



일본의 최신 “기후변화적응연구추진 프로그램” (RECCA) 소개



박진혁

한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원
park5103@kwater.or.kr

1. 머리말

지구온난화에 따른 기후변화로 인해 세계 곳곳에서 극한 홍수와 가뭄 등과 같은 심각한 자연재해가 빈번하게 발생하고 있다. 기후변화와 관련된 여러 문제 중 특히 물문제가 최근 글로벌 아젠다로 부상하고 있고, 물은 다른 자원과는 달리 대체제가 없기 때문에 국가적으로도 기후변화에 대한 미래 물 확보가 국가안보 차원의 문제로 부각 되고 있다. IPCC 4차보고서(2007)에서는 온실가스 배출 감축과 같은 노력으로 기후변화를 완화시키는 것만큼이나 기후변화에 적응하는 것이 중요하다고 제시하고 있다. 이는 기후변화의 주범인 온실가스를 전 세계적인 노력으로 감축한다고 하더라도 기후변화는 앞으로 수세기 이상 계속 진행될 것으로 전망됨에 따라 기후변화에 대한 수자원 적응 기술개발은 현재의 온실가스 감축 실행 여부와 상관없이 미래 수자원 안보를 위해 필수적이라고 할 수 있다.

미국, 일본, 영국 등 주요 선진국에서는 기후변화에 의한 수자원의 취약성 평가를 홍수, 용수공급, 가뭄, 유지용수, 하천생태, 수질 등 수자원의 제반 분야별로 실시하고 결과를 제시하는 적응프로그램을 시

행 중에 있다. 그 중 일본의 경우에는 지난 5년간(2008~2011) 21세기 기후변화 예측 혁신프로그램(KAKUSHIN)을 통해, 전구 20km 해상도의 기후시나리오를 생산하고, 이를 역학적 상세화를 통해 최고 1km해상도의 기후시나리오를 생산함으로써 자국의 집중호우 등 극한사상 분석에 활용하고 있으며 이 고해상도 시나리오는 재난 및 재해 영향평가에 활용되고 있다. 이러한 기후변화 예측 성과물을 각 지자체 혹은 지역에서 활용될 수 있는 실용성 있는 적응대책 수립을 지원하기 위한 연구프로젝트를 일본 문부과학성 주도로 2010년부터 2014년까지 5년간 추진 중에 있다.

본고에서는 국내 기후변화 적응연구프로그램에 참고가 되길 바라면서 일본의 기후변화적응연구추진프로그램(이하 RECCA, Research Program on Climate Change Adaptation)의 개요와 RECCA의 12개 세부과제 중 물분야와 관련된 4개의 과제를 중심으로 소개하고자 한다.

2. 일본 기후변화적응연구추진프로그램(RECCA)의 개요

2.1 배경 및 목적

일본은 “저탄소 사회 만들기 행동계획(2008)” 등에서 기후변화 완화대책을 선행적으로 다루었지만, 기후변화 대응책에서 적응대책이 완화대책만큼 중요하고, 적응대책과 완화대책을 동시에 추진하는 것이

가장 효과적인 기후변화 대책이라는 사실을 인식해서 2010년 종합과학기술회의에서 “그린사회 인프라 강화”와 “세계를 리드하는 환경선진도시 창출”이라는 목표를 내걸고 기후변화에 적응하기 위한 기술개발을 정부가 주도적으로 추진할 것을 제안하였다. 이러한 기류에서 일본 문부과학성에서는 과거부터 수행해온 지구 관측이나 기후변화 예측, 환경과 관련되는 기초 연구 기반 하에 첨단 저탄소화를 위한 기술개발이나 지구 온난화의 영향에 적응하기 위한 연구 개발, 저탄소 사회 실현을 위한 사회 시나리오 연구, 기후변화의 완화 및 적응 기술을 실무에 적용하는 필드 실증 등 저탄소 사회 만들기를 향한 연구 개발을 종합적으로 추진 중에 있다. 이 전략의 일부로 기후변화 적응연구프로그램을 기획하여 그동안 진행해 온 기후변화 예측성과물을 각 지자체 혹은 지역규모로 기후

변화 적응대책 수립 시 객관적이고 과학적인 정보를 제공하고 기후변화에 강한 지역사회 실현에 공헌하기 위해 필요한 연구 개발을 추진하고 있다.

이 프로그램은 2010년 3월~4월에 공모를 실시하여 평가위원회에 의한 서류 및 면접 심사를 거쳐서 2010년 8월에 최종적으로 지역의 특성을 고려한 12개의 연구 과제를 선정하였다. 12개 연구과제가 대상으로 하는 지역과 대표연구자는 그림 1과 같다.

RECCA는 1명의 프로그램 총 책임자(Program Direct, PD) 및 2명의 프로그램 임원(Program Officer, PO)을 두고 그 아래 물, 도시, 농어촌의 3개 영역에 연락 및 과제 간 조정을 담당하는 영역별 간사들을 두고 있다. 현재 프로그램의 총 책임자는 이바라키대학의 미무라 노부오 교수가 맡고 있다(그림 2).

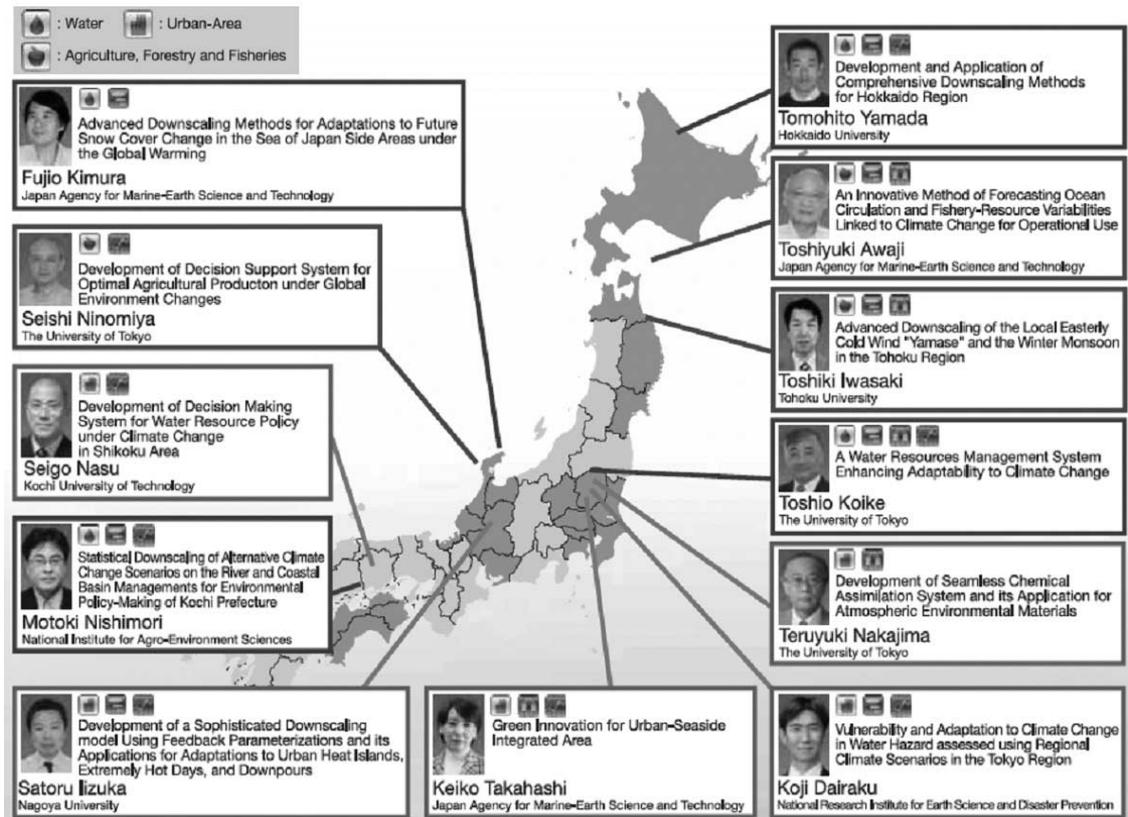


그림 1. RECCA 연구과제 대상지역 및 연구자

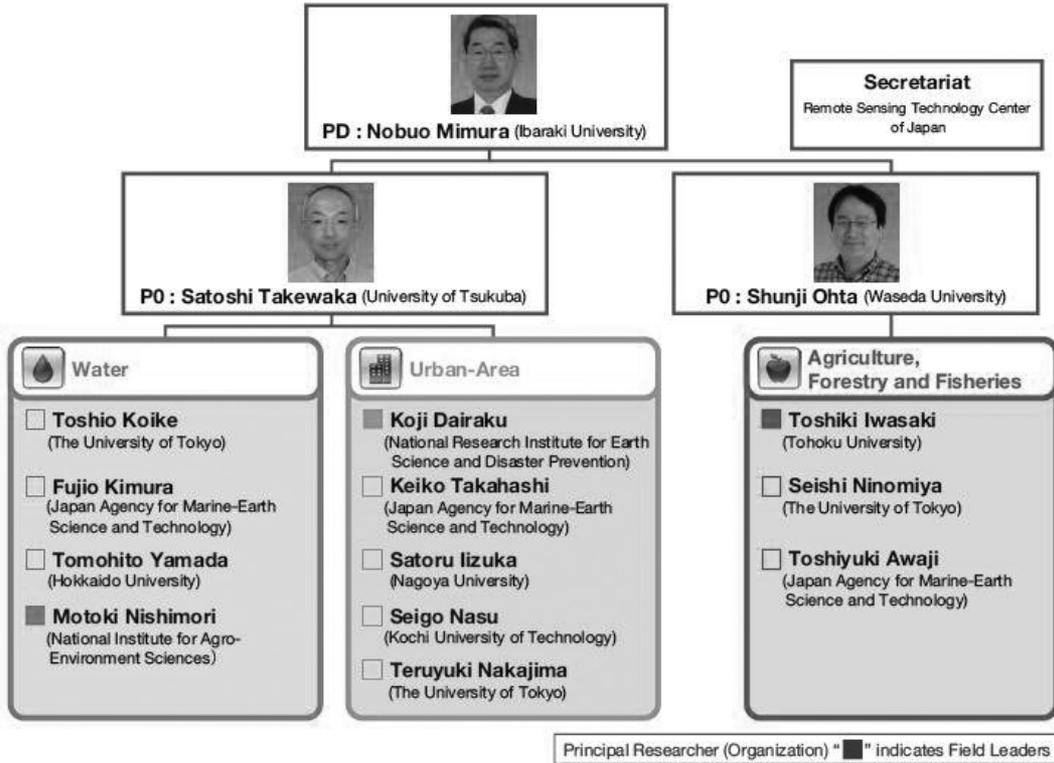


그림 2. RECCA 연구단 구성위원회

2.2 연구 테마 및 영역별 분류

이 프로그램에서는 다음과 같이 연구 테마 별로 3개의 연구 주제와 12개 세부과제로 구성되어 있으며, 각 연구테마 별 주제와 연구 개요는 표 1과 같다.

한편 연구대상 분야에 따라서 12개의 세부과제를 “물”, “도시”, “농어촌”으로 3개의 영역으로 분류하고 있는데, 물 영역은 국지성 집중호우의 발생, 장기

가뭄, 적설량의 감소, 용설 시기의 변화 등 수자원분야의 기후변화 영향과 그 적응대책에 관한 연구를 하는 것이고, 도시 영역은 집중호우, 이상기온, 열섬 현상 등 기후변화에 의한 도시의 영향과 그 적응 대책, 저탄소사회 실현을 구현하기 위한 연구를 하는 것이다. 또한 농어촌 영역은 기후변화에 따른 기상 및 해양환경의 변화에 대한 안정적인 농업생산 및 수산자원 확보를 실현하기 위한 적응대책 및 기술개발에 관

표 1. RECCA 연구 테마 별 분류

항 목	연구 주제	연구 개요
연구테마 1	선진적인 다운스케일링 기법의 개발	전 지구 규모의 기후변화 예측성과를 지역규모의 기후변화 예측 및 영향평가 검토 등에 활용하는 것을 목적으로 역학적 다운스케일링과 통계적 다운스케일링에 의한 복합 다운스케일링 기법 및 새로운 선진화된 다운스케일링기법에 대한 연구개발 수행
연구테마 2	자료동화 기술의 개발	지역규모에 있어서 기후변화 영향평가 및 적응대책 검토에 과학적인 정보를 제공하기 위한 시뮬레이션 모델에 대하여 그 불확실성의 저감을 목표로 관측자료를 동화하는 기술의 연구개발 수행
연구테마 3	기후변화 적응 시뮬레이션 기술의 개발	지역규모로 이루어지는 기후변화 영향평가 및 적응대책 수립이 가능하도록 기후변화 적응 시뮬레이션 기술의 연구개발 수행



표 2. RECCA 연구 영역 별 분류

영역	연구 주제	연구 개요
물	기후변화 대응 하천·수자원 지역관리시스템 개발	국지성 집중호우의 발생, 장기 가뭄, 적설량의 감소, 융설 시기의 변화 등 수자원분야의 기후변화 영향과 그 적응대책에 관한 연구
	일본해 연안지역에 있어서의 온난화에 따른 적설 변화예측과 적응대책을 위한 선진적 다운스케일링기법 개발	
	북해도를 대상으로 종합적 다운스케일링 기법 개발 및 적용	
	유역권에 다운스케일링한 기후변화 시나리오와 고지현의 적응대책	
도시	고해상도 기후변화시나리오를 이용한 대도시권의 풍수해 취약성평가 기반 적응에 관한 연구	집중호우, 이상기온, 열섬 현상 등 기후변화에 의한 도시의 영향과 그 적응 대책, 저탄소사회 실현을 구현하기 위한 연구 수행
	도시·임해·항만역의 통합그린이노베이션	
	상세 다운스케일모델 개발과 도시육서환경·집중호우 적응대책 응용	
	기후변화하에서의 시코쿠지역의 수자원정책결정지원시스템 개발	
	대기 환경 물질을 위한 동화 시스템 구축과 응용	
농어촌	토호쿠지역의 늪새바람과 겨울철 문순의 선진적 다운스케일 연구	기후변화에 따른 기상 및 해양환경의 변화에 대한 안정적인 농업생산 및 수산자원 확보를 실현하기 위한 적응대책 및 기술개발에 관한 연구수행
	지구 환경변화하에서의 농업 생산 최적화 지원시스템 구축	
	기후변화에 수반하는 수산자원·해양환경변화 예측 기술의 혁신과 실이용화	

한 연구를 하는 것이다.

3. RECCA 수자원 분야 적응 연구과제

3.1 기후변화 적응 하천·수자원지역관리시스템 개발

태풍이나 장마전선 호우에 의한 대규모 수해나 국지성 집중호우에 의한 도시 홍수에 대해서 큰 위험을 가지고 있거나 장기가뭄에 대하여 충분한 대비가 없는 수도권 및 주변지역을 대상으로 하여 기후변화에 따른 수재해 위험을 저감하는데 필요한 기술을 개발하는 연구이다.

수도권의 수재해(홍수 및 가뭄)의 위험성은 기후변화에 따라 증대되고 있고, 적응대책 수립을 위한 의사결정에 관해서 지역 규모의 수재해 위험성의 정량적인 파악과 비구조적인 적응대책에 대한 유효성 평가가 필요한데 이 때 기후변화 예측의 불확실성을 고려할 필요가 있다. 이 연구에서는 다운스케일링, 자료동화, 유역 물순환 시뮬레이션에 관한 기법을 개발하고, 자료통합·해석시스템(DIAS)을 활용해서 비구조적인 적응대책으로 하천·수자원관리시스템을 개

발한다. 또한 기후변화에 의한 수도권의 물순환 변화를 명확하게 규명하고 수재해 위험성 변화의 정량화와 적응대책에 의한 수재해 리스크 저감 평가도 하고 있다.

지금까지 습도와 관련된 기후변화 영향 문제점을 명확하게 규명하였고, 대기대순환모델이 정규분포 되도록 각 GCM샘플에 평가점(가중치)을 고려한 다운스케일링 방법을 개발하였다. 물리자료동화시스템(CMDAS)과 육지면자료동화시스템을 통합시켜, 대기-육지면 결합동화시스템의 프로토타입(CALDAS)을 개발하여, 강수량 및 일사량의 예측 정확도가 향상된 것을 확인하였다. 이 시스템은 세계 최초의 성과이고 해외로부터 공동연구 문의가 자주 오는 등 국제적인 관심을 얻고 있다. 에너지 물수지분포형 물순환모델(WEB-DHM)에 적설·융설모델을 추가하는데 성공하였고, 기후예측모델이 계산하는 강수량의 보정도 가능하게 하였다. 새로운 강우적설·융설모델을 인터스강 상류유역에 적용해서 이 지역의 빙하, 적설의 고도 시뮬레이션을 성공함에 동시에 지하수유동모델의 추가도 성공해서 가뭄의 광역평가체제를 확립할 수 있었다.

본 과제는 토네강을 포함한 수도권 5개 하천유역을 대상으로 해양연구개발기구 및 국토교통성 관동지

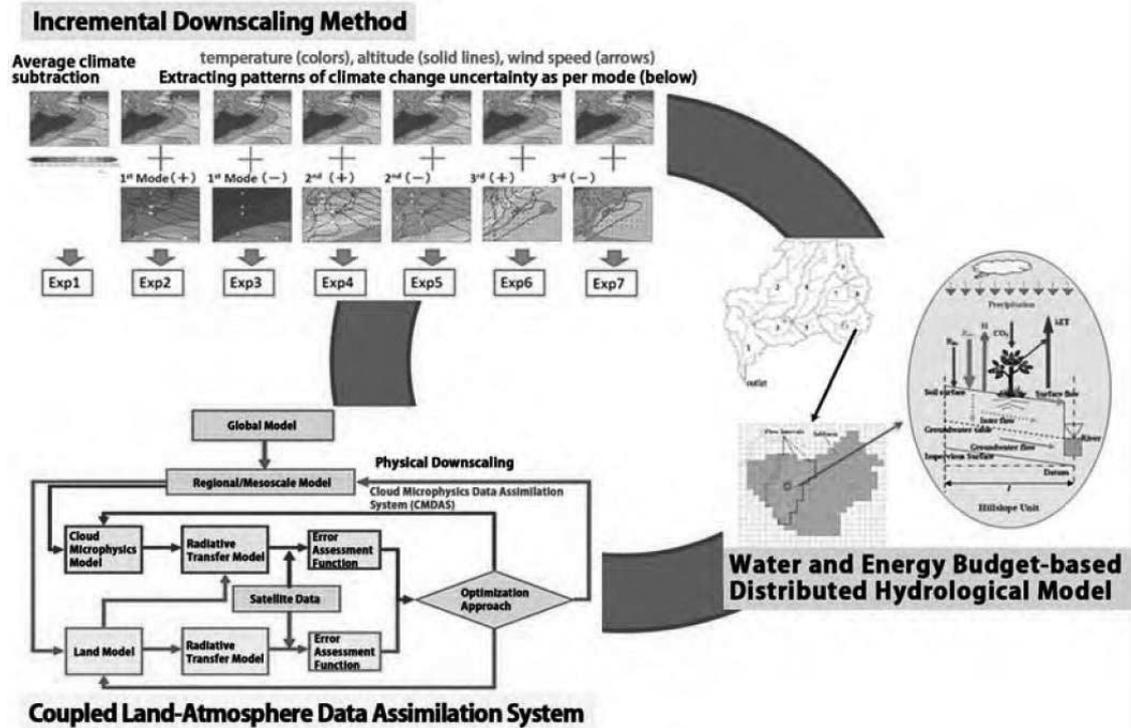


그림 3. 기후변화 적응 하천·수자원지역관리시스템 개발 연구 전체 개요

방정비국과 연계해서 연구를 진행하고 있으며, 본 과제의 책임자는 동경대학의 코이케 토시오 교수가 맡고 있다.

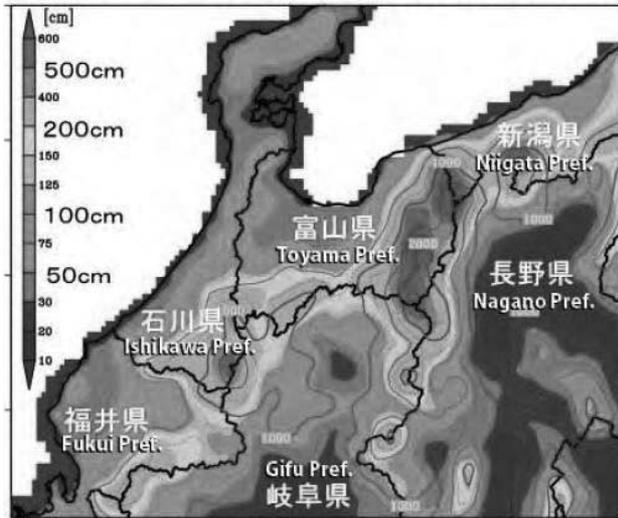
3.2 적설변화 예측과 적응대책을 위한 선진적 다운스케일링 기법 개발

적설량은 기후변화에 대하여 민감하고, 그 변화는 수자원에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 농업, 레저산업, 생활환경 등의 인간생활 및 생태계에도 다양한 영향을 미친다. 그래서 온난화에 따른 영향이 비교적 크다고 지적되는 일본해 연안지역(후지현)의 적설에 초점을 맞추어서 적설변화에 대한 적응대책 수립에 필요한 지역규모에서 이용하기 위한 고해상도의 지역 기후모델에 의한 선진적인 다운스케일링 기법을 개발하고 있다. 지금까지 세계적으로 적설량이 많은 지역에 있어서 과거 기후변화의 다운스케일링과 오차경감

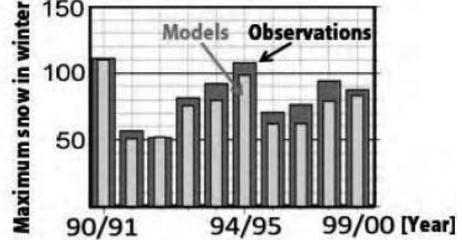
기법의 검증을 한 결과, 실제 관측과 모델계산 결과의 적합성이 우수하다고 확인되었다(그림 4). 또한 전구 기후모델의 하나인 MIROC을 기반으로 한 다운스케일링 결과, 2030년대에 후지현 연안부에서는 적설이 30%정도 감소할 가능성이 있는 것으로 전망되었다. 이러한 연구성과를 사회에 환원하기 위한 시험으로서 후지현에서의 지식인들과 토론회, 후지현 지구온난화 방지위원회, 후지현 지구온난화 조사연구회를 통한 성과발표를 통해 의견을 교환하고 있으며, 아키타시에서는 지역대표들과 심포지엄을 공동개최하고 일반 참가자들도 참여한 토론회를 실시하기도 하였다.

이 연구과제는 일본해 연안지역(후지현)을 대상으로 후지현 환경과학센터, 아키타대학, 기상청 기상연구소 등과 연계하여 연구를 진행하고 있으며, 본 과제의 책임자는 해양연구개발기구의 키무라 후지오 박사가 맡고 있다.

Maximum snow cover in winter (Average in the 1990s)



Comparison with snow cover observation in Hokuriku



Snow cover change in the 2030s relative to that in the 1990s (%)



그림 4. 1990년대 적설을 모델계산에 의해 재현한 결과(左), 실제 관측과의 비교(右), 전구기후모델의 하나인 MIROC를 기반으로 2030년대 적설변화 전망(右下)

3.3 종합적 다운스케일링 기법 개발과 적용(북해도 지역)

북해도(홋카이도)에서는 지구온난화에 의한 수자원의 변화 및 치수·이수에의 취약성이 지적되어 오고 있어 시급한 기후변화 적응대책의 수립이 요구되고 있으며, 이를 위해서는 지역기후의 상세한 시물레이션이 필요하다. 이 연구에서는 불확실성의 범위를 포함한 지역기후변화 시물레이션을 위해 다수의 전구기후모델과 지역기후모델을 조합한 다운스케일링을 실시하고 있다. 또한 다운스케일링에 의해 얻어질 수 있는 자료 및 정보를 손쉽게 제공하기 위한 소프트웨어를 개발하고 있다. 지금까지 역학적 다운스케일링의 계산량을 저감하는 신기법인 샘플링·다운스케일링을 개발하였으며, 이러한 기법을 이용한 계산을 통하여 북해도에 있어서 강수량의 전 기간 확률밀도함수(Probability Density Function, PDF)와 샘플연도의 PDF가 유사하게 나타나므로 이 기법의 유용성을 확인하였다(그림 5).

북해도에 있어서 모델실험으로부터 도시화에 의해 연평균기온이 약 1℃상승한 것으로 나타났다. 이것은 과거 100년간의 기온상승(약 2℃)의 약 절반에 해당하는 수치로 지역의 온난화 예측에 있어서 국지적인 토지이용변화의 효과가 중요하다는 것을 나타낸다. 또한 여름철의 북해도의 호우를 가져오는 강수대의 발생 수에 영향을 미치는 대규모 기상환경의 특징도 명확하게 규명하였다.

이 연구과제는 북해도를 대상으로 일본기상협회 북해도 지사, 북해도 개발국, 토목연구소 등과 연계하여 연구를 진행하고 있으며, 본 과제의 책임자는 홋카이도대학의 야마다 토모히토 교수가 맡고 있다.

3.4 기후변화 시나리오와 고지현의 적응대책

고지현은 풍부한 자연을 자랑하지만 태풍 및 집중호우 등의 이상기후가 빈발하는 지역이고, 1차 산업에 의존하고 있는 경우가 매우 높아서 현 전체가 기후 및 기상조건에 크게 좌우되고 있기 때문에 지역구

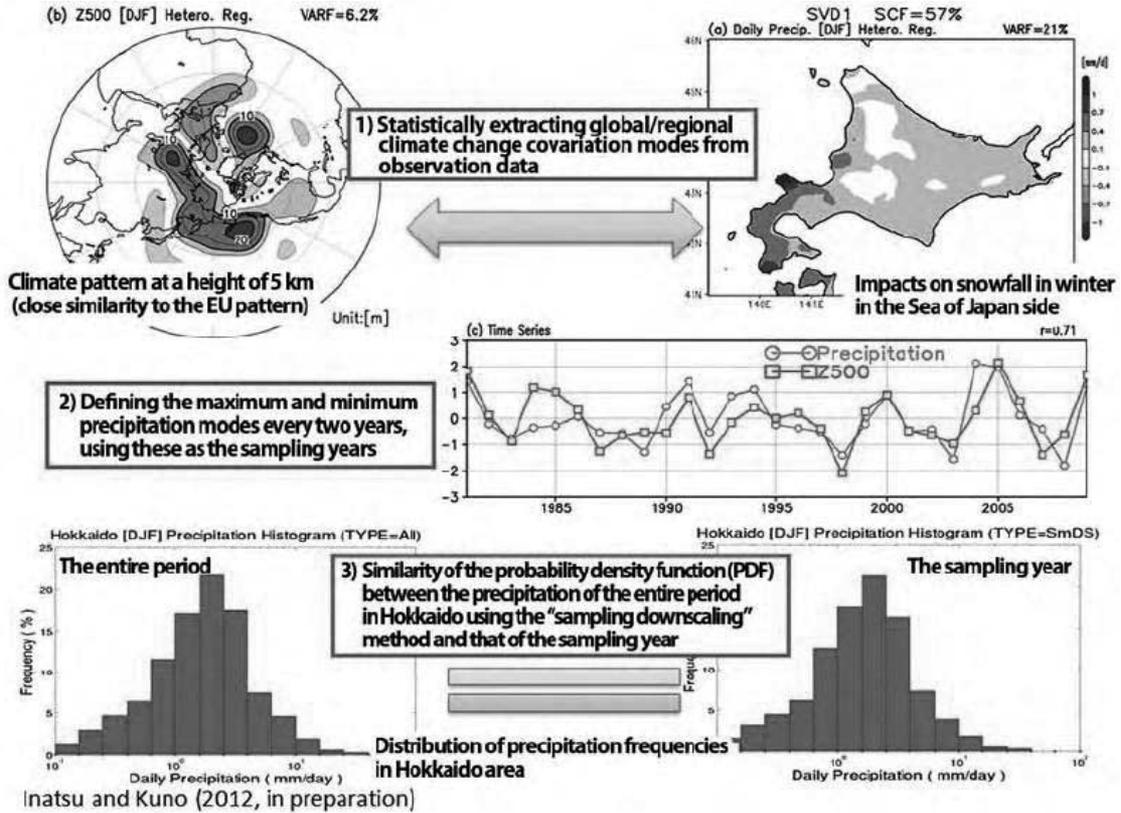


그림 5. 개발된 다운스케일링 사례의 개요

모의 기후변화 영향과 그에 대한 맞춤형 적응대책은 반드시 필요하다. 이 연구과제는 고지현에 있어서 전략적인 기후변화 적응대책과 환경정책 시나리오의 입안에 필요한 다운스케일링 기법 및 기후변화 적응 시뮬레이션 기술 개발을 통합적으로 추진하고 있다.

지금까지 고해상도 역학모델의 강수량 출력을 담유역관측지점까지 다운스케일링해서 강우·유출모델에 입력하고 실제 담운영을 재현해서 온난화시의 담저수량 예측을 하였다. 또한 토지이용 변화를 조합한 다운스케일링 기후변화 자료로부터 장래의 고온·대기방사 증가의 영향과 그것을 경감하는 온실피복자료 및 작물수확량·품질에 미치는 영향을 조합한 새로운 원예환경 시뮬레이터를 구축하였다. 이 기술은 향후 적응대책으로서의 피복재료의 선택과 최적 입지의 정책 제언을 가능하게 하는 유익한 도구가 될 것으로

기대하고 있다(그림 6). 그 외 농업분야에서는 고지현에서 생산하는 조생쌀의 수확량뿐만 아니라 맛에 영향을 주는 단백질 함유량의 추정이 가능하고, 보다 고품질의 쌀 생산을 위해서 수온관리 등의 제안과 연계한 기술을 확립하였다. 또한 물분야에서는 고온시·고CO₂시에 있어서 고지현 남국시 호수의 영양염 흡수·방출과정의 기온 의존성을 현지 및 실내시험결과를 기초로 시뮬레이션해서 환경보전에 최적의 별채 시기를 포함한 수생생물처리법의 제안을 한 결과, 2011년부터 2012년에 고지현의 사업 수행 시 저비용으로 별채·보전을 할 수 있었다. 향후 용수량 확보와 수질보전을 동시에 만족할 수 있는 적응대책(그림 7)을 현청 및 시민과 연구자들이 협력해서 실시해 나갈 계획이다.

이 연구과제는 고지현을 대상으로 고지현 농업기

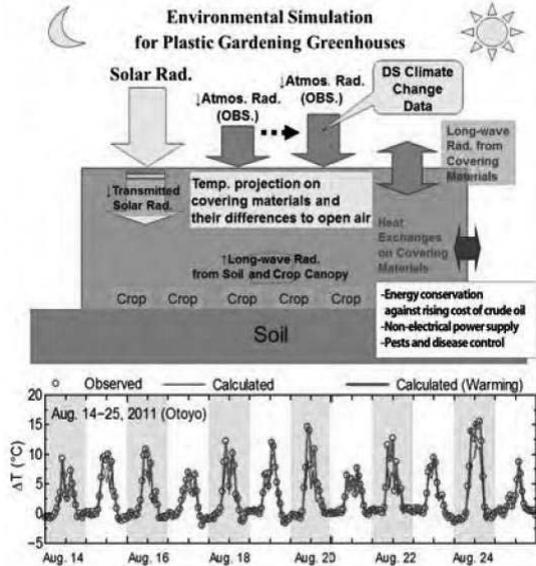


그림 6. 환경 시뮬레이터의 구조

술센터, 고지대학, 고지공과대학, 동경공업대학, 고지현청, 고지시, 수자원기구 이케다종합관리소 등과 연계하여 연구를 진행하고 있으며, 본 과제의 책임자는 농업환경기술연구소의 니시모리 모토키 박사가 맡고 있다.

4. 맺음말

지금까지 일본의 문부과학성에서 주도적으로 추진하고 있는 기후변화적응연구추진프로그램(RECCA)의 개요와 주요내용을 소개하였다. 최근 국지성 집중호우에 따른 홍수 및 가뭄 등 기후변화 영향이 갈수록 커지면서 RECCA에 대한 일본의 관심과 사회적 요구도 점차 증가하고 있다. RECCA에서는 이러한 사회적 요구를 중시해서 조금이라도 빨리 기대에 부응할 수 있도록 지자체 및 기업 등 각 분야의 관계자들과 대화를 지속하고 있다. 또한 RECCA의 성과는 개발도상국의 기후변화와 관련된 여러 문제 해결에도 적용할 수 있기 때문에 국제적으로도 주목받기 시작하고 있다.

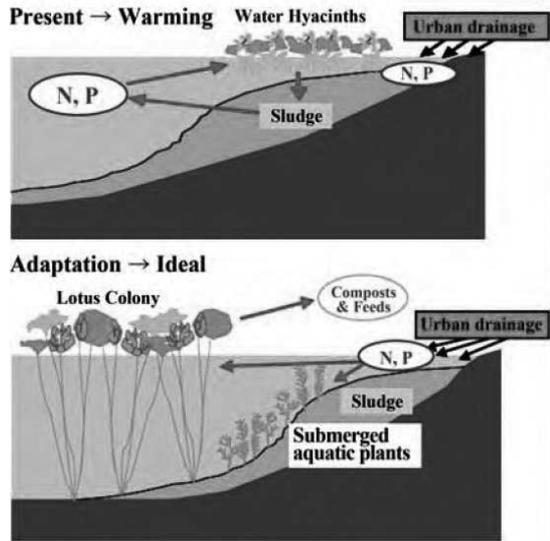


그림 7. 이시두치 저수지의 물환경과 온난화까지 적응 후의 이상 조건

지금까지 우리나라의 기후변화 관련 연구들은 대부분 기후변화에 따른 수자원 분야별 영향 및 취약성 평가 중심의 연구로 추진됨으로써 현실적인 기후변화 적응전략 도출에 관한 연구는 미비한 실정이었다. 다행히 최근 국내 많은 기후변화 연구가 예측 및 취약성 평가에서 실용성 있는 적응계획 수립을 위한 연구로 패러다임이 변하고 있다. 이에 따라 현업에 적용 가능한 체계적이고 현실적인 적응전략을 도출하기 위해 필요한 적응기술들을 개발하여 기후변화 적응역량을 강화하는 것이 필요하다. 우리나라에선 지자체가 중앙정부에 의존하다 보니 지역 특성에 맞는 기후변화 적응 대책을 마련하지 못하고 있으며 지자체 조직 내부에서조차 기후변화 적응 대책 수립과 집행 과정에서 부서 간 협력이 제대로 이뤄지지 않고 있는 실정이다. 이러한 부분에서 일본의 RECCA의 사례가 많은 참고가 될 것이라고 사료된다. 영국, 호주, 미국 등 이들 국가에서도 중앙정부가 포괄적인 가이드라인을 만들고, 적응 대책을 실행하는 것은 주로 지방정부 몫이다. 온실가스 감축 노력은 이산화탄소 배출 직접 규제나 화석에너지 가격 인상 등 조세권을 가진 중앙정부가 주도할 수밖에 없지만 적응 노력은 지역

사회가 핵심적인 역할을 하는 것이 필요하다. 지역 수준의 대응계획의 마련·실시 등 기후변화 적응을 실행하는데 지자체의 역할이 중요하며, 정부 관계기관은 지자체 활동에 필요한 정보생산 및 제공 등 충실한 지원이 필요하다. 기후변화 적응을 위한 기술

및 정책은 지역 주민들의 생활과 밀접한 관련이 있으므로 지역의 상황에 맞는 정착이 필요하며 지역주민과 지자체, 관계기관 등의 이해와 협력 하에 추진되어야 할 것이다. ☺

참고문헌

1. [Http://www.mext-isacc.jp/](http://www.mext-isacc.jp/)(2013), 일본 기후변화적응연구추진프로그램(RECCA) 홈페이지
2. IPCC(2007), "Climate Change : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Cambridge University Press, Cambridge, U.K and New York, NY, USA.