

地震波により励起された電磁波の地上への放射と地震発生前後の電磁波の波形

筒井 稔 [1]

[1] 京産大・コンピュータ理工

Waveforms of electromagnetic waves excited by earthquakes and radiated from the ground surface

Minoru Tsutsui[1]

[1] Computer sciences, Kyoto Sangyo Univ

In order to detect electromagnetic (EM) waves which might be related to earthquakes, we had been observing EM noises in boreholes and above the ground. Although, in the observation, we had detected tremendous number of EM pulses with duration of a few millisecond in a frequency range of a few kHz, we could not detect any earthquake-related EM pulse at all. Almost all of the EM pulses were lightning and artificial ones. The reason why earthquake-related EM pulses could not be detected in the earth was considered as follows: the amplitude of the excited EM pulses could be strongly decayed during their propagations in the earth before its arrival at the EM observation site, because the earth's medium has electrically high conductivity. So we shifted down the monitoring frequency, from a few kHz to a few tens of Hz. As the result, we detected earthquake-excited EM pulses in the earth. During the period from December 2011 to March 2013, we confirmed thirteen earthquakes which excited EM pulses. From relations between magnitudes of these earthquakes and distances between epicentres and the EM observation site, we found that the EM waves were excited by seismic waves arrived near the EM observation site, due to Piezo-electric effect in the earth's crust.

From March 2013, we began simultaneous observations of EM waves by sensors in the borehole and above the ground, and the acceleration of seismic waves. At 05:33:17.7 JST April 13, 2013, we had a big earthquake (M6.3) in Awaji-shima island. The earthquake epicentre was about 115 km from the EM observation site. EM pulse was first detected by the sensor system installed above the ground at 05:33:40 JST, and 13.6 second later, a seismic wave was detected and its excited EM wave in the borehole. This result suggested that the EM wave excited by the seismic wave can readily leak out of the ground surface. These behaviours of earthquake-excited EM waves were published in a paper [1].

Since we could not detect any EM pulse at the rupture time of the earthquake shown above, we focused on waveforms at/before earthquake occurrences. Waveforms of another seismic wave and of its excited EM waves were shown in the figure below. However, we cannot recognize any specific fluctuations around the official rupture time (06:20:19.1 JST, April 4, 2014) of the earthquake (M3.3). At the time of 4 second prior to the official rupture time, intense pulses were detected by both sensor systems above the ground and in the borehole, and specific fluctuations were followed for 8.75 second. If we could identify that the intense pulse was radiated from the earthquake epicentre, we could regard the EM pulse as a precursor of the earthquake. Now we are preparing the system which can point arrival directions of this kind of EM pulse.

[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)

地震に伴って電磁波が励起されるだろうとの仮説の下、深さ 100 m の非導電性のボアホール内に電磁界センサーを挿入して、地中における電磁波の検出観測を行ってきた。当初は数 kHz の周波数範囲での観測を行っていたが、検出されたのは雷放電に伴う電磁波のみで、地震に伴うものは全く検出されなかった。その理由は地中媒質の電気伝導度のため、励起された電磁波の地中伝搬中における減衰のためセンサーまでには到達しなかったと考えた。そこで観測する周波数を低くした結果、地震によって励起された電磁波を検出できるようになった。連続観測でそれを監視する方法は、一定時間幅毎に検出した信号を周波数分析し、その結果をディスプレイ上の縦軸を周波数とし、各周波数の強度を色で表し、順次同様の作業を繰り返す事により、横軸に時間的に変化するスペクトログラムを用いた。

2011 年 12 月から 2013 年 3 月までの間に京都産業大学を中心とした領域で発生したマグニチュードが 2 以上の地震について調べたところ、19 件あり、そのうち 13 件についてはスペクトログラム上に現れ、地震に伴って発生した電磁波である事を確認した。これらの内、電磁波観測点に近い地震については、マグニチュードが小さい地震でも電磁波が検出され、遠方の地震の場合は、マグニチュードが大きければ遠方でも電磁波が検出された。この事は、電磁波観測点における地震波の強度により電磁波が励起されている事が考えられ、センサー近傍での岩盤の圧電効果によって励起された事を示唆している。このように地下岩盤で電磁波が励起されていることが明らかとなったので、その影響が地上にも現れている可能性を調べるため、地上にも同じ電磁波センサーを設置し、更にそれら電磁波と地震波との時間関係を明確にするために電磁波観測点にも地震波形を設置し、総合的な観測を開始した。

このシステムを用いての観測を続けていたところ、2013 年 4 月 13 日 05:33:17.7 JST に電磁波観測点の南西 115 km の淡路島の地下 14.8km で M6.3 の大地震が発生した。これによる電磁波をまず 05:33:40 JST に地上のセンサーで検出し、その 13.6 秒後に地震波形を検出し、それと同時にボアホール内で電磁波を検出した。この観測結果から、地震波による電磁波励起とその伝搬の様子が明らかとなった。即ち、岩盤内で地震波の波頭では常に電磁波を励起しており、それが

容易に地上へも放射している事を示している。これら地震波とそれによって励起された電磁波の伝搬について論文で発表した [1]。

上記のような結果を受けて、地震発生時あるいはそれ以前での電磁波励起について調査を開始した。2014年4月4日 6:20:29.1 JST に電磁波観測点から西北西に 42.4km 離れた地点の深さ 10 km において地震 (M3.3) が発生した。この時の電磁波観測点において検出された各波形を図 1 に示す。地震波形は図の中央に、電磁波磁界の 3 軸方向成分の地上およびボアホール内で検出した波形をそれぞれ図中上半分及び下半分に示している。図から明らかなように電磁波観測点への地震波の到来 (06:20:43.104 JST) 時に地上では振幅の大きな電磁波を検出している。地震発生時刻 (Official rupture time) (06:20:29.1 JST) での電磁波の波形には特別な変動は現れていない。しかし、その 4 秒前において地上および地中の両センサーで同時に急激なパルスが見られ、その後 8.75 秒間に極めて特徴的な振動波形が検出されている。この部分が震源で発生した事を確認できれば、地震発生前に励起された電磁波の一形態と見なす事が出来る。そこで今、この電磁波波形の取得と同時に到来方位を測地出来るシステムの整備を進めている。

[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)

