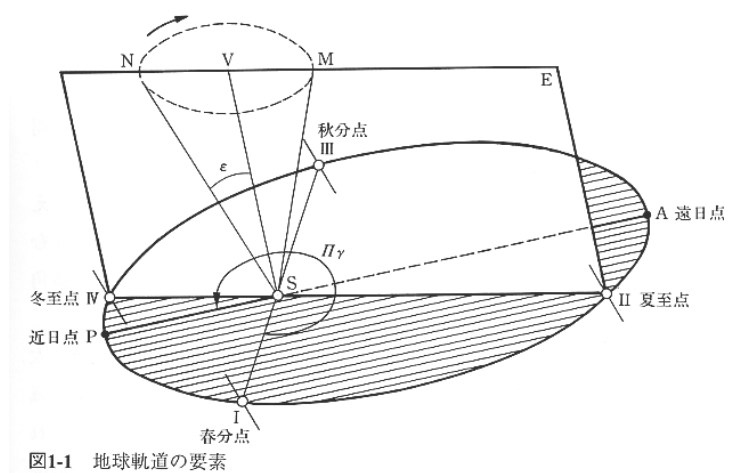
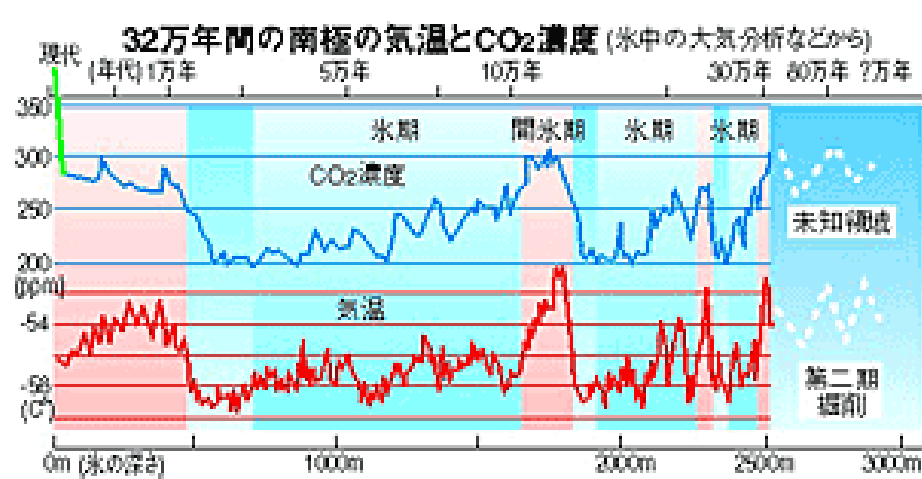


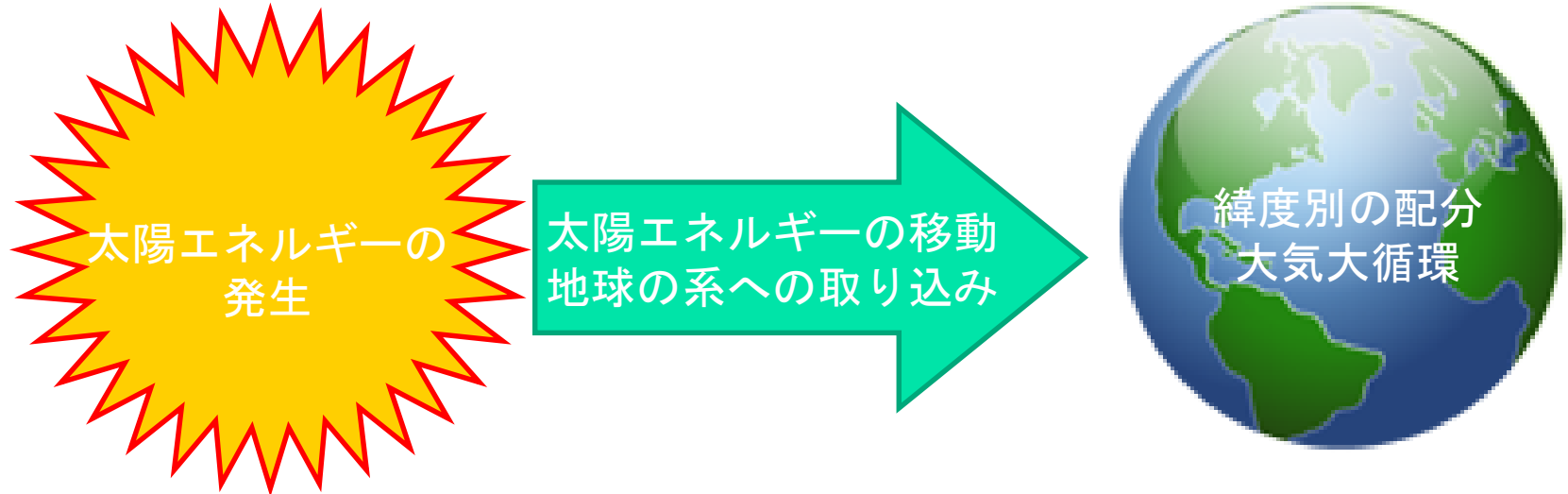


# 気候変化と第四紀

- 気候変動の要因
- 第四紀の気候変動
- 気候変動と人間社会

# 世界の気候分布の変化

- 世界の気候分布は、太陽からやってくるエネルギーと、その配分（大気大循環など）によって決まっている。



- これらの条件は常に一定ではない  
→ 気候は変化する

# 氷期の存在 (p90-9.2)

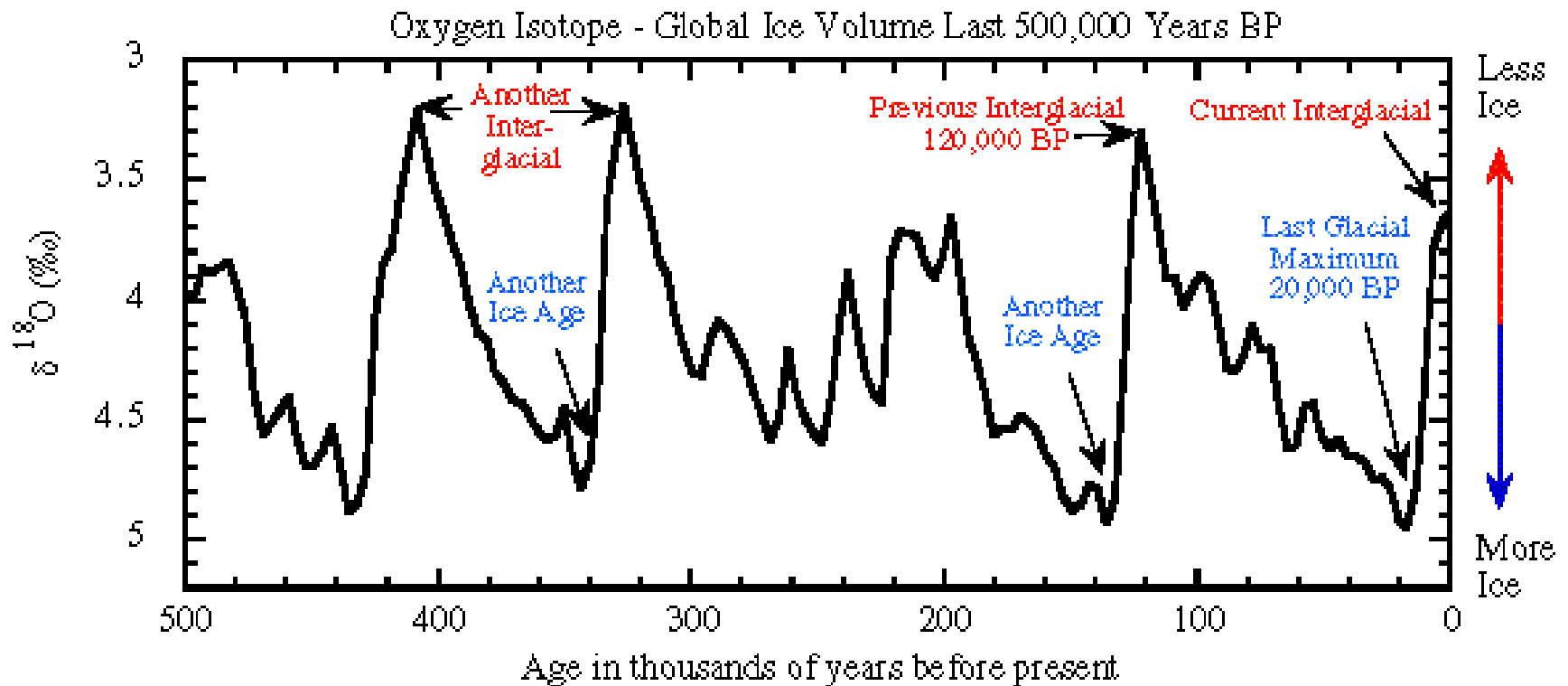
Last Glacial Maximum 18,000 years ago



Ancient Land  
Modern Land  
Subduction Zone (triangle in  
direction of subduction)  
Sea Floor Spreading  
Ridge



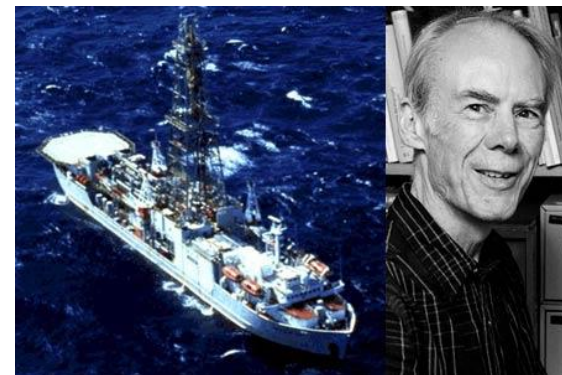
## 繰り返す氷期 (p91)



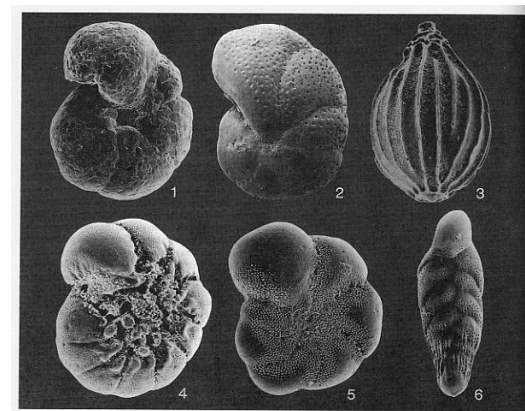
- 氷河の消長によって海水量が増減し、海水中の $^{18}\text{O}$ が変動することが、深海底堆積物中の有孔虫化石から確認された
- 「リズミカルに変動する気候」の存在

# 酸素同位体比を用いた分析

- 酸素 →  $^{16}\text{O}$  (99.8%) と  $^{18}\text{O}$  (0.2%)
- 水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) はOの質量数によって重さが異なる.
- 軽い $\text{H}_2\text{O}$ は蒸発しやすく, 重い $\text{H}_2\text{O}$ は海水中に多く残る. 降水中の $\text{H}_2\text{O}$ は海水に比べ $^{18}\text{O}$ の比率 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) が低い.
- 陸上の氷河が拡大し (氷期になり), 大量の $\text{H}_2\text{O}$ が陸上に固定されると, 海水の $\delta^{18}\text{O}$ が高くなる → 海水の $\delta^{18}\text{O}$ は氷河の量を表す.
- 有孔虫は周囲の海水から酸素を取り込み, 殻 ( $\text{CaCO}_3$ ) を作るため, 殻の中の $\delta^{18}\text{O}$ は有孔虫が生息していた時の海水の $\delta^{18}\text{O}$ を示す.
- 海底コア中の有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ を連続的に調べることにより, 陸上の氷河の量の変化 (氷期と間氷期) を知ることができる.



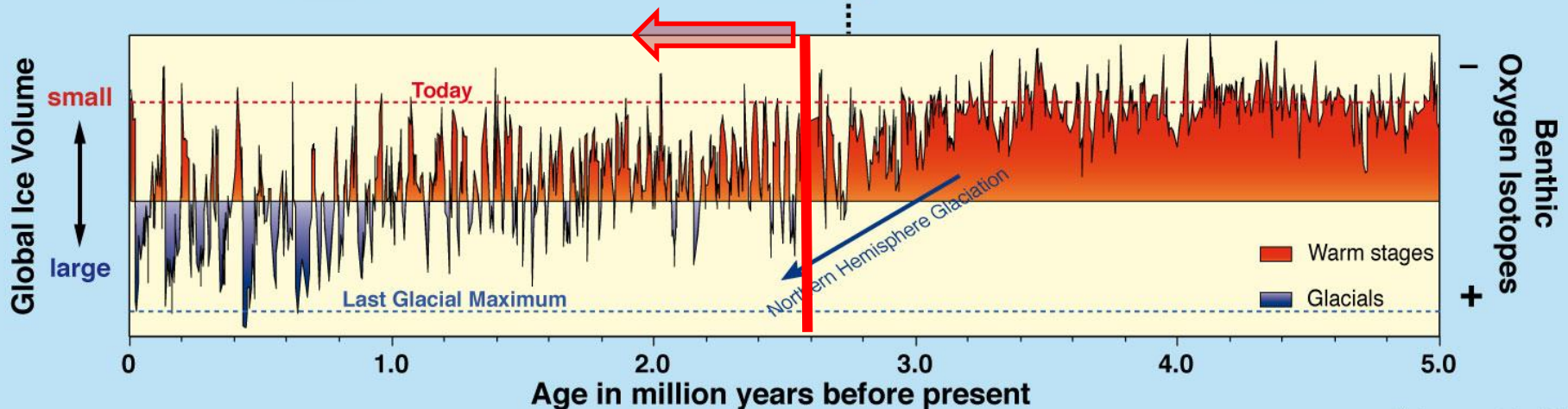
**Sir Nicholas Shackleton**  
深海底ボーリング用の船



海底堆積物に含まれる  
有孔虫の殻

## 第四紀の気候変動 (p88)

最近260万年の間は、寒暖の差が激しく、**リズムカル**になっていることが分かる（氷期－間氷期サイクル）。この時期を地質年代区分上で「**第四紀**」と呼び、この気候変動が、地形・生物・人間などに様々な影響をもたらしている。



# 「第四紀」とは

## 19世紀頃の欧州の地層区分法

**第一紀** → 古生代

**第二紀** → 中生代

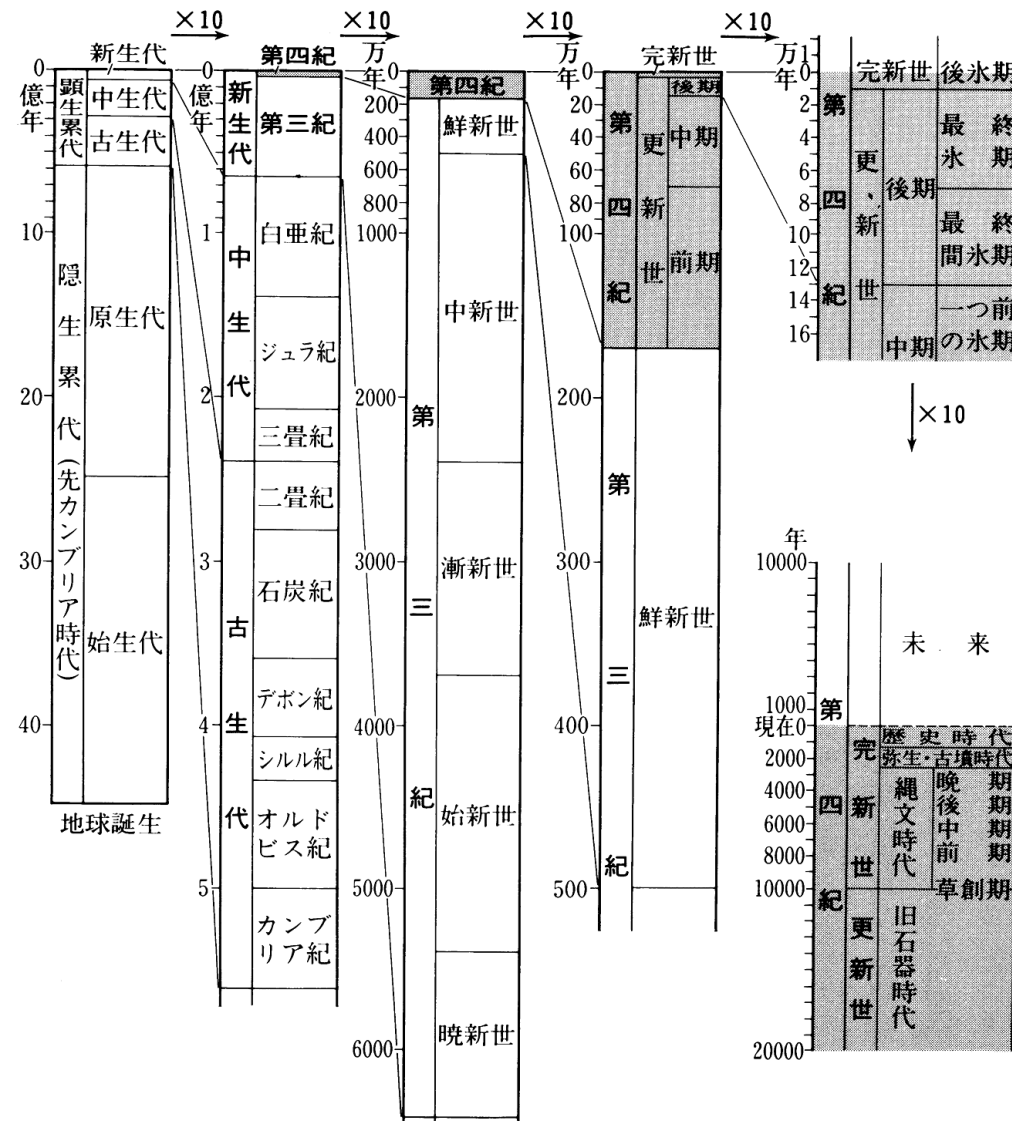
**第三紀** → 新生代第三紀

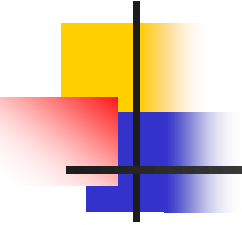
**第四紀** → 新生代第四紀

➤ 寒冷化を示すイタリアの地層  
(170万年前)で定義されていた。

➤ 2008年5月, 国際層序委員会で  
投票が行われ, 260万年前に始  
まりが遡った。

➤ 現在を含む時代→成長を続ける  
時代。

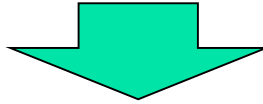




# リズムを規定する原因は？

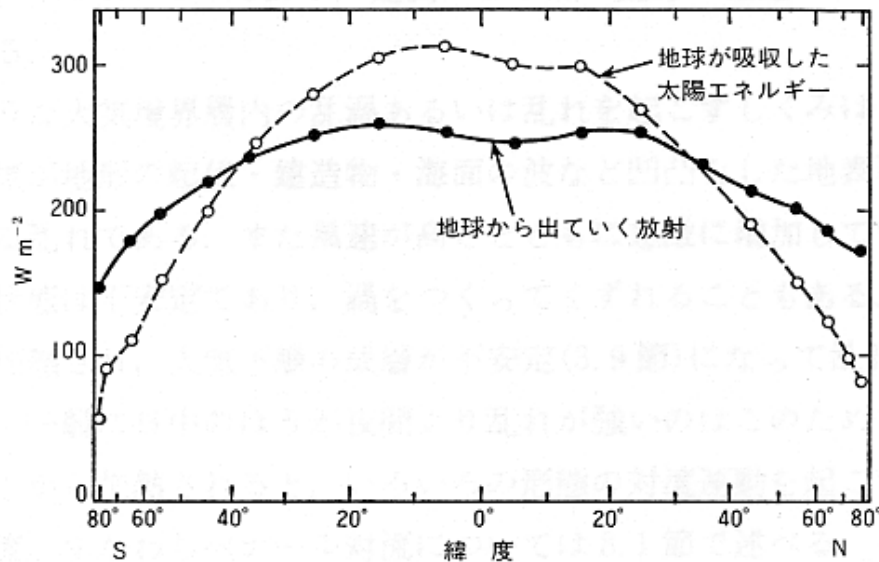
---

- 地球の内部にリズムを生み出す原因がある？
- 地球の外部にリズムを生み出す原因がある？



地球の気候がどのように決まっているのかを考える必要がある。

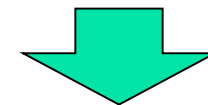
# 地球のエネルギー収支



## 放射エネルギー収支の緯度分布

赤道付近ほど入射エネルギーが大きく、地球上の気候が基本的に太陽エネルギーによって規定されていることがわかる。

地球上の熱の分布（気温）は、宇宙空間から入射する（太陽からやってくる）エネルギーと、地球上での熱の移動によって決まる。

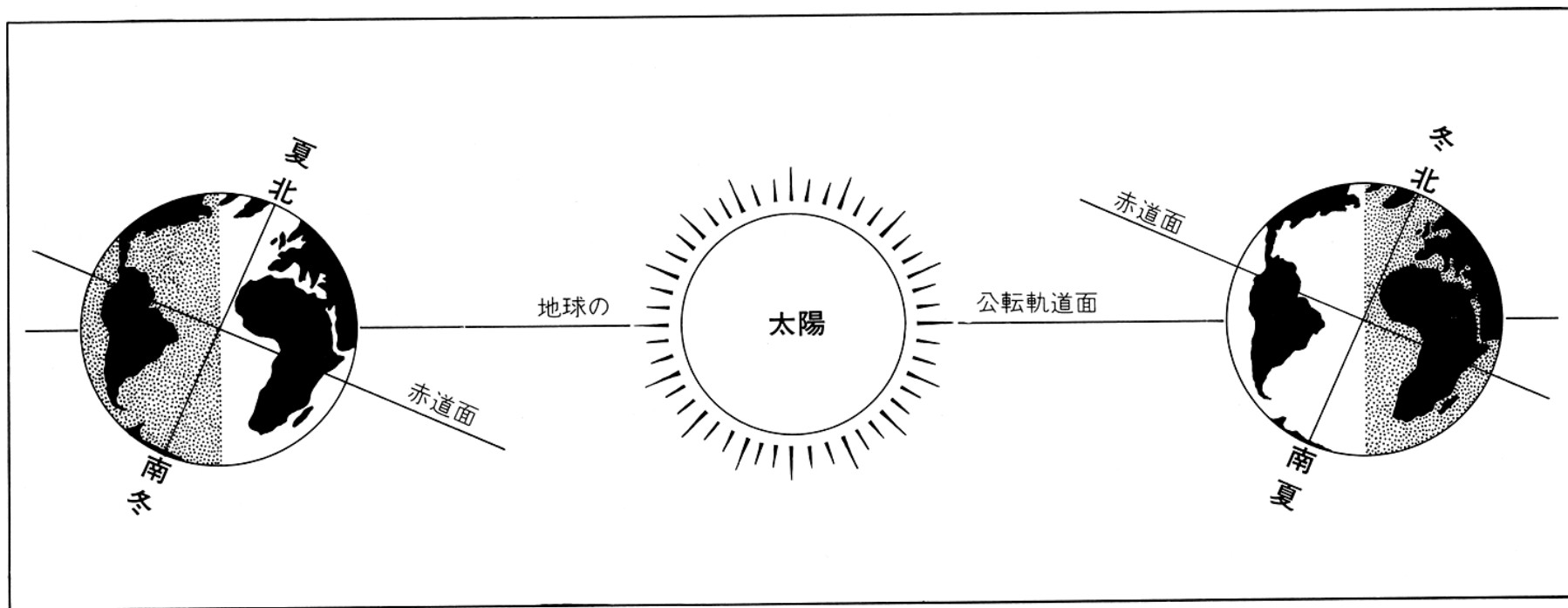


入射エネルギー量が変わることにより、地球上の気候が大きく変化する。

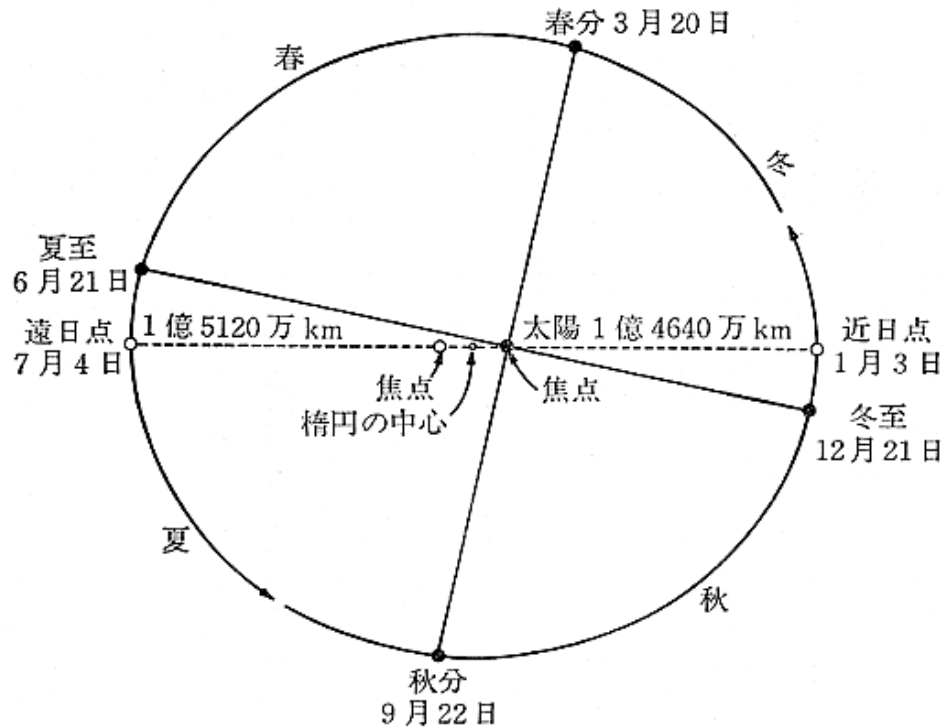
# 夏と冬

- 問題：日本の夏と冬では，どちらが太陽に近い？

図 21.16 南・北両半球での季節の移り変わりを示す概念図.

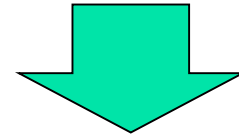


# 答え



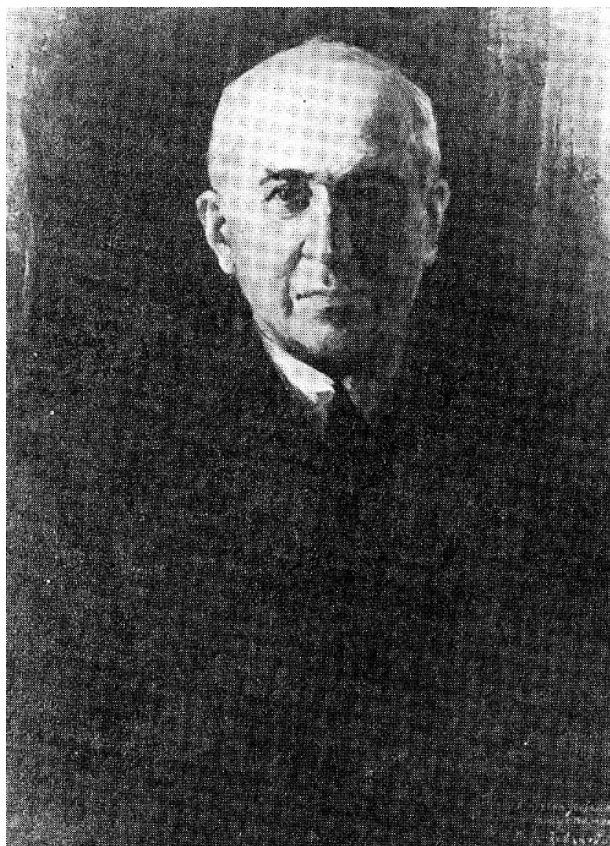
冬の方が地球と太陽の距離が近い。

地軸の傾きによって、夏と冬が決まっている。

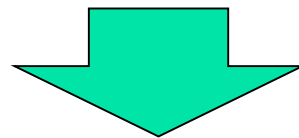


地球の運動に関わるさまざまな要素が、地球が受け取る熱の総量とその緯度分布を決める。

# ミランコヴィッチの紹介

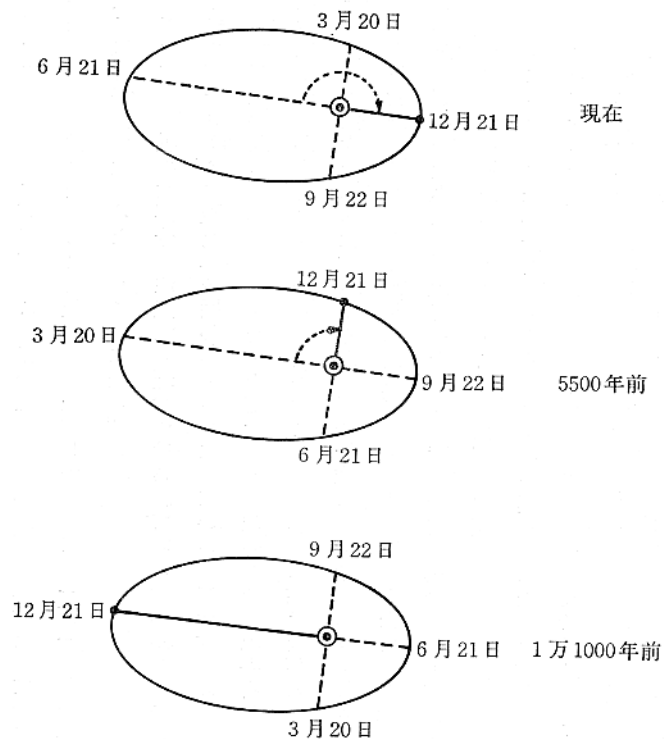


- ベオグラード大学（ユーゴスラビア）の応用数学の教授
- 地球の軌道要素（自転，公転に関わる要素）の変動が，地球の受ける熱量を変化させ，地球の気候変動を規定していることを数学的に示した（1914年）．

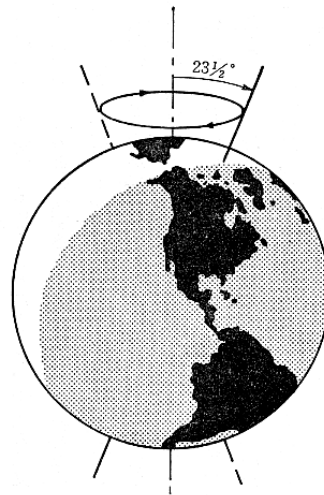


ミランコヴィッチ＝サイクル  
(p66 図7.2)

# 地球軌道の要素Ⅰ：歳差

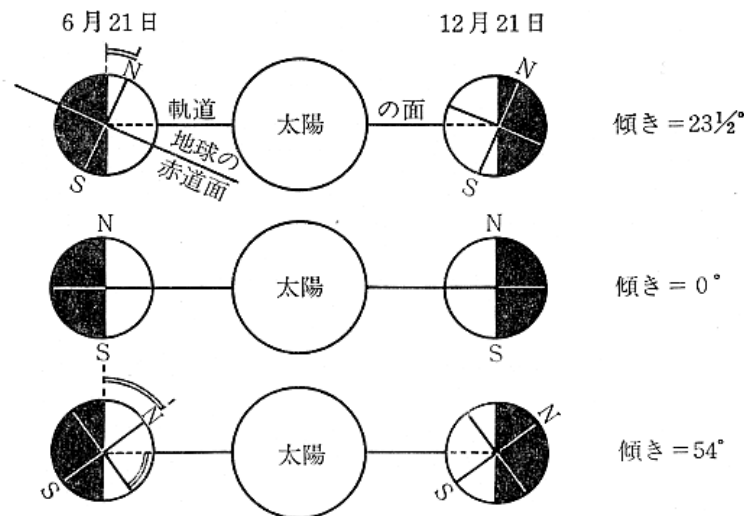


- 12月21日の地球
- ⊙ 太陽



- 地球の自転軸は公転軌道面に対して $23.5^\circ$ 傾いている。
- 自転軸は太陽と月の引力の影響を受けて円錐を描くように、23,000年かけて一周する。→歳差運動
- 歳差運動に伴って、公転軌道上で分点（春分・秋分）となる位置が変化ようになる。→分点歳差
- 現在は遠日点が北半球の夏だが、11,000年前では、近日点で北半球の夏。

# 地球軌道の要素Ⅱ：地軸傾度



- 現在の地軸の傾き（地軸傾度）は $23.5^{\circ}$ .
- この値は一定ではなく、歳差運動に伴って、41,000年周期で $21.5^{\circ} \sim 24.5^{\circ}$ の間で変動する.
- 地軸傾度 $= 0^{\circ}$ では極と赤道で、受け取る熱量の勾配が最大になり、地軸傾度 $= 54^{\circ}$ であらゆる緯度で受け取る熱量が等しくなる.  
→地軸傾度が小さい方が、極域の受け取る熱量が小さいことを意味する.

## 地球軌道の要素Ⅲ：離心率

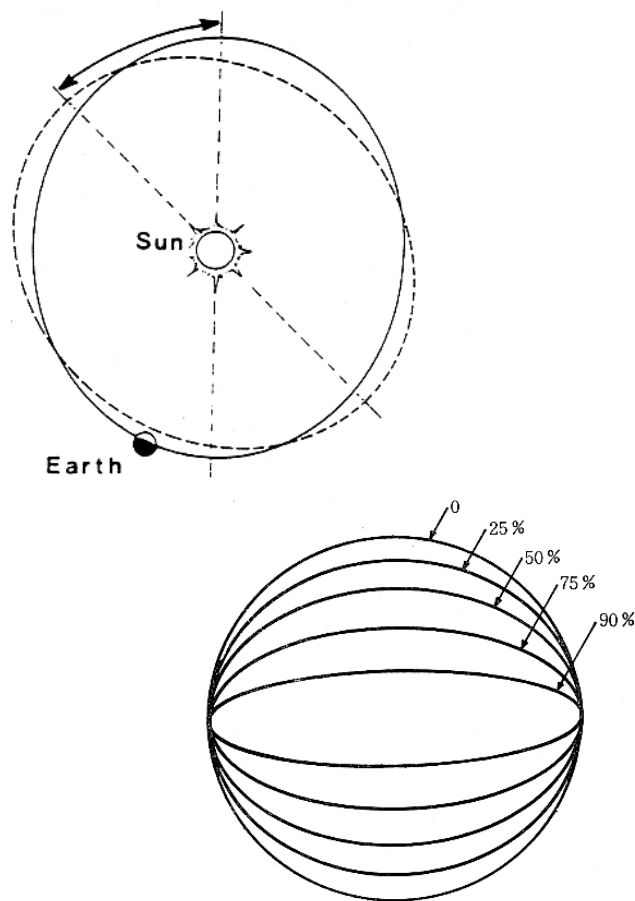
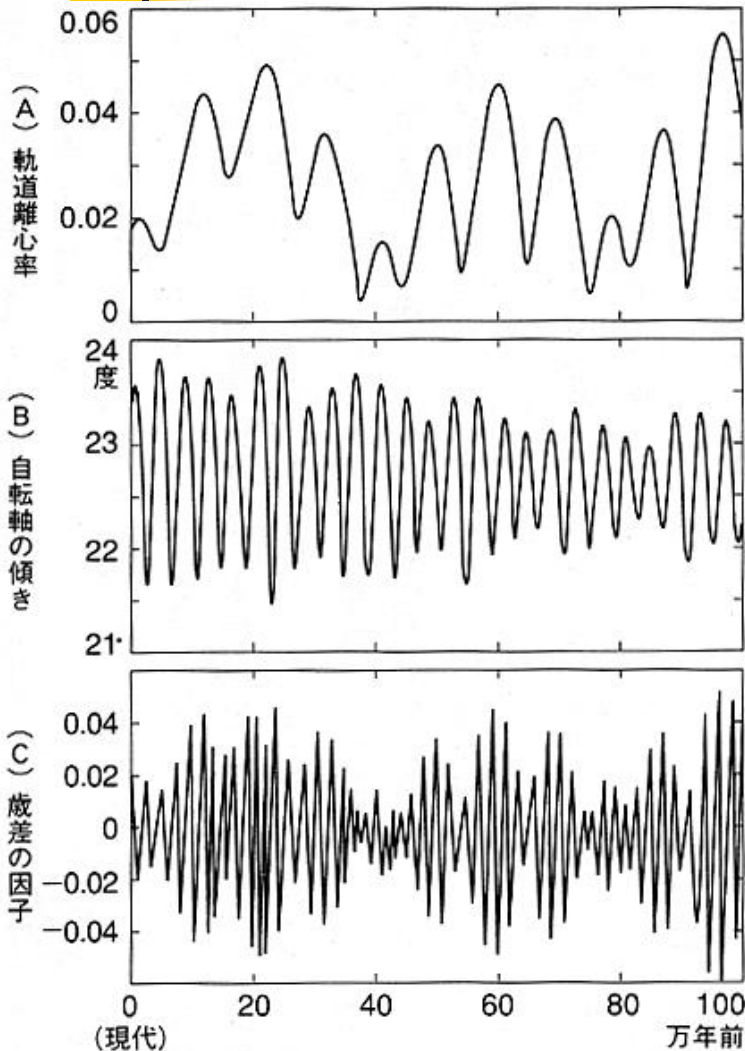


図17 いろいろな離心率による楕円.

- 地球の公転軌道は太陽を焦点のひとつとする楕円軌道.
- その二つの焦点間の距離の長軸長に対する百分率が離心率（楕円の扁平具合）
- 離心率は他の惑星の影響により、10万年周期でほぼ0～6%の間で変動する（現在は約1%で円に近い）.
- 離心率の変動自体は日射量変動には大きく寄与しない. が、分点歳差に影響を与えることになる.

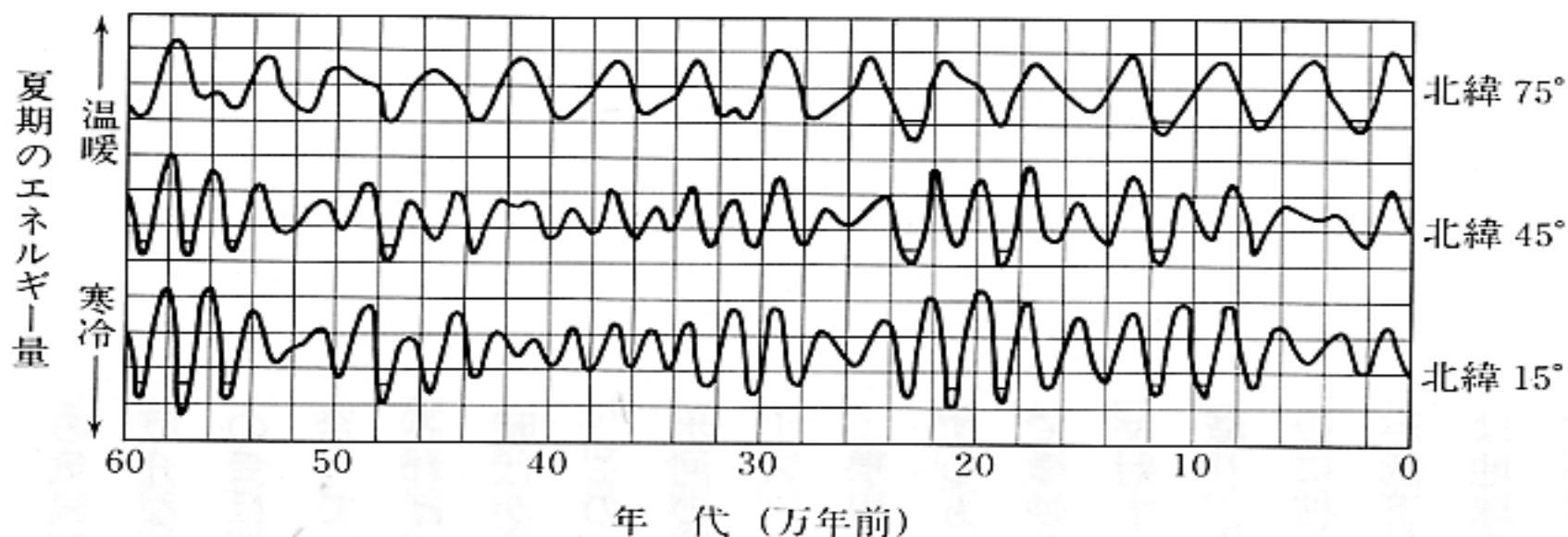
## 各因子の変動周期



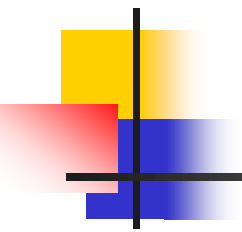
図③ 100万年前以降の(A)地球軌道の離心率、(B)自転軸の傾き、(C)歳差の因子の変動  
(B)以外の縦軸の数字は相対的なもの。

- ミランコヴィッチは各要素の過去の変動について、＜手計算で＞算出した。
  - 現在はコンピュータを用いて再計算されているが、ミランコヴィッチの計算がほぼ正解であったことが確認されている。
- しかも、第一次大戦中の戦争捕虜としてとらえられた牢屋の中でも計算を行っていた。

# 日射量の計算結果



- ミランコヴィッチは前述の3要素の時間変化を組み合わせ、地球上の各緯度が受け取る太陽エネルギーの量を算出した。



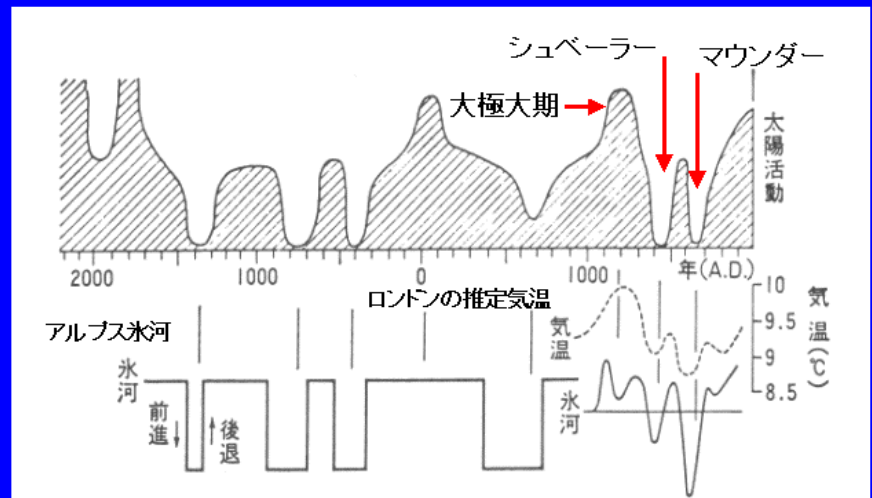
# 寒冬暑夏と暖冬冷夏

- このミランコヴィッチの計算によっても、全球の一年平均で受け取る熱量はほとんど変化しない。
  - 季節による変動，半球による変動として現れる
- しかし，氷河が拡大できる大陸が分布する北半球がどのような気候となるかは，氷河の発達に大きな影響を与える。
  - 南半球は海洋が広いため，氷河が発達する余地が少ない。
- 北半球が寒冬暑夏となるよりも暖冬冷夏となったほうが，氷河の発達には有利となる。
  - 暖冬では蒸発量が多く，降雪にとって有利．冷夏も消耗を抑制する効果を持つため，氷河の発達に有利となる。

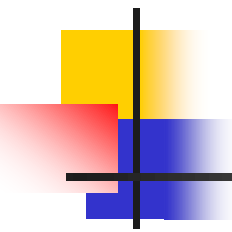
# 太陽活動の変化 (p66)

- 地球外の要因
  - 太陽活動の減少
    - 太陽黒点の増減が太陽活動の指標となる。
    - 黒点が減少すると、太陽活動が弱まる。
    - “マウンダー極小期”には**小氷期**と呼ばれる低温期に相当している

## マウンダー極小期と推定気温



桜井邦朋: 過去2000年にわたる太陽活動の長期変動(気象研究ノート191号)



## 社会への影響

---

- 1450-1540年 シュペーラー極小期
  - 15C末～17C初頭の第一次囲い込み（エンクロージャー）と対応
- 1645-1715年 マウンダー極小期
  - マニファクチャー（工場制手工業）による毛織物工業成立の時期に対応

気温の低下が繊維産業の発達を促したという説を考えている人もいる

<http://www.nagaitosiya.com/profile/>

# 樹木年輪で見た寒冷化

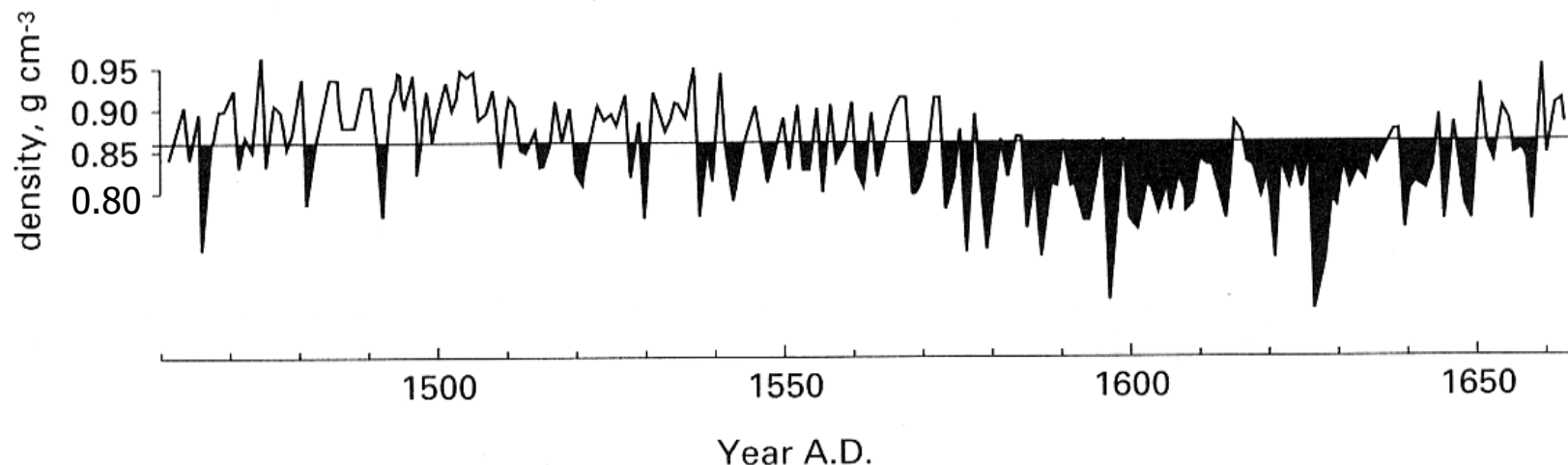


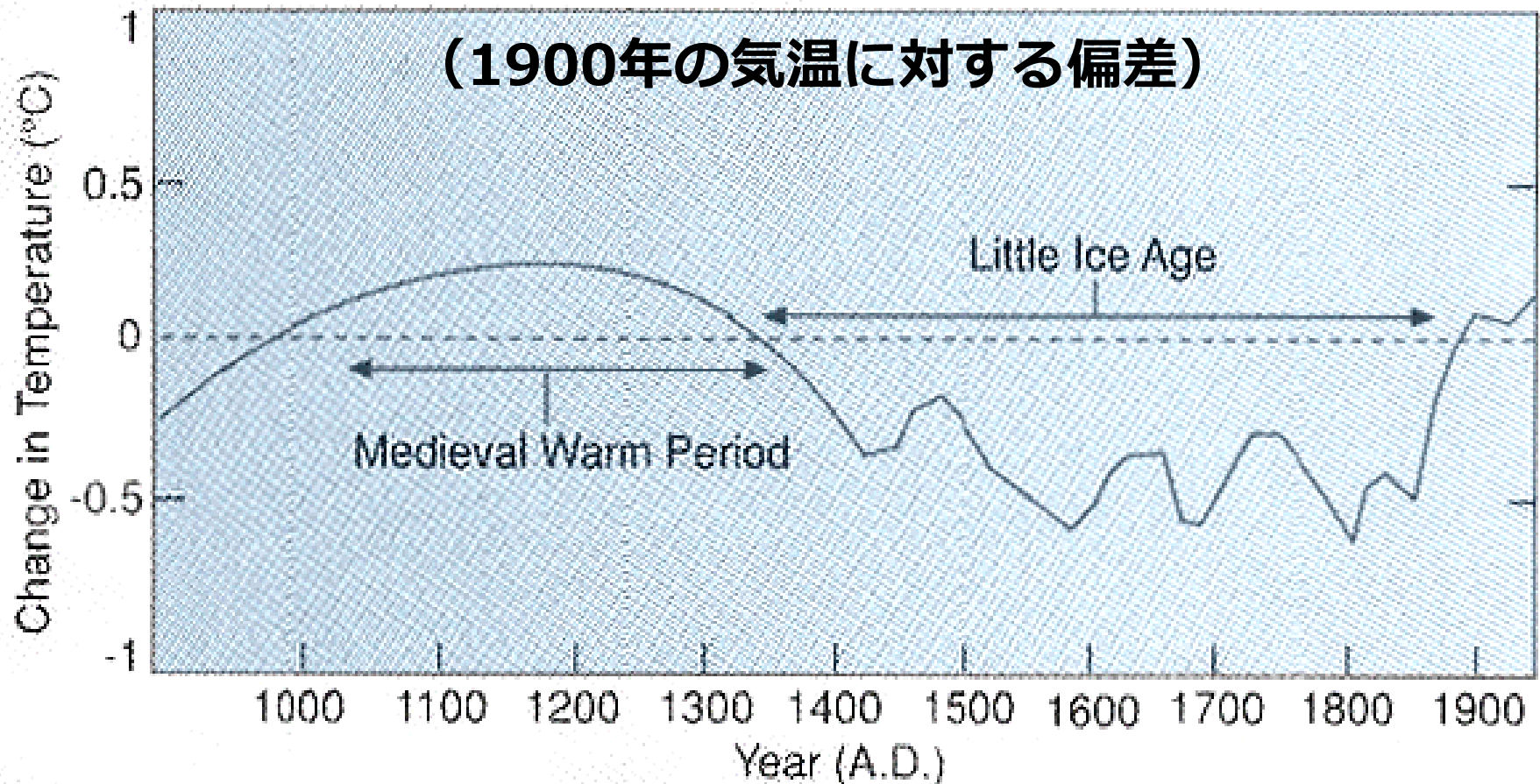
Figure 5.14 Curve of raw maximum latewood density values expressed as deviations from the mean for a tree (*Picea abies*) growing during the period AD 1460–1660 in the Lauenen area of the Swiss Bernese Oberland. The period of below-average growth during the Little Ice Age (c. 1570 onwards) is clearly visible (after Schweingruber *et al.*, 1988).

## スイスの針葉樹の組織密度

黒い部分は平均よりも密度が低く（単位体積あたりの重量が少ない）、成長が悪いことを示す。1570年から明らかに成長がわるくなっていることがわかる。

# 小氷期（p68）の温度変化

西欧と北米の樹木データから復元した小氷期の気温変化  
(1900年の気温に対する偏差)



# 小氷期の前の温暖期 – 中世の温暖期

## 9世紀～13世紀は比較的温暖な時期

- 古代スカンジナビア人の活発な活動
  - アイスランドへの定住（874年）
  - グリーンランドへの定住（980年ころ）
    - 牧草にする草もあり，燃料にする柳もあった
- イングランド産の高級ワイン（13世紀前半）
  - フランスが輸入制限を行ったほど.
- ノートルダム大聖堂の建設(1195年)
  - 有り余る資源，労働力，資本の投入.
  - 豊かさの象徴となるゴシック様式建築



現在の  
グリーンランド



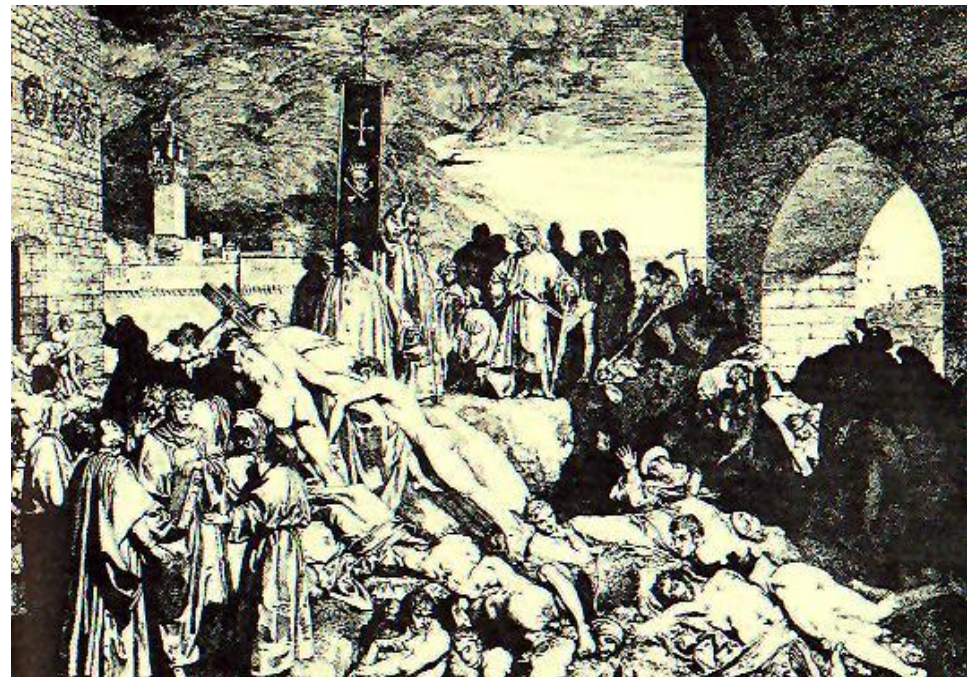
ノートルダム  
大聖堂

# 小氷期の訪れ

## 14世紀～18世紀は中世の温暖期に比べ1.5℃ほど寒冷になる

- ヨーロッパ各地で大飢饉が発生（1315～19年）
- 黒死病（ペスト）の大流行（1347～50年）

- 9月 シチリアの港で最初の患者
- フランス全体で人口の42%が死亡
- パリー帯では人口が1 / 3 以下に減少
- 体力の低下，政権の弱体化が伝染病の蔓延を助長する．
- 以降，18世紀まで数回の大流行



# 小氷期の訪れ

- フランスの葡萄畑が大被害  
(1431～32年)
- イングランドの葡萄畑全滅 (1440年)
- 魔女狩りが始まる (1563年)
  - → 魔女は天候を左右できる
  - → 悪天候に対する不満のスケープゴート
  - 18世紀に収束へ
- テムズ川氷上縁日  
(1683年／1716年)
- フランスで真夏に雹 (ひょう) が降り不作に (1788年)
  - 翌年, パン騒動が起こる  
→ フランス革命に



# 凍り付くヨーロッパ



図1 1683/84年冬季にロンドンのテムズ河で開かれた氷上市場  
(Lamb, 1977)



ヘンドリック・アーフエルカンフの『冬景色』

ロンドンのテムズ川は全面結氷し、オランダでも町中でスケートができるようになっている

# 身体的影響

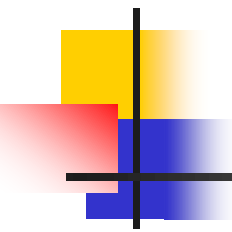
- 小氷期の極に相当する17C, 18Cで平均身長が低く, 人口が減少する.
- ペストの流行など, 人間の身体的にも大きな影響が与えられた.

表 5.1 アイスランドにおける成年男子の平均身長  
(BERGTHORSSON, 1962)

| 年 代<br>(A. D.) | 平均身長<br>(cm) | サンプル数<br>(人) |
|----------------|--------------|--------------|
| 874~1000       | 173.2        | 39           |
| 1000~1100      | 171.8        | 55           |
| 1100~1563      | 172.0        | 17           |
| 1650~1796      | 168.6        | 23           |
| 1700~1800      | 166.8        | 7            |
| 1952~1954      | 177.4        | 1463         |

表 5.2 アイスランドにおける年代別人口  
(BULL, 1966 ; THORARINSSON, 1956, 1961)

| 年 代<br>(A. D.) | 人 口      | 備 考     |
|----------------|----------|---------|
| 1095           | 約 77,520 | 税の記録による |
| 1311           | 約 72,420 | 〃       |
| 1703           | 50,358   |         |
| 1784           | 約 38,000 |         |
| 1801           | 47,240   |         |
| 1901           | 78,470   |         |
| 1960           | 177,292  |         |



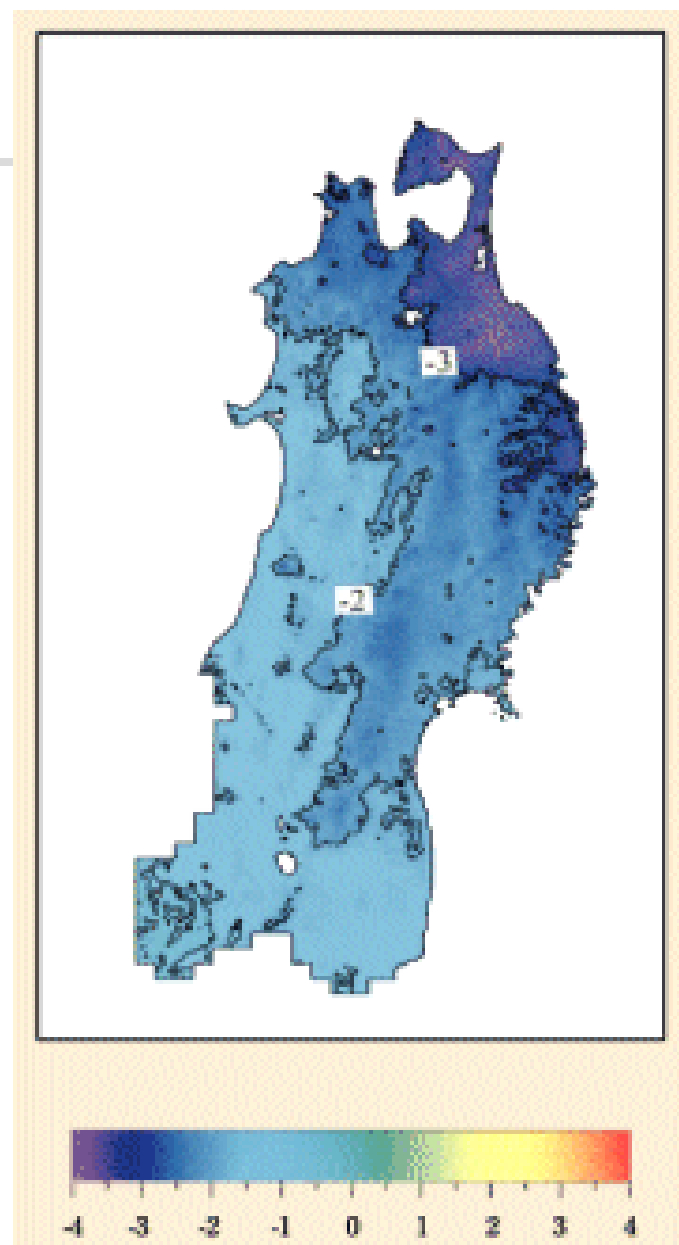
# 日本での小氷期

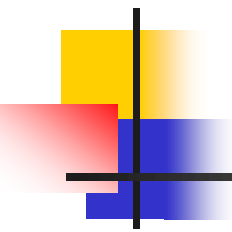
---

- 日本では小氷期の末期（1750～1850年）に大きな影響が出る。江戸時代の六大飢饉のうち3つはこの時期。北～中央日本の冷害が原因となる。
  - 宝暦の飢饉（1753～64年）
  - 天明の飢饉（1782～87年） ・ ・ 浅間山天明三年大噴火（1783年）
  - 天保の飢饉（1833～39年）
- 東北に冷害をもたらす“やませ”が頻繁に発生していたと考えられている。
- 天明の飢饉から天保の飢饉の間では、淀川や両国川が全面結氷した。



やませが吹くと東北地方が日照不足，  
低温となるため，飢饉が頻発．行き倒  
れや身売りなどが起こる．

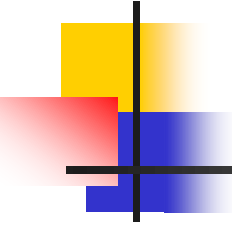




## 気候変動の原因（２）

---

- 地球内の要因 → 火山の噴火
  - 巨大噴火によって成層圏に吹き上げられた微粒子が、日傘のように作用して日射を遮る.
  - 小氷期の間には巨大噴火が連続して起こった.
    - 1425年：Kuwae火山（バヌアツ）の噴火・・・M6.8
    - 1580年：Billy Mitchell火山（ブーゲンビル島）・・・M6.0
    - 1660年：Long Island 火山（ニューギニア島）・・・M6.3
    - 1783年：ラキ火山（アイスランド）・・・M6.4
    - 1783年：浅間山天明三年大噴火・・・M4.8
    - 1815年：タンボラ火山（インドネシア）・・・M7.1
    - 1991年：ピナツボ山がM5.8
- でも・・・
  - 1300～1850年の550年間にM5以上が29回（5.3回／100年）
  - 1850～1990年の140年間にM5以上が10回（7.1回／100年）

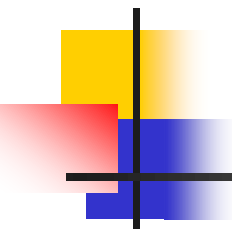


## 気候変動の原因（３）

---

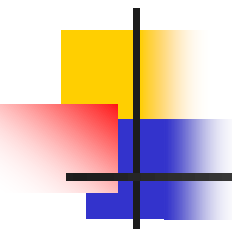
- 雪氷圏の変動？
  - 南極や北極の変動によってアルベドが上昇し、日射の反射が増加した？
- 深層水の変動？
  - 深海底の海流への沈み込みが減少した？

<http://web.sfc.keio.ac.jp/~masudako/publ/geosci/liac/text.html>



# 歴史に対する気候変動の影響

- 気候変動が直接に歴史を変えることにはならないが、歴史が変わる引き金となる。
  - 気温の低下→食料生産量の減少→税負担の増加→民衆の不満が蓄積→革命へ
  - 気温の低下→衣服の必要性→繊維生産の拡大→羊毛の増産→牧草地の確保→囲い込み運動と産業革命
- わずか 1℃程度の気温低下が、世界に大きな影響を与える。
- 歴史上のさまざまな変化を気候の変化，自然環境の変化と結びつけて考えていく必要性。
  - 環境考古学，環境歴史学の観点



## 本時のまとめ

---

- 地球の気候は、地球の軌道要素の周期的な変動（ミランコビッチサイクル）によって周期的な寒暖を繰り返している
  - 氷期－間氷期の繰り返し・・・第四紀の気候変化
- このほかに、太陽活動の変化、火山活動などによっても地球の気候は変動する
  - 小氷期など、歴史時代であっても気候は変動している
  - 過去の社会を考えるときは、そのときの気候条件を考える必要がある。