

Spatial heterogeneity of the mantle wedge structure and interpolate coupling in the NE Japan forearc region

Yojiro Yamamoto, Ryota Hino, Kensuke Suzuki, Yoshihiro Ito, Tomoaki Yamada, Masanao Shinohara, Toshihiko Kanazawa, Gen Aoki, Masayuki Tanaka, Kenji Uehira, Gou Fujie, Yoshiyuki Kaneda, Tetsuo Takanami, and Toshinori Sato

많은 지진들이 NE Japan forearc 지역의 판 경계를 따라서 발생한다(Yamanaka and Kikuchi, 2004). 이 지역은 thrust 유형의 지진의 downdip 한계가 대략 60km의 깊이(Igarashi et al., 2001)인 반면 island arc의 두께는 30km이다. NE Japan forearc의 중간부분인 off-Miyagi 지역에서 M ~ 7.5인 interplate 지진들이 약 40년 간격으로 반복적으로 발생(Headquarters for Earthquake Research Promotion, List of long-term evaluation (in Japanese), 2008, <http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/kaikou.htm>)한 반면 off-Miyagi 지역의 남쪽(off-Fukushima 지역)에서는 큰 규모의 지진이 거의 발생하지 않는다. Ms ~7.8의 4개의 지진(Abe, 1977)을 포함한 1938년 Shioya-oki earthquake sequencerk 800년 동안에 알려진 주요 interplate activity이다. Iinuma et al.,(2007)은 strong interplate coupling의 범위가 off Miyagi보다 off Fukushima가 좁음을 보였고 NE Japan forearc 지역에 대해 여러 seismic tomography 연구가 이루어졌다(Zhao et al., (2007), Yamamoto et al., (2006)).

이 논문에서는 off-Miyagi와 off-Fukushima 지역 사이의 interpolate coupling의 차이에 대한 mantle wedge의 불균질성(heterogeneity)을 설명하기 위해 seismic tomography에 의한 3-D seismic velocity structure를 추정하였다.

2004~2005동안 4번의 ocean bottom seismographs (OBSs)의 관측으로 총 89개 OBS 관측소로부터 얻은 관측자료와 National Institute for Earth Sciences and Disaster Prevention, Japan Meteorological Agency (JMA)와 141개의 내륙 관측소를 포함한 국립대학 그리고 4개의 OBSs의 지진네트워크에서 관측한 자료를 사용하였다. M > 2와 진앙과 관측소 사이의 거리가 30km이하인 지진들을 JMA 목록에서 선택하였고 downgoing slab의 tomography 이미지의 해상도를 높이기 위해 선택한 지진들 사이에 intermediate-depth 지진들을 포함하였다. Tomographic inversion을 위해 처음 위치를 알기 위해 육지 쪽의 데이터에 OBS 도착시간 데이터를 포함하여 연구지역의 JMA-cataloged hypocenters의 위치를 재결정하였고 내륙에서 발생한 1658개의 데이터를 사용하였다. 판 경계 주변의 seismogenic zone의 상세한 구조를 얻기 위해서 double-difference tomography 방법인 "tomoFDD" (Zhang and Thurber, 2006)를 하였다.

결과의 해상도를 평가하기 위해 Checkerboard resolution test(CRT) (Spakman and Nolet, 1988)와 restoring resolution test (RRT) (Zhao et al., 1992)를 실시하였다.

재결정 된 진원의 위치를 통해서 판 경계의 위치를 추정할 수 있고 thrust 유형의 지진과 characteristic repeating earthquakes (CREs)의 위치로 경계를 정의하는데 사용할 수 있기 때문에 P-wave first motion polarity 와 S-wave/P-wave amplitude의 비를 사용하여 focal mechanism을 구하고 판 경계를 Vp 와 Vs의 분포에서 경계에 일치하는 진원의 분포로 구하였다. 판 경계 상부에 high velocity zone과 60km 깊이 아래에 판 경계 하부에 low velocity의 landward-dipping layer를 확인할 수 있었고 이를 통해 high- 와 low-velocity 층이 각각 mantle wedge와 해양판에 일치함

을 추론였다.

판 경계 상부의 mantle wedge는 판 경계면의 마찰 특성에 영향을 받으므로 mantle wedge에서의 공간적 불균질성과 interpolate coupling의 공간적 변화에 대한 관계를 조사하였다. 1978년 off-Miyagi earthquake의 asperities 상부의 mantle wedge는 높은 V_p , V_s 와 낮은 V_p/V_s 로 특징지어진 반면 상대적으로 높은 $V_p/V_s(>1.8)$ 지역은 off-Fukuyama forearc region의 mantle wedge 의 updip end인 동쪽에 존재한다. Mantle wedge는 약 40km 또는 그 이상의 판 경계 깊이에서 downdip 방향으로 구조적 변화를 보이는 서쪽으로 갈수록 V_p/V_s 가 1.75값으로 감소하고 V_p 는 8km/s로 증가한다. Mantle wedge에서의 속도 변화의 이러한 양상은 off-Miyagi와 off-Fukushima 지역에 시행된 이전의 active-source 실험 결과(Watanabe, 2005; Miura et al., 2003)와 일치한다.

Mantle wedge에서 serpentinization은 속도가 감소하는 하나의 원인이 된다. 여러 seismic tomography 연구에서 mantle wedge에서의 낮은 속도가 나타남을 발견하였다. Interplate coupling은 해양판이 hydrated mantle wedge과 접촉하였을 때 판 경계를 따라 약하게 된다고 믿어진다(e.g., Hyndman and Peacock, 2003). 이 연구에서 Christensen(2004)에 의해 제안된 관계를 사용하여 속도 모델로부터 NE Japan forearc의 mantle wedge에서 serpentinized mineral의 volume fraction을 측정하였다. Off-Miyagi 지진의 rupture area 상부의 mantle wedge는 10% 미만, off Fukushima에서는 20~40%의 serpentinization으로 추정된다. Escartin et al. (2001)의 기초하여 mantle wedge의 유동학적(rheological) 특징이 off-Miyagi 지역과 off-Fukushima의 updip 지역 사이가 다르다는 것을 제안하며 속도 모델이 interplate coupling이 off-Miyagi 지역에서는 강한 반면 off-Fukushima의 mantle wedge의 tip은 약한 지역임을 나타낸다. 이 해석은 off-Fukushima의 weak coupling을 보여준 back-slip 분포 연구(Iinuma et al., 2007; Matsumoto et al., 2008)의 발견과 일치한다.

높은 V_p/V_s 지역이 1938년 Shioya-oki 지진의 rupture area 절반의 동쪽지역(eastern half of the rupture area)에서 나타났고 GPS 데이터를 사용한 Suwa(2001)은 off-Fukushima forearc에서 episodic slow-slip event를 발견했고 1938년 지진의 rupture zone의 동부에서 이 event가 위치하였다. 이 결과를 이 연구의 결과에 결합시켜 Abe (1977)에 의해 추정된 1938년 지진의 fault plane의 얕은(shallow) 부분이 아니라 깊은(deep) 부분에서 interplate coupling이 강하다고 제안한다.

이 연구 결과는 non-serpentinized mantle wedge가 Miyagi에서 30~60km 깊이 사이에 판 경계가 존재하곤고 제안한다. Fukushima에서 mantle wedge의 updip end에서 serpentinized mantle의 존재는 강한 coupled zone이 off-Miyagi보다 좁은 40km의 너비임을 의미한다. Less-serpentinized mantle wedge의 폭의 차이는 off-Miyagi와 off-Fukushima 지역의 뚜렷한 구조적 차이이다. Mantle wedge의 높은 serpentinized 부분의 폭이 interplate seismic zone의 공간적 크기에 영향을 미친다고 제안한다.