



慶應義塾大学ビジネス・スクール

「開発と地球環境保全」

——システム・ダイナミックスによる世界システムの考察——

1. はじめに

現在、地球環境問題が注目を集めている。1972年にローマ・クラブにより公にされた『成長の限界』を一つの契機として、「宇宙船地球号」の概念が広まり、環境問題が意識されるようになった。それからほぼ20年、「地球に優しい」が流行語となり、再び環境問題が広く関心を集めている。

問題の所在も、「宇宙船地球号」という乗り物の問題だけではなく、利害関係を異にする乗組員達の相互関係のあり方に発展してきている。人間と人間以外の生物種、先進国と発展途上国というように。単に環境を保全するだけではなく、発展途上国の経済成長を可能とする「持続可能な開発」が求められている。

しかし、環境保全に対する必要性という点では一致しながらも、各国の国情、利害関係が絡み、地球的規模での問題解決へ向けての取り組みは難航している。一部の先進国は地球規模での問題解決の即時実行を提唱しているが、一部の先進国は消極的であり、多くの途上国は現在の環境破壊に対する主要責任は先進国にあるとし、自らの経済成長を優先している。今や地球環境問題と南北問題は、互いに結び付き人類にとって最大の解決すべき課題となっていると考えられる。

この様な時代認識に立ち、地球環境の保全と途上国の経済発展の両立を図る方策を探ろうとしたのが、本レポートである。研究の方法としては、1970年にローマ・クラブが行ったシステム・ダイナミックス（SD）と同様な手法を用いる。

ローマ・クラブは、世界システムを動的モデルとして記述した。そのモデルは人口、資本投資、地理的空間、天然資源、汚染、食糧生産を相互に関連付けている。これらの要素が相互作用を及ぼし合って、世界システムの変化のダイナミックスが現れてくると考えた。

5つのレベル——人口、資本投資、農業資本投資率、天然資源、環境汚染——が、システム構造を構築する基礎として選ばれた。

これらのレベルは、幾通りもの複雑に入り組んだ因果関係を持ち、時間遅れを伴いながら相互作用を行っている。

本教材は慶應義塾大学大学院経営管理研究科柳原一夫教授の指導の下、松田園恵によって作成された。本教材は、分析ならびにクラス討議の資料として作成されたものである。(1992.4.1.)

このモデルにより 1900 年から 2100 年までの世界動向を計算した結果、工業化や人口が天然資源の枯渇によって抑制されることが示された。すなわち、今までの成長モードから平衡モードへの移行をどの様に成し遂げるかが、人類の課題と定義された。成長の限界を認識し、地球的規模の平衡状態に向かう準備を促すものであった。

このレポートでは、「持続可能な開発」とは具体的にどういうものであるのか、すなわち先進国と途上国の環境政策決定を支援するための世界システムを S D を用いて構築してみたい。

2. 世界システムの構造

システム境界は、目標に沿って決定される。システム境界の内部では、先進国と途上国の関わり、人間の経済活動が地球環境に及ぼす影響、地球環境が人間社会に及ぼす影響が、論議されなくてはならない。

世界システムを構築する基礎として、8つのレベル変数を選択する。ローマ・クラブの世界モデルの5つのレベル変数、人口、資本投資、農業資本投資率、天然資源、環境汚染のうち、人口、資本投資、農業資本投資率を先進国と途上国に分け、残りの2つ、天然資源と環境汚染は、世界共通とする。すなわち、先進国の人団、途上国の人団、先進国の資本投資、途上国の資本投資、先進国の農業資本投資率、途上国の農業資本投資率、天然資源、環境汚染を、レベル変数として選択した。

このシステムでは、途上国を他からの援助なしには経済成長が不可能とみなされる国・地域と定義する。それは、途上国と先進国との入れ替えによりシステムが複雑化するのを防止するためである。長期的可能性としては、途上国のある国が国力をつけ先進国への仲間入りすることも有り得るし、先進国のある国が衰退の道を辿り途上国仲間入りをすることも有り得る。しかし、それはシステム構造を非常に複雑にするので、ここでは、入れ替えが起きないと考えられるように先進国、途上国を定義する。途上国から先進国への道を辿りつつある国は先進国と定義したわけである。

具体的には、1987年時点で、D A C (開発援助委員会) 定義による途上国のリストから、N I E S 諸国を除いた国を途上国と定義する。N I E S 諸国は、途上国から先進国へのティクオフに成功したとみなしているわけである。アジアでは、日本、香港、韓国、台湾、シンガポールを除く国、ヨーロッパでは、キプロス、マルタ、トルコ、ジブラルタル。アフリカでは、南アフリカを除く国、アメリカでは、U. S. A., カナダ、ブラジル、メキシコを除く国、そしてオセアニアでは、オーストラリア、ニュージーランドを除く国が途上国である。

3. システムダイアグラム

図1は、構築した世界システムのシステムダイアグラムを表している。この図をもとに、世

界システムの構造をみてみよう。

3.1. 人口ループ

図1の左上方と左下方にある先進国の人口、途上国の人口というレベルをみてみよう。人口は、年間の増加人口数を表す出生レイトを加え、年間の減少人口数を表す死亡レイトを差し引いて表される。出生レイト、死亡レイトは、フローであり、人口はそのストックである。さらに、フローとして途上国から先進国への人口流動が考えられる。

出生レイトを決定する要因を考えてみよう。出生レイトは、人口とリニアの関係にある。人口が2倍になれば、出生者数も2倍になると考えられる。その他、食糧、物質的生活水準、環境汚染、混雑度が影響を与えるだろう。食糧が不足すれば、出生者数は減少し、物質的生活水準が上昇すれば、出生者数は減少する。環境が汚染されれば、出生者数は減少し、混雑度が増せば、出生者数は減少する。それらは、リニアには効いてこないだろうが、影響を与える。

混雑度は、地球面積はほぼ一定と考えられるので、人口というレベル値に依存する。環境の汚染ぐあいも、環境汚染というレベル値に依存する。食糧は、農業資本投資に依存する。環境汚染や混雑度も影響するだろう。物質的生活水準は、農業以外へ配分される資本投資に依存する。

死亡レイトを決定する要因も同様に考えられる。人口との関係は、リニアである。食糧が不足すれば、死亡者数は増加し、物質的生活水準が上昇すれば、死亡者数は減少する。環境が汚染されれば、死亡者数は増加し、混雑度が増せば、死亡者数も増加する。さらに、死亡レイトには社会構造も影響を与える。すなわち、過去の死亡レイトが低いところでは、社会構造が高齢化社会となり、死亡レイトを高める。過去の死亡レイトが未来の死亡レイトに影響するといえよう。

途上国から先進国への人口流動レイトは、途上国と先進国の生活の質の格差に影響を受ける。生活レベルの格差が大きければ、多くの人口が豊かな社会へ向けて流動していく。しかし、この流動は現実的には国境を越えることになるため、そこには各国政府の政策が大きく影響を与えてくる。ほとんどの先進国が、人口流入を制限している。

3.2. 資本投資ループ

図1の右上方と右下方にある先進国・途上国・開発援助の資本投資というレベルをみてみよう。資本投資は、年間の増加資本投資を表す資本投資発生レイトを加え、年間の減少資本投資を表す資本投資除去レイトを差し引いたストック分として表される。資本投資発生レイトは、新たに投資される資本を表し、資本投資除去レイトは、資本が時と共にその有用性を失い、いわば減耗していくことを表している。さらに、フローとして先進国から途上国への開発援助が考えられる。一般的には、先進国から途上国への海外投資も考えられるが、これは本質的に先進国の資本を増加させるものであるので、図のネットワークには加えない。資本投資の増加は、

sample

sample

sample

sample

sam

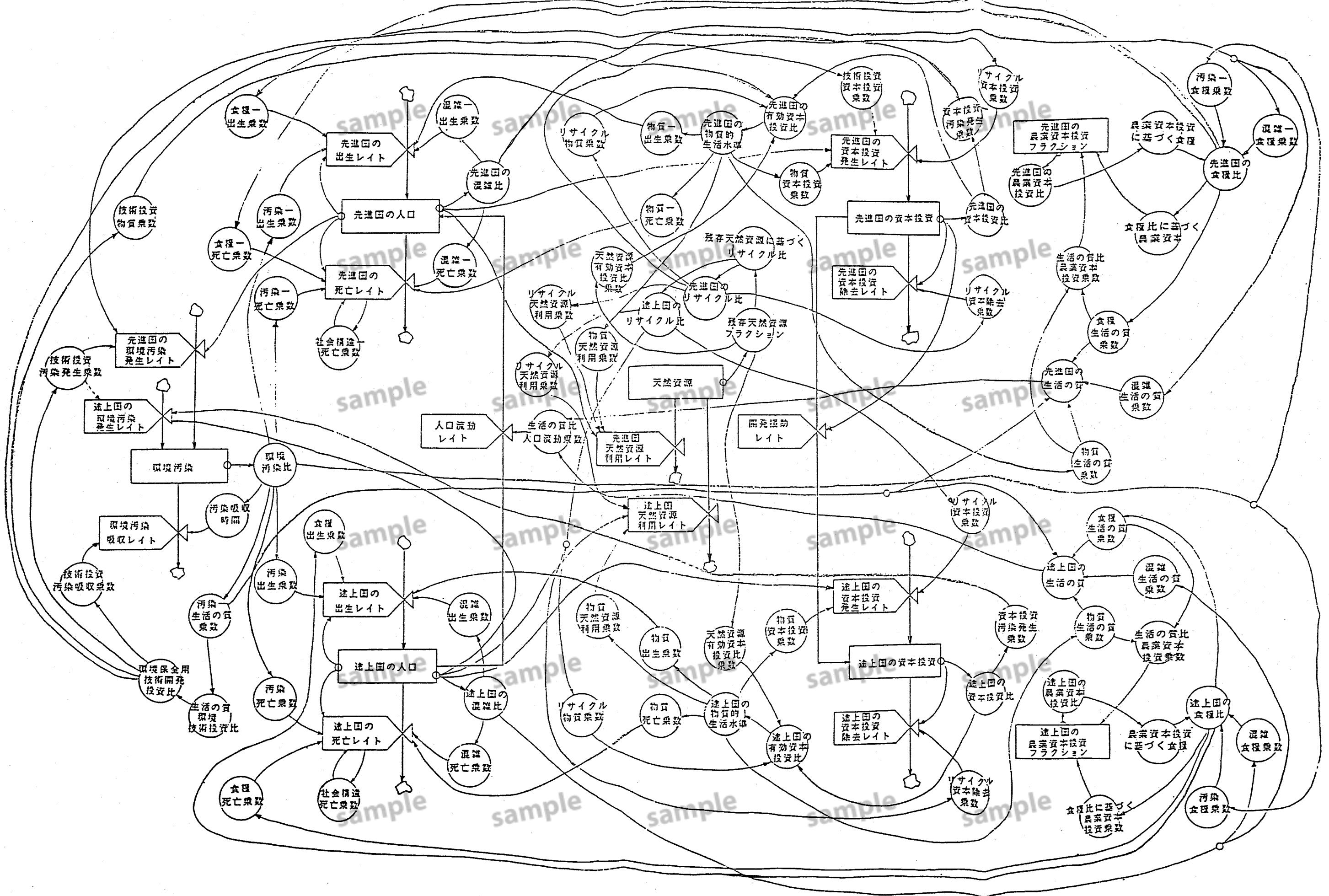


図1 システム・ダイヤグラム

物質的生活水準を高める一方、汚染発生をも高める。

次に、資本投資発生レイトを決定する要因を考えてみよう。資本投資発生レイトは、人口とリニアの関係にある。すなわち、一人当たりの新規資本投資発生は、環境が等しければ等しいと考える。その環境とは、物質的生活水準、環境保全用技術開発投資、リサイクル構造である。社会の物質的生活水準が上がれば、一人当たりの新規資本投資発生は増加する。環境保全の為に技術開発投資が増加すれば、資本投資発生レイトは増加する。社会のリサイクル化を進めれば、そのインフラ整備の為に資本投資発生レイトは増加する。

資本投資除去レイトは、資本投資の減価償却分と考えられるので、資本投資とリニアな関係にある。影響を与えるものとして、社会のリサイクル構造が考えられる。社会のリサイクル体制が整うと長期間社会で利用されることになるので、資本投資除去レイトは減少する。

開発援助レイトは、先進国の資本投資の何%かを拠出すると考える。このパーセンテイジは、政策的に決定される。

3.3. 農業資本投資率ループ

農業資本投資率は、全資本投資のうち、農業セクターに割り当てられる資本フラクションと定義される。人類にとって食糧に対する要求は他の物質に対する要求より格段に優先度が高いと考えられるので、食糧は資本投資のうち必要量をまず確保しようとするだろう。この必要量に、食糧供給の現状と食糧に基づく生活の質と物質に基づく生活の質のかねあいが影響を与える。さらに、農業資本を投資してからそれが成果を生み出すまでには時間がかかる。時間遅れを伴いながら、目標量と現実量のギャップを埋めて行くように投資がなされると考える。

3.4. 環境汚染ループ

環境汚染は、先進国の環境汚染発生レイトと途上国の環境汚染発生レイト、環境汚染吸収レイトにより決定される。環境汚染の発生は、その人口と物質的生活水準に依存するため、先進国と途上国を分けて考えた。環境汚染の吸収は、自然の浄化力に依存する。自然の浄化力は、汚染物質の絶対量に影響を受けるだろう。余りに環境汚染が進むと自然の浄化力も低下すると考えられる。

環境保全の為の技術開発投資も、環境汚染の発生・吸収に影響を与えるだろう。環境保全用技術開発投資が進めば、環境汚染発生レイトは低下し、環境汚染吸収レイトは増大する。

環境保全の為の技術開発投資は、環境汚染による生活の質に依存する。環境汚染により生活の質が低下すれば、技術開発投資は増加される。環境汚染による生活の質とは、レベルである環境汚染に依存する。

3.5. 天然資源ループ

ここで、天然資源とは再生産が不可能な資源と定義する。すなわち、天然資源というレベル

には、インのフローではなく、アウトのフローしか存在しない。天然資源利用レイトは人口と物質的生活水準に依存するので、先進国と途上国に分けて表示した。社会のリサイクル制度が整ってくれば、原材料の再利用が可能となるため利用レイトは低下する。

社会のリサイクル体制を推進するのは、天然資源のレベル値の低下である。天然資源の残存量が減ってくれば、社会のリサイクル化はすすむ。天然資源の残存量の減少は、よりコストのかかる資源開発に頼らざるを得なくなるため、資本投資にも影響を与える。

4. システムダイアグラムの数式化と計算結果

このシステムダイアグラムを数値化、数式化するに当たり、1987年を統一的に用い、基準年、およびシミュレーションの開始年としている。本レポートでは、この数式をBASIC言語でプログラム化し、パソコンで計算させた結果をファイル出力し、そのファイルを“ロータス123”で加工し、グラフ出力を行った。表1にシステムダイアグラムの項目概要、表2に数式を示す。

4.1. 基本モデルの計算結果

図2は基本モデルによる世界動向を表している。人口は、先進国、途上国を合わせた全世界人口を表す。資本投資も、同様に全世界合計を表す。天然資源は、残存天然資源の世界合計を表す。環境汚染は、地球上に存在する汚染物質の総量を表す。生活の質は、先進国と途上国を分けて表示してある。

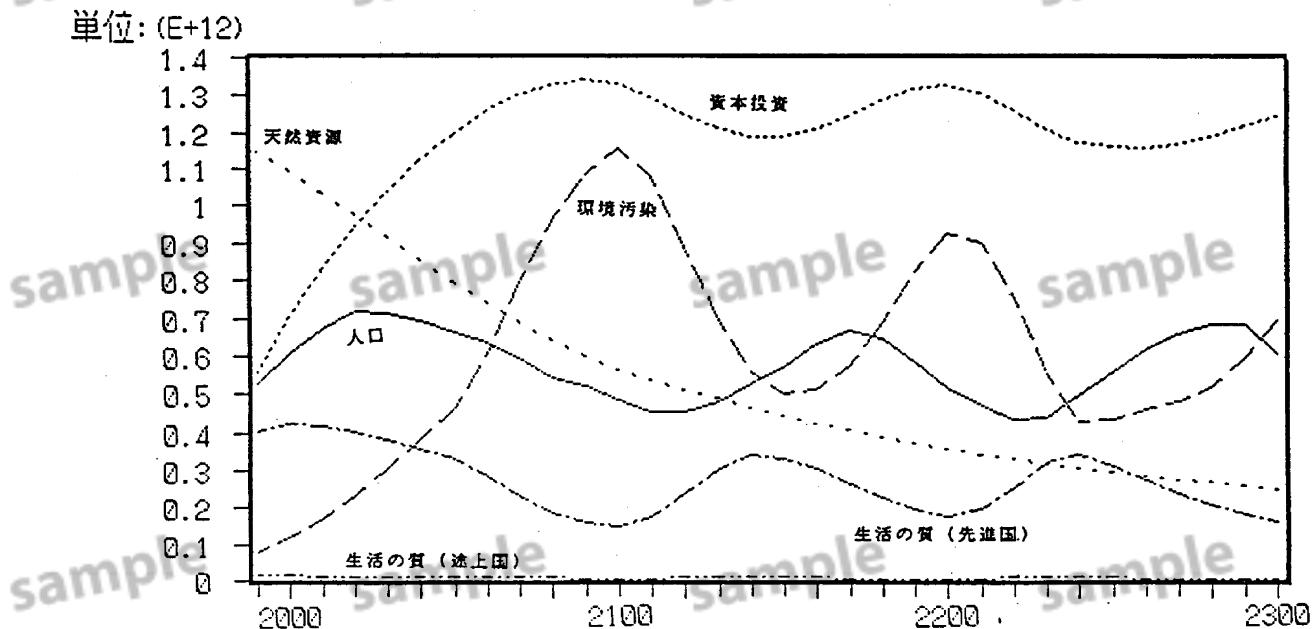


図2 基本モデルによる世界動向

2020年頃までは、人口、資本投資は成長を続ける。しかし、それにも増して環境汚染が進行する。2020年以降は、環境汚染が右上がりで増加しているときには、生活の質が下がり、人口も減少する。資本投資も、2090年をピークに減少を始める。人口も、資本投資も、生活の質も、環境汚染により制約を受け、成長のモードから均衡のモードへと転換することが解る。

環境汚染に一番敏感に反応するのが、生活の質であり、それより人口は、およそ20年遅れて反応する。これは、人口が、出生レイトと死亡レイトのフローの差の累積であることに依存していると考えられる。すなわち、レベルとしての人口への影響には、時間遅れが生じると考えられる。

資本投資は、減少を始める時期が最も遅いだけでなく、減少の幅も最も小さい。資本投資発生は人口に比例すると定義しているが、人口の減少がすぐには資本投資の減少につながらない。それは、資本投資への寄与は先進国の方が途上国より圧倒的に多いが、先進国人口の減少の時期が遅く減少の幅が小さいことに依存している（図4参照）。さらに、地球環境の悪化により、環境保全に対する技術投資が高まることも影響を与えている。資本投資がピークを打って減少を始めると、10年以内の時間遅れで環境汚染が減少する。

このグラフから、世界は成長のエネルギーを内在し成長しようとするが、環境汚染が制約条件として働くことが解る。成長のエネルギーが環境汚染の制約を受けながら、もっともバランスの良い場所を捗していく姿が読み取れる。多少振れば大きいが、均衡を求めるフィードバック系であろう。

環境汚染が、1990年水準と比較して、これほど大きい状態で均衡してしまっていいのか。天然資源を、これほど食いつぶしてしまっていいのか。という問題はあるが、このグラフで一

単位: (E+9)

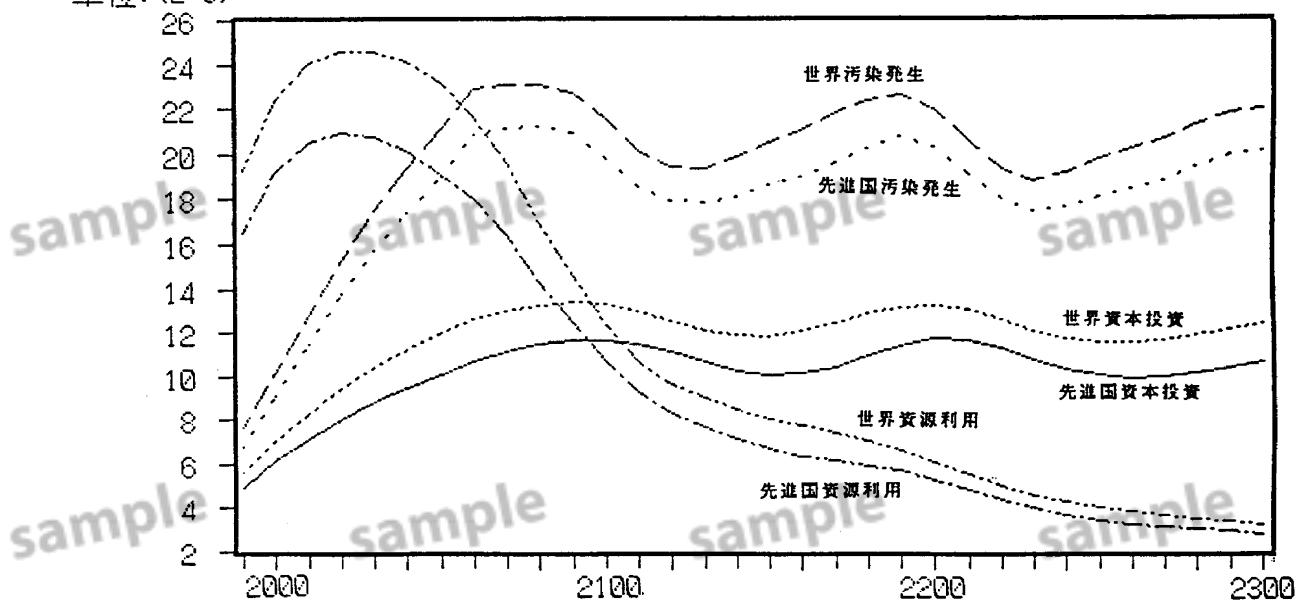


図3 先進国・途上国の資本投資・環境汚染発生・天然資源利用

一番問題となるのは、先進国と途上国の生活の質が、これほどの開きを持つということである。しかも、その差は一向に縮まる様相をみせない。このグラフで、先進国と途上国の生活の質の面積を比べると、先進国は途上国の 29.6 倍である。

図 3 は、資本投資と環境汚染発生、天然資源の利用において、先進国と途上国の寄与を比べたものである。資本投資は累積を表すレベルである。環境汚染発生は一年間に発生する環境汚染量を表す。天然資源利用は一年間に利用する天然資源量を表す。各々の内側の線が先進国を表し、外側の線が全世界の合計を表しているので、途上国は、外側の線と内側の線に挟まれた間の部分で表される。

このグラフから、世界の経済活動で先進国の占める大きさが解る。面積を比べてみると、資本投資のうち 86.5% を先進国が占め、環境汚染の 91.2% を先進国が発生し、天然資源の 84.9% を先進国が利用しているのが解る。

単位: (E+9)

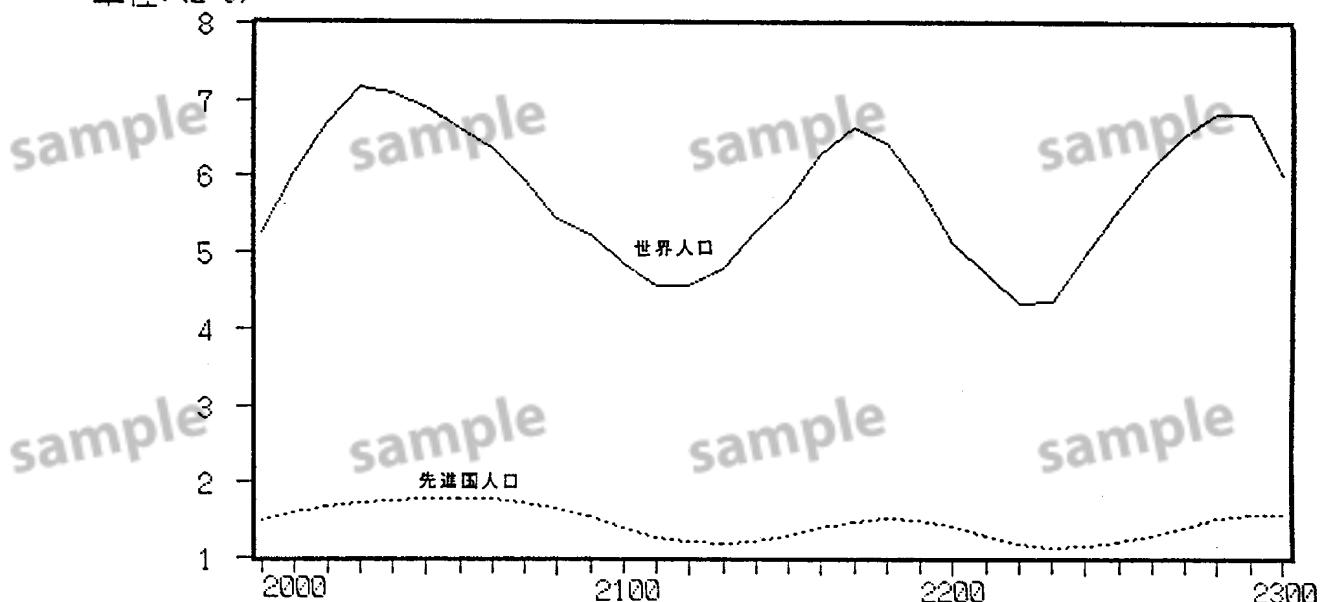


図 4 先進国と途上国の人口

図 4 は、先進国と途上国の人口の推移を表す。内側の線が先進国の人囗を表し、外側の線が世界の全人口を表す。二つの線に挟まれた部分が、途上国の人団となる。先進国と途上国の面積を比べると、途上国は先進国の約 3 倍の面積を持つ。

図 3 と図 4 から、世界の 4 分の 1 の人口を占める先進国が、世界の経済活動の 85% 以上を占め、環境汚染の 90% 以上を発生し、天然資源の 85% を使用していることが解る。

4.2. 開発援助増額の効果

世界の経済活動のうちほとんどの部分を先進国が生産し、途上国の経済活動レベルは、このままでは殆ど向上しないことが解った。ここで、先進国と途上国の格差を縮小するための一つの方法として、「先進国から途上国への開発援助増額」を考えてみる。

sample

sample

sample

sample

sample

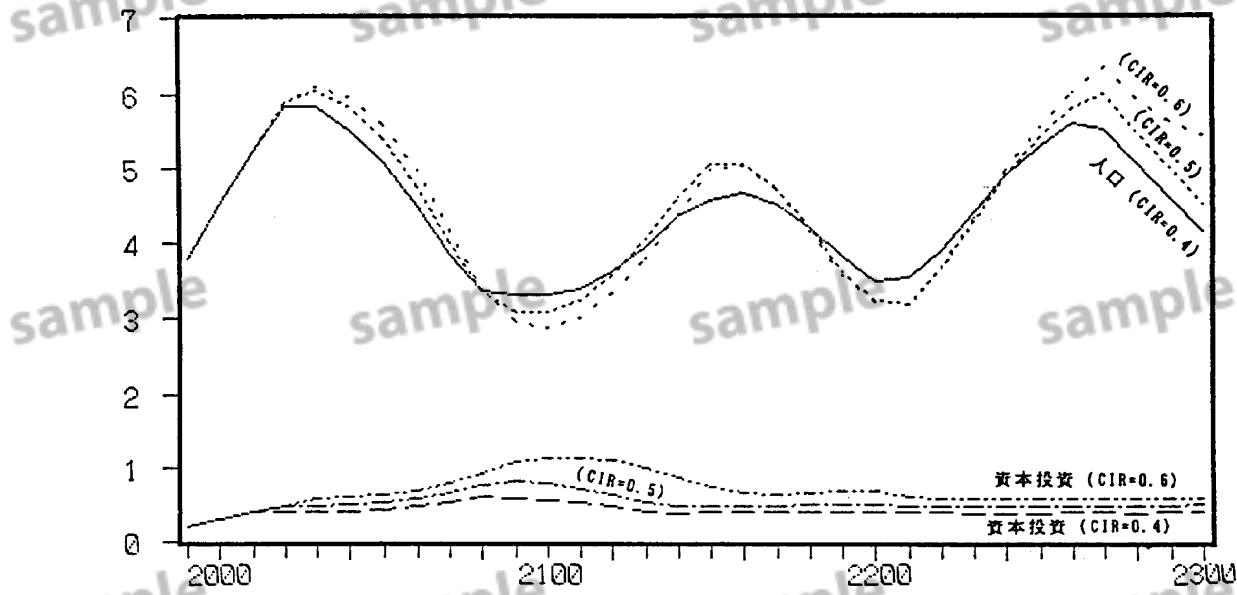


図5 開発援助増額の効果

図5は、先進国の資本投資の1%を開発援助をした場合の、途上国の資本投資比の推移を表している。資本投資比は、一人当たりの資本投資を表し、基準年の世界平均は1である。援助打ち切りの時期を、資本投資比が0.4を越えたとき、0.5を越えたとき、0.6を越えたときと変化させて、比べている。

このグラフから、援助基準を、資本投資比0.4まで、0.5まで、0.6までと変化させると、その基準までの経済成長は可能であるが、テイクオフ出来ず結局は援助基準レベルで安定してしまうのが解る。一時、2100年周辺で、テイクオフしそうになるが、結局減少を始める。この原因を探るのに、人口との関わりが、注目される。図5には、人口も表示してある。テイクオフしそうな時期は、人口が少ない時である。しかし、資本投資比が増大していくと、人口はそれ以上のスピードで増大する。資本投資比は、資本投資を人口で割ったものであるので、分母の増大により資本投資比は減少してしまうことになる。

先進国からの援助は、途上国の人一人当たりの経済レベルを上げることに寄与する一方、途上国の人口を増やすことにも寄与する事が解った。先進国からの開発援助が、経済レベルアップにまわるのか、人口にまわるのかは、途上国のその時点の経済レベルによって決定される。経済レベルが低いときには、人口増加率は大きい。出生率は、物質的生活水準が上がるほど低下する。つまり、資本投資比が、0.4, 0.5, 0.6といった生活水準では、開発援助は生活水準の向上にまわるよりも、人口増加にまわる分が多いことがわかる。

途上国がテイクオフ出来るか否かは、物質的生活水準と出生率の関係に大きく依存している。物質的生活水準があるレベルまで到達していれば、資本投資は経済成長を推進するように回り

始める。しかし、そのレベルにないときは、資本投資は人口を養うことに食われてしまい、成長のサイクルは生まれない。

途上国のテイクオフを支援するためには、途上国の物質的生活水準をあげることが求められるので、先進国からの開発援助を資本投資比0.7まで行うとしてみた。その結果の世界動向が、図6である。

このグラフは、2170年には、世界の人口は、現在の10分の1以下に減少することを表している。生活の質はゼロ、即ち、人間が生活するに耐えられない状態にまで悪化する。その原因は、環境汚染である。2090年周辺に、第一の環境汚染のピークがやってくる。この環境汚染により、生活の質は急激に落ち込み、人口は減少する。環境回復の努力がなされ、その成果により、環境汚染は減少してゆき、生活の質も急激に改善されていく。しかも、人口は減少しているため、途上国の経済成長のサイクルが回り始めようとする。資本投資は急激な増大を始めるが、環境汚染はそれ以上に進み、ついには、人間の生存を許さなくなる。

このグラフから、地球は、先進国と途上国の全ての人間が、現在の先進国並の生活水準で暮らそうとするには、余りに小さ過ぎることがわかる。途上国が発展途上にあるのは、たまたま遅れてやってきたため、発展のステップの初期段階に位置しているというのではなく、地球環境という制約条件の中で、人類が生き残るために、その段階に留まらざるを得ないという必然性を帯びているのである。

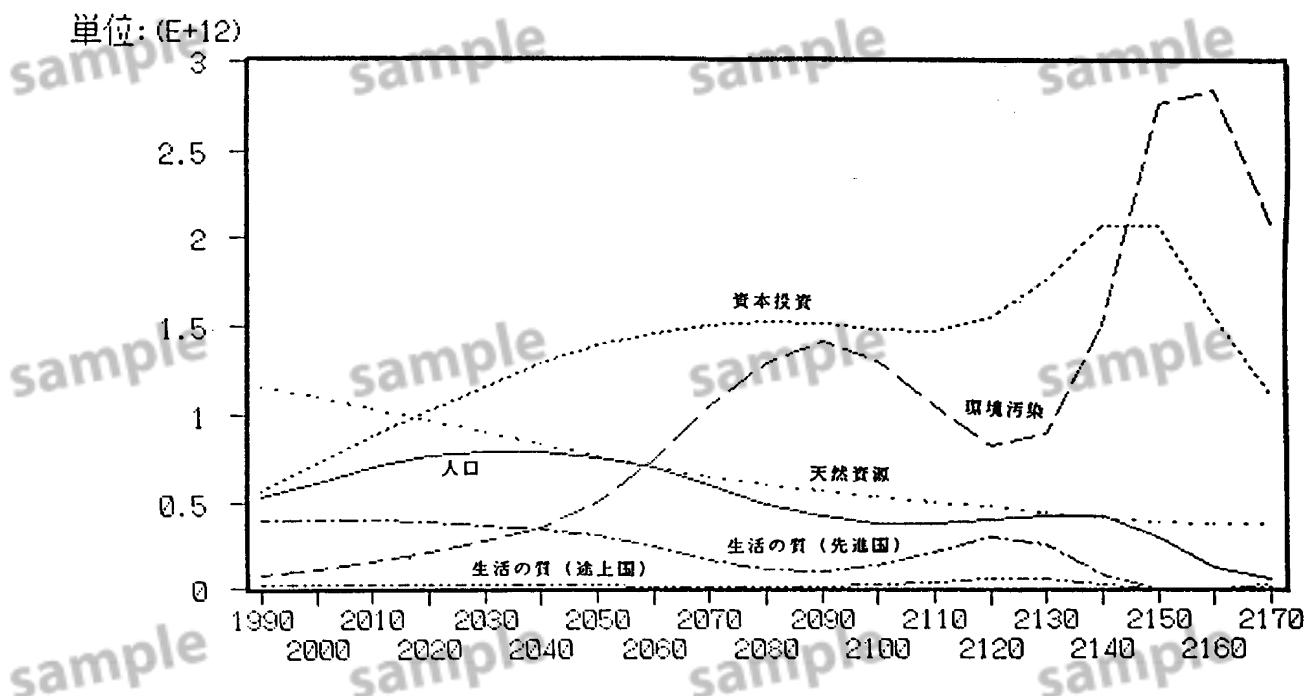


図6 開発援助を強化した場合の世界動向

人間の経済成長を目指すエネルギーは大きい。このエネルギーと環境という制約条件の中で、

人類はバランスをとってきた。世界は、驚くほど巧妙なバランスの上に成り立っているといえる。その意味で、世界は、非常に高性能なフィードバック・システムである。しかし、そのシステムは、途上国の人々を切り捨てた上で成り立っている。

単に途上国の経済発展を援助し、途上国の経済レベルを上げることでは、問題は解決しないということが明らかになった。それをするには、地球環境の制約条件は大き過ぎる。人類の抱える問題とは、「限られた地球環境を、人類はどの様にわかつちあい、共存していくか」ということである。

この問題解決に当たっては、人類の作り上げた高性能なフィードバック・システムでは、太刀打ちできない。未来を予測し、最良と思われるシナリオをつくり、その達成をめざすフィードフォアード・システムが必要となる。

4.3.世界システムを変える

限られた地球の中で、未来の人々を含めて皆がより幸福に生活していくためには、目の前の幸福追求だけではうまくいかないことが解った。部分最適が、全体最適に直接結び付かないわけである。フィードバック・ループのシステム効率を高めても、問題は解決されない。問題解決には、新しいロジックが求められる。世界システム自体を変えることが必要となる。

しかし、世界システムの因果関係を変えることは、おそらく不可能である。今までの行動パターンを捨て去り、新しい行動パターンを探らせる強要しても失敗するだろう。だが、行動の程度を変えることは、不可能ではないだろう。そこにしか、問題解決の道はないと考える。

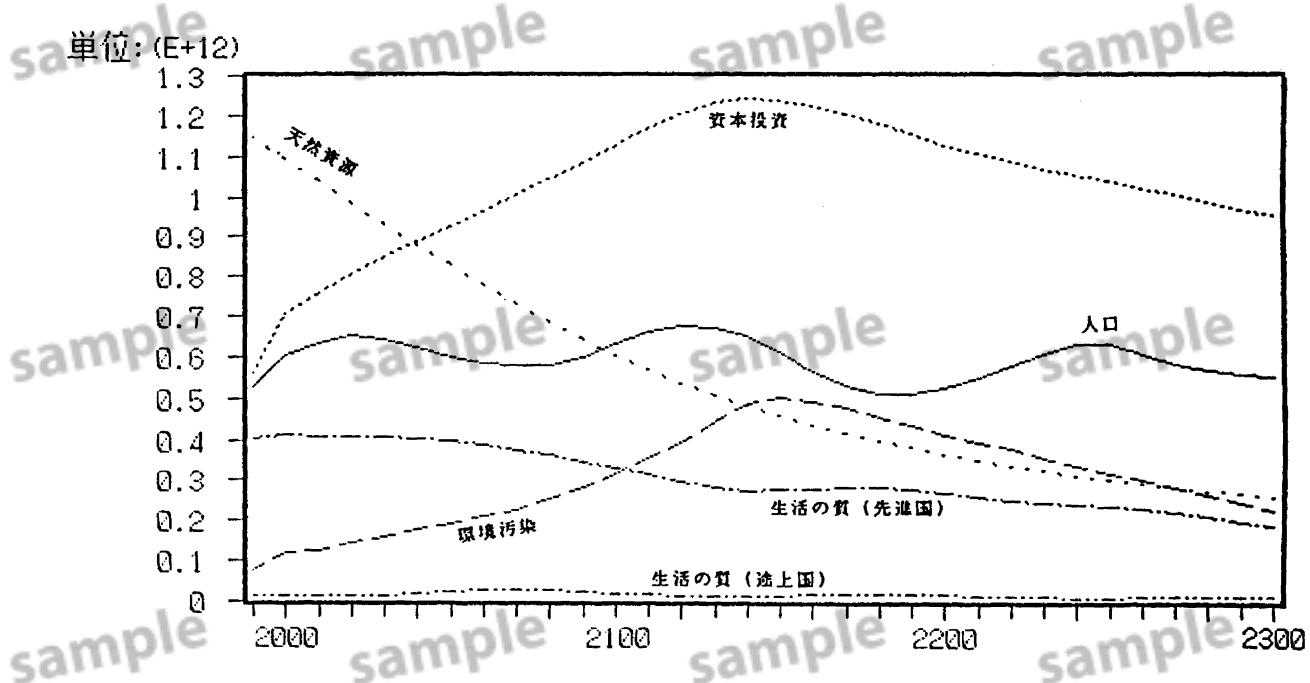


図7 コントロールした世界動向

図7は、世界システムの関係式は変えずに、定数を変えて処理した結果である。これは、行

動の程度を変えるということを意味する。

「出生レイトをおさえ、先進国の資本投資発生を抑える。先進国から途上国への開発援助は現行レイトとするが、援助停止基準を緩める。先進国は環境開発援助、環境保全の為の技術開発に、積極的に投資する。」という、モデルである。

具体的には、2000年から

- (1) 先進国の基準出生率を、26%低下させる。
- (2) 途上国の基準出生率を、37%低下させる。
- (3) 先進国の基準資本投資発生率を、20%低下させる。
- (4) 先進国の経済援助は、途上国の資本投資比が0.6になるまで継続する。
- (5) 先進国の環境保全技術開発投資比を、50%高める。
- (6) 先進国は、環境保全技術開発の成果を無償で途上国へ供与する。

というようなプログラム修正を加えた結果である。

先進国の基準出生率を、26%低下させるということは、基準年で考えれば、先進国の平均出生率0.0168を0.0124とすることに等しい。国連の人口推計によれば、2020年には、先進国の出生率は、0.012を割り込むことが予測されているので、不可能な数字ではないだろう。

途上国の基準出生率を、37%低下させるということは、基準年で考えれば、途上国の平均出生率0.0311を0.0196とすることに等しい。国連の人口推計によれば、2020年には、途上国の出生率は、0.019を割り込むことが予測されているので、不可能な数字ではないと考える。しかし、急激に進めるのは非常に難しいだろう。途上国では、貧しいから人口が増える、人口が増えるから貧しい、という悪循環がある。この悪循環を断ち切るために、人的資源の有効活用を図らなければならないが、実践には人手と資金がかかる。先進国の協力なくしては、実現は難しい。

先進国の基準資本発生率を20%低下させるということは、基準年で考えれば、実質GDP増加率を3.4%から2.7%とすることに等しい。経済成長率を自らの手で引き下げるのは、非常に難しい。日本でも、GDPを引き上げるために、経済企画庁をはじめ優秀な頭脳が知恵を絞っている。おそらく人間が本質的に持つ経済成長へのエネルギーをセーブするのは、価値観の転換しかないであろう。そして、その兆候は日本でも既に現れていると思う。過労死が存在する社会はどこかおかしいのではないかと、多くの人が考え始めている。そこそこでいいから、ゆとりを持って生きたいという若者が増えている。そういう価値観に支えられて、経済成長率の低下が、実現されるかもしれない。

先進国の援助基準や、環境保全研究開発への投資は、政策レベルの話なので、やる気さえあれば実現は不可能ではない。

この結果が、最善でないことは当然であるが、図2と比較すると、生活の質は上昇している。今の世界システムで留まるよりは、この世界システムを選ぶ方が、賢い選択ではないだろうか。

表1 システムダイヤグラムの項目概要

No	名称	略号	次元
1	先進国の人口	P.A	人
2	途上国の人口	P.L	人
3	先進国の資本投資	CIA	資本投資単位
4	途上国の資本投資	CIL	資本投資単位
5	先進国の農業資本投資率	CA.A	無次元
6	途上国の農業資本投資率	CA.L	無次元
7	天然資源	NR	天然資源単位
8	環境汚染	EP	環境汚染単位
9	先進国の出生レイト	BR.A	人／年
10	途上国の出生レイト	BR.L	人／年
11	先進国の死亡レイト	DR.A	人／年
12	途上国の死亡レイト	DR.L	人／年
13	人口流動レイト	PLA	人／年
14	先進国の資本投資発生レイト	CIG.A	資本投資単位／年
15	途上国の資本投資発生レイト	CIG.L	資本投資単位／年
16	先進国の資本投資除去レイト	CID.A	資本投資単位／年
17	途上国の資本投資除去レイト	CID.L	資本投資単位／年
18	開発援助レイト	ODA	資本投資単位／年
19	天然資源利用レイト	NRU	天然資源単位／年
20	環境汚染発生レイト	EPG	環境汚染単位／年
21	環境汚染吸収レイト	EPA	環境汚染単位／年
22	先進国の生活の質	QL.A	満足度
23	途上国の生活の質	QL.L	満足度
24	先進国の混雑比	CR.A	無次元
25	途上国の混雑比	CR.L	無次元
26	先進国の食糧比	FR.A	無次元
27	途上国の食糧比	FR.L	無次元
28	先進国の資本投資比	CIR.A	資本投資単位／人
29	途上国の資本投資比	CIR.L	資本投資単位／人
30	先進国の農業資本投資比	CIAR.A	資本投資単位／人
31	途上国の農業資本投資比	CIAR.L	資本投資単位／人
32	先進国の有効資本投資比	ECIR.A	資本投資単位／人
33	途上国の有効資本投資比	ECIR.L	資本投資単位／人
34	先進国の物質的生活水準	MSL.A	無次元
35	途上国の物質的生活水準	MSL.L	無次元
36	残存天然資源フラクション	NRFR	無次元
37	先進国のリサイクル比	RR.A	無次元
38	途上国のリサイクル比	RR.L	無次元
39	環境保全用技術開発投資比	RDEP	無次元
40	環境汚染比	EPR	無次元
41	農業資本投資に基づく食糧	FCAM	食糧単位／人／年
42	汚染吸収時間	EPAT	年
43	食糧比に基づく農業資本投資乗数	CAF.M	無次元
44	残存天然資源に基づくリサイクル比	RNR	無次元
45	生活の質に基づく環境技術投資比	RDEPR	無次元
46	混雑-出生乗数	BRCM	無次元
47	食糧-出生乗数	BRFM	無次元

48	物質一出生乗数	BRMM	無次元
49	環境一出生乗数	BRPM	無次元
50	混雑一死亡乗数	DRCM	無次元
51	食糧一死亡乗数	DRFM	無次元
52	物質一死亡乗数	DRMM	無次元
53	環境一死亡乗数	DRPM	無次元
54	社会構造一死亡乗数	DRSM	無次元
55	先進国途上国の生活の質比一人口流動乗数	PLAQH	無次元
56	混雑一食糧乗数	FCM	無次元
57	汚染一食糧乗数	FEPH	無次元
58	資本投資一汚染発生乗数	EPCIM	無次元
59	環境保全技術投資一汚染発生乗数	EPGDM	無次元
60	環境保全技術投資一汚染吸収乗数	EPADM	無次元
61	物質一資本投資乗数	CIMM	無次元
62	環境保全技術投資一資本投資乗数	CIGDM	無次元
63	リサイクル一資本投資乗数	CIGRM	無次元
64	リサイクル一資本除去乗数	CIDRM	無次元
65	残存天然資源一有効資本投資比乗数	NREM	無次元
66	環境技術投資一物質乗数	MRDGM	無次元
67	リサイクル一物質乗数	MRR	無次元
68	生活の質比一農業資本投資乗数	CAQRM	無次元
69	物質一天然資源利用乗数	NRUMM	無次元
70	リサイクル一天然資源利用乗数	NRUNR	無次元
71	食糧一生活の質乗数	QLF	無次元
72	混雑一生活の質乗数	QLC	無次元
73	物質一生活の質乗数	QLM	無次元
74	汚染一生活の質乗数	QLP	無次元

表2 項目の数式化

No	式名	数式・数値
1	P.A(t)	=P.A(t-dt)+dt{BR.A(t-dt,t)-DR.A(t-dt,t)+PLA(t-dt,t)} P.A(1987)=1,460,000,000
2	P.L(t)	=P.L(t-dt)+dt{BR.L(t-dt,t)-DR.L(t-dt,t)-PLA(t-dt,t)} P.L(1987)=3,570,000,000
3	CI.A(t)	=CI.A(t-dt)+dt{CIG.A(t-dt,t)-CID.A(t-dt,t)-ODA(t-dt,t)} CI.A(1987)=4,480,000,000
4	CI.L(t)	=CI.L(t-dt)+dt{CIG.L(t-dt,t)-CID.L(t-dt,t)+ODA(t-dt,t)} CI.L(1987)=630,000,000
5	CA.A(t)	=CA.A(t-dt)+(1/CAT)dt{CAF.M.A(t-dt)*CAQR.M.A(t-dt)-CA.A(t-dt)} CAT=15 CA.A(1987)=0.200
6	CA.L(t)	=CA.L(t-dt)+(1/CAT)dt{CAF.M.L(t-dt)*CAQR.M.L(t-dt)-CA.L(t-dt)} CAT=15 CA.L(1987)=0.400
7	NR(t)	=NR(t-dt)-dt*NRU(t-dt,t) NR(1987)=1,160,000,000,000
8	EP(t)	=EP(t-dt)+dt{EPG(t-dt,t)-EPA(t-dt,t)} EP(1987)=5,030,000,000
9	BR.A(t,dt)	=P.A(t)*BRN*BRCM.A(t)*BRFM.A(t)*BRMM.A(t)*BRPM.A(t) BRN=0.027
10	BR.L(t,dt)	=P.L(t)*BRN*BRCM.L(t)*BRFM.L(t)*BRMM.L(t)*BRPM.L(t) BRN=0.027
11	DR.A(t,dt)	=P.A(t)*DRN*DRCM.A(t)*DRFM.A(t)*DRMM.A(t)*DRPM.A(t)*DRSH.A(t) DRN=0.010
12	DR.L(t,dt)	=P.L(t)*DRN*DRCM.L(t)*DRFM.L(t)*DRMM.L(t)*DRPM.L(t)*DRSH.L(t) DRN=0.010
13	PLA(t)	=P.L(t)*PLAQ.M(t)*PC.PLAP PC.PLAP=0
14	CIG.A(t,t+dt)	=P.A(t)*CIGN*CIMM.A(t)*CIGRM.A(t)*CIGDM.A(t) CIGN=0.1
15	CIG.L(t,t+dt)	=P.L(t)*CIGN*CIHM.L(t)*CIGRM.L(t)*CIGDM.L(t) CIGN=0.1
16	CID.A(t,t+dt)	=CI.A(t)/CIDN*CIDRM.A(t) CIDN=20
17	CID.L(t,t+dt)	=CI.L(t)/CIDN*CIDRM.L(t) CIDN=20
18	ODA(t,t+dt)	=CI.A(t)*PC.ODAN PC.ODAN=0.00286
19	NRU(t,t+dt)	=P.A(t)*NRUN*NRUHH.A(t)*NRUNR.A(t)+P.L(t)*NRUN*NRUMM.L(t)*NRUNR.L(t) NRUN=1
20	EPG(t,t+dt)	=P.A(t)*EPGN*EPCIM.A(t)*(1-EPGDM.A(t)*1/EPGDT)+P.L(t)*EPGN*EPCIM.L(t) EPGN=1 EPGDT=5
21	EPA(t,t+dt)	=EP(t)/EPAT(t)*(1+1*EPADM(t)/EPADT) EPADT=10
22	QL.A(t)	=QLN*QLF.A(t)*QLC.A(t)*QLM.A(t)*QLP(t) QLN=1
23	QL.L(t)	=QLN*QLF.L(t)*QLC.L(t)*QLM.L(t)*QLP(t) QLN=1
24	CR.A(t)	=P.A(t)/LA.A*PDN LA.A=68,400,000 PDN=37.0
25	CR.L(t)	=P.L(t)/LA.L*PDN

LA. L=67, 400, 000
 PDN=37. 0
 26 FR. A(t)=FCAM. A(t)*FCH. A(t)*FEPM. A(t)/FI
 FI=1
 27 FR. L(t)=FCAM. L(t)*FCH. L(t)*FEPM. L(t)/FI
 FI=1
 28 CIR. A(t)=CI. A(t)/P. A(t)
 29 CIR. L(t)=CI. L(t)/P. L(t)
 30 CIAR. A(t)=CIR. A(t)*CA. A(t)/CAN
 CAN=0. 225
 31 CIAR. L(t)=CIR. L(t)*CA. L(t)/CAN
 CAN=0. 225
 32 ECIR. A(t)=CIR. A(t)*(1-CA. A(t))*NREM(t)/(1-CN. A)*MRR. A(t)*MRDGM(t)
 CN. A=0. 20
 33 ECIR. L(t)=CIR. L(t)*(1-CA. L(t))*NREM(t)/(1-CN. L)*MRR. L(t)
 CN. L=0. 40
 34 MSL. A(t)=ECIR. A(t)/ECIRN
 ECIRN=1
 35 MSL. L(t)=ECIR. L(t)/ECIRN
 ECIRN=1
 36 NRFR(t)=NR(t)/NRI
 NRI=1, 160, 000, 000, 000
 37 RR. A(t)=MAX{RNR(t), PC. RR. A}
 PC. RR. A=1
 38 RR. L(t)=MAX{RNR(t), PC. RR. L}
 PC. RR. L=1
 39 RDEP(t)=MAX{RDEPR(t), PC. RDEP}
 PC. RDEP=1
 40 EPR(t)=EP(t)/EPN
 EPN=5, 030, 000, 000

	0	1	2	3	4	5	6	10
FCAM	0.5	1	1.4	1.7	1.9	2.05	2.2	2.3
EPR	0	1	10	20	30	40	50	60
EPAT	0.6	1	2.5	5	8	11.5	15.5	20
FR	0	0.5	1	1.5	2	4		
CAFM	1	0.5	0.227	0.15	0.1	0.1		
NRFR	0	0.3	0.6	1				
RNR	8	4	2	1				
QLP	0	0.2	0.4	0.7	1	2	10	
RDEPG	3	2.5	1.8	1.3	1	0.8	0.8	
CR	0	1	2	3	4			
BRCM	1.05	1	0.9	0.7	0.6			
FR	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	4	
BRFM	0	0.4	0.7	0.9	0.95	1	1	
MSL	0	0.5	1	2	10			
BRMM	1.5	1.2	1	0.6	0.6			
EPR	0	1	10	20	30	40	50	60
BRPM	1.02	1	0.9	0.7	0.4	0.25	0.15	0.1
CR	0	1	2	3	4			
DRCM	0.9	1	1.2	1.5	1.9			
FR	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	4	
DRFM	60	4.5	2.4	1.7	1.2	1	1	
MSL	0	0.1	0.4	0.8	1	1.5	2	10
DRMM	3	1.8	1.4	1.1	1	0.9	0.9	0.9

53	EPR	0	1	10	20	30	40	50	60
	DRPH	0.92	1	1.3	2	3.2	4.8	6.8	9.2
54	DRS	0	0.009	0.1	0.012	0.015	0.018	0.02	0.022
	DRSH	1.4	1.4	1.3	1.1	1	0.9	0.7	0.55
55	QL.A/QL.L	1	11	21	31	41			
	PLAQH	0	0.1	0.3	0.6	0.95			
56	CR	0	1	2	3	4	5		
	FCM	2.4	1	0.6	0.4	0.3	0.2		
57	EPR	0	1	10	20	30	40	50	60
	FEPM	1.02	1	0.9	0.65	0.35	0.2	0.1	0.05
58	CIR	0	1	2	4	6	8	10	
	EPCIM	0.5	1	2	6	12	15	16	
59	RDEPG	0	1	2	3	7			
	EPGDM	-0.2	0	0.3	0.5	0.5			
60	RDEPG	0	1	2	3	7			
	EPADM	-0.2	0	1	2	5			
61	MSL	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	10
	CIMM	0	0.3	1	1.8	2.2	2.4	2.6	3.3
62	RDEPG	0	1	3	5	7			
	CIGDM	0.9	1	1	1.2	1.3			
63	RR	0	1	3	7				
	CIGRM	0.7	1	1.2	1.2				
64	RR	0	1	3	7				
	CIDRM	1.2	1	0.8	0.6				
65	NRFR	0	0.25	0.5	0.75	1			
	NREM	0	0.4	0.7	0.9	1			
66	RDEP	0	1	2	4	6	7		
	MRDGM	1.1	1	0.9	0.5	0.3	0.3		
67	RR	0	1	3	7				
	MRR	1.3	1	0.8	0.8				
68	QLM/QLF	0	0.5	1	1.5	2	4		
	CAQRM	0.7	0.8	1	1.5	2	2		
69	MSL	0	1	2	3	4	5	6	7
	NRUMM	0	1	1.9	2.6	3.3	3.9	4.3	4.6
70	BR	0	1	2	3	4	5	6	8
	NRUNR	2	1	0.7	0.5	0.35	0.25	0.15	0
71	FR	0	1	2	3	4			
	QLF	0	1	1.4	1.6	1.7			
72	CR	0	0.5	1	2	3	4	5	
	QLC	1.5	1.15	1	0.8	0.7	0.65	0.6	
73	MSL	0	1	2	3	4	5	7	10
	QLM	0.2	1	1.7	2.3	2.7	2.9	3	3.1
74	EPR	0	1	10	20	30	40	50	60
	QLP	1.04	1	0.7	0.4	0.2	0.1	0.05	0.02

不 許 複 製

慶應義塾大学ビジネス・スクール

KITAZUME 0405 P.200