

「ケルビン卿の発見」

横河電機
松本栄寿

大西洋横断電信の話をつづけよう。

電信は現代のデータ通信の始めである。それまでの社会通念を変えた重要な出来事であった。つまり海の向こうは遠い地の果て、時間もかかるということがなくなった。そこに至るには、多くの才人の努力と帝国主義の拡張政策がそれを可能にした。ケルビン卿の電信方程式の発見と、サイフォンレコーダである。

前回、大西洋海底電信の受信器に計測器ケルビン・ミラーガルバノメータが使われたと説明した。2x10⁻¹¹Aの高感度ではあったが、万能ではなかった。受信には暗い室の中で二人の技師がランプの反射光をじっと見詰めて、モールス信号を判定する必要があった。なによりも直接の記録がとれなかった。ホイートストンとモールスの電信方式との大きな差は、記録が残るかどうかにあったから、モールス方式の利点が生きなかった。この解決は再びケルビン卿が微弱な電流を記録する受信器サイフォンレコーダを造った時である。しかも

電気信号をインクで記録する方式は、その後百年つづくペン記録計・インструメンツの歴史の始まりでもあった。

インクによる記録計は設計者泣かせである。記録して当たり前であるが、温度とインクの粘度の変化、湿度による記録紙にのび縮み、振動、紙の摩擦などに耐え、数分の短時間記録から、数カ月もの長時間無人の環境で記録するなど種類も多い。すでに1870年のとき、サイフォンレコーダにはインクジェットに相当するインク粒を帯電させる手法、ペンと記録紙との摩擦に打ち勝つため、ペン先にディザーを与える方式が採用されていた。真空管もトランジスタ増幅器もなく、弱いトルクで記録する悩みがあった。

大洋の探検

18世紀から19世紀にかけて英国は、世界の7つの海に探検隊を送って大規模な海洋探索を行った。主なるものを上げよう。

まず、1768(明和5)年から1780(安永9)年にかけて3回にわたるキャプテン・クックの航海がある。その目的は、南極の未知大陸の発見であり、南太平洋、南大西洋の探検であり、太平洋への北方航路の開拓であった。1831(天保2)年から1836(天保7)年の5年間にはビーグル号の学術探検が行われ、これにチャールズ・ダーウィン(1809-82)が乗船する。その目的は、アメリカ東西海岸の精密測定、チリー・ペルーなど南大西洋の観測で海図の上で大きな貢献がなされた。

また、1872(明治5)年から1876(明治9)年には英国軍艦・チャレンジャー号の探検隊が組織されている。主として海洋生物、海底の観測を行っている。この間にも電信ケーブルの最適な経路を



図1 ウィリアム・トムソン22歳後のケルビン卿)

探るため、1860(万延元)年から1869(寛文9)年にかけて、ブルドック号やライトニング号が派遣され、各地で深海ドレッジを行い海底の様子を探った。世界をまたぐ探検航海は近代海洋学の基礎を築いたし、一方ピーグル号に乗船したダーウィンは、1859(安政6)年に「種の起源」を現し進化論を提唱した。このような背景のもとに大西洋海底電線計画は実施された。ただ、電気通信理論がそれまでに十分進歩していたとは考えにくい。

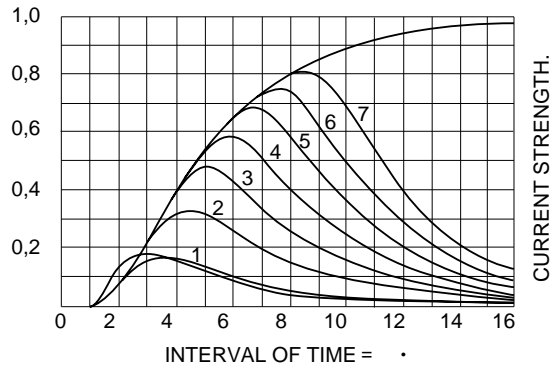
大西洋海底電信と二人の男

ここに二人の人物が登場する。一人は技師長ウイルドマン・ホワイトハウス(1816-1900)、もう一人はのちケルビン卿のウイリアム・トムソン(1802-1902)である(図1)。

ホワイトハウスは元々外科医であったが、電気技術を習得して海底電信に興味をいだいていた。やがて、ドーバー海峡海底電信の企業家ブレットと共同して大西洋海底電信に意欲をもつようになる。彼は電信に実験については多くの積み上げがあり、のちに長距離伝送についても、166マイルの多芯地中海ケーブルで折り返して1000マイルまでテストして、従来のリレー方式で問題なかったと述べている。

むしろ大西洋海底電信については、当時の学会の権威者トムソンが問題を投げかけることになった。1855年トムソンが「電信方程式」(Theory of the Electric Telegraph)を発表して、長距離ケーブルでは受信端の電流におくれを生じ、長くなるほどひどくなる。つまりおくれ速度は、線路の全抵抗と容量の積と長さの二乗に比例して増加する。そして、大西洋ケーブルはすでに開通していた黒海のケーブル(クリミヤ戦争に役だった)より36倍遅くなる。同等の速度にするには6倍もの太さがあると算出した。これには投資家が不安をいだき、大西洋ケーブルの実現に疑惑をもつことになった(図2)。

これに対して当時の技師長ホワイトハウスは、トムソンの式は当てはまらない、一つの学説に過ぎない、長さの二乗の数学的な値は当てはまらない、学者のつくりごとに過ぎないと反撃している。



電信波形の遅れ(トムソン)

$$S = \frac{A}{RK} = \frac{A'}{rkL^2}$$

- S: 対象ラインの最大速度
- A, A': 定数
- K: 全容量
- R: 全導体抵抗
- L: ケーブル全長
- r: 単位長当たりの容量
- k: 単位長当たりの抵抗

注: 外皮に鉄シールを使用すると向上する。後の装荷ケーブルに発展する。

図2 電信波形の遅れと通信速度

ホワイトハウスにとっては大西洋ケーブルの計画を守りたかったし、トムソンと学会の権威に挑戦しようとした。最終的には、トムソンはミラーガルバノメータを使用すれば可能であるとの見通しを得て、表面上は二人は和解し同じ大西洋電信会社に席を置いた。ホワイトハウスは技師長、トムソンは理事であった。しかし、本質的にはホワイトハウスは従来の電磁リレー方式で十分として、専用の電磁測定器をつくり、ガルバノメータは弱く、ヒステリカルでもあると言っていたようである²⁾。

大西洋海底電信は、何度かの失敗ののち、1858年8月にいったんつながったが、女王からの祝電98ワードの伝送に16.5時間もかかった。これはホワイトハウスの意向で通常の電磁リレーエンボス方式をつかったため、その確認にはミラーガルバノメータを使って67分で済んだ。この時点でリレーとインダクションコイル方式では高速は望めないことが明らかになった。すでにホワイトハウスは自分の開発した電磁方式の専用測定器に

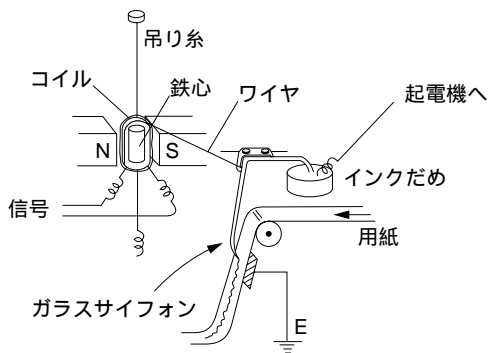


図3 サイフォンレコーダの原理

1万ポンド以上の高額を支払い、しかもミラーガルバノメータで救われたにも関わらず、本部にはエンボス式で再送した記録を受信の証拠として送ったようである。その後約1カ月で完全に不通になったのは、通信途中でインダクションコイルで約2000ボルトを加えたため、ケーブルの弱い部分が破壊されたと推定されている³⁾。

この事故には特別委員会が開設され、学識経験者、業界の専門家が査問にたずさわった。まとめられた報告書はホワイトハウスには不利な内容であるが、現代では非はホワイトハウス一人のせいではない。会社側が事を急いだあまり、粗悪な材料のままケーブルを急造させ、製作後にも屋外に放置しておいて外側の絶縁物被覆グッタペルカを劣化させる元をつくったとの説が有力である⁴⁾。

いずれにせよホワイトハウスは解雇され、それ以降の運営実務はトムソンに一任されて行くことになる。トムソンの電信方程式は現在でも通信工学を学ぶ際に最初にぶつかる基本式である。彼はこれを熱伝導の基本から類推している。トムソンの功績は電気よりも熱力学第1法則、第2法則に

関する研究が有名である。ケルビン卿の頭文字、絶対温度(K)として残されていることから理解できよう。

サイフォンレコーダ

しかしミラー・ガルバノメータは万能ではなかった。受信には二人の有能な技師が必要であった。なによりも直接の記録がとれなかった。二人の熟練技術者がかかっても、速度は8ワード/分に過ぎずミス、不注意、修正などにすぐに確認のアクションがとれない。

電信の受信は待たなしの環境である。現在人が介在する電信受信は800ヘルツの音響サウンダー式が多い。アマチュア無線の世界のことであるが、筆者もモールスの訓練を受けたことがある。そのとき手にも鉛筆は両端を削っておいて書くこと、もし途中で芯が折れたらすぐさまひっくり返して使うこと、たとえ横に予備の鉛筆を置いても手を伸ばして取る余裕はないと繰り返し教えられた。そのくらい素早い対応を求められる。

トムソンもこれに気づき、解決策をさぐった。応援をジェームス・ホワイトに求めたと思われる。ホワイトは当時グラスゴー大学に電気機器を納入する企業人であった。一説にはトムソンは毎日ホワイトの工場を訪ねて知恵を絞り、後には同社へ投資した。彼はサージョン形ガルバノメータをとりあげて、その磁気回路に工夫をこらした。一つは大型のU字型磁石を使うこと、もう一つはその中にコイルをぶら下げるが、コイルの空間に軟鉄をいれて、全体の磁気抵抗を少なくすることである。

真空管やトランジスタ増幅器のない時代に、わ

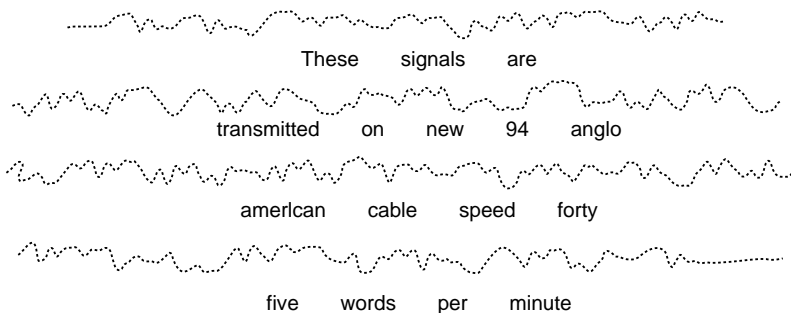


図4 大西洋海底ケーブルの実波形記録

ずかなトルクでペンを動かして記録するのは難しいことであった。コイルに生じた動きは絹糸を介して細いペンを動かす。ペンにはインクダメからサイフォン作用でインクが供給される。1867年トムソンはサイフォンレコーダの特許をとった。次第にいろいろな人の工夫が加えられて行く。当初はペンは紙に接触していなかった。小さな粒となったインクを紙の上にトンツの正負信号で左右にふれる記録であった。そのために起電器からインクに静電気をあたえインクが粒状になるよう工夫し、さらにインクが詰まったり、紙との摩擦にうち勝つようペン先にわずかなディザ振動を与えるようにも工夫された(図3、図4)。

ハートコンテンツ側がサイフォンレコーダを使いだした最初は1873年である。当初は複雑で高価な機器であったし、速度もミラーガルバノメータとほぼ同じであった。しだいに改良され速度が10ワード/分と向上して、技術者も1人で済むことから便利に利用された。イギリスのバレンシア側でも1880年には採用される。

サイフォンレコーダは、電気を記録する初めてのオッシログラフとも言えるインストルメンツである。やがて、可動コイルはピボットで支持されるように改良された。この海底電信ではモールの短点、長点方式に対応して、正パルス、負パルスが使用される。日本語では現波方式と呼ばれた(図5)。

ケルビン卿の生涯

ウィリアム・トムソンは北アイルランドのベルファストに1824(文政7)年に生まれた。7歳のときグラスゴーに移り住む。トムソンはなんと8歳のときにグラスゴー大学の数学教授である父の講義に出席していた。本当の天才と言えよう。グラスゴー大学をへてケンブリッジ大学でも学び、22歳でグラスゴー大学の自然哲学の講師になる。以後53年間を物理学の教授としてグラスゴーで研究に捧げた。

大西洋海底電線で活躍した1858(安政5)年当時は34歳、その功績で爵位を授けられトムソン卿、やがてケルビン卿となった。しかしケルビン

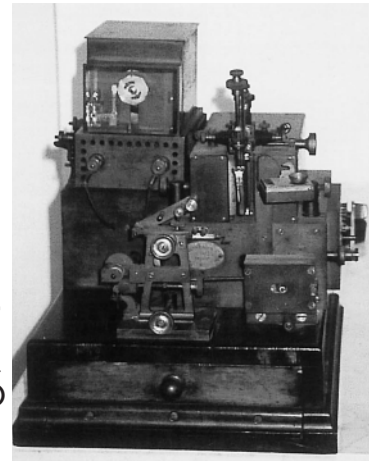


図5
サイフォンレコーダ(現波機、巾40cm)、ムアーヘッド社(1907年製)
(KDDI国際通信史料館提供)

卿が熱力学で残した功績はもっと大きなものであった。

ケルビン卿も最後に汚点を残した。のちに地球の年齢を推定する議論が起こったときに、地球表面から熱が失われてゆく時間から地球の年齢を計算して、1億年より大きくはありえないと主張した。この意見は地質学者や人類学者と相容れず、1859年に「種の起源」を出版したダーウィンも、現在の生物がとて1億年の短期間に進化したとは思えず大変に困った。実はケルビン卿は地球内部で放射性物質によって発生する熱があることを知らなかったからである。放射能の発見は19世紀末のことである。

1901年マルコーニによって、大西洋をまたいだ無線通信が成功する。英国の南西端ポルデュと、カナダ・セントジョンズ間を海底電線なしに通信ができた。あらたな情報通信の芽生えである。

<参考文献>

- 1) Joseph F. Keithley, "The Kelvin Scale, Transatlantic Cable, Sensitive Galvanometers, and Electrometers", The Story of Electrical and Magnetic Measurements, IEEE Press, 153 / 169, (1999)
- 2) 松本栄寿: 「インストルメンツの歴史4 大西洋の発見」オートメーション, 47 10, (2002)
- 3) Charles Bright, "Submarine Telegraphs", Lockwood (1898)
- 3) Scientist, engineers and Wildman Whitehouse: measurement and credibility in early cable telegraphy, BJHS, 29, 155 / 69 (1996)