

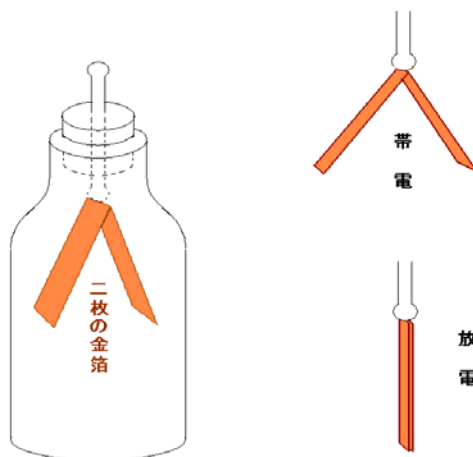
“光”と“電波”をつなぐ - ラマンレーザー

西澤潤一

(1) 電波とは

英国スコットランドからは多くの学者が生まれています。そのトップクラスでは、ウィリアム・トムソン（後年貴族に列せられてロード・ケルビンとなった）とジェームス・クラーク・マクスウェルなどは頂点にあったと言っていいでしょう。今日のお話しは、このマクスウェルが大きく貢献した分野のことです。

電気も磁気も目に見えませんが、他の人に教えることが大変難しい。磁気の方は、白い紙の上に砂鉄の粉を置くと、磁力線に沿って並んでくれるから、磁力線が目に見えるような感じになって、分かったような気分を味わうことが出来るが、電気というものの存在を知るのには、摩擦電気で、ドアのノブを握ろうとして飛び上がったり、雷が落ちたりすることからでしたから、大変難しいのです。



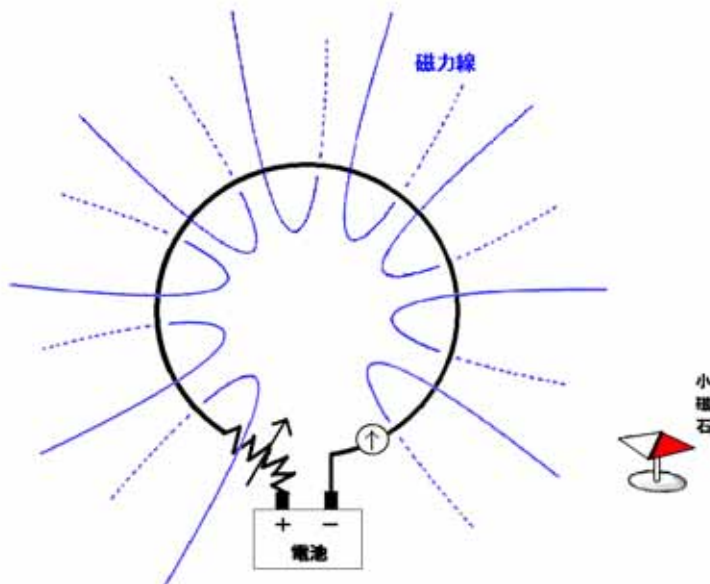
イタリア ボローニャに住んでいたガルヴァニという人が、1780年雨が降って雷が鳴っている時、扉の鉄柵に付いていた蛙の死体が生きているように動くのを見つけて、生物の身体が電気で動くこと（電気生物）、雷が電

気に関わる現象であることを学界で発表しました。この電気で生物の身体が動くことを電気があることを知る装置（検電器）として使うことさえ行なわれました。後に、ビンの蓋に二枚の金属箔の端を重ねて取り付け、反対の端が反発して開くことから検電することが発明さ

れるまで蛙の脚はよく使われたと言われていました。

それが静電気と言われる学問分野なのですが、流れる電気つまり電流、それと似た現象を起こす動く電気、つまり電気を動かした時の現象になると、いろいろなことが起こり、興味も起こるが、人間生活に利用出来ることもたくさん出て来ます。

まず電流を流したり、電気を動かしたりすると、その周辺、もう少し正確に言うと、そのまわりに磁気が出て来ます。逆に輪にした電線に電流を流すとその輪の中では大きな磁気を生じます。逆に輪の中に入る磁気を大きくしたり小さくしたりすると、輪にした電線には電流が流れます。急に変えた時ほど、電線には大きな電圧が出て、電流も大きくなります。



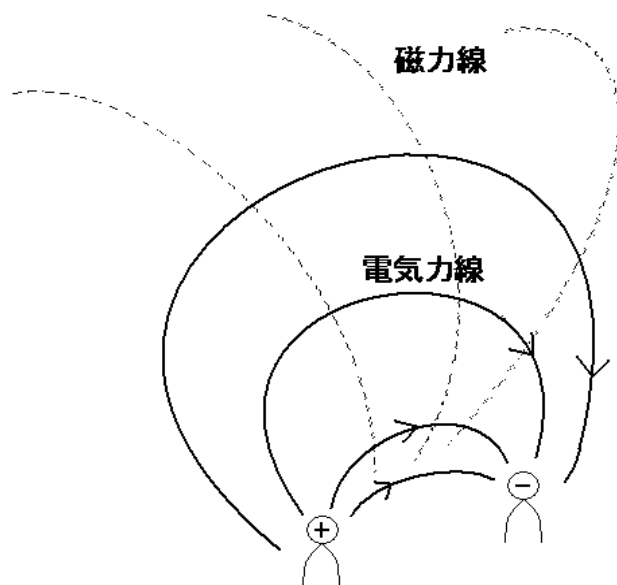
左図に示す二つの電極に加えた電圧によって+の極から-の極に向けて、僅かな電気に働く力があります。これを電気力線で示します。その電気がマイナス電荷であれば+極の方に向かって引っ張られる力です。この時変位分極していると言い、

変化させると変位電流という電流が流れます。何も無いところを電流が流れる筈がないと考えて、変位電流だけを通すエーテルなるものが我々の住む真空空間には充満していると考えた時代もあったのですが、今は真空空間でも変位電流は流れると考えるようになっています。

最初の+ - 電極に反対の電圧を足しますと二つの間の電気力は減少し、ついに反転します。これを繰り返しますと電気力は強くなり、遂に弱くなりはじめ、遂に零になり、再び反転して強くなりという繰り返しにしますと一般に交流と言われる滑らかな波にして使うのが普通です。数式としては三角関数 Sine など表現されます。

ところが、この電気力線に直角に交わる線を考えてみますと、電気力線が強くなっていく時には、この第2の線に沿って磁力を生じます。電気力線の強くなっていく割合が強い時には磁力が大きい。電気力線が最大値に達すると磁力は零になり、電気力線が減り始めると磁力の向きは反対になります。その電気力線と磁力線の変化の形は、時間のずれはありますが、サイン波の場合は同じになります。これが、理論展開においても実用においてもサイン波が基本になっている基だと伺います。

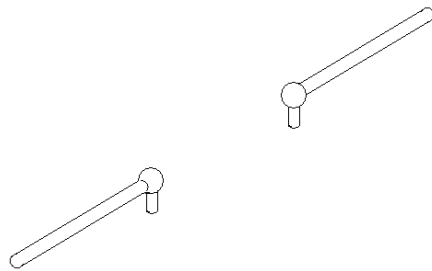
磁力線の増加は、それを直角の角度で取り囲む電気力線を同じくサイン波の形で作ります。従ってはじめての二つの電極に加える電圧を Sine の波になるように加えると、これを直角に取り囲む磁力線もはじめは強く、次いで漸減して遂に反転し、向きが反対のまま強くなるという同じサイン波になっています。ただし、この時、電流は伝導電流ではなく、誘電分極による変位電流になっています。つまり、普通の空間に二つの電極を置いて、二つの間にサイン波電圧を加えると、この電極から次々と電力線・磁力線が交る交る発生して、広がって



きます。これが電波です。左図のように電気力線と磁力線がおのの垂直になる方向を向いている時は、垂直偏向と言います。円偏向では電気力線の向きがグルグル廻り、これを追って磁力線の向きも廻っていくようになります。

電波があるということを示したのはハインリッヒ・ヘルツだと言われていますが、二つの電極の間に電圧を加えて、大気空間を通して火花放電を起こさせると、電流が流れた途端に電流が切れるから、極めて雑多な電流が流れ、1秒間に何回変わったかなどということが出来ない程で、

言い換えると何回変わると見なせる電流でもあるということになります。これと特定周波数の時だけ電流が流れないような回路を作って二つの電極の間につないでくと、その周波数の時だけ電圧が出てくるから、使う時に引っ張り出せばよい。このようにして特定の周波数の電波を作ることが出来るようになりました。この電波は二つの電極の間に交流電圧を加えるなどしただけでは、四方に向かってほぼ均等に球状に広がっていくことになります。



アンテナのはじまり

この一対の電極を結ぶ直線方向に金属棒を置くと、電波は、この金属棒に垂直に、二つの電極の間から出てくるようになります。このような金属棒がアンテナと呼ばれることになりました。

(2) 電波の発生

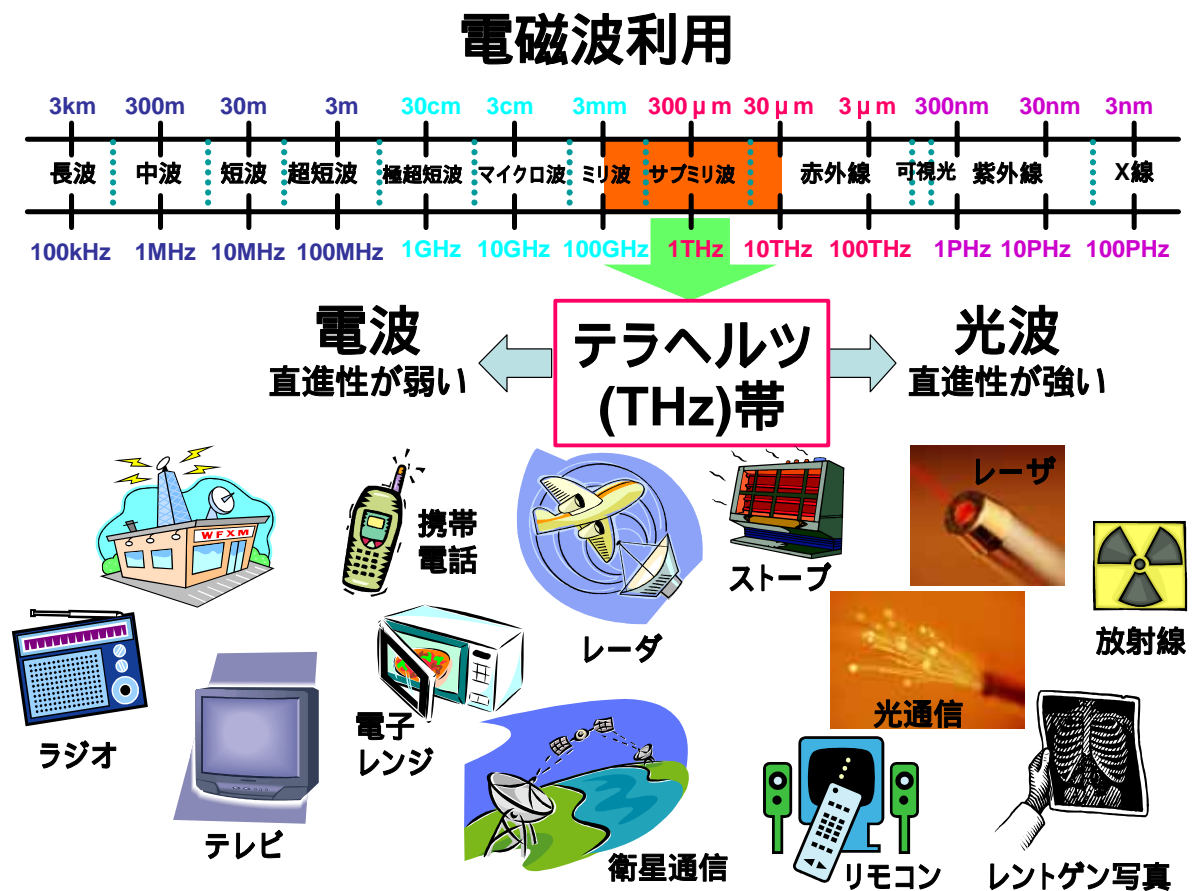
前章に述べたように、マルコーニ時代には放電管から出てくる雑多な電波の中からある周波数を選んで抜き出して使用しましたが、どうしても電波の不安定があって、信号に対しては雑音になってよく伝わらなくなります。だから真空管が出来ると、発振すると言ってサイン波を出すことはほとんど皆真空管になってしまいました。私が電気工学の勉強を始めた頃には、小指の頭ほどの真空管から人間よりも大きいものまでありました。真空管は加熱しなければ電子が流れません。これが欠点になって、半導体に負けてしまいました。半導体には加熱しなくても電子が流れることが、その理由の一つです。

1秒間に5,000回位電気力線が変化して元に戻る時、5キロヘルツと言い人間の話を伝えることが出来るとされています。10人分の話と同時に送るためには、ほぼ50,000回の変化が必要です。もちろん受け取ってから分けて1人分ずつの話にすることが出来なくては、話

が混合してしまいます。テレビの場合にはいろいろと明るさを送っていくことが必要で、そのためには1秒間に3百万回ほど変えた時出てくる電波が必要です。

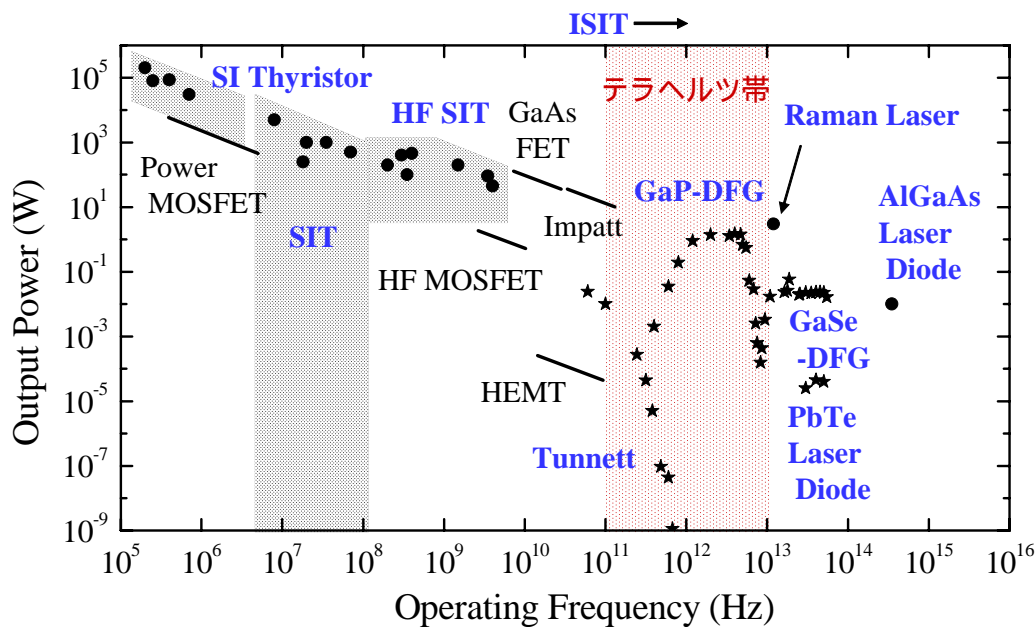
(3) 電波の利用

マルコーニ以来、次々と電波を作ってはそれをいろいろな応用に使ってきました。電波を割り当てるとすぐ足りなくなります。通信技術者はこれを新しい高い周波数で変化する電波の発生、つまり高い周波数で電気の向きを変える技術の開拓に向けます。



1983年、遂に処女地のテラヘルツ帯での発生に成功、その後の展開によって遂に光までどんな周波数でも発生させることが出来るようになりました。

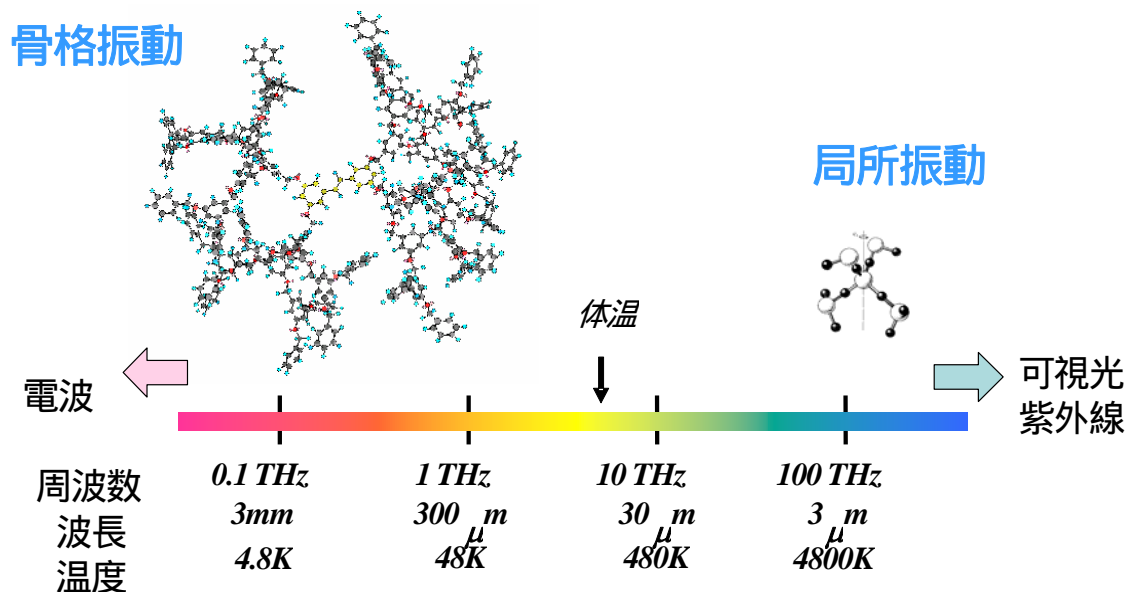
高周波電子デバイスとテラヘルツ発振器、半導体レーザ



SIthyristor: Static Induction Thyristor
 SIT: Static Induction Transistor
 HFSIT: High Frequency SIT

ISIT: Ideal Static Induction Transistor
 Tunnel: Tunnel injection Transit Time diode
 DFG: Difference Frequency Generation

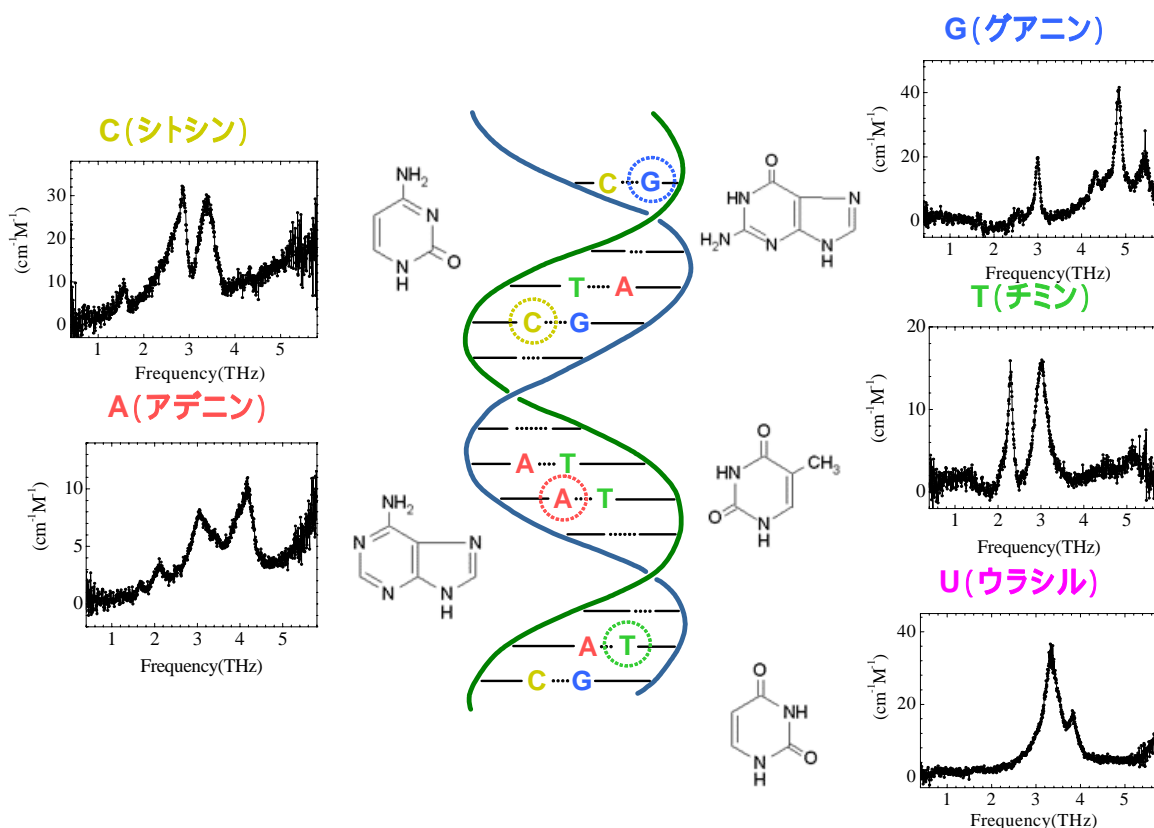
テラヘルツ (THz) 波



有機化合物の中の原子を電気力線を当てて引っ張ったり押ししたりすると振動が起こります。この振動周波数は、構成原子によって変わりますから、逆にどんな原子があるかが判ります。ただ、一つ一つの原子がいくつかの数の原子につながっていますから、単純ではなく、今後解析法が必要となります。

DNA や RNA の解析も出来るようになり、グルコースにガンマ線を当てて分子に欠陥を作ると識別出来ることを示すことが出来ました。疾病によって体内分子が変化していくことも、医薬品が患者の体内でいかに変化していくかなど、薬理学・医学・生理学などにも利用していただけるものと考えております。

DNA・RNA塩基のテラヘルツ吸収スペクトル



テラヘルツ技術の歴史

1957年	西澤 レーザ、半導体レーザの提案(日本国特許)
1957年	グールド LASERの命名(実験ノート)
1958年	西澤 タンネット(TUNNETT)ダイオードの提案
1958年	シャーロー・タウンズ ガスレーザの提案
1960年	メイマン ルビーレーザの実現
1961年	ジャバン ガスレーザの実現
1962年	ネイザン、ホール、キスト、パンコブ 半導体レーザの実現
1963年	西澤 分子・格子振動によるテラヘルツ発振の提案 ルードン
1964年	西澤・佐々木 収束性光ファイバ通信の提案(分散損失の消滅)
1965年	西澤 トンネル効果に伴う分子・格子振動によるテラヘルツ発振の提案
1966年	カオ 低吸収損失光ファイバの予測
1968年	西澤 タンネットダイオード(TUNNETT)の実現
1969年	パンテル 格子振動による周波数シフト観測(LiNbO ₃)
1973年	ソロキン・ウイン・ランカード アルカリ金属における四光子パラメトリック効果
1973年	西澤 理想型SIT(ISIT; Ballistic SIT)のテラヘルツ動作の予測
1979年	西澤・須藤 半導体格子振動ラマンレーザの実現
1979年	西澤 タンネットダイオード(TUNNETT)0.34 THzパルス発振
1983年	須藤・西澤 半導体格子振動ラマンレーザによる差周波(12THz)発生
1996年	川瀬・佐藤・谷内・伊藤 西澤・パンテル方式によるLiNbO ₃ テラヘルツ波発生
1997年	須藤・西澤 半導体導波路によるラマン光増幅の実証
1999年	西澤 Ballistic SIT(電子無衝突SIT)の実現
2000年	川瀬・四方・今井・伊藤 光注入パラメトリック効果テラヘルツ波発生
2000年	西澤 テラヘルツ波ガン検診・治療への応用の可能性
2006年	西澤・田邊 半導体レーザによるテラヘルツ波のCW発振

レーザーの発明

1957年 4月	西澤 レーザー特許出願(特許第273217号:半導体レーザー)
1957年 11月	G. Gould 実験ノートに装置図と簡単な数式を記述し、LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) と命名
1958年 7月	A. L. Shalov & C. H. Townes レーザー特許出願
1959年 4月	G. Gould レーザー特許出願
1960年 3月	A. L. Shalov & C. H. Townes レーザー特許取得 (USP2.929,922)
1987年 11月	G. Gould レーザー特許取得 (USP4.704,583)

似た事例

世界最初のデジタル電子計算機(コンピュータ)の特許は、
初めにJ. Eckert と J. Mauchly が取得 (ENIAC).

しかし、後に 裁判所はJ. Atanasoff と C. Berry と認定 (Atanasoff-Berry Computer (ABC))