

# 関東地方における浅層電流が磁場変化分布 におよぼす影響

柳 原 一 夫

## 概 要

関東地方で測定されている地磁気地電流変化の分布を集約してみると少なくとも東部では大体南北に規則的な変化をしているようである。一方堆積層の分布も極めて類似しているので、この層内を流れる地電流のつくる磁場を計算してみると測定した磁場変化分布と極めてよく一致する。堆積層内電流のつくる磁場はそれが無い所の磁場変化量の50%にも達する。

### §1 関東地方における地電流地磁気変化の様相

地下電気伝導度異常を地磁気変化の分布、特に垂直成分  $Z$  と水平成分  $H$  との比  $Z/H$  の分布から研究しようとするいわゆる  $CA$  研究において、最近地下浅層を流れる電流の影響が重要視されるようになってきた。表層のうちでも海のように電気伝導度の高いものの中に島とか半島とかがあれば電流が曲げられることによって磁場変化に局所的異常を生ずることは容易に理解され、事実測定面からも証拠があげられている。さらに陸上においても堆積層中に基盤岩の盛り上り露出があれば海中の島と同様の効果がおこって磁場変化に局所的異常が期待される。関東平野内の筑波山塊という“島”について筆者等<sup>(1)</sup>の測定した結果では全磁力日変化に4%程度の違いがあった。しかしこの違いは“島”の中心部と岸辺との違いであって関東平野を流れる地電流のつくる磁場を推量するには適当でない。

最近中部ヨーロッパにおいて見出されている  $Z/H$  の異常のいくつかが地下浅層電流によるものと考えられることが報告<sup>(2)</sup>されている。それら浅層の電気伝導度や厚さなどは日本でもみられるもの例えば関東平野のそれと大差はない。またその電流生成の原因が海にあるとするならば海に面する関東平野はその電流が流れこむのに有利なはずである。こう考えると中部ヨーロッパで見出されたと同様な浅層電流の影響が関東平野でも十分期待されるように思われる。

一方関東地方の一部では地震探査による堆積層の厚さの推定<sup>(3)</sup>、地磁気変化の分布<sup>(4)</sup>、地電流の分布<sup>(5)</sup>、堆積層の比抵抗の推算<sup>(6)</sup>など、比較的広汎に関係要素が測定あるいは計算されているのでこれらの値を使って堆積層内電流とそれのつくる磁場の分布を求め測定された地磁気変化と比較してみよう。

第1図に地震探査から求められた基盤岩の等深線および地磁気地電流の観測点を示す。斜線を施した区域は基盤岩の露出地帯、観測点のうち黒く塗りつぶしてあるのは柿岡と鹿野山の観測所である。東京湾の北西岸にある中斜線を施して示した観測点は明治時代の中央気象台の東京観測点を意味する。図中に示した観測点のすべてに地磁気地電流両方の観測がある

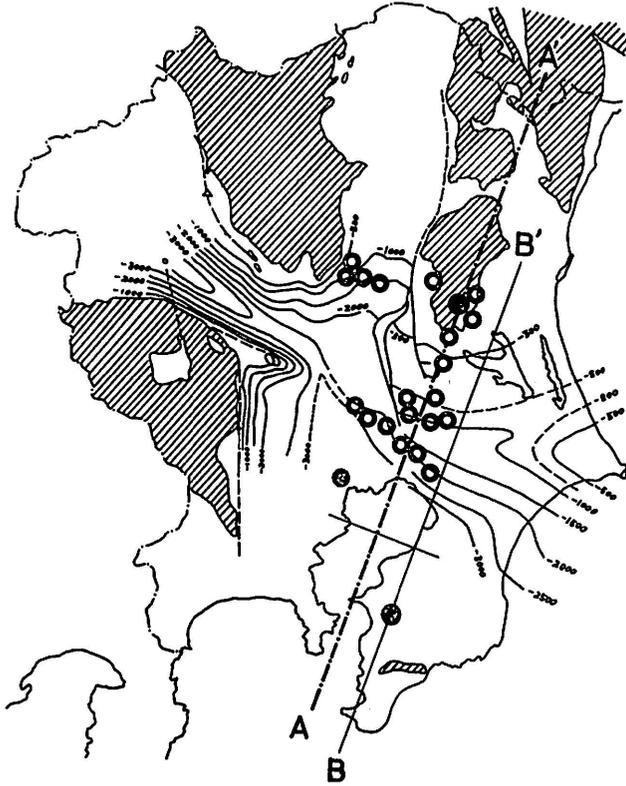


Fig. 1. Distribution of observation site and the depth of basement rock.

というわけではなくそのうちのいくつかの点では地磁気または地電流のいずれか一方のみの観測資料があるだけである。詳しくは原論文<sup>(4),(5)</sup>を参照されたい。

堆積層の厚さを東関東地域についてみると北北東から南南西の方向に向って次第に厚くなり、東京辺から南では残念ながら測定されていないが戻総半島南部に基盤岩の露出があるところをみると、南へゆくにしたがって再び薄くなってゆくという分布をとるものようである。ブーゲー異常の分布は丁度そのようになっている。これも考慮に入れて等深線の平均走向を求めると東西から  $18.5^\circ$  傾いている。柿岡を通り走向に垂直な線すなわち  $N18.5^\circ E$  方向の線を  $AA'$  で示した。都合のよいことに多くの観測点はこの線に近い所に分布している。北西部にひとかたまり（4コ）の観測点があるがこれらは基盤面の断層以遠にあり堆積層分布の様相が大いに異なる所であるから今回は考えないことにする。なお図中  $BB'$  は鹿野山を通り走向に垂直な線である。

地電流すなわち地表面電場の分布についてはすでに報告してある通り平野部では等深線走向に平行である。柿岡附近の基盤岩露出地帯では電場が増大し、その周辺ではその露出地帯を避けるように電場ベクトルが向いている。第1図の  $AA'$  線上では電場ベクトルはほぼこ

の線に垂直と考えられる。基盤岩露出地帯の周辺では電場ベクトルの分布は複雑になるが平野部では  $AA'$  線に垂直方向には相当の範囲一様であると近似してもよいと考える。深さに対して積分した地電流量で考えると基盤岩露出地帯およびその周辺ではその量が小さいので磁場を考える場合には主な影響は平野部すなわち厚い堆積層を流れる地電流によって与えられると考えて差支えない。事実最初に述べたように基盤岩露出地帯のいわゆる“島”効果が4%程度であるのに対してこれから述べる平野部の地電流の効果は水平磁場変化において最大で40~50%に達するものと算定される。

地磁気変化の分布については久保木・大島<sup>(6)</sup>が詳しく報告している。これによると  $AA'$  線附近で  $Z/H$ ,  $H/H_0$  とともに大変複雑な分布をしている。 $H_0$  は基準点としての柿岡の水平分力変化である。彼等はそれらの分布と地下構造などとの関係を議論しているが原資料の程度や分布の状態などを考え合せると、余り立ち入った考察をすることは無理なようである。とくに中頃の一観測点(浜田)で  $Z/H$  が附近の観測点にくらべて25%程小さくなっているので  $Z/H$  の等値線が極端に湾曲されて描かれているが、水平距離の規模(10 km 以下)と  $H/H_0$  の分布とを合わせ考えるとこれを説明する地下構造を考えることは難しい。この一点を除くと  $Z/H$  の  $AA'$  線沿いの分布は北 ( $A'$ ) から南方へ次第に増大し観測点分布の中頃で極大となり再び減少する傾向となっている。 $H/H_0$  の分布は久保木等によれば観測点分布の南側で減少するように等値線が書かれているが、これは南側に観測点がないのだから明らかに意味がなくむしろ後に久保木<sup>(7)</sup>が発表している如く更に南方の鹿野山で  $H/H_0 = 1.31$  (ssc) と大きくなっている。すなわち  $AA'$  線沿いには北から南へ増大していると考えられる。なおこの場合の地磁気変化は ssc, si, などを主体とする短周期変化である。

以上の考察を合わせると  $AA'$  線沿いの地電流地磁気変化(ssc, ssiなどを主体とする短周期変化)は観測点の分布する地域で第1近似として地電流は  $AA'$  線に垂直に流れ、 $Z/H$  は中頃で極大となり、 $H/H_0$  は北から南へ増大するということになる。 $AA'$  が南北線と  $18.5^\circ$  ずれていること(正確には偏角西偏  $6^\circ$  を加えた  $24.5^\circ$  である)を無視し、基盤岩露出地帯の電場増大が“島”効果によるものとしてその効果の及ばない平野部では電場一様として、深さに対する積分電流量は堆積層の厚さに比例すると考えるならば、その堆積層の厚さが  $AA'$  線に沿って観測点分布地域で北から南へ次第に厚くなり更に南方で極大となり再び薄くなってゆくという分布をとることを考えると、 $Z/H$  および  $H/H_0$  の変化は堆積層内地電流によるものとして定性的に説明される。以下次節において現在入手できる各数値を使って定量的に検討する。

## §2 地電流地磁気変化の実測と計算

すでに前節で述べたようにすべての量を  $AA'$  線上で考える。第2図黒丸で示したのは  $H/H_0$  の実測値(久保木による)である。横軸は  $AA'$  線沿いの距離で原点は堆積層のもっとも厚い所にとってある。堆積層の厚さ  $D$  は太い実線で示した。残念ながらもっとも厚い所あたりから南側の資料がないのでブーゲー異常の値を参考として推定し、もっと南方の房総半島南部の基盤岩露出地帯を考慮してそれに相当する  $AA'$  線上の点で厚さ零になると仮

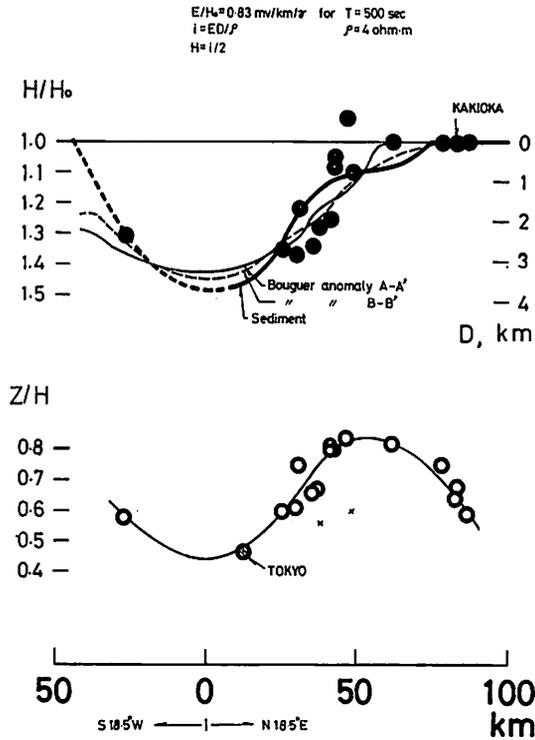


Fig. 2.  $H/H_0$ : Observed and calculated  
 $Z/H$ : Observed

定して中間をスムーズにつないで太い破線であらわした。観測点の主な分布が北側にあるので南側の厚さ推定にあやまりがあっても以下に計算する磁場変化に与える誤差は小さくなる。ブーゲー異常は細い実線で示した。ただし縦軸は任意スケールである。参考のために鹿野山観測所を通る平行線  $BB'$  のブーゲー異常を細い破線で示した。両者のブーゲー異常の線がほとんど等しいことは  $AA'$  線に垂直方向には大体同一の状態の続いていることの一つの証拠である。

地電流が  $AA'$  線に垂直に流れ堆積層内電流が厚さに比例するなら、厚さが水平の拡がりに対して無視できることを考慮して面電流密度を使ってこの電流による水平磁場  $H$  は  $AA'$  方向に、

$$H = \frac{i}{2} \quad (1)$$

と与えられる。このとき面電流密度  $i$  は、

$$i = \frac{ED}{\rho} \quad (2)$$

である。ただし  $E$  は電場、 $D$  は堆積層の厚さ、 $\rho$  は堆積層の電気比抵抗である。

比抵抗  $\rho$  については観測点分布域の中間すなわち  $AA'$  線上北側 30~40 km の所で、

$$\rho = 4 \text{ ohm} \cdot \text{m} \quad (3)$$

という値を出してある<sup>(6)</sup>。この値を堆積層全体に対して適用することとする。電場  $E$  は今考えている周期すなわち 500 sec に対して同じ地域で単位磁場変化に対し、

$$\frac{E}{H_0} = 0.83 \text{ mV/km/r} \quad (4)$$

と与えられる<sup>(6)</sup>。ここに  $H_0$  は基準点としての柿岡の対応磁場変化である。この電場の値を全域に適用する。島効果のある部分ではもちろん正しくないがそこでは堆積層が薄いかまたは全くないかなのでいずれにせよつくり出される磁場は極めて小さいので誤差は無視する。

(1)~(4)から水平磁場  $H$  を求めると変量は  $D$  のみでありこれに比例する。第2図太線を左側  $H/H_0$  のスケールでみたものが計算値である。したがって  $H/H_0$  は黒丸が実測を、太線が計算を示すことになる。これをみると粗い近似にもかかわらず数量的にも相当よく一致しているように思われる。南側では厚さを推定したが鹿野山観測点も実測と計算がよく合っている。なお  $AA'$  線の主磁場方向からの傾きは無視してある。

以上からみられるように関東平野堆積層の磁場変化に与える影響は最大で50%にも及んでいる。これは周期 500 sec 程度の変化の場合であるが、周期が増すとともに誘起する地電流の単位磁場変化当りの量は減少する。しかし bay など周期 1時間程度の変化においてもなお最大20%程度の水平磁場の増加が認められる。周期が 500 sec よりも短く 100 sec 程度の脈動になると誘起する地電流の局所的違いが強くなりここに述べたような単純な近似ではうまくゆかない。

第2図下半分の中白丸は  $Z/H$  の実測値を示したものである。中白丸の中に斜線を施したものは1897~1912年の中央气象台による東京観測所の磁気嵐記録から ssc について読みとったものである。これは  $(Z/H)_{\text{Tokyo}} = 0.47$  とこの地方にしては小さい値である。実線はこれらの測定値をスムーズにつないだものである。北 49 km にある×印は前節にのべた浜田観測点の  $Z/H$  で除外する。なお北 40 km にある×印は  $AA'$  線からもっとも西に離れた観測点の  $Z/H$  で基盤面深さの図でも  $AA'$  線上といちじるしく異なっているためかスムーズな線の上ののっていない。これら2点を除けば大きな水平スケールでスムーズに変化し、原因が同じような大きさの水平スケールのものであることを示している。大きな水平スケールといっても  $CA$  の中部日本異常といわれるもののスケールよりは小さく関東平野程度のスケールである。

これが堆積層電流によるものであると考えて説明できるか検討するために、まず  $H$  が場所によって変るから  $Z/H$  を  $Z/H_0$  に変換する。この場合  $H/H_0$  として前述の実測値を用いた。ただし東京の値は  $H/H_0$  の実測がないので計算を使った。結果を第3図下半分に示す。 $Z/H$  の場合よりも対距離分布がバラバラするのは  $Z/H$  と  $H/H_0$  の2回誤差が加わったためかもしれない。

堆積層電流を面電流と考えれば水平磁場は主としてその地点の面電流密度が大きい方が、垂直磁場の計算には面分布を考えなければならない。まず  $AA'$  線に垂直方向へは一様とし

AA' 線沿いの面電流密度分布を考える。これはすでに第2図太線で示した通りである。これを面電流密度のスケールで第3図上半分に示す。そして計算を簡単にするために距離原点で最大  $i_0 = 9.13 \times 10^{-4}$  Amp/m/γ とし南北対象に 60 km で零になるまで一様に減少するとし図中点線で示したように近似する。

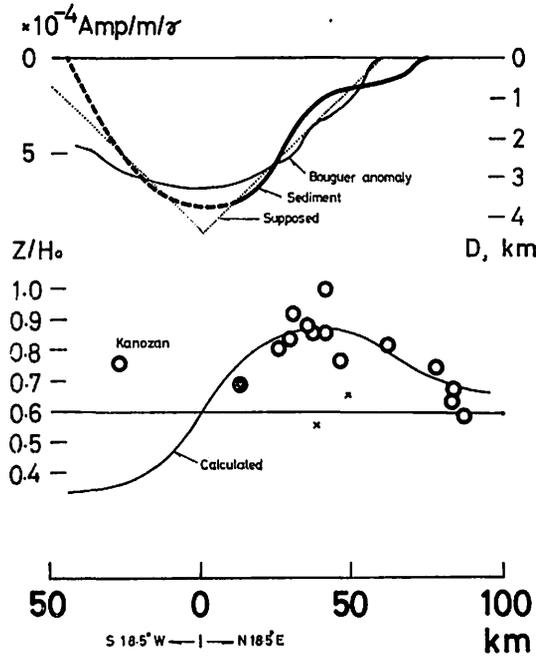


Fig. 3.  $Z/H_0$ : Observed and calculated

この面電流分布がAA'線に垂直方向に一様に続くとすればその電流のつくる垂直磁場Zは

$$Z(a) = \frac{i_0}{2\pi} \left\{ \log \left( \frac{1+a}{1-a} \right) + a \log \left( \frac{1-a^2}{a^2} \right) \right\}; \quad a < 1$$

$$Z(a) = \frac{i_0}{2\pi} \left\{ \log \left( \frac{a+1}{a-1} \right) + a \log \left( \frac{a^2-1}{a^2} \right) \right\}; \quad a > 1 \quad (5)$$

と与えられる。 $a$  は 60 km を単位として測った AA' 線上の原点からの距離である。

AA' 線から垂直方向に無限に一様とは考えられないからその効果を評価するためにその電流のうち垂直方向両側 60 km 以内の部分のつくる垂直磁場  $Z$  を求めると、

$$Z(a) = \frac{i_0}{2\pi} \left\{ \log \frac{(1 + \sqrt{1 + (1-a)^2})(1+a)(1-a + \sqrt{1 + (1-a)^2})(a + \sqrt{1+a^2})^2}{(1 + \sqrt{1 + (1+a)^2})(1-a)(1+a + \sqrt{1 + (1+a)^2})} \right. \\ \left. + a \log \frac{(1 + \sqrt{1+a^2})^2(1-a)(1+a)}{(1 + \sqrt{1 + (1-a)^2})(1 + \sqrt{1 + (1+a)^2})a^2} \right\}; \quad a < 1$$

$$Z(a) = \frac{i_0}{2\pi} \left\{ \log \frac{(1 + \sqrt{1 + (a-1)^2})(1+a)(a + \sqrt{1+a^2})^2}{(1 + \sqrt{1 + (1+a)^2})(a-1)(a-1 + \sqrt{(a-1)^2 + 1})(a+1 + \sqrt{(a+1)^2 + 1})} \right. \\ \left. + a \log \frac{(1 + \sqrt{a^2 + 1})(a-1)(a+1)}{(1 + \sqrt{1 + (a-1)^2})(1 + \sqrt{1 + (a+1)^2})a^2} \right\}; \quad a > 1 \quad (6)$$

となる。(5),(6)式のカッコ内の量  $2\pi Z(a)/i_0$  の値を比較するためにいくつかの値について表に示した。電流密度最大点すなわち距離原点に対して反対側では垂直磁場の向きは反対になる。今の場合水平磁場変化が北向きで地電流が西向きとすると原点から北側では垂直磁場は下向き南側で上向きとなる。いいかえれば北側では  $Z/H_0$  を増加し南側では  $Z/H_0$  を減少するような垂直磁場ができる。

Table. Vertical magnetic field caused by earth surface currents which are perpendicular to the line AA' with the density distribution shown in Fig. 3.

- (i) perpendicularly infinite
- (ii) perpendicularly finite (60km)

a distance along AA'	$2\pi Z(a)/i_0$	
	(i) infinite	(ii) finite (60km)
0	0	0
0.2	0.99	0.95
0.4	1.51	1.36
0.6	1.73	1.52
0.8	1.74	1.47
0.9	1.64	1.31
1.0=60*km	1.39	1.04
1.2	0.98	0.68
1.5	0.65	0.41

表にみられるように計算された  $Z(a)$  の大きさは  $a$  が大きくなり遠くなるにつれて違いが大きくなるが、今主として考えている地域、 $a < 1$ 、では高々30%位である。距離  $a$  に対する変化の傾向は両者でほとんど変りがない。実際の電流の分布は(5)式のように垂直方向へ無限に一様でもなくまた(6)式のようにある範囲で突然なくなるようなものでももちろんないであろう。遠方の電流が次第に分散してゆくようなものであれば(5)式と(6)式の間期待される。現在の近似の段階では  $Z/H_0$  の距離  $a$  に対する変化の傾向と値のオーダーで満足するより仕方がない。

このような観点から一応(6)式によって計算した値を第3図に実線で示してある。ただし一定値0.6を加えた値である。

鹿野山を除けば比較的よく一致しているよ

うに思われる。これによれば堆積層電流により  $Z/H_0$  のうける影響は最大最小の差で0.5~0.6に達することになる。鹿野山の  $Z/H_0$  が計算値と全く違っているのは海の電流によるものでないかと思われる。水平磁場の場合は近傍の電流密度が主としてきくのであまり海中電流の直接の影響を考慮しなくてもよかったが、垂直磁場の場合は前述の計算にもある通り電流分布の積分効果の形になるので、多分大きいであろうと推定される海中電流を無視することは出来ない。とくに半島効果とか海岸曲率効果とかそのようなものも房総海岸で考えなくてはなるまい。また一定値0.6を加えたがこの量は恐らくいわゆる中部日本異常といわれるもっとスケールの大きいCA異常によるものであろう。この値がこの地域で一定でなく南側で大きく北へ減少するような分布をとるならば鹿野山の値の不一致はもう少し小さくなるであろう。

### §3 考 察

関東地方堆積層を流れる地電流が地磁気変化に大きく影響を及ぼしているであろうことは、水平磁場では相当確実に、垂直磁場でも大体確かに示されたと思う。次の当然おこる問

題はこの電流はそこで誘起されたものかあるいは別の場所で誘起されたものが流れ込んだものかということである。これについては地電流のふるまいを検討中であるが、関東平野の電場は2~3倍に増大しているいかえれば海中の電流が流れ込んでいると考えた方がよいように思われる。それでは関東平野の海に面していない方向では地電流はどう流れるのであろうか。一つは最初の観測点の分布を説明するとき今後の検討から除くと述べた数点における地電流のふるまいをみると、これら観測点は関東平野から東北地方福島県に接続する平地帯(堆積層)の入口辺にあって地電流はあたかもその平地帯に侵入するかのように向っている。第1図の堆積層の厚さ分布をみるともう一つは群馬県高崎附近を通して長野県にぬける通路を考えたくなる。これには証拠となる資料はないが長野県松代における地磁気偏角  $D$  の変化が異常に大きいこと<sup>(6)</sup>はここに南北方向の電流の存在を暗示していて、これが関東地方堆積層電流とつながっていないかとの期待がもてる。残る主な通路は次第に南下して相模湾にぬけるものを考えねばなるまい。このような予想を証明する地電流の観測が今後必要であろう。地電流の分布を測定に基いてもう少し正確におけるならば  $Z/H_0$  ももう少し正確に計算できるであろう。

関東地方でも南部では堆積層よりも海の影響が次第に大きく入ってくるものと考えねばならない。とくに前述の如く垂直磁場についてはそうである。今回はその点あまり考慮していない。今後手をつけねばなるまい。

## 文 献

- (1) 大地洗, 柳原一夫(1969): 地電流および全磁力の Island Effect, 日本における Conductivity Anomaly の研究, 175-178.
- (2) Untiedt, J. (1970): Conductivity Anomalies in Central and Southern Europe, JGG, Vol. 22, 131-149.
- (3) 福田理(1962): 日本の燃料資源の探鉱・開発上の地質学的諸問題, 地質ニュース, 93号, 4-15.
- (4) 久保木忠夫, 大島汎海(1966): 日本における地磁気変化ベクトルの異常について(第2報), 地磁気観測所要報, 別冊第2号, 93-109.
- (5) 柳原一夫, 椋内恒雄(1965): 地電流の地方異常と大地比抵抗, 地磁気観測所要報, Vol. 12, 105-113.
- (6) 柳原一夫(1965): 柿岡附近の深層比抵抗の推算, 地磁気観測所要報, Vol. 12, 115-122.
- (7) 久保木忠夫(1969): 鹿野山の地磁気変化ベクトルの異常, 日本における Conductivity Anomaly 研究, 57-58.
- (8) 今 実(1970): 松代の地磁気特性について, 地磁気観測所要報, Vol. 13, 49-71.

## Magnetic Fields caused by Earth Surface Currents in Kanto District

Kazuo YANAGIHARA

### Abstract

Amplitudes of observed geomagnetic short period variation change along AA'-line in Fig. 1 as is shown in Fig. 2. This is well explained by additional magnetic fields caused by earth surface currents which flow in the sedimentary layer of Kanto District.