

APEC기후센터 제3차 기후예측워크숍

기후예측 기술의 실용화(R2O) 체계 개발 및 수요맞춤 발전방향

- 일자 : 2022. 6. 30.(목) ~ 7. 1.(금)
- 장소 : 부산 벡스코 컨벤션홀 101, 102, 106, 107호



발표자료 QR 코드

프로그램

시간	발표 내용	발표자
6.30.(목)		
09:00 - 10:00	등록	
10:00 - 10:20	개회 (사회 : APEC기후센터 대외협력과장 문상원)	
10:00 - 10:10	개회사	신도식 APEC기후센터 원장
10:10 - 10:20	환영사	이미선 기상청 기후과학국장
10:20 - 10:50	기조연설 (좌장 : APEC기후센터 기후사업본부 유진호 본부장)	
	수치모델링분야 연구 - 현업 협력 방안	권영철 기상청 수치모델링센터장
10:50 - 11:00	휴식	
11:00 - 14:00	세션 1. 우리나라 및 전 세계 기후의 최근 현황과 특성에 대한 이해 (좌장 : APEC기후센터 기후분석과장 이우섭)	
11:00 - 11:25	더블 피크 엘니뇨	국종성 포항공과대학교 환경공학부 교수
11:25 - 11:50	신 표준평년 기간 (1991-2020) 기후 변동 특성 분석	예상욱 한양대학교 해양융합과학과 교수
11:50 - 13:00	점심	
13:00 - 13:25	2021년 지구온난화 경향과 전세계 이상 기후 현상	명복순 APEC기후센터 기후분석과 선임연구원
13:25 - 13:50	2021년 우리나라 주요 기후 특성	황호성 기상청 기후변화감시과 주무관
13:50 - 14:00	휴식	
14:00 - 17:05	세션 2. 기후예측 기술개발 및 성능진단 (좌장 : APEC기후센터 예측운영과장 김형진)	
14:00 - 14:25	전 지구 지면 및 수문 모델링 프레임워크 개발 : 물리과정과 데이터의 측면에서	김형준 한국과학기술원 미래전략대학원 교수
14:25 - 14:50	해양자료동화 개선을 위한 해양자료의 민감도 실험	김영호 부경대학교 해양학과 교수
14:50 - 15:15	기상청 현업 기후예측시스템의 운영 및 개발 계획	이조한 국립기상과학원 기후연구부 팀장
15:15 - 15:40	시공간 통합형 수치예보모델 개발 현황	박래설 (재)차세대수치예보개발사업단 수치모델실장
15:40 - 15:50	휴식	

시간	발표 내용	발표자
15:50 - 16:15	통계 및 역학-통계모형을 이용한 여름철 북동아시아 강수의 계절예측	권민호 한국해양과학기술원 책임연구원
16:15 - 16:40	기후예측시스템 모델의 MJO 원격상관 진단연구	문자연 4D솔루션 책임연구원
16:40 - 17:05	준계절·계절예측 모델의 북극-중위도 원격상관 예측 성능 평가를 위한 진단 매트릭스의 개발과 활용	김백민 부경대학교 환경대기과학과 교수

7.1.(금)

10:00 - 11:40	세션 3. 기후예측 기술의 현업으로의 전환 및 기후정보 제공 (좌장: APEC기후센터 예측기술과장 손수진)	
10:00 - 10:25	역학 기반 황사계절예측시스템 개발과 현업 운영	조정훈 국립기상과학원 예보연구부 연구사
10:25 - 10:50	기계학습을 이용한 우리나라 기온의 3개월 확률 예측	이진영 APEC기후센터 예측기술과 선임연구원
10:50 - 11:15	유라시아 원격상관과 지면-대기 상호작용	이명인 UNIST 도시환경공학과 교수
11:15 - 11:40	APCC 다중모델앙상블 기후예측을 이용한 우리나라 대기질의 계절예측 통계-역학모델 개발	정지훈 전남대학교 지구환경과학부 교수
11:40 - 13:00	점심	
13:00 - 15:00	패널토론. 수요 맞춤형 기후예측 K-R2O 발전 방향 (좌장: APEC기후센터 기후사업본부장 유진호)	
	[발표] 연구자-이행자-사용자 간 합의형 실용화 체계의 발전 방향	
13:00 - 13:30	현업 기후예측시스템 기반 공동 개발을 위한 표준 개발 환경	이조한 국립기상과학원 기후연구부 팀장
	연구개발 허브에서의 APCC의 역할	신선희 APEC기후센터 예측기술과 선임연구원
	기상기후 예측을 위한 국가기상슈퍼컴퓨터 운영 현황	장민수 기상청 국가기상슈퍼컴퓨터센터 주무관
13:30 - 15:00	[토론자] 부경대학교 환경대기과학과 교수 김백민, 국립기상과학원 기후연구부장 부경은, UNIST 도시환경공학과 교수 이명인, 기상청 국가기상슈퍼컴퓨터센터장 장근일, APEC기후센터 예측기술과 선임연구원 전종안, 기상청 기후예측과장 조경숙	
15:00 - 15:05	폐회식 (사회: APEC기후센터 대외협력과장 문상원)	
15:00 - 15:05	폐회사	신도식 APEC기후센터 원장

기조연설

[좌장 : APEC기후센터 기후사업본부 유진호 본부장]

수치모델링분야 연구-현업 협력 방안

[발표자 : 기상청 수치모델링센터장 권영철]

수치모델링분야 연구 – 현업 협력 방안

권영철

기상청 수치모델링센터

현대의 기후와 날씨의 예보는 대기 지배방정식을 수치해석적 방법으로 풀어내는 수치모델이 필수적인 도구라고 할 수 있다. 수치모델은 위성, 라디오존데 등의 관측자료를 사용하여 현재의 날씨를 파악하는 자료동화와 강수, 기온, 바람 등 날씨변화를 계산하는 수치모델로 구성되어있다. 따라서, 관측자료의 특성 및 활용뿐 아니라 날씨요소인 구름 및 복사과정등 다양한 기상학 연구결과들이 모델에 반영되어야 정확한 예보가 생산될 수 있다. 최신 기상연구 결과의 반영이 중요한 요소이기 때문에 모델의 개선은 현업기관뿐 아니라 학계, 연구분야의 기여가 중요하다고 할 수 있다.

하지만, 현업과 연구의 차이, 현업모델의 배타성 등을 고려할 때 연구결과의 현업화 (R2O)가 쉽게 이루어지지 않는 상황이다. 이러한 어려움은 수치모델 선진국들도 비슷하게 겪고 있으나, 이러한 어려움에도 불구하고 이들은 지속적으로 연구의 현업화를 시도하고 있다. 최근 수치모델 기술의 고도화로 인하여 R2O의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 예를 들어 미국 기상청에서는 R2O 전담기관의 설립과 R2O 프로젝트를 수행하여 연구기관의 현업모델 개선 참여를 독려하고 있다.

이번 발표에서는 기후예측모델 R2O의 발전방향 제시를 위해 2년 전에 한국형수치예보모델 개발사업단이라는 연구 조직에서 개발된 한국형모델의 현업화 과정을 R2O의 예로 설명하고자 한다. 이에 덧붙여서, 한국형모델 개선을 위한 수치모델링센터의 노력을 간단히 소개하고, 현재 수치모델링센터의 R2O 현황 그리고 앞으로의 계획에 대해 얘기하고자 한다.

세션 1

우리나라 및 전 세계 기후의 최근 현황과 특성에 대한 이해

[좌장 : APEC기후센터 기후분석과장 이우섭]

더블 피크 엘니뇨

국종성, 신나연

포항공과대학 환경공학부

최근 들어, 엘니뇨 다양성 및 전지구 기후 영향에 대한 연구가 많은 주목을 받고 있다. 하지만, 대부분의 연구가 해수면 온도 아노말리의 중심이 동태평양에 있거나, 중태평양에만 있는 두 가지 형태의 엘니뇨에만 집중되어 있다. 이 연구에서는 관측 자료를 통해 2000년대 이후 해수면 온도 아노말리의 중심이 동태평양과 중태평양에 동시에 존재하는 “더블피크 엘니뇨가 존재함을 제시하고자 한다. 더블피크 엘니뇨는 동태평양과 중태평양의 해수면 온도가 분리되었지만, 동시에 발달한다. 일반적으로, 더블피크 엘니뇨 발달기의 대기과 해양 패턴은 중태평양 엘니뇨 발달기 패턴과 유사하다. 즉 중태평양의 해수면 온도는 동서이류 피드백과 풍속 감소에 의한 증발 감소에 의해 발달한다. 하지만, 동태평양의 패턴은 매우 다르게 나타난다. 특히, 열대수렴대 지역의 강수 아노말리가 뚜렷하게 발달하게 나타난다. 열대수렴대 지역의 강수 아노말리는 적도의 서풍을 강화시키는 역할을 하여, 동태평양 해수면 온도 발달에 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다.

신 표준평년 기간 (1991–2020) 기후 변동 특성 분석

예상욱, 송세용, 홍진실
한양대학교

세계 기상기구 (WMO)는 변화하는 기후상태 아래에서 표준 평년값을 정의하고 있으며 2021년 이후 표준 평년기간은 1991–2020년으로 변화되었다. 신 표준 평년기간에서 주목해야 할 점은 첫째, 신 표준 평년기간을 사용할 때 이전 표준 평년기간과 비교하여 기후 변수들의 확률 분포 특성의 차이, 둘째 신 표준평년 기간에서 기후 변동성의 특성, 마지막으로 신 표준평년 기간에서 정의된 기후 변수들의 평균값으로 사용할 때 기후 예측성을 포함하는 기후 변동성의 해석이다. 이 연구에서는 신 표준평년 기간을 사용하였을 때 우리나라에서 관측된 주요 기후 변수들이 확률 분포 특성의 차이가 어떻게 변화되었는지를 살펴보고 나아가 신 표준 평년기간 기후 변수들의 특성에 대해 집중적으로 분석하였다. 신 표준평년 기간은 이전 표준 평년기간과 비교하여 다양한 기후 변동성의 차이를 확인 할 수 있었다. 한 예로 겨울철 동아시아 지면 기온과 태평양 십년주기 변동성의 상관성이 이전 표준 평년기간에서 신 표준 평년기간 서로 다른 특성을 보였는데 이러한 변화는 신 표준 평년기간 상승한 북대서양 해수면 온도의 상승에서 그 원인을 찾을 수 있었다. 또한 신 표준 평년기간의 주요한 기후 변동성의 특성 변화로 한반도를 포함하는 동아시아 지역강수의 계절 및 계절 내 변동성의 변화를 파악하였다. 분석결과에 의하면 동아시아 여름철 강수 계절 내 변동의 주요 모드는 해마다 상이하게 나타났으며 최근 들어 특히 한반도 총 강수는 동아시아 강수 변동성을 설명하는 주요 변동 모드로 잘 설명되지 않는 것으로 나타났다. 이러한 해들의 특성은 저위도로 북진하는 강수 특성이 약하고 전체 강수량의 크기도 작았다.

2021년 지구온난화 경향과 전세계 이상 기후 현상

명복순
APEC기후센터

본 발표에서는 2021년 지구 온난화 경향성과 세계 이상 기후 현상들을 소개하고 이상 기후 현상들의 원인들을 간략히 제시하고자 한다. 전지구 평균 기온이 지속적으로 증가하고 있는 가운데 2021년은 라니냐의 냉각 효과로 온난화의 정도가 약간 감소하였지만 여전히 산업화 시대(1850-1900년) 이전보다 1.11°C도 높은 기온을 기록하였고 결과적으로 최근 7년(2015~2021년)은 지구상 가장 따듯했던 7년으로 나타났다. 2021년 전지구 평균 해수면고도는 역대 최고를 기록하였다. Covid-19 팬데믹으로 인한 인간활동의 감소에도 불구하고 이산화탄소 농도는 2021년에도 계속 증가하였다. 해양 열용량 역시 증가 추세이며 2021년 0-2000 m 층의 열용량은 역대 최고를 기록하였다. 이러한 온난화 경향성은 북극 해빙과 빙하에도 영향을 주어 7월 초에는 관측 이래 북극 해빙 가장 적었고 8월에는 그린란드 내 빙하 지역의 가장 고지대에서 최초로 비가 관측되기도 하였다.

2021년에는 라니냐가 연초에 발달하였다 여름철에 잠시 약화된 후 연말에 다시 강화(Double-Dip)되면서 세계 곳곳에 이상 기후 현상이 발생하였다. 폭설을 동반한 한파가 1~2월에 미국을 강타한 이후 6~7월에는 극심한 폭염, 산불 및 가뭄이 북미 서부에 발생하였다. 7월 중순에는 서부 유럽지역에 홍수가 나타났다. 8월에는 북대서양 허리케인 역사상 가장 강력한 강도에 준하는 허리케인 아이다가 또다시 루이지애나에 상륙하였다. 이러한 이상 기후 현상들은 많은 인명 피해와 경제적 피해를 유발하였다.

2021년 우리나라 주요 기후 특성

황호성

기상청 기후과학국 기후변화감시과

2021년 우리나라는 기후변화 영향 아래 계절별로 이상기후 현상이 두루 나타났다.

2021년 전국 연평균기온은 13.3℃(평년대비 +0.8℃)로 역대(1973년 이후) 두 번째(1위 2016년 13.4℃)로 높았다. 봄철(3월~5월)과 가을철(9~11월) 기온이 각각 5위로 높았고, 기후변화로 인한 기온 상승 추세 속에서 나타난 결과로 해석된다. 한편, 수도권(서울·인천·경기도, 13.0℃)을 비롯한 서쪽과 남쪽 지역을 중심으로는 연평균기온이 역대 1위를 기록하였다.

2021년 전국 연강수량은 1,244.5mm(37.9퍼센타일, 30위)로 평년(1,193.2mm~1,444.0mm)과 비슷하였다. 짧은 장마철(17일, 최단 3위)로 인해 장마철 강수량(227.5mm, 40위)이 적었으나, 봄철(3월~5월) 강수량(330.5mm, 7위)이 많아 연강수량은 평년과 비슷하였다.

2021년 시기별 주요 기후 특성을 보면, **(1월 기온 변동)** 2021년 1월 상순 한파(1월 8일 평균기온 -12.3℃)로 시작하였으나, 1월 하순에는 기온이 급격하게 올라(1월 23일 평균기온 7.4℃), 1월 기온 변동폭(표준편차 5.4℃)이 역대 가장 컸다.

(2~3월 높은 기온, 이른 개화) 2월 평균기온(3.4℃, 평년 대비 +2.2℃)은 역대 3위를, 3월 평균기온(8.7℃, 평년 대비 +2.6℃)은 역대 1위를 기록하였다. 한편, 높은 기온으로 인해 서울 벚꽃 개화일(3월 24일, 평년 대비 15일 빠름)이 1922년 관측 이래 100년 만에 가장 빨랐다.

(5월 잦은 강수·뇌전) 5월은 이틀에 한 번꼴로 비가 내려 강수일수(14.5일, 평년 대비 +5.8일)가 역대 가장 많았고, 대기 상층에 찬 공기가 위치하면서 불안정으로 인해 낙뢰도 잦았다(5월 뇌전일수 3.8일/2위, 1위 1997년 5.5일).

(짧은 장마철) 6월 북태평양고기압이 늦게 북상한 후 7월 빠른 속도로 확장하면서 장마는 7월 3일 시작해 7월 19일에 일찍 종료됐으며, 중부와 제주는 장마 기간(17일/평년 31~32일)이 역대 세 번째로 짧았다.

(7월 폭염) 장마가 끝나기도 전에 폭염이 일찍 찾아와 7월 폭염일수(8.1일, 평년대비 +4일)와 최고기온(30.8℃, 평년대비 +1.9℃)이 모두 역대 5위를 기록하였다.

(가을 전반 고온, 10월 기온 급하강) 가을철에 접어든 이후에도 10월 중반까지 높은 기온을 유지하였으나(9월1일~10월15일 평균기온 20.9℃로 역대 1위), 10월 중순 기온이 급격히 하강하면서 10월 기온 변동폭(표준편차 5.1℃)이 역대 가장 컸다.

(태풍 영향) 태풍은 총 22개(평년 25.1개)가 발생하여, 이 중 3개(평년 3.4개)가 8월~9월 우리나라에 영향을 주었다. 특히 제주도와 남부지방, 동해안을 중심으로 많은 비가 내려 피해가 발생하였다.

세션 2

기후예측 기술개발 및 성능진단

[좌장 : APEC기후센터 예측운영과장 김형진]

전 지구 지면 및 수문 모델링 프레임워크의 개발 : 물리과정과 데이터의 측면에서

Development of Global Land and Hydrologic Modeling Framework: Physics and Data

김형준

한국과학기술원 문술미래전략대학원/건설및환경공학과

전 지구 지면모델은 Bucket 모델이 개발된 이래 반세기에 걸쳐 기후모델의 하부 경계층 정보를 제공하기 위한 물리 방안으로서 꾸준히 개발되어 왔다. 1980년대에 들어 Big leaf 방식을 이용해 식생의 영향을 고려하기 시작했으며 1990년대에는 식물생리학적 요소들을 고려한 광합성 방안이 개발되었다. 1990년대 말부터 2000년대 초에 걸쳐 식생의 동적 변화를 고려하는 방안들이 제안되었고 이후 농업 등 다양한 인간활동을 포함하는 방향으로 개발이 진행되고 있다. 한편, 전 지구 수문 모델은 1차원 물리 방안인 지면 모델과 달리 2차원 공간에서의 물의 재배치하는 물리 방안으로써 선형 저수지 방법을 이용하는 Total Runoff Integrated Pathways 가 개발된 이래 약 사반세기에 걸쳐 개발되어 왔다. 확산과 혹은 운동파에 기초한 방법부터 1차원의 St. Venant 식을 이용한 모델까지 다양한 복잡도의 모델들이 존재한다. 특히 CaMa-Flood 모델은 최초로 전 지구 규모에서 하천의 범람을 모사함으로써 단기 및 중기 영향 예보 및 기후 변화에 따른 영향 평가에 추가 정보를 제공하고 있다. 하지만 이와 같은 모델링 프레임워크의 발전은 물리방안의 진보만으로는 이루어지지 않는다. 우선 물리 방안에 결합되는 식생 및 토양 종류와 물리 및 생지화학적 특성과 같은 다양한 모수의 추정이 필요하며 고해상도의 수치표고모델은 모델내에서 지리적 환경 (예를 들어, 하천의 하도망 등)을 구축하는데 이용된다. 다양한 현장 관측 데이터의 합성 및 위성 원격 탐사는 다양한 모수에 대한 전 지구의 분포 데이터를 작성에 있어서 필수적인 정보를 제공한다. 또한 지면 모델의 상부 경계 조건이 필수적으로 요구되며 이는 대기 재분석 자료를 기초로 다양한 관측자료에 근거한 편차 보정을 통해 만들어진다. 본 발표에서는 위에 언급한 전 지구 지면 및 수문 모델링 프레임워크의 발전에 대한 개략적인 소개와 특히 최근에 이루어진 발전을 물리 방안 및 데이터의 측면에서 고찰한다. 이에 더해 몇가지 관련 국제 연구 협력 프로젝트를 소개하고 다중 모델 실험에서의 모델간 상호 비교 및 벤치마킹에 대해서 논의한다.

해양자료동화 개선을 위한 해양자료의 민감도 실험

김영호¹, 장인성¹, 진현근², 박군도², 박영규²

¹부경대학교 지구환경시스템과학부

²한국해양과학기술원 해양순환연구센터

21세기 동안 전세계적으로 지구온난화가 가속화되며 지속적인 수온의 상승과 해양산성화 그리고 해양열파 등의 극한 해양현상의 발생으로 인한 기후재해의 가능성이 날로 증가하고 있다. 특히 우리나라 해역의 표층수온은 최근 54년간 약 1.35℃ 상승하여, 수온 상승이 가장 높은 지역 중 하나로 기후재해의 가능성이 갈수록 높아지고 있다. 뿐만 아니라, 표층 영양염류 농도가 전반적으로 감소하며, 식물플랑크톤은 크기가 작은 종의 우점율이 증가하는 등 해양생태환경의 급격한 변화를 겪고 있다. 우리나라 해역의 정확한 기후변화 영향을 파악하고 대응하기 위해서는 신뢰성 높은 해양 및 기후재분석 자료의 확보와 함께 중장기 예측시스템의 개발 및 고도화가 필요하다.

본 연구에서는 해양 및 기후예측시스템을 위한 해양자료동화기법의 성능을 진단하고 해양자료의 기여도를 평가하기 위한 민감도 실험을 수행하였다. 위성관측 해면수온과 해면고도 그리고 수온-염분 프로파일을 동화하기 위하여 Ensemble Optimal Interpolation(EnOI)를 적용하였으며, 특히 해면고도를 동화하기 위해서 관측된 해면고도와 모델의 차이를 수층 내의 수온과 염분 차이에 의한 역학고도의 차이에 기인한 것으로 간주하여 새로운 프로파일을 생성하여 동화하는 간접동화 방식을 적용하였다. 또한 해양자료동화 성능에 대한 각 자료의 기여도를 정량적으로 평가하기 위하여 민감도 실험을 수행하였다. 특히 해면고도의 기여도와 한반도 주변의 주요 자료인 국립수산과학원의 정선관측 자료의 기여도를 중점적으로 평가하였다. 해면고도 자료는 해양재분석자료의 품위를 개선하는데 전반적으로 크게 기여하는 것으로 나타났다. 특히 해면고도를 동화했을 때 표층 해류 모의 성능을 개선할 뿐만 아니라 수온과 염분의 내부 구조 또한 개선하는 것으로 나타났다. 흥미로운 것은 국립수산과학원의 정선관측 자료는 한반도 주변의 모의 성능을 개선할 것으로 기대하였으나 쿠로시오 확장역을 중심으로 해양재분석자료의 품위 개선 효과가 큰 것으로 나타났다. 중위도 지역은 해양 및 기후변동성이 크고 선박활동이 활발하기 때문에 관측자료 확보가 어려워 해양순환 및 기후예측시스템을 고도화하는데 어려움을 겪고 있다. 한반도가 속한 중위도의 해양순환 및 기후예측시스템을 개발하고 고도화하기 위해서는 기존의 관측자료에 대한 평가를 통해 인공위성 등을 이용한 원격탐사 자료와 현장 관측 자료의 활용도를 높이고 관측시스템을 고도화할 필요가 있다.

기상청 현업 기후예측시스템의 운영 및 개발 계획

이조한, 신범철, 지희숙, 이상민, 김백조, 부경은
국립기상과학원 기후연구부

기상청은 1999년부터 국가 기상슈퍼컴퓨터 1호기에서 역학 모델을 도입하여 운영하기 시작하였으며, 현업 전지구 예측모델 GDAPS(Global Data Assimilation and Prediction System based on GSM)을 기반으로 하여 장기 예보의 생산을 시작하였다. 기상청과 영국기상청 간 기후예측시스템 공동운영에 관한 협약의 일환으로 2012년부터 대기-지면-해양-해빙 결합 모델 기반의 기후예측모델(GloSea4)을 도입하고 시험운영을 시작하였으며, 2014, 2016년의 GloSea5 업그레이드 및 현업운영을 거쳐, 2021년 말에는 GloSea6의 업그레이드, 2022년 2월말부터 기상청의 현업 기후예측시스템으로 GloSea6를 현업 운영 중에 있다.

기후예측은 초기조건과 경계조건에 영향을 강하게 받는 시간규모적 특성을 가지고 있으며, 기후예측의 향상을 위해서는 경계조건에 영향을 위한 결합모델의 각 성분모델인 대기, 지면, 해양, 해빙 모델과 초기조건에 영향을 위한 자료동화 시스템의 개발·개선이 요구된다. 이와 더불어, 모델의 불확실성을 고려하기 위한 앙상블 기법의 개발·개선 등도 요구된다. 따라서 이러한 기후예측시스템의 개발·개선은 다양한 세부 분야의 총체적·동시적 개발 및 개선을 요구하며, 이에 효과적으로 대응하기 위해서는 과거의 원툴 개발 틀을 개선한 유연하고 확장된 형태의 개발 체계가 필요할 것으로 생각된다.

본 발표를 통해 현업 기후예측시스템의 운영 현황, 개발 계획을 공유하고, 현재 기상청의 기후예측시스템 관련 수행 중인 연구내용을 공유하는 한편, 전문분야별 특화된 기술개발연구를 위한 공동 개발체계에 대해 소개하고자 한다.

시공간 통합형 수치예보모델 개발 현황

박래설, 최석진, 배수야, 구명서, 이은희
차세대수치예보모델개발사업단

차세대수치예보모델개발사업단(KIAPS)은 현업모델인 초단기부터 연장중기까지의 시공간을 아우르는 통합형 수치모델 개발을 목표로 한다. 시공간 통합형 수치모델은 다양한 국민적 수요에 기반하여 기존의 한국형모델(Korean Integrated Model, KIM)이 가지지 못한 부가적이지만 중요한 사양이 요구된다. 그 하나는, 초단기 및 고해상도 지역모델의 기능을 위해 가변격자 역학코어 기반의 모델을 개발 중이다. 고해상도 및 가변격자에 적합한 격자적응 물리과정이나, 3차원 복사과정 등의 고해상도 물리과정 또한 개발 및 최적화가 진행 중이다. 또한, 기존의 단중기 예측을 지속적으로 고도화하면서, 예측의 범위를 연장중기까지 확대하고자 한다. 이에, KIAPS는 연장중기 예측성을 향상시키기 위해 가능한 모든 경계모델을 결합 및 최적화하여 경계장을 정교화하고자 한다. 해양, 해빙, 지면, 하천모델, 파랑모델 등을 결합하여 최적화를 진행 중이다. 또한, 성층권 이상의 중간대기 예측성을 고도화하여 상부 경계조건의 정교화도 도모하고 있으며, 이를 위해 모델의 극지역 성능 최적화도 진행 중이다. 한편 중장기 적분의 안정성을 위해 모델 구성성분 간의 일관성을 확보하고자 노력하고 있으며, 이를 위해 통합형 물리과정이나 구름양 진단방안 등을 개발 중이다. 연장중기에 대한 성능 및 예측 특성을 지속적으로 진단 및 분석하여 추가적인 개발 방안을 발굴하여 연장중기 예측성을 극대화하고자 한다. 이번 기후예측워크숍에서는 사업단의 전반적인 연구 방향 및 성과를 공유하고, 워크숍에 참석한 기후전문가의 다양한 조언을 모델 성능에 반영하기 위한 기회를 가질 수 있기를 희망한다.

Key words : 한국형수치예보모델, 차세대수치예보모델개발사업단, 연장중기, 결합모델, 중간대기

※ 본 연구는 기상청 출연사업인 (재)차세대수치예보모델개발사업단의 가변격자체계 기반 통합형수치예보모델 개발(KMA2020-02212)의 지원을 받아 수행되었음

통계 및 역학-통계모형을 이용한 여름철 북동아시아 강수의 계절예측

권민호¹, 이강진²

¹한국해양과학기술원 해양순환연구센터

²한국해양과학기술원 해양기후예측센터

여름철 복잡한 구조를 가지는 우리나라를 비롯한 북동아시아 지역 강수의 계절적 시간 규모의 예측은 현재 수준의 접합대순환모형(Coupled General Circulation Model)을 이용할 때 그 예측성은 현저히 낮다. 북동아시아 지역 강수의 통계적인 예측은 선택 가능한 다른 방법론이다. 계절예측에 있어 접합대순환모형 등의 역학모형의 한계를 극복하기 위한 대안 중 하나로 통계적 기법이 많은 선행연구들을 통해 제시되어 왔다. 우선, 예측인자와 다중선형회귀모형에 의한 통계모형의 예측성과 그 한계점에 대해서 논의된다. 또한, 자료기반의 예측모형 중 가장 복잡한 형태인 딥러닝 학습모형의 예측성과 그 적용 범위에 대하여 논의된다. 한편, 역학모형을 이용한 열대 및 아열대 지역의 강수 및 그와 관련된 순환장의 계절예측성은 북동아시아 지역 강수의 계절예측성에 비하여 상대적으로 높다. 열대 및 아열대 지역 기후 변동성은 북동아시아 지역과 원격상관관계를 가지므로, 역학모형의 열대/아열대 지역 예측결과를 이용하고, 북동아시아 지역 강수와 통계적인 관계를 이용하면 통계적으로 유의미한 수준의 북동아시아 지역 강수의 계절예측성을 확보할 수 있다. 여기서는 역학모형과 정준상관분석 모형/자기조직화지도 모형을 이용한 역학-통계모형의 예측성을 진단하고, 그 한계에 대해서 논의한다.

Key words : 계절예측(seasonal prediction), 딥러닝모델(deep learning model), 역학-통계모형(dynamical-statistical model), 원격상관(teleconnection), 정준상관분석모형(canonical correlation analysis model), 자기조직화지도(self-organizing map)

기후예측시스템 모델의 MJO 원격상관 진단연구

문자연¹, 김기영¹, 조정아, 양영민², 현유경³, 김백조³

¹(주)포디솔루션 기업부설연구소

²난징정보과학기술대학교 대기과학과

³국립기상과학원

열대지역의 대표적인 계절내진동인 MJO (Madden and Julian Oscillation)는 인도양과 서태평양의 높은 해수면 상에서 활발한 대기 내부의 역학적인 현상이며 전구 규모로 동진하고 북반구 겨울철에 높은 변동성을 보인다. 계절의 연주기에 따라 강도와 위치가 변하며 원격상관 과정을 통해 전 지구적인 기상, 기후, 그리고 극한 현상까지 영향을 미친다. 본 연구에서는 기후모델이 모의하는 MJO와 MJO에 의해 유도되는 중위도 순환 및 유도과정을 분석하였다. 기상청 기후예측시스템 (Global Seasonal forecasting system version 5, GloSea5)에서 과거 기후장 (reforecast)으로 생산된 1991년부터 2016년 자료와 GloSea5의 기후모델 (Global Coupled 2.0) 기준실험 (1979~2019년) 결과를 이용하였다. 모델의 성능을 파악하고 타 모델들과의 비교를 객관적으로 평가하기 위해 MJO 진단 매트릭스 그리고 MJO 원격상관 진단 매트릭스를 이용하여 기후모델의 모의 성능을 단계별로 그리고 정량적으로 평가하였다. 첫 번째로 열대 및 중위도 순환의 공간분포 모의능력을 진단하고 두 번째로 주요 구역을 선택하여 시계열 구조를 진단하였다. 마지막으로 재분석 대비 모델의 성능을 RMSE-based 그리고 scalar-based 매트릭스로 진단하였다. 진단 기준은 패턴, 강도, 동서구조, 유지 기간, 그리고 패턴의 일관성으로 구분하였고 원격상관의 process 진단을 위해 로스비 근원항을 적용하였다.

※ 이 연구는 기상청 기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용 기술개발사업(KMI2020-01310)의 지원으로 수행되었습니다.

준계절·계절예측 모델의 북극-중위도 원격상관 예측 성능 평가를 위한 진단 매트릭스의 개발과 활용

김백민¹, 심지한¹, 김하림², 구호영¹, 문자연³, 김기영³

¹부경대학교 환경대기과학과

²이화여자대학교 환경공학과

³(주)포디솔루션

최근 준계절/계절 예측 모델의 예측성과 불확실성에 대한 연구들은 바이어스, 평균제곱 오차, 상관계수와 같은 정량 평가지표에 의존하는 단순한 성능 검증을 넘어 모델이 모의해 내는 현상들의 시공간적 구조가 얼마나 실제와 유사한지에 대한 평가와 이를 바탕으로 한 모델 예측성 향상 연구로 이어지고 있다. 특히 관측 자료에 존재하는 원격상관과 내부 변동 모드들을 모델이 잘 재현해 내고 있는지에 대한 파악과 이에 기반한 예측 성능 개선 시도들이 학계와 현업기관을 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 2000년대 이후 북극을 중심으로 고온 현상이 다양한 시간규모에서 빈번하게 나타나고 있으며 이로 인해 북극진동과 극지역 인근 지역의 고위도 블로킹 등 고위도 내부 변동 모드들이 큰 폭으로 변동하고 있다. 이러한 내부 변동성의 확대는 중위도 기후 예측성에 큰 영향을 줄 것으로 파악되고 있으나 아직까지 모델의 극-중위도 원격상관 변동성을 구체적으로 살펴본 연구는 극히 제한적이다. 이에 본 연구팀은 준계절/계절예측 모델의 북극-중위도 원격상관 예측성 향상을 위하여 다양한 인자들로 구성된 진단 매트릭스를 개발중에 있다. 현재 구성된 진단 매트릭스는 북극진동(AO), 북극해빙, WACE 패턴(Warm Arctic Cold Eurasia Pattern), 북극 고온 지수(Arctic Temperature Index), 고위도 블로킹(High-latitude Blocking), 북극 지위고도 지수(Polarcap Height), 북극 층후(Arctic thickness), E-P 플럭스들을 주요 구성요소로 포함하고 있으며 이 지표들은 각각 1) 성능(Performance), 2) 원격상관(Teleconnection), 3) 프로세스 이해(Process) 로 분류되었다. 구성된 진단 매트릭스는 현재 우리나라 기상청에서 운용중인 현업기후 예측모델 GloSea5와 미국립기상과학연구소(NCAR)에서 배포한 CESM2에 해빙 초기화 방안을 접목하여 자체 개발한 KPOPS(Korea Polar Prediction System)에 적용되었다. 본 발표에서는 완성단계에 있는 진단 매트릭스를 실제 기후예측 모델의 과거예측 자료(hindcast)에 적용, 평가한 결과를 소개하고 개발된 진단 매트릭스가 어떻게 예측성 향상 연구를 위한 진단 자료로 활용될 수 있는지에 대해 논의한다.

세션 3

기후예측 기술의 현업으로의 전환 및 기후정보 제공

[좌장 : APEC기후센터 예측기술과장 손수진]

역학 기반 황사계절예측시스템 개발과 현업 운영

조정훈

국립기상과학원 예보연구부

2018년까지 기상청은 봄철 황사일수 전망을 위해 황사발원지 월평균 기온, 강수량, 강설량, 풍속, 10개의 기후지수와 통계모델을 활용하였다. 기상청은 2016년부터 통계모델의 한계를 극복하고 황사 장기예보 정확도를 향상시키기 위한 방안의 하나로 역학모델 기반 황사계절예측시스템 개발하였다. 역학 기반 황사계절예측시스템은 기상청 계절예측시스템(GloSea5)에 기상청 현업 황사예측모델의 황사발원알고리즘을 탑재한 모델로, 나대지에서만 모래폭풍을 발원하여 동아시아 황사 농도를 낮게 모의하는 GloSea5를 개선한 모델이다. 2017년 시험 운영과 2018년 현업 적용을 시작으로 2019년부터 봄철 황사 전망에 활용하고 있다.

역학 기반 황사계절예측시스템은 동아시아에서 $20\mu\text{m}$ 이하 황사의 발생, 이류, 확산과 침적을 모의하여 6시간 간격 황사 농도를 예측한다. 예측황사일수는 국내 일평균 황사예측농도가 황사발생기준농도($290\mu\text{g}/\text{m}^3$) 이상인 일수이며, 황사발생기준농도는 평년(1991-2010) 국내 일평균 황사모의농도의 구간별 누적발생빈도를 분석하여 상위 7%를 구분하는 농도로 정의하였다. 예측황사일수는 다시 평년의 연도별 황사일수로부터 산출된 범주 기준값과 비교하여 예측황사일수가 5.8일 미만인 경우 Below, 7.2일 초과인 경우 Above, 5.8일과 7.2일 사이인 경우 Normal로 판단하였다. 평년 기간 동안에 대한 검증 결과, 정확도(Hit Rate)는 0.5, 예보숙련도(Heidke skill score)는 0.25였으며, 시험 운영이 시작된 2017년부터 2021년까지 5년 동안의 정확도는 0.6이다.

기계학습을 이용한 우리나라 기온의 3개월 확률예측

이진영
 APEC기후센터

기후예측 기술의 기상청 이관 사례로 APEC기후센터에서 ‘20-’21년 장기예보 객관화 사업의 일환으로 개발한 가우시안 프로세스 기계학습모델(OLRAF-GP; Objective Long-Range Forecasting model based on Gaussian Processes)의 개발 및 현업화 과정을 소개한다. 모델의 개발 과정 초기부터 기상청 기후예측과 및 현업운영개발부와 수 차례 실무회의를 통해 연구 내용 및 방향을 공유하였으며 연구가 완료된 모델을 매달 실행할 수 있는 형태로 수정하는 과정을 거쳐 결과물을 기상청으로 송부하는 형태로 ‘22년부터 현업화하였다. 특히 관심의 대상이 되는 여름철 기온인 6월(1개월 선행), 7월(2개월 선행) 및 8월(3개월 선행)의 월평균기온(TMm), 월평균 일최저기온(TNm), 월평균 일최고기온(TXm) 예측에 대한 성능을 정리하여 학술지에 게재(doi.org/10.1175/WAF-D21-0148.1)하였다.

모델의 예측인자는 기존 연구를 통해 도출된 여러 인자들만을 포함할 수도 있고(GP-PD), 목표 변수와 다양한 기상기후 관측자료의 상관관계로부터 도출할 수도 있는데(GP-OBS, GP-MME) 이 중 현업화에 사용된 GP-MME는 관측자료가 없는 시기에 대해 APEC기후센터 다중모델앙상블(APCC MME) 예측을 활용한 모델이다. 모델 예측 결과 6월과 7월에 GP-MME 모델과 GP-OBS 모델 모두 GP-PD보다 우수한 성능을 보였다[6월 TMm 예측의 경우 GP-MME, GP-OBS, GP-PD 모델에 대해 HSS = 0.46, 0.72, 0.16, 7월 TMm 예측의 경우 HSS = 0.53, 0.3, 0.07]. 8월 예측에 있어 GP-MME 모델이 대부분의 경우 GP-OBS 모델과 GP-PD 모델보다 우수한 성능을 보였다(TMm 예측의 경우 각각 HSS = 0.52, 0.28, 0.5). 이는 관측자료가 없는 시기에 대해 추가적으로 활용한 MME 기후예측자료가 모델의 성능에 기여했으며 OLRAF-GP 모델, 특히 GP-MME 모델이 우리나라 여름철 기온예측을 위해 잘 활용될 수 있음을 나타낸다. 도출된 예측인자와 관련된 물리적 과정이 지난 여름철의 라니냐 조건이나 관련된 인도양의 축전기 효과(capacitor effect), 겨울철 POL(Polar/Eurasia) 패턴 등과 같이 기존 연구를 통해 밝혀진 기작과 밀접한 연관이 있음을 발견하였으며 이는 객관적으로 도출된 여러 예측인자들의 메커니즘이 물리적으로 의미있으며 모델의 성능과 효율성 향상에 도움을 줄 수 있음을 시사한다.

유라시아 원격상관과 지면-대기 상호작용

이명인, 최낙빈, 이준리
울산과학기술원

2020년 봄 시베리아의 4-5월 평균 기온은 관측 사상 최고 수준의 기록적 폭염이 발생했다. 선행연구들은 겨울철부터 강하게 지속된 북극진동(AO)과 AO 양의 위상에 수반되는 Cold Arctic Warm Eurasia 패턴, 저위도에서의 온도이류 등을 주요한 원인으로 제시하고 있으나 북극진동이 약화된 이후에도 지속된 고위도의 고온 현상을 설명하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 같은 기간에 발달한 유라시아 원격상관 패턴에 주목하고 원격상관 패턴의 발생과 유지 메커니즘에 대하여 전지구 재분석 자료와 기후모델 실험을 통하여 분석하였다. 고온이 발생했던 시베리아 지역(55-75N, 70-110E)의 4-5월 평균기온은 유라시아 지역 대기 상층의 대규모 파동 발달과 높은 관련성을 갖는 것으로 나타났다. 또한 유라시아 정체파동은 북대서양 해수면 온도가 삼극자 패턴을 가질 때 상관성이 높게 나타났다. 이는 역학코어만 가지는 경압 정체파동모델 실험을 통하여 확인할 수 있었으며, 와도장 편차를 대서양 지역에 처방했을 때 나타나는 대규모 유라시아 파동의 원인이 대서양의 해수면 온도 변동과 밀접한 관련이 있다는 것을 시사하였다. 또한 본 연구에서는 최근 들어 강화되는 유라시아 파동과 시베리아 및 동아시아 상층 대기순환 반응이 예전보다 강화된 지면-대기 상호작용의 영향이라는 가설을 제시한다. 특히 기후변화에 따른 유라시아의 적설량 감소는 봄철의 지면-대기 상호작용을 강화시켜 상층의 정체파동의 유지 및 강화에 중요한 역할을 할 수 있다. 전지구 기후예측 모델을 이용한 적설 민감도 실험을 통하여 적설량 변화가 시베리아 지역의 온도변동에 유의한 영향을 주는 것을 확인하였다.

APCC 다중모델앙상블 기후예측을 이용한 우리나라 대기질의 계절예측 통계-역학모델 개발

정지훈, 최자현
전남대학교 지구환경과학부

대기오염물질을 줄이기 위한 노력이 계속되고 있지만, 동아시아의 대기질에 대한 우려는 여전히 커지고 있다. 따라서 나쁜 대기질의 유해한 영향을 완화할 수 있는 충분한 대응 시간을 확보하기 위해, 최근 대기질 계절 예측의 필요성이 대두되고 있다. 이 연구에서 우리나라 겨울철(12월부터 2월까지) 미세먼지농도의 계절 예측을 위한 통계-역학적인 방법을 제시하였다. 이 방법은 미세먼지 농도의 계절적 거동이 기온, 바람 등의 기후 조건에 큰 영향을 받기 때문에 기후 모델을 통한 계절기후예측을 통해 미세먼지 농도의 기후적 변동성분을 예측할 수 있으리라는 아이디어를 기반으로 한다. 먼저 관측된 겨울 초미세먼지 농도와 기후 변수를 연결하는 다중 선형 회귀 모델을 구성하였다. 여기서 기후 변수인 예측 인자는 가을에 생산된 APCC 다중모델 앙상블 예측자료를 사용하였는데, 초미세농도와 물리적으로 관련이 있을 뿐만 아니라 기후예측 hindcast에서 '예측 가능한' 기후 변수를 모델의 예측 인자로 선택하였다. 2001-2019년 기간 동안 19개의 겨울에 대한 과거 예측을 수행하여 이 모델이 유의미한 예측성을 나타내고 있음을 제시하였다.



48058 부산 해운대구 센텀7로 12. APEC 기후센터
T. 051-745-3900 F. 051-745-3949 www.apcc21.org