

Tremor patches in Cascadia revealed by seismic array analysis

Abhijit Ghosh, John E. Vidale, Justin R. Sweet, Kenneth C. Creager, and Aaron G. Wech

Cascadia 지역에서 최근에 관측된 Episodic Tremor and slip (ETS)는 non volcanic tremor (NVT)의 형태로 seismic energy를 방사한다. 그러나 ETS는 감지가 어려울 뿐만 아니라 발생 위치를 찾는 것도 어렵기 때문에 여전히 복잡한 event로 알려져 있다.

이 연구에서는 ETS event에 대한 상세한 분석을 위하여 워싱턴의 Olympic Peninsula를 가로질러 84개의 지진계를 array로(이하, Big Skidder array) 설치하여 2008년 3월에서 5월 동안 발생한 ETS 이벤트를 수집하였다. 설치된 지진계는 수직성분의 단주기 지진계로 array 간격은 약 100m×100m으로 설정하였으며, array의 서쪽은 50m 간격이다. 지진기록은 2008년 3월 5일에서 13일까지 8일 동안은 Inter ETS event에서 기록하였으며, 2008년 5월 5일부터 21일까지 16일 동안은 Main ETS event를 기록하였다.

Big Skidder array에서 수집된 자료는 beamforming 방법을 이용하여 분석하는데 자동분석을 위하여 2.5분씩 자료를 겹쳐가며 5분간의 기록을 sliding time window를 이용하여 각 각의 window에 3-8 Hz의 bandpass filter를 적용시킨 다음 normalizing 시킨 후 slowness 함수로 seismogram을 stack한다. stack된 자료의 power는 beamforming 방법을 이용하여 구할 수 있다. beamforming 방법을 이용한 분석결과와 Pacific Northwest Seismic Network에 기록된 자료를 비교한 결과 잘 일치됨을 알 수 있었다. 또한 ETS 분석을 위하여 기존에 사용되던 Envelope cross-correlation (ECC)을 이용한 location과도 잘 match 되었다.

ETS energy의 가장 좋은 slowness를 얻기 위하여 각각의 time window에서 beamforming 결과를 이용하였으며, 이를 subduction interface에 투영함으로써 NVT source location을 결정하였다. 또한, Mega thrust의 각각 다른 부분에서 NVT 활동에 의한 moment release의 상대적인 분포를 평가하기 위하여 관측된 tremor로부터 상대적인 band-limited moment release를 측정하였다. 이를 위하여 각각의 tremor time window를 설정하여, 3-8Hz로 filter된 자료를 stack하였다. 이 trace를 stack된 seismogram의 수만큼 나눈 후, 변위로 변환한 후 변위 trace의 절대값으로 정의된 커브 아래의 면적을 계산하였다.

Beamforming method는 ECC방법보다 상당히 긴 duration의 tremor를 detect하였고, tremor를 detection 하는데 보다 낮은 threshold값을 가진다. 2008년 5월의 아주 약한 tremor episode 동안에도 beamforming method를 이용한 결과 ECC 방법보다 4배나 많은 tremor를 관측할 수 있었다. 2008년 5월 ETS episode 동안 tremor activity의 대부분은 plate interface의 30-40km depth에서 대부분 발생하였으며, 2008년 3월에 발생한 보다 약간 tremor는 35-45km의 contour level에서 발생하였다.

이 연구결과 Array를 이용하는 분석방법은 tremor detection level을 상당히 높이는 것이 가능하므로, plate boundary에서 NVT에 의한 stress release를 측정하는데 유용한 방법이 된다. Cascadia 지역의 2008년 ETS event 동안 몇 개의 patch에서 NVT moment release가 우세하게 나타나는데, 이 현상은 slow slip event 동안 tremor가 단일하게 활동하지 않음을 보여준다. moment 발산이 높은 지역 중 지진이 없는 지역에서 이 지역의 subduction interface는 이 지역

이 friction properties나 fluid content를 가진 spot지역이라는 것을 암시해 준다. Fault section에서 shear strength를 감소시키는 가장 simple한 방법은 friction coefficient를 감소시키거나 fluid pressure를 증가시키는 방법이다. 반면에 physical heterogeneity는 공간적으로 다른 friction behavior의 원인이 되고 fault에서의 wet spot은 보다 높은 high fluid에 영향을 미치게 되고 그것에 의해 유효 normal stress를 줄이게 된다. 따라서 plate interface에서 지역적인 weakness를 발생시키게 된다.

결론적으로 이 연구에서는 Array technique를 이용하여 ECC 방법보다 보다 긴 tremor duration을 관측할 수 있으며, Cascadia 지역에서 2008년 5월 ETS Event 동안에 tremor moment와 방출된 몇몇 tremor patch의 원인을 밝혔다. 또한 불연속적인 spot에서 tremor moment의 집중적인 방출로부터 subduction interface에서의 축적된 stress의 mode가 공간적으로 다양한 friction property와 단층상의 wet spot에 인과관계가 있음을 제시한다.