第 10 章　生産期間と生産費

練習問題 10.1 の解答

（a）仮に企業の雇用量が短期において $l = 64$ の水準で固定的ならば，短期の生産関数は $x = f(m, 64) = m^{1/3} 64^{1/6} = 2m^{1/3}$ となる。この式より，短期において x 単位の生産を行うために必要な原材料 m は $2m^{1/3} = x$ の解，すなわち $m = x^3 / 8$ となる．したがって，x 単位の生産に要する短期総費用は，固定費用，短期的に固定的な l 64 単位分の費用，x 単位の生産に必要な m の可変的費用の合計であり，

$$SRTC(x) = \$300 + \$4 \times 64 + \$1 \frac{x^3}{8} = 556 + \frac{x^3}{8}$$

となる。

（b）求めるべきグラフは図 10.8 に示されている（画像の質をより高めるために，より優れた描画ツールを用いて描いている）．これは解答の一例である．

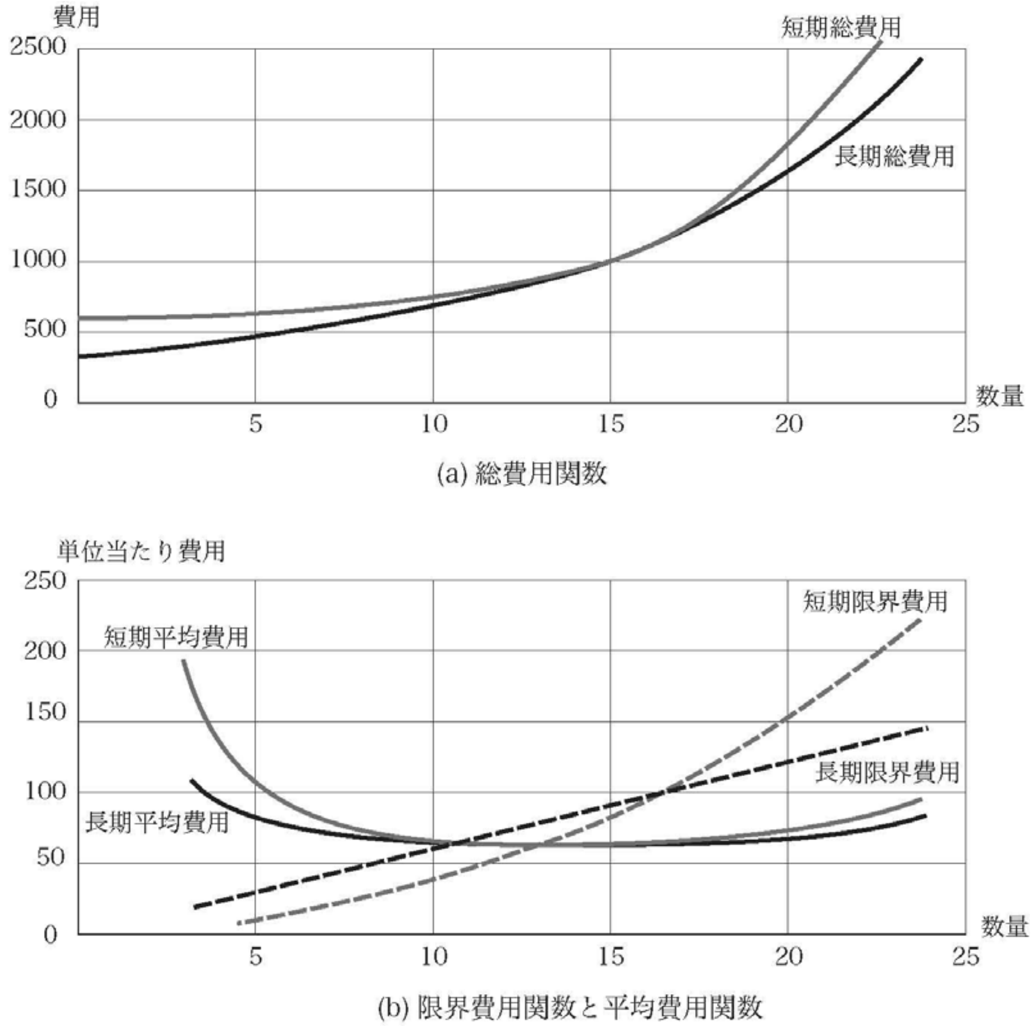

図 10.8　練習問題 10.1：長期と短期の費用関数

（c）現状が $x=16$， $P=128$， $m=512$， $l=64$，利潤が $16\times128-300-3\times16^2=980$ となる問題 9.7 を思い返そう．

逆需要関数が $180-2x$ へシフトする場合, 限界収入は $MR(x)=180-4x$ へとシフトする．短期では， $SMRC(x)=3x^2/8$ であるから，企業が x の生産をするときの利潤を最大化させるには,

$$180-4x=\frac{3x^2}{8}\text{，すなわち，}\frac{3x^2}{8}+4x-180=0$$

を解けばよい．2 次方程式の解の公式を用いると，この解は,

$$x=\frac{-4\pm\sqrt{16-(4)(3/8)(-180)}}{(2)(3/8)}=\frac{-4\pm\sqrt{286}}{3/4}=\frac{-4\pm16.91153}{3/4}$$

となる．解の値が負となることはないから，解は,

$$x = \frac{16.91153 - 4}{3/4} = 17.2154$$

となる．したがって，短期において企業は $x = 17.2154$ の生産を行い，価格水準は $P = 180 - 2(17.2154) = \$145.57$，利潤は $17.2154 \times 145.57 - 556 - 17.2154^3/8 = 1312.28$ となり，資源は 637.76 単位だけ活用されることとなる．

長期において，限界費用は $LRMC(x) = 6x$ となるから，利潤は以下の式を満たすとき最大化される．

$$MC(x) = 6x = 180 - 4x = MR(x)$$

よって，$x = 18$ となる．これから，価格水準は $P = 180 - 2(18) = \$144$，利潤は $144 \times 18 - 300 - 3 \times 18^2 = 1320$ となり，資源は 81 単位だけ活用されることとなる．

練習問題 10.2 の解答

読者のために作業を残しておくが，読者が自分自身でチェックできるよう，ここでは最初の問題に対する解答を示しておく．

$$SRTC(x) = 684 + \frac{x^3}{8} \quad \text{および} \quad LRTC(x) = 300 + 3.4344x^2$$

特記すべきことでもないが，仮に長期と短期の $x = 16$ での総費用を計算するならば，

$$LRTC(16) = \$1179.21 \quad \text{および} \quad SRTC(16) = \$1196.00$$

となる．

ここで，**総費用は現状水準において等しくはならない**．つまり，仮定 10.2 は成立しない．その理由は，現状での生産水準計画（64 単位の l と 256 単位の m）は，新しい投入価格のもとで費用を最小化する長期生産計画とはならないからである．短期では，$l = 64$ で固定化されるので, 16 単位の生産を継続させるために m の水準を変化することはしない. しかし, 長期では l がより高価となるので，m を増加し l を削減することが効率的となる．この節約は約＄17 となる．（新しい SRTC と新しい LRTC とが等しくなる生産水準は存在するだろうか．その答えは Yes である．仮に筆者が示した LRTC 関数を読者が描いたならば，読者は電卓のみですぐに理解できるだろう．）

練習問題 10.3 の解答

（a）長期については問題 10.1 から何も変わっていないので，長期での分析は同様で，$LRTC(x) = 300 + 3x^2$ となる．しかしながら，短期総費用はより複雑となる．現状水準 $x_0 = 16$ 以下での生産量では，問題 10.1 での分析がそのまま当てはまる．なぜなら，問題 10.1 での短期の法則は生産量が小さい場合には成立するからである．したがって，$SRTC(x) = 556 + x^3/8$ となる．

しかしながら，$x > 16$ の場合，以下のように推論される．企業は労働を追加できるが単位あたり限界費用として$6 生じる．16 単位の生産量，64 単位の労働量，512 単位の原材料

という現状水準からはじまって，企業は原材料のみを以下の水準まで増加させる．

$$\frac{\$1}{MIPP_m}=\frac{\$6}{MIPP_l}$$

ここで後者は$l=64$において求められる値である．この式をより明示化すると，

$$\frac{1}{\frac{1}{3}m^{-2/3}l^{1/6}}=\frac{6}{\frac{1}{6}m^{1/3}l^{-5/6}}$$

となり，整理すると$m=12l$を得る．したがって，lが 64 で固定化されているので，mは$m=12\times64=768$まで増加する．このとき，生産量は$x=768^{1/3}64^{1/6}=18.315$となり，$16\le x\le18.315$の範囲においては$SRTC(x)=556+x^3/8$となる．この$x$と$m$の水準において，$m$と$l$の比率を 12 : 1 に維持しつつ，超過勤務を通じて労働を増加させることは意味のあることである．$m=12l$を生産関数に代入すると，

$x=(12l)^{1/3}l^{1/6}$，したがって，$l=0.1908x^2$，$m=12\times0.1908x^2$

となる．16 単位の上限まで超過勤務を増加させ続ける．つまり$l=80$と$m=960$とし，$x=960^{1/3}80^{1/6}=20.477$の生産まで拡大させる．この範囲での総費用は，$SRTC(x)=\$300+\$4\times64+\$6\times[0.1908x^2-64]+\$1\times12\times0.1908x^2=172+3.4344x^2$と計算される．20.477 を超えると，短期ではもはや労働を追加できず，原材料使用量は$x=m^{1/3}80^{1/6}$，すなわち$m=x^3/80^{1/2}=0.1118x^3$の計算式によって決定される．したがって，総費用は$SRTC(x)=300+4\times64+6\times16+0.1118x^3$となる．以上をまとめると，

$$SRTC(x)=\begin{cases}556+x^3/8 & \text{for} \quad x\le18.315\\ 172+3.4344x^2 & \text{for} \quad 18.315<x\le20.477\\ 652+0.1118x^3 & \text{for} \quad 20.477\le x\end{cases}$$

となる．

（b）逆需要関数が$180-2x$へシフトするとき，限界収入は$180-4x$となる．長期では，問題 10.1 での解答と同様となる．しかし短期では，短期限界収入と以下で表される短期限界費用とが等しくならなければならない．

$$SRMC(x)=\begin{cases}3x^2/8 & \text{for} \quad x\le18.315\\ 6.8688x & \text{for} \quad 18.315<x\le20.477\\ 0.3354x^2 & \text{for} \quad 20.477\le x\end{cases}$$

どこで限界収入と限界費用が交わるかを解明するために，限界費用の 3 つの「領域」（$x=16$，18.315，20.477）について限界収入と限界費用を計算したスプレッドシート「PROB10-3.xls」を用いる．これが図 10.9 で示されている．

	A	B	C	D	E	F
6						
7						
8		xの値		16	18.315	20.477
9						
10		領域1のSRMC		96	125.789709	157.240323
11		領域2のSRMC		109.9008	125.802072	140.652418
12		領域3のSRMC		85.8624	112.506316	140.635745
13						
14		MR		116	106.74	98.092
15						

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

図 10.9　問題 10.3 のスプレッドシート「PROB10-3」

このスプレッドシートにより，$x = 16$ の場合，SRMC は領域 1 の SRMC によって$96 となり，限界収入は$116 となる．$x = 18.314$（この状況では超過勤務によって労働を追加することが費用効果的となる）になると，短期限界費用は$125.79 まで上昇し，限界収入は$106.74 まで低下する．特記すべきことではないが，この「領域の変化」上，つまり固定的な $l = 64$ の状態から超過勤務によって雇用量を増加させる状況の変化において，限界費用関数は連続となる（若干の数値のズレを読者は思うかもしれないが，それは丸め誤差である）．

このことは，限界収入と限界費用は $16 \le x \le 18.315$ の領域のどこかで交差することを意味している．正確にどこで交わるかを特定する必要はあるが，その前にスプレッドシートを用いてこのことを確認してみよう．領域 $18.315 \le x \le 20.477$ 上で，限界費用は領域 2 の SRMC となり，とりうる値は$125.80 から$140.65 となる．限界収入は，$106.74 から$98.09 へと減少していく．この領域において限界収入は一貫して低下し，短期限界費用は増加関数 $SRMC(x) = 6.8688x$ となるので，この領域の範囲で交わることはない．

次に，領域 2 と領域 3 のちょうど境目である $x = 20.477$ において，SRMC が連続であることに注意しよう．領域 3 の始点では，限界収入は SRMC より必ず低く，限界収入は低下し続け，限界費用は増加関数 $0.3354x^2$ となるので，やはり交わることはない．

したがって，唯一交わる，短期での利潤最大化点は，

$$180 - 4x = \frac{3}{8}x^2$$

で求めることができ，問題 10.1（c）で解答したように $x = 17.2154$ となる．

練習問題 10.4 の解答

（a）x 単位の生産を行う場合に，m は $3x$ 単位の投入が必要なので，費用は $\$3x$ 生じる．また l は $x/5$ 単位の投入が必要なので，費用は $\$2$ 生じる．よって，$LRTC(x) = 5x$ となる．

（b）与えられた需要関数のもとで限界収入は $23 - 2x/5$ となるので，限界費用と限界収入が一致する生産量を求めると，

$$5 = 23 - \frac{2x}{5}，\ 18 = \frac{2x}{5}，\text{すなわち } x = 45$$

となる．よって，価格水準は$14，利潤は$405 となる．

（c）企業が l を変更できないならば，（投入係数が固定的な生産関数であれば）現状の生産量 $x = 45$ を超えて，x を増加させることはできない．$x = 45$ よりも生産を縮小させ単位あたり$3 を節約できるが，$l$ を 9 単位分の$90 を固定費として支払わなければならない．したがって，短期総費用関数は，

$$SRTC(x) = \begin{cases} 90 + 3x & for \quad x \le 45 \\ \infty & for \quad x > 45 \end{cases}$$

となる．ここで，∞は数学上の略記号であり扱うことができない．図を描くならば，図 10.10 のような図を描くことができる．

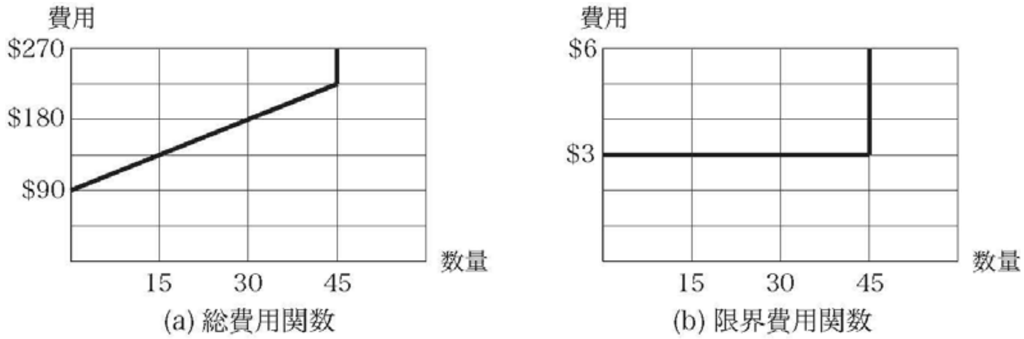

図 10.10　練習問題 10.4：一つの生産要素が短期において固定的であるもとで，生産要素間に代替性がない場合の短期総費用関数と短期限界費用関数

逆需要関数が $23.5 - x/5$ へ増加したならば，限界収入は $23.5 - 2x/5$ へと増加する．短期において，企業は $x = 45$ を超えて生産を拡大させることはできないので，単位あたり価格を$0.5 引き上げて$14.5 とする．これでさらに利潤を$22.50 獲得でき，結果利潤は$427.50 となる．長期において，企業は長期限界費用と長期限界収入を一致させるので，

$$5 = 23.5 - \frac{2x}{5}，\ 18.5 = \frac{2x}{5}，\text{すなわち } x = 46.25$$

となる．ゆえに，価格は若干低下し$14.25 となり，利潤は$427.8125 は増加する．

（d）この問題についても問題（c）と同様に，2 つの部分，現状水準 $x = 45$ よりも生産を拡大する場合と縮小する場合とに分けて見ていく．生産拡大の場合，原材料は $\$3x$ の費用が生じ，労働については $\$90 + 15(x-45)/3 = 3x - 45$ （$90 は l の最初の 9 単位によるもの）の費用が生じる．生産縮小の場合，原材料は $\$3x$ の費用が生じ，労働については $\$10x/5 + 5(45-x)/5 = 2x + 45 - x = x + 45$ の費用が生じる．これは，単位あたり$10 で雇用する費用に，解雇する際の退職金支払いの単位あたり$5 の費用を加えたものである．したがって，短期総費用関数は，

$$SRTC(x)=\begin{cases}4x+45 & for \quad x\le 45\\ 6x-45 & for \quad x\ge 45\end{cases}$$

となる．この総費用関数は連続であるが，$x=45$ で屈折することに注意せよ．したがって，短期限界費用は，

$$SRMC(x)=\begin{cases}4 & for \quad x<45\\ 6 & for \quad x>45\end{cases}$$

となる．短期限界費用は，現状水準 $x=45$ において不連続となる．短期と長期の総費用関数と限界費用関数は図 10.11 に描かれている．

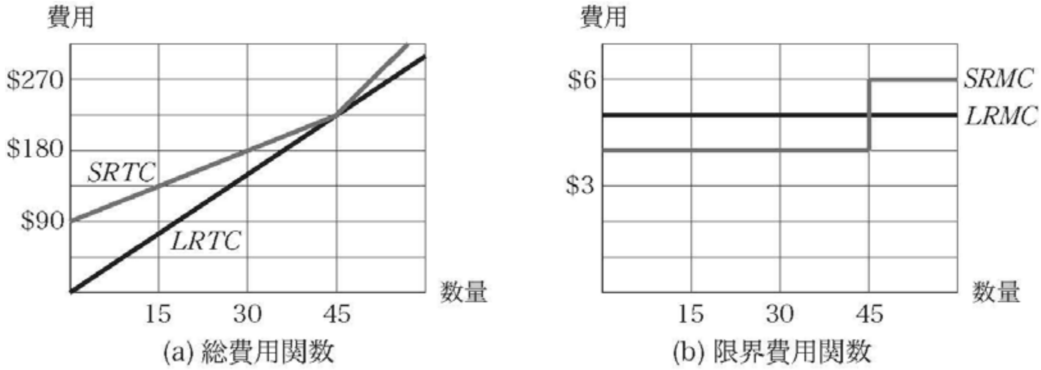

図 10.11　練習問題 10.4：一つの生産要素が短期において固定的であるもとで，生産要素間に代替性がない場合の長期と短期の総費用関数と平均費用関数

仮に逆需要関数が $P(x)=23.5-x/5$ に上でシフトするならば，限界収入は $P(x)=23.5-2x/5$ へと上昇する．短期において，限界収入の$0.5 の増加は短期限界費用を高い方の$6 の水準にまで引き上げるには十分ではない．したがって，生産量の変更はなされない．言い換えれば，短期的な対応は問題（c）と同じである（長期でももちろん同様である）．

仮に逆需要関数が $P(x)=25-x/5$ に上へシフトするならば，限界収入は $P(x)=25-2x/5$ まで上昇する．これは $x=45$ での$6 を超え，企業は（短期において）$25-2x/5=6$，つまり $x=47.5$ まで生産を拡大させる．この結果，価格水準は$15.50 となり，短期利潤は $\$15.5\times 47.5-(6\times 47.5-45)=\$496.25$ となる．そして長期では，企業は単位あたり$10 で常に l を追加でき，限界費用はより低い$5 となる．ゆえに，長期利潤の最大化は $25-2x/5=5$，すなわち $x=50$ で実現することとなる．この動きが図 10.12 で示されている．

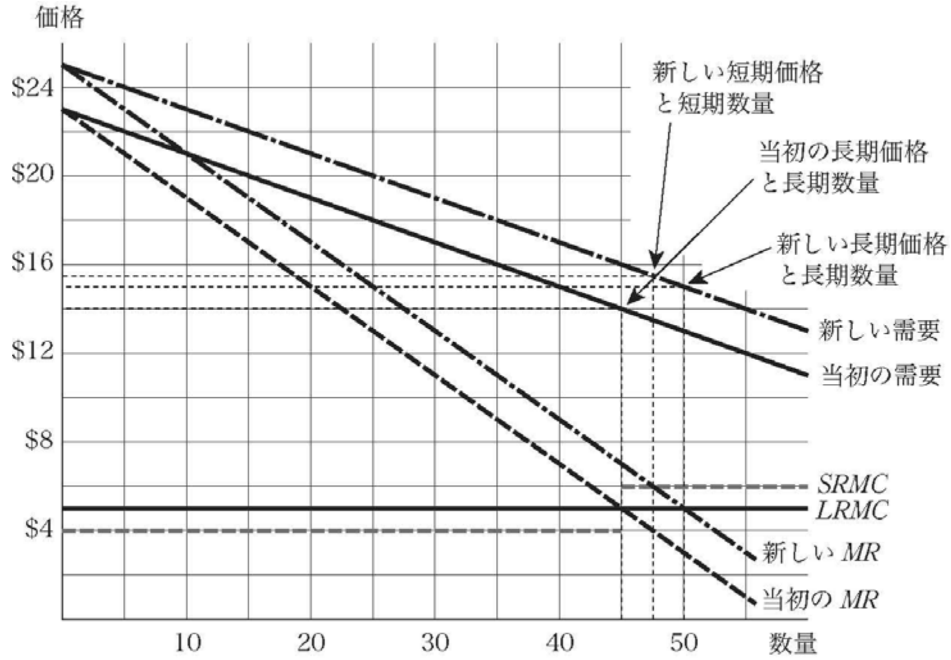

図 10.12　練習問題 10.5(d)：逆需要関数のシフトに対する動き

（e）問題 10.3 において短期総費用関数は屈折しなかった（この点については，Excel で数値を用いてその本質を解明した）．他の方法では，読者は総費用関数を微分することで，導関数が関数定義における「分岐点」で連続であることが理解できるだろう．なぜ問題 10.3 では屈折性がなくこの問題では屈折性があるのかについてだが，この問題では生産要素間に代替性がないことに注意しよう．したがって，生産を拡大させるためには，より高い限界率で l を増加させせなければばならない．テキストでの問題は，代替可能であり，現状水準で投入価格と限界生産性の比率が一致する．ゆえに，ある生産要素について「プレミアム価格」が付いている場合，このプレミアムが加わった生産要素を使用せずに他の生産要素で代替することができる．これは実は，所謂，包絡線定理の応用である．この点についての詳細は，価格理論や制約付き最適化問題に関する大学院用テキストを見て，価値関数の最適化に関する微分可能性の議論を参照して欲しい．

経験曲線の式の導出

テキスト p334 では，経験曲線を含めた総費用関数は，以下の式，

$$TC(x,X)=\frac{c_1\left[(X+x)^{\beta}-X^{\beta}\right]}{\beta} \quad ，ただし\ \beta=\frac{\ln(\gamma)}{\ln(2)}+1$$

で表されると主張した．ここで x はある期の生産量を，X は過去の累積生産量を表している．累積生産量が 2 倍になると，総費用は前期の水準よりも γ 分だけ常に低下するので，定

数γは経験曲線の「傾き」を意味していると言える．つまり，単位費用の数列c_nは任意のnについて$c_{2n}=\gamma c_n$という性質を持つこととなる．

この式を導出するために，まず経験曲線効果によって単位費用の数列が（雑であるが）$c_n = c_1 n^{\beta-1}$（βは適当な定数）という形式となることに注意しよう（実際，これは経験曲線効果で定義される特徴を満たしている．ただし，単純に累積生産量の 2 倍に対してγだけ費用が低下することを理解すればよいというわけではない）．ここで，$c_{2n}=\gamma c_n$という性質は$2^{\beta-1}=\gamma$となることを意味しており，γを用いてβの値を解くと，$\beta=\left[\ln(\gamma)/\ln(2)\right]+1$の式を導くことができる．$c_{X+1}+...+c_{x+X}$を求めるために，近似式となる$\int_x^{X+x} c_1 y^{\beta-1}dy$を計算することで最初の式を導出することができる．

経験曲線に沿って値下げすべきか？

これから述べることは非常に長く，「問題」を孕んでいる．このようなことを，この「学習の手引き」にでさえ書かざるを得ないほどである．しかしながら，これから展開される議論は，経験曲線の議論を終結させるだけでなく，限界〇〇について知的に考察する格好の例ともなるので，これまでの 10 章の総まとめともなる．こうした意味で，以下で記すことは長く，そして複雑ではあるけれども，読者にとって非常によいものであると筆者は考えている．

テキスト本文で述べたことであるが，経験曲線は，1970 年代と 1980 年代初頭に製造業において大流行となった「戦略」であった．高い報酬を得るコンサルタント会社はその顧客達に対して，「経験リーダー」となり最も安い単位費用を実現するために，製品ライフサイクルの初期段階でトップの市場占有率を獲得することが勝利の戦略であるとの考えを打ち出した．果たして，市場占有率のトップ会社は，すべてのライバル企業を駆逐したか，少なくとも従順にさせるほどには，費用優位性を獲得し巨額の利潤を得たのであった．

ところで，どのようにして市場占有率トップを獲得できるだろうか．それは，非常に安い費用で製品を販売することである．**市場占有を購入する**ことは，この戦略の簡略版である．企業は，経験に基づく費用優位性という考えのもと，経験曲線に沿って価格を引き下げるよう勧められ，他のライバル企業に市場占有率を奪われないようほんのわずかなマージン（利鞘）のみにとどめることを断行したのである．これらの考えは，NIC s（新興工業国）が，自国の幼稚産業を経験豊富な国際企業から「保護」するために行った貿易政策，例えば関税障壁の導入などに対抗する事業戦略から変異したものである．

この種の事業戦略のメリットを扱うにはまだ準備不足である．なぜなら，ライバル企業との本格的な競争については，下巻第 8 章まで扱わないからである．下巻第 8 章を読み終えた後でさえ，企業が経験曲線技術を持つ場合の適切な事業戦略に関する問題は，必ずし

も容易ではない．しかし，もっと単純な問題については取り組むことができる．その問題とは，もし経験曲線効果を持つ費用構造を持つある単一の企業が，安定的な市場に直面しているとき，学習曲線に沿って値下げするべきか，というものである．

以下のように明確に定義された市場に対し，新製品を開発している企業を想像しよう．もしこの企業がある四半期に x 単位の製品を生産するならば，単位あたり価格は $P(x)=1000-0.08x$ となるとする．また，この製品に対する市場はちょうど 5 年（つまり 20 四半期）存在するとする．以下では， x_1 を第 1 四半期の生産量， x_2 を第 2 四半期の生産量という様に表すことにする．

これだけでは，企業の生産技術の経験曲線効果を明示的にしていないため複雑となってしまう．そこで，最初から数えて n 番目の製品の生産費用は， $n/2$ 番目に生産された製品の生産費用のちょうど 80%となるとしよう．また企業は，5 つの製品プロトタイプを製造しており，最初の四半期で生産されるのは 6 番目のものであるとしよう．

この種の問題には非常によい人材である企業の見積専門技師（コスト工学技術者）は，次のような公式でマーケティングを展開することができる．第 1 四半期で企業が x_1 単位の生産をするとしよう．この期における総費用は，

$$\$22166\left[(x_1+5)^{0.6767}-5^{0.6767}\right]$$

となる．第 2 四半期に x_2 単位の生産をすると，第 2 四半期における総費用は，

$$\$22166\left[(x_2+x_1+5)^{0.6767}-(x_1+5)^{0.6767}\right]$$

となる．以降の期も同様に計算される． $n-1$ 期間を通じて生産された**総累積生産量**を X_{n-1} と記そう．すると，最初の 5 つのプロトタイプを併せると，

$$X_{n-1}=5+x_1+x_2+...+x_{n-1}$$

と定義される．仮に企業が第 n 四半期に x_n 単位の生産を継続させると，第 n 四半期の総費用は，

$$\$22166\left[(x_n+X_{n-1})^{0.6767}-(X_{n-1})^{0.6767}\right]$$

となる．20 四半期を通じての企業のキャッシュフローの合計を最大化させる x_1， x_2 , . . . , x_{20} の値はどのようになるだろうか．（少なくとも最初にキャッシュフローを計算しないで欲しい．）特に，より多くの生産がなされればなされるほど単位費用は低下するので，最後の四半期での費用は当初の費用よりも低くなる．需要と限界収入はシフトしないので，企業は初期に生産を少なくし，経験曲線に沿って費用が低下するにつれ値下げするだろうか．

この問題を考えるにあたってスプレッドシートを作成しよう．列 B には，単に四半期の番号を記そう．（スプレッドシートの上の数行は空白にしておいた方がよい．）列 C には，各四半期で生産された生産量を記そう．列 D には，列 C の数値と逆需要関数を用いて企業が得られる価格水準を記そう．列 E には，各四半期における総収入を記そう（列 C と列 D

の掛け算をすればよい）．列 F には，各期末での累積生産量を記そう．ここで最初のプロトタイプの生産量 5 を含めることに注意しなければならない．列 G で，上での公式を用いて各期における総費用を計算しよう．列 H では，各期における利潤を計算しよう（列 E から列 G を引けばよい）．そして，作成した表の下に 20 期の利潤合計を記そう．

もし間違いなく表を作成できたなら，図 10.13 のような表が作成されているはずである．図 10.13 では，$x_1 = 250$，$x_2 = 500$，$x_3 = 750$，…のケースが示されている（ここでの数値は，総利潤が$3,554,388 となるよう筆者が設定した数値であることに注意せよ）．まずはこのスプレッドシートを複製しよう（もし単に読者がコピーしたいなら，EXPERIENCE-CURVE と記したファイルを用いよ）．

	B	C	D	E	F	G	H
4							
5	四半期	生産量	価格	収入	累積生産量	費用	利潤
6					5		
7	1	250	$ 980.00	$ 245,000	255	$ 876,440	$ (631,440)
8	2	500	$ 960.00	$ 480,000	755	$ 1,021,929	$ (541,929)
9	3	750	$ 940.00	$ 705,000	1505	$ 1,168,516	$ (463,516)
10	4	1000	$ 920.00	$ 920,000	2505	$ 1,289,672	$ (369,672)
11	5	1250	$ 900.00	$ 1,125,000	3755	$ 1,393,594	$ (268,594)
12	6	1500	$ 880.00	$ 1,320,000	5255	$ 1,485,258	$ (165,258)
13	7	1750	$ 860.00	$ 1,505,000	7005	$ 1,567,729	$ (62,729)
14	8	2000	$ 840.00	$ 1,680,000	9005	$ 1,643,019	$ 36,981
15	9	2250	$ 820.00	$ 1,845,000	11255	$ 1,712,522	$ 132,478
16	10	2500	$ 800.00	$ 2,000,000	13755	$ 1,777,243	$ 222,757
17	11	2750	$ 780.00	$ 2,145,000	16505	$ 1,837,938	$ 307,062
18	12	3000	$ 760.00	$ 2,280,000	19505	$ 1,895,185	$ 384,815
19	13	3250	$ 740.00	$ 2,405,000	22755	$ 1,949,442	$ 455,558
20	14	3500	$ 720.00	$ 2,520,000	26255	$ 2,001,077	$ 518,923
21	15	3750	$ 700.00	$ 2,625,000	30005	$ 2,050,388	$ 574,612
22	16	4000	$ 680.00	$ 2,720,000	34005	$ 2,097,624	$ 622,376
23	17	4250	$ 660.00	$ 2,805,000	38255	$ 2,142,994	$ 662,006
24	18	4500	$ 640.00	$ 2,880,000	42755	$ 2,186,674	$ 693,326
25	19	4750	$ 620.00	$ 2,945,000	47505	$ 2,228,817	$ 716,183
26	20	5000	$ 600.00	$ 3,000,000	52505	$ 2,269,551	$ 730,449
27							
28						利潤合計	$ 3,554,388
29							

図 10.13　経験曲線スプレッドシート

ここで，5 年間の総利潤をより高める方法を理解するために，x_1 から x_{20} の数値を変更してみよう．読者がこの作業を終えれば，全利潤合計が$8,443,585 となる．読者がソルバーを用いたいならそれでもよいが，ソルバーは常に機能するとは限らないので注意しよう．この場合，少なくとも全ての初期値からではなく，表の数値に近い値で試してみると，より深い理解が得られるだろう．

最適な生産計画では，$x_1 = x_2 = ... = x_{20}$ となる．なぜこのようになるか，読者はわかるだろうか．この問題で $MC = MR$ はどうなるだろうか．

この問題により現実性を持たせるために，キャッシュフローの割引現在価値の合計を最大化する分析をやり直してみよう．ここで，各四半期の割引率を 2.5%とすると，最適生産計画はどのようになるだろうか.

すでに注意したように，市場での競争がこの演習問題にどのような影響を与えるかについて形式的に考察するには，我々はまだ準備不足である．しかし，読者はこのことについて非形式的でも考えたいと望むかもしれないので，ここでいくつかの事柄について提示しておこう．

分析：経験曲線に沿って値下げすべきか

図 10.4 は総利潤が$8,443,585 となるような生産計画を表している．生産水準は各期とも 3765.3 単位で等しくなっていることに注意して欲しい．これは，単位価格も$698.78 で変化しないことを意味する．企業は経験曲線に沿って値下げをしないのである．価格を固定化させたことで，この企業は最初の 1 年間は$430 万という大きな損失を被るが，後半の年では大きな利潤を獲得することとなる．

	B	C	D	E	F	G	H
4							
5	四半期	生産量	価格	収入	累積生産量	費用	利潤
6					5		
7	1	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	3770.3	$ 5,766,177	$ (3,135,075)
8	2	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	7535.6	$ 3,486,175	$ (855,073)
9	3	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	11300.9	$ 2,940,042	$ (308,941)
10	4	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	15066.2	$ 2,633,375	$ (2,274)
11	5	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	18831.5	$ 2,426,531	$ 204,571
12	6	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	22596.8	$ 2,273,477	$ 357,625
13	7	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	26362.1	$ 2,153,610	$ 477,491
14	8	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	30127.4	$ 2,056,045	$ 575,056
15	9	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	33892.7	$ 1,974,382	$ 656,719
16	10	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	37658	$ 1,904,563	$ 726,539
17	11	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	41423.3	$ 1,843,865	$ 787,236
18	12	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	45188.6	$ 1,790,382	$ 840,719
19	13	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	48953.9	$ 1,742,732	$ 888,369
20	14	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	52719.2	$ 1,699,882	$ 931,219
21	15	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	56484.5	$ 1,661,043	$ 970,059
22	16	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	60249.8	$ 1,625,598	$ 1,005,504
23	17	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	64015.1	$ 1,593,058	$ 1,038,043
24	18	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	67780.4	$ 1,563,031	$ 1,068,071
25	19	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	71545.7	$ 1,535,193	$ 1,095,908
26	20	3765.3	$ 698.78	$ 2,631,101	75311	$ 1,509,280	$ 1,121,822
27							
28						利潤合計	$ 8,443,585

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

図 10.14　最適生産計画

この生産計画は最適なものである．もし読者が丸め誤差以上にこの生産計画を超える計

画を他に見つけたというのなら，それはスプレッドシートの作成においてミスがあったということである．ここでは，このことを理解するための，そしてこの答えを分析的に導いてくれる論理を紹介しよう．

x_1， x_2 , . . ， x_{20} をそれぞれ 20 四半期のそれぞれの生産水準を表すとしよう．20 四半期の総利潤は，次の式,

$$\pi(x_1,...,x_{20}) = x_1P(x_1) + x_2P(x_2) + ... + x_{20}P(x_{20})$$
$$-22166\left[(5 + x_1 + x_2 + ... + x_{20})^{0.6767} - 5^{0.6767}\right]$$

で示される．ここで， $P(x) = 1000 - 0.08x$ である．この式を説明すると，最初の項は，20 四半期の各期の収入を合計したものである．第 2 項は，20 四半期の総費用合計を表している．この総費用合計は，第 1 四半期の総費用が,

$$22166\left[(5 + x_1)^{0.6767} - 5^{0.6767}\right]$$

となり，これに第 2 四半期の総費用,

$$22166\left[(5 + x_1 + x_2)^{0.6767} - (5 + x_1)^{0.6767}\right]$$

を加え，これを繰り返していくことで導かれる．ここでのポイントは，第 1 四半期の総費用には加えられる $22166(5 + x_1)^{0.6767}$ の項が，第 2 四半期の総費用を加えるときに相殺されることである．この性質は，第 3 四半期から第 20 四半期まで同様に満たされる．したがって，総費用合計の式が導かれるのである．

もう 1 つの方法についても言及しておこう．この「純粋な経験曲線」技術においては，各期での生産によって累積された生産量 z にのみ依存して，いつ生産されたかに関わらず生産費用 c_z が生じる．製造からマーケティングに与えられるこの式では，この点を隠してしまうかもしれないが，これは真実である．仮に企業が最初の $n-1$ 四半期において X_{n-1} 単位の生産を行ったならば，第 n 四半期における最初の 1 単位目の製品は $5 + X_{n-1} + 1$ 番目の製品であり，仮に企業が x_n 単位の生産をこの期に行ったならば，この期の総費用は,

$$c_{5+X_{n-1}+1} + c_{5+X_{n-1}+2} + ... + c_{5+X_{n-1}+x_n}$$

となる．収入あるいは費用については割り引かないので，20 四半期において企業が被る総費用はちょうど単位費用の合計となる．すなわち,

$$c_6 + c_7 + ... + c_{x_1+x_2+...+x_{20}}$$

となる．このことから,

$$22166\left[(5 + x_1 + x_2 + ... + x_{20})^{0.6767} - 5^{0.6767}\right]$$

となることが理解される．

仮に読者がこの問題を始めるまでこの式の導出について知らなかったなら，（割り引かれない）総費用の合計がこのような形式となることについては，ちょっとした魔法をかけられたように感じるかもしれない．この公式は，魔法ではあるが，割り引かれない総費用は総生産量のみに依存し，各四半期での生産の割り当てとは独立となるという考えは，純粋な経験曲線技術に関する費用の基本的特性をよく表しているだろう．

利潤を最大化するために，x_1 から x_{20} についてそれぞれ偏微分し，0 との等式を考えよう．$x_1 P(x_1)$ を書き換えると $1000x_1 - 0.08(x_1)^2$ となるので，利潤関数を x_1 で偏微分すると，

$$1000 - 0.16x_1 - (22166)(0.6767)\left[5 + x_1 + x_2 + ... + x_{20}\right]^{0.6767-1} =$$

$$1000 - 1.6x_1 - 15000[5 + x_1 + x_2 + ... + x_{20}]^{-0.3233}$$

となる．これが 0 と等しくなるとき，

$$x_1 = \frac{\left(1000 - 15000[5 + x_1 + x_2 + ... + x_{20}]^{-0.3233}\right)}{0.16}$$

を得る．同様に，x_2 で偏微分して 0 と等しくさせると，

$$x_2 = \frac{\left(1000 - 15000[5 + x_1 + x_2 + ... + x_{20}]^{-0.3233}\right)}{0.16}$$

を得る．

2 つの方程式の右辺は同一であることに注意して欲しい．このことから，右辺も同一でなければならないので，$x_1 = x_2$ となる．他の四半期についても同様のことが言えるから，$x_1 = x_2 = ... = x_{20}$ となる．この結果，x の値は 20 四半期のすべてで共通の値となるから，

$$x = \frac{\left(1000 - 15000[5 + 20x]^{-0.3233}\right)}{0.16}$$

を解くことによって x の値を導くことができる．この値を計算するために，Excel を用いて 2 つの記入を行う．まず，変数 x の値である．次に，以下の計算式を入力する．

$$\frac{1000 - 15000[5 + 20x]^{-0.3233}}{0.16} - x$$

この式が 0 となるような変数 x の値を見つけるために，ソルバーを使うか，逐次近似によって解を探すかである．どちらにせよ，読者はその解が $x = 3765.3$ プラスマイナス丸め誤差に行き着くだろう．

しかし実際には，それほど単純ではない．読者が手計算によってこの作業を行えば，$x = 245\pm$ と $x = 3765.3\pm$ の 2 つの異なる解を得るであろう．仮に読者がソルバーを用いるならば，ある初期値からはじめてある解を導く一方で，異なる初期値からはじめると異なる解を導くであろう．スプレッドシートにこれらの値を入力することで，後者の数値がより高い利潤となることがわかる．しかし，仮に筆者が 2 つの解があることを知らせず，読者が単純にソルバーを用いたならば，前者の解に辿り着いているかもしれない．

これは多分に数学的であるが，直観は極めて単純である．どの期でもよいが，企業が追加的に 1 単位の生産を拡大させるとしよう．このことが，限界収入の観点からどのような意味を持つのかを理解しよう．仮に企業が当該期に x 単位の生産をすでに行っているとするならば，限界収入は $100-0.16x$ となる．追加的な 1 単位の生産拡大にかかる限界費用は，最後の期において最後に生産された製品の限界費用となる．この生産モデルでは，生産速度は関係しない．初年度に 10,000 単位を生産する場合の総費用と，5 年間の各年で 2,000 単位ずつ生産する場合の総費用とは同じであり，限界費用は総費用を単に微分したものであるので $15000(5+X)^{-0.3223}$ となる．ここで，X は 5 年間の総生産量である．よって，企業は x_1 から x_{20} を以下の式で決定する．

$$1000-0.16x_n = 15000(5+X)^{-0.3223} = 15000(5+20x_n)^{-0.3223}$$

この式は，$n = 1, 2, ..., 20$ に対して限界収入と限界費用が等しい状況を表している．ここで興味深いことは，限界費用は 5 年間を通じた累積総生産量のみに依存しており，各四半期の生産割合には依存しないことである．

以上の話は理論的なことである．現実はどうだろうか．実際には，生産期間を通じて同じ量を生産し，同じ価格設定をし，初期段階で巨額の損失を被るような経験曲線構造を持つ企業は存在しないだろう．対して，製造に経験曲線の生産構造がある場合，時間の経過とともに経験が蓄積され価格は低下し，利潤（および利潤マージン）は時間の経過とともに上昇していくといった現象はよく見られる．こうした現象の理由はいくつかあり，部分的には我々のモデルでも扱うことができる．しかし，その他のものについてはより複雑である．

1. ここで構築した単純な費用のモデルにおいては，どんな単位の生産をしても，その際のコストはこの生産以前の総生産量のみに依存し，生産率は少しも費用に影響は与えないという想定をしている．「標準的なモデル」では，生産費用は生産率に依存し，（限界費用が逓増するならば）より高い生産率はより高い限界費用となるような想定をしている．もちろん双方ともモデルであるから，完全な適切さを備えているわけではない．しかし，特に，多くの生産過程には累積生産量の増加とともに費用が逓減するという基礎的な経験曲線効果が見られる一方で，費用が生産率と独立であるという想定は正しくない．仮にボーイング社 1 月にボーイング 747 の生産を 12 月の生産の 10 倍に拡大するならば，たとえ経験の蓄積によって費用が低下する傾向があるとしても，単位あたりの平均費用は恐らく上昇するだろう．実際，経験によって費用が低下する（ほんの）部分的な理由は，生産過程のスピードが高まり，労働時間が短縮され，単位あたり労働費用が低下することにある．費用低下の要因がこのようなものである限り，生産率を一定に維持することは企業にとって無駄である．つまり，経験を高めるよう生産率を高める方が，（費用に関する）効率性を改善することができるのである．また，経験による費用節約の（大

きな）要因は，製品や工程設計の改善によるものである．（例えば，治具や材料固定具が新しく設計されるなどして）これらの改善が資本装備に組み込まれる限り，より低いスピードで生産することは単一のプロトタイプの生産ラインでは（費用）効率的となり，いくつかの他の生産ラインでの経験によって得られる成果が拡散していく．このことはやはり，効率性という点からは，製品ライフサイクルを通して生産率が上昇する可能性を意味している．需要がシフトせず現行価格での取り寄せはできない状況では，どちらかの理由によって生産率が増加するならば価格は低下するのである．

2. ここまで収入と費用については割引を考慮しなかった．このため，仮に 5 年後の$1.01 の利潤を得られるならば，企業は進んで今日の$1 を手放すことになる．現実の世界では，企業はキャッシュフローを割り引く（少なくとも，今日の$1 と 5 年後や 10 年後の$1 は等価ではない）．この割引によって企業は早い段階から生産を削減することとなる（その結果損失も生じることにもなる）．このことは，スプレッドシート分析によって，それほど多くの困難もなく取り扱うことができる．まずスプレッドシートに，四半期における利潤の代わりに割り引かれた利潤を記そう．ここで割引率は，どの四半期でも同一であるとしよう．EXPERIENCE-CURVE のシート 2 では，割り引かれた利潤を最後の列に記入し，合計を計算している．割り引かれた利潤合計を最大化するような状況を，ソルバーを用いて計算した結果が，図 10.15 に示されている．なお，利潤の割引率は各四半期とも 2.5%を採用している．ここで，生産は 5 年間でゆっくり増加していることに注意しよう．

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
4										
5		四半期	生産量	価格	収入	累積生産量	費用	キャッシュフロー	割り引かれたキャッシュフロー	
6						5				
7		1	3293.141	$ 736.55	$ 2,425,559	3298.141	$ 5,261,344	$ (2,835,786)	$ (2,766,620)	
8		2	3390.009	$ 728.80	$ 2,470,636	6688.149	$ 3,268,301	$ (797,665)	$ (759,229)	
9		3	3454.392	$ 723.65	$ 2,499,766	10142.54	$ 2,797,715	$ (297,949)	$ (276,676)	
10		4	3503.27	$ 719.74	$ 2,521,438	13645.81	$ 2,533,252	$ (11,813)	$ (10,702)	
11		5	3542.511	$ 716.60	$ 2,538,560	17188.32	$ 2,354,097	$ 184,463	$ 163,038	
12		6	3574.976	$ 714.00	$ 2,552,540	20763.3	$ 2,220,701	$ 331,839	$ 286,143	
13		7	3602.319	$ 711.81	$ 2,564,183	24365.62	$ 2,115,442	$ 448,741	$ 377,510	
14		8	3625.595	$ 709.95	$ 2,574,000	27991.21	$ 2,029,039	$ 544,961	$ 447,275	
15		9	3645.527	$ 708.36	$ 2,582,338	31636.74	$ 1,956,049	$ 626,288	$ 501,487	
16		10	3662.637	$ 706.99	$ 2,589,444	35299.38	$ 1,893,029	$ 696,416	$ 544,039	
17		11	3677.313	$ 705.81	$ 2,595,502	38976.69	$ 1,837,670	$ 757,832	$ 577,578	
18		12	3689.852	$ 704.81	$ 2,600,652	42666.54	$ 1,788,360	$ 812,291	$ 603,984	
19		13	3700.492	$ 703.96	$ 2,605,001	46367.03	$ 1,743,929	$ 861,072	$ 624,639	
20		14	3709.418	$ 703.25	$ 2,608,635	50076.45	$ 1,703,502	$ 905,133	$ 640,587	
21		15	3716.783	$ 702.66	$ 2,611,625	53793.23	$ 1,666,413	$ 945,212	$ 652,637	
22		16	3722.712	$ 702.18	$ 2,614,025	57515.95	$ 1,632,139	$ 981,886	$ 661,423	
23		17	3727.307	$ 701.82	$ 2,615,882	61243.25	$ 1,600,266	$ 1,015,615	$ 667,457	
24		18	3730.654	$ 701.55	$ 2,617,232	64973.91	$ 1,570,460	$ 1,046,771	$ 671,154	
25		19	3732.823	$ 701.37	$ 2,618,105	68706.73	$ 1,542,446	$ 1,075,659	$ 672,855	
26		20	3733.873	$ 701.29	$ 2,618,528	72440.6	$ 1,515,998	$ 1,102,531	$ 672,842	
27										
28								キャッシュフローのNPV総額	$ 4,951,421	

Sheet1 Sheet2 Sheet3

図 10.15　割引率が 2.5%のときの最適生産計画

3. 割り引くことや初期段階ではあまり投資が行われない重要な理由として，経験曲線効果を持つ多くの製品の寿命が非常に不確実であることが挙げられる．ここでの例では，企業は最初の四半期で生じた損失を回収するのに 19 四半期かかることを知っていると想定している．しかし，実際，多くの場合には，製品に「明日」は来ないのかもしれないと企業は心配せずにはおられないのである．このことは，利潤や損失に対する割引率が上昇することを意味しており，企業は初期段階での損失をなるだけ被りたくはないこととなる．

4. ここでの分析は，需要は 5 年間の間シフトしないことを前提にしている．実際の多くの場合，需要は製品の成熟にしたがって拡大し，ある所与の価格のもとで需要は増加するので，企業は後の期には生産を拡大する．このことは，生産水準の増加を意味してはいるが，価格下落を意味しないことに注意しよう．実際には，企業が顧客ベースを構築することで市場規模に影響を与えられる限り，初期段階で値下げするインセンティブは上昇する．しかし一方で，第 7 章で見たように，ゆっくり価格を値下げすることは，顧客間で差別するための手段として機能するかもしれない．

5. ここでのモデルは，消費者に直面する単一の企業を想定している．現実の世界では，企業は他の競争企業の行動に注意を払わなければならない．競争のインパクトは非常に複雑であるが，いずれにしても我々が得た「解」へと導くものである．例えば，企業はある製品で初期にリードしており，製品生産の経験が企業間でのスピルオーバーがほとんどないか，あるいは全然ないとしたときには，リーダー企業は競争企業の参入を防ぐため初期段階で積極的な価格設定（つまり，値下げ）をするだろう．大規模な機体製造業者では，このような行動がしばしば見受けられる．ボーイング社は，ボーイング 747 を非常に積極的な価格に設定し，マクドネル・ダグラス社，ロッキード社，後にはエアバス社を，中型ジャンボジェット機市場での競争に追いやり，大型ジャンボジェット飛行機市場を長期間に渡って独占してきたのである．一方，競争圧力が高く，経験による成果に企業間でスピルオーバーが存在するとき，知識の独占性は弱くなるため，企業は知識への投資を控えることとなる．この結果，価格戦略は経験曲線に沿って値下げする形になるのである．

我々は，効果 1 と効果 2 についてはかなり容易にモデルに組み入れることができるし，効果 3 についても大胆な仮定を置けば扱うことができる．しかし，効果 4 と効果 5 を扱うためには，我々では手に負えないような道具立てが必要となる．したがって，この点についてはここまでとして，次の均衡についての議論に移るのである．