

정책정보노트(2014-01)

일본 기상기술 현황과 전망

- 일본 기상학회의 토대로 분석

2014. 5.



nimr
National Institute of Meteorological Research

국립기상연구소 정책연구과

요약

- 새로운 대기 현상을 발견해 과학적인 설명을 제공하는, 기초 과학으로서의 자율적인 발전을 지속적으로 추진한다.
- 대기는 해양·육지의 물·설빙, 생물, 대기조성, 초고층 전리 대기 등 주변 환경과 상호 작용함으로 지구과학 관련 여러 학회와 함께 지구 시스템의 전체적인 이해를 목표로 한다.
- 위성 지구 관측 및 항공 관측 등의 대규모 관측 계획을 추진한다. 우주 기술과 센서 개발 등의 공학 분야, 자료 동화, 기상·기후 모델 등의 관측 자료의 이용 분야와 강력하게 연계를 도모하여 독창적·효과적인 관측 시스템을 제안·구축한다.
- 수치 모델과 자료 동화는 대기 현상의 이해와 기상·기후 예측의 기반 기술이다. 조직간 국제 협력 체제를 구축하고 수치 모델 및 자료 동화의 개발 연구를 적극적으로 추진한다.
- 기상 예측의 정확도 향상을 위해 기상학회와 기상청과의 연계를 강화하고 관측 시스템과 수치 모델에 대한 기술 개발을 추진한다.
- 도시 환경과 국가 간 오염 등 환경 문제에 관한 연구를 추진하여 적절한 정보를 사회에 제공한다. 지구 온난화 예측의 불확실성의 저감에 노력하는 것과 동시에, 지구 온난화의 정확한 지식 보급에 노력한다.
- 자연 현상, 기상 예측, 자연 재해, 환경 문제 등 기상 관련 지식과 정보를 일반 사회에 보급하여 계발을 도모한다.
- 임기제 연구를 맡게 되는 젊은 연구자가 증가하고 여성 교육 연구 및 고용 기회 균등에 대한 노력이 필요하다. 따라서 인재 육성, 경력의 구축 및 남녀 공동 참가를 위한 활동을 강화한다.

요지

기상학 및 대기과학은 위성관측 및 수치모델 등의 진전에 따라 활용 범위가 급속히 확대되고 있다. 기상재해와 환경문제에 대한 대중의 관심과 기상·기후 예측에 대한 사회적 기대가 커지고 있기 때문이다. 한편, 1990년대 시작된 대학원 중점화 사업과 2000년대의 국립대학 및 연구기관 법인화 사업으로 교육·연구제도가 크게 변경되었고, 2009년에는 지구행성 과학협회가 법인화되면서 지구과학 관련 학회와 사업의 재편이 진행되고 있다. 그리고 2013년에는 일본 기상학회가 공익사단법인으로 운영의 투명성 확보와 사회에의 공헌이 강력하게 요구되었다. 이렇듯 기상학회를 포함한 기상학을 둘러싼 환경은 급격히 변화하고 있다. 이에 학술위원회는 일본의 기상학에 대한 인식을 공유하고, 발전에 이바지하기 위해 최근에 일어났던 기상관련 분야의 일들을 돌아보고 향후 전망을 제시하고자 한다. 그리고 마지막 장에는 일본 기상학회에 대한 8가지 제언을 정리함으로써 독자에게 도움을 주고자 한다.

기상학과 대기과학은 그동안 관측과 이론적 지식을 꾸준히 축적해왔다. 이는 제2차 세계대전 이후 컴퓨터를 이용한 수치 실험이 가능해지면서 대기역학에 관한 이해가 급속하게 진행된 것과 궤를 같이 한다. 또한 위성관측은 기상 및 기후에 관한 글로벌 정보를 제공하는 계기가 되었고, 컴퓨터의 계속된 발전은 다양한 분야와의 협력을 통해 복잡한 기상·기후 시스템을 포함한 수치모델 개발을 촉진하였다. 그리고 자료동화 기술의 발전은 관측 및 수치모델의 접근성을 높였을 뿐만 아니라 정확한 해석이 가능하게 하였다. 한편 기상학 분야 중에서도 대기과학은 지구의 하위 시스템으로 학제적인 협력을 통해 종합적인 학문영역으로 기능을 확대해 나가고 있다. 기상학과 대기과학은 일기예보와 방재, 기후, 환경문제 등을 통해 사회와 관계가 깊은 학문으로서 최근 관측·예보 기술의 발전에 지대한 공헌을 하고 있다. 이를 통해 단기예보는 중규모 대기문제를 더욱 세밀하게 표현되고, 중·장기 예보는 예측의 불확실성을 고려하는 앙상블 예보가 실용화되었다.

예보정확도의 향상을 위한 새로운 목표로서 현업 기관과 연구 기관 혹은 예보 정보의 활용을 위해 정보 제공자와 사용자간의 연계가 강화되고 있다. 이는 최근 지구온난화를 비롯한 각종 환경문제에 대한 사회적 관심이 높아진 상황에서 기상학 분야가 정책결정의 근거가 되는 정확한 정보를 국민에게 제공할 책임이 있음을 의미하기도 한다. 국제협력 측면에서도 아시아 계절풍과 태풍이 일본기상청의 중요한 연구과제 중 하나로서 관측, 예측, 사회 공헌 등 모든 면에서 아시아 지역 국가들과 협력할 필요성이 제기되고 있다. 또한 글로벌 기상·기후 감시는 효율적이고 효과적인 관측시스템 구축이 매우

중요하지만 고액의 비용을 필요로 하는 사업이기 때문에 세계 기상기구와의 연계가 필요하다.

한편, 기상학 연구의 발전을 위해서는 유능한 인재의 육성이 필수적이다. 신진 연구자의 처우 문제 개선과 급속히 증가하고 있는 기상예보사 문제에 대해 다각적인 노력을 통해 기상 지식이 효율적으로 보급될 수 있도록 노력해야한다. 후쿠시마 원전 사고나 지구 온난화 문제는 정보제공에 대한 근본적인 자세를 확인시켜주는 계기가 된다. 정확한 정보를 중립적인 입장에서 국민에게 적극적으로 제공함으로써 사회적 책임을 완수해 나가야 할 것이다.

본 연구는 2005년 9월 발간된 일본 학술회의 보고서 「제19회 일본 학술회의 대기, 수권 과학 연구 연락위원회-기상학 전문위원회 대외보고」와 2010년 4월 일본 학술회의 지구 행성 과학위원회 보고서인 「지구 행성 과학 분야의 전망 - 지구의 미래 예측」 제2장에 수록된 기초 과학으로서의 지구 행성 과학의 현황과 과제에 관련된 “대기 해양 과학(기후시스템 과학)”부분을 참고하여 정리하였다. 마지막으로 본 연구는 어디까지나 저자 그룹의 견해이므로, 일본 기상학 현황과 전망에 대한 모두의 회원여러분들의 의견을 모두가 소중한 것임을 밝힌다.

☞ 목 차 ☜

요약	1
요지	2
1. 기초 과학	7
1.1 기상학의 기초와 응용	7
1.2 관측, 이론, 수치 실험 자료 분석, 그리고 융합으로 자료 동화	8
1.3 마이크로/메소 스케일 기상학	10
1.4 종관 규모 스케일과 메소 α 스케일 기상학	12
1.5 태풍에 대한 기상학	14
1.6 대규모 글로벌 규모의 기상학	15
1.7 지구 시스템 과학의 일부 요소로 기상학	18
1.8 고기후학과 기상학	19
1.9 행성과학과 기상학	20
2. 기상 감시·예측 및 재해 과학	23
2.1 기상재해 연구	23
2.2 기상 감시 및 예측을 위한 관측 시스템의 발전	24
2.3 기상 예측 시스템 개발	25
2.3.1 기상 예측 시스템의 현황	25
2.3.2 기상 예측 시스템의 과제와 향후 전망	27
2.4 황사와 화산재에 의한 재해 예측	28
2.5 기상 정보의 제공 및 활용 확대	30
3. 환경 과학으로	32
3.1 로컬 환경 문제(도시 환경 문제)	32

3.2 인위적 배출 가스 및 전역 대기 환경 문제 연구	33
3.3 지구 온난화 연구	35
3.4 지구 환경 문제에 대한 사회와의 커뮤니케이션	37
3.5 원자력 재해에 대비하여	39
4. 학술 활동의 전개와 함께	41
4.1 종합 과학으로 연구 추진	41
4.2 일본 지구 행성 과학 연합	42
4.3 국제 협력과 국제 협력	44
4.4 대형 연구 추진	46
4.5 위성 관측 추진	48
4.6 항공기 관측 체제 구축	50
4.7 대규모 수치 시뮬레이션	51
4.8 기상·기후 자료	53
5. 교육과 인재 육성	55
5.1 서론	55
5.2 초등·중등 교육	55
5.3 대학·대학원 교육	57
5.4 신진 연구자 문제	59
5.5 남녀 공동 참가	62
5.6 사회와의 커뮤니케이션	64
5.7 기상예보사회와의 연계	66
6. 제언	69

일본 기상학회 학술위원회 및 동위원회가 의뢰 한 저자 그룹(이와사키 토시키, 이시하라正仁, 모리正多, 키토 아키오, 隈健一, 콘도 히로아키, 콘도 유타카, 사이토 카즈오, 사카이重典, 사사노 야스히로, 사토 카오루 사토 마사키, 타카야康太郎, 竹見테츠야, 다나카 히로시 후지 요시 야스시, 미카미 마사오, 余田시게오)

1. 기초 과학

1.1 기상학의 기초와 응용

기상학은 폭 넓은 분야로 구성된 지구과학 분야의 한 학문영역이며, 역사적인 발전이나 학문적 성격에 따라 크게 4가지 영역으로 구별할 수 있다. 대기의 여러 가지 현상을 인식하고 설명하는 형태학으로서의 “대기 현상학” 혹은 “협의의 기상학”, 대기의 운동·방사·물질의 다양한 기본 과정을 설명하고 이해를 도모하는 응용 물리학·응용 화학 분야의 “대기과학”, 기본 과정의 결합에 관심을 갖고 결합계의 동태를 조사하는 시스템 과학으로 “대기시스템 과학” 또는 “기후시스템 과학” 및 인간 사회와의 관계를 전제로 재해 및 환경변화의 예측·예지 능력의 향상을 위한 자연재해 과학·환경과학으로서의 “응용기상학”이 있다.

대기 현상학이 아리스토텔레스 시대부터 이어져 온 현상의 형태학인 반면 대기 과학은 뉴턴 이후의 현대 자연과학에 근거한 대기의 과학이다. 역사적인 장단점은 있지만 기상학의 두 축으로서 국제 측지학·지구 물리학 연합(IUGG), 국제 기상학·대기과학 협회(IAMAS)가 기상학(Meteorology)과 대기과학(Atmospheric Sciences)을 서로 연결하고 있다. 또한 1950년대에 대두된 대기, 기후, 또는 지구에 대한 시스템 과학은 요소 환원형 과학의 반대편에 자리 잡을 새로운 학문 영역으로서, 최근 컴퓨터의 비약적인 발전과 함께 급성장하고 있다. 이들은 기본적으로 기초 과학 성격이 강한 분야이며, 거창하게 말하면 인간의 지적 관심에 근거하여 진리를 탐구를 목적으로 하는 분야이다.

한편, 응용 기상학은 인간 생활에 유용한 가치를 제공하기 위한 학문 분야라고 말할 수 있다. 무엇보다 기초와 응용은 단순히 이분할 수 있는 것이 아니고, 분명한 구분이 존재하는 것도 아니다. 항상 영역과 분야를 넘어 융합적인 접점에서 새로운 학문의 과제가 발견되는 일이 적지 않은 것도 이 때문일 것이다. 본 장에서는 기초 과학으로서의 기상학에 대한 현황 인식과 장래를 전망하고자 한다. 현상 기술의 대기 현상학과 기본 과정 이해의 대기 과학을 하나로 하여 대상의 공간 규모에 따라 「마이크로 중규모 기상학」, 「중관 규모 스케일과 메소 α 스케일 기상학」, 「태풍에 대한 기상학」, 「대규모 글로벌 스케일 기상학」으로 나누어 각각의 기초 과학으로서의 기상학에 대해 설명한다. 그리고 시스템 과학 분야와 관련해서는 우선, 「지구 시스템학과 대기과학의 한 요소로서의 기상학」에 대해 설명한 후 지질학적인 스케일로 시간을 거슬러 올라가며 설명할 것이다. 「고기후학의 기상학」 및 행성의 구조와 동태를 밝혀 그 기원과 진화를 논의하는 「행성 과학의 기상학」에 대해서도 설명한

뒤 연구 방법의 현황 인식과 장래 전망에 대해서 별도로 각 분야에 대한 공통적인 관점에서 설명한다. 자연재해 과학 및 환경과학으로서의 응용 기상학에 대해서는 이후 두 개의 장으로 나누어 언급한다.

1.2 관측, 이론, 수치 실험 자료 분석, 그리고 융합으로 자료 동화

기상학은 대기권을 대상으로 하는 학문으로서 가장 기본은 관측이다. 현장 관측과 원격 관측은 센서기술 및 자료보관, 통신기술의 비약적인 발전으로 인해 최근 들어 이전에 밝혀지지 않았던 새로운 현상이 발견되거나 기존에 알려진 현상에 대해서도 인식을 뒤집는 결과가 도출되고 있다. 1960년대에 시작한 기상위성의 관측으로 전 지구적인 분포와 변화를 파악할 수 있게 된 후, 최근에는 정지 기상위성의 고속 스캔에 의해 중규모 변화의 변동 상태를 몇 분 간격으로 연속 관측 할 수 있게 되었다. 사·공간 분해능의 향상뿐만 아니라 관측 할 수 있는 대상도 구름과 에어로졸, 대기미세성분, 동위원소비 등 기상이나 기후의 동태 분석에 중요한 다양한 물리량에 이르고 있다.

또한 GPS 위성을 활용한 대기의 온도와 수증기의 관측은 지상 기지 네트워크 관측, 저궤도 위성 염페 관측 모두 1990년대 시작한 실험적인 단계에서 실시간으로 현업의 수치예보 등에 활용할 수 있는 단계가 되어왔다.

레이더 및 라이다 등 지상 및 비행체 탑재 원격 감지 측기, 대기 미량 성분 분석 장비 등 전자기술의 발전은 지금까지 없었던 정밀도, 분해능으로 관측이 가능하게 되었다. 또한 자료 로거의 소형 대용량화 및 휴대용 기지국을 이용한 자료 전송도 현장 관측을 크게 변화시키고 있다. 이러한 관측 자료의 비약적인 양적 증가와 질적 충실이 기초 과학으로서의 기상학을 변화시키고 있다. 앞으로도 새로운 관측 기술 개발과 관측망의 확충을 도모하는 동시에 현상의 이해로 이어지는 횡단적인 관측 실시 등을 검토할 필요가 있다.

기존 이론이란 실제 대기의 상태를 이상화 추상화하여 문제를 세우고 종이와 연필만을 의지해 수학 물리학적 여러 방법으로 이를 해결하고 주로 현상의 이해를 도모하는 것이었다. 기초 물리학 분야에서는 이론에 의한 예측과 실험에 의한 검증이라는 기본적 틀이 뚜렷하지만 지구와 우주, 생명 등 특히 물을 학문 대상으로 하는 분야에서는 이론의 예언적인 역할보다 현상의 이해라는 목적이 더 크다. 가장 최근에는 선형 분석, 약비선형 해석만으로 끝나는 이론적 과제가 줄고 비선형 문제를 컴퓨터로 해결하는 수치 실험과의 경계가 흐려지고 있다.

기초 과학으로서 기상학의 실험은 실제 대기의 상태를 이상화 추상화하여 실내 또는 컴퓨터에서

실험을 함으로써 현상의 이해를 증진시키는 것이다. 기본적으로 물리학 분야의 실험과 비슷한 논리 전개를 하지만 복잡 정밀한 거대 수치 모델을 이용하는 컴퓨터 시뮬레이션에서는 한 번의 시뮬레이션만으로 현상을 상세하게 기상학적으로 설명 가능한 경우도 있다. 반대로 이상화 간략화 한 역학 모델을 이용한 수치 실험에서는 매개변수 교환 감도 조사를 통해 정성적인 개념 인식의 새로운 제안을 하는 경우가 많다. 대기 현상의 종합적인 이해를 얻으려면 이러한 낮은 자유도의 역학 모델에서 고해상도의 복잡한 모델까지 계층 모델들을 조합해 연구를 수행하는 것이 효과적이다. 1940년대 ENIAC 이후 계산 속도와 저장용량 등 컴퓨터 성능의 비약적인 향상이 이어졌고, 어려웠던 문제가 아이디어에 따라 풀려 나갈 수도 있으므로 컴퓨터를 어떻게 쓰느냐가 연구자의 실력을 발휘할 수 있는 기회이기도 하다. 그 당시 시뮬레이터와 경속 계산기 등 세계 제일의 컴퓨터에서 누구도 할 수 없는 계산을 해보이는 것도 하나의 방향이지만, 모두가 사용할 수 있는 컴퓨터에서 누구도 생각하지 못한 실험을 처음 시도하는 방식도 있다. 또한 옥스퍼드 대학의 젊은 연구자들이 시작한 climateprediction.net과 같이 세계 자원 봉사자의 컴퓨터를 동원한 거대 앙상블 실험 등의 재미있는 발상도 있다.

기초 과학으로서 수치 모델을 어떻게 적용하는지는 중요한 시점이다. 또한 다양한 시공간 규모, 물리적 과정에 걸쳐 대기의 수치 모델링은 아직도 많은 중요한 연구 개발 과제를 안고 있다. 예를 들어, 저해상도의 수치 모델은 계산 시간 단축을 위해 정역학 평형을 가정 한 기초 방정식이 이용되는 것이 일반적이다. 그러나 이 가정은 수평 스케일의 작은 현상에 관해서는 성립되지 않는다. 따라서 최근에는 정역학 평형을 가정하지 않는 비정역학 수치 모델이 적극적으로 개발되고 있다. 일반적으로 대기 수치 모델은 방사선 구름과 강수 대류 등의 미세물리 과정이 경험에 근거하여 매개변수에 의해 표현되고 있다. 매개변수는 수치 모델의 성능을 크게 좌우하기 때문에 그 정밀화가 과제가 되고 있지만, 그것은 수치 모델링 특유의 기술적 문제라기보다는 스케일 간의 상호 작용의 표현이라는 기상학에 있어서 매우 기본적인 문제 중 하나라고 할 수 있다. 또한 대기는 해양, 수문 과정, 생태계(동적 식물), 대기 조성(화학 반응 과정), 초고층 전리 대기 등과 상호 작용한다. 이러한 계산 과정에 관해서도 수치 모델링이 진행되는 대기의 수치 모델과 결합되어 다양한 연구와 업무에 이용되기 시작했지만 아직 발전 도상의 단계에 있다.

자료 분석은 관측 자료와 수치 실험 자료를 정리하고 분석하여 현상을 설명하는 것이다. 새로운 관측 및 수치 실험에서는 그 신기성의 어필이 제일이고 속보성이 요구되기도 한다. 한편, 재분석 자료와 같이 누구나 사용할 수 있는 자료도 문제의식과 착안점 분석과 같이 해석 방식에 따라 새로운 현상과 사실을 발굴 할 수 있다. 그러나 자료가 막대한 양이 되고 있으며, 연구 공동체로서 데이터베이스의 구축 및

자료 시각화를 포함한 분석 도구의 정비 등 정보 과학 기반의 장비가 점점 중요한 시대가 되고 있다. 또한 자료의 유통을 촉진하는데 Network Common Data Form(NetCDF) 등으로 대표되는 자료 포맷의 표준화도 중요하다. 해석 기법에 대해서는 통계 분석이나 역학 분석 등 다양한 방법이 있지만 그것들을 구사함과 동시에 새로운 방법을 개발하는 등 새로운 지식을 얻기 위한 노력이 필요하다. 소재가 되는 자료와 목적에 있던 도구를 선택하고 능숙하게 사용해 분석하고 새로운 발견과 이해에 이르게 하여 발전 할 수 있다.

관측과 수치 모델의 융합 기술로 자료 동화가 있다. 일반적으로 기상 관측을 광범위하게 시·공간적으로 균질하게 하는 것은 극히 어렵다. 이에 대해 현실 대기의 수치 예보 모델은 기상 요소의 시공간 변동을 지구 규모로 균질하게 예측하는 것이며, 그러한 모델에서 기술하는 물리 법칙을 구속 조건으로 관측 없는 시간·장소에서의 물리량을 더 그럴듯하게 추정하는 방법이 자료 동화이다. 간편한 전 지구 4차원 변분법과 칼만 필터를 이용한 순차 자료 동화법까지 다양한 방법이 개발되어 사용되고 있다. 첨단 자료 동화 기술은 정밀 관측 자료, 고성능 예보 모델 및 풍부한 컴퓨터 자원을 필요로 하는 기술이며, 최근 이러한 조건이 정비되면서 연구개발 및 실용화가 급속히 진전하고 있다. 시간적·공간적으로 균질로 일관성 있는 최적 추정 자료는 초기값 오차를 억제하고 예보 정확도를 올릴 뿐만 아니라 재분석 자료로 대기보다 정확한 상황을 인식하기 위해서도 매우 도움이 되고 있다.

1.3 마이크로/메소 스케일 기상학

마이크로/메소 스케일 기상학의 큰 과제는 스케일 간의 상호 작용과 물리량(바람, 비, 눈)의 극단적인 집중 메커니즘의 해명이다. 전자는 마이크로 스케일에서 종관 규모 지구 규모로 이어지는 대기 현상의 과학적 이해의 심화가 요구되며, 후자는 재해의 발생에 관련되기 때문에 방재 시스템 구축 등의 사회 공헌이 기대된다. 고해상도이면서 자세한 구름 미세물리과정을 통합한 메소 스케일 정지 및 극궤도 위성, 도플러 멀티 파라미터 레이더와 윈드 프로파일러 네트워크, 번개 감시 시스템이 도입되어 중규모 현상 이해가 비약적으로 발전하고 재해 경감에도 크게 공헌했다. 그러나 돌발적으로 발생하는 호우는 발생 환경장의 경미한 초기 값의 차이로 결과가 달라지는 카오스적인 성질을 나타내는 경우가 있어 예측은 여전히 어렵다. 호우·대설 재해의 최대 원인은 운형의 정체이며, 수렴장의 유지와 구름의 정체 메커니즘을 밝히기 위해서는 구름의 상승·하강류와 강수 입자의 형태 등 낙하 과정의 관측과 함께 대기 하층의 수증기량 분석 등 정밀도 향상이 필요하다. 또한 토네이도와 태풍 활동의 핵심인

적란운이 발생하는 메소 환경장, 특히 강한 상승 흐름을 발생시키는 요인이 되는 지표 부근의 수렴선 형성 과정과 탐지 및 강풍 대기 경계층의 구조에 대한 새로운 관측 및 이론적 연구의 진전이 기대된다.

마이크로 스케일 기상학의 주요 과제는 대기 경계층에서의 난류 구조를 해명이다. 기존 경계층 연구에서는 균일하고 평탄한 지표면에서 형성되는 경계층을 대상으로 접지 경계층의 도출과 대기 육지 표면 상호 작용 과정의 파악을 목적으로 해왔다. 지표면의 기복이나 조도는 미세한 규모로 간주하여 기본 이론이 구축되어 왔지만 실제 경계층에서 지형의 복잡한 기복이나 고층 건물 등 구조물의 영향을 받아 그 평균 구조가 변화하고 비정상성이 강해진다. 최근 여러 지표면에서의 경계층 연구가 발전하고, 그 곳에서 운동량·물·열 수송 과정의 이해를 위한 관측 및 미세 격자 수치 모델에 의한 연구가 주류가 되고 있다. 또한 해상에서는 강풍과 관련한 보라의 발생에 의해 운동량과 수증기 수송이 육지면의 경우와는 다른 행동을 나타내는 것이 실험과 관측에서 확인되었다. 강풍 시 대기 경계층의 대기 해양 상호 작용은 태풍의 강도에 크게 영향을 미치므로 이 문제에 대한 연구가 점점 중요시 된다.

최근 바람 관측을 위해 3차원 스캐닝 도플러 라이더가 개발되고 LES(Large Eddy Simulation)에 의한 시뮬레이션과 비교 가능한 대기 경계층 입체 구조도 관측되고 있다. 대기의 수직 다층 구조, 조직적 난류 구조의 시각화, 모래바람이나 갈매기 모양 구름이 가시화되기 이전 단계인 토네이도의 검출도 가능하다. 수증기나 온도, 오존 관측을 위한 라이더도 개발되어 휴대 전화 등과 같이 마이크로 파장 영역의 관측 장치를 대신하여 다양한 파장대를 이용한 레이저 탐사의 중요성이 향후 증가 할 것이다. 또한 원격 감지기술이 진보할수록 각종 물리량을 검증하기 위한 에어로졸부터 운립, 강수 입자까지 원활한 in situ 관측 자료의 중요성이 증대하기 위해 대기 중에서 소량이고 단시간에 측정 가능한 관측 방법의 개발이 강하게 요구된다.

얼음 상을 포함한 구름 물리 과정에 대한 지식의 심화와 모델링은 호우 강수형성 과정의 해명만 아니라 구름의 전기기구 및 상층 구름의 복사 효과를 계산하기 위해서도 중요하다. 강우와 강설 입자의 지상 관측은 광학 센서와 화상 처리 기술의 진전에 의해 자동화가 진행되어 신뢰 할 수 있는 많은 자료가 다양한 기상 조건 하에서도 장기간에 걸쳐 얻을 수 있게 됐다. 도플러 레이더는 물론 편광(멀티 파라미터) 레이더도 전국에 많이 확장되고 구름강수 입자를 판별하는 데에도 이용되고 있다. 또한 우리나라를 포함하여 국제적으로 클라우드 챔버 실험이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 정작 구름 내 관측이 부족하기 때문에 자연 구름 내(雲内)에서 얼음 결정핵(晶核) 또는 2차 빙정에서 얼음 결정 발생 과정, 고체 강수 입자 얼음의 성장 과정과 그 용해 과정에 대해서는 거의 진전이 없다.

항공기를 이용한 구름내의 원격 감지와 직접 관측은 지상 및 위성을 이용한 광범위한 강우와 강설 강도 측정과 함께 강수 과정의 해명에 필요하다.

수치 모델의 다단계화, 다른 분야(해양, 수문, 설빙, 생태, 도시, 인문)와의 공동 연구가 진행되어 검증에 의해 측정 항목의 다양화가 요구되고 있다. 에어로졸의 직접 효과와 간접 효과를 논의하기 위해 많은 파장 영역을 이용한 액티브 패시브 센서를 탑재한 위성 및 대기질 화학성분의 직접 측정이 필수적이다. 또한 대형 VHF 레이더와 도플러 레이더는 구름 역학과 구름·강수 물리학이라는 학문적 관점뿐 만 아니라 연구자들을 연결하는 획기적인 역할을 했다. 동시에 도플러 레이더를 이용하여 에어로졸에서 구름의 발생까지를 완벽하게 연구 할 수 있게 되어 대기화학과 대기 물리학의 연구자 간의 제휴가 진행되고 있다. 종래보다 포괄적인 바람과 큰 기질을 봄으로써 숲과 도시, 건조 지역, 산악 지역, 극지방, 한랭권 등의 물·물질 수송과 순환 연구, 또 생태학, 바람 공학, 자연 에너지 등 관련 분야와의 연계가 기대된다.

메소 강수 현상의 새로운 관측의 방향성으로서는 현재 이미 활용되고 있는 민간 항공기와 선박에 의한 측정 자료 등 이동체와 기존 통신망을 적극적으로 활용한 기상 자료 수집이 활성화되어야 한다. 대륙 횡단 철도 등을 이용하면 광범위하고 장기적인 기후 연구에도 유효한 관측 자료를 얻을 수 있을 것이다. 그러기 위해서는 다소 정밀도는 낮아도 가볍고 간편한 측정 장치 개발, 자료 관리(여러 자료 그리드를 통한 품질 향상과 동시에 개인 정보의 보증 등)에 적극 나설 필요가 있다.

마지막으로, 지역 밀착 체류형 관측의 중요성을 지적하고 싶다. 지역에 밀착한 관측은 일반 시민도 이해하기 쉽고 교육 효과 및 보급 효과도 크다. 지역 특유의 마이크로·메소 현상을 해명하고, 그 연구 성과를 방재에 도움이 되도록 기상학회의 지부단위 정도로 정리된 관측 연구의 협력 체제가 필요하다.

1.4 종관 규모 스케일과 메소 α 스케일 기상학

온대 저기압, 메조 α 스케일의 교란, 태풍은 동아시아의 일기도에서 흔히 볼 수 있는 일반적인 현상이다. 이러한 현상은 이전 절에서 언급한 현상보다 수평 스케일이 크고, 수치 예보의 예측 대상으로 충분히 다룰 수 있다. 현상의 이해 관측 시스템의 진전, 수치 모델 및 자료 동화 기술의 진보에 따라 꾸준히 예측 정확도가 향상되어 왔다. 또한, 본 절에서는 종관 규모 스케일과 메소 α 스케일의 현상을 다루며, 태풍은 특별한 연구 전략을 필요하기 때문에 다음 절에서 다룬다.

온대 저기압의 발달에 대한 이론은 1950년 전후에 경압불안정 이론으로 확립됐다. 초기 경압

불안정론은 수평의 균일한 온도 바람 시어를 기본장으로 준지균풍 근사치를 만족하는, 이른바 “특정한” 요란을 다루고 있었다. 후속 연구에서는 보다 현실적인 조건하에서 불안정 조건(발달 조건)이 조사될 수 있게 되었다.

온대 저기압의 특징 중 하나는 전선을 동반하는 것이다. 전선의 형성은 지형적 평형을 가정한 경압불안정 이론을 직접 적용할 수 없다. 전선론은 1920년대 비야크네스의 관측에 기초한 묘사를 기본으로 발전해왔다. 1990년대에 폐쇄 전선은 한랭전선이 온난전선을 따라 잡고 있다는 고전론이 재검토되고, 라그랑주적인 견해에 근거한 후 굴형 온난 전선으로 간주해야 한다는 생각이 제창되었다. 전선은 국지적인 격렬한 현상과 깊은 관계가 있으며, 또한 연구를 추진할 필요가 있다.

북반구에서 온대 저기압은 북서 태평양과 북동쪽 대서양에서 잘 발달한 스톱 트랙으로 불린다. 그 형성과 강화에 대해 글로벌 대기 초장파의 기본장의 변형, 대기 해양 상호작용에 의한 기본장의 변질, 해륙 분포에 따라 지표면 마찰의 지리적 분포의 영향 등이 논의되고 있다. 또한 온대 저기압 자신의 파속이 하류로 전파되어 고·저기압의 발달을 촉진하는 것이 이해되고, 그것을 표현하는 파동의 활동도 플릭스가 제창되었다. 최근 방재에 대한 관심이 증대되어 온대 저기압의 발달에 대한 연구가 활발해졌다. 사회의 관심도 높아 폭발성 저기압라는 말도 사용되고 있다. 온대 저기압의 발생과 발달은 수치 모델에서 잘 재현되어지고 있어, 단기 예보 정확도 향상으로 이어지고 있다. 중기예보(주간예보)에서는 경압불안정에 따른 오차 성장이 예측의 불확실성 및 신뢰성과 깊은 관계가 있는 것으로 인식되어 접속 선형 불안정론이 앙상블 예보에 대한 하나의 중요한 이론적 근거가 되고 있다. 지구 온난화와 함께 온대 저기압 활동이 향후 어떻게 변화하는가에 대한 문제에도 관심이 쏠리고 있다.

일본의 기상재해에서 집중 호우는 인적·경제적 손실의 크기에서 가장 중요한 것들 중 하나라고 할 수 있다. 위성 관측의 충실이나 수치 예보 기술의 진전에 따라 태풍 접근 시에도 지형성 호우에 대해 최근에는 어느 정도 정밀한 예측이 가능하게 되었다. 하지만 장마 말기 등에 자주 발생하는 집중 호우는 지금도 예측이 매우 어려운 현상이다. 종관 규모의 수렴과 경압성·지형 등 역학적인 요소와 습윤 대기의 안정도 등 열역학적인 요소가 복잡하게 얽혀 발생한다. 명료한 전선을 동반하지 않고 발생하는 경우도 있다. 집중 호우의 이해는 메소 수치 예보 모델의 발전과 함께 발전하고 있으며, 특히 하층의 상당 온도 정도를 좌우하는 수증기량의 중요성이 지적되고 있다. 위성 마이크로파 복사계 자료 및 GPS 가강수량 현업 메소 수치 예보의 이용을 개시하여 수증기 양을 추정하는 수단은 이전보다 늘었지만, 수증기량의 연직 프로파일 및 수평 분포를 정밀하게 결정하는 수단은 육상에서도 여전히

불충분하며, 해상 관측은 극히 한정되어있는 것이 현실이다. 원격 탐사를 비롯한 다양한 관측으로부터 하층 수증기량을 추정하기 위한 새로운 기술이나 수치 모델, 자료 동화 기술의 진전이 요구된다. 이러한 기술의 발전은 앞 절에서 언급된 메소 β 스케일로 현상의 이해와 예측을 위해서도 필수적이다. 집중 호우에 대한 실질적인 방재 리스크 관리를 위해서는 메조 앙상블 예보의 예보 오차와 신뢰도에 관한 정량적인 예측 정보가 요구된다.

태풍이나 열대성 저기압이 남쪽에 멀리 위치하고 있을 때, 일본 등 중위도의 육지에서 호우가 올 수 있는 PRE(Predecessor Rain Event)로 최근 주목받게 되었다. 제트기류와 하층의 전선 발생, 주변의 수증기가 관계하는 중규모 현상으로 설명되고 있지만, 일본의 호우와 관련된 연구를 추진해야한다. 장마전선은 크게 보면 아시아 몬순의 일부이므로 동아시아의 강우계의 계절 진행 행의 일부로 이해할 필요가 있다. 최근 장마전선의 발생 원인을 둘러싼 논란의 일부는 발전이 보인다.

겨울의 한랭기단에 따른 동해 연안과 산악 지역에서 폭설은 예로부터 지역에 큰 영향을 주어왔다. 최근 메소 수치 예보는 이러한 폭설 예측이 어느 정도 가능해졌으나 태평양쪽 평야의 적설 예측은 매우 어렵다. 수도권을 비롯한 태평양쪽 지역에서의 적설에 대한 도시 기능은 취약하며, 강설·적설의 예측 정확도의 향상이 요구된다. 수치 예보 초기 값의 개선 및 강수 과정·복사 과정, 경계층 과정·육지면 과정의 고도화가 필요하다.

1.5 태풍에 대한 기상학

태풍은 수백 ~ 수천 km 정도의 수평 스케일을 가지고 메소 α 스케일의 현상으로 분류된다. 열대-아열대에서 발생하는 대기 현상으로서의 독특한 특성을 가지며 막대한 피해를 미치는 기상현상이기 때문에 지속적으로 과학적인 관심을 가지면서 사회적으로도 중요한 과제로 연구되고 있다.

태풍은 다양한 연구과제가 있지만, 특히 재해 감소·방재상의 요청에서 태풍 예측의 정확도 향상이 큰 목표이다. 정도에 따라 좋은 태풍 관측 자료는 자료동화 기술개발, 수치의 정확도 향상 등의 연구가 진행되고 있다. 특히 수치 시뮬레이션에 대해 해상도, 물리적 과정 등에서 개량이 진행되어 매우 정밀한 태풍 시뮬레이션이 수행되고 있다. 그러나 태풍의 강도 변화와 발생 등의 재현은 현 상황에서도 어렵고, 향후의 진전이 기대된다. 과학적 지식으로 태풍의 발생· 발달·구조·경로 등의 모든 것들을 이해하기 위한 연구는 종래부터 지속적으로 진행되고 있지만, 이러한 이론적 이해의 심화가 예측 정확도의 향상에 필수적이다. 태풍의 관측은 정지 기상위성 관측에 의해 일상적인 감시가 이루어지고

있지만, 항공기에 의한 태풍의 직접 관측은 현재는 대서양 지역 허리케인정도 밖에 실시하고 있지 않다. 특별 관측을 제외하면 북서 태평양 지역을 포함한 기타 해역에서 비행기 관측을 실시하는 것은 어렵다. 향후 외국과의 연계를 높이고 항공기 관측에 대해 노력을 강화할 필요가 있다. 관측이 조밀한 지역에 상륙·접근한 태풍에 대해서는 레이더와 존데 등의 풍부한 자료를 얻을 수 있지만 열대의 태풍 발생 지점 부근에서의 관측 자료가 부족하다. 이것이 태풍의 발생 메커니즘에 관한 연구의 진전을 저해하고 있으며, 관측 및 모델링의 연계를 통한 진전이 요구된다.

향후 예상되는 기후변화에 따라 태풍의 수와 강도가 어떻게 변화할 것인가 문제에 큰 관심이 쏠리고 있다. 이 문제에 접근하기 위해 과거의 분석 자료를 이용한 태풍의 기후학적 연구가 활발해지고 있다. 예를 들어, 산업 혁명 이후의 최근 100년 정도의 기간에 태풍의 성질이 어떻게 변화해 왔는지에 대해 알고 과거 관측 자료를 발굴, 새롭게 해석하는 시도가 진행되고 있다. 많은 기후 모델에 의한 예측은 지구 온난화에 따라 태풍의 수는 줄어들지만 강도는 증가하는 경향이 지적되고 있다. 이러한 예측 결과의 신뢰성은 관측되고 있는 태풍의 다양한 성질이 얼마나 기후 모델에서 재현될 수 있을지가 하나의 척도가 된다. 여기에는 과거의 관측 자료에 표시된 태풍 변화 추세와 관측된 태풍의 발생 위치와 경로의 지리적 특징, 태풍의 구조 강도 빈도 분포가 포함된다. 또한 태풍의 특성(구조·발생·발달·진로 등)에 관한 이론적인 이해도 온난화에 따른 변화를 설명하기에는 부족하며, 더 깊게 할 필요가 있다.

태풍 연구에 대해 향후를 전망하면, 수치 시뮬레이션을 더욱 정교하게 하기위해서 강도 변화의 재현성, 물리적 과정 의존성 등의 미해결 문제의 진전을 도모 할 필요가 있다. 수치 예보의 개선에는 초기 값의 자료 동화 기술 개발이 필요하다. 전통적인 일본 지역의 조밀한 관측 체제의 유지 발전과 더불어 관측이 희박한 지역의 관측 체제의 강화, 위성 원격 탐지의 이용, 항공기 관측 체제의 정비 등 많은 과제가 있다. 또한 중요한 과제로 태풍 이론의 심화가 다양한 시뮬레이션 결과와 관측 자료에 근거한 이론의 발전이 기다려진다.

1.6 대규모 글로벌 규모의 기상학

대규모 글로벌 규모의 대기 현상에 대해 설명 할 수 있는 부분에 대해서는 대체로 이론적인 이해가 진행되고 있으며, 이제까지의 10~20년 사이에 새로운 이론을 구축 할 수 있는 케이스가 희소하다. 한편, 정밀화되는 자료와 수치 모델의 결과를 해석하기 위해서는 대기 역학적인 관점이 필요하며,

대기 현상의 역학적인 메커니즘을 이해하기 위해 대기 역학의 개념이 필요하다. 대규모 글로벌 스케일 기상학 중 전통적인 건조 공기 역학에 대한 순환 역학, 열역학 과정, 파동, 소용돌이운동 불안정 난류 등 나비에-스톡크의 기초 방정식 따라서 묘사가 가능하며, 대부분 이론적 이해가 확립되어있다.

예를 들면 난류 일반 이론의 구축 등 진전이 어려운 영역의 관점에 따라 향후 발전 가능성도 있을 것이다. 건조대기 현상 중 블로킹이나 현상의 카오스적인 행동에 대해서 예측 가능한 관점에서 연구가 진행되고 있다. 한편, 구름 강수 시스템이 대규모 순환에 미치는 역할은 습윤 순환을 설명하기 위해 이론적인 이해가 필요하며, 발전의 여지가 있다. 특히 열대 대규모 순환은 습윤 과정에 지배당하고 있으며, 구름 강수 시스템의 조직화나 변화에 대해 wave-CISK 및 WISHE(wind-induced surface heat exchange) WTG(weak temperature gradient approximation) 등 단순한 이론의 구축 시도가 지속적으로 진행되고 있다. 구름 강수 시스템은 수증기가 응결 할 때 방출되는 잠열을 에너지원으로 하는 특징이 있다.

한편, 강수 증발에 의한 한기류의 형성 등 메소 순환도 그 대규모 구조에 큰 영향을 하고 있다. 구름과 방사선과의 상호작용도 순환의 유지·형성에 중요하며, 관여하는 프로세스가 복잡하기 때문에 이론의 타당성에 대해 항상 검토가 요구되고 있다.

대기의 전지구적인 순환에 대해 전통적인 자오면 3셀의 대기 대순환적 묘사에 대해 1980년대 이후 해들리 순환의 이론적인 재검토가 이루어지고 이해가 진전되었다. 대기 대순환의 기술 방법 1980년대 이후 오일러 순환과 라그랑주 순환의 관점이 제시어 각각의 장점이 지적되고 있다.

특히 물질 순환과 파도와 파동의 상호 작용의 관점에서 라그랑주적인 묘사 방법이 효과를 발휘 해왔다. 라그랑주 순환은 실용적으로는 변형 오일러 평균 기법을 분석하기 쉽고, 또한 온위 좌표계에 따른 평균과 그 변형(z +계) 등이 대기 대순환의 한 측면을 표현하는 수단으로 사용되고 있다. 대기 대순환을 설명하는 연립방정식에서는, 예를 들면 3차원적인 파동의 전파와 평균류와의 상호 작용에 대한 설명이라고 진단 기법에서 연구 발전이 최근 몇 가지 이론적 검토의 여지가 있음을 나타내고 있다.

열대 해들리 순환, 위커 순환, 몬순 순환과 대규모 순환은 습윤 프로세스에 지배되는 것과 동시에, 대기-해륙 상호작용이 중요한 역할을 하고 있다. 열대 대규모 순환에 대해 계절의 변화·해마다 변동과의 관계와 구름 강수계의 멀티 스케일 상호작용 등 수많은 연구가 이루어지고 있다.

몬순 연구는 연구 관점에서 초점의 확산을 초래하기 때문인지 최근까지 그 연구에 정체감이 있었다. 최근 몬순 순환이 기후 모델에서 잘 재현 될 수 있게 되어 왔으며, 수치적인 예측, 기후변화에 따른

변화, 그들을 사용한 메커니즘 분석 등 앞으로의 진전을 기대할 수 있게 되었다. 대기 현상적 관점에서, 객관적 분석 자료와 수치 시뮬레이션을 정교하게 보고, 관측이 미비한 지역을 제외하고 대규모 현상의 대부분은 자료에서 파악할 수 있다. 관측을 포함한 순수한 의미에서의 현상의 발견 연구는 부족하지만, 다양한 자료의 분석을 통해 지금까지 알려져 있지 않던 현상의 특성, 그것의 이해를 향한 시도는 지금도 계속되고 있다. 특히 중층 대기·고층 대기 내용은 중력과 등 새로운 관측에 의한 현상의 발견과 수치 시뮬레이션의 발전이 상보적으로 진행되고 있는 상황이다. 또한 글로벌 대규모의 현상과 더 작은 스케일(메소 스케일 등)의 현상과 멀티 스케일 사이 상호작용 연구 개발이 있다. 대기 현상의 이해를 위한 수치 모델의 이용이 최근 특히 눈부시다. 수치 모델로 재현 가능해짐으로서 현상은 수치 분석 및 민감도 실험 등에 의해 메커니즘에 어느 정도 다가 갈 수 있다.

대기 대순환 모델은 대체로 대기 대순환과 종관 규모의 현상의 재현이 가능하게 되었지만, 열대 대규모 순환 등의 재현성은 아직 불충분하다. 예를 들면, 열대의 계절에 변동·MJO(Madden Julian Oscillation)에 대해 최근까지 대기 대순환 모델에 의한 재현성은 불충분했지만, 최근에는 적운 매개변수 개선과 고해상도 전지구 비정역학 모델에서 재현성의 향상이 현저하다. 또한 기후장의 재현성, 예를 들면 강수의 지리 분포에 대한 기후 모델의 공동의 바이어스로 관심이 되고 있다(double ITCZ 등).

향후 예상되는 지구 온난화에 따른 기후변화는 기후 모델에 의한 예측 결과가 제시되어 미래의 대기 대순환이 어떤 변화를 하는지에 대해 관심이 높아지고 있다. 기후변화에 따른 대순환 변화에 대한 관측적인 검증 및 대기역학·대순환 이론에 의한 해석이 필요하다. 예를 들면, 열대의 대규모 순환은 온난화에 따라 약화 예측 결과가 나오고 있지만, 이에 대한 해석은 최근의 해들리 순환 이론·열대역학의 발전에 힘입은 바가 크다. 향후 전망으로 새로운 관측 자료의 정보를 넣은(동화한) 고해상도 수치 모델의 정치화에 의해 점점 수치 모델의 재현성의 향상과 그것을 이용한 현상의 이해가 진행될 것이다.

한편, 미래 기후와 고대 기후, 행성 기상 등 관측되지 않은 혹은 관측이 부족한 현상을 설명·이해하기 위해서는 수치 모델의 개발뿐만 아니라, 이론적 이해의 진전이 요구된다. 대기역학 및 대순환 이론은 이러한 알 수 없는 현상에 대해 설명 능력의 향상이 필요하다.

1.7 지구 시스템 과학의 일부 요소로 기상학

기후 시스템 또는 지구 시스템의 일부로 대기를 생각하면, 해양과 육지 표면과 같은 다른 부분 계와의 결합 과정의 이해와 외력에 대한 응답이 중요하다. 결합 과정으로는 대기-해양, 대기-육상면, 대기-설빙, 대기-생물권, 대기-전리층, 대기-미량성분(화학 조성), 대기-고에너지 입자 등 다방면에 걸친다. 이들을 통합적으로 모델링 한 지구 시스템 모델의 개발이 진행되고 있으며, 지식의 통합 플랫폼으로서 역할을 톡톡히 해내고 있다.

지구 시스템 중 대기-해양-육지 표면의 결합 과정에서 구성되는 시스템을 기후 시스템이라 부르는 경우가 많다. 시스템에 포함되지 않는 요소의 교란을 외력으로 간주했을 때, 시스템 전체가 외력에 대해 어떻게 반응 하는가하는 관점이 시스템 이론으로 중요하다. 외력은 인위적 온실 가스의 변화와 태양 활동 변화 등의 자연·인간의 경계 조건·외부 매개변수의 형태로 주어진다. 예를 들면, 이산화탄소 농도를 외부적인 변수로 간주하는 시스템에 이산화탄소 농도가 두 배 조건에서의 전지구 평균 지표면 온도의 응답을 기후 민감도라고 불러, 지구온난화를 논할 때의 지표가 되고 있다.

대기는 대류권 중층 대기 초고층 같은 부분 계에서 구성되므로 이러한 부분 계 사이의(다지역 간의) 상호작용의 관점에서 연구가 진행되는 경우가 많다.

날씨 현상의 지배적인 대류권과 층리가 안정적인 성층권(또는 보다 고층)은 각각 독립적인 분야로 연구와 대류권·성층권 상호작용으로 관점에서 연구가 진행되고 있다.성층권의 42년 진동, 돌연 승온, 오존홀 등의 대류권에서 중력파와 로스비 파동 등 요란 역할의 중요성은 이미 인식되어 있으며, 관측뿐만 아니라 수치 모델도 대단히 정교해지고 있다.

또한 성층권의 교란이나 태양 활동 등의 변동에 따른 초고층 순환의 변화가 대류권에 미치는 영향에 대해서도 연구가 진행되고 있다. 오존 등 화학 수송 과정에 대해 성층권과 대류권을 동시에 살펴보는 시도도 진행되고 있다. 계절 스케일보다는 장기간 기후 문제를 논의 할 때 대기-해양 상호작용의 이해가 필수적이지는 않다. 엘니노와 계절 예보 수십 년 변동, 더 긴 장기 기후변화 예측에는 대기-해양 상호 작용의 이해와 대기 해양 결합 모델에 의한 예측 연구가 필요하다. 기후변화를 예측하기 위해 대기-해양 결합 모델의 기후장의 재현성 향상에 큰 노력을 기울이고 있으며, 대기 순환에서 해양 심층수 순환까지를 포함한 논의가 필요하다. 또한 단기간 저기압성 규모의 현상, 태풍의 강도 변화와 쿠로시오의 온대 저기압의 변질에 대해서도 대기-해양 상호작용의 중요성이 인정되어 왔다. 예를 들어, 태풍의 현실적 재현을 위해 해양의 표층부 가까이 용승 및 난류 혼합에 의한 해수면 온도의 저하, 대기

해양 간의 운동량·열 등의 플럭스 이상화 등의 효과를 고려할 필요가 있다.

대기의 또 다른 하부 경계 조건인 육지 표면과의 상호작용에 대해서도 특히 물 순환의 관점에서 연구가 중요하다. 기상 현상의 이해에는 육지의 강수량, 하천·지하수의 유출, 토양 수분의 변화, 육지 표면에서 재 증발 등의 과정을 잘 이해하는 것이 필요하다. 동시에 물 순환 이해는 강수의 성격을 결정하는 메소에서 계절풍까지 다양한 스케일의 신경 현상의 이해가 필수적이다. 한랭 지역의 빙설·빙상과 동토 등의 성질은 알베도를 통한 에너지 균형에 미치는 영향 등 기후를 지배하는 중요한 요인이다. 또한 육지 생태계(식물 원시)에 대해서도, 증발산 및 에너지 수지 탄소 순환 등에 의해 대기에 영향을 미치고, 대기·생태계 상호작용을 고려하는 것이 지구 시스템의 이해에 필수적이다. 수치 모델에서도 육지 표면 모델과 생태계 모델의 정치화는 기후 코스의 재현성 향상을 위해에서 중요하다. 대기 조성 변화에 대한 에어로졸 화학 물질은 대기의 흐름에 수동적으로 흘러가는 물질과 더 활성화한 대기에 작용하는 물질이 있다. 특히 에어로졸은 후자의 관점에서 지구 시스템의 중요한 구성 요소가 되고 있다. 에어로졸에 복사에 대한 직접 효과 및 구름 생성을 통한 간접 효과는 기후변화의 중요한 요인이다. 화학 물질의 변화, 대류권·성층권의 오존 변화와 직접 관계되어 오존 홀과 성층권 순환에 영향을 준다. 또한 탄소 순환과 인위적 온실 물질은 온실을 통해 장기적인 기후변화를 일으키고 있다고 생각할 수 있다.

1.8 고기후학과 기상학

고기후학이란 과거의 기후와 그 변화의 원인을 연구하는 학제적 학문이다. ‘과거’는 기상관측이 본격적으로 시작된 19세기 중반 이전의 시대를 가리킨다. “변화의 원인”은 지구 궤도 요소의 변조 및 대기·빙상·지각의 변화, 온실 가스, 태양 활동, 화산 분출, 산불 같은 기후 시스템 등을 원인으로 들 수 있다. 이전에는 지질학, 지구 화학, 고생물학, 지리학, 지자기, 해양학, 설빙학, 목재학, 역사학, 고고학, 화분학 등의 고기후·환경 복원에 관련된 학문 분야가 중심이었지만, 최근에는 기상학, 기후학, 해양학, 생태학 등과의 교류가 진행되어, 글로벌-로컬 스케일의 기후·환경 변화에 대한 종합적인 이해와 그 메카니즘의 해명을 담당하고 있다. 그런 의미에서 기후 시스템을 이해하는 학문으로 고기후학적 의미가 깊어지고 있다.

또한 옛날 기후이지만 가까운 과거~현재 기후·환경 변동이나 미래 예측 연구와 관계가 깊어져 왔다. 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)의 제1실무 그룹 평가 보고서에서는 제4차 평가 보고서(2007

년)에 “고기후” 섹션을 독립한 제5차 평가 보고서(2013년)에서도 “고기후 아카이브로부터의 정보” 섹션이 있다. 후자에서는 초기 관측 장치·문헌 및 자연의 기후 아카이브의 특성 복사 강제력과 기후 반응의 재현, 지역적 변동성과 극단적 현상의 재현, 급격한 기후변화와 지역 규모의 발현 해수면과 빙상의 패턴 진폭 및 변화율 기후 시스템의 비가역성에 대한 고기후적인 전망, 고기후 자료 및 모델 간의 상호 비교가 다루어진다. 기상학에 가까운 분야들에서는 기후 모델간의 상호 비교 실험을 통해 과거 기후 재현 실험 및 고기후 자료를 서로 비교하여 미래 기후변화의 불확실성을 줄이는 시도가 이루어지고 있다.

2008년 시작된 제5기 결합모델상호비교실험(CMIP5)는 모델 평가·기후 예측 및 이해를 목적으로 하는 실험이 설정되었다. 또한 고기후모델링상호비교실험(PMIP)은 한 경계 조건(현재와는 크게 다른 경계 조건) 감도 실험을 실시하여, 모델 간의 상호 비교 및 지질 자료 분석 등과 비교함으로써 기후변화 메커니즘의 이해와 고대 기후 재현의 정밀도 향상을 목표로 하고 있다. 다른 시기에 비해 고기후 자료가 풍부하게 수집된 21,000년 전 마지막 빙하기 최성기와 6,000년 전 충적세 중기 및 과거 천년을 대상으로 한 실험은 CMIP5 실험으로 자리 매김하였다. 지역적인 강수량 변화, 해빙 변화, 엘니뇨 남방 진동(ENSO)의 변화에 대한 고대 기후 기록을 바탕으로 미래 예측 실험에 사용되고 있는 기후 모델의 평가가 이루어지고 있다.

이처럼 기상학과 타 분야와의 상호 교류의 무대로, 고기후학의 진전이 기대된다. 특히 아시아에서는 과거 2,000년의 고대 기후 대체 자료의 정비가 진행되고 있어(최근에는 동위 원소를 사용한 연구도 진행되고 있다), 지구시스템 모델을 이용한 재현 실험과의 비교 검토가 중요할 것으로 예상된다. 또한 기후 재구성에도 기상·기후학적 지식이 필수적이기 때문에, 고기후 연구를 통해 기상학 전공자들은 타 분야와 적극적으로 교류하려는 마음가짐이 필요하다.

1.9 행성과학과 기상학

행성과학은 태양계의 행성과 최근 잇달아 발견되는 외계 행성을 포함하여 행성과 위성을 연구하는 기초과학 분야로서 지구과학, 천문학, 우주과학을 연결하는 종합 과학이다. 각 행성의 구조와 특성을 밝히고, 탄생 기원 및 진화 과정을 논의함으로써 중심 연구분야로 떠오르고 있다. 행성으로서의 지구를 포함하여 다른 행성들과의 상호 비교를 통해 각 행성뿐만 아니라 지구 자체에 대한 인식을 심화시킬 수 있다. 행성과학 중에서도 행성 기상학·기후학은 기상학과 겹치는 분야이다.

행성의 대기 관측에 대해서도 센서 기술과 통신 기술의 비약적인 발전과 함께 큰 진전이 있다. 2010년 5월 발사된 일본의 금성 탐사위성인 「새벽」은 금성 궤도에 들어갈 수는 없었지만, 새로운 관측계획을 검토하여 탑재된 5 개의 카메라로 구름층 위에서 아래까지의 대기 움직임을 동영상으로 촬영함으로써 금성 대기순환의 수수께끼를 밝히고자 한 세계 최초의 행성 기상위성이다. 또한 지상 및 지구 궤도 위성에 탑재된 망원경을 활용한 행성 대기관측도 진행되고 있다. 나요로시에 있는 훗카이도 피리카 망원경은 세계 최대급의 행성 관측망원경이며, 행성 탐사선과 연계한 국제 공동 관측이 기대되고 있다.

일본의 미래 우주 계획으로는 화성 탐사 계획 MELOS와 행성 관측을 위한 전용 우주망원경을 통한 대기 관측 제안이 이루어지고 있다. 이러한 탐사 위성 관측의 추진 노력은 학술적으로도 관련분야의 확대를 위한 기폭제가 될 수 있으므로 꾸준히 실현되어 가는 것이 바람직하다.

금성의나홀순환, 화성의모래폭풍, 목성의 띠 줄무늬 구조 등 각 행성 별 대기 현상·대순환 특성과 그 형성·유지 메커니즘의 이해는 행성 대기 모델을 이용한 수치 시뮬레이션과 실험이 중요하게 요구된다. 기본적으로는 지구 대기 대순환 모델이나 기후 모델을 기반으로 한다 해도 각 행성 매개변수와 대기 조성에 맞는 새로운 모델 구축이 필요하다. 지구의 경우에는 수치 예보 모델 개발의 현실적인 요청에 의해 압도적인 양의 관측에 따라 충분히 검증된 매개변수 및 수치 시뮬레이션(모델 분해능 다음과 같은 현상의 효과를 물리적 법칙을 단순화 한 어렵짐작으로 모델에 통합)자료가 있지만, 행성 대기 모델을 개발하는 경우에는 유사한 같은 작업과정을 관측 자료의 질과 양에서 압도적인 차이가 제약 조건이 된다. 고온·고압의 대기 중 방사성 전송, 다양한 조건에서 진행되는 구름의 형성과 방사선·역학 과정과의 상호작용 등 각각의 문제에 대한 기본원리를 이해할 수 있는 모델링 개발이 요구된다. 우리의 지구 대기에 대한 이해가 얼마나 보편적 성격을 가지고 있는지, 그 모델링이 물리 법칙에 근거한 것인지 여부 등이 행성 대기 모델 개발과 관측에 의한 검증을 통해 시험 받게 될 것이다. 유효한 행성 탐사 계획을 수립하기 위한 관측 시스템 시뮬레이션 실험(OSSE), 탐측으로 관측 자료 및 행성 대기 모델의 융합을 도모하고, 자료동화 등 지금까지 지구 대기 연구에서 중요시되어 온 것이 그대로 행성 기상학의 새로운 전개에 적용되는 시대가 되고 있다.

지구와 행성과학 모두의 발전을 위해 지구에서 기상학·기후학 양 학문의 지식과 경험을 토대로 행성 연구에 적용하고, 행성 연구에서 얻은 새로운 지식을 기상·기후 연구에 재 적용하는 상호작용의 형태가 이상적이다. 그 때, 기타 과학 및 행성과학은 상호 밀접한 관계이면서도, 다른 한편으로는 각각 고유의 힘을 인식 해 둘 필요가 있다. 지구과학은 지구 온난화 연구와 수치 예보 모델 개발 등 사회와

직접적으로 관련된 응용과학적인 측면을 가지지만, 행성과학은 기본적으로 인간의 지적 관심에 기반한 기초 학문적인 측면이 크다. 각 학문 분야의 특수성을 인식하면서 서로 협조하여 연구를 진행시켜 나갈 수 있는 체제를 확립하는 것이 중요할 것이다. 따라서 행성과학의 관점에서 지식의 집적과 연구 추진력을 담보하는 연구 중심의 설립이 요망된다.

2. 기상 감시·예측 및 재해 과학

2.1 기상재해 연구

아시아 몬순 지역에 위치한 일본은 따뜻한 시기에는 태풍, 저기압·전선, 장마전선 등에 따른 호우와 강풍이나 해일, 보슬비, 이상 고온·저온, 번개, 토네이도, 안개 등이 발생하고, 한랭한 시기에는 동해 연안을 중심으로 폭설·돌풍·낙뢰, 이상 저온 등이 발생하여 있다. 이러한 현상에 따라 지형적 요인으로 인구의 편재 등의 사회적 요인과 함께 홍수, 침수, 산사태, 산불, 가뭄, 산사태, 착설, 주택 붕괴, 농업 피해, 교통 장애, 통신 장애 등의 재해가 발생하고 있으며, 그들에 의하여 인적·경제적 손실을 경감하는 것은 사회적으로 큰 과제이다. 관련 분야의 연구원은 재앙을 불러올 현상의 실태를 해명하고 그 성과를 바탕으로 감시·예측·재해 경감을 위한 기술을 개발하고 그 성과를 국가와 지자체의 방재업무에 반영함으로써 재해방지 및 경감에 기여하여야 한다. 2차 세계 대전 후 일본의 기상재해의 발생을 요약하면 1950년대까지 피해를 국토 하에서 태풍을 주요인으로 하는 대규모 기상재해가 다발했지만, 1960년대에는 재해 대 건 기본법 제정, 하천 개수·사방 사업 등의 사회 기반의 정비, 호쿠리쿠 폭설 특별 관측 등에 있어 기상 현상의 이해, 후지산 레이더로 대표되는 관측 시스템과 수치 예보의 전개에 의해 기상재해는 감소세로 돌아섰다. 1970년·1980년대에는 장마 말기 집중호우 관측 등에 의한 메소 신경 현상학의 용성, 정지기상위성을 통한 기상관측시스템 디지털 레이더 배포 등에 의한 관측망의 확대, 수치 예보의 고도화 등에 의해 기상재해가 감소했다. 1990년대부터 현재까지 쓰쿠바 역 강우실험X-BAIU 등의 연구 관측과 고도화된 수치모델에 의한 메소 현상에 대한 이해의 향상, 도플러레이더 멀티 파라미터 레이더 윈드프로파일러 네트워크·GPS 허용 강수량 관측망·번개 모니터링 시스템, 또한 미국에서 발생한 다운 버스트를 통해 항공기 사고를 계기로 맑은날 난류를 감지하는 도플러레이더 등의 배포가 진행되었다.

또한 메소 수치예보모델 4차원 자료동화 기술, 강수와 토네이도에 대한 현재예보의 상용화 등이 보였다. 이러한 연구 및 기술의 진보에도 불구하고 기상재해의 발생은 끊이지 않고 피해자 수는 증가하는 상태이다. 최근에는 국지적 호우에 의한 침수피해 등 도시화에 따른 재해 증가, 낙뢰 피해의 고도 정보화 사회에 미치는 영향 등 사회 취약 화에 따른 재해의 증가가 새로운 문제가 되고 있다. 한편, 저출산 고령화 사회를 맞아 방재 예산의 제약이 있는 가운데, 산간 지역 등의 과속·고령화가 진행되고 있어 재해를 피해 안전한 지역으로 이동하는 활동도 포함할 수 있는 방재정보 활용의 개선이

큰 과제가 되고 있다.

해외에서는 2005년 미국의 허리케인 카트리나와 2009년 미얀마 사이클론, 2013년의 태풍 하이옌(30호) 등 강한 열대 저기압의 내습과 2011년 태국 광역 수해를 비롯한, 보슬비, 이상 고온·저온 등에 의한 재해가 빈발하고 일본에서도 단시간 강한 비가 증가하고, 토네이도 피해를 입을 수 있어 이들과 지구 온난화 관련 연구들이 사회적으로도 주목받고 있다. 또한 후쿠시마 제1원자력 발전소 사고로 방출된 방사성 물질에 대한 정밀한 모니터링과 예측, 재생 에너지 활용을 위한 기상예측 등 방재기술은 사회·경제 활동과 이전보다 더욱 긴밀하게 결합되어 있다.

2.2 기상 감시 및 예측을 위한 관측 시스템의 발전

일본의 기상은 기존 지상과 고층기상관측 등의 공간기상 분석이 주목적이었다. 1970년대를 경계로 방재를 주목적으로 하는 관측망의 전개가 더해져, 기상 관측 시스템, 기상 레이더, 정지기상위성이 일본 열도를 상시 감시하는 체제가 구축되었다. 그러면서 공간규모 현상과 대형 기상재앙을 불러올 메소 스케일 현상과의 관련성이 과학적으로 밝혀졌다. 이러한 성과를 바탕으로 최근 20년은 도플러 레이더, 윈드 프로파일러, GPS 기상학·멀티 파라미터 레이더 등으로 대표되는 새로운 관측 시스템 연구 기관과 대학에서 연구에 도입된 특별관측 및 수치모델과의 공동 작업에 의해 현상이해가 진행되는 한편 시스템과 하드·소프트웨어 측면에서의 개량이 진행되었다. 그 결과, 그들이 네트워크로 기상청이나 국토교통성 하천국(현 물관리·국토보전국) 등의 업무에 활용되어 현재는 세계 수준의 고밀도 관측자료를 상시 제공할 수 있게 되었다. 이러한 관측 시스템과 수치 예보의 발전은 일기예보 역량을 높여, 재앙을 불러올 현상의 예측을 충분히 가능하게 하였다. 하지만 메소 기상청은 많은 연구자의 노력에도 불구하고 공간기상학 같이 학문 체계가 성립하지 않아 이 분야는 여전히 과학적으로 미성숙 되어있다.

관측 시스템에서도 대류권 하층 수증기 연직 분포와 대기 경계층 관측에 있어서는 여전히 불충분한 면이 많아, 계산기 성능의 한계도 적란운의 예측에 충분한 해상도가 아닌 것으로부터, 수치 예보의 메소 스케일 현상에 대한 신뢰성은 아직 충분하다고는 말할 수 없다. 현재 기상청에서는 메소 스케일 현상에 관해서는, 수치 예보와 해설의 운동학적 방법에 의한 예측을 통합하고 예보 담당자의 종합적인 판단하에 예·경보 등의 발표를 하고 있다. 이 가운데 레이더와 우량계 자료를 기반으로 분석한 강우량은 강우량 해설 기초 자료로서 중요하고, 그것을 기초로 분석 강우량과 운동학적 예측과 수치

예보를 결합하여 단기강수예보, 홍수나 토사 재해의 위험예측을 실시하고 있다.

또한 최근에는 1 시간 앞까지를 대상으로 하는 강물, 번개, 토네이도 현재예보 같은 관측과 예측의 중간적인 형태로 현재예보 방재 기술을 충실히 하고 있다. 앞으로 1 시간보다 먼저 예측정확도의 향상 및 재해발생 직전의 예측이 과제가 되고 있다.

강설 내용은 레이더 포도 강우량에 비해 레이더 강설량의 측정 정밀도는 훨씬 나쁘고, 한편 설운도는 지형 효과도 큰 아이 과에서 설운도에 대해서는 위의 방법의 새로운 개량이 필요하다. 메소 스케일 현상의 이해는 수치모델의 진보와 함께 공간기상, 대기 경계층, 구름 물리, 구름 역학, 복사 과정 등 다양한 학문 분야를 발전시켜 그들을 종합화하여 메소 신경 기상을 이론적으로 체계화 된 학문으로 발전시키는 노력이 필요하다.

따라서 현재 부족한 것으로 알려진 대류권 하층이나 대기-지표면 과정 등의 관측 기술과 관측 시스템 개발과 강수 발생 초기 구름의 물리적 현상의 관측, 강수구름의 안에서 일어나는 물리·역학의 새로운 관측 시스템개발이 필요하다. 또한 각종 지구관측 위성의 연계를 통해 상층의 기온·수증기 복사 뿐만 아니라 운수·운빙(雲氷) 빗물·눈과 구름 물리적 요소 관측도 최근에는 가능하다.

향후 위성은 2014년 발사 예정인 정지기상위성의 고빈도·고해상도·터치를 늘리거나 다채널 관측 활용 추진을 도모하는 것과 동시에, 정지기상위성 측심기의 탑재나 각종 지구관측위성에 의한 메소 스케일 현상의 상시 감시체제를 구축하는 것이 과제이다.

또한 구름과 강수예측 정확도를 향상시키기 위해 항공기 관측 등에 의한 수증기의 연직분포 관측으로 급격히 발달하는 적란운과 메조 사이클론을 감시하는 위상 배열 레이더의 실제화 등이 과제이다. 이러한 다양한 관측 자료를 최대한 활용하기 위한 4차 원시자료동화 기술과 관측 시스템 연구 및 예측 가능성 실험 계획(THORPEX)에서 볼 수 있는 기동적인 관측기술 연구 등을 발전시켜 관측과 예측의 융합적 발전을 도모할 필요가 있다.

2.3 기상 예측 시스템 개발

2.3.1 기상 예측 시스템의 현황

기상 예보의 기본은 전세계 관측 자료를 수집하고 그것을 분석하여 기상을 예측한 결과를 실시간으로 사회에 전하는 것이다. 이 기술은 19세기에 시작한 것으로 되어 있지만, 2차 세계대전 후에

전자계산기의 탄생과 함께, 물리법칙에 따라 초기값 문제를 해결함으로써 예측 기술이 발전하였고, 정확도 또한 크게 향상되었다. 일본은 수치예보기술의 개발 분야에서 일찍부터 대학과 기상청 공동 노력이 진행되어 1959년 IBM704의 기상청 도입과 함께 수치 예보 업무를 시작하였다.

수치예보 기술은 슈퍼컴퓨터와 컴퓨팅 기술의 발전과 함께 모델의 분해능·물리적 과정의 정교하고 관측자료에서 초기값을 만드는 자료동화 기법의 고도화 등의 개량이 진행되고, 또한 관측 면에서도 모든 공간을 관측 할 수 있는 위성 관측의 발전과 함께 관측 자료의 충실성을 도모하고 있다. 그 결과, 공간규모 현상에 대한 예측 정확도의 지표로서 국제적으로 비교되는 경우가 많다.

북반구 500hPa 고도 코스의 오차를 보면, 지난 20년 동안 같은 오차로 예보할 수 있는 기간이 10년에서 1일 정도의 비율로 연장하고 있다. 태풍진로 예측오차에 대해서도 정밀도 향상이 달성되고 있다. 세계적인 수치예보센터 중에서는 유럽중기예보센터(ECMWF)가 가장 앞서 있지만, 미국, 영국과 함께 일본은 2위 그룹에 위치하고 있다. 한편, 일본의 메소 수치예보 내용은 자료동화 기법으로 4차원 변분법을 세계에 선구적으로 도입했고, 이전 절에서 언급 한 바와 같이 도플러 레이더, 윈드 프로파일러, GPS 허용 강수량 자료 등의 새로운 관측 기술의 도입과 함께 그 활용 기술을 개발하고, 강수 예측 정확성을 꾸준히 향상시켜 왔다. 예보 모델은 비정역학 모델이 도입된 수평 해상도 2km의 국지적 모델이 업무에 운용되는 단계에 있다.

일본 열도의 지형 복잡성을 반영한 상세한 기상분석 및 예측을 실시하는데 있어서 앞으로도 더욱 섬세한 수평 해상도의 수치예보모델의 운용이 기대된다. 한편, 폭우·폭설 재앙을 불러올 메소 대류시스템에 대한 현상의 발달·쇠약·이동시간·장소를 명확하게 예측에 이르지 않고 개별 적란운 예측 기술은 더욱 어려운 실정이며, 메소 대류 시스템에 대한 지식 확립의 필요에 따라 관측 기술, 특히 수증기를 대상으로 한 관측의 발전이 필요하다. 전지구 수치 예보에서는 특히 예측 시간이 길어질 것을 고려하여 카오스의 영향도 더해져 독일의 수치 예보에서 얻을 수 있는 정보는 부적당하다하여 앙상블 기법을 도입하였다. 세계 최초로 수치예보를 기반으로 1개월 예보를 발표하는 등 세계적으로도 최첨단 기술을 가지고 있다. 앙상블 예보의 기반 기술이 되는 예측 가능성 연구내용은 기상학회와 기상청의 공동노력으로 기상연구 컨소시엄을 출범시켜 안산 루데타 대학 등의 연구 이용의 추진을 도모하고 있다. 향후 메소 예보 분야도 포함한 전체 앙상블 기법의 확충을 도모할 계획이다.

예보 발표에서는 수치예보 자료와 현재예보 자료와 함께 관찰 해설을 기준으로 예보관이 판단을 하고, 맨 머신 인터페이스인 예보작업 지원시스템 무서(YSS)가 중요한 역할을 하고 있다. 이 시스템의 새로운 디자인으로 마을 단위 정도와 지금까지보다 세밀한 경보 발표가 2010년부터 운영되고 있다.

YSS에서 만든 예보 등은 데스(기상 정보 전송 시스템)를 통해 관계 기관에 제공된다. 지진·해일·화산 등의 정보를 모두 합해 365일 24시간 동안 끊임없이 발신되는 정보는 사회 시스템에서 방재, 교통, 산업에서 이용할 뿐만 아니라 TV의 일기예보 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

2.3.2 기상 예측 시스템의 과제와 향후 전망

날씨와 태풍 예보 등은 국민 생활에 필수적으로 정착되었지만, 예측 정보를 충분히 사용되지 않고 해설 정보로 판단되는 분야도 적지 않다.

이 요인으로 첫째 예측정밀도가 이용자 측의 판단으로는 충분하지 않을 수 있는 것, 둘째 정보 가치가 있을 텐데 다양한 요인으로 이용되고 있지 않는지 하는 분석도 된다. 다음은 예측정확도 향상 및 예측정보의 이용 추진을 위한 과제와 향후 전망을 기술한 것이다.

(1) 예측 정확도의 향상을 위해

① 모델 고해상도화를 위해 고해상도에 어울리는 역학과정·물리적과정의 개발, 차세대 측정기계에 적합한 방법을 빠르게 추진한다. 향후 10년간 현업 기상 예측의 목표 분해능은, 모든 공간 10 km 정도, 영역 모델에서 1 km 정도이며, 앙상블 예보에서는 각각 더 세밀한 해상도가 된다. 역학 과정으로, 모든 비정역학 모델의 개발이 매우 중요한 과제가 될 것이다.

② 모델의 물리 과정을 LES나 관측 자료 등을 이용하여 철저히 검증하고 물리적 모델로 정밀도를 향상시킨다. 고해상도 문제는 모두 공통적으로 각 분야의 전문적 지식의 통합 관측 실험과 연계 등이 과제이다. 특히 향후 10년간 목표 해상도를 근거로 구름 물리 과정의(특히 눈구름) 정교를 진행하는 한편, 수 km에서 20 km 정도의 해상도 핵심 적은 대류의 취급에 대해 현업 분야와 연구 분야가 협력하여 개선을 도모하는 것이 중요하다. 또한 모델의 연직 분해능에 맞는 각종 기상 요소의 수직 변동도 모델에 통합 하는 것이 중요하며, 이것의 활용은 초 단위로 자료 취득이 가능한 GPS 존데에 공헌 할 것으로 기대된다.

③ 관측 자료의 정보 가치를 극대화 한 자료동화 시스템의 개발을 추진한다. 특히 스케일의 자료동화 내용은 기술 혁신이 필요하다.

④ 위성 관측을 포함한 예측 정확도 향상에 효과적인 관측 시스템을 제안한다. 새 관측이 실현될 때 조기에 이용할 수 있는 기술의 개발을 실시한다. 또한 기존의 관측 시스템에 대해서도 그 이용 방법을

개선하고 정밀도 향상을 도모한다. 국제적인 체제 하에서 위성 관측 등을 포함한 관측 분야와 예측 분야들과의 연계가 필요하다.

⑤ 기상연구 컨소시엄을 이용한 예측 가능성 연구의 추진 등을 통해 앙상블 예보 확률 밀도 분포의 정밀도 향상을 도모한다. 확률 정보의 활용을 추진하는데 확률로 정밀도 향상을 도모하는 것은 중요하다.

(2) 예측 정보의 이용 추진을 위한 관측·수치 예보 기술의 발전과 병행하여 기상 예측에서 재해 예측의 번역 기술과 전달 방법을 개선하고, 방재 정보의 전달과 재해 피난 등의 본연의 자세 연구 정보·사회학 분야와의 제휴가 아마도 가장 시급하고 중요한 과제이다. 따라서 이의 실현과 함께 일본 기상학회가 선두가 되고, 수문학·토목 공학·지질학·지리학 모임 등 관련 학문 분야와 언론과의 연계 학문 발전 사이클의 강화와 이에 대해 사회 경제 분야의 육성이 필요하다. 기상 분석 및 예측 결과는 방재뿐만 아니라 다양한 사회 경제 활동의 고급 활용을 추정할 필요성이 있다. 특히 세계화된 기업 활동을 지원하는 전략적 정보 재생 에너지의 효율적 운영 기반과 정보 서비스 분야는 산·학·관의 연계하에 국가 프로젝트로 진행시켜 나갈 필요가 있다. 원전 사고에 의한 이류 확산을 예측하는 것이 주요 관심사가 되었지만, 원전 사고뿐만 아니라 테러, 화산 분화, 공장 사고 등 유해 물질의 이류 확산 예측을 위한 국가 위기관리 정보로서 중요하다. 이 예측 정확성을 담보하는데, 바람 등의 기상 분석 및 예측 정확도 향상을 높이는 것이 중요하고 또한 관측에서 예측까지의 기술 발전을 추진할 필요가 있다.

또한 위기관리와 확산 물질 전문 분야와의 제휴를 도모하는 것도 중요하다. 기후변화에 따른 재앙을 불러올 현저한 현상의 증가가 우려되고 있다. 아시아 태평양 지역 선진국으로 아시아 몬순과 관련된 장마, 호우나 폭설, 보슬비, 열대성 저기압과 관련된 연구에 대해 어느 때보다 연구원·학계 간의 연계(정보교환, 연구원 교류, 모임 회의 개최, 연구 컨소시엄 등)을 심화시킴과 동시에 관측 시스템에서 방재정보 대피 등의 활용까지 패키지로 기술협력을 할 수 있도록 기상학과 수문학 협력을 축으로 산·관·학의 연계 체제를 구축하여 세계 및 지역의 기상재해 경감을 위해 중요하다.

2.4 황사와 화산재에 의한 재해 예측

최근 자주 황사가 관측되고 있다. 황사는 타클라마칸과 고비 사막, 황토 고원 등 중국과 몽골 사막

지역에서 강풍에 의해 공중에 갇힌 황사 입자가 상공의 서풍에 따라서 일본 부근까지 운반되어 온 현상이다. 시정 장애와 교통 장애를 일으켜 세탁물을 오염 시키고 농작물에 피해를 주고 건강 장애의 원인이 된다. 일본의 황사는 예전에는 봄 현상이었지만 최근에는 연중 발생 횟수도 증가하고 있다. 발생지에 가까운 중국이나 한국 국가의 피해는 더욱 심각하여 동아시아 공통의 문제이다.

황사에 대해 기상청에서는 목측, 환경부에서는 도플러 라이더에 의한 관측을 각각 실시하고 있다. 또한 정지기상위성과 지구관측위성 AQUA 탑재의 MODIS, CALIPSO 탑재 라이더로 인해 글로벌 유통 및 연직 분포를 관측하고 있다. 최근에는 수치 모델에 의한 황사예측 정보도 일반적으로 제공되고 있다. 수치모델(이류 확산 모델)에서는 황사의 발생을 적당히 추정(매개 변수)한 다음 수송 및 강수에 의한 포착(청소) 등을 계산한다. 그러나 발생 과정의 매개변수화는 큰 오차 요인이 존재하여 정밀화를 도모할 필요가 있다. 또한 에어로졸의 위성 관측자료를 동화 초기조건의 정밀도 향상을 목표로 한다. 황사는 자연적 에어로졸이지만, 이 외에도 인위적인 에어로졸도 일본에 수송된다. 인위적 에어로졸은 다음 장에서 설명한다.

그러나 실제로는 인위적 에어로졸도 황사와 같은 때 옮겨져 복합적인 재해를 일으키므로 둘을 동시에 다룰 필요가 있다. 한편, 황사와 같이 대기 중의 미량 물질의 위기관리 정보로서 중요한 화산재 정보에 대해 알아보자. 화산재는 바람에 휩쓸리고, 분화 규모에 따라 화산에서 멀리 떨어진 지역에도 다양한 영향을 미친다. 예를 들면 1991년 피나투보 화산 폭발과 같은 대규모 분화시에는 성층권에 대량의 화산재(화산 에어로졸)가 주입된 대기 대순환을 통해 지구 전체로 확산되고 방사선 흡수 지급에 영향을 줘 평균 기온의 저하 등 지구 규모의 기후변화를 일으키는 원인이 될 수 있다.

화산재의 직접적인 영향으로 항공기와 도로, 철도 등의 교통 장애, 농업 피해, 건강 등의 생활 피해를 입을 수 있기 때문에 화산 폭발의 상황 파악과 대기에 의한 이류 확산을 결합한 정보 제공을 더욱 충실하게 해 나갈 필요가 있다. 또한 화산재 방출의 정량적 파악이 곤란한 경우가 적지 않다. 이류 확산 모델과 함께 대기 중 화산재 모니터링이 중요하며, 육지 및 위성에서 라이더 관측 및 차기 정지기상위성에 탑재되는 다 채널 측정 분석 기술 등이 기대된다.

또한 분화 현상의 규모 파악을 위한 기상 레이더와 기상 위성의 기상 관측기술 활용이 기대된다. 특히 지구의 기후 변동을 일으킬 수 있는 대규모 폭발은 화산재(화산성 에어로졸)의 모니터링, 지구 규모의 이류 확산 예측, 방사선에 의한 영향 추정, 기후변동 예측 등 기상학의 지식을 결집하여 정책 판단 등을 지원해 나갈 필요가 있다.

2.5 기상 정보의 제공 및 활용 확대

기상학의 발전 및 기상 위성과 윈드 프로파일러 등 관측 기술의 발전과 더불어 오늘날 기상 예측 기술이 사회에 제공됨으로서 양뿐만 아니라 서비스 품질도 높아져 왔다. 이러한 환경 속에서 1995년에는 서비스가 자유화되어 기상청만 아니라 요건을 충족하면 민간 기상사업자도 단기예보에서 주간예보 그리고 계절예보까지 발표할 수 있게 되었다.

주의보와 경보 등의 방재 정보의 발표에 관해서는 지금도 기상청의 고유 업무영역으로 되어 있지만, 그 이외의 다양한 기상 관련 정보에 대해서는 민간 민간 기상 서비스로서 제공 되고 있다. 2013년 1월 1일 현재 115 예보업무 허가 사업자가 있고, 각 창의 연구를 거듭한 기상정보를 사회에 제공하고 있다.

일반 국민은 자신의 목적에 따라 글자가 필요한 정보를 골라 사용할 수 있을 뿐만 아니라 스스로가 정보 제공자가 될 수 있는 시대가 되었다. 기상정보에는 기상청이 발표하는 경보나 주의보, 기상정보 등과 같이 방재를 목적으로 한 기상정보와 각종 산업에서의 이용을 목적으로 한 기상정보 및 일반 생활에서 활용되는 서비스 등이 있다.

방재를 목적으로 한 정보는 기상업무법에 따라 기상청이 발표하고, 보도부 부현의 방재 부국 등을 통해 마을에 또한 보도 기관 등의 협력을 얻어 주민에게 도착되고 방재 대응에 활용되고 있다. 또한 산업 이용을 목적으로 한 정보에는 예전부터 농업기상 및 전력기상 또는 항공기상이라는 분야가 있는 것처럼 각각의 목적에 따른 연구 및 기술 개발이 이루어지고, 그 성과는 각각의 분야에서 활용되어 왔다.

또한 육상과 해상 교통의 안전 전체를 위해 각각의 목적에 맞는 기상정보를 활용하고 있으며, 기타 에너지산업, 가전산업, 의류산업, 식품·음료·주류 제조, 유통·소매업 등 대부분의 산업에서 계획적인 생산 및 판매를 위한 단기 예보부터 계절예보까지 그 목적에 맞는 기상정보를 활용하고 있다. 또한 민간 기상 사업자는 세탁지수와 세차지수, 맥주지수, UV지수 등 기상과 관련된 지수 등도 바로 생활에 밀착한 정보로 여러 방법을 궁리해 볼 수 있다. 또한, 항공 기상 분야에서는 안전 운항을 위한 맑은 난기류와 화산재 등의 정보 효율성 운항 때문에 상층 바람예측 등 다른 분야와 달리 상공의 기상정보에 대한 요구가 있는 것이 특징이다. 지금 세계적으로 추진되고 있는 차세대 항공 교통 관리를 향해 그 기반으로 위치 추적되는 4차원 기상 자료베이스 구축 등 기상 분야에서의 공헌이 기대되고 있다.

기상학·대기 과학의 성과로서 관측 자료 자체 또는 다른 처리·가공한 예측 자료 등으로 사회에

제공되고 있으며, 또한 일반 생활 정보와 사회 정보 등과 결합한 다양한 정보의 형태로도 이용되고 있다. 계절 예보와 주간 예보는 물론, 최근 토네이도와 돌풍 또는 태풍과 이상 기후 조기 경계 정보 등이 확률을 포함한 예측정보로 볼 수 있다. 앞으로 확률 예측정보가 제공될 전망이지만 이러한 정보의 활용에 대해서는 제공하는 측도 이용자 측도 그 효과적인 방법이 확립되어 있지 않다. 기상학회로서는 이 같은 확률예측정보의 활용을 비롯한 다양한 예측 정보의 효과적인 이용에 대해서도 연구 개발을 진행할 필요가 있다.

최근에는 지구 온난화에 대한 사회의 요청도 강하고, 기존의 일기 예보와 기상 경보·주의보뿐만 아니라 정책 결정의 판단 재료의 하나로서 폭넓은 대기 과학의 연구 성과가 요구된다. 또한 최근에는 날씨 위험에 따른 기업의 손실을 피하기 위해 기상 요소를 대상으로 한 금융 파생 상품으로서 날씨 파생 상품도 개발되고 있다.

이후에는 사회의 모든 분야에서 점점 기상 정보의 중요성이 증가된다고 생각되기 때문에 예측 정확성의 향상은 물론, “기상 정보의 효과적인 사용” 및 “행동에 연결 정보 제공의 본연의 자세”에 대한 검토가 요구된다. 또한 동일본 대지진에 의한 원자력 발전소의 사고를 볼 때, 향후의 에너지 정책의 전환은 사회적으로 중요한 문제가 될 수 있을 것이다. 특히 태양광, 풍력, 수력 등 신재생에너지 관련 산업이 발전하여 왔으며, 이런 분야에서 기상정보의 활용을 위한 물리·공학 간의 연계하여 기상 전문가의 활발한 활동이 기대된다.

3. 환경 과학으로

3.1 로컬 환경 문제(도시 환경 문제)

1980년대에는 간신히 수습을 시작한 대기오염의 경험을 바탕으로 사전에 대기오염을 방지하도록 사업 계획을 설정하는 것을 필수 조건으로 하여 환경 평가의 개념과 법이 거의 형성되었다.

1992년 Rio 정상 회담을 계기로 1993년에 성립된 환경 기본법

1) 사람의 건강 보호, 생활환경 및 자연 환경이 적정하게 보전 되어야 한다. 또한 대기, 물, 토양 기타 환경의 자연적인 구성 요소가 양호한 상태로 유지된다.

2) 생태계의 다양성 확보, 야생 동물 종의 보존, 기타 생물 다양성의 확보를 도모할 때 함께, 숲, 농지, 수변 공원 등의 다양한 자연 환경이 지역의 자연적·사회적 조건에 따라 체계적으로 보전된다.

3) 사람과 자연과의 풍부한 만남이 유지되는 것.

4) 환경 과부하의 저감. 이렇게 4개의 사고방식이 나타났다. 이 아이디어에 따라 1997년 환경영향 평가법은 대규모 개발 행위를 실시하는 사업자가 환경영향 평가를 실시하도록 의무화, 그 중에서도 우리의 환경을 지속적으로 유지하기 위한 사회적 공감대를 얻는데 필요절차가 정해져 왔다. 그동안 개인적으로 이 분야에 기여하는 연구원은 있었지만, 기상학회는 학회 기술의 기술적 내용이나 학술적인 평가 혹은 비판을 하는 등 조직으로서 이러한 사회적 문제에 관여하는 경우는 없었다. 지역 대기 환경 문제를 이야기할 때 하나의 중요한 전환점은 기상청의 2001년 수치 예보 제품이다. GPV를 (재) 기상 업무 지원센터를 통한 실시간 온라인 자료를 본격적으로 제공하게 된 것이며, 이를 통해 메조 스케일 대기오염에 관련 실제 현상의 분석이 비약적으로 발전했다. 또한 민간에서도 광화학 대기오염 및 미세물질 오염분석이 가능해져, 각 지자체의 대기오염 메커니즘의 이해와 그 대책이 진행되었다.

그러나 대기오염 문제 중 광화학 대기오염 및 미세 입자상 물질 PM2.5, 도시 지역의 도로변의 오염 문제는 미해결의 과제이며, 모두 복잡한 대기 화학 반응이나 도시 구조물의 영향을 받는 것이다. 또한 전 세계 도시의 인구 집중이 심화 되고 있는 가운데 도쿄에서는 연평균 기온이 100년에 3℃ 정도 상승하고 있어 향후 더욱 지구 온난화와 열섬 현상이 중첩되어 일어날 우려가 있다. 도시에서 지구 온난화에 의한 겨울은 한랭 스트레스를 완화하지만, 여름에 가벼운 것부터 엄청난 열대야 이르기까지 인간 건강에 피해를 주며 또한 과대 한 피크 에너지 수요로 이어질 수 있기 때문에 시급하게 대책을 강구 해 나갈 필요가 있다.

이상과 같은 배경을 바탕으로 이 분야에서 향후 필요한 기초 연구에서 사회학 모임의 기여로 간주할 과제 순으로 나열하면 다음과 같다.

① 현재의 평탄한 모양·고정식 전제하에 만들어져 있는 대기 경계층 이론에서 탈피하여 지형이나 건물의 영향을 받는 비정상 현상의 보편적인 기술(난류 현상 포함)모델링

② 도시에서 가장 큰 에너지원인 일사이나 도시 강수에 영향이 깊은 구름의 방사선을 포함한 방사선 모델의 고정밀화(1.3 도 기재)

③ 이러한 문제의 개선을 기반으로 한 자외선 량과 대기 중의 액체 수량 등에 의존하는 각종 화합물질 대기 반응의 해명

④ 로컬 대기 화학 반응에 관련되는 VOC(휘발성 탄화수소)을 발생하는 식물과 해양 등 자연 발생원의 이해

⑤ 환경에 대한 모델의 정확도 검증에 사용하는 지표로 그 범위를 정하는 절차에 큰 센서스의 형성

⑥ 사회의 필요에 따라 새로운 관측 기술이 실용화되면, 그것을 행정 절차에 사용하기 위한 지침의 제정 및 보급. 이 중에서 ②는 식물의 광합성 활성에 관련 농업 분야와 탄소 순환에 있어서도 중요하다. 또한 ② ③ ④는 식물 등에 의한 에어로졸의 발생 → 구름의 발생 → 일사의 영향 등을 통해 상호 작용을 하고 있을 가능성도 있어, 타 분야와 연계해 이들을 해명해 나가는 것이 중요하다.

마지막으로, 실제 현상과 수치 모델의 결과를 비교하기 위해 “평균”의 개념을 가지고 명확히 할 필요가 있다. 실제 관측 자료는 특정 시공간의 평균치이며, 수치 모델과 비교할 때 동일한 시공간 평균과 비교해야 한다. 그러나 기상 수치 모델이 어떤 평균을 계산하고 있는지 명확하게 거론되는 것은 적다. 수치 모델이 어떻게 평균을 계산하도록 설계되어 있는지 주의를 환기해 나갈 필요가 있다.

3.2 인위적 배출 가스 및 전역 대기 환경 문제 연구

기상청 시계루 회원은 1982년 9월에 남극 오존 전량의 대폭적인 감소를 세계 최초로 측정하였고, 이것이 오존홀 발견으로 이어졌다. 그 후, 기상·대기 과학자들에 의해, 남극의 봄철 오존 구멍의 발생 원인은 인위적 프레온 가스 등에 의해 초래된 것으로 밝혀졌다. 이 발견은 1985년 「오존층 보호를 위한 비엔나 조약」의 발효를 이어갈 1987년 ‘몬트리올 의정서’의 비준·발효와 1990년대 이후의 의정서 개정의 큰 추진력이 되었다. 이것은 대기과학이 지구 환경 보전에 큰 역할을 담당할 수 있는 중요한 사례가 되었다.

한편, 지구 온난화에 큰 영향을 미칠 것으로 생각되는 이산화탄소에 관해서는 1950년대 미국에서 더 정확한 관측이 시작된 이후 세계 각국에서 세계기상기구(WMO)와 지구권-생물권 지역 국제 협력 연구 계획(IGBP) 등의 다양한 연구 프로젝트의 관측 네트워크가 확대 됐다. 처음에는 지상뿐이었다. 관측도 정기 여객기 및 선박에서 관측 플러스, 2000년대 이후에는 위성에 의한 관측도 수행하고 있으며, 세계적인 관측 네트워크 구축이 확대 및 전진됐다. 이와 호응하는 형태로 수치 모델 개발과 수치 모델과 관측을 이용하여 최대의 불확실성 지역 이산화탄소 플럭스를 추정하는 연구도 2000년대 들어 크게 진전되고 있다. 글로벌 대기 환경 수치 모델에 의한 평가의 정확도 향상은 장기적이고 포괄적 가정 아래에서 동질의 관측 자료가 필요하다. 복사계에 대한 품질 관리(QC)를 수행하는 국제적인 기구가 있지만, 인위적 가스 및 에어로졸에 대한 정보는 충분하다고는 말할 수 없다. 국제적인 보고 측정 표준과 자료의 QC에 대한 대처가 필요하다. 1989년에 전 지구 대기 감시(GAW) 계획이 수립되어 온실 가스 모니터링 표준에 대한 기준이 있지만, 보고에 대한 기준이 적은 현실이다.

한편, 다른 인위적 물질은 GAW의 측정 항목에 들어가 있지만, QC 국제 대처가 없기 때문에 정확성 등에 문제가 남아 있다. 2000년경부터 동아시아의 대기 환경에 대한 대형 프로젝트가 잇따라 실시되고 이곳 지역의 대기 환경에 대한 이해와 모델로 재현 및 예측성이 크게 발전했다. 또한 인위적인 근원 가스 및 에어로졸 직접 효과와 간접 효과로 기후에 미치는 영향은 IPCC에서 불확실성으로 지적되고 있던 적도 있어, 관측 및 수치 모델 쌍방의 연구가 향상되어야 한다. 동아시아에서는 일본의 연구자가 중심이 되어, 복사계, 기수, 산성비 모니터링 등 대기 환경에 관한 관측 네트워크가 정비되는 것과 동시에, 국내에서도 에어로졸과 대기 환경에 대한 집중 관측 사이트 유지 및 운영되고 있다.

WMO는 일본 기상청이 운영 하는 WMO 온실가스 세계 자료센터(WDCGG)를 통해 세계에서 행해진 관측 성과를 정부, 연구 기관에 공표하고 있다. 또한 2000년 이후 잇달아 지구관측위성이 운용 시작되고 탑재된 온실 가스와 인위적인 에어로졸 센서 정보를 이용할 수 있어, 동아시아의 대기 환경의 실태 파악과 이해는 크게 진전했다.

또한 이 무렵부터 전지구 대기 에어로졸 모델뿐만 아니라, 전 지구 화학 기후 모델 영역과 에어로졸 모델이 공동 개발되고 동아시아 대기 환경의 재현 및 예측이 진행되는 것과 동시에, 이 가운데 개발된 에어로졸-대기 화학 과정은 기후 모델에 포함되어 온난화 예측 연구에 큰 공헌을 하고 있다.

이러한 관측과 모델 연구의 진전과 궤도를 같이 하도록 에어로졸 등 대기 미량 물질 정보 자료동화 기술 개발이 2000년대 후반부터 크게 진전됐다. 동시에 각 연구 기관과 연구자의 노력으로 동아시아 대기 오염 물질과 온실 가스 배출 인벤토리 리드 정비가 진행되었다. 대기 환경 모델의 경우 에어로졸

입자의 생성·응축·응집·내부 혼합에 대한 전체 과정과 다양한 대기 화학 과정이 도입되고, 점점 더 복잡한 모델로 진화하고 있다. 하지만 정확도 보증을 위한 검증이 중요해지고 있다.

다양한 에어로졸 대기 화학 과정이 존재하고, 동아시아 지역에서 네트워크 관측 지상 거점의 집중 관측, 항공기 관측, 위성 자료 분석 및 전자 현미경에 의한 입자 분석 등을 유기적으로 결합 관측 모델을 연계한 연구 회의에서 한층 더 추진이 필요하다. 대기 환경의 자료동화는 황사·오존·이산화탄소 내용은 개발이 진행되고 있지만, 각종 에어로졸이나 인위적 가스가 확장함으로써 관측 및 수치 모델을 결합했다. 전 지구 대기 환경 모니터링 및 예측의 고정밀화를 위한 노력이 필요하다. 또한 인벤토리 내용은 상향식 배출 자료 세트는 신뢰성 측면에서 문제가 있다. 질 높은 배출 인벤토리 모델에 의한 대기 환경의 평가와 예측의 고정밀화가 필요하다. 한편, GOSAT(이부키), GCOM-C1, Earth CARE 등의 지구관측위성을 이용한 인위적 배출 가스 및 에어로졸 모니터링 시스템의 확립이 중장기적으로 큰 도전 과제이다. 이렇게 얻어진 제품을 동아시아 환경 보호, 건강 영향 평가와 각국의 자연·사회경제적 특성에 적합한 지속 가능 사회의 실현과 연구에 활용하기 위해 다른 분야와의 공동 연구 및 응용 연구에도 적극적으로 임할 필요가 있다.

3.3 지구 온난화 연구

국제적으로 본 최근의 지구 온난화 연구 진전은 1990년의 1차부터 2007년 4차에 이르기까지 정부 간 패널(IPCC) 평가 보고서의 내용에 담겨있다. 인위적 온실 효과와 온실 가스에 의한 기후변화가 실제로 발생하는 가능성에 대해 관측 자료의 정비, 분석을 진행과 모델 연구의 발전은 “가능성이 매우 높다”고 결론 붙이는데 이르렀다.

이산화탄소 농도의 연 1% 증가에 대한 기후 반응의 논의에 시작된 미래 예측 연구에 대해서도 현재는 여러 온실 가스와 에어로졸 등 미래 시나리오에 대한 기후 반응이 논의 되는 동시에 탄소 순환 반응 지역적 기후변화, 극단적 현상의 변화 등의 연구도 지속하고 있다.

한편, 강제력에 대한 전지구 평균 기온의 상승 용이성의 지표 즉 ‘기후 민감도’의 추정에는 아직 불확실성이 남아있다. 기후 모델에 대한 일본의 지구 온난화 연구는 기상연구소를 중심으로 1980년대부터 시작되어, 그 성과는 1990년의 제1차 평가 보고서에 반영되어있다. 또한 2002년 지구 시뮬레이터 운용 개시를 계기로 문부과학성 등 대형 연구 프로젝트를 통해 국내 많은 연구자가 참여하는 형태로 대규모로 추진되었다. 초기에는 확인 불가능한 100년 후의 예측 계산을 황당하다고

비판하는 시각도 볼 수 있었지만, 상술한 바와 같이 지구 온난화 연구의 국제적인 성숙에 따라 국내에서도 그 과학적 중요성에 대한 이해가 퍼졌다.

IPCC 제4차 평가보고서에서는 일본의 여러 기후 모델 그룹이 예측 계산을 제공하고 그 결과 효과를 분석한 논문이 다수 인용되는 등 국제적으로도 일정한 존재감을 보여 주었다. 그동안 기후변화협약 (UNFCCC) 당사국 총회(COP) 등 지구 온난화를 둘러싼 국가 간 협상에서는 온난화로 인한 위협한 영향을 피하기 위해 온실 가스 배출량의 대폭 감소가 필요하다는 것을 명확하게 인식하면서도, 그 구체적인 목표와 국가 간의 분담 내용 합의가 늦어지고 있다.

이러한 상황에서 지구 온난화 연구는

- 1) 기후 현상과 이상화 경향을 정확하게 파악(모니터링),
- 2) 기후와 생태계의 물질 순환의 상호 작용을 포함한 미해명 과정을 공개(현상 해명),
- 3) 실제로 발생한 변화와 극단적 현상과 온난화의 관계를 이해(변화의 요인 추정),
- 4) 미래의 기후변화를 안정적으로 처음부터 끝날 때까지 불확실성의 폭을 나타내는 것(미래 예측)

등이 사회에서 강하게 요구되고 있다.

① 모니터링에 관해서는 위성 관측을 포함하여 국제적인 관측 네트워크에 기여하고 동시에 국내 관측지점의 관측환경 유지 등을 통해 장기적인 변화경향 분석을 견딜 시간으로 균일한 자료를 지속적으로 얻기 위한 노력이 중요하다.

② 현상 해석에 관해서는, 현상의 관찰·실험과 직접 수치 시뮬레이션을 함께 실행하여, 프로세스 수준의 지식을 글로벌 모델에 적용하기 위한 고민을 항상 할 필요가 있다.

③ 변화 요인 추정은 일본에서는 본격적으로 추진되어 오지 않았지만 국제적으로는 방법론이 존재하고 있다. 향후 실제로 진행되어가는 기후변화와 그에 따라 발생하는 극단적 현상에 대해 먼저 그런 사건과 모델의 재현 및 예측 계산과 무결점을 항상 평가 하는 자세뿐만 아니라 모델 검증의 의미에서 중요하다. 또한 인위적 온난화 요인을 제외한 경우의 모델 계산이 통계적으로 비교하여 실제로 발생한 사건이 인위적 온난화 에 어느 정도 기인한다고 말할 수 있을지를 평가하는 것이 과학적인 이해의 관점에서뿐만 아니라, 사회 관심의 반응 위에서도 중요하다.

④ 장래 예측에 관해서 말하면, 기후 민감도의 불확실성 감소를 비롯한 글로벌 문제를 진전시키는 동시에 자연 변화의 초기값 설정을 포함한 미래예측과 극단적 문제를 포함한 지역규모의 예측성의 신뢰성을 높이는 노력이 필요하다.

미래 예측의 불확실성은 자연 변동의 불확실성과 모델의 불확실성 시나리오도 있지만, 과학의

진전과 관련하여 특히 중요한 것은 모델의 불확실성이다. 모델 불확실성의 대부분 모델 프로세스의 환경험적인 공식화(매개 변수)에 기인하기 때문에 그 저감을 위해 더 적당한 프로세스 모델링 및 다양한 관측 자료에 의한 프로세스 및 모델 전체의 검증을 더욱 발전시키는 것이 필요하다.

지구 온난화 사회가 대처하기 위한 대책 옵션 검토에서도 기상학·대기과학 기여금은 빼놓을 수 없다. 적응과정 검토를 위한 온난화 영향 예측은 말할 것도 없고, 완화전(온실효과 가스배출 삭감)으로 재생가능에너지 이용에 있어서도 기상학이 공헌해야 한다(제 2 장 참조).

또한, 최근 갑자기 검토가 진행되고 있는 옵션에 대규모 공학적 기후 변경 즉, 기후 공학(지오 엔지니어링)이 있다. 예를 들어, 기후 공학의 제안 중 하나는 성층권에 인공적인 에어로졸 주입에 의한 태양 복사 관리가 있지만, 그 검토 과정에서 기후 모델 실험 등의 기상·대기 과학적인 연구가 중요한 역할을 할 것으로 예상되고 있다. 이런 점을 고려하여 기후 공학의 효과와 부작용을 제시하는 것은 의미가 있지만, 기후 공학에 대한 사회적 판단을 위해서는 거버넌스 및 사회적 수용성 등을 포함한 다각적인 검토가 필요하다는 것을 잊지 말아야 할 것이다.

지구 온난화 연구는 대형 연구 프로젝트에 참여하는 연구 기관이 중심이 되어 진행되고 온 느낌이 있지만, 향후에는 사회적으로도 과학적으로도 의의가 크다. 기상학의 응용 분야 중 하나로 더 많은 기상학자의 관심대상이 되어, 그 연구 커뮤니티가 퍼져가는 것이 바람직하다. 동시에 기존의 연구 그룹은 지금까지보다 더 상호 협력을 긴밀하게 모델 개발 효율과 품질 향상을 도모해야 한다.

기상청 이외의 지구과학 다분야와 온난화 영향·대책 평가에 관련되는 타 분야와의 제휴를 세밀하게 할 필요가 있다. 또한 국제연구 교류를 보다 활성화시켜, IPCC 등에서도 한층 더 공헌을 목표로 할 것이다.

3.4 지구 환경 문제에 대한 사회와의 커뮤니케이션

환경 문제에 대해 기상학에서는 사회에 대한 정보 제공 방법으로 모니터링 자료 등을 제공하고 있고, 아우토리-치 연구 성과의 발신 등이 정상적으로 이루어지고 있다. 그러나 사회가 환경 문제를 제대로 이해하고 문제 해결에 종사하는 기상학자들을 지원한다면, 사회와의 커뮤니케이션이 이루어질 것이다.

지구 온난화 문제에 관해서 말하면 지구 온난화의 과학에 대한 '회의론'이 비전문가 사이에 뿌리 깊게 존재하고 있다. 회의론 중에는 온난화의 과학이 과도하게 단순화되고 이야기되는 과정에 대해

경종을 울리는 의미있는 논의도 존재하지만, 오해와 곡해를 기반으로 학문을 본다면 분명히 잘못된 논란도 적지 않다. 그런 가운데, 기상학 사회에 대해 올바른 지식을 지속적으로 알기 쉽게 알릴 필요가 있다.

전문가와 사회 커뮤니케이션이 잘 성립하기 위해서는 전문가에 대한 사회의 '신뢰'가 중요하다. 신뢰를 조성하기 위하여 필요한 것으로서 과학이 정치·경제적 이해관계와 무관하다는 것을 끊임없이 확인하고 사회에 대해 설명하고 보고서 제공(과학의 사회적 중립성) 및 사회에서 나오는 질문에 진지하게 귀를 기울여 토론 문화로 만들어 과학적 논의를 전개하고 이에 답해가는 것(커뮤니케이션의 쌍방향성)이 요구된다. 매스미디어는 사회와 커뮤니케이션을 하는데 있어서 중요한 역할을 하지만, 이상주의 현상과 온난화를 과도하게 연결하는 등 선정적인 경향이 자주 지적된다.

과도하게 감각적이고 부정확한 보도는 사회에 오해를 가져올 뿐만 아니라 기상학에 대한 신뢰를 손상시키는 원인이 될 가능성도 있기 때문에 매스미디어에 보도의 정확성을 촉진하는 것이 중요하다. 또한 개별 전문가들 중에서도 온난화 문제에 경종을 울리는 것을 사회적 사명이라고 생각하고 위협 위원을 강조하는 사람도 있고, 그런 자세에 비판적인 사람도 있다. 개개인의 가치 판단에 의거한 커뮤니케이션을 막을 수는 없지만, 기상학 커뮤니티 전체적으로 틀에 잡힌 커뮤니케이션에 노력할 필요가 있다.

지구 온난화를 비롯한 환경 문제에 관한 과학적 지식은 종종 정책 결정과 강한 연속성을 가진다. 그러나 많은 경우 최선의 정책은 과학에 의해서만 정해지지 않고, 사회적인 가치 판단을 포함한 의사결정을 필요로 한다. 따라서 정책과 관련성이 높은 결과의 공동체 프로그램에 있어서는 과학적으로 말할 수 있고 또한 불확실성을 포함한 한계를 밝히고, 과학 정책 결정을 과도하게 규정하지 않도록 배려하는 것이 중요하다. 예를 들어, UNFCCC의 COP 등의 지구 온난화 대책 목표의 논의에 대해 IPCC로 상징되는 과학 선택을 제시할 뿐이며 옵션 중에서 실제 목표를 선택하는 것은 사회 또는 정치를 하는데 인식이 중요하다.

지금까지 이러한 커뮤니케이션은 주로 개별 연구자 및 그룹 수준에서 이루어지는 것이 많았지만, 앞으로는 더 체계적으로 예를 들면, 기상학회로 대응책 마련 및 어떠한 대응을 취할 것인가를 검토할 필요가 있다.

3.5 원자력 재해에 대비하여

2011년 3월 11일에 발생한 동일본 대지진은 쓰나미를 일으켰다. 후쿠시마 제 1 원자력 발전소 원자로는 지진과 해일에 의해 냉각 기능을 잃고 붕괴를 일으켜 수소 폭발 등으로 다량의 방사성 물질을 대기 중에 비산시켰다. 방사성 물질은 바람에 의해 넓은 범위로 확산되고 강수에 의해 지표면이 오염되고 많은 주민 생활과 일자리를 빼앗았다. 원자력 발전소의 사고는 후쿠시마 제 1 원자력 발전소가 처음은 아니다.

라스무센보고(1974년)는 “원자력 발전소가 사고를 일으킬 확률은 양키스 스타디움에 운석이 떨어지는 확률의 40배이다(대형 사고의 확률은 원자로 1 기당 10억 년에 1회)”라고 했다.

그러나 1979년 3월 28일에 미국 스리마일 섬의 원자력 발전소에서 멜트 다운 사고가 발생하여 사고를 미연에 방지하기 어려움이 인식되기 시작하였다. 그 후, 1986년 4월 26일에는 체르노빌 사고가 발생했다. 대기 중에 방출된 방사성 물질은 널리 유럽을 오염시켰고, 원자력 발전소의 사고는 매우 넓은 범위에 피해를 줄 수 있는 것으로 인식되었다. 또한 구소련 정부는 스웨덴에 방사능이 관측될 때까지 사고를 공표하지 않았기 때문에 혼란을 더욱 크게 했다. 이 사고를 계기로 원자력 방재와 관련된 국제적 관심이 높아져, 1990년대 후반, IAEA(국제 원자력기구)와 WMO(세계기상기구)는 환경 비상 수치 모델에 의한 예측 정보를 즉시 제공하는 시스템을 구축했다.

정부는 원자력 발전소의 사고에 대비해 ‘긴급 신속 방사능 영향 예측 시스템(SPEEDI)’라는 수치예보 모델을 준비하고 있었다. 그러나 후쿠시마 제 1 원자력 발전소 사고로 SPEEDI에 의하여 시산 결과의 일부가 공표된 것은 3월 23일이며, 다른 많은 시산 결과의 공표는 더 늦게 발표되었다. 빨리 공표 되었다면 더 적절한 대피 행동을 선택할 수 있었던 가능성이 지적되고 있다. 공표가 늦은 이유는 ‘국민 패닉이 발생할 것을 우려했다’고 설명했다. 체르노빌 사고의 교훈은 일본의 방재에 활용되지 않았다. 그래서 정보 제공 방식을 철저하게 재검토 할 필요가 있다. 3월 18일 발표한 기상학회 이사장 이름의 메시지는 SPEEDI의 정보가 공개될 수 있는 전제로서 본 학회의 관계자에게 수치예보 정보의 제공 및 연구자 간의 교환에 대한 주의를 환기한 것이었다. 이 메시지에서 “단일 정보를 제공하고 그 정보에 의거 있어 행동”이라는 표현이 연구와 표현의 자유 제한과 수신 비판을 초래했다.

신경세포 학회는 긴급시에도 연구와 표현의 자유를 존중해야한다. 또한 학회로 긴급 정보 발신의 본연의 자세에 대해서는 논의를 좀 더 깊게 할 필요가 있다. 대기에 의한 확산 및 지표면의 침착은 기상학의 중요한 연구 주제이지만, 지금까지는 방사성 물질을 대상으로 한 확산의 연구는 체르노빌 사고 직후를 제외하고, 기상학 모임에서 보고된 것은 적었다. 기상학회는 관련 연구 지원을 강화하고,

얻어진 결과를 원자력 방재를 위해 노력해야 한다.

후쿠시마 제 1 원자력 발전소 사고 방사성 물질 확산은 향후 관련 과학 및 제후를 취하면서 철저하게 검증할 필요가 있다. 또한 검증 결과는 원자력 방재 시스템 구축시의 귀중한 자료로 도움이 될 수 있도록 하여 전세계 방재 담당자와 연구자에게 공개되어야 한다. 방사선량 모니터링의 모습은 기상학적 입장에서 재검토 할 필요가 있다. 모니터링 네트워크는 원자력 발전소에서 10km 범위에 집중적으로 전개되고 있다. 그 근거는 원전에서 10km 정도 떨어지면 대기 중 농도가 급격히 감소한다는 시산(원자력 안전위원회: 원자력 시설 등의 방재 대책에 대해)이었다. 그러나 체르노빌과 후쿠시마사고에서는 대기 중 농도보다 지표면의 오염이 더 심각함이 드러났다. 강수는 공기 기동 전체 방사성 물질을 모아 가을 건조에 의해 농축되어 10km를 훨씬 뛰어 넘은 곳까지 스폿을 형성하였다. 습성 침착을 상정하지 않고 발전소 주변에 한정된 지금까지의 모니터링 체제는 불충분한 일본 전역을 커버하는 광역적인 모니터링 네트워크를 구축해야 한다. 또한 확산과 침착량을 모니터링 하는 강수에 포함된 방사선량 측정 및 바람 또는 강수량 등의 기상 관측을 병행하여 실시해야 한다.

수치 모델에 의한 예측은 불확실성이 있지만, 그래도 유용한 정보이다. 후쿠시마 제 1 원자력 발전소 사고는 SPEEDI의 자료 공개가 지연된 것이 큰 문제가 되었다. 특히, 방출량 예측의 불확실성이 큰 것이 공표를 연기한 하나의 요인이 되고 있다.

그러나 방사성 물질에 의한 오염의 경우는 최악을 상정하고 빨리 대책을 생각하는 것이 중요하다. 정부·방재 기관은 단위량 방출을 가정한 예측에도 활용 방법을 고려해야 한다. 또한 국내의 기관에서 예측 자료가 얻어진 경우에는 정밀도를 감시한 후, 세밀하게 오피니언 리더를 이용하는 것을 고려해야 할 것이다.

기상학회는 SPEEDI 등 방사성 물질 확산에 대한 수치예보 모델의 연구·개발을 적극적으로 지원해야 한다. 수치 모델의 기본 프레임은 이용 목적과 계산 정밀도를 충분히 고려해서 설계 할 필요가 있다. 확산과 침착 등의 물리적 과정에서 정확한 실험적인 매개변수 자료를 조사할 필요가 있다. 또한 방출량 추정을 위한 자료동화에 의한 역추정 기술개발도 필요하다. 예측 결과는 방출 및 확산·침착 과정, 바람과 강수량 예측 오차 등 다양한 불확실성이 포함된다. 불확실성의 평가 방법과 표현 방법에 대해서도 연구를 진행할 필요가 있다. 특히 불확실성 등의 정보는 다양한 루머로 인한 피해의 원인이 된다. 정보 제공 본연의 자세에 관해서는 국민적 합의 형성에 노력해야 한다. 기상학회는 국민적인 능력 향상을 위해 노력하는 것과 동시에, 정부·방재 기관에 전문적인 입장에서 방사성 물질의 확산 예측 시스템 및 그 운용에 관한 조언이나 권고를 적극적으로 실시하여야 한다.

4. 학술 활동의 전개와 함께

4.1 종합 과학으로 연구 추진

이 글 곳곳에서 언급 된 바와 같이, 지구 시스템의 이해에서 또한 다양한 환경 문제에 대한 대응에서 다른 학문 분야와의 협동이 요구되는 때, 거기에서 기상학의 역할은 크다. “종합 과학”의 정확한 정의에 받을 디디지 않고, 여기에서는 이들을 “학·연·관”이라고 생각된다. 예를 열거하면서, 약간의 제언을 시도하고, 지구 시스템 과학에서는 대기와 해양, 육지면·식물 등 다른 부분 계와 결합 과정의 이해가 중요하다. 또한 기상학의 대상이 되는 대기와의 결합 과정으로는 수문, 설빙, 전리권, 고에너지 입자 대기 미량 성분(화학생분) 등 다양하다.

신경 미량 성분(화학 성분)에 관한 연구는 대기 화학 분야의 주요 대상이다. 그렇지만, 이제 그 동태와 방사선 과정과의 상호 작용 등 기상학의 주요한 분야를 이루고 있다고 해도 과언이 아니다. 도심 지역 등 마이크로 스케일이나 도시 지역의 대기 환경 문제(대기오염과 열섬 등) 월경 대기오염, 반구 규모 대기질 변화, 지구온난화 등 다양한 규모의 환경 문제에 한 내용은 기상청이 중심적인 역할 비록 문제의 공간 규모에 따라 대기 화학, 해양, 육지 표면과의 상호작용 연구 및 영향 평가에 영향을 받는 측면의 여러 분야에 대한 평가를 위해서는 공학 및 사회학·환경 경제학 등과의 연계 연구가 중요하다. 방사성 물질 확산 등 원자력 발전소의 중대 사고 등에 기인하는 문제에 대해서도 마찬가지로, 관련 제반 분야와 협력 연구가 평소 부단히 쌓여 있는지의 중요성이 동일본 대지진 이후 새롭게 인식되었다.

기상재해의 저감에 관해서는, 방재 기상정보의 활용을 기반으로 정확한 피난 등 기상학 그리고 다른 분야, 예를 들면 수문학, 토목공학, 지질학, 지리학, 사회학 등과의 연계 강화, 환경 계 영역 분야의 육성이 필요로 되고 있다.

또, 이용자의 의사 결정에 유용한 정보를 어떻게 제공하고 가는지, 정보 공학 및 사회계 연구자와의 연계가 필요하다. 농업 분야와 산업계에서 큰 기상 위험이 있는 이용자 또는 태양광이나 풍력 등 자연 에너지의 이용 추진에 대해서는 기상 예측 정보에서 유용한 정보를 추출하기 위한 연구회로 새로운 노력이 필요하다. 한편, 지구온난화 문제에 대한 대처로 지오폠펜설 산업과 엔지니어링의 논의가 이루어지고 있는 현재, 지구 시스템 과학의 입장에서 적절한 제언을 위해서도 기상학을 비롯한 지구 시스템 과학 및 공학 분야와의 협동 작업이 필수이다. 이러한 예제에 볼 수 있는 종합과학연구는

순조롭게 진행되어 왔다고 말할 것이다.

개별 연구자 수준에서 여러 연구자 사이의 연결 속에서 효과적인 연수 제휴·협동 연구가 이루어지고 있는 예는 많다. 또한 경쟁적 자금을 의한 특정 연구 프로젝트로 실시된 예도 많다고 생각된다.

그러나 사회 수준에서는 조직적이고 지속적인 활동에까지 이르지 않는다는 것이 현실 아닌가. 학회는 본래, 해당 분야의 연구를 발전시키고 후학을 육성하는데 있어서, 각 학문 분야에서 닫고 활동을 실시하는 것이 효과적이었다는 것은 사실이며 조직적인 연계 활동에 적합하지 않는 특징을 가지고 있다. 하지만 상술 한 바와 같이 다양한 과제에 대해 분야 간의 협동이 필수가 되고 온 지금의 시대에 있어서는 다음의 단계가 요구되고 있다. 기상학회에서도 개별 요소 프로세스 연구가 진행되어왔다 현재 상황에서 종합·통합적인 대처가 가능한 상황이 되고 있다.

일본 지구행성 과학협회(Japan Geoscience Union; JpGU) 특히 “대기 해양 환경 과학” 섹션은 기상학 분야 및 기타 관련 분야를 연결하는 중요한 학술 활동의 장을 제공하고 있다고 생각된다. 다른 분야와의 제휴·협동의 구체적인 길을 열어 가는데 있어서, 여러 학회와 함께 라고 특정 과제에 대한 심포지엄을 개최하는 등 기상학회가 JpGU 속에서 존재감을 충분히 리더십을 취하는 것이 우리의 나아갈 중요한 방향 중 하나가 아닌 것일까.

4.2 일본 지구 행성 과학 연합

JpGU는 지구 행성 과학을 구성하는 모든 관련 분야를 커버하는 7,000명 이상의 개인회원 및 지구 행성 과학 관련 48개 협회를 단체 회원으로 하는 학술 단체이다. 이 48개 협회의 하나로서 일본 기상 학회도 참여하고 있다. 다양한 학문 분야로 구성되어 있는 JpGU 는 크게 「우주 행성의 과학」 「대기 수권 과학」 「지구 인간권 과학」 「고체 지구 과학」 「생명 과학」의 5개 섹션으로 나뉘어 있다. 각 섹션에서는 길이 주기적 과학 비전 제시와 그에 따른 포커스 그룹의 출범 1년에 한번 연구 모임인 ‘연합 대회’에서 세션 제안, 프로그램 구성 섹션 학술 잡지의 기획·편집 등 그 학술 활동 전반을 적극적으로 추진하고 있다. 이중 기상학은 주로 「대기 물리와 지역 과학」 분야로 자리 매김하고 있다. JpGU는 총무, 재무, 홍보 등의 위원회 외에도 남녀 공동 참여 위원회, 캐리어 지원 위원회, 대회 운영위원회 등 각 단체 회원 활동을 총괄하는 위원회도 존재하고 있다. 남녀 공동 참여 위원회에서는 공학계 학술 협회의 남녀 공동 참가를 추진하기 위한 「남녀 공동 참가 학술 협회」에도 가맹하고 있으며, 2008년 같은 연락 학회 심포지엄을 주최하는 등 적극적인 활동을 하고 있다. JpGU에 가입하는 개별 학술

협회에서 부담이 큰 이러한 후원도 JpGU라는 큰 틀 아래 비교적 용이하게 할 수 있으며 이에 따라 일본 과학 아카데미 지구 행성 과학의 존재를 나타내는 것이다.

또한 JpGU 지구 행성 과학의 주요 학술 협회는 모든 부분에 참가하고 있기 때문에, 일본 학술회의 지구 행성 과학 분야에 대한 정보 통합 창구로서의 기능이 요구되고 있는 것이 현실이다. 일본 학술회의는 “과학이 문화 국가의 기초이다” 라는 신념 아래, 행정, 산업 및 국민 생활에 과학을 반영 침투하는 것을 목적으로 1949년 1월 내각 총리 대신의 관할 하에 정부로부터 독립하여 직무를 수행 “특별 기관”으로 설립 되었다. 그 직무는 “과학에 관한 중요 사항을 심의하고 그 실현을 도모하면, 과학에 대한 연구의 연락을 도모하고 그 능률을 향상시킬 것”이라고 되어 있다.

제 20기부터는(2006년 10월 ~) 새로운 조직 체제가 되었지만, 기상학 관련위원회으로는 ‘분야별 위원회’의 하나로 「지구 행성 과학위원회」가 자리 매김 되어 그 아래에 지구·행성 표면 분과회 지구·인간 권 분과회 사회공헌 분과회 등이 있다.

또한 “기회 기능별 위원회”의 하나로 국제적인 학술 단체(아카데미)와 공동 작업에 대해 심의를 위한 ‘국제위원회’가 있으며, 여기에는 IUGG 분과 회의 아래의 IAMAS 소위원회 등이 포함되지만, 이들은 관련 분야별 위원회 산하이라고 하는 위치 설정이다.

일본 학술 회의는 과학자에 의한 상향식 정책 제언의 장으로 자리 매김하기 중요하다. 예를 들어, 2010년 3월에 발행한 학술 대형 시설 계획·대규모 연구 계획 - 기획 추진 과정의 본연의 자세와 마스터 플랜 책정에 대해서 결과로 다음의 과학 행정에 큰 영향력을 미치고 있다.

또한 동일본 대지진에서도 적시에 일본 학술과 아카데미의 제언을 여러 발표 하고 있다. 이러한 과학 행정에 일본 기상학회가 적극적으로 관련 루트를 확보하는 것은 분야의 발전을 위해 중요한 것으로 생각된다. 과학 분야 전체에서 보면 지구 행성 과학 분야는 그 중 하나이며 기상학 지구 행성 과학 주요 분야 중 하나이지만, 어디까지나 하나의 분야로 밖에 보이지 않는다.

향후 일본 과학 행정의 기상학 존재를 보여 나가기 위해서는 JpGU을 통하지 않을 수 없는 것이 현실이다. 현재 기상학회에서는 방재 분야에 비해 학술적인 색채가 강한 분야에서 JpGU의 참여가 주로 이루어지고 있다. 그러나 방재 분야에도 다양한 학제적 과제가 다른 학회와 제휴를 도모하는데 JpGU의 활용가치는 크다.

앞으로 JpGU에서 다른 분야와의 협력을 통해 기상학의 존재를 증가 일본 학술회의의 파이프를 굵게 해 나갈 필요 요청이 있을 것이다. 그 방안으로, 예를 들어 기상학회의 회원을 적극적으로 JpGU 대의원 및 이사로 발송 정보를 공유하고, 지금까지 JpGU 협회 대회 참가를 적극적으로 실시하는 것

등이 중요시 된다. 지금까지는 특정 테마를 설정 기상학회 주최의 세션이 이루어지고 있지만, JpGU에 기상학회가 충분히 뿌리 내리지 않는 듯한 인상을 갖게 하기 십상이다.

한편, 대기 화학 또는 초고층 대기 과학과 관련이 깊은 중층 대기 세션은 지난 몇 년 동안 지속적으로 연합 대회에서 세션을 마련하고 있다. 이것은 JpGU에서 기상학회의 존재를 나타내는데 기여 반면 기상학회 춘계 대회에서 중층 대기의 발표는 크게 감소하기 때문에 기상학회의 해당 분야의 위상이 하락하고 있다. 일본 기상학회는 JpGU과의 관계를 넓게 파악, 균형 잡힌 분야 발전을 도모하는 방안을 생각해 갈 필요가 있을 것이다.

4.3 국제 협력과 국제 협력

기상학 분야에서의 국제 협력·연계는 몇 가지 범주로 분류된다. 현재 다양한 형태의 모양·체제를 바탕으로 연구 활동이 이루어지고 있으며, 대표적인 것으로는 다음과 같다. 이 분류에 속하지 않는 것도 있다고 생각된다.

1) 주로 이미 확립된 큰 국제기관의 틀 안에서 장기적으로 연구 계획을 시사 입안되고 그에 따라 실시된 것. 대표적으로 1980년부터 WMO(World Meteorological Organization) 및 ICSU(International Council for Science)는 1994년부터 IOC(Intergovernmental Oceanographic Commission) of UNESCO도 더해져 운영하고 있다. WCRP(World Climate Research Programme) 등에서 많은 연구 계획(예를 들어 GEWEX, CLIVAR, SPARC 등의 프로젝트 및 활동)이 추진되고 있다.

2) ICSU 산하 조직인 IUGG(International Union of Geodesy and Geophysics) 활동 또는 이와 연계된 IGBP(International Geosphere Biosphere Programme)이 잘 알려져 있다. a) IUGG 하단에 IAMAS(International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences)가 더욱 세분화 된 11분야의 위원회가 있다(ICACGP, ICAE, ICCL, ICCP, ICDM, ICMA, IOC, ICPAE, ICPM, IRC, CNAAs).

b) IGBP는 지구권·생물권은 지구 표층 환경 시스템을 주요 대상으로 하고 있으며, 기상학의 연구회 영역은 중요한 부분을 차지하고 있다. IGBP는 연구를 수행하기 위한 프로젝트이며, 그 아래에 코어 프로젝트(AIMES, GLP, IGAC, iLEAPS, IMBER, LOICZ, PAGES, SOLAS)를 실시하고 있다. 핵심 프로젝트는 국제 위원이 각 지역에서 선출된 국제 위원 모임(SSC, Science Steering Committee) 또는 SSG 등으로 불리는)을 구성하고 프로젝트는 지구 국제 협력 추진 및 국내 연구의 추진에 임하고

있다.

3) 남극 과학 연구 내용은 SCAR(Scientific Committee on Antarctic Research)가 국가 국제 협력의 중심 모체이다. 이것은 남극의 환경 보전을 담보하기 위한 상호 체크 기능, 국제협력 관측의 조정 등을 담당하고 있다. 북극 과학 연구 내용은 IASC(International Arctic Science Committee)가 국제 협력의 중심 모체이다.

북극에는 유럽, 러시아, 북미 국가들이 위치하고 있어 각국의 극지 연구소를 중심으로 장기적인 관측적인 연구가 수행되어 있다. 국내에서는 국립 극지 연구소가 북극 연구의 창구가 되고 있다. 극지방은 급격한 온난화와 오존층 파괴 등 인간 활동의 영향이 현저한 영역이다. 극지방 연구의 추진을 위해서는 분야 규모 공부와 분야 간 연계의 필요성을 고려하여 중층적이고 국제적인 연구원의 연계가 필요하다.

4) 이외에도 인접 분야도 포함 학제적 국제 학술 조직의 계획과 연구의 진전에 따라 각국의 큰 연구 기관을 중심으로 한 새로운 국제 계획이 입안되는 경우가 많다. 대부분의 경우 위의 조직과 연계하여 그들을 창구에 공식적으로 제안된다. 이 제안 후 심사 및 승인을 거친 후, 연구원 간 교류·협력도 공식화 된다. 구체적인 연구 활동에 임하고 내용은 각각의 대해 심사 비준 절차가 필요한 경우가 많다. 이러한 국제 협력·연계 기능 중에서도 중요한 것은 그 규모에 따라 국제적인 연구 집단 회의가 필요하다. 상기 계획은 서로 어떤 모체가 제휴하고 있는 까닭으로 공동으로 개발 접대되는 경우가 많다. 물론 주최하는 회의와는 별도로 각국·지역의 지구과학 학술 단체(AMS(American Meteorological Society), AGU(American Geophysical Union), EGU(European Geophysical Union) 등)가 정기적으로 개최되는 회의가 있다. 또는 학술 단체에 의한 것은 아니나 아시아·오세아니아의 회의로 AOGS(Asia Oceania Geosciences Society)가 있다.

이 장을 이용한 교류도 활발해지고 있다. 통신 수단의 비약적인 발달에 따라 연구자의 협력·연계 방법도 다원화·다양화되고 있다. 기상학회에서는 장기간 젊은 연구자의 국제회의 참가를 위한 여행 경비 원조를 해왔다.

기상학회 관련 연구원은 관련 국내·국제위원회 위원으로 국제 활동에 깊은 관계를 위해 큰 기여를 해왔다. 기상학회 대회 프로그램에서도 이 같은 나라 사이에 활동의 성과 발표의 장을 제공함으로써 지속적으로 지원해왔다.

동아시아에서의 기상학 연구의 추진과 연구자 간의 교류를 활성화하기 위해 2005년부터 일본·한국·중국의 기상학회가 주최되고 거의 2년에 1번씩 각국에서 국제회의를 열어왔다. 동쪽 아시아의

기상 예측·재해·기후변화·환경 문제에 관한 연구 교류에 기여 해왔다. 또한 AGU는 아시아에서 지구 과학의 국제 협력을 지속적으로 실시하고 있으며, AOGS와 회의 공동 개최도 예정하고 있다.

앞으로 일·중·한 국제회의를 더 높은 수준으로 발전시키고 있어, 국제무대에서의 인지도를 높이기 위해 이러한 학술 단체 및 회의 운영 조직체와의 연계 등을 검토 할 시기이다.

4.4 대형 연구 추진

국제적으로 최고 수준의 기상학 연구를 지속적으로 수행하기 위해서는 계획적인 대형 연구 추진이 필수적이다. 물론 개별 연구자의 뛰어난 발상에 근거한 독창적인 연구 학술로 기여한다는 점 또한 틀림없다. 그러나 개인이나 소그룹에서는 할 수 없는 대규모의 연구 및 지원하는 조직·모체의 정비도 중요하다. 이것은 최전선의 기상학 연구가 첨단 관측 및 고속 계산에 크게 의존하고 있다는 점을 고려하면 명백하다.

따라서 기상학회는 세계 연구의 동향을 파악하면서 중요한 대형 연구의 추진에 필요한 지원 활동을 적극적으로 실시해야 한다. 이전에 문부 과학성 과학 기술·학술 관계의 6개 심의회가 설치되어 있으며, 그 중 하나의 측지학 심의회는 향후 추진과제로 지구 행성 과학 관련 대형 관측 조사·심의 및 답신을 하여 왔다. 이 측지학 심의회를 통해 많은 대형 관측 계획이 실현되어 왔다.

그러나 2001년에 중앙 부처 등 개혁의 일환으로 과학 기술·학술 심의회에 통합되어 측지학 심의회는 하나 격하의 측지학 분과회가 되었다. 이후 이전 측지학 심의회 역할과 담당하는 조직이 없어져, 상향식 대형 관측 연구는 대부분 인정되지 않는 시대가 이어졌다. 한편, 일본 학술회의는 제 20기에 해당하는 2005년에 대폭 개편이 이루어졌다.

새로운 학문적 회의는 이전처럼 각 학회에 직결되는 활동이 아니라 큰 묶음 분야에서 현재 상황과 전망을 부감으로 논의하는 자리였다. 회원 및 제휴 회원도 호선으로 선출된다.

기상청은 지구 행성 과학 위원회에서 지구 행성 과학에 포함된 하나의 분야로 자리 매김하고 있다. 일본 학술회의는 대형 시설 계획 및 대규모 연구 계획에 대한 조사를 실시, 2010년 3월에는 “학술 대형 시설 계획·대규모 연구 계획 - 기획·추진 과정의 본연의 자세와 마스터 플랜 책정에 대해” 제목 제언을 정리했다. 이것은 예산 요구를 독립적 조사하는 위치 설정 이었지만, 결과적으로 문부 과학성은 이를 반영시키는 형태로 일부 대형 연구 계획을 인정하게 되었다.

이것은 견해를 바꾸면 다시 상향식 대형 연구 예산을 책정되는데 좋은 방안이 된다. 따라서 일본

학술회의는 항상 각 분야의 대형 연구 계획의 진척 상황, 수위 등을 조사하고 공정하게 심사할 책임이 있다.

또한 현재 일본의 대형 연구 계획 예산은 서양의 여러 나라와 달리 시설에만 투입되며 운영비나 연구비는 전혀 고려되어 계산 되지 않고 경쟁적 자금을 의존 불안정한 연구 환경이 되고 있다.

일본 학술회의는 이 문제에 강하게 정부에 제의해 나갈 필요가 있을 것이다. 한편, 과학 연구비 조성 사업을 담당하는 문부성이나 일본 학술 진흥회 등에서는 이러한 왜곡 된 과학 예산의 현황을 이해 한 후, 제대로 연구비가 분배되도록 고려해야한다. 기상학의 구체적인 대형 연구 계획은 수치 모델 연구에 필요한 “대형 계산 계기” “세계적으로 대기 상태를 파악을 위한 위성 관측” 위성과 상호 보완적인 관측의 하나로서 “항공기 측정”은 독립적인 항목으로 논의되고 있다. 여기에서는 우리나라가 세계 최상위의 기술력을 자랑하는 대형 대기 레이더와 남극 관측을 논의한다. 대형 대기 레이더는 1980년대에 “MU 레이더”가 시가현시 가라키 마을에서 가동을 개시 한 이래, 그 높은 시간 및 고도 분해능을 살리는 것과 동시에, 대형 대기 레이더에서만 직접 관측 가능한 수직 바람의 분석을 통해 대기 증력파와 대류 등의 소규모 현상과 대규모 순환 등과의 관련 연구가 이루어왔다. “적도 레이더”는 2001년에 실현 대류권 및 전리층 연구에 적극적으로 이용되고 이미징 관측을 통해 대류권계면 부근 불안정의 미세 구조 해석도 이루어지고 있다. 남극에서는 열악한 환경과 교통·전력 등의 제한에서 수많은 기술 혁신이 필요했지만, IUGG 및 SPARC, SCOSTEP 등의 국제 학술 조직의 지원을 얻고 있으며 “PANSY 레이더”가 예산 확보로 실현되었다. 2012년부터 남극 대류권·성층권의 정상 관측이 시작되고 있다. 또한 가까운 장래에는 중간권 및 전리층 관측 영역이 확대 될 예정이다. PANSY 레이더가 대형 대기 레이더 망에 가입해서 지구 규모의 대기 무게와 힘 웨이브의 실태가 명확하게 되고 또한 극지방 고유의 구름(극 성층권 구름, 극 중간권 구름) 우주에서 강한 고에너지 입자의 중성 대기에 미치는 영향 등의 규명이 진전되고 있다. PANSY 레이더의 건설 및 관측은 일본 남극 지역 관측대 활동의 일환으로 이루어지고 있다. 남극은 지구 환경 감시라는 의미에서 매우 중요하다. 우선, 인간 활동 영역에서 떨어져 있기 때문에 지구 전체의 변화가 평균화되어 보이는 것, 즉 S/N의 N(잡음)이 작다는 것을 들 수 있다. 또 하나는 인간 활동에서 비롯된 오존층 파괴로 오존 구멍의 형태로 현저하게 나타나는 것이다. 이것은 S/N의 S(신호)가 너무 작은 신호라는 것이다. 1885년 처음 그 존재가 확인된 극 중간권 구름도 오존홀 뿐만 아니라 인간 활동에 의해 지구에 출현 한 것으로 생각된다. S의 큰 대기 현상이다. 지구 환경의 모니터링에서 중요한 것은 끊임없이 지속적으로 자료를 얻을 것이다. 남극의 수송은 해마다 변화하는 해빙 상황에 크게 좌우된다. 또한, 최근에는 헬리콥터 등의 운송 수단에 있어서 자연 환경에

기인 한 것으로 다른 불안정 요소가 크게 영향을 미치게 되었다. 즉 지금까지는 당연한 듯이 계속해 온 남극 관측도 안정된 구조를 잃어 가고 있다. 기상학회로써는 남극관측의 중요성을 정부와 사회에 적극적으로 발표를 해 나갈 필요가 있다.

4.5 위성 관측 추진

인공위성 등의 우주 발사체에 탑재한 원격탐사에 의한 지구 표층(육지면, 해면 등)의 관측은 전지구 동일한 관측센서에 의한 관측 정보의 다양성(스펙트럼 정보의 이용), 시간적 연속성과 같은 관점에서 지상 및 항공 관측은 피할 수 없는 시·공간 사이 관측 항목의 공백을 메우기는 큰 의미를 가지고 있다.

또한 이러한 다양한 정보는 기상학뿐만 아니라, 지구 과학, 환경 과학 등 학제 과학에서도 활용이 도모되고 있다. 예를 들면, 지구 온난화로 인한 기후변화의 장래 예측의 정교화에 중요한 비율을 차지하고, 지구 시스템의 탄소 순환 이해와 모델의 고도화가 강하게 요구되고 있다. 이것은 인위적으로 배출되는 이산화탄소 등 온실 가스의 대기 중 잔존하는 양을 예측하는데 필수적이며, 특히 육지 생태계와 해양의 흡수와 배출 실태 파악으로 요점이 되고 있다.

따라서 지상에서의 현장 관측뿐만 아니라, 인공위성에서 지표면 상태(육상면 코팅, 산림지역, 해양 표면)의 관측에 근거하는 상향식 계산과 대기 중 농도의 시·공간 변화 관측에 근거하는 하향식 계산 등이 되어 이러한 통합에 따라 정확한 흡수·배출 실태 파악 및 기후변화에 따른 흡수·배출 변화 계산이 시도되고 있다.

1990년대 시작 전후에서 당시 우주개발사업단(NASDA)을 구심력으로 매우 많은 연구원들이 참여한 형태(600인 위원회라고도 불림)에서 미래의 지구 관측위성(아루이 위성에 탑재된 센서: 이하 동일)에 대한 지구 과학적인 관점에서의 논의를 적극적으로 실시 한 바 있다.

그 성과는 ADEOS, TRMM/PR, ADEOS-2, Aqua/AMSR-E, ALOS, ISS/SMILES으로 개화했다. 그 동안 단명으로 끝난 것도 있지만, 장기적으로 관측과 측정을 의도한 ADEOS, TRMM/PR, AMSR-E 등은 그 효시가 되어, 기상학 및 인접 학문에 크게 공헌 해왔다.

한편, 기상청의 '해바라기' 시리즈에 볼 수 있는 현업 목적의 위성 관측이 이에 속하여 계속되고 있어, 매일 해설 모니터링 및 예보 정확도 향상에 많이 기여하고 있다.

최근 이용 목적의 주도가 개별 연구자 요구에도 기여하고, 사회적·행정적 및 과학적 요구의 관점에 중점을 두고 추진 되어오고 있다. 또한 자료의 복합 이용이 진행되고 있는 것은 새로운 지구 관측

위성의 제안을 해 나가는 상기 유의해야 할 점이라고 할 수 있다. 현재 운용중인 우리나라의 지구 관측 위성으로서 ‘해바라기’와 ‘이부키(GOSAT)’ 있다. TRMM/PR에 대해서도 계속 운용이 이루어지고 있다. 또한 “물방울(GCOM-W1)” 2012년 5월에 발사되어 8월에 운영을 시작했다.

2013년 말 구체화가 진행되고 있으며, 지구 관측 위성 계획으로 ALOS-2, GPM/DPR, EarthCARE/CPR, GCOM-C1 광역·고해상도 관측 기술 위성, 해바라기 8호 및 9호, GOSAT-2 등이 있으며, 제안 단계의 것으로 ISS 탑재 장비 후보로 식물 라이다 MOLI 및 대기 오염 관측 센서 APOLLO 검토가 진행되고 있다.

위성에 의한 지구 관측 내용은 대상 범위를 필요로 하는 학문 분야와 시·공간의 확대 및 분해능의 관점에서 검토를 추진할 필요가 있다. 최근에는 지구 전체를 커버하는 아이 외만으로는 불충분하고 더 넓은 공간(고급 방향 포함)도 시간적으로도 세세하게 보고 나가는 것이 특히 프로세스 연구에서 중요해지고 있다. 또한 현업으로 실시간에 대한 요구도 크다. 또한 대규모 재해나 대기 오염 등의 파악에 있어서는, 지구 관측 위성과 항공 스카이 기계 등과의 상호 보완적인 관측 체제 구축을 염두에 둔 계획 마련이 필요하다.

현재 우주항공연구개발기구(JAXA)는 지구권 종합 진단위원회를 설치하고 기상학회 회원을 포함하여 미래의 위성 관측을 할 것으로 기대된다. 연구진의 참여와 함께 10년 이상을 지구 관측 위성의 장기전망을 찾으려하고 있다. “우주에서의 지구 관측에 의하여 지구권을 종합적으로 진단하고 기후변화 문제 등에 대응하는 과제 해결에 이바지 미래의 지구 관측 미션을 검토 할 것”을 목적으로 내걸고 있다.

이러한 활동은 중요한 것이며, 그 진전과 함께 정보 공개를 기대하는 곳이다. 행성 기상학 등의 분야에서도 위성 관측이 강력한 도구가 될 수 있는 점에서 우리나라의 행성 탐사 위성의 실현을 증가시킬 수 있는 연구개발의 전개가 기대된다.

그런데 최근 젊은 연구자의 대부분은 관측 자료는 누군가가 어디 선가 만드는 것이며, 자신들이 새로운 관측 자료 공급자가 되자는 의식이 부족하다. 아루이는 양질의 자료 제공을 자유롭게 검색할 수 있도록 되어 온 결과, 인터넷 상에서 다운로드하여 연구에 사용하는 전체 이용자의 입장에 익숙한 현상으로 되어가고 있다.

지구과학 및 환경 과학 연구는 장기적인 관측 자료가 필수적이며, 위성이나 육지에서 공간 관측이 지속적으로 이루어져야 할 필요 있다. 지구 관측 위성의 개발에서 자료 사용에 이르기까지 몇 년에서 10년의 긴 세월을 요하는 과학 및 공학의 양 측면에서 많은 전문가들이 함께 연구하고, 민간의 센서

개발 기술을 유지·발전되어야 한다.

또한 극궤도 위성 탑재의 지구관측 센서와 정지 기상위성 센서 조치의 유사성과 상이성에 비추어 이러한 연구개발 및 자료 이용에 관하여 전략적이고 종합적으로 추정 진행해 나가는 것이 중요할 것이다. 동시에 젊은 세대의 연구자들에게 자료 사용뿐만 아니라 센서 장비에 대한 충분한 지식과 제안 능력을 가지고, 위성 프로젝트를 진행해 나갈 수 있는 인재를 육성해 나가는 것이 필요하다.

젊은 세대 분들에게 한층 더 고도화된 우주에서 새로운 지구 관측에 도전하는 것을 기대하고 싶다. 한편, 지구 규모 관측이 가능한 지구 관측 위성 자료 이용은 대기, 육지, 바다 해양 중을 대상으로 하여도 자료 동화를 비롯한 다양한 모델 개발과 이용하는데 상호협력을 바탕으로 한 상승작용이 산업에 매우 중요해지고 있다. 향후 위성 계획의 입안·관측 자료의 이용에 즈음하여 모델 연구원의 참여가 필수적이라고 할 수 있다.

최근 우주 개발 전략 본부(2008년 내각에 설치)에서의 논의 동향은 그 시비에 대해 논쟁의 여지가 있다고는 해도 우주 산업육성과 행정 과제에 대한 대응 가능성에 중점을 두고 된 것으로 보인다. 계획의 입안에서 실현을 위해 관계 부처·행정 담당자와의 연계를 더욱 추진하는 것이 중요할 것이다.

동시에, 연구원 커뮤니티로는 그들에게 배려를 하면서도, 인공위성을 이용한 지구관측의 새로운 과학적 지식의 발견·충실을 목표로 한 과학자의 입장에서의 주장은 당연히 해나가야 할 것이다. 그러한 의미에서는 개별 계획에 그치지 않고 우주 개발 전략 자체에 대해서도 기상 학회가 기상 연구원들의 요청을 발신해 나가는 것이 중요한 의미를 가지게 된다.

4.6 항공기 관측 체제 구축

지구 온난화를 포함한 지구 환경 변화가 급속하게 진행되고 있는 현재의 지구 환경 변동에 관계한 정확한 대기 과학 자료 검색과 그로 인한 현상 해명 및 미래 예측이 필요하다. 지구 규모의 관측은 위성이 주요 역할을 하고 있지만, 첨단 계측기를 이용한 항공 기체에 의한 직접 관찰, 측정 항목, 정밀한 시·공간 분해능에서 우수하다.

핵심 대기 물리·화학 과정이나 현상에 대한 자세한 해명 등에서 인공위성과 상호 보완적인 역할을 하고 있다. 항공기의 지구 관측 정상회의를 통해 개발된 전 지구 관측 시스템(GEOSS)에도 위성 관측 및 지상 관측 네트워크와 상보성에서 그 중요성이 인정되고 있다. 국제적으로는 미국(NASA와 NOAA 등)과 유럽 주요 국가(독일, 프랑스, 영국 등)의 큰 연구 조직이 관찰 전용기를 보유하고 있으며

항공기 관측 시스템을 구축·운영하고 큰 성과를 거두고 있다. 더 중요한 점은 역동적이고 참신한 대기 과학 연구소 연구회를 지속적으로 구상 실시하고 있는 것이다. 결과적으로 대기 과학 연구 분야를 세계적으로 리드하는 분야를 만들어 왔다고 할 수 있다.

일본 내에서는 대학이나 국가 연구기관(기상연구소, 국립환경연구소, 우주항공연구개발기구(JAXA) 등)가 산발적으로 경쟁적 자금 등으로 관측을 실시하여 오고 있다. 각각 프로젝트로는 성과가 높아지고 있지만, 아시아 계통적이고 지속적인 관측 테스터 베드가 존재하지 않는다. 보다 구체적으로는 아시아 인위적인 물질(에어로졸과 온실가스 등)의 지구 규모의 확산과 그 대기 환경과 기후에 미치는 영향(온도와 방사선·구름·강수과정 등)에 대해 실태 파악과 현상의 해명이 급선무가 되고 있다.

또한 기상기후 모델에서는 공간 해상도 정도의 거칠기에 의한 구름 물리과정의 표현에 대한 불확실성이 있다. 이러한 불확실성을 감소시키기 위해서는 자세한 구름 물리과정의 관찰이 필수적이다. 정지 기상위성과 CloudSat/CALIPSO 등 위성 원격 탐사에 의한 전 지구적인 관측 모델의 구름 검증에 중요한 역할을 해왔다.

그러나 실제로 구름의 3차원적인 특성에 대한 자세한 내용은 원격 감지는 불충분하며 구름이 존재하는 장소에서 직접 측정할 필요가 있다. 항공기 관측은 구름의 미세물리 방사 과정·구름 역학에 대한 중요한 매개 변수의 정확하고 직접 측정이 가능하다.

현재 학술위원회 아래에 “항공기의 과학 이용 추진 검토회”가 설치되어 항공기의 과학 이용에 관한 보고서 작성을 실시하고 있다. 이 보고서를 학술위원회에 제출함과 동시에 관련 연구원, 사회, 문부 과학성 등 관계 기관에 제의를 만들 필요가 있다.

4.7 대규모 수치 시뮬레이션

수치 시뮬레이션 이론, 관측 등과 함께 기상학에 빼놓을 수 없는 연구 수단이고 기초적인 이론 계산에서 기상예보, 기후예측 등의 응용까지 시뮬레이션을 필요로 하는 과제는 다방면에 걸쳐있다. 계산기의 대형화와 연구과제의 고도화에 따라, 최근 수치 시뮬레이션의 대규모화가 뚜렷하게 나타나고 있다.

1980년대 일본이 개발에 참가한 벡터형 계산기는 기상학 분야에도 활발히 도입되었다. 1990년대에 들어가면 새로운 계산의 대규모화를 향해서 병렬 컴퓨터의 이용이 진행되었다. 이런 가운데,

2002년에 개발된 일본의 벡터형 병렬 컴퓨터 '지구시뮬레이터'은 2년 반 동안 세계 최고 고속성능을 자랑하며, 이를 바탕으로 일본은 고해상도 기후 시뮬레이션을 세계에서 선도하고 있다. 2011년에 세계 최고 속도를 기록했던 스칼라 병렬 컴퓨터 '경'에도 신경 기상학이 주요 이용 분야(방재·재해에 이바지 지구 변화 예측)의 일부이며, 고해상도의 신경 현상, 기후모델 연구의 전개가 시작되고 있다. 앞으로도 세계 최고 속도에 준하는 규모 계산기를 사용할 수 있는 기회를 적극적으로 추구하면서, 그 같은 계산기를 이용하여 처음으로 가능하게 될 첨단 과학의 방향성을 판별해가는 역할이 있을 것이다. 기후 연구는 고해상도 외도, 지구 시스템 모델의 복잡한 생화학 과정의 결합, 다수 앙상블 실험에 의한 불확실성 평가 등이 시야에 들어온다.

또한 구름 상 대기모델과 과적상 해양모델에 의한 스케일 상호작용 연구와 습윤 LES에 의한 프로세스 연구 등도 중요한 테마이다. 한편, 벡터화, 병렬화 같은 아키텍처의 개선에 의해 기상학의 계산에 있어서도 특별한 프로그래밍 기술에 대한 대응이 요구되어왔다. 앞으로의 큰 계(算)에서는 프로세서의 종류에 관계없이 수천, 수만 또는 그 이상의 노드 수의 초 병렬 계산이 필연이며, 노드 간 자료 전송이나 CPU-메모리 간의 자료 전송을 의식하는 등의 고급 프로그래밍이 필요하다. 이러한 프로그래밍에 어느 정도 대응할 수 있는 인재를 기상학의 내부에서 육성함과 동시에, 계산 과학 전문가 및 기타 분야의 시뮬레이션 연구소에서의 이런 조치들은 연구자와의 협력도 중요시 될 것이다.

또한 수치 기상·기후 모델은 지금까지 국내외의 많은 그룹에 의해 독립적으로 개발이 이루어왔다. 이러한 상황은 그룹 간의 경쟁을 촉진하고, 모델의 다양성을 낳고 여러 모델(다중 모델 앙상블)을 이용한 예측의 불확실성 평가를 가능하게 하고 있다.

그러나 전술 한 바와 같은 컴퓨터 자원의 확대에 대한 대응과 수치 모델의 고도화에 따라 각 그룹의 모델 개발·유지의 부담이 증대하고 있다. 앞으로는 효율성 향상을 위해 여러 그룹 간에 공유 가능한 모델 구성 요소를 공동으로 개발·유지하고 코딩 약관 및 구성 요소 사이의 인터페이스를 공유화하는 전략을 사용할 수 있다. 이러한 노력은 모델 결과의 상호 비교를 용이하게 하고 모델 개발의 투명성을 향상시키고, 의의도 기대할 수 있다. 현재 국내 그룹 간에 초기적인 대처가 시작되고 있지만, 이것을 성공으로 이끌기 위해서는 오랜 구심력의 유지와 국제 전략이 핵심이 될 것이다. 또한, 한정된 예산과 소비 전력의 제약 조건 하에서 새로운 계산기의 대형화를 도모하려면 아키텍처의 혁신이 필요하다고 생각된다. 게다가, 기상 시뮬레이션에 있어 특별히 자료 양의 "폭발"문제는 향후 더욱 심화 될 것으로 보인다.

기상학의 요구에 맞는 계산 자체 입구에서 자료 분석 출구까지의 전체 처리 능력이 높은 컴퓨터

시스템을 설계하기 위해서는, 기상학 및 컴퓨터 과학 전문가의 연계성이 필요할 것이다. 한편, 대형 계산기의 조달 가능성은 나라의 과학 기술 정책 외에도 재정 및 산업 사업 정책에 좌우되기 때문에 세계 최고 속수준의 대형 계산기 개발에 따라 불과 연구 대회 약자를 가지고하는 것도 중요 할 것이다.

4.8 기상·기후 자료

기상에 관해서는, 지난 20년간 큰 발전을 보였다. 집중호우와 같은 엄격함 현상의 감시 내용은 도플러 레이더와 윈드프로파일러를 전국 지역을 대기 환경 모니터링에 관해서도, 동아시아 전역 라이더 네트워크 관측망 및 지상 기반의 각종 기기의 국내 네트워크 관측과 함께 각종 장비 정비도 진행했다. 또한 이러한 관측 자료와 수치 모델 결과를 통합하여 문제를 재현하는 것으로 예측 정확도를 향상시키는 자료 동화 기술로 획기적인 발전을 이루었다. 수치 모델 및 자료 동화 기술의 진전에 따라 과거의 기상 공간을 재현하는 재분석 자료도 정비가 진행되고 있다.

ECMWF과 NCEP의 재분석 자료와 함께 기상청 25년 재분석 데이터(JRA-25) 많은 연구자에게 제공되고 있으며, 또한 1958년까지 55년 거슬러 올라간 수평 60km 해상도의 JRA-55 재분석 자료도 작성했다. 기후 자료는 역사적인 관측 자료의 발굴 정리 빙하 코어, 해저 코어, 연륜 등 다양한 과거의 기후 자료의 아카이브가 각 연구 기관, 연구원 기반으로 진행되어 많은 자료베이스가 정비되어왔다. 이와 같이, 기상·기후 자료는 과거부터 현재에 이르는 방대한 자료가 축적 된다.

그러나 다른 한편으로는 이러한 거대한 지구 관측 자료에 대한 액세스를 가능하게 하는 DIAS (자료 종합·분석 시스템) 등의 활동도 종합 과학 기술 회의를 통해 “지구 관측 추진 전략” 기반 GEOSS 계획의 일환으로 진행되고 있다. 또한 2008년에는 전 지구 분석 메조 솔루션 신 모델 자료를 기상 연구의 발전을 위해 사용하는 기상 연구 컨소시엄 제도가 발휘하여, 기상청 자료 연구에 활용도 제고를 위한 재정비 되었다. 그러나 이러한 관측 자료 아카이브의 진전과 자료의 접근성을 높이고 대처가 크게 진전된 반면, 여전히 몇 가지 문제가 남아있다.

숫자를 모르는 출력 자료의 이용과 관련하여 미국 예보기관(NCEP)에서는 무상 공개가 진행되고 있지만, 일본에서는 정부 기관의 관측 자료와 기상청 수치 예보모델의 출력 자료(GPV 등)를 연구 목적으로 준 실시간으로 이용하는 것은 배포가 있으나, 산학 연계에 사용은 어려운 등의 제한이 있다.

기상학의 발전과 응용 분야 육성의 관점에서도 현재의 개선이 요구되고 있다. 연구 기관 및 연구자들의 정비한 자료베이스의 이용에 대해서도, 공공 기관이나 단체에 의한 신경 기상학·기후학

자료 아카이브의 구조가 거의 없다.

또한 이러한 여러 시스템을 단일 기관 및 연구자 개인이 정비하는 것을 평가하기 위한 구조도 없다. 그 결과로 합리적인 자료 아카이브 시스템은 미성숙한 상태이며, 일본의 기상·기후학의 발전에 장애가 되고 있다. 현재는 기온과 풍속 등 측정 방법과 정밀도에 관한 표준이 확립한 자료 이외에 다양한 측정 기술을 활용한 방사선 및 난류 등의 대기 물리적 요소 황사와 에어러졸 등의 대기 환경 요소, 황산화물, 질소 산화물 등의 대기 화학 성분에 대한 다양한 자료가 대량으로 이용 가능해지고 있다.

그러나 이러한 관측 요소들을 측정법이나 정밀도 유지에 관한 표준이 정비되지 않은 경우가 많다. 이러한 품질 관리 관련된 작업은 자료의 고도성 이용을 도모하는데 있어서 매우 중요하다. 그러나 개별 연구원을 지지 할 수 없는 부분이며, 학회에서도 이와 같은 상황 개선을 위한 지원과 노력이 필요하다.

5. 교육과 인재 육성

5.1 서론

이 장에서는 기상·대기 과학에 대한 교육과 인재 육성, 사회 계몽의 여러 문제에 대해 회의론을 한다. 교육 내용은 초등·중등 교육(5.2절)에서 지구과학의 이수율은 현저하게 저하되고 있다. 이는 대학·대학원 교육의 내용과 방식에 크게 영향을 주고 있으며(5.3절) 이 분야에 진학하는 대학생 및 대학원생 수의 감소로 이어지고 있다.

교육의 문제는 대학원 중점화에 따른 박사 후 과정 신진 연구자 취업 문제(5.4절)도 함께, 이 분야의 미래를 담당 연구원의 인재 육성에 그림자를 드리우고 있다. 기상학회의 남녀 공동 참가 문제는 시대의 흐름과 함께 개선에 적합성이 들어있는 면도 있지만, 국제적으로는 여전히 뒤져 있으며, 앞으로도 주의 깊게 감시해 나갈 필요가 있다(5.5절).

한편, 이러한 다양한 단계의 교육 문제는 일반 사회에서도 기상학·대기 과학 지식의 쇠퇴에도 이어지고 있다. 이러한 보충을 위한 계몽활동 내용은 기상학회에서는 사회와 커뮤니케이션(5.6절)의 관점에서, 기상 캐스터 모임(5.7절)과의 제휴도 취하면서 풀뿌리 활동이 이루어지고 있다.

그러나 지속적인 사회를 향해 해결해야 할 현대 가장 중요한 과제 하나가 지구 규모의 환경 문제가 있음을 감안하여도, 기상학·대기 과학을 포함한 지구과학 교육과 신진 연구자의 취직도 포함한 인재육성에 대하여 근본적인 개혁이 필요하다는 것은 언론에서 언급하고 있다. 다음 개별 문제를 논의해 나가겠지만, 기상학회 자체적으로 해결할 수 없는 것도 많고 관련된 다른 학회와 협회의 제휴도 시도하고 분야에 폭 넓은 활동이 필요하다. 향후 기상학회의 활동 방침에 일조되어야 할 것이다.

5.2 초등·중등 교육

2002년에 실시된 문부 과학성의 학습지도 요령의 개정에 따라 초등·중등 교육(초등학교에서 고등학교까지)의 기상학 분야가 크게 감소되었다. 배경에는 '여유 교육'의 이름 아래 학습내용을 전 교과 일률적으로 30% 삭감했다. 종합적인 학습 시간을 창설하는 것, 선택 다양성과의 시간을 크게 늘린 것을 들 수 있다. 초등학교 교육의 기상 내용은 구름과 물에 관한 내용이 중학교로 전환되고 중학교 교육에서는 "일본의 날씨"에서 항목이 전면적으로 삭제되고 전체적으로 약 40%가 감소되었다.

초등·중등 교육의 교과서는 학습지도 요령에 따라 집행되므로 항목에 한정하지 않고 소항목 세부 학술 용어 하나하나에 이르기까지 체크 되고 이에 맞지 않으면 문부 과학성 검토에 합격하지 않기 때문에 세심한 주의를 기울인다.

따라서 교과서 집필자가 꼭 포함시키고 싶다고 버리고 집필한 내용이 학습지도 요령에 따르고 있는지 확인 검토원에 의해 엄격히 검토되고, 수차례에서 걸쳐 제거되는 사례도 많이 발생한다. 교과서의 기상학에 관한 부분의 집필은 기상학회에서도 유명한 대학 교수진이 담당하지만, 그 교과서를 검토하는 것도 익명이지만 기상 학회의 저명한 대학 교수이며, 기상 교육에서 활약과 기상 및 기상학회의 책임은 매우 크다. 교과서가 문부 과학성의 검토를 통과하면 학교에서 실제로 교편을 잡고 있는 교사를 위해 더 자세한 학습 내용을 보강한 교과서 지침서는 해설서가 교과서와는 별도로 편집·간행된다. 이 교과서 지도서에는 저자가 생각하는 중요 사항을 검토에 얽매이지 않고 충분히 통합 할 수 있기 때문에 여기에 교과서의 개성이 나타난다고 해도 과언이 아니다. 편집된 교과서 지침서가 전국 약 100만 명이라고도 하는 교사에 배포된다. 2009년 학습지도 요령의 개정은 지금까지의 I, II를 붙인 고등학교 지구과학 교과서의 과목 이름이 각각 “지학 기초”와 “지학”로 개명되었다. 지구과학의 기초는 중학교와 고등학교와의 연결을 고려하면서 더 기본적인 내용에서 관찰·실험, 탐구 활동 등을 실시해, 기본 개념과 탐구 방법을 학습한다. 그 때, 일상생활이나 사회와의 관계를 중시하면서 지구를 둘러싼 환경에 대한 관심을 높이는 것과 동시에, 지구과학의 기본개념과 원리·법칙을 관리하고 과학적인 견해나 생각을 넣어야 한다.

따라서 중학교 이과 제2분야 사이의 연관성을 고려하여 지구의 자연환경과 인간생활의 관계에 대해 고찰하는 항목으로 ‘변화하는 지구의 항목 아래 ‘지구 환경’이라는 소단원이 설치된 것이 특징이다. 기상학과 관련된 소단원 “대기와 해양”에서는 지구의 열수지(대기의 구조와 지구 전체 열수지를 이해하는 것) 및 대기와 해수의 운동(대기 대순환과 해수 운동 및 그에 따른 지구 규모의 열 수송 이해하는 것)이 설치되어있다. “지학”은 ‘지학 기초’와 같이 기초가 붙은 과목 내용을 기초로 보다 발전적인 탐구 방법을 학습하는 과목으로 설치되어있다. 이것은 지구의 개관, 지구 활동과 역사 지구의 대기와 해양, 우주 등으로 구성된다. 여기에서는 자연을 탐구하는 능력과 태도를 길러 창조적인 사고력을 높이기 위해 새로운 과목으로 「과제 연구」가 설치되어 있다. 기상학과 관련된 대단원은 “지구 대기와 해양”이며, 지구의 대기와 해양의 사물·현상을 관찰, 실험 등을 통해 탐구하고 대기와 해양의 구조와 운동을 이해시키는 것이 목적이 되었다. 소단원은 “대기의 구조와 운동”과 “해양과 해수의 운동”의 2 항목이 대기의 구조와 운동에는 대기 조성과 구조 이해, 대순환과 대류 현상 및

일본과 전 세계 기상의 특징을 이해하는 것 등이 지침서에 포함되어있다. “지학”에서 기상이 취급되는 한편, 「지리」에서는 기후가 취급되며, 지구 환경 문제에 대한 자세한 설명이 있다는 차이가 있다. 기상청은 물리학을 기초로 하지만, 고등학교에서 지구과학 수업은 물리학 수업과 동시 병행적으로 행해지기 때문에 대기 현상 이해의 기본이 되는 각운동량 보존 등의 물리적 개념 사용이 금지되어 있다. 이 때문에 교과서는 오히려 이해하기 어려운 설명이 되어 있는 부분도 적지 않다. 비슷한 문제는 지구과학에 포함된 분야 곳곳에 생기고 있어 과학으로서의 재미를 직접 전할 수 없는 상황이 되고 있다. 결과적으로 지구과학은 암기 과목, 그리고 실질적으로 문과 과목으로 자리 매김하고 있으며, 이과 학생 지구과학 선택률은 매우 낮다.

최근의 초등·중등 교육에 있어서 학생의 이과 기피는 자연 과학의 발전에 심각한 문제이지만, 그 배후에 있는 것은 교사의 이과 기피이다. 가르치는 쪽의 과학 일반 이해력의 결함 또한 결과적으로 학생의 이과 이탈의 원인이 되고 있다고 생각된다. 특히 지구과학을 전문으로 하는 교사수의 감소는 비참하고 개선의 방향성조차 찾지 않고 있다. 이 사실은 대입에 학교 교육의 중점을 둔 일본 전체 과학 분야에 비롯돼 있다. 자원이 적은 과학 입국으로 일본은 세계 최고의 과학 기술의 발전과 그것을 지지하는 과학 교육의 충실이 질적으로 중요하다는 것은 자명하지만, 그 문제에 대한 이해가 충분하다고는 말할 수 없는 것이 유감이다. 대학에 합격하고 졸업 논문으로 진행하는 전문 분야를 물리, 화학, 생물, 지구과학의 틀 안에서 선택 할 때가 되면, 지구 과학, 특히 지구 환경 과학을 선택하는 학생이 다른 과목보다 많다.

현실은 일본의 초등·중등 교육이 대학 입시에 농락되고 있다는 것을 부각하고 현재 대학 입시에 의문을 제기하는 원인이 되고 있다. 지구과학 교육은 지구 환경 문제나 방재의 문제점을 국민들에게 올바르게 이해시키기 위한 능력으로 필요하다. 기상학회는 기상 연구의 발전에 기여하는 것이 근본이 되는 직무이지만, 그 과학적 기반이 되는 기상 교육에 있어서도 현재의 기상 교육 제도에 의문을 제기하며 적극적으로 개선을 위한 제언을 해 나갈 자세가 요구된다.

5.3 대학·대학원 교육

중등 교육에서 지구과학 선택 자가 매우 낮은 현상을 감안하면 대학의 지구과학 교육은 매우 기초적인 부분부터 시작해야한다. 즉 거의 백지 상태에서 교육하게 되는 것이다. 기상학에서는 물리와 수학, 화학의 기초 지식을 전제로 수업 하지만, 예를 들어 북반구 중위도의 저기압 주위에서

시계 반대 방향으로 바람이 부는 사실조차 모르고 있는 학생도 많다. 현재 대학의 교양 과정에서는 물리와 화학, 생물에 비해 지구과학 교과과정이 충분히 반영되어 있지 않고, 담당 교원의 전문 분야에 치우치는 경향이 있다. 일본 학술회의에서는 문부 과학성 고등 교육 기관에서의 의뢰로 대학 교육의 분야별 품질 보증 방식이 검토되고 있는데, 제 22기(2011년 10월 ~ 2013년 9월)에서는 이에 따라 대학교 교육의 각 분야 참고 기준(교육과정)의 작성이 이루어지게 되었다. 이 참고 기준은 “학사력”이 요구하는 보편성과 각 분야의 고유한 특징, 모두에 입각하여 전문 분야의 교육이라는 측면에서 일정한 기준이 되는 것을 제시하는 틀을 구축하고 실제로 개별 분야에서 기준을 제시하는 것이 된다. 이에 따라 지구 행성 과학위원회 새 내용은 지구과학 참조 기준을 논의·작성하기 위한 지구 행성 과학 대학 문제 분과회의가 만들어졌다. 이 참고기준은 분야를 명확히 하여 대학에서 지구 행성 과학을 전공하는 학생의 기본적인 지식과 능력을 보장하는 것이며, 분야를 명확히 하는 것이기 때문에 지구 행성 과학을 전공하지 않는 학생이나 일반 사회에 계몽이라는 관점에서 중요한 움직임이라고 판단된다. 대학원 교육에서 석사 과정과 박사 과정의 교육을 나누어 생각할 필요가 있을 것이다. 학부 과정에서 지구 물리학을 전문으로하지 않은 학생도 많은 대학원 석사 과정에 진학 해 온다. 하지만 이러한 학생들은 대학원에서 기상학의 기초를 교육하게 된다. 소규모이지만 적지 않은 비율이 석사로 졸업하고 기상학에 속하지 않는 기업에 취직한다. 취업 기간을 생각하면 실질적으로 석사 논문의 연구에 걸리는 시간은 반년도 되지 않는 것도 조차 있다. 이 같은 학생의 교육을 어떻게 자리 매김 하는가가 문제가 되고 있다. 박사는 향후 이 분야의 발전을 짚어 질 인재를 육성한다는 관점에서 매우 중요한 교육과정이다.

사회의 글로벌화가 진행되는 가운데 학술 분야의 국제화는 향후 더욱 더 중요시 된다. 기상학의 높은 수준의 기초 학력은 물론, 박사 과정에서는 영어 능력과 함께 국제적으로 통하는 논리 구성력·표현력 등의 단련뿐만 아니라 문화의 이해와 협조와 국제 소양의 취득이 필요하다. 이전과 비교하면, 문부 과학성 주도의 GCOE와 같은 프로그램 이나 일본 학술 진흥회의 특별 연구원 DC제도 등 경제적인 지원이 튼튼하여 이러한 국가 협력을 함양하는 환경이 정비되고 있다.

그러나 다른 한편으로 이러한 경쟁적 자문에 의존하는 교육 제도는 대학교 측의 부담도 크고, 공정성도 반드시 담보되지 않는 측면이 있기에 해결해 나가야할 과제가 적지 않다. 박사과정 진학률은 감소 경향에 있다. 진학률 하락의 배경에는 대학원 중점화와 박사 후 과정 1만 명 계획의 추진 결과에서 사회 체제가 충분히 갖추어지지 않은 채 박사 인구가 증가하고 40세에 가까워져도 일자리를 구하지 못하는 신진 연구자가 늘어난 현실이 있다.

또한 경쟁적 자본금 획득이나 다양한 평가에 대응하기 위해 대학교 연구 시간이 크게 줄어 잔업 시간이 증가함에 따라 젊은 층에게 연구원은 반드시 매력적인 직업으로는 보이지 않게 되어 있는 것으로 생각된다. 박사 진학률을 적절하게 유지하기 위해, 연구자의 경력 경로를 어느 정도 명확히 하고, 미래에 매력을 느낄 수 있는 방법을 생각하고 제도를 정비해야한다. 예를 들어, 기상청 등의 부처에서 박사 학위 취득자의 채용 촉진, 기상학이 살릴 민간 기업의 직종 개척 등을 생각할 수 있다.

대학에서는 약 15년 전에 행해진 대학원 중점화에 따라 포스트 업 시프트에 의해 조교 등 젊은 포스트가 크게 감소하고 미래 대학을 지탱하는 젊은 연구원의 성장 장소가 한정된 것으로 되어 버렸다. 조교는 연구뿐만 아니라 미래 교육자의 육성이라는 의미에서도 중요한 지점이다. 커뮤니티 전체에서 이러한 상황을 인정 식별하고 하향식과 상향식 양면에서 상황을 타파해야 할 것이다. 이것은 다음 절 박사 후 과정 문제와도 크게 관련된다.

5.4 신진 연구자 문제

대학원 중점화로 인해 일본의 기상·대기 과학관련 신진 연구자의 수가 크게 증가 했다. 한편, 인원 삭감 정책으로 인해 대학·연구소의 정년이 보장되는 자리는 지난 10년간 감소하는 경향이다. 그 결과 안정적인 연구 자리에 취직 할 신진 연구자의 수가 감소하고 있다. 대신 프로젝트 등의 단기 고용이 증가하고 있지만 종합적으로 볼 때, 박사·신진 연구자의 현 상황은 불안정 하다고 할 수 있다. 이는 기상학·대기 과학에 종사하는 연구자의 육성에 악영향을 미칠 수 있는 상황이다(특히 박사).

박사·신진 연구자들의 취업 문제는 현대 일본의 큰 문제 중 하나로 대두 되었으며, 이는 젊은 층의 고용 문제와 세대 간의 격차 문제의 일부에 포함된다. 이를 해결하기에는 큰 어려움이 있을 것으로 예상되지만, 이 문제를 방지하면 점점 상황이 악화 될 상황이다.

박사·신진 연구자의 대우를 한시라도 빨리 개선하고 그들이 장기적인 안목을 가지고 연구에 전념 할 수 있는 환경을 준비하는 진지한 노력이 필요하다. 박사·신진 연구자의 수가 증가함에 따라 다양한 연구 활동이 가능하게 된 반면, 다음과 같은 심각한 피해가 표면화되고 있다. 첫째, 프로젝트의 단기 고용이 증가 하는 상황으로, 거둬드는 취업 활동을 강요하는 등 박사·신진 연구자 고용 상태가 불안정해 지고 있다. 또한 단기적인 성과가 요구되는 임기 고용 증가로 장기적인 시각을 가지고 자신의 연구를 발전시키는 구조가 취약 해지고 있는 것도 우려된다. 또한 근래 어려운 국가 예산 상황을 감안하여 프로젝트와 같은 일시적인 일자리가 향후에도 확보 될 수 있을지 하는 불안이 확산되고

있다. 이러한 상황으로 인해 연구자로서의 길을 포기하고 민간에 취직하려고해도 일본에서는 박사 학위 취득자의 취업은 그리 많지 않다고 볼 수 있고 기업에서 채용하지 않을 수 있다는 문제가 있다(근래의 불황으로 더욱 상황이 심각해지고 있다). 마지막으로, 박사·신진 연구자 문제의 심각한 상황을 보고, 대학생의 박사 과정 진학을 해결하기 위해 새로운 인재 확보가 점점 어려워지고 있는 경향이다.

따라서 기상학·대기 과학은 발전하고 있지만, 학문적 기초 및 인재확보·육성의 기반이 위기를 맞고 있다. 박사·신진 연구자의 취업 문제의 근원은 국가의 정책으로 실시된 대학원 중점화 요구에 있다. 특히 박사 수용기관의 확보에 대한 인식이 정부를 비롯한 관계자들에게 충분하지 않았다. 직업경력을 쌓아도 박사 후 과정을 계속 할 수밖에 없는 상황에 있는 연구원이 다수 발생하게 되었다. 그래서 대학 박사의 중점화를 진행한 정부는 책임을 가지고 이 문제의 해결 방안을 도모해야 한다.

또한 기상학 모임, 특히 대학에서 중요한 위치를 차지하고 있는 관계자는 이 문제의 근원이 대학원 중점화로 인한 것이란 걸 인식하고 정부·행정기관에 문제 해결을 적극적으로 호소해 갈 필요가 있다. 또한 박사 문제가 심화되고 있는 원인의 하나로서 대학원 중점화에 대한 사회 이해를 충분히 얻어내지 못하는 것과 민간 취업이 증가하지 않는 것을 들 수 있다. 기상학회와도 박사 문제를 포함한 대학 및 연구 환경에 대해 사회에 요청을 적극적으로 실시하고, 민간 기업 등과의 연계를 심화하는 등 대중의 이해를 얻기 위한 노력이 필요하다. 매우 유감스럽게도 문제의 심각성에도 불구하고 문제 해결을 위해 기상학회가, 지금까지 어떤 방안이나 조직 등 정부의 움직임이나 사회에 요청하는 부분을 포함하여, 불충분하다고 말하지 않을 수 없다. 향후 문제의 중요성을 감안한 학회의 노력이 필요하다. 특히 박사 후 과정을 고용하는 쪽은 고용에 대한 사회적 책임을 충분히 인식하는 것이 중요하다. 또한 박사 후 과정 문제의 심각성에 대한 인식이 ‘달콤한’ 경향이 발견되는 것도 문제 해결 과정에 대한 촉진이 감소되는 요인일지도 모른다.

예를 들어, 박사 후 과정은 과거의 소위 오버닥터(OD) 문제와 유사한 부분이 있기 때문에 “중재 해결한다”는 견해도 있지만, 그 인식은 바꿀 필요가 있다. OD 문제는 당시 튼튼한 일본 경제를 배경으로 대학교의 증가로 해결했다.

그러나 본격적인 인구 감소·고연령 사회의 도래에 따라 비슷한 해결책의 가능성이 낮아지진 않은지 확인 할 필요가 있다. 앞으로 조금이라도 상황을 개선하고 신진 연구자가 안심하고 장기적으로 연구 업계에서 활약 할 수 있는 환경을 구축하기 위해 기상 학회는 적극적인 활동을 장기간 추진해 나갈 필요가 있다. 또는 학교, 교원과 같은 곳에서의 안정적인 연구 포스트의 증가를 위해 그것을 실현해 나가기 위한 노력을 하여야 한다. 교원 이외에서는, 예를 들면 기상·대기 과학 관측·분석 및 자료

장비를 전문으로 한 기술직이 박사 후 과정의 새로운 직업으로의 증가도 기대하고 있다.

그래도 모든 박사 후 과정의 신진 연구자를 고용 할 수 있는 상황이 아닌 것으로 예상되므로 그 처리 방법은 기상 업계의 소프트 머니의 순환을 활성화하고 지속적으로 재계약이 가능한 기간제 고용을 다수 확보 할 수도 있다(그러나 후에 노동 계약법 개정에 따라 이 실현은 어렵다). 또한 단기적 성과를 요구하여 연구원 경력을 쌓을 시간이 없는 현상을 개선하고 박사 후 인사제도에 해당 시간을 시스템으로 통합 할 의무를 부여하는 개혁도 필요하다. 또한 급여·절상·복리 후생 면 등의 대우에도 새로운 시스템의 박사 후 과정이 부여되는 현상을 개선하고 경력을 쌓은 박사의 경우 기간제 고용에서도 비슷한 대우를 얻을 수 있는 인사 제도의 개혁도 필요하다.

또한, 사회에 다양한 인재를 배출하는 일도 기상학회의 중요한 역할임을 감안하여, 박사 학위 취득자의 민간 기업·정부·국제기관에 취업 확보·개척에도 노력해야 될 것이다. 2013년 4월부터 노동 계약법 개정안이 시행되어 고용 계약이 5년에 걸쳐 반복 갱신하는 경우는 노동자 측에 무기고용 계약의 권리가 생기게 되었다. 본래 이 법 개정의 목표는 고용 계약을 보호하는 것이었다.

그러나 실제로는 이 법 개정에 의하여 유기 고용이 많은 젊은 연구자·박사의 대우가 더욱 악화 될 것으로 우려됐다. 하지만 무기고용 계약을 위한 자금을 충당 할 수 없는 각 부서에서는 신진 연구자 및 박사 후 과정의 계약이 5년이 지난 뒤 중지되는 사례가 늘어날 것으로 예상된다. 예를 들어, 지금까지 5년의 임기 후 1회 연임을 허용하는 조건으로 연구원을 고용하고 있던 부서에서도 이 법 개정에 의해 무기고용으로 전환하지 않고(또는 못하고), 1회 5년 임기로 고용을 종료하게 된다.

2013년 5월 현재로 알려진 이 법 개정에 의한 각 대학·연구소의 반응은 젊은 연구자·박사를 받는 것을 어렵게 하는 경우가 대부분이었다. 노동 계약법에는 특례가 설치 된 대학의 교원은 통상 계약 기간이 10년을 넘지 않는 경우 무기 계약으로 전환하지 않는 것을 막지 못했다. 다음 절에서 지적한 대로 이 법 개정은 젊은 여성 연구자에게 더 심각한 문제를 포함한다. 학회로는 이 현상을 근거로 법 개정의 단점을 어필하고 실효성 있는 대응 안을 가지고 행동 할 필요가 있다.

박사·젊은 연구자들의 취업 문제는 사회 전체의 문제이며 기상 학회 혼자 또한 각 대학 연구 기관의 개별적 노력으로 쉽게 해결 될 수 있는 것은 아니다. 기상학회는 문제 해결을 위해 다른 학·협회와의 제휴를 적극적으로 할 필요가 있다. 또한 기상분야가 있는 대학·연구 기관으로 연계 하고 항상 신진 연구자를 지원하는 시스템의 설립도 중요하다고 생각하며, 기상학회는 그 설립을 지원·후원의 역할을 할 수 있을 것이다. 다른 학·협회에서는 예를 들면 일본 행성 과학 연합이나 일본 물리 학회처럼 젊은 지원자들을 지원하기 위한 내부 조직을 설치하고 있는 곳도 있다.

기상학회 제 37기(2013년~)에 설치 한 '인재 육성·남녀 공동 위원회의 활동에 대한 지원'을 사회 전체의 힘을 화합 할 필요가 있다.

5.5 남녀 공동 참가

기상·대기 과학 분야에서 남녀 공동 참가는 도덕적 측면에서 뿐만 아니라 인재 확보 측면에서도 중요한 테마이다. 일반적으로 공학 분야는 인문 사회 분야에 비해 연구 실적 평가 기준이 명확하기 때문에 여성 연구원의 '차별'은 적다고 생각되어 왔지만, 반드시 그렇다고 말할 수는 없다. 테마 및 방법의 선택에 있어 여성에게 부합여부와 관계 없이 주관적인 기준이 종종 여성 연구원의 전문성에 영향을 미쳐 온 것은 부인할 수 없다.

일본에서는 대학 입학 시부터 이과 여자의 비율이 낮다. 이것은 국제적으로 보면 일본 고유의 문제이지만, 자연스럽지 않다고 보는 사회적 인식은 일부에 불과하다. 이과 여자의 비율이 낮은 것은 가정교육, 초등·중등 교육, 또는 교육의 질 평등성 등 뿌리 깊은 문제 일 가능성이 있다. 결과적으로 일본에서 여성 연구원의 비율도 낮아진다.

예를 들어, 2009년도 연구원 중 여성 비율은 13.0%이며, 이것은 비교가 가능한 36 개국 중 최하위이다(*1). 탁아소나 화장실 수 등 연구 환경의 인프라는 상당히 개선되어 가고 있지만, 여성의 비율이 낮기 때문에 검토되지 않은 부분이 남아있다. 가득이나 적은 수의 여학생은 박사 학위를 취득한 후 여러가지 문제에 직면하게 된다. 고용에서의 차별 문제도 보고되고 있으며, 문부 과학성의 조사에 따르면, 박사 후 과정의 평균 월급은 세금 포함으로 남자는 약 314,000엔, 여자는 약 282,000엔(전체로는 약 306,000엔)으로 분명히 차이가 있다(*2). 또한, 결혼·출산·육아·간병에 대한 지원 약점의 문제(일반 사회와 마찬가지로)가 존재하고 있다. 5.3절에서도 지적했듯이, 박사·신진 연구자의 고용 상황이 어렵기 때문에, 결혼해도 별거로 인해 출산을 자제하는 경우도 있다.

또한 박사와 출산·육아 시기가 겹치는 것으로, 불안정한 일자리로 인해 인생에 큰 영향을 주는 정도가 여성이 잠재적으로 심각한 경향도 있다. 임기 고용의 경우 임기 첫해와 마지막 해는 육아 휴직을 하지 못하는 구조로 되어 있는 연구기관도 있어 실제 출산으로 인해 계약 마지막 해에 갱신을 못한 사례도 존재한다.

그리고 여성 연구자의 배우자 역시 연구원인 경향이 있다(*3). 남성이 육아·간병 휴가를 얻기란 어렵다. 특히 부부 모두 임기 고용인 경우는 그 경향이 강하고, 여성 측의 부담이 더욱 증가하는

경향이 있다. 이러한 요인이 겹쳐 소위 여성 취업률의 ‘M자 곡선 문제’(육아기의 30대 여성의 취업률이 낮은 문제)와 유사한 문제가 연구원 사이에서도 존재한다. 그리고 두 번째 문제는 종신 고용의 비율이 매우 낮은 것이다(‘기린형 곡선’: 젊은 층의 有業 비율 경사가 크게 증장년층 그것이 평가(*4)).

2006년도부터 출산 육아에 의한 연구 중단 후 원활하게 연구 현장에 복귀 할 수 있도록 지원하는 “특별 연구원-RPD”사업이 설립되었다. 이것은 원래 과도적인 시스템으로 설계된 것이며, 출산·육아에 의한 중단이 없는 환경이 바람직하다고 생각된다. 그러기 위해서라도 남성 연구원도 육아하기 쉬운 환경의 정비와 배우자 및 고용주 모두의 의식 개혁이 중요하다. 여성 연구원의 경우 안고 있는 문제 및 연구 환경이 개개인에 따라 크게 차이가 나는 경향이 인정된다. 예를 들어, 기혼 또는 미혼이거나 별거 또는 동거하거나 출산 희망 여부, 자녀 유무 임기 고용 만족 여부, 직장 환경(특히 상사의 이해)의 차이 등 다양한 경우가 있다.

그러나 여성 연구원이 적기 때문에 롤 모델이 되는 여성 연구원이 가까이 존재하지 않고, 상담 상대가 적다는 문제가 존재한다. 여성 연구자를 지원하는 체제 구조를 통해 남성 연구원과 마찬가지로 여성 연구원이 능력을 발휘할 수 있는 환경을 형성하기 위한 노력을 기상 학회에서 해야 할 것이다. 또한 이미 관리직에 종사하는 여성 연구원도 변함없이 다양한 측면에서 차별이 존재하는 것도 지적하고 있다. 성폭력 문제는 여성 연구원의 연령이 낮았던 이전에는 상사나 교원에서 또는 동기로 부터 받는 피해가 가장 큰 문제였다. 중견 수석 여성 연구원이 늘어난 현 시점에서는 부하 또는 학생의 괴롭힘이라는 새로운 문제가 생기고 있다.

현재 사회 전체에서 명확한 인권 침해 문제로 인식되어 다양한 제도 설계가 시행되고 있으며 개선되고 있지만, 아직 여성 연구원의 비율은 증가 추세에 있고 지금부터 이 문제를 감시 할 필요가 있을 것이다.

2013년 4월 시행의 노동 계약법 개정안에 따라 유기 고용 계약이 5년에 걸쳐 반복 갱신된 경우 근로자 측에 무기고용 계약의 권리가 생기게 되었다. 그러나 실제로는 유기고용들이 더 불리한 상황에 몰릴 것으로 우려되고 있다(5.4절 참조).

또한, 남녀 공동 참가의 관점으로 보아, 이 법 개정에는 큰 문제가 포함되어 있다. 즉 법 개정에 따라 산전·산후·육아 휴직을 취득한 경우 임기 기간으로 고려하지 않는다고 한 기관도 적지 않아 임기가 실질적으로 감소하고 있다. 이것은 공정한 경쟁 조건 확보의 관점에서 봐도 이 문제는 저출산의 가속으로 이어질 수 있다.

기상학회에서 이러한 사태 개선을 위한 조속한 노력이 필수적이다. 기상학회는 남녀 공동 참가의

이념으로 여성 연구원이 불리한 대우를 받을 수 없도록 개선하고 적극적으로 활동하여 사회적 책임이 있게 만들어야 한다. 중요한 것은 여성 연구원 비율의 향상이라는 측면이 고집에 불과 할 수도 있다. 유의해야 할 본질은 성별에 관계없이 교수 및 연구원으로 채용·승진의 기회가 균등하게 주어지거나 출산 휴가·육아 휴가 의해 불리하게 고용 조건 및 연구 환경을 구축 할 수 있는 것인가 하는 점이다. 신분 상승 등의 기회와 일·연구 내용에 불공평이 나타나는 경우, 이것은 즉시 개선해야한다.

(*1): 남녀 공동 참가 백서 2010년도 판 중 일부 현상편 제 1-8-6 그림

<http://www.gender.go.jp/whitepaper/h22/zentai/pdf/H22-1-3.pdf>

(*2): 문부 과학성 과학 기술 정책 연구소 2008년 10월

<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/mat159j/idx159j.html>

(*3): 과학 기술 분야에서 여성 연구자의 능력 발휘 13-14년도 과학 기술 정책 제언

<http://scfdb.tokyo.jst.go.jp/pdf/20011700/2002/200117002002rr.pdf>

(*4): <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2009/03/dl/h0326-1a.pdf>

기타 참고 자료 <http://www.chemistry.or.jp/kaimu/ronsetsu/ronsetsu1011.pdf>

<http://d.hatena.ne.jp/next49/20081108/p1>

5.6 사회와의 커뮤니케이션

기상 및 천문은 옛 부터 인간 사회의 관심사로 사회와 깊은 관련을 가져왔다. 기상의 이해를 높이기 위한 활동으로 기상학이 발전해 온 것이지만, 학문의 심화와 세분화가 진행 되면서 일반인들은 첨단 과학의 현재 상황이 어떻게 되어 있는지 보는 것이 어렵게 된다. 연구자들의 참여로 기상학을 연구하는 것도 중요한 일이지만, 지구 온난화 문제와 환경 방재처럼 거액의 연구자금이 투입되는 사회적 책임이 높아지는 상황에서 일반인의 기상지식을 높이고 지구 환경 문제와 방재에 대한 국민의 올바른 이해를 얻는 것이 중요하다. 따라서 기상학회는 사회인 대상 기상교육을 적극적으로 실시해 사회와의 상호 작용하는 커뮤니케이션을 활성화 할 필요가 있다.

기상학회가 일반 사단 법인에서 공익 법인으로 전환함에 있어 학술적인 연구 성과의 사회 환원과 함께 가시적인 사회 공헌 활동이 요구 된다. 따라서 기상학회는 교육과 보급위원회를 중심으로 기상예보를 사회와 잘 연계하여 가시적인 형태의 기상교육의 충실과 수색을 도모하고 있다. 사회인

대상 기상교육의 주요 활동 내용으로 기상 하계 대학의 실시, 공공 개방 기상 강연회 개최, 기상 교육 간담회 개최, 기상 사이언스 카페 개최, 기상 아웃수여 사업 등이 있다. 다음에 그들에 관하여 설명하며, 기상학회 주최 하계 대학은 50년 전부터 기획되어 온 전문가에 의한 기상 강의이다. 특히 초·중·고등학교 선생님들을 주요 대상으로 여름에 2박 3일 정도의 집중 강의로 연구개발 내용을 전달해왔다. 학회장소의 제한으로 인해 참가자는 100명 정도로 한정된다. 최근에는 학교 선생님보다 기상예보사의 직함으로 참가하시는 분들이 늘고 있다. 참가자들을 만족시키기 위해, 일반 강의 이외에 PC와 인터넷을 이용한 기상 해설서의 실습이나 기상 연구소의 시설 견학도 행해지고 있다.

위의 하계 대학에서는 학교의 선생님이나 기상예보사를 상대로하여 비교적 고급 수준의 수업이기에 일반인도 알기 쉬운 기상 계몽 활동이 필요하다는 인식이 높아졌다.

공개 기상 강연회의 기획이 몇 년 전부터 시작되어, 봄과 가을에 매년 개최되는 기상 학회는 학회 회원을 대상으로 회비제로 실시되지만, 이 학회 기간 동안 일반인을 대상으로 무료 강의와 연회를 개최하고, 일선의 기상학자에 의한 첨단 연구를 알기 쉬운 말로 전달하는 것이 공개 기상 강연회의 취지이다. 지구 환경 문제나 기상 방재 자료의 이용, 문제 등의 테마를 선택, 강연과 패널 토론 등이 기획되어 참가자 또는 질의·응답도 진행된다. 봄과 가을 기상학회 기간 동안 학교 선생님 등의 기상교육에 종사하는 일반인을 대상으로 비교적 작은 세미나실에서 좌담회 형식으로 개최되는 기상 교육 간담회이다. 공개 기상 강의 연회가 강당 타입의 넓은 장소에서 심포지엄 형식으로 개최되는 것과는 대조적이다. 하지만, 학회 회원에서 선정된 저명한 강사와 일반 참가자가 대화형으로 차분히 논의 할 시간과 공간이 제공된다. 기상학회가 기상 캐스터와 공동으로 정기적이진 않지만 비교적 수시로 개최되게 되어 온 것이 기상 과학 카페이다.

도쿄에서 몇 년 전부터 시작된 것으로 현재는 전국에 퍼져, 그 일정을 포털 사이트에서 볼 수 있다. 거리의 카페를 대절하여 테이블에 앉아 음료를 마시며 일반인을 이해 시킬 간단하게 말하면 강사가 기상을 이야기 해주고 그 후의 질의 및 토론에 충분한 시간을 마련하는 것이 특징이다. 강사의 강연회가 아니라 참가자와 공급자가 공간에서 토론을 즐기는 것이 과학 카페이다.

기상 계발 활동과 하계 풀뿌리 활동으로 확산될 가능성이 있으며, 기상 과학 카페에는 날씨 캐스터와 유명 인사가 참여하는 경우도 많다. 일반인 대상 기상 교육이라는 의미로, 기상예보사가 사회를 중심으로 하는 출장 수업이 최근 증가하고 있는 것에 주목해야 할 점이다. 초등학교와 중학교에 자원 봉사자로 가서 날씨를 쉬운 언어로 강단에서 설명하고 간단한 장비로 눈의 결정과 구름, 토네이도의 발생을 실험하는 것으로, 초 중학교의 현장에서 기상학의 계몽과 보급에 공헌하고 있다. 그 성과와

실적이 교직원 사이에 퍼져, 다음 기획으로 연결되는 것으로, 풀뿌리 보급 활동이 되고 있다.

기상학회가 실시하고 있는 사회인 대상 기상교육어로서는 상기의 사업을 충실하게 시키는 것과 동시에 생활과 산업과 밀착한 기상정보와 방재 정보의 보급과 이용도 향상하고, 기상 교육과 사람 재육성의 과제이다. 기상학회는 기상 전문가들의 교류를 중심으로 활동해 온 첫 번째는 사회인 대상 기상교육 및 보급 활동이다. 반면 기상예보사회는 사회인에게 기상을 알기 쉽게 전하고 기상학과 사회와의 양방향 커뮤니케이션을 취할 것을 하나의 사명으로 한 전문가 집단이기 때문에 기상학회 및 대중과의 페이스에 자리 매김하지 못했다.

기상학회가 공익 사단 법인으로 사회 공헌의 기능을 충분히 수행하기 위해서는 기상예보사회와의 연계가 미래에 더욱 중요하다고 생각된다. 특히 기상 과학 카페 운영은 쉽지 않지만 기상학회와 기상예보사회와의 연계에서 잘 작동하기 시작하면 곧 전국 각지로 확대되고 발전적으로 지속을 기대할 수 있는 보급 활동이 되기 때문에 향후 추가 지원이 예상된다.

5.7 기상예보사회와의 연계

기상 캐스터는 일기예보를 자유화하기에 앞서, 날씨의 품질을 충분히 확보하기 위해 만든 국가 자격이다. 일기예보는 지금까지 기상청의 소관이었다. 일기예보의 필요한 조건을 충족하기만 하면 기상청 이외에도 널리 일반인을 위한 날씨 예보를 발표 할 수 있는 제도이다. 일기예보를 자유화 하였지만, 이는 생명 방재 정보의 하나이다. 일기 예보가 과학적인 근거 또는 기술적인 뒷받침도 없이 사회에 불필요한 혼란을 초래하는 일을 없게 하며, 기상청에서 발행된 관측 자료와 수치예보 자료 등의 고급 기상자료를 잘 이해하고 적절하게 이용할 수 있다고 인정 되는 자를 기상 캐스터로 하고 있다. 기상 캐스터의 전국 조직으로는 일반 사단 법인 일본 기상 캐스터회(예보사회)가 있다. 예보사회는 기상 캐스터의 기술 연찬과 기상을 통해 사회에 기여하는 것을 목적으로 1996년에 설립되었다. 회원의 수는 매년 증가하고 있으며, 2013년 5월 1일 현재 약 3200명이 등록되었다. 예보사회의 특징은 회원의 대부분이 기상 지식 이외에 다양한 전문 지식을 갖고 있다는 것이다. 물론 기상 전문가로 기상 예측을 실시하는 자와 TV·라디오에서 활약하고 있는 캐스터도 있지만, 그 외에는 초·중·고등학교 선생님·대학 교수 및 다양한 분야의 연구자와 학생, 국가나 지방 자치 단체 등의 공무원, 언론인, 의사, 변호사, 비행기 조종사, 식품 관련을 비롯해 각종 제조, 건설 토목과 에너지 주파수 관련 분야, 또는 유통·금융 기관, IT 관련 업무, 전업 주부 등, 확실히 사회의 모든 분야와 관계가 있는 회원들이다.

이러한 기상 캐스터들은 각각의 자리에서 기상과 관계하면서 익힌 지식과 기술을 유용하게 활용하고 있다.

예보사회의 주요 대외 활동으로는 앞서서도 언급했듯이, 초·중·고등학생을 대상으로 한 기상 교실이나 실험, 또는 주부나 일반 사회인을 대상으로 한 기상 지식 보급·계발 사업 등 기상 캐스터로서의 지식을 활용한 사회 공헌 활동 등이 있다. 특히 최근에는 국민의 방재와 안전·안심에 대한 요청에 부응하기 위해 기상청과 연계하여 국지적 호우에 관한 기상정보 등의 활용 능력 향상을 포함한 안전 지식의 보급 계발의 강화의 사업에 종사하고 있다. 이는 국민 한 사람 한 사람이 국지적인 호우에 대한 위험이 가까이에 있다는 것을 인식하고 스스로 위험을 회피 할 수 있도록 기상정보 등의 활용 능력 향상을 포함한 모든 지식의 보급 계발을 강화한다는 것이다. 즉, 국지적 호우 등 극단적 기상 현상이 발생했을 때, 국민 개개인이 그 위험성이 가까이에 있다는 것을 인식하고 적절하게 피난 행동을 취하는 것과 같은 판단을 할 수 있도록 기상정보 등의 활용 능력과 안전 지식의 보급 계발을 위한 활동이다. 어떻게 공조·자조의 역할을 분담할지가 중요 하지만 그 안에 자조를 효과적으로 하기 위해서는 평소 재해에 대한 마음가짐이나 기상 및 방재의 지식을 몸에 익혀 두는 것이 중요하며, 그 활동에 기상 캐스터회가 기여하고 있다. 또한 현재 기상학회와 예보사회 사이에서는 기상 과학 카페 및 가을 학술대회에서 특별 세션의 운영을 비롯한 다양한 부문에서 제휴한 활동이 진행되고 있다. 여름 계절 대학, 교육과 보급위원회 또는 지방 지부의 활동에서도 협력이 진행되고 있다. 예보사회에서는 평소 기상 지식과 방재 지식의 보급·계몽 등의 활동을 하고 있지만, 그러기 위해서는 기상 캐스터 본인이 가능한 최근의 기상학 연구 결과와 기상 기술을 몸에 익히는 문제가 필요하다.

기상학 및 기상 기술은 나날이 발전하고 있으며, 기상 캐스터는 항상 자기 연구를 지속하여 기술 수준을 유지할 필요가 있는 것뿐만 아니라 예보사회에서는 기상 캐스터에 대한 기술 강습을 사업의 큰 기둥의 하나로서 실시하고 있다. 이에 더하여, 기술의 향상에 노력하고 있는 기상예보사를 평가 할 수 있는 CPD 제도를 창설하기 위해 현재 준비하고 있다.

CPD 제도란 Continuing Professional Development, 즉 지속적인 전문성 계발을 목적 한 제도이다. 자기의 능력 향상·기술력의 유지에 노력하면 그 개인에 CPD 포인트를 부여하고 부여된 CPD 포인트를 적립·기록해 나가는 제도이다. 이미 이 같은 제도를 창설하고 있는 분야도 있다. 이 제도는 기술 연찬의 실적을 객관적으로 적용 바로 평가할 수 있는 것이어야 한다. 예보사회뿐만 아니라 일본 기상학회는 학회 회원 가입과 민간 기상 사업자 등과도 연계하여 실시하게 된다. 특히 기상학회의 학문적 평가를 적절하게 판단하는 기관으로서 중요한 역할을 완수, CPD 포인트의 대상과 다양한

기술 강습회나 강연회 및 연구회 등 참여, 학회에서의 발표, 작업장 및 강연회의 강사 또는 저서의 집필이나 업무 경험 등 다양한 활동을 들 수 있다. CPD 제도의 도입으로 기상 정보에 대한 수요가 높아지고 시장 확대도 도모해 본다.

CPD 제도는 기상 캐스터를 적극적으로 활용해 나가는 구조의 기반이 되는 시스템이다. 이것은 향후 기상학계의 활성화에도 기여할 것으로 생각된다. 예보사회와 학회와의 연계라는 관점에서는 현재 예보사회와 기상청이 제휴하여 기상과 방재 지식의 보급 계몽 활동을 실시하고 있지만, 이러한 활동은 또한 기상학회를 포함한 협력 형태로 추진하는 것이 바람직하다.

학회 및 예보 전문가 위원회의 위상으로 예보사 위원회는 학회의 연구 성과를 실생활에 유용하고, 다른 한편으로는 고객들의 입장에서 사회가 요구하고 있는 것들 중에 사회로 전달하는 것과 사회와 사회를 잇는 가교 역할을 담당 할 수 있지 않을까 생각해 본다. 앞으로도 다양한 형태로 기상학회와 예보사회의 제휴가 깊어져 간다면 기상학계의 발전이 기대될 것이다.

6. 제언

일본 기상학을 발전시키기 위해 8가지 항목의 제언을 정리하였다. 일본 기상학회는 회원의 목소리를 진지하게 받아들여 이하의 학술 활동을 적극적으로 추진해야한다.

1) 기상학의 기초 연구 추진

새로운 대기 현상을 발견해 과학적인 설명을 제공하는, 기초 과학으로서의 자율적인 발전을 지속적으로 추진한다. 또한 기상학·대기 과학의 보편적인 원리 원칙의 체계화를 추진한다.

2) 지구 시스템 연구 추진

대기는 해양·육지의 물·설빙, 생물, 대기조성, 초고층 전리 대기 등 주변 환경과 상호 작용한다. 지구과학 관련 여러 학회와 함께 지구 시스템의 전체적인 이해를 목표로 한다. 또한 고기후학과 행성 과학 등 학문 영역의 대상을 넓혀 기상학·기후학의 전개를 추진한다.

3) 관측 시스템의 고도화

위성 지구 관측 및 항공 관측 등의 대규모 관측 계획을 추진한다. 우주 기술과 센서 개발 등의 공학 분야, 자료 동화, 기상·기후 모델 등의 관측 자료의 이용 분야와 강력하게 연계를 도모하여 독창적이고 효과적인 관측 시스템을 제안·구축한다. 한편, 친밀한 현상 이해 및 기상 정보의 이용을 위해 관측 장비의 독창성과 관측 네트워크 구축 등 근본적인 관측 연구 활동도 강화한다.

4) 수치 시뮬레이션 모델과 자료 동화 기술 개발 및 이용

수치 모델과 자료 동화는 대기 현상의 이해와 기상·기후 예측의 기반 기술이다. 조직간 국제 협력 체제를 구축하고 수치 모델 및 자료 동화의 개발 연구를 적극적으로 추진한다. 계산 과학 분야와의 제휴도 강화한다. 수치 모델의 이용에 관한 연구를 촉진하고, 그 보급에 노력한다.

5) 기상 예측과 방재 및 산업 이용에 관한 연구의 추진

기상 예측의 정확도 향상을 위해 기상 학회와 기상청과의 연계를 강화하고 관측 시스템과 수치 모델에 대한 기술 개발을 추진한다. 방재, 교통, 토목, 농림 수산업, 건축, 에너지 주파수 등 기상 정보의

이용 분야와의 연계를 강화하고 기상 정보의 활용 연구를 추진 한다.

6) 환경 문제 해소를 위한 공헌과 지구 온난화 예측의 불확실성의 저감에 이바지하는 연구 강화
도시 환경과 국가 간 오염 등 환경 문제에 관한 연구를 추진하여 적절한 정보를 사회에 제공한다. 지구 온난화 예측에 대한 불확실성을 줄이기 위해 노력하는 것과 동시에, 지구 온난화의 정확한 지식 보급에 노력한다. 대기 중에 방출 된 방사성 물질의 확산에 관한 연구를 추진, 방사능 오염 대책 등에 관한 정보를 사회에 제공한다.

7) 기상 지식의 보급 개발

자연 현상, 기상 예측, 자연 재해, 환경 문제 등 기상 관련 지식과 정보를 일반 사회에 보급하여 계발을 도모한다. 1993년 기상예보사 제도가 창설 된 이래 다양한 전문 지식을 갖고 있는 기상 캐스터도 늘고 있다. 기상 지식의 보급 계발에 있어서는, 기상 예보 사회를 비롯한 관련 단체와의 연계를 강화한다.

8) 인재 육성과 남녀 공동 참가

임기제 연구를 맡게 되는 젊은 연구자가 증가하고 있으며, 미래에 대한 불안의 증대 여성 교육 연구 및 고용 기회 균등에 대한 노력이 필요하기에 인재 육성, 직무 경력의 구축 및 남녀 공동 참가를 위한 활동을 강화한다.