

「ひかり」を自由にあやつる

— 高速高精度光変調技術で拓く大容量通信と宇宙をみる極限技術 —

「高速で高精度な光変調技術の研究は、将来の大容量光通信を実現するだけにとどまらず、宇宙をみるための究極の精度を持つ光信号源の研究につながっています。」



川西 哲也 (かわにし てつや)

光ネットワーク研究所
光通信基盤研究室 室長

学生ベンチャー、大手メーカー、大学といろんな環境を経て1998年にCRL(現NICT)のメンバーになりました。国内外の様々な機関の研究者、大学からの研修生の皆さんと力を合わせて光通信技術やマイクロ波フォトリソグラフィーの研究をしています。

菅野 敦史 (かんの あつし)

光ネットワーク研究所
光通信基盤研究室 主任研究員

2005年筑波大学大学院卒。筑波大学大学院VBL特別研究員を経て2007年NICT入所。大学時代のテーマである半導体光物性研究から一貫して光技術の研究に従事。高じて写真が趣味となり日夜研鑽中。



● 光変調技術で「ひかり」をあやつる

今や「ひかり」といえば新幹線というよりも先にインターネットが思い浮かぶのではないのでしょうか。誰もが携帯電話やインターネットを使ったときに、どこかで「ひかり」を使った通信、すなわち、光通信のお世話になっているはずです。光ファイバを使えば、遠くまで光にのせた情報を伝えることができます。人間同士が会話をするときには音の高さや強さ、長さを変化させて情報を伝えるように、光通信では光を変化させます。このことを光変調と呼びます。最も簡単な光変調として光が「ある」、「ない」の2通りでデジタル信号を送るオンオフキーイング(OOK)と呼ばれる方法がこれまで使われてきました。最近では、メールを消さずにどんどんため込む、デジタルカメラでどんどん撮影するといった、とにかくデータを保存しておいて必要なときに選んで取り出すというライフスタイルが広がりつつあり、大量のデータをス

ムーズにやりとりする技術が求められています。私たちは、このようなニーズに応えるため、高速光通信を支える光変調技術の研究開発を進めており、光変調の高速性の追求に加えて正確に光をあやつる技術で世界トップクラスの成果を上げています。この技術は様々な分野での利用が期待できる中で、私たちは、極限性能を追求する電波天文への応用を目指した研究を行っています。ここでは大容量通信を実現するための最新の高速高精度光変調技術と巨大な電波望遠鏡を支える基準信号発生技術を紹介します。

● 高速高精度光変調で大容量の光通信を

光は光波とも呼ばれ、電波と同じ電磁波の一種です。電磁波を特徴付けるのは、大きさ(振幅)、振動の速さ(周波数)、波動のタイミング(位相)の3つの要素です。これらを変化させることで、情報を伝えます。先にご紹介した OOK は、振幅

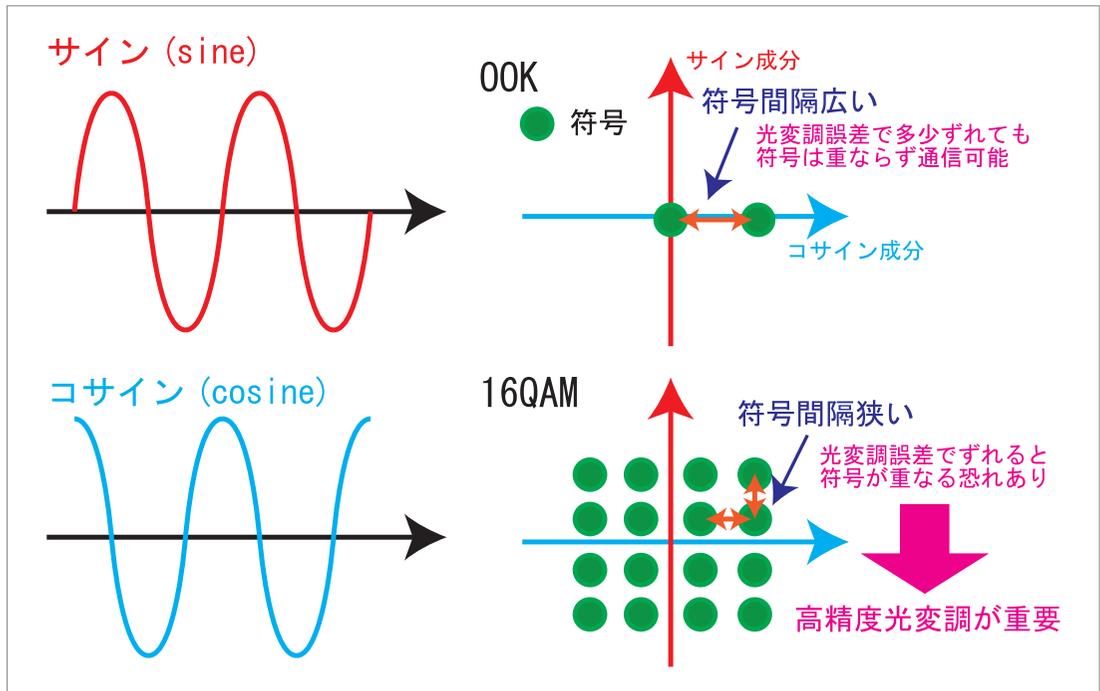


図1 (左) 光の波形: サインとコサイン (右) OOKと16QAMのコンステレーション

が“1(オン)”か“0(オフ)”の2通りの光波の状態(シンボルまたは符号と呼ぶ)を使うもので、1回の光変調でデジタル信号を1つ(1ビット)伝えることができます。より多くの情報を送るためには、①光変調をより速くする、②1回の光変調でより多くのビットを送る、という2つのアプローチがあります。①は高速に、②は高精度に光を変調する技術に相当します。長年にわたり①の高速化が研究のトレンドでしたが、NICTでは世界に先駆けて①と②の両立に取り組んできました。

ここで、②の高精度光変調について説明します。位相、振幅をそれぞれ、2通りずつ、組み合わせを考えると全部で4つの符号を使えば1回の変調で2ビットを送ることができます。nビット送るためには 2^n 個の符号が必要です。符号を増やすには正確な光変調が重要になります。日本語の発音に例えてみましょう。五十音に加えて、同じ「あいうえお…」でも振幅の小さいものを別の音とすると決めたとします。そうすると、短い言葉でたくさんの情報を伝えることはできるかもしれませんが、音の大きさを正確に言い分ける、聞き分ける能力が必要になります。光変調でも同

じことがいえます。光の状態をより正確に制御できないと符号の区別ができなくなります。波動の一種である光波は図1(左)に示すようなサイン、コサインの2成分で表されます。周波数を一定とすると、光波の状態、つまり、光変調の形式はこれらの2成分を縦軸・横軸とした平面上の点で表すことができます。一度にたくさんの情報を送るときには多数の符号が必要になります。符号を2次元平面上に表した図のことをコンステレーション(星座図)と呼びます。複雑なコンステレーションをもつ信号を高速で発生させることが大容量伝送実現の鍵です。図1(右)は16個の符号を使って一度に4ビットの信号を送る16値直交振幅変調(16QAM)と従来のOOKのコンステレーションです。16QAMでは符号間の距離が小さく、高精度光変調が重要であることがわかります。NICTは一度に2ビット送ることができる4値位相変調(QPSK)と高速な変調速度を両立する技術を世界で初めて2004年に発表し、それ以降、1つの光で100Gbpsの通信を実現することは特別なことではなくなりました。さらに世界初の50Gbps 16QAMを可能とする集積

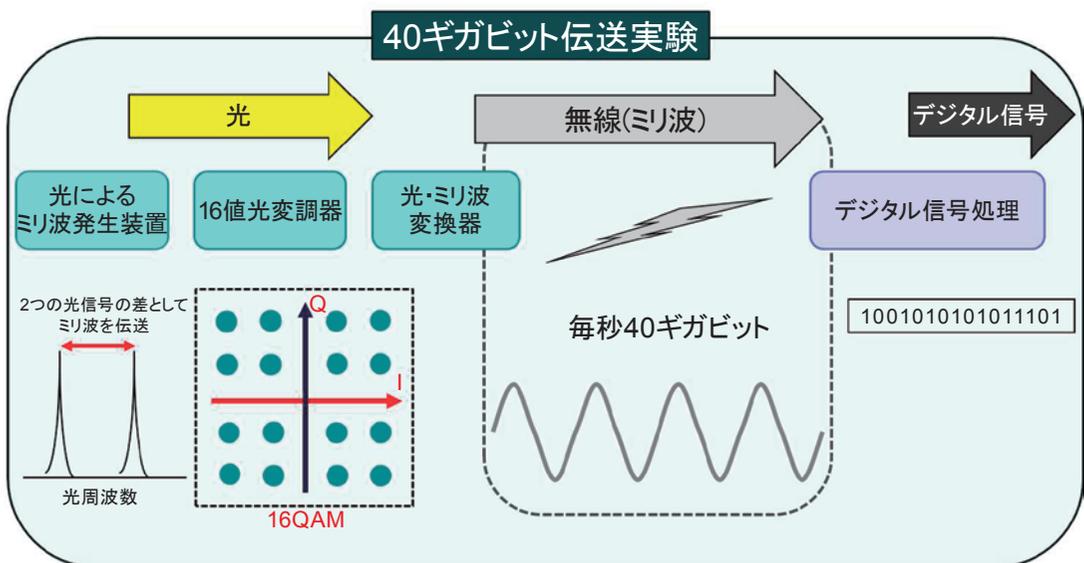


図2 光ファイバ無線技術による超高速無線伝送の概念図

光変調デバイスを実現しました。無線分野では従来から様々で複雑な変調方式が利用されていましたが、光の周波数は携帯電話の使用周波数と比べて10万倍高く、複雑な変調方式は困難であるというのが常識でした。しかし、ここで紹介した高速高精度光変調技術や、高速信号処理技術などによりこの課題は克服されつつあります。一方、光変調技術で、高度な無線変調信号を発生させることも可能となり、世界最高速度(2011年9月当時)の40Gbps無線伝送を実現しています(図2)。

● 究極の高精度光変調で宇宙をみる

また、極限技術へのチャレンジとして、国立天文台と共同で世界最大の電波望遠鏡ALMA(アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計)向けの基準信号発生技術の研究を行っています。ALMAはチリの高山地域で国際プロジェクトとして開発が進められている世界最高の感度と分解能を備えた電波望遠鏡です。最長18.5km離れた66台以上のパラボラアンテナで構成されます。これらのアンテナを連動させるためには基準光信号が必要となります。光変調の精度を表す重要

な指標である消光比(光をオフしたときに消え残る光の大きさを表す)がありますが、従来技術と比べて1万倍を達成しました(図3)。ALMAで必要となる高い安定度、広い周波数範囲での信号発生などの条件を満たす信号源を高い消光比の光変調技術で実現しました。高い消光比の変調はALMA向けの信号源だけではなく、より高度な変調方式実現に重要であることが明らかになってきています。基礎研究から応用研究までを一貫して確実に進めていくことの重要性を示す成果であるといえるでしょう。

大容量通信のために光ファイバの中でコンステレーションを描きながら、本当の宇宙をみるための技術にもつながるなんて、夢があると思いませんか？

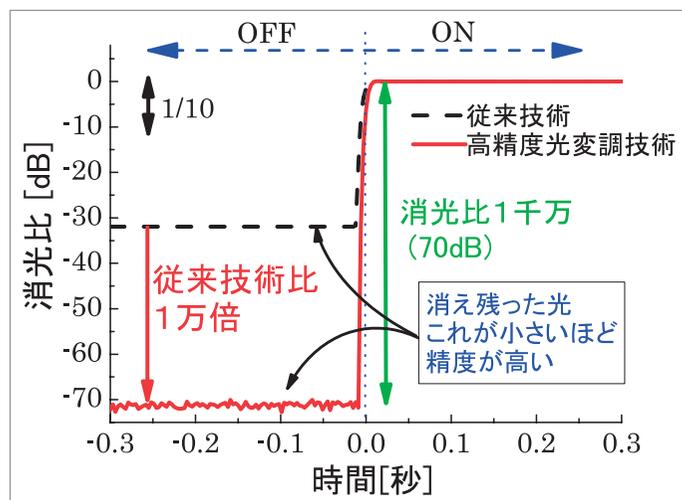


図3 高消光比変調による光のオン/オフ