

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0089760

(43) 공개일자 2023년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01W 1/10 (2006.01) G06F 17/15 (2006.01)

G06F 17/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01W 1/10 (2013.01)

G06F 17/15 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0178421

(22) 출원일자 2021년12월14일

심사청구일자 2021년12월14일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

송하준

서울특별시 양천구 목동동로 339 2201호

탁용진

서울특별시 동작구 장승배기로4길 9 120-701

(74) 대리인

김인철

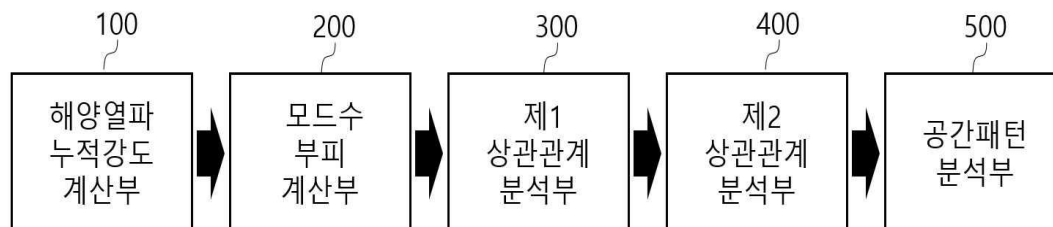
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 모드수를 이용한 해양 열파 발생 예측시스템 및 예측방법

(57) 요약

본 발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버를 이용하는 컴퓨팅장치에 의해 수행되는 해양 열파 발생 예측시스템으로서, 해양열파 발생기간 동안의 강도를 누적하여 해양열파 누적강도를 계산하는 해양열파 누적강도 계산부(100); 격자화된 관측자료 또는 모델자료를 이용하여, 인공위성 표층수온 자료와 동일 기간의 모드수 부피를 계산하는 부피 계산부(200); 상기 모드수 부피와 해양열파 누적강도 간의 월별 상관관계를 분석하는 제1 상관관계 분석부(300); 상기 모드수 부피와 해양열파 누적강도 간의 시간지연 상관관계를 분석하는 제2 상관관계 분석부(400); 및 제2 상관관계 분석부(400)에서 분석된 시간지연 상관관계 계수의 공간패턴을 분석하는 공간패턴 분석부(500)를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06F 17/18 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1365003381
과제번호	KMI2020-01211
부처명	기상청
과제관리(전문)기관명	한국기상산업기술원
연구사업명	기후및기후변화감시·예측정보응용기술개발(R&D)
연구과제명	북서태평양 해양열파 및 태풍 등의 이상기후 계절내 잠재 예측성 및 이의 표준평년
변경에 대한 민감도 진단	
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버를 이용하는 컴퓨팅장치에 의해 수행되는 해양 열과 발생 예측시스템으로서,

해양열과 발생기간 동안의 강도를 누적하여 해양열과 누적강도를 계산하는 해양열과 누적강도 계산부;

격자화된 관측자료 또는 모델자료를 이용하여, 인공위성 표층수온 자료와 동일 기간의 모드수 부피를 계산하는 부피 계산부;

상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계를 분석하는 제1 상관관계 분석부;

상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 시간지연 상관관계를 분석하는 제2 상관관계 분석부; 및

제2 상관관계 분석부에서 분석된 시간지연 상관관계 계수의 공간패턴을 분석하는 공간패턴 분석부를 포함하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 해양열과 누적강도 계산부에서,

해양열과의 강도는 평년 수온을 기준으로 수온이 증가된 정도이며,

해양열과 누적 강도는 해양열과 발생 기간 동안 각 일자별 해양열과 강도를 누적하여 다음 수학적 식 1로 산출하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템.

$$MHW_a = \sum_{t=1}^n (SST_{MHW} - SST_{90})_t$$

[수학적 식 1]

(여기서, MHW_a 는 해양열과가 발생한 시기에 해양열과 강도를 누적한 해양 열과 누적 강도를 의미한다. t 는 해양열과가 발생한 시기의 일자를 의미한다. n 은 해양열과가 발생하였을 때의 지속일자를 의미한다. SST_{MHW} 는 해양열과가 발생했을 때 일 평균 수온을 의미한다. SST_{90} 은 90th percentile(백분위수) 수온 값을 의미한다.)

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 수학적 식 1의 해양 열과 누적 강도 값을 월별로 누적한 합계값을 다음 수학적 식 2로 산출하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템.

$$MHW_{tot} = \sum_{m=1}^n (MHW_a)_m$$

[수학적 식 2]

(여기서, MHW_{tot} 는 월별로 누적한 해양열과 누적 강도를 나타낸다. m 은 한 달 동안 발생한 해양열과를 나타내는 일련의 숫자이다. n 은 한 달 동안 해양열과가 발생한 총 횟수를 의미한다. MHW_a 는 해양열과가 발생한 시기에 해양열과 강도를 누적한 해양 열과 누적 강도를 의미한다.)

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 부피 계산부는,

각 년도별로 모드수가 가장 많이 존재하는 월의 부피를 계산하고, 다음 수학적 식 3 내지 수학적 식 5에 따라 시계열 자료를 구성하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열파 발생 예측시스템.

[수학적 식 3]
$$A = \{16^{\circ}\text{C} < Temp < 19^{\circ}\text{C}\},$$

[수학적 식 4]
$$B = \left\{ \frac{dTemp}{dz} < 0.015 \right\},$$

[수학적 식 5]
$$A \cap B = Vol_{mode}$$

(여기서, A와 B는 모드수(mode water)의 필요 조건을 의미한다. Temp는 모드수(mode water)의 형성 지역의 격자화된 자료들의 각 격자별 수온을 의미한다. z는 수심을 의미한다. Vol_{mode} 는 모드수(mode water)의 형성 지역 내 A, B의 두 조건을 만족하는 격자의 부피를 나타낸다.)

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 모드수가 가장 많이 존재하는 월은

해양이 북태평양인 때에는 3월인 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열파 발생 예측시스템.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

격자화된 모드수 형성지역의 각 격자의 부피(Vol_{mode})는 모드수 조건을 만족하는 격자의 수평 및 수직 격자의 길이를 곱하여 다음 수학적 식 6으로 계산하며,

모드수 부피(Vol_{tot})는 다음 수학적 식 7로 계산하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열파 발생 예측시스템.

[수학적 식 6]
$$Vol_{mode} = dx_n \times dy_n \times dz_n,$$

[수학적 식 7]
$$Vol_{tot} = \sum_{n=1}^k (dx_n \times dy_n \times dz_n)$$

(여기서, dx는 격자의 경도방향 길이를 나타낸다. dy는 격자의 위도방향 길이를 나타낸다. dz는 격자의 수직 길이를 나타낸다. k는 모드수(mode water)의 형성 지역 내 모드수(mode water) 조건을 만족하는 격자의 총 개수를 의미한다. n은 모드수 형성 지역 내 모드수 조건을 만족하는 격자의 숫자를 나타낸다. Vol_{mode} 는 격자화된 모드수 형성지역에서 모드수 조건을 만족하는 격자의 격자 부피를 나타낸다. Vol_{tot} 는 모드수(mode water)의 형성 지역 내 모드수(mode water)의 총 부피를 의미한다.)

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 제1 상관관계 분석부는,

다음 수학적식 8 및 수학적식 9를 이용하여, 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계($r_{X,Y}$)를 분석하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템.

$$r_{X,Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y},$$

[수학적식 8]

$$E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)] = \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \mu_X)(Y_i - \mu_Y)}{m}$$

[수학적식 9]

(여기서, X는 모드수(mode water)의 형성 지역의 월 해양열과의 누적 강도의 연 변동 값을 나타낸다. Y는 모드수(mode water) 형성 지역의 월 모드수(mode water) 부피의 연 변동 값을 나타낸다. $r_{X,Y}$ 는 월별 해양열과 누적강도와 모드수(mode water) 부피의 상관계수를 나타낸다. μ_X , μ_Y 는 월별 해양열과 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 평균을 나타낸다. σ_X 와 σ_Y 는 월별 해양열과의 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 표준편차를 나타낸다. i는 분석을 실시한 샘플의 숫자를 나타낸다. m은 상관관계 분석을 실시한 샘플의 개수를 나타낸다.)

청구항 8

청구항 7에 있어서,

다음 수학적식 10에 따라, 상기 상관계수의 유의미성을 판별하는 95% 신뢰구간을 산정하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템.

$$t = r \sqrt{\frac{m-2}{1-r^2}}$$

[수학적식 10]

(여기서, t는 t-검정에서 검정 통계량을 나타낸다. m은 상관관계 분석 개월 수를 나타낸다. r은 95% 신뢰 구간에 해당하는 기준 상관계수 값을 의미하며 이것 보다 높은 상관계수를 보일 때 유의미하다고 정의한다. 95% 신뢰구간에 해당하는 t는 ± 2.201 이다.)

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 제2 상관관계 분석부에서, 다음 수학적식 11 및 수학적식 12에 따라 시간지연 상관관계($r_{X,Y}^t$)를 분석하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템.

$$r_{X,Y}^t = \frac{E[(X^t - \mu_{X^t})(Y^3 - \mu_{Y^3})]}{\sigma_{X^t} \sigma_{Y^3}},$$

[수학적식 11]

$$E\left[\left(X^t - \mu_{X^t}\right)\left(Y^3 - \mu_{Y^3}\right)\right] = \frac{\sum_{i=1}^{m^t} \left(X_i^t - \mu_{X^t}\right)\left(Y_i^3 - \mu_{Y^3}\right)}{m^t}$$

[수학식 12]

(여기서, X^t 는 모드수(mode water)의 형성 지역에서 3월부터 t개월 후의 월 해양열파의 누적 강도의 연 변동 값을 의미한다. Y^3 는 모드수(mode water) 형성지역의 3월 모드수(mode water) 부피의 연 변동 값을 나타낸다. $r_{X,Y}^t$ 는 시간지연(time-lag)을 t개월 만큼 적용하였을때 해양열파 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 상관 계수를 나타낸다. μ_{X^t} , μ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 월 해양열파의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 평균을 나타낸다. σ_{X^t} 와 σ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 월 해양열파의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 표준편차를 나타낸다. i는 분석을 실시한 샘플의 숫자를 나타낸다. m^t 은 시간지연 상관관계 분석을 실시한 샘플의 개수를 나타낸다.)

청구항 10

청구항 9에 있어서,

모드수 형성지역의 원격지역에서 발생하는 해양열파는 다음 수학식 13 및 수학식 14에 따라 시간지연 상관관계 ($r_{X_r,Y}^t$)를 분석하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열파 발생 예측시스템.

$$r_{X_r,Y}^t = \frac{E\left[\left(X_r^t - \mu_{X_r^t}\right)\left(Y^3 - \mu_{Y^3}\right)\right]}{\sigma_{X_r^t} \sigma_{Y^3}},$$

[수학식 13]

$$E\left[\left(X_r^t - \mu_{X_r^t}\right)\left(Y^3 - \mu_{Y^3}\right)\right] = \frac{\sum_{i=1}^{m^t} \left(X_{ri}^t - \mu_{X_r^t}\right)\left(Y_i^3 - \mu_{Y^3}\right)}{m^t}$$

[수학식 14]

(여기서, X_r^t 는 원격 지역에서의 3월부터 t개월 후의 월 해양열파의 누적 강도의 연 변동 값을 의미한다. Y^3 는 모드수(mode water) 형성지역의 3월 모드수(mode water) 부피의 연 변동 값을 나타낸다. $r_{X,Y}^t$ 는 시간지연(time-lag)을 t개월 만큼 적용하였을때, 원격 지역에서의 해양열파 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 상관계수를 나타낸다. $\mu_{X_r^t}$, μ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 원격 지역에서의 월 해양열파의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 평균을 나타낸다. $\sigma_{X_r^t}$ 와 σ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 원격 지역에서의 월 해양열파의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 표준편차를 나타낸다. i는 분석을 실시한 샘플의 숫자를 나타낸다. m^t 은 시간지연 상관관계 분석을 실시한 샘플의 개수를 나타낸다. X_{ri}^t 는 원격 지역에서 표층 수온 자료의 각 격자별 i년도 3월부터 t개월 후의 월 해양열파의 누적 강도 값을 의미한다. Y_i^3 는 모드수(mode water) 형성지역의 i년도 3월 모드수(mode water) 부피 값을 나타낸다.)

청구항 11

데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버를 이용하는 컴퓨팅장치에 의해 수행되는 해양 열파 발생 예측방법으로서, 상기 컴퓨팅장치는

해양열과 누적강도 계산부가 해양열과 발생기간 동안의 강도를 누적하여 해양열과 누적강도를 계산하는 S100 단계;

모드수 부피 계산부가 격자화된 관측자료 또는 모델자료를 이용하여, 인공위성 표층수온 자료와 동일 기간의 모드수 부피를 계산하는 S200 단계;

제1 상관관계 분석부가 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계를 분석하는 S300 단계;

제2 상관관계 분석부가 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 시간지연 상관관계를 분석하는 S400 단계 ;
및

공간패턴 분석부가 제2 상관관계 분석부에서 분석된 시간지연 상관관계 계수의 공간패턴을 분석하는 S500 단계를 포함하여 수행하는 것을 특징으로 하는 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측방법.

청구항 12

하드웨어와 결합되어, 청구항 11 에 따른 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 해양 열과 발생 예측시스템 및 예측방법에 관한 것이다. 구체적으로는 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템 및 예측방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 해양열파(Marine Heatwaves)는 약 30년 기간의 평균 수온에서 90th percentile(백분위수) 보다 더 높은 수온이 5일 이상 나타나는 현상을 의미한다. 극단적으로 높은 수온이 나타나는 현상을 말한다.

[0003] 모드수(mode water)는 해양의 중층에 존재하는 수체를 의미한다. 주로 겨울철에 강한 바람과 표층 냉각으로 인해 해수가 차가워질 때 형성되고 여름철에는 표층 가열로 인해 해양 중층에 갇힌 상태로 존재하게 된다. 모드수(mode water)가 많이 발생하면 차가운 물이 해양 중층에 많이 존재하게 된다.

[0004] 이는 다음해 겨울에 표층이 냉각 될 때, 모드수(mode water)가 표층 수온에 영향을 주면서 좀 더 냉각이 강하게 발생할 수 있는 역할을 할 수 있다. 따라서 모드수(mode water)의 양에 따라 당해, 다음해의 표층 냉각 정도가 달라지게 되며 이는 해양 열파의 강도와 발생에 영향을 줄 수 있게 된다.

[0005] 해양 열파라는 개념이 생긴지 10년도 안된 상태라 이에 관한 연구가 아직은 부족한 상태이며, 그나마 대기 환경에 의한 해양 열과 발생 관점에서 연구가 이루어졌기 때문에, 해양 환경에 의한 해양열과 발생 및 강도에 관한 연구는 부족한 실정이다.

[0006] 대기에 의한 해양 열과 발생 예측은 대기 환경이 급격하게 변하기 때문에 단기 예측은 가능하겠지만, 계절 이상의 규모에서는 예측이 어렵다. 반면, 해양은 열용량이 큰 특성으로 해양 환경이 오래 지속되기 때문에 예측이 비교적 용이하다. 이런 특성을 이용해 해류를 통해 해양으로 유입되는 열에너지와 해양열파와의 관계와 예측 가능성을 논의할 수 있을 것이다.

[0007] 하지만, 해양의 경우 수평적인 해류를 통한 열 유입뿐만 아니라 수직 혼합으로 인한 수직적인 열 유입이 더 중요한 해역도 존재하기 때문에, 해역 별로 다른 관점의 연구가 필요하다.

[0008] 예를 들어, 북태평양은 수평 해류의 열 유입도 강한 해역이지만, 모드수(mode water)에 의한 수직적인 열 교환도 중요한 해역이므로, 수직적인 열 교환과 해양열파와의 관계를 규명하는 것이 필요할 것이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) (문헌 1) 한국등록특허공보 제10-1575847호 (2015.12.02)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템 및 예측방법은 다음과 같은 해결과제를 가진다.
- [0011] 첫째, 해양열과와 모드수와 관계의 관계를 제시하고자 한다.
- [0012] 둘째, 모드수를 통한 해양열과 발생을 예측하고자 한다.
- [0013] 셋째, 모드수 부피를 통해 해양열과의 장기예측을 하고자 한다.
- [0014] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0015] 본 발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버를 이용하는 컴퓨팅장치에 의해 수행되는 해양 열과 발생 예측시스템으로서, 해양열과 발생기간 동안의 강도를 누적하여 해양열과 누적강도를 계산하는 해양열과 누적강도 계산부; 격자화된 관측자료 또는 모델자료를 이용하여, 인공위성 표층수온 자료와 동일 기간의 모드수 부피를 계산하는 부피 계산부; 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계를 분석하는 제1 상관관계 분석부; 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 시간지연 상관관계를 분석하는 제2 상관관계 분석부; 및 제2 상관관계 분석부에서 분석된 시간지연 상관관계 계수의 공간패턴을 분석하는 공간패턴 분석부를 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명에 있어서, 상기 해양열과 누적강도 계산부에서, 해양열과의 강도는 평년 수온을 기준으로 수온이 증가된 정도이며, 해양열과 누적 강도는 해양열과 발생 기간 동안 각 일자별 해양열과 강도를 누적하여 수학적 1로 산출할 수 있다.
- [0017] 본 발명에 있어서, 수학적 1의 해양 열과 누적 강도 값을 월별로 누적한 합계값을 수학적 2로 산출할 수 있다.
- [0018] 본 발명에 있어서, 상기 부피 계산부는, 각 년도별로 모드수가 가장 많이 존재하는 월의 부피를 계산하고, 수학적 3 내지 수학적 5에 따라 시계열 자료를 구성할 수 있다.
- [0019] 본 발명에 있어서, 상기 모드수가 가장 많이 존재하는 월은 해양이 북태평양인 때에는 3월인 것이 바람직하다.
- [0020] 본 발명에 있어서, 격자화된 모드수 형성지역의 각 격자의 부피(Vol_{mode})는 모드수 조건을 만족하는 격자의 수평 및 수직 격자의 길이를 곱하여 수학적 6으로 계산하며, 모드수 부피(Vol_{tot})는 수학적 7로 계산할 수 있다.
- [0021] 본 발명에 있어서, 상기 제1 상관관계 분석부는, 수학적 8 및 수학적 9를 이용하여, 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계($r_{X,Y}$)를 분석할 수 있다.
- [0022] 본 발명에 있어서, 상기 제2 상관관계 분석부에서, 수학적 11 및 수학적 12에 따라 시간지연 상관관계($r_{X,Y}^t$)를 분석할 수 있다.
- [0023] 본 발명에 있어서, 모드수 형성지역의 원격지역에서 발생하는 해양열과는 수학적 13 및 수학적 14에 따라 시간지연 상관관계($r_{X_r,Y}^t$)를 분석할 수 있다.
- [0025] 본 발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버를 이용하는 컴퓨팅장치에 의해 수행되는 해양 열과 발생 예측방법으로서, 상기 컴퓨팅장치는 해양열과 누적강도 계산부가 해양열과 발생기간 동안의 강도를 누적하여 해양열과 누적강도를 계산하는 S100 단계; 모드수 부피 계산부가 격자화된 관측자료 또는 모델자료를 이용하여,

인공위성 표층수온 자료와 동일 기간의 모드수 부피를 계산하는 S200 단계; 제1 상관관계 분석부가 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계를 분석하는 S300 단계; 제2 상관관계 분석부가 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 시간지연 상관관계를 분석하는 S400 단계 ; 및 공간패턴 분석부가 제2 상관관계 분석부에서 분석된 시간지연 상관관계 계수의 공간패턴을 분석하는 S500 단계를 포함하여 수행할 수 있다.

[0026] 본 발명은 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템 및 예측방법은 다음과 같은 효과를 가진다.

[0028] 첫째, 해양열과와 모드수와의 관계를 제시하는 효과가 있다.

[0029] 둘째, 모드수를 통한 해양열과 발생을 예측하는 효과가 있다.

[0030] 셋째, 모드수 부피를 통해 해양열과의 장기예측을 하는 효과가 있다.

[0031] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측시스템의 구성도이다.

도 2는 3월 해양열과 누적 강도의 공간 분포도를 나타낸다.

도 3은 모드수(mode water) 형성 지역에서의 모드수(mode water) 부피의 월 시계열을 나타낸다.

도 4는 3월 모드수(mode water) 두께의 공간 분포도를 나타낸다.

도 5a는 3월, 도 5b는 9월의 평균 수직 수온 분포 및 모드수(mode water)의 남북방향의 두께 분포도를 나타낸다.

도 6은 각 월별 모드수(mode water) 형성지역에서 모드수(mode water) 부피와 해양열과 누적 강도의 상관 계수의 시계열 분포를 나타낸다.

도 7은 모드수(mode water) 형성지역에서 3월 모드수(mode water) 부피와 해양열과 누적 강도의 시간 지연 상관 계수의 시계열 분포를 나타낸다.

도 8은 원격 지역에서 3월 모드수(mode water) 부피와 해양열과 누적 강도의 시간 지연 상관 계수의 시계열 분포를 나타낸다.

도 9는 3월 모드수(mode water) 부피와 격자별 해양열과 누적 강도의 시간 지연 상관 계수의 공간 분포를 나타낸다.

도 10은 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하, 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 이해할 수 있는 바와 같이, 후술하는 실시예는 본 발명의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 형태로 변형될 수 있다. 가능한 한 동일하거나 유사한 부분은 도면에서 동일한 도면부호를 사용하여 나타낸다.

[0034] 본 명세서에서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지는 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다.

[0035] 본 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.

- [0036] 본 명세서에서 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0037] 본 명세서에서 사용되는 방향에 관한 표현, 예를 들어 전/후/좌/우의 표현, 상/하의 표현, 종방향/횡방향의 표현은 도면에 개시된 방향을 참고하여 해석될 수 있다.
- [0039] 해양열파는 평년 수온 보다 90th percentile(백분위수) 이상의 높은 수온이 5일 이상 나타나는 현상을 의미한다. 지구 온난화로 인해 최근 들어 해양열파는 더욱 빈번히 나타난다. 고 수온이 나타날 수 있는 원리로는 대기로부터의 열 공급, 수평적인 해류로 인한 열 공급, 수직적인 혼합으로 인한 열 공급이 있다.
- [0041] 본 발명은 해양에서 수직적인 혼합으로 인한 열 공급이 해양열파 발생에 어떤 영향을 줄 수 있는지에 대해 규명하고 수직적인 열 공급을 예측함으로써 해양열파 강도 또한 예측 가능성을 보여준다.
- [0043] 본 발명의 '해양'은 특정 해양에 국한되지 않는다. 다만, 본 명세서에서는 '북태평양'을 일 실시예로 삼아 본 발명을 설명하고자 한다.
- [0044] 본 발명은 모드수(mode water)의 '형성 지역'뿐만 아니라 그보다 동쪽에 있는 '원격 지역'에서 발생하는 해양열파와도 시간 지연 상관관계 분석을 실시한다. 이때, '원격 지역'의 범위는 남북 방향으로서는 형성지역과 동일하며 동서 방향으로서는 형성지역 동쪽 경계부터 동쪽으로 25° 떨어진 범위까지로 정의될 수 있다.
- [0046] 겨울철 북태평양에는 냉각현상으로 인해 약 수심 300m 까지 모드수(mode water)가 형성된다. 모드수(mode water)는 여름철 표층 가열으로 인해 중층에 갇히게 된다. 중층에 갇힌 모드수(mode water)는 북태평양 환류로 인해 동쪽으로 이동하고 다음해 겨울철 형성 지역에서 동쪽으로 떨어진 지역에서 다시 냉각으로 인해 표층으로 재출현한다. 재출현하는 모드수(mode water)는 표층보다 차가운 해수이기 때문에 표층 수온을 냉각시키는 효과를 가져온다.
- [0048] 재출현한 모드수(mode water)는 전년도 형성되는 부피에 따라 표층 수온에 영향을 줌으로써 해양열파 발생 및 강도에 영향을 준다.
- [0049] 모드수(mode water)가 형성되는 당해 년도에는 모드수(mode water)가 많이 형성될수록 모드수(mode water) 형성 지역 내 해양열파가 적게 발생함을 상관 관계분석을 통해 알 수 있다.
- [0051] 모드수(mode water)가 형성된 다음 년도에는 모드수(mode water)가 많이 형성될수록 모드수(mode water) 형성 지역의 동쪽 해역에서 해양열파가 적게 발생함을 시간 지연 상관 관계분석을 통해 알 수 있고, 최대 3년까지 그 영향이 있는 것을 알 수 있었다.
- [0053] 이하에서는 도면을 참고하여 본 발명을 설명하고자 한다. 참고로, 도면은 본 발명의 특징을 설명하기 위하여, 일부 과장되게 표현될 수도 있다. 이 경우, 본 명세서의 전 취지에 비추어 해석되는 것이 바람직하다.
- [0055] 도 1은 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열파 발생 예측시스템의 구성도이다.
- [0056] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열파 발생 예측시스템은 해양열파 누적강도 계산부(100), 부피 계산부(200), 제1 상관관계 분석부(300), 제2 상관관계 분석부(400) 및 공간패턴 분석부(500)를 포함한다.

[0057] 구체적으로, 본 발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버를 이용하는 컴퓨팅장치에 의해 수행되는 해양 열과 발생 예측시스템으로서, 해양열과 발생기간 동안의 강도를 누적하여 해양열과 누적강도를 계산하는 해양열과 누적강도 계산부(100); 격자화된 관측자료 또는 모델자료를 이용하여, 인공위성 표층수온 자료와 동일기간의 모드수 부피를 계산하는 부피 계산부(200); 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계를 분석하는 제1 상관관계 분석부(300); 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 시간지연 상관관계를 분석하는 제2 상관관계 분석부(400); 및 제2 상관관계 분석부(400)에서 분석된 시간지연 상관관계 계수의 공간패턴을 분석하는 공간패턴 분석부(500)를 포함한다.

[0059] 이하에서는 본 발명에 따른 해양열과 누적강도 계산부(100)를 설명하고자 한다.

[0060] 본 발명에 따른 해양열과 누적강도 계산부(100)는 해양열과 발생기간 동안의 강도를 누적하여 해양열과 누적강도를 계산할 수 있다.

[0061] 본 발명은 해양열과를 잘 표현할 수 있는 방안으로서, 해양열과의 발생 기간 동안의 강도를 누적하여 해양열과 누적 강도를 계산한다.

[0062] 이에, 인공위성 표층 수온 자료를 활용하여 30년 이상의 기간을 평균하여 공간별 평년 수온 자료를 구성한다. 그 후 공간별 수온 자료에서 평년 수온 기준 90th percentile(백분위수) 이상의 고 수온이 5일 이상 나타나면 해양열과라 정의한다.

[0063] 90th percentile(백분위수)를 산정하고, 해양열과를 산정하는 방법은 아래와 같다.

[0064] 첫째, 30년간 일 평균 수온자료 중 같은 날짜에 해당하는 수온자료들(예로, 30개)을 오름차순으로 정리한다.

[0065] 둘째, 오름차순으로 정리된 수온자료(예로, 30개) 중 백분위로 90번째에 해당하는 $0.9 \times 30 = 27$ 번째 값을 90th percentile(백분위수) 수온 값으로 정의한다.

[0066] 셋째, 30년간 일 평균 수온자료 중 90th percentile(백분위수) 수온 보다 높은 날이 5일 이상 지속되면 해양열과로 산정한다.

[0068] 본 발명에 해양열과의 강도는 평년 수온을 기준으로 수온이 증가된 정도, 즉 몇 도 이상 높은 지로 정의한다.

[0069] 본 발명에 있어서, 해양열과 누적 강도는 해양열과 발생 기간 동안 각 일자별 해양열과 강도를 누적하여 다음 수학식 1로 산출할 수 있다.

수학식 1

$$MHW_a = \sum_{t=1}^n (SST_{MHW} - SST_{90})_t$$

[0070]

[0071] 여기서, MHW_a 는 해양열과가 발생한 시기에 해양열과 강도를 누적한 해양 열과 누적 강도를 의미한다. t 는 해양열과가 발생한 시기의 일자를 의미한다. n 은 해양열과가 발생하였을 때의 지속일자를 의미한다. SST_{MHW} 는 해양열과가 발생했을 때 일 평균 수온을 의미한다. SST_{90} 은 90th percentile(백분위수) 수온 값을 의미한다.

[0073] 한편, 해양 열과와 상관관계 분석을 수행할 모드수는 일 단위 변화보다는 월 단위 변화가 유의미하기 때문에 해양 열과 누적 강도 또한 월별로 재구성할 필요가 있다.

[0074] 이에, 본 발명에 있어서, 해양 열과 누적 강도 값을 월별로 다시 누적하여 자료를 구성할 수 있다. 수학식 1의

해양 열과 누적 강도 값을 월별로 누적인 합계값을 다음 수학적 식 2로 산출할 수 있다.

수학적 식 2

$$MHW_{tot} = \sum_{m=1}^n (MHW_a)_m$$

[0075]

[0076]

여기서, MHW_{tot} 는 월별로 누적인 해양열과 누적 강도를 나타낸다. m 은 한 달 동안 발생한 해양열과를 나타내는 일련의 숫자이다. n 은 한 달 동안 해양열과가 발생한 총 횟수를 의미한다. MHW_a 는 해양열과가 발생한 시기에 해양열과 강도를 누적인 해양 열과 누적 강도를 의미한다.

[0078]

예를 들어, 한 달에 해양열과가 총 3회 발생하였다면, n 은 3이며, 첫 번째 발생한 해양열과부터 세 번째 발생한 해양열과까지 순차적으로 $m=1, 2, 3$ 으로 정의할 수 있다.

[0080]

도 2는 3월 해양열과 누적 강도의 공간 분포도를 나타낸다. 도 2는 1982년부터 2018년까지 3월에 발생한 해양 열과의 누적 강도를 공간적으로 나타낸다. 도 2에서, x 축은 경도를 나타내고, y 축은 위도를 나타낸다. 청색 실선은 모드수(mode water) 형성 지역을 나타내고, 청색 점선은 원적 지역을 나타낸다. 인공위성 관측 자료를 통해 해양열과를 산정한 결과를 보여준다.

[0083]

이하에서는 본 발명에 따른 부피 계산부(200)를 설명하고자 한다.

[0084]

본 발명에 따른 부피 계산부(200)는 격자화된 관측자료 또는 모델자료를 이용하여, 인공위성 표층수온 자료와 동일 기간의 모드수 부피를 계산할 수 있다.

[0085]

일 실시예로서, 겨울철 북태평양 모드수(mode water) 부피를 산정할 수 있다. 이 경우, 격자화된 관측 자료(예로, EN4) 또는 모델 자료(예로, ECCOv4r4)를 이용하여, 인공위성 표층 수온 자료와 같은 기간 동안의 북태평양 모드수(mode water)의 부피를 계산할 수 있다.

[0086]

북태평양 모드수(mode water)의 형성 지역은 과거 선행 연구를 통해 알려진 범위로 설정하였다($24^{\circ} \text{ N} \sim 35^{\circ} \text{ N}$, $130^{\circ} \text{ E} \sim 175^{\circ} \text{ E}$). 해당 범위 내에서 수온이 수직적으로 100m 당 1.5° C 이하로 변화하며, $16^{\circ} \text{ C} \sim 19^{\circ} \text{ C}$ 사이의 수온에 해당하는 해수를 모드수(mode water)라 정의하여 부피를 산정한다.

[0088]

본 발명에 따른 부피 계산부(200)는 각 년도별로 모드수가 가장 많이 존재하는 월의 부피를 계산하고, 다음 수학적 식 3 내지 수학적 식 5에 따라 시계열 자료를 구성할 수 있다.

수학적 식 3

$$A = \{16^{\circ} \text{ C} < Temp < 19^{\circ} \text{ C}\},$$

[0089]

수학식 4

$$B = \left\{ \frac{dTemp}{dz} < 0.015 \right\},$$

[0090]

수학식 5

$$A \cap B = Vol_{mode}$$

[0091]

[0092] 여기서, A와 B는 모드수(mode water)의 필요 조건을 의미한다. Temp는 모드수(mode water)의 형성 지역의 격자화된 자료들의 각 격자별 수온을 의미한다. z는 수심을 의미한다. Vol_{mode}는 모드수(mode water)의 형성 지역 내 A, B의 두 조건을 만족하는 격자의 부피를 나타낸다.

[0094] 본 발명에 있어서, 모드수가 가장 많이 존재하는 월은, 해양이 북태평양인 때에는 3월인 것이 가능하다.

[0095] 본 발명에 있어서, 각 년도별로 모드수(mode water)가 가장 많이 존재하는 월(예로 3월)의 부피를 계산하여 시계열 자료를 구성할 수 있다.

[0096] 도 3은 모드수(mode water) 형성 지역에서의 모드수(mode water) 부피의 월 시계열을 나타낸다. 도 3은 1982년부터 2018년까지 관측 자료(EN4, 적색선)와 모델 자료(ECCOv4r4, 청색선)의 월별 평균 모드수(mode water) 부피의 시계열을 나타낸다. 세로 실선은 ± 1 표준 편차를 의미한다. 도 3은 월별 모드수(mode water) 부피 변화를 나타내며 3월에 가장 많은 모드수(mode water)가 존재한다는 것을 보여준다.

[0097] 도 4는 3월 모드수(mode water) 두께의 공간 분포도를 나타낸다. EN4 관측 자료를 이용한 1982년부터 2018년까지 3월 평균 모드수(mode water)의 두께 분포도이다. 도 4의 x축은 경도를 나타내고, y축은 위도를 나타내며, 청색 실선은 모드수(mode water) 형성 지역, 청색 점선은 원경 지역을 나타낸다. 모드수(mode water)가 주로 형성 지역에 분포하고 있다는 것을 보여준다.

[0099] 격자화된 모드수 형성지역의 각 격자의 부피(Vol_{mode})는 모드수 조건을 만족하는 격자의 수평 및 수직 격자의 길이를 곱하여 다음 수학식 6으로 계산할 수 있고, 모드수 부피(Vol_{tot})는 다음 수학식 7로 계산할 수 있다.

수학식 6

$$Vol_{mode} = dx_n \times dy_n \times dz_n,$$

[0100]

수학식 7

$$Vol_{tot} = \sum_{n=1}^k (dx_n \times dy_n \times dz_n)$$

[0101]

[0102] 여기서, dx 는 격자의 경도방향 길이를 나타낸다. dy 는 격자의 위도방향 길이를 나타낸다. dz 는 격자의 수직 길이를 나타낸다. k 는 모드수(mode water)의 형성 지역 내 모드수(mode water) 조건을 만족하는 격자의 총 개수를 의미한다. n 은 모드수 형성 지역 내 모드수 조건을 만족하는 격자의 숫자를 나타낸다. Vol_{mode} 는 격자화된 모드수 형성지역에서 모드수 조건을 만족하는 격자의 격자 부피를 나타낸다. Vol_{tot} 는 모드수(mode water)의 형성 지역 내 모드수(mode water)의 총 부피를 의미한다.

[0104] 예를 들어, 형성 지역 내 모드수 조건을 만족하는 격자가 100개 존재한다면, k 은 100이며, 첫 번째 격자부터 백 번째 격자까지 순차적으로 $n=1, \dots, 100$ 으로 정의할 수 있다.

[0106] 또한, 격자화되어있다면 관측자료 또는 모델자료 모두 본 발명에 적용 가능하다. 다만, 관측자료와 모델자료를 합쳐서 이용한 것이 아니라 격자화된 모델자료와 관측 자료를 각각 이용하여 모델 자료를 이용해서 산출한 모드수 부피와 관측 자료를 이용해서 산출한 모드수 부피를 각각 해양열과 상관계수 비교에 이용하는 것이 바람직하다.

[0108] 이하에서는 본 발명에 따른 제1 상관관계 분석부(300)를 설명하고자 한다.

[0109] 본 발명에 따른 제1 상관관계 분석부(300)는 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계를 분석할 수 있다.

[0110] 모드수(mode water) 부피와 해양열과 발생 및 강도의 연관성을 객관적으로 파악하기 위해 월별 상관관계 분석을 실시할 수 있다(도 6 참조).

[0111] 도 6은 각 월별 모드수(mode water) 형성지역에서 모드수(mode water) 부피와 해양열과 누적 강도의 상관 계수의 시계열 분포를 나타낸다. 도 6은 각 월별 모드수(mode water)와 해양열과 누적 강도의 상관계수를 나타낸다. 유의미한 값은 적색 점으로 표시하였고, 분홍색 점선보다 높은 값은 95% 신뢰 구간에서 유의미하다는 것을 의미한다. 주로 여름철에는 무의미하고 늦겨울, 초봄에 음의 값으로 가장 유의미한 수치를 보인다.

[0113] 본 발명에 따른 제1 상관관계 분석부(300)는 다음 수학적식 8 및 수학적식 9를 이용하여, 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계($r_{X,Y}$)를 분석할 수 있다.

수학적식 8

$$r_{X,Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y},$$

[0114]

수학적식 9

$$E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)] = \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \mu_X)(Y_i - \mu_Y)}{m}$$

[0115]

[0116] 여기서, X 는 모드수(mode water)의 형성 지역의 월 해양열과의 누적 강도의 연 변동 값을 나타낸다. Y 는 모드수

(mode water) 형성 지역의 월 모드수(mode water) 부피의 연 변동 값을 나타낸다. $r_{X,Y}$ 는 월별 해양열과 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 상관계수를 나타낸다. μ_X , μ_Y 는 월별 해양열과 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 평균을 나타낸다. σ_X 와 σ_Y 는 월별 해양열과의 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 표준편차를 나타낸다. i 는 분석을 실시한 샘플의 숫자를 나타낸다. m 은 상관관계 분석을 실시한 샘플의 개수를 나타낸다.

[0118] 예로, 총 30년 자료로 월별 상관관계를 분석한 경우, 샘플의 개수 m 은 30개이며, 30년 자료중 첫 번째 년도부터 마지막 년도 까지 순차적으로 $i=1, \dots, 30$ 으로 나타낼 수 있다.

[0121] 본 발명은 다음 수학적 식 10에 따라, 상기 상관계수의 유의미성을 판별하는 95% 신뢰구간을 산정할 수 있다.

수학적 식 10

$$t = r \sqrt{\frac{m-2}{1-r^2}}$$

[0122]

[0123] 여기서, t 는 t -검정에서 검정 통계량을 나타낸다. m 은 상관관계 분석 개월 수를 나타낸다. r 은 95% 신뢰 구간에 해당하는 기준 상관계수 값을 의미하며 이것 보다 높은 상관계수를 보일 때 유의미하다고 정의한다. 95% 신뢰구간에 해당하는 t 는 ± 2.201 이다.

[0125] 각 월별 해양열과 누적 강도와 모드수(mode water) 부피 간의 연관성을 살펴보면, 해양 밀도 성층이 강한 여름철(예로, 6월~9월)에는 상관계수가 95% 신뢰구간을 기준으로 유의미하지 않았고, 늦겨울, 초봄에 상관계수가 유의미한 음의 값을 보였다.

[0127] 이는 도 5에 도시된 바와 같이, 모드수(mode water)가 여름철에는 가열로 인해 발생하는 수온 약층에 의해서 표층과 단절되기 때문에 상관관계가 유의미하지 않게 나오는 것이고, 겨울철에는 모드수(mode water)가 많이 형성될수록 해양열과의 강도가 약해진다는 것을 의미한다.

[0129] 도 5a는 3월, 도 5b는 9월의 평균 수직 수온 분포 및 모드수(mode water)의 남북방향의 두께 분포도를 나타낸다. EN4 관측 자료를 이용한 1982년부터 2018년까지 형성지역과 원격지역에서 남북방향으로 평균된 3월, 9월 평균 수온 분포(흑색 실선)와 남북방향의 모드수(mode water)의 두께 분포도(초록 패치)를 나타낸다. 3월에는 모드수(mode water)가 표층에서부터 300m 까지 넓게 존재하지만, 9월에는 표층 가열로 인해 수심 200~300m에 갇혀서 체류하는 것을 보여준다.

[0131] 이를 통해 본 발명은 해양 열파가 모드수(mode water) 부피와 계절별로 상관관계를 달리 가진다는 것을 규명하였고, 특히 겨울 및 봄철에 유의미한 상관성을 보임을 밝혔다. 이는 모드수(mode water)의 부피 산정을 통해 겨울철 및 봄철 해양열과 발생 강도를 파악할 수 있음을 보여준다.

[0133] 이하에서는 본 발명에 따른 제2 상관관계 분석부(400)를 설명하고자 한다.

[0134] 본 발명에 따른 제2 상관관계 분석부(400)는 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 시간지연 상관관계를 분석할 수 있다.

[0135] 모드수(mode water)는 형성 이후에도 층층에 채류하면서 이후에도 지속적으로 해양 표층에 영향을 줄 수 있기 때문에, 시간 지연 상관관계 분석을 통해 모드수(mode water) 형성 후 해양열파에 미치는 장기적인 영향 정도도 함께 파악한다 (도 7 참조).

[0137] 도 7은 모드수(mode water) 형성지역에서 3월 모드수(mode water) 부피와 해양열과 누적 강도의 시간 지연 상관 계수의 시계열 분포를 나타낸다. 도 3은 3월 모드수(mode water) 부피와 시간지연(time-lag)을 준 해양열과 누적 강도의 상관 계수 시계열 분포를 나타낸다. 유의미한 값은 적색 점으로 표시하였고, 분홍색 점선보다 높은 값은 95% 신뢰 구간에서 유의미하다는 것을 의미한다. 가장 높은 값은 시간지연(time-lag)이 없을 때이며, 시간이 지날수록 유의미한 상관관계 값이 작아진다. 3월에 존재하는 모드수(mode water)는 같은 시각의 해양열과 누적 강도에 가장 영향력이 높고, 최대 2년 후까지 형성지역의 해양열파에 영향을 주지만, 상관계수는 상대적으로 낮음을 보여준다.

[0139] 시간 지연 상관관계 분석에서 겨울철 모드수(mode water) 부피는 모드수(mode water)가 가장 많이 존재하는 3월의 부피로 정의하여 상관관계 분석을 실시하였다. 해양열과 누적 강도 시계열 자료는 시간지연(time-lag)이 없는 3월 자료부터 상관관계분석에 이용하며 그 이후 1달씩 시간지연(time-lag)을 주면서 분석을 실시하였다.

[0141] 즉, 해양열과 누적 강도 시계열 자료는 시간지연(time-lag)을 줄수록 모드수(mode water) 시계열 자료 기준으로 미래의 자료가 된다는 것을 뜻한다. 이를 통해 과거 3월에 존재하는 모드수(mode water)가 미래 해양열과 누적 강도에 유의미한 영향을 주었는지를 알 수 있다.

[0143] 본 발명에 따른 제2 상관관계 분석부(400)에서, 다음 수학적 식 11 및 수학적 식 12에 따라 시간지연 상관관계 ($r_{X,Y}^t$)를 분석할 수 있다.

수학적 식 11

$$r_{X,Y}^t = \frac{E\left[\left(X^t - \mu_{X^t}\right)\left(Y^3 - \mu_{Y^3}\right)\right]}{\sigma_{X^t}\sigma_{Y^3}},$$

[0144]

수학적 식 12

$$E\left[\left(X^t - \mu_{X^t}\right)\left(Y^3 - \mu_{Y^3}\right)\right] = \frac{\sum_{i=1}^{m^t} \left(X_i^t - \mu_{X^t}\right)\left(Y_i^3 - \mu_{Y^3}\right)}{m^t}$$

[0145]

[0147] 여기서, X^t 는 모드수(mode water)의 형성 지역에서 3월부터 t개월 후의 월 해양열파의 누적 강도의 연 변동 값

을 의미한다. Y^3 는 모드수(mode water) 형성지역의 3월 모드수(mode water) 부피의 연 변동 값을 나타낸다. $r_{X,Y}^t$ 는 시간지연(time-lag)을 t개월 만큼 적용하였을때 해양열과 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 상관 계수를 나타낸다. μ_{X^t} , μ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 월 해양열과의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 평균을 나타낸다. σ_{X^t} 와 σ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 월 해양열과의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 표준편차를 나타낸다. i는 분석을 실시한 샘플의 숫자를 나타낸다. m^t 은 시간지연 상관관계 분석을 실시한 샘플의 개수를 나타낸다.

[0148]

[0149] 총 30년 자료로 시간 지연 상관관계를 분석하고 시간지연(time-lag)이 9보다 작은 경우 m_t 는 30이지만, 9보다 커질 경우, 해양열과 누적 강도의 샘플 자료가 모드수(mode water) 샘플 자료보다 1년 지연되기 때문에 m_t 는 29로 줄어든다. 즉, 시간지연(time-lag)이 $9+12n$ 만큼 주어지게 되면 m_t 는 $30-(1+n)$ 개로 정의할 수 있다.

X_i^t 는 모드수 형성 지역에서 표층 수온 자료의 각 격자별 i년도 3월부터 t개월 후의 월 해양열과의 누적 강도를 의미한다. Y_i^3 는 모드수(mode water) 형성지역의 i년도 3월 모드수(mode water) 부피 값을 나타낸다.

[0152]

모드수(mode water)는 겨울철에 냉각에 의해 형성된 이후 북태평양 아열대 환류에 의해 동쪽으로 이동한다. 이러한 특성으로 인해 모드수(mode water)는 시간에 따라 다른 해역의 해양열과 발생에 영향을 줄 수 있다.

[0154]

본 발명에 따른 '원격 지역'의 범위는 남북 방향으로서는 형성지역과 동일하며 동서 방향으로서는 형성지역 동쪽 경계부터 동쪽으로 25° 떨어진 범위까지로 정의될 수 있다.

[0155]

북태평양 실시예에 적용하면, 모드수(mode water) 형성 지역뿐만 아니라 그보다 동쪽에 있는 원격 지역($24^\circ N \sim 35^\circ N$, $175^\circ E \sim 160^\circ W$)에서 발생하는 해양열과와도 시간 지연 상관관계 분석을 실시한다(도 8 참조).

[0156]

도 8은 원격 지역에서 3월 모드수(mode water) 부피와 해양열과 누적 강도의 시간 지연 상관 계수의 시계열 분포를 나타낸다. 이는 3월 모드수(mode water) 부피와 원격 지역에서 시간지연(time-lag)을 준 해양열과 누적 강도의 상관 계수 시계열 분포를 나타낸다. 유의미한 값은 적색 점으로 표시하였고, 분홍색 점선보다 높은 값은 95% 신뢰 구간에서 유의미하다는 것을 의미한다. 가장 높은 값은 시간지연(time-lag)이 1년 주었을 때이며 최대 3년 후까지 원격 지역의 해양열과에 영향을 주었고, 같은 시각에 발생한 해양열과에 대한 영향력은 상대적으로 낮음을 보여준다.

[0158]

본 발명에 있어서, 모드수 형성지역의 원격지역에서 발생하는 해양열과는 다음 수학식 13 및 수학식 14에 따라 시간지연 상관관계($r_{X_r,Y}^t$)를 분석할 수 있다.

수학식 13

$$r_{X_r,Y}^t = \frac{E\left[\left(X_r^t - \mu_{X_r^t}\right)\left(Y^3 - \mu_{Y^3}\right)\right]}{\sigma_{X_r^t} \sigma_{Y^3}},$$

[0159]

수학식 14

$$E\left[\left(X_r^t - \mu_{X_r^t}\right)\left(Y^3 - \mu_{Y^3}\right)\right] = \frac{\sum_{i=1}^{m^t} \left(X_{ri}^t - \mu_{X_r^t}\right)\left(Y_i^3 - \mu_{Y^3}\right)}{m^t}$$

[0160]

[0161]

여기서, X_r^t 는 원격 지역에서의 3월부터 t개월 후의 월 해양열파의 누적 강도의 연 변동 값을 의미한다. Y^3 는 모드수(mode water) 형성지역의 3월 모드수(mode water) 부피의 연 변동 값을 나타낸다. $r_{X,Y}^t$ 는 시간지연(time-lag)을 t개월 만큼 적용하였을 때, 원격 지역에서의 해양열파 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 상관계수를 나타낸다. μ_{X_t} , μ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 원격 지역에서의 월 해양열파의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 평균을 나타낸다. σ_{X_t} 와 σ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 원격 지역에서의 월 해양열파의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 표준편차를 나타낸다. i는 분석을 실시한 샘플의 숫자를 나타낸다. m^t 은 시간지연 상관관계 분석을 실시한 샘플의 개수를 나타낸다. X_{ri}^t 는 원격 지역에서 표층 수온 자료의 각 격자별 i년도 3월부터 t개월 후의 월 해양열파의 누적 강도 값을 의미한다. Y_i^3 는 모드수(mode water) 형성지역의 i년도 3월 모드수(mode water) 부피 값을 나타낸다.

[0163]

총 30년 자료로 시간 지연 상관관계를 분석하고 시간지연(time-lag)이 9보다 작은 경우 m_t 는 30이지만, 9보다 커질 경우, 해양열파 누적 강도의 샘플 자료가 모드수(mode water) 샘플 자료보다 1년 지연되기 때문에 m^t 는 29로 줄어든다. 즉, 시간지연(time-lag)이 $9+12n$ 만큼 주어지게 되면 m^t 는 $30-(1+n)$ 개 로 정의할 수 있다. 이때 i는 상관관계 분석의 첫 번째 년도부터 마지막 년도 까지 순차적으로 $i=1, \dots, 30-(1+n)$ 으로 나타낸다.

[0165]

모드수(mode water) 형성지역에서는 상관계수가 시간지연(time-lag)이 없을 때 가장 유의미한 음의 값을 보였고 시간지연(time-lag)을 줄수록 그 값이 점점 0에 가까워졌다. 이는 모드수(mode water)가 형성된 이후에는 북태평양 아열대 환류에 의해 형성지역 바깥의 동쪽으로 이동하기 때문이다.

[0167]

형성지역의 동쪽에 있는 원격지역에서는 상관계수가 시간지연(time-lag)을 최대 3년까지 주어도 시간지연(time-lag)이 없을 때 보다 유의미한 낮은 값을 보였다. 이는 앞서 설명했듯이 모드수(mode water)가 형성된 이후 동쪽으로 이동하였기 때문에 형성지역 동쪽에 있는 원격 지역에서 상관계수가 높게 나타나는 것이다.

[0169]

두 지역 모두 특징적인 것은 여름철 해양열파는 유의미하지 않은 값을 보이다가 겨울철에 유의미한 수치를 보인다는 것이다. 이는 모드수(mode water)가 여름철에는 가열로 인해 발생하는 수온 약층에 의해서 표층과 단절되기 때문에 상관관계가 유의미하지 않다가 겨울철에 바람이나 냉각으로 인한 강한 수직 혼합으로 모드수(mode water)가 해양열파 발생에 영향을 준다는 것을 의미한다.

[0171]

시간 지연 상관관계 분석을 통해 3월에 존재하는 모드수(mode water)의 부피 산정을 통하여 공간별로 해양열파 강도 예측 가능성을 파악할 수 있다. 모드수(mode water) 형성지역의 경우 3월 모드수(mode water) 부피로는 해당년도 가을, 겨울철의 해양열파만을 예측할 수 있다는 것을 파악할 수 있었고, 형성 지역이 동쪽인 원격 지역에서는 3월에 존재하는 모드수(mode water) 부피로 최대 3년 이후의 겨울철 해양열파 발생을 예측할 수 있다는 것을 알 수 있다.

- [0173] 이하에서는 본 발명에 따른 공간패턴 분석부(500)를 설명하고자 한다.
- [0174] 본 발명에 따른 공간패턴 분석부(500)는 제2 상관관계 분석부(400)에서 분석된 시간지연 상관관계 계수의 공간 패턴을 분석할 수 있다.
- [0176] 제2 상관관계 분석부(400)에서 확인한 시간지연(time-lag)에 따른 유의미한 상관관계 값이 공간적으로 어떤 분포를 보이는지 공간적으로 살펴보기 위한 분석이다. 유의미한 값이 나타났던 시간지연(time-lag)이 없을 때와 1년부터 3년까지 시간지연(time-lag)을 주었을 때 3월 모드수(mode water) 부피와 해양열과 누적 강도와 상관 계수를 공간적으로 표현하여 해양열과 발생 및 강도에 미치는 모드수(mode water)의 영향력을 공간별로 상세하게 나타낸다(도 9 참조).
- [0178] 모드수(mode water) 시계열 자료는 3월에 형성지역에 존재하는 부피 자료를 이용하였고, 해양열과 시계열 자료는 인공위성 관측 자료의 격자별 3월 해양열과 자료를 이용하였으며 시간지연을 1~3년까지 주었다.
- [0179] 수학식은 다음 수학식 15 및 수학식 16과 같다.

수학식 15

$$r_{x,Y}^t = \frac{E\left[(x^t - \mu_{x^t})(Y^3 - \mu_{Y^3})\right]}{\sigma_{x^t}\sigma_{Y^3}},$$

[0180]

수학식 16

$$E\left[(x^t - \mu_{x^t})(Y^3 - \mu_{Y^3})\right] = \frac{\sum_{i=1}^{m^t} (x_i^t - \mu_{x^t})(Y_i^3 - \mu_{Y^3})}{m^t}$$

[0181]

- [0182] 여기서, x_i^t 는 격자화된 표층 수온 자료의 각 격자별 3월부터 t개월 후의 월 해양열과의 누적 강도의 연 변동 값을 의미한다. Y_i^3 는 모드수(mode water) 형성지역의 3월 모드수(mode water) 부피의 연 변동 값을 나타낸다. $r_{x,Y}^t$ 는 time-lag를 t개월 만큼 적용하였을때 각 격자별 해양열과 누적 강도와 모드수(mode water) 부피의 상관 계수를 나타낸다. μ_{x^t} , μ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 각 격자별 월 해양열과의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 평균을 나타낸다. σ_{x^t} , σ_{Y^3} 는 3월부터 t개월 후의 각 격자별 월 해양열과의 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피의 표준편차를 나타낸다. i는 분석을 실시한 샘플의 숫자를 나타낸다. m^t 은 시간지연 상관관계 분석을 실시한 샘플의 개수를 나타낸다. x_i^t 는 격자화된 표층 수온 자료의 각 격자별 i년도 3월부터 t개월 후의 월 해양열과의 누적 강도 값을 의미한다. Y_i^3 는 모드수(mode water) 형성지역의 i년도 3월 모드수(mode water) 부피 값을 나타낸다.

- [0184] 총 30년 자료로 시간 지연 상관관계를 분석하고 시간지연(time-lag)이 9보다 작은 경우 m_t 는 30이지만, 9보다

커질 경우, 해양열과 누적 강도의 샘플 자료가 모드수(mode water) 샘플 자료보다 1년 지연되기 때문에 m^t 는 29로 줄어든다. 즉, 시간지연(time-lag)이 $9+12n$ 만큼 주어지게 되면 m^t 는 $30-(1+n)$ 개 로 정의할 수 있다. 이 때 i 는 상관관계 분석의 첫 번째 년도부터 마지막 년도 까지 순차적으로 $i=1, \dots, 30-(1+n)$ 으로 나타낸다.

[0186] 시간지연이 0일 때 격자별 $r_{x,y}^t$ 의 수평 분포도는 도 9a 이며, 시간지연을 12개월, 24개월, 36개월 적용하였을 때의 수평 분포도는 각각 도 9b, c, d 이다.

[0188] 도 9는 형성지역에 존재하는 모드수(mode water)가 당해연도 및 최대 3년 이후의 어떤 지역에서 해양열과가 발생하는 것에 영향을 주었는지를 보여주며 이를 통해 모드수(mode water)의 부피 계산을 통해 향후 3년의 해양열과 예측 성능을 향상시킬 수 있는 해역을 파악할 수 있다.

[0190] 도 9는 3월 모드수(mode water) 부피와 격자별 해양열과 누적 강도의 시간 지연 상관 계수의 공간 분포를 나타낸다. 도 9a는 해양 열과 누적 강도와 3월 모드수(mode water) 부피와 시간지연이 없을 때를 나타낸다. 도 9b는 해양열과 누적 강도가 1년의 시간지연을 가질 때를 나타낸다. 도 9c는 2년의 시간지연을 나타낸다. 도 9d는 3년의 시간지연을 가질 때 상관계수의 공간 분포도를 나타낸다. 적색 패치는 양의 상관관계를 보여주며, 흑색 점은 95% 신뢰구간 내 유의미한 값을 나타낸다. 적색 점선의 박스는 모드수(mode water) 형성 지역을 보여준다. 3월 모드수(mode water)는 같은 시각 형성 지역의 해양열과에 음의 유의미한 관계를 보이고, 모드수(mode water)가 형성된 후 1년 뒤에는 형성지역의 동쪽인 원격 지역의 해양열과에 유의미한 음의 관계를 보여준다. 원격 지역에서 유의미한 패치는 최대 3년 뒤까지 나타나는데, 이는 모드수(mode water)가 형성되면 3년 뒤 해양열과 발생 및 강도에 영향을 줄 수 있다는 것을 의미한다.

[0192] 예로, 겨울철 북태평양에는 냉각현상으로 인해 약 수심 300m 까지 모드수(mode water)가 형성된다. 모드수(mode water)는 여름철 표층 가열으로 인해 중층에 갇히게 된다. 중층에 갇힌 모드수(mode water)는 북태평양 환류로 인해 동쪽으로 이동하고 다음해 겨울철 형성 지역에서 동쪽으로 떨어진 지역에서 다시 냉각으로 인해 표층으로 재출현한다.

[0193] 재출현한 모드수(mode water)는 전년도 형성되는 부피에 따라 표층 수온에 영향을 줌으로써 해양열과 발생 및 강도에 영향을 준다.

[0194] 모드수(mode water)가 형성되는 년도에는 모드수(mode water)가 많이 형성될수록 모드수(mode water) 형성 지역 내 해양열과가 적게 발생함을 상관 관계분석을 통해 밝혔다.

[0195] 모드수(mode water)가 형성된 다음 년도에는 모드수(mode water)가 많이 형성될수록 모드수(mode water) 형성 지역의 동쪽 해역에서 해양열과가 적게 발생함을 시간 지연 상관 관계분석을 통해 밝혔고, 최대 3년까지 그 영향이 있는 것을 알 수 있었다.

[0198] 한편, 본 발명은 해양 열과 발생 예측시스템뿐 아니라, 예측 방법으로 구현될 수도 있다. 이는 전술한 예측시스템과 실질적으로 동일한 발명으로서 발명의 카테고리가 상이하다. 따라서, 공통되는 구성은 예측시스템의 구성을 차용하는 것으로 하여 구체적인 설명을 생략하고, 본 예측방법의 요지 위주로 설명하고자 한다.

[0199] 도 10은 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측방법의 순서도이다.

[0200] 본 발명은 데이터베이스 및 연산기능을 가진 제어서버를 이용하는 컴퓨팅장치에 의해 수행되는 해양 열과 발생 예측방법에 관한 것이다.

[0201] 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측방법은, 상기 컴퓨팅장치가 해양열과 누적강도 계산부(100)가 해양열과 발생기간 동안의 강도를 누적하여 해양열과 누적강도를 계산하는 S100 단계; 모드수 부피 계

산부(200)가 격자화된 관측자료 또는 모델자료를 이용하여, 인공위성 표층수는 자료와 동일 기간의 모드수 부피를 계산하는 S200 단계; 제1 상관관계 분석부(300)가 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 월별 상관관계를 분석하는 S300 단계; 제2 상관관계 분석부(400)가 상기 모드수 부피와 해양열과 누적강도 간의 시간지연 상관관계를 분석하는 S400 단계 ; 및 공간패턴 분석부(500)가 제2 상관관계 분석부(400)에서 분석된 시간지연 상관관계 계수의 공간패턴을 분석하는 S500 단계를 포함하여 수행하는 것을 특징으로 한다.

[0203] 또한, 본 발명은 컴퓨터프로그램으로 구현될 수도 있다. 구체적으로 본 발명은 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 모드수를 이용한 해양 열과 발생 예측방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.

[0204] 본 발명의 실시예에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 판독 가능한 프로그램 형태로 구현되어 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 기록될 수 있다. 여기서, 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 예컨대 기록매체는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CDROM, DVD와 같은 광 기록매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치를 포함한다. 프로그램 명령의 예는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어를 포함할 수 있다. 이러한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

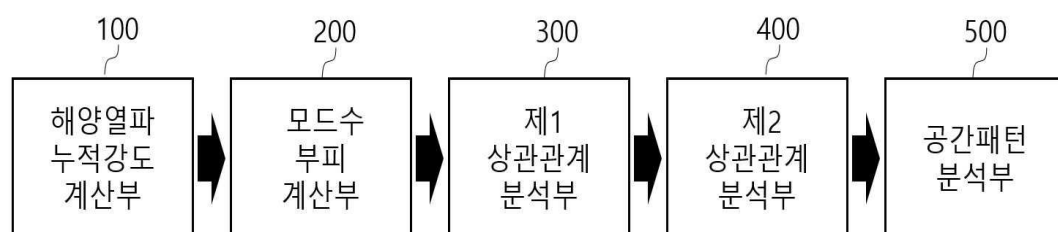
[0207] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

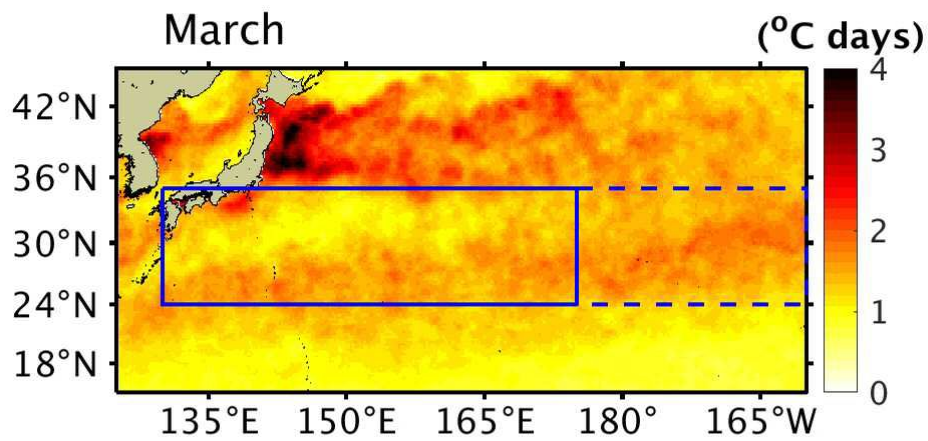
- [0208] 100 : 해양열과 누적강도 계산부
200 : 모드수 부피 계산부
300 : 제1 상관관계 분석부
400 : 제2 상관관계 분석부
500 : 공간패턴 분석부

도면

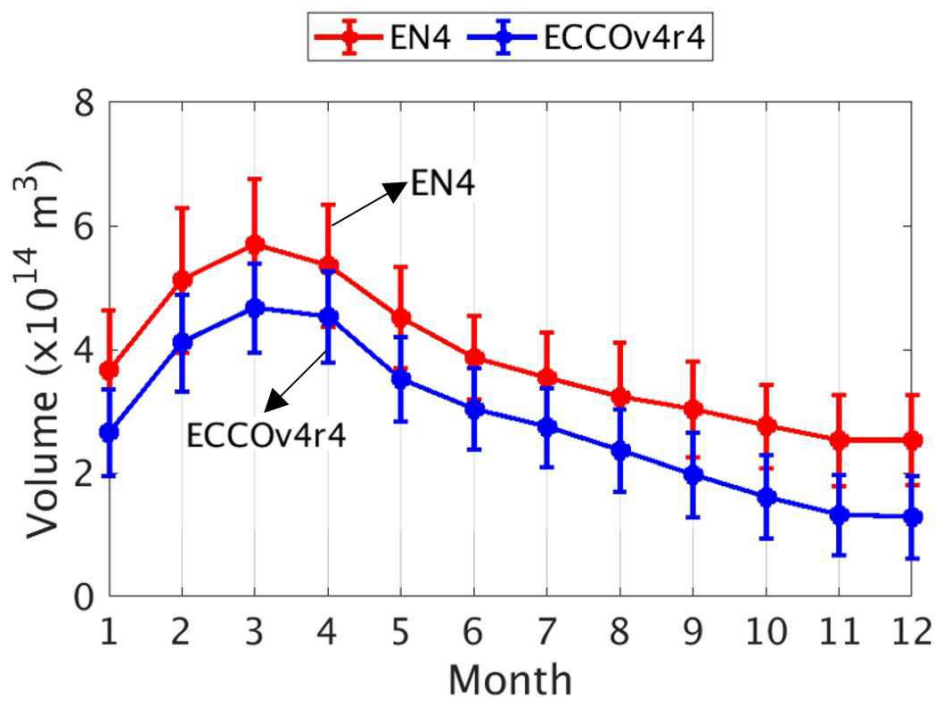
도면1



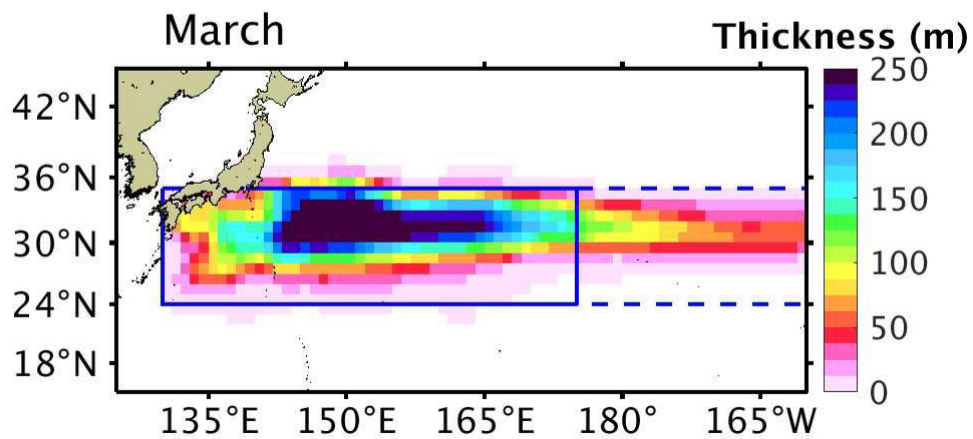
도면2



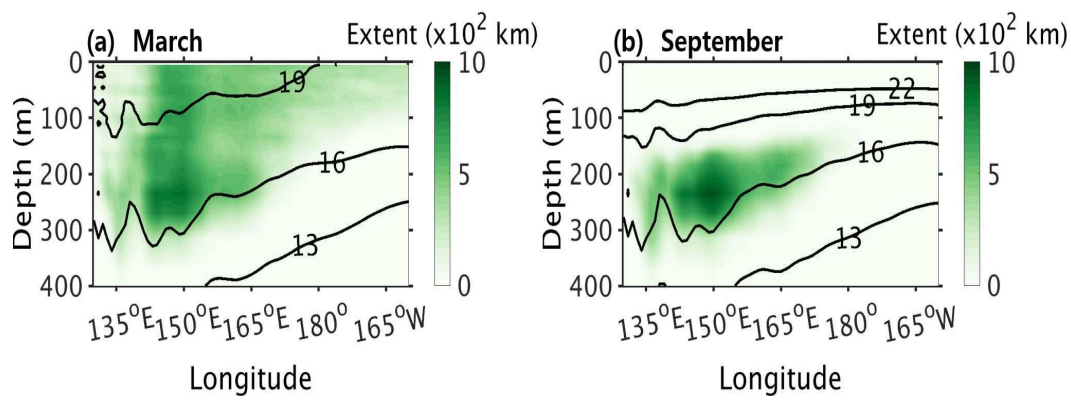
도면3



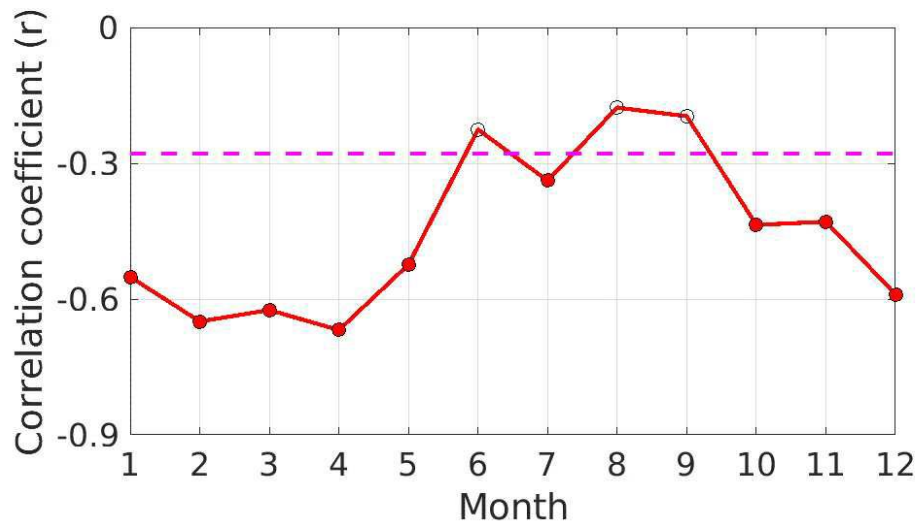
도면4



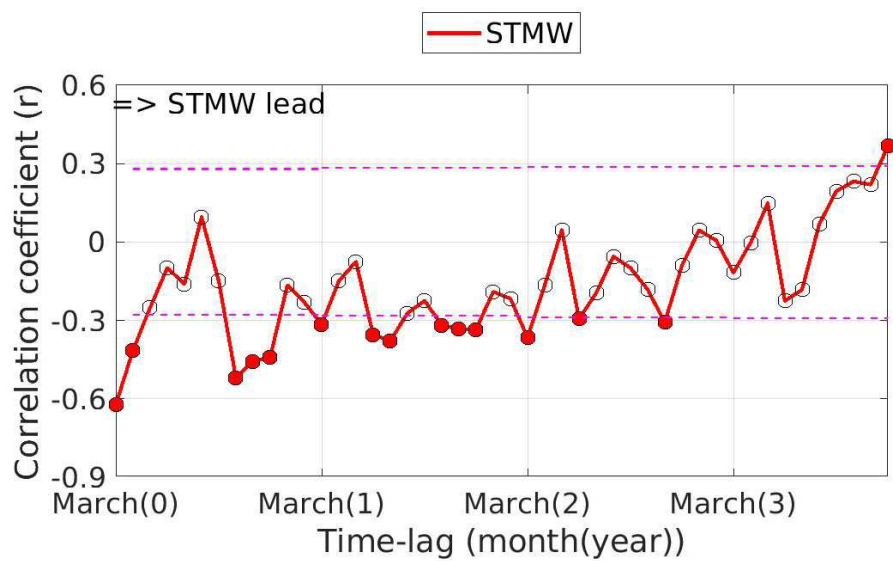
도면5



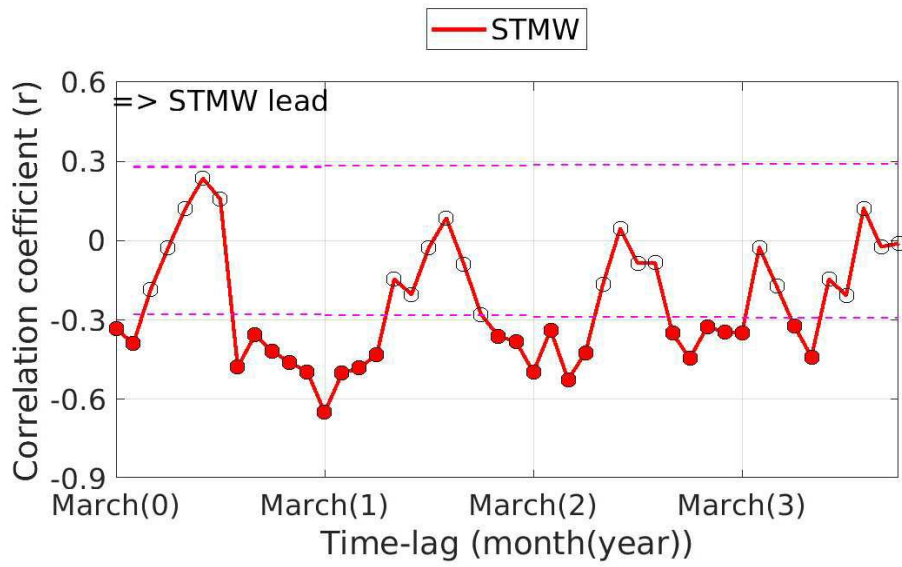
도면6



도면7



도면8



도면9

