

## 空間情報科学の展開

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

岡部篤行

### 1 はじめに

最近、一般の新聞や雑誌にも電子地図、空間データ基盤、エリアマーケティング、ナビゲーションといった記事が、見られるようになってきた。これらの記事のキーワードは、「地理情報システム」Geographic(al) Information Systems、略称 GIS である。GIS とは、広義には、地理空間のデータを解析・総合する技術、狭義には、そのようなソフトウェアを指すといえよう。最近、GIS が注目を浴びて来ているのは、一つに GIS ソフトウェアの一般普及化があるが、それにもまして、広義としての GIS が社会的に重要な技術であるという認識が高まって来たからであろう。

この契機となったのは、おそらく阪神大震災である。被災の数日後、ボランティアによってナビゲーション用の地図とインターネットを使った救援活動が行われた。また、数週間後には、GIS 学会の防災 GIS 研究部会を中心としたボランティアによって GIS による復旧作業の支援が行われた。これらの活動を通して、地理的空間のデータが社会的に重要であることが認識され、地理的空間データを公共的基盤として整備することの議論が深まった。そして、1996 年には、政府による「国土空間データ基盤の整備及び GIS の普及の促進に関する長期計画」がたてられ、空間データ基盤の長期的な整備が始まっている（詳細は、当巻の伊理論文を参照のこと）。

このような最近の動向を見ると GIS が極めて実践的、実用的な技術と映るために、GIS は単なる道具で、科学とか学問からほど遠いものであるという印象を受けるであろう。本当にその通り GIS は単なる道具なのであるだろうか。それとも科学として学問の対象たりうるのであるだろうか。この問いは、まさに GIS に関わる研究者の大きな問いであり、今さかんに論争が繰り広げられている。米国地理学会誌

のフォーラムに掲載された Wright, Goodchild and Proctor (1997) の論文「GIS：道具か科学か？」などに熱い議論の一面をみることができる。その議論の帰結であろうか、学術誌 International Journal of Geographical Information Systems が、1997 年に International Journal of Geographical Science と名称を変えた。GIS を単なる技術として捉えるのではなく、科学として捉えて行こうとしているのが読みとれる。ごく最近では、「地理情報科学」からより広い「空間情報科学」へと新たな展開が始まりつつある。そこでこの論説においては、これらの潮流の源流を振り返り、そこから将来を展望してみることにしようと思う。なお、詳しい GIS の歴史的展望については Foresman (1998) を参照されたい。

## 2 カントの期待

そもそも人間は、古来より世界を表象する基本的な枠組みとして、「時間」と「空間」を考えてきたと思われる。この二つの枠組みは、どちらが優れているという質のものではないが、しかし歴史的に眺めてみると、「空間」よりは「時間」の枠組みの方が、より普遍的に論じられて来たように思われる。

とは言うものの、「空間」を普遍的な視点から考察した先人がいないわけではない。紀元前 4 世紀には、既にアリストテレスが『自然学』第 4 巻の「場所論」で空間について一般論を展開している。しかしその後は久しく途絶えてしまった。

「空間」に新たな光を当てたのは、18 世紀の哲学者イマヌエル・カントであろう。カントが哲学者であることは良く知られているが、地理学者であったということは以外と知られていない。May(1970) によれば、カントが講義した 40 年間、論理学の講義が 54 回、形而上学の講義が 49 回で、地理学の講義はそれに続く 48 回であったと言う。そのカントは「地理学という科学の復興は・・・それなしでは一切の学問が単に手間仕事になってしまうような、知識の統一を創造するであろう。」と大きな期待を述べている。

カント以後、地理空間に関してベルグゾン、ラッツエルらを始めとする様々な試みはあったが、しかしこのカントの期待に応えるような学問は未だ現れているとは言い難い。気負って言うならば、空間情報科学は、この未だ果たされていないカントの期待に応えるべく、多様で複雑な現象を、「空間」という視点から統一的に捉える系統的な方法を、現代の情報科学技術を礎に開発しようとしている学問である、と言えよう。

### 3 諸学問で切望される方法

およそ実世界における様々な現象は、そのほとんどが地表、地上、地下の空間で生起する現象である。それ故にその現象は、空間の諸要因が複雑に絡み合った現象であるものが非常に多い。例えば、地価高騰、商店立地競争、人口（労働力）移動、日常生活圏行動、大和政権の勢力圏盛衰、過度の焼き畑農業による森林の衰退、都市スラム化、ヒートアイランド現象、支持政党の地域的偏在、縞がれ現象、狂牛病の拡散化など、例を挙げるのに暇がない。このように、地表、地下、地上の空間において空間の諸要因と複合的に絡み合って生起する現象を一般に「空間現象」と呼んでいる。

空間現象は森羅万象に渡るので、空間現象を対象とする学問も極めて広きに渡る。上の例の空間現象に限っても、経済学、経営学、人口学、地理学、歴史学、文化人類学、社会学、気象学、政治学、森林学、公衆衛生学が空間現象を研究対象としている。これらの学問は、対象とする空間現象も分析の方法もそれぞれに異なっている。しかし、すべからずその研究過程において、共通に必要としている方法がある。それは、空間要因にかかわるデータを効率よく取得して管理し、それを利用して空間要因を媒介に現象の機構を分析するという一連の系統的な方法である。

この系統的な方法の必要性は、上に挙げた従来 of 学問においてだけでなく、今日、要望の高い社会問題解決型の新たな学問においても極めて高まってきている。それは、現代社会が直面している問

題の多くが、自然的、社会的、経済的、文化的な様々な要因が空間的な要因と複雑に絡み合った複合的空間現象に起因しているからである。例えば、地球温暖化問題、原子炉溶解核汚染問題、民族国境紛争問題、大規模災害問題、首都移転問題など、どれ1つとして空間的要因を無視することができない社会問題である。これらの現代社会問題を解決するには、いずれの問題においても、複合的空間現象を分析し、それに基づき空間的な政策立案するといった系統的な方法が不可欠なのである。

#### 4 空間情報科学の源流

それでは、このように多くの学問で必要とされている方法は、20世紀初頭から今までどのように研究されてきたのであろうか。その源流を眺めてみよう。

空間情報科学はコンピュータによる処理を前提としているが、複合的な空間現象を系統的に分析したり政策を策定する方法自体は、コンピュータ以前から研究されてきた。歴史的に遡れば、地図の歴史と同じくらい遡ると言うこともできるし、既に19世紀の戦争において軍事的にそのような方法が研究されていたという指摘もある(Harley, Petchenik and Towner, 1978)。しかし本格的な研究は、20世紀に入ってからであろう。どの研究が最初であると言うのは難しいが、1930年代、英国の土地利用調査や、米国のテネシーリバー事業(TVA)調査における方法の開発は、初期の研究であろう(Christian and Stewart, 1969)。TVAでは、土地被覆、土地利用、土壌肥沃度などが、一つの地図に投影され、相互の分布を複合的に扱う方法が研究された。

これらの方法は、實際上、二つの限界があった。その一つは、空間関係の分析が手作業的であったことによる。地理的空間は多様であり、考慮すべき要因は膨大であるので、それらを手作業で処理するには大きな限界があった。この限界を越えるにはコンピュータを待たなければならなかった。もう一つの限界は、分析が多分に日常

言語的で、数量的でなかったことが挙げられる。特にコンピュータの処理には数量的空間分析方法が不可欠であった。

数量的空間分析方法の研究は、1950年代のいわゆる「計量革命」で始まる。その革命の地がワシントン大学であった。先に述べた TVA で働いた Hudson が教授として地理学科に移り、計量革命のリーダーシップを取った。ここでは、交通問題、都市問題などを扱う計量的な方法が開発され、その後の GIS に関する研究を先導する多くの研究者が育っている (Chrisman, 1998)。

ワシントン大学では、地理学科のみならず、土木・都市計画学科での研究も活発であった。そのリーダーシップを取った Horwood は、オペレーションズリサーチの手法を交通問題、都市問題の分析に導入した。その際利用した地理コード化の方法は、GIS の歴史で特筆に値する。1963年、Horwood が中心となって、都市地域情報システム協会 (URISA) を設立する。この URISA は、今日に至るまで特に地方自治体における GIS 利用法の開発で大きな貢献をしてきている。

前節で述べたように、空間現象は新羅万障に渡るから、研究者も様々な分野の人がおり、その中に建築家いても不思議はない。その一人に Fisher がいた。Fisher は、空間を扱うソフトウェアが重要であることを早くから見抜き、Synagraphic Mapping Package (SYMAP) の構想を暖めた。いろいろな所にこのプログラム開発を持ちかけたが断られ、結局 Fisher の母校ハーバード大学のデザイン大学院で受け入れられる。1965年、Fisher はコンピュータグラフィックスラボを設立し、SYMAP が実装されることとなる。その後、改良が加えられたり新たな機能が付け加えられた。例えば、Sinton の開発した GRID (Graphic Rectangular Grid Information) パッケージなどがある。ラボは年々大きくなり 40名のスタッフまで達するが、1971年、基金が切れて大きな縮小をよぎなくされた。

しかしその後もハーバード大学では 1972-81 の 10年間、いろいろな研究が進んだ。インタラクティブなシステムとして ODYSSEY というシステムが開発され、また米国地質調査所と統計局の支援により、

位相的なデータを扱う研究が進められた。この研究は、現在、地質調査所で使われている TIGER(Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing)システムの源となった研究である。しかし 1980 年代初頭に至ると、ハーバード大学で培われた研究は、企業の世界へと転移して大学の研究から離れていった。現在、この GIS ソフト業界をリードしている ESRI、ERDAS などは、ここをその源流としている。

系統的な空間の分析と計画の方法を研究したもう一つの大きな流れは、景観研究者達の研究であろう。McHarg の『自然とのデザイン』(McHarg, 1969) は、その一里塚である。また 1970 年代のハーバード大学の Steinitz の研究も大きな貢献があった(Steinitz, Parker and Jordan, 1976)。景観工学で提示された系統的分析の方法は、先に言及した GRID で実装化されることとなった。

GIS のシステム開発といえば、カナダ GIS に言及をしなければなるまい。このシステムの開発にあたったのは Tomlinson で、システムが稼働し始めたのは 1964 年のことである。このシステムは、多くの土地データを収集してカナダの農地復興と開発の適地を探す方法を提供したものだ( Tomlinson , 1982)。まだコンピュータが大量のデータを扱うことができない時代に、果敢にも多くの土地データを統合的に扱おうとした試みは注目に値し、Tomlinson が「GIS の父」と言われるのももっともである。

さて 1970 年代、日本はどうであったのか。複合的空間現象を分析し、それに基づき空間的な政策立案をするといった系統的な方法は、都市計画の実務的要請から研究が始まっている。道路管理、固定資産管理、建築確認などの都市計画業務の支援システムと都市計画の意思決定支援システム(Urban Information Systems = UIS)を開発しようとした研究であった。残念ながら構想したシステムに耐えるハードウェア、ソフトウェアが高価すぎて普及には至らなかった。

1970 年代後半には、統計局を中心にメッシュデータの次に来るべきデータとして小地域情報システムの研究が行われ、また国土庁を

中心に GIS の基礎研究が行われている。

以上、系統的な空間分析方法や計画方法に関する研究を見てきたが、そのシステムを構成する個々の研究も空間情報科学の源流を形成している。そのような研究の流れは数多くあるので、ここではその中の 4 つだけを簡単に言及しておこう。

まず、空間のデータを取得する方法の研究は、測量学が古典的な研究である。この分野は、リモートセンシング、GPS などの人工衛星利用により現在大きく変容しつつある研究分野である。

取得されたデータは、地図データとするのが古典的な方法で、地図学がその研究を担った。この研究分野も現在大きく変容しつつある。それを象徴するかのごとく、代表的な地図学の学術雑誌が Cartography and GIS と名前を変更をした。

地理空間的な要因の分析の難しさは、幾何学的な関係を扱う難しさに起因している。この関係をコンピュータで扱うには、その方法が必要である。それに応えたのが「計算幾何学」であった。その先駆けは Bezier(1972), Forrest (1971)に見ることができるが、Shamos(1978)の博士論文で結晶化し、Preparata and Shamos(1985)の出版を機に、研究は急速的に進んでいる。この分野における 1970 年代後半の伊理正夫を中心とする日本の貢献は大きいものがある(伊理正夫監修(1986)『計算幾何学と地理情報処理』)。

空間現象の分析では、地理学はもとより、地域科学(Isard, 1960)、生態学(Pielou, 1969)、都市経済学(Mills, 1972)、地学、森林学などを始めとして多くの研究分野でかなり独立的に研究が進められた。これらの分析的方法を抽象化した研究として 1970 年代後半には、「空間統計」という研究分野が開拓されてくる(Ripley, 1981)。この研究はその後大きく発展し、現在、空間情報科学の重要な研究分野となりつつある。

## 5 空間情報科学の組織的研究

1980 年代に入り空間情報科学に関わる研究は様々な研究分野で

広く行われるようになったが、後半になってそれらの研究を組織的に行おうという動きが出てくる。

1988年、米国は「国立地理情報解析センター」(Center for National Geographical Information and Analysis = NCGIA)を、英国は、「地域研究所」(Regional Research Laboratory = RRL)を設立する。これを機に、空間情報科学の研究は一気に加速化される。

この1988年、日本の学者も組織的な研究の重要性を認識し、同年、日本学術会議は「国立地図学博物館」の勧告を行っている。この勧告の内容は二つあり、一つは地図の博物館である。もし勧告の内容がそれだけであれば、「国立地図博物館」となっていたであろう。そうではなく、地図「学」となっているところに注目すべきである。勧告の内容を読むと、地図学とはまさに空間情報科学であることが分かる。残念ながら、この勧告はすぐには実現されることがなく、日本の研究は欧米から大きく立ち後れてしまう。

## 6 空間情報科学とは

さて、以上の空間情報科学の流れを踏まえて空間情報科学とは何かをまとめてみよう。もちろん、空間情報科学はまだ確立された学問ではなく、今形を整えつつある学問なので(Goodchild, 1992)、いろいろな考え方があり、ここに示すのは、一つの私見にすぎない。

まず、空間情報科学が目指すことは、大きくは二つあると思う。一つは、空間現象の解明である。これは多くの科学が目指すところと同じである。しかし、空間情報科学はそれだけに留まらないと思われる。それは、第3節で述べたように、空間情報科学は、空間現象に起因する現代の多くの空間社会問題に対応することが求められているからである。これに応えるべく、空間情報科学が目指すもう一つのところは、空間社会問題解決のための空間計画や空間政策の作成を支援することである。このように空間情報科学は、従来の現象解明型の科学と政策指向型の科学の両面を持っていると言える。

このようなことを目指して、それでは空間情報科学はどのような

方法を開発しようとしているのであろうか。それを述べるには、まず主要な概念である「空間データ」とは何かを明らかにしておく必要がある。

「空間データ」とは、地表、地上、地下の位置や範囲を明示した自然、社会、経済、文化などの属性データをさす。言い換えれば、地表、地上、地下の位置や範囲のデータと自然、社会、経済、文化などの属性データが対になったデータをさす。

いわゆる地図は典型的な空間データであるが、それはもとより、都道府県の人口データも空間データであり、さらに電話帳のタウンページも空間データである。何故なら、タウンページには、例えばピザ屋という属性とその住所が示されたデータであるからである。このように空間データとは、極めて広範なデータである。

空間データを定義したところで、空間情報科学とは何かを定めよう。

空間情報科学とは、空間データを構築し、その空間データを管理し、その管理された空間データを使って分析し、その分析結果に基づき空間計画や政策をたて、その結果を伝達する一連の系統的で汎用的方法、およびその汎用的な方法を適用する方法を研究する学問と言えよう。

上の空間情報科学の定義に即して、空間情報科学がどのような研究をしようとしているのか、もう少し詳しく見てみよう。

#### 1) 空間データ構築

空間情報科学の第1歩は、実世界の空間現象をどのように表象し、それを空間データとしてどのように構築するかということに始まる。この部分はまさに世界の認識であるから、哲学の問題に近いが (Bollnow 1963)、哲学の空間表象論と一線を画するのは、空間情報科学のそれは最終的に計算機で処理するというということを前提とした数理的空間表象論である点である。

空間表象モデルが定まると、それに従い空間データをどのように効率的に取得して、それを分析に耐えうるデータとしていかに構築

するかが課題となる。現代の高度情報技術は、リモートセンシング、GPS、モバイルギアなどを始め多くの空間データ取得技術を発展させたが、問題は、様々な形式のデータをいかに分析に耐えうる空間データとして構築するかの方法を開発することである。

## 2) 空間データ管理

空間データが構築されるとそれを効率的に管理する方法が必要である。空間データは文字、数値データと異なって、位相関係を含んだデータであり、また2次元、3次元のデータであるので膨大となる。さらには、時間を含む4次元データとなるので、その効率的な管理の方法がないと、データに埋没してしまいかねない。その管理方法は1980年代後半に研究が進んだが(Samet, 1989)、4次元データの管理については今後の課題である。

空間データの管理は空間データの操作と表裏一体である。空間データの操作、演算は前節で述べた計算幾何学が扱ってきた。今後、時空間的なデータに対処するために、動的な幾何学操作の研究が望まれている。

## 3) 空間分析

空間現象の分析は、多かれ少なかれ空間現象を扱っている多くの学問で行われてきたことである。現在の課せられた課題は、これら多くの学問で開発されてきた個々の方法を体系化し、それを使いやすい研究手法とするにはどのようにすれば良いかを研究することであろう。先に述べたように空間統計学はその一つの方法であるが、空間現象が統計現象として扱えるものばかりでないので、より広い空間分析の方法の開発が望まれている。

## 4) 空間計画・政策策定支援

先に述べたように、空間情報科学は、現代の空間社会問題の解決策策定を支援する方法を提供することが期待されている。その一つの研究に、空間最適化の研究がある。数理最適化の研究で未発達な幾何学的最適化の方法開発が望まれている。

阪神大震災で経験したように、現代の空間社会問題の解決には、

いかに迅速に意思決定者に空間政策の代案を提供するかが問われている。そのため、現在、空間意思決定支援システムの開発研究が行われつつある（Leung, 1997）。

#### 5）空間情報伝達

空間データ、空間分析の結果、空間計画・政策の案などは多くの人に伝え共用する必要がある。来るべき高度情報化社会においては、この要請がより強くなっていくであろう。その要請に応えるべく、空間情報をどのように表示し、伝達するのか、特にネットワーク環境での方法を研究する必要がある。具体的には、空間マルチメディアの研究、オープン GIS（open geospatial interoperability signification）の研究などが期待されている。

#### 6）適用化研究

空間情報科学は空間現象を扱う多くの学問の基盤的学問の可能性を秘めているが、その成否は、個々の学問で培われた方法を汎用的方法に昇華する研究と同時に、その汎用的方法を個々の学問に適用化する研究を双方向的に行う必要がある。この意味で空間情報科学はトランスディシプリナリーな科学と言えよう。

汎用的方法の研究と適用化方法の研究の双方向的な関係は、統計学のそれと似ている。統計学は一般統計学と個々の統計学（例えばエコノメトリックス、社会統計、心理学統計など）の双方向的な研究で培われてきた。空間情報科学も同じ方法をとろうとしている。なおこの文脈で言うならば、狭義の GIS は SAS、SPSS といった統計のソフトウェアに対応するであろう。統計ソフトウェアを作るのは統計学の目的ではなく、結果であるという関係は、空間情報科学においても同様である。

#### 7 おわりに

第 5 節に、欧米では空間情報科学の組織的研究が 1980 年後半に始まったことを述べた。それから 10 年がたち、ようやく日本も組織的な研究が始まりだした。1997 年には、中央大学にハイテクリサーチ

センターができ、統合地理情報システムの研究が始まった。また1998年には東京大学に空間情報科学研究センターができ、活動を始めようとしている。前節に述べた空間情報科学が目指している空間現象を扱う多くの学問への波及と、現代が直面している空間社会問題の解決支援で成果を挙げることを大いに期待したい。

#### 参考文献

- (1) アリストテレス全集 3 自然学 岩波書店, 1968
- (2) P. Bezier, Numerical Control - Mathematics and Applications, Translated by A. R. Forrest, John Wiley, New York, 1972.
- (3) O.F. Bollnow, Mensch und Raum, Kohlhammer, Stuttgart 1963  
大塚恵一、池田健司、中村造平訳 『人間と空間』せりか書房、1977
- (4) C.G. Chistman, Academic origin of GIS, in T.W. Foreman (ed.), History of Geographic Information Systems, 33-43, Upper Saddle River, Prentice hall PTR, 1998.
- (5) C.G. Christian and G.A. Stewart, Methodology of integrated surveys, in Aerial Surveys and Integrated Studies, 233-280, UNESCO, Toulous, France, 1969.
- (6) A.R. Forrest, A.R. Computational geometry, Proceedings of Royal Society of London, 321, Series 4, 187-195, 1971.
- (7) T.W. Foresman (ed.), History of Geographic Information Systems, Upper Saddle River, Prentice Hall PTR, 1998
- (8) M.F. Goodchild, Geographical information science, Inter-national Journal of Geographical Information Systems, 6, 31-45, 1992.
- (9) J.B. Harley, B.B. Petchenik, and L.W. Towner, Mapping the American Revolutionary War, Urbana, Illinois, University of Illinois Press, 1978
- (10) 伊理正夫監修 『計算幾何学と地理情報処理』古今書院、1986
- (11) W. Isard, Methods of Regional Analysis, MIT Press,

Cambridge, 1960.

(12) Y. Leung, Intelligent Spatial Decision Support Systems, Springer Verlag, Berlin, 1997

(13) J.A. May, Kant's Concept of Geography and Its relation to Recent Geographical Thought, Toronto, University of Toronto Press, 1970, 松本正美訳『カントと地理学』古今書院 1992

(14) I.L. McHarg, Design with Nature, Garden City, Natural History Press, New York, 1969.

(15) E.S. Mills, Studies in the Structure of the Urban Economy, The John Hopkins Press, Baltimore, 1972.

(16) E.C. Pielou, E. C. Mathematical Ecology, John Wiley, New York, 1969

(17) F.R. Preparata and M.I. Shamos, Computational Geometry, Springer Verlag, New York, 1985.

(18) B.D. Ripley, Spatial Statistics, John Wiley, New York, 1981

(19) H. Samet, The Design and Analysis of Spatial Data Structure, Addison-Weseley, Reading

(20) C. Steinitz, P. Parker, and L. Jordan, Hand-drawn overlays: their history and prospective uses, Landscape Architecture, 66, 444-455, 1976.

(21) R.F. Tomlinson, Panel discussion: technology alternatives and technology transfer, in Computer Assisted Cartography and Geographic Information Processing, Hope and Realism, Douglas and Boyle (eds.), Canadian Geographic Association, Department of Geography, University of Ottawa, 65-71, 1982.

(22) D.J. Wight, M.F. Goodchild and J.D. Proctor, "GIS: Tool or Science? Demystifying the persistent ambiguity of GIS as "tool" versus "science", Annals of Association of American Geographers, 87, 346-362, 1997