

12

## フランク・ニールセン

Frank Nielsen

情熱だけで研究をする。  
幾何学とは、  
そうした研究者しか  
続けられない  
分野である



## 幾何学の魅力

サイエンスは、絶対的なものではありません。アприオリの情報を入れないとサイエンスが生まれないことから、それは自明です。前提をつくるから構造が生まれる。

幾何学の場合、公理を決定してはじめて理論がつくれます。公理がなければサイエンスがない。人間は当たり前の公理を選んでいる。ところが、当然だと思っていた公理を外すと、まったく違う世界が開けることがあります。

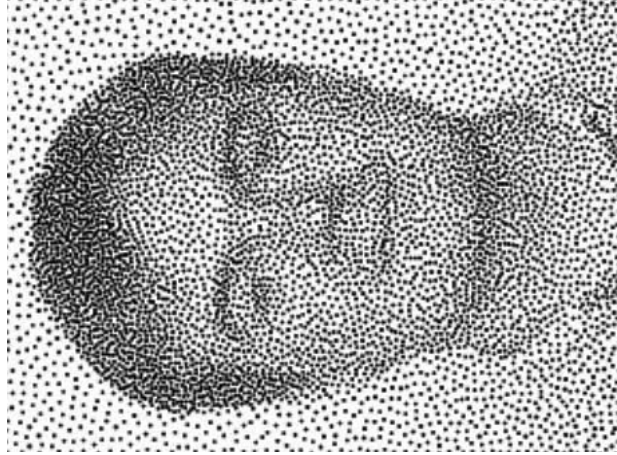
例えば、ユークリッド幾何学では、一つの直線に対してその線上にない点を通る平行線は一本だけしか引けません。ところが、空間投影になると平行線は一本だけではなくなります（平行線が地平線にIntersect）。列車に乗ってレール（平行線）を見ると、それらが水平線（無限）で交差していることがわかります。これは、非ユークリッド幾何学の例である射影幾何学の特徴です。

ユークリッド幾何学の中にあつた公理の一つをなくしたら、まったく幅広い世界が開けたのです。そこにたどり着くまでに一八〇〇年かかりました。人間の頭は、まだまだそこまでの準備ができていない状態です。

私たちは小学校で三角形を描いたり、円を描いたり、道具を使って単純な図を描いてきたから、幾何学にはそのイメージがありますが、本来は代数をやわらかくしたイメージで

### フランク・ニールセン 博士（理学）

並列コンピューティングの研究により、フランスのENS修士課程を修了。計算幾何学で、フランス国立情報学自動化研究所（INRIA）より博士号を取得。ビジュアル・コンピューティングの研究を行なう目的で、1997年よりソニーコンピュータサイエンス研究所に勤務。現在は情報幾何学を、データ解析から機械知能といった分野で応用する先駆的な研究を行っている。数冊の教材を執筆し、書籍の編集も行なっている。220を超える論文を共同執筆し、情報幾何学の国際会議 Geometric Science of Information (GSI) を共催している。フランスのエコール・ポリテクニークでコンピュータサイエンス関連の教科を複数担当。ACM および IEEE のシニアメンバー。



私が好きな写真。点描が私＝フランク・ニールセンと知覚される幾何学的図形であることを示している

く基礎的なコンピュータサイエンスがあります。両方を学ぶ中で、次第に幾何学をコンピュータで取り扱うことに魅力を感じるようになっていきます。

修士号（並列処理）を取得したあとに入ったフランス国立情報学自動制御研究所で、計算幾何学の博士課程の研究に取り組みました。ソニーCSLに入社した一九九七年からは、情報幾何学の論文を精力的に書くようになりました。

私はフランスで生まれ育ち、子どものころは自然に魅せられ、何も考えずに人生を楽しんでいました。グランゼコールの二年生まで数学と生物学に興味を持っていましたが、二一歳のころに分野を絞らなければならなくなった段階で、コンピュータサイエンスを専攻しました。はじめて知った世界でしたが、もっと理解を深めていけば、独自の概念をつくれるのではないかと思えたからです。

コンピュータサイエンスには、エンジニアリング寄りのコンピュータサイエンスと、こ

す。可能性が無限にあり、世界が開ける数学の分野の一つだと認識しています。

幾何学を研究している私も、幾何学とは何かということを明快に言えません。わからないと言っていていい。幾何学で重要な問題を挙げられないのは、幾何学自体がどのようなものであるかを定義できないからです。ウィキペディアにもたくさんの種類の幾何学が載せられていますが、結局のところ、幾何学の定義がよくわからないというのが実情です。

どんな分野でも深く研究していくと、その分野の基礎を破らなければ本質を理解することはできません。それを行なうことで理解の梯子に登ります。

幾何学の基礎を破つてはじめて、ユークリッド幾何学から双曲幾何学の世界が見えてくる。基礎的な部分のどういうところを破れば（＝どんな公理を否定すると）まったく新しい世界が開けるのか、そこが研究者の冒険であり、旅だと思います。

## 研究者像は一つにくれない

研究者にはいろいろなタイプがいると思います。問題にぶつかり、それを解決し、新しい理論をつくる研究者もいますし、冒険者でもある研究者がいます。

予測できないけれども何となく新たな地平を感じ、その道を歩みたい、新しい大陸を発見したいと思う。それが冒険者でもある研究者です。しかし、新たな地平はあるかないかわからないし、まったく予測できません。ただ、情熱だけでその研究をする。そうした研究者しか続けられない分野、それが幾何学です。

研究者としての関心は、年々広がっています。そうしないと、今と違うところに行けないからです。時間は限られています。四〇代の研究者としてのキャリアは、せいぜいあと一〇年から一五年です。今は時間が一番大切で、時間の管理をしないといけない。自分がまとめて出したい理論のハードルは、時間との戦いかもしれません。

研究者はいろいろなことを同時にやっています。もちろん、一つの問題を深く考え、それを解決したいと考える研究者が多い。そうしないと、フラストレーションを感じるからです。でも、私はすぐに解決できなくても構いません。しばらく置いておき、半年後ぐらいにまた引っ張り出して、もう一度挑戦する。その間、さまざまな学会に出席し、まった

本格的に情報幾何学の研究を始めたのは日本に来てからです。大学やそれまで所属した組織では、論文を書いて通せば認められる世界でしたが、ソニーCSLはただ論文を書くだけでは認めてもらえません。研究をやる理由と明確な意義が求められました。

そこで私は、計算幾何学と情報幾何学を融合させた「計算情報幾何学」<sup>【参考文献1】</sup>という分野を生み出しました。計算幾何学は、幾何学に複雑な計算理論を導入し、幾何学的な計算問題（例えばGISのICの領域を計算する）を効率よく解くアルゴリズムを開発したり、その計算の複雑さを本質的に解析したりする研究分野です。一方、情報幾何学は数理神経学者の甘利俊一氏が提唱した概念で、微分幾何を使い、情報分野における確率分布の空間を幾何学的に説明しようとする学問体系です。

さらに、その計算情報幾何学とコンピュータビジョンと機械学習を結合させる「ビジュアルコンピュータインテリング」<sup>【参考文献2】</sup>という新たな概念の研究を始めました。この手法を駆使して開発したビジュアルコンピュータインテリングの技術が「イメージセグメンテーション」<sup>【参考文献3】</sup>です。

イメージセグメンテーションは、映像や複雑な画像の中から人間にとって意味のあるものを選択して切り分け、それをコンピュータ上においてリアルタイムで消したり移動させたりできます。このベースにある計算情報幾何学では、情報を点や球面など（多様体）<sup>【参考文献4】</sup>の幾何学的実体と表現し、特殊なアルゴリズムを設計して使います。

確実に言えるのは、研究者は一生勉強しなければならないということです。

自分の知識を広げるため、たくさんの論文や本を読まなければならない。最低でも一日一本の論文、それだけで一年で約三〇〇本になる。ただ、今は論文が山のように出ているので、何を読めばいいか吟味しなければなりません。そして、論文を読むのが目的で読んでいるわけではなく、その論文を読んだら、もしかしたらどこかでつながることもあるか

ば、有権者の支持は得られません。

研究者も、毎日のようにプログラミングをする基礎的な研究が必要です。それもアイデアのフィードバックになっています。何が開発できて、何が開発できないか。何が計算できて、何が計算できないか。それを確かめていく作業は必要不可欠です。

もう一つ、思いがけない偶然の邂逅の確率を上げ、思いもよらない新たな発見を見つけるために、できるだけたくさんの研究者の話を聞きに行く冒険に出ます。海外での学会の場合、往復の飛行機の時間は途轍もなく長い。ヨーロッパや南北アメリカの場合、片道一〇時間以上座っていなければならないことがほとんどです。それは冒険に向かう道の途上ですが、誰にも邪魔されることなく静かに座って思考を巡らせる時間が、新たなアイデアを生む機会にもなります。かなり多くのアイデアが機内で生まれていますが、そうした体験をした研究者は、私だけではないと思います。

く関係のない講演を聞いたり、まったくあり得ないものを合体させたりすると、思いがけない偶然の発見があり「エウレカ！」の気分を味わったことが何度もあります。

研究者を、机に座ってお堅い理論をつくっている人と勘違いしている人がいます。でも私はそういうタイプではありません。ものとものを組み合わせたり、あり得ない分野を入れ込んだりすることで生まれるクリエイティビティを重視し、そこで思いがけない発見をすることを楽しんでいます。

例えば「幾何学的な政治の世界」とはどのようなものか。

もちろんそんなものは日常生活にありませんが、それを考えるとき、何が距離で何がモデルで何がデータか。そういう妄想に近い思考をしているうちに、そこから大きなアプリケーションが生まれてくることもあります。まったく幾何学に興味がない人が、時折すごい幾何学をつくっているのを見たり、幾何学に会えるはずのないところで出会えると、興味を掻き立てられます。そこに触発されて、新たな発想が生まれることもあるのです。

研究者は政治家と似ているかもしれません。

どういう方向へ行きたいかその幅を決めて、その中の五割の時間を期待はずれのない研究に充て、残りの五割は結果がどう出るかわからない開発を進める冒険に出る。やらなければならない義務と、新たな未来を構築するための挑戦。この二つの要素に邁進しなければ

発見を心待ちにする研究者は、ユニークだからこそ成果を上げられるのです。

研究活動以外の時間は、自然の中にいます。海や山が大好きです。

研究者としての喜びや楽しさと、自然の中にいるときの楽しさには、大きな共通点があります。自然を見てみると、新たな発見に感動することが多い。研究者にも発見したときの感動の楽しみがある。だから、自然を眺める感動と研究の感動には、通底するものがあると思うのです。予測されたものは、あまり面白くありません。三〇年後の世界を考えたとき、私は今のように冒険したいと思います。

自然の中での冒険、例えば一日中歩いているときに新しいものや、想像してもいなかったことを発見します。研究も同じです。ただ論文を読んで改善するような仕事は、履歴書を長くするために役立つかもしれませんが、結局、自分が感動していないから発見がありません。研究も、散歩の一つの形態かもしれません。

## GeneaBookとは

今の世界が嫌なのは、私たちが機械に負けているのが顕著だからです。

機械から、さまざまな病気が生まれています。ビデオゲームに依存する人、メールチェ

もしれない、見たことのない橋がくれるかもしれない。そういう思考を巡らせる時間も必要です。研究者は常に読み、考え、アウトプットし、試し、検証し、さらに考える。その繰り返しを楽しめる人でなければなりません。

研究と実社会とのつながりも見逃せません。

社会的視点を幾何学に結びつけるのは珍しいけれども、フランスの音楽チームの研究者と一緒に、幾何学的な音楽空間を研究しています。

ピタゴラスは「ピタゴラスの定理」で有名ですが、最初に音楽の理論を構築したことで知られています。幾何学的なハーモニーを論じた、幾何学と音楽の本もあります。ここには、もう少し可能性が残されていると思います。すべてが幾何学的なものと言えるかどうかはわかりません。しかし、私が生きている間に幾何学との新たなつながりを探したい。それはずっと飽きない気がします。

でも、その後は苦労が待っています。論文を書かないといけない。果物が食べられるようになるまでは待たないといけないように、研究者によっては大きい理論が出て来るまでじっと待たなければならないこともあります。

私のような研究者は特別かもしれない。でも、研究者はスタイルも生き方も楽しみ方もそれぞれで違っています。研究者を一つのイメージで捉えるのは間違っています。新たな



ックに惑わされる人、ほかにも挙げればキリがありません。私も、メールは一日返事をしないとストレスになってしまいます。

今後、インターネットがなくなるとは思えません。これからの人類のために研究者によってつくられたインフラだから、これは人類の財産になります。それは間違いない。けれども今は、財産というよりナルシズムを満たす道具に成り下がっています。

フェイスブックやインスタグラムは、即物的です。しかし、落ち着いてゆっくり考えられる人は、即物的なものではなく家系や血筋など壮大に続く系譜に興味を持ちます。自分の歴史を理解したい。そういう長い時間を理解したいと思うものです。

私も、父親がデンマーク人で、母親がフランス人のため、いろいろなルーツが入っている。そうした興味もあって、家系図をつくりたいと思いました。ただ、家族の系譜を紡いだ家系図ではありません。

今、さまざまな分野の研究のペースが早くなっています。研究の成果をできるだけ早く投稿し、誰にでも読める状態にしないと読んでもらえません。インターネットにないものは、存在していないも同然。グーグルで検索できなかった論文は、読まれる可能性はほとんどありません。それがショックでした。

そこで考えたのが、例えば私が五世代前の人と話ができて、彼または彼女が考えたアイ

## 研究者は好奇心を探究する時間を確保しなければならない

研究は、取りあえず楽しまなければなりません。仕事というより、自分の楽しめる空間であり、興味があり、情熱を傾けられる状態でいなければならない。ソニーCSLは、自由さが一〇〇パーセントだから、逆に非常に責任が重い。

それに対し、大学教授は仕事のようなです。教える、卒業させる、予算を引っ張る。研究者としてのビジョンはあっても、事務作業が多いからなかなか研究の時間が取れません。

個人としてのテーマで研究する時間は、買いたくても買えないものです。それをもったいないものにさせないように、自分の研究を楽しみながら、多大な時間を確保して取り組まないと、せつかくの研究者としての時間が無駄になってしまいます。

自分の時間と価値観は自分で探し、満足させないといけない。そのうえで、新しい大陸の発見ができればいいと思います。でも、そこに大陸がないかもしれない。そういう意味でいえば、たしかに膨大な時間をかけたものが結局無駄になる怖さはあります。

でも、研究者は二〇代から始められます。最初はテーマが見つからなくてもいい。自由にチャレンジすべきです。ただし三〇代、四〇代になってもテーマが見つからないよう

デアを改善し、提示できるようなアイデアの系譜です。例えば、道路をつくる時に使うアスファルトに関するある実験が、九〇年経った今も継続されています。(ピッチドロップ実験 <https://tinyurl.com/d538s42>) これは、一人の研究者では完結できません。何世代にもわたる研究者が実験を引き継ぎ、それを次世代に渡しています。もしかしていつか親子だけではなくて、複数の時代の家系がノーベル賞を受賞するかもしれない！

これがGeneaBookというアイデアです。研究者は、自分の人生を費やし、自分が設定したテーマの研究だけでなく、時代を超えた研究ができないかと考えています。

それは、メッセージを将来に送れる「アイデアタイムカプセル」です。

研究は、一つのジャンルの中でまとめないといけない。この常識を取り払い、世代という常識も取り払ってみれば、アイデアはもっと広がると思います。

家系図は面倒くさく、地道にコツコツ作業ができる人だけがやっているようなイメージがあります。しかし、残して続けていけるアイデアの系譜ができれば、もう少し人類の役に立てるのではないのでしょうか。インターネットのインフラがあるように、フェイスブックのようなGeneaBookがあれば、さらにサイエンスは発展する。幾何学も、そういうベースの上に新たな発想が生まれるのではないかと思います。



では、危機意識を持ったほうがいい。これは、スポーツ選手とよく似ています。ある意味では、研究はスポーツのようです。論文を速く読めるように、情報を速く検索できるようになるためのトレーニングをしなければなりません。

研究は、人類に良い世界を見せるためのものです。しかし、その良い世界は悪い世界があったからこそ生まれたものです。たくさんの落胆や悲しみを乗り越えてきた日々があったからこそ、新しい発見の大きな喜びもある。だから、研究者が新しい大陸がないことを恐れる必要はないのです。

イギリスの数学者に、マイケル・アティヤという人がいます。彼は「数学が一番手ごころな旅ができる」ということを言っています。

私もそう思います。これまで幾何学を研究し続けてきて、幾何学的につながらない分野はありませんでした。そういう意味では、抽象的なこれまでまったく見たことない図を見せられても、すぐに私は頭の中の旅が始められると思います。研究者の好奇心は、それほど弱いものではありません。

#### 参考文献

[1] Computational Information Geometry For Image and Signal Processing, Nielsen, Frank, Critchley,

Frank, Dodson, Christopher T. J. (Eds.), Springer 2017

[2] Visual Computing: Geometry, Graphics, and Vision, Frank Nielsen, Charles River Media, 2005

[3] Statistical region merging, Nock, Richard and Nielsen, Frank, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 26 (11), pp.1452-1458, 2004.

[4] Geometric Structures of Information, Frank Nielsen (Ed), Springer 2019

