

序章

無線通信の歴史と電波の利用状況

無線通信システムは、簡単に表すと図 0.1 に示すような構成となっており、アンテナが必要不可欠である。音声などの信号を無線で遠方に送る場合には、信号を高周波の搬送波に乗せる変調という操作が必要である。変調された信号を増幅し、アンテナから空間に電波として送り出す。電波に乗せられた信号を、アンテナで受信し、増幅し、搬送波成分を取り除く復調という操作を行い、元の信号を得ることができる。

本章では、約 200 年間の無線通信に関する主な出来事を示す。図 0.1 に示すように、無線通信では、アンテナだけでなく、信号、搬送波の発生、変調、増幅、復調などの回路の発展が不可欠である。これらのことを考えながら、短期間で、いかに無線通信とその周辺技術が発展してきたかを理解していただきたい。

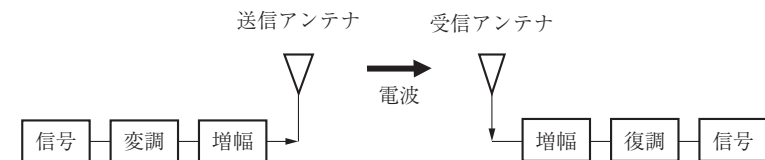


図 0.1 無線通信システム

0.1 無線通信に関連した出来事

表 0.1、表 0.2 に、西暦 1800 年から現在までの無線通信に関連した主な出来事を示す。ここで示してない重要な発明、発見も多々あると思われるが、約

200年間の変化の速さに驚かれることと思う。無線通信の発展にとって重要であったのは、1800年のボルタ（イタリア）による電池の発明である。それ以後、電池を電源として用い、電流を流す実験が行えるようになり、実験の再現が可能となった。科学に興味を持つ実験家が異業種から参入し、活躍した。しかし、当時の電池は定電圧源には程遠く、内部抵抗が大きく、出力電圧を一定に保つことが難しかった。エルステッド（デンマーク）による電流の磁気作用の発見以後、電流、電圧、磁界に関する法則がアンペール（フランス）、ファラデー（英国）、オーム（ドイツ）により発見された。これらの法則の発見が、マクスウェル（英国）によるマクスウェル方程式導出の基礎となった。

米国では、1842年に、ヘンリーによる電波の実験が行われ、1885年にはエジソンにより陸上無線電信が発明された。米国では、理論より実験が先行していた。一方、英国では、1864年にマクスウェルがマクスウェルの方程式を導き、電波の存在を予言した。これに基づき、ドイツでは、1886年にヘルツにより、電波の存在が確かめられた。ヘンリー、エジソン、ヘルツによる実験は、全く独立に行われた。当時は、現在のように情報交換は活発でなく、ヨーロッパと米国の科学者間の交流、情報交換はほとんどなかったようである。ヨーロッパでは、英国を中心として、フランス、ドイツなどの間で科学に関する情報交換は行われていた。

1890年代に入ると、テスラ（米国）、ポポフ（ロシア）、マルコーニ（イタリア）、ボース（インド）達が無線通信の実験を行った。送信アンテナと受信アンテナを工夫したマルコーニのグループが1901年に大西洋横断無線電信に成功した。マルコーニは遠距離無線通信の重要性に着目し、ヨーロッパと米国間の無線通信の商業化を初めて実現した。エジソン、マルコーニ以外は、商業化には余り興味をもたず、主に、電波の新しい現象に興味を持っていたようである。

図0.2に無線通信に関する初期の貢献者と所属国を示す。ヨーロッパを中心に無線通信技術が発展した様子が分かる（表0.1を参照）。

その後、現在の無線通信発展のもとになるデバイスがいくつか発明された。



図0.2 無線通信に関する初期の貢献者と所属国

人工水晶、信号の増幅を可能とする3極真空管、マイクロ波のエネルギーを発生させるマグネトロン、クライストロン、電子計算機、電子機器の小型化を可能とするトランジスタなどである。これらの改良が、今日の無線通信の発展につながっている。

放送に関しては、ラジオ放送（1920年）、白黒TV放送（1937年）、カラーTV放送（1954年）へと発展してきた。わが国では、1925年にラジオ放送、1953年に白黒TV放送、1960年にカラーTV放送が始まった。第2次世界大戦のため、わが国の白黒TV放送はイギリスより16年遅れてスタートした。さらに、静止衛星を用いたアナログTV放送（1988年）、デジタルTV放送（2000年）、2003年には地上デジタル放送が始まった。2006年には、携帯電話によるワンセグTV受信も可能となった。2011年7月には、地上アナログ放送を終了して、完全に、地上デジタル放送に移行する予定である。

陸上移動通信に関しては、1964年に東海道新幹線から一般の加入者電話に

表 0.1 無線通信に関連した主な出来事 (1800~1940 年まで)

年(西暦)	出 来 事
1800	電池 (ボルタ (イタリア))
1820	電流による磁気作用の発見 (エルステッド (デンマーク))、アンペールの法則 (アンペール (フランス))
1821	発電機、モーターの原理となる電磁誘導の法則 (ファラデー (英国))
1826	オームの法則 (オーム (ドイツ))
1837	モールス符号 (モールス (米国))
1842	電波の実験 (ヘンリー (米国))
1844	電信 (有線) (米国)
1864	マクスウェル方程式 (マクスウェル (英国))
1868 明治元年	
1876	有線電話 (米国)
1885	陸上無線電信 (エジソン (米国))
1886	ヨーロッパにおける最初の電波の実験 (ヘルツ (ドイツ))
1891~1900	無線通信実験 (ボース (インド)、テスラ (米国)、ポポフ (ロシア)、マルコーニ (イタリア))
1900	電波に音声を乗せる実験 (フェッセンデン (カナダ))
1901	大西洋横断無線電信 (マルコーニ (イタリア))
1904 日露戦争	
1905	人工水晶 (スピージア (イタリア))
1906	3 極真空管 (デ・フォレスト (米国))
1912	英国の旅客船タイタニック号の沈没 (最初の SOS 信号の発信)
1914~1918 第 1 次 世界 大 戦	
1920	ラジオ放送 (米国)
1925	ラジオ放送 (日本)
1926	八木・宇田アンテナ (八木、宇田)、ブラウン管式テレビ実験 (高柳)
1927	マイクロ波用マグネトロン (岡部)
1934	日米間無線電話
1935	レーダー (イギリス)
1937	クライストロン (バリアン (米国))、白黒テレビ放送 (イギリス)
1939~1945 第 2 次 世界 大 戦	

つながるようになったが、回線数はわずかであったため、必要なきにつながらない場合が多かった。1979年に始まったアナログ方式の携帯電話では、携帯機が重く、大きく、電池の寿命が短かったため、はじめは自動車電話として

表 0.2 無線通信に関連した主な出来事 (1945 年~)

年(西暦)	出 来 事
1946	電子計算機 (米国)
1948	トランジスタ (米国)
1953	白黒 TV 放送 (日本)
1954	カラー TV 放送 (米国)
1957	人工衛星 (ソ連)
1960	カラー TV 放送 (日本)
1963	移動衛星を用いた日米間 TV 中継 (約 20 分)
1964	東海道新幹線
1967	静止衛星を用いた国際電話
1968	デジタル無線通信 (2 GHz、16 MBit/秒) (日本)
1969	インターネット (米国)
1970	人工衛星 (日本)
1977	土星探査 (ボイジャー) (米国)
1979	自動車電話 (第 1 世代 (アナログ)) (日本)
1980	GPS システム (移動衛星) (米国)
1982	船舶電話 (静止衛星: 4 個、高度 36000 km)、インマルサット)
1988	アナログ衛星放送 (静止衛星) (日本)
1993	デジタル携帯電話 (第 2 世代) (日本)、無線 LAN
1996	衛星携帯電話 (静止衛星、日本国内専用) (日本)
1997	探査機が火星に着陸 (米国)
1998	衛星携帯電話「イリジウム」(米国): 全世界で使用可。南北の移動衛星 (66 個、高度 780 km)
1999	衛星携帯電話「グローバルスター」(米国): 南極、北極、アフリカ、東南アジア以外で使用。移動衛星 (48 個、高度 1400 km)。
2000	デジタル衛星放送 (静止衛星) (日本) 衛星携帯電話「スラーヤ」(アラブ首長国連邦): ヨーロッパ、北アフリカ、アジア、中近東で使用。静止衛星 (3 個)。
2001	第 3 世代携帯電話 (日本) [2 GHz]
2003	地上デジタル放送 (日本)
2005	衛星携帯電話「インマルサット」: 南極、北極を除く地域で使用。静止衛星 (4 個)。
2006	ワンセグ放送 (日本)、WiMAX (韓国)

普及した。その後、携帯機の小型、軽量化が進み、携帯電話としての使用が徐々に進んでいった。1993年に、第2世代のデジタル方式が始まると共に、携帯端末の販売が可能になり、携帯機の価格が下がり、爆発的に普及した。

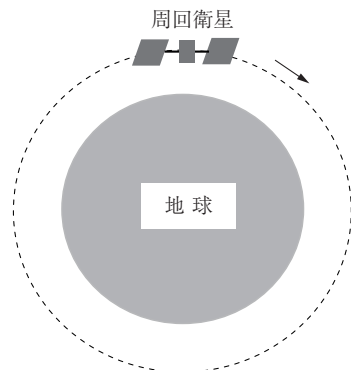


図 0.3 携帯電話用周回衛星

2001年には、第2世代よりも伝送速度の速い第3世代のサービスが始まった。さらに伝送速度の速い第3.9世代のサービスも2010年末に始まる予定である。1979年には携帯電話端末の重さは7kg、容積は6600cm³であったものが、30年後には、重さ150g、体積150cm³程度に小型化された。これは、ひとえに、大規模集積回路と電池、水晶、電子部品などの小形化の結果である。

衛星携帯電話は、陸上携帯電話が通じない離島、山間部をカバーする目的で、日本国内用として1996年にサービスが始まった。図0.3に示すような携帯電話用衛星は、1998年にイリジウム、1999年にグローバルスター、静止衛星を用いて、2000年にスラーヤ、2005年にインマルサットのサービスが始まった。各社のサービス地域は異なるが、陸上携帯電話が利用できないアフリカの砂漠地帯、ヒマラヤの山岳地帯などで使用できるので便利である。最近では、衛星携帯端末は小形になり、持ち運びが楽になってきた。

0.2 電波の利用状況

表0.3に示すように、3[kHz]～300[GHz]までの電磁波を電波といい、その周波数は、8つの周波数帯（バンド）に分けられている。

各バンドでどのような目的で電波が使われているかを表0.4に示す。年代と共に、使用周波数帯は高くなり、音声だけでなく、画像も送れるようになって

表 0.3 バンド（周波数帯）、周波数、波長

バンド	周波数	波長
VLF	3 kHz～30 kHz	100 km～10 km
LF	30 kHz～300 kHz	10 km～1 km
MF	300 kHz～3 MHz	1 km～100 m
HF	3 MHz～30 MHz	100 m～10 m
VHF	30 MHz～300 MHz	10 m～1 m
UHF	300 MHz～3 GHz	1 m～10 cm
SHF	3 GHz～30 GHz	10 cm～1 cm
EHF	30 GHz～300 GHz	1 cm～1 mm

(注) k=10³、M=10⁶=1000 k、G=10⁹=1000 M

表 0.4 バンドの使用状況

VLF	海中の潜水艦との通信
LF	標準電波、電子タグ
MF	AMラジオ放送、無線航法（ロラン）、アマチュア無線
HF	海外放送、船舶通信、アマチュア無線、電子タグ
VHF	アナログTV放送（2011年7月まで）、FMラジオ放送、消防・救急無線
UHF	デジタルTV放送、無線LAN、電子レンジ、陸上携帯電話、衛星携帯電話GPS、航空機用2次レーダー、コードレス電話、電子タグ
SHF	船舶レーダー、航空機監視レーダー、気象レーダー、無線LAN、衛星TV
EHF	自動車衝突防止レーダー、レーダー

きた。AMラジオは狭い帯域でよいので、MFが使われている。FMラジオは、AMラジオに比べて広い帯域を必要とするため、VHFが使われる。その分、AMラジオに比べて、音質がよい。TVなどの動画の伝送には、VHF以上の周波数が必要である。現在、最も広く使われているのは、VHF、UHFである。周波数が高くなるほど、送る情報量を多くできるので、大量のデータを送る場合には、UHF以上の周波数が使われる。地上TV放送ではVHF、UHF、携帯電話ではUHFが使われている。

周波数が高くなるほど、電波は光の性質に近づくため、電波は伝わる途中の