



Title	電磁波の研究者が総合情報処理センターへ
Author(s)	柳生, 大輔
Citation	センターレポート, 20, pp.89-96; 2001
Issue Date	2001-11
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10069/25775">http://hdl.handle.net/10069/25775</a>
Right	

This document is downloaded at: 2018-11-14T22:01:42Z



2年次のとき、学部専門科目（必修）のプログラミング演習が総合情報処理センターの演習室で行われるため、初めて総合情報処理センターを利用することになりました。ちなみに担当教官は、工学部電気情報工学科の黒田教授（現在、生産科学研究科教授、総合情報処理センター長併任）と藤村助手（現在、工学部情報システム工学科講師）でした。

第1端末室にはMSP 端末 (FMR) が並び、そのとなりの前室（現在のオープン利用室）には磁気テープユニットやラインプリンタなどが設置してありました。各部屋では、大きな防犯カメラが監視していました（この防犯カメラは本年役目を終え撤去しました）。

演習は約60人が1クラスで行われましたが、利用する際に“60人全員が同時に端末を立ち上げると、サブコン（端末制御用コンピュータ）がコケる可能性があるので、順番に端末を立ち上げましょう”と言われ、“（パソコンに比べて）大型のコンピュータというものは、何てデリケートなものなのだろう”と感じたことを覚えています。

なお、総合情報処理センター（前身の電子計算機室、情報処理センター時代を含む）が設置、運用してきた計算機の一部はオープン利用室に展示しております。

#### 1.4 学部生時代後半：平成4年～平成5年

4年次の卒論着手の時期になり、私は電気情報工学科情報通信学講座（現在の電気電子工学科通信工学講座、通称電磁波研）への配属を希望し、希望通り配属されることになりました。私はこれ以降、電磁波工学の研究を行っていくわけですが、研究内容については、後ほどの研究紹介の項で説明します。

当時の電気情報工学科には、独自のWS 計算機システムがありました（配属された当時から修士課程修了までは、ほとんどのマシンがモノクロディスプレイシステムでした）。

当時のWS はパソコンより処理能力が高く（現在のWS はパソコンより処理能力が低いと言われることがあります）、パソコンがWS に勝っているのは主にCPUの単体処理速度だけです）、ネットワークを経由したマルチユーザ利用が行えること、ハングアップしないことなどに感動したことを覚えています。

学科WS のOS はSun Microsystems 社のSunOS 4.1.4でしたが、自宅でもUNIX 互換環境を試してみたいと思い、大手パソコン通信のNIFTY-Serve から2400bps のアナログモデム（ちなみに、学部生時代前半のころは、300bps のモデムを使っており、特にログビューアを使わなくても通信内容が目で見えました）を用いて、ほぼ2ヶ月かけて、386BSD(98) のディストリビューションをダウンロードしました（1ヶ月後に届いたNTT の請求書には泣きました）。当時、インターネットは一部の研究機関同士の接続実験が行われている段階であり、一般人が家庭から接続できる情報ネットワークは、パソコン通信（パソコン通信会社のホストコンピュータに電話回線を用いて接続する）でした。

当初の電気情報工学科の学科ネットワークは10BASE5、すなわちイエローケーブル（同軸ケーブル）を用いたイーサネット構成されており、WS を用いて、学科ネットワークと講座ネットワークがルーティングされていました。講座内は10BASE-T のダムハブで接続されており、パソコンについては、DOS（現在の学生諸君は知らないかも知れません）にTCP/IP スタックを組み合わせてネットワークに接続していました。

隣の研究室には8インチフロッピーディスクドライブ（現在の学生諸君は5インチフロッピーディスクも知らないかもしれませんが、これらのメディアも標本としてオープン利用室に展示してあります）を接続したPC-9801 初代がありました。総合情報処理センターの計算機システムが、VP1200 システムにリプレイスされたのはこのころです。

## 1.5 修士課程時代：平成 6 年～平成 7 年

修士課程のころは、インターネットの普及期でした。ようやく一般人が家庭でもインターネットに接続（とはいっても福岡まで電話をかけないといけない時代）できるようになり、WWW が普及し始めていました（インターネット＝モザイクな時代）。当時私は某 SI 会社のアルバイトをしており、NTT 長崎支店マルチメディアプラザ（金屋ビル）で行われたインターネットフェアで、当時総合情報処理センター助手の鶴さん（現、通信・放送機構）、花田さん（現、九州大学附属病院）と仕事をさせていただきました。

このころになると、Windows95 を搭載したパソコンが研究室でも購入され、少くとも、大学内や大学間では、電子メールも利用され始めていました。当時、私は FreeBSD 上で mnews（CUI のメール・ニュースリーダ）を使っていました。卒論・修論の提出時期になると、学科内のトラフィックが増加し（10BASE5 の性質上）ネットワークが重い、と感じたこともありました。

このころは対学外接続回線が細く（本学だけのことでありませんでしたが）“anonymous ftp は夜中に行いましょう”な時代でした。

## 1.6 博士課程時代：平成 8 年～なぜか平成 11 年

このころが劇的にネットワークやコンピュータが進化した時代です。

私が博士課程に進学した当初（平成 8 年ごろ）には長崎大学の基幹ネットワークとして ATM 方式のネットワークが整備され、計算機システムは AP3000 システムにリプレイスされました。また、学科内の計算機ネットワークシステムも ATM 方式＋100BASE-TX で整備されました。講座でも当時それなりに高価だった、100BASE-TX/10BASE-T スイッチング HUB を購入し、基幹部分を整備しました。

家庭でもインターネットに接続できるようになり（電話・通信料金は、まだ従量制が大半でした）、古き良き時代のインターネットでした。情報発信や情報享受の方法が模索され、コンピュータウイルスを始めとするセキュリティ対策をそれほど気にすることもなく、自由な情報利用ができました。私が所属した講座でも、平成 8 年には WWW サーバを立ち上げました。

いつのころからか、“猫も杓子もインターネット”時代となり、WS よりもパソコンの方が処理速度が速いといわれ（再度書きますが、パソコンが WS に勝っているのは主に CPU の単体処理速度だけです）、デジタル情報の著作権の問題、情報発信の責任やインターネット上のセキュリティが重要視されるようになってきました。また、WWW と電子メールだけ（と思っている方もいらっしゃるかもしれませんが）ではない、インターネットの利用（映像配信やファイル交換など）も始まりました。

## 1.7 総合情報処理センター勤務：平成 12 年～

平成 12 年度～平成 13 年度は総合情報処理センターにとっては当たり年であり、計算機システムのリプレイスや補正予算による高速キャンパス情報ネットワークシステムの構築など、大変忙しい年の始まりでした。大きな出来事だけでも、計算機システムの技術審査に始まり、計算機補助システムの仕様策定・技術審査、ファイアウォールシステムの仕様策定・技術審査、DoS 攻撃対策、高速キャンパス情報ネットワークの仕様策定・技術審査、会計検査対応、その他システムの仕様策定・技術審査、計算機システム・補助システム検収、本省への予算要求説明、その他システム検収、キャンパス間回線の調達、CodeRed・Nimda ワーム対応、高速キャンパス情報ネットワークシステム検収、その他、とにかく数えればきりがなほど仕事があります。

私は平成 12 年 5 月 16 日付で、総合情報処理センター助手に採用されました。日々、前任の鶴さんを始めとする方々が尽力して構築されたネットワークやサーバシステム、セキュリティレベル等を維持、改善するため奮闘しています。今後とも御指導御鞭撻の程、よろしくお願い致します。

## 2 研究内容紹介

### 2.1 本業：電磁波工学

私は、学部4年で研究室に配属されて以来、主に、移動体通信用小型アンテナの解析方法の研究に従事してきました。この項ではアンテナ一般に関すること、その解析手法について説明します。ただし、必ずしも電磁波の専門家のみを対象とした説明ではなく、一般の方を対象とした説明であることから、厳密さを欠いていることを御理解下さい。

#### 2.1.1 アンテナとは

通信の歴史は有線電信に始まりました。通信の需要は増すばかりですが、変調技術、伝送技術、交換技術の進歩により、人はその要求を満たしてきました。通信を有線で行う限り、伝送路を確保するためには配線を行う必要があります。ついに通信の需要は、現実的に配線が不可能な場所での通信や場所を特定しない通信へと進んできました。この要求を満たすためには、配線を必要としない、無線を利用する必要があります。ここで、有線と無線について、特徴を挙げてみます。

##### 有線

- 通信相手まで配線する必要がある。
- ※大容量の伝送容量を確保できる
- 通信形態が1対多の場合に、個別に配線を必要とする。
- 配線が行われていれば、その伝送路の伝送容量はほぼ保証される。
- 場所を移動して通信を行う場合には、配線を変更する必要がある。

##### 無線

- 通信相手まで配線する必要がない。
- 通信形態が1対多の場合でも、個別に配線を必要としない。
- 場所によっては、通信が不可能な場合がある。
- 場所を移動して通信を行う場合でも、伝送路を変更する必要がない。
- ※通信が傍受される、または混信するおそれがある。

※については伝送路により、必ずしもそれぞれの方式の特徴というわけではありません。

無線通信においては信号の伝送体として、音・超音波（音の一種）・電磁波・光（電磁波の一種）が用いられます。多くの場合無線通信では電磁波が用いられますが、無秩序に利用されると互いの通信に影響を及ぼすため、日本国では電波法により、300万メガヘルツ以下の電磁波を電波と呼び、その利用が規制されています。現在では、ラジオ・地上波テレビ・衛星放送・トランシーバ・携帯電話・カーナビ・無線LANなど、ありとあらゆるところに電磁波による無線通信が利用されています。電磁波を放射（送受）するための機器をアンテナと呼び、すべての無線通信端末にはアンテナが接続されています。

電磁波は周波数により伝播特性が異なるため、それぞれの無線通信では目的に応じた周波数が利用されています。例えば、AMラジオ（約500～1600kHz）のように周波数が低いものは障害物があっても回折により届きますし、衛星放送（約10GHz）のように周波数が高いものは伝搬特性が光に近くなり、障害物があると届きません。

### 2.1.2 アンテナの特性

アンテナといえば、一般の方はおそらく、魚の骨の形をした地上波テレビのアンテナ、おわんの形をした衛星放送のアンテナ、会話する時に伸ばす携帯電話のアンテナ等を想像されると思います。それぞれの形状や大きさにはもちろん理由があります。

地上波テレビ受信用アンテナを例にとりますと、長崎市市街では地上波テレビは稲佐山山頂から送信されていますが、受信アンテナには、送信アンテナから直接届く電磁波（直接波）と山岳・大地・建物外壁等で反射した電磁波（間接波）が入ってきます。この場合、直接波と間接波では電磁波が伝播してくる距離（＝到達時間）が異なるため、画像が二重に見える現象（ゴースト）が発生します。この現象を防止するために、特定の方向の利得（感度）を上げるため、目的方向に魚の骨（導波器）を設置した八木アンテナが、地上波テレビ受信用アンテナとして用いられます。長崎市市街では、NHK総合・教育がVHF-L帯（1～3ch＝90～108MHz）、NBCがVHF-H帯（4～12ch＝170～222MHz）を用いており、NIB・NCC・KTNはUHF帯（13～62ch＝470～770MHz）を用いています。したがって、場合によってはVHF帯・UHF帯用の2つのアンテナが必要になることがあります。一般に、周波数が低いほど大きなアンテナが必要です。

また、衛星放送受信用アンテナの場合には、高度約36,000kmの静止（地球の自転と同期して地球を周回する）衛星から送信される信号を安定して受信するために、指向性の強い（特定方向の利得が大きい）アンテナ、一般的にはパラボラアンテナが用いられます。ただし、日本では降雪があるため、雪が積もらないようにパラボラの一部を（できるだけ縦方向に設置できるように）切りとった、オフセット型パラボラアンテナが用いられます。パラボラアンテナは放射パターン（方向による利得の特性）がかなり鋭く、電力半値角は1度以下です。したがって台風などによりアンテナの方向がずれた場合には、衛星放送は全く受信できなくなります。

携帯電話用アンテナの場合には、端末側から見た基地局の方向が一定せず、また、通話時は利得を確保する必要がありますが、非通話時は携帯性が重視されることから、無指向性で伸縮する線状アンテナが用いられます。ただし、携帯電話は通常、人体頭部（ほぼ導体）の近傍で用いられることから、特性の劣化（放射パターンの変化）を避けるため、線状アンテナの他に筐体内部にチップアンテナ等を組み込み、ダイバシティ（安定して通信できるアンテナを選択する）機能を搭載している場合もあります。

カーナビ用アンテナの場合には、高度約20,000kmを約12時間で周回する衛星からの信号を受信する必要があります。端末用アンテナから見た衛星の方向が時々刻々と変化し、また複数の衛星からの信号を同時に受信する必要があるため、広い放射パターンを有する、誘電率の高い基板を用いたマイクロストリップアンテナ（誘電体基板の上下に導体薄膜を積層したアンテナ）が用いられます。

カーナビ(GPS)の場合、同時に3つの衛星から信号が受信できれば2次元（水平面内の）の測位が、同時に4つの衛星から信号が受信できれば3次元（高度も含めた）測位が行えます。GPS衛星は、非常に精度の高い原子時計を搭載しており、時刻の供給源としても用いられます。

総合情報処理センターでも、GPS衛星からの時刻信号を受信し、ネットワーク上で正確な時刻を提供するntpサービスを提供しています。

このように無線通信においては、通信の目的や端末の大きさ、また、製造コストや生産性に応じて、さまざまな種類のアンテナが用いられます。

### 2.1.3 アンテナの解析

一昔前までは、これらのアンテナを設計する際、実験用アンテナを製作し測定、構造を変えて再度同じ実験、というように、あくまで実験によりその特性が求められてきました。したがって、実験用アンテナを製作するたびにコストが発生します。必然的に、アンテナの理論的な解析が求められるようになりました。放射パターン、周波数特性、インピーダンス特性等が数値として求めれば、実際にアンテナを製作しなくても、特性の評価を行うことができます。また、逆に望む特性をもつアンテナを設計することもできます。

それでは、実際に解析手法について解説していきます。電界を  $\mathbf{E}$ 、磁界を  $\mathbf{H}$  とすると、均質等方性（場所によって性質が変化しない）で線形（重ね合わせの理が成立する）な媒質中では、次の Maxwell の方程式が成立します。

$$\nabla \times \mathbf{E} + j\omega\mu\mathbf{H} = -\mathbf{M} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} - (j\omega\epsilon + \sigma)\mathbf{E} = \mathbf{J} \quad (2)$$

ただし、 $\mathbf{J}$  は電流源、 $\mathbf{M}$  は仮想的な磁流源です。また、電磁界の源は時間に関して角周波数  $\omega$  で変化するものとし、時間係数を  $\exp(j\omega t)$  とします。また、 $\epsilon, \mu, \sigma$  はそれぞれ媒質の誘電率、透磁率及び導電率です。すべての電磁界は、Maxwell の方程式を満足します。アンテナの問題に限らず、電磁波の問題では、すべてこの Maxwell の方程式を解くことになります。電磁波の問題の解法については、大きく分けて、時間領域・周波数領域の2つの解法に分けられます。

時間領域の解法で広く利用されているのが FD-TD 法です。FD-TD 法は Maxwell の方程式をデカルト座標系と時間で差分化し、時間ごとの電磁界を求めていく方法です。有限の領域を編目状に分割し、ある時間前の電磁界からある時間後の電磁界を求めます。

この方法は解法が単純であるため計算機での数値計算に向いていますが、解析領域が有限であるため領域端を考慮する必要があります。また、物体の形状が円柱などデカルト座標系で表現しにくい場合、解析領域の大きさに対して物体が小さい場合、媒質の性質が大きく変化する場合などについては分割数を多くする必要があります。また、問題を効率良くするためには、分割数やメッシュ（編目状に分割した領域）の幅について、問題に応じて変化させる必要があります。また、差分化する手法であるため、ある程度の誤差は残ります。周波数特性などを求める場合は、時間的な電磁界の変化をフーリエ変換することで求めます。この手法は一般的に、膨大な記憶（メモリ）空間を必要とします。

周波数領域の解法では、一般に電磁界を積分形で記述し、境界条件から解を求めます。観測点を外側から物体表面に近付けたとき、電磁界は次のように表されます。

$$\mathbf{E} = \frac{1}{2\pi} \int_S \left\{ -j\omega\mu\mathbf{J}\psi - \mathbf{M} \times \nabla'\psi - \frac{1}{j\omega\epsilon} \left( \nabla^{(2)'} \cdot \mathbf{J} \right) \nabla'\psi \right\} dS' \quad (3)$$

$$\mathbf{H} = \frac{1}{2\pi} \int_S \left\{ -j\omega\epsilon\mathbf{M}\psi + \mathbf{J} \times \nabla'\psi - \frac{1}{j\omega\mu} \left( \nabla^{(2)'} \cdot \mathbf{M} \right) \nabla'\psi \right\} dS' \quad (4)$$

ここで、 $S$  は物体表面、 $\nabla^{(2)}$  は、面発散、 $'$  は波源に関する量を表します。 $\epsilon, \mu$  は誘電率、透磁率であり、物体が自由空間中に置かれている場合は、 $\epsilon = \epsilon_0, \mu = \mu_0$  となります。 $\psi$  はグリーン関数であり、

$$\psi = \frac{\exp(-jkr)}{r} \quad (5)$$

で表されます。ここで、 $k$  は波動定数、 $r$  は波源と観測点の距離です。式を御覧になるとおわかりいただけるかと思いますが、グリーン関数は  $r = 0$  で発散します。実際には、電磁界の積分表現は主値積分を含んでいますので、電磁界が発散することはありませんが、このことが、電磁波の問題の中でもア

ンテナの問題を難しくしています。数値計算を行う場合において、これらの積分をいかに正確に行うかが解の精度に大きく影響します。これらの積分の中でも、解析的に解けるものは理論的に誤差なく積分値が得られますが、そうでないものは数値積分を行う必要があります。したがって、数値計算においては、その数値積分の手法や被積分関数のふるまいを、十分に分析する（計算機が具体的にどのように計算しているかを含めて検討する）ことが必要です。

さて、物体の境界における境界条件

$$\mathbf{n} \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \quad (6)$$

$$\mathbf{E} \times \mathbf{n} = \mathbf{M} \quad (7)$$

に、先ほどの電磁界の積分表現を代入すると、積分方程式が得られます。このように電磁界の積分表現を用いて、問題を解くことを積分方程式法と呼びます。問題はこの時点では正確であり、理論的な誤差はありません。

積分方程式を解く場合には、電流  $\mathbf{J}$  や磁流  $\mathbf{M}$  を、三角関数、ベッセル関数や多項式などを含む基底関数に未知係数を掛けたものの和で仮定します。実際に数値計算を行う場合には、項数が無限というわけにはいきませんので、ある次数までの近似となります（当然、この最大次数は数値計算の精度に影響を及ぼします）。方程式はこの時点で一次方程式となっています。

積分方程式に試験関数（重み関数）を掛けて積分し、解を求める手法をモーメント法と呼びます。この中でも、試験関数と基底関数が同じ場合を Galerkin 法、試験関数がデルタ関数である場合をポイントマッチング法と呼びます。未知係数を求めるためには、未知係数と同じ数の試験関数が必要です。物体表面は 2 次元ですから、最終的な積分は 4 重積分となります。こうして得られた連立一次方程式を解くと、未知係数が求まり、電流や磁流を求めることが出来ます。この電流や磁流を用いて、放射パターンや入力インピーダンスを計算します。周波数特性を求める場合には、望む周波数ごとに数値計算を行います。

## 2.2 キャンパスネットワークの可用性の向上に関する研究

この項では、総合情報処理センターの提供しているサービスやキャンパスネットワーク (NUNet) の可用性を向上し、ネットワークを御利用いただいている方々の利便性を向上させるために、現在取り組んでいる研究を紹介します。

### 2.2.1 ネットワークサービスの可用性向上

現在、情報ネットワークは電話、FAX と並ぶもしくはそれ以上の情報通信インフラとして利用されています。当然、ネットワークは 24 時間 365 日稼働させる必要があります。ネットワークはネットワーク機器と、DNS などの基本ネットワークサービスで構成されています。

セキュリティ対策、サービス向上のため、サーバソフトウェアのバージョンアップ、OS のパッチ適用等を行う必要があります。これらのメンテナンスは、どうしてもサービス停止が伴うため、利用者の方に対する影響が少いよう、深夜・土日に行うこと（あくまで勤務時間外）も多々あります。また、文教団地停電時の坂本団地・片淵地区と学外の通信や、キャンパス間回線障害時、SINET 不通時の通信継続性も重要です。

そこで、ネットワークに接続されているコンピュータとして Windows PC や Macintosh が多いことを考慮した上で、障害時に利用者の方々が設定を変更しなくてもサービスが継続して利用でき、通信障害の対応やサーバソフトウェアのメンテナンスを日中（勤務時間内）に行うことができるよう、各基本サービスプロトコルの特性を考慮したレイヤ 4 レベル以上の多重化システムについて研究を行っています。



### 3 雑感

#### 3.1 ソフトウェア・ファームウェアのバージョンアップは？

皆さんがお使いのコンピュータ等の機器は、ハードウェアとそれを制御するソフトウェアから構成されています。所詮、これらは人間が開発・製造したものであり、バグ（設計上の不具合）が含まれていることがあります。ハードウェアのバグの場合、一般の人間が簡単に手を出せるものではありません。しかしソフトウェア・ファームウェアの場合には、製造メーカの WWW サーバなどから、アップデートを入手することができる場合もあります。もちろん正常に動作している（と思われる）機器に手を入れなくても、と思われるかもしれませんが。アップデートにより、新たな問題が発生する可能性は否定できませんので、それも1つの考え方です。

しかし、以下のような症状を経験されたことはありませんか？例えば、プリンタに印刷した場合一部正常に印刷されない、特定のソフトウェアを組み合わせると作業していたらハングアップした、他の人のコンピュータではウイルスを検知できたのに自分のコンピュータでは検知できなかった、などです。また、あきらかに不具合が確認できる場合と、潜在的にバグが隠れておりチェックしないと確認できない場合があります。こういう場合は、ドライバ・パッチ等のアップデートを適用することで、修正されることがあります。アップデートすることにより、新機能が使えるようになることもあります。

一般のコンピュータの場合は OS の上でアプリケーションが動作します。したがって、まず OS 自体のアップデートがあります。なぜか Microsoft 社の OS はバグ（Microsoft 社は、仕様である、と発表している場合もあります）が多いようですので、必ずアップデートしておきましょう。もちろん、Macintosh であってもバグがないわけではありませんので、Apple Computer 社からアップデートを取得し、適用しましょう。また、UNIX 系においても、Recommend Patch 等のアップデートを適用することが必要です。アプリケーションやドライバのアップデートについても、製造メーカから取得できます。

Windows 系 OS の場合、“スタート”をクリックすると、一番上に Windows Update という項目があると思います。Windows Update を実行すると、OS や Microsoft 社のアプリケーションのアップデートを、比較的簡単に行えます。

#### 3.2 ルータやファイアウォールソフトを使ってみませんか？

家庭でもパソコン等をインターネットに接続されている方は多いと思います。一般に、パソコン等をインターネットにモデム（アナログ・ケーブル）・TA 等で直接接続した時は、世界中からそのパソコンが見える（攻撃できる）ことになります。

そこで、ルータを使ってみませんか？ IP マスカレード等のアドレス変換を行うと、原理上、外部からの攻撃を防御できます（ブラウザクラッシャーやウイルスは防御できません）。ブロードバンドルータは1万円から購入できます。また、ファイアウォールソフト（フリーウェアもあります）を用いると、通常のメールアプリケーション等はそのまま利用でき、（ワームなどにより仕込まれた）意図しないソフトウェアによる通信は防御できます。

#### 3.3 建物を設計する時には

皆さんがお使いになっている情報ネットワークは、物理的な配線とネットワーク機器により構成されています。ネットワーク機器は精密機器であり、温度管理を必要とします（そのために内蔵ファンがあります）。また、実際に各部屋でネットワークを利用される場合は、ネットワーク機器から直接、もしくは、パッチパネルまで配線する必要があります。

建物を新築・改修される場合には、これらの機器を収容できる（温度管理の整った）機器室もしくは機器スペースを（消防法に抵触しないよう）確保いただきますようお願いいたします。