

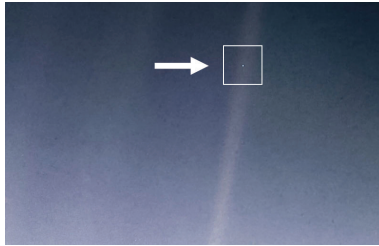
과학 산책, 자연과학의 변주곡

교양과학연구회 지음

*Strolling with Science,
a canon of Natural Sciences*

과학 산책, 자연과학의 변주곡

* 이 책은 2018년부터 2020년까지 정부(교육부)의 재원으로 한국교양기초교육원의 지원을 받아 수행한 연구임(RR-2018-11-673, RR-2019-10-690).



'창백한 푸른 점(pale blue dot)' 지구

흔히 '과학'이라고 하면 과학적 지식만을 떠올리기 마련이다. 그러나 진정한 과학은 과학적 사고방식을 포함하는 훨씬 더 큰 범주를 의미한다. 과학이 인류에게 중요한 가치를 발휘하기 시작한 것은 17세기 뉴턴의 과학혁명 이후이다. 과학은 처음부터 새로운 문명과 문화를 이끄는 원동력이었다. 이 책은 이 시기에 과학이 발견한 자연에 대한 새로운 이해를 소개하여, 문과와 이과를 망라한 모든 학생에게 과학의 참모습을 보여 주고, 과학적 소양을 기를 수 있도록 하고자 집필되었다.

과학을 공부하는 가장 중요한 이유는 과학적 소양 때문이다. 과학적 소양은 한마디로 정의하기 어려운 복합적 개념이다. 과학과 과학을 이용해서 개발한 기술을 이해하고, 현명한 소비 생활에 직접 활용할 수 있어야 하며, 동시에 스스로 새로운 과학 지식을 학습하면서 장래에 원하는 직업에 필요한 능력을 키울 수 있어야 한다. 과학적 소양을 갖추면 과학 지식과 과학적 사고방식을 이용하여 많은 문제를 효율적으로

로 해결할 수 있다.

과학적 소양은 다음의 두 가지 이유에서 모든 이에게 필요하다. 과학적 소양은 개인과 국가가 빠르게 발전하는 문명의 변화에 성공적으로 적응할 수 있게 한다. 또한, 인류의 생존을 위협하는 위험을 극복하기 위해서도 과학적 소양을 갖추어야 한다.

오늘날 인류는 역사상 유례를 찾아볼 수 없는 매우 빠른 문명의 변화를 겪고 있다. 사실 수십만 년에 이르는 현생 인류의 역사에서 혁명적인 변화는 그리 많지 않았다. 추상적인 사고를 하며 집단생활을 가능하게 한 7만 년 전의 인지혁명, 먹을거리는 해결했지만 불평등한 신분 계층을 만든 1만 2천 년 전의 농업혁명, 고단한 육체노동에서 우리를 해방시켜 준 300년 전의 산업혁명 정도가 전부다.

40년 전에 시작된 정보화혁명은 그동안의 모든 변화를 훌쩍 뛰어넘는 빠른 속도와 강도로 인류 문명을 바꾸어 놓고 있다. 인공지능으로 가능해진 초지능은 숙련된 사람보다 훨씬 신속하고 정확하게 판단한다. 사물인터넷에 의한 초연결은 모두의 생활을 편리하고 안락하게 만들어 준다. 모든 것을 드러내 보여 주는 빅데이터는 복잡한 통계적 기법을 사용하지 않고도 미래를 예측할 수 있게 해 준다.

인류의 생존을 위협하는 위험은 크게 두 가지가 있다. 하나는 인류가 자연을 착취하는 것을 당연시하면서 스스로 초래한 위험이고, 다른 하나는 지구의 긴 역사에서 언제나 있었던 간헐적 위험이다.

중세까지 자연은 인류의 생존을 위협하는 거역할 수 없는 혹독한 존재였다. 토르가 던진 번개가 만드는 산불은 한순간에 삶의 터전을 불

태웠고, 난데없는 화산 폭발에서 쏟아져 나온 용암은 도시를 집어삼켰고, 갑자기 들이닥친 가뭄은 감당할 수 없는 폭동으로 이어졌다. 그런데 17세기 과학혁명 이후 인류는 자연을 새롭게 이해하기 시작했다. 번개는 전기 현상이고, 용암은 마그마의 활동이고, 가뭄은 엘니뇨 때문이라고.

한 걸음 더 나아가 인류는 자연을 지배할 수 있는 대상으로 인식하고 자연을 착취하기 시작했다. 그 결과가 지구의 온난화다. 모든 과학 지식을 총동원하여 온난화 문제의 해결책을 모색하고 있지만, 그 비용을 감당하기 어려운 형편이다. 이 때문에 아직 전 세계의 어떤 정부도 적극적인 행동에 나서지 못하면서 문제는 돌이킬 수 없을 정도로 심각해지고 있다.

팬데믹으로 번지는 질병, 천체의 충돌 등의 자연재해는 언제나 있었던 간헐적 위협이다. 사스, 에볼라, 메르스는 어렵게 해결했지만, 코로나는 여전히 위협적이다. 천체의 충돌은 매우 드문 현상이지만, 그 영향은 전 지구적일 수밖에 없다. 천체의 충돌이 작은 행성인 지구에게 어울리지 않는 큰 달을 거느리게 해 주었고, 거대한 멸종을 일으키기도 했다.

우리가 사는 지구는 특별한 곳이다. 1990년 칼 세이건의 요구로 보이저가 지구에서 61억 킬로미터(태양과 지구 사이 거리의 4배) 떨어진 곳에서 촬영한 지구는 창백한 푸른 점(pale blue dot)에 지나지 않았다. 이렇게 작고 보잘것없는 점에서 탄생한 생명이 진화를 거듭하여 과학과 기술을 발전시켰다는 사실은 놀랄 만하다. 지금까지도 인류는 우주에서

자신의 정체를 궁금하게 여기는 유일한 생명체다.

우리에게 이러한 모든 것을 가능하게 해 준 것이 과학이다. 그런데도 은연중에 과학을 위협하거나 부정적인 것으로 호도하는 사람들이 있다. 산업혁명 시절 기계를 거부한 러다이트처럼 과학(당시에는 철학)을 거부하던 영국의 시인 키츠(Keats)도 그러했다. 스노우(Snow)가 《두 문화(The Two Cultures)》에서 지적하였듯이 ‘과학을 모르는’ 사람일수록 그런 경향이 심하다.

일부 사람들은 인류는 특별한 생명체라고 주장한다. 그러나 과학이 없었다면 그런 사실조차 정확히 확인할 수 없었을 것이다. 이제 인류 문명에 새로운 혁명이 일어나고 있다. 과학적 소양이 그 어느 때보다 중요한 시대이다.

이 책은 일반인이나 고등학교 학생도 관심만 있다면 읽을 수 있도록 만들었다. 이 책이 나올 수 있게 해 준 한국교양기초교육원의 지원에 감사드린다.

키츠의 서사시 <라미아(Lamia)>(1820) 중에서

차가운 철학의 손길이 닿기만 해도
모든 매력이 날아가 버리지 않는가?
한때 하늘에는 외경스러운 무지개가 있었으나
이제 우리는 그 재료와 구조를 알기에
무지개는 혼한 것들의 지루한 목록에 있다.

들어가며	4
------	---

1장 / 과학의 본성: 세상을 이해하는 기본 지식과 사고방식

1절 과학 지식의 여러 가지 모습	17
1. '과학'의 의미	18
1) 과학은 특별한 방식으로 세상을 본다	19
2) 과학은 특별한 방식으로 사고한다	23
3) 과학 지식에는 위계가 있다	27
2. 과학과 사회	34
1) 과학은 문화를 만든다	34
2) 과학은 사고의 패러다임을 바꾼다	36
3) 미래에는 과학적 소양이 필요하다	39
2절 과학적 사고방식의 의미	42
1. '과학적'이란 것의 의미	42
1) 과학적 방법은 문제를 효율적으로 해결한다	43
2) 여러 분야의 과학이 공유하는 공통 개념	51
2. 과학적 방법이 바꾼 인류의 문명	59
1) 과학은 문명을 만든다	59
2) 미래 인류 생존을 위한 과학	65

◆ 1장 연습문제

2장 / 과학에서 법칙의 의미: 변하는 것 설명하기, 변하지 않는 것 찾기

1절 과학 법칙이 바꾼 세계관	77
1. 물체의 운동을 지배하는 '힘'	77
1) 운동을 이해하는 두 방식 - 아리스토텔레스와 갈릴레이	78
2) 수학으로 기술하는 뉴턴의 운동 법칙	82

2. 물리학의 네 가지 기본 힘	87
1) 우주를 지배하는 힘 - 중력	87
2) 지상을 지배하는 힘 - 전자기력	91
3) 원자핵을 묶는 힘 - 강력	95
4) 원자핵을 깨는 힘 - 약력	97
3. 20세기가 발견한 신세계 - 양자역학	97
1) 원자의 내부 구조를 찾아내다	98
2) 오래 걸려서 찾은 양자 개념	100
3) 새로운 문명을 만든 양자역학	105

2절 변하는 에너지의 형태, 변하지 않는 에너지의 총량	108
---------------------------------------	-----

1. 에너지	108
2. 일과 역학적 에너지의 보존	111
1) 일을 하지 않는 힘도 있다	111
2) 일을 하는 힘은 운동 에너지를 만든다	113
3) 퍼텐셜 에너지를 알면 에너지 보존이 보인다	115
4) 보존력과 비보존력	118
3. 에너지의 생산과 이용	121
1) 발전기는 전자기력을 이용한다	121
2) 전력의 수송을 담당하는 스마트 그리드	121

3절 거시 세계의 질서를 알려 주는 열역학 법칙	123
-----------------------------------	-----

1. 열역학 제0법칙과 온도의 정의	123
1) 섭씨온도 눈금의 정의	126
2) 기체의 부피가 사라지는 절대영도	127
2. 열역학 제1법칙과 에너지 보존	130
1) 분자의 운동 에너지: 내부 에너지	130
2) 열역학 제1법칙은 에너지 보존 법칙이다	132
3. 열역학 제2법칙과 엔트로피 증가	134
1) 열기관과 열역학적 엔트로피	135
2) 볼츠만의 통계역학적 엔트로피	138
3) 열역학 제2법칙과 시간의 화살	141

◆ 2장 연습문제

3장 / 우리가 보는 세상에 대한 설명

1절 우리 생활을 이해하는 기반: 시간과 공간	153
1. 관성계와 상대성	154
2. 아인슈타인의 특수 상대성 이론	157
1) 빛의 속력에 대한 실험과 이론	157
2) 시간과 공간은 관측자에 따라 달라진다	162
3. 아인슈타인의 일반 상대성 이론	165
1) 등가 원리와 중력에 의한 시공간 변화	165
2) 일반 상대성 이론의 실험적 증거	167
3) 2017년 노벨 물리학상: 중력과	170

2절 137억 년 전 우주의 탄생과 별의 미래	172
1. 우주의 탄생	172
1) 우주는 빅뱅에서 시작했다	173
2) 우주 초기에 탄생한 수소와 헬륨	175
3) 은하와 별의 탄생	178
2. 별과 행성의 진화	182
1) 무거운 원소는 초신성이 만든다	182
2) 평범한 태양을 도는 지구는 특별한 행성이다	184
3. 우주의 미래	187

◆ 3장 연습문제

4장 / 우리가 보지 못하는 작은 세계에 대한 설명

1절 원자, 분자, 물질	199
1. 원자의 세계	199
1) 원자, 물질을 이루는 기본 단위	199
2) 원자들이 모여서 만드는 다양한 물질	201
3) 맨델레예프의 주기율과 비활성 기체	203
4) 보어 모델과 파동역학	206
2. 분자의 세계	216
1) 화학 결합	216
2) 분자 구조와 물질의 성질	221

2절 원자 결합이 만드는 생명의 기본 물질	228
1. 화학 반응 속도	228
2. 생명의 화합물	230
1) 산과 염기	234
2) 아미노산과 단백질	236
3) 뉴클레오타이드와 DNA	240
4) 인지질	245

◆ 4장 연습문제

5장 / 우리가 발을 딛고 사는 지구에 대한 설명

1절 45억 년 전 탄생한 지구의 구조	255
1. 푸른 행성 지구의 탄생	255
1) 지구는 약 50억 년 전에 탄생했다	256
2) 지구의 껍질과 속은 매우 다르다	259
3) 약 27억 년 전에 생명체가 출현했다	262
2. 지구 내부의 순환	267
1) 살아 움직이는 지구를 만드는 핵	267
2) 맨틀이 대륙을 움직인다	271
3) 초대륙이 알려 주는 미래의 지도	276
3. 지구의 운동과 생태계	280
1) 지구 환경 변화는 생태계를 바꾼다	280
2) 지구는 심각한 기후 변화를 겪고 있다	284

2절 인류가 바꾸는 지구의 위험한 환경	293
1. 기후 변화의 원인	293
1) 기후는 변함이 없고 날씨는 변한다	293
2) 기후를 좌우하는 지구의 순환	294
3) 지구의 급소인 온실가스	298
2. 기후 위기	303
1) 기후 변화는 아직 모두 드러나지 않았다	303
2) 이제 극한 날씨가 정상이다	307
3. 기후 변화 대응	310
1) 미래는 '주어지는 것'이 아니라 '이루어 가는 것'이다	310
2) 기후 위기는 우리 삶을 성찰하게 한다	314

◆ 5장 연습문제

6장 / 우리와 닮은 생명에 대한 설명

1절 환경의 변화에 적응하며 진화하는 생명	325
1. 다양성과 통일성	325
1) 생물 종은 매우 다양하다	325
2) 생물 종은 계속 바뀌지만 공통점도 있다	327
2. 창발성과 복잡계	329
1) 세포는 생명의 기본 단위이다	329
2) 세포 위아래로 다양한 서열 구조가 있다	330
3) 생물의 복잡계는 창발성에서 시작한다	334
3. 진화론과 돌연변이	335
1) 화석 기록에 따르면 생물은 공통 조상에서 시작했다	336
2) 생물들은 끊임없이 변화하고 있다	340
3) 돌연변이는 염색체의 수 또는 구조의 변화, 염기 서열의 변화이다	341
4) 돌연변이는 진화에 기여한다	344
4. 자연선택과 인공선택	346
1) 인류는 오래전부터 인공선택을 수행했다	347
2) 자연에서는 남긴 자손의 수가 중요하다	349
3) 자연선택은 적응에 기여한다	351
2절 다음 세대로 전달되는 생명의 속성	354
1. 생명의 속성과 유전 물질	354
1) 생명에는 여러 속성이 있다	354
2) 유전을 담당하는 물질은 DNA이다	358
3) DNA는 단백질을 이용해 복제한다	361
2. 중심원리	364
1) 전사와 번역은 유전자형과 표현형을 연결한다	364
2) 전사는 DNA 정보를 베껴 RNA를 합성한다	367
3) 번역은 RNA 정보를 이용하여 폴리펩타이드를 합성한다	368
3. 멘델의 법칙과 유전	370
1) 멘델의 법칙: 분리의 법칙과 독립의 법칙	371
2) 우성과 열성의 관계는 다양하고 복잡하다	375
3) 인간의 유전 형질도 멘델 법칙을 따른다	378
4. 세포분열과 감수분열	380
1) 세포분열은 클론을 만든다	380
2) 부모는 자손에게 유전자를 물려준다	382
3) 감수분열은 유전적으로 다양한 딸세포를 만든다	383
5. 현대 생물학과 유전체학	384

◆ 6장 연습문제

7장 / 미래 문명을 여는 과학과 기술

1절 인류 문명을 열어 온 과학과 기술	393
1. 인류 문명의 변화에 대한 두 가지 기술	394
1) 기술에 의한 생활양식의 변화	394
2) 소재에 의한 생활양식의 변화	405
2. 에너지 기술의 발달	410
1) 에너지 소비 증가와 에너지 전환	411
2) 전기의 등장	412
3) 석유와 천연가스	414
4) 바이오 연료와 수소 에너지	416
3. 인류의 미래	417
1) 미래의 기술: NBIC 융합	417
2) 기술의 사회적 가치	418
3) 기술의 사회적 수용성	420
2절 인류 문명을 열어 갈 과학과 기술	421
1. 과학과 기술	421
1) 과학, 기술, 공학	421
2) 과학과 기술·공학의 상호작용	424
3) 과학, 삶, 사회	426
4) 산업혁명과 21세기 첨단 기술 발전	428
2. 과학기술과 인류의 미래	431
1) 인류세의 도전과 에너지 문제	431
2) 생명공학의 쟁점: 바이오뱅크, 유전자 편집	434
3) 정보통신공학의 쟁점: 빅데이터, 인공지능	436
4) 과학과 함께 사는 삶: 백신 논쟁을 중심으로	438

◆ 7장 연습문제

[참고 문헌]	445
---------	-----