

《小特集》

情報通信の誕生史と今後の方向

篠田 庄司*・仙石 正和**

ABSTRACT Immediately after the invention of Volta battery, S.T. von Soemmerring observed that electric current through an acid solution caused bubbles to appear. He invented a telegraph system using this principle in 1809, which used 26 parallel wires to transmit letters of the alphabet a distance of up to two miles. In this article, we survey an early history of wired and wireless communication technologies, and state a perspective of mobile communication technology in the future.

1. ま え が き

マルチメディアとは、これまで見方・利用形態によって様々な分類されていたネットワーク（通信網・放送網（CATV網も含め）、固定網・移動網、基幹網・アクセス網、公衆網・専用網、長距離（国際）網・近距離（国内）網、衛星網・地上網、回線交換網・パケット交換網など）をすべて融合させ、「音声、画像、データなどの種々の表現メディアを、デジタル化により統合情報として一体的に扱い、対話的（回線）接続や知的（IP）接続を利用して必要な情報を、いつでも、どこでも、だれとでも、必要な表現形式で通信ネットワークを介して送受信することを可能とするコミュニケーション手段」を意味する。

21世紀は、マルチメディアを提供する移動情報通信ネットワークが、人々が社会生活を営む上での必要不可欠な社会基盤となる。これまで不可能であった大規模の種々のシミュレーションも、そのようなネットワークで世界中のコンピュータから適当なものをネットワーク化し、一つの分散型コンピュータとして機能させることによって、可能となる。そのような意味でも、移動情報通信ネットワークにおいて重要な役割を果たす移動体通信技術の最先端の研究開発状況が注目されている。そのこともあって、今回、多次元移動情

報通信網自動設計技術研究専門委員会委員長の岡田博美氏（関西大学）の提案で、ホットな話題として

- 1) OFDM 伝送技術の現状と将来：佐藤拓朗氏，渡辺壮一氏（新潟工科大学），施鑑修氏（Key Stream）
- 2) 多値変調技術と符号化方式：半田志郎氏（信州大学）
- 3) アンテナ技術：山田吉英氏，森下久氏（防衛大学校）
- 4) インターネットと移動通信：貝山明氏（NTTドコモ）
- 5) アドホックネットワーク：間瀬憲一氏，中野敬介氏，仙石正和氏（新潟大学），篠田庄司氏（中央大学）
- 6) セルラーシステムにおける動的チャネル割り当て：秋月治氏（宮城大学），六浦光一氏（信州大学）
- 7) IMT-2000のサービスと標準化の動向：服部武氏（上智大学）
- 8) Bluetooth 標準化と仕様：岩井勇氏（東芝）
- 9) ITSにおける無線通信技術：高橋常夫氏（本田技術研究所）

の内容が小特集号として組まれることになった。

筆者らは、この小特集の総論を頼まれた。最先端の移動体通信技術の研究開発状況はそれぞれの執筆者によって紹介されるので、ここでは、最初に、人類が「連続的に流れる人工電流を手にした直後」、すなわち「ボルタ電池の発明直後」から、電気の情報通信へ応用が考えられたという歴史的事実を、振り返ってみる。そこには、発見、発明、特許化、事業化（会社を設立）において、「神の微笑みがかもし逆だったら」と

A History of Communications, with a Perspective to the Future. By Shoji Shinoda (Dept. of Electrical, Electronic and Communication Engineers, Faculty of Science and Engineering, Chuo University) and Masakazu Sengoku (Dept. of Information Engineering, Faculty of Engineering, Niigata University).

*中央大学電気電子情報通信工学科

**新潟大学情報工学科

いう生々しいドラマがあった。次いで、今回の特集が移動体通信であることから、また、1999年にiモードサービスが導入され、携帯電話の爆発的普及がもたらされ、今年5月には高品質の画像やデータ、音声などを高速で送れる次世代携帯電話(w-CDMA)サービスが開始されることもあり、21世紀での移動体通信の高機能化の波と流れについてコメントする。

2. 電気通信の誕生史

電気が通信に使われるようになったのは、それほど古くなく、約200年前のことである。ここでは、筆者らがこれまで電気の歴史関連で収集してきた情報をもとに、電気通信の誕生史を中心に歴史的展開について述べる。その際、特に、文献1)、2)、3)を参考にしたことを指摘しておく。また、文献2)と3)で間違っている書かれたものについては、最近の文献1)等を参考に補足修正した。

0 ポルタの電池が発明される頃まで

紀元前500年頃、ギリシャのマグネシア地方で磁鉄鉱が発見された。また、西暦200年頃になって、中国では、棒磁石の中心部を糸で吊るすと、その棒磁石の一方が北で、他方が南を指すことが発見された。そして、いつの頃からか、中国で方位目標に使われるようになった磁針が、11世紀頃になって、火薬と木版印刷とともに、中国からヨーロッパに伝わった。そのことがあって、ヨーロッパでは、1310年に羅針盤が発明された。1492年には、イタリアのコロソブス(Christophorus Columbus)によって、新大陸発見の航行中に羅針盤が使われ、「地磁気に偏角があること、緯度によって偏角が異なること」が発見された。関ヶ原の戦いが始まる半年ほど前の1600年3月に、イギリスの医者ギルノミート(William Gilbert)は、磁石に関して断片的に知られていたそれまでの知識を20数年かけて科学的にまとめ、「磁石、磁性体および大磁石である地球について」という著書として発表した。

他方、天然樹脂の化石である琥珀の摩擦電気も紀元前500年頃に発見されていた。それから2000年くらい経った1660年に、ドイツのゲーリック(Gottfried Wilhelm Leibniz)によって摩擦起電器が発明され、摩擦電気の研究がスタートした。そして、1746年1月にオランダのライデン大学のムシェンブルック(Pieter van Musschenbroek)によって蓄電びん(後に、ライデンびんといわれる)が発明された。(ライデンびんと同じものは1年前にドイツでも発明していたということである。)1752年に7メリカのフラソクリソ(Benja-

Franklin)によって、雷と摩擦電気の放電とが同じ自然現象であることが、雷雲に凧をあげることによって確認され、翌1753年に避雷針が発明された。

1785年になって、フランスのクーロソ(Charles Augustin de Coulomb)によって静電気力のクーロソの法則と静磁気のクーロソの法則が発見された。(注:1879年になってイギリスのマックスウェル(James Clerk Maxwell)によってキャベンディッシュ(Henry Cavendish)の遺稿がチェックされ、静電気力のクーロソの法則は1772年にイギリスのキャベンディッシュによって既に、クーロソよりも正確な形で、見出されていたことが明らかにされた。したがって、もしキャベンディッシュの仕事がなされた直後に明らかになっていたら、少なくとも、静電気力のクーロソの法則はキャベンディッシュの法則といわれていたであろう。)1780年ころは、摩擦起電器で発生させる電気に興味が集まり、その電気によるショック治療が試みられていた。

ローマ法王領であった、ポロニアを含む北イタリアのポロニア大学の医学教授ガルバーニ(Luigi Galvani)によって、1791年3月から、電気魚に見られる電気器官がカエルにもあるのではないかという関心から実験が始められ、摩擦起電機の火花放電が起きると近くに置いてある「死んだカエル(dead frog)」の足が動くことや、鉄と黄銅でできた手術用メスで「死んだカエル」の足を鉄格子に押し付けるときその足が急に動くことが観察され、同年6月に「筋肉運動による電気の力に関する説明」と題して講演がポロニア学士院で行われ、そこで導入された「動物電気」という概念が多くの科学者の関心を集めた。ポロニアを含む北イタリアは1796年にナポレオンによって占領され、イタリア共和国に編入され、ガルバーニはその共和国に誠意を示さなかったことで教授職を追われ、研究を続けられなくなった。ガルバーニの研究を引き継ぐことになったのはイタリアのパビア大学の物理学教授のボルタ(Alessandro Volta)であった。

ボルタは、ガルバーニの実験を繰り返し試み、「動物電気」に疑いをもち、検証のための実験を行っていた。そして、1765年頃に既にドイツの物理学者のズルツ(Johann Georg Zulus)によって発表されていた「亜鉛版と銅版の一端を接触させ、多端で舌を挟むと特有な感覚が感じられるという接触電気」の観察結果に着目し、ガルバーニ現象は動物電気ではなく、メスの材料である鉄と黄銅の接触作用が原因で、カエルの足は継電器の役割を果たしたと考え、種々実験を行った。その結果、1799年9月にコップの中の塩水に亜鉛

版と銀盤とを入れた電池を発明することとなった。これが「電線に連続的に人工の電流を流すことができた人類史上最初の歴史的瞬間」であった。ボルタは、その後改良を加え、1815年にコップの中の希硫酸に電極として銅版と亜鉛版を立てた電池を発明した。このタイプの電池を一般にボルタ電池という。

ボルタの発明の副産物として、ボルタとは別の人があったが、電池の電極近くから発生する小さい気泡が水素であること（電気分解の現象）が発見され、1800年11月には、ドイツのリッター（*Johann Wilhelm Ritter*）によって、水の電気分解で水素と酸素が遊離され、硫酸銅溶液の電気分解で銅が遊離された。また、イギリスのデーヴィー（*Sir Humphry Davy*）によって1807年にカリウムとナトリウム、1808年にマグネシウムが遊離された。また、ボルタの接触説に触発されて、1821年にゼーベック（*Thomas Johann Seebeck*）によって熱電流現象が発見され、同年ノビリ（*Leopoldo Nobili*）によって熱電対が作られ、1834年にベルティエ（*Jean Charles Athanase Peltier*）によってゼーベック現象の逆現象（ベルティエ効果）が発見された。また、電池の新しい発明が、1836年にイギリスのダニエル（*John Frederic Daniell*）によってダニエル電池、1839年にイギリスのグローブ（*William Grove*）によってグローブ電池（燃料電池の可能性の証明）、1859年にフランスのプランテ（*Gaston Raimond Plante*）によって鉛蓄電池、1865年にフランスのレクランシェ（*Geroge Leclanche*）によってレクランシェ電池（初めて固体減極剤を用いた取り扱い易い実用的な電池）、1888年にアメリカのガスナー（*Gassner*）によってマンガン乾電池、1899年にスイスのユングナー（*Waldmar Jungner*）によってユングナー電池（アルカリ電池）、1905年にエジソン（*Thomas Alva Edison*）によってエジソン電池（アルカリ電池）、1940年にアメリカのルーベン（*Sum Ruben*）によって水銀電池、1948年にフランスのニューマン（*Neumann*）によってニッケル・カドニウム蓄電池というように、続いた。（電気自動車のための強力な燃料電池や、携帯電話やハンドヘルドコンピュータのための小型、軽量、安全、しかも強力な電池の開発は現在も最重要課題の一つになっている。）

他方、ボルタの電池の発明で、電磁気学分野では、種々の基本法則が矢継ぎ早に発見され、それと連動する形で種々の応用技術が発明されることとなった。具体的には、1820年にはデンマークのエルステッド（*Hans Christian Oersted*）によって電流の磁気作用が発見され、同年、フランスのビオ（*Jean Baptiste Biot*）

とサバル（*Felix Savari*）によってビオ・サバルの法則が発見され、アンペア（*Andre Marie Ampere*）によって電流の流れている2本の電線相互間の反発・吸引作用が発見されるとともに、電流の方向と磁場の方向との関係を示す右ネジの法則が発見された。1824年にはアンペアの親友であるアラゴ（*Dominique Francis Jean Arago*）によってアラゴの円盤（糸を水平に吊るした銅円盤の下で、U字形磁石を回転させると銅円盤も回転するという誘導電動機の原理）が発明された。（しかし、この現象がなぜ起きるのかについては、1855年にファーコー（*Jean Bernard Leon Foucault*）がうず電流を発見するまで、解明されなかった。）1825年にはイタリアのノビリ（*Leopoldo Nobili*）によって磁針型電流計が発明された。また、同年、イギリスのスタージョン（*William Sturgeon*）によって径1センチほどの軟鉄棒にワニス塗ってほだけ銅線を18回、一層に巻いた電磁石が発明された。フランスのヘンリー（*Joseph Henry*）によって1828年に銅線を多数巻いた強い電磁石が、1830年に自己誘導現象がそれぞれ発見された。イギリスの1831年にデーヴィーの弟子のファラデー（*Michael Faraday*）によって電磁誘導現象が発見された。フランスのピクシー（*Negro Valdemar Pixii*）が1832年に手回し直流発電機を発明した。（なお、強力で実用的な発電機はその33年後の1865年のドイツのジーメンス（*Ernest Werner von Siemens*）による自動磁式発電機の発明による。）1834年にドイツのレンツ（*Heinrich Friedrich Emile Lenz*）によってレンツの法則（電磁誘導による起電力の向き）が発見された。また、1827年にドイツのオーム（*Georg Simon Ohm*）によってオームの法則が発見された（抵抗の概念が導入され、抵抗器の直並列接続の合成抵抗計算法が導入された）。しかし、直並列接続以外も含めた抵抗器の接続の合成抵抗を計算することはできなかった。1843年にイギリスのキングス・カレッジの物理教授ホイートストーン（*Sir Charles Wheatstone*）によって、同年に別の大学の物理学教授のクリスチエ（*S. H. Christie*）によって原理が発見されていた抵抗測定が、装置として実用化された。その測定装置がホイートストンブリッジといわれている。また、1845年にドイツで、ノイマン（*Franz Ernst Neumann*）の弟子であった学生のキルヒホッフ（*Gustav Robert Kirchhoff*）によって、宿題のレポートの付録部分で、電気回路の基本法則であるキルヒホッフ法則が与えられた。キルヒホッフは、その2年後の1847年の論文で、抵抗器と電圧源からなる一般の電気回路の電流分布を与えるグラフ理論（トポロ

ジー)的解表現を与えた。それは、まさに、回路方程式の定式化から解までの解析モデルを示したことであり、当然のこととして、直並列接続以外の抵抗器の接続の合成抵抗を求める方法も与えたことになる。その意味で、キルヒホッフは回路理論の母ともいわれる。また、このキルヒホッフの論文には、グラフ理論(トポロジー)的概念が種々導入され、それらは後にポアンカレ(Henri Poincare)による組み合わせトポロジーの構築の基礎となった。グラフ理論(トポロジー)の概念は情報通信ネットワークの接続構造の性質や特徴づけに重要な役割を果たすことになる。

2) 有線通信の誕生史

1809年にゼンメリング(Samuel Thomas von Sommering)は、受信側の水槽にA, B, C, ...と文字札を付けた電極を設け、その各々の電極から銅線を送信側まで張り、送ろうとする文字の銅線にボルタの電池を接続し、受信側の電極から気泡を出させるという方法を考え、実験をした。これは電氣を用いた情報通信の最初となった。この実験を見たロシアの外交官シリグ(Pavel Lwouisch Baron Schilling von Canstadt)は、電機機開発の実験を重ね、1820年にエルステドが既に発見していた「電流の磁気作用」がヒントとなり、電磁式電機機を発明した。シリグの発明はロシアやその近隣国での実験にとどまり、実用化までには至らなかった。それを実用化までに至らしめたのは、その実験をドイツで見たイギリスの退役軍人のクック(William Forthergill Cooke)と、クックに相談を持ち込まれたイギリスのキングス・カレッジの物理教授ホイートストン(Sir Charles Wheatstone)であった。二人によって、1837年に、誰にでも通信文字が読み取れる文字指示型5針電機機が考案され、電信会社が設立された。それ以後、ヨーロッパでは、それをまねた電信会社が数多く設立された。

アメリカでは、同年の1837年に、ニューヨーク大学の美術教授モールス(Samuel Finley Breese Morse)によってモールス電機機が発明された。モールスは、フランスとイタリアへ美術の研究で出かけた帰りの船中で、1823年にイギリスのスタージョンによって発明されていた電磁石の話の聞き、電機機を作ることを思いつき、モールス符号の構想もまとめた。モールス符号は印刷屋でよく使用される活字を調査し、その活字の文字は電信でもよく使われると判断して、簡単な符号を割り当て、あまり使用されない文字には短点と長点を多く組み合わせた符号を割り当てて作られた。(日本では1870年に東京横浜間の電信工事が完成し、翌1871

年に日本のモールス符号が作られたが、文字の使用頻度が考慮されなかった。技術開発上、注意すべき教訓である。)モールスらは1843年にアメリカ政府から3万ドルの支援を受け、1845年1月1日にワシントン・ボルチモア間実用通信を完成させ、電話会社を設立した。そして、その開通の最初の電文として、聖書のことば

What hath God wrought (神が作りたまひしもの)をワシントンからボルチモアへ送った。(この電文の言葉は、118年後の世界最初の静止衛星を利用した通信の開始時に、ケネディ(J. F. Kennedy)がナイジェリアの首相との通話の括りとして用いたことでも有名である。)1856年になって、シブレー(Hiran Sybley)がモールスを援助し、ウエスタン・ユニオン電信会社を設立、その10年後の1866年には、ヨーロッパとアメリカを結ぶ大西洋横断海底ケーブルを敷設した。これが電信による有線通信の誕生史である。

その後、アメリカのボストン大学のベル(Alexander Graham Bell)とシカゴの工場主のグレー(Elisha Gray)によって、独立に、モールス符号による電信の代わりに電線で音声を電氣的に送ることが研究され、電話機(送話器と受話器を持つ)が発明され、両方から1876年2月14日、2~3時間違いで、アメリカの特許庁に特許申請が出された。しかし、ベルの方が早かったため、ベルが特許権を取得した。なお、グレーの電話機はベルのそれよりも優れていたということである。ここには、「神の微笑がもし逆だったらどうであったか」という想いを起こさせる。(なお、電話機のことをtelephoneと名づけたのはドイツの物理学者ライス(Johann Philipp Reis)とのことである。)ベルは、1877年にボストンに自分の電話会社を設立した。1878年にエジソン(Thomas Alva Edison)がベル電話機の送話器よりも性能が良い炭素送話器を発明したが、ベル電話会社は、1879年にヒュー(David Edward Hughes)によって発明された「エジソンの送話器よりも性能の良い炭素マイクロホン送話器」の特許を取得し、経営を固めた。1887年には、アメリカのヘーイ(Heinrich von Hayes)によって一人の交換手で数十人の加入者を受け持つことのできる共電式電話が発明された。そして、1889年にアメリカの葬儀屋のストロジャー(Almon B. Strowger)によって最初の自動式電話交換機が発明された。(「なぜ葬儀屋が?」と話題になるが、「電話交換手が加入者から葬儀の依頼を受けるといつもストロジャーでなく他の葬儀屋に仕事を回すので、なんとか電話交換手を通さないで加入者から直接仕事を受けら

れないかと考え、その結果、自動式電話交換機が発明された」ということである。) 電話線が長くなると、音波波形がひずみ、減衰し、通話できなくなる。それを防ぐ方法として、1899年に、ビューピン (*Michael Idvorsky Pupin*) によって、電話線に等間隔にコイルを装荷する方法が発明された。このコイルはビューピンの装荷コイルといわれる。1902年に他の人によって海底ケーブルに対しても装荷コイルと同様の働きをする方法が発明された。これが電話による有線通信の誕生史である。

3) 無線通信の誕生史

1864年には、電気磁気学の種々の法則等が、イギリスのマックスウェル (*James Clerk Maxwell*) によって、理論的に整理され、現在マックスウェルの方程式といわれるもの、すなわち

$$\text{rot } H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$\text{rot } E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\text{div } D = \rho$$

$$\text{div } B = 0$$

の形にまとめられた (H : 磁界, B : 磁束密度, E : 電界, D : 電束密度, J : 電流密度, ρ : 電荷の空間密度)。そして、理論的に「電磁波というものが存在するはずである」という予想を行った。それから24年経った1888年に、電磁波の存在が、ドイツのヘルツ (*Heinrich Rudolf Herz*) によって実験で確認された。ヘルツがマックスウェルの方程式を任意の媒質に対する現在の形に拡張したことから、ドイツではマックスウェルの方程式をマックスウェル・ヘルツ方程式ともいわれることがある。なお、 B と H 、 D と E 、ならびに J と E のそれぞれの間の関係は媒質による。さて、ヘルツの確認の7年後 (ヘルツは不幸にして虫歯から敗血症となり、37歳の若さで病死した。その死の1年後) の1895年に、イタリアのマルコーニ (*Guglielmo Marconi*) は電磁波を利用して、無線通信を可能にした。マルコーニは、ヘルツの実験の電極の一方を空中に伸ばした電線につなぎ、もう一方を大地につないで、1891年にブランリー (*Edouard Branly*) が既に発明していたコヒーラ検波器 (ガラス管にばらばらの状態に入れられたニッケルの粉は直流では電流を流さないが、高周波では互いに密着して電流を流すことになるという現象を発見し、その現象を用いた検波器) を用い、1700メートルの無線電の実験に成功した。マルコーニは、イタリアで無線通信の実用化を考えたが、

当時イタリアでは有線通信用の電線や海底ケーブルが設置されていて、一応通信網が確立されていたこともあって、賛同者がなかった。それで、母とともにイギリスに渡り、イギリス政府の支持を得て無線電信の特許を獲得し、1897年にロンドンに無線電信会社を設立した。マルコーニは1899年に、その一年前リバプール大教授のロッジ (*Sir Oliver Joseph Lodge*) によって原理が明らかにされた同調回路 (特定の周波数の電波を能率よく選ぶ回路) を、マルコーニの無線機に組み込んで、無線機的能力を向上させた。マルコーニはその後無線機をつかって、イギリス、フランス、イタリア、アイルランド、ベルギー、カナダの無線局を開設し、無線通信を成功させた。特に、1901年12月12日のイギリスとカナダの大西洋横断無線通信実験の成功は歴史的事であった。

ところで、ロシアの水雷学校の教師であったポポフ (*Aleksander Stefanovich Popov*) もマルコーニが無線通信を発見した同年の1895年に、独立に、ベテスブルク大学で、ブランリーによって発見されていたコヒーラ検波器とヘルツの実験とを組み合わせ、受信装置を作り、公開実験をした。その後、軍艦間での無線通信に成功したりしたが、公務についていた関係もあり、また、豊富な実験研究費に恵まれなかったこともあって、無線通信の研究に専念できないまま、ロシア革命の最中の1906年に死亡した。マルコーニとポポフはともに、しかし別々に、無線通信の発見に至ったが、アンテナの発見をしたということで、マルコーニが無線通信の父といわれている。1909年に、マルコーニは、1897年にブラウン管を発明したドイツのブラウン (*Karl Friedrich Braun*) とともに、ノーベル賞を受賞した。1902年には、アメリカのケネリー (*Arthur Kennelly*) とイギリスのヘビサイド (*Oliver Heaviside*) によってそれぞれ電離層の存在が推論され、1924年にイギリスのアップルトン (*Sir Edward Appleton*) とバーネット (*M. F. Bennett*) によって電離層の高さは約80キロメートルであることが確認され、その後、ほかの人によって電離層は長波を反射する層 (D層: 約80キロメートル)、中波を反射する層 (E層: 約100キロメートル; 夜間には電波を反射する電子の密度が薄くなる)、短波を反射する層 (F層: 約200キロメートル) の3重層であることが発見された。これが無線通信の誕生史である。

4) その後の情報通信技術の開発の流れ

1904年にイギリスのフレミングによって最初の熱電子管である二極真空管が発明され、1906年にアメリカ

のド・フォレスト (*Lee de Forest*) によって三極管のオーシオンが発明され、1907年にアメリカのピッカード (*James Picard*) によってシリコン鉱石検波器が発明され、1911年にドイツのリーベン (*Robert von Lieben*) によって三極管の一種のリーベン管が発明された。1912年にアームストロング (*Edwin Howard Armstrong*) によって電流の一部を再生して、真空管の作用を数十倍にする再生式回路が発明された。1913年にドイツのマイスナー (*Alexander Meissner*) はリーベン管を用い波長600メートル、出力15ワット程度の世界で最初の非減衰振動を発生させるという画期的な発明をした。1915年にイギリスのハートレー (*Robert von Louis Hartley*) によって真空管式発振器が発明され、同年アメリカのキャンベル (*George A. Campbell*) とドイツのワグナー (*K. W. Wagner*) によってほぼ独立にフィルタが発明された。1917年にフランスのレーヴィ (*Lucien Levy*) によってスーパーヘテロダイン回路の特許が取られた。1919年にハートレーの同僚のホルピット (*Edward Heinrich Colpitt*) によってホルピット発振回路が発明された。1920年にはアメリカのウェスチングハウス社がラジオの本放送を開始した。

1923年にはアメリカのゾーベル (*Otto J. Zobel*) によって影像パラメータフィルタ設計法が確立されるに及んで広く普及し、その後の通信技術の進歩に計り知れない影響を与えた。また、それに刺激され、1924年にホスター (*R. M. Foster*) によってリアクタンス定理が与えられ、1931年にブルーネ (*O. Brune*) によって正実関数論が導入された。そして、それらの成果はフィルタ設計法にも反映され、動作パラメータフィルタ設計理論が生まれた。1932年には松前重憲によって無装荷ケーブルが開発された。他方、1925年には、八木秀治・宇田新太郎によって世界的に有名な八木・宇田アンテナが発明された。1933年にアメリカのアームストロング (*Edwin Howard Armstrong*) によって雑音や混信の少ない音質の良い周波数変調方式 (FM 通信方式) の原理が発明された。また、1937年にノートン (*E. L. Norton*) によって定入力インピーダンス分波器が提案され、それに端を発し、1939年にアメリカのダーリントン (*Sidney Darlington*) とカウエル (*W. Cauer*) によって独立に新しいフィルタ設計理論が作られ、今日の高度精密な通信技術の基礎が築かれた。他方、1929年にはドイツのショットキー (*Walter Schottky*) によって整流作用が接触表面層にあることが解明された。1932年にはイギリスのウイルソン (*Charles Thomson Rees Wilson*) によって整流器の整流作

用がトンネル効果であることが説明された。1930年には日本の加藤与五郎と武井武によってフェライトが発見された。1936年には、イギリスのワトソン-ワット (*Sir Robert Watson-Watt*) と6人の助手によって120キロ先の飛行機を探知できるレーダ (*Radio Detection and Ranging equipment for the detection of aircraft*) が開発された。また、1926年にアメリカのレーニィ (*Paul M. Rainey*) によってパルス符号化システムの特許が取られていたが、そのシステムが1937年に *ITT (International Telephone and Telegraph Company)* のバリー研究所で働いていたイギリス人のリーブス (*Alec H. Reeves*) によって再発見されるまで注目されなかったようである。PCM (*pulse code Modulation*) の基本特許は1938年と1942年にリーブスに与えられた。そして、第2次世界大戦の間に、ベル電話研究所のブラック (*Harold S. Black*) の率いるチームによって最初の実用的なPCMシステムが実現された。1936年にイギリスのマンチェスター大学のチューリング (*Alan M. Turing*) によって *Can a Machine Think?* という論文が発表された。1938年に、日本の日本電気の中嶋章によってブール代数が継電器回路 (スイッチング回路、論理回路) へ応用され、同年、同様な応用がMITの学生であったシャノン (*Claude E. Shannon*) によってなされた。(なお、1847年に、イギリスのブール (*George Boole*) によって *The Mathematical Analysis of Logic* という本が出版されていた。) 欧米ではブール代数が論理回路の数学であることを発見したのはシャノンの業績とされていることが多いが、日本では中嶋・シャノンの業績とされるようになってきた。1946年に、アメリカでノイマン (*John von Neumann*) によってノイマン式コンピュータが提唱された。また、同年にアメリカで、自動車電話サービスが開始された。1948年にベル電話研究所のシャノン (*Claude E. Shannon*) によって *The Mathematical Theory of Communication* が与えられ、それが情報理論の出発点となった。また、同年には、アメリカのベル電話研究所のバーディーン (*John Bardeen*)、ブラッテン (*Walter Brattain*)、ショックレー (*William Shockley*) によってトランジスタが発明された。

このように、情報通信、エレクトロニクス、コンピュータのそれぞれの技術は、相互に影響を与えながら、目覚しく開発されてきた。この約80年間における情報通信ネットワーク技術の開発史は、文献4)~7)などに、種々述べられているので、それらを参照されたい。

最近の情報通信ネットワークの分野では、インター

ネットと携帯電話の爆発的普及で、大変革がもたらされつつある。その際、携帯電話の爆発的普及を加速させたのは、1999年にNTTドコモによって開始された携帯電話向けインターネット接続サービスのiモードであった。

3. 21世紀での移動体通信技術の高機能化の波と流れ

iモードの特徴は、それがインターネットの標準仕様に合わせる形で開発され、言語として「インターネットのホームページのデータを記述する言語HTML (HyperText Markup Language) のサブセット」を採用し、データ転送のプロトコルもインターネットに合わせ、「ウェブサーバーとiモード端末を結びつけるゲートウェイの役割を担わせるもの」としてiモードセンターを設け、課金などを含め、すべてをそこで管理していることである。そして、人気の秘密は、iモードのキーを押すだけで、すなわち、片手操作で、OSの立ち上げ、ブラウザの設定、PPP (Point-to-Point Protocol) の設定の面倒な操作を行なうことなく、

- 電子メールのやり取りが簡単にでき、
- 多くの内容(キャラクターの画像や娯楽系情報)を持つホームページにアクセスできるだけでなく、
- 通信料もペケットを単位とし送受信したデータ量に対して従量性で取り、回線接続よりも安く利用できるようにしている

ところにある。しかし、使ってみると、より便利なものがほしくなり

- (途中で切れることない) サービスの安定化
- Javaなどの搭載(インターネット相当の最新版のソフトがダウンロード可能:バージョンアップ機能搭載)
- インターネットテレビ受像機として利用
- iモード対応カーナビの搭載
- 暗号技術の搭載(セキュリティ対策)
- 通信速度の向上

などの改善が気になる。(そのような要求が社会的なニーズかどうかわからないが。)

KDDIグループと日本移動通信が提供しているEzウェブ、日本テレコム系のJホングループが提供するJスカイも、好調で、NTTドコモに追いつくために充実・工夫を凝らしている。しかし、それらは、インターネットの標準仕様に合わせるiモードとは別のコ

ンセプト、「携帯電話としての効率のよさ」に重きをおくWAP (Wireless Application Protocol) 方式を用いている。(なお、WAPはノキア、エリクソン、モトローラ、フォンドット・コムで推進されている。)

いつでも、どこでも、好きな情報端末(パーソナルコンピュータ、CATV、iモードに代表される携帯電話、PDA (Personal Digital Assistance)、play stationのようなゲーム機等)から、インターネット接続を通して、種々のホームページ、サイバースペースや電子商店街にアクセスし、必要とする情報提供サービス、銀行業務サービスを受けるだけでなく、物品購入、仕事の受注、株取引、不動産取引、乗車券・航空券・チケットの予約などを行うことができ、銀行窓口、物流の受け渡し等の場として24時間営業のコンビニが利用されるようになり、生活環境が急激に変化しつつある。これからは、楽しみながら仕事をし、楽しみながら学習し、楽しむために仕事をし、学習する。そのように、仕事 (business)、エンターテイメント (entertainment)、学習 (learning) を有機的に結びつけること (BELと呼ぼう) が生活の核となる。そのBELを助けるのが情報通信ネットワークの役割である。インターネット接続の手段がパソコンから携帯電話へシフトするなか、マルチメディア対応は、携帯電話とPDAとの関係がどうなるか(機能的には一体化の方向へ向かうように感じられるが)、携帯電話の表示部、機能にどんな変革をもたらすか、より使い易い方向を目指し、どう技術開発と改良がなされ、どう社会普及がなされてゆくか、興味が持たれる。また、今年5月には、第3世代携帯電話(w-CDMA)の導入によって、高品質の画像やデータ、音声などを高速で送れるサービスが開始される予定であり、それによってどれだけの課題が解決され、どれだけの便利さが増すか、また、どれだけ社会に普及するか、興味が持たれる。

望ましいマルチメディア情報通信ネットワークでは、様々なネットワークが相互接続され、どちらのネットワークからの運用も確保され、利用者に接続する個別ネットワークを意識させずに、多種・多様なマルチメディア情報通信サービスを、老若男女を問わず使いやすい形で、すなわち「システムが人に合わせる」という形で、提供することが求められる。そのネットワーク実現には、従来はハンディキャップのある人を対象に開発の目が向けられていた視覚、聴覚、触覚など各種神経系とのミクロなネットワークを健常者も対象とするように広げることや、従来は家屋内にお

いてメディアごとに宅内配線されていた情報通信・放送サービスを一つの宅内配線や無線でサービスを可能にする通信プロトコルやネットワーク技術も必要となる。さらに、そのようなネットワークでは電子的な情報、商品、貨幣を流通させ、ネットワーク上での出会い、発見、感性の伝達、ビジネス、電子決済などを可能とするために、セキュリティ技術、仮想空間の可視化技術などの科学技術的課題の他に、情報へのアクセス権利、公平性の保証、知的所有権や倫理等の規制と保護などの人文社会科学的課題も検討・解決が必要である。それも、iモードの急激なる普及を見てもわかるように、特に移動する情報端末の有効利用を前提としたマルチメディア情報通信ネットワークの視点からの検討が急務となろう。それには、無線環境での、高スループットなサービス、高品質なサービス、(ネットワークの違いを意識させない)シームレスなサービスなどの実現が常に問われ、移動体通信の膨大なトラフィックを収容するための無線周波数スペクトラムの確保が重要な課題となろう。その際、利用者にとって低価格でそのようなサービスが受けられるようにすることが情報通信ネットワークの社会基盤化の最重要条件となろう。

また、インターネットの誕生と時期を同じくする概念に、アドホックネットワークとかマルチホップ無線ネットワーク(略して、マルチホップネットという)というものがある。それは、今流でいえば、相互に非常に近い範囲に存在する複数の任意情報端末の間で、直接通信することや、二つの端末が他の端末または適当にばらまいた中継通信端末(コミュニケーションポートといい、電気が常時供給され、中継器やルータとしてのみ利用される端末)を経由して通信する(どの端末も中継器やルータの役割機能も持つ)ことを可能にし、複数端末相互間で無線ネットワークを形成し、公衆ネットワークサービス域でもそれを使用しないで、通信を行うものということができる。これは、ローカルに自動的に組成・変形・消滅を行うもので、無線ネットワーク組成では解析接続的に接続範囲を広げるもので、情報化社会を活性化させる要因となろう。トランシーバモードでの(Pリンクでの)PHS、昨年頃からサービスが始まった「PC、携帯電話、ヘッドセット等のモバイル機器間を無線で接続する標準ワイアレス技術」としてのブルートース(Bluetooth; デンマークとノルウェーを無血統合したバイキング王: Harald Blatand BluetoothTM II(940-981)の名から)はそのようなネットワークの構成要素の例である。我々は

いま、間瀬、中野両氏との共同研究で、そのような要素も例として含め、要素の持つ機能の検討、マルチホップネットの基本特性の解明から、ネットワークアルゴリズム、通信プロトコル設計、端末機能のトランシーバモードの機能改良・向上まで、シミュレーション実験を行いながら、理論ならびに技術開発の研究を行っている。(その一部は、アドホックネットワークという題でこの特集に含まれる。)マルチホップネットの活用には、公衆ネットワークの位置登録サービスの利用、多層都市空間の地理情報の利用、公衆ネットワークとの関係も含まれ、公衆ネットワークとの共栄と法制度の問題を含め、検討すべき課題が多いが、将来のネットワーク発展の方向を示唆するものである。それは、これまでのネットワークプロバイダーにとって必ずしも直接採算に結びつかない部分を含むものであるが、社会的には興味を集め、普及する可能性がある。

それと関連するが、これまでのネットワークプロバイダーにとって新しい対応が求められる別の問題がある。新宿、銀座、六本木、原宿、渋谷などの都市部や吉祥寺、立川、八王子などの駅周辺の人口集中地域、団地などの人口集中地域ごとに大容量無線局(とはいっても、利用できる周波数資源は有限であり、大容量化は問題であり、適当な規模の容量の無線局を同一地域に複数個配置し、それらを特別なネットワークで結び、全体的として大容量無線局と等価な役割を果たす無線局群も、この範囲に含めるとして)を配置し、その無線局下に位置する任意の(携帯電話を含む)情報端末相互の通信に対しては、(このような無線局は公衆ネットワークプロバイダー側ではなく、コンテンツサービスプロバイダーと蜜に関係を持った情報端末製造側(複数)で用意するようにし)、公衆ネットワークサービス料金と比較して極端な超低価格サービスを実現し、どうしても異なる人口集中地域に属する無線局間を結んだ公衆ネットワークを利用しなければならない通信に対してだけ、公衆ネットワークサービス料金を課金するという意味で、経済的にベストエフォートな情報通信ネットワーク基盤を構築し、そのサービスを受けたい人は、あるチップを情報端末製造側から購入し、各自の端末に差し込むか、そのチップが組み込まれた情報端末を購入し、そのようなサービスが受けられるようにすることも考えられる。その場合、法的な問題を含め解決しなければならない問題があるが、ネットワークプロバイダーが中心となっていた通信サービスからコンテンツサービスプロバイダーが中

心となる通信サービスへとパラダイムシフトが起き、新しい形の未来情報化社会が見えて来るかもしれない。その際、技術的にならびに経済的にどうかという問題もあるが、大容量無線局（または無線で結ばれた複数の無線局群）を飛行体（無線でネットワーク化された飛行体群）に搭載することも考えられる。

好むと好まざると、どのような形か、21世紀はマルチメディア情報通信ネットワークが社会基盤となる。これまで不可能であった大規模な種々のシミュレーションも、その基盤上で可能となるような技術も開発されるだろう。

謝 辞

この執筆の機会を与えて頂いた多次元移動情報通信

網自動設計技術研究専門委員会委員長の岡田博美氏（関西大学）に感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) Ian Mc Neil: An Encyclopaedia of the History of Technology, Routledge, London (1996)
- 2) 二見一雄著：電気の歴史，コロナ社（1968）
- 3) 直川一也著：電気の歴史，東京電機大学出版局（1985）
- 4) 電子情報通信学会50年史（創立50周年記念出版），（1967）
- 5) 電子情報通信学会75年史（創立75周年記念出版），（1992）
- 6) 特集「あの技術は今……技術の変遷と21世紀への展望一」，電子情報通信学会誌，11月号（1995）
- 7) 特集「電子情報通信分野の歴史に残すべき技術一産業界を中心として一」，電子情報通信学会誌，11月号（1999）