

제 1 장

서론

기후는 매우 실제적이고 뚜렷한 학제간 연구 대상이다. 그러나 시간적·공간적 기후변화는 역사시대와 선사시대의 양상도 포함하고 있고 이것은 결국 지구의 생성 시기까지 소급된다. 기후 과정들과 기후자료를 물리적·화학적·통계적으로 분석하면 기후 변동성을 이해하게 될 뿐만 아니라 기후를 보호하려는 대응방안을 논의하기 위한 기초도 제공하게 된다. 다음의 간략한 서론에서는 이러한 문제를 개관하고 이 책의 구성을 소개할 것이다.

기후(climate)라는 단어는 그리스어에서 유래한다. 이 단어는 이미 엘레아(Elea)의 파르메니데스(Parmenides 기원전 500년경)¹⁾와 히포크라테스²⁾(Hippokrates 기원전 460~375년; 예: Hupfer & Kuttler 1998과 비교)의 문헌에서 나타나며, “내가 기운다(ich neige, κλινω = klino)”를 의미한다. 이것은 지표에 도달하는 태양의 입사복사가 확실하게 위도(와 하루의 시간과 계절)에 종속되는 경사각의 영향을 받는다는 것을 의미한다. 이러한 경사각이 급할수록, 즉 경사각이 태양의 천정(天頂)³⁾ 위치로부터 적게 편차가 날수록

1) 옮긴이 주 : 이탈리아 태생 그리스의 철학자로 소크라테스 이전 그리스의 주요학과 중 하나인 엘레아 학파를 세웠다.

2) 옮긴이 주 : 고대 그리스의 의사로 전통적으로 의학의 아버지로 여겨진다.

3) 옮긴이 주 : 지구 관측자의 머리 바로 위 방향에 위치한 천구의 점을 말하고, 천정으로부터 180° 반대쪽에 있는 점은 천저(天底)라고 한다.

지면과 접지대기(독: bodennahe Atmosphäre)는 더 따뜻해진다. 사람들은 이와 같은 범주에 따라 최초로 알려진 기후대(파르메니데스)의 분화(지역차이), 즉 “더운 기후”(가까운 천정 거리, 경사가 급한 입사복사), 보통의 온난 기후(중간의 천정 거리)와 추운 기후(먼 천정 거리, 평탄한 입사복사. 상세한 내용은 제4장 1단원 참조)가 나타난다는 사실을 당시에 이미 경험적으로 알고 있었다. 적절한 의미로 **평균치기후학**(독: Mittelwertsklimatologie)으로부터 **변동기후학**(독: Schwankungsklimatologie, Hantel et al. 1987, Schönwiese 1974)으로 확대되기 이전에—하루 중의 시간과 계절에 따른 변화와 일기 변화를 제외하고—기후를 사실상 불변하는 현상으로 간주하는 이와 같은 통계적 고찰방법이 19세기까지 기후학을 지배하였으며, 심지어 20세기 초반까지 지배하였다.

이와 대조적으로 지구상의 생명, 특히 인간이 크게 결정적으로 기후에 종속된다는 인식은 매우 오래되었고 확실하게 농업과 식량의 (신과 사람 사이의) 중보자(仲保子) 역할과 고대 그리스를 훨씬 능가하는 것이다. 이집트에서는 수천 년 동안 강수 활동에 종속되는 나일강의 수위를 주의 깊게 관측하고(제11장) 기록하였다(Grotzfeld 1991). 그 이유는 강수 활동과 관련된 범람이 농업에 매우 중요했기 때문이다. 인도에서는 계절풍 비(monsoon rain)의 역할 역시 중요하여(제5장 3단원) 그곳에서는 매우 일찍, 2,000년 이상 전에 강수량을 측정하기 시작하였다. 기원전 약 3700년에 강수 활동의 현저한 감소로 인한 하라파(Harappa) 문화⁴⁾의 몰락(인도의 라자스탄 Rajasthan;

4) 옴긴이 주 : 파키스탄의 동부 펀자브 주에 있는 마을로 사히왈 시 서남서쪽, 라비 강 좌안으로 넓게 이어진 흠둔덕들 위에 있다. 라비 강은 예전에는 강이었으나 지금은 메말라 있다. 1921년 흠둔덕이 발굴되면서 인더스 문명에 속한 큰 도시 유적이 드러났다. 남서쪽으로 약 644km 떨어져 있는 모헨조다로 다음으로 큰 유적지이다. 1921년 인도 고고학 탐사단의 영국인 총감독 존 마셜 경이 처음으로 발굴작업을 시작하고 감독했다. 그의 발굴로 기원전 3500년경까지 거슬러 올라가는 인도의 선사시대가 밝혀졌다.

Hare 1979)은 과거의 **급격한 기후변화**에 대한 여러 사례 중의 하나(Berger & Labeyrie 1987)가 되는 동시에 기후와 기후변화가 인류에게 미치는 영향에 대한 한 가지 사례가 되고 있다(기후가 미치는 영향의 연구, 제10장과 제13장 3단원).

이러한 과거의 간접적인 **고기후학**(paleoclimatology) 정보 분석(제11장)에 관해서만 추론 가능한 여러 측면이 이미 고대 그리스에서는 학문 연구의 대상이었다. 예를 들면 고대 그리스의 학문 연구 대상으로는 의사의 관점으로 이미 통찰력을 가졌던 히포크라테스(기원전 460~375)의 저술들이 증명하는 바와 같은 것이 있다. 이것이 우리가 현재 요양지기후학(독: Kurortklimatologie)이라고 부르는 중요한 생물기후학(bioclimatology)의 기초를 제시하고 있다(제10장 5단원). 최초의 근대적인 기후 정의(상세한 내용은 제2장 7단원 참조) 중의 하나는 알렉산더 폰 훔볼트(Alexander von Humboldt 1769~1859)⁵⁾의 정의로서 마찬가지로 생물기후학의 관점과 관련이 있다. 생물기후학의 관점은 유감스럽게도 농업기상학(agricultural meteorology), 삼림기상학(forest meteorology), 의료기상학(medical meteorology)의 특수 분야가 새로운 발전을 하기 전인 대략 20세기 중반까지 주변적인 역할로 밀려나 있었다.

기후란 원래 특정한 긴 기간(제2장 5단원과 제2장 7단원)의 지구 대기를 고찰하는 방법이기 때문에 서기 17세기 이후부터 이러한 매개물을 정확한 측정기술로 그리고 **물리적으로 분석**하는 것으로 근대 **기상학**(meteorology, 대기과학)과 기후학(climatology)이 발달하기 시작하였다. 그 이유는 실험물

5) 옉긴이 주 : 독일의 박물학자·탐험가로 현재의 지구과학·생태학에 속하는 과학분야인 자연지리학과 생물지리학 분야에서 중요한 인물이다. 그는 <우주 Kosmos>라는 책을 저술해서 과학의 대중화에 지대한 공헌을 했다. 남아메리카 서해안의 훔볼트 해류(지금의 페루 해류)는 그의 이름을 따서 명명되었다.

리학이 발달하기 시작한 이 시기에 온도계(추측컨대 Galilei 1611)와 기압계(Toricelli 1643; 예를 들어 von Rudloff 1967 비교)가 발명되었을 뿐만 아니라, **실험 아카데미(Academia del Cimento)**⁶⁾에 의해서 플로렌스와 피사 등 여러 장소에서 최초로 동시 관측이 실시되었기 때문이다. 그 이전에는 예를 들어 서기 127~151년에 알렉산드리아에서 프톨레마이오스(Ptolemy)⁷⁾가, 혹은 1337~1344년에 잉글랜드에서 벨레(Merle)가 혹은 1617~1626년에 린츠(Linz)에서 케플러(Kepler)⁸⁾가 기술한 일기(日氣) 기록이 있다. 이에 대한 상세한 내용은 제11장과 특히 폰 루들로프(von Rudloff 1967), 쉰비제(Schönwiese 1995)의 저서를 참조할 수 있다. 여기서 매우 간략하게 사례로 제시될 수 있는 역사적 발달의 개관에서는 Societas Meteorologica Palatina(팔츠 Pfalz의 기상학회)가 특히 강조되어야 하겠다. 이 기상학회는 선제후 칼 테오도르(Karl Theodor)의 주도하에 그의 비서이자 후에 궁정신부가 된 험머(Hemmer)의 학문적 지도로 1780/1781년부터 최초의 국제기상관측망을 설치하였다. 이 기상관측망은 북아메리카로부터 중심지인 유럽을 지나 우랄 산맥까지 이르는 최대 39개 관측소를 포함하였다. 이와 같은 국제적인 자료수집뿐만 아니라 **만하임 시간**(독: Mannheimer Stunden)과 같은 몇 가지 관측기술은 기후학의 이정표가 되었다. 만하임 시간은 관측된 기후요소들의 일평균값을 계산하기 위

6) 옴긴이 주 : 최초의 과학학회 중의 하나인 실험 아카데미이다. 실험 아카데미(Accademia del Cimento)는 1657년 피렌체(플로렌스)에서 생겨났다. 메디치가(家) 형제 페르디난드 2세 대공과 레오폴드가 후원자였고 회원은 V. 비비아니, G. A. 보렐리, F. 레디 등 약 10명이었다. 코페르니쿠스의 우주론이 금지된 뒤여서 주로 실험적인 문제들을 다루었다. 1667년 레오폴드가 추기경이 되자 해산되었다.

7) 옴긴이 주 : 서기 127~145년에 알렉산드리아에서 활동한 고대 그리스의 천문학자·지리학자·수학자이다.

8) 옴긴이 주 : 독일의 천문학자로 지구 및 다른 행성들이 태양을 중심으로 타원궤도를 그리면서 공전한다는 사실을 밝혔다. 우주에 대해 기하학적 설명을 했던 고대의 천문학을 역학적 천문학으로 전환시켰다. 르네상스 시대의 천문학자이며 점성학자였던 요하네스 케플러는 행성운동의 3가지 원리를 발견한 것으로 가장 잘 알려져 있다.

하여 지정한 지방시 7시, 14시, 21시이다(여기서 기온의 경우에 21시의 관측 값을 2번 상응하는 가중 산술평균의 계산에 포함시켰다).

더욱이 이들 모든 측정값은 기상자료가 아니라 기후자료라는 점이 중요한데, 그 이유는 통신이 발달하지 않아서 빠르게 자료를 교환할 수 없었고 이들 자료의 실제 값이 긴 기간에 한 특정 관측소와 관측소들 사이의 특성을 전적으로 기후 개념(제2장 7단원)의 관점에서 특징지우기 위한 일평균값, 월평균값, 연평균값을 계산하는 데 있었기 때문이다. 이것은 대기권 하층의 실험물리학의 분석에 포함되었고 현재도 포함되고 있다. 두 번째 측면, 즉 여러 해에 걸쳐서 이들 자료를 천후(독: Witterung) 및 기후변화에 이용할 수 있는 가능성은 당시에 알려지지도 않았을 뿐만 아니라, 특별히 집중적으로 인식되지도 못하였다. 이것은 아마도 이와 같은 최초의 국가적 또는 국제적 관측망이 그 주도자들의 사망으로—Societas Meteorologica Palatina에서는 그 주도자가 1795년에 사망—유지되지 못하였다는 사실로 이해되어야 할 것이다. 대개 수도승, 신부, 교사들과 간혹 개별 학자들(드물지 않게 천문학자들)이 자발적으로 측정하는 이 관측 자료의 일부가 다소 결측이 없이 현재까지 남아 있어서 직접적인 관측으로 200년 이상, 잉글랜드 기온의 경우에 심지어 약 350년 이상의 기후사(氣候史)를 우리가 추론할 수 있게 되었다. 이들 자료와 우리를 매우 먼 과거로 안내하는 역사적·간접적 기후지표에 대해서는 제11장에서 더 상세하게 논의될 것이다.

이와 반대로 간략하게 역사적으로 돌이켜보면 우리는 더 최근으로 돌아오게 된다. 여기서 1854년은 또 다른 중요한 연대가 된다. 당시에 프랑스와 러시아 사이의 크림 전쟁에서 프랑스 전함대는 세바스토폴(Sewastopol) 부근에서 일어난 바다 폭풍으로 인하여 전멸하였다. 그 사이에 증가한 기상학 지식으로 대기 자료를 빠르고 지속적으로 전달하고 분석하여 이러한 폭풍의 존재와 이동경로를 알 수 있고, 또한 악천후 예보가 가능하다고 생각하게 되었다. 그로

인해서 몇 년 후인 1863년에 프랑스는 **최초의 국립기상대**(national weather service)를 설립하였고, 독일은 그 뒤를 이어서 1876년에 “해양기상대(독: Seewetterwarte)”를 설립하였다. 그러나 그 충격은 전혀 다른 방향으로 진행되었다. 개별 관측소들의 기압, 바람, 기온, 강수 등의 관측소 자료를 중앙으로 빠르게 전달하고(가우스 Gauss와 베버 Weber는 1833년부터 이에 필요한 전보를 개발하였다), **종관**(synoptic) 상태를 표현, 즉 상이한 관측소들에서의 특성을 한 지도에 동시에 개관하고(종관기상학 synoptic meteorology, 제2장 8단원과 제5장 3단원 8절 참조), 차후의 시간에 대해서 동일한 절차를 반복하고, (상대적으로 낮은 기압을 갖는 지역, 또한 폭풍, 소위 폭풍저기압에 대해서 전형적인) 저기압 지역 등과 (처음에는 이들의 이동방향을 외삽하여 경험적으로, 그리고 그 후에는 모형계산을 기초로) 그 이동방향을 분석하고 그에 이어지는 시간과 날들에 대한 예보를 시도하였다. 여기서 고찰되는 상대적인 단기간의 과정들은 물론 기후(climate)가 아니라 **일기**(weather)를 연구한 것으로 앞서 언급한 지도는 원칙적으로 현재에도 통용되는 단순한 형태로 언론에 배포되는 **일기도**(weather chart, weather map)이다.

그러나 여전히 당시에도 사람들은 물리학과 화학, 일반적으로 기상학과 특수하게 종관기상학을 급속하게 발달시킨 것 이외에 기후에도 관심을 가졌다. 따라서 일기도(브란데스 Brandes는 1816년에 1753년의 자료에 의거하여 일기 분석의 관점에서는 실제로 분석할 수 없는, 최초의 일기도를 작성하였음)와 병행하여 추측건대 알렉산더 폰 훔볼트(1769~1859)가 최초의 **기후도**(climatic map)를 작성하였다. 이 기후도는 그가 1817년에 최초로 수년간의 평균기온을 등온선(isotherm)으로 분석하여 작성한 것이다. 1900년에 블라디미르 쾨펜(Wladimir Köppen 1846~1949)⁹⁾은 현재에도 원칙적으로 여전히 중요한 **기후구분**(climatic classification)을 개발하였다. 이 기후구분은 흥미있게도 대부분 기후가 식생에 미치는 영향에 따른 그리고 기후가 미치

는 영향과 관련된 내용을 다룬 것이었다(Köppen 1923). 그럼에도 불구하고 바로 당시에 실제로 전적으로 접지대기층(독: bodennahe atmosphärische Luftschicht)에서 여러 해의 평균값을 고찰하는 것을 목표로 하는 기후학이 정립되어 당시에 통용되던 **기후 정의**가 뚜렷하게 나타났다(폰 한 von Hann 1883: “기후란 … 대기의 … 평균상태로 정의된다.” 쇠펜 1923: “기후란 … 천후의 … 평균상태로 정의된다.” 상세한 내용은 제2장 7단원 참조). 그리고 바로 쇠펜은 베게너(Wegener)¹⁰⁾와 함께 1924년에 “지질시대의 기후(독: Die Klimate der geologischen Vorzeit)”에 관한 중요한 책을 발간하였다. 이 책에서는 오랜 선사시대 전에는 “현재의 기후”와 크게 다른 기후상태가 존재했으나, “현재의 기후”는 수백 년 이후 혹은 수천 년 전부터 실제로 안정하다는 내용을 다루고 있다.

이미 1778년에 뷔퐁(Buffon)¹¹⁾은 이러한 지질시대에 “현재”와 비교하여 훨씬 추운 기후가 있었음에 틀림없다는 추측을 발표하였다. 쉴퍼(Schimper)¹²⁾는 1837년에 이것에 빙기(독: Eiszeit, 영: ice age)라는 이름을 붙

9) 옴긴이 주: 독일의 기상학자·기후학자로 세계 기후구(氣候區)의 도식 및 기후도(氣候圖) 작성으로 잘 알려졌다. 그는 70년 이상 동안 기후학과 기상학 발전에 중요한 공헌을 했다. 실용적인 면과 이론적인 면에 있어 그의 연구 업적은 대기과학의 발전에 지대한 영향을 끼쳤다.

10) 옴긴이 주: 독일의 기상학자·지구물리학자로 대륙표이설(大陸漂移說)을 최초로 완벽하게 설명했다. 고아원장의 아들로 태어나 1905년 베를린 대학교에서 천문학박사학위를 받았다. 그는 당시 고기후학(古氣候學)에 관심을 갖고 있었으며, 1906~1908년에 극지방의 대기순환을 연구하기 위한 그린란드 탐험에 참여했다. 그 후에도 1912~1913, 1929, 1930년의 3차례에 걸쳐 그린란드를 탐험했다. 마르부르크·함부르크 대학교에서 기상학을 가르쳤으며, 1924~1930년에 그라츠 대학교의 기상학 및 지구물리학 교수로 재직했다. 그는 1930년 마지막 그린란드 탐험도중 죽었다.

11) 옴긴이 주: 프랑스의 박물학자로 1749년에 쓰기 시작한 자연사에 관한 <박물지 Histoire naturelle, generale et particuliere>로 유명하며 1733년 백작이 되었다.

12) 옴긴이 주: 독일의 식물학자로 최초로 대륙을 식물지리구(植物地理區)로 나누는 데 성공했다.

였다(Frenzel 1967). 그 이유는 알프스 산맥 주변지역이나 스칸디나비아에 빙퇴석(moraine)과 호수와 같은 특정한 지형이 지형학적으로 정확하게 거대한 빙괴가 이동하여 결국 녹으면서 남겨 놓은 것을 의미하며, 지질학자들은 더구나 중요하게 토양층과 암석층에서 그 안에 포함된 동물과 식물의 화석 잔재(고생물학 paleontology)와 한랭한 기후뿐만 아니라, 그 이전 시기의 온난한 기후에 대한 증거도 찾았기 때문이다. 펑크(Penck)¹³⁾와 브뤼크너(Brückner)는 1901~1909년에 독일 알프스회 브레스라우 지부(die Sektion Breslau des Deutschen Alpenverein)의 수상공모에 자극을 받아서 하나가 아니라 여러 개의 “빙기들”이 있었음에 틀림없다는 사실을 발견하고, 이들 빙기에 바이어른 주 알프스 산맥 주변지역의 하천 이름(뷔름 Würm, 리스 Riß, 민델 Mindel, 귄츠 Günz. 상세한 내용은 제11장 참조)을 부여하였다.

이것으로 우리는 간접적인 방법으로 현대까지 중첩되는 선사시대의 기후 변동을 복원하고, 20세기 중반부터 가장 최근까지 엄청나게 발전한 **고기후학**(제11장)의 매력에 부지중에 빠져들게 된다. 이에 대한 중요한 전제조건은 질량수 18(¹⁸O)과 16(¹⁶O)을 갖는 산소동위원소의 비율이 기온에 종속된다는, 유리(Urey 1951)¹⁴⁾가 발견한 사실이다. 우리는 그 이후에 연대측정과 관련하여 극 빙하의 시추(얼음분석, H₂O) 또는 해저퇴적물의 시추(석회를

13) 였긴이 주 : 독일의 지리학자·지질학자로 독일 현대 지리학의 발전에 중요한 영향을 끼쳤으며 홍적세 층서학(1만~250만 년 전까지의 빙하기 지층연구)의 기초를 세웠다. 이는 인류의 선사시대 연구의 기점이었다. 1885~1906년 빈대학교의 지리학교수로 있으면서 귄츠·민델·리스·뷔름 등 홍적세 빙기의 4시기를 보여주는 바이에른알프스 계곡의 조사를 감독했다. 이 조사결과를 담은 <빙하기의 알프스 Die Alpen im Eiszeitalter>(3권, 1901~1919)를 그의 조수 에두아르트 브뤼크너와 공동으로 출간했다. 펑크는 1 : 1,000,000 비율의 세계지도를 고안하고 발전시켰으며 지형학(지표면 형태의 연구)의 선구자였다. 그는 지형학이라는 용어를 도입한 사람으로 여겨진다.

14) 였긴이 주 : 미국의 과학자로 1934년 중수소로 알려진 무거운 형태의 수소를 발견한 공로로 노벨 화학상을 받았다. 그는 원자폭탄 개발의 핵심인물이었으며, 지구와 다른 행성의 기원을 밝히는 이론을 만드는 데 크게 공헌했다.

포함하는 미생물의 분석, CaCO_3)에서 수십만 년에서 수백만 년 기간의 기온을 복원할 수 있는 “지질온도계(geological thermometer)”에 관해서 언급하였다(상세한 내용은 제11장 참조; 예를 들어 Schwarzbach 1974, Frakes 1979, Huch et al., 2001도 참조). 빙하 시추는 그 이상으로 과거의 화산활동, 혹은 과거 대기 중의 미량기체 농도와 같은 기후를 조절하는 메커니즘에 관한 귀납적 추론을 할 수 있게 한다. 이렇게 중요하고 유익한 발달은 여러 다른 고기후학의 방법론과 함께 지사(地史)의 기후변화에 대한 우리의 지식을 매우 풍부하게 하였으며, 정적 기후의 허구를 근본적으로 재검하게 하여 기후라는 단어를 확실히 과대평가하지 않게 하였다.

불과 수십 년 전까지 많은 전문가들이 불가능한 것으로 간주했던 것과 같이, 기후학의 르네상스(Renaissance of Climatology)는 과거의 기후변화에 관한 연구와 기후가 미치는 영향에 관한 연구 이외에 인간의 영향과 그로 인하여 나타나는, 자연적인 기후변화와 중첩되는, **인간이 만든 기후변화**(man-made climate change)의 문제를 통해서 자극되었다. 이러한 영향은 자연경관으로부터 문화경관으로의 변화와 특별하게 이미 수천 년 이래 진행되어온 삼림 벌채와 관련하여 있었으나, 산업시대가 경과하면서 특히 뚜렷하게 나타났다. 이에 대한 중요한 사례가 지역적인 규모의 **도시기후**(urban climate, 제12장 2단원)이다. 도시기후는 **주변지역 기후**(독: Umlandklima)와 뚜렷하게 구분되고, 도시기후가 미치는 영향은 해당 도시의 크기에 따라 증가한다. 이러한 현상에 대해서 **지리학** 분야에서 중요한 많은 논문들이 나왔다(이는 그 외에도 통계기후학(statistical climatology)과 기후가 미치는 영향에 관한 연구에도 해당된다).

전구 규모에서는 당연히 인간이 만든 기후에 영향을 주는 미량기체들을 대기로 방출시키는 것(“**인간이 만든 온실효과** man-made greenhouse effect”)과 관련된 결과가 주목을 받고 있다(제12장 3단원). 이 경우에는 상응하는 지구의 기후변

화가 지역적으로 상이한 유형을 이룬다. 이에 대한 토론에는 점점 더 많은 국가들이 참여해 왔는데, 그 이유는 요구되고 있는 기후 보호 대응방안으로 인하여 이것이 결국 우리 모두와 관련되는 경제적·정치적 문제가 되기 때문이다. 그러나 유감스럽게도 이러한 사회에서의 논의가 항상 필수적인 본질적 방법으로 진행되지는 않았는데, 그 이유는 토론에서 오해와 감정이 개입되었기 때문이다. 그렇지만 UN은 이미 제1차 세계기후회의(World Climate Conference, WMO, 1979)에서 세계의 모든 국가를 소집하여 인간이 만든 기후변화의 문제를 진지하게 고려하여 이러한 기후변화를 방지하고자 했다(당시의 국가들은 여전히 크게 반성하지 않는 분위기였다). 1992년 이후로 국제법과 관련하여 1994년 이래 UN 기후보호협약(기후변화협약의 개요)이 있으나, 이것은 지금까지도 계획 공표에 불과하였다. 1995년 이후 매년 연차적으로 개최되는 협약국가 회의에서는 이를 실현하기 위해서 노력하고 있다(제12장 3단원 참조).

인간이 만든 전구적인 기후변화의 문제는 적어도 아레니우스(Arrhenius 1896)¹⁵⁾의 연구 이후에 학문적인 논의로 나타났다. 현재 가장 설득력이 있는 학문적 논의들 중의 하나는 신기후와 고기후를 복원하고 진단하는 방법과 지식 이외에, 물리학적 원리들과 활발하게 전산장비를 도입하여 현재와 과거, 그리고 미래에 일어날 수 있는 기후상태를 모의실험하는 확실히 많은 노력을 요하는 **기후모형을 계산하는 것이다**(제9장 5단원, 제12장 3단원). 이렇게 많은 노력을 요하는 기후모형이 발전하게 된 것은 크게 단순화된 변수들을 이용하여 1960년대 말에 시작되었고(예를 들어 Manabe와 Wetherald 1967), 최근에는 비로소 결합된 대기·해양순환모형을 응용하고, 화합된 인간이 만든 온실기체들(전구 평균한 접지 대기의 가열)과 황산 입자가 미치

15) 였긴이 주 : 스웨덴의 물리화학자이다. 전해질, 즉 물에 녹아 전기를 전달하는 용액을 만드는 물질은 용액에 전류를 흘려주지 않을 때라도 전하를 띤 입자들인 이온들로 분해된다는 이론으로 가장 잘 알려져 있다. 1903년 노벨 화학상을 받았다.

는 영향을 모의실험하여 새로운 정점에 도달하게 되었다(기후변화에 관한 정부간 패널 Inter governmental Panel on Climate Change, IPCC, Houghton et al. 2001, Cubasch와 Kasang, 2000).

20세기에 그리고 특히 지난 10년간 대기물리학 이외에 기상학을 지지하는 두번째 기둥이 된 **대기화학**은—기상학은 대기과학으로서 소위 기후학의 어머니이다—처음 보면 특별히 기후와 관련이 없는 것 같은데, 그 이유는 화학은 물질 변환과 그와 함께 상대적으로 반응을 잘 하는 물질을 고찰하기 때문이다. 그 이유는 대기화학과 그와 관련된 환경 문제와 대조적으로 기후학에서는 장기간의 과정들이 중요하기 때문이다. 이들 과정에서는 반응이 늦은 물질들과 그와 함께 확실히 좀더 물리적인 과정들이 중요한 역할을 한다. 그러나 좀 더 상세히 고찰할 때 이러한 견해는 근시안적인 것으로 나타나는데, 그 이유는 화학반응이 잔류기간이 긴 기체들을 생성·집적시켜서 그와 함께 기후에 영향을 미칠 수 있기 때문에, 그리고 대기권 상층(성층권)의 오존 화학과 대기권 하층의 기후 사이에 여러 가지의 횡적 관계가 있기 때문이다. 그렇지만 이러한 관점은 상대적으로 새로운 것이고, 전 세계적으로 인간이 만드는 기후변화 문제와 광범위하게 연계된 환경학으로 기후학의 확대와 관련하여 이 학문(환경학) 분야에 채택되게 되었다.

따라서 **기후와 기후학은 과거, 현재와 미래**를 고려하여(Lamb 1972, 1979) 기후의 **실제, 원인과 결과**에서 매우 중요하고 현실성이 있으며 사회 정책적으로 관련성이 있는 학문이자 연구과제이다(제2장 8단원, 제14장도 참조). 동시에 많은 인식과 많은 불확실성 및 의문부호를 가진 매우 복잡하고 전형적인 학제간의 연구가 중요하다.

이러한 문제의 포괄적인 범위에 접근하고, 적어도 가장 중요한 기본적인 견해를—개론의 의미로—배우고 이해하는 것은 단순한 일이 아니다. 이 책에서는 다음과 같은 방법으로 이러한 내용을 다루겠다.

- 일부 기본 개념과 기본 현상을 뒤에 이어지는 장들에 대한 기초 지식으로 소개한다(제2장에서 제3장까지).
- 다음 장들에서 기술된 내용을 이해하기 위하여 물리학의 일부 기본원리(제4장)를 설명한다.
- 대기, 해양, 설빙권(얼음으로 덮인 지역)과 암석권에서의 운동 과정들(순환(제5장~제7장))은 필수적이다. 이들 운동 과정은 실질적으로 관측된 기후학의 기본 특성들(제8장)을 발생시킨다.
- 그 다음에 기후종합(독: Klimasynopsis, 제9장), 즉 개별 개념들과 개별 과정들로부터 기후복합체(독: Klimakomplex)로 종합한다. 기후복합체는 기후 개념의 “이중적인 추상”에 관해서 언급하고 있는 쇠펜(1923, 제2장 7단원)의 견해로, 즉 “시간적”이고 “개별 기상요소들을 전체상(全體像)으로 ... 요약하는 것이다.¹⁶⁾”
- 기후가 미치는 다양한 결과는 생물권을 고려하여 생물기후학(제10장)의 기초에서 요약되는데, 이것을 제2장 8단원, 제4장, 제6장과 제7장에서 새로이 기후학의 학제간 특성으로 다룬다.
- 여러 차례 강조한 시간적인 변동의 측면은 고전기후학(classical climatology)에서 대체로 너무 짧게 나타나지만, 특별히 기후사적으로 중요한데(제11장), 여기서는 우선 자연적인 기후변화의 현상과 원인의 역사가 중요하다.
- 이러한 배경 앞에서 그리고 이 중에서 해결되지 않는 것 이전에 인간이 기후에 미치는 영향에 관해서 논의하겠다(제12장). 여기서는 그 결과와 협의의 기후학뿐만 아니라 심지어 자연과학의 범위도 넘게 된다.

16) 옉긴이 주 : 참고로 이에 대한 원문을 제시하겠다. der “zeitlichen” und “der Zusammenfassung... der einzelnen meteorologischen Elemente zu einem Gesamtbild”

- 다른 기후학의 횡적 관계들(제13장)과 결과들을 언급한다.
- 이 결과들, 즉 매우 절실한 현실 문제와 함께 미래를 위해서 결코 쉽게 해결될 수 없으나 절박한 과제를 우리에게 제시하는 과거의 교훈(제14장)으로 이 책을 마무리하겠다. 그리고 마지막으로 기후학 학제간의 특성을 강조하겠다.

