

# 時空間分析手法分類のための基礎構造の構築

## ～時空間の基礎概念と分類の表現～

### An establishment of fundamental structure for categorizing spatio-temporal analysis methods: A basic concept for space-time and its representation

56130 相 尚寿

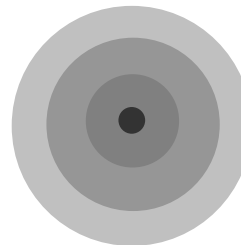
#### Abstract:

Spatio-temporal analysis has been recently gathering attention because of its increasing necessity and operability. The field of spatio-temporal analysis, however, is lacking a discussion on basic concepts about space and time. This paper first discusses these basic concepts and proposes a framework. The framework shares its basis with the ISO framework about space and time, with some exclusion of unnecessary parts and addition of original concepts. Following the basic discussion, the paper shows spatial and temporal categorization of spatio-temporal analysis cases. Then, the paper constructs a matrix showing research categories, research objects, and existing analysis methods. The matrix helps researchers from several disciplines to discover the linkage between researches and the possibility of application studies.

## 1.研究の背景と目的

近年、時空間分析が研究者の間で注目されている。時空間分析は、従来のようなクロスセクション分析や時系列分析とは異なり、時間と空間を切り離すことなく同時に分析対象とすることが特徴である。時空間分析が注目される理由は、その必要性の増大と実現可能性の向上とに大別される。

まず、必要性の増大については、前述の特徴にあるような、時間と空間を同時に分析する必要がある分析対象に関心が集まっているためである。例えば、水中の汚染物質の挙動や都市における流行の伝播などは、時間の経過とともに空間的な広がりが増す一方、空間的に近接した地点へ拡大するという性質を持つ(図 1)。すなわち、時間と空間を同時に扱うことで初めてこれらの現象を分析することが可能となる。



汚染物質は、中央に落とされたが時間経過とともに外側(色の薄いほう)へ広がる。また中央のほうが濃度は高い。

図 1 水に落とされた汚染物質の広がりの様式図

一方、実現可能性の増大に関していうと、まずはデータの入手可能性がある。近年の携帯電話や GPS の普及により大量、正確、安価に時間と空間の情報を含むデータを収集することが可能となった。データベースが整備されるなど、データの共有が行いやすくなっていることもデータの入手可能性を高めている。また、時間と空間を含む情報量は膨大であり、その記憶や演算処理は大きな負担であったが、コンピュータの性能向上により、大容量のデータを直接分析に使用することが可能となってきている。

連絡先 : hisaai@ua.t.u-tokyo.ac.jp

研究室 : 03-5841-6259

FAX 03-5841-8521

しかし、時空間分析は以下のような問題を抱え

ている。それは、新しい分野であるがために手法開発などの応用研究が盛んである反面、基礎的な議論が不足している点である。すなわち、個々の対象物や状況に応じて応用的手法が個別に開発されている状態のため、時空間を記述、表現するための標準的な概念の構築や各研究の関係性の整理などが行われていない。このため、異なる研究の成果を比較したり、複数の研究を組み合わせ新たな問題に適用したりすることが困難である。

そこで、本研究では以下の3点を目的とする。まず1点目は基礎的な議論の展開である。時空間分析が扱う空間、時間および分析対象の捉え方について基礎的な概念を整理する。次に、体系化された枠組みの策定である。この枠組みは、先の基礎的な議論を基にして時空間分析手法の特徴を洗い出すことに目標を絞ったものとする。目的の最後が各種分析手法の特徴の表現である。前の段階で体系化した枠組みをもとに各種時空間分析手法を分類、それを視覚的に表現して整理する。

## 2.時間と空間の基本的概念

### 2.1 国際標準化機構

国際標準化機構 ISO の技術委員会である TC211 は、時間や空間に関するデータ構造の国際標準を策定している(特に ISO19107 と ISO19108 を参照されたい)。本研究で提案する枠組みは、高い汎用性を実現するために ISO の提唱する概念に準拠させる。なお、ISO はクラスを用いた時間や空間を含むデータ構造の策定に主眼をおいているが、本研究で策定する枠組みは、時空間分析手法の整理に特化したものとするため、不要な概念は除去し、必要な概念を独自に補うこととする。

### 2.2 現実世界と分析モデル

本研究では、分析対象が現実世界に存在し、それを分析目的にあわせて抽象化し分析手法を適用することで分析モデルを組み立てると考える。また、分析モデルを組み立てる際の枠組みが基礎的な概念によって与えられている。図2はこれから提案する基礎的な概念の枠組みを模式的に表したものである。以下を読み進める際に参考にされたい。

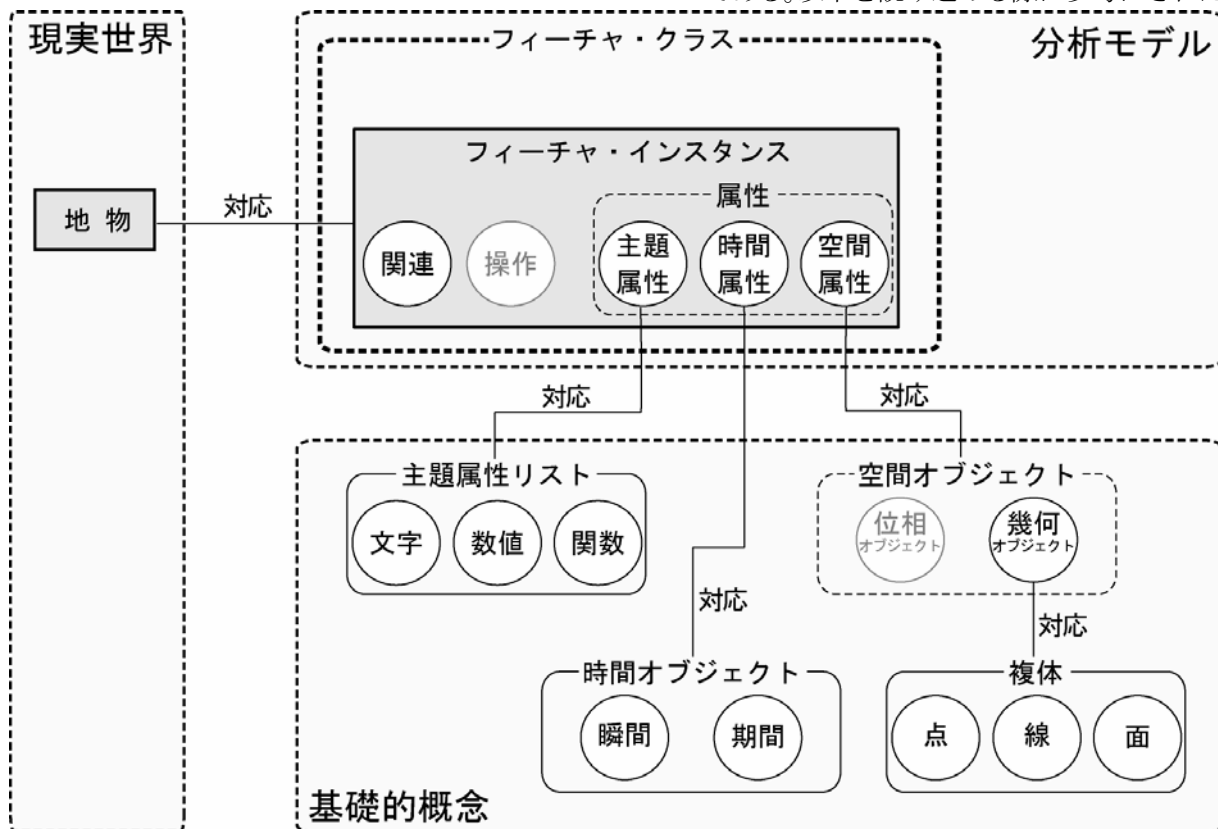


図2 本研究で提案する枠組みの概念図

## 2.3 地物

地物は、現実世界に存在する物体や現象、あるいは抽象的概念を表現しているものであり、家や国境線、事故の発生などがある。分析対象として地物を分析モデルに組み込む際は、そのモデルにあわせて抽象化する。

## 2.4 フィーチャ・インスタンスとクラス

地物を分析モデルに組み込むために抽象化したものがフィーチャ・インスタンスであり、各々が地物に対応している。フィーチャ・インスタンスの性質は、属性および関連によって表され、共通の属性および関連を持つものは、フィーチャ・クラスとして括られる。ISO ではフィーチャ・インスタンスの性質には、属性、関連、操作があるとしているが、ここでは操作については議論しない。

## 2.5 フィーチャ・インスタンスの属性と関連

フィーチャ・インスタンスそのものの性質を表しているものが属性である。本研究では ISO を拡張して、属性のうち空間的な情報を持つものを空間属性、時間的な情報を持つものを時間属性、空間的および時間的な情報以外を持つものを主題属性とする。関連は、フィーチャ・クラス間の概念上における上下関係(クラスの継承や派生など)や空間での隣接関係などを表す。

## 2.6 空間属性

フィーチャ・インスタンスの空間属性は、空間オブジェクトに対応して表現される。空間オブジェクトは、幾何オブジェクトおよび位相オブジェクトに分類することが可能であるが、本研究では幾何オブジェクトに対象を絞って議論を行う。

幾何オブジェクトは、複体によって表現されており、点、線、面の集合から構成される。本研究では、立体を考慮しない。ISO では複体内の線、面は端点や境界線を含まない開集合として定義しているが、本研究では数学的概念ではなく現実世界の地物を扱う場合に、より自然である閉集合として定義している。本研究では、複体において交点以外で線が交わったり、境界線上以外で面が重なったりすることは許容していない。ただし、異

なるフィーチャ・インスタンスの幾何オブジェクトを表現する複体が交差したり重なったりすることは許容される。

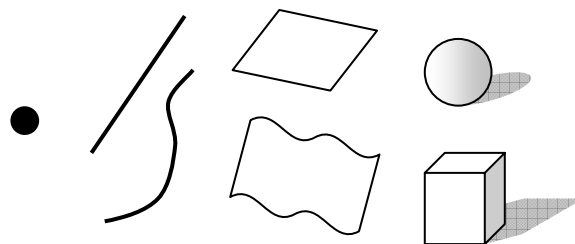


図3 点・線・面・立体の例

また、面複体および線複体の特殊な例として、フィールドを扱う。フィールドは、空間における位置が連続的に変化するとき、その位置に対応した値も連続的に変化するような面あるいは線であり、例えば気温の分布などがある。本研究の枠組みでは、面複体および線複体の位置と属性値を対応させる関数をインスタンスが属性として持つことを許容することでフィールドの概念を取り扱う。なお、インスタンスの属性としての関数は、引数としてここで紹介した空間以外にも、時間や他の属性、設定条件などを含めることが可能である。

## 2.7 時間属性

フィーチャ・インスタンスの時間属性は、時間オブジェクトに対応して表現される。時間の経過は、1軸の数直線で表現され、その上の位置を時点という。時間オブジェクトは、幾何オブジェクトの点および線に相当する、瞬間と期間から構成される。瞬間は、1つの時点であり、期間は、開始時点と終了時点を結ぶ時間軸上の線である。これは ISO の定義と同一である。

## 2.8 主題属性

フィーチャ・インスタンスの主題属性を本研究では独自に数値型、関数型、文字型に分類する。数値型属性は例えば店の売り上げや人口密度といった数値で表現される属性であり、異なるインスタンス間での演算も可能である。関数型属性は、空間、時間、その他の属性、モデルの設定条件などを引数として与えられ、その引数に対応する属性値を返すような関数で表現される。フィールドの概念も本研究の枠組みでは関数型属性を用いて

表現する。文字型属性は例えば名称や分類番号など文字列として表記される属性である。主題属性は、これらの属性を複数持つことが許容され、その場合はリストとして表現される。

### 3.時空間分析手法の分類

先述の通り、本研究では時空間分析手法を地物からフィーチャ・インスタンスへの抽象化の方法や分析の目的により分類することを目標の1つとしている。ここでは、時空間分析手法が地物をどのように抽象化するかについて考察し、時空間分析手法の分類軸の個々について紹介する。

#### 3.1 フィーチャ・クラス数

まずは、分析モデルについてそれがいくつのフィーチャ・クラスから構成されるかを見てみよう。例えば、店舗間の隣接状況などの立地分析を行う場合、店舗を表すクラスのみで良いことになる。このように単一のフィーチャ・クラスから構成されるモデルを単フィーチャ・クラス・モデルまたは単クラスとする。他方、鉄道駅からの各店舗の距離を議論する場合は、店舗の立地以外に鉄道駅に関する情報も必要となり、フィーチャ・クラスは2つとなる。このようなモデルを多フィーチャ・クラス・モデルまたは多クラスとする。

#### 3.2 空間の分類

次に、地物が抽象化されたものであるフィーチャ・インスタンスの空間的な特徴による分類を紹介する。最も基本となるものは幾何オブジェクトの空間的次元であり、これは幾何オブジェクトが点、線、面のいずれであるかによる。また、線である場合の細分項目として、線フィールドやネットワークが、面である場合の細分項目として、面フィールドや空間被覆があり、これらを一般の線や面と区別する必要がある場合は、細分項目を採用する。フィールドの詳細については先述の通りであり、空間を引数とする関数の形で属性が与えられている。空間被覆は、空間の中の与えられた領域の全体または一部について、面が隙間なく、かつ重なり合うこともなく敷き詰められたものであり、メッシュデータの表現などに使われる。

また、1つのインスタンスに対応する幾何オブジェクトの個数による分類も可能である。1つのインスタンスに複数の幾何オブジェクトが対応している場合とは例えば、幾何オブジェクトとして捉えられる島が多数集まって日本という国すなわちインスタンスを形成している場合などを指す。

#### 3.3 時間の分類

ここでは、フィーチャ・インスタンスの時間的な特徴、すなわち時間オブジェクトについての分類を紹介する。まずは、時間オブジェクトの次元であり、これには瞬間と期間がある。また、インスタンスに対応する時間オブジェクトの個数について考えることもできる。分類としては、単一であるか、複数であるかであり、単一の場合は1回だけ発生する現象や時間経過を考慮しない分析対象を扱う場合に用いられ、複数の場合は反復や周期性がある分析対象を扱う場合に用いられる。

#### 3.4 時間経過による変化

時間経過に伴う空間属性および主題属性の変化を論じることできる。空間属性の変化としては、平行移動、回転、拡大・縮小、変形などがあり、主題属性も変化しうる(これを転換とする)。これらのうち、どのような変化に注目している分析事例であるかも重要な分類軸として考えられる。例えば、人の移動を時空間上での軌跡として表した時空間パス(Hägerstrand, 1970)は、人を表す点の平行移動のみを取り扱う手法であると分類できる。

## 4.研究の分類と研究マトリックス

### 4.1 研究マトリックスとは

次に今までに整理してきた基礎的な概念をもとに、様々な時空間分析事例の分析対象と分析手法を分類する。その際、本研究では、研究マトリックスという表現を導入する。この研究マトリックスは、使用者が分類軸を選択することができることにより、使用者が注目している分類軸に絞った分類結果が得られるだけでなく、用意された全ての分類軸についての分類を検討する手間を省くことが可能となる。また、分類をマトリックス形式

で行うことにより、使用者が選択した分類軸の観点から同一の特徴を持つ分析例が同一のセルに、類似の特徴を持つものが近接するセルに、それぞれ配置される。このことにより、研究マトリックスはその使用者が自身とは全く異なる研究分野や研究対象から、同一の抽象化や分析のアプローチを持つ研究分野を知る手助けとなる。

#### 4.2 研究マトリックスの例

次に、実際に研究マトリックスの一例を紹介する。表1では2つのマトリックスが挙げられているが、上が分析対象に関する分類、下が分析手法に関する分類であり、どちらも分類軸は共通である。分類軸は先述のものの中から2つ選んでおり、横軸はフィーチャ・クラスの数、縦軸は幾何オブジェクトの次元となっている。マトリックス内の各セルには、その分類に対応する分析対象の例および分析手法が記入されている。2つのマトリックスで同一のセルに配されているものは、分析対象と分析手法の対応例となっており、例えば右上のセルでは、駅と銀行の立地関係を調べる際に相互最近隣距離法などが使われているということを表している。なお、各分析手法は単一のセルにのみ配されるとは限らず、例えば最短経路探索は、線で単クラスのセルおよび線で多クラスのセルに割り当てられている。

表1 研究マトリックスの例①

	単クラス	多クラス
点	店舗立地分析	駅と銀行の立地関係
線	道路網の評価	鉄道とバス路線網
面	用途地域の指定	用途地域指定と実際の土地利用比較

	単クラス	多クラス
点	最近隣距離法 K-関数法	相互最近隣距離法 クロス K-関数法
線	König 指数 最短経路検索	König 指数の比較 最短経路探索
面	Moran's I 統計量 Join 統計量	Moran's I の比較 Map Comparison Kit

研究マトリックスを作成する際は、使用者が指定した分類軸に沿って各種分析手法の分類を行う。次の表2で示す例では、どちらも時間に関する分類で、横軸が瞬間と期間の別、縦軸が時間オブジェクトの個数(1回のみか繰り返しがあるか)という分類になっている。このとき、先の表1で使用したクラス数や幾何オブジェクトの次元は考慮していないため、店舗立地分析と駅と銀行の立地が表1では異なるセルに分類されたのに対し、表2では同一セルに分類される。先述のように、研究マトリックスは使用者が注目する分類軸のみに限定した表現が可能で、関心のない他の分類を行う手間を省くことができる。さらに作成されるマトリックスも使用者が注目している分類のみに限定されているため、簡潔で分かりやすいものとなる。

このように、マトリックスの形式で時空間分析を行った研究事例を整理することにより、その特徴を視覚的に整理することが可能となる。すなわち、地物を抽象化する際の考え方や分析目的などが共通あるいは類似する研究事例は同じセルまたは近接するセルに割り当てられるため、研究事例として類型に近いものが視覚的にも近くに配される。同時に、同一セル内に様々な研究分野からの研究事例を配置することにより、研究マトリックスを使用している研究者とは全く異なった研究分野から共通する概念を利用して地物を抽象化し、類似したアプローチで分析を行う手法を発見する

表2 研究マトリックスの例②

	瞬間	期間
単一	店舗立地分析 駅と銀行の立地	気象観測点 人間の位置
複数	犯罪の発生 伝染病の発症	台風の進路

	瞬間	期間
単一	最近隣距離法 K-関数法	トレンド分析 時空間パス
複数	CrimeStat セル・オートマトン	時空間パターン 気象予報

手助けとなる。

表2で例を紹介する。左下の繰り返しがある瞬間のセルに注目すると、分析対象に犯罪の発生があり、分析手法に CrimeStat がある。CrimeStat は、犯罪の発生を時空間の観点から統計的に分析するソフトウェアであるが (Levine, 2006)、犯罪の発生と同一のセルに伝染病の発症という例も挙げられている。犯罪の発生と伝染病の発症は、双方とも瞬間的に発生する空間上の点として考えられる現象であり、実際に分析の過程でもそのように抽象化されている。さらに、発生要因として周辺環境が大きく左右しており、それらの要因を特定することに意義がある点でも共通している。すなわち、犯罪の発生と伝染病の発症は、それを研究対象とする分野は全く異なるが抽象化の方法や分析の目的が非常に類似している研究対象であるといえる。CrimeStat は、犯罪の発生を分析するソフトウェアであると紹介したが、研究マトリックスは CrimeStat が伝染病の発症を分析するためにも使用できる可能性が高いことを示唆している。実際に CrimeStat は犯罪学だけでなく、伝染病学を含めて様々な分野での研究に活用されている。

## 5. 課題と今後の発展性

本研究では、簡単のために立体や位相オブジェクトなどを議論の対象から外したが、フレームワークとして完成させるためには、これらの概念にも対応することが必要であり、その他に必要な概念が不足していないかを検討する必要がある。

一方、本研究で提案した枠組みを発展させることで時空間分析事例の特徴を記述するためのメタデータ書式として活用できると考えられる。この書式に基づき様々な研究事例を蓄積してデータベースとし、研究者の要求に応じて研究事例を抽出、マトリックス形式で簡潔に表現することにより、研究者に対して自身の行っている研究が他の研究事例との間でどのような位置づけにあるのかを確認し、自身の研究に応用できる分析手法あるいは自身の手法が適用できる分析対象を他の研究分野から発見することに大きく寄与し、様々な研究分

野間での知識の共有と時空間分析を用いた研究の活性化に貢献できるものであると考えられる。このためにも今後は様々な研究分野で行われてきた時空間分析の事例の文献を参照し、実際に整理、分類を行っていく必要がある。

## 謝辞

時間と空間の枠組みの策定にあたり指導教官の貞広幸雄先生とともに岡部篤行先生と太田守重氏(国際航業)に共同研究にご参加いただき、研究室会議では浅見泰司先生と石川徹先生をはじめ学生の皆様から貴重なご意見を多く頂戴しました。

## 主な参考文献

- Anselin L.(2000), "GIS, spatial econometrics and social science research," *Journal of Geographical Systems*, 2(1), 11-15.
- Charamunt C., Thériault M.(1995), "Managing Time in GIS An Event-Oriented Approach," *Proceedings of International Workshop on Temporal Databases*, 23-42.
- Hägerstrand T.(1970) "What About People in Regional Science?," *Papers of the Regional Science Association*, 24(1), 7-21.
- Levine N.(2006), "Crime Mapping and the CrimeStat Program," *Geographical Analysis*, 38(1), 41-56.
- Miller H.J.(2005), "A measurement theory for time geography," *Geographical Analysis*, 37(1), 17-45.
- Peuquet D.J.(1994), "It's About Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems," *Annals of the Association of American Geographers*, 84(3), 441-461.
- Peuquet D.J.(2001), "Making Space for Time: Issues in Space-Time Data Representation," *GeoInformatica*, 5(1), 11-32.
- Sadahiro Y., Umemura M.(2001), "A Computational Approach for the Analysis of Changes in Polygon Distributions," *Journal of Geographical Systems*, 3, 137-154.
- Visser H., T. de Nijs(2006), "The Map Comparison Kit," *Environmental Modelling and Software*, 21, 346-358.
- Worboys M.F.(1994), "A Unified Model for Spatial and Temporal Information," *The Computer Journal*, 37(1), 26-34.