特別寄稿

身近な無線を体験する

香川大学　創造工学部　教授　三木（みき） 信彦（のぶひこ）さん

インターネットへの接続といえばかつては有線であったが，いまやほとんどの端末では移動通信システム（LTEなど），Wi-Fi®*1といった無線が主になっている．また，モノのインターネットの普及などを背景に，さらに無線通信でインターネットへ接続する端末は増加すると考えられる．このように，無線はとても身近なものでありながら，実際には見えないため，その特性はわかりづらい．

私の研究テーマの1つに，効率的な無線リソースの割当てを計算機シミュレーションにより行うというものがあり，その際には，基地局と端末間の無線区間の電波状況などをモデル化する必要がある．例えば，受信信号電力の減衰要因が，距離減衰，シャドウイング*2，マルチパスフェージング*3に大別され，それぞれを数学的にモデル化するといったことである．これを学生に説明すると，もちろん文字通りにプログラムを作成し，シミュレーションで評価することはできるものの，実際に目で見えるものではないため，表面的な理解にとどまっているように感じる．

私自身も実感を伴って無線通信を理解するには非常に時間がかかった．記憶をたどれば，実感を得るようになったのは，第4世代移動通信システム（4G）に向けた屋外実験を通してからで，調べ直してみると，本屋外実験用装置は，2002年3月に4Gにおける実験装置の試作を開始，同10月に室内実験において下り100Mbps，上り20Mbpsの信号伝送に成功，翌年5月に屋外実験を開始と報道発表されている．

実験は，横須賀市内で行われたが，あの場所を何度訪れたか数えきれないくらいに多くの時間を費やした．特に，さまざまな環境（直接基地局が見える環境から，完全に反射波しか存在しない環境まで）が含まれる1周数分のコースについては，今でもスタート地点からゴール地点までどのような環境となっていたか克明に思い出せるほど回った．移動局，基地局ともに受信電力，パケットの誤り率特性とともに，伝搬遅延特性をリアルタイムで測定した．伝搬遅延特性とは，伝播路の遅延波特性を表すもので，時間の経過に対する受信電力の強弱の関係から電波伝搬遅延の特性を示しており，遠くの建物などで反射した電波は遅延時間が大きく表れる．送信点と現在位置との間の建物などの遮蔽物との関係と伝搬遅延特性，受信電力特性，誤り率特性を比べてみることで非常に多くのことを学んだ．特に本実験装置は再現性が高く，繰り返しデータを取得することによって，実感が伴うようになった．誌面の都合上，比較的わかりやすい例のみを挙げているが，非常に多くのことを本実験から学んだ．

以上のように，繰り返し実験を行えたことに非常に感謝している．とはいえ，これは誰でも経験できるものではない．別な方法で学生に無線の実感を得てもらいたいと，いろいろ考えた末にたどり着いた方法のひとつが，LoRa®*4モジュールである．

LoRaはLPWA（Low Power Wide Area）*5の1種であり，免許不要周波数帯である920MHzを用いる．比較的安価に販売され，通信事業者でなくとも自営網の構築ができる．そして，20mW以下と送信電力は小さいものの，最小62.5kHzの狭帯域信号であるため，1km以上の比較的広いカバレッジを実現でき，距離減衰，建物遮蔽に起因するシャドウイングなどの測定が可能であると考えられる（もちろん，学生が自分の手でモノのインターネットを実際に作成してみるという意図もある）．この測定を実現するため，こちらも安価で販売されているラズベリーパイ*6，それに接続するセンサモジュールを購入した．ラズベリーパイでデータ取得するためのソフトもインターネット上で公開されており，容易に実装するこ

Profile

1996年京都大学工学部卒業，1998年京都大学大学院工学研究科修士課程修了，2009年應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了．1998年4月NTT移動通信網株式会社（現 株式会社NTTドコモ）入社．LTE，第4世代移動通信無線アクセス技術の研究，開発に従事．2013年4月香川大学工学部．2018年4月より現職．IEICE, IEEE会員．

とが可能である．

今回はセンサで測定したデータをゲートウェイ（基地局）に送信することが，主なLoRaの使用構成であるため，GPSセンサをラズベリーパイに接続し，LoRaモジュールで送信する構成を実装した．ゲートウェイでは，受信時に受信信号強度（RSSI：Received Signal Strength Indication）が出力可能であり，この値とGPSの位置情報を対応づけることによって，各地点で送信した場合の減衰量が計算できる．

測定方法は，ゲートウェイを創造工学部キャンパス屋上に設置し，歩いて測定した結果を地図アプリ上に表示した．地図アプリを用いて確認すると，見通しの有無によって大きく減衰量が変わることが一目瞭然であった．創造工学部キャンパス周辺は讃岐平野に位置し，とても平坦であるため，上記特性が非常によく理解できる．また，キャンパスを出た直後であっても，建物に遮られて直接アンテナが見えない場合には，大幅に減衰すること，一方で一部小高い位置にあるため池（香川県にはため池が多い）の土手などから直接見通しがある場合には，比較的遠くても減衰量は少ない．当り前の現象ではあるものの，自身で測定し，地図をじっくり見る，また距離に対する減衰量といったグラフを作成し，秦式*7［1］と比較するなどを通して，学生たちが実感を伴って理解していくのが見てとれた．市販品ゆえにできることに制限があるとはいえ，LoRaモジュールは，免許不要周波数であり，送信機，受信機の設置位置は，その高さを含んで自由に変更できる．本来のLoRaモジュールの使い方とは異なっていると思うが，比較的簡単，かつ安価に無線の特性を理解する方法として有効だと考える（その意味では，下りリンクで作成して地形と受信電力を自分の目で確認できるほうがよかったかもしれない）．

上記，無線通信を理解するための実験として，今年度から3年生の学生実験にLoRaを用いた実験を取り入れた．具体的には，温度湿度センサにより取得したデータをラズベリーパイ経由でLoRaモジュールに入力し，無線で送受信する構成を実装させている．また，複数位置でRSSIを取得することによって簡単な伝搬特性を確認する実験も行っている．まだ試行錯誤中であるので，今後改善していきたい．

本稿では，見えない無線を実感する取組みとして，自身のかつての屋外実験とともに，現在実施しているLoRaモジュールを用いた学生実験について述べた．ドコモ在職時には，LTE標準化を含む貴重な経験に恵まれたが，これらを今後の研究活動に活かすとともに，さまざまな形で還元できるように，今後も努力していきたい．

文　献

［1］ M. Hata: “Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services,” IEEE Trans. Veh. Tech., Vol.VT-29, No.3, pp.317–325, Aug. 1980.

＊1 Wi-Fi®：Wi-Fi Allianceの登録商標．
＊2 シャドウイング：移動通信端末が建物の影などに入ることによって受信電力が低下する現象．
＊3 マルチパスフェージング：電波が地形や建物によって反射や回折を繰り返し，複数の電波となって受信機に到達する現象．
＊4 LoRa®：LPWA（＊5参照）の一種であり，無線局免許を必要としない周波数帯（アンライセンスバンド）を採用している無線方式．米国の半導体メーカー大手のSemtech社を中心に2015年に設立された業界団体である「LoRaアライアンス」がグローバルにオープンスタンダードとして仕様，規格化を提案している．LoRaはSemtech Corp. の登録商標．
＊5 LPWA：低消費電力でキロメートルレベルの広い領域を通信範囲にできる無線通信技術．
＊6 ラズベリーパイ：ラズベリーパイ財団によって開発された主に教育用のシングルボードコンピュータのひとつ．モノのインターネットの実装によく用いられる．ラズベリーパイ　ファンデーションの商標または登録商標．
＊7 秦式：伝搬損失の距離特性を簡便に表した実験式．