

年代層序単元として人新世の科学的根拠とその否認について—人新世作業部会の提案書に基づいた解説

責任著者 加 三千宣・齋藤 文紀

要旨

2024年3月20日、国際地質科学連合において、正式な地質年代単元としての人新世が否認された今、人新世という言葉の取り扱いに混乱が生じています。ここでは、まず、国際地質科学連合の下部組織の人新世作業部会（AWG）の提案書に述べられている「人新世が新しい年代層序単元として設定することが適切である」とする科学的根拠を紹介します。その後、その提案に対する国際地質科学連合の否認理由を解説します。

1. はじめに

2023年10月、人新世作業部会（Anthropocene Working Group、以下 AWG）は人新世の提案書（タイトル：The Anthropocene Epoch and Crawfordian Age: proposals by the Anthropocene Working Group¹）（図1）を上部委員会のSQS（略語一覧を参照）に提出しました。これは2009年から14年にわたって調査してきた最終報告書です。

略語一覧

略語	正式名称	日本語名称
IUGS	International Union of Geological Sciences	国際地質科学連合
ICS	International Commission on Stratigraphy	国際層序委員会
SQS	Subcommission on Quaternary Stratigraphy	第四紀層序小委員会
AWG	Anthropocene Working Group	人新世作業部会

国際地質科学連合（International Union of Geological Sciences：IUGS）には、国際年代層序表を作成している国際層序委員会（International Commission on Stratigraphy: ICS）があり、その中で第四紀/第四系を担当している第四紀層序小委員会（Subcommission on Quaternary Stratigraphy：SQS）がある。その中にAWGが設置されている。

その後、議論と投票が SQS 内で行われた結果、AWG の人新世提案が否決され、2024 年 3 月に IUGS と ICS の共同公式表明で、正式に否認されたことが公表されました。これにより、AWG によって提案された人新世は、年代層序单元（地質時代）としては承認されませんでした。この否認によって、人新世という言葉の持つ意義や価値は決して変わるものではありませんが（IUGS-ICS の公式表明でも言及）、いま私たちが生きている時代を正式な地質時代としては「人新世」とは言えなくなり、関連する他分野や社会的にその言葉の取り扱いについて混乱が生じているのも事実です。このような中で、多くの方は、AWG が長年地質学的・地球システム学的に検討してきて導き出した結論、すなわち「人新世を新たな地質時代として区分すべき」という提案は間違いだったのか、それがなぜ否認されたのかについて関心をお持ちかと思えます。

そこで、この解説記事では AWG が正式な手続きを経て提出した人新世提案書に述べられている最新の世（Epoch）と統（Series）という年代層序区分の階級に人新世が位置づけられるとする科学的根拠と、その提案に対する IUGS-ICS の否認理由を含めて解説します。この解説によって、「人新世」が年代層序单元としてふさわしいとする AWG の見解について共有したいと思います。

The Anthropocene Epoch and Crawfordian Age: proposals by the Anthropocene Working Group (AWG)

Submitted to the
ICS Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (SQS)
on
October 31st, 2023

Colin N. Waters (Chair): University of Leicester, UK	Francine McCarthy: Brock University, St. Catharines, Canada
Simon Turner (Secretary): University College London, UK	John McNeill: Georgetown University, Washington DC, USA
An Zhisheng: Chinese Academy of Sciences, Xi'an, China	Eric Odada: University of Nairobi, Kenya
Anthony Barnosky: University of California, Berkeley CA, USA	Naomi Oreskes: Harvard University, Cambridge, USA
Alejandro Cearreta: Universidad del País Vasco, Spain	Clément Poirier: Normandie Université, Caen, France
Andrew Cundy: University of Southampton, UK	Daniel deB. Richter: Duke University, Durham NC, USA
Ian Fairchild: University of Birmingham, UK	Neil Rose: University College London, UK
Barbara Fialkiewicz-Kozielec: Mickiewicz University, Poznań, Poland	Yoshiki Saito: Shimane University, Matsue, Japan
Agnieszka Gałuszka: Jan Kochanowski University, Kielce, Poland	William Shotyk: University of Alberta, Canada
Jacques Grinevald: IHEID Genève, Switzerland	Colin Summerhayes: University of Cambridge, UK
Irka Hajdas: ETH Zurich, Switzerland	Jaia Syvitski: University of Colorado, Boulder CO, USA
Han Yongming: Chinese Academy of Sciences, Xi'an, China	Davor Vidas: The Fridtjof Nansen Institute, Lysaker, Norway
Peter Haff: Duke University, Durham NC, USA (deceased)	Michael Wagnreich: University of Vienna, Austria
Martin J. Head: Brock University, St. Catharines, Canada	Mark Williams: University of Leicester, UK
Juliana Assunção Ivar do Sul: Leibniz Institute for Baltic Sea Research,	Scott Wing: Smithsonian Institution, Washington DC, USA
Catherine Jeandel: LEGOS Université de Toulouse, France	Jan Zalasiewicz: University of Leicester, UK
Reinhold Leinfelder: Freie Universität Berlin, Germany	Jens Zinke: University of Leicester, UK

図1 地質時代を決定する機関である IUGS の下部組織、人新世作業部会 (AWG) が上部委員会 (SQS) に提出したエポックとしての人新世の提案書¹

2. AWG が提案した人新世

私たちが今経験している地質時代は、地質年代尺度（Geological Time Scale）でいうと、顕生累代の中の最後の代（Era）である新生代、その最後の紀である第四紀、さらに第四紀の中の二つ目の世（Epoch、以下エポックまたは世）のうちの完新世です。完新世は、約 1.2 万年前に始まった地質時代です（図 2）。なお、累界（Eonothem）、界（Eranothem）、系（System）、統（Series）は、累代（Eon）、代（Era）、紀（Period）、世（Epoch）の年代区分に形成された地層に対する名称と区分です。

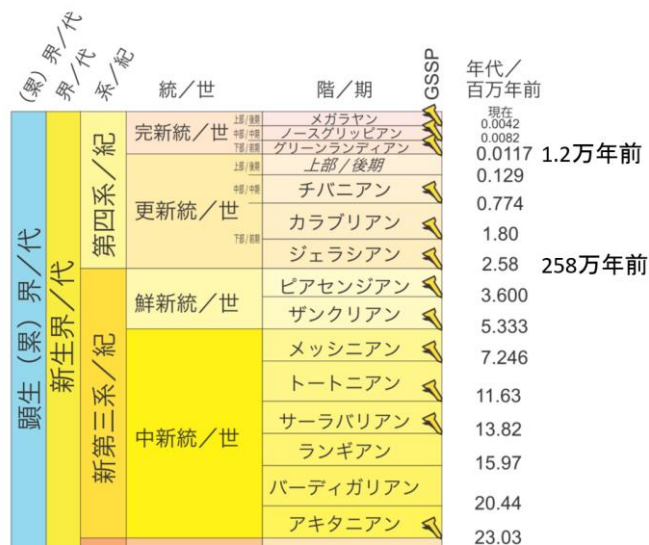


図2 地質年代尺度(Geological Time Scale)における現在の地質時代(年代層序単位)²

『“現在”は、人類が地球環境を大きく改変し、自然環境や自然の環境変動から大きく外れてしまったことから、この完新世を2つに分けて、人新世という新しい区分を作成するべき』というのがAWGの提案です。その始まりは、図3のように人間活動や自然環境が大きな変化を示しはじめる1950年頃としています。この変化は大加速（Great Acceleration）と呼ばれています。地質年代区分の境界は、地球規模での同時性が求められることから、戦後の大気圏核実験による人工放射性核種の増加を基準としてその境界が提案されています。境界マーカーとしての放射性核種は、ほぼ永久に核実験のシグナルが残るプルトニウム（²³⁹Puは半減期24110年で、半減期7億年の²³⁵Uに壊変する）が採用されました。年代層序単元の境界（時代の始まりを示す層序学的下限）の基準となる国際境界模式層断面とポイント（Global boundary Stratotype Section and Point：GSSP）として提案されたカナダのクロード湖の湖底堆積物を含め、多くの地層中でプルトニウムの濃度が急上昇し始める1952年が人新世の開始年代としてAWGの提案書で採用されています。なお、大加速というのは、オーストラリアの地球システム科学者である故ウィル・ステフェン（Will Steffen）博士が最初に公の文書で提案した概念で、1950年以降の人口、GDP、肥料消費量、温室効

果ガス濃度など、様々な社会指標・環境指標の急変にみられる人類活動の著しい活発化とそれに伴う地球システムの深遠な変容を指します(図3)³。後に述べますが、大加速以降に、世界各地において様々な地質記録媒体中の様々な指標で、これまでの完新世の時代では認められなかった大規模な変化が確認されており、大加速の始まりが人新世の開始年代としてふさわしいとされています。

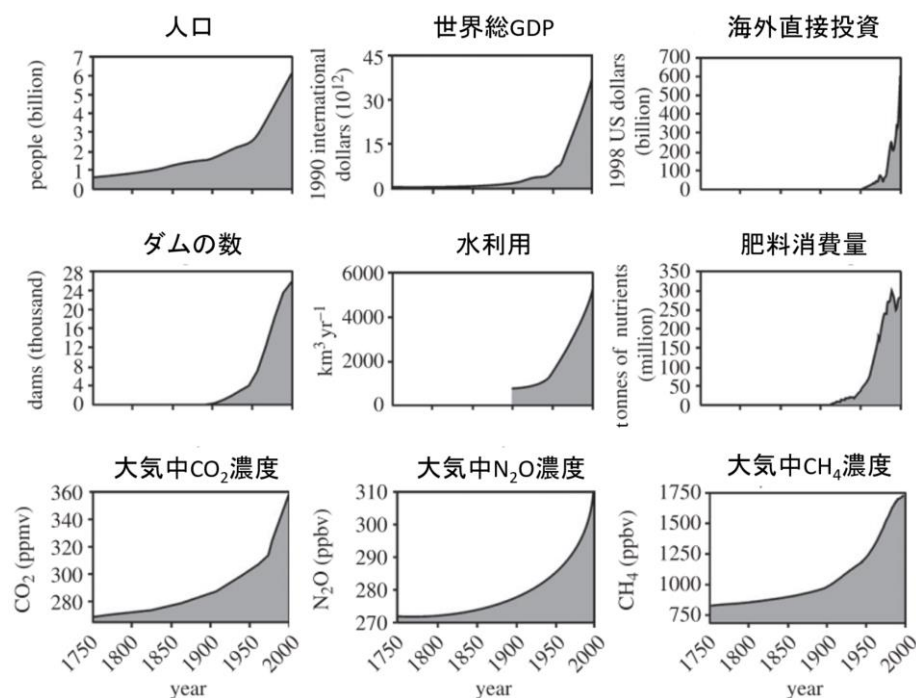


図3 大加速と呼ばれる1950年以降の様々な社会・環境指標の急変³
 指標は一部のみ示してある。

3. 当初の人新世の定義

人新世を最初に公の場で声を上げたのは、オゾンホール危険性を見抜いてノーベル賞を受賞したポール・クルツェン (Paul J. Crutzen) 博士です(図4)。彼は地質学者ではありませんが、2000年にメキシコで開催された地球圏・生物圏国際協同研究計画 (IGBP) の会議で、今の地質時代が完新世であるという前提で、様々なグローバル変化について言及し続けることに苛立ち、突然議論をさえぎって、「私たちはもはや完新世 (Holocene) にいるのではなく、... (クルツェンが考えをまとめる間、沈黙が続いた) ...人新世 (Anthropocene) にいるのだ」と言いました。これが、人新世という言葉の始まりです。日本では、齋藤(2002)により、日本第四紀学会の第四紀通信 (ニュースレター) でクルツェンによって提唱された人新世 (じんしんせい) が初めて紹介されています⁴。ちなみに、写真右側の方が、ヤン・ザラジェビッチ (Jan Zalasiewicz) 博士で、第1期のAWG議長です。彼が、地質時代とし

ての人新世の調査とその正式認定に向けた活動に貢献してきた立役者で、今回の提案の審査の時の第四紀層序小委員会の議長でもありました。



図4 人新世を初めて公の場で提唱した Paul J. Crutzen 博士(左)と第1期人新世作業部会議長 Jan Zalasiewicz 博士(右)

写真は、Anthropocene Working Group ニュースレター (Vol. 10) より。

提唱者ポール・クルッツェンが当初、人新世をどう定義したかですが、2002年のNatureの記事⁵にこう書かれています。

「(人新世とは、)人為的な二酸化炭素濃度の増加のように完新世の状態を超え、地球システムが今後何千年にもわたって自然現象から大きく逸脱し、人間が支配する現在の地質学的時代」

その後、IGBPを先導してきたウィル・ステッフエンが、2007年、地球システム科学の見地から、

「人類とその社会が地球物理学的な力を持つようになった現在のエポックである」と解釈を加えました。いずれも、これまでの地質時代が区分されてきた幾つかの事例(例えば、1.17万年前の更新世/完新世境界前後や、258万年前の新第三紀/第四紀境界での気候変動に関連する地球システムの変化や、25億年前の太古代/原生代境界での酸素発生型光合成生物の出現に伴う嫌気環境から好気環境の変化など)と矛盾しない定義になっています。

ただし、この時点では、地質学的証拠がまだまだ乏しく、地質時代の決定機関であるIUGSでも、地質年代尺度に人新世が含まれるかどうか、まったく議論されていませんでした。地質年代尺度の基礎となる国際年代層序表の公式単位となるためには、正式な分析、投票プロセス、批准を経る必要があります。そこで、2009年にSQSに、AWGが設置され、AWGは最終報告書としてまとめるまでの14年間にわたって年代層序単位としての人新世の正否を調査してきました。

4. 年代層序単元としての人新世の科学的根拠

以降、人新世が年代層序単元としてふさわしいとした科学的根拠について、2023年10月にAWGが提出した提案書にそって解説したいと思います。

4.1 南極氷床コアのCO₂濃度と気候への影響

南極の氷床コアは、地質記録媒体であり、地質学的には地層の一種です。そのCO₂濃度は、1.7万年前から更新世・完新世の境界までの5千年の間に、76ppm ゆっくりと上昇し、それ以降濃度は比較的安定していましたが、1950年に入ってから110ppm 急上昇しています(図5)。その速度は更新世・完新世境界の直前の変化に比べ、100倍以上速い2ppm/年以上です。スピード、規模ともに、以前起こった更新・完新世境界の変化を大きく上回っています。現在(2024年時点)の大気中のCO₂濃度は2024年時点で423ppmですが、このレベルはおそらく第四紀の取り得る変動の上限をすでに上回っていて、このレベルに達したのは、約300~330万年前の鮮新世であったと考えられています。つまり、現在のCO₂濃度は、完新世や更新世の中で認められてきた自然変動の範囲外であり、少なくとも1.7万年前から更新世/完新世境界までの変化と同程度の変化が現在起こっていることとなります。

そのCO₂濃度変化に対する気候への影響は、将来にわたり長期間続くと考えられています。温室効果ガスが現在のレベル(約420ppm CO₂)で安定したとしても、数百年~数千年後に達成される地表での平衡温度の推定値は、19世紀後半の全球平均気温を3°C⁶から10°C⁷上回るとされています。これとは別に、大気中のCO₂の寿命が非常に長いことを基に、より長期的な変化が数値モデル実験により予測されています⁸。その報告によれば、このCO₂の大部分は、将来どれだけ人類が排出量を削減しても、数万年間大気中に残り、それによって少なくとも今後50万年間の気候に影響して、過去80万年間にみられる10万年周期の氷期・間氷期サイクルを少なくとも12万年間停止させる⁸とされています。このような間氷期の状態の持続がおこった場合、これは第四紀の終わりを告げることになるかもしれないとの意見もあります⁹。

まとめると、以上の気候学・古気候学的知見は、大加速以降、化石燃料をエネルギー基盤とする人類活動が気候システムに対する支配的な力となって、すでに地球の将来の気候変動を決定していることを示唆しています。

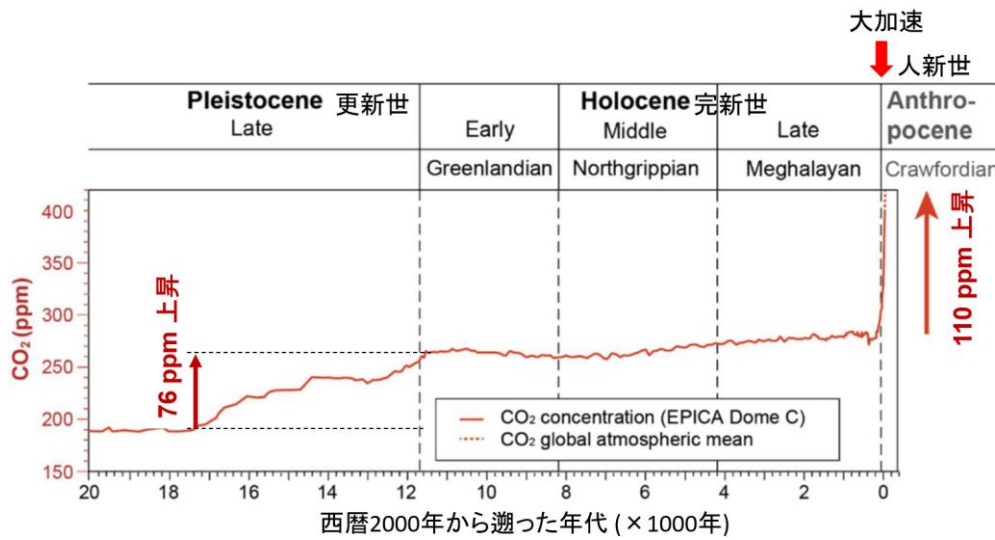


図5 過去2万年間の南極氷床コアのCO₂濃度変化

人新世提案書 (Figure 24) ¹⁰より引用。

4.2 炭素同位体比の変化

地球史では、幾つか規模の大きな安定炭素同位体比の変化(二酸化炭素等の起源物質に依存する)が認められていますが、提案されている人新世でも、それに匹敵する変化がすでに起こっています。南極の氷の炭素同位体比は、人新世に入って約2‰減少し、過去24000年のどの時点よりも大きく減少しています(図6) ¹¹。これは、新生代の主要な炭素同位体比イベントであるモンレーイベントの低下量 ¹²を上回っています。

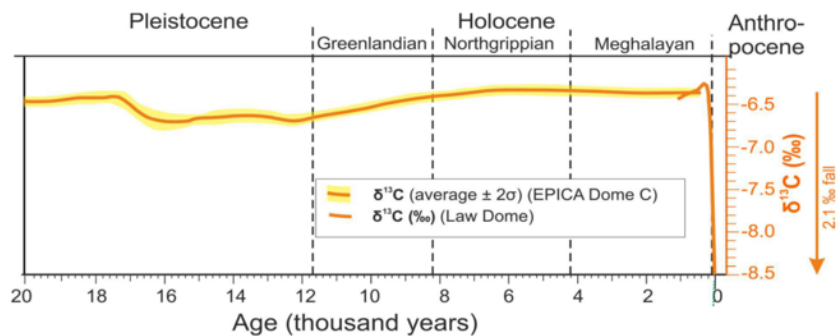


図6 過去2万年間の南極氷床コアにおける炭素同位体比記録

人新世提案書 (Figure 22) ¹⁰より引用。

4.3 窒素循環の変化

提案された人新世に入って、窒素循環も大きく変わっています。大気中の硝酸 (NO_3^-) 濃度レベル、亜酸化窒素 (N_2O)、硝酸の安定窒素同位体比、いずれも、提案された人新世開始以降、急増または急減し、過去 2 万年間の変動の範囲を逸脱しています (図 7)。大気中の硝酸濃度レベルは、20 世紀初頭に、窒素肥料生産に使用されるアンモニアの合成を可能にしたハーバー・ボッシュ法が発明されて以降、完新世のベースラインである 100ppb に対して 2 倍に増加しています¹³。ハーバー・ボッシュ法は、工業的に大気中の窒素ガスから反応性窒素 (アンモニア) を合成することで窒素肥料が作られます。その窒素肥料は穀物生産のために農地で利用されますが、反応性窒素の多くは土壌中・水環境中で化学的プロセスによって硝酸や亜酸化窒素として環境中に広がります。さらに、過剰に供給されることで、沿岸海域・湖沼・河川の富栄養化や貧酸素化を引き起こし、深刻な環境問題を引き起こしています。こうした窒素循環変化は、過去 25 億年で最大の擾乱とも言われています¹⁴。

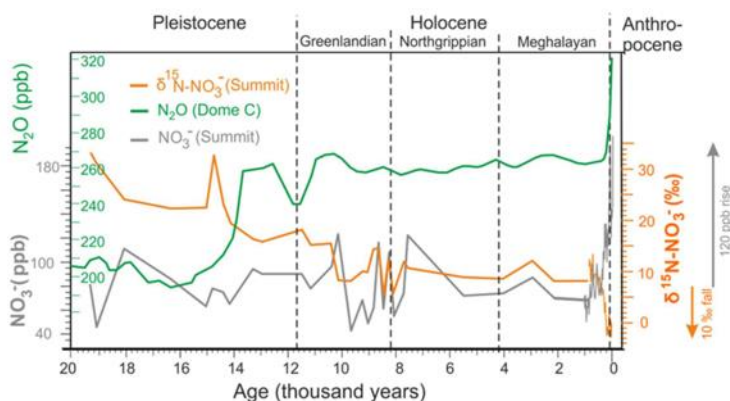


図7 過去 2 万年間の南極氷床コアにおける硝酸濃度とその窒素安定同位体比、亜酸化窒素 (N_2O) の記録

人新世提案書 (Figure 25)¹⁰ より引用。

4.4 生物学的構成要素の変質

種の絶滅は、長期的な影響を及ぼし、それは基本的に永久的なものとなります。一度絶滅した種が再び戻ってくることはないからです。人類が生物圏に与えた影響は後期更新世 (約 5 万年前) には陸生大型動物の絶滅として表れていましたが、現在の絶滅速度はそうした時代を含むバックグラウンドレベルの数百倍から数千倍にもなっていると言われています^{15,16}。現在はまだ大規模な大量絶滅には至っていないものの、今後の気候変動の影響を考慮しなくても、地球は数世紀以内に第 6 番目の大量絶滅 (オルドビス紀末、デボン紀後期、ペルム紀末、三疊紀末、白亜紀末に起きた) が起こる可能性があると言われています¹⁶⁻¹⁸。

また、外来種の移入と拡散は、意図的な持ち込みや、農作物の混入や海運によって投棄された土砂、バラスト水 (大型船舶の航行時のバランスをとるための「おもし」として出発地

で海水をタンク内に貯留したもの。到着地の港で放水する)の輸送による非意図的な移入などで、大陸をまたいでおり¹⁹、前例のない規模・スピードで起こっています。黒海とカスピ海の地域に生息するゼブライガイ (*Dreissena polymorpha*) は、1988年に北米に運ばれ、現在では大陸の半分にわたって多くの淡水軟体動物群集を圧倒しています²⁰。サンフランシスコ河口域は、世界で最も外来種の侵入が激しい沿岸地域の一つですが、今では日本あるいは東アジア原産の有孔虫や貝形虫の外来種に支配された群集で構成されています²¹。北アメリカ原産の *Ambrosia artemisiifolia* (ブタクサ) は、1940年以降、農作物に種子が混入することによってヨーロッパ全土に拡大しています²²。外来種の侵入は定着後、その後継種を生み出す可能性が高いと考えられます¹⁰。しかも非常に短い時間スケールで起こっています。マーブルド・ザリガニは、20世紀後半にアメリカ南西部のスロウ・ザリガニが偶然変異したもので、形態学的に異なり(著しく大きくなり)、単為生殖を行い、アメリカ、ヨーロッパ、その他の大陸で急速に拡大しています²³。

こうした外来種の侵入が大加速以降に定着していることが地層中でも確かめられています。サンフランシスコ湾の底生有孔虫や貝形虫²¹、ポーランドの泥炭地のブタクサ²⁴等、多数の古生物学的研究によって20世紀中旬以降から現在までの地層で連続して認められています。こうした生層序記録は、完新世やそれ以前の生物群集パターンからの不可逆的な変化を反映し、これから記録されるであろう生層序記録には、完新世ならびにそれ以前の生物種の分布とは異なる分布パターンが記録されることになるでしょう¹⁰。大加速以降の生物学的構成要素の変質は、すでに地球の生物圏進化を新たな変化の道筋に乗せていると考えられています¹⁰。

5. AWGの結論

人新世のシグナルの多くは、地球史の中で全く新しいものであり、新しく形成された地層中に層序学的な変化として以下のような点が広く認められています。

- ・安定炭素・窒素同位体比の急増・急減に向かう変曲点
- ・ $^{239+240}\text{Pu}$ ・ $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ ・ ^{137}Cs ・ ^{14}C の核実験由来の放射性核種のシグナル
- ・化石燃料燃焼由来の飛来灰(SCPs)²⁵・マイクロプラスチック^{26,27}・PCB^{28,29}やDDT^{26,30}等の様々な合成難分解性有機化合物のような環境汚染シグナル

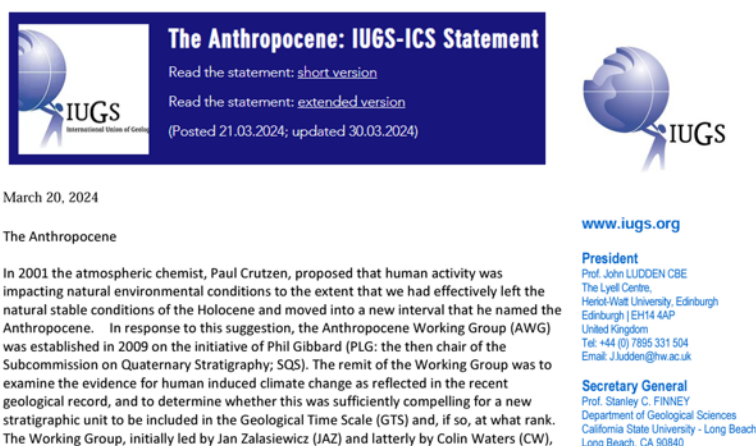
等があります。氷床コアの CO_2 、 CH_4 、 N_2O が、大加速以降で大きく濃度変化を示し、それらは、完新世の間や、更新世から完新世にかけて、場合によっては第四紀において認められた変動をはるかに上回る規模とスピードで起こっています。また、気候や生物学上の将来の変化の道筋は、今後長期にわたるか、永続的性質のものである可能性が高いと考えられます。いずれも、人、人類社会が地球システムの支配的な力となり、これまでの地球の状態を逸脱した変化を引き起こしたことは疑いのない事実です。まだ、第四紀の特徴となってきた北半球の氷床を失ってはいないので、紀/系(Period/System)レベルの変化は起こっていませんが、様々な指標が完新世の状態を逸脱していることから、世/統(Epoch/Series)レベ

ルの変化は少なくとも起こっているようです。このことから、AWG は、1950 年以降の時代・地層区分を世/統のランクで完新世/統と区分される「人新世」とすることが妥当であると結論付けました。また、Anthropocene は、世/統を表す「-cene」の語尾があることから、提案する時代名称として適しているとしています。

以上のように、人新世が従来の地質時代を区分してきた基準を満たし、年代層序単位としてふさわしいとする AWG の見解は、最新の科学的成果に基づいたものであると考えられます。

6. IUGS-ICS の否認理由に対する AWG の反論

これまで説明した根拠に基づいて、AWG は年代層序単位としての「人新世」を提案しましたが、IUGS と国際層序委員会 ICS は、人新世提案を否認する共同公式表明を行いました（図 8）。この中で、その否認の理由は、4 つ挙げられています。しかし、これらすべての理由についての反論と根拠にあたる内容が、AWG の提案書で示されています。そのため、AWG からすれば、これらのコメントは全く納得できなかったものと思われます。その 4 つの理由についての AWG の反論とその根拠について次に解説していきます。



The Anthropocene: IUGS-ICS Statement
Read the statement: [short version](#)
Read the statement: [extended version](#)
(Posted 21.03.2024; updated 30.03.2024)

March 20, 2024

The Anthropocene

In 2001 the atmospheric chemist, Paul Crutzen, proposed that human activity was impacting natural environmental conditions to the extent that we had effectively left the natural stable conditions of the Holocene and moved into a new interval that he named the Anthropocene. In response to this suggestion, the Anthropocene Working Group (AWG) was established in 2009 on the initiative of Phil Gibbard (PLG: the then chair of the Subcommission on Quaternary Stratigraphy; SQS). The remit of the Working Group was to examine the evidence for human induced climate change as reflected in the recent geological record, and to determine whether this was sufficiently compelling for a new stratigraphic unit to be included in the Geological Time Scale (GTS) and, if so, at what rank. The Working Group, initially led by Jan Zalasiewicz (JAZ) and latterly by Colin Waters (CW),

www.iugs.org

President
Prof. John LUDDEN CBE
The Lyell Centre,
Heriot-Watt University, Edinburgh
Edinburgh EH14 4AP
United Kingdom
Tel: +44 (0) 7895 331 504
Email: j.ludden@hw.ac.uk

Secretary General
Prof. Stanley C. FINNEY
Department of Geological Sciences
California State University - Long Beach
Long Beach, CA 90840

図8 IUGS(国際地質科学連合)と ICS(国際層序委員会)の人新世提案に対する公式表明の一部³¹

6.1 理由1. 「人為影響は大加速より以前にあった」

一つ目の否認の理由は、「地球の環境と気候システムに対する人為影響は、20 世紀半ば以前からすでにあった」、つまり大加速が始まりではないというものです。これまで、人が地球を大きく変え始めたとするタイミング、つまり「人新世」の始まりの年代が様々な研究者によって提案されています（図 9）。これには、後期更新世の大型陸上動物の絶滅、農耕の始まり、完新世初期の農耕発展、灌漑稲作の始まり、人為的な土壌、アメリカ大陸の植民地化、

産業革命などがあります³³。しかし、大型陸上動物の絶滅、農耕の始まり、灌漑稲作の始まり、人為的な土壌、産業革命を境界とする年代では、地層中の人為痕跡が地域的に現れる年代が一致しないことがわかっています³³。また、地層境界設定に必要な同時期面で地層対比が要求されるグローバルマーカーも設定できません（産業革命を除く）。一方で、初期の農業発展とアメリカ大陸の植民地化は、CO₂濃度変化として、グローバルなシグナルを持っている可能性はあります。

Event	Date	Geographical extent	Primary stratigraphic marker	Potential GSSP date*	Potential auxiliary stratotypes
Megaflora extinction 大型動物の絶滅	50,000–10,000 yr BP	Near-global	Fossil megaflora	None, diachronous over ~40,000 yr	Charcoal in lacustrine deposits
Origin of farming 農業の始まり	~11,000 yr BP	Southwest Asia, becoming global	Fossil pollen or phytoliths	None, diachronous over ~5,000 yr	Fossil crop pollen, phytoliths, charcoal
Extensive farming 初期の農業発展	~8,000 yr BP to present	Eurasian event, global impact	CO ₂ inflection in glacier ice	None, inflection too diffuse	Fossil crop pollen, phytoliths, charcoal, ceramic minerals
Rice production 灌漑稲作の始まり	6,500 yr BP to present	Southeast Asian event, global impact	CH ₄ inflection in glacier ice	5,020 yr BP CH ₄ minima	Stone axes, fossil domesticated ruminant remains
Anthropogenic soils 人為的な土壌	~3,000–500 yr BP	Local event, local impact, but widespread	Dark high organic matter soil	None, diachronous, not well preserved	Fossil crop pollen
New-Old World collision アメリカ大陸と太平洋の植民地化	1492–1800	Eurasian–Americas event, global impact	Low point of CO ₂ in glacier ice	1610 CO ₂ minima	Fossil pollen, phytoliths, charcoal, CH ₄ , speleothem δ ¹⁸ O, tephra†
Industrial Revolution 産業革命	1760 to present	Northwest Europe event, local impact, becoming global	Fly ash from coal burning	~1900 (ref. 94); diachronous over ~200 yr	¹⁴ N: ¹⁵ N ratio and diatom composition in lake sediments
Nuclear weapon detonation	1945 to present	Local events, global impact	Radionuclides (¹⁴ C) in tree-rings	1964 ¹⁴ C peak§	²⁴⁰ Pu: ²³⁹ Pu ratio, compounds from cement, plastic, lead and other metals
Persistent industrial chemicals	~1950 to present	Local events, global impact	For example, SF ₆ peak in glacier ice	Peaks often very recent so difficult to accurately date§	Compounds from cement, plastic, lead and other metals

図9 エポックとしての人新世の候補年代

Lewis and Maslin (2015)³³ の Table 1 を一部改変。

ところが、この二つの年代の CO₂濃度は、その変化の規模が小さいことがわかっています。農業発展では、CO₂濃度上昇に明確な変曲点はありませんし、1610年の CO₂極小イベントといっても、わずかな減少しか認められません（図10）。一方で、AWGが提案する大加速以降では、CO₂濃度変化の規模がこれらを大きく上回っており、しかも、更新世/完新世境界付近の CO₂濃度上昇の規模やスピードをも超えています。したがって、大加速の変化は「世/統」の境界並みの変化であることは明らかです。他にも、安定炭素・窒素同位体比等、完新世の状態を大きく逸脱した変化が大加速で起こっていることは上述のとおりです。以上のように、人新世の基底をどの年代に置くべきかについては異なる意見がありましたが、AWGの層序学的な精査に耐えたのは、20世紀半ばという説のみでした³⁴。

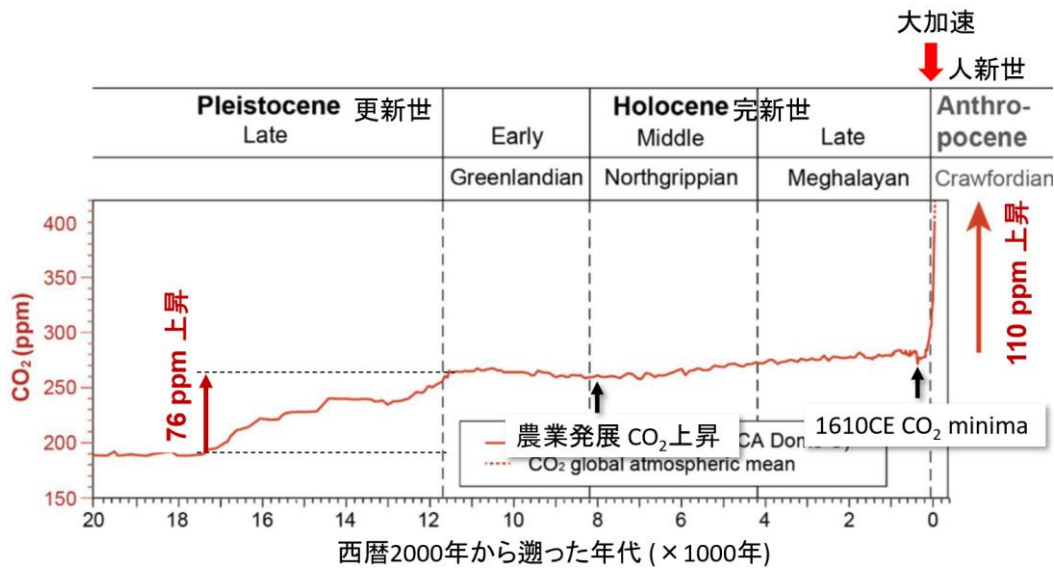


図 10 完新世初期の農業発展時、および 1610 年 CO₂ 極小イベント時の氷床コアの CO₂ 濃度変化

人新世提案書 (Figure 22) ¹⁰ を一部改変。

6.2 理由2. 「人新世の期間は、これまでのエポックに比べて短い」

二つ目の否認の根拠は、人類の一生涯に満たないスパンであるため、約一万年から数百万年に及ぶエポックが存在する地質年代尺度の中では違和感があるというものです。つまり提案された人新世はたった 70 年間で、これまでのエポックの 1 万年以上の期間からすると短すぎるというものです。これに対する AWG の提案書の見解は、エポックの期間は、近年に向かって 10³ のオーダーで短くなっていて、人新世の期間の短さ (70 年) は、現在に向かって高まる時間解像度のトレンドの途上にある (図 11) と反論しています。また、地質時代の単位はその基底によって定義され、最小期間は正式には規定されていません。つまり「以前は、これまでのエポックの中でも十分短い完新世を認めたではないか。期間の長さは関係ない」という見方です。重要な点は、「むしろ、すでに起こっている変化が必然的に地球史の将来の経路に影響を与えるかどうか、将来の層序記録のパターンに影響を与えるかどうかである」と、AWG は提案書で述べています。

その事例として、北半球高緯度の日射量が減少しても、今大気中に存在する CO₂ 濃度に起因する地球表層の平衡温度が高いために今後 12 万年間も氷期は訪れることはないこと、外来種の侵入・定着は将来の生物進化の永続的な道筋を変えている等、その期間が長期にわたるのは明らかです。AWG は、人新世の年代単位は、地質学的な深層時間の用語としては短いかもしれないが、それに関わる地球システムの変化とそれに続く層序学的なシグナルは、世として区分されるほど十分な規模、地球規模、急速さ、不可逆性を持つもので、人新世が地質年代尺度における一つの世と考えるのが最善であると論じています。

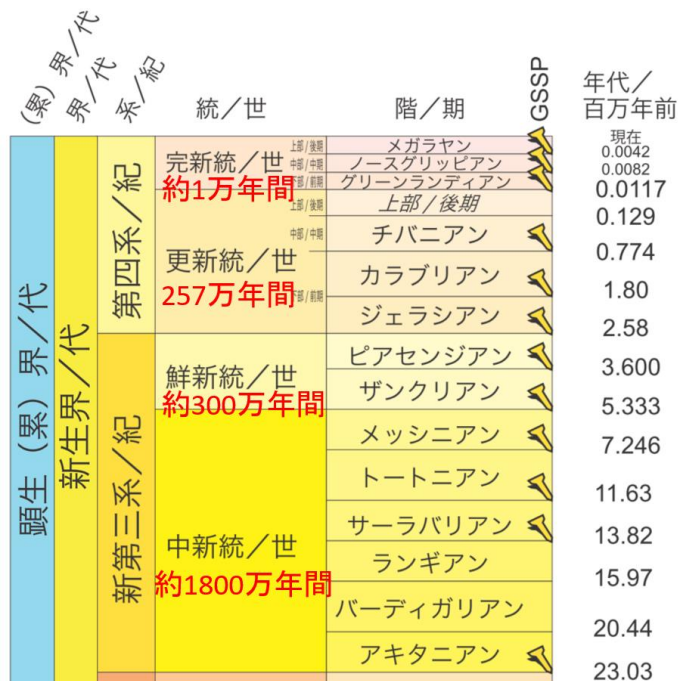


図 11 地球史における、これまでのエポックの長さの変遷

赤字は、各エポック（世）の期間の長さ。図は、原図²を一部改変。

6.3 理由3及び4.「人為影響が通時的で、明瞭な境界を持たないイベントの一部ではないか」

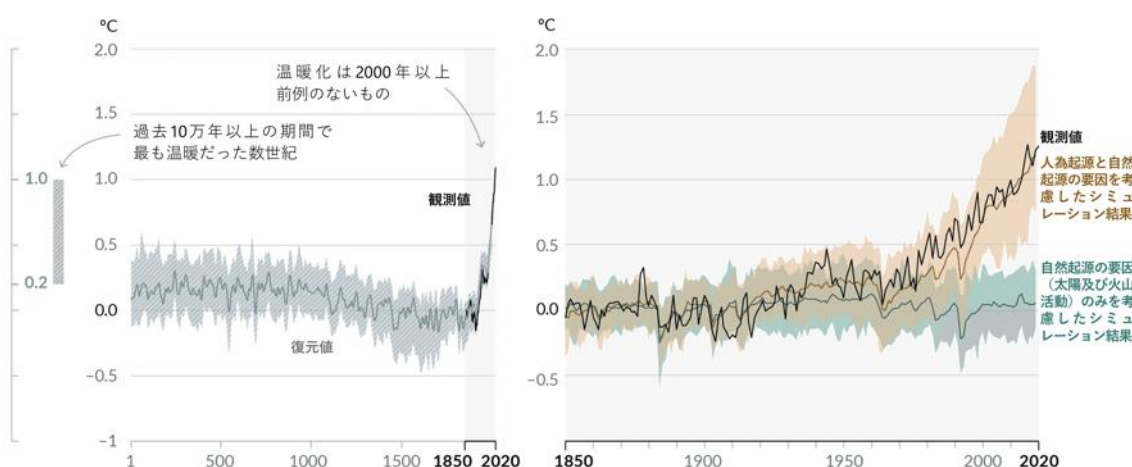
否認理由の3つ目は、「地球システムに対する人間の影響は時間・空間を超越している（通時的ともいう）ので、その始まりは、ある一点を反映するような等時性層準では適切に表わせない」というものです。つまり、人新世の始まりである大加速は、後期更新世から続いてきた人為影響が徐々にその強度を増す経路の延長にあるだけで、白亜紀/古第三紀境界の小惑星の衝突のような、人為影響が地球全体を根本的に変え始めた特別な境界はないという主張です。そうだとすれば、「人新世は地質境界を持つ“エポック”というよりはむしろ明瞭な境界を持たない“イベント”にあたるものではないか？」というのが、4つ目の否認理由です。

AWG は、この反論として、プルトニウム-239 の急増シグナルは数年以内に全球で広がったので、このシグナルは全球の人新世開始層準の対比に使えると論じています。実際、そのシグナルは、生物擾乱や年代の不確かな地層記録を除き、南極、海底・湖底堆積物、熱帯サンゴの多くの記録で西暦 1950 ± 6 年に収まることがわかっています³⁵。したがって、人新世の始まりを示す地層中の等時性ホライズンは、適切に表すことができます。また、上述のように、多くのプロキシ記録が、1952 年のプルトニウムのシグナルの前後 30 年ほどの間に、安定炭素・窒素同位体比の変曲点や、化石燃料燃焼由来の飛散灰 (SCPs)²⁵・マイクロプラスチック²⁶・PCB²⁸等の様々な合成難分解性有機化合物のような環境汚染シグナル、微

化石群集変化にみられる水域生態系の悪化の世界的広がり³²等、人が地球システムの様々なプロセスやサイクルに影響を与え始めた痕跡が集中していることもわかっています³⁶。人新世の証拠として最も明瞭なCO₂濃度や気温は、急上昇への変曲点がそれぞれ1950年代と1975年に認められます(補足説明)。これらすべての事実は、プルトニウムシグナル前後において、明確な完新世の状態からの逸脱を示しています。したがって、3つ目、4つ目の否認理由である、地球システムを根本的に変えたある一点を反映する等時性層準はないとのコメントに対しては、等時性を示すプルトニウムシグナルの存在や、様々な人為痕跡がこの前後で集中していること、その直後に深遠な気候システムの逸脱が始まったことから、人が地球全体を根本的に変え始めた特別な等時性層準が大加速の始まり頃の層準に認識できるとしています¹⁰。

補足説明 気候変動にみられる、人が地球システムを根本的に変え始めた時点

人新世を年代層序単位とする重要な基準と正当性は、人が地球上の変化の(規模と速度において)支配的な力となって、この時代がこれまでの地球環境の状態から逸脱したかどうかにあると言えます。特に、気候変化は第四紀やその中の年代層序単位を分かち根拠¹⁰になってきましたが、人が気候を変え始めた時点は、人新世を年代層序単位とする根拠として重要です。下図右は、気候モデルによるシミュレーションから得られた自然変化(火山噴火や、太陽活動の変化、地球の公転軌道などの変動)のみを考慮した推定気温と、人為起源による温室効果ガスを含めた場合の推定気温ですが、両者の明確な乖離が1970年代に始まったことを示しています⁶。これは、人が地球上の変化の支配的な力となり、自然/地質学的変化を上回った変化を引き起こし始めた時点を示唆しています。近年の全球気温は、過去10万年間の最大値を超え、これは、完新世の気候システムからの逸脱を示すものです。



補足図 人為起源要因による気温変動の推移

左は古気候記録と観測値。右は、気候モデルによるシミュレーション結果⁶。

7. 最後に

この解説では、AWG が提案する世/統としての人新世の科学的根拠について説明してきました。また、IUGS-ICS の否認の理由に対する AWG の反論についても、正当な根拠が提案書に述べられていることを紹介しました。4つの否認理由は、これまで AWG の提案する人新世仮説を批判する 40 報の論文の一部の主張ですが、その他の批判についても AWG による正当な反論が読み取れます（詳しくは、提案書の Part 1 Appendices 3³³を参照）。現状では、少なくとも AWG が納得のいく AWG 提案の否認の理由については明示されていませんが、地質学コミュニティの正式な手続きでの決定である以上、人新世は正式な地質時代ではありません。しかし、人間の地球システムへの影響を示す貴重で有益な表現として、地球科学者や環境科学者だけでなく、社会学者、政治家、経済学者、そして一般の人々によっても引き続き使用されるでしょう³¹。

引用文献

- 1 Waters, C. *et al.* Executive Summary The Anthropocene Epoch and Crawfordian Age: proposals by the Anthropocene Working Group, doi:10.31223/X5VH70 (2023).
- 2 日本地質学会. 地質系統・年代の日本語記述ガイドライン 2023 年 9 月改訂版, <https://geosociety.jp/name/content0062.html>
- 3 Steffen, W., Crutzen, P. J. & McNeill, J. R. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. *AMBIO* **36**, 614-621, 618 (2007).
- 4 齋藤文紀, 第四紀通信 Vol. 9 (日本第四紀学会, 2002).
- 5 Crutzen, P. J. Geology of mankind—The Anthropocene. *Nature* **415**, 23 (2002).
- 6 IPCC. Working Group 1: The Physical Science in Synthesis report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 6th assessment report (AR6). (2021).
- 7 Hansen, J. E. *et al.* Global warming in the pipeline. *Oxford Open Climate Change* **3**, doi:10.1093/oxfclm/kgad008 (2023).
- 8 Talento, S. & Ganopolski, A. Reduced-complexity model for the impact of anthropogenic CO₂ emissions on future glacial cycles. *Earth System Dynamics* **12**, 1275–1293 (2021).
- 9 Wolff, E. W. in *A Stratigraphical Basis for the Anthropocene*. Vol. 395 (eds C.N. Waters *et al.*) 255–263 (Geological Society, London, Special Publications, 2014.).
- 10 Waters, C. *et al.* Part 1: Anthropocene Series/Epoch: stratigraphic context and justification of rank. The Anthropocene Epoch and Crawfordian Age: proposals by the Anthropocene Working Group. doi:10.31223/X5MQ3C (2023).
- 11 Schmitt, J. *et al.* Carbon Isotope Constraints on the Deglacial CO₂ Rise from Ice Cores. *Science* **336**, 711-714, doi:10.1126/science.1217161 (2012).

- 12 Sosdian, S. M., Babila, T. L., Greenop, R., Foster, G. L. & Lear, C. H. Ocean Carbon Storage across the middle Miocene: a new interpretation for the Monterey Event. *Nature Communications* **11**, 134, doi:10.1038/s41467-019-13792-0 (2020).
- 13 Galloway, J. N. *et al.* Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science* **320**, 889-892, doi:10.1126/science.1136674 (2008).
- 14 Canfield, D. E., Glazer, A. N. & Falkowski, P. G. The Evolution and Future of Earth's Nitrogen Cycle. *Science* **330**, 192-196, doi:10.1126/science.1186120 (2010).
- 15 Pimm, S. L. *et al.* The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science* **344**, 1246752, doi:10.1126/science.1246752 (2014).
- 16 Ceballos, G. *et al.* Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* **1**, e1400253, doi:10.1126/sciadv.1400253 (2015).
- 17 Barnosky, A. D. *et al.* Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* **471**, 51-57, doi:10.1038/nature09678 (2011).
- 18 Ceballos, G., Ehrlich, P. R. & Dirzo, R. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **114**, E6089, doi:10.1073/pnas.1704949114 (2017).
- 19 Wilkinson, I. P., Poirier, C., Head, M. J., Sayer, C. D. & Tibby, J. in *A Stratigraphical Basis for the Anthropocene* Vol. 395 (ed C.N. Waters, Zalasiewicz, J.A., Williams, M., Ellis, M.A., Snelling, A.M.) (Geological Society, London, Special Publications, 2014).
- 20 Benson, A. J. *et al.* (ed FL Gainesville) (2024).
- 21 Himson, S. *et al.* The San Francisco Estuary, USA as a reference section for the Anthropocene series. *The Anthropocene Review* **10**, 87-115, doi:10.1177/20530196221147607 (2023).
- 22 Chauvel, B., Dessaint, F., Cardinal-Legrand, C. & Bretagnolle, F. The historical spread of *Ambrosia artemisiifolia* L. in France from herbarium records. *Journal of Biogeography* **33**, 665-673, doi: 10.1111/j.1365-2699.2005.01401.x (2006).
- 23 Vogt, G. *et al.* The marbled crayfish as a paradigm for saltational speciation by autopolyploidy and parthenogenesis in animals. *Biology Open* **4**, 1583-1594, doi:10.1242/bio.014241 (2015).
- 24 Fiałkiewicz-Kozieł, B. *et al.* The Śnieżka peatland as a candidate Global boundary Stratotype Section and Point for the Anthropocene series. *The Anthropocene Review* **10**, 288-315, doi:10.1177/20530196221136425 (2023).
- 25 Rose, N. L. Spheroidal Carbonaceous Fly Ash Particles Provide a Globally Synchronous Stratigraphic Marker for the Anthropocene. *Environmental Science & Technology* **49**, 4155-4162, doi:10.1021/acs.est.5b00543 (2015).
- 26 Kuwae, M. *et al.* Beppu Bay, Japan, as a candidate Global boundary Stratotype Section

- and Point for the Anthropocene series. *The Anthropocene Review* **10**, 49-86, doi: 10.1177/20530196221135077 (2023).
- 27 Hinata, H. *et al.* A 75-year history of microplastic fragment accumulation rates in a semi-enclosed hypoxic basin. *Science of The Total Environment* **854**, 158751, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158751 (2023).
- 28 Dong, M. *et al.* Geochemical markers of the Anthropocene: Perspectives from temporal trends in pollutants. *Science of The Total Environment* **763**, 142987, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142987 (2021).
- 29 Takahashi, S. *et al.* Characterization of mono- to deca-chlorinated biphenyls in a well-preserved sediment core from Beppu Bay, Southwestern Japan: Historical profiles, emission sources, and inventory. *Science of The Total Environment* **743**, 140767, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140767 (2020).
- 30 Nishimuta, K. *et al.* Contaminants of Emerging Concern Detected By Comprehensive Target Analysis in a Sediment Core Collected From Osaka Bay, Japan. . *Journal of Pollution Effects & Control* **9**, 283 (2021).
- 31 IUGS-ICS. The Anthropocene. (ed International Union of Geological Sciences/ International Commission on Stratigraphy) (International Union of Geological Sciences, 2024).
https://www.iugs.org/_files/ugd/f1fc07_40d1a7ed58de458c9f8f24de5e739663.pdf?index=true
- 32 Yasuhara, M., Hunt, G., Breitburg, D., Tsujimoto, A. & Katsuki, K. Human-induced marine ecological degradation: micropaleontological perspectives. *Ecology and Evolution* **2**, 3242-3268, doi: 10.1002/ece3.425 (2012).
- 33 Lewis, S. L. & Maslin, M. A. Defining the Anthropocene. *Nature* **519**, 171, doi:10.1038/nature14258 (2015).
- 34 Waters, C. *et al.* Appendices for Part 1: Anthropocene Series/Epoch: Stratigraphic context and justification' 102, doi: 10.31223/X5MQ3C (2023).
- 35 Waters, C. N. & Turner, S. D. Defining the onset of the Anthropocene. *Science* **378**, 706-708, doi:10.1126/science.ade2310 (2022).
- 36 Waters, C. N. *et al.* Epochs, events and episodes: Marking the geological impact of humans. *Earth-Science Reviews* **234**, 104171, doi: 10.1016/j.earscirev.2022.104171 (2022).