

# 一般システム理論 (1)

高原 康彦

この小論で一般システム理論（以下 GST-General Systems Theory と略す）を2回にわたって解説する予定である。第1部では主として GST の歴史的流れ、目的、方法論について、第2部ではとくに数理的一般システム理論について解説する。後に明らかになるように GST はまだ若い学問であり、考え方・方法論どれをとっても固まったものではない。そのためこの解説も筆者の好みにかたよったものであることをはじめにお断りしておく。

## 1. 一般システム理論の流れ

GST のことば自体は Bertalanffy によって提唱されたものである<sup>1)</sup>。Bertalanffy によるとシステムの認識は古くからあり、たとえばアリストテレスは“全体は部分を集めたものより大きい”と言ったという。しかしこのような認識は結局それを裏づける数学的手法に欠かしていたために、単に哲学にとどまり科学にはなりえなかったと彼は主張している。Bertalanffy が新しい科学としての GST を提唱した背景はシステム科学の成立の背景にかなり似かよっている<sup>2)</sup>。Bertalanffy 自身は理論生物学者であった。彼は、生物は本質的に“organic”なものであり、従来の分析的研究手法は organic なものを Inorganic なものとして研究することであるから、分析的手法では生物の真の姿をとらえることはできないと考えた。そこで生物を有機的に全体から考察するアプローチ、すなわち“organismic biology”を提唱した。対象を有機体として考察すると、有機体としての性質すなわちシステムとしての固有の性質たとえば安定性などが存在することに気がつき、しかも生物学以外の分野でも対象をシステムとして見るとき、そのような性質が普遍的に見いだされることから、1930年ころ新しい科学(思考)の提唱を行なった。

しかしこの新しい科学を正式に GST と命名して発表したのは第二次大戦終了後1940年代末である。これ以後

GST に対する関心が高まり1954年に Bertalanffy らが Society of General Systems Research を設立し、1956年から General Systems Year Book という年報を発刊し、GST が学問の1つの分野として成立した。

GST のことばは Bertalanffy によるが、GST と同じことを考えた人はほかにもいた。その中でもっとも重要なのは J. G. Miller であろう。Miller は精神分析学者であり、生体をシステムとしてとらえる一般理論 (“General Systems Behavior Theory”) の構成を考えていた<sup>2)</sup>。彼が1956年からミンガン大学の精神医学研究所の所報として発行をはじめた Behavioral Science は現在でもっとも重要な GST 関係の雑誌になっている。

この時点までの GST は考え方、あるいは可能性の学問であり、内容的にはあまり豊富なものではなかった。しかし学会が成立し、一応その時点で最適と思われる GST の研究目的(2節参照)を明示したことは、GST の発展に大いに刺激を与えた。GST の発展は後述するように理論的にはほかの学問との結合、応用的には社会環境変化(システムズ・アプローチを要求する環境の成立)が寄与している。そして皮肉なことに、これ以後生物学者の関心は急速に発展してきた分子生物学に向かい、GST の発展をになった人々は生物学以外の人が多い。

1960年代以降 GST は内容的に充実していくが、研究の方向は3つのグループにわけられる。第1のグループは、GST がもともと持っていた新しい科学思想としての方向である。現時点においてはシステム思考が喧伝され、分析的方法のみでは複雑な問題は解決され得ないということがあたりまえのこととして受入れられているが、たぶん Bertalanffy が GST を提唱したときには、新しい科学思想として学会にそれなりの衝撃を与えたことは想像に難くない。

このような、考え方としての GST は、GST の研究としてもっとも正統的研究であろう。この方向はシステム思考、システムズ・アプローチの哲学的側面をなし、た

たとえば Miller や Churchman らにうけつがれ、GST のいろいろな側面の中でもっとも人口に膾炙されているものであろう<sup>8),21)</sup>。

第2の方向は、GST とは別個に発展してきた科学が GST と結びついて GST の理論的側面をなしているものである。ここでいう独自に発展した科学は主として、制御工学、オートマトン理論、Dynamical Systems Theory, OR などである。第二次大戦により制御技術の進歩があり、Bode によってフィードバック系設計の理論的基礎づけが行なわれ、大戦後制御技術は制御工学として成立した。対象の中身は問題とせず、その行動を“伝達関数”という普遍的表現でとらえ、伝達関数で特徴づけられた要素を結合して、所要の目的を達するのが制御工学であるならば、制御工学がすぐれて（一般）システムの学問であるのはいうまでもない。制御工学成立以前にも系統的に対象をとらえる工学は存在した。典型的な例は、電気の回路理論や電話網を対象とする有線工学であるが、制御工学におけるシステム思考は意思決定変数を含むことが特徴的であり、その考え方の適用範囲は従来のものに比べいちじるしく拡大された。このことを象徴的にあらわしているのが Wiener による Cybernetics の提唱である<sup>4)</sup>。Wiener は GST の理論形成に2つの面で大きな影響を与えている。

1つは上記の Cybernetics の提唱で、Cybernetics 自体は GST ではないが、制御工学が対象としたもの（サーボ系や化学装置）よりもっと広い対象（たとえば生体までも含めたもの）に対して“情報”や“制御”に関する理論が成立することを示唆した。このような示唆が多くの人をして GST へ関心を向ける要因となっている。

いま1つの影響は、システムの対象あるいは境界領域に対し、数学的手法が適用可能なことを示したことである。すなわち第二次大戦中サーボ系の設計に対し解析的手法を示し、後の最適制御のはしりを行ない、また Shannon と共同し統計的情報理論を構築した。Wiener のこれらの業績は後に発展した数理的一般システム理論の手本であり、はげましになっている。

一方、制御工学自体は1950年代以降急速に発展し、それに関係する人々およびその内容も豊富になった。それにもないシステムの概念の明確化が必要となった。その必要性をもっともよくあらわしているのが、1950年代末に起こった適応制御の定義の問題であろう。お互いに異なったシステムの定義のイメージをもとにして、かみあわない議論をしていることに気がつき、その反省からシステムとはなにかを根本的に問い直す気運が生じた。その結果が GST としての Mathematical Systems Theory となってあらわれてきたと考えられる。

Wiener の Cybernetics をかなり忠実に受け継いで GST を構築したのは Ashby である<sup>5)</sup>。彼は Bertalanffy と同じく生物学者であり、GST に興味を持ったのも生物に対するシステムズ・アプローチを行なうためのものであるが、彼が考察した State Determined System あるいはブラック・ボックスの一般的考察はいずれも GST の理論的側面をなすものである。Mathematical General Systems Theory の流れで代表的なのは Zadeh と Mesarovic である。Zadeh は State Space Approach を提唱し、“Generalized Circuit Theory”として GST を構成した<sup>6),7)</sup>。Zadeh のシステム理論に対する功績は多大であるが、逆に Zadeh の名声のために GST すなわち Generalized Circuit Theory と受け取られた面があり、このために GST の有用性が一部の人に疑問視された。Generalized Circuit Theory としての GST では、意思決定は主題となっていないが、Mesarovic は意思決定をも含めて GST を構築している<sup>8),9)</sup>。Mathematical Systems Theory としての GST は現在の GST の基礎的研究の主流をなしていると考えられる<sup>10),11)</sup>。

オートマトン理論や Dynamical Systems Theory が Mathematical Systems Theory に影響を与えたことは疑う余地はない。Ashby の State Determined System あるいは Zadeh の State Space Approach はともにオートマトン理論あるいは Birkoff らによる Dynamical Systems Theory の延長線に位置している。また Mesarovic の GST 中における意思決定の取り扱いも明らかに Simon らの影響を受けたものである。これらも理論が直接、間接どのように GST の理論形成に影響を与えたか、明確なことは浅学の筆者は知らないが、調べてみればおもしろい主題であろう。

GST の発展の第3の方向はシステム工学の基礎としての GST、あるいは Applied General Systems Theory とよばれるもので、1960年代以後システムズ・アプローチが流行になって以来盛んになったものである<sup>10),12),13)</sup>。工業化社会の急激な発展にもない、都市問題、社会問題、生態系の問題が切実に感じられるようになり、それらの問題に対し、従来の分析的手法が不向きのことから、システムズ・アプローチの適用が考えられるようになった。

この方向に従事する人は工学者にかぎらず、社会学者、経済学者、OR の専門家などいろいろのバックグラウンドを持つ人々であり、また対象も従来の学問領域で分割されたものを越えたものであることから、いろいろの学問領域に共通のことば、問題思考のための共通のフレーム・ワークの必要性が生じてきた。これらの必要性が GST の研究促進につながるのはいうまでもない。

Forrester の System Dynamics はいろいろな見方が可能であり、もし彼の言うように System Dynamics の最終目標が、複雑なシステムの性質に対する一般的理論を引き出すことであれば、System Dynamics は計算機言語をことばとしている GST であると言える<sup>14)</sup>。

以上概観したように、GST の歴史は約20年ほどであり、方法論内容ともに固まったものではない。このように内容が流動的であると、はたして GST が学問として存在するの疑問となってくる。Weinberg に言わせれば、GST が存在すると信用する最大の理由は、尊敬すべき科学者が集まって Society of General Systems Research をつくっているからであるとなる<sup>15)</sup>。しかし Bertalanffy はこのような状況は若い学問にとって健全な姿であると楽観視しているが、本当の意味で GST が学問として成立するためには、いっそうの努力が必要であろう。

## 2. 一般システム理論の目的

GST の目的を議論することは、GST 自体がなんであるかを考察することである。GST がシステム理論であるとするならば、そもそもシステム理論とはなんであるかが問題となる。ここでは、システム理論とは、システムを構成している要素の formal な性質 (logico-mathematical な性質) および要素間に存在する関係の2つによってシステムの行動 (性質) を説明する科学であると規定することにする。物理学や化学では要素の固有の性質を問題にするが、システム理論では要素の固有の性質は問題ではなく、要素間に成立する formal な性質が問題となる。

このような立場で成立している科学として、前にあげた制御工学、オートマトン理論、Dynamical Systems Theory などがあり、これらがいわゆるシステム理論の中心をなしているのは明らかである。GST はこれらの理論に対してどのような立場にあるであろうか。GST が一般性をめざしたシステム理論であることはまちがいないとしても、それを少し詳細に考えると GST には3つの考え方が存在する。

第1は GST は General Theory of Systems とするもの、第2は GST は Theory of General Systems とするもの、第3は GST は Systems Theory for General Audience とするものである。第1の General Theory of Systems とするものは、Bertalanffy が直観的に GST を提唱したときに考えていたもので、世の中のシステム的なものに共通の法則、性質を見だし、“システム”を対象とする科学の設立をめざすものである。このような科学が理想的に実現されるならば、従来

のシステム理論はそれの一部として吸収されるものである。

第2の Theory of General Systems は第1ほど野心的ではなく、まず“General Systems”という対象を固定し、その性質を解明しようとするものである。General Systems は原理的にどのようなものでもよいが、理論が有用であるためには極力われわれが持っているシステムのイメージと“General System”が対応するものであることが望ましい。実際には従来のシステム理論が対象としてきたシステムモデルをすべて含む General System Model を考えて理論を構成するのであるから、この立場の理論が完成されれば、やはり従来のシステム理論をその一部として含むことになる。これが現在の Mathematical Systems Theory の立場である。

第3の Systems Theory for General Audience の考え方は、システム的な問題がどの分野にも存在することを認め、ただしそれらすべてに共通な強力な一般理論を構成することは不可能であると考え、システムに対しヒューリスティックな原則を見だし、それにもとづいて複雑大規模なシステムに対処しようとする立場である。これはまた、GST は教育的に重要な題目であり、しかもそれが大学院レベル以下で教えられるべきであるとする人々の立場でもある<sup>16)</sup>。第1の立場では、GST は1つの Physical Science であり、それが抽象化されたときは“Way of Thinking”になる。第2の立場は、GST は数学と同じように Formal Science で、本質的に GST は無内容 (Language Theory) になる。第3の立場は、GST は従来の科学のカテゴリーに入るものではなく、原理、原則の集合すなわち1つの処世術になる。

GST をどのようにとらえるかによっておのずからその目的が異なってくる。GST の目的を最初に明確にうちだしたのは多分 Society of General Systems Research であろう。Society of General Systems Research は GST の研究目的としてつぎの4つを掲げた。

1. いろいろの分野で使われている概念、法則、モデル間の同形性を調べ、他分野のものをお互いに有効利用できるようにする。
2. 理論モデルが欠如している分野で理論モデルを開発するようつとめる。
3. 異なった分野で同じ研究を行なうことをさける。
4. 専門家間のコミュニケーションを改善し科学の統一をはかる。

以上の4つの目的のうち基本になるものは1と4であろう。2と3は1の目的が達成されたならば、おのずから実現できる目的である。1の目的は、General Theory

of Systems を実現するための手順を述べたものと考えられる。実際諸分野でのシステムの対象に対し、共通の法則概念が豊富に見いだされ、それらを使って諸分野での結果を表現することができるならば、これは明らかに General Theory of Systems の実現である。しかしこのようなことが非常に困難なことは、1954年 Society of General Systems Research が設立されて以来、厳密な意味で General Theory of Systems の方向での研究があまり進んでいないことがよく示している。

Boulding の言うように“General Theory of Practically Everything” というようなものはない<sup>17)</sup>。Physical Theory としての GST がありえないとするならば、GST の目的は metaphysical なものとならざるをえない。たとえば、Rapoport は GST は本質的には無内容のものであり、物理学と同じ意味での科学ではないと主張し、GST の目的は結局システムを定義し、システムを分類することであると主張している<sup>18)</sup>。これをもう一歩進めて、GST が科学であることを断念すると、Weinberg は GST は“世界観の集合”(Set of Ways of Looking at the World) と考え、GST の目的はなんらかの学術的結果を発見することではなく、人々の考え方を変えることであるということになる<sup>19)</sup>。これはもちろん Systems Theory for General Audience の立場である。

Society of General Systems Research の掲げた目的のうち4番目のものは“まじめな” GST がもっとも支持している目的である。すなわち科学としての GST のもっとも重要な役割は諸科学に共通な概念的枠組、あるいは共通のことは正確な形で提供することである。たとえば、Mesarovic は、GST が役立つ方向としては、GST が正確で、elegant かつ普遍的な言語と概念枠組を提供することにより、システム関連諸科学の統一化を行ない、ひいては大規模複雑なシステムの記述を可能ならしめることであると言っている<sup>9)</sup>。GST をシステム工学の基礎をなすものと考えている Wymore も、GST の目的はモデル形成や、数学的工学的手法の応用のよすがとなる枠組を与えること、あるいは方法論的基礎を与えることであるとしている<sup>10)</sup>。

このように GST の目的は正確な(数理的な)普遍的概念枠組の提供にあるとしている人々は、具体的には Theory of General Systems の立場に立つものである。ここで注意しておくことは、Theory of General Systems の立場の GST はかならずしも単に概念の定義の集合ではなく、数理的に定義された概念から論理的に導出された事実を持った“理論”になっていることである。

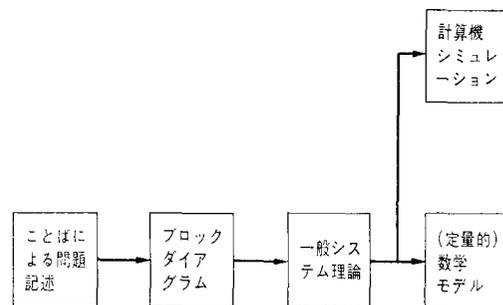


図1 システム分析と一般システム理論の関係

いま一度 GST の目的をふり返ってみると、科学としての GST は、システムに関連した諸科学に対し共通のことは、概念を提供し、その提供した概念の中で統一したシステム理論を構成しようとするものである。科学としての奥行はどれだけ概念を取り入れたかによる。また GST は概念を取り扱うという特徴からして非常に定性的理論である。もしそのような統一理論が十分な深さをもって構成されるならば、理論の一般性から従来取り扱いが困難であったような大規模複雑なシステムの取り扱いも可能になるであろう。GST の役割は、その性格からしてシステム分析では図1に示すように考えられる<sup>9)</sup>。すなわち GST はシステム概念を Logico-Mathematical なことばで表現しているのであるから、GST によるシステム表現はブロックダイアグラムによる表現よりも正確かつ操作的であり、また定量的な細かい数学モデルやシミュレーションモデルより直観的であることから、システム分析では GST は図1のような位置を占めてくる。

また統一理論として完成した GST が存在するならば、一般にシステムに対する考察は図2のようになると考えられる<sup>11)</sup>。すなわちシステムの問題はまず GST のレベルに抽象化され、GST の結果がそれに適用され、その結果が、いま一度もとのレベルに翻訳されてシステムの処理が行なわれることになる。結局、GST の目的は図1あるいは図2の形で役立つシステム理論の形成であるということになるであろう。

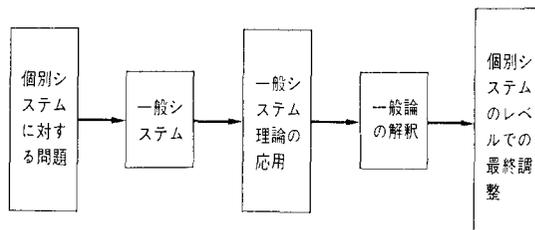


図2 システム問題と一般システム理論の関係

### 3. 概念枠組としての一般システム理論

第2節で述べたように、GSTには3つの考え方、すなわち General Theory of Systems, Theory of General Systems と Systems Theory for General Audience がある。第2の考え方は Formal TheoryとしてのGSTをめざすもので、次回に述べる予定なので、ここでは第1の考え方のGSTについて考察する。

第1の考え方がかならずしも成功していないことは前に述べた。現在成功しているからといって、そのような考え方が不可能であることにはならないが、現実的で複雑なシステム (Bertalanffy のことばによれば “organized complexity”のシステム) を意識的に対象とすれば、それに対する一般理論を形成することは自己矛盾のなくらいに困難な仕事であろう。現実的な困難さから、この立場のGSTは、現在すぐになんらかの“結果”を提示する理論ではなく、Churchman が言うところの“過程”を問題とする理論となっている<sup>19)</sup>。

すなわち各分野でのシステムの思考を調べ、それらを統一し、極力どの分野にも適用できるようなシステムズ・アプローチの概念枠組を提供しようとするものである。社会科学、人文科学においてGSTを応用したと言われるものの大部分は、この概念枠組にもとづいて問題を考察したものである。また前にも述べたように、現在GSTがもっとも“役立つ”と言われているのもこの形のGSTである。ここでは、現在GSTが概念枠組として提供しているものはどんなものかを主として Ackoff と Miller の論文にもとづいて考えてみる<sup>20),21)</sup>。

GST が提供しようとする概念枠組はシステムに対するものであるから、システム概念そのものが最初に問題となる。システムの定義は文献<sup>11)</sup>の末尾に集録されているように、多様をきわめているが、代表的には“互いに干渉している要素の集合”と定義されている。要素は言語などの抽象的概念であっても、太陽などの具体的物であってもよい。要素を適当に定義することにより、われわれが通常システムと考えるものはすべて上記の定義に含ませることができる。また要素間の相互干渉はさまざまな形で存在するが、興味があるのはそのすべての相互干渉ではない。われわれは問題意識に従って相互干渉を選択してシステムを考えている。このように構成されたシステムのイメージがモデルである。

システムの様相は時間とともに変化する。各時刻での様相をシステムの状態と定義する。(この状態の定義は次回で述べる数理的GSTでの状態概念と一致しない。)状態の変化をシステムの事象(event)、システム事象のつながりをシステムの行動とよぶ。

つぎにシステムの境界あるいはシステムの外界を定義する。システムの外界というのはシステムに含まれない要素から構成されるもので、それらの様相の変化がシステムの状態変化をひき起こす可能性のあるものである。どこまでをシステムとするかは問題意識による。これがシステムを主観的存在にしている1つの理由である。システムと外界は定義からして相互作用をなす可能性がある。外界との相互干渉を持たないシステムを閉じたシステム、相互干渉を持つシステムを開いたシステムとよぶ。熱力学とのアナロジーを考えると、閉じたシステムの状態はたえず無秩序状態に向かって移向する。逆に言えば、システムが organized されたものであるためには、外界からエネルギー、物質、情報などを吸収しなければならない。すなわち organization は本質的に開いたシステムとして考察されなければならないことになる。外界からの作用を入力、それに対するシステムの応答を出力とよぶ。入力と出力を結びつけているものがシステムであるとみると、システムは1つの変換要素(transformation)と考えられる。

開いたシステムは外界からの入力をたえず受けているが、システムの行動が安定的になっている状態を定常状態とよぶ。定常状態は一般に変化しているが全体として一定になっている状態である。また入力の少しの変動に対して、システムの行動が定常状態から大きくずれない場合、システムは安定であると定義する。かなり多くのシステムでは、はじめシステムがどのような状態であっても、システムの最終の状態は入力のみで決定される性質がある。(たとえば、安定な線形システムがその例である)。Bertalanffy はこの性質を Equifinality とよび、開いたシステムの特徴づけに使っている<sup>1)</sup>。

システムの行動によってシステムは2つに大別される。1つは状態維持システム、もう1つは目的追求システムである。状態維持システムというのは、たとえば人間の体温維持のように外部温度の変化に対して体温を一定に保つシステムである。このようなシステムは状態変化を検出し、それにしたがって状態変化を減少せしめるようなフィードバック機能を持つものとしてモデル化される。目的追求システムは与えられた目的(goal)が実現されるようにシステムが行動すると考えられるシステムで、企業などのモデルと考えられる。以上でわかるとおり、状態維持システムにおいても、目的追求システムにおいても、出力を動かすことのできる入力システム内部にも存在する(すなわち意思決定変数が存在する)ことが仮定されている。GSTのマネイジメント科学への応用として、目的追求システムを企業モデルとすることには批判がある。多くの意思決定システムでは、目的は

最初から与えられているものではなく、行動の中から目的が明確化されていくことが観察されている<sup>22)</sup>。

システムの出力に対して、望ましいか望ましくないかが定義できるならば、システムの効率を考えることができる。たとえば、与えられたシステムの状態および外界の状態に対し、望ましい出力が生じやすいシステムは効率の高いシステムと考えられる。システムの効率はシステムの状態、外部の状態の変化によって低下する可能性がある。この低下を、内部、外部の状態変化にしたがって補なっていく行動をシステムの適応とよぶ。また同じ状態のもとで効率を上げる行動を学習と定義する。

システムを1つの要素と考え、それがいくつか集まってより大きいシステムを考えることができる。大きいシステムから見て、要素となるシステムを component システム、component システムが集まったものを部分システム、部分システムを含むシステムを supra システムとよぶ。component システム同士は単に相互干渉している以上に順序づけ、秩序づけが考えられる。代表的には component システムのレベル分である。すなわち component Aが component Bを制御しているが、その逆が成立していない場合、component Aは component Bより上位のシステムであると考えられる。複雑なシステムはこのようなレベル構造を持っている。

以上 GST の概念枠組というのはどのようなものであるかを概観した。Ackoff と Miller はそれぞれの background から、Ackoff は organization を説明できる枠組を、Miller は生物体を説明できる枠組を提供しようという目標から、この小論の概観よりはるかに精緻な概念分析を行なっている。このような枠組構成がシステムズ・アプローチの基本であることは間違いなく、すでにこれだけでも有用なことは多くの研究報告に見られるとおりでである。しかし理論がことばによる概念系のみで構成されていたのでは正確さに限度があり、また操作性に欠ける。すなわち“結果”を出すことができないという欠点がある。このような欠点を是正するために、“定式化による概念の貧困化”の危険をあえておかして、より厳密で操作性に富む GST を構成しようとするのが、次回で述べる数理的 GST である。

#### 参 考 文 献

- [1] L. Von Bertalanffy, “The History and status of General Systems Theory”, *Trends in General Systems Theory* (edited by G. J. Klir), John Wiley, 1972.
- [2] 松田武彦, “システム科学序説” オペレーションズ・リサーチ, 1976年2月.
- [3] C. W. Churchman, *The Systems Approach*,

Delacorte Press, 1968.

- [4] N. Wiener, *Cybernetics*, John Wiley, 1948.
- [5] W. R. Ashby, *Introduction to Cybernetics*, John Wiley, 1958.
- [6] L. A. Zadeh and C. A. Desor, *Linear Systems Theory*, McGraw Hill, 1963.
- [7] L. A. Zadeh, “From Circuit Theory to System Theory”, *Proc. IRE*, vol. 50, No. 5. 1962.
- [8] M. D. Mesarovic, D. Macko and Y. Takahara, *Theory of Hierarchical, Multilevel, Systems*, Academic Press, 1970.
- [9] M. D. Mesarovic and Y. Takahara, *General Systems Theory: Mathematical Foundations*, Academic Press, 1975.
- [10] A. W. Wymore, *A Mathematical Theory of Systems Engineering*, John Wiley, 1967.
- [11] G. J. Klir, *An Approach to General Systems Theory*, van Nostrand, 1969.
- [12] J. P. van Gigch, *Applied General Systems Theory*, Harper & Row, 1974.
- [13] G. M. Weinberg, *An Introduction to General Systems Thinking*, John Wiley, 1975.
- [14] J. W. Forrester, *Urban Dynamics*, M. I. T. Press, 1969.
- [15] G. M. Weinberg, “A Computer Approach to General Systems Theory”, in *Trends in General Systems Theory*, edited by G. J. Klir, John Wiley, 1972.
- [16] G. J. Klir, “On General Systems Education” *International Journal of Systems Science*, Oct., 1975.
- [17] K. L. Boulding, General Systems Theory—Skelton of Science, *Management Science*, vol. 2, 1956.
- [18] A. Rapoport, “The Uses of Mathematical Isomorphism in General Systems Theory”, in *Trends in General Systems Theory* edited by G. J. Klir, John Wiley, 1972.
- [19] C. W. Churchman, *Forward of Applied General Systems Theory* by J. P. van Gigch, Harper & Row, 1974.
- [20] R. L. Ackoff, “Towards a System of Systems Concepts”, *Management Science*, vol. 17, No. 11, 1971.
- [21] J. G. Miller, “The Nature of Hiving Systems”, *Behavioral Science*, vol. 20. 1975.
- [22] N. S. Perry, “General Systems Theory Approach to Organizations: Some Problems in Application”, *The Journal of Management Studies*, October, 1975.

(たかはら・やすひこ東京工大大学院システム科学専攻)