

グラフ信号処理：新しい信号処理の潮流

電気電子情報通信工学専攻 通信システム工学講座
メディア統合コミュニケーション工学領域
教授 田中 雄一

1. はじめに

2022年10月に工学研究科電気電子情報通信工学専攻通信システム講座メディア統合コミュニケーション工学領域に着任いたしました。前研究科長の馬場口先生の研究室を使わせていただいておりますので、気が引き締まる思いです。

産まれは新潟、育ちは東京、学位取得（慶應義塾大学）も前任校（宇都宮大学：助教，東京農工大学：准教授）も関東でしたので，60Hz地域に住むのも初めてです。着任してから半年と少々経ちますが，まだまだ周りから聞こえてくる関西弁（というか関西的アクセント？）に慣れていません。これから徐々に馴染んでいこうと思います。

幸いにも，4月から修士と学部生，合わせて13人（！）が入ってきてくれました。博士も3名おりますので，早速てんでこ舞いです。研究室の立ち上げはなかなかできる経験ではないので，楽しんでやっっていこうと思います。

以下では，私が最近興味を持っている研究テーマである「グラフ信号処理」に関して簡単にご紹介したいと思います¹。

2. グラフ信号処理

電気・電子・情報系の大学学部教育を受けると必ず出てくるのが「フーリエ変換」と「サンプリング定理」です。特に，フーリエ変換の離散化である離散フーリエ変換（DFT）は現代のICT社会にとってなくてはならない原動力であることはご存知かと思います。また，我々がコンピュータで計算した結果を「信じられる」のも，サンプリング定理によりフィジカル空間とサイバー空間が適切に連結されてこそ，であると言えます。

従来のデジタル信号処理は信号の「構造」がサンプリング周波数で自動的に決められていました（あるいは，自動的に決められると暗に仮定していました）。これはフィジカル空間のデータ（例えば音声や映像）をA/D変換器でセンシングするという性質上，ある意味当然です。この場合，デジタル信号を連続空間上で見てみると，信号値は等間隔で整列していることになります。

一方で，信号が必ずしも整列しておらず，空間上に複雑・非均一に分布するデータを解析する需要が近年増加しています。このような複雑な構造を持つデータは，しばしば信号値間の関係が「ネットワーク」として与えられる場合があります。ネットワークの代表的

¹ 実は最近著書を上梓しました（田中雄一，グラフ信号処理の基礎と応用，コロナ社，2023）。

新任教授紹介

な例は、交通網、社会的ネットワーク、脳ネットワークなどです(図1に交通網の例を示します)。

このようなネットワーク上に存在する信号の場合、信号値(上記のネットワークの例では交差点、ユーザ、電極上のデータ)の間の関係は均一でない場合があります(例えばソーシャル・ネットワーク・サービスでのフォロワーの数)。このようなネットワーク上のデータを解析するために必要な信号処理技術は果たしてどのようなものでしょうか?

グラフ信号処理は、端的に言えば信号の定義域をネットワーク(グラフ²)の頂点上に持つ信号(グラフ信号)を解析するための信号処理技術の一群を指します。グラフ信号処理は上述した応用に対する需要のみならず、その理論的な面白さも手伝って、近年大きく発展している信号処理のホット・トピックです。

グラフ信号処理で典型的な技術が「グラフフーリエ変換」です。これは不均一で複雑なネットワーク上に存在する離散時間信号に対し、フーリエ変換を再定義したものと捉えることができます。フーリエ変換ができると、低域通過フィルタ等の、広く用いられている信号処理の技術を空間上に不均一に分布するデータへ適用することができます。例を図2に示します。

3. おわりに

グラフ信号処理は、機械学習分野で最近注目されているグラフニューラルネットワークや、数学でのグラフ理論等とも強く繋がっています。今後は基礎理論だけでなく、IoTなどの広い意味でのセンサネットワーク等への産業的な応用に関しても取り組んでいきたいと考えています。

最後になりましたが、この度はこのような機会を与えていただいた関係者の皆様に謹んでお礼申し上げます。今後ともよろしくお願いいたします。

(慶應義塾大学 理工学部電子工学科 2003年卒
理工学研究科総合デザイン工学専攻 修士課程 2005年修了
博士課程 2007年修了)



図1 交通網の例：東京都周辺の道路網。
Open-StreetMap Japan より。

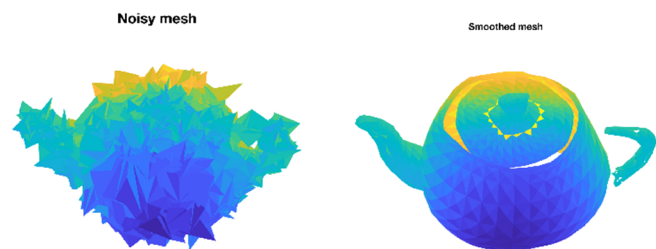


図2 グラフ低域通過フィルタによる3次元メッシュの平滑化の例。左のノイズが重畳したメッシュに低域通過フィルタを適用することで右のような平滑化されたメッシュが得られる。

² 頂点と辺からなる数理的なデータ構造。いわゆる「プロット」とは違うもの。