

システム・ダイナミクスによる 地域経済社会の変化予測

樋口 透

(序)

本論文は、むつ小川原地域の大規模開発に伴う地域経済・社会への影響を予測するために試みた、システム・ダイナミクス・シミュレーションの概説である。⁽¹⁾

地域開発によるその地域への影響を考察する場合、従来主としてそこからもたらされる経済効果、とりわけ就業機会や個人所得の増大、地方自主財源の拡大、道路・港湾等公共施設の拡充など、さらに諸々の波及効果等について論議されてきた。また、これらの問題を計量的に扱う用具としては、産業連関分析や計量経済モデルが一般に知られている。しかし、経済的側面のみを重視した論議は必ずしも今日の問題点をふまえたものとはいえない。自然環境やそこに生活する人々の社会を充分考慮し得ないからである。⁽²⁾

(1) 本研究は著者がそのメンバーの一員であった、東洋大学電子計算機センターの研究プロジェクト「社会システム研究グループ」が昭和48年度及び昭和49年度にわたる依頼研究を行ったが、その後モデルの一部を変更し、新しいデータを加えたものである。著者は初年度はパイロット・モデルの構築とシステム・ダイナミクスの実施に参加し、次年度は、各サブシステムをそれぞれの専門分野の人に依頼し、より精緻なモデル構成を行った、また既に開発の進んでいる類似の地域として鹿島地区のデータにより検証的な試行も行った（モデルは簡略化されている）。これらの成果の一部は、日本地域学会第10回大会（48年12月7日、発表者—山内昭）および第11回大会（49年9月14日発表者—樋口透）で発表され、また49年度の成果の一部は著者により日本経営学会北海道部会に於て発表された。尚パイロット・モデルの目的は、地域の諸現象の動態を大ざかみに把握すること、およびこの種の問題（特に地域が比較的狭い範囲に限定されている）にSD手法を適用することの可否を判断することにあつたが、充分適用できるとの見通しを得て次年度以降の研究に進んだ。

(2) レオンチェフは汚染物質の発生とその除去を含んだ、拡大された産業連関分析を試みている。産業廃棄物の問題はコストの概念を導入することにより経済のわく組の中で解決されるという考えには限界があろう。

そこで我々はこのような問題を一種のソーシャル・システムとしてとらえ、そこに含まれるサブシステムのしくみをモデル化し、それらの総合的なシステムのダイナミックな振舞いを調べることを目的とした。分析の道具としてはシステム・ダイナミクス (SD)⁽³⁾ を用いた。この手法については、その理論、および、その適用結果の評価⁽⁴⁾ に関してまだ広く認められるに至っていないが、一方、我国内でも、地方自治体などで都市開発等の問題分析の手法として取り入れている例もかなりみられる⁽⁵⁾。SDの手法やその問題点や展望については別の機会に論じたいと思う。

(モデルの概要)

対象となる地域は図-1に示す7市町村にわたっている。青森県第2次基本計画骨子案によれば最終的には、石油精製160万バレル、石油化学250万トン/年(エチレン換算)、電力620万kwという大規模コンビナートが出現する筈である。

一方この地域の社会の特殊性としては、農林、水産業の外には特にみるべき産業もなく、その低生産性を反映して全国でも有数の出稼ぎ地区として知られている。

-
- (3) J. W. Forrester (MIT の Sloan School of Management 教授) が1960年前後に創始した Industrial Dynamics から発展し、システム一般に適用しうるということから System Dynamics (SD) と改称された。なお、コンピュータでモデルのシミュレーションを行うに便利な一種の言語 Dynamo が開発されている。他にも CSMP (Continuous System Modeling Program) が IBM 社により作られている。
- (4) ローマ・クラブのレポート「成長の限界」は多くの世論の批判を受けたが、「世界モデル」では世界を一つにまとめているため、開発途上国にとって都合の悪い結論が得られるのも当然である。多くの仮説のもとに行われたシミュレーションの結果からただちにこれを将来の姿であると考えるのは誤りであろう。この辺の事情をあまり周知させずに結論だけがジャーナリスティックに報道されたために多くの誤解を生じたが、このことがSDそのものの評価まで下げたとしたら残念なことである。
- (5) たとえば「兵庫SDモデル」、「広島市の都市機能モデル」、「京都土地利用ダイナミクス」、「埼玉ダイナミクスモデル」などがある。これらの研究はForresterの「Urban Dynamics」が1969年に著わされてから急激に増加している。

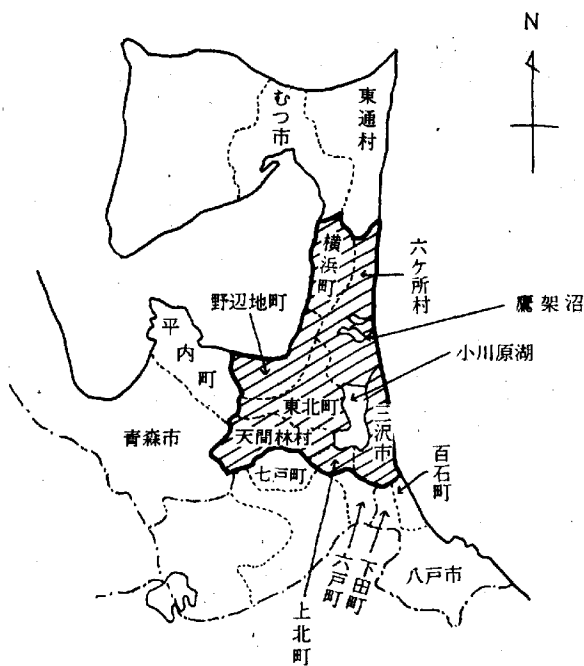


図-1 SDモデル対象地域(斜線部)

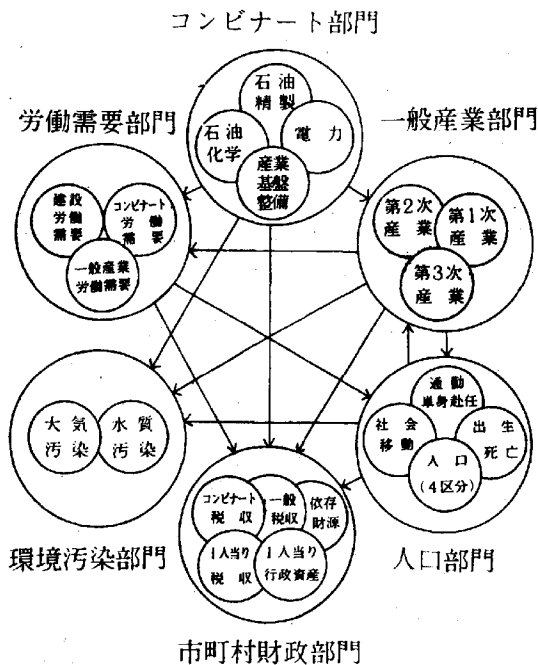


図-2 SDモデル概念図

我々はモデルを大きく6つの部門に分け、分析を行った。⁽⁶⁾
(図-2 参照)

各部門で扱う要点をあげると、

- ・石油シリーズによるコンビナート活動
- ・既存産業とコンビナートの波及効果による一般産業活動
- ・産業活動によって生ずる労働需要
- ・労働需要によって起る人口の社会増減および自然増減
- ・産業活動、人間生活によって生ずる環境汚染
- ・地方財政収入と生活関連資産の動き

まず各部門ごとにモデルの概説をしておこう。

(1) コンビナート部門：石油精製，石油化学，電力への投資，産業基盤投資によって建設活動

が生じ一定の遅れを伴ってコンビナートの生産能力となる。コンビナート活動は、地域内他産業へ波及効果をもたらし労働需要を通じて人口を増加させ

(6) パイロット・モデルでは「地域の魅力度」を所得，財源，汚染の水準から構成し，人口移動の基準に選んだが，性質の異なるものから一つの指標をつくることは現段階では無理であるとの判断から，これをはずすことにした。

る。一方環境汚染や地方財政にも影響を及ぼす。

(2) 一般産業部門：農業，コンビナート以外の第2次産業，第3次産業より構成され，農地は開発に伴い減少するが農地開拓により増加させることも可能である。第2次産業は波及効果により生産能力が増加し，第3次産業は，個人消費，第2次産業およびコンビナート活動による波及効果を受ける。

(3) 労働需要部門：コンビナート建設および基盤整備のための建設需要，稼動に伴う労働需要，一般産業では予測される純生産から必要とされる労働需要が発生する。

(4) 人口部門：地域の人口は年齢階層別に4区分した。就業率によって変わる労働供給力労働需要部門から生ずる労働需要との差によって労働需給をバランスさせるべく，人口の社会移動が行われる。その際，通勤者の動きや，建設労働の単身赴任者によって，社会移動が変化する。その他，地域人口は自然増減によって変わる。

(5) 環境汚染部門：コンビナート活動，一般産業活動，住民の生活により環境汚染が生ずるが，ここでは大気汚染は SO_x ，水質汚染は COD および BOD によりその総排出量をもって評価した。

(6) 市町村財政部門：産業活動からの税収をとりあげ，住民1人当りの税収および生活関連行政資産を指標として，開発による影響を考えた。

ここに概説した内容を SD のフローダイアグラムで表わしたものが次の図-3，および図-4である。図で矩形はレベル，実線はフローを示し，フローを決定するのがバルブ（三角形）記号で示される。レベルはストックと同様の概念である。各サブシステムを結合しているのが情報の流れである（情報名は円内に示されている）。またこのシステムとは独立な関数関係にある情報はテーブル関数で与えることが可能である（円内に横棒を引いて示す）。定数は小円にて表示されている。フローは遅れを伴うことがあるが，これは一種のレベルを中間に入れることにより表わすことができる。（細分された矩形で表わされている）。

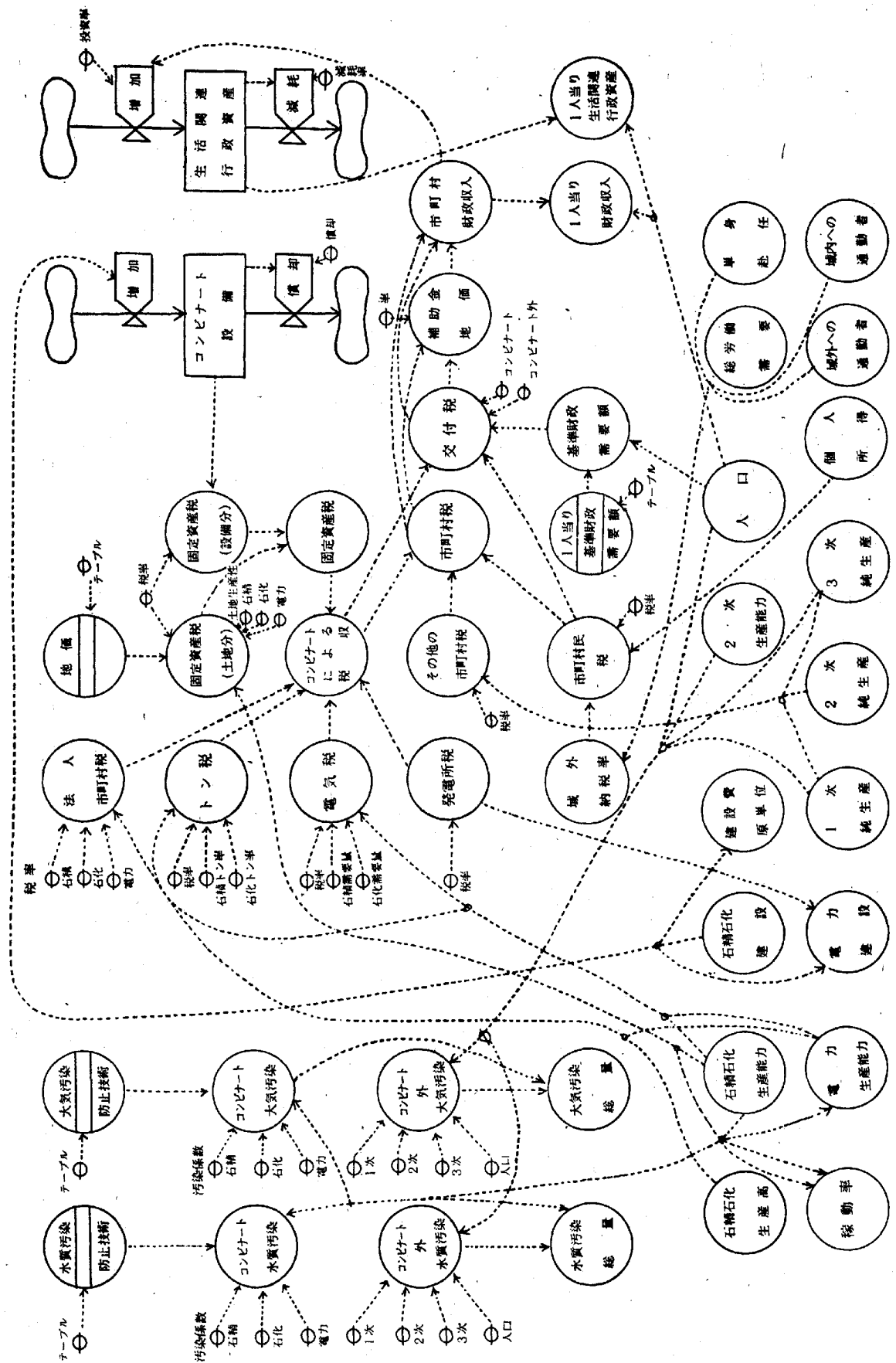


図-3 フロー・ダイアグラム (産業・人口部門)

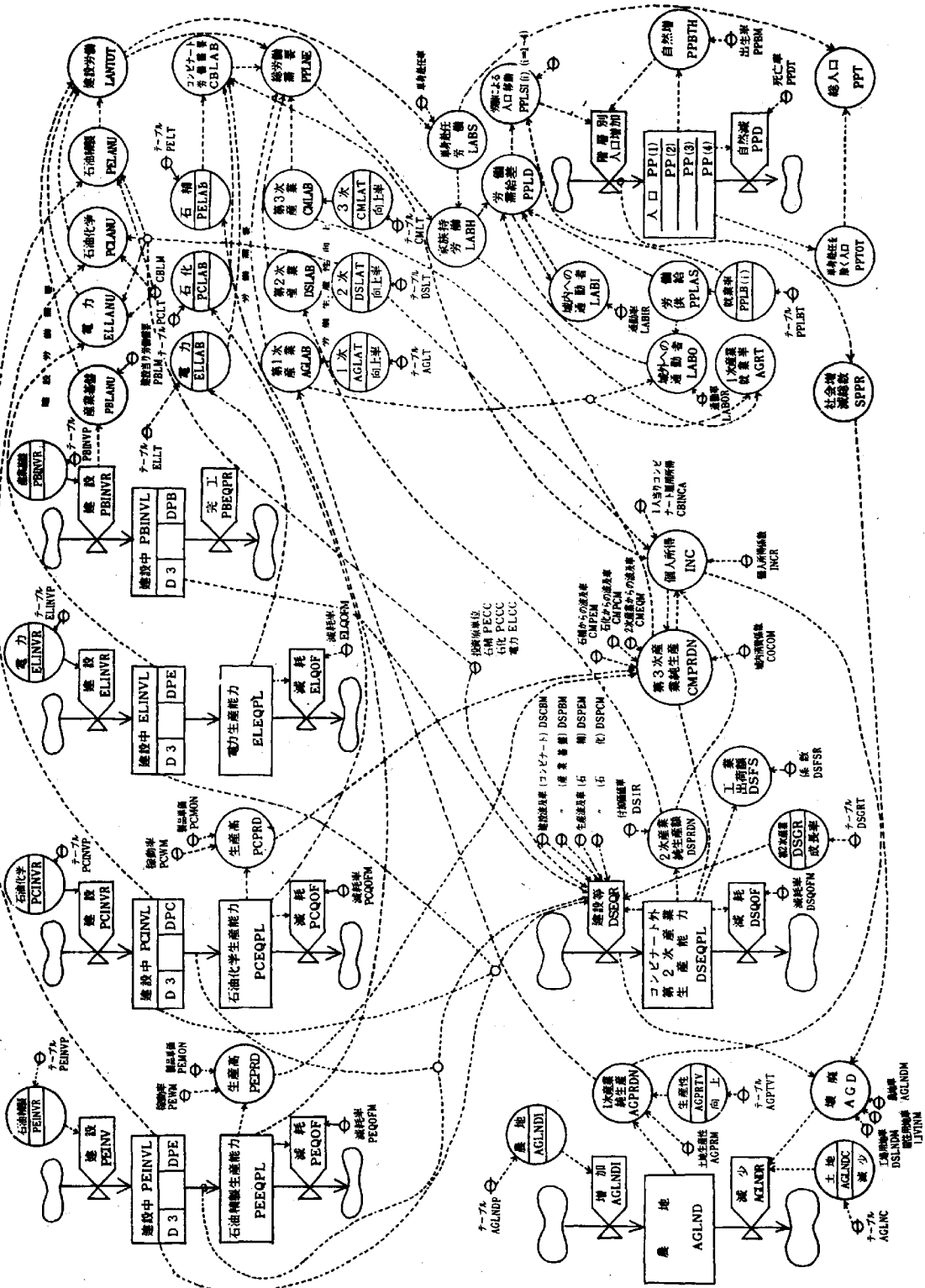


図4 フロー・ダイアグラム (環境・財政部門)

(モデルの方程式)

フロー・ダイアグラムの段階はSDモデルを定性的なレベルで図式化したに過ぎない。コンピュータ・シミュレーションを実行するために DYNAMO⁽⁷⁾ による表現に置き換える。

SDでは、情報、レベル、レイトが時間と共にどのように変ってゆくかを追跡する。したがって DYNAMO はこれらの変数の間の関係を差分形式で表現したものとなる。システムに存在するフィードバック・ループ、遅れ要素、そして要素間の非線形関係はシステムの動態を知る上で無視し得ないが、これらをうまく表わせることがSDの大きな特徴であろう。

このモデルでは全部で279個の式(定数および初期値を含む)⁽⁸⁾が作られたが紙数の都合で全部を説明することは避け、一部分だけを代表的に掲げよう。

DYNAMO による式(石油精製)

$$(1) \quad R \quad PEINVR.KL = TABDC (PEINVP, TIME.K, 1979, 1992, 1)$$

$$(2) \quad T \quad PEINVP = 0/20/30/0/0/0/20/30/0/0/0/30/30/0/$$

(1) 式は石油精製投資(PEINVR: 万バレル)が時間(TIME)1970年から1992年迄に計画表(PEINVP)のように行われることを示す。最終計画案では第1期50万バレル、第2期50万バレル、第3期60万バレルとなっているがこれを上記年次に配分した(別の配分についても試行した)。つまり1980年20万B、1981年30万B、1985年20万B、1986年30万B、1990年30万B、1991年30万B相当が投資される。

$$(3) \quad L \quad PEINVL.K = PEINVL.J + (DT)(PEINVR.JK - PEEQPR.JK)$$

建設中の設備(PEINVL: レベル)は前期までに建設中のものに新たな投資(PEINVR)と建設完了の設備(PEEQPR)の差(つまり今期中に新た

(7) この段階ではじめて数式的表示がなされる。数式表現はFORTRANでも可能であるが、式の順序を考慮しなくてはならないのでやっかいである。

(8) パイロット・モデルでは70式弱、次年度の改良モデルでは約400式であった。改良モデルに比べ式の数が減っているが、これは、数式化に無理があると思われるフィードバック・ループを断ち切ったこと、あまりに変数の数が多いと、モデルの特徴を把握しにくいなどの配慮があった。

に建設中設備に追加され、あるいは差引かれる分)を加えたものになる。⁽⁹⁾

$$(4) \quad R \quad PEEQPR.KL = DELAY3 (PEINVR.JK, DPE)$$

$$(5) \quad C \quad DPE = 2$$

投資 (PEINVR) は一定の建設期間 (DPE=2年) を経て完了 (PEEQPR) する。

$$(6) \quad L \quad PEEQPL.K = PEEQPL.J + (DT)(PEEQPR.JK - PEQOF.JK)$$

今期中新たに生産能力となった、あるいは除外された部分 ((DT)(PEEQPR.JK - PEQOF.JK)) が生産能力のレベル (PEEQPL) に累計される。

$$(7) \quad R \quad PEQOF.KL = PEEQPL.K \times PEQOFM$$

$$(8) \quad C \quad PEQOFM = 0$$

(7)式は生産能力の一定割合 (PEQOFM) 減耗 (PEQOF) することを表わしているが、ここでは、無視した (8)式。

$$(9) \quad A \quad PEPRD.K = PEEQPL.K \times PEWM \times PEMON$$

石油精製の生産額 (PEPRD: 億円/年) は能力 (PEEQPL) と稼働率 (PEWM) と単価 (PEMON: 億円/万B) の積で与える。

$$(10) \quad C \quad PEWM = 0.90$$

稼働率 (PEWM) は実動 330 日/年とし、

$$(11) \quad C \quad PEMON = 108$$

は最終規模の数字 (160 万Bないし 15,560 億円) から逆算した。

以上で石油精製の部分の記述が完了したわけであるが、石油化学と電力についても同様に定式化される。定式化にあたっては、得られるデータはできる限り有効に利用し、モデルの信頼性向上に努めたつもりであるが、データの不足から類推、あるいは仮定に基づく部分もないとは言えない。

(9) 変数名の後の .J, .K, .L はそれぞれ今期より一期前, 今期, 今期より一期後の時刻を示し, .JK などは時間を示し, この長さは DT で表示される。

(10) A は Auxiliary の略でこの式が補助方程式であることを示す。C, L, R, T についても同様に Constant (定数), Level (レベル), Rete (レイト), Table (テーブルなど方程式の種類)を示す。

(シミュレーションの結果)

このシミュレーションは、モデルの性質上一種の政策シミュレーションと考えることができる。しかし、前述したようにデータの不足などのために恣意的に設定したパラメータについては、感度分析などにより、モデルの動きを調べる必要がある。ここにまず示す例は、多くの結果のうち比較的安定しているものである。後で政策パラメータを同一の条件で変えたときの同一変数の比較も行っている。

シミュレーション・モデルの実行される期間は1970年から2000年迄の31年間で、この間のそれぞれの変数の時間変化を各部門別にグラフ表示し、(図-5, 6, 7, 8, 9, 10) ここから読み取れるいくつかの点を概説してみよう。

・産業活動の推移 (図-5 参照)

① コンビナートの生産能力 (ア, イ, ウ) : 投資がこのシステムに対す

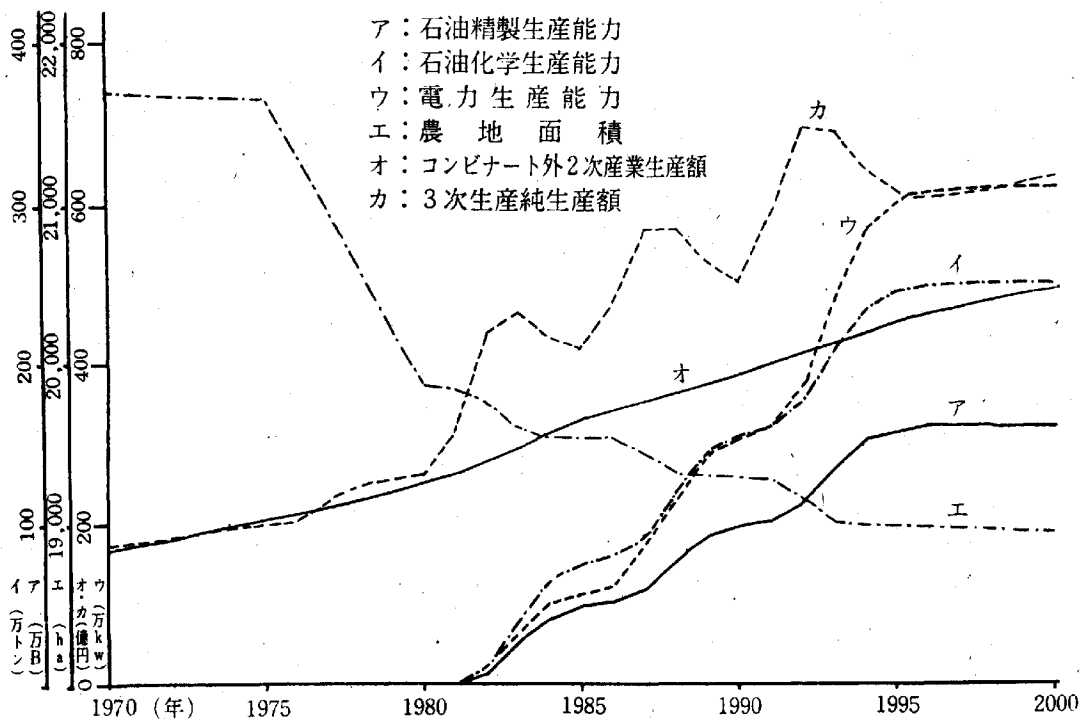


図-5 産業活動の推移

(11) このことをもってこのモデルが有効と判定される訳ではないが一応の目安と考えた。

るインパクトであるから、結果は時間遅れを経て累計されただけであるが、第1期分がフル操業に入るのが1986年頃で1996年には最終規模に到達する。⁽¹²⁾

- ② コンビナートを除く2次産業生産額（オ）：コンビナート建設と生産の波及効果により1980年代前半の伸びが大きくなっている。最終的には500億円となり1970年当時の3倍となるが、これはたとえば石油精製（160万Bで1兆5,000億円）に比べ30分の1に過ぎない。
- ③ 第3次産業純生産（カ）：コンビナート建設期の影響が大きく、3期の投資時期に対応してピークが現れる。
- ④ 農地（エ）：初期の急激な減少は建設用地に転用される分を示し、その後の変化は住宅・産業用地の拡大に主に依存している。最終的な減少分は約1割に過ぎない。

・労働需要の推移（図-6参照）

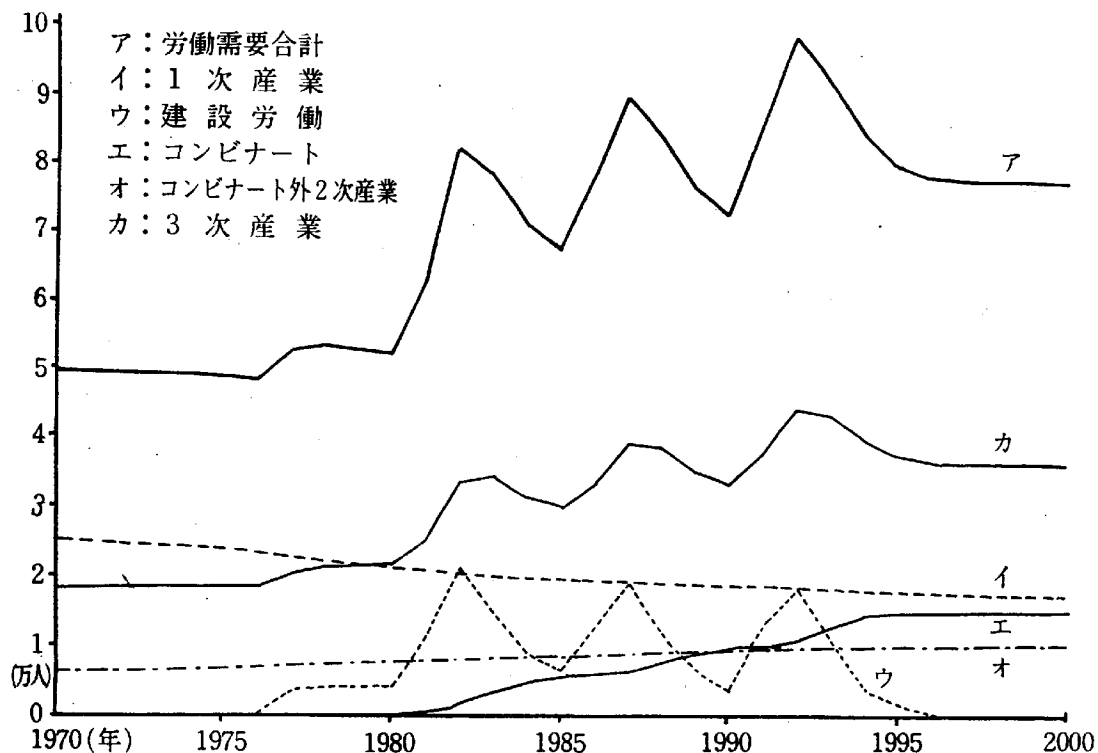


図-6 労働需要の推移

(12) 勿論原油の供給がこのままの条件で続くものとして。

- ⑤ 1次産業従事者（イ）：1970年に50%を占めていた就学者は2000年には20%に減少する。
- ⑥ 建設労働者（ウ）：投資が行われる時期にピーク（約2万人）が生ずる。
- ⑦ コンビナート労働者（エ）：フル操業時で約14,000人でこれは全就業者の約20%に相当する。
- ⑧ コンビナートを除く2次産業従事者（オ）：ほぼ直線的に増加し2000年で約1万人に達する。
- ⑨ 3次産業従事者（カ）：1970年に全体の1/3を占めていたが2000年には約50%を占めるようになる。
- ⑩ 総労働需要（ア）：1970年の約5万人が2000年には77,000人となり、5割強の増加となる。ただし建設ピーク時には10万人を超える。

・人口の推移（図-7参照）

- ⑪ 総人口（ア，イ）：やはり建設労働需要の影響が強く現れている。2000年では約16万人に落ち着くがこれは1.6倍の伸びで労働者の伸

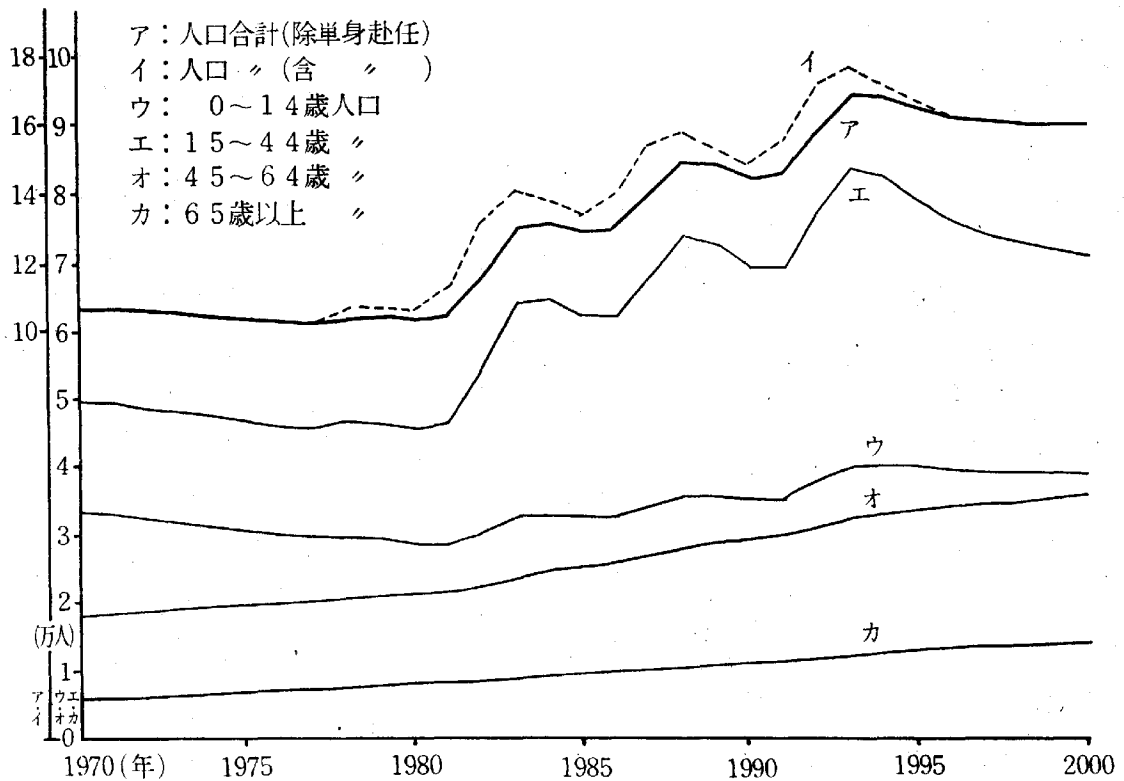


図-7 人口の推移

びよりわずかに上回っている。

- ⑫ 年令階層別人口（ウ，エ，オ，カ）：⁽¹³⁾生産年令の人口増は明きらかに開発の影響を直接受けて大きくなっているが，老令人口もかなりの伸びを示しており，老令化社会の進行する様子がみられる。

・環境汚染の推移（図-8 参照）

- ⑬ 水質および大気汚染（ア，イ，ウ）：⁽¹⁴⁾大気汚染はコンビナートに起因するものが大部分であるが水質汚染ではそれ以外の占める割合が大きい。

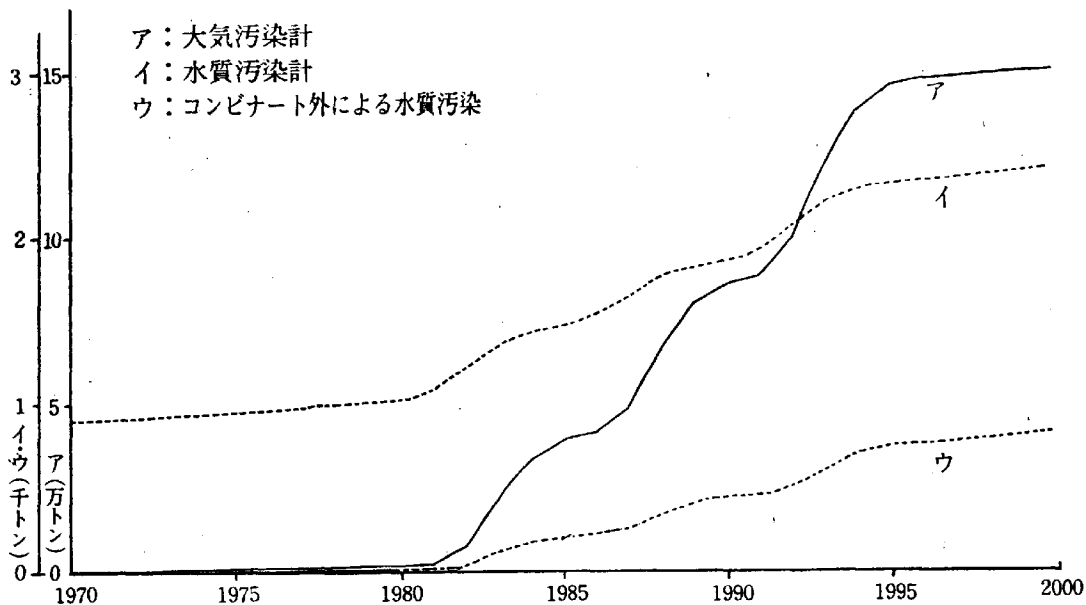


図-8 環境汚染の推移

・市町村財政の推移（図-9 参照）

- ⑭ 収入（ア，イ，ウ，エ）：⁽¹⁵⁾コンビナートによる税収が1993年をピークに減少することを反映して，収入合計もその後少し低下する。

(13) 49年度のモデルでは15階層（5年きざみ）に分けたが，取り扱いの繁雑さを避けるため4区分とした。就学人口，労働人口などが明確には年令階層で分類されないきらいがある。

(14) 現在の汚染防止技術に基づいて評価されているが，想定されるいくつかの防止技術水準を示すタイム・テーブルにしたがうシミュレーションも実行してみた。

(15) コンビナート設備の償却（15年定率償却とした）による償却資産分固定資産税の減少による。

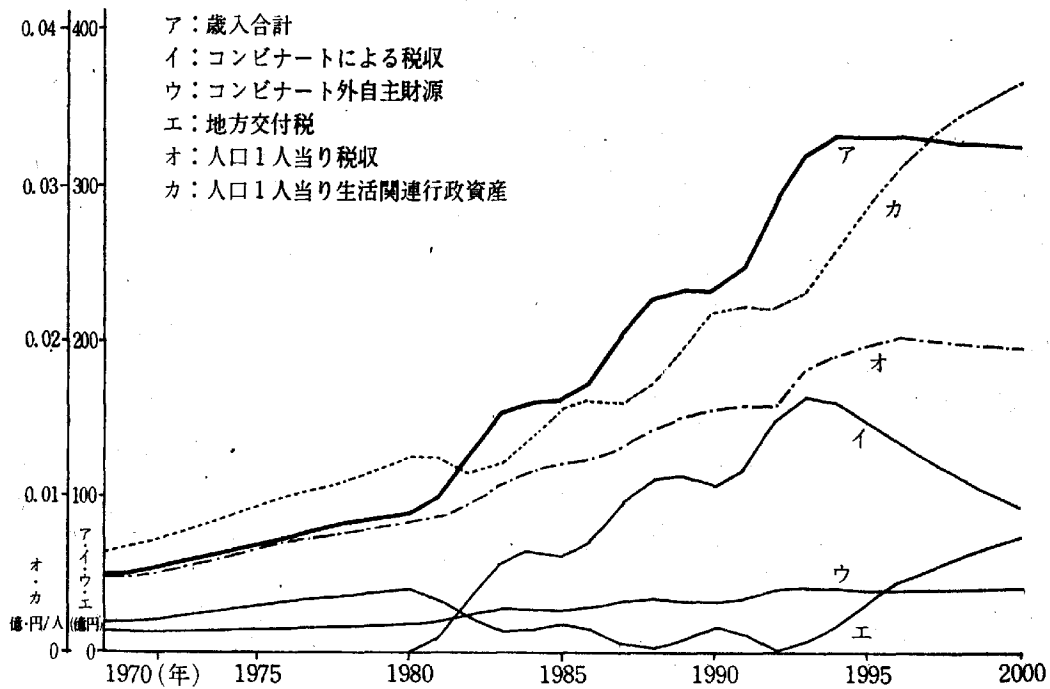


図-9 市町村財政の推移

- ⑮ 人口当り収入（オ，カ）：1人当りの生活関連資産は建設段階で一時的減少をみるが1994年頃から急に伸びるがこのことは必ずしも個人の生活がその分だけ向上することを意味しない。⁽¹⁶⁾

（条件を変えた場合のシミュレーション結果）

これまでに述べた結果以外に種々の条件のもとにシミュレーションを行ったが紙数の都合から次のケースについてグラフで結果のみ示すことにする（項目英字がグラフの種別を示す）。

・条件

- (A) 前述の結果（比較のため）
 (B) GNPの伸び率を変えた場合：1975～1985年を6%（前掲のAタイプではそれぞれ4%と2%）
 (C) 建設波及効果を変えた場合：コンビナート，公共投資の建設波及を

(16) 生活関連資産は教育，衛生，消防等に関する資産であり，建設時の人口ピークを過ぎてこれらの施設が過剰になった状態を示すものである。

ともに5% (Aでは1%と2%) とする。

- (D) コンビナート生産波及効果を変えた場合：Aタイプの2倍にする。
- (E) コンビナート投資が縮小された場合：第3期投資が行われな
き。
- (F) 投資が平準化されたとき。
- (G) コンビナート投資がまったく行われな
き。

それぞれの変数と条件をパラメータとして同一のグラフに示してある(図-10～図-18参照)。グラフから読み取れる主要な点は、投資の平準化によって人口変動を低下させることの可能性である。

(むすび)

今後の研究課題として、(1)方法論的な検討(感度分析によるパラメータの信頼性の評価、何らかの検定によるシステム全体の信頼性の評価、産業連関分析や計量経済モデルとのつき合わせによる斉合性の検討、ある満足解集

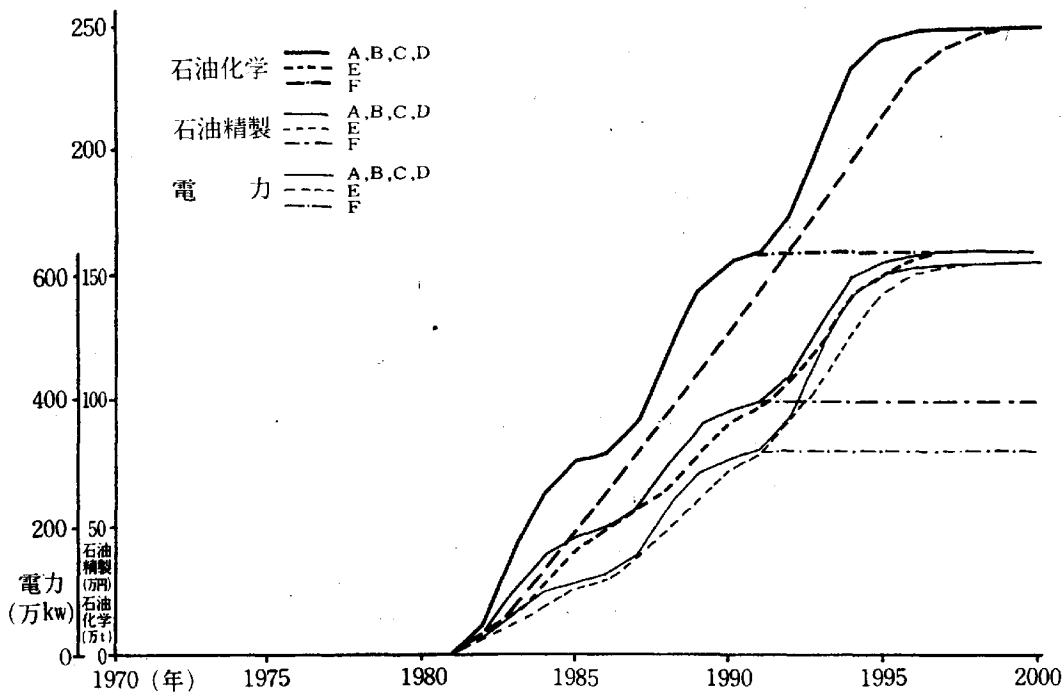


図-10 コンビナート生産能力

合の自動的選出) および, (2) データ収集と分析(データ・バンクの確立) などが考えられる。

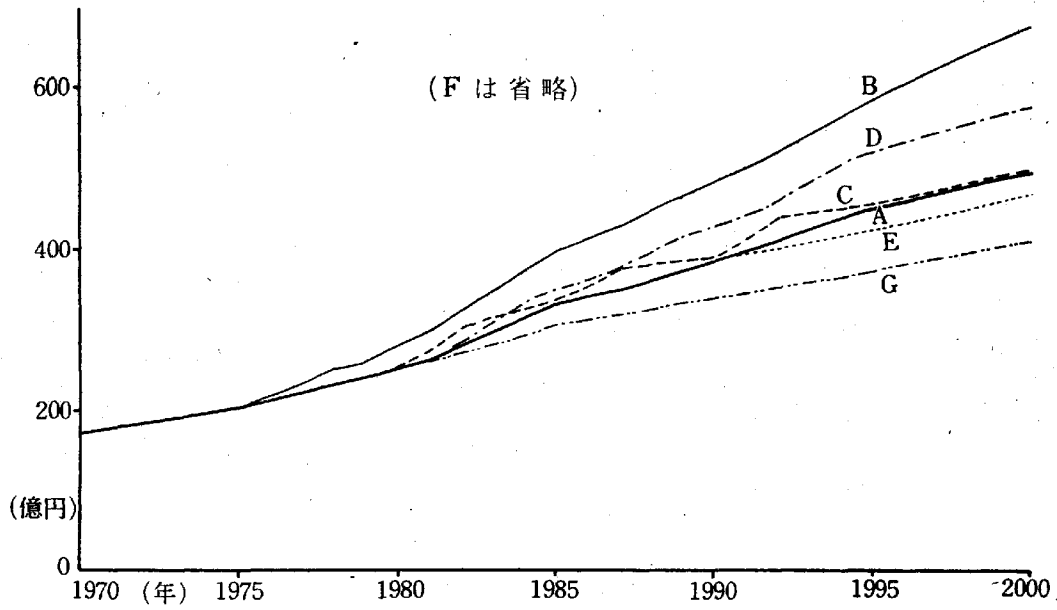


図-11 第2次産業生産高

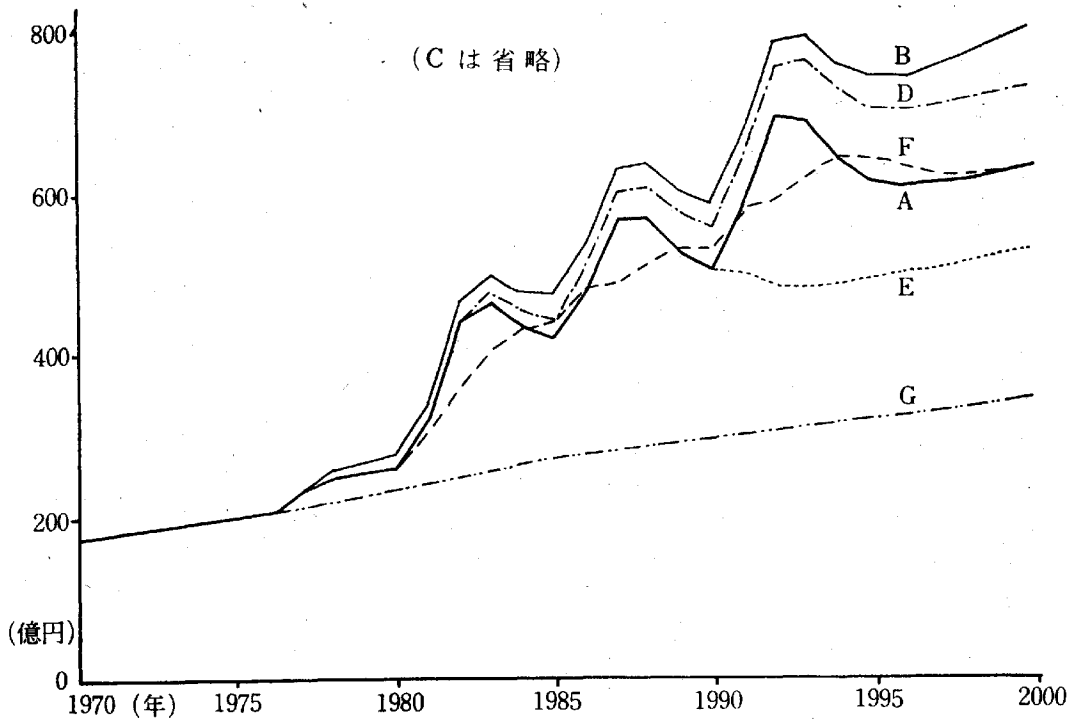


図-12 第3次産業生産額

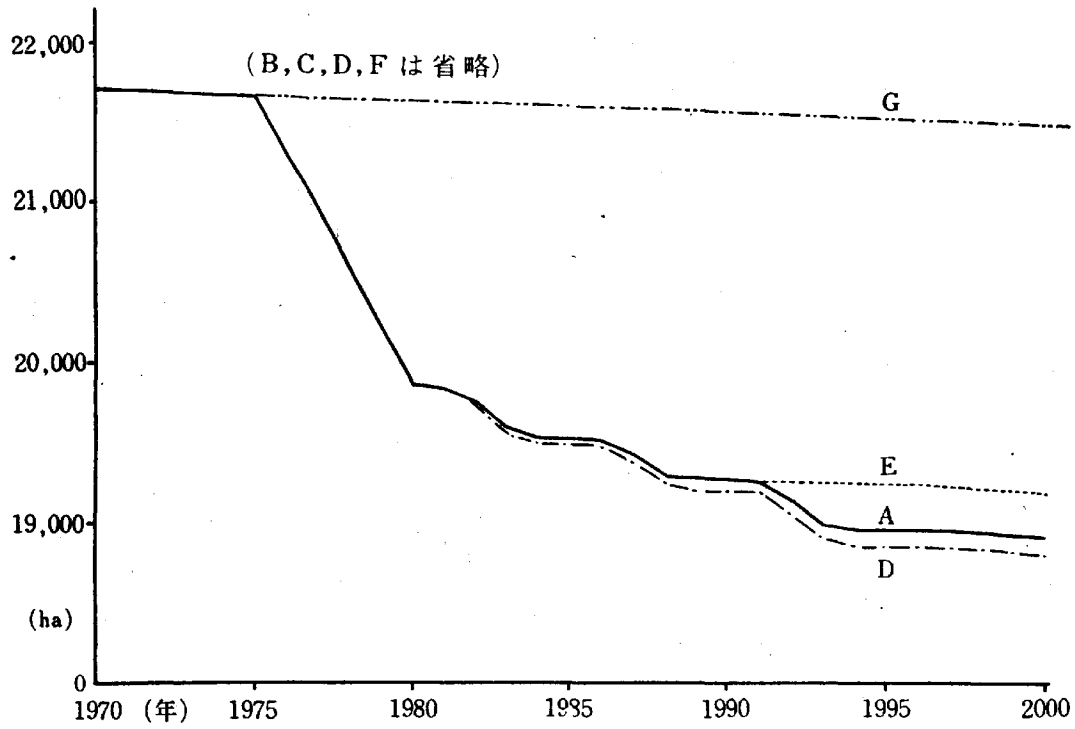


図-13 農地面積

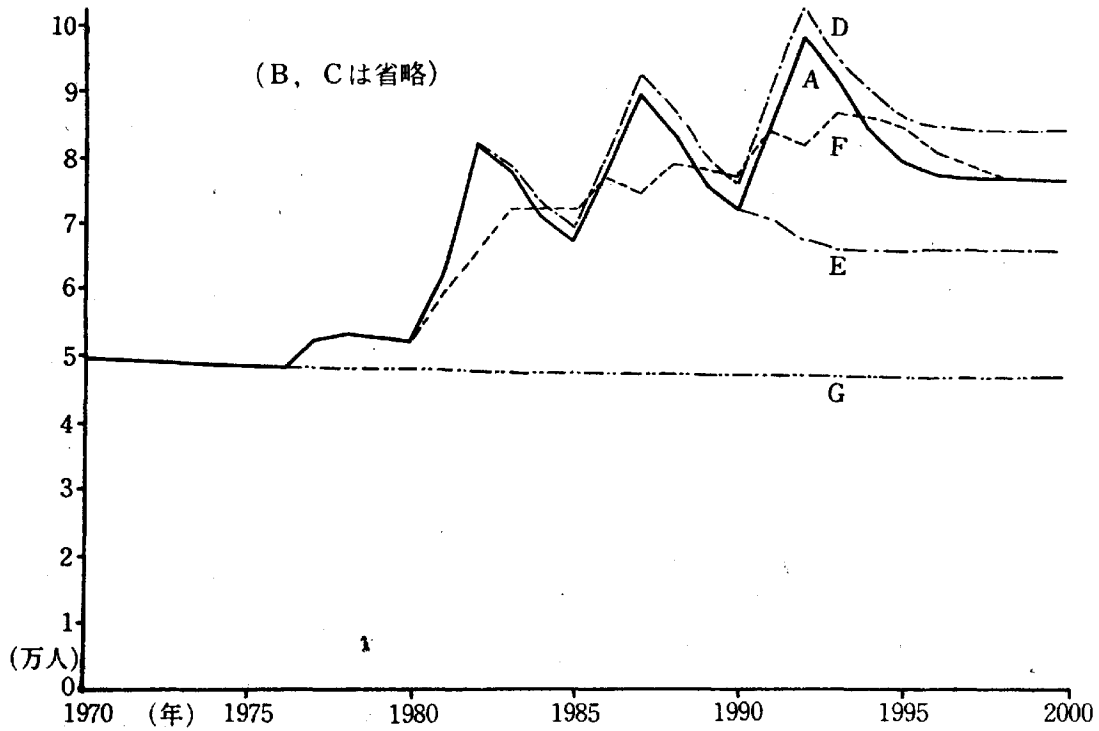


図-14 労働需要

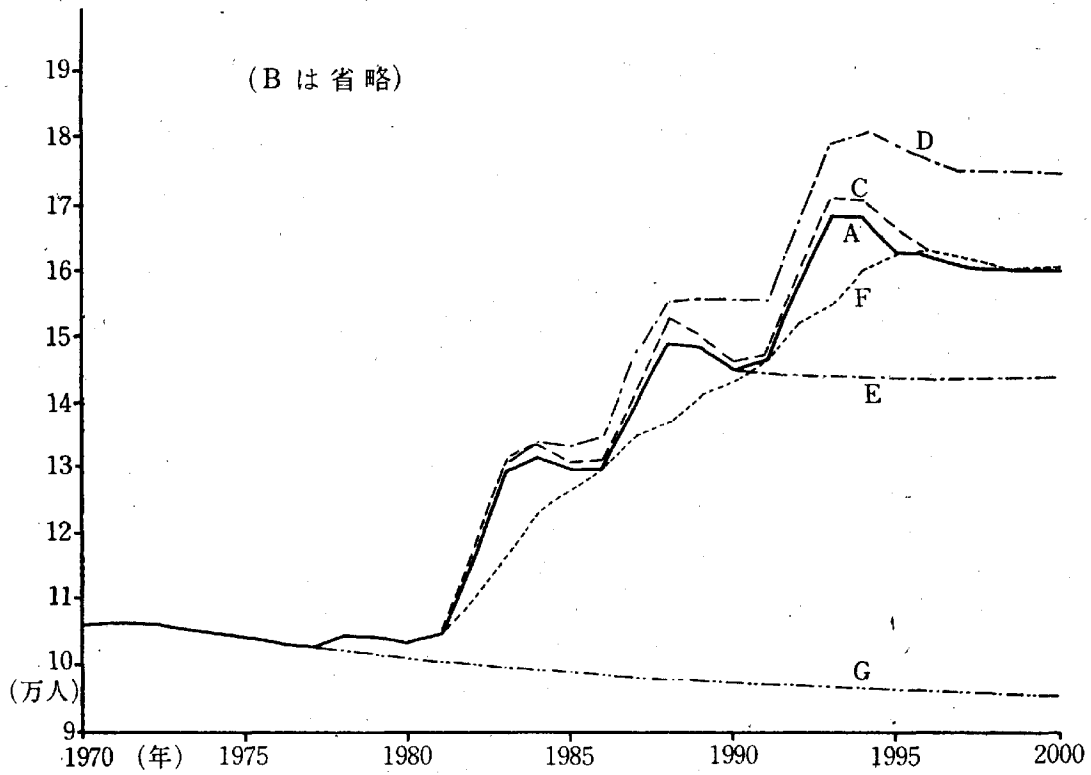


図-15 人口

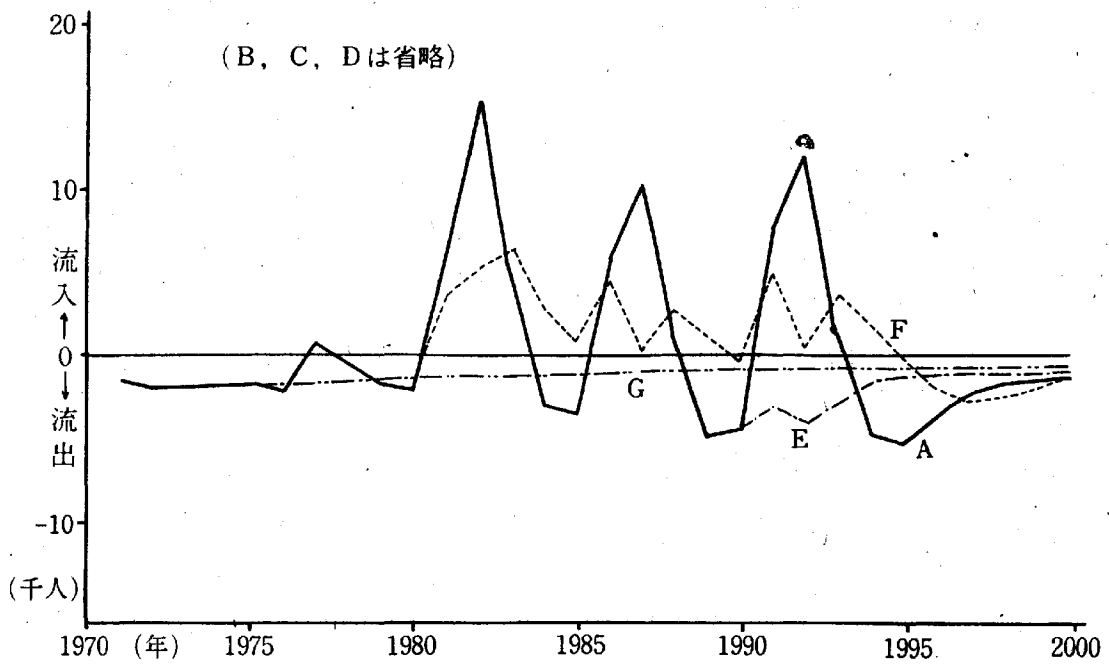


図-16 人口(移動)

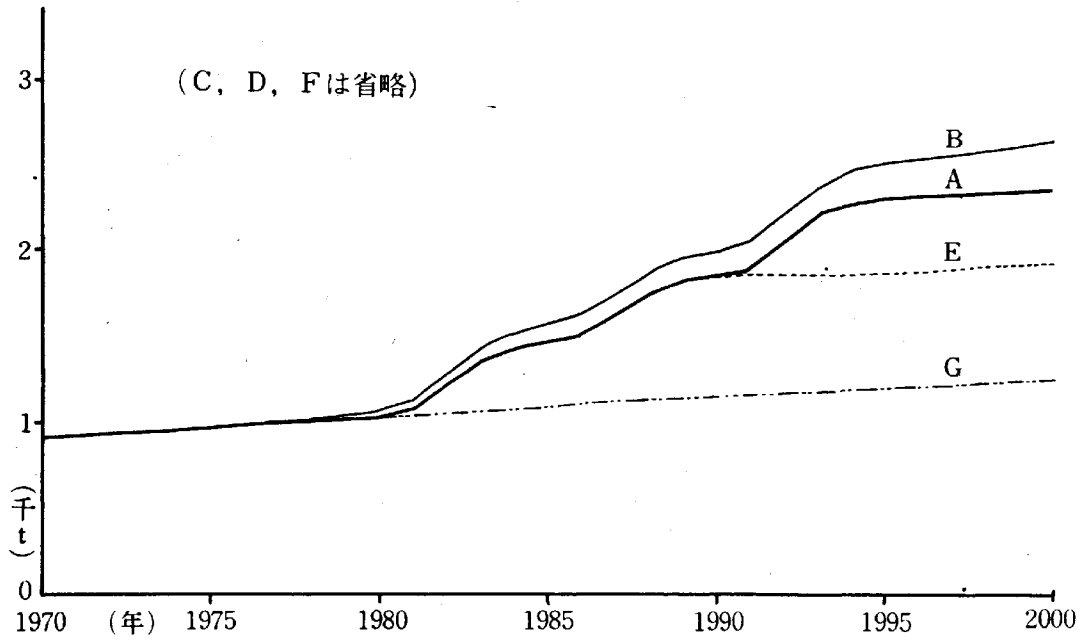


図-17 水質汚染

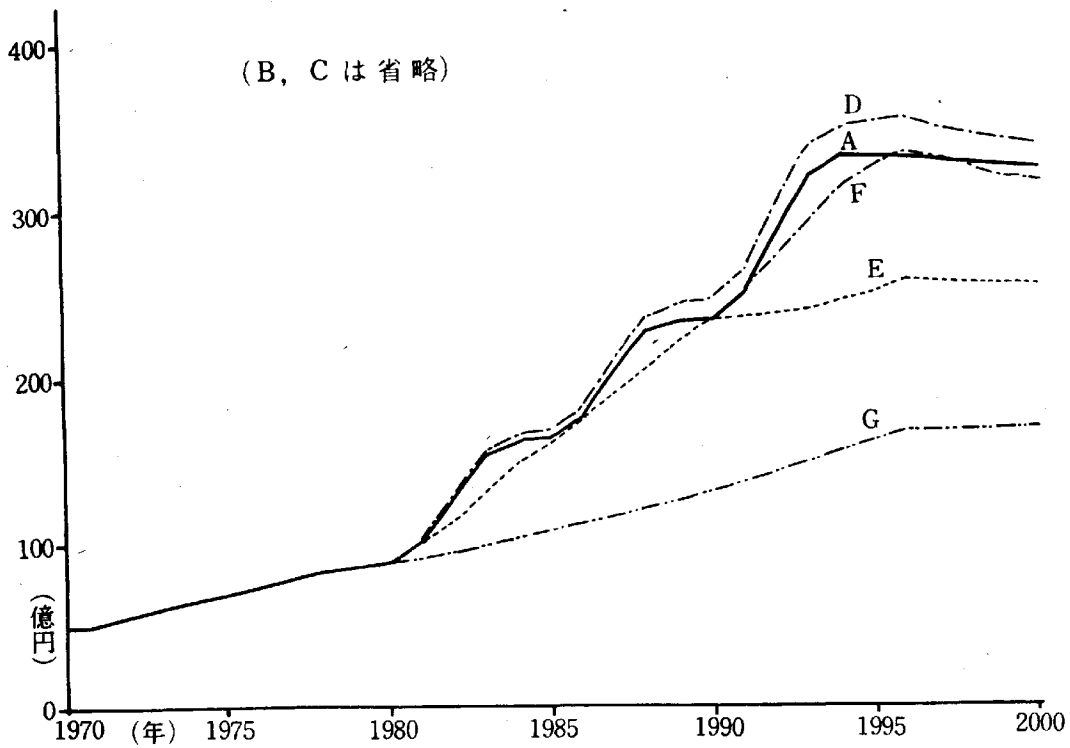


図-18 財政収入

(参考文献)

- [1] J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*, MIT Press, 1960.
- [2] _____, *Urban Dynamics*, MIT Press, 1969.
- [3] _____, *World Dynamics*, Wright Allen Press, 1971.
- [4] H. R. Hamilton & others, *Systems Simulation for Regional Analysis; An Application to River-Basin Planning*, MIT Press, 1969.
- [5] D. H. Meadows & others, *The Limits to Growth: A Report for The CLUB OF ROME'S Project on the Predicament of Mankind*, Universe Books, 1972. (邦訳; 大来佐武郎「成長の限界」ダイヤモンド社, 昭和47年).
- [6] 「システム・ダイナミクス」(bit 1973年6月増刊号) 共立出版.
- [7] 山内昭, 樋口透「システム・ダイナミクスによる地域開発モデルのコンピュータ・シミュレーション」『地域学研究第四巻』日本地域学会, 昭和48年度78~87頁.
- [8] 山内, 樋口, 小島, 「システム・ダイナミクスによる地域開発モデルのコンピュータ・シミュレーション(続)」『日本地域学会第11回大会報告要旨』日本地域学会, 昭和49年, 28~40頁.
- [9] 樋口透「ソーシャル・システム・シミュレーション —システム・ダイナミクスの手法について—」『社会科学と情報処理』白桃書房, 昭和47年, 138~158頁.
- [10] 「産業政策へのエコロジー的接近」通産省エコロジー研究会, 昭和47年.
- [11] ヴァシリー・レオンチェフ「環境の経済理論を目指して」『公害研究』1972年7月号.
- [12] 「都市公共のシステム分析」(OR学会報文シリーズ, T-75-1) 1975年3月.