전지구 해양-해빙결합모형과 SRES A1B 시나리오 기반 동아시아 해수면 미래 변화 전망

Projection of future sea level rise in the East Asian Seas based on Global Ocean-Sea Ice Coupled Model with SRES A1B Scenario

김민우* · 김철호* · 장찬주*,**
*한국해양과학기술원 해양순환연구센터
**과학기술연합대학원대학교 해양학과

Minwoo Kim* · Cheol-Ho Kim* · Chan Joo Jang*,**

*Ocean Circulation Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan, Korea

**Department of Ocean Science, University of Science and Technology, Daejeon, Korea

Abstract

To project the future sea level rise in the East Asian Seas due to global warming, regional sea level variations are downscaled from three climate system models (GFDL-CM2.1, ECHAM5/MPI-OM, MIROC3.2(hires)) using a global ocean-sea ice coupled model with non-Boussinesq approximation. Based on the SRES A1B Scenario, the projected ensemble mean sea level rise (rate of rise) for the East Sea, Yellow Sea and East China Sea from 1995 to 2050 is 15.60cm (2.84mm/year), 16.49cm (3.0mm/year) and 16.43cm (2.99mm/year), respectively. With the inclusion of the future change of land ice melting and land water storage, the mean sea level rise (rate of rise) increases to 33.55cm (6.10mm/year) for the East Sea, and 34.38-34.44cm (6.25-6.26mm/year) for the Yellow and East China Seas. The present non-Boussinesq ocean model experiment shows that the future sea level rise in the East Sea is mainly due to the steric component changes by heat content increase. On the other hand, the future sea level rise in the Yellow and East China Seas appears to be mainly associated with the non-steric component change by water mass convergence.

Keywords : Sea Level Rise Projection, East Asian Seas, A1B Scenario, Climate Change, MOM-SIS

1. 서론

기후변화와 지구온난화로 인한 해수면 변화의 예측과 전망에 관하여는 정부간기후변화협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 가장 권위 있게 학계의 관련된 연구 결과를 종합/평가하여 약 5-6년 마다 기후변화평가보고서를 통해 제시하고 있다. IPCC 제4차 평가보고서(2007)에서는 SRES (Special Report on Emission Scenarios) 시나리오의 고탄소시나리오(A2), 저탄소시나리오(B1), 중탄소시나리오(A1B)를 중심으로 하여 주로 전지구 평균 해수면 변화에 대해서만 전망했음에 비해 IPCC 제5차 평가보고서(2013)부터는 비로소 전 대양과 각 지역해의 미래 해수면 변화에 대하여 새로이 개발된 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP) 시나리오에 기초하여 전망을 제시하고 있다. 한편, 우리나라 주변해역을 포함한 동아시아 미래 해수면 변화 연구는 전지구적인 해수면 변화 전망 연구 추세와 비교하여 아직까지 국내·외적으로 그 연구 사례가 매우 드

문 편이다. 그중 한 예로 Oh 등(2011)은 A1B 시나리오에 따른 ECHAM5/MPI-OM과 GFDL-CM2.1 기후시스템모델 예측결과를 이용하여 향후 100년 동안 북서태평양과 한반도 주변해역에서 미래 해수면 변화에 대한 열팽창 효과를 분석한 바 있고, Heo 등(2018)은 5차 결합모형상호비교프로젝트(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) 기후변화예측 자료 분석을 통하여 1986-2005년에 대비하여 1981-2000년에 우리나라의 평균 해수면이 RCP 8.5, 6.0, 4.5, 2.6에 대해 각각 65.0, 47.7, 48.1, 37.8cm의 상승을 보일 것을 전망한 바 있다. 한편, Liu 등(2016)은 RCP 8.5 시나리오 하에서 역학적 상세화 방안과 3개의 모델 앙상블 실험을 통해 1981-2000년 대비 2081-2100년 기간에 일본 혼슈 해안을 따라 전지구 평균 해수면 상승분까지 고려하여 71-104cm의 해수면 상승을 예측하였고, Yamanaka 등(2021)은 RCP 2.6과 RCP 8.5 시나리오 하에서 4개 CMIP5 모델의 앙상블 실험 결과를 이용하여 21세기 말까지 일본 연안을 따라 각각 21-56cm, 45-100cm의 해수면 상승 범위를 예측하였다.

그러나 미래 해수면 변화 전망에 대한 이 연구들의 영역은 주로 북서태평양과 일본 연안에 치우쳐 있다.

본 연구에서는 비교적 가까운 미래 시기(2050년 부근)를 대상 연도로 설정하여 기후변화와 지구온난화로 인한 해수면 변화 예측에 초점을 맞추었다. 특히 본 연구에서는 수온과 염분 변화에 따른 해수 체적과 해수면 증가를 직접적으로 계산이 가능한 비부시네스크(non-Boussinesq) 역학을 고려한 모형을 이용하였다. 먼저 IPCC SRES A1B 시나리오에 따른 기후변화 예측결과에 기반하여 전지구 해양-해빙결합모형에 의한 동아시아해역 해수면변화 상세화 결과를 제시하며, RCP 시나리오와 최근의 공통사회경제경로(Shared Socioeconomic Pathways, SSP) 시나리오에 기반한 해수면 예측 실험 결과는 후속 연구로서 추후에 제시할 예정이다.

2. 모형과 실험 방법

2.1 해양-해빙결합모형 구성

최근까지 많은 해양순환모델들은 해수를 비압축성으로 간주하여 해수의 체적이 보존되고, 중력항 이외에는 밀도가 변하지 않는 것으로 취급하는 부시네스크(Boussinesq) 가정에 기초함으로써 수치 계산과정을 좀 더 간략화 할 수 있었다. 그러나 장기적인 적분을 요하는 기후 모델링을 위하여는 해수의 질량 보존을 모델의 기본 정역학 원칙으로 삼아야 하며, 따라서 수온과 염분에 따른 해수의 밀도 변화를 온전히 고려하는 비부시네스크 역학을 취하여야 온난화에 따른 해수 체적과 해수면의 증가 상태를 정량적으로 바르게 모의할 수 있다. 이를 위하여 이 연구에서는 비부시네스크 역학에 기반하여 미국지구역학연구소에서 개발된 MOM4-SIS (Modular Ocean Model version4-Sea Ice Simulator) 해양-해빙 결합모형을 실험의 근간으로 하였다.

모형의 영역은 관심가지는 지역해만을 대상으로 할 경우 발생할 수 있는 지역모형의 개방경계조건 문제를 원천적으로 해소하기 위하여 북극점과 남극해를 모두 포함하는 전지구 해양을 범위로 설정하였다. 모형의 공간 해상도는 남북 방향으로 극지방부터 남·북위 30° 지역까지는 0.5°, 위도 30°부터 적도 지역까지는 0.5°~1/3° 격자 간격이며, 동서방향으로는 모두 0.5°의 격자 간격을 가지고, 연직 방향으로 50개 층으로 구성되었다.

2.2 모형 초기조건과 해표면경계조건 및 기준실험

해양 내부의 초기 조건으로서 World Ocean Atlas (WOA) 98 기후자료의 1월 수온과 염분을 사용하였고, 해양 표면경계조건을 위하여 CORE 기후평균강제력(CORE-NYF.v2; Coordinated Ocean-ice Reference Experiments Normal Year Forcing dataset version 2) 자료(Large and Yeager, 2004)를 사용하였다. CORE 기후강제력 기후자료는 육상하천수 유출

량, 월별 강수량, 일별 단파복사와 장파복사, 6시간별 기상장, 즉 10m 기온, 습도, 공기밀도, 바람, 해면기압 등을 제공한다. 이러한 대기 상태변수들과 NCAR (National Center for Atmospheric Research; Large and Yeager, 2004)에서 제시한 벌크식 및 해표면수온(SST) 예측변수에 기초하여 모형의 해표면 열속을 계산한다. 표면 담수속은 기후평균강제력에서 직접적으로 주어지는 강수와 더불어 벌크식을 통해 평가되는 증발로 주어지지만 해빙의 녹음에 의해 극지방 표층이 과도하게 저염화되는 것을 피하기 위하여 WOA 98의 염분기후값에 가깝게 유지되도록 복원시간 규모를 60일로 설정한 염분 복원조건을 추가로 더해 주었다. 해양 표면의 운동량 경계조건으로는 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 재분석자료에 기초한 장기 평균 6시간 간격 바람 자료를 사용하였다.

모형이 해양의 초기 정지상태로부터 준정상상태에 도달할 수 있도록 500년간의 장기 시간 적분을 수행하였다. 모형의 전구평균해수면은 대기와의 상호작용으로 주어지는 해면 열속과 담수속의 외부강제력에 의해 기준 해수면으로부터 서서히 증가하기 시작하여 적분 220년경에는 초기 해수면보다 약 53cm 더 증가하는 정도로 최대에 이르렀으며, 이후 점차 감소하여 적분 400년경부터는 35cm 이하의 증가상태를 계속 유지하면서 Kim et al. (2018)에서 기술한 바와 같이 거의 준정상상태에 도달하였다.

2.3 지구온난화에 의한 미래 해수면상승 예측실험

지구온난화에 의한 미래 해수면 변화를 예측하기 위하여 다음과 같이 예측실험을 진행하였다. 먼저, 기준실험에서 400년 시간 적분된 최종상태의 해양 내부 수온, 염분장과 유속장 및 해면고도장을 예측실험의 초기 조건으로서 사용하였다. 다음에, 1991~2000년 기간의 10년 평균된 대기상태를 1995년경의 ‘현재 기후’로, 2046~2055년 기간의 10년 평균된 대기상태를 2050년경의 변화된 ‘미래 기후’로 각각 정의하고, 이 두 대기 조건의 차를 이 기간 동안의 ‘미래 기후 변화’로 간주하여 미래 기후강제력의 증분을 유도하였다. 이를 위하여 기후시스템모형의 과거재현 실험과 SRES A1B시나리오에 따른 미래예측 실험결과들을 이용하였으며, 이 연구에서는 기후시스템모형들의 모형 특성과 각각의 모의 편향성을 감안하여 대표적으로 다음의 기후시스템 모형 세 개를 택하였다. 즉, GFDL-CM2.1 기후시스템모형과 ECHAM5/MPI-OM 기후시스템모형 및 MIROC3.2(hires) 기후시스템모형으로서 이 기후시스템모형들(<https://esgf-node.llnl.gov>)로부터 이용하는 모든 입력자료들은 전구 해양-해빙결합모형의 격자 체계내로 모든 물리량이 보존되는 방식으로 재보간되었다.

최종적으로, 기준실험의 CORE 기후평균강제력과 미래 기후강제력의 증분의 합을 예측실험의 미래 기후강제력으로 하여 각각의 조건에 따라 60년간씩 시간 적분하였다. 이러한

기후 실험방식은 기본적으로 지구온난화에 의한 기후변화가 선형적이라는 가정에 기초하는데, Time Slice 방법으로 불리며 대기모형을 이용한 기후예측실험에서 적용되어 왔다(Cubasch, et al., 1995; Baek et al., 2013). 본 연구에서는 미래 기후강제력에 의한 해수면과 기준실험 해수면과의 차를 ‘미래 해수면 상승폭(상대해수면)’으로 정의하여 분석하였다.

3. 결 과

3.1 해수면 변화 기여 요인

지구온난화의 진행에 따라 장래의 해수면 변화에 기여하게 될 주요한 기후시스템 요인들은 해양 표면을 통한 질량속(강수, 육빙 녹음 등)과 부력속(표면 열속과 염분속) 및 운동량속(바람장)의 변화들로 대표된다(Griffies and Greatbatch,

2012). 해양 표면에 주어지는 열속과 염분속은 이류와 확산 과정을 거쳐 해양 내부의 온도와 염분 변화를 가져오며, 결과적으로 해양의 체적 보존을 가정하지 않는 비부시네스크 해양-해빙결합모형에서는 해수의 밀도 변화와 그에 따른 해수 체적의 변화를 야기한다. 단위면적당 해양의 체적 변화, 즉, 해면고도의 시간변화는 크게 해수 밀도의 시간 변화에 의한 체적변화 성분(steric component)과 비체적변화 성분(non-steric component)으로 나눌 수 있다. 비체적변화 성분은 해수의 수렴 또는 발산에 의한 역학적 성분(dynamic component)과 해면을 통해 유입되는 질량 속에 의한 성분(water forcing component)으로 구성된다.

3.2 동아시아해역 미래 상대해수면 변화

GFDL-CM2.1의 A1B시나리오에 근거하여 예측한 1995년

Fig. 1. Mean sea surface height changes in the East Asian Seas for 2050 relative to 1995 based on SRES A1B scenario climate forcing from GFDL-CM2.1 (upper), ECHAM5/MPI-OM (middle) and MIROC3.2(hires) climate system models (lower): mean sea surface height difference (left), steric sea level component (center), and non-steric sea level component (right). The unit is in cm.

Fig. 2. Multimodel ensemble mean (left) of sea surface height change in the East Asian Seas for 2050 relative to 1995 based on A1B scenario climate forcing, and its steric (center) and non-steric sea level component (right). Unit is in cm.

기준의 2050년 동아시아연변해 해면고도 변화를 Fig. 1에 나타냈다. 황해, 동중국해와 동해에서 6~9cm 정도의 상승폭을 보인다. 동해에서 기후강제력의 변화에 따른 해면고도의 변화는 큰 폭의 체적변화 성분(최대 17cm 증가)과 비체적변화 성분(최대 8cm 감소) 변화에 의해 주도된다. 그에 비해 황해와 동중국해의 해면고도 변화는 동해보다 더 작은 체적변화 성분과 비체적변화 성분들의 변화로 이루어지며, 특히 황해 중부 이북 지역에서는 체적변화성 해면고도가 미래에 오히려 더 감소하고 이 감소가 비체적변화 성분의 증가로 보상되는 특징을 보인다. 이러한 GFDL-CM2.1에서 나타난 황해 내부의 체적변화성 해면고도의 감소는 미래 기후의 국지적인 냉각 또는 바람장의 변화에 기인할 것으로 추정된다. 참고로 발해만 안쪽에서 두 격자 규모의 해수면 진동이 나타남을 관찰할 수 있다. 이것은 B 격자체계의 수치모형에서 종종 나타나는 자유해수면 불안정으로서 표면증력과파의 전파와 확산과정이 충분히 해상되지 못할 때 일어날 수 있으나 전반적인 모의 결과에는 별로 영향을 미치지 않는다.

ECHAM5/MPI-OM의 A1B시나리오에 근거하여 예측한 동아시아해역의 해수면 상승은 GFDL-CM2.1보다 지역에 따라 8~14cm 정도 더 큰 값을 보이며, 동해의 경우 중앙해역뿐만 아니라 한국 동해안과 시베리아 연안을 따라서도 상대적으로 높은 해수면 상승을 나타낸다. 체적변화성 해면고도 변화는 동해에서 현저하게 높은 상승폭과 그와 대조적으로 황해와 동중국해에서 1~8cm 정도로 훨씬 더 낮은 상승폭을 보여준다. 또한 비체적변화성 해면고도 역시 동해에서는 큰 폭의 감소를, 황해와 동중국해에서는 그와 대조적으로 외양으로부터 대륙 연안으로 향하여 점차 상승폭이 증가하여 14cm 이상에 달하는 분포 형태를 보여주고 있다. MIROC3.2(hires) A1B시나리오에 근거한 동아시아해역 예측결과는 ECHAM5/MPI-OM에 근거한 해면고도

변화와 비교하여 각 지역해에서 그 변화폭은 전반적으로 더 크지만 그 분포 형태가 대체로 서로 비슷한 특징을 보인다. MIROC3.2(hires) 실험의 각 해면고도 성분들의 지역적인 변화에서도 ECHAM5/MPI-OM에서 나타나는 동해와 다른 지역해들간의 특성 차이가 비슷하게 나타난다.

위 전체 실험 결과들을 모두 앙상블 평균한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 동아시아해역에서 해수면의 상승이 비교적 높게 예측된 지역해는 동해로서 특히 한반도 동안과 시베리아대륙 연안 및 동해 중부의 대화퇴 주변 분지에서 상당히 크다. 체적변화성 평균해면고도의 현저한 증가는 이러한 미래 해수면 변화가 동해로 유입되는 해수의 밀도변화에 기인함을 보여준다. 이에 비해 황해와 동중국해는 동해보다 좀 더 작은 해면고도 증가를 보이며 그 공간적 변화도 동해보다 훨씬 더 작다. 또한 동해와는 달리 실질적으로 비체적변화 성분의 해면고도 증가가 미래 해수면의 증가를 주도하는 것으로 예측되었다.

3.3 해역 평균 해수면 상승 전망

각각의 미래 기후강제력 실험 결과에 따르면 GFDL-CM2.1에 기반한 해수면 상승 예측값이 동해와 황해, 동중국해 모두에서 가장 작고, MIROC3.2(hires)의 예측값이 가장 크다(Table 1). 각 해역에 대한 전체 평균 해수면 상승폭(예측값 범위)은 동해가 15.60cm (7.55~22.88cm), 황해가 16.49cm (6.37~26.11cm), 동중국해가 16.43cm (8.39~23.74cm)로 각각 예측되었다. 해수면 상승률에 대해서는 동해 2.84mm/year (1.37~4.16mm/year), 황해 3.0mm/year (1.16~4.75mm/year), 동중국해 2.99mm/year (1.53~4.32mm/year)의 예측값이 각각 산출되었으며 황해와 동중국해의 해수면 상승률이 동해보다 약간 더 높은 것으로 나타났다(Table 1).

지구온난화로 인한 육빙(land ice; 대륙 빙하)의 녹음 효과가 전체 평균해수면 상승에 미치는 영향을 고려하기 위하

Table 1. Mean sea level rise (cm) and rate of mean sea level rise (mm/yr) of the East Asian Seas for 2050 relative to 1995 according to each climate forcing from 3 different climate system models with those including the land freshwater change components.

	East Sea		Yellow Sea		East China Sea	
	sea level rise (cm)	rate of sea level rise (mm/yr)	sea level rise (cm)	rate of sea level rise (mm/yr)	sea level rise (cm)	rate of sea level rise (mm/yr)
GFDL-CM2.1	7.55	1.37	6.37	1.16	8.39	1.53
ECHAM5/MPI-OM	16.38	2.98	17.0	3.09	17.16	3.12
MIROC3.2(hires)	22.88	4.16	26.11	4.75	23.74	4.32
Mean	15.60	2.84	16.49	3.00	16.43	2.99
including the land freshwater change	33.55	6.10	34.44	6.26	34.38	6.25

Table 2. Estimates of sea level rise due to the change of land ice melting components and land water storage for 2081-2100 relative to 1986-2005 (IPCC AR5 Table 13.5).

land ice component	glacier	Greenland ice shelf SMB*	Antarctic ice shelf SMB*	Greenland ice shelf rapid change	Antarctic ice shelf rapid change	land water storage	sum
SRES A1B estimates (median and range, unit in cm)	14 (8~21)	5 (2~12)	-3 (-6~-1)	4 (1~6)	7 (-1~16)	4 (-1~9)	31

* SMB; Surface Mass Balance

여 IPCC 제5차 평가보고서(IPCC AR5)에 제시된 육빙 녹음 추정치를 참조하였다. Table 2는 1986년~2005년을 기준으로 하여 2081년~2100년 시기에 대해 각 성분별로 전망된 육빙 녹음과 육지 저장수의 추정치 범위와 그 중앙값이다(단위 cm, IPCC AR5 Table 13.5). 이에 의하면 해당 기간 동안 육빙의 각 성분과 육지저장수는 전체적으로 모두 31cm만큼 평균해수면의 상승에 기여할 것으로 추정된다. Table 2의 추정치에 기반하여 추정한 각 기간의 대표 연도를 1995년과 2090년으로 하고, 이 기간 동안 육상 담수의 각 성분이 선형적으로 증가할 것으로 가정하여 1995년 대비 2050년의 육상 담수변화 기여분을 17.95cm로 추정하였다. 이 추정치에 기초할 때 2050년대의 각 지역별 전체 평균해수면 상승 폭은 Table 1과 같이 동해는 약 33.6cm, 황해와 동중국해는 약 34.4cm의 상승을 할 것으로 전망된다. 또한 위의 육상 담수변화 추정치에 대해 선형의 해수면 변화를 가정할 때 1995년 대비 2050년 기간의, 육상 담수가 기여하는 해수면 상승률은 3.26mm/year가 되며 이 추정치에 기초한 각 지역별 전체 평균해수면 상승률은 동해가 약 6.1mm/year, 그리고 황해와 동중국해가 각각 6.25~6.26mm/year 정도가 될 것으로 전망된다.

4. 결론

본 연구에서는 SRES A1B시나리오에 따라 모의된 3개(GFDL-CM2.1, ECHAM5/MPI-OM, MIROC3.2(hires)) 기후 시스템모형들의 미래 기후강제력에 기반하여 1995년에 대

비한 2050년대의 해수면 변화를 해양-해빙결합모형을 이용하여 지역해 규모까지 상세히 예측하고 그 상승의 주요 요인들을 분석하였다. 역학모형의 기후변화실험에 의한 한반도 주변해양의 지역 평균 해수면은 예측 기간 동안 2.8~3.0mm/year의 상승률을 나타냈으며, 육상 담수변화 효과까지 고려할 때에는 6mm/year 이상에 달하는 것으로 전망되었다. 지구온난화에 따른 해수면 상승에 기여하는 역학적 주요 성분들에 대해서는 동해의 경우, 해양 내부에 장기간 열이 축적됨으로 인한 해수 체적의 증가가 주도적인 요인으로 작용하며, 황해와 동중국해에서는 질량의 수렴에 의한 비체적변화 성분의 증가가 더 큰 요인으로 작용하는 것으로 나타났는데, 이는 동중국해와 황해로 유입되는 대마난류 수송량의 증가 등에 기인할 수 있다. 현재 RCP와 SSP 시나리오에 의한 해수면 변화 예측 실험을 진행 중에 있으며 향후 본 예측 결과와의 비교 분석이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 해양수산부의 연구개발사업인 “북서태평양 해양-대기 상호작용 및 태풍 급강화 현상 연구(PM62260)”와 “한중해양과학기술협력 공동위원회 협력사업(20082002)” 및 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “지역혁신클러스터육성사업(PN90110)”의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.

References

- Baek, H.-J., Lee, J., Lee, H.-S., Hyun, Y.-K., Cho, C., Kwon, W.-T., Marzin, C., Gan, S.-Y., Kim, M.-J., Choi, D.-H., Lee, J., Lee, J., Boo, K.-O., Kang, H.-S. and Byun, Y.-H. (2013). "Climate change in the 21st century simulated by HadGEM2-AO under representative concentration pathways." *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, Vol. 49, No. 5, pp. 603-618. doi:10.1007/s13143-013-0053-7
- Climate Change (2007). "The Physical Science Basis." IPCC Working Group I Contribution to AR4.
- Climate Change (2013). "The Physical Science Basis." IPCC Working Group I Contribution to AR5.
- Cubasch, U., Waszkewitz, J., Hegerl, G. and Perlwitz, J. (1995). "Regional climate changes as simulated in time-slice experiments." *Climate Change*, Vol. 31, pp. 273-304.
- Griffies, S. M. and Greatbatch, R. J. (2012). "Physical processes that impact the evolution of global mean sea level in ocean climate models." *Ocean Model.*, Vol. 51, pp. 37-72. http://doi.org/10.1016/j.ocemod.2012.04.003
- Heo, T.-K., Kim, Y., Boo, K.-O., Byun, Y.-H. and Cho, C. (2018). "Future Sea Level Projections over the Seas Around Korea from CMIP5 Simulations." *Atmosphere*, Vol. 28, No. 1, pp. 25-35. https://doi.org/10.14191/Atmos.2018.28.1.025
- IPCC (2000). "Summary for Policymakers Emissions Scenarios." A Special Report of Working Group III, 20p.
- Kim, C.-H., Jang, C. J. and Kim, M.-W. (2018). "A Numerical Simulation of Long-Term Sea Level Change in the East Asian Marginal Seas." *Journal of Coastal Research*, Vol. 85, pp. 546-550.
- Large, W. and Yeager, S. (2004). "Diurnal to decadal global forcing for ocean and sea-ice models: the data sets and flux climatologies." NCAR Technical Note: NCAR/TN-460+STR, CGD Division of the National Center for Atmospheric Research.
- Liu, Z.-J., Minobe, S., Sasaki, Y. N. and Terada, M. (2016). "Dynamical downscaling of future sea level change in the western North Pacific using ROMS." *Journal of Oceanography*, Vol. 72, pp. 905-922. https://doi.org/10.1007/s10872-016-0390-0
- Oh, S.-O., Kwon, S.-J., Moon, I.-J. and Lee, E.-I. (2013). "Sea Level Rise due to Global Warming in the Northwestern Pacific and Seas around the Korean Peninsula." *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, Vol. 23, No. 3, pp. 236-247. http://dx.doi.org/10.9765/KSCOE.2011.23.3.236
- Yamanaka, G., Nakano, H., Sakamoto, K., Toyoda, T., Urakawa, L. S., Nishikawa, S., Wakamatsu, T., Tsujino, H. and Ishikawa, Y. (2021). "Projected climate change in the western North Pacific at the end of the 21st century from ensemble simulations with a high-resolution regional ocean model." *Journal of Oceanography*, Vol. 77, pp. 539-560. https://doi.org/10.1007/s10872-021-00593-7