

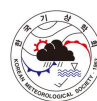
2019년 한국기상학회

봄학술대회 Proceedings

[기후분과]

2019년 4월 21일(일)-23일(화)
대구 엑스코 (EXCO)

주최 | 사단법인 한국기상학회
주관 | 사단법인 한국기상학회 기후분과위원회



사단법인 한국기상학회
Korean Meteorological Society

2019년도 한국기상학회 기후분과 봄학술대회

1. 행사 명칭	■ 사단법인 한국기상학회 2019년 기후분과 봄학술대회
2. 일시 및 장소	<p>■ 일 자 : 2019년 4월 21일-23일 (일~화요일)</p> <p>■ 장 소 : 대구 엑스코 (EXCO)</p> <p>포스터 전시 : 대구 엑스코 (3층 로비)</p>
3. 행사 주최 및 주관	<p>■ 주 최 : 사단법인 한국기상학회</p> <p>■ 주 관 : 사단법인 한국기상학회 기후분과위원회</p>
4. 행사내용	<p>■ 학생워크숍</p> <p>■ 개회식</p> <p>■ 학술 대회 안내</p> <p>■ 초청강연 김준 (연세대학교)</p> <p>■ 2019년 봄학술발표</p>
※ 첨 부	<p>■ 2019년 봄 학술대회 일정표</p> <p>■ 2019년 봄 학술대회 발표 프로그램</p>
※ 기후분과위원회	<p>■ 이명인 (울산과학기술원, 위원장)</p> <p>■ 윤진호 (광주과학기술원)</p> <p>■ 이준이 (부산대학교)</p> <p>■ 국종성 (포항공과대학교)</p> <p>■ 진 경 (극지연구소)</p> <p>■ 김백민 (부경대학교)</p> <p>■ 정지훈 (전남대학교)</p> <p>■ 김선태 (APEC 기후센터)</p> <p>■ 현유경 (국립기상과학원)</p> <p>■ 구태영 (국립기상과학원)</p>

■2019년 봄 학술대회 일정표■

일 시		프로그램		장 소
▶ 4월 21일 (일요일)	13:30~14:30	등 록		
	14:30~16:00	학생워크숍 (1) (좌장: 이명인)		대구 엑스코 3층 324호실
	16:00~16:30	휴 식		
	16:30~18:00	학생워크숍 (2) (좌장: 김선태)		
▶ 4월 22일 (월요일)	08:00~08:30	기후분과위원회의		대구 엑스코 3층 327호실
	08:30~09:00	등 록		
	09:00~09:15	개 회 개회사 (서명석 한국기상학회장) 축사 (권원태 APEC 기후센터 원장)		대구 엑스코 3층 324호실
	09:15~09:20	기후분과 학술대회 안내 (이명인)		
	09:20~10:00	특별초청 강연 (좌장: 이명인) 김준 (연세대학교)		
	10:00~10:05	기념사진 촬영		
	10:05~11:35	기후 1 기후변동 (1) (좌장: 진경)		
	11:35~13:00	점심식사		대구 엑스코 2층 푸드코트 (그린테리아)
	13:00~14:30	기후 2 모형예측 (좌장: 현유경)		대구 엑스코 3층 324호실
	14:30~14:45	휴 식		
	14:45~16:00	기후 3 모델링 (좌장: 정지훈)		
	16:00~16:30	특별세션 기후과학분야 발전 포럼 (좌장: 김윤재)	포스터 발표 (좌장: 이명인)	대구 엑스코 3층 324호실
	16:30~18:00	포스터 발표 (계속)		대구 엑스코 3층 로비
	18:00~	저녁식사		대구 엑스코 3층 325호실
	▶ 4월 23일 (화요일)	09:00~10:30	기후 4 기후변동 (2) (좌장: 김백민)	
10:30~10:45		휴 식		
10:45~12:00		기후 5 기후변동 및 모델링 (좌장: 국종성)		
12:00~13:00		점심식사		대구 엑스코 2층 다담돌
13:00~14:30		기후 6 기후환경 및 모델링 (좌장: 구태영)		대구 엑스코 3층 324호실
14:30~14:50		우수 구두 및 포스터 발표상 시상 폐 회		
14:50~15:30		기후분과위원회의		대구 엑스코 3층 327호실

■2019년 봄 학술대회 발표 프로그램■

【학생워크숍】

▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실

▶ 제1세션 (4월 21일(일) 14:30-16:00) 좌장: 이명인

▶ 14:30-15:15 관측자료와 수치모델을 이용한 탄소순환 연구
권은영 (IBS)

▶ 15:15-16:00 해양물리의 관점에서 보는 탄소순환
송하준 (연세대학교)

▶ 16:00-16:30 휴 식

▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실

▶ 제2세션 (4월 21일(일) 16:30-18:00) 좌장: 김선태

▶ 16:30-17:15 지구시스템 모델을 활용한 생지화학 변수 예측과 활용
박종연 (전북대학교)

▶ 17:15-18:00 기후변화와 극지 빙권모델링
진 경 (극지연구소)

【초청 강연】

▶ 4월 22일

▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실

좌장: 이명인

▶ 09:20-10:00 정지궤도위성자료를 이용한 에어러솔 특성 융합 산출 및 활용.....1
김준 (연세대학교)

【학술발표】

▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실

▶ 제1세션 (4월 22일(월) 10:05-11:35) 좌장: 진 경

1) 10:05-10:20 Rapid warming of Arctic sea ice from microwave measurements
and its consequences2

Byung-Ju Sohn, Sang-Moo Lee, Hoyeon Shi
서울대학교

2) 10:20-10:35 Monsoons3
하경자

부산대학교

3) 10:35-10:50 인도양과 대서양 SST와 한반도 봄가뭄의 연관성	4
명복순 APEC 기후센터	
4) 10:50-11:05 Human-induced increase in the SST threshold for tropical convection	5
박인홍, 민승기 포항공과대학교	
5) 11:05-11:20 Impact of the Madden-Julian oscillation on Antarctic sea ice and the related dynamical mechanism	6
Hyun-Ju Lee, Kyong-Hwan Seo Pusan National University	
6) 11:20-11:35 Attribution of the observed intensification of precipitation over dry and wet regions	7
Seungmok Paik, Seung-Ki Min Pohang University of Science and Technology	
 ▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실	
▶ 제2세션 (4월 22일(월) 13:00-14:30) 좌장: 현유경	
1) 13:00-13:15 A new statistical correction strategy using a self-organizing map method to improve long term dynamical prediction	8
Joonlee Lee, Joong-Bae Ahn, Myong-In Lee UNIST	
2) 13:15-13:30 다중모델앙상블로부터 생산된 아시아여름몬순지수들의 예측성 평가	9
박혜진, V. N. Kryjov, 김영현, 김응섭, 최명주, 김힘찬, 조윤경, 안중배 부산대학교	
3) 13:30-13:45 초기조건 변화에 따른 기후예측시스템 민감도 평가 및 최적 앙상블 기법 연구	10
함현준, 임소민, 허솔잎, 지희숙, 현유경, 김윤재 국립기상과학원	
4) 13:45-14:00 기상청 기후예측시스템(GloSea5)의 2017-2018 남한지역 예측성능 분석	11
전찬일, 박지선, 박병권, 정혜리, 김동준 기상청	
5) 14:00-14:15 2016년과 2018년 폭염의 특성과 예측성 비교 분석	12
윤동혁, 차동현 울산과학기술원	
6) 14:15-14:30 Heat wave predicting over South Korea with teleconnection drivers based on machine learning	13
Yeonsu Lee, Cheolhee Yoo, Dongjin Cho, Jungho Im UNIST	

▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실

▶ 제3세션 (4월 22일(월) 14:45-16:00) 좌장: 정지훈

- 1) 14:45-15:00 CMIP5 기후 모델에서 $1.5^{\circ}\text{C}/2^{\circ}\text{C}$ 온난화율의 크기를 결정하는 요소에 관한 연구14
예상욱, 신소정, 안순일, 조현수
한양대학교
- 2) 15:00-15:15 Soil Moisture Data Assimilation with Local Ensemble Transform Kalman Filtering Scheme15
Eunkyo Seo, Myong-In Lee
UNIST
- 3) 15:15-15:30 지구 시스템 모형의 비현실적 식생 계절성 모의16
박훈영, 정수종
서울대학교
- 4) 15:30-15:45 Seasonal dependency of Arctic marine phytoplankton response under greenhouse warming in CMIP5 earth system models17
임형규, 국종성
포항공과대학교
- 5) 15:45-16:00 Development of a Quasi-Weakly Coupled Data Assimilation method in GloSea5 System18
Nakbin Choi, Myong-In Lee
UNIST

▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실

▶ 제4세션 (4월 23일(화) 09:00-10:30) 좌장: 김백민

- 1) 09:00-09:15 지구온난화와 태풍의 이동속도 19
문일주, 김성훈
제주대학교
- 2) 09:15-09:30 Seasonality and El Niño Diversity in the Relationship between ENSO and Western North Pacific Tropical Cyclone Activity20
Yumi Choi, Kyung-Ja Ha, Fei-Fei Jin
Korea Institute of Ocean Science and Technology
- 3) 09:30-09:45 Sub-Arctic ocean warming driven by Arctic sea ice loss over the last 60 years21
Hyo-Seok Park, Andrew L. Stewart, Seok-Woo Son, June-Yi Lee, Kyong-Hwan Seo
한국지질자원연구원
- 4) 09:45-10:00 Analysis of the Above Normal Tropical Cyclone Activity in the Western North Pacific during the Boreal Summer 201822
Joseph Basconcillo, Il-Ju Moon
Jeju National University
- 5) 10:00-10:15 Significant changes in typhoon frequency over the western North Pacific since the late 1990s23
Han-Kyoung Kim, Byung-Kwon Moon, Sang-Wook Yeh, and Nam-Young Kang
전북대학교

6) 10:15-10:30 동아시아 여름 몬순의 장기변동성	24
박진아, 윤진호	
광주과학기술원	

▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실

▶ 제5세션 (4월 23일(화) 10:45-12:00) 좌장: 국종성

1) 10:45-11:00 적도-중위도 상호작용에 의한 최근 북미 지역 이상기후의 강화 기작	25
성미경, 김백민, 예상욱, 최용상, 유창현	
연세대학교	
2) 11:00-11:15 대규모 순환과 연결된 유역기후모형의 구축과 한반도 겨울 기후 상세화에 적용	26
김무섭, 김선태, 정여민	
APEC 기후센터	
3) 11:15-11:30 Development of a track pattern-based medium-range tropical cyclone forecasting system in South Korea	27
Hung Ming Cheung, Chang-Hoi Ho, Minhee Chang, Dasol Kim	
Seoul National University	
4) 11:30-11:45 기후변화시나리오 자료 공유를 위한 APEC기후센터의 ESGF 데이터 노드 구축	28
한정민, 최재원	
APEC 기후센터	
5) 11:45-12:00 CMIP5 기후 모델에서 자연적 변동 범위로 설명할 수 없는 온난화 강도가 나타나는 시기를 결정하는 물리적 요소에 관한 연구	29
현승환, 예상욱	
한양대학교	

▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실

▶ 제6세션 (4월 23일(화) 13:00-14:30) 좌장: 구태영

1) 13:00-13:15 What can we learn about effectiveness of carbon reduction policies from interannual variability of fossil fuel CO ₂ emissions in East Asia?	30
Lev D. Labzovskii, Hugo Wai Leung Mak, Samuel Takele Kenea, Jae-Sang Rhee, Azam Lashkari, Shanlan Li, Tae-Young Goo, Young-Suk Oh, Young-Hwa Byun	
National Institute of Meteorological Sciences	
2) 13:15-13:30 안면도에서 1999~2017년 기간 동안 관측한 대기 중 CO ₂ 농도 자료를 이용한 탄소 수지의 변화 연구	31
윤정민, 정수종, 허창희, 박훈영	
서울대학교	
3) 13:30-13:45 새롭게 개발된 NEMO-TOPAZ의 생지화학 모의 특징	32
이효미, 문병권, 정현재, 변영화, 임윤진, 이조한	
전북대학교	

4) 13:45-14:00 Evaluation of Simulated CO ₂ Concentrations from the CarbonTracker-Asia Model Using In-situ Observations over East Asia for 2009-2013	33
Samuel Takele KENEA, Young-Suk OH, Jae-Sang RHEE, Tae-Young GOO, Young-Hwa BYUN, Shanlan LI, Lev D. LABZOVSKII, Haeyoung LEE, Robert F. BANKS National Institute of Meteorological Sciences	
5) 14:00-14:15 동아시아 여름철 지표 오존의 변동 특성	34
위지은, 박효진, 이효미, 문병권 전북대학교	
6) 14:15-14:30 Simulation of climate-driven sowing dates in the Midwestern United States	35
Hyeon-Ju Gim, Chang-Hoi Ho, Su-Jong Jeong Seoul National University	
 ▶ 장소: 대구 엑스코 3층 324호실	
▶ 특별세션 기후과학분야 발전 포럼 (4월 22일(월) 16:00-16:30) 좌장: 김윤재	
1) 16:00-16:30 관학연 공동 모델개발을 위한 기후예측시스템 개발체계 제언	36
김윤재, 이조한, 현유경, 이선용, 임윤진 국립기상과학원	
 ▶ 포스터 발표 (4월 22일(월) 16:00-18:00, 좌장: 이명인)	
▶ 장소: 대구 엑스코 3층 로비	
1) Relationship between the Arctic Oscillation, Siberian High, and East Asian Winter Monsoon	37
Jin-Ho Choi, Han-Kyoung Kim, Byung-Kwon Moon Chonbuk National University	
2) Air-sea interaction impacts on changes in Asian Summer Monsoon at Paris Agreement target temperatures	38
Donghyun Lee, Seung-Ki Min POSTECH	
3) AMO 위상변화에 따른 PDO 구조와 대기반응 변화 분석	39
홍진실, 예상욱 한양대학교	
4) 동아시아 극한기온에 대한 해양 구름 밝기 조절 지구공학의 계절적 영향	40
김도현, 정일웅, 신호정 강릉원주대학교	
5) 북극해 해빙감소와 유라시아 지역의 봄철 식생 지수 감소현상	41
고영대, 최자현, 김민석, 정지훈 전남대학교	
6) 우리나라 여름철 극한고온현상의 공간범위 유형분류와 그 특성에 관한 연구	42
김유진, 최영은 건국대학교	

7) Delayed impact of autumn sea ice low on East Asia climate	43
Yeon-Soo Jang, Jong-Seong Kug, Sang-Yoon Jun POSTECH	
8) 자기조직화지도(Self-Organizing Map)를 이용한 최근 우리나라 여름철 극한온도 특성 분류	44
임원일, 서경환 부산대학교	
9) Expansion of extreme heat waves associated with the summer season lengthening in Northern Hemisphere	45
Bo-Joung Park, Seung-Ki Min POSTECH	
10) 지난 46년간의 우리나라 최저기온 변동 분석	46
이선용, 조창범, 이상민, 조영준, 박연희, 김윤재 국립기상과학원	
11) 전 지구 여름철 폭염과 열대야의 발생 빈도에서 나타난 regime shift 원인 연구	47
이은혜, 예상욱 한양대학교	
12) 서울시 관내 지역별 강수 특성에 나타나는 지형 및 인위적 영향	48
최우석 서울기술연구원	
13) Influence of climate variability on seasonal extreme wave height from satellite data	49
ANINDITA PATRA, SEUNG-KI MIN Pohang University of Science and Technology	
14) 여름철 우리나라 전체 강수변동성과 관련된 동아시아 계절 내 강수변동성 역할의 non-stationary 특성	50
노태규, 예상욱 한양대학교	
15) 북극 해빙 두께 감소로 인한 해빙 내 온도 상승 경향 분석	51
신지민, 손병주, 이상무 서울대학교	
16) The first step to build Korea tree-ring data network for paleo-climate	52
Min-Seok Kim, Peng Zhang, Young-Dae Koh, Ji-Yoon Jeong, Jee-Hoon Jeong Chonnam National University	
17) Flow-Dependent Background Error Covariance 추출 기법의 NEMO 에의 적용	53
김지광, 함유근 전남대학교	
18) 결합예측모형(GloSea5)의 해역별 해양예측 특성	54
추성호, 조형준, 장필훈, 이조한, 김윤재 국립기상과학원	
19) Medium-Range Heatwave Forecasting in East Asia Based on the KMA Ensemble Prediction System for Global	55
Sunlae Tak, Nakbin Choi, Myong-In Lee UNIST	

20) Non-linear Responses in Climate Anomalies and Extreme Events Caused by the Arctic Oscillation	56
Jihae Kim, Myong-In Lee, Daehyun Kang, Nakbin Choi, Eunkyo, Seo UNIST	
21) 통계-역학 하이브리드 기법을 이용한 해빙 농도의 증장기 예측	57
김종호, 백은혁, 정의현, 정지훈 전남대학교	
22) 역학모형의 동아시아 봄철 가뭄 예측 성능 진단 및 평가	58
강상현, 우성호, 정예림, 정지훈 전남대학교	
23) Inter-model diversity of regional climate in 15°C and 17°C worlds	59
So-Jung Shin, Soon-Il An, Sang-Wook Yeh 연세대학교	
24) 한반도 여름철 극한 기온에 대한 BSISO 영향 분석	60
정유림, 김해정 APEC 기후센터	
25) PNU CGCM 앙상블 계절예측시스템의 남한 겨울철 기온 모의성능 평가	61
조세라, 안중배, 최연우, 송찬영, 서가영, 유즈바시츠아나, 김소희 부산대학교	
26) S2S 자료를 이용한 계절내 다중모델 앙상블 예측성능 평가	62
김가영, 이윤영, 윤순조, 오지현 APEC 기후센터	
27) 편의 보정된 다중지역기후모델 강수의 불확실성 추정 및 미래 전망	63
김가영, 차동현, 이길, 박창용, 진천실, 서명석, 안중배, 민승기 울산과학기술원	
28) 동아시아 열파 발생의 증가에 대기조건과 지면조건(토양수분)이 미치는 영향	64
김경민, 백은혁, 정예림, 박상혁, 정지훈 전남대학교	
29) 기계학습을 이용한 기온 예측 및 분석	65
황유선, 김찬수 공주대학교	
30) APCC SCoPS 계절 예측 모형의 Real-time 예측 성능 분석	66
임아영, 양유빈, 민영미, 함수련 APEC 기후센터	
31) 국방기후자료 품질관리시스템 소개	67
주아령, 김성, 홍현미, 기균도, 변신웅, 황재돈 공군기상단	
32) Decadal changes in global carbon cycle associated with decadal ENSO variability	68
So-Won Park, Jin-Soo Kim, Jong-Seong Kug POSTECH	
33) 지면 생태계 모델을 이용한 전 지구 지면 생태계 탄소 저장 시간의 시공간적 변동성 비교 분석	69
여재호, 정수종 서울대학교	

34) Prospect of climate changes for the mid and late 21st century using RegCM4.0 (25 km) over CORDEX II East Asian region	70
Tae-Jun Kim, Myoung-Seok Suh, Eun-Chul Chang National Institute of Meteorological Sciences	
35) Future projections of Antarctic ice shelf melting and global sea level rise	71
진경, 김태균, 나지성, 박인우, 이원상 극지연구소	
36) Updated detection and attribution analysis of extreme temperature changes using CMIP6 multi-model dataset	72
Min-Gyu Seong, Seung-Ki Min POSTECH	
37) Heat stress changes at Paris Agreement target temperatures: Equilibrium vs. transient world assumptions	73
이상민, 민승기 포항공과대학교	
38) Prospect of extreme climate changes related to temperature for the mid and late 21st century using the simulation data of RegCM4.0 over CORDEX II East Asian region	74
Myoung-Seok Suh, Tae-Jun Kim, Eun-Chul Chang National Institute of Meteorological Sciences	
39) 한국, 중국, 일본의 온실가스배출 감축 시나리오에 따른 미래 가뭄 강도 변화 예측	75
박창균, 허창희, 박록진, 우정현, 임철수, 박두선, 박훈영, 김민중, 김윤하, 홍성철, 김진원 서울대학교	
40) GRIMs-CCM 모의에서 나타난 오존 강제력의 중요성	76
정용철, 예상욱, 이승언, 박록진 한양대학교	
41) K-ACE 모델의 CO ₂ 강제력에 따른 기후민감도 분석	77
선민아, 성현민, 심성보, 임윤진, 김지선, 김병현, 이조한, 변영화 국립기상과학원	
42) Inter-annual variation of tropical cyclones simulated by GEOS-5 AGCM with modified convection scheme	78
Eunkyo Seo, Myong-In Lee, Dongmin Kim, Young-Kwon Lim, Siegfried D. Schubert, Kyu-Myong Kim UNIST	
43) LES 모델 기반 남극 빙붕 하부 열전달특성 연구	79
나지성, 진경, 김태균, 이원상 극지연구소	
44) 에어로졸에 의한 동아시아 여름 몬순의 빠른-느린 반응 분석	80
서정빈, 권상훈, 심성보 국립기상과학원	
45) Decadal SST Dipole in Tropical Atlantic Ocean Induced by External Climate Forcing during the last 21,000 years	81
SooYeon Im, Soon-il An 연세대학교	

46) QBO-MJO Coupling in a Numerical Weather Prediction Model	82
Seung-Yoon Back, Seok-Woo Son, Fuqing Zhang	
서울대학교	
47) CCMI 모델들의 대류권 모의성능 평가	83
이효미, 박효진, 위지은, 문병권	
전북대학교	
48) 기후모델의 기온분포 변동에 대한 북반구 겨울철 해들리 순환의 경계와의 관계 분석.....	84
윤상필, 서경환	
부산대학교	
49) 편의보정된 다중지역기후모델의 강수자료를 이용하여 구분된 동아시아 강수지역의 검증 및 미래전망	85
박창용, 차동현, 김가영, 이길	
울산과학기술원	
50) MJO에 의한 동아시아 겨울철 기후 반응 연구	86
김선용, 국종성	
포항공과대학교	
51) 동아시아 제트 변동성과 동아시아 겨울 몬순의 non-stationary 관련성의 역학적 원인 분석 연구	87
송세용, 예상욱, 박재흥	
한양대학교	
52) Numerical simulation of ocean - ice shelf interaction: Water mass circulation in the Terra Nova Bay, Antarctica	88
김태균, 진경, 나지성, 이원상	
극지연구소	
53) 2017년 페루 홍수에 대한 기상학적 분석 및 미래 전망	89
손락훈, S.-Y. Simon Wang, Wan-Ling Tseng, Christian W. Barreto Schuler,	
윤진호	
광주과학기술원	
54) 안면도 대기관측 메탄의 장기변동과 한국의 기여도 분석	90
김연수, 정수종	
서울대학교	

구두 발표

정지궤도위성자료를 이용한 에어러솔 특성 융합 산출 및 활용

김 준¹, 이서영¹, 임현광¹, 고수정¹, 최명제^{1,2}

¹연세대학교 대기과학과, ²NASA Jet Propulsion Laboratory

위성으로부터의 에어러솔 특성산출은 가시광과 근적외선 채널을 사용하여 가능해왔다. SEAWIFS, MODIS, VIIRS 등 저지구궤도위성에서의 산출은 에어러솔정보의 원격탐사 산출이 가능함을 성공적으로 보여주었다. 이들 위성은 전구를 하루에 1-2회 관측할 수 있는 반면 (e.g. Kim et al. 2007; Lee et al. 2012), GOES, METEOSAT, MTSAT, COMS 등 정지궤도위성에서는 한지점을 15분-1시간 주기로 측정하며, 에어러솔의 일변화까지를 산출할 수 있어왔다 (Kim et al. 2008).

2016년 수행된 한미공동대기질조사캠페인 (KORUS-AQ) 동안 수행된 저지구궤도와 정지궤도위성에서의 에어러솔 특성산출은 정지궤도에서의 훨씬 많은 샘플 외에도, 동등한 자료품질을 확인시켜주었다 (Choi et al. 2018). 2011년부터 축적된 MI와 GOCI 자료는 동아시아 지역내에서 장기적으로 전지역에서 감소추세를 확인할 수 있었고 (Kim et al. 2017), 2015년부터 축적된 AHI 자료는 10분 시간해상도로 전구를 커버하며, 에어러솔의 시간적 이동을 잘 보여주고 있다 (Lim et al. 2018). 자료동화에서의 높은 수요로 인해, 현재 GOCI, AHI, MI 자료는 준실시간으로 처리되어 관측후 1시간 이내에 레벨2 자료가 확보된다. 이들 정지궤도위성자료는 기계학습, 통계적기법, 모델자료의 활용으로 미세먼지의 지표농도(PM2.5)로 환산되어 대기질예보, 대중보건 문제등에도 활용되고 있다 (Park et al. 2019).

더 나아가, 정지궤도위성으로부터의 에어러솔 산출물들은 합성장 연구가 활발해지며, 각 위성산출물보다 편차가 적고, 정확도가 높은 자료들이 산출되고 있다 (Lim et al. 2018). 에어러솔 합성장 산출물은 구름정보 공유, 지표면반사도 합성, 레벨2 산출물 합성 등의 단계로 이루어졌으며, 향후 레벨1B 단계에서의 합성을 통해 통합된 산출도 계획중에 있다. 2018년 12월 발사된 차세대 기상위성, AMI와 2019년말-2020년초에 발사될 해양위성 (GOCI 2)과 환경위성 (GEMS)은 그동안 갖지 못했던 10분, 수 km의 시공간해상도로 에어러솔의 특성을 측정할수 있게 해줄 것이다. 특히 환경위성은 에어러솔 형성의 전구체 기체들도 측정할 수 있어, 보다 깊은 화학적과정의 이해를 가능하게해줄 것이다. 이들 위성탑재체들로부터 자외선 채널의 정보들이 더해지게되면, 밝은 지표에서의 에어러솔 특성산출과 단일산란알베도 (single scattering albedo), O₂O₂ 흡수밴드를 이용한 에어러솔의 유효고도의 산출이 가능해질 전망이다. 특히 AMI와 GEMS는 미국의 GOES-R과 TEMPO, 유럽의 FCI와 Sentinel-4 위성탑재체들과 함께 전지구편대비행을 통해 전구 시간대별 관측자료들을 제공할것으로 기대된다.

Rapid warming of Arctic sea ice from microwave measurements and its consequences

Byung-Ju Sohn, Sang-Moo Lee, and Hoyeon Shi
Seoul National University

Arctic area has been the most visible region experiencing global warming-induced climate changes. Notably, the sea ice extent has been declined by about 40% over last three decades, giving profound impact on the local and global climate. In line with the decline, there have been cumulating evidences that the Arctic warming has been identified as an important element of the variability of mid-latitude large-scale atmospheric circulation. Despite its important role in the climate change and weather, physical and optical properties of the Arctic sea ice are not readily available, hindering the full use of satellite measurements for the climate studies and weather prediction. Here we present recent efforts of retrieving thermal and optical properties of the Arctic sea ice from satellite-borne microwave measurements. Developed retrieval algorithm was applied to 30-year long SSMI/SSMIS FCDR data by counting scattering influences of ice surface and ice-snow on the apparent emissivity at SSMI channels. Resultant sea ice temperature has been validated against CRREL drifting buoy measurements, and obtained long-term data were analyzed, in order to examine and understand the temperature rise in response to surface warming and sea ice melt. It is found that ice temperature has been risen up to 9K over the perennial ice area in the central Arctic Ocean, which should be unprecedented in this global warming era. It is interpreted that the thinning sea ice due to the warming can locate the warm ocean water closer to the ice top, bringing in rapidly warming ice temperature (can be referred to as the ice thickness feedback) and thus causing the ice melt with an accelerating speed.

Key words: sea ice, Arctic climate change, microwave remote sensing, sea ice temperature, sea ice thickness

Monsoons

Kyung-Ja Ha^{1,2,3}

¹Center for Climate Physics, Institute for Basic Science

²Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University

³Research Center for Climate Sciences, Pusan National University

Monsoon climates affect the daily lives of two-thirds of the world population. Monsoon precipitation is a key element in global water and energy cycles and a major driver for atmospheric general circulation. Therefore, monsoon prediction is the most challenging problem in climate science. Moreover, a number of studies in recent years have drawn attention to the increasing intensity of heavy rainfall events, heat waves, and severe droughts in monsoon regions. It is imperative that scientists who study monsoon circulations improve the prediction of their start date or onset, the monsoon intensity, and how these variables respond to climate change. However, changes in the regional monsoons cannot be fully understood unless we get them together in a climate system perspective. Therefore, more detailed studies have been needed to establish that how the regional monsoons are linked, and how their variabilities are demonstrated, and how the observed increases in extreme events are indeed due to climate change by human action and not part of natural variability. The present issue aims to advance our understanding and provide reliable analysis and prediction for the regional monsoons and their changes in various time scales from the past to the future. We invited authors to submit original and review articles that aim to study the monsoons and their variability including extremes, such as drought, dry spell, flooding, heat waves, and soon, in monsoon areas. The 16 papers in this volume cover several regional monsoons including East Asia, South Asia and the South China Sea, Australian monsoon, and African Monsoon.

Key words: Monsoon, Climate variability, General circulation

※ This study was supported by the Institute for Basic Science (project code IBS-R028-D1). I would like to express my sincere thanks to all of authors, reviewers, and assistant editors for their effort to this special issue. I would like to give a talk on recent researches of monsoon, which have been published MDPI Atmosphere.

Atmosphere 2019, 10, 147; doi:10.3390/atmos10030147

인도양과 대서양 SST와 한반도 봄가뭄의 연관성

명복순

APEC Climate Center

한반도에 2012년 이후부터 2016년까지 지속된 다년간의 가뭄으로 인한 농업과 사회경제적 피해를 감안할 때 중장기 가뭄의 특성과 기작, 원인에 대한 연구가 필요하다. 또한 봄가뭄은 농업생산성에 미치는 영향 때문에 신뢰도 높은 예측이 절실한 상황이다. 한편 1980년대 이후로 북대서양이 온난화 되면서 많은 변화들이 지구 곳곳에 나타나고 있으며 한반도에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 본 연구에서는 표준강수지수(standard precipitation index, SPI)를 이용하여 한반도 봄가뭄에 미치는 대규모 순환과 해수면 온도에 대해 분석하고 이를 토대로 통계적 회귀 예측식을 개발하였다.

1990년대 중반 이후로 3-5월 SPI6는 열대지역 SST와 유의미한 높은 상관관계를 보이는데 강한 엘니뇨시 가뭄이 감소하는 경향을 보이지만 ENSO관련 지수를 이용한 예측성은 좋지 않았다. 대신 correlation analysis와 composite analysis 결과 중위도 북대서양이 따듯할수록, 북인도양이 차가울수록 가뭄이 발생하는 경향이 있으며 회귀 경험 예측 모델 개발시 북인도양 지수와 북대서양 dipole 지수를 이용할 경우 5월의 SPI6 변동성의 55% 이상을 설명하는 예측력을 보였다. 특히 엘니뇨가 약할 때 북대서양 dipole의 역할이 두드러지게 나타났다.

Key words: 대서양 SST, ENSO, 한반도 봄가뭄, 회귀 예측 모델

Human-induced increase in the SST threshold for tropical convection

In-Hong Park¹ and Seung-Ki Min¹

¹Division of Environmental Science and Engineering, Postech

Despite the global warming caused by human-induced greenhouse gas increases, convection area (precipitation intensity $> 2\text{mm/day}$) remain nearly constant during last decades. Due to limited evidence for the constant convection area based on long-term observations, here we conduct an attribution analysis of the observed SST threshold for convection during 1953–2012 by comparing ensemble of various reanalyses with CMIP5 multi-model simulations. For each year, we estimate SST threshold for convection as minimum SST where column integrated heating is positive, indicating diabatic heating. This SST threshold is found to be well consistent with that based on precipitation ($> 2\text{ mm/day}$), which is available only for a short period since 1979. Results indicate steady increase of the convection threshold during the past 60 years, which is captured by CMIP5 models including anthropogenic forcings. To quantify the causes of the observed changes, we apply an optimal fingerprinting technique, where the observed time series of SST threshold are regressed simultaneously onto the model simulated time series under natural only and anthropogenic forcings. Anthropogenic forcings explains most of the observed increases of the convection threshold. In accordance with previous studies based on future projections, the observed and simulated increase in the convection threshold exhibits remarkable consistency with those in tropical mean SST and upper-tropospheric temperatures, indicating SST warming patterns determine the distribution of precipitation changes.

Key words: Convection threshold, Detection and Attribution, Convection

Impact of the Madden-Julian oscillation on Antarctic sea ice and the related dynamical mechanism

Hyun-Ju Lee and Kyong-Hwan Seo

Department of Atmospheric Sciences, Division of Earth Environmental System
Pusan National University, Busan, Korea

Sea ice in the polar region plays a crucial role in modulating the stratospheric polar vortex the Earth surface albedo, the thermal interaction between atmosphere and ocean, and the local ecosystems. Many previous studies have found that Antarctic sea ice is affected by atmospheric and oceanic internal modes on the seasonal to interannual and interdecadal time scales, such as the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Southern Annular Mode (SAM), and Atlantic Multidecadal oscillation (AMO). However, on the intraseasonal time scale, which is more associated with practical weather forecasting, the atmospheric or oceanic process responsible for the change in Antarctic sea ice is not fully resolved. In this study, we reveal that the Madden-Julian oscillation, which is the most dominant atmospheric mode of intraseasonal variability in the tropics, induces the Antarctic sea ice variation. The MJO convection moves northeastward, while the Antarctic sea ice anomaly exhibits an eastward moving structure with respect to the MJO evolution. The dynamical mechanism is accounted for by the tropical-extratropical teleconnection by the propagating Rossby waves. Even though the MJO convection exists over the equator and the Northern Hemisphere, the Rossby wave response propagates into the Southern Hemisphere and reaches the high latitude. The MJO-induced circulation anomalies lead to anomalous meridional temperature advection, causing Antarctic sea ice to melt and freeze. The time difference between meridional wind and sea ice anomalies is ~ 5 days.

Key words: intraseasonal variation of Antarctic sea ice, MJO, teleconnection, Rossby wave theory, Ray tracing technique

※ This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. NRF-2018R1A2A2A05018426) and the KMA Research and Development Program under Grant KMI 2018 - 01012.

Attribution of the observed intensification of precipitation over dry and wet regions

Seungmok Paik and Seung-Ki Min

Pohang University of Science and Technology

Human-induced global warming accompanies change in hydrological cycle through lower-tropospheric water vapor increases, which would result in changes in the intensity and spatial distribution of precipitation. In this study, we examine causes of the observed intensification of total and extreme precipitation over the global dry and wet land areas for the past 60 years (1953–2012) by applying an optimal fingerprinting technique to CMIP5 and CMIP6 multi-model simulations. Results based on CMIP5 multi-models show that anthropogenic signal is robustly detected in the observed increase in precipitation especially over dry regions rather than wet regions, since dry region precipitation is more linearly influenced by global temperature increases (Clausius–Clapeyron relation). We further demonstrate that the detected anthropogenic influence is separable from natural forcing. Results from a few available CMIP6 models are found to be consistent with those from CMIP5. Overall, our results indicate a more robust detectable tendency towards total and extreme precipitation increases over the regions of the world where the climatological precipitation is relative low.

Key words: precipitation, detection and attribution, dry and wet regions, anthropogenic forcing

A new statistical correction strategy using a self-organizing map method to improve long term dynamical prediction

Joonlee Lee¹, Joong-Bae Ahn², and Myong-In Lee¹

¹School of Urban and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Ulsan, Korea

²Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan, Korea

A new statistical strategy with the self-organizing map (SOM) method to improve the seasonal prediction skill of a numerical model was introduced. The correction strategy suggested in this study consists of three steps. The first step is to detect a principal time series from the observation (OPTs) using SOM. The second step is to find a signal similar to the OPTs in the model prediction. The final, third, step is to correct the model prediction using the signal found in the second step. The correction strategy is relatively free from the problem of selecting the proper predictor compared to the conventional statistical correction methods because the predictors for correction are objectively selected from among the signals found in the model prediction, automatically considering their statistical correlations with predictands. After correction using the new strategy, hit rate and temporal correlation coefficients are increased while the false alarm rate and normalized root mean square errors are decreased for each season and each lead time. The correction becomes more effective as the lead time increases. In particular, this correction effect is large over the region where the prediction skill without correction is apparently low, indicating that the biases leading poor prediction skills are effectively reduced by the new strategy.

Key words : Statistical bias correction, Self-organizing map, numerical prediction, CGCM

※ This work was carried out with the support of the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-03110 and Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01229302) Rural Development Administration, Republic of Korea.

Reference

Lee, J.L. and J.B. Ahn, 2018: A new statistical correction method using a self-organizing method to improve long-term dynamical prediction, *Int. J. Climatol.*

다중모델앙상블로부터 생산된 아시아여름몬순지수들의 예측성 평가

박혜진¹, Vladimir N. Kryjov², 김영현¹, 김응섭¹, 최명주¹, 김힘찬¹, 조윤경¹,
안중배¹

¹부산대학교 지구환경시스템학부

²Hydrometeorological Research Center of Russia

본 연구에서는 집합대순환모형들로부터 생산된 예측자료들 중 여름몬순의 계절예측성을 평가하였다. 평가된 집합대순환 모형들은 APEC 기후센터의 현업 다중모델 앙상블 계절예측시스템(APCC MME)에 참여하고 있는 6개 기관의 7개 모형들로, 분석기간은 1983년부터 2010년이다. 본 연구에서 분석한 여름몬순지수들은 남아시아여름몬순과 북서태평양여름몬순, 북동아시아여름몬순을 나타내는 지수들로 수평과 연직 동서 바람쉬어를 바탕으로 만들어진 지수들이다. 북서태평양여름몬순과 북동아시아여름몬순 지수들은 지수를 구성하는 각 성분들의 예측성도 분석하였다. 본 연구를 통해, APCC MME 시스템은 대부분의 여름몬순지수들에 대하여 통계적으로 유의한 예측스킬을 가지고 있음을 알 수 있었다. 여름몬순지수들의 예측스킬에 대한 해양열원 분석을 통해 대부분의 여름몬순지수들과 해수면 온도간의 밀접한 상관관계는 적도 태평양뿐만 아니라 세계 대양에 걸쳐 나타났고 특히 북인도양 해수면 온도 편차가 여름몬순지수의 변동성에 중용한 역할을 하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 열대 해수면온도 지수들과 여름몬순지수들간의 상관관계수분석을 통해서도 뒷받침된다. 한편, MME 예측에서 모든 여름몬순지수들이 북태평양 열대 해수면온도 편차와의 상관관계가 관측보다 더 강하게 나타남을 알 수 있었다 (Park et al., 2018).

Key words: 집합대순환모형, 계절예측성평가, 남아시아여름몬순, 북서태평양여름몬순, 북동아시아여름몬순

※ 이 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호:PJ01229302)의 지원으로 수행되었습니다.

※ 참고문헌

- Park, H.-J., V. N. Kryjov, J.-B. Ahn, 2018: One-Month-Lead Predictability of Asian Summer Monsoon Indices Based on the Zonal Winds by the APCC Multimodel Ensemble, J. Clim, 31, 8945-8960.

초기조건 변화에 따른 기후예측시스템 민감도 평가 및 최적 앙상블 기법 연구

함현준, 임소민, 허슬잎, 지희숙, 현유경, 김윤재
국립기상과학원 지구시스템연구과

기상청 국립기상과학원은 장기예보를 위해 영국에서 도입한 GloSea 기반의 기후 예측시스템을 운영하고 있으며, 지난 2014년 이후 GloSea5GC2 기반의 시스템을 구축하여 현업운영하고 있다. GloSea5GC2는 대기(UM), 해양(NEMO), 해빙(CICE), 지면(JULES) 모델을 커플러(OASIS)를 통해 결합한 모델이다. 시간지연 기법과 SKEB2 physics를 이용하여 앙상블 멤버를 생산하며, 예측장(forecast)을 기준으로 주별 예측자료는 28멤버, 월별 예측자료는 42멤버를 생산한다.

현재 지속적인 자체연구 및 사업을 통해 기후예측시스템을 개선하고 있으며, 하천유출정보 개선, 지면초기화 기법 추가, 자체 해양/해빙 초기자료 생산 등 다양한 개선사항을 현업에 적용하고 있다. 지면초기화의 경우 JRA-55와 CMAP을 사용하여 자료를 보정하고 JULES를 활용하여 GloSea5GC2의 지면초기자료를 생산한다. 자체 해양/해빙 초기장은 NEMO VAR를 활용하며, Argo 자료나 위성자료 등을 활용하여 자료동화 과정을 거쳐 해양/해빙 초기자료를 생산한다. 또한 하천유출 정보를 개선하여 동아시아 영역에서 보다 현실적인 담수효과를 이룰 수 있도록 하였고 이를 통해 예측성을 향상시켰다.

추가적으로 본 연구에서는, 앙상블 멤버의 변화에 따라 기후예측시스템의 예측성이 어떻게 변화하는지 분석하였으며, 앙상블 멤버 수에 따른 민감도 테스트, 시간지연기법과 burst mode 기법의 예측성 비교 등을 수행하였다. 이러한 다양한 앙상블 민감도 분석을 통해 기후예측시스템에 최적화 된 앙상블 기법을 파악하고자 하였다.

Key words: 기후예측시스템, GloSea, 앙상블 예측

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「기상업무지원기술개발연구」 “장기예측시스템개발(1365003000)”의 지원으로 수행되었습니다.

기상청 기후예측시스템(GloSea5)의 2017-2018 남한지역 예측성능 분석

전찬일, 박지선, 박병권, 정혜리, 김동준

기상청 기후과학국 기후예측과

최근 지구온난화로 인한 기후변화로, 평상시 기후의 수준을 크게 벗어난 기상현상을 뜻하는 극한기상이 빈발하여 이와 관련된 피해가 증가하고 있다. 이를 예방하기 위해 에너지 정책, 수자원 관리 등 각종 산업계에서 미래계획 수립에 활용하기 위한 장기예보의 수요도 크게 증가하고 있다. 기상청에서는 장기예보의 선진화를 위해 2010년 6월 영국기상청과 협의하여 HadGEM(Hadley Center Global Environmental Model)기반의 앙상블예측시스템이자 대기-해양의 결합모델인 기후예측시스템 (GloSea; Global Seasonal Forecasting System)을 도입하였다.

GloSea5는 GloSea의 5번째 버전으로 2014년 1월부터 기상청에서 현업으로 운영되기 시작하였고, 2016년 5월에는 역학·물리과정이 개선(GA3¹⁾→GC2²⁾)되었다. 기상청에서는 장기예보의 활용도를 높이고자 2014년 5월 22일부터는 단정예보에서 확률예보로 예보방식을 변경하여 생산하고 있다. GloSea5는 이를 지원하기 위해 결정론적 예측결과와 확률론적 예측결과를 동시에 생산하고 있으며, 이는 현재까지 장기예보(1~3개월 전망) 생산 시에 매우 중요한 참고자료로 활용되고 있다. 예보관이 특정영역의 예보를 위해 모델의 예측결과를 해석할 때에는 해당영역의 시공간적 예측특성 및 예측경향 등의 추가분석이 요구되므로 다양한 검증결과를 장기예보에 활용하고자 하였다.

본 연구에서는 남한지역에 대해 GloSea5의 주·월별 지상기온 및 강수량 예측성능을 분석하였다. 분석기간은 2017년 1월부터 2018년 12월까지이며, 주·월별 과거재현자료(Hindcast, 이하 HCST) 및 예측자료(Forecast 이하 FCST)를 활용하였다. 교차검증방법 등을 이용하여 편차상관계수를 구하였고, 3분위 범주(높음, 비슷, 낮음)별 예측정확도 파악을 위해 탐지율(POD; Probability of Detection), 성공률(SR; Success Ratio), 예측빈도(FB; Frequency Bias)를 산출하여 분석하였다. 또한 단정예보와 확률예보의 적중률(HR; Hit Rate)을 산출하여 비교분석하였고, 우연히 맞출 확률을 고려한 검증방법인 HSS(Heidke Skill Score)로 GloSea5의 실질적인 예측성능을 파악하고자 하였다.

2017년에 예측하였던 주별 자료를 기반으로 분석한 결과 지상기온의 1, 2주의 예측성은 우수하지만 관측보다 높게 모의하는 경향이 있었다. 선행시간이 길어질수록 단정예보보다 확률예보의 성능이 우수하였다. 과거재현자료의 분석정보를 통해 선행시간 3주 예측결과의 신뢰도 판단이 가능하게 되었다. 강수는 선행시간 1주에서는 예측성이 우수하지만 이후에는 예측성이 있다고 판단하기 어려웠다. 위와 같은 연구결과를 토대로 2017년~2018년 기간 동안 GloSea5의 예측경향과 성능진단결과를 공유하고, 향후 장기예보 생산과 모델 성능 개선 등에 활용하고자 한다.

Key words: 기후예측시스템, 전지구계절예측시스템, GloSea5, 확률예측검증, 예측성능평가

1) GA3: Global Atmosphere 3.0

2) GC2: Global Coupled modeling configuration 2.0

2016년과 2018년 폭염의 특성과 예측성 비교 분석

윤동혁¹, 차동현¹

¹울산과학기술원 도시환경공학부

2016/18년 여름에 대한민국에서 발생한 폭염은 역대 기상 관측 이래로 가장 그 정도와 피해가 컸던 폭염 사례들로 기록되었다. 기상청 종관기상관측장비 기준 전국 지점 평균 폭염 일수는 2018년 31.5일, 2016년 22.4일을 기록하였으며, 질병관리본부 조사 결과 여름철 폭염으로 인한 온열질환자 수는 2018년에 4,519명, 2016년에는 2,125명으로 집계되었다. 이와 같은 폭염으로 인한 피해를 경감시키기 위해서는 폭염의 발달 메커니즘과 발생원인 이해, 그리고 폭염 예측성 향상 기술 개발이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 500 hPa 지위고도를 기준으로 사용한 군집 분석기법을 사용하여 과거 대한민국에서 발생한 폭염 사례들을 분류하였으며, 특히 2016/18년 폭염 사례의 일반적인 특징을 분석하였다. 그리고, 2016/2018년 폭염 기간 중 기상청 LDAPS (Local Data Assimilation and Prediction System)에서 발생한 일 최고기온 예측 오차의 시·공간패턴을 파악하였다. 예측 오차의 발생원인 분석을 위하여 WRF (Weather Research and Forecast) 모델을 사용하여 2016년과 2018년 여름철 종관~국지 규모의 기상 특성 모의 능력을 비교 분석하였다.

군집 분석 결과, 과거 39년간 발생한 97개의 폭염 사례가 5개의 군집으로 분류되었으며, 평균적으로 군집 1(감차카 블로킹 패턴)과 군집 3(CGT-북태평양고기압 확장)에 포함되는 폭염 사례의 폭염 지수가 높았다. 2016년 8월 중순 폭염20 사례의 경우는 군집 1에 속하였으며, 2018년 7~8월 폭염 사례는 군집 3에 속하였다. LDAPS의 일 최고기온 예측은 2016/18년 모든 폭염 사례에서 과소 모의 되는 경향을 보였으며, 그 정도는 2018년보다 2016년에, 그 중 군집 1에 포함된 사례들에서 가장 컸다.

WRF 모의 결과, 2018년과는 달리 2016년 8월 한반도와 감차카 반도 상공에 강한 음의 중층 지위고도 편차가 존재하였다. 스펙트럴 너징 기법을 이용하여 이러한 지위고도 편차를 줄였을 때 일 최고 기온 모의 오차가 뚜렷하게 줄어들었으며, 또한, 높은 해상도의 모의 영역을 추가하였을 때, 높은 해상도의 지형 자료와 국지적인 기상 변수의 모의 개선으로 인하여 일 최고기온 모의 능력이 향상되었다.

Key words: 폭염, 군집분석, LDAPS, WRF

※ 이 연구는 기상청 「기상·지진See-At기술개발연구」 KMIPA 2017-7010의 지원으로 수행되었습니다.

Heat wave predicting over South Korea with teleconnection drivers based on machine learning

Yeonsu Lee¹, Cheolhee Yoo¹, Dongjin Cho¹, Jungho Im¹

¹School of Urban and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Ulsan, South Korea

Because of the global warming, the frequency of heat wave over South Korea has been increasing. Heat wave has severe effects on human mortality and properties. Thus, the accurate and early forecast of heat wave is needed. Soil moisture is known as a driver of climate variability by regulating the heat fluxes between the air and the surface. Eurasia has a huge area covered with snow and its melt water is a main factor of soil moisture-atmosphere feedback over Eurasia. In addition, it was reported that the pattern of Eurasian spring snow cover contributes to the summer temperature of Korea (Won *et al.* 2017). This study is aimed to predict the intensity of heat wave through investigating the teleconnection between Eurasian spring soil moisture and Korean summer surface air temperature using machine learning. The snowmelt, soil moisture, soil temperature, surface temperature and air temperature from GLDAS CLM reanalysis data over Eurasia region are used as input variables from 1979 to 2018. Daily surface maximum temperature from July to August over South Korea measured by 59 ASOS stations from KMA are used as a target variable. CNN is applied to make a seasonal forecasting model for heat wave and Leave-one-out Cross Validation (LOOCV) is used to evaluate the model. This study shows a possibility of predicting the intensity of heat wave over South Korea with preceding Eurasian spring surface condition.

Key words: teleconnection, heat wave, machine learning, soil moisture-atmosphere feedback

Reference

Won, You Jin, Sang-wook Yeh, Bo Young Yim, and Hyun-kyung Kim. 2017. “우리나라 여름철 월별 기온 변동성과 유라시아 봄철 눈덮임 간의 상관성 분석 Relationship Between Korean Monthly Temperature During Summer and Eurasian Snow Cover During Spring.” *Atmosphere* 27(1):55 - 65.

CMIP5 기후 모델에서 1.5°C/2°C 온난화율의 크기를 결정하는 요소에 관한 연구

예상욱¹, 신소정², 안순일², 조현수³

¹한양대학교 에리카 해양융합과학과

²연세대학교 대기과학과

³호주 CSIRO

신 기후 체제 아래에서 산업혁명 이전 시기에 비해 전 지구 평균기온을 1.5°C 또는 2°C로 억제하기 위한 여러 가지 대응 방안들이 제시되고 있다. 나아가 기후 모델에서 전 지구 평균기온이 1.5°C/2°C 로 증가하였을 때 나타나는 다양한 일기 및 기후 변동성에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이 연구에서는 CMIP5 기후 모델에서 1.5°C/2°C 온난화율의 크기가 서로 다르게 나타나는 원인에 대해 분석하였다. 이를 위해 37개의 CMIP5 기후 모델들의 현재 기후 모의 실험과 RCP8.5 시나리오 실험 결과를 분석하였다. 각 기후 모델들에서 1.5°C/2°C 온난화율을 계산하기 위하여 먼저 기준 기간 (reference period)을 1861-1900 기간으로 동일하게 정하고 기준 기간에서 전 지구 평균기온이 1.5°C/2°C로 증가한 기간을 계산하였다. CMIP5 기후 모델에서 1.5°C/2°C 온난화에 도달하는 기간은 큰 차이를 나타내었다. 2000년대 후반에 1.5°C 에 도달한 기후 모델이 있는 반면 2040년이 넘어서 1.5°C 에 도달한 기후 모델들이 있었으며 이와 같은 모델 다양성은 2°C 온난화율에도 비슷하게 나타났다. 기후 모델에서 계산된 1.5°C 온난화율과 2°C 온난화율의 상관계수는 0.95로 1.5°C 온난화에 빠르게 도달한 기후 모델들은 2°C 온난화도 빠르게 진행되는 것으로 나타났다. 다양한 분석을 통해 기후 모델에서 1.5°C 온난화율의 다양성을 결정하는 요소가 무엇인지를 조사하였다.

Key words: 1.5°C/2°C, 전 지구 평균기온, CMIP5 기후 모델, 모델 다양성

※ 이 연구는 기초연구 선도연구센터 사업 (NRF-2018R1A5A1024958)의 지원으로 수행되었습니다.

Soil Moisture Data Assimilation with Local Ensemble Transform Kalman Filtering Scheme

Eunkyo Seo¹, Myong-In Lee¹

¹School of Urban and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Ulsan, Korea

The assimilation of land surface conditions has been attended with diverse observations using advanced land surface model (LSM) and data assimilation techniques for the production realistic land surface states. In recent days, there are useful remote sensed retrievals with high-temporal and -spatial resolution. For instance, the Advanced Scatterometer (ASCAT), an C-band active microwave remote sensing instrument, and the NASA Soil Moisture Active Passive (SMAP) L-band passive remote sensing retrievals provide real-time global soil moisture informations. This study perform the soil moisture data assimilation using these satellite retrievals with Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) scheme. The impact of the assimilation is evaluated with ground based in-situ soil moisture measurement network over the globe.

The assimilation result shows that each of satellite retrieval provides significant added value in the data assimilation. The impact of the assimilation tend to be much improved when active and passive satellite retrievals are simultaneously used. The temporal correlation of the assimilated soil moisture increases surface soil moisture skills by $\Delta R \approx 0.12$ over the continental U.S., and the improvement at root-zone is $\Delta R \approx 0.1$ even though the improvement has regional dependency according to used satellite dataset. Furthermore, the skill improvement is also significantly shown in other validated regions (e.g. wester Europe, and central Tibetan Plateau).

Key words: Soil Moisture Data Assimilation, ASCAT, SMAP, LETKF

※ This study was supported by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-03110.

지구 시스템 모형의 비현실적 식생 계절성 모의

박훈영¹, 정수종¹

¹서울대학교 환경대학원

육상 생태계는 다양한 생지물리 및 생지화학과정을 통하여 기후 시스템과 상호작용한다. 특히 중고위도 식생의 계절적 변화는 지면 탄소, 수분 및 에너지 흐름을 조정하여 기후에 영향을 끼치나, 현세대 기후모형의 식생 모의 결과는 관측과 큰 차이를 보이는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 제 5차 결합모형간 상호비교 프로젝트 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5)에 참여한 지구 시스템 모형 (Earth System Model) 모의 자료 및 위성관측기반의 엽 면적 지수를 이용, 식생 계절성 모의능력을 평가하고 성장계절의 장기 변화를 진단하였다. 북반구 중고위도 식생을 대상으로 모형에서 모의된 엽 면적 지수의 진폭 및 위상일의 평균 특성을 분석한 결과, 대부분의 모형이 위성 관측 대비 엽 면적 지수의 연평균을 과대 모의하고, 진폭을 과소 모의하며, 위상일을 한 달 가량 늦게 모의하는 경향을 보였다. 또한 지구 시스템 모형에서 모의된 기후변화에 따른 성장계절 변화 추세를 이해하고자 엽 면적 지수를 바탕으로 성장계절 시작일 및 종료일을 계산 및 분석하였다. 위성 관측 자료의 경우, 북반구 중고위도 지역의 성장계절 시작일이 과거 20년 (1982-2001년) 대비 최근 20년간 (1994-2013년) 평균 1.2일 앞당겨지고, 종료일이 평균 2.4일 늦춰지는 비대칭적인 변화를 보였다. 반면 지구시스템 모형의 경우, 성장계절 특성의 장기 변화가 모든 RCP (Representative Concentration Pathways) 시나리오에서 관측 대비 절반 이하로 모의되었으며, 비대칭적인 성장계절 확장 특징 또한 나타나지 않았다. 본 연구의 결과는 현세대 지구시스템 모형이 북반구 중고위도 육상 생태계의 평균적 성장특성 및 기후변화에 따른 반응을 제대로 모의하지 못하고 있음을 보여주고 있다. 지구시스템 모형의 비현실적인 식생 계절성 모의 능력은 향후 탄소 배출량 기반의 미래 기후 모의를 수행하기 앞서 모형 내 육상 생태계 계절성 모의를 보다 고도화할 필요가 있음을 시사한다.

Key words: CMIP5, 지구시스템 모델, 식생, 성장계절

※ 본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019R1C1C1004826).

Seasonal dependency of Arctic marine phytoplankton response under greenhouse warming in CMIP5 earth system models

Hyung-Gyu Lim and Jong-Seong Kug

Division of Environmental Science and Engineering, POSTECH

Under greenhouse warming, surface warming, sea ice melting, and related positive ice-albedo feedback in the Arctic climate reduce oceanic mixing. The nitrate supply, major limiting factors among nutrients in Arctic Ocean, could be exhausted by enhanced stratification in upper ocean, which processes influence the marine phytoplankton responses against Arctic warming. In this study, we investigate the available dataset of sea ice, nitrate, and chlorophyll concentrations among CMIP5 ESMs of historical runs and RCP4.5 scenarios (14 model, respectively). We found that future chlorophyll changes show the strong seasonal dependency suggesting increased chlorophyll in spring and decreased chlorophyll in summer. The light-limited condition in spring due to relatively high nitrate concentration in spring. Cabre et al. (2015) reported that annual mean Arctic chlorophyll concentration will be decreased under greenhouse warming with strong intermodel diversity. This intermodel diversity of chlorophyll response is based on diversity of seasonal oligotrophic onset, that is controlled by the nitrate basic condition in historical run ($r=0.5\sim0.7$). The group of fast transition from light limitation to oligotrophic condition (GISS, IPSL groups) tends to underestimates the surface nitrate concentration compared to World Ocean Atlas. Especially, the seasonal chlorophyll concentration of GISS-E2-R-CC and GISS-E2-H-CC simulates to be decreased in all season due to poor nitrate basic conditions. Excepting for GISS models, there has been consensus: increased chlorophyll in March and April; decreased chlorophyll in August and October. The phenology of phytoplankton would experience the shift of limiting condition from light to nitrate among May to July, which determine the changes of phytoplankton phenology in future Arctic Ocean.

Key words: phytoplankton, chlorophyll, earth system model, marine biogeochemical model, and CMIP5

Development of a Quasi-Weakly Coupled Data Assimilation method in GloSea5 System

Nakbin Choi, Myong-In Lee

Climate Environment Modeling Laboratory, UNIST

Coupled data assimilation (DA) systems have been expected to reduce initialization shocks, which improve forecasting skills in numerical weather and seasonal predictions. Initialization shock is mainly caused by the imbalance between atmospheric and oceanic initial states obtained from separated and independent data assimilation systems for ocean and atmosphere, respectively. In this study, quasi-weakly coupled DA system is developed for the fully-coupled Global seasonal forecasting system version 5 (GloSea5) model. This method adjusts only atmospheric prognostic variables using existing atmosphere analysis from the Global data assimilation and prediction system (GDAPS) of the Korea Meteorological Administration (KMA) operation. The analysis increment is applied to the model background state for all atmospheric variables each time step during the analysis cycle using the incremental analysis update (IAU) method.

The initial state from the coupled DA system shows a better consistency between surface temperature in atmosphere model and sea surface temperature (SST) in ocean model, even though the SST from the coupled DA system tends to depart from the ocean analysis. These balanced states provide comparable or slightly better prediction skills up to 30 days forecast.

Key words: Data Assimilation, Coupled Model, Initialization, Prediction

※ This study was supported by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-03110.

지구온난화와 태풍의 이동속도

문일주¹, 김성훈¹

¹제주대학교 태풍연구센터

지구온난화가 진행됨에 따라 대기 순환도 변화한다. 이러한 변화는 지역과 시간에 따라 변화하지만 인류가 유발한 온난화가 여름철 열대순환을 일반적으로 약화시키는 것으로 알려져 있다. 태풍은 주변 바람장에 의해 움직이기 때문에 이러한 열대순환의 약화는 전 지구적으로 태풍의 이동속도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Kossin (2018)은 1949년부터 2016년까지 전 세계의 최적경로 자료를 이용하여 전 지구적으로 태풍의 이동속도가 10% 느려지고 있음을 보였다. 만약 태풍의 이동속도가 느려지고 있다면 열대저기압이 통과하는 지역에서는 강수량이 많아지고, 상층해양의 수직혼합 증가와 이로 인한 해수면 냉각의 증가로 태풍은 상대적으로 약해질 수 있다. 본 연구에서는 전 지구적인 태풍의 이동속도 변화 경향을 분석하고, 과연 지구온난화로 태풍의 이동속도가 느려지고 있는지 살펴보았다. 또한 태풍의 이동속도에 영향을 미치는 요인에 대해서도 분석하였다.

Key words: 지구온난화, 태풍, 이동속도, 열대순환, 최적경로자료

※ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2017R1A2B2005019) and the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-07610.

Seasonality and El Niño Diversity in the Relationship between ENSO and Western North Pacific Tropical Cyclone Activity

Yumi Choi¹, Kyung - Ja Ha², and Fei - Fei Jin³

¹Ocean Circulation and Climate Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology

²Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University

³Department of Atmospheric Sciences, University of Hawai'i at Mānoa

Impacts of seasonality and El Niño pattern diversity on seasonal tropical cyclone (TC) activity over the western North Pacific (WNP) were investigated by using the 1979–2016 RSMC best track dataset. To explore roles of seasonality in the relationship between El Niño–Southern Oscillation (ENSO) and TC genesis, we examined genesis potential index (GPI) anomalies associated with the canonical ENSO variability (Niño3.4) in summer (June–August) and fall (September–November). The influences of ENSO on large-scale conditions for TC genesis in summer (fall) exhibit a distinct meridional (zonal) asymmetry which results from changes in thermodynamic and dynamic factors over the northern (western) and southeastern parts of the WNP, respectively. The typhoon-season average of GPI anomalies shows a northwest-suppression and southeast-enhancement pattern. The difference between summer and fall reveals a southwest-suppression and northeast-enhancement pattern which is ascribed to both seasonal changes in ENSO south of 20°N and background state over the northeastern part of the WNP, respectively. The changes in the WNP TC genesis and track associated with El Niño pattern diversity were distinguished between summer and fall, leading to different TC impacts over East Asia (EA) according to the two-types of El Niño. It is thus important to consider seasonality and El Niño pattern diversity to improve seasonal forecast of the El Niño-induced TC activity and its impacts over EA.

Key words: seasonality; El Niño diversity; eastern Pacific-type El Niño; central Pacific-type El Niño; seasonal TC genesis

Sub-Arctic ocean warming driven by Arctic sea ice loss over the last 60 years

Hyo-Seok Park¹, Andrew L. Stewart², Seok-Woo Son³, June-Yi Lee⁴,
Kyong-Hwan Seo⁴

¹한국지질자원연구원

²UCLA Atmospheric and Oceanic Sciences

³서울대학교 지구환경과학부

⁴부산대학교 대기환경과학과

Northern high-latitudes have warmed much more than in the global average over the last decades. A small increase in global-mean temperature is usually accompanied by a larger increase in high-latitude temperature, partly because of the northward atmospheric and oceanic heat transports. In the Arctic Ocean, a local greenhouse gas forcing can rapidly increase surface temperature via various feedbacks such as ice-albedo, temperature and lapse-rate feedbacks.

In this study, we present observational and modeling evidence that the Arctic sea ice loss has led the sub-Arctic (50N-70N) ocean warming over the last 60 years. Observations show a strong statistical connection between summer Arctic sea ice cover and the sub-Arctic sea surface temperatures (SSTs) on decadal and interannual time scales. By performing idealized climate model experiments, we further show that the Arctic sea ice loss has increased the Nordic Sea and the North Pacific SSTs by around 0.5-1.0 K, whereas slightly decreased the central Atlantic SST over the last 60 years. These SST anomalies are comparable to those driven by the direct CO₂ forcing, indicating that the Arctic sea ice loss alone has contributed about 50% to the sub-Arctic ocean warming.

These results suggest that the impact of Arctic sea ice loss on mid-high latitude atmospheric circulations, including an equatorward shift of westerlies and an expansion of the Siberian high, may not simply be driven by the Arctic (70N-90N) warming but also by sub-Arctic (50N-70N) ocean warming.

Key words: Arctic warming, Global climate model, sea ice.

Analysis of the Above Normal Tropical Cyclone Activity in the Western North Pacific during the Boreal Summer 2018

Joseph BASCONCILLO, Il-Ju Moon*

Typhoon Research Center

College of Ocean Sciences, Jeju National University

Jeju City, Jeju Island, South Korea

The 2018 boreal summer (June–July–August; JJA) in the Western North Pacific (WNP) is marked by an extremely active seasonal activity highlighted by seventeen tropical cyclones (TC). During JJA, there are approximately ten TCs in WNP on the average but the TC frequency in JJA 2018 is anomalously 59% above normal. Using the best track dataset from the International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) and atmospheric reanalysis from the Japanese Reanalysis-55 year Project (JRA-55), this study analysed changes in various large-scale environmental factors that explain the increased TC activity in JJA 2018. Results show that (1) the stronger Asian Summer Monsoon led to the eastward extension of the monsoon trough, (2) the more prominent westward propagation of the Madden–Julian Oscillation, and possibly, (3) the shift of the Pacific Decadal Oscillation to its positive phase contributed to a more favorable environment for increased TC genesis in JJA 2018. These large-scale environmental factors are manifested through enhanced convection, increased atmospheric relative humidity, low vertical wind shear, and low-level anomalous cyclonic vorticity. It is expected that the results from this study would contribute to better understanding of TC genesis, and its distinct synoptic and regional patterns particularly during above normal activity to support risk and impact reduction initiatives related to tropical cyclones.

Key words: tropical cyclones, western north pacific, monsoon, boreal summer

※ Acknowledgement: This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2017R1A2B2005019) and the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018–07610.

*Corresponding Author: Jeju National University, Email: ijmoon@jejunu.ac.kr

Significant changes in typhoon frequency over the western North Pacific since the late 1990s

Han-Kyoung Kim¹, Byung-Kwon Moon¹, Sang-Wook Yeh²,
and Nam-Young Kang³

¹Chonbuk National University

²Hanyang University

³National Typhoon Center

This study investigates the significant changes in western North Pacific (WNP) typhoon frequency using observational datasets. It is shown that the typhoon frequency over the WNP has experienced three significant changes since the late 1990s: (1) a significant reduction in typhoon frequency over the eastern WNP, (2) a strengthening of the relationship between the eastern WNP typhoon frequency and central Pacific (CP) sea surface temperature (SST) anomalies, and (3) a large interannual standard deviation in typhoon frequency. We suggest that these arise from the asymmetric CP El Niño–Southern Oscillation (ENSO) properties associated with the Pacific Decadal Oscillation (PDO), in which La Niña is more (less) frequent than El Niño in a negative (positive) PDO phase. During the negative PDO phase, typhoon frequency significantly decreased by 43% over the eastern part of the WNP, while insignificantly increasing in the western part by 10% compared with in the positive PDO phase. Concurrently, interannual SST variation changed from the eastern Pacific to the CP, and the relationship between the CP SST and eastern WNP typhoon frequency significantly intensified. Less frequent CP El Niño events and more frequent/intense CP La Niña events in the negative PDO phase provided unfavorable atmospheric conditions over the eastern WNP via Gill-type responses, resulting in a significant reduction and large interannual variation in typhoon frequency over the eastern WNP.

Key words: Typhoon, Pacific Decadal Oscillation, El Niño–Southern Oscillation

※ This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2019R1A2C1008549).

동아시아 여름 몬순의 장기변동성

박진아¹, 윤진호¹

¹광주과학기술원 지구환경공학부

2018년 한국의 폭염과 일본의 폭우, 2016년 중국 동부지역에서의 폭우와 같이 최근 빈번하게 발생하는 양극단의 극한강수현상은 상당한 인적·재산적 피해를 초래한다. 이에 이러한 극한기상현상이 예외적인 현상에 그치는지 혹은 현재의 기후변화 추세에서 반복 가능한 현상인지에 대한 연구가 필요하다. 그럼에도 동아시아 지역의 여름철 강수를 결정하는 중요 인자인 동아시아 여름몬순(EASM: East Asia summer monsoon)에 대해서는 특성과 메커니즘을 밝히고자 한 연구가 대부분이었으며, EASM의 장기 변동성에 대한 연구는 파편적으로 드물게 이루어져 왔다. 이에 본 연구는 EASM의 장기 변동성을 이해하고자 하였다. EASM의 장기 변동성을 확인하기 위해 unified CPC와 한국 기상청의 59개 기상 관측소의 일강수자료를 활용하였고, EASM과 관련된 대기장을 파악하기 위해 JRA-55 reanalysis의 850hPa 지위고도와 바람 자료를 활용하였다. 본 연구의 분석기간은 1979년부터 2017년까지이다. 5일 이동평균한 강수자료에서 6mm/일을 넘는 기간을 활동기, 활동기 이후 2주 간을 비활동기로 각각 명명하였다 또한 8mm/일 이상의 강수가 내린 기간을 활동기 중에서도 강수 절정기로 보았다. 한국과 일본, 동중국 지역 모두 활동기에 강수가 유의미하게 증가하는 것을 확인하였으며, 활동기 중 강수 절정기에 세 지역 모두 강수 증가폭이 전체 활동기에 비해 더욱 컸다. 반면, 비활동기에는 한국에서는 강수가 감소하고, 중국과 일본에서는 강수가 변함없거나 약간 증가하는 추세를 보이나 모두 통계적으로 유의미하지 않았다. 이상으로 본 연구는 동아시아 여름몬순의 추세를 확인해보았다. 활동기에 강수량의 증가세가 뚜렷하고, 증가경향은 절정기에 두드러지며, 더 많은 강수량이 더 짧은 기간 동안 내리고 있음을 추론할 수 있다. 비활동기에는 뚜렷한 변화추세가 나타나지 않았으나 현재의 추세가 지속될 경우 결국, 짧고 강한 활동기와 건조기간이 오래 지속되는 비활동기의 패턴이 나타나 양극단의 강수패턴이 두드러질 가능성을 보여준다.

Key words: 동아시아여름몬순, 강수변동성, Active-Break, 장마

※ 이 연구는 극/성층권/지면과정 변동 특성을 활용한 중위도 순환장 예측기술개발사업(KMI2018-01015)과 기상·지진See-At기술개발연구(KMI2018-07010)의 지원으로 수행되었습니다.

적도-중위도 상호작용에 의한 최근 북미 지역 이상기후의 강화 기작

성미경¹, 김백민², 예상욱³, 최용상⁴, 유창현⁴

¹연세대학교, ²부경대학교

³한양대학교, ⁴이화여자대학교

북극온난화에 따른 한파 경향이 주춤했던 우리나라의 지난 겨울과 달리, 최근 북미 지역은 역대급 이상기후가 연이어 계속되는 경향이 나타나고 있다. 2011/12년이 역대 4번째로 더운 겨울로 기록된 반면, 2013/14년은 가장 추운 겨울 기록을 갱신한 데 이어, 2018, 2019년 연이어 기록적인 한파가 나타났다. 이러한 겨울철 이상난동과 이상한파는 기후 변동폭이 증가하고 있음을 의미하는데, 본 연구에서는 북미 지역의 이상기후에 주요한 역할을 하는 북태평양 진동이 적도태평양과의 상호작용을 통해 두 대조적인 이상기후 현상을 강화하는 과정과 역학적 원리에 대하여 분석하였다. 북태평양 진동이 북미 기후에 미치는 영향은 수십년 규모로 달라지는 특성을 나타내는데, 이는 북태평양 진동의 중심 위치가 동서 방향으로 주기적으로 변화하는 데에 기인한다. 최근에는, 북태평양 진동의 중심이 북미 지역에 가깝게 발달하면서, 열파와 한파를 강화하기 좋은 조건이 만들어지게 되었다. 본 연구에서는 이러한 변화가, 북태평양 지역의 대기 평균장의 구조의 변화에서 비롯됨을 밝혔다. 배경순환장에서의 가용잠재에너지의 분포 구조가 달라지면서, 이에 민감하게 반응하는 북태평양 진동의 발달 구조가 영향을 받을 수 있음을 에너지 수지 분석 결과를 통해 제시하였다. 본 연구의 또 다른 주요한 결과는, 북태평양 평균장의 장기 변동에 적도태평양이 중요한 역할을 하고 있다는 것이다. 적도 태평양의 동서방향 열적 구조는 수십년 규모의 변동을 나타내는데, 이는 전지구적인 온난화 경향을 결정하는 주요한 요인으로 알려져있다. 적도태평양에서의 동서방향 열적 구조의 변화에 따라 중태평양 지역에서의 대류 강도가 달라지고, 이는 로스비파 반응을 통해 중위도 평균장 구조의 변동을 초래한다. 본 연구에서는 이러한 적도 지역 변동성이 중위도 내부변동성을 통해 북미 이상기후에 영향을 미치게 되는 상세 기작을 제시하였다.

Key words: 이상기후, 한파, 열파, 북태평양 진동, 수십년주기 태평양 진동

대규모 순환과 연결된 유역기후모형의 구축과 한반도 겨울 기후 상세화에 적용

김무섭, 김선태, 정여민
APEC 기후 센터

APEC 기후센터는 기후의 사회경제적 영향을 파악하여 기후예측의 부가가치를 창출하는데 많은 노력을 기울여 왔다. 이를 위해서는 기본적으로 기후영향연구의 기반을 다지는 것이 중요하다. 효과적인 기후영향연구를 위해서는 매우 작은 유역에 대한 일 단위의 신뢰성 있는 기후자료가 필요하다. 하지만 기후예측의 근간이 되는 전지구기후모형의 자료는 대규모 순환을 시공간적으로 낮은 해상도로 나타내고 있다. 즉, 자료로부터 유역기후의 직접적인 설명을 얻기는 힘들어 기후영향연구에 바로 적용되는데 많은 한계가 있다. 본 논문에서는 한반도 유역의 겨울기간을 대상으로 유역기후를 대규모 순환과 연결하여 설명하는 통계모형을 제안하고자 한다. 한반도 겨울은 동아시아 겨울 몬순이라는 뚜렷한 대기순환의 영향을 크게 받는다. 이러한 사실을 근간으로 동아시아 겨울 몬순 강도에 따른 유역강수와 기온을 설명하는 통계모형을 구축하였다. 강수모형 구축에서 강수특성을 설명하는 모수적 모형(parametric model)을 도입하되 모형의 모수가 몬순강도에 따라 결정되도록 하여 유역강수에 몬순의 영향을 표현하였다. 한편, 제안된 기온모형은 기온진동을 여러 주파수대의 하위진동으로의 분해를 기반으로 하는데, 하위 진동 중 상대적으로 낮은 주파수대의 진동이 몬순과 관련이 있음을 확인하였다. 이러한 사실에 근간하여 몬순강도에 따른 낮은 주파수대 진동의 모의를 통해 유역기온에 겨울몬순의 영향을 반영하도록 하였다. 이러한 방식으로 대규모 순환과 유역기후 간 연결을 맺는 최종적인 통계모형을 구현하고 몬순의 영향을 시험하였다. 아울러 APEC 기후센터 계절예측자료 상세화에 이 방법을 적용하여 계절예측기반 상세화자료를 평가하였다.

Key words: 통계모형, 상세화, 동아시아 겨울몬순, 기후영향평가

※ 이 연구는 APEC 기후센터의 지원으로 수행되었습니다.

Development of a track pattern-based medium-range tropical cyclone forecasting system in South Korea

Hung Ming Cheung, Chang-Hoi Ho, Minhee Chang, Dasol Kim
School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul,
Korea

Most of the operational forecasts, including Korea Meteorological Administration (KMA), of tropical cyclone (TC) track are only up to 5 days. Only ECMWF (from Europe) and HKO (from Hong Kong) have released TC track forecast in medium-range (beyond 5 days); in South Korea the TC predictability in such time scale has not been thoroughly studied yet. Here, we explore the possibility of developing an alternative approach to medium-range TC forecasting system for South Korea, by utilizing both historical storm tracks and dynamical models. The forecasting system consists of 3 main components: (1) selection of historical tracks: the TCs which move in the vicinity of the predicted locations of TC center in the 5-day track forecast issued by KMA on the TC formation day are selected for next steps; (2) clustering of historical tracks: using the c-mean clustering algorithm, historical storm tracks are separated into several track patterns (clusters); (3) comparison between the environment of composite for each track pattern and model forecast: the composite of the environment variables (500-hPa geopotential height, mean sea level pressure, steering flow) for each cluster is computed. The pattern correlation coefficient between each of these observed composites and forecasted environment in models (CFSv2, GEFS, GFS) are obtained. The correlation is calculated on the grids in which statistical significances exist between clusters. A strong pattern correlation for a track pattern indicates a high likelihood of track development in that pattern. The forecast from this system is verified by TC cases which influenced Korea.

Key words: Tropical cyclone, South Korea, medium-range forecast, track pattern-based approach, statistical-dynamical hybrid model

기후변화시나리오 자료 공유를 위한 APEC기후센터의 ESGF 데이터 노드 구축

한정민¹, 최재원¹

¹APEC기후센터 운영예측과

APEC기후센터의 ESGF(Earth System Grid Federation) 데이터 노드는 2018년 12월 ESGF연합체로부터 데이터를 배포할 수 있는 노드로 인증을 받아 공식적인 서비스 준비를 진행하고 있다. ESGF는 IPCC 미래기후변화 시나리오 보고서 작성을 위해 필요한 방대한 기후변화 시나리오 자료를 원활하게 공유하기 위해 전 세계 국가 및 기상·기후 대표기관들로 구성된 연합체이다. 대용량 기상·기후 자료를 공유하기 위해 표준포맷을 정의하고 표준화된 자료를 대상으로 고성능 컴퓨팅 기술을 이용하여 각 기관에 분산 저장하고 서비스한다. 또한, 대규모 데이터를 관리 처리하도록 구성된 아키텍처로 컴퓨터 과학 자 및 기후 과학자들이 여러 위치에서 기후데이터를 제공하고 분산 데이터 아카이브를 통해 모델 시뮬레이션, 위성관측 및 재분석 자료를 제공하는 역할을 한다.

APEC기후센터에 구축한 데이터 노드는 ESGF의 다양한 노드 중에서 데이터를 배포하는 역할을 하며 스웨덴의 국가슈퍼컴센터와 직접 연결이 되어 있다. 스웨덴 슈퍼컴센터는 다양한 나라의 인덱스 노드와 연결되어 있어 전 세계 어느 곳에서 APEC기후센터에서 제공하는 자료를 검색할 수 있다. 현재, 국립기상과학원의 지역 기후모델(CORDEX-EA)자료를 국제적으로 공동 활용하기 위해 2단계 모델 자료를 대상으로 서비스를 진행하고 있다. 이를 통해 APEC기후센터의 데이터 노드는 ESGF 데이터서비스의 아시아 지역 거점의 역할을 수행하여 우리나라의 국제 위상을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

Key words: APEC기후센터, 지구시스템그리드연맹, 기후변화시나리오, 기후정보처리시스템

※ 이 연구는 APEC기후센터의 “아태기후정보서비스 및 연구개발사업” 지원으로 수행되었습니다.

CMIP5 기후 모델에서 자연적 변동 범위로 설명할 수 없는 온난화 강도가 나타나는 시기를 결정하는 물리적 요소에 관한 연구

현승환¹, 예상욱¹

¹한양대학교 해양융합과학과

기후변화의 원인으로는 지구온난화와 같은 외부강제력에 의한 변화와 지구시스템에 의한 자연적인 변화인 내부변동(Internal variability, IV)이 거론된다. 그중 지구온난화로 인한 기후변화는 21세기 초에 IV에 의한 기후변화의 범위를 넘어설 (혹은 이미 넘어선) 것으로 보여진다. 그렇게 되면 이전에는 없었던 현상이 나타남을 의미하므로, 온난화에 대한 연구에 있어서 이 시점에 대한 분석이 필요함을 의미한다. 본 연구는 CMIP5 기후 모델에서 IV로 설명할 수 있는 전구 표면평균기온(Global mean surface temperature, GMST)의 장기 경향성 범위를 계산 하였으며, 온난화 시나리오에 기인한 GMST 장기 경향성 강도가 이 범위를 초과하는 시점(Exceeding point)에 대한 분석을 수행하였다.

CMIP5의 historical 및 RCP8.5 시나리오에서 각 기후 모델들은 이 초과시점을 매우 다양하게 모의를 하고 있음을 확인할 수 있었다. 더 나아가서 초과시점 직후 이상블들이 공통적으로 보여주는 현상이 극지의 온난화 증폭, 그 중에서도 북극 증폭(Arctic amplification) 현상임을 확인할 수 있었다. CMIP5의 이상블 중 초과시점이 빠르게 나타난 모형들의 경우, 그만큼 북극증폭이 이른 시점에 나타났다. 해당 그룹에 속한 모형들은 해빙이 용해되는 면적에 비해 북극해양에서 저층대기로 방출되는 열의 양 변화가 매우 민감하게 나타나는 것을 보여주었다. 이러한 특징은 온난화 시나리오가 본격적으로 진행되기 이전인 1850~1900년의 기후모의에서도 나타났다. 이는 모형들 고유의 민감도 모의차가 존재함을 의미한다. 또한 이 그룹에 속한 모형들은 해빙의 면적이 상대적으로 작은 것을 확인하였다. 이 결과는 북극 해빙면적이 기본적으로 작게 모의되는 모형일수록, 지구온난화로 인한 기후변화가 IV에 의한 변동범위를 초과하는 시점이 더 빠르게 나타남을 의미하며, 지구온난화 강도 및 특성을 모의함에 북극 해빙면적에 대한 모의가 중요함을 보여준다.

Key words: Key words: 지구시스템 모델, 기후예측, 기후내부변동

What can we learn about effectiveness of carbon reduction policies from interannual variability of fossil fuel CO₂ emissions in East Asia?

Lev Labzovskii¹, Hugo Wai Leung Mak², Samuel Takele Kenea¹,
Jae-Sang Rhee, Azam Lashkari⁴, Shanlan Li¹, Tae-Young Goo¹,
Young-Suk Oh¹, and Young-Hwa Byun¹

¹Climate Research Division, National Institute of Meteorological Sciences
(NIMS), Seogwipo, Jeju-Do, 63568, Korea

²Department of Mathematics, The Hong Kong University of Science and
Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong

³Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National
University, Seoul, Republic of Korea

⁴School of Environmental Science and Engineering, Southern University of
Science and Technology, Shenzhen, China

Most countries have submitted their Nationally Determined Contributions (NDC) but we still poorly understand what policies are effective in terms of reduction of carbon abatement under the announced pledges. We estimate the importance of national environmental policies of East Asia in terms of reduction in fossil fuel carbon emissions (FFCO₂) using high resolution emission data. The national flagship policies in East Asia of the 2010 s were generally beneficial in terms of slowing down FFCO₂ growth. When the policies were enacted, annual FFCO₂ growth rate has either slow down by 1% (South Korea), 5% (Mongolia), 8% (China) or even decline (Japan) comparing to prior periods. We find that the 12th Five-Year Plan (12thFYP) of China had the strongest footprint in FFCO₂ and the recent slowest rate of emission growth across East Asia (2011–2015) temporally corresponds to the 12thFYP. This rate is driven by decrements in annual growth of FFCO₂, coal use and cement production of China during the 12th FYP. We show two baseline projections of emission distribution in EastAsia, by assuming that all policies are enacted (policy-on) or not (policy-off)in the future. The projections approve that policies were beneficial since policy-on scenario results in 24%, 80%, 166% less FFCO₂ emissions than policy-off scenario in EastAsia by 2020, 2025 and 2030 respectively. This progress is yet not sufficient for reaching NDC goals by 2030 as even policy-on scenario shows that East Asian countries would either experience insufficient decline of FFCO₂ like Japan (–13% versus desired –17%)or increase of emissions like South Korea (11%) and Mongolia (4%) by 2030 comparing to 2010 level. For China the lack of economically-independent goals constrains our analysis for this country.

Key words: carbon emissions, carbon abatement, East Asia

※ 이 연구는 기후변화대응 기술개발 사업(NRF-2012M1A2A2671851)의 지원으로 수행되었습니다.

안면도에서 1999~2017년 기간 동안 관측한 대기 중 CO₂ 농도 자료를 이용한 탄소 수지의 변화 연구

윤정민¹, 정수종², 허창희¹, 박훈영²

¹서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부

²서울대학교 환경대학원 환경계획학과

산업혁명 이후 급증한 대기 중 CO₂로 인해 지구온난화와 기후변화가 발생하고 있다. 온난화 메커니즘을 이해하는 과정으로 대기 중 CO₂의 거동을 이해할 필요가 있다. 그러나 각 국가의 화석연료 사용 및 식생의 구성성분(예, 밀립, 사막, 침엽수, 활엽수 등)에 따라 그 국가의 탄소 수지가 영향을 받기 때문에 전 지구적 규모에서 탄소순환을 종합해서 규명하기 어렵다. 본 연구에서는 1999년부터 2017년까지 19년 동안 안면도에서 관측한 대기 중 CO₂ 농도를 분석하여, 이 지역의 탄소수지 변화를 연구하였다. 대기 중 CO₂ 농도에 미치는 지역적인 영향을 산출하기 위하여 우리나라 내륙과 서해에서 바람이 불어올 때 관측한 CO₂ 농도를 분리해서 그들의 차이(ΔCO_2)를 구하였다. 분석 기간 동안 연평균 ΔCO_2 는 $2.2 \text{ ppmv decade}^{-1}$ 감소(95% 신뢰수준에서 유의)했는데, 특히 생장계절 동안(5~10월)에 $4.7 \text{ ppmv decade}^{-1}$ 감소로 연평균의 두 배 이상 컸다. 이는 우리나라 자체적으로는 CO₂ 농도 증가가 주변 국가보다 작다는 것을 의미한다. 중국의 풍하층에 위치하는 지리적인 위치를 고려하여 분석 기간 중국의 CO₂ 배출량 증가가 우리나라 CO₂ 농도의 시, 공간적 변화에 미치는 영향을 모델 실험을 통해 살펴보았다. 모델에서 나타난 우리나라 내륙과 서해 앞바다의 연평균 CO₂ 농도 증가율 차이는 $0.37 \text{ ppm decade}^{-1}$ 감소로서 관측보다 10배 이상 적었으며, 특히 CO₂ 농도의 계절적 변화가 나타나지 않았다. 이는 관측된 ΔCO_2 감소의 주원인이 우리나라의 탄소수지 변화 때문이라는 것을 의미한다. 위성에서 관측한 정규식생지수를 분석하니 우리나라 대부분 지역에서 생장계절동안 식생활동이 크게 증가했다. 지면모델 앙상블 결과로부터 관측된 식생 활동의 증가가 $36.9 \text{ gC m}^{-1} \text{ year}^{-1} \text{ decade}^{-1}$ 만큼 지면에서 탄소를 더 많이 흡수하고 있음을 알았다. 본 연구 결과를 종합하면 우리나라에서는 식생 활동의 증가가 탄소 배출에 의한 CO₂ 농도 증가를 효과적으로 억제하고 있음을 알 수 있다.

Key words: 안면도, 대기 CO₂ 농도, 중국의 탄소 배출, 정규식생지수, 지면모델 앙상블

※ 이 연구는 환경부 기후변화대응 환경기술개발사업으로부터 지원받았습니다.

새롭게 개발된 NEMO-TOPAZ의 생지화학 모의 특징

이효미¹, 문병권¹, 정현채¹, 변영화², 임윤진², 이조한³

¹전북대학교 과학교육학부/융합과학연구소

²국립기상과학원 기후연구과, ³국립기상과학원 지구시스템연구과

해양의 생지화학 과정은 해양 생물, 화학물질의 변화와 함께 대기 성분에도 영향을 주면서 장기 기후 변동을 초래하기도 한다. 따라서 최근 지구시스템 모델은 좀더 정교한 생지화학 과정을 고려하는 추세다. 우리는 해양 모형 Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO)에 생지화학 모듈인 Tracer of Ocean Phytoplankton with Allometric Zooplankton (TOPAZ)을 결합하여 새로운 NEMO-TOPAZ를 개발하였다. 이 NEMO-TOPAZ의 모의 성능을 평가하기 위하여 관측 대기 강제력으로 장기 적분한 결과를 관측과 비교하였다. NEMO-TOPAZ는 분석에 사용한 대부분의 해양 물리 및 생지화학 변수 분포를 관측에 가깝게 모의하였으나, 동태평양의 클로로필 농도와 변동성은 과대 모의하였다. 이 동태평양의 클로로필 오차는 TOPAZ에서 제공되는 철 침적량 편차와 관련이 있을 것으로 분석되었다. 이와 관련하여 모델의 철 침적량 변화에 따른 클로로필 반응을 토의하고자 한다.

Key words: 생지화학, NEMO, TOPAZ, NEMO-TOPAZ, 클로로필

※ 이 연구는 기상청 <「기상지진See-At기술개발연구사업」> (KMI2018-03513)의 지원으로 수행되었습니다. 이 연구의 주요 계산은 기상청(국가기상슈퍼컴퓨터센터)이 제공한 슈퍼컴퓨터 자원을 이용하여 수행되었습니다.

Evaluation of Simulated CO₂ Concentrations from the CarbonTracker-Asia Model Using In-situ Observations over East Asia for 2009 - 2013

Samuel Takele KENEA^{*1}, Young-Suk OH¹, Jae-Sang RHEE¹,
Tae-Young GOO¹, Young-Hwa BYUN¹, Shanlan LI¹, Lev D.
LABZOVSKII¹, Haeyoung LEE², and Robert F. BANKS³

¹Climate Research Division, National Institute of Meteorological Sciences, 33,
Seohobuk-ro, Seogwipo-si, Jeju-do, 63568, Republic of Korea

²Environmental Meteorology Research Division, National Institute of
Meteorological Sciences, 33, Seohobuk-ro, Seogwipo-si, Jeju-do, 63568, Republic
of Korea

³Meteorology Department, Delta Air Lines, Inc., Atlanta GA, United States

^{*}Corresponding author: Samuel Takele KENEA

Email: samueltake@yahoo.ca

The CarbonTracker (CT) model has been used in previous studies for understanding and predicting the sources, sinks, and dynamics that govern the distribution of atmospheric CO₂ at varying ranges of spatial and temporal scales. However, there are still challenges for reproducing accurate model-simulated CO₂ concentrations close to the surface, typically associated with high spatial heterogeneity and land cover. In the present study, we evaluated the performance of nested-grid CT model simulations of CO₂ based on the CT2016 version through comparison with in-situ observations over East Asia covering the period 2009 - 2013. We selected sites located in coastal, remote, inland, and mountain areas. The results are presented at diurnal and seasonal time periods. At target stations, model agreement with in-situ observations was varied in capturing the diurnal cycle. Overall, biases were less than 6.3 ppm on an all-hourly mean basis, and this was further reduced to a maximum of 4.6 ppm when considering only the daytime. For instance, at Anmyeondo, a small bias was obtained in winter, on the order of 0.2 ppm. The model revealed a diurnal amplitude of CO₂ that was nearly flat in winter at Gosan and Anmyeondo stations, while slightly overestimated in the summertime. The model's performance in reproducing the diurnal cycle remains a challenge and requires improvement. The model showed better agreement with the observations in capturing the seasonal variations of CO₂ during daytime at most sites, with a correlation coefficient ranging from 0.70 to 0.99. Also, model biases were within -0.3 and 1.3 ppm, except for inland stations (7.7 ppm).

Key words: model evaluation, in-situ observations, CarbonTracker, East Asia

동아시아 여름철 지표 오존의 변동 특성

위지은¹, 박효진^{1, 2}, 이효미¹, 문병권¹

¹전북대학교 과학교육학부/융합과학연구소,

²김제여자고등학교

오존은 조기사망률을 증가시키고 농업 생산량을 감소시키는 등 큰 피해를 주는 대표적 오염물질이다. 우리는 오존 전구물질 배출량이 매우 큰 지역인 동아시아에서 지표 부근 오존의 장기 변동 특성을 조사하였다. 이를 위하여 대기 기후-화학 상호작용 프로젝트인 Chemistry-climate Model Initiative (CCMI)에 참여하고 있는 12개 모델이 모의한 31 (1979-2009)년간 자료를 사용하였다. 먼저 850hPa 여름철 오존 아노말리의 처음 두 개 Empirical Orthogonal Function (EOF) 모드를 추출하였다. 첫째 모드는 중국 남부를 중심으로 두고 전체 동아시아에서 오존이 증가하는 것을 나타냈다. 둘째 모드는 동-서 쌍극자 형태의 오존 경년 변동 패턴을 보였다. 이들의 PC 시계열을 이용한 회귀분석을 통해 오존 변동의 원인을 찾고자 하였다. 그 결과 첫째 모드는 질소산화물 및 일산화탄소와 같은 오존 전구물질의 증가와 관련됐고, 둘째 모드는 엘니뇨-남방진동(ENSO)에 의한 동아시아 여름철 몬순 변동과 밀접하게 연관이 있었다. 일부 모델은 동아시아 오존에 대한 ENSO의 영향을 재현하지 못했는데, 이들 모델은 ENSO에 의한 서태평양 아열대 고기압 모의에 어려움을 갖고 있었다. 이 연구 결과는 동아시아 오존에 대한 ENSO 영향을 새롭게 밝히는데 의미가 있다.

Key words: 지표오존, CCMI, 서태평양 아열대 고기압, 엘니뇨-남방진동

※ This research was supported by the Korean Ministry of Environment (MOE) as “Climate Change Correspondence Program.”

Simulation of climate-driven sowing dates in the Midwestern United States

Hyeon-Ju Gim¹, Chang-Hoi Ho¹, Su-Jong Jeong²

¹School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea

²Graduate School of Environmental Studies, Seoul, Korea

The failure of the accurate prediction of the agronomic management is a major source of the uncertainties in the climate change impact assessment for agricultural sector. In this study, a method simulating an agronomic management, sowing date decision, is newly developed and assessed with previous methods for the Midwestern United States. The new method was designed to consider regional dependency of the sowing date sensitivity to environment in addition to the previous methods. In detail, the observed features of sowing date variations in associated with stronger and weaker correlations to temperature and precipitation, respectively, in colder regions, were considered. The developed novel model has nine parameters indicating effective period of climate factors to sowing date variations, the sensitivity of sowing date to climate factors, and the threshold of climate factors for sowing date determination. The parameters with the minimum root mean squared (RMS) error were selected with the reference sowing dates from state-level agricultural survey of the nine states in the target region. The novel model with 5.5 days of RMS error and 0.79 of correlation coefficient is superior to previous models with 22.4 days of RMS error and 0.41 of correlation coefficient in average. Utilizing the developed and previous models, the sowing dates were projected to RCP8.5 scenario with seven CMIP5 models which have relatively high spatial resolution ($< 1.5^\circ$). As a result, the novel model showed six-day-advancement of sowing dates during the 21st, which contrasts with the most previous models showing three fold larger advancement of the sowing date for the same period. The developed model in this study will contribute to better understanding of agricultural management and products under the climate change situations.

Key words: sowing date, climate change, Midwestern United States, CMIP5, RCP8.5

※ This work is supported by the Korea Ministry of Environment under the Climate Change Correspondence Program

관·학·연 공동 모델 개발을 위한 기후예측시스템 개발체계 제언

김윤재, 이조한, 현유경, 이선용, 임윤진
기상청 국립기상과학원 지구시스템연구과 등

기상청은 2000년대 초부터 저해상도의 전지구 모델과 시간변화 경향을 외삽한 해수면온도를 사용하여 장기예보를 시작했으며, 2010년 이후에는 대기-해양-해빙모델이 결합된 영국기상청 계절예측시스템(GloSea)을 도입하여 기후예측을 수행하고 있다. 최근 20년동안 기후예측을 위한 현업모델은 많이 발전하였으나, 현업기관에서 이를 효과적으로 발전시키기 위한 개발 관리체계의 전환은 늦어지고 있다.

영국·호주기상청과의 협력을 통하여, 학계의 연구개발을 통하여 기후예측시스템은 정교해졌지만, 다른 한편으로는 복잡해지는 물리과정과 과정간의 연계 구조로 인해 단편적으로 수행된 연구의 결과들은 점차 기후예측모델의 성능 향상으로 수렴되기 어려운 상황이 늘어나고 있다. 또한, 학계에서도 고도화, 대형화되는 예측시스템의 활용이 어려워져 기후예측모델의 개발을 위한 진입 장벽은 점점 높아지고 있다.

국가 기후예측시스템의 개선을 위해서는 소규모의 단일 조직에서 일체를 수행하는 전통적인 개발의 방식보다는 물리기작과 모델링에 대한 총체적 이해와 기술을 결집하기 위한 working그룹을 구성하여, 관·학·연 개발 주체들 간의 긴밀한 공동협업을 통한 분산 개발이 필요하다. 이를 위해서는 중앙 집중식 소스코드 형상관리체계를 근간으로 자료동화를 위한 관측자료, 모델 개선을 위한 테스트베드, 기후예측모델의 개발 전략과 계획의 수립을 위한 모델 예측자료의 제공과 진단의 공유, 연구개발의 성과를 현업 기후예측시스템으로 환류하는 성능 평가·분석 체계 등 다양한 요소·기능으로 구성되어야 한다.

본 세션에서는 기후예측시스템을 효과적으로 개선하여 기후예측의 정확도를 개선하고 위한, 2020년대 이후의 기상청, 국립기상과학원, APCC, 기후과학 응용 R&D 참여 연구기관 간의 역할에 대한 검토와 공동 협업 개발체계의 구성을 위한 제안을 다루며, 이에 관련한 학계의 다양한 의견을 수렴하고자 한다.

Key words: 기후예측시스템, 공동협업 개발체계, 계절내~계절규모, 영국기상청 계절예측시스템, 분산 개발

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「기상업무지원기술개발연구」 “해양기술 지원 및 활용연구(KMA2019-00421)”의 지원으로 수행되었습니다.

포스터 발표

Relationship between the Arctic Oscillation, Siberian High, and East Asian Winter Monsoon

Jin-Ho Choi, Han-Kyoung Kim, and Byung-Kwon Moon

Division of Science Education/Institute of Fusion Science,
Chonbuk National University, Korea

This study investigates the relationship between the Arctic Oscillation (AO), the Siberian High (SH), and the East Asian Winter Monsoon (EAWM) during 1958–2016 winter. It is found that linkage between the AO and SH was statistically significant before 1993/94 winter, whereas it was statistically insignificant after that time. The former(latter) connection correlate at -0.51 (0.08). During the former period, negative phase of the AO is related to a deeper East Asian Trough (EAT) and decrease in temperature over eastern Asia through intensified SH. We also notice that negative AO and positive SH with a strengthened Aleutian Low induce northerly wind over East Asia. That is, correlation coefficient between the AO and EAWM is 0.35 . Contrastingly, linkage of AO-SH-EAWM is weakened after 1993/94 winter. The AO and SH have relatively independent role in influencing EAWM. We will discuss the impacts of sea-ice concentration over Arctic region and snow cover over subarctic region (i.e., Eurasian) on connection between AO and SH.

Key words: Arctic Oscillation, Siberian High, East Asia Winter Monsoon, Arctic sea-ice, Snow cover

※ This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2019R1A2C1008549).

Air-sea interaction impacts on changes in Asian Summer Monsoon at Paris Agreement target temperatures

Donghyun Lee, Seung-Ki Min

Department of Environmental Science and Engineering, POSTECH

After Paris Agreement (2015), most of countries are following regulation in industrial GHGs emissions for mitigating irreparable global warming, under the target temperatures (1.5 degree and 2.0 degree global warming above pre-industrial conditions). However, future projections in changing Asian monsoon have lots of uncertainty sources, including projection tools, themselves : climate projection simulated by AGCM or CGCM including air-sea interactions. Here, our study aims possible impacts from air-sea interaction for future projections of Asian Summer Monsoon at target warming temperatures in equilibrium condition. Initial analysis suggest that AGCMs show significant difference in surface heat balance over Northwestern Pacific, coming from differences in latent heat, cloud fractions, downward shortwave radiations, compared to changes in coupled climate simulations. Our finding is similar to previous study (Dong et al. 2016). Remote influence from this imbalance over Northwestern Pacific to South Asian monsoon and East Asian monsoon will be discussed.

Key words: Paris Accordance, Air-sea interaction, Global warming target temperatures.

AMO 위상변화에 따른 PDO 구조와 대기반응 변화 분석

홍진실¹, 예상욱¹

¹한양대학교 해양융합과학과

대양의 표층 수온 장주기 변동성은 기후 강제력으로 작용하여, 전 지구 기후에 영향을 준다고 알려져 있다. 예를 들어 북태평양 표층 수온의 장주기 모드인 PDO(Pacific Decadal Oscillation)는 북미나 동아시아 지역의 기후 알래스카나 베링해 지역의 해양 생태계에 영향을 준다고 알려져 있고, 대서양 표층 수온의 장주기 모드인 AMO(Atlantic Multi-decadal Oscillation) 또한 브라질, 아프리카 사헬지역의 강우, 북미 및 유럽 기후 등 원격상관을 통해 전 지구적으로 영향을 미친다고 알려져 있다. 이런 대양의 표층 수온 장주기 변동성들은 개별적으로 영향을 미칠 뿐만 아니라 서로 상호작용하여 영향을 미치기도 하는데, 이에 관한 연구는 많지 않은 편이다. 본 연구에서는 PDO와 AMO에 초점을 맞추어 두 장주기 변동성들 간의 상호작용과 그로 인하여 기후에 미치는 영향을 분석하였다. HadISST(Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature)를 사용하였고, 대기장 자료는 NCEP-NCAR Reanalysis 1 자료를 사용하였다. 먼저 관측 자료에서 나타난 PDO와 AMO의 주기분석 결과, PDO와 AMO 모두 10년 이상의 장주기를 가지고 있으며 AMO는 PDO보다 긴 주기를 가지고 있었다. 또한 두 변동성의 시계열에서 AMO가 20년 이상 동일한 위상을 유지하는 반면, PDO의 위상 변화는 상대적으로 더 짧은 주기를 가지고 있었다. 따라서 AMO의 위상이 PDO에 영향을 줄 것이라 예상하고, AMO 위상에 따른 PDO의 구조를 분석해보았다. 그 결과 AMO가 음의 위상일 때 PDO는 동태평양에서 삼각형 구조의 표층수온 편차가 나타났고, 양의 위상일 때 PDO는 열대지역 표층 수온의 편차가 뚜렷하게 나타났다. 나아가 이와 같은 PDO 구조 변화는 열대 지역에서 강수 구조에도 영향을 주어 우리나라를 포함하는 동아시아 지역에서 동일한 PDO 위상에도 서로 다른 대기 반응을 유도함을 파악할 수 있었다. 특히 AMO의 PDO에 대한 영향은 열대 대서양 지역의 해양-대기 상호작용의 차이와 밀접한 관련성을 가지고 있음을 확인하였다. 추후 분석에서는 대서양이 만드는 PDO 구조 차이에 대한 구체적인 원인을 밝히고, 동일한 분석을 모델실험 결과에 적용해볼 예정이다.

Key words: PDO, AMO, 대양간 상호작용

동아시아 극한기온에 대한 해양 구름 밝기 조절 지구공학의 계절적 영향

김도현¹, 정일웅¹, 신호정²

¹강릉원주대학교 대기환경과학과

²강릉원주대학교 산학협력단

작년 한 해도 전 세계에서 여러 기상이변이 속출했으며 이에 대한 원인으로 지구 온난화가 지목되고 있다. 지구온난화를 해결하기 위하여 지구공학이라는 개념이 생겨났으며, 이는 IPCC 5차 보고서에도 적지 않게 언급되는 등 지구공학에 대한 관심이 높아지고 있다. 이번 연구에서는 동아시아 극한기온에 대한 지구공학의 계절적 영향을 살펴보고자 하며, 사용된 모의자료는 GeoMIP(Geoengineering Model Intercomparison Project)에서 제공하는 G4cdnc 실험 출력자료이다. G4cdnc는 태양광 조절(Solar Radiation Management, SRM) 실험 중 하나로서, RCP 4.5 시나리오를 따르지만 2020-2069년 실험 기간 동안 해양 하층운의 구름 방울 수농도(cloud droplet number concentration, 이하 cdnc)를 변화시킨 후 2070-2090년에 이를 중단시키는 것을 모의한다. 극한기온 분석을 위하여 ETCCDI(Expert Team of Climate Change Detection and Indices)에서 정의한 극한기후지수 중 TNn(일 최저기온의 최저값)과 TXx(일 최고기온의 최고값)를 사용하였다. G4cdnc와 RCP4.5에서의 극한기온 차이 즉, ΔTNn 과 ΔTXx 는 실험진행기간에 동아시아에 대하여 겨울철과 여름철에 모두 음의 값을 나타냈지만, 겨울철에 $\Delta TNn = -1.308^{\circ}\text{C}$, $\Delta TXx = -1.063^{\circ}\text{C}$ 로 최저기온극한이 더 크게 반응하였고, 여름철에는 $\Delta TNn = -0.994^{\circ}\text{C}$, $\Delta TXx = -1.119^{\circ}\text{C}$ 로 최고기온극한이 더 크게 반응하였다. 실험중단기간에는 두 계절 모두 ΔTNn 과 ΔTXx 가 0°C 에 가까워졌으나 ΔTNn 이 ΔTXx 보다 0°C 에 더 근접하는 모습을 보여 최저기온극한이 실험중단에 더 크게 반응하였다. 한편, 모델들이 모의한 경년변동의 모습이 여름철보다 겨울철에 더 큰 변동을 보이는 것도 확인할 수 있었다. 이러한 G4cdnc 실험에 따른 계절적 영향의 원인을 찾기 위하여 복사 변수의 분석 결과도 제시할 것이다.

Key words: 지구공학, G4cdnc 실험, 동아시아, 극한 기온, 계절적 영향

※ 이 연구는 기상청 <「기상지진See-At기술개발연구사업」>(KMI2018-03412)의 지원으로 수행되었습니다.

북극해 해빙감소와 유라시아 지역의 봄철 식생 지수 감소현상

고영대, 최자현, 김민석, 정지훈

전남대학교 해양학과

최근 기후변화가 발생함에 따른 지구온난화현상으로 전 지구적으로 기온이 증가하고 있는 추세다. 지구온난화는 육상과 해양에 영향을 미치는데 봄철의 일부 지역에서의 식생감소가 발생하였다. 북극해에서는 북극증폭(Arctic Amplification)현상으로 북극이 다른 지역보다 민감하게 반응하여 해빙이 감소하는 현상이 나타나고 있다. 가을철 북극해 해빙의 감소는 이어지는 겨울철 북반구 겨울철 순환장에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 북극해 해빙감소가 유럽과 동아시아 지역에서 봄철 식생지수를 변화시킴을 확인하기 위해 미국 NCAR의 대기-지면 접합모형인 CAM4-CLM4에 역학식생모형(DGVM)을 결합시킨 모형을 이용하여 실험을 진행하였다. 모형실험은 해빙의 기후 값을 처방한 실험과, 해빙을 줄이는 실험 두 가지를 400년의 평형실험(Equilibrium experiment)의 차이를 이용하여 분석하였다. 그 결과 북극해 해빙이 감소했을 때 유럽과 동아시아 일부지역에서 관측과 유사한 식생 지수의 감소 현상을 확인 할 수 있었다. 이는 지구온난화에 따른 북극해 해빙감소가 대기 순환장과 육상의 생태계에도 큰 영향을 줄 수 있는 가능성을 확인 할 수 있었다.

Key words: 지구시스템 모델, 지면-대기 탄소 순환, 식생모델, 북극 해빙

※ 이 연구는 한국연구재단 기후변화대응 기술개발 사업(NRF-2012M1A2A2671852) 및 2018년 해양수산부 해양수산과학기술진흥원의 북극해 환경변화 통합관측 및 활용연구(20160245)의 지원으로 수행되었습니다.

우리나라 여름철 극한고온현상의 공간범위 유형분류와 그 특성에 관한 연구

김유진¹, 최영은¹

¹건국대학교 지리학과

우리나라 극한고온현상의 공간범위 유형분류를 위해 60개 관측지점 중 3개 이상의 지점에서 극한고온(일최고기온 33℃ 이상)이 발생한 극한고온현상을 추출하였다. 극한고온현상의 지점별 발생여부 및 강도(일최고기온과 기준온도 33℃ 차이)를 이용하여 사례 간 유사도 유사도를 산출하고 이를 기반으로 군집분석을 수행하여, 공간범위에 따른 극한고온현상을 4개의 유형으로 분류하였다.

유형 I (34%)은 가장 넓은 공간범위를 나타내는 유형으로 제주도와 일부 해안지역을 제외한 우리나라 대부분에서 극한고온이 발생하여 ‘내륙형’으로 정의하였다. 이는 우리나라 전역에 걸쳐 발달한 고기압성 순환에 의해 발생하는 것으로 8월 상순에 가장 많이 발생한다. 유형 II (16%)는 수도권과 영서지역, 충청남·북도, 전라북도에 해당하는 공간범위를 보여 ‘중서부형’으로 정의하였다. 대기 하층에서 발달한 동풍과 태백산맥의 지형적 효과로 인해 태백산맥의 풍하측인 중서부 지역에서 극한고온현상이 발생한 것으로 8월 중순에 빈번하게 나타난다. 유형 III (38%)은 동해안 및 남부지역 내륙에 분포하는 공간범위를 보여 ‘동해·남부형’으로 정의하였다. 이는 북태평양 고기압이 평년에 비해 북서쪽으로 확장되면서 우리나라에 고온다습한 남서기류가 유입되고, 이러한 남서기류와 소백산맥과 태백산맥의 지형 효과가 결합되어 경상내륙과 동해안에 강한 극한고온현상이 발생한다. 7월 하순(23.4%)에 가장 많이 발생하며, 특히 7월 전체 발생비율이 47.5%로 높아 다른 유형에 비해 이른 시기에 발생할 확률이 높은 유형으로 나타났다. 유형 IV (12%)는 경상남·북도와 전라남·북도 일부 지역에 극한고온이 발생하여 ‘남부형’으로 정의하였다. 우리나라 서쪽에 고기압성 순환이 위치하면서 북풍의 영향을 받게 되고, 이로 인해 소백산맥 남쪽 지역에서 극한고온현상이 발생하는 것으로 나타났다. 이처럼 공간범위 유형별로 하층바람 패턴의 차이가 뚜렷하며, 이는 태백산맥과 소백산맥과 같은 지형효과와 결합하여 극한고온현상의 공간범위에 영향을 미친다. 유형별 발생빈도는 통계적으로 유의한 변화를 보이지 않지만, ‘중서부형’을 제외한 모든 유형에서 극한고온현상의 강도가 강해지는 것으로 나타났다.

Key words: 극한고온현상, 유사도 유사도, 군집분석, 공간범위, 우리나라

※ 이 연구는 기상청 <「기상지진See-At기술개발연구사업」>(KMI2018-03310)의 지원으로 수행되었습니다.

Delayed impact of autumn sea ice low on East Asia climate

Yeon-Soo Jang¹, Jong-Seong Kug¹, Sang-Yoon Jun²

¹School of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science
and Technology

²Korea Polar Research Institute

Recently, there has been increasing evidence that Arctic warming and extreme cold events over the northern continents are intimately related. These Arctic warming are thought to be partly driven by losses of Arctic sea-ice, the mechanism that links sea-ice decline to extratropical cold winters remains a subject of debate. Here, by observational analyses, we suggest that easterly wind anomalies over Barents-Kara Seas driven by losses of Arctic sea-ice in late fall lead to the Arctic Sea-ice anomalous decreasing in the following winter. These sea-ice anomalies are linked to regional Arctic warming in late winter. The regional warming is accompanied by the local development of an anomalous anticyclone and downstream development of mid-latitude trough, which provide a favorable condition for strong cold surge events over East Asia. These links between Arctic and mid-latitude weather are also robustly found in idealized climate model experiments.

Key words: Arctic sea-ice loss, Arctic-to-extratropic connection, East Asia cold winters, atmospheric circulation

자기조직화지도(Self-Organizing Map)를 이용한 최근 우리나라 여름철 극한온도 특성 분류

임원일¹, 서경환¹

¹부산대학교 지구환경시스템학부

지구온난화의 가속화됨에 따라 전 지구적으로 극한 날씨 현상의 빈도와 강도가 증가하고 있다. 특히 여름철 극한고온현상은 아시아를 비롯하여 전 세계적으로 발생빈도가 증가하고 있으며 피해가 큰 기후현상 중 하나이다. 일반적으로 극한온도의 발생 빈도는 지구온난화에 의한 평균온도의 상승 때문에 나타나지만 최근 기로적인 극한온도 현상들은 지구온난화만으로는 설명이 부족하다. 예들 들어 2003년의 유럽과 2010년의 러시아의 극한온도현상은 로스비파에 의한 원격상관현상과 대기 블로킹 현상에 의한 고기압정체 때문에 발생했다. 그 뿐만 아니라 2015년의 일본의 극한온도 발생은 태평양-일본(Pacific-Japan, PJ) 원격상관 패턴에 의해서 발생되었다. 이와 같은 대기원격상관은 극한온도 발생에 큰 영향을 미치기 때문에 이러한 대기패턴에 대한 연구는 극한온도 발생에 대한 역학적 이해와 더불어 예측을 위해 선행되어야 한다. 특히 우리나라는 동아시아 여름 몬순의 영향을 받아 기후의 경년 변동성 변화가 큰 지역 중 하나이다. 동아시아 여름몬순의 복잡한 기후시스템 특성 때문에 경험적직교함수(empirical orthogonal function, EOF)보다는 비선형적인 특성을 가지는 자기조직화지도(self-organizing map, SOM)을 이용하여 패턴을 구분하는 것이 비선형적인 위상에 대한 공간패턴을 분류하는데 유리하다. 본 연구에서는 1995년부터 2014년까지 20년 동안의 극한온도인 날들의 2m 온도패턴을 이용하여 자기조직화지도를 통해 패턴을 분류하였다. 크게 두가지 패턴으로 분류되었으며 각각의 날들의 지위고도장패턴을 합성장 분석한 대기패턴을 살펴보면, 북대서양에서 시작하여 동쪽으로 전파하는 중위도 로스비파와 북서태평양에서 시작하는 태평양-일본 패턴과 유사한 대기 패턴의 특징을 가지고 있다. 이 두 군집의 에너지를 확인하기 위해 해수면온도와 합성장 분석한 결과 중위도 로스비파와 관련되어서는 북대서양의 양의 해수면온도 아노말리가 나타나고 태평양-일본 패턴과 관련해서는 북서태평양에서 양의 해수면온도 아노말리가 나타난다. 또한 북대서양과 관련된 중위도 로스비파 패턴은 상대적으로 7, 8월에 비해서는 6월에 빈도가 크고, 북서태평양 양과 관련된 태평양-일본 패턴은 6월에 비해 7월과 8월에 큰 빈도를 가지는 특징이 있다

Key words: 극한온도, 몬순, 자기조직화지도

※ 이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)의 지원으로 연구되었습니다.

Expansion of extreme heat waves associated with the summer season lengthening in Northern Hemisphere

Bo-Joung Park and Seung-Ki Min
POSTECH

A significant increase in summer season length was observed over Northern Hemisphere (NH) for recent 60 years, which has been attributed to anthropogenic greenhouse gas increases (Park et al. 2018). When analyzing multi-AGCM large-ensemble simulations available from the HAPPI project, summer season lengthening in NH is expected to continue from present period (2006-2015) to the future at 1.5 and 2.0 degree warmer conditions (Paris Agreement target temperatures). Regional analysis reveals that the summer season lengthening will be larger in mid latitudes than high latitudes with the largest change in East Asia and the smallest change in North Asia. We further analyze spatio-temporal changing patterns of the frequency of extreme hot days (e.g., one-in-10-year event) associated with the summer season lengthening. Results show robust increases of the areas experiencing extreme hot days, centered around summer onset and withdrawal periods. The extreme heat wave expansion occurs more strongly in lower latitudes, and largest expansion is observed over East Asia and Mediterranean region, where summer season expansion is also largest. Our results suggest a close relation of summer season length and extreme heat waves.

Key words: Summer season length, Extreme temperature, Northern Hemisphere

지난 46년간의 우리나라 최저기온 변동 분석

이선용, 조창범, 이상민, 조영준, 박연희, 김윤재

국립기상과학원 한파이슈대응팀

IPCC 제5차 평가보고서에 의하면 2005년을 기준으로 과거기간 동안의 연도별 추운 날의 비율은 감소하고 있으며, 온실기체의 대표농도 시나리오별 미래 전망에서도 추운 날의 비율이 감소하고 있다. 반면에, 2018년/2019년 겨울사례에서 보듯이 우리나라는 평년보다 따뜻하였지만 유럽과 북미는 극심한 한파가 나타나는 등 한파의 빈도와 강도가 전지구적인 온난화의 경향에서 벗어난 현상이 발생하고 있다. 이 연구에서는 이러한 한파의 경향이 우리나라의 일 최저기온과 이것의 전날대비 변동량에는 어떻게 반영되어 있는지 살펴보았다. 고찰에 사용된 자료는 지상관측 기간이 30년 이상인 47개 기상청 관측지점의 1973년부터 2018년까지 46년간의 자료이다. 자료기간을 15년(1973~1987), 16년(1988~2003), 15년(2004~2018) 등 약 15년 간격으로 3개 기간으로 나누어 각 기간에서 일 최저기온과 이것의 전날대비 하강한 정도가 극한의 백분위수인 1%, 5%, 10% 등에 해당하는 온도를 분석하였다.

분석결과 각 기간에서 1% 분위에 해당하는 극한의 최저기온은 80년대 중반까지는 하강하였다가 (-14.9°C), 80년대 후반부터 90년대에는 상승하는 경향(-12.6°C)이 나타났으며, 최근에는 다시 하강하는 경향(-13.3°C)이 나타났다. 1980년대 후반부터 최근 30년의 자료만 보면, 겨울의 극한 최저기온은 상승하다가 점차 하강하였는데, 이것은 1980년대 후반부터 1990년대에 발생한 온난한 겨울의 효과로 분석되었다. 한편, 전날대비 기온의 하강 정도가 1% 분위 수준에 해당하는 변동량은 46년 분석기간에 걸쳐 평균 6.5°C 정도로 유지되었다.

위의 결과로부터 최근 30년의 체감과는 다르게 전 세계적 경향과 같이 우리나라도 겨울 온난화라는 기후변화의 장기적인 추세는 유지되었음을 알 수 있었다. 이와 함께 우리나라의 경우 자연적 요인에 의한 수십 년 주기의 장주기 변동이 최근 30년간 최저기온의 변동에 영향을 주었던 것으로 분석되었다. 또한 기온의 하강으로 정의되는 한파의 경향은 지난 46년간 큰 변동이 없는 것으로 분석되었다.

Key words: 최저기온, 한파, 백분위수, 장주기 변동, 기후변화

※ 이 연구는 국립기상과학원 ‘기상업무지원기술개발연구(1365003000)’의 일환으로 수행되었습니다.

전 지구 여름철 폭염과 열대야의 발생 빈도에서 나타난 regime shift 원인 연구

이은혜¹, 예상욱¹

¹한양대학교 해양융합과학과

여름철에 인적, 경제적, 사회적으로 가장 큰 영향을 미치는 폭염과 열대야의 발생 빈도의 변동 특성과 연관된 주요한 해양, 대기 변수들의 역할을 규명하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서 여름철 폭염 (heat wave) 과 열대야 (tropical night) 를 정의하기 위해서 1980-2018년 기간 동안 CPC Global daily maximum temperature (Tmax) 와 daily minimum temperature (Tmin) 자료를 이용하였다. 각 격자의 Tmax 분포가 90th percentile threshold를 넘는 경우 폭염 발생 온도로 정의하였고, 각 격자의 Tmin 분포가 90th percentile threshold를 넘는 경우 열대야 발생 온도로 정의하였다. 특히 폭염이 발생하였으나 열대야가 발생하지 않은 순수 폭염 (pure heat wave) 과 폭염은 발생하지 않았으나 열대야가 발생한 순수 열대야 (pure tropical night) 의 발생 빈도 특성을 분석하였다. 그 결과 순수 열대야의 발생 빈도 시계열에서 98년을 경계로 뚜렷한 regime shift가 나타났다. 대륙별로 약간의 연도 차이가 나타났지만 모든 주요 대륙에서 1998년을 즈음하여 regime shift가 나타났고 우리나라를 포함한 동아시아 지역은 동일하게 1998년도에 regime shift가 있었음을 확인하였다. 이와 같은 순수 열대야 발생 빈도의 특성은 특히 태평양 해수면 온도의 십년 주기 장주기 변동성 (Pacific Decadal Oscillation) 과 밀접한 상관성을 가지고 있었다. 이 연구에서는 PDO가 어떤 기작을 통해 순수 열대야의 regime shift를 야기하였는지에 대한 분석을 수행하였다.

Key words: 폭염, 열대야, 순수 열대야의 regime shift

서울시 관내 지역별 강수 특성에 나타나는 지형 및 인위적 영향

최우석¹

¹서울기술연구원

서울은 대륙 동안에 위치하여 해양성 기후와 대륙의 영향을 동시에 받으면서 다양한 이상기후가 나타날 수 있다. 이러한 서울은 해양 및 대기의 대규모 순환에 의한 자연적인 기후변동과 함께 고도로 발달한 도시로써 인간 활동에 의한 도시화 및 인위적 영향이 동시에 존재하기 때문에 주변과는 다른 국지적인 극한 기상 현상이 나타날 수 있다. 지형적으로 서울은 남북으로 위치한 산맥에 둘러싸여 있고 중심부에 한강이 흐르는 등 상이한 지면 조건으로 인해 기상 상황의 차이도 지역별로 극명하게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 자연적인 부분과 인간 활동에 의한 영향을 함께 고려하여 서울시 여름철 지역별 강수 특성의 차이를 규명하기 위해 최근 10여 년 동안의 서울시 29개 기상청 AWS 관측소 및 서울시청에서 관리하는 28개 관측소 자료를 활용하여 기초 분석을 수행한다. 서울이 여름철 북태평양 고기압의 수축과 팽창 등 대규모 기후 시스템에 영향을 받더라도, 강수를 유발하는 요인들과 지형 및 도시화의 차이에 의하여 강수 특성이 상이하게 나타난다. 향후 고해상도 재분석 자료, 위성 자료, WRF 를 활용한 지역상세화 자료 활용을 통해 관측소가 부재한 지역에서의 강수 분포와 취약지역을 규명하여 지형 및 인위적인 영향에 대해 평가를 진행할 예정이다.

Key words: 서울, 강수 특성, 지형, 도시화

※ 이 연구는 서울기술연구원 2018년도 고유사업(강수 유형에 따른 서울시 관내 지역별 폭우 특성 규명 연구)의 지원으로 수행되었습니다.

Influence of climate variability on seasonal extreme wave height from satellite data

Anindita Patra, Seung-Ki Min

Pohang University of Science and Technology

Information on extreme wave height variability is an essential pre-requisite for ocean engineering related activities and coastal vulnerability estimation studies. The present study presents an updated and elaborated assessment on influence of different climate indices on global extreme wave height variability using dataset from various satellite altimeters during the period 1992 to 2016. A non-stationary Generalized Extreme Value (GEV) analysis has been applied to examine interannual variability in seasonal maximum ocean surface wind speed as well as in wave height. Climate indices like El-Nino Southern Oscillation (ENSO), North Atlantic Oscillation (NAO), Pacific Decadal Oscillation (PDO) show strong contribution to wind speed and wave height variability over global ocean. Results clearly demonstrate seasonal and spatial variability in terms of quantitative influence. A stronger positive ENSO influence on wave height is seen over northeastern pacific during DJF, whereas a major negative impact is found during MAM over northwestern Pacific. Higher PDO influence is experienced by wave height over North Pacific during DJF and SON and per unit of PDO can explains up to 60 cm of extreme wave height. Similarly, NAO has major impact on North Atlantic basin during DJF and MAM seasons.

Key words: Climate variability, Extreme wave height, GEV, Satellite altimeter

여름철 우리나라 전체 강수변동성과 관련된 동아시아 계절 내 강수변동성 역할의 non-stationary 특성

노태규, 예상욱

한양대학교 해양융합과학과

동아시아지역은 전 세계에서 몬순 기후가 가장 뚜렷한 지역 중에 하나다. 동아시아 여름 몬순(East Asian Summer Monsoon, EASM)은 아시아 태평양지역 몬순의 일부로서 다양한 지역의 영향을 받으며 복잡한 공간과 시간적 구조를 가진다. 본 연구에서는 1979년부터 2017년까지 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) 재분석 자료 중 여름철 일별 강수량 자료를 사용하여 매해 동아시아 지역에서 경험적 직교함수(Empirical Orthogonal Function, EOF)를 구하였다. 그리고 열대에서 동아시아로 북상하는 계절 내 변동성을 나타내는 처음 세 모드들이 설명하는 우리나라 강수변동성과 우리나라 전체 강수 변동성을 비교하였다. 이 연구에서는 이 두 변동성의 상관계수를 Reconstructed Correlation(RC)이라고 정의했다. RC를 1979년부터 2017년까지 39개 해에 대하여 11년 이동평균 한 결과 점차 그 값이 낮아지는 경향성을 보였는데 이는 열대 북상 계절내 변동성이 설명하는 우리나라의 강수 변동성의 비중이 점차 낮아졌다는 것을 의미한다. 이 중 RC가 높았던 해 8개와 낮았던 해 8개를 나누어 그 해들의 평균장의 특징을 비교해보았다. 그 결과 RC가 높았던 해와 낮았던 해에 뚜렷한 차이가 있었고, RC는 우리나라의 여름철 총 강수량에 비례하며, 열대 서태평양의 해수면 온도와 바람장, 대류활동의 영향을 받는 동시에 중위도 지역의 제트기류와도 연관성을 나타냈다. 또한 RC가 높은 해에는 동아시아 지역에 형성되는 rainband의 형성 시기가 더 늦어지고 북쪽에 형성되는 특징이 있었다.

Key words: 동아시아 여름 몬순, 계절 내 변동성, 강수변동성

북극 해빙 두께 감소로 인한 해빙 내 온도 상승 경향 분석

신지민, 손병주, 이상무

서울대학교 지구환경과학부

최근 북극의 온도 상승은 전 지구의 평균 온도 상승의 2배 이상 빠른 속도로 진행되고 있다. 특히 이러한 온도 상승은 겨울철 지면 부근에서 뚜렷하게 나타난다. 선행연구에서는 여름철 해빙 면적 감소로 인한 반사도 피드백 및 해양으로부터의 현열 방출, 대기와 해양 순환의 변화, 구름 복사 효과 등을 그 원인으로 제시하였다. 또한, 해빙 두께 감소는 해양으로부터의 상향복사속을 증가시킴으로써 해빙의 온도 상승에 영향을 줄 수 있다. 하지만 해빙 내에서 일어나는 열역학적 메커니즘과 그 역할에 대한 이해는 아직 부족하다. 본 연구에서는 최근 30년(1988-2017) 동안 수동 마이크로파 센서인 Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I)와 Special Sensor Microwave Imager/Sounder (SSMIS)로부터 산출된 해빙 방출층 온도 자료와 해양-해빙 접합모델인 Pan-Arctic Ice-Ocean Modeling and Assimilation System (PIOMAS)의 해빙 두께 자료를 이용하여 북극해의 해빙 두께 감소와 해빙 방출층의 온도 상승경향을 진단하였다. 북극의 겨울철(12월-3월) 월평균 얼음 표면 온도는 약 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ 비율로 상승하였고, 해빙의 두께는 약 $0.36\text{ m}/\text{decade}$ 비율로 감소하였으며 선형적인 경향성을 보였다. 최근 30 년간의 변화 특징을 보기 위해서 처음 5년과 마지막 5년의 평균온도 및 두께의 분포를 비교하였다. 그 결과 얼음 표면 온도는 평균적으로 3°C 정도 상승하였고, 특히 북극해 중심지역에서 온도 상승이 크게 나타났다. 해빙 두께는 평균적으로 0.8 m 가 감소하였고, 얇은 얼음이 차지하는 면적이 증가하였고 두꺼운 얼음일수록 두께 감소가 크게 나타났다. 이것을 분명하게 보기 위해서 해빙의 나이에 따라 단년빙(가을, 겨울 동안 새로 형성된 얼음)과 다년빙(여름에 녹지 않고 다시 성장하는 얼음)으로 구분하였을 때, 다년빙에서의 온도 상승과 두께 감소 경향이 북극해 평균 경향성의 대부분을 설명하였고, 반면 다년빙의 면적은 줄어드는 경향을 보였다. 또한, 해빙 면적이 최소가 되는 9월 평균 해빙 두께와 다가오는 겨울철 해빙 온도의 경년 변동성이 유의미한 상관관계를 보였다. 이를 통해 다년빙의 두께 감소가 전체적인 북극 해빙 온도 상승에 영향을 끼쳤음을 짐작할 수 있다.

Key words: 북극 해빙, 해빙 두께, 해빙 온도, SSM/I, PIOMAS

※ 이 연구는 기상청 「기상·지진See-At기술개발연구」(KMI2018-06910)의 지원으로 수행되었습니다.

The first step to build Korea tree-ring data network for paleo-climate

Min-Seok Kim, Peng Zhang, Young-Dae Koh, Ji-Yoon Jeong and
Jee-Hoon Jeong

Department of Oceanography, Chonnam National University

Under the global warming, climate extreme events such as heat-waves and cold-surges have been occurred more and more frequently. Not only global warming but also frequent climate extreme events have made social and economic damage. To prepare and forecast future climate change, we need to understand causes of the recent abrupt climate change. Also it is important to discover whether the change is in natural variability or not. But there is a limitation of meteorological observation data, which are only available for recent decades. So as to expand our understanding about climate change, reconstructing and understanding long-term climate variability based on climate proxy data is needed.

Among the climate proxies, tree-ring is the most commonly used because of many advantages. So many previous studies reconstructing past climate changes from regional to global scale based on tree-ring have been conducted. But over the East Asia including Korea, only few studies have been made. So there is a limitation to understand long-term climate changes of Korea and east Asia.

To overcome the limit, in this study, tree-ring data were collected from 5 mountains in South Korea. After measurement and cross-dating, standardized 5 chronologies were made. Then these data were analyzed with Korea meteorological observation data in order to know relationship between tree-ring and climate change.

Key words: Tree-ring, Paleo-climate, Korea

※ This study was supported by the National Research Foundation of Korea(2016R1A6A1A03012647). Also it was supported by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-07010.

Flow-Dependent Background Error Covariance

추출 기법의 NEMO 에의 적용

김지광¹, 함유근¹

¹전남대학교 지구환경과학부 해양학과

기후변화가 진행되고, 이상기후가 빈번하게 일어나는 현 시점에서 단기, 중기, 장기 미래 기후 예측은 갈수록 더욱 어려워지는 추세이며, 기후 예측을 수행하기 위한 수치모형의 정확도를 향상시키기 위한 노력들이 이루어지고 있다. 수치 모형의 정확도는 모형의 물리과정의 개선과 자료동화 기법이 발전하고 있음에도 불구하고 초기 조건에 따라 많은 오차를 유발시키기 때문에 수치 모형 정확도 향상에 있어 자료동화 측면에서는 보다 현실적인 초기 조건을 만들어주는 것이 중요하다.

현실적인 초기 조건을 생산하기 위해서는 자료동화 기법 성능 향상이 뒷받침되어야 하며, 자료동화 기법 성능의 핵심은 배경오차공분산장으로 알려져 있다. 현재 기상청 현업에서 사용 중인 자료동화체계(Variational Data Assimilation, NEMOVAR)는 3D-VAR 기반으로 되어 있으며, 이는 배경오차공분산장이 시간에 대하여 고정되어있는 한계점을 가지고 있다.

본 연구에서는 현실적인 초기 조건을 만들어 주기 위해 자료동화의 기법 성능의 핵심이 되는 배경오차공분산장을 지역적 및 시간의 연속성을 고려하여 표현할 수 있는 흐름 의존적 배경오차공분산장 추출 기법을 개발하였다. 흐름 의존적 배경오차공분산장 추출 기법은 시간적, 지역적 특성을 대변하는 등온선 패턴을 고려하도록 개발되었으며, 이는 특정 지점에 관측 정보가 주어졌을 때 특정 지점 근처의 등온선의 경사도와 거리를 고려하여 배경오차공분산장이 추출되도록 개발되었다.

흐름 의존적 배경오차공분산장 추출 기법을 NEMO 해양 모형에 적용하기 위하여, NEMO 해양 모형에서 생산되는 1997년 12월, 1998년 12월, 1999년 12월 초기 조건을 가지고 흐름 의존적 배경오차공분산장 추출 기법을 적용하여 배경오차공분산장을 추출하였다. 추출된 배경오차공분산장 확인 결과, 각 년도(엘니뇨 시기, 라니냐 시기, 평년시기의 열대 태평양 등온선 패턴)에서 나타나는 등온선 패턴을 따라서 배경오차공분산장이 형성되는 것을 확인하였다. 이는 해양의 시간적 변화와 해양의 물리적인 과정을 고려하는 배경오차공분산장을 표현한 것으로 판단된다.

Key words : Flow-dependent, Background error covariance, ocean model, Data assimilation, ENSO

※ 이 연구는 기상청 「기상지진See-At기술개발연구사업」 KMI2018-03110의 지원으로 수행되었습니다.

결합예측모형(GloSea5)의 해역별 해양예측 특성

추성호, 조형준, 장필훈, 이조한, 김윤재

국립기상과학원 지구시스템연구과

기상청은 대기-해양-해빙 결합예측모형인 전지구 계절예측시스템(GloSea5)을 영국으로부터 도입하여 현업 운영하고 있다. 현업 결합예측모형의 각 요소는 UM, NEMO, CICE로 구성되며, OASIS3 커플러를 통해 결합되어 있다. 본 연구는 GloSea5 모형을 통해 산출되는 여러 모델의 다양한 예측변수 중에서도, 해양의 연직수온과 염분의 예측성 평가를 목적으로 수행되었다. 검증에는 ARGO 플로트 관측자료 중에서도 품질관리를 거친 지연모드 프로파일을 사용하였다. 먼저, 태평양 해역의 수온과 염분 RMSE는 수심 30 m 이상 표층에서 0.3~0.4 K, 0.14~0.16 psu 범위를 보였으며, 수심 500 m 이하에서는 0.15~0.25 K, 0.04~0.05 psu 범위를 가지는 것으로 확인되었다. 수심별 예측오차 분포 분석을 통해 염분은 수심이 얕을수록 예측성능이 저하되며, 수온은 수심 50~150 m 정도의 범위에서 가장 큰 예측오차(0.6 K 내외)를 가지는 것으로 나타났다. 그러나 해당 수심역의 Bias의 절대값이 가장 작은 결과를 보였으며, 이는 해양순환모델의 혼합층 두께(mixed-layer depth) 예측의 어려움과 연관된 것으로 분석되었다.

Key words: GloSea5, 예측성능, ARGO 플로트

Medium-Range Heatwave Forecasting in East Asia Based on the KMA Ensemble Prediction System for Global

Sunlae Tak, Nakbin Choi, and Myong-In Lee

Climate-Environment Modeling Laboratory, Ulsan National Institute of Science
and Technology, Ulsan, South Korea

Heatwave is one of the most dangerous natural disasters that occurs more frequently and intensively in the recent years. Especially in 2018, the number of heatwave days was over 30, but little research has been done in terms of developing medium-range heatwave forecast. This study focuses on the development of a medium-range heatwave forecasting system using the Korea Meteorological Administration (KMA) Ensemble Prediction System for Global (EPSG), which routinely produces the field up to 11 days for the global domain. Heatwave day is defined in this study when the daily maximum temperature exceeds the threshold value obtained from the probability distribution of model output statistics at each grid point. The forecast performance is verified compared to the Japanese 55-year Reanalysis (JRA55) during July and August 2018. Both probabilistic and deterministic forecasts are evaluated in terms of various forecast skill metrics. It turns out that both forecasts exhibit better performance in brier skill score with respect to the persistence forecast, which skill extends up to day 11. Especially, the probabilistic forecast performs better than the deterministic forecasts, highlighting that ensemble approach for extreme heatwave events are promising for operational medium-range forecasts.

Key words: Heat wave, Ensemble Prediction System for Global(EPSG), Forecast

※ This work was funded by the Korea Meteorological Administration research and Development Program under Grant KMI2017-02410

Non-linear Responses in Climate Anomalies and Extreme Events Caused by the Arctic Oscillation

Jihae Kim, Myong-In Lee, Daehyun Kang, Nakbin Choi, and
Eunkyo Seo

Climate Environment Modeling Laboratory, UNIST

The Arctic Oscillation (AO) accounts for a significant portion of weather and climate variability in the Northern Hemisphere winter. Previous studies examine asymmetric responses in sea level pressure and surface air temperature anomalies leading to, for example, more colder anomalies in East Asia and eastern North America in the negative phase of AO compared with the magnitude of warm anomalies in the positive phase in the same regions. This study extends the research from the previous ones to the asymmetric responses not only in seasonal-mean anomalies but also in the occurrence frequencies and intensity of extreme weather. The extreme cold day (ECD) is defined as the number of day when the daily 2-m air temperature (T2m) is below the threshold temperature obtained from the 10 percentile of T2m in 71 boreal winter (1948–2018, DJF). The AO shows almost linear behavior in positive phase, while the frequency of ECD in Eurasia is exponentially increasing in the strong negative AO phases. In East Asia, the nonlinearity is not significant. This study further examines the mechanisms of the non-linear response of cold surge frequency to the AO variability.

Key words: Arctic Oscillation, Cold surge, Non-linearity, Extreme Weather

통계-역학 하이브리드 기법을 이용한 해빙 농도의 중장기 예측

김종호, 백은혁, 정의현, 정지훈

전남대학교 해양학과

기후 변화에 따라 북극의 해빙은 감소하고 있으며 이러한 해빙의 감소는 중위도의 날씨와 기후에 영향을 미친다. 현재 역학모델을 이용한 해빙의 예측성은 현재까지 매우 낮아 통계적인 방법을 이용한 예측성을 뛰어넘지 못하고 있다. 따라서 선행 연구에서는 북극해 지역의 해빙 농도의 시공간 패턴을 이용하여 통계적 추정 모델을 구축한 후 실험 예측을 하여 예측성을 살펴보고 안정적인 성능을 확인하였다. 하지만 통계 모델은 해양 및 대기와 상호작용이 이루어지지 않는 단점이 있고 해빙을 과대 모의하는 역학 모델의 단점과 상호보완을 위해 너징을 이용한 역학-통계 결합 모델을 구축하였다. 먼저 CICE 5.0 해빙 모델에 CFSv2 reanalysis 대기장 및 해빙 농도를 너징하여 관측과 가까운 초기장을 생성하였다. 그 후 초기장을 시작으로 대기 강제력은 CFS forecast 자료를 이용하고 해빙은 통계 모델에서 추정한 해빙 농도 데이터를 주기적으로 너징하여 예측성을 살펴보았다. 1982년부터 2016년까지 매해 5, 6월부터 매해 7개월 실험예측을 하여 관측값과 CFS forecast 해빙 자료와 비교를 하였다. 실험예측 전기간에 걸쳐 상당한 개선 효과가 나타났으며, 관측과 유사한 패턴을 확인할 수 있었다. 해빙 면적 time-series의 경우 관측과 유사하게 따라가는 하이브리드 기법을 적용한 모델과는 달리 역학 모델은 전체적으로 과대모의 하는 것을 확인하였다. 해빙 농도 상관계수를 계산하여 역학 모델과 서로 비교한 결과, 하이브리드 기법을 적용한 모델은 전체적으로 북극 지역에서 높은 상관계수를 나타내었다. 반대로 역학 모델의 경우 카라해 일부 지역과, 랍테프, 동시베리아해를 제외하면 낮은 상관계수를 나타내었다.

Key words: 하이브리드 기법, 역학 모델, 너징, 실험예측

※ 이 연구는 2018년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 북극해 환경 변화 통합관측 및 활용연구(20160245)의 지원으로 수행되었습니다.

역학모형의 동아시아 봄철 가뭄 예측 성능 진단 및 평가

강상현, 우성호, 정예림, 정지훈

전남대학교 지구환경과학부

가뭄은 발생 범위가 매우 광범위하고, 복합 요인에 의해 발생하는 현상이다. 최근 기후 변화로 인해 가뭄의 발생 빈도나 강도가 더 강해지는 추세이며, 갈수록 가뭄 예측의 중요성이 강조되지만 가뭄 예측은 매우 어려우며, 특히 역학모형에서의 예측에 대한 연구는 저조하다. 본 연구는 존재하는 역학모형을 사용하여, 동아시아 봄철 가뭄의 예측성능이 어느 정도인지 조사하기 위해 가뭄을 감지하는 지수로는 표준 강수 지수(Standardized Precipitation Index; SPI)를 사용하였으며, 역학 모형은 CHFP (Climate Historical Forecast Project) 구성 모형들을 사용했다.

그 결과, 역학모형의 가뭄 잠재 예측 성능은 예측 5개월까지 예측성을 보였으나, 실제 가뭄 예측성능은 예측 2개월 이후 급속도로 감소하는 것으로 나타났다. 동아시아 가뭄 예측 성능에 영향을 줄 수 있는 인자들의 예측 성능과 관련성을 확인해 보았으며, 예측 2개월 기준으로 대체로 강수량과 표면온도의 예측 성능이 우수 할수록 가뭄 예측 성능이 우수한 것으로 나타났다.

동아시아 가뭄 예측 성능에 영향을 미치는 선행인자를 조사하기 위해, 가뭄발생 2개월 전 해수면 온도와 관련성을 조사하였다. 그 결과 예측 성능이 좋았던 역학 모형들에서 관측에서 나타난 상관성과 유사한 패턴을 나타냈으며, 예측성능이 좋지 않은 역학 모형들에서는 그러한 패턴이 반대로 나타나거나, 잘 나타나지 않는 것을 확인했다.

Key words : CHFP, 가뭄, 예측 성능, 잠재 예측성

※ 이 연구는 기상청 「기상·지진See-At기술개발연구」 KMI2018-07010의 지원으로 수행되었습니다.

Inter-model diversity of regional climate in 15°C and 17°C worlds

So-Jung Shin¹, Soon-Il An¹, Sang-Wook Yeh²

¹Department of Atmospheric Sciences, Yonsei University

²Department of Environmental Marine Sciences and Convergent
Technology, ERICA, Hanyang University

After the Paris Agreement on limiting global average temperature, there have been many studies to address the consequences of 1.5°C, 2°C or more degrees of global warming using climate models. In most studies, the concept of relative temperature rise compared to its preindustrial level was used when defining the extent of global warming. Rather than such relative condition of global mean surface temperature (GMST), here, we investigate the inter-model diversity based on the absolute condition of annual-mean GMST, especially 15°C and 17°C, from outcomes of CMIP5 historical and RCP8.5 scenario runs. The timings to reach 15°C and 17°C in the GMST show large inter-model differences, inferring that the same GMST could be appeared under different degrees of radiative forcing depending on the model configuration. Furthermore, differences in simulated regional climate under the same GMST are identified from multi-model rotated EOF patterns of global surface temperature, which shows strongest loadings over higher latitude near two poles and usually opposite sign between northern and southern hemispheres. Related feedback processes will be discussed.

Key words: Global surface temperature, 15°C/17°C, Regional climate, CMIP5, Inter-model diversity

한반도 여름철 극한 기온 대한 BSISO 영향 분석

정유림¹, 김해정¹

¹APEC기후센터 기후사업본부 예측기술과

기후변화가 진행됨에 따라 우리나라에서 폭염 발생빈도가 증가하고 이와 동시에 매년 폭염에 의한 심각한 인명피해가 발생하고 있다. 폭염과 같은 극한 기후를 야기하는 요소들에 대한 연구가 다방면으로 진행되고 있다. 여름철 아시아 몬순지역에서 30-60일 또는 10-20일 주기를 가지고 북진 또는 북서진하는 주요한 변동 모드인 여름철 계절내 진동(Boreal Summer Intraseasonal Oscillation, BSISO)이 한반도 폭염 발생에 대한 하나의 요소가 될 수 있음을 제시하고자 한다. 서로 다른 두개의 시간 규모를 가지는 여름철 계절내 진동은 주요 대류 활동의 위치에 따라 8개의 위상으로 구분되어 지수로 개발되었고(Lee et al., 2013), APEC 기후센터는 2013년 7월부터 실시간 BSISO 모니터링 지수를 제공하고 있다. 따라서, 1981년부터 2018년까지 BSISO 지수들을 이용하여 기후학적으로 남한 폭염이 가장 빈번하게 발생하는 7월부터 8월까지 두 개의 BSISO 모드가 여름철 극한 기온 발생에 미치는 영향을 조사하였다. BSISO1(BSISO2) 모드는 아시아 몬순 영역에서 상향장파복사와 하층동서방향 바람 자료에 다중 EOF를 적용해 얻은 첫 번째(세 번째)와 두 번째(네 번째) PC로 구성되며, 두 개 PC의 진폭이 1 이상 일 때를 강한 BSISO로 정의하였다. 폭염의 경우 총 지점수의 50% 이상에서 일최고기온이 33℃ 이상일 때를 폭염 발생일로 정의하였다. 일최고기온이 이틀 연속 33℃ 이상일 때 동일한 분석을 수행하였으며 유사한 결과를 얻을 수 있었다. BSISO1의 경우 일곱 번째와 여덟 번째 위상에서 폭염이 많이 발생함과 동시에 남한평균 최고기온의 극값이 집중되어 있으며, BSISO2의 경우 첫 번째부터 네 번째까지 네 개의 위상에서 대부분의 폭염이 발생하였다. BSISO1의 Phase7-8, BSISO2의 Phase1-4의 두 경우 모두 필리핀해 부근 북서태평양에서 대류가 강화되고 우리나라를 포함하는 그 북쪽으로 고기압성 아노말리에 따른 대규모 하강 운동이 나타났다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 한반도 여름철 대규모 폭염이 발생하였을 때의 주요 위상 (BSISO1의 Phase7-8 및 BSISO2의 Phase1-4)의 평균적인 대기 순환장의 특성을 파악하고, BSISO와 한반도 여름철 폭염 발생과의 관련성을 분석해보았다.

Key words: 여름철 계절내 진동, 한반도 폭염, 여름철 극한 기온, 계절내 변동, BSISO Index

PNU CGCM 앙상블 계절예측시스템의 남한 겨울철 기온 모의성능 평가

조세라¹, 안중배¹, 최연우¹, 송찬영¹, 서가영¹, 유즈바시츠 아나¹, 김소희¹

¹부산대학교 지구환경시스템학부

본 연구에서는 초기화 방안의 다양화로 새롭게 구축된 PNU CGCM 앙상블 예보 시스템의 예측자료의 결정론적 그리고 확률론적 예측성능 평가를 수행하였다. 11월 초기조건을 이용하여 생산된 1980년부터 2017년까지 총 38년의 40개 앙상블 예측자료를 이용하여 겨울철(DEC-JAN-FEB) 남한의 기온 예측 능력을 평가하였다. 먼저 앙상블 개수가 예측성능에 미치는 영향을 살펴본 결과, 앙상블 멤버가 작을수록 어떤 앙상블 멤버를 선택하느냐에 따라 예측성의 차이가 매우 크게 나타났다. 또한, 겨울철 남한 기온을 통계적으로 유의하게 예측하기 위해 최소 20개 이상의 앙상블 멤버가 필요함을 알 수 있다. 40개 앙상블 멤버를 평균하여 예측성을 평가해 본 결과 시간상관계수가 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 값을 나타내었고, 개별앙상블 멤버보다 앙상블 평균이 높은 시간상관계수와 낮은 오차제곱근, 높은 HR, HSS와 낮은 FR을 보였다. 또한 겨울철 동아시아 몬순의 특징인 대륙에 발달한 시베리아 고기압과 해양의 알루산 저기압, 한반도에 나타나는 북서계절풍, 상층 제트 및 기압골의 발달이 관측과 유사하게 모의하고, 평년보다 따뜻하고 추운 겨울철의 합성장에서도 관측과 유사한 구조를 나타내었다. 그러므로 PNU CGCM이 동아시아의 겨울철 기후의 기후(평년)장과 아노말리 종관 패턴을 관측과 유사하게 모의함으로써 남한의 겨울철 기온을 예측해 낸다는 것을 확인하였다. 결정론적 그리고 확률론적으로 기온에 대한 3분위 예보 예측성을 살펴본 결과 전체적인 정답률은 결정론적 예보가 높지만 평년보다 기온이 높은 겨울의 경우 확률론적 예보의 정답률이 71%로 매우 높았으며, 평년보다 추운 겨울의 경우 결정론적 예보의 정답률이 67%로 가장 높았다. 평년과 유사할 경우 결정론적 예보의 정답률이 50% 임에 반해, 확률론적 예보의 정답률이 17%로 임의의 예측 확률(33%)보다 낮은 수준이었다. 그리고 확률론적 예보는 3개의 카테고리에 대해 매우 고르게 앙상블 멤버들이 분포한 경우 정답률이 매우 낮은 반면, 한쪽으로 편중되어 있을 때는 정답률이 매우 높았다. 이와 같은 확률론적 그리고 결정론적 예보의 특징이 다른 적분, 다른 모형과 지역에도 나타나는지에 대한 추가적인 분석이 향후 필요할 것으로 생각된다.

Key words: 집합대순환모형, 계절예측성, 결정론적 예보, 확률론적 예보, 앙상블예측

※ 본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01345205)의 지원에 의해 이루어진 것임.

S2S 자료를 이용한 계절내 다중모델 앙상블 예측성능 평가

김가영, 이윤영, 윤순조, 오지현

APEC 기후센터

2주에서 2개월 정도의 시간규모를 가지는 계절내-계절(Subseasonal-to-Seasonal; S2S) 예측은 아직까지는 선행예측이 힘든 영역으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 국제간 S2S 프로젝트가 진행되면서 다양한 현업기관에서 생산하는 S2S 예측자료가 하나의 자료시스템을 통해 공유되어 계절내 예측에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 현재까지 밝혀진 연구결과를 포함하여 과거재현자료(Reforecast) 및 예측(Real-time forecast) 자료를 활용한 계절내 예측성 연구는 여전히 초기 단계에 있다. APEC 기후센터는 설립 이래 MME(Multi-Model Ensemble)를 활용하여 계절기후예측 정보를 현업 제공하고 있다. 따라서 본 연구에서는 S2S 시간규모에 적용된 MME의 주별 예측성능을 살펴보았다.

본 연구에서는 S2S prediction project 데이터베이스에서 수집되고 있는 자료 중 3개 모형(ECCC, ECMWF, NCEP)의 과거재현자료에 대한 12개 지역 11개 변수의 주별 예측성능을 분석하였다. 대부분의 예측자료는 변수별로 정도의 차이가 있으나 누적된 예측성능 중 1주 선행시간의 예측성이 가장 큰 부분을 차지하고, 선행시간이 증가할수록 해당 선행시간이 차지하는 예측성의 비율이 줄어든다. 개별 모형 중 ECMWF는 다른 두 모형에 비해 상대적으로 높은 예측성을 4주까지 유지하고 특히 PREC에 대한 예측성은 다른 두 모형에 비해 확연히 높다. 대부분의 지역에서 계절내 예측성능의 경년변동은 ENSO(El Nino-Southern Oscillation)과 크게 연관되어 있고, 특히 선행시간이 증가할수록 ENSO에 대한 예측성능 의존도가 커져 장기예보의 특성이 나타나는 것으로 판단된다. 그러나, 중동 지역의 계절내 예측성능은 ENSO에 그다지 의존하지 않고 적도와 극 사이의 온도차 같은 중위도 자체 역학이 예측성능에 영향을 주는 것으로 판단된다. 또한 해양조건 뿐만 아니라 상층대기가 계절내 예측성능에 미치는 영향에 대해서도 분석하였다.

Key words: 계절내예측, S2S project, inter-model comparison, multi-model ensemble, ENSO

편의 보정된 다중지역기후모델 강수의 불확실성 추정 및 미래 전망

김가영¹, 차동현¹, 이길¹, 박창용¹, 진천실², 서명석³, 안중배⁴, 민승기⁵

¹울산과기원 도시환경공학부

²한국원자력안전기술원 원자력비상대책실

³공주대학교 대기과학과

⁴부산대학교 대기환경과학과

⁵포항공과대학교 환경공학부

일반적인 미래 기후 변화 전망 자료는 전구기후모델을 이용하여 생산되어 다양한 분야에 활용되는 것으로 알려져 있다. 그러나 낮은 해상도를 갖는 전구기후모델만 사용하여 좁은 지역의 상세 기후 정보를 생산하는 것은 한계가 있으며, 특히 동아시아 지역은 지형 및 해안선이 복잡하고 다양한 규모의 기상 현상이 발생하기 때문에 이 지역의 기후 정보를 생산하기 더욱 힘들다. 이러한 한계점을 해결하기 위하여 고해상도의 지역기후모델을 이용한 상세 기후 연구가 활발하게 수행되고 있다. 그러나 지역기후모델 역시 모델, 시나리오, 물리 과정 등 다양한 원인에 의해 불확실성을 내재한 미래 전망 자료를 생산하기 때문에, 미래 전망 자료의 불확실성 범위를 정확하게 제시할 필요가 있다. 본 연구에서는 편의 보정을 적용한 12.5km 해상도의 다중 지역기후모델 강수 자료를 이용하여 79개 ASOS 지점에 대한 현재 25년 (1981-2005) 강수 자료의 불확실성 범위를 추정하고, 이를 바탕으로 미래 25년 (2076-2100) 강수 변화를 전망하였다. 미래 전망 시나리오로 RCP4.5/8.5가 사용되었고, 편의 보정 방법으로 Linear Scaling(LS), Power Transformation(PT), Quantile Mapping 방법이 적용되었다. Quantile Mapping은 전체 기간에 적용하는 방법(QME)과 각 월마다 적용하는 방법(QMM) 두 가지로 나누어 분석하였다. 네 가지 편의 보정 방법 모두 장기간 평균 강수를 뛰어나게 보정하며 불확실성 또한 효과적으로 감소하였다. 그러나 LS는 강수 계절 변동성을, QME는 극한 강수 강도 및 빈도를 제대로 보정하지 못하였다. 편의 보정된 미래 강수는 두 시나리오 모두 변동성이 더 증가한 채로 증가할 것으로 전망되었다. 본 연구 결과는 방재 정책 등 다양한 분야에 기초 자료로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

Key words: 다중 지역기후모델, 불확실성, 편의 보정, RCP 시나리오

※ 이 연구는 기상청 <「기상지진See-At기술개발연구사업」>(KMI2018-01211)의 지원으로 수행되었습니다.

동아시아 열파 발생의 증가에 대기조건과 지면조건(토양수분)이 미치는 영향

김경민, 백은혁, 정예림, 박상혁, 정지훈
전남대학교 지구환경과학부

기후변화에 따라 열파 발생의 빈도는 20세기 이후 증가하고 있다(Meehl and Tebaldi, 2004; Stott et al., 2004; Fischer et al., 2007). 선행 연구들은 대기조건 뿐만 아니라 토양수분과 같은 지면조건에 따른 지면-대기 상호작용이 열파 발생을 유도하는 주요 인자라고 제시하고 있다(Seneviratne et al., 2006; Vidale et al., 2007; Schubert et al., 2014). 계절예측에 있어서도 토양수분같은 인자들을 이용하면 예측성을 높일 수 있다는 선행연구들이 있다(GLACE2; Koster et al., 2011). 최근 폭염, 가뭄 등의 극한기상현상이 잦아지며 지면조건의 중요성에 대해 강조되고 있다. Dirmeyer et al. (2013)은 지면-대기 상호작용의 강도는 미래에 더 강해져, 지표 건조조건의 증가와 함께 폭염, 가뭄 같은 극한의 기상현상이 증가할 것이라 제시하였다. 본 연구에서는 재분석 자료를 통해 동아시아 지역 열파의 시공간적 변화를 보고, 그 메커니즘을 대기조건과 지면조건(토양수분)의 관점에서 살펴보고자 한다. 이를 위해 지면 모델인 JULES(Joint UK Land Environment Simulator; Best et al., 2011)를 JRA-55 6시간자료를 1979-2018.12월 까지 강제하여 구동하여 토양수분을 추정하여 분석이 사용하였다. 지면모델의 대기강제력중 강수량자료는 토양수분 산출 값에 매우 중요한 요소이므로, JRA-55 강수의 월 평균값이 CMAP(CPACMerged Analysis of Precipitation; Xie et al., 1997) 강수 관측자료와 일치하도록 보정해주었다. 대기 조건은 JRA-55(Kobayashi et al., 2015)을 사용해 살펴보았다.

Key words: 열파, 토양수분, 지면-대기상호작용

※ 이 연구는 기상청 「기상·지진See-At기술개발연구」 KMI2018-07010의 지원으로 수행되었습니다.

기계학습을 이용한 기온 예측 및 분석

황유선, 김찬수
공주대학교 응용수학과

기후 예측은 여러 분야의 전문 지식이 필요하며 복잡하고 도전적인 문제 중 하나이다. 그 중에서도 기온 예측은 폭염과 열대야와 같은 재난을 대비하거나 농업 생산과 신재생 에너지 산업의 계획 등 다양한 응용분야에 중요한 역할을 하고 있다. 이때 대기의 무질서하고 역동적인 특성으로 인해 예측의 불확실성은 증가하므로 이를 줄이기 위해 다양한 조건들로부터 예측치들을 생성하고 있지만 관측에 비해 편이와 과소변동성을 가지고 있다. 따라서 이를 보완하기 위해 선형회귀 혹은 EMOS(Ensemble Model Output Statistics) 등과 같은 다양한 통계적 후처리 방법들이 사용되어져 왔다. 최근에는 기상자료의 크기와 다양성이 증가함에 따라 기계학습을 이용한 예측과 분석이 이루어지고 있다. 본 연구에서도 기계학습기로 다중 선형회귀분석(Multiple Linear Regression), 양의 회귀 계수를 갖는 다중선형회귀분석(Multiple Linear Regression with Positive), 능형 회귀(Ridge regression), 양의 회귀 계수를 갖는 능형 회귀(non-negative Ridge regression), LASSO(Least Absolute Shrinkage and Selection Operator)와 양의 회귀 계수를 갖는 LASSO(non-negative LASSO)를 사용하였고 이들 예측치들을 하나의 가중 결합 예측치를 생성하기 위해 앙상블 기계학습 방법 중 하나인 수퍼 학습기를 적용하였다. 분석에 사용된 자료는 서로 다른 분포적 특성 (경향성과 변동성)을 갖는 모의 자료와 평창 지역의 기온자료를 사용하였다. 분석 결과 분포적 특성에 따라 상이한 예측 성능을 보였고 분포적 특성에 따른 예측오차는 변동성 보다는 경향성이 강할 때 좋은 결과를 보여주었다. 기계학습과 앙상블 기계학습의 예측성능을 비교한 결과 앙상블기법이 다른 기계학습들에 비해 대체적으로 좋은 성능을 보여 주었다.

Key words: 능형 회귀, 수퍼 학습기, 앙상블 기계학습, LASSO

APCC SCoPS 계절 예측 모형의 Real-time 예측 성능 분석

임아영, 양유빈, 민영미, 함수련

APEC 기후센터

접합대순환모형은 지구시스템 내에서 일어나는 기후 현상을 이해하고 장기 기후를 예측하기 위한 주요한 수단이다. APEC 기후센터 (APEC Climate Center, 이하 APCC)에서는 APCC 자체 모형인 SCoPS (Seamless Coupled Prediction System)를 하와이대학교와 공동 개발하여 현재 현업 운영하고 있다. 또한 2017년 11월부터 현재까지 APCC Multi-Model Ensemble (MME) 계절 예측 시스템에 참여하여 3개월 및 6개월 장기 계절 전망에 활용되고 있다. 이에 따라 다년간 SCoPS의 과거 예측 자료에 대한 검증 및 특성 분석이 이루어진 반면, real-time 자료 기간의 부족으로 SCoPS real-time 자료를 진단하고 예측 성능을 평가하는 체계적 연구는 다소 부족하였다. 따라서 본 연구에서는 SCoPS 계절 예측모형의 현업 운영체계에 대해 기술하고, 준 현업기간을 포함한 2014년 1월부터 현재까지의 3개월 계절 예측 자료에 대한 예측 성능 분석 결과를 제시하였다. 먼저 각 계절별 기후 모의 특징과 모의 시간에 따른 예측성의 변화를 조사하였다. 선행시간에 따른 북반구에서의 예측성은 변수에 따라 차이가 있지만 특히 기온의 경우 선행시간에 따른 RMSE가 뚜렷하게 차이가 나고 선행시간이 짧을수록 예측성이 높게 나타나는 특징이 있다. 그리고 순환장 및 기온은 겨울철에 비해 여름철 예측성이 뚜렷하게 높게 나타났다. 나아가 계절 기후 예측에 있어 중요한 예측인자로 작용하는 적도 지역의 해수면 온도 (SST) 예측성을 ENSO 모드를 통해 살펴보았다. ENSO가 중립모드일 때와 달리 엘니뇨 모드로 진행되면 모형은 관측에 비해 SST를 과대 모의하는 경향이 있고 서태평양까지 warm anomaly를 더 넓게 모의하는 특징이 나타났다. ENSO 기간의 SST 변동은 주변 지역의 SST 뿐만 아니라 넓은 지역에서 계절적 온도 분포와 몬순 시스템 등에 영향을 미친다. 이에 2015-2016년 슈퍼 엘니뇨 사례 분석을 통해 ENSO 기간동안 모형에서 기온 및 강수의 반응 특징에 대해 추가 분석하였다.

Key words: SCoPS, APCC in-house모형, 계절예측모형, 계절예측성, ENSO예측

국방기후자료 품질관리시스템 소개

주아령¹, 김성¹, 홍현미¹, 기균도¹, 변신웅¹, 황재돈²

¹공군기상단 기상연구부

²국방정보본부 지형기상정책과

군 작전에 있어 최우선 고려요소는 신속하고 정확한 기상정보의 지원이다. 최근 지구환경의 급격한 변화와 이로 인한 예상치 못한 기상현상의 발생빈도가 증가하면서 군 작전수행 시 신속하고 정확한 기상정보 지원 요구가 증대되고 있다.

현재 육·해·공군은 각자의 전장영역에 필요한 기상정보 요구에 대응하기 위해 기상관측망을 독자적으로 운영하고 있으며, 여기서 관측된 기상정보를 바탕으로 기상청, 산림청, 국립해양조사원 등 유관기관과의 협력을 통해 전력운영에 필요한 기상정보를 지원하고 있다. 그러나 3군이 각자의 전장영역에 국한된 기상정보 수집·지원에 집중함에 따라 수집된 기상자료는 각 군별로 분산화 되어 저장 및 활용하고 있으며, 자료의 신뢰도 확보를 위한 품질관리에 대해서는 미흡한 실정이다. 따라서 공군기상단에서는 선도적으로 각 군의 분산된 관측자료 통합하고 고품질의 기상정보 지원을 위해 2018년에 국방기후자료 품질관리체계를 구축하고 2019년부터 전력화 운영 중에 있으며, 타군의 관측 자료와 연동하여 활용하기 위해 노력하고 있다.

국방기후자료 품질관리시스템은 현재 공군에서 관측 중인 AWS(Automatic Weather System) 66개, AMOS(Automated Meteorological Observing System) 14개, 고층관측(Rawin Sonde) 2개 자료에 대해 준실시간(Near real-time) 운영 중이며, 관측 장비의 장애관리, 자료 수집률 체크, 품질검사가 동시에 수행되고 있다.

품질관리에 사용된 알고리즘은 기후범위검사, 지속성검사, 내적일치성 검사, 수직변화율 검사 등 총 15가지 과정을 포함하고 있으며, 기상청 QC 알고리즘(기상청, 2013)을 바탕으로 군 기상관측자료에 적합한 알고리즘을 적용하여 품질검사를 수행한다. 자료의 품질관리는 원시자료(Raw data)에 QC flag를 부여하여 DB에 저장하며, QC를 통과한 고품질 자료만을 자료지원 및 통계에 활용하도록 관리하고 있다.

향후 공군기상단에서는 국방기후자료 품질관리시스템의 고도화 및 확대 개발을 통해 군 내외 다양한 수요자에게 접근성 높은 기후자료 서비스를 제공하며, 고품질의 군 기상관측자료의 활용 확대를 통하여 군 기후자료의 가치를 높일 수 있을 것으로 기대한다.

Key words: 국방기후자료, 품질검사, 품질관리

Decadal changes in global carbon cycle associated with decadal ENSO variability

So-Won Park¹, Jin-Soo Kim², Jong-Seong Kug¹

¹Division of Environmental Science and Engineering, POSTECH

²School of GeoSciences, University of Edinburgh

The terrestrial ecosystem plays a dominant role in the interannual variability of the global carbon cycle. The El Niño–Southern Oscillation (ENSO) is the primary cause of interannual variations in the global carbon cycle because ENSO-driven extensive teleconnection over continents affects the terrestrial ecosystem process. Our understanding about the impacts of the ENSO on the carbon cycle in the interannual time scale has been improved, but the influence of the ENSO on the decadal variability of global carbon cycle has not yet been fully examined. In this study, we have investigated the decadal variations in Net Biome Production (NBP) associated with decadal ENSO variability on the basis of the Community Earth System Model 1.1 (CESM1.1) large ensemble pre-industrial fully-coupled experiment. Here we find that 21-year moving NBP anomaly is negatively correlated with not only 21-year moving mean Sea Surface Temperature (SST) in the Niño3.4 region but also the variance of the tropical Pacific SST, suggesting that decadal ENSO variability affects the decadal variations in the global carbon cycle. By considering both of Pacific decadal SST mean changes and ENSO variability, it can be explained about 36% of the decadal variations in the global carbon cycle. In addition, we found that the asymmetric response of terrestrial carbon uptake caused by the asymmetric temperature anomalies over the tropical continents was induced by ENSO residual. As the ENSO variance increases, the 21-year moving average global NBP anomaly decreases due to the effects of increasing ENSO asymmetry. Furthermore, residual NBP increases as ENSO variability increase on the decadal time scale, because the anomalous carbon loss during El Niño is larger than the anomalous carbon uptake during La Nina. Therefore, the residual effect in NBP anomaly induced by ENSO asymmetry can be projected to the decadal variability of the global terrestrial carbon cycle.

Key words: Global Carbon Cycle, El Niño–Southern Oscillation (ENSO), Pacific Decadal Variability

지면 생태계 모델을 이용한 전 지구 지면 생태계 탄소 저장 시간의 시·공간적 변동성 비교 분석

여재호, 정수중

서울대학교 환경대학원 환경계획학과

전 세계적으로 기후 변화로 인한 문제가 심각함에 따라 이의 주원인인 CO₂와 탄소 순환에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이에 주요 탄소 흡수원인 지면 생태계 내 탄소 순환 과정의 변화를 이해하고 정량화 하려는 노력이 이루어지고 있다. 그러나 기후 변화에 대한 육상 생태계에서의 탄소 순환은 지구의 미래 기후 변화를 예측하는데 있어 가장 큰 불확실성으로 여겨진다. 이러한 지면 탄소 순환과 기후 사이의 피드백은 기후, 토양 및 식생 유형 간의 상호 작용에서 나타나는 생태계 특성인 육상 생태계의 탄소저장시간의 변화에 부분적으로 결정이 된다. 본 연구에서는 현세대 지면 모형의 탄소 플럭스 모의 성능을 비교 분석하기 위한 지면 모형간의 비교 프로젝트인 TRENDY(Trends in net land carbon exchange over the period 1980-2016)에 참여한 동적식생모델(Dynamic Global Vegetation Model, DGVM)에 의해 모의된 탄소 플럭스 및 탄소 저장량 자료를 이용하여 전 지구 지면 생태계 탄소 저장 시간을 비교·분석하였다. TRENDY에 참여한 모형들의 식생의 총일차생산량, 토양 호흡량과 전체 탄소저장량을 이용하여 지면 탄소 저장 시간의 평균적인 공간 분포의 기본적 특성을 파악할 수 있었다. 각 모형 별 1979년부터 2016년까지의 기후 값을 분석한 결과 전 지구 평균 약 30년의 탄소 저장 시간을 보여주었으며, 모든 모형이 고위도 지역이 저위도에 비하여 상대적으로 긴 저장시간을 보였다. 또한 장기변화의 경우 대부분의 지역에서 탄소저장시간이 짧아지는 추세를 보였다. 전 지구 관측의 부재, 모형들 간의 차이 및 모형의 불확실성을 고려하더라도 시간에 따른 탄소저장시간의 감소는 기후변화가 생태계의 급격한 변화를 야기할 수 있다는 의미를 가지고 있다.

Key words: 기후변화, 탄소순환, TRENDY, 탄소저장시간

※ 이 연구는 기상청 <「기상지진See-At기술개발연구사업」>(KMI2018-03711)의 지원으로 수행되었습니다.

Prospect of climate changes for the mid and late 21st century using RegCM4.0 (25 km) over CORDEX II East Asian region

Tae-Jun Kim¹, Myoung-Seok Suh², Eun-Chul Chang¹

¹Climate Research Division, National Institute of Meteorological Sciences, Korea

²Department of Atmospheric Science, Kong-ju National University, Korea

In this study, the regional climate model, RegCM4.0 (25 km), with the HadGEM2-AO data as boundary conditions, was used to simulate the mean climate changes in the mid and late 21st century for CORDEX Phase 2 East Asian region. 122 years (1979–2100) of simulation were performed, and RCP 4.5 and RCP 8.5 were used for the simulation of future climate. In the mid-21st century, the temperature is expected to increase by about 0.5 to 3.0°C in all regions of East Asia, regardless of season and scenario. The increase in temperature is greater in summer and winter, especially in the northern part of simulation domain. Interannual variability (IAV) is expected to decrease by 25% in summer for RCP 8.5, while it is expected to increase by more than 30% in autumn for both scenarios. Regardless of the scenario, the precipitation in South Korea is expected to increase in late June but decrease in mid-July, with increase in precipitation greater than 100 mm day⁻¹. In RCP4.5 of the late 21st century, relatively uniform temperature increase (1.0–2.5°C) is expected throughout the continent, while RCP 8.5 shows a very diverse increase (3.0–6.0°C) depending on season and geographical location. In addition, the IAV of temperature is expected to decrease by more than 35% in both scenarios in the summer. In most of the Northwest Pacific region, precipitation is expected to decrease in all seasons except for the summer, but in South Korea, it is projected to increase by about 10% in all seasons except autumn.

Key words: CORDEX II-East Asia, RegCM4.0, regional climate changes, RCP4.5/8.5, mid and late 21st century

Future projections of Antarctic ice shelf melting and global sea level rise

Emilia Kyung Jin¹, Taekyun Kim¹, Ji Sung Na¹, In-Woo Park¹², and
Won Sang Lee¹

¹Korea Polar Research Institute, Korea

²School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Korea

With global warming, sea level rise rapidly and various kinds of natural catastrophes occur more frequently, especially hydrological, meteorological events such as tropical cyclone, flooding. Therefore, improved sea-level projections are required for global and regional adaptation strategies. Recently, a series of studies pointed out the collapse of the Antarctic ice sheet is accelerating and may have already passed a tipping point based on new observations and simulations. Antarctica is the main driver of the risk of really high sea level rise, so we really need to understand what's happening there. Even though better future projection of global climate change requires the rigorous understanding on the interactions in cryosphere, the technology level of the ice sheet modelling is rather limited for this region.

Under these circumstances, new modeling activity in KOPRI is initiated to predict the tipping point for the irreversible Antarctic melting and unstoppable sea level rise. The main objective is to reduce uncertainties and enhance predictability of future sea level rise by improving the ice sheet model by intensifying our understanding on the ice sheet processes and dynamics based on field observations. At first, we tested the idealized scenarios of the oceanic forcings including floating ice melting and ice front retreat for future projections targeting the Drygalski Ice Tongue and David Glacier, East Antarctica. The 2-dimensional (2-D) shallow shelf approximation model (MacAyeal, 1989), which is implemented in the Ice Sheet System model (ISSM) (Larour et al., 2012) is used. Sensitivity experiments are conducted to verify the significant differences induced by changes in model. A series of projected simulations are compared to explore the role of forcing scenarios on the grounding line migration, surface mass balance and sea level contribution.

Key words: global warming, Antarctic melting, ice sheet model

Updated detection and attribution analysis of extreme temperature changes using CMIP6 multi-model dataset

Min-Gyu Seong, Seung-Ki Min
Pohang University of Science and Technology

Previous studies showed that human influences on observed extreme temperature changes are detected at global and regional scales using optimal fingerprinting based on linear regression (Min et al., 2013; Kim et al., 2016). It is possible to investigate sensitivity of detection results according to extension of period and model version with releasing CMIP6 multi-model dataset which provide historical runs by 2014. In this study, four extreme temperature indices (coldest night/day: TNn, TNx, warmest night/day: TXn, TXx) are obtained from HadGHCND observation and five CMIP6 multi-model dataset during 1950–2014. We analyze only historical (ALL; natural plus anthropogenic forcing) simulations due to lack of CMIP6 model samples. For the same reason, pre-industrial runs used to estimate climate variability are obtained from CMIP5 dataset. Domain averaged extreme temperature indices are compared between observations and CMIP6 model runs over global and four continental (North America, Europe, Asia, and Australia) domains. Results reveal that ALL detection for cold extremes (TNn, TXn) occur over most continents except for TXn (globe, Asia and Australia). For warm extremes (TNx, TXx), ALL signals are also detected over all domains except over Asia (TNx) because of failing to residual test. Scaling factors are more close to unity in some regions (North America: TNn, TXn, Europe: TNx) when extending period and using CMIP6 dataset, which means that ALL signal detection results improve. Further analyses are needed by updating observational data and considering other external forcings (natural only forcing, anthropogenic forcing).

Key words: CMIP6, Extreme temperature, Detection and Attribution

Heat stress changes at Paris Agreement target temperatures: Equilibrium vs. transient world assumptions

Sang-min Lee¹, Seung-Ki Min¹

¹Division of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea

Although the Paris Agreement target temperatures (1.5°C and 2.0°C warming from the preindustrial level) were defined under the assumption of equilibrium state, many previous studies assessed the impact of different global warming levels using ‘transient’ simulations like CMIP5 RCP8.5 scenario experiments. The present study compares the impact of half a degree additional warming on the summer heat stress changes (2.0°C minus 1.5°C, defined as global warming ‘mitigation benefit’) between equilibrium and transient world assumptions. We first select CMIP5 multi-model RCP2.6 and RCP4.5 scenario imulations, which project near 1.5°C and 2.0°C warming in the late 21st century (near equilibrium world). Heat stress ‘mitigation benefit’ from the selected runs are then compared with those from the corresponding RCP8.5 scenario runs (transient world). Summer mean and extreme daily wet-bulb globe temperature (WBGT) is used as a heat stress index. Results show that, in the equilibrium world condition, the mitigation benefit (i.e. heat stress reduction by half a degree reduced warming) becomes relatively large over ocean than on land, indicating the slower warming of the ocean due to larger heat capacity. However, the larger mitigation benefit is found over East Asian region in the transient world condition. This regional feature is found to be related to the strong cooling effect of anthropogenic aerosols during the mid-21st century in the RCP8.5 scenario, which corresponds to the transient 1.5°C warmer condition. This reduced increase in heat stress induces a larger increase in heat stress at 2.0°C warming point when aerosol forcing becomes much weaker. Our results indicates the importance of land-sea contrast and regional non-greenhouse gas forcing in assessing the impacts of global warming mitigation.

Key words: Heat stress, Paris Agreement, Mitigation benefit, Equilibrium and Transient responses

Prospect of extreme climate changes related to temperature for the mid and late 21st century using the simulation data of RegCM4.0 over CORDEX II East Asian region

Myoung-Seok Suh¹, Tae-Jun Kim², Eun-Chul Chang¹

¹Department of Atmospheric Science, Kong-ju National University, Korea

²Climate Research Division, National Institute of Meteorological Sciences, Korea

We estimated changes in temperature-related extreme events over South Korea for the mid and late 21C using the 122 years (1979–2100) data simulated by RegCM4 with HadGEM2-AO data as boundary conditions. We analyzed the four extreme events (Hot day: HD, Tropical day: TD, Frost day: FD, Icing Day: ID) and five extreme values (TX95P, TN95P, TX5P, TN5P, and DTR95P) based on the absolute and relative thresholds, respectively. HD and TD (FD and ID) are expected to increase (decrease) in mid-21C. The average HD is expected to increase by 14 (17) days in RCP4.5 (8.5). The TX95P and TN95P are expected to increase in RCP8.5, while TX5P in RCP4.5. In the late-21C, HD and TD are significantly increased in RCP8.5 compared to RCP4.5, but FD and ID are expected to be significantly reduced. HD is expected to increase mainly in the southwestern region, twice (+41 days) in RCP8.5. TD is expected to increase by 17 days in RCP 8.5, which is 5 times greater than that in RCP 4.5. TX95P, TN95P and TX5P are expected to increase by about 2 °C and 4 °C in RCP4.5 and RCP8.5, respectively. However, TN5P is expected to increase significantly by 4 °C and 7 °C in RCP4.5 and RCP8.5, respectively.

Key words: extreme events, RegCM4, mid and late 21st C, RCP4.5/8.5, South Korea

한국, 중국, 일본의 온실가스배출 감축 시나리오에 따른 미래 가뭄 강도 변화 예측

박창균¹, 허창희¹, 박록진¹, 우정현², 임철수³, 박두선⁴, 박훈영¹, 김민중⁵,

김윤하², 홍성철³, 김진원⁶

¹서울대학교 지구환경과학부

²전국대학교 기술융합공학과

³국립환경과학원

⁴조선대학교 지구과학교육과

⁵명지대학교 환경에너지공학과

⁶국립기상과학원 기후연구과

동아시아 지역의 많은 국가가 온실가스 배출의 감축을 위해 여러 환경 정책을 시행하고 있지만, 이들 노력이 미래에 나타날 가뭄 강도의 변화에 어떠한 영향을 끼칠 것인가에 관해서는 아직 연구된 바가 없다. 본 연구에서는 RCP8.5와 동아시아 지역 온실가스의 고배출 및 저배출 시나리오(각각 NIER-H, NIER-L으로 명명; 서울대학교, 전국대학교, 국립환경과학원에서 공동으로 생산함)를 분석하여 2100년까지 가뭄 강도의 변화를 전망하였다. 본 연구에서 NIER-H와 NIER-L 시나리오는 우리나라, 중국, 일본의 최신 환경정책을 반영한 온실가스배출 목록을 기반으로 전구기 후모델과 대기화학모델을 결합하여 생산하였다. 미래 전망에 앞서 1951-2016년(66년) 동안 CRU의 강수량, 잠재증발산량을 이용해 계산한 가뭄지수를 활용하여서 동아시아 지역의 가뭄 특성을 계층적 군집분석을 이용해 조사해본 결과, 가뭄지역이 위도에 따라 4곳으로 분리됨을 발견하였다. 과거 66년 동안 중국남부지역에서 북부 지역으로 위도가 높아질수록 가뭄강도가 강화되었다. 이런 위도에 따른 변화는 RCP8.5와 두 개 배출 미래 시나리오에서도 잘 나타나고 있으며, 더욱 강화되는 것으로 나타났다. 가뭄강도의 강화 경향은 RCP8.5와 비교해서 상대적으로 NIER-H와 NIER-L에서 낮았고, 특히 NIER-L에서 크게 낮았다. 본 연구의 결과는 미래 가뭄으로 인한 피해를 최소화시키기 위해서는 동아시아 3개 국가가 온실가스 배출을 지속적으로 줄여야함을 시사하고 있다.

Key words: 동아시아, 가뭄, 온실가스배출, RCP8.5, NIER-H, NIER-L, 전구기후모델, 대기화학모델

※ 이 연구는 환경부 기후변화대응 환경기술개발사업으로부터 지원받았습니다.

GRIMs-CCM 모의에서 나타난 오존 강제력의 중요성

정용철¹, 예상욱¹, 이승언², 박록진²

¹한양대학교 해양융합과학과

²서울대학교 지구환경과학부

ycjeong940122@gmail.com

에어로졸은 대기 중에서 태양 복사 에너지를 반사, 산란 및 흡수하거나 구름 생성에 영향을 미친다. 오존 또한 성층권에서 태양 복사 에너지를 흡수하는 성질을 가지고 있다. 따라서 에어로졸 및 오존은 지구 복사 평형에 영향을 미쳐 대류권 순환에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 에어로졸 및 오존이 대류권에 미치는 영향을 알아보기 위해 화학-기후 결합 모델을 이용해 세 가지 실험을 진행하였다. 사용된 모델은 대기 대순환 모델인 GRIMs (Global and Regional Integrated Model system)에 GEOS-Chem 3-D 화학 수송 모델이 결합된 화학-기후 모델 GRIMs-CCM이며, 세 가지 실험은 에어로졸의 직접효과가 포함되고 오존이 상호작용 하는 실험 (GRIMs-CCM on), 에어로졸의 직접효과가 포함되고 오존이 상호작용하지 않는 실험 (LINOZ off) 그리고 에어로졸의 직접효과가 포함되지 않고 오존이 상호작용하지 않는 실험 (GRIMs-CCM off)으로 구성되어 있다. 세 실험의 바닥 경계 조건은 HadISST의 월별 해수면 온도와 해빙농도 자료로 모두 같으며, 에어로졸의 직접효과가 고려되는 GRIMs-CCM on 실험과 LINOZ off 실험에서의 배출량 자료는 GEOS-Chem에서 사용하는 배출량 자료를 사용하였다. 세 실험의 비교를 위해 1960년부터 2010년까지 장기 적분된 결과를 분석에 사용하였고 온도, 강수와 같은 대기 주요 변수들의 차이를 파악했다. 세 가지 실험들 사이에서 오존 차이가 있는 실험들 사이에서 대기 순환 및 구조의 차이가 분명하게 나타났으며, 에어로졸의 직접효과에 의한 차이는 지역적으로 한정되어 나타났다. 이를 통해, 오존 강제력이 기후 모의에 중요한 역할을 한다는 사실을 알 수 있었다.

Key words : GRIMs-CCM, 에어로졸, 오존

K-ACE 모델의 CO₂ 강제력에 따른 기후민감도 분석

선민아¹, 성현민¹, 심정보¹, 임윤진¹, 김지선¹, 김병현¹, 이조한², 변영화¹

¹국립기상과학원 기후연구과, ²국립기상과학원 지구시스템연구과

기상청 국립기상과학원은 IPCC 6차보고서 대응 새로운 온실가스 농도경로 기반의 기후변화 시나리오를 산출하기 위해 지구시스템모델 K-ACE (KMA's Advanced Climate Earth system model)를 개발하였다(Lee et al. 2019). 본 연구에서는 CMIP6 필수실험인 DECK (Diagnostic, Evaluation and Characterization of Klima) 중 1pctCO₂ 실험과 Abrupt 4xCO₂ 실험을 통해 CO₂ 강제력에 따른 K-ACE 모델의 기후민감도 및 기후피드백과 연관된 요소들을 분석하였다. 지구시스템모델 내 강제력에 대한 반응을 정량화하고 비교·분석하기 위해 점증기후반응 (TCR, Transient Climate Response; Gregory et al., 2004)과 평형 기후민감도 (ECS, Equilibrium Climate Sensitivity)를 계산하였고, CMIP5 (5th Coupled Model Intercomparison Project)에 제출된 모델들과 비교하였다. K-ACE의 CO₂농도 증가 실험 결과 3.05K의 TCR값과, 5.44K의 ECS 값이 나타났으며, 이는 CMIP5에 참여한 모델들의 값(TCR: 1.1~2.6K, ECS: 2.1~4.7K)과 비교하여 K-ACE의 기후민감도가 다소 높은 것을 확인할 수 있었다. 기후피드백 분석 결과 특히 구름복사효과 (CRE, Cloud Radiative Effect)가 K-ACE의 기후민감도에 크게 기여하는 것으로 추정되며, 선행연구(Senior et al., 2016)를 바탕으로 자세한 연구내용이 발표에서 다뤄질 예정이다.

Key words: CMIP6, DECK, 지구시스템모델(K-ACE), CO₂ 실험, 기후민감도

※ 이 연구는 기후변화 예측기술지원 및 활용연구(KMA2018-00321)의 지원으로 수행되었습니다.

Inter-annual variation of tropical cyclones simulated by GEOS-5 AGCM with modified convection scheme

Eunkyo Seo¹, Myong-In Lee¹, Dongmin Kim^{1,2,3}, Young-Kwon Lim^{4,5},
Siegfried D. Schubert⁴, Kyu-Myong Kim⁴

¹School of Urban and Environmental Engineering, Ulsan National Institute of
Science and Technology, Ulsan, Korea

²Cooperative Institute for Marine and Atmospheric Studies, University of Miami,
Coral Gables, Florida

³Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, NOAA, Miami, Florida

⁴Global Modeling and Assimilation Office, NASA Goddard Space Flight Center,
Greenbelt, Maryland

⁵Goddard Earth Sciences Technology and Research, NASA Goddard Space Flight
Center, Rockville, Maryland

A 50-km horizontal resolution global climate model, GEOS-5, is used to simulate the tropical cyclone (TC) in the western North Pacific (WNP) and the North Atlantic (NATL) where observed sea surface temperatures is used to prescribe the boundary condition of the model. The experiment has 5-member ensembles and analyzing period is 1998–2009. The deep convective scheme of standard version, Relaxed Arakawa Schubert, is modified so that the scheme randomly suppresses deep convection applying the threshold of minimum entrainment rate, which increases the strength of moisture trigger. It results in reliably reproducing TC and increasing intraseasonal variance without large difference of climatology. The GEOS-5 AGCM with modified convection scheme exhibits realistic spatial distributions in climatological TC genesis and pathway in both basins. TC intensity also tends to be better represented in the model up to simulating category 3 TCs. Interannual variation of accumulated cyclone energy (ACE) is examined, where improving convective parameterization leads to better representation with limited horizontal resolution.

Key words: accumulated cyclone energy, convection scheme, global climate model, interannual variation, tropical cyclone

※ This study was supported by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI2018-03110. This study is published in “Seo et al., (2019) Inter-annual variation of tropical cyclones simulated by GEOS-5 AGCM with modified convection scheme. International Journal of. Climatology”.

LES 모델 기반 남극 빙붕 하부 열전달특성 연구

나지성, 진경, 김태균, 이원상
극지연구소 해수면 변동 예측 사업단

남극 빙붕(Ice Shelf)은 상류 빙하의 흐름을 효과적으로 제어하고 있으나, 지구 온난화로 따뜻해진 대기와 해수의 영향으로 안정도가 크게 약화되고 있어 빙상 붕괴 및 해수면의 급격한 상승을 초래할 가능성이 대두되고 있다. 따라서 다양한 방법을 활용하여 빙붕의 안정도를 지속적으로 관측하고 변화를 예측하는 것이 매우 중요한 현안이므로 빙붕 안정도에 직접적으로 영향을 미치는 빙붕하부 용융 기작과 이와 관련된 물리 현상을 규명하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 빙붕하부 용융은 빙붕과 밀접한 혼합경계층 내 온도 및 유동 변화로부터 기인하기 때문에 급격한 혼합 경계층의 변화가 발생할 당시를 면밀하게 관찰해야 한다. 빙붕하부 기반선 주변에서 발생하는 용융은 과냉각 및 저밀도의 상태로 상승하면서 빙붕하부 물기둥(water plume)을 형성하게 되고 이러한 물기둥은 빙붕 하부 혼합 경계층에 큰 변화를 준다.

이 연구에서는 물기둥이 발생하는 빙붕 하부의 혼합 경계층 현상을 이해하기 위해 큰에디모사 (Large Eddy Simulation) 모델을 활용하여 빙붕 주변 해양 및 경계층을 모사하였고, 용융과 관련한 열전달 특성 및 유동적 특성을 분석하였다. 모사 결과의 신뢰성을 검증하기 위해 2017/2018년도 여름철, 남극 장보고과학기지 주변 테라노바 만 해양에서 수행된 24개의 CTD (Conductivity, Temperature, Depth) 관측과 23개의 LADCP (Lowered Acoustic Doppler Current Profiler) 관측 자료에서 도출된 속도 및 온도, 염도와 비교검증을 하였다. 모사된 유동의 속도는 실제 관측과 비교하였을 때, 속도의 크기 및 기울기, 최대 속도의 깊이 등 다양한 측면에서 잘 일치하였다. 또한 온도와 염도에 대한 비교에서는 상부 경계층의 깊이가 과모의되는 경향성을 보였고 이로 인해 온도 및 염도의 크기가 다소 차이를 보였다. 하지만 과냉각 상태의 물기둥 온도 및 염도 특성은 대체로 일치하였으며 그 변화 추이 또한 매우 잘 일치한 것을 확인하여, 수치모델을 통한 모사가 실제 해양 특성을 잘 반영하고 있다고 판단하였다. 빙붕 하부로부터 200 m 부근까지의 유동 난류의 난류에너지 분포를 관찰하였을 때, 관성 아구간(Inertial subrange, $k-5/3$)의 난류 운동과 소산영역(Dissipation range, $k-3$)의 난류가 잘 모사되고 있음을 관찰할 수 있었다. 운동량속과 열속의 연직 분포 및 유동 와류의 크기, 강도에 대한 통계적 분석을 수행하여 빙붕 하부 주변에 강한 유동 와류와 함께 큰 열속이 분포하는 것을 관찰하였다.

Key words: 빙붕 하부, 유동 경계층, 큰에디모사, 물기둥, 난류 특성

에어로졸에 의한 동아시아 여름 몬순의 빠른·느린 반응 분석

서정빈¹, 권상훈¹, 심정보¹

¹국립기상과학원 기후연구과

20세기 중반 산업화 이후로부터 급증한 에어로졸은 대기 중으로 들어오는 태양 복사 에너지를 흡수·반사하거나 구름의 특성을 바꾸는 등의 직·간접적인 효과로 복사량에 영향을 미침으로써 기후변화를 일으키는 주요 원인으로 잘 알려져 있다. 동아시아는 특히 에어로졸이 가장 높은 농도로 분포하고 있는 지역일 뿐만 아니라 연평균 강수량의 대부분이 여름 몬순에 의해 이루어지는 지역임에 따라 에어로졸에 의한 동아시아 여름 몬순의 변화 이해는 매우 중요하게 다뤄져 왔다. 많은 선행 연구들을 통해 에어로졸이 동아시아 여름 몬순의 약화를 통해 강수량을 감소시키는 역할을 한다고 밝혀져 왔지만, 그 변화 과정의 역학적 메커니즘에 대한 이해는 부족하다.

본 연구에서는 CMIP5 5개 모델 앙상블 자료를 이용하여 에어로졸이 동아시아 여름 몬순에 미치는 영향을 1) 복사강제력 변화 및 대기의 빠른 적응과정을 통해 나타나는 반응과 2) 해수면온도 변화를 통한 각종 피드백 현상으로 인해 복합적으로 나타나는 반응으로 나누어 분석하였다. 이를 위해 에어로졸 단일 강제력만을 이용한 대기-해양 결합모델에서의 과거기후 모의자료를 이용하여 동아시아 전체 반응을 분석하였으며, 해수면온도를 고정된 실험에서 지표면 온도 변화, 구름 및 수증기 변화 통해 나타나는 빠른 반응(fast response)으로 정의하여 분석하였다. 전체 반응에서 빠른 반응을 제외한 나머지 부분을 해수면온도 변화를 통해 나타나는 느린 반응(SST-mediated response)으로 정의하였으며, 이와 같은 방법으로 에어로졸이 동아시아 여름 몬순의 특성(강도, 시종일, 지속기간 등)에 미치는 영향을 분석하였다.

에어로졸에 의한 복사강제력의 변화로 빠르게 나타나는 반응이 동아시아 여름 몬순 약화로 인한 강수량 감소의 대부분을 설명하였으며, 몬순 순환이 약화됨에 따라 몬순의 시작일이 늦춰지고 종료일이 앞당겨짐으로써 나타나는 지속 기간의 감소가 결과적으로 몬순 기간 동안의 강수량을 감소시키는 것으로 나타났다.

Key words: 에어로졸, 동아시아 여름 몬순, 빠른·느린 반응, 시종일, 강수량

Decadal SST Dipole in Tropical Atlantic Ocean Induced by External Climate Forcing during the last 21,000 years

SooYeon Im, Soon-il An

Department of Atmospheric Science, Yonsei University

The tropical Atlantic ocean dipole mode (hereafter, AOD) is an interannual-to-multi-centennial climate mode having two opposite poles in Northern and Southern subtropical Atlantic oceans. AOD is known to affect African climate by influencing ITCZ location and others climate factors. The ocean-atmosphere feedback, especially the WES(Wind-Evaporation-SST) feedback, takes a key role to sustain it. Here, we investigate sensitivity of AOD to various climate forcings, especially focusing on decadal-to-multidecadal timescale variations (hereafter, Decadal AOD), using the transient simulations of CCSM3 for the last 21,000 years, so-called 'TraCE'. Since TraCE provided not only a control simulation with all climate forcing but also simulations imposed by each single climate forcing (ICE topography, Melt Water Flux from continental ice, and ORBitally-driven insolation change). The decadal AOD is well identified in ICE, MWF, and ORB experiments as like in control simulation. Each forcing could induce asymmetric SST anomaly across the equator, and the WES feedback amplifies this anomaly to maintain its dipole structure. However, differences between each experiment are existed, which is addressed in this study.

Key words: SST Dipole, Tropical Atlantic, Paleoclimate, WES feedback

QBO-MJO Coupling in a Numerical Weather Prediction Model

Seung-Yoon Back¹, Seok-Woo Son¹ and Fuqing Zhang²

¹Seoul National University, School of Earth and Environmental Sciences

²Pennsylvania State University, Department of Meteorology

The modulation of Madden-Julian oscillation (MJO) by Quasi-Biennial Oscillation (QBO) has been reported in a series of recent studies. In the easterly QBO (EQBO) phase, the amplitude of the MJO is generally increased. Likewise, subseasonal predictability is also improved in this QBO phase. However, the dynamical mechanism of QBO-MJO coupling is still uncertain. It is even not clear whether numerical model can reproduce such a relationship. In this study, we simulate QBO-MJO coupling using Weather Research and Forecasting (WRF) model. The MJO event in November 2007, developing under the EQBO phase, is particularly examined. This event is qualitatively well simulated by the WRF model. To test the role of QBO background state, QBO signal is extracted using lanczos filtering from initial and lateral boundary conditions and no-QBO, westerly-QBO, extreme-westerly-QBO state are constructed. The model sensitivity experiments to varying background states show that MJO precipitation is strong in the EQBO run (control run), but becomes rather weaker in the no-QBO and westerly-QBO runs with the weakest precipitation in the extreme-westerly-QBO run. The same sensitivity is further found in outgoing longwave radiation, and zonal wind field. These results clearly indicate that the QBO-MJO coupling can be simulated by the state-of-the-art numerical weather prediction model. This may allow us to identify the physical mechanism of QBO-MJO coupling.

Key words: Madden-Julian Oscillation, Quasi-Biennial Oscillation, WRF

CCMI 모델들의 대류권 모의성능 평가

이효미¹, 박효진^{1,2}, 위지은¹, 문병권¹

¹전북대학교 과학교육학부/융합과학연구소

²김제여자고등학교

최근 대기 화학 물질과 기후 변동의 상호 연관성에 많은 관심이 집중되고 있으며, IGAC/SPARC의 Chemistry-Climate Model Initiative (CCMI) 프로젝트 역시 그 노력의 하나이다. 우리는 CCMI 프로젝트에 참가한 16개 화학-기후 모형들의 대류권 모의 결과를 평가하였다. 모형의 대기변수(기온, 바람, 지위고도, 강수량)와 화학변수(오존, 일산화탄소, 히드록실라디칼, 질산) 모의 성능을 종합적으로 평가하기 위해 Vector Field Evaluation 방법을 적용하였다. 대기변수 모의 결과는 12개 모델 중 CMAM, GRIMs-CCM, GEOSCCM이 가장 관측에 가까웠으며, 모델 간 차이는 평가 변수 중 강수량에서 가장 컸다. 화학변수는 12개 모델을 MMM에 대해 평가하였는데, 대기변수에 비해 모델과 변수에 따른 모의성능 차이가 커서 화학 변수의 모의 개선이 필요한 것을 알 수 있었다. 더불어 모형의 화학 변수는 오존존데와 MOPITT 위성의 낮 시간 일산화탄소 관측 자료와 비교하였다. 대부분의 CCMI 모델들은 850, 200 hPa의 전구 오존존데 관측에 대해 0.54-0.75의 시간 상관계수를 보이며, 시간에 따른 오존의 변동성을 과소모의하는 모델이 과대모의 하는 모델보다 많았다. 기간 평균하여 일산화탄소를 살펴보았을 때, 모델은 평균적으로 MOPITT와 비슷한 공간 분포를 보였다. 그러나 중앙아프리카를 포함한 상대적으로 농도가 높은 지역에서는 큰 양의 편차를, 그 외의 지역에서는 음의 편차를 보였다. 연구를 통해 각 화학-기후 모형의 종합적인 성능을 확인하고, 관측과의 비교를 통해 모형의 개선점을 확인하였다.

Key words: 화학-기후 통합모델, CCMI, 모델 평가, 오존, 일산화탄소

※ This research was supported by the Korean Ministry of Environment (MOE) as “Climate Change Correspondence Program.”

기후모델의 기온분포 변동에 대한 북반구 겨울철 해들리 순환의 경계와의 관계 분석

윤상필, 서경환

부산대학교 지구환경시스템학부 대기과학전공

해들리 순환에 영향을 끼치는 요소는 과거에 연구된 다수의 결과에 의하여 매우 다양하다는 것으로 알려져 왔지만, 가장 직접적이고 명시적인 관계를 구축하는 것은 매우 중요하다. 그러나 그만큼 다양한 요인이 있기 때문에 이에 대한 연구는 매우 어려우며 언제나 불확실성을 동반한다. 과거 연구를 예로 들면, 남반구에서는 설명이 잘 되는 상관관계와 달리 북반구에서는 직선에 대해 넓게 퍼지는 산포도를 동반한다. 한편으로는 CMIP5의 과거자료 안에서도 중장기적 변동에 대한 열대 및 중위도의 동서평균 기온 분포는 모델 간의 차이가 극명하게 나타난다. 이러한 이유로 본 연구에서는 북반구 겨울철(DJFM) 시기의 해들리 순환의 경계에 대한 연구로서, CMIP5의 과거자료(1900~2005) 중에서도 기온자료로부터, 단, Phillips의 초임계성에 의한 경압성에 얽매이지 않고, 연직 분포와 남북 분포로부터 해들리 순환의 경계와의 관계를 분석하였다. 그러나 본 연구의 본질적인 목적은 기후 변화에 의한 변동이 아닌, 장기간에 걸쳐 평균된 기후값을 통하여 모델 자체만의 변동성으로부터 해들리 순환의 경계에 대한 관계를 이끌고 가능하다면 더 나아가 이 결과들의 종합하여 하나의 관계로 이끈다는 점에서, 과거 연구와 지향점을 달리 하고 있다. 분석 결과로, 북반구에서는 해들리 순환의 내부의 정적 안정도로 일컬어지는 하층의 연직적 기온 차이(Δ_{θ})와 하층에서 상층까지 연직적으로 평균된 기온에 대해 아열대와 중위도의 남북 온도 차이(Δ_{θ})로부터 해들리 순환의 경계가 통계적으로 유의하게 설명되었다. 전자는 아마도 해들리 순환의 강도와 관련이 있는 것으로 보여지며, 후자는 온도풍 관계에 의하여 중위도 제트에서 동서 바람의 속도와 관련이 있는 것으로 보여진다. 한편으로 대류권 계면의 높이에 대하여 CMIP5 과거자료에서 해들리 순환 경계와의 관계를 찾아보고, 앞의 결과들과 조합할 수 있는 관계를 찾아보고자 하였다.

Key words : 해들리 순환, 전지구 기후 모델 간 변동성(Inter-model Variability), 정적 안정도, 중위도 제트

※ 이 연구는 한국연구재단 사업(NRF-2018R1A2A2A05018426)의 지원으로 수행되었습니다.

편의보정된 다중지역기후모델의 강수자료를 이용하여 구분된 동아시아 강수지역의 검증 및 미래전망

박창용, 차동현, 김가영, 이길

울산과학기술원 도시환경공학부

강수는 농업 및 각 산업분야에서 중요한 수자원이지만 동아시아 지역의 경우 단기간에 집중되는 강수 특성으로 인해 홍수 및 산사태 등 자연 재해의 근원이 된다. 따라서 동아시아 지역의 수자원 관리는 재난 적응 측면에서 매우 중요한 문제이다. 특히, 강수 강도 및 빈도의 증가와 인구의 과밀과 관련된 사회적 측면 때문에 이 지역의 수자원 관리가 더욱 복잡해졌다. 뿐만 아니라 동아시아는 다양하고 복잡한 강수 특성을 보이므로 상세한 지역규모에서 강수 특성과 미래 변화를 분석할 필요가 있다. RCM은 지역 규모에서 기후 변화규모를 모의하는 데 적합하다. 그러나 RCM 모의는 systematic bias를 포함하므로 주의해야 한다. 이러한 bias는 미래 기후 예측의 신뢰성을 감소시키고 모델 불확실성의 크기를 증가시킬 수 있다. 그러므로 RCM의 bias 보정을 거친 자료를 연구에 적용시키는 것이 적합하다. 본 연구에서는 편의보정된 다중지역기후모델의 강수자료를 이용하여 구분된 동아시아 강수지역을 검증하고 구분된 지역의 미래전망을 분석하였다. 그 결과, 편의보정된 RCM을 이용하여 구분된 강수지역이 관측을 이용하여 구분된 것과 유사한 결과를 보였다.

Key words: 시간 강수량, 지역기후모델, 모의성능 평가

※ 이 연구는 한국연구재단 이공학개인기초연구 사업(NRF-2017R1D1A1B03034120)의 지원으로 수행되었습니다.

MJO에 의한 동아시아 겨울철 기후 반응 연구

김선용, 국종성

포항공과대학교 환경공학부

Madden-Julian Oscillation (MJO)은 적도에서 30-60일의 주기를 가지고 동진하는 계절내진동이며 열대 뿐만 아니라 중위도 지역의 기후에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 특히 MJO와 관련하여 동아시아의 겨울철 기후 반응에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. MJO에 의한 동아시아 겨울철 기후의 반응은 MJO 위상에 따라 다양하게 나타난다. 인도양에 active convection이, 서태평양에 suppressed convection이 위치하는 MJO 위상 3이 발생하면 동시상관으로 동아시아에는 평년보다 낮은 지면 기온패턴을 보이는데, 이러한 기온패턴의 발생 원인을 역학적으로 이해하는데 부족함이 있다. 동아시아 지역 대기 하층 (850 지위고도)의 열역학 방정식 계산을 통해, 어떤 열역학적 특성이 MJO 위상 3의 저온 지면 기온에 영향을 주는 지 분석하였다. 티벳고원은 고도가 높아 주변 지역과 다른 반응을 보이기 때문에 이 지역을 기준으로 북티벳 지역과, 동티벳 지역으로 나누어 살펴보았다. 북티벳 지역의 경우 위상 3이 발생하기 3일 전에 최저기온을 보이는데, 이는 MJO에 의한 단열이류와 남북바람이 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 이전 MJO 위상의 지연상관 반응이 저온패턴을 유도하는 것으로 보인다. 반면에 동티벳 지역은 위상 3 발생 2일 후에 최저기온을 나타내며, 평균 동서바람과 MJO에 의한 남북바람의 기여도가 높게 나타났다. 북티벳에 발달한 저온이 중위도의 강한 평균 동서바람인 제트기류를 타고 동티벳으로 이동한 것으로 보이며, 이러한 과정은 MJO 위상 3이 발달할 때 동아시아 전체에 저온패턴이 위치하는데 영향을 줄 수 있다.

Key words: MJO, 동아시아, 겨울철 기후, 동시상관

동아시아 제트 변동성과 동아시아 겨울 몬순의 non-stationary 관련성의 역학적 원인 분석 연구

송세용¹, 예상욱¹, 박재홍²

¹한양대학교 해양융합과학과

²International Pacific Research Center, University of Hawaii

동아시아 겨울 몬순(East Asian Winter Monsoon, EAWM)은 북반구에서 가장 활발한 기후 변동성 중 하나로 차갑고 건조한 북서풍을 통해 겨울철 동아시아 지역 날씨 및 기후 변동성에 영향을 준다. 이와 관련된 대기 순환은 대륙권 상층 제트 기류, 중층 기압골, 하층 시베리아 고기압과 알류산 저기압이 서로 밀접하게 연결되어 있는 3차원 순환 특징을 보인다. 그 중 대륙권계면 부근에서 좁고 동서방향으로 강하게 부는 바람인 동아시아 제트 기류(East Asian Jet Stream, EAJ)의 강도 변동성은 대륙권 내 순환계들과 상호작용 하며 동아시아 겨울 몬순과 밀접하게 관련되어 있으며 기존 연구 결과들은 EAWM과 EAJ 변동성이 높은 상관계수를 가지고 있음을 제시하였다. 본 연구에서는 이와 같은 동아시아 제트와 동아시아 겨울 몬순 관계가 1990년대 후반 이후 EAJ의 북상으로 인한 이차순환의 구조 변화로 급격히 약화되어 이 두 변동성의 관련성이 non-stationary 함을 확인하였다. 또한 EAJ의 북상 원인에 대하여 열대 서태평양 지역에서 해양과 대기의 평균장 변화에 초점을 두고 관측 자료 및 Linear Baroclinic Model을 이용하여 살펴보았다.

Key words: 동아시아 겨울 몬순, 동아시아 제트 기류, 열대 서태평양



Numerical simulation of ocean - ice shelf interaction: Water mass circulation in the Terra Nova Bay, Antarctica

Taekyun Kim, Emilia Kyung Jin, Ji Sung Na, and Won Sang Lee
Unit of Ice Sheet and Sea Level Changes, Korea Polar Research Institute, Korea

The interaction between ocean and ice shelf is an important process to both water mass transformations and ice shelf melting and freezing regimes at the ocean/ice interface. Using a 3 dimensional ocean circulation model, we investigate the variability and circulation of water mass overlying the continental shelf and beneath the ice shelves in the Terra Nova Bay (TNB), Ross Sea, Antarctica. The goal of this study is to better understand how ocean-ice interactions affect ocean circulation and water mass properties which govern the ice shelf stability. Properties of water mass and circulation in the TNB and the corresponding affect on sub ice shelf basal melting are explored using the Regional Ocean Modeling System (ROMS) with explicit ice shelf thermodynamic and sea ice dynamic-thermodynamic. In this study, we especially investigate uncertainties in basal melting, which is affected by ocean temperatures, ocean currents, and model geometries, particularly in cavity geometry.

Key words: ocean-ice shelf interaction, water mass and circulation, Terra Nova Bay, ocean circulation model

2017년 페루 홍수에 대한 기상학적 분석 및 미래 전망

손락훈¹, S.-Y. Simon Wang², Wan-Ling Tseng³, Christian W. Barreto Schuler⁴, 윤진호¹

¹광주과학기술원, 지구환경공학부

²Utah State University, School of Earth Sciences and Environmental Engineering

³Academia Sinica, Research Center for Environmental Changes

⁴Dirección de Climatología, SENAMHI-PERU, Lima, Peru

2017년 3월, 기록적인 폭우를 기록한 페루에서는 약 20년만에 최악의 홍수가 발생하였다. 과거 사례들과는 다르게 특이한 점은, 이러한 폭우가 평소 매우 건조한 지역인 페루 해변 도시를 위주로 발생하였다는 점이다. 또한, 주변 바다 수면 온도(SST)의 상승과 무역풍 약화가 동반하였는데, 이는 엘니뇨의 주요 특징임에도 불구하고, 2017년에는 엘니뇨가 발생하지 않았다. 본 연구에서는 2017년 페루 홍수 발생 시점을 기준으로 앞서 언급한 특이점들이 주요 기후 인자들과 어떠한 연관이 가지고 있는지 분석하고, 이들의 특이 패턴과 인과 관계를 밝히고자 한다. 뿐만 아니라, 기후 모델에 나타난 주요 기후 인자들의 장기적 변동성을 바탕으로, 미래의 홍수 발생 위험성 추이를 제시하고자 한다.

Key words: 재난/재해, 대기-해양 상호작용, 지구온난화.

※ 이 연구는 한국연구재단 중견연구지원과제(NRF-2017R1A2B4007480)의 지원으로 수행되었습니다.

안면도 대기관측 메탄의 장기변동과 한국의 기여도 분석

김연수, 정수중

서울대학교 환경대학원 환경계획학과

세계기상기구는 기후변화 진행 정도를 주시하기 위해 전 세계에 걸쳐 지구급 및 지역급 지구대기감시관측소를 운영하고 있다. 안면도에 위치한 기후변화감시센터는 지역급 지구대기감시관측소 중 하나로 한반도와 인접한 동아시아 지역의 온실가스 농도를 관측해왔다. 한편, 메탄은 지구온난화지수가 이산화탄소의 28배에 달하고 대기 중 잔류시간이 상대적으로 짧기 때문에 메탄의 배출량을 줄인다면 즉각적인 기후변화 완화 효과로 이어질 수 있다. 하지만 그동안 메탄의 온실기체로서의 주목도가 낮았기 때문에 전 지구적 배출량 및 흡수량 파악을 위해 필요한 관측 자료가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 2000~2018년 안면도에서 관측하여 얻은 자료를 바탕으로 한반도와 그 인근의 동아시아라는 지역급 스케일에서의 메탄의 농도 특성을 파악하고, 해당 지역의 메탄 농도 형성에 한국에서 배출하는 메탄이 얼마나 기여하였는지 분석한 결과를 나타냈다. 이를 위해 풍향, 풍속, 관측 시각을 분류 기준으로 하여 한국의 메탄 배출량이 반영된 시점에 관측된 메탄 농도를 추출한 뒤, 동아시아 지역 농도와의 비교를 통해 한국의 기여도를 유추하였다. 또한, 한국 메탄 배출량 추정치에서 포착된 계절적 변동의 이유가 될 수 있는 요소를 분석하여 제시했다. 본 연구는 메탄 농도의 증가 속도가 전 지구 평균보다 약 2배 빠른 추세를 보이는 동아시아를 대상 지역으로 설정했다는 점에서 의미가 있다. 또한, 메탄 배출량 추정을 위해 필요한 관측 자료가 제한된 상황에서 지역급 관측 자료를 활용하여 지역급 스케일의 메탄 농도에 대한 국가별 기여도를 추정할 수 있음을 보여주었다.

Key words: 메탄, 동아시아, 메탄 배출

※ 이 연구는 기상청 <「기상지진See-At기술개발연구사업」>(KMI2018-03711)의 지원으로 수행되었습니다.