

高次元画像ベクトル空間に魅せられて

フェロー 福井 和広
筑波大学



本稿では、筆者の画像認識における研究歴を振り返りながら、画像たちが住む高次元ベクトル空間との出会いや関わりについて、画像認識と数理の関係も含めて少し述べてみたい。

1. 試行錯誤の時期

画像認識の研究を始めて4半世紀以上が経った。東芝に入社した1980年後半は、ステレオ視覚などの幾何学ベースの方法に興味を持って色々研究を進めていたが、途中からエッジや輪郭などの特徴抽出に興味が移っていった。今、それらの研究を振り返ると、直感に基づく職人芸的な側面が多分にあったように感じる。ただ筆者の研究だけではなく、当時の画像認識の研究全般にそのような傾向があったように思う。

こんなことを書くと、読者からは当時の研究者が数理の重要性を理解していなかったのではと勘違いされそうだが、決してそんなわけではない。いかに既存の画像処理・認識アルゴリズムを実用速度で動かすという社会ニーズやそれに対する興味が大きかったからである。加えて、数理の重要性を理解しつつも、画像入力系や計算機の非力に押し流されて、大量データを用いる複雑なアルゴリズムの研究開発には積極的に触手を伸ばし難かったからである。工学である限り、有効性を実験やシステム動作を通して示す必要があるが、それが非常に困難だった。高度で複雑な数学を用いたアルゴリズムでも工夫次第では容易に動作や検証させることができる現状を鑑みると、隔世の感がある。結局のところ、研究者が取るアプローチはその人の研究センスや数理能力にかかわらず、計算機パワーやデー

タ環境などの道具立てや研究環境に大きく左右されるということであろうか。もちろん、このような時期にも、深い数理的な理論研究を進めた研究者も数多く、その研究成果は深い洞察や示唆に富んでおり、一読すべきものである。統計的パターン認識においては、例えば、飯島泰蔵先生 [1]、渡辺慧先生 [2]、大津展之先生 [3] などはその代表格であろう。

2. 高次元画像ベクトル空間との出会い

エッジや輪郭抽出などの特徴抽出法の研究が一段落した後、研究対象を統計的パターン認識を用いた顔認識に移していった。東芝では複合類似度法に代表される部分空間法を用いた文字認識の研究が活発で、世界トップクラスにあった。それに刺激を受けて、部分空間法ベースの顔認識アルゴリズムの研究を始めた。統計的パターン認識は言うまでもなく、線形代数や統計学などの数学に支えられた技術体系である。これを契機に数理の重要性に目覚め、筆者は研究スタイルを変化させた。当時は自分自身でその方向に舵を切ったと思っていたが、今振り返ると、特殊な画像入力ボードを用いなくても、容易に画像入力が可能となり、CPUの性能も大きく向上したことで、複雑な画像認識アルゴリズムが比較的高速で動作するようになってきた時期に一致する。この状況が筆者を強く後押ししてくれたと思う。

3. 高次元ベクトル空間の魅力

最近、読んだ書籍 [4] では世界自体が数学であるという論が展開されている。そこまで言わなくても、画像認識、特に統計的パターン認識

でも数学が有効に働くことにはいつも驚かされる。理学は真理の発見を目的にするが、統計的パターン認識も発見の側面を持つと感じる。

顔画像パターンなどが形成する高次元ベクトル空間と長年対峙していると、ある種の宇宙空間として感じられ、自分なりの捉え方が形成されてきた。もちろん、高次元空間や其処に住むベクトルを完全に記述するためには数学が必要であるが、このような直感的なイメージは研究を進めるうえで、良い方向に働く場合が多かった。もちろん逆効果をもたらす経験も何度もした。

筆者の研究の主な道具立ての一つは、ベクトル空間における部分空間である。一般に部分空間というと、データを大雑把に近似するのに使われると思われている場合が多いと感じる。数学的には単純で面白みがあまりないように見えるこの部分空間の概念も、物理現象とセットで考えると、興味深い研究対象となり、色々と面白い特性が見えてくる。例えば、任意照明下の正面顔の見え方は9次元部分空間の中に含まれるということは、その代表的な事例であろう。

以前、金出武雄先生と部分空間ベースの識別法について話をしている際、部分空間には数枚の画像から物理的に決まる確定的な部分空間と、多数のデータから統計的に決まる部分空間があるが、前者の方に興味があるようなニュアンスのことをおっしゃっていた。画像認識においても様々なタイプの部分空間があること、実はこの辺りも明確に意識されていない場合が多いように感じる。

高次元ベクトル空間を考えている際、いつも感じるのが、人間の思考力の限界である。画像認識工学の講義で説明する際に、3次元空間までは図示できるが、4次元以上になるとできなくなる。苦肉の策として、3画素しかない仮想カメラを持ち出して、1枚の画像を1本の3次元ベクトルとして説明している。本来ならば、我々

が高次元空間を素直に“知覚”できれば問題は簡単になり、色々な難問があつという間に解けるのかもしれない。高次元空間を自分の脳で知覚してみたいものである。

4. 今後への期待

今後、画像認識と数理の関係はどのようになっていくであろうか。深層学習の驚異的な性能が明らかになるにつれて、両者の関係は遠ざかるのであろうか。それともその成功に刺激されて、新しい数理体系が創設されるのであろうか。

超弦理論をはじめとする理論物理は、新しい数学の問題を創出することで数学に刺激を与えながら、逆に発見された新しい数学ツールを用いて、新しい難問に取り組んでいる。筆者には高レベルで相互に刺激し合うループが形成されているように見える。羨ましい。理学と工学では目指すところが異なる側面が多々あるが、画像認識においても、高次元パターン空間を自在に操り、制御するための新しい数理、数学の創生を期待したいものである。その際、数学だけでは不十分で、物理現象、人間系まで含めた新しいフレームワークが必要となるかもしれない。

以上、これまでの画像認識の研究を振り返りながら、高次元空間との出会い、画像認識と数理の関係について思いを述べてみた。最近、大津先生の特徴抽出理論 [3] を読み返してみた。やはり奥深い。

参考文献

- [1] 飯島泰蔵, 視覚情報の基礎理論—パターン認識問題の源流, コロナ社, 1999.
- [2] 渡辺 慧, 知るということ 認識学序説, ちくま学芸文庫, 2011.
- [3] 大津展之, “パターン認識における特徴抽出の数理的研究,” 電総研研究報告 No.818, 1981.
- [4] マックス・テグマーク, 数学的な宇宙 究極の实在の姿を求めて, 講談社, 2016.