

POLES & GLOBE

극지와 세계

2021 OCTOBER
VOL. 05

서쪽만 따뜻해지고 있는 남극 대륙,
남극 기후 변화를 이해하는 새로운 관점과 향후 전망

전상윤 극지연구소 대기연구본부

수중 음향, 소리로 북극해 환경 변화를 추적한다

나형술 극지연구소 해양연구본부

인익스프레스블섬 남극특별보호구역 지정의 의미

정호성, 김지희 극지연구소 생명과학연구본부



ISSN 2733-7529 (Print)
ISSN 2733-7537 (Online)

3p 전상윤 극지연구소 대기연구본부

서쪽만 따뜻해지고 있는 남극 대륙, 남극 기후 변화를 이해하는 새로운 관점과 향후 전망

급격한 전지구적 온도 상승이 시작된 20세기 후반부터 현재까지 수십년간 서남극 빙상 지역과 세종과학기지가 위치한 남극 반도 지역 전체에서는 온난화가 명백히 관찰되고 있는 데 비해, 동남극 지역에는 뚜렷한 온난화가 관찰되지 않고 있다. 그러나 남극 지역의 기후 변화가 왜 이렇게 지역적에 따라 다르게 나타는지에 대해서는 풀리지 않는 의문이 있었다. 최근 발견된 남극 지표 기온의 변동 특성들은 남극 지역에 따라 다르게 나타나는 기후 변화 양상에 대한 새로운 관점을 제공함과 동시에, 온실기체 배출이 지속되는 미래에도 남극 대륙 전체에 급격한 온난화가 발생할 가능성을 보여주고 있다. 특히 지금까지 뚜렷한 온난화가 발생하지 않았던 동남극 지역의 급격한 온난화의 가능성과 그에 따른 지구시스템에 미칠 영향은, 지금까지 수행해온 남극의 기후 환경 모니터링과 남극 기후 연구에서의 부족함을 보완하고 강화시킬 필요가 있음을 시사하고 있다.

7p 나형술 극지연구소 해양연구본부

수중 음향, 소리로 북극해 환경 변화를 추적한다

우리 인간이 바다와 상호작용을 할 수 있게 하는 중요한 수단 가운데 하나가 소리이다. 해양생태계의 건강 상태와 생물 다양성, 해양환경 및 기후 변화, 그리고 해양 위험과 안전을 파악하기 위해 소리를 수동적으로 듣거나 바닷속에서 소리를 생성시키기도 한다. 최근 북극은 바다얼음의 해빙(解氷)이 가속화됨에 따라 급격한 자연 환경 변화와 인간 활동이 늘어나게 되면서 신(新) 북극 시대를 맞고 있다. 급변하는 북극 환경을 지속적으로 파악하고 평가하기 위해서는 대기/해양/수산 자원 그리고 인간 활동을 통합적으로 모니터링 할 수 있는 기술이 필요하다. 수중음향 시스템은 소리가 만들어내는 파동(음파)의 변화를 측정는 장치로 급변하는 북극의 광 대역 환경 변화를 파악하기 위한 장기간 원격 관측을 가능케 한다. 특히 바다얼음으로 인해 연구선 접근이 어려운 지역과 시기에 수중 무인 장비들의 내비게이션, 데이터 전송, 그리고 통신 서비스 운용은 극지에서 더욱 유용하게 활용될 수 있다. 수중 음향 시스템 활용으로 해양에서 관측된 다양한 소리 자료는 전 지구 해양관측 시스템(GOOS)의 필수 해양 변수가 되고 있다. 수중 음향 시스템의 활용은 북극권에서 주목 받는 과학 연구가 될 뿐만 아니라 북극해 모니터링을 위한 통합 음향 관측 네트워크를 구성함으로써 북극의 주요 현안인 북극 환경 변화 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

11p 정호성, 김지희 극지연구소 생명과학연구본부

인익스프레시블섬 남극특별보호구역 지정의 의미

올해 6월 비대면으로 개최된 제43차 남극조약협약당사국회의(ATCM: Antarctic Treaty Consultative Meeting)에서 한국, 중국, 이탈리아가 공동 제안하여 로스해 테라노바만 인익스프레시블섬에 신규 남극특별보호구역(ASP: Antarctic Specially Protected Area)이 지정되었다. 두 차례의 국제 공동 워크숍을 통해 여러 당사국들이 의견과 주장을 조율하여 모범적인 관리계획서를 마련한 것은 남극조약의 기본 정신을 실천했다는 점과 적극적인 참여로 해당 지역에서 조사 캠프 설치와 운영에 필요한 활동을 가능하도록 관리계획을 조정함으로써 우리의 연구 활동 제약요소를 해소하였다는 점에서 의의가 크다. 공동 제안 3국은 신규 ASP의 지정 목적 달성을 위해 긴밀한 협력과 주기적 모니터링 체계를 구축하고 5년마다 관리계획을 검토하여 개정관리계획을 마련해야 한다. ASP의 지정과 관리는 협의당사국으로서 남극사회에 존재감을 드러내고, 관할 구역을 넓히는 도구로 활용될 수 있다. 우리나라의 활동 지역 내에서 보호가치가 높은 구역을 선별하여 추가 신규 ASP를 제안함으로써 후발주자로 로스해에 진입한 우리나라의 구역 기반 연구 주도권 확보와 관할 구역 확대에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

서쪽만 따뜻해지고 있는 남극 대륙, 남극 기후 변화를 이해하는 새로운 관점과 향후 전망

전상윤

극지연구소 대기연구본부

급격한 전지구적 온도 상승이 시작된 20세기 후반부터 현재까지 수십년간 서남극 빙상 지역과 세종과학기지가 위치한 남극 반도 지역 전체에서는 뚜렷한 온난화가 명백히 관찰되고 있는 데 비해, 동남극 지역에는 뚜렷한 온난화가 관찰되지 않고 있다. 그러나 남극 지역의 기후 변화가 왜 이렇게 지역적에 따라 다르게 나타나는지에 대해서는 풀리지 않는 의문이 있었다. 최근 발견된 남극 지표 기온의 변동 특성들은 남극 지역에 따라 다르게 나타

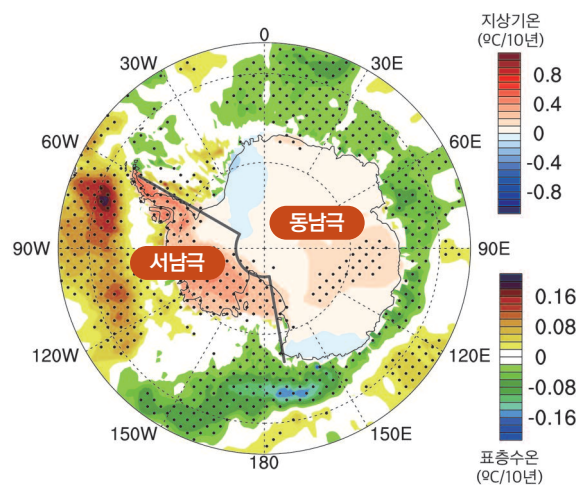
나는 기후 변화 양상에 대한 새로운 관점을 제공함과 동시에, 온실기체 배출이 지속되는 미래에 남극 대륙 전체에 급격한 온난화가 발생할 가능성을 보여주고 있다. 특히 지금까지 뚜렷한 온난화가 발생하지 않았던 동남극 지역의 급격한 온난화의 가능성과 지구시스템에 미칠 영향은, 지금까지 수행해온 남극의 기후 환경 모니터링과 남극 기후 연구에서의 부족함을 보완하고 강화시킬 필요가 있음을 시사하고 있다.

지구온난화와 극지역 온난화 증폭

인간 활동에 의한 온실기체 증가와 함께 전지구적인 온도 상승이 시작된 이래, 극지역에서는 유례없는 온난화 현상이 나타나고 있다. 최근 발간된 정부간 기후 변화 협의체 (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)의 제6차 기후 변화 평가보고서에서는 북극 지역의 온난화 현상이 가속화됨에 따라 북극해의 해빙이 모두 녹는 시기가 과거 예상보다 수십년 일찍 도래할 수 있음을 경고하고 있다. 이러한 전지구적인 온도 상승에 따른 극지역 표층의 강한 온난화 현상은, 전지구의 열에너지의 재분배 과정과 극지역 고유의 민감한 기후시스템에 의해 발생하는 것으로 밝혀지고 있다.

전지역에 걸쳐 표층 기온 상승 현상이 나타나고 있는 북극과 달리, 남극 지역의 경우 서남극 빙상 지역과 세종과학기지가 위치한 남극 반도 지역에서만 뚜렷한 온난화 경향이 관찰되어 왔다 [그림 1]. 동남극 지역에서는 남위 78.5도, 동경 106.8도에 위치한 러시아 Vostok 기지 주변에서만 약한 온난화 경향이 나타나고 있으며, 동남극 지역에 인접한 해양에서는 오히려 표층 수온이 차가워지는 현상을 보이고 있다. 남극 지역 해빙 역시 수십년 이내 완전히 녹을 것이 우려되는 북극 지역 해빙과는 달

리 남극 지역 해빙은 뚜렷한 감소 경향이 관찰되지 않고 있다. 남극 지역의 온난화 경향이 서남극 지역에서만 뚜렷하게 나타나는 것은 2000년대 초반부터 인지되기 시작하여 지역적 온도 변화의 원인에 대한 여러 연구들이 진행되었으나, 비대칭적 온난화의 근본적 원인에 대해서는 여전히 풀리지 않는 의문으로 남아있었다.



[그림 1] 1958년부터 2012년까지의 남극 지역 지표 기온과 표층 수온의 변화양상

남극 대륙의 지형적, 지리적 특성에 따른 온난화 특성과 기존 연구의 한계

남극 대륙은 대부분 지역이 빙상으로 덮여 있으며, 남극 지역 빙상의 평균 두께는 약 2,100m에 달한다. 이러한 남극 지역의 두꺼운 빙상은 남극 대륙 지역으로의 열에너지 전달을 제한하여 남극 지역의 온난화가 북극 지역보다 약한 원인의 하나로 알려져 있다. 한편 남극 대륙의 빙상은 남극의 남쪽 로스해 지역에서 북쪽의 웨델해 지역으로 남북으로 가로지르는 남극 횡단 산맥 (Transantarctic Mountains)에 의해 서쪽의 낮은 서남극 빙상 지역과 동쪽의 높은 동남극 빙상 지역으로 구분된다. 서남극 지역의 낮은 빙상 고도는 주변 해양에서 데워진 공기를 쉽게 유입시켜 이 지역의 온난화가 더 강하게 나타나는 원인의 하나로 알려져 있다.

대륙과 해양으로 둘러싸인 북극과 달리 남극 대륙은 남빙양으로만 둘러싸여 있으며 특히 태평양 및 인도양은 남극 대륙의 동쪽과 서쪽 해안 모두와 직접 연결된다. 이러한 남극 지역의 지리적 특성에 따라, 적도 지역 해수면온도 변화 등에 따른 국지적 기압계 변화는 중/고위도 지역 기압계를 연쇄적으로 변화시키는 파동 형태로 남극 대륙에 전달된다. 이는 적도 지역부터의 대기 파동이 주변 대륙에 의해 간섭받는 북극 지역과는 다른 남극 지역의 중요한 특성이다. 2000년대 이후 나타난 겨울철 서남극 지역의 강한 온난화 현상이 적도 서태평양 지역의 해수면온도 증가에 의한 남반구 지역의 대규모 기압 패턴의 변화와 연관되어 있음이 보고된 바 있으며, 최근에는 적도 인도양 지역의 하층 대기와 해수면온도가 수십일 주기로 변화하는 매든-줄리안 진동 (Madden-Julian Oscillation; MJO) 현상의 장기 특성 변화가 남반구 지역의 기압 패턴의 변화를 통해 여름철 동남극 지역의 한랭화에 영향을 미치고 있음이 밝혀졌다. 또한 최근 알려진 남극점 주변의 장기간의 온난화 현상 역시 남반구 지역의 기압 배치 변화를 통해 적도 태평양 지역의 해수면온도 변화와 연관돼 있음이 보고된 바 있다.

남극 지역의 기압과 남반구 중위도 지역의 기압의 세기가 주기적으로 뒤바뀌는 남극 진동 (Antarctic Oscillation, Southern Annular Mode; SAM) 역시 남극 지표 기온의 변화에 영향을 미치는 요소이다. 남극 지역에서는 대규모 저기압이, 주변 중위도 여러 지역에서는 고기압이 강화되는 남극 진동 양의 위상 시기에 남극 반도를 제외한 남극 대륙의 지표 기온은 낮아진다. 이러한 남극 진동의 위상 변화는 남극 지역과 남반구 중위도 지역의 대기 온도 차이에 영향을 받는데, 20세기에 발생했던 지

속적인 남극 성층권 오존 농도 감소는 여름철과 가을철 남극 진동이 양의 위상으로 변화하는 데에 기여하여 남극 대륙 전지역의 한랭화에 기여하였음이 보고된 바 있다.

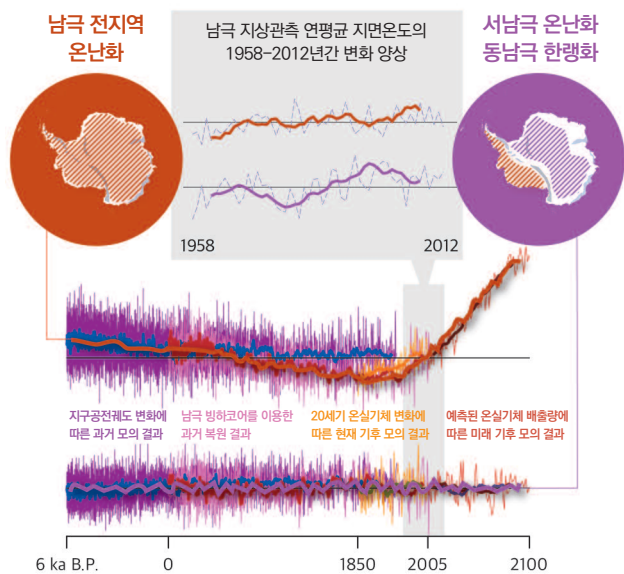
이렇듯 남극 대륙의 높은 빙상 고도, 적도 및 중위도와의 밀접한 상관성, 남극 진동 등 다양한 기여 요인에 따른 남극 지역의 복잡한 지표 기온 변화 양상은 남극 지역 기후 변화 메커니즘의 이해를 매우 어렵게 하고 있다. 특히 다양한 남극 지표 기온 변화 요인들은 각각 남극 일부 지역의 계절별 변화를 설명해 왔으나, 현재 서남극과 동남극 지역의 지표 기온이 장기적으로 서로 다르게 변화해온 원인을 설명하기에는 계절적, 공간적인 한계를 가지고 있다.

특히 남극 지표 기온이 장기간 비대칭적으로 변화해온 이유를 명확하게 밝히지 못했던 것은 남극 지역의 미래 기후 변화 예측 결과의 신뢰도를 저하시키는 원인의 하나로 작용하고 있다. 2013년 발간된 IPCC 5차 보고서에서 활용된 기후모형들은 20세기 후반부터 북극 전지역에서 발생한 온난화 현상과 해빙 감소를 충실히 재현한 것에 비하여, 서남극과 동남극 지역의 비대칭적 온난화 대신 남극 대륙 전 지역의 온난화를 모의하고 있다. 이러한 남극 지역의 기후모형 재현 결과와 관측 자료간의 온난화 양상의 불일치는 남극 기후 변화 전망의 신뢰도를 하락 시켜왔던 주요 요인의 하나였다. 이에 대하여 남극 지역의 해빙 변화, 성층권 대기 변동성, 오존 변화 등 다양한 연구를 통해 남극 기후 연구를 주도해온 미국 컬럼비아 대학의 Lorenzo Polvani 교수 연구팀은 2017년 발표한 논문에서 우리가 인지하지 못하고 있는 남극 지역의 자연적 변동 특성이 모형과 관측에서 다르게 나타나기 때문에 이러한 불일치가 발생하였을 수 있음을 지적하였다.

남극 고유의 기후 변동성으로 살펴본 남극 온난화

극지연구소에서는 “남극 기후 변화의 지역적 차이 원인 규명”과 “남극 기후 환경 변화 이해와 전지구 영향평가” 과제의 수행을 통해, 남극 지역의 변동성에 기반한 남극 기후의 장기변화 특성을 이해할 수 있는 새로운 관점을 제시하였다. 여러 남극 기지에서 관측된 장기간의 지표 기온 자료에서 복원된 남극 지표 기온 자료와 수십 종의 기후모형의 남극 지표 기온 재현 결과를 비교 분석하여, 관측과 모형 실험의 결과에서 동일한 두 변동성이 남극 지표 기온의 변화에 크게 관여하는 것으로 나타났다. 남극 대륙 전체의 지표 기온이 동일하게 증가하는 첫 번째 변동성이 남극 지표 기온 변화를 가장 크게 주도하며, 그 다음으로 서남극/남극반도가 온난해지고 동남극 지역이 한랭해

지는 두 번째 변동성이 남극 지표 기온 변화에 크게 기여한다 [그림 2]. 최근 관측 자료에서는 이러한 두 가지 변동성이 모두 강화되고 있으며, 두 변동성이 모두 강해지는 경우 온난해지는 서남극 지역과 남극반도 지역에는 강한 온난화가 나타나지만 두 변동성의 온도 변화가 서로 상쇄되는 동남극 지역에는 뚜렷한 온도 변화가 나타나지 않았다. 한편 기후모형 재현 결과에서는 첫 번째 변동성은 관측과 동일하게 강화되지만, 두 번째 변동성은 관측과 달리 변화 양상이 명확하게 나타나지 않는다. 이러한 관측과 기후모형에서 나타난 두 번째 변동성의 특성 차이는 동남극-서남극 지역간 온난화 경향의 차이가 발생하는 이유를 명확하게 설명하고 있다. 동남극과 서남극의 지형을 변경하여 두 지역의 고도 차이를 조절한 기후모형 실험결과는 서남극과 동남극간의 비대칭적 변동성이 두 지역의 지형에 따라 형성되는 대기와 해양의 흐름에 의해 유지될 수 있음을 알려준다. 특히 이 결과는 두 번째 변동성이 남극 고유의 환경에 의해 형성, 유지되는 자연적인 변동성일 수 있음을 시사하고 있다.



[그림 2] 다양한 자료에서 일관적으로 나타나는 남극 지표 기온의 변동 특성

수천년전부터 21세기 후반까지의 남극 지표 기온 변화 특성

이러한 남극 대륙 지표 기온의 두 변동성은 과거 6천년전부터 현재까지의 수치 실험 자료, 2천년 전부터 현재까지의 빙하코어에서 복원된 지표 기온 자료, 최근 55년간의 남극 지표 기온 자료, 기후모형의 20세기 재현 실험과 현재의 전세계 온실기체 배출량이 유지되는 것을 가정한 21세기 미래 예측 실험 자료에

서도 공통적으로 남극 지표 기온 변화를 주도하는 가장 중요한 변동 특성으로 나타난다[그림 2]. 두 변동성의 전지구적 기후 변화 조건에 따른 변화 특성은 약 6천년전 홀로세 중기부터 2100년 가까운 미래까지 다양한 자료들에서 일관되게 나타나는데, 첫 번째 변동성은 홀로세 중기부터 현재까지 점진적으로 감소하다가 전지구 온난화가 시작된 20세기부터 커지기 시작하여 전지구 온난화가 강화되는 21세기 예측 결과에서 급격하게 증가한다. 이러한 하키스틱 형태의 변화 양상은 여러 연구에서 보고된 홀로세 중기부터 온실기체 배출량을 유지한 미래까지의 전지구 평균 표층 기온의 변화와 동일하다. 이와 대조적으로 두 번째 변동성은 과거부터 미래까지 특별한 변화 양상이 나타나지 않으며, 수년부터 수십년 주기의 강화와 약화가 반복해서 나타나고 있다. 즉 온실기체, 지구공전궤도의 변화 등 전지구적 온도 변화를 일으키는 요인은 첫 번째 변동성에 반영되어 전체 남극 대륙의 지표 기온을 변화시키고, 서남극과 동남극 지역의 온도가 수년에서 수십년 주기로 서로 반대로 변화하는 남극 고유의 변동성은 이러한 외부의 강제요인에 영향을 받지 않고 남극 지표 기온 변화에 반영된다.

미래 동남극의 급격한 온난화 가능성

이러한 과거, 현재, 미래를 관통하는 여러 자료에서 일관되게 나타나는 남극 대륙의 지표 기온 변동 특성은 남극 지역의 미래 기후 변화 전망을 주의 깊게 살펴야 함을 시사하고 있다. 현 연구 결과에서 나타난 두 변동성의 특성을 고려할 때, 현재 온난화가 발생하지 않고 있는 동남극 지역에서도 자연적 변동성의 변화에 따라 급격한 온난화가 발생할 수 있으며 이는 최근 보고된 남극점 주변 지역의 온도가 최근 30년간 지속적으로 상승해 온 것에서도 그 가능성이 확인된다. 특히 중요한 사실은 자연적인 요인에 의해 유지되는 두 번째 변동성의 남극 온도 변화에의 기여도는 온실기체 등의 전지구적 온도 변화 요인에 영향을 받지 않는 점이다. 즉 온실기체의 배출량이 증가하여 전지구적 온난화가 강해지는 경우에도 두 번째 변동성의 기여도는 현재의 수준을 유지하지만 첫 번째 변동성의 남극 지표 기온 변화에의 기여도는 온실기체 배출량에 비례하여 더욱 커지게 된다. 이러한 결과는 현재 온실기체 배출량이 유지되어 전지구적인 온난화가 지속된다면, 현재는 융빙이 거의 보고되지 않고 있는 동남극 지역의 빙상에도 급격한 변화가 발생할 수 있음을 암시한다. 특히 동남극 지역에 존재하는 거대한 빙상은 융빙시 많은 양의 담수를 주변 해양으로 유입시켜 남극 및 남반구의 해양 환경을 변화시키고 결국 전지구의 평균 해수면을 상승시킬 것이다.

남극 기후 연구의 도약을 위하여

이러한 최근 남극 기후에 대한 연구 성과는 지금까지 수행해온 남극의 기후 환경 모니터링과 남극 기후 및 기후 변화에 대한 지속적인 관심과 이해를 강화시킬 필요가 있음을 시사하고 있다. 남극 지표 기온 변동성의 발견에는 미국 오하이오 주립대 Byrd 극지기후연구센터에서 무상으로 배포하고 있는 지표 기온 복원 자료가 크게 큰 도움을 주었다. 이 지표 기온 복원에는 여러 남극 기지에서 수십년간 관측된 지표 기온 자료와 다양한 대기 재분석자료가 활용되었는데, 특히 이전까지 공개되지 않았던 서남극 남위 80도, 서경 119.5도에 위치한 Byrd 관측소의 장기 관측 자료가 포함되었고 이에 따라 기존에 확인되지 않았던 서남극 지역 변동 특성을 발견 할 수 있었다. 이는 현장 관측이 제한적인 남극 지역의 기후 변화 연구에서, 남극 지역의 장기 현장 관측 자

료 생산과 자료 공유가 매우 중요함을 다시금 상기시키고 있다. 또한 앞서 언급한 지표 기온 복원 연구와 본 연구 등을 포함한 최근 여러 남극 기후 연구에서, 대기와 해양의 다양한 현장관측자료, 고품질의 위성관측자료, 최신의 수치모형을 활용하여 생산된 대기와 해양의 과거 재분석자료의 활용 가치가 점점 높아지고 있다. 다양한 관측자료와 고품질의 수치모형을 통해 생산된 재분석자료들은, 이전에 살펴볼 수 없었던 남극 지역의 대기와 해양의 여러 특성들을 살펴볼 수 있는 토대를 제공하고 있다. 하지만 다른 지역에 비하여 여전히 낮은 수준에 머물러 있는 남극 지역의 수치 모형 성능은 남극 지역에 우리가 미처 확인하지 못한 기후 특성들이 존재하고 있음을 시사한다. 이 역시 우리가 남극 기후 연구에서 다양한 현장 관측자료의 확보와 수치모형의 개선을 지속적으로 수행해야 하는 이유를 제시하고 있다.

수중 음향, 소리로 북극해 환경 변화를 추적한다

나형술

극지연구소 해양연구본부

우리 인간이 바다와 상호작용을 할 수 있게 하는 중요한 수단 가운데 하나가 소리이다. 해양생태계의 건강 상태와 생물 다양성, 해양환경 및 기후 변화, 그리고 해양 위험과 안전을 파악하기 위해 소리를 수동적으로 듣거나 바닷속에서 소리를 생성시키기도 한다. 최근 북극은 바다얼음의 해빙(解氷)이 가속화됨에 따라 급격한 자연 환경 변화와 인간 활동이 늘어나게 되면서 신(新) 북극 시대를 맞고 있다. 급변하는 북극 환경을 지속적으로 파악하고 평가하기 위해서는 대기/해양/수산자원 그리고 인간 활동을 통합적으로 모니터링 할 수 있는 기술이 필요하다. 수중음향 시스템은 소리가 만들어내는 파동(음파)의 변화를 측정하는 장치로 급변하는 북

극의 광 대역 환경 변화를 파악하기 위한 장기간 원격 관측을 가능케 한다. 특히 바다얼음으로 인해 연구선 접근이 어려운 지역과 시기에 수중 무인 장비들의 내비게이션, 데이터 전송, 그리고 통신 서비스 운용은 극지에서 더욱 유용하게 활용될 수 있다. 수중 음향 시스템 활용으로 해양에서 관측된 다양한 소리 자료는 전 지구 해양관측 시스템(GOOS)의 필수 해양 변수가 되고 있다. 수중 음향 시스템의 활용은 북극권에서 주목 받는 과학 연구가 될 뿐만 아니라 북극해 모니터링을 위한 통합 음향 관측 네트워크를 구성함으로써 북극의 주요 현안인 북극 환경 변화 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

북극해의 다양한 소리

1956년 아카데미 다큐멘터리 상 수상작인 침묵의 세계(The Silent World)는 바다속 세계를 조용한 바다로 묘사하였다. 하지만 60여년이 지난 지금 바닷속은 결코 조용한 세상이 아니다. 북극은 지구상에서 온난화에 따른 환경변화가 가장 급격히 일어나고 있는 지역이다. 외관상 북극의 풍경(landscape)은 온통 눈으로 뒤덮힌 하얀 바다얼음과 푸른 바다로 단순해 보이지만, 소리의 풍경(soundscape)은 그리 단순하지 않다. 바다얼음의 해빙 과정에서 발생하는 소리, 바람에 의해서 발생하는 파도 소리, 해양 생물 소리, 선박의 엔진 소리, 그리고 음파 탐지기 소리 등 다양한 소리들이 존재한다. 이들 다양한 소리의 풍경은 소리를 발생시키는 음원에 따라서 크게 자연 발생적 소리(geophony, 예: 바람, 강우, 해빙, 파도), 생물의 소리(bio-phony, 예: 부레를 가진 어류, 해양포유류), 그리고 인간 활동에 의한 소리(anthrophony, 예: 선박, 해양 조사, 자원 개발)로 구분되며 시공간에 따라 다양하게 발생한다.

소리 연구의 중요성

소리 풍경은 변화는 북극의 환경 변화와 해양 생태계의 다양성

및 건강 상태의 변화를 대변해 준다. 특히 소리에 의존해 생활하는 해양 생물에게 소리 풍경은 생존을 위한 필수적인 삶의 요소이다. 북극은 세계 평균의 비해 두 배 이상 빠른 속도로 온난화가 진행되고 있는 지역이다. 북극 온난화와 함께 바다얼음의 면적이 빠르게 감소하면서 바람과 파도에 등에 의해서 발생하는 의한 자연의 소리와 인간 활동에 의한 소리가 급증하는 추세를 보이고 있다. 산업 혁명 이전의 소리 풍경은 자연 발생적 소리와 생물의 소리가 대부분인 데 비해 인간 활동에 의한 소리는 크지 않았다(그림1). 즉, 산업 혁명 이후 현재는 바다에서의 산업 활동이 크게 증가하면서 인간 활동에 의한 크게 증가한 반면에 자연 발생적 소리와 생물의 소리는 상대적으로 급감했다. 연안 개발을 위한 항타 작업(pile driving), 해저 자원(석유, 가스) 파악을 위한 탄성파 탐사, 해저 지형 조사와 어류 자원량 탐사를 위한 능동형 음향 시스템 운용 그리고 선박 교통량 증가 등 다양한 인간 활동이 증가하면서 소리 풍경을 변화시키고 있다. 인간 활동에 의한 소리의 증가는 바닷속 해양 생물들(무척추동물, 어류, 해양 조류, 해양 포유류)에게는 소음(또는 소음 공해)으로 작용하여 해양 생물의 행동, 생리적 특성, 그리고 생식 활동, 그리고 다양성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 특히 강한

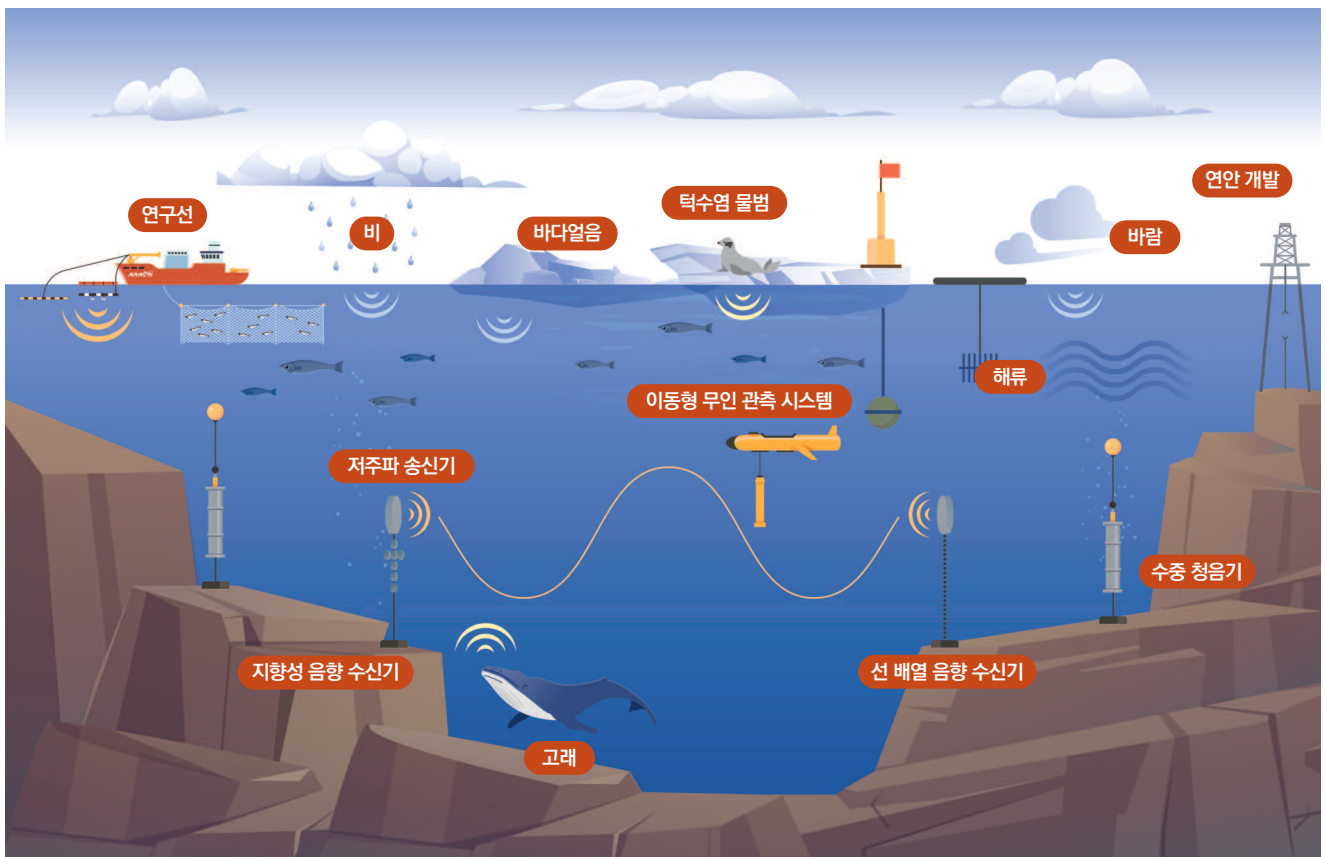
소리 풍경, 해양 환경의 지표 인자

소리 풍경은 북극에서 발생되고 있는 다양한 환경의 변화를 인간 활동, 자연 환경, 그리고 생물 환경의 소리로 구분하여 평가할 수 있다. 소리의 크기 변화를 측정함으로써 북극해 인간 활동의 추세를 객관적으로 평가 및 분류가 가능하기 때문에 인간 활동의 변화가 자연 환경과 생물 환경에 어떤 영향을 미치는지 직관적으로 평가할 수 있다. 북극해 소리 풍경의 장기적인 관측은 북극 환경의 중장기 변화를 파악하고 북극 해양 생태계의 보존과 지속적인 관리에 필요한 기반 정보를 제공해 줄 수 있다. 따라서 소리 풍경은 인간 활동에 의해 발생될 수 있는 북극의 환경 변화를 평가하기 위한 주요 지표 인자로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

수중 음향 관측 네트워크, 북극해 환경 변화 추적

수중 음향은 해양에서 발생하는 모든 소리의 전파와 거동을 이해하기 위한 연구 분야로서 해양학, 생물학, 지질학, 지구물리학, 대기과학 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 수중음향 시스템은 능동 시스템(음파 방사 후 목표물에 부딪혀 되돌아오는 신호를 수신하는 방법)과 수동 시스템(목표물에서 발생하는 음

파를 수신하는 방법)으로 구분하여 연구선, 고정형 무인 관측 시스템, 그리고 이동형 무인 관측 시스템에서 운용할 수 있다. 연구선 기반 시스템은 바다얼음이 없는 지역의 수중 소음, 수층의 유속 구조, 수산자원의 생물량, 그리고 해저면 특성 등에 대한 광 대역 공간 정보를 단 시간에 파악할 수 있다. 고정형 무인 관측 시스템은 핵심 연구 지역에 설치하여 시간에 따른 음향 정보를 바다얼음의 존재 유무와 상관없이 장기간 연속 관측할 수 있으며 이동형 무인 관측 시스템은 연구선의 접근이 어려운 지역과 시기의 환경 변화를 시공간적으로 파악할 수 있다. 이러한 능·수동 음향 시스템과 다양한 관측 플랫폼을 함께 구성하면 북극의 대기(바람, 강우), 해양(해빙 두께, 해수면 상태와 파도), 해양 생물(해양 포유류 존재 유무, 동물플랑크톤과 어류 생물량), 인간 활동(선박 소음, 탄성파 탐사, 연안 개발) 모니터링을 위한 통합 관측이 가능해진다. 또한 수십~수천 km 떨어진 거리의 수직 단층별 음속과 수온 구조 변화를 연속적으로 관측함으로써 북극 온난화에 따른 수온 상승과 수괴 분포 변화의 장기 모니터링에 활용될 수 있다. 수중음향 기술을 이용한 통합 관측 네트워크는 북극의 주요 현안을 장기적으로 관측하고 추적하는데 활용될 수 있다[그림 3].



[그림 3] 북극 환경 관측을 위한 수중 음향 관측 네트워크 개념도

수중 사물인터넷, 4차 산업 혁명의 핵심 기술

4차 산업 혁명의 핵심 분야인 사물인터넷(IoT, Internet of Things)은 세상에 존재하는 모든 사물들에 센서와 통신 기능을 내장하여 인터넷으로 연결하는 기술로써 오늘날 우리 삶의 각종 산업에서 사용되고 있다. 사물인터넷 기술은 2020년 약 8조 9000억 달러의 대규모 시장을 형성하였으며 인터넷 연결이 가능한 사물은 약 800 억개까지 확대되었다. 반면 수중 사물인터넷(loUT, Internet of Underwater Things)은 아직 미개척 분야로서 최근 국내외에서 해양 탐사, 해양 자원 개발, 어류 양식, 수중 로봇, 환경 모니터링, 국방 산업 등의 다양한 분야에서 활용하기 위한 신산업으로 급부상하고 있다.

수중 사물인터넷은 해양에서 수중 물체와 연결하기 위해 개발된 새로운 통신 체계이다. 수중에서 운용되는 수중 센서와 기지국 그리고 무인 관측 장비들 간의 양방향 무선 통신과 데이터 송수신을 통해 다양한 해양 환경 변화를 실시간 감시하는 역할을 한다. 국내에서는 최근 수중의 해양 오염 물질을 실시간으로 탐지할 수 있는 수중 사물인터넷망을 개발하는데 성공한바 있다. 북극해는 바다얼음으로 인하여 전통적인 연구선 기반의 현

장 관측에 많은 제약이 있다. 북극해에서 수중 사물인터넷의 활용은 전통적인 기존 관측 방법의 한계를 극복하고 실시간 북극 환경 모니터링을 위한 새로운 개념의 관측 체계를 구축할 수 있다. 또한 북극 환경 변화를 파악하기 위한 관측을 뛰어넘어 북극 환경 감시를 위한 새로운 시도가 될 것으로 판단된다.

북극 온난화에 따른 환경 변화와 인간 활동의 증가는 북극만의 문제가 아닌 전 인류 공통의 관심사이다. 수중 음향 기술은 북극해에서 발생하는 다양한 소리 풍경을 측정하고 인간 활동, 자연 환경, 그리고 생물의 소리를 구분하여 그 변화 양상을 추적할 수 있다. 수중 음향 기술의 활용 연구는 국내에서는 그동안 수행되지 않았던 도전적이고 창의적인 연구 주제이다. 아울러 산·학·연 연구협력을 통해 수중 음향을 포함한 해양 환경, 수중 통신, 센서 네트워크, 빅데이터 분석 등 다양한 분야의 핵심원천기술을 확보할 수 있는 토대를 마련할 수 있다. 북극 과학 연구를 위한 국제 공동 협력체계를 촉진 시킬 계기가 될 수 있어 다가올 신(新) 북극 시대를 위한 과학적 기여에 선제적으로 대응 하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

인익스프레시블섬 남극특별보호구역 지정의 의미

정호성, 김지희
극지연구소 생명과학연구본부

올해 6월 비대면으로 개최된 제43차 남극조약협의당사국회의(ATCM: Antarctic Treaty Consultative Meeting)에서 한국, 중국, 이탈리아가 공동 제안하여 로스해 테라노바만 인익스프레시블섬에 신규 남극특별보호구역(ASPА: Antarctic Specially Protected Area)이 지정되었다. 두 차례의 국제 공동 워크숍을 통해 여러 당사국들이 의견과 주장을 조율하여 모범적인 관리계획서를 마련한 것은 남극조약의 기본 정신을 실천했다는 점과 적극적인 참여로 해당 지역에서 조사 캠프 설치와 운영에 필요한 활동을 가능하도록 관리계획을 조정함으로써 우리의 연구 활동 제약

요소를 해소하였다는 점에서 의미가 크다. 공동 제안 3국은 신규 ASPA의 지정 목적 달성을 위해 긴밀한 협력과 주기적 모니터링 체계를 구축하고 5년마다 관리계획을 검토하여 개정관리계획을 마련해야 한다. ASPA의 지정과 관리는 협의당사국으로서 남극 사회에 존재감을 드러내고, 관할구역을 넓히는 도구로 활용될 수 있다. 우리나라의 활동 지역 내에서 보호가치가 높은 구역을 선별하여 추가 신규 ASPA를 제안함으로써 후발주자로 로스해에 진입한 우리나라의 구역 기반 연구 주도권 확보와 관할 구역 확대에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

특별보존구역 내의 보호구역들

남극조약에 대한 환경보호의정서(이하, 의정서) 서문에 '남극 대륙이 남극조약 하에서 특별보존구역(Special Conservation Area)으로 지정되었음을 상기하며'라는 문구가 있다. 여기서 남극대륙은 남극조약에서 정한 남위 60도 이남의 도서와 해양을 포함한다. 남극지역은 이미 특별보존구역으로 지정되어 있어 이곳의 환경과 여기에 의존하는 생태계를 보호하여야 한다. 의정서 제5 부속서는 남극특별보호구역과 남극특별관리구역(ASMA: Antarctic Specially Managed Areas), 사적지 및 기념물(HSM: Historic Sites and Monuments)의 지정과 보호/관리에 관한 조항을 담고 있다. ASPA는 뛰어난 환경, 과학적, 역사적, 구역 내 활동을 하고자 할 때는 사전에 당국의 허가를 받아야 한다. ASMA는 활동이 진행되고 있거나 계획된 상대적으로 넓은 구역으로 당사국들의 활동 중복으로 인한 환경영향가중과 당사국들간 충돌을 피하기 위하여 활동의 조정과 계획 수립을 돕기 위하여 지정되며, 국내법의 경우 활동 전 당국의 허가가 요구된다. HSM은 역사적 가치가 인정된 사적지와 기념물을 목록으로 관리하며, 출입 허가서는 요구되지 않는다.

ASPА와 ASMA는 각각의 관리계획에 따라 보호와 관리가 이루어진다. 관리계획(Management Plan)은 ASPA 또는 ASMA 지정을 제안하는 당사국(들)이 초안을 작성하며, 환경보호위원회(CEP, Committee for Environmental Protection)의 심의를 거쳐 ATCM의 승인으로 조치(Measure)로서 공표되며, 법적 구속력을 갖게 된다.

ASPА가 남극의 환경과 생태계 보존을 위해 갖는 의미

남극특별보호구역(ASPА)은 2020년까지 29개 협의당사국 중 16개국 이 72개 구역을 단독 또는 공동으로 지정 제안하여 관리하고 있으며, 2021년에 3개 구역이 추가되었다. 75개의 ASPA는 다양한 목적을 달성하기 위하여 지정되었지만, 특히 인간의 활동을 제한하여 향후 인간 활동으로 인해 영향을 받은 지역과 비교하기 위한 목적으로 지정 되었다. 또한 많은 ASPA가 빙하와 수생태계를 포함한 육상과 해양생태계를 대표하는 주요 지역과 특정 생물종의 서식지로 유일하게 알려진 구역 및 남극 고유 조류 또는 포유류의 주요 번식지를 보호할 목적으로 지정된 만큼 남극 고유 생태계와 환경 보호에 대한 역할이 크다.

남극 생태계 보존을 위해서는 ASPA 지정 시 단절된 각각의 구역을 설정하기보다는 생태계 관점에서 ASPA 네트워크를 구축하여 관리하는 것이 중요하다(Coetzee et al. 2017, Hughes & Grant 2018).

신규 ASPA 지정 과정과 그 의미

2021년 6월 온라인 비대면으로 개최된 제43차 ATCM에서 인익스프레스블섬에 신규 ASPA (Inexpressible Island and Seaview Bay)가 지정되었다. 이는 장보고기지 건설과 더불어 지난 7년간의 사전 조사와 긴밀한 국제협력을 통해 거둔 성과이기에 의미가 크다. 남극지역 육상의 생물다양성이 집중된 육상 노출지의 1.6~3.4%만이 ASPA로 지정되어 관리되고 있을 뿐으로 남극 생태계 보존을 위해서는 육상생태계 전반을 대표할 수 있는 더 넓은 면적의 ASPA 지정이 필요하며, ATCM과 CEP는 ASPA 지정을 위한 협의당사국들의 노력과 공조를 촉구하고 있다(Hughes and Grant 2018). 자국의 활동 구역 내에서 보호가치를 식별하여 ASPA 지정을 제안하는 것은 협의당사국으로서의 역할이자 ATCM에서의 국가 위상 정립에 매우 중요한 활동이다.

우리나라는 2014년 로스해 테라노바만에 장보고기지를 건설한 이후 주변에서 보호가치가 큰 지역들을 조사해왔다. 중간 분석결과 보호가치가 더 뛰어난 후보지도 있었으나, 인익스프레스블섬에 중국이 상주기지 건설계획을 발표하면서 우선 순위에서 우리나라가 밀리게 되었다. 당시 중국은 기지건설을 위해 제출한 포괄적 환경영향평가서(CEE) 초안에 이 섬의 아델리펭귄 군서지를 ASPA로 지정하는 데 관심이 있음을 밝힌 바 있다. 중국이 독자적으로 ASPA를 제안할 경우 우리의 선행 연구성과의 빛이 바랄 뿐만 아니라, 타국 연구팀을 고려하지 않은 일방적인 관리계획 수립으로 우리 연구팀의 활동에 필요한 임시 캠프 설치와 헬리콥터 운항 등을 제한하는 조치들이 포함될 수 있어 향후 이곳에서 우리의 연구 활동에도 제약이 따를 수 있다.

2017/18년 현장 조사 당시, 기지건설 준비를 위해 때마침 이 섬을 방문한 중국 극지연구소장을 만나 오래전부터 이 지역을 조사해온 나라들이 있으니, ASPA 제안은 중국이 주도하되 이들과 공동으로 추진할 것을 제안하였다.

당초 당사국들은 중국의 기지건설 후보지가 아델리펭귄 군서지에 근접하여 있음을 지적한 바 있어, 중국은 기지 건설지를 섬의 남쪽으로 이동하는 내용을 담은 두 번째 포괄적 환경영향평가서(CEE) 초안을 제41차 ATCM (2018년)에 제출하면서, 동 회의를 ASPA 지정 제안 이전에 제출하는 사전평가 문서도 함

께 제출하기에 이른다. 중국은 환경보호위원회(CEP)에서 ASPA 사전평가 문서를 발표하면서 타 당사국들의 동참을 제안하였으며, 최종적으로 한국, 중국, 이탈리아 3국이 공동 제안하고 미국, 뉴질랜드, 독일 등은 논의 과정에 옵서버로 참여하기로 결정되었다.

이후 ASPA 관리 계획 작성을 위해 중국 샤먼과 이탈리아 로마에서 두 차례 국제 공동 워크숍이 개최되었다. 이 지역에서 실질적인 조사활동이 거의 없었던 중국은 크고 작은 주변의 담수호를 포함해 육상지역을 넓히자고 주장했으며, 육상보다는 해양생태계에 관심이 많은 이탈리아는 섬의 앞바다를 폭넓게 포함할 것을 주장하였다. 결과적으로 최근 이 지역에서 연구성과를 가장 많이 축적해온 우리나라가 나서서 조율하게 되었다. 정밀 항공촬영으로 획득한 GPS 기반 아델리펭귄 군서지 지도를 제시하고, 이를 중심으로 구역을 설정하되 펭귄들의 채식 활동을 위한 이동로로 해양 구역 일부를 포함하는 한편, 연구 가치가 큰 일부 호소를 포함할 것을 제안하여 합의를 이끌었다. 또한 우리 연구자들의 현장조사 활동에 제약이 될 수 있는 문구들을 조정하였다. 이렇게 마련된 관리계획서 초안은 2019년 제42차 ATCM (22차 CEP)에 제출되었으며, 올해 개최된 43차 ATCM에서 신규 ASPA로 지정 승인되었다. 협의당사국들은 여러 당사국들이 참여하여 짜임새 있는 관리계획서를 마련한 점을 모범사례로 언급하며 찬사를 아끼지 않았다.

그러나 ASPA 지정 승인은 끝이 아니라 시발점에 불과하다. 신규 ASPA는 한국, 중국, 이탈리아가 공동으로 관리하는 만큼 제안국별 역할 분담 및 긴밀한 협력을 통해 주기적으로 모니터링을 수행하고, 제5 부속서에 따라 5년마다 관리계획을 검토하고 '개정 관리계획'에 현황자료를 갱신하여 더 효율적인 관리방안을 도출하여야 한다.

로스해 주도국들과 로스해 보호구역들

남극에서의 영유권 주장은 남극조약이 체결되면서 동결된 상태다. 그러나 세계 각국은 협의당사국으로서 다각적인 방법으로 남극에 자국의 업적을 남기고자 한다. 조약에 명시된 타당사국의 시설과 선박 등에 대한 사찰활동이 그 좋은 예이다. 지구 환경보호와 보전이 세계적인 이슈로 대두되면서, ASPA 지정 또한 또 다른 각도에서 자국의 존재감을 드러내고, 관할구역을 넓히는 도구로 이용되는 측면이 있다.

로스해 지역에서 현재까지 지정된 보호 및 관리구역들을 살펴보면 ASPA 22곳, ASMA 1곳 등 총 23곳이 존재한다. 이를 제안국별로 구분해보면, 미국 11곳, 뉴질랜드 9곳, 이탈리아 3

곳, 대한민국과 중국 각 1곳 순이다.

이를 지역별로 살펴보면, 로스해 남쪽의 로스섬 인근에 상주 기지를 운영중인 미국과 뉴질랜드가 주변의 아델리펄귄, 황제펄귄 군서지를 비롯하여 역사적 유물, 지질학적 특성 등을 근거로 가장 많은 ASPA를 지정하였다. 테라노바만 일대에서는 이탈리아, 미국, 한국, 중국 등이 ASPA를 지정한 바 있다. 이보다 북쪽 지역에서는 미국이 아델리펄귄 군서지와 과거의 기지터를 근거로 Cape Hallett에, 뉴질랜드가 탐험시대의 사적을 근거로 Cape Adare에 ASPA를 설정하였을 뿐이다.



[그림 1] 로스해 주변 지역의 남극특별보호구역 지정 현황. 미국과 뉴질랜드 기지가 위치한 로스섬 일대의 보호구역들이 즐비하다. 장보고기지 인근에는 이번에 추가 지정된 인익스프레스블섬을 포함해 4곳의 보호구역이 있으나, 북쪽으로는 보호구역이 제한적이다.

향후 추진방향

우리나라가 당초 북빅토리아랜드 일대에서 보호가치가 가장 크다고 판단한 곳은 쿨만섬(Coulman Island) 일대이다. 이 지역 주변에는 아직 ASPA로 지정된 곳이 전무하다.



[그림 2] 쿨만섬 북서쪽 해빙 위에 형성되는 황제펄귄 군서지(갈색으로 보이는 부분은 로스해 최대 규모이다).

동남극 내륙으로부터 흘러내리는 빙하가 빙설을 형성하여 쿨만섬과 좁은 해협을 만나며 겨울내 안정적인 해빙대를 형성하는데, 이곳에서 황제펄귄들이 번식한다. 2017~2019년, 정밀 항공촬영을 통해 얻은 계수자료를 비교해보면, 쿨만섬 군서지의 새끼수는 16,571~24,464마리로서 케이프 워싱턴 군서지(12,472~16,677마리)에 비해 월등히 큰 규모이다. 최근 CEP에서 황제펄귄을 특별보호종으로 지정하자는 의견이 개진되고 있으며, 남극해양생물보존위원회(CCAMLR)에서는 주요 모니터링 지표종에 황제펄귄을 포함하자는 의견이 논의되고 있다. 이와 더불어, 쿨만섬의 동쪽 해안에는 크고 작은 4곳의 아델리펄귄 군서지(268~17,991동지)가 있다. 로스해에는 황제펄귄의 26%가 분포하는 것으로 알려져 있으나 황제펄귄을 대상으로 한 ASPA는 미국과 뉴질랜드 기지가 위치한 로스섬의 ASPA No. 124 Cape Crozier와 장보고기지 인근의 173의 Cape Washington이 전부다. 쿨만섬의 황제펄귄 개체군은 로스해 중간 지역에 위치할 뿐만 아니라 이 지역의 가장 큰 개체군으로 로스해 환경변화와 연관된 개체군 변동연구와 황제펄귄 보존 연구를 위해 보호가치가 큰 지역이다[그림 2].

이 지역의 지리적 접근성과 선행 연구자료들을 바탕으로 우리가 충분히 독자적으로 ASPA 지정을 제안할 수 있다고 판단된다. 로스해에 후발 진입한 우리나라로서는 장보고기지에 인접(헬리콥터로 사오십분 거리)한 이 지역에서 황제펄귄과 아델리펄귄 군서지를 비롯한 생물상과 기타 자연환경 연구를 주도해 나갈 수 있는 기반과 관찰구역을 추가로 확보하게 되는 것이다. 정책사업의 추진을 통한 본격적인 조사로 보호가치를 검증하

고, 이를 근거로 보호대상 및 지정 범위를 설정하는 것이 우선 과제다. 예를 들어, 황제펭귄 군서지를 중심으로 아델리펭귄 군서지(전부 또는 일부)도 포함시킬 것인지, 또는 쿨만섬의 지질학적 가치까지 포함시킬 것인지(직벽으로 이루어진 이 섬의 정상은 모두 얼음으로 뒤덮여 실제 등정은 어려움) 등이 고려 대상이다.

한편, 일부 남미 국가들에 의해 ASPA로 지정된 바 있는 남극 반도 인근의 몇몇 지역들은 제5 부속서에서 정한 주기적인 모니터링을 통한 관리계획 검토와 갱신이 제때에 이루어지지 않아 CEP의 논란거리로 대두되고 있다.

해양보호구역(MPA, Marine Protected Area)의 경우도 마찬가지이다. 우리나라는 비록 남극은 물론 전 세계 공해상에 설정된 가장 큰 해양보호구역인 로스해 MPA의 제안국으로 참여하지는 않았으나, 사전에 이러한 동향을 파악하여 가장 먼저 이 해역의 연구 및 모니터링 프로그램을 가동하였다. 여기서 도출

되는 연구자료들은 향후 CEP와 CCAMLR 등 남극 환경 관련 국제사회에서 우리의 목소리를 높일 수 있는 든든한 근거가 될 것이다.

앞에서도 언급했듯이 ASPA 지정을 위해서는 해당 지역에 대한 보호가치를 평가할 수 있는 과학적 자료가 필수적이며, 이를 위해서는 제안국의 과학적 역량과 연구 지원이 뒷받침되어야 한다. ASPA 지정은 제안국의 과학적 역량과 남극조약 체제 내에서의 위상을 대변한다 할 수 있다. 모든 보호구역(ASPA, ASMA, MPA)은 지정 목적 달성을 위해 지정과 더불어 지속적인 모니터링과 체계적 관리가 중요하기 때문에 제안국의 역량은 실질적인 남극 생태계 보존을 위해 더욱 중요한 요소라 하겠다. 우리나라가 로스해 북빅토리아랜드에서 신규 ASPA를 지정하고 관리한다는 것은 남극조약 체제에서 우리나라의 역할과 역량이 그 만큼 확장되고 있음을 의미한다.

[참고자료]

Coetzee B.W.T, Convey P. and Chown S.L. 2017. Expanding the Protected Area Network in Antarctica is Urgent and Readily Achievable. Conservation letters 10(6): 670-680.
 Hughes K.A. and Grant S.M. 2018. Current logistical capacity is sufficient to deliver the implementation and management of a representative Antarctic protected area system. Polar Research 37:



ISSN 2733-7529 (Print)
ISSN 2733-7537 (Online)



발행일 : 2021년 10월
발행처 : 극지연구소 정책개발실 Tel. 032-770-8425
주소 : 인천광역시 연수구 송도미래로 26, 극지연구소 (www.kopri.re.kr)

Copyright© 2014 KOPRI, All rights reserved.
Cover pages photo credit© KOPRI