

1.2 氷期・間氷期サイクルと地球の軌道要素変動

地球の大気上端に入射する日射量は地球の軌道要素の長期的な変化とともに変動する。20 世紀の前半にこの現象を初めて定量的に追究した科学者の名を冠し、この変動はミランコビッチ・サイクルと呼ばれている。図 1 は過去 100 万年間における (a) 北緯 65 度における夏至の日平均日射量 (W/m^2 , A. L. Berger 1978, J. Atmos. Sci., 35, 2362-2367 による定式化を用いて計算), (b) 気候的歳差 (離心率 $\times \sin$ 近日点方向), (c) 赤道傾角 (度), (d) 離心率, の変化である。(a) のような日射量の長期変動が氷期・間氷期サイクルを駆動するというのがミランコビッチの考えであった。(e) は SPECMAP と呼ばれる海底堆積物コアの時系列解析プロジェクトによる酸素同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ の値であり、この値が大きいほど地球上には氷床が発達していたと考えられる。図 1(a) の日射量変動と (e) の $\delta^{18}\text{O}$ のデータをフーリエ変換した結果が図 2 である。日射量変動 (a) は 2 万年前後と約 4 万年に強い周期性をもつが、これはそれぞれ図 1 (b) の気候的歳差と (c) の赤道傾角の変動の寄与である。この 2 種類の周期性は図 2 の $\delta^{18}\text{O}$ データにも見られ、この類似こそ氷期・間氷期サイクルが日射量変動に励起さ

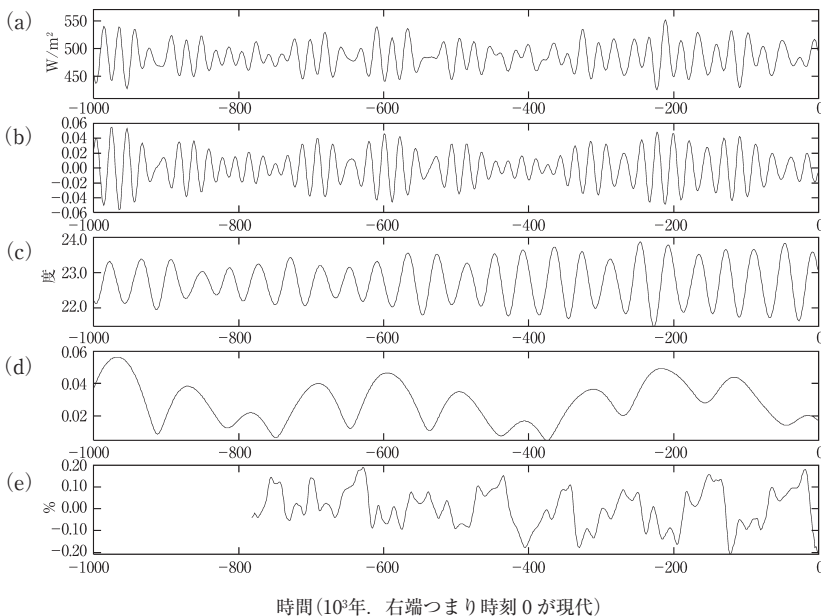


図 1 過去 100 万年間の (a) 北緯 65 度での夏至の 1 日平均日射量 (W/m^2), (b) 気候的歳差, (c) 赤道傾角 (度), (d) 離心率, (e) 酸素同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ 値 (‰), SPECMAP より*1

れる説の根拠である。しかし図2(b)を見ると、 $\delta^{18}\text{O}$ の周期性には日射量変動に含まれない約10万年の周期性が卓越している。この不一致、つまり氷期・間氷期サイクルにのみ顕著な10万年の周期性の原因はまだ明らかではない。この解明を目指し、理論的な気候モデルを使った研究が活発に行われている^{*2}。



*1 SPECMAPを含む古気候データの公開場所:

<https://www.ncei.noaa.gov/products/paleoclimatology/paleoceanography>



酸素同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ の時系列に関する代表的な論文のDOI: 10.1029/2004PA001071



*2 代表的な論文のDOI: 10.1038/s43247-023-00765-x

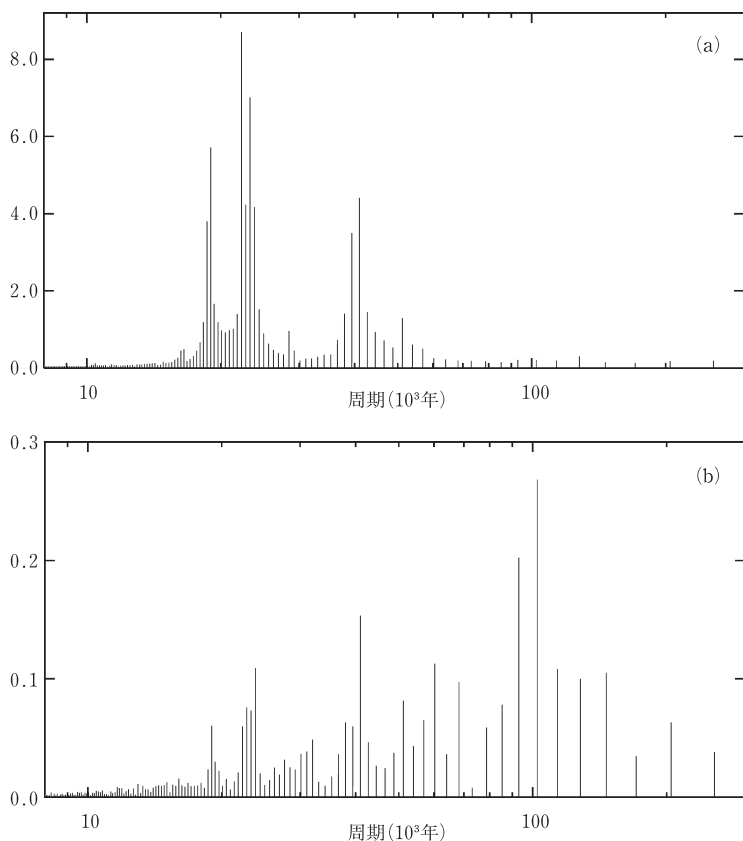


図2 図1のデータをフーリエ変換によりスペクトル解析した結果.

(a) 図1(a)の日射量変動値のスペクトル, (b) 図1(e)の $\delta^{18}\text{O}$ のスペクトル