



동아시아 1만 년의 기후와 땅

한반도에서 본 홀로세의 기후와 지형 변화

컬러 PDF · 개인 영구 소장

이 PDF는 무료 샘플입니다

이 책의 앞표지와 앞 50쪽, 뒤표지를 읽어 보실 수 있습니다. 51쪽부터는 ssbook.kr에서 구매하시면 전체를 보실 수 있습니다.

ssbook.kr/book/climate-ea-1

POD 정가 25,000원 → **15,000원** (60%)

ssbook.kr 홈페이지 안내

- **시리즈별 서가** — 인삼 · 오토파지 · 식물성 저탄고지 · 단식 · 생물리학 · 독립영양인간 · 중고등학교 교재 · 채식 · 라이프스타일 · 고대사
- **책마다 고유 주소** — 링크를 보내면 누구나 표지·소개·무료 샘플을 볼 수 있습니다
- **구매** — 회원가입(이메일 인증) 후 카드 결제(쿠키페이) → 내 서재에서 전체 컬러 PDF 내려받기
- **가격** — 종이책 POD 가격의 60%, 전 페이지 컬러 PDF
- **이용 범위** — 개인 영구 소장 가능, 공개 배포·재판매·공유 금지(내려받은 파일에는 구매자 정보가 표시됩니다)
- **책 신청 게시판** — 회원은 자유게시판에서 원하는 책 내용을 신청할 수 있습니다

1만 년의 기후와 땅 · 제 1권

동아시아

1만 년의 기후와 땅

한반도에서 본 홀로세의 기후와 지형 변화



이광조 지음

동아시아 1만 년의 기후와 땅

한반도에서 본 홀로세의 기후와 지형 변화

1만 년의 기후와 땅 시리즈 제1권

책 소개: 이 책이 중요한 다섯 가지 까닭

이 책은 한반도의 지난 1만 년을 "무엇이 일어났다"가 아니라 "그것을 어떻게 알아내는가"의 차원에서 다시 읽는다. 아래 다섯 가지는 이 책이 학계와 독자에게 줄 수 있는 쓸모이다. 각 항목에 쓴 사례는 모두 이 책의 본문에서 전문을 읽고 다룬 연구에 한정했다.

하나. 해안선과 지명이 놓인 바닥이 움직였다는 사실을 숫자로 보인다

마지막 빙기 최성기의 해수면은 현재보다 약 120 m 낮았다는 읽기와 80 m 정도였다는 읽기가 있다(1장). 어느 쪽이냐에 따라 황해와 한반도 남쪽 바다 일부가 땅이었는지, 얼마나 넓은 땅이었는지가 달라진다. 서해안의 침강 속도는 한 논문 안에서도 1.6 mm/yr와 1.4 mm/yr 두 값이 함께 나오고, 남동 해안의 단구에는 용기를 말하는 연구와 홀로세의 용기를 인정하지 않는 연구가 맞선다(2장). 이 책은 어느 쪽을 먼저 택하지 않고 두 주장의 시료와 가정을 나란히 놓았다. 유적의 위치, 옛 해안선, 항구의 이름을 말하려는 모든 연구는 이 바닥의 높이를 먼저 정해야 한다.

둘. 연대의 오차가 해석을 바꾼다는 것을 직접 계산해 보인다

황토고원은 바람이 쌓은 흙이며 기후 기록의 표준 단면으로 쓰인다. 8장은 그 기준 단면 하나에 햇빛 시계(OSL 연대)로 보면 구멍이 있었다는 발견(Stevens 등)과, 황토 시료 33개에 같은 시계를 단 연구(Lu 등)를 다룬다. 4장은 백두산 밀레니엄 분출의 시기를 두고 서로 다른 연대 측정이 어떻게 다른 결론을 내는지를 보인다. 연대가 틀리면 같은 기록이 다른 이야기가 된다. 이 책의 계산 143개는 독자가 이 오차를 손으로 다시 따라가 볼 수 있게 한다.

셋. 사료를 "시험할 주장"으로 놓는 방법을 보인다

『고려사』, 『조선왕조실록』, 『좌전』, 『사기』, 『후한서』, 『자치통감』, 『명사』 같은 사료는 쓴 사람의 눈과 목적을 지나서 온 기록이다. 이 책은 사료의 가뭄·홍수·분출 기록을 물리 기록과 같은 기준으로 대조하되, 원문을 직접 읽

지 못한 것은 재인용이라고 표시한다. 4장의 「위상 추정」은 사료의 날짜와 지명에서 분출일과 영역을 구하는 방법과 한계를, 9장과 10장은 지명을 이름만으로 한 점에 찍지 않는 규칙을 보인다. 역사학이 기후 기록을 인용할 때 어느 고리에 시료와 연대와 오차가 붙어 있는지를 물을 수 있게 하는 점검표 구실을 한다.

넷. 사람의 계통과 환경의 기록을 같은 틀에서 읽는다

서요하 유역에서는 홍산에서 하가점상층까지 문화가 바뀐다. 문화가 바뀔 때 사람도 바뀌었는가, 같은 사람들이 새 생활을 택했는가가 11장의 물음이다. 이 책은 정착과 재배의 시작(Shelach-Lavi 등, 2019), 문헌 사람의 Y 염색체(Cui 등, 2013), 시베리아 통구스의 갈래(Duggan 등, 2013), 동북 산지 나무의 나이테(Lyu 등, 2016)를 차례로 읽고, 각각의 검정이 무엇을 말할 수 있고 무엇을 말할 수 없는지를 적는다. 인류학과 고고학이 유전자 자료를 쓸 때 가장 자주 부딪치는 문제, 곧 표본 수와 통계 검정의 힘, 시기가 다른 자료의 결합을 쉬운 예로 처음부터 익히게 한다.

다섯. 숫자를 되풀이해 볼 수 있는 "장부"를 남긴다

이 책에는 주장 검증 장부가 531개 있다. 원문을 읽고 직접 확인한 것, 다른 논문이 인용한 것, 해석, 이 책이 계산한 것, 시연값, 미결이 수준별로 나뉘어 적혀 있다. 계산 143개 가운데 43개는 논문의 값과 맞지 않거나 원문 확인이 필요해 미결로 남겼다. 이 미결 항목이 곧 후속 연구의 목록이다. 독자는 하나씩 지워 나갈 수 있다.

앞으로 어떻게 응용될 수 있는가

이 책이 다룬 방법은 한반도와 동아시아에 한정되지 않는다. 아래는 이 책이 제안하는 응용이며, 이 책이 이미 수행한 결과가 아니다.

표 서-1. 이 책의 방법과 앞으로의 응용 (제안)

이 책의 방법	이 책에서 쓰인 곳	앞으로 던질 수 있는 물음
방사성 탄소 연대의 보정과 오차 전파	2장, 4장, 6장	해안 유적과 패총의 연대를 같은 보정곡선으로 다시 계산했을 때 해안선 이동과 겹치는 시기가 달라지는가
OSL 연대의 시료별 계산	8장	한강 중류 같은 한반도 내륙 퇴적물에서 기준 단면의 연대를 같은 방식으로 시험할 수 있는가
해수면 곡선과 지형의 겹침	1장~3장	서해와 남해의 옛 해안선 위에 유적과 사료의 지명을 놓았을 때 어떤 지명이 물에 잠겼는가
재와 지층을 시계로 쓰는 법	4장	백두산과 울릉도의 재가 발견된 지점을 같은 시각으로 묶어 유적의 층서를 맞출 수 있는가
주장 나란히 놓기와 장부	모든 장	같은 사건을 다르게 읽는 연구들을 같은 표에 놓고 어디서 갈리는지를 찾는 일
유전 자료의 검정(Fisher, AMOVA, rho, Mantel)	11장	한반도의 신석기·청동기 인골 자료가 공개될 때 같은 검정을 되풀이할 수 있는가
나이테의 회귀와 검증	11장	한반도 수종의 나이테 자료로 같은 방식의 복원을 시험할 수 있는가
위상 추정(사료 지명을 좌표로 옮기는 규칙)	4장, 9장, 10장	제2권에서 다룬 지명 데이터베이스에 같은 규칙을 적용할 수 있는가

역사학에는 어떤 가치가 있는가

역사학은 문자 기록을 출발점으로 삼는다. 이 책의 방법은 그 기록 옆에 물리 기록을 놓고 어디서 만나고 어디서 만나지 않는지를 보게 한다. 만나는 대목은 사료의 서술을 지지하는 독립된 증거가 되고, 만나지 않는 대목은 사료를 다시 읽거나 시료를 다시 의심해야 할 지점을 알려 준다. 어느 쪽이든 "기후가 나빠져서 왕조가 무너졌다"처럼 고리가 이어진 이야기를 고리마다 검증할 수 있게 한다.

인류학에는 어떤 가치가 있는가

인류학은 사람과 환경의 관계를 묻는다. 이 책은 환경 기록(해수면, 비, 나이테)과 사람의 기록(유전자, 재배의 시작)이 서로 다른 시료와 서로 다른 오차를 갖는다는 점을 먼저 보인다. 그래서 "환경이 변했으므로 사람이 이동했다"는 서술을 쓰기 전에 두 기록의 시기가 겹치는지, 같은 장소인지를 확인하는 절차가 필요하다는 것을 쉬운 예로 익히게 한다.

이 분야가 그동안 이룬 것

아래는 이 책이 전문을 읽고 본문에서 다룬 연구들이다. 이 분야 성과의 전부가 아니며, 이 책이 읽은 범위의 요약이다.

표 서-2. 이 책이 전문을 읽은 연구와 다룬 물음

주제	연구	무엇을 다루었는가	이 책의 장
마지막 빙기의 바다	Gallagher 등(2015), Saito(1998), Ohshima(1990), Wu 등(2017), Wang 등(2022)	최저 해수면과 외대륙붕 퇴적물에 대한 서로 다른 읽기	1장
한반도 해안	Bloom과 Park(1985), Jo(1980), 오(Oh, 1977), Park 등(2023)	침강 속도, 총적평야 지층, 해안 단구의 용기 여부	2장
동해와 해협	Ohshima(1990), Gallagher 등(2015), Sagawa 등, Yamazaki 등(2003), Dou 등(2021)	대한해협의 폐쇄 여부, 대마난류의 도착 시기	3장
화산	McLean 등, Okuno 등(2010), Yun 등(2023), Lee 등, Costa 등(2024), Trasatti 등(2021), Du 등, Zhu 등(2009)	밀레니엄 분출의 시기와 단계, 울릉도 홀로세 분출	4장
몬순·태풍·해류	Park 등(2017), Elsner와 Liu(2003), Zhou 등(2011), Shi 등(2014)	중세 제주의 건조, 엔소와 태풍 경로, 몬순과 비의 띠, 쿠로시오와 대마난류	5장
짧은 급변	Park 등(2018, 2019, 2023) 외 중국 연구	8.2 ka와 4.2 ka 사건이 어디까지 닿았는가	6장
황토와 먼지	Lu 등, Stevens 등, Rao 등(2013), Guo 등(2009), Ahn 등(2024), Dou 등(2021)	황토의 연대, 여름비의 탄소 동위원소, 한강 중류 고토양, 동해 서쪽의 먼지	8장
황하	Yang 등(2025), Ma 등(2025), Yao 등(2017)	삼각주 해안선 40년, 호수 바닥의 홍수 모래층, 바다 밑 점토	9장
장강	Hu 등(2009), Wang 등(2011), Zhuang 등(2014), He 등(2015)	삼협댐과 유사, 600년의 홍수, 논, 퇴적물의 풍화와 기원	10장
요하와 동북	Shelach-Lavi 등(2019), Cui 등(2013), Duggan 등(2013), Lyu 등(2016)	정착과 재배, Y 염색체, 퉁구스의 갈래, 나이트	11장

이 책이 확보하지 못한 연구도 분명하다. 한반도의 식생과 산불을 다룰 꽃가루 논문(7장 자리)은 전문을 확보하지 못해 장을 비웠고, 한반도 신석기·청동기, 일본 열도, 최근 천 년과 소빙기, 현대를 다루는 장은 이 판에 들어 있지 않다. 이 책의 성과는 이 목록의 크기가 아니라, 목록에 있는 연구마다 무엇을 말할 수 있고 말할 수 없는지를 가려 놓은 데 있다.

머리말: 이 책을 만든 까닭

지난 1만 년은 사람이 농사를 짓고 마을을 이루고 나라를 세운 시간과 거의 겹친다. 그 1만 년 동안 땅과 바다도 쉬지 않고 움직였다. 마지막 빙기의 낮은 바다는 올라와 지금의 해안선이 되었고, 화산은 재를 뿌려 시계 바늘을 남겼으며, 비와 태풍과 해류는 몇 백 년 간격으로 길을 바꾸었다. 강은 흙을 날라 삼각주를 만들고, 바람은 먼지를 쌓아 황토고원을 만들었다.

이 책은 그 움직임을 한반도에서 바라본다. 한반도 하나만으로는 설명할 수 없다. 한반도의 서쪽 바다는 황해 대륙붕이 열고 닫았고, 동쪽 바다는 해협 네 곳의 깊이가 열고 닫았으며, 여름 비는 중국 남쪽에서 올라오는 몬순과 태풍이 가져온다. 그래서 이 책은 황해와 동해에서 출발해 황토고원, 황하, 장강, 요하로 시야를 넓힌다.

왜 이런 책이 필요한가

기후와 땅의 이야기를 역사와 이으려는 책은 많다. 그런데 그런 책은 두 가지 위험을 안고 있다. 하나는 문자 기록을 먼저 믿는 것이다. 사료에 "그해에 큰 가뭄이 들었다"고 적혀 있으면 그것으로 기후를 말했다고 여기기 쉽다. 그러나 사료는 쓴 사람의 눈과 목적을 지나서 온 것이다. 다른 하나는 그럴듯한 연결 고리를 먼저 세우는 것이다. 기후가 나빠져서 북쪽 사람들이 내려왔고 그래서 왕조가 무너졌다는 식의 이야기는 읽기에 재미있지만, 각 고리에 시료와 연대와 오차가 붙어 있지 않으면 소설과 구별되지 않는다.

그래서 이 책은 순서를 거꾸로 잡았다. 먼저 땅과 바다와 나무와 호수 바닥에 남은 물리 기록을 읽는다. 문자 기록과 학자들의 해석은 "시험해 볼 주장"으로 따로 적는다. 두 가지를 같은 기준으로 대조하되, 근거가 없으면 없다고 적는다. 이 책에서 "근거 논문 확보 필요", "원문 확인 필요", "미결"이라는 말을 자주 만나게 될 것이다. 그것은 부족함의 고백이 아니라, 아직 말할 수 없는 것과 이미 말할 수 있는 것을 가르는 이 책의 방식이다.

이 책이 하는 일

1. 원문의 숫자를 다시 계산한다. 논문이 내놓은 수치를 그대로 받아 적지 않고, 식을 세우고 값을 넣어 끝값까지 계산한다. 논문의 값과 맞으면 "재현", 맞지 않으면 어느 값이 어떻게 다른지를 적고 "미결"로 남긴다.
2. 서로 다른 주장을 나란히 놓는다. 학자들의 의견이 갈리는 대목(마지막 빙기 해수면, 대마난류의 도착 시기, 4.2 ka 사건의 범위 등)은 어느 쪽이 옳다고 먼저 정하지 않는다. 각 주장이 어떤 시료와 어떤 가정 위에 서 있는지를 한 표에 놓는다.
3. 방법을 처음부터 가르친다. 방사성 탄소 연대, 보정, 푸리에 변환, 회귀, 순열 검정처럼 논문에 등장하는 도구를 쉬운 수로 직접 계산해 보이고, 그 도구의 뜻과 한계와 해결 방안, 그리고 그것이 어떻게 만들어졌는지를 함께 적는다.
4. 자료를 구하는 길을 알려 준다. 공개 자료의 입수처와 쓸 수 있는 도구를 장마다 모았다. 이 책의 계산을 독자가 자기 컴퓨터에서 되풀이할 수 있어야 한다는 것이 이 책의 원칙이다.
5. 지도를 먼저 둔다. 지명과 지형이 어디인지 모르면 증거를 읽을 수 없다. 해안선, 하천, 호수, 지명을 한글로만 표기한 지도를 모든 장의 바탕에 둔다.

이 책이 하지 않는 일

이 책은 근거 없는 서술을 쓰지 않는다. 건국 신화나 전승은 과학적 근거로 쓰지 않는다. 사료의 원문을 이 책이 직접 읽지 못한 경우에는 논문이 인용한 형태로만 옮기고 "재인용"이라고 표시한다. 같은 이름의 지명이 시대마다 다른 곳을 가리킬 수 있으므로, 이름이 같다는 이유만으로 두 곳을 같은 곳이라 하지 않는다. 유적의 좌표처럼 논문이 적지 않은 값은 지도에 임의로 찍지 않는다.

이 책의 한계

이 책은 이 책이 전문(全文)을 읽은 논문에 기댄다. 논문을 확보하지 못한 쟁점(예를 들어 한반도의 식생과 산불을 다룰 꽃가루 논문들)은 장을 비워 두고 그 이유를 적었다. 논문의 표가 PDF에서 열이 흩어져 읽힌 경우에는 값의 짝을 추측하지

않고 "원문 쪽 확인 필요"로 남겼다. 독자가 이 책의 "미결"을 하나씩 지워 나갈 수 있다면 이 책은 목적을 이룬 것이다.

이 책을 읽는 사람들과 읽는 법

이 책을 활용할 수 있는 사람들

- **한국사·동아시아사를 공부하는 사람.** 사료에 적힌 가뭄, 홍수, 화산 분출, 태풍이 물리 기록과 어떻게 만나는지, 그리고 만나지 않는 대목은 어디인지를 알 수 있다. 사료를 비판적으로 읽는 연습 자료로도 쓸 수 있다.
- **지리·지질·해양·기후를 공부하는 학생과 연구자.** 논문 한 편을 읽을 때 어느 숫자를 어떻게 검산하는지, 연대 오차가 해석을 어떻게 바꾸는지를 보여준다. 장마다 쓴 도구, 공개 자료의 입수처, 더 읽을 책이 있어서 자기 연구의 출발점으로 삼을 수 있다.
- **고고학, 환경 고고학, 지명 연구에 관심이 있는 사람.** 유적과 지명을 기후·지형 기록과 연결할 때 무엇을 먼저 확인해야 하는지를 장마다 적었다. 「위상 추정」 절은 사료의 지명을 좌표로 옮길 때의 규칙과 한계를 다룬다.
- **교사와 교양 독자.** 고등학교 과학과 수학으로 따라갈 수 있게 계산의 모든 단계를 적었다. 어려운 대목은 이론 상자와 "쉬운 예(시연값)"로 풀었다. 수식이 낯설면 「쉬운 예」만 따라 읽어도 흐름이 이어진다.
- **데이터를 직접 다루려는 사람.** 이 책의 계산은 모두 짧은 파이썬 코드로 되풀이할 수 있다. 오픈 소스 도구와 공개 자료로 같은 분석을 자기 자료에 적용하는 방법은 제2권에서 다룬다.

한 장의 구성

장마다 구성이 거의 같다. 순서를 알면 처음 보는 장에서도 길을 잃지 않는다.

1. **장 안내.** 장 앞의 한두 쪽. 이 장이 묻는 것, 읽는 길잡이, 앞뒤 장과의 연결을 적었다.
2. **기본 개념 또는 쓰는 말.** 그 장에서 쓰는 낱말의 일반적인 정의. 논문의 수치와 구별된다.
3. **무대.** 증거가 놓인 곳. 지도가 함께 나온다.
4. **쟁점과 논문 읽기.** 논문별로 무엇을 어떻게 췌는지, 이 책이 어떻게 검산했는지를 적는다.

5. **쟁점별로 나란히 놓기, 사료, 위상 추정.** 주장이 갈리는 대목, 사료의 재인용, 지명 문제.
6. **계산 방법.** 이론 배경, 의미, 한계, 해결 방안, 과학사.
7. **아직 말할 수 없는 것.**
8. **도구, 데이터 입수처, 더 읽을 책, 인물.**
9. **주장 검증 장부와 참고문헌.**

이 책의 표기

- **계산 상자.** 「계산 N-n」은 논문의 숫자를 이 책이 다시 계산한 것이다. 마지막에 "판정"이 붙는다. 재현이 되면 "재현된다", 되지 않으면 "미결"이라고 쓴다.
- **시연값.** 논문에 수치가 없어 이 책이 절차를 보이려고 임의로 둔 값이다. 시연값은 논문의 결과가 아니다.
- **이론 상자.** 계산에 필요한 수학이나 물리를 쉽게 풀었다. 초보자는 이 상자부터 읽는다.
- **주장 검증 장부의 수준.** 직접 = 이 책이 원문을 읽고 확인한 것, 재인용 = 다른 논문이 인용한 것(원문 미확인), 해석 = 저자의 해석, 본서계산 = 이 책이 다시 계산한 것, 시연값 = 절차를 보이기 위한 가정값, 2차 = 백과사전 등의 2차 자료, 미결 = 근거가 부족한 것.
- **지명.** 한자어는 한국 한자음으로 쓰고, 한자는 한국에서 통용되는 정자로 적는다. 지도에는 한글만 쓴다. 중국어 발음은 한글로 적지 않는다.
- **연대.** BP는 서기 1950년을 기준으로 거슬러 센 해, cal BP는 방사성 탄소 연대를 보정한 값이다. ka는 천 년 전이다. 논문이 보정 여부를 밝히지 않았을 때는 그대로 두고 표시한다.
- **참고문헌.** 장 끝에 APA 7판으로 모았다. 본문의 (저자, 연도)와 맞춘다.

읽는 길 세 가지

- **처음부터 끝까지.** 1장에서 11장 순서로 읽으면 바다가 돌아오고(1~3장), 화산이 재를 뿌리고(4장), 비와 해류가 길을 바꾸고(5~6장), 바람과 강이 땅을 쌓는(8~11장) 순서가 된다.

- **관심 있는 장만.** 각 장은 자기 완결적이다. 장 안내만 읽고 필요한 절로 바로 가도 된다. 앞 장의 용어는 장 안내와 「쓰는 말」에서 다시 정의한다.
- **계산을 따라가며.** 「계산 상자」와 「이론 상자」만 따라가며 읽으면 이 책이 가르치려는 방법을 가장 빨리 익힐 수 있다.

책의 지도: 장별 안내

아래 표는 이 책 전체의 지도이다. 각 장이 무엇을 묻고 어떤 근거를 읽는지를 한 눈에 본다. 장 안에서는 쟁점마다 근거 수준이 장부에 적혀 있다.

표 서-1. 이 책의 지도. 장별로 묻는 것, 읽은 근거, 장부의 주장 수와 계산 수

장	제목	묻는 것	읽은 근거	주 장	계 산
지 도	지도 도록	연구 지역이 어디인가	Natural Earth 지리 자료	-	-
1	황해·동중국해 대륙붕: 마지막 빙기의 바다	마지막 빙기 해수면은 얼마나 낮았는가	대륙붕과 해수면 논문	25	10
2	한반도 해안: 바다가 돌아오고 땅이 남긴 흔적	바다가 올라온 속도와 땅이 솟았는가	서해안, 동해안, 남동해안, 제주의 퇴적 기록	57	21
3	동해와 해협: 닫히는 문, 열리는 난류	해협은 닫혔는가, 난류는 언제 들어왔는가	동해와 해협의 코어, 해협 깊이	49	9
4	울릉도와 백두산 화산: 재가 남긴 시계	분출은 언제였고 몇 단계였는가	화산재층과 연대 측정	71	15
5	몬순과 해류: 비와 태풍은 어디로 갔는가	중세에 제주는 건조했는가, 태풍 경로는	습지 기록, 태풍 통계, 해양 코어	23	18
6	8.2 ka와 4.2 ka: 짧고 거센 변화는 어디까지 달았는가	급변 사건은 한반도에 달았는가	연안 퇴적, 석순, 호수 코어	55	15
8	바람이 쌓은 땅: 황토고원에서 한강 중류와 동해까지	퇴적물의 "언제"를 어떻게 정하는가	황토 단면, 고토양, 해양 코어	55	12
9	황하: 삼각주의 해안선, 호수의 퇴적층, 그리고 바다 밑 88만 년	황하의 흙을 어디로 날랐는가	삼각주 해안선 기록, 호수 코어, 해양 코어	65	16
10	장강: 삼협댐 안과 밖의 유사, 하류 퇴적물의 풍화와 기원, 600년의 홍수, 그리고 모산의 논	장강이 나른 흙은 어디서 와서 어디에 쌓였는가	유사량, 바다 밑 코어, 논 퇴적, 하상 퇴적물	76	11
11	요하와 동북: 정착과 재배의 시작, 서요하의 아버지 계통, 퉁구스의 갈래, 그리고 노백산 나이테 414년	정착과 재배는 언제 시작되었고 사람은 바뀌었는가	조사 자료, 고대 DNA, 현생 DNA, 나이테	55	16

7장(한반도 식생과 산불)은 근거 논문의 전문을 확보하지 못해 이 책에 실지 않았다. 12장(한반도 신석기·청동기), 13장(일본열도), 14장(최근 천 년과 소빙기), 15장(현대)과 부록은 이 판에 아직 실리지 않았다.

차례

책 소개: 이 책이 중요한 다섯 가지 까닭	2
머리말: 이 책을 만든 까닭	6
이 책을 읽는 사람들과 읽는 법	9
1장 안내	16
1장 황해·동중국해 대륙붕: 마지막 빙기의 바다	15
2장 안내	44
2장 한반도 해안: 바다가 돌아오고 땅이 남긴 흔적	43
3장 안내	106
3장 동해와 해협: 닫히는 문, 열리는 난류	105
4장 안내	156
4장 울릉도와 백두산 화산: 재가 남긴 시계	155
5장 안내	212
5장 문순과 해류: 비와 태풍은 어디로 갔는가	211
6장 안내	256
6장 8.2 ka와 4.2 ka: 짧고 거센 변화는 어디까지 닿았는가	255
8장 안내	308
8장 바람이 쌓은 땅: 황토고원에서 한강 중류와 동해까지	307
9장 안내	346
9장 황하: 삼각주의 해안선, 호수의 퇴적층, 그리고 바다 밑 88만 년	345
10장 안내	394
10장 장강: 삼협댐 안과 밖의 유사, 하류 퇴적물의 풍화와 기원, 600년의 홍수, 그리고 모 산의 논	393
11장 안내	458
11장 요하와 동북: 정착과 재배의 시작, 서요하의 아버지 계통, 통구스의 갈래, 그리고 노 백산 나이테 414년	457

제 1 장

황해·동중국해 대륙붕

마지막 빙기의 바다



장 표지 그림은 장의 주제를 나타낸 도안이다. 자료를 그린 그림이 아니며 선, 원, 화살표는 값을 뜻하지 않는다.

이 장의 차례

1.0 이 장을 읽기 위한 기본 개념	17
1.1 무대: 황해와 동중국해	19
1.2 해수면 값을 읽는 세 가지 재료	21
1.3 쟁점 ①: 마지막 빙기 최저 해수면은 얼마였는가	21
1.4 쟁점 ②: 외대륙붕에 마지막 빙기의 퇴적물이 남아 있는가	24
1.5 바다가 돌아오다: 해수면 상승과 대륙붕의 변모	25
1.6 해협과 난류: 열리는 동해	26
1.7 이 장에서 아직 말할 수 없는 것	27
1.8 이 장의 계산 방법: 이론 배경, 의미, 한계, 해결 방안	27
1.9 도구 소개	36
1.10 데이터 입수처	37
1.11 더 읽을 책	38
1.12 과학사와 인물	38
1.13 주장 검증 장부	39
참고문헌	40

1장 안내: 낮았던 바다에서 출발한다

이 장이 묻는 것. 이 책의 1만 년이 시작될 때 황해는 지금의 바다가 아니었다. 이 장은 그 바다가 얼마나 낮았는지, 그리고 어떻게 지금의 높이로 돌아왔는지를 묻는다. 한반도 서쪽과 남쪽의 해안선이 어디에 있었는지는 이 질문의 답에 달려 있다.

길잡이.

- 먼저 1.0절에서 대륙붕, 상대 해수면, 해수면 지시자, 연대 측정(OSL, 방사성 탄소) 같은 낱말을 익힌다.
- 1.3절은 학자들의 의견이 갈리는 첫 대목이다. 마지막 빙기 최성기의 해수면을 현재보다 약 120 m 낮다고 읽는 쪽과 80 m 정도로 읽는 쪽이 있다. 이 책은 어느 쪽도 먼저 편들지 않고 각각의 시료와 해석을 나란히 놓는다.
- 1.4절은 외대륙붕에 빙기의 퇴적물이 남아 있는가를 묻고, 1.5~1.6절은 바다가 돌아오며 대륙붕이 변하고 해협이 열리는 과정을 이어 본다.
- 1.8절은 이 장의 계산 방법을 이론 배경부터 풀어 놓았다. 수식이 낯설면 이 절의 「쉬운 예」부터 읽는다.

이 장의 숫자. 주장 검증 장부 25개, 계산 10개. 직접 확인한 것과 계산으로 확인한 것, 아직 말할 수 없는 것이 장부에 수준별로 적혀 있다.

앞뒤 장과의 연결. 1장은 책 전체의 출발점이다. 이 장의 "바다가 낮으면 얇은 곳부터 마른다"는 원리는 2장에서 한반도 해안으로, 3장에서 동해로 이어진다.

읽는 팁. 사료는 이 장에 나오지 않는다. 처음 읽는 독자는 1.1절의 지도와 1.3절의 두 주장만 읽고 2장으로 가도 흐름을 잃지 않는다.

1장 황해·동중국해 대륙붕: 마지막 빙기의 바다

이 책은 한반도를 중심으로 지난 1만 년의 기후와 땅의 변화를 따라간다. 그런데 그 1만 년이 시작될 때 한반도 서쪽과 남쪽의 바다는 지금의 바다가 아니었다. 황해 전체와 동중국해의 넓은 부분이 마른 땅이거나 얇은 바다였고, 해안선은 지금보다 훨씬 바깥에 있었다. 이 장은 그 바다가 얼마나 낮았는지, 그리고 그 낮은 바다에서 지금의 바다로 어떻게 돌아왔는지를 묻는다.

이 질문에는 학자들 사이에 아직 합의되지 않은 대목이 있다. 마지막 빙기 최성기의 해수면이 현재보다 약 120 m 낮았다는 값이 널리 쓰이지만, 같은 자료를 80 m 정도로 읽은 연구도 있다. 이 장은 어느 쪽이 맞다고 먼저 정하지 않는다. 각 주장이 어떤 시료와 어떤 해석 위에 서 있는지를 원문 그대로 나란히 놓고, 독자가 어디를 확인해야 판단할 수 있는지를 짚는다. 각 항목의 근거 수준은 장 끝의 「주장 검증 장부」에 따로 정리하였다.

1.0 이 장을 읽기 위한 기본 개념

1장은 바다가 낮았던 시대의 대륙붕을 다룬다. 논문들이 전제로 쓰는 용어를 먼저 정리한다. 이 절의 설명은 일반적인 정의이며 이 장 논문의 수치와는 구분된다.

표 1-1. 1장에서 쓰는 기본 개념

개념	뜻	이 장에서 쓰이는 곳
대륙붕(continental shelf)	대륙 가장자리에서 완만하게 바다로 뻗은 얇은 해저. 바깥 끝(대륙붕 외연)에서 경사가 급해진다. 황해와 동중국해의 대부분이 이에 속한다	1.1, 1.4
해수면(해수준)과 상대 해수면	바닷물의 양이 바뀌는 변화(전 지구적)와 땅이 오르내리는 변화를 합친 "그 자리에서 본" 해수면이 상대 해수면이다. 같은 깊이의 시료라도 땅이 움직였으면 해수면 값이 달라진다	1.3, 1.5
해수면 지시자(sea-level indicator)	옛 해수면과 일정한 관계에서 만들어진 시료나 지형. 이탄은 해수면보다 위, 조간대 조개는 해수면 가까이 또는 아래에서 생긴다고 본다	1.2, 1.3
원지성(autochthonous)과 이동	시료가 만들어진 자리에 그대로 있는 것을 원지성이라 한다. 바다가 올라오면서 옮겨졌다면 깊이가 옛 해수면을 가리키지 못한다	1.3
매몰곡(buried valley)	해수면이 낮을 때 하천이 판 골짜기가 나중에 퇴적물로 메워진 것. 골짜기 바닥 깊이를 옛 해수준의 한계로 읽는다	1.3
음파탐사(탄성파 탐사)	소리를 해저로 쏘아 지층 경계에서 반사되어 돌아오는 시간으로 지층 모양을 그리는 방법	1.4, 1.5
광자극발광(OSL) 연대	모래 알갱이가 마지막으로 햇빛을 본 뒤 쌓인 방사선 피해의 양으로 매몰 나이를 구한다. 이탄이나 조개가 없는 모래층에도 쓴다	1.4
방사성탄소(^{14}C) 연대	생물이 죽은 뒤 ^{14}C 가 줄어든 정도로 나이를 구한다. 달력 연대로 바꾸려면 보정 곡선(IntCal20, Marine20)이 필요하다. 계산은 2.9.6절 참조	1.3, 1.4
수압지각평형(hydro-isostasy)	바닷물이 늘면 해저가 눌러 가라앉고 땅은 상대적으로 솟는 지각의 조절. 대륙에 가까운 해역과 외해의 해수면 값이 달라지는 원인	1.3
용융수 펄스(MWP)	빙상이 급하게 녹아 해수면이 빠르게 오른 시기. MWP-1A는 Wang 등(2022)이 14.5~13.7 ka로 적었다	1.5
조석 모래 능선(tidal sand ridge)	강한 조류가 대륙붕 위에 쌓은 길쭉한 모래 둔덕. 방향이 조류 방향을 반영한다고 해석한다	1.5
안부(sill)와 해협	두 바다 사이의 가장 얇은 곳. 해수면이 안부 깊이보다 내려가면 물 길이 닫힌다	1.1, 1.6

수식을 쓸 때마다 간단한 숫자 예로 끝값까지 계산한다. 이 장의 계산은 1.8절에서 여섯 가지 방법으로 묶어 이론 배경, 의미, 한계, 해결 방안을 붙인다.

1.1 무대: 황해와 동중국해

동중국해는 넓은 대륙붕을 가진 바다이다. 사이토(Saito, 1998)가 『이과연표』를 인용해 정리한 값으로는 면적이 $1.249 \times 10^6 \text{ km}^2$, 부피가 $2.35 \times 10^5 \text{ km}^3$, 최대 수심이 2,719 m, 평균 수심이 188 m이다. 같은 글에 따르면 이 해역에는 황하(黃河, Huanghe)와 장강(長江, Changjiang) 등을 통해 육지에서 바다로 나가는 퇴적물의 약 1할이 운반된다. 또 대만해협(안부 수심 60 m)을 통해 남중국해와, 대마해협(같은 130 m)을 통해 동해(일본해)와 이어진다.

이 구조가 중요한 까닭은 해수면이 내려가면 가장 먼저 얕은 안부들이 마르기 때문이다. 동해로 통하는 모든 해협은 폭이 160 km보다 좁고 수심이 130 m보다 얕다(Gallagher et al., 2015). 따라서 해수면이 100 m 안팎으로 내려가면 해협의 개폐가 곧 바닷물과 해류의 길을 바꾼다. 아래 1.3절에서 보듯이 최저 해수면을 80 m로 보느냐 120 m로 보느냐는 이 해협들이 얼마나 닫히는가라는 문제와 직결된다.



그림 1-1. 한반도와 주변 바다. 지도에 그린 하천은 Natural Earth 자료에 수록된 압록강, 두만강, 한강, 낙동강이다. 마지막 빙기의 해안선은 이 지도에 그리지 않았다.

1.2 해수면 값을 읽는 세 가지 재료

해수면이 과거에 어디에 있었는지는 직접 잴 수 없고 남은 흔적에서 읽는다. 이 장의 논문들이 쓰는 재료는 크게 세 가지이다.

첫째는 방사성탄소 연대를 가진 시료의 깊이이다. 이탄처럼 육지나 담수에서 생긴 것은 해수면보다 위에서, 조간대 조개처럼 바다에서 생긴 것은 해수면 가까이 또는 아래에서 만들어졌다고 본다. 둘째는 해저 지형이다. 대륙붕 위에서 경사가 바뀌는 평탄면과 절벽을 옛 해안선과 연결한다. 셋째는 지층의 모양이다. 음파탐사로 본 삼각주와 하곡 충전물의 분포 깊이에서 당시 바다가 어디까지 내려갔는지를 추정한다.

세 재료 모두 약점이 있다. 시료가 원래 자리에 있는지(원지성), 나중에 바다가 올라오면서 옮겨졌는지를 알아야 하고, 땅이 그 사이에 솟거나 가라앉지 않았는지도 가정해야 한다. 아래에 나오는 논쟁은 대부분 이 두 지점에서 갈린다.

1.3 쟁점 ①: 마지막 빙기 최저 해수면은 얼마였는가

지금까지 보고된 값

사이토(Saito, 1998)는 그때까지의 연구를 모아 다음 값들을 제시한다. Emery 등(1971)은 약 1.5만 년 전에 현재보다 130 m 낮았다고 추정하였다. 중국 연구에는 -155 m(1.5만 년 전), -150~-160 m(1.5~1.6만 년 전), -140~-150 m(2만 년 전)이 있다. 일본에서는 오시마(Ohshima, 1990)가 인용한 대로 -105~-110 m(매물곡 말단), -135 m(약 1.8만 년 전), -127 ± 30 m(산소동위원소 곡선에서 추정) 같은 값이 널리 받아들여지는 견해로 소개된다.

A 입장: 약 -120 ± 10 m (Saito, 1998)

사이토(Saito, 1998)는 350개가 넘는 방사성탄소 연대값과 음파탐사 보고를 다시 검토하여 마지막 빙기 최성기의 최저 해수면을 -120 ± 10 m로 추정하였다. 그는 이 값이 종래 보고된 값보다 얕다고 명시한다. 그가 내놓은 근거는 다음과 같다.

- 연대가 있는 자료를 육성 퇴적물(이탄 등)과 해성층(조개·유공충)으로 나누어 깊이별로 그렸다. 제주도 남쪽 외대륙붕에서는 이탄과 육성 퇴적물이 모

두 수심 약 115 m보다 얕은 평탄면에서 나왔고, 그보다 깊은 평탄면에서는 해성층만 보고되었다.

- 같은 단면에서 수심 110~125 m 사이에 경사는 완만하지만 뚜렷한 절벽이 있다. 이 절벽이 해식애라면 옛 해안선은 절벽 아래쪽 끝이고, 외빈(shoreface) 지형이라면 위쪽 끝이다. 어느 쪽인지는 내부 구조와 퇴적물 자료가 모여야 가려진다고 그는 쓴다.
- 외대륙붕 중앙부 수심 122 m에서 나온 사슴 화석의 방사성탄소 연대가 25,750 yrs BP이다. 그는 이 화석이 그 부근 지하에 있던 층이 침식되고 남은 잔류물이라고 해석한다.
- 외해에서의 상대 해수준 저하량은 약 120 m이며, 동중국해 중앙부 대륙붕의 값은 외해의 값에 가깝다고 본다. 육지에 가까운 곳에서는 수압지각평형(hydro-isostasy) 영향으로 값이 알아진다.

같은 글은 한계도 밝힌다. 최성기(1.8~2만 년 전)에 해당하는 해안·천해 퇴적물을 확인하지 못했고, 그 퇴적물이 대륙붕에 거의 남아 있지 않은 것이 문제의 핵심이라고 쓴다. 따라서 원지성 퇴적물로 -120 m를 직접 확인한 것은 아니다. 논문은 "원지성 퇴적물의 해석에 의한 상세한 검토가 필요하다"고 스스로 말한다.

B 입장: 약 -80±5 m (Ohshima, 1990)

오시마(Ohshima, 1990)는 일본 주변 대륙붕과 해안평야의 조개·이탄 연대에서 -80±5 m라는 "보수적 해석"을 제시하고, -100~-140 m라는 일본 학계의 지배적 견해에 의문을 제기한다. 그의 근거는 다음과 같다.

- 이시카리만(石狩灣) 대륙붕의 매물곡은 하상 수심이 93 m로 -100 m에 이르지 않는다. 이 곡을 메운 이탄의 퇴적 연대는 모두 3만 년 전 이전이다(그는 이탄 연대를 37,000년 전 이전이라고 쓴다). 그는 현재 이시카리강 하구 수심 15 m를 기준으로 $93-15=78$ m를 최저 해수준으로 계산하여 자신의 -80±5 m가 만족된다고 본다. 따라서 이 값에 이른 시기는 약 3.5만 년 전 이전이며, 2만 년 전 최성기가 아니라고 한다.
- 도쿄만 입구의 옛 도쿄강(古東京川) 하구 지형은 80 m 등심선을 자르지만 90 m에는 이르지 않는다. 그는 이것을 해수준이 -70~-90 m에 있었다는 증거로 읽고, 현재 아라강(荒川) 하구 수심 7~8 m를 기준으로 -78~-77

m를 얻는다. 도쿄만 입구가 18,000년 동안 45 m 솟았다는 Kaizuka 등 (1977)의 해석은 필요 없다고 본다.

- 해협 가장 좁은 곳에는 조류가 파낸 해솔(海釜, sea caldron)이 생기며, 해솔 주변의 해저 평탄면 경사 변화를 각 정체기 해수준의 기록으로 읽는다. 대마해협(동수도) 해저 평탄면의 경사 구분에서 $-75 \sim -85$ m와 $-100 \sim -110$ m의 정체 해수준을 읽는다.
- 대륙붕 수심 100 m보다 깊은 곳에서 나오는 포유류 화석은 대륙붕 외연 평탄면이 약 10만 년 전보다 이전에 만들어졌음을 보여 주므로, 깊은 평탄면의 형성을 마지막 빙기의 일로 볼 수 없다고 한다. 그의 해석에서도 -100 m보다 깊은 해수준(-130 ± 10 m)은 있었지만, 그것은 대륙붕 외연이 만들어지던 훨씬 이전의 일이고 그 뒤의 최저 해수준이 -80 ± 5 m이다.

오시마(Ohshima, 1990)의 논리는 지반 운동이 무시할 만하다는 가정을 깔고 있다. 그는 도쿄만 일대의 단층에 의한 융기량을 6,000년에 1~2 m로 평가하여 해수준 변동을 지울 만큼 크지 않다고 보지만, 이 가정이 전 지역에 성립하는지는 이 논문에서만으로 판단할 수 없다.

두 주장을 나란히 놓으면

표 1-2. 마지막 빙기 최저 해수준에 대한 두 주장의 근거 비교

항목	Saito(1998)	Ohshima(1990)
최저 해수준	-120 ± 10 m (최성기)	-80 ± 5 m (약 3.5만 년 전 이전)
연구 해역	황해·동중국해	이시카리만, 도쿄만, 제주·대마·쓰가루 해협 등 일본 주변
핵심 자료	350여 개 방사성탄소 연대의 깊이 분포, 음파탐사	매몰곡·하구 지형, 해솔, 해저 평탄면 경사
원지성 확인	최성기 퇴적물은 확인 못 함(저자 명시)	이탄 연대 37,000년 전 이전(원지성 가정)
지반 운동	수입지각평형 언급	무시 가능하다고 가정

두 숫자를 같은 선 위에 놓기 전에 한 가지를 눈여겨볼 만하다. 사이토(Saito, 1998)는 5만~2.5만 년 전의 해수준을 황해에서 -80 ± 10 m, 동중국해에서 -90 ± 10 m로 추정한다. 이 기간에 두 바다에서 삼각주가 발달한 것이 근거이다. 오시마(Ohshima, 1990)의 -80 ± 5 m와 숫자가 겹치지만, 두 사람은 이 값을 서

로 다른 시기에 놓는다. 하나는 5만~2.5만 년 전의 안정기 값이고, 다른 하나는 3.5만 년 전 이전의 최저 값이다. 숫자가 같다고 같은 주장이 되지는 않는다.

독자가 확인할 지점

- 이시카리만의 이탄이 원지성인가. 오시마는 그렇다고 가정한다. Saito는 이탄은 원지성일 가능성이 높지만 조개 시료는 원지성이라는 보장이 없다고 쓰고, 해침기에 조간대 조개가 당시 해수준 대비 약 ± 20 m 이동한 사례(미국 대서양 연안)와 센다이 앞바다에서 20 m 이상 깊은 쪽으로 이동한 사례를 든다.
- 방사성탄소 연대가 이 시기에 얼마나 신뢰할 만한가. Saito는 2.5만~3만 년 전 자료가 방사성탄소 연대의 한계에 가까워 정밀도를 크게 기대하기 어렵다고 쓴다.
- 제주 남쪽 110~125 m 절벽을 해식으로 볼지 외빈으로 볼지.
- 지반 운동을 무시해도 되는 해역인지.

이 질문들에 대한 답은 이 장의 다섯 편만으로는 나오지 않는다. 최성기 해수준을 산호초 단구(Chappell 등, 1996 등)나 위성 중력 자료에 기반한 지구 전체 곡선과 맞춰 보는 작업은 이 책에서는 해당 논문의 원문을 확보한 뒤에 한다(「근거 논문 확보 필요」).

한편 Wang 등(2022)은 도입부에서 "마지막 빙기 최성기에 동중국해 해안선은 대륙붕 가장자리 쪽으로 가장 멀리 후퇴했고 해수면은 현재보다 약 120 m 낮았다"고 쓰며 Emery 등(1971), Qin 등(1987), Saito(1998), Liu와 Milliman(2004), Li 등(2005, 2014), Liu 등(2021)을 인용한다. 이것은 널리 쓰이는 값의 확인이지, 이 논문이 해수준을 독립적으로 새로 측정한 것은 아니다.

1.4 쟁점 ②: 외대륙붕에 마지막 빙기의 퇴적물이 남아 있는가

해수준을 퇴적물로 읽으려면 그 시기 퇴적물이 대륙붕에 보존되어 있어야 한다. 이 점에 대해서도 연구자들은 갈린다(Wang et al., 2022).

한쪽은 해수면이 극단적으로 낮았던 빙기에 하천이 노출된 대륙붕을 그대로 통과하여 퇴적 공간이 좁아 두꺼운 퇴적물을 쌓지 못했다고 본다. 이 입장으로 Liu 등(1999, 2000, 2003), Wu 등(2010), Xu 등(2018)이 소개된다. 다른 쪽은 해수면

이 낮았던 때의 퇴적물도 개방 대륙붕에서 잘 보존되고 식별할 수 있다고 본다. 이 입장으로 Berné 등(2002), Li 등(2002), Yu 등(2006), Wang 등(2013, 2014)이 소개된다. (이 인용 목록은 Wang 등(2022)이 정리한 것이며, 각 원문은 이 책의 자료 목록에서 확인되지 않았다. 「근거 논문 확보 필요」)

Wang 등(2022)은 후자의 입장에서 직접 증거를 낸다. 동중국해 외대륙붕 29°03.15'N, 125°15.30'E의 수심 88.3 m 지점에서 2007년 10월 시추한 SFK-1 코어(길이 82.9 m, 회수율 평균 89%)에 대하여 방사성탄소와 광자극발광(OSL) 연대 61개를 얻었다. 이 연대와 고해상도 음파탐사로 지난 약 10만 년 동안 해침과 해퇴가 세 번 반복되었음을 식별하였다. 그들이 보는 마지막 빙기 최성기(18~22 ka) 층은 기수 유공류와 한랭종이 섞인 조석 영향 하천·하구 퇴적물이다. 다만 같은 논문은 이런 하천·하구 퇴적물이 대체로 매우 얇고 중·외대륙붕에서 보존이 나빠 음파탐사 기록에서는 식별하기 어렵다고도 쓴다. 이것은 사이토(Saito, 1998)가 최성기 퇴적물 보존이 나쁘다고 한 말과 같은 방향이다.

1.5 바다가 돌아오다: 해수면 상승과 대륙붕의 변모

최성기 이후 바다는 다시 올라왔다. 이 장의 자료가 주는 값은 다음과 같다.

사이토(Saito, 1998)의 방사성탄소 연대 분포에서는 약 1만 년 전의 해수준이 -40 m, 6,000~7,000년 전에 현재 수준에 이르렀다고 읽힌다. 오시마(Ohshima, 1990)는 약 1.2만 년 전에 해수준이 -45 m에 이르렀고, 이 시기가 사할린과 홋카이도를 잇던 소야해협 육교의 마지막 단계였다고 쓴다. Wang 등(2022)은 홀로세 초에 해수면이 현재보다 약 50 m 낮았고 약 7 ka에 현재 높이에 이르렀다고 쓴다(Zhu et al., 1979; Chen et al., 1985; Saito, 1998을 인용). 세 자료는 대체로 같은 방향의 값을 준다. 다만 방법과 시료가 서로 다르므로 서로를 독립 검증한 것으로 세지 않는다.

Wang 등(2022)은 SFK-1 코어에서 탈빙기 조간대 퇴적 단위 두 개 사이의 퇴적 공백이 용융수 펄스 MWP-1A(14.5~13.7 ka)와 겹친다고 해석한다. 이것은 저자들의 해석이다. 홀로세에는 외대륙붕 전체가 강한 조류의 영향을 받아 해침성 조석 모래 능선이 만들어졌다고 한다.

Wu 등(2017)은 다중빔 음향측심과 고해상도 단일채널 탄성파로 동중국해 대륙붕의 선상 모래 능선을 비교한다. 능선 마루선의 총길이는 약 12,279 km이고 능선 방향은 방위각 155° 중심의 정규분포에 가깝다. 층 U2의 모래 능선은 DZQ4와 SFK-1 시추 연대로 12 ka 이후 형성된 것이며, 이들은 마지막 빙기 최성기 해침 체계에 속한다고 "가정"되었다. 그 아래 약 90 m 깊이에 묻힌 층 U14의 능선은 32만~20만 년 전에 만들어졌다고 "가정"된다. 두 층의 나이 차가 약 20만 년인데도 능선의 방향이 비슷하여, 저자들은 대륙붕 조석 파동의 기본 배치가 지난 20만 년 동안 안정했다고 해석한다. 이 가정과 해석은 저자들의 것이며 이 장의 자료만으로 검증되지 않았다.

1.6 해협과 난류: 열리는 동해

해수면이 낮았을 때 해협이 어떻게 닫혔는지는 큰 질문이다. 오시마(Ohshima, 1990)는 해수준이 -80 m로 내려가면 대만해협, 제주해협, 고토나다, 이키수도, 오키해협, 소야해협, 마미야해협이 모두 육지가 된다고 쓴다. 특히 제주해협과 고토나다가 마르면 대마난류의 유입이 반으로 줄었을 것이라고 추정한다. 그는 대만해협 자체는 -100 m 안팎에서 열렸다고 본다. 이 대목은 그의 -80 m 해석 위에서 나온 추정이다.

Gallagher 등(2015)의 종설은 동해 쪽 기록을 모은다. 동해 사도(佐渡)섬 앞 수심 132 m 코어에서 대마난류 유입 이전의 한랭 연체동물 군집이 9,300 cal BP까지 나타나고, 현생 연체동물 군집은 5,180 cal BP에 처음 나타난다. 다만 후자는 육성 퇴적물 공급 감소와도 관련될 수 있어 난류 활동과 직접 연결되지 않을 수 있다고 저자들이 덧붙인다. 대마도의 매몰 하곡 충전층에서 나온 대마난류 계열 조개 *Anodontia stearnsiana*는 $8,610 \pm 100$ yr BP로 이 해역에서 가장 오래된 기록이다. 동해 코어의 *Globigerinoides ruber*는 9,300 cal BP 이후 계속 나타나 대마난류의 지속적 유입을 시사하고, 남부 동해의 현재와 같은 표층 해양 조건은 7,300 cal BP까지 성립했다고 한다. 따뜻한 물에 사는 방산충은 마지막 빙기에 드물다가 약 10 ka에 처음 이동해 들어오고 8 ka 이후 풍부해진다. 부유성 유공충 군집은 산인(山陰) 앞바다에서 8,300~8,000년 전과 7,300~6,800년 전에 대마난류가 강했음을 보인다.

두 자료를 나란히 놓으면 질문이 생긴다. 해수면이 -120 m에 이르렀다면, 대마해협 안부 수심이 130 m(Saito, 1998)일 때 안부 위의 물 깊이는 10 m이다. -80 m라면 50 m이다. (이 빨샘은 본서의 계산이다. 안부 수심을 어떤 해협 정의로 재는지가 문헌마다 다르다. 오시마는 대마도 동쪽에 -160 m의 깊은 구덩이와 그보다 50 m 얕은 -110~-115 m의 해식 단구를 구분하여 서술한다.) 안부 위의 물 깊이가 5배 다르므로, 빙기에 동해로 들어가는 난류가 얼마나 막혔는지에 대한 추정도 해수면 값에 따라 크게 갈린다. 이 책은 그 추정을 하지 않는다. 위 문헌들이 보여 주는 것은 홀로세 초(약 10~9 ka)부터 대마난류 계열의 생물 기록이 나타난다는 사실이다.

Gallagher 등(2015)은 마지막 빙기 최성기에 쿠로시오가 대만 동쪽 해협의 제약으로 태평양 쪽으로 편향되었을 가능성을 유공충 자료가 시사한다고 쓰지만, 같은 글이 빙기 쿠로시오의 모드가 "논쟁적"이라고 분명히 적는다. 이 대목은 이 책에서 결론으로 쓰지 않는다.

1.7 이 장에서 아직 말할 수 없는 것

이 장을 쓰면서 다음 논문의 전문을 확보하지 못했다. 확보되기 전까지는 본문 논거로 쓰지 않는다.

- 황해와 한반도 연안의 홀로세 퇴적환경 변화(#4622, #5548, #5656), 쓰시마난류의 초중기 홀로세 발달(#5650): 근거 논문 확보 필요.
- 황하·장강 델타의 홀로세 발달(#1677, #1691, #1694, #1742)은 이후 장에서 필요하다.
- 최저 해수준을 독립적으로 검증할 수 있는 산호초 단구·지구 곡선 논문은 이 장의 자료 목록에 없다.
- 마지막 빙기 최성기 해안선 지도와 홀로세 해침 지도는 수심 격자 자료와 위 논문의 수치를 확인한 뒤에 작성한다. 지금 이 장에는 그리지 않았다.

1.8 이 장의 계산 방법: 이론 배경, 의미, 한계, 해결 방안

각 방법마다 작은 수치 예(시연값)를 끝값까지 풀고, 그 방법으로 이 장의 논문 수치를 다시 계산한다. 시연값은 논문 값이 아니다. 모든 수치는 ch01-calc-

v1.py에서 재현된다. 오시마(Ohshima, 1990)의 -80 m 계산과 사이토(Saito, 1998)의 곡선 읽기는 3장 3.9.1절의 계산 A-1~A-4와도 이어진다.

1.8.1 방법 ①: 평균과 나눗셈(부피 ÷ 면적, 변화량 ÷ 시간)

이론 배경 ①. 평균 수심 = 부피 ÷ 면적

정의. 어떤 바다의 평균 수심은 물의 부피를 해수면 면적으로 나눈 값이다. 바닥이 평평한 수조라면 부피 = 면적 × 깊이이므로 깊이 = 부피 ÷ 면적이다.

쉬운 예. 가로 10 km, 세로 5 km 수조의 부피가 5 km³라 하자(시연값). 면적 = 10 × 5 = 50 km², 평균 깊이 = 5 ÷ 50 = 0.1 km = 100 m.

속도도 같은 구조. 변화량 ÷ 걸린 시간이다(2.9.1절). 단위는 km를 m로 바꾸려면 ×1,000이다.

계산 1-1. 동중국해 평균 수심 확인 (방법 ①)

입력(Saito, 1998). 면적 1.249×10^6 km², 부피 2.35×10^5 km³, 평균 수심 188 m.

계산.

1. 부피 ÷ 면적 = $2.35 \times 10^5 \div 1.249 \times 10^6 = 0.18815$ km

2. $0.18815 \text{ km} \times 1,000 = 188.15 \text{ m}$

판정. 원문의 188 m와 같다(반올림 차이만 있다). 원문이 준 세 수치가 서로 맞는다는 확인이며, 수치 자체가 정확하다는 확인은 아니다.

계산 1-2. 해수면 상승 속도 (방법 ①, 시연)

입력. Saito(1998)가 읽은 값: 약 1만 년 전 -40 m, 6,000~7,000년 전 현재 수준(0 m). 시연으로 도달 시점을 6,000, 6,500, 7,000년 전의 세 경우로 둔다.

계산. 상승량 40 m = 40,000 mm.

1. 10,000 → 7,000: 3,000년. $40,000 \div 3,000 = 13.33 \text{ mm/yr}$ (= 13.33 m/ka)

2. 10,000 → 6,500: 3,500년. $40,000 \div 3,500 = 11.43 \text{ mm/yr}$

3. 10,000 → 6,000: 4,000년. $40,000 \div 4,000 = 10.00 \text{ mm/yr}$

판정. 같은 두 숫자에서 속도가 10~13 mm/yr로 흔들린다. 이것은 논문이 준 속도가 아니라 이 책의 시연이다. 연대 척도(14C 연대인가 달력 연대인가)는 Saito(1998)의 서술에서 이 책이 확인하지 못했다. 원문 확인 필요.

의미. 서로 다른 연구의 수치를 한 눈금(mm/yr 또는 m/ka)에 놓는 기본 도구이다. 1.5절의 MWP-1A 상승 속도도 같은 나뉠셈이다(계산 1-8).

한계. 평균은 변동을 지운다. 분모(연대)와 분자(높이)의 불확도가 모두 결과에 들어가며, 구간이 짧을수록 흔들림이 크다.

해결 방안. 속도를 적을 때 구간, 연대 척도, 높이 기준을 함께 적는다(2.9.1절). 이 책의 장부는 속도마다 이 세 가지를 요구한다.

과학사 맥락. 이 방법의 기원은 이 책이 확인하지 못했다. 원문 확인 필요.

1.8.2 방법 ②: 오차 범위의 합성과 비교

이론 배경 ②. "±"를 가진 두 값은 같은가

원리. 독립인 두 값의 불확도를 합치면 $\sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}$ 이다(피타고라스처럼 제곱해서 더하고 제곱근). 두 값의 차이를 이 합성 불확도로 나눈 값이 몇 σ 떨어졌는지를 뜻한다. 약 2 이상이면 우연한 차이로 보기 어렵다고 흔히 말한다(관례).

쉬운 예. 값 $A = 10 \pm 3$, $B = 14 \pm 4$ (시연값). 차이 = 4. 합성 불확도 = $\sqrt{(9 + 16)} = 5$. 비 = $4 \div 5 = 0.8$. 1보다 작으므로 두 값은 차이가 있다고 하기 어렵다.

전제. ① 두 값이 서로 독립이다. ② "±"가 같은 종류의 불확도(표준편차인지 범위인지)이다. 이 두 전제가 해수면 값에서는 자주 깨진다.

계산 1-3. -120 ± 10 m와 -80 ± 5 m (방법 ②, 시연)

입력. Saito(1998) -120 ± 10 m, Ohshima(1990) -80 ± 5 m. 두 "±"가 표준편차인지 가능한 범위인지는 원문이 밝히지 않는다. 시연을 위해 둘 다 1σ 로 읽는다(가정).

계산.

1. 차이 = $|-120 - (-80)| = 40$ m
2. 합성 불확도 = $\sqrt{(10^2 + 5^2)} = \sqrt{125} = 11.18$ m
3. 비 = $40 \div 11.18 = 3.58$

판정. 가정 아래에서 두 값은 약 3.6σ 떨어져 있다. 그러나 두 값은 같은 시기의 같은 양을
젠 것이 아니다. Ohshima(1990)는 -80 m를 "3.5만 년 전 이전의 최저값"으로,
Saito(1998)는 -120 m를 최성기(1.8~2만 년 전)로 본다(1.3절). 비교 자체가 성립하는
지가 먼저 논쟁이다. 이 계산은 "숫자가 다르다"를 정량화한 것에 그친다.

의미. 숫자만 보고 같다 다르다 하는 오류를 줄인다.

한계. $\pm$ 의 종류가 다르거나 두 값이 같은 가정(예: 지반 안정)에 의존하면 독립
이 아니다. 이 장의 두 값은 시기가 다르다.

해결 방안. 각 값의 시기와 기준(어느 해역, 어느 지시자)을 맞춘 뒤 비교한다. 원
문이 $\pm$ 의 정의를 밝히지 않으면 장부에서 "정의 확인 필요"로 둔다.

과학사 맥락. 확인하지 못했다.

1.8.3 방법 ③: 해수준 지시자 계산(깊이 → 해수면)

이론 배경 ③. 지금의 깊이에서 옛 해수면을 거꾸로 구하기

원리. 매몰곡 바닥이나 이탄은 옛 하구 또는 해안 가까이에서 만들어졌다. 그 자리가 당시
해수면보다 얼마나 위·아래였는지(지시 의미)를 알면 옛 해수면 = -(지금 깊이 - 지시 의
미)로 쓴다. Ohshima(1990)는 지시 의미로 지금 같은 하구의 현재 수심을 썼다.

쉬운 예. 골짜기 바닥이 지금 수심 50 m이고 같은 하천의 지금 하구 수심이 10 m라 하자
(시연값). 당시 바닥과 하구 높이의 차가 같았다면 옛 해수준 $\leq -(50 - 10) = -40$ m이
다. " $\leq$ "인 이유는 골짜기 바닥이 해수면 위에 있었다는 사실만 알 수 있기 때문이다(최저
한계).

지각 운동 보정. 땅이 그 사이 u 만큼 솟았다면 해수준에 $+u$ 를 더하여 고쳐야 한다. 이 보
정값이 가장 불확실하다.

계산 1-4. 이시카리만 매몰곡 (방법 ③)

입력(Ohshima, 1990). 매몰곡 하상 수심 93 m, 현재 이시카리강 하구 수심 15 m. 이
탄 연대는 37,000년 전 이전(그는 3만 년 전 이전이라고도 쓴다).

계산.

$$1. 93 - 15 = 78 \text{ m}$$

2. 해수준 = -78 m (원문이 -80±5 m를 얻는 근거)

판정. 원문 숫자와 맞는다. 이 값이 가리키는 시기는 3.5만 년 전 이전이고 최성기(약 2만 년 전)가 아니라는 것이 오시마의 주장이다. 이탄이 원지성이라는 가정이 필요하다 (Saito는 이탄은 원지성일 가능성이 높다고 쓴다).

계산 1-5. 해협 안부 위의 물 깊이 (방법 ③)

입력. 대마해협 안부 수심 130 m(Saito, 1998). 해수준 -120 m와 -80 m.

계산.

1. -120 m일 때 $130 - 120 = 10$ m
2. -80 m일 때 $130 - 80 = 50$ m
3. 비 = $50 \div 10 = 5$

판정. 해수준을 어느 쪽으로 읽느냐에 따라 안부 위 물 깊이가 5배 달라진다. 해협 정의 (Ohshima는 -160 m 구덩이와 -110~-115 m 해식 단구를 구분)에 따라 130 m 자체가 달라질 수 있다(미결).

의미. 점 하나의 깊이를 해수면 높이 하나로 바꾸는 방법이며, 이 장의 쟁점 ①의 모든 값이 이 구조에서 나온다.

한계. ① 시료가 원지성이어야 한다. ② 지시 의미(당시 하구 수심)가 현재와 같다는 가정. ③ 지각 운동 무시 가정(Ohshima는 도쿄만 일대 융기를 6,000년에 1~2 m로 평가). ④ 최저 한계만 준다. ⑤ 14C 연대 정밀도(Saito는 2.5만~3만 년 전 자료가 한계에 가깝다고 쓴다).

해결 방안. 같은 해역에서 여러 지시자(이탄, 조개, 매물곡)를 모아 일치하는지 본다. 지각 운동은 연대가 알려진 단구나 산호초 자료(이 책은 해당 논문 확보 필요)로 따로 추정한다. 수압지각평형은 모형 계산(2장 2.4절의 모형 논쟁 참조)으로 보정한다.

과학사 맥락. 이 장의 두 논문 사이의 논쟁(-120 대 -80 m)이 이 방법의 한계를 그대로 보여 준다. 방법의 기원은 이 책이 확인하지 못했다.

1.8.4 방법 ④: 음파 왕복 시간 → 깊이

이론 배경 ④. 소리가 갔다 오는 시간으로 거리를 잴다

원리. 소리가 속도 v 로 해저 지층까지 가서 되돌아오는 데 걸린 시간(왕복 시간 t)을 알면 깊이 = $v \times t \div 2$ 이다(왕복이므로 2로 나눈다).

쉬운 예. 퇴적층에서 소리 속도가 1,500 m/s이고 왕복 시간이 0.080 s라면 깊이 = $1,500 \times 0.080 \div 2 = 60$ m(시연값).

속도가 총마다 다르다. 물에서는 약 1,500 m/s, 퇴적물은 더 빠르다. 한 가지 속도로 환산하면 오차가 생긴다.

계산 1-6. SFK-1 단면의 깊이 환산 (방법 ④)

입력(Wang et al., 2022). 음파탐사(Boomer 음원, 수신 SIG 2 Mille)의 시간 기록을 깊이로 바꿀 때 1,650 m/s를 썼다. 코어 길이 82.9 m, 회수율 평균 89%.

계산.

1. 왕복 시간 100 ms(시연값)라면 깊이 = $1,650 \times 0.100 \div 2 = 82.5$ m
2. 코어 길이 82.9 m는 이 값과 거의 같은 규모이다.
3. 회수된 길이 = $82.9 \times 0.89 = 73.78$ m (회수율을 평균이라 한 만큼 구간별 편차가 있다)

판정. 왕복 시간 100 ms는 시연값이라 코어와 맞는지를 확인한 것이 아니다. 논문이 전 구간에 단일 속도를 썼다는 점이 한계이며, 속도가 1,500에서 1,800 m/s로 바뀌면 같은 100 ms가 75 m에서 90 m로 변한다($1,500 \times 0.05 = 75$, $1,800 \times 0.05 = 90$).

의미. 연대가 없는 지층 경계를 코어 깊이와 연결하는 다리이다.

한계. 속도 가정, 해상도(층이 얇으면 식별 불가: Wang 등이 최성기 층이 얇아 음파탐사에서 식별하기 어렵다고 쓴 것과 맞닿음).

해결 방안. 코어에서 실측한 속도(또는 인근 시추 자료)로 구간별 속도를 쓴다. 이 책은 SFK-1의 실측 속도를 확인하지 못했다(원문 확인 필요).

과학사 맥락. 확인하지 못했다.

1.8.5 방법 ⑤: OSL 연대와 연대 모형의 부등식 확인

이론 배경 ⑤. 나이 = 쌓인 피해량 ÷ 해마다 쌓이는 양

원리. 모래 알갱이는 주변 방사선으로 해마다 일정한 피해(에너지)를 쌓는다. 햇빛을 마지막으로 본 뒤 쌓인 총 피해량 De(단위 Gy)를 해마다 쌓이는 양(선량률, Gy/ka)으로 나누면 나이(ka)가 나온다.

쉬운 예. De = 60 Gy, 선량률 = 2.0 Gy/ka라면 나이 = $60 \div 2.0 = 30$ ka(시연값). 오차는 방법 ②로 합성한다.

검산. 깊이가 깊을수록 나이가 많아야 한다. 이 순서가 깨지면 시료가 섞였거나 계산이 틀린 것이다.

계산 1-7. OSL35의 표 값과 계산값 (방법 ⑤)

입력(Wang et al., 2022, 본서 OCR 판독). 시료 OSL35(깊이 67.8 m): 표의 나이 75 ± 8 ka, 같은 줄에서 "AD/d" 항목으로 64.96이 읽힌다. 표 3의 OCR이 깨져 있어 이 열이 어떤 양인지, 단위가 ka인지는 이 책이 확인하지 못했다.

계산(단위를 ka로 읽는 가정).

1. 차이 = $75 - 64.96 = 10.04$ ka
2. 표 불확도 8 ka 대비 = $10.04 \div 8 = 1.26\sigma$

판정. 가정이 맞다면 차이는 1.3σ 로 우연히 설명되는 범위이다. 가정이 틀리면 이 비교 자체가 의미가 없다. 미결: 원문 표 3 확인 필요.

계산 1-8. 코어 평균 퇴적률과 MWP-1A 상승 속도 (방법 ① 응용)

입력. Wang 등(2022): MWP-1A 14.5~13.7 ka. 이 책이 요약해 둔 OSL 평균 퇴적률은 약 0.90 m/ka이다(입력 연대표를 이 책이 다시 확인하지 못했다. 원문 표 확인 필요). Wu 등(2017)에서 이 책이 요약한 값 95 m와 78 m가 MWP-1A 구간 양 끝의 해수준(m)이라면(이 입력의 원문 위치는 확인 필요) 상승 속도는 다음과 같다.

계산.

1. 상승량 = $95 - 78 = 17$ m
2. 걸린 시간 = $14.5 - 13.7 = 0.8$ ka
3. 속도 = $17 \div 0.8 = 21.25$ m/ka

판정. 입력의 출처 확인이 끝나지 않았으므로 "시연값"에 가깝다. 장부 1-23(미결)로 둔다. MWP-1B 속도로 요약해 둔 66.7 m/ka는 입력 연대와 높이를 확인하지 못해 계산하지 않았다(미결).

의미. OSL은 이탄과 조개가 없는 모래층에도 나이를 준다. 대륙붕 코어에서 중요한 이유이다.

한계. 선량률과 De 산정, 햇빛 노출이 충분했는지(부분 표백), 물 함량 가정에서 오차가 생긴다. 이 책은 SFK-1의 세부 값을 확인하지 못했다. 방법 14C와 OSL 연대가 서로 어긋나는 구간(14C 역전)이 있다고 이 책은 기록해 두었으나 세부 수치는 원문 확인 필요.

해결 방안. 같은 층에서 14C와 OSL을 함께 재서 교차 검증하고, 베이즈 연대 모형(rbacon, 2.11절)으로 순서 제약을 걸어 이상값을 가려낸다.

과학사 맥락. 확인하지 못했다.

1.8.6 방법 ⑥: 방향 자료의 평균(축 자료)

이론 배경 ⑥. 방위각은 그냥 평균 내면 안 된다

문제. 모래 능선은 방향이 있으되 앞뒤가 없는 선이다. 170°와 10°(= 190°)는 거의 같은 방향이다. 단순 평균은 $(170 + 10) \div 2 = 90^\circ$ 로 전혀 다른 방향이 된다.

해법. 각도를 두 배로 하여(2θ) 원 위의 벡터로 합하고, 합 벡터의 각도를 다시 절반으로 한다. 170°와 10°: 2θ는 340°와 20°. 두 벡터의 x 합 = $\cos 340^\circ + \cos 20^\circ = 0.9397 + 0.9397 = 1.879$, y 합 = $\sin 340^\circ + \sin 20^\circ = -0.3420 + 0.3420 = 0$. 합 벡터 각도 = 0°, 절반 = 0°. 곧 평균 방향은 0°(= 180°)이다.

계산 1-9. 평균 방향과 정규분포 (방법 ⑥)

입력(Wu et al., 2017). 능선 방위각은 155° 중심의 정규분포에 가깝다. 마루선 총길이 약 12,279 km. 능선 개수와 표준편차는 이 책이 확인하지 못했다.

계산.

1. 155° 부근 값 150°, 155°, 160°은 0°/180° 경계에서 멀어 단순 평균이 맞다:
 $(150 + 155 + 160) \div 3 = 155^\circ$.

2. 경계에 걸치면 위 이론 배경의 방법을 쓴다(0° 로 평균, 단순 평균 90° 와 90° 차이).
3. 총길이를 개수로 나누어 평균 길이를 구하려면 개수가 필요하다. 시연으로 능선 16개라 하면 $12,279 \div 16 = 767.4 \text{ km}$ 이지만 16은 표 행 수에서 가져온 시연값이며(원문의 표는 16행) 실제 능선 수가 아니다.

판정. 155° 가 경계에서 멀어 단순 평균으로도 맞는다는 점만 확인된다. 나머지는 원문 확인 필요.

계산 1-10. 능선 층의 나이 차 (방법 ① 응용)

입력(Wu et al., 2017). U2 능선은 12 ka 이후, U14는 32만~20만 년 전(본문의 다른 곳에는 25만~20만, 25만~22만 년 전도 나온다. 같은 층에 서로 다른 구간이 적혀 있어 미결).

계산.

1. 최소 나이 차 = $200 - 12 = 188 \text{ ka}$
2. 최대 나이 차 = $320 - 12 = 308 \text{ ka}$

판정. 본문이 말하는 "약 20만 년"은 이 범위($188 \sim 308 \text{ ka}$)의 하단에 해당한다. 구간 표기의 불일치는 원문 확인 후 정리한다.

의미. 방향의 안정성을 말하려면 평균 방향과 분산을 올바르게 구해야 한다.

한계. 축 자료인지 방향 자료인지 구분하지 않으면 평균이 틀린다. 정규분포 가정이 맞는지 검정(원문에 없음)이 필요하다.

해결 방안. 원 위의 통계(방향 통계, 폰 미제스 분포)를 쓴다. 이 책은 해당 교재를 확인하지 못했다(근거 자료 확보 필요).

과학사 맥락. 확인하지 못했다.

1.8.7 이 장에서 계산이 풀리지 않은 항목

- 계산 1-2: 연대 척도 확인 필요.
- 계산 1-5: 해협 안부 정의 불일치(130 m 대 해식 단구 $-110 \sim -115 \text{ m}$ 등).
- 계산 1-7: 표 3 OCR 훼손, AD/d의 정의.

- 계산 1-8: 입력 연대와 높이의 원문 위치.
- 계산 1-10: U14 나이 구간의 본문 내 불일치.
- 16행 능선 표의 군 표기와 B1/B2 순서 의심(OCR).

1.9 도구 소개

표 1-3. 1장 분석에 쓰이거나 같은 분석에 쓸 수 있는 도구. 확인 상태는 이 책이 읽은 범위

도구	용도	입력 → 출력	라이선스	확인 상태
Calib 8.1.0	방사성탄소 연대를 달력 연대로 보정. Wang 등 (2022)이 IntCal20, Marine20과 함께 사용	14C 연대, 보정 곡선 → 달력 연대 범위	확인 필요	논문 서술에서만 확인. 입수처 확인 필요
IntCal20, Marine20	대기용, 해양용 보정 곡선	14C 연대 → 달력 연대	Marine20: CC-BY-4.0	Marine20은 3장 3.11절에서 PANGAEA 입수처 확인. IntCal20 입수처는 확인 필요
Daybreak 2200	OSL 측정 장비(SAR 방식). Wang 등(2022)이 사용	석영 시료 → 발광 신호	상용 장비	논문 서술에서만 확인
rbacon (R 패키지)	베이지 연대-깊이 모형. 연대 순서 제약으로 이상값 검토	연대와 깊이 → 깊이별 나이 분포	2.11절 참조	2.11절에서 GitHub 페이지를 읽었다
GEBCO 격자	수심 자료로 대륙붕 지형과 해안선 지도 작성	격자 → 등심선, 해안선	공공 도메인, 출처 표기 요청	3.11절 참조
Natural Earth	지도 바탕(육지, 하천)	GeoJSON → 지도	공공 도메인	이 책의 지도 작성에 사용
Python(numpy)	이 장의 모든 계산	표 → 결과	각 패키지 라이선스	ch01-calc-v1.py로 재현

이 장의 계산을 다시 해 보는 코드.

```
python
import math
print(2.35e5/1.249e6*1000)    # 188.15 m (계산 1-1)
print(-(93-15))                # -78 m (계산 1-4)
print(math.hypot(5,10))        # 11.18 (계산 1-3)
print(1650*0.100/2)            # 82.5 m (계산 1-6)
print((95-78)/(14.5-13.7))     # 21.25 m/ka (계산 1-8)
```

전체 코드는 ch01-calc-v1.py에 있다.

1.10 데이터 입수처

표 1-4. 1장 관련 데이터 입수처. 확인 상태: 원문 확인 = 논문 본문, 본서 조사 = 이 책이 직접 읽음, 확인 필요 = 이 책이 확인하지 못함

데이터	제공처와 주소	형식과 변수	사용 조건	확인 상태와 이 장에서의 쓰임
SFK-1 코어의 연대와 층서	Wang 등(2022), DOI 10.3389/fmars.2022.863245	논문 표 (14C, OSL 연대), 그림	확인 필요	원문 확인. 표 3은 OCR이 훼손되어 원문 확인 필요
동중국해 모래 능선 표와 탄성파 단면	Wu 등(2017), DOI 10.1007/s11001-016-9278-z	논문 표(능선 16행), 그림	확인 필요	원문 확인. 표의 군표기 OCR 문제
대륙붕 연대 분포 (350여 개)와 단면	Saito(1998), DOI 10.4116/jaqua.37.235	논문 그림, 표	확인 필요	원문 확인. 깨진 수치는 원문 확인 필요
해협 형성 사례	Ohshima(1990), DOI 10.4116/jaqua.29.193	논문 그림, 본문	확인 필요	원문 확인
동해 쪽 기록 종합	Gallagher 등(2015), DOI 10.1186/s40645-015-0045-6	종설 본문, 표	오픈 액세스 논문	원문 확인
GEBCO 수심 격자	GEBCO, DOI 10.5285/4f68d5c7-45eb-f999-e063-7086abc036fa	15초 간격 격자	공공 도메인	본서 조사(3.11절). 해안선 지도용
Marine20 곡선	PANGAEA, DOI 10.1594/PANGAEA.914500	탭 구분 텍스트	CC-BY-4.0	본서 조사(3.11절)

일반 순서. 논문의 데이터 가용성 문단, DOI의 부록, 기관 자료 센터, 교신 저자 요청(3.11절 순서).

1.11 더 읽을 책

표 1-5. 1장 관련 교재. 서지는 3.12절에서 이 책이 확인한 것

책	서지	이 장과의 연결	확인한 내용
Handbook of Sea-Level Research	Shennan, I., Long, A. J., & Horton, B. P. (Eds.). (2015). John Wiley & Sons	1.3, 1.8.3 해수면 지시자	3.12절 참조
Reconstructing Quaternary Environments	Lowe, J. J., & Walker, M. (2015). 제3판. Routledge	1.0 개념, 연대	3.12절 참조
Quaternary Dating Methods	Walker, M. (2005). John Wiley & Sons	1.8.5 연대 측정	3.12절 참조
An Introduction to Optical Dating	Aitken, M. J. (1998). Oxford University Press	1.8.5 OSL	3.12절 참조
Paleoclimatology	Bradley, R. S. (2013). 제3판. Elsevier	1.5, 1.6 고기후 지표	3.12절 참조

방향 통계(1.8.6절)와 음파탐사의 교재는 이 책이 확인하지 못했다. 확인 필요.

1.12 과학사와 인물

이야기 상자. 같은 -80 m, 다른 시기

사이토(Saito, 1998)와 오시마(Ohshima, 1990)는 모두 일본의 『제4기연구(第四紀研究)』에 실린 논문에서 이 문제를 다루었다. 사이토는 황해와 동중국해의 350여 개 방사성탄소 연대를 모아 -120 ± 10 m를 제시하면서, 최성기 퇴적물을 직접 확인하지 못했다는 한계를 스스로 적었다. 오시마는 일본 주변의 매몰곡과 해협 지형에서 -80 ± 5 m를 얻었고, 도쿄만 입구가 1.8만 년 동안 45 m 솟았다는 해석(Kaizuka 등, 1977)은 필요 없다고 보았다. 두 사람은 모두 같은 시료 종류(이탄, 조개)의 원지성 문제를 인정하면서 결론은 달랐다. 이 논쟁에 참여한 연구자들의 삶과 연구 과정은 이 책이 확인하지 못했다. 근거 자료 확보 필요.

이 장에서 다룬 연구자(사이토, 오시마, 왕, 우 등)의 약력과 사진은 이 책이 출처에서 확인하지 못했다. 확인하지 못한 인물을 소개하지 않는다. 확인 필요.

1.13 주장 검증 장부

표 1-6. 1장 주장 검증 장부. 수준: 직접 = 이 책에서 원문을 읽고 확인, 재인용 = 다른 논문이 인용한 것(원문 미확인), 해석 = 저자의 해석, 본서계산 = 이 책의 산술, 시연값 = 설명용 수치, 미결 = 근거나 입력 확인 필요

번호	주장	주장자	근거	수준
1-1	최저 해수준 -120 ± 10 m	Saito(1998)	350여 개 14C 연대의 깊이 분포, 음파탐사	직접
1-2	5만~2.5만 년 전 황해 -80 ± 10 m, 동중국해 -90 ± 10 m	Saito(1998)	삼각주 발달	직접
1-3	최저 해수준 -80 ± 5 m	Ohshima(1990)	이시카리만 매몰곡 이탄(93 m-15 m), 도쿄만 하구 지형	직접
1-4	최성기 해안·천해 퇴적물은 확인되지 않음	Saito(1998)	저자 명시	직접
1-5	약 1만 년 전 -40 m, 6,000~7,000년 전 현재 수준	Saito(1998)	14C 연대 분포	직접
1-6	약 1.2만 년 전 -45 m	Ohshima(1990)	저자 서술	직접
1-7	홀로세 초 약 -50 m, 약 7 ka 현재 수준	Wang et al.(2022)	Zhu 등(1979) 등 인용	재인용
1-8	마지막 빙기 최성기 퇴적물이 외대륙붕에 남아 있음	Wang et al.(2022)	SFK-1 코어 14C·OSL 61개	직접
1-9	같은 퇴적물은 얇고 보존이 나쁨	Wang et al.(2022), Saito(1998)	저자 서술	직접
1-10	MWP-1A와 퇴적 공백이 겹침	Wang et al.(2022)	SFK-1 연대	해석
1-11	모래 능선 방향이 20만 년간 안정	Wu et al.(2017)	다중빔·탄성파 비교	해석
1-12	대마난류 유입 시작 약 9.3 ka	Gallagher et al.(2015)	연체동물·유공충·방산충 기록 종합	직접 (종합)
1-13	빙기 쿠로시오의 모드	Gallagher et al.(2015)	"논쟁적"이라고 저자 명시	미결
1-14	해협 안부 위 수심 10 m(-120 m) 대 50 m(-80 m)	본서	Saito(1998)의 안부 130 m에서 빨셈(계산 1-5)	본서 계산
1-15	동중국해 평균 수심 188 m가 면적·부피와 일치	본서	$2.35 \times 10^5 \div 1.249 \times 10^6 = 188.15$ m(계산 1-1)	본서 계산
1-16	이시카리만 해수준 -78 m	본서	93-15(계산 1-4)	본서 계산
1-17	-120 ± 10 과 -80 ± 5 의 차이는 3.6σ	본서	두 ±를 1σ 로 가정(계산 1-3)	시연값

번호	주장	주장자	근거	수준
1-18	상승 속도 10~13 mm/yr	본서	-40 m에서 0 m, 도달 시점 가정(계산 1-2)	시연 값
1-19	왕복 시간 100 ms는 82.5 m	본서	1,650 m/s 가정(계산 1-6)	시연 값
1-20	코어 회수 길이 73.78 m	본서	82.9 × 0.89(계산 1-6)	본서 계산
1-21	OSL35의 표 값과 AD/d의 차이 10.04 ka(1.26σ)	본서	표 3 OCR, 열의 정의 불명(계산 1-7)	미결
1-22	능선 층 나이 차 188~308 ka	본서	U2 12 ka, U14 320~200 ka(계산 1-10)	본서 계산
1-23	MWP-1A 상승 속도 21.25 m/ka	본서	입력 95 m, 78 m의 원문 위치 확인 필요(계산 1-8)	미결
1-24	MWP-1B 속도 66.7 m/ka	본서 요약	입력 확인하지 못함	미결
1-25	최저 해수준 시기 불일치 (Wang 18~22 ka, Wu 약 15 ka)	Wang et al.(2022), Wu et al.(2017)	두 논문의 서술	미결

참고문헌

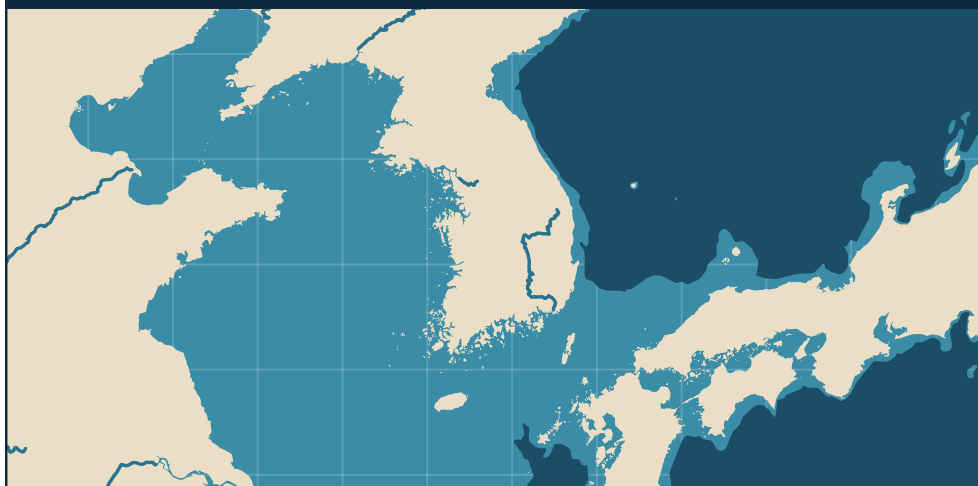
- Gallagher, S. J., Kitamura, A., Iryu, Y., Itaki, T., Koizumi, I., & Hoiles, P. W. (2015). The Pliocene to recent history of the Kuroshio and Tsushima Currents: A multi-proxy approach. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, Article 17. <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0045-6>
- Ohshima, K. (1990). The history of straits around the Japanese Islands in the late-Quaternary [第四紀後期の海峡形成史]. *The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu)*, 29(3), 193–208. <https://doi.org/10.4116/jaqua.29.193>
- Saito, Y. (1998). Sea levels of the last glacial in the East China Sea continental shelf [東シナ海陸棚における最終氷期の海水準]. *The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu)*, 37(3), 235–242. <https://doi.org/10.4116/jaqua.37.235>
- Wang, Z., Yang, S., Tang, H., Zheng, Y., Wang, H., Zhang, Z., Zhang, Y., Mei, X., Wang, Q., & Lai, Z. (2022). Revisit the sedimentary stratigraphic evolution and environmental changes on the outer shelf of the East China Sea since MIS 5. *Frontiers in Marine Science*, 9, Article 863245. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.863245>
- Wu, Z., Jin, X., Zhou, J., Zhao, D., Shang, J., Li, S., Cao, Z., & Liang, Y. (2017). Comparison of buried sand ridges and regressive sand ridges on the outer

shelf of the East China Sea. *Marine Geophysical Research*, 38, 187–198.
<https://doi.org/10.1007/s11001-016-9278-z>

제 2 장

한반도 해안

바다가 돌아오고 땅이 남긴 흔적



장 표지 그림은 장의 주제를 나타낸 도안이다. 자료를 그린 그림이 아니며 선, 원, 화살표는 값을 뜻하지 않는다.

이 장의 차례

2.0 이 장을 읽기 위한 기본 개념	45
2.1 무대: 서해안, 동해안, 남동 해안	48
2.2 서해안: 갯벌 아래의 나무 조각	49
2.3 동해안: 총적평야의 지층과 입도	52
2.4 쟁점 ①: 동해안의 곡선과 계산 모형은 맞는가	54
2.5 쟁점 ②: 남동 해안의 단구는 솟았는가	55
2.6 마지막 빙기 해수면에 대한 오(Oh, 1977)의 서술	59
2.7 땅 안쪽의 기록: 제주 동수악 분화구 습지	60
2.8 이 장에서 아직 말할 수 없는 것	60
2.9 이 장의 계산 여덟 가지: 이론, 의미, 한계, 해결, 역사	61
2.10 논문별 방법과 계산	81
2.11 도구 소개	95
2.12 데이터 입수처	97
2.13 더 읽을 책	99
2.14 주장 검증 장부	99
참고문헌	103

2장 안내: 바다가 도착한 해안

이 장이 묻는 것. 1장에서 올라오기 시작한 바다가 한반도 해안에 도착하는 장면을 따라간다. 서해안에서는 작은 만의 갯벌 아래에 묻힌 나무 조각이, 동해안에서는 충적평야의 지층과 언덕 위에 계단처럼 남은 해안 단구가 증거이다.

길잡이.

- 쟁점은 두 가지이다. 하나는 바다가 올라온 속도이다. 서해안의 침강 속도는 한 논문 안에서도 1.6 mm/yr와 1.4 mm/yr라는 두 값이 함께 나오고, 동해안의 곡선은 계산 모형과도 차이가 난다(2.4절).
- 다른 하나는 땅이 솟았는가이다. 남동 해안의 단구를 두고 연 1.1~1.4 mm의 융기를 주장한 연구와, 홀로세에는 융기를 인정할 수 없다는 연구가 맞선다(2.5절).
- 2.6절은 마지막 빙기 해수면에 대한 오(Oh, 1977)의 서술을, 2.7절은 제주 동수악 분화구 습지의 기록을 다룬다.
- 2.9절과 2.10절은 이 책에서 가장 두꺼운 계산 구간이다. 방사성 탄소 연대 보정, 회귀, 주기 분석 같은 도구를 하나씩 쉬운 수로 풀었다.

이 장의 숫자. 주장 검증 장부 57개, 계산 21개. 이 책에서 장부가 큰 편에 든다. 일부 논문은 전문을 확보하지 못해 "근거 논문 확보 필요"로 남겼다.

앞뒤 장과의 연결. 1장의 해수면 곡선을 한반도 해안에 놓아 본 장이다. 3장은 같은 바다를 동쪽에서, 해협이라는 문을 통해 본다.

읽는 팁. 계산 구간은 길다. 처음에는 2.1~2.5절만 읽어 쟁점을 파악한 뒤 2.9절로 돌아와도 된다.

2장 한반도 해안: 바다가 돌아오고 땅이 남긴 흔적

1장에서 바다는 마지막 빙기에 크게 낮아졌다가 다시 올라왔다. 이 장은 그 바다가 한반도 해안에 도착하는 장면을 따라간다. 서해안에서는 작은 만의 갯벌 아래에 묻힌 나무 조각이, 동해안에서는 바닷가 충적평야의 지층과 언덕 위에 계단처럼 남은 해안 단구가 증거이다.

이 장에서 다루는 쟁점은 두 가지이다. 하나는 바다가 올라온 속도이다. 서해안의 침강 속도는 한 논문 안에서도 1.6 mm/yr와 1.4 mm/yr라는 두 값이 함께 나오고, 동해안의 곡선은 계산 모형과도 차이가 난다. 다른 하나는 땅이 솟았는가 하는 문제이다. 한반도 남동 해안의 단구를 두고 연 1.1~1.4 mm의 융기를 주장한 연구와, 홀로세에는 융기를 인정할 수 없다는 연구가 맞선다. 이 장은 어느 쪽이 맞다고 먼저 정하지 않는다. 각 주장이 어떤 시료와 어떤 가정 위에 서 있는지를 원문 그대로 나란히 놓는다.

이 장은 현재 확보된 논문 네 편으로 쓴 판이다. 유공충, 낙동강 삼각주 니질 퇴적물 등 후속 근거가 들어오면 갱신한다. 근거가 없는 대목은 "근거 논문 확보 필요"로 표시하였다. 각 항목의 근거 수준은 장 끝의 「주장 검증 장부」(2.14절)에 있다.

이번 판(v2)에서 더한 것은 다음과 같다. 기본 개념(2.0), 계산에 쓰는 수학 여덟 가지의 이론 배경·의미·한계·해결 방안과 그 방법이 나온 역사와 사람들의 이야기(2.9), 논문별 방법과 수치 대입 계산(2.10), 도구(2.11), 데이터 입수처(2.12), 더 읽을 책(2.13). 수식은 모두 간단한 수치를 넣어 끝값까지 계산하였고, 논문이 값을 주지 않아 가정값을 쓴 계산에는 "시연값"이라고 표시하였다. 계산을 해 보았으나 풀리지 않은 항목도 계산 과정 그대로 남겼다.

2.0 이 장을 읽기 위한 기본 개념

2장의 논문들은 해안 지형, 퇴적물, 연대 측정의 용어를 전제로 쓴다. 용어를 모르면 계산을 따라가도 뜻이 잡히지 않으므로 먼저 정리한다. 이 절은 일반적인 정의만 다루며, 논문별 수치 주장은 담지 않는다.

표 2-1. 2장에서 쓰는 기본 개념. 이 절의 설명은 일반적인 정의이며 이 장의 논문별 수치와는 구분된다

개념	뜻	이 장에서 쓰이는 곳
해수면 변동(eustasy)과 상대 해수면	바닷물의 양과 바다 그릇의 부피가 바뀌어 일어나는 전 지구적 해수면 변화를 "해수면 변동(eustatic)"이라 한다. 우리가 한 해안에서 실제로 재는 것은 땅의 오르내림까지 겹친 "상대 해수면"이다	2.4, 2.5, 2.9.2
침강과 융기	땅이 내려앉는 것과 솟는 것. 해안에서는 같은 높이의 흔적이 해수면 변화 때문인지 땅 움직임 때문인지를 가르는 일이 핵심이다	2.2, 2.5, 2.9.2
해안 단구(marine terrace)	파도가 깎은 평평한 면(파식대)이 땅이 솟거나 바다가 내려가서 계단처럼 남은 지형. 단구 면의 안쪽 끝 높이(옛 해안선 높이)가 옛 해수면을 가리킨다	2.5, 2.10.3
갯벌과 고조대(high-tide zone)	조차가 큰 해안에서 밀물과 썰물 사이에 드러나는 평탄한 진흙땅. 맨 위쪽 고조대에 이탄과 나무 조각이 쌓이므로 해수면의 위쪽 한계를 알려 준다	2.2, 2.10.1
이탄(peat)	물에 잠긴 땅에서 식물 조각이 썩지 못하고 쌓여 만들어진 유기물 층. 방사성탄소 연대의 시료가 된다	2.2, 2.3
충적층과 삼각주	강이 나른 모래·진흙이 쌓인 층과, 하구에서 부채꼴로 퍼진 퇴적체. 해수면이 오를 때 위로 쌓이면서 바다와 육지의 변화를 층으로 남긴다	2.3
입도(grain size)와 ϕ (파이) 척도	알갱이의 지름. 지름이 2배씩 변하는 규칙이라 로그로 나타낸 값이 ϕ 이다. ϕ 가 클수록 가는 알갱이	2.3, 2.9.4, 2.10.2
연대 모형(age-depth model)	연대를 잰 몇 개 층 사이를 선 또는 곡선으로 이어 모든 깊이에 나이를 주는 규칙	2.7, 2.9.3, 2.10.4
방사성탄소 연대	살았던 생물에 들어 있던 ^{14}C 가 줄어든 정도로 나이를 구한다. 결과는 ^{14}C 연대(yr BP, BP는 1950년 이전)로 나오며 달력 연대(cal BP)로 바꾸려면 보정 곡선이 필요하다	2.2, 2.3, 2.5, 2.9.6
꽃가루 분석	퇴적물 속 식물 꽃가루의 종류와 비율로 옛 식생과 기후를 읽는 방법. 꽃가루 껍질은 잘 썩지 않는다	2.7, 2.10.4
숯 조각(macrocharcoal)	퇴적물에 들어간 $125\ \mu\text{m}$ 보다 큰 탄화 조각. 숯 조각의 쌓이는 속도(CAR)를 옛 산불의 빈도와 건조함의 지표로 쓴다	2.7, 2.10.4
자기 감수율(MS)	퇴적물이 자기장에 얼마나 자화되는지를 잰 값. 외부에서 들어온 광물 입자가 많으면 값이 커진다	2.7, 2.10.4
아이소스타시(isostasy)	지각이 위에 얹힌 무게에 따라 떠오르거나 가라앉는 평형 조절. 빙상이나 해수의 무게가 변하면 땅이 천천히 반응한다	2.4
솔리플렉션(solifluction)	얼었다 녹는 땅의 젖은 흙이 사면을 따라 천천히 흘러내리는 현상. 위의 지층이 현지 퇴적물이 아니라 이동해 온 퇴적물일 수 있게 한다	2.5

이 장은 수식을 쓸 때마다 간단한 숫자 예를 넣어 끝값까지 계산한다. 계산에 쓰는 수학은 2.9절에서 여덟 가지로 나누어 이론 배경, 의미, 한계, 해결 방안, 그 방법이 나온 역사적 상황과 사람들의 이야기까지 적는다. 논문 자체의 방법과 그 논문 수치로 한 계산은 2.10절에 있다. 논문이 값을 주지 않아 가정값을 쓴 계산은 "시연값"이라고 표시한다.

2.1 무대: 서해안, 동해안, 남동 해안



그림 2-1. 해수면과 단구 연구의 조사 지점. 포항 A·B 지점은 조(1980), 동수악은 박 등(2023)이 제시한 좌표이다. 김제, 주문진, 방어진은 개략 위치이다.

한반도의 해안은 세 가지 얼굴을 가진다. 블룸과 박(Bloom & Park, 1985)에 따르면 서해안은 많은 하구와 만, 섬, 반도가 있는 침수 리아스식 해안이다. 대조차(spring tide)의 범위가 4~8 m이고, 서해안 대부분에서는 반일주조이며 조차가 북쪽에서 6 m, 남서쪽에서 3 m이다. 황해의 평균 수심은 약 55 m이다. 갯벌은 폭이 수 km에 이른다.

동해안은 조차가 1 m 미만이고 파랑 에너지가 크다. 같은 글은 동해안이 서해안이나 남해안보다 훨씬 규칙적이며 큰 섬이 없고, 깊은 물이 해안에 가깝다고 쓴다. 일부 하구에는 모래와 자갈의 만구 장벽이 얇은 모래 석호를 막고 있다.

남동 해안은 북쪽의 포항에서 남쪽의 울산, 양산 방향으로 이어지는 구역이다. 오(Oh, 1977)가 다룬 범위는 부산에서 북쪽의 곳(원문 OCR 불명확)까지의 대한해협 북서 해안이고, 이 구역에는 해안 단구가 연속적으로 분포한다고 한다.

이 구분이 중요한 까닭은 조차와 파랑 환경이 달라서 같은 "해수면 지시자"가 쓰이는 방식이 다르기 때문이다. 서해안은 고조대(high-tide zone)의 맨 위에 쌓인 퇴적물의 깊이를 해수면의 대응으로 읽고, 동해안은 퇴적물의 입도와 조개·규조의 출현 깊이를 읽는다.

2.2 서해안: 갯벌 아래의 나무 조각

어떤 시료인가

블룸과 박(Bloom & Park, 1985)이 쓴 재료는 20세기 초부터 독을 쌓아 논으로 바꾼 서해안의 작은 옛 만이다. 논이 얇은 표토 아래에 유기물이 풍부한 하구 퇴적물이 있고, 그 아래는 풍화된 기반암이나 봉적층이다. 퇴적물의 맨 아래 약 15 cm에는 나무 조각이 많다. 해수면이 오르면서 고조대의 이탄질 진흙에 섞여 들어간 것이라고 저자들은 해석한다. 이 시료들을 방사성탄소로 연대 측정하였다.

높이의 기준은 고조위이다. 연구가 이루어진 마을에서 옛 고조선이 지형과 문화적 흔적으로 확인되어 지반 높이를 고조위 기준으로 환산하였고, 저자들은 시료 깊이의 수직 오차를 ± 20 cm로 본다. 퇴적물이 처음 쌓인 곳이 바다의 맨 위 한 계인 고조대였다는 것이 이 방법의 전제이다.

두 값이 함께 나온다

이 논문에서 침강 속도는 두 곳에 서로 다른 값으로 나온다.

표 2-2. 블룸·박(1985)의 서해안 침강 속도 서술 두 곳

위치	서술	기간
초록 (abstract)	한국 황해 해안은 평균 약 1.6 mm/yr로 침강하였고, 이후 약 0.4 mm/yr로 줄었다	8,600~4,800 yr BP(방사성탄소 연대)
본문 II절	베나루(Baenaru)와 김제 두 곳에서 각 3개 시료가 직선 추세를 이루고, 평균 침강 속도는 1.4 mm/yr이다	기간은 본문에서 명시되지 않음

한글 지명은 논문의 로마자 표기를 따랐다. Baenaru의 한글·한자 표기는 확인이 필요하다.

두 값이 다른 이유는 이 논문의 OCR 본문에서 확인할 수 없다. 시료의 깊이와 연대를 적은 표 1과 곡선 그림 2가 원문 그대로 읽히지 않았기 때문이다. 이 장에서는 두 값을 나란히 적고 원인은 미결로 둔다. 원문 표 1과 그림 2를 확인해야 한다.

참고로 이 연구보다 앞선 연구가 있다. 조(Jo, 1980)가 정리한 바로는 박(Park, 1969)이 김제 신평천 일대 매몰 이탄층의 방사성탄소 연대로 서해안의 침강 속도를 6,500년 전에서 4,700년 전까지 연 1.4 mm, 그 이후 현재까지 연 약 0.4 mm로 추정하였다. 이 값은 조(1980)를 통한 재인용이다.

속도를 깊이로 바꾸면

위 속도를 깊이로 환산하면 규모가 보인다. 이 계산은 이 책의 산술이며 논문이 그린 곡선을 읽은 값이 아니다.

- 8,600~4,800년 전, 즉 3,800년 동안 1.6 mm/yr이면 $3,800 \times 1.6 \text{ mm} \approx 6.1 \text{ m}$ 이다. 1.4 mm/yr이면 약 5.3 m이다.
- 그 후 4,800년 동안 약 0.4 mm/yr이면 약 1.9 m이다.
- 두 구간을 더하면 약 7~8 m이다.

블룸과 박은 "지난 6,000년 동안 서해안과 동해안 모두에서 해수면 상승이 약 5 m보다 작다"고 쓴다. 위 환산과 모순되지 않는다.

물리 기록을 먼저 읽고, 문자 기록은 시험할 주장으로 놓는다

마지막 빙기의 낮은 바다, 해안에 도착한 바다, 동해의 해협, 화산이 남긴 재, 문순과 태풍, 황토고원과 황하와 장강, 서요하의 사람과 노백산의 나이테. 이 책은 한반도에서 본 지난 1만 년의 기후와 땅을 논문의 숫자를 다시 계산하며 읽는다.

이 책이 중요한 다섯 가지

- 옛 해안선과 지명이 놓인 바닥이 움직였음을 숫자로 보인다.
- 연대의 오차가 해석을 바꾸는 과정을 직접 계산해 보인다.
- 사료를 시험할 주장으로 놓고 물리 기록과 대조하는 방법을 보인다.
- 사람의 유전 기록과 환경 기록을 같은 틀에서 읽는 법을 익힌다.
- 미결 항목을 남겨 후속 연구의 목록으로 삼는다.

이런 분께

- 역사학, 인류학, 고고학에서 기후·지형 기록을 쓰려는 연구자
- 지리·지질·해양·기후를 공부하는 학생과 연구자
- 고등학교 과학과 수학으로 따라갈 수 있게 쉬운 예를 달았다

정가 (추후 기입)

이어서 읽으시려면

동아시아 1만 년의 기후와 땅 — 전체 522쪽

ssbook.kr/book/climate-ea-1

판매가 **15,000원** (POD 정가 25,000원)

- 전 페이지 컬러 PDF · 개인 영구 소장
- 카드 결제 즉시 내 서재에서 내려받기
- 공개 배포 · 재판매 금지

발간 도서 목록

다음 쪽부터 과학과영성출판사가 발간한 책 전체 목록(표지 · 가격 · 특징)을 안내합니다.

총 69종 · 판매가는 POD 정가의 60% · 컬러 PDF · 개인 영구 소장

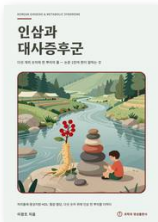
인삼 (6)



만병통치 인삼의 신경내분비시스템
하나의 인삼뿌리는 어떻게 온몸의 스위치를 건드리는가
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-neuroendo



인삼과 당뇨
공복혈당·당화혈색소·합병증을 개선하는 인삼
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-diabetes



인삼과 대사증후군
허리둘레·중성지방·HDL·혈압·혈당을 개선하는 인삼치유의 과학적 원리
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-metabolic



인삼과 아토피
금산 아토피 마을에서 어린이 임상시험 설계까지
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-atopy



인삼과 암치유
실험실에서 진료실까지, 1,300편의 논문이 말하는 것
18,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/ginseng-cancer



인삼의 임상연구
최신연구와 방법론
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-clinical

오토파지 (2)



스스로를 먹는 몸
오토파지, 자가포식, 세포가 자기를 고쳐 쓰는 법
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/eating-self



오토파지와 암
세포는 스스로를 먹는다
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/autophagy-cancer

식물성 저탄고지 (11)



뇌신경 4+2축과 성격유형 그리고 식물성 저탄고지
도파민 · 세로토닌 · 노르에피네프린 · 아세틸콜린 + 글루타메이트 · 가바
20,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/brain-axes



당뇨를 개선하는 식물성 저탄고지
혈당·당화혈색소·체중을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-diabetes



고혈압을 개선하는 식물성 저탄고지
혈압·체중·혈관 건강을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-hypertension



비만을 개선하는 식물성 저탄고지
체중·하리둘레·체지방을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-obesity



뇌전증을 개선하는 식물성 저탄고지
뇌전증 환자와 보호자를 위한 논문 근거 기반 식물성 저탄고지 식단
23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-epilepsy



우울증을 개선하는 식물성 저탄고지
소화관과 장·뇌 축, 에너지 대사를 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-depression



자폐를 개선하는 식물성 저탄고지
일곱 갈래 기전이 한 점에서 만난다
23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-autism



아토피를 개선하는 식물성 저탄고지
피부 장벽과 면역, 장 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
19,000원 → **11,400원**
ssbook.kr/book/pkd-atopy



치매를 개선하는 식물성 저탄고지
뇌 에너지 대사와 인슐린 신호, 혈관 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/pkd-dementia



암을 개선하는 식물성 저탄고지
치료 중 체중 유지와 근육 보존, 영양 상태를 함께 살피는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-cancer



관절염을 개선하는 식물성 저탄고지
염증 신호와 체중 부하, 대사 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-arthritis

단식 (1)



40일간 굶는 몸의 시간표
카힐의 40일 연구, 혈당과 케톤과 자가포식을 중심으로
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/fasting-40days

생물리학 (4)



발끝의 강

피의 흐름에서 발바닥까지, 땅과 몸 사이에서 확인된 것과 아직 모르는 것

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



보이지 않는 99%, 부항 자국 아래에서 벌어지는 일

부항과 미세혈관에 대한 열다섯 번의 강의

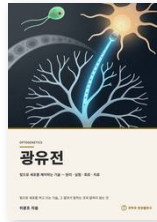
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/cupping99



세 겹의 뇌, 눈 위의 지휘자

매클린의 삼위일체 뇌와 안와전두엽 이야기

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/triune-brain



광유전

빛으로 세포를 제어하는 기술 — 원리·실험·회로·치료

42,000원 → **25,200원**
ssbook.kr/book/optogenetics

독립영양인간 (2)



이암블리코스의 피타고라스적 삶에 관하여

그리스어 원전 완역 · 테일러 판 전편 수록

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/iamblichus



홍산문화의 수행상에서 한국 선도까지

요하의 흡인형 · 우하량의 여신 · 헤명경 · 태을금 화종지 다섯 갈래를 한자리에 놓다

26,000원 → **15,600원**
ssbook.kr/book/hongsan

중고등학교 교재 (30)



대입 과학논술 01 — 유전 암호·전사·번역

대학 기술로 완성하는 분자생물학의 중심원리

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-01



대입 과학논술 03 — 멘델 유전·감수분열·가계도

분리·독립 × 감수 분열 × 확률의 곱 — 기출 22문항으로 읽는 유전

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-03



대입 과학논술 05 — 재조합 DNA·생명공학

제한 효소의 인식·절단 × 조각 길이로 위치 추론 × 재조합·판별 실험 설계

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-05



대입 과학논술 07 — 세포막·소기관·물질수송

인지질의 벽과 단백질의 문 — 물질은 기울기를 따라 흐른다

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-07



대입 과학논술 08 — 호르몬·항상성·배설

감지하고, 신호를 보내고, 되돌린다 — 혈당에서 콩팥까지 항상성

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-08



대입 과학논술 09 — 면역·백신

몸은 기억한다 — 염증 반응에서 백신과 집단 면역까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-09



대입 과학논술 10 — 세포호흡·광합성·에너지 대사

포도당 한 분자의 ATP 장부 — 미토콘드리아와 엽록체

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-10



대입 과학논술 11 — 신경계·활동전위·펌프가 기울기를 만들고, 통로가 열리고 닫히며 신호가 생긴다

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-11



대입 과학논술 12 — 생태·진화·생물 다양성

에너지는 흐르고 물질은 돈다 — 개체군에서 종 분화까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-12



대입 과학논술 13 — 원자 구조·주기성 전자 배치 × 유효 핵전하 × 이온화 에너지로 읽는 주기성

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-13



대입 과학논술 14 — 화학 결합·분자 구조·극성

원자가 전자 세기 × 전자쌍 반발 × 쌍극자 벡터 합

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-14



대입 과학논술 15 — 분자 간 힘·수소 결합·계면

극성 × 분자 간 힘의 서열 × 계면 에너지로 읽는 물질

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-15



대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자

유기 화학 · 생체 분자 · 고분자 논제 해설

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-16



대입 과학논술 17 — 화학양론·농도

몰 × 반응식 계수비 × 농도 환산으로 푸는 화학 계산

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-17



대입 과학논술 18 — 산화·환원과 산화수

산화·환원과 산화수 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-18



대입 과학논술 19 — 산·염기·pH·완충

평형(K) × 몰수 계산 × 부피 보정으로 푸는 산·염기

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-19



대입 과학논술 20 — 반응 속도

넘어야 할 언덕 — 반감기에서 촉매, 반응 메커니즘까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-20



대입 과학논술 21 — 화학 평형

평형 상수 K × 반응 지수 Q × 르샤틀리에로 읽는 화학 평형

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-21



대입 과학논술 22 — 열화학·엔탈피·자유 에너지

열화학 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

25,000원 → **15,000원**
ssbook.kr/book/nonsul-22



대입 과학논술 23 — 용액·총괄성·상평형

용액·총괄성·상평형 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-23



대입 과학논술 24 — 기체
기체 문제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-24



대입 과학논술 25 — 화학 전자·전기 분해
화학 전자·전기 분해 문제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-25



01 통합과학 화학 1 — 소금과 별
원자에서 원소의 기원·주기율표까지
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-01



02 통합과학 화학 2 — 못은 왜 녹슬까
결합에서 반응·산과 염기까지
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-02



03 통합과학 생명과학 1 — 배추는 왜 숨이 죽을까
분자에서 세포·호소·에너지까지
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-03



04 통합과학 생명과학 2 — 늑대가 돌아오자
유전 정보에서 진화·생태계까지
18,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/tonghap-04



05 통합과학 물리 1 — 미끄럼틀은 왜 따뜻해질까
원자에서 힘과 에너지까지
22,000원 → **13,200원**
ssbook.kr/book/tonghap-05



06 통합과학 물리 2 — 호박 구슬과 나침반
원자에서 전자기파까지
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/tonghap-06



07 통합과학 지구과학 1 — 구름은 왜 떨어지지 않을까
대기·기압·복사 에너지로 읽는 날씨
21,000원 → **12,600원**
ssbook.kr/book/tonghap-07



08 통합과학 지구과학 2 — 단양의 돌은 바다였다
원자에서 암석·판·지구의 역사까지
20,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/tonghap-08

채식 (5)



사상체질과 채식
이제마의 사상·권도원의 팔체질·황제내경을 영양학과 분자생물학으로 다시 읽다
21,000원 → **12,600원**
ssbook.kr/book/sasang-veg



체질과 심리신경내분비
사상·팔체질·황제내경과 Big5·MBTI를 몸의 언어로 다시 읽다
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/constitution-neuro

역사 속의 채식인

채식의 역사를 사람들의 이야기로 읽다
교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-history

채식이야기

채식에 관한 이야기
교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-story

우리 몸은 채식을 원한다

몸이 채식을 원하는 이유

교보문고 판매

ssbook.kr/book/body-wants-veg

라이프스타일 (3)



아주 쉬운 회춘의 원리

노화의 12가지 특징과 식이를 통한 회춘

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/rejuvenation



피부는 안에서 만들어진다

콜라겐·아쿠아포린·자가포식과 식물성 케톤식

18,400원 → **11,000원**

ssbook.kr/book/skin-inside

과학과 초월의 길목에서

과학과 영성이 만나는 자리

교보문고 판매

ssbook.kr/book/science-transcend

고대사 (5)



동아시아 1만 년의 기후와 땅

한반도에서 본 홀로세의 기후와 지형 변화

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/climate-ea-1



고려 서경(西京)의 위치를 추정하다 1권 방법편

여덟 가지 방법으로 동아시아 고전 지명을 좌표로 옮기기

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/seogyong-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제1권 기초편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제1~7장)

21,000원 → **12,600원**

ssbook.kr/book/geonames-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제2권 기법편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제8~16장)

24,000원 → **14,400원**

ssbook.kr/book/geonames-2



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제3권 적용편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (적용 사례)

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/geonames-3