

## 論文

各期の稼得収益が均等でない  
戦略的投資計画の感度分析  
— グラフによる分析を中心に —

伏見 多美雄\*

野々村 智範†

## ＜論文要旨＞

設備投資計画の経済性分析の方法論として、キャッシュフロー基準の経済性指標を、条件に応じて使い分けるやり方が広く用いられているが、現実には、投資の結果として生じる稼得収益には不確実性がつきまとうために、十分な感度分析を行い、その分析結果を分かりやすくグラフで表現する方法が奨励されている。

しかし、従来開発され実用化されている分析法は、毎期のキャッシュフローが均等な場合や、年々一定の上昇率ないし通減率を仮定できる場合を前提としているので、たとえば新製品の商品化計画とか、新規事業への参入計画といった戦略的な投資計画には適用が困難である。というのは、戦略的投資計画では導入期・成長期から成熟期に達し、やがて安定期ないし衰退期に入るというように、不均等な稼得収益を前提とせざるをえないからである。

本稿は、そのような不均等な稼得収益をもつ設備投資計画に焦点を当て、これを効果的にサポートする感度分析とその図式表現について研究したものである。

第1節では、本稿で対象とする感度分析のねらいを整理したのち、予備的考察として、販売量が年々均等な場合の代表的な感度分析グラフの例を示す。そして、販売量や売上高の流列が不均等な場合の問題点を指摘する。第2節では、販売量（または需要量や売上収益）の年価という代用変数の導入を提案し、分析のベースとして「流列のパターン」および「リスクのタイプ」というコンセプトを用いた定量化の方法を述べる。

第3節では、こうして求められる販売量の年価と投資案の正味年価との関係に注意を向ける。そして運転資本投資や設備の処分損と税金を考える場合も、ほぼ線形の関係の想定することができるが、経験曲線を考慮する場合は帯状の幅を持った関係として捉えざるを得ないことを論じる。第4節では、モデル企業による具体的な数値例を用いて、優劣分岐線グラフの活用例などを示す。

## ＜キーワード＞

感度分析、キャッシュフロー、経済性指標、戦略的設備投資、投資分析、不確実性、優劣分岐分析

1993年3月受付

1993年6月受理

\* 慶應義塾大学教授（大学院経営管理研究科）

† 住友セメント株式会社（総務部）

## はじめに

設備投資計画の経済性を効果的に分析・評価するための方法論として、キャッシュフロー基準の経済性指標を、条件に応じて使い分けるやり方が広く用いられ、実践をサポートする有力なツールになっている。ところが、現実には、投資の結果として生じる稼得収益（キャッシュフローで測定されるリターン）には不確実性がつきまとうために、予測値を1つにしぼって計算し評価するだけでは不十分だという認識も高まっている。不確実な要因として特に重視されるものに製品売価や販売数量、製品の寿命、物価変動率などがある。

こういった不確実性に対処するための方法論として、比較的古くから確率・統計・決定理論などの応用が提案され、実用化されているものもある。しかしながら、いわゆる戦略的な設備投資計画の場合は、同種事象の反復的な生起を予定することはできないので、実践的な方法としては、とりあえず「最も確からしい」と思われる予測値をもとにして最適案になりそうな有力案を選択・評価した上で、不確実性が気になる予測変数について、それらが悪い方にはずれた場合の安全性（各代替案が損失になりにくい度合、つまり採算余力）を分析したり、優劣分岐線（各戦略代替案の優劣が分岐する境界線）を確認するなどの感度分析を十分に行なうやり方が推奨されるようになってきている。しかも、その分析結果をできるだけ分かりやすく示すためにグラフによる表現が望まれている。

このような考え方のもとで、実用的な感度分析手法を開発し応用する努力が続けられている（たとえば文献[19]～[22]など。また応用事例としては文献[4]、[6]、[7]、[17]、[23]、[24]などを参照されたい）。しかし、これまでの研究は、毎期のキャッシュフローが均等である場合や、年々一定の上昇率ないし通減率を仮定できるといったシンプルな条件を前提としていた。合理化投資、増産投資、取替え投資などと呼ばれる経常的な設備投資計画の場合には、そのような単純化によって分析の柔軟性を高め、実践に適用できるケースが多い。ところが、たとえば新製品の商品化計画とか、新規事業への参入計画、新規出店計画といった戦略計画の場合は、そのように単純化した仮定をおいて解くことはできない。というのは、そういった計画では、投資の結果として生じる販売量や売上高は、導入期・成長期から成熟期に達し、やがて安定期ないし衰退期に入るというように、各期不均等な稼得収益を前提とせざるをえないからである。しかも、こういった戦略的投資計画は、経常的な設備投資と比べて、市場の動向や競争状況などの不確実性が一層大きいのが常であるから、より有効でビジブルな感度分析が望まれるのである。

本稿は、そのような戦略的投資計画によく見られるような、各期の稼得収益が不均等な設備投資計画に焦点を当て、これを効果的にサポートする感度分析の図式表現について検

討することを目的としている。

第1節では、本稿で対象とする感度分析のねらいを整理したのち、予備的考察として、販売量が年々均等な場合の代表的な感度分析法、とくにグラフによる分析の例を示す。そして、販売量や売上高の流列が不均等な場合には、重要な感度分析グラフの多くが画けなくなることを説明する。第2節では、上述の限界を克服する手段として販売量（または需要量や売上収益）の年価（または現価）という代用変数に置き換える考え方を提案する。そして、その分析のベースとして「流列のパターン」および「リスクのタイプ」というコンセプトを導入し、それを定量化する方法を述べる。第3節では、こうして求められる販売量の年価と投資案の正味年価との関係に注意を向ける。そして運転資本投資や設備の処分損と税金を考える場合も、ほぼ線形の関係进行を想定することができるが、経験曲線を考慮する場合は带状の幅を持った関係として捉えざるを得ないことを論じる。第4節では、モデル企業による具体的な数値例を用いて感度分析のグラフ化、特に優劣分岐線グラフの活用例を示す。

## 1. 感度分析についての予備的考察

### 1.1 感度分析という言葉の定義

感度分析という言葉は、分析対象により、また論者によっていろいろに用いられており、統一した定義があるわけではない。たとえば、政策変数やパラメータあるいは制約条件の微小な変化に対する目的関数の変化率を知る分析とか、前提条件の変化による最適解の変化を知る分析とか、最適解がそのまま最適であり続けるためのパラメーターの変動範囲に関する分析といった説明がよく見受けられる。これらの定義や説明は、「最適解の近傍」の変化に焦点をあてるものであり、問題のタイプによっては有用なものであるが、本稿の対象である戦略的設備投資計画の場合は、もう少し実践志向でゆるい定義の方が有用である。そのようなゆるい定義の感度分析を設備投資計画に適用する仕方の代表的なものをあげると以下のとおりである。

#### (a) 安全性分析

たとえば売上高、費用、製品の寿命、価格変動率等々の予測変数が、とりあえず「最も確からしい」と想定した値からどの程度悪い方向にはずれると、その投資計画からの正味利益がマイナスになるかという採算余力を知るための分析である。

#### (b) 優劣分岐分析

複数の代替案を比較検討する場合、不確実な予測変数がどの値以上または以下に

なると各代替案の経済的な優劣が逆転するかを知るための分析である。感度分析の対象になる不確定変数が1つの場合は優劣分岐点を、変数が2つの場合は優劣分岐線を与えることになる。不確定要素が3つのときは、複数の優劣分岐線を描くことで処理できる場合が多い。

(c) What-If分析

政策変数・予測変数や制約条件にいくつかの可能性が予見される場合、それらの条件を何通りか変化させて最適案や正味利益などがどう変わるかを予知するための分析である。シミュレーション・モデルを活用するときに広く用いられる。

(d) ゴール・シーキング分析

目的関数を計画者が望んでいる値以上（あるいは以下）にするためには、その対象とする変数がどの程度の値でなければならないかを知るための分析である。

これらのうち、本稿の対象であるグラフ分析と関連が強いのは (a) および (b) であり、そのための作図の基礎として (c) も応用される。

## 1.2 每期均等な稼得収益を想定した感度分析グラフ

上述の (a) および (b) のイメージを具体的に示すために、各期の稼得収益が均等な場合の典型的な感度分析グラフを、数値例を用いて整理しておこう。

〔事例1〕

株式会社L社の某事業部では、ある製品を生産販売するための設備投資計画を検討中である。この設備投資については2つの代替案A、Bが検討の対象になっており、それぞれの初期投資額は、A案が1,600百万円、B案が2,800百万円である。一方製品1単位当たりの操業費用は、A案を採ると8,400円かかるのに対して、B案を採れば5,300円ですむ。資本の利率  $i$  は10%と見積もられている。

現実には、製品の市場条件、特に販売価格  $p$ 、年々の販売数量  $x$ 、および製品寿命  $n$  については不確実性が大きいので、計画担当者は、それらが当初予測より下回った場合の採算上の安全性（採算余力）や、両案の優劣の分かれ方などについて、十分な感度分析を加えておきたいと思っている。そこで、予測資料のうち不確実性の大きい要素、つまり  $p$ 、 $x$ 、 $n$  を変数として、A、B両案から生じる正味利益の年価  $M_A$ 、 $M_B$  を定式化すると次式のようになる。

$$M_A = (p - 8,400)x - 1,600 \text{ 百万} \times [P \rightarrow M] (10\%, n) \quad (1)$$

$$M_B = (p - 5,300)x - 2,800 \text{ 百万} \times [P \rightarrow M] (10\%, n) \quad (2)$$

ここで  $[P \rightarrow M] (i, n)$  は利子率  $i$ 、期数  $n$  の資本回収係数  $i(1+i)^n / \{(1+i)^n - 1\}$  の略

記号である。もし予測通りにいけば  $p = 15,000$  (円),  $x = 80,000$  (単位),  $n = 10$  (年) であるから、両案の正味年価は、 $M_A = 267.6$  百万円,  $M_B = 320.3$  百万円 となり、B案の方が年平均利益にして 52.7 百万円有利という判定になる (あとで製品寿命が変わる場合の分析を予定しているので、現価法ではなく年価法を採用している)。

この例では、3つの重要な変数が不確実であるから、両案の安全性の分析や優劣分岐分析をビジブルにするための図解をしておくことにしよう。まず、上述の (1) 式および (2) 式の  $p$  および  $n$  を所与と仮定し、それぞれを生産販売量  $x$  の関数として利益図表の形に整理すると図1のようになる。この図を見ると、価格  $p$  の予測が悪い方にはずれた場合は、利益の大きいB案の方が安全性も高いが、数量  $x$  の予測が悪い方にはずれた場合の安全性は、A案の方が大きいといったことを容易に読みとることができる。また、製品寿命の変化は、図1の固定費部分 (ここでは投資額の年価) に反映されるが、これは年数  $n$  が小さいほど大きくなる。このような両案の安全性および優劣分岐点を表にまとめて整理しておくと、計画担当者に有益な情報を提供することになる。

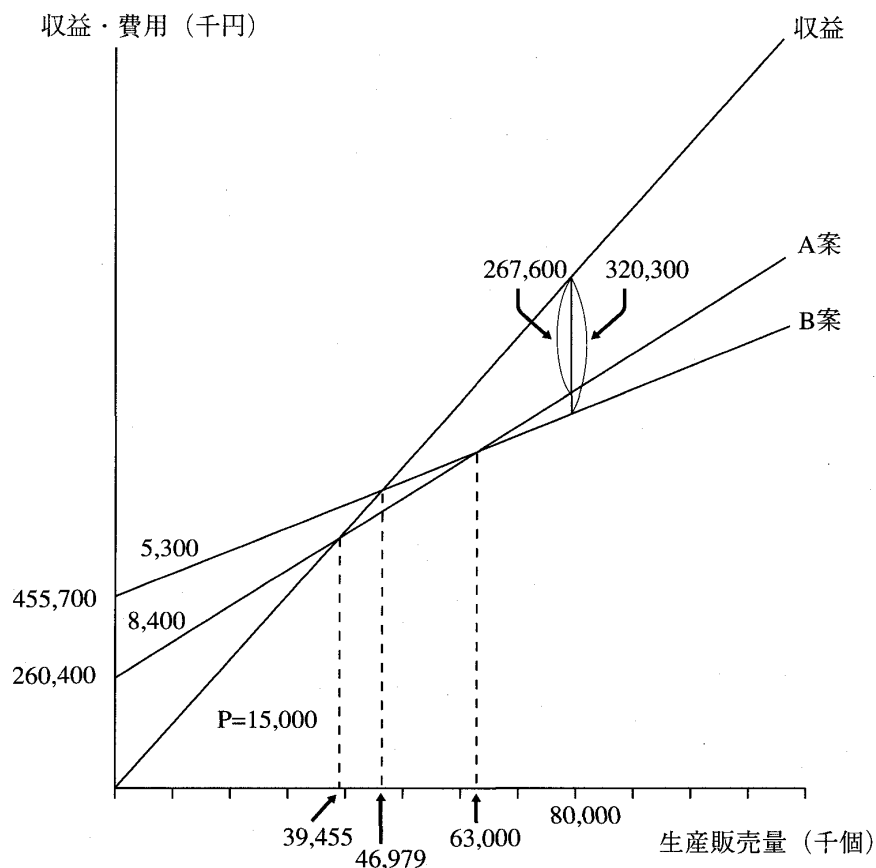


図1 利益図表形式での投資計画の比較と感度分析

次に、こういった感度分析をもっとフレキシブルにするために、2つの案の正味年価を

生産販売量  $x$ ，製品売価  $p$ ，および製品寿命  $n$  の関数としてグラフ化すると，図2の (a)，(b)，および (c) のようになる。

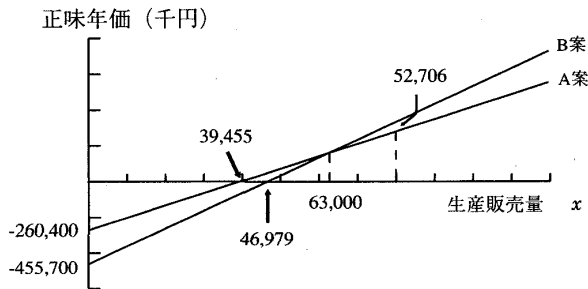


図2 (a) 生産販売量が変化する場合

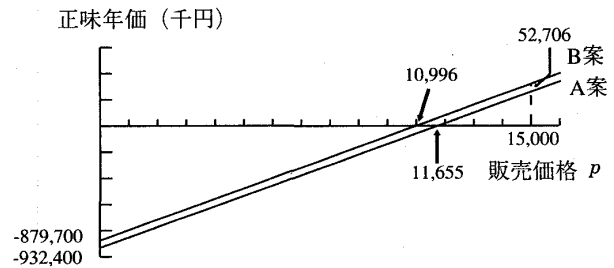


図2 (b) 製品価格が変化する場合

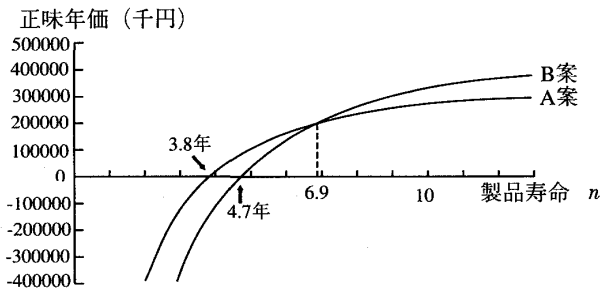


図2 (c) 製品寿命が変化する場合

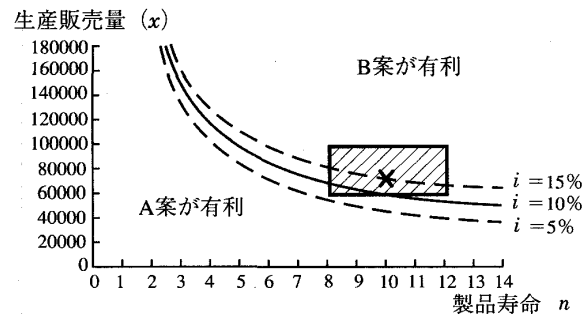


図3 製品寿命と需要量に関する優劣分岐分析

また，これらの分析から2つの案の優劣は価格  $p$  の影響を受けないことがわかったので，さらに生産販売量  $x$  と製品寿命  $n$  とを両軸にとってA, B両案の優劣が等しくなる点の軌跡，つまり優劣分岐線を描くと，図3の実線のようになる．もし製品の売価と費用（したがって償却前利益）は一定ではなく，年率5%程度の上昇から，逆に5%程度の通減までありうるという場合は，これを実質資本コストに反映させ，図3の破線のように資本の利率の範囲を広げたグラフにしておくといよい（価格の上昇・下落率を資本の利率におりこむ考え方と計算手法については，千住・伏見 [21]，[22] などを参照）。

もし計画担当者が， $x$  と  $n$  についての「かなり確からしい範囲」を検討した結果，現在の予測値の±20%に収まる可能性が大きいという場合は，図3の斜線部分のようにこの範囲を書き込むことによって，一層判定がしやすくなる。

さて，われわれは上に例示したような安全性の分析や優劣分岐線分析などのグラフによる表現を，戦略的設備投資にも応用したいのであるが，そのためには，各種の不確実な変

数を連続量で表わせることが必要である。ところが、戦略的投資計画の場合は、年々の販売量ないし売上高についてそのような扱いができなくなるので、そのままでは、図1や図2(a)、図3のような感度分析グラフを描くことができないのである。

以上のことからわかるように、戦略的設備投資計画の感度分析をビジュアルにするためには、販売量ないし売上高を連続量に置き換えて、効果的な分析をやれるような工夫をすることが不可欠である。

## 2. 不均等な販売量流列の扱い

設備投資計画から生じる年々のリターンは、会計上の償却前利益の増分から運転資本増分を控除し、設備の処分収入を加えるなどして予測することができる。通常は、計算の簡便さと感度分析のしやすさを考慮して、償却前利益と運転資本の増分は販売量（多品種の場合は売上高）の関数としてとらえることが多い。しかし、戦略投資の場合は各期の販売量（または売上高）が不均等なのが常であるから、この不均等な変数を感度分析の対象にしやすい「代用変数」に置き換える工夫が必要である。

### 2.1 代用変数としての販売量の現価または年価

各期の販売量（または需要量や売上高、以下同じ）が不均等な場合に、これを感度分析の対象にしやすいくするための代用変数として、販売量の現価または年価という概念を提案したい。販売量の現価とは、毎期の販売量を資本の利率で割り引いた現在価値合計であり、販売量の年価は、この値に資本回収係数を掛けた1期当たり平均値である。いま、投資の効果が持続する期間を $n$ 、第1, 2, ...,  $n$ 期末の販売量を $x_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ )、資本の利率を $i$ とする。便宜上、販売量や収益・費用は期末払いの値として予測されるものとする、販売量の現価 $P(x)$  およびその年価 $M(x)$  は次式で表される。

$$P(x) = \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{(1+i)^j} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} M(x) &= P(x) \times [P \rightarrow M](i, n) \\ &= \left\{ \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{(1+i)^j} \right\} \times [P \rightarrow M](i, n) \end{aligned} \quad (4)$$

ところで、感度分析には投資の寿命が変化する場合も扱うので、現価法よりも年価法の方

が有用である。また、図1～3に例示したような分析でも年価の方が使いやすい。したがって、後続の分析では主として販売量の年価を使うこととする。販売量の年価の経済的意味は、每期不均等な販売量の時間的価値を、資本の利率で調整して「毎期末均等の流れ」に換算した値に相当する。

もし製品のシェアが安定的な場合は「総需要の年価」を用いることができる。一方、多品種の製品を扱うために年々の操業水準を売上金額でとらえざるをえないという場合は、「売上高の年価」を用いることにすればよい。

## 2.2 流れのパターンとリスクのタイプ

販売量の年価を用いる感度分析の予備的ステップとして、「流れのパターン」および「リスクのタイプ」という2つの概念を導入することにする。

戦略的設備投資においては年々の販売量が不均等になるのが普通であるが、その不均等さはまったく不規則で予測不可能だというわけではない。たとえば、新製品を市場に導入するという計画だとすれば、導入期、成長期、安定期、衰退期といったプロダクト・ライフサイクルの形に沿って販売量が変動することであろう。こういった流れの形状についての予測を販売量の「流れのパターン」と名付けることとする。

そのような流れのパターンが予測できたとなると、販売量についての不確実性は、そのパターンの中で各期の販売量がどのように推移するかについての不確実性ということになる。ある流れのパターンの中で、販売量がピークを迎えるまでの期数と、そのピーク時の大きさで測られる変動の仕方を「リスクのタイプ」と名付けることとする。このリスクのタイプは、外部環境の分析と自社の強みの分析等にもとづいてかなりの程度予測できることが多い。

もしも、計画の対象になる販売量の流れのパターンが全く推定できなかったり、かりに推定できたとしても、その中でのリスクのタイプについて予測できる範囲すらつかめないという場合は、もはや賭（かけ）の世界に近く、本稿の対象外とせざるをえない。

## 2.3 数値例による販売量の年価の推定

数値例を使って、上述の考え方を補足しておこう。いま、ある戦略投資計画の最も確からしい寿命は8年であり、販売量についての最も確からしい予測値は下表のように与えられたとしよう。

いろいろ検討した結果、個々の数値についての不確実性は大きいものの、流れのパター



ンは図4のようになることはほぼ確かだということがつかめたでしょう。

(単位：千個)

| 年 度 | 1  | 2  | 3  | 4   | 5  | 6  | 7  | 8  |
|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|
| 予測値 | 45 | 69 | 87 | 100 | 96 | 90 | 82 | 68 |

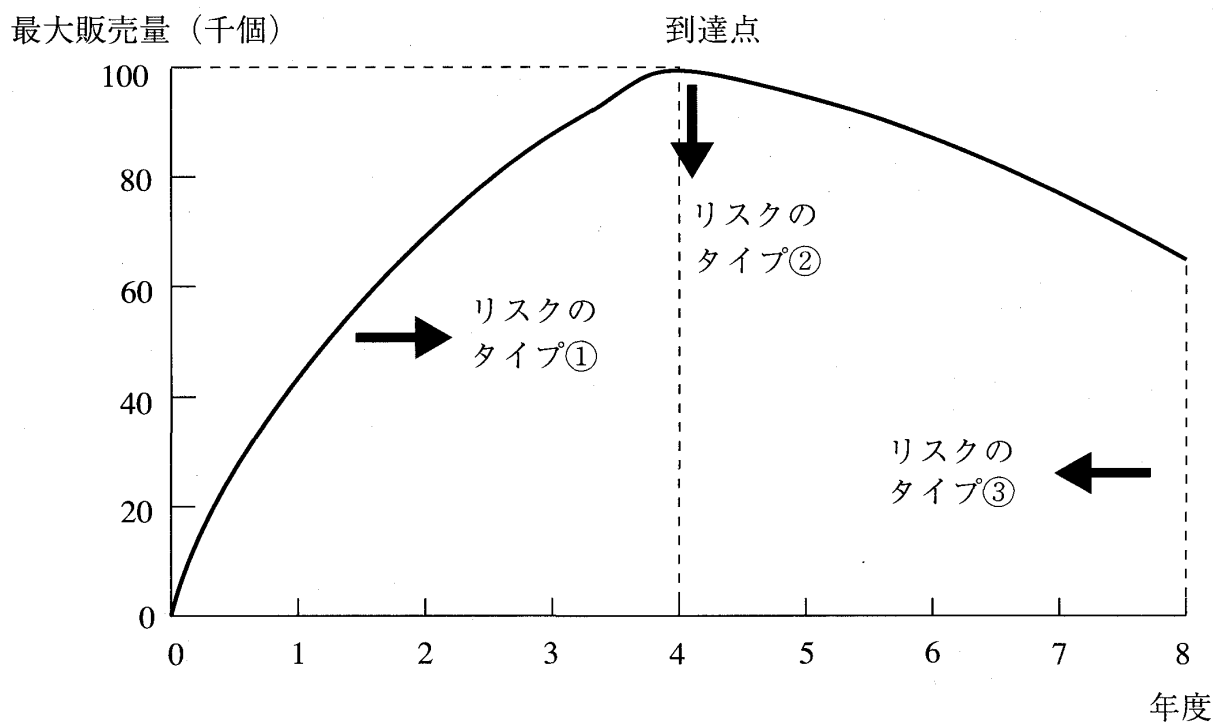


図4 販売量の流列のパターン

次にリスクのタイプを予測する便宜上，ピークに到達する時点を到達年度（または到達点）と呼び，到達年度での販売量を最大販売量と呼ぶことにする．関係者たちが討議した結果，到達年度については4年から7年まで，最大販売量については80千個から110千個の範囲まで考えれば十分であろうということになったでしょう．図4のパターンのもとで，これらの予測の各組み合わせをランダムに数値化すると，ありうる範囲は表1のようにまとめることができた．これをもとに販売量の年価の予測範囲を推定したところ，図5の(a)および(b)のようである．

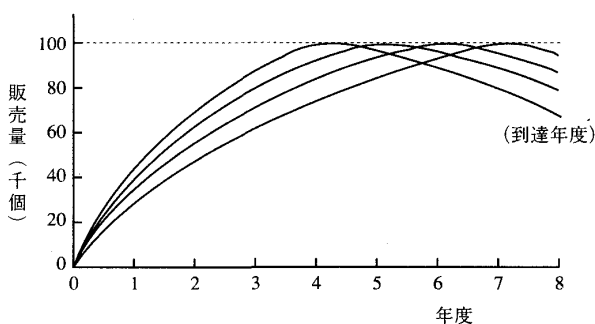
とりあえず，製品寿命は8年であり，2種の変数は互いに独立とみなしてよいものとする．ありうる組み合わせは $4 \times 4 = 16$ とおりの流列が考えられる（これらの仮定は後でゆるめられる）．上述の情報をもとにして，販売量の年価を推定することを試みよう．

表1 リスクのタイプが違う16の流列

| 投資案 | 到達<br>年度 | 最 大<br>販売量 | 各期の販売量 |    |    |     |     |     |     |     | 年度 |
|-----|----------|------------|--------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|     |          |            | 1      | 2  | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |    |
| ①   | 4年目      | 80千個       | 36     | 55 | 70 | 80  | 77  | 72  | 66  | 54  |    |
| ②   |          | 90千個       | 41     | 62 | 78 | 90  | 86  | 81  | 74  | 61  |    |
| ③   |          | 100千個      | 45     | 69 | 87 | 100 | 96  | 90  | 82  | 68  |    |
| ④   |          | 110千個      | 50     | 76 | 96 | 110 | 106 | 99  | 90  | 75  |    |
| ⑤   | 5年目      | 80千個       | 32     | 50 | 63 | 73  | 80  | 77  | 72  | 66  |    |
| ⑥   |          | 90千個       | 36     | 56 | 71 | 82  | 90  | 86  | 81  | 74  |    |
| ⑦   |          | 100千個      | 40     | 62 | 79 | 91  | 100 | 96  | 90  | 82  |    |
| ⑧   |          | 110千個      | 44     | 68 | 87 | 100 | 110 | 106 | 99  | 90  |    |
| ⑨   | 6年目      | 80千個       | 28     | 44 | 58 | 67  | 74  | 80  | 77  | 72  |    |
| ⑩   |          | 90千個       | 32     | 50 | 65 | 76  | 84  | 90  | 86  | 81  |    |
| ⑪   |          | 100千個      | 35     | 55 | 72 | 84  | 93  | 100 | 96  | 90  |    |
| ⑫   |          | 110千個      | 39     | 61 | 79 | 92  | 102 | 110 | 106 | 99  |    |
| ⑬   | 7年目      | 80千個       | 24     | 38 | 50 | 60  | 68  | 75  | 80  | 77  |    |
| ⑭   |          | 90千個       | 27     | 43 | 57 | 68  | 77  | 85  | 90  | 86  |    |
| ⑮   |          | 100千個      | 30     | 48 | 63 | 75  | 85  | 94  | 100 | 96  |    |
| ⑯   |          | 110千個      | 33     | 53 | 69 | 83  | 94  | 103 | 110 | 106 |    |

(a) 到達年度による違い

(最大販売量100千個の場合)



(b) 最大販売量による違い

(到達年度4年の場合)

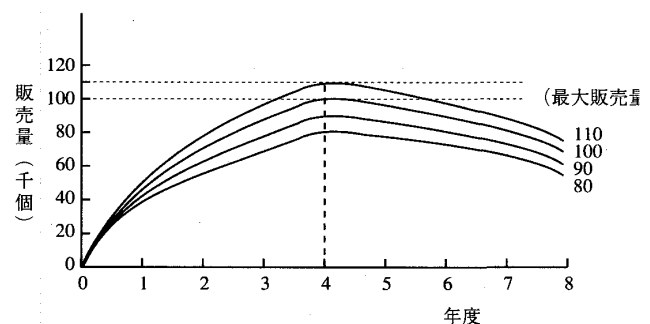


図5 予測される販売量の流列

## [1] 最大販売量と到達年度から販売量の年価を推定する

まず製品寿命を8年として、最大販売量がいちいち違う場合の販売量の年価をプロットすると、図6の(a)のようにほぼ直線になる。このグラフから、最大販売量の予測が多

少はずれても、他の条件が一定であるならば、販売量の年価の範囲を推定できることがわかる。

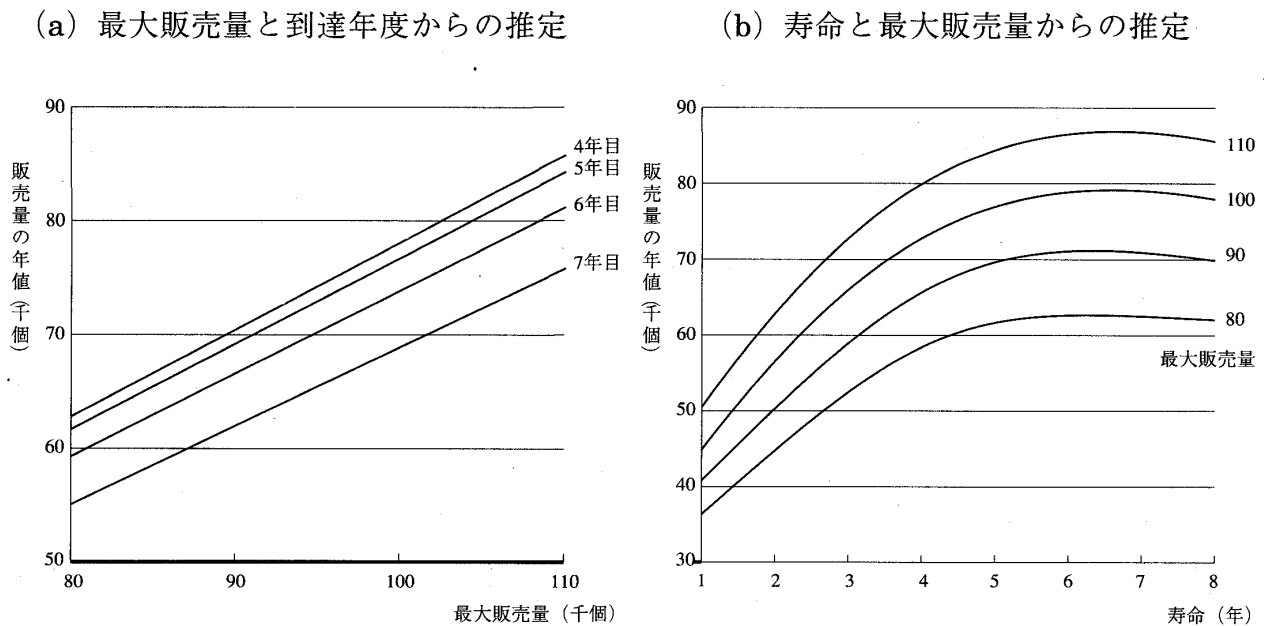


図6 販売量の年価の推定例

## [2] 最大販売量と製品寿命から販売量の年価を推定する

また、到達年度を4年目に固定して、最大販売量と製品の寿命という2つの変数を動かした場合のグラフを示すと、図6の(b)のようになる。この例では、寿命の範囲が5～8年の場合は、どの最大販売量の場合も、販売量の年価はほとんど変わらないということが、グラフから読み取れる。

## 3. 販売量の年価と正味年価との関係

上述のようなやり方で予測される販売量の年価という代用変数と、投資案の正味年価との関係（特に線形性の有無）について調べておく必要がある。その実際的方法として、各期の販売量が2から100まで（50倍）の範囲にばらついているいろいろな「流列のパターン」を想定し、それぞれの場合の販売量の年価と正味年価との関係を探ることにする。

### 3.1 基本モデルの想定

表2はランダムに選んだ16種類の基本モデルを想定し、それぞれの各期の販売量と、

表2 基本パターンの一覧

| 投資案 | 各期の販売量 |     |    |    |    |     |     | 年度  | 販売量の年価 |
|-----|--------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|--------|
|     | 1      | 2   | 3  | 4  | 5  | 6   | 7   | 8   |        |
| ①   | 2      | 5   | 10 | 18 | 24 | 42  | 66  | 100 | 27.2   |
| ②   | 4      | 10  | 20 | 34 | 60 | 86  | 100 | 82  | 42.3   |
| ③   | 8      | 32  | 78 | 98 | 98 | 78  | 32  | 8   | 53.3   |
| ④   | 13     | 25  | 38 | 50 | 63 | 75  | 88  | 100 | 50.1   |
| ⑤   | 30     | 50  | 66 | 80 | 88 | 94  | 100 | 40  | 65.7   |
| ⑥   | 34     | 58  | 76 | 82 | 90 | 95  | 98  | 100 | 74.7   |
| ⑦   | 40     | 64  | 82 | 96 | 96 | 82  | 64  | 40  | 70.1   |
| ⑧   | 40     | 100 | 94 | 88 | 80 | 66  | 50  | 30  | 70.5   |
| ⑨   | 50     | 50  | 50 | 50 | 50 | 50  | 50  | 50  | 50     |
| ⑩   | 56     | 80  | 48 | 30 | 66 | 100 | 88  | 58  | 64.3   |
| ⑪   | 80     | 30  | 90 | 40 | 70 | 20  | 60  | 50  | 56.5   |
| ⑫   | 82     | 36  | 58 | 70 | 44 | 20  | 36  | 60  | 52.6   |
| ⑬   | 82     | 100 | 86 | 60 | 34 | 20  | 10  | 4   | 56.6   |
| ⑭   | 100    | 66  | 42 | 24 | 18 | 10  | 5   | 2   | 40.1   |
| ⑮   | 100    | 88  | 75 | 63 | 50 | 38  | 25  | 13  | 62.4   |
| ⑯   | 100    | 98  | 95 | 90 | 82 | 76  | 58  | 34  | 83.3   |

販売量の年価を一覧表にしたものである。この基本モデルを使って、各投資計画の正味年価を計算する。販売単価  $p$ 、変動費単価  $v$ 、および固定費（償却費と資本コストは除く）額  $C$  は每期一定であると仮定すると、各期の稼得収益  $R_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) は次式によって表される。

$$R_j = (p - v) x_j - C \quad (5)$$

ここで初期投資額 500,000 千円、 $p = 20$  千円、 $v = 12$  千円、 $C = 180,000$  千円と仮定し、資本の利率を 10% として正味年価を計算し、グラフにプロットすると、図 7 のようになる。

このグラフでは 16 の基本モデルのすべてが 1 本の直線上に並ぶ。これは、販売量の年価と正味年価との関係が線形になっているからである。

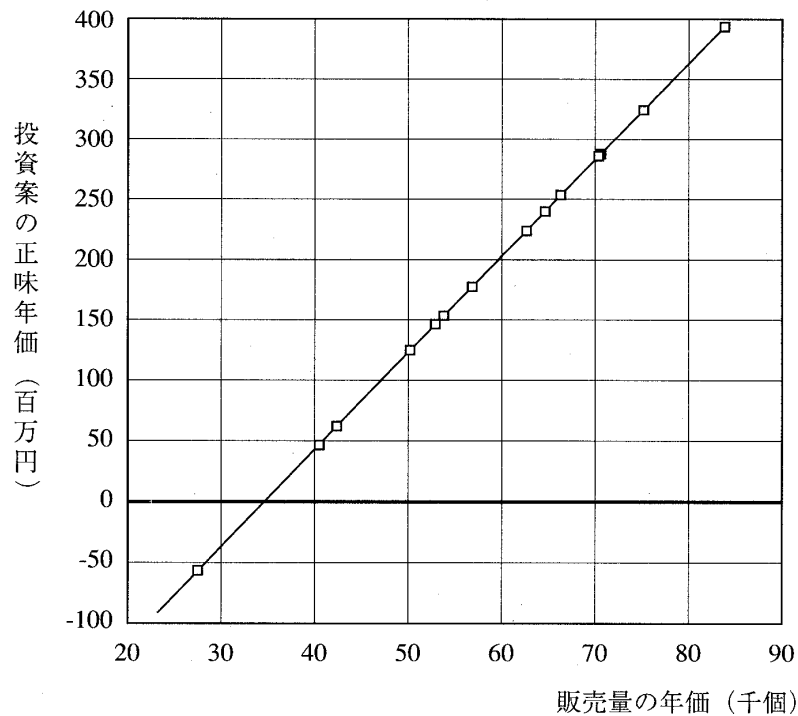


図7 販売量の年価と正味年価との関係

### 3.2 運転資本を考慮する場合

前項では、売上高およびその一次関数として推定できるコストだけを考えた。しかし実際に投資計画の経済性を評価するに当たっては、運転資本への投資、設備の処分と税金の効果、経験効果の問題も考える必要がある。

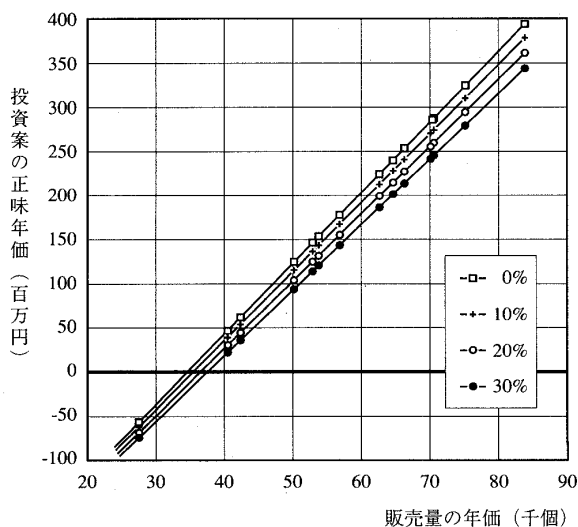


図8 運転資本を考慮する場合

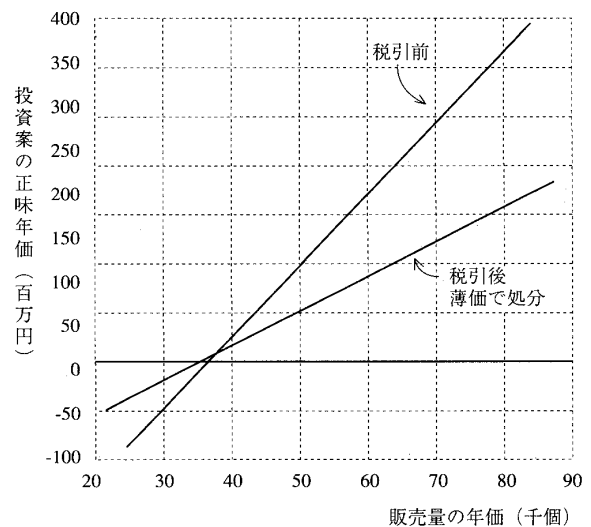


図9 税引前と税引後の比較

運転資本については、各企業ごとに回収や支払のルールがあるのが普通であり、その額を、売上高の増減分に一定の比率をかけたものとするは無理のない仮定であろう。図8は、前項の例に対し、さらに運転資本を考慮した場合のグラフである。ここでは、運転資本投資は每期首（計算上は前期末）に売上増分の10%、20%、または30%なされ、事業終了（この例では8年）の時点で現金化されるものと仮定している。

運転資本投資のうち、第0期末と $n$ 期末は売上高との比例性がないようにみえる。しかし結果は図8でみるように、売上高に対する運転資本の比率が一定であれば、ほぼ線形性が成り立つ。その理由は、 $n$ 期間全体での運転資本投資の合計はゼロになることと、運転資本が売上高の10~30%程度であり、それが資本の利率で割り引かれるため、投資の正味年価に対する影響がごく小さくなってしまいうからである。

### 3.3 設備の処分と税引後での検討

経常的な投資計画では税引前と税引後で各代替案の優劣が逆転することがほとんどないので、税引前の判定で足りることが経験的にわかっている（千住・伏見[22]を参照）。しかし、戦略的投資計画では、税法上の耐用年数よりも早い年度に製品寿命がきてしまうケースが少なくないため、第 $n$ 期の設備処分損がかなり大きくなる。これによる節税効果は、販売量の年価と投資の正味年価との線形性を崩す要因になる。それが実務上容認できる範囲であるかどうかを判断するために、基本パターンにおける税引前と税引後それぞれの販売量の年価と投資の正味年価の関係を調べてみると図9のようになる（設備の耐用年数は8年、減価償却は定率法、税率は52%、税引後の資本の利率は4.8%である）。

図9が示唆するように、税引後でみると、厳密には線形から多少ずれているが、このずれも運転資本の場合と同様に無視できる程度である。その理由は、何年で処分するにしても、設備投資の総額が「損金」に計上されることには変わらないためである。

### 3.4 経験効果を考慮する場合

製品の生産総量が増加するにつれて、単位当たりコストが下がっていくという経験効果が存在することはよく知られている。効果の程度は業種によってさまざまであろうが、コストが下がることによって販売単価も下がることは現実によく見受けられる。この経験効果を考慮する場合に販売量の年価と投資の正味年価との関係はどうなるであろうか。

今ここに、同じ販売量の年価をもつ2つの案のキャッシュフローがあり、一方は主に早い年度の販売量が多く、もう一方は後の年度の販売量が多いとした場合、経験効果が正味

年価に及ぼす影響は違うはずである。後の年度の販売量ほど資本の利率により大きく割り引かれることになるからである。

図10は、経験効果によって年率3%および7%ずつ変動費用が逓減し、それに伴って販売単価も逓減すると仮定した場合の、基本パターンにおける販売量の年価と投資の正味年価の関係を示したものである。経験効果0の場合は、既に述べたように線形になるが、経験効果が大きいときは、線形から大きくずれてしまう。

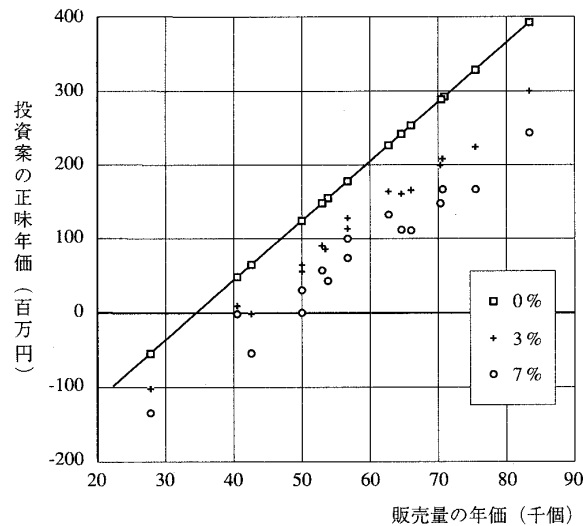


図10 経験効果を考慮する場合

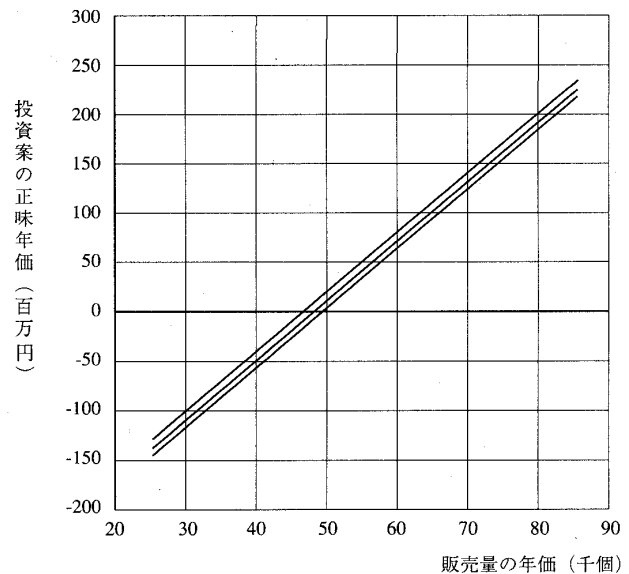


図11 経験効果7%の場合の最大範囲

このずれの大きさを定量化するために、まず最小二乗法によりこれらの点からの距離が最小となるような直線を引き、これを中心線とする。そして、この中心線から上下に最も離れた幅のところに平行線を引き、これを上限・下限とする。販売量の年価から予測される投資の正味年価はこれだけの幅までありうると考えるのである。

この考え方で経験効果7%の場合の上限・下限の直線を引くことにするが、いろいろな流列のパターンを混在させると範囲が広がりすぎるので、同じパターンの中での経験効果の影響を考える。その結果は図11のようになる。この程度であれば、この幅を含んだまま感度分析に使用することができる。

### 3.5 製品寿命と資本の利率の変動

販売量の年価と投資の正味年価との関係を探るにあたって、製品寿命や資本の利率も動く場合を考えてみる。投資の正味年価は製品寿命と資本の利率の関数であるが、それと同

時に、販売量の年価および初期投資額の年価も製品寿命および資本の利率の関数である。

ここでは、図4で用いた販売量の流列をモデルにして考えてみる。図12の点線は、この販売量の流列から製品寿命を7年、6年、…と1年ずつ減らしてきた場合の販売量の年価と投資の正味年価との関係の推移である（実線は、製品寿命が8年の場合を表す直線である）。

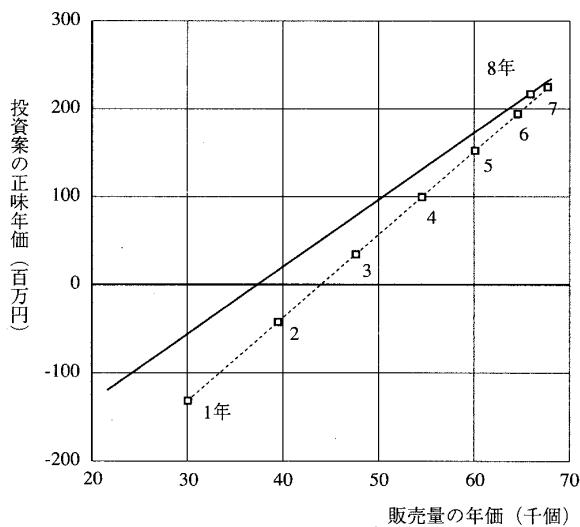


図12 各寿命のもとでの販売量の年価と投資案の正味年価

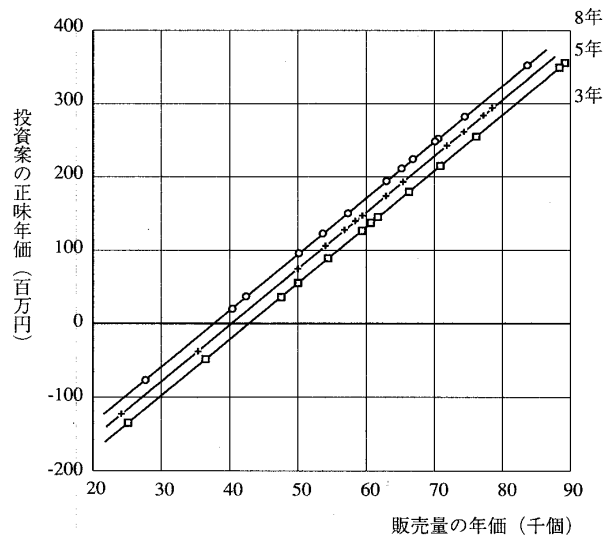


図13 各寿命における投資案の正味年価

このグラフから、製品寿命が短くなるほど、元の直線から離れていくことがわかる。これを前節で行ったように「中心線からの幅」という考え方で処理することはできないので、基本モデル16の販売量の流列について、それぞれ寿命が8年から1年ずつ減少していく場合を計算してグラフにプロットする。そしてそれぞれ寿命が同じものを結ぶと図13のようになる。紙幅の関係で寿命が3年、5年、8年の3通りだけを入れてあるが、それぞれは線形の関係になっている。

この図が示唆するように、戦略的投資計画において、その製品寿命を変数としての感度分析を実施する場合は、線形であってもその直線が移動することをふまえて考えなければならない。

なお、資本の利率が変動する場合についても、製品寿命の変動の場合と同様に、各資本の利率の値ごとに一本ずつの直線を引くことができる（図解は省略）。

#### 4. モデル企業の戦略的投資計画への応用

前節までの考察をふまえて、本節ではモデル企業の数値例を用いて、戦略的設備投資計



画の感度分析グラフを描くこととする．ここで使用する事例は，基本的には伏見 [3]，[6] にもとづいている．

#### 4.1 モデル企業の概要 — 新規参入をめぐる戦略代替案 —

##### [事例2]

S工業株式会社の経営企画室では，かねて技術開発をすすめてきた新規製品分野への参入戦略を検討している．さまざまな予備的検討の結果，実行可能な3つの代替案が詳細分析の対象として残された．第1の案はすぐに積極投資を行って，業界内で支配的なシェアを確保するという案であり，これを戦略Aと呼ぶ．第2は市場への参入を中規模に抑え，設備投資も市場拡大に合わせて漸増させるという案であり，これを戦略Bと呼ぶ．第3は，既存分野をリフレッシュしながら将来に備えるという案であり，これを戦略Oと呼ぶ．また，戦略環境について，当面予測される最も確からしい予測（以下基準値と呼ぶ）は次のように見積もられている．

##### (1) 市場規模と各代替案を実施する場合のシェア

市場規模は当初は小さいが，急速に成長して6年目で最大規模に到達する見込みである．標準製品に換算した総需要量は，6年目で800千個になり，以降漸減し，8年程度で経済寿命が終了するものと予測されている．当社のシェアは戦略Aを実施する場合には当初85%までありうるが，他社の進出とともに減少し，4年目以降は60%で安定する．戦略Bは，戦略Aほどのシェアは期待できず，当初50%で4年目以降は33%程度で安定するものと見込まれている．

##### (2) 投資額

戦略Aを採用するためには，機械装置などの設備に3,400百万円と，建物・土地に1,800百万円の初期投資が必要である．また戦略Bでは直接設備に対し第0, 1, 2年度末にそれぞれ800, 700, 800百万円(合計2,300百万円)，建物に対して第0, 1年度末に200, 360百万円(合計560百万円)がかかる．この事業終了後，設備の処分価額はゼロであり，土地・建物については，残存簿価相当額が次の投資から節減できるものと考えられる．運転資本投資については，次期売上高に比例して投下される部分と固定的な部分とが考えられる．比例部分は売上高の20%と予測されており，固定部分は戦略Aで800百万円，戦略Bで400百万円が必要である．この運転資本は事業終了時に現金化されるものとしている．

### (3) 販売単価とコスト

販売単価は初年度40千円と予測されている。製造・販売費のうち、変動費用が毎期の売上高の70%，固定費用が工場設備投資額の50%である。この製品は経験効果によるコストダウンが大きく、またそれに伴い販売単価の下落も想定される。基準値では、販売単価の逓減率が年率3%，変動費用のそれが5%，固定費用のそれが3%と見込まれている。

### (4) 税率および資本の利率

S工業の実効税率は52%，資本の利率は税引前で10%，税引後で4.8%である。

上のような基準値の場合の総需要量および戦略AまたはBを採用した場合の各期の販売量の流れをまとめると図14のようであり、そのときの戦略A、Bの税引後正味キャッシュフロー（NCF）は図15のようになる。

この最も確からしい予測値の場合の各代替案の経済性指標を求めると、戦略Aは1,092百万円、戦略Bは696百万円であり、戦略Aの方が戦略Bあるいは戦略Oに比較して正味利益はかなり大きい。投資効率は戦略Bが17.3%で戦略Aの12.0%よりも大きい（いずれも税引後）。

## 4.2 従来型の感度分析とその限界

上のような戦略的投資には予測の不確実性がつきものである。S工業ではその不確実性を社内要因と市場要因に分けて検討した。社内要因（投資額、変動費用、固定費用、経験効果の程度、資本の利率、実効税率など）についてはかなり確からしく、しかもこれらの変数についての感度分析は従来型のグラフ分析で十分可能である。一方市場要因のうち、特に不安な要因は年々の総需要量および製品の寿命である（製品のシェア予測についての不確実性は小さいと見込まれている）。これらをふまえ、リスクのタイプと予測範囲を検討し、表3のように整理した。

これらの不確実性に対処して感度分析を行うとき、年々の需要量（販売量）は不均等な流れであるから、代用変数を用いた分析を工夫しなければならない。次項以下でその例を示そう。

## 4.3 需要量の年価の推定

S工業では、製品のシェアは安定していると考えられたので、感度分析のための代用変

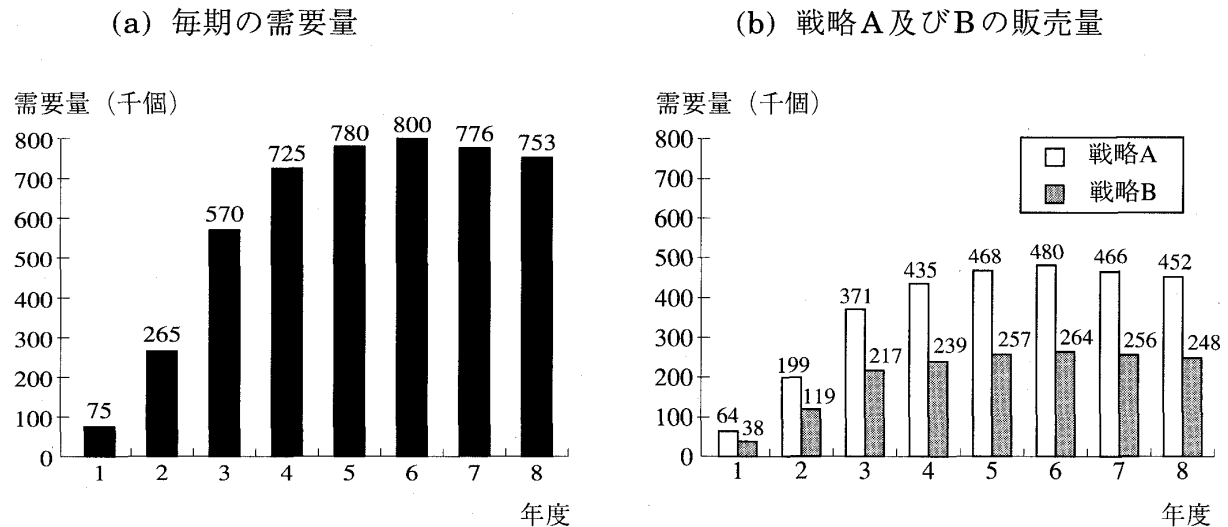


図14 基準値での総需要量と戦略A, Bの販売量

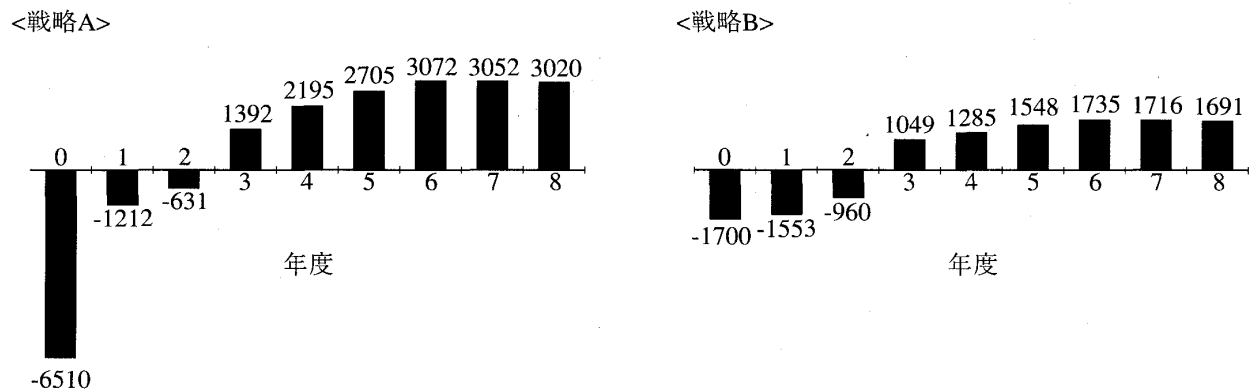


図15 基準値での戦略A, BのNCF

表3 市場の成長と事業の寿命に関する予測範囲

| リスクのタイプ  | 予測変数  | 予測範囲      | (参考) 基準値 |
|----------|-------|-----------|----------|
| 市場成長の大きさ | 最大需要量 | 560～880千個 | 800千個    |
| 市場成長の速さ  | 到達年度  | 5～8年      | 6年       |
| 代替品の出現   | 事業の寿命 | 5～10年     | 8年       |

数として「需要量の年価」を用いることとした（もしもシェアについての予測も不確実性が大きい場合は、販売量の年価を用いることになるが、分析の原理は以下に述べるところと変わらない）。代用変数を用いた感度分析の手順は、以下のようになる。

- (1) 市場の成長に関するリスクのタイプとして、予測される最大需要量、ピークへの到達年度、および事業の寿命という3つの変数の予測範囲を確認し、分析の対象とすべき需要量の年価の予測範囲を導き出す。
- (2) 需要量の年価と各戦略代替案の正味年価との関係を表計算等で求め、これをグラフ化する。
- (3) それにより、まず事業の寿命を一定とした場合の、他の予測変数の予測範囲における各代替案の正味年価の範囲を推定し、経済的に有利な案を知る。
- (4) さらに、需要量の年価と事業の寿命という2つの変数が同時に動く場合の優劣分岐線図を画く。これにより、最大需要量、到達年度、事業の寿命という3つの不確実変数と各代替案の有利な範囲との関係を明確にする。

この手順の第1については、S社では、最大需要量については基準値の800千個を中心に、 $-40\% \sim +20\%$ まで10%おきに7通り、また到達年度については5～8年までの4通りを考え、したがって、需要量の流利として $4 \times 7 = 28$ 通りを設定することとした。そこで、28通りの流利すべてについて、各寿命ごとに需要量の年価を計算し、1つの平面にプロットすると、図16のようになり、28本の曲線は同図の2本の太い曲線の中に納まることになる。この2本の曲線の上限線は到達年度5年、最大需要量880千個という最も楽観的な組み合わせの場合であり、下限線は到達年度8年、最大需要量560という最も悲観的な組み合わせの場合である。

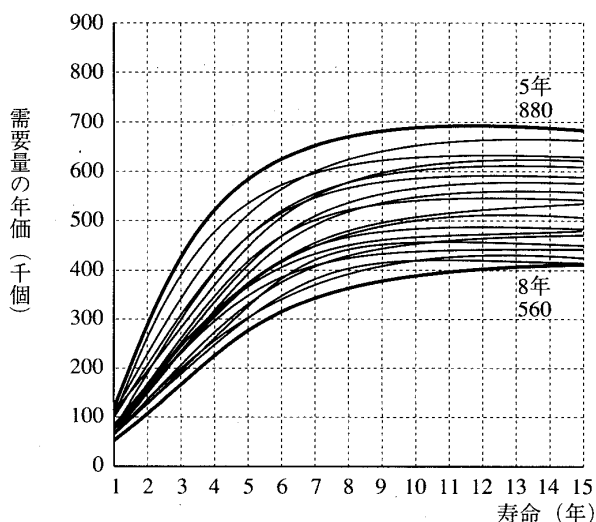


図16 予測される全流利のもとでの  
需要量の年価

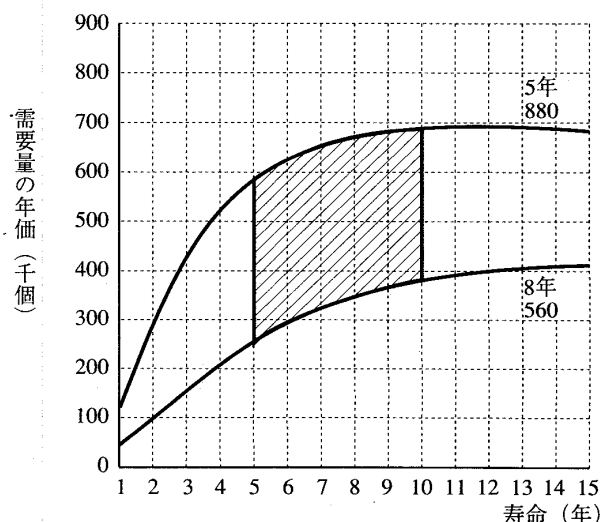


図17 需要量の年価の予測範囲

このように最大需要量、到達年度、製品の寿命の3つの予測変数から需要量の年価を推

定した場合、そのとりうる範囲は図18の斜線部分であり、需要量の年価としては、およそ280～680千個の中に入ると想定される。

#### 4.4 需要量の年価を使った感度分析グラフ

次に需要量の年価と投資案の正味年価との関係を確認する。モデル企業では、経験効果を加味し、税引後で検討しているのので、両者の関係は線形ではなく、ある幅ができることになる。

まず、事業の寿命を基準値の8年に固定した上で、28通りの需要量の流列に対して戦略Aと戦略Bの投資の正味年価をプロットすると、両代替案とも需要量の年価と投資案の正味年価との関係がほぼ線形になっている（図は省略）。そこで、横軸に製品寿命、縦軸に需要量の年価をとったグラフを考え、図18のような優劣分岐線図を描くことができる。

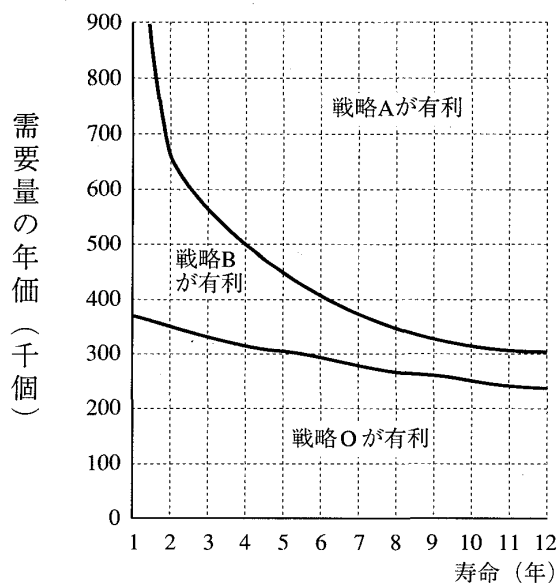


図18 寿命と需要量の年価による優劣分岐分析

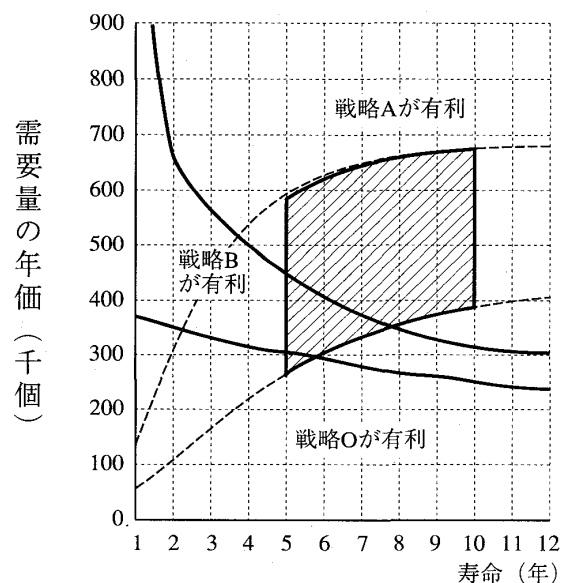


図19 優劣分岐分析における予測範囲

このグラフに、2つの変数の十分に確からしい予測範囲を書き加えればよいわけであるが、このケースの場合には、簡単に予測範囲を入れることができないことに注意すべきである。一般に寿命と需要量の年価という変数は互いに独立とはいえないから、これら2変数の関係を考慮して予測範囲を描き込まなければならない。そのためには、図17つまり事業の寿命と需要量の年価のとりうる範囲を推定したグラフを図18に重ね合わせて、図19のようにグラフ化すればよい。

この図19により、市場の成長（総需要の推移）と事業の寿命の両方が変動する場合の、各予測変数と各代替案の有利さとの関係がわかる。S工業のケースでは、戦略Aが有利になる可能性がきわめて高いと思われるが、戦略Bが有利になることも、あるいは戦略Oが有利になる可能性もないわけではない。例えば戦略Oが有利になるのは、図17も合わせて考えると、最大需要量が560千個程度で到達年度が8年、そして寿命が6年以下といったきわめて悲観的な予測の場合にしかおこりえないことがわかる。

このような分析を踏まえたうえで要注意と思われる変数についてはさらに予測の精度をあげ、予測範囲を狭めれば、情報の確度がよくなるであろう。図20は、そのような考え方で予測範囲をさらに狭くした場合である。ここでは、追加調査の結果、最大需要量の予測範囲は640～880千個、到達年度は6～7年、寿命は6～9年の範囲内であることがきわめて確からしいというように絞られた場合を斜線で表している。ここまで予測値が絞られるなら、自信を持って戦略Aの経済的な有利さを主張できるであろう。

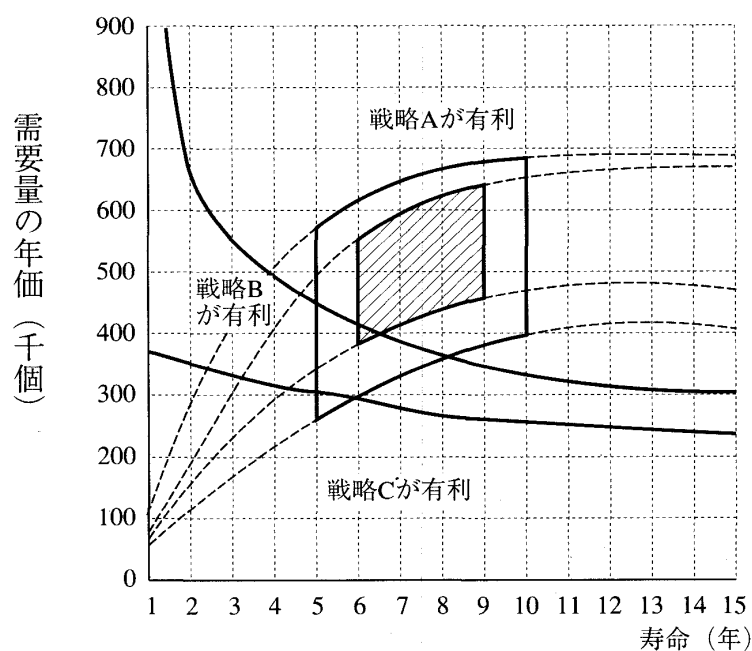


図20 優劣分岐分析における予測範囲の精密化

## 謝辞

本論文のベースになった感度分析グラフの発想については、千住鎮雄教授から多くの有益な示唆をいただいた。また、投稿論文の査読に当たられたレフェリー両氏には、論文の改善に役立つ種々の貴重なご助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- [1] Bierman, Jr., H.& S. Smidt, *The Capital Budgeting Decision: Economic Analysis of Investment Projects*, Macmillan, 1988.
- [2] Canada, J.R., *Intermediate Economic Analysis for Management and Engineering*, Prentice-Hall, 1971.
- [3] 伏見多美雄：ケース『しなの工業株式会社』，慶応義塾大学ビジネススクール，ル1988年．
- [4] 伏見多美雄：「リースか自社投資かの採算比較と会計財務情報」，産業経理，48巻 4号，1989年．
- [5] 伏見多美雄：「戦略的投資決定の実践モデルと会計情報：キャッシュフロー情報と財務会計情報との接合」，企業会計，43巻7号，1991年．
- [6] 伏見多美雄：『経営の戦略管理会計：経営戦略をサポートする会計情報』，中央経済社，1992年．
- [7] 伏見多美雄，足羽由美子：「海外子会社の設備投資計画と国際税務：モデル分析を中心に」，慶応経営論集，8巻2号，1990年．
- [8] 伏見多美雄・野々村智範：「戦略的設備投資計画の感度分析」，慶応義塾経営管理学会，リサーチペーパー・シリーズ，第15-2号，1993年3月．
- [9] Hanssman, F., *Operations Research Techniques for Capital Investment*, John Wiley and Sons, 1968.
- [10] Kaplan, R.S., *Advanced Management Accounting*, Prentice-Hall, 1982.
- [11] McNamee, P.B., *Tools and Techniques for Strategic Management*, Pergamon Press, 1985.
- [12] Mao, J.C.T., *Quantitative Analysis of Financial Decisions*, Macmillan, 1969.
- [13] Markowitz, Harry M., *Portfolio Selection : Efficient Diversification of Investments*, John Wiley & Sons, 1962.
- [14] 宮川公男（編）：『意思決定の経済分析』，中央経済社，1965年．
- [15] 門田安弘：『DSS会計の理論と実際』，第三出版，1987年．
- [16] 中島一雄：「DSSジェネレータによるシミュレーション」，企業会計，37巻9号，1985年．
- [17] 中村善太郎・山口俊和：「代替的な生産方策の収益性に関する感度分析」，日本経営工学会誌，35巻3号，1984年．
- [18] Riggs, J.L., *Economic Decision Models for Engineers and Managers*, McGraw-Hill, 1963. (邦訳 阿部 統(監)：『意思決定の経済モデル』，好学社，1971年.)
- [19] 千住鎮雄：「不確実な見通しのもとでの設備計画」，日本設備管理学会誌，2巻2号，1990年．
- [20] 千住鎮雄：「実践的設備投資分析の着眼点と事例」，企業会計，43巻7号，1991年．
- [21] 千住鎮雄・伏見多美雄：『経済性工学の基礎』，日本能率協会，1982年．
- [22] 千住鎮雄・伏見多美雄：『経済性工学の応用』，日本能率協会，1983年．
- [23] 千住鎮雄・山陰哲郎：「実践的設備投資分析の要点と実例」，日本経営工学会誌，39巻6B号，1989年．
- [24] 角倉敏彦・山口俊和：「設備投資の安全性に関する研究」，IEレビュー，20巻4号，1987年．
- [25] 渡辺 茂編：『システムとシミュレーション』，共立出版，1975年．
- [26] Weingartner, H.M., *Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems*, Prentice-Hall, 1963; Markham, 1967.

# **SENSITIVITY ANALYSIS OF STRATEGIC CAPITAL INVESTMENT PLANS WITH A NON-UNIFORM STREAM OF CASH RETURNS: WITH EMPHASIS ON GRAPHICAL REPRESENTATION**

Tamio Fushimi\*, and Tomonori Nonomura†

## **ABSTRACT**

Cash-flow-basis measures have been widely used for evaluating the profitability of capital investment plans. However, since the anticipated cash returns are uncertain, flexible sensitivity analyses with graphical representations are recommended.

In cases of strategic capital investment planning such as developing new products, entering new business areas and so on, the simplified assumption that the stream of net cash flows from each period are uniform would not lead to any practical solution. The sales volume or cash return varies greatly for each stage; introduction, growth, maturity, and declining stages of the project respectively. In addition, in strategic investment planning the degree of the uncertainty of market trends and competitive conditions, etc., is far greater than in ordinary investment projects; that is why more effective sensitivity analyses are needed.

This paper presents the graphic expression of sensitivity analyses which support management decision making regarding effective selection from among alternative capital investment plans having a non-uniform series of cash returns.

Section 1 presents an example of typical sensitivity analysis, assuming a uniform stream of cash returns, and suggests basic problems to be analyzed with regard to investment plans which have a non-uniform cash return. Section 2 proposes the introduction of substitute variables, adjusted annual value of sales volume (or revenue). It presents the method to formulate substitute variables in terms of the concepts of the "pattern of stream" and of the "type of risk."

Section 3 focuses on the relationship between the adjusted annual value of sales volume and the net annual value of the investment plans. Finally, in section 4, numerical examples of a model company are introduced, and graphical break-even analyses are illustrated.

## **KEYWORDS**

Break-even Analysis; Cash Flow Basis; Profitability Measurement ; Sensitivity analysis; Strategic Capital Investment.

---

Submitted March 1992.

Accepted June 1993.

\* Professor of Management Control, Graduate School of Business Administration, Keio University.

† General Affairs Department, Sumitomo Cement Company Ltd.