

# CMIP5 기후변화 전망자료 구축 및 아태지역 데이터 제공



**정 일 원 |**  
APEC 기후센터 선임연구원  
bobilwon@apcc21.org



**박 경 원 |**  
APEC 기후센터 선임연구원  
kwpark@apcc21.org



**이 은 정 |**  
APEC 기후센터 연구원  
ejlee8885@apcc21.org



**조 재 필 |**  
APEC 기후센터 선임연구원  
jpcho89@apcc21.org



**신 선 희 |**  
APEC 기후센터 기후변화연구팀장  
ssh222@apcc21.org



**유 진 호 |**  
APEC 기후센터 연구본부장  
jhyoo@apcc21.org

APEC 기후센터<sup>1)</sup>에서는 기후응용분야의 사용자가 편리하게 대용량 기후정보를 이용할 수 있도록 지원하는 데이터 서비스 시스템을 구축하고 있다. 이 시스템은 응용분야에서 기후변화 영향평가 및 취약성 평가에 필요한 제5차 결합기후모델비교사



그림 1. APEC 기후센터의 기후연구도구 (Climate Research Tools, CRT), 홈페이지 (<http://crt.apcc21.org/>)

1) 아시아 태평양 지역의 기후 예측 정보의 생산 및 전달, 활용에 대한 중추적인 역할을 수행하기 위해 APEC 회원국 합의에 의해 2005년 부산에 설립.

업(the fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project, CMIP5)<sup>2)</sup> 결과를 데이터베이스화하고 인터넷을 통해 제공할 예정이다(그림 1). 이 기사에서는 먼저 CMIP5에 대해 간략히 살펴보고, APEC 기후센터 기후연구도구(CRT)에서 제공될 자료와 자료처리 및 분석에 관련된 기능들, 그리고 향후 추가적으로 서비스될 내용들에 대해 소개하고자 한다.

### 1. CMIP5의 개요

CMIP은 결합기후모델간의 불확실성을 평가하고 기후모의에 대한 모델의 성능을 개선하기 위해 1995년에 시작되었다. CMIP1은 시간에 따른 온실가스(CO<sub>2</sub>)의 변화가 없는 조건하에서 기후의 변화를 분석한 반면, CMIP2는 온실가스가 매년 1%씩 증가하여 약 70년 후에 온실가스가 초기치의 2배가 되는 시나리오 하에서 기후의 변화를 평가하였다. CMIP3는 최초로 관측치에 근거한 현실적인 온실가스 시나리오를 적용한 연구로, 2007년에 발간된 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 4차 기후변화 평가보고서 작성에 과학적 근거를 제공하였다. 최

근 공개된 CMIP5는 개선된 기후모델링 성능을 기반으로 2014년에 발간예정인 IPCC 5차 기후변화 평가보고서 작성에 기여하기 위해 2008년에 기획되었다.

혹자들은 간혹 왜 CMIP3와 CMIP5 사이에 CMIP4가 없는지 궁금해 한다. 여기에는 여러 가지 이유가 있지만 가장 큰 이유 중의 하나는 CIMP3s와 IPCC 기후변화 평가보고서의 일련번호를 일치시키기 위한 의도가 숨어 있다. 또 다른 이유는 CIMP3와 CMIP5 사이에 결합기후-탄소순환모델비교사업(Coupled Climate-Carbon Cycle Model Intercomparison Project, C4MIP)이 있었기 때문이다. C4MIP 연구에서는 CIMP3 모델들이 고려하지 못했던 탄소순환(carbon cycle)이 대기와 해양에 미치는 상호작용 등을 평가하였다.

최근 몇몇 연구들은 CMIP5 모델들이 CMIP3 모델들에 비해 관측된 자연현상을 근사하게 모의하는 것으로 보고하였다. 일례로, 지구온난화로 인한 북극 얼음면적의 감소를 모의한 실험에서 대부분의 CMIP3 모델들이 북극의 빙하면적 감소를 과소 모의한 것에 반해(그림 2, 왼쪽), CMIP5 모델들은 관측치에 근접한 결과를 보여주고 있다(그림 2, 오른쪽). 그러나 개선된 CMIP5 기후모델링의 결과에도 불구하고 그림 2(오른쪽)에서 보는 바와 같이 기후

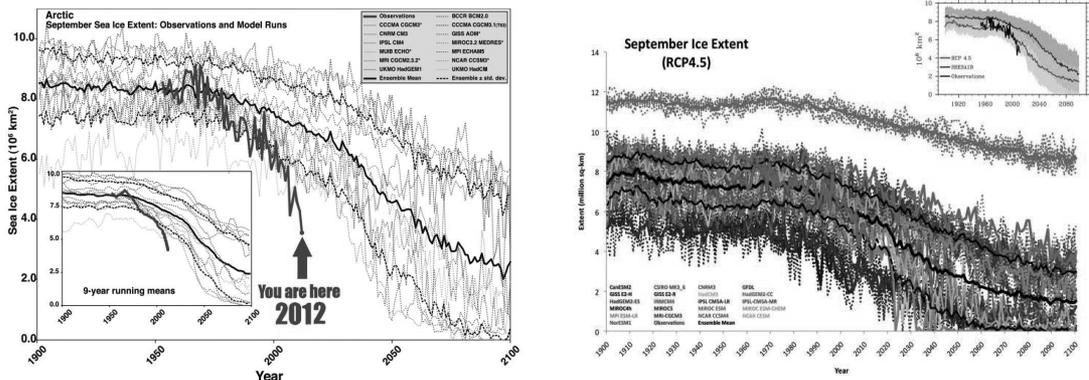


그림 2. 북극의 9월 얼음면적 변화 전망, IPCC AR4 모델의 전망결과(왼쪽)(Stroeve et al., 2007)와 IPCC AR5 모델의 전망결과(오른쪽)(Stroeve et al., 2012)

2) 세계기상기구 산하의 세계기후계획(World Climate Research Programme, WCRP)에서 주관하는 국제사업으로 우리나라를 포함하여 14개국이 CMIP5에 참여하고 있음.

모델들이 모의한 결과에는 여전히 상당한 불확실성이 포함되어 있다. 이 결과는 현재 기술수준에서 미래 기후를 전망하는 자료는 불확실성을 내포하고 있으므로, 수자원관련 연구자나 정책결정자들은 이러한 불확실성을 고려하여 미래 수자원의 변화를 전망하고 탄력적인 기후변화 적응전략을 수립하는 것이 필요함을 시사하고 있다.

## 2. APEC 기후센터의 기후연구도구(Climatic Research Tools, CRT)

전구규모로 제공되는 CMIP5 자료를 이용해서 응용분야 연구자들이 원하는 구역이나 지역스케일의 데이터로 가공하기 위해서는 상당한 노력뿐 아니라 컴퓨팅능력과 방대한 자료저장공간 등이 요구된다. 특히, NetCDF(Network Common Data Form, NC)<sup>3)</sup> 형태로 제공되는 대부분의 CMIP5 자료는 대부분의 비기상전공자들에게는 아직까지 낯선 데이터 포맷이다. APEC 기후센터의 CRT는 사용자가 원

하는 지역의 자료만을 선택해서 받을 수 있는 기능을 제공한다. 또한, NC 파일을 사용자가 원하는 데이터형태(GRIB, ASCII, KML, SWAT 입력자료형태 등)로 변환하여 다운로드할 수 있다.

CRT에서 원하는 기후변화 전망자료를 이용자가 다운로드받기 위해서는 1)관심지역선정, 2)원하는 자료 선택, 3)다운로드 데이터 포맷 결정, 4)자료기간 및 레벨(level) 선정, 5) 자료확인 및 다운로드의 단계를 거쳐야 한다(그림 3). CRT는 사용자가 편리하게 관심지역을 설정하도록 Map Search 방법을 기본으로 제공하고 있다. 사용자는 배경지도를 보면서 사각형 또는 원을 드래그해서 관심지역의 범위를 결정할 수도 있고, 복잡한 구역의 경우에는 ArcGIS Shape 파일을 이용해서 지정된 범위내의 자료를 다운로드 받을 수도 있다. 만약 사용자가 특정자료를 찾고 싶을 경우에는 Advanced Search 또는 Category Search 기능을 이용하면 된다. Advanced Search는 검색 조건에 맞는 자료들을 찾아주고, Category Search는 특정 속성을 가진 자료들을 빠르게 검색할 수 있게 도와준다.

### 1. 관심지역 선정



### 2. 자료선택

Select	File Name	Period	Project	Output
<input type="checkbox"/>	pr_Amon_CanAM4_ami..._r11p1_195001-200912.nc	200912.nc	monthr	CMIP5
<input checked="" type="checkbox"/>	pr_Amon_CanAM4_ami..._r21p1_195001-200912.nc	200912.nc	monthr	CMIP5
<input checked="" type="checkbox"/>	pr_Amon_CanAM4_ami..._r31p1_195001-200912.nc	200912.nc	monthr	CMIP5
<input checked="" type="checkbox"/>	pr_Amon_CanAM4_ami..._r41p1_195001-200912.nc	200912.nc	monthr	CMIP5

### 3. 데이터 포맷 결정

**CMIP5 Data**

Climate Data Format   
  NC   
  GRIB  
 Model Initial Data Format   
  SWAT  
 GIS Data Format   
  ESRI ASCII   
  KML

### 4. 자료기간 선정

<input checked="" type="checkbox"/>	pr_Amon_CanAM4_ami..._r11p1_195001-200912.nc	1949-12-23	2009-11-07
<input checked="" type="checkbox"/>	pr_Amon_CanAM4_ami..._r21p1_195001-200912.nc	1949-12-23	2009-11-07
<input checked="" type="checkbox"/>	pr_Amon_CanAM4_ami..._r31p1_195001-200912.nc	1949-12-23	2009-11-07
<input checked="" type="checkbox"/>	pr_Amon_CanAM4_ami..._r41p1_195001-200912.nc	1949-12-23	2009-11-07

### 5. 자료확인 및 다운로드

Q.No	Register	Register Time	Start Time	Finish Time	State	Action
377	bobbiwon	2013-02-05 15:13:51	2013-02-05 15:13:52	2013-02-05 15:13:54	Complete	<a href="#">download</a>
376	bobbiwon	2013-02-05 15:13:37			Requested	<a href="#">download</a>
372	bobbiwon	2013-02-04 20:48:47	2013-02-04 20:48:47	2013-02-04 20:50:44	Complete	<a href="#">download</a>
366	bobbiwon	2013-02-01 15:01:50	2013-02-01 15:01:51	2013-02-01 15:16:25	Complete	<a href="#">download</a>

그림 3. CRT에서 기후자료 다운로드하는 과정

3) 다중공간(multidimensional) 데이터 포맷의 하나로서 과학용 분석 데이터를 처리하는데 이용. Matlab, NCL 또는 ArcGIS에서 NetCDF 데이터를 다루는 기능을 제공하고 있음.

## 학술/기술기사

관심지역 지정후 검색을 클릭하면 선택한 지역에서 이용 가능한 모든 자료들의 목록을 보여주며, 검색된 자료목록을 클릭하면 자료의 속성정보도 바로 확인할 수 있다. 다음단계로 원하는 데이터 포맷을 결정하고 자료기간을 선택하면 CRT는 요청된 조건에 맞는 정보를 생산하게 된다. 이때 자료의 용량에 따라 자료를 처리하는데 수분에서 수시간까지 걸릴 수 있다. 최종적으로 자료처리가 완료되면 이메일을 통해 공지되며, 처리된 자료는 MyPage의 My Download에서 확인할 수 있다.

CRT는 기후변화 전망자료의 평균이나 아노말리(anomaly)값을 다양한 그래픽으로 생산 및 표출하는 기능도 제공한다(그림 4). 표출된 그래프는 보고서나 논문 작성에 직접 이용될 수 있도록 고해상도의 그래픽으로 다운로드 받을 수 있다. CRT에서는 시계열자료의 Map 그래프를 시간프레임에 따라 연속적으로 볼 수 있는 서비스도 준비 중이다. CRT에서 제공되는 그래픽 기능은 다차원의 기후자료를 별도의 프로그램 구매 없이 손쉽게 사용자들이 원하는 그래프로 표출하고 분석하는데 도움을 줄 것이다.

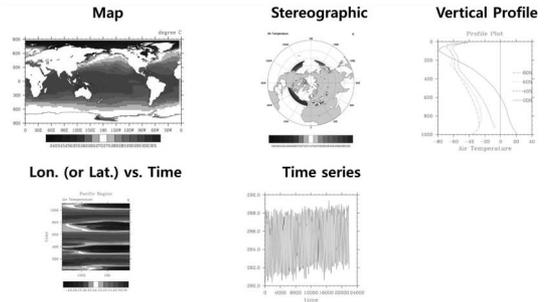


그림 4. CRT에서 제공하는 그래프 종류

## 3. 진행중인 연구

### 3.1 CMIP5 자료의 편차보정(Bias Correction)

기후모델의 모의정확도가 급속히 개선되고 있으나 아직까지는 관측자료와 비교해서 지역적, 시간적 편차를 지니고 있다. 일례로, 기후모델은 특정지역의 기온을 관측치에 비해 높게 모의(warm bias)하거나, 반대로 기온을 낮게 모의(cold bias)하기도 한다. 또한, 강수량에 대해서도 과소모의(dry bias)

표 1. 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP) 4.5와 8.5 시나리오에 대해 월강수량(precipitation, pr), 월평균기온(air temperature, tas), 월평균태양복사량(surface down welling shortwave flux, rsds) 자료를 공통으로 제공하는 접합기후모델들

연구기관	모델명	AGCM 해상도 Lon. × Lat.	연구기관	모델명	AGCM 해상도 Lon. × Lat.
BCC	BCC-CSM1.1	2.81° × 2.81°	MOHC	HadGEM2-CC	1.87° × 1.24°
CCCma	CanESM2	2.81° × 2.81°	MOHC	HadGEM2-ES	1.87° × 1.24°
CNRM-CERFACS	CNRM-CM5	1.40° × 1.40°	MPI-M	MPI-ESM-LR	1.87° × 1.87°
CSIRO-BOM	ACCESS1.0	1.87° × 1.25°	MPI-M	MPI-ESM-MR	1.87° × 1.87°
CSIRO-QCCCE	CSIRO-Mk3.6.0	1.87° × 1.87°	MRI	MRI-CGCM3	1.12° × 2.25°
EC-EARTH	EC-EARTH	1.12° × 1.12°	NASA GISS	GISS-E2-H	2.50° × 2.00°
INM	INM-CM4	2.00° × 1.50°	NASA GISS	GISS-E2-R	2.50° × 2.00°
IPSL	IPSL-CM5A-LR	3.75° × 1.87°	NCAR	CCSM4	1.25° × 0.93°
IPSL	IPSL-CM5A-MR	2.50° × 1.25°	NCC	NorESM1-M	2.50° × 1.87°
IPSL	IPSL-CM5B-LR	3.75° × 1.87°	NIMR/KMA	HadGEM2-AO	1.87° × 1.24°
LASG-CESS	FGOALS-g2	2.81° × 2.81°	NOAA GFDL	GFDL-CM3	2.50° × 2.00°
MIROC	MIROC5	1.40° × 1.40°	NOAA GFDL	GFDL-ESM2G	2.50° × 2.00°
MIROC	MIROC-ESM	2.81° × 2.81°	NOAA GFDL	GFDL-ESM2M	2.50° × 2.00°
MIROC	MIROC-CHEM	2.81° × 2.81°	NSF-DOE-NCAR	CESM1(CAM5)	1.25° × 0.93°

하거나 또는 과대모의(wet bias)하기도 한다. 이러한 기후모델결과의 편차는 기후변화 영향평가 연구에서 비현실적인 결과를 야기할 수 있으므로 사전에 보정이 필요하다. APEC 기후센터에서는 표 1에 제시된 CMIP5 결과를 우선적으로 1.0°×1.0°로 표준화하고, 이 표준화된 결과를 ECMWF 재분석자료를 이용하여 편차보정을 수행 중에 있다. 편차보정된 CMIP5 결과는 CRT 홈페이지를 통해 보정되지 않은 자료와 구분하여 이용자에게 제공될 것이다.

### 3.2 우수 결합기후모델 선정(Best model selection)

만일 우리가 10개의 기후전망결과만을 이용할 수 있다고 가정할 때, 5개 기후모델은 강수량이 증가한다고 전망한 것에 반해, 나머지 5개 기후모델은 강수량이 감소한다고 전망한다면 우리는 과연 어떤 결론을 내릴 수 있을까. 결합기후모델들은 각기 다른 공간해상도, 역학체계, 물리모수화과정 등으로 인해 동일한 온실가스 조건하에서도 상이한 결과를 모의할 수 있다(기후모델링의 구조적 불확실성). 이러한 모델간의 기후전망 차이는 통상 기온모의 보다는 강수량모의에서, 전구규모에서 보다는

지역규모의 기후전망에서 크게 나타난다(그림 5).

관측기후현상을 잘 모의하는 기후모델의 기후전망결과가 그렇지 않은 기후모델의 기후전망결과에 비해 정확하다고 말할 수는 없다. 왜냐하면 미래 기후예측은 그만큼 불확실성이 크기 때문이다. 그러나 관측기후현상을 잘 모의하는 기후모델이 미래 기후상황을 신뢰성 있게 모의할 가능성이 상대적으로 높다고는 판단할 수 있다. 따라서 동아시아나 한국의 기후특성을 잘 모의하는 모델들에 대한 가이드라인은 기후모델을 선정하거나 기후변화 영향평가 결과를 해석할 때 유용한 참고자료가 될 수 있다.

APEC 기후센터에서는 CMIP5 모델들의 기후모의성능을 정량적으로 평가하기 위한 다양한 연구를 수행하고 있다. 그림 6은 운량에 대해 CMIP5 모델들의 성능을 비교한 연구결과이다. 구름은 상층운인지 하층운인지에 따라 기후변화에 다르게 영향을 미치는데, 상층운은 지구에서 방출되는 장파복사를 흡수하여 기온을 증가(warming effect)시키지만 하층운은 태양복사량을 차단하여 기온증가를 억제(cooling effect)한다. 그림 6에서 보듯이 대부분의 접합기후모델들이 하층운량을 과소모의하는 것으로 나타났는데, 이것은 이러한 모델들이 하층운을 잘 모의하는 기후모델에 비해 상대적으로 기온변화

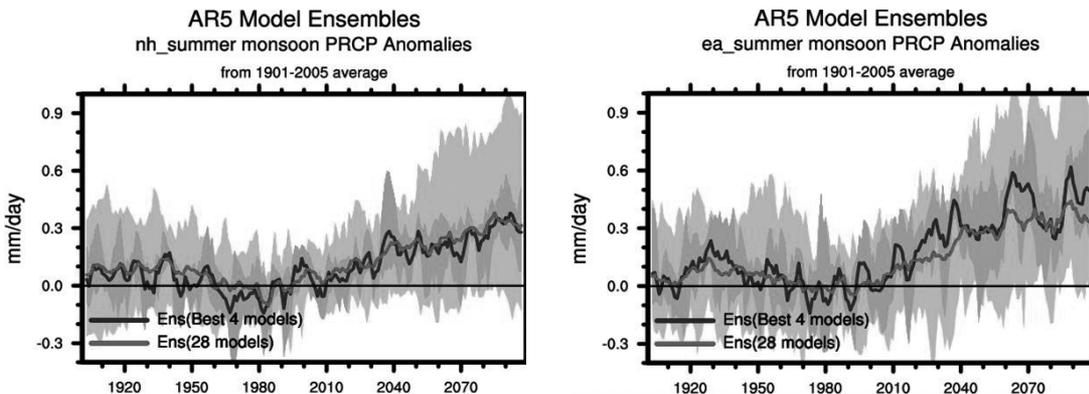


그림 5. 북반구(왼쪽)와 동아시아(오른쪽)의 여름 몬순 강수 아노말리(1980-2005년 평균을 제외한 값). 색칠된 부분은 RCP 4.5 배출시나리오에 대한 28개 결합기후모델(붉은색)결과와 4개 우수모델(파란색)결과의 전망치 범위를 나타내며, 굵은선은 결합기후모델 결과를 시계열 앙상블(산술평균)한 값을 나타냄. 4개 우수모델은 Lee and Wang (2012)의 연구에서 제시된 결과임.

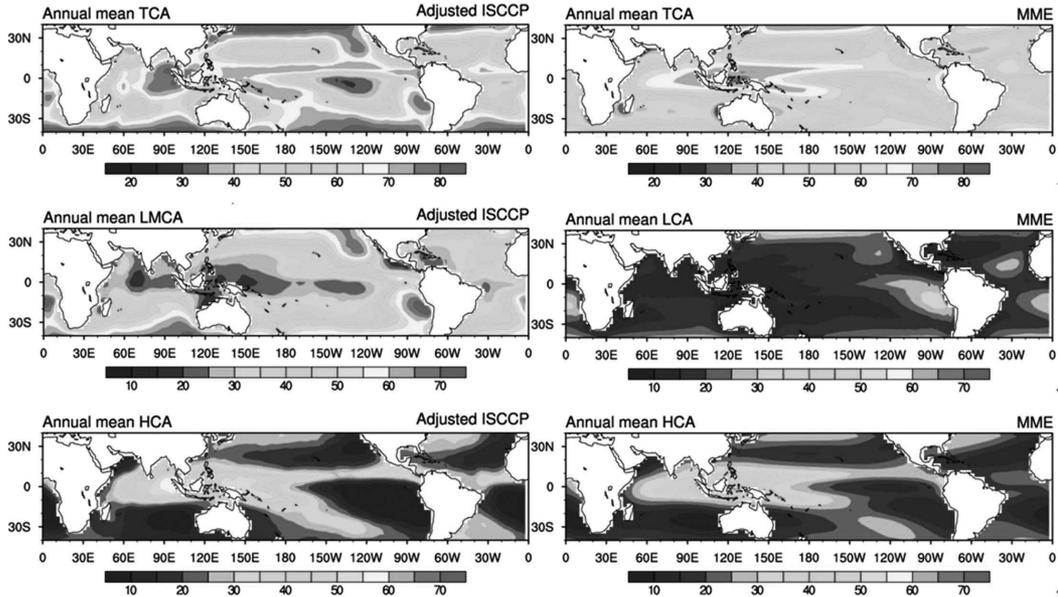


그림 6. 관측기간(1980-2005) 동안의 총운량(TCA), 하층운량(LMCA), 상층운량(HCA)의 관측치(왼쪽)와 21개 CMIP5 모델의 앙상블 결과(오른쪽) (Shin, 2013)

를 전망하는데 있어 신뢰성이 낮다고 판단할 수 있을 것이다.

### 3.3 기후변화 전망정보의 시공간적 상세화

편차가 보정된 CMIP5 자료를 시공간적으로 상세화하기 위해 APEC 기후센터에서는 통계적 다운스케일링에 관한 연구가 진행되고 있다. 현재 국내외에서 적용되고 있는 상세화방법에 대한 조사 및 비교분석을 수행중이며, 방법론이 결정되면 기후응용분야에서 필요로 하는 기후변수들에 대해 우선적으로 상세화를 진행할 예정이다. 이와 더불어 기상청이 주관하는 East Asia CORDEX(COordinated Regional climate Downscaling Experiment)로부터 지역기후모델을 이용해 역학적으로 상세화(0.44°×0.44°)된 자료도 CRT 서버에 구축 중에 있다.

### 4. 맺음말

현재 CRT는 APEC 기후센터 내부 모니터링을 거쳐 문제점을 개선한 후 4월초쯤 일반에 공개될 예정이다. 3장에서 언급한 연구들은 각 연구의 진행 상황에 따라 자료를 공개할 예정이며, CRT에서 이용할 수 있는 상태가 되면 홈페이지에 등록된 이용자들에게 이메일을 통해 업데이트 정보가 공지될 것이다.

CRT는 우리나라를 포함한 아태지역 국가들의 사용자들이 누구나 쉽게 최신 기후정보를 처리하고, 분석할 수 있는 기후정보 제공의 허브로서의 역할을 수행해 나갈 것이다. 또한, CRT는 향후 사용자들의 다양한 의견을 수렴하여 지속적으로 서비스를 개선해 나갈 방침이다. 궁극적으로 APEC 기후센터는 CRT를 통해 제공되는 기후변화 전망정보들이 우리나라를 포함한 아태지역 국가들의 기후변화 영향평가 및 적응전략을 수립하는데 기여하기를 희망한다. ☺

## 참고문헌

1. Lee, J.Y., and Wang, B. (2012). "Future change of global monsoon in the CMIP5". *Climate Dynamics*, DOI: 10.1007/s00382-012-1564-0.
2. Shin, S.H. (2013). An assessment of reliability in climate projections of CMIP5 models: A cloud variation perspective. APEC Climate Center Technical Report 2012. Vol. 3, pp. 1-38.
3. Stroeve, J.C., Holland, M.M., Meier, W.N., Scambos, T., and Serreze, M. (2007). "Arctic sea ice decline: Faster than forecast". *Geophysical Research Letters*, Vol. 34, No. 9, DOI: 10.1029/2007GL029703.
4. Stroeve, J.C., Kattsov, V., Barrett, A., Serreze, M., Pavlova, T., Holland, M.M., and Meier, W.N. (2012). "Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations". *Geophysical Research Letters*, Vol. 39, No. 16, DOI: 10.1029/2012GL052676.