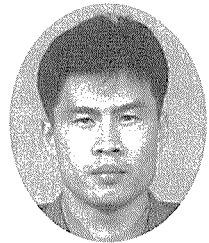


## 일본 환경과학기술연구소를 다녀와서



김희선

한국수력원자력(주)  
방사선보건연구원  
수의학박사

이번 환경과학기술연구소 방문은 필자가 일본 치바현에 위치하는 방사선의학종합연구소에서 유학하던 2000년 1월 10일 이후 약 4년 만이었다. 이번 방문은 저선량 방사선이 인체에 미치는 영향에 대한 연구를 수행할 목적으로 한국수력원자력(주) 방사선보건연구원(원장 : 김 종순)에 만들어지고 있는 [저선량(률) 방사선 동물 및 세포 조사시설]의 최종 점검과 국제연구 네트워크 구성의 협의에 목적을 둔 3박 4일간 (2005년 3월 13일~16일)의 출장이었다. 환경과학기술연구소는 일본 내에서도 눈이 많이 내린다고 알려져 있는 아오모리현, 로카쇼무라에 위치하고 있다. 예전 방문시 필자의 머리에 남아있던 로카쇼무라에 대한 기억은 강한 바람에 휘 날리는 눈 알갱이와 더불어 옷을 파고드는 추위였는데, 이번 방문 시에도 눈보라가 필자를 반겼다. 바람이 워낙 거세기 때문에 장화를 신고 손으로

털모자를 눌러 붙잡고 머리를 숙이고 걸어가 는 모습이 차라리 적당한 표현이 되겠다.

인천공항을 출발하여 약 2시간 비행 끝에 도착한 아오모리 공항에는 기타사토대학 수 의과대학 (北里大學 獸醫科大學) 上野俊治 (우에노 신지) 박사가 마중을 나와 계셨다. 우 에노 신지박사는 필자가 일본 유학시절 방사 선에 의한 신체손상을 DNA손상 수준에서 평 가할 수 있는 단세포 겔 전기영동법 (일명, Comet법)을 가르쳐 주셨던 분으로 지금은 일반화된 방법이지만, 당시만 해도 일본에서 마우스 신체장기를 단세포화 하여 방사선의 영향을 단시간에 분석할 수 있는 몇 안 되는 분이셨다. 우에노 박사와 지난날 유학시절의 추억과 방사선 분야 연구에 대하여 이야기를 나누면서 세 시간 정도 눈길을 운전한 끝에 미사와에 도착하였다. 로카쇼무라는 예전에는 사람이 거의 살지 않는 전형적 산골마을이

었는데 핵폐기물 재처리 및 저장시설이 유치되면서 급격히 발달하게 된 지역으로 지금은 세계적으로 유명하게 되었다고 한다. 지금은 관공서, 연구시설, 호텔, 아파트 등이 짜임새 있게 배치되어 있어서 이곳이 예전에 보이는 것인 산과 하늘뿐인 산골이었다고 생각하지 않는다고 한다. 또한, 로카쇼무라에 핵 재처리 및 저장시설과 관련시설이 들어섬으로서 아오모리현의 경제적 수준이 상위권으로 진입하였을 뿐만 아니라 사회적 및 교육적 수준도 예전에 비교할 수 없을 만큼 많이 향상되었다고 하였다.

이번에 필자가 방문한 환경과학기술연구소도 핵폐기물 처리 및 저장시설의 설치와 관련하여 저준위 방사선 및 방사능이 인간생활 환경에 미치는 영향을 과학적이고 객관적으로 연구하여 국민에게 설명하기 위하여 세워졌다고 한다. 그런 이유에서인지 환경과학기술연구소의 운영에는 지역사회의 유지를 포함한 다양한 분야의 사람들이 참가하고 있고, 사회적 요구사항을 객관적으로 고려하여 연구과제를 선정하고 장기간에 걸쳐서 단계적으로 연구를 수행하고 있다는 느낌이 들었다. 본 투고에서는 환경과학기술연구소의 설립경위, 목표, 조직, 연구부 소개, 연구활동 등을 중심으로 기술하고자 한다.

### 설립경위 및 목적

환경과학기술연구소는 1990년 12월 3일에 구 과학기술청의 인가를 받아 재단으로서 설립되었다고 한다. 설립목적은 앞서도 잠깐 언급하였지만, 아오모리현, 로카쇼무라의 저준위 방사성 폐기물 저장시설과 핵연료 재처

리 시설과 관련하여 환경방사선의 안전에 관한 조사연구를 수행하고, 그 연구결과를 지역사회에 제공함과 동시에 대중적 홍보에 활용하는 데 있다고 한다. 방사선의 환경 안전 연구에 추가하여 지구 환경문제나 농축수산업 등 지역산업의 진흥에 공헌을 한다는 것도 향후 계획에 들어있다고 한다.

연구는 목적에 맞게 구축된 시설을 이용하여 지역특화형의 연구과제에 중점을 두고 수행하며 앞으로도 변하지 않을 추진방향이라고 한다. 뒤에 기술하겠지만, 이번 방문을 통하여 견학의 기회를 가진 여러시설은 일본이나 세계적으로도 전례가 없는 것으로 여기에서 만들어진 연구결과는 환경과학기술연구소만이 만들어 낼 수 있는 것이라고 할지라도 방사선의 안전성에 대한 자료로서 국제적으로 많은 기여를 하게 공유할 것이라고 한다.

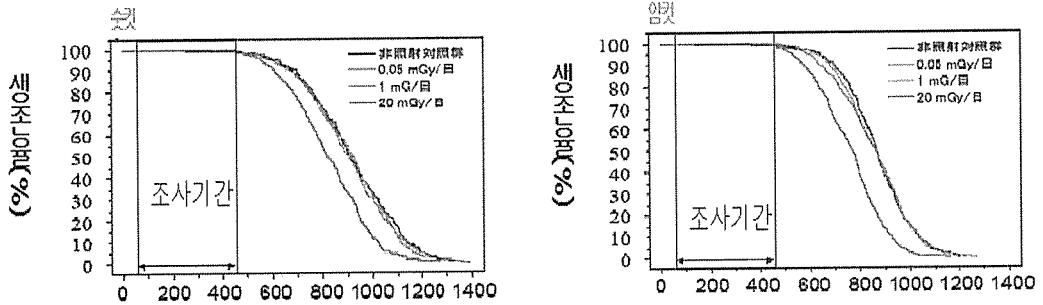
### 조직

연구소 조직은 생물영향 연구부 (12명), 환경동태 연구부 (16명), 환경시뮬레이션 연구부 (16명) 그리고 첨단 분자생물학 연구센터 (16명)로 구성되어 있었다. 기획, 관리부, 홍보에 관련한 정규직원이 72명이었으며, 그 밖에 건물관리나 연구보조를 하고 있는 사람들이 100명 정도로서 매년 연구자 수가 증가하고 있는 조직이라고 생각하였다.

지금부터는 각 연구부의 최근 연구성과 및 토픽에 대하여 간략하여 소개하고자 한다.

### 생물영향연구부

이 연구부의 주요성과 가운데 하나는, [저



〈그림 1〉 저선량(률) 방사선이 마우스 수명에 미치는 영향 (0.05mGy/일 (누적선량 20mGy): 영향 없음, 1mGy/일 (누적선량 400mGy): 암컷, 약 20일 수명단축, 20mGy/일(누적선량 8,000mGy): 암수,100일 이상 수명단축)

선량률 방사선의 수명과 발암에 관한 영향]을 밝힌 것이라고 할 수 있다. 이 성과의 일부를 정리하여 2003년 Radiation Research (160권, 376~379페이지, <그림 1>에 발표하였고, 국제방사선방호위원회 (ICRP)의 새로운 권고안에 반영될 것이라고 한다. 연구결과를 간단히 요약하면, 마우스에 저선량·저선량률을 조사하면 20mSv (400일 조사)까지는 수명이나 암의 발생에 전혀 영향이 없었다는 것이다. 우리나라 사람들이 자연 방사선과 의료피폭을 포함하여 연간 약 3mSv 정도의 방사선을 피폭당하고 있기 때문에 그것의 6배 정도에 피폭되어도 크게 영향은 없을 것이라고 생각하였다. 방사선 작업종사자에 허용되는 연간 피폭 한계선량이 20mSv (정확히는 5년에 100mSv)로 규제되어 있기 때문에, 이 규제수치와 연구결과와의 상관성은 저선량(률) 방사선이 인체에 미치는 영향을 해석하는 경우 중요한 비교자료가 될 수 있을 것 같다. 그러나, 그것의 20배인 400mSv에 피폭되면, 암컷에서 만이지만, 수명이 유의하게 단축되었기 때문에 이 정도 높은 선량에 도달하게 되면 주의가 필요하다고 본다.

히로시마·나카사키 원폭피폭자의 데이터에서는, 사람의 경우 백혈병은 200mSv까지는 리스크가 없었지만, 유방암이나 폐암 등의 고형종양은 50mSv를 초과하면서 리스크가 높았다고 보고 된 바 있기 때문에 연관하여 생각을 해 볼 필요가 있다. 1990년 후반부터 미국에서는 에너지성 (Department of energy)이 연간 200억원을 10년간 투자하여 저선량·저선량률 연구를 진행하고 있다. 최근, 사람의 역학적 데이터를 재해석하여, 저선량·저선량률에서 발암 리스크가 증가하는 선량이 50~100mSv라고 언급하고 있기 때문에 이 결과와도 일치한다. 이것은 핵연료 재처리시설에서 기인하는 정도의 방사선 피폭 리스크는 무시될 정도로 낮기 때문에 원자력 시설을 보유하고 있는 아오모리 현민 전체가 쉽게 받아들일 수 있는 올바른 정보가 된다고 생각하였다. 그 동안 수행된 조사실험 과정 중에 죽은 마우스는 전부 해부되어 어떤 종류의 암이 증가하는가? 등의 병리학적 해석이 현재 진행 중 이어서 향후 2년 이내에 보고가 이루어 질 것이라고 한다.

첨단 분자생물학 연구센터 (Advanced Molecular Bio-sciences Research Center)

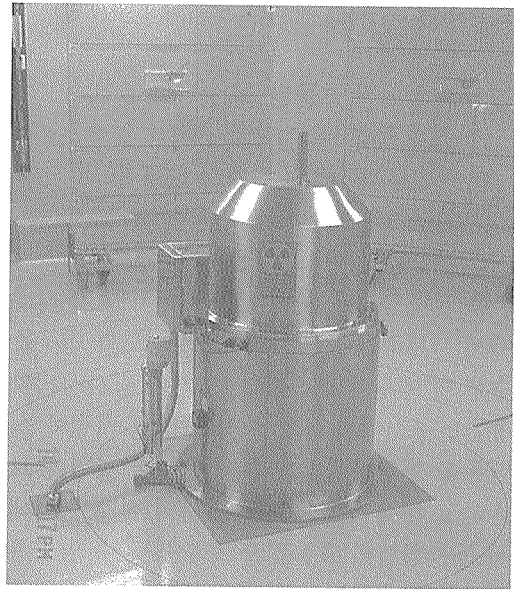
이번 방문에서 필자를 제일 즐겁게 한 것은 실험동물 관리시설과 첨단 분자생물학 연구센터 방문이었다. 겨울에 눈이 많이 오기 때문에 현관 출입구와 주차장 부위에 열선을 깔아서 눈이 싸이는 것을 처음부터 차단하였을 뿐만 아니라 겨울에 차가운 눈보라로부터 건물의 온도를 보호하기 위한 목적으로 완충공간을 둔 것은 환경의 영향을 고려한 설계라는 생각이 들었다.

이 시설 견학을 위해서 차량의 도움없이 불가능하였기 때문에 이곳에서 연구보조원으로 근무하는 Kumiko Orikasa양의 도움을 받았다. 이 시설의 견학은 필자가 일본 방사선의학총합연구소 시절에 신세를 졌던, 小木曾洋一 (오기소 요이치) 박사 (현 생물영향연구부장)의 친절한 안내로 이루어졌는데 규모가 워낙 커서 견학이 끝났을 때는 미로를 빠져 나왔다는 생각이 들 정도였다.

이 시설은 종래의 저선량 생물실험시설을 크게 확장한 모양으로 유세포 분석 등의 세포생물학적 및 분자생물학적 연구가 가능하게 만들어진 종합적 실험시설로서 약 4년 전에 설계에 들어가 2004년 10월 26일에 개소하였다고 한다.

이 센터의 제 1연구시설에는 SPF 환경 (특정 병원균이 존재하지 않은 환경) 아래서 약 6,000마리의 마우스 관리가 가능한 SPF 사육실, 저선량률 (1mGy/일)부터 중선량률 (400mGy/일)까지 설정이 가능한 SPF 마우스 연속조사실 <그림 2> 배양세포나 실험동

물 조사장치를 갖춘 감마 시뮬레이션실, 고선량률 조사장치 (감마셀)를 보유하고 있었기 때문에, 다양한 조건하에서 조사실험이 가능할 것이라 생각되었다.



<그림 2> 환경과학기술연구소, 저선량률 동물 조사시설 (선원 : Cs-137)

저선량 방사선 연구는 반드시 고선량 조사자료가 비교로 필요하기 때문에 제 1연구시설 옆에 새로이 건물을 지을 것이라고 하였다. 또한, 세포배양을 시작으로 유전자 형질전환, DNA 및 단백질 해석, 형광 염색한 세포와 염색체이상 해석에 필요한 최첨단분석 및 검사장비가 준비되어 있었다. 주요한 설비 및 장비를 간략하면 다음과 같다.

○ 방사선 조사실

- 감마선 (1,480, 740, 74, 3.7 (GBq)) 연속조사실 (SPF 수준)
- 감마선 조사기 (1.3Gy/분, SPF, 일반적 환경 수준)

- X-선 조사기 (일반적 환경 수준)
- 감마선 (1.1 TBq, 110 TBq, 11 GBq, 일  
반적 환경 수준)
- 마우스 사육실
  - 8실 (마우스 사육용 보관대 8대/1실)
  - 검역실
  - 형질전환 동물실
  - 격리 동물실
- 비밀봉 방사성동위원소 실험실
- 연구기자재 세척 및 멸균실
- 연구원실

총 건축면적은 3,170m<sup>2</sup>이었는데, 이 시설에서 사무직을 포함하여 60명 정도가 연구를 수행할 예정이라고 한다. 필자가 방사선의학 총합연구소에서 유학을 하고 있던 시절에 실험동물 연구시설의 건설에 풍부한 경험을 보유하고 계시던 마츠모토 박사의 설계에 의해서 동물실험이 효율적으로 수행될 수 있도록 연구실이 배치되어 있었을 뿐만 아니라 개체적 실증연구로부터 분자수준 해석까지 이 연구시설 내에서 완결 가능하게 세심하게 배려되어 있었다.

실제적 연구는 2005년 후반부터 이루어질 것이라고 오기소 박사는 말씀하셨지만, 암 유전자 연구 (암 관련 유전자의 이상과 발암 메커니즘의 해명)나 생물학적 선량평가 연구 (피폭사고시 피폭선량의 추정과 새로운 기법의 개발)부분에서는 상당한 수준의 데이터의 수집이 이루어졌다는 느낌이 들었다.

또한, 생체 방어기능 연구 (면역계 이상과 백혈병 발생 메카니즘), 종 세대 영향 연구 (숫컷의 피폭에 의한 자손세대에 전달되는 유전적 영향) 등이 2004년에 후보과제로 검토되어 올해부터 연구가 진행된다고 하였다.

앞으로, 지역의 대학이나 시험연구기관 등과 관련하여 센터 내에 설치되어 있는 유전자 형질변이 동물시설 등을 이용하여 분자생물학적 기법에 의한 환경보존·환경정화 기술 개발 연구를 수행할 계획이라고 한다. 오기소 박사의 설명을 통하여 바로 눈앞에 보이는 단기적 결과에 연연하지 않고 장기적 계획 아래서 체계적으로 진행되는 연구 환경을 느낄 수 있었다.

대학이나 국가 출연연구기관에서는 매년 평가에 대응하기 위하여 연구의 방향성을 잃어버리고 마는 위험성이 있다. 환경과학기술 연구소의 젊은 연구자들에게 방사선 영향 연구의 목표를 확실히 정하고, 방사선 안전성 연구에 있어서 연구소의 우위성을 효율적으로 활용하여 대학에서 불가능한 연구를 체계적으로 수행해 주기를 희망한다. 이 곳에서 수행된 연구과제와 성과를 간략하면 다음과 같다.

#### [수행된 연구과제: 저선량 방사선이 수명에 미치는 효과]

저선량 방사선(감마선 연속조사) 환경 아래서 4,000마리의 마우스를 평생사육하면서 신체적 영향을 관찰하였는데, 연간 자연 피폭선량의 약 8,000배(총 누적선량: 8Gy)에 노출된 마우스에서는 암이 빨리 발생하였을 뿐만 아니라 수명도 단축되었다고 한다. 그러나 연간 자연피폭선량의 20배 (총 누적선량: 20mGy)에 노출되었을 때는 아무런 변화도 인정되지 않았다고 한다. 이 연구결과는 국제 학술지 (Radiation Research)를 통하여 2003년에 발표되었다고 한다.

**[2005년부터 수행될 연구과제]**

- 저선량 방사선이 생체방어 기능에 미치는 영향 (분자수준 연구)  
 병원체나 각종 외인성 영향으로부터 신체를 보호하고 질병발생을 미리 차단하고, 면역세포에 의한 생체방어기능의 영향과 이것에 의하여 일어나는 암이나 암 이외의 질병 등의 발생기전을 관찰하는 연구를 계획하고 있다.
- 저선량 방사선의 암 유전자에 미치는 영향 (유전자 수준 연구)  
 방사선 조사 시 다발하는 백혈병이나 림프종과 같은 암의 조기발생과 발육진행 과정에서 암 유전자의 관련성을 연구하는 것이다.
- 생물학적 선량평가 (염색체 수준에서의 연구)  
 방사선에 손상을 받기 쉬운 혈액세포 (림프구)의 염색체이상과 선량률 · 선량과의 관계를 조사하고, 신속하고 신뢰성 높은 선량추정 및 평가법을 개발하고 있다.

**환경동태 연구부**

환경동태 연구부에서는 방사선, 방사성물질의 환경중의 분포와 움직임에 관한 조사 및 연구를 수행하고 있었다. 장기간 ICRP Committee 위원을 역임하셨고, 필자에게는 개인적으로 은사이신 이나바 박사가 보여준 [아오모리현의 환경 감마선의 선량분포]자료에서 동해에 접해있는 지역과 태평양측의 남부지역에 선량분포가 크게 달랐는데, 로카쇼

무라가 있는 남부지방쪽이 동해에 접해있는 지역에 비교하여 반 정도의 선량률로 나타났다. 이 연구기법은 우리나라에 설치될 원전폐기물 저장시설 주변에 대한 환경영향평가 시 방법론으로 유용할 것 같다.

이 연구부의 주요시설은 [전천후 인공 기상 실험 시설]이다. 전천후 인공 기상실험 시설은 연구부장이시면서 이사직을 겸하고 계신 이나바 지로 박사가 안내해 주셨다. 이 연구 시설내에는 실내 체육관을 연상할 수 있을 정도의 대형 인공 기상연구실이 있는데, 여기에는 다양한 기상조건을 재현하여 미량원소나 방사성물질의 환경중의 이행에 대한 연구가 진행되고 있었다.

특히, 이 지방 특유한 높새바람의 재현뿐만 아니라 비나 눈도 내릴 수 있게 할 수 있어서 대기 중의 미량원소 세정비율, 세정계수를 구할 수 있다고 한다. 높새바람이라는 것은 북일본 태평양의 특유의 기상으로서 오오츠크 해로부터 불어오는 찬 바람에 의해서 발생하는 안개를 뜻하는데 냉해를 포함한 다양한 기상변화를 매개한다고 한다. 먼저, 야외조사를 수행한 후 이 시설을 이용하여 세정비율을 비교하였는데 비가 올 때와 눈이 올 때 세정비율이 다르다고 한다. 또한, 안개 수분중의 나트륨이나 여러 가지 이온농도가 빗물에 비교해서 100배 정도 높았다고 한다.

아울러, 이 새로운 시설에서 얻어진 강우에 의한 세정계수 결과를 보면 액체 에어로졸 쪽이 고체상태의 그것에 비교해 훨씬 효율적이었다고 한다. 이 연구 성과는 학회와 학술지에 보고 되었다고 한다.

기온, 습도, 빛의 조절 가능한 소형 인공기상 연구용 상자에서는 방사성물질을 사용할

수 있기 때문에 식물이나 토양에 있어서 물질 순환을 해석할 수도 있다고 한다. 앞으로 본격적인 실험이 진행되겠지만, 여기에서 얻어진 성과를 바탕으로 환경 중에 방사성핵종의 이상 방출이 있을 경우나 지역주민의 중장기적 피폭선량을 정확히 예측하는 시스템을 구축함으로써 주민의 안전에 공헌할 수 있을 것 같았다. 또한, 1990년대 중반부터 진행되고 있는 수상 및 육상, 대기환경권에 있어서 방사성물질의 축적이나 물질순환에 대한 정보가 착실히 축적되고 있다고 한다. 이런 축적된 자료가 종합된다면 환경 방사선이 생태에 미치는 영향을 체계적으로 해석할 수 있을 것이라고 생각되었다.

### 환경 시뮬레이션부

환경 시뮬레이션부에서는 폐쇄형 생태계 실험실, 소위 미니지구를 이용하여 다양한 연구를 하고 있다고 한다. 이 미니지구는 외부로부터 보조를 받지 않는 시설이란 다. 이 시설에서는, 식물 실험실, 육상·수생 환경 실험실, 동물사육·주거실험실의 3개의 폐쇄 실험실과 물질순환 시스템을 보조하는 유독가스 제거장치, 미생물에 의한 분해장치, 물·공기 재생장치 등의 막대한 규모의 장치가 집적되어 있었다. 풍경은 마치 미래도시의 분위기를 띄고 있었다. 이 미니지구를 이용하여, 가스상태의 방사성물질(C-14 등)이 생태계 내에서 어떤형태로 순환하고 축적되는지를 실증적으로 연구를 하고 있었다.

현재, 식물의 재배가 시작되고 있었고, 또한, 엄격한 심사를 통과한 두 사람의 연구자가 시설에서 거주하기 위한 예비실험을 하고

있었다. 이 시설은 환경 방사선 연구나 생태학 연구뿐만 아니라 우주에서 생활을 위한 연구로서도 주목을 받고 있어서 미국 NASA로부터도 견학차 왔었다고 한다.

### 홍보·연구정보실

홍보·연구정보실에서는 환경과학기술연구소 업무 가운데 국내 및 국제적 대외업무를 총괄하고 있어서 필자가 방문시 통일된 창구로서 필요한 절차, 호텔예약부터... 핵재처리 시설 방문까지 세심하게 챙겨주었기 때문에 여간 편리하지 않았다.

환경 과학기술연구소에서는 지역과의 연관성을 중시하여 과학교실을 개최하고 있었다. 또한, [환경연 미니백과] 발행을 하는 동시에 강연회에 강사파견 등을 통하여 방사선에 관한 기초지식의 보급 활동도 활발히 수행하고 있었다. 이런 활발한 대외활동에 정부도 자금을 받아서 소학교를 대상으로 한 [사이언스 캠프]와 중학생을 대상으로 [사이언스 레인저] 활동을 적극적으로 전개하고 있다고 한다. 작년부터 특정 고등학교를 [슈퍼 사이언스 고등학교]로 지정하여 설비를 준비해주고 연구자를 파견하여 고등학생이 연구소나 대학에서 연구할 수 있는 제도를 마련하였다고 한다. 지금부터는 기업뿐만 아니라 대학이나 연구소도 사회에 공헌하는 활동이 요구될 것이기 때문에 이와 같은 정보의 표현은 매우 중요하다고 생각한다.

또한, 학문적 지식의 전달방법으로서, 2년에 1회, 환경연구와 생물영향연구에서 저수량 방사선의 영향 등 최신정보에 대하여 국제 심포지움을 개최하여 정보교환을 위한 장소

를 제공하고 있다고 한다.

이런 장소를 통하여 자신들만의 연구결과를 발표할 날이 멀지 않았다는 생각이 드는 것은 왜일까?

이나바 박사의 이야기를 통하여, 일본에서 원자력분야에 있어서 예산이 크게 감소되고, 사회적 반대운동, 유전자나 뇌 질병연구가 활발하게 진행되어 방사선의 안전성에 대한 연구가 일시적으로 정체된 적이 있었다는 것을 알 수 있었다. 예를 들어서, 연구비 항목에서 방사선생물학 분야에 대한 배정이 감소되었고, 대학의 강좌나 연구소내 부서의 명칭에서도 방사선이나 원자력이라고 하는 단어가 사라졌다는 것이다. 그러나, 최근에 연구비도 환경분야에 포함되어 부활되고 대학교의 교수들의 열성 때문인지 방사선 연구에 관심을 갖는 학생의 숫자도 증가되고 있다고 한다.

그 가운데 환경과학기술연구소는 도호쿠대학(東北大學)이나 호카이도대학(北海島大學)과 함께 북일본 방사선 연구의 거점으로서 성장하고 있다는 생각이 들었다. 또한, 젊은 연구자가 많은 것과 저선량 방사선생물학 및 환경학에 관심이 많은 것도 연구소의 역량을

특징적으로 키우는 데 장점으로 작용할 것 같았다.

### 마무리

이번 환경과학기술연구소 방문을 마치면서 국내 저선량 연구현황 및 최초로 방사선보건 연구원에 설립된 저선량 조사센터 (<http://www.rhri.re.kr>)의 의미에 대하여 두 가지로 정리하여 보았다. 첫째로, 저선량 연구에 대한 외국의 높은 관심과 투자수준을 고려하여 볼 때, 늦은 감이 없지 않으나 방사선보건연구원, 저선량 조사센터를 중심매체로 국내 연구 인프라 구축이 가능할 것이라 생각하였다. 또한, 저선량 방사선의 생물학적 영향 연구가 투자된 시간과 비용에 비례하여 훌륭한 성과를 도출할 수 없을지라도 사회적·국가적 사명감을 가지고 긴 안목을 가지고 장기적으로 연구를 수행해 나갈 필요가 있다고 생각하였다. 이러한 연구결과가 축적되고 대중에게 전달됨으로써 방사선의 생물학적 영향에 대한 올바른 해석이 유도될 수 있다고 본다. 