

振動する地球磁場を利用する考古経年

大阪大学基礎工学部 川井直人

約100年前MercautonとMerariはエトナの熔岩が冷えて固結する時、当時の地球磁場の方向に磁化されるという事実を実験的に着想した。

まだP.Curieが物質には磁化消失温度（キュリー温度）があるということを発見した時よりも遙かに昔である。物質を高温に焙焼するとその中に含まれる磁性体が作用する磁場の方向に平行し又その強さに比例して磁化されるという事柄はフランスではTheillierが又我国では永田の基礎実験があり戦後になってフランスのNéelが初めて「ゆらぎ磁気余動理論」を出してまとめたものである。この論文は極めて難解なもので、私もなれないフランス語を辞書をたよりに何日もかかって読んだ若かりし頃を思い出す。事柄をわかりやすく述べると、強磁性体は磁区という小さい磁石の集りから出来上っている。磁化するということは幾つにも分れたこれら小磁石の方向を一定にそろえることである。多くの小磁石があちこちばらばらであると磁石は互いに打ち消しあって全体として一つの磁石にならない。磁化するには磁場を磁性体に加えるといがこれには地磁気のように弱い磁場では無理でその何百倍、何千倍もの強磁場が必要である。

ところが磁性体が常温でなく高い温度、特にそれが先述のキュリー点の近傍なら原子の熱運動力の助けによって磁化が容易になり、0.5ガウス程度の磁場でも極めて能率よく進行することが理論的に解明されたのである。そしていったんこのような状態で磁化されて冷えると高い温度の状態即ち地磁気の方向と強さが半永久的に冷凍され後何千年、何万年たっても不変であるというのである。

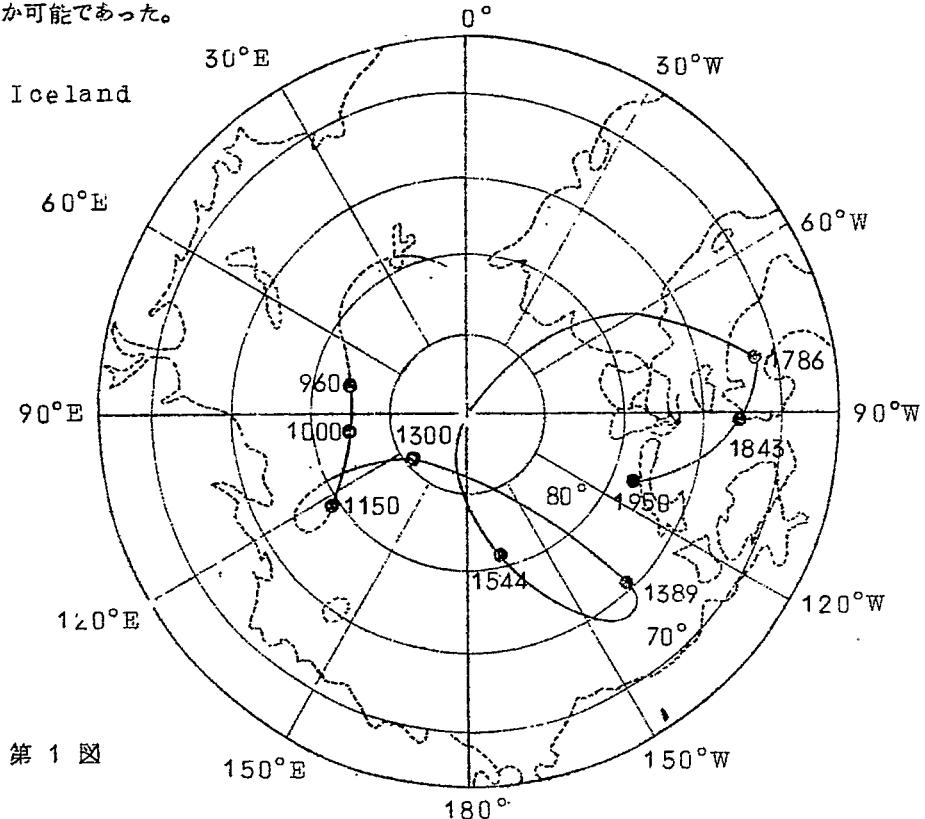
さて、古人の焙焼した土の中には鉄の水酸化物、鉄を含む各種の粘土、又は磁鐵鉱、赤鉄鉱、チタン赤鉄鉱などが一般に微量ではあるが、必ず含有されている。これらが高温で焙焼されると酸化炎ならは赤鉄鉱が又還元炎ならは磁鐵鉱が焼土内に発生しそれが冷却時に磁石となるわけである。例えばのほりがまの場合ならばかまの周囲が700度以上に焼かれ赤鉄鉱は完全に地球磁場の方向に磁化している。同様の磁化機構は焼かれた土器にも通用する。例えば皿などの土器を磁力計に近づけると器械が大きく振れて皿の上面に負磁極が又皿の下面に正磁極があらわれ昔日の地磁気が立派に印しづけられていることがわかる。又背の高い水差のよう直立性のやや不安定なものの磁気分極を測定すると昔の地磁気の偏角は知れないが伏角はかなりの信頼度で推定す

ることが出来る。このような土器はかなり正確に鉛直におかれた後焼成されたはずであるからである。物によってその精度は異なるが私の経験では2-3度以内に伏角の誤差を押えることが出来る。この種の研究で最近ソ連のツビリシにて過去2000年間の伏角変化の大様が明らかにされた。あとでこの結果も引用する。

年代の明らかな有史焼土、及びこの他に噴出時の記録の明らかな熔岩などを対象とし伏角のみならず偏角と地磁気の強さを実験室に再現する一般の研究をArchaeomagnetismと呼んでいるがこれはTheelliéryによって命名された。

有史熔岩の研究で最も著名なものはBryn Jolfsonによるアイスランドの熔岩堆積層の測定である。昔のアイスランドは気候が今に比べて極めて良く温暖であった。人も多く住んでいたらしい。アイスランドは大変な火山島で何千本もの熔岩流が存在し第3期中期より現在に至る殆んど連續的につみ重っている。

A.D. 800年頃より今まで少くとも歴史に残った噴出が12回もあってArchaeomagnetismが可能であった。



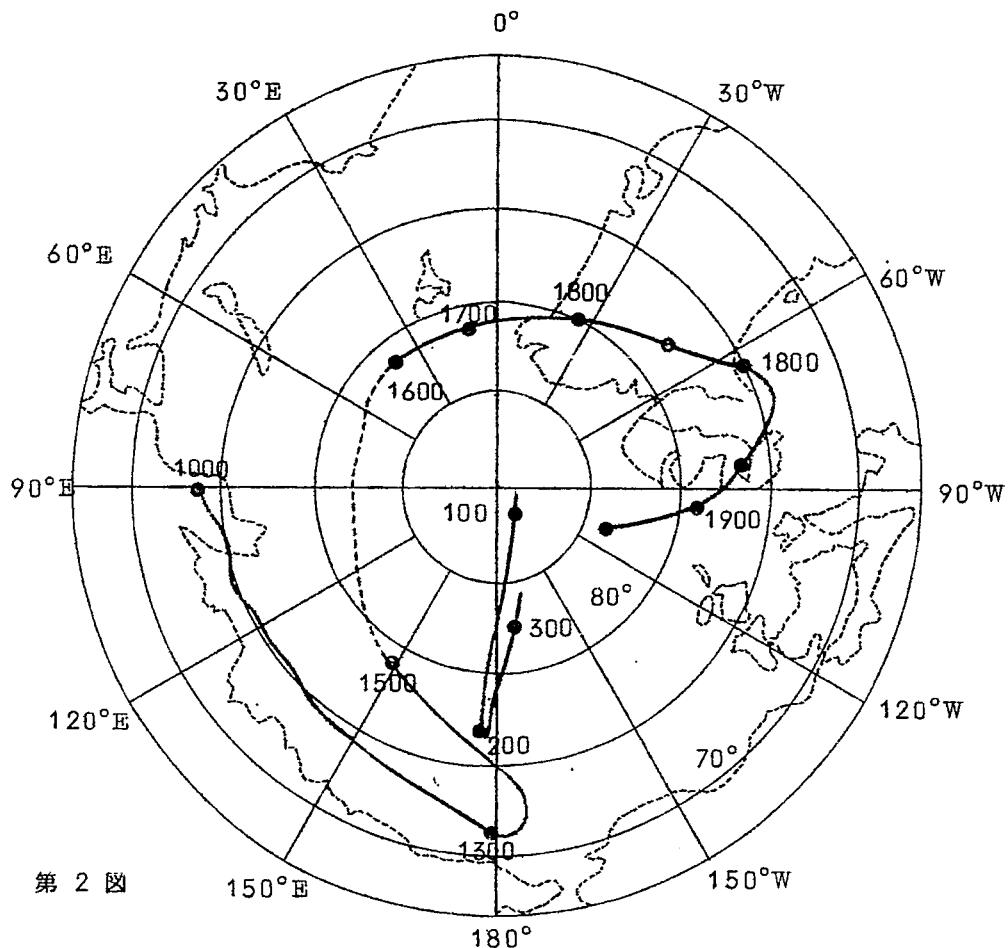
第1図

Bryn Jolfsonはこの測定を行って第1図に示すような結果を得たのである。この図には

偏角と伏角より地球磁場の双極子の位置を計算によって近似(これを近似双極子とよぶことにする)これを plot したものが示されている。真の双極子は世界各地の地球磁場の測定から球函数を使って分析して求めるのが一般でアイスランド島の一地点から双極子近似法によって直接求めると局所的な地磁気異常の影響で大きい誤差を伴うものである。それにもかかわらず過去1500年間にこの近似双極子は地球の自転軸のまわりに大きく振動していることがわかる。Brynjolfsson はこの振動にはふれずただ測定結果のみを正直に発表した。一方我国に於ては東大の渡辺直経氏が約10年前よりArchaeomagnetismを確立しこれを経年に利用しようという明かな意図のもとに長崎東地方の焙燒土の測定を行い結果を発表した。地磁気の変化が比較的短期間の運動がくりかえされるものであると仮定し偏角と伏角の変遷をまとめた。これに対し Thellier は常に強い反対意見を持ち渡辺氏を学会の席上に於て激しく攻撃したことがある。Thellier は先づ地磁気の永年変化が全く地域的なものであることを述べ次いでかって Shvaillier かシリ一島の火山研究をまとめる時やはり磁場が Cyclic な変化を示すと仮定して発表したことがあったがこれが後の研究で間違いとわかったことを指摘して反対したのである。又 Thellier は信念として地球磁場の変化を経年などに利用することなど考えたこともない。その逆に時代の明らかな焙燒土のみを対称に研究してあくまでも永年変化のみを追求するのか地球物理学者の本命だと信じるピューリタンである。

我が国では渡辺の他にも東大地球物理科に於て行司か伊豆の有史鉱石を用いる同様の研究がある。結果は渡辺のものとある程度異っている。又筆者等は1961年に Thellier が京都に来た頃から京大考古学の方々の魅力を得て Archaeomagnetism をはじめ手がけていた。

最初の頃は今から考えるとスタンプコレクション的研究であった。炉跡が発掘されたからこれが取除かれない前に採集しておき研究室に持ち帰って暇を見て測定するにすぎず長い消極的な研究態度であったことを認める。その後に京都にいた研究者も各地に出張し私も京都を去って阪大に移った。京都には新に笠島が来て Archaeomagnetism の研究を始めた。こんな時英國では Aitken が Oxford 大学で Archaeomagnetism をはじめました後、考古経年に利用する研究を始め、ローマ人の炉跡をかなり熱心に測定し始めた。この少し前に Cambridge に於ても小川のように細くて短期間に蒸発してしまった研究が Belshe によって行われたことがある。今彼の結果を見てみるとこの中絶は甚だ惜しまれてならない。研究の永続性の重要さを感じられる。

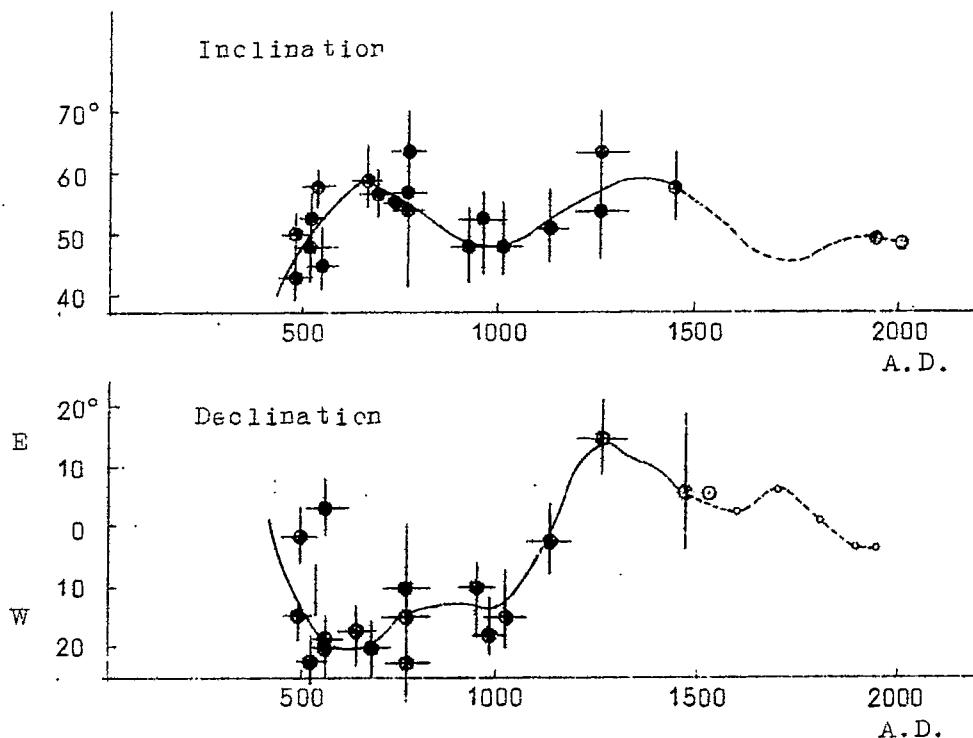


第2図

Aitken の求めた近似双極子の分布を第2図に示しておこう。図を見ると 1000 年 A.D. より 1500 年 A.D. までが Archaeomagnetism からの結果で現在まではロンドンのキュガーデンに於ける地磁気観測所の器械による永年変化実測値から求めたものにつないでいる。変動する近似双極子は英國でもかなり激しい動きを見ることが出来る。

さて、私は助手の広岡君と阪大に引越して建築から始る新学部の建設を行った。研究する道具も何もなく大げさに言うとロビンソンクルーソーもかくやったと思われるような研究生活から始めて多忙な日々も多かったが一方又何も出来ない日々もあった。そこで今まで集めて来たスタンプの整理でもしようというので Archaeomagnetism の data を見直してみるとことにし何日もかけて結果を出してみたところ偏角と伏角が時代と共に規則正しくならぶことがわかった。

(第3図)



第3図 伏角(上)と偏角(下)との時間変化(日本)

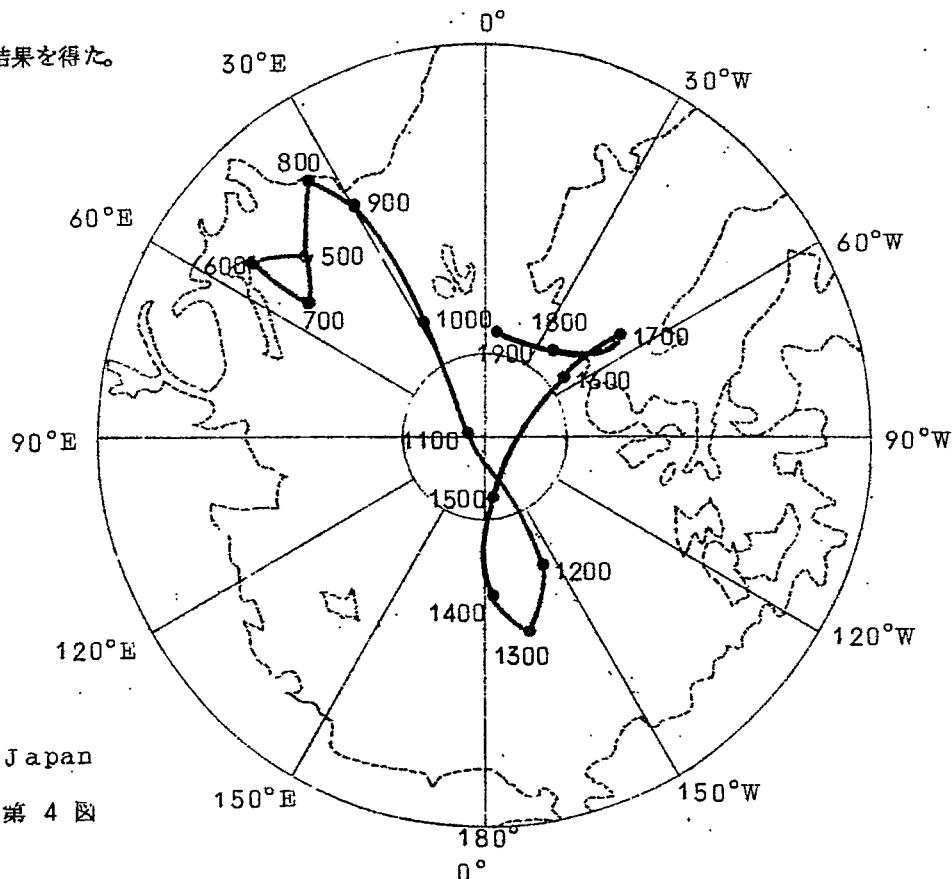
大きい反時計まわりの運動の中に小さいloop かいくつかあってそれが地球のまわりをかけまわっているのではないか。発見は喜ひと驚きに変わった。

日本に於ては 600 A.D.頃より 1400 A.D.までの炉跡が多くそれよりも古いものは現在のところ数少ない。

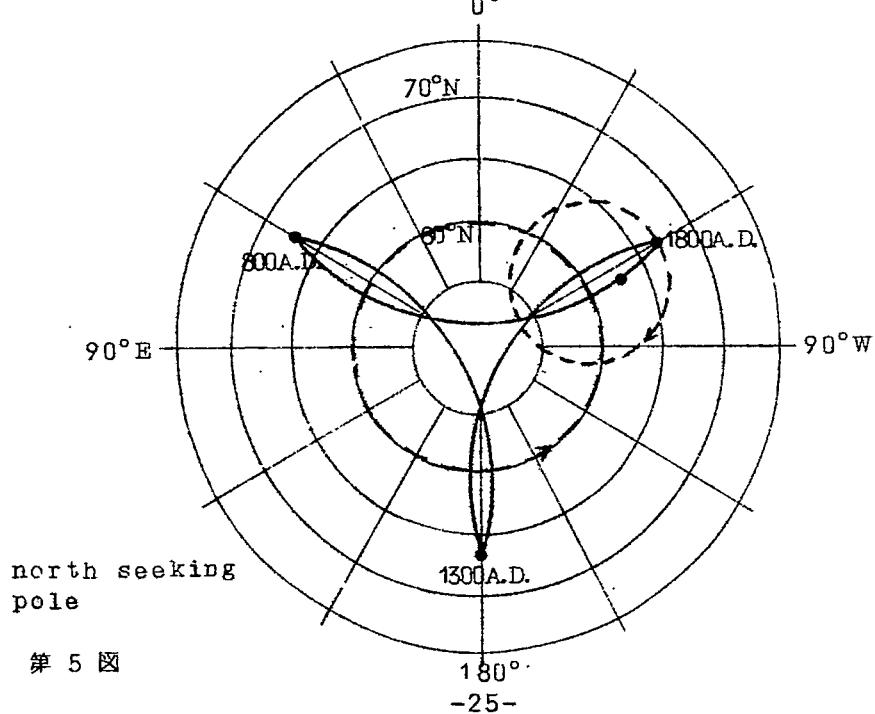
又過去 100~200 年頃も data がなくハリスやオランダの渡航船が行った地磁気測定結果と伊能忠敬の天体測定及び磁針測定などの数点しかない。信頼度も従って Archaeomagnetism に比し極めて低くロンドンやパリーの一応整った研究所の結果にも比肩し得ないことは勿論である。しかしながら地球上ヨーロッパと経度を 120 度も離れた地域での測定例として甚だ貴重であり、地球物理学上この上もなく有益な結果であった。伊能忠敬や Haris も 20 世紀の科学にこんなに役立つ仕事をしたとは夢にも思わなかつたであらう。

さて、整理した後にわかった日本に於ける近似双極子の動きは第 4 図の通りアイスランドと英國のそれによく似ており大きい振幅を持っている。アリゾナでも DuBois が最近インディアンの焼土の測定を行い、有名な Wood Ring 法で行った経年結果と並列して後で示すような先事

な結果を得た。



第4図



第5図

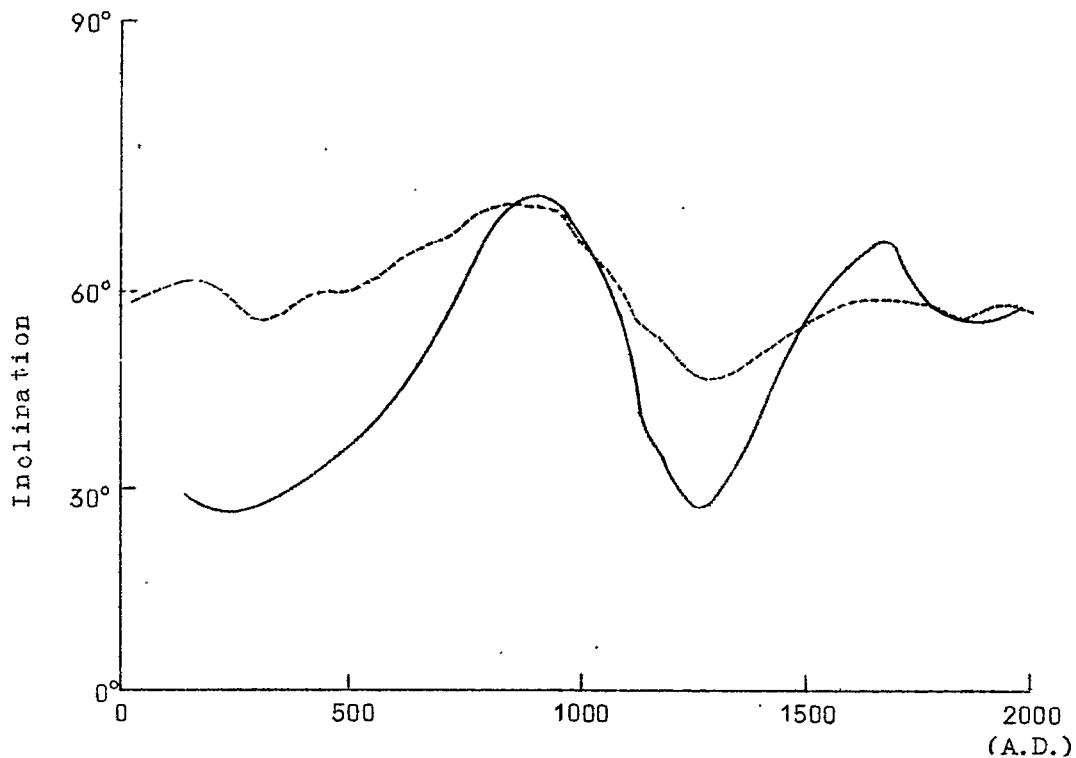
私達は、アリゾナの結果が出る以前に前述のアイスランド、英國、及び日本の三地域の測定結果から第五図に示す如き地磁気双極子の1500年間の変動を推定した。大ざっぱにこれをながめると700A.D.より現在までの間約1000kmの半径で反時計まわりに回転して一周期を予想すると約1500年ということになる。しかし詳しく注意してながめるとこの反時計の回転の他により小さい半径約400~500kmで回転方向が前と反対、つまり時計まわりの小回転が重複していることがわかる。そしてこの周期は前の大回転のそれの丁度 $\frac{1}{3}$ で500年であることがわかった。反時計まわりと時計まわりの両回転が重った時に画く近似相極子の図型はジュードハイポトコロイドとよばれるものであって今英國で発明されたスプリトグラムと呼ぶ玩具の画く図型と全く同様である。もしこの運動が事実であれば地磁気双極子の北極は地球自転軸のまわりを1500年で振動しながら反時計まわりに動きそのあいだに三つの時計まわりのloopをかくことになる。二つの回転方向が丁度正反対であることから磁極の移動が極めて早い時と大変遅い時があらわれる。つまり反時計方向の動きと時計方向の動きとが位相を同じくする時と180度位相差を示す時とが必然的に出て来る。磁極が一番大きく自転軸からはずれる時一番遅くなり自転軸の近傍を通る時には急激な速度を持つことがわかった。Gilbertによって地磁気の性格が明かにされロンドンやパリで科学的計測器械による変化の追求がはじめられ現在にいたる200年間が皮肉なことにこの緩慢期にあたっていた。

20世紀になって多くの地球物理学者が地磁気の本性をつかもうと大変な努力をしている。先ずVestineは1835年より1955年間の世界の地磁気測定結果を前述の球面調和解析をやり、この期間に双極子が移動したという事実を支持する根拠が全然ないことを指摘した。又彼は英國の有名な地球物理学者Bullardと協同で研究を進め双極子は動ないが地磁気の局地的な異常で球函数の高次項で代表される部分は地球岩石部分(マントル)に対して西方に移動しているという大変顕著な事柄を発見した。これは地球の核内に対流運動が発生していて地球自転の効果とからみ合い、いわゆる角運動量保存則から来るコリオリの力の結果である。

これを地磁気西方運動といいう。この大きい発見にショックを受けた多くの地球物理学者は地磁気の永年度化がこの西方移動で即ち局地的な磁気異常が我々の住むマントルに相対的に西へ西へと時間と共に動くことによって発生し、地磁気がこの結果時間変化をするという固定観念を深くいだくようになった。この強くて深くしみわたった地磁気永年変化の大理論に対し私がArchaeomagnetismから求めた双極子の比較的短時間に亘る振動論を以て挑戦することになってしまった。従って多くの反論に遭遇した。その第4はThellierの言うように永年変化とは局所的なものにすぎず日本だけのdataから 世界的現象を推定したことの非をきめつけるもの

である。

私はこれに対し、この双極子の振動は日本の結果に表れているのみならず、ヨーロッパ特にアイスランドと英國、シリヤー島の結果、ソ連、ツビリシの伏角の変化にもよく一致すること（第6図）又当時は今程進歩していなかったが北アメリカ、アリゾナのアメリカンインディアンの培養土の結



第6図

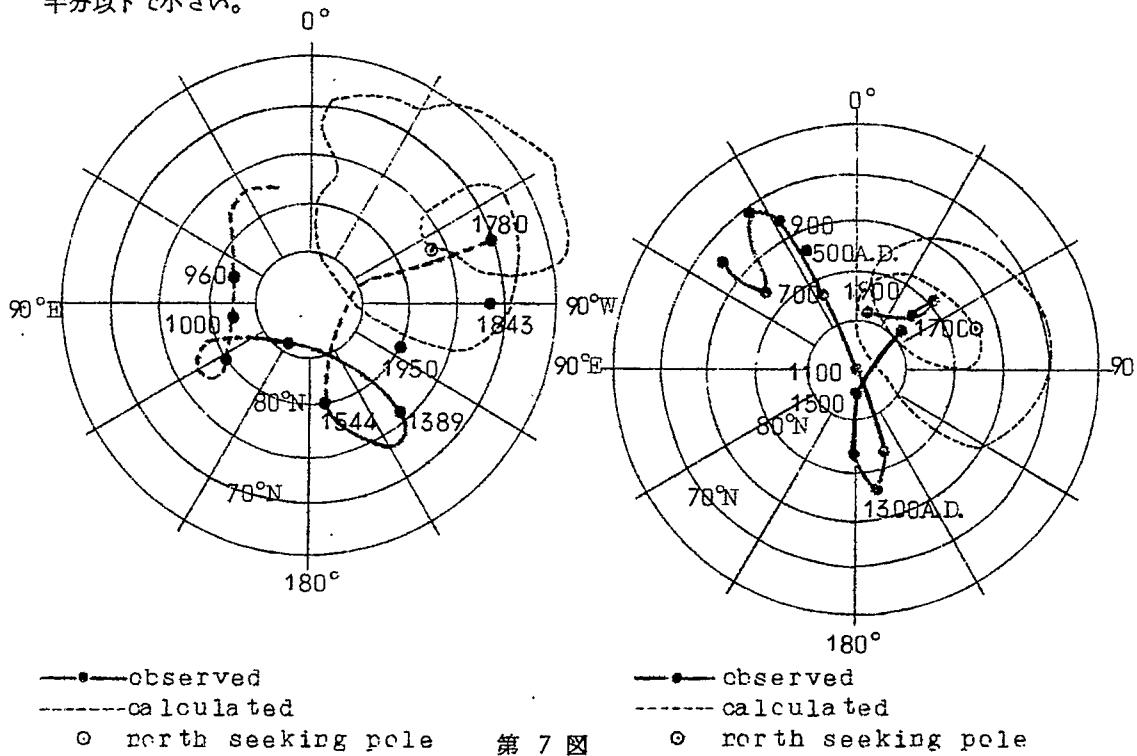
果をもよく説明することを述べた。又逆にこれら 世界的な data が経度や緯度を各々異にして いるにもかかわらずほぼ一致することから局所的磁気異常の西方移動では説明しがたいと反論した。

私の理論に対し強く反対するもう一つの強い研究グループがある。それは Poell 和 Cox を中心とする米国地質調査所の人々である。彼等は太平洋の中心にあるハワイ島の新しい熔岩の磁化方向、及び強さを測定した結果この島を形成する積層熔岩流群が長年月、おそらく 1 万年間の間かかって出来たにもかかわらず常に一定した磁化方向を持つていることを明かにした。この結果地球の双極子は非常な慣性を持っていてそんなにうろちょろ振れ動くものとは思えないといふ実証的立場からの反論である。現在、太平洋地域には前述の局地的異常が殆んどあらわれないことから太平洋下部のマントルは大陸地域のそれと異っていて非常に電気伝導性がよくいわゆる局地的磁気異常の

西方移動を遮蔽する効果があるとされておりハワイ島でのPalaeomagnetismの結果こそ局地異常によって乱されない双極子の眞の姿を正しく捉える最高のdataであるという。若し Doell や Cox のいう通りなら世界のArchaeomagnetismをよく説明することが出来ないことを後で述べよう。

地磁気の西方移動の存在を私は否定するのではなく、この移動による小変動以上に大きい双極子の振動がこの2000年間続いて来たことをのべたまでである。

最近、世界の局地的磁気異常表から計算により西方移動がBullardの言う如く発生した場合の各地に於ける地磁気の変化を計算して求めてみた。アイスランド、ロンドン、京都、アリゾナ等に於ける西方移動のみから予期出来る永年変化である。この永年度変化によって移動する近似双極子の軌跡は第7図に示すようなものとなり確に各地で求められたArchaeomagnetismの軌跡と一寸相似する点もあるが計算から求めた軌跡の振幅は実際の測定から求めたものに比し半分以下で小さい。



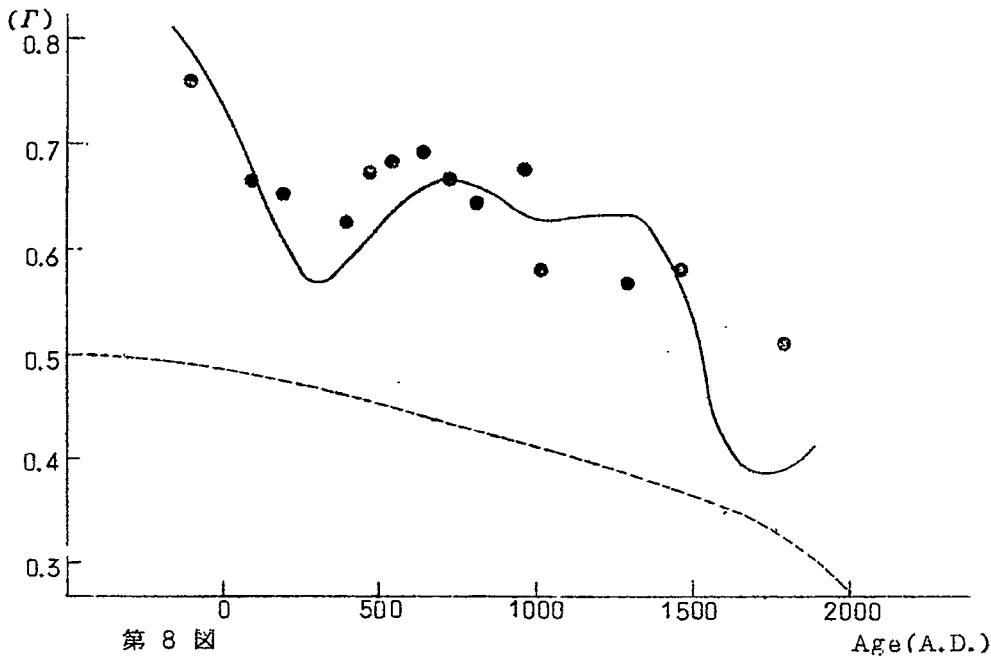
永年変化の原因を西方移動のみ探そうとする考え方を進めるともう一つの重大なそして説明困難な問題が出て来る。それは現在の双極子の軸が自転軸と11.6度傾いていることによつてゐる問題である。Bullardを始めとし大半の地球物理学者の信じるところによるとこの双極子は千年

や二千年間はビクとも動かないでカナダの北部に釘づけになっていた。そしてこの固定した双極子は両方に移動する非双極子磁気異常に較へて約10倍も大きいわけだから磁気異常によって伏角と偏角が乱されたとしても親の固定双極子による地磁気ベクトルのまわりにほんの少しうれ動くだけである。従ってこれから求められる近似双極子はカナダの北部の今の双極子を中心としたやや径の小さい図型を軌跡としたものでなければならぬ。

ところが実際にArchaeomagnetismから求められる軌跡はカナダの北部を中心としたものでは全くなく地球の自転軸つまり地理学的北極を中心としたものであった。これが西方移動論ではどうしても具合が悪いところである。私は以上の理由からハイポトロコイド振動が過去から現在又将来にわたっても長年月存在し磁極はいつもコマの軸のような運動をして自転軸のまわりをふれ動くと考えているのである。

第6図の実曲線はツビリシの土器から求められる伏角の変化で破曲線は私達の振動があったとした時当地で生ずるであろう伏角の変化を図示したものである。計算値の方が多少小さいが時間と共に増減する伏角に定性的なより一致が見られる。

又京都に於ける昔日の地磁気の強さを再現すり研究があり笠島と前中によって測定された。双極子軸が例のモデルで示されるような振動をすると前にも述べたように地磁気のtotal intensity 即ちベクトルの大きさが30%程度で増減するはずである。第8図には実測値と計算値を示した。両者は測定の誤差などを考慮すれば見事な一致であり強く私達の振動を支持しているかに見える(点は実測値で曲線は理論から求めたもの。)

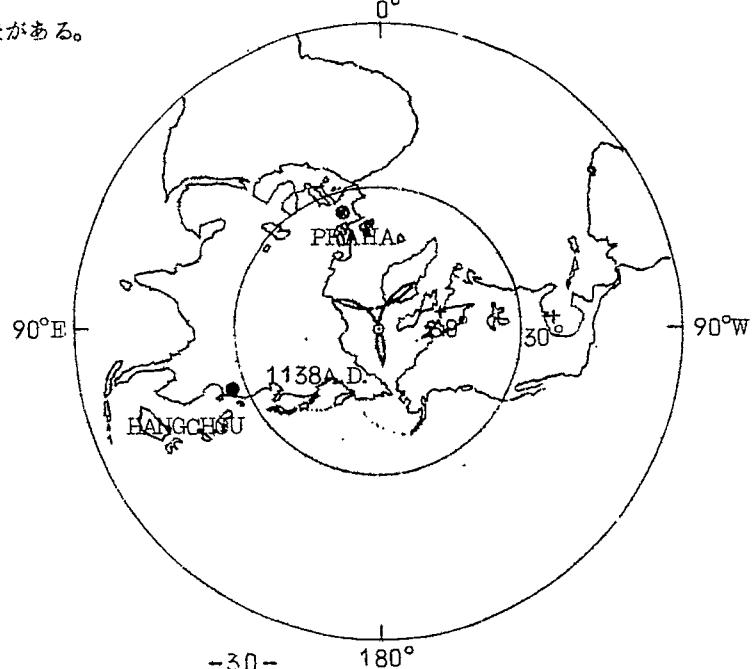


第8図

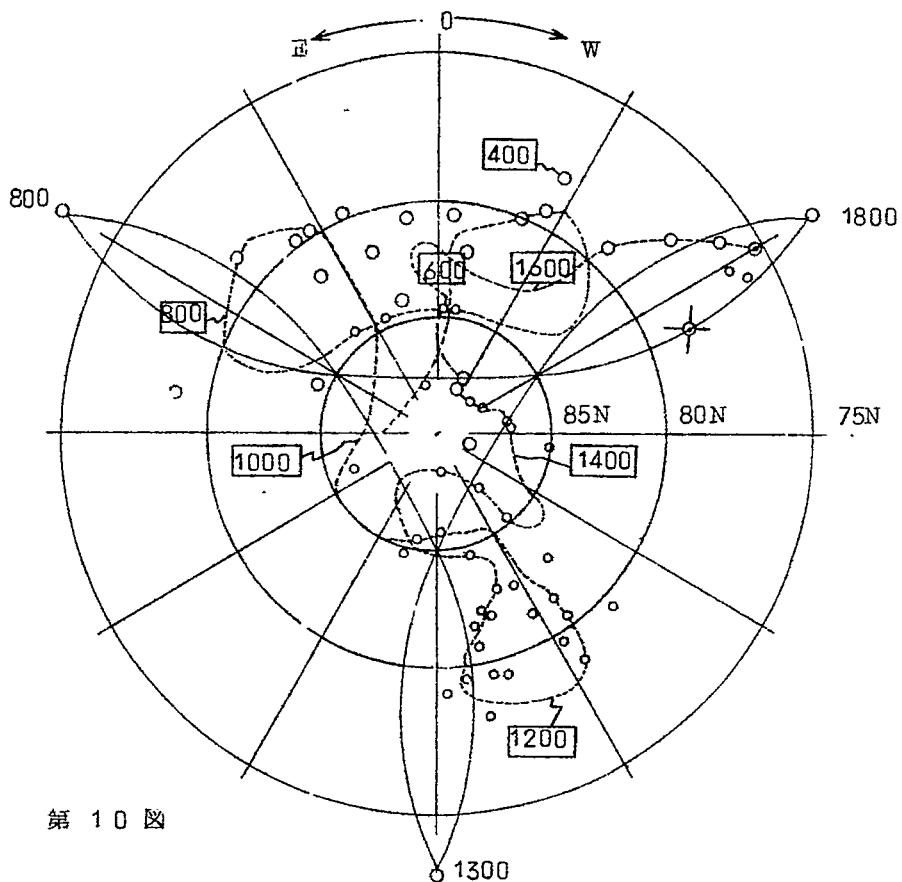
又最近慶松は中国の文献を調べ、中国の昔の天文学者が観測したオーロラの記載例を史記をはじめ、多くの文献より探したところ 1138 年 5 月 23 日に於てオーロラを見たという例がある。この日のオーロラはかなり大きいものであったと見え経度を 90 度近くへたてたプラハでも人によって観測されたことが記載され残っている。何の連絡もなく東洋と西洋の 2 カ所に於て独立して観測されたわけであるからこのオーロラの発生は信憑性が高くそして又慶松の文献探査が正確であることを物語る。オーロラが当時見えたところの経度は 31 度であり現在の地球上でオーロラを観得る南限をはるかにこえた低緯度である。従ってこの当時私達の振動双極子の軌跡の示す如く中国大陸に接近していたとする上記の中国の古都はオーロラ可視区域にやっと入ることになる。南限ギリギリの地域では 10 年に 1 度とか 100 年に 1 度の割合でオーロラを見る事になっている。毎晩オーロラが見えるような北緯の地ではオーロラに対する新規性もなくこれを記載して残すだけの熱意も失せるであろう。これが 100 年に一夜の出来事であやしげにうつし出される赤や黄色の縞模様ならば古人には脅威であり異敬の天然現象と映じるはずである。慶松によれば中国天文史にはこれを狗と名づけ赤狗や黄狗が空をかけめぐったという表現をしているそうである。

さて中国及び朝鮮の記録をたどって集積された結果を最近広岡がまとめ直し私達の振動双極子の軌跡と比較したところ、かなりまとまった結果を得ている。

第 9 図にはハイボトロコイドの振動と 1138 年の極位置及びこの極より極距離が 40 度以下の地点をかこむ円を示した。プラハはこの円の中に又中国の古都がこの円のぎりぎりの地点に存在することは極めて興味がある。



第 9 図



第 10 図

さて最近 Dubois は例のアメリカンインディアンの焼土の結果をまとめて発表した。第 10 図の丸印はその結果である。この図で私達のハイポトロコイド曲線が重ねて書きこんであるが両者の類似は全く顕著である。何等の予想もなく推定した曲線とアリゾナの測定結果が見事に一致している。これにもかかわらず Dubois はこの経年変化が westward drift 招来するもので双極子軸の Wobbling によらないと判定している。大きい間違いと思う。

このように世界各地に於て求められた考古古地磁気の結果がよき定性的な一致を示していることから焼土の magnetic dating を将来に亘って実行することが可能であると判定するのが今や充分と言える。

Thelleir や watana be の発表時からはすでにもう 10 年以上の年月がたった。科学はその進歩が急速で美しい古典理論や固定概念、いや公理、定理にいたるまで簡単にくつがえるものである。古典を残したいと思うにやぶさかではないがもっと新しい科学の収穫にも眼をむけようではないか。

