

다중 센서와 기계학습을 이용한 서남극해 고착빙 모니터링

Monitoring of land-fast sea ice in the West Antarctic using multi-sensor data and machine learning

김미애^{1*}, 임정호^{2**}, 김진우^{3,4}, 이상균¹, 신민소⁵, 김현철⁶

Miae Kim^{1*}, Jungho Im^{2**}, Jinwoo Kim³, Sanggyun Lee¹, Minso Shin⁴, Hyuncheol Kim⁵

¹ 울산과학기술대학교 (UNIST) 도시환경공학부 석박사통합과정 4학기

² 울산과학기술대학교 (UNIST) 도시환경공학부 부교수

³ LIG넥스원(주) 우주영상연구센터

⁴ 울산과학기술대학교 (UNIST) 도시환경공학부 박사후연구원

⁵ 울산과학기술대학교 (UNIST) 도시환경공학부 석박사통합과정 2학기

⁶ 극지연구소 극지해양환경연구부 책임연구원

* E-mail: toa0710@naver.com

요약: 고착빙이란 바다 위를 떠다니는 유빙과는 다르게 거의 움직임이 없고 해안선에 고착되어 있는 해빙을 말한다. 고착빙의 시공간 분포는 전지구적 그리고 극지의 기후 시스템과 매우 밀접한 관련이 있기 때문에 이러한 기후 시스템을 더 잘 이해하기 위해서는 고착빙의 정확한 모니터링이 중요하다. 이에 원격탐사는 높은 시간 해상도로 광범위한 지역의 자료를 제공함으로써 고착빙 모니터링에 매우 유용하게 사용될 수 있다. 원격 탐사에 기반한 고착빙 연구는 북극 지역에 대해서 일부 연구가 수행되어 온 반면 남극 지역에 대해서는 매우 드물다. 특히 서남극 지역은 해빙의 변동성이 매우 크고 동남극에 비해 지형이 더욱 복잡하여 서남극 지역에 대한 고착빙 연구는 수행된 바가 없다. 이 연구의 목적은 다중센서 자료와 기계학습 기법을 사용하여 전 남극 지역과 특히 서남극 지역에 집중하여 고착빙을 모니터링 하는 자동화된 기법을 개발하는 것이다. 고착빙의 기본 전제조건은 해빙농도가 거의 100%이며 해빙속도는 거의 0m/s라는 점이다. 이 전제들에 기반하여 다양한 위성 자료로부터 총 11개의 변수를 추출하였다. 11개의 위성기반 변수에 더하여 Fraser가 동남극 지역에 MODIS 자료를 사용하여 육안으로 직접 고착빙을 추출한 이전 연구 결과를 기준 자료로써 사용하였다. 규칙기반 기계학습 기법인 Random Forest를 이용하여 고착빙 분포를 지도화하고, 2002–2008년에 걸쳐 고착빙의 시계열 변화를 분석하였다.

1. 서론

부유하는 해빙인 유빙과는 다르게 고착빙은 움직임이 없으며 해안가 가까이에 고착되어 있는 해빙을 말한다. 고착빙은 물리적 그리고 생물학적인 관점에 있어 중요하다. 고착빙은 바다와 대기의 영향을 강하게 받는데 (Heil *et al.*, 2006), 1950년대부터 초기 2000년대까지의 현장관측자료 분석에 의하면 1990년대 동안 국지적인 대기조건에 따라 고착빙의 변동성은 점차 증가해왔다 (Heil *et al.*, 2006). 생물학적인 관점에서 보면, 고착빙은 다양한 생물들에게 광범위한 서식지 및 성공적인 번식지를 제공하는 것으로 알려져 있어

남극 해양 생태계에 중요한 역할을 할 수 있다 (Fraser *et al.*, Doctoral dissertation; Thomas *et al.*, 2009). 따라서 남극의 고착빙 분포와 변동성 그리고 고착빙 맵핑 등의 연구가 매우 필요하다.

고착빙에 관련한 대부분의 이전 연구들은 현장 관측자료에 기반하여 수행되어 왔다. 하지만 이는 전지구적인 고착빙 변화에 적용하는데 있어 한계를 가지며, 현장 관측자료를 더 큰 시공간 규모로 upscaling하기 위한 위성 원격 탐사 자료 사용의 필요성을 제의한다. 남극 고착빙의 위성기반 연구는 광학 센서, 능동 마이크로파 센서, 수동 마이크로파 센서의 3가지

범주로 나눠질 수 있다. 비록 가시 및 열적외 광학센서의 이미지가 극지 연구에 널리 사용되어 왔지만 (Fraser *et al.*, 2012), 짧은 파장을 가지는 광학센서는 대기 산란에 의해 크게 영향을 받는다. 남극 해안가 지역의 광범위한 구름은 광학센서가 고착빙과 유빙을 구분해내는데 있어 여전히 문제가 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 더 긴 파장을 가지고 구름을 관통하여 지표면 관측이 가능한 마이크로파센서가 널리 사용되어왔다 (Massom *et al.*, 2010; Giles *et al.*, 2008; Mahoney *et al.*, 2007). 마이크로파 센서는 능동과 수동 형태를 가진다. 능동 마이크로파 센서의 한 예로써 능동 SAR(Synthetic Aperture Radar) 센서는 전천후 관측이 가능하고 SAR 간섭 기법으로 수 m의 정확한 고해상도의 고착빙 지도화가 가능하다. 그러나 좀지만 떠 모양으로 형성되어있는 광대한 고착빙 분포와 불규칙한 관측 주기 때문에, 능동 SAR 센서는 제대로 된 고착빙 자료를 얻을 수 없고, 이는 능동 SAR 센서의 사용을 단지 지역적 고착빙 연구에만 국한시킨다. 수동 SAR 센서는 전천후 관측이 가능하고, 능동 SAR 센서와는 다르게, 수 km의 파장 범위를 커버하면서 전 지구 고착빙 연구에 성공적으로 사용될 수 있다. 하지만 저해상도의 수동 마이크로파 SAR 센서는 고착빙과 유빙의 구분을 어렵게 만든다. 효율적인 남극 고착빙 지도화를 위하여 다양한 센서들의 장단점을 보완하고 전지구적 규모의 시간적으로 연속된 고착빙 연구에 다중 센서의 활용이 필요하다.

지금까지의 고착빙 연구는 완벽하게 자동화된 방법은 없었다. 더구나 서남극해는 동남극해 지역에 비해 훨씬 빠른 해빙유동으로 짧은 기간 내에 고착빙의 변화가 매우 크다. 이로 인해 서남극해 고착빙의 지도화가 쉽지 않아 이전 남극 고착빙 연구는 동남극에만 집중되어왔다(Fraser *et al.*, 2010; Fraser *et al.*, 2009; Fraser *et al.*, 2012; Fraser *et al.*, Doctoral dissertation; Massom *et al.*, 2010; Heil *et al.*, 2006; Giles *et al.*, 2008; Fedotov *et al.*, 1998). 남극 대륙 주변 해빙이 특히 서남극에서 계속적으로 빠르게 줄어들고 있기 때문에 서남극해의 고착빙 지도화 또한 매우 중요하다.

이 연구의 목적은 다중센서 자료와 기계학습 기법을 사용하여 전 남극 지역과 특히 서남극 지역에 집중하여 고착빙 모니터링을 위한 자동화 기법을 개발하는 것이다.

2. 자료 및 연구방법

Fraser의 이전 연구 결과를 기준 자료로 써 사용하였다 (Fraser *et al.*, 2010). Fraser는 MODIS 자료를 사용하여 구름을 제거하고 20일로 composite하여 동남극해 지역에 대하여 육안으로 확인되는 고착빙을 직접 추출하였다. 해빙농도가 거의 100%이며 해빙속도는 거의 0m/s라는 고착빙의 기본 전제조건을 설정하여 기준 자료에 해당하는 다양한 위성 자료들을 추출하였다. AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS)로부터 해빙 농도와 8개의 이중 편파 주파수 채널, MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)의 가시 및 열적외 센서로부터의 해빙표면온도, SSM/I(Special Sensor Microwave/Imager)로부터의 해빙속도를 포함한 총 11개의 변수를 사용하였다(표 1). 사용된 위성 자료는 기준 자료의 공간 해상도인 1 km에 맞추어 공간보간법을 수행하였고 같은 시간해상도인 20일로 composite하였다. 구축된 자료는 무작위 샘플링을 통해 calibration(700만 개)과 validation(약 220만 개)로 나누어 사용하였다. 사용된 기계학습은 RF(Random Forest)이며 고착빙과 유빙으로 나누어 모델을 구축하였다. 동남극 지역에 대한 검증은 기준 자료를 기반으로 생산자(Producer's accuracy)와 사용자 정확도(User's accuracy)로 평가하였고(그림1) 서남극 지역에 대한 고착빙 검증은 NSIDC(National Snow & Ice Data Center)에서 제공하는 250m의 MODIS 남극 빙상 이미지를 활용하여 추정된 고착빙 분포를 검증하였다(그림2).

3. 결과

표 2에서 생산자 정확도(producer's accuracy)는 동남극 지역에서 기준 고착빙을 고착빙으로 옳게 분류함을 나타내며 사용자 정확도(user's accuracy)는 고착

빙으로 분류된 지역이 실제로 고착빙임을 나타낸다. RF 결과는 다소 과소평가된 경향이 있어 생산자 정확도보다 사용자 정확도가 높게 나오는 경향을 보였다. 위성 자료가 부족한 겨울 시기를 제외하면 동남극 지역에 대한 RF의 정량적 평가는 평균 70%를 넘는다.

그림 1은 서남극 지역에 대한 MODIS 고착빙을 육안으로 추출하여 지도화하여 그에 해당하는 기계학습 결과를 보여준다.

(a)는 2003년 3월 10일, (b) 13일, (c) 14일에 대한 고착빙의 변화를 보여준다. 일주일 내의 짧은 기간 동안에 고착빙이 매우 크게 변동하고 있음을 보여준다. 이에 (d)는 RF의 3월 2일부터 21일까지의 20일 composite에 대한 결과를 비교하였다. Composite 시기가 정확히 일치하지 않지만 해당 기간에 대하여 MODIS의 고착빙 지역에 해당하는 기계학습 결과가 비교적 일치함을 보인다.

표 1. 이 연구에 사용된 위성 자료의 변수 및 시공간 해상도

위성 산출물	입력 변수	공간해상도	시간해상도
AMSR-E	18Ghz H	12 km	daily
	18Ghz V		
	23Ghz H		
	23Ghz V		
	36Ghz H		
	36Ghz V		
	89Ghz H		
	89Ghz V		
	SIC(Sea Ice Concentration)		
MODIS	IST(Ice Surface Temperature)	4 km	daily
SSM/I	Ice velocity	25 km	daily

표 2. 2003년 Random Forest의 정량적 평가. (a) Fraser based(Producer's accuracy), (b) RF based(User's accuracy)

20일 composites	(a) Fraser based	(b) RF based
1-20	73.70	70.86
21-40	63.59	70.92
41-60	62.66	68.60
61-80	65.13	68.38
81-100	55.90	66.15
101-120	39.55	68.22
121-140	16.35	64.71
141-160	No Data	No Data
161-180	No Data	No Data
181-200	No Data	No Data
201-220	3.71	62.51
221-240	47.89	76.02
241-260	52.41	69.25
261-280	66.29	74.97
281-300	53.28	74.63
301-320	63.32	76.30
321-340	61.06	73.33
341-365	61.22	74.52

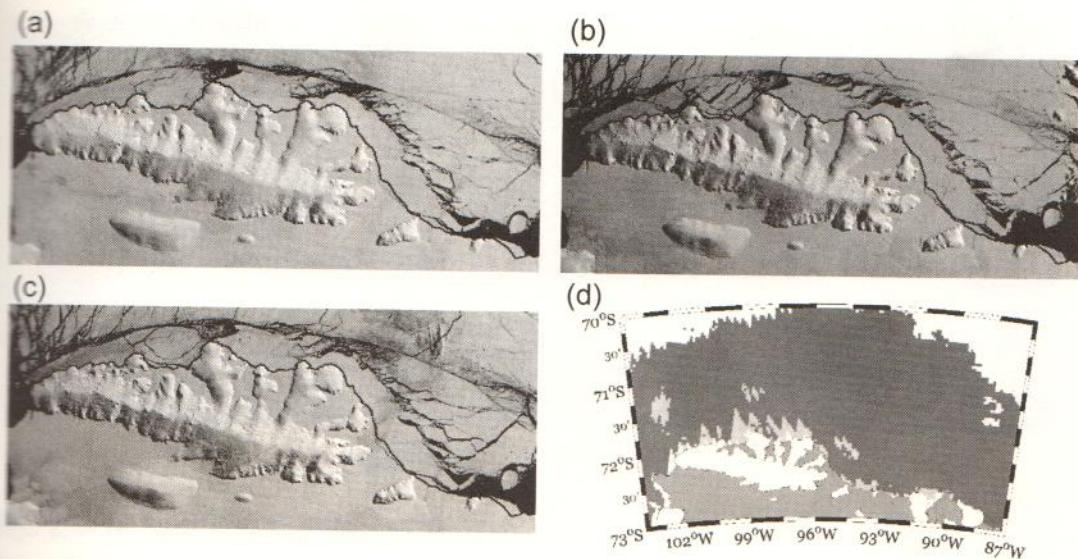


그림 1. 서남극 Abbot 지역에 대한 (a) 2003년 69일 (b) 72일 (c) 73일 MODIS 고착빙 변화와
(d) random forest 2003년 61–80일 composite에 대한 결과 비교

사사

본 논문은 극지연구소에서 주요사업으로 수행 중인 “서남극해 원격탐사 연구”의 지원 및 극지연구소와 공동연구를 통해 수행된 연구 결과입니다.

참고문헌

- Heil, P. (2006). Atmospheric conditions and fast ice at Davis, East Antarctica: A case study. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 111(C5).
- Fraser, A. D. (2011). *East Antarctic landfast sea-ice distribution and variability* (Doctoral dissertation, University of Tasmania).
- Thomas, D. N., & Dieckmann, G. S. (Eds.). (2009). *Sea ice*. John Wiley & Sons.
- Fraser, A. D., Massom, R. A., Michael, K. J., Galton-Fenzi, B. K., & Lieser, J. L. (2012). East antarctic landfast sea ice distribution and variability, 2000–08. *Journal of Climate*, 25(4), 1137–1156.
- Massom, R. A., Giles, A. B., Fricker, H. A., Warner, R. C., Legrésy, B., Hyland, G., ... & Fraser, A. D. (2010). Examining the interaction between multi-year landfast sea ice and the Mertz Glacier Tongue, East Antarctica: Another factor in ice sheet stability?. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 115(C12).
- Giles, A. B., Massom, R. A., & Lytle, V. I. (2008). Fast-ice distribution in East Antarctica during 1997 and 1999 determined using RADARSAT data. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 113(C2).
- Mahoney, A., Eicken, H., & Shapiro, L. (2007). How fast is landfast sea ice? A study of the attachment and detachment of nearshore ice at Barrow, Alaska. *Cold Regions Science and Technology*, 47(3), 233–255.
- Fraser, A. D., Massom, R. A., & Michael, K. J. (2010). Generation of high-resolution East Antarctic landfast sea-ice maps from cloud-free MODIS satellite composite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2888–2896.
- Fraser, A. D., Massom, R. A., & Michael, K. J. (2009). A method for compositing polar MODIS satellite images to remove cloud cover for landfast sea-ice detection. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 47(9), 3272–3282.
- Fedotov, V. I., Cherepanov, N. V., & Tyshko, K. P. (1998). *Some features of the growth, structure and metamorphism of East Antarctic landfast sea ice* (pp. 343–354). American Geophysical Union.