

바렌츠-카라해 해빙감소에 대한 겨울철 유라시아 대기반응에 영향을 미치는 요소

이수봉¹, 김백민², 전상운¹

¹ 극지연구소 북극해빙예측사업단

² 부경대학교 환경대기과학과

1. Introduction

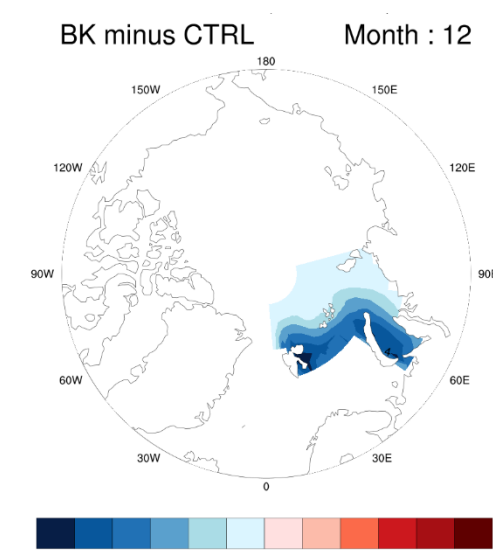
- 최근 북극의 해빙은 급격히 변화하고 있으며 이에 대한 반응으로 중위도에서도 전례 없는 기후가 나타나고 있다.
- 북극 해빙 농도와 중위도 기후의 상관관계에 대한 연구들이 최근 활발히 이루어지고 있으나 극지역 관측 자료 부족 문제와 기후모델의 제한적인 극지역 모사 능력이 연구에 걸림돌이 되고 있다.
- 본 연구는 북극에서 가장 변화가 크게 일어나는 지역 중 하나인 바렌츠-카라해의 해빙감소에 따른 겨울철 유라시아의 대기 반응을 모사하는데 영향을 주는 요소들을 살펴보았다.

2. Experimental design

Experiment	Sea ice concnetration	Sea surface temperature	Vavrus scheme
CTRL	Climatology	Climatology	Vavrus scheme on
BK	Climatology - 2SD	Climatology + 2SD (only SIC > 0.15 area)	
BK _{SSTC}		Climatology	
BK _{1STD}	Climatology - 1SD	Climatology + 1SD (only SIC > 0.15 area)	
CTRL _{VOFF}	Same with CTRL		Vavrus scheme off
BK _{VOFF}	Same with BK		

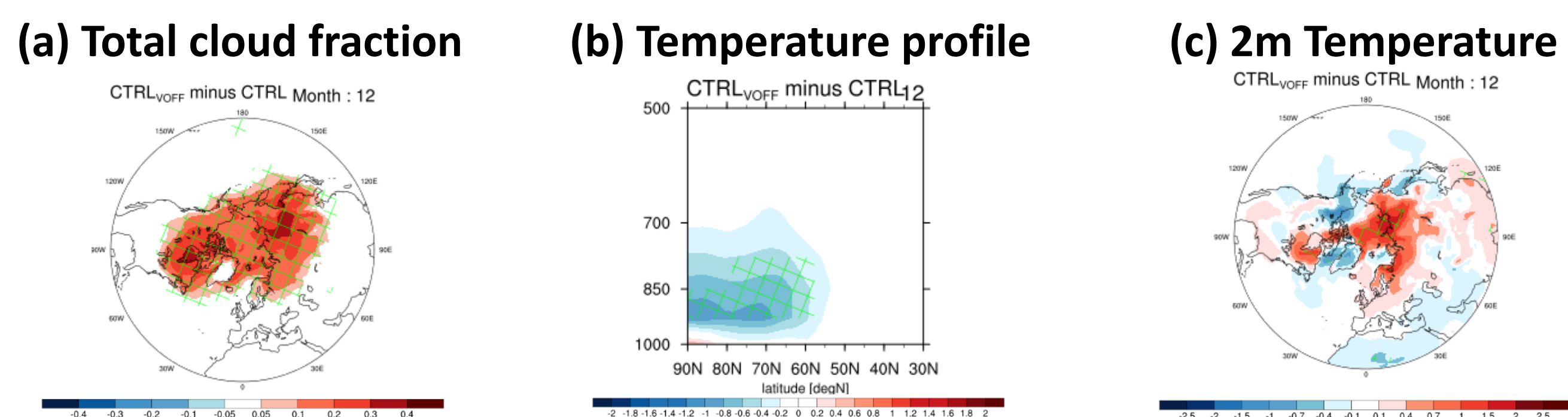
- CESM1.2.2 F2000 compset (CAM4 + prescribed OCN/ICE)
- Latitude 96 x Longitude 144 grid (2 degree x 2 degree grid)
- Sea ice concentration : OISST
- 100 year run with climatological forcing
- Climatology means average during 1979-2013 (from HadISST for SIC & SST)

Sea ice concentration forcing in case of Dec



ΔSIC and ΔSST : CTRL vs BK
 ΔSIC only : CTRL vs BK_{SSTC}
 $\Delta weak$ forcing : CTRL vs BK_{1STD}
 $\Delta Vavrus$: CTRL_{VOFF} vs BK_{VOFF}

Vavrus scheme?

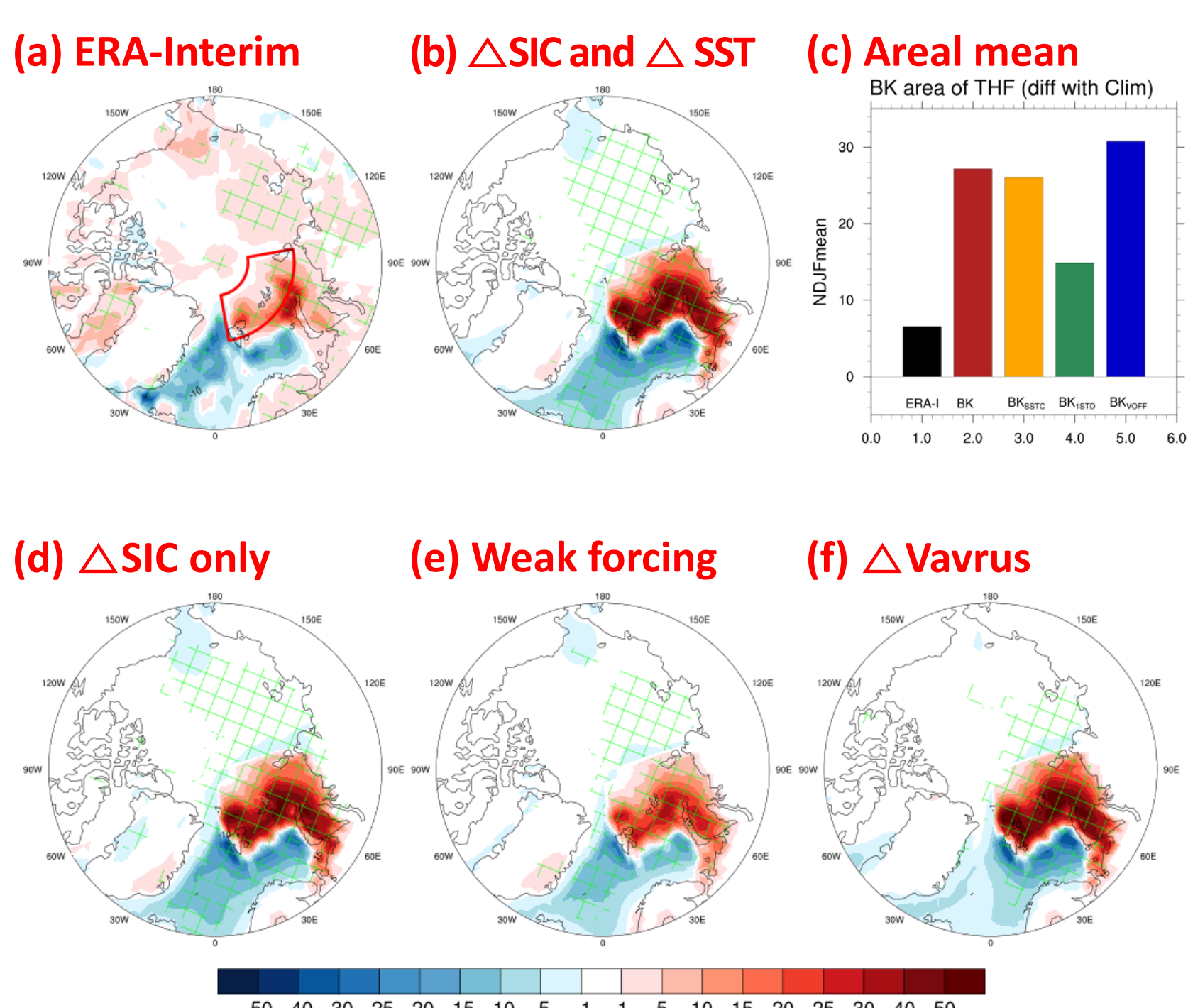


- Vavrus turn off : More Arctic clouds, cooler lower troposphere, warmer surface

◀그림 1. Vavrus scheme을 사용하지 않은 경우와 사용한 경우의 차이 (a) total cloud fraction, (b) vertical temperature profile, (c) 2m temperature.

3. Surface responses

Turbulent heat flux

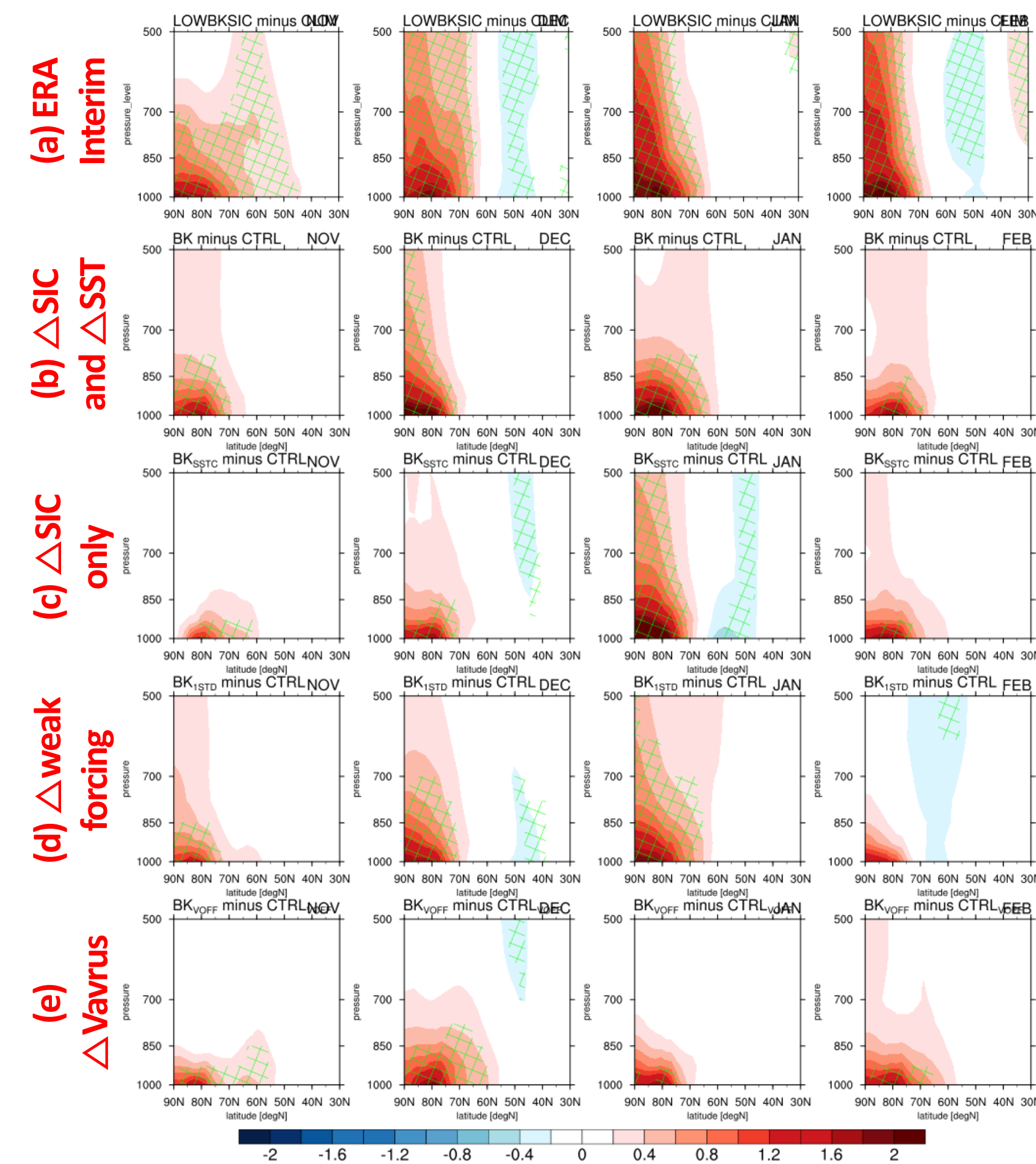


- 바렌츠-카라해의 해빙농도가 감소하는 강제력에 대한 직접적인 반응으로 turbulent heat flux가 증가한다. 모델에서는 관측에 비해 다소 강하게 turbulent heat flux가 모의된다.

◀그림 2. (a) 바렌츠-카라해 해빙이 적었던 해의 ERA-Interim 겨울철 (NDJF) 평균 turbulent heat flux 아노말리의 합성장 (b) BK와 CTRL의 차이, (d) BK_{SSTC}와 CTRL의 차이, (e) BK_{1STD}와 CTRL의 차이, (f) BK_{VOFF}와 CTRL_{VOFF}의 차이. (c)는 (a)의 붉은 박스영역에 대한 (b), (d), (e), (f)의 평균.

4. Circulation responses

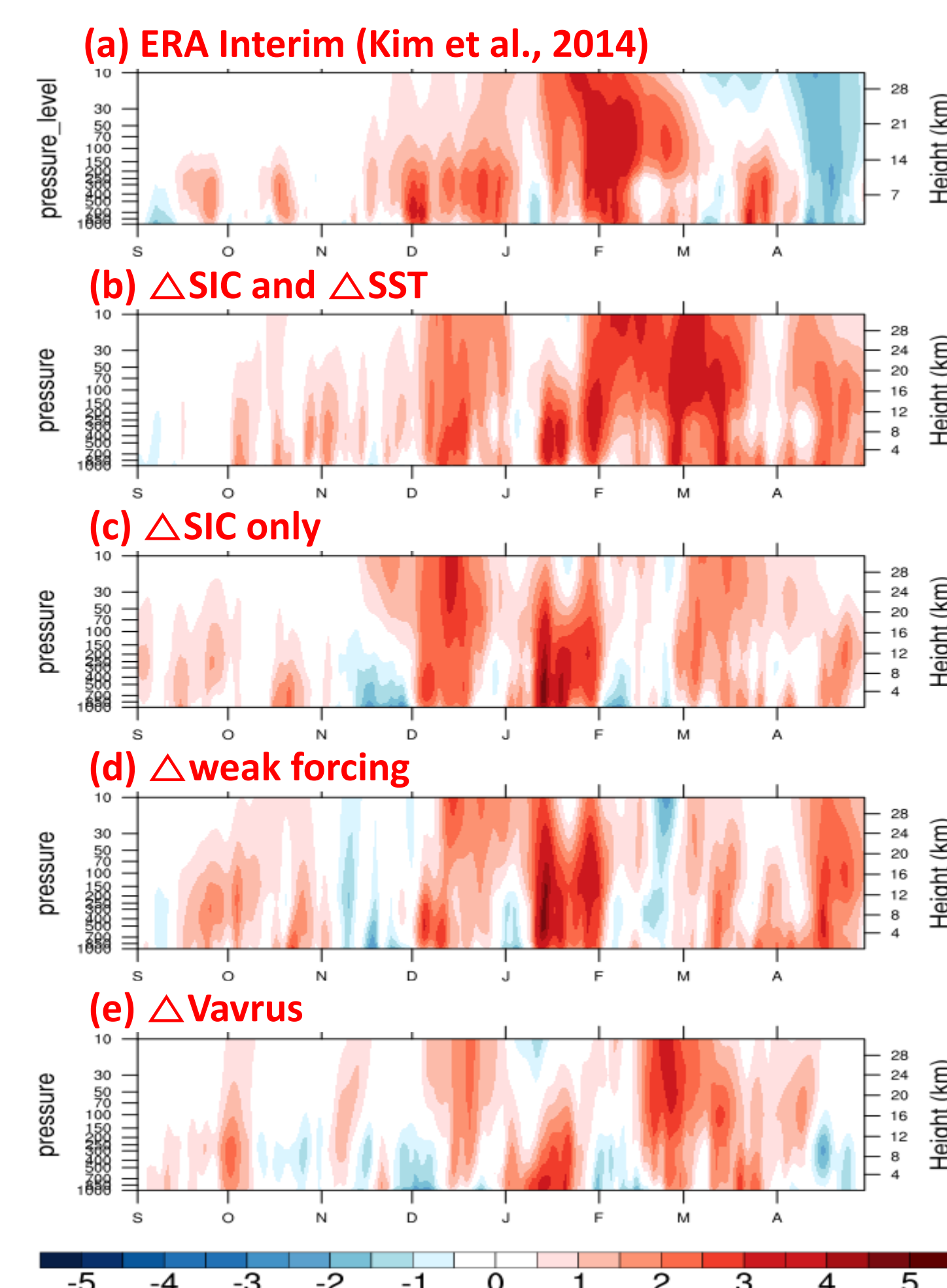
Vertical temperature profile



◀그림 3. 11월부터 2월까지의 경도 평균된 연직 온도 분포. (a) 바렌츠-카라해의 해빙이 적은 해의 ERA-Interim 아노말리 합성장, (b) BK와 CTRL의 차이, (c) BK_{SSTC}와 CTRL의 차이, (d) BK_{1STD}와 CTRL의 차이, (e) BK_{VOFF}와 CTRL_{VOFF}의 차이.

- (그림 3) ERA Interim에서 바렌츠-카라해의 해빙이 적을 때 고위도의 지표뿐 아니라 500hPa까지도 양의 아노말리가 겨울철 동안 존재함을 확인할 수 있다. ΔSIC only는 11월, $\Delta weak$ forcing은 2월에 이러한 연직적인 분포를 잘 모의하지 못한다. $\Delta Vavrus$ 의 경우 양의 아노말리가 저위도까지 넓게 퍼지는 모습을 보인다.

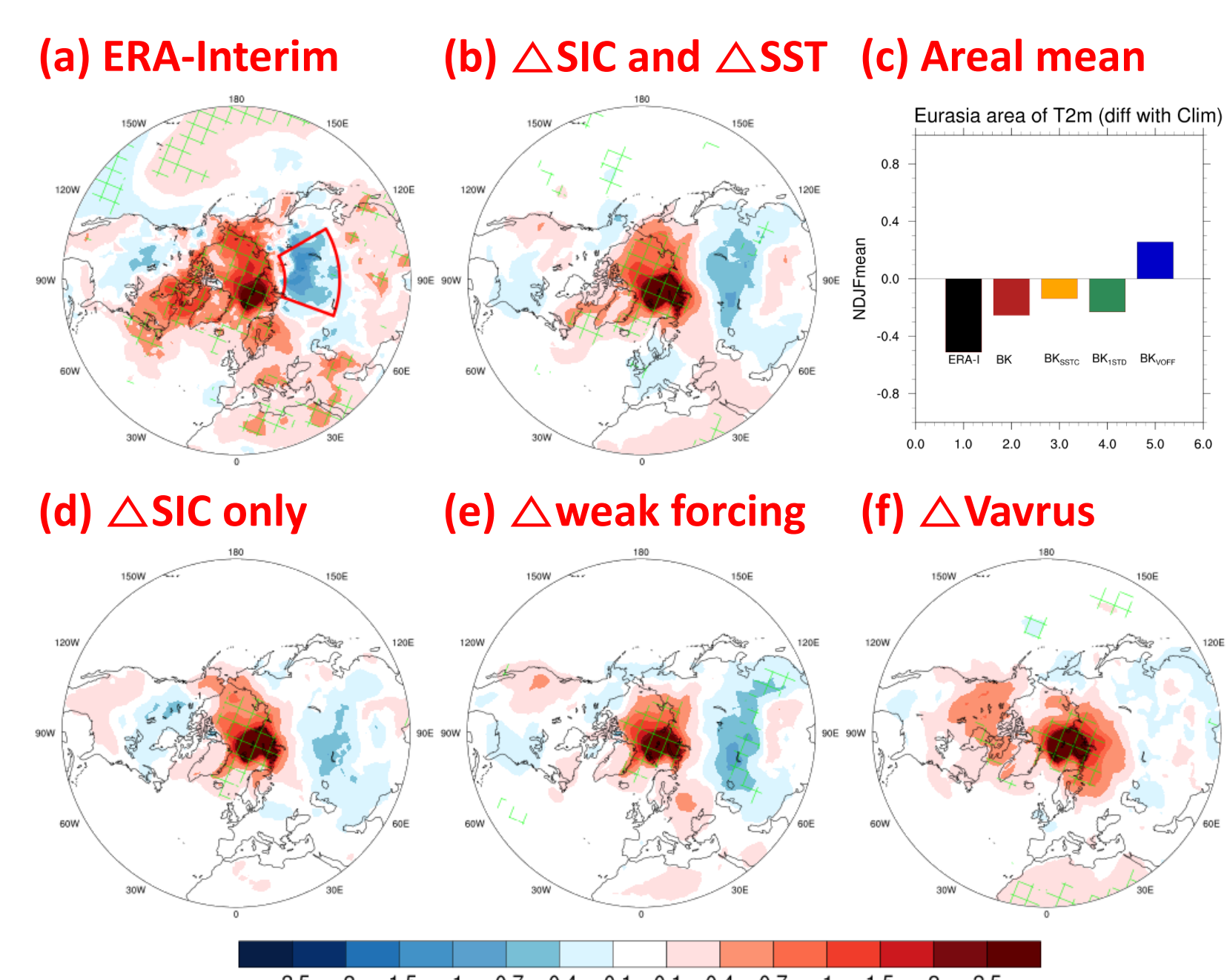
Polar cap height



◀그림 4. 9월부터 이듬해 4월까지 polar cap height (a) 바렌츠-카라해의 해빙이 적은 해의 ERA-Interim 일별 아노말리 합성장, (b) BK와 CTRL의 차이, (c) BK_{SSTC}와 CTRL의 차이, (d) BK_{1STD}와 CTRL의 차이, (e) BK_{VOFF}와 CTRL_{VOFF}의 차이.

- (그림 4) ERA Interim에서 바렌츠-카라해의 해빙이 적을 때 극소용돌이의 약화가 겨울철 내내 지속되는 것을 확인할 수 있다. ΔSIC and ΔSST 은 이러한 겨울철 극소용돌이의 약화를 잘 보여주지만 봄철의 강화는 잘 모의하지 못한다. ΔSIC only와 $\Delta weak$ forcing은 11월과 2월에 Polar cap height가 약간 감소하여 연속적인 극소용돌이의 약화를 보여주지 못한다. $\Delta Vavrus$ 의 경우 ERA Interim의 PCH와 상당히 다르게 모의한다.

2m Temperature



◀그림 5. (a) 바렌츠-카라해 해빙이 적었던 해의 ERA-Interim 겨울철 (NDJF) 평균 2m 기온 아노말리의 합성장 (b) BK와 CTRL의 차이, (d) BK_{SSTC}와 CTRL의 차이, (e) BK_{1STD}와 CTRL의 차이, (f) BK_{VOFF}와 CTRL_{VOFF}의 차이. (c)는 (a)의 붉은 박스영역에 대한 (b), (d), (e), (f)의 평균.

- (그림 5) 바렌츠-카라해 해빙이 적었던 해에는 북극해 전반에 양의 지표온도 아노말리, 유라시아 지역에 음의 지표온도 아노말리 패턴을 보인다. ΔSIC and ΔSST , ΔSIC only, $\Delta weak$ forcing은 이러한 기온패턴을 잘 보여주는 반면, $\Delta Vavrus$ 는 유라시아 지역까지도 양의 아노말리를 나타낸다.

5. Summary

- 적절한 Micro physics의 사용과 해수면온도 강제력의 사용, 강제력의 강도가 바렌츠-카라해의 해빙감소에 대한 유라시아 반응 모의에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.
- 바렌츠 카라해의 해빙농도 감소를 강하게 처방하고 해수면온도의 증가까지도 고려한 실험(ΔSIC and ΔSST)에서 성층권 polar vortex의 약화와 시간에 따른 진행을 재분석과 가장 유사하게 모의하였으며, 그 결과 2월까지 이어지는 차가운 유라시아 패턴도 모의 가능함을 확인하였다.
- 현실적인 강제력에 대한 신뢰할 만한 모델 모의 결과를 얻기 위해서는 모델의 강제력 민감도에 대해 자세히 살펴볼 필요가 있다.

바렌츠-카라해 해빙감소에 대한 겨울철 유라시아 대기반응에 영향을 미치는 요소

이수봉¹, 김백민², 전상윤¹

¹극지연구소 북극해빙예측사업단

²부경대학교 환경대기과학과

최근 북극의 해빙은 급격히 변화하고 있으며 이에 대한 반응으로 중위도에서도 전례 없는 기후가 나타나고 있다. 북극 해빙 농도와 중위도 기후의 상관관계에 대한 연구들이 최근 활발히 이루어지고 있으나 극지역 관측 자료 부족 문제와 기후모델의 제한적인 극지역 모사 능력이 연구에 걸림돌이 되고 있다. 본 연구는 북극에서 가장 변화가 크게 일어나는 지역 중 하나인 바렌츠-카라해의 해빙감소에 따른 겨울철 유라시아의 대기 반응을 모사하는데 영향을 주는 요소들을 살펴보았다. 본 연구는 NCAR의 전지구 기후시스템 모델인 CESM version 1.2.2 중에서도 해빙 농도의 변화에 따른 대기의 반응을 살펴보고자 CAM4 대기모델에 해빙농도와 해수면온도를 처방하는 모델 조합을 사용하였다. 강제력으로는 HadISST의 해빙농도와 해수면온도를 사용하였다. 1979년부터 2013년에 대하여 평균된 해빙농도와 해수면온도를 처방한 기준실험, 바렌츠-카라해 영역의 해빙농도와 해수면온도가 강하게 변화한 실험, 해당 영역의 해빙농도와 해수면온도가 약하게 변화한 실험, 해당 영역의 해빙농도만 변화하고 해수면온도는 기후값으로 처방한 실험을 디자인하여 각 실험세팅에 대하여 100년동안 평형실험을 수행하였다. 각 해빙농도 및 해수면온도 변화실험과 기준실험 차이를 통해 바렌츠-카라해의 해빙농도 및 해수면온도 변화에 대한 반응을 살펴보았다. 검증을 위하여 ERA-Interim 재분석의 1979년부터 2013년까지의 평균장과 바렌츠-카라해의 초겨울(ND) 해빙농도가 50% 이하인 해에 대한 합성장을 함께 비교하였다. 먼저 각 카라-바렌츠 해빙농도의 감소에 따른 모델의 유라시아지역 대기반응 모의 성능을 확인하였다. 바렌츠-카라해의 해빙농도가 처방된 실험들 모두 북반구 겨울철 따뜻한 북극과 차가운 유라시아 대륙의 반응이 잘 나타났다. 그러나 바렌츠 카라해의 해빙농도 감소를 강하게 처방하고 해수면온도의 증가까지도 고려한 실험에서 성층권 polar vortex의 약화와 시간에 따른 진행을 재분석과 가장 유사하게 모의하였으며, 그 결과 2월까지 이어지는 차가운 유라시아 패턴도 모의 가능함을 확인하였다.

Key words: 북극 해빙, 바렌츠-카라해, 해빙농도 감소, Warm-Arctic Cold-Continents

※ 이 연구는 극지 기후변화/기상재해 예측 시스템(KPOPS)의 개발 및 활용 연구(PE18130)의 지원으로 수행되었습니다.