

인공위성 관측자료와 self-organizing map 기법을 이용한 아문젠해에서의 순군집 생산량 추정 방법

Application of satellite observation and self-organising map analysis to estimate net community production in the Amundsen Sea

박기홍*, 함도식**, 이동근, 이태식, 김현철

Keyhong Park*, Doshik Hahm**, Dong-geun Lee, Tae Siek Rhee, Hyun-cheol Kim
인천광역시 연수구 송도미래로 26 한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 406-840

요약

해양의 관측에 있어 인공위성 관측 자료는 넓은 공간의 자료를 제공함으로써, 직접관측의 여러 시공간적인 한계뿐만 아니라 현장에의 접근성으로 인한 자료획득의 문제점들을 극복할 수 있게하여 해양의 특성의 이해에 도움을 주고있다. 하지만 순군집생산량이나 용존이산화탄소분압과 같은 해양의 생지화학적 특성의 관측에 있어서 위성을 이용한 관측 기술은 아직 충분히 발달하지 않았다. 따라서 이를 극복하기 위해, 기존의 현장관측자료를 인공위성을 이용한 다른 관측 인자들과 결합하여 원하는 해양의 특성을 추정 및 변화를 관찰할 필요성이 있다. SOM (self-organizing map) 분석은 인공신경망 자료 분석의 하나로 해양에서의 화학적 특성을 위성자료와 결합하여 관측자료의 시공간적 분포의 확장에 사용되어지고 있다. 서남극 해는 기후변화의 영향으로 급격한 해양환경의 변화를 보이고 있다. 이 해역에서의 NCP 의 변화는 환경변화로 인한 서남극해의 생지화학적 변화의 이해에 중요한 지표이다. 이에, 기존의 남극의 아문젠해의 탐사자료와 함께, 본 연구에서는 SOM 분석을 통해 아문젠해의 순군집 생산량의 추정에 응용하고 이의 변화를 관찰하고자 한다.

1. 서론

남극해의 아문젠해에서 2011 년과 2012 년에 각각 $\Delta O_2/A$ 을 관측하였으며, 이로부터 순군집 생산량(net community production; NCP)을 계산하였다 (Hahm et al., 2014). 해양에서의 순군집 생산량의 변동은 기후변화로 인한 생지화학적 변화의

이해에 중요한 지표이다. 하지만 남극해역에서의 직접 관측은 해빙 등으로 인해 시공간적인 제약을 가지고 있다. 이런 한계를 극복하고, 해양에서의 순군집 생산량의 분포를 추정하기 위해 인공위성 및 모델링 자료를 self-organizing map (SOM) 분석기법에 이용하여 추정하는 시도가

되어지고 있다 (Chang et al., 2014). SOM 을 통한 순군집 생산의 추정에 이용되는 변수로 PAR (Photosynthetically active radiation), POC (Particulate Organic Carbon), Chl (Chlorophyll-a), SST (Sea Surface Temperature), SSH (Sea Surface Height), MLD (Mixing Layer Depth) 등이 비선형적인 함수관계로 이루어져 있다고 추정하고 있으며, Chang et al., (2014)에서는 CHL, PAR, MLD 가 남빙양에서의 순군집 생산을 SOM 을 통해 추정하는데 있어 최적의 변수들임을 발표하였다. 한편 SOM 을 이용한 자료의 추정에 필요한 변수는 해양의 각 해역의 특성에 따라 다르며, 이에 최적화된 변수들로 추정 할 경우 더 신뢰할 만한 결과는 얻는다 (Hales et al., 2012). 따라서 본 연구에서는 남극의 아문젠해에서의 관측에 기초하여 직접 관측이 가지는 시공간의 제약을 극복하여 최적의 순군집 생산을 SOM 을 통해 추정하는데 있어서 그 방법적인 기초를 제공하는데 목적을 두었다. 아문젠 해역의 관측으로부터 유도된 순군집 생산에서는 SST 에 강한 의존성이 보여, 순군집 생산의 추정에 SST, CHL, ML 의 세 변수를 이용하여 SOM 분석을 수행하였으며, 이를 바탕으로 향후 아문젠해의 순군집 생산량의 추정에 최적화된 변수를 찾고, 이로부터 아문젠해에서의 순군집 생산의 변화를 관찰 할 것이다.

2. 자료 및 방법

SOM 기법은 Kohonen (2001)에서 처음으로 소개가 되었으며, 다변수의 자료의 통계적 구조에서 패턴을 추출하고 인식하여 각 자료를 분류하는 알고리듬으로 인공신경망

분석방법 중 하나이다. 본 연구에서는 순군집 생산은 비선형적으로 SST, CHL, MLD 와 관련이 있다는 가정하고 분석하였다.

$$NCP = f_{SOM}(SST, CHL, MLD) \quad (1)$$

SOM 분석에 있어서는 SOM Toolbox for Matlab 을 사용하였으며, 이는 Helsinki University of Technology 에서 <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox> 를 통해 제공하고 있다. 우리는 59x41 의 SOM map 을 사용하였으며 총 2419 개의 뉴런을 가지고 있다. 순군집 생산량을 추정하기 위한 인공위성 및 재분석 자료는 2010 년 12 월 19 일과 27 일의 자료를 이용하였다. 따라서 2010 년 12 월의 아문젠해역에서의 순군집 생산량을 추정한다. 이를 위해 자료는 0.1x0.1 도의 공간해상도로 재배열하였다. 순군집 생산량을 가진 관측 자료는 2010 년 12 월 16 일부터 1 월 15 일까지의 기간동안의 탐사에서 관측한 자료를 이용하였다. SOM 의 분석은 3 단계로 이루어진다. 먼저 순군집 생산량의 추정을 위한 위성 및 재분석 자료를 SOM 을 통해 분석한 패턴별로 각 neuron 에 채우는 training stage, 그 다음, 관측자료와 이로부터 계산된 순군집 생산량을 가진 자료로부터 training stage 에서 얻은 neuron 과 가장 거리가 가까운 값을 찾고 이 때의 순군집 생산량을 해당 뉴런에 대응시킨다 (labeling stage). Labeling stage 에서 각 뉴런의 변수값과 관측값의 거리는 Euclidean distance (d)로 나타내지며 아래와 같다.

$$d_k = [(SST_i - SST_k)^2 + (CHL_i - CHL_k)^2 + (MLD_i - MLD_k)^2]^{1/2} \quad (2)$$

여기서 i 는 각 관측값의 자료에 해당하며 k 는 각 뉴런에서 SOM 을 통해 계산된 값에 해당한다. 마지막으로 각 뉴런으로 뷰어진 training stage 의 원 자료들에 각 뉴런에 대응 된 순군집 생산량을 부여하여 최종 결과를 얻게된다.

3. 결과 및 토의

SOM 이 얼마나 관측과 비슷한 결과를 도출해 내는지 검증하기 위해 먼저 관측값의 subset 을 무작위로 20%를 추출하여 이를 training 한 SOM 의 결과와 관측한 순군집 생산량을 비교하였다 (그림 1). 그 결과 $R^2=0.44$ 였고 slope 은 0.64 를 보여주었다. 좀 더 다양한 변수의 선택과 최적화한 map 의 크기 선택 등의 개선의 여지가 있지만, SOM 은 관측값을 잘 재현하고 있음을 보여주었다. 그리고, 이를 바탕으로, 위성자료와 재분석 자료를 이용하여 2010 년 12 월에 해당하는 순군집 생산을 추정하였으며, 그 결과는 그림 2 에서 볼 수가 있다. 많은 부분이 구름 등의 영향으로 비어있기는 하지만 위성자료의 장점으로 더 넓은 해역에서의 순군집 생산량의 추정 또한 가능하였다. 이를 통하여 관측이 없었던 시기의 아문젠해에서의 순 군집을 추정 할 수 있었으며, 아문젠 해의 바깥과 비교시 좁은 해역임에도 큰 순군집 생산량의 변화가 해역에서 관찰되었다. 따라서 추후 더 정확한 변수와 관측자료의 선택등이 필요할것으로 보인다.

참고문헌

Chang, C.-H., Johnson, N. C., Cassar, N.: Neural network-based estimates of Southern Ocean net community production from in situ O₂/Ar and satellite observation: a methodological study, Biogeoscience, 11, 3279-3297, doi:10.5194/bg-11-3279-2014, 2014

Hahm, D., Rhee, T.S., Kim, H.-C., Park, J., Kim, Y.-N., Shin, H.C., Lee, S.H.: Spatial and temporal variation of net community production and its regulating factors in the Amundsen Sea, Antarctica, J. Geophys. Res. Oceans, 119, 2815-2826, doi:10.1002/2013JC009762, 2014

Hales, B., Strutton, P.G., Saraceno, M., Letelier, R., Takahashi, T., Feely, R., Sabine, C., Chavez, F.: Satellite-based prediction of pCO₂ in coastal waters of the eastern North Pacific, Progress in Oceanography, 103, 1-15, 2012

Kohonen, T.: Self-Organizing Maps, Third ed., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 501 pp., 2001

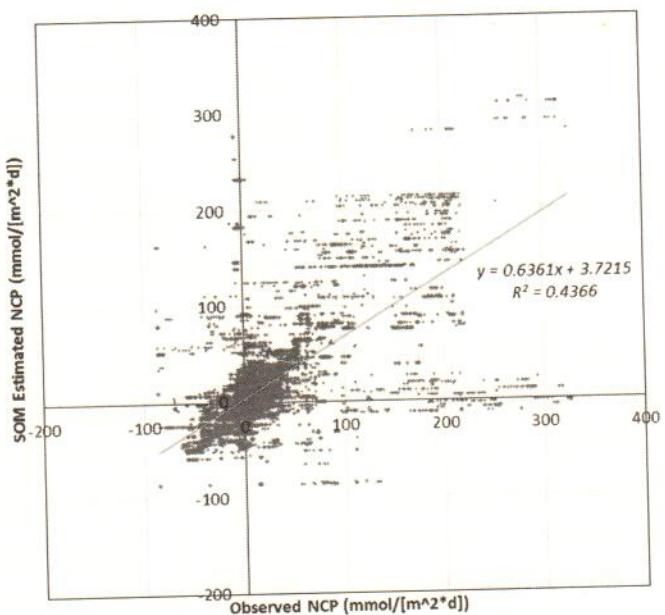


그림 1 관측에서 계산된 순군집 생산량과 20% 무작위 추출한 자료에서 SOM을 통해 추정된 순군집생산량의 비교

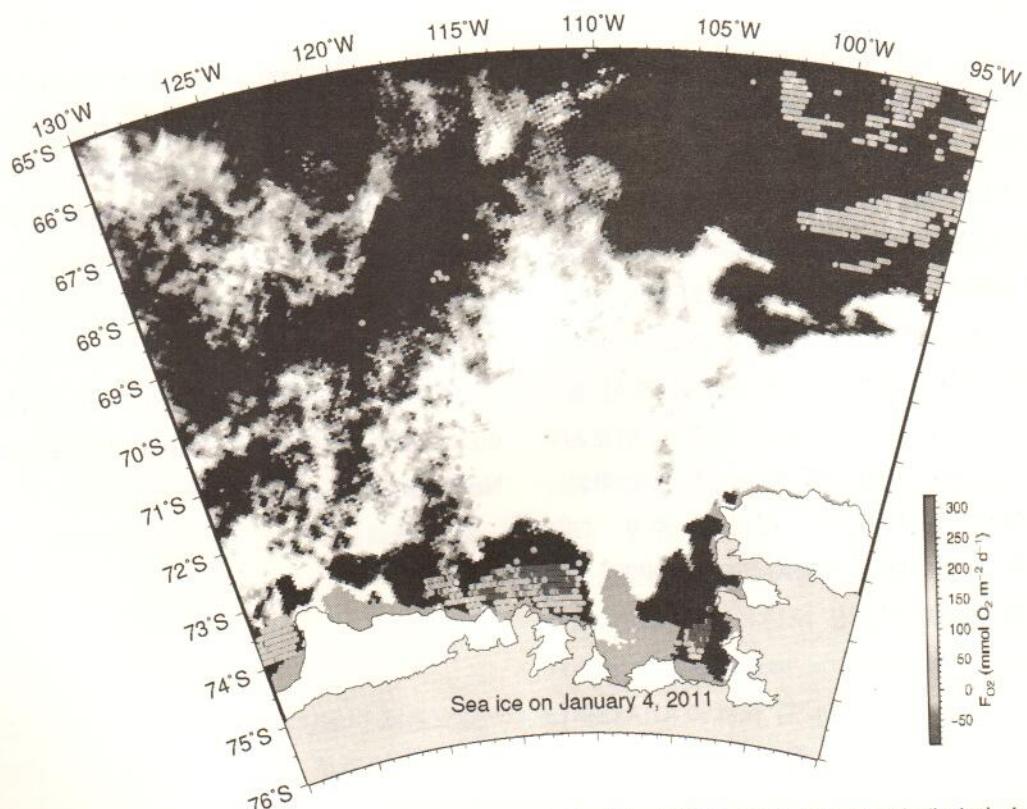


그림 2 위성관측 값을 이용하여 SOM을 이용해 추정한 아문젠 해역 및 남빙양에서의 순군집 생산량의 추정값