

研究室紹介

情報を運ぶ電磁波

石田 健一
Kenichi ISHIDA

九州産業大学情報科学部社会情報システム学科
Faculty of Information Science, Kyushu Sangyo University
ishida@is.kyusan-u.ac.jp, <http://www.is.kyusan-u.ac.jp/~ishida/>

1. はじめに

コンピュータが急速に発展・普及し、インターネットによる通信が、電話などの通信と同様に日常のものになってきました。そのため、情報通信というと、コンピュータを直接介した通信、例えば、電子メールを交換したり、Webサイトを閲覧したりという応用面が注目されることが多くなりました。実際、情報科学部の研究・教育においてもそういう面が重視されていくでしょう。しかしながら、コンピュータ間の通信やインターネットもこれまでの電気通信技術の上で成り立っています。

情報を運ぶもの(キャリア)の一つとしての電磁波があります。電磁波とは、真空または物質中を電磁場の振動が伝搬する現象です。電磁波は、周波数により、 3×10^{12} Hzまでを電波、それ以上を周波数の低いほうから、光、エックス線、ガンマ線とよばれています。電磁波は、1864年にマクスウェルがその存在を理論的に予言し、1888年にヘルツが実験的に発見したのですから、誕生してまだ100年余の歴史しかありませんが、テレビ、ラジオ放送、衛星放送、携帯電話で使われていることはご存知のことでしょう。これらは、電磁波を「通信」に利用した例です。情報キャリアとして、電磁波を利用するには、その周波数、偏波、振幅、位相などが活用されます。電磁波は、空間を伝わるためケーブルがなくても情報を運ぶことができますが、ケーブル外の状態はケーブル内に影響を与えにくいことと対照的に、空間の影響を大きく受けてしまいます。なお、電磁波は、周波数によって、透過、反射、吸収、回折(障害物の裏側にも回りこんで伝わる現象。周波数が小さいほど顕著になる)などの性質が異なるため、電波の領域については、周波数などによって利用目的が決められ、有効利用が図られています。

一方「探査」において電磁波を有効に使えば、電磁波は直接には得ることの出来ない情報を私たちのところへ運んでくれます。例えば、エックス線は医療診断で用いられていますし、可視光線は気象衛星から雲の観測に用いられています。超音波は電磁波ではありませんが、その波動情報は電磁波の場合と同じように活用されています。探査においては、物体中を電磁波が通過する際、物体が電磁波に影響を及ぼし電磁波に何かしらの情報を加

えます。私たちは、受信した電磁波を分析して、目的の情報を得ようとしています。ここで、分析とは、例えば物体を映像化する技術ですが、当然、コンピュータを利用することが多く、探査の技術もコンピュータと共に発展してきました。

ここで、通信・探査を手紙と比べてみましょう。手紙で情報を伝える場合、白紙を用意し、相手を読みやすいように、濃いペンで文字を書き、その紙を運びます。電磁波でも、通信の場合には、三角関数の \sin ような基本波を、情報に応じて強く変形し、途中の外乱で大きく崩れることなく遠方まで伝わると、その波形を受信、分析して情報を復元することができます。一方、手紙の場合でも、紙を運ぶのですから、通常は分析が難しいと思えますが、運び際の情報が付加されます。雨の中を運ぶと濡れて、書いてある文字がにじんだりします。受け取った手紙をよく分析すれば、運んだ際の情報を得ることができるかもしれません。電磁波による探査については、電磁波が伝わる途中にある物体に鋭敏に反応すれば、その反応を分析することにより、その物体の情報収集が可能となるわけです。

さて、私は電磁波の利用技術について研究を行っています。以下では、探査として回折トモグラフィの再構成法に関する研究、通信として衛星通信に及ぼす降雨と航空機の影響に関する研究について簡単に紹介します。それから、2002年度に行った基礎演習のテーマについて簡単に紹介します。

2. 回折トモグラフィの再構成法

不可視物体の検出、同定、認識、映像化に電磁波がもつ波動情報を活用することが、医学、地学、工学、天文学などの分野で注目されています。エックス線($10^{18} \sim 10^{20}$ Hz)を用いたコンピュータトモグラフィ(CT)は、既に開発され、実際に病院などで診断に使われています。直接見ることができない体の内部を、多方向からエックス線の物体透過データを基に、コンピュータで内部構造を再構成する装置です。直進性が強いエックス線に代わり、回折の影響が大きいマイクロ波($3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^{12}$ Hz)のような電磁波を用いて同様のことを行おうとするのが回

折トモグラフィです。マイクロ波などの利用を想定すれば、医療の場合にはエックス線に比べて安全に物体内部を観測でき、また、通信などで使われているデバイスを利用すれば安価でシステムを構築できると期待されています。そのため、将来的には乳がんの検診や地雷の探査などへの応用が考えられています。しかし、回折トモグラフィにおいて解像度がよく高精度な診断を行うためには、電磁波の回折現象を的確に捉え、それを活用する必要があります。

回折トモグラフィにおける再構成問題、即ち、物体を透過、反射、回折した電磁波(散乱波)の観測データから物体の内部を定量的に再構成する問題(逆散乱問題)の構成図を図1に示しています。この解法は、回折が無視できるエックス線の場合と異なり、極めて難しいものとなります。古くボルン近似による近似解法が提案されていますが、物体の不均質性が極めて弱い場合に限定されています。マイクロ波による回折トモグラフィの実現には、様々な物体に適用できる有効な逆散乱問題の解法が必要です。

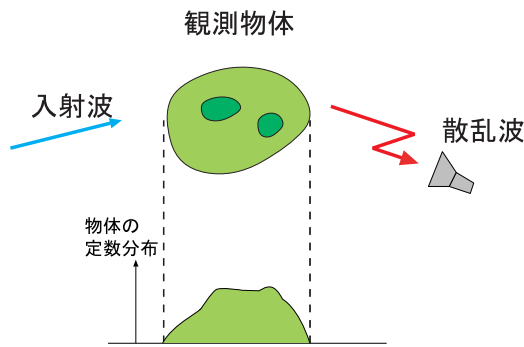


図1 回折トモグラフィにおける再構成問題の構成図

近年の研究では、与えられた物体から散乱波を求める順問題を繰り返し解きながら未知物体を推定する最適化手法が多用されています。つまり、観測データから物体を構成するというよりも、いろいろな物体を予想して、観測が予想される散乱波データを繰り返し計算し、それが、観測データにより近いものを求める(最適化する)といった手法です。そのため、順問題に対する高精度かつ高速な解法やさまざまな最適化法の研究も行われています。しかし、未知の物体を正しく予想することは難しく、これもまた、適用できる場合に限られます [Ishida 97]。

これらの手法は逆散乱問題そのものの性質を十分に把握し活用したものとはいえないが、散乱波から解像できる物体の性質についても十分に明確になっていません。そこで、異なった観点からこの逆散乱問題に取り組み、逆散乱問題の性質を考慮した実効ある方法の開発を目指しています。作用素(関数と関数を関係付けるもの)を用いたアプローチ [立居場 91] を参考にして、未知の物体を作用素に変換し、線形の作用素の関係式を導き、その作用素関係式に立脚した新しい断面像再構成法の研

究を開始しています。いくつかの再構成法を導出しその特性を検討しているところです [石田 00]。

3. 衛星通信における降雨および航空機の影響

衛星通信は、放送形態での広域同報性、通信コストの一定性、耐災害性、回線設計の柔軟性といった利点があり、これらの利点を活かし、一方では、地上通信網と融合した通信の実現が期待されています。しかし、衛星通信では、電波の伝搬経路の途中にある雨や航空機などの影響により、通信路の環境が時間的に変化します。そのために、図2に示すように、通信路の環境に変化があっても、安定した通信品質を確保しておくことが重要な課題となっています。現在の衛星通信では、C帯(6×10^9 Hzと 4×10^9 Hz)およびKu帯(14×10^9 Hzと 12×10^9 Hz)の電波が主に利用されていますが、近い将来、高速・大容量の衛星通信が必要となり、より高い周波数の使用が盛んになると予想されます。高い周波数は、降雨などの影響をより顕著に受ける性質があります。

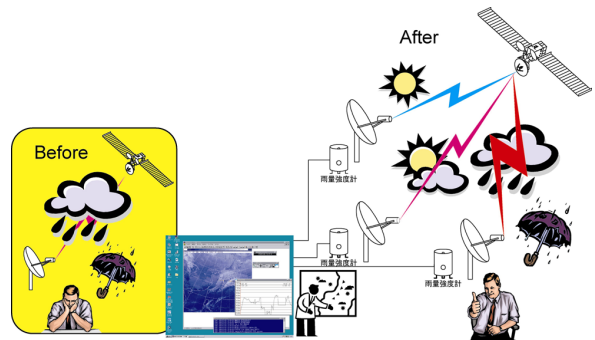


図2 衛星通信における降雨対策

そこで、降雨などの影響を回避する基礎データ収集として、九州内の地域毎の降雨時の伝搬特性収集の実験を行い、地域毎に衛星通信が受ける影響を調べています。九州内でも地域毎に降雨の様子がだいぶ異なることがわかってきました。また、異常気象が頻繁に起こっているように気象環境の変化が激しいことから、効率的な衛星通信システムの設計には、引き続き、地域毎に長期間にわたる降雨特性を調べていく必要があります。また、現在の衛星システムでは、雨の影響を予め見込んでシステムが設計されますが、天気予報のように事前に通信路の変化が予想できれば、必要な時にその影響を回避する通信方式が考えられるかもしれません。併せて、衛星回線品質の変化を気象データから予測する方法についても研究を行っています。

また、福岡市のように、空港に隣接した地域では、衛星通信の地球局前方を航空機が飛び交う状況が少なくありません(図3)。航空機が高速な衛星通信に影響を及ぼす恐れがあります。そこで、航空機が衛星回線に及ぼす影響を明らかにすると共に、飛行機の影響を受けにくい

回線設計法の開発を目指して研究を行っています。これまで、九州大学に設置した複数の地球局を用いた飛行機の影響の評価と、ビット誤りおよび通信途絶が起こる状況の詳細な調査してきました。その結果、空港に隣接した地域では、アンテナの設置位置と飛行機の通過の状況によっては、航空機による通信回線への影響が無視できないことが明らかになってきました。飛行分布のデータとともに、航路を考慮したサイトダイバーシチ受信による安定した通信路の実現について、検討を進めています。

以上の衛星通信の研究は、平成 8 年度～平成 12 年度にわたり行ったプロジェクト「衛星通信を利用した新しい情報通信ネットワーク構築技術の開発」[立居場 01]の一部として行ったものです。プロジェクト終了後も更なる発展を目指して研究を続けています。



図 3 九州大学箱崎キャンパスで、1999 年 12 月 13 日に観測された飛行経路

4. 情報科学基礎演習の紹介—簡単な画像処理—

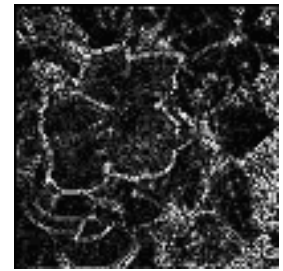
2 章で述べた回折トモグラフィの再構成法では、散乱された電磁波のデータより物体の情報を取り出すことが目的でした。データはコンピュータで取り扱えるように数値化され、コンピュータで処理されますが、手順は複雑です。

一方、デジタルカメラで撮影された画像は、簡単に数値化され、コンピュータ上で容易に処理することができます。例えば、Windows の bmp ファイルでは、画像が画素順にコンピュータに取り込まれます。また、小さな画像の数値データは、特別なプログラムを作らなくても、Excel のような表計算ソフトでもなんとか処理することが可能です。そこで、この演習では、画像を数値化し、演算を施して、画像を処理してみました。ある情報を処理して別のわかりやすい情報に変えるという処理は、回折トモグラフィの再構成法でも見られていたように、いろいろな状況で使われるものです。

輪郭線の抽出を試みた例を図 4 に示しています。情報科学部に平成 14 年度入学した 1 年生 12 名が同様にいくつかの画像処理を試してみました。



(処理前)



(処理後)

図 4 輪郭線の抽出 (真鍋美保さんの作品)

5. ま と め

私の取り組んでいる 2 つの研究テーマと、平成 14 年度に実施した情報科学基礎演習について紹介しました。

謝 辞

紹介した研究は、九州大学大学院システム情報科学研究院の立居場教授、藤崎助教授らのグループと共に、九州産業大学に着任する以前より、行っているものです。日頃よりお世話頂いており、深く感謝いたします。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Ishida 97] Ishida, K. and Tateiba, M.: Reconstruction method of diffraction tomography based on a boundary matching technique, *Proc. SPIE*, Vol. 3171, pp. 186-197 (1997).
- [立居場 91] 立居場, 工藤: T-作用素方程式に基づく回折トモグラフィ問題に対する一つのアプローチ, pp. C-29, 2-478 (1991).
- [石田 00] 石田, 立居場: T 作用素方程式に基づく逆散乱問題の一反復解法, 電気学会電磁界理論研究会, pp. EMT-00-70, pp. 31-36 (2000).
- [立居場 01] 立居場光生 (編): 日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業研究成果報告書「衛星通信を利用した新しい情報通信ネットワーク構築技術の開発」(2001).