研究ノート

技術革新・競争および不確実性*

阿　部　文　雄

I. はじめに

このノートの目的は，近年の技術革新に関する，Kamien & Schwartz の一連の研究を中心にその成果を展望，吟味し，合わせてそれを基礎とした若干の展開を試みることである。経済学において技術革新をめぐる論議は，古くて新しいトピックであると言われている。又，その分析視点も，経済成長論といったマクロ的アプローチから，産業組織論的あるいは企業理論的アプローチと相当広範囲にわたっている。しかしこのノートで考察する技術革新の諸理論は，基本的にミクロレベルのものである。それは長期的な意味における革新のコストと，それから生み出される予想収益の流列との比較考量に基づく企業の革新行動，とりわけ開発の時間的パターンや，その完成・導入時期の考察に分析が限定されるからである。

このノートの構成は次のようになっている。II 節では，Kamien & Schwartz 論文の検討を中心に展開され，III 節では，我々のモデルの定式化が行なわれ，IV 節において，最適開発政策の特徴が述べられる。

II. 技術革新の理論

近年の技術革新に関する理論的研究の中で重要と思われるものに，Kamien & Schwartz (以下，*K&S* と略記する) の約10年にわたる一連の研究 (〔3〕,〔4〕,〔5〕,〔6〕,〔7〕,〔8〕,〔9〕,〔10〕) がある。彼等の分析は，主として1960年代に開発された，Mansfield, Scherer〔12〕, Lucas, Barzel〔1〕, 等のモデルに触発され，発展させたものと位置付けることができるであろうが，技術革新に影響を及ぼす様々な要因を取り上げ，数学モデルに

* 本稿作成に際し，神戸大学新野幸次郎教授，田中康秀講師，大学院明石芳彦氏，および関西大学広田俊郎助教授に多くの御教示，示唆を受けた。厚く感謝申し上げたい。

よって，分析を行っている。以下において，若干，彼等の分析の特徴や意義そして問題点を検討しておこう。

まず，彼等の多くの論文において，共通して取り上げられているテーマとして，不確実性の技術革新に及ぼす影響がある。この不確実性は，大きく分けて2種類のタイプに区分される。それは，①市場の不確実性，②技術的不確実性である。まず，市場の不確実性は，主として技術革新の成功・不成功，あるいは完成のタイミングにより将来の収益流列に影響を及ぼすものであるが，その具体的内容としては，④ライバル企業がいつプロジェクトを完成させるか，⑩そして，自社のプロジェクトの完成が，ライバル企業のそれより早く，当面の革新に関して独占的地位を得た場合，どれほどの利潤フローが期待できるか，その逆の場合はどうか，あるいは模倣者として追随した場合はどうか，等の事柄に関する不確実性である。④に関して，*K&S* は，ライバル企業の完成時刻を主観的な確率変数と見なし，それは時間の経過に対して一定の完成率(あるいは危険率とも呼ばれる)をもつ分布関数に従うものと考えた。そして，この完成率が革新競争の程度を示す指標とされている。又，⑩に関しては，様々なケースに応じて，利潤フローや需要の成長率等をパラメトリックに予想するものとして処理しており，この局面に関する不確実性は消極的にしか考慮されていない。そして，④の完成率を含む諸パラメーターの変化が，時間的開発パターンや完成・導入時刻にどのような影響を与えるかが，比較分析の文脈で扱かわれている。

次に，②の技術的不確実性は，自企業の革新がどのくらいのコストで，いつ完成するのかに関するものである。そして，それは完成の時刻を確率変数とし，その分布関数が開発の努力に依存するように定式化されている。しかし，このような不確実性は，ミクロレベルの分析としては，*K&S*〔3〕で取り扱かわれているのみであって，それ以後の分析では市場の不確実性の方に重点が置かれ，直接的には取り上げられていない。(1) つまり，完成に必要な開発コストが既知であるという意味において，技術的不確実性が存在しないような状況を想定しているのである。

さて次に，*K&S* の個々のモデルを検討してみよう。まず，*K&S*〔3〕では，市場の不確実性はモデルに組み込まれておらず，主として，技術的不確実性の開発行動に及ぼす影

(1) しかし，このことは必ずしも，それが重要ではないと判断されたからではない。事実，以後の分析でもしばしば注意を喚起している。Loury〔11〕も後に，この点を考慮して，2つの不確実性を同時に組み入れた独自のモデルを発表しており，我々の後の節で展開するモデルでも，*K&S* の定式化に従って導入される。なお，マクロレベルの分析では，枯渇資源との関連で〔10〕において，再び取り扱かわれている。

響を分析している。主要な結論として，もし完成率が開発努力に関して非減少関数ならば，開発支出は時間を通じて上昇し続けること，又，完成率がある点まで上昇し，後に減少するならば，開発パターンも，ある時刻まで上昇し，後に減少に転ずる（single-peaked）という特徴をもつことが示された。

次に，*K&S*〔4〕では，技術的不確実性が存在しない状況が想定され，完成に必要なコストが所与とされている。(2) 反面，市場の不確実性が，様々なケースに応じて考慮され，将来収益の流列に影響するように定式化されている。そして，この将来収益の総額は，変数としては完成時刻のみに依存し，かつその減少関数である。一方，開発支出のパターンに関して，支出と努力の間に収穫逓減が仮定されていることから，開発コストは，完成時刻に関して減少関数となり，両者をバランスさせるような完成時刻が存在するとすれば，それはどのような特徴をもつかが検討されている。又，この論文では，革新競争の程度を示す完成率（危険率）の上昇が，完成時刻を早めるかどうかが，比較静学の手法で検討されているが，その結果は，必ずしも完成率の上昇が完成時刻を早め，開発を活発化させるとは限らず，あらかじめ決定された完成時刻が早ければ一層それを早めるが，逆に遅ければ一層遅らすことになるであろうとされている。但し，模倣者としての完成率に関しては，それが上昇すれば必ず完成時刻を遅らすことが示されている。

K&S〔5〕では，特許を仮定した場合が検討される。モデルの枠組は〔4〕とほぼ同様であるが，完成に必要な努力水準がユニークに与えられるのではなく，ある範囲として与えられ，かつ完成によって得られる収益が，この努力水準の逓減的増加関数で与えられるとして，この努力水準を企業の制御変数にするという修正が施されている。特許については，その期間をパラメーターとして与え，成功者がすべてを得る（the winner takes all）という仮定のもとで，これが開発行動にどのような影響を及ぼすかを考察する。その結果，開発実行には，特許期間が十分長くなければならないこと，又，革新競争もあまり激しいものであってはならないこと等が明らかにされた。

K&S〔7〕では，革新行動を最も活発にする競争の程度がどのようなものであるかが問題とされたが，この問題は，「シュンペーター仮説」の吟味として，産業組織論の分野で，主として1960年代後半から盛んに検討されてきた問題でもある。彼等は前述の完成率が従来の

(2) 技術的不確実性をモデルから排除した代わりに，企業の決定変数（あるいはコントロール変数）に〝完成時刻〟（あるいは導入のタイミング）を加えることができたわけでもある。

伝統的な市場構造の定義，あるいは指標に正確に対応可能なものではないことを承知しつつ，あえてこれを産業の競争の程度を示すものと想定する。結論として，革新を最も活発にする競争の程度は，中間的なものであることが，特許の存否に関わらず言えるとしている。

又，開発のため資金は，情報漏れを防ぐ意味からも内部資金で賄われることが多く，これが開発パターンにどのような影響を及ぼすかが，*K&S*〔9〕で検討されている。資金に余裕のない新規参入企業や，限界的企業を想定した状況では，競争の程度や現行の利潤水準，初期現金残高，新製品開発の結果得られる利潤，そしてそれに必要な開発コスト等が開発パターンにどのように影響してくるかが検討される。主要な結論として，資金制約が有効で，革新競争が存在する場合，その競争の程度が十分小さいとき，開発期間は，必要とされる努力が上昇するならば長くなり，初期現金残高あるいは現行利潤水準が上昇するに応じて短縮されるということ，しかし，資金制約が仮に開発に対して拘束力を持つとしても，各時点で投入可能な現金を全部使ってしまうのは最適政策とは言えず，計画の最終時刻で使い切ってしまうように利用されるのが最適であることが示された。

K&S〔8〕では，独占利潤を得ている大企業の方が，新規参入企業や正常利潤しか獲得していない企業に比べて，技術革新に対する誘因が強いであろうとする「シュンペーター仮説」の再吟味を意図して書かれている。そして，ライバル企業に革新を先行された時生じる様々なケースを想定して，革新行動を検討する。即ち，ライバル企業の先行に対して，①旧製品からの利潤がどれほどダメージを受けるか，②開発の profitability がどれだけ減少するか，③模倣の難易度はどうか，等の要因の種々の組み合わせによって生じる状況に応じて，革新行動にどのような違いが出てくるかを明らかにする。多くの結論の中で主なものは，現行利潤が大きい程，新製品開発への誘因は小さくなり，開発期間も長くなるというもので，シュンペーター仮説とは対照的である。というのは，革新への誘因は，現行利潤の大きさに依存するのではなく，革新から予想される報酬，あるいは現行利潤がライバルの先行によって受けるダメージが大きい程，強く作用するからである。

以上我々は，技術革新に関する Kamien & Schwartz による企業理論的アプローチを概観した。彼等の分析は，かなり厳しい仮定も含まれているとはいえ，ほとんど未開拓ともいえるこの分野での重要な貢献をなしていると思われる。次節以下では，先に述べたように，市場の不確実性と技術的不確実性を同時に組み込んだモデル(3)を構築することにす

(3) 先にも述べた通り，このような発展を意図したものとして，Loury〔11〕がある。彼

る。というのは，２つの不確実性は相互に関連し合いながら，開発パターンに影響を与えると考えられるからである。

III. モデルの設定

新製品開発，乃至費用削減をもたらす技術革新を企図する企業を想定して，その最適開発政策を考える。今この企業にとって２つの不確実性が存在するものとする。まず第一は市場の不確実性であり，企業はライバル企業の開発がいつ完成するかに関して，次のような予想を行なうものとする。即ち，ライバル企業の開発が完成する時刻 v を確率変数と見なし，それが従う分布関数が次のように与えられるとする。

$$P_r\{v\leq t\}=F(t)=1-e^{-ht},\ h>0 \tag{1}$$

ここで，定数 h は通常，危険率（hazard rate）と呼ばれているものであるが，以下では $K\&S$ に従い，これを〝完成率〟と呼ぶことにする。（１）式の仮定は，

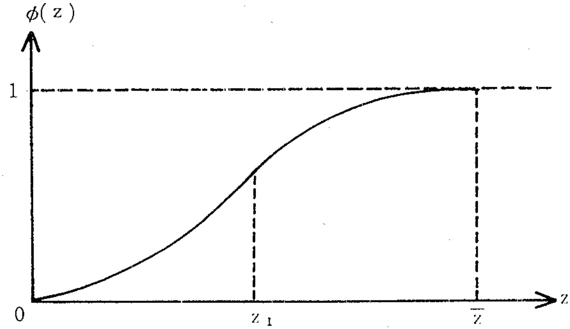
$$h=\frac{F'(t)}{1-F(t)} \tag{2}$$

を意味し，計画期間中のすべての時点における条件付完成率が，常に一定であることを示している。(4) この仮定は，通常，革新競争を行っている企業間では，企業秘密等の理由から，ライバルの開発計画の詳細が不明であるという事態を考慮したものである。第二は技術的不確実性であり，自社の開発がいつ完成するかに関するものである。自企業の開発がいつ完成するかは，ライバル企業のそれほど不確実ではなく，自企業の研究設備，スタッフの質と量，研究予算等を含めた開発努力（貨幣額で測定される）に依存すると考えられる。今，T を自企業の開発が完成する時刻を表わす確率変数とする。このとき，$\phi[z(t)]$ を開発努力が z であるときの時刻 t までに，開発が完成する確率であるとする。そこでこの技術的不確実性に関して次のことを仮定する(5)（第１図参照）

はまず，$K\&S$ の設定した市場の不確実性に改良を試みる。即ち，n 個の企業を想定し，第 i 企業の革新の完成率は，開発支出の増加関数であると仮定する。これは，２つの不確実性の一種の結合である。そして，最初に革新を成功させた企業だけが，永久的で一定の利益フローを獲得するという仮定の下で最適な開発支出の現在価値を求める。彼のモデルの問題点として，同一の開発支出の現在価値をもつ開発パターンは無数に存在し，そのことからユニークな完成率が対応するとは考えにくいことが指摘されよう。

（４） 従って，ライバルの革新の期待完成時刻は $1/h$ である。

（５） $K\&S$〔３〕では，完成率 $h(z)=\phi'(z)/[1-\phi(z)]$ に関して，(i) $h'(z\geqq 0$ のケース，(ii) $h'(z)\geqq 0$ for $0\leqq z\leqq \hat{z}$，$h'(\hat{z})<0$ for $z>\hat{z}$ の２つのケースを検討しているが，$K\&S$〔10〕では，$h'(z)\geqq 0$ を仮定している。我々のモデルでは，このことが結論に決定的ではないが，(ii) のケースの可能性を考慮することにする。



＜第 1 図＞

$$\left.\begin{array}{ll} \phi(0)=0 , & \phi'(0)=0 \\ \phi'(z)\geq 0 , & \phi''(z)\gtreqless 0 \quad as\ z\lesseqgtr z_1 \\ \phi(\bar{z})=1 , & \phi'(\bar{z})=0 \quad (\bar{z}\text{: finite or infinite}) \end{array}\right\} \quad (3)$$

ここで $\bar{z}$ は，開発の完成が確実（certain）である開発努力の最小の値であるとする。又，z_1 は，累積的分布関数 $\phi[z(t)]$ の変曲点であるが，$\phi''(z)$ の符号に関する仮定は，次のような事情を考慮している。即ち，$z<z_1$ の領域では，完成の確率はその努力に対して逓増的に上昇するが，$z>z_1$ の領域では逆に逓減的にしか増加しないこと，つまり前者は一種の規模の経済，後者は規模の不経済がそれぞれ作用することを意味する。

次に，開発努力 $z(t)$ と，開発支出（費用）$y(t)$ との間には，次のような関係（開発関数）を想定する。

$$\dot{z}(t)=y^a(t) , \quad 0<a<1 \qquad (4)$$

$$z(0)=z^0\geqq 0 \quad (z^0 : \text{given}) \qquad (5)$$

ここで a は，収穫逓減の程度を示すパラメーターである。

さてここで，当企業が開発計画を発行するに際して，最大化すべき目的関数を設定しておこう。そのための準備として，計画期間を時刻 T 以前と，T 以後に分けて考えてみよう。

（イ），まず，期間〔$0, T$〕に生じる可能性のある事象は，次のものである。

(i)，ライバルも開発を完成していないケース。その確率は，$1-F(t)=e^{-ht}$ で与えられる。このとき，当企業は従来の製品を生産・販売することから，毎期 π だけの利潤フローを得るものとする。

(ii)，ライバルの開発が完成するケース。その確率は，$F(t)=1-e^{-ht}$ で与えられる。このとき，当企業は従来の製品を生産・販売するが，毎期 $(\pi-\pi_1)$ だけの利潤しか得られないとする。

それ故，〔0，T〕における当企業の予想収益は次のように示される。

$$M_1=\int_0^T\{[\pi-y(t)][1-F(t)]+[\pi-\pi_1-y(t)]F(t)\}e^{-\rho t}\,dt \tag{6}$$

ここで，$\rho(>0)$ は，主観的割引率である。(6)式は簡単な計算により，次のように示される。

$$M_1=-\int_0^T y(t)e^{-\rho t}\,dt+B_1(T)+B_2 \tag{7}$$

ここで，

$$B_1(T)=\frac{\pi-\pi_1}{\rho}+\frac{\pi_1}{\rho+h}e^{-hT} \tag{8}$$

$$B_2=\frac{\pi-\pi_1}{\rho}+\frac{\pi_1}{\rho+h} \tag{9}$$

である。

(ロ)　次に，期間〔T，∞〕に生じる可能性のある事象は次のものである。

(i)，ライバル企業がまだ完成していないケース。その確率は，$1-F(t)=e^{-ht}$ で与えられる。このとき，当企業はイノベーターとして，P_0 の毎期利潤フローを得るものとする

(ii)，ライバル企業が，当企業のイミテーターとして完成するケース。その確率は，$F(t)-F(T)=-(e^{-ht}-e^{-hT})$ で与えられる。このとき，当企業は，P_1 の毎期利潤フローを得るものとする。

(iii)，時刻 T までに，すでにライバル企業が完成しているケース。その確率は，$F(T)=1-e^{-hT}$ で与えられる。このとき，当企業はイミテーターであり，毎期 P_2 の利潤フローを得るものとする。

それ故，期間〔T，∞)における当企業の予想収益は次のように示される。

$$\begin{aligned}M_2&=\int_T^\infty\{P_0[1-F(t)]+P_1[F(t)-F(T)]+P_2F(T)\}e^{-\rho t}\,dt\\&=B_3(T)e^{-\rho T}\end{aligned} \tag{10}$$

ここで，

$$B_3(T)=\frac{P_2}{\rho}+\frac{\rho(P_0-P_2)+h(P_1-P_2)}{\rho(\rho+h)}e^{-hT} \tag{11}$$

である。

かくして，全計画期間を通じての予想収益は，次のように示される。

$$M=M_1+M_2$$
$$=-\int_0^T y(t)e^{-\rho t}dt+[B_1(T)+B_3(T)]\,e^{-\rho T}+B_2 \qquad (12)$$

ここで，以下の分析に際して分析上の単純化のために，定数項 B_2 及び $B_1(T)$，$B_3(T)$ の中の定数項を無視することにする。従って，

$$B(T)=B_1(T)+B_3(T)\fallingdotseq Ae^{-hT} \qquad (13)$$

$$A=\frac{\rho\pi_1+\rho(P_0-P_2)+h(P_1-P_2)}{\rho(\rho+h)} \qquad (14)$$

と表わすことができる。それ故，評価関数（12）における非積分項は，当企業の開発完成時刻 T だけの関数であり，しかも一定率（$\rho+h$）で減少する関数となる。

さて，当企業は制約条件（4），（5）の下で，評価関数（12）の数学的期待値（平均）を最大化すべく，$y(t)$ を決定するものとしよう。（12）式の数学的期待値は次のように求められる。(6)

$$E(M)=E\{-\int_0^T y(t)e^{-\rho t}dt+B(T)e^{-\rho T}\}$$
$$=\int_0^\infty\{[1-\phi(z)]y(t)+\phi'[z(t)]y^a(t)B(t)\}e^{-\rho t}\,dt \qquad (15)$$

ここで，$d\phi[z(t)]=\phi'[z(t)]y^a(t)dt$ は，$(t, t+dt)$ の間に増加する完成の確率である。従って，当企業の直面する問題は，制約条件（4），（5）の下で（15）式を最大にする，開発計画 $\{y(t)\}(t\in[0,\infty))$ を求めることである。

IV. 最適開発政策

問題，Max (15)，subject to（3），（4），（5）に最適解 $y(t)$ が存在するとすれば，

---

(6) $$E\{-\int_0^T y(t)e^{-\rho t}dt+B(T)e^{-\rho T}\}$$
$$=\int_0^\infty \phi'(z)y^a(T)[-\int_0^T y(t)e^{-\rho t}dt+B(T)\,e^{-\rho T}]\,dT$$
$$=\Big[-\Omega(T)\int_0^T(-y(t)e^{-\rho t})\,dt\Big]_0^\infty-\int_0^\infty\{-\Omega(T)[-y(T)e^{-\rho T}]\}dT$$
$$+\int_0^\infty \phi'(z)y^a(T)B(T)e^{-\rho T}dT$$
$$=\int_0^\infty\{-[1-\phi(z)]y(t)+\phi'(z)y^a(t)B(t)\}e^{-\rho t}\,dt$$
$$(\Omega(t)=1-\phi[z(t)])$$

それが満すべき必要条件は，次のように示される。

$$H=e^{-\rho t}\{-[1-\phi(z)]y(t)+\phi'(z)y^{a}(t)B(t)+\lambda(t)y^{a}(t)\} \tag{16}$$

とおくとき，

$$\text{(i)}\quad \frac{d}{dt}[\lambda(t)e^{-\rho t}]=-\frac{\partial H}{\partial z}=-e^{-\rho t}[\phi'(z)y(t)+\phi''(z)y^{a}(t)B(t)] \tag{17}$$

$$\text{(ii)}\quad \frac{\partial H}{\partial y}\leqq 0,\quad y\frac{\partial H}{\partial y}=0,\quad y\geqq 0 \tag{18}$$

$$\text{(iii)}\quad \lim_{t\to\infty}\lambda(t)e^{-\rho t}\geqq 0,\quad \lim_{t\to\infty}e^{-\rho t}\lambda(t)z(t)=0 \tag{19}$$

を満足する連続関数 $\lambda(t)$ が存在すること。

(17) 式は整理すれば，次のように示される。

$$\dot{\lambda}(t)=\rho\lambda(t)-[\phi'(z)y(t)+\phi''(z)y^{a}(t)B(t)] \tag{20}$$

又，条件 (ii) は，次の（イ)，(ロ) のうちいずれか1つが成立することを意味する。

（イ） $y(t)>0$ のとき，$\frac{\partial H}{\partial y}=0$ を満たす（内点解)。このとき，

$$\frac{\partial H}{\partial y}=0\longleftrightarrow-[1-\phi(z)]+\frac{a[\phi'(z)B(t)+\lambda(t)]}{y^{1-a}(t)}=0 \tag{21}$$

（ロ） $y(t)=0$ でかつ，$\lim_{y\to 0}\frac{\partial H}{\partial y}\leqq 0$（端点解，$H$は，$y=0$ では微分不能)。このとき，

$$\lim_{y\to 0}\frac{\partial H}{\partial y}\leqq 0\longleftrightarrow-[1-\phi(z)]+\lim_{y\to 0}\frac{a[\phi'(z)B(t)+\lambda(t)]}{y^{1-a}(t)}\leqq 0 \tag{22}$$

最適解 $y(t)$ が内点で決定される場合，(21) より，

$$y(t)=\left\{\frac{a[\phi'(z)Bt)+\lambda(t)]}{1-\phi(z)}\right\}^{\frac{1}{1-a}} \tag{23}$$

が得られる。そこで今，以下での分析上の便宜のために，新しい変数 $\gamma(t)$ を次のように定義する。

$$\gamma(t)=\phi'(z)B(t)+\lambda(t) \tag{24}$$

このとき，$\gamma(t)$ は次の微分方程式の解である。

$$\dot{\gamma}(t)=\rho\gamma(t)-\phi'(z)[y(t)+(\rho+h)B(t)] \tag{25}$$

更に，$\gamma(t)$ の非負性が次のように確かめられる。即ち，今任意の $t_1(t_1\in[0,\infty))$ において，$\gamma(t_1)<0$ としよう。このとき (25) より，$y(t)$，$B(t)$，$\phi'(z)$ の非負性を考慮すれば，$\dot{\gamma}(t_1)<0$ となる。従って，$t>t_1$ においても，$\dot{\gamma}(t)<0$ である。従って，$\gamma(t)<0$ となるが，このことは横断条件 (19) に矛盾する。よって，$\gamma(t)\geqq 0$ でなければならない。

この $\gamma(t)$ の非負性を利用すれば，上記最適性条件は次のように表現できる。即ち，$\gamma(t)=0$ のとき，$\dfrac{\partial H}{\partial y}<0$ (for $z<\bar{z}$) となり，端点解 $y(t)=0$ が成立し，$\gamma(t)<0$ のとき，内点解 $y(t)>0$ が成立する。

又，初期値 z^0 が正の場合，初期時点から必ず内点解が成立する ($y(0)>0$) ことが次のように示される。今，$z^0>0$ とする。このとき，$\gamma(0)=0$ とすると，$\dot{\gamma}(0)<0$ となり，γ はマイナス値となってしまうから，$\gamma(0)>0$ でなければならない。それ故，上述の最適性条件より，内点解が成立することが分る。即ち，過去の技術的蓄積等を考慮した初期努力のストックがある場合，最適政策は，初期時点から開発支出を行なうことである。

さて次に，微分方程式体系，

$$\dot{\gamma}(t)=\rho\gamma(t)-\phi'(z)[y(t)+(\rho+h)B(t)] \tag{25}$$

$$\dot{z}(t)=y^{a}(t) \tag{4}$$

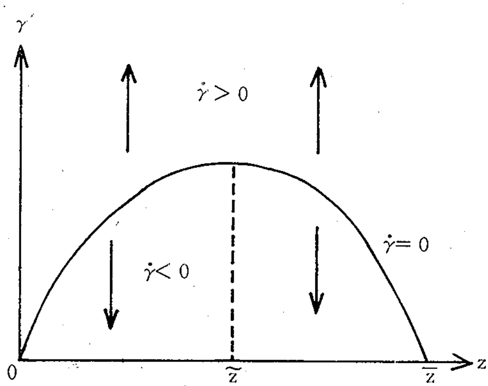
によって描かれる位相図を考えてみよう。まず，$\dot{\gamma}=0$ を満足する点の軌跡を，(z,γ) —空間上で考える。$\dot{\gamma}=0$ のとき

$$\gamma=\frac{1}{\rho}\phi'(z)[y(t)+(\rho+h)B(t)] \tag{26}$$

$$\left.\frac{\partial\gamma}{\partial z}\right|_{\dot{\gamma}=0}=\frac{1}{\rho}\left\{\phi''(z)[y(t)+(\rho+h)B(t)]+\phi'(z)\frac{h(z)}{1-a}y(t)\right\}$$

$$\gtreqless 0 \quad \text{as} \quad z \lesseqgtr \tilde{z} \quad (\tilde{z}>z_1) \tag{27}$$

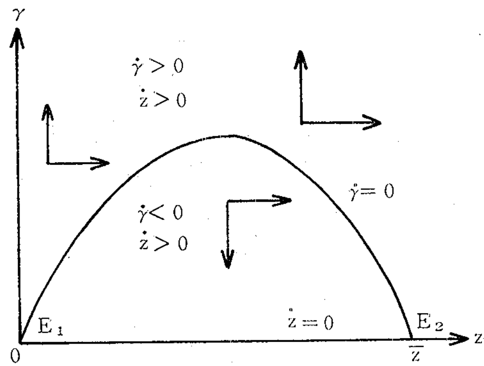
であり，$z=0$ あるいは $z=\bar{z}$ のとき，$\gamma=0$ であることを考慮すれば，$\dot{\gamma}=0$ 曲線として典型的には，第2図が得られる。



<第　2　図>

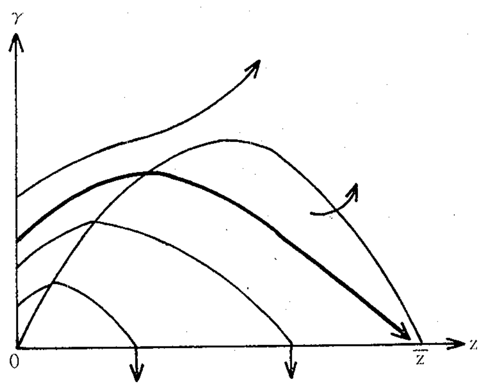
次に，$\dot{z}=0$ を満足する点の軌跡を考えてみよう。$\dot{z}=0$ のとき，このことは，$y(t)=0$ を意味するが，すでに明らかにしたように，$\gamma(t)=0$ でなければならない。即ち，$\dot{z}=0$ 曲線は，z 軸上の区間〔0，$\bar{z}$〕で示される。

従って，$\dot{\gamma}=\dot{z}=0$ を満足する定常点は，第3図のように，E_1，E_2 の2つとなる。このうち定常点 E_1 は次のような特徴をもっている。まず出発点として E_1 を考えれば，$\gamma(0)=0$ であるから，最適政策は $y(0)=0$ となる。又，この点は，$\dot{\gamma}=\dot{z}=0$ であるから，永久に $y(t)=0$，つまり開発活動を全く行わないことを意味する (null policy と呼ばれる)。更にこの E_1 点は，第3・4図からも明らかなように，不安定点であり，E_1 点以外の点から，この点 E_1 に到達することは不可能である。



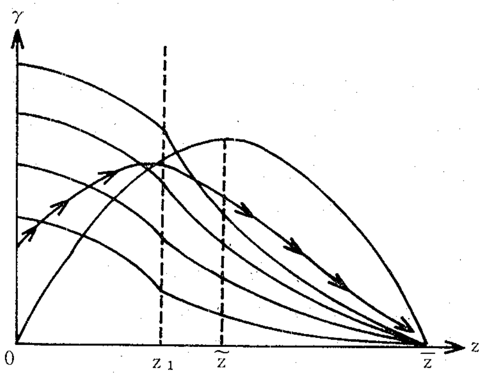
＜第　3　図＞

次に定常点 E_2 について。$\gamma \geqq 0$ の領域で考えれば，第4図のように E_2 点に収束する径路が1本存在することが分る。又，この径路が求める最適径路であり，他の径路は横断条件により排除される。更に，$\bar{z}$ が無限大ならば(当面の革新に対して，確実な状況が存在しないケース)，当然，点 E_2 もz軸に沿って無限大となる。



＜第　4　図＞

この最適径路がもつ1つの特徴として，初期点 z^0 が十分小さい場合，必ず最初は $\gamma(t)$ が上昇し，後に減少に転ずるということが分る。このことに対応して，$\gamma(t)$ が上昇する局面では，必ず $y(t)$ も上昇する。以上のことは，第5図で示されるような，〝等開発費用曲線〟を描くことによって確かめることができよう。この等開発費用曲線は次のように得られるものである。まず，(23)式において (24) 式を考慮すれば，



＜第 5 図＞

$$y(t)=\left\{\frac{a\gamma(t)}{1-\phi(z)}\right\}^{\frac{1}{1-a}} \tag{28}$$

が得られるが，今，$y(t)=y_1(\text{const.})$ とすると，

$$\gamma=\frac{{y_1}^{1-a}}{a}\left[1-\phi(z)\right] \tag{29}$$

となり，この (29) を，zに関して微分すれば，

$$\frac{\partial\gamma}{\partial z}=\frac{{y_1}^{1-a}}{a}\left[-\phi'(z)\right]\leqq 0 \tag{30}$$

$$\frac{\partial^2\gamma}{\partial z^2}=-\frac{{y_1}^{1-a}}{a}\phi''(z)\gtreqqless 0 \quad \text{as} \quad z\lesseqqgtr\tilde{z} \tag{31}$$

が得られる。従って，$z=0$ のとき，$\gamma=y_1^{1-a}/a$，$z=\bar{z}$ のとき $\gamma=0$ を考慮して第5図が得られる。

ところで，$\gamma(t)$ が減少する局面での $\dot{y}(t)$ の動きはどのようになるであろうか。最適性規準 (21) 式より，

$$(1-a)\frac{\dot{y}(t)}{y(t)}=\frac{\dot{\gamma}(t)}{\gamma(t)}+h(z)y^a(t) \tag{32}$$

が得られる。この (32) 式と，(25) 式を使って，$\dot{y}(t)\gtreqqless 0$ を満たす，$\gamma(t)$ と $y(t)$ および $z(t)$ の関係が次のように得られる，

$$\gamma(t)\gtreqqless\frac{\phi'(z)\left[y(t)+(\rho+h)B(t)\right]}{\rho+h(z)y^a(t)}\Longleftrightarrow\dot{y}(t)\gtreqqless 0 \tag{33}$$

従って，K & S〔3〕のように，$\dot{y}(t)$ の符号が $h'(z)$ の符号に決定的に依存することにはならないであろう。

当モデルから導出された最適開発政策は，企業にとって最悪の事態を考慮した政策を示しているといえる。開発努力が $\bar{z}$ に達する前に，当面の革新が完成することは十分あり得ることであるし，その時には，開発計画はストップすることになる。最適政策は，確実な状況（$z = \bar{z}$）に到達するまで遂行することを指示している。

参 考 文 献

〔1〕 Barzel, Y., "Optimal Timing of Innovations," Review of Economics and Statistics, Vol. 50, 1968, pp. 348—355.

〔2〕 Dasgupta, P. and Heal, G., "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources, "RES, Symposium, 1974, pp. 3—28.

〔3〕 Kamien, M. I. and Schwartz, N. L., "Expenditure Patterns for R and D projects," Journal of Applied Probability, Vol. 8 (March) 1971, pp. 60—73.

〔4〕 ________________, "Timing of Innovations under Rivalry," Econometrica, Vol. 40, 1972, pp. 43—60.

〔5〕 ________________, "Patent Life and R & D Rivalry," AER, Vol. 64, 1974, pp. 183—187.

〔6〕 ________________, "Market Structure and Innovation: A Survey," Journal of Economic Literature, Vol. 13, 1975, pp. 1—37.

〔7〕 ________________, „On the Degree of Rivalry for Maximum Innovative Activity," QJE, Vol. 40, 1976, pp. 245—260.

〔8〕 ________________, "Potential Rivalry, Monopoly Profits and the Pace of Inventive Activity," RES, Vol. XLV, 1978, pp. 547—557.

〔9〕 ________________, "Self-Financing of an R & D Project," AER, Vol. 68, 1978, pp, 252—261.

〔10〕 ________________, "Optimal Exhaustible Resource Depletion with Endogenous Technical Change," RES, Vol. XLV, 1978, pp. 179-196.

〔11〕 Loury, G. C., "Market Structure and Innovation," QJE, Vol. 93, No. 3, 1979, pp. 395—410.

〔12〕 Scherer, F. M., "Research and Development Resource Allocation under Rivalry" QJE, Vol. 81, No. 3, 1967, pp. 359--394.

〔13〕 佐久間昭光「研究開発投資と競争」ビジネスレビュー, Vol. 28, No. 2, 1980, pp. 31—43.