

제 41회 과학리딩 노트 신생대 기후

(박문호 박사의 강의 요약 정리한 것입니다)

오늘은 “밀란코비치”를 만나는 날이다.

기후학은 복잡하고 복합적이다.

포유류 중 식육목이 260종이나 된다. 맹수가 존재하기 위해서는 초식동물이 있어야 한다.

대형 초식동물들이 마이오세 때 20여 종이 나타난다.

대형 초식동물들은 상록수 잎을 먹는 것이 아니라 주로 한해살이 현화식물을 먹는다.

유라시아 초원이나 남미 팜파스 초원에 있는 풀은 2천만년 전부터 번성한 C3식물들이다.

기후 변화로 식생대가 바뀐다. 열대 밀림이 사바나로 바뀌어 풀이 많아 졌다.

풀은 마이오세부터 번성한다. 7백만년경 우리의 조상들은 침팬지와 분리된다.

호미닌은 19종이 있었으나 모두 멸종하고 호모사피엔스 1종만 남았다.

호미닌은 맹수가 초식동물을 사냥하여 먹고 난 찌꺼기 고기들을 하이에나처럼 먹었다.

목숨의 위험을 무릅쓰고 항상 주위를 살피며 단백질을 섭취해야 했다.

결과로 200만년 전 경 에 두뇌가 2배로 커졌다.

2000만년 전 기후 변화가 초지 형성을 가져 왔다.

안데스 산맥은 2억년 전에 융기를 시작 했으나 급격히 올라간 것은 1천만년 전이다.

인도 대륙이 아시아 대륙과 5000만년 전에 충돌 했으나 3000만년 경 3000m 정도 융기 했다.

이후 2000만년 동안 융기가 가속되어 8000m가 넘는 히말라야 산맥이 형성 되었다.

산맥이 만들어지면 풍화가 가속된다. 사장석이 빗물에 풍화되면 이산화 탄소 1분자가 암석 속에 들어가게 된다.

그러면 대기 중 이산화탄소의 양이 줄어들게 되고, 기온이 떨어져 시원하게 된다.

시원한 기후에서 풀이 잘 자란다. 초지가 형성된다.

모든 것이 인과 관계로 엮여 있다. 가장 근본은 기후 변화이다.

자연과학적 생태계를 보는 사고의 출발점은 기후 변화이다.

기후변화는 장 주기 변화와 단 주기 변화가 있다.

장 주기 변화는 걱정하지 않아도 된다. 백 만년, 천 만년 단위이다.

인류가 기술의 진보로 대처할 수 있을 것이다.

단 주기 변화는 다른 이야기가 다르다.

오늘 강의의 핵심포인트는 “기후는 급격히 변화할 수 있다”이다. 기후는 수십 년 만에 바뀔 수 있다.

이것을 밝혀 낸 것이 현대 기후학의 가장 위대한 점이다. 수 십 년 내에 지구 기온이 6도 이상 바뀔 수 있다.

인류의 가장 위급한 문제는 기후 변화이다.

자카르타는 인구 1000만이 넘는 대 도시이지만 30년 내에 물에 잠긴다. 도시를 옮기는 공사를 하고 있다.

태평양 많은 섬들이 없어질 위기에 있다.

우리나라에서도 명태가 사라졌다. 정부가 명태 어로 금지 조치를 내렸다.

어종이 바뀌고 있으며, 과일의 북방 한계선도 계속 올라가고 있다.

1980년대 까지도 기후학자들은 빙하시대를 걱정했다.

1970-1980년 까지 전 세계 기온이 낮았다. 그래서 빙하기를 걱정했다. 빙하기와 간빙기가 교차되는데, 과학자들이 직전 간빙기가 어떤 상태였는지 잘 몰랐다. 언제 빙하기가 올지 예측이 되지 않아 걱정 했었다.

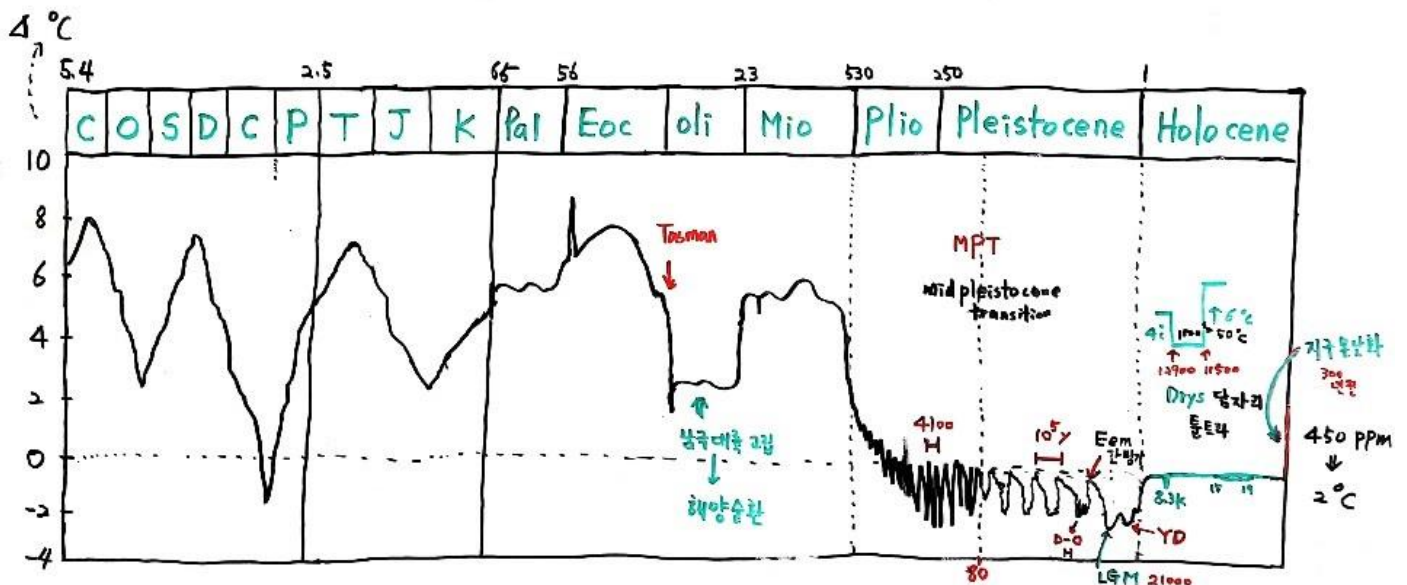
그러나 결론은 앞으로 1만년 내에 빙하기는 오지 않는다.

뜨거운 지구에 대비하여야 한다. 지구 온난화는 점점 가속되고 있다. 대기 중 이산화탄소 비율을 450PPM이하로 유지하지 못하면 2도 이상 기온이 상승할 수 있다. 평균 온도가 2도 오르면 국지적으로는 6도까지 올라갈 수 있다. 평균 온도가 6도C 오르면 적도 지방의 변동 폭은 2도 정도이지만 북반구에는 10도까지 올라갈 수 있다. 지역에 따라 지구 평균보다 큰 폭의 변화가 올 수 있다.

수십 년 내에 6도C 이상 기후가 변할 수 있다. 최근 10만년 이내에 그런 상황이 20번 이상 있었다.

장 주기 기후 변화에는 적응할 수 있다. 그러나 단주기 급격한 변화는 엄청난 피해를 불러올 수 있다.

고생대부터 현대까지 지구 온도를 과학자들이 밝혀 냈다.



공부에는 프레임이 중요하다. 반복하고 집중해야 할 것은 내용이 아니라 프레임이다.

Y축은 지금 온도를 0으로 두었을 때와 비교한 온도 편차이다.

연대는 고생대 시작이 5.4억년, 중생대 시작은 2.5억년, 신생대 시작은 65백만년이다.

신생대를 세분하면 팔레오세(65-56), 에오세(56-34), 올리고세(34-23), 마이오세(23-5.3), 플라이오세(5.3-2.5), 플레ისტ로세(2.5-11700년), 홀로세(11.700년-현재)이다.

캄브리아기는 8정도에서 시작하여 10까지 올라간다. 그리고 오르도비스기에 2까지 떨어진다.

다시 올라가 데본기에 7정도까지 올라 갔다가 석탄기 말에 -2까지 떨어진다. 지구 남극에 대 빙하가 형성된다.

다시 페름기 말에 급격히 올라간다. 중생대 초는 고생대 기후의 연장 선상이다. 트라이아스기 초기에 계속 상승하여 7정도까지 간다. 그리고 하강하여 쥐라기 말에는 2까지 떨어진다. 백악기 초에 상승을 시작하여 4정도에서 신생대로 접어든다.

신생대 팔레오세에 6정도에서 2개의 범프가 있고 팔레오세 말과 에오세 초에 (55.9백만년) 그 유명한 PETM(paleo- Eocene thermal maximum)이 일어난다. 노르웨이 부근 바다 밑에 있던 메탄가스가 마그마 작용에 의해 분출한 것이다. 10만년 정도 지나 회복하고 에오세 동안 온도는 계속 상승한다.

인도판과 아시아 판의 충돌에 의해 테티스해 해양판이 아시아 판 밑으로 섭입된다. 해양 판 위에 있던 1km 이상의 유기물 퇴적층이 용해 되면서 대 규모의 이산화 탄소를 배출하였다.

에오세 후기부터 온도는 급격히 하강한다. 에오세에 기온이 떨어지는 이유는 해양지각의 생성 비율이 감소하고, 풍화로 인해 이산화 탄소의 양이 줄어 들었기 때문이다.

기후학의 변수는 복잡적이다. 팩터가 많고 그 팩터들 간에 상호 작용이 많아서 비 선형적이다.

Phase transition이 일어나 복잡하게 된다.

올해 내린 눈이 다음 해 여름 다 녹지 않고 남으면 빙하가 된다. 빙하가 되려면 대륙이 있어야 한다.

북위 65도 지역에 대륙이 없으면 빙하가 생기지 않는다.

10만년 주기로 이심율이 바뀐다. 공전 궤도가 완전히 원형이면 이심율이 제로이다. 지구의 이심율은 0-0.05 사이이다.

밀란코비치는 하지 때 북위 65도의 일사량을 30년 이상 손으로 계산했다. 그래서 10만년 주기설을 주장했다.

발표 당시에는 기상학자들 사이에 잘 믿지 않았다. 그리고 그는 사망했다.

그러나 그는 인도양 바다 밑에서 다시 부활했다.

인도양 해저에서 시추한 60만년간의 코어를 통계 분석한 결과 10년 주기설이 맞은 것으로 밝혀 졌다.

크리슈나무르티가 “우리가 하는 어떤 행위도 우주 끝까지 영원히 흔적을 남길 것이다” 라고 했다.

그 말이 그대로 적용된다. 천문학적 사건이 인도양, 태평양 바닥에 그대로 남아 있었던 것이다.

밀란코비치의 핵심 내용은 10만년 주기설이다.

실제로 이심율의 변화가 일사량에 미치는 영향이 0.2%에 불과한 것으로 판명 되었다.

그러나 그 작은 변화가 트리거가 되어 거대한 시스템이 바뀌었다. 기후는 간단하지 않고 비 선형적이다.

여러 가지 변수들이 서로 상호 작용하는 과정에서 시드(seed)가 작아도 전체 phase를 바꿀 수 있다는 것이 비 선형 이론이다. 기후에 대하여는 함부로 이야기 하면 안 된다. 5개 정도의 변수를 5억년 이상 추적해야 한다.

성인병 진단과도 비슷하다. 유전자, 식생활, 연령, 운동 등 여러 가지 요인이 복합적이다.

에오세 후반에 기온이 뚝 떨어진다. 올리고세에 접어드는 시점에 약간의 범프가 생기고,

올리고세에 들어오면 2까지 수직으로 급격히 떨어진다. 호주와 남극이 분리되어 타스만 해가 열렸기 때문이다.

올리고세에 낮은 기온이 유지되다가 올리고세 말에 상승한다.

마이오세는 중간에 범프가 있고 말에 급격히 온도가 떨어진다.

플라이오세에 들어오면 놀라운 일이 벌어진다. 온도의 형태가 완전히 달라진다.

플레이스토세 중간인 100만년 전 경에 놀라운 패턴이 나타난다.

밀란코비치의 10만년 주기이다. 대략 6개 주기가 진행된다. 그래프가 톱니처럼 비대칭이다.

빙하가 생성되는 데는 8만년이 걸리고 녹는 데는 4천년이 걸린다.

12,900년전에 다시 빙하가 생긴다. YD(younger dryas)사건이다.

홀로세에 들어 와서는 온도의 변화가 거의 없다. 최근 100년사이에는 1도도 바뀌지 않았다.

지구 역사5억년 동안 이렇게 독특하고 평탄한 기온은 없었다. 그래서 우리가 문화를 이루고 살고 있다.

8300년 전에 온도가 살짝 떨어진 적이 있고 15세기에서 19세기까지 중세 소 빙하기는 있었다.

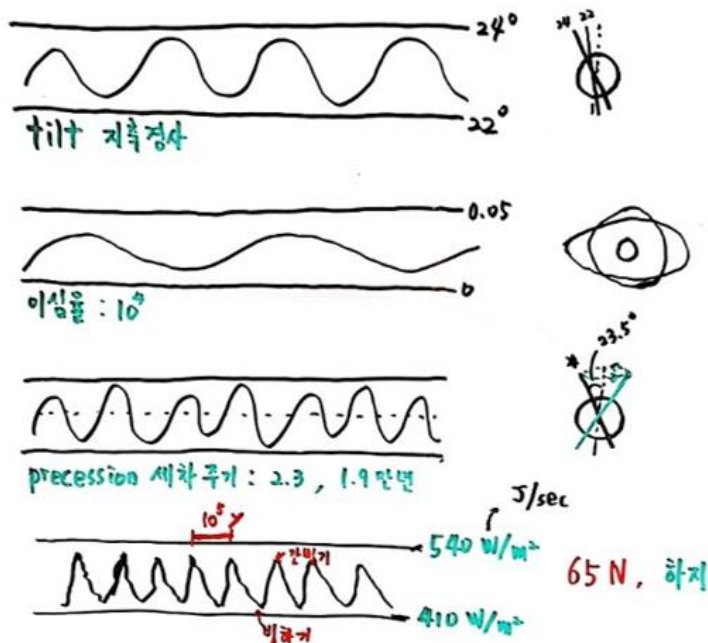
그러나 지금 인류가 당면한 문제는 휴먼 팩터에 의한 이산화탄소 농도의 급격한 상승이다.

산업혁명 이후 석탄을 파내어 사용한 결과이다. 앞으로 몇 년 후에 얼마까지 올라갈지 모른다.

도표에서 MPT(mid Pleistocene transition)는 기후 주기의 반복 주기가 바뀌는 지점이다.

신생대 250만년 경부터 밀란코비치 주기가 적용된다. 그 이전에는 적용되지 않는다.

250만년부터 MPT까지는 주기가 4.1만년 이었고 MPT(80만년 경)부터는 주기가 10만년이다.



지축의 기울기는 tilt이다. 22도-24도 사이를 오간다.

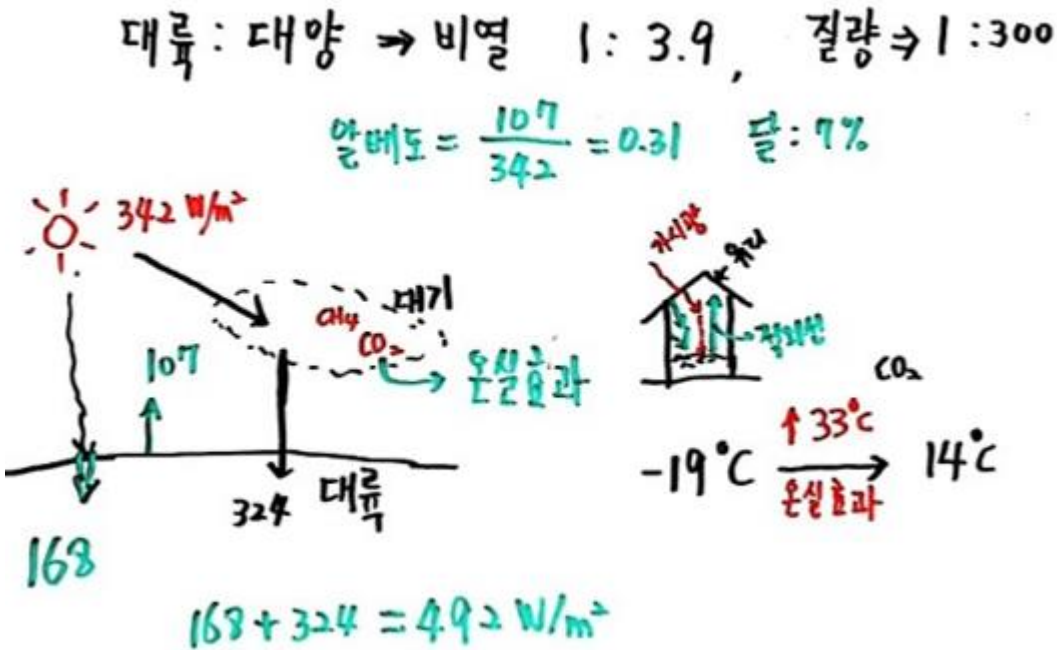
이심률(eccentricity)은 0에서 0.05 사이이며 주기는 10만년이다.

세차운동(precession) 주기는 2.3만년과 1.9만년 2가지가 있다.

지금은 북극점이 북극성을 가리키지만 1만년 후면 베가성을 가르키게 된다.

이 세가지 요인을 종합하여 작성한 값의 주기가 10만 년이었다.

하지(Summer solstice)에 북위 65도 지구에서 받는 일사량은 간빙기 때는 540w/m^2 이지만 빙하기 때는 410w/m^2 이다.



기후를 결정하는 것은 80%가 바다이다. 비열이 기후를 결정한다

그런데 바다와 육지의 비열이 다르다. 대륙과 대양의 비열은 1:3.9이다.

지구 전체 공기의 질량과 바다물의 질량비는 1:300이다.

기후에 미치는 영향력이 바다가 공기보다 1000배 이상이다.

바닷물 0.01도c 올리는 열량으로 공기를 데우면 10도c 올라간다.

그동안 바다가 충격을 안고 있었다. 지구 표면적의 70%가 바다이다.

육지의 평균 해발고도는 800m인데 반해 바다의 평균 수심은 3,800m이다.

태양 에너지가 모든 기후 변화의 시작이다. 태양 에너지의 1/20억이 지구에 도달한다.

태양으로부터 지구 표면에 오는 태양열은 342w/m^2 인데 그 중 지구의 지표면이 흡수하는 태양열은 168w/m^2 이고 반사되는 에너지는 107w/m^2 이다. 그래서 지구의 알베도(Albedo)는 $107/342 = 0.31$ 이다.

금성의 알베도는 0.76, 달은 0.07이다.

태양열은 지구 대기에 흡수된다. 대기에서 온실효과로 지구 표면으로 주는 열이 324w/m^2 이다.

지구 전체가 받는 열량은 492w/m^2 을 받는다. 540w/m^2 과 410w/m^2 사이에 있다.

온실효과의 주인공은 수증기, 이산화탄소와 메탄가스, 그리고 오존이다.

온실효과가 생기는 이유는 태양에서 오는 짧은 파장의 가시광선은 수증기 및 대기를 통과하지만 지구 복사열에서 나오는 파장이 큰 적외선은 통과하지 못하고 갇히기 때문이다.

만약 온실효과가 없으면 지구의 온도는 어떻게 될까? 현재 지구의 평균 온도는 14도c이지만 온실효과가 없으면 -19도c가 된다. 온실효과로 33도c를 올리고 있는 것이다.

이산화탄소 농도를 450ppm이하로 유지해야 한다. 기온 상승을 2도c 이하로 하는 것을 목표로 하고 있다.
이미 서울은 400ppm을 넘었다.

북반구 빙하가 마지막 녹은 년도가 7000년 전이다.

지금은 홀로세 간빙기 인데 가장 최근의 간빙기를 Eimian 간빙기라 한다.

간빙기 안에 20여개의 단주기가 있는 것을 발견하였다. 하인리히 주기와 D-O(단스가르-웨슈거) 주기이다.

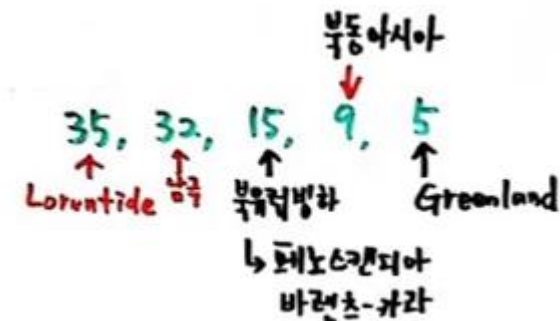
이 단주기를 밝히는 과정에서 수십년 사이에 5-6도까지 온도가 변할 수 있다는 것을 알게 되었다.

또한 YD(younger dryas) 를 밝히는 과정에서 더욱 확실해 졌다.

YD는 홀로세 간빙기로 진행하는 중에 겪은 갑작스런 빙하기이다. 12,900년부터 11,500년 사이의 일이다.

온도가 4도C 떨어져 1500여년 계속되다가 올라갈 때는 50년 만에 6도c가 올라갔다.

dryas는 툰드라 지방에 피는 “담자리”라는 꽃 이름이다.



LGM(last glacial maximum) 은 21,000년 전이다.

당시 빙하의 구성은 로렌타이드 35%, 남극 32%, 북유럽(페노 스칸디아, 바렌츠 카라) 15%, 북동아시아(시베리아, 몽골, 한반도 북부) 9%, 그린란드 5%였다.

로렌타이드는 캐나다와 미국 워싱턴 DC까지 두께 3km 빙하가 덮여 있었다.

영국도 1만년 전까지 빙하로 덮여 있었다.

우리나라에서도 해발 900m부근의 고위 평탄면(역새 고지)은 빙하의 흔적이다.

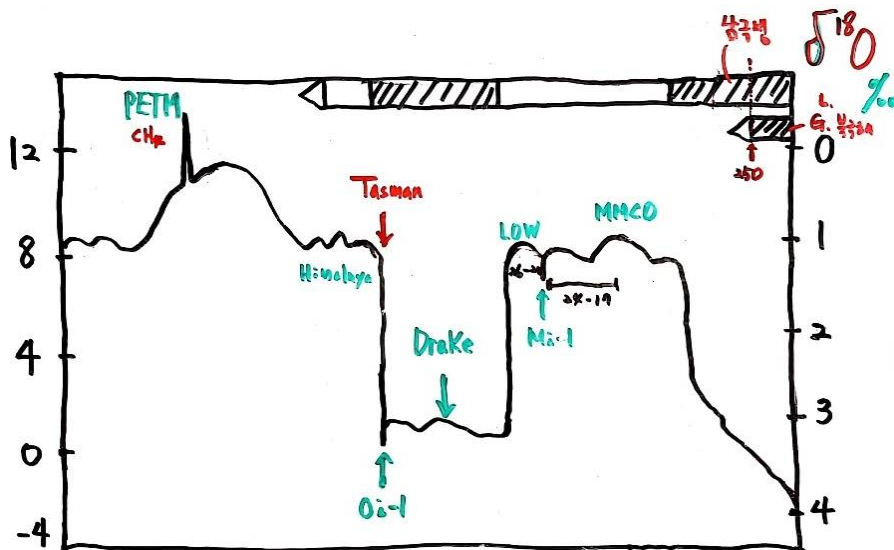
그리고 밀양 얼음굴 같은 느덜길(돌이 많이 깔린 비탈 길)도 빙하의 흔적이다.

또한 한반도에 빙하가 만든 토양도 나온다.

지금 지구 표면을 이해하기 위해서는 빙하를 알아야 한다.

대륙이동, 기후학, 토양학, 식생대 등을 바탕으로 역사학과 인문학이 꽃을 피워야 한다.

두 번째 도표는 신생대 부분을 다시 그린다.



기준 축만 조금 다르다.

오른 쪽 세로축은 산소 18번 동위 원소 비율이다. 단위는 ppm이다.

PETM은 팔레오세와 에오세 사이에 해저 지층에 매몰 되었던 메탄가스(CH₄)의 분출에 의해서 발생한 급격한 온도 상승 사건이다. 수 천년 사이에 10도이상의 기온이 올라 갔다. 원상으로 회복하는데 10만년 정도 걸렸다. 에오세 말에 히말라야 산맥의 융기가 시작한다. 이 시점에 남극에 빙하가 형성된다. 남극은 한반도 면적의 62배이다.

올리고세 초에 남극과 호주대륙 사이의 타스만 해가 열린다.

올리고세 중엽에 남미와 남극대륙 사이의 드레이크 해협이 열린다.

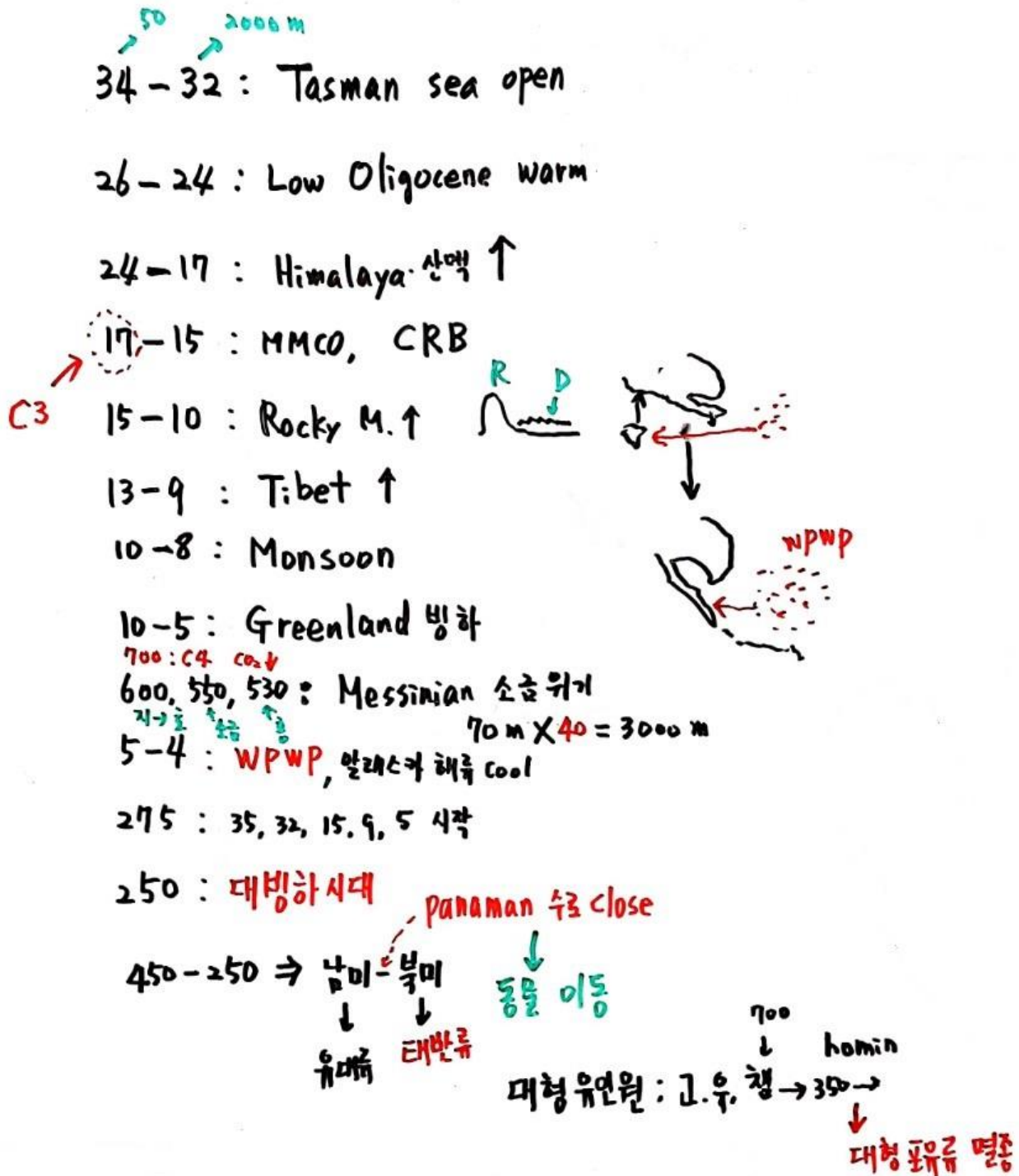
타스만 해협이 열리던 시기를 해양학자들은 Oi 1(Oligocene isotope 1)이라고 한다. 같은 형태로 마이오세 초에도 Mi 1이 있다.

올리고세에는 남극대륙 전체가 빙하에 덮였다가 마이오세는 부분적으로 녹는다.

그리고 플라이오세가 시작되는 250만년전에는 지구가 급격히 온도가 떨어져 다시 남극 전체가 빙하에 덮이고, 북극과 북미, 북유럽 그린란드 등지로 빙하가 확대되는 대 빙하 시대가 된다..

LOW는 late oligocene warm이고, MMCO는 mid Miocene climate optimum이다.

신생대 주요 지질학적 사건이다.



(단위:백만년)

34-32: 타스만 해의 오픈이다.

3천 4백만년 전에는 타스만 해의 깊이가 50m였다가 2천3백만년에는 2000m가 되었다

남극 대륙의 고립으로 전 지구적 해류 순환이 시작 되었다.

이것이 신생대 대 빙하시기를 가속시킨 출발점이 되었다.

26-24: Late Oligocene Warm

24-17: Himalaya 산맥 융기 가속

17-15: MMCO, CRB(Columbia river basalt), C3 식물의 확산

15-10: Rocky 산맥 재 융기, 미 중부 사막화(death valley 외)

13-9: Tibet 고원 융기

10-8: Monsoon 기후 강화, 편잡 지방 벼농사

10-5: Greenland 빙하 시작,

700: C4 식물의 확산. C4식물은 건조하고 이산화탄소 농도가 극단적으로 낮을 때 나타난다.

옥수수가 C4 식물이다.

600, 550, 530: Messinian salinity crisis

600년: 지중해가 close되어 호수가 되었다., 지중해가 모두 증발하는 데는 1000년이 걸린다.

한번 증발하면 소금이 70m 쌓인다. 40회 증발했다. 소금 두께가 3km가 된다,

소금과 함께 석고 지층이 생긴다.

550: 그래서 지중해가 소금 발이 되었다.

530: 다시 대서양과 연결되면서 대 홍수가 생겼다.

5-4: WPWP(west pacific warm pool),

서(西) 태평양 뜨거운 바닷물이 인도양을 거쳐 아프리카 동부까지 갔으나

인도판과 아시아 판 충돌 여파로 인도차이나 반도가 남쪽으로 방향을 틀면서 그 물길이 막히게 된 사건.

그 여파로 아프리카 동부지역 밀림이 사바나로 바뀌게 되었다. 인류가 침팬지와 분리되는 시기이다.

알래스카 해류가 cool 된다. 시베리아 빙하가 시작된다.

450-250: panama sea way close

great American exchange 남미 유대류와 북미 태반류의 대 교류,

북미로 올라간 유대류 중에는 주머니 쥐 한 종류 살아 남았다.

남미로 내려간 태반류 중에는 늑대, 여우, 개 등이 번성했다.

대형 유인원의 출현: 오랑우탄, 고릴라, 침팬지(700만년 경)

호미닌의 출현: 500-350만년 경 인류가 침팬지에서 분리

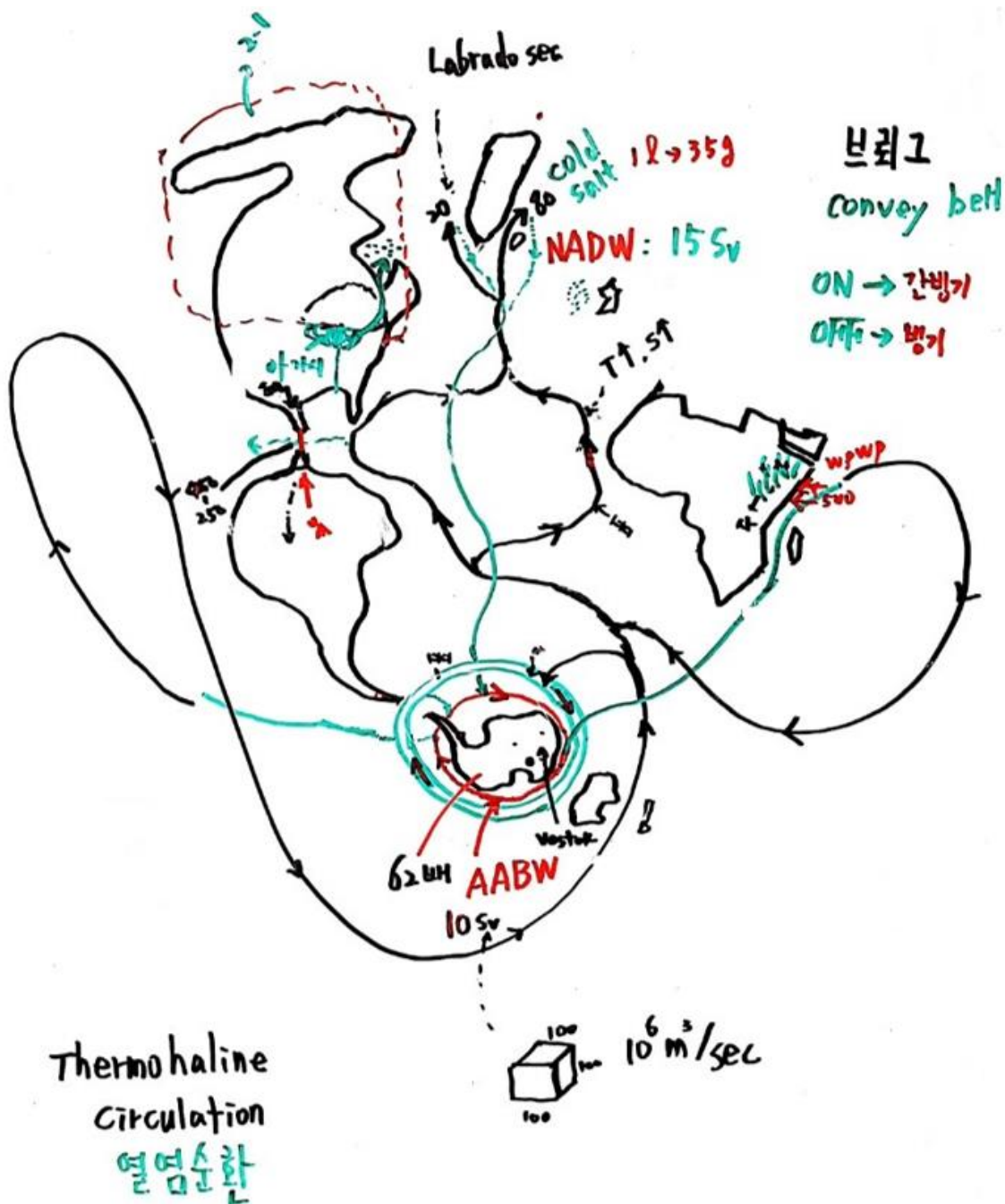
호미닌의 출현으로 대형 포유류의 급감

275: 빙하시대에 접어든다.

로렌타이드 빙하 35%, 남극 빙하 32%, 북 유럽 빙하 15%, 동북아시아 빙하 9%, 그린랜드 빙하 5%

250: 대 빙하 시대 시작

지금 현재의 빙하는 남극 86%, 그린랜드 13%이다.



세계지도를 그려야 한다.

기후학에서는 그린랜드가 중요하다. 면적이 한반도의 11배이다.

호주의 경도가 한반도와 비슷하다. 시차가 1시간 밖에 되지 않는다.

남극과 호주 사이가 타스만 해이고, 남미와 남극 사이가 드레이크 해 이다.

남극이 분리되자 남극 주극류가 생겼다. 주극류가 도는 방향을 알아야 한다. 남극 대륙을 오른쪽으로 돈다.

일사량이 적으므로 바다가 차가워 진다. 차가워진 바닷물이 수직으로 3000m까지 하강한다.

차가워진 바닷물이 남극대륙을 회전한다. 이 것을 AABW(antarctic bottom water)라고 한다.

회전하는 물의 양이 10 SV(Sverdrup)이다. 1 SV는 10⁶m³/sec이다. 10 SV는 아마존 강의 1000배에 해당하는

수량이다. AABW는 남극을 바다 밑에서 회전 하다가 일부는 태평양으로 진입한다. 태평양을 거치면서 더워지면 표층수로 변한다. 그 표층수가 남극 쪽으로 다시 회귀한다.

또 한 갈래는 아프리카와 마다가스카라 섬 사이를 지나 인도양으로 진입하고, 마찬가지로 표층수로 변하여 남극 위에서 태평양에서 오는 표층수와 만나 대서양으로 진입한다.
대서양에서는 적도 부근을 지나면서 염분이 많은 뜨거운 물로 변한다.
그래서 대서양이 태평양보다 염분이 높다.

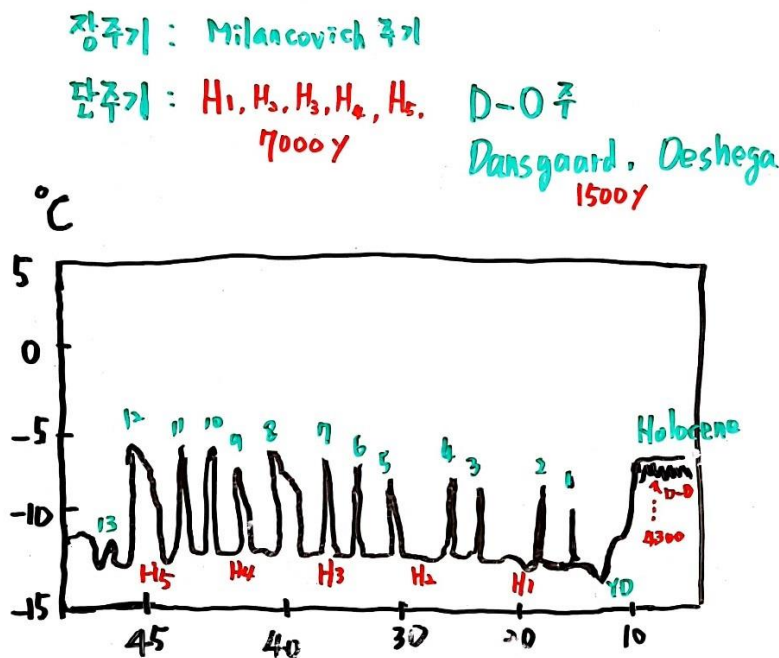
그린란드와 아이스랜드 부근에서 차가워지면서 염분이 높고 찬 바닷물로 변한다,
바닷물 1리터에 35g의 소금이 들어 있다. 소금이 많을수록 바닷물의 밀도가 높아진다.
온도가 낮으면 밀도가 높아진다. 염분과 온도 중 염분이 10배 더 강하다.

80%의 물은 그린란드에서, 20%는 라브라도 해에서 3000m 수직 낙하하여 심층수가 된다.
이 심층수를 NADW(north atlantic deep water)라고 하며 수량은 15SV이다.
NADW는 남하하여 남극의 AABW와 합해진다.
이 흐름이 남극이 분리되는 올리고세에 생긴다. 커다란 해양 컨베어 벨트가 형성된다.
Thermohaline circulation(열염순환)이라 한다. 이 해류 순환을 브뢰거가 밝혀 냈다.

극점에 대륙이 있으면 빙하가 생긴다. 북극점에는 대륙이 없으므로 빙하가 생기지 않는다.
바다는 영하 2도 이상 내려가야 얼음이 언다. 바다에 얼음이 얼어도 대륙이 없으면 바람에 의해 밀려간다.
그러면 녹아버린다. 그래서 북극점과 가장 가까운 그린란드에 빙하가 생긴다.

(오후 강의)

기후학은 도표가 중요하다. 도표만 그리면 내용은 채울 수 있다. 도표를 그리는 훈련을 해야 한다.



단기 변화를 이해할 수 있는 도표이다. 4만 5천년부터 현재까지의 기록이다.

기후의 장주기는 밀란코비치주기이고

단주기는 하인리히 주기(heinrich event)와 다스가르드-웨슈거(D-O: Dansgaard-Oeschger) 주기가 있다.

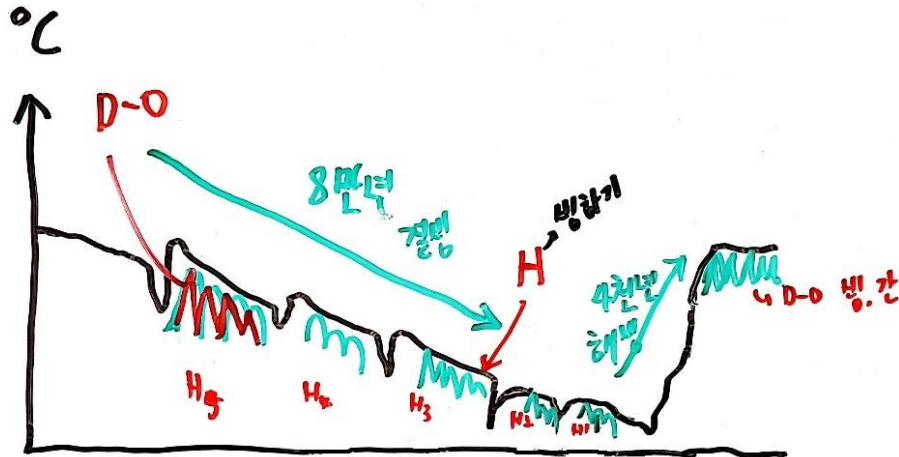
하인리히 주기는 7000년이고 D-O주기는 1500년이다.

하인리히 주기가 5개 발견되었고, D-O 주기는 20여개 발견 되었다.

기후는 50년 사이에 5-6도C 바뀔 수 있다. 이론이 아니라 측정에서 나온 것이다.

홀로세는 간빙기이다. 그 앞은 빙하기이다. 기후 변화는 빙하기에 더 급격하게 일어난다.

빙하기와 홀로세 간빙기 사이에 있는 것이 YD(younger dryas)이다.

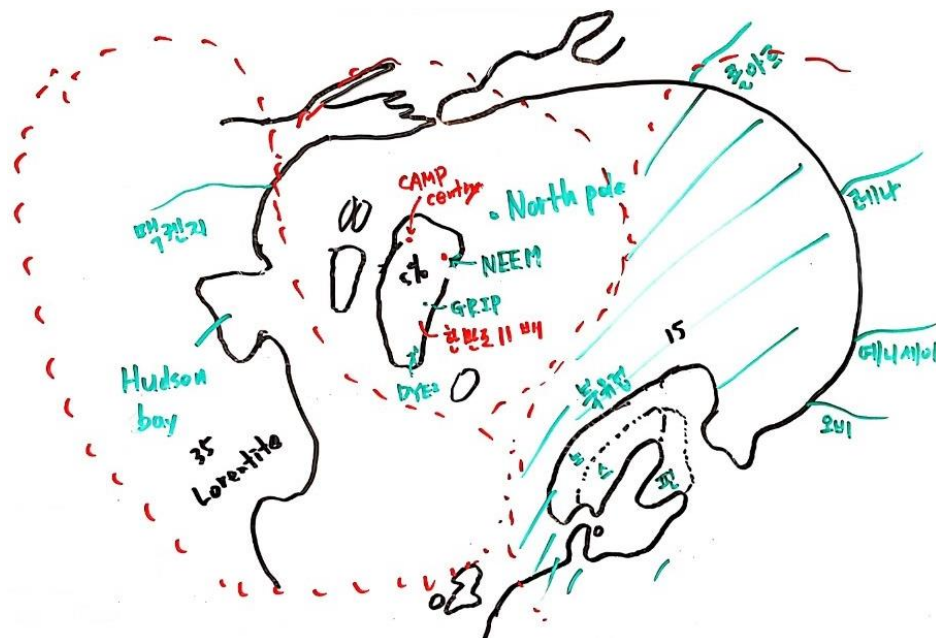


세로 축은 온도이다.

하인리히 주기 안에 5-6개의 D-O 주기가 들어 있다. 빙하기 결빙되는 기간은 8만년 걸렸다.

빙하기 해빙되는 데는 4천년 걸렸다.

북극해를 알아야 한다.



북극해로 들어가는 강이 5개이다

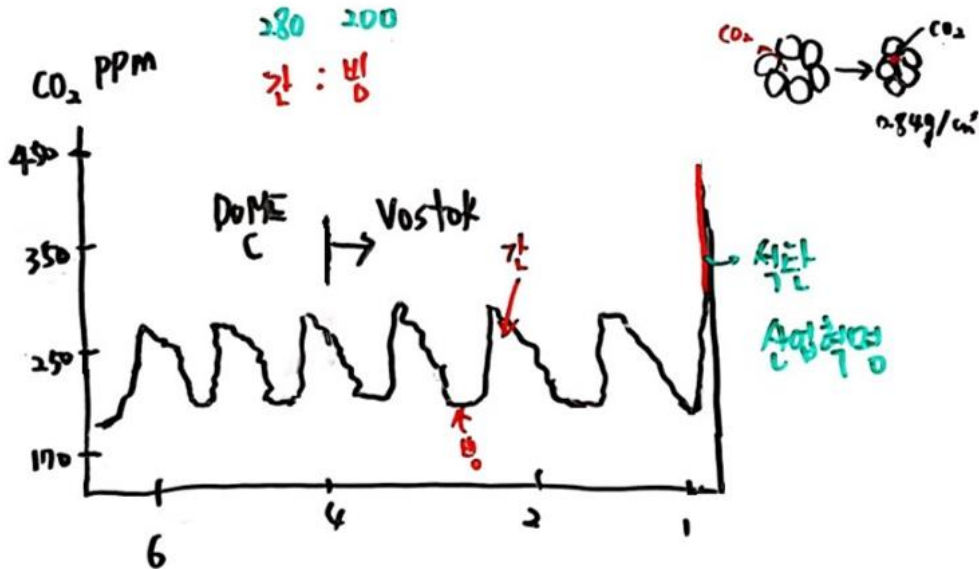
시베리아 쪽에서 북해로 흐르는 오비강, 예니세이강, 레나강, 콜마르 강이 있고, 알래스카에서는 맥캔지 강이

있다. 북극점(north pole)은 바다에 있다.

그린란드 안에 CAMP centry 기지가 있었다. 이곳에서 시추한 얼음 코아를 코펜하겐 교수였던 단스가르드가 연구하였다.

그린란드에서는 눈이 빙하로 바뀌는데 130년이 걸리고, 남극에서는 3,000년 걸린다.

눈이 빙하로 바뀌려면 $0.83g/cm^3$ 이 되어야 한다.



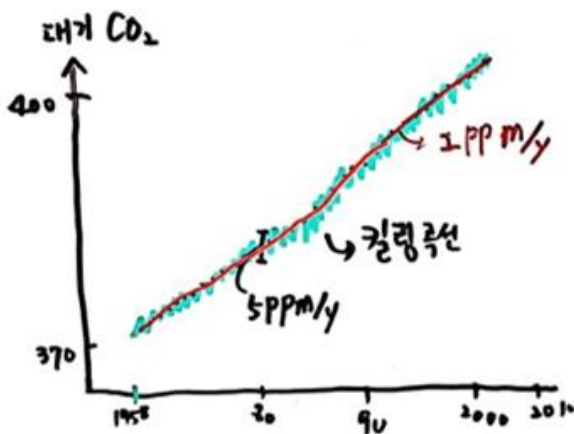
그러면 그 속에 있던 공기도 빠져 나오지 못하고 갇히게 된다

남극 빙하 속 이산화 탄소를 조사 하였더니 이산화 탄소 농도가 그림처럼 나왔다.

Dome C와 Vostok 2군데 코아를 조사 했더니 딱 맞아 졌고, 10만년 주기를 나타내었다.

그래프의 모양이 톱니 형태로 온도와 이산화탄소 농도의 그래프 모양이 일치하는 것을 발견하였다.

간빙기의 이산화탄소 농도가 200ppm이고 빙하기의 이산화탄소 농도는 280ppm이었다.



세 번째로 이 퍼즐을 맞춘 사람이 킬링이다.

해발 4000m가 넘는 하와이 나우나로아 산에서 1958년부터 이산화탄소 농도를 측정하였다.

여기서 나온 곡선을 keeling curve 라고 한다.

측정을 시작할 때는 350ppm 전후였는데 지금 이산화 탄소 농도는 400ppm이 넘었다.

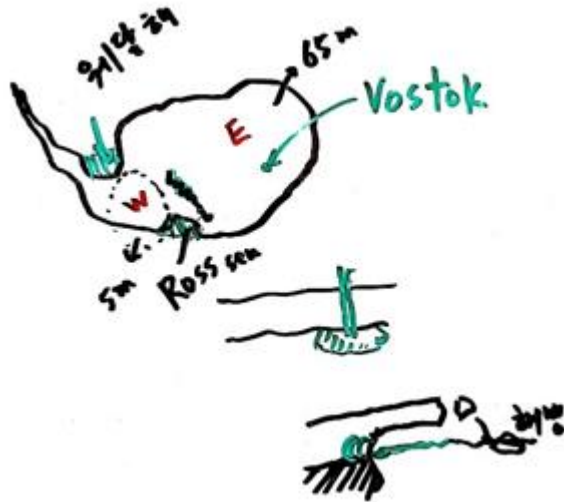
1년의 편차는 5ppm/year이다. 이산화 탄소가 매년 1-2ppm씩 매년 증가하고 있다.

이 keeling 곡선을 남극 빙하에서 측정한 이산화 탄소 농도 그래프와 연결하였더니 꼭 맞게 연결되었다.

이것이 300년 전 산업혁명 이후 석탄 사용으로 인한 휴먼 팩터이다.

이산화탄소 농도 증가는 석탄이 주범이다.

남극을 다시 그린다.



보스톡 기지 밑에 호수가 있다. 얼음 밑 약 3000m에 있다. 남극 빙하가 3000만년부터 시작 되었으므로 지난 3000만년 동안 외부와 차단된 공간이다. 그래서 우주 생물연구의 주요한 사이트가 되고 있다.

서(west) 남극 빙하가 녹으면 지구 해수면이 5m 상승한다. 동(east) 남극 빙하가 모두 녹으면 지구 해수면이 65m 상승한다.

LGM 때에는 로렌타이드 빙하가 남극 빙하보다 컸었다. 워싱턴DC까지 빙하가 덮였다.

빙하 두께가 3km정도 되었다. 빙하가 녹기 시작하면서 녹은 물이 아가시 호를 만들었다. 크기가 한반도 면적의 2배였고 그 흔적이 오대호이다. 아가시호 물이 허드슨 만으로 흘러 들었다.

빙하가 녹으면서 해빙도 많이 발생하여 3년만에 북 대서양을 가득 채웠다.

아가시호 물과 해빙이 녹으면서 생긴 다량의 담수가 북대서양으로 흘러 들어 컨베어 벨트가 끊어 졌다.

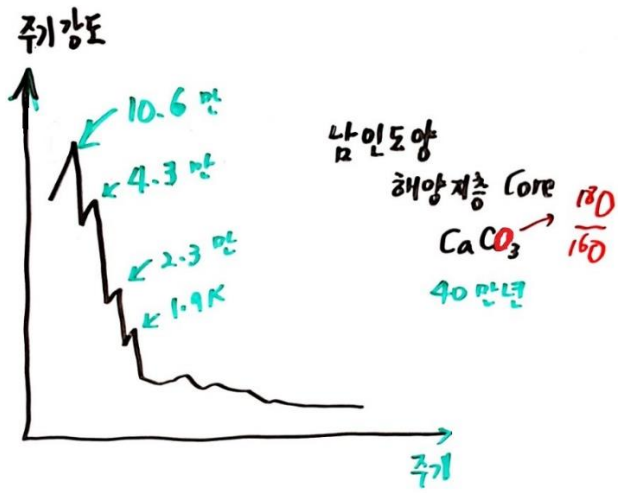
그래서 빙하기로 접어 들었고 그것이 younger dryas이다.

해빙이 녹아 떨어진 암석이 주기적으로 쌓인 현상이 하인리히 주기이다.

그것이 7000년 단위로 5번 일어난 것을 알게 되었다.

북 대서양에 민물이 많아져서 컨베어 벨트가 끊어지면(OFF) 빙기가 되고, 컨베어 벨트가 연결(ON)되면 간빙기가 된다.

D-O 주기는 간빙기 때나 빙하기 때 모두 일어나지만 하인리히 주기는 빙하기에만 일어난다.



밀란코비치 이론

대양 바닥에서 소생

밀란코비치 주기를 처음에는 잘 믿지 못했으나 남 인도양 해양 지층을 시추한 해양 코아의 탄산 칼슘에서 추출한 산소의 18번 동위 원소비율을 분석한 결과 놀라운 사실을 발견했다.

40년간의 자료를 분석했더니 주기적 패턴이 발견되었다.

그 패턴이 놀랍게도 밀란코비치의 주기와 정확하게 일치하였다.

그래서 밀란코비치 이론이 대양 바닥에서 소생하였다.

이상이 신생대 기후 프레임이다..

6개 도표를 하나도 빠짐 없이 암기하기 바란다.

수고 하셨습니다.