

地震により励起された電磁波パルスの検出とその確認

筒井 稔 [1]

[1] 京産大・コンピュータ理工

Detections and confirmations of electromagnetic pulses directly excited by earthquakes

Minoru Tsutsui[1]

[1] Computer sciences, Kyoto Sangyo Univ

In order to detect and confirm electromagnetic (EM) pulses which might be closely related to earthquakes, we have been observing EM noises in boreholes at various places such as on mountain sides and seashores. In these observations, we detected tremendous number of EM pulses with duration of a few millisecond in a frequency range of a few kHz. From detailed analysis of these EM pulses, we found that almost all of these EM pulses were lightning and artificial ones, and we could not detect any earthquake-related EM pulse at all.

The reason why earthquake-related EM pulses could not be detected in the earth was considered that the amplitude of the excited EM pulses could be strongly decayed during their propagations in the earth before arrival at the EM observation site, because the earth's medium has electrically high conductivity. In general, the decay rate of the amplitude of EM wave during its propagation in the conductive medium is given by a parameter called "Skin depth" of the medium, which indicates a specific distance through which the amplitude of the propagating EM wave decays to $1/e$ ($e = 2.718$). The skin depth is inversely proportional to the square root of the wave frequency, high frequency EM waves would decay and fade out in a short distance but lower frequency ones would survive for a long distance. Thus it has been severe to detect EM pulses in a few kHz range. By this reason, we shifted down the frequency range for monitoring EM noise, from a few kHz to a few tens of Hz. At last, we have detected earthquake-excited EM pulses in the earth and also above the ground in a quiet noise environment.

We began to monitor EM noise environment in the earth by f - t diagram in frequency range below 25 Hz. During the period from December 2011 to March 2013, we had thirteen earthquakes by which EM pulses were excited and detected in the borehole. These earthquakes were distributed within a circle of 40 km in radius centred at the EM observation site. Seismic intensities by these earthquakes at the EM observation site were 1 or less whereas their earthquake magnitudes M were ranging from 2.7 to 3.8.

From March 2013, we began simultaneous observation of EM pulses and acceleration of seismic waves. The figure shows an example of captured waveforms of magnetic flux density B_{ew} detected in the borehole and of seismic acceleration S_{ns} when an earthquake of $M2.2$ occurred at 6.5 km-depth and at about 16 km west of the EM observation site at the official time 03:19:53.6 JST of March 26, 2013. The official time was taken from the Japan Meteorological Agency Earthquake Catalogue. In the waveform of B_{ew} seen in (a), the primary tremor part which shows clear increased amplitude begun at 2.03 sec before 03:19:59.89 would be related to the acceleration of seismic P-wave although its arrival time in the seismic waveform S_{ns} is not so clear. From 03:19:59.89 JST, the amplitude of the waveform of B_{ew} became large when seismic S-wave arrived at the EM observation site.

Based on the results in the observation and in a laboratory experiment, we can propose a method for detecting EM pulses as a precursor of earthquakes.

力学的エネルギーの散逸過程においては様々な波動現象を伴う。地殻活動による主たるエネルギーは地震波となって伝搬するが、その一方で岩盤内での圧電効果により電磁界が励起される事が考えられる。筆者は地震に伴って電磁波パルスが発生するだろうとの仮説の下、それを捉えるために、京都産業大学構内を含む近畿地方の山間部や海岸に構築した深さ 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観測を行ってきた。

これまで、それらボアホール内で検出された多くの電磁波パルスデータの定量解析を行ってきたが、それらの殆どが雷放電によるものと送電線から放射される電磁波パルスである事が判明し、地球起源の電磁波パルスを検出・確認する事はできなかった。

地中で電磁波が検出・確認されない理由として考えられるのは、地中媒質の導電率（電気伝導度）の大きさである。たとえ地中で電磁波が励起されたとしても、地中を伝搬する間に減衰してしまい、観測点までには到達しないと考えた。即ち、導電性媒質中での電磁波の振幅は距離と共に指数関数的に減少し、その振幅が $1/e$ となる特徴的伝搬距離を「表皮の厚さ (Skin depth)」と呼んでおり、その距離は周波数の平方根に逆比例する関係を持っている。このため周波数が高い電磁波は短距離で減衰・消滅してしまう事になる。これまで、観測していた周波数範囲は 5 kHz 付近であり、その場合の表皮の厚さは数 10 m と極めて短かったため、たとえ地中で電磁波パルスが励起されたとしても、5 kHz 付近の周波数成分は短距離で減衰してしまい、観測点までには到達できなかったと考えられた。そこで監視する周波数範囲をそれまでの数 kHz から数十 Hz 以下にしたところ、地震発生に伴って電磁波パルスが励起されている事を確認した。

この時の監視方法としては、電磁波の磁界用センサーで検出された信号を 20 秒毎に 256 Hz のサンプリング周波数で 4096 点を取得し、その周波数スペクトルを求め、160 秒間に得られた 8 個のスペクトルを平均して 1 つのスペクトルとして、24 時間画面上に時刻と共にプロットしながらスクロールするダイナミックスペクトルとして日夜連続表示させたものを使用した。

2011年12月から2013年3月までの間に京都産業大学を中心に発生した地震について、ダイナミックスペクトル上に現れた電磁波パルスを伴っている地震は13件あった。それら地震のマグニチュードは2.3~3.8であり、それら地震は電磁波観測点から半径40kmの円内で発生しており、電磁波観測点での震度は1或いはそれ以下であった。

地震とそれに伴って励起された電磁波パルスとの関係を更に明確にするためには両者の波形を比較する事が必要となった。そこで2013年3月から電磁波観測ブース内のポアホール傍に地震計を設置し、電磁波の磁界成分と地震波の加速度波形の同時観測を開始した。図は2013年3月26日03:19:53.6 JSTに電磁波観測点の西方16kmの地下6.5kmで発生したM2.2の地震に伴って電磁波観測点で検出された電磁波パルス波形(B_{ew})と地震波形(S_{ns})を示している。これが地震波と電磁波の波形同時観測の最初のデータである。図から明らかなように、地震発生から約6.3秒後にS波が観測点に到達しており、それとほぼ同時に電磁波パルスが検出されている。更に東西磁界成分(B_{ew})を見ると、その到達時刻の2.03秒前から初期微動が見られるが、これはP波に同期して励起された電磁波を捉えているものと思われる。これから電磁波はP波の検出に極めて敏感である事を示している。

これらの観測結果と室内実験の結果とを考慮して、地震前兆電磁波パルスが検出できる観測方法を提案する。

このようにこの方式での電磁波による観測は今後の地震観測研究にとって、極めて重要な情報を提供できるものと思われる。

