

2022. 7. 15 開催
第 7 回 ACADEMIC CAFE
「火に関わる自然環境と人の暮らし—地質時代と現在」

氷期・間氷期の気候変動と 15 万年間の山火事の歴史

理学研究科 准教授 井上 淳

概要 地球上の日射量は公転軌道の離心率、自転軸の傾きの変化（歳差運動、傾度変化）により長期的に周期変動することが知られている。これはミランコビッチ・サイクルと呼ばれ、氷期・間氷期の気候変動のほか、最近ではモンスーン強度の変動など地球システムの様々なスケールの事象に影響することが明らかにされている。ここでは、まずミランコビッチ・サイクルに起因する氷期・間氷期の気候変動サイクルについて解説する。そして、琵琶湖堆積物のマイクロな炭から明らかとなった近畿地方における過去 15 万年間の山火事頻度が、こうした日射量変動や気候変動、人間活動により大きく変化してきたことを示す研究例を紹介する。

キーワード 山火事、第四紀、氷期・間氷期サイクル、気候変動、ミランコビッチ・サイクル、日射量変動



会場の様子

1. はじめに

現在は、258 万年前から続く「第四紀」と呼ばれる地質時代で、氷期と間氷期が繰り返される氷河時代として特徴づけられる。こうした氷期・間氷期の気候変動サイクルは、地球の公転軌道・自転軸の変化による北半球高緯度の夏季日射量の変化によるものと考えられている。一方、氷期・間氷期サイクルに伴う気候変動は、様々なスケールの大気循環に影響し、生物分布などに大きな影響を与えてきた。さらに最近では、こうした氷期・間氷期の気候変動に加え、公転軌道・自転軸の変化に伴う地域的な日射量変化がモンスーン強度や植生変化などに直接的に影響することが示されている。後述する近畿地方における長期的な山火事頻度の変化もその一例である。

2. 氷期・間氷期とミランコビッチ・サイクル

過去 80 万年間の地球の気候は、寒冷な氷期と氷期に挟まれた短い温暖期である間氷期の約 10 万年周期の繰り返して特徴づけられる（図 1）。最後の氷期（最終氷期）の最寒冷期である約 2 万年前頃の地球の平均気温は、間氷期である現在と比べて 6°C 程度低かったとされる[2]。

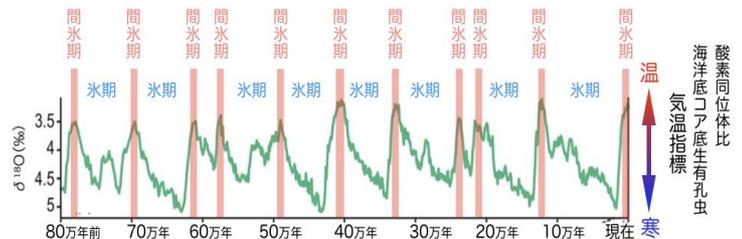


図 1 過去 80 万年間の気候変動

参考文献 [1]より作成。

過去に氷期が存在したことは、19 世紀から知られていたが、どのようにして氷期・間氷期の気候変動が生じるのかは長らく謎であった。1920 年代には、ミルティン・ミランコビッチが、地球の公転軌道・自転軸の周期的な変化による北半球高緯度の夏季日射量変動がこうした気候変動の原因となるとする説を唱えた。しかし、当時はミランコビッチの学説を裏付ける実証的なデータは得られていなかった。20 世紀後半に海洋底の堆積物コアに精緻な年代軸が入れられたことにより、氷期・間氷期サイクルの周期年数などが明らかにされ、ミランコビッチの学説が再び注目されることとな

った。現在ではミランコビッチの説は、日射量変動が氷期・間氷期サイクルの起因となるという点において概ね正しいものと理解されている。

3. ミランコビッチ・サイクルの概要

ミランコビッチ・サイクルとは、地球の公転軌道の離心率の周期的変化（主に約 10 万年周期）、自転軸の傾く方向の変化（歳差運動：主に約 2 万年周期）、自転軸の傾度変化（主に約 4 万年周期）に伴う（図 2）、地球上での各地点、各季節（1 年における各日）の日射量の周期的変化である。公転軌道の離心率と自転軸の傾きの方向によって各日の太陽と地球との距離が変化し、各日の地球全体への日射量に変化する。自転軸の傾度変化は、地球への日射の当たり方に変化をもたらし、各日、各地点の日射量に変化する。結果として、公転軌道や自転軸の周期的な変動により、地球上の各地点における各日の日射量は周期的に変動する。

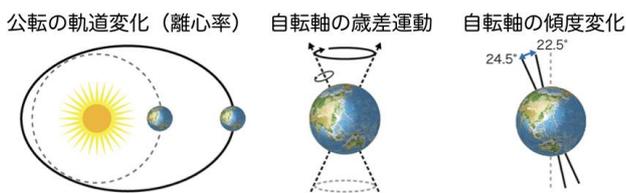


図 2 日射量変動をもたらす 3 つの要素
(参考資料 [1]) .

ミランコビッチが氷期・間氷期サイクルの起因と考えた北半球高緯度における夏季日射量を計算すると図 3 上のようなになる。図 1 で示した気候変動と比較すると（図 3 下）、日射量変動と気候変動は直接に対応するものではないが、間氷期（図 3 の赤いゾーン）の始まりは、北半球高緯度の夏季日射量が相対的に高い時期におおよそ対応している。北半球高緯度の夏季日射量変化が、こうした地球全体の長期的な気候変動の誘因となる理由の一つは、北半球が南半球に比べて陸域が大きく、特に高緯度域にユーラシア大陸・北米大陸などが広く分布することにある。すなわち北半球の高緯度の日射量が低下した際には、北半球の大陸北部の気温が低下し、陸域に氷床（厚さ数 km の氷河）が発達する。そして発達した氷床による日射の反射によりさらに寒冷化が進む。北半球高緯度の日射量が高い場合には、これとは逆の作用が働き温暖化が進む。これは一例であり、地球システムの中にこうしたフィードバック効果がいくつも存在することにより、北半球高緯度の日射量変動が地球全体の気候変動のトリガーとなっていると考えられている。

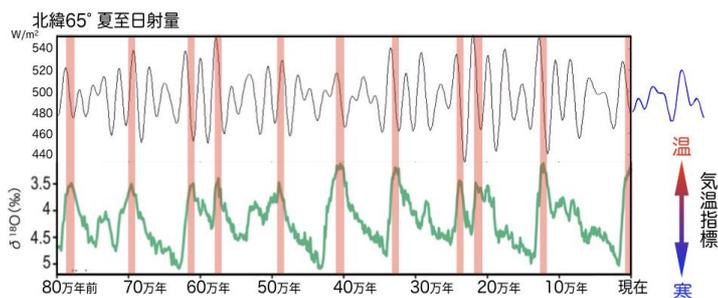


図 3 北半球高緯度夏季日射量(上)と気候変動(下)
日射量は AnalySeries 2.0 (参考文献 [3]) により計算。

4. 現在の間氷期と次の氷期

私たちは、約 1 万 2000 年続く間氷期の中にいるが、多くの間氷期の期間は約 1 万年である（図 1）。現在の間氷期はいつ終焉を迎え、次の氷期がやってくるのであろうか。

北半球高緯度の夏季日射量は、公転軌道や自転軸の周期的な変動によるため、今後の日射量についても計算することができる（図 3 上の右端の青線）。実は現在の北半球夏季日射量はそれほど低下していないものの極小にあり、今後は増大することがわかっている。これは現在の北半球の夏が遠日点（公転軌道上で太陽から最も離れた位置）に位置するためである。また現在の間氷期を誘引した日射量のピークは、他の間氷期の日射量のピークと比較してかなり小さい（図 3 の各赤いゾーン内もしくは直前の日射量極大値）。以上のように、現在の間氷期内での日射量変動幅は他の多くの間氷期と比較して小さい。これは、現在の間氷期とその前後において、地球の公転軌道の離心率が比較的小さいためである（図 4）。

上述したように現在の間氷期内において北半球高緯度の夏季日射量はそれほど低下しない。これと産業革命以降の温室効果ガスの影響が相まって、現在よりも日射量が低くなる数万年後までは間氷期が続くだろうと多くの研究者は予想している[4]。

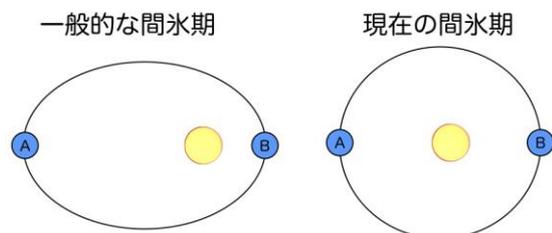


図 4 一般的な間氷期（左）と現在の間氷期（右）の公転軌道のイメージ図

左の離心率が大きい公転軌道では A と B の位置で日射量の差が大きいが、右の離心率が小さい公転軌道では日射量の差は小さい。左図では北半球の夏季が B に位置する時に夏季日射量が大きくなることで間氷期が始まり、A に位置する時に夏季日射量が小さくなり間氷期が終わる。

5. 堆積物の微粒炭から復元される山火事の歴史

氷期・間氷期サイクルの気候変動に伴い各地域でどのように気温や降水量が変化したか、また生物分布がどのように変化したかなどについては、様々な指標（堆積物中の花粉や珪藻などの微化石や各種同位体などの化学的指標）を用いた研究が進められてきた。こうした過去の環境復元の一環として、最近では堆積物に含まれるマイクロな炭（微粒炭）を用いた過去の山火事に関する研究が進められている。

微粒炭とはマイクロサイズの炭のことで、一般には数十～100 ミクロン程度の植物由来の炭を指す。微粒炭は、山火事などの際に大量に発生し、風や水流に運ばれ海や湖に運ばれることにより、湖底や海底の堆積物に取り込まれる。その結果、山火事の発生頻度が高い時期の堆積物には多くの微粒炭が含まれ、逆に火事の発生がほとんどない時期の堆積物には微粒炭は少なくなる。このため連続的に堆積した湖底堆積物の微粒炭量を調べることにより、湖の集水域および周辺の山火事の発生頻度を復元することができる。

6. 近畿地方における過去 15 万年間の山火事頻度

ここでは、琵琶湖堆積物の微粒炭分析から明らかとなった過去 15 万年間の近畿地方における山火事の発生頻度の研究例 (Inoue et al., 2018 [5]) を紹介する。分析によって明らかとなった琵琶湖堆積物の微粒炭量を図 5 中央 (黒い曲線) に示す。微粒炭量の特徴から、約 1.5 万年～2000 年前の非常に微粒炭が多い時期、約 2 万年～3 万年前、約 14 万年～15 万年前の微粒炭量が継続して少ない時期、約 4 万年前～13 万年前の微粒炭が数万毎に増減をくり返す時期に大きく分けることができる。

約 2 万年～3 万年前、約 14 万年～15 万年前の微粒炭の極少期は、気候の最寒冷期にあたり (図 5 下: 緑の曲線)、氷期の最寒冷期には山火事の発生は少なかったことを示唆する。約 4 万年前～13 万年前の増減を繰り返す時期の微粒炭量の変動パターンは、琵琶湖の位置する近畿地方中央部 (北緯 35°) の春季日射量の変動パターン (図 5 上: 赤い曲線) と対応する。

現在の日本において、山火事の発生は 3 月～5 月の春季に集中することが知られている。これは東アジアにおいては、日射量と気温が 1 年で最も高い夏季に、夏季モンスーンに伴う降雨 (梅雨) のために山火事の発生が抑制されるため、比較的降水量が少なく温暖な春が山火事の多発期となるためである。約 4 万年前～13 万年前の微粒炭量が春季日射量の変動と対応することは、過去において

も現在と同様に山火事の発生は主に春季であり、またその発生が長期的には主に日射量に制御されていたことを意味する。これは春季日射量の増減が水分蒸発量を介して、落ち葉や枯れ枝などからなる土壌表層の可燃物層 (リター) の含水比を制御するためであると考えられる。すなわち、氷期の最寒冷期を除いて、日本における長期的な山火事の増減は、リターからの水分蒸発量を介して、ミランコビッチ・サイクルにより制御されていると言える。

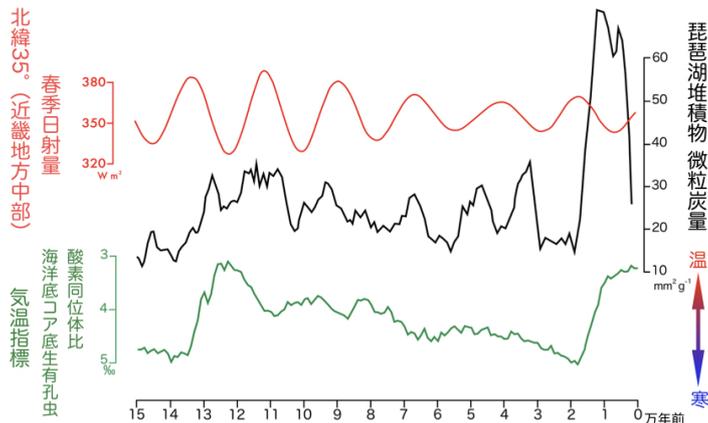


図 5 過去 15 万年間の琵琶湖堆積物の微粒炭量推移 (黒い線) と近畿地方中部の春季日射量 (赤い線)・地球の気候変動 (緑の線)

参考文献 [5] の各データから作成。

7. 約 1.5 万年前以降の縄文人による火の増加

約 1.5 万年～2000 年前に限って微粒炭が非常に多く認められるが、これは縄文時代の火入れなどの人の活動に関連したものと考えている。理由としては、1. この時期は間氷期の温暖期に当たるが、前の間氷期 (12～13 万年前頃) にはこうした微粒炭の増加は認められないこと、2. 琵琶湖周辺で石器や遺跡などの人類の痕跡がまとまって認められ始めるのは 1.5 万年前以降であること、3. 弥生時代以降に相当する約 2000 年前以降には微粒炭が著しく減少するためである (一般に狩猟採取生活は農耕生活よりも森林や草原などへ火を入れる頻度が高いとされている)。さらに Inoue et al. (2021) [6] では、前の間氷期の前半 (13 万年前頃) と現在の間氷期の前半 (1 万年前頃) の気候や植生、春季日射量条件が類似することを示した上で、火の増加が現在の間氷期にのみ限定されることを示している (講演ではこの内容は割愛)。

以上を踏まえると、約 1.5 万年前の微粒炭は縄文時代の人の活動を反映するもので、火を入れる頻度は、自然状態での山火事頻度と比べてかなり高かったことが想定される。



8. おわりに

私の専門分野である「第四紀学」は、現在を含む「第四紀」という地質時代を対象に、地質学、地形学、気候学、海洋学、土壌学、人類学、考古学、生態学など様々な分野を包括しています。今回の講演では、ミランコビッチ・サイクルに伴う長期的な気候変動と近畿地方における山火事頻度の変遷について紹介しましたが、約1万年前からの火の増加に縄文人が関与していたことについても触れました。第四紀学の魅力は、事象や現象の変遷を様々な分野の視点から考察し、分野の垣根を越えて解き明かすことにあると思っています。今回のアカデミック・カフェで、その一端が伝わったのであれば幸いです。

アカデミックカフェでの講演という貴重な機会を与えていただいたファシリテーターの益田晴恵先生、共に講演いただいた祖田亮次先生に感謝いたします。また、アカデミックカフェの運営に尽力いただいた澤田弥生氏、武藤多美子氏、野本竜馬氏を初めとする職員の方々に深くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Lisiecki L.E., Raymo M.E. (2005) A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic delta O-18 records. *Paleoceanography*, 20: PA1003.
- [2] Tierney J.E., Zhu J., King J., Malevich S.B., Hakim G.J., Poulsen C.J. (2020) Glacial cooling and climate sensitivity revisited. *Nature*, 584: 569-73.
- [3] Paillard D., Labeyrie L., Yiou P. (1996) Macintosh program performs time-series analysis. *Eos Transactions AGU*, 77: 379.
- [4] Ganopolski A., Winkelmann R., Schellnhuber H. J. (2016) Critical insolation-CO2 relation for diagnosing past and future glacial inception. *Nature*, 529: 200-204.
- [5] Inoue J., Okuyama C., Takemura K. (2018) Long-term fire activity under the East Asian monsoon responding to spring insolation, vegetation type, global climate, and human impact inferred from charcoal records in Lake Biwa sediments in central Japan. *Quaternary Science Reviews*, 179: 59-68.
- [6] Inoue J., Okuyama C., Hayashi R., Inouchi Y. (2021) Postglacial anthropogenic fires related to cultural changes in central Japan, inferred from sedimentary charcoal records spanning glacial-interglacial cycles. *Journal of Quaternary Science*, 36: 628-637.

参考資料

- [1] 海洋研究開発機構ホームページ
https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20141027/

発表者紹介

大阪公立大学大学院理学研究科地球学専攻准教授、博士（理学）。
■略歴 大阪市立大学理学部卒業。大阪市立大学大学院後期博士課程修了。大阪市立大学大学院理学研究科 特任講師、講師などを経て、2015年より准教授、2022年より現職。
■研究分野 第四紀学、古環境学、環境地質学
■研究テーマ 人為影響以前の環境変遷を踏まえた、自然環境への人為影響、環境汚染史の解明。「現在」が地質時代の中でどのように位置づけられるかに焦点を当て研究を進めている。

