

地球は電氣的に中性か？

—— その物性的チェック法 ——

伊 達 宗 行 (阪大理)

(9 月 1 3 日 受 理)

1. 緒 言

エレクトロニクスを駆使し(と言うべきか、或はエレクトロニクスに追われながら)日夜物性研究をしている我々にとっては、少くも現在の所では地球それ自体にはあまり面白味はないかの如くである。地球とは物を置く“台”であり、電気回路の所謂“アース”であり、時たまどこかでとれた地球の一部つまり岩石のかけらが“測定用試料”として登場するくらいのものである。

しかし一方では放射線科学、アイソトープの質量分析から岩石の年令を推定するとか、岩石の磁気をしらべて地磁気の歴史をたぐるといった新しい研究方法が、地味ではあるが着実な進歩をつづけているのを見ると戦後急速に開花した数多くの物性研究の成果を更に積極的に地球それ自体の研究に応用すべきではなかろうかという気になるのも又当然の事であろう。

その一つたり得るかどうかわからないが、まだ海のものとも山のものともわからないが表題のような設問を提出してその答えを求めるにはどうしたらよいかというのが本論の目的である。ばかげた事を考えるなといわれる前に少々表題の意味を説明する事としよう。

題意はくだいて言うと次のようになる。“地球全体として電氣的に常にプラスとマイナスが同量あるだろうか？ そしてそれは永久に変化しないであろうか？”

なぜこんな事を考えるかといえはそれは次のような事実があるからである。

地球はほぼ真空に近い無限の空間を太陽のまわりをまわりながら永久とも見える運動をしているが、決して完全な真空の中を動いているわけではない。大きいものでは隕石から小は一次宇宙線まで地球は色々のものにぶつかりそれを取りいれたり、又大気の一部をひきちぎられたりしているであろう。その収支決算の結果は無論第一近似では電氣的にプラスマイナスの総和がゼロになるようになるであろうが、これにかなりデコボコがありはしないか？ 一例をあげると太陽からの粒子は電子とプロトンが主であるがこれがいつも同量まんべんなく地球にふりそぐとは言えないであろう。例えば太陽面の爆発があると、まづ軽い電子が高速度で太陽を離れ、そして約2000倍も重いプロトンは比較的ゆつくりと地球に到達する。従つてこの電氣的シャワーはまづマイナスが、やがてプラスが降りそぐとなれば地球全体としては一次的にマイナスにチャージアップしやがてそれが減少して中性化する方向に行くはづである。これだけでも地球が常にニュートラルであるとは言えないであろう。

更に最近では太陽系内空間には比較的濃いプロトン—エレクトロンのガスが（無論太陽から飛び出したものであるが）存在する事が知られているがこのごくうすいプラズマ空間に少しでもチャージの濃淡があればその場所を地球が飛んでいく時にはこれ又いつれかにチャージアップする事になるであろう。

更に推測をたくましくすれば、はるかにうすい濃度ではあるが銀河系内にもガスが充ちているらしい。だから現在の太陽系が属する空間がもし銀河系として電氣的なプラスマイナスのかたよりがある所であるとすれば太陽系全体として何万年或はそれ以上のオーダーでチャージアップする事だつて考えられるであろう。

話が大きくなりすぎたようである。こゝで現実の問題に立帰ろう。このような問題をしらべるにはどうすればよいか？ それは極めて簡単に表現でき

る。即ち地球上任意の場所を切取つてその物質全体としてプラスが多いかマイナスが多いかを数えればよい。あらゆる“場所”を、そして色々な“時間”に調べねばならないであろうが、現在の物性的手段を駆使したらどこまで見込みがあるか？ それが以下述べる本論の主眼である。

2. 地球の絶対余剰電荷測定法

こゝで言う絶対余剰電荷とは後述の相対余剰電荷と対比させての話であつて、要するに地球が電氣的にプラスマイナス丁度打消している時をゼロと見た場合の余剰電荷の意味であり、相対余剰電荷とはある時刻、ある場所を切りとつて、その中にある電荷差と、別の場所、時間に切取つた物質中にあらわれる電荷差との差引きを言う事とする。

電氣的ポテンシャルの絶対量、とくに地上にいて地球のそれを測ることはやつかいな事であつて、しかもいづれにせよかなり高い精度の実験が要求される（地上のチャージがほとんど完全に打消している事は確実だから）ために実験方法はそう多く考えられない。もつともオーソドックスな方法の一例としては例えば次のようなのが先づ頭に浮んでくる。

(a) フェルミ準位の利用

要するにある物質を考えた場合、その中にある電子数が変化すれば当然の事としてフェルミ準位に変化がくる。電子がふえれば準位は高くなり、減少すればレベルは下る。この変化と何らかの方法でしらべる事が出来ればよいことになる。

初めにオーダーを当てて見よう。先づ人工的にチャージアップした場合にフェルミ準位がどれだけ変化するかを考える。真空中で1ミリギャップの平行金属板があるとし、これに3000ボルトの電圧を加えた時、金属板の厚さを0.1ミリとしてその金属板の単位体積中にたくわえられる余剰電子数を計算すると 1.7×10^{10} 箇/c.c. となる。上述の数値からわかるようにこの

条件はかなり高い帯電状態に当るが、それにもかかわらず単位体積当りの電子数が 10^{10} 箇程度にしかないことは、残念ながら少くとも現在の物性的手段では電子数変化の測定が非常に困難なことがわかるであろう。非常に高純度のシリコン・ゲルマニウムでもその不純物を 10^{10} 箇以下におさえる事は出来ず、したがって 10^{10} 以下、現実には 10^5 箇以下の余剰電子を“物性的にかぞえる”事は不可能である。感度の高い電子スピン共鳴でも $10^{10} \sim 11$ 箇どまり、色中心や励起子の解明に力をみせた分光学でもこの微量の電子数変化は追いきれない。こんなわけでせつかくのアイディアも現実的なものとなり得ない事がわかる。

(b) その他の方法

その他になにか方法はないものか？　こゝであるいは何も大げさに新しい物性測定法などもちこまなくても昔からある箔検電器を使えばよいではないか？”　と反問されるかもしれない。

しかし箔検電器は後述するように相対的測定には原理的によいけれども絶対測定にはあまり向いていない。何故かといえはそれは金属の接触ポテンシャルのために被測定物とコンタクトする時、はなれる時に電荷が若干移動して完全中立の状態を実現するのがむづかしく又その判別法もなさそうであるからである。それでも地球にかなりの電荷差があつて、ほつておいても検電器の箔が開いてしまうようになる程であればなにも苦勞はないわけである。こんなわけで今の所あまりうまい案もない。

3. 相対的電荷測定法

絶対ポテンシャルの測定が困難だとすればせめて相対的に測れる方法はないか、相対的にでも電荷差がわかればずいぶん面白い事がわかるであろう。グリニツチの標準時の如く地上のどこかで、そしてあるきまつた時間に世界の標準を決めてその場所の単位体積中の電荷差と、他の部分をくらべるこ

による御利益を列挙してみると、

- (a) 同一時刻に地球上の各地で一せいに中央標準電位とくらべる事によつて地球上での帯電分布（単にカミナリなどの局地的帯電に限らない）がわかり、ひいては地電流即ち地磁氣の原因と深い關係が出るであろう。
- (b) 更にこれの時間變化を追求する。たとえばある地点における daily change, annual change を長期觀測する。前記のような太陽の爆発と地球上での影響のズレの問題等、興味ある事柄が多い。
- (c) ロケットやサテライトで超高空のガスを集めて比較すれば更にはつきりと地球の電氣的構造がわかるはずである。

以上、盛りだくさんな事ばかり書いたがしかし相對的余剩電荷差といえども、上記のような大ぶろしきをひろげるだけの能力ある装置なしには測定出来ないではないかと反問される読者が多いであろう。

紙数が大分進んでから本論の主旨を述べるのはおかしいが、実はこれからのべる相對的余剩電荷測定装置、即ち上記大ぶろしきをカバーするに足る装置のアイディアが主眼である。つまり論じつめて見ると絕對的余剩電荷は今の物性をもつてしてもどうも出来そうにないからとりあえず相對的測定を完成するに足る装置について集中的に考えてみよう。こういうわけである。

前節に予告したようにそれは箔検電器の一種であるが、今や時代物としてあまりかえり見られない箔検電器を大巾に改良して近代的な測定器に衣換えさせてみようというものである。よく知られているように、荷電狀態を知るためには箔検電器を用いる事は古くから行われている。そして之を非常に高い精度に改良して雷の研究等に利用したのは有名なウイルソン（霧箱のウイルソン）であつたが、この有能な金箔検電器でも前述のような“大それた”目的には利用出来ない。なぜかといへば次の二つの大きな欠点があるからである。その一つは長時間の使用にたえない。つまり一度箔を開いた状態にしておいてもやがてしぼんでしまう。その理由は二つあつて一つは大氣中から

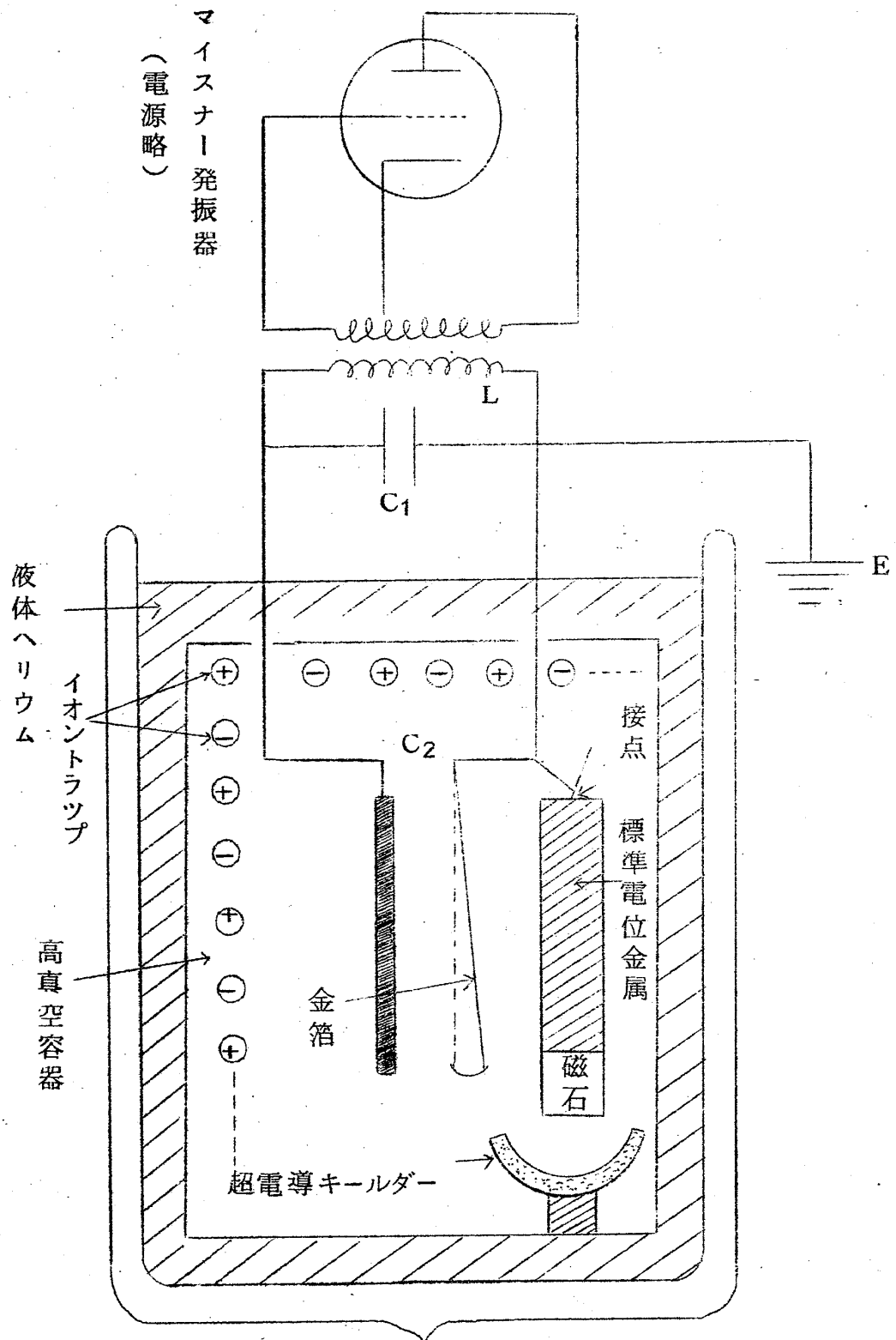
の放射線（宇宙線も含めて）と地中からの放射線が検電器内のガスを電離して之が金箔の電荷を消してしまう。もう一つは箔のホルダー沿いにごくわずかではあるがリーク電流がながれてこれ又箔の電荷を消してしまうからである。この放射線に対する効果はひところ逆に放射線源のチェックに用いられたのであるが、その後カウンターのいちじるしい発達のために、この検電器は物置のすみでほこりをかぶる事となつたわけでもある。

第二の欠点は感度の点である。けつきよく金箔の開きが元であるから昔はこれをスケール付き望遠鏡などで見えていたために感度の限界がそこにあつたのも又やむをえなかつたわけである。

以上のべた二つの大きな欠点をもし除く事が出来たら箔検電器は一躍トップクラスのモダンな測定器たりうるのではないだろうか？ つまり一年でも二年でも連続的に使用し得る、そして今までよりはるかに高い精度のある検電器が出来れば前述の種々の大ブロシキも又充分射程内にキャッチ出来ることになるであろう。

このような構想の下に考えた新らしい箔検電器のブロック図を第一図に示す。原理は何かといえはまづチャージリークを一切さけるために標準の金属片を高真空中に保持するのがポイントの一つである。そのために液体ヘリウムをトラップに用いたシールドケースを使い、この中に超電導の完全反磁性を利用して所謂フローティングマグネット法による完全に **contact free** な金属片を空中に浮かしてしまふのがミソである。そうすれば一切のリーク電流によるチャージ移動はなくなり、且つ極低温における空気の蒸気圧は 10^{-20} mmHg以下という地上最高の真空度であるから残留気体が放射線でイオン化されて影響を与える事はほとんど考えられない。問題はむしろ金属容器の壁をしみ通るヘリウム原子が無視できず、これのイオン化がいくらかのこるだろう。これは容器内に高電圧のイオントラップを用いて除去できよう。更にそれでも問題があれば外側に放射線シールドをすればよい。

第一図 改良型箔検電器



この装置のもう一つの特徴は金箔のひらきを電子回路のコンデンサーキャパシティの変化として読みとる所にある。LC回路が直流的に独立している発振器の例としてマイスナー回路を用いてあるが図のようにして箔の動きを発振周波数の変化として読めば非常に高い精度で箔の動きをキャッチ出来る。

さてこの装置を使つて地球上の相対電位をはかるにはどうするかその段取りをのべよう。ある標準地点の標準時間に装置の“アース”を附ける。そして標準金属に接点を閉じてこの金属をアースと同電位とする。これでスタンダードが決り、そこでこの接点を開いてこの金属を完全に孤立させてしまう。この時金箔はもちろん垂直となるであろう。

次いで装置を地球上、もしくは外へもちだし測定したい所で“アース”を取る。すると標準地点と電荷の数がちがえば必ず箔は動くはずである。このため回路の発振周波数が変化するからそれを読取ればその地点の電荷状態がどれだけちがつてきているかを知る事が出来よう。注意すべき事は図のような装置だとプラスがきてもマイナスがきても箔は金属片に吸いよせられるように動くことになり、符号がすぐにはわからないことになる。しかしこれは補助装置としてバイアスをつけてやればすぐチェック出来るから問題はない。

プリンシプルは以上の通りであるがこの装置を完成するには色々問題があると思われる。例えばフローティングマグネットの振動の問題、最終的な電氣的アイソレーションがどこまで可能か、つまりヘリウムさえ加えれば一年も二年も標準電位を保つてくれるかどうか？、等の原理的問題を初め、ヘリウムを年中補給するといった現実的問題もあろう。

しかしいづれにせよこのような装置は少くとも箔検電器という古い装置の飛躍的な性能の向上をもたらすものである事は明かであろうと考えている。従つて昔ウィルソンが雷を研究した時のような局地的な、そして比較的早い変化を示す帯電現象ばかりでなく、本論にのべたようなもつと大がゝりな、

少くとも地球を相手とするような帯電現象に対して充分有効な装置たりうるであろう。このような見地から我々は相対余剰電荷測定器としてのこの新型金箔検電器の試作にぼつぼつとりかゝっている所である事を附記して本論を終ることとする。

液 体 He^3 - He^4 の 二 相 分 離

松 田 博 嗣 (京大理)

松 原 武 生 ()

§ 1. Introduction

Fifty-three Conference で知られる 1953 年の国際理論物理学会から早くも恰度 10 年の歳月が流れた。京大人文科学研究所の 2 階の classic な hall で Professor Prigogine が黒板に linear coupled oscillator の図をかきながら早口の French English で isotopic mixture の話をされたことが脳裏によみがえってくる。その後 Physica に発表された一連の論文で Prigogine らは二種の isotope よりなる lattice において isotope が Pure isotope の二相に分離しているときと混合しているときの零点エネルギーの差について次の結果を得た。¹⁾²⁾³⁾

- (i) 一般に二相に分離しているときの方が zero point energy は低い。
- (ii) harmonic model ではそのエネルギー差は小さく、摂動論によれば He^3 - He^4 で 0.003°K の程度である。このことは一次元、三次元で本質的な差はない。
- (iii) Lennard-Jones の 6-12 potential