BSPE16230-087-13

남극반도 해역 생태계 변화 감시와 평가를 위한 킹조지섬 거점 구축 국제협력 연구

An international collaborative study to utilize the King George Island as a sentinel site to monitor and assess Antarctic Peninsula marine ecosystem changes

2016. 05. 31

한 국 해 양 과 학 기 술 원
부 설 극 지 연 구 소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “남극반도 해역 생태계 변화 감시와 평가를 위한 킹조지섬 거점 구축 국제협력 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 5. 31

연 구 책 임 자	: 신형철
참 여 연 구 원	: 안인영 나형술 최은정 김정훈
“	: 이원영 김현철 김태완 양은진
“	: 김성중 박기홍 정진영 박상종
“	: 노석현 김주희
위탁연구기관명	:
위탁연구책임자	:

KOPRI 극지연구소

보고서 초록

과제관리번호		해당단계 연구기간	2016.3.1.-2016.5.31	단계 구분	(해당단계) / (총단계)
연구사업명	중 사 업 명				
	세부사업명				
연구과제명	중 과 제 명	남극반도 해역 생태계 변화 감시와 평가를 위한 킹조지섬 거점 구축 국제협력 연구			
	세부(단위)과제명				
연구책임자	신형철	해당단계 참여연구원수	총 : 15 명 내부 : 13 명 외부 : 2 명	해당단계 연구비	정부: 5000천원 기업: 천원 계: 5000천원
연구기관명 및 소속부서명			참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		

요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자이내)	보고서 면수	100

온난화와 더불어 급격한 빙권 수축과 붕괴의 영향 아래 놓인 극지해양생태계의 기능과 역할이 미래에 어떻게 달라지는 가늠하기에 지구상에서 가장 빠른 속도로 변하고 있는 남극반도 해양생태계는 최적의 시금석이다. 빙상 후퇴와 해양산성화는 이 해역에서 생물자원의 공급원 역할과 생물다양성 유지, 온실기체 흡수원 기능을 크게 달라지게 할 것이며 그 변화는 일정하지 않고 불규칙하며 남극반도의 동서 방향을 따라 다르게 나타날 것이다.
기후변화의 분기점이 될 2050년까지 남극반도 연안생태계의 변화 방향 예측과 미래 시나리오 작성을 위한 연구를 다음과 같은 세부 주제로 나누어 연구하되, 킹조지섬 감시 거점 기능을 국제협력을 통해 강화하고 남극반도 전체를 아우르는 관측범위를 완성한다.

1. 남극반도해역 중장기 관측 자료(10년 이상) 기반 구축과 변동성 추적
2. 빙상후퇴 영향과 해양산성화에 생태계 반응 과정 규명 위한 현장 조사
3. 물리환경변화와 생태계 반응 연계 과정 모델화와 2050년 전망 예측

그 결과물은
-전지구 생물학 연구 변화에서 빈번하게 인용되는 우수 저작
-빙상 변화와 해양 생태계 반응 시나리오 작성
-영향력 높은 기후변화 보고서에 인용되는 학술 근거와 우리 연구소와 정부의 동향 문서/정책 문서 이 될 것이다

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	남극반도, 해양생태계, 기후변화, 빙상후퇴, 해양산성화, 감시거점, 2050년 전망, 미래 시나리오
	영 어	Antarctic Peninsula, marine ecosystem, climate change, glacial retreat, ocean acidification, sentinel site, 2050outlook, future scenario

요 약 문

Ⅰ. 제 목

남극반도 해역 생태계 변화 감시와 평가를 위한 킹조지섬 거점 구축 국제협력 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

목적; 국제공동노력을 통해 킹조지섬을 남극반도 해역 생태계 변화 추적과 평가를 위한 감시 거점으로 구축, 다학제 연구를 수행하기 위한 연구 전략 도출

필요성

○ 남극반도 해역은 유례없는 속도의 온난화와 빙권 수축에 반응하는 생태계의 미래를 전망할 수 있는 시금석

○ 남극반도의 변화는 빠르고 심하지만 지역차를 두고 진행되고 있어 반도의 동서를 연결하는 전반적 관측이 필요한 반면 오히려 기지가 밀집되어 있는 킹조지섬 인근 해역에 체계적 중장기 자료와 현장조사 프로그램이 없어 공백을 채워 남극반도 전역 관측 완성이 필요

○ 국제협력 자산을 활용한 효율적인 관측 체계 공동 수립으로 남극과학을 통한 글로벌 이슈 해결에 기여하는 노력을 주도

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

- 남극반도 해역 생태계 변화 연구 주요 동향과 더불어 각국 자료 현황과 연구 성과 및 시행 계획 파악
- 각국 가용 연구설비와 활용 계획 파악
- 그간 우리나라 연구 결과와 연구소 내외 역량 분석
- 중장기 연구전략 도출과 로드맵 수립
- 칠레와 협력관계 그 외 후발주자와 네트워크 구축

Ⅳ. 연구개발결과

주요 과학 주제의 선정

1 빙상 후퇴와 해빙 수축을 선도하는 장단주기 해양 변화와 대기 변화는 무엇인가 (예, 남방 순환모드, 바람장 변화, 오존층 감소)

2 빙상 후퇴는 연안 서식 환경에 어떤 변화를 가져오는가 (예, 담수 유입량 증가, 해수 순환 변화, 혼합층과 유광대 변화, 다량/미량 영양염 공급량 변화, 탁도 증가, 해양산성화)

3 융빙수 유입량 증가로 인한 환경변화는 생물 개체와 군집에게 어떤 변화를 유도하는가 (예, 미량 영양염 공급량 증가로 1차 생산력 고양, 산성화로 인한 생체 훼손, 산성화로 초기생활사 단계의 생존율 감소, 내성 범위를 상회하는 탁도 증가로 인한 먹이섭취 활동 교란과 치사 그리고 종 교체와 종조성 변화)

4 생물생산력의 증감 경향과 종조성 변화 추세를 빙권 변화로 설명할 수 있는가 또 변화 방향을 예측할 수 있는가 (수용력 한계 봉착, 복원력 감소 등)

5 남극반도 대표 연안 생태계에서 외양의 유입 효과와 국지적 빙상 변화로 인한 영향은 서로 어느 정도 비중을 갖는가 또 어떻게 상호작용을 주고 받는가?

연구 세부 과제 구성

세부 1 남극반도 해역 중장기 변화 추적과 평가 (장기 거점 관측과 자료베이스 구축 운영)
세부 2 빙상 후퇴 영향과 해양산성화에 반응하는 생태계 과정 규명 위한 계절 현장조사
세부 3 물리환경 변화와 생태계 반응 과정 모델화와 2050년 전망 예측

연구개발 목표	내용
○남극반도 연안 생태계 중장기 변화 추적과 평가 (장기 거점 관측과 자료베이스 구축 운영)	○ 기상자료와 해양환경 자료 주기성과 변동성 분석과 평가 ○ 생물생산 변화 좌우 요인으로 해빙변화 주기, 풍향풍속의 영향, 종합환경지표 (ENSO 지수, SAM 등)와 상관성 분석 ○ 서남극 내 대표 구역의 빙상후퇴 비교 ○ 빙상 후퇴와 염분변화, 탁도, pH 상관성 조사
○빙상 후퇴 영향과 해양산성화에 반응하는 생태계 과정 규명 위한 계절 현장조사	○ 빙상후퇴와 환경변화 구배에 대응한 남극반도 연안 대표생태계 주요 구성종 변화 조사 (저서동물, 주요 먹이생물) ○ 빙상후퇴와 환경변화 구배에 대응한 남극반도 연안 대표생태계 생물생산력과 탄소처리 기능 변화 조사 ○ 해양산성화와 염분 변화 복합 영향 평가
○물리환경 변화와 생태계 반응 과정 모델화와 2050년 전망 예측	○ 남극반도 연안 대표생태계 개념 모델 구성 ○ 남극반도 연안 대표생태계 미래 변화 반응 시나리오; 생산력 증감과 탄소처리 기능, 주요종 이동 가능성 평가와 예측

KOPRI 극지연구소

V. 연구개발결과의 활용계획

○ 빙상후퇴와 해양산성화로 대변되는 급격한 변화를 겪고 있는 남극반도 해양생태계의 미래 시나리오 연구; 가칭 **'남극반도 해양 생태계 변화 2050 전망 연구'** 추진

○ 킹조지섬을 주요 발판으로 하는 다국적 해양생태계 관측 프로그램을 시행함으로 남극반도

해역 기후변화와 해양생태계 반응 연구를 주도

- 남극반도 해역에서 다국적 협력의 중심으로 모범적 협력 모델 창출
- 급격한 기후변화와 생태계 반응을 목표주제로 하는 학제간 교차 연구, 장보고 기지와 구별되는 세종기지의 가치와 역할을 새로 정립, 남극 상주 기지 2곳을 운영하는 명분
- 남극반도 구역 내 다른 시계열 자료와 연계 활용 가능한 시계열 자료를 킹조지섬에서 다국적 협력으로 구축, 가칭 **KETS (King George Environmental Time Series) 운영**
- 전지구 생물학 연구 변화에서 빈번하게 인용되는 우수 저작

○ 빙상 변화와 해양 생태계 반응 미래 예측 시나리오 작성

○ 정책 연계 기후변화 자료

- **'남극반도 해역 생태계 변화 리포트 카드'** 작성
- 지구환경변화와 극지해양생태계 반응의 대표 사례로 국제적 논의에 자료로 활용되도록 광범위하게 인용될 수 있는 동향 문서 발간 (Antarctic Ocean report card)
- 각종 기후변화 관련 보고서에 인용되는 학술 근거
- 우리 연구소와 정부의 정책 문서 (position statement, policy paper)

KOPRI
극지연구소

제 1 장 서론

1-1. 연구개발 목적 및 필요성

○ 남극반도 해역은 유례없는 속도의 온난화에 반응하는 생태계의 미래를 전망할 수 있는 시금석

○ 남극반도의 변화는 빠르고 심하지만 지역차를 두고 진행되고 있어 반도의 동서를 연결하는 전반적 관측이 필요한 반면 오히려 기지가 밀집되어 있는 킹조지섬 인근 해역에 체계적 중장기 자료 부재

○ 국제협력 자산을 활용한 효율적인 관측 체계 공동 수립으로 남극과학을 통한 글로벌 이슈 해결에 기여하는 노력을 주도

□ 과학적 측면

○ 남극반도 변화는 빠르고 심하지만 온난화 정도와 해빙의 진퇴가 미치는 영향 면에서 위도에 따른 구배를 보이며 따라서 남극반도의 동서를 연결하는 관측과 비교구가 필요

○ 남극 연안역은 육상과 대양을 연결하는 이행대로 환경 변화의 폭과 이에 따른 생태계 반응의 폭도 매우 크게 나타나 기후변화에 대한 생태계 영향을 신뢰도가 높게 (reliable) 감지하고, 정량적으로 (quantitative) 분석할 수 있는 연구 적지

○ 기후변화의 'hot spot' 킹조지섬을 남극반도 변화 관측의 요충지로 개발하면 자료 공백을 메우고 완결성을 높이는 의미가 클 것임

○ 기후변화와 함께 일어나는 남극해양생태계 변화의 양상과 추동요인, 예상되는 미래 변화의 범위를 예측하는 것은 최근에 설정된 남극과학 차세대 연구주제 가운데 하나, 빙권 축소와 해양산성화 같은 새로운 주제로 계속 연계시켜 나갈 필요 있음

□ 사회・문화적 측면

○ 킹조지섬은 지정학적인 고려 때문에 기지 수가 많은 곳으로 비판의 대상이 되기도 하지만 다양한 소속 프로그램 연구 인력 입출 면에서 협력의 잠재력이 가장 크고 킹조지섬을 남극반도 변화 관측의 요충지로 개발하는 노력을 주도하면 새로운 흐름의 주창 세력이 될 것임

□ 기술적 측면

○ 남극의 대표적 온난화 해역에서 자동화 관측 장비와 무인 플랫폼, 위성 원격 탐사, 중장기 관측을 결합한 효율적 관측 프로토콜 개발 필요

□ 경제・산업적 측면

○ 남극반도해역의 탄소흡수원 기능, 수산자원 공급원으로 역할 변화 예측

KOPRI 극지연구소

1-2. 연구개발 내용 및 범위

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위	추정연구비 (단위: 천원)
1차년도 (2016)	○ 국제공동노력을 통해 킹조지섬을 남극반도 해역 생태계 변화 추적과 평가를 위한 감시 거점으로 구축, 다학제 연구를 수행하기 위한 연구 전략과 로드맵 도출	– 남극반도 해역 생태계 변화 연구 주요 동향과 더불어 각국 자료 현황과 연구 성과 및 시행 계획 파악 – 각국 가용 연구설비와 활용 계획 파악 – 그간 우리나라 연구 결과와 연구소 내외 역량 분석 – 중장기 연구전략 도출과 로드맵 수립 – 칠레와 협력관계 그 외 후발주자와 네트워크 구축	5,000

KOPRI 극지연구소

제 2 장 국내외 기술개발 현황

2-1. 국내 동향

과제명	연구기간	연구책임자 (수행기관)	총 연구비 (백만원)	비고
· 극지지표생물종 특성과 연안 및 육상 생태계 변화 연구	2008. 1월~2010.12월	안인영 책임연구원 (극지연구소)	2377	종료
· 남극 킹조지섬의 생물다양성과 생태계 연구	2011.1월~2013.12월	최한구 책임연구원 (극지연구소)	6470	종료
· 기후변화에 의한 킹조지섬 생태계 변화 예측 기반 구축	2014.1월~2016.12월	홍순규 책임연구원 (극지연구소)	6274	수행 중
(세부과제 2)남극과학기지 포괄적 환경모니터링 및 장기환경자료 DB구축 (남극세종과학기지)	2015.1월~2015.12월	김정훈 선임연구원 (극지연구소)	370	수행 중
· 남극특별보호구역 모니터링 및 남극기지 환경관리에 관한 연구	2012년 이후 매년 갱신	정호성 책임연구원	250/연	수행 중

2-2. 국외 동향

KOPRI 극지연구소

○ 칠레 남극연구소 (INACH) 해양생태학 연구 활성화, 소형 연구선 Karpuj호 도입 (2015년 12월)과 공동 활용 제안

○ 칠레 남극연구소 남쉐틀랜드 군도 과거 거점 재정비 (Yelcho 기지)

○ 체코 남극반도 북단에서 Mendel 기지 운영, 한국과 적극적 협력 의향

○ 영국 남극반도 Rothera 기지에서 장기 시계열 자료 RaTS (Rothera Time Series) 구축 운영

○ 미국 Palmer 기지 기반으로 장기 프로그램 LTER 시계열 자료 운영

칠레 건조 소형 연구선 Karpuj 호

현 기술 상태의 취약성

○ 지난 20여 년간 연구는 연구자별, 연구팀별 관심사 위주로 개별적으로 수행되어왔음 (PI: 안인영, 최한구). 일부 괄목할 만한 연구 성과도 있었으나, 킹조지섬의 과학적 (기후변화 연구의 최적지), 전략적 장점 (킹조지섬 국제공동연구를 주도할 수 있는 여건)을 최대한 살릴 수 있는 통합적 기후변화 생태계 변화 연계 체제는 매우 미흡함.

○ 남극 반도 해역 내 다른 장기 시계열 자료와 비교 활용할 수 있는 시계열 자료 부재

○ 현재 수행중인 킹조지섬 관련 주요과제 (PE15020)는 육상연구에 주력하고 있으며, 학제적으로 생물학 (주로 분자생물학, 분류학)에 치우쳐 있음

○ 세종기지모니터링 (PP15102)은 기지 운영에 따른 영향을 모니터링하기 위한 목적으로 기지 주변 지역으로 연구대상지역이 제한되어 있고, 거시적 환경변화를 주 고려 요인으로 하고 있지 않음

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

3-1. 연구개발 목표 및 내용

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위	추정연구비 (단위: 천원)
1차년도 (2016)	○ 국제공동노력을 통해 킹조지섬을 남극반도 해역 생태계 변화 추적과 평가를 위한 감시 거점으로 구축, 다학제 연구를 수행하기 위한 연구 전략과 로드맵 도출	– 남극반도 해역 생태계 변화 연구 주요 동향과 더불어 각국 자료 현황과 연구 성과 및 시행 계획 파악 – 각국 가용 연구설비와 활용 계획 파악 – 그간 우리나라 연구 결과와 연구소 내외 역량 분석 – 중장기 연구전략 도출과 로드맵 수립 – 칠레와 협력관계 그 외 후발주자와 네트워크 구축	5,000

KOPRI 극지연구소

3-2. 연구개발 수행 결과

○ 주요 과학 주제의 선정

1 빙상 후퇴와 해빙 수축을 선도하는 장단주기 해양 변화와 대기 변화는 무엇인가 (예, 남방순환모드, 바람장 변화, 오존층 감소)

2 빙상 후퇴는 연안 서식 환경에 어떤 변화를 가져오는가 (예, 담수 유입량 증가, 해수 순환변화, 혼합층과 유광대 변화, 다량/미량 영양염 공급량 변화, 탁도 증가, 해양산성화)

3 융빙수 유입량 증가로 인한 환경변화는 생물 개체와 군집에게 어떤 변화를 유도하는가 (예, 미량 영양염 공급량 증가로 1차 생산력 고양, 산성화로 인한 생체 훼손, 산성화로 초기생활사 단계의 생존율 감소, 내성 범위를 상회하는 탁도 증가로 인한 먹이섭취 활동 교란과 치사 그리고 종 교체와 종조성 변화)

4 생물생산력의 증감 경향과 종조성 변화 추세를 빙권 변화로 설명할 수 있는가 또 변화 방향을 예측할 수 있는가 (수용력 한계 봉착, 복원력 감소 등)

5 남극반도 대표 연안 생태계에서 외양의 유입 효과와 국지적 빙상 변화로 인한 영향은 서로 어느 정도 비중을 갖는가 또 어떻게 상호작용을 주고 받는가?

○ 연구 세부 과제 구성

세부 1; 남극반도 해역 중장기 변화 추적과 평가 (장기 거점 관측과 자료베이스 구축 운영)
세부 2; 빙상 후퇴 영향과 해양산성화에 반응하는 생태계 과정 규명 위한 계절 현장조사
세부 3; 물리환경 변화와 생태계 반응 과정 모델화와 2050년 전망 예측

○ 연구 세부 과제별 목표와 내용 구성

연구개발 목표	내용
○남극반도 연안 생태계 중장기 변화 추적과 평가 (장기 거점 관측과 자료베이스 구축 운영)	○ 기상자료와 해양환경 자료 주기성과 변동성 분석과 평가 ○ 생물생산 변화 좌우 요인으로 해빙변화 주기, 풍향풍속의 영향, 종합환경지표 (ENSO 지수, SAM 등)와 상관성 분석 ○ 서남극 내 대표 구역의 빙상후퇴 비교 ○ 빙상 후퇴와 염분변화, 탁도, pH 상관성 조사
○빙상 후퇴 영향과 해양산성화에 반응하는 생태계 과정 규명 위한 계절 현장조사	○ 빙상후퇴와 환경변화 구배에 대응한 남극반도 연안 대표생태계 주요 구성종 변화 조사 (저서동물, 주요 먹이생물) ○ 빙상후퇴와 환경변화 구배에 대응한 남극반도 연안 대표생태계 생물생산력과 탄소처리 기능 변화 조사 ○ 해양산성화와 염분 변화 복합 영향 평가
○물리환경 변화와 생태계 반응 과정 모델화와 2050년 전망 예측	○ 남극반도 연안 대표생태계 개념 모델 구성 ○ 남극반도 연안 대표생태계 미래 변화 반응 시나리오; 생산력 증감과 탄소처리 기능, 주요종 이동 가능성 평가와 예측

○ 도출 과정
- 2차례 워크숍 수행, 전문가 초빙
- 해외협력 프로그램 현황 파악과 공동연구 협의
- 칠레 남극연구소 (INACH), Austral de Chile 대학, 연구재단 (CONICYT)
- 영국 남극연구소 (BAS)
- 벨기에 Ghent 대학교

제 4 장 연구개발결과의 활용계획

○ 빙상후퇴와 해양산성화로 대변되는 급격한 변화를 겪고 있는 남극반도 해양생태계의 미래 시나리오 연구; 가칭 **'남극반도 해양 생태계 변화 2050 전망 연구'** 추진

○ 킹조지섬을 주요 발판으로 하는 다국적 해양생태계 관측 프로그램을 시행함으로 남극반도 해역 기후변화와 해양생태계 반응 연구를 주도

- 남극반도 해역에서 다국적 협력의 중심으로 모범적 협력 모델 창출
- 급격한 기후변화와 생태계 반응을 목표주제로 하는 학제간 교차 연구, 장보고 기지와 구별되는 세종기지의 가치와 역할을 새로 정립, 남극 상주 기지 2곳을 운영하는 명분
- 남극반도 구역 내 다른 시계열 자료와 연계 활용 가능한 시계열 자료를 킹조지섬에서 다국적 협력으로 구축, 가칭 **KETS (King George Environmental Time Series) 운영**
- 전지구 생물학 연구 변화에서 빈번하게 인용되는 우수 저작

○ 빙상 변화와 해양 생태계 반응 미래 예측 시나리오 작성

○ 정책 연계 기후변화 자료

- '남극반도 해역 생태계 변화 리포트 카드' 작성
- 지구환경변화와 극지해양생태계 반응의 대표 사례로 국제적 논의에 자료로 활용되도록 광범위하게 인용될 수 있는 동향 문서 발간
- 각종 기후변화 관련 보고서에 인용되는 학술 근거
- 우리 연구소와 정부의 정책 문서 (position statement, policy paper)

KOPRI 극지연구소

4-1. 향후 연구방향

1. 정성적 목표

구분	년도	세부연구목표	연구내용
1차년도	2017	맥스웰만 환경변화 변동성 분석	기상자료와 해양환경 자료 품질 재평가 기상자료와 해양환경 자료 주기성과 변동성 조사 남극반도 연안 빙상 후퇴 기록 추적과 경향 평가
		맥스웰만 생태계 구성과 먹이그물, 물질순환 기초 조사	과거채집 생물표본(미세조류, 무척추동물) 선별 동정과 분석 대규모 환경변화 지시종과 서식처별 지표종 식별과 선정 (미세조류, 무척추동물) 환경 변화 추적 위한 비교 해역과 조사정선 설정 * 2017년 1월 칠레 소형선박 해양조사 합류 (소규모 착수 자금과 조기 출장 승인이 뒷받침되면 가능)
		맥스웰만 모델화 예비 연구	맥스웰만 생태계 모형화 위한 모수 추출 맥스웰만 수치모델 1차 구성
2차년도	2018	맥스웰만과 남극반도 환경변화 변동성 평가	일차생산 변화 좌우 요인으로 해빙변화 주기, 풍향 풍속의 영향, 종합환경지표와 상관성 분석 서남극 내 대표 구역의 빙상후퇴 비교 빙상 후퇴와 염분변화, 탁도, pH 상관성 조사 Yelcho 등 다른 거점에 고정형 관측장비 설치
		맥스웰만 생태계 구성과 먹이그물, 물질순환 기초 조사	빙상후퇴와 환경변화 구배에 대응한 맥스웰만 군집 조성과 분포 조사 (저서동물, 주요 먹이생물) 빙상후퇴와 환경변화 구배에 대응한 맥스웰만 군집 기능과 먹이그물 조사 (주요 선택종의 생산력, 호흡, 포식, 안정성동위원소 지표) 해양산성화 취약종 대상 모의 실험
		맥스웰만 모델 구성요소	빙상 후퇴 영향 시나리오 구성 맥스웰만 수치모델 개선; 현장관측 자료 반영 맥스웰만 연안 생태계 내 상호작용 모수화
3차년도	2019	남극반도 소만 환경변화 변동성 추적	킹조지섬과 남극반도 동서 관측점 자료 비교 분석 무인 플랫폼과 계류 장비 이용한 시공간 범위 확대 관측
		맥스웰만 생태계 구성과 먹이그물, 물질순환 기초 조사	빙상후퇴와 환경구배에 대한 생태계 구조와 기능 2년차 현장 조사 천해 일차생산 공급원 규모와 소모 과정 조사 해양산성화와 염분 변화 복합 영향 실험
		남극반도 소만 생태계 변화 모델 기반 구축	맥스웰만 생태계 개념모델 축조 맥스웰만 미래 변화 반응 시나리오 남극반도 소만 생태계 일반특성 개념화

KOPRI 극지연구소

2. 정량적 목표

구분	국외논문		국내논문		특허출원		기술이전
	SCI* (1저자/공동)	기타	SCI (1저자/공동)	기타	국외	국내	
1차년도 (2017)	2 (2/0)	–		1 (1/0)			
2차년도 (2018)	8 (6/2)	–		2 (1/1)			
3차년도 (2019)	10 (8/2)	–		2 (1/1)			
합 계	20 (16/4)	–		5 (3/2)			

* 제1저자 및 공동저자(제2저자까지) 기재

4-2. 국·내외 공동연구 추진 계획

○ 이 과제는 가장 많은 국가프로그램이 활동영역으로 삼고 있는 남극반도 해양생태계의 미래와 그 역할 변화를 점치고자 하는 연구로 국제협력을 골간으로 삼을 수 밖에 없는 연구가 될 것임

○ 해외 프로그램과 협력의 경우 기반시설과 전문역량의 상호보완적 공동 활용과 중장기 축적 자료(DB)의 공동 활용에 중점을 두게 될 것임

○ 국내 기관과 협력의 경우 우리 연구소가 갖고 있지 못한 기술과 시료 기탁 기관으로 역할, 차세대 전문연구 인력 배양에 그 무게를 두게 될 것임

KOPRI 극지연구소

4-2-1. 국내기관

○ 저서 규조류 군집의 구조와 기능; 연안생태계에서 먹이공급원으로 탄소처리원으로 막대한 역할을 하는 반면, 빙상 후퇴와 같은 변화에 크게 좌우되고 상응한 변화를 겪을 것으로 예상; 해양생물자원관(서천 소재)/서울대학교

○ 저서 무척추동물 군집의 구조; 주요 생태계 구성 성분에 대한 종 동정과 구조 분석; 해양생물자원관(서천소재)/한국연안환경생태연구소 (기탁기관)

○ 동위원소 활용한 먹이그물 분석; 안정성 동위원소 구성비로 먹이그물 내 위치를 판별할 수 있는 주요 연구 수단, 그 자체로 조작(manipulation) 실험을 수행하기 위한 주요 사전 단계; 한양대학교

○ 해양산성화와 저염분 복합상호작용; 한국해양과학기술원

4-2-1. 해외 기관

○ 칠레 남극연구소(INACH)와 칠레 연구재단 지원 프로그램 IDEAL

- 국제공동연구의 응결핵으로 연안조사의 기반시설인 소형연구선 Karpuj호 제공
- 공동연구 목표 공유
- 연안해양조사 공동 수행 (이미 지원 확정, 최소 7일의 연구선 사용시간을 2017년 1월에 확보)
- 중위영양단계의 먹이생물에 대한 음향탐지는 우리 연구소의 절대적 기여
- 계류 장비의 설치와 회수 기반 제공
- 칠레 남극연구소장 Jose Retamales 박사 협력의향서 첨부
- 칠레 IDEAL 프로그램 책임자 Humberto Gonzalez 교수 협력의향서 첨부

○ 영국 남극연구소 (BAS)

- 킹조지섬 입지를 보완할 수 있는 남극 반도 동편 Rothera 기지를 비교 거점으로 활용
- RaTS (Rothera Times Series) 라는 중장기 자료와 비교할 수 있는 킹조지섬 환경 자료 시리즈를 구축 공동활용
- 영국남극연구소장 Jane Francis 교수의 협력의향서 첨부

○ 벨기에 Ghent 대학교

- 중형 저서동물 군집 연구
- ROV 활용 저서동물 군집 연구
- 저서군집 신진대사 연구

KOPRI
극지연구소

INACH

Gobierno de Chile

Punta Arenas, 31 de Mayo de 2016

Dear Dr. Hyoung Chul Shin,

Korean Polar Research Institute

Dear Dr. Shin,

Rapid but uneven changes in the marine and coastal ecosystems across the Antarctic Peninsula are an important research priority for the Chilean Antarctic Program. This is assuming even more significance as we plan to re-activate effective uses of research infrastructures that we have in the Peninsula region. We are fortunate that the Chilean Antarctic research community has already managed to launch an Antarctic and Sub-antarctic Oceanography Center titled 'IDEAL', that will be working in the Antarctic Peninsula for at least 10 years. As we discussed in the mean time, your planned research is a great complement to ours, and scopes for future collaboration are simply inmense.

Small research ship based oceanographic surveys around the King George Island are a great stepping stone to take us toward a much better of understanding of the changes in the marine and coastal systems in the región, that suffers from a series of physical events including glacial retreats. This is certainly the most justifiable use of our new ship' Karpuj' and other research bay boats we are investing in. As an operator of several research stations and infrastructures, INACH stands committed to assist the Chilean and international cooperative research.

Collaboration between IDEAL and your proposed research is what we pay particular attention to and in fact. we are interested in and look forward to further reinforcing the program by adding our own INACH research expertise to this collaboration as it develops.

Yours Sincerely,

MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES · INSTITUTO ANTÁRTICO CHILENO · DIRECTOR · CHILE

Eduardo Vega Artigues
Director Nacional (S)
Instituto Antártico Chileno

Plaza Muñoz Gamero 1055, Punta Arenas, Chile. Fono: (56-61) 229 6300. Fax: (56-61) 229 6049. Email: inach@inach.cl / www.inach.gob.cl

Universidad Austral de Chile

IDEAL

CONICYT
Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica

Valdivia, 31 May 2016

Subject: Letter of Support

Dear Sir or Madam,

I hereby express our strong support to the proposal lead by Dr. Hyoung Chul Shin which will target the exceptionally rapid changes experienced in the marine and coastal ecosystems along the Antarctic Peninsula. This proposal will be put forward in the current funding cycle of KOPRI.

The scope of the Dr. Shin's proposal responds a clear need in understanding the ongoing changes in the Maritime Antarctica, one of the most vulnerable areas worldwide due to global changes, and it is in line with the research lines currently undertaken by the Centre IDEAL and that we will develop in the coming 10 years. I also take note of Dr. Shin's plan to reconstruct an environmental and biological data base and to establish a time series in order to examine the decadal, long-term variability.

To date we have had several meetings with Dr. Shin, both in person and through videoconferences, as well as exchanging of information, to coordinate our efforts on a synergistic way. Our team is more biological oriented, and in that regard, we appreciate and commend Dr. Shin's perspective on including the research of the physical forcing onto this ecosystem, like glacial retreats, ocean circulation and ocean acidification.

Nonetheless, it is also to be noted that some other expertise in Dr. Shin's team, in particular on biological acoustics and UAV applications to study in-bay dynamics, would be also of great value to enrich our collective efforts and enhance the impact of our results.

The Centre IDEAL has already time allocated to operate the RV 'Karpuj', a small research ship managed by INACH and based in Maxwell Bay (King George Island), to undertake oceanographic surveys in Maxwell Bay and South Bay (Doumer Island). We offer to share this facility and capabilities as a starting point for coordinating future field campaigns. This should be however, just part of our joint efforts, which could consider in the future joint cruises in the Gerlache Strait area and the deployment of moorings, depending on vessel availability.

Facultad de Ciencias * Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas
Edificio Emilio Pugin, 1° Piso * Campus Isla Teja * Valdivia * Chile
Fono: 56-63- 2221575 / 2221492 * www.centroideal.cl

KOPRI 극지연구소

Universidad Austral de Chile

IDEAL

CONICYT
Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica

In addition to the latter, we consider this a great opportunity to foster collaboration between Chile and the Republic of Korea, two nations with a strong commitment in Antarctic research.

I would like accordingly to commit the support of the Centre IDEAL to develop our cooperative research plan further and to wish Dr. Shin the greatest success in the coming funding process.

Best regards,

Dr. Humberto González E.
Director
Centro FONDAP IDEAL

KOPRI
극지연구소

Facultad de Ciencias * Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas
Edificio Emilio Pugin, 1° Piso * Campus Isla Teja * Valdivia * Chile
Fono: 56-63- 2221575 / 2221492 * www.centroideal.cl

British Antarctic Survey
NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL

Professor Jane Francis
Director, British Antarctic Survey
High Cross, Madingley Road,
Cambridge CB3 0ET

Phone: +44(0)1223 221449
Email: j.francis@bas.ac.uk

1 June 2016

Dear Dr Hyoung Chul Shin,

I am writing in support of your plan to undertake long-term monitoring of the environment on King George Island.

Understanding the response of marine and coastal ecosystems to changes in climate and environments across the Antarctic Peninsula is a major research interest for the British Antarctic Survey, especially because this region in Antarctica is responding most rapidly to climate change.

At Rothera research station we have been monitoring the marine environment and collecting data for our Rothera Time Series for many years now. This long-term data series is proving to be critical for assessing how the climate is changing and how marine ecosystems are responding to change in this region.

However, we are aware that these changes are not occurring uniformly across the region and thus it is important to obtain observations along a gradient across the Antarctic Peninsula region. King George Island would be an ideal location from which to obtain long-term climate records since it has a critical position along the Peninsula and it already serves as a passage for a substantial traffic of international research efforts.

It would be ideal if you and KOPRI could lead a similar research endeavour to establish a long-term time series around King George Island. This would help our understanding of environmental change along this important region. We will be willing to cooperate with your efforts, with a view to developing and strengthening joint efforts that could include sharing data and coordination of field measurements.

Best wishes,

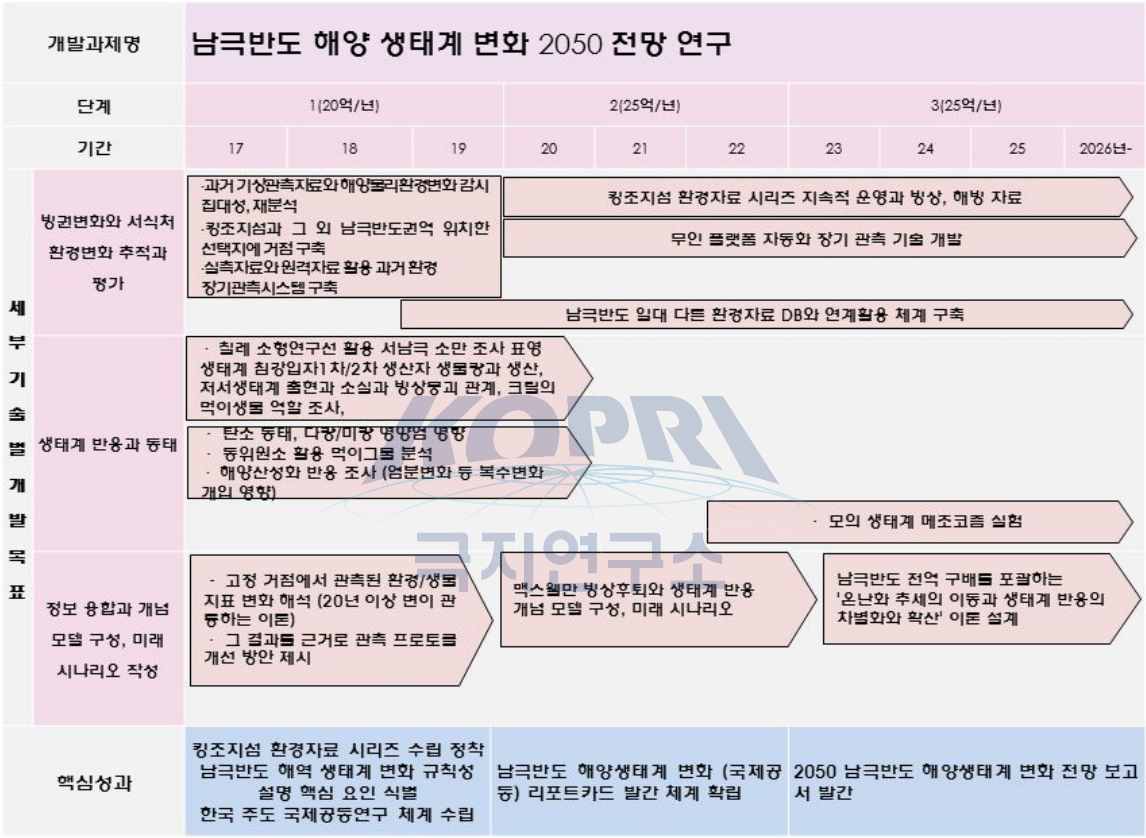
Jane Francis

Director, British Antarctic Survey

4-3. 연구개발 사업 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)		
	2017	2018	2019
2017~2019 (3년간)	2,000	2,500	2,000

4-4. 총 연구기간 로드맵

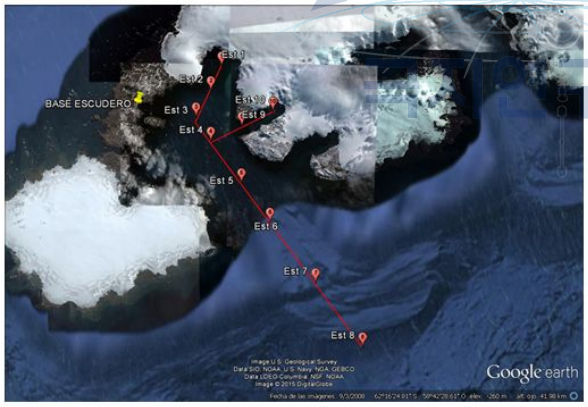


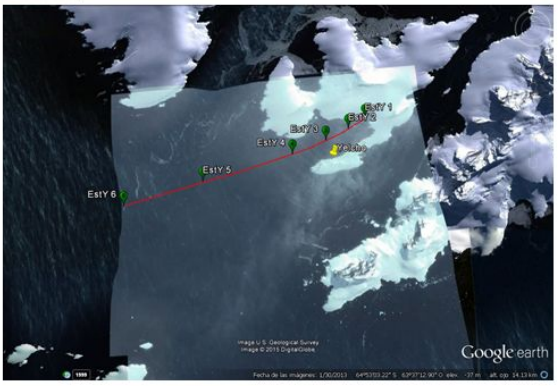
4-5. 인프라 활용 로드맵

인프라명	연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
남극 세종과학기지	2017	5											5
	2018	10											5
	2019	10											5*
남극 장보고과학기지	2017												
	2018												
	2019												
북극 다산과학기지	2017												
	2018												
	2019												
쇄빙연구선 아라온	2017												
	2018												
	2019												

* 2단계 개시 가정

세종기지 인근 맥스웰만과 Yelcho 기지 예상 조사정점 지도





제 5 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

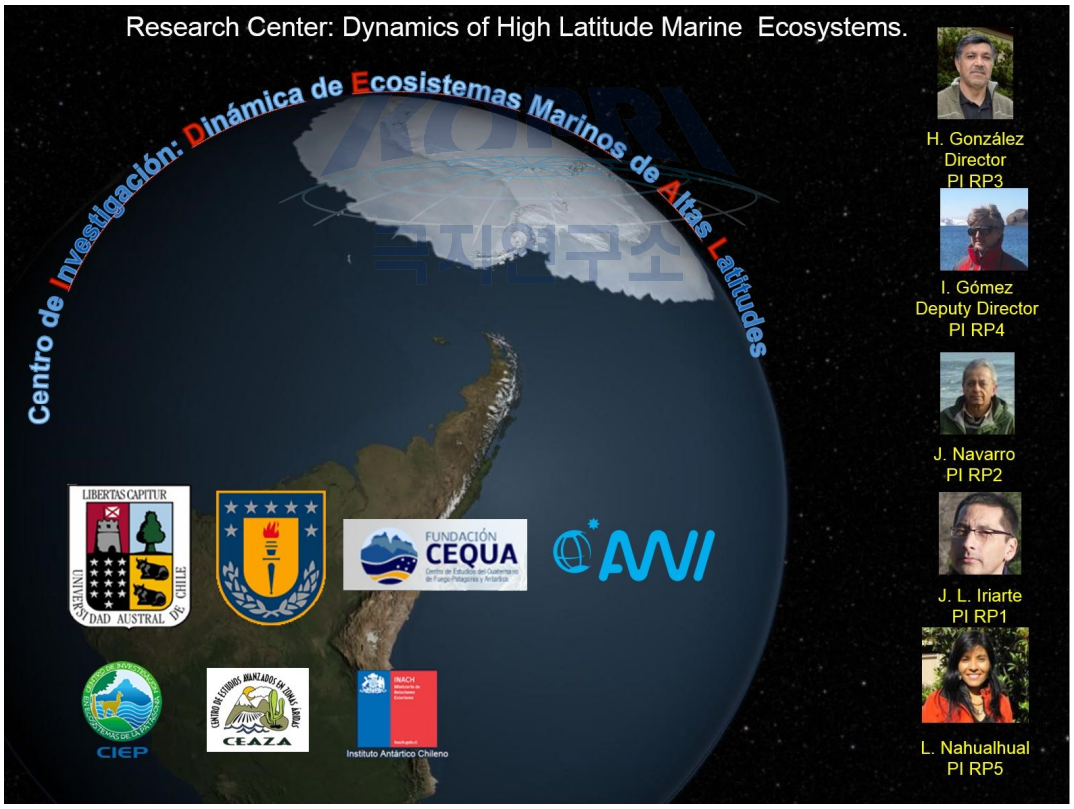
○ 칠레 남극연구 프로그램은 칠레 연구재단에 해당하는 CONICYT라는 기관에서 고위도 해양 생태계연구동태 (약칭 IDEAL) 과제를 이미 수주하여 착수하였음

○ 이 과제는 남극반도 대륙붕 생태계 (킹조지섬 Escudero 기지와 남극반도 서편 Yelcho 기지 거점)와 칠레 남단 연안 생태계를 주 대상으로 하고 있음

○ 이 과제에 필요한 기반시설 지원은 칠레 남극연구소 (INACH)가 제공하며 소형연구선 Karpuj호가 가장 중요한 수단이 될 것임

○ 이 과제는 5개의 주요 주제로 구성되어 있으며 해양산성화를 포함, 미래 환경변화에 대한 대상 생태계의 반응과 달라지는 기능, 서비스, 역할에도 초점을 두고 있음.

○ 국제협력을 중요한 축으로 간주하고 있고 우리 연구소를 주요 동반협력자로 기대하고 있으며 이는 강화되는 한-칠레 남극협력관계, 우리가 제공할 수 있는 상호보완적 전문역량과 기반시설에 기인한 바가 큼



IDEAL's objectives

To consolidate a center of excellence in Antarctic and SubAntarctic research that promote associative research programs with national and international institutions.

To assess the possible impact of global change at species-specific up to community levels and the biological interactions modulated by environmental stress. *Freshening, warming, acidification, UV-radiation*

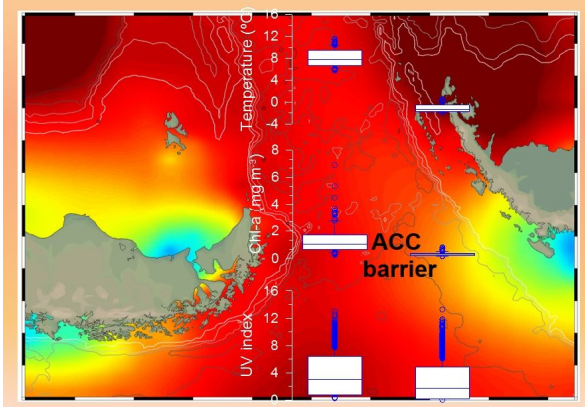
To assess the physiological adaptation vs resilience of plankton and benthos that affect connectivity and hot spot dynamics in WAP and CSP

To evaluate past and future changes (e.g. ES losses) and responses (e.g. livelihoods strategies) of Sub-Antarctic and Antarctic Coastal & Marine Socio-Ecological System´s to selected driving forces (e.g. global change)

To built capacity research and to promote outreach and dissemination activities from general public incl. school community up to governmental sector.

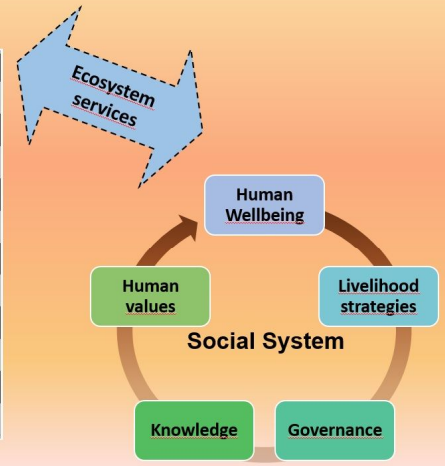
KOPRI
극지연구소

CSP and WAP Ecological Systems



The ocean ecosystems are responding to the changing environment (but diff. rates and magnitudes), with interspecific and geographic variation in responses. Warming causes shifts in species' geographic distribution, abundance, migration patterns and phenology.

CSP and WAP Socio-Ecological Systems



The challenge is, through supporting sustainable use of the marine domain to meet human needs (food, energy, etc.), how equally support social, economic and environmental outcomes wherever possible.

CAMPAÑA ANTARTICA CENTRO IDEAL

ECA 53 (verano 2016/17)

IDEAL
Research Center: Dynamics of High Latitude Marine Ecosystems.

DESCRIPCION GENERAL DE LA CAMPAÑA

- Se realizarán transectas oceanográficas en dos localidades: bahía Fildes y bahía South
- Se montarán experimentos in-situ para determinar Productividad Primaria, tasas de sedimentación y efecto de micro y macronutrientes sobre comunidades planctónicas
- Se instalará un mooring en estrecho Birsmarck (fuera de bahía South) para monitoreo anual de la columna de agua
- Se realizarán experimentos de adaptación ecofisiológica a diversos organismos marinos, tanto in situ como en condiciones de laboratorio

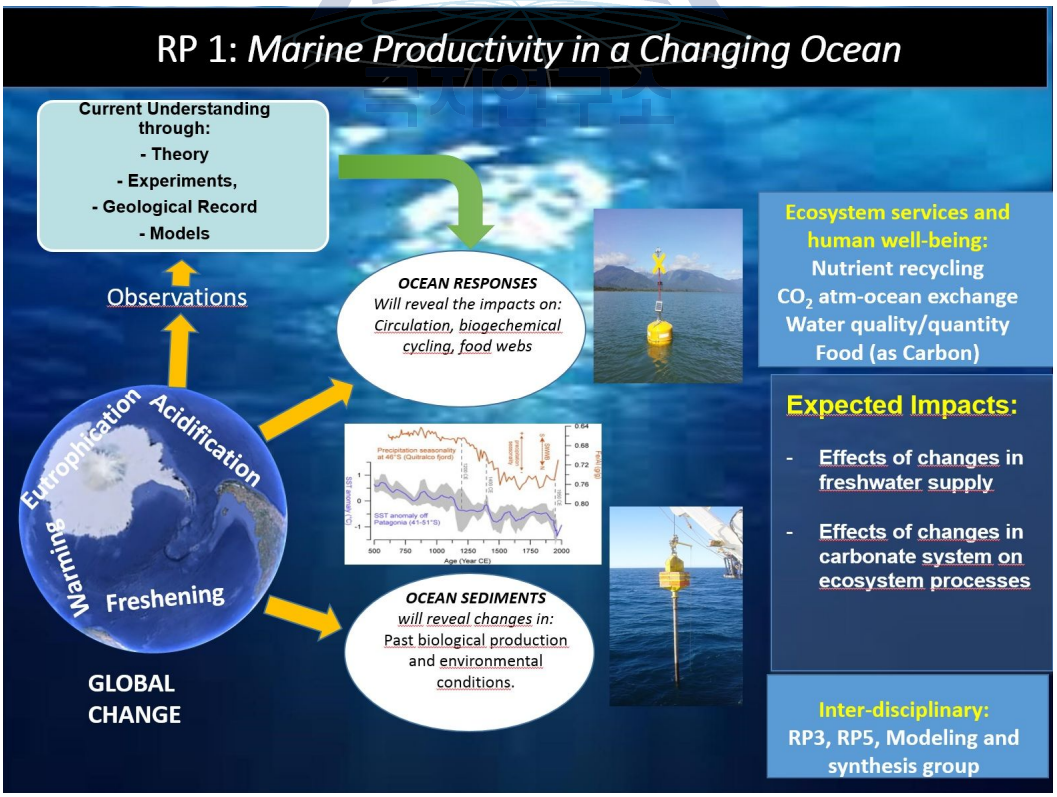
RP1: Productividad marina en un océano cambiante
IP: José Luis Iriarte

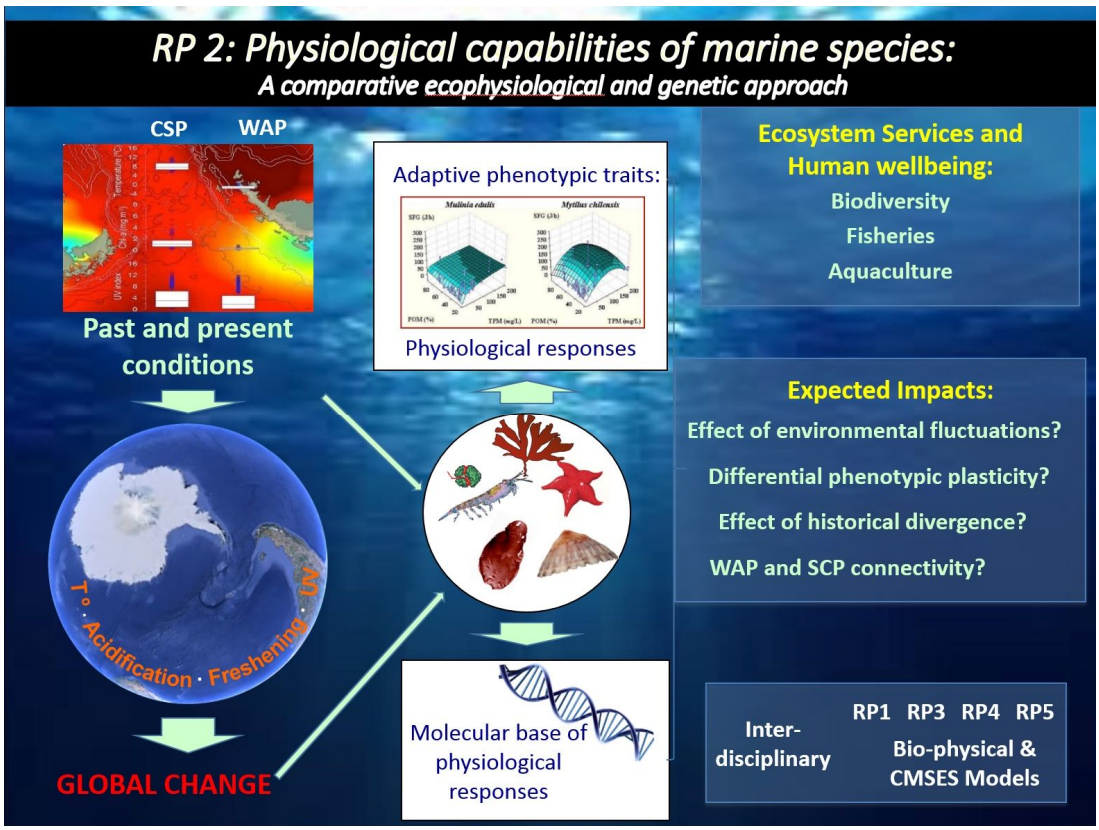
***RP2:* Adaptación de las especies marinas**
IP: Jorge Navarro

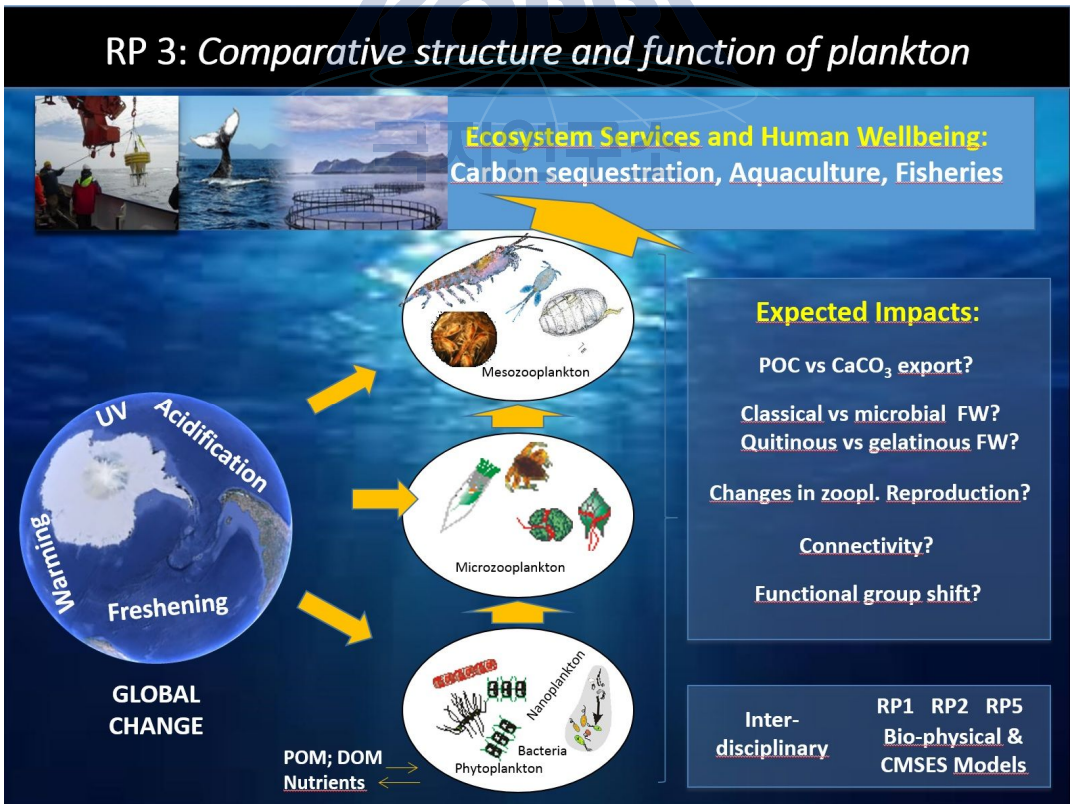
RP3: Estructura y función del plancton
IP: Humberto González

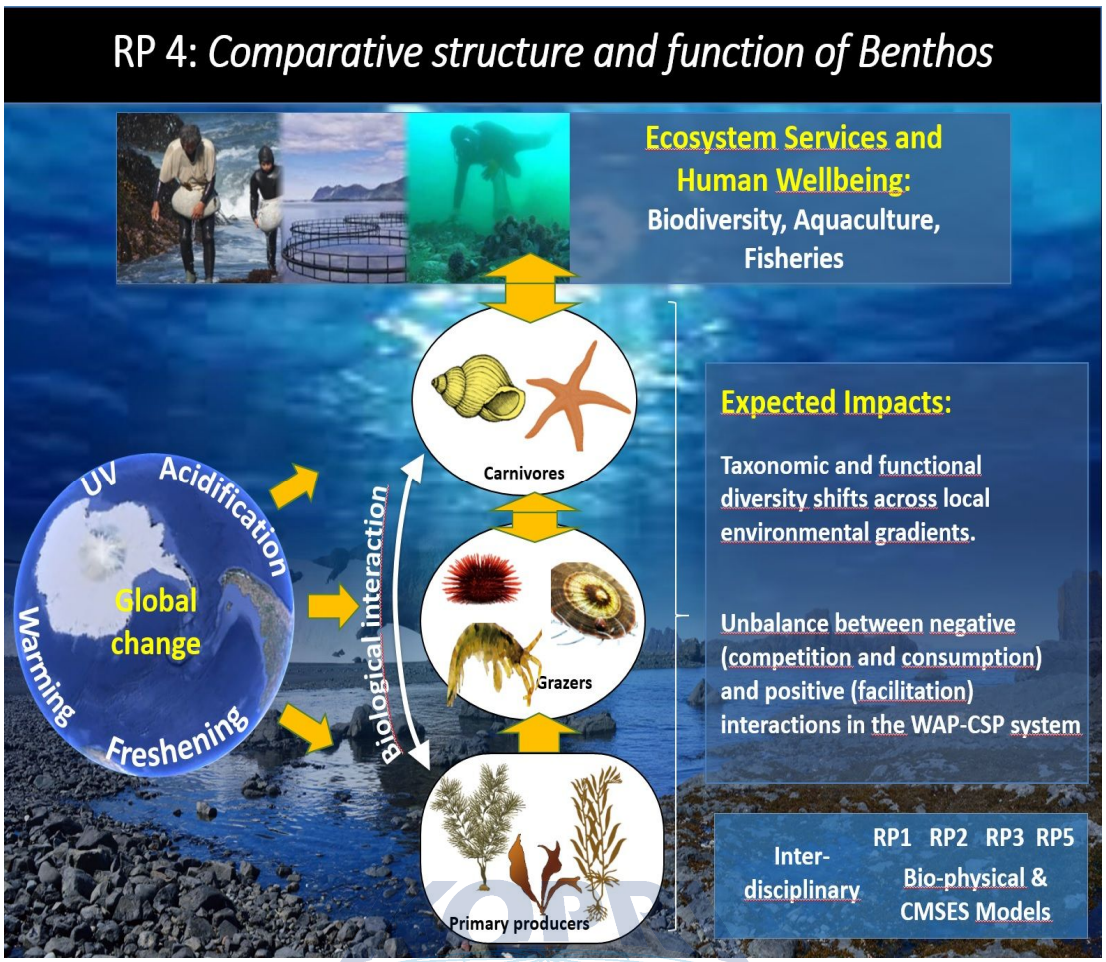
***RP4:* Estructura y función del bentos**
IP: Iván Gómez

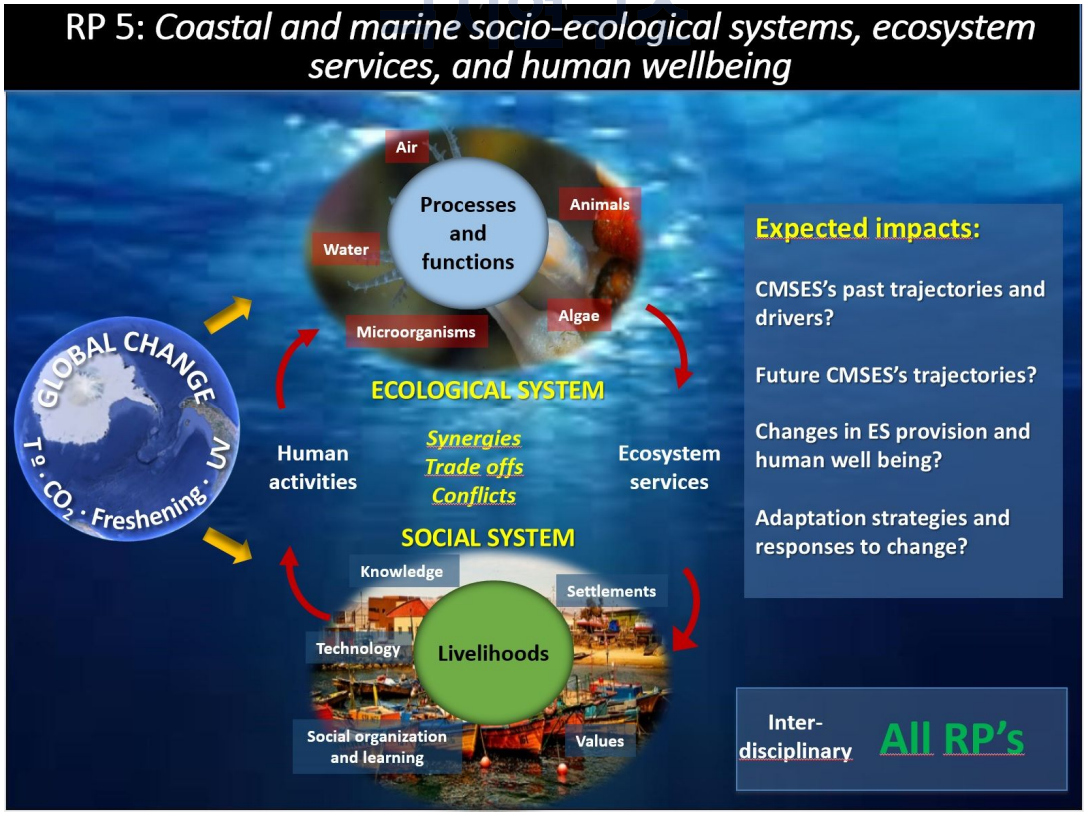
KOPRI 극지연구소




RP 2: Physiological capabilities of marine species:
A comparative ecophysiological and genetic approach
CSP
WAP
Past and present conditions
Adaptive phenotypic traits:
Physiological responses
Ecosystem Services and Human wellbeing:
Biodiversity
Fisheries
Aquaculture
Expected Impacts:
Effect of environmental fluctuations?
Differential phenotypic plasticity?
Effect of historical divergence?
WAP and SCP connectivity?
T° · Acidification · Freshening · UV
GLOBAL CHANGE
Molecular base of physiological responses
Inter-disciplinary
RP1 RP3 RP4 RP5
Bio-physical & CMSES Models


RP 3: Comparative structure and function of plankton
Ecosystem Services and Human Wellbeing:
Carbon sequestration, Aquaculture, Fisheries
Mesozooplankton
Microzooplankton
Nanoplankton
Bacteria
Phytoplankton
UV
Acidification
Warming
Freshening
GLOBAL CHANGE
POM; DOM
Nutrients
Expected Impacts:
POC vs $CaCO_3$ export?
Classical vs microbial FW?
Quitinous vs gelatinous FW?
Changes in zoopl. Reproduction?
Connectivity?
Functional group shift?
Inter-disciplinary
RP1 RP2 RP5
Bio-physical & CMSES Models


RP 4: Comparative structure and function of Benthos
Ecosystem Services and Human Wellbeing:
Biodiversity, Aquaculture, Fisheries
Carnivores
Grazers
Primary producers
Biological interaction
UV
Acidification
Global change
Warming
Freshening
Expected Impacts:
Taxonomic and functional diversity shifts across local environmental gradients.
Unbalance between negative (competition and consumption) and positive (facilitation) interactions in the WAP-CSP system
Inter-disciplinary
RP1 RP2 RP3 RP5
Bio-physical & CMSES Models

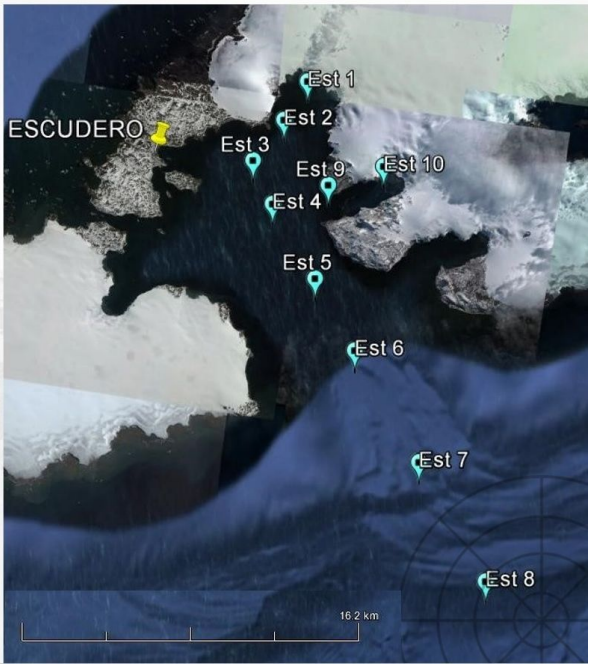

RP 5: Coastal and marine socio-ecological systems, ecosystem services, and human wellbeing
Air
Processes and functions
Animals
Water
Algae
Microorganisms
ECOLOGICAL SYSTEM
GLOBAL CHANGE
Tº · CO2 · Freshening · UV
Human activities
Synergies
Trade offs
Conflicts
Ecosystem services
SOCIAL SYSTEM
Knowledge
Settlements
Technology
Livelihoods
Social organization and learning
Values
Expected impacts:
CMSES's past trajectories and drivers?
Future CMSES's trajectories?
Changes in ES provision and human well being?
Adaptation strategies and responses to change?
Inter-disciplinary
All RP's

A. Sector Bahía Fildes

Crucero oceanográfico costero (RP1 + RP3)

A) Bahía Fildes

- En cada estación, se hará lance de roseta para obtener:
  - muestras de agua, con botellas Niskin (12x5 L), para estimar productividad, muestreo nutrientes, comunidades microbianas, etc.
  - CTD: determinar perfil de temperatura, salinidad, fluorescencia, luz, O2
  - Arrastre vertical red WP52 (fitoplancton)
  - Arrastre oblicuo de red bongo /tucker(zooplancton)
  - Prueba lances con red IKMT 1.8 para colecta de krill
- En transecta, se colectarán datos acústicos



KOPRI
극지연구소

제 6 장 참고문헌

Comeau S., G. Gorsky, R. Jeffree, J.-L. Teyssie, and J.-P. Gattuso (2009) Impact of ocean acidification on a key Arctic pelagic mollusc (Limacina helicina). Biogeosciences, 6, 1877-1882

COMNAP ARC report

COOK, A.J., FOX, A.J., VAUGHAN, D.G. & FERRIGNO, J.G. 2005. Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century. Science, 308, 541-544.

Cummings V, Hewitt J, Van Rooyen A, Currie K, Beard S, et al. (2011) Ocean Acidification at High Latitudes: Potential Effects on Functioning of the Antarctic Bivalve Laternula elliptica. PLoS ONE 6(1): e16069. doi:10.1371/journal.pone.0016069

Doney Scott C., Victoria J. Fabry, Richard A. Feely, and Joan A. Kleypas (2009) Ocean Acidification: The Other CO2 Problem. Annu. Rev. Mar. Sci. 1:169-92

Ducklow, H.W., W.R. Fraser, M.P. Meredith, S.E. Stammerjohn, S.C. Doney, D.G. Martinson, S.F.?Sailley, O.M. Schofield, D.K. Steinberg, H.J. Venables, and C.D. Amsler. (2013) West Antarctic Peninsula: An ice-dependent coastal marine ecosystem in transition. Oceanography 26(3):190?203, http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2013.62.

Kim I, G Kim, EJ Choy (2015) The significant inputs of trace elements and rare earth elements from melting glaciers in Antarctic coastal waters. Polar Research 34, 24289

Manno C, Morata N, Primicerio R (2012) Limacina retroversa's response to combined effects of ocean acidification and seawater freshening. Estuarine, Shelf and Coastal Science 113 (10) 163-171

MEREDITH, M.P. & KING, J.C. 2005. Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century. Geophysical Research Letters, 10.1029/2005GL024042.

Moon HY, Wan Mohd Rauhan Wan Hussinc, H-C Kima, I-Y Ahn (2015) The impacts of climate change on Antarctic nearshore mega-epifaunalbenthic assemblages in a glacial fjord on King George Island:Responses and implications. Ecological Indicators 57;

KOPRI 극지연구소

280?292

SCAR Strategic Plan (2011-2016)

SCAR Horizon Scan report

SCAR. Antarctic Climate Change and the Environment: an update. Cambridge University Press, 2013 (http://www.scar.org/researchgroups/progplanning/#AntCim21)

Schloss Irene R., Doris Abele, Sebastien Moreau, Serge Demers, A.Valeria Bers, Oscar Gonzalez, Gustavo A. Ferreyra (2012) Response of phytoplankton dynamics to 19-year (1991?2009) climate trends in Potter Cove (Antarctica). J. Mar Systems 92; 53-66

Schloss, I. R. , A. Wasilowska, D. Dumont, G. O. Almandoz, M. P. Hernando, C.-A. Michaud-Tremblay,3 L. Saravia, M. Rzepecki, P. Monien, D. Monien, E. E. Kopczyn ´ska, A. V. Bers, and G. A. Ferreyra (2014) On the phytoplankton bloom in coastal waters of southern King George Island (Antarctica) in January 2010: An exceptional feature? Limnol. Oceanogr. 59 (1), 195-210

STAMMERJOHN, S.E., MARTINSON, D.G., SMITH, R.C., YUAN, X. & RIND, D. 2008. Trends in Antarctic annual sea ice retreat and advance and their relation to El Nino Southern Oscillation and Southern Annular Mode variability. Journal of Geophysical Research, 10.1029/2007JC004269.

Thompson, D.W.J., Solomon, S., 2002. Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change. Science 296, 895-899.

VAUGHAN, D.G., MARSHALL, G.J., CONNOLLEY, W.M., PARKINSON, C., MULVANEY, R., HODGSON, D.A., KING, J.C., PUDSEY, C.J. & TURNER, J. 2003. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. Climatic Change, 60, 243-274.

Yamamoto-Kawai Michiyo, Fiona A.McLaughlin, Eddy C.Carmack, Shigeto Nishino, Koji Shimada (2009) Aragonite Undersaturation in the Arctic Ocean: Effects of Ocean Acidification and Sea Ice Melt. Science 326(5956); 1098-1100

KOPRI 극지연구소

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

KOPRI 극지연구소