

地中で検出される電磁波パルスの形態

筒井 稔 [1]; 神谷 宗利 [2]; 中谷 太環 [3]; 長尾 年恭 [4]

[1] 京産大・コンピュータ理工; [2] 京産大・工・情通; [3] 京産大・工・情報通信; [4] 東海大・海洋研・地震予知セ

Property of electromagnetic pulses in the earth

Minoru Tsutsui[1]; Munetoshi Kamitani[2]; Taka Nakatani[3]; Toshiyasu Nagao[4]

[1] Computer sciences, Kyoto Sangyo Univ; [2] Information and Communication, Kyoto Sangyo Univ; [3] Engineering of Information and Communication, Kyoto Sangyo Univ; [4] EPRC, IORD, Tokai Univ.

In order to clarify the validity of electromagnetic (EM) pulse generations in the earth when stress impacts were imposed to the earth-crust at a stage prior to earthquakes, we constructed new observation site with a 100 deep-borehole drilled on the seashore in Shirahama-Cho, Wakayama prefecture, Japan, and have been conducting EM measurements in the earth, using EM sensor systems installed at the bottom of the borehole and additional one on the ground. The sensor system was composed of three directional magnetic search coils and a vertical electric linear dipole antenna. Through 16-bit analogue-to-digital (AD) converters with a sampling period of 30 micro-second, signal waveforms of detected electric and magnetic fields were acquired simultaneously into observation computers whose clock was synchronized with GPS time. The field data detected by the sensor system were used for obtaining arrival directions of the EM pulses.

Through continuous observation, we found that almost all detected EM pulses in the borehole were generated by lightning discharges in the sky, and have classified their propagation modes into three types. They are A) vertically directly incident EM pulses, B) surface waves of lightning-origin EM pulses and C) surface waves of 1 or 2 cycle EM pulses.

Waveforms of Type A showed a periodic oscillations, which suggests that they would be Tweek atmospherics generated by lightning discharges in the tropical region. Their wave amplitude detected at the 95 m-depth in the borehole was depressed to 1/22 against that detected on the ground. Furthermore, the waveform of the depressed amplitude showed a large phase delay of about 180° for the frequency component of 5.1 kHz against that detected on the ground. This large time-delay was supposed to be caused by the electrically high conductivity of the medium around the borehole. The observation results such as the amplitude depression and the phase delay could be fully explained by the theoretical calculation for the vertically incident of the EM wave into the earth. We also obtained equivalent electrical conductivity and the skin-depth of the medium of the sedimentary layer for the VLF range waves.

Different from the directly penetrated EM pulses, we sometimes detected Type B EM pulses with few cycle oscillations at both the 95 m-depth and on the ground. Their waveforms obtained at the both vertical levels showed comparable amplitude. From polarization analysis of magnetic vectors of the EM pulse, polarizations at 95 m-depth showed ellipsoidal forms whereas those on the ground were linear polarizations. From the fact of comparable amplitude and the difference of polarization forms between on the ground and at the 95 m-depth, this type of EM pulses were regarded as surface mode waves propagating along the ground surface, which would be incident from the sky at far distant points from the observation site.

Type C EM pulses showed 1 or 2 cycle pulse form with extremely small amplitude at the both vertical levels in the sedimentary layer. Magnetic-vector polarizations of the EM pulses at the both vertical levels were similar to that of Type B. Therefore the Type C was also regarded as the surface wave mode although their generation source remains unknown.

Through the continuous observation of EM pulses in the earth, we found that we need more sensitive detector system for finding earth-origin EM pulses. Now we are improving sensitivity of the magnetic search coils. Furthermore, we are also constructing new observation site at a place about 51 km east of the Shirahama site. In the near future, we believe that we would be able to find earth-origin EM pulses and to identify their source locations by observed data at the two observation site.

2004年1月6日に地震に関連していたと考えられる地中電磁波パルスを観測したという事実を基に、波源位置を特定する目標に向けて試験観測を行ってきたが、2008年末に、京都産業大学構内での地中埋設送電線から多くの電磁波パルスが放射されており、それを検出していた事、また、三重県内の静寂な山間部にある名古屋大学大学院地震・火山防災センターの美杉観測点でも、送電線で生じる不平衡電流が柱上トランスを介して地中に流れる事により、地中でも電磁波パルスを放射し、それを観測していた事が判明した。この状況により、送電線からの電磁波パルスを検出しない環境で観測する事が本研究の必須条件であり事が確認された。

上記観測と並行して以前から、不要雑音を検出しない場所を近畿圏内で探していたところ、白浜にある京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所構内が最適である事を見つけた。既に私学振興事業団からの学術研究振興資金の贈呈を受けていたので、その場所を借用し、新たに地中電磁波観測用のボアホール(内径140mm 深さ100m)を構築した。この場所の地層は貝殻と砂岩から成っており、海水の浸透により大きな導電率になっていると考えられ、地中への電磁波パルスの侵入が極端に減少する事が予想された。実際に検出されたパルスの強度は小さくなっているが、それでも多数の雷放電による電磁波パルスが検出されている事がわかった。

地中で検出された電磁波パルスの源が地上に在るのか、地中に在るのかを明確にするために、白浜観測点の地上にも3軸磁界サーチコイルから成る電磁波パルス到来方位センサーを設置し、ボアホール底と地上の両方で同時観測を始めた。その結果、Tweek空電は周期性の振動波形をもって地中に侵入している事が判った。この場合、地中に侵入した電磁波

パルスは、地表面を境界面とする屈折効果が生じていると思われたので、その形態を明らかにする為に、地上および地中での磁界ベクトルの偏波状況を調べた。その結果、地上では直線偏波しているが、地中では楕円偏波となっている事が明らかとなった。理論では、垂直入射の場合は地上および地中において共に直線偏波であるが、斜め入射の場合、地中への侵入後は殆どが楕円偏波となる事が知られている。この事を踏まえて観測データを調べてみると、多くが垂直に近い入射である事が判った。この垂直入射の電磁波パルスの地上における波形と地中における波形の振幅と位相を調べたところ、地下 95m という垂直距離では、振幅が 1/22 に、そして振動周期 5.1kHz 成分の位相は約 180 度程度遅れている事が見られたので、これらについて、透過減衰および位相遅れに関する理論を使って計算したところ、現象とびたりと一致した。これにより、地中媒質の等価的導電率と VLF に対する表皮厚さをも求める事が出来た。

上記のような地上の雷放電による電磁波パルスの直接入射以外の電磁波パルスをも見つける事が出来た。それは地上と地中における波形の振幅差が僅かであったり、同程度である電磁波パルスである。そこで、地上および地中におけるパルスの磁界ベクトルの偏波を調べたところ、地上ではほぼ直線偏波をしており、その偏波軸は水平から 45 度以上の大きな角度を持っているのに対して、地中では楕円偏波となっており、その面は水平に対して 45 度以下と成っている事を見つけた。この事は電磁波の屈折状況を明瞭に現わしており、両者の波形間での小振幅差の状況をも考えて、この種の電磁波パルスは波面が前方下向きの状態で、地表面に沿って伝搬する Zenneck 表面波であると考えられる。

これ以外に 2 サイクル程度で、地上および地中での振幅が同程度で共に極めて小さい振動を持った電磁波パルスをも検出した。この磁界ベクトルの偏波を調べたところ、地上においては直線偏波に近く、地中においては円偏波に近い楕円偏波となっていた。これらの偏波面の向きは上で述べた数周期の振動を持った電磁波パルスとほぼ同じ向きと成っているため、同様に表面波であると考えられる。しかし、波形形態が上記 2 種の電磁波パルスと異なっており、その波源は今のところ明らかになっていない。

地中で検出された電磁波パルスは上記 3 種類に分類する事ができるが、本来の目的が地震に伴う電磁波パルスを見つける事であったが、いまのところ明確な地球起源の電磁波は見つかっていない。ただ、背景雑音レベルに近い極めて微弱な電磁波パルスを数個検出した。この電磁波パルスは地上のセンサーでは検出されておらず、この磁場ベクトルの偏波を調べたところ、ほぼ直線偏波である事が判った。即ちこの波源は地中にあるものと期待しているので、センサーの感度を向上させてそれを明確する事を考えている。