第44回測量調査技術発表会
空間分析が歩んで来た道、これから先の道

東京大学名誉教授／青山学院大学名誉教授
公益財団法人日本測量調査技術協会 顧問　岡部　篤行

ご紹介いただいた岡部篤行です。今日のお話のタイトルは「空間分析の歩んで来た道、これから先の道」です。私の50年間に渡る個人的研究をふり返り、又そこから先の道を眺めてみようと思います。私の専門は広くいうと地理情報科学です。地理情報科学とは、作業プロセスから見ると、地理データを系統的に、取得→管理→分析→総合→伝達する方法を研究する学問といえるでしょう。私の専門をこの構成要素の中でもう少し絞ると、分析、その中でも今日のテーマである、空間分析で、特に汎用的な方法である統計的・計算的方法が専門です。

お話の内容は5つあります。最初に「デタラメ」で空間分析、第2に「かっちり」した空間での、第3に「ぐにゃぐにゃ」した空間での、第4に「時が流れる空間」での空間分析をお話します。そして最後に「協働」する空間分析で締めくくりたいと思います。

1 「デタラメ」で空間分析

空間分析と言うと、何かしら現代的な響きがありませんでしょうか。空間分析とは、平たく言うと、どのような特色の所に、どのようなモノがあるかを探ることです。だから人類がこの世に現れたときから使っていた方法でしょう。例えば先史時代、獲物たるヘラジカが、どのような植生の所に、いつごろやって来るかを探ることは、当時の狩猟者だってやっていたに違いありません。

それを深化させ、地理的データを使って客観的な空間分析を行った先駆者は、一体いつ頃の、誰だったのでしょうか。クレッシーの本*Statistics for Spatial Data*によると、ハレーが1686年に出版した季節風の論文であろうとのことです。ところで皆さん、ハレーを知っていますか。17世紀の昔の人なんて知らないと思うかもしれませんね。ですが、ハレー彗星の発見者と聞けば、あ～あの人か、と思いだす方も多いのではないでしょうか。

その後、ぼちぼちと空間分析の研究は現れ始めます。列挙していると切りがなさそうですから、あと3人だけ紹介しましょう。まず現在のコロナ感染とのかかわりで言えば、スノーが1849年に出版した本*On the Mode of Communication of Cholera*を挙げないわけにはゆきません。伝染病の地理情報科学の先駆者ともいえる人です。当時、コレラは悪い空気で感染すると考えられていました。しかし、スノーはそれを疑ったのです。そこで彼は、死者一人一人を街路にそって地図にプロットしました。そして、その分布と井戸水ポンプの位置関係から、コレラの感染源が井戸水ポンプであることを突き止めたのです。この方法は、後のネットワーク・クロス*K*関数法の先駆けとなった空間分析法です。

20世紀前半に入ると、様々な分野で空間分析の研究は増え始めます。一例として、スチューデントの「赤球計の計測エラー」の論文を挙げておきましょう。「学生」なんて変わった名前ですよね。実は、本名はゴッセットです。彼は、ビール会社のギネスに勤めていました。当時、ギネスは論文を投稿することを禁じていました。そこで、ゴッセットは「学生」という名前で論文を発表していたのです。空間分析でよく使われるセルカウント法は、彼の発案です。

そして何と言っても空間分析のみならず、統計学に大きく寄与したのは、近代統計学を築いた巨匠の一人であるフィッシャーでしょう。空間分析に関わる記述は、1935年に出版した本*The Design of Experiments*の第4章にあります。現代の空間分析はフィッシャの考え方を基礎にしています。

フィッシャー以降、多くの社会科学と自然科学で空間分析のための統計的方法が開発されました。そして20世紀後半には、それらを統合する「空間統計」が確立されます。その代表的な本と言えば、リプレーが1982年に出版した本*Spatial Statistics*でしょう。空間分析でよく使われる*K*関数法の発案者でもあります。

空間分析の第1の目的は、空間現象の空間的「規則性」を見つけることです。地物を点で表現することができる場合を考えると、空間分析の目的は、平面上の点分布に空間的「規則性」を見つけることになります。空間的「規則性」があると思う点分布は、人によって違いますから、その数は原理的に無限数ありえます。となると空間的「規則性」を定義するには無限数の定義をしなければならなくなります。そんなことは無理ですね。ハレー以来、300年間、ああだ、こうだと多くの人が、空間的「規則性」とは何かを考えてきました。そして、行き着いた空間的規則性とは、どう定義したと思いますか。なんと、空間的規則性とは、空間的に「デタラメ」でないことである、ということに至ったのです。「デタラメ」というと、何かいい加減に聞こえますね。ですが、日本の統計学の祖と言われた増山先生の本が『デタラメの世界』というタイトルです。統計学の基礎となる概念が「デタラメ」なので、このタイトルにしたのでしょう。

さて、空間的規則性とは「デタラメ」の否定だと言うのですから、まずは「デタラメ」を作ればよいことになります。そこで、私が**図1**に「デタラメ」と思う分布を3つ描いてみました。

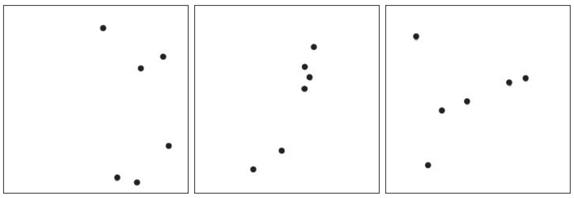


図1 「デタラメ」な点分布

図1の左図の分布は「デタラメ」に見えますかね。ちょっと力んで右に偏りすぎたようです。真ん中の分布は、どうでしょうか。中央に持ってきましたが、二つに集まり過ぎたようです。右の分布ならどうですか。中央の4点が線上に並びすぎましたかね。

このように空間的「デタラメ」な点分布を、その人任せで作ると、その作り方は、無限数ありますね。先に述べたように、空間的に規則的な分布も、作る方法は無限数あります。しかし、完全に空間的「デタラメ」な分布を作る方法は一つしかない、ということに落ち着いたのです。その方法とは、点の座標 (x, y) のxとyを、独立に乱数で作成して作ればよい、ということだったのです。

この方法で作成した点分布を「完全空間ランダム」と呼んでいます。完全空間ランダムは、確率過程分野では「均一ポアソン点過程」と呼んでいます。均一というのは、ある領域に点が入る確率は、その領域の面積だけに依存し、領域がどこにあっても、形が異なっても同じと言うことです。つまり、均一な平面が想定されているということなのです。

完全空間ランダムを基本とする方法については、次のような批判がよく出されます。作る方法は一つだと言ったって、この世の空間現象が完全空間ランダムでないのは、当り前じゃないですか。そもそも、現実の空間は均一空間ではありません。完全空間ランダムでないかどうかは、見ればすぐ分かりますよ。

なるほど、この批判はもっともなところがあります。確かに、現実の空間現象が完全空間ランダムでなく規則性を示すことは、とても多いですね。ですが、完全空間ランダムの役割は、空間現象が完全空間ランダムだということを示すために使われているのではありません。空間現象が完全空間ランダムからどの程度、離れているかを評価するために使われているのです。例えていえば、室温がどの程度かは、氷点と比較して測っているのに似ています。ところで、見ただけで、空間現象が完全空間ランダムでないと、断言できるでしょうかね。

図1を、もう一度、見てください。私が「デタラメ」と思う分布を描いたと言いました。実は、これは乱数を使って発生させた完全空間ランダムなのです。しかし、皆さんの中には空間規則性があると見えたのではありませんか。現象が完全空間ランダムでないと視覚的に判断するのは、そう容易なことではないのです。

みなさん、夜空の星を眺めたことがあるでしょう。星の分布は、ある意味でランダムな分布です。ですが、北の夜空を眺めたとき、柄杓型をした星の並びを見つけて大熊座があると思ったのではないでしょうか。人間はランダムな分布に規則的な意味を見つけてしてしまう傾向があるようです。

さて、**図2**の分布はどうでしょうか。かなり空白地域があるので、空地に規則性の意味付けをしたくありませんか。

実は、この分布は完全空間ランダムなのです。それでは、**図3**の分布はどうでしょうか。明らかに空地が広くなって、線状に点が並んでいるように見えますね。

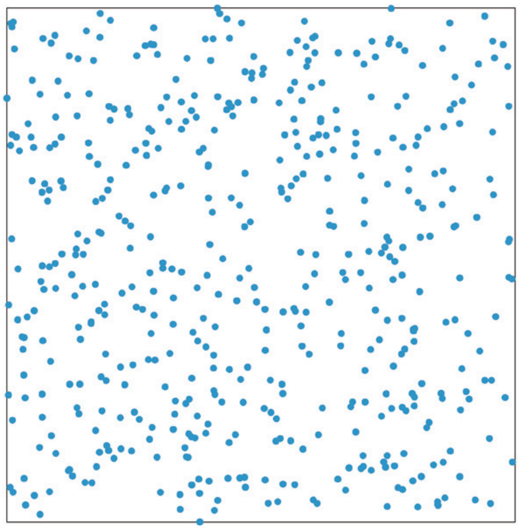


図2　点分布 その1

だから完全空間ランダムではない、と判断したくなるでしょう。

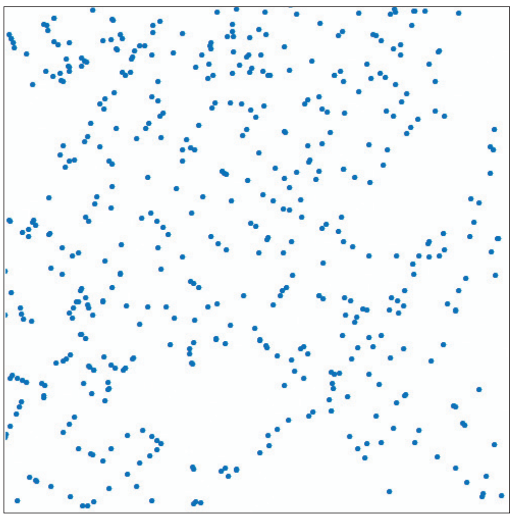


図3　点分布 その2

実は、これも完全空間ランダムなのです。ただし、一次元、道路上の完全空間ランダムなのです。完全空間ランダムでも、空間の次元によって見え方は変わってきます。

ネットワーク上の空間分析については、私と杉原さんで書いた本*Spatial Analysis along Networks*で体系化を試みました。交通事故や路上犯罪の空間分析でよく引用されています。加えてネットワーク上の空間分析のGISツールボックスSANETも、研究仲間と開発しました。このサイトからダウンロードできますのでご利用ください。

http://sanet.csis.u-tokyo.ac.jp/index_jp.html

ネットワーク上の空間分析ツールに限らず、空間分析はGISツールを提供するまでが仕事です。

先に述べたように、空間分析は均一空間を前提としている方法です。だから、現実の不均一空間の空間分析には役立たないのではないか、という批判があります。確かにその面はあります。しかし、幸いネットワーク上の分析の場合、均一空間での空間分析法を不均一空間でも使えるようにできる「マジック」のような方法があるのです。その「マジック」は、ネットワーク上やネットワーク沿いの空間現象分析に使えます。一例として自動車交通事故分析の場合で見てみましょう。

図4　交通事故発生地点の空間分析（Okabe and Satoh, 2006）

図4の左図で、線は道路で、線の太さは交通量に比例しています。線上の点は事故発生地点です。一つの仮説として、交通事故は交通量に比例する、ということで考えてみましょう。**図4**の左図を見てのとおり、交通量は不均一ですから、事故の発生分布は不均一空間を想定することになります。それだと均一空間を前提とする空間分析法が使えません。そこで、「マジック」を使って均一空間へ変換することにします。その方法を**図5**の簡単な一区間の道路の例で説明しましょう。

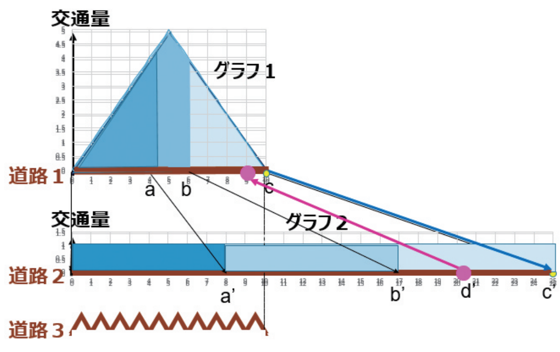


図5　ネットワーク・トランスフォーメーション

図5の道路1は一区間の道路です。道路1にそって交通量を現したグラフがグラフ1です。交通量が場所によって異なっており、不均一な交通量分布です。ですから、完全空間ランダムを前提とする方法が使えませ

ん。そこで、次の方法で交通量を道路に沿って均一な分布に変換するのです。グラフ1の累積交通量である濃い水色の三角形の面積と、グラフ2の濃い水色の長方形の面積が同じになるように、道路を点aから点a'に引き延ばします。同様にして点bから点b'に、点cから点c'に道路を引き延ばしてゆくと、グラフ2のように道路2に沿って交通量が均一となります。この変換は、フィッシャの積分変換の応用で、ユニフォーム・ネットワーク変換と呼んでいます。道路2は長くなってしまいますので、元の道路に合わせるため、便宜上、道路3のようにジクザク化して表現します。図4の実例では、右図のような表現となります。

交通量が均一となった道路2では、完全空間ランダムを前提とする多くの空間分析法を使うことができます。例えば、最近隣法を適用したら、道路2の点d'の付近が他の所と比べて交通事故が多かったとしましょう。道路2のd'地点は仮想的な均一交通量の道路上の点ですから、d'を逆変換して実際の道路1上に地点を求めます。そうするとd地点となります。このことから、道路1上のd地点付近が他の所と比べて交通量以上に交通事故が多いと推定できるのです。

このユニフォーム・ネットワーク変換という手法は、ネットワークや、後で述べる視覚空間の場合に使える方法です。しかし、現在のところ、前提とする空間が限られています。これから先の道として、第1に、より一般的な空間変換法を開発することでしょう。第2に、完全空間ランダムではなく、構造的要因と空間ランダムが複合した場合の空間分析法の開発があります。確率過程で言えば、均一確率過程から不均一確率過程を前提とした空間分析法を開発することでしょう。この開発には、不均一を引き起こしている構造的要因がある程度、分かっていることが必要となります。それには、関連分野との協働が欠かせません。これについては最後テーマで述べることにします。

2 「かっちり」した空間での空間分析

では次のテーマに進みましょう。私達が日頃から慣れ親しんでいる空間と言えば、例えば家の間口とか、家の高さとか、家の前の道路の幅などを直角座標系を下敷きにして、2点間の距離は2点を結ぶ直線距離で測るリアルな「かっちり」した空間、すなわちユークリッド空間を想定していることが多いでしょう。「かっちり」した空間とあえて呼んだのは、次のテーマの「ぐにゃぐにゃ」した空間と対比させたかったからです。現在の空間分析は、ユークリッド空間での分析がほとんどです。

話は私的になりますが、私が学部学生のころ受講した「都市解析」の授業で、恩師である下総薫先生がこう述べたのがとても頭に残りました。「空間を解明する一番の基礎概念は近傍ですよ!卑近な例でいえば、まず、一番目に近い、二番目に近いといった最寄りです。次に、駅勢圏、商圏といったある核の周辺の圏域がそうです。」私はその当時、近傍の重要性については、全く理解が及びませんでした。そこで、卑近な例から研究を始めたのです。まずは、最寄りの空間分析について一例を見てみましょう。

図6の地区は、渋谷・表参道・原宿周辺地区で、ファッションで有名な青山地区です。この地区には、NTTタウンページによると、2019年7月の時点で906種類の店がありました。その中で一番多い種類の店は、何だと思いますか。

図6　青山地区の美容院分布 Data：NTT Town Page

実は美容院で、なんと452軒もあります。この図6に示した美容院分布には何かしら空間的な規則性があるでしょうか。それを調べるために、美容院の数と同じ452の点をこの地区の道路網上に完全空間ランダムに分布させました。その地図が図7となります。

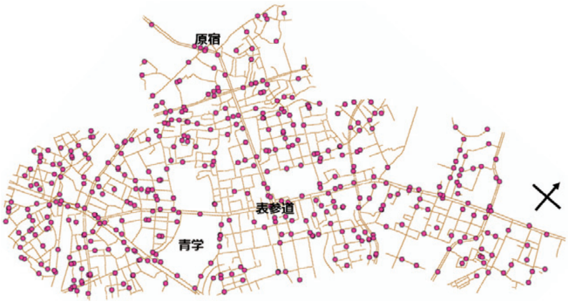


図7　青山地区の道路上の完全空間ランダム分布

さあ、図6と図7を比較して、美容院は完全空間ラン

ダムに分布していると言えるでしょうか。それを調べるために、ぞれぞれの美容院から最寄りの美容院の平均距離を求めました。そうしたら36mでした。完全空間ランダムの場合は54mです。現実の方が、ずいぶん短いですね。それを統計的に検定する方法が最近隣法です。それを適用すると、有為水準5%で美容院は完全空間ランダムではなく、空間集積するという空間的規則性があると分かります。

図8は、ピンクの点が美容院で、青の点が歯科医院です。この図から美容院分布と歯科医院分布の相互関係が見えるでしょうか。

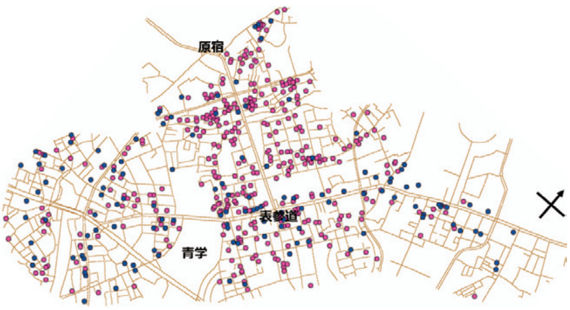


図8　美容院（ピンク）と歯科医院（青）の分布 Data：NTT Town Page

異なる施設間の空間関係を分析する方法にクロス*K*関数法があります。それを使うと美容院から200メートル以内の最寄りに歯科医院は有為に多いことが分かります。今度は見方を逆にして、歯科医院から200メートル以内の最寄りに美容院が多いかどうかを調べると、これまた有為に多いことが分かります。つまり、美容院と歯科医院の空間相互関係は、美容院の近くには歯科医院があり、歯科医院の近くには美容院がある、といういわば、「相思相愛」の関係にあることが分かります。

美容院と「相思相愛」の関係があるのは、歯科医院だけではありません。青山地区では、美容院とエステティック、衣料品店、化粧品店、婦人服、衣料製造、レストランが「相思相愛」の関係にあります。これらの施設群が「青山らしさ」を醸し出しているのではないでしょうかね。都市経済学の観点からすれば、都市集積の経済が働いていると言えそうです。

異なる施設の空間関係は、常に「相思相愛」であるとは限りません。実例を挙げると、美容院の最寄りにバー・クラブは多くあります。しかし逆に、バー・クラブの最寄りに美容院が多いともとも少ないとも言えません。いわば「片思い」の関係にあります。また、美容院の近くに貸しビルは多いともとも少ないとも言えません。しかし逆に、貸しビルの近くに美容院は多くあります。やはり「片思い」の関係にあります。

さらに別の関係もあります。美容院の最寄りにインターネット・ソフトウェア関連の施設は多いとも少ないとも言えません。しかし、インターネット・ソフトウェア関連の施設の近くには美容院は少ないのです。いわば、「排他的」な関係にあることが分かります。以上は青山地区での店舗立地傾向ですが、地区を広げて渋谷区・港区での立地傾向については、Morioka et al.（2022）をご覧ください。

今まで見てきた最近隣法や*K*関数法は、最寄り関係で分析しています。これらの方法にかぎらず、空間分析では、非常に多くの方法が最寄り関係で分析をしているのです。

次に、もう一つの卑近な例である駅勢圏で圏域の空間分析法を見てみましょう。もし駅まで真っすぐ飛んで行けるとすると、渋谷の駅の駅勢圏とは直線距離で渋谷の駅が一番近いという点で構成される領域となります。

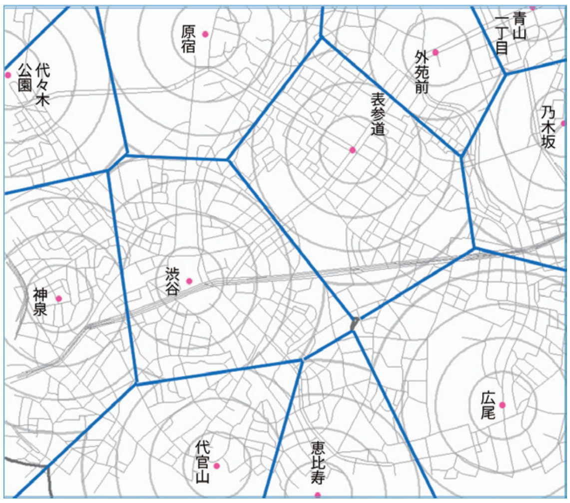


図9　面ボロノイ図

そうすると、地域は、それぞれの駅を核としたポリゴンで**図9**のように分割されます。これらポリゴンの集合を、面ボロノイ図と呼んでいます。

直線距離ではなく、最短道路距離で一番近い駅とすると、地区にある道路網は**図10**のように分割され、これをネットワークボロノイ図と呼んでいます。

ボロノイ図の名の由来は、空間分割を代数的整数論で厳密に研究した20世紀初頭の数学者ボロノイの

図10　ネットワークボロノイ図

図11　ジャイアント・コーズウェの海岸の石柱

業績を称えて名付けられました。ボロノイの墓はウクライナにあり、ウクライナではとても有名な人で、ボロノイの顔が描かれたコインまであります。

ボロノイ図の厳密な定義は、1908年に出版されたボロノイの論文で定式化されたのですが、それ以前に、ボロノイ図らしき図を使って空間分析した人は結構多くいました。その最初の人であろうと言われている人は、皆さんが良く知っている人です。誰だと思いますか。なんと1644年にデカルトが書いた、かの有名な本 *Principia Philosophiae*『哲学原理』に遡ります。その本でデカルトはボロノイ図らしき図をつかって、宇宙は星を核とした「渦」の圏域で空間分割されると述べています。

ボロノイ図らしき図は、実世界で驚くほど多くの様々な空間現象に現れています。例を挙げると、ヤマトフタマタゴケの細胞は
http://fungi.sakura.ne.jp/moss_photos/photos21/2017_04_01q.jpg
とてもボロノイ図らしく見えますね。

皆さんご存知のトンボはその羽模様をよくみると
https://static.scientificamerican.com/blogs/assets/Image/Butterflies (1) .jpg
部分的にボロノイ図らしくなっています。

これはジャックフルーツの表面ですが
https://thumbs.dreamstime.com/b/texture-jackfruit-skin-27760229.jpg
よくみると、このようにボロノイ図らしくなっています。

アイルランド北部のジャイアント・コーズウェイには、岩の海岸がありますが、その個々の岩をよく見ると、**図11**に見られるようなボロノイ模様をしています。

これは、ボリビアある、ウユニ湖で塩の湖です。
http://www48.tok2.com/home/sawakon/8presents/wallpaper48B.jpg
干上がると塩が模様を創り出し、このような幻想的ボロノイ模様となります。

これは、皆さが動物園で見慣れたキリンで、ボロノイ図ぽい模様をしていますね。
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AD%E3%83%AA%E3%83%B3
このキリンの個々のボロノイ領域の大きさに注目してください。その分布に特色があることに気が付きましたでしょうか。首の所のボロノイ領域は、足のところより大きいですよね。そこから何か思いつくことはありませんか。動物学者は、その違いからキリンの原種がどのような恰好をしていたかを推測しています。その研究によると、これがキリンの原種であろうということです。
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/05/MEPAN_Sivatherium.jpg/250px MEPAN_Sivatherium.jpg

これは、バーローの論文（1974）に掲載された魚の写真で、マウスブルーダーという魚です。
http://public.lanl.gov/ringler/Voronoi.html
この魚は口に砂を含んで、お互いに周りの魚に砂を吹きかけ、縄張りを主張する習性があります。その結果、吹きかけ合った砂がかち合う境界で砂が盛り上がり、ボロノイ模様の縄張り領域ができるのです。

このボロノイ図の規則性については、長谷川・種村さんの論文（1976）で議論されています。空間規則性

があるかどうかを見つけるには、ボロノイポリゴンの核になっている点が、空間完全ランダムである場合を考え、それと実際を比較することで見つけ出します。その結果、この魚の個々の縄張り領域の面積分布は、かなり均一であるという空間規則性を明らかにしています。さらに、縄張り争いの様子をシミュレーションして、最終的に個々の縄張り領域面積が均一化することを示しています。

対象は異なりますが、同様な分析を私と鈴木さんの論文 (1987) で行いました。ホテリングの店舗立地競争モデルを使い商圏争いのシミュレーションを行ってみたのです。その結果、商圏が均一化することが分かりました。実際には店の種類によって均一化する場合と、そうでない場合があります。青山地区のコンビニの分布は均一化する傾向がみられます。

このようにボロノイ図を適用した研究は、自然科学、工学、社会科学、人文学など、非常に数が多くあります。さらには建築デザイン、アートや、なんとアクセサリーの分野まで、とても広く拡がっています。それらの応用については、私とブーツさん、杉原さん、チウさんの本 *Spatial Tessellations : Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*に書きました。この本を引用した学術論文は、現在までに7500を越しています。ボロノイ図の応用範囲が極めて広いのに驚いています。

今まで見てきたように、空間分析の目的は、店舗をポイントで表現したり、道路をラインで表現したり、公園をポリゴンで表現して、これらの要素の空間的規則性を見つけることです。その空間分析法を分類すると、まず、同じ幾何学的要素間の空間分析法があります。それをさらに細分化すると、同じ種類同志と異なる種類同志に分けることができます。その分類を**表1**のように (点、線、面) × (同種、異種) でクロスセクション化して、それぞれの1例を挙げておきました。

加えて、異なる幾何的要素間の空間分析があります。

表1　同じ幾何的要素間の空間関係分析

幾何的要素	同種	異種
ポイント	美容院同志	美容院と歯科医院
ライン	道路同志	道路と川
ポリゴン	公園同志	公園と学校

表2　異なる幾何的要素間の空間関係分析

	ポイント	ライン	ポリゴン
ポイント	—	喘息患者の分布と幹線道路	マンションと公園
ライン	—	—	尾瀬ヶ原の遊歩道と池塘

表2のように (点、線、面) × (点、線、面) でクロスセクション化し、それぞれの1例を挙げておきました。

これら二つの表に挙げた同種類、異種類の空間関係の分析手法は、ポイント以外ではほとんどが未開発で、体系的かつ汎用的な空間分析法やそのツールの開発は、これから先の道となります。

3 「ぐにゃぐにゃ」した空間での空間分析

それでは、次のテーマに進みましょう。「ぐにゃぐにゃ」した空間とは、聞きなれない言葉ですが、後で紹介する本の題名からとりました。「ぐにゃぐにゃ」した空間とは、「かっちり」した空間=ユークリッド空間ではない空間、すなわち、非ユークリッド空間を指しています。非ユークリッド空間には、いろいろな空間があります。まずは、距離を直線距離ではない距離で測る距離空間があります。次には、そもそも距離空間ではない空間があります。さらには、もっと「ぐにゃぐにゃ」度が増した空間があります。その先の行き着く空間は、どんな空間なのでしょうか。

さて、なぜ非ユークリッド空間が重要なのでしょうか。それは、人の行動は主観的空間をもとに行動することが多く、その主観的空間は、非ユークリッド空間がとても多いからです。まずは、視覚空間から考えてみましょう。

星空を眺めて、例えば大隈座の柄杓を形作っている七つの星の中で、一番遠い星はどれでしょうか。実は柄の端点の星です。星のようにその大きさを知らなくて、かつ非常に遠いところにあるようなものは、視覚で距離は区別ができなくなり、同じ距離と認知されてしまうのです。

それでは、そんなに遠くはないような日常的空間ではどうでしょうか。一例として、ビルバオにあるゲーリーの建てたグッゲンハイム美術館の例で見てみましょう。

図12の二つの階段をみてください。まず建物の横にある左図の階段を登ります。登るとそこには巨大な花でできた犬のオブジェがあります。それを眺めてから、右図の階段を下ります。さあ、どちらの階段が長く見えますか。

図12　ビルバオ・グッゲンハイム美術館横の階段

階段2の方が短く見えますよね。実は、同じ階段を下からと上から撮ったのです。トリックはと言うと、この階段の幅が上に行くほど狭くなっているからです。空間では、このようなイルージョンが起きることがあります。

視覚イルージョンといえば、杉原さんが国際コンペIllusion of the year 2010で優勝しました。

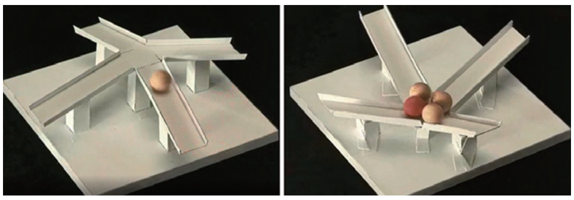


図13　Illusion of the year 2010 で優勝した杉原厚吉さんの作品

図13の左図を見てください。中央に向かって4つの坂が上がって行くのが見えますね。ですから坂の途中のボールは、当然、下がってきますよね。ですが、アニメーション
https://www.youtube.com/watch?v=fYa0y4ETF
を見ると、なんとボールが坂を上がって行くではないですか。しかし、それは錯視で、反対側から4つの坂を見ると図13の右図のようになっていることが分かります。

杉原さんが、このように視覚イルージョンを作ることができるのは、杉原さんの本『立体イルージョンの数理』で述べているように、視覚空間とユークリッド空間の間の空間変換、射影空間が数学的に分かっているからです。

3次元ですと、少し複雑ですから、1次元の簡単な場合を図14で考えてみてみましょう。

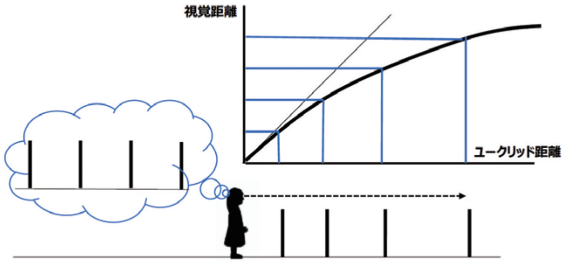


図14　視覚距離とユークリッド距離の関係

視覚距離とユークリッド距離の関係は、実験から図14のグラフのような関係であることが分かっています。視覚空間で等間隔に並んだ柱は、ユークリッド空間では、柱は等間隔に並んでいないのです。

この関数関係をつかうと、先のネットワーク・トランスフォーメーションの図4で述べた変換と似たような「マジック」が使えます。視覚空間での空間完全ランダムが、ユークリッド空間ではどのような配置であるかは、逆変換すると分ります。

私たちは日頃、視覚空間で生活していますから、視覚空間での空間分析は重要です。最近、自動車の自動運転開発で動的な視覚空間の研究は重要度が増してきました。これから先の道として、Rosinol et al.(2019) の論文が試みているように、ロボットがとらえる3次元視覚空間での空間分析技術開発が必要となってくるでしょう。

さて、次のサブテーマに移りましょう。主観的空間の研究の中で視覚空間の研究と並び重要なのが、認知空間での空間分析です。その先駆者は、1948年のトールマンの論文「ねずみと人の認知地図」で、その後、空間認知の研究は急速に進みました。

それらの研究から、人が認知する距離はユークリッド距離ではないことが多いと分かってきました。例えば、二つのアイスクリーム屋が出発点からユークリッド距離で等距離の所にあっても、等距離ではないと認知されることが多くあります。実験心理学研究の例を挙げると、Sadalla and Mangl (1980) は、同じ長さの道でも曲がる回数で長さが違うと認知される、と報告しています。また、Sadalla and Staplin (1980) は、同じ長さの道でも交差点の数で長さが違うと認知される、と報告しています。その他、公園から街中に入るといった景観の変化、道沿いの看板、道の曲がり具合などが人間の距離感に影響を与えることが報告されています。このような要因が人の距離の認知に影響を与

え、認知距離はユークリッド距離ではないことが非常に多いのです。

認知空間は、もっと「ぐにゃぐにゃ」した空間かもしれません。因みに、山手線はどのような形か、ちょっと思い描いてみてください。

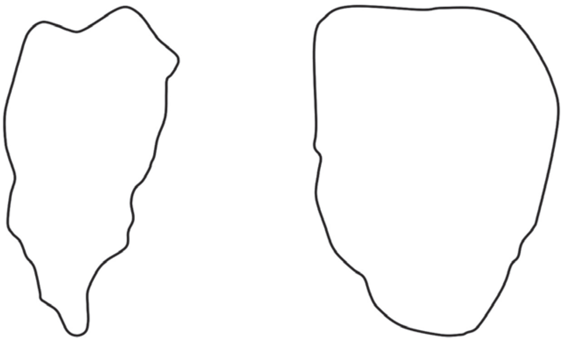


図15 山手線

ユークリッド空間での山手線の形は、図15の左図の形をしています。おそらく皆さんが思い描いているより細長いのではないでしょうか。カンターの『場所の心理学』によれば、認知している平均的な山手線は、右図のように、かなり横に膨らんでおり、人によってはもっと丸に近い場合もあると報告しています。

その変形を表現する方法の一つとして、図16のように、山手線の形（上段中央）を縦（下段中央）、横（上段左）、斜め（上段右）に縮めたり延ばしたりすることで変形するアフィン変換があります。

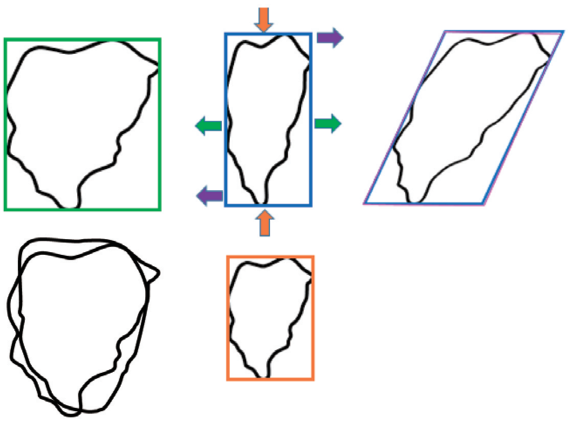


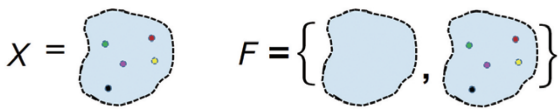
図16 アフィン変換

このように変形しても「同じ」図であると認知する空間を、アフィン認知空間と呼んでおきましょう。私達の山手線の認知傾向を考えると、アフィン認知空間に近そうです。しかし、図16下段左でよく比較してみると、アフィン変換でユークリッド空間の山手線が、認知空間の山手線にぴったりと一致しているわけではありません。認知空間はさらに「ぐにゃぐにゃ」した空間のようです。

ぐにゃぐにゃという用語を使っているのは、ひと昔前、幼稚園生用の本をみていたら『ぐにゃぐにゃ世界の冒険』という変わったタイトルの本があったからです。中をみたら「ぐにゃぐにゃ世界」では、ホースを切ったり穴を開けたりしないで、連続的にぐにゃぐにゃと変形してゆくと、ホースとドーナツは「同じ」になります、と描いてありました。幼稚園生には、いや〜普通の大人にとっても、衝撃的ではないですかね。もっとも、今じゃネット上でコーヒーカップの「ぐにゃぐにゃ」アニメが有名なようです。何と同じになるかお分かりでしょうか。
https://mathrelish.com/mathematics/homeomorphism
やはりドーナツなんですね。

今までユークリッド空間、ユークリッド距離以外の距離空間、アフィン空間、「ぐにゃぐにゃ」空間と、空間の源流へとさかのぼってきました。さて、その空間の源は、一体どんな空間なのでしょうか。それは、18世紀のオイラー多面体定理が糸口を作った位相幾何学にあると言われています。それから研究が進み、現在は一般位相空間general topologyとして確立しています。それによると、空間の源は、なんと、たった二つの公理で出来ているのです。それを簡単に説明してみましょう。

まず、点の集合Xを考え、次にその部分集合族Fをつくります。一番単純で特殊な場合としてXの部分集合を、空集合$\emptyset$と全集合Xとし、部分集合群Fを、それら二つの集合よりなる$F=\{\emptyset, X\}$としましょう。



位相空間の第1公理は、集合族Fの要素である部分集合の和集合は、集合族Fの要素であることです。上の特殊な例の場合、空集合$\emptyset$と全集合Xの和集合は、全集合Xで、これは集合族Fの要素ですから、第1公理を満たしています。第2公理は、集合族Fの要素である部分集合の有限な積集合は、集合族Fの要素であることです。上の特殊な例の場合、集合族Fの要素たる空集合$\emptyset$と全集合Xの積集合は空集合$\emptyset$で、これは集合族Fの要素ですから、第2公理も満たしていま

す。一般に、この二つの公理を満たしている集合族FをXの位相とよびます。上の特殊なFの場合は、密着位相indiscrete topologyと呼んでいます。また、点の近傍とは、その点を含む集合族Fの要素を含むようなXの部分集合と定義されています。上の特殊な例である密着位相の場合、例えば、ピンクの点を含むXは、これを満たしています。ですからピンクの点の近傍は、集合Xの中の全ての点となります。そうすると集合Xの中の全ての点がindiscrete、すなわち密着して区別できず、全ての点が一体化していることを意味しています。これが空間の源なのです。数学に精通されていた下総先生が言いたかったことは、このことだったに違いなく、私がそれを理解したのは、5年後のことでした。

ということで空間の源を見てきましたが、そこを源として、いろいろな空間が導出されます。その過程は、アニメ制作で使われているノッペリした立方体に「目鼻」を加えて、3次元の人の顔を作り上げるリトポロジーに似ています。位相空間の場合も、密着位相というノッペリした空間に、図17のように徐々に色々な条件を付加してゆくと、T_0空間、T_1空間、ハウスドルフ空間、正則空間、正規空間、・・・、と具体化し、最後には、ユークリッド空間に行き着くのです。

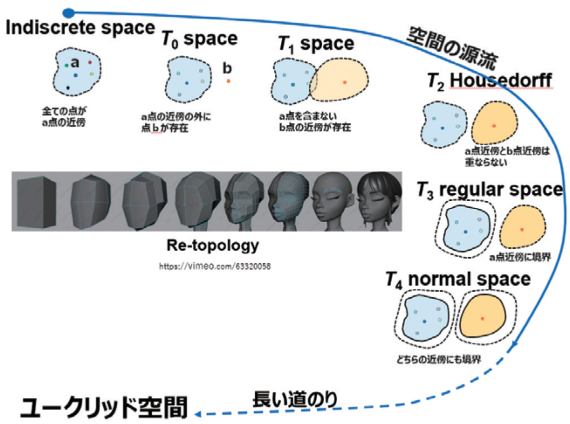


図17　密着位相空間からユークリッド空間へ

さて、位相空間の源たる密着位相空間なんて現実の空間でありうるのか、と思いの方も多いのではないでしょうか。実は位相空間の意味づけは、文学や現象学でいろいろと議論されています。例えば、前田愛さんは『都市空間のなかの文学』で、日常生活における密着位相の解釈に挑戦しています。立原道造の「私のかへつて来るのは」というソネットを題材に、実際の生活の中での密着位相空間とは、次のような空間だと述べています。

私を温かく包み込んでいるかけがいのないこの屋根裏屋は、私と私の周辺ある使い慣れたモノ：椅子、ベッド、ランプ、湯沸かし・・・が、私の手足のよう一体となり、「距離」を超えて一つに結び付けられている空間である。

これが前田さんの密着位相の現実世界での解釈です。これに続くT_0空間、T_1空間、・・・についても、とても興味深い解釈を展開しています。

前田さんの密着位相空間の解釈に刺激されてちょっと寄り道したくなってしまいました。数分、お付き合いください。私は、かねてから天国の空間について興味を持ってきました。文化や宗教によって、実にいろいろな天国があります。キリスト教の天国については、マクグラスの本『キリスト教の天国』に詳しく書かれています。また、天国の絵についても、いろいろ描かれており、一例を挙げると、ドレがダンテの『神曲』を題材に描いた天国の絵があります。

https://kawasaki-brand-design.com/?p=9260

この天国の絵を見ていると、ベアトリーチェとウェウギリウスと天使たちが織りなす空間は、それらが一体化した密着位相空間ではないか、と言えなくもないのではないでしょうか。日本の例では、例えば、三千院の天井に描かれた極楽の絵があります。

https://ameblo.jp/dokidokilin/entry-11595766464.html

天女や花びらが混然一体となった空間で、密着位相とは言えませんでしょうかね。

先ほどの山手線の空間認知で、空間のぐにゃぐにゃ度は、アフィン変換しても「同じ」と認識されるかどうかによるということを見てきました。天国、極楽を縦に1/3ほど縮小するアフィン変換してみても、このようにさして変わったようには見えませんね。天国、極楽は密着位相空間とまでは言えなくても、かなり柔軟な空間と言えそうです。ところで、密着位相空間が天国なら、ユークリッド空間でそれに対峙するところは、何だとお思いでしょうか。地獄ですよね。この地獄絵を見てお分かりのように、

https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/A17i%2BBKKtaL.jpg

ユークリッド空間的な表現です。これを天国と同じようにアフィン変換したらどうなると思いますか。天国と

は違って、このように様相が変わってしまい、分らなくなってしまいますね。リアルな空間を表現するには、ユークリッド空間じゃなきゃならないようです。天国の空間と地獄の空間は、位相空間の両極端と言えそうですね。

さて、文学や現象学の位相空間論を、より実証的な分析して行くにはどうしらよいでしょうか。その手掛かりとしては、空間の発達心理学を打ち立てたピアジェとインヘルダの本*The Children's Conception of Space*を挙げることができます。おそらく生まれたての子にとっては、世界は未分化の密着位相空間でしょう。さすがこれは実験的に示すことは出来ません。ですが2歳、3歳・・・となるにつれての子供の位相空間認識の発達過程は、実験的研究が進められています。ピアジェとインヘルダは、人の空間認知の発達は、トポロジー的、射影的、そして最後にユークリッド的へと発達すると述べています。

さて、これから先の道です。空間現象は物理的空間と主観的空間の相互インターラクションで生じますから、主観的空間の分析は、とても重要となります。主観的空間での空間規則性を見つける空間分析法は、体系的に整理された位相空間数学を下敷きにしながら、視覚空間、認知空間の研究蓄積を踏まえ開発して行く道となるでしょう。さらには近年、脳科学が空間認知の神経的メカニズムを明らかにしてきました。脳には、空間を認知するグリッドセル、場所セル、境界セルなどがあることが明らかになってきました。それを考慮したAI的空間分析手法が出てくるかもしれません。これから先の道は、これらの研究成果を統合するような空間分析法と、そのツールの開発が期待されます。

4 「時間が流れる」空間での空間分析

さて次のテーマに話を進めましょう。地理学における時空間分析の先駆者は、1981年に出版された本*Space and Time in Geography*の著者であるヘーゲルシュトランドでしょう。今となっては、人流分析は流行となっています。しかし、20年ほど前には、軌跡データを取得するのは容易でありませんでした。そのころの手間のかかった私たちの研究を紹介しましょう（Okabe et al., 2009）。

実験場は、タイのチェンライ家畜技術移転センターです。ここにWiFiアンテナを13本設置し、受信システムを備え、電源ケーブルを張り巡らせ、鶏に位置センサをつけて、その鶏の動きを観察しました。実験場には3か所に鶏小屋をつくり、どの小屋も、雄鶏1羽、雌鶏5羽の構成としました。ただし、雌鶏については、小屋1と2の雌鶏1羽は子ずれ、小屋2の雌鶏2羽は若鳥としました。この構成で1か月間、小屋に閉じ込める小屋飼いをしました。その後、小屋から解放して自由にし、鶏の時空間行動を観察したのです。その様子の一場面が**図18**です。同じ小屋にいた鶏の色は、同じにしてあり、濃い色が雄鶏です。これらの鶏の時空間行動から時空間的規則性を見つけるのが時空間分析の目的となります。

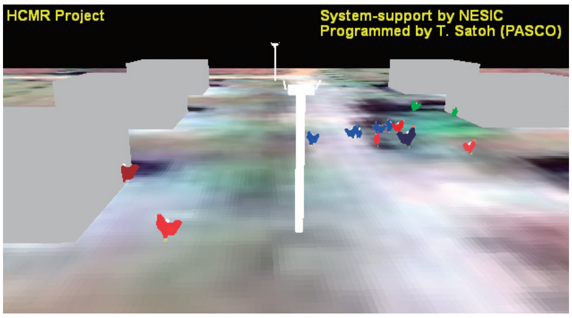


図18　鶏の時空間行動（プログラム佐藤俊明、WiFiシステムNESIC）

二次元だと、動きが込み入ってしまいますから、まず単純な直線道路での鶏の動きを**図19**で見てみましょう。

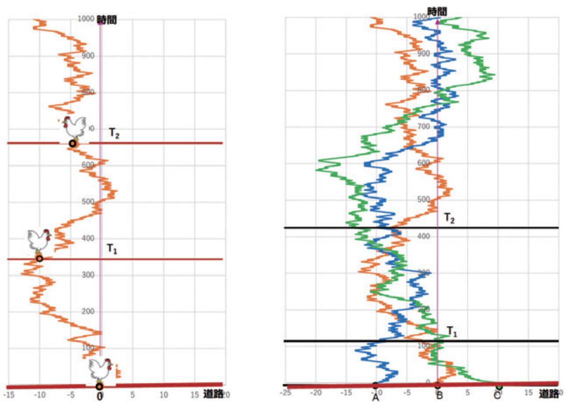


図19　道路の上の鶏の動き

まず**図19**の左図で、一羽の鶏の動きを見てみましょう。横軸が直線道路で、縦軸が時間です。最初、鶏は原点にいました。その後、左図のように動きました。この動きを見て、この鶏には、どんな空間的規則性があると思いますか。この時間範囲では、この鶏はほと

んど原点の左側にいますね。これから、この鶏は、原点の左の道路をうろつくという空間的規則性があると判断してよいでしょうか。

実は、このニワトリの動きは、右に一歩動く確率が1/2、左に一歩動く確率が1/2でシミュレーションした図なのです。このような場合、ニワトリの行動はランダムでも、周期的な偏りがでてくることが証明されています。時空間的動きのランダムは、今まで考えてきた時間を考えない完全空間ランダムと大きく異なっていることが分かります。ある時点での完全空間ランダムと、連続時間でのランダムウォークは別ものの空間ランダムで、分けて考える必要があります。

連続時間での時空間ランダムの研究は、ブラウンが1828年に発表した、いわゆるブラウン運動の論文に遡ります。その確率過程的な定式化は、近代統計学を築いたもう一人の巨匠、ピアソンが1905年に発表した論文「ランダムウォークの問題」で、たった1ページの論文でした。

今度は、図19の右図を見てください。この図は、A、B、Cから出発した時の3羽の鶏の動きを示した図です。これら3羽の鶏は、相互に関連して動いているのでしょうか。T_1からT_2時点では、3羽の鶏は一緒に行動しているように見えますね。また他の時間帯でも2羽が連動しているように見えます。ですから、それぞれの鶏が独立してランダムウォークしているとは言えない気がしてきますね。

実は、これら3羽は全て相互無関係にランダムウォークで歩いているのです。視覚的に相互関係を判断することは、かなり難しそうですね。その難しさを先ほどの実験の鶏たちの密度分布で見てみましょう。密度分布を推定する手法として、カーネル密度法を適用してみます。この方法を簡単に言えば、鶏に籠を被せ、重なったところは上に積み上げるといった方法です。鶏が集まると、高さが高くなります。この方法を二次元に拡張し18羽の鶏に適用しました。その1時点での密度分布が図20です。動画でみると、集まったり分散したりを繰り替えしているのが良く見て取れます。しかし、この動きから、18羽の鶏の密度に空間的規則性を読み取るのは、素人にはなかなか難しいですね。

その分析方法の基礎的な部分は、確率微分方程式のおかげで大きく進展しました。特に、株価の時系列分析法や予測方法は実用的な方法にまでなり、その

図20　鶏の密度分布（プログラム佐藤俊明、WiFiシステムNESIC）

体系は金融工学となっています。しかし時空間の場合は、株価の場合の1次元と異なって2次元となりますから、時空間分析方法は一段と難しくなります。特に複数個体の相互作用のある確率的ウォークは、いくつか方法が提案されてはいるものの、実用的方法やツールの開発は、これからの先の道で、おそらくAIを利用するようになるでしょう。

ということで、厳密な方法による鶏群の時空間的規則性の分析は先のことになります。そこで、ほどほどの方法で分析してみました。図21は、1か月の小屋飼いの後、自由に放し飼いにした時の行動を図示したものです。

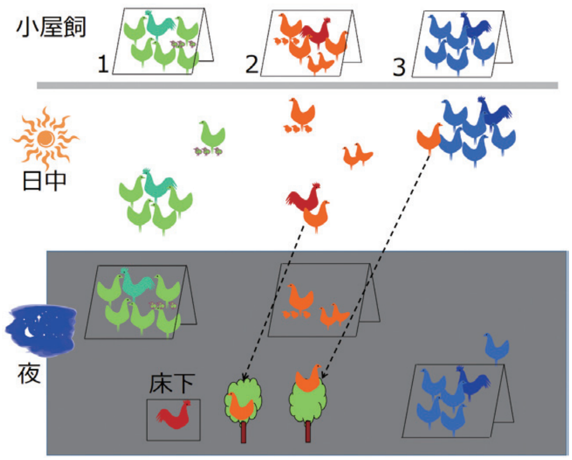


図21　18 羽の鶏の日中と夜

昼間、小屋1の鶏は、子連雌鶏が小屋1に一緒にいた鶏たちとは別行動をとりました。小屋2の鶏は、雄鶏と行動を一緒にしたのは、たった一羽の雌鶏で、子ずれ雌鶏と、若鳥2羽は別行動をとり、もう1羽の雌鶏は小屋3の鶏群と一緒に行動しました。小屋3の鶏は全てが一団となって行動し、加えて小屋2の雌鶏までその一団に加わりました。

夜になると、小屋1の鶏は全部が小屋1に戻り寝まし

た。小屋2の鶏はというと、小屋2に戻ったのは子づれ雌鶏と若雌鶏だけで、後はばらばらとなって寝ました。具体的には、雄鶏は家の下に潜り込み、その雄鶏と一緒にいた雌鶏は木の上で寝ました。そして小屋3の集団に流れた雌鶏は木の上で寝ました。小屋3の鶏は、全部が小屋3に戻ったのですが、1羽の雌鶏だけが外の屋根の上で寝ました。これが概要ですが、これらの時空間行動を厳密に分析する方法は、これから先の道となります。

今まで鶏のように動くモノの空間分析方法を考えてきましたが、都市活動などを考えると、人のように動くモノと、店のように動かないモノの空間関係を時空間分析することが重要となってきます。例えば、店舗の立地は何曜日の何時の人の動きに対応しているのか、といった空間分析が挙げられます。具体的に青山地区で一例を見てみましょう（水谷・岡部2018）。現在、メッシュ単位では毎時間、毎日のデータが容易に入手できるようになりました。このデータと、店舗分布のデータから関係を分析すると衣料品関連の店舗分布は、土曜日の16-17時の流動人口と関連が強いことが分かります。

次に、動くモノと動かないモノの発生・消滅の関連を分析する空間分析があります。店舗は動くモノではありませんが、長期的には開店・閉店があります。**図20**は1995年7月の美容院の密度分布です。この地区の美容院の平均寿命は何年ぐらいだと思いますか。

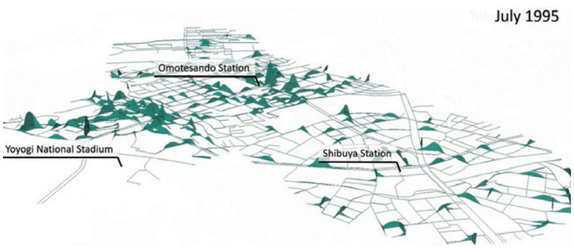


図20　1995年7月の青山地区の美容院密度（森岡渉作成）

NTTタウンページデータを使うと、毎月ごとの美容院の変化がわかります。そのデータを使って1995年7月から2019年7月までの月ごとの美容院変化をアニメで見てみると、変動がとても激しいことが分かります。この地区の美容院の平均寿命は、なんと6−7年ほどなのです。

このような分析を一般化すると、動くモノと、動かないモノの発生・消滅の関連を時空間分析する方法となります。この分析方法はほとんど未開発で、これから先の道となるでしょう。

5 「協働する」空間分析

さて最後に、この最後のテーマで締めくくりましょう。「きょうどう」の漢字は、共同、協同とありますが、協働です。協働とは、同じ目的のために、異なる強みを持つ主体が、共通の目標の下に、新しい価値やアイディアの創出を目指す作業という意味です。同じ強みを持つ主体が仕事をすると、1+1は、2にはならず、1が大きくなるだけです。協働のとりえは、異なる強みを持つ主体が協働することで、その場合、1+1は、3と質的に変容をして2以上に大きくなるということです。新しい価値やアイディアの創造の仕方については、有名な本があります。ヤングの『アイディアの作り方』という本です。その本でヤングは次のように喝破しています。「アイディアの創造とは、既存の要素の新しい組み合わせ以外のなにものでもない。」ということは、異なる強みを持つ主体との協働が、新たな価値の創造に不可欠だということでしょう。

これを空間分析の文脈で考えてみましょう。空間分析の第1の目的は、既に述べましたように、例えば、美容院と歯科医院は相思相愛的な立地である、というような空間的規則性を見つけることです。第2の目的は、何故そのような空間現象が起きるのか、を解明することです。そして第3目的は、将来、この立地傾向はどうなるのかを予測することです。これら目的2、目的3に対して、空間分析はどう対応しているのでしょうか。実は、これらの目的達成は、空間分析だけでは出来ないのです。その理由は、時空間現象は、経済的、社会的、歴史的、心理的、文化的・・・といった多くの要因が相互に関係し合って生じるのですからです。ですから、それらの解明を行っている諸学問と協働しなければ解明できません。その意味で、空間分析は様々な分野の研究と協働することが不可欠な学問といえます。

最後に、測技協の協働について考えてみましょう。測技協の目的の一つに、先端的な測量技術の開発があります。先端的技術を生み出すには、異なる強みを持つ異分野との協働が不可欠です。足元から見ますと、測量技術は、地理情報科学の構成要素の中の空間データの取得にあたりますが、それに続く、管理、分析、

総合、伝達の技術との協働が必要でしょう。さらに、測量データが使われる業種は非常に広く、異業種との協働が先端的測量技術を生み出すことになるでしょう。山は裾野が広くないと高くなりません。皆様方が測量研究開発は言うに及ばず、多くの異なる研究分野と協働しながら、広く社会に恩恵を与える先端技術の研究開発を進めることを願っています。

最後になりましたが長年、私の研究を支えてくださった多くの方々、また12年間、測技協の会長職を支えていただいた会員、賛助会員、職員の方々、また40数年間、測技協のもとに集われた多くの方々に、深く感謝をいたします。そして、私的になりますが49年間、協働して研究してきた私のパートナー佳世にも感謝をし、私の講演をしめくくりたいと思います。ご清聴、ありがとうございました。

なお、ご質問やご意見、問い合わせは、atsu@csis.u-tokyo.ac.jpにお送りください。

引用文献

Barlow, G. (1974) Hexagonal territories. *Animal Behavior*, 22, 876-878.

Brown, R (1828) A brief account of microscopical observations. *Philosophical Magazine*, 4, 161-173.

Cressie, N. (1993) *Statistics for Spatial Data*, John Wiley.

Descartes, R. (1644) *Principia Philosophiae*, part 3. Ludovicum Elzevirium.

Fisher, R.A. (1935) *The Design of Experiments*. Oliver and Boyd.

Hägerstrand, T. (1981) *Space and Time in Geography*. CWK Gleerup.

Halley, E. (1686) An historical account of the trade winds, and monsoon, observable in the sea between and near the tropics ; with an attempt to assign the physical cause of said winds. *Philosophical Transactions*, 183, 153-168.

Hasegawa, M. and Tanemura, M. (1976) On the pattern of space division by territories. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 28, 509-519.

Morioka, W., Okabe, A., Kwan, M-P. and McLafferty, S. (2022) An exact statistical method for analyzing co-location on a street network and its implementation, *International Journal of Geographical Science*, 36 (4), 773-798.

Okabe, A. and Suzuki, A. (1987) Stability of spatial competition for a large number of firms on a bounded two-dimensional space. *Environment and Planning A : Economy and Space*, 19, 1067-1082.

Okabe, A., Boots, B., Sugihara, K. and Chiu, S.N. (2000) *Spatial Tessellations : Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*. John Wiley.

Okabe, A. and Satoh, T. (2006) Uniform network transformation for points pattern analysis on a non-uniform network. *Journal of Geographical Systems*, 8, 25-36.

Okabe, A., Okunuki, K. and Shiode, S. (2006) SANET : A toolbox for spatial analysis on a network. *Geographical Analysis*, 38 (1), 57-66.

Okabe, A., Satoh, T., Okabe, K., Imamura, E., Morathop, M., Jailanlka, C., Ratanasermpong, S., Hayashi, Y. and Fumihito Akishinonomiya (2010) Home ranges of free-range chickens observed by a Wireless Fidelity (WiFi) positioning system. In H.R.H. Maha Chakri Sirindhorn and H.I.H. Akishinonomiya Fumihito (eds.) *Chickens and Humans in Thailand : Their Multiple Relationships and Domestication*, Bangkok : The Siam Society, 98-108.

Okabe, A. and Sugihara, K. (2012) *Spatial Analysis along Networks : Statistical and Computational Methods*. John Wiley.

Piaget, J. and Inhelder, B. (1948) *The Children's Conception of Space*. Presses Universitaires de France.

Pearson, K. (1905) The problem of the random walk. *Nature*, 72, 294.

Rosinol, A., Gupta, A., Abate, M., Shi, J. and Carlone, L. (2019) 3D dynamic scene graphs : Actionable spatial perception with places, objects, and humans. International Conference on Robotics and Automation.

Ripley, B. (1982) *Spatial Statistics*. John Wiley.

Sadalla, E. K. and Magel, S. (1980) The perception of traversed distance. *Environment and Behavior*, 12, 65-79.

Sadalla, E. K. and Staplin, L. T. (1980) The perception of traversed distance : intersections. *Environment and Behavior*, 12, 167-182.

Snow, J. (1849) *On the Mode of Communication of Cholera*. John Churchill.

Student (1907) One the error of counting with a haemacytometer. *Biometrika* 5, 351-360.

Tolman, E. C. (1948) Cognitive maps in rats and men. *The Psychological Review*, 55, 189-208.

Voronoi, G. (1908) Nouvelles applications des paramètres continus á la thèorie des formes quadratiques. Premier mèmoire. Sur quelques propriétés des formes quadratiques positives parfaits. *Journal für die Reine und Angewandte Mathematik*, 133, 97-178.

カンター , デービッド (1982)『場所の心理学』彰国社

杉原厚吉 (2006)『立体イリュージョンの数理』共立出版

瀬山士郎・タイガー立松 (1992)『ぐにゃぐにゃ世界の冒険』福音館書店

平田森三 (2003)『キリンのまだら』早川書店

前田愛 (1992)『都市空間のなかの文学』筑摩書房

マクグラス, アリスター (2006)『キリスト教の天国』キリスト新聞販社

増山元三郎 (1980)『デタラメの世界』岩波新書青版706

水谷勇貴・岡部篤行 (2018)「渋谷区一部地域における商業施設店舗数と人口の関係」27回地理情報システム学会　学術研究発表大会、P-44.

ヤング, ジェームス (1988)『アイディアの作りかた』CCCメディアハウス

■講演者
岡部 篤行（おかべ あつゆき）
東京大学・青山学院大学 名誉教授
公益財団法人 日本測量調査技術協会 前会長

本稿は2022年9月14日に新宿区立牛込箪笥区民ホールで開催された、当協会主催「第44回測量調査技術発表会」における、岡部篤行氏の記念講演の内容をまとめたものです。