

## 期間分析と連続分析を繋ぐ環としてのSDの方法



### System Dynamics Method as a Link between Periodical and Continuous Model Analyses

小林 秀徳 (Hidenori Kobayashi)

中央大学

kobaken0@fps.chuo-u.ac.jp

**Abstract :** Management decision making according to periodical analysis of the balance sheet and income statement can be formulated into a system dynamics model, the key parts of which I name Book Equations are introduced. Despite the practice that the financial period  $T$  is normally set equal to the fiscal year,  $T$  can be shortened optionally to  $DT$  of our model without any loss of legitimacy in sound accounting conventions. As a result management financial analysis can be extended conveniently to the continuous time mathematics.

キーワード：期間分析、連続分析、逐次決定、ブック方程式、事業計画

**要旨：**事業計画書をシミュレーション結果として出力するシステムダイナミクス・モデルを構築し、モデリングの過程で乗り越えねばならない実務的な問題を一つ々々解決して行くことによって、ブック方程式と名付けるダイナモ方程式が、決算時における財務諸表の作成にも減価償却費を定式化するためにも有用であることが示される。そのパラメータである会計期間は通常1年と決まっているが、この値を任意に1よりも小さくとることによって、中間決算を同じモデルで瞬時に実行し得るモデルが提供される。特に会計期間を  $DT$  と等しく置くと、平均遅れを  $DT$  とする一次の指数遅れと等しくなることが示される。\*

#### 1. 問題の所在

##### 1. 1 システムダイナミクス・モデルの特性

システムダイナミクスは、モデリングとシミュレーションを方法として、任意の実体的システムの構造とプロセスを解明し、その変動性に関する実態的知識を形成することを目的とした、アカデミックな研究である。たとえ現実問題の解決へ向けて応用される場合であっても、それは研究上の要請から与えられた手法特性によって限界づけられることは言うまでもない。ただしこうした一般的限界性を容認することと、応用技術の未熟を棚上げして、予測精度を問題としない文化を受け容れることとは、もちろん別問題である。

システムダイナミクス・モデルは「すべての決定は逐次的なものである」という原理的前提の上に載る構成物である。例えば、連立方程式モデルでは所得と消費は同時に決定されるが、この同時決定性は1年間という期間を1時点であるかのように見なすことによって生じるフィクションであり、期間を自由に分割することが可能であれば、本日の昼にいかほどのランチを消費するかは、ポケットの財布の中身、すなわち、それまでに得た所得の結果に依存するのである。この逐次決定性こそが所得・消費の真の関係であることを、システムダイナミクス・モデルは暗黙の裡に主張しているのであり、モデル定式者もこの立場を共有するのである。

逐次決定体系をモデルとして成立させる前提は、期間の微小区間への分割可能性であるが、このことはすべてのシステムダイナミクス・モデルの成立要件である。ダイナモ方程式は、単位時間と期間の取り方とを分離し、期間をわざわざ  $DT$  と表記することによって、この条件を満たしていることのリマインダを用意した。そのメリットは、定義的に時間の次元をもつフロー量をすべて単位時間当たりの“流率”で測ること、すなわち期間の取り方に依存しない数量としてレート変数を取り扱うことを可能とし、 $DT$  を変更するごとにパラメータの値を見直さなければならない煩わしさから、モデリングを解放したことにある。

現在ではダイナモ方程式の使用は廃れて学会誌上にほとんど見かけなくなっているが、本稿では敢えてダイナモ方程式を見直し、たとえば企業利益の測定といったような、期間の取り方に依存する問題を議論する際に、システムダイナミクスが良い見通しを与えてくれることを明らかにする。

\* 本稿の改訂を促された匿名査読氏諸兄に感謝の意を表す。

## 1. 2 実務上の隘路

実務上、経営者が最もシミュレーションを必要とする局面の一つに事業計画の策定問題がある。

投資を行って設備を取得し、営業により売上を稼ぎ、経費の支出と減価償却費の計算のもとに、損益を明らかにし、数年間に亘って企業利益がどのように推移するかを、予想 P/L と予想 B/S の形式に表して、任意の事業計画がもつ収益性と実現可能性を検討することは、企業形態の如何んを問わず、如何なる組織に於いても必要な事柄であろう。シミュレーション以外にこの検討を充分に行う方法はあり得ない。システムダイナミクスが最も真価を発揮すると期待される局面である。

そればかりでなく、P/L はフローを記述し B/S はストックを記述するものであるから、一方をレイト方程式に、他方をレベル方程式に表現すれば、事業計画モデルは間違いなく実態を表し、後はプリント/プロットをうまく配してプレゼンを如何に実行するかだけの問題になる、と考えられよう。

実際に試みてみれば、これを実施するマニュアルが何処にもないことに気付かれるだろう。売上は確かにフローである。予想売上をテーブル関数のデータとして如何に与えるべきか。四半期の売上の予想はすぐに立てられるが、現金残高の増減とそれを連動させた上で、決算時の損益計算書に載せる売上は、如何なる方程式で記述されるべきか。取得した設備を定額法で償却して、貸借対照表の借方から簿価を減じると同時に、減価償却費を費用として損益計算に反映させなければならない。借方合計と貸方合計が 1 円の狂いもなく一致するように、このフロー/ストック関係を整合的に表現するレベル方程式は、如何なる形式になるのか。財務諸表のみならず、キャッシュフロー計算も経営上重要であるが、それに基づく現在価値・内部収益率等の計算は、どうしたら実現されるか。中間決算を行う場合には、元の方程式体系を書き直す必要があるのか等々、かつて、アカウンティング・ダイナミクスとして研究されたほとんどの問題は、事業計画策定のための実務上のインストラクション・マニュアルという意味では、解決されているとは言い難い。

ここで指摘した事柄は理論的には何の問題もなく、モデリングの巧拙だけが問われている、と考えるのは早計である。上記の事項はすべて、期間の取り方とフロー/ストック関係の在り方に関わる問題だからである。

そこには、同時に進行する概念上相異なる三通りの時間間隔が登場している。一は営業をコントロールするためのサンプル期間（四半期または月間）、二は決算処理を行う会計期間（年間）、三は設備の取得・償却・廃棄に関わる耐用年数（平均寿命）で、各々独立に、異なる長さ・性質を具えた期間概念である。これを単一のシステムダイナミクス・モデルで同時に取り扱う必要がある。その際、変数の持つ期間特性を理解することが、シミュレーション技術上の TIME の自動発生において、DT という単一の時間間隔のみで間に合わせることにより、大きく実務感覚と乖離してしまうことが、経験によって指摘される。

## 1. 3 本稿の目的

経営実務は期間分析の方法（定差方程式モデル）によって記述・説明・理解されるのに対し、経営理論は連続分析（微分方程式モデル）によって研究・解説・議論されるものとすれば、実務家の理解を目的とするか、学者の議論を目的とするかによって、モデリングの方法は異なることになる。本稿の目的は、システムダイナミクスがこの両者をつなぐ一環となり得ることを実例をもって示すことにある。実例がなくともその可能性は諒解される事柄であり、過去半世紀に及ぶシステムダイナミクスの研究が充分にそれを実証しているとも言えるが、それでは、システムダイナミクス・モデリング&シミュレーションによって事業計画書を作成し、資金提供者に示して、必要資金の調達に直截に利用できるものを提供できるかと問うてみれば、やってみなければ何とも言えないのが実情であろう。

本稿で展開されるモデリング上の工夫は、現実にシステムダイナミクスを事業計画に用いている実務家にとっては既知の事柄ばかりであるが、公の場でその技術が公開されることはこれまでなかった。拙稿においてその一端を示そうとするものである。

## 2. ブック方程式

### 2. 1 ブック方程式とは

定義 1： ブック方程式は次の形式をもつダイナモ方程式である。

$$L \quad y.K = y.J + DT \times (x.JK - z.JK)$$

$$R \quad z.KL = \text{PULSE}(y.K, t_0, T)$$

解説 1： ストック  $y$  の期末残高を  $y.K$  とし、期首残高を  $y.J$  とする。期間  $[J, K]$  におけるフロー  $x$  の単位時間当たりの流率を  $x.JK$  と書く。期間の長さ  $DT$  をフローに乗じてストックに足し込んで行くと、 $y$  は每期々々の流入フローの累積合計（定積分）になる。

計算例1： 1年間の売上が100万円 ( $x_{KL}=100$ ) であるとき、期間の長さを四半期 ( $DT=0.25$ ) とすると、プリント出力結果は、表1のようになる。

表1 プリント結果

すなわち、フローとしての売上は年間100万円/年で変化はないので、初期 ( $t=0$ ) から1年度末まで100の値を出力し続けているが、各四半期に実際に売上となって流入する値は25万円であり、各期の売上勘定には25と記帳されているはずで、その累積合計が  $y$  の値になっている。第3四半期の末に当期の売上を問われれば、現在75万円であると報告するのが穏当であろう。

$t$	$x$	$y$
0.00	100	0
0.25	100	25
0.50	100	50
0.75	100	75
1.00	100	100

解説2： パルス  $PULSE(y,K, t_0, T)$  は、時点  $t_0, t_0+T, t_0+2T, t_0+3T, \dots, t_0+nT, \dots$  において  $y/DT$  を、それ以外の時点では常にゼロを、値として返す関数である。

前の定義1に次の定義を追加する。

表2 プリント結果

定義2： ブック方程式における  $T$  を会計期間という。

計算例2： 先ほどの例をさらに続けてプリントさせると、表2の結果を得る。ただし、ここでは  $t_0=1, T=1$  としている。

$t$	$x$	$y$	$z$
0.00	100	0	0
0.25	100	25	0
0.50	100	50	0
0.75	100	75	0
1.00	100	100	400
1.25	100	25	0
1.50	100	50	0
1.75	100	75	0
2.00	100	100	400

会計期間を1年とする通常のコンヴェンションに従えば、1年が経過した時点で決算のために帳簿をメ切り、損益計算書の売上の処には、決算時点 ( $t=t_0$ ) における  $y$  の値を記入することになる。

すなわち、売上というフローは、レイト変数  $x$  であると同時に、レベル変数  $y$  でもあるということである。レベルとレイトの違いは、決して数量概念上のストックとフローの違いではなく、ブック方程式を仲立ちとした、会計的な関係性の下に理解されるべきものであるという命題が、これにより明らかとなる。

## 2.2 トランスペアレンシイ

ブック方程式は  $DT$  と会計期間とを別個の長さを持つ期間に分離して、 $DT$  を任意に短くすることを可能にすることによって、システムダイナミクス・モデル本来の逐次決定性を維持しながら、現実問題としての決算手続きを、正しくシミュレーションに反映させるための有力な工夫である。またそれは、株式公開後には義務づけられる中間決算を行っても、何ら方程式系の変更を要さないという意味で、トランスペアレンシイを担保する。

中間決算を半年毎にする場合には会計期間  $T=0.5$  とし、四半期毎にする場合は  $T=0.25$  とするだけで、表3、表4のプリントアウトが得られる。半年の売上は50万円、四半期の売上は25万円であり、それは正にフローとしての売上が100万円/年であることと整合的である。

表3 会計期間  $T=0.5$  の場合

$t$	$x$	$y$	$z$
0.00	100	0	0
0.25	100	25	0
0.50	100	50	200
0.75	100	25	0
1.00	100	50	200
1.25	100	25	0
1.50	100	50	200
1.75	100	25	0
2.00	100	50	200

表4 会計期間  $T=0.25$  の場合

$t$	$x$	$y$	$z$
0.00	100	0	0
0.25	100	25	100
0.50	100	25	100
0.75	100	25	100
1.00	100	25	100
1.25	100	25	100
1.50	100	25	100
1.75	100	25	100
2.00	100	25	100

同時に、このシミュレーション結果により、レベル変数  $y$  が正にフローを表しているということの意味が諒解されるだろう。

## 2.3 ブック方程式のヴァリエーション

前項の表2～表4の例では変数  $z$  には実体的な意味が与えられていなかったが、実体概念として  $z$  を用いるためには、ブック方程式は次のように書き直した方が便利な場合がある。以下では専らこの形式を使う。

$$L \quad y.K = y.J + DT \times (x.JK - z.JK / DT)$$

$$R \quad z.KL = P.K \times y.K$$

$$A \quad P.K = PULSE(DT, t_0, T)$$

ここで、 $P$  は  $T$  単位時間経過毎に発生する高さ1のパルスである。

### 3. 事業計画のモデリング

向こう 10 年間の事業計画をシステムダイナミクス・モデルのシミュレーション結果として損益計算書・貸借対照表・キャッシュフロー分析表の形で出力するダイナモ方程式系を構成することを考えよう。

施設計画に基づいて、設備投資を行う。これは投資アウトフローとなって DT 毎に現金残高のレベルを下げる。同時に、設備投資は DT 毎に設備資産のレベルを上げる。設備資産は償却され、やがて旧設備として廃棄される。投資（フロー）が設備（ストック）となり償却（フロー）されるモデルは、ブック方程式で表現される。

#### 3.1 施設計画の定式化

2008 年 4 月 1 日より 2018 年 3 月 31 日までの計画期間とし、毎年 1 店舗宛施設を増やして行って、4 店舗で永続的に営業していくという施設計画を考える。店舗は開設準備に 1 年を要し、3 年で償却し、4 年間営業した後、廃棄処分するものとする。この施設計画は次のようなダイナモ方程式で表される。

A 施設計画.K=TABLE(計画, TIME.K, 2008.25, 2018.25, 1)

T 計画=1/1/1/1/1/1/1/1/1/1/1

A 店舗数.K=開設.K+既設店舗.K-閉鎖.K

L 既設店舗.K=既設店舗.J+DT×(店舗純増.JK/DT)

N 既設店舗=0

R 店舗純増.KL=開設.K-閉鎖.K

A 開設.K=PIPELN(準備開始.K, 1, 0)

A 閉鎖.K=PIPELN(開設.K, 4, 0)

A 準備開始.K=計画<sup>パ</sup>.K×施設計画.K

A 計画<sup>パ</sup>.K=PULSE(DT, 2008.25, 1)

A 準備中店舗.K=準備開始.K+既準備中.K-開設.K

R 準備店舗純増.KL=準備開始.K-開設.K

L 既準備中.K=既準備中.J+DT×(準備店舗純増.JK/DT)

N 既準備中=0

ここで説明を要するのは、① 2 行目のテーブル・データ ② 4 行目の“店舗純増.JK/DT” ③ 7, 8 行目の“PIPELN” ④ 10 行目の“PULSE” であろう。ダイナモ方程式の使用がシステムダイナミクス・モデリングの必須条件であった時代においては、この説明は少なくとも論文上では必要なかった。

因みに、この施設計画と店舗数の実行結果は、DT=0.25/PLTPER=0.25 で図 1 のようになる。

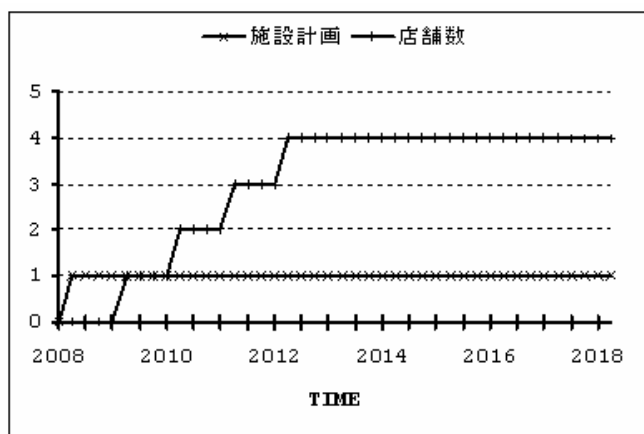


図 1 施設計画と店舗数

① このテーブルのデータは向こう 10 年間毎年 1 店舗の開設を準備し続けることを意味している。施設計画はそもそも代替案を検討することが本来の目的なので、このデータを置き換えるだけで、代替的ケースをシミュレートできることが、この定式化のもつ最大のメリットとなる。

例 3 店舗体制で行く場合： T 計画=1/1/1/0/1/1/1/0/1/1/1

2 店舗体制で行く場合： T 計画=1/1/0/0/1/1/0/0/1/1/0

② レイト/DT をレベル方程式の右辺に用いると、レイトの値だけ一気にレベルの値を引き上げる現象が定式化される。物理現象としてはパルス変動を引きおこす。現実の世の中は、1 店舗、2 店舗という具合に、自然数で変化が記述される離散量の世界であり、0.25 や 0.5 店舗を考えても良いが、事業計画には適さない。その

場合に、既設店舗数が2から3に増えるのは離散的变化であり、インフローとしては**店舗純増** $J_K/DT$ となる。

- ③ パイプライン関数“ $PIPELN(x, y, z)$ ”は $y$ 単位時間だけ前の $x$ の値を返すダイナモ関数で、初期時点から最初の $y$ 単位時間が経過するまでの間は、初期値として $z$ という値をとる。準備開始された店舗が1年を経過して新店舗として開設され、さらに4年を経過して閉鎖されるということを表わすために用いた。
- ④ パルス関数“ $PULSE(x, y, z)$ ”は時点 $y$ で生じた高さ $x/DT$ のパルスが $z$ 単位時間経過ごとに繰り返す。ここでは、2008年4月1日に1という値を取り、1年経過する毎に1という値をとる以外は常にゼロとなる。

### 3. 2 現金残高および設備資産

前項においてわざわざ準備中店舗のような変数を設ける意味は、それがシステムダイナミクス特有の「遅れ」の定式化に不可欠だからに相違ないが、そればかりではなく、現実の事業計画において、このストックによって設備投資のキャッシュ・アウトフローが発生するからである。ダイナモ方程式は次のようになる。

- L 現金残高 $K =$ 現金残高 $J + DT \times (\text{キャッシュフロー} JK + \text{損益外} J / DT)$
- R  $\text{キャッシュフロー} KL =$ 営業 $JK -$ 投資 $JK +$ 借入 $JK -$ 返済 $JK +$ 営業外 $JK$
- A 投資 $JK =$ 設備取得 $K +$ 店舗取得 $K$
- A 設備取得 $K =$ 設備単価 $K \times$ 準備中店舗 $K$
- A 店舗取得 $K =$ 敷金単価 $\times$ 準備中店舗 $K$

ここで**営業フロー**は売上と経費支出の、**営業外フロー**は利息の受取と支払の純フローである。定式化の上で技術上重要なのは、**投資フロー**と言いながらそれを補助方程式 (A) で定義し、**キャッシュフロー**のレイト方程式 (R) の右辺に用いていることである。誤って**投資フロー**をレイト方程式で定義した場合には、次のようになり、シミュレーション結果にDTだけのズレが生じる。

- R  $\text{キャッシュフロー} KL =$ 営業 $JK -$ 投資 $JK +$ 借入 $JK -$ 返済 $JK +$ 営業外 $JK$
- R 投資 $JK =$ 設備取得 $K +$ 店舗取得 $K$

教訓としては、「ディレイ関数の場合を除きレイト方程式の右辺にレイト変数を用いてはならない」とするのが適当であろう。ただし、そのことを弁えた上で、レイトを別のレイトで定義すると便利な場合があり、どのコンパイラでもシンタックス・エラーとはしないのが慣例であるから、使用上十分な注意が必要である。

DTだけのズレは、システムダイナミクスにより微分方程式モデルによるのと同じ分析を遂行しようとする立場からは重要ではない。そもそも $DT \rightarrow 0$ というのを微量で近似するのが定式化の前提だからである。しかし、事業計画のような金利計算を含む実務上の観点からは、DTはまさに意思決定のタイミングを計る「期間」に対応する実質的な意味を持つ時間 ( $DT=0.25$ なら四半期)の長さなのであって、このズレのために結果が使い物にならないというケースを屢々耳にするのである。それは定式化のエラーであって、システムダイナミクスの責めに帰すべきは、フローはレイト変数であるとする誤った認識を広めてしまったことであろう。

準備期間を経て取得された設備は、償却資産として期末に一括して記帳される。これをブック方程式を用いて次のように表す。

- L 取得設備 $K =$ 取得設備 $J + DT \times (\text{設備取得} J - \text{転記} J / DT)$
- A 転記 $K =$ 計画パルス $K \times$ 取得設備 $K$

設備取得のインフローは先ず取得設備として溜まり、溜められた取得設備が期末に台帳に転記されるのである。転記された設備はストックとして減価償却と廃棄によって減じられて行く。

- L 償却設備 $K =$ 償却設備 $J + DT \times (\text{転記} J / DT - \text{減価償却} J - \text{廃棄} J / DT)$
- A 廃棄 $K =$ PIPELN(残存価値 $K, 4)$
- A 残存価値 $K =$ 転記 $K \times (1 - \text{償却分})$

ここでは、転記と同様に廃棄もブック方程式によって定式化されている。

減価償却を定額法によって行う場合は、次のようになる。

- A 減価償却 $K =$ 新規償却額 $K +$ 既設償却額 $K -$ 償却終了 $K$
- A 新規償却額 $K =$ 転記 $K \times$ 償却分 $\div$ 耐用年数
- C 償却分 $= 0.9$
- C 耐用年数 $= 3$
- L 既設償却額 $K =$ 既設償却額 $J + DT \times (\text{新規償却額} J / DT - \text{償却終了} J / DT)$
- A 償却終了 $K =$ PIPELN(新規償却額 $K, 3)$

減価償却費を決める既設償却額の決定にもブック方程式が用いられていることが分かる。

この企業が貸借対照表の借方に記載すべき設備資産は、取得設備と償却設備の合計となる。

- A 設備K=取得設備K+償却設備K  
 減価償却を定率法によって行う場合は次のようになる。  
 L 償却設備K=償却設備J+DT×(転記J/DT-減価償却JK-再転記J/DT)  
 L 償却済設備K=償却済設備J+DT×(再転記J/DT-廃棄J/DT)  
 A 再転記K=PIPELN(残存価値K, 3)  
 A 廃棄K=PIPELN(残存価値K, 4)  
 A 残存価値K=転記K×(1-償却分)  
 R 減価償却KL=償却率×(償却設備K+転記K-再転記K)  
 N 償却率=(1-(1-償却分)^(DT/耐用年数))/DT  
 A 設備K=取得設備K+償却設備K+償却済設備K

ここでも、転記、再転記および廃棄がブック方程式によって定式化されている。

これにより、「定率法の減価償却は一次の指数遅れに対応する」という命題との関連性が分かる。序でになるが、一次の指数遅れによる減価償却は次のように定式化される。

- L 設備K=設備J+DT×(取得JK-減価償却JK)  
 R 減価償却KL=設備K/耐用年数

以上3通りの場合について、実行結果にどのような違いがもたらされるかを図2～図5に示す。

図2のように時点2から1年間にわたって100単位取得された設備は、図3の減価償却を通して、図4のように減衰して行く。減価償却分を累積したものが図5である。ここでは償却期間を5年とし、10年後に廃棄処分することにした。一次の指数遅れの場合の耐用年数は5年である。

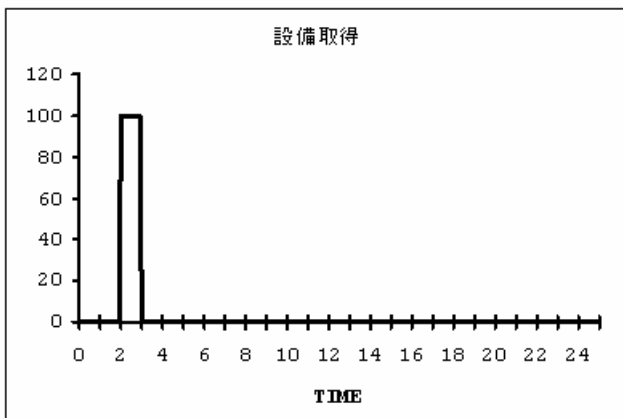


図2 設備取得インフロー

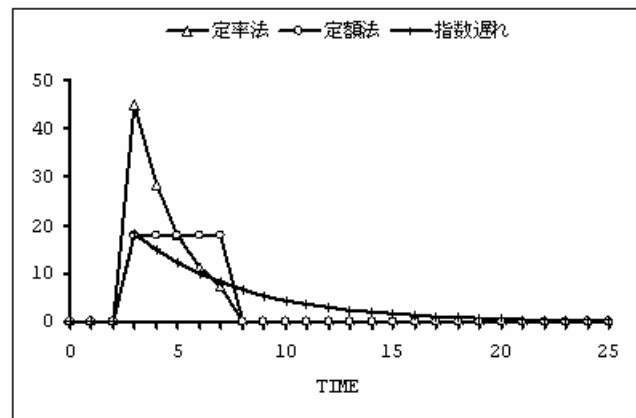


図3 減価償却アウトフロー

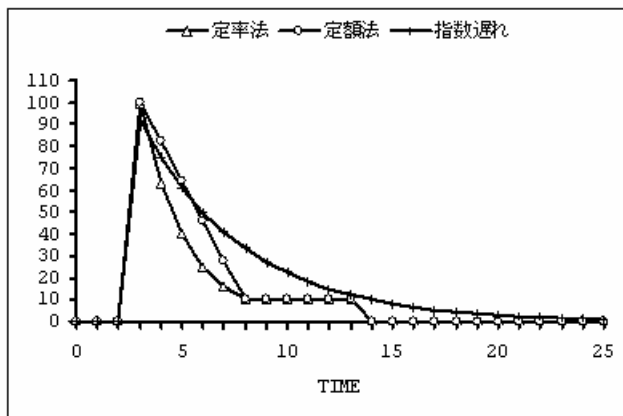


図4 設備ストックの減衰

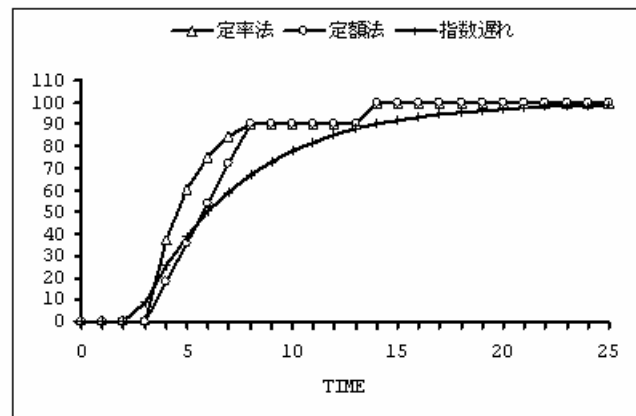


図5 累積原価償却額

図から明らかなように、取得から10年経った時点における累積償却額はほぼ等しいが、償却期間の5年における償却の様子は大きく異なり、資産のもつ経済価値の残存を正確に測ることを通して企業価値を維持することと、早い時点で発生する投資の費用化が法人税支払いによる現金の社外流出を抑制することがトレードオフの

関係にあり、事業計画自体のもつ収益性を見るという観点から混乱が生じないようにするためには、いずれの償却方法を取ることも可能であるように、以上のような準備をモデルに施しておくことが肝要であろう。

### 3. 3 利益の計算

事業計画は現実の中で営まれる事業をシミュレートするものであるから、利益の計算は正規の計算手続きに則って実施されるものとして定式化されていなければならない。企業の利益は決算を経て初めて把握される。すなわち期間計算が必須の要件となる。これに対し収益を生み出す営業活動は、時々刻々変化するフロウの変動を実態とするから、連続時間の軸上における行動として計画さるべきものである。この時間概念の相違がもたらす混乱は、決算手続きを正しくモデル化することによって迂回することができる。決算手続きはブック方程式によって正しく定式化される。決算により損益計算書と貸借対照表を作成する手続きを定式化することによって、このことを以下で明らかにしよう。

先ずブック方程式によって売上にメ切を行う。

A 決算 $\hat{p}$   $K = \text{PULSE}(DT, 2008.25, \text{会計期間})$

C 会計期間=1

L 売上 $K = \text{売上}J + DT \times (\text{売上}J - \text{決算転記}1J / DT)$

N 売上=0

A 決算転記1 $K = \text{決算}\hat{p} \times \text{売上}K$

同様にメ切った仕入を売上から減じる。

A 売上総利益 $K = \text{売上}K - \text{仕入}K$

同様にメ切った販管費を売上総利益から減じ、同様にメ切った営業外損益を加える。

A 営業利益 $K = \text{売上総利益}K - \text{販管費}K$

A 経常利益 $K = \text{決算}\hat{p} \times (\text{営業利益}K + \text{営業外損益}K)$

こうして得られた経常利益を繰越損益のブック方程式に入れる。

L 繰越損益 $K = \text{繰越損益}J + DT \times (\text{経常利益}J / DT - \text{決算転記}2J / DT)$

この転記は繰越損益が黒字になるまでは行わず、前期末処理損失を繰越損失として蓄える。

A 決算転記2 $K = \text{CLIP}(\text{繰越損益}K, 0, \text{繰越損益}K)$

A 繰越損失 $K = \text{CLIP}(0, \text{繰越損益}K, \text{繰越損益}K) \times (-1)$

繰越損失と設備廃棄処分等による特別償却を経常利益から控除して税引前利益とする。

A 税引前利益 $K = \text{決算}\hat{p} \times (\text{経常利益}K - \text{繰越損失}K - \text{特別償却}K)$

未払法人税の1000円未満を切り捨てて当期純利益を求める。

A 計算法人税 $K = \text{CLIP}(\text{税引前利益}K \times \text{税率}, 0, \text{税引前利益}K)$

A 未払法人税 $K = \text{INT}(\text{計算法人税}K \times 1000) / 1000$

A 当期純利益 $K = \text{決算}\hat{p} \times (\text{税引前利益}K - \text{未払法人税}K)$

当期純利益がプラスであれば前期から引き継いでいる利益積立に入れる。利益積立からは、前期の利益処分に基づく配当が当期の期中に既に支払われていなければならない。

L 利益積立 $K = \text{利益積立}J + DT \times (\text{未処分利益}J / DT - \text{配当支払}J / DT)$

A 未処分利益 $K = \text{MAX}(\text{当期純利益}K, 0)$

A 利益剰余金 $K = \text{MAX}(\text{利益積立}K - \text{法定準備金}, 0)$

A 利益準備金 $K = \text{MIN}(\text{法定準備金}, \text{利益積立}K)$

こうして会社の純資産たる当期純利益、利益準備金、利益剰余金が決定されたことになる。

A 借方合計 $K = \text{現金残高}K + \text{設備}K + \text{敷金}K + \text{創業費}K$

A 貸方合計 $K = \text{資本金}K + \text{当期純利益}K + \text{利益準備金}K + \text{利益剰余金}K + \text{借入金}K + \text{未払法人税}K$

A 純資産 $K = \text{借方合計}K - \text{借入金}K - \text{未払法人税}K$

以上により、借方合計、貸方合計を出したところで決算手続きは終わる。

通常のシステムダイナミクス・モデリングにおいては、モデルは、定式者の抱くシステムについての主観的なメンタル・モデルを、定式者の自由な発想と見識の下に陽表面化したものであって、定式化されたモデルのシミュレーション結果が定式者自身の当初の予想と相違するものであっても、これを counter-intuitive behavior と呼んで、そこにむしろモデリング&シミュレーションの意義を賦与することがなされてきた。しかしこの伝統に反して、上に見た期間利益の計算の定式化は、定式者の認識に誤りがあると、シミュレーション結果において借方合計と貸方合計が一致しないことが一目瞭然となるので、正しい定式化を行うための恰好の練習問題になる。

### 3. 4 キャッシュフロー・アナリシス

現金残高のレベル方程式の項で定式化したキャッシュフローに基づいて、DCF discounted cash flow を計算する。割引ファクタは会計期間によって異なることに注意すべきである。将来の任意の時点における企業価値は、終末時点における純資産を初期からその時点までの時間的長さで割り引くことによって得られる。この事業計画のもつ収益性は、DCF と終末時点の企業価値の合計である現在価値と、初期における払込資本との差額、すなわち純現在価値によって評価される。

$$R \quad \text{キャッシュフロー}_{KL} = \text{営業}_{JK} - \text{投資}_{JK} + \text{借入}_{JK} - \text{返済}_{JK} + \text{営業外}_{JK}$$

$$L \quad \text{DCF}_{K} = \text{DCF}_{J} + \text{DT} \times (\text{キャッシュ}_{JK} - \text{法人税納付}_{J} / \text{DT}) \times \text{割引}_{JK}$$

$$A \quad \text{割引}_{JK} = (1 + \text{会計期間} \times \text{割引率})^{((2008 - \text{TIME}_{K}) / \text{会計期間})}$$

$$A \quad \text{現在価値}_{K} = \text{DCF}_{K} + \text{純資産}_{K} \times \text{割引}_{JK}$$

他方、株主にとってのこの事業計画の価値は、配当支払に基づくインカム・ゲインと、企業価値に基づくキャピタル・ゲインの合計である。その大きさは配当の期間構造によって変化する。

$$A \quad \text{株主価値}_{K} = \text{割引株主所得}_{K} + \text{純資産}_{K} \times \text{割引}_{JK}$$

$$L \quad \text{株主所得}_{K} = \text{株主所得}_{J} + \text{DT} \times (\text{配当支払}_{J} / \text{DT})$$

$$L \quad \text{割引株主所得}_{K} = \text{割引株主所得}_{J} + \text{DT} \times (\text{配当支払}_{J} / \text{DT}) \times \text{割引}_{JK}$$

通常、株主による出資の意思決定は投資収益率に基づく平均利回りによってなされる。

$$A \quad \text{投資収益率}_{K} = (\text{株主所得}_{K} + \text{純資産}_{K} - \text{払込資本}) / \text{払込資本}$$

$$A \quad \text{平均利回り}_{K} = \text{投資収益率}_{K} / (\text{TIME}_{K} - 2008)$$

以上の定式化に基づいてシミュレーションを実施した結果を検討しよう。

### 4. シミュレーション結果

2008年1月1日に資本金5,000万円、資本準備金5,000万円で新規事業会社を設立。最初の会計年度を2008年3月31日までとし、会計期間は4月1日から翌年3月31日までの1年間とする。2008年度は売上を稼ぐことなく、店舗準備のための設備投資と研究開発とを行う。店舗の拡張は1店舗から始めて、毎年1店舗ずつ増やして行って、最終的に4店舗で営業を継続して行くものとする。研究開発は2008年度に7,800万円を支出してから以降は、初めて株主への配当ができる2014年度までは行わない。利益処分については、利益剰余金が発生する第6期決算後の2014年度中に5,011万円余を配当し、以降は未処分利益の全額を配当原資に充てる。

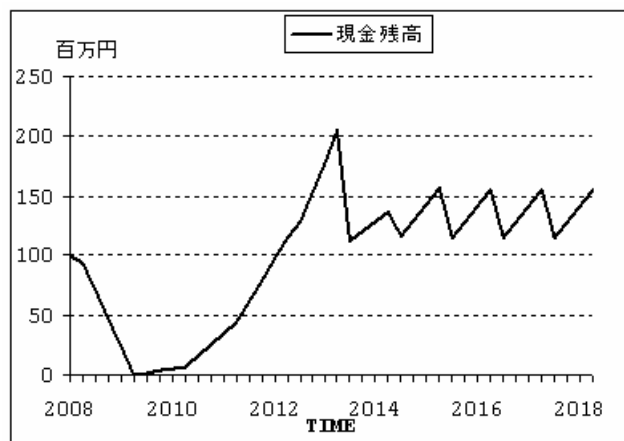


図6 シミュレーション結果：現金残高の推移

以上の想定に基づく事業計画のシミュレーション結果は、図6と表5に見られるとおりである。2014年以降の現金残高は  $PLTPER = 0.25$  で描かせると鋸の歯のように変動しているが、これは配当前と配当落ちの差、および法人税納付前と納付後の差を反映したものである。

会計期間を1年としたことによる配当・法人税の支払前後の鋸歯状の変動は、会計期間を半年あるいは四半年と短くすると、なだらかなものになる。支払が決まっている現金を多く抱えていることには全く意味がないので、以後の事業計画がもつ収益性の検討は、会計期間を小さくして行うことに利点があると思われる。

重要なのは、このようなことが可能となる  $T$  の短縮が、一つのパラメータの値を変更するだけで随意に実行できて、何ら定式化に変更を要さないことである。特に DYNAMOP を用いる場合には、シミュレーション結果



自体がスプレッド・シートに展開されているので、文字通り瞬時に、会計期間を異にする数期間にわたる予想財務諸表を手にすることができる。このスピード感は、事業計画書で苦勞したことのある人には、魔術的な印象さえ与えるはずである。T=1 を 0.5 ないし 0.25 に替えると表5の数字が一斉に置き換わる。

表5 シミュレーション結果： 予想 P/L および B/S

(単位：百万円)

	開始	第1期	第2期	第3期	第4期	第5期	第6期	第7期
	2008.00	2008.25	2008.25	2010.25	2011.25	2012.25	2013.25	2014.25
P/L								
売上	0.000000	0.000000	0.000000	57.600000	115.200000	172.800000	230.400000	230.400000
売上総利益	0.000000	0.000000	0.000000	57.600000	115.200000	172.800000	230.400000	230.400000
販管費(除減償・研開費)	0.000000	5.000000	11.640000	47.640000	73.640000	99.640000	125.640000	173.640000
研究開発費	0.000000	0.000000	78.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	20.000000
減価償却費	0.000000	0.000000	0.360000	1.470000	2.580000	3.330000	3.330000	3.330000
営業利益	0.000000	-5.000000	-9.000000	8.490000	38.980000	69.830000	101.430000	33.430000
営業外損益	0.000000	0.125000	0.293044	0.013842	0.104569	0.354048	0.719536	0.706228
経常利益	0.000000	-4.875000	-89.706956	8.503842	39.084569	70.184048	102.149536	34.136228
繰越損失	0.000000	0.000000	4.875000	94.581956	86.078114	46.993545	0.000000	0.000000
特別償却	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.120000	0.370000
税引前利益	0.000000	-4.875000	-94.581956	-86.078114	-46.993545	23.190508	102.029536	33.766228
当期純利益	0.000000	-4.875000	-94.581956	-86.078114	-46.993545	11.595508	51.015536	16.883228
B/S								
現金残高	100.000000	93.465000	0.418044	6.691886	44.656455	114.470508	204.655039	136.596228
設備	0.000000	0.700000	1.190000	1.470000	1.540000	1.610000	1.610000	2.310000
敷金	0.000000	0.500000	3.350000	5.300000	6.350000	6.650000	6.900000	6.900000
創業費	0.000000	0.460000	0.460000	0.460000	0.460000	0.460000	0.460000	0.460000
借方合計	100.000000	95.125000	5.418044	13.921886	53.006455	123.190508	213.625039	146.266228
資本金	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000
資本準備金	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000	50.000000
当期純利益	0.000000	-4.875000	-94.581956	-86.078114	-46.993545	11.595508	51.015536	16.883228
利益準備金	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	11.595508	12.500000
利益剰余金	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
借入金	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
未払法人税	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	11.595000	51.014000	16.883000
貸方合計	100.000000	95.125000	5.418044	13.921886	53.006455	123.190508	213.625039	146.266228
配当支払(予定)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	50.111039	16.883228
法人税納付(予定)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	11.595000	51.014000	16.883000
C/A								
キャッシュフロー	-26.140000	-92.872676	6.262092	37.893460	69.683284	101.632352	33.383276	53.042980
株主所得	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	50.111039
純資産	100.000000	95.125000	5.418044	13.921886	53.006455	111.595508	162.611039	129.383228
投資収益率		-0.0488	-0.9458	-0.8608	-0.4699	0.1160	0.6261	0.7949
平均利回り		-0.1950	-0.7567	-0.3826	-0.1446	0.0273	0.1193	0.1272
割引ワット	1.0000	0.9832	0.9189	0.8588	0.8026	0.7501	0.7010	0.6552
DCF	0.000000	-6.535000	-95.742937	-90.121451	-58.329861	-3.692111	70.751642	93.356899
現在価値	100.000000	86.994524	-90.764273	-78.165487	-15.786531	80.015634	184.746482	178.124398

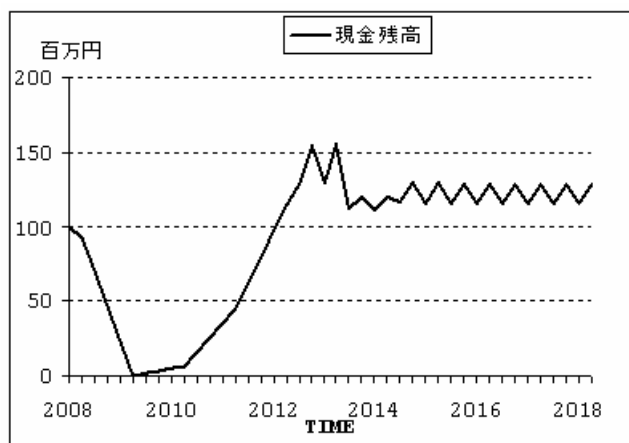


図7 現金残高の推移 半年決算の場合

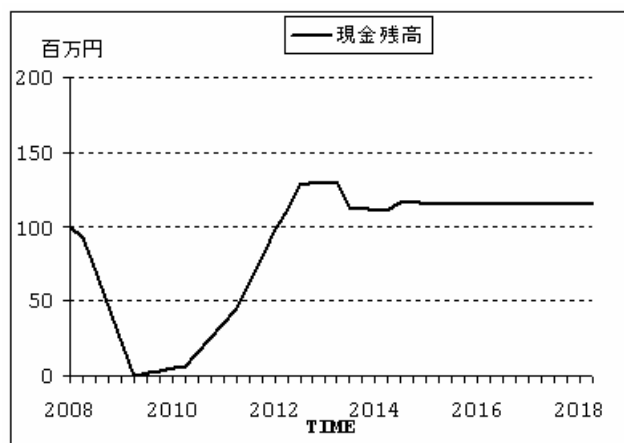


図8 現金残高の推移 四半年決算の場合

この事業計画の収益性は、投資収益率、平均利回り、純現在価値、純株主価値によって検討される。それぞれを、会計期間を1年とする場合、半年の場合、および四半年の場合について、プロット出力したものが図9～図12である。内部収益率については後で検討する。

図9～12によって明かなように、1年決算で生じる鋸歯状の上向きに尖った部分は見かけ上の純資産の過大評価であり、配当・法人税の支払による現金残高の下方調整によって然るべき水準に修正され、調整後の値が会計期間を四半期にとる場合と一致していることにより、事業計画の収益性の評価は、この場合、四半年を会計期

間とする決算結果を用いれば充分であることが諒解される。



図9 投資収益率

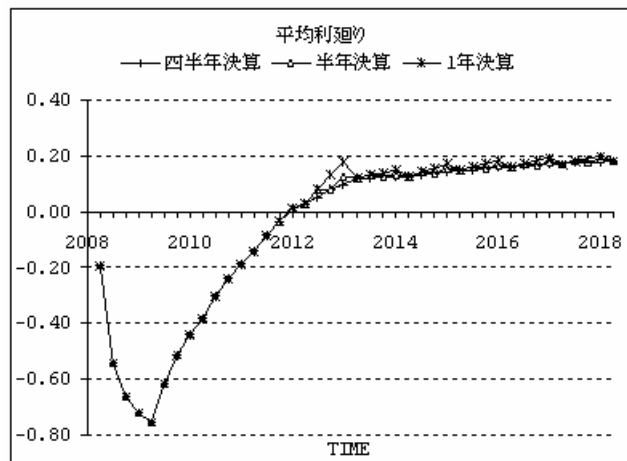


図10 平均利回り

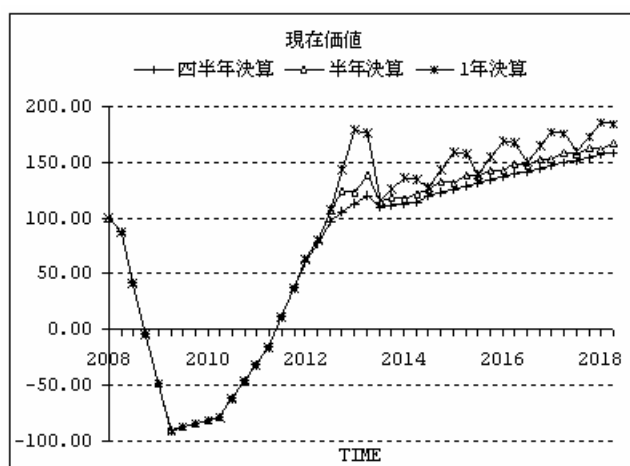


図11 現在価値

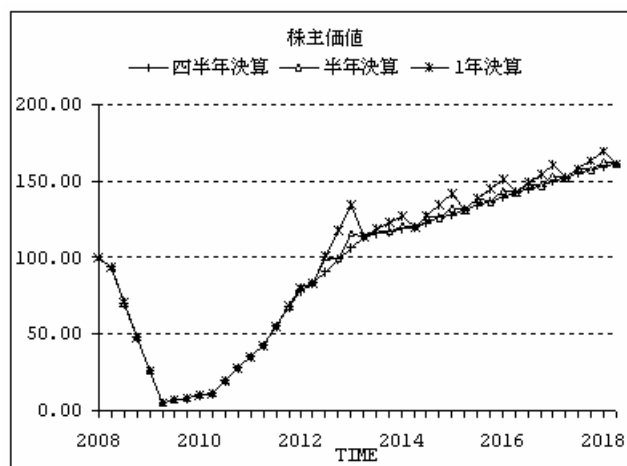


図12 株主価値

## 5. ゴーイング・コンサーン

前項の図10に見られるように、この事業計画の平均利回りは20%程度に収束する傾向を示している。投資収益率は無限大に発散するが、現在価値および株主価値はどうであろうか。

この間に答えるためには、10年の計画期間を超えて、さらに長いLENGTHのスペックでシミュレーションする必要がある。事業自体が自律的に無限に継続して行くことを前提とした定式化になっているのであれば、シミュレーション自体は極めて容易である。

施設計画は毎年1店舗の開業準備をするというものであった。設備と敷金を3年で減価償却し、4年で旧設備を廃棄処分するという一方で、常に更新を継続しながら4店舗体制は無限に維持されていくことが、以上では定式化されている。

ただし売上を稼ぐ商品は当然陳腐化するであろうから、このままで将来へ向けて無限継続を考えることは全く非現実的であるかも知れない。

以上においても、すでに、2014年度には2,000万円の研究開発費の支出が見込まれており、これが十分に商品価値を維持するものとしよう。以後、5年ごとに同額の研究開発費を投じて、それにより同水準の利益を上げて行くことができると考えられるのであれば、この10年を計画期間とする事業計画を拡張して、ひとつのゴーイング・コンサーンとしての営利事業体を考えることが現実味を帯びてくる。

以上の考察の下に、LENGTH=50でシミュレーションしてみると、図13、14のような結果が得られる。

シミュレーション結果からは、割引率を7%とすれば、株主価値(現在価値)は収束して2億7,200万円ほどの水準に落ち着くことが分かる。この値は、割引率が大きくなれば小さくなるが、各時点の現在価値が初期の私

込資本金 1 億円とちょうど等しくなるような割引率の値（内部収益率）を求めることができる。その結果が、図 1 4 である。内部収益率も収束して、最終的に 14.8% 程度になる。

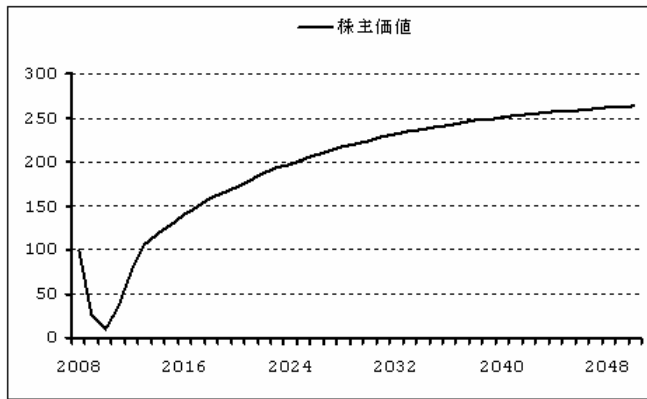


図 1 3 株主価値 割引率=0.07

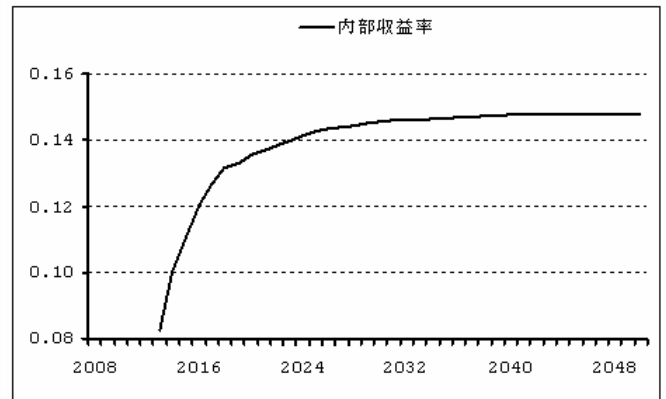


図 1 4 内部収益率

事業計画書に基づいて以上の計算を行うのは、普通、非常に骨の折れる作業であるが、システムダイナミクス・モデルを先に作ってしまえば、事業計画上の想定を代替的に変更して、各々の代替案がもたらす予想 P/L と B/S を手にする作業と、収益性への影響を評価する作業とはほとんど同時に、追加的努力の投入を要さずに遂行される。実務にそのまま用いることができる事業計画モデルを手に入れているのである。

## 6. 期間分析と連続分析を繋ぐ環

期間分析がその本質をなす決算手続きにおいては、必ず帳簿のメ切りを行わなくてはならない。会計期間を  $T$  として、それは次のブック方程式で表されることを前節までに示した。

$$L \quad y.K = y.J + DT \times (x.JK - z.JK)$$

$$R \quad z.KL = \text{PULSE}(y.K, t_0, T)$$

経営に関わるフロー量は  $T$  単位時間経過する間中一定値に留まると仮定することはできない。フローが一定であると仮定し得るほど十分に短い期間を想定し、これを  $DT$  とするという、レベル方程式の規約に則って、ブック方程式は立てられているので、本来  $T > DT$  でなければならない。それはちょうど、 $T$  を平均遅れとする次のような一次の指数遅れ方程式の場合と同様の適格要件である。

$$L \quad y.K = y.J + DT \times (x.JK - z.JK)$$

$$R \quad z.KL = y.K / T$$

更に、この二組の方程式が  $T \rightarrow DT$  とする時、相互に一致することを容易に確かめることができる。したがって、本稿第 2 節の続きとしての書き方にしたがえば、次の定理を得ることになる。

**定理：**  $DT$  を会計期間とするブック方程式と、 $DT$  を平均遅れとする一次の指数遅れ方程式とは同値である。

表 6 ブック方程式  $T=DT=0.25$

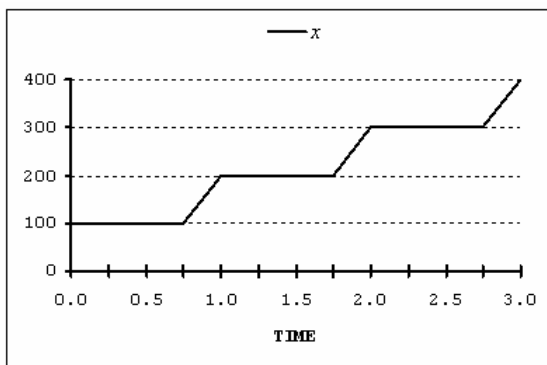


図 1 5 レイト  $x$  の変動

$t$	$x$	$y$	$z$
0.00	100	0	0
0.25	100	25	100
0.50	100	25	100
0.75	100	25	100
1.00	200	25	100
1.25	200	50	200
1.50	200	50	200
1.75	200	50	200
2.00	300	50	200
2.25	300	75	300
2.50	300	75	300
2.75	300	75	300
3.00	400	75	300

図 1 5 に例としてレイト  $x$  のステップワイズな変動を与えてある。これを  $T=DT=0.25$  とするブック方程式に代入した結果が表 6 である。表 6 の第 2 列と 4 列を見れば、 $z$  は  $x$  の  $DT$  単位時間だけの遅れとなっていることが読み取られよう。

われわれの結論は以下のようになる。

指数遅れの方程式が、離散的なランダム事象の少数法則を連続時間を確率変数とする指数分布の密度関数へと導いた結果であるのと全く同様に、決算という本質的に離散的な会計期間によって計算さるべき企業利益を、連続時間軸の上で展開される事業の収益性分析へと展開することが、システムダイナミクス・モデリングによって可能となることが示された。

それは、理論的には、当然の可能性をもっていることが明白であると言うこともできるが、実務的な意味において実現できるという **feasibility** が保証されているわけでは必ずしもない手法であった。システムダイナミクスの応用のフィールドは、そのような問題ばかりであると言っても過言ではない。本稿においてわれわれは、事業計画書として実務的な評価に耐え得る予想決算書の作成をシステムダイナミクス・モデリング&シミュレーションとして示すことができた。そこでは、会計期間 1 年を任意の  $T$  で置き換えることによって、期間分析を連続分析に変換する路を開いた。 $T \rightarrow DT \rightarrow 0$  がその路筋である。

このことは単に理論上の構成物に留まるものではない。なんとなれば、IT 革命の進展するもとの、会社の利益性と評価の即時性の追求が、トランスペアレンシをいやが上にも高める要求を生みだし、市場と意思決定との間の応答時間をより一層短縮しつつある今日、一月以上もかけて決算書を作っていた慣行は祭祀の古俗として葬られようとしている。代わって登場する新しい組織慣行においては、常時、随時、瞬時に決算ができるためのモデルの装備が不可欠である。50 年間システムダイナミストの間では当然であったことが、漸く 21 世紀にして世の中の現実となったのである。

経営学・会計学の研究において数理モデルを用いることによって知識の科学化を目指す運動は、前世紀後半の経営科学の隆盛を現出したが、その成果の実務への定着はどこまで浸透したか、筆者は寡聞にして知らない。それにも拘わらず、世紀末から興った情報通信技術革新に基づく社会変革は会社の組織慣行を根底から揺るがし、好むと好まざるとに関わらずモデリング&シミュレーションの実務での装備需要を増大させている。まさしく、 $T \rightarrow DT \rightarrow 0$  が現実に社会現象となっているのである。期間分析から連続分析へ、その路筋を断絶なくつなぐ環がシステムダイナミクスであることは、研究者の間ではよく知られている事柄であっても、実務界では必ずしもそうではなかった。システムダイナミクスが過去半世紀の研究成果を踏まえて、今こそ指導性を発揮することが望まれる。

## おわりに

システムダイナミクスの現代的意義は、1 本々々の方程式がもつ実務的・現実的意味合い—それは具体的な問題を解く普通の人々にとって諒解可能—が、モデルに統合されてシステムを構成したとき、ダイナミックな全体変動としての新しい意味合い—それは普通の常識のみでは予想不能—を帯びる、というその真実を、コンピュータを駆使して確かめるところにある。

事業計画書をもって資金提供を相談しに起業家がやってきたら、どんな投資家でも先ず眉に唾して損益計算書と貸借対照表を精査するだろう。21 世紀日本は一億総投資家の世界である。コンピュータの精査に耐える事業計画書を作る方法はシステムダイナミクス・モデリング&シミュレーション以外にはない。一握りの起業家にとっても総ての投資家にとっても、すなわち万民にとって、不可欠の装備を提供する用意は、われわれにおいて既に整っている。その提供の際におけるコミュニケーションには、ダイナモ方程式がその真価を発揮する。まさに期間分析と連続分析とを繋ぐ環としてのシステムダイナミクスの意義はこの点にこそあると言い得る。

## 参考文献

- [1] Forrester, J.W.: *Industrial Dynamics*, MIT Press, 1961
- [2] Forrester, J.W.: *Principles of Systems*, Wright-Allen Press, 1968
- [3] Radners, J. (ed.): *Elements of the System Dynamics Method*, MIT Press, 1980
- [4] Sterman, J.D.: *Business Dynamics*, McGraw-Hill, 2000
- [5] 宮川公男・小林秀徳: 『システム・ダイナミクス: 経営・経済系の動学分析』 白桃書房, 1988 年
- [6] 小林秀徳: 『政策研究の動学的展開』 白桃書房, 2002 年