

# 上海交通大学海洋学院

## 气候学与全球变化 Climate and Global Change

2022.04.22



SCHOOL OF OCEANOGRAPHY  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY  
上海交通大学 海洋学院

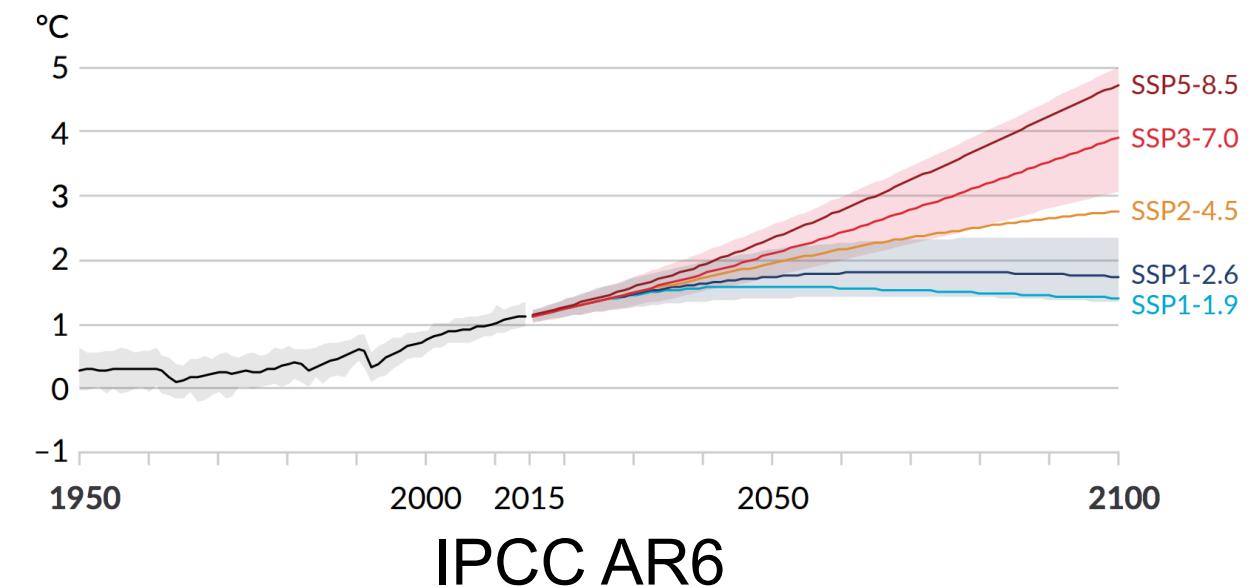


# 第九章 地球气候的演变

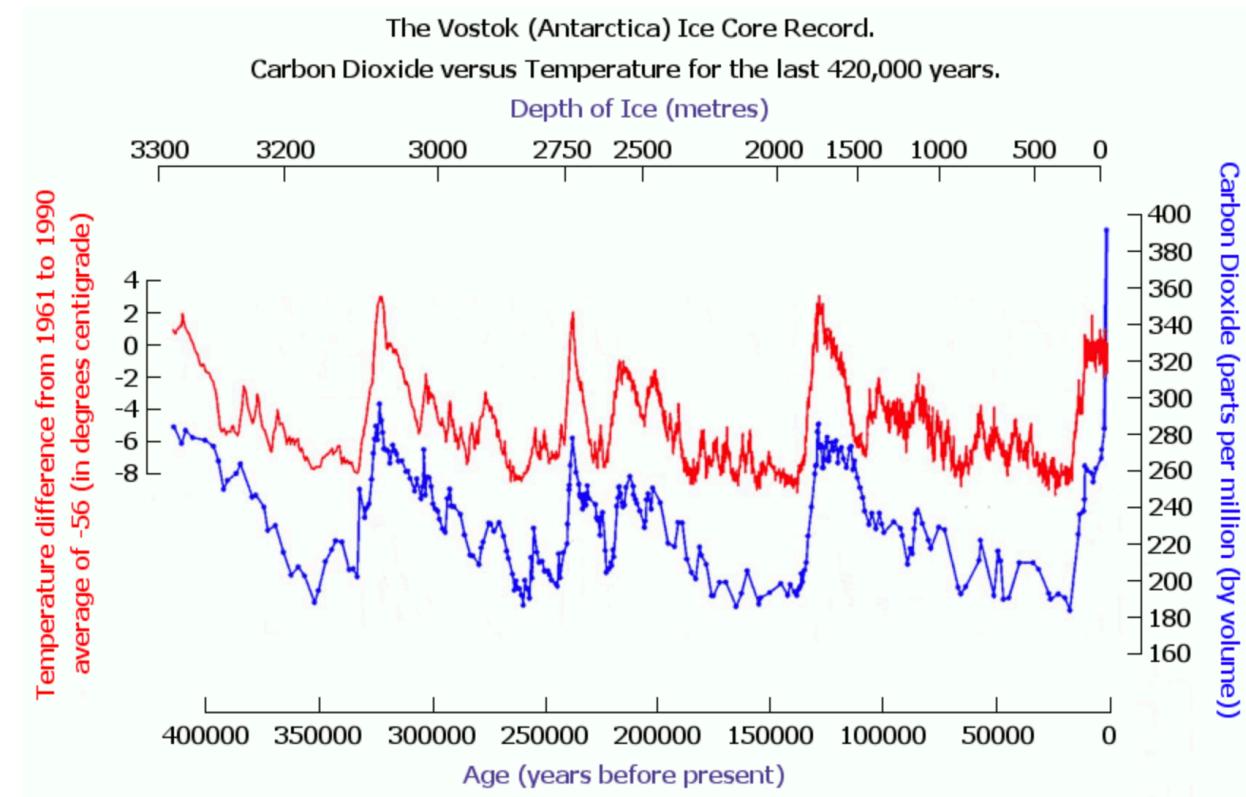


## Why paleoclimate?

(a) Global surface temperature change relative to 1850–1900



IPCC AR6



- 变化大
- 时间尺度长



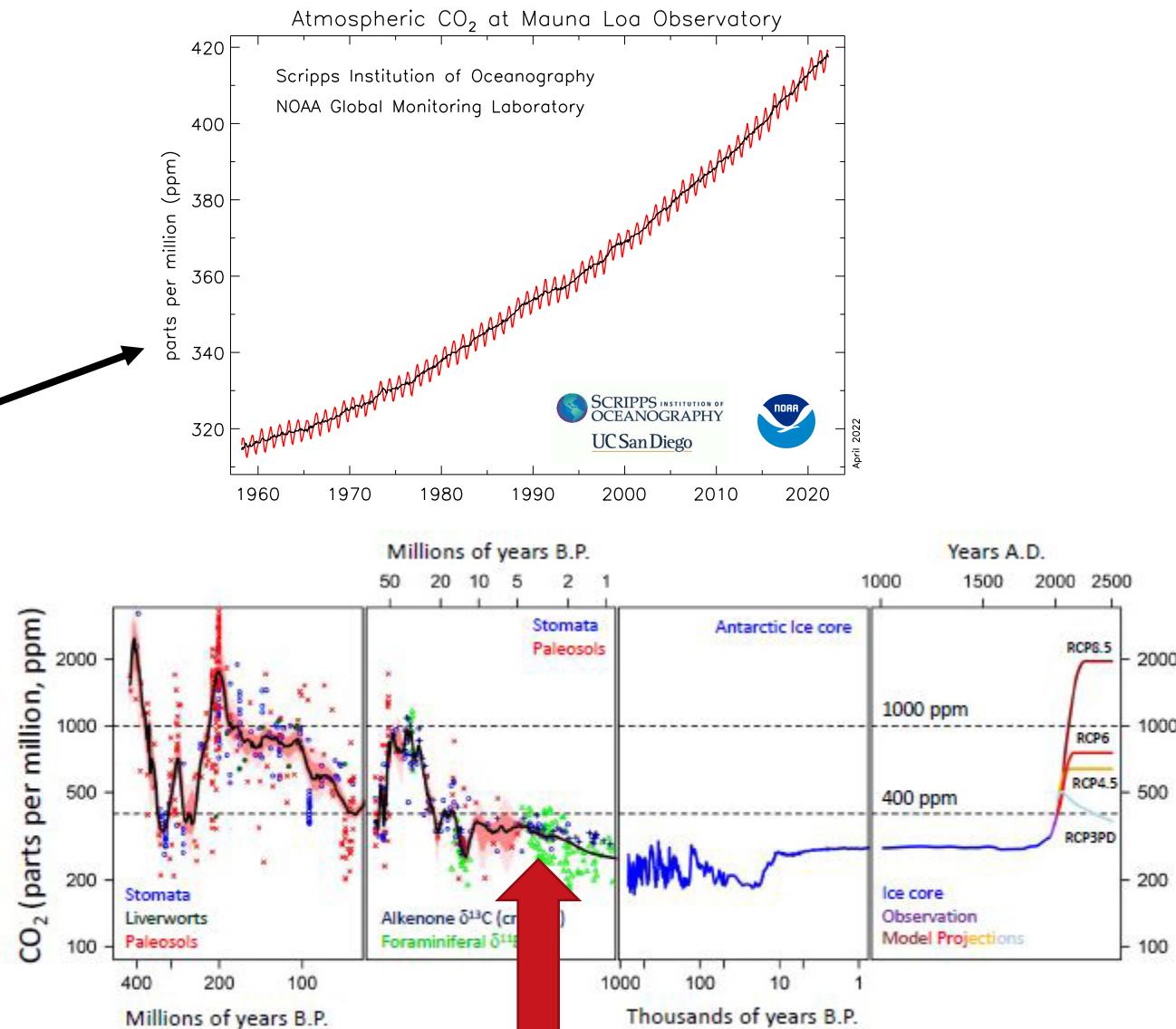
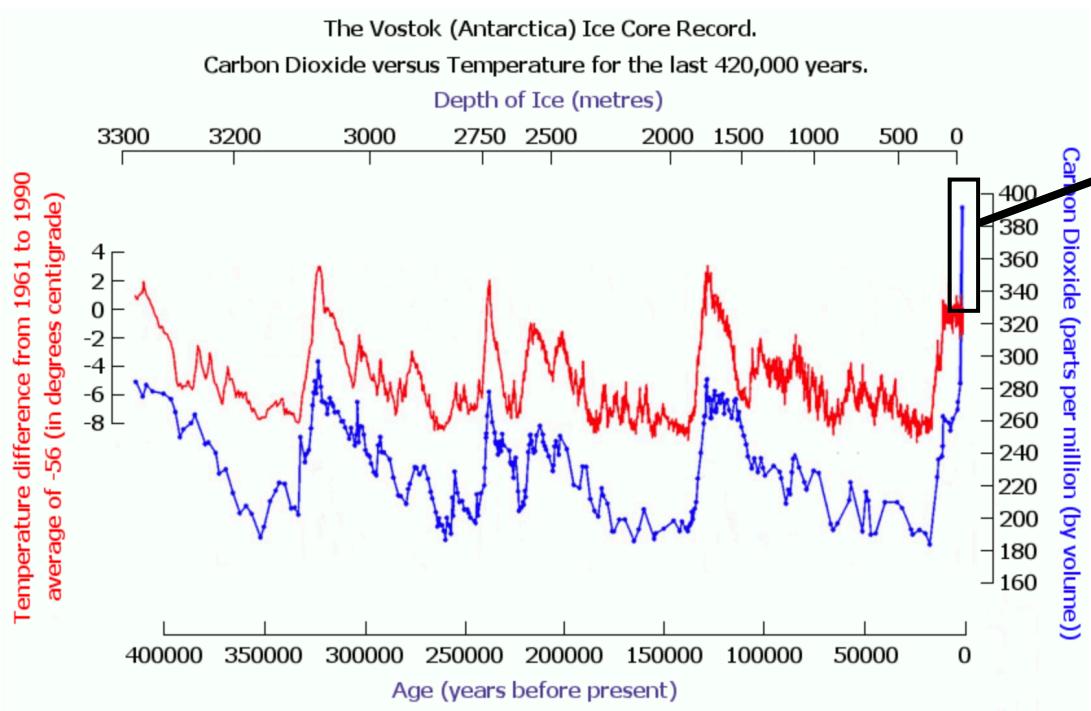


# 第九章 地球气候的演变



## Why paleoclimate?

### Unprecedented CO<sub>2</sub> level



Mid-Pliocene (上新世中期, ~3Ma)



# 第九章 地球气候的演变



## Why paleoclimate?

REVIEW

CLIMATE CHANGE

### Past climates inform our future

Jessica E. Tierney<sup>1\*</sup>, Christopher J. Poulsen<sup>2</sup>, Isabel P. Montañez<sup>3</sup>, Tripti Bhattacharya<sup>4</sup>, Ran Feng<sup>5</sup>, Heather L. Ford<sup>6</sup>, Bärbel Hönisch<sup>7</sup>, Gordon N. Inglis<sup>8</sup>, Sierra V. Petersen<sup>2</sup>, Navjit Sagoo<sup>9</sup>, Clay R. Tabor<sup>5</sup>, Kaustubh Thirumalai<sup>1</sup>, Jiang Zhu<sup>2</sup>, Natalie J. Burls<sup>10</sup>, Gavin L. Foster<sup>8</sup>, Yves Goddériss<sup>11</sup>, Brian T. Huber<sup>12</sup>, Linda C. Ivany<sup>4</sup>, Sandra Kirtland Turner<sup>13</sup>, Daniel J. Lunt<sup>14</sup>, Jennifer C. McElwain<sup>15</sup>, Benjamin J. W. Mills<sup>16</sup>, Bette L. Otto-Bliesner<sup>17</sup>, Andy Ridgwell<sup>13</sup>, Yi Ge Zhang<sup>18</sup>

Tierney et al., 2020, Science

### The future in the past

A major cause of uncertainties in climate projections is our imprecise knowledge of how much warming should occur as a result of a given increase in the amount of carbon dioxide in the atmosphere. Paleoclimate records have the potential to help us sharpen that understanding because they record such a wide variety of environmental conditions. Tierney *et al.* review the recent advances in data collection, statistics, and modeling that might help us better understand how rising levels of atmospheric carbon dioxide will affect future climate.





# 第九章 地球气候的演变



## 9.1 不同种类的观测

9.1.1 器测资料 (instrumental record)

9.1.2 历史资料 (historical data)

9.1.3 代用记录 (proxy record)

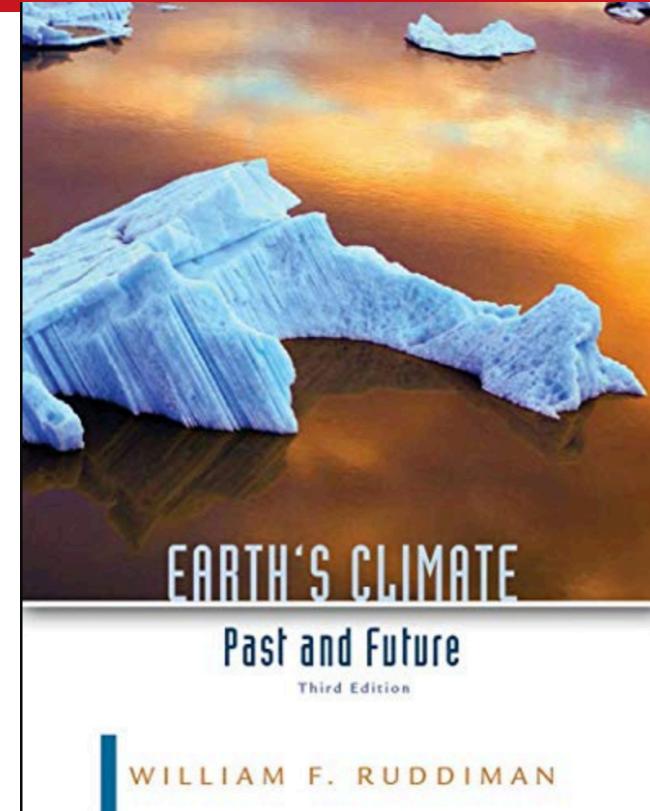
## 9.2 不同时间尺度的气候变化

9.2.1 构造尺度 (tectonic scale)

9.2.2 轨道尺度 (orbital scale)

9.2.3 冰期-间冰期尺度 (glacial-interglacial scale)

9.2.4 历史时期 (historical scale)



气候学是多学科交叉的领域：  
物理，化学，生物，地质

。 . .

## 9.1.1 器测资料 (instrumental record)

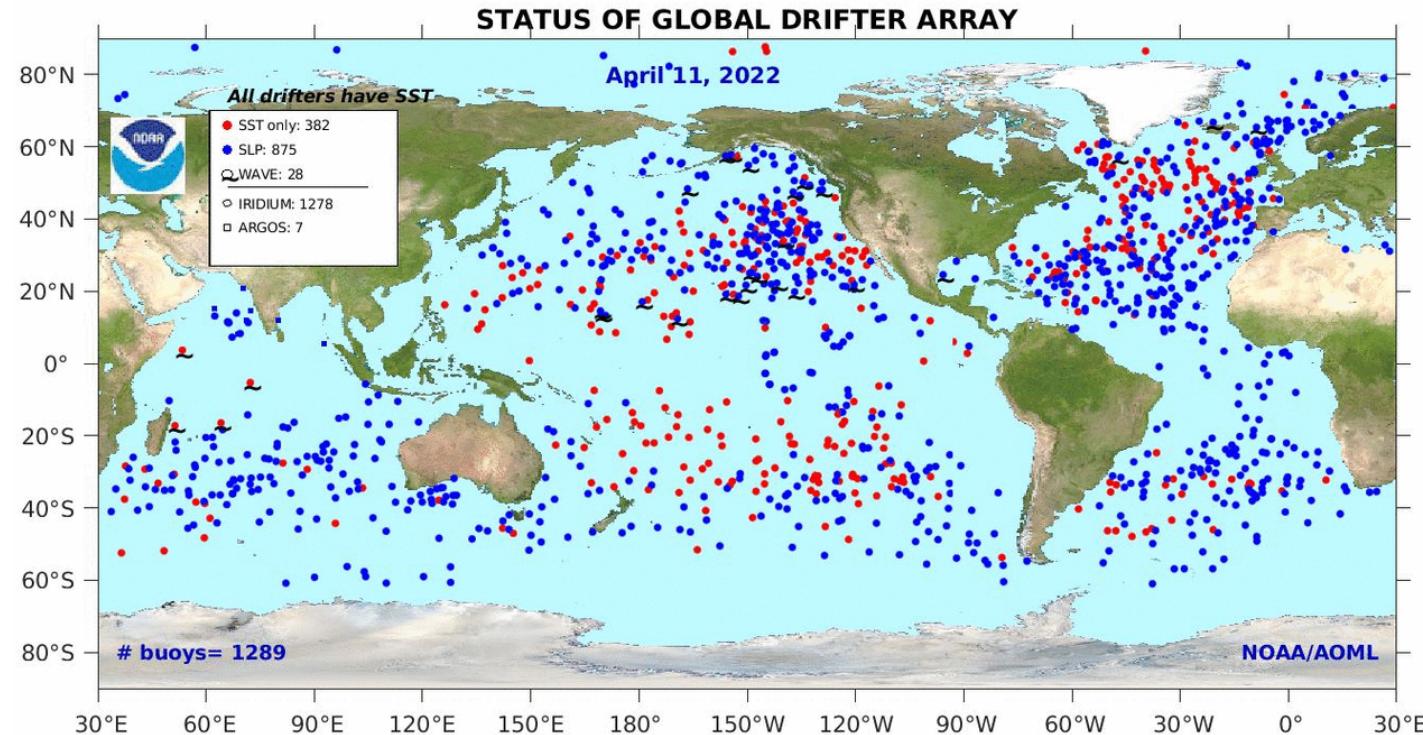
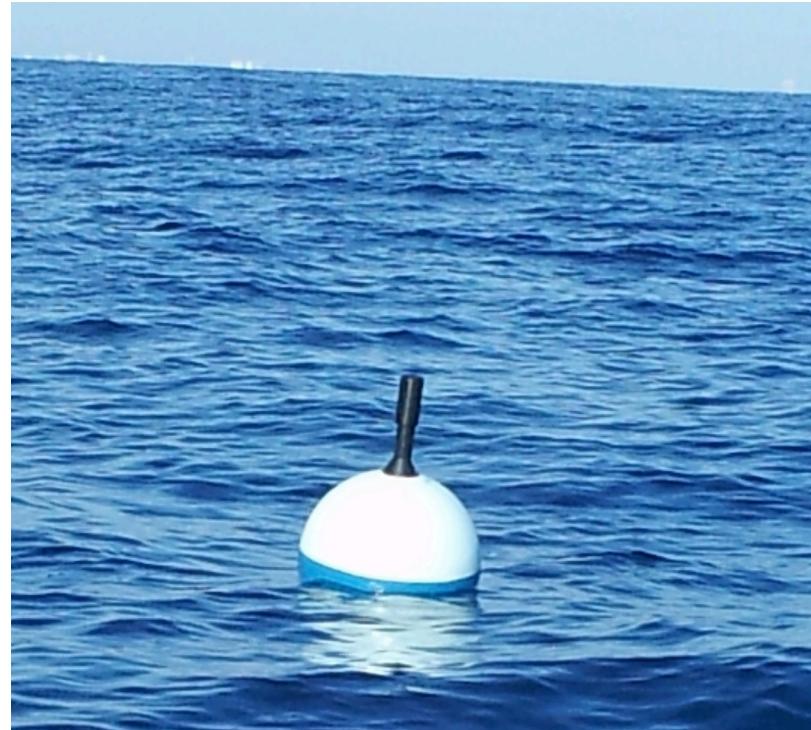
气象站：温度，气压，湿度，降水等 ~150年





## 9.1.1 器测资料 (instrumental record)

浮标：温度，压强，流速等 ~ 150年



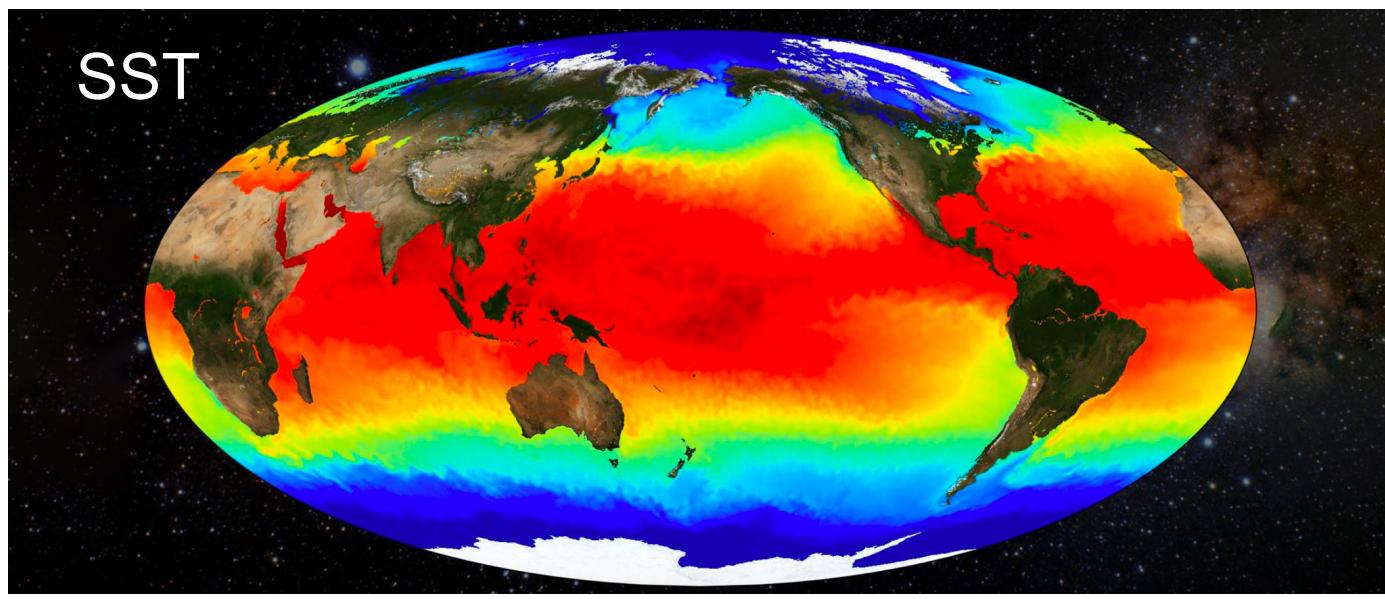


# 第九章 地球气候的演变

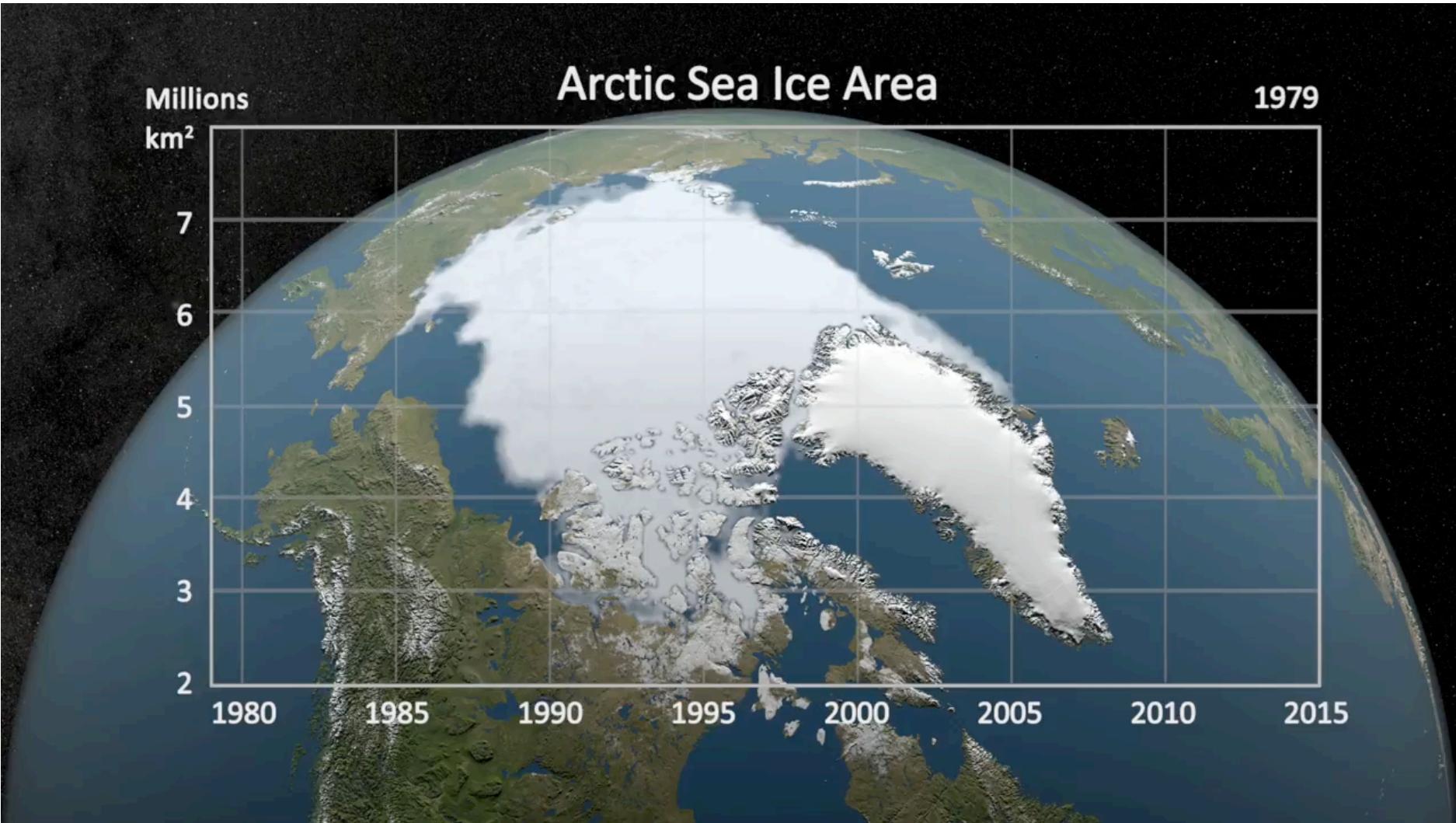


## 9.1.1 器测资料 (instrumental record)

卫星：温度，云量，沙尘，CO<sub>2</sub>，海面高度，叶绿素浓度等变量 ~ 50年



## 基于卫星的北极海冰观测



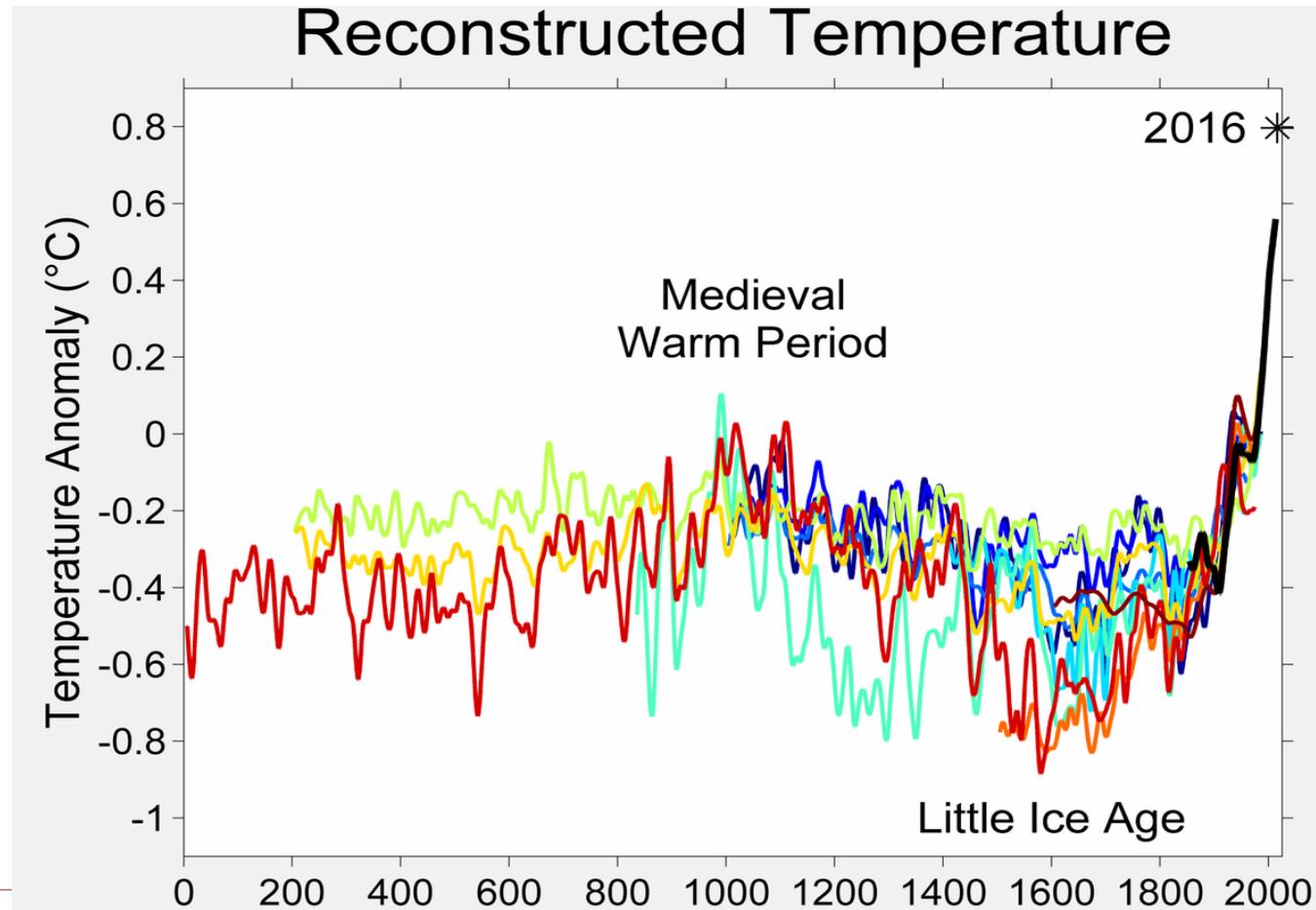


# 第九章 地球气候的演变



## 9.1.2 历史资料 (historical data)

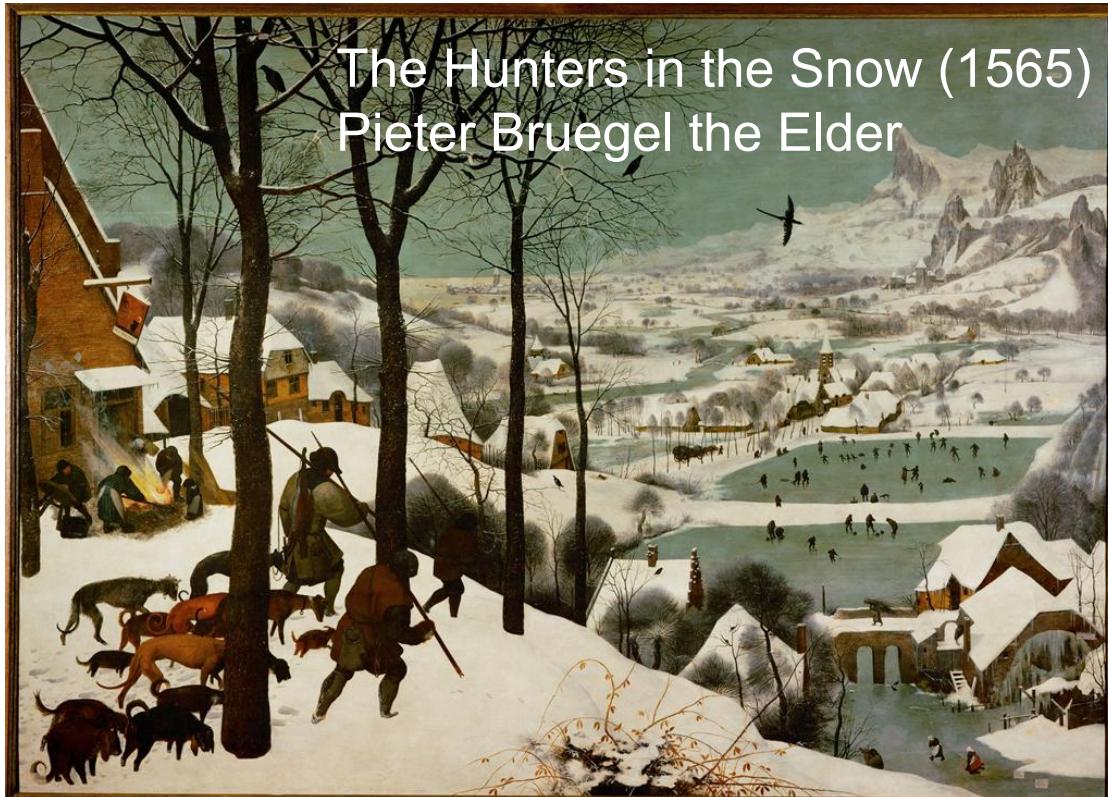
### Little Ice Age (1400-1850)





## 9.1.2 历史资料 (historical data)

### Little Ice Age (1400-1850)





## 9.1.2 历史资料 (historical data)

### Little Ice Age (1400-1850)

#### 文字资料

《明史·五行志》：

“景泰四年冬十一月戊辰至明年孟春，山东、河南、浙江、直隶、淮、徐大雪数尺，淮东之海冰四十余里，人畜冻死万计。五年正月，江南诸府大雪连四旬，苏、常冻饿死者无算。”（1454-1455年）





# 第九章 地球气候的演变



## 9.1.2 历史资料 (historical data)

### 崇祯大旱

“大旱遍及全省，禾草皆枯，  
洛水深不盈尺，草木兽皮虫蝇  
皆食尽，人多饥死，饿殍载道，  
地大荒。”

“绝粜米市，木皮石面食尽，  
父子夫妇相剖啖，十亡八九”

One Drought and One Volcanic Eruption Influenced the History of China: The Late Ming Dynasty Mega-drought

Kefan Chen, Liang Ning✉, Zhengyu Liu✉, Jian Liu, Mi Yan, Weiyi Sun, Linwang Yuan, Guonian Lv, Longhui Li, Chunhan Jin, Zhengguo Shi

First published: 17 August 2020

<https://doi.org/10.1029/2020GL088124>

Citations: 7

About | Sections



#### Abstract

The late Ming Dynasty Megadrought (LMDMD) (1637–1643) occurred at the end of Ming Dynasty and is the severest drought event in China in the last millennium. This unprecedented drought contributed significantly to the collapse of the Ming Dynasty in

1644, casting profound impacts on Chinese history. Here, the physical mechanism for the LMDMD is studied. Based on paleoclimate reconstructions, we hypothesize that this drought was initially triggered by a natural drought event starting in 1637 and was then intensified and extended by the tropical volcanic eruption at Mount Parker in 1641. This hypothesis is supported by the case study of the Community Earth System Model-Last Millennium Experiment archive as well as sensitivity experiments with volcanic forcing superimposed on natural drought events. The volcano-intensified drought was associated with a decreased land-ocean thermal contrast, a negative soil moisture response, and a weakening and eastward retreating West Pacific Subtropical High.

Chen et al., 2020, GRL



<https://www.nature.com/articles/d41586-020-02467-2>



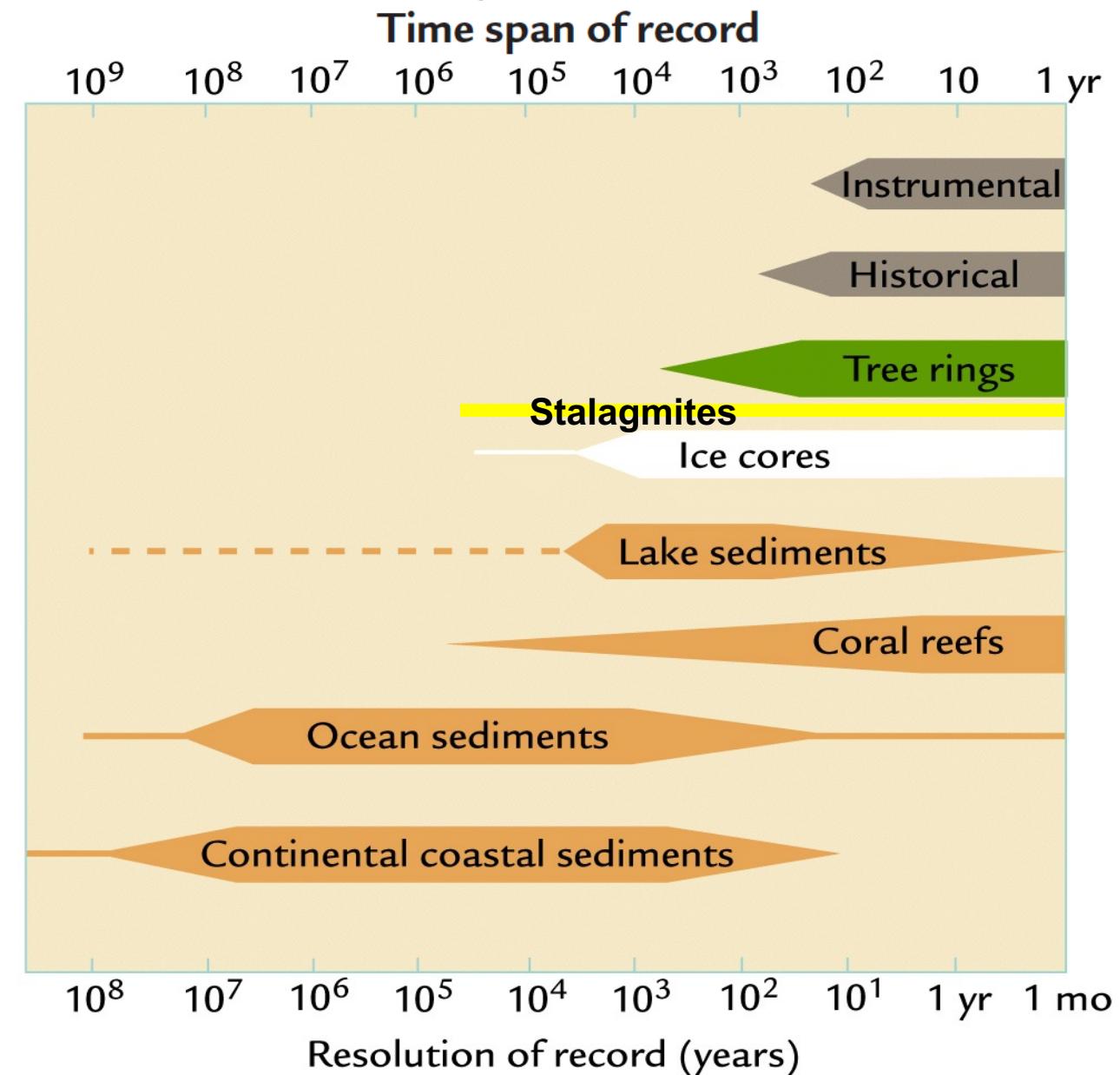
## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

代用资料的种类：

- 树轮
- 石笋
- 冰芯
- 湖泊沉积物
- 珊瑚
- 海洋沉积物
- 陆地沉积物

代用资料的选择取决于：

- 时间跨度
- 时间分辨率



## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### a. 不同种类的代用记录

#### 树轮

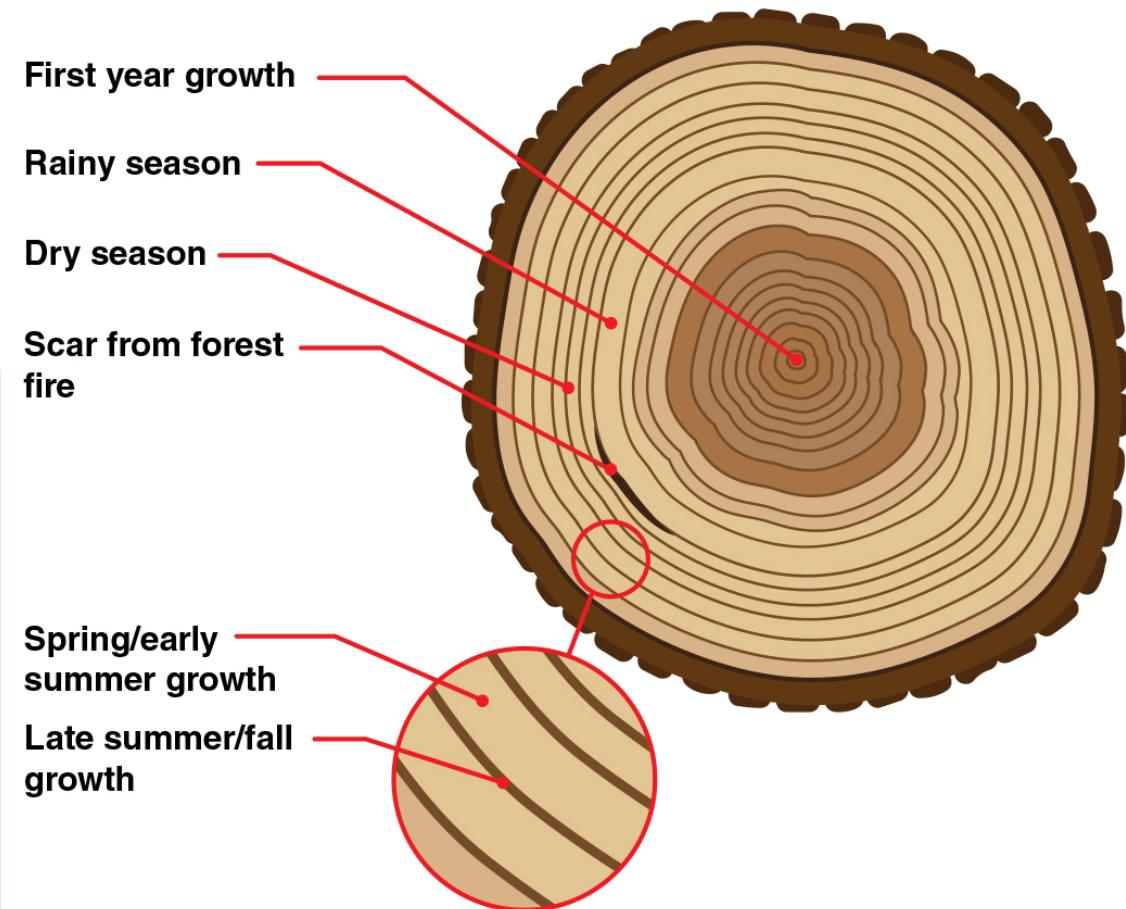


## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### a. 不同种类的代用记录

#### 树轮

- 从内向外，从老到新。
- 生长取决于温度：春季/初夏的快速生长期，形成较浅较厚的木质层；夏末/秋季生长缓慢期，形成较深较薄的木质层。
- 生长取决于降水：雨季形成较浅较厚的木质层；旱季形成较深较薄的木质层。
- 百年~千年，年际变化。



## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### a. 不同种类的代用记录

#### 树轮

树轮资料主要分布在热带外的大陆



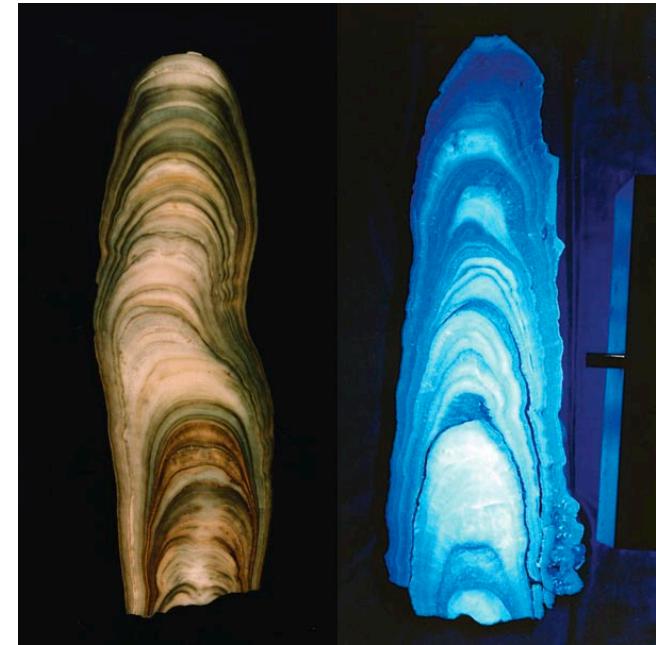
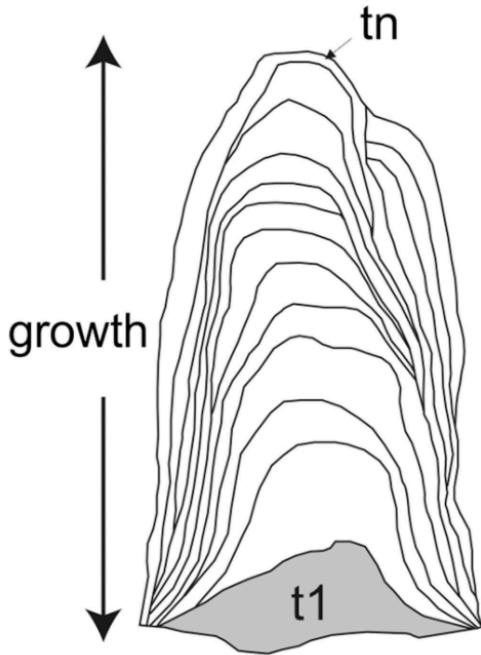
The ring patterns of more than 6,000 trees (green triangles) have been archived in NOAA's International Tree-Ring Data Bank.

## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### a. 不同种类的代用记录

#### 石笋

- 主要成分：来自地下水的碳酸钙。
- 生长“年轮”：温度，降水，碳酸钙饱和度等。
- $\delta^{18}\text{O}$ ：主要反映降水（比如东亚季风）



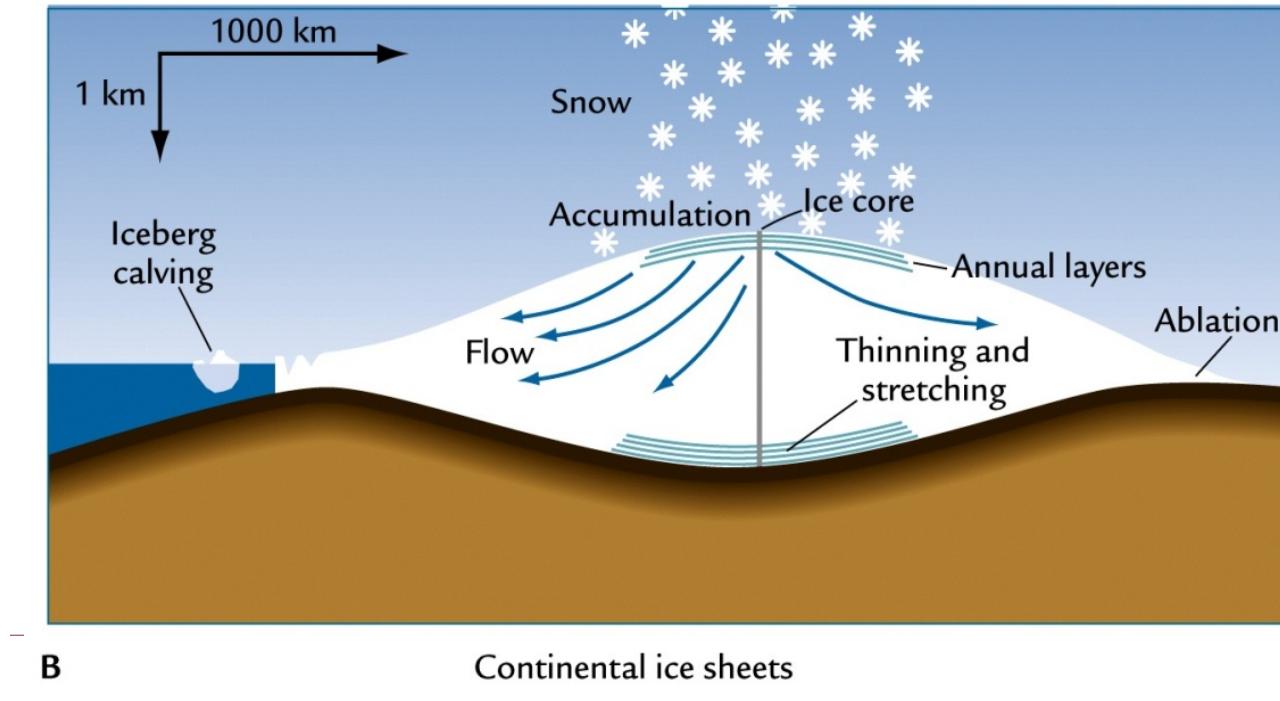
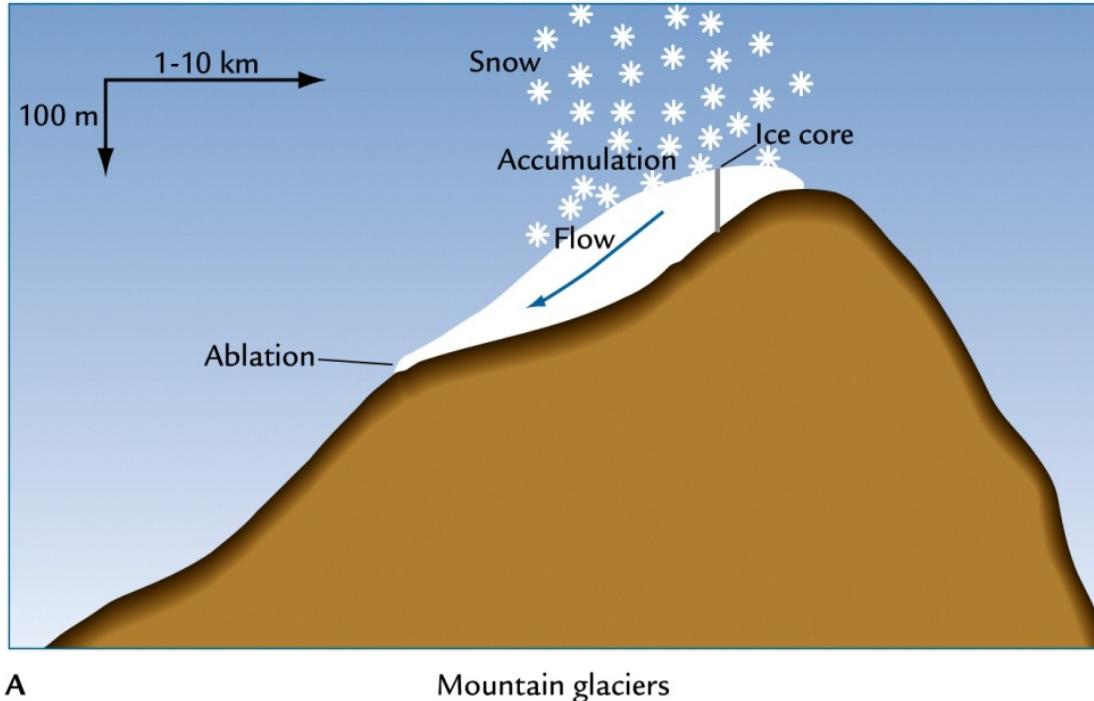


## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### a. 不同种类的代用记录

#### 冰芯

- 限于高海拔地区和极地地区。
- 北极: ~ 13万年；南极: ~ 80万年；山: ~ 1万年。
- 记录温度，降雪，大气成分（气体，沙尘，火山气溶胶）等。



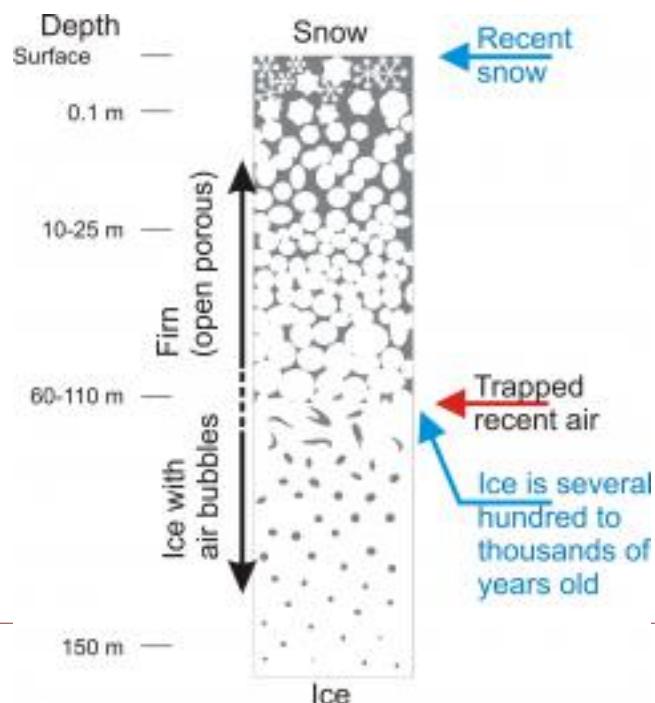


## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

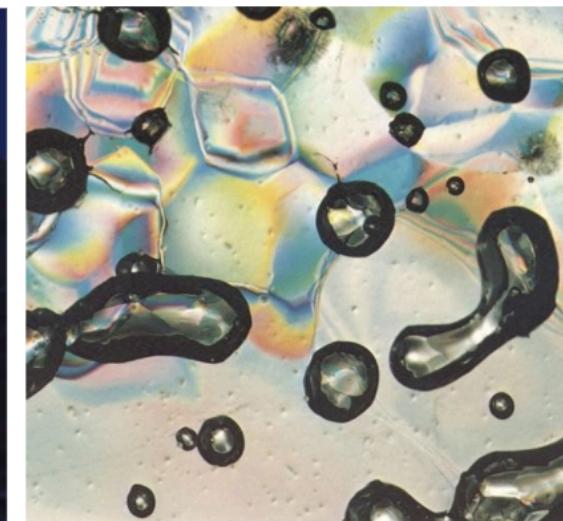
### a. 不同种类的代用记录

#### 冰芯

- “古” 空气 : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, 沙尘等
- 冰中的同位素指示不同物理量 ;



The dark band in this ice core from West Antarctica is a layer of volcanic ash that settled on the ice sheet approximately 21,000 years ago. Credit: Heidi Roop, National Science Foundation (NSF).

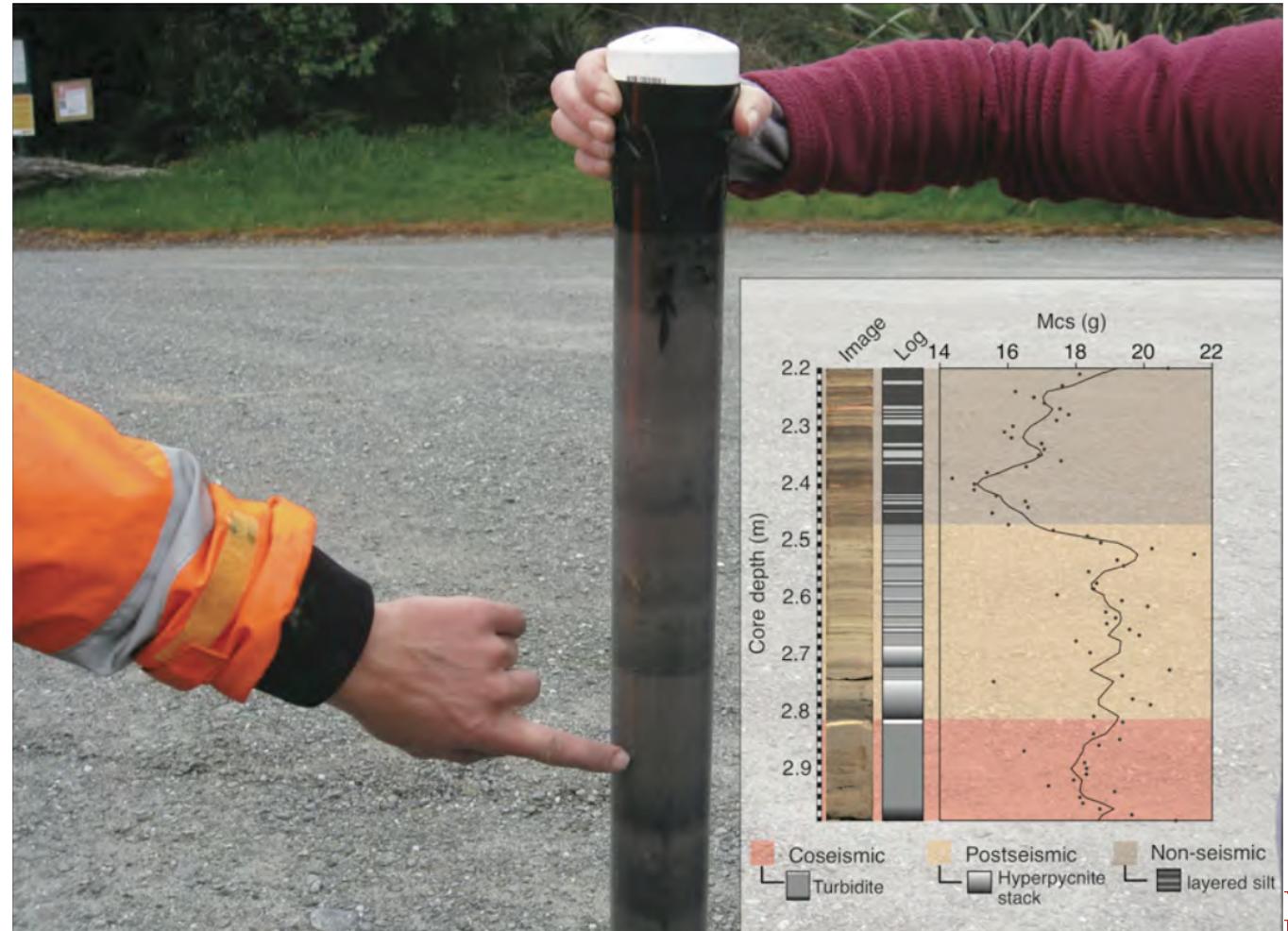


## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### a. 不同种类的代用记录

#### 湖泊沉积物

- 浅色富含矿物质的层次：反映水流入湖泊的速度，从而反映降水。
- 深色富含有有机物的层次：反映附近生长的植物类型。





# 第九章 地球气候的演变

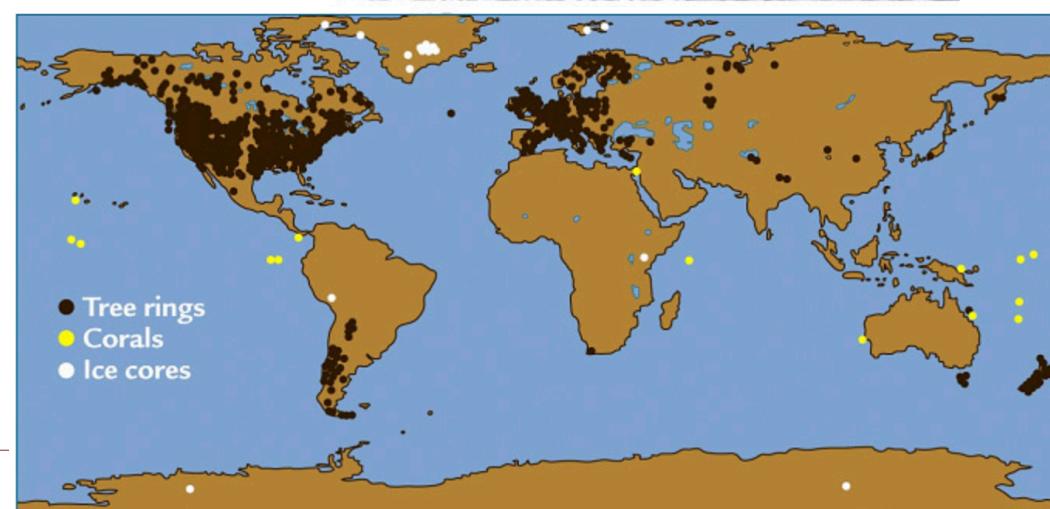
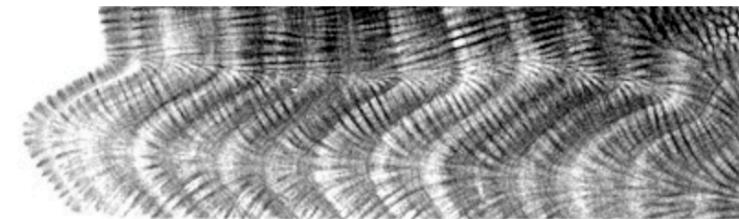
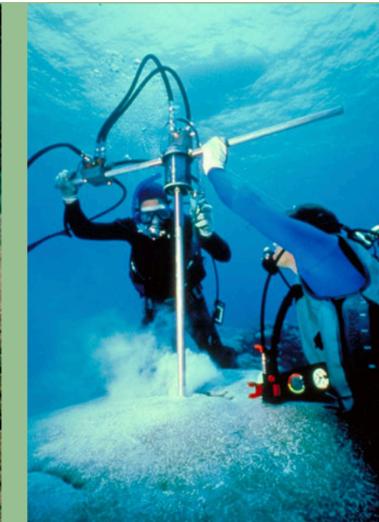


## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### a. 不同种类的代用记录

#### 珊瑚

- 珊瑚“骨架”：夏季快速生长期浅色层，冬季缓慢生长期深色层；该特征用于**定年**。
- 珊瑚中的**同位素**重建过去的气候信息。
- 主要在**低纬度海洋**：珊瑚生长对温度敏感。
- 单个珊瑚可以活几十年到几个世纪，分辨率是每年到每季。
- 珊瑚生长需要和光合藻类共生，只生活在浅水中，**古珊瑚礁**可以重建海平面变化。



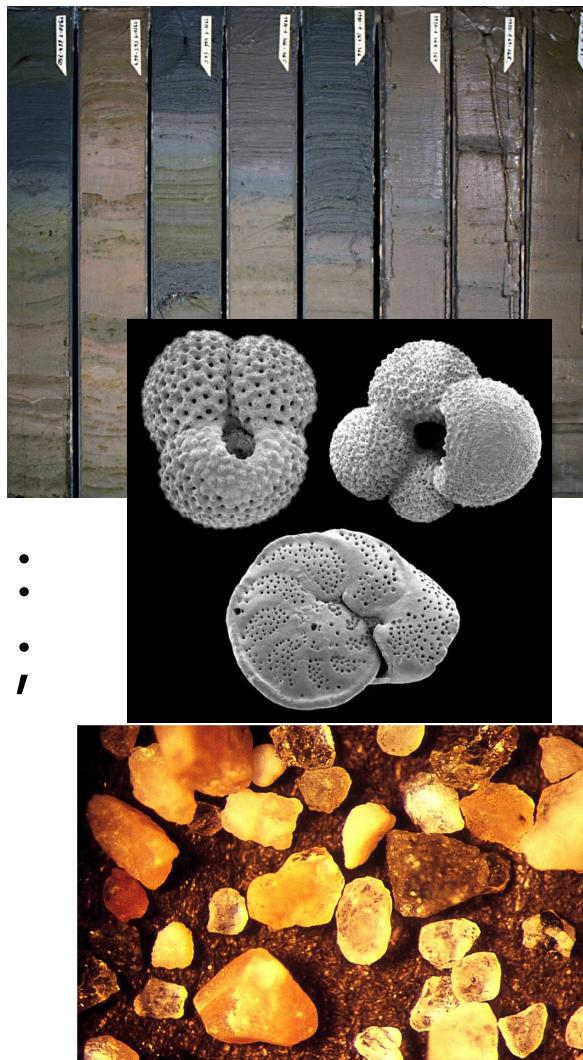


## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### a. 不同种类的代用记录

#### 海洋沉积物

- **有孔虫**：同位素，重建过去的温度，盐度，酸碱度等；
- **来自陆地的颗粒状碎片**：指示冰山融化气候事件；
- **有机生物标志物**：如烯酮化合物（温度）等；





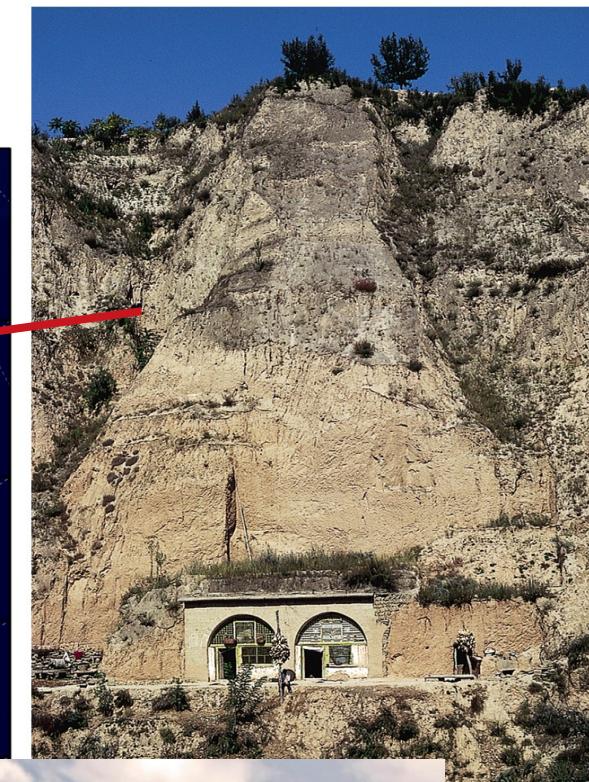
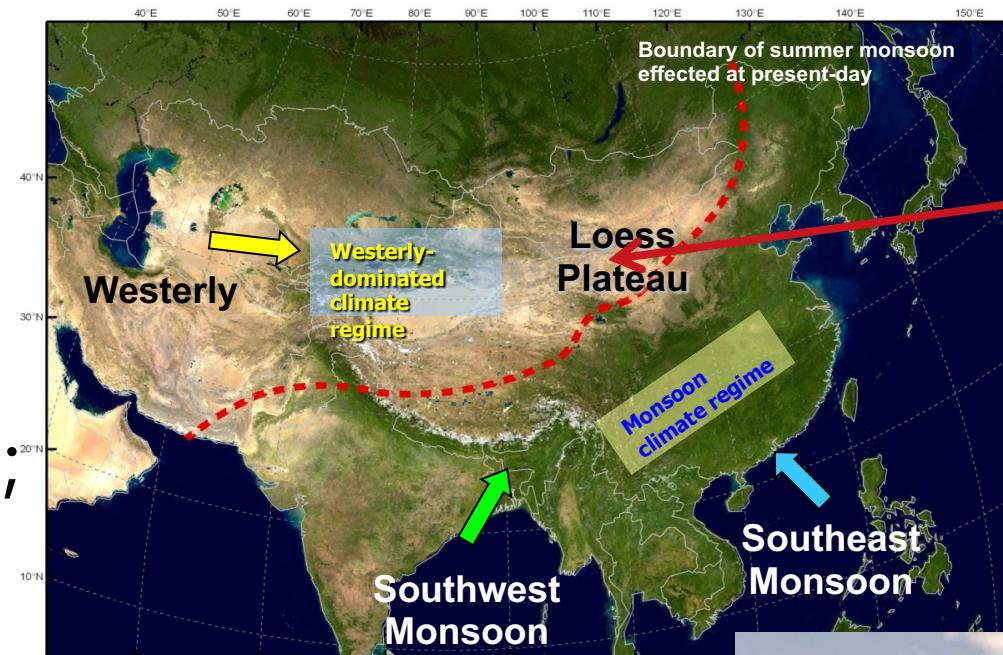
## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### a. 不同种类的代用记录

#### 陆地沉积物

黄土：

- 黄土序列：指示东亚季风；
- 黄土沉积物中的同位素：指示植被类型，降水，温度等。



土壤层  
(温暖/潮湿)

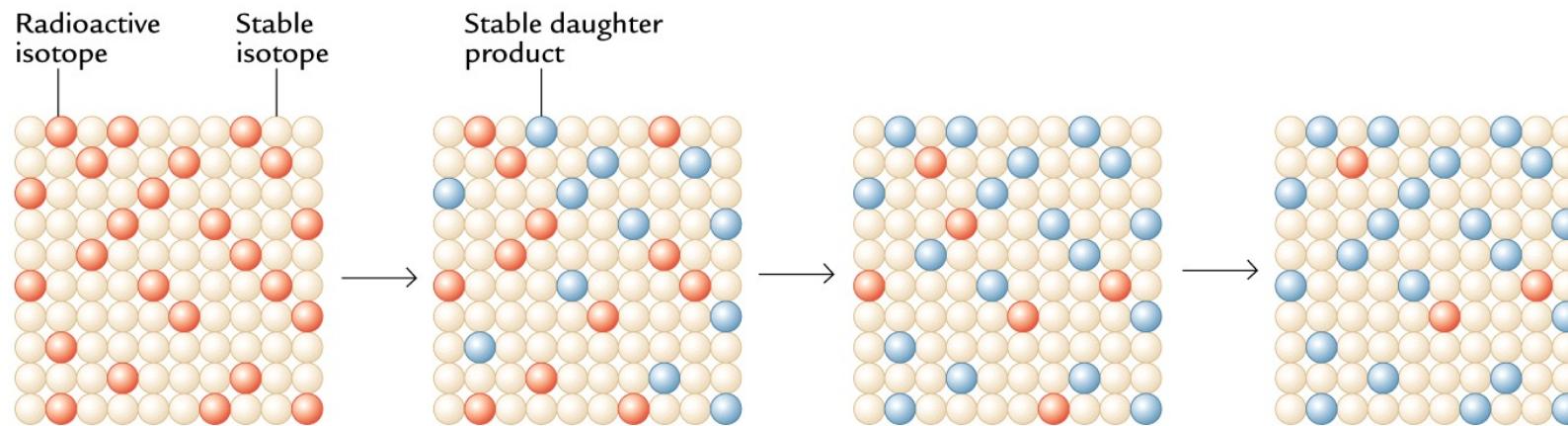
黄土层  
(寒冷/干旱)



## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### b. 代用记录的定年 ( dating )

#### 放射性定年法 ( radiometric dating )



**半衰期**：指放射性原子减少到其初始值的一半所需的时间。





# 第九章 地球气候的演变



## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### b. 代用记录的定年 ( dating )

TABLE 3-1 Radioactive Decay Used to Date Climate Records

Parent isotope	Daughter isotope	Half-life	Useful for ages:	Useful for dating:
Rubidium-87 ( <sup>87</sup> Rb)	Strontium-87 ( <sup>87</sup> Sr)	47 Byr	100 Myr	Granites
Uranium-238 ( <sup>238</sup> U)	Lead-206 ( <sup>206</sup> Pb)	4.5 Byr	>100 Myr	Many rocks
Uranium-235 ( <sup>235</sup> U)	Lead-207 ( <sup>207</sup> Pb)	0.7 Byr	>100 Myr	Many rocks
Potassium-40 ( <sup>40</sup> K)	Argon-40 ( <sup>40</sup> Ar)	1.3 Byr	>100,000 years	Basalts
Thorium 230 ( <sup>230</sup> Th)	Radon-226* ( <sup>226</sup> Ra)	75,000 years	<400,000 years	Corals
Carbon-14 ( <sup>14</sup> C)	Nitrogen-14* ( <sup>14</sup> N)	5,780 years	<50,000 years	Anything that contains carbon

\*Daughter is a gas that has escaped and cannot be measured.





# 第九章 地球气候的演变

## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### b. 代用记录的定年 ( dating )

#### $^{14}\text{C}$ 定年 ( radiocarbon dating )

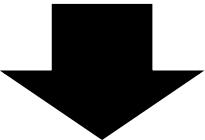
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left( \frac{N_0}{N} \right) \text{ (apparent age)}$$

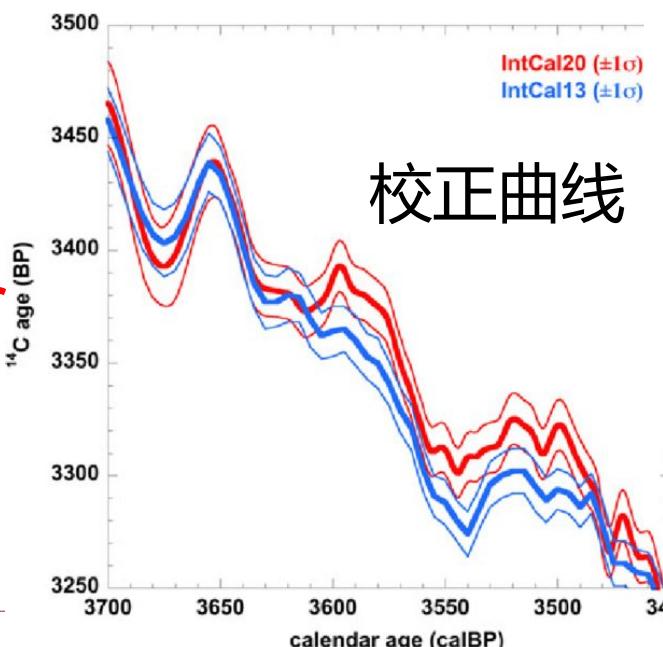
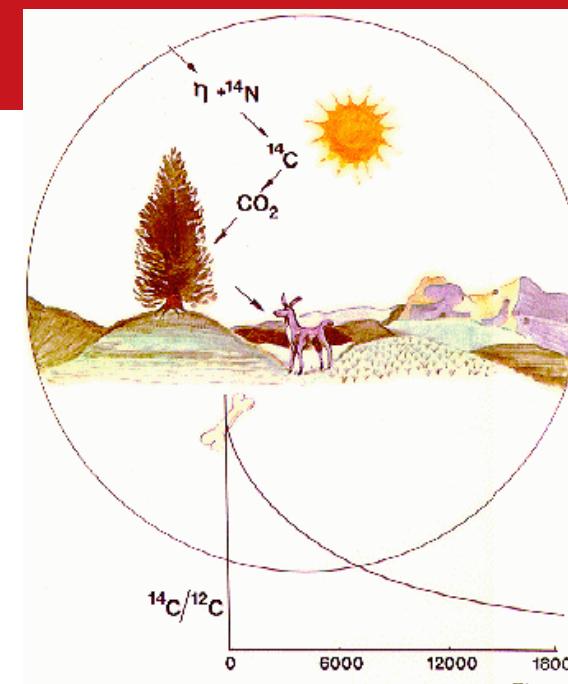
Libby half-life 5568yr :  $\frac{1}{\lambda} = 8033$

假设：均匀衰变  $\checkmark$  ;

大气  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}$  不变  $\times$ ; 真实half-life 5730yr

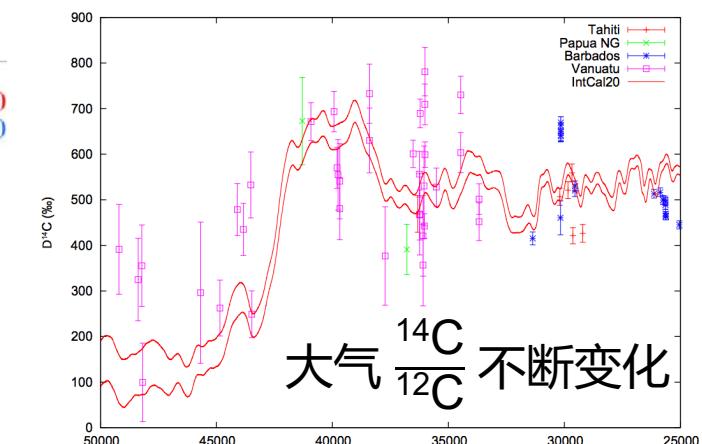


校正(calendar ages)

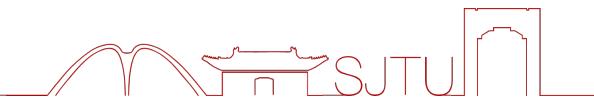


Willard Libby

1960年诺贝尔化学奖

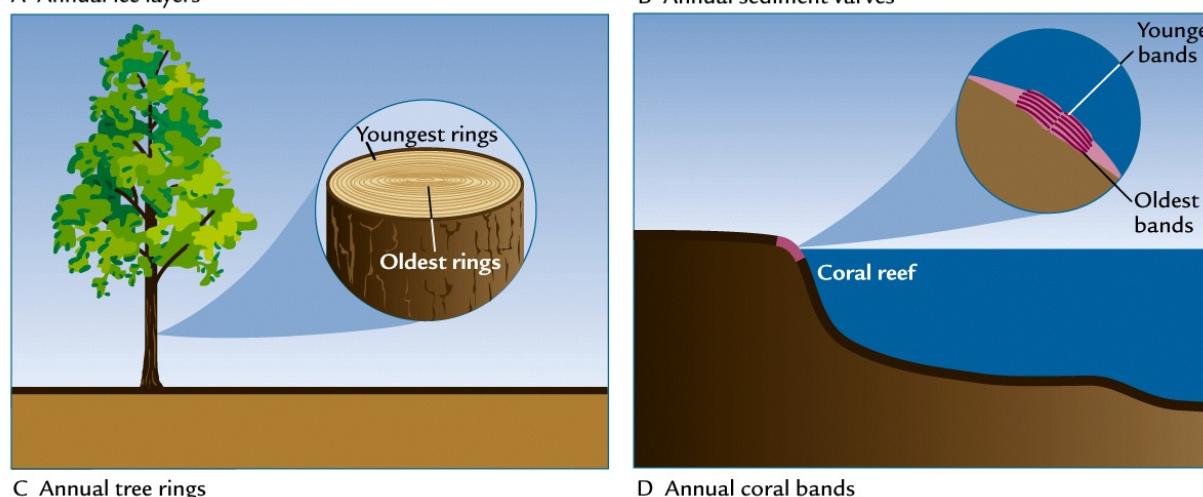
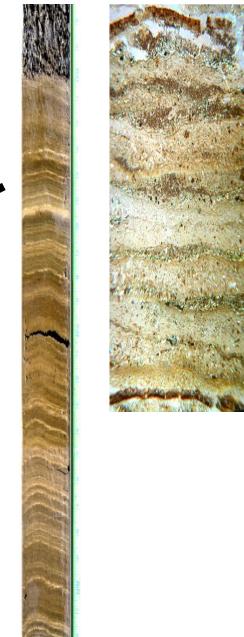
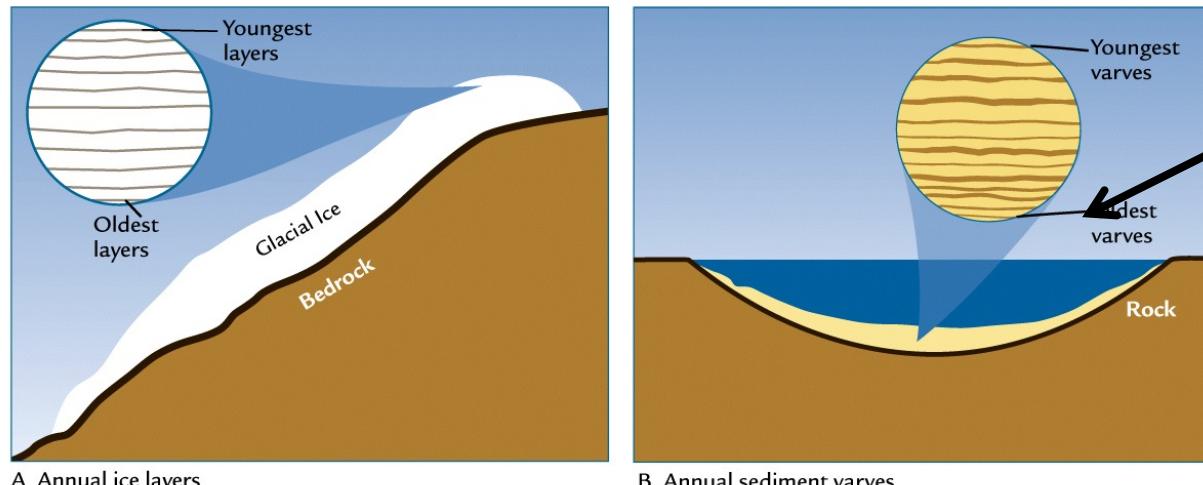


IntCal



## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### b. 代用记录的定年 ( dating ) 年层 ( Annual Layers )





## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### b. 代用记录的定年 ( dating )

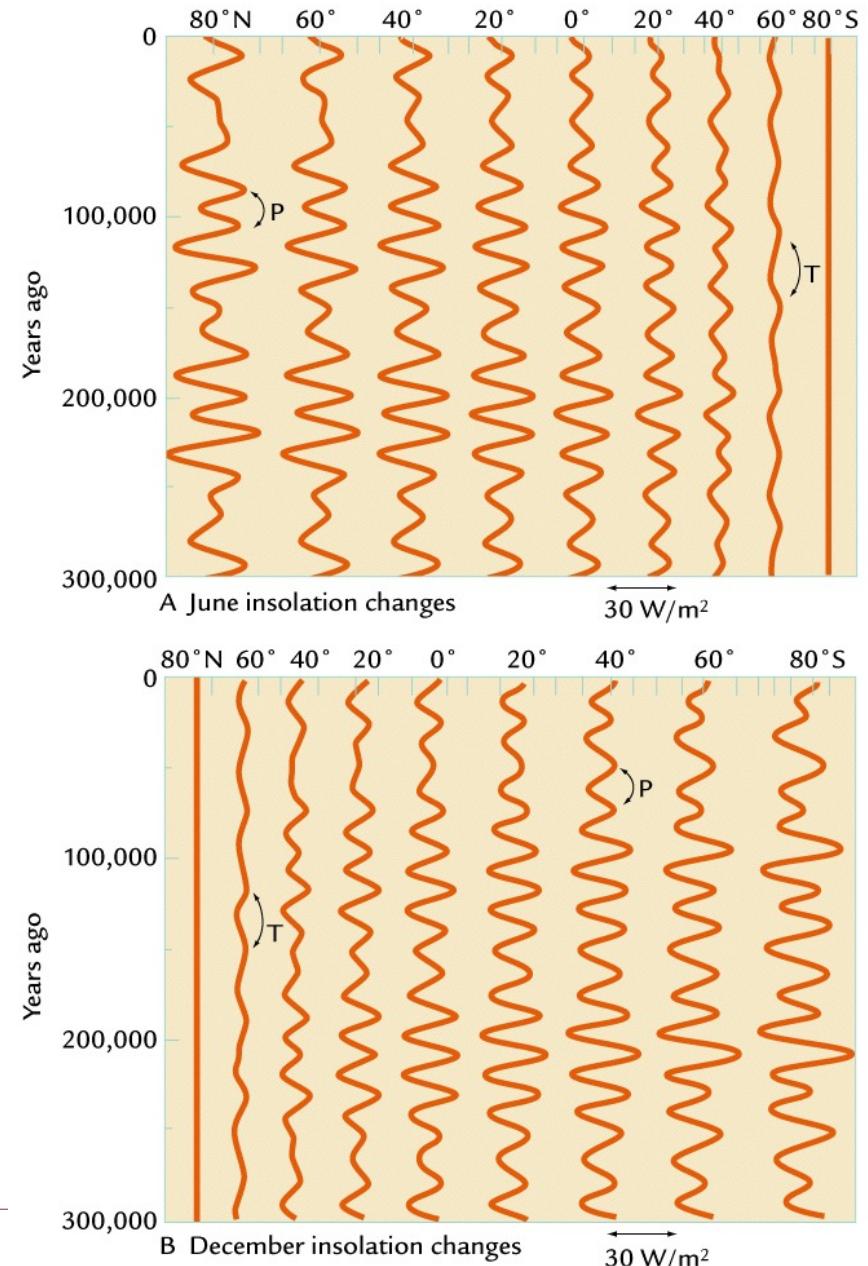
根据轨道参数定年

( Correlating Records with Orbital Cycles )

- 地球绕太阳的轨道可精确计算，轨道的改变引起不同纬度不同季节的太阳辐射的变化。
- 太阳辐射强度与物理过程的固定关系：如低纬度季风和高纬度冰盖的周期性。

⇒ 确定时间

forcing-response assumed!



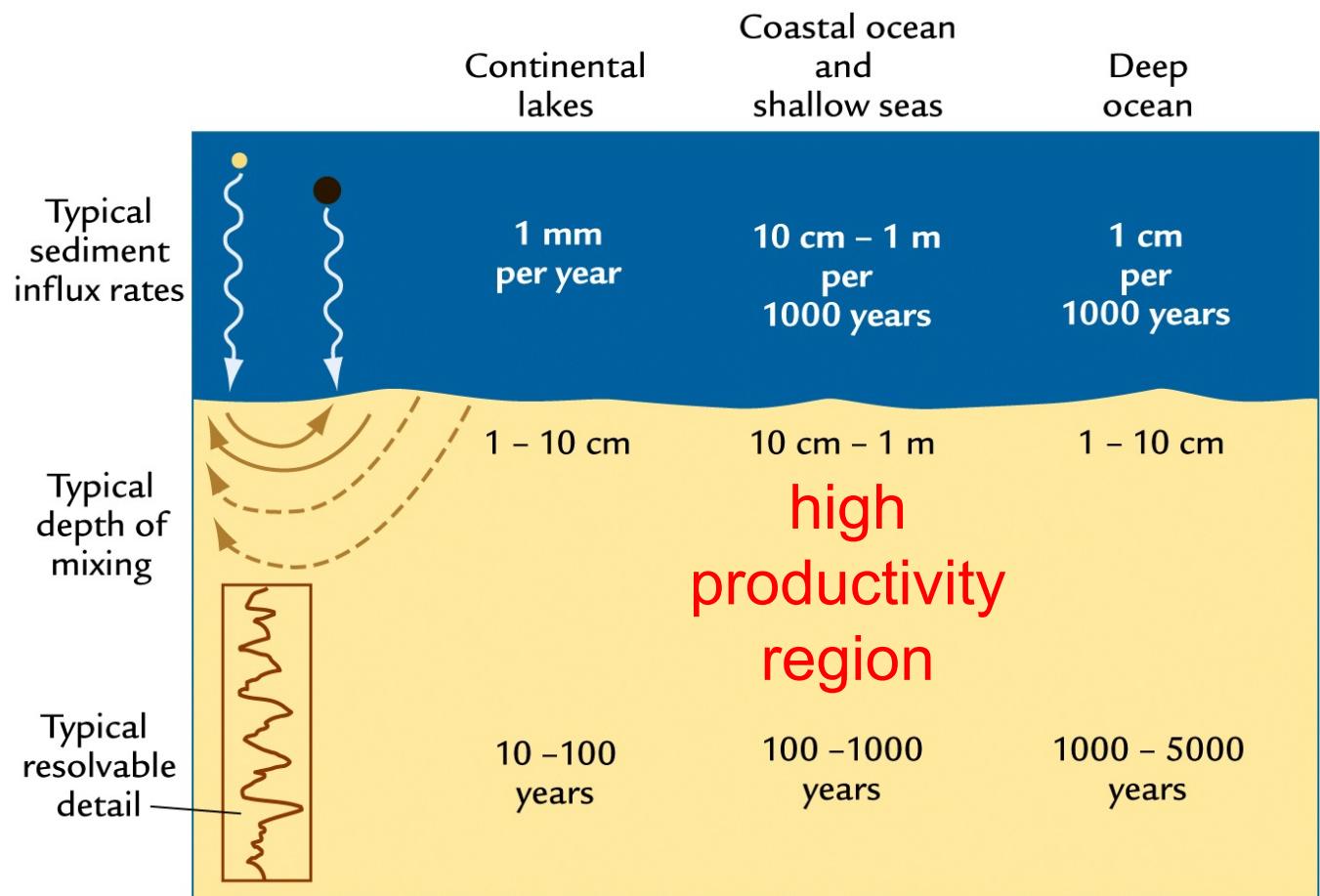


## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### c. 代用记录的分辨率 (resolution)

沉积物的分辨率取决于：

- 沉积速率
- 扰动（在不同的环境中，移动穿过和钻入沉积物表面的生物体的干扰程度不同）

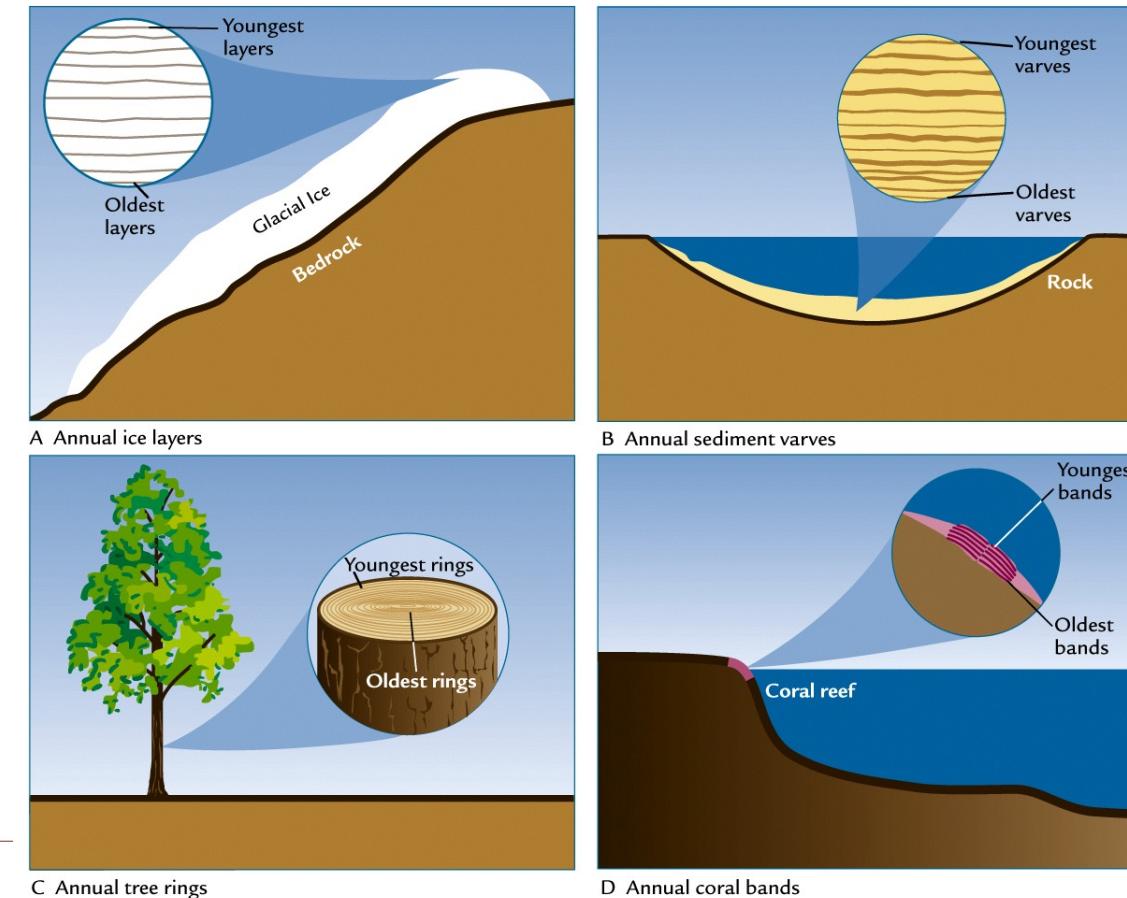
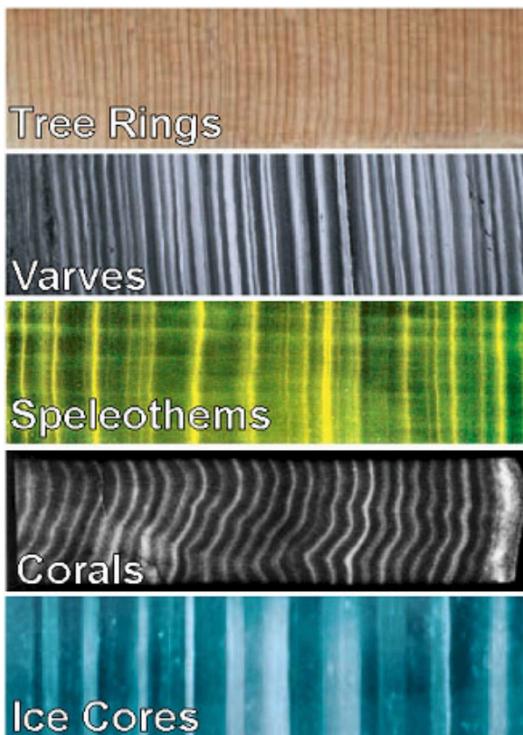


## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### c. 代用记录的分辨率 (resolution)

年度增长模式的代用记录可以表明气候的逐年变化

- 冰芯（降雪量大的地方）；
- 湖泊沉积物（环境有季节变化）；
- 树轮；
- 珊瑚；
- 石笋

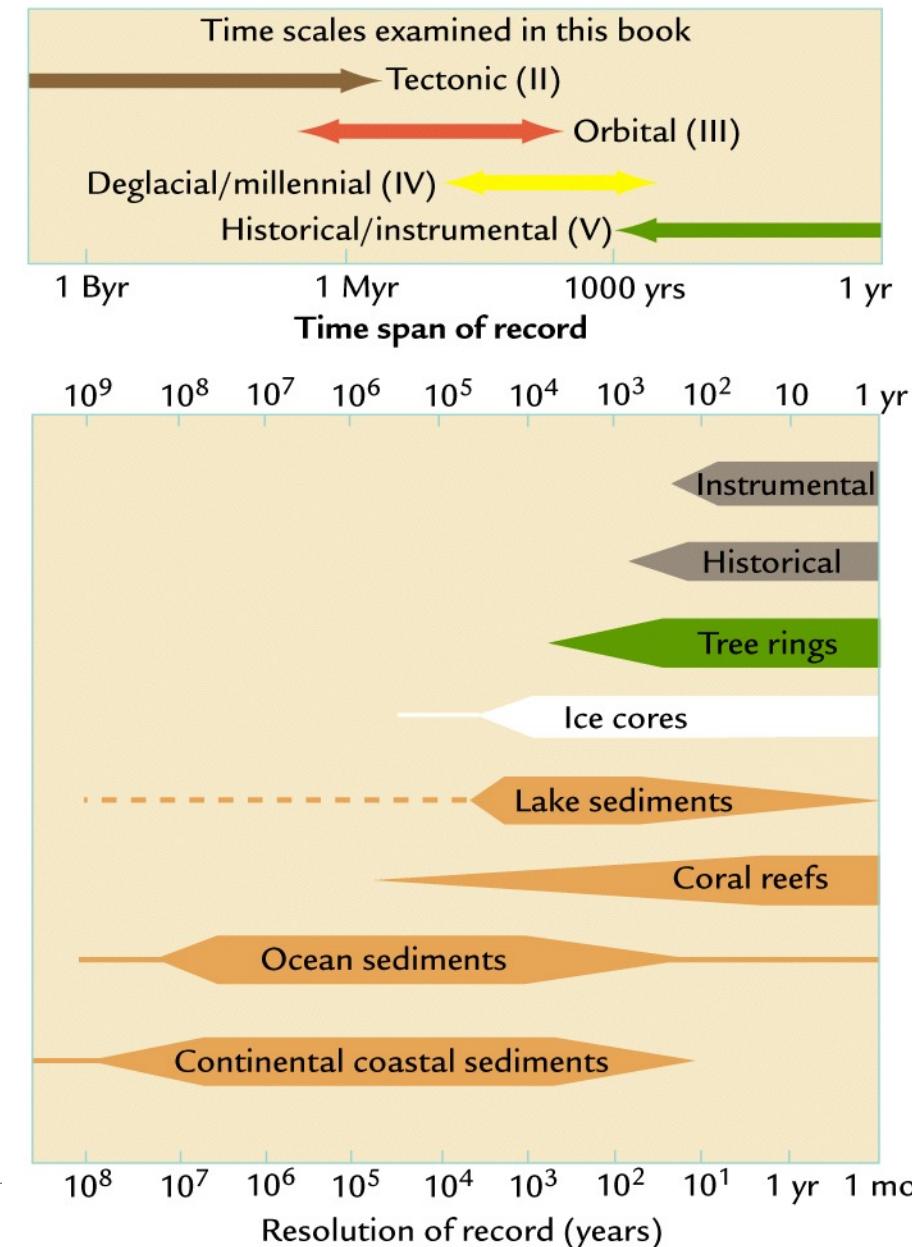




# 第九章 地球气候的演变



## 9.1.3 代用资料 (proxy record)





## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### d. 代用记录与物理量

#### (1) 生物代用记录 (biotic data) :

基于植物和动物群体组成的变化

#### (2) 地质和地球化学记录 (geological and geochemical data) :

基于物质（颗粒物质或化学物质）在气候系统中的变化



## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### d. 代用记录与物理量

#### (1) 生物代用记录 (biotic data)

高纬度地区的“热带”  
树叶化石 (~亿年)

古老，陆地上稀缺





## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

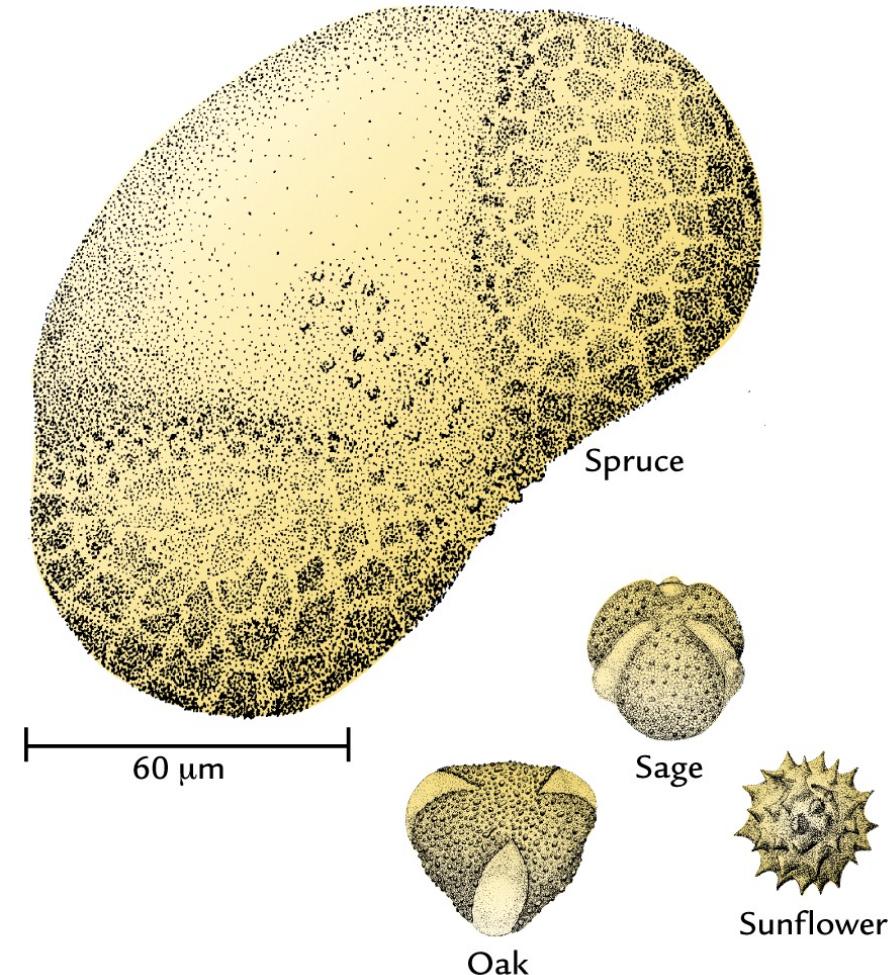
### d. 代用记录与物理量

#### (1) 生物代用记录 (biotic data)

**孢粉(pollen) ( ~千年-百万年 )**

- 植物产生的孢粉由风传播，沉积在湖泊等处得以保存；
- 指示植被类型从而反映气候变化：比如云杉树表示寒冷的气候，橡树表示温暖的气候

**年轻，陆地上丰富**





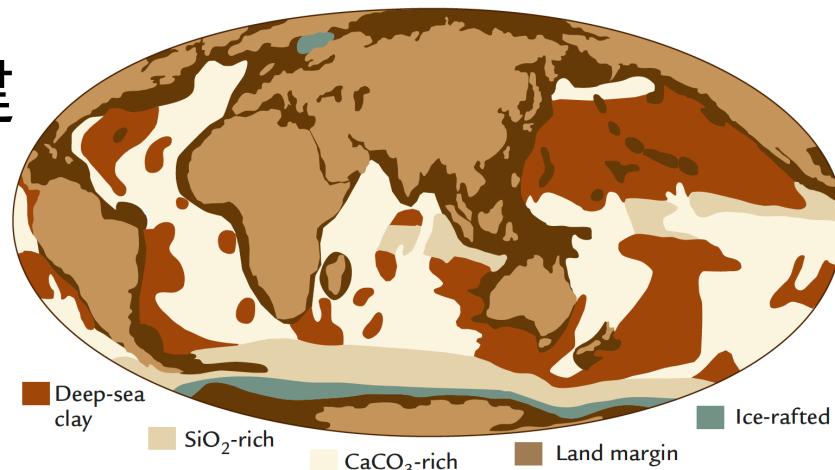
## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### d. 代用记录与物理量

#### (1) 生物代用记录 (biotic data)

**浮游生物 (plankton) :**

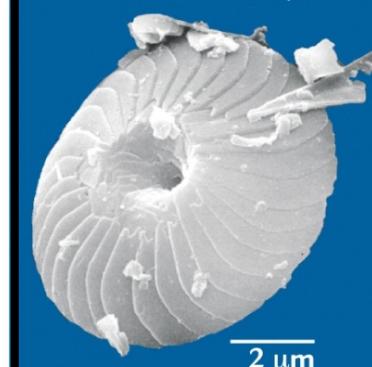
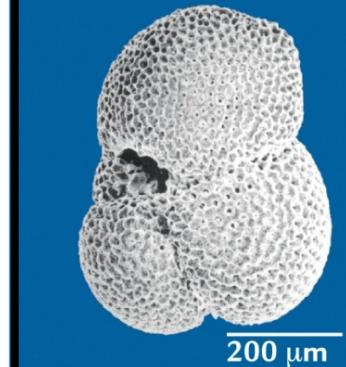
依据各自的气候偏好重建过去的气候。



- CaCO<sub>3</sub> 化石的沉积物出现在3,500-4,000米以上深度的开阔海域；
- SiO<sub>2</sub>化石的沉积物主要分布在沿海地区（河水中的Si）和赤道以及南大洋区域（上涌，高生产力）；

四大“类贝壳”的浮游植物和动物

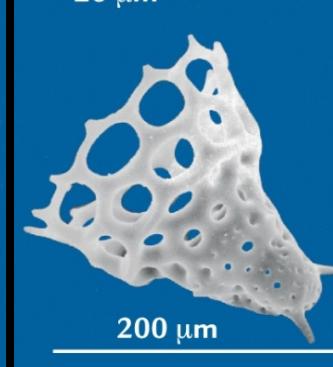
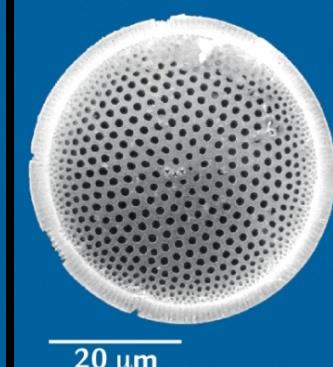
planktonic  
foraminifera  
(浮游有孔虫)



coccoliths  
(颗石藻)

CaCO<sub>3</sub>

diatoms  
(硅藻)



radiolaria  
(放射虫)

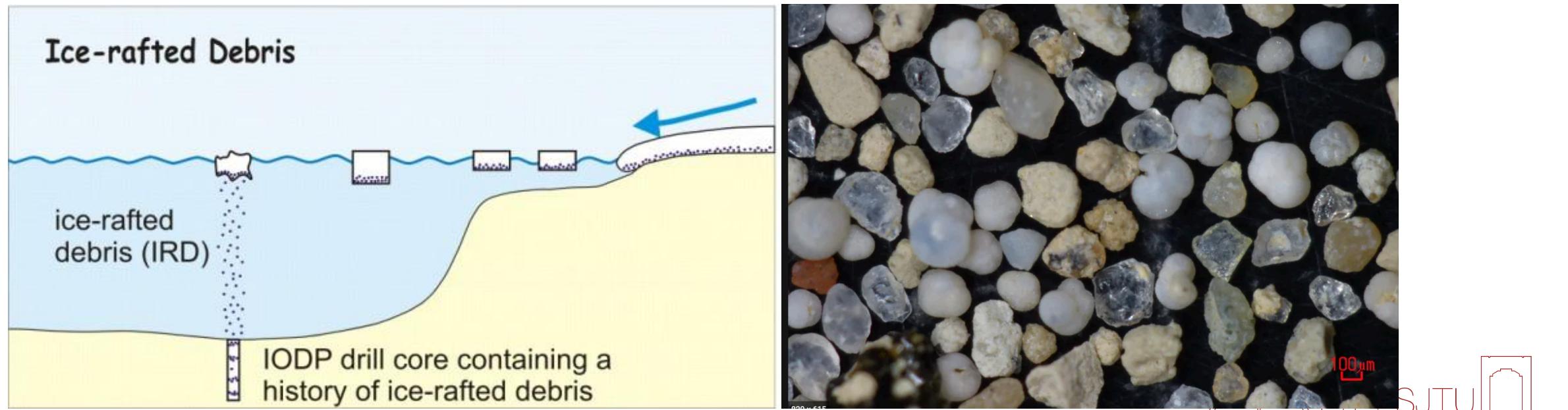
SiO<sub>2</sub>

## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### d. 代用记录与物理量

#### (2) 地质和地球化学记录 (geological and geochemical data)

地质记录：冰筏碎屑 (ice rafted debris)



## 9.1.3 代用资料 (proxy record)

### d. 代用记录与物理量

#### (2) 地质和地球化学记录 (geological and geochemical data)

**地质记录：冰筏碎屑 (ice rafted debris)**

大西洋：Heinrich event

