

1. 地圏まで含めた炭素循環による気候の安定化

地球が形成された46億年前、太陽は現在より約3割程度暗かった。その一方、大気中二酸化炭素濃度が現在より1万倍程度であり、その温室効果によって、地球の気候は今より暖かかった。これは、地圏まで含めた炭素循環が、地球の気候を現在と同じ程度か暖かく保つ働きをするためである。火山活動などにより、地圏から絶えず二酸化炭素が大気または海洋中に放出される一方、大陸上の岩石の風化によって大気中二酸化炭素が吸収される。この風化速度は、暖かい気候では速く、寒い気候では遅くなり、大気中二酸化炭素濃度を通じて、地球の気候を安定化するするように働く。

太陽が現在の状態まで明るくなると共に、大気中二酸化炭素濃度は減少し、現在の濃度になっている。

2. 新生代の寒冷化

新生代が始まった頃(6000万年前)から地球は寒冷化し、3800~3200万年頃南極大陸に氷床が形成され始め、300万年前から北半球に氷床が形成されるようになった。これは大まかに言えば、長期的傾向として、火山活動の低下による地殻からの二酸化炭素の供給低下およびチベット高原の隆起による風化による二酸化炭素の吸収増加によって、大気中二酸化炭素濃度が白亜紀の頃の現在の4~8倍から現在の濃度へと低下したことによる。また、大陸移動による、南極大陸を一回りする南極海の形成、大西洋と太平洋を分離するパナマ地峡の形成などに伴う、比較的早い気候変動が重なっている。

過去の気候変動の様子は、海底堆積物や湖底堆積物、氷床氷コア、珊瑚などに含まれる有孔虫の種の構成や元素組成、 $\delta^{18}\text{O}$ や $\delta^{13}\text{C}$ などの同位体分析、有機物などから得られている。外洋での海底コアの時間分解能は約数千年であるが、これは、数cm/千年程度の一般的な堆積速度と海底から深さ10cm程度まで生物によってかき混ぜられることによって決まっている。1980年代は外洋の堆積物が主に分析されていたが、最近では、堆積速度が速い海底コアや1年から数年の分解能を持つ氷床コアなどの分析が進み、素早い気候変動の様子が分かってきている。

3. 氷期-間氷期サイクル、ハインリッヒ事変、D-Oサイクル、新ドライヤス事変

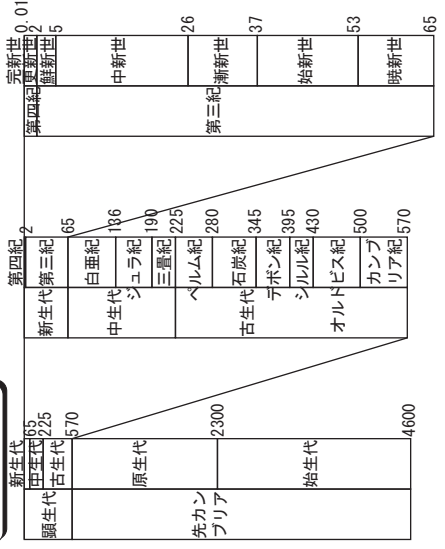
最近300万年間は、氷期に北アメリカやヨーロッパに高さ数千mの大陸氷床が形成され、間氷期に融けるといふサイクルを繰り返している。これは氷期-間氷期サイクルと呼ばれている。理論的に計算された北半球高緯度の夏の日射量変動と地質学証拠から得られた氷床量・気温変動との間に良い相関があり、地球軌道の離心率や地軸傾斜角が10万年、4万年、2万年周期で変化し日射量が変動することにより、基本的に氷期-間氷期サイクルが決まっていると考えられている(ミランコビッチ理論)。最近100万年間は、日射量変動が2、4万年周期が卓越するのに対して、氷床量変動が10万年周期が卓越することから分かるように、氷床量や気温は、日射量という外力に対する気候システムの内部メカニズムを持った非線型応答である。日射量はゆっくりと変化するのに対して、約1万年毎に大陸氷床の一部が大規模に崩壊する減少ハインリッヒ事変、数千年周期で氷期-間氷期サイクルの振幅の2/3程度で気温変動するダンスガード-エシガー・サイクル(D-O Cycles)などが北大西洋周辺で見ついている。特に最終氷期から間氷期の現在へ温暖化する過程で、1万1000年前に起こった500~1000年間程度の一時的な寒冷期(新ドライヤス事変)が起こり、この寒冷期の終わりには、グリーンランドで約50年で7度気温が急激に上昇している。これらの変動には、北大西洋深層水の形成の強弱が関係していると考えられている。

4. 参考文献

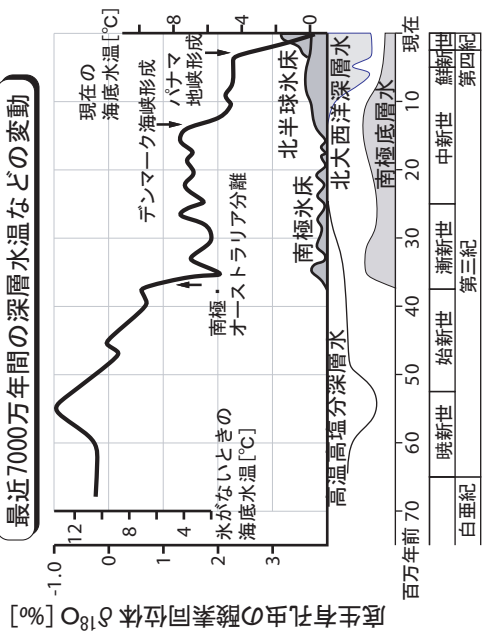
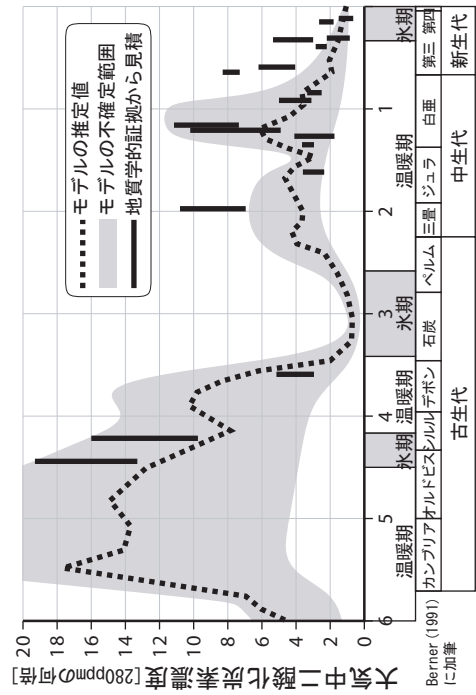
- (1) 岩波講座地球惑星科学 11巻「気候変動論」 岩波書店
- (2) NHK出版「海」第2巻

地質年代区分

数字は100万年単位

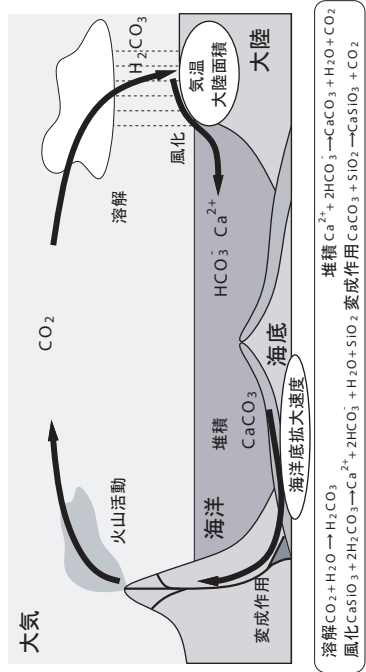


最近6億年間の大気中二酸化炭素濃度の変動



岩石圏まで含む炭素循環

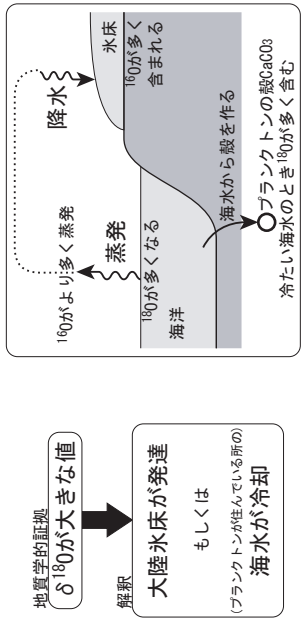
Kasting et al. (1988)



酸素同位体を用いた古環境解析

酸素同位体: ¹⁶O, ¹⁷O, ¹⁸O

$$\delta^{18}\text{O} [\text{‰}] = \frac{(\frac{18\text{O}}{16\text{O}})_{\text{試料}} - (\frac{18\text{O}}{16\text{O}})_{\text{標準}}}{(\frac{18\text{O}}{16\text{O}})_{\text{標準}}} \times 1000$$



グリーンランド氷床コア (GRIP) における δ¹⁸O の記録

数千年程度の寒暖を繰り返す現象 (ダンスガールド・エンガー振動)
一万年程度に一回起こるローレンタイト氷床の前縁 (ハイニンリッヒ事変)
最終氷期に起こった一時的な寒冷化 (新ドライヤス事変)

