

地中励起電磁波パルスの伝搬に関するコンピュータ・シミュレーション実験

筒井 稔 [1]
[1] 京産大・工

Computer Simulation Experiment on Propagations of Earth-origin Electromagnetic Pulses

Minoru Tsutsui[1]
[1] Info. Commu. Sci., Kyoto Sangyo Univ.

We carried out computer simulation experiment on propagations of earth-origin electromagnetic (EM) pulses by FDTD method using a cluster system composed of 100 personal computers. The simulation area is 540 km x 500 km in the horizontal plane, 160 km in depth under the ground surface and 80 km above the ground. The cell size in the simulation area is 1km x 1km x 1km. Specific dielectric constant in the earth medium is 9. We first set electric conductivity in the earth medium $10E-6$ S/m. We applied a pulse current with a time width of 40 micro second at 40 km in depth under the ground, and calculated 6 electromagnetic components at each sell point in each 1 micro-second step.

We obtained following results.

1) Up-propagating components of the EM pulses among the omni-directionally propagating mode radiated from the source region in the earth would leak out of a circular ground surface area which is determined by the critical angle of full reflection of wave at the ground surface.

2) EM pulse wave above the ground radiated from the circular area of the ground surface was forming a changing wave surface from a half sphere to a full sphere.

3) Since the wave surface of the full sphere has downward propagation component, it have penetrated back into the earth.

These experimental results have proved that the detected EM pulses excited by an earthquake occurred on January 6, 2004 would be a surface wave propagating along the ground surface [1].

[1] Minoru Tsutsui, Identification of earthquake epicenter from measurements of electromagnetic pulses in the earth, Geophys. Res Letters, Vol.32, L20303, 2005.

2004年1月6日に発生した熊野灘沖の地震では、同時に電磁波パルスを京都産業大学構内のボアホール(深さ100m)内に設置した電磁波パルス到来方位検出用センサーで検出した。その検出した電磁界成分の持続時間が2ミリ秒以下であったことから、それは震源域での岩盤の圧電効果によって励起された電磁波パルスであると考えた。この検出された電磁波パルスの性質を調べるために、本研究室ではパルス信号の周波数スペクトルの時間変化を表示できる解析プログラムを開発したので、それを検出したパルス波に適用したところ、それは高周波から低周波に向かって検出時刻の遅くなる分散特性を持ち、2.7 kHzでカットオフとなっている事を表示した。この周波数分散特性はトウイーク空電のそれに酷似している事から、この電磁波パルスは地上と電離層との間の空間を伝搬してきて京都産業大学で検出されたものと考えた。即ち、地震によって地中岩盤で励起された電磁波パルスのエネルギーの一部が震源直上の地表に洩れ出て、それ以降は電離層反射波を含む自由空間波として伝搬し、それをボアホール内で検出したと考えた [1]。

このような地中励起の電磁波パルスの伝搬形態を明らかにするために、その電磁波パルスの伝搬に関するコンピュータ・シミュレーション実験を試みた。シミュレーションコードとしてはFDTDを用い、実験には100台のパーソナル・コンピュータからなるクラスタ・システムによる並列処理を行った。シミュレーション実験空間としては、水平面を540 km x 500 kmに取り、鉛直方向は地中部分を160 km、その上の地上部分は高度80 kmまでの領域を確保した。そして1 km x 1 km x 1 kmのセルサイズで電磁界6成分値の時間変化を取得している。

この実験領域での地中および地上での媒質での比誘電率を9および1とし、地上での導電率を0としたが、地中媒質の導電率を $10E-6$ S/mから徐々に大きな値での実験を行なった。励起電磁波パルスとしては、半値幅が40マイクロ秒のガウスパルスを地下40kmの位置(熊野灘沖の地震に関連させ)で水平方向に電流印加の形を採った。そして1マイクロ秒の時間ステップ毎に計算を行った。

このシミュレーション実験により、下記のような極めて興味ある結果を得る事が出来た。

1) 地中の励起源からは等方的に伝搬した電磁波パルスの内、上方に向かった成分が地表に到達すると、そこで自由空間波に変換されて伝搬していく様子が示された。

2) 電磁波パルスが漏洩する地表面の範囲は、波源からの波が地表面で全反射する時の臨界角を与える円内に限られている事を示した。

3) 地上においては、その円板上波源から、半球状となり更に風船が膨らみ、球面波状の波面を呈し、広がって行く様子を示した。

4) 地上で形成されたこの球面状の波面により、それは地中に向かって伝搬する成分が生じ、それが再び地中に侵入する様子が示された。

5) ボアホール内で検出されたパルスはこの地表面に沿って伝搬してきた表面波を検出したと考えられる。

6) 海底下での地殻変動に伴い発生した電磁波パルスを想定した伝搬実験では、海を透過して海面上に現れる電磁波

パルスエネルギーは極めて弱いですが、その海域が途切れて陸域になった場所からは電磁波パルスが地上に漏洩し、自由空間波になることも考えられ、現在、その検証のための実験を行っている。

これらの伝搬実験により、これまで主張してきた「地中励起電磁波パルスは一旦地上に漏洩し、その後は自由空間はとして伝搬して来た」という仮説を証明した事になる。

[1] Minoru Tsutsui, Identification of earthquake epicenter from measurements of electromagnetic pulses in the earth, Geophys. Res Letters, Vol.32, L20303, 2005.