

## 地震波により励起された電磁波の放射と検出状況

# 筒井 稔 [1]  
[1] 京産大

## Detecting condition of electromagnetic pulses excited by earthquakes

# Minoru Tsutsui[1]  
[1] KSU

Since December, 2011, I have been detecting co-seismic electromagnetic (EM) pulses by an EM sensor system installed at the bottom of a borehole of 100 m in depth. The excitation mechanism of the EM pulse below 25 Hz was confirmed by a laboratory experiment as the piezo-electric effect in the earth's crust [1]. I am confident that EM pulses excited by seismic P waves are amplified by the large amplitude of the seismic S waves and that the EM pulses were decaying after short distant propagations in the earth [2]. Furthermore, I have been also observing EM noise above the ground for clarifying the behaviour of EM pulses after their radiations from the earth. As the result, it was confirmed that the excited EM pulses can be readily leaked out of the ground surface [1]. However, any EM pulses which would be excited at the hypocentre of earthquakes have never been detected at the EM observation site at its rupture time. The reason has remained unknown.

Recently, I found a new data which can explain the reason. An earthquake occurred in 11 km depth of a place 24.8 km west-north-west of the EM observation site at 21:13:38.8 JST on July 10, 2016. Figure 1(a) shows a waveform of the east-west component of an ELF magnetic field, and (b) shows that of seismic east-west component detected simultaneously at the EM observation site. Their pulses were detected at 21:13:47.66 JST. Although the waveform of the seismic S wave shows a peak amplitude at that time, that of EM wave shows an increasing trend in its amplitude until 21:13:48.35 JST.

On the other hand, the earth's surface at the EM observation site is formed by the sedimentary layer. Since the dielectric constant of the sedimentary layer is about 40, the critical angle of total internal reflection for the EM waves propagating from the earth becomes 9.1 degree. Therefore, EM waves can leak out of the ground surface from the earth in directions within the angle. Since the amplitude of EM waves become maximum at the vertical upward direction, The EM pulse at 21:13:48.35 JST was the vertical upward propagation. During the period of 0.69 second up to 21:13:48.35 JST, the seismic wave had propagated horizontally about 2.16 km. From this distance and the angle of 9.1 degree, the depth of the EM pulse excitation region was identified as 13.1 km. This result is consistent with the configuration of EM wave excitation in the earth.

As the result, we can understand that an EM pulse radiated vertically at the hypocentre of earthquake cannot be detected at the EM observation site far from the epicentre of the earthquake.

[1] Minoru Tsutsui, Behaviors of Electromagnetic waves Directly Excited by Earthquakes, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 11, No. 11, pp. 1961-1965, 2014. (DOI: 1109/LGRS.2014.2315208, Now Open Access)

[2] Minoru Tsutsui, Derivation of Electrical Parameters of Earth's Medium from Electromagnetic Waves Excited by Earthquakes, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, Vol. 136 No.5 pp.221-226, 2016. (DOI:10.1541/ieejfms.136.221) (in Japanese).

2011年12月以降、電磁波観測点にある深さ100mの地中ボアホール内に設置した磁界センサーで、地震波の到来と同時に電磁波の磁界パルスをも検出できるようになった。25Hz以下の周波数範囲を持つこの種の電磁波の励起機構は、地震により岩盤内に生じたP波（縦波）の振動による圧電効果によるものである事を、室内実験の結果により確かめた[1]。地震発生後、振動振幅の小さいP波は常に岩盤内に充満した状態の所に、振幅の大きなS波が到来すると、P波の振幅も大きく歪まされるために、励起される電磁波の振幅は大きなパルス状となる。ところが地中媒質の電気伝導度の大きさのため、電磁波振幅は距離と共に急激に減衰している事が判った[2]。一方、放射された電磁波の地上への振る舞いを調べるために、地中と地上での同時観測を行ったところ、地上では、地中での振幅よりも大きく検出される事が判った。即ち、電磁波観測点での震度が1程度の弱い地震波であっても、電磁波を検出できる事を確認している。このように検出感度が良いと思われるのに、地震発生時刻に震源で励起されたと思われる電磁波について、その検出が確認されておらず、大きな疑問として残されていた。ところが今回、新たなデータが得られ、その解析により、震源において励起された電磁波を十分には検出できない理由が判ったので、それについて報告する。

図は2016年7月10日の21:13:38.8 JSTに電磁波観測点の西北西24.8kmの地点の深さ11kmで起きたM3.0の地震に伴って検出された電磁波の磁界成分と地震波の波形データである。同図(a)は地震が電磁波観測点に到達して、地上のセンサーで検出した電磁波の磁界東西成分を表しており、(b)は同観測点で検出した地震波加速度の東西方向成分を示している。地震S波の電磁波観測点への到達時刻は21:13:47.66 JSTとなっており、電磁波磁界もほぼ同時刻に検出している。このため地震S波の平均伝搬速度は3.05 km/secである。

一方、電磁波観測点は堆積層から成っており、その比誘電率を約40とした場合、地中から地上への電磁波の放射を考えると、その臨界角は垂直上向きから9.1度である。即ち、その角度より大きくなると全反射を起こし、電磁波は地上には現れない。しかし、その角度以内の時のみ地上に放射される。特に地表に対して垂直上方への放射の場合は、電磁波振幅は最大となる。図(a)を見ると、21:13:47.66 JSTにおいて、電磁波の検出を開始した臨界角の状態、その後振幅

が増加し、0.69 秒後の 21:13:48.35 JST に平均的最大振幅（ピーク）を示しているのです、この時 S 波の波頭部分が電磁波センサーの直下にあったと考えられる。この間に S 波が移動した距離は 2.10 km となるので、臨界角が 9.1 度とすると、この時の電磁波励起位置は地上センサーの直下 13.1 km にあった事が判る。

この解析結果から、半頂角 9.1 度で深さ 13.1 km の狭い円錐状内の領域を電磁波が上方に放射しており、地上に放射された後の水平方向への広がりには回折によるため、その成分は極めて弱くなっている事が考えられる。この理由により、電磁波観測点から離れた震源で放射された電磁波を殆ど検出できない事が理解できる。今後は M3 以上の規模の地震について、地震発生時刻に強い電磁波が励起されたとして、その回折波成分を検出できるかどうかを確認する予定である。

[1] Minoru Tsutsui, Behaviors of Electromagnetic waves Directly Excited by Earthquakes, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 11, No. 11, pp. 1961-1965, 2014.

(DOI: 1109/LGRS.2014.2315208, Now Open Access)

[2] 筒井稔, 地震波で励起された電磁波による地中媒質の電気的パラメータの算出, 電気学会論文誌 A, Vol. 136 No.5 pp.221-226, 2016. (DOI10.1541/ieejfms.136.221)

