



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0022421

(43) 공개일자 2016년03월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06Q 50/26 (2012.01)

(21) 출원번호 10-2014-0107596

(22) 출원일자 2014년08월19일

심사청구일자 2014년08월19일

(71) 출원인

울산과학기술원 산학협력단

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

이명인

부산 해운대구 센텀중앙로 142, 204동 4101호 (재송동, 더샵센텀파크2차아파트)

이승희

서울 동대문구 서울시립대로 31

(74) 대리인

특허법인 프렌즈드림

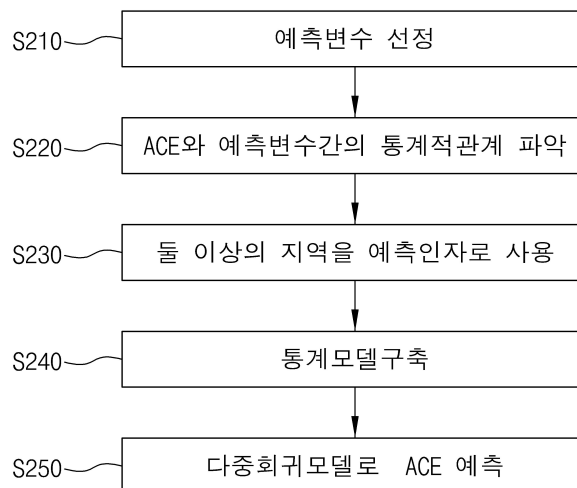
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법

(57) 요약

북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법이 개시된다. 본 발명은 SST와 바람시어의 상관계수를 이용한 역학 예측모델 데이터와 태풍의 관측된 통계 데이터를 이용하여 태풍의 발생위치와 이동경로를 예측하도록 함으로써, 사회/경제적 피해를 줄일 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도7



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1305-DD-004-01B00-2013

부처명 환경부

연구관리전문기관 재단법인APEC기후센터

연구사업명 기상기술개발사업

연구과제명 지면과정 개선을 통한 전 지구 계절예측시스템 최적화

기 여 율 1/1

주관기관 국립대학법인 울산과학기술대학교 산학협력단

연구기간 2013.05.01 ~ 2014.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

바람시어와 해수면온도의 상관계수를 이용한 역학 모델링 데이터와 태풍의 통계데이터를 이용하여 태풍의 발생 위치와 이동경로를 산정하는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법에 있어서,

(a)ACE(Accumulated tropical cyclone kinetic energy)와 해수면온도(SST;Sea surface temperature), 바람시어의 상관성을 분석하고 관측 값과 모델 예측 값의 통계적 관계를 통해 예측인자를 선정하는 단계;

(b)ACE와 예측인자를 사용하여 통계 모델을 구축하여 분석하는 단계;및

(c)각 년도의 ACE값을 구할 때마다 나머지 년도의 예측인자를 통한 다중회귀모델로 ACE를 예측하는 단계;를 포함하는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 (a)단계의 바람시어는

200hPa과 850hPa의 수평바람장의 차이의 절대값으로 표현되는 예측변수를 이용하여 계산되는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 (a)단계의 상관성은

다음의 수학적식으로 표현되는 아노말리 상관계수 방법(ACC;Anomaly correlation coefficient)을 사용하는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법.

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})^2 \sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2}}$$

여기서 f는 예측값, o는 관측값, $\bar{f}$ 와 $\bar{o}$ 는 예측값과 관측값의 평균값이고, N은 예측년도 개수이다.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 (a)단계에서의 예측인자의 선정조건은

상관관계지도에서 통계에 의하여 95%신뢰 구간 안에 상관성이 높은 지역을 선정하는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 (a)단계는

상관성이 큰 중태평양의 바람시어 (10 ° S-10 ° N, 160 ° E-150 ° W), 남서태평양의 바람시어 (12 ° S-5 ° S, 130 ° -140 ° E), 그리고 인도양의 SST (17 ° S-10 ° S, 90 ° E-110 ° E)를 예측인자로 결정하는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 (a)단계는

(a-1)ACE를 예측하기 위해, 예측 값과 관찰 값의 통계적 관계를 통해 예측변수를 선정하여 예측변수 저장부에 저장하는 단계; 및

(a-2)하이브리드 예측부에서 ACE와 예측변수들의 통계적 관계를 파악하는 단계;

를 포함하는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 (a-2)단계는

ACE에 대한 7~10월 SST편차와 연직 바람시어의 편차의 상관계수를 구하는 단계를 포함하는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 (b)단계에서의 통계 분석은

cross-validation 방법을 이용하는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법.

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 (a)단계의 ACE는 다음의 수학식으로 표현되는 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법.

$$ACE = 10^{-4} \sum_i^N \sum_{t_{oi}}^{t_{fi}} v(t)^2$$

여기서, v(t)는 최대 풍속을, t는 6시간 간격이고, t_{oi}, t_{fi}는 폭풍 수명의 시작과 끝 시간을, i는 각 개별 폭풍을 N은 폭풍수의 합이다.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 북서태평양에서의 태풍 활동성을 사전에 예측하는 방법에 관한 것으로, 상세하게는 과거 관측된 태풍 자료와 이에 큰 영향을 미치는 바람시어와 해수면 온도와의 통계적 상관성과 전지구 수치예보모델 데이터의 예측 정보를 이용하여, 태풍의 발생위치와 이동경로를 산정하여 미리 대비함으로써, 사회/경제적 피해를 줄일 수

있도록 한 북서태평양 태풍 활동성에 대한 하이브리드 계절 예측 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 여러 유형의 자연 재해 중 태풍만큼 단기간에 걸쳐 막대한 영향과 피해를 주는 현상도 아마 없을 것이다. 특히, 태풍에 동반된 강풍과 호우는 각종 산업시설과 주택의 파괴, 농경지의 유실과 침수, 교통 혼잡과 통신 두절 등 다양한 형태로 피해를 유발하는데, 강력한 태풍이 내습했을 경우 단번에 수조 원에 달하는 막대한 규모의 경제적 피해가 발생하기도 한다.
- [0003] 태풍은 따뜻한 해양, 즉 해수온도가 27도 보다 높은 해양에서만 발생한다. 또한 발생, 성장, 성숙, 소멸의 단계를 거치면서 고위도 지방으로 북상하고, 전향력에 의해 북서쪽에서 북동쪽으로 이동 방향이 바뀌며, 일정한 위도에 도달하거나, 상륙하게 되면, 충분한 수분과 온도를 공급받지 못하게 되어 소멸하게 된다. 태풍의 평균 수명은 보통 9 일정도이고, 연간 약 17 개의 태풍이 발생하며 그 중 17%(약 3개)의 태풍이 한반도 부근을 통과하고, 한반도 부근을 통과하는 태풍의 90%가 7, 8, 9월에 발생한다[1]. 1904년에서 1998년까지의 기상청(Korea Meteorological Administration) 통계 자료에 따르면, 우리나라의 태풍으로 인한 사망자는 연 평균 108명, 부상자 83명, 재해된 약 2만 6천명이나 되며, 지금까지의 그 피해액은 약 1조 3천억원, 매년 170억원 정도에 이른다 고 한다. 아시아 지역의 태풍 진로예보를 담당하는 기관으로, 괌(Guam)에 있는 태풍 경보센터(Joint Typhoon Warning Center)가 있으며, 그 외 일본, 한국 기상청에서도 태풍진로를 예보하고 있으나, 예측정보의 제공이 제한적이며, 수 시간 ~ 수 일 정도 전에 이루어져 태풍으로 인한 막대한 피해에 대비하기에 충분하지 못한 실정이다. 태풍에 의한 막대한 피해를 줄이기 위해서는 정확하면서, 한 두 계절을 앞선 시점에서의 장기 예보가 필수적이라 할 수 있다.
- [0004] 종래의 태풍 예측 방법이 한국 등록 특허 제10-1041520호(동적 데이터베이스를 기반으로 하는 태풍진로예측시스템)에 개시되어 있다.
- [0005] 이러한 태풍 진로 예측 시스템은 다수개의 태풍 모델이 저장된 모델 데이터베이스와, 상기 다수개의 태풍 모델 중 적어도 어느 하나를 선택하는 모델 선택 모듈과, 상기 선택된 태풍 모델의 가중치를 설정하는 가중치 설정 모듈과, 상기 가중치 설정 모듈에서 설정된 가중치를 기준으로 상기 선택된 태풍 모델을 평균하여 태풍의 진로를 예상하는 평균 연산 모듈과, 상기 선택된 태풍 모델의 가중치에 따라 서로 상이한 가중치를 주어 가중 평균하여 태풍의 진로를 예상하는 가중 평균 연산 모듈을 포함하여 태풍의 진로를 연산하는 진로 연산 모듈, 및 상기 진로 연산 모듈에서 연산된 태풍의 진로를 표시하는 진로 표출 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 데이터베이스를 기반으로 하고 태풍 모델의 순위를 가변하여 가중치를 부여함으로써, 태풍의 예상 경로 오차를 최소화할 수 있다고 개시되어 있다.
- [0006] 그러나 종래의 태풍 관련 예보 시스템은 대부분 수일 이내의 단기간의 예보를 제공하고 있어 산업시설물, 농경지, 주택 등에 대한 장기적 대비와 관리에 큰 어려움이 있어, 한 두 계절을 선행하여 태풍의 활동에 대한 예보를 제공하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 현재까지 우리나라에는 태풍의 장기적인 예보를 위한 표준 예측 시스템이 없는 상태이며, 특히 기상청에서 슈퍼컴퓨터로 예측하는 수치예보모델링 데이터의 계절예측 정보와 일관성 있게 결합된 태풍의 예측정보는 개발이 안 된 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 이러한 문제점을 해결하기 위한 본 발명은 바람시어와 해수면온도와와 상관계수를 이용한 역학 모델링 데이터와 태풍의 통계데이터를 이용하여 태풍의 발생위치와 이동경로를 산정할 수 있는 북서태평양 열대 지방의 태풍활동성에 대한 하이브리드 예측 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0008] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 바람시어와 해수면온도의 상관계수를 이용한 역학 모델링 데이터와 태

풍의 통계데이터를 이용하여 태풍의 발생위치와 이동경로를 산정하는 북서태평양 열대 지방의 태풍에 대한 하이브리드 예측 방법은, (a)ACE(Accumulated tropical cyclone kinetic energy) 태풍활동지수와 해수면온도(Sea surface temperature; 이하, SST라 함), 바람시어의 상관성을 분석하고 관측 값과 모델 예측 값 사이의 통계적 관계를 통해 예측인자를 선정하는 단계와, (b)ACE와 예측인자를 사용하여 통계 모델을 구축하여 분석하는 단계, 및 (c)각 년도의 ACE값을 구할 때마다 나머지 년도의 예측인자를 통한 다중회귀모델로 ACE를 예측하는 단계를 포함하게 함으로써, 달성될 수 있다.

상기 (a)단계의 ACE는 다음의 수학식으로 표현된다.

$$ACE = 10^{-4} \sum_i^N \sum_{t_{oi}}^{t_{fi}} v(t)^2$$

여기서, $v(t)$ 는 최대 풍속을, t 는 6시간 간격이고, t_{oi} , t_{fi} 는 태풍 수명의 시작과 끝 시간을, i 는 각 개별 태풍, N 은 태풍수의 합이다.

(a)단계의 바람시어는 200hPa과 850hPa의 수평바람장의 차이의 절대값으로 표현되고, 상관성은 다음의 수학식으로 표현되는 아노말리 상관계수 방법(Anomaly correlation coefficient; ACC)을 사용한다.

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})^2 \sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2}}$$

여기서 f 는 예측값, o 는 관측값, $\bar{f}$ 와 $\bar{o}$ 는 예측값과 관측값의 평균값이고, N 은 예측년도 개수이다.

또한, (a)단계에서의 예측인자의 선정조건은 상관관계지도에서 통계에 의하여 95%신뢰 구간 안에 상관성이 높은 지역을 선정하는 것이 바람직하다.

또한, (a)단계는 (a-1)ACE를 예측하기 위해, 예측값과 관측값의 통계적 관계를 통해 예측변수를 선정하여 예측 변수 저장부에 저장하는 단계와, (a-2)하이브리드 예측부에서 ACE와 예측변수들의 통계적 관계를 파악하는 단계를 포함하게 하고, (a-2)단계에서는 ACE에 대한 7~10월 SST 편차와 연직바람시어 편차의 상관계수를 구하는 것이 더욱 바람직하다.

그리고, (b)단계에서의 통계모델 구축 및 분석은 cross-validation 방법을 이용한다.

발명의 효과

따라서, 본 발명의 북서태평양 열대 지방의 태풍 활동성에 대한 하이브리드 예측 방법에 의하면, 기존의 태풍 관련 예보 시스템은 현재까지 누적된 각 태풍모델의 성능 데이터에만 의존하여 예보정보를 산출하는 것과는 달리, 바람시어와 SST를 예측 변수로 하여 역학적 방법으로 모델링한 결과 데이터와 과거 태풍관측을 통한 통계데이터를 종합하여 태풍의 발생위치와 주요 이동경로를 예측하는 기술이기 때문에 태풍발생과 경로의 예측성을 높이고, 태풍활동에 대한 전망을 조기에 제공할 수 있어 국가, 공공기관, 기업 등에서 다양한 용도로 활용할 가능성이 높다.

특히, 한국 기상청에서 도입, 현업화 과정에 있는 계절예측시스템 GloSea4 (2013년까지 현업운영)와 GloSea5 (2014년 현업운영)의 역학 모델링 예측자료를 이용한 하이브리드 방법을 사용하기 때문에, 기상청이 제공하는 장기 계절예보와 본 발명의 태풍활동 예측 정보 간의 일관성이 크며, 북서태평양 태풍이 주로 발생하는 여름철 기간(7~10월 기간) 이전인 봄철 5월 (약 3개월 이전)부터 그 해에 발생할 태풍들의 예측정보를 생산하여 정보가치가 높다.

도면의 간단한 설명

도 1은 ACE가 높은 해와 낮은 해의 열대저기압의 발생위치 (a)와 이동경로(b)의 편차의 차이를 도시한 도면,

도 2는 SST편차와 바람시어 편차의 상관계수를 도시한 도면,

도 3은 열대 저기압 관련 변수의 하이브리드 예측방법에 대한 모식도,
 도 4는 관측된 ACE와 GloSea4의 SST, 바람시어 예측인자를 이용하여 cross-validation 방법으로 예측된 ACE를 도시한 도면,
 도 5는 리드타임별 예측한 ACE와 관측된 ACE와의 상관계수를 나타낸 도면,
 도 6은 북서태평양 열대 지방의 태풍에 대한 하이브리드 예측 방법을 구현하기 위한 최소한의 구성도,
 그리고,
 도 7은 북서태평양 열대 지방의 태풍에 대한 하이브리드 예측 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정 해석되지 아니하며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0022] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "장치" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 및/또는 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0023] "및/또는"의 용어는 하나 이상의 관련 항목으로부터 제시 가능한 모든 조합을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 예를 들어, "제1 항목, 제2 항목 및/또는 제3 항목"의 의미는 제1, 제2 또는 제3 항목뿐만 아니라 제1, 제2 또는 제3 항목들 중 2개 이상으로부터 제시될 수 있는 모든 항목의 조합을 의미한다.
- [0024] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 또한, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0025] 각 단계들에 있어 식별부호(예를 들어, a, b, c, ...)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0026] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 일실시예에 대하여 설명한다.
- [0027] 먼저 하이브리드 예측(Hybrid prediction)에 대하여 설명한다.
- [0028] 컴퓨터를 이용한 전지구 계절예측시스템의 공간해상도는 약 50km에서 150km 내외로, 태풍과 같은 작은 규모의 강한 기상현상을 모의하기에는 한계가 따른다.
- [0029] 이러한 한계를 극복하기 위해 역학적 모델의 예측 결과를 바탕으로 통계적 방법을 결합하여 ACE (Accumulated tropical cyclone kinetic energy index, Bell et al. 2000)라는 태풍의 역학적 에너지를 나타내는 활동지수를 예측하였다.
- [0030] 이 ACE는 태풍의 발생 수, 지속시간, 강도를 결합하여 지수화시킨 값이다.
- [0031] 태풍의 발생과 이동경로는 ACE지수를 통해 파악이 가능한 부분으로, ACE지수를 통해 기후변동에 따른 태풍의 활동을 판단할 수 있다.
- [0032] ACE는 다음의 수학적식으로 정의된다.

수학식 1

$$ACE = 10^{-4} \sum_i^N \sum_{t_{oi}}^{t_{fi}} v(t)^2$$

[0033]

[0034]

여기서, $v(t)$ 는 최대 풍속을, t 는 6시간 간격이고, t_{oi}, t_{fi} 는 태풍 수명의 시작과 끝 시간을, i 는 각 개별 태풍을 N 은 태풍수의 합이다.

[0035]

ACE지수가 북서태평양의 태풍과 어떠한 상관성이 있는지를 알아보기 위해 30년의 기간 동안 ACE가 평년보다 높은 해 (표준편차 $\sigma > 1$)와 낮은 해 ($\sigma < -1$)로 나누어 두 경우의 차이를 분석하였다.

[0036]

표준편차를 이용한 분류에 따라 1981-2010년의 30년의 기간에서 1982, 1986, 1991, 1994, 1997, 2004년은 ACE가 높은 해, 1995, 1998, 1999, 2008, 2010년은 ACE가 낮은 해로 구분되었다.

[0037]

엘니뇨-남방진동 (El Nino-Southern Oscillation, ENSO)의 상태를 나타내는 지수 중 하나인 NINO3.4 지수에 따라 ACE가 높은 6년 중에서 1986년을 제외한 5년은 엘니뇨 ($NINO3.4 > 0.5$), ACE가 낮은 5년 중에서 1995, 2008년을 제외한 3년은 라니냐 ($NINO3.4 < -0.5$)로 정의되어 ACE가 엘니뇨와 관련성이 큼을 확인할 수 있었다.

[0038]

도 1은 ACE가 높은 해와 낮은 해의 열대저기압의 발생위치(a)와 이동경로(b)의 편차의 차이를 도시한 도면으로, 도면을 참고하면 1981-2010년 동안의 ACE가 높은 해와 낮은 해의 태풍 발생 위치와 이동경로가 큰 편차를 보이는 것을 나타낸다.

[0039]

즉, 도면에서의 양의 값이 나타난 지역은 ACE가 높았던 해에 평년보다 태풍이 많이 발생하고 (a) 많이 통과한 지역 (b)이 된다. ACE가 높은 해에는 북서태평양부근에서 태풍이 많이 발생하고, ACE가 낮은 해에는 대륙과 인접한 남중국해 부근에서 태풍이 많이 발생하는 패턴으로서, ENSO에 따른 태풍 발생 지역의 변화 형태와 매우 유사한 패턴을 보였다.

[0040]

이와 같이 ACE가 북서태평양의 태풍과 매우 밀접한 관련이 있는 지수이기 때문에, ACE를 정확히 예측한다면 특정한 해의 태풍 발생지역과 이동경로를 경험적으로 예측할 수 있는 것이다.

[0041]

즉, 도 1을 참고하면, ACE 지수 값이 평년보다 높을 때와 낮을 때의 태풍발생 위치와 주요 이동경로를 보여준다. 그러므로 예측한 ACE 지수 값에 따라 태풍발생 위치와 주요 이동경로를 예측할 수 있다.

[0042]

예를 들어 ACE 지수의 예측이 평년보다 높은 값이 나왔다면, 대륙과 먼 북서태평양 지역에서 태풍이 주로 발생하고, 태풍의 주요 이동경로가 우리나라를 지나가 우리나라에 많은 영향을 줄 것으로 예측할 수 있다. 또한, ACE지수가 높은 해에는 우리나라의 남동쪽에서, ACE지수가 낮은 해에는 우리나라의 남서쪽에서 접근하는 태풍 확률이 높다는 것을 알 수 있다.

[0043]

이를 위하여 본 발명의 북서태평양 열대 지방의 태풍에 대한 하이브리드 예측 방법을 구현하기 위한 장치는 하이브리드예측부(110)와 예측변수저장부(120), 그리고 D/B부(130)를 포함하여 구성된다.

[0044]

도 2는 1996-2009년 동안의 관측된 ACE 지수와, 관측(좌)과 GloSea4 모델 (우)의 7-10월 평균 SST 편차(위), 바람시어 편차(아래)간의 상관계수를 공간적으로 도시한 도면으로, 검정색 실선은 95% 신뢰구간에서 통계적으로 유의함을 나타내고 노란색박스는 본 발명에서 예측인자로 선택한 영역들을 나타낸다.

[0045]

본 발명에서는 정확한 ACE 예측을 위하여, 먼저 ACE가 SST, 바람시어(200 hPa 기압면과 850 hPa 기압면에서의 수평바람장의 차이) 등과 갖는 개별적 상관성을 분석하고 관측 값과 모델 모의 값의 통계적 관계를 통해 예측인자를 선정한다.

[0046]

상관성 분석은 아노말리 상관계수 방법 (Anomaly correlation coefficient; ACC)을 사용한다. ACC의 정의는 수학적식 2와 같다

수학식 2

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})^2 \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

[0047]

[0048]

여기서 f 는 예측값, O 는 관측값, $\bar{f}$ 와 $\bar{O}$ 는 예측값과 관측값의 평균값이고, N 은 예측년도 개수이다.

[0049]

수학식 2의 ACC는 기후 평균에 대한 예측 값과 관측 값에 시간별 편차를 비교하는 방식으로, 상관계수가 1에 가까울수록 두 변수 사이의 관련성이 크다.

[0050]

다시 도 2를 참고하면, 도 2는 ACE에 대한 7~10월 SST와 바람시어 사이의 상관계수 분포를 나타내며, 관측자료로는 유럽중기예보센터가 제공하는 ERA-interim 기후분석자료의 바람시어와 영국 해들리센터에서 제공하는 HadISST 해수면온도가 사용되었다.

[0051]

본 발명에서 바람시어(Windshear)란 대기 중에서 대류권 상층(200 hPa)과 하층의(850 hPa)간 수평(동서)바람장차이의 절대값으로 정의되며, 일반적인 경우에 상층과 하층의 바람차가 클 때 태풍이 연직으로 강하게 발달하는 것을 억제하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 이 변수는 열대 폭풍이 태풍 같은 강력한 열대저기압으로 성장하는 것에 밀접한 영향을 줄 수 있다.

[0052]

관측에 대한 상관계수 분포를 살펴보면 중태평양과 동태평양의 SST가 높을 때와 중태평양의 바람시어가 낮을 때 ACE가 더 높게 나타남을 확인할 수 있다.

[0053]

이러한 패턴은 전형적인 엘니뇨 패턴이며, 엘니뇨가 발생한 해의 경우 열대저기압의 활동이 활발했음을 의미한다. 반대로 라니냐가 발생한 해에는, 열대저기압이 생성되는 지역의 SST가 낮고 바람시어가 강하므로 열대저기압 활동이 위축됨을 의미한다.

[0054]

GloSea4 모델 예측 값에서도 관측결과와 상당히 유사한 패턴이 나타났다. 특정지역의 SST와 연직바람시어가 ACE와 높은 상관성을 보이는 점을 이용하여, 본 발명에서는 상관계수값이 높은 중태평양의 바람시어 (10°S - 10°N , 160°E - 150°W), 남서태평양의 바람시어 (12°S - 5°S , 130° - 140°E), 인도양의 SST (17°S - 10°S , 90°E - 110°E)를 예측인자로 결정하였다.

[0055]

예측인자의 선정조건은 상관관계지도(도 2)에서 통계적으로 유의한 95% 신뢰구간 안에 상관성이 높은 지역을 선정하여야 한다. 또한 최대한 높은 적합한 지역을 예측인자로 선정하여야 하기 때문에 각 모델별, 각 리드타임별로 예측인자가 약간씩 달라질 수 있다.

[0056]

선행연구인 Kim et al. (2013)에서는 상관성이 높은 태평양 지역 2개를 임의로 선정하여 예측하였는데, 본 예측 기술은 태평양지역과 독립적으로 북서태평양 태풍에 영향을 주는 인도양 SST를 추가적인 예측인자로 선정하여 예측성을 효과적으로 증가시켰다.

[0057]

GloSea4 모델은 한 초기조건 당 3개의 앙상블 예측결과를 가지는데, 3개의 앙상블로는 예측성이 떨어져서, 6월 1, 9, 17, 25일 초기조건 총 12개 앙상블 자료를 이용하여 위의 세 예측인자를 사용하는 통계모델을 구축하였다.

[0058]

통계분석은 cross-validation 방법을 이용하여 보정하였으며, 이 방법은 각 년도의 ACE값을 구할 때마다 예측년도를 제외한 나머지 년도들의 세 예측인자와 ACE값을 아래의 수학식 3의 x_1 , x_2 , x_3 와 y 에 대입하고 다중회귀 분석하여 회귀계수 a_1 , a_2 , a_3 를 구해 예측 년도의 ACE를 예측하였다.

수학식 3

$$y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$$

[0059]

[0060]

즉, 매년 ACE를 구할 때마다 서로 다른 회귀계수가 사용된다.

- [0061] 이에 대한 모식도는 도 3과 같다.
- [0062] 도 3은 열대 저기압 관련 변수의 하이브리드 예측에 대한 모식도로서, 이 방법은 예측 값에 예측 년도의 데이터가 들어가지 않으므로 예측 값의 독립성과 신뢰성을 높여주는 장점이 있다.
- [0063] 도 4는 1996-2009년 7~10월기간의 관측된 ACE(회색선)와 GloSea4의 SST, 바람시어 예측인자를 이용하여 Cross-validation 방법으로 예측된 ACE(적색선)를 도시한 것으로, 적색선은 앙상블 평균된 바람시어를 통해 예측된 ACE를 나타내며, 회색선은 각각의 앙상블의 바람시어를 통해 예측된 ACE를 나타낸다. 관측 ACE와 예측 ACE의 상관계수는 0.825로 높은 예측성을 보여주었다.
- [0064] 도 5를 참고하면, GloSea5는 현재 한국 기상청에서 구축중인 모델이라 사용 가능한 데이터가 4, 5, 6월 밖에 없었지만, 6월 초기조건의 경우에도 상관계수가 0.842라는 매우 높은 예측성을 나타냈다. 차후에 7월 GloSea5 데이터가 추가된다면, 더 정확한 예측이 가능할 꺼라 기대된다.
- [0065] 참고로 도 5는 cross-validation을 통해 얻은 ACE와 관측된 ACE와의 상관계수를 나타낸 것으로, X축은 7월 초기조건 (IC07)과 5월 초기조건 (IC05)의 계절예측으로부터 얻은 값을 의미하며, 적색은 Kim et al. (2013)에서의 유럽중기예보센터 (ECMWF) System4 예측결과, 녹색은 GloSea4, 청색은 GloSea5의 결과를 나타낸다. 일반적으로 역학적 모델들은 리드타임(초기조건으로부터 예측날짜까지의 시간)이 길어질수록 예측성이 떨어진다(도 5참고). 예를 들어 4월 예보의 경우, 4월 1, 9, 17, 25일 초기조건의 총 12개 앙상블을 사용하였다. GloSea5 모델은 4월 초기조건에도 불구하고 상관계수가 0.75라는 높은 예측성을 보여주었는데, 이것은 하이브리드 예측 방법으로 7~10월에 발생할 태풍들의 활동 정보를 3개월 전부터 미리 효과적으로 예측할 수 있음을 보여준다.
- [0066] GloSea4와 GloSea5모델을 이용해 예측한 ACE 모두 상관계수 0.8 이상의 높은 예측성능을 보여주고 있으며, 이를 통해 하이브리드방법을 통한 태풍계절예측이 효과적임을 알 수 있다.
- [0067] 이하 도면을 참고하여 본 발명의 북서태평양 열대 지방의 태풍에 대한 하이브리드 예측 방법에 대하여 설명한다.
- [0068] 도 7은 본 발명의 북서태평양 열대 지방의 태풍에 대한 하이브리드 예측 방법을 설명하기 위한 흐름도로서, 도시된 바와 같이, 먼저 계절 ACE를 예측하기 위해, 모델 예측값과 관측값의 통계적 관계를 통해 예측변수를 선정하여 예측변수 저장부(130)에 저장한다(S210).
- [0069] 이러한 예측 변수들에는 SST와 바람시어 등이 있으며, ACE와의 상관성을 분석하고 관측값과 모델 예측값의 통계적 관계를 통해 예측인자를 선정한다.
- [0070] 이를 위하여 단계 S210에서 예측 변수가 선정되면, 하이브리드 예측부(110)는 ACE와 예측 변수들(SST, 바람시어)의 통계적 관계를 파악하기 위해, ACE에 대한 7~10월 SST 편차와 연직바람시어 편차의 상관계수를 구한다(도 2 참조)(S220).
- [0071] 또한, 단계 S220에서는 통계적 예측기술을 검사하기 위해 6월 달에 시작하는 값으로 총 12개의 앙상블멤버를 사용한다.
- [0072] 다음으로 ACE와 예측인자 사이의 상관성을 보여주는 도 2에서 높은 상관지수를 갖는 총 세 지역을 예측인자로 사용하여 다중회귀 통계 모델을 구축한다(S230~S240).
- [0073] 단계 S240에서의 통계분석은 cross-validation 방법을 이용하고, 단계 S250에서는 각 년도의 ACE값을 구할 때마다 나머지 년도의 예측인자를 통한 다중회귀모델로 ACE를 예측하는 것이다(도 4참조).
- [0074] 이러한 방법을 통하여 태풍의 하이브리드 예측 성능을 보면, 5월의 관측 값을 이용한 당해 연도 ACE지수의 하이브리드 예측은 14년의 기간 동안 상관계수가 0.84로 (도 5, GloSea5, 약 80% 이상의 변동을 설명 가능함), 선행연구결과의 예측성능 (도 5, 유럽중기예보센터)보다 높다. 이러한 성공적인 ACE지수 예측을 바탕으로 당 해의 태풍발생 위치와 주요 이동경로를 예측하여, 여름이 시작되기 전 태풍에 대한 대비를 통해 사회경제적 피해 완화를 기대할 수 있다.
- [0075] 이상에서 본 발명은 기재된 구체예에 대하여 상세히 설명되었지만 본 발명의 기술사상 범위 내에서 다양한 변형 및 수정이 가능함은 당업자에게 있어서 명백한 것이며, 이러한 변형 및 수정이 첨부된 특허 청구범위에 속함은 당연한 것이다.

부호의 설명

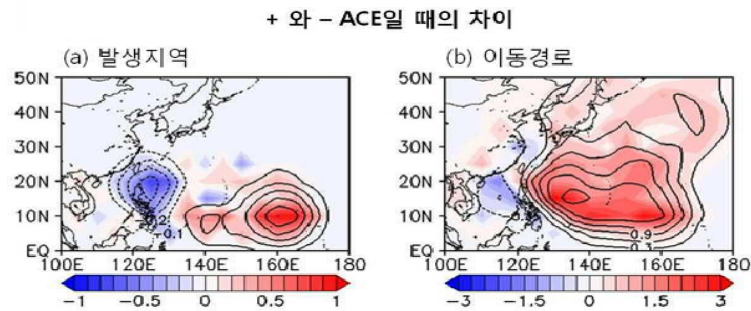
110 : 하이브리드 예측부

120 : 예측변수 저장부

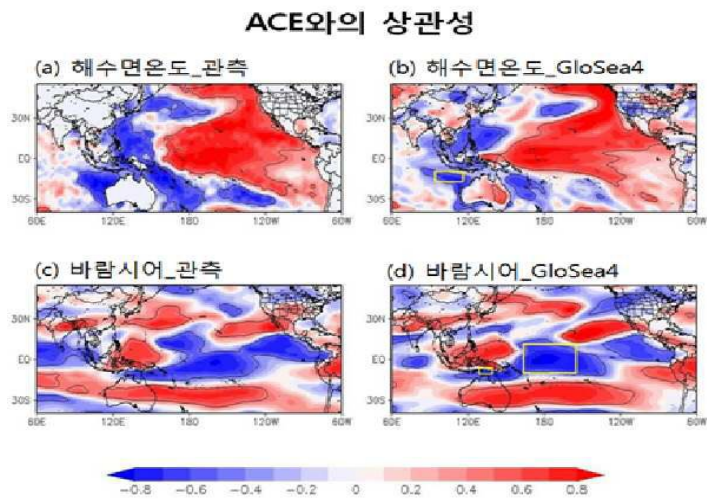
130 : D/B부

도면

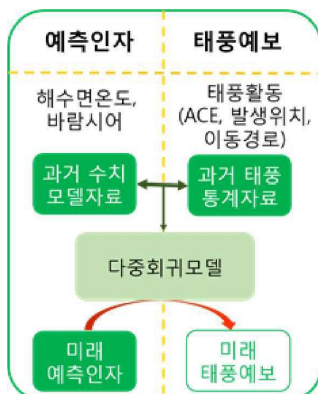
도면1



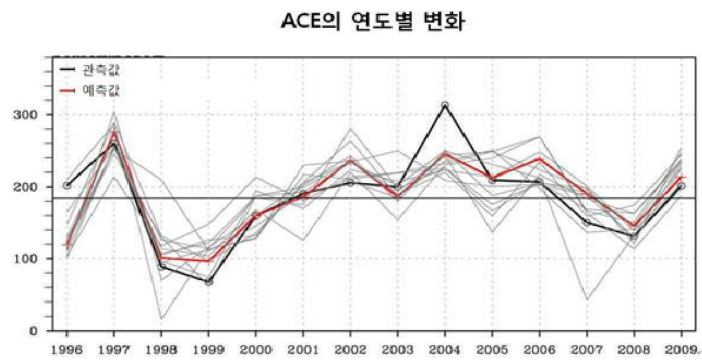
도면2



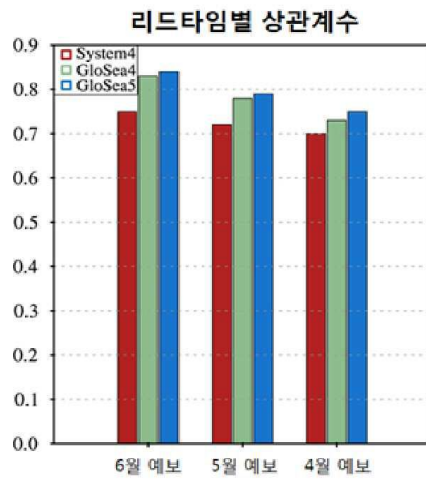
도면3



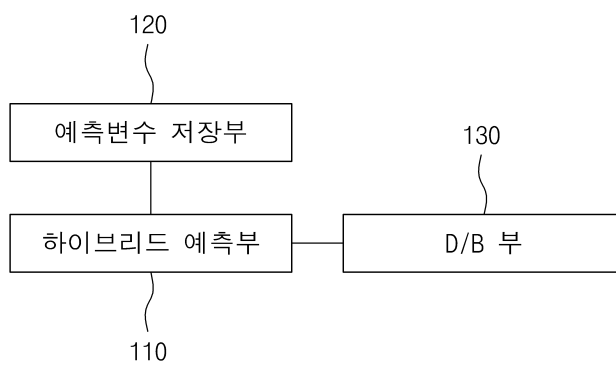
도면4



도면5



도면6



도면7

