

地殻岩石の応力磁気効果によるコサイスマックかつグローバルな過渡的・静的地球電磁気変化の解析解(1)トロイダル変位起源成分

小河 勉 [1]
[1] 東大・地震研

Analytic solutions of coseismic global transient/static geoelectromagnetic variation due to the piezomagnetism of crustal rocks(1)

Tsutomu OGAWA[1]
[1] ERI, Univ. Tokyo

In quantitative theoretical studies on coseismic geoelectromagnetic (GEM) variations (GEMVs) due to the piezomagnetic (PM) effect of crustal rocks, principal attention has been paid to the geomagnetic change between the periods before and after fault motions. It is, however, expected in principle that the GEMVs due to the PM effect begin as the fault motions start and continue through the radiation and propagation of stress variation accompanying traveling seismic waves. The present study pays attention to the derivation of mathematical expression of the GEMVs excited during the sequence of the process of elasticity. In quantifying the transient behavior of the GEMVs, it is necessary to consider the electrical conductivity structure of the earth in the frequency band in which the electromagnetic (EM) induction is necessary to be considered. In addition, in case that the GEMVs in wide area is considered, it is necessary to consider whether the ionosphere is negligible in the quantification. Considering above, the present study aims to show the derivation of the analytic solutions of coseismic and global GEMVs caused by the toroidal displacement (TD) by a fault motion and the magnetization variation due to the PM effect, using the spherical harmonic analysis (SHA).

Four reasons to pay special attention to the TD can be pointed out. The mathematical expression of the TD is simpler than that of the spheroidal displacement (SD) for, firstly, the number of the components is smaller. Secondly, in the quantification using the modeled earth structure, as the outer core realistically considered is fluid, the spatial region for the analysis shrinks to the crust and the mantle only and, as a result, the number of terms to be considered becomes smaller which makes it easier to consider whether the ionosphere is negligible. In addition, since the TD is divergence-free, the resultant stress variation is, thirdly, worth being paid attention to for its effective generation of the magnetization variation based on the principle of the PM effect that the hydrostatic pressure is insensitive in causing the magnetization variation. Moreover, as the divergence of the SD causing the density variation in an elastic body excites the gravity variation, the elastic and gravity fields couple to one another, while the TD does not excite the gravity variation. It suggests, fourthly, to GEM studies the analyses of the coupling between the TD and the GEMVs.

The analytic solutions are derived for a tensor seismic moment in the crust given as a point source in the space in which the properties varies only in the radial direction discontinuously. Elastically, the earth interior is regarded to be composed of the crust and the mantle, with the traction-free boundary at the earth surface and the core-mantle boundary. Electrically, the earth structure is simplified to be four-layer: the ionosphere, the atmosphere, the crust and the mantle, with the outer space and the outer core regarded to be insulating and perfectly conducting, respectively. Assuming isotropic and homogeneous properties in each layer, the analytic solution of the transient and static GEMVs can be simply and explicitly derived in the time domain with the SHA based on deriving the expression of the magnetization variation due to the PM effect in the crust caused by coseismic stress variations accompanying a fault motion which travel with the propagation of seismic waves, with the initial magnetization in the crust. The boundary conditions gives the equations of the eigen frequency for the elastic field and the eigen time constant for the EM fields. The analytic solutions in the time domain can be expressed as the superposition of normal modes.

The solutions and behaviors of elastic and electromagnetic fields are shown together with the quantitative consideration whether ionosphere is negligible.

地殻岩石の応力磁気効果によるコサイスマックな地球電磁気変化の定量的理論研究においては、これまでは断層運動の終了後と開始前の静的な地磁気の差の算出に主に着目されてきた。しかし応力磁気効果による地球電磁気変化は原理的には断層運動の開始とともに始まり地震波の放射と伝播に伴う応力変化によって励起され続ける。一連の弾性過程を通じて励起される地球電磁気変化の解析的表現の導出が本研究の主眼の一つである。その際に、過渡的な地球電磁気変化の評価については、電磁誘導を考慮すべき周波数帯域では電気伝導度構造を考慮する必要がある。加えて特に広域的な変化を考慮する際には、電離圏の考慮の要否を検討する必要がある。以上を考慮し、本発表では特に断層運動に伴うトロイダル変位場の発生による応力変化が応力磁気効果を通じて磁化の時間変化を発生させることにより生じるコサイスマックかつグローバルな地球電磁気変化の解析解を球面調和解析により導出した結果を示す。

トロイダル変位場に最初に着目した理由は4点ある。第1に数学的表現上はスフェロイダル変位場と比較して成分の数が少ないため単純である点において、第2には現実的な地球の構造をモデル化して定量的評価を行う際、外核が液体であるために解析対象空間領域がマントルと地殻だけに狭まり、よって項数が減る点で、電離圏の考慮の要否の検討が容易である。加えてトロイダル変位場は無発散なベクトル場であるため、第3に応力磁気効果は静水圧に対して感度がない物性であるので磁化時間変化をより効率よく発生させ得る応力変化が着目すべき点である。更にスフェロイダル変

位場の発散は弾性体中の密度場の変化となってコサイスマックな重力変化の励起源となり、弾性場と重力場が結合する一方、トロイダル変位場は重力変化を励起しない。そのため第4にトロイダル変位場は地球電磁気変化とは結合する弾性場であり、その挙動は地球電磁気学に固有なテーマを与える点である。

場の解析解は、地震モーメントテンソルを地殻内部に点震源として与え、動径方向1次元に不連続に物性が変化する空間に対して導出する。弾性的には地球内部を地殻とマントルの2層構造とみなして地表とコアマントル境界を無トラックションとする。電気的には宇宙空間及び外核の電気伝導度はそれぞれ0及び無限大の極限を取り、電離圏、大気圏、地殻及びマントルの4層構造と単純化するものとする。各層に等方均質な物性を仮定すれば、地殻岩石の初期磁化を与えて断層運動によるコサイスマックな応力変化の地震波による伝播と地殻内における応力磁気効果とによる磁化変化の算出から、過渡的及び静的な地球電磁気変化の解析解は球面調和解析により時間領域で単純かつ陽に得られる。その際、境界条件より弾性場の固有周期と電磁場の固有時定数とが満たす方程式が導かれる。よって時間領域解析解は正規モードの重ね合わせで表現できる。

本発表では導出された解析解とともに、物性定数の代入から地表で観測される弾性場及び電磁場の挙動、特に電離圏の考慮の要否を定量的に示す。