

## <序論>

経営理論は経営者や各事業体のマネージャーの日々の意思決定にどの程度利用されているだろうか。現場、現場において「理論」と「実践」は車の両輪のごとくかみ合っているだろうか。物理の世界では理論家はその理論が実験や観測によって証明、確認されてはじめて認められる。たとえば、アインシュタインは相対性理論において重力が光を曲げると論じたが、その正しさは実際に太陽の重力が光を曲げるという現象が観測されてはじめて証明された。このように理論と実験・観測が何度も何度も繰り返されながら発展してきたのが物理学である。そしてそれらの理論は数式に置きなおされている。小惑星探査衛星の「はやぶさ」は3億キロ離れた小惑星イトカワまで航行し、着陸し、サンプルを採取して、地球に帰還した。これを可能にする基本理論はニュートンの運動法則であり、実践したのが数々の工学テクノロジーである。はるか遠方にある衛星の軌道変更や姿勢制御は理論から導き出された数式に実際の値を入れて計算し、その結果を衛星へ送信し機器を動かすことによって行われている。理論と実践がみごとに融合して世界初のサンプル・リターンを成功させたわけである。さて、経営はどうであろうか。一般に自然科学と違い社会科学は実験がしにくい、あるいはできないといわれているようだが本当だろうか。常識は疑ってかからなければならない。難しいかもしれないが、だからといってその努力を怠っていいということにはならない。理論家も自ら経営に携わりはその正誤を検証し、実践家は理論を学び、日々の経営で実践し、双方がその結果を検証し合うプロセスがあってはじめて経営学が進化するといえるのではないだろうか。

筆者は現役のマネージャーである。一般的にはどの企業においても毎年予算が作成され、期中や期末に実績と照らし合わされ、マネージャーはその結果をもって評価される。予算を下回っても大きく上回っても好ましくない。何年もこれを繰り返す大方のマネージャーにとって、「理論で予算は作れないし、飯も食えない。」が正直な感想ではないだろうか。ここに物理学と経営学の根本的な違いがあるように思える。物理学では理論を数式化しているのに対して、経営学は「言葉」で表現する。数式化しておけばあとは値(パラメーターと呼ばれる)を入れて計算すれば結果が出てくるため将来の動きや現象を定量的に予測することができる。一方、経営理論は数式がないため、定性的にしか将来を予測することができない。これでは日々数字に追われている世のマネージャーが理論に興味を示さないのは当然といえる。「はやぶさ」が地球に帰還したのは数式(=理論)に選択したパラメーターを入れて計算した結果が正しかったこと、それがきちんと機器に伝えられたことを示している。経営もそうならないだろうか。

将来を見通す数式とはたとえばどのようなものであろうか。たとえば、ここに熱湯があるとしよう。放っておくと徐々に冷めていき、最後は室温と同じ温度になることは経験的に予測できる。では、室温とほぼ同じになるまでに何分かかかるかを経験と勘ではなく、計算によって求めることができるかどうかである。計算するためには数式が必要である。そのためには冷却の法則に関する仮説をまず立てる。冷却速度は一体、何に左右されるか。仮に「水温と室温の差」としてみよう。次にこの言葉を数式に変換する。水温を  $T$  とし、比例定数を  $k$  とすれば、

$$\text{水温の変化率} = k(T - \text{室温}) \dots \textcircled{1}$$

となる。これが水温の冷却を支配する法則である。水温 (T) は時間 (t) に対して変化していくのでそれを  $dT/dt$  と表現し、室温を仮に  $28^{\circ}\text{C}$  とすると、①式は、

$$dT/dt = k(T-28) \dots \textcircled{2}$$

と表現できる。これで計算ができる数式となった。この式は水が一瞬、一瞬で冷えていく法則を表したもので、微分方程式と呼ばれる。一瞬の積み重ねが連続的な水温変化となる。その積み上げ計算のことを積分という。②を積分すると、

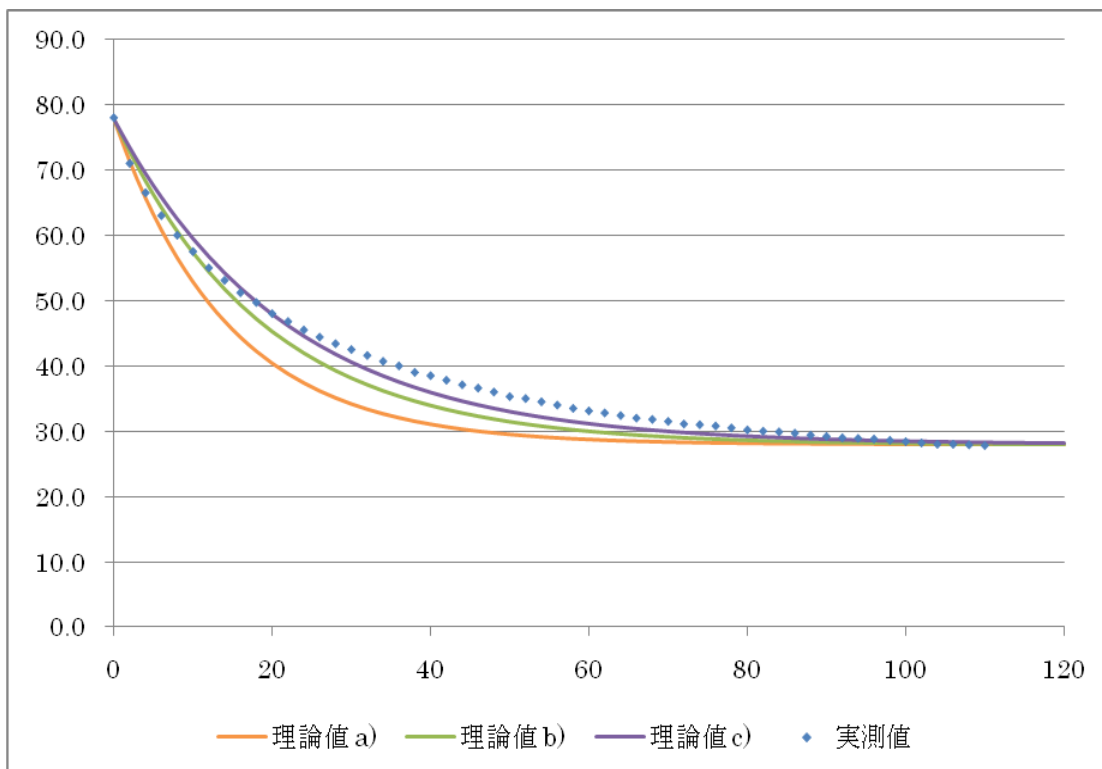
$$T = A \cdot e^{-kt} + 28 \dots \textcircled{3}$$

となる。A はある定数を表す。ここでお湯の温度が最初  $78^{\circ}\text{C}$  であったとすれば、 $t=0$  のとき  $T=78$  ということであるから、③は、

$78 = A \cdot e^{-k \cdot 0} + 28 = A + 28$  となって、 $A = 50$  であることが分かる。よって、③は、

$$T = 50 \cdot e^{-kt} + 28 \dots \textcircled{3}$$

となる。ここまでくれば比例定数の  $k$  さえ決まれば③は水温  $T$  の未来を示す式となる。ちなみに、筆者が実際に水温を測った結果と計算式の③を照合した結果を以下に紹介しよう。



縦軸が水温( $^{\circ}\text{C}$ )、横軸が経過時間(分) (ファイル: 水温)

理論値の a)~c)は比例定数 k の値の違いによるものである。実測値の曲線の方が若干なだらかであるが、「水温の変化率が室温と水温の差に比例する」とした仮説はおおよそ正しかったことが分かる。ちなみに 78°C の熱湯が室温の 28°C まで冷めるのに要する時間は計算上 100 分であり、実測は 104 分であった。

経営ではよく「差別化」ということばが使われる。差別化を言葉で表現すれば、「他社とは違うことをする」となる。では、「他社と違う」ことを数式でどう表現すればいいだろうか。ここでヒントになるのは生物学である。生物はいろいろな種がその生存をかけて競争している。同じ餌を取り合うこともある。生物の種類や大きさが近ければ近いほど競争の度合いが強くなる。しかしながら、ある種だけは他の種とまったく違う餌や生活場所を選ぶとすればその種は他種からの影響を受けずに生活ができる。生物学にはある種が存続するために、他種とどの程度離れていなければならないかを定量的に示す数式が存在する。これを利用することで、経営の「差別化」を数式化し、定量的に評価することができるかもしれない。生物学には増殖や伝染病の広がり方を微分方程式にモデル化して現象をうまく説明する「数理生物学」という分野がある。物理学と同様に、仮説を立てて微分方程式を立て、その解と実際のデータが照合される。中でも、ロトカ・ボルテラのモデルはシンプルでありながらも異種生物の動態をたいへんうまく説明できるのでたいへん有名、有用である。

以上を前置きとして、以下に論文の構成を述べる。

第一章では、生物の個体数の増加を示す微分方程式(モデル)を経営へ適用し、自社の成長を予測する方法を紹介する。第二章では競争を扱う。自社は他社へ影響を与えるし、自社は他社の影響を受ける。これらをロトカ・ボルテラの競争モデルを適用することでたいへんうまく説明できることを示す。第三章ではこの競争モデルのキーとなる各種係数(パラメーター)の求め方を示し、実際に未来予測を行い、その結果と実績の照合を行う。第四章において競争係数の正負を逆転させることによって得られる「共同モデル」について論じる。第五章では各種係数に時間的な揺らぎ(より現実的な動き)を与えることによって生じる競走関係の変化を議論する。第六章(最終章)において理論の課題と可能性につき言及する。

## <第一章> 微分方程式の経営への適用

生物の個体数(人間であれば人口)を  $x$ 、その生物の内部増加率を  $r$  (出生率と死亡率の差)とすると、ある瞬間  $t$  における個体数の変化率は微分方程式

$$dx/dt = rx \quad (1.1)$$

であらわされる。これは英国の経済学者マルサスが人口論で提唱したものである。初期の個体数を  $x_0$  とすると、上記の方程式の解((1.1)式を積分することによって得られる)は、

$$x = x_0 e^{rt} \quad (1.2)$$

となる。(1.2)に、たとえば  $x_0 = 10$ ,  $r = 0.1$  を代入して時間  $t$  を増やしていくと、図 1 のとおり。  $x$  はどんどん

ん大きな値になっていく。

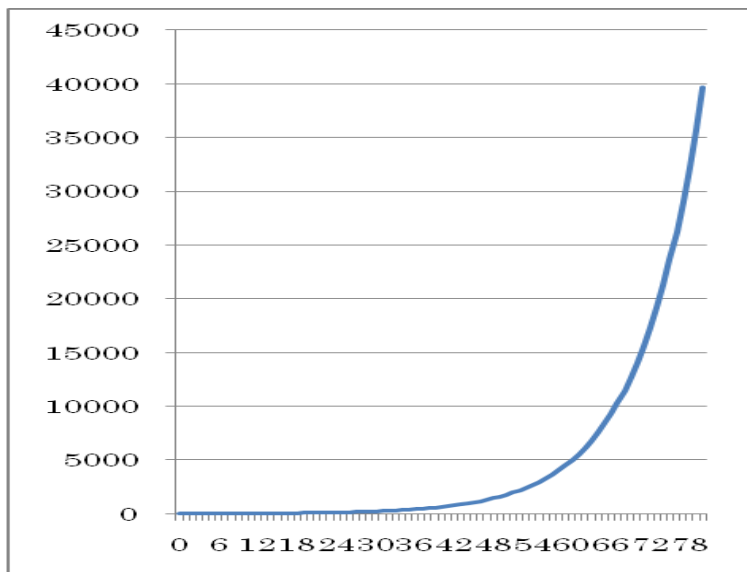


図 1

人口はとどまるところを知らず爆発的に増加の一途をたどることになるので何らかの修正が必要であることはあきらかである。生物の個体数が増えれば同種の生物同士で餌を奪い合うことになるし、生活スペースにも限りがある。排泄物によって生活環境が悪化したり、密度が増えることで病気にかかりやすくなったりするので増加はある時点で止まるはずである。「止まる」を数学的に表現すれば、「変化率＝ゼロ」となる。つまり、変化率を示す数式 (1.1) がどこかの時点でゼロになる必要がある。そのどこかの時点を仮に  $K$  とおいて、 $x$  が  $K$  に到達した時点で変化率がゼロになるように (1.1) を修正する必要がある。オランダの数理生物学者ベアフルストが提唱した方程式は、

$$dx/dt = rx(1-x/K) \quad (1.3)$$

である。マルサスの方程式 (1.1) に  $(1-x/K)$  を掛け合わせている。確かに  $x$  が  $K$  に到達すると  $(1-x/K) = 0$  となり変化が止まる。見方を変えると、 $x/K$  はある個体が環境容量 (Carrying Capacity) の何割に達しているかの比率であり、 $(1-x/K)$  は成長できる環境の余力を示している。 $x$  が増加するに従いその個体を受け入れることができる環境余力が減少し、いずれゼロになる。

(1.3) を積分して  $x$  を時間の関数に変換したものが (1.4) である。

$$x=K/(1+(K/x_0-1)e^{-rt}) \quad (1.4)$$

この式を使ったアメリカの人口予測と実際の人口の推移を比較したものが図 2 である。1930 年代くらいまでは見事に予測できている。1940 年代以降から乖離がみられるのはベアフルストが設定した人口の上限値が 197 百万人だったからである。(米国の人口はすでに 3 億人を超えている。ちなみにベアフルストが選んだ増加率は  $r = 0.3134$ 、初期値は 3.9 百万人であった。) それにしても微分方程式 (1.3) が 100 年先までの人口をほぼ正確に予測していることは驚きである。

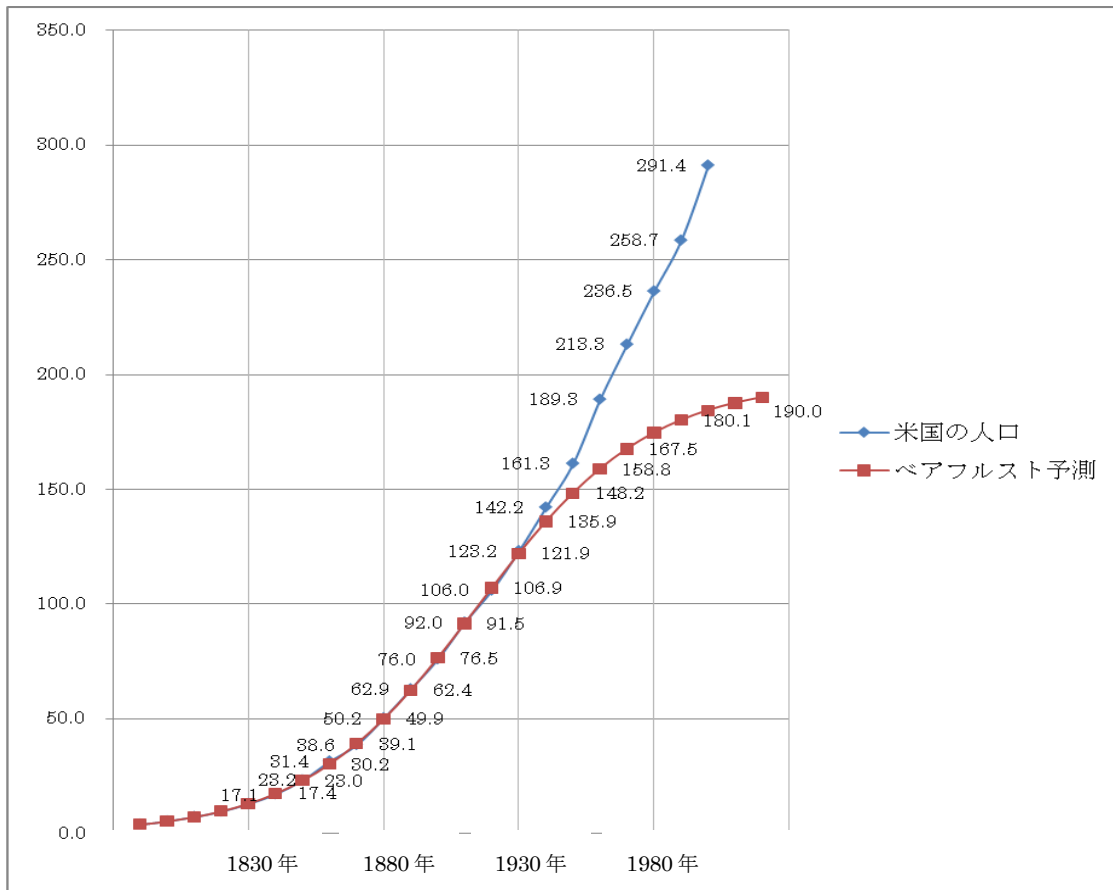


図 2

ベアフルスト予測(赤い線)はその形状から S 字曲線と呼ばれたり、ロジスティック曲線と呼ばれたりしている。(1.3) 式より、 $x$  が  $K$  より小さいときは増加、 $K$  に等しいときはゼロ(変化しない)、 $K$  より大きいときは減少することが分かる。初期値によって変化する軌道を示したものが図 3-2, 図 3-3 である。

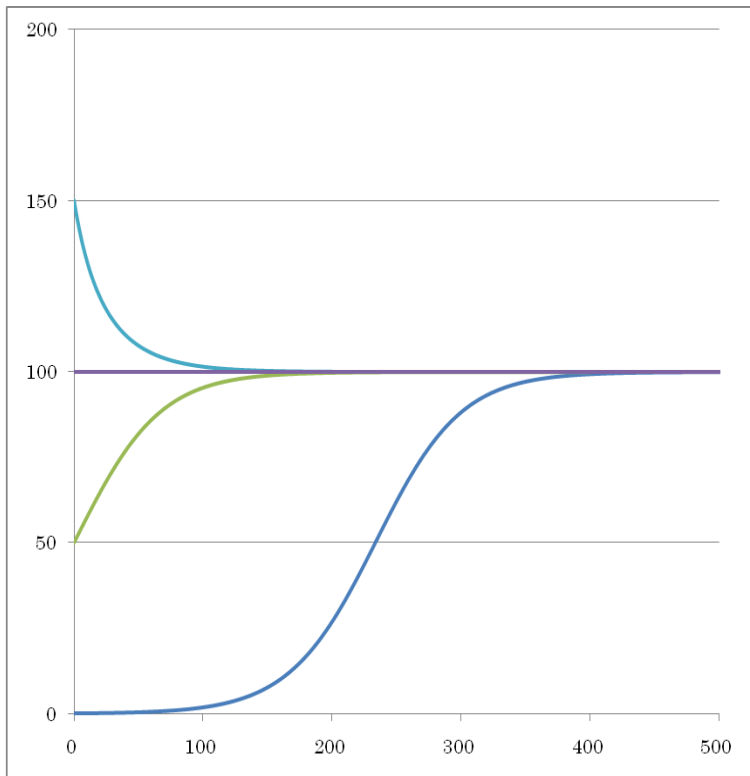


図 3-1

$r=0.3, x_0=0, 50, 150, K=100$

$x < K$  なら増加、 $x = K$  であれば増えも減りもせず、 $x > K$  では減少する。初期値が小さいと S 字形の動きを経て環境収容力の  $K$  に集束する。 $x = K$  はこの系の平衡点 (equilibrium) と呼ばれている。 $x = 0$  も平衡点であるが、個体が少しでも入りこむと増加をはじめると不安定 (unstable) である。一方、集束点である  $K$  は安定 (stable) な平衡点である。図 2-2 と図 2-3 は  $K$  の値を上下したときに軌道がどのように変化するかを示したものである。

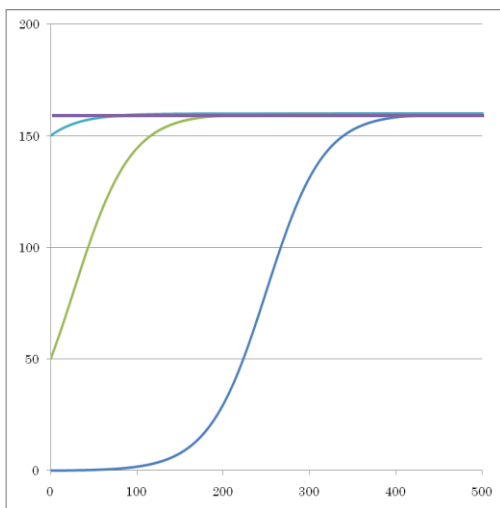


図 3-2  $r=0.3, x_0=0, 50, 150, K=160$

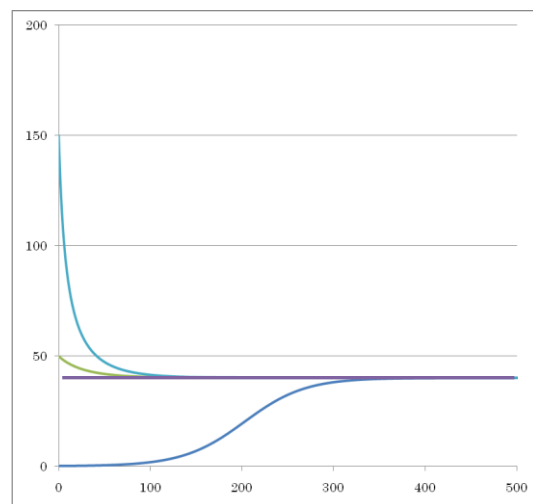


図 3-3  $r=0.3, x_0=0, 50, 150, K=40$

ではビジネスの世界でも同じような曲線がみられるであろうか。さっそく検証してみよう。表 1 は日本で立ち上げられた液体輸送容器(以下 IBC = Intermediate Bulk Container)のレンタル事業の売上推移で、それを散布図に展開したものが図 4 である。これがロジスティック曲線を描いているかどうかを調べるためには、(1.4) から次の三つの値(パラメーター)が必要であることが分かる。

成長率  $r$   
 環境容量  $K$   
 初期値  $x_0$

成長率は今の段階では分からないため、仮にベアフルストが米国の人口を予測したときに使った 0.3 としておこう。次に、環境容量の  $K$  であるが、これはこの事業が到達することができる最大の売上と捉えることができる。IBCの総市場がおよそ 80 億円、そのうち内袋(ライナー)式 IBC の市場はおよそ 20%、自社の最大シェアを 75%とすれば、

$$K = 80 \text{ 億円} \times 20\% \times 75\% = 12 \text{ 億円}$$

となる。初期値  $x_0$  は初年度の売上とすればよいので 17 百万円である。これで必要な三つのパラメーターが揃った。

	経過年数	売上(億円)
1994	0	0.17
1995	1	0.58
1996	2	0.85
1997	3	1.46
1998	4	2.30
1999	5	2.65
2000	6	3.79
2001	7	5.63
2002	8	6.87
2003	9	7.51
2004	10	8.70
2005	11	9.86
2006	12	10.83
2007	13	11.10
2008	14	11.70
2009	15	10.98
2010	16	11.22
2011	17	11.90

表 1-1

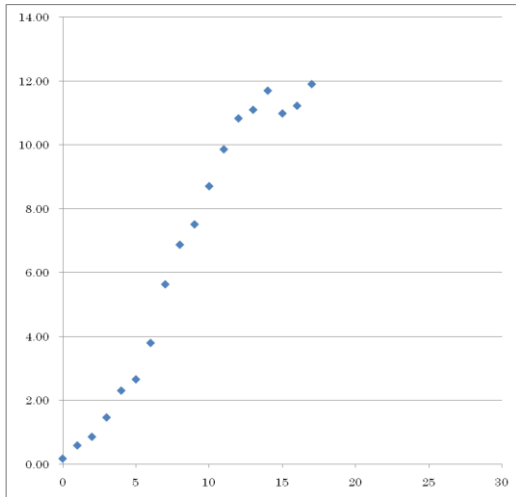


図 4-1

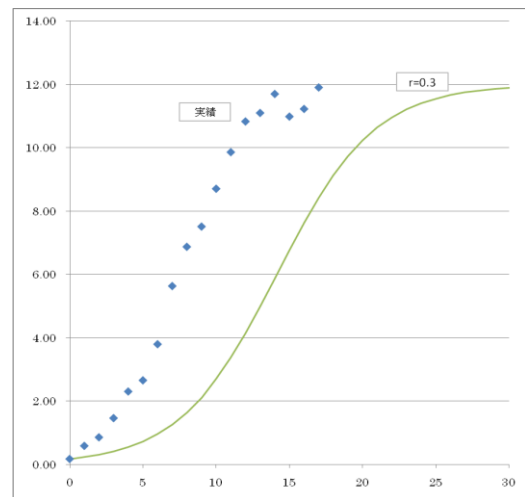


図 4-2

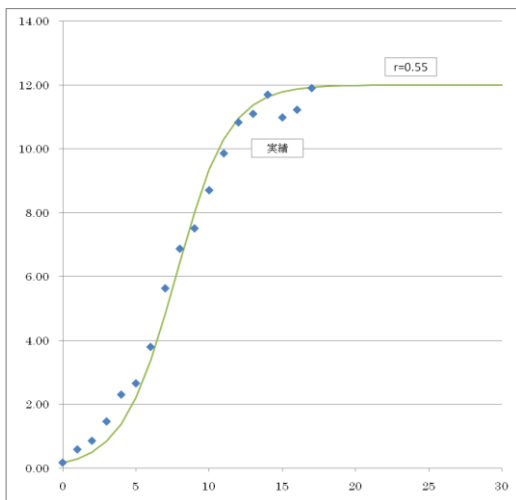


図 4-3

<ステップ1> 表 1 を縦軸が売上 (億円)、横軸が経過年数の散布図に展開する。(図 4-1)

<ステップ2>  $r=0.3$ ,  $K=12.0$ ,  $x_0=0.17$  のロジスティック曲線を書き込む。(図 4-2)

<ステップ3> 成長率  $r$  を動かしてロジスティック曲線を実績値に近づける。(図 4-3)

<ステップ2> でロジスティック曲線の勾配が実績よりもなだらかであるので、当該事業の成長率は米国の人口よりも高いことが分かる。 $r$  を少しずつ大きな値にしながらロジスティック曲線の勾配を実績値に近づけていくと、おおよそ 0.55 がこの事業の成長率であったことが分かる。実績値と計算によって得られたロジスティック曲線が実績にかなりの精度で重なっていることが分かる。

しかしながら、この例だけでは実績値と計算値がたまたま近かっただけかもしれない。内閣府が毎年行っている消費動向調査は耐久消費財の普及率を公表しているので検証してみよう。さきほど辿った<ステップ1~3>をそれぞれの消費財に適用して描いたグラフが図 5-1, 図 5-2 である。いずれも点線がロジスティック曲線 (計算値) だが、実績をよく近似していることが分かる。表 1-2 はこれらの成



長率を他の項目と合わせて一覧表にしたものである。

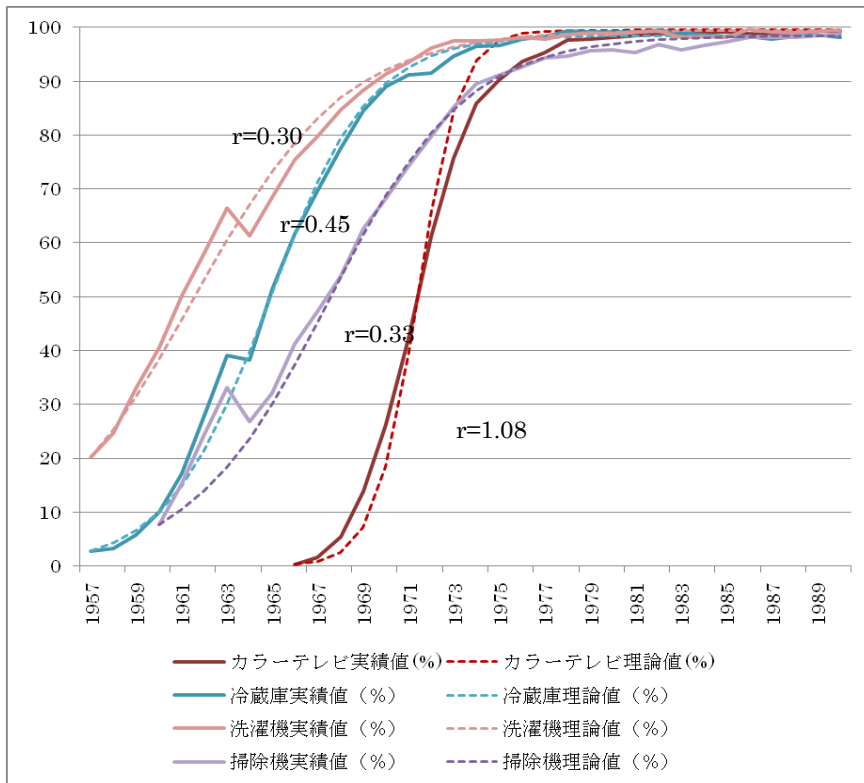


図 5-1

資料：内閣府消費動向調査

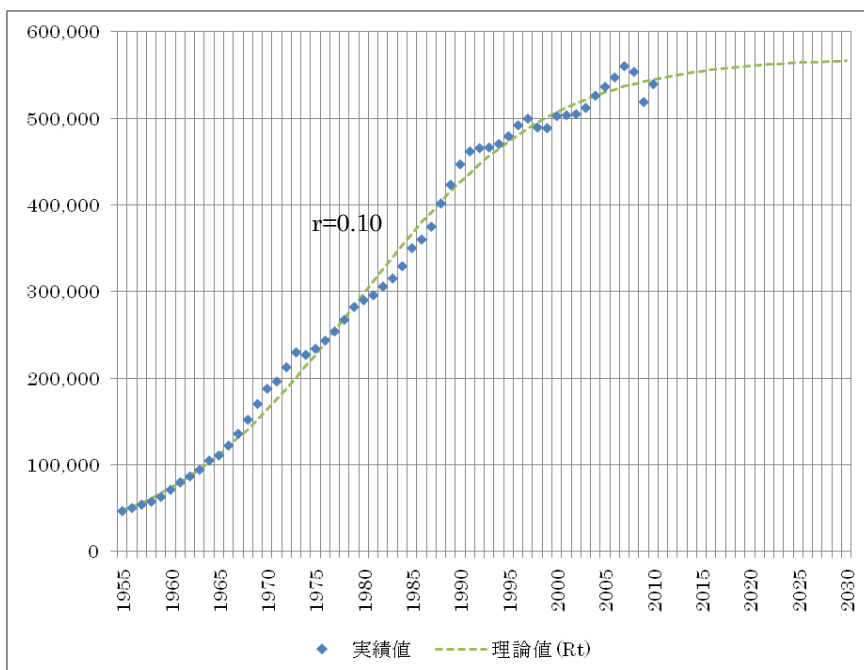


図 5-2

日本の実質 GDP の推移 (単位: 10億円、Wikipedia)

店舗数	r
コンビニ	0.22
ハンバーガー	0.35
理容	0.33

生物の成長・増殖	r
標準身長(男)	0.30
アエロゲネス菌の増殖	1.10

耐久消費財の普及率	r
電気洗濯機	0.30
電気冷蔵庫	0.45
ピアノ	0.16
電気掃除機	0.33
自動車	0.25
ステレオ	0.35
カラーテレビ	1.08
エアコン	0.25
ビデオカメラ	0.30
VTR	0.45
衣類乾燥機	0.20
パソコン	0.30
薄型テレビ	0.60
DVD	0.35
携帯電話	0.70
平均	0.40

企業売上	r
ソフトバンク (2003~)	0.90
NTTドコモ (1994~)	0.75
ソニー (1989~)	0.35

実質 GDP	r
日本 (1955~)	0.10

表 1-2 成長率一覧表 (参考値)

耐久消費財の成長率の平均は 0.40 だが、カラーテレビ 1.08 や携帯電話 0.70 など生活に密着した情報系消費財の成長率が高く、ピアノ 0.16 や自転車 0.25 など必ずしも生活に必要といえないものは低いのが分かる。いずれにしてもロジスティック曲線がいろいろなものの成長、増え方をうまく近似するツールであることは間違いなさそうである。では、ここからはこのツールをいかに経営に取り込んで活用していくかにつき議論を進めよう。これまでにみたようにロジスティック曲線の形はわずか三つの係数 (成長率 (r)、環境容量 (K)、初期値 ( $x_0$ )) によって決定される。つまりこれらの係数がビジネスの明暗を分けることになるであろうことから慎重に設定したうえで応用しなければならない。

### <成長係数 r >

r は生物学では内的自然増加率 (intrinsic rate of natural increase) と呼ばれている。(本論では「成長係数」と呼ぶ。) r の値が大きくなると成長の速度が速くなるということなので、横軸に時間をとれば S 字曲線が立ち上がって勾配が急になる。逆に r の値が小さくなると成長速度が遅くなり、曲線の勾配もなだらかになる。データが初期値から時系列ですべて揃っているとも限らないし、データがあったとしても r をどの値にするかは最初は検討がつかない。よって、現実的な方法として先にやったようなフィッティング (or シューティング) 法を用いる。

事業開始(or 販売開始)から相当期間が経過し、実績データがある場合。

- ① 実績を縦軸を売上、横軸を経過時間とする散布図を作成する。
- ② 市場規模と自社が最大達成しうる市場シェアを設定し、K の値を決める。
- ③ ロジスティック曲線の r 値を上下に動かして、実績値に近づけ、最も実績値に近いと思われる r を成長率とする。(図 4-1~3 参照)

実績データがない(or 少ない)場合。

- ④ 業界のリーダー(or 先行他社)のデータから上記 1) の方法を使って r を求める。
- ⑤ ①のデータも入手できない(or 前例がない)場合は r 一覧表(表 2)を参考にしておおよそ自社の業界に当てはまるであろう r を選択する。
- ⑥ ②でも検討が見つからない場合は  $r = 0.4 \sim 0.5$  としておき、後にフィッティング法を使って修正する。

成長係数 (r) は次のようにして求めることもできる。

(1.4) 式は微分方程式 (1.3) を積分して得られた解析解であるが、ロジスティック曲線は次の離散式で表現することもできる。(解析解が得られない場合でも  $\Delta t = 0.1$  以下の小さい値をとってこの離散式を使ってエクセル計算をすれば解析解とほぼ同一の曲線を描くことができる。)

$$x_{n+1} = x_n + rx_n(1-x_n/K)\Delta t \quad (1.5)$$

(1.5) 式を  $x_n$  の二次方程式と書き換えると、

$$r\Delta tx_n^2 - K(1+r\Delta t)x_n + Kx_{n+1} = 0 \quad (1.6)$$

二次方程式の解の公式より、

$$x_n = (K(1+r\Delta t) - (K^2(1+r\Delta t)^2 \pm 4r\Delta tKx_{n+1})^{1/2}) / 2r\Delta t \quad (1.7)$$

が得られる。(1.7) 式は  $\Delta t$  が一単位戻ったときの値を示す式である。これを先のIBCレンタル事業に当てはめると、2011 年度の売上 11.9 億円 ( $x_{17}$ ) を出発点にして (1.7) 式によって一時間単位ともにもどして 2010 年度の売上 ( $x_{16}$ ) を求め、その  $x_{16}$  から同様に  $x_{15}$  を求め、これを繰り返して初期値まで遡及できる。r をランダムに選んで、 $x_0$  (初期値) が実際のデータに合う 0.17 億円となる r を探す。下図 4-5 はその様子を示したもの。r=0.55 において  $x_0=0.17$  億円となることが分かる。(但し  $\Delta t = 0.1$ )

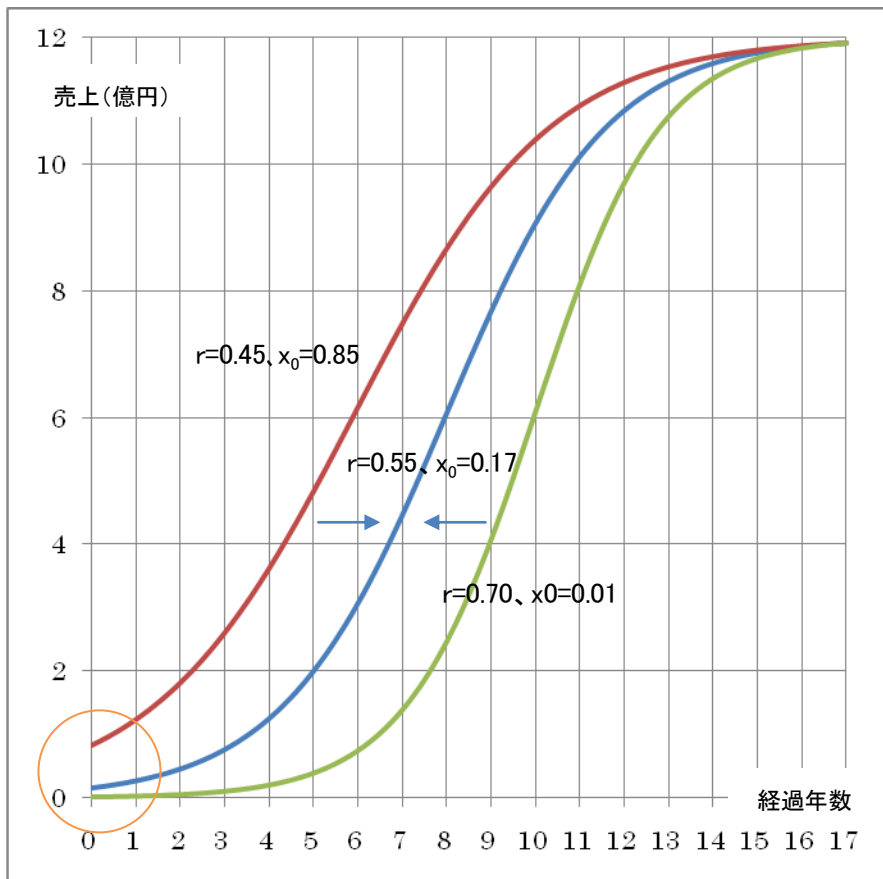


図 4-5 離散式を使った成長係数の探索。初期値  $x_0=0.17$  となる  $r$  を見つける。

## <環境容量 K >

米国の人口予測でベアフルストの予測が1930年代以降外れている(図2)のは、100年後も人口が増加を続けるとは想定しなかったことにある。つまり K の決め方によって予測値は大きく変わる。では、ビジネスにおける K とは一体何だろうか。

市場と製品・サービスには現在目に見えているものと目には見えない潜在的なものがある。その関係を図示したものが図6である。

		製品・サービス	
		現在	潜在
市場	現在	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #e0f2f1; padding: 5px;">K<sub>1</sub></div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #e0f2f1; padding: 5px;">K<sub>2</sub></div> </div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #e0f2f1; padding: 5px; margin-top: 5px;">K<sub>2</sub></div>	K <sub>4</sub>
	潜在	K <sub>3</sub>	K <sub>5</sub>

図6 Kのマトリクス

- 経営者の目線
- K<sub>1</sub> 現状維持型経営者
  - K<sub>2</sub> 市場シェア重視型経営者
  - K<sub>3</sub> 潜在市場を視野にいれた成長重視型経営者
  - K<sub>4</sub> 製品・サービスの拡大を視野にいれた成長重視型経営者
  - K<sub>5</sub> 今までなかった製品・サービスで新たな市場を創り出す市場創造型経営者

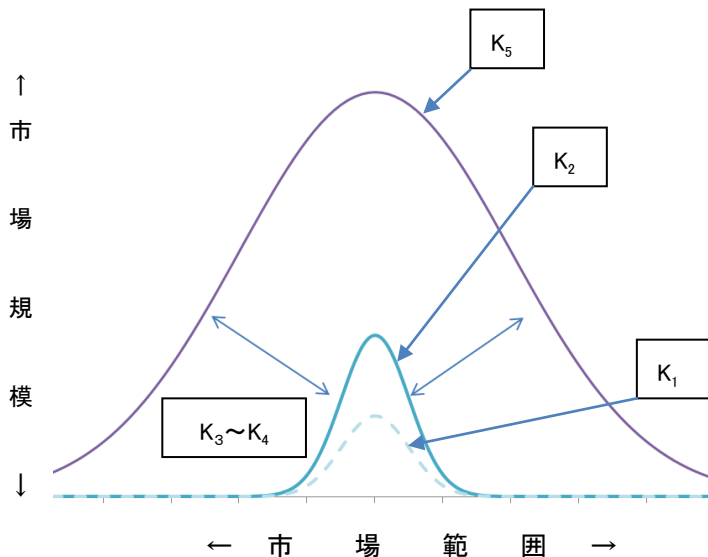


図 7

図 7 は図 6 を環境容量曲線(正規分布)で表現したものである。K の数値化については、まずは目に見えている現在市場の規模 (K<sub>2</sub>)を掴む。次に、たとえば国内市場が飽和している商品の場合は海外市場を加えたり(K<sub>3</sub>)、ある製品やサービスが成熟している場合は他の製品やサービスを投入したり(K<sub>4</sub>)して市場の範囲を拡大していく、さらに創造的施策によって潜在市場を掘り起こせば K はさらに大きくなる (K<sub>5</sub>)。第一章でみたとおり K に達すると事業体の成長は止まる。短期、中期、長期に分けて K を定めてもよいが、長期については経営者が到達したいと思いつく究極の値とすべきである。(つまり、これは経営者の目線がどこにあるかを確認するプロセスであるともいえる。)

現状維持型経営者 (K<sub>1</sub>) にとっての K は現在の売上である。現状維持をよしとするため市場規模や自社の市場シェアに関心がなく、同業者の動きに対してもさほど敏感ではない。これに対して、市場規模をある程度頭に入れて、自社の市場シェアを重視するのが K<sub>2</sub>型経営者である。自社の成長に重きをおいて潜在市場や、新しい(潜在的な)製品やサービスを開拓するのが K<sub>3</sub>、K<sub>4</sub>型経営者であり、新たな市場を創造するところまでいけば K<sub>5</sub>型経営者といえる。パレートの法則を援用すれば、世の中の経営者の八割が K<sub>1</sub>に属し、残る二割の八割 (20% x 80% = 16%) が K<sub>2</sub>型、残った 4%の八割、すなわち 4% x 80% = 3.2%が K<sub>3</sub>~K<sub>4</sub>型、そして最後に残った 0.8%が K<sub>5</sub>型といったところではなかろうか。

ところで自社が属す業界の市場規模を調査しても、業界によってはデータが公表されていないこともあるし、公表されていても業界のすべてを網羅しているとは限らないことも多い。実際の市場規模が掴めず、自社の成長余力があとどの程度あるのかが分からないことも多い。このような場合はどうすればよいだろうか。

ここでは、手元にある自社のデータだけに基づいて自社の K を計算によって推測する方法を示す。

離散式 (1.5) を K について解くと

$$K = r \Delta t x_n^2 / (X_n + r \Delta t x_n - X_{n+1}) \quad (1.8)$$

となる。この式は  $x_n$  とその次の  $x_{n+1}$  というふたつのデータがあれば計算によって  $K$  を求めることができることを示している。先にあげたIBCレンタル事業の売上データ（表 1-1）を 離散式（1.8）に次々と代入した結果が表 1-3。それをグラフにしたものが図 4-5 である。成長係数の  $r$  は未知であるので、0.2 から 1.0 までの平均を取ることにしよう。すると、 $x_{10}$  あたりから  $K$  が 11~12 億円に収束していくのが分かる。つまり、実際の売上が 8~9 億円に達した辺りでこの事業の売上上限がおおよそ 12 億円であることが分かる。自社の売上の上限が計算によってある程度予測できるという結果は経営者にとってかなり興味のある結果ではないだろうか。

自社がいつまで成長するのか（いつ成長が頭打ちになるのか）はたいへん興味のあることであるし、次の一手のタイミングが遅れてしまったり、成長を見込んだまま過度な投資を続けてしまったり、などのリスクを避ける意味でも  $K$  を割り出すことはたいへん重要な作業である。

$x_n$	実績	K (avg.)	K (r=0.2)	K (r=0.4)	K (r=0.6)	K (r=0.8)	K (r=1.0)
$x_0$	0.17	-0.06	-0.02	-0.03	-0.05	-0.08	-0.11
$x_1$	0.58	0.08	-1.06	-3.60	2.59	1.39	1.09
$x_2$	0.85	0.82	-0.63	-1.10	-4.68	7.56	2.94
$x_3$	1.46	7.85	-1.59	-3.33	35.53	5.20	3.44
$x_4$	2.30	3.41	4.70	3.73	3.09	2.84	2.72
$x_5$	2.65	-4.28	-6.11	-35.08	9.37	5.74	4.65
$x_6$	3.79	2.49	-6.17	-17.99	19.67	9.61	7.36
$x_7$	5.63	11.50	21.13	12.52	8.89	7.77	7.22
$x_8$	6.87	8.47	9.95	8.95	8.13	7.77	7.57
$x_9$	7.51	11.40	15.99	12.47	10.22	9.37	8.93
$x_{10}$	8.70	12.05	15.61	13.02	11.17	10.43	10.03
$x_{11}$	9.86	12.34	14.67	13.07	11.79	11.24	10.93
$x_{12}$	10.83	11.38	11.80	11.54	11.29	11.17	11.10
$x_{13}$	11.10	12.44	13.53	12.83	12.19	11.90	11.73
$x_{14}$	11.70	10.47	9.72	10.15	10.61	10.87	11.02
$x_{15}$	10.98	11.48	11.85	11.62	11.40	11.29	11.23
$x_{16}$	11.22						

表 1-3 (1.8) 式に実績値を代入して  $r$  の値を動かして計算した  $K$  の値。 $K$  (avg.) が  $r=0.2\sim 1.0$  の平均値。

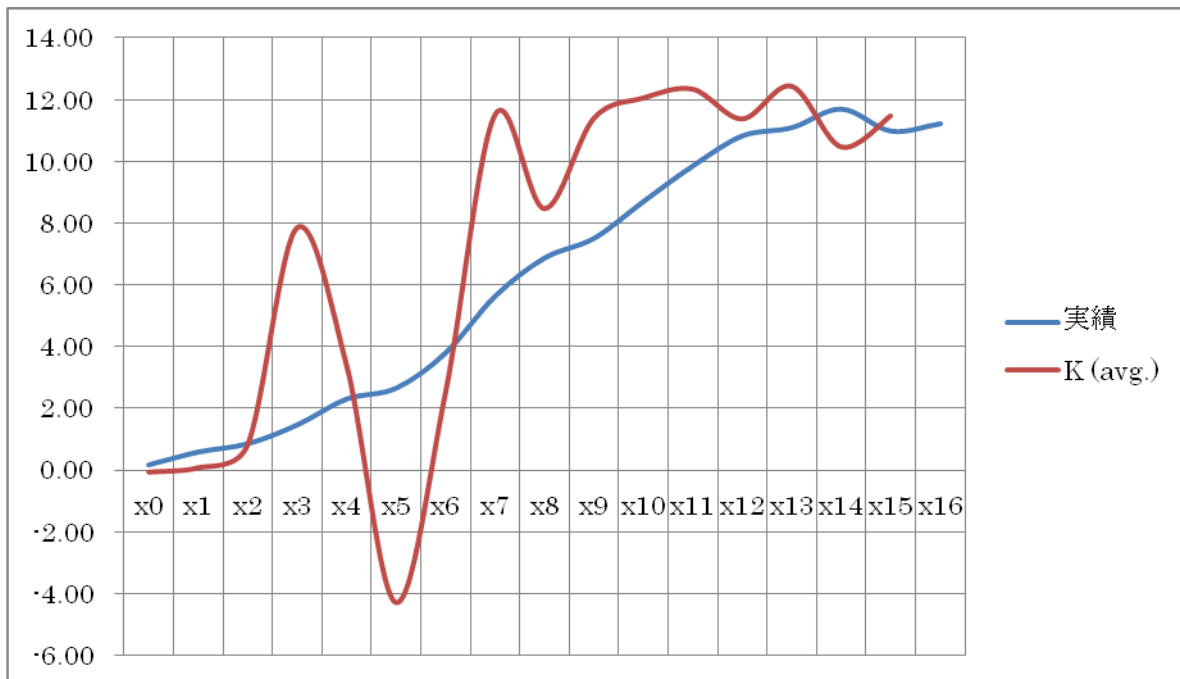


図 4-5 表 3 の実績と K (avg.)  $r=0.2\sim 1.0$  の平均値をグラフ化したもの。前半は大きく振動しているが、後半の  $x_{10}$  以降は 11~12 億円で収束しているのが分かる。

環境容量は次の方法によっても算出することができる。

先に使ったロジスティック方程式の離散式版、

$$x_{n+1} = x_n + rx_n(1-x_n/K)\Delta t \quad (1.5)$$

を変形して、

$$(x_{n+1} - x_n)/x_n\Delta t = r(1-x_n/K) \quad (1.9)$$

とする。ここで、

$$y_{n+1} = (x_{n+1} - x_n)/x_n\Delta t \quad (1.10)$$

とおくと、

$$y_{n+1} = (-r/K)x_n + r \quad (1.11)$$

(1.11) は  $y$  が  $x$  の一次関数(直線)であることを表している。 $y_n = (x_{n+1} - x_n)/x_n\Delta t$  は手元のデータ  $x_n$  から計算できるので、 $(x_n, y_n)$  を座標とする散布図(座標数  $n-1$  個)が書ける。散布図が書ければあとはエクセルで近似直線とその数式(傾きと切片)を表示することができる。(1.11) と表示された数式の値を対照すればよい(傾きが  $-r/K$ 、切片が  $r$ )。これはたいへん便利な方法で、環境容量の  $K$  のみならず成長係数の  $r$  まで同時に算出できる。

では、実際に試してみよう。下の表は厚生労働省が発表している「生命表」から日本男子の寿命を抜



粹したものである。

日本男子平均寿命	
1955	63.60
1960	65.32
1965	67.74
1970	69.31
1975	71.73
1980	73.35
1985	74.78
1990	75.92
1995	76.38

表 1-4 厚生労働省「生命表」より抜粋

式 (1.10) によって $(x_n, y_n)$  座標を求めたものが表 1-4。

	$x_n$	$y_n$	
$x_0$	63.60		$y_0$
$x_1$	65.32	0.00527	$y_1$
$x_2$	67.74	0.00714	$y_2$
$x_3$	69.31	0.00453	$y_3$
$x_4$	71.73	0.00675	$y_4$
$x_5$	73.35	0.00442	$y_5$
$x_6$	74.78	0.00382	$y_6$
$x_7$	75.92	0.00300	$y_7$
$x_8$	76.38	0.00120	$y_8$

表 1-5 式 (1.10) によって  $y_n$  を求めた。5 年毎のデータであるので  $\Delta t=5$  で計算した。

表 1-5 を散布図に展開し、エクセル機能によって近似式直線とその数式を表示したものが図 1-6。

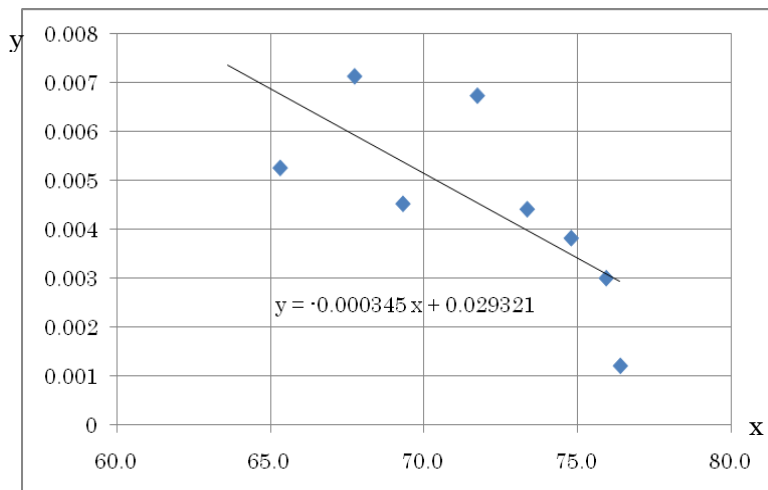


図 1-6  $x$  と  $y$  の散布図と近似直線式(線形化)

式 (1.11) と、近似直線の数式を対照させると、

$$\begin{aligned} -r/K &= -0.000345 \\ r &= 0.029321 \end{aligned}$$

であることが分かる。これより、

$$K = 84.99 \doteq 85$$

つまり、日本男子の寿命は 85 歳くらいまで延びると予測することができる。初期値  $x_0 = 63.06$ , 成長係数  $r = 0.029321$ , 環境容量  $K = 85$  のロジスティック曲線と過去の寿命の推移を重ね合わせたものが図 1-7 である。

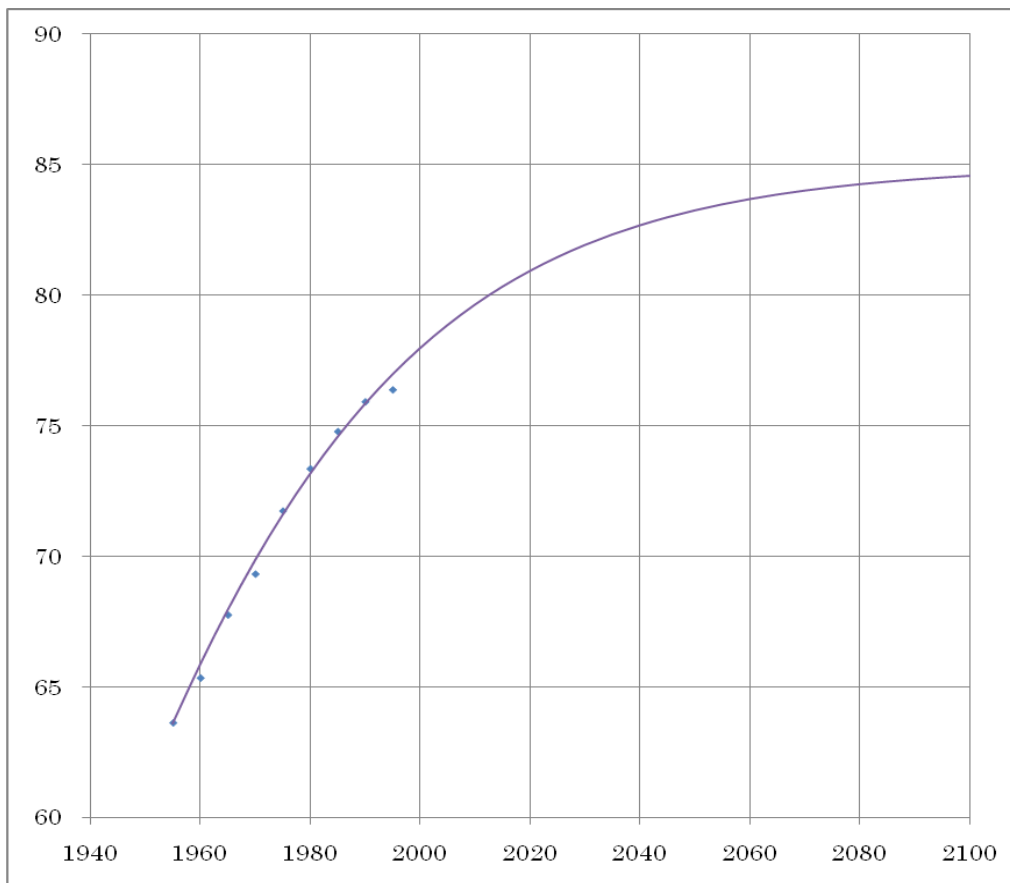


図 1-7 線形化による寿命予測

考えてみるとこのような計算によって過去のデータだけから未来の寿命を予測できるのはとても不思議なことである。但し、この方法は便利ではあるが万能でないことも頭に入れておく必要がある。データのばらつき、入手できているデータの数などによりうまく予測することができないこともあるからである。時間はかかるが、自ら  $K$  と  $r$  を動かして実績値と理論値の残差の和が最小になる組合せを探り出す方がよい場合もある。表 1-5 と図 4-8 はその様子を示したものである。

環境容量の  $K$  を下げながら、成長係数の  $r$  を上げる「挟み撃ち法」で、残差(実績値と理論値の差)を比較する。

	a	b	c	d	e
K	13.00	12.50	12.00	11.50	11.00
r	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
残差の平方和	33.6	12.4	4.8	5.1	9.9

表 1-5 組合せ c の残差の平方和が最も小さい。

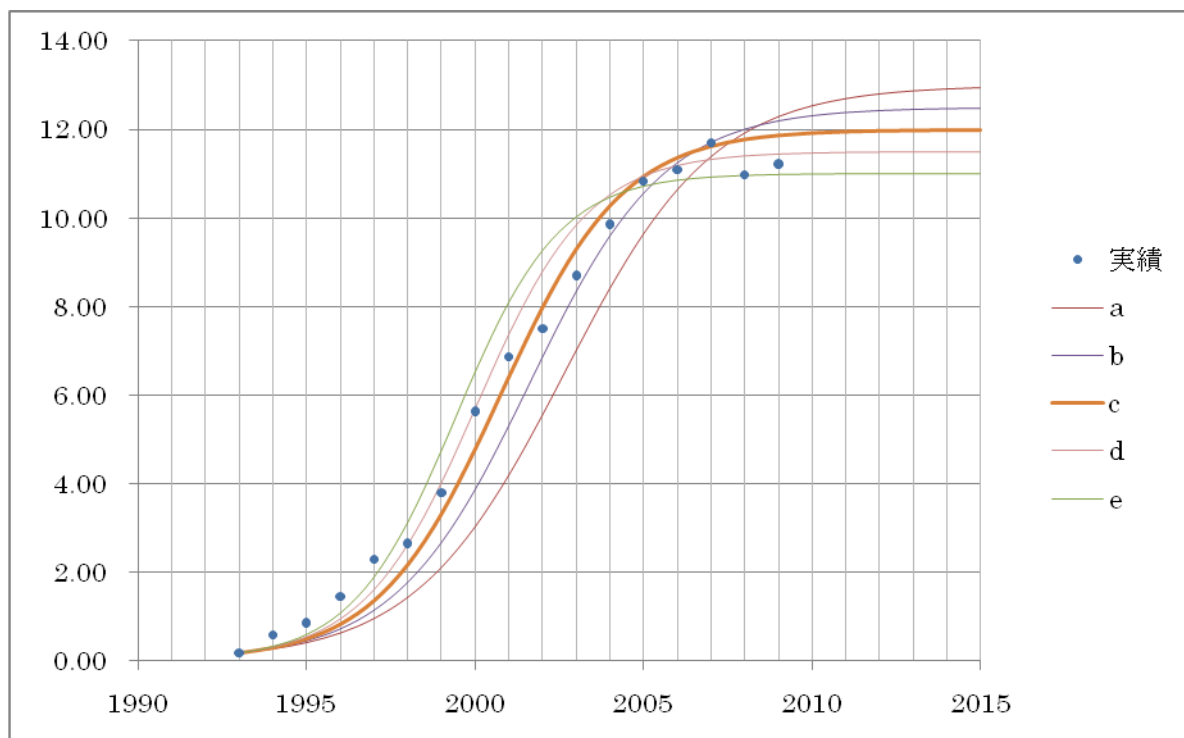


図 4-8 表 1-5 の環境容量と成長係数で描いたロジスティック曲線。

### <初期値 $x_0$ >

初期値は既存事業であれば現在の売上、新規事業であればゼロとする(注)。第二章でみたとおり、競争の度合いが激しくなればなるほど初期値が将来に大きな影響を与えるので比較する同業者の売上構成をよく調べて apple to apple かどうかを確認する必要がある。

(注) エクセル計算する場合は初期値をゼロとすると計算ができないので小さい正の実数とする。

### <ロジスティック曲線の経営への応用>

以上、三つの係数の決め方が分かったところで、次にこのロジスティック曲線を実際のビジネスに

のように活用していけばよいかという具体論に入ろう。以下の、三点につき議論する。

- 1) 事業計画(予算)作成への活用
- 2) 製品ライフサイクル(PLC)との違い
- 3) ビジョンと戦略の策定への活用

### 1) 事業計画(予算)作成への活用

ロジスティック曲線は変曲点を称点とする点対称形である。変曲点とは微分方程式 (1.3) の値がプラスからマイナスに転じる点、つまり成長速度が増加から減少に転じる点である。曲線はここを中心に大きく二つに分かれるが、さらにそれぞれを導入期と成長前期、成長後期とプラト一期の二つに分けて、合計四つの段階に分ける。図 8 参照。

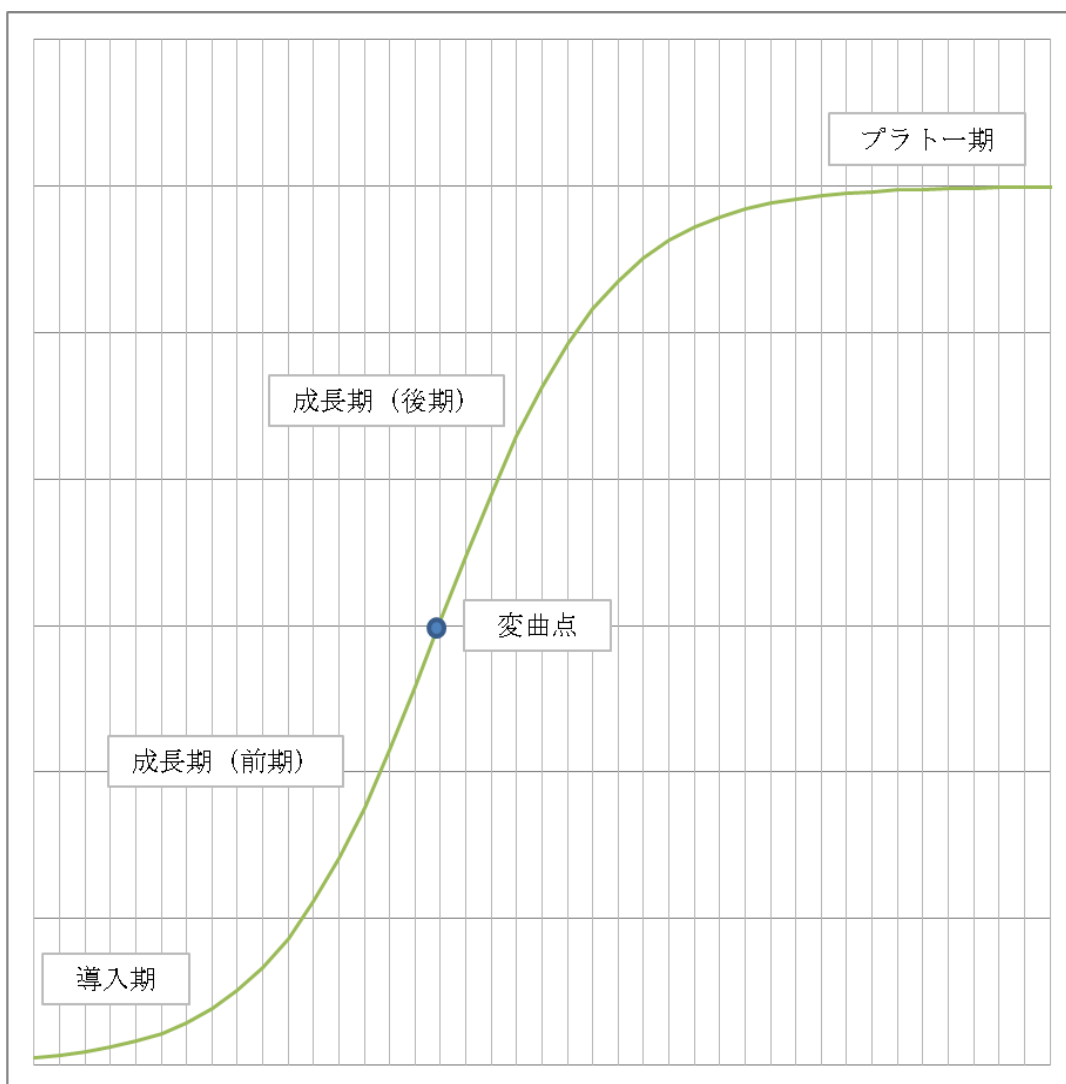


図 8 ロジスティック曲線は導入期、成長期(前期)、成長期(後期)、プラト一期の四段階に分類される。

## <導入期>

新規事業など、新しく立ち上げる事業、新製品の導入などの予算を作成する場合、売上の成長に直線を使ってしまうことが多い。新規事業であれば、一般に「3年目で単年度黒字を達成し、5年目で累積損を一掃する」ことを求められることが多いが、ロジスティック曲線が示すとおり導入期は売上が伸びないため、予算との乖離をきたして拙速な撤退、販売中止議論につながるが多い。損益分岐分析も直線で行われるため、予算(計画)上の損益分岐点が前倒しになっていることが多い。

直線を使う予算を「線形予算」、ロジスティック曲線を使う予算を「非線形予算」と呼ぶと、線形予算(図9-1)と非線形予算(図9-2)では損益分岐点の位置に違いがある。

## <線形予算と損益分岐分析>

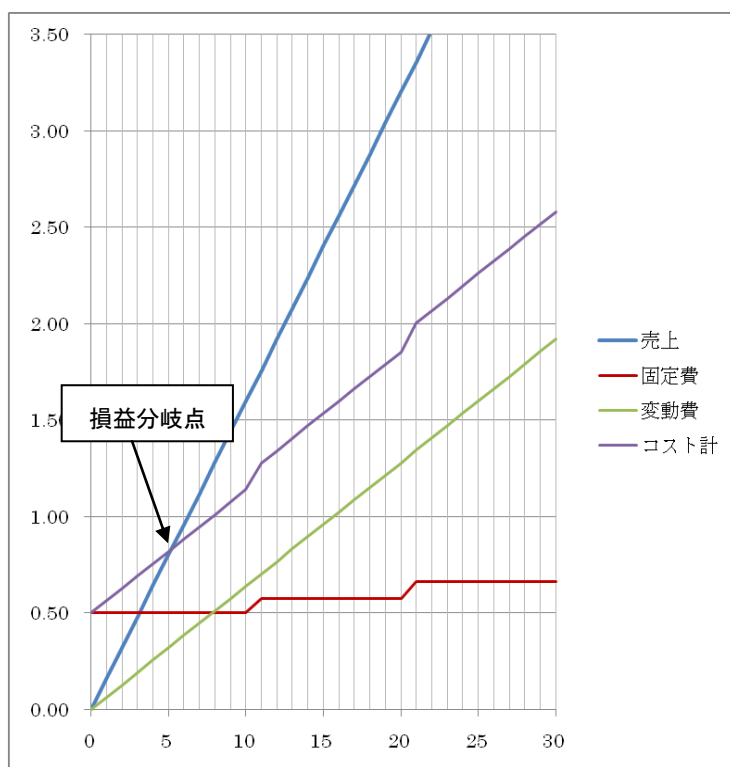


図 9-1

縦軸が売上、横軸は時間 (単位はいずれも任意)

### <非線形予算と損益分岐分析>

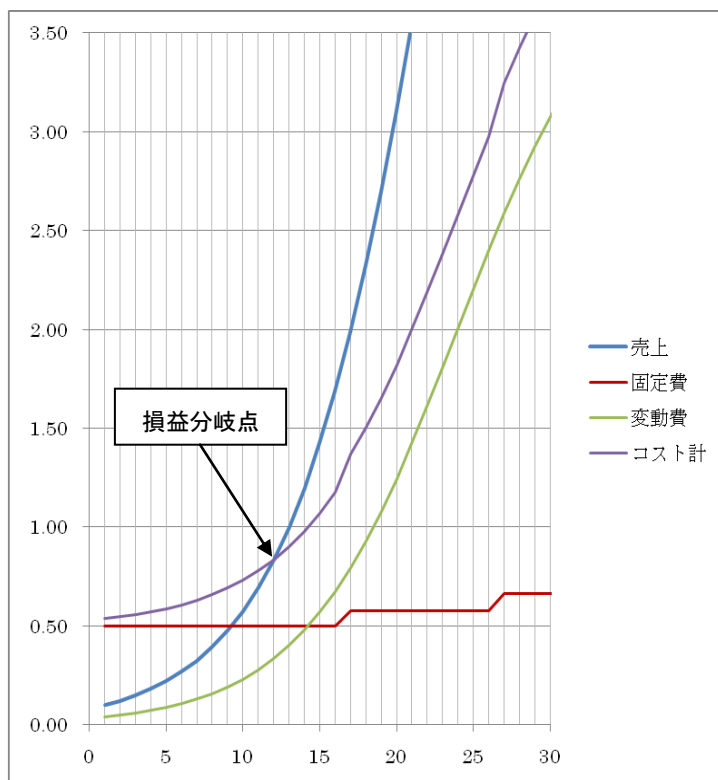


図 9-2

縦軸が売上、横軸は時間（単位はいずれも任意）

実例をみてみよう。図 10-1 は赤字が 6 年続いたが撤退しなかったケース。図 10-2 は 3 年目で撤退してしまったケースである。前者においてはもし導入期に撤退していたら、損益分岐点以降の大きな利幅(売上とコスト合計の線にはさまれた面積)を得ることはなかった。一方、後者は撤退後に譲渡先が事業を継続したケースである。譲渡先が撤退後すぐに利益を出しているのが分かる。このように、線形予算(計画)による計画と実績の乖離は往々にして折角立ちあげた将来性のある事業をも手放してしまう原因になってしまうのである。

売上(百万円)

### 損益分岐分析

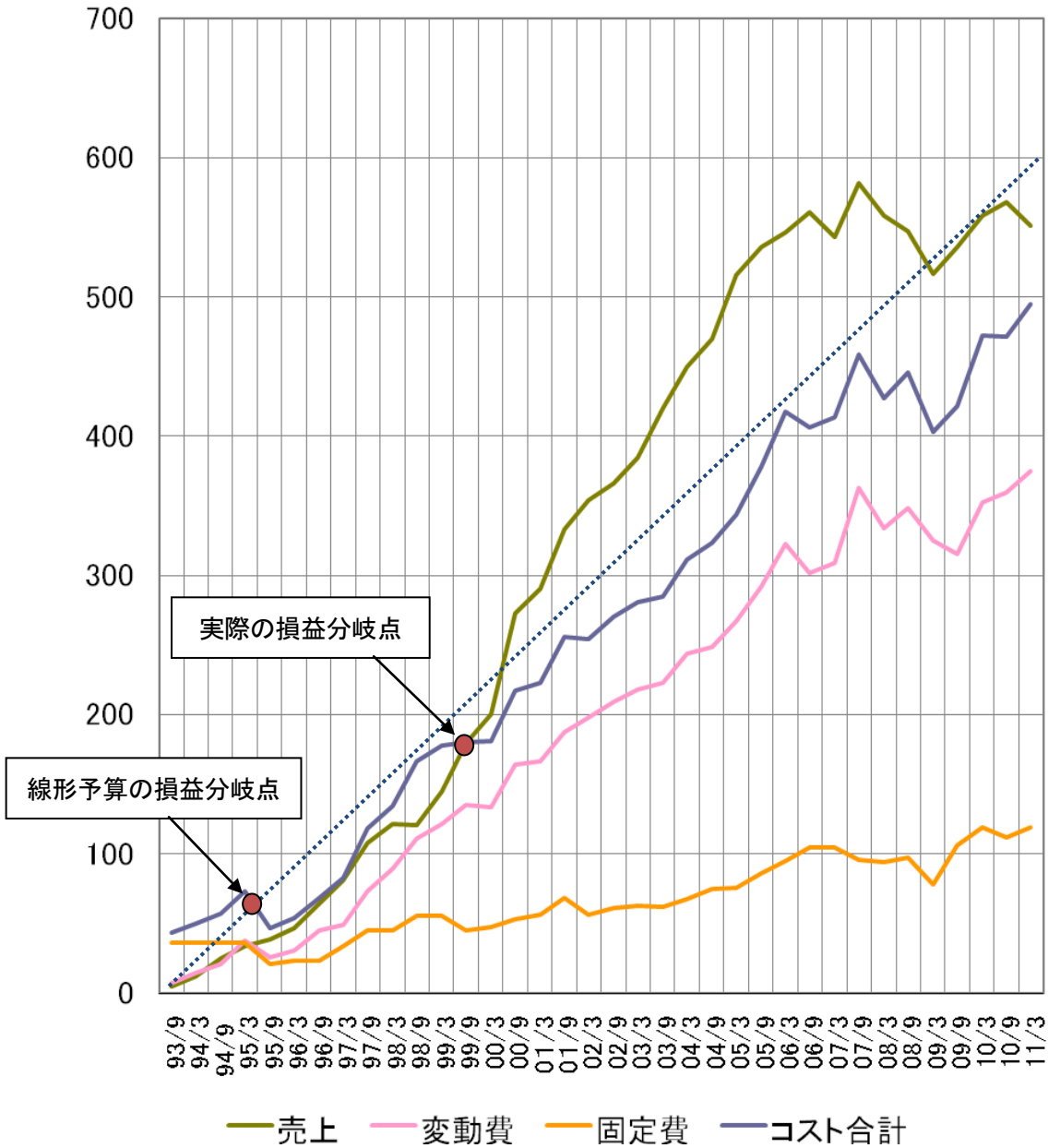


図 10-1

#### <成長期>

成長期は変曲点を中心に前半と後半に分けて考える必要がある。前半は成長速度が絶えず増加して指数的に売上が伸びる時期であり、後半は成長速度が絶えず減少して成長が鈍化する時期である。一般的には、

成長期前半	線形予算 < 非線形予算
成長期後半	線形予算 > 非線形予算

となる傾向がある。成長期後半は前半の成長率を前提にまた線形予算を組んでしまうと実績が予算を下回ることになる。これらの関係をより詳しくみていこう。

### 1) 成長期前半の事例研究

成長の初期段階であるものとしてハイブリッド車や電気自動車などのエコ・カーについてその将来をロジスティック曲線を使って予測してみよう。日本においてはハイブリッド・カーは 2001 年より市場に投入されている。その後徐々に販売台数が増え、2010 年は 50 万台弱の販売実績があった。日本国内の乗用車の年間総販売台数を 3 百万台とし、純粋な電気自動車を含むエコ・カーの市場シェアがいずれは七割を占めると仮定するとKは約 2 百万台強。一方、自動車の過去の普及率から算出した成長係数  $r$  は前出の 0.25。但し、これは各家庭に自動車が無かったときからの値である。たとえば固定電話に取ってかわった携帯電話の成長係数  $r$  は 0.7、液晶テレビなどの薄型テレビは 0.6 でかなり高い。ハイブリッド・カーの場合も直近の販売実績なども加味してうえで  $r$  を少し高目に 0.4 と設定してみる。初期値  $x_0$  は 2001 年の販売実績である 1 万 7 千台とする。

これらを (1.4) に代入すると結果は図 9 のとおりとなる。これより電気自動車を含むエコカーの日本国内年間販売台数は 2020 年代には早くも 2 百万台に達すると予測できる。欧米市場は日本の 6~7 倍の規模があるのでいわゆる先進国ではあと十年もすればエコカーが 13 百万台くらい走っていると予測できる。一台 1~2 百万円としても 13~26 兆円市場となろう。変曲点はグラフより 2014 年前後であることも分かる。

<ハイブリッド車+電気自動車の販売台数予測>

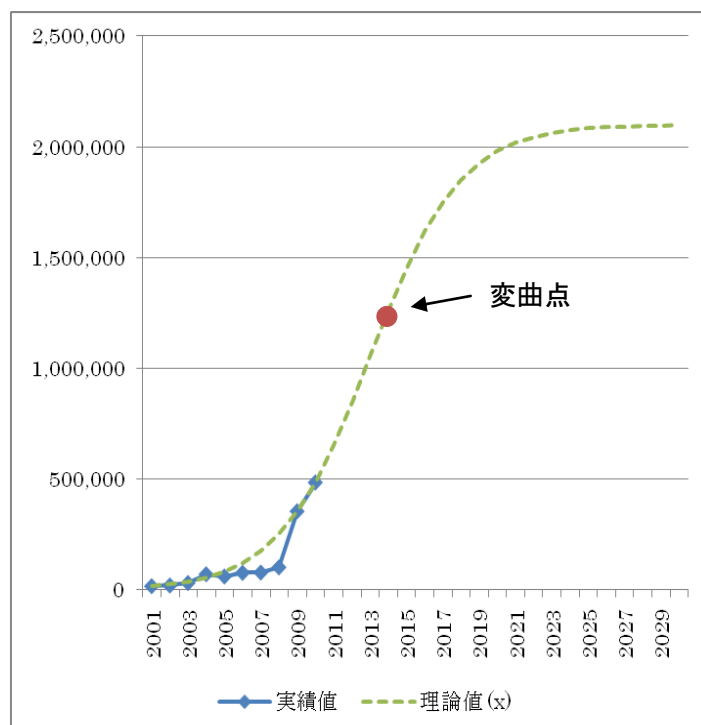


図 10

### 2) 成長期後半



成長期後半は成長が鈍化する。前半の成長を前提に投資・人員計画をつくと後半に固定費比率が増大してしまうので注意を要する。図 11 は液体IBCのレンタル事業の推移を示している。青い線がIBCの総保有数、赤い線が貸出数である。成長は2005年頃に止まっているが、保有数(新規購入)は相変わらず増えており、その結果七～八割あった稼働率が低下しているのが分かる。稼働率が下がると固定比率が上昇し収益が圧迫される。

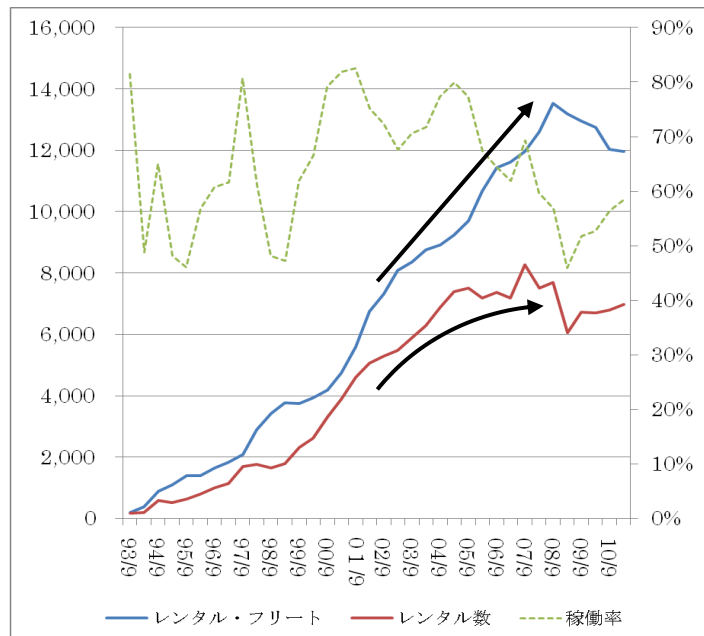


図 11

### <プラト一期>

プラト一期とはかならずしも製品やサービスが成熟したということではなく、何らかの理由によって成長が止まっている期間(踊り場)である。経営者(マネージャー)はまず自社がプラト一期にあることを自覚しなければならないが、プラト一期をよしとするか否かは目線の問題である。経営資源があっても目線が低ければプラト一期からは抜け出せない。さらなる成長を目指すマネージャーであれば、プラト一期から脱出することを考えるはずである。実例をみてみよう。

図 12 はパレット洗浄事業の売上推移である。パレット洗浄事業は短期的には洗浄機の能力がKとなるが、事業立ち上げ4～5年ですでにKに到達し、その後十年以上プラトにとどまっていたことが分かる。「機械の能力=マネージャーの目線」となっていたわけである。マネージャーが交代し、最新鋭機に投資、新規顧客を開拓してプラトを脱出した。このように K はマネージャーの目線の持ち方で大いに変わる。また、次のプラトが近づいていることも分かる。

<パレット洗浄事業、月商の推移> 縦軸が平均月商(千円)、横軸は経過年数

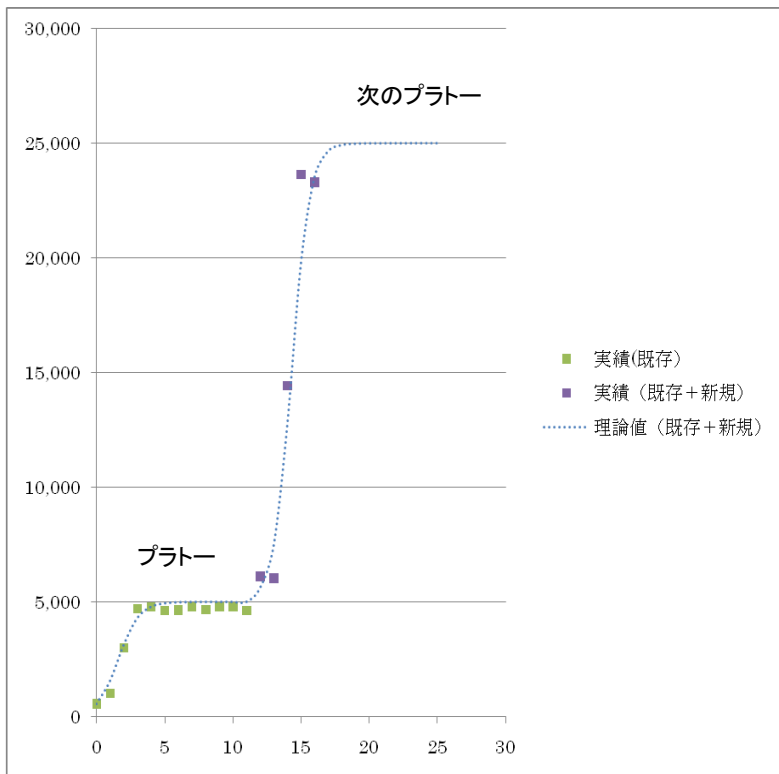


図 12

緑:  $r=1.50$ ,  $K=5$  百万円(既存事業)、紫:  $r=1.30$ ,  $K=20$  百万円(新規事業)

図 13 はIBCレンタル事業の売上の推移である。赤い実線が実績値であるが、この事業もすでにプラトー期に入っていることが分かる。国内ではマーケットリーダーであることから、同一事業で成長を維持するためには海外市場(欧米だけで国内市場の 5~6 倍)を開拓する必要がある。プラトー期に入ってからグローバル市場に出る場合(紫色の実線)と後期成長期に準備をはじめめる場合(破線)では、後者の方が次のプラトー期に到達するタイミングが 7~8 年はやいのが分かる。

<IBCレンタル事業の国内市場からグローバル市場への進出> 縦軸が売上(億円)、横軸は経過年数

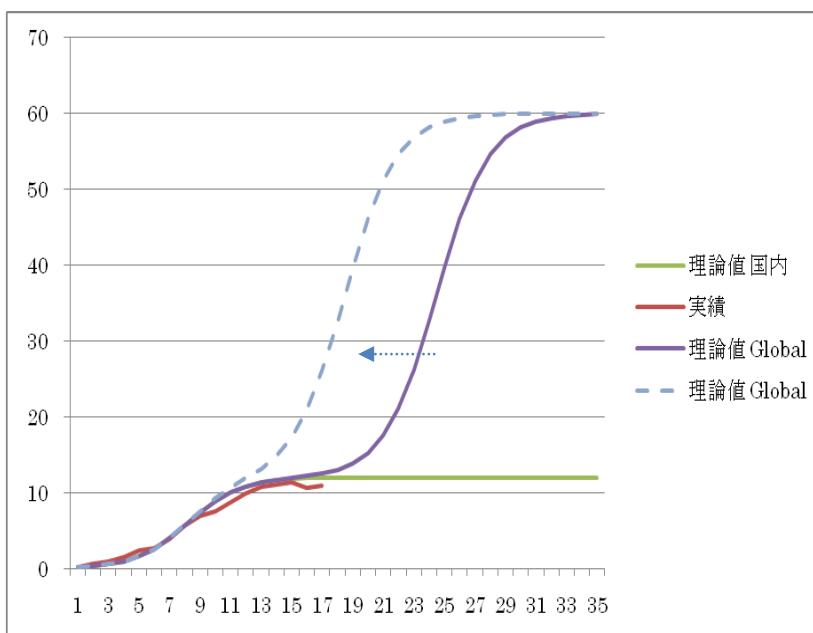


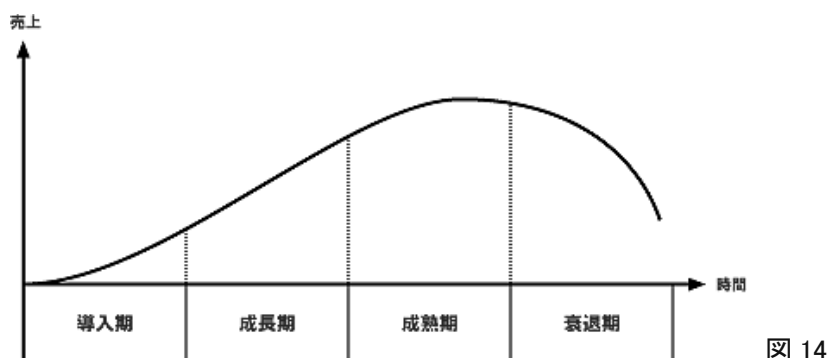
図 13

なお、成長の各段階において線形予算がもたらす弊害に関する詳細は詳しく別紙を参照。

## 2) プロダクト・ライフ・サイクル (PLC) との違い

ロジスティック成長曲線(以下 LGC)とプロダクト・ライフ・サイクル(以下 PLC)を混同しないようにすべきである。PLC はその名のとおり製品やサービスの導入から衰退までのライフ・サイクル(=寿命までのサイクル)にスポットを当てた概念的な曲線(図 14) であるのに対して、LGC は企業(事業体)そのものの成長(=売上)曲線である。PLC はいかなる製品やサービスでもいずれ衰退期がやってくると捉えるが、LGC は企業(事業体)が「持続的な成長」を目指すという大前提に立っているため衰退期がない。いつプラト一期が来るのかを予測し、売上が下降しないように具体的な施策を事前に打つための分析ツールが LGC である。

<プロダクト・ライフ・サイクル>



## 2) ビジョンと戦略の策定への活用

生物が無意識のうちに成長するように、企業(事業体)も持続的に成長しなければならない。そのためにはその方向を示すリーダーが必要であり、リーダーはビジョンを示し、具体的な戦略を立案しなければならない。また、一方で具体的な売上や利益の目標を立て、実績と照らし合わせていかなければならない。ロジスティック成長曲線(LGC)は自社の将来予測を行ううえで強力なツールであり、このツールを使いこなせば、より正確で、よりタイムリーな施策が、成長のどの段階にあっても打てるようになる。繰り返しになるが、LGC による経営がなぜ優れているかにつきもう一度以下に整理しておく。

市場規模を数値で捉えることを習慣化できる。

市場規模を頭に入れずに事業経営している K<sub>1</sub> マネージャーが多い。市場規模を捉えていないということは経営者の目線がどこにあるのか分からないということであり、現状維持をよしとしていることの裏返しでもある。生物が絶えず増殖しようとするように事業を持続的に成長させることがステークホルダーに対する経営者とマネージャーの責任であり使命である。

市場における自社の現在ポジションを見極め、目標シェアを定めることを習慣化できる。

ロジスティック分析をすれば K の決め方によって自社の将来が大きく左右されることがよく分かる。

K を市場規模との相対でどこに位置付けるか、これはすなわち経営者の目線の置き方の問題でもある。たとえ潜在的な経営資源があつとしても、企業(事業)は経営者(マネージャー)の目線より決して大きくならない。持続的に成長している企業は経営者の目線が絶えずより高いところに置かれている。

業界の標準成長速度を予め知ることができる。

自社の成長速度を業界の標準成長速度と比較することで実績の検証が客観的に行える。その結果、拙速な撤退を防止することもできる。

現実的な予算が組める。

自社が現在、成長のどの段階に位置しているかを予め見極めることができる。そしてどの段階にあっても将来予測ができ、現実的な予算(事業計画)を組むことができる。

成長に合わせた適切な投資・人員計画を策定できる。

過大(or 過小)な投資、不適切な人員配置は売上とのアンバランスによって生じる。ロジスティック分析をすることで、現実的かつ効果的な投資・人員計画をつくることができ、固定費を適切にコントロールすることができる。

環境容量 K に達する前に次の手を打つ準備ができる。

ビジョンの再構築と戦略の策定をタイムリーに行うことができる。経営者(マネージャー)が目線をさらに上げなければならない時期がいつかが分かる。