

# 数学の時代到来の予感、パーシステント・ホモロジー

## —VALUENEX 技術トレンドレポート—

### 1. はじめに

オックスフォード大のマイケル・オズボーン准教授の有名な論文「雇用の未来(The Future of Employment)」(2013)によれば、将来、コンピュータ化、AI化により多くの雇用が失われると予想されている。それとは反対に、今後必要とされる職業はAI開発である。AIは突き詰めれば数学であり、問題を抽象化して数学的に理解する能力が重要となってくる。例えば、イギリス政府のレポート「数学の時代(THE ERA OF MATHEMATICS)」(2018)によれば、数学が生み出すイギリス経済への貢献は26兆円以上、投資効果は588倍以上で、物理の31倍、化学の246倍をはるかに凌ぐと報告されている。経済産業省の報告書「数理資本主義の時代」(2019)でも「どうしても欠かすことのできない科学が、3つある。第一に数学、第二に数学、そして第三に数学」とまで述べられている。

このように数学が社会で重要視されるなか、21世紀になって注目を浴びつつある数学的技術としてパーシステント・ホモロジー、位相的データ解析がある。これは材料構造や、情報ネットワークなど一見複雑で差異が分かり難い構造を、分解能を連続的に変化させても持続的(persistent)に出現する位相構造(homology)に注目して、差異を見つけ出す方法である。特許の世界ではこのような数学的な発明はないと思われがちであるが、その産業への応用可能性の広さから最近出願がなされ始めている。

本レポートでは世界におけるパーシステント・ホモロジー、位相的データ解析の最近の動向を調べるべく、各国の公開公報を基に分析を行った。分析には、VALUENEX 株式会社が提供するテキストマイニングによる俯瞰ツール VALUENEX Radar を用いた。

### 2. 分析母集団

位相的データ解析に関する特許は1国内での検索では、まだ少数であったため、世界における主要な特許発行国・機関である、US、EP、WIPO、CN、JP、KR、DE、FR、GB、CAの10機関を対象に検索を行った。また特許の主要部であるタイトル・要約・請求項を対象とした検索でも少数であったため、全文を対象に拡大して“persistent homology”、“topological data analysis”、“persistence diagram”のいずれかを有する特許を検索した。



図1. 位相的データ解析 公開公報件数推移

2001年以降公開の公開公報に限定した。更に、各国で重複して出願される特許ファミリーについては、第1国出願のみに限定し削除を行った。結果、トポロジカル位相解析に関する世界特許件数は364件となった。この364件の公開件数の年推移を図1に示す。2001年当初はほぼゼロであったのが、2015年を境に急激に増加し、今後も増加すると期待できそうである。

### 3. テキストマイニングによる俯瞰解析

今回求めた364件のトポロジカル位相解析関連公報について、VALUENEX Radarを用いたテキストマイニングによる俯瞰解析を行った。VALUENEX Radarは、類似する文書同士を、その件数の多寡に関係なく、その類似度の程度に応じて近くに自動プロットを行う。主要な各技術公報群が自己集積して技術クラスター群が複数形成され、世界におけるトポロジカル位相解析技術の自動分類と、その技術間の類似度を得ることが出来る。得られた結果を以下に示す。

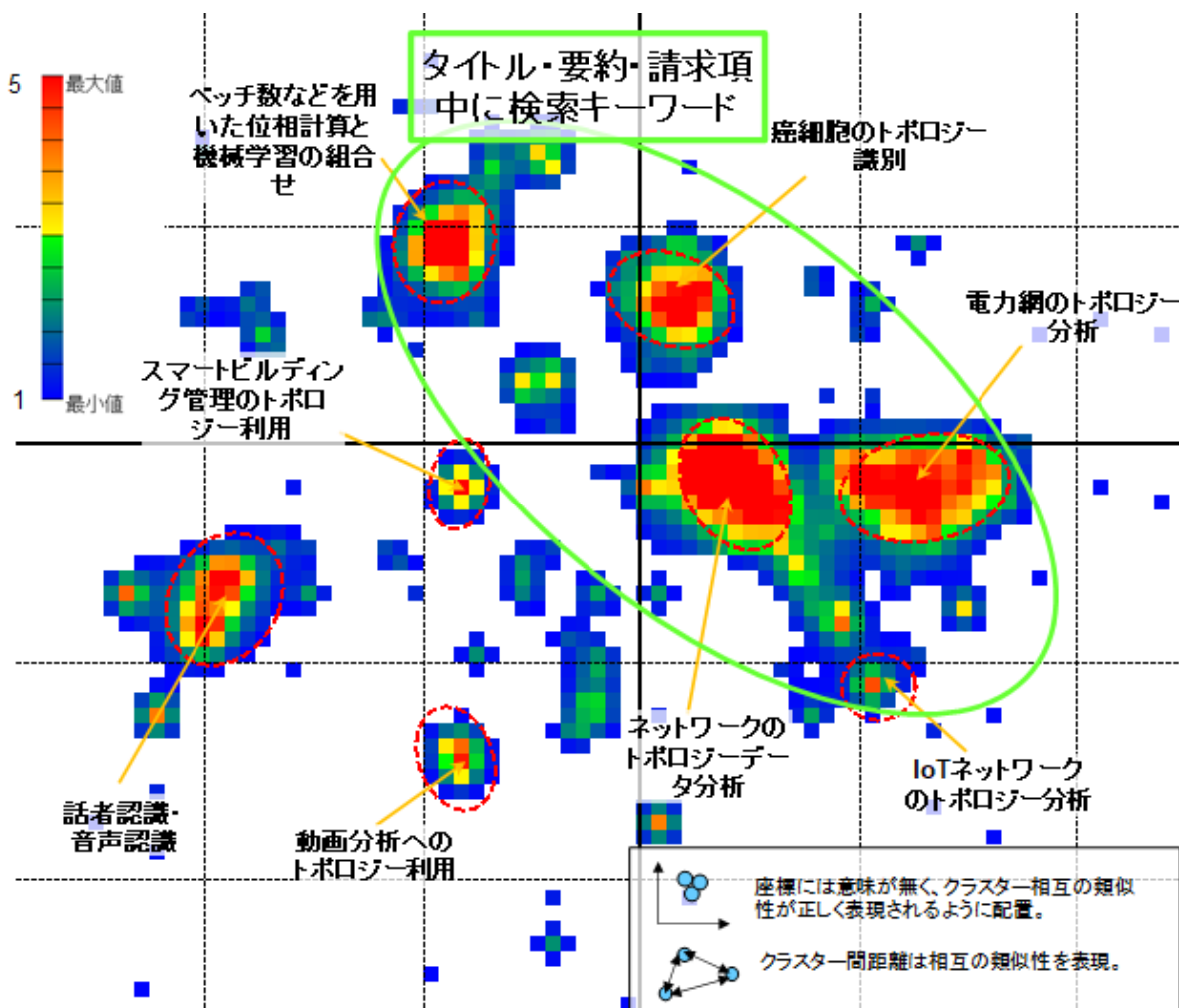


図2. 位相的データ解析 公開公報の技術分布 俯瞰図

通常、俯瞰解析においては、基本的な技術が図の中心に位置するが、今回の位相データ解析においては、ネットワークのトポロジーデータ分析であった。その周辺に、応用適用先として、電力網のトポロジー分析、癌細胞のトポロジー識別、IoTネットワークのトポロジー分析が配置された。俯瞰図左上にベッチ数などを用いた位相

計算と機械学習の組合せに関する密集領域が形成されているが、俯瞰図中心のネットワークのトポロジーとは、キーワードがやや異なる、すなわち技術がやや異なると判断されて、離れて配置された。以上5つの領域では、タイトル・要約・請求項中に検索キーワードが含まれている特許が多い。従って、これらの領域では位相的データ解析を主たる発明の内容として含んだ特許と考えられる。一方、俯瞰図の左下領域では、検索キーワードをタイトル・要約・請求項に含まれない特許が多い。そのため位相的データ解析の利用可能性のあるものの、必ずしもその利用を前提としない応用技術の領域と言える。これらの応用技術として、話者認識・音声認識、動画分析へのトポロジー利用、スマートビルディング管理のトポロジー利用などがある。これらの特許の出願人は位相データ解析の技術を保有していない可能性がある。

以上から、数学の一例としての位相データ解析が広範な技術領域へと適用されつつある姿が確認出来た。ネットワーク分析を中心に、電力網や癌細胞識別などでの利用が特許されている。またこれらとは別に、ベッチ数や機械学習との組み合わせを行っている発明がある。また、位相データ解析の利用可能性のある技術として、話者認識・音声認識、動画分析、スマートビルディング管理が検討されている。

#### 4. 主要企業ランキング

今回の位相データ解析関連開発主要企業の上位ランキングを以下に示す。

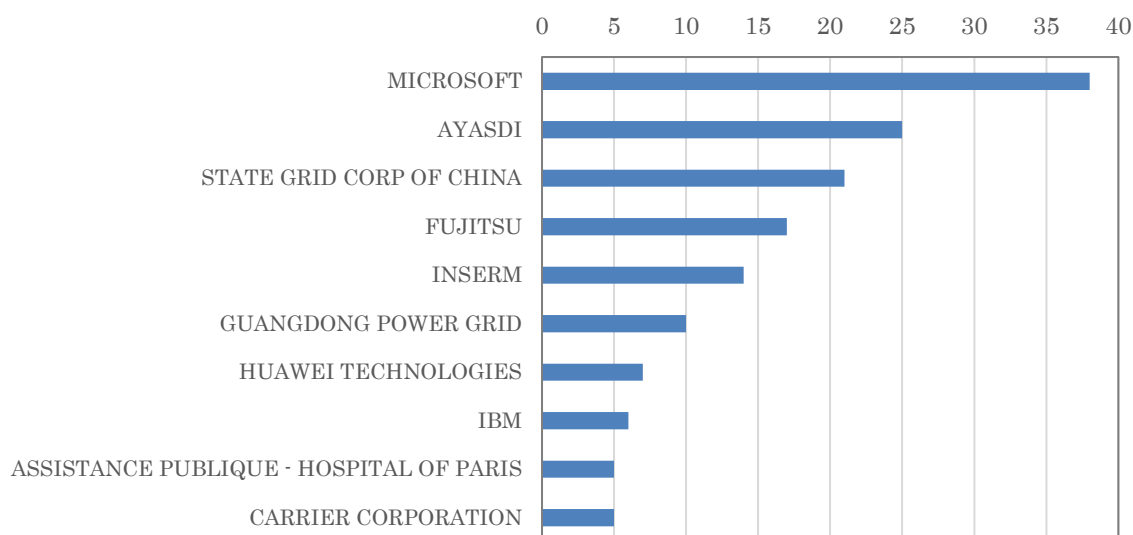


図3. 主要出願人別 位相データ解析関連 公報件数

件数首位はマイクロソフトとなった。俯瞰図上では、話者認識・音声認識の領域に集中しており、タイトル・要約・請求項に検索キーワードがない領域である。主要な技術として位相データ解析を有していない懸念がある。2位は米国発ベンチャーのAYASDIである。俯瞰図上では、ネットワークのトポロジーデータ分析領域を占めており、位相データ解析ベンチャーの通称どおりの企業のようなのである。スタンフォード発で、DARPAから得た資金で研究を行っており、実質の首位はAYASDIと言っても良さそうである。3位は中国の国家电网公司以、俯瞰図上では電力網のトポロジー領域に集中している。4位には日本の富士通(6702)となった。俯瞰図上ではベッチ数などを用いた位相計算と機械学習の組合せの領域に集中している。件数では2位AYASDIの後を追って増加している。

ここまで、上位企業は、全て各領域をほぼ1企業で占めている。一般的に俯瞰解析で、黎明期の技術の解析を

行うとこのような俯瞰図となることが多く、位相データ解析もその一例と見做せそうである。5位以降、フランス国立保健医学研究所 (INSERM、俯瞰図上の癌細胞のトポロジー識別)、中国の広東電網、ファーウェイ、IBM と世界の有名企業、研究機関が続くが、意外にも世界の IT 巨人である GAFA(M)、BAT の特許が殆どなかった。アマゾンが3件、アリババが1件、テンセントが1件と少ない。マイクロソフトが例外的存在である。今後、マイクロソフトのようにこれら GAFA、BAT がこの分野に本格参入する可能性があると考えて良いのではないだろうか。

## 5. おわりに

数学の時代の新技术の一例としてパーシステント・ホモロジー、位相データ解析について世界特許の俯瞰解析を行った。その結果、ネットワークのトポロジー分析、電力網のトポロジー分析、癌細胞のトポロジー識別、ベッチ数などを用いた位相計算と機械学習の組合せなどの技術が、2015年以降急激に増加していることが分かった。その他にも、話者認識・音声認識、動画分析、スマートビルディング管理などへと応用先が広がりつつある。

これら、位相データ解析を先導している企業は、恐らく件数2位の米国発ベンチャーAYASDIである。そして日本の富士通も4位と健闘している。他にも中国の国家电网公司、フランス国立保健医学研究所など、世界の主要な企業、研究所も上位にランクインしている。これらの出願人は俯瞰図上の密集領域をほぼ1社で占めており、まだ黎明期の技術のようである。

また、意外にも世界の IT 巨人である GAFA(M)、BAT の件数が少なかった。例外は1位のマイクロソフトであるが、タイトル・要約・請求項中に当該技術の記載がなく、その技術保有に懸念があるものの、今後、GAFA、BAT の件数増加があっても不思議ではないと思われる。

今後来るべき数学の時代の世界の発展を期待したい。特に、富士通のような日本企業の活躍に注目である。

## <免責事項>

本情報は、情報の提供を目的としており、投資その他の行動を勧誘することを目的としたものではありません。有価証券その他の取引等に関する最終決定は、お客様ご自身の判断と責任で行って下さい。情報提供元である VALUENEX 株式会社は、本情報を信頼しうる情報をもとに提供しておりますが、その内容に過誤、脱落等ありこれが原因により、または、本情報を利用して行った投資等により、お客様が被った、または、被る可能性のある直接的、間接的、付随的または特別な損害またはその他の損害について、一切責任を負いません。本情報の正確性および信頼性を調査確認することは、VALUENEX 株式会社の債務には含まれておりません。本情報の内容は、VALUENEX 株式会社の事由により変更されることがあります。本情報に関する一切の権利は、VALUENEX 株式会社に帰属します。本情報は、お客様ご自身のためにのみご利用いただくものとし、本情報の全部または一部を方法の如何を問わず、第三者へ提供することは禁止します。

---

VALUENEX 株式会社  
〒116-0002 東京都文京区小日向 4-5-16  
ツインヒルズ茗荷谷  
TEL : 03-6902-9834

\*弊社ではビッグデータ俯瞰解析ツール (SaaS) 「VALUENEX Radar」ならびに技術調査業務を含むコンサルティングサービスを提供しております。ご関心のある方は下記までご連絡ください。

## <問い合わせ先>

[VALUENEX 株式会社 ソリューション事業推進本部](#)

TEL:03-6902-9834

[mail:customer@valuenex.com](mailto:customer@valuenex.com)

<http://www.valuenex.com>

---

20210414TO