

30年前の 夢は今



伊理 正夫

今年の本（財）日本測量調査技術協会が毎年開催している技術発表会の第30回目の年に当たるそうである。全国測量技術大会（本年からは“地理空間情報フォーラム”と改名される）の中の一つの催しとなってからも20年目になるという。

この30年間—いや40年・50年と言ってもよいかもしれない—は、あらゆる技術分野において、また社会において、情報化とグローバル化が急速に進んだ時代であった。いろいろな方がそれぞれの立場で、この間の変化をふり返って見られると感慨深いものがあるであろう。私もその仲間に加えていただこう。

その頃すでにコンピューターはあった。高価で大型の、今からみれば驚くほど低機能のものが。しかも入出力装置はほとんど無いに等しいくらい貧弱なものであった。それでも、例えばカナダでは広大なツンドラと森林

の資源管理にGISを使っていた。今では歴史的なシステムとして、単にGISというのではなく、限定形容詞を付けて“Canadian GIS”と呼ぶこともあるようである。

ムーアの法則で代表されるように、コンピューターは無限の未来を持っていた。こんなことあんなこと、コンピューターを使ってやろうとしたことは結局なんでもできるようになってきている。コンピューターの性能の現状による制約はいずれ問題でなくなるという楽観的な立場に立って、「GISは本来このように設計さるべきである」とか「GISはこのように使われるべきである」とか自由に考えることが出来る時代であったともいえる。貧弱なコンピューターしか使えない時代というのは、逆に、GISの将来像を自由に夢見ることが出来る幸せな時代でもあった。30年以上前に見ていた夢が現在どのくらい実現されて

いるかを顧みてみると面白い。勿論これらの夢は、研究会とか学会とか政府とかの決定事項として決められたものではない。単に私が個人として勝手に見ていた夢である。

1. “紙地図(アナログ)から電子地図(デジタル)へ”という標語

Canadian GISもそうであったが、地理情報あるいは地図情報をデジタル化するのには、当時は一あるいは今でも一部では一大きな図板に大きな地図を貼り付けてその上に十字の付いたルーペを当てて必要な点を探り、見つかるとクリックしてその点の縦横の座標が入力できる“ディジタイザー”という名の機械が幅を利かせていた。それを眺めていて、何だか変だと思ったのは多分私だけではなかったろう。折角現場の測量では数値でデータを取っているのに、そして航空写真測量でも図化機を使って苦勞して等高線を描いているのに、地図にするときにはそのデータをアナログ化し、等高線も“注記”によってズタズタにしてしまっているのが測量の最終成果の“地図”で、それをまた元に戻してデジタル化したり、邪魔な注記を乗り越え

て等高線も繋いだりするのには、まったくの無駄ではなかろうかと。特に、地図の縮尺によっては“総描”の結果道や川の近くの地物の位置がずらされてしまっている。折角「紙地図よさようなら」といったからには、最初から最後まで一貫して“デジタル化”することは出来ないであろうかと思って、時々親しい人にはそんなことを呟いたりしていた。最終的なユーザーに見せるときには、あるいは何かの検査をするときには描画も必要ではあるだろう。いつかはそうなるであろうと夢見てはいたが、この夢はかなり実現していると言えよう。尤も、私自身が夢の実現のために汗を流したわけではないが。

故人のお名前を出しては申し訳ないが、元国土地理院長・地図センター理事長の高崎正義先生が「地図には縮尺が最も大切な概念である。縮尺を決めることによってすべてが決まる。」と常日頃仰っていたのを思い出す。実際、どんな縮尺の地図を作ろうとしているかによって、測量の精度も決まるし、どれだけの地物を調べるかも決まるというわけである。紙地図の時代は確かにそうであった。しかし、電子地図となれば精度は対象の測定ご



電子基準点

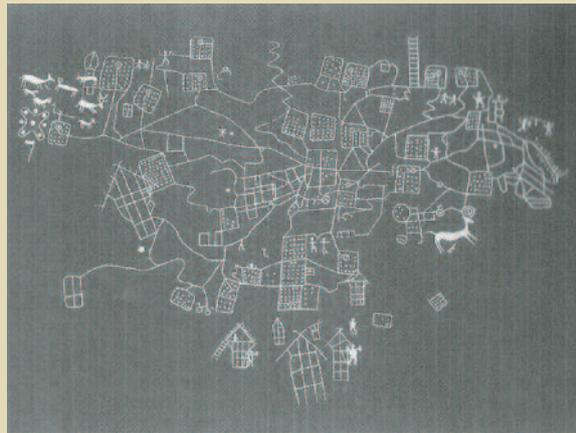


等高線例

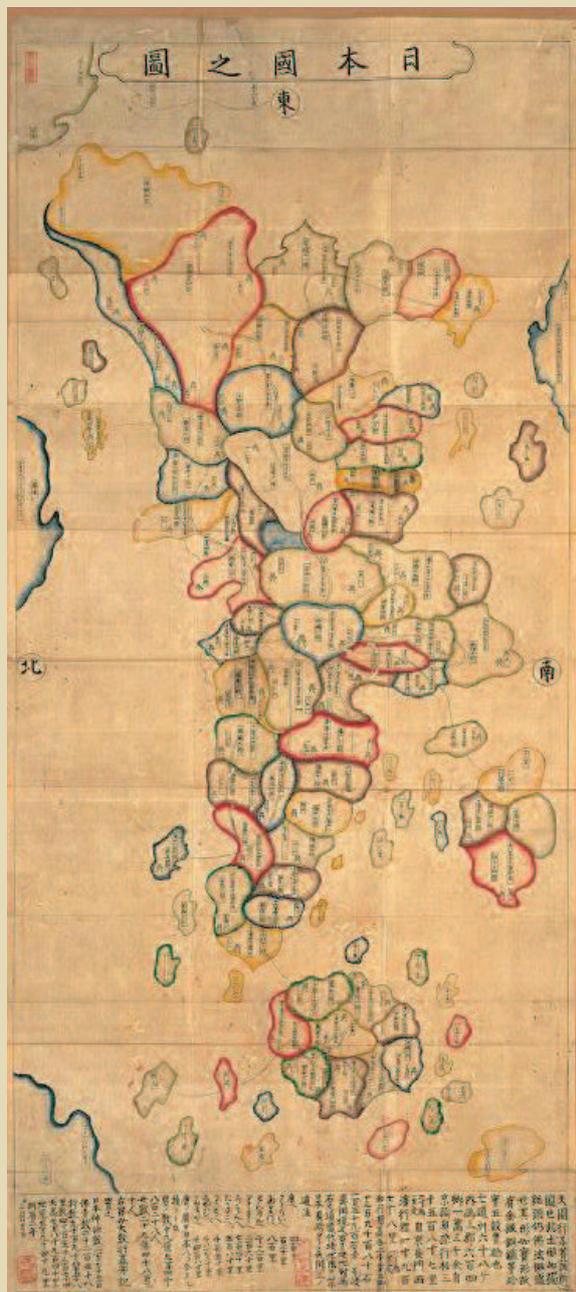
とに異なってもよいわけで、それを一つの紙地図に描画するときには適当なルールに従えばよい。例えば、現在では“電子基準点”のようなべらぼうに位置精度のよいものがあるし、そうでない地物もある。また、二点間の距離などはいくらでも精度よく測れる。そのような測定結果、生データはそのまま記録しておけばよいわけで、無理して精度を揃えて（ということは精度の悪いものに揃えて）しまうことはない。このような“測定と描画の分離”はISO/TC211の標準にPortrayalという独立した項目が立てられていることから話としては大方の理解を得ているようにも見えるが、さて実務レベルでどのくらい日常的に実現されているであろうか。国土地理院では、たとえば“1/2500の地形図”という表現の代わりに、デジタル地図では“レベル2500”という表現がなされているようであるが、これも縮尺時代のあとを曳いているようで私には何となく歯切れが悪く感じられる。

2. 計量が先かトポロジーが先か

地図の歴史をたどると、測量技術が未発達
の時代でも地図のようなものは人間生活に必要
だったわけで、石器時代の壁画などに地図ら
しきものが描かれているという話もある。日
本では行基菩薩の名が冠されている地図のよ
うなものが何通りも知られている（行基自
身が関与しているかどうかについては疑わし
い）が、そのような昔の地図は「この街道を
進んで行くとどこに達するか」とか「この国
の隣にはどの国があり、更にその先にはどの
国があるか」というような情報についてはか
なり正しい。しかし、街道の長さとか国の面
積とか国の境界の形とかについてはいい加減
であった。これを今の言葉では、「昔の地図は
トポロジーの情報（位相情報）は正しいが計
量情報はいい加減であった」と言える。今



カムニ族の地図



明治大学図書館所蔵 日本國之圖（行基図）

でも略地図とか、道案内の地図とかはそのような性質を持っている。また、公共測量により新しく地図作りをしようというときには、まず低精度の地図に基づいた測量計画図を作ってから精密な測量にかかるということになっている。陸地測量部のいわゆる“参謀本部の地図”も伊能忠敬の地図を下書きにして作り始めたそうである。「始めに位相情報ありき」という認識に徹することが必要である。我々が対象地域の構造をどう理解し、どのような情報を必要としているかは、精密な地図で表すよりは位相構造で表現するのが正道であろう。そんなことをあちこちで言ったり書いたりしているうちに、ISO/TC211の中でも対応するJISの中でも“空間スキーマ”という項目が出来てそこでは“3次元のトポロジー構造とその表現法”について十分（過ぎるくらい）の“国際標準”が決められた。このようにトポロジーをそのようなものとして取り出して扱いそれが地理情報の中で一つの柱として扱われているのは、私の目から見ても一扱い方に少々異なるもの—大変結構なことと見える。しかし、地理情報標準全体として眺めると、そこを重要な点であると思いたくない人々が軽視することも出来るようになってきているとも見えるので（すなわち、点などの位置の精度をしっかりと測っておけばその間を繋いでいって立派な地図ができる、位相構造はいわば脇役でしかない）、上のような意見はまだ言い続けなければならないと感じてはいる。

3. 定形から不定形へ

“国土数値情報”のプロジェクトにも私は関わらせていただいた。かなり昔1975年にJIS-X0410として日本の国土を経線・緯線に沿って正方形に近い“メッシュ”に分割する方法とそのようなメッシュに番号をつける付



け方が標準化されている。それを利用してあらゆる種類の国土に関するデータを数値化したものが国土数値情報である。これを作るのは大変な作業であるし、そのデータを常に新鮮に保って行くのはもっと大変であるのは誰にも理解できる。特に、昔は計算機の入力機器が貧弱であったため当事者の方々のご苦労は並大抵ではなかった。しかし、この国土数値情報は非常に多くの研究者・行政担当者に歓迎され、今でも使われている。この成功のものは、メッシュという定形化された“枠”にすべてを押し込めたことにあった。しかし、データの種類を増やしていくと、メッシュにそぐわないものも出てくる。例えば、道路や行政界などをどうやってメッシュの枠に収めるかという難問である。また、傾斜地の傾斜の量をメッシュに当てはめるのも定義が面倒である。我国は世界に冠たる良質の人口統計を有している（最近では次第に各種の問題が生じているそうではあるが）。これもメッシュ化されて至る所で便利に利用されている。国土数値情報にもこの人口データが含まれてい

る。しかしよく考えてみるとこれも少々おかしなことではある。国勢調査はもともと不定形の“調査単位区”ごとになされており、それをメッシュに変換する時にかなり技巧的なことをしなければならない。何故このような“変換”をしなければならないのか。皆が使えるような生データをそのまま扱う技術を開発したいものと夢見ていた。地理情報に関しては、ISO/TC11の空間スキーマの標準のお蔭もあって、何とかこんな方向になってきているとは見えるが、人口についてはやはり伝統的なメッシュが頑張っている。なるべく原データに妙な細工は加えずに、プライバシーには配慮しつつ、原データそのものを扱って目的に応じた解析をしたいものである。ということで、まだこの叶わざる夢は見続けることが出来そうである。

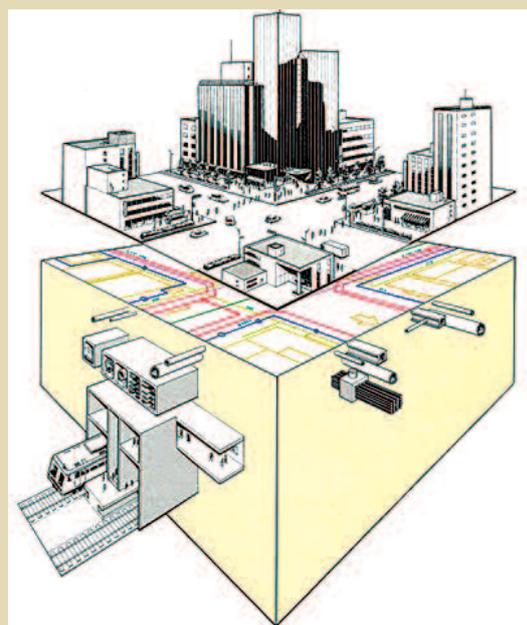
4. 多次元へ

一次元のグラフ理論、二次元の地図、地質構造・地下構造・立体交差・高層建物の内部構造等々を表す三次元地図と、GIS関連では自然な発展として次元の拡張に向かっているのは当然であろう。今や、時間も含めた四次元構造も扱って、過去・現在・未来をすべて記述するデータベースの構築とその利用もまったくの夢物語ではなくなっている。GISに関わり始めた時の私の夢は一応現実近づきつつあるようにも見える。しかし、現実近づいてくるとただ夢見ていたときとは違っていろいろな問題が現れてくる。それらについて反省も込めて考察してみる。

地図には標高も記述されているから、そこにはもともと三次元的な情報がありそのような情報を基に景観解析をするのは立派な三次元GISであるという人がいるが、私はそうは思わない。地表面がいくら凸凹したり曲がったりしていてもそれは所詮（三次元空間の中

の）二次元曲面にしか過ぎないので、位相構造としてはあくまでも二次元でしかない。トンネル、地下道、高架橋などをまともに扱えばそれで始めて三次元だと言えなくもない。地下鉄、地下街、ビルの中の部屋の構造、地質や断層などもきちんと扱えば三次元になる。ここにも定形・不定形の問題が登場する。要素として積み木のような直方体、円筒形やその曲がりなどのような比較的単純な要素を寄せ集めて三次元構造を“組み立てて”行けば、ある程度の手抜きが可能ではあるが、やはり始めは一般的な形の要素を扱えるような理論体系から出発すべきであろう。

四次元も曲者である。三次元に単に時間軸を入れればよいというような単純なものではない。一番素朴には、毎年の初め、毎月の初めの三次元データをただ貯めてゆくというやり方であろうが、それでは変化の激しい場所もほとんど変化のない場所も一律にメモリーを消費することになるし、検索にも手間がかかる。四次元についても“不定形”のデータ構造を扱うのでなければならない。また、時間とともに変化する現象の中には“移動体”



3次元構造の例
(財団法人 日本道路管理センターHPより)

も含まれるのか。移動体が多数あるときに我々はどのようなモデルを考えるべきか。“基盤地理空間データ”というときには、そこまで考えなくてもよいのか、それとも思い切って、物理学で言う“位相空間” (topological spaceではなく phase spaceの意；運動する点は6次元空間の点として表される) のようなものを導入すべきなのか。どちらにしてもその場凌ぎのやり方では将来に禍根を残すことになりかねまい。

このような“幾何的な次元”以外にもいろいろな次元が考えられるのではないかと、ふと思ったことがある。地図表現の場合には“縮尺や精度”なども一つの軸としてみたら何が起こるだろうか等と夢想してみた。GIS学会でそのような話をしたら、早速岡部篤行先生から「認知地図とか主観地図とかいうものもそんな枠の中で考えられるのでは」というような（正確には覚えていないが）御示唆を頂いたのを覚えている。縮尺も一つの軸としてみると、そのような多次元地図の曲がったsectionをとると、注視している部分が詳しく周りがぼやけたような表現も可能になるので何となく面白そうではないか。

5. 位相構造を表すデータ構造のあり方

ISO/TC211の空間スキーマでは（これは他のCAD系のもでもほぼ同じではあるが）、トポロジーは原則的には“次元が1だけ異なる対象の間の接続関係”で表されることになっている。今の数学ではこのようにするのが慣習というか確立されたやり方のようなのである。しかし、この慣習は必ずしも長い歴史を持っているわけではないらしい。故A. W. Tucker先生（後に数理計画法の大御所になられる）が複体の構造を含めてかなり大部の論文をお若い頃1930年代に書いている。まだ上

記の慣習は確立していなかったらしく、複体の定義でもいろいろと悩んでいたらしい。たとえば、2次元球面の上の有名な“Eulerの公式”「面分の数-線分の数+点の数=2」についても「球面の上に線分が無く一点だけがある場合」にも「 $1-0+1=2$ 」で成り立つが、こんな場合も勘定できるような理論も作らなければ、というような動機が書かれている。このような発想は私は大変大事だと思った。GISなどでは、既成の数学に合わせようとすると、穴のある面を無理に単連結にするために人工的に線分を追加するとか、面の中に孤立した点があると接続関係の表現に困るから孤立した点を面の周りに人工的な線で繋ぐとか、というような技巧的なことをしたくなるのは、どうも不自然に感じられる。これは、数学の方を工夫して現実を素直にそのまま表現できるようにすべきではないか。

6. 標準化

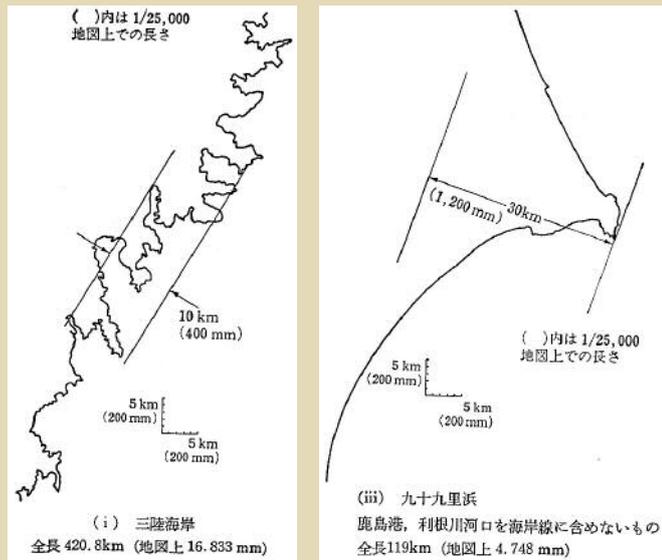
GIS関連のデータは、それが基盤的な地理情報であれそれに関係付けられた応用情報であれ、少し実用的なものは忽ち“大規模”になる。いたるところで独立に情報なりデータなりを作っていたのではとても現実の変化には付いていけないし無駄である。データの構造は是非規格化して作る人はしっかりと良い物を作り、それを皆が使い回すようにするのが理想であることに異論は無かろう。「それはそうだろうが、現実はなかなか…」という声は必ず出てくる。にも拘らず、やるべきことはやらなければならない。別に私が主唱したわけではないが、もう15年くらい前にISO（国際標準化機構）で“地理情報”の標準化を目的とする専門の委員会を設けたいがそれに参加する国は無いかという呼びかけがISOの日本の窓口である日本工業標準調査会にあったのに答えて、国土地理院が手を挙げた。

日本の他の省庁は、ほんの十数年後にGISが社会の重要な基盤になるということを見せず、まだ直接強い関心を寄せなかったが、しかし国際的な動きに遅れてはならないという使命感からこの分野に関わることにされた国土地理院の責任者の方々の未来を見通した決定には今でも、いや今改めて、敬服せざるを得ない。

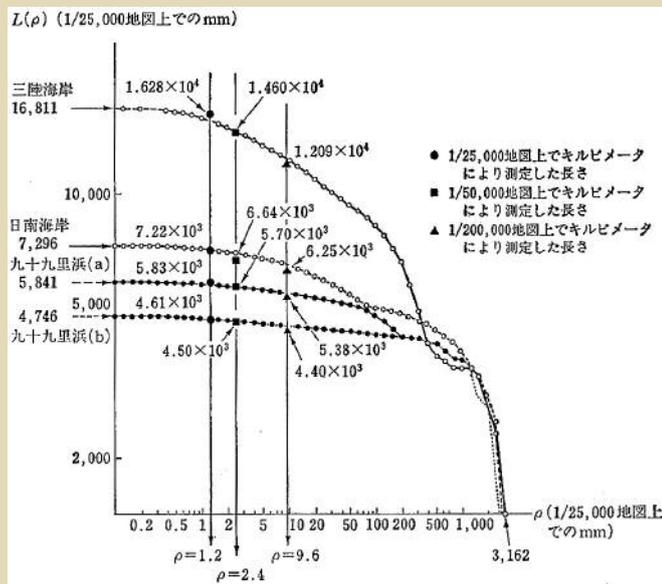
ISO/TC211の活動はその後どんどん深まりまた広がり、最近では四十に近い国際規格、技術仕様書、技術報告書が刊行されまた改定されている。日本測量調査技術協会はISO/TC211の日本の国内審議団体“ISO/TC211国内委員会”の事務局を務めている。最近、国会で成立した“地理空間情報活用推進基本法”は日本の国土情報の将来のあり方についての基本を定めたものであり、その上に立って関係諸法例も改定されつつあるが、それらの中にもISO/TC211の国際規格およびそれを受けて作られた日本の国内標準であるいくつかのJIS規格（日本工業標準）が数多く引用されている。ここまで来られたのは、私のようにただ“夢見て”いるだけでは駄目なので、官民通じて若い有能な多くの方々の長期にわたる血と汗の御努力の賜物であると、つくづく感じる。

7. フラクタルの悪夢

夢には、夢物語で終わる夢もあり、何時かは実現する正夢もある。そして、中には“悪夢”に分類される夢もある。実はもっと長い歴史があるのであるが、1980年前後にBenoit Mandelbrotがフラクタル幾何学という言葉で提唱し始めた。彼は、「自然はユークリッド幾何学よりフラクタル幾何学で表す方がより自然である」とか、「川も山も本当はフラクタルである」とか言って、皆を煙に巻いていた。



海岸線図の例



計算幾何学と地理情報処理（2版3刷）、共立出版、1999

国土数値情報の中に海岸線のデータがあった。現在筑波大学教授の岸本一男君がまだ若い頃このデータに取り組んで、Lewis Fry Richardsonの昔から知られていた事実「海岸線や国境の長さを一定の脚幅のコンパス（デバイダー）で測ると脚幅が小さくなるほど長さが長くなる」という現象を、もっと数学的にはっきりと定義しようとした。そのために積分幾何の手法を取り入れて“ある与えられた精度で測った（曲）線分の長さ”という概念を数学的にも明確にそしてデジタルデータ

を基に操作可能な量として定義し、それに基づき国土数値情報を用いて日本各地の海岸線の“長さ”と測定精度の関係を具体的に定量的に明らかにした。その関係からフラクタル的な線図形のHausdorff次元も見て取れるし、三陸の海岸線と九十九里浜の海岸線の性質の違いなどが一目瞭然となる。このことは「測定の精度を無視して“海岸線の長さ”等の概念は成立しない」ということを明確に指摘したことになる。それまで、いろいろな年鑑などに日本の海岸線の総延長などという項目が必ず載っていた。[いささか旧聞に属するが、1991年の記述では、朝日年鑑29751km、読売年鑑33889km、海岸統計（建設省河川局編集）34415.466km、国土統計要覧（国土庁監修）33287.057kmとある。]今でも多分まだ載っている年鑑はあると思う。数字はかなりの桁数書いてあるが、年鑑が異なると数字は一桁目から異なるという始末である。これは岸本先生の労作を見れば当然のことである。流石に国土地理院ではその頃から“日本の海岸線の総延長”は公式には発表していない。（日本の“国土の総面積”はもちろん公式データが

発表されている。ここでは詳しくは立ち入らないが、データの数字の桁数が少し多すぎるような気もするが。）

海岸線の総延長については私の中ではこれでもう決着が着いたと思っている。ところで最近では、航空レーザー測量の技術の進歩によって非常に精細な“高さ”のデータが得られるようになった。もちろんこれは結構なことで、大いに活用しなければならないし、またそうなるであろう。そこで思いだされるのがMandelbrotの言「山の地形はフラクタルである」である。日本の総面積は、楕円面に投影した面積は定義可能であるが、フラクタル図形としての総表面積はまた面倒な定義をしなければならなくなる。航空レーザー測量技術の進歩は、私にとっては悪夢の再来のように感じられる。

以上、思いつくままに、地理情報に関連した私の個人的夢について、取り留めなく述べてきたが、まだ大切なこと、例えば計算幾何学に関連したことなど、話さなければならないことも多い。今回はこの辺で一区切りにさせていただきます。



伊理 正夫 (いり まさお) 略歴

■ 学歴

1955年3月 東京大学工学部応用物理学科（数理工学専修コース）卒業〔工学士〕

1960年3月 東京大学大学院数物系研究科応用物理学専門課程 博士課程 修了〔工学博士〕

■ 職歴

1960年4月 九州大学工学部（通信工学科）助手 同12月 同助教授

1962年10月 東京大学（工学部計数工学科）助教授 1973年4月～1993年3月 同 教授

1993年5月～東京大学名誉教授

1987年4月～1989年3月 東京大学工学部長、同大学院工学系研究科委員長

1989年4月～1991年3月 東京大学総長特別補佐（副学長）

1993年4月～2003年3月 中央大学（理工学部情報工学科）教授

1994年4月～2002年3月 中央大学理工学研究所 所長

元 日本オペレーションズリサーチ学会会長、日本応用数理学会会長

地理情報システム学会会長

2001年6月～ 財団法人日本測量調査技術協会会長

■ 専門分野・研究分野

位相幾何学的電気回路理論、ネットワーク・フロー理論、グラフ理論、マトロイド理論とその応用、数値計算法、情報工学、地理情報システム 等

■ 受賞・受章

松永賞、東レ科学技術賞、紫綬褒章、瑞宝中綬賞 他