

第四紀の位置と新定義 —その経緯と意義—

Chronostratigraphical Position and Definition of Quaternary

遠藤 邦彦 (えんどう くにひこ)

日本第四紀学会会長 (日本大学文理学部教授)

奥村 晃史 (おくむら こうじ)

国際第四紀学連合副会長 (広島大学文学部教授)

1. はじめに

第四紀の始まりは約80万年間さかのぼり、258.8万年前からとなるのが2009年6月30日に IUGS (国際地質科学連合) の執行委員会において正式に決定された。同時に、第四紀の位置も新生代の中で Paleogene (これまでの古第三紀), Neogene (ほぼこれまでの新第三紀に対応するが短縮された) に続く最後の紀に相当する名称として残ることになった (表—1)。しかし、従来古第三紀と新第三紀に分けられていた第三紀そのものは公式なものではなくなった。数年前には、第三紀とともに第四紀もやめて、新生代を Paleogene, Neogene だけにしようとする案が機関の決定をみずにいきなり発表され¹⁾、これをきっかけに激しい議論が続いてきたが、その論争にも決着がついたということである。

後述するように、日本列島には第四紀の始まり前後の地層群が丘陵地を構成し、さらに台地や平野の地下にいわゆる軟岩として広く分布しており、鮮新/更新統として扱われていることが多い。新定義ではその大方は第四紀に属することになりそうで、地盤工学会の会員にとっ

ても意外に身近な話題と考えられる。

本稿では主としてこの変更がなされた理由や、新定義が持つ意義について述べる。

2. 第四紀の旧定義から新定義へ

これまでの第四紀の始まりとされてきた180万年前という年代は、古地磁気編年の松山逆転期の中のオールドバイ・イベントの上限 (1.77 Ma) 付近の年代であるが、ここから地中海に寒流系の要素が入り始めること、アフリカで人類化石が産出する時代に相当することなどから、1983年にイタリア、カラブリア地方の Vrica Section が模式地として認められてきた。その過程でも多くの議論がなされていたことは成瀬 (1982)⁴⁾ に詳しい。

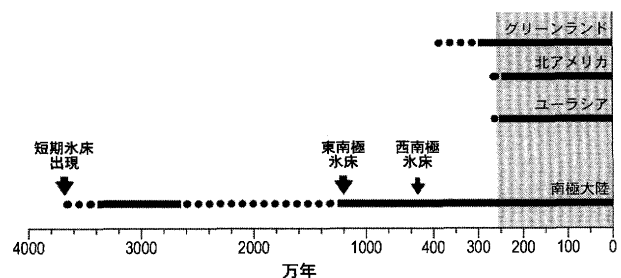
しかし、この時期に寒冷化に向かうことは他の海域では必ずしもあてはまらないことや、人類の出現の時代がはるか古くにさかのぼることになるなどから、再検討すべきとの議論は以前から存在した。例えば、酸素同位体カーブによる第四紀の古気候変動やミランコビッチ・サイクルを確立した功労者であるシャックルトンによる北大西洋の深海底コアの研究はその1例である⁸⁾。北大西洋では氷床の拡大を示す漂流岩屑 (IRD: ice rafted debris, 氷床の崩壊から発生する氷山が運搬する粗粒子が深海底に堆積したもの) の増加が260~250万年前に見られ、北半球の氷床の成立はこの時期にまでさかのぼると考えられた。その後さらに多くのデータによって南北両半球の氷床成立過程が検討されてきた。それらを模式的にまとめると図—1のようになる。

IRD だけでなく微化石や酸素同位体など深海底コアについて蓄積されたデータに基づいて、寒冷化の始まりや北半球の北米大陸, ユーラシア大陸, グリーンランドなどの極圏における氷床の成立期が検討され、280万年

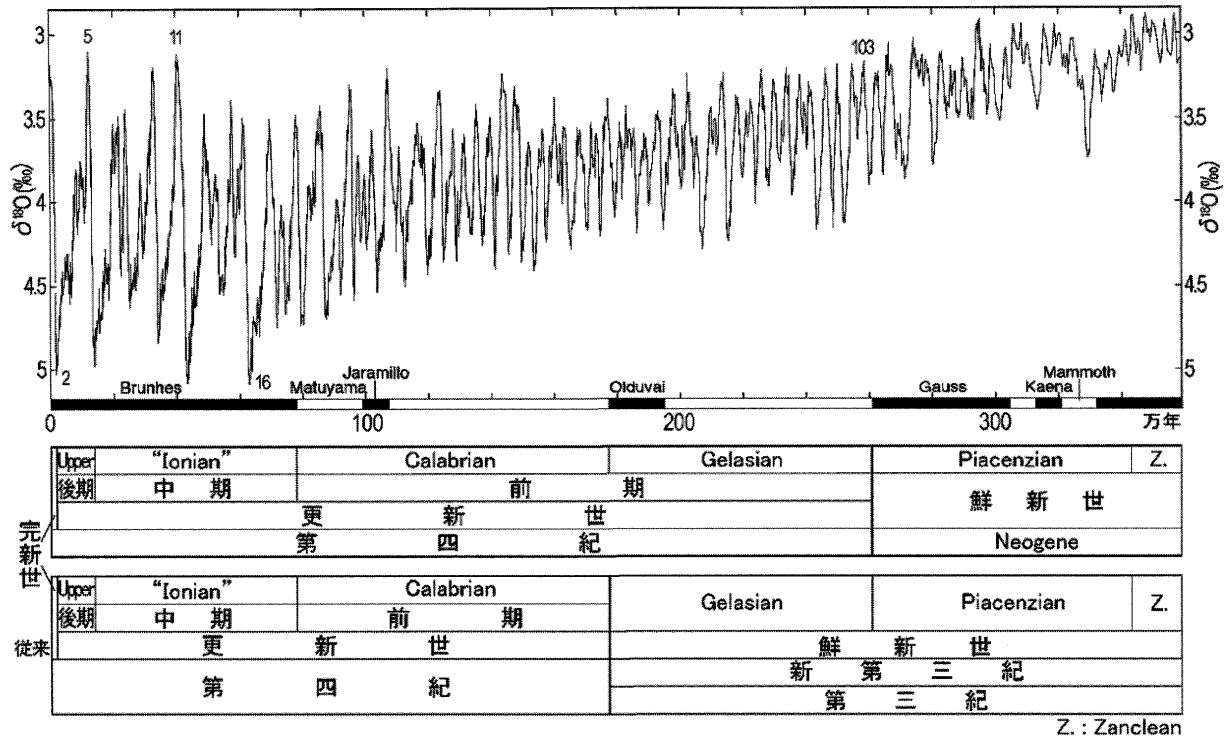
表—1 新しい新生代の区分

GTS2008 (Geologic Time Scale by ICS. <http://www.stratigraphy.org/cheu.pdf>)²⁾ に基づき、新生代をまとめたもの。更新世前期, 中期, 後期については Gibbard et al., 2009³⁾ による。ここでは Paleogene, Neogene については暫定的に古第三紀, 新第三紀に () を付して添えたが、正式には決まっていない。

| 累代 | 代界 | 紀系 | 世統 | 期階 | 年代 Ma | |
|---------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------|--------|
| Phanerozoic 顕生累代 | Cenozoic 新生代 | 第四紀 Quaternary | 完新世 Holocene | | | 0.0117 |
| | | | 更新世 Pleistocene | 後期 | Upper | 0.126 |
| | | | | 中期 | "Ionian" | 0.781 |
| | | | | 前期 | Calabrian | 1.806 |
| | | | 鮮新世 Pliocene | Piacenzian | | 2.588 |
| | | | | Zanclean | | 3.600 |
| | | | | Messinian | | 5.332 |
| | | | | Tortonian | | 7.246 |
| | | | | Serravallian | | 11.608 |
| | | | | Langhian | | 13.65 |
| | | 新第三紀 () | Langhian | | 15.97 | |
| | | | Burdigalian | | 20.43 | |
| | | | Aquitanian | | 23.03 | |
| | | | Paleogene (古第三紀) | | | |



図—1 南北両半球の氷床形成期の推定⁵⁾ (氷床出現期は Maslin et al., 1998⁶⁾; Zachos et al., 2001⁷⁾ などに基づき作成)



図一 酸素同位体比に基づく地球の気候変動と新旧の第四紀の位置と区分の比較
 酸素同位体比の図は Lisiecki & Raymo (2005)¹¹⁾に基づく。同位体のグラフ中の数字は海洋酸素同位体ステージ番号。

前から240万年前に大きな変化が集中することが明らかになった^{9),10)}。

深海底コアなど長期にわたる連続的堆積物に時間軸を設定するのに最も広く使用される方法が古地磁気年代法である。ガウス正磁極期からマツヤマ逆磁極期への境界の年代が258万年前である。このガウス/マツヤマ地磁気境界はグローバルに認定が容易であるため、280～240万年前の変化期の中で258万年前が境界の年代として採用されたのである。この位置は海洋酸素同位体ステージ (MIS) の103の基底にあたる。

図一 2には、過去360万年間の酸素同位体比のグラフに対して、新旧の第四紀の位置を対応させて示した。グラフの上向きのピークが温暖な間氷期、下向きのピークが寒冷な氷期で、すべてに番号が付されている (奇数は間氷期、偶数は氷期)。

模式地として選ばれたのは、イタリアのシチリア島南部、Gela 付近の Monte San Nicola の海成層 Gelasian (ジェラ階) の基底である。この基底はガウス/マツヤマ地磁気境界の約 1 m 上位にある³⁾。更新世 (更新統) の基底もこの位置まで引き下げられ、従来の下部更新統の Calabrian と共に Gelasian も下部更新統に属することになった。

3. 新しい第四紀像

第四紀の定義が改められた結果、これまで鮮新世に属していた Gelasian (ジェラ階) が第四紀に入ることになり、第四紀の始まりが Gelasian の基底に置かれるようになった。つまり Gelasian に相当する80万年間分の地層が第四紀に移されることになったわけであるが、単に表を書き換えたり、図の区分を変えたりというだけで

はない。これが持つ大きな意味について、以下に述べてみたい。

新たな第四紀像として最も大事なことは現在につながる第四紀の地球の気候変動を支配してきた仕組みがこの段階で整ったということであろう。その中身は両極氷床システムの確立である。南極大陸の氷床は古くから存在したことが分っている。第四紀には、南半球に加えて北半球にも広大な大陸氷床が形成された、ということである。しかしそれが259万年前に突然起こったというわけではない。およそ300万年前から250万年前頃にかけて起こったとされる。そのきっかけを与えた一つの要因はミランコビッチ・サイクルである。北半球高緯度の夏の日射量が低下すると、これをきっかけとして、冬季に降った雪は夏季も解けずに残り、これが積み重なって氷床が発達するようになる。氷床の発達を地球を寒くし、さらに氷床を発達させる、という正のフィードバック・メカニズムが働く。これは氷期・間氷期が繰り返された第四紀の気候変動メカニズムの基本にある。

しかしこの時期に大規模な大陸氷床形成が生じるには長期にわたって繰り返されてきた軌道要素に起動されてきたミランコビッチ・サイクルだけでは根拠として弱い。現在、北米大陸と南米大陸はパナマ地峡でつながっている。近年、その大西洋側と太平洋側の深海底コアの研究が進み、300万年前～250万年前頃に大きな環境変動が見られることが分かってきた。大西洋と太平洋は Central American Seaway とよばれる海峽でつながっていたのが、そのころにプレートの運動のもとでパナマ地峡が形成され、分断されたのである^{12)~14)}。その結果、メキシコ湾流で代表される北大西洋への暖流の北上が始まり、北大西洋発の海洋の熱塩循環の活発化が進行し、北

大西洋高緯度地域において大量の水分が氷床に供給されるようになり、氷床の発達が進むようになるというような、正のフィードバック・メカニズムが強力に進行する。そうした結果は、大西洋だけでなく北太平洋においても急激な寒冷化として深海底コアに明瞭に記録されている^{15),16)}。

この過程は第四紀を特徴づける氷期・間氷期サイクル(ミランコビッチ・サイクル)の基本的な枠組みそのものであり、第四紀を通しての気候変動システムが確立したことを意味している。

こうした地球の寒冷化への進行は、地表の環境に大きなインパクトを与え、人類を含む動植物相の変化をもたらした。中国の黄土高原においては、古くから赤色粘土の上に黄土(レス)が堆積を始め、レス・古土壌シーケンス(氷期にレスが、間氷期に土壌が生成された)を形成し始めるのが上記の Gauss/Matuyama 境界とされてきた¹⁷⁾。近年、黄土の下の赤色粘土もレス(loess-like silt)であるという議論が行われているが、上記の境界付近から本格的に乾燥化が強化されたことにはかわりない¹⁸⁾。この点で、北半球氷床の成立によるシベリア高気圧の強化と共に、チベット・ヒマラヤの隆起と内陸部の乾燥化との関連性も重要である。

人類についてもその出現はずっと古くなったが、特に現生人類と同じ属のホモ属が東アフリカからユーラシア大陸へ進出していく時代にあたる。その頃、東アフリカの環境は森林から草原に切り替わっていく時代にあっている。すなわち乾燥化が進行したことを意味するが、地球の寒冷化と関係していたであろう。

以上のように数多くの知識の集積が、第四紀の環境変動システムを基にする第四紀像を明らかにすることを可能にしたということであろう。第四紀を通しての両極氷床システムのもとの気候変動メカニズムは、現在と将来の地球環境、地球温暖化問題を検討し、予測する上で重要な基礎の一つとして欠かすことはできず、またその重要性を増している。第四紀の定義を上記のような方向で改訂しようという機運は、こうした国際的な地球温暖化問題の高まりなどの背景に支えられた側面があったものと思われる。

4. 日本列島では

日本列島には第四紀の始まり前後の地層群が広く分布しており、古くから鮮新/更新統として研究が進められてきた。関東地方の上総層群およびその相当層をはじめ、新潟の魚沼層群、近畿・東海地方の大阪層群、古琵琶湖層群、東海層群、掛川層群、等々詳細な研究が行われてきた。近年、佐藤ほか(2003)¹⁹⁾などにおいて、石灰質ナンノ化石に基づいて秋田県北部の天徳寺層から笹岡層の境界2.75 Maにおいて、寒冷な種に置き換わることが報告されているほか、九州の宮崎層群、沖縄の知念層などにおいても検討が進められている²⁰⁾。

また、新しい境界に近い層準にある幾つかのテフラ(火山灰)が目ざされている。例えば淡路島の大阪層群最下部層にあって、北陸、関東、新潟など広域で認められる朝代-Tzw テフラ層(新潟では Gauss/Matuyama 境界の5~17 m 下位にあって、259万年~265万年と推定される²¹⁾)などが重要になる。これらは古地磁気測定に基づく Gauss/Matuyama 境界の認定と共に、新たな第四紀(系)基底の決定にあたり重要な手段となるであろう。

日本列島の地形の形成過程を考える上でも、新たな第四紀の定義は重要な意味をもつ。第四紀のテクトニクスと火山活動のもとで山地と盆地(平野)の大勢がつくられ、現在の日本列島の地形形成がなしとげられてきたのは主としてこの時代であるからである。

5. 今後の課題

今後の課題は少なくない。

新たな第四紀の定義にしたがって日本列島各地に分布する従来の鮮新/更新統に新たな鮮新世と更新世との境界を決定していくこと、すなわち第四紀(系)の境界を明らかにすることは急がれる課題である。その中で国内の副模式地の選定や更新世の細区分も課題となる。第四紀の位置に関連して、その前の紀に相当する Neogene に対して日本ではどのような名称を与えるのか(新第三紀とする方向にある)、“第三紀”をどう扱うか(基本的には用いない方向)も問題になる。

第四紀テクトニクス、第四紀火山活動、各種自然災害についても年代の広がりの中での見直しが要請される。

一方では、日本列島やその周辺地域、さらにはアジア地域などにおいて、第四紀の始まりの位置を決定していく努力、そのためには従来の鮮新/更新統を洗いなおす作業も必要である。

具体的には、地質図等の凡例・界線の変更等の改訂、地学の教科書の改訂と教育界への浸透、関連諸分野およびマスメディアへの周知、普及などを、混乱が生じないように迅速に進める必要がある。このためには、関連学協会の協力が必要であり、(地)地盤工学会および会員各位にも協力をお願いする次第である。

なお、日本国内において第四紀の新しい定義の確立と普及を進めるため、日本学術会議、日本第四紀学会、日本地質学会を中心に幾つかのシンポジウムやセッションが企画されている。2010年1月22日には日本学術会議公開シンポジウム「人類の時代・第四紀は残った」が日本学術会議において、2010年1月31日には日本第四紀学会主催シンポジウム「第四紀の開始期の環境変動とテクトニクス：第四紀の新定義を検証する」が早稲田大学において開催される。さらに2010年5月の地球惑星科学連合大会においても関連するセッションが企画されている。

なお、第四紀の新定義とその重要性については町田(2009)²²⁾が出版されたところである。あわせて参照されたい。

参 考 文 献

- 1) Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Smith, A. G., Bleeker, W. and Lourens, L. J.: A new geologic time scale with special reference to the Precambrian and Neogene, *Episodes*, Vol. 27, pp. 83~100, 2004.
- 2) Gibbard, P. and Cohen, K. M.: Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years, *Episodes*, Vol. 31, No. 2, pp. 243~247, 2008.
- 3) Gibbard, P., Head, M. J., Walker, M. J. C., The subcommission on Quaternary Stratigraphy: Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *Journal of Quaternary Science*, DOI: 10.1002/jqs. 1338, 2009.
- 4) 成瀬 洋:「第四紀」, 岩波書店, 269 pp., 1982.
- 5) 遠藤邦彦: 極圏・雪氷圏と地球環境科学への誘い, 「極圏・雪氷圏と地球環境」, 二宮書店, pp. 2~14, 2009.
- 6) Maslin, M., Li, X. S., Loutre, M. F. and Berger, A.: The Contribution of orbital forcing to the progressive intensification of northern hemisphere, *Quaternary Science Reviews*, 17, pp. 411~426, 1998.
- 7) Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. and Billups, K.: Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present, *Science*, 292, pp. 686~693, 2001.
- 8) Shackleton, N. J., Backman, J., Zimmerman, H., Kent, D. V., Hall, M. A., Roberts, D. G., Schnitker, D., Baldauf, J. G., Desprairies, A., Homrighausen, R., Huddleston, P., Keene, J. B., Kaltenback, A. J., Krumsiek, K. A. O., Morton, A. C., Murray, J. W. and Westberg-Smith, J.: Oxygen isotope calibration of the onset of ice-rafting and history of glaciation in the North Atlantic region, *Nature*, Vol. 307, pp. 620~623, 1984.
- 9) Pillans, B. and Naish, T.: Defining the Quaternary, *Quaternary Science Reviews*, Vol. 23, Issues 23-24, pp. 2271~2282, 2004.
- 10) Ogg, J. G. and Pillans, B.: Establishing Quaternary as a formal international Period/System, *Episodes*, Vol. 31, No. 2, pp. 230~233, 2008.
- 11) Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E.: A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records, *Paleoceanography*, 20, PA1003, pp. 1~17, 2005.
- 12) Keller, G., Zenker, C. E. and Stone, S. M.: Late Neogene history of the Pacific-Caribbean gateway, *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 2, Issue 1, pp. 73~108, 1989.
- 13) Bartoli, G., Sarnthein, M., Weinelt, M., Erlenkeuser, H., Garbe-Schoberg, D. and Lea, D. W.: Final closure of Panama and the onset of northern hemisphere glaciation. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 237, Issues 1-2, pp. 33~44, 2005.
- 14) Kameo, K. and Sato, T.: Biogeography of Neogene calcareous nannofossils in the Caribbean and the eastern equatorial Pacific-floral response to the emergence of the Isthmus of Panama, *Marine Micropaleontology*, Vol. 39, Issues 1-4, pp. 201~218, 2000.
- 15) Sato, T., Yuguchi, S., Takayama, T. and Kameo, K.: Drastic change in the geographical distribution of the cold-water nannofossil *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller at 2.74 Ma in the late Pliocene, with special reference to glaciation in the Arctic Ocean, *Marine Micropaleontology*, Vol. 52, Issues 1-4, pp. 181~193, 2004.
- 16) Shimada, C., Sato, T., Yamasaki, M., Hasegawa, S. and Tanaka, Y.: Drastic change in the late Pliocene subarctic Pacific diatom community associated with the onset of the Northern Hemisphere Glaciation, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, Vol. 279, Issues 3-4, pp. 207~215, 2009.
- 17) Liu, T. S. et al.: *Loess and the environment*, China Ocean Press, Beijing, 251 p., 1985.
- 18) Dodonov, A. E. and Zhou, L.: Loess deposition in Asia: its initiation and development before and during the Quaternary, *Episodes*, Vol. 31, No. 2, pp. 222~225, 2008.
- 19) 佐藤時幸・樋口武志・石井崇暁・湯口志穂・天野和孝・亀尾浩司: 秋田県北部に分布する上部鮮新統—最下部更新統の石灰質ナンノ化石層序—後期鮮新世古海洋変動と関連して—, *地質学雑誌*, Vol. 109, pp. 280~292, 2003.
- 20) 佐藤時幸・中川 洋・小松原純子・松本 良・井龍康文・松田博貴・大村亜希子・小田原啓・武内里香: 石灰質微化石層序からみた沖縄本島南部, 知念層の地質年代, *地質学雑誌*, Vol. 110, pp. 38~50, 2004.
- 21) 黒川勝己・長橋良隆・吉川周作・里口保文: 大阪層群の朝代テフラ層と新潟地域の Tzw テフラ層の対比, 第四紀研究, Vol. 47, pp. 93~99, 2008.
- 22) 町田 洋: 第四紀の重要性—地球史の中での新しい地位と定義, *科学*, Vol. 79, pp. 1315~1319, 2009.

(原稿受理 2009.12.3)