成長システムのロバスト性に関する私見

Private View on Robustness of Growth System

洪　起
Koh Ki

キーワード：成長システム、ロバスト性、多様性、一様性、エントロピー、格差問題
Keywords：Growth System, Robustness, Diversity, Uniformity, Entropy, Gap Issue

The probabilistic model evaluating the whole image about the high economic growth process in japan is developed in Ref. [１], where the growth system based on general system theory is supposed, formulating with the following three factors ; the factor promoting the growth of element constituting growth system, the factor inhibiting the growth of element, and the factor representing the limit level in the growth due to the restriction on necessary resource for the growth of element. Besides it described the probability event of the growth process of element in the transient state of growth system, evaluating quantitatively these three factors with discrete random variables to consider the uncertainty of growth system. This report expresses private view on robustness for the uncertainty and change of system environment surrounding growth system, which is modeled with continuous random variables to bring generality to growth system.

１．序論

2012年末に始まった日本経済再生計画の主要政策課題であるデフレ脱却はうまくいっていないようである。経済をデフレから脱却させ、世界で一番企業が活躍し易い環境を作り、大企業を優遇し儲けさせることで恩恵を中小企業にまで波及させれば、適切な条件のもとでその果実は雇用者一人ひとりの懐の中に滴り落ちるというトリクルダウンの実現を思い描いていたのであろうが、残念ながら果実の滴りの多くは途中で止まり、雇用者の懐に落ちることはなかったようである。現実に滴り落ちたのは大企業の内部留保という懐の中であり、久しぶりの果実であったため、雇用者への還元というよりも将来の経済不安のために慎重になったのであろう。

1991年のソ連崩壊後、当時最強国であった米国発の市場原理主義・新自由主義に基づくグローバル経済は世界市場を席巻し、各国の経済システムに多大の影響を与え、過度な自由競争は過酷なまでの価額競争を引き起こし、結果的に、世界経済のデフレ化と同時に、貧富の格差増大をもたらしたと言われている。

日本も、80年代後半に始まった失われた20年は経済需要が飽和点に達し、成長が停滞する定常状態に入った時期であり、グローバル化の他に、日本独自の人口減少と高齢化等の構造的問題とも相まって、経済を成長軌道に乗せることが難しく、デフレ脱却を困難にしている状況にあると言える。

経済学者の水野和夫氏は、経済成長を通じて利潤を得る成長一辺倒の資本主義が成立するためには、「地理的・物的空間」と安価なエネルギー資源が無限に存在することを前提にする必要があり、これらの空間は既にモノやカネで溢れ、エネルギー資源も高騰し、利潤を生む空間の余地は無くなりつつあると述べ、新しい経済システムの構築が必要であると主張している。因みに、最近、各テレビ局はグルメやスイート等の食に関する番組が多く放映されているが、利潤を生むための空間は国民一人ひとりの胃袋の中の小さな空間しか残されていないということなのかも知れない。

グローバル化は一つの社会・経済現象であって、グローバル化それ自体が貧富の格差を生むわけではなく、グローバル化による過度な自由競争が貧富の格差拡大をもたらすと言われている。適正な規制または制度のもとで企業間の公平な競争が行われれば、各企業の成長の順位が混沌とする活気のある市場の活性化は実現されるが、競争力に格差があり公平な競争が困難な状況にある場合は、このような活気のある市場の活性化は起こり難く市場は停滞する。競争力がある企業は生き残り利潤を得るが、競争力のない企業は撤退または廃業し利潤を失い、勝ち組と負け組を生む状況をつくりだし、市場には競争力に関する確定的情報による企業の序列化という秩序が生まれる［１］。勝ち組の企業は更なる利潤を得るために市場の拡大を望むが、それが難しくなると企業内で利潤を生みだすための人事等に関する事業の合理化政策を実施し、企業内で利潤を生みだす仕組みを作りだす。そこで利潤を得る層と利潤を失う層が生まれ、結局、全体として中間層が崩壊し、利潤を得る富裕層と利潤を失う貧困層の２極化を生み出す。富裕層への利潤の集中は世界経済を不安定化し、中間層の崩壊と貧富の格差拡大を助長する。

一般的に、富裕層の多くは絶えず利潤を追求する立場で民主主義とは無縁の存在であり、貧困層は日常生活で精一杯で民主主義を支える立場につくことは難しいだろう。民主主義を支える大黒柱は社会意識に関する価値観を共有する中間層であり、中間層の崩壊は社会不安を引き起こす恐れがある。このように、グローバル化による経済の自由化は富む者がより富み、貧しき者はより貧しくする格差社会を必然的にもたらしたと言っても過言ではない。

現在も貧富の格差は拡大しており、中間層の復活と貧富の格差拡大の解消は国際的に重要な政策課題になっている。また、グローバル化による国際情勢の変化やその不確実性に対して、社会基盤を支える社会・経済システムは健全に機能する必要があり､機能不全に浸らないしたたかさ、言い換えれば、システムのロバスト性が重要な要素として要求される。

近年、欧米の先進国では排他的思想が台頭し、同一の思

想信条を一義的とする社会の一様性を重視した過激な政治活動を通して社会の分断が引き起こされ、その対極にある社会の多様性を嫌悪し阻害する風潮が拡がっている。このような社会環境の中で、既存の社会・経済システムが複雑化した国際情勢の変化やその不確実性等の外的要因による影響を緩和し、正常な機能維持のためにロバスト性を発揮することが可能か否かは、今後の国の在り方を探るうえで大変重要な関心事であると思われる。

前報［１］では、不確実性の時代の経済成長の動向を数量的に表現することを目的に、経済成長を促進する要因に関する係数と経済成長を阻害する要因に関する係数、および経済成長に必要な資源や規制等の制約に関する要因から生じる係数からなる経済成長過程の数理モデルを表す成長システムを提案し、その成長過程に及ぼす諸要因の不確実性が成長システムの過度状態に及ぼす影響を確率論的観点から論述した。

本報は、前報で提案した成長システムの３つの係数の不確実性を連続な確率変数でモデル化することで一般性を持たせたものであり、成長システムを取り巻く環境の変化やその不確実性に対して、成長システムに及ぼす影響を緩和し安定的成長を維持するための一要素として多様性を提案し、この多様性はロバスト性を発揮するうえで重要な役割を演じることを、システム論的な立場から考察したものである。

以下に述べる論述は、数理科学的な抽象空間の中での形式的処理から得られたもので、現実空間の事象をもとにした経済理論に則った論述ではないという制約を受けることは無論である。

２．成長システムの定常値の統計量

成長システムの定常値を定義する３つの係数は下記に示した物理的な意味を有するものとし、その不確実性に一般性を持たせるために連続な確率変数でモデル化されるものと仮定すれば、次のようになる［１］。

$$A_k = Z_k - W_k$$
$$W_k = \frac{Y_k}{X_k}, (k = 1, 2, \cdots, n) \qquad （２－１）$$

ただし、A_k：要素 k の成長レベルの定常値で確率変数

X_k：要素の成長を促進するある特定領域に到達することで、成長が促進する単位年当たりの率で、確率変数

Y_k：要素の成長を後退させるある特定領域に到達することで、成長が後退する単位年当たりの率で、確率変数

Z_k：要素の成長に必要な資源や規制等の制約に関する要因から生じる成長の限界値で、確率変数

上式中の n は成長システムを構成する要素の数であるが、確定値ではない。成長レベルの停滞によりシステムから撤退する要素もあれば、また新しくシステムに参入する要素もある。要素の定常値はその初期値に依存しないため、新しく参入した要素は瞬時に定常状態に到達するものと仮定する。それ故、システムを構成する要素の数は可変であり、全要素は定常状態にあるとする。

（２－１）式の X_k と Y_k の２つの確率変数は定常状態で要素が時系列上の連続的事象として保持する物理的情報であり、要素の成長動向を決める要因でこれらを数量的に評価することは難しい。それ故、X_k は成長を促進するある特定領域に到達することで、成長が促進する単位年当たりの率で確率変数であるが、ここでは、要素 k が有する資本力、技術力および人材力等が成長を促進にするある特定レベルに到達する単位年当たりの率を表すものと仮定し、また同様に、Y_k も要素 k が有する資本力、技術力および人材力等が成長を後退させるある特定レベルに到達する単位年当たりの率で表されるものと仮定する。X_k と Y_k の関係は分数で表され相対評価になっているため、これらに適切な物理量を乗じることで成長を促進する、または後退する単位年当たりの率に変換することが可能であり、また、これらのある特定レベルに到達する単位年当たりの率はそれぞれのレベルに到達する単位年当たりの回数に変換できる。

X_k と Y_k の確率的特性を表す密度関数は未知であるが、一般的に、ある事象が生起する回数の密度関数はガンマ分布で仮定されるため、ここでも、X_k と Y_k の密度関数としてガンマ分布を用いる。そのとき、W_k の密度関数は（Ａ－１）式で表されるから、その期待値と分散は次式になる（APPENDIX（A））。

$$E[W_k] = \frac{E[Y_k]G_{Xk}}{E[X_k]G_{Yk}} \cdot \frac{\Gamma(G_{Xk}-1)\Gamma(G_{Yk}+1)}{\Gamma(G_{Xk})\Gamma(G_{Yk})} \qquad （２－２）$$

$$\sigma_{Wk}^2 = \frac{E^2[Y_k]G_{Xk}^2}{E^2[X_k]G_{Yk}^2} \cdot \frac{\Gamma(G_{Xk}-2)\Gamma(G_{Yk}+2)}{\Gamma(G_{Xk})\Gamma(G_{Yk})} - E^2[W_k] \qquad （２－３）$$

ただし、$G_{Xk} = \frac{1}{V_{Xk}^2}, G_{Yk} = \frac{1}{V_{Yk}^2}$

V_{Xk}, V_{Yk}：X_k, Y_k の変動係数

$E[W_k]$：W_kの期待値、σ_{Wk}^2：W_kの分散

（２－１）式の Z_k も確定値ではなく正規確率変数と見なし、（２－２）式と（２－３）式を用いると、要素の成長レベルを表す A_k の期待値と分散は次式になる。

$$\frac{E[A_k]}{E[Z_k]} = 1 - g_k \frac{G_{Xk}}{G_{Yk}} \cdot \frac{\Gamma(G_{Xk}-1)\Gamma(G_{Yk}+1)}{\Gamma(G_{Xk})\Gamma(G_{Yk})} \qquad （２－４）$$

$$\left(\frac{\sigma_{Ak}}{E[Z_k]}\right)^2 = V_{Zk}^2 + g_k^2 \frac{G_{Xk}^2}{G_{Yk}^2} \cdot \left(\frac{\Gamma(G_{Xk}-2)\Gamma(G_{Yk}+2)}{\Gamma(G_{Xk})\Gamma(G_{Yk})} - \frac{\Gamma^2(G_{Xk}-1)\Gamma^2(G_{Yk}+1)}{\Gamma^2(G_{Xk})\Gamma^2(G_{Yk})}\right) \qquad （２－５）$$

ただし、$E[A_k], \sigma_{Ak}^2$：A_k の期待値と分散

$$g_k = \frac{E[Y_k]}{E[Z_k]E[X_k]}, \; g_k < \frac{G_{Yk}}{G_{Xk}} \cdot \frac{\Gamma(G_{Xk})\Gamma(G_{Yk})}{\Gamma(G_{Xk}-1)\Gamma(G_{Yk}+1)}$$

g_kにおいて、$E[Z_k]$ を一定レベルの値とし、$E[Y_k]/E[X_k]$ を大きくすれば、要素の成長を促進する要因に対して成長を阻害する要因が大きくなるから成長は後退し、逆に $E[Y_k]/E[X_k]$ を小さくすれば、要素の成長を阻害する要因に対して成長を促進する要因が大きくなるから要素の成長は促進する。また、$E[Y_k]/E[X_k]$ を一定レベルの値とし、$E[Z_k]$ を大きくすれば、成長の障害となる制約が小さくなるので

成長は促進し、$E[Z_k]$を小さくすれば、成長の限界値は小さくなり成長の障害となるので成長は後退する。それ故、g_kは成長動向を表す指標として有効である。

（２－４）式と（２－５）式のG_{Xk}, G_{Yk}が正の整数で表される特別な場合は、簡単な式で表され次式になる。

$$\frac{E[A_k]}{E[Z_k]} = 1 - g_k \cdot \frac{1}{1 - V_{Xk}^2} \qquad （２－６）$$

$$\left(\frac{\sigma_{Ak}}{E[Z_k]}\right)^2 = V_{Zk}^2 + g_k^2 \cdot \left(\frac{1 + V_{Yk}^2}{(1 - V_{Xk}^2)(1 - 2V_{Xk}^2)} - \frac{1}{(1 - V_{Xk}^2)^2}\right) \qquad （２－７）$$

ただし、$g_k < 1 - V_{Xk}^2$

前報［１］では、定常値を離散型の確率変数でモデル化し、一次と２次の統計量のみを用い、高次の統計量を無視して暫定的に正規分布を仮定した。ここでは、定常値の期待値と分散は（２－４）式と（２－５）式で表されるものとし、高次の統計量については全くあいまいであると見なして密度関数を決めることにする。（２－４）式と（２－５）式の成立を制約条件として、未知な密度関数から定義されるあいまい性を最大化するエントロピー最大化原理を用いると、成長レベルの密度関数は次式になる［８］。

$$p_{\tilde{A}k}(\tilde{a}_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{E[Z_k]}{\sigma_{Ak}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\tilde{a}_k \frac{E[Z_k]}{\sigma_{Ak}}\right)^2\right\} \qquad （２－８）$$

ただし、$\tilde{a}_k = \dfrac{a_k - E[A_k]}{E[Z_k]}$

結果的には、前報［1］と同様に、正規分布になる。

３．t 年での要素の離脱確率

この項では、成長システムからの撤退と成長システムへの参入が時系列上の確率事象として生起する場合の要素の離脱確率について述べる。

成長システムは要素間の自由競争の原理が働く環境下にあるものと仮定し、要素の成長レベルが不十分で競争に負ける可能性が高くシステムに留まることが難しい場合は、システムから撤退するものとする。そのときの条件は成長レベルがあるレベル以下でなければならないとし、次式で表すことにする。

$$A_k < R_k \qquad （３－１）$$

上式中のR_kはシステムに留まるか否かを決める特定の成長レベルで、ここでは正規確率変数で表す。

全要素が定常状態にある特定時刻を時刻０の初期条件とする新しい時間軸を想定する。時刻０では、要素の撤退と参入はないとすれば、離脱確率$P_{Fk}(0)$は（３－１）式から次式になる［６］。

$$P_{Fk}(0) = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{F}_{Rk}(a_k) p_{Ak}(a_k) da_k \qquad （３－２）$$

ただし、$\overline{F}_{Rk}(a_k) = 1 - F_{Rk}(a_k)$（$F_{Rk}(a_k)$：$R_k$の確率分布）
$p_{Ak}(a_k)$：A_kの密度関数（２－８）式

問題の定式化を簡潔にするために、要素のシステムからの撤退とシステムへの参入は時系列上の確率統計的な独立事象と仮定すれば、この２つの事象は別々の確率空間の中で取り扱うことができる。

要素がシステムから撤退するか否かの事象は、（３－１）式の条件のもとに時系列上の確率事象として生起し、単位年当たり$\tilde{\nu}_k$回発生するポアソン過程で表されるものとする。また、システムへの参入も、撤退と同様に、単位年当たりν_k回参入するポアソン過程でモデル化されるものとする。前述の仮定に従い、新しい要素は瞬時に定常状態に到達すると仮定すれば､成長レベルの密度関数は（２－８）式になる。以上の仮定のもとで、t 年後に要素がシステムから初めて撤退する離脱確率 $P_{Fk}(t)$ は近似的に次式になる［３］。（APPENDIX（B））

$$P_{Fk}(t) \approx 1 - P_{Sk}(0) \exp\left\{-\int_0^t \lambda(\tau | A_k = a_k) p_{Ak}(a_k | \tau) d\tau\right\} \qquad （３－３）$$

ただし、$p_{Ak}(a_k|\tau)$：τ 年で成長システムを構成している要素の成長レベルの密度関数
$P_{Fk}(t)$：t 年で要素 k が成長システムから初めて撤退する離脱確率

τ 年でシステムを構成する要素の成長レベルの密度関数は、撤退のみがある場合の密度関数（Ｂ－４）式と、参入のみがある場合の密度関数（２－８）式を用いて、全確率の定理により次式になる。

$$p_{Ak}(a_k|\tau) = \exp(-\nu_k \tau) \frac{p_{Ak}(a_k) \exp\left(-\tilde{\nu}_k \overline{F}_{R_k}(a_k) \tau\right)}{\int_{-\infty}^{\infty} p_{Ak}(a_k) \exp\left(-\tilde{\nu}_k \overline{F}_{R_k}(a_k) \tau\right) da_k} + (1 - \exp(-\nu_k \tau)) p_{Ak}(a_k) \qquad （３－４）$$

要素の参入がない場合は、上式で$\nu_k = 0$とすれば、撤退のみがある場合の密度関数（Ｂ－４）式に一致する。無論、$\tau = 0$では、（３－４）式は（２－８）式に一致する。

４．成長システムのエントロピー

成長システムはシステムを取り巻く環境等の変化の影響を受ける開放型システムである。それ故、システムを取り巻く環境等の変化に関する新しい情報移入があれば、その影響を受け、成長システムの不確実性は変化し、エントロピーも変化する。

システムを取り巻く環境の変化やその不確実性の影響を受けて、システムからの撤退とシステムへの参入の２つの事象が時系列上の確率的事象として生起する場合の要素の成長レベルの分布は（３－４）式のように時間の関数になる。ここでは、時間の経過とともに変化する（３－４）式の密度関数に含まれる不確実性をエントロピーを用いて考察する。

t 年での成長レベルの密度関数を用いると、成長システム全体のエントロピー $H_T(t)$ は次式で表される。

$$H_T(t) = -\sum_{k=1}^{n} \int_{-\infty}^{\infty} p_{Ak}(a_k|t) \log p_{Ak}(a_k|t) da_k \qquad （４－１）$$

（４－１）式の解析解を求めることは困難であるが、近似的に（３－４）式から得られる分散$\sigma_{Ak}^2(t)$を用いて評価されるものとすれば、（４－１）式は次式で表される。

$$H_T(t) \approx \log\sqrt{(2\pi e)^n \prod_{k=1}^{n} \sigma_{Ak}^2(t)} \qquad （４－２）$$

上式で、相加相乗平均の関係式を用いると、次の不等式

を満たす。

$$H_T(t) \le \log\sqrt{\left(2\pi e \overline{\sigma}_A^2(t)\right)^n} \quad （４－３）$$

ただし、$\overline{\sigma}_A^2(t) = \dfrac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\sigma_{Ak}^2(t)$ で、分散の平均値

エントロピーの最大値は（４－３）式の等号が成立するときで、分散の一様性を表す次式が成立するときである。

$$\sigma_{A1}^2(t) = \sigma_{A2}^2(t) = \cdots = \sigma_{An}^2(t) \quad （４－４）$$

成長レベルの分散はその期待値からの偏差を表す統計量で、要素間の成長レベルの格差を表すこともできる。格差を表す分散の平均値をシステム全体の目標値として定め、各要素の分散がその目標値に等しい分散の一様性は、エントロピー最大化による不確実性の増加によって成長レベルの偶然の変動量を増大させ、成長の格差拡大によるシステムの不安定化をもたらす。

一方、同様な目標値のもとで、各要素の分散が目標値に等しくない分散の多様性は、エントロピー最大化の抑制による不確実性の減少によって成長レベルの偶然の変動量を減少させ、成長の格差拡大の抑制によるシステムの安定化をもたらす。言い換えれば、各要素の目標値が一様であれば、システム全体の目標値の変動は反って大きくなり、また、各要素の目標値が多様であれば、システム全体の目標値の変動はむしろ小さくなり、安定した目標値が達成されることになる。多様性の効果は（４－４）式の等号の不成立が多いほど大きくなる。

それ故、要素間の成長レベルの格差拡大がシステム全体の安定維持に影響を及ぼす状況においては、多様性はシステムのロバスト性の発揮に大きな役割を果たす。

t 年間のシステムを取り巻く環境の変化やその不確実性によりシステムにもたらされるエントロピーの変化 ΔH_T は次式で表される。

$$H_T(t) = H_T(0) + \Delta H_T \quad （４－５）$$

$H_T(0)$ は $t=0$ でのシステムのエントロピーであり、ΔH_T は（４－２）式から次式になる。

$$\Delta H_T = \log\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}\sigma_{Ak}^2(t)}{\sum_{k=1}^{n}\sigma_{Ak}^2(0)}} \le 0 \quad （４－６）$$

（３－４）式の密度関数は、（３－１）式の条件のもとで t 年までに撤退が予想される成長レベルの小さい領域を（２－８）式から取り除き、それを正規化することによって得られ、そのときの分散は $t=0$ のときのそれより小さくなる。それ故、（４－６）式の分散の大小関係は $\sigma_{Ak}^2(t) \le \sigma_{Ak}^2(0)$ となり、（４－６）式は負になる。負のエントロピーは秩序である。これは、成長レベルが低く競争力の弱い要素はシステムから撤退し、成長レベルが高く競争力の強い要素のみが生き残るため、各要素が有する競争力に関する確定的情報が増加し、情報の不確実性が減少することでシステムに秩序が生まれ、システムの活性化が抑制されることを意味する。また、システムへの参入がなく撤退のみがある場合は、$\nu_k = 0$ になるから時間の経過とともに負のエントロピーは増大する。撤退する要素が増えれば、システム全体の秩序化は進み、システムの活性化は抑制される。システムからの撤退はなく参入のみがある場合は、（４－６）式の等号が成立しエントロピーの変化は０になるが、要素の数が増えるため、エントロピーは増加関数になり、システム全体の活性化は促進する。

特別な場合として、競争力の弱い要素は、救済や競争力の強い要素との提携等によりシステム内に留まる場合も想定されるが、これは特定要素間の相関性が生じる場合に相当し、エントロピーの変化は負になり、システム全体の活性化は抑制される。

５．数値的考察

成長システムの定常値の確率的事象に及ぼす諸要因の影響を数値的に考察することで、中間層の崩壊と貧富の格差拡大およびロバスト性をシステム論的な立場から論述することにする。尚、システムは基本的には同一業種の企業群であり、システムを構成する要素は企業を表すことができる。

解析例の種類と各数値は下記に示す。

Case1：$V_{Zk} = V_{Xk} = V_{Yk} = 0.25$
Case2：$V_{Zk} = V_{Xk} = 0.25, V_{Yk} = 0.5$
Case3：$V_{Zk} = V_{Yk} = 0.25, V_{Xk} = 0.5$
Case4：$V_{Zk} = 0.25, V_{Xk} = V_{Yk} = 0.5$

各要因の変動係数の現実的な値を定めることは難しいので、ここでは、変動係数がある程度小さい場合として 0.25、ある程度大きい場合としてその倍の 0.5 を仮定した。

g_k は下記の範囲の値で、７段階のレベルを用いた。

$$g_k = 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.15, 0.175, 0.2 \quad （５－１）$$

成長要因のレベルを表す数値は、（５－１）式で示したように、高いレベルの成長要因を有する場合として g_k =0.05、景気後退で低い成長要因を有する場合として g_k =0.2 を仮定した。

確率変数 X_k, Y_k, Z_k の変動係数が成長レベルの変動係数に及ぼす影響を指標 g_k を用いて考察する。（２－６）式と（２－７）式から得られる成長レベルの変動係数を微分すれば次式になる。

$$\frac{\partial V_{Ak}^2}{\partial g_k} = \frac{2(1-V_{Xk}^2)^2}{(1-V_{Xk}^2-g_k)^3}\left\{V_{Zk}^2 + g_k\frac{V_{Xk}^2+V_{Yk}^2(1-V_{Xk}^2)}{(1-2V_{Xk}^2)(1-V_{Xk}^2)}\right\} \quad （５－２）$$

(a) $V_{Xk}^2 < 1/2$ の場合

$$g_k < 1 - V_{Xk}^2 \text{ で、} \frac{\partial V_{Ak}^2}{\partial g_k} \ge 0 \quad （５－３）$$

(b) $1/2 < V_{Xk}^2 < 1$ の場合

$$0 < g_k \le g_k^* \text{ で、} \frac{\partial V_{Ak}^2}{\partial g_k} \ge 0 \quad （５－４）$$

$$g_k^* < g_k < 1 - V_{Xk}^2 \text{ で、} \frac{\partial V_{Ak}^2}{\partial g_k} < 0 \quad （５－５）$$

ただし、$g_k^* = \dfrac{V_{Zk}^2(2V_{Xk}^2-1)(1-V_{Xk}^2)}{V_{Xk}^2+V_{Yk}^2(1-V_{Xk}^2)}$

(a) の $V_{Xk}^2 < 1/2$ の場合は、$g_k < 1 - V_{Xk}^2$ の領域で増加関数になるから、g_k が増加し成長が後退すれば、成長レベルの変動係数、すなわち、そのばらつきも大きくなる。また、逆に、g_k が減少し成長が促進すれば、成長レベルのばらつき

は小さくなっていく。このように、$V_{Xk}^2<1/2$ の場合は直感的に分かりやすい傾向を示す。$V_{Xk}^2=1/2$ の場合は、（５－２）式は無限大になりその連続性が途絶えるため、成長レベルの密度関数は不定になる。(b)の $1/2<V_{Xk}^2<1$ の場合は、$g_k=g_k^*$ で極大値が存在し、$0<g_k\le g_k^*$ の範囲では(a)と同じ傾向を示すが、$g_k^*<g_k<1-V_{Xk}^2$ の範囲では、(a)と逆の傾向を示し、g_k の増大とともに成長は後退し、そのばらつきは小さくなっていく。ここでは、(a)の場合のみを解析対象にする。

表１は Case1 $(g_k=0.05)$, Case1 $(g_k=0.2)$, Case2 $(g_k=0.2)$, Case3 $(g_k=0.2)$ の場合の要素の成長レベルの密度関数（２－８）式であり、システムの活性化が実現し、分散の一様性が成立している状態を想定すれば、システム全体の成長レベルの分布を表すこともできる。表中の一番左側の数値は $a_k/E[Z_k]$ である。

表１　成長レベルの密度関数

$\frac{a_k}{E[Z_k]}$	Case1 $g_k=0.05$	Case1 $g_k=0.2$	Case2 $g_k=0.2$	Case3 $g_k=0.2$
0	0.001	0.020	0.027	0.094
0.1	0.005	0.055	0.070	0.181
0.2	0.019	0.134	0.157	0.316
0.3	0.057	0.284	0.313	0.502
0.4	0.148	0.524	0.549	0.725
0.5	0.326	0.839	0.845	0.950
0.6	0.613	1.168	0.916	1.040
0.7	0.982	1.414	1.362	1.220
0.8	1.341	1.489	1.427	1.207
0.9	1.564	1.364	1.329	1.080
1.0	1.555	1.086	1.066	0.878
1.1	1.319	0.752	0.760	0.649
1.2	0.954	0.453	0.476	0.436
1.3	0.589	0.237	0.262	0.266
1.4	0.310	0.108	0.127	0.148
1.5	0.139	0.043	0.054	0.074
1.6	0.053	0.015	0.020	0.034
1.7	0.017	0.004	0.007	0.014
1.8	0.005	≈ 0.0	≈ 0.0	0.005
1.9	≈ 0.0			≈ 0.0

高度経済成長期は、成長要因である資金力、技術力および人材力は豊富でその変動は少なく安定的であり、成長に必要な資源が安価で潤沢に供給できると見なし、$E[Z_k]$ が大きく $E[Y_k]/E[X_k]$ が小さい状況にあったとすれば、g_k と各要因の変動係数が小さい場合に相当する。それ故、Case1, $g_k=0.05$ の数値は、好景気で経済成長が順調に進んでいるときの成長レベルの密度関数と見なすことができる。（２－４）式から分かるように、g_k が小さいほど $E[A_k]$ は $E[Z_k]$ に近づき、$a_k/E[Z_k]$ の数値が１より少し小さい値の近傍でピークが生じ、成長レベルの低い領域と高い領域を表す両裾部分の値が小さく、ピーク周辺の中間的成長レベルを有する部分が中心的な存在になっている。この密度関数はシステム全体の成長レベルの分布を表すこともできるから、好景気で市場全体の活性化が実現しているときは、要素の多くは中間的成長を有することになる。これは、要素は企業を表すこともできるから、中間的成長を遂げる企業が多くなることを意味する。企業が獲得する利潤は成長レベルに比例し、その利潤配分は公平になされるものと仮定すれば、中間的成長レベルを有する企業の増大は賃金の格差が小さい中間層を生む土壌になったとしても不自然ではない。市場環境や規制等の変化により成長要因が増大するような状況になれば、無論、g_k は小さくなり、この傾向は大きくなる。

それ故、日本の全産業を成長システムの集合体と見なし、全産業の成長過程の全体像を各企業の成長プロセスの総和で表されるものとすれば、中間的成長レベルを有する企業の増大は高度経済成長期の一億総中流と言われた社会状況を築いた一因と解釈しても大過ないだろう。このことから、高度経済成長期の一億総中流意識から始まった中間層の形成は偶然ではなく、必然であると言える。

しかしながら、現在の日本経済は、システム論的立場から述べると、高度経済成長を支えた消費社会の段階を終え、需要が飽和点に達した低成長の定常状態の時期に入っており、また市場では大きい負のエントロピーが増大し、複雑に絡み合った秩序という強い規制が自由な経済活動の障害となり、市場の活性化が抑制された状況にあると云える［１］。人口減少と高齢化による労働人口の減少および非正規労働者の増加による労働環境の劣化等により、またエネルギー資源の有限性と地球環境保全から生じる制約により、その後の持続的経済成長に必要な一定レベル以上の成長要因の安定的確保は難しく、全体的に経済は停滞し、従来型の経済成長は困難な状況になっている。

Case1, $g_k=0.05$ は高度経済成長期で成長要因のレベルも高く、その変動係数も小さい場合とし、Case3, $g_k=0.2$ は経済成長が後退期に入り、成長要因のレベルが低く、その変動係数が大きい経済状況を表す場合と見なして、この２つの比較を行う。

g_k と成長要因の変動係数の増大と共に成長レベルの中間部分のピークが低くなり、全体的になだらかな曲線になって中間部分の存在が不明瞭になる。また、g_k と成長要因の変動係数が増大すれば、成長レベルの期待値が小さくなるが、その分布への影響は全体的に成長レベルの高い領域よりもそれより低い領域で大きく表れ、中間部分の多くが成長レベルの低い領域へ移動し、成長の格差を増大させる。このような傾向は、中間的成長レベルの企業群を徐々に崩壊させ、低成長の企業へ移行させるため、市場からの企業の撤退を生み、結果的に中間層の崩壊と貧富の格差拡大をもたらす。これは、専門家により報道されている格差拡大に関する分析結果と概ね一致する。Case3, $g_k=0.2$ の成長レベルが低い領域で負の値を有する企業があるが、これは、企業の競争力が不十分で市場に留まることができないため、市場から撤退した企業と解釈することにする。

さらに、成長システムにおける諸要因の変動係数は一様であるとすれば、エントロピーの最大化は g_k の一様性が成立するときに生起する。それ故、形式的には、システムを活性化させることで、一様な g_k より大きい要素はその

差の分だけ恩恵を受け、また、一様なg_kより小さい要素はその差の分だけ損害を被るということになる。これは、グローバル化のもとでの市場の活性化により、結果的に、新興国は経済的な恩恵を受け、先進国は格差拡大という社会的損害を被ったということと無縁ではないだろう。

表２　要素の離脱確率 $P_{Fk}(0)$

Case	g_k =0.05	g_k =0.1	g_k =0.2
1	0.0439	0.0532	0.0802
2	0.0445	0.0558	0.0920
3	0.0482	0.0684	0.1378
4	0.0495	0.0741	0.1575

表２は（３－２）式の離脱確率$P_{Fk}(0)$を示した。g_k =0.05は、経済的に好景気で高いレベルの成長要因を有し、その変動係数に変化がある場合を想定したもので、Case1, 2, 3, 4のいずれの場合も、５％弱でその差異は十分小さい。これは、経済的に景気良好で高いレベルの成長要因を有していれば、その変動係数が離脱確率に及ぼす影響は小さいということになる。

景気後退が進みg_kが大きくなれば、変動係数が離脱確率に及ぼす影響も大きくなり、g_k =0.2 のCase4の離脱確率はCase1のそれの約２倍になる。景気が後退期に入り、一定レベルの成長要因を確保することが難しくなった場合は、その変動を小さくし安定的に確保することができれば、離脱確率の増大を抑制することができることになる。

表３　要素の離脱確率 $P_{Fk}(0)$

Case	分散の一様性	(A)	(B)
1	0.0612	0.0611	0.0603
2	0.0662	0.0660	0.0654
3	0.0883	0.0881	0.0871
4	0.0986	0.0985	0.0967

表３の分散の一様性は、分散の平均値を一定値とする条件のもとで、分散の一様性が成立し、エントロピーの最大化が実現しているときの離脱確率であり、表中の(B)は（５－１）式を用いて７つの要素の分散の多様性が成立しているときの値である。表中の(A)は、そのうちの４つの要素は上述の分散の平均値を有し、全体の分散の平均値が同じになるように残りの３つの要素に適当に小さい多様性を与えたときの値である。(B)は多様性が大きく、(A)は多様性が小さい場合を想定したもので、全要素の離脱確率の平均値を示した。分散の一様性の成立は、現実的には、市場の活性化が実現しているときで、企業の成長レベルの偶然の変動量が大きく、大きく成長する企業もあれば、成長が不十分で市場から撤退する企業も多くなるため、結果的に離脱確率も大きくなる。(A), (B)から多様性があるほど、離脱確率は小さくなるのが分かる。諸要因の変動係数を要素に依存しない一定値とすれば、分散の多様性はg_kの多様性になるから、資本力、技術力および人材力等に関する企業毎の多様性があるほど、離脱確率は小さくなる。これは、資本力、技術力および人材力等に関する企業毎の多様性は、市場を取り巻く環境の変化やその不確実性の影響を緩和し、企業の市場からの離脱確率を減少させることで、市場全体の安定維持のためのロバスト性の発揮に大きな役割を果たすことを意味する。以上述べたことは、成長レベルの密度関数として（３－４）式、離脱確率として（３－３）式を用いても同じになることは言うまでもない。

市場競争に勝って市場に生き残り、成長する企業がある一方、競争に負けて市場から撤退する企業も出てくることは、資本主義社会では極自然なことであり、市場から撤退する企業が増えれば、必然的に経済の停滞をもたらす。そのため、持続的経済成長を実現するためには、市場拡大を展開することで成長の限界値を取り払い、一定レベル以上の成長要因を有した新規企業の市場参入と新規事業の創出を持続的に可能にして市場の新陳代謝を活発にし、市場全体が活性化するエントロピーを増大させることである。

そのための喫緊の政策課題は、市場の自由な経済活動を規制する秩序という負のエントロピーを払拭する規制緩和および制度改革を実施し、一定レベル以上の出生率の維持と、貧富の格差および教育機会の不均等を解消して、国民の多くが経済活動に参入できる能力の修得を可能にする社会制度の導入が必要である。このような社会環境を実現していくことができれば、システム論的には、持続的な経済成長は可能であろう。

しかしながら、現在、日本だけでなく、世界各国の経済は、混沌とする世界的な社会・政治情勢の影響を大きく受け、先行き不透明な状況に置かれており、またグローバル化の影響で各国の経済は相互依存関係にあり、自国経済のみに利する市場環境を安定的に維持することは現実的に困難になっている。無理やり経済を成長させようとすることは、成長の限界値と成長要因を大きくしてg_kを小さくすることに相当し、これを時系列上で維持することは特別な社会環境下でのみ可能になる。

グローバル化は経済的には国境を越えた世界規模の自由貿易を表すが、最近、グローバル化に反旗を翻し、自国中心主義を基軸にした排他的思想を有する政党および団体等の勢いが増し、自国民のみを対象にした内向きの経済政策が打ち出されている。

しかしながら、システム論的立場から述べると、このような自国優先の閉鎖的な政策では、各国内の成長要因に関する諸事情から生じる制約により、企業の成長に相応する、g_kが小さいレベルの一様性を有した市場の活性化の実現は一般的に困難であろう。自国中心ということで、企業の成長に不相応な、相対的にg_kが大きいレベルの一様性しか成立しえない状況にある場合は、仮に、適正な規制のもとに自由競争による市場の活性化を促しても、成長の不確実性の増大によりその信頼性は低下し、市場からの撤退や格差拡大がより大きい規模で起こり、経済の停滞または後退は必然的に生起する。現実にg_kは大きい状況にある場合は、エントロピーの増大による市場の活性化ではなく、むしろ、成長要因を表すg_kを小さくするための社会・経済環境の整備であり、市場を保護するための市場の秩序化、すなわち負のエントロピーが必要になるのかも知れない。

以上のことから、グローバル化および反グローバル化のいずれの場合も、経済活動において自由競争を根本とする限り、それぞれの経済状況に応じて程度に差があるが、中

間層の崩壊と貧富の格差拡大は必然的事象として生起する。

経済成長一辺倒に基づく一元論的視点のもとで構築されるシステムは、成長に関わる諸要因の一様性によりエントロピーを最大化するシステムの活性化は可能であるが、システムを取り巻く環境の変化やその不確実性の影響を受け易く、不確実性の増大による偶然の変動量の増大により成長の格差が生じ、結果的に社会的格差拡大を生むことで社会不安を引き起こす。このような成長至上主義ではなく、低成長経済または成熟経済を前提にして、将来の人口動態に基づく適正な成長能力と地球環境保全および長期的展望に立った、再生可能エネルギーの普及等を念頭に多元論的視点のもとで構築されるシステムは、成長に関わる諸要因の多様性によりエントロピーの増大を抑制し、システムを取り巻く環境の変化やその不確実性の影響を受け難く、不確実性の減少による偶然の変動量の減少により成長の格差を縮小し、結果的に社会的格差拡大を抑制することでシステムの安定維持のためのロバスト性を発揮する。それ故、成長に関わる諸要因の多様性は、システム全体の安定維持のためのロバスト性を発揮するうえで重要な役割を演じるものであり、国民の多くが豊かさを実感できる社会の実現にも貢献するだろう。

６．結論

成長システムの定常値は、成長を促進する要因を有する環境という事象の生起率と成長を阻害する要因を有する環境という事象の生起率、および市場環境の変化および要素の成長に必要な資源や規制等の制約により生じる成長の限界値の３つの独立で連続な確率変数からなる確率モデルで表し、成長システムのロバスト性と中間層の崩壊および貧富の格差拡大を確率事象として考察した。

グローバル化による国際情勢やシステムを取り巻く環境の変化およびその不確実性の影響を緩和し、システム全体の安定的な機能維持のためのロバスト性を発揮するうえで、多様性は重要な役割を果たすことを、システム論的観点から数量的に確認した。

APPENDIX（A）

X_k, Y_kをガンマ分布と仮定し、それぞれ独立な確率変数と見なして積分公式を用いて整理すれば、（２－１）式のW_kの密度関数は次式になる［２］。

$$p_{Wk}(w_k)=\int_0^{\infty} x p_{Xk}(x) p_{Yk}(w_k x)dx$$
$$=\frac{G_{Yk}\Gamma(G_{Xk}+G_{Yk})E[X_k]}{G_{Xk}\Gamma(G_{Xk})\Gamma(G_{Yk})E[Y_k]}\frac{\left(\frac{G_{Yk}E[X_k]}{G_{Xk}E[Y_k]}w_k\right)^{G_{Xk}-1}}{\left(1+\frac{G_{Yk}E[X_k]}{G_{Xk}E[Y_k]}w_k\right)^{G_{Xk}+G_{Yk}}} \quad \text{（A－１）}$$

ただし、$\Gamma(\cdot)$：ガンマ関数

$p_{Xk}(x), p_{Yk}(y)$：X_k, Y_kの密度関数でガンマ分布

APPENDIX（B）

A_kをa_kに固定したときの単位年当たりの離脱率は次式になる。

$$\lambda(t|A_k=a_k)=1-\sum_{i=0}^{\infty}\exp(-\tilde{\nu}_k)\frac{\tilde{\nu}_k^i}{i!}F_{Rk}^i(a_k)$$
$$=1-\exp\left(-\tilde{\nu}_k\overline{F}_{Rk}(a)\right)\approx\tilde{\nu}_k\overline{F}_{Rk}(a_k) \quad \text{（B－１）}$$

$\Delta\tau$年後の成長レベルの密度関数は、０年での密度関数から$\Delta\tau$年間に予想される離脱領域を差し引き、積分して１になるように正規化すれば得られ、次式になる。

$$p_{Ak}(a_k|\Delta\tau)=\frac{p_{Ak}(a_k)(1-\lambda(t|A_k=a_k)\Delta\tau)}{\int_{-\infty}^{\infty}p_{Ak}(a_k)(1-\lambda(t|A_k=a_k)\Delta\tau)da_k} \quad \text{（B－２）}$$

同様な考え方に基づいて同じ操作を繰り返すと、$n\Delta\tau$後は次のようになる。

$$p_{Ak}(a_k|n\Delta\tau)=\frac{p_{Ak}(a_k)(1-\lambda(t|A_k=a_k)\Delta\tau)^n}{\int_{-\infty}^{\infty}p_{Ak}(a_k)(1-\lambda(t|A_k=a_k)\Delta\tau)^n da_k} \quad \text{（B－３）}$$

上式で、（Ｂ－１）式を用い、$n\Delta\tau=\tau$として$n\to\infty$とすれば、成長レベルの確率密度関数は次式で表される。

$$p_{Ak}(a_k|\tau)=\frac{p_{Ak}(a_k)\exp\left(-\tilde{\nu}_k\overline{F}_{R_k}(a_k)\tau\right)}{\int_{-\infty}^{\infty}p_{Ak}(a_k)\exp\left(-\tilde{\nu}_k\overline{F}_{R_k}(a_k)\tau\right)da_k} \quad \text{（B－４）}$$

上式は要素の撤退のみを考慮し、τ年までシステムに留まることを条件付けにした要素の成長レベルの密度関数である。

参考文献

［１］洪起：脱原子力発電の是非、長岡造形大学研究紀要、第 12 号

［２］岩波　数学辞典、第４版、pp.1711、岩波書店

［３］洪起：耐力劣化を有する構造物の耐用年数中の崩壊確率について、日本建築学会構造系論文集、No.512, p25-p31, 1998 年 10 月

［４］I. プリゴジン、I. スタンジェール：混沌からの秩序、みすず書房

［５］水野和夫：資本主義の終焉と歴史の危機、集英社

［６］土木・建築のための確率・統計の応用、丸善株式会社

［７］G. ニコリス、I. プリゴジン：複雑性の研究、みすず書房

［８］中川聖一：情報理論、近代科学社

［９］Colin B. Brown：Entropy Constructed Probability, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.106, EM4, August, 1980, pp.633-640