識のためのもう一つの基準、生産の境界設定との関連について考察しよう。通常の経済分析においては、生産活動をおこなう主体は企業であり、家計は生産をおこなわない純粋な消費主体としての位置付けによっている。もし家計による労働サービスの提供を、家計企業による生産過程として捉えたとするならば、家計による自動車や家具などの耐久消費財の購入は、資本の形成（投資）として認識されなければならないだろう。また同様に、家計の専業主婦による家事サービスの提供を生産過程として捉えるのであれば、洗濯機、掃除機や冷蔵庫などの耐久消費財購入も、投資的であると解されなければならない。

生産の境界を、私的なそれに限らず、社会的生産をも含むものとして拡張して思考することも有意義であろう。高度成長によって露呈した地域的な公害問題や、現在警笛が鳴らされているグローバルな地球温暖化は、自然環境を人類にとっての社会資本として認識すべきであることの警告である。良好な自然環境の提供を社会サービスの生産過程として捉えるならば、資本の概念は私的に形成されるそれに限らず、社会的に形成される資本を含むものへと拡張されなければならない^{*4}。一般に、生産の境界設定は *a priori* に規定されるものではなく、観察者の問題認識に依存している。そしてその境界の拡張は、資本概念の適用範囲の拡大をもたらすのである。

^{*2} このことは、現在の生産過程において投入される資本サービスを、その資本サービスをもたらす資本財の過去の実生産過程において投入された労働や土地などの本源的生産要素へと還元していることを示している。このような“生産された生産手段（produced means of production）”としての資本の特性に対する分析は Kuroda-Nomura[2001] で扱われている。

^{*3} ここで測定期間と述べているものは、分析や観察のために設定した一つの会計期間（accounting period）であり、本源的生産要素投入と産出量に対して生産過程の完結する仮想的な期間を示す Böhm-Bawerk 流の生産期間（period of production）とは異なっている。測定期間を長期にとるのであれば、生産期間の長短は無視することができる。生産期間を無視することができれば、資本は消滅してしまうのである。

^{*4} 宇沢 [1994] によって展開される社会的共通資本（social overhead capital）は、自然資本（環境）、道路や公園などの社会的インフラストラクチャー（狭義の社会資本）に加え、教育、医療、司法、会計などの制度資本も含めて、その概念が適用されている。測定のための概念としては困難な面も否めないが、生産や資本概念のこのような拡張と資源配分と分配問題に対する理論分析は極めて示唆に富むものである。

生産過程の認識によって、はじめて資本の測定概念の適用物を設定することができる。資本が一つの測定期間を超えて（繰り返して）利用されるとき、一つの測定期間における生産過程の描写のためには、製造された年代も異なり、その年齢（設備年齢）も異なる資本を扱わなければならない⁵。その測定概念の構築のためには、さらに生産過程や技術と資本の関係、資本に体化された技術進歩（capital embodied technology）、測定単位（unit of measurement）、同質性（homogeneity）と異質性（heterogeneity）、資本の製造年代（vintage）や設備年齢（age）、集計（aggregation）といった、観察においてさまざまな困難性を持つ、資本の測定理論において必ずしも同意にいたっていない領域へと進まなければならない。本稿では最後の2.4節まで、ただ一つの同質的な資本財—正確には、同質的であるとして扱うことになる資本財—のみを想定して考察をおこなう。1節では資本ストックを導き、2節ではサービス概念との対応を明確にした上で、その双対的關係として価格面から資本サービス価格および資本取得価格を導出する。それらは必ずしも新古典派資本理論に限って成立するものではない。2.2節における資本サービス価格という概念も、それが機会費用としての帰属価格であるという意味では必ずしも新古典派における完全な可塑性（malleability）を仮定するものではない。2節の最後に考察される異質（heterogeneous）な資本に対する新古典派的な集計プロセス以外は、生産要素としての資本、その効率性と価値の測定と評価のために経済学的に求められる共通の問題設定によっているといえる。資本の双対アプローチによって、旧来の資本の測定において隠れていた問題点が明確になり、またあいまいなままであった資本の効率性と価値との概念的対応を明確にすることができる。いずれも、資本ストックおよび資本サービス価格の具体的な計測のための基本的なフレームワークを示すものである。

1.2 技術と資本

“技術”という概念は、何を指すだろうか。一般に用いられるその用語の意味するところは、大きく異なるものである。火力発電所のエンジニアには、発電プラントという有形な対象こそ、あるいは熱効率と言う一つの代表的指標こそ技術の表現であるかもしれない。交通工学の研究者にとっては、道路の可能交通容量を所与として、燃費など性能の異なる自動車相互の行動およびその制御システム全体を指すかもしれない。またデザイナーであれば、人間の感性や技などの人的資本に体化された無形なものこそ技術であるかもしれない。

いずれにせよ、それは生産過程において用いられる概念である。生産過程を一般的に記述すれば、生産主体は資本、労働、原材料、エネルギーといったさまざまな生産要素をインプットし、生

⁵ もし仮想的に、資本を自己保有せず、体系外から完全にレンタルされているとすれば、生産の測定期間を超えて利用されるという特性を（理論的には）特段に強調する必要はなくなってしまう。新古典派の資本理論が“capital theory without capital”と揶揄される所以である。しかし資本の“測定概念”としては、観察の制約のもとで、一つの測定期間を超えて実際に存在し、繰り返して利用される製造年代と設備年齢の異なる資本を集計可能なように品質調整をおこなうことによって、最終的に他の生産要素と同列にあつかうことを可能にするものである。その意味では capital measurement theory for capital theory without CAPITAL が測定のための目的である。

産主体の有する技術状態を媒介にして、生産物であるさまざまなアウトプットを産出するというものである。その経済学における技術関係式 (technological relationship) の表現は、生産関数 (production function) と呼ばれている。生産要素としての資本の計測という視野に立つとき、資本の測定概念の明確化のためにわれわれの考慮すべき問題は、“技術” (technology) を表現する生産関数と“資本”との関係である。技術と資本の関係を考察するために、はじめに経済学的生産関数とは異なるアプローチによる、工学的生産関数と呼ばれるより直接的な技術関係式から考察しよう。

工学的生産関数 (engineering production function) は Chenery[1949][1953] によって提案された、ある生産過程において工学的に存在している物理量の間にある技術関係式を示すものである⁶。一例として火力発電を想定するならば、ボイラーの容量や使用圧力、蒸気タービンの羽根の効率などにより直接的な工学的技術関係式が構築され、化石燃料の持つエネルギーを電気に変換するプロセスを定式化することができる。工学的生産関数は、生産過程において用いられる資本一異なる多様な資本財の集合体である“プラント”を、直接的にそれ自体の関係式によって描写することによって“技術”を表現している。むしろプラントにおける技術進歩や経時的な生産能力の劣化も、技術関係式における物理量やパラメタの変化として捉えられなければならない。そのアプローチにおける前提は、技術が資本に体化 (embodied) されていることであろう。これは経験的にはきわめて自然なことである。そしてわれわれの考察にとって重要なことは、資本という経済変数は工学的生産関数それ自体では直接的に扱われずに、工学的生産関数という技術関係式において表現されていることである。生産要素としての資本の測定は、工学的生産関数の構築そのものを指すと考えることができる。

技術や資本の工学的生産関数による表現は、確かに生産過程において自律度 (autonomy) の高い関係式の構築を可能にする⁷。経済学が隣接する諸科学との接合を求めるのであれば、より安定的な生産過程の描写を目的とするならば、この方向は推進されるべきものであろう。しかしそれは生産理論と分配理論、あるいは投資理論との関連など、経済理論体系内における生産関数という位置づけにおいては、親和性は乏しいと言わざるをえない。また生産過程の記述のみを描写するとしても、その適用範囲には限界が残されている。経済学における生産主体は、言うまでもなく農林水産業、製造業に限らず、サービス業を含んだすべての主体を対象とする。それらを技術の類似性か

⁶ Chenery[1949] ではパイプライン、小尾 [1957] では水力発電などの具体的な計測例があり、最近では新保 [2000] での汽力発電プラントにおいても用いられている。特に経済理論の体系内において扱われるためには、工学的変数が経済変数と接合して捉えられなければならない (特に経済変数としての投資との関連を記述することは困難を伴う)。エネルギー問題や地球温暖化などの環境問題を視野に入れるならば、経済分析における工学的生産関数の利用は、推計精度を高める上で望ましい技術表現である。生産要素としての資本の測定においても、物理的償却率や除却率などに対する工学的情報を用いた補完は将来的に拡張されるべき一つの方向を示すであろう。工学的生産関数のサーベイについては Wibe[1984]、Smith[1986] に詳しい。

⁷ 小尾 [1957][1972] で議論されているように、“パラメタが同一対象についてが繰返し計測されたとき、(一) パラメタの値が推定誤差の許容しうる範囲内で安定的な値を示すならば、(二) 又はパラメタの値の変位の仕方が予知しうる様な方法でこの構造が捉えられたならば、捉えられた構造系は自律的である”、と言う。

ら分類した産業 (industry) という集計概念によって捉えたとすれば、あらゆる産業においてそれぞれの生産関数が求められなければならない。工学的生産関数はその適用において、発電、製鉄、石油精製など重工業部門や運輸部門などに限定せざるを得ない。プラントという概念に馴染まない生産主体への工学的生産関数の適用は困難である。さらには企業組織における労務、経理、総務など間接部門におけるインプットをも含むものでなければ生産活動として自己完結的ではない (産業連関表における列ベクトルを想起されたい)。その意味で工学的生産関数は、産業の一部、かつ一部のプラントを基底とする工学的技術関係に縛られた生産要素にのみ適用可能なものであるという限界を持っている。

これに対し経済学的な生産関数は、あらゆる産業に適用可能な自己完結的技術表現である。さまざまな生産要素を資本、労働、エネルギー、原材料というそれぞれの集計概念によって定義しよう。それぞれは K 、 L 、 E 、 M 、すべての要素投入量はまとめて $KLEM$ と表記される。 K についてはただ一つの同質 (homogeneous) な資本が存在しており、またそれはストックあるいはサービス概念であるかを明示せず資本投入量として認識しておく。生産量 X と $KLEM$ 投入量による一般的な生産関数の記述 $X = f(K, L, E, M)$ は、一つの技術を表現する関係式として自己完結的な表現となる。このような経済学的生産関数による技術表現は、資本を一つの生産要素として扱っているという点において、工学的生産関数とはその概念が大きく異なっているといえる。工学的生産関数では、技術を体化した資本、それ自体が技術関係式としての生産関数によって表現されていた。そこでは生産要素としての資本投入量や資本ストックの計測は (少なくとも技術的関係式の記述においては) まったく必要とならない。経済学的生産関数による記述においては、技術を表現する生産関数と資本は分離して捉えられなければならないのである。

このことを技術の“変化”との関連において考察しよう。異時点間における経済学的生産関数の記述においては、生産過程における技術の変化を取り扱うことになる。生産関数に時間の要素 t を導入し、Hicks neutral な技術進歩を仮定して $X_t = A_t f(K_t, L_t, E_t, M_t)$ のように表記しよう。 A_t は時間の変化による生産関数の変位を意味し、ある時点の技術状態を示していると解される。両辺を $f(\cdot)$ で割れば、 A_t は (総) 産出量を総投入量で除した産出-投入比率 (output-input ratio) であり、そして“全要素生産性” (Total Factor Productivity ; TFP) の定義を与えるものである。TFP における変化は投入量 $KLEM$ の変化に因らない産出量 X の変化であるから、広い意味での技術進歩率の指標であると解される。資本の計測にとって、資本投入量 K と技術水準を示す TFP との関係を確認することは重要である。

一つの問題を想定しよう。もし資本財に新しい技術の向上があったとき、それは K_t の増加として認識されるべきか、あるいは TFP (A_t) の上昇として認識されるべきであろうか。資本の測定概念においてこのことを言い換えると、 K_t は資本財の質的变化 (quality change) を含んで定義されるべきか、あるいは質的变化を除いて定義すべきか、という問題である。この問題に対する回答は、資本の測定概念に関する前節の考察からも接近できる。資本は生産過程における測定期間を超

えて（繰り返して）利用される。その測定を問題にする限り、一つの測定期間において異なる設備年齢を持つ、あるいは異なる製造年代を持つ資本財の存在を無視することはできない。そして新しい資本財の導入によってもたらされる技術進歩は、過去に生産および蓄積した資本財においては何らの変化もおこさない、と考えることが経験的には自然である。そのような技術進歩に対しては、新しい資本財を用いた生産過程においてのみ、生産量の拡大が達成しようとするべきである*8。よって“資本に体化された技術進歩”（capital embodied technology）は、時間の変化に伴う一律の技術水準 A_t の変化としてではなく、資本投入量 K_t において測定されなければならない。

このことを資本の測定単位（unit of measurement）という視点から考察したい。 K_t という時系列的な資本投入量の変数自体を定義するとき、そのためには適切な測定単位としての基準を伴うものでなければならない。ひとつの資本財における時系列的なデータ系列を同質的であると認識するためには、資本の能力（capacity）や効率性（efficiency）を基準としてはじめて有効な測定単位となる。これはあらゆる経済変数の実質量の定義における one dollar worth などと同様な議論である。資本は、どこかの時点の効率性を基準とする効率単位（efficiency unit）によって測定するしかないであり、その測定単位のもとで、資本に体化された技術進歩は資本投入量の拡大として測定されなければならない*9。資本に体化された技術進歩に関する以上の考察は、L や EM に体化された技術進歩を想定しても基本的には同様である。

この確認のもとで、TFP 概念における変遷を考察しておきたい。Robert Solow[1957] に代表される、第二次大戦後から 1950 年代において計測された数々の先行的な研究例は、農業や第一次産業を対象としたものを例外として、そのほとんどが一国集計レベルでの議論であった*10。よってそ

*8 このことは分析的には、資本の製造年代（vintage）を特定化し、資本に体化された技術進歩を扱っている vintage model によって明示的に示される（Johansen[1959]、Solow[1960]、Fisher[1965] など）。そのモデルは 1.5 節で扱う。ただし現実を観察されるように、PC というハードウェアにソフトウェアがインストールされていたり、あるいはハードウェアのモジュール化の進行を考慮すれば、（ソフトウェアや CPU のような部品における）新しい技術進歩は僅かな投資によって過去の資本の能力量をも高めることができるであろう。その意味では個々の資本財の特性に依存している面がある。

*9 効率単位という測定単位の設定は、その詳細を次節以降で扱う。後に考察するように、効率単位は資本（およびそれを構成する機能的特性）それ自身の限界生産力比に基づいて解することができる。ここでの効率単位は、Leontief が陰伏的理論化（implicit theorizing）であるとして批判した修正単位としての能率単位（英語では同じ efficiency unit）とは区分されるべきである（Leontief[1966] pp.66-67）。能率単位は、ある生産要素に対して、その物的な限界生産力が一定に保たれるように、生産要素投入量の単位を変換して定義するものであり、資本の限界生産力の逡減に対しては、あたかも資本投入量が小さくなったように補正されるとする。これは Leontief の批判のとおり、概念上の問題のスリ替えに過ぎない。ここでの効率単位は、望ましい測定のための単位である。

*10 TFP の創生期およびその前夜に関するサーベイは、Zvi Griliches[1996] に詳しい。1930 年代の NBER による国民所得統計の発展と Paul Douglas による生産関数研究、この二つの研究上の系譜が Solow[1957] において一体化したこと、そして技術進歩に関する指標として、後の TFP と類似的な産出-投入比率はすでに大戦前の Morris Copeland(1937) および M.Copeland-E.M.Martin(1938) によって提案されていること、そのもっとも早い計測は大戦中のドイツにおける Timbergen(1942) によるものであることが紹介されている（それは米国では戦後になって発見された）。Solow[1957] の計測前には、George Stigler(1947)、Glen Barton-Martin Cooper(1948)、Jacob Schmooker(1952)、Solomon Fabricant(1954)、John Kendrick(1955)(1956)、Moses Abramovitz(1956) など数多くの計測例が存在しており（これらの参考文献は Griliches[1996] を参照されたい）、Solow の計測は“問題においても、データにおいても、結論においても何一つ新しくなかつた”が、経済理論を TFP の計測に関連付けた“new wrinkle”だけを持っていたこと、そしてそれゆえに経済成長論やマクロおよびミクロ経済学に多大な影響を与えた

ここで陰に陽に想定される生産関数は、付加価値ベースでの集計的生産関数（aggregate production function）である。総発生付加価値（実質 GDP あるいは GNP）を Y_t として、集計的生産関数を $Y_t = A_t f(K_t, L_t)$ と表記しよう^{*11}。Solow[1957] による計測結果は、1909–49 年の米国における経済成長（ Y_t 成長率）の 52%、一人当たり経済成長（ Y_t/L_t 成長率）の 87.5% が技術進歩による貢献であるとする、驚くべきものであった。それは資本蓄積や資本深化が経済成長に対して僅かな役割しか果たさないという投資悲観を示すものである。その後の Solow[1960] による vintage approach によっては、資本に体化された技術進歩の再評価が試みられているけれども、TFP 概念におけるその測定としての方向性を大きく変換させたものは Jorgenson–Griliches[1967] である。

Jorgenson–Griliches は、当時の米国において観察可能な経済統計のもとで、産出および投入要素それぞれの数量と価格の慎重な識別、理論的に整合的な集計化など、適切な計測をおこなうことによって TFP 成長率は無視しうるほどまでに小さくなるというものであった。それは残差（residual）でしかない TFP を、より適切な観察および測定概念の明確化によって縮小しうることを精密な計測によって明らかにしたものである。むしろ Solow や Kendrick などによるその創生期から、TFP が residual としてしか測定されえない概念であることは明確に認識されていた。Jorgenson–Griliches による測定によっては、TFP は “the residual” また “the measure of our ignorance”（J–G[1967] p.249）としての認識を強めることになったと言える。しかし、このことは経済理論およびその測定理論に基づいた経済現象への精密な適用によって、適切な経済成長の評価が可能であること、そしてそれゆえに資本（および他の生産要素）に体化されない技術進歩（disembodied technological change）である TFP の意味を明確にすることができることを示すものである。その後の TFP の測定は、経済成長の要因分解として、生産要素 KLEM の質的変化を含んで観察可能な限り詳細に定義した投入量の変化によって生産量の変化を説明することを目的と

ことを指摘している。そして最後に次のことも述べている。TFP に関するパイオニアたちが、かなり明確にその計測の脆弱性を理解し、それが “pure” な技術進歩の指標として誤解されうること、より正確には Abramovitz が示したように “indication of where we need to concentrate our attention” として解釈されるべきことに同意していたことである。

^{*11} この集計的生産関数（aggregate production function）の存在は、生産関数論において後に広範な議論を生じた。その存在に関する問題は、特にミクロ的生産関数およびその生産要素を前提として、それと整合する集計的生産関数が存在するかという問題設定においておこなわれている（ここでは一国レベルでの集計を想定しているが、vintage model からの集計を想定すればミクロ的生産関数もまた集計的生産関数であり、それ自体は相対的な概念である）。Cobb=Douglas 型生産関数によってミクロ生産関数が存在しているとすれば、投入と産出におけるそれぞれの変数の和集計値によっては Cobb=Douglas 型での集計的生産関数を導くことができないことは明らかである。これが満たされるための、ほとんどありえない集計のための条件が提示されるなど、多方面の議論が展開されている。Leontief によっては、個々の生産要素が集計的生産関数において分離して定義されるための一般的な集計化条件も示された。また Houthakker[1956] によっては、それぞれのミクロ的生産主体が、固定投入係数で表される生産方法の二つ以上の組み合わせによって生産をおこなうことができ、かつ結果としてそれぞれの投入産出比率がパレート分布にしたがって分布しているとすれば、集計レベルにおいて Cobb=Douglas 型生産関数に集計化されるであろう、Houthakker の定理が示されている。これらのことが明らかにしたのは、ミクロとマクロの生産関数の整合を図ることが困難であること、また集計的生産関数の存在と分配に関する適合性が個別の限界生産力命題の成立に対して何の根拠をも示さないことである。しかしこれらのことは集計的生産関数を完全に排するものではない。最終的な判断者は、観察データによる検証および反証によるしかないのである。

している。説明されえない指標としての TFP はそれゆえに存在意義を持っているのである^{*12}。

TFP は residual としてしか定義されない観察物であるからこそ、その意味や変動要因を明確にするためには、資本投入量をはじめ、それぞれの測定概念における理論的要請に基づいた生産要素投入量の計測が不可欠である。同様に、経済学的生産関数の計測においても、自己完結的な技術表現となるためには質的变化を織り込んだ資本投入量の計測が必要となる。“技術”は生産関数として総括的に表現され、“資本に体化された技術”は資本投入量の計測において内包的に扱われること、それが可能となるために共通の測定単位を設定すること、これがわれわれの資本の測定の出発点となる。

1.3 測定単位と品質

前節では資本の測定において、その測定単位は効率単位 (efficiency unit) と呼ぶべきものであることを明示した。ここでは工学的な意味での測定単位の紹介から、経済現象の測定における単位と品質統御の問題、そして集計 (aggregation) の問題を考察する。それを受けて、次節以降の資本の測定概念に結びつけることとしたい。

測定の対象物が与えられたとき、一般には複数の単位によって計測をおこなうことが可能であろう。たとえば高炉を観察対象とするならば、もっとも単純な単位である基数から、炉内容積 m^3 、出銑能力量 $t/日$ などである。一般にどの測定単位がもっとも望ましいかは観察の目的に依存しているが、工学的な測定単位については基本となる量体系 (system of quantities) のもとで捉えることができる。基本的な量体系は、長さ、質量、時間、電流などであり、このような量体系における測定単位は“基本単位” (base unit) と呼ばれている^{*13}。そして基本単位の組み合わせや、変換によっては、高炉の例における炉内容積 m^3 や出銑能力量 $t/日$ を定義することができる。これは基本単位の乗除によって定義される、“組立単位” (derived unit) と呼ばれるものである。経済学においては、基本単位や組立単位はなじみが薄いので、これを“自然単位” (natural unit) と呼んでおこう。

^{*12} Karl R. Popper [1957] による自然科学と社会科学の方法論的一元論を示した『歴史主義の貧困』では、“ゼロ方法”というものを提示している。それは“介在する諸個人がすべてまったく合理性をもつという仮定（そして、おそらく、十分な情報をもつという仮定）の上にモデルを構築して人々の現実の行動がそのモデルの行動とどれほど偏差するかを、一種のゼロ座標として後者を用いながら評価する方法” (p.212) である。Popper は社会科学においては論理的ないしは合理的構成の方法とも呼びうるもの、あるいはゼロ方法と呼んでよいようなものを採用しうる可能性があることを、自然科学と社会科学の最も重要な相違としている。このことを経済学において考察するならば、規模の経済性や不完全競争を想定した場合における測定値も一つの基準によるものと評価することができるが、生産関数の一次同次性と完全競争の仮定がもっとも Popper の意味での“ゼロ座標”であり、またその仮定に基づく TFP 計測法は“ゼロ方法”と呼ぶに適しているであろう。(ただし Popper は、それまでにほとんど社会科学の考察へと至っていないから、このことは自然科学との対比における Popper 流の方法論的新古典派評価であると考えられる。)

^{*13} 現在の科学的知見のもとで設定される量体系は、長さ、質量、時間、電流、温度、物質質量、光度、平面角、立体角である。このような基準となる量体系における基本単位は、(SI 単位系では) それぞれメートル (m)、キログラム (kg)、秒 (s)、アンペア (A)、ケルビン (K)、モル (mol)、カンデラ (cd)、ラジアン (rad)、ステラジアン (sr) によって定義されている。

基本単位や組立単位は工学的に規定される測定単位であり、経済現象を含めて定義するためには、その範囲を拡張しなければならない。経済現象において“物量単位” (physical unit) と呼ぶときには、自然単位の他に、高炉一基、乗用車一台、住宅一戸、果物一個、電話番号案内サービス一回などのおおざっぱな測定単位を含むものである。人口や労働力などの指標では、人 (man) や人時間 (man-hour) も物量単位として定義されうる。また経済現象の観察におい

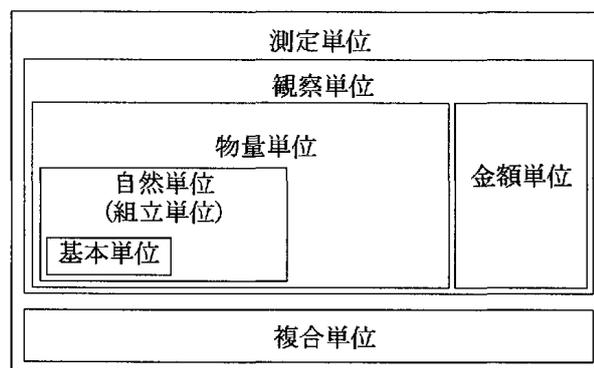


図 1: 経済現象の測定単位

ては、通貨による金額単位 (名目) もまた重要な測定の単位である。物量単位に金額単位を加えたものを、直接的に観察可能であるという意味でここでは“観察単位” (observable unit) と呼んでおこう。測定単位に関するこれまでの整理に基づけば、これまでのわれわれの目的とする“効率単位” (efficiency unit) はその外に位置している。後述するように効率単位は、直接的に観察可能な単位ではなく、さまざまな物量単位 (および自然単位) から集計加工した複合的な単位である。そこには陰に陽に経済理論における行動原理の適用や関数型などに対する仮定を必要するかもしれないし、実際の資料の入手可能性からはさまざまな単純化をしなければならないかもしれない。ここではそれを“複合単位” (composite unit) と呼び、効率単位は複合単位のひとつとして位置づけることにする。経済現象における測定単位 (unit of measurement) 全体の集合は、図 1 に示すように観察単位に複合単位を含めて成立する^{*14}。

複合単位は品質の統御を目的とした測定概念である。はじめに経済変数における品質の問題を考えよう。測定の対象物とする経済変数としての財が、もし十分に詳細な分類によって定義されているとき、ただ一つの財の品質 (quality) をよく代表しうる唯一の物量単位は存在するだろうか。エネルギー、鉱物資源 (地金) などのごくわずかな例外を除いては、そのような財はほとんど存在していないことは明らかである。ある財は、自然単位によって特性 (characteristics) を表現することができるかもしれないが、それは品質を表現する唯一のものではなく、複数の自然単位の組み合わせによってはじめて財の多面的な品質を表すであろう。高炉では、高さ m 、炉内容積 m^3 、出鉄能力量 t /日、PCI (微粉炭吹き込み) 比 kg /銑鉄 $1t$ 、TRT (炉頂圧力発電設備) など、技術的な複数の特性を持っている。果物でも、体積、質量、水分量、甘さ、新鮮さなど、その品質は多様であ

^{*14} 複合単位のうち、資本財に対しては一般に効率単位と呼んでいるが、対個人サービスなど多面的な品質を有している消費財においては効用単位 (utility unit) と呼ぶべきものが存在している。前者は生産関数を、後者は効用関数を基礎とする評価である。また物量単位や複合単位が実質量に対する測定単位であるのに対して、金額単位は名目量を対象としたものであり、経済現象における特有の量体系を示すと言うことができよう。

る。また、ある財（特にサービス）は測定において唯一のごくおおざっぱな物量単位（回数など）しかもたないかもしれないが、その単位による計測は品質を表現するにはまったく不十分だろう。測定単位のそれぞれは、“一面的”な品質の評価であるに過ぎない。しかし経済が観察対象とするほとんどの財は、“多面的”な品質を持っている^{*15}。

むしろ実際の計測における財の分類は、資料の入手可能性に大きく制約されている。同一分類に定義される、ただ一つの財においても多面的な品質のそれぞれは大きく異なる。また財における多面的なそれぞれの品質は、時系列的には異なる比率で変化するだろう。果物は品種改良によって、その甘さという一面からの品質は向上していることは一般に経験するところである。技術進歩が財に体化されるのであれば、財の質的变化を扱わなければならない。このように考えてきたとき、経済変数として一つの財分類は、もはや直接的に同質的（homogeneous）であるとして扱うことはほとんど困難である。それらは pseudohomogeneous なものに過ぎない。そして多面的な品質とその質的变化を統御するためには、物量単位から複合単位への変換（集計）が求められることになる^{*16}。資本の測定に戻ろう。資本において、その測定単位が特に問題にならざるをえないのは、第一に、それが最終生産物として多面的な品質のバラツキがより大きく、そしてそれが時系列的にはより大きな質的变化を持つことによる^{*17}。むしろ既述のとおり、資本財に限らずほとんどの財が品質統御において問題を抱えており、それが顕著な例が資本であるにすぎない。資本の測定単位として、一般にもっとも物量単位が有効と考えられている対象物は土地であろう。土地は面積 m^2 な

^{*15} より具体的に、時点と主体とをとまなう、ただ一つの財の経済取引を測定の対象物としよう。そのときすべての財が多面的な品質を持つ。工期の短い高炉建設、砂漠の中の果物一個、再入場の許されない映画館の缶ジュースなど、それらは財本来の品質における多面性に加え、別のサービスをもたらすものである。さらには鉱物資源やクギなど、物理的には完全に同じ財であっても、小ロット・多頻度で発注可能であるならば、その財は別の品質を持っている。現実に観察される価格がまったく一物一価ではないように、物理的に完全に同一であっても、取引される“財”は常に付随するサービスとの複合財であり、個々の経済取引の状況に応じて品質は異なる。このような現実に観察される品質の多面性は、個々の経済主体における経営やマーケティングとしてはきわめて重要であるにも関わらず、経済統計としては取り扱うことができない。事後的な個々の資料の集計値（あるいは平均値）として観察されるのみである。

^{*16} 実際の計測においては、財の多面的な品質のうち、（われわれの経験的に認識しうる）すべてを観察できるわけではない。そのような現実の制約のもとでは、ごくおおざっぱな物量単位による計測から、複合単位による計測まで、その品質における統御の成否は程度の問題に過ぎないであろう。しかし測定概念として重要なことは、より望ましい品質の統御を可能にするような、価格や数量における観察のバイアスを可能な限り縮小しようとする測定単位へと接近することである。そのような測定単位概念の志向によって、財の品質を調整した理論的に望ましい数量（あるいは純粋な価格）の把握へと漸近的に接近しなければならない。そしてそのとき“一つの財”は同質的（homogeneous）であると定義せざるをえない。

^{*17} ケンブリッジ資本論争（Cambridge controversy）の契機は、労働が人（man）や人時間（man-hour）といった測定単位を持つものに対して、資本はその測定においてそれ自身の自然単位を持たない、という Joan Robinson らによる英国ケンブリッジの経済学者による問題提起であった。自然単位という用語は本来であれば工学的な組立単位を指すものであろうが、このような文脈では経済学的な意味での物量単位あるいは直接に観察可能な単位としての観察単位を指していると考えられる。それを物量単位とすれば、資本もまた個数や台数などの単位を持つものであり、それは労働における上記の単位と比較して、品質の統御という視点からは本質的な区分がされるものではないし、ともに単純な物量単位によっては品質統御に十分ではない。労働投入量の物量単位も、低賃金のアルバイトから、技術者や経営者まで広範な労働サービスの質的差異を捉えるものではない。自然単位を持たないという指摘は、生産過程における投入物の測定概念が明確に意識されている今日では問題設定とはなりえない。むしろ個々の異質な資本財の集計問題、集計資本量の存在に関して問題設定がおこなわれるべきである。この点は 2.4 節において考察する。

どの自然単位（組立単位）によって、広さを表現するには十分である。しかしこれまでの考察と類似的に考えれば、その品質はかなり大きな差異（おそらくすべての財・サービスの中で最大と言えるかもしれないほどの質的差異）が存在している^{*18}。第二に、資本の測定では、それに特有なもう一つの効率単位の設定を欠くことはできない。それは異なる設備年齢（あるいは製造年代）を持つ資本財間における品質の統御である。以下における時間（time）と設備年齢（age）、そして製造年代（vintage）に関する整理のもとで、この二つの問題を再び扱うことにしよう。

ここでは“生産された生産手段”として有限の耐用年数を持つ、一つの資本財のみを想定する。生産過程の認識において、1年といったような測定期間が設定されるのであれば、当該測定期間において資本概念の適用範囲が与えられる。測定期間を単位として分割された期間の一つを t 期とすれば、 t 期において利用されている資本は、 t 期以前において生産され、資本形成（投資）された固定資本である。その意味で利用されている資本は異なる設備年齢を持っているということが出来る。 t 期における設備年齢 τ を持つ資本賦存量を $S_{t,\tau}$ と表記し、資本ストックと呼んでおこう（その定義は 1.5 節において後述する）。各期において存在する資本ストック量は、表 1 のような例示としての行列によって示される。

表 1: 時間、設備年齢と製造年代

$\tau \backslash t$	...	1998	1999	2000	2001	2002	...
0	...	$S_{1998,0}$	$S_{1999,0}$	$S_{2000,0}$	$S_{2001,0}$	$S_{2002,0}$	...
1	...	$S_{1998,1}$	$S_{1999,1}$	$S_{2000,1}$	$S_{2001,1}$	$S_{2002,1}$	...
2	...	$S_{1998,2}$	$S_{1999,2}$	$S_{2000,2}$	$S_{2001,2}$	$S_{2002,2}$	...
3	...	$S_{1998,3}$	$S_{1999,3}$	$S_{2000,3}$	$S_{2001,3}$	$S_{2002,3}$	...
4	...	$S_{1998,4}$	$S_{1999,4}$	$S_{2000,4}$	$S_{2001,4}$	$S_{2002,4}$	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
∞	0	0	0	0	0	0	0

表 1 での例示のように、2000 年の生産過程において利用される資本ストック量は、新製品である $S_{2000,0}$ に加え、設備年齢 1 を持つ $S_{2000,1}$ 、同様に遡った $S_{2000,2}$ 、 $S_{2000,3}$ 、... である。いま償却資産を仮定しているから設備年齢の拡大にともなってそのストック量は無視できる。設備年齢 1 を持つ $S_{2000,1}$ は前年 1999 年に、 $S_{2000,2}$ は 1998 年において生産された資本財からの資本ストック量であるから、表 1 の系列を斜めに見れば、それは同じ製造年代を持っている。製造年代を v とすれば、時間 t と設備年齢 τ との間には $v = t - \tau$ という関係がある。 $S_{2000,2}$ は 2000 年の生産過程に用いられる 1998 (=2000-2) 年製の資本財からの資本投入量であり、図において下線が引かれてい

^{*18} 2002 年の公示地価では、最高地価を示した千代田区丸の内土地は $1m^2$ あたり 1870 万円（一坪 6171 万円）であり、最安価な土地を一坪 1000 円とすれば 6 万倍もの格差が存在している。これは自然単位によって面積が測定されたとしても、その品質は大幅に異なっていることを示すものである。土地ストックの計測は、地目別地域別統御がされなければ大きなバイアスを持つであろう。

る資本はすべて 1998 年という同じ製造年代を持つ。

このことを前提にして測定単位の問題へと戻りたい。効率単位を設定することは、表 1 のような系列のすべてに品質の統御がおこなわれ、それらが同質性 (homogeneity) を持つことを目的としている。先述と同様に、資本における品質統御の問題を次の二つの要素に分離して議論しよう。

第一に、同じ設備年齢 (age) の資本を想定したときであっても、それぞれの vintage は異なるから、製造された年代に依存して資本に体化された技術 (capital embodied technology) もまた異なっているかもしれない。これは表 1 では行方向での比較に対応している。既述のように物理的にただ一つの財であっても、その財は多面的な品質とそのパラツキを有しているであろう。資本の効率単位の設定も、財全般における複合単位による品質の統御と同等であり、これを“体化技術変化の品質統御”と呼ぶことにする。異なる製造年代 (vintage) を持つ新規取得資本財における、体化技術変化の品質統御を目的とした効率単位の設定については、次節 1.4 において扱う。

第二に、同じ製造年代 (vintage) を持つ資本財においても、よって資本に体化された技術進歩が同じであるとしても、それぞれの設備年齢が異なるのであれば、資本財の利用による物理的な磨耗 (decay) や劣化 (deterioration) に起因して質的变化が存在するかもしれない。これは表 1 では左上から右下への斜め方向での比較に対応する。このように一つの資本財においても、製造年代の差異、設備年齢の差異に対応して品質調整が必要であり、それぞれ二つの要素における品質統御が可能になるような効率単位が設定されなければならない^{*19}。これを“経時変化の品質統御”と呼び、1.5 節において定式化しよう^{*20}。

上記はただ一つの資本財を対象としたケースにおいて、製造年代の差異と設備年齢の差異にともなって、pseudohomogeneous な資本財から homogeneous なものへと品質を統御するものである。言い換えるならば、その集計量における測定単位を与えることになる。しかし効率単位による測定は、通常の測定単位による測定値とは異なり、必ずしも単純な和集計を可能にするのみを目的にするものではない。それは指数論 (index theory)、特に集計関数 (aggregator function) を前提にした関数論的指数論におけるより一般的な展開に従うものである。この集計 (aggregation) という視点からは、異なる資本財として分類される複数の異質 (heterogeneous) な資本の集計問題と同じ視点のもとで捉えることができる。Hulten[1973] に示されるように、集計関数が一次同

^{*19} 同じ期における資本 (表 1 での列方向) を比較すれば、それは一つの同質な資本財であっても製造年代、設備年齢ともに異なっており、二つの意味での質的相違の混成したものになっている。表 1 での行方向と斜め方向における二つの品質調整を分離して統御することで、列方向の品質も統御されると考えている。逆に言えば、製造年代と設備年齢の相違における交差効果は扱っていない。ある年代の技術を体化した資本財は、その経時的劣化も緩やかであるというようなことは現実には十分に考えられることである。またメンテナンス活動を含めて考察すれば、経時変化は経済的選択の問題であること、それが時間 t における経済状態に依存するものであることも経験的には自然なことであろう。しかしそれは後述するような資本の測定のフレームワーク全体をたいへん複雑にする。

^{*20} 資本の測定における概念的な問題点として、Kendrick[1961] は新規資本財と過去のそれとの物理的能力による測定単位の問題と、設備年齢の増加にともなう償却あるいは資本財の“消費”の扱いにおける問題の二つを掲げている。本稿での経時変化の品質統御は、一般には償却 (depreciation) 概念としての扱いがおこなわれているが、共通の効率単位を設定するための品質統御という視野によって、二つの問題を統一的に捉えている。

次であるとき、Divisia 指数のように経路独立性 (path independency) を持つならば、(ある基準時点の設定のもとで) 集計資本量の“水準”を決定することができる。それは事後的には、効率単位の設定による集計資本量の評価であると解することができる。この異質な資本財における集計過程は、集計資本量の存在や効率単位の設定という意味では同じフレームのもとで把えることができるにも関わらず、資本の測定概念の外に位置づけることが適当であろう。それは観察に制約された測定の概念ではなく、他の生産要素にも共通する分析の概念である。この異質な資本財に関する分析は、資本サービス投入量や資本サービス価格を定式化したうえで 2.4 節において考察することにしよう。

1.4 資本財の体化技術変化

体化技術変化の品質統御を目的とした効率単位の設定のために、ここでは製造年代は異なりながらも、設備年齢が 0 である一つの新規取得資本財のみを想定する。一つの資本財は、その能力や品質を表しているいくつかの機能的特性 (characteristics) の集合によって表現されるとしよう。なお、それぞれの機能的特性は、長さ m 、面積 m^2 、体積 m^3 、密度 kg/m^3 、速度 m/s 、電力 $W(m^2kg/s^3)$ などの自然単位 (工学的な基本単位および組立単位) と、用途や使用方法などに関する属性によって定義しうものとする。

資本の測定における対象物は、測定単位や属性が明示されている機能的特性それぞれではなく、複数の機能的特性を持つ集合体としての資本財である。ただ一つの資本財であっても、新製品の出現によって経験的に理解されるように、異なる製造年代を持つ資本財では共有する機能的特性のそれぞれの値は異なっているかもしれない。そのためには、一つの資本財という集計レベルにおける測定単位が定義されなければならない。ここではそのような製造年代の異なる新規取得資本財に共通な効率単位を定式化しよう。 v の製造年代を持つ資本財一単位 (たとえば 1 台あたりなど単純な物量単位あたり) の集計単位品質指数 λ_v を、機能的特性 Λ_v^i の集計関数 (aggregator function) として次のように表記する。

$$\lambda_v = f^\lambda(\Lambda_{v'}^1, \Lambda_{v'}^2, \dots, \Lambda_{v'}^i, \dots) \quad (1)$$

(1) 式は、基準時点における集計単位品質を 1 と基準化したもとでの指数を表す。 $\lambda_v > 0$ であり、資本財としての通常に想定されるケースとして、技術の退歩 (degeneration) が無ければ $\lambda_v - \lambda_{v-1} > 0$ である。なお、ここでは新設投資 (設備年齢 $\tau = 0$) のみを考察しているのので、製造年代 v は時間 t に等しい。集計単位品質指数 (1) 式が連続微分可能であるとして、製造年代 (時間) によって全微分すれば次式を得る。

$$\frac{\dot{\lambda}_v}{\lambda_v} = \sum_i \frac{\partial \ln \lambda_v}{\partial \ln \Lambda_v^i} \left(\frac{\dot{\Lambda}_v^i}{\Lambda_v^i} \right) = \sigma_v^{\lambda, i} \left(\frac{\dot{\Lambda}_v^i}{\Lambda_v^i} \right) \quad (2)$$

ここで λ_v は製造年代の変化にともなう集計単位品質の変化を示している。(2) 式の左辺は集計単位品質の変化率であり、それはそれぞれの機能的特性による集計単位品質への貢献分の弾性値 $\sigma_v^{\lambda_i}$ をウェイトとした機能的特性変化率の集計値となる。 $\sigma_v^{\lambda_i}$ は製造年代(時間)に依存して可変的な弾性値(elasticity)である。仮に $\sigma_v^{\lambda_i}$ が既知であるならば、 λ_v は指数に過ぎないから(1)式が求められ、製造年代(時間)の異なる“資本に体化された技術進歩”を把握することができる。いま(一台や一個といった)単純な物量単位によって測定される品質統御をおこなっていない新設投資量を A_v^* としよう。集計単位品質指数 λ_v を乗ずることによって、物量単位から効率単位への変換をおこなうことが可能であり、品質調整済みの新設投資量 A_v が定義される。

$$A_v \equiv \lambda_v A_v^* \quad (3)$$

これは集計単位品質指数の上昇は、効率単位による測定においては品質調整済みの投資量の増大として扱われること、資本に体化された技術進歩は、資本増加的技術進歩(capital augmenting technical change)であることを意味している。このとき製造年代 v (時間 t) における新設名目投資額 I_v は、物量単位および効率単位における投資量に対応したそれぞれの価格指数によって次のように定義することができる^{*21}。

$$I_v \equiv p_{A,v} \lambda_v A_v^* \quad (4)$$

$$\equiv p_{A,v}^* A_v^* \quad (5)$$

$$\equiv p_{A,v} A_v \quad (6)$$

$p_{A,v}$ は効率単位によって測定した投資量 A_v に対応した投資財取得価格指数であり、純粋な価格指数(“true price”)、いわゆる物価指数を示すものである。一方、 $p_{A,v}^*$ は資本財の物量単位あたりの価格であり、単価指数(unit price)と呼ばれる。観察される名目投資額は、物量単位による投資量と単価の積である(5)式、また効率単位で測られる投資量と純粋な価格指数の積である(6)式の二つの組み合わせによって表現することができる。実質投資量の測定においても、あるいは価格指数の測定においても、望ましい価格と数量の組み合わせは(6)式である。またこれまでの定義から次式が成立している。

$$\frac{\dot{A}_v}{A_v} = \frac{\dot{I}_v}{I_v} - \frac{\dot{p}_{A,v}}{p_{A,v}} = \frac{\dot{I}_v}{I_v} - \frac{\dot{p}_{A,v}^*}{p_{A,v}^*} + \sigma_v^{\lambda_i} \left(\frac{\dot{\Lambda}_v^i}{\Lambda_v^i} \right) \quad (7)$$

以上のフレームワークのもとで、具体的な観察との対応を考察しておきたい。(7)式において一般に(近似的扱いも含めて)直接的に観察可能なものは、金額単位による新設名目投資額 I_v 、(5)式に示される物量単位定義による単価 $p_{A,v}^*$ と新設投資量 A_v^* 、そして新設投資量の品質を表現しうる機能的特性 Λ_v^i である。機能的特性を集計するために必要な弾性値 $\sigma_v^{\lambda_i}$ は観察

^{*21} 資本財分類を k 、産業分類を j とすれば、製造年代 v (時間 t) における I_t^{kj} は名目固定資本マトリックス、 A_t^{kj} は効率単位で測られた実質固定資本マトリックスを示している。

することはできない。またそれぞれの機能的特性に対する価格を得ることも困難であるから、 $p_{A,v}^* = p_{A,v} f^{\Lambda}(\Lambda_v^1, \Lambda_v^2, \dots, \Lambda_v^i, \dots)$ といった関数の推定によって接近することができるのみである。その測定に対する接近法は **hedonic approach** と呼ばれる、単価 $p_{A,v}^*$ から機能的特性 Λ_v^i をコントロールしたもとの $p_{A,v}$ の識別というかたちによっておこなわれている。 $p_{A,v}$ の計測によっては名目金額 I_v から A_v が求められることになる。 **hedonic approach** による測定では、観察される価格がどのような市場均衡によってもたらされたものであるのかについての仮説—多くの場合は完全競争均衡—を必要とする。また $\sigma_v^{\Lambda,i}$ は製造年代（時間）に依存して可変的であることが望ましいが、少なくとも連続する2時点においては個々の機能的特性の貢献は固定されていることを仮定しなければならない。実際の観察においては、統御可能な機能的特性における資料の入手可能性には限界があり、もしそれが入手可能であったとしても、技術進歩というそれぞれの特性が比較的と同調した推移を示すサンプルからでは多重共線性を避けることは困難である。 **hedonic approach** には常に測定上の問題が残されている。

価格側からみても、効率単位定義によってはじめて純粋な物価指数を求めることが可能となるから、わが国の卸売物価指数（Wholesale Price Index : WPI）では、PC、ビデオカメラ、デジタルカメラなどの品目において **hedonic approach** が採用されている*22。 **hedonic approach** がさまざまな限界を持ちながらも、“half a loaf is better than none.”（Griliches[1971] p.7）といったように、このような識別に対する一つの近似的方法であるとの認識はほぼ共有されていると言えよう。しかしなお資本の測定という観点からは、疑問を呈する向きもある。

McCarthy[1997] は、同手法によるコンピュータ価格における全般的な品質の改善は過大評価（品質統御が不完全であることによる過小評価ではない）されているのではないかと論じている。資本財としてのPCを想定するならば、確かに生産に寄与するのは、PCのハードウェア自体ではなく、その利用において不可欠なソフトウェアも含めた能力であろう。そして1990年代のわれわれの経験では、ソフトウェアの最新バージョンはハードウェアの急速な技術進歩に追いつかなかった可能性が指摘されているところである*23。このような指摘は、複合財（composite goods）としての資本財の特性を際立たせるものである。ハードとソフト、あるいは個別部品（モジュール）と全体（システム）との関係から、機能的特性の集計関数(1)式は要素制約的（factor limitational）かもしれない。複合財を構成する個々の財の品質が捉えられたとすれば、それを集計した複合財としての品質の改善はいずれかに制約を受ける可能性も十分にありうることである。

いずれにせよ、直接に観察可能な単純な物量単位から、効率単位定義による数量と価格の分離へと接近することによって、製造年代（時点）の異なる新設投資量の品質を統御する試行錯誤が継続されなければならない。実際の測定においては、 A_v^* から A_v への変換は、その精度としては相対的

*22 その計測における方法論は白塚 [1998] に詳しい。

*23 McCarthy の計算では、豪国における1985-96年の民間部門における実質設備投資では、現行の価格指数では3.7%の年平均成長率を示しているのに対して、仮にコンピュータの価格指数の低廉化を半分にしたときには2.7%へと、成長率は25%程度低下するなど、大きな影響を持っていることを論じている。

なものにすぎないかもしれないが、ストック推計にきわめて大きな影響を与える。1960–85年の自動車の価格上昇は、物量単位による単価指数（一台あたり価格）と比較して効率単位での物価指数ではほぼ半分でしかなく（黒田・新保・野村・小林 [1997] p.91）、それによっては同じ新設名目投資額 I_v に対して、新設投資量は A_v^* から A_v へと2倍にもなる。次節における資本能力量の経時変化は理論的にも、分析的にもさまざまな問題が指摘されるところであるが、実際の資本ストックの測定では体化技術変化の扱いは同様にきわめて大きな影響を与える。

vintage の異なる投資量 A_v ($v = -\infty, \dots, t$)、言い換えると $A_{t-\tau}$ ($\tau = 0, 1, \dots$) のうち、ある期において存在するすべての $A_{t,\tau}$ は“粗資本ストック” (gross capital stock) $S_{t,\tau}^G$ の定義を与えるものである。

$$S_{t,\tau}^G \equiv A_{t,\tau} = A_{t-\tau} \quad (8)$$

$$S_{t,\tau}^{G^*} \equiv A_{t,\tau}^* = A_{t-\tau}^* \quad (9)$$

体化技術変化における統御をおこなった効率単位によって定義された $S_{t,\tau}^G$ は、異なる製造年代（時点）間で単純和集計可能な概念である。この基準時点における技術水準を基準とする効率単位を、次節におけるそれと区分して“ v -効率単位”と呼んでおこう。粗資本ストックは、一般には v -効率単位で異なる設備年齢の資本財を和集計した $\sum_{\tau=0}^{\infty} S_{t,\tau}^G$ として扱われる。また物量単位による $S_{t,\tau}^{G^*}$ もまた粗概念による実質資本ストックであるが、両者は少なくとも測定の概念においては区別されなければならない。資本に体化された技術進歩が存在し、資本財の質的变化がある限り、後者はその測定が相対的に容易であるものの大きなバイアスを持ったものである。

1.5 資本財の経時変化

一般にある時点における資本の賦存量は、資本ストック (capital stock) と呼ばれる。ここでは設備年齢の異なる資本ストック量と、それぞれが対応する異なる製造年代を持つ（過去の）新設投資量との関係を論じることが主題である。過去の新設投資量は、体化技術変化の品質統御によって、生産された時点の新製品では homogeneous であると解される。しかし設備年齢の増加によって、品質は異なったものになるだろう。その経時変化をどのように取り扱うことができるだろうか。

ここでも観察の制約のもとで測定概念が構築されなければならない。資本の測定における大きな制約は、一般に資本ストックはその使用者によって自己所有 (owner occupied) されていることである。自己所有されているとき、それ自体の市場価格を観察することはできない²⁴。観察の制約

²⁴ Kendrick[1961] による人的資本と非人的資本の対比を示しておきたい。耐久性という意味では、資本と同様に（あるいはそれ以上に）労働サービスをもたらす人間も耐久的である。しかし観察との対応では、労働はそのサービス量（労働者数と労働時間）と労働所得 (compensation) が観察可能であり、労働ストックの価格は—社会が奴隷制を持たない限り—得ることができない。一方、資本はストックと資本所得が観察可能であり、そのサービス量を観察することはできない。生産理論において必要なものは生産要素のサービスであるから、Kendrick の指摘は人的資本との

によっては、集計プロセスは単純化されなければならないだろう。いま、設備年齢の異なる資本ストック量に対して一般的に次のような一次同次の集計関数を表記しよう^{*25}。

$$S_t = f^S(S_{t,0}, S_{t,1}, \dots, S_{t,\tau}, \dots) \quad (10)$$

$S_{t,\tau}$ は t 時点における設備年齢 τ の資本ストック量である。中古品市場 (secondhand market) やレンタル市場の無い過去の生産物 ($\tau \geq 1$ の資本財) では、その中古品価格を観察することができないから、前節 1.4 の体化技術変化における hedonic approach や後述する 2.4 節の異質な資本サービス間のような集計過程を想定することはできない。一つの単純化は、異なる age を持つ資本財それぞれを単純に和集計可能なものへと単位変換することである。集計関数を次のように特定化しよう。

$$S_t = \sum_{\tau=0}^{\infty} S_{t,\tau} \quad (11)$$

$S_{t,\tau}$ を効率単位で定義することによって、異なる設備年齢を持つ資本ストック間で完全代替性 (perfect substitutability) を仮定することができるならば、資本ストック量の集計関数 (10) 式は (11) 式のように単純和集計によって表すことができる。 t 期における設備年齢 τ の資本ストック量は、現在および過去の新設投資に関連付けることができよう。設備年齢 0 であればそれは t 期における新設投資であり ($S_{t,0} \leftarrow A_t$)、設備年齢 1 であれば $t-1$ 期という製造年代を持つ、 $t-1$ 期に新設された投資に相応する ($S_{t,1} \leftarrow A_{t-1}$)。よって過去の新設投資量 $A_{t-\tau} (= A_{\nu})$ と $S_{t,\tau}$ に次のような関係を仮定する。

$$S_{t,\tau} = d_{\tau} A_{t-\tau} \quad (12)$$

$$= d_{\tau} \lambda_{t-\tau} A_{t-\tau}^* \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (13)$$

(12) 式における d_{τ} は、新製品 ($\tau = 0$) の効率を 1 と基準化し、設備年齢の増加にともなう効率単位への変換指数であり、“相対的効率性” (relative efficiency) と呼ばれる。それは以下を満たすものとする。

$$d_0 = 1, d_1 > 0, d_{\tau} - d_{\tau-1} \leq 0, \lim_{\tau \rightarrow \infty} d_{\tau} = 0 \quad (14)$$

これは新規の投資における品質に対して、設備年齢 τ の経過にともなって相対的な品質は逓減すること、物理的な意味での磨耗 (decay) や劣化 (deterioration) に対応している。これは資本価値 (capital value) における経済的な減価償却と区別して、物理的償却 (physical depreciation) と呼ばれることもある。 $d_1 > 0$ は対象としている資本財が耐久的 (durable) であること条件であり、 $\lim_{\tau \rightarrow \infty} d_{\tau} = 0$ は耐久性が有限であることを示している。ここでは d_{τ} は、その資本

対比において資本の測定の困難性を示すものである。しかし資本の測定では、効率単位によるストック量もむしろ直接的に観察されるものではない。一般に観察されるものは新設された名目投資額である。

^{*25} 後の (19) 式に定式化するように、生産関数および異質な資本財の存在を前提にすれば、一つの同質な資本投入量における、異なる設備年齢を持つ資本からの一般的な集計関数は、Leontief の定理による集計条件を必要とする。それは異なる設備年齢 (製造年代) を持つ資本の限界生産力の比 (限界代替率) が、他の資本財 (および他の生産要素) の変化からは独立であることである。

財の稼働状況などに関わらず、設備年齢のみに依存して効率が逓減するものと単純化しており、“age-efficiency profile”あるいは何らかの分布にしたがうならば相対的効率性分布 (relative efficiency distribution) と呼ばれている。資本財別にこの相対的効率性をよく定義することによって、共通の効率単位で設備年齢の異なる資本財を定義することができ、(11) 式が成立する。その意味では、この age-efficiency profile にしたがって経時変化の品質調整がおこなわれると解される。また (13) 式からみれば、 $A_{t-\tau}^*$ という製造年代 $v = (t - \tau)$ を持つ過去における新設投資量に、(3) 式から体化技術変化の品質統御 $\lambda_{t-\tau} A_{t-\tau}^*$ ($= A_{t-\tau}$) がおこなわれ、さらに $A_{t-\tau}$ に対して経時変化の品質統御 $d_{\tau} A_{t-\tau}$ がおこなわれることによって、実質投資量は異製造年代間かつ異設備年齢間で比較可能な効率単位による資本ストック量となっている。効率単位によって測定される資本ストック S_t は、“生産的資本ストック” (productive capital stock) と呼ばれるものである^{*26}。この新製品の効率性を基準として測った効率単位を、前節での体化技術変化の品質統御における v -効率単位と区分して、“ $v\tau$ -効率単位”と呼んでおこう。

さて経時変化の品質統御を目的とする効率単位の設定では、 d_{τ} がもっとも重要な意味を持っている。それが設備年齢のみに依存することは、どのように理解されるだろうか。経験的には、各種の災害による資本財の被災、陳腐化などの経済的要因による除却、あるいは景気変動に起因したり産業別に異なりうる稼働条件によって物理的磨耗は大きく影響を受けるかもしれないし、所有者によって異なるかもしれない資本財の維持補修にも大きく依存するであろう。そのような意味ではそれは経済的選択の問題であるとも考えることも、経験的には自然なことである。もし d_{τ} での効率性の逓減が資本財に固有な、純粋に技術的な要因によるものではなく、経済的選択によるとすれば、 d_{τ} は当該資本財の新規取得価格や将来の割引率、メンテナンスサービスなどの他財価格に依存するであろう。ここでのただ一つの同質的な資本財のみを想定している場合においても、生産的集計資本ストック量 S_t は関連する価格や利子率とは独立に測定することができないことになる。もしケンブリッジ資本論争における問題が、異質 (heterogeneous) な資本財の間の集計資本量に向けられるのではなく、この異なる設備年齢を持つ資本財間における集計資本量の存在に対するものであったならば、少なくとも資本の測定に関しては十分に的を得た批判であったろう。

^{*26} 資本ストックの名称は必ずしも統一されていない。わが国の国富調査など、伝統的には償却を考慮するかしないかといった単純な意味での粗概念と純概念が用いられてきたが、経時変化に対する分布の一般化や、数量面と価格面が明確に識別された資本の双対アプローチによってそれらは十分な概念を与えるものではないと言ってよい。しかしそれですら、現在でも一般には用いられている。本稿では Canberra Group (1997 年に第 1 回の資本ストックコンファレンスが豪州 Canberra でおこなわれたことからそう呼ばれる) と同様に、1.4 節において定義された粗資本ストック $S_{t,\tau}^G$ と区別して、“生産的資本ストック”と呼んでいる。本稿と同等の能力概念によるものを Erik Biørn[1989] や Biørn-Holmøy-Olsen[1989] では“粗資本ストック”(また一方で資本の価値概念に対応したものを本稿と同様に純資本ストック)と呼んでいる。また Hulten[1990] では同等の能力概念による定義を“純資本ストック”(また一方で粗資本ストックは本稿と同様)と呼んでいる。Jorgenson[1989] では、もはや (12) 式において直接に資本サービスをもたらすものとして扱われており、Jorgenson[1974] では本稿の生産的資本ストックは単に資本ストックと呼ばれるのみである。また k 資本財、 j 産業の S_t^{kj} はわれわれの目的とする生産的資本ストック概念での固定資本ストックマトリックス (fixed capital stock matrix) である。固定資本ストックマトリックス計測に関するプロセスの詳細は野村 [1997] を参照されたい。

d_t に対する理論的な解釈は、Franklin Fisher[1965] や Robert Hall[1968] などによって vintage model から示すことができる。それは vintage の異なる資本財を生産要素とするそれぞれの vintage 別生産関数の存在を仮定したとき、その集計的生産関数において、異なる vintage を持つ資本財からの集計資本ストックを他の生産要素と分離することができるか、という問題設定をもっている。言い換えるならば、集計資本ストックが存在するための条件を求めるものである。いま資本と労働という二つの生産要素のもとで、上記までの表記法にしたがって vintage 別の生産関数を次のように表記する。

$$Y_{t,v} = f^v(A_v, L_{t,v}) \quad (v = t, t-1, \dots) \quad (15)$$

(12) 式における t 期の設備年齢 τ を持つ新設投資量 $A_{t-\tau}$ は、 $v = t - \tau$ より A_v と表現され、異なる技術を体化した vintage 別の“粗”資本ストック量 (gross capital stock) であると解される。Solow や Fisher による vintage model では生産関数 (15) 式に時間 t の特定をともなっていないが、ここでは Hulten[1990] と同様にそれを明示しておく。生産量 $Y_{t,v}$ および労働投入量 $L_{t,v}$ は、製造年代 v に関わらずそれぞれ同質的であると仮定しよう。よって総生産量は和集計によって次のように表現される。

$$Y_t \equiv \sum_{v=t}^{-\infty} Y_{t,v} = \sum_{v=t}^{-\infty} f^v(A_v, L_{t,v}) \quad (16)$$

労働投入量は、総量が一定であり、次を満たすようにそれぞれの vintage 別生産関数へと配分されるものである。

$$Y_t \rightarrow \max \quad s.t. \quad L_t = \sum_{v=t}^{-\infty} L_{t,v} \quad (17)$$

(17) 式を満たすためには、労働の限界生産力 $\partial Y_{t,v} / \partial L_{t,v}$ が vintage 別生産関数において均等化されなければならない。このような労働投入量の配分によって Y_t を最大にするような集計生産量を Y_t^* と表記しよう。このもとで、集計的生産関数において集計資本ストック量 S_t を分離することができれば、次式のように集計生産関数と資本集計関数 (capital aggregator function) の二段階に分離して表現される。

$$Y_t^* = F(S_t, L_t) \quad (18)$$

$$S_t = f^S(A_0, A_1, \dots, A_v, \dots) \quad (10)'$$

なお (10)' 式は、前述の一般的な資本集計関数 (10) 式とまったく同じものである。このような資本の集計関数が存在するための必要十分条件は Leontief の定理によって与えられる次式である^{*27}。

$$\frac{\partial}{\partial L_t} \left(\frac{\partial Y_t^* / \partial A_{v_2}}{\partial Y_t^* / \partial A_{v_1}} \right) = 0 \quad (v_1, v_2 = 0, 1, \dots) \quad (19)$$

ここで Fisher は vintage 別生産関数 (15) 式において、次のような資本増加的技術進歩 (capital augmenting technical change) を定義している (関数 f は v から独立である)。

$$Y_{t,v} = f^v(A_v, L_{t,v}) = f(d_{t-v} A_v, L_{t,v}) \quad (v = t, t-1, \dots) \quad (15)'$$

^{*27} Leontief の定理は、Leontief[1947a][1947b] に示されている。

もし技術進歩が資本増加的であるとされるのであれば、新しい資本財と古い資本財のそれぞれ1単位の効率性の比は、設備年齢 $\tau (= t - v)$ のみに依存した一定値になる。そして Fisher[1965] は、vintage 別生産関数に一次同次性を仮定したとき、集計資本ストック量 S_t は資本増加的技術進歩のときに限って存在することを証明している*28。Fisher の定理から、この仮定のもとでは集計的
生産関数および資本集計関数は次のとおりである。

$$Y_t^* = F\left(\sum_{v=t}^{-\infty} d_{t-v} A_v, L_t\right) \quad (18)'$$

$$S_t \equiv \sum_{v=t}^{-\infty} d_{t-v} A_v = \sum_{\tau=0}^{\infty} d_{\tau} A_{t-\tau} \quad (11)'$$

(11)' 式は既述の (11) 式および (12) 式のセットと同様であり、一次同次性を仮定した vintage model において、集計資本量が存在するためには一定係数の d_{τ} が要請されることになる*29。これまでの vintage model による展開から、資本の測定のために何を求めることができるのだろうか。設備年齢別資本構造を直接的に扱うことは、分析をかなり制約してしまうものであるから、通常の場合には集計資本量を定義せざるを得ない。そして集計資本量の存在のためには、vintage 別生産関数と Leontief の定理を前提にすれば、一定係数の d_{τ} が理論的に要請されることが Fisher や Hall によって明らかにされた。しかし現実の資本においては、前提とされる Leontief の定理自体が満たされることは限られるであろう。もし一つの同じ資本財であっても、古いそれは統御するために2人のオペレーターを必要とするが、新しい資本財は1人のオペレーターで事足りる、といったことは経験的に十分ありうることである。しかしこれは集計条件を満たさない。資本増加的な技術進歩という仮定は、現実的な資本に体化された技術との対応では強い仮定であると言わざるを得ない。また Hulten[1990] は、分離可能性条件が実際の技術によって満たされる理由はほとんど見当たらないし、もしこのような集計が可能であっても、その集計的
生産関数は“産業”の技術を適切に代表するという保証はどこにもない、ということ指摘している。われわれはまだ一つの生産主体（事業所）の、そしてまだただ一つの資本財について、設備年齢の異なる資本ストックの集計、その意味での集計資本量を考えているに過ぎないことを想起されなければならないだろう。後に2.4節で考察する異質な資本投入量の集計もまた困難を抱えたものであるし、さらに産業内における事業所の集計へと進むためには、かなり制約的な Gorman の集計条件が必要になる。その意味では、異なる設備年齢を持つ資本の d_{τ} ウェイトによる集計は、一つの近似として捉えられるにとどまるものである。

*28 Fisher による定理を、Hall[1968] は Leontief の定理に対応した双対的関係 (dual) としての要素価格関数の条件から、同様な結論をより簡潔に導いている。また vintage 別の生産関数が一次同次でない場合における集計資本量の存在については、Lau[1991] において一般化されている。

*29 また (11)' 式は、一般に恒久棚卸法 (perpetual inventory method) と呼ばれる資本ストックの推計方法に対応している。むしろそれは d_{τ} に依存するものであり、age-efficiency profile の特定化による (11)' 式の単純化は1.6節で扱う。

そして、その d_τ の観察（推計）もまた困難をとまなう。(18)' 式から d_τ は次式のように解される。

$$\frac{\partial Y_t^* / \partial A_v}{\partial Y_t^* / \partial A_t} = \frac{d_{t-v}}{d_0} = d_\tau \quad (v = t, t-1, \dots) \quad (20)$$

これは設備年齢にともなう相対的効率性指標 d_τ は、それぞれの資本の限界生産力の比（限界代替率）に等しいというものである。直接に限界生産力を観察することはむろんできず、ほとんどの場合には中古資本の市場におけるサービス価格も得ることができないという意味では、限界生産力命題も仮定することはできない。生産的資本ストックとしての集計資本量の測定では、近似としての、あるいは Fisher や Hall の意味における理論的要請である d_τ の推計においても問題を抱えているのである。

1.6 ストックと効率性分布

前節 1.5 で定義した資本の相対的効率性 d_τ から派生するいくつかの分布を定義し、その後で d_τ が random ではなく、“relative efficiency distribution” とするとき用いられる典型的な分布型を特定化することにしよう。設備年齢 τ における前期からの相対的効率性の減少分については、“mortality distribution” と呼ばれる次のような分布を定義することができる^{*30}。

$$m_\tau = -(d_\tau - d_{\tau-1}) \quad (\tau = 1, 2, \dots) \quad (21)$$

(14) 式の d_τ の定義から、 $m_\tau \geq 0$ であり、また $\sum_{\tau=1}^{\infty} m_\tau = 1$ である。mortality distribution を定義することによって、前期における資本財の効率性を保つための補填投資比率の分布として、Jorgenson[1974] にしたがって次のような “replacement distribution” を逐次的に求めることができる^{*31}。

$$\delta_\tau = m_1 \delta_{\tau-1} + m_2 \delta_{\tau-2} + \dots + m_\tau \delta_0 \quad (\tau = 1, 2, \dots) \quad (22)$$

ここで補填されるものは、初期投資量に対する効率性の減少分ではなく、すでに過去に補填投資されているものの効率性の減少分に対する補填投資を含むものである。Jorgenson によるそれは初期の投資の効率性を保つために必要な補填投資量であって、現実におこなわれている補填投資とは区分されなければならない。一つの例を考えてみよう。初期（0期）において一単位の新設投資がなされたとすると、第1期、第2期、・・・と設備年齢（時間）の経過にともなう、(a) 相対的効率性（relative efficiency）、(b) 追加的効率性減少（mortality）、(c) 累積効率性減少（cumulative mortality）、(d) 補填投資（replacement）の4つの指標それぞれを示したものが表2である（ただし形式的には $\delta_0 = 1$ とする）。

^{*30} 本稿では野村 [1998] で展開されるわが国の詳細な税体系のもとでの資本サービス価格の導出のために、Jorgenson[1974][1989]と同様な離散型によって展開しているが、もし連続型で表現するならば m_τ は d_τ のマイナスの微係数 $(-\frac{\partial d_\tau}{\partial \tau})$ である。

^{*31} これは再生方程式（renewal equation）とよばれるものである。renewal theory によって、粗投資量が一定率で増

表 2: 相対的効率性の変化と補填投資

	0	1	2	3	...	τ
(a) 相対的効率性	d_0	d_1	d_2	d_3	...	d_τ
(b) 効率性減少分	0	$-(d_1 - 1)$	$-(d_2 - d_1)$	$-(d_3 - d_2)$	...	$-(d_\tau - d_{\tau-1})$
=(b)'	0	m_1	m_2	m_3	...	m_τ
(c) 累積的 効率性減少分	0	m_1	m_1	m_1	...	$\sum_{t=1}^{\tau} m_t$
			$+m_2$	$+m_2$...	
				$+m_3$...	
(d) 補填投資率	0	$m_1\delta_0$	$m_1\delta_1$	$m_1\delta_2$	...	$\sum_{t=1}^{\tau} m_t\delta_{\tau-t}$
			$+m_2\delta_0$	$+m_2\delta_1$...	
				$+m_3\delta_0$...	
=(d)'	0	δ_1	δ_2	δ_3	...	δ_τ

ただし $d_0 = \delta_0 = 1$

表 2 における (b) および (b)' の系列は (21) 式に示した、 τ 期における初期投資に対する効率性の減少分であるが、これは τ 期における（初期投資のみを考慮した）補填投資必要量の系列と解することができる。(d) は ($\tau - t$ ($t = 1, 2, \dots$) 期になされた) 補填投資のそれぞれの効率性の減少分をも補填するための補填投資であり、初期投資された資本財の効率性を保つものである。言い換えると、設備年齢（時間）の経過にともなって、各時点では全体として (d) および (d)' の分だけ資本の効率性は減少していることを示している。1.5 節において示された、異なる設備年齢を持つ生産的資本ストックの集計式 (11)' 式を用いて、 $t-1$ 期から t 期への資本ストック量の差分は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 S_t - S_{t-1} &= A_t + \sum_{\tau=1}^{\infty} (d_\tau - d_{\tau-1}) A_{t-\tau} \\
 &= A_t - \sum_{\tau=1}^{\infty} m_\tau A_{t-\tau} \\
 &= A_t - R_t
 \end{aligned} \tag{23}$$

右辺第 2 項は t 期における効率性の減少分であり、 $t-1$ 期の生産的資本ストック量を保つために要する補填投資必要量 (R_t) を表している。 R_t は replacement distribution を用いて考えるならば、過去の純投資量に対して補填投資率を乗じて、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned}
 R_t &= \delta_1 (A_{t-1} - R_{t-1}) + \delta_2 (A_{t-2} - R_{t-2}) + \delta_3 (A_{t-3} - R_{t-3}) + \dots \\
 &= \sum_{\tau=1}^{\infty} \delta_\tau (S_{t-\tau} - S_{t-\tau-1})
 \end{aligned} \tag{24}$$

加するときには初期時点における資本ストックの設備年齢構成や実際の償却パターンに関わらず (relative efficiency distribution や mortality distribution のほとんどいかなるときにも)、補填投資量が資本ストック量の一定比率に接近することが示される (Jorgenson[1974])。

ここで三つの典型的な劣化パターンを示しておくことにしよう。ある資本財の耐用年数 (lifetime) を T と表記する^{*32}。第一の分布は、その耐用年数まで初期の効率性をまったく等しく保っているというものである。これは一頭の馬車になぞらえて one-hoss shay と呼ばれている。このとき $d_\tau = 1 (0 \leq \tau < T)$ であるから、生産的資本ストック $S_{t,\tau}$ は粗資本ストック $S_{t,\tau}^G$ に一致する。これは、わが国の内閣府 (旧経済企画庁) による「民間企業資本ストック」で想定されている概念である。one-hoss shay の名のとおり、馬が疲れて馬車が完全に止まるまで、その効率性が一定であるということはないだろう。電球などが近似的な例であるが、現実の資本財すべてに適用することは困難である。むしろ馬には適宜、えさと水を与えなくてはならない。one-hoss shay では維持補修との関係は留意されるべきであろう。第二に、設備年齢 (時間) の経過にともなって耐用年数まで一定量の効率性 d_τ の劣化を仮定するものであり、straight-line と呼ばれる。これは企業会計においてよく用いられている定額法と分布型そのものは同一である。ただし企業会計では、減価償却概念としての適用であり、資本財の技術的な特性ではなくその資本価値 (capital value) を示すものである。2.2 節では、資本財の技術的な効率性の分布が straight-line であったとき、その資本価値は一般に straight-line とは乖離することが示される。そして第三に、効率性の減少分 (mortality distribution) に対して幾何分布 (geometric distribution) を仮定するものである。資本の双対アプローチから明らかになるように、この geometric が理論的にはもっとも扱いやすい性質を持っている。それは後述するとおりでであるが、geometric はその幾つかの望ましい性質から best geometric approach とも呼ばれている。

以上の三つの効率性に関する劣化パターンを、relative efficiency (d_τ)、mortality (m_τ)、replacement (δ_τ) の分布型それぞれにおいて定式化したものが表 3 である^{*33}。

表 3 からわかるように、mortality distribution において幾何分布を想定したとき、特筆すべき性質は補填投資率 δ_τ が定数 (constant- δ) となることである。よって geometric のもとでは (24) 式は次のように単純化される。

$$R_t = \delta S_{t-1} \quad (25)$$

^{*32} 後にもみるように geometric の場合には耐用年数による除却概念は必要なく、本稿では特段の定式化をしていない。一般の資本ストック計測では、耐用年数の分布として “survival distribution” を設定することもおこなわれ、そこでは Winfrey[1935] による L_0 分布 (left model)、 R_0 分布 (right model) や、ガンマ分布などが用いられている。これを狭義の意味の survival distribution とすれば、設備年齢 τ の資本ストックの非除却比率 Ω_τ に相対的効率性分布 d_τ を乗じた $\Omega_\tau d_\tau$ を、効率単位によって広義に捉えた survival distribution とすることもできる (Bjørn-Holmøy-Olsen[1989] など)。

^{*33} ここで述べている三つの典型的な分布に対して、他にもさまざまな分布型が使われることがある。凸関数 (convex function) としては $d_\tau = \left(1 - \frac{\tau}{T}\right)^n$ (ただし $n \geq 2$)、凹関数 (concave function) としては $d_\tau = 1 - \left(\frac{\tau}{T}\right)^m$ (ただし $m \geq 2$) などが用いられることがある (Bjørn-Holmøy-Olsen[1989] など)。両関数において、 $n = m = 1$ のときは straight-line、 $n = \frac{1}{m} = 0$ のときは one-hoss shay である。また β -decay と呼ばれる、 $d_\tau = \frac{T-\tau}{T-\beta\tau}$ (ただし $-\infty < \beta \leq 1$) のような一般型 ($\beta = 1$ のとき one-hoss shay、 $\beta = 0$ のとき straight-line、 β がマイナスのとき geometric に接近する)、あるいは Box-Cox フレキシブル関数などもある。いずれにせよ分布型はパラメタ次第であり、age-efficiency profile および age-price profile、資本ストックの諸概念などの特性を議論するには本文中の三つで事足りるであろう。

表 3: 典型的な効率性劣化における分布

	d_τ	m_τ	δ_τ
one-hoss shay	$1 (\tau = 0, \dots, T-1)$ $0 (\tau = T)$	$0 (\tau = 0, \dots, T-1)$ $1 (\tau = T)$	$1 (\tau = T, 2T, \dots)$ $0 (\tau \neq T, 2T, \dots)$
straight-line	$1 - \frac{\tau}{T} (\tau = 0, \dots, T-1)$ $0 (\tau = T)$	$\frac{1}{T} (\tau = 1, \dots, T)$	$\delta_0 = 1$ $\frac{1}{T} \delta_{t-1} (\tau = 1, \dots, T)$
geometric	$(1 - \delta)^\tau (\tau = 0, \dots)$	$\delta(1 - \delta)^{\tau-1} (\tau = 1, \dots)$	δ

one-hoss shay および straight-line における T は耐用年数を示す

(25) 式は、幾何分布の仮定のもとでは t 期における Jorgenson の意味での補填投資量が、 $t-1$ 期の資本ストックを構成する資本財の設備年齢構成とは独立であることを意味している。(24) 式における一般的な補填投資量は、資本ストックの設備年齢構成に関する情報が必要であり、また one-hoss shay および straight-line では表 3 に示すように、資本財の耐用年数 T (よって設備年齢) の情報が必要である。geometric を仮定したときの constant- δ の性質は資本ストックの計測において大幅な単純化をもたらすものであり、数量面からみたとき best geometric approach (BGA) と呼ばれる所以である^{*34}。また (25) 式が成立することによって、(23) 式もまた単純化される。

$$S_t = (1 - \delta) S_{t-1} + A_t \quad (26)$$

これは前節 1.5 で考察したような、相対的効率性が設備年齢のみに依存した一定値 d_τ であるとした、特殊なケースの恒久棚卸法である (11)' 式の、さらに mortality distribution が geometric であるという特殊なケースにおける—そしてもっとも馴染みの深い—恒久棚卸法 (perpetual inventory method ; PIM) である^{*35}。これは経済成長論や応用計量経済モデルなどで標準的に想定される資本蓄積の遷移式であり、BGA によって設備年齢別資本ストックあるいは過去のそれぞれの vinatge 別投資系列 $A_v (v = t, t-1, \dots)$ の情報をもたずに S_t を導出することができる。また資本ストックの計測においては、一般に“初期”の資本ストックの設備年齢分布の情報を得ることは難しい^{*36}。BGA のもとではそれに依存することなく、(26) 式の恒久棚卸法によって計測をおこなうことができることになる。

^{*34} Feldstein-Rothschild[1974] は、この一定率の補填投資という仮定は資本の劣化 (deterioration) において output decay のみしか考えておらず、また陳腐化などの他の本質的要素を取りこぼしていることを批判している。償却の問題を独立に扱えばより現実的なさまざまな定式化が可能であるが、1.5 節での資本の集計条件との整合を図ることが困難となる。

^{*35} 脚注 31 に示したように、Jorgenson[1974] の renewal theory による検討からは、ここでの geometric approach に基づく constant- δ と同様な帰結が導かれる。それは近似としての constant- δ および (26) 式の容認を示すものである。しかし効率性の劣化における geometric 型そのものの根拠にはなりえない。逆は必ずしも真ではない。

^{*36} 初期を 0 期とすると $S_{0,\tau} (\tau = 0, -1, \dots, -T)$ が設備年齢別資本ストックである。もし十分に長いサンプルが得られるのであれば、 $S_{T,\tau} (\tau = 0, -1, \dots, -T)$ が初期であるとして、初期 (T 期) 以降のストック系列を有効として扱うことも可能である。現実には十分なサンプルが得られるほど、資本ストックの長期系列が—国集計レベルを除いて—入手可能であることは稀であり、可能なときも T 期以降の資本系列はごく短い期間に限られ分析は制限されてしまう。

ここまでは投資や資本ストックといった資本の数量面からの測定概念の考察をおこなってきた。1 節での検討と、 d_t 、 m_t および δ_t という効率性の劣化に関する三つの分布は、双対的な関係として価格面から 2.2 節において再び考察されることになる。そのために、次節では生産理論において避けることのできない資本の“サービス概念”の検討からはじめることとしよう。

2 資本の双対アプローチ

2.1 サービス概念

経済学的生産関数における資本投入量は、“資本サービス” (capital service) というサービス概念によって捉えられている^{*37}。われわれはストックとサービスの関連についてほとんど何も得ることはできない。それでもここではその関連を検討するために、ごく形式的にすぎないが本稿での仮定を明示しておくこととしたい。一つの同質的な資本財である、 t 期における異なる設備年齢 τ の生産的資本ストック量 $S_{t,\tau}$ に対して、ストック概念から資本のサービス概念への変換を次のように表記しておこう^{*38}。

$$K_{t,\tau} = \phi S_{t,\tau} = \phi d_\tau A_{t-\tau} \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (27)$$

$$K_t = \sum_{\tau=0}^{\infty} K_{t,\tau} = \phi S_t \quad (28)$$

(27) 式での ϕ は資本ストック量から資本サービス量への変換指数であり、一般には時間 t に依存して変化しうる稼働率 (utilization rate あるいは operating rate) として ϕ_t と記すべきものである。効率単位によって定義された生産的資本ストック $S_{t,\tau}$ は、資本の効率性を示す上では十分である。しかしそれは所有している資本の潜在的な能力 (potential capacity) を示しているのであって、実際に生産過程に投入されているサービス量とは区分されなければならない。ただしそれは、そうできるのであれば、である。経験的には説得力を持つ稼働率の変化も、具体的な測定概念としては逡巡することになろう。もし直接的に測定できない資本サービスに対して、一われわれがそうであるように一資本ストックの測定からそれに接近しようと試み、また標準的に稼働率を ϕ_t とした (27) 式のような関係を仮定するのであれば、資本サービスにおける測定の困難性を稼働率における

^{*37} 経済学的生産関数においても、いわゆる尾崎型生産関数と呼ばれる要素制約型生産関数 (尾崎 [1967]、清水 [1972]、尾崎・清水 [1980]) や、その派生型である SFS (semi-factor substitution) 生産関数 (辻村・黒田 [1974]) などにおいては、資本投入量はストック概念に拠って構築されている。これは工学的生産関数における“プラント概念”に類似した扱いであるといえよう。生産過程における資本ストックを所与とした一時的均衡 (temporary equilibrium) は資本のサービス概念を避ける一つの方法である。

^{*38} Jorgenson [1989] では、一つの資本財において vintage 別の投資量からもたらされる資本サービス量へと、資本ストックを定義せずに (27) 式の第 1 項と第 3 項が関連付けられている。そこでは (27) 式に表記している ϕ は形式的には存在しないが同様である。しかし Jorgenson-Griliches [1967] における初期の TFP 測定では、資本サービスへの変換に対して近似的な指標を用いることにより ϕ_t のような稼働率調整がおこなわれているものもある (Griliches-Jorgenson [1966] では比例的关系を前提)。Jorgenson による近年の TFP 測定では稼働率調整はおこなわれていない。

測定困難性にすり替えただけであり、何も状況は好転していない。わずかに稼働率に接近することができる対象の一つは、工学的生産関数が対象とするような、プラントに基づくものであろう。高炉のようなものを想定したとき、物理的な資本能力量 (capital capacity) が得られるのであれば、実際の生産量との対応で—高炉という資本財自体に限って—稼働率を定義することは可能である。しかしこのときは資本能力量が“資本ストック”であり、また生産量が“資本サービス”であると考えていることに過ぎず、資本ストックと同様に資本サービスもまた、ここまで検討してきたようなまわりくどい方法によって測定する必要もない。そのような指標は稼働率であるよりも、より正確に言えば資本係数 (資本産出量比率) の逆数、資本の単要素生産性 (partial factor productivity) である。しかし無用心な計量経済分析においては、それは依然として稼働率指標であり続け、資本ストックとの積が資本サービスであり、そしてそれが生産関数において生産要素として扱われている。もはや説明力を上げることは tautological であり、精度を高める (誤差を小さくする) ための資本のサービス概念の適用に対して、皮肉にも誤差 (error) のおかげでこのような生産分析のフレームワークが成立している*39。

また現実の稼働条件では、需要の低迷に対して古い設備を停止して新しい設備のみを用いるということは一般に想定されることかもしれない。Das[1992]による1972–80年の米国セメント焼成炉の稼働率 (生産量/能力量) をみると、設備年齢 0–9 年までの炉は稼働率 100% (遊休率 0%)、10–19 年 92% (同 7%)、20–29 年 83% (同 12%)、30–39 年 75% (同 19%)、40–49 年 72% (同 20%)、50–59 年 56% (同 25%)、60–69 年 64% (同 34%)、70–80 年 0% (同 53%) である (稼働率と遊休率の差分は除却分に相応)。そこには明らかに設備年齢別の稼働率に差異が存在している。しかしこれは何に起因するのであろうか。もし設備年齢 (vintage) 別の能力量に依存しているのであれば、それはこの稼働率の定義の分母である能力量が、生産的資本ストック $S_{t,T}$ (あるいは想的効率性 d_t) への十分な近似ではないことを示すものに過ぎない。それは能力量 $S_{t,T}$ ではなく“

*39 米国のFRB (Federal Reserve Board) と BEA (Bureau of Economic Analysis) や、わが国の経済産業省による稼働率指数は、このような定義 (生産量/能力量) による指標である。Shapiro[1986] は、そのような稼働率指標においては分母は潜在生産量あるいは生産量トレンドであり、稼働率変化はほとんど分子の生産量変化によってもたらされていること、よってトレンドを除いた付加価値 (生産関数のアウトプット) と本質的には同一であることを論じている。米国の製造業における両者の相関係数は、Shapiro の計測期間において 0.88 であった。これは資本の測定理論からみれば、本文での指摘のとおりである。能力量と生産的資本ストック量の概念的な測定の対象は同一であり、仮に両系列がともに物理的な効率単位による適切な資本の限界生産力の評価になっているのだとすれば、この稼働率と資本ストックの積は資本サービスではなく、ピッタリ生産量である。能力量指標は一つのプラントなどに基づく代表値に過ぎず、資本ストックはその網羅性が高いものの効率評価において近似的な測定量となる。この両者の誤差 (純粹な error) のおかげで説明力の高い生産関数が成立している。むろん見せかけの法則でしかない。

もう一つの稼働率指標への接近は、労働者のサービス概念への変換係数と解される労働時間の利用である。それは、トレンドを除いた平均労働時間や、製造業などに限っては時間帯別のシフト制 (1日3シフト) の情報からの代理指標 (Shapiro[1986]) など、労働データの属性の入手可能性に制約されていると想定される。いずれにせよ、資本とそれを稼働するための労働、という補完関係を前提におくものであり、vintage model や特に putty-clay model と類似するものである。これは intertemporal ではなく、temporary equilibrium に限って採用されることが有効であると考えられる。しかしそのときは特段にサービス概念を要求するものではなく、ストック概念によって生産過程が記述できる。

粗“資本ストック $A_{t\tau}$ を、稼働率 ϕ_τ ではなく ϕd_τ を表すものである。

結局のところ、資本の“サービス”とは何だろうか。Hulten はつぎのような問いを発している。

Is a chair in “service” only when it is occupied? Or, does the availability of the chair for potential occupancy count for something too? If so, are potential services equivalent to actual services? . . . Is an office building utilized only during business hours, or is it utilized all the time to keep out thieves and inclement weather? (Hulten[1990] p.135)

椅子は誰かが実際に座っているときにサービスを提供し、稼働しているのか、あるいはいつ座ってもらえるかわからないサービスを提供するために、存在していることがサービスの提供なのか。われわれの経験に照らすならば、このような問いは、ほとんどすべての資本財において一受注を待つセメント焼成炉や高炉のようなものにおいてさえ一成立している。もし資本財がある期間（1時間、1日、1週間とか）においてレンタルされているのであれば、サービスが actual であるか potential であるかに悩むことなく、そのサービス量の測定に接近することは可能である。しかし potential なサービスが生産に寄与すると考える経済主体は自己所有という選択をおこない、レンタルを選択するのはそうではない主体だけだろう。そして自己所有された資本は、Hulten の問いかけの中から出てくることはできない。そのように考えたとき、われわれに残される選択肢の一つは、すべての potential なサービスを評価することであろう。それは本稿での仮定、ストックとサービスの比例関係でしかない。

本稿での稼働率は、産業別資本財別に (27) 式において ϕ という固定比率を仮定するだけである。これは生産的資本ストックと資本サービスは比例関係にあること、成長率においては一致していることを仮定しているに過ぎない。ただし稼働率に関してわれわれの測定のフレームワークからも、次の二つについては測定されることになる。第一に、ある一つの資本財についてみたとき、同じ時点であってもその使用主体である生産者（産業）に依存して稼働率が異なりうる可能性である。もし車種も等しい乗用車であっても、タクシー会社などの旅客輸送産業と鉄鋼業における営業などを目的とする自家用利用では、その稼働率は大きく異なるであろう。第二に、同じ時点の生産者（産業）内であっても、資本財別稼働率は相対的に相違があるかもしれない。鉄鋼業において高炉と転炉の稼働率は近似するかもしれないが、営業用乗用車の稼働率は異なるかもしれない。この二つの点はある時点における、 k 資本財 j 産業の“横断面的な稼働率” ϕ^{kj} の相違を示している。これは稼働率というよりは、産業別、資本財別の利用における跛行性を示す指標であるといった方が適切かもしれない。

資本の測定のフレームワークにおいてもうひとつ重要な仮定は、(11)' 式あるいは (11) 式で異なる設備年齢を持つ生産的“資本ストック”の間に完全代替を仮定したように、“資本サービス”においても異なる設備年齢を持つ資本間において完全代替性（perfect substitutability）を仮定することである。このことは稼働率指数が設備年齢から独立であるならば、自明である。そのとき集計資

本サービスは (28) 式のように、設備年齢の異なる資本財から提供される資本サービスの単純和集計によって表現される。

2.2 資本の価格とサービス価格

これまでの資本の数量面におけるフレームワークに対応した双対的アプローチ (dual approach) によって、ここでは資本取得価格 (capital acquisition price) と資本サービス価格 (capital service price) を導出することにしよう^{*40}。はじめに資本取得価格は、新製品としての資本財の価格のみを指すものではなく、中古品についても適用される概念であることを明示しておきたい。設備年齢 $\tau > 0$ である中古品が自己所有されていても、潜在的な競争市場における設備年齢に対応した資本取得価格の存在が仮定される。その意味では設備年齢別資本取得価格は、設備年齢別資本ストック価格でもある^{*41}。資本サービス価格は数量面における資本サービス量 $K_{t,\tau}$ に対する価格であり、資本取得価格は投資量 $A_{t,\tau}$ あるいは粗資本ストック量 $S_{t,\tau}^G$ に対応する価格である。

(10) 式において、資本サービス量と比例関係にある設備年齢別生産的資本ストックにおいて一次同次の集計関数 (aggregator function) を仮定したように、資本サービス価格についても集計関数を一般的に示しておこう。

$$p_{K,t} = f^p(p_{K,t,0}, p_{K,t,1}, \dots, p_{K,t,\tau}, \dots) \quad (29)$$

(29) 式は異なる設備年齢を持つ資本財の資本サービス価格 $p_{K,t,\tau}$ の集計関数であるが、もはやこの関数型 f^p は自明である。異なる設備年齢の資本サービスについて完全代替を仮定していること、の双対的關係からは、(28) 式に対応して (29) 式は次式のように特定化される。

$$p_{K,t} \equiv p_{K,t,0} = p_{K,t,\tau} \quad (30)$$

これは資本サービス価格はその設備年齢に関係なく等しいというものである。資本サービス量において完全代替を仮定していることは、その価格における完全補完 (perfect complementarity) を意味し、均衡状態においてはすべての価格は等しくなければならない。よって新製品か中古品かに関わらず、そのサービス価格 $p_{K,t}$ のみを考えればよい。以下を現在価値 (present value) で展開するために、一般に割引価格 q_t を次のように定義しよう。

$$q_t = \prod_{s=1}^t \frac{1}{1+r_s} p_t \quad (31)$$

^{*40} 生産要素としての資本に関する双対アプローチは、Hall[1968] や Jorgenson[1974][1989] などによって、その体系が構築されてきたものである。資本の双対理論を示した Hall[1968] は、“形式的には双対問題は原問題とまさに同じ性質を持っているけれども、双対問題を考えることによって原問題では明確でなかった問題に新たな洞察を加えることができる”と述べている。資本の双対アプローチも、しばしば混乱されがちであった資本概念における、効率 (efficiency) と価値 (value) という二面の関連と識別に寄与するものである。

^{*41} これは経済統計 (社会会計) では機会費用としての再取得 (再調達) 価格評価と呼ばれるものであり、企業会計では時価評価に相応するものである。

(31) 式における r_s は時間 (s) における割引率であり、 q_t によって以下それぞれの割引価格を示すものとする。 t 期における新製品の資本取得価格について、完全予見のもとで異時点間の裁定を仮定すれば次式が成立する。

$$q_{A,t} = \sum_{\tau=0}^{\infty} d_{\tau} q_{K,t+\tau+1} \quad (32)$$

(32) 式は裁定条件として、新製品の資本取得価格 $q_{A,t}$ が、(現在価値に割り引いた) 将来の資本サービス価格とそのときの相対的効率性 d_{τ} の積の和、つまり t 期の一単位の資本が将来においてもたらす資本サービスの収入 (レント) に等しいことを意味している。新製品の資本取得価格は当該財市場における需給均衡によって決定されると考えることができる。そしてその需要者が、将来において貸し出すことから収入を得ることを資本財取得の目的とするならば、現在価値において取得価格とレントは一致しなければならない。もし自己所有 (owner occupied) し、自己利用 (owner utilized) が目的であっても、それは準レントとして同様にみなすことができる。完全予見の前提は現実には想定しづらいが、もっともシンプルな裁定条件が (32) 式である。また同じように、 t 期における設備年齢 τ の資本取得価格 $q_{A,t,\tau}$ は次のようになる ($q_{A,t} = q_{A,t,0}$)。

$$q_{A,t,\tau} = \sum_{\tau'=0}^{\infty} d_{\tau+\tau'} q_{K,t+\tau'+1} \quad (\tau = 1, 2, \dots) \quad (33)$$

(30) 式で表されるように、資本サービス価格については設備年齢 τ を持つ資本サービス価格と新製品の資本サービス価格は均等化する。しかしある時点において同じ 1 単位の資本サービスをもたらす資本財の価値 (資本取得価格) は必ずしも均等化せず、その取得価格は相対的効率性分布に依存した将来もたらされる資本サービスフローに規定されることになる。生産的資本ストック $S_{t,\tau}$ は、効率単位による定義によって、設備年齢の異なる資本財は完全代替性を持ち、期中 (t 期) に同じサービス量を提供するという意味では無差別である。しかしその資本財が $t+1$ 期以降、将来にわたってもたらすサービスは必ずしも同じではない。このことが資本財の価値 (value) において乖離をもたらす要因である。ここで次のような比率を定義しよう。

$$d_{t,\tau}^p \equiv \frac{q_{A,t,\tau}}{q_{A,t}} = \frac{p_{A,t,\tau}}{p_{A,t}} \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (34)$$

$d_{t,\tau}^p$ はある時点 t において、設備年齢 τ を持つ資本財と新製品の資本取得価格の比であり、新製品の取得価格を 1 とした中古品の相対的な価格である。age-efficiency profile が設備年齢の増加にともなう相対的効率性 d_{τ} であったのに対して、ある t 時点における相対的取得価格 $d_{t,\tau}^p$ は “age-price profile” と呼ばれている。次のことは留意されるべきであろう。数量面における d_{τ} は設備年齢 τ にのみ依存しているが、価格面における $d_{t,\tau}^p$ は時間 t にも独立ではないことである。これはある期の資本取得価格は、一般に将来の資本サービス価格および割引率に依存して決定されることを意味している。Hulten-Wyckoff[1981a][1981b] において明示的に扱われているように、age-price profile は設備年齢と資本価格の経済的償却における関係式であるが、それは時間の変

化にともなって上下へとシフトするものである。このことから、資本価値としての純資本ストック (net capital stock) は、将来の資本サービス価格と割引率に関する仮定をもたなければ定義することができない。純資本ストックの定義は後に扱うこととしよう。

資本ストックの差分を示す (23) 式と同様に、(32) 式から $t-1$ 期から t 期への資本取得価格の差分を求めよう。

$$\begin{aligned} q_{A,t} - q_{A,t-1} &= -q_{K,t} - \sum_{\tau=1}^{\infty} (d_{\tau} - d_{\tau-1}) q_{K,t+\tau} \\ &= -q_{K,t} + \sum_{\tau=1}^{\infty} m_{\tau} q_{K,t+\tau} \\ &= -q_{K,t} + q_{D,t} \end{aligned} \quad (35)$$

t 期における資本取得価格は、 $t-1$ 期における資本取得価格から、その資本財を貸し出したり、自己利用することによって期中に得ることができる純収入 (資本サービス価格から減価償却分 $q_{D,t}$ を除いたもの) を差し引いたものに等しいことになる。 $q_{D,t}$ は資本の効率性における物理的な意味での減耗や劣化とは区別して、経済的償却 (economic depreciation) と呼ばれる⁴²。(35) 式に (31) 式を代入してそれぞれの時点の価格で評価しなおすと、資本サービス価格は次のようになる。

$$p_{K,t} = \left(r_t \frac{p_{A,t-1}}{p_{A,t}} + \frac{p_{D,t}}{p_{A,t}} - \frac{p_{A,t} - p_{A,t-1}}{p_{A,t}} \right) p_{A,t} \quad (36)$$

(36) 式は、レントとしての資本取得価格から導かれる資本サービス価格である。資本が自己所有され、その価値は準レントとするならば、 $p_{K,t}$ は資本の使用者価格 (user cost of capital) と呼ばれる。実際の測定においては、われわれは将来の資本サービス価格を知ることはできないが、現在までに観察された資本取得価格から (過去における) 完全予見を想定すれば、過去の資本サービス価格を帰属計算 (imputation) することが可能となる。経済的償却額 $q_{D,t}$ は (24) 式に対応して replacement distribution を用いて次式のようになる。

$$q_{D,t} = - \sum_{\tau=1}^{\infty} \delta_{\tau} (q_{A,t+\tau} - q_{A,t+\tau-1}) \quad (37)$$

(37) 式は、補填投資必要量 R_t における (24) 式に対応するものである。1.6 節での数量面における展開と同様に、ここでも geometric (BGA) を仮定すると経済的償却は (31) 式および (37) 式より単純化される。

$$p_{D,t} = \delta p_{A,t} \quad (38)$$

これは d_{τ} に示される物理的な劣化パターン (その減少分) が geometric であるとする仮定のもとでは、すべての時点において経済的償却額は資本財価格の一定率となることを示すものであ

⁴² 資本の効率性と価値の減少という償却率の二つの側面は、資本の測定理論における論争の一つである。その議論は最近では Triplett[1996] に詳しい。

る⁴³。(25)式における物理的劣化に対応する補填投資率と(38)式における経済的償却に対応する減価償却率は、相対的効率性の減少率 $\text{constant-}\delta$ として一致することになる。このことが価格面からとらえたときの geometric 分布の扱いやすさである。よってこの仮定のもとでは先の資本サービス価格は、(36)式および(38)式より次のように導出される。

$$p_{K,t} = \left(r_t \frac{p_{A,t-1}}{p_{A,t}} + \delta - \frac{p_{A,t} - p_{A,t-1}}{p_{A,t}} \right) p_{A,t} \quad (39)$$

野村 [1998] では税制を考慮したもとの(39)式の拡張をおこなっているが、資本ストックの効率性とその価値の比較のために、物理的な劣化における $\text{age-efficiency profile}$ に対応して、経済的償却としての設備年齢の変化にともなう資本取得価格 age-price profile の具体的な分布を考えてみよう。BGAの仮定のもとでは(34)式より、設備年齢 v の資本取得価格と新製品の資本取得価格の比 $d_{t,\tau}^p$ は次のようになる。

$$d_{t,\tau}^p \equiv \frac{p_{A,t,v}}{p_{A,t}} = (1 - \delta)^\tau = d_\tau \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (40)$$

BGAの仮定のもとでは、あらゆる時点における $d_{t,\tau}^p$ が d_τ に等しいことを意味しており、また age-price profile は $\text{age-efficiency profile}$ と一致することになる。(40)式、(32)式および(33)式より求められるように、設備年齢の変化にともなう物的な効率性と資本価格の分布が一致するのは、相対的効率性において $d_{\tau+\tau'} = d_\tau d_{\tau'}$ が成立するときだけである。そしてそれはBGAに限られている。他の劣化パターンを考えると $d_{t,\tau}^p$ は複雑である。表3示した三つの典型的な劣化パターンにおいて、 $\text{age-efficiency profile}$ と age-price profile を数値例によって比較することにしよう。割引率および耐用年数を与え、そして将来の資本サービス価格が一定であるという条件のもとで、 one-hoss shay 型、 straight-line 型そして geometric (BGA) 型についての分布を描いたものが図2と図3である⁴⁴。

⁴³ このことから幾何分布による劣化パターンは、企業会計では一般に定率法 (fixed-declining あるいは $\text{double-declining balance method}$) と呼ばれる減価償却に対応する。

⁴⁴ 図3では割引率を0.05(一定)、耐用年数を20年とし、新品の資本取得価格を1として描いている。一般的には、 one-hoss shay 型、 straight-line 型では新品価格は連続形で表すと(耐用年数を T とすると)それぞれ以下のとおりである。

$$p_A(o) = \int_0^T p_{KE}^{-rt} dt$$

$$p_A(s) = \int_0^T \left(1 - \frac{t}{T} \right) p_{KE}^{-rt} dt$$

よって設備年齢 τ の取得価格はそれぞれ次式のようなになる(資本サービス価格は将来において一定であるとする)。

$$p_{A,\tau}(o) = \int_0^{T-\tau} e^{-rt} dt = \frac{1}{r} (1 - e^{-(\tau-T)})$$

$$p_{A,\tau}(s) = \int_0^{T-\tau} \left(1 - \frac{t+\tau}{T} \right) e^{-rt} dt = \frac{1}{Tr} \left(\frac{e^{-(\tau-T)}}{r} - \frac{1}{r} + T - \tau \right)$$

また、 $p_{A,v}(o)$ について割引率 r を0に近づけると、ロピタルの定理により直線に近付くことがわかる(利子率0のとき新品の取得価格は T となるので、 T で割ることにより図3の点線となる)。なお、この耐用年数に関する条件

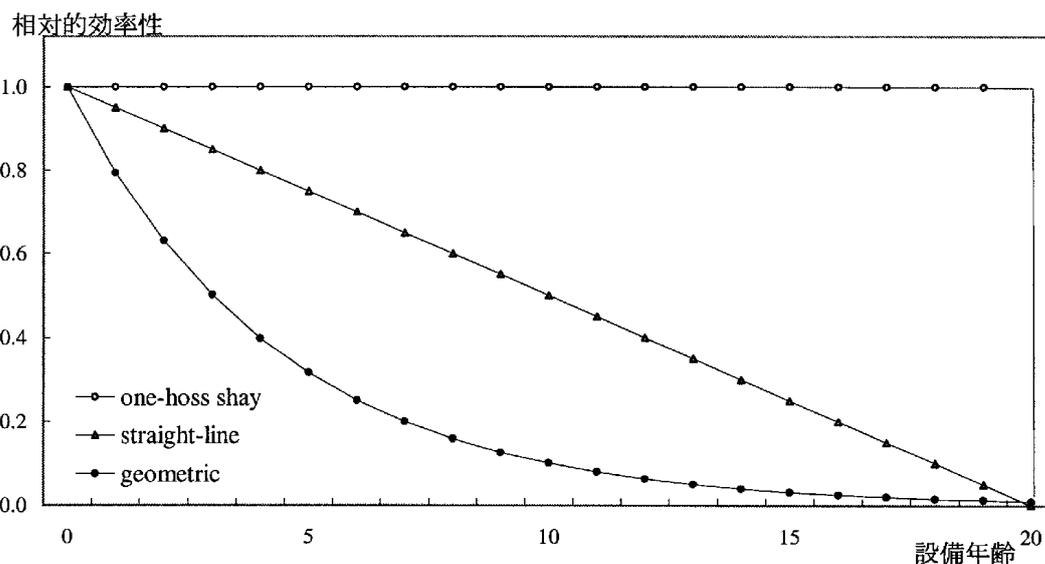


図 2: 典型的な age-efficiency profile

先述のとおり図 2 および図 3 では、geometric (BGA) 型るとき完全に一致している。age-efficiency profile との相違として注目されるべきは、age-price profile では one-hoss shay 型は凹関数 (concave function) となり、straight-line 型は凸関数 (convex function) となっていることである。たとえ資本サービスの物理的な劣化が耐用年数までまったく無い one-hoss shay ($R_t = 0$ ($0 \leq t < T$)) を想定しても、資本価格の側面からみれば設備年齢の増加にともなって低下がはじまり、減価償却はゼロではない ($p_{D,t} > 0$ ($0 < t < T$))。耐用年数を 20 年とするこの数値例では、割引率が 0.05 のとき初期の資本取得価格 1 に対して 5 年で 0.83、10 年で 0.62、15 年で 0.35 である。同じサービス量を提供する資本財であっても、耐用年数の半分の設備年齢を持つ中古資本の価値は新製品から 38% 減価している。straight-line では、同様に 5 年で 0.60 (相対的効率性は 0.75)、10 年で 0.29 (同 0.50)、15 年で 0.08 (同 0.25) であり、同様に耐用年数の半分の設備年齢では 71% の減価となる。インフレーションを想定しないケースでは、一般に age-price profile は age-efficiency profile の内側に位置する。

次に d_t の計測について考察をおこないたい。1.5 節で示したように d_t は異なる設備年齢を持つ資本財の限界生産力の比 (限界代替率) に等しい。限界生産力を直接観察することはできないから、設備年齢の異なる資本財のサービス価格が存在しているのであれば間接的な接近が可能である^{*45}。それは (30) 式で表わされた仮説に基づいて、age-efficiency profile の推計による相対的効

のもとで対応する constant- δ は、 $(1-\delta)^T = V_T$ (ただし V_T は T 期の残存価値) を満たすような δ であり、この数値例では V_T を 0.01 として $\delta = 0.109$ によって描いている。これは double-declining balance method による $\frac{2}{T}$ の 0.1 にほぼ等しいものである。

*45 もうひとつの接近法は、価格データを使わずに設備年齢の異なる個別の投資量の限界生産力に接近するものである。

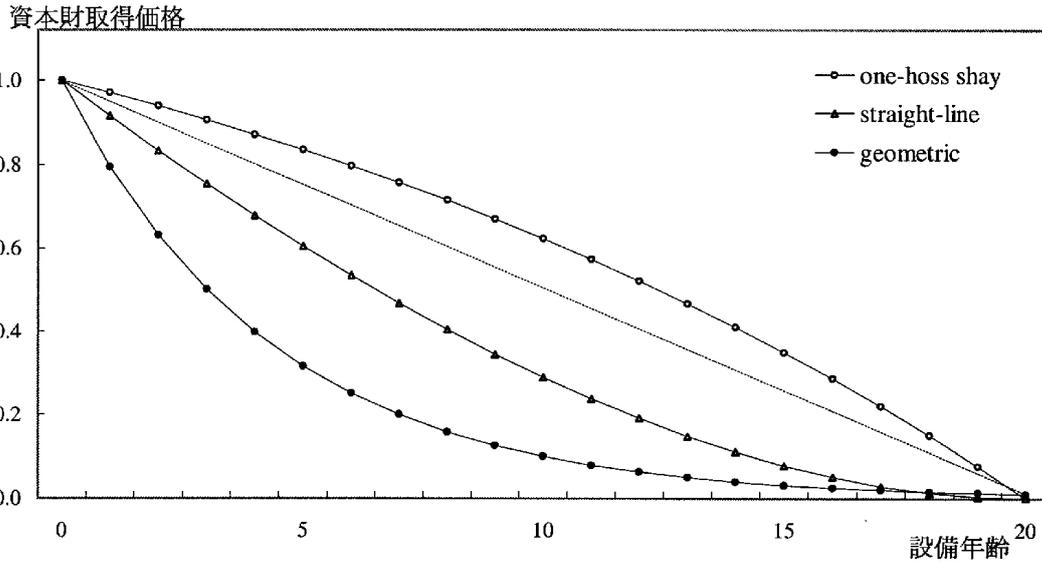


図 3: 典型的な age-price profile

率性 d_τ を計測することと同様である。しかし直接的に観察可能なレンタル価格は、(30) 式に示される資本サービス単位あたりの価格ではなく、自動車一台や住宅一戸などおおざっぱな物量単位によって定義されるレンタル価格に過ぎない。いま t 期において観察される設備年齢 τ のレンタル価格は次のようなものである。

$$p_{K,t,\tau}^* = V_{t,\tau}^K / A_{t,\tau}^* = p_{K,t,\tau} K_{t,\tau} / A_{t,\tau}^* \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (41)$$

$A_{t,\tau}^*$ は物量単位による粗資本ストック ($S_{t,\tau}^{G*}$) であり、 $V_{t,\tau}^K$ は資本所得 (capital compensation) である。資本所得は資本サービス量とそのサービス価格の積 $p_{K,t,\tau} K_{t,\tau}$ によって示されるが、両者を直接的に分離することはできない。(41) 式における $p_{K,t,\tau}^*$ と、同期における新製品のレンタル価格 $p_{K,t,0}^*$ との比を次のように表すことができる。

$$\frac{p_{K,t,\tau}^*}{p_{K,t,0}^*} = \frac{p_{K,t,\tau} K_{t,\tau} / A_{t,\tau}^*}{p_{K,t,0} K_{t,0} / A_{t,0}^*} = \frac{p_{K,t} \phi d_\tau \lambda_{t-\tau}}{p_{K,t} \phi d_0 \lambda_{t-0}} = d_\tau \lambda_{t-\tau} \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (42)$$

ある期における設備年齢の異なるレンタル価格を新製品のレンタル価格で基準化したものは、(42) 式に示されるように、相対的効率性と集計単位品質指標によって表される。これは 1.4 節における資本に体化された技術進歩の品質統御と同様に、機能的特性 $\Lambda_{t-\tau}^i$ を含んだ hedonic approach によって d_τ を識別することが可能となる。

また d_τ に接近するもうひとつの観察資料は、中古品の資本取得価格である。中古品の資本取得価格が観察されれば (34) 式、また BGA を仮定すれば (40) 式に表わされたような age-price

Doms[1996] は、資本の恒久棚卸法の式と生産関数自体を推計することによって d_τ を推定している。工学的データの使用によっては Penson-Hughes-Nelson[1977] などがある。

profile を推計することによって経済的償却率を求めることができる。しかしレンタル価格と同様に、ここでも直接に観察される中古品価格は、物量単位による次のようなものでしかない。

$$p_{A,t,\tau}^* = V_{t,\tau}^S / A_{t,\tau}^* = p_{A,t,\tau} S_{t,\tau}^G / A_{t,\tau}^* \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (43)$$

$V_{t,\tau}^S$ は t 期における設備年齢 τ の資本価値 (capital value) である。資本価値は資本ストック量とその取得価格の積 $p_{A,t,\tau} S_{t,\tau}^G$ によって示されるが、これもまた同様に直接的には分離できない。(43) 式の中古品価格 $p_{A,t,\tau}^*$ と、同期における新製品の価格 $p_{A,t,0}^*$ との比を次のように表すことができる。

$$\frac{p_{A,t,\tau}^*}{p_{A,t,0}^*} = \frac{p_{A,t,\tau} S_{t,\tau}^G / A_{t,\tau}^*}{p_{A,t,0} S_{t,0}^G / A_{t,0}^*} = \frac{p_{A,t,\tau} \lambda_{t-\tau}}{p_{A,t,0} \lambda_{t-0}} = d_{t,\tau}^p \lambda_{t-\tau} \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (44)$$

いま中古品市場において中古品価格 ($p_{A,t,\tau}^*$) が観察されているとすれば、機能的特性 $\Lambda_{t-\tau}^i$ を統御した hedonic approach によって age-price profile $d_{t,\tau}^p$ を推計することが可能になる。geometric (BGA) を仮定すれば、(40) 式のように $d_{t,\tau}^p = d_\tau$ であるから、age-efficiency profile と一致する。

2.3 資本価値

生産要素としての資本の測定は、経済分析において二つの意義を持っている。一つは、生産過程において投入される物的な資本投入量の測定であり、もう一つは所有する資本価値の測定である。前節における資本の価格面の定式化により、ここでは純資本ストック (net capital stock) を導出し、これまでの粗資本ストックおよび生産的資本ストックとの関連を考察することとしよう。資本サービス価格は、異なる設備年齢を持つ資本財の間で一単位の資本サービス量あたりでは均等化する。それは (30) 式にみたとおりである。しかし、耐久的である資本が将来において獲得すると期待されるレントを反映して、資本取得価格は設備年齢別に乖離する。そのレントは、将来における設備年齢の増加にともなう相対的効率性の分布 d_τ と、将来時点における資本サービス価格および割引率に依存するものである。これは生産的資本ストックが backward looking であるのに対し、資本財の価値が forward looking であることを意味している。このことから、資本価値 (capital value) としての純資本ストック (net capital stock) の測定は、将来に関する想定をもたなければ定義することができない。純資本ストックの定義をおこなうために、将来の資本サービス価格および割引率に関するシンプルな静態的期待 (static expectation) を想定しよう。静態的期待のもとでは、(34) 式における age-price profile $d_{t,\tau}^p$ は時間 t から独立な変数 d_τ^p として求められる。

$$d_\tau^p = \frac{\sum_{t'=0}^{\infty} \frac{d_{t+t'}}{(1+r)^{t'+1}}}{\sum_{t'=0}^{\infty} \frac{d_{t'}}{(1+r)^{t'+1}}} \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (45)$$

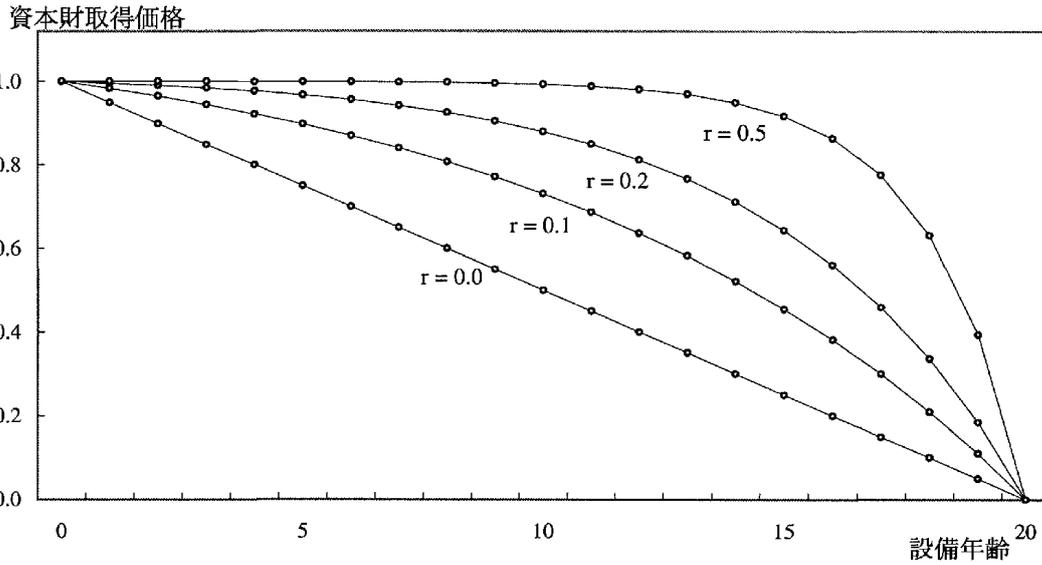


図4: 非劣化資本の割引率の変化にともなう age-price profile の変位

これは (14) 式のような d_τ の性質から、同様に次を満たすことになる。

$$d_0^p = 1, d_1^p > 0, d_\tau^p - d_{\tau-1}^p \leq 0, \lim_{\tau \rightarrow \infty} d_\tau^p = 0, \\ d_\tau^p \leq d_\tau, \lim_{\tau \rightarrow \infty} d_\tau^p = d_\tau \quad (46)$$

設備年齢 τ の経過にともなって資本取得価格は逓減し、また通常に想定されるような劣化パターンでは $d_\tau^p \leq d_\tau$ を満たす⁴⁶。また割引率 (r) が大きいときには、将来のサービスフローよりも現在のサービスフローの差異が大きく反映され、現在の想定的効率性のみが考慮されることになるから、割引率の上昇にともなって d_τ に接近することになる。これを割引率 0.05 とした図3で示した数値例にしたがって求めてみよう。図4は物理的な劣化パターンは onee-hoss shay、つまり耐用年数まで物理的には劣化しない資本において、割引率の変化にともなう age-price profile : d_τ^p の姿を計算したものである。割引率が 0.1 から上昇するにしたがって、徐々に d_τ に接近している(割引率 0 のときには脚注 44 に示したように直線となる)。

異なる設備年齢 τ を持つ生産的資本ストック $S_{t,\tau}$ は、新製品の効率性を基準とした $v\tau$ -効率単位による変換によって、資本の能力量 (capacity) としては単純に和集計することができることを集計関数 ((11) 式および (12) 式) において仮定した。また粗資本ストック $S_{t,\tau}^G$ も同様に、ある製造年代の資本の効率性を基準とした v -効率単位によって和集計をおこなうことは可能である。しかし

⁴⁶ age-efficiency profile において $d_{\tau+\tau'} \leq d_\tau d_{\tau'}$ (ただし $\tau + \tau' \leq T$) が成立すれば、 $d_\tau^p \leq d_\tau$ となる。図3での age-price profile が図2での age-efficiency profile を例示として下回るように、三つの典型的な劣化パターンではこれが満たされている (geometric では一致)。 β -decay ($d_\tau = \frac{T-\tau}{T-\beta\tau}$, ただし $-\infty < \beta \leq 1$) のような一般型では、 $\frac{-T}{T-\tau-\tau'} \leq \beta \leq 1$ (ただし $\tau + \tau' \leq T$) がその条件である。よってかなり急速に劣化が進むような分布を除き、通常に想定される劣化パターンでは $d_\tau^p \leq d_\tau$ が満たされる。

$S_{t,\tau}^G$ の資本価値としての側面をみれば、その価格 $p_{A,t,\tau}$ がそれぞれの設備年齢において異なるように、直接的に比較可能ではない。設備年齢 τ の異なる $S_{t,\tau}$ は、ある t 期および将来にわたって同じサービスを提供するものではないかもしれないし、そのことによって必ずしも同じ価値を有しているわけではない。純資本ストックは価値の側面を示すものであるから、 $S_{t,\tau}$ に (45) 式における d_τ^p を乗じることによって、新製品 ($\tau = 0$) である資本の価値を基準とする価値単位へと変換することができる。その積 $d_\tau^p S_{t,\tau}^G$ が純資本ストックの定義を与えることとなる。以上のことから、 t 期における設備年齢 τ の純資本ストック $S_{t,\tau}^N$ は次のように表される。

$$S_{t,\tau}^N \equiv \frac{V_{t,\tau}^S}{p_{A,t,0}} = d_\tau^p S_{t,\tau}^G \quad (\tau = 0, 1, \dots) \quad (47)$$

$d_\tau^p \leq 1$ であるから一般的に純資本ストック $S_{t,\tau}^N$ は粗資本ストック $S_{t,\tau}^G$ よりも小さなものになる。それが新製品 ($\tau = 0$) であるときに限って、両ストックは等しい^{*47}。また生産的資本ストック $S_{t,\tau}$ は粗資本ストック $S_{t,\tau}^G$ と d_τ の積である。よって生産的資本ストックに d_τ^p/d_τ を乗じたものが純資本ストックに等しい。また、先述のように通常の劣化パターンでは $d_\tau^p \leq d_\tau$ が満たされている。以上のことから、一般的に純資本ストック $S_{t,\tau}^N$ は、粗資本ストック $S_{t,\tau}^G$ よりも小さく、そして生産的資本ストック $S_{t,\tau}$ よりも小さくなる。新製品 ($\tau = 0$) である資本財に限っては、三つのストック系列はすべて一致することになる。よって三つの資本ストック概念は次のような大小関係をもつ。

$$S_{t,\tau}^N (= d_\tau^p S_{t,\tau}^G) \leq S_{t,\tau} (= d_\tau S_{t,\tau}^G) \leq S_{t,\tau}^G \quad (48)$$

粗資本ストックは生産的資本ストックおよび純資本ストックの測定のための基準を与えるものである。そして d_τ が geometric のとき、(40) 式のように age-efficiency profile と age-price profile は一致するから、資本の設備年齢に関わらず生産的資本ストック $S_{t,\tau}$ と純資本ストック $S_{t,\tau}^N$ もまた一致する。これは資本の効率性と価値、この二つの側面における測定に対して、同じ測定値によって表現できることを意味するものである。geometric による劣化パターンが BGA (best geometric approach) と呼称される所以である。また、それぞれの測定単位との対応では、粗資本ストック $S_{t,\tau}^G$ は基準時点の技術水準を基準とする v -効率単位、生産的資本ストック $S_{t,\tau}$ は新製品の効率性を基準とする $v\tau$ -効率単位、純資本ストック $S_{t,\tau}^N$ は新製品の資本価値を基準とする金額単位である。それぞれの単位の意味において、設備年齢 τ 間では単純和集計が可能であり、 S_t^N 、 S_t 、 S_t^G を求めることができる。

2.4 資本の異質性と集計

1950 年代中旬から 1970 年代初頭にかけて、英国ケンブリッジ大学の経済学者とマサチューセッツのケンブリッジにある MIT 大学の経済学者の間で、ケンブリッジ資本論争 (Cambridge

^{*47} あるいは割引率が十分に大きいときの one-hoss shay 型のときには、age-price profile は one-hoss shay の age-efficiency profile に収束する (図 4 参照)。ただしこれは極端な割引率であり、現実的にはありえそうもない。

controversy) と呼ばれる、論争が展開された。それは資本の測定に関する論争として口火を切り、新古典派経済学という大きなパラダイムにとって代わろうとする新しい理論構築の試みでもある。現在では、第二のケインズ革命を意図した英国ケンブリッジの経済学と、二つのケンブリッジ間の論争が実り多いものであったと評価されることは少ない。むしろその試みは失敗に終わったという Blaug[1974] などの指摘が相応しいだろう⁴⁸。しかしその論争は、測定 (measurement) の問題が理論体系の再構築へと向かう、理論に経験的なテストの可能性 (verifiability あるいは falsifiability) やそれを備えた予測を求めるという経験科学としての作法に則するという意味では、経済学において稀有な論争であるといえよう。そしてまさにこのテスト可能性という観点からも、その意図とは反して新古典派に軍配が上がる。

資本の測定を基準にみれば、Joan Robinson[1953] による問題提起は労働投入量における man-hour のような測定単位が資本には存在していないということであった。この点については前述 (脚注 17) のようにほとんど問題足りえないが、“もう一つの論点は異質な資本における集計的資本を測定するための、分配および価格から独立の単位は存在するだろうか”、というものである。本稿でのここまでの考察は、すべてある使用 (所有) 主体におけるただ一つの同質的 (homogeneous) な資本財のみを扱うものであり、集計資本量は異なる設備年齢間の資本ストックおよびサービス量における集計値を指すものであった。ここでは最後に、異質 (heterogeneous) な資本財の集計を考察しよう⁴⁹。資本を構成する具体的な資本財をみれば、さまざまな建設物、電気機械、一般機械、さらにはソフトウェアなどの無形固定資産も含め多様である。これまでの資本の測定概念との関連で言えば、効率単位 (efficiency unit) という資本の測定単位を設定するためには、異質な資本財はそれぞれ別の財として分類されなければならない⁵⁰。そして効率単位によってそれぞれの資本財が評価されたとき、異質な資本財の資本サービス量あるいはストック量を集計することはできない。それが可能となるのは、それぞれの名目金額のみである。

いまある産業の生産関数において k 種類の異質な資本サービスを投入するとし、生産関数を次のように表記する。

$$X_t = f(K_t, L_t, E_t, M_t) \quad (49)$$

$$K_t = f^K(K_t^1, K_t^2, \dots, K_t^k, \dots) \quad (50)$$

(50) 式は産業の投入する異質な k 資本投入量の集計関数である。集計関数は連続微分可能な一次同次関数であるとしよう。集計資本投入量としての k 資本のグルーピングが許されるのであれば、

⁴⁸ 英国ケンブリッジ側から論争を整理したものとしては Harcourt[1972] が詳しい。しかしかなり偏った評価になっているとの印象は免れえず、Blaug[1974] が比較的に中立的である。

⁴⁹ ここで登場する変数はすべて異なる設備年齢の資本財を集計した、 $K_t = \sum_{\tau} K_{t,\tau}$ 、 $S_t = \sum_{\tau} S_{t,\tau}$ のみを想定していることに留意されたい。

⁵⁰ さまざまな異質な資本財を集計した産業別資本形成では、金額単位以外に共通の測定単位を見出すことはできないだろう。このことはむしろ資本ストックの計測が、資本財を分離した固定資本マトリックスの計測でなければならないことを示している。わが国の公式なストック統計は資本財分類を持たない。

生産関数は (49) 式によって表記される。このような二段階の表記をおこなうためには、いままでも再三登場した Leontief の集計条件（あるいは弱分離可能性の条件）と呼ばれる次式が成立していなければならない。

$$\frac{\partial}{\partial L_t} \left(\frac{\partial X_t / \partial K_t^{k_2}}{\partial X_t / \partial K_t^{k_1}} \right) = \frac{\partial}{\partial E_t} \left(\frac{\partial X_t / \partial K_t^{k_2}}{\partial X_t / \partial K_t^{k_1}} \right) = \frac{\partial}{\partial M_t^j} \left(\frac{\partial X_t / \partial K_t^{k_2}}{\partial X_t / \partial K_t^{k_1}} \right) = 0$$

(k₁, k₂ = 1, 2, …) (51)

この式は k₁ 資本投入量の限界生産力と別の k₂ 資本投入量の限界生産力の比が、他の生産要素 LEM の変化からは独立であることを示す。ここでは (51) 式が満たされていることを仮定しておく^{*51}。そのもとでは、資本の集計関数である (50) 式を生産関数 (49) 式から分離して扱うことが可能となる。資本投入量 K_t^k に対する資本サービス価格は 2.2 節において定義したように p_{K,t}^k であり、資本サービスの総コストを V_t^K として次のような問題を考えよう。

$$V_t^K \rightarrow \min \quad \text{s.t.} \quad V_t^K \equiv p_{K,t} K_t = \sum_k p_{K,t}^k K_t^k \quad (52)$$

ここで集計資本投入量 K_t に対応する集計価格を p_{K,t} と表記している。(52) 式は、ある集計資本投入量のレベルを実現するために必要となる、異質な資本投入量からの総費用を最小化する問題である。このような費用最小化は資本財のすべてをレンタルしているか、あるいは完全な可塑性 (malleability) を想定したものであり、新古典派的な問題設定であるといえる。費用最小化のための必要条件は次のようになる。

$$\frac{\partial K_t}{\partial K_t^k} = \frac{p_{K,t}^k}{p_{K,t}} \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (53)$$

(50) 式を時間で微分し、両辺を K_t で除することによって次式を得る。

$$\frac{\dot{K}_t}{K_t} = \sum_k \frac{\partial \ln K_t}{\partial \ln K_t^k} \left(\frac{\dot{K}_t^k}{K_t^k} \right) = \sum_k \frac{p_{K,t}^k K_t^k}{p_{K,t} K_t} \left(\frac{\dot{K}_t^k}{K_t^k} \right) = \sum_k w_K^k \left(\frac{\dot{K}_t^k}{K_t^k} \right) \quad (54)$$

集計資本サービス量の成長率は、費用最小化のもとでの (53) 式を代入すれば、(54) 式のようにそれぞれの異質な資本投入量の成長率を名目資本コスト (capital compensation) シェア w_K^k をウェイトとして集計したものとなる。これは異質な資本に対してその集計資本量を定義するためには、それぞれの資本サービス価格が必要となることを示すものである。むしろこのような集計プロセスは、労働など他の生産要素も同一であるが、ひとつの違いはそのサービス価格を直接的に観察することができないことである。(36) 式（あるいは BGA のもとでの (39) 式）に求められたように、

^{*51} この条件の成立に関する妥当性を、現実的な例示から示すことは難しい。このような集計化を前提としなければ、(49) 式には異質な資本投入量をすべて右辺に示さなくてはならない。それでは現実的な計測の対象とはなりえないだろう。もう一つの方向は、Leontief 的な意味での個別資本財の限界生産力という概念の否定である。これは資本係数行列を持つ動学的産業連関分析において展開されるが、分析的には不自由である。

資本サービス価格は、その計測において利子率（割引率）の関数として求められる。これはケンブリッジ資本論争において利子論との関連において議論を呼んだものであった。新古典派経済学の体系全体では、Clark-Hicks 流の完全な可塑性を持つ資本を想定し、資本の限界生産力と時間選好率との相互作用によって、利子率が決定されるものであるから、それ自体も問題になるものではない。

異質資本の集計資本量においてはもう一つの代替的な観察可能な集計プロセスを想定することができる。(50) 式に示した異質な資本サービスの集計関数に対して、異質な生産的資本ストックにおける集計関数を想定しよう。

$$K_t = \phi S_t = \phi f^S(S_t^1, S_t^2, \dots, S_t^k, \dots) \quad (55)$$

先述と同様に、Leontief の集計条件は満たされているものとする。また (52) 式に示した費用最小化に対して、ある集計資本ストック量のレベルを実現するために必要となる、異質な資本ストック量の総費用を最小化する問題を想定しよう。いま BGA を仮定し、純資本ストックは生産的資本ストックに等しいとする。(52) 式と同様に malleability を仮定したもとの、次の問題を想定する。

$$V_t^S \rightarrow \min \quad \text{s.t.} \quad V_t^S \equiv p_{A,t} S_t = \sum_k p_{A,t}^k S_t^k \quad (56)$$

この最小化問題の必要条件から、まったく同様の展開によって次式を求めることができる。

$$\frac{\dot{K}_t}{K_t} = \frac{\dot{S}_t}{S_t} = \sum_k \frac{p_{A,t}^k S_t^k}{p_{A,t} S_t} \left(\frac{\dot{S}_t^k}{S_t^k} \right) = \sum_k w_s^k \left(\frac{\dot{S}_t^k}{S_t^k} \right) = \sum_k w_s^k \left(\frac{\dot{K}_t^k}{K_t^k} \right) \quad (57)$$

ここで w_s^k は名目資本価値シェアであり、 $p_{A,t}^k$ は k 資本財の資本取得価格である。(57) 式の最右項をみれば、(28) 式により k 資本ストック量の成長率は k 資本サービス量の成長率と一致するものであるから、結局 (54) 式との相違は集計ウェイトのみである。しかし、(57) 式の集計ウェイトは $p_{A,t}^k$ に依存する観察可能なものであるから、直接的に集計資本サービス量の成長率を計測することができる。異質資本の集計資本サービス量の測定という問題に対して、上記における二つの方法論は異質資本の集計資本ストック量を定義するか否か、に依存している。

一般に集計資本投入量 K_t を必要とする生産分析においては、異質資本の集計資本ストック量を介在することなく、(54) 式に依存するものである。一方の (57) 式は通常の生産分析においても、Hill[1999] の示すように国民経済計算 (SNA) においても用いられることはない。また (54) 式および (57) 式は Divisia 指数による資本集計量である。一次同次の集計関数を前提にすれば、Divisia 指数は経路独立性 (path independency) を持つから、ある基準時点の集計資本量を基準として、その水準を決定することができる (Hulten[1973])。それぞれは異質資本の集計資本サービス量および集計資本ストック量を求めることになる。

参考文献

- [1] Biørn, Erik: *Taxation, Technology and the User Cost of Capital*, North-Holland Amsterdam, 1989.
- [2] Biørn, Erik, Holmøy, Erling and Olsen, Øystein: Gross and Net Capital, and the Form of the Survival Function, Theory and Some Norwegian Evidence, *Review of Income and Wealth*, Vol. 35, No. 2, pp.133–149, 1989.
- [3] Blaug, Mark: *The Cambridge Revolution : Success or Failure*, I.E.A. London, 1974. (福岡正夫・松浦保訳『ケンブリッジ革命』東洋経済新報社, 1979年) .
- [4] Chenery, Hollis B.: Engineering Production Functions, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 63, No 4, pp.507–531, 1949.
- [5] Chenery, Hollis B.: Process and Production Function from Engineering Data, in Leontief Wassily W. eds. *Studies in the Structure of the American Economy*, Oxford University Press, pp.297–325, 1953.
- [6] Coen, Robert: Investment Behavior, The Measurement of Depreciation, and Tax Policy, *American Economic Review*, Vol. 65, pp.59–74, 1975.
- [7] Das, Sanghamitra: A Micro-Econometric Model of Capital Utilization and Retirement : The Case of the U.S. Cement Industry, *Review of Economic Studies*, Vol. 59, No. 2, pp.277–297, 1992.
- [8] Doms, Mark E.: Estimating Capital Efficiency Schedules within Production Functions, *Economic Inquiry*, Vol. 34, No. 1, pp.78–92, 1996.
- [9] Feldstein, Martin S. and Rothschild, Michael: Towards an Economic Theory of Replacement Investment, *Econometrica*, Vol. 42, No. 3, pp.393–423, 1974.
- [10] Fisher, Franklin M.: Embodied Technical Change and the Existence of Aggregate Capital Stock, *Review of Economic Studies*, Vol. 32, pp.263–288, 1965.
- [11] Griliches, Zvi: Introduction : Hedonic Price Indexes Revisited, in Griliches, Z. eds., *Price Indexes and Quality Change : Studies in New Methods of Measurement*, Harvard University Press, chapter 1, pp.3–15, 1971.
- [12] Griliches, Zvi: The Discovery of the Residuals : A Historical Note, *Journal of Economic Literature*, Vol. 34, No. 3, pp.1324–1330, 1996.
- [13] Griliches, Zvi and Jorgenson, Dale W.: Sources of Measured Productivity Change: Capital Input, *American Economic Review*, Vol. 56, pp.50–61, 1966.
- [14] Hall, Robert E.: Technical Change and Capital from the Point of View of the Dual, *Review of Economic Studies*, Vol. 35, pp.35–46, 1968.
- [15] Hall, Robert E.: The Measurement of Quality Change from Vintage Price Data, in Griliches, Z. eds., *Price Indexes and Quality Change : Studies in New Methods of Measurement*, Harvard University Press, chapter 8, pp.240–271, 1971.
- [16] Hall, Robert E. and Jorgenson, Dale W.: Tax Policy and Investment Behavior, *American Economic Review*, Vol. 57, pp.391–414, 1967.
- [17] Harcourt, G. C.: *Some Cambridge Controversies in the Theory of Capital*, Cambridge University Press, 1972. (神谷傳造訳『ケンブリッジ資本論争』日本経済評論社, 1980年) .
- [18] Hill, Peter : Intangible Assets, Patents and Copyrights in the 1993 SNA, *SNA News and Notes*, Issue 6, July 1997.
- [19] Hill, Peter: Gross, Productive and Net Capital Stock, Second Meeting of the Canberra Group on Capital Stock Statistics, Agenda item. 5, No. 10, 29 September– 1 October 1998.

- [20] Hill, Peter: The Productive Capital Stock and the Quantity Index for Flow of Capital Services, Third Meeting of the Camberra Group on Capital Stock Statistics, No. 3, 8–10 November 1999.
- [21] Hotelling, Harold: A General Mathematical Theory of Depreciation, *Jouranal of the American Statistical Association*, Vol. 20, pp.340–353, 1925.
- [22] Houthakker, H. S.: The Pareto Distribution and the Coob-Douglass Production Function in Activity Analysis, *Review of Economic Studies*, Vol. 23, pp.27–31, 1956.
- [23] Hulten, Charles 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*, University of Chicago Press, chapter 4, pp.119–158, 1990.
- [24] Hulten, Charles R.: On the “importance” of Productivity Change, *American Economic Review*, Vol. 69, No. 1, pp.126–136, 1979.
- [25] Hulten, Charles R. and Wykoff, Frank C.: The Estimation of Economic Depreciation Using Vintage Asset Prices : An Application of the Box-Cox Power Transformation, *Journal of Econometrics*, Vol. 15, pp.367–396, 1981.
- [26] Hulten, Charles R. and Wykoff, Frank C.: The Measurement of Economic Depreciation, in Hulten, Charles R. eds., *Depreciation, Inflation, and the Taxation of Income from Capital*, Washington: The Urban Institute Press, pp.81–125, 1981.
- [27] Hulten, Charles R. and Wykoff, Frank C.: Economic Depreciation and Accelerated Depreciation : An Evaluation of the Conable-Jones 10-5-3 Proposal, *National Tax Journal*, Vol. 34, No. 1, pp.45–60, 1981.
- [28] Johansen, Leif: Substitution versus Fixed Production Coefficients in the Theory of Economic Growth : A Synthesis, *Econometrica*, Vol. 27, No. 2, pp.157-176,1959.
- [29] Jorgenson, Dale W.: The Economic Theory of Replacement and Depreciation, in Sell-ekaerts, Willy eds., *Econometrics and Economic Theory ; Essays in Honour of Jan Tinbergen*, New York:Macmillan,chapter 10, pp.189–221,1974.
- [30] Jorgenson, Dale W.: Capital as a Factor of Production, in Jorgenson, D. W. and Landau, R. eds., *Technology and Capital Formation*, MIT Press, chapter 1, pp.1–35, 1989.
- [31] Jorgenson, Dale W. and Griliches, Zvi: The Explanation of Productivity Change, *Review of Economic Studies*, Vol. 34, pp.249–283, 1967.
- [32] Kendrick, John W.: Some Theoretical Aspectsof Capital Measurement, *American Economic Review*, Vol. 51, pp.102–111, 1961.
- [33] Kuroda, Masahiro and Nomura, Koji: Technological Change and Capital Accumulation in Japan, *KEO Discussion Paper*, No.68, 2001.
- [34] Lau, Lawrence J.: The Existence of Aggregate Capital When Returns to Scale are Non-Constant, *Economics Letters*, Vol. 36, No. 4, pp.355–359, 1991.
- [35] Leontief, Wassily W.: A Note on the Interrelation of Subsets of Independent Variables of a Continuous Function with Continuous First Derivaties, *Bulletin of the American Mathematical Society*, Vol. 53, pp.343–350, 1947a.
- [36] Leontief, Wassily W.: Introduction to a Theory of the Internal Structure of Functional Relationships, *Econometrica*, Vol. 15, Issue. 4, pp.361–373, 1947b.
- [37] Leontief, Wassily W.: *Essays in Economics; Theories and Theorizing*, Oxford University Press, 1966. (時子山和彦訳『経済学の世界』日本経済新聞社,1974年) .
- [38] McCarthy, Paul: Computer Prices: How good is the quality adjustment ?, Capital Stock Conference, Agenda Item IX, 1997 March.
- [39] Penson, John B., Hughes, Dean W. and Nelson, Glenn L.: Measurement of Capacity Depreciation

Based on Engineering Data, *Journal of Agricultural Economics*, Vol. 59, No. 2, pp.321–329,1977.

- [40] Popper, Karl R.: *The Poverty of Historicism*, London:Routledge, 1957. (久野収・市井三郎訳『歴史主義の貧困』中央公論社,1961年) .
- [41] Robinson, Joan V.: The Production Function and the Theory of Capital, *Review of Economic Studies*, Vol. 21, pp.81–106, 1953–54.
- [42] Robinson, Joan V.: *The Accumulation of Capital*, London:Macmillan,1956. (杉山清訳『資本蓄積論』みすず書房,1957年) .
- [43] Shapiro, Mathew D.: Capital Utilization and Capital Accumulation: Theory and Evidence, *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 1, No. 3, pp.211–234, 1986.
- [44] Smith, Kerry V.: Another View of the State of Engineering Production Function, *Economica*, Vol. 53, pp.529–532, 1986.
- [45] Solow, Robert M.: Technical Change and the Aggregate Production Function, *Review of Economics*