

低開発国の人口・経済推移

—モデルとシミュレーション—

柳井 浩

1. はじめに

自然のめぐみと、わずかな原始的農業によって自給自足、一応の均衡状態に安定している国を想定し、この国が各種の政策に対応して、先進国の技術のあるいは借用、あるいは学習しつつ、生産性を向上し、経済成長をとげてゆく。——そんな様子を記述する数理モデルを作り、シミュレーションによって過程を追跡し、技術移転とその効果をめぐる議論にシナリオと構造的根拠を明確にしようとするのが本研究のねらいである。

モデルが現実の経済的現象の本質的部分に適合すべきことはいうまでもないが、経済モデルとしては極力単純で構造がよく見通せるものを設定することにし、モデルの細部を現実のそれに接近させることは他にゆずった。また、シミュレーションのための計算手段も、ポケット・コンピュータという簡単なものに制限することにした (p.31 脚注*参照)。これは、本研究の主眼をシナリオの論理的無矛盾性の例証という点におくためである。すなわち、「かくかくしかじかの政策を実行すれば、かくかくしかじかの現象を生じ、かくかくしかじかの結果になるだろう」というシナリオが、いかなる経済構造下で可能性をもつかをできるだけ簡単なモデルとシミュレーションで示そうというのである。だから、以下においてモデルやシミ

ュレーションにもとづいてのべる事柄も、そういう意味で読んでほしい。

2. モデルの概要

モデルの構造を図1に、対応する数式を表1に示す。図1にしたがってモデルの概要を説明する。

(i) 人口構成①～⑨ (p.31 脚注**参照)

このモデルでは、15年間を1期とする。これに対応して、人口も幼年(0～14歳)⑤、青年(15～29歳)④、中年(30～44歳)③、老年人口(45～59歳)①の4つの構成要素にわけ、1期後、各構成要素は、その生存率②分が15歳としをとり、次の構成要素に移行する。次期の幼年人口は、15年間の出生であるが、これは国内消費額⑨に増殖率⑧を乗じたものとして得られる。

幼年および青年人口を合わせたものが学習人口⑦であり、これらが技術を学習し、次期の生産性②を構成する。また、青年および中年人口を合わせたものが労働人口⑥である。

(ii) 予算と内外支出分の決定

労働人口に総合生産性②を乗じたものが、この国の生産額⑩である。生産物はその大部分が食料品等の農産物であり、これを全部国内で消費して自給自足(後述)することも可能であるが、食料品等基本生活具以外のものを入手するには、輸入にたよる他はない。

自国で生産した食料品の生産額と、先進国からの援助額⑪の合計が次期の予算額となる。この予

やない ひろし 慶応義塾大学 理工学部

算額を政策にしたがって、国内支出分と国外支出分に配分⑫する。このうち国内支出分は自然収穫⑭と合計⑬されて最終的な国内消費額⑨となる。ここに自然収穫というのは、産業によらず自然に収穫され、ただちに消費されてしまうため、経済の表面に現われない収穫のことである。

(iii) 国外支出額の配分

予算額中、国外支出に当てられた分は、さらに政策的に分配され⑮、先進物資購入費⑯、技術学習費⑱、技術借用費⑲に割り当てられる。このうち、先進物資購入費というのは、軍事費、贅沢品購入費等で、たとえ国家の威信の向上に寄与することはありえても、生産性の向上に寄与することのない物資に当てられる費用のことである。これにたいし、技術学習費は、国民が先進国の技術を学習するのに当てる費用で、その結果は一定の効率⑳で取得生産性㉑として、次期以降、自国のものとして蓄積される。また技術借用費⑲は、たとえていえば、肥料の購入や、トラクターを運転手つきで借りうけるような場合の費用であり、一定の効率㉒で借用生産性として、支出したその期だけ生産性に加算される。

(iv) 総合生産性

総合生産性㉓は、労働人口1人1期当りの生産額で、すでに蓄積されている技術(蓄積生産性㉔)と借用生産性㉕の合計である。借用生産性は、労働人口1人1期当りの技術借用費㉖に借用効率㉗を乗じて得られる。また、学習人口1人1期当りの技術学習費㉘に学習効率㉙を乗じたものが取得生産性㉑となり、蓄積生産性に加算されて次期の蓄積生産性㉔となる。

3. シミュレーション

前節でのべたモデルにもとづき、まず基本とな

表 1 数式モデル

今 期		前 期	
	幼年人口	= 増 殖 率 ×	国内消費額
	青年人口	= 生 存 率 ×	幼年人口
	中年人口	= 生 存 率 ×	青年人口
	老年人口	= 生 存 率 ×	中年人口
学習人口	= 幼年人口 + 青年人口		
労働人口	= 青年人口 + 中年人口		
	取得生産性	= 学習効率/学習人口 ×	技術学習費
	蓄積生産性	= 取得生産性 +	蓄積生産性
	借用生産性	= 借用効率/労働人口 ×	技術借用費
総合生産性	= 蓄積生産性 + 借用生産性		
生産額	= 総合生産性 × 労働人口		
	予算額	= 援助額 +	生産額
国内支出額	= 国内支出率 × 予算額		
国外支出額	= 国外支出率 × 予算額		
国内消費額	= 国内支出額 + 自然収穫		
技術学習費	= 学習率 × 国外支出額		
技術借用費	= 借用率 × 国外支出額		
先進物資購入	= 先進物資購入率 × 国外支出額		

る均衡状態からはじめて、いくつかの政策、援助効率等の設定についてシミュレーションを行ない結果を吟味する。設定の方法は、それこそ数限りなくあるわけだから、ここでは紙面の都合もあるので典型的なものだけをとりあげる。

3.1 自給自足の構造——基本例

生産した食料を全部内需にまわし、生産性の向上もはからず、また先進物資の購入もしない、原始的なままの鎖国状態にある場合を考える。この場合、この国の人口-経済は一応の均衡状態に安定している。このことはシミュレーションによっても確かめられるが、数式で計算することもできる。実際、人口分布の推移は次式でかける。

$$(1) \begin{pmatrix} u_{i+1} \\ v_{i+1} \\ w_{i+1} \\ x_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & sz & sz & 0 \\ k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \\ x_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} zn \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

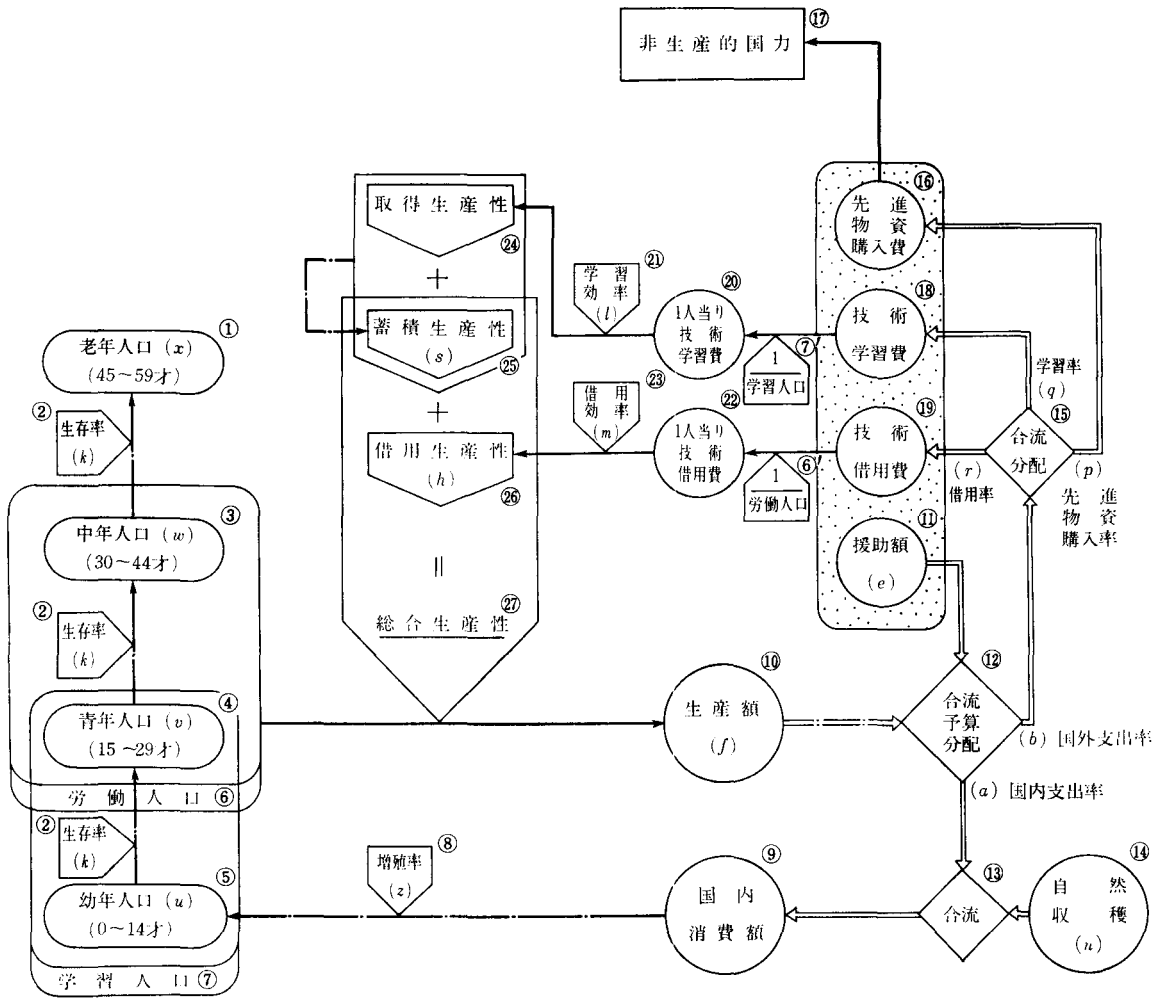
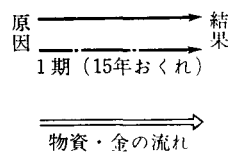
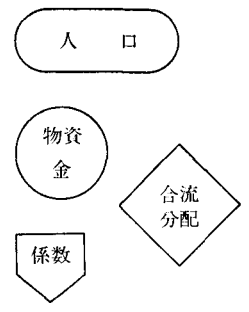


図1 モデル構造図

表2 係数の意味の例示

生存率($k=0.8$): 15年後10人中8人生存
 増殖率($z=2.0$): 国内消費額1億ドル/期につき2万人/期の出生
 生産性($=0.27$): 労働人口1万人が1期当り0.27億ドル生産~労働者1人1年当り180ドルの生産
 借用効率($=2.0$): 労働人口1万人当り技術借用費を1億ドル支出すると、その期の生産性が2向上する~1ドルの支出が2ドルになる
 学習効率($=0.5$): 学習人口1万人当り1億ドル/期の技術学習費を支出すると、次期以降の生産性が0.5向上する~1人1年当りの生産額を1ドル向上させるには当初2ドル必要



* 本稿作成のときには、作図の必要からカシオPB700 およびプロック・プリンタFA-10を用いたが、これはもともとシャープPC-1211 およびCE-122プリンターで行なった計算を書きかえたものである。

** ○内の番号は図1のそれに対応する。

ここに、各変数は次の諸量をあらわす。

u_i : 第 i 期幼年人口 , s : 生産性
 v_i : 第 i 期青年人口 , z : 増殖率
 w_i : 第 i 期中年人口 , k : 生存率
 x_i : 第 i 期老年人口 , n : 自然収獲

周知のように、 s 、 z 、および k の絶対値が十分小さければ、上式の行列は縮小写像となる(このシミュレーションの場合にも、 s 、 z や k として考えられる値は十分小さい)。この場合には、人口分布は一定値に収束して安定であり、その値も次式により容易に計算できる。

- (2) 幼年人口 $= zn / (1 - szk - szk^2)$ (= 110万人)
(3) 青年人口 $= kzn / (1 - szk - szk^2)$ (= 88万人)
(4) 中年人口 $= k^2zn / (1 - szk - szk^2)$ (= 70万人)
(5) 老年人口 $= k^3zn / (1 - szk - szk^2)$ (= 56万人)
(6) 人口 $= z(1 + k + k^2 + k^3)n / (1 - szk - szk^2)$
(= 324万人)

1 期当りの生産額や国内消費額を求めれば、

(7) 生産額/期 $= sz(k + k^2)n / (1 - szk - szk^2)$
(= 42.6億ドル)

(8) 国内消費額/期 $= n / (1 - szk - szk^2)$
(= 54.8億ドル)

となる。さらに 1 年当りの個人消費額を求めれば

(9) 消費額/人年 $= 10^4 / 15z(1 + k + k^2 + k^3)$
(= 112.9ドル/年・人)

カッコ内の数字は自然収獲が 12.2 億で、他の係数が表 2 の値の場合である。図 2-1 はこの均衡状態を示している。本稿で以下にのべる諸例はどれもこの数値を基準として、その一部を変更し影響を調べるものである。ただ、注意しておきたいことは、このモデルが線形であり、“国家”の規模が大きくなっても、大部分の変数はそれに比例して拡大されるだけであり、また個人消費額等は規模に影響されないことである。

手はじめに、ごく一部分のパラメータの変更によって均衡状態が移動する場合から考えてみよう。——(i) 自然収獲 n が 10% 増加した場合を考える。(2)~(8) 式をみれば直ちにわかるように、

これらの値は n に比例する。したがって、人口も生産額も国内消費額も 10% 増加する。しかし個人消費額になおしてみれば、(9) 式に見るとおり自然収獲 n には関係しないので、人口が増加しおわらないあいだの一時期増大しても、やがて元にもどってしまう。——(ii) このように自給自足している国にたいして経済援助をすることは、効果において自然収獲が増加することと等価である。その分だけ人口が増加し、個人の生活水準は一時期上昇してまた元にもどる。援助の増額の要求をうながすだけのことになりかねない。——(iii) 農業技術がふとしたことから改良され、生産性 (s) が 10% 上昇したとしよう。この場合には、生産額はむしろ (7) 式にしたがって増加する。人口もふえて 498 万人になる。しかし (9) 式からわかるように個人消費額は一時上昇するもののまた元にもどってしまう。——(iv) 先進物資はいくら購入しても生産にはつながらない。国外支出額をすべて先進物資の購入に支出することは、このモデルでは、生産性をその分だけ低下させることと効率において等価である。たとえば、生産額の 10% を先進物資の購入に当てる場合には、生産性が 90% に低下したのと同じだから、この国の人口や生産額は衰退して、最終的には人口 239 万人の新しい均衡状態に移行する。個人消費額はしかし、さほど動かず、最終的には (9) 式が示す元の値 (112.9 ドル) にもどってしまう。——(v) 人口増殖率 (z) が 10% 低下すれば人口は減少する。しかし (9) 式からわかるように、1 人当りの消費額は増加し、125 ドル/年・人になるからその分だけ生活レベルが上昇する。——(vi) 医療技術の向上で生存率が 5% 増加した場合、人口は増加し新しい均衡状態へ向う。最終的には 463 万人になるが、1 人分の消費額はむしろ低下し、最終的には 106 ドル/年・人となる。死が遠のくかわりに飢えが近づく。

こうしてみると、ほぼ均衡状態にあって、自国の経済を動的に改革しようとしていない国の生活水準の向上には、人口増殖率の低下以外には効果

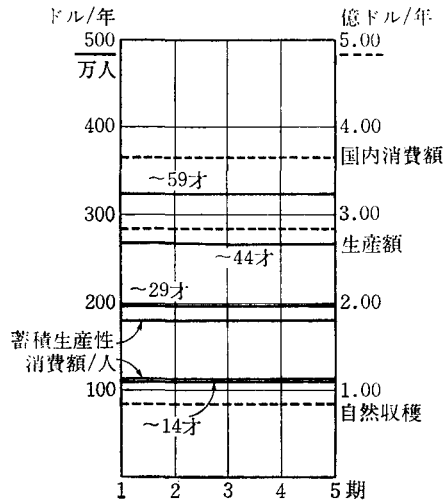


図 2-1 均衡状態

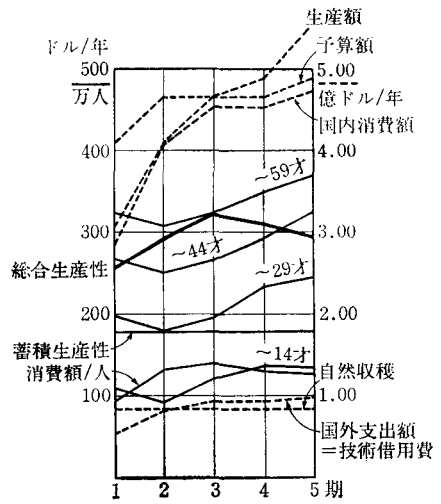


図 2-2 借用政策

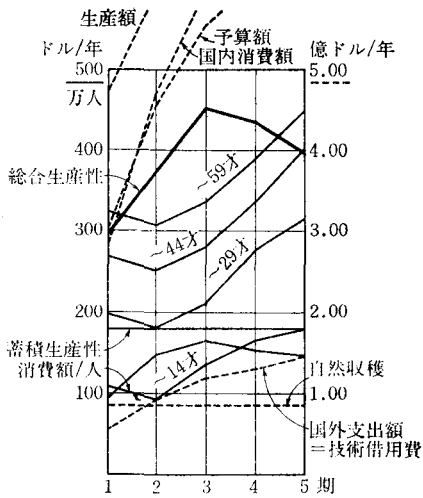


図 2-3 借用効率の増大

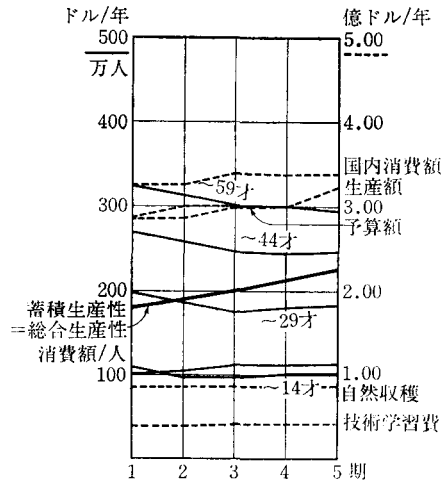


図 2-4 技術学習による自力更生

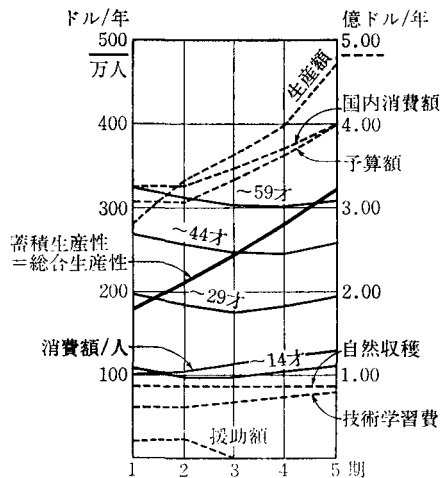


図 2-5 援助と学習効率の増大にささえられた自力更生

が薄いようである。経済援助は増額しつづけなければ効果がない。医療奉仕もあだになりかねない。

3.2 技術借用政策と援助

とにかく生産性を手っとり早く向上させなくてはならないという見地から、生産した食料の一部をさいて、これで先進国から技術を借用するという政策を考えてみよう。この方法ではしかし、借用分が小さいとあまり効果がない。実際、3.1の数式にもとづいて簡単な計算をすれば確かめられるのだが、小さな借用では均衡状態が少々移動するだけで、自給自足の経済から脱却することができない。

図2-2に示すのは、図2.1の場合において生産額の20%を技術借用にまわした場合である。この場合には均衡点が移動するのではなく、人口-生産額ともずっと成長しつづける。また、技術借用料として支払われる金額は先進国にとっても魅力であろう。

しかし、国内で消費する分を技術借用料にまわすのだから、一時的にせよ出生と個人消費額が落ち込む。この例でも一時期は年間100ドルを下まわっている。借用費をさらにふやせば、結果的な成長は大きなものになるが、個人消費額の落ち込みも耐えがたいものになる。たぶん、過酷な植民地政策等はこれに相当するものであろう。

そこで、大幅技術借用政策の初期における落ち込みを、援助によって支えることを考える。図2-2の場合を基礎にして、できるだけ少ない援助で個人消費額が年間100ドル以下にならないよういろいろ試みた結果、1つの方法として1期間だけ3.5億ドルの援助をするという方法があることがわかった。個人消費額ばかりでなく、人口や生産額の伸びも多少ながらよくなる。技術借用料として支払われる金額が最低でも1期9.15億ドルに達するのだから、先進国側でも考慮に値しよう。

次に、借用効率を増加させてみよう。これは借用する先進国の技術が進歩したり、技術使用料が

値下げされたりした場合に対応している。図2-3に示すのは借用効率を5割増しにした場合である。生産額の伸びはいちじるしく、第5期には年当たり8.86億ドルに達する。個人消費額の伸びもよく、2期目にはすでに年当たり150ドルの線に到達している。このことは、先進国で償却のすんだいわばタダの技術の活用、あるいはきわめて効率の高い最新技術等、効率の高い技術の導入を示唆している。

しかし、技術借用政策もよいことづくめではない。図からもすぐにおかしく、総合生産性や個人消費額が頭打ちで、途中からやや減少しはじめるのである。これは人口が伸びてくるためである。もう1つの問題点は、上の例も示しているように借用効率の影響が強いため、効率のよい分野ばかりが探し求められ、その結果、産業全体がアンバランスになってしまう危険があることである。

以上のシミュレーションは、技術借用政策が有効でありながらも、それだけでは植民地型の経済をもたらす危険をはらんでいることを示している。

3.3 技術学習政策

生産した食料の一部をさいて、これによって先進国から技術を学習する。単なる借用ではないのだから、その技術は蓄積される。したがって生産性はつねに増加しつづけるので人口-経済は新しい均衡状態に収束することなく、成長を開始すれば、それは次第に加速されてゆく。しかし、この場合にも国内消費分をさくのであるから、一時期の出生や個人消費額の落ちこみは避けられない。

図2-4に示すのは、援助も受けず技術を学習して生産性を向上させる自力更生の政策である。個人消費額が年間100ドルを割らないという条件のもとでは、生産額の14%までの学習費が目一杯である。図に見るとおり、すべての点で成長に時間がかかり、つらくきびしい。人口も減ってゆく。蓄積生産性のもつ加速効果もなかなか現われない。

技術学習費として先進国に支払う金額も大きくないから、先進国にとっても面白味はない。

そこで、初期の落ち込みを援助でささえてみる。2期間にわたり合計7億ドルの援助を行なえば、生産額は着実に伸びる。第5期には援助がない場合に比べて4.1億ドル増加する。これと同時に技術学習費として先進国側に支払われる金額も、5期通算で21.5億ドル増加するから、7億ドルの援助がいるにしても先進国側にも有利である。

この場合、援助を2期間としているのは、第1期の援助で人口の低下がふせがれるので、第2期における個人消費額の低下をきたさぬためである。ただ、これ以上援助をつづけてもその効果はめざましいものではなく、少なくとも先進国には魅力はない。

それよりもむしろ、技術学習費を下げたり、学習効率が上がるようにしてみたらどうだろうか？

図2-5に示すのは、図2-4の場合に2期間で合計7億ドルの援助を加え、さらに学習効率を2倍にしたものである。効果はいちじるしい。生産性も生産額も着実に伸びつづける。技術学習費にしても、5期間を通算すれば図2-4の場合を21.9億ドル上回る。援助を差し引いても14.9億ドルも上回ることになるから、先進国にとっても損にはならない。学習効率の向上が安価にできるのなら、きわめて興味ある方法と言わねばならない。

4. おわりに

本稿は研究部会「第三世界とマイコン」の活動の一環として行なった研究で、1983年春季研究発表会での報告に多少手を入れたものである。

第1節でものべたように、できるかぎり簡単なモデルとシミュレーションで、低開発国の人口一経済の推移のシナリオの論議を試みたわけである。定量的にはともかく、定性的には「技術の借用をカンフルとして、ある程度の、一定期間の援助にささえられた技術学習による自力更生」という“テイク・オフ”のためのシナリオが浮かびあがってきた。

定量的には、なにぶんモデルが粗っぽいので十分というには程遠いものの、過去の歴史を調べてみると、低開発国の“テイク・オフ”は予想外に長い時間を要するものようである。1期=15年というメッシュの粗さにもかかわらず、定性的結果がきわめて常識的であるのも、このような事実にはささえられているのかもしれない。

また、学習効率の増大、安い技術、効率の高い技術の提供ということが、低開発国の発展にきわめて大きな効果を有するという点も興味深い。モデルやシミュレーションでの議論であるにせよ、マイコンを第三世界の発展に役立てるための方法の模索が、きわめて重要な意味をもつことを示唆しているように思われてならない。

各国OR学会住所（その6）

20. JAPAN:

The Operations Research Society of Japan (ORSJ).

PRESIDENT: Jiro KONDO, c/o

The Operations Research Society of Japan, Gakkai-Center Bldg., 2-4-16 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113.

REPRESENTATIVE: Hiroshi TAKAMORI, c/o The Operations Research Society of Japan, Gakkai-Center Bldg., 2-4-16 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113.

SECRETARY: Mitsuru YOKOI, Kogakuin University, Nishishinjuku 1-24-2, Shinjuku, Tokyo 160

21. KOREA:

Korean Operations Research Society (KORS). PRESIDENT: Dr. Woong-Bae Rha, Ajou University, 5, Weoncheon Dong, Suwon.

REPRESENTATIVE: The same as President. SECRETARY: Dr. Chae Ha Pak, Director, Manpower Management, Korea Institute for Defense Analyses, C. O. O. Box 3089, Seoul.