



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년08월05일
(11) 등록번호 10-1645468
(24) 등록일자 2016년07월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/26 (2012.01) G01W 1/00 (2006.01)
G06Q 10/04 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/26 (2013.01)
G01W 1/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0016834
(22) 출원일자 2015년02월03일
심사청구일자 2015년02월03일
(56) 선행기술조사문헌
KR101167066 B1*
KR101410770 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
한국해양과학기술원
경기도 안산시 상록구 해안로 787 (사동)
(72) 발명자
최용상
서울특별시 마포구 마포대로11길 50 412동 301호
(공덕동, 삼성래미안공덕4차아파트)
김하림
대전광역시 동구 동대전로 325 (가양동)
(74) 대리인
김인철

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 김일환

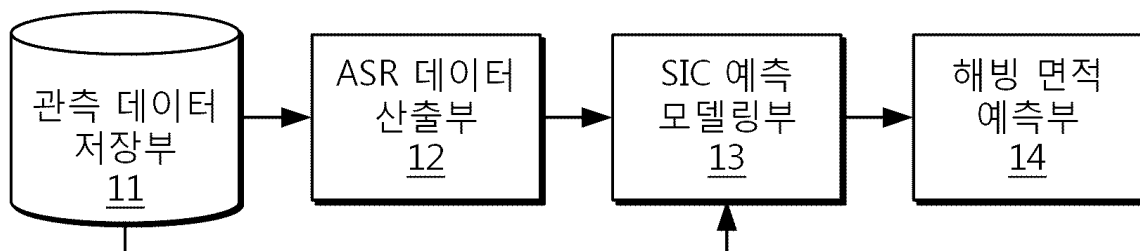
(54) 발명의 명칭 통계적 확률 예측 기반의 북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법

(57) 요약

본 발명의 실시예들에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템은 과거의 해빙 면적비(Sea Ice Concentration, SIC) 관측 데이터, 전천 알베도(total-sky albedo) 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터를 저장하는 관측 데이터 저장부, 과거의 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터로부터 과거의 태양 복사 흡수량(Absorbed Solar Radiation, ASR) 데이터를 산출하는 ASR 데이터 산출부 및 과거의 ASR 데이터 및 과거의 SIC 관측 데이터에 기초한 마르코프 통계적 예측(Markov Stochastic Prediction) 모델과 현재의 ASR 데이터로부터 SIC 예측 데이터를 산출하는 SIC 예측 모델링부를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1

10



(52) CPC특허분류

G06Q 10/04 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1365001954

부처명 기상청

연구관리전문기관 기상기술개발원

연구사업명 기후변화 감시예측 및 국가정책지원 강화사업

연구과제명 통계기법을 활용한 해빙면적 계절 예측 시스템 개발

기 여 율 1/1

주관기관 극지연구소

연구기간 2012.03.08 ~ 2015.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

과거의 해빙 면적비(Sea Ice Concentration, SIC) 관측 데이터, 전천 알베도(total-sky albedo) 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터를 저장하는 관측 데이터 저장부;

과거의 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터로부터 과거의 태양 복사 흡수량(Absorbed Solar Radiation, ASR) 데이터를 산출하는 ASR 데이터 산출부; 및

과거의 ASR 데이터 및 과거의 SIC 관측 데이터에 기초한 마르코프 통계적 예측(Markov Stochastic Prediction) 모델과 현재의 ASR 데이터로부터 SIC 예측 데이터를 산출하는 SIC 예측 모델링부를 포함하되,

상기 SIC 예측 모델링부는 복수 개의 ASR 상태들 중에 ASR 데이터가 속하는 어느 한 ASR 상태가 복수 개의 SIC 상태들 중 SIC 관측 데이터가 속하는 어느 한 SIC 상태로 이행될 이행 확률들을 행렬 원소로 가지도록 결정되는 마르코프 이행 확률 행렬에 ASR 데이터를 입력하여, SIC 예측 데이터를 산출하도록 동작하고,

상기 ASR 상태의 구간들 또는 상기 SIC 상태들의 구간은, 상기 ASR 데이터 또는 상기 SIC 관측 데이터의 최소값과 최대값의 차이를 등간격으로 나누어 얻은 등간격 구간이고,

상기 SIC 예측 모델링부는 마르코프 이행 확률 행렬의 이행 확률값들 중에서, SIC를 예측하려는 해의 ASR 상태에 대응하는 이행 확률값들의 각각에 SIC 상태들의 각각의 대표값을 곱한 값들의 합으로서, SIC 예측 데이터를 산출하도록 동작하는 북극해 해빙 면적비 예측 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 SIC 예측 모델링부는 과거의 6월에 산출된 ASR 데이터와, 과거의 8월, 9월 또는 10월에 관측된 SIC 관측 데이터를 기초로 결정되는 마르코프 이행 확률 행렬을 이용하여, 해빙 면적비를 예측하려는 해의 6월에 산출된 ASR 데이터로부터 같은 해의 8월, 9월 또는 10월의 SIC 예측 데이터를 산출하도록 동작하는 것을 특징으로 하는 북극해 해빙 면적비 예측 시스템.

청구항 5

삭제

청구항 6

청구항 1에 있어서, ASR 데이터는 $(1 - \text{전천 알베도}) \times \text{태양 복사 입사량 관측 데이터}$ 로 산출되는 것을 특징으로 하는 북극해 해빙 면적비 예측 시스템.

청구항 7

청구항 6에 있어서, ASR 데이터를 산출하기 위한 태양 복사 입사량 관측 데이터는 지구 대기 상단(Top of Atmosphere, TOA)에서 관측되는 태양 복사 에너지 흐름으로 주어지고, 전천 알베도 관측 데이터는 전천의 태양 복사 입사량 관측 데이터에 대한, 지구로부터 반사되는 태양 복사 에너지 흐름의 비율인 것을 특징으로 하는 북

극해 해빙 면적비 예측 시스템.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

북극 지역을 복수의 영역들로 분할하여, 분할 영역마다 산출되는 특정 월의 SIC 예측 데이터로부터 해당 분할 영역의 예측 해빙 면적을 산출하고 전체 분할 영역들의 예측 해빙 면적들을 합산하여 특정 월의 전체 예측 해빙 면적을 산출하는 해빙 면적 예측부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 북극해 해빙 면적비 예측 시스템.

청구항 9

청구항 1의 북극해 해빙 면적비 예측 시스템을 이용한 북극해 해빙 면적비 예측 방법으로서,

관측 데이터 저장부가 과거의 해빙 면적비(SIC) 관측 데이터, 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터를 획득하는 단계;

ASR 데이터 산출부가 과거의 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터로부터 과거의 태양 복사 흡수량(ASR) 데이터를 산출하는 단계; 및

SIC 예측 모델링부가 과거의 ASR 데이터 및 과거의 SIC 관측 데이터에 기초한 마르코프 통계적 예측(Markov Stochastic Prediction) 모델과 현재의 ASR 데이터로부터 SIC 예측 데이터를 산출하는 단계를 포함하는 북극해 해빙 면적비 예측 방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

청구항 9에 있어서, 상기 SIC 예측 데이터를 산출하는 단계는,

과거의 6월에 산출된 ASR 데이터와, 과거의 8월, 9월 또는 10월에 관측된 SIC 관측 데이터를 기초로 결정되는 마르코프 이행 확률 행렬을 이용하여, 해빙 면적비를 예측하려는 해의 6월에 산출된 ASR 데이터로부터 같은 해의 8월, 9월 또는 10월의 SIC 예측 데이터를 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 북극해 해빙 면적비 예측 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

청구항 9에 있어서, ASR 데이터는 $(1 - \text{전천 알베도}) \times \text{태양 복사 입사량 관측 데이터}$ 로 산출되는 것을 특징으로 하는 북극해 해빙 면적비 예측 방법.

청구항 15

청구항 14에 있어서, ASR 데이터를 산출하기 위한 태양 복사 입사량 관측 데이터는 지구 대기 상단에서 관측되는 태양 복사 에너지 흐름으로 주어지고, 전천 알베도 관측 데이터는 전천의 태양 복사 입사량 관측 데이터에 대한, 지구로부터 반사되는 태양 복사 에너지 흐름의 비율인 것을 특징으로 하는 북극해 해빙 면적비 예측 방법.

청구항 16

청구항 9에 있어서,

북극 지역을 복수의 영역들로 분할하여, 분할 영역마다 산출되는 특정 월의 SIC 예측 데이터로부터 해당 분할 영역의 예측 해빙 면적을 산출하고 전체 분할 영역들의 예측 해빙 면적들을 합산하여 특정 월의 전체 예측 해빙 면적을 산출하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 북극해 해빙 면적비 예측 방법.

청구항 17

컴퓨터에서 청구항 9, 12, 14, 15 및 16 중 어느 한 청구항에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 방법의 각 단계들을 수행할 수 있도록 작성되어 컴퓨터에서 독출 가능한 기록 매체에 기록된 컴퓨터용 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 기후 예측에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 북극해 해빙 면적비 예측에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 북극해의 해빙 면적(Arctic Sea Ice Extent)은 단순히 여름철에 줄어들었다가 겨울철에 늘어나는 것처럼 보이지만, 북극 해빙은 북극 지방의 기후 뿐 아니라 북반구 전체의 기후를 이해하고 예측하는 데에 큰 역할을 한다.

[0003] 북극 해빙의 양은 극 소용돌이(Polar Vortex)에 영향을 주고 극 소용돌이가 북반구 중위도 국가들의 겨울철 한파에 영향을 준다. 따라서, 가을철 이후 북극 해빙의 면적 변화를 정확히 예측하는 것은 장기적인 기상 예측의 정확도를 상당히 향상시킬 수 있다.

[0004] 북극 해빙이 줄어들면 그 해에 심한 한파가 오는 것으로 이해되고 있다. 북극 해빙이 평년보다 줄었던 2009년, 2010년 등에 우리나라에는 심한 한파가 왔던 반면에, 북극 해빙이 늘었던 2013년에는 최근 5년 중 가장 따뜻한 겨울이었다.

[0005] 북극 해빙이 녹으면 대기와 해양 사이의 온도 차이가 커지면서 대기 중으로 열이 방출되고, 이 열이 중위도 상층, 편서풍대에 존재하는 행성파(Planetary wave)를 활성화한다. 행성파는 중위도와 고위도 사이의 에너지 수송을 담당하는 파동이고, 파장이 지구 반지름에 필적하는 6000 km나 되는 대기의 흐름이다. 지상에서 활성화한 행성파가 성층권까지 올라가 극 소용돌이를 교란하여 약화시키는 데에 약 1개월 남짓 걸리는 것으로 보인다. 해빙이 평년보다 덜 얼어 있다면 1~2개월 후에 극 소용돌이가 약해진 틈을 타서 북극의 찬 공기가 중위도로 내려와 한파를 일으킨다.

[0006] 따라서, 해빙의 면적을 정확히 예측함으로써 한파와 같은 거시적인 기상을 어느 정도 예측할 수 있다는 점을 알 수 있다.

[0007] 하지만, 태양, 해류, 해빙, 대기, 대륙, 태양열 사이의 열역학적 프로세스는 너무 복잡하기 때문에 종래의 많은 연구에서 이러한 열역학적 물리학적 프로세스를 모델링하기 위해 노력을 기울여 왔지만 그 복잡함과 정교함에 비해 예측 성능은 고무적이지 않았다.

[0008] 한편, 종래에 기상 위성 데이터로부터 통계적 모델을 구축하려던 연구들이 있었지만, 대부분 해빙 면적에 초점을 맞추어 왔다. 해빙 면적 예측 기법들은 조금씩 정확도가 향상되고 있지만 여전히 충분히 실용적이지 않은 실정이다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0009] (비특허문헌 0001) "Evolution of Arctic sea ice concentration trends and the role of atmospheric circulation forcing, 1979-2007" Clara Deser, et al. Geophysical Research Letters, L02504, Volume 35, Issue 2, 2008. 1.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법을 제공하는 데에 있다.
- [0011] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 통계적 기법을 통해 북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법을 제공하는 데에 있다.
- [0012] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 대양, 해류, 해빙, 대기와 같은 영향 인자들을 다루는 대신에 최소한의 영향 인자를 기초로 하는 북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법을 제공하는 데에 있다.
- [0013] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 해빙 면적을 예측하는 대신에 해빙 면적비를 예측하고, 예측된 해빙 면적비로부터 해빙 면적을 산출함으로써, 좀더 정확하게 해빙 면적을 산출할 수 있는 북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법을 제공하는 데에 있다.
- [0014] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0015] 본 발명의 일 측면에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템은,
- [0016] 과거의 해빙 면적비(Sea Ice Concentration, SIC) 관측 데이터, 전천 알베도(total-sky albedo) 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터를 저장하는 관측 데이터 저장부;
- [0017] 과거의 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터로부터 과거의 태양 복사 흡수량(Absorbed Solar Radiation, ASR) 데이터를 산출하는 ASR 데이터 산출부; 및
- [0018] 과거의 ASR 데이터 및 과거의 SIC 관측 데이터에 기초한 마르코프 통계적 예측(Markov Stochastic Prediction) 모델과 현재의 ASR 데이터로부터 SIC 예측 데이터를 산출하는 SIC 예측 모델링부를 포함할 수 있다.
- [0019] 일 실시예에 따라, 상기 SIC 예측 모델링부는 복수 개의 ASR 상태들 중에 ASR 데이터가 속하는 어느 한 ASR 상태가 복수 개의 SIC 상태들 중 SIC 관측 데이터가 속하는 어느 한 SIC 상태로 이행될 이행 확률들을 행렬 원소로 가지도록 결정되는 마르코프 이행 확률 행렬에 ASR 데이터를 입력하여, SIC 예측 데이터를 산출하도록 동작할 수 있다.
- [0020] 일 실시예에 따라, 상기 ASR 상태의 구간들 또는 상기 SIC 상태들의 구간은, 상기 ASR 데이터 또는 상기 SIC 관측 데이터의 최소값과 최대값의 차이를 등간격으로 나누어 얻은 등간격 구간일 수 있다.
- [0021] 일 실시예에 따라, 상기 SIC 예측 모델링부는 과거의 6월에 산출된 ASR 데이터와, 과거의 8월, 9월 또는 10월에 관측된 SIC 관측 데이터를 기초로 결정되는 마르코프 이행 확률 행렬을 이용하여, 해빙 면적비를 예측하려는 해의 6월에 산출된 ASR 데이터로부터 같은 해의 8월, 9월 또는 10월의 SIC 예측 데이터를 산출하도록 동작할 수 있다.
- [0022] 일 실시예에 따라, 상기 SIC 예측 모델링부는 마르코프 이행 확률 행렬의 이행 확률값들 중에서, SIC를 예측하려는 해의 ASR 상태에 상응하는 이행 확률값들의 각각에 SIC 상태들의 각각의 대표값을 곱한 값들의 합으로서, SIC 예측 데이터를 산출하도록 동작하는 것을 특징으로 하는 북극해 해빙 면적비 예측 시스템.
- [0023] 일 실시예에 따라, ASR 데이터는 $(1 - \text{전천 알베도}) \times \text{태양 복사 입사량 관측 데이터}$ 로 산출될 수 있다.
- [0024] 일 실시예에 따라, ASR 데이터를 산출하기 위한 태양 복사 입사량 관측 데이터는 지구 대기 상단(Top of Atmosphere, TOA)에서 관측되는 태양 복사 에너지 흐름으로 주어지고, 전천 알베도 관측 데이터는 전천의 태양 복사 입사량 관측 데이터에 대한, 지구로부터 반사되는 태양 복사 에너지 흐름의 비율일 수 있다.
- [0025] 일 실시예에 따라, 상기 북극해 해빙 면적비 예측 시스템은
- [0026] 북극 지역을 복수의 영역들로 분할하여, 분할 영역마다 산출되는 특정 월의 SIC 예측 데이터로부터 해당 분할 영역의 예측 해빙 면적을 산출하고 전체 분할 영역들의 예측 해빙 면적들을 합산하여 특정 월의 전체 예측 해빙 면적을 산출하는 해빙 면적 예측부를 더 포함할 수 있다.

- [0027] 본 발명의 다른 측면에 따른 컴퓨터를 이용한 북극해 해빙 면적비 예측 방법은, 상기 컴퓨터가,
- [0028] 과거의 해빙 면적비(SIC) 관측 데이터, 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터를 획득하는 단계;
- [0029] 과거의 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터로부터 과거의 태양 복사 흡수량(ASR) 데이터를 산출하는 단계; 및
- [0030] 과거의 ASR 데이터 및 과거의 SIC 관측 데이터에 기초한 마르코프 통계적 예측(Markov Stochastic Prediction) 모델과 현재의 ASR 데이터로부터 SIC 예측 데이터를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0031] 일 실시예에 따라, 상기 SIC 예측 데이터를 산출하는 단계는,
- [0032] 복수 개의 ASR 상태들 중에 ASR 데이터가 속하는 어느 한 ASR 상태가 복수 개의 SIC 상태들 중 SIC 관측 데이터가 속하는 어느 한 SIC 상태로 이행될 이행 확률들을 행렬 원소로 가지도록 결정되는 마르코프 이행 확률 행렬에 ASR 데이터를 입력하여, SIC 예측 데이터를 산출 단계를 포함할 수 있다.
- [0033] 일 실시예에 따라, 상기 ASR 상태의 구간들 또는 상기 SIC 상태들의 구간은, 상기 ASR 데이터 또는 상기 SIC 관측 데이터의 최소값과 최대값의 차이를 등간격으로 나누어 얻은 등간격 구간일 수 있다.
- [0034] 일 실시예에 따라, 상기 SIC 예측 데이터를 산출하는 단계는,
- [0035] 과거의 6월에 산출된 ASR 데이터와, 과거의 8월, 9월 또는 10월에 관측된 SIC 관측 데이터를 기초로 결정되는 마르코프 이행 확률 행렬을 이용하여, 해빙 면적비를 예측하려는 해의 6월에 산출된 ASR 데이터로부터 같은 해의 8월, 9월 또는 10월의 SIC 예측 데이터를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0036] 일 실시예에 따라, 상기 SIC 예측 데이터를 산출하는 단계는,
- [0037] 마르코프 이행 확률 행렬의 이행 확률값들 중에서, SIC를 예측하려는 해의 ASR 상태에 상응하는 이행 확률값들의 각각에 SIC 상태들의 각각의 대표값을 곱한 값들의 합으로서, SIC 예측 데이터를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0038] 일 실시예에 따라, ASR 데이터는 $(1 - \text{전천 알베도}) \times \text{태양 복사 입사량 관측 데이터}$ 로 산출될 수 있다.
- [0039] 일 실시예에 따라, ASR 데이터를 산출하기 위한 태양 복사 입사량 관측 데이터는 지구 대기 상단에서 관측되는 태양 복사 에너지 흐름으로 주어지고, 전천 알베도 관측 데이터는 전천의 태양 복사 입사량 관측 데이터에 대한, 지구로부터 반사되는 태양 복사 에너지 흐름의 비율일 수 있다.
- [0040] 일 실시예에 따라, 상기 북극해 해빙 면적비 예측 방법은,
- [0041] 북극 지역을 복수의 영역들로 분할하여, 분할 영역마다 산출되는 특정 월의 SIC 예측 데이터로부터 해당 분할 영역의 예측 해빙 면적을 산출하고 전체 분할 영역들의 예측 해빙 면적들을 합산하여 특정 월의 전체 예측 해빙 면적을 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0042] 본 발명의 북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법에 따르면, 통계적 기법을 통해 북극해의 해빙 면적비 및 해빙 면적을 약 4 개월 전에 정확히 예측할 수 있다.
- [0043] 본 발명의 북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법에 따르면, 태양, 해류, 해빙, 대기와 같은 영향 인자들을 다루는 대신에 ASR(Absorbed Solar Radiation)과 같은 최소한의 영향 인자를 기초로 간단하게 북극해 해빙 면적비 및 해빙 면적을 예측할 수 있다.
- [0044] 본 발명의 북극해 해빙 면적비 예측 시스템 및 예측 방법에 따르면, 해빙 면적을 예측하는 대신에 해빙 면적비를 예측하고, 예측된 해빙 면적비로부터 해빙 면적을 산출함으로써, 좀더 정확하게 해빙 면적을 산출할 수 있다.
- [0045] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0046] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템을 예시한 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 방법을 예시한 순서도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템을 이용하여 예측한 해빙 지도와 실제 관측된 해빙 지도를 비교한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템을 이용하여 예측한 해빙 면적과 기존의 예측 기법들을 이용하여 예측한 해빙 면적들 및 실제 해빙 면적을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0047] 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들에 대해서, 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.
- [0048] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0049] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템을 예시한 블록도이다.
- [0050] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예들에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템(10)은 관측 데이터 저장부(11), ASR(Absorbed Solar Radiation) 데이터 산출부(12) 및 SIC(Sea Ice Concentration) 예측 모델링부(13)를 포함할 수 있고, 실시예에 따라서는 해빙 면적 예측부(14)를 더 포함할 수 있다.
- [0051] 관측 데이터 저장부(11)는 과거의 해빙 면적비(SIC) 관측 데이터, 전천 알베도(total-sky albedo) 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터를 저장한다.
- [0052] 해빙 면적비 관측 데이터는 예를 들어 영국의 기상 서비스 관청인 The Met Office에서 운영하는 The Met Office Hadley Centre for Climate Change에서 제공하는 HadISST1(Hadley Centre sea Ice and Sea Surface Temperature dataset version 1)이다. HadISST1은 위도/경도 1°의 해상도로 1870년부터 현재까지 북극 지역(북위 63° 이상부터 북위 90°까지)에 걸쳐 월별 SIC 관측 데이터를 제공한다. SIC 값은 15% ~ 100%의 범위 중의 값으로 표시되는데, "얼음에 덮인(ice-covered)" 해빙 면적 또는 "얼음에 덮이지 않은(not ice-covered)" 해빙 면적의 비율을 의미한다. 위도/경도 1°인 그리드 영역들은 북위마다 절대적인 면적이 달라지므로 해빙 면적보다는 해빙 면적비가 좀더 유용한 값으로 생각된다.
- [0053] 한편, 전천 알베도 관측 데이터와 태양 복사 입사량 관측 데이터는 미국 NASA의 CERES(the Clouds and the Earth's Radiant Energy System) 프로그램에 의해 제공되는 ES4 Terra Xtrk Edition 3을 이용할 수 있다.
- [0054] 전천 알베도 관측 데이터와 태양 복사 입사량 관측 데이터는 전천(total-sky), 즉 맑은 하늘과 구름에 가린 하늘을 모두 포함하여 2000년 1월부터 현재까지 전지구적으로 위도/경도 2.5°의 해상도로 제공된다.
- [0055] 태양 복사 입사량 관측 데이터 S_0 는 지구 대기 상단(Top of Atmosphere, TOA)에서 관측되는 태양 복사 에너지 흐름으로 주어지고, 전천 알베도 관측 데이터 α_{tot} 는 전천의 태양 복사 입사량 관측 데이터 S_0 에 대한, 지구로부터 반사되는 태양 복사 에너지 흐름의 비율이다.
- [0056] ASR 데이터 산출부(12)는 과거의 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터로부터 과거의 태양 복사 흡수량(Absorbed Solar Radiation) 데이터를 산출할 수 있다.
- [0057] 구체적으로, ASR 데이터는 $(1 - \text{전천 알베도}) \times \text{태양 복사 입사량 관측 데이터}$ 로 산출될 수 있다. (1-전천 알베도)는 전천 코알베도(total sky co-albedo)라고도 호칭될 수 있다.
- [0058] 여기서, 본 발명의 실시예들에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템(10)이, 지구 표면의 일부인 해면에 형성되는 해빙의 면적비를 예측하기 위해, 지표가 아닌, 지구 대기 상단(TOA)에서 관측되는 태양 복사 입사량 관측 데이터에 기초한다는 점, 태양 복사가 해면까지 도달하는 맑은 하늘뿐 아니라 태양 복사가 해면까지 도달하기 어려운 구름길 하늘까지 모두 포함하는, 전천의 알베도 관측 데이터에 기초한다는 점은 본 발명의 통찰력과 독창성을 명확하게 나타내는 특징들이다.
- [0059] 이에 따라 태양 복사 흡수량(ASR)은 지구 대기 상단에서 관측되는 전천 코알베도와 지구 대기 상단에서 관측되

는 태양 복사 입사량의 곱으로 정의된다.

- [0060] 지구 대기 상단을 기준으로 하는 태양 복사 흡수량(ASR)과 해빙 면적비(SIC) 사이의 강한 상관관계에 관하여는, 발명자가 출원 전에 발표한 논문으로서 그 전체를 본 발명의 일부로서 포함하고자 하는 논문인 "Connecting early summer cloud-controlled sunlight and late summer sea ice in the Arctic", Yong-Sang Choi, et al. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, American Geographical Union, Oct. 2014에 상세하게 설명되어 있다.
- [0061] 상술한 논문에 따르면, 발명자는 6 월에 관측된 태양 복사 입사량 관측 데이터 및 전천 알베도 관측 데이터에 따라 산출되는 ASR 데이터가 8월, 9월 또는 10월의 SIC 관측 데이터와 유의미한 강한 상관관계를 가진다는 점을 발견하였다.
- [0062] 한편, 위에 예시된 데이터셋들은 해상도가 다르므로, SIC 관측 데이터의 데이터셋은 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터의 데이터셋의 해상도에 맞춰 변형된다. 이에 따라, 북극 지역의 전체 면적은 각각 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 인 1584 개의 분할 영역들(grids) 중에서, 해빙이 나타나지 않는 대륙 및 대양이나, 과거의 여러 해에 걸쳐 녹지 않았던 영구 해빙 영역들과 같이 예측이 불필요한 분할 영역들을 제외한, 약 402 개의 분할 영역들로 분할될 수 있다.
- [0063] 한편, 통계적 예측 기법들은 선형성을 가정하여 한가지 확정적 예측 값을 도출하는 확정적 예측 기법들과, 어떤 값이 될 확률인 확률적 예측 값들을 도출하는 확률적 예측 기법으로 나눌 수 있다.
- [0064] 확률적 예측 기법으로서 마르코프 통계적 예측 기법(Markov Stochastic Prediction, MSP)는 미래의 예측 대상 인자의 상태가 현재의 예측 근거 인자의 상태에 의하여만 결정되며, 그 이전의 과거 상태에서부터 영향을 받지 않는 특성이 있는 경우에, 예측 대상 인자가 어떤 특정 상태로 될 확률을 예측 근거 인자와 마르코프 이행 확률 행렬에 의해 산출할 수 있다는 예측 기법이다.
- [0065] 북극해 해빙에 관하여 확률적 예측 기법을 적용한 사례들은 기존에도 존재하였지만, 이러한 기존 기법들에 비해, 본 발명의 확률적 예측 기법은 여름철의 ASR 데이터와 겨울철의 SIC 관측 데이터 사이에 발견된 통계적 관계를 이용함으로써 좀더 간단하고 좀더 직관적이면서도 정확도를 확보한 확률적 예측 기법이라는 점이 특징이다.
- [0066] 이를 위해, 북극해 해빙 면적비 예측 시스템(10)의 SIC 예측 모델링부(13)는, 각각의 분할 영역에서, 과거의 ASR 데이터 및 과거의 SIC 관측 데이터에 기초한 마르코프 통계적 예측(Markov Stochastic Prediction) 모델과 현재의 ASR 데이터로부터 SIC 예측 데이터를 산출할 수 있다.
- [0067] 구체적으로 SIC 예측 모델링부(13)는, 각각의 분할 영역마다 구축되는 마르코프 이행 확률 행렬(Markov Transition Probability Matrix, TPM)에, 각 분할 영역의 ASR 데이터를 입력하여, 각 분할 영역의 SIC 예측 데이터를 산출하도록 동작할 수 있다.
- [0068] 수학적 1의 마르코프 이행 확률 행렬(TPM)에 따르면, 각 분할 영역에서, 마르코프 이행 확률 행렬 P는 제1 시점에 좌단의 세로축에 놓인 예측 근거 인자인 ASR 상태들($A_1, A_2, A_3, A_4, \dots, A_N$)로부터 제2 시점에 상단의 가로축에 놓인 예측 대상 인자인 SIC 상태들($S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_N$)로 이행할 이행 확률값들을 행렬 원소로 가지는 $N \times N$ 행렬이다.

수학적 1

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & \cdots & S_N \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ A_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \cdots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \cdots & P_{2N} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \cdots & P_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1} & P_{N2} & P_{N3} & \cdots & P_{NN} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

[0069]

[0070] 예측 근거 인자 ASR과 예측 대상 인자 SIC의 각 상태에 상응하는 구체적인 구간은 예측하려는 시점을 제외한 과거의 관측 데이터 값들의 분포에 기초하여 결정될 수 있다.

[0071] 예를 들어, 각 상태 구간은, 각 분할 영역에서 획득되었던 데이터의 최소값과 최대값의 차이를 N으로 나누어 얻은 등간격 구간일 수 있다.

[0072] 이행 확률 행렬의 행렬 원소 P_{ij} 는 제1 시점에 i 번째 ASR 상태였는데 제2 시점에 j 번째 SIC 상태가 될 확률이며, 다음 수학적 식 2와 같이 산출될 수 있다.

수학적 식 2

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i}$$

[0074] 여기서, P_{ij} 는 이행 확률값, i, j는 N이 상태들의 개수일 때 $1 \leq i, j \leq N$ 인 정수 인덱스이며, N_{ij} 는 매년 제1 시점(예를 들어 6월)에 i 번째 ASR 상태이었다가 제2 시점(예를 들어 10월)에 j 번째 상태의 SIC 상태로 되는 상태 이행 횟수, N_i 는 i 번째 ASR 상태에 속하는 ASR 데이터들의 총 개수이다.

[0075] 이에 따라, 수학적 식 1 및 수학적 식 2를 이용하여, 과거의 하계에 산출된 ASR 데이터와, 같은 해의 추계 또는 동계에 관측된 SIC 관측 데이터를 기초로 마르코프 통계적 예측 모델(MSP)의 마르코프 이행 확률 행렬이 결정될 수 있다.

[0076] 한편, 상술한 논문에 따르면, 6 월에 관측된 태양 복사 입사량 관측 데이터 및 전천 알베도 관측 데이터에 따라 산출되는 ASR 데이터는 8월, 9월 또는 10월의 SIC 관측 데이터와 유의미한 강한 상관관계를 가진다.

[0077] 이에 따라, SIC 예측 모델링부(13)는 특히 과거의 6월에 산출된 ASR 데이터와 과거의 8월, 9월 또는 10월에 관측된 SIC 관측 데이터를 기초로 MSP 모델의 마르코프 이행 확률 행렬을 결정할 수 있다.

[0078] 예측하고자 하는 해에 산출된 ASR 데이터에 따른 SIC 예측 데이터는 각 분할 영역마다 다음 수학적 식 3과 같이 이행 확률값들의 각각에 SIC 상태들의 각각의 대표값을 곱한 값들의 합으로서 산출될 수 있다.

수학적 식 3

$$SIC_p = \sum_{j=1}^N (P_{ij} \cdot S'_j), \quad (at A_i, i \in \{1, N\})$$

[0080] 여기서, SIC_p 는 SIC 예측 데이터이고, S'_j 는 j 번째 SIC 상태를 나타내는 대표값으로서, 평균값, 중앙값 또는 최빈값일 수 있다.

[0081] 예를 들어, 2012년 6월에 위도 78.75, 경도 162.5의 분할 영역에서 산출된 ASR 데이터는 10.69 W/m²이었다. ASR 데이터와 SIC 관측 데이터는 각각 5 개의 상태 구간(N=5)으로 나누어지며, SIC 관측 데이터의 상태 구간들의 대표값들은, 대표값이 중간값일 경우에, 각각 -55.85, -33.59, -11.33, 10.93, 33.19였다.

[0082] ASR 상태에서 SIC 상태로 이행하는 샘플에 기초하여 생성한 마르코프 이행 확률 행렬에서, 6월의 특정 ASR 데이터가 속하는 ASR 상태에서 10월의 SIC 상태들의 각각으로 이행하는 이행 행렬값들은 각각 12.5%, 5%, 22.5%, 50%, 10%로 결정되었다고 가정하자. SIC 예측 데이터는 수학적 식 3에 따라 12.5%*(-55.85) + 5%*(-33.59) + 22.5%*(-11.33) + 50%*10.93 + 10%*33.19로 산출되며 그 값은 -1.28%이다. 실제로 2012년 10월에 관측된 SIC 관측 데이터는 -2.24%였다.

[0083] 좀더 구체적으로, SIC 예측 모델링부(13)는 결정된 마르코프 이행 확률 행렬을 이용하여, 해빙 면적비를 예측하려는 해의 6월에 산출된 ASR 데이터로부터 같은 해의 8월, 9월 또는 10월의 SIC 예측 데이터를 산출할 수 있다.

[0084] 한편, 특정 분할 영역의 해빙 면적비를 해당 분할 영역의 면적과 곱하면 해당 분할 영역의 해빙 면적을 얻을 수 있다. 따라서, 북극해 해빙 면적비 예측 시스템(10)은, 북극 지역이 복수의 영역들로 분할될 경우에, 분할 영

역마다 산출되는 특정 월의 SIC 예측 데이터로부터 해당 분할 영역의 예측 해빙 면적을 산출하는 해빙 면적 예측부(14)를 더 포함할 수 있다. 나아가, 해빙 면적 예측부(14)는 전체 분할 영역들의 예측 해빙 면적들을 합산하여 특정 월의 전체 예측 해빙 면적을 산출할 수 있다.

- [0085] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 방법을 예시한 순서도이다.
- [0086] 도 2를 참조하면, 컴퓨터를 이용한 북극해 해빙 면적비 예측 방법은 컴퓨터가 단계(S21)에서 과거의 해빙 면적비(SIC) 관측 데이터, 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터를 획득하는 단계로부터 시작할 수 있다.
- [0087] 단계(S22)에서, 컴퓨터는 과거의 전천 알베도 관측 데이터 및 태양 복사 입사량 관측 데이터로부터 과거의 태양 복사 흡수량(ASR) 데이터를 산출할 수 있다.
- [0088] 실시예에 따라, ASR 데이터는 $(1 - \text{전천 알베도}) \times \text{태양 복사 입사량 관측 데이터}$ 로 산출될 수 있다.
- [0089] 이때, ASR 데이터를 산출하기 위한 태양 복사 입사량 관측 데이터는 지구 대기 상단에서 관측되는 태양 복사 에너지 흐름으로 주어지고, 전천 알베도 관측 데이터는 전천의 태양 복사 입사량 관측 데이터에 대한, 지구로부터 반사되는 태양 복사 에너지 흐름의 비율이다.
- [0090] 단계(S23)에서, 컴퓨터는 각각의 분할 영역에서, 과거의 ASR 데이터 및 과거의 SIC 관측 데이터에 기초한 마르코프 통계적 예측(MSP) 모델과 현재의 ASR 데이터로부터 SIC 예측 데이터를 산출할 수 있다.
- [0091] 구체적으로 단계(S23)에서, 컴퓨터는 각각의 분할 영역에서, 복수 개의 ASR 상태들 중에 ASR 데이터가 속하는 어느 한 ASR 상태가 복수 개의 SIC 상태들 중 SIC 관측 데이터가 속하는 어느 한 SIC 상태로 이행될 이행 확률들을 행렬 원소로 가지도록 결정되는 마르코프 이행 확률 행렬에 ASR 데이터를 입력하여, SIC 예측 데이터를 산출하도록 동작할 수 있다.
- [0092] 예를 들어, 각 상태 구간은, 각 분할 영역에서 획득되었던 데이터의 최소값과 최대값의 차이를 N으로 나누어 얻은 등간격 구간일 수 있다.
- [0093] 구체적으로 단계(S23)에서, 컴퓨터는, 마르코프 이행 확률 행렬의 이행 확률값들 중에서, SIC를 예측하려는 해의 ASR 상태에 상응하는 이행 확률값들의 각각에 SIC 상태들의 각각의 대표값을 곱한 값들의 합으로서, SIC 예측 데이터를 산출할 수 있다. SIC 상태들의 대표값은 평균값, 중앙값 또는 최빈값일 수 있고, 또는 실시예에 따라 상한과 하한을 가지는 구간 회색수일 수 있다.
- [0094] 구체적으로 단계(S23)에서, 컴퓨터는 결정된 마르코프 이행 확률 행렬을 이용하여, 해빙 면적비를 예측하려는 해의 하계, 예를 들어 6월에 산출된 ASR 데이터로부터 같은 해의 추계 또는 동계, 예를 들어 8월, 9월 또는 10월의 SIC 예측 데이터를 산출할 수 있다.
- [0095] 실시예에 따라, 선택적인 단계(S24)에서, 컴퓨터가, 북극 지역이 복수의 영역들로 분할되어 있을 경우에, 분할 영역마다 산출되는 특정 월의 SIC 예측 데이터로부터 해당 분할 영역의 예측 해빙 면적을 산출하고, 전체 분할 영역들의 예측 해빙 면적들을 합산하여 특정 월의 전체 예측 해빙 면적을 산출할 수 있다.
- [0096] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템을 이용하여 예측한 해빙 지도와 실제 관측된 해빙 지도를 비교한 도면이다.
- [0097] 도 3을 참조하면, 좌측의 도 3 (a)는 위부터 2000년 10월, 2001년 9월 및 2013년 10월에 각각 실제 관측된 해빙 지도들이고, 우측의 도 3 (b)는 본 발명에 따라 각 분할 영역마다 개별적으로 예측된 해빙 면적비를 기초로 작성된 해빙 지도들이다.
- [0098] 이렇듯, 본 발명의 해빙 면적비 예측 시스템은 복잡한 해양 대기 모델을 이용하지 않고도 단순한 MSP 모델임에도 상당히 정확하게 해빙 지도를 예측할 수 있음을 알 수 있다.
- [0099] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 북극해 해빙 면적비 예측 시스템을 이용하여 예측한 해빙 면적과 기존의 예측 기법들을 이용하여 예측한 해빙 면적들 및 실제 해빙 면적을 비교한 그래프이다.
- [0100] 도 4를 참조하면, 2012년 9월의 해빙 면적을 기존의 20여 종류의 예측 기법들에 따라 예측한 값들과 본 발명에 따라 예측한 해빙 면적이 예시되어 있다.
- [0101] 실제로 2012년 9월에는 해빙 면적이 기록적으로 퇴화하여 3.6백만 평방킬로미터로 축소되었다. 맨 왼쪽에 본 발명의 기법에 따라 예측한 해빙 면적은 4.0백만 평방킬로미터이고, 나머지 20 종류의 예측기법들에 따라 예측

된 해빙 면적들의 평균은 4.5백만 평방킬로미터였다.

[0102] 이렇듯, 본 발명의 해빙 면적비 예측 시스템은 복잡한 해양 대기 모델을 이용하지 않고도 단순한 MSP 모델임에도 비교적 정확하게 해빙 면적을 예측하였다.

[0103] 본 실시예 및 본 명세서에 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타내고 있는 것에 불과하며, 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것이 자명하다고 할 것이다.

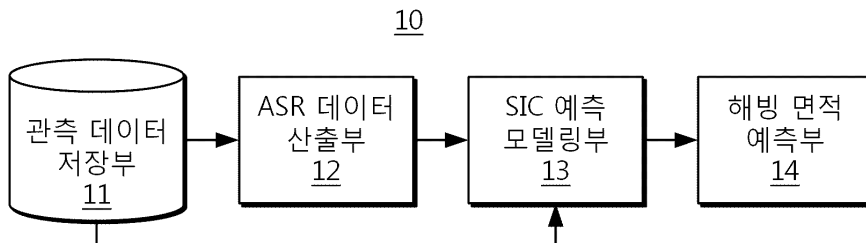
[0104] 또한, 본 발명에 따른 장치는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽힐 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 기록매체의 예로는 ROM, RAM, 광학 디스크, 자기 테이프, 플로피 디스크, 하드 디스크, 비휘발성 메모리 등을 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

부호의 설명

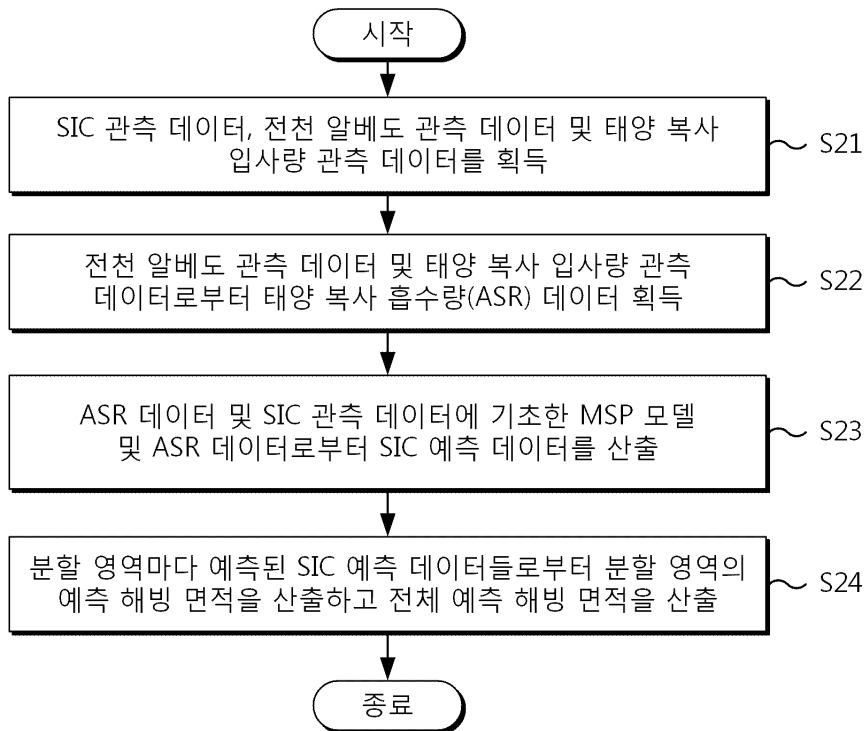
- [0105]
- 10 북극해 해빙 면적비 예측 시스템
 - 11 관측 데이터 저장부
 - 12 ASR 데이터 산출부
 - 13 SIC 예측 모델링부
 - 14 해빙 면적 예측부

도면

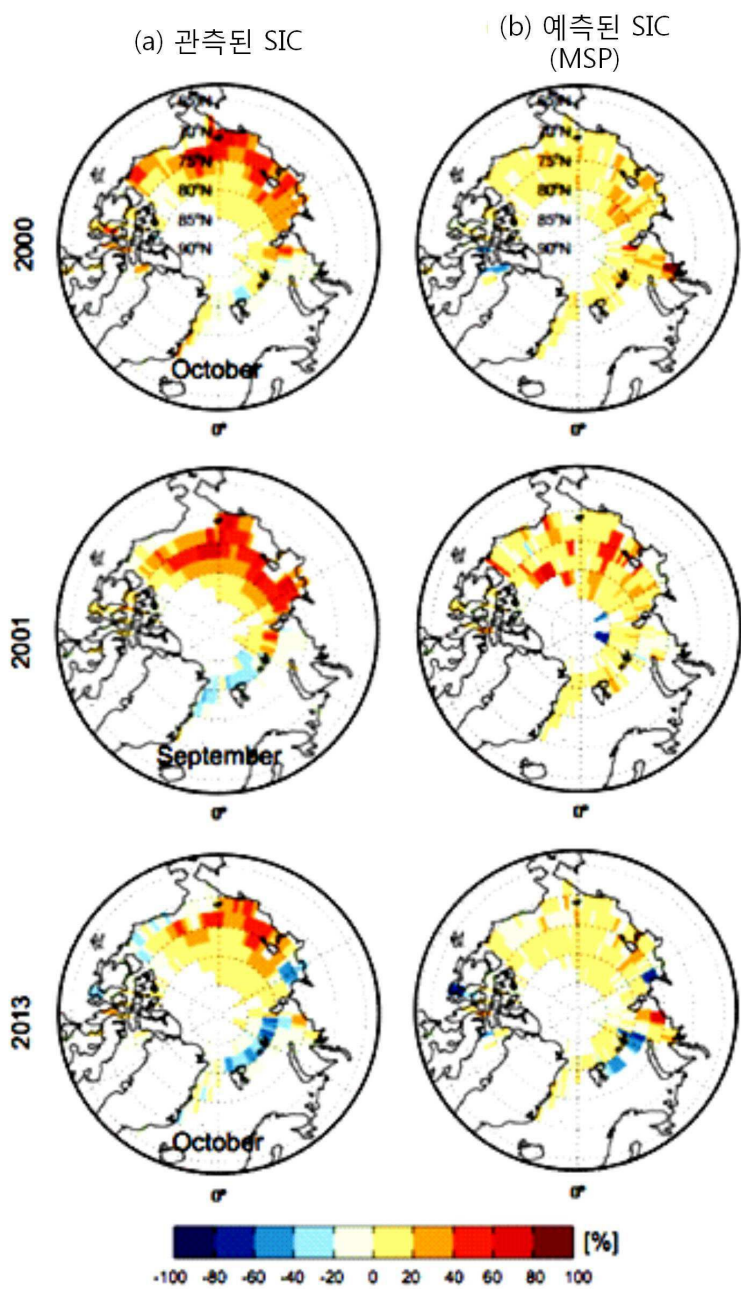
도면1



도면2



도면3



도면4

