

無線通信にできること

大学卒業後、全く無線のことなど知らぬ門外漢の私がNTT無線システム研究所に配属され、無線の研究に従事することになった。入社時の直接指導者であった佐和橋 衛研究主任（現：東京都市大学教授）には、基礎の基礎から教えていただいた。おそらく、何と手のかかる奴なのだろうと思われたと推察する。その後もNTT、ATR（Advanced Telecommunications Research institute international）、ドコモ、さらには大学の皆様のお世話になり現在に至っている。私が認識していないところでも、きっと多くの方のお手を煩わせてきたのだと思う。一時期私の上司であった京都大学の森広 芳照教授（故人）に「他人に迷惑はかけるものです。その分、お返しをしてあげれば良いのです」と言われたことを思い出し、今は私に何ができるのかを考えている。

無線通信でも電波を出せば他人に迷惑をかける可能性がある。無論、電波法の規定により、無線通信は他のシステムに迷惑をかけられない。さらに、他システムだけでなく自システム内の他ユーザにも迷惑をかけないように、セルラ無線通信システムでは適切に回線設計がなされていることは読者もご存知であろう。無線では迷惑をかけないことが是とされる。

一方、1990年代後半にドコモが世界に先駆けてモバイルインターネットサービス、i-modeを提供したことなどが契機となり、より高速なデジタル無線通信が望まれるようになった。しかし、そこには符号間干渉という迷惑者がいた。無線通信ではアンテナから放出された信号は、直接受信機に到着するばかりではなく、反射などによりさまざまな経路を通して受信機に到達する。符号間干渉とは、経路の長さにより信号が受信機に到着するタイミングがずれることで信号が重なり合ってしまう干渉を起こすことであり、これにより正しい信号受信が妨げられる。つまり、遠回りした信号が近道を通った（直接受信機に届いた）信号に迷惑をかけるのである。当時、符号間干渉が発生するため、高速デジタル無線通信は困難という話は至る所で聞かれた。ところが、受信機に波形等化器*1を備えれば、伝送特性の劣化を補償するだけでなく、符号間干渉により伝送特性が改善されるという話を聞いて、大変驚いた。今では

常識になってしまったが、当時の研究者に大きなインパクトを与えたと思う。少なくとも私の中ではパラダイムシフトが起きた。よく調べると、京都大学の池上 文夫名誉教授や吉田 進名誉教授がスペクトル拡散*2と同等の処理により同様の特性が得られることを、すでに示唆されていた。つまり、送信機や受信機で適切な信号処理を行えば、迷惑者はもはや迷惑者でなくなり、伝送特性の改善までしてくれるのである。信号処理が迷惑者を孝行者に変える。

高速デジタル無線通信を阻む要因が1つ取り除かれると、さらなる高速化が望まれた。すると飛び出してきたのが、第5世代セルラシステムのキーワードの1つであるMIMO（Multiple Input Multiple Output）である。通信速度を向上させるため、複数のアンテナから同時に同じ周波数で別々の信号を送信することで、例えば送信アンテナ数が2個になれば2倍、3個になれば3倍と、アンテナ数倍に通信速度を高速化できる。しかし、各々の信号から見れば、他のアンテナからの送信信号は干渉を引き起こす要因である。つまり、MIMOでは、他アンテナからの送信信号による干渉という迷惑者を自ら作り出している。一方、従来より受信機に複数のアンテナを配置すれば、他の送信機から発せられた干渉信号を抑圧できることは、よく知られていた。この技術の研究は、他のアンテナから送信される迷惑者が引き起こす劣化を補償するために、複数のアンテナを受信機に置こうという、今から考えると若干ネガティブな印象を受けるものであった。一方MIMOでは複数の送受信アンテナを配置し、同様の技術を利用することで、伝送速度を数倍に高速化する。似たような信号処理が適用されても、結果としてMIMOでは高速デジタル無線通信の達成というポジティブな結果が得られ、これがMIMOの研究を活性させ、無線通信技術の主役の1つに押し上げた。実際、MIMOのための新しい信号処理方法がいくつも提案されて、現在のLTEに貢献している。ここでも、信号処理が迷惑者を高速化に寄与させた。

電波は原理的にはどこまでも飛んで行く。ボージャーやガリレオなどの宇宙探査機との通信も電波が利用されている。このような特性を持つ電波を、

Profile

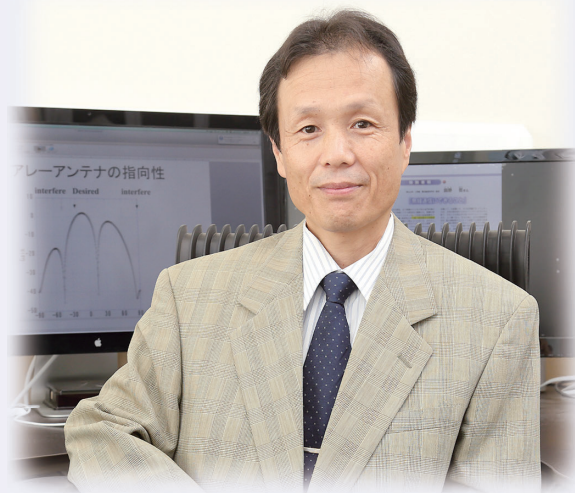
1988年京都大学工学研究科修了。同年日本電信電話株式会社、NTT無線システム研究所配属。1997年ATR出向、ATR環境適応通信研究所主任研究員。2000年株NTTドコモ転籍、移動機開発部主任技師。2002年ドコモ欧州研究所出向、WSL (Wireless Solution Lab.) 研究室長。2004年京都大学大学院情報学研究科助教授。2011年より現職。博士 (工学)。

我々は干渉が起きないように管理しようとしているが、これにより却ってさまざまな可能性を失ってしまうような気がしている。それよりも、無線通信の将来を拓くのは、干渉を許容する技術になるだろうと考えている。上記の技術は、これを証明しているように見える。

現在、第5世代のセルラ通信に向けて、Massive MIMO、分散アンテナ、スモールセル、モバイルエッジコンピューティングなどの多種多様な新しい技術に関する研究・開発が活発に進められている。現在の6GHz以下の周波数の逼迫を考えると、さらなる高速なデジタル無線通信の提供には、より高い周波数帯を活用することが重要である。高周波数帯の信号は、伝送路で大きく減衰するため、結果的にセル半径が短くなり周波数利用効率が向上すると言われている。また、このような周波数帯を利用している他システムは現在あまりなく、干渉問題も存在せず、より高速デジタル通信の提供が可能になると期待されている。しかし、いくら混雑しても電波伝搬特性に優れた6GHz以下の電波は、今後利用され続けていくだろう。例えば、スモールセルを利用した高周波数帯の通信においてさえ、制御信号伝送には6GHz以下の周波数帯の活用が検討されている。また、高周波数帯でも利用が増えれば、干渉問題が出てくる。無線通信においては、やはり干渉という迷惑者からは逃れることはできないのである。

そこで、迷惑者を許容できる技術として「端末連携無線通信方式」の研究を進めている。基本的なアイデアは京都大学の村田 英一准教授が提案され、それを上手く活用する方法を私や京都工芸繊維大学の梅原 大祐教授と一緒に研究している。この技術は、受信信号に干渉信号が含まれていても、複数の端末が連携してこの干渉をキャンセルする。干渉の数が増えたとしても、協調する端末数を増すことで、原理的には自由に干渉キャンセル能力を強化できるというスケラビリティがある。理論的にはこれにより干渉問題を完全に解決できる。

無論、信号処理技術により干渉を許容するという研究は我々だけでなく、さまざまなところで検討されてきている。コグニティブ無線*3もその1つであり、商用フェーズに近いと聞いている。ドコモでも第5世代セルラの基地局に干渉補償技術の適用が検



討されていると聞く。また、端末への干渉補償器の導入を前提とした非直交多元アクセス (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access)*4も東京理科大学の樋口 健一教授とドコモで提案され、第5世代セルラ通信の周波数利用効率の向上に資すると考えられている。

無線通信では他人に迷惑をかけても、お返しは難しいが、信号処理を用いることでこれらを許容できる。さらに上手く利用すれば、時には通信品質や通信速度向上に寄与してくれる。実際、迷惑者を許容する研究がさまざまなところで行われている。今後そんな技術がより発展し、無線通信のあり方が根本から変わる日もそう遠くないように思っている。また、その牽引役としてドコモにも大いに期待したい。

- *1 **波形等化器**: 受信信号の周波数スペクトルを平坦にする装置。符号間干渉が発生すると、受信信号のスペクトルは周波数選択性をもつようになる。波形等化器はこれを平坦にすることで符号間干渉を除去する。
- *2 **スペクトル拡散**: 信号の周波数スペクトルを拡散符号により広帯域化する技術。第3世代セルラ無線システムで利用されているCDMAはスペクトル拡散信号を用いて多元接続を行っている。
- *3 **コグニティブ無線**: 電波環境などに応じて、最適な無線パラメータや通信方式を選択する無線通信。
- *4 **非直交多元アクセス (NOMA)**: 基地局が複数のユーザと同時に接続 (多元接続) する際、各ユーザ無線信号を、伝搬損失の大きさに応じて送信電力を変えつつ、同一の時間・周波数でそのまま重ねて (すなわち非直交の状態) で送信し、受信側において、ユーザ信号間の電力差を利用しながらお互いの干渉をキャンセルすることによって個々のユーザの信号を分離する方式。