

地質の年代あれこれ

(1) 歴史時代

大雑把に言うと、文字で記録が残っている時代を歴史時代、それ以前を先史時代と呼びます。日本では、旧石器時代、縄文時代、弥生時代、古墳時代・・・と続きますね。縄文時代は土器に付けられた特徴的な模様からきているのはご存じだと思います。日本に来ていたお雇い教授エドワード・モース（アメリカ：動物学者）が明治 10 年に東京都品川区・大田区で見つけた大森貝塚から出土した土器を「Cord Marked Pottery」と記載したことが始まりです。のちに、白井幸太郎という研究者が「縄文土器」と訳しました（白井,1886）。弥生時代は、明治 17 年に東京都文京区の弥生町遺跡で発見された土器から名づけられます。それ以降は主に時の権力者が支配した中心地（都など）の名が時代名になっています。明治時代以降は「東京時代」と呼ぶ考えもあるそうです。さて、地質学の扱う世界では、先史時代には違いないのですが、人類の登場以前の時代が中心です。

(2) 地質時代の表し方

地質時代は、主に出土する大型化石（三葉虫やアンモナイトなど）を使って区分されました。相対年代と呼びますが、地質学の世界では、模式地と呼ばれる、その地層を代表する場所を決めます。そして地質時代名はその場所にゆかりのある名前を付けます。表 1 は、「紀」の名前の由来です。

表 1 「紀」の名前の由来

第三紀・第四紀	アルプスの地層から、第一紀～第四紀に分けられていたころの名残
白亜紀	英仏海峡の両岸に分布する石灰質の白い地層（チョーク）から
ジュラ紀	スイスとフランスの国境にあるジュラ山脈に分布する地層から
三畳紀	ドイツで赤色砂岩、石灰岩、茶色の砂岩という 3 つの地層の重なりでできている
ペルム紀	ロシアのウラル山脈の西にあるペルムという地名から
石炭紀	イギリスのイングランドやウェールズにある石炭の地層から
デボン紀	イギリス南部のデボン州に分布する地層から
シルル紀	イギリスのウェールズ地方にローマ時代に住んでいた民族の名前から
オルドビス紀	イギリスのウェールズ地方にローマ時代に住んでいた民族の名前から
カンブリア紀	イギリスのウェールズの古い呼び名「カンブリア」から

(3) 地質年代

地質学は、はじめは地下資源（主に石炭）の採掘が目的でした。現在でも資源のある国は地質学の研究は盛んです。残念なことに、地下資源がほとんどない日本では、科学分野の主流にはなっていません。地質学の科学としての弱点には、再現性がないことや、数値で表現できなかったことがあります。たとえば映画やアニメの世界以外では恐竜は誕生させられません。そこで、再現性は脇において、近年は地質時代に目盛りを入れる分野が発達しています。化石からは古いか、より新しいかわかりませんが、現在では「これは何年前の地層だ」と数字で表すことができるようになってきました。もちろん「誤差」を含んでいますし、自然界のカオスの問題は残されています。

年代測定という、ウランなどの放射性同位体を用いた多くの測定法が知られています。放射性同位体は、放射線を放出しながら時間の経過とともに放射能を持たない安定同位体に変っていくことを利用しますが、その原理は多くの WEB サイトでも紹介されていますので、ここでは「天文年代」、「酸素同位体ステージ」、「較正年代」という、比較的新しい地質時代に関わる事柄について説明します。放射性同位体を用いた年代は「放射年代」と呼び、放射性同位体を用いない多くの年代測定法も含めて数値で表す年代を、「数値年代」（絶対年代）と呼びます。

地質年代表が国際層序委員会（ICS）というところから発表されています。この表は WEB サイトで公開されていますが、新生代、中生代～古生代、古生代より古い時代で境界の年代数値の決め方が異なっています。図 1 はその一部を載せてありますが、新生代と、古生代より古い時代には土の値が付けられていません。古生代より古い時代は大型化石が見つかっていませんので、区切りのいいところで人為的に分けてあります（誤差はありません）。中生代～古生代は放射年代データに基づいた値ですので、測定誤差を表す土の値が付けられています。新生代は、ミランコビッチサイクルによる数値年代である「天文年代」で定義されていますので誤差はないとされています。

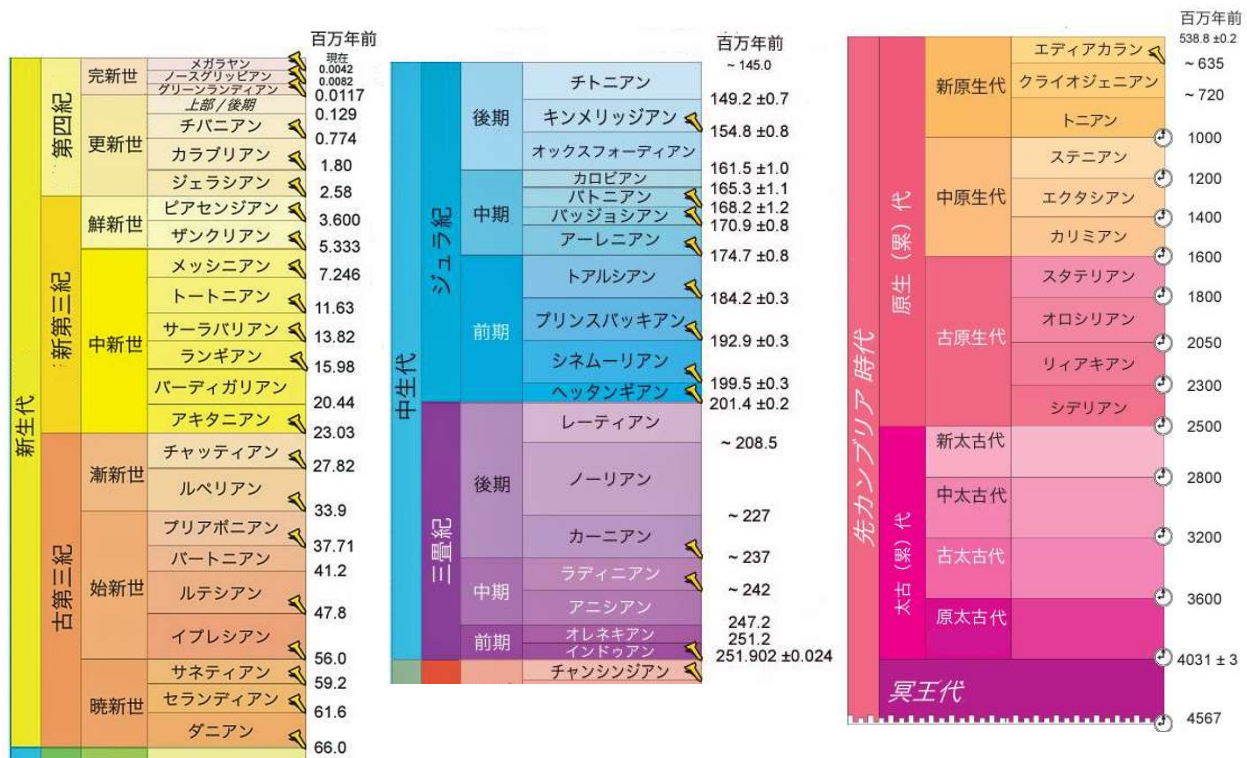
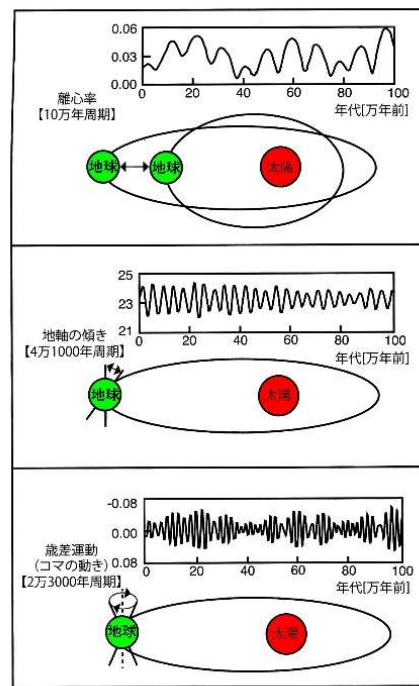


図 1 国際層序委員会地質年代表 2023/9 (URL1：日本地質学会による日本語訳版を省略)

(4) 天文年代とミランコビッチサイクル

新生代の年代を表す数値は天文年代を使っています。天文年代は、M. Milankovitch が 20 世紀初めに提唱した「気候変動の主な原因は地球の公転などの周期的な変化」であるという考えから決められた年代です。この周期的な変化はミランコビッチサイクルと呼ばれ、主に 3 つの要素の組み合わせによって決まるといいます。その 3 つは、地球の公転軌道の離心率、地軸の傾き、地軸の向きの変化です。一つ目の公転軌道の離心率の変化というのは、地球は太陽の周りを 1 年かけて一周（公転）しますが、その軌道は一定ではない（地球が太陽に近づいたり遠ざかったりする）ことで

す(図2の最上図)。真円に近いと氷期, 楕円のように細長いと間氷期になり, そのサイクルがちょうど10万年といわれます。二つ目は, 地球は自転軸(北極と南極を通る軸: 地軸)の周りを1日1回転していますが, 地球の自転軸は地球の公転軌道面に対して垂直でなくおよそ23.5°傾いています。このため太陽は, 北緯23.5°~南緯23.5°の範囲を動き, 日本が夏になったり冬になったりします。この23.5°という傾きが約4.1万年で変化するので(図2の中段)。3つ目の, 地軸の向きの変化は歳差運動と呼ばれるものですが, 約2.3万年の周期で変化します。この運動は, コマが倒れそうになると回転軸の向きがぐるぐる回ることにとえられます。コマの首振り運動とも呼ばれます(図2の最下段)。これらの運動の変化は, 地球と太陽との距離や, 向かい合う角度が変化しますので, 太陽から地球が受けるエネルギー(日射)量, つまり気候が変化します。これらの周期的変化の組み合わせに基づいて計算された天文年代が, 放射年代測定の結果と良く適合することがわかってきました。例えば, 海洋堆積物中の底生有孔虫の殻などの酸素同位体比(^{16}O と ^{18}O の比)から推定された過去の海水温度変化(寒冷期には海水中の重い酸素 ^{18}O の割合が増える)と, ミランコビッチサイクルがよい対応をすることが明らかになってきましたので, その対応関係を利用して, 海洋堆積物から推定される地質年代の境界の年代値を推定することができるのです。このミランコビッチサイクルの考えは初期には受け入れられませんでした, 近年では支持されてきています。中生代のチャートのような古い岩石への対応の検討や, 南北半球の夏の日射量変動の時期ずれなどの問題も解消されつつあります(URL2)。



ミランコビッチ・サイクルの概要説明(デコスの図を簡略化)。

図2 ミランコビッチサイクル (佐野ほか, 2022)

(5) 酸素同位体ステージ (MIS)

海底堆積物に含まれる有孔虫などの微化石を分析し, その生物が生息していた当時の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比を導き出すと, 当時の水温が推定できます。つまり酸素同位対比が大きい(^{18}O の割合が多い)と寒冷な時期, 小さいと温暖な時期と推定できるのです。この気温変化の変動曲線をつくり, 温暖期の若い方から1, 3, 5...の奇数を, 寒冷期の若い方から2, 4, 6...の偶数を割り振り,

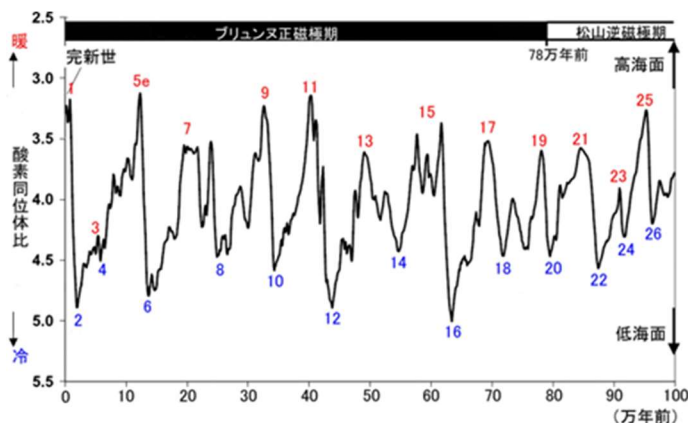


図3 MIS 曲線 (Berger,2008 を改)

これらを酸素同位体ステージと呼ぶことにしました(3の時期は例外)。さらに細かい区分は a,b,c や, 5.5 (=5e) のように表します。これによりかつて使われていた「ギュンツ」・「ミンデル」・「リス」・「ウルム」などの氷期名はほとんど使われなくなりました。熱田層は5eと考えられています。

(6) 較正年代 (暦年代: Calendar year)

炭素14年代法は、半減期が5730年のため比較的新しい時代(約300年前から約5万年前まで)の試料(遺跡からの考古学的遺物、木炭、貝殻、骨など)を測定する方法としてよく使われます。今から何年前という「今」はとくに断りがない限り1950年を示します。また、この方法では昔決められた半減期=5568年を伝統的に使っているため測定で求められた値は2.9%(=5730/5568)ほど実際の暦年より若い値になります。さらに、海洋の影響を

受けた海水中の植物プランクトンなどの試料は、数百年古い年代を示す場合があります。これは、大気中のCO₂が海洋に溶け込むのにかかる時間のため、その間に¹⁴Cが若干減少するからです。最近では、得られた¹⁴C年代から暦年代(実際の年代)への較正(換算)は不可欠なものとなっています。より正確な年代を知るために、様々な方法で得られたデータを使って修正(暦年代較正)しており、その年代を較正年代と呼びます。年輪との比較、湖底の堆積物を利用、鍾乳石やサンゴ礁からデータなどを用いて、データの無いところを補足したり、補正を行います。較正年代を使うことにより、従前に使われていた年代が変更になったものも多くあります。2013年のものは福井県の水月湖(若狭湾の三方五湖の一つ)の底にたまった縞状の粘土や得られた植物化石などから求められたデータが多く取り入れられたのが話題になりました。現在はIntCal20(2020年発表)というものを使って補正しています(図4)。IntCal20には日本産樹木のデータも採用されました。西暦1950年を起点とした年数にはcalibrated(較正済み)を意味する「cal」をつけて「calBP」と表します。測定年代が古い論文は較正されていない場合が多く、「BP」だけがつけられています。今後もこの較正曲線は修正が加えられていく予定です。

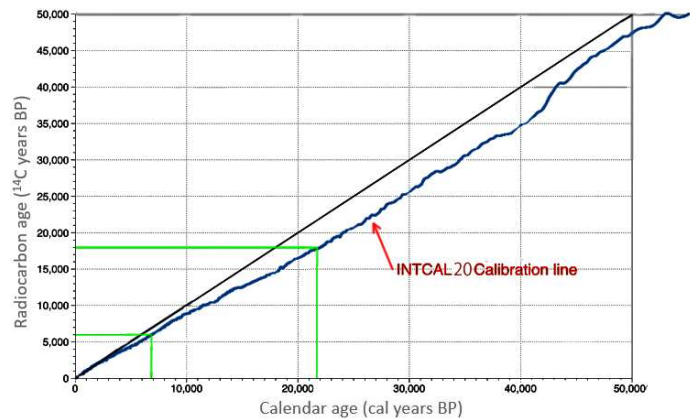


図4 IntCal20 (URL3)

緑線は測定値が6000年前の時は、較正年代は7000年前に、1.8万年前の較正年代は約2.1万年前になることを示します。

参考文献

Berger, W.H., 2008, Sea level in the late Quaternary: patterns of variation and implications.

Int. J. Earth Sci., 97, 1143-1150.

村松憲一, 2019, 愛知県の地質とジオサイト 第二版. 189 p.

佐野貴司, 矢部淳, 斎藤めぐみ, 2022, 日本の気候変動5000万年史. 講談社. 270 p.

白井光太郎, 1886, 石鏃考. 人類学会報告, 49-51.

URL1: chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj

/https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2023-09Japanese.pdf

URL2: <https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2024/20240508.html>

URL3:

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Intcal_20_calibration_curve.png