



## 丸田 一輝 研究室

工学部 電気工学科 准教授  
まるた かずき  
丸田 一輝 先生



ノルウェー・オスロで開かれた国際学会に参加

### Beyond 5G/6G を見据え 周波数資源の有効利用を研究

#### 枯渇しつつある周波数資源

Beyond 5G/6G とは、2020 年代に普及してきた 5G の性能を進化させた次世代移動体通信システムである。現在、研究開発が進められており、2030 年頃に実用化されると予測されている。6G では、さらなる大容量化、高信頼・低遅延、多接続などが目指されており、丸田研究室では超高速大容量化や超カバレッジ拡張に関わる「周波数利用効率の向上」や「電波干渉の克服」について研究が行われている。

周波数は、無線通信規則により世界を 3 つの地域に分け、周波数帯ごとに業務の種別を定めた国際分配が規定されている。その国際分配を基に、国内では総務省が周波数割当計画を定めている。例えば、300 MHz～3 GHz の極超短波は TV 放送や防災行政無線、タクシー無線などに、3～30 GHz のマイクロ波は携帯電話やローカル 5G などに、30～300 GHz のミリ波は衛星通信などに割り当てられている。周波数の資源は有限だが、低い周波数帯にはすでに多数の無線局が存在して資源が枯渇しつつある。

「例えるなら、周波数は車線、データは車で、車線（周波数）の上を車（データ）が通るというイメージです。スマートフォンなどに使用されている 1～2 GHz の周波数は遠くに飛びやすく、建物にも入り込みやすくて便利な周波数帯ですが、すでにさまざまなシステムに割り当てられており、そうした状況下で無理やり車線を作ろうとすると、車がぶつかってしまいます。そこで車線を 2 階、3 階と積み上げて空間的に分ける

ことで周波数の利用効率を上げようと取り組んでいます」と丸田先生は説明する。

#### マル空間の拡張で干渉を抑制

周波数を空間的に分けるために用いる技術の一つが、アーランテナ信号処理 (MIMO: Multiple-Input Multiple-Output) である。アーランテナとは、同じ特性を持つアンテナを並べたもので、これによりビーム（電波）を所望の方向に誘導するビームフォーミングが可能となる。丸田先生は、100～1000 素子規模のアーランテナを用いた信号処理 (Massive MIMO) により、同一周波数の複数信号を空間領域で多重化して伝送容量を飛躍的に向上させるほか、空間的な自由度を活用して高速移動環境下でも安定した通信を可能にすることなどに取り組んでいる。

周波数資源の枯渇から、現在は比較的空きがあり広い帯域幅が確保できる高い周波数帯（ミリ波、テラヘルツ波）の活用が求められており、ミリ波を使いやすくする技術が重要になってきている。

「ミリ波のような高い周波数帯は、電波があまり遠くに飛ばないという物理的な現象がありますが、ビームフォーミングを用いると電波が飛ぶ距離を延ばしてカバレッジを拡張することができます。ただ、ビームの向きが絞られると、端末が動いた時にビームがずれやすくなるため、いかに端末を追いかけてビームを向けていくかが難しいところで、その制御なども研究しています」

電波は、飛ぶ方向を絞ることもできれば、逆に飛ばない方向を定めることもできる。電波が飛ばない方向

は「ヌル」と呼ばれ、ヌル空間を拡張させると、電波同士の干渉を抑えることができるという。

「ヌルは何もないと“狭い谷”なので、例えば、電波を飛ばす対象の車が動くとすぐに谷から外れて別の電波の領域に入ってしまい、電波が干渉してしまいます。ヌルを拡張することで、車が多少動いてもヌルの領域に収まっているので、他の電波と干渉しない状況が維持できます。こうすることで車線の上に2階、3階と空間を積み上げることができ、データをたくさん流せるようになります」と丸田先生は説明する。

### 水中での大容量通信を目指す

水中音響通信も研究テーマの一つだ。水中の通信媒体には電波、音波、光があり、丸田研究室では音波による大容量通信の可能性を探している。

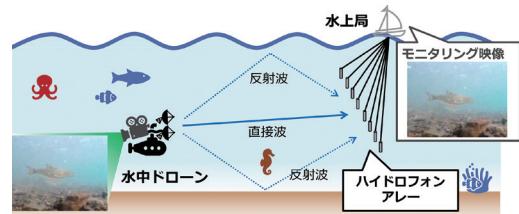
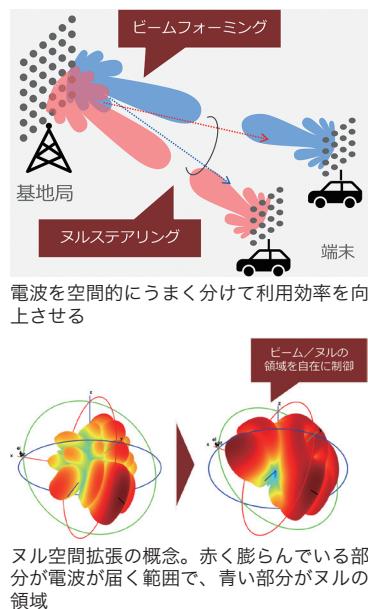
「水中の通信速度は数十～数百 Kbps と非常に遅く、これをスマートフォンが使える Mbps 単位ぐらいまで上げる方法を探っています。たくさんのアンテナを並べて音波が届く距離を延ばしたり、反射波などが干渉しないようにヌルを向けたりと、水中でも Massive MIMO などの技術を生かしています」

実験は、共同研究をしている国立研究開発法人海洋研究開発機構の水槽設備を利用。送波器と水中ドローン、受波器を水中に吊り下げ、送信機でデジタル信号情報を音波に変換して送出し、受波器で受け取った音波を受信機で信号処理をしてデジタル信号へ戻すという流れだ。水中では波の揺れなどによって音波の波形が乱れやすく、反射波が長い遅延時間で届いて干渉として受信されるため、データを受け取った後に波形の乱れや干渉を取り除く処理を行っている。

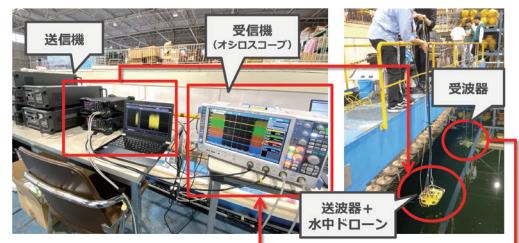
「データを戻す処理の仕組み自体はすでに確立されていますが、学生にとってはデータ処理を実践的に学べる機会になっています。水中音響通信は、理論的には 100 m の距離でも可能なはずですが、実際の実験では数 m が限界なので、どうしたらうまく音波を飛ばせるか模索しながら実験を進めているところです」

### 和気あいあいとしながらメリハリのある研究室

学部4年の上田将矢さんは、Massive MIMOを研



水中音響通信の仕組み



水中音響通信の実験設備

究対象としており、中でも、複数のユーザーがいる状況下で通信の品質を下げる原因となる干渉を低減する方法を研究している。「学部の授業を通じてプログラムに興味を持ち、プログラムを使ってシミュレーションができる丸田研究室を志望しました。丸田先生が通信企業の研究員だった時に考案されたヌル空間拡張の方式を使って研究できることが、研究室の特徴の一つだと思います」と話す。

同じく学部4年の福江幸太郎さんは、受信側の信号処理における機械学習を用いた干渉抑制を研究している。「受信信号の可視化情報を画像として扱い、機械学習を使って状況を推定する研究をしています。大きなトレンドになっているAIを追えているのは楽しいですし、通信分野でAIを使ったアイデアを出せることが刺激になっています」と話す。

修士2年の小澤爽仁さんは、協調型自動運転に関する研究をしている。「従来の自動運転では、自車内で完結する仕組みが多いのですが、協調型自動運転は他の車両や路側機の情報を通信経由で駆使して、より快適な交通システムを作ることを目標としています。共同研究で成り立つプロジェクトのため、他大学の学生とも交流でき、新たな学びが得られています。丸田研究室は先輩たちも成果を出されていて、研究と遊びのメリハリのある研究室だと思います」と話す。

丸田研究室では国内学会だけでなく国際学会にも参加しており、これまでノルウェーやシンガポール、アメリカなどを訪れたという。学部生の時から国内外の学会に参加できることも大きな魅力になっているようだ。

城市奈那（株式会社ジェイクリエイト）