

Antarctic Climate Change and the Environment

A DECADAL SYNOPSIS AND
RECOMMENDATIONS FOR ACTION



STEVEN L CHOWN
RACHEL I LEIHY
TIM R NAISH
CASSANDRA M BROOKS
PETER CONVEY

BENJAMIN J HENLEY
ANDREW N MACKINTOSH
LAURA M PHILLIPS
MAHLON C KENNICUTT II
SUSIE M GRANT

The report has been compiled from the findings presented in the reports of the *Intergovernmental Panel on Climate Change* predominantly, and of the *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*.

The IPCC reports are cited extensively in this document and provide the foundation for the majority of this report's findings. The IPCC and IPBES reports should be consulted and are available at:

Intergovernmental Panel on Climate Change

<https://www.ipcc.ch/about/>

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

<https://www.ipbes.net/>

Original material in this report (mostly in Chapters 1, 6, 7 & 8) is free to use under the CC BY 4.0 license, except where figures have permissions from third parties: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

For citation: Chown, S.L., Leihy, R.I., Naish, T.R., Brooks, C.M., Convey, P., Henley, B.J., Mackintosh, A.N., Phillips, L.M., Kennicutt, M.C. II & Grant, S.M. (Eds.) (2022) *Antarctic Climate Change and the Environment: A Decadal Synopsis and Recommendations for Action*. Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge, United Kingdom. www.scar.org

Affiliations

SL Chown AN Mackintosh LM Phillips	Securing Antarctica's Environmental Future, Monash University, Melbourne, Australia
RI Leihy	Arthur Rylah Institute for Environmental Research, Department of Environment, Land, Water and Planning, Melbourne, Australia
TR Naish	Antarctic Science Platform, Antarctica New Zealand, Christchurch; Victoria University of Wellington, Wellington, New Zealand
CM Brooks	Department of Environmental Studies, University of Colorado Boulder, Colorado, United States of America
P Convey* SM Grant	British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council, Cambridge, United Kingdom; *and Department of Zoology, University of Johannesburg, Auckland Park, South Africa
BJ Henley	Securing Antarctica's Environmental Future, School of Earth and Environmental Sciences, University of Wollongong, Wollongong, Australia
MC Kennicutt II	Scientific Committee on Antarctic Research, Scott Polar Research Institute, Cambridge, United Kingdom

Review Acknowledgments

This edited compilation was reviewed in its original form and revised accordingly. The review comments and responses are available from SCAR (www.scar.org) on request. The reviewers are thanked for their contributions. **Reviewers:** Julie M Arblaster (Monash University, Melbourne, Australia); Antje Boetius (Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Germany); Thomas J Bracegirdle (British Antarctic Survey, United Kingdom); David H Bromwich (The Ohio State University, United States of America); S Craig Cary (University of Waikato, New Zealand); Rachel D Cavanagh (British Antarctic Survey, United Kingdom); Eileen E Hofmann (Old Dominion University, United States of America); Emilia Kyung Jin (Korea Polar Research Institute, Republic of Korea); Heather J Lynch (Stony Brook University, United States of America); Kenichi Matsuoka (Norwegian Polar Institute, Norway); Sophie Nowicki (University at Buffalo, United States of America); Frank Pattyn (Université libre de Bruxelles, Belgium); Antonio Quesada (Universidad Autónoma de Madrid/Spanish Polar Committee, Spain); Eric J Rignot (University of California, Irvine, United States of America); Stephen R Rintoul (CSIRO Oceans and Atmosphere, Australia); Ted A Scambos (University of Colorado Boulder, United States of America); Aleks Terauds (Australian Antarctic Division, Australia); Roderik S W van de Wal (Utrecht University, Netherlands).

General Acknowledgments

SCAR acknowledges the contributions of all of those involved in the documents that form the basis of this synoptic report, in particular the thousands of contributors to and administrators of the IPCC and IPBES processes and the researchers whose work was cited either in those reports or here. SCAR acknowledges the review contributions of the Standing Committee on the Antarctic Treaty System. Editorial review assistance from Emma E Ramsay and Eleanor M Hay. Chapter 4 Title Page Image by Felicity S McCormack. Artwork and infographics by Laura M Phillips. Final printed report design by OÜ Design oudesign.com.au

요약

인간에 의한 이산화탄소 및 기타 온실가스 배출 추세가 현재 수준으로 계속될 경우 대기와 해양의 온도가 지속적으로 증가하고, 바다가 지속적으로 산성화되며, 대기와 해양의 순환 양상이 변화하고, 빙권의 각종 얼음이 사라지며, 해수면이 상승할 것이라는 사실은 기후 변화에 관한 무수한 과학적 증거가 명확하고 설득력 있게 보여주고 있다.

지구시스템에 대해 명확히 밝혀지지 않은 부분이 많은 것은 사실이지만, 현재까지 입증된 사실에는 논쟁의 여지가 없다. 관측 결과를 기초로 한 모델 분석을 통해 확인된 현재 추세는, 이산화탄소와 기타 온실가스의 배출량이 높은 수준으로 유지될 경우 더욱 빨리 진행될 것이다.

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 정책 입안자를 위한 실무그룹 II 요약 보고서(WGII Summary for Policymakers, SPM D.5.3)는 다음과 같이 명확한 결론을 내리고 있다: *지금까지 누적된 과학적 증거가 나타내는 바는 명확하다. 기후변화는 인간의 안녕과 지구의 건강에 위협을 가한다. 공조에 바탕을 둔 선제적이고 국제적인 기후변화 적응 및 완화를 더 지체할 경우, 모두가 살 수 있는 지속가능한 미래를 확보할 수 있는, 아주 좁으며 빠르게 닫히고 있는 기회의 문을 놓치게 될 것이다.*

인간이 기후에 영향을 미친다는 사실은 명백하다. 현재까지 관측된 기후와 온실가스 농도의 변화는 의심의 여지없이 인간활동에 기인한다.

이와 같은 인간에 의한 기후변화(human-induced climate change)로 인해 인간의 삶과 자연의 피해와 더불어 생물종의 멸종과 같은 비가역적 손실 등 부정적인 여파가 광범위하게 나타나고 있다.

기후 변화로 인한 인류의 활동이 자연과 인간의 안녕에 미치는 악영향이 점차 강화되고, 기후 변화의 규모가 증가함에 따라 그 영향 또한 증가할 것으로 예상된다.

관측 및 모델 분석 결과와 전세계에서 실시한 평가에 따르면 이미 해양과 육상을 포함한 남극의 물리계와 생물계에 상당한 변화가 나타나고 있다.

남극과 남빙양의 변화는 기후 변화를 촉진하는 전세계에 걸친 여러 요인과 연관되어 있으며, 동 요인에 영향을 미친다.

남극에서의 변화가 초래할 주요 영향으로는 전세계 평균 해수면의 변화와 동 변화가 전세계 연안지역의 사회와 자연에 미칠 영향을 들 수 있다.

남극에서의 변화가 전세계에 미치는 또 다른 영향으로는 이상 기후 및 기상 현상, 가뭄, 산불과 홍수, 해양 산성화 등이 있다. 남극의 변화에 따른 영향은 남극 바깥에서도 생태계 교란과 생물다양성 손실로 이어진다.

현재 전망에 따르면, 각국이 파리 기후 협정(Paris Climate Agreement)에 따른 온실가스 감축목표를 달성하지 못할 경우, 기후변화의 속도는 기후변화의 영향에 대한 적응 및 복원력을 촉진, 강화하기 위한 사회적, 정치적, 경제적 대응이 따라잡지 못할 수준으로 빨라질 것이라고 한다.

남극 조약 체제(Antarctic Treaty System)를 구성하는 여러 협정 또한 이러한 영향을 피할 수 없을 것이다. 남극 및 남빙양의 빠른 환경 변화에 대응하기 위해서는 마찬가지로 신속한 환경 거버넌스적 대응이 필요하며, 그 일환으로 수 년에 걸쳐 이루어 낸 여러 합의를 변경해야 할 수도 있다. 기후변화의 영향은 남극 외 지역의 지정학적 관계에도 새로운 도전을 제기해, 남극 조약 체제 내부의 관계에 영향을 미칠 것이다.

과거의 국제 협약과 국가별 대응은 지구시스템 차원의 접근을 필요로 하는 초국경적 과제에 효과적으로 대응하지 못했다. 지구시스템 수준의 통합적 대응 방식을 마련하고 지구의 지속가능한 미래를 위한 방향을 파악하기 위해서는 남극과 남빙양지역에서 각종 연구를 실시하고 그 결과를 바탕으로 한 강력한 정책을 수립하는 것이 무엇보다 중요하다.

그리고 남극과 남빙양 연구를 진행하기 위해서는 국제적 협력과 공조를 통한 대응이 필요하다. 나아가 남극 및 남빙양 연구에서 창출한 지식을 활용해 효과적인 정책과 결정을 만들어 내기 위해서는 수용적인 남극 거버넌스가 필요하다. 과학에 대한 투자를 강화함으로써 정책 및 계획 수립을 위한 보다 풍성하고 일관된 정보를 마련해, 시의적절하고 확장 가능한 적응 및 완화 전략을 수립할 수 있을 것이다. 새로운 과학 기술에 대한 투자를 통해 기후위험의 주요 요인의 발생 가능성에 관한 최신 정보를 마련한다면, 투입된 비용을 뛰어 넘는 성과를 올릴 수 있을 것이다.

현재와 미래의 안녕, 생물다양성, 인간과 자연의 상호의존에서 남극과 남빙양이 지니는 가치에 대한 인식을 확대하기 위해서는 여러 문화 및 사회 주체와의 협력을 통한 과학 소통 및 교육이 매우 중요하다.

더 이상의 기후변화를 저지하기 위해서는 모든 분야에서 즉각적이며 대대적으로 탄소배출량을 감축해야 한다.

이를 위한 효과적인 대응이 그 어느 때보다 시급하다.





환경 변화 요약

대기

지표면 온도상승 예측은 유동적이나

향후 2100년까지

0.5°C - 3.6°C

배출량 낮을 경우 배출량 높을 경우
증가 전망



폭염

증가될 전망

강수량

현재 유동적으로 예측되나
향후 2100년까지

5% - 25%

배출량 낮을 경우 배출량 높을 경우
증가 전망

풍속

현재 **증가세**이며
향후에도 지속적으로 증가 전망

남반구 극진동 전망

계절별로 유동적

긍정적 추세 지속



배출량 낮을 경우



배출량 높을 경우

해양

남극해는 다음을 흡수하는 데 중요한
역할을 수행

인간에 의한

열

인간에 의한

CO₂

해수면에서는 느리게,
심해에서는 빠르게 진행되는

온난화

남극해 해수면 온도는

2100년 까지



0.5°C - 1.75°C

배출량 낮을 경우 배출량 높을 경우
증가 전망

해류 양상

남극 순환류

남극해 저층수
담수화

남극순환류
북부담수화

해양 pH 및 산소량 감소로 인해



다음 현상이 지속 발생할 것으로 전망

담수화

산성화

탈산소화

빙권

해빙 면적은
현재 유동적이며



향후 전망은
불확실

빙봉에서

두께 감소, 후퇴, 붕괴 발생



빙봉 용융 지속될 것으로
전망되며,

빙봉 감소 속도
증가 가능

남극 빙상

질량 손실 가속화

서부 빙상
손실



동부 빙상
손실



서부 빙상은 2300년까지 **상실** 가능



동토 온도

현재까지 증가했으며

향후에도 **융해** 지속 전망

해수면



빙상 용융으로 인한 전 세계 평균
해수면 상승은
증가
다만, 그 규모는 현재까지 낮은 상태

2100 년 기준 남극이 해수면 상승에
미치는 영향은 현재
불확실

전망치
0.03 - 0.34 m

또는
0.02 - 0.56 m
또는
≈ 0.7 m

비선형적 과정 포함

비선형적 과정의 경우 2300 년까지 최대

13m

증가 전망

해양 생물



현재까지 해양 조류 및 포유류의
개체수 증가/감소, 범위 변화,
생애사 변화 발생

조류 및 바다표범 개체수 변화 지속 예상

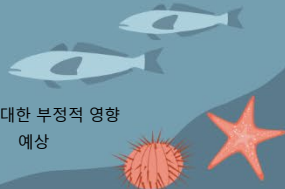


크릴 새우의 남방 이동 발생했으며,
향후 지속 전망

산성화는 현재까지 복합적/부정적 영향 초래
향후 부정적 영향 예상



어류에 대한 부정적 영향
예상



저서계 변화는 대부분 불명
분포는 변화할 것으로 전망



**황제펭귄 멸종
위험**

현재 기후 변화가
지속될 경우

외래종 침입

현재는 미미하나 향후
증가 전망



육상 생물



남극반도의 현화식물
개체수 증가



**성장률도
증가**

생물종 대체

현상 발생:

동남극 및 드라이 밸리



향후 범위 및 개체 수 변경 양상은

불확실하며

장기 데이터 미흡



외래종 침입

현재는 미미하나 향후 개체수 및
분포 증가 전망



권고 방안

정책 권고

이 보고서에서는 내용 전반에 걸쳐 정책권고사항을 제시한다. 아래 권고 정책은 중요도 순으로 나열되어 있다. 정책 권고에는 남극 조약 체제(Antarctic Treaty System, ATS)의 유관 정책 입안자들을 위한 제안과 국가별 남극 프로그램 (National Antarctic Program, NAP)에 관한 권고사항이 포함된다. 이 보고서에서 권고하는 정책은 제44차 남극조약협의당사국회의(Antarctic Treaty Consultative Meeting) 및 제41차 남극해양생물보존위원회(Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, CCAMLR) 회의에 전달할 예정이다.

정책 권고 1 남극조약 협의당사국(Antarctic Treaty Party, ATP) 및 옵서버 기구들은 각국 정부 및 시민사회를 대상으로 파리 기후 협정의 국가별 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution) 달성이 시급함을 알림으로써, 남극해와 북극해의 환경이 지난 200년 동안의 환경과 유사한 상태를 유지하고, 지속가능 발전목표(Sustainable Development Goals)를 달성할 수 있도록 해야 한다. 또한 협의당사국 및 옵서버기구에 대하여, 각국 정부 및 여러 국제 환경 협약의 각 당사국, 그리고 시민사회를 대상으로 기후변화 관련 연구 성과를 알리고, 적절한 정보에 기반해 남극 지역에 대한 즉각적인 관리 조치를 취함으로써 얻을 수 있는 이득을 홍보해야 한다. 빙권의 변화, 변화의 속도, 그 함의를 둘러싼 불확실성을 해소하기 위한 방대한 추가 연구가 시급하다. 남극 외 지역의 전반적인 기후변화에 대한 국제적 대응 노력을 대상으로 한 효과적인 소통 또한 마찬가지로 시급하다.

정책 권고2 남극 빙상(Antarctic Ice Sheet, AIS)은 현재 빠르게 변화하고 있으며, 인류에 의한 변화의 징후 또한 명확하게 나타나고 있다. 남극 빙상은 전 세계 평균 해수면 상승에 상당한 기여를 할 것으로 전망된다. 그러나 서남극 및 동남극일부의 취약한 해양 분지 등에서 나타나는 빠른 빙상 질량 손실이 향후 수 십 년에서 수 세기에 걸쳐 해수면 상승의 속도와 규모 증가에 상당한 영향을 미칠 위험에 대해서는 알려진 바가 많지 않은 실정이다. 이와 같은 불확실성을 줄이는 것은 전 세계적으로 시급한 연구 우선 순위가 되어야 하며, 이를 위해서는 국가별 남극 프로그램의 추가 지원이 필요하다. 빙상 후퇴를 촉진하는 물리적 과정을 보다 잘 이해하고, 현재 진행 상황을 구체적으로 기록하며, 수치 예측 능력을 개선하기 위해서는 향후 10년의 시간동안 취약한 해양구역과 고기후 기록에서 새로운 연구 결과가 시급하게 필요하다.

정책 권고 3 해수면 상승과 남극 연안 주변의 해빙, 육빙, 빙봉 등의 용융은 사회에 상당한 위험을 초래할 것이다. 각 협의당사국 및 옵서버기구는 남극 해수면에 관한 연구의 필요성과 성과를 각 국제협정, 정부 부처의 여러 층위, 경제부문, 시민사회 등, 해수면 상승의 영향과 그로 인한 비용을 관리하고, 대응 계획을 수립하고, 실제로 감당해야 하는 여러 주체를 대상으로 알려야 한다.

정책 권고 4 남빙양은 여러 변화를 겪고 있으며, 높은 배출량을 유지하는 시나리오에서는 앞으로도 변화가 지속될 것이다. 빙권, 해양 생태계와 이에 서식하는 생물종이 크게 영향을 받을 것이며, 나아가 남극 안팎의 여러 생태계 서비스에 영향을 미칠 것으로 보인다. 특히, 임계점(threshold)을 돌파할 경우, 빙상의 불안정과 붕괴에 취약한 지역에서 상당한 변화가 예상된다. 남빙양과 남빙양 생태계의 변화로 인해 앞으로 관리상의 난점, 보급 관련 과제, 그리고 연구의 필요성이 증가함으로써, 남극 조약 체제 차원에서 특별한 관심을 기울여야 할 것이다. 또한 장기적인 모니터링 확대 등을 통해 위에 언급한 문제에 관한 연구를 진행해야 할 것이다.

정책 권고 5 기후변화를 추동하는 주요 원인 중 하나인 남반구 극진동(Southern Annular Mode)은, 기후 평균치, 그리고 남반구 육상을 중심으로 대형 화재와 가뭄 등의 이상현상을 동반한 이상 기상 현상에 영향을 미친다. 남반구 극진동의 영향, 그리고 온실가스 관련 기후 변화와의 상호작용에 대한 이해를 증진하기 위해, 관련 연구를 국가별 남극 계획을 통해 지원해야 한다. 각 협의당사국 및 옵서버기구는 연구의 성과와 연구결과가 재난 대비 및 환경 관리에 지니는 의미를 정부 및 시민사회에 알려야 한다.

정책 권고 6 각 협의당사국은 기후변화나 인간이 남극의 해양·육상 환경, 생태계 및 생물다양성, 그리고 생태계 서비스에 미치는 영향을 감축하기 위한 각종 완화 및 적응 조치를 실시할 의무가 있음을 천명한 바 있다. 이러한 의무를 이행하기 위해서는 모든 협의당사국이 남극 및 남빙양에 관한 협력적, 국제적, 다학제적 연구를 비롯해 증거에 기반한 조치 이행에 필요한 연구를 지속적으로 지원하고, 미래에 대비해 적절한 자원을 지닌 과학 인력을 육성하고, 물리·생태 환경에 대한 장기적인 모니터링 프로그램을 수행하고 충분한 지원을 제공하는 것이 매우 중요하다. 인류의 미래는 위에 열거한 조치의 성패에 달려 있다.

정책 권고 7 국가별 남극 프로그램 및 국제남극관광협회(International Association of Antarctica Tour Operators) 회원국에 대하여, 남극 반도를 비롯해 남극으로 가는 모든 항로, 항공로, 인적 경로 등 모든 경로의 생물보안 절차를 강화할 것을 권고한다. 기후 변화에 따른 외래종 유입이 점차 수월해질 것임을 감안해, 남극으로 향하는 출항지에서 각종 잡초를 제거하고 병충해를 포획하는 절차를 강화해야 할 것이다. 신규 외래종에 관한 조치를 수립하기 위한 감시 및 의사결정 절차를 방문자 수가 많은 기지 및 현장 주변을 중심으로 도입해야 할 것이다. 남극연구과학위원회(SCAR)를 비롯한 여러 연구자와의 협력을 통해, 생명 데이터 시스템 바코드(Barcode of Life Data System)를 기반으로 신규 검출 생물종에 대한 이미지 및 DNA 기반 진단 서비스를 개발할 필요가 있다.

정책 권고 8 각 협의당사국 및 환경보호위원회(Committee for Environmental Protection, CEP) 회원국에 대하여, 개체군, 생물종, 군집 차원의 육지 및 해양 생물다양성 기록이 연구에서 차지하는 우선순위를 상향할 것을 권고한다. 경우에 따라서는, 연구 우선순위 상향을 통해 특정 환경이 사라지기 전에 관측이 가능하도록 해야 할 것이다. 이처럼 우선순위를 강화하고 장기적 변화 양상을 파악하는 것은 환경보호의 효과성을 확보하고 환경 관리로 인한 이익을 기록하는 데 매우 중요하다.

정책 권고 9 남극 대륙의 해빙, 정착빙, 빙봉의 감소와 육상 노출 지역의 확장, 그리고 남극 온도와 강수량 변화 및 이상기상 현상은 남극에서 인간의 활동량이 많은 지역(각종 기반시설과 국가별 남극 계획의 자산이 배치된 지역)을 관리하는 데 새로운 과제를 도출할 것이다. 또한 남극 반도를 중심으로 생물다양성이 변화하는 한 편, 외래종의 정착에 보다 유리한 조건이 조성될 것으로 보인다. 국가별 남극 계획과 CEP를 통해 이와 같은 과제에 긴급하게 대응해야 할 것이다.

연구 권고

이 보고서의 각 장은 구체적인 연구 방안에 대한 권고를 수록하고 있다. 보고서에서 제시하는 권고 방안은 SCAR Horizon Scan [Kennicutt *et al.* 2019], SCAR 과학 연구 프로그램(Scientific Research Programmes) 및 기타 프로그램[SCAR 2022]에서 도출한 권고 방안을 최신 연구 결과를 바탕으로 일부 수정한 것이다.

이 보고서에서 제시하는 권고 방안은 가장 중요하고 시급하게 필요한 연구를 대상으로 한다. 이 보고서가 기후변화를 중점적으로 다루고 있음을 감안해, 여기에서 제시하는 권고 방안 또한 지구시스템과 사회에 중요한 함의를 지닌 남극의 변화, 그리고 기후변화가 남극의 생물다양성에 미칠 영향에 중점을 둔다.

연구 권고 1 남극의 미래, 그리고 남극이 지구시스템에 미칠 영향을 둘러싼 불확실성을 줄이고, 그에 상응하는 관리 조치를 발굴하는 데 필요한 연구 지원을 확대해야 한다. 불확실성을 줄이고 각종 완화·적응 조치의 예상 영향을 파악하기 위해서는 통합적이고 국제적이며 특정 대상을 중심으로 한 장기적인 모니터링 프로그램이 매우 중요하다.

연구 권고 2 남극 빙상의 현재 및 향후 거동에 관한 불확실성을 줄여야 한다. 빙상 기반부의 수문 및 기타 조건, 그리고 빙봉 공동, 연안 지역, 대륙붕의 온도 및 깊이 측정 등을 위한 현행 관측 네트워크는, 앞으로의 변화를 온전히 예상하고 향후 수십년에 걸친 빙봉 붕괴, 빙상 질량 손실을 파악하기에는 미흡한 수준이다.

이 문제에 대한 국제 협력이 시급하게 필요하다. 직접 접근, 해양·공중 로봇, 쇄빙선, 항공기 및 위성 원격 탐지 등의 여러 수단을 통해 주요 (미탐사) 빙봉과 상류 빙하를 탐사함으로써 남극 주변부 빙상의 삭마 현황, 과거, 현재, 미래의 변화 양상, 그리고 그 변화가 남극의 얼음 질량 손실과 해수면 상승에 미칠 영향을 파악하기 위한 대형 탐사가 필요하다.

연구 권고 3 대기 순환이 남극 주변의 해류, 대륙붕, 빙봉 공동 및 빙하에 대한 해양열 이송(advection)에 미치는 영향, 그리고 용융수 환류(feedback)의 영향을 파악해야 한다.

연구 권고 4 남극 빙상이 향후 해수면 상승에 기여하는 바를 판단하고, 기여의 속도와 규모에 관한 전망을 둘러싼 불확실성을 줄이며, 그 영향 및 위험을 각 이해관계자 및 이용자에게 효과적으로 전달해야 한다.

연구 권고 5 남극 기후체계의 1년~10년 단위 추세를 과정에 기반해 구체적으로 설명하고 파악해야 한다. 기후변화와 남반구 고위도 지역의 변동성이 열대 해양 및 몬순 지역 등 저위도 지역과 어떠한 관계를 지니며, 오존홀의 변화를 비롯한 여러 인간유래 영향에 어떻게 반응할 것인지 파악하는 것은 기후 전망 능력을 개선하고 이상기후 현상에 대한 예측력을 강화하는 데 매우 중요하다.

연구 권고 6 남극 저층수(Antarctic Bottom Water)의 속성과 수량이 변화하는 이유, 그리고 그 변화가 전 세계 해양 순환과 기후에 미치는 영향을 규명해야 한다.

연구 권고 7 남빙양에서 가장 취약한 생물종, 생태계, 먹이사슬이 무엇인지, 그 변화의 가능성은 어느 정도인지, 기후변화 및 외래종 등과의 상호작용의 결과 어떠한 생물이 멸종 가능성이 가장 높은지, 그 시기는 언제인지 파악해야 한다.

연구 권고 8 해양 생물 자원 채취의 증가가 기후변화의 영향이라는 맥락에서 어획되는 생물종과 그에 관련되거나 의존하는 생물종, 그리고 남빙양 생화학 주기에 미칠 영향을 규명해야 한다.

연구 권고 9 남빙양에서 가장 취약한 육지 생태계와 먹이사슬이 무엇인지, 그 변화의 가능성은 어느 정도인지, 기후변화 및 외래종 등과의 상호작용의 결과 어떠한 생물의 감소 가능성이 가장 높은지, 그 시기는 언제인지 파악해야 한다.

