

地质时期气候变化与温室气体

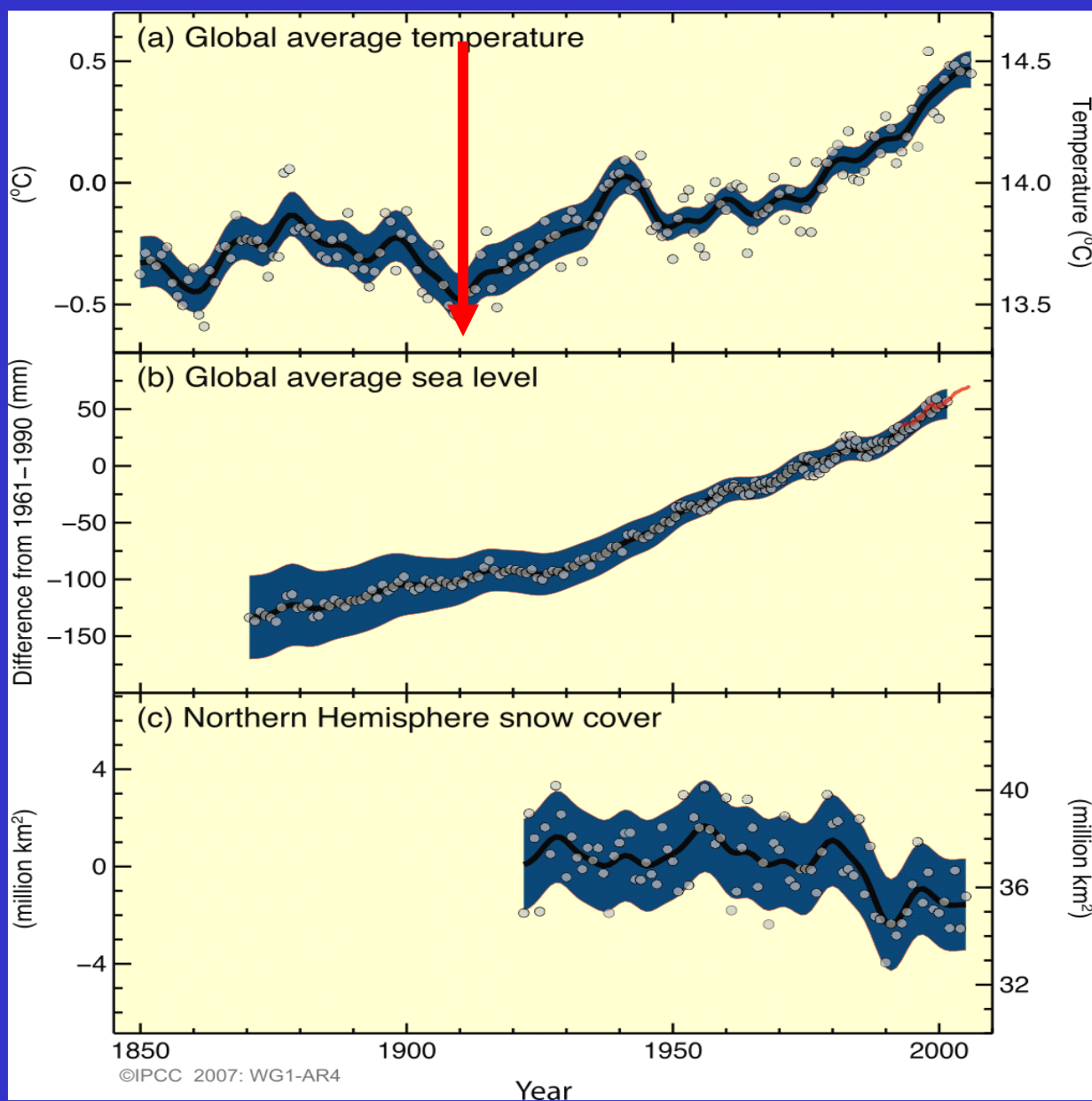
丁仲礼

(中国科学院)

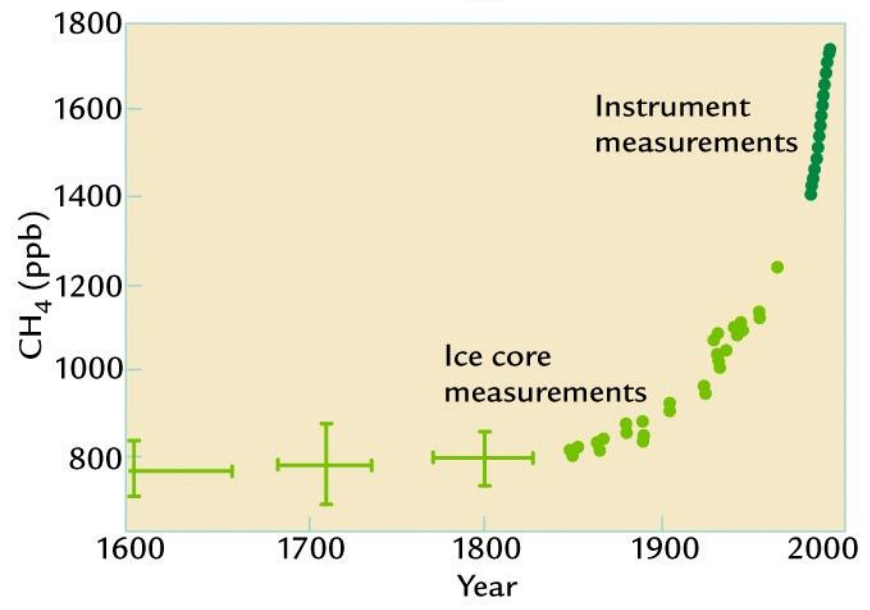
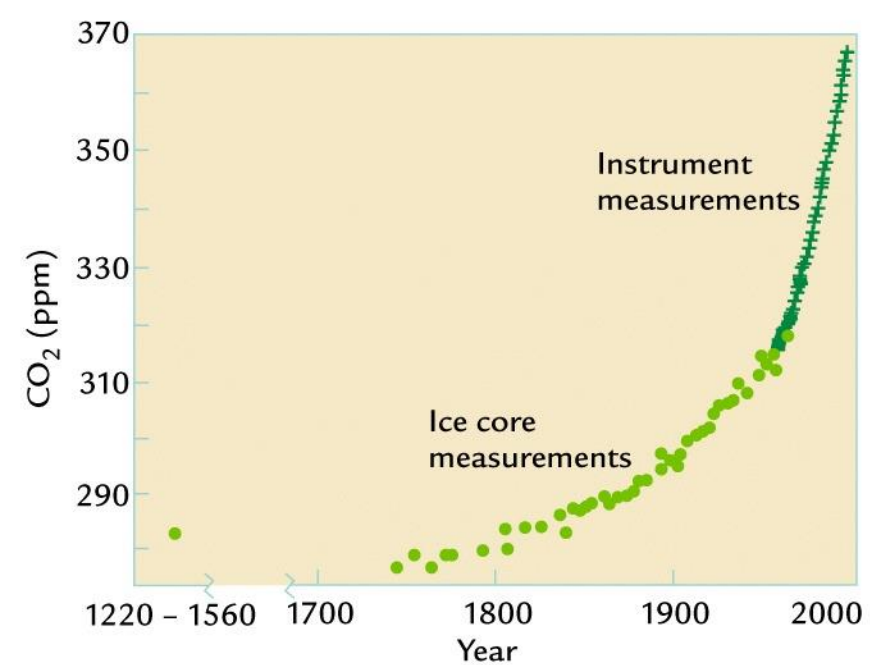
目前国际上流行的全球气候变暖理论由三个环节组成：

- (1) 大气CO₂当量浓度从280ppmv上升一倍后，全球气温将上升2—3℃（目前全球平均气温为15℃）；
- (2) 若全球平均气温上升2℃，将给人类带来灾难性后果，表现为海面上升、物种灭绝、极端气候增加、热带传染病北上、粮食短缺、地区冲突增加等；
- (3) 世界各主要国家必须减排，完成2050年将大气CO₂浓度(当量)控制在450-500ppmv的目标。

这个理论的核心基础是气温对CO₂浓度的高度敏感性，最终目的是控制人为排放CO₂，减少化石能源的使用量。

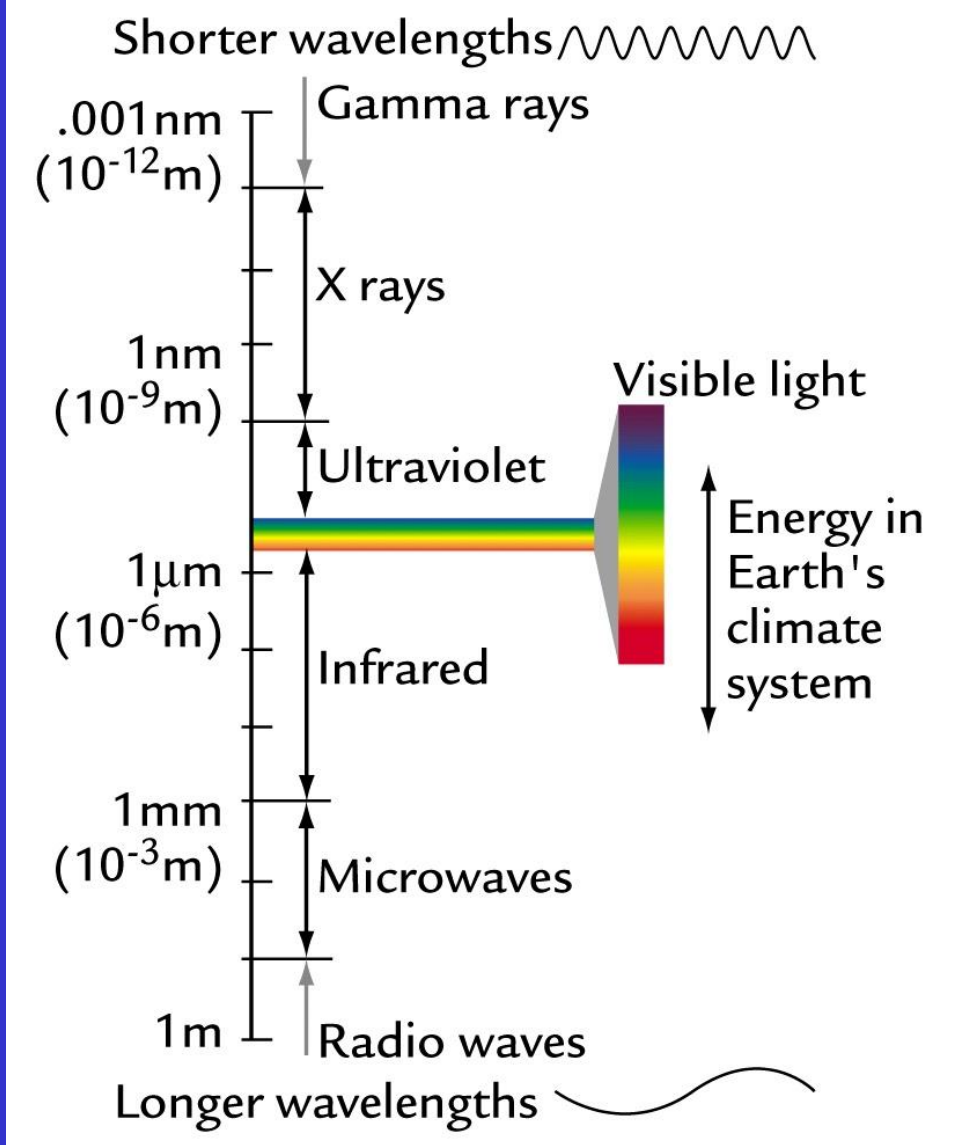


百年来，~0.8度增温



工业革命前：
CO₂: 280ppmv
CH₄: 800ppbv
目前分别为：
CO₂: ~400ppmv
CH₄: ~1800ppbv

冰芯气体与器测气体的结合



地球的能量来自于太阳辐射，在其他因素（如大气环流、海陆构型等）不变的情况下，二氧化碳浓度是全球平均气温的最重要因素

电磁波波长

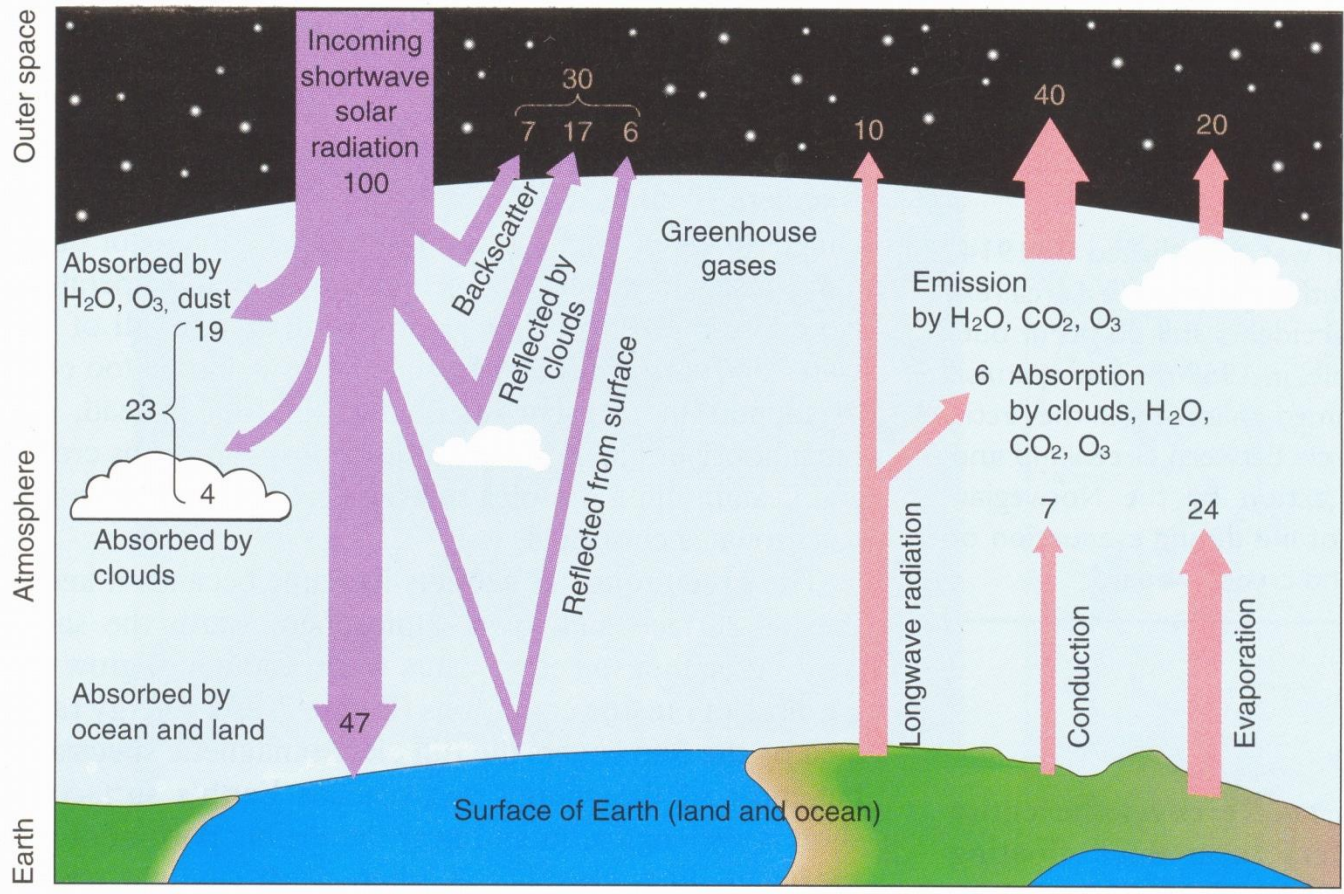


Figure 7-24 Earth's heat budget.

短波辐射进来，长波辐射出去

1 Much of the incoming, short-wavelength, solar radiation penetrates the atmosphere and heats Earth's surface.

3 Greenhouse gases (including CO_2) absorb outgoing, long-wavelength radiation and reradiate some of this energy earthward, thus trapping heat in the lower atmosphere.

ATMOSPHERE

2 Earth's surface emits long wavelength radiation skyward.

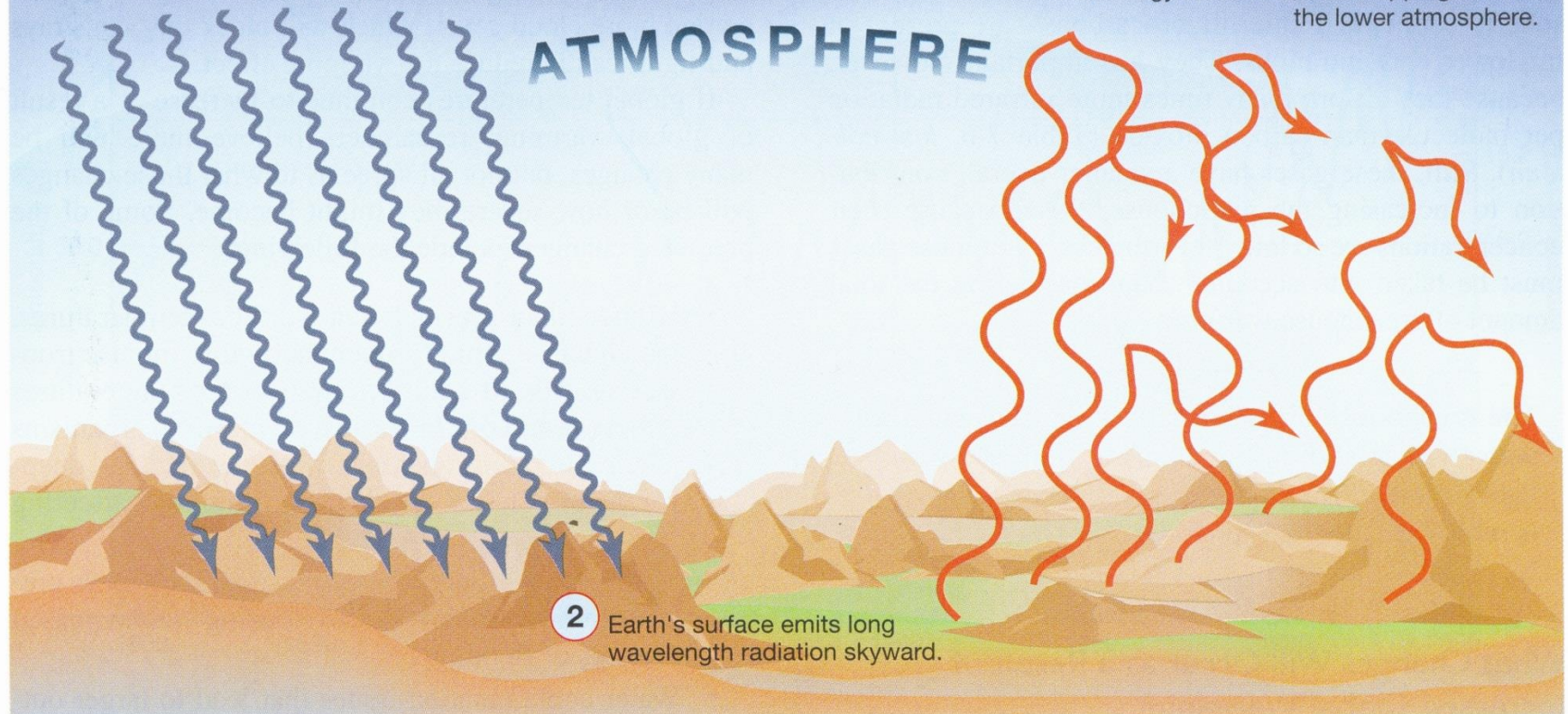


Figure 7-26 The heating of Earth's atmosphere.

Most of the solar radiation that is not reflected back to space passes through the atmosphere and is absorbed at Earth's surface (1). Earth's surface, in turn, emits longer wavelength infrared (heat) radiation (2). A portion of this energy is absorbed by certain gases in the atmosphere and reradiated back to Earth, thus trapping heat and warming Earth (3).

温室效应示意图

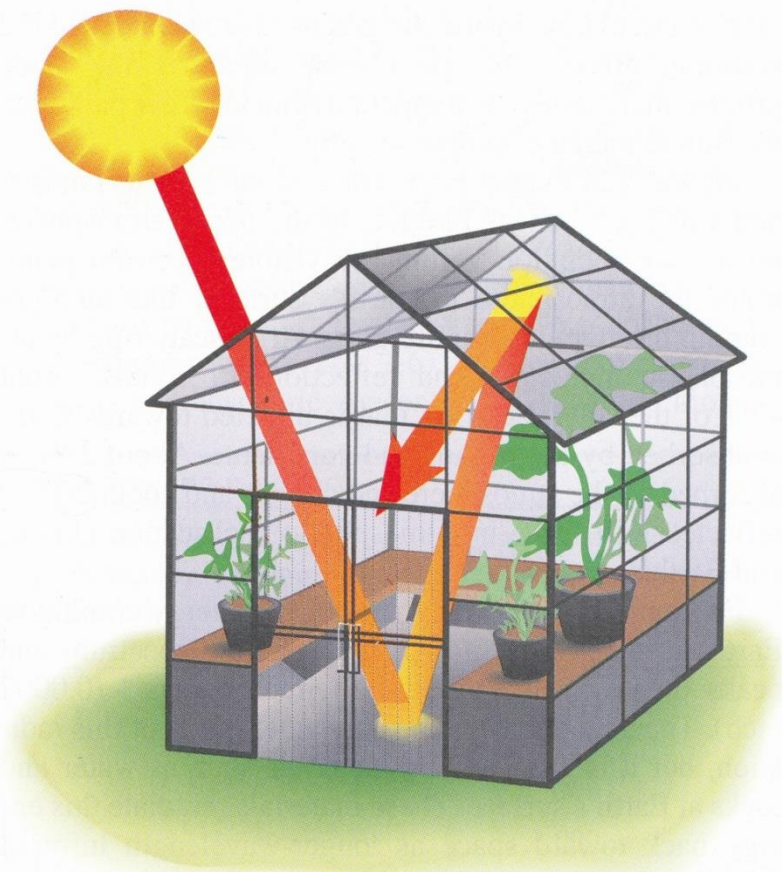
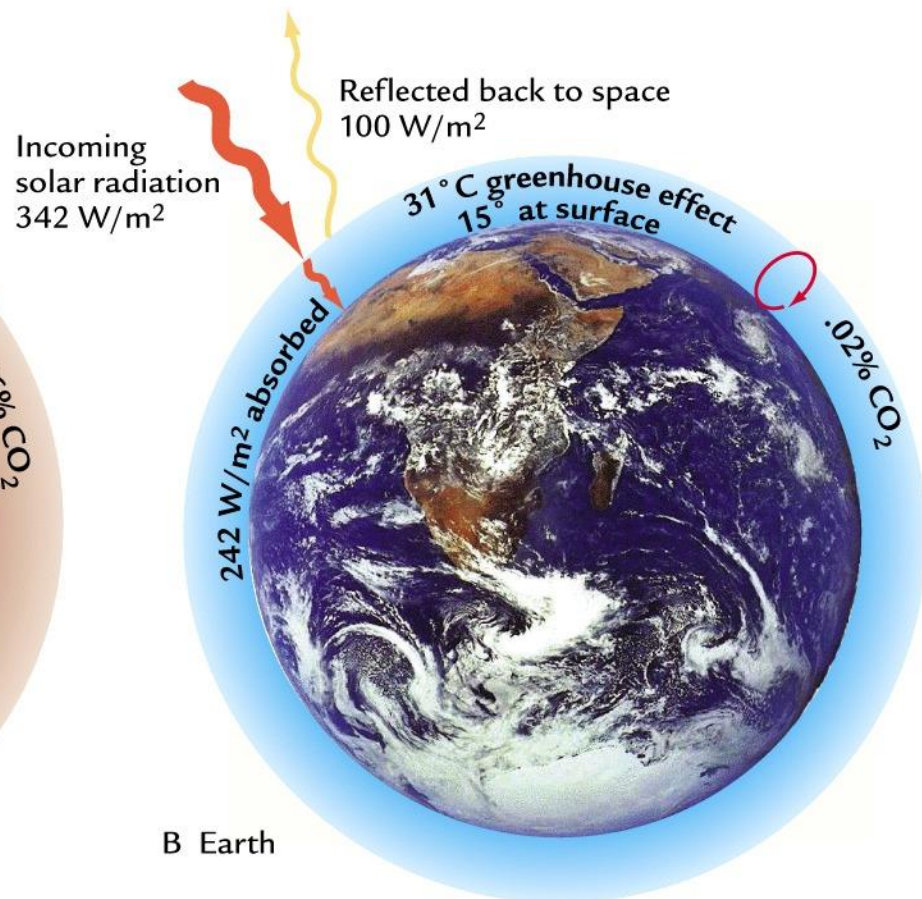
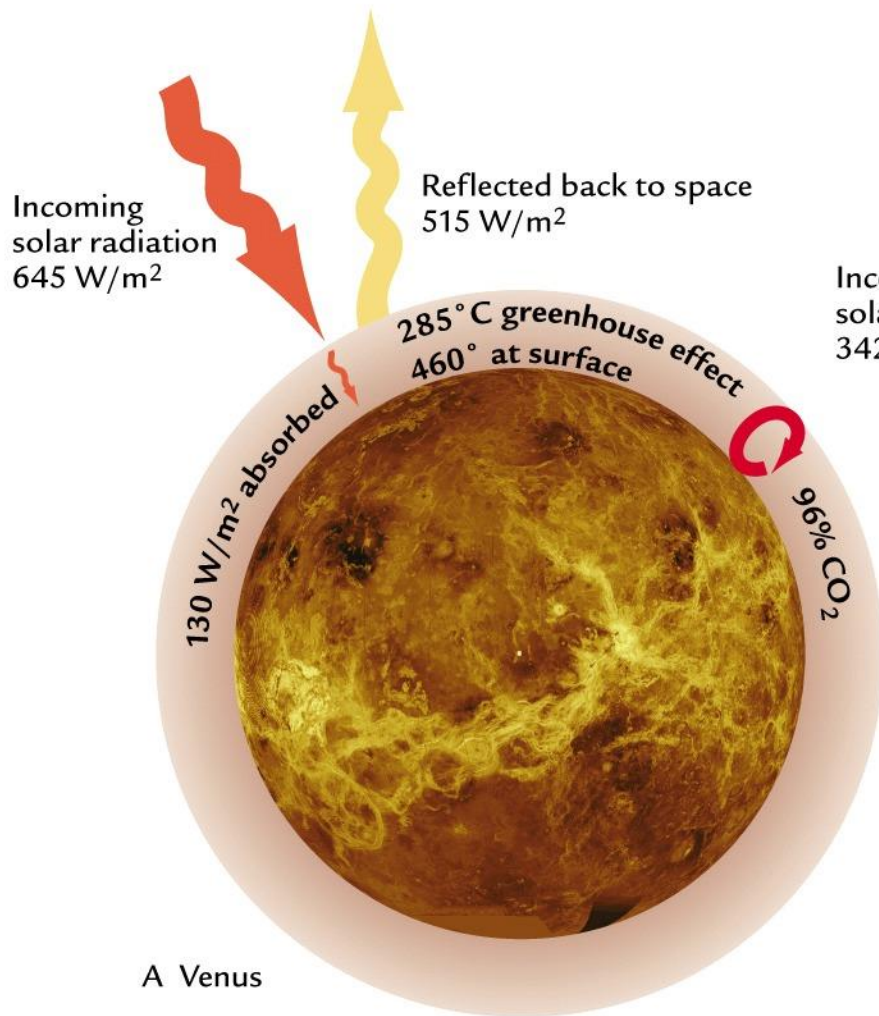


Figure 7-23 How a greenhouse works.

The glass of a greenhouse allows incoming sunlight to pass through but traps heat. Similarly, gases like water, carbon dioxide, and methane in Earth's atmosphere act just like the glass of a greenhouse by allowing sunlight to pass through but trapping heat.

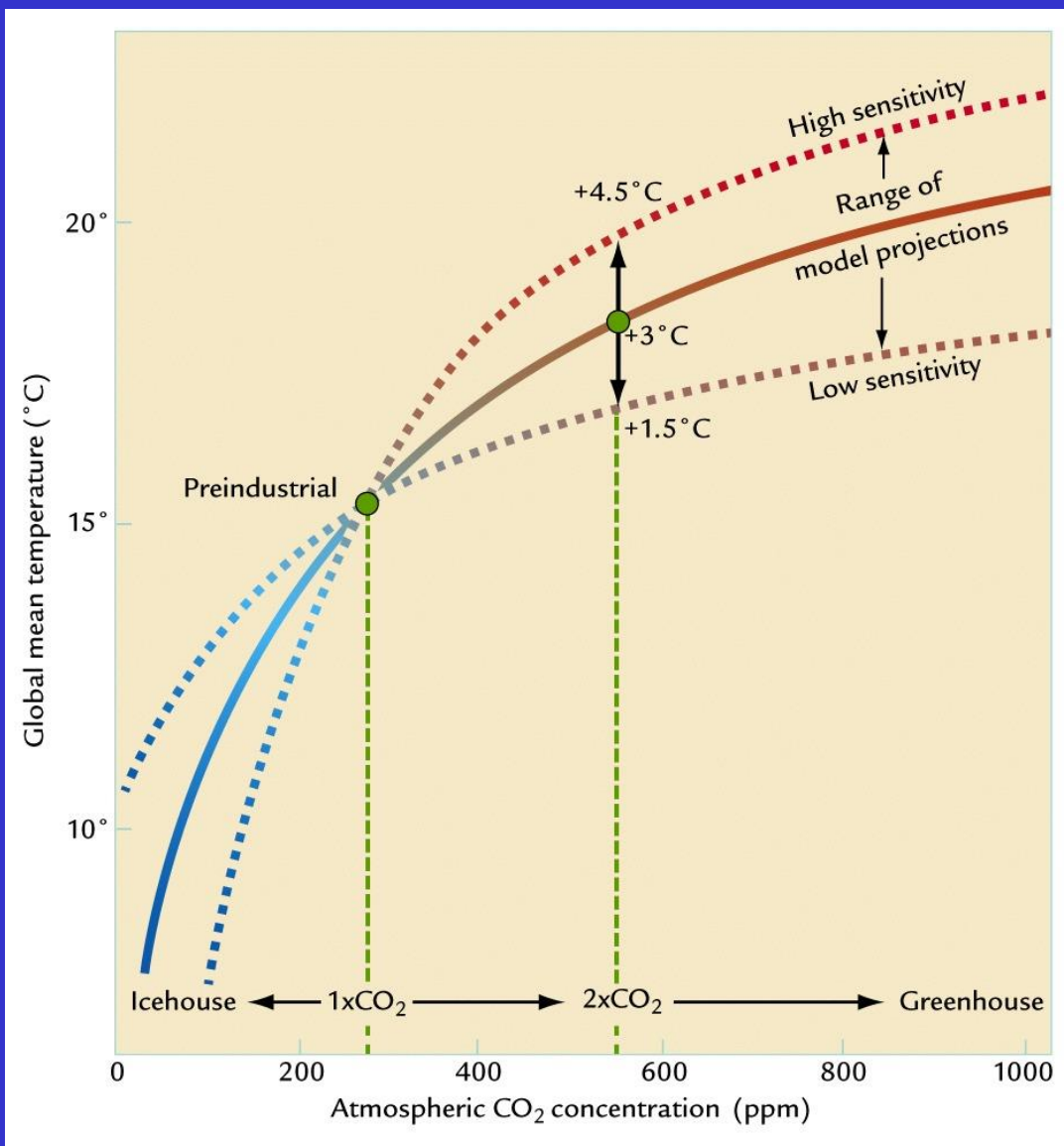


地球与金星温室效应比较
(如果没有温室效应, 地球温度零下16度)

核心问题

气温对CO₂浓度的敏感性：
CO₂倍增，气温增加多少？

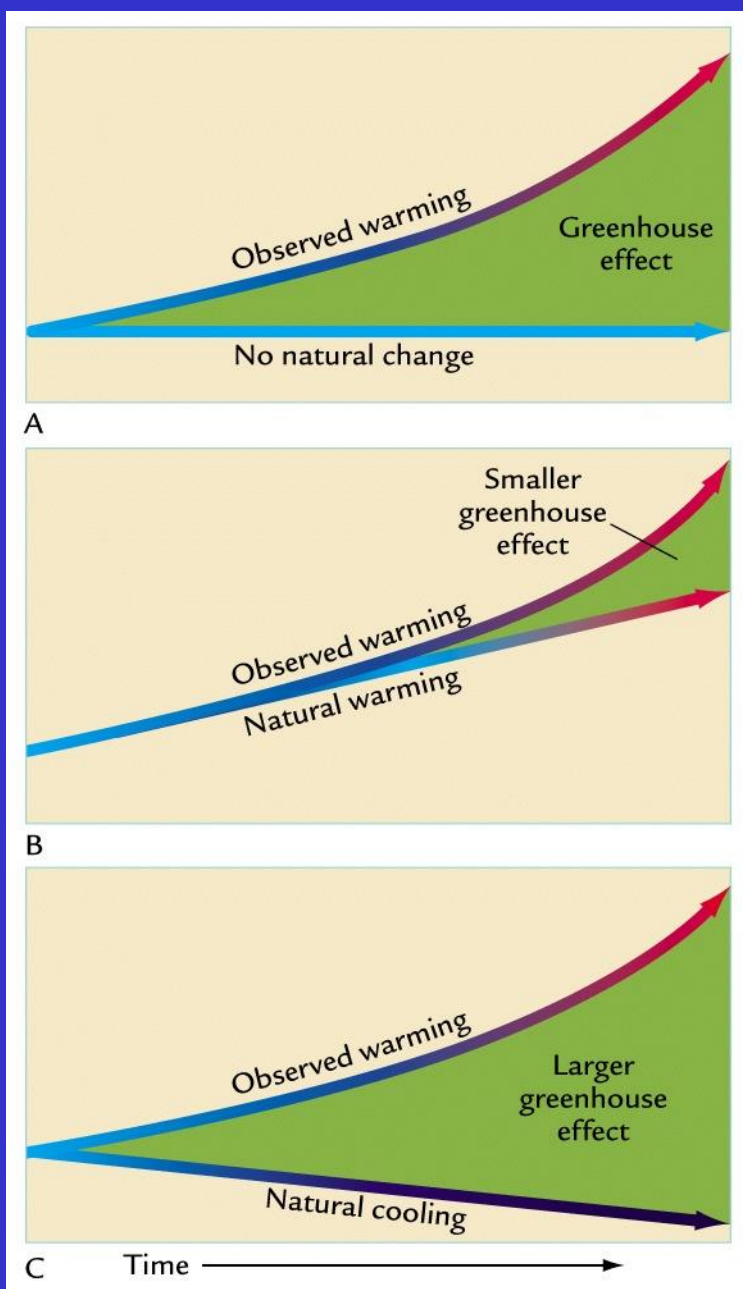
数值模拟给出的结果



未经检验的理论计算值

二氧化碳浓度倍增情景下的增温幅度估计

需了解气候变化的自然规律



全部温室效应

部分温室效应
部分自然增暖

自然：变冷
温室效应更大

二十世纪变暖的三种可能模式

~0.8度增温由谁引起？

气候变化研究基本方式

- 1、记录（多指标）
- 2、变化规律（周期、速率、变幅等）
- 3、归因（理论推测、数值模拟）
- 4、预测及影响分析

仪器记录数据很少超百年

古气候变化研究基本方法

- 1、从地质记录（包括地层、地貌、树轮、珊瑚、冰芯、历史文献等）提取信息
- 2、变化特征与变化规律
- 3、归因（驱动—响应过程及理论分析）
- 4、气候变化影响分析

强调时间尺度的差别

古气候变化的三个时间尺度

- 1、地质构造尺度 (10^6 — 10^9 年)
- 2、地球轨道尺度 (10^5 — 10^6 年)
- 3、短时间尺度 ($<10^5$ 年)

两个基本特征

- 1、有记录的几十亿年来，地球气候变化幅度非常大，但水的三相共存状态从未被打破（火星则不然）
- 2、在全球尺度上，温暖期生物产率高于寒冷期

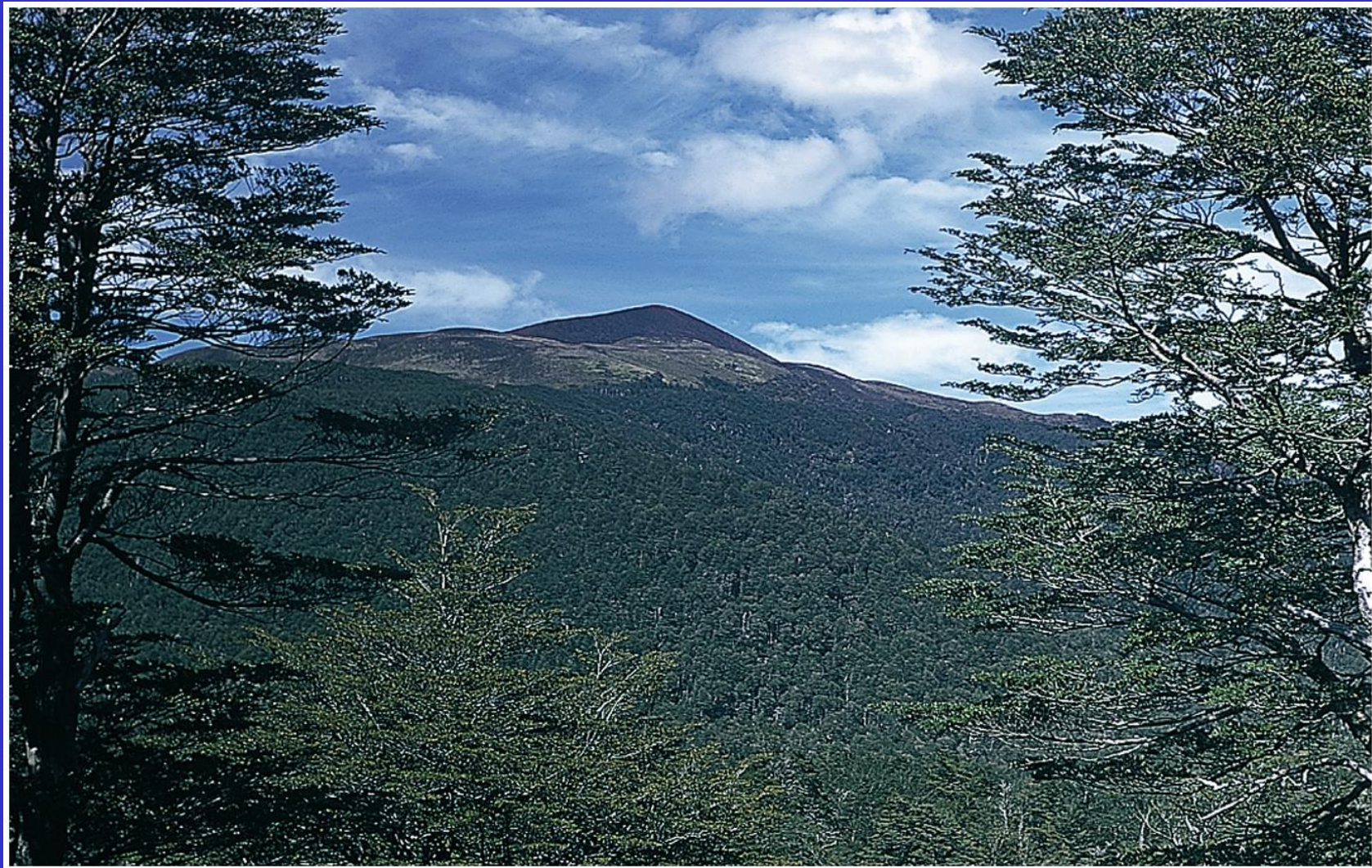
构造尺度气候变化

由地球岩石圈变动（如山脉抬升、海道开合、大陆漂移等过程）引起，为缓慢变化过程。

新生代（65Ma）以来，地球气候总体趋冷变干。



今天看到的南极冰盖



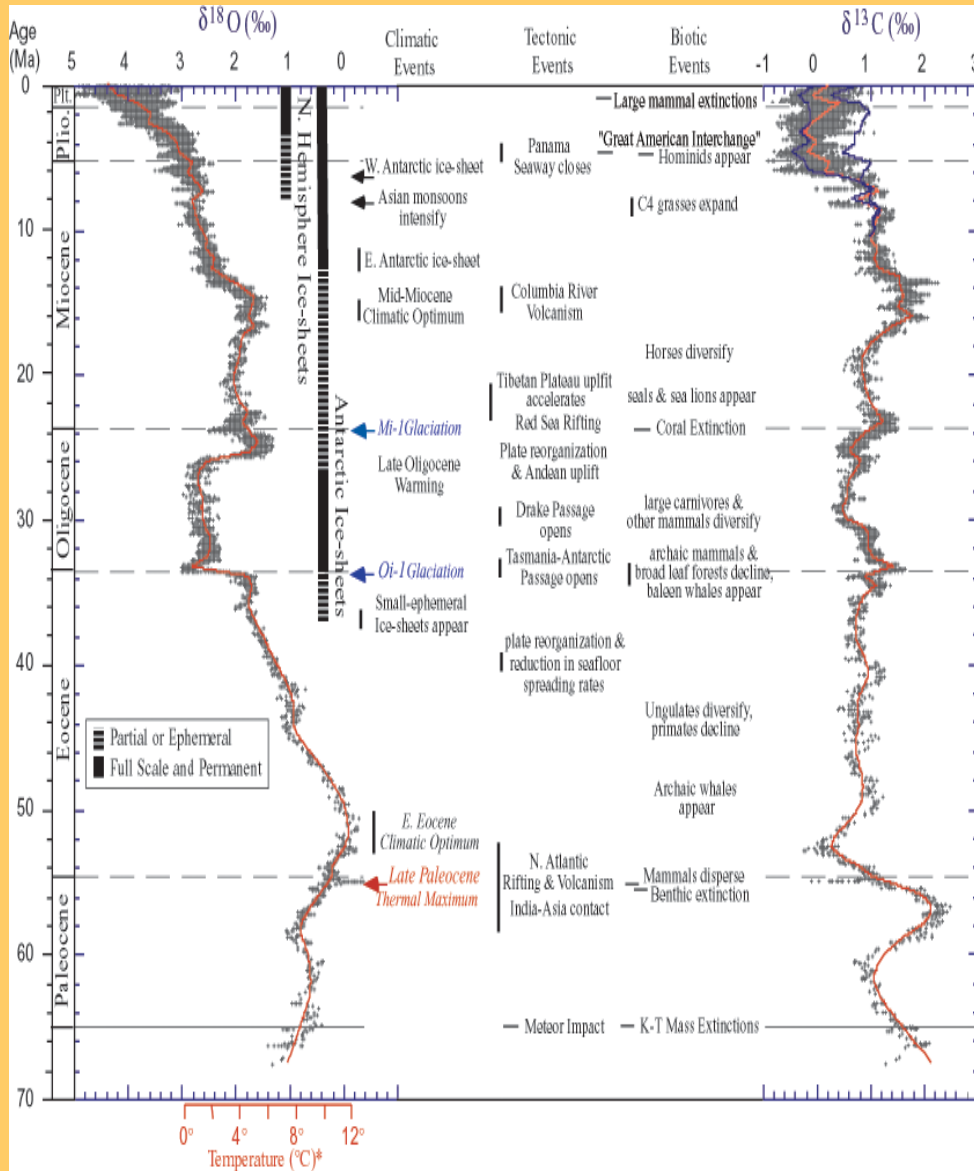
南极冰盖形成前（36Ma之前）的景观

全球气温比现今高十度以上

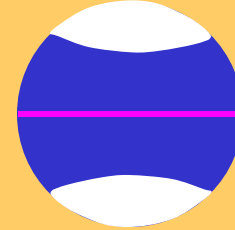


60Ma前存在于加拿大北部的植物

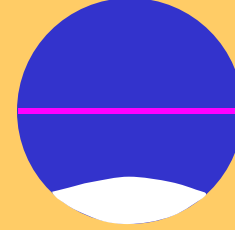
新生代气候变化记录



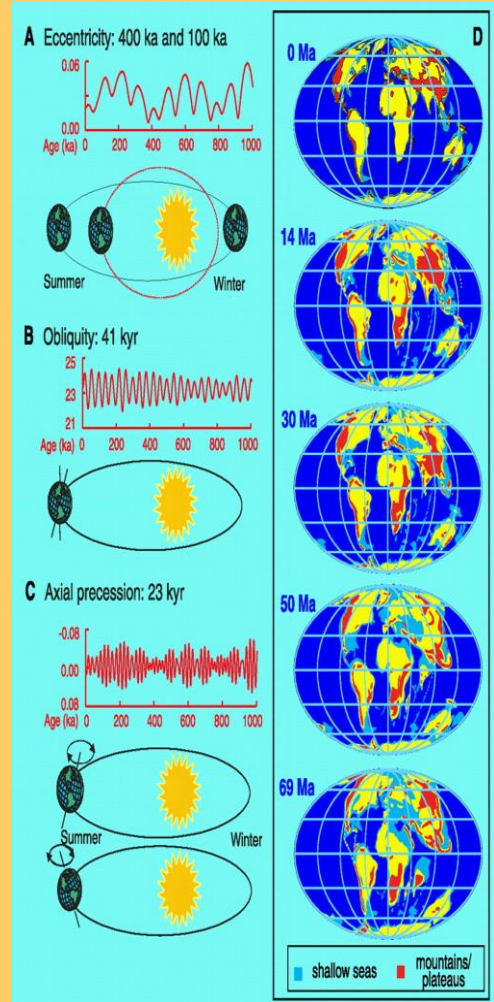
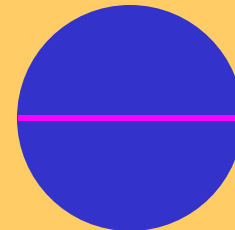
Two Polar Ice-sheets



Antarctic Ice-sheet



No Ice-sheet



小结

新生代（65Ma）以来，全球气温逐步下降，从**温室期**变到**冰室期**。

温度：下降10度以上。

极地：从无冰盖到**大冰盖**

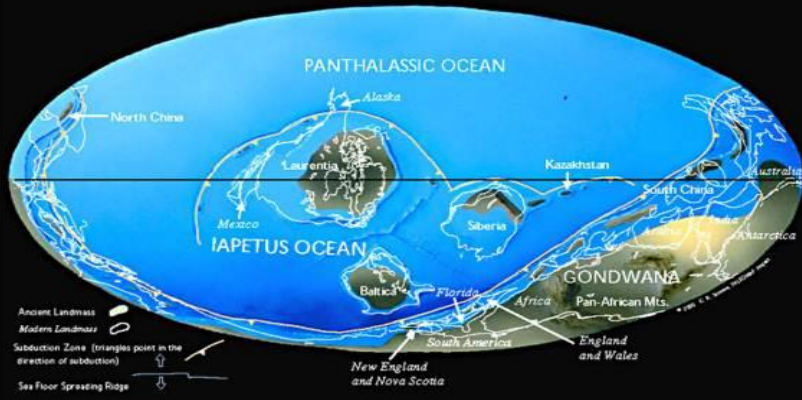
海面：下降了约70米

CO₂浓度：下降1000ppmv以上

为什么会大幅度变冷？

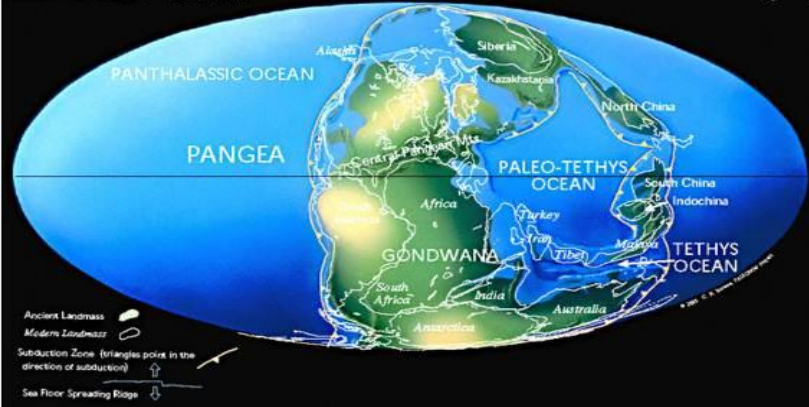
Late Cambrian 514 Ma

(a)



Late Permian 255 Ma

(b)



Late Cretaceous 94 Ma

(c)



Middle Eocene 50.2 Ma

(d)



Middle Miocene 14 Ma

(e)



Modern World

(f)

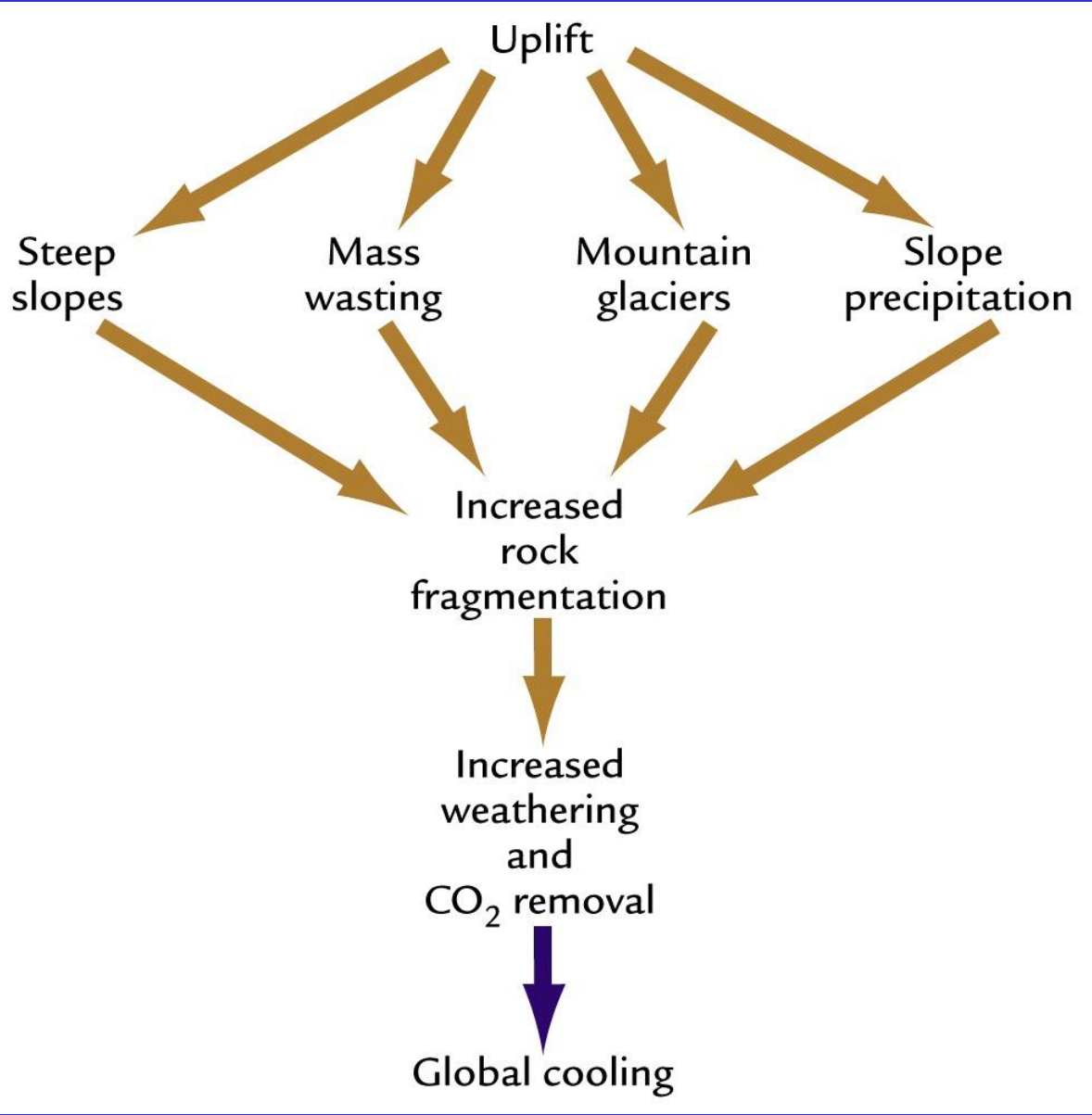


多种构造过程起作用

- 1、南极隔绝
- 2、大气、大洋环流变化
- 3、青藏高原抬升



同青藏高原抬升有很大关系



造山作用致冷模型

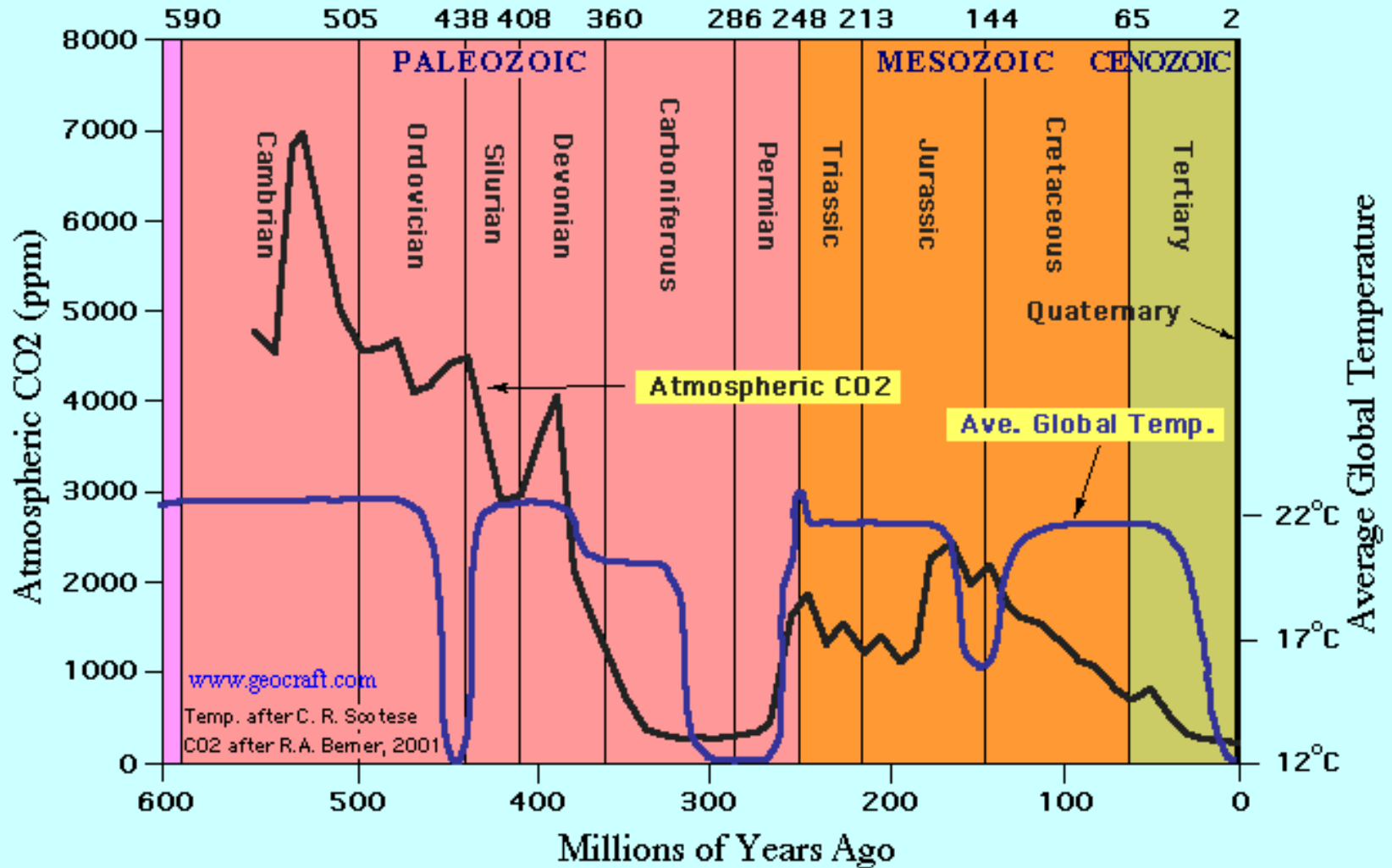
地球已存在46亿年，气候如何变化？

- 1、绝大部分时间比过去100万年来的温度要高得多；
- 2、二氧化碳浓度同气温不严格相关
- 3、过去100万年间，二氧化碳浓度最低

现在的增温，是在寒冷背景下发生

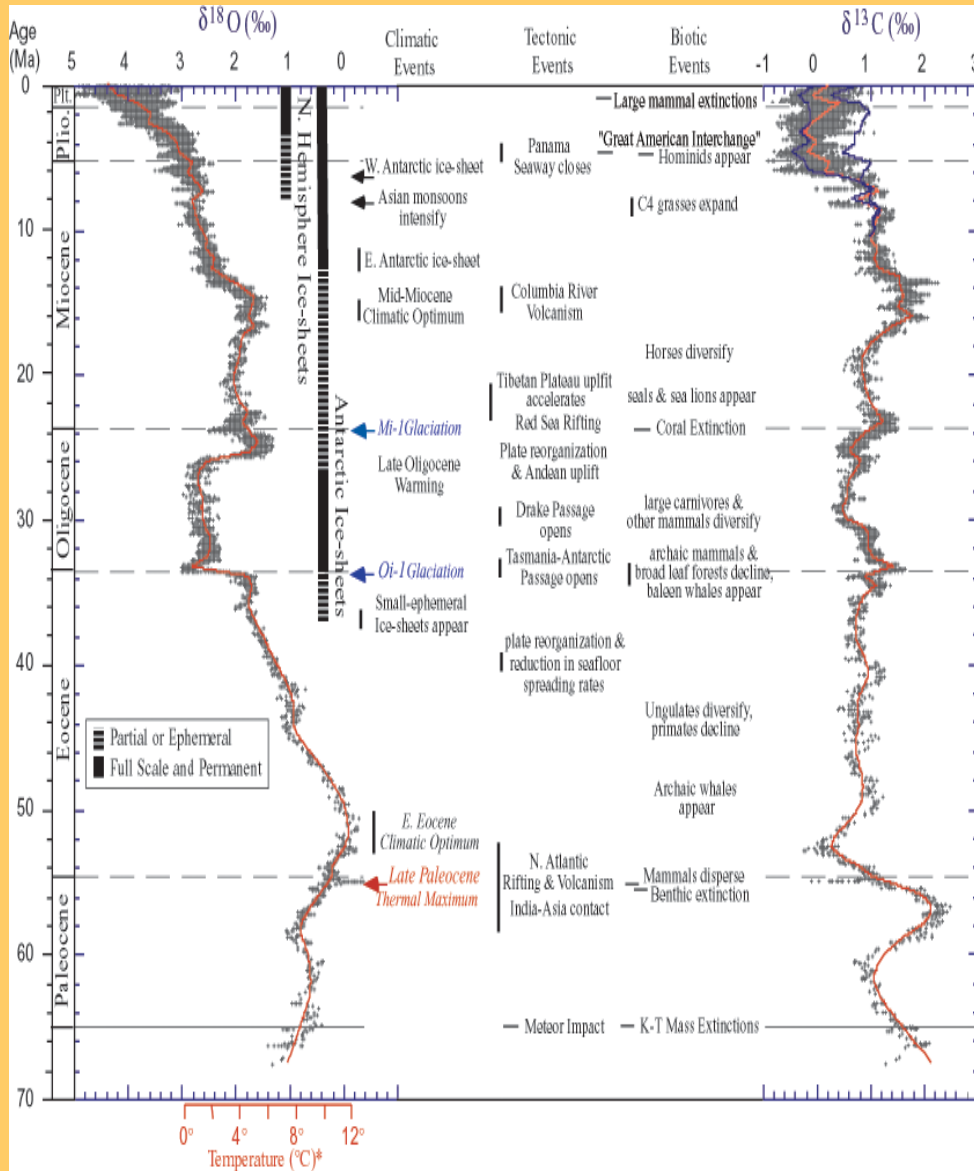
过去100万年如何变，为另一个话题

地史时期全球温度和大气二氧化碳含量变化

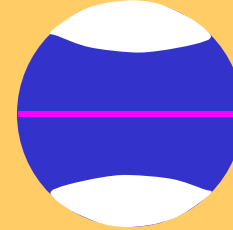


Temperature after C.R. Scotese <http://www.scotese.com/climate.htm>
CO₂ after R.A. Berner, 2001 (GEOCARB III)

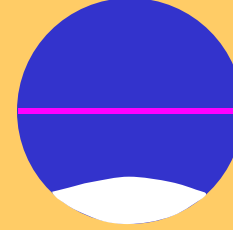
新生代气候变化记录



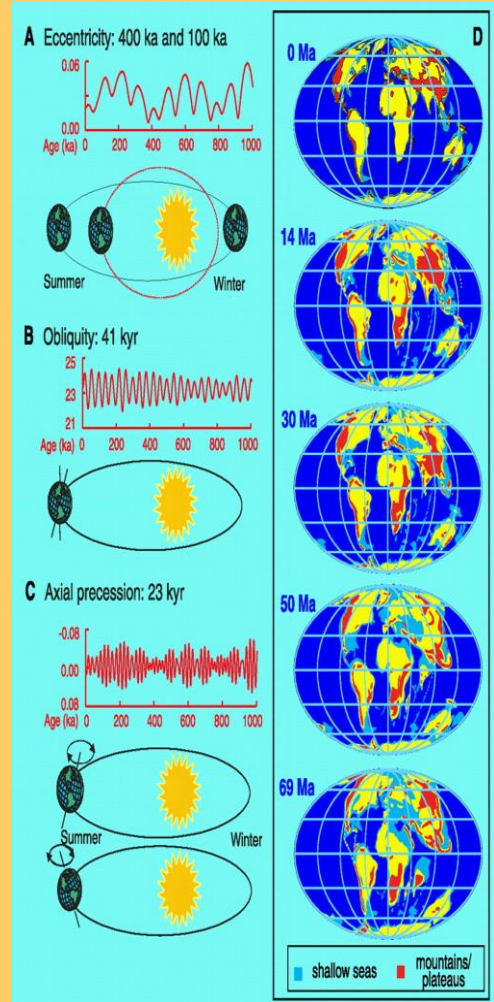
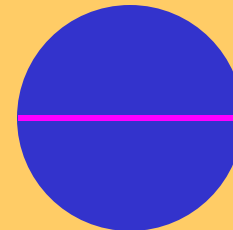
Two Polar Ice-sheets




Antarctic Ice-sheet



No Ice-sheet



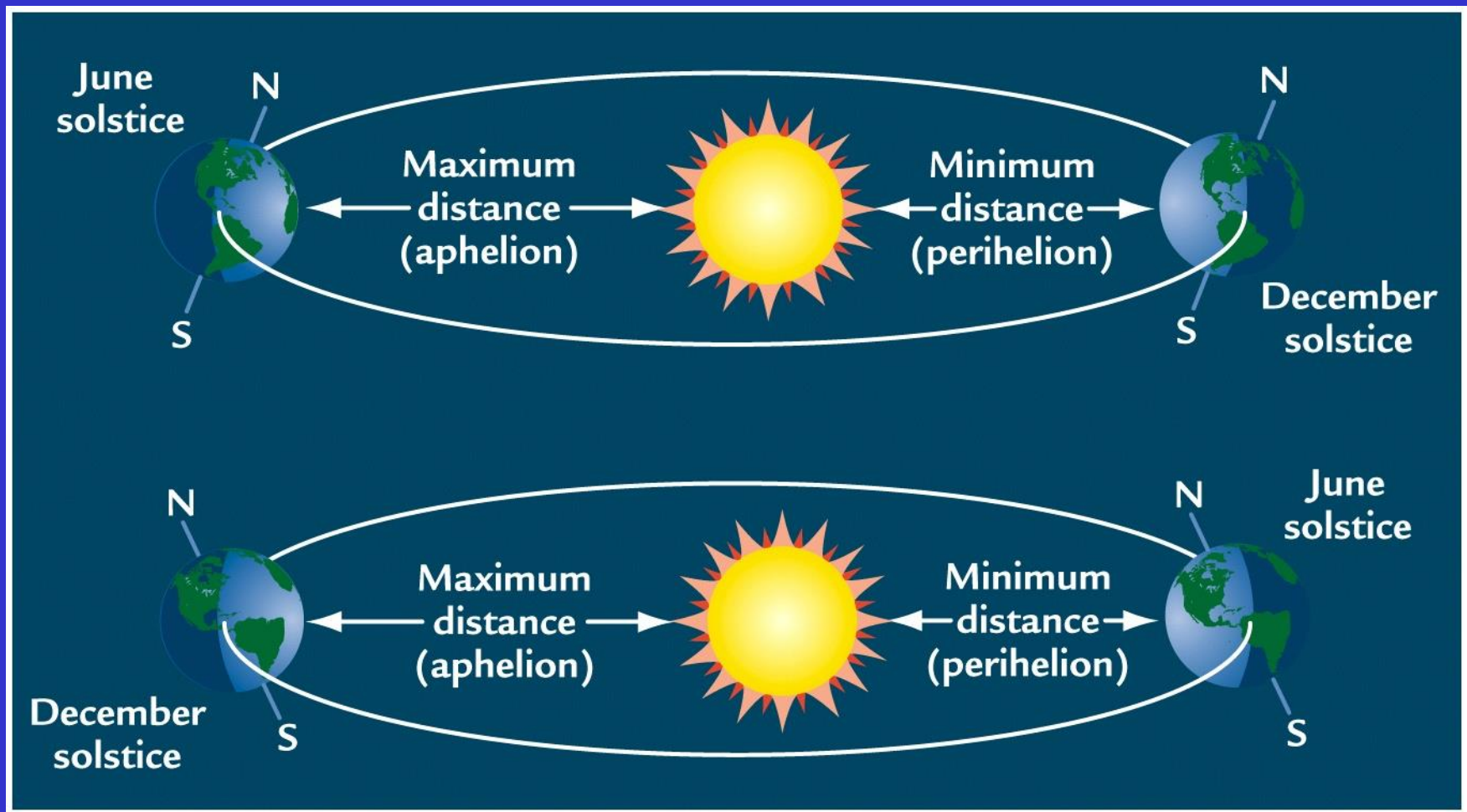
55Ma 前的突变事件



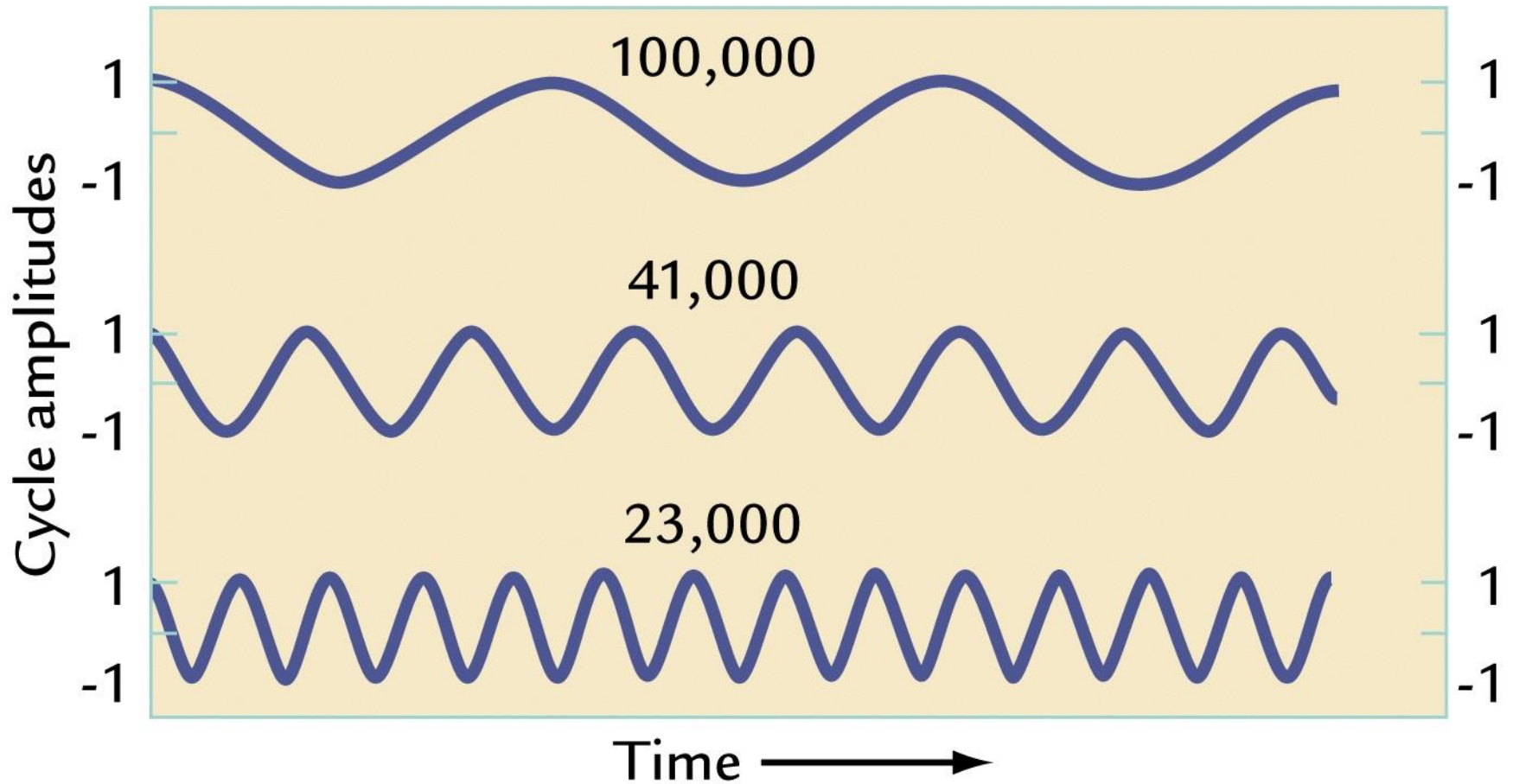
原因不明的地表增温
热量传递使海底增温
天然气水合物释放
大气温室气体浓度增高
全球变暖、海洋酸化
海洋生物大量灭绝

自然变化的三个时间尺度

- 1、地质构造尺度 (10^6 — 10^9 年)
- 2、地球轨道尺度 (10^5 — 10^6 年)
- 3、短时间尺度 ($<10^5$ 年)



地球轨道三要素： 偏心率、地轴倾斜度、岁差，
它们的变化引起太阳辐射沿季节和纬度的变化



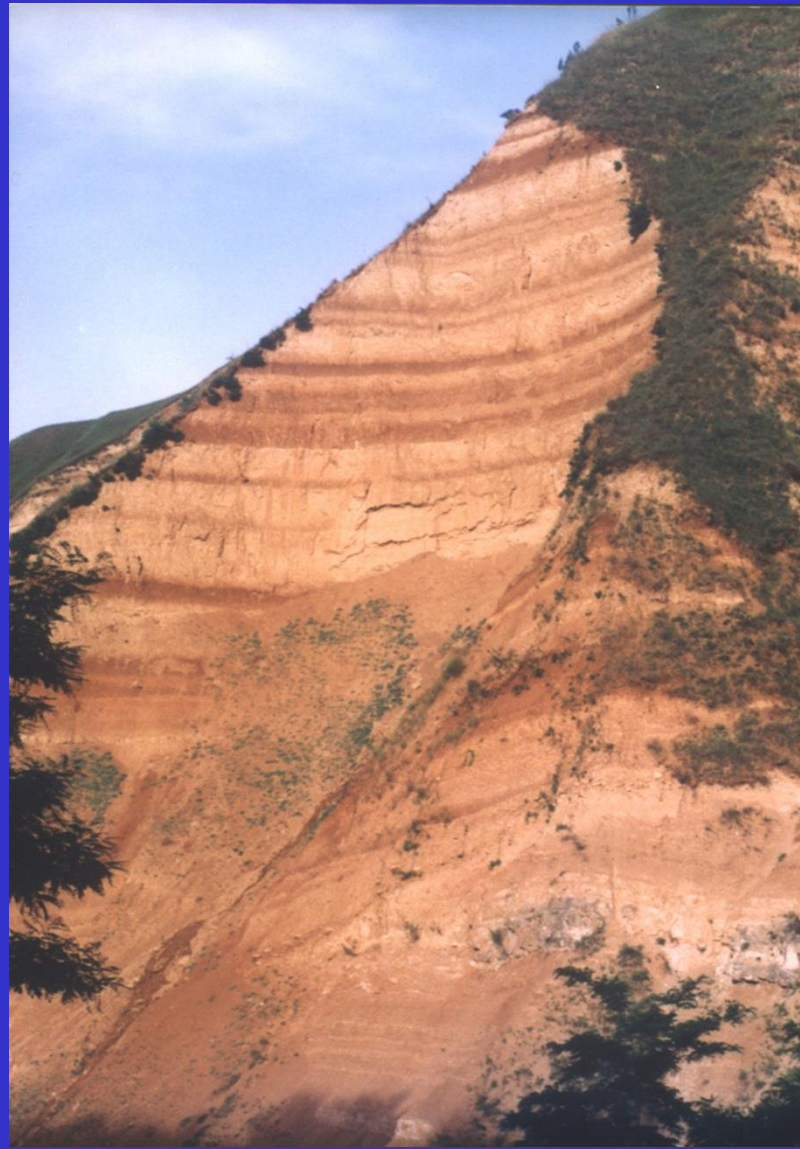
有相应的三个变化周期

轨道尺度气候变化

地球轨道变化
太阳辐射变化
气候冷暖变化

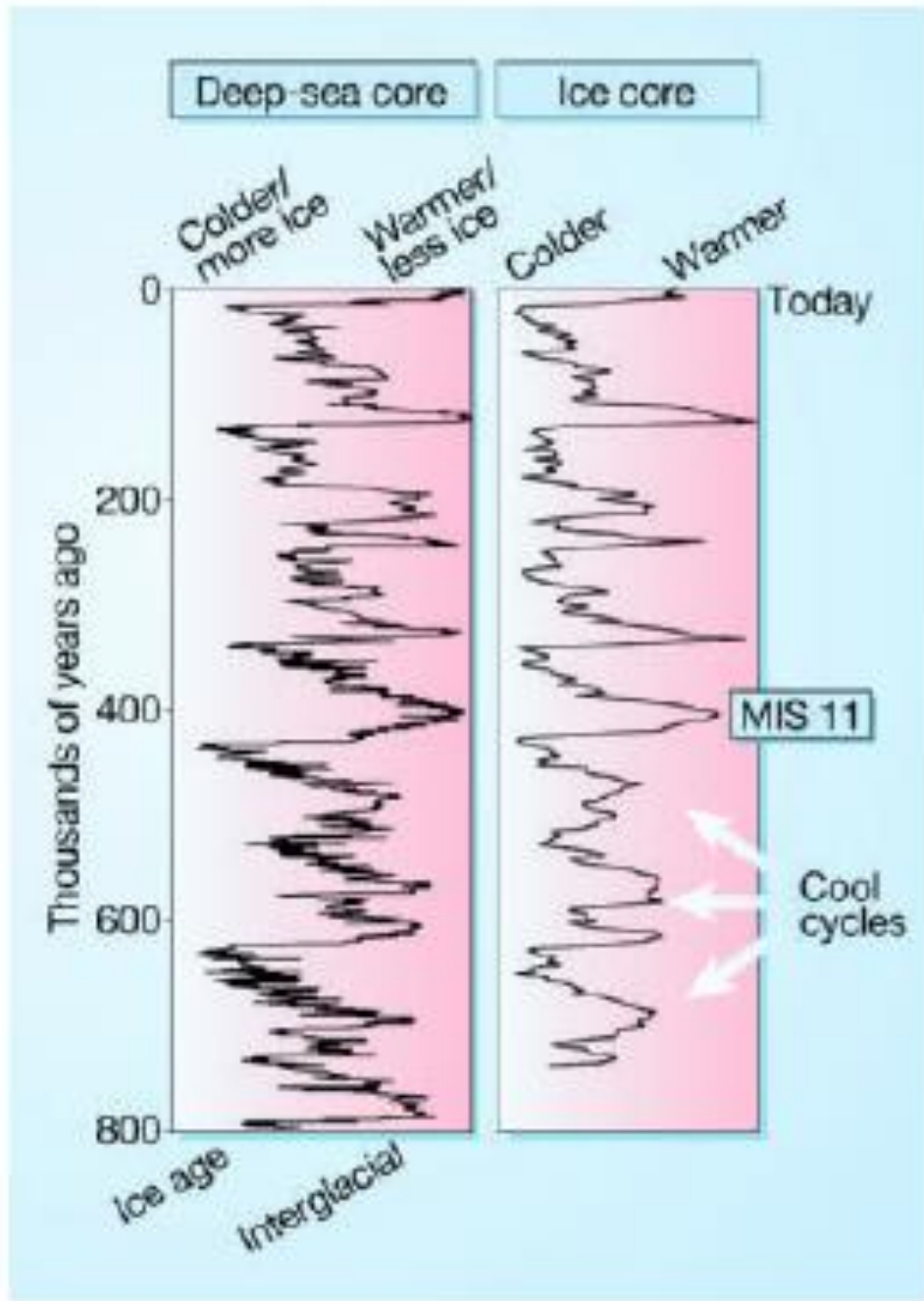


在万年尺度上，冰期—间冰期周期性波动



渭南黄土剖面

一万一千年来为间冰期



冰期间冰期温度可差六到八度

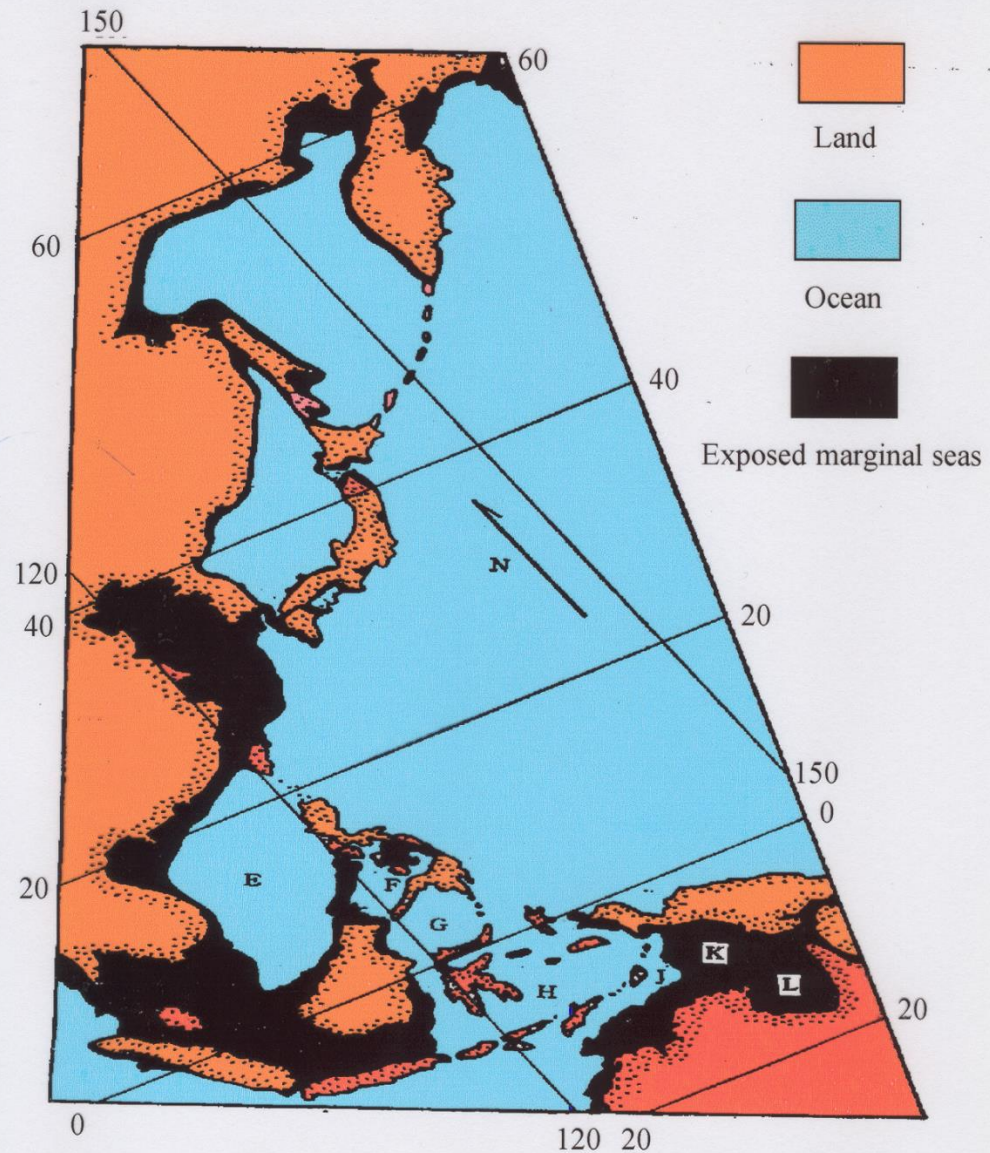


两万年前北半球冰盖分布



南极冰盖分布

Exposed marginal seas during the LGM (Along the coastline of the western Pacific)



冰期特点

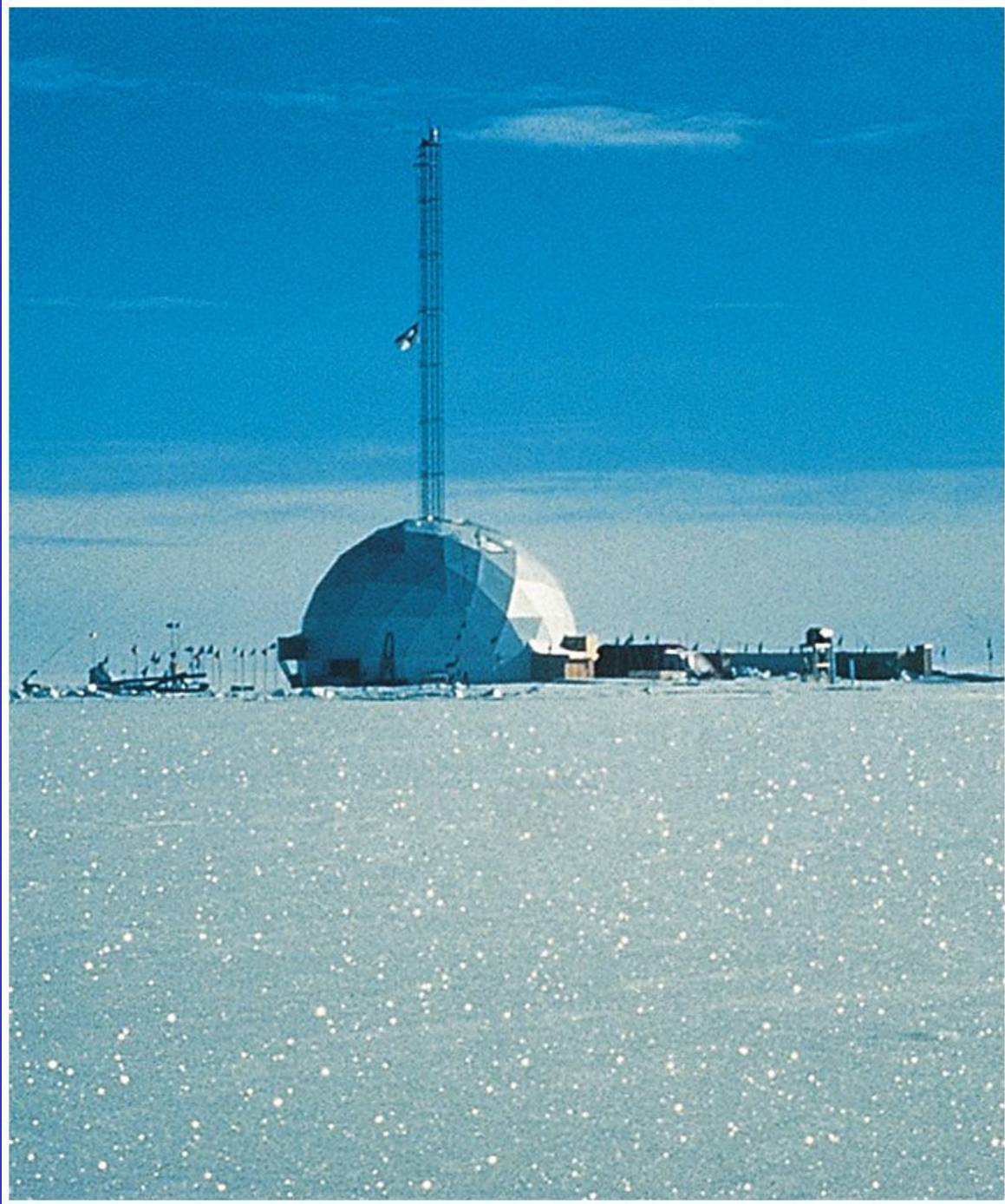
- 1、大冰盖形成
- 2、海面下降
- 3、沙漠及干旱区扩大
- 4、全球生物量下降

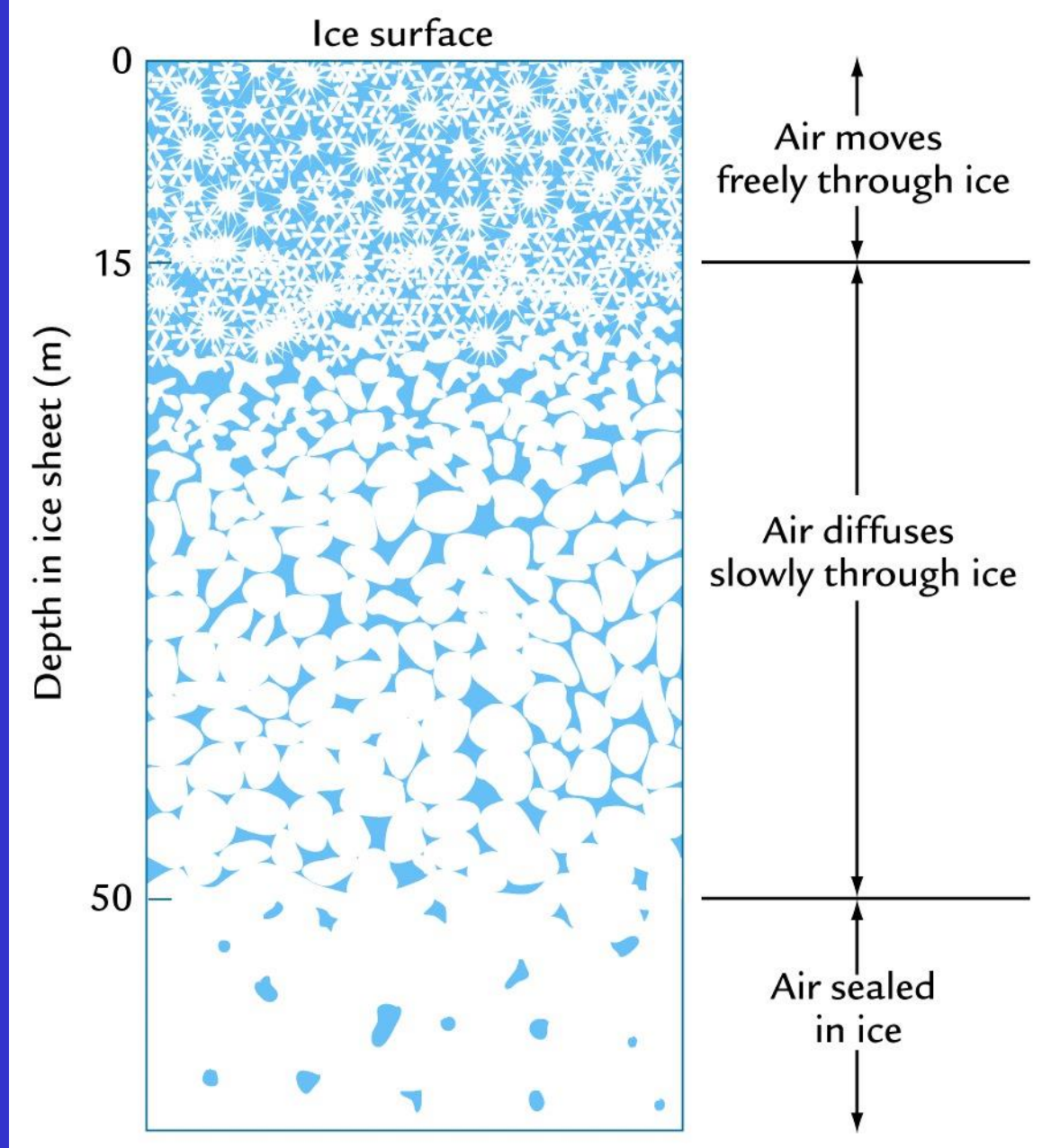
突变事件实例

- 1、发生在11600年前后，叫新仙女木事件
- 2、由于增温，北半球冰盖消融，大量淡水注入北大西洋，导致北半球快速变冷

地球轨道时间尺度上

二氧化碳如何变？





冰芯中气泡的封闭过程

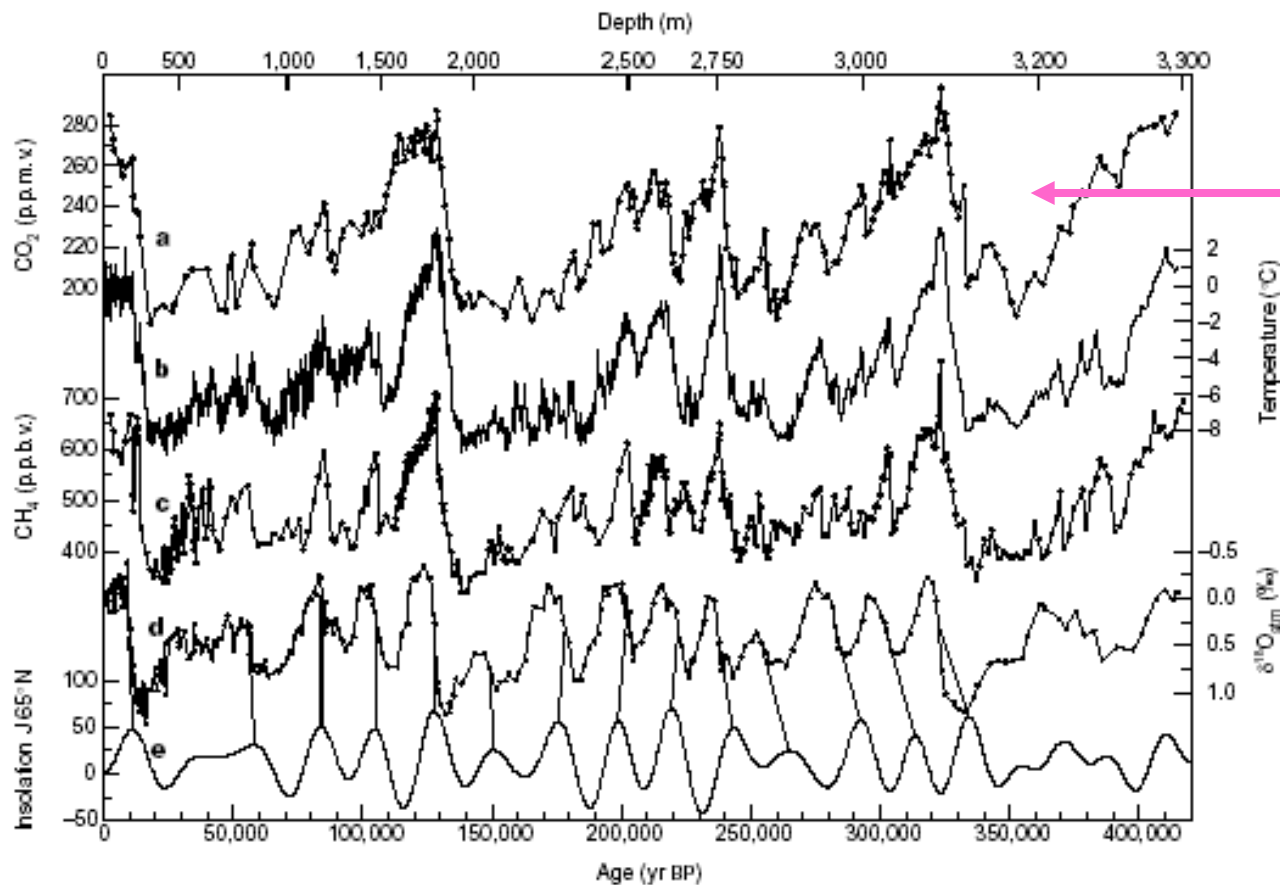


Figure 3 Vostok time series and insolation. Series with respect to time (GT4 timescale for ice on the lower axis, with indication of corresponding depths on the top axis) of **a**, CO₂; **b**, isotopic temperature of the atmosphere (see text); **c**, CH₄; **d**, $\delta^{18}\text{O}_{\text{gm}}$; and **e**, mid-June insolation at 65°N (in W m^{-2}) (ref. 3). CO₂ and CH₄ measurements have been performed using the methods and analytical procedures previously described¹⁹. However, the CO₂ measuring system has been slightly modified in order to increase the sensitivity of the CO₂ detection. The

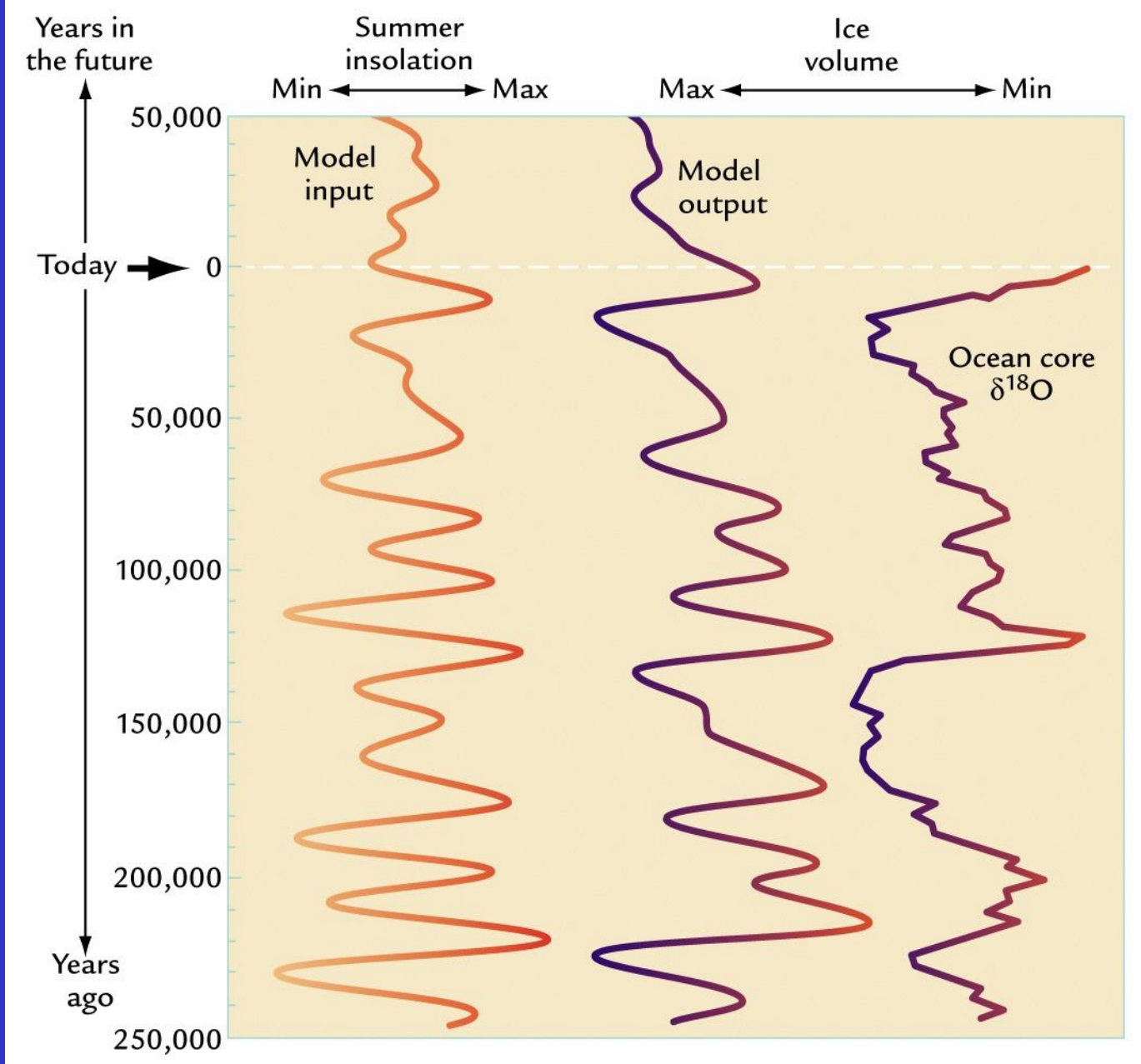
thermal conductivity chromatographic detector has been replaced by a flame ionization detector which measures CO₂ after its transformation into CH₄. The mean resolution of the CO₂ (CH₄) profile is about 1,500 (950) years. It goes up to about 6,000 years for CO₂ in the fractured zones and in the bottom part of the record, whereas the CH₄ time resolution ranges between a few tens of years to 4,500 years. The overall accuracy for CH₄ and CO₂ measurements are ± 20 p.p.b.v. and 2–3 p.p.m.v., respectively. No gravitational correction has been applied.

Vostok冰芯中二氧化碳变化记录

特别关注

温度变化在前，CO₂变化在后

CO₂变化不是**驱动**因素，
而是**正反馈**因素



冰量模型的外推（轨道时间尺度变冷）

最近二百六十万年为冰期—间冰期波动时期，末次冰期一万年 before 结束，进入相对温暖时期，即全新世间冰期。

一万年来气候如何变化？

自然变化的三个时间尺度

- 1、地质构造尺度 (10^6 — 10^9 年)
- 2、地球轨道尺度 (10^5 — 10^6 年)
- 3、短时间尺度 ($<10^5$ 年)

全新世气候变化两大特征

- 1、趋势性：从一万年前到八千年前，增温，8000—5000年前，最为温暖（比现今高1—2°C），4000年，变冷，500—100年前，小冰期。
- 2、波动性：存在千年尺度、百年尺度和十年时间尺度的气温波动，幅度在零点几度左右。

问题

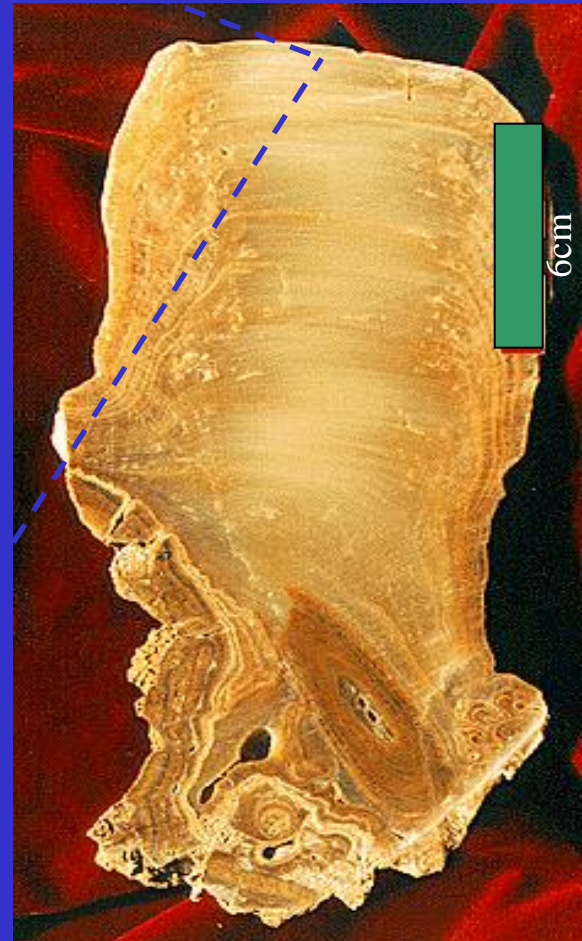
人类用气象站观测气温，只有几百年历史，如何高分辨率地获得过去气候变化信息？

代用资料

树轮样本



北京石花洞石笋



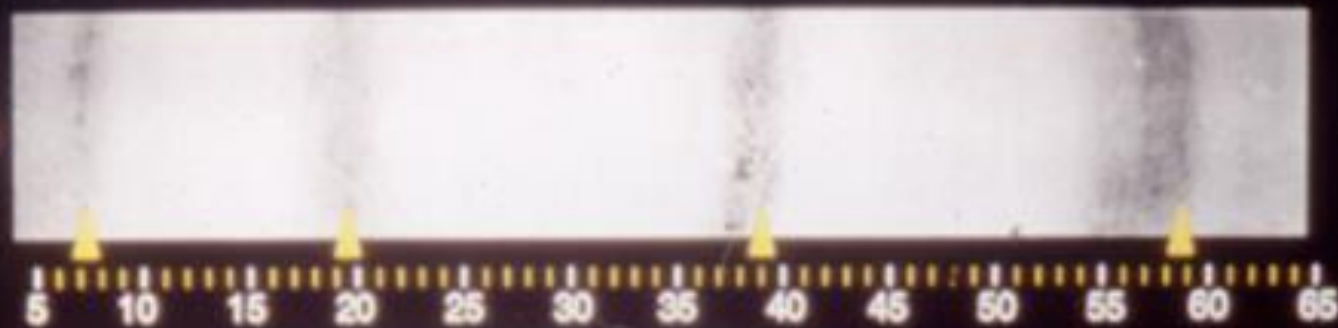
石笋记录



In thin air. Thompson and team drilled the highest core ever on Tibet's Dasuopu glacier.

Depth Below Surface

82m



$\lambda = 16.9$ cm

105m



$\lambda = 5.0$ cm

120m



$\lambda = 3.0$ cm

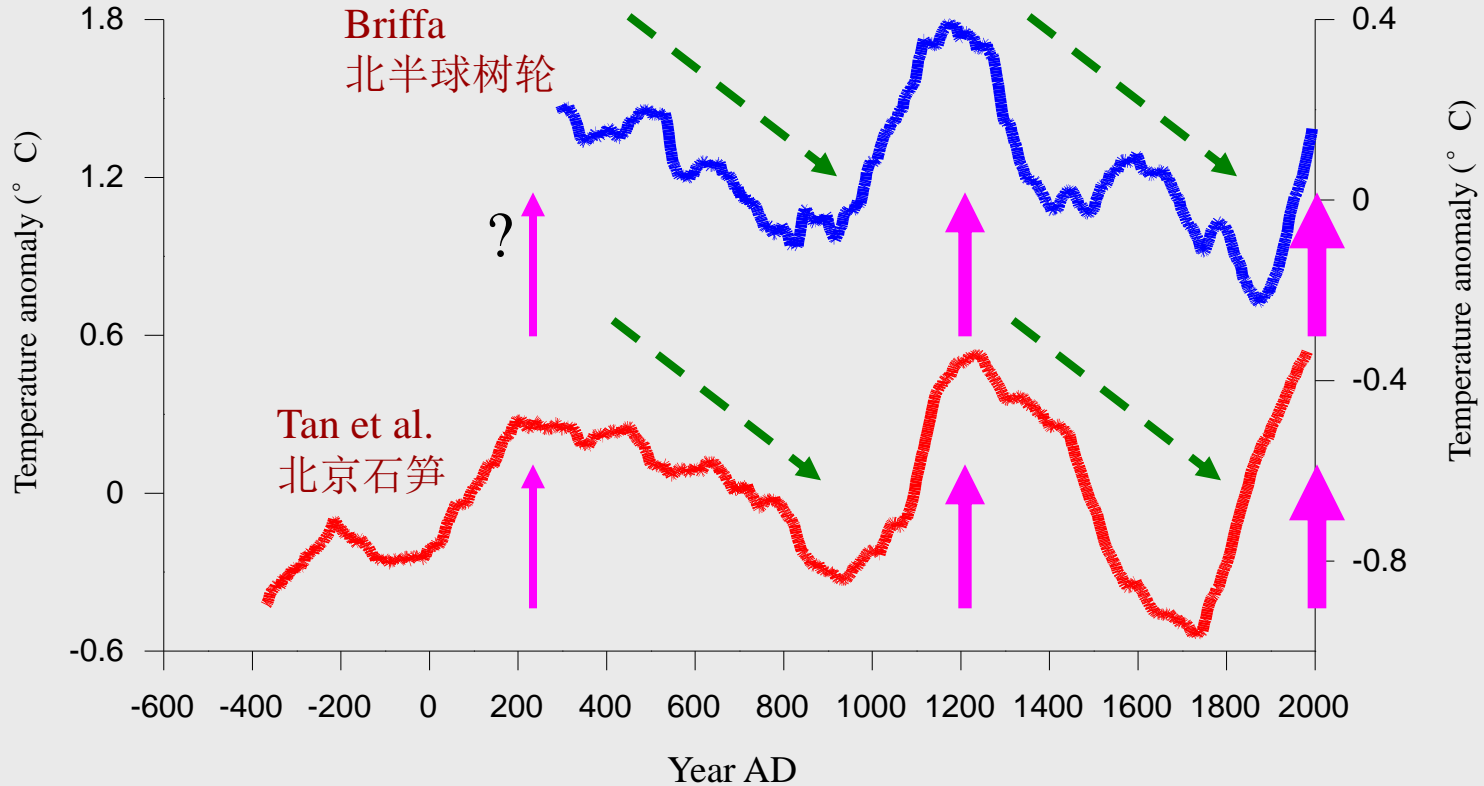
135m



$\lambda = 1.7$ cm

Visual Annual Layers
Guliya Core 2

旋回的世纪尺度快速变暖



延长千年记录（欧亚大陆树木轮宽代用温度记录，蓝色曲线， Briffa, 2000；石笋层厚代用温度记录，红色曲线， Tan et al., 2003），可见千年“曲棍球棒”式的气候变化模式的重现。虚线绿色箭

指出数个世纪的温度缓慢下降，粉色实线箭头指出世纪尺度快速变暖峰顶。问号指出Briffa记录延长后可能会有的暖峰顶。两个年分辨率记录在图中为300年滑动平均。

世纪、年代际变化

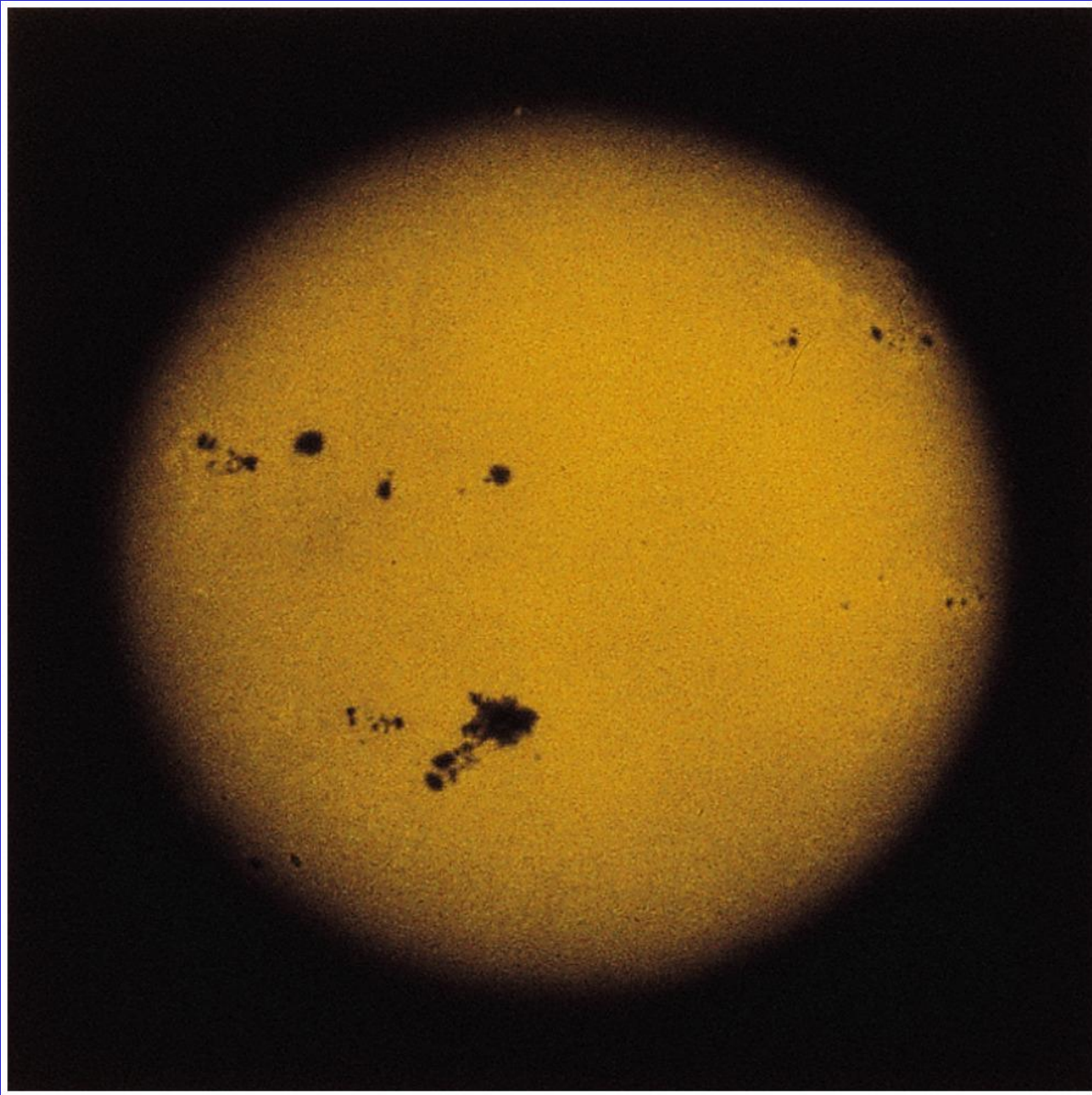
主要驱动因素：

太阳辐射强度

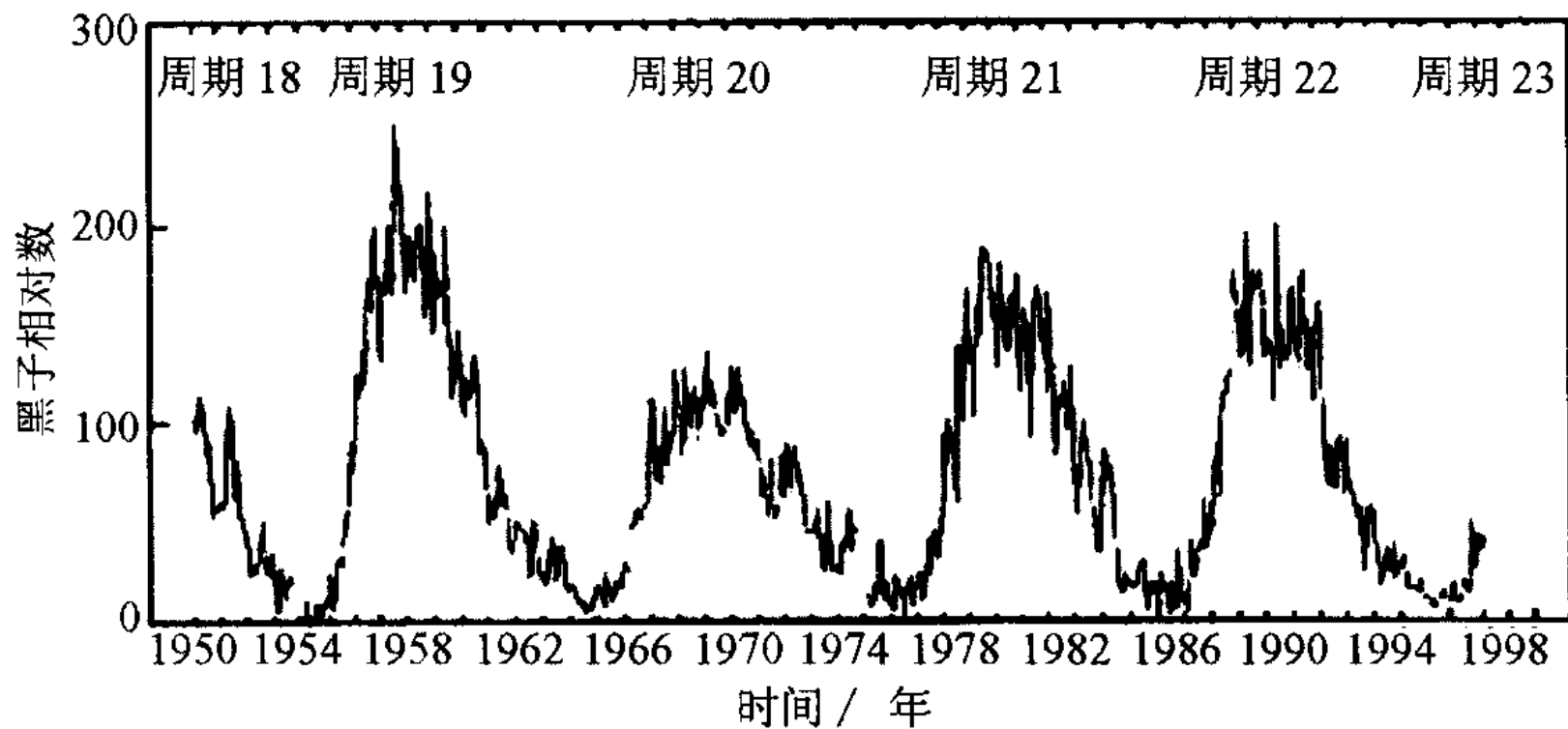
火山作用（火山灰）

气溶胶浓度

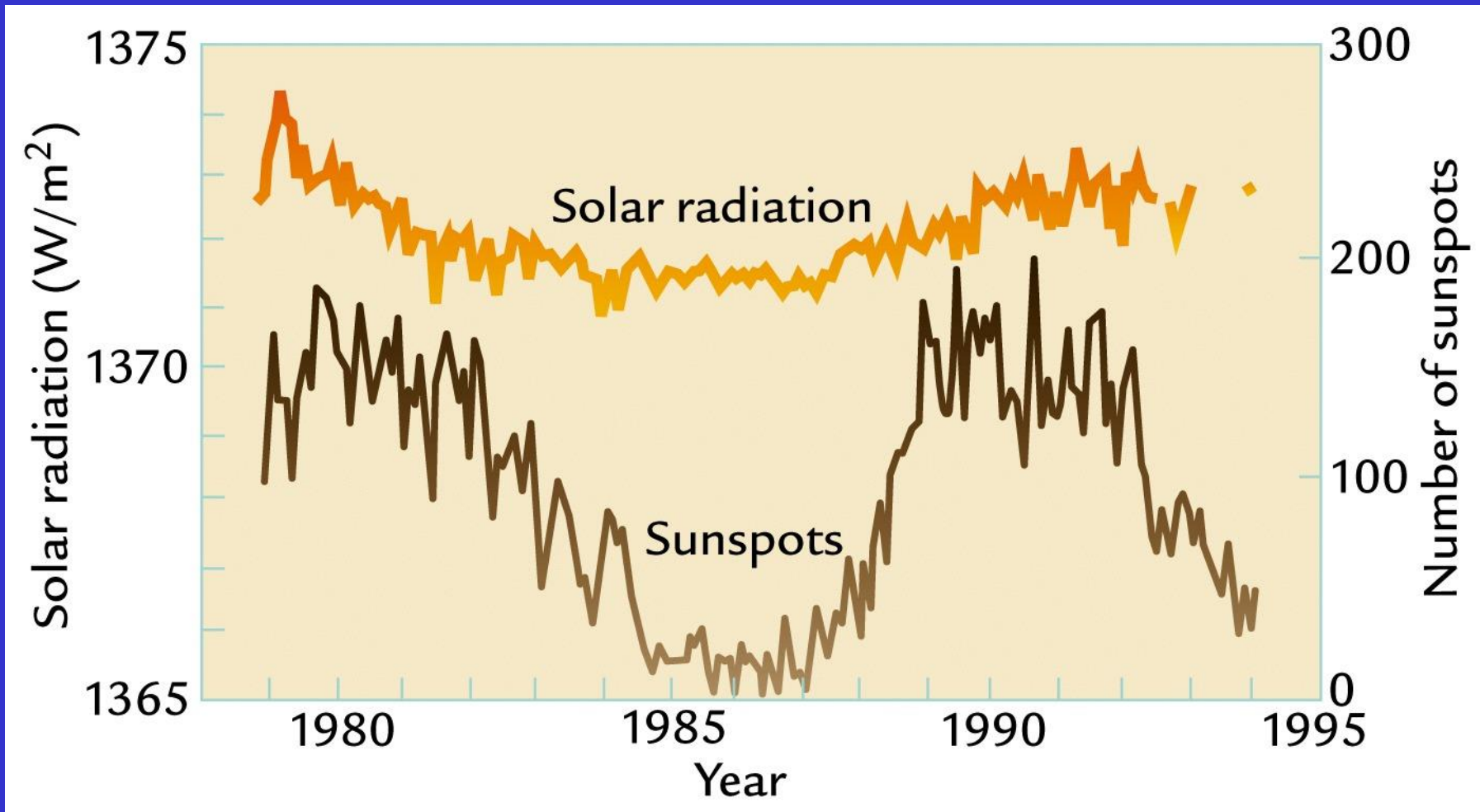
地表覆盖状况



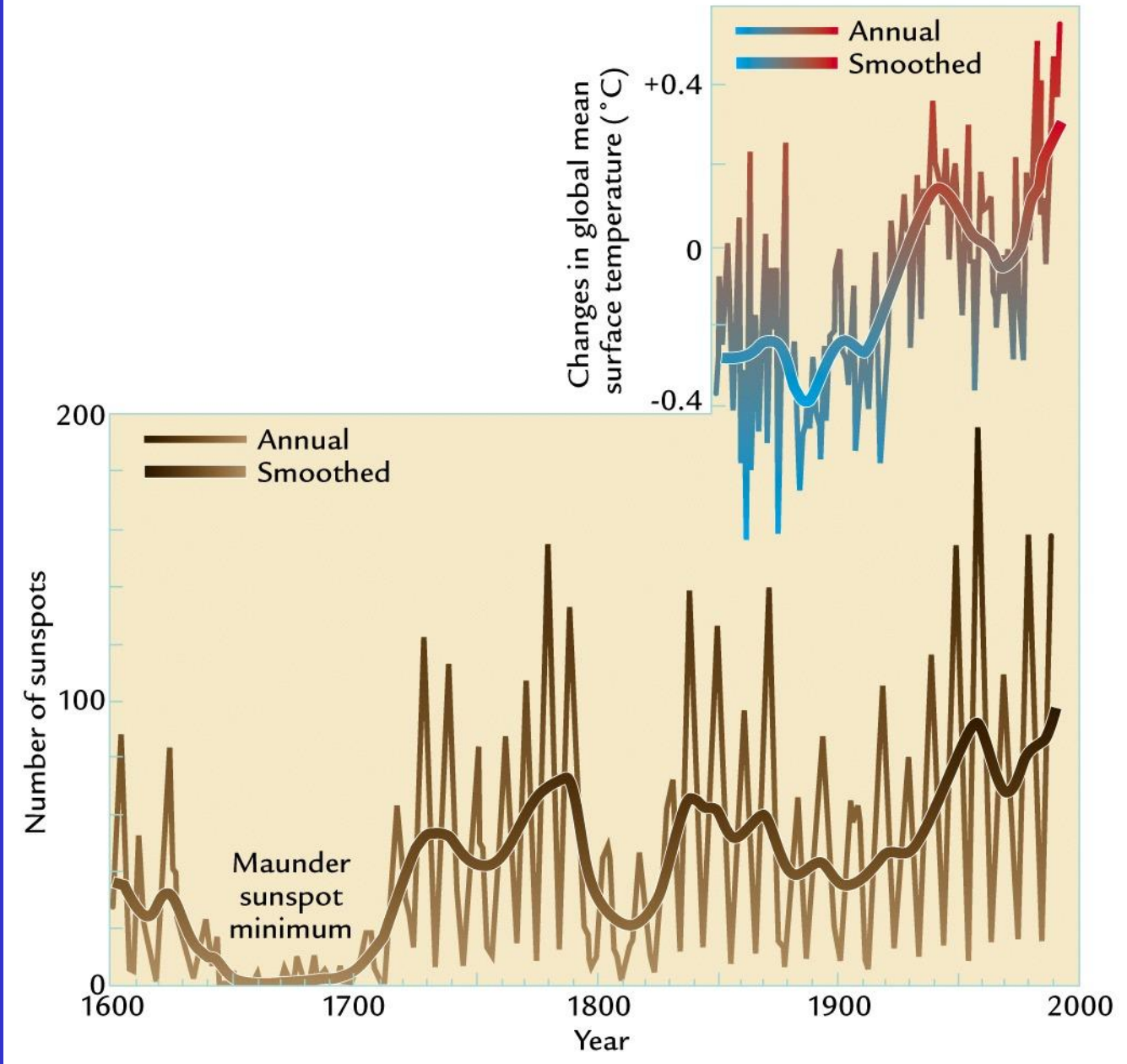
太阳表面黑子



太阳黑子活动的11年周期

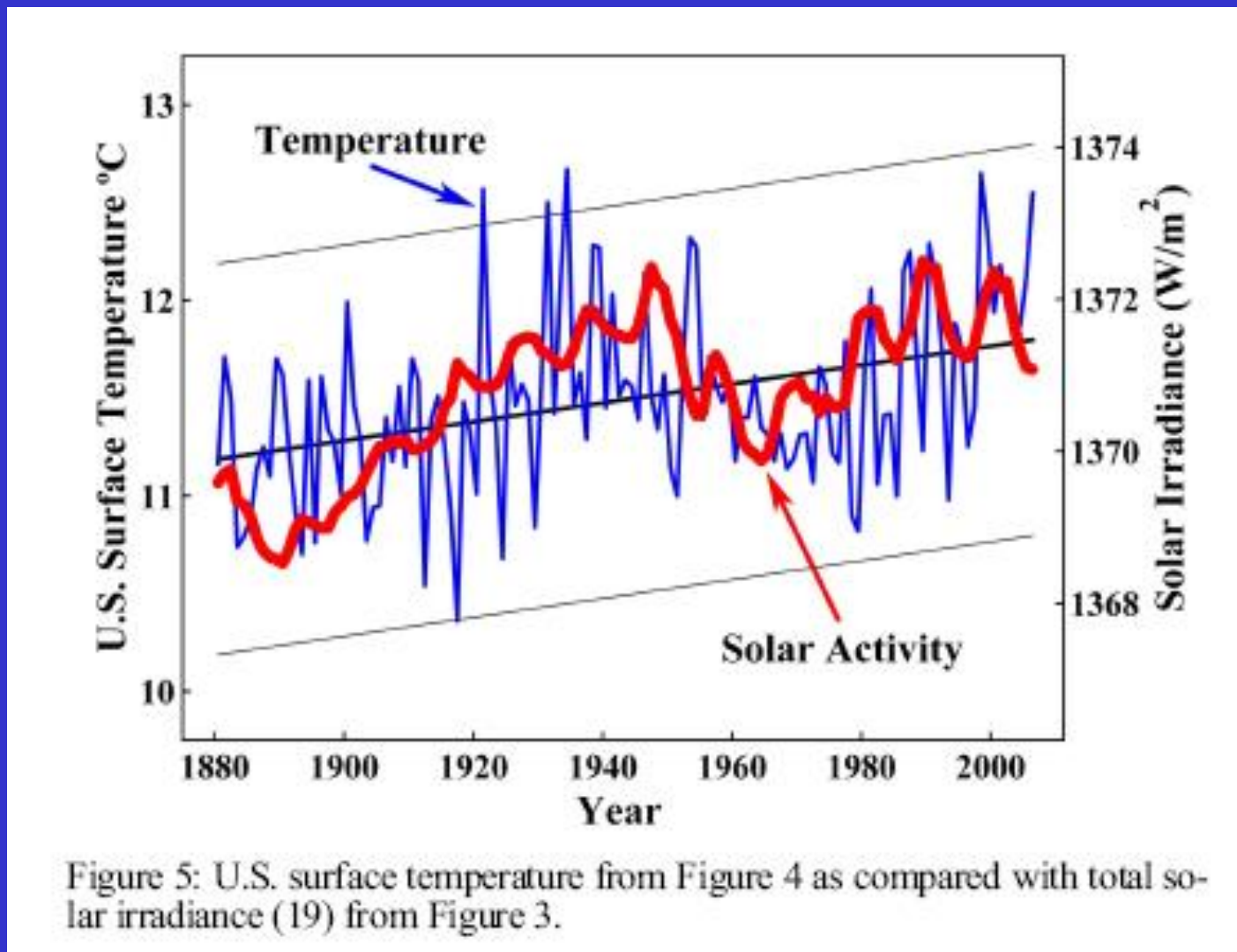


太阳黑子数与太阳辐射强度



太阳黑子变化与温度变化

温度、太阳活动均为波动性变化



温室气体则为持续性增加

增温曲线与太阳活动曲线的对比

世纪、年代际变化

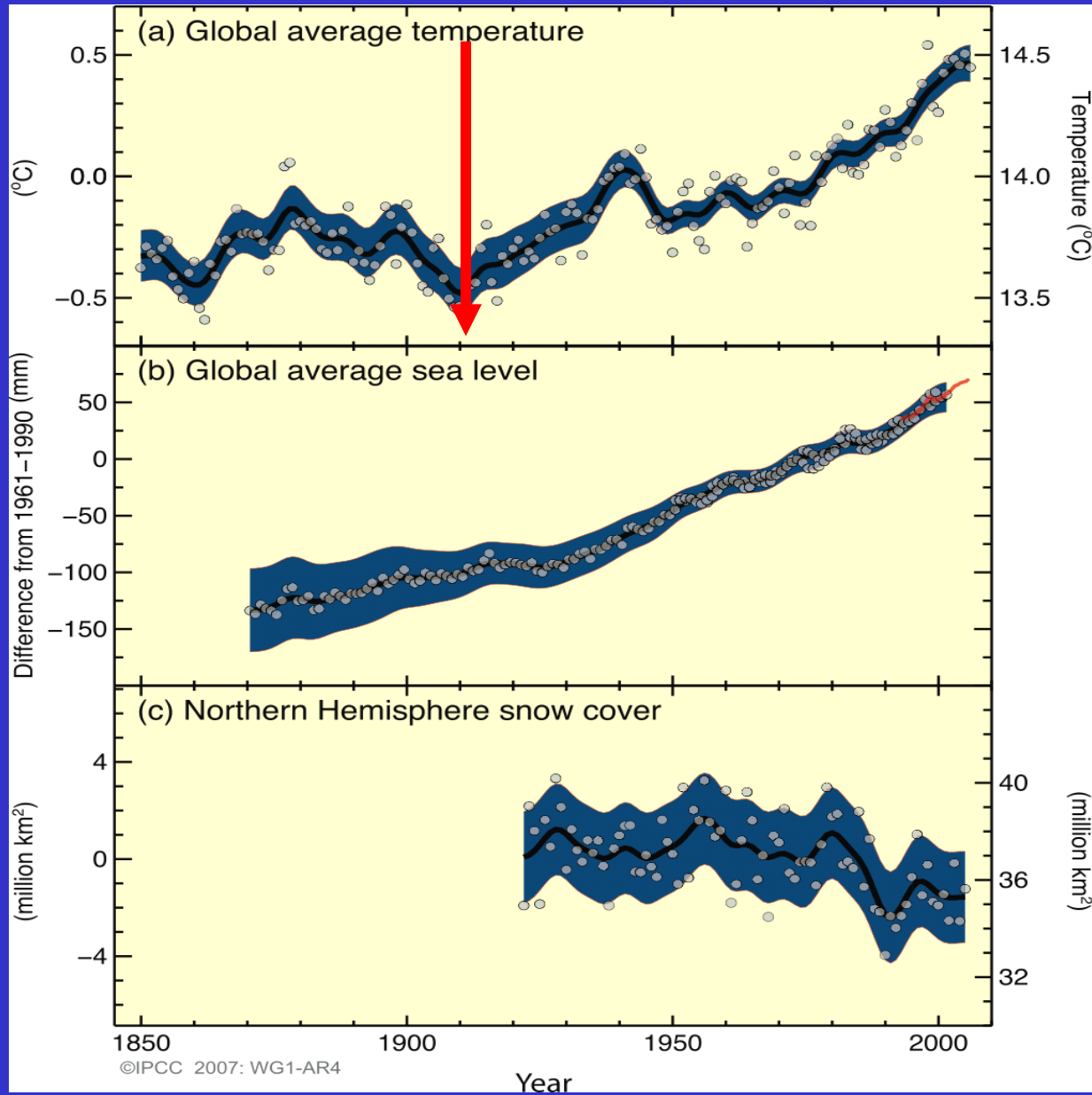
主要驱动因素：

太阳辐射强度

火山作用（火山灰）

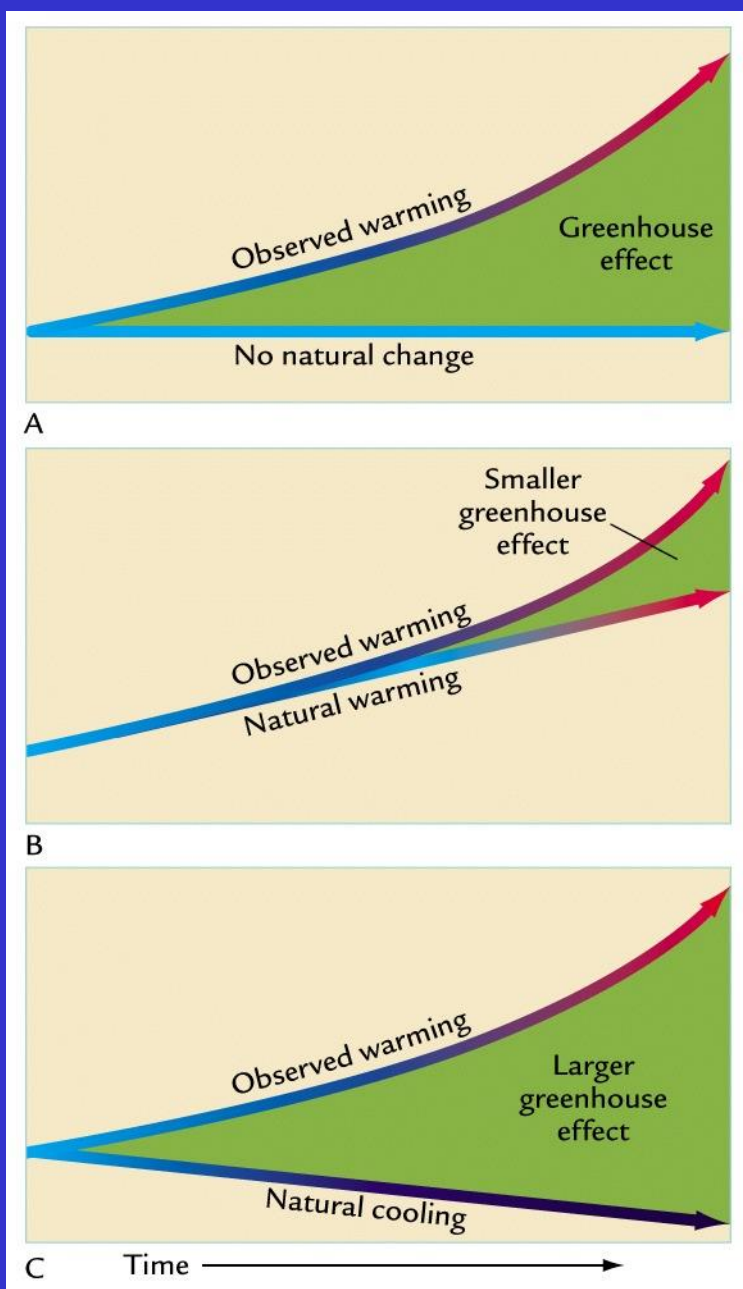
气溶胶浓度

地表覆盖状况



百年来，~0.8度增温

需了解气候变化的自然规律



全部温室效应

部分温室效应
部分自然增暖

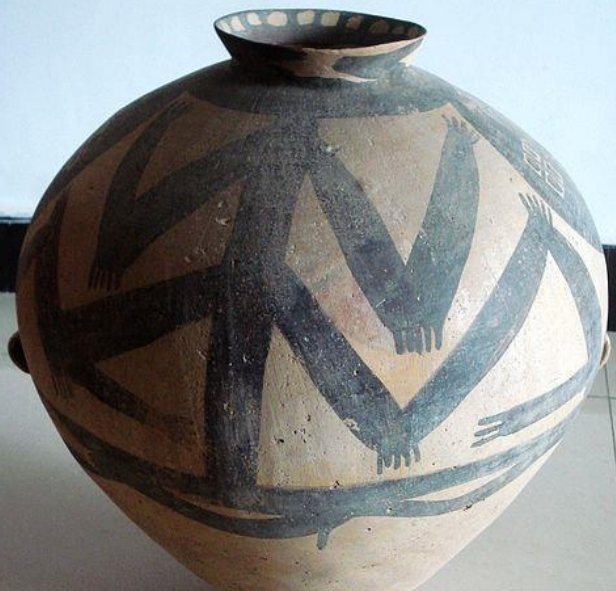
自然：变冷
温室效应更大

二十世纪变暖的三种可能模式

~0.8度增温由谁引起？

现今暖到什么程度？

- 1、肯定为800年来最暖
- 2、肯定比6000年前冷
- 3、可能比汉唐时期冷



柳湾蛙纹彩陶壶
马家窑文化马厂类型



大地湾彩陶斗兽游鱼纹撇口罐
仰韶文化石岭下类型



彩陶鲩鱼纹双系小口瓶
仰韶文化庙底沟类型



彩陶人面鱼纹盆
仰韶文化半坡类型



彩陶鱼纹盆
仰韶文化半坡类型

汉朝？史记货殖列传：
夫山西饶材、竹、穀、櫨

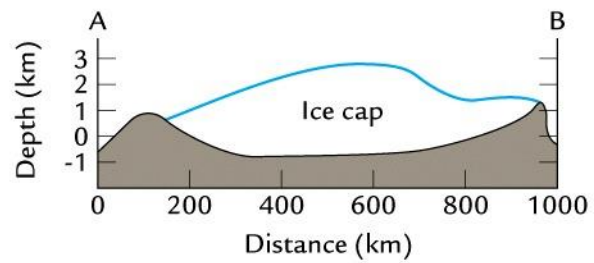
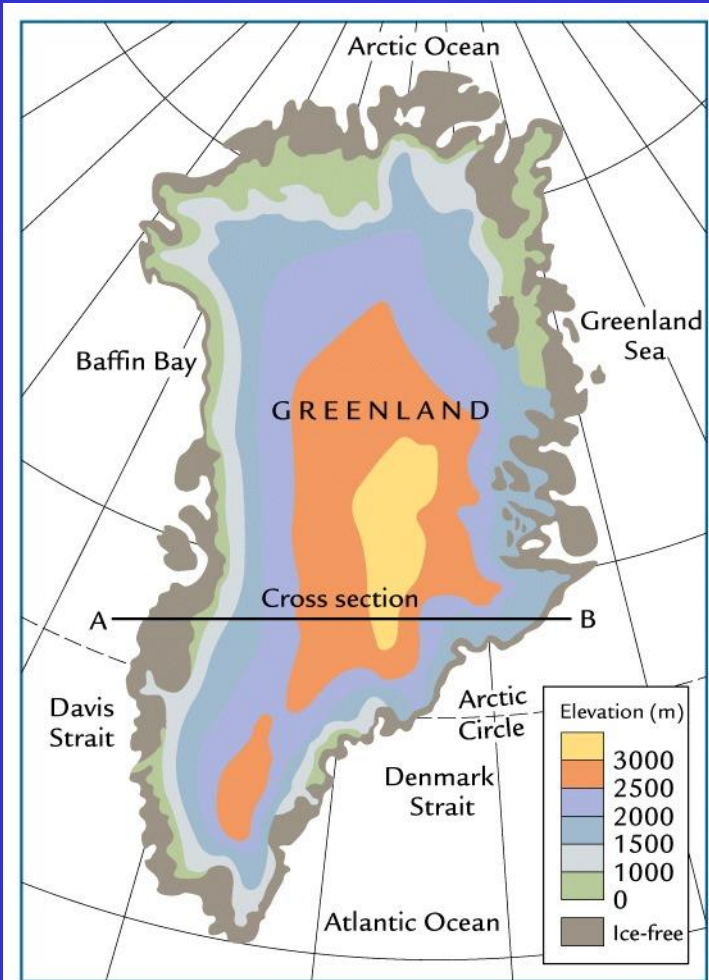
魏晋：竹林七贤

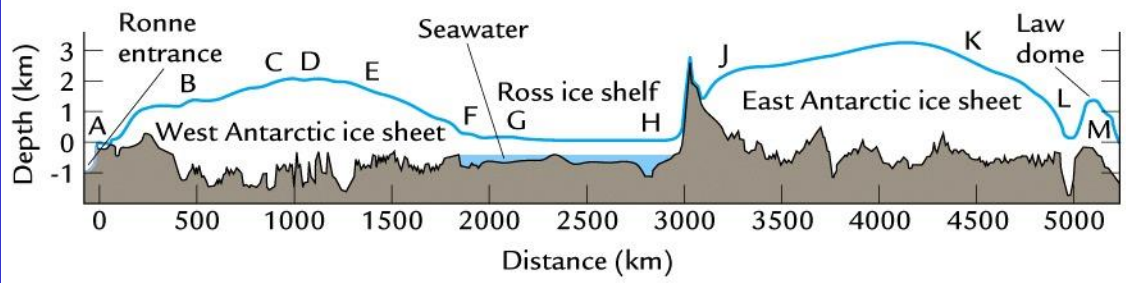
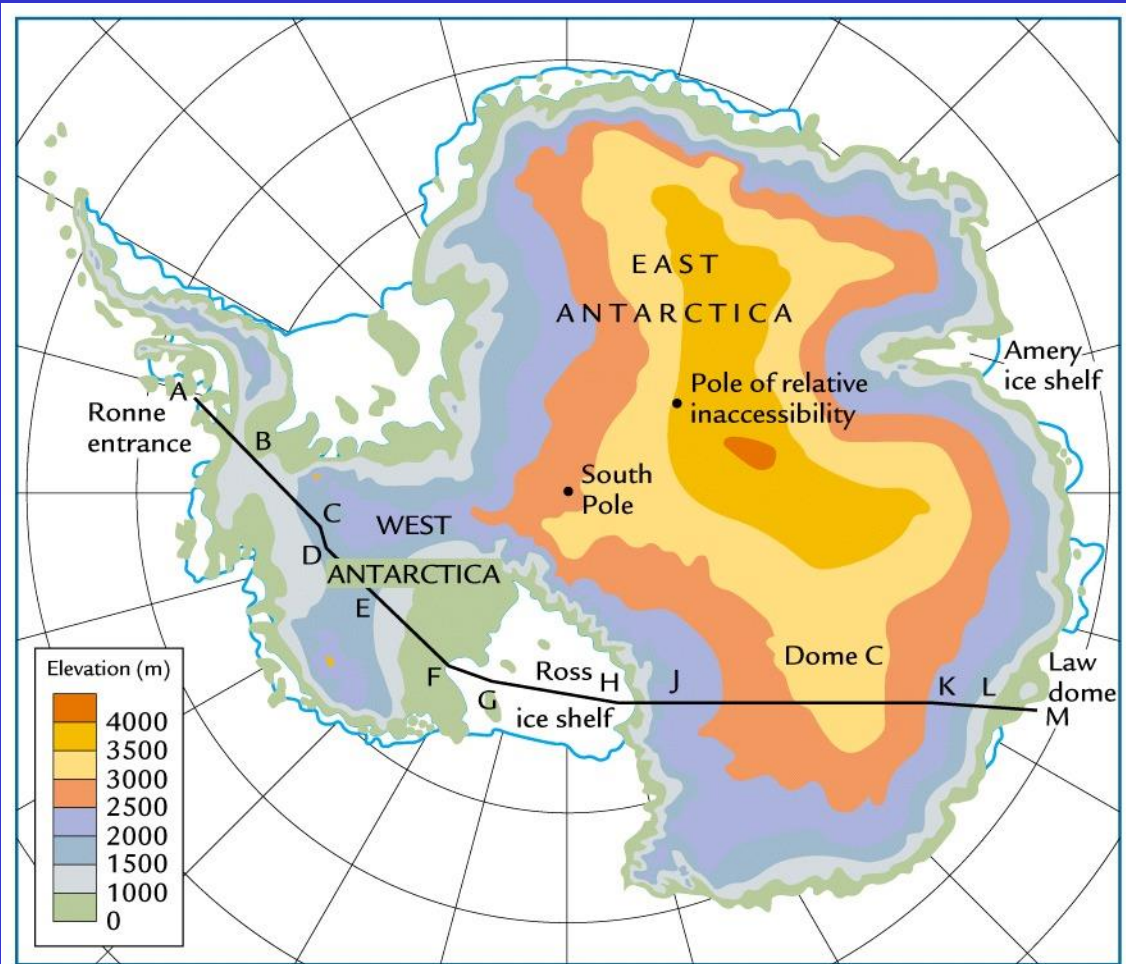
唐：杜牧诗：
长安回望绣成堆
山顶千门次第开
一骑红尘妃子笑
无人知是荔枝来

气温增高后，到底会有什么影响？

这问题也需从正反两个方面评估。

- 由于海平面受大陆冰盖控制，而大陆冰盖变化的“时间常数”是数千年，**在百年的时间尺度上，海平面大幅度升降是不可能的；**
- 由于陆地生态系统的绝大部分物种会随温度变化而迁徙，所谓升温 2°C 后陆地生态系统中约30%的物种将灭绝的**“托马斯预言”没有坚实的科学根据；**
- 增温后，由于从赤道到极地的温度梯度变小，大气环流系统有可能更趋稳定，极端天气整体上有可能会减少，而大气垂直扰动造成的极端天气则可能将增加；





- 热带传染病在增温背景下北上的可能性会增加，但人类有能力控制；
- 增暖后，地球整体的生物产率将增加，CO₂浓度增加也有利于光合作用，因此世界粮食总产量将增加，而各区域则有可能有增有减；
- 地区间冲突是否会因增温而增加，尚难评估，但过去几百年的国际冲突很少因气候变化而爆发。

气候永远在变化，变是绝对的，不变是相对的，如果非得比较，则变暖比变冷要好一些。

节能减排，绿色发展，永远有理。

谢谢！