

남극순환류 주변해역의 장기 클로로필 변동성 연구

고은호^{1,2}, 박지수^{1,2}, 김현철^{1,2}

1 과학기술연합대학원대학교
2 극지연구소

Abstract 남극순환류 (Antarctic Circumpolar Current, ACC)는 남극대륙을 시계방향으로 흐르는 지구상에서 가장 거대한 해류로서 남반구의 강한 편서풍의 영향으로 형성된다. 지리적으로 남극순환류는 대서양, 태평양, 인도양과 모두 접해있어 남극과 각 대양간의 열과 해수 교환이 일어나는 통로로 작용한다. 따라서 남극순환류의 위치 및 수송량 변동은 주변해역의 해양생태계 또는 기후변화에 영향을 크게 미칠 것이다. 최근 수십 년간 남반구 위도 30° - 60° 사이 편서풍의 강화, 편서풍 중심축의 남하, 인도양 아열대 환류의 확장은 남극순환류 위치 변동에 영향을 미치고 있다고 보고되고 있다. 이에 따라, 남극순환류 주변해역에서 하위영양준위인 식물플랑크톤 생물량 변동이 발생 가능하며, 본 연구는 이에 초점을 맞추었다. 식물플랑크톤 생물량 대리변수인 클로로필 자료로는 Garver-Siegel-Maritorena (GSM) 모델을 활용하여 생성된 장기 자료(1997년 - 2014년, 17년간)를 사용하였다. 남극해 식물플랑크톤의 최대 번성시기인 12월의 클로로필 농도 시계열 분석결과, 대서양 남극순환류 해역에서는 농도가 점진적으로 증가하는 경향을 나타냈으며 반대로 인도양 해역에서는 감소하는 경향을 보였다. 이러한 상반되는 경향을 보이는 두 해역에서 표층수온과 클로로필 농도간의 상관관계를 분석하였다. 대서양 남극순환류 주변해역에서는 양의 상관관계를 인도양 남극순환류 주변해역에서는 음의 상관관계를 나타냈다. 본 연구의 최종 목적은 남극순환류 위치 변동에 따른 해수의 물리적 특성 변화가 식물플랑크톤 생물량 변동에 미치는 영향을 파악하는데 두고 있다.

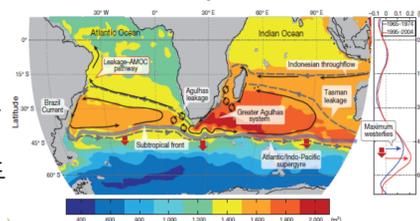
1. Background

- Annual-mean paths of the ACC fronts from 1993 to 2010 *Kim and Orsi, 2014 (JPO)*
- 인도양 남극순환류 주변해역에서 남극순환류의 위치가 남하함
- 대서양(55°-25°W), 인도양(60°-120°E) 남극순환류 위치의 계절변동이 크게 나타남

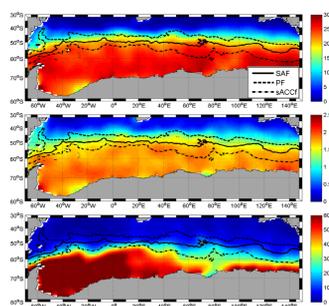
Agulhas leakage affected by westerly winds and position of subtropical front

- 아굴라스 유출기작은 인도양의 따뜻하고 염도가 높은 해수를 대서양으로 보냄
- 남반구의 강한 편서풍은 해양의 아열대 전선의 위도 분포와 관련

Beal et al., 2011 (Nature)



- Surface nitrate (a), phosphate (b) and silicate (c) from the World Ocean Atlas 2013
- SAF 북쪽으로 macronutrient가 급격히 감소하여 식물플랑크톤 성장 제한 요인 가능성
- sACCf 북쪽으로 규산염이 감소하여 규산염을 필요로 하는 구조류의 성장 제한 요인 가능성
- 또한, 선행연구에서 남극순환류 주변해역에 식물플랑크톤 성장에 철 제한을 받고 있음



2. Data and methods

Satellite observed chlorophyll-a concentration

- Sensor: SeaWiFS, MODIS, MERIS, VIIRS >> GlobColour
- Merging method: Garver-Siegel-Maritorena model (Maritorena and Siegel, 2005)
- Period: austral summer, Nov. - Dec., 1997-2014 (17 years)
- Resolution: Daily, 4 km
- Processing: 5 days mean, 1/4 degree
- Source: GlobColour (<http://hermes.acri.fr/index.php>)

Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST v2)

- Input data: ships, bouys, AVHRR, AMSRE
- Period: austral summer, Nov. - Dec., 1997-2014 (17 years)
- Resolution: Daily, 1/4 degree
- Processing: 5 days mean, 1/4 degree
- Source: ClimateDataGuide (<http://climatedataguide.ucar.edu>)

Global atmospheric reanalysis wind data

- Model: ERA-Interim
- Period: austral summer, Nov. - Dec., 1997-2014 (17 years)
- Resolution: Daily, 1/4 degree
- Processing: 5 days mean, 1/4 degree
- Source: ECMWF (<http://www.ecmwf.int>)

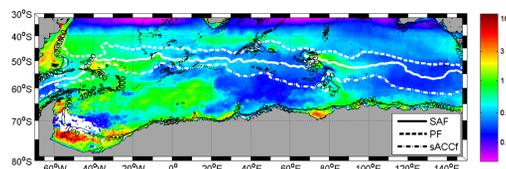
Theil-Sen estimator

- Non-parametric statistics
- Robust simple linear regression

3. Surface chlorophyll-a and Long-term trend

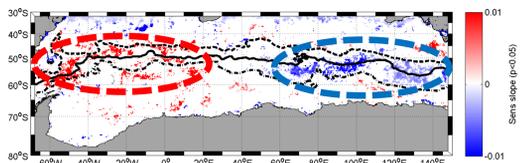
Chlorophyll-a climatology (17 year mean)

- 대서양 남극순환류 주변해역에서 상대적으로 높은 클로로필 농도를 보임
- 남극 순환류와 복잡한 해저 지형의 상호 작용으로 그 주변해역에 높은 클로로필 농도를 보임



Kim and Orsi, 2014 (JPO)

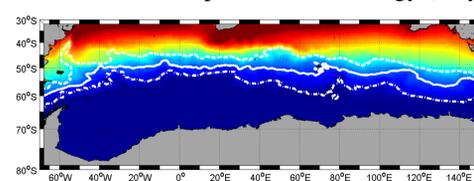
- Long-term chlorophyll-a trend (Sen's slope)
- 대서양 남극순환류 주변해역에서 Sen's slope가 양의 값을 나타냄
- 그러나, 인도양 남극순환류 주변해역에서는 slope 값이 음의 값을 보임
- 즉, 두 해역에서 서로 상반되는 장기 클로로필 경향성을 보임



4. Sea Surface Temperature (SST) and Long-term trend

Sea surface temperature climatology (17 year mean)

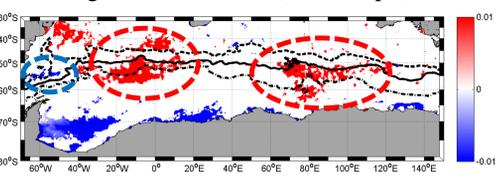
- 남극순환류의 위치가 남하했다면, 아열대 및 아남극해역의 상대적으로 높은 표층수온이 유입됐을 것으로 판단함
- 따라서, 표층수온의 장기 경향 분석을 실시함



대서양(20°W - 10E)과 인도양 (70° - 100°E) 남극순환류 주변해역에서 Sen's slope 값이 양의 값을 나타냄

- 두 해역에서 지역적으로 표층수온이 증가하는 경향을 보임
- 반면, 드레이크 해협에서는 표층수온이 다소 감소하는 경향 보임

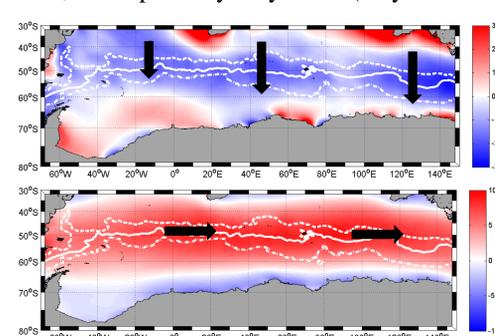
Long-term SST trend (Sen's slope)



5. 10m V, U component

v, u component yearly mean (17 year mean)

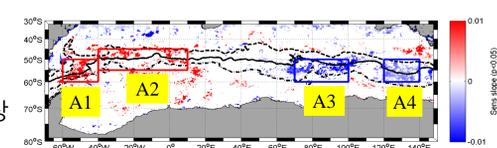
- 남반구의 편서풍은 남극순환류 위치 변동, 표층수온과 혼합층과의 관계를 나타내는 변수로 바람 성분의 장기 분석을 실시함
- 평균 바람성분의 자료를 보면 남극순환류 주변해역에서 강한 편서풍을 보이고 있음
- 그러나, 바람성분 자료에서는 장기 경향성은 나타나지 않음
- 즉, 바람성분은 클로로필 및 표층수온간의 장기 경향과 관계성이 없음
- 추후, 바람성분의 연간변동 분석을 통해서 표층수온과 혼합층의 관계를 파악하고자 함



6. Correlation between Chl-a and SST (inter-annual variation)

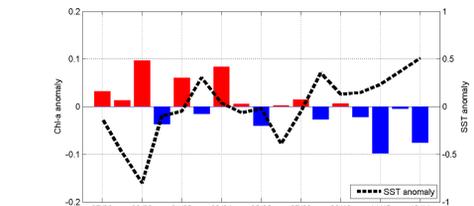
Study regions based on long-term chl-a trend

- 남극순환류 주변해역의 클로로필 번성의 메커니즘을 파악하기 위하여 두 변수의 상관관계 분석을 실시



Chl-a vs SST anomaly (A3 region), Correlation table

Region	R	P-value
A1	0.31	0.23
A2	0.53*	0.03
A3	-0.61**	0.01
A4	-0.62**	0.01



- A1 지역을 제외하고 A2 지역은 클로로필과 표층수온이 양의 상관관계를 나타냄
- A3, A4 지역은 음의 상관관계를 나타냄
- 대서양과 인도양 남극순환류 주변해역에서 클로로필과 표층수온간의 서로 반대되는 경향을 나타냄

7. Conclusion and Hypothesis

