

The 2011 Magnitude 9.0 Tohoku-Oki Earthquake:  
Mosaiking the Megathrust from Seconds to Centuries

Mark Simons et al.

Science, V 332, P1421, 2011

Date: July 20, 2011

Summarized by So-Young Baag

---

---

2011년 3월 11일에 일어난 Tohoku-Oki 지진은 태평양판이 일본 아래로 섭입되는 과정에서 megathrust에 의해 일어났다. 이 지역에서 Pacific Plate의 평균 subduction rate 는 8~8.5 cm/yr이다. 그리고 이 지역에서 moment magnitude가 7-8인 지진이 많이 일어났다.

이 지역의 plate coupling 정도의 공간적 변화를 알기 위해 geodetic observation 중의 하나인 interseismic period의 crustal strain을 분석한 결과, high coupling은 주로 과거에 지진이 발생한 지역에 주로 분포했다. 해구와 해안의 중간 지점에서부터 해구 사이의 단층면, 즉 Tohoku-Oki 지진이 일어난 곳은 coupling이 조금 있거나 없었다.

이 지진의 slip 분포와 시간에 따른 slip의 변화를 알기 위해 regional geodetic network, broadband seismographic network과 open-ocean tsunami data가 사용되었다.

먼저 Geodetic Survey of Japan (GSI) 의 연속적 기록 GPS 1200개를 사용하여 Honshu의 지각변위(crustal displacement)를 측정하였다. 그 결과 mainshock에 의해 Honshu 섬이 동쪽으로 4.3 m 움직였고, 0.66 m 가라앉았다. Mainshock으로부터 30분 후에 일어난 aftershock에 의한 변위(displacement)는 동쪽으로 0.44 m 였다.

이 GPS data와 coseismic offsets, 해저 압력계 자료(sea-floor pressure gauge data)를 이용해 static coseismic slip distribution을 구했다. 계산법으로는 regular inversion 대신 Bayesian probabilistic formalism을 썼다. 그 결과 최대 slip은 전체 distribution을 남북으로 3 sections로 나누었을 때 중간 정도에 위치해 있었고 대략 60 m 정도였다. 또 Sendai와 Kamaishi의 50 km 해안에서 seafloor subsidence가 최대 2 m, Japan Trench의 50 km 서쪽에서 seafloor uplift가 9 m 정도 일어날 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이 probability distribution에 의한 moment magnitude는 8~9.2 였다.

시간에 따른 slip의 변화는 kinematic fault model을 통해 알 수 있었다. Broadband seismic data와 GPS observation으로 kinematic fault model을 만들었을 때 최대 slip은 45 m 로 static fault model보다 낮았다. Rupture velocity는 1.2 km/s 로 느린편이었고, moment rate function으로 보았을 때 significant 한 slip은 rupture가 시작한지 3분안에 일어났다. Slip 의 분포와 seafloor uplift/subsidence는 static model과 kinematic model이 비슷했다. Aftershock의 최대 slip은 4 m 였다.

이 지진이 azimuth에 대해 duration이 거의 일정하고 down-dip 방향으로 duration이 짧아지는 것으로 봐서 rupture propagation은 bilateral이고 down-dip으로 퍼졌을 것으로 보인다.

Teleseismic array waveform을 back-projection 하여 high frequency에서 rupture process를 imaging 해 봤을 때 high frequency의 에너지가 높은 곳은 down-dip 부분이였다. 이 지진을 2010년에 일어났던 Maule 지진과 비교했을 때 peak slip은 Maule 지진의 2, 3배 정도 되었고 high frequency radiation도 더 컸다. Hypocenter의 depth 도 이 지진이 더 컸다. Slip area는 Maule 지진이 더 컸었다. 이런 점을 보았을 때 high frequency radiation은 hypocenter가 깊은 지진에서 더 radiation 되는 것 같다.

이 fault slip model은 작은 넓이의 지역에서 큰 stress drop이 있었다는 것을 보여준다. 이 fault면의 stress barrier가 고르지 않기 때문일 것이다. 이것은 작은 면이라도 effective yield stress가 높을 수 있다는 것을 보여준다.

Tohoku-Oki 지진은 예상하지 못한 곳에서 일어났다. 이 지역은 약 1100년 동안 이만큼 moment magnitude가 큰 지진이 일어나지 않았던 곳이다. 이 megathrust의 segment 중의 하나인 Miyagi는 Honshu를 가로지르는 convergence rate가 약 3 cm/yr, 이중 strain

accumulation에 기여하는 rate는 1-2 cm/yr 로 느리지만, 오랜 시간이 흐른 뒤의 strain accumulation은 크다.

1938년에 일어났던 Fukushima와 Ibaraki sequence의 up-dip지역에서 큰 event가 없었다. 이곳의 megathrust에 대한 slip budget와 surface velocity를 볼 때 이 곳에서 Tohoku-Oki같은 지진이 다시 한번 일어날 수 있다. 만약 일어난다면 1938년 event의 asperity와 Tohoku-Oki의 aftershock rupture area에서 큰 slip이 일어날 수 있다. 이 지역의 coupling이 강하지 않다면 postseismic afterslip이 high rate로 나타날 것으로 예측된다. 그래서 이 지역을 monitor하는 것이 필수적이다.