ICESat 인공위성을 이용한 Amery Ice-Shelf (빙붕)의 속도 계산

서기원[1], 한신찬[2]

[1]한국해양연구원 부설 극지연구소 지구시스템연구부, seo.kiweon@kopri.re.kr
[2]고다드 우주 센터, 미항공우주국

Amery Ice-Shelf velocity from ICESat laser altimetry

Ki-Weon Seo[1], Shin-Chan Han[2]

[1]Division of polar Earth System Sciences, KOPRI, KORDI
[2]Goddard Space Flight Center, NASA

요약 : 2003년 1월에 발사된 ICESat 인공위성은 극지방 전 지역을 거의 관측할 수 있는 극궤도 위성으로 극지방 빙하 변화 연구에 많은 기여를 하고 있다. ICESat은 GLAS (Geoscience Laser Altimetry System) 센서를 이용하여 지형의 변화를 정밀 관측함으로써 빙하의 고도 변화 탐지에 매우 유용하다. 이는 기존의 SAR 위성을 이용한 빙하 연구의 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대된다. ICESat의 정밀 빙하 고도 관측을 이용하여 Amery 빙붕의 속도 변화를 파악할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다. 시간의 변화에 따라 수평적으로 이동하는 빙붕의 변화를 ICESat 위성 자료를 통해 확인할 수 있었으며 이를 통해 빙붕의 속도 분포를 계산할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구를 통해 개발된 방법은 남극의 다른 빙붕 연구에도 적용될 수 있을 것이다.

주요어 : Amery 빙붕, ICESat

Abstract : ICESat launched in Jan. 2003 has a capability to monitor polar regions with its inclination of 94 degree. ICESat carries GLAS (Geosciences Laser Altimetry System) to measure Earth's topography in unprecedented accuracy, and thus it can be applied for glacier variation due to recent climate changes. Here we present a new method to estimate velocity structure of Amery Ice-Shelf using ICESat altimtery data. ICESat data shows horizontal displacement of Amery Ice-Shelf, which can be directly used for velocity estimation. This method is expected to extend to other ice-shelves in Antarctica.

Keywords : amery ice-shelf, ICESat

1. 서론

지구 온난화에 의한 극지방 빙하의 유실은 해수면 상승 및 2차적인 기후 변화 요인으로 작용하여 지구과학 분야뿐만 아니라 사회/경제 분야 에서도 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 하지만, 극지방 지구물리 탐사의 어려움으로 인해 현재 극지방 빙하의 유실 상태를 연구 하는데 많은 제약이 있는 상황이다. 남극대륙과 그린랜드의 빙하량 변화는 최근 GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment)라는 인공위성 중력을 이용하여 많은 연구가 진행되고 있다 (Velicogna and Wahr, 2006: Chen et al., 2006). GRACE를 통해 극지방 중력변화를 관측하고 중력변화를 유발시키는 질량 변화를 계산함으로써 극지방 빙하 변화가 관측 된다. 하지만 GRACE는 해상도가 약 수백 km에 달해 공간적인 분해능의 제약이 있으며, 특히 빙붕에서의 빙하 유실은 중력변화를 가져오지 않기 때문에 GRACE를 이용한 빙붕 연구는 적합하지 않다.

SAR (Synthetic Aperture Radar)를 이용한 관측은 광역적인 지역을 정밀하게 연구할 수 있다는 장점이 있어 빙하 질량 변화 및 속도 분포 연구에 널리 사용되고 있다 (Rignot et al., 2008). SAR로부터 얻어지는 빙하 변화는 일정 시간 간격이 있는 연구 지역의 두 SAR 자료의 차이를 이용한다. 따라서, 상대적으로 작은 시간 동안의 빙하변화 관측으로부터 수년에서 수십년 주기를 가지는 신호를 파악하기에 매우 어렵다 (Zwally et al., 2002). 이러한 단점을 극복하기 위해 Radar Altimetry를 이용한 빙하 관측이 대안으로 사용되어 왔다. 특히, Zwally et al (2005)는 ERS-1 과 -2 Radar Altimetry를 이용하여 남극과 그린랜드의 빙하변화를 1992년부터 약 10년간 지속적인 관측에 성공하였다. Radar Altimetry를 이용한 빙하 원격탐사의 단점은 공간적인 해상도가 SAR에 비해 떨어지며 빙하의 수평적인 변화인 연구에 제한이 있다.

이러한 여러 가지 원격탐사자료의 단점을 인식하고 향상된 극지 관측을 위해 2003년 1월 ICESat 인공위성이 발사되었다. 이 인공위성은 GLAS (Geoscience Laser Altimetry System) 센서를 장착하여 극지방 빙하 변화를 정밀하게 관측하고 있다. GLAS는 약 70m의 공간 해상도를 이용하여 극지방 빙하 고도 변화를 정밀하게 탐지하고 있다 (Csatho et al., 2005). 본 연구에서는 ICESat 원격 탐사 자료를 이용하여 빙붕의 속도 변화를 연구하는 새로운 기법과 Amery 빙붕에 응용하여 그 초기 결과를 제시하고자 한다.

2. ICESat Laser Altimetry로 관측된 Amery 빙붕의 수평적 변화

ICESat은 약 70m 정도의 족적 (footprint)을 약 170m 간격을 두고 측정하며, 측정되는 지형 변화는 약 12cm 정도의 오차를 가진다 (Zwally et al., 2002). 2003년 10월까지 ICESat은 약 8일주기의 지구궤도를 공전하다 그 이후부터 91일 주기로 전환 되었다. 91일 주기의 경우 1,354개의 지상 궤적 (ground track)을 가지며 특히 극지방의 경우 인공위성 궤도가 수렴하는 곳이어서 정밀한 탐사가 가능하다. 그림 1은 ICESat 인공위성의 8일 궤도일때 Amery 빙붕 주변의 지상 궤적을 보여준다. 91일인 경우 그림의 경우보다 약 11배 이상 조밀한 지상 궤적이 가능 하다.

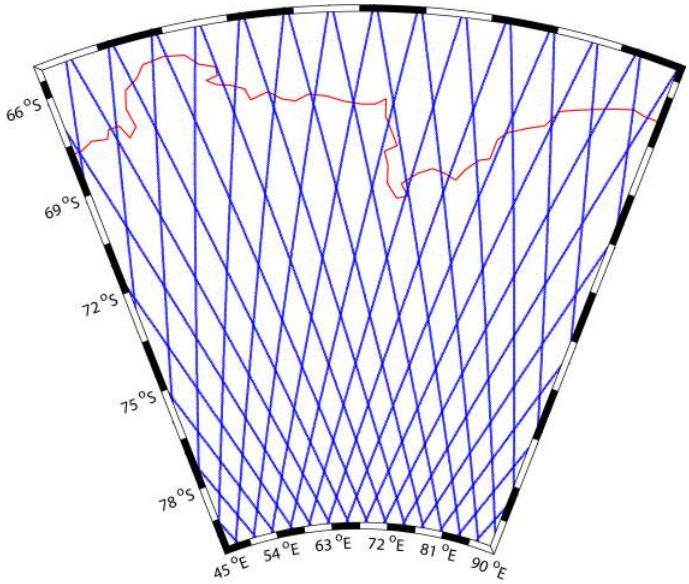
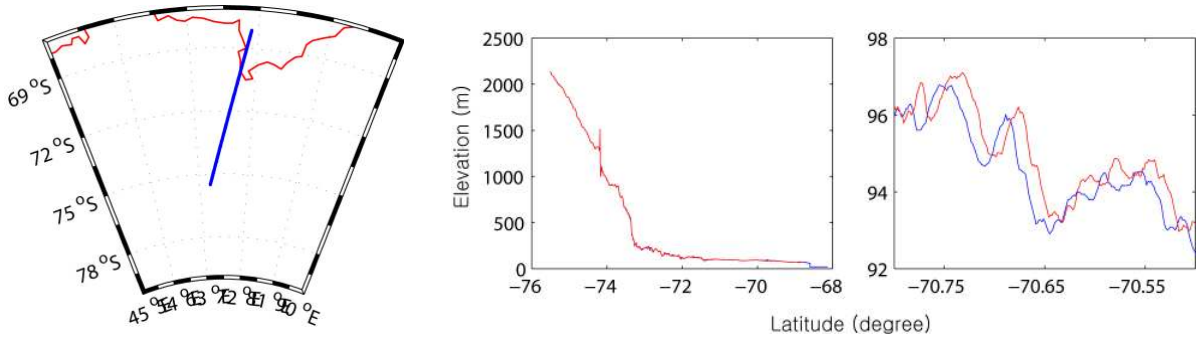


Fig. 1. ICESat ground tracks near Amery Ice-Shelf

서로 다른 시간에 측정이 되는 동일한 지상궤적에서 지형변화를 측정 하면 측정 기간 동안의 지형의 변화를 관찰할 수 있다. 빙하나 빙붕의 경우는 빙하의 고도 또는 수평적인 속도 변화 연구에 활용이 가능하다. Amery 빙붕의 고도 변화는 기후 변화에 의한 빙붕의 증가/유실 이외에도 기조력에 의한 변화가 포함되어 있기 때문에, 이에 대한 보정이 필요하며 이는 다음 연구 주제로 남겨두고자 한다.

반면, Amery 빙붕의 속도변화는 빙붕 얼음의 패턴을 분석하여 계산할 수 있다. 그림 2(a)는 Amery 빙붕을 통과하는 지상 궤적의 한 예이다. 그림 2(b)는 그 지상궤적에서의 빙하 고도를 나타낸다. Amery 빙붕에서 빙하의 고도가 급격히 낮아지고 있음을 잘 보여주고 있다. 그림 2(c)의 푸른선은 2003년 11월의 빙붕에서의 빙하 고도이고 붉은선은 2007년 10월의 빙하 고도이다. 약 4년간 빙붕의 수평이동을 매우 잘 보여주고 있다.



(a) (b) (c)

Fig. 2. (a) Ground track of a particular orbit of ICESat that passes Amery Ice-Shelf, (b) Elevation of ice from the ground track, (c) Horizontal movement of Amery Ice shelf from Nov. 2003 (blue line) to Oct. 2007 (red line)

3. 결론

ICESat 빙하 고도 자료를 이용하여 Amery 빙붕에서 빙붕의 속도 변화를 관측할 수 있는 새로운 방법에 대해 알아보았다. 좀 더 많은 ICESat 자료를 이용하여 Amery 빙붕에서의 2차원적인 속도 변화에 대한 연구를 진행할 계획이다. 또한, Amery 빙붕뿐만 아니라, 남극해안선에 위치한 다른 많은 빙붕에 대해서도 비슷한 방법론을 이용하여 속도 변화를 연구할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 극지연구소 과제 (PE08020)의 지원을 받았습니다

참고문헌

Csatho, B., Ahn, Y., Yoon, T., van der Veen, C. J., Vogel, S., Hamilton, G., Morse, D., Smith, B., and Spikes, V. B., 2005, ICESat measurements reveal complex pattern of elevation changes on Siple Coast ice stream, Antarctica, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L23S04, doi:10.1029/2005GL024289

Chen, J. L., Wilson, C. R. and Tapley, B. D,, 2006, Satellite Gravity Measurements Confirm Accelerated Melting of Greenland Ice Sheet, *Science*, 313, 1958-1960.

Rignot, E., Bamber, J., Van Den Broeke, M. R., Davis, C., Li, Y., Van De Berg, W. J., and Van Meijgaard, E., 2008, Recent Antarctic ice mass loss from radar interferometry and regional climate modeling, *Nature Geoscience*, 1, 106-110.

Velicogna, I. and Wahr, J., 2006, Measurements of Time-Variable Gravity Show Mass Loss in Antarctica, *Science*, 311, 1754-1756.

Zwally, H. J., Shutz, B., Abdalati, W., Abshire, J., Bentley, C., Brenner, A., Bufton, J., Dezio, J., Hancock, D., Harding, D., Herring, T., Minster, B., Quinn, K., Palm, S., Spinhirne, J. and Thomas, R., 2002, ICESat's later measurements of polar ice, atmosphere, ocean and land, *Journal of Geodynamics*, 34, 405-445.

Zwally, H. J., Giovinetto, M. B., Li, J., Cornejo, H. G., Beckley, M. A., Brenner, A. C., Saba, J. L, and Yi, D., 2005, Mass change of the Greenland and Antarctic ice sheets and shelves and contributions to sea-level rise: 1992-2002, *Journal of Glaciology*, 51, 509-527.