

Sentinel-1A DInSAR 영상으로 관찰된 남극 Ross 빙붕의 조석변위

Tide deflection of Ross Ice shelf in Antarctica observed by Sentinel-1A DInSAR imagery

한수정¹, 진효림¹, 한향선², 이훈열¹

Soojeong Han, Hyorim Jin, Hyangsun Han, and Hoonyol Lee

¹ 강원대학교 지구물리학과, ² 극지연구소

요약 : Sentinel-1A(S1A) SAR 영상자료를 이용하여 DInSAR기법으로 남극의 Ross 빙붕의 조석에 의한 수직적 변화를 정확히 관찰하고자 본 연구를 진행하였다. 연구지역의 영상자료는 Sentinels Scientific Data Hub에서 SLC(Single Look Complex), IW Sensor Mode를 설정하여 2015년에서 2016년까지 Ross 빙붕의 육지 경계부 자료를 획득하였고, 데이터의 처리는 ESA에서 개발된 Sentinel Application Platform(SNAP)프로그램을 사용하였다. 빙하의 지표변위를 알기위해 12일 간격인 2개 영상자료의 위상차를 이용하여 DEM 모델인 GETASSE30에 의한 영향을 제거한 DInSAR 영상을 얻었다. 두개 DInSAR자료를 차분하여 unwrapped한 후 DInSAR기법에 관한 2π cycle 범위에서 rewrapped하여 나타내었다. Ross 빙붕의 조석에 의한 수직적 변위에 대한 자료를 제공할 수 있으며, hinge zone을 추출해내어 Grounding line을 확인할 수 있다. 또한 Sentinel-1A와 올해 발사된 Sentinel-1B의 revisit cycle이 6일인 자료를 추가한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

1.서론

유럽우주국(ESA)에서 2014년에 발사된 Sentinel-1A 위성의 revisit cycle은 12일이며, Sensor mode는 일반적으로 IW (Interferometric Wide)이고, 공간해상도는 $5 \times 20m$ 이며, $250km$ 의 관측폭으로 넓은 지역의 영상을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 TOPSAR 기술을 사용함으로써 세 개의 subswath(IW1, IW2, IW3) 이미지를 얻을 수 있다. 또한 C-Band를 탑재하여 날씨나 태양의 고도와 관계없이 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상을 얻을 수 있다.

먼저 빙하의 지표변위를 알기위해 12일 간격인 2개 SAR 영상자료의 위상차를 이

용하여 빙붕이 수평적으로 흐르는 속도가 일정하다고 가정하고 서로 다른 시기에 얻어진 2개의 DInSAR 영상을 이중차분간섭 기법(Double-Differential Interferometric SAR: DInSAR)으로 처리하면 조석에 의한 수직적인 조위변형의 차를 산출할 수 있을 뿐 아니라 hinge zone과 grounding line도 확인할 수 있다. 이 연구에서는 다양한 조위모델 중 가장 정확한 Ross_Inv 모델을 이용하여 조화상수를 결정하고 (2013 한향선) 조위를 예측하여 DInSAR로 추출된 빙하의 조위변형과 비교하였다. 조위모델은 같은 기압의 면과 같은 밀도의 면이 일치하는 대기의 상태의 조위를 예측하기 때문에 대기압이 높아질 때 해수면이

낮아지고, 대기압이 낮아질 때 해수면이 높아지는 역기압 효과(inverse barometer effect; IBE)의 보정이 필요하다.

2. 연구지역 및 자료

2.1 연구지역

연구지역은 남극대륙의 Ross해 남부에 위치한 Ross 빙붕이며 위도-81.50, 경도-175.00 에 위치해 있다. Fig 1.은 Ross 빙붕의 동쪽과 서쪽 지역의 위치와 각각의 AWS station의 위치를 나타낸다. Fig 2와 3은 연구지역의 DDInSAR영상을 나타내며 흰색 화살표는 hinge zone을 나타낸다.

2.2 연구자료

DDInSAR영상의 이중차분값을 추출하고자 Sentinel-1A 위성의 SAR영상자료를 이용해 Ross 빙붕의 동쪽과 서쪽에서 자료를 획득하였다. Table 1.의 날짜와 같이 동쪽과 서쪽에서 SAR영상을 획득하였고, 각 지역마다 2개의 DInSAR영상과 1개의 DDInSAR 영상을 생성하였다.

Ross_Inv는 $1/4^\circ$ 와 $1/12^\circ$ (~10 km)의 격자 간격으로 Ross해의 조위를 예측하는 조위모델이다. 위성에서 관측되는 조위는 해수에 의한 지각의 변형의 하중조위(load tide)를 포함하고 있다. 조위모델 TPX07.2은 전 지구적인 조위를 예측하고, 하중조위의 값을 구할 수 있다. 이 값을 Ross_Inv 모델에서 SAR 영상에서 예측된 시간의 조위와 더해 보정했다.(2014 한향선) 그리고 IBE보정을 위해 Ross 빙붕의 동쪽과 서쪽은 자동기상관측기구 (Automatic Weather System; AWS)을 이용하여 SAR영상의 날짜별로 대기압을 구하였다. 대기압 자료의 정밀도를 평가하고자 동쪽지역은 10분 간격으로 측정된 2개의 Willie Field, Ferrell Station의 AWS를 이용해 구한 2개의 대기압 이중차분한 값을 평균

하여 IBE보정을 수행했다. 서쪽지역의 AWS모델은 연구지역과 위도가 같은 Margaret, Gill, Schwerdtfeger, Marilyn의 네 개의 지역을 사용하였다. 연구지역과 가장 가까운 곳의 모델인 Margaret station을 선택하여 IBE보정을 수행하였다.

3. 연구방법

Ross 빙붕의 조석에 의한 수직적 변위의 자료를 제공하기 위해서는 DDInSAR 기법을 이용해야 한다. 본 연구에서 S1A의 DDInSAR 영상을 획득하기 위해 ESA에서 개발된 Sentinel Application Platform (SNAP)프로그램을 사용하였다. SAR영상을 SNAP에서 Coregistration 후 생성된 Interferogram을 GETASSE30 모델을 이용하여 DEM(Digital Elevation Model)에 의한 효과를 제거한 DInSAR(Differential Interferometric SAR; DInSAR)영상을 획득하였다. 이 영상의 노이즈에 의한 영향을 Goldstein Phase Filtering 과정을 통해 phase의 패턴을 보정하였다. 2개의 DInSAR영상의 Phase unwrapping은 snaphu 프로그램을 이용하여 2π cycle의 phase를 절대위상복원 하였다. 이 과정은 coherence에 따라 달라지며 coherence가 높을수록 신뢰할 수 있는 결과가 추출된다. unwrapping 하여 Ross 빙붕의 동쪽과 서쪽 각 2개의 DInSAR 영상으로부터 하나의 DDInSAR영상이 생성되었으며 이를 효율적으로 디스플레이하기 위해 복원된 위상을 다시 2π cycle 범위로 rewrapping하였다. 이 과정을 통해 생성된 DDInSAR 영상의 조위의 이중차분값과 조위모델의 이중차분값을 비교하였다. DDInSAR 영상의 조위의 이중차분값 ($\Delta T_{DDInSAR}$)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta T_{DDInSAR} = T_{43} - T_{21}$$

조위모델의 조위와 load tide를 더한 값

을 IBE보정하기 위해 AWS의 대기압 자료를 이용하여 정밀도를 평가했다. 동쪽지역은 AWS를 이용해 2개의 Station의 SAR 영상 시간대의 대기압을 각각 이중차분값과 평균한 이중차분의 값을 Fig 5.에 나타내었다. 두 개 station의 그래프의 추세가 비슷한 것으로 보아 대기압의 평균값을 사용해도 된다고 판단하였다. 서쪽지역의 AWS모델은 연구지역과 위도가 같은 네 개의 station을 사용하여 Fig 4.에 나타내었다. 하지만 AWS자료의 오차가 커서 연구지역과 가장 가까운 곳의 모델인 Magaret station을 선택하여 IBE보정을 수행하였다.

4. 연구결과 및 토의

Ross 빙봉의 인공위성으로 측정된 $\Delta \dot{T}_{DDInSAR}$ 와 조위모델 $\Delta \dot{T}_{model}$ 의 이중차분값을 구하여 빙봉의 수직적 조위변위를 측정하였다. 먼저 동쪽지역은 DDInSAR 영상의 hinge zone에서 나타나는 flange의 변위를 구하여 52cm의 값을 추출해내었다. 이 값은 인공위성 레이더 관측방향의 값이기 때문에 레이더 입사각으로 나누어 주면 수직방향의 값을 추출할 수 있다. 입사각 θ 는 IW1, IW2, IW3 각각의 입사각을 평균하여 사용하였고, 그 결과 65.43cm의 조위변위를 추출할 수 있었다. SAR영상 획득시간에 대해 조위모델의 이중차분값은 0.5cm가 나타났으며, IBE보정 후 51.16cm가 나왔다. $\Delta \dot{T}_{DDInSAR}$ 와 $\Delta \dot{T}_{model}$ 의 변위가 14cm 차이가 났다. 대기압이 Station별로 편차가 크고, 측정 중에 오류가 포함 되어 있어 정확한 AWS 자료가 필요하다. 서쪽지역의 DDInSAR로 추출된 조위의 이중차분값은 -77.35cm이다. 조위모델로 추출된 조위의 이중차분값은 -45.97cm로 나타났으며, IBE보정을 해준 결과 수직적인 변위는 -74.87cm가 나타났다.

이 2개의 이중차분값은 약 2.48cm의 작은 오차를 보였다. 이를 통해 조위모델에서는 IBE보정이 수행되어야함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

이 연구에서는 Ross 빙봉의 동쪽과 서쪽 육지경계부의 DDInSAR 변위량과 남극의 Ross_Inv 조위모델로 추출한 조위의 변위량을 비교하였다. 서쪽지역은 DDInSAR로 추출한 조위변화량과 조위모델로 추출한 조위변화량의 값의 오차가 적게 나는 반면 동쪽지역은 서쪽지역에 비해 오차가 컸다. 두 지역의 오차 값이 차이나는 이유는 동쪽과 서쪽지역의 빙봉 두께와 빙하의 흐름 속도가 다르고 각 지역의 AWS 자료에도 차이가 있기 때문이라고 판단하였다. Sentinel-1A와 올해 발사된 Sentinel-1B의 revisit cycle이 6일인 자료를 추가한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

사사

이 논문은 한국연구재단 기본연구사업 (NRF-2013R1A1A2008062, NRF-2016R1D1A1A09916630)과 극지연구소의 'SaTellite remote sensing on west Antarctic ocean Research (STAR) (PE16040)'과제의 지원을 받았습니다.

Reference

- Han, H. and J. Lee, and H. Lee, 2013 Accuracy Assessment of Tide Models in Terra Nova Bay, East Antarctica, for Glaciological Studies of DDInSAR Technique, Korean Journal of Remote Sensing, 29(4): 378-285
- Han, H. and H. Lee, 2014 Tide deflection of Campbell Glacier Tongue, Antarctica, analyzed by double-differential SAR interferometry and finite element method, Remote Sensing of Environment, 141, 202-211

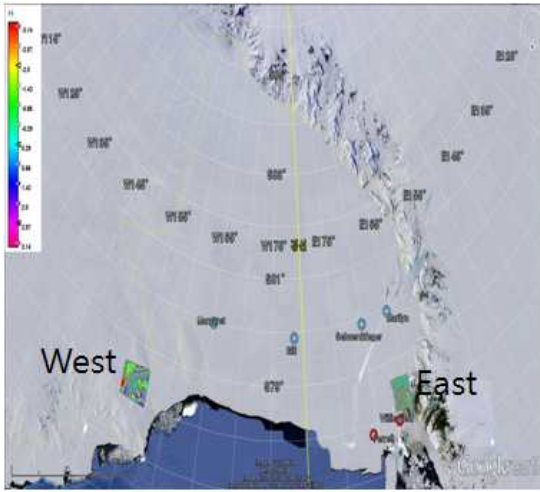


Fig 1. Location of study area and AWS stations

동쪽	2015년 09월 23일 00시 47분
	2015년 10월 05일 00시 47분
	2015년 10월 17일 00시 47분
서쪽	2015년 6월 16일 10시 40분
	2015년 6월 28일 10시 40분
	2016년 5월 29일 10시 40분
	2016년 6월 10일 10시 40분

Table 1. Date of SAR image

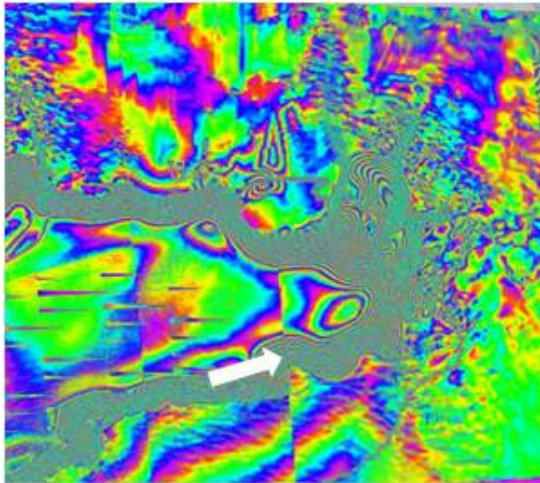


Fig 2. DDInSAR image of the West

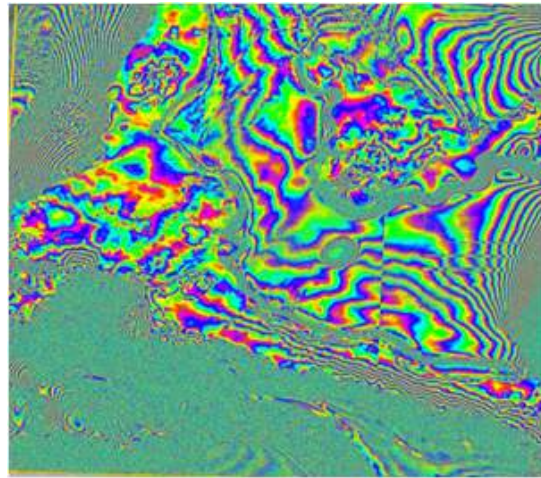


Fig 3. DDInSAR image of the East

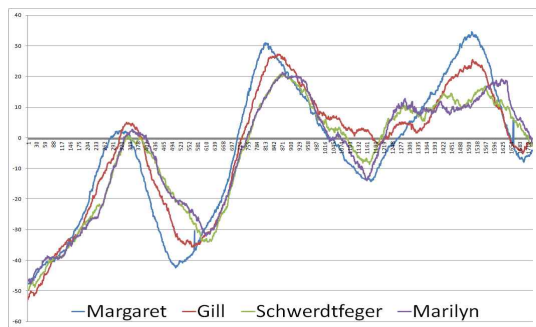


Fig 4. AWS data of the West($\Delta \dot{T}_{m odel}$)

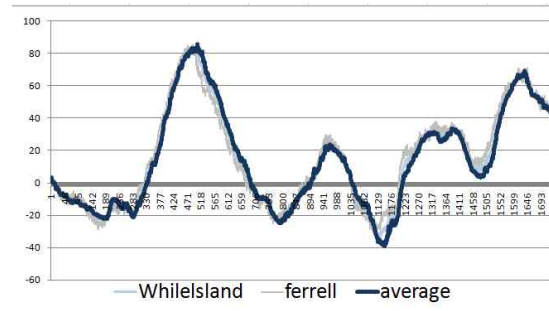


Fig 5. AWS data of the East($\Delta \dot{T}_{m odel}$)