

第2章

空白

スマイア海岸のアンモナイト

ピーター・ウオードは迷っていた。はたして、見つからないことは存在しないことの証拠となるのだろうか。

アメリカ西海岸、シアトルのワシントン大学で古生物学講座の教授を務める彼は、太い眉がトレードマークで、数多くの優れた一般向け科学読み物を書いていることで日本でもよく知られる。

彼は「変わり者」としても有名である。ヘルクリークでの調査のときにジョージ・スタンレー教授から聞いたエピソードは、次のようなものだ。

ある日、スタンレーはワシントン大学の博物館に用事があり、ついでにウオードのオフィスを訪ねた。すると突然、学生たちが待つ教室に連れて行かれ、化石の講義をしてくれと頼まれたそうだ。スタンレーは面食らったが、しぶしぶ引き受けた。なんとか講義を終えてウオードのオフィスに戻ると、彼は部屋から姿を消していた。あとでわかったことだが、彼は犬の散歩に出かけたかったがために、講義を丸投げしたらしい。

私も、まったく面識のないウオードからの突然のメールに面食らったことがある。「やあ、君の論文はおもしろいね。今度カナダのクイーンシャーロット諸島を調査したいんだ。いつしよに研究

費を取ろうよ」。

さてそんな彼も、ほかの地質学者や古生物学者がそうであるように、とっておきの、自分だけの“秘密の場所”をもっている。そこは通常、情熱的で無鉄砲な若い研究者だった二〇代から三〇代のあいだに見つけた場所であり、人生でもっとも濃密な時間を、たった一人で過ごす場所でもある。

一九八〇年代前半までカリフォルニア大学デービス校に在籍していたウォードは、あることをたしかめるため、一九八二年にフランスとの国境に近いスペインの町スマイアで地質調査を行なっていた。^[1]夏は海水浴客でにぎわうこの港町の近くには、白亜紀から古第三紀にかけて、深度三〇〇メートルより深い海底で堆積した地層がよく観察できる。もともと水平だった地層の縞模様は、ピレネー山脈を形成した力により斜めに傾き、現在はそのままの姿勢で海岸に露出している。ビスケー湾に沿って東西に延びた海岸を、西から東へ向かって歩いて行くと、この切り立った地層がもつ歴史のページを古いものから次々と読み解くことができる。

ウォードは白亜紀のアンモナイト化石の専門家である。アンモナイトは、海で堆積した地層であればどこにでも含まれるわけではない。堆積した場所が浅すぎてもいけないし、深すぎてもいけない。適度に陸地から離れた、かつて海底の斜面付近だった地層でよく見つかる傾向にある。スマイアの地層は、アンモナイト研究に最適だった。

一九七〇年代、ウォードは北米を中心に白亜紀後期のアンモナイトを研究していた。しかし、白亜紀の最末期までアンモナイトが見つかる地層は北米では知られていなかったため、大西洋を超え、ここスマイアの海岸までやってきたのだ。アンモナイトのほかに、二枚貝やウニなどの化石がたく

さん見つかることも、彼がスマイアを気に入っていた理由の一つだった。

ウォードは毎年のようにスマイアを訪れた。おかげでこの地から採取されたアンモナイトのコレクションは数百点におよんだ。毎回新しい発見があり、生息していたアンモナイトの種類や、それらが生存していた期間（生存レンジ）を詳しく知ることができた。

ところがデータが集まるにつれて、彼の頭を悩ませる問題が浮上した。陸上で地層が堆積したヘルクリーク層と同様に、海底で堆積したスマイアの地層でも、K/Pg境界近くではアンモナイト化石が産出しないのだ。徹底的に調べ尽くしたが、もつとも時代の新しいアンモナイト化石でさえ、K/Pg境界の一〇メートル下までしか見つからなかったのである。

つまりスマイアでも、白亜紀の章の最後は「白紙のページ」だったのだ。

彼はこの結果に少し戸惑いながらも、着地点を求めた。「アンモナイトは、白亜紀／古第三紀境界の隕石が衝突する少し前に絶滅した」——一九八三年の『サイエンティフィック・アメリカン』誌にはこのような結論が書かれていた。^[2]

通常、アンモナイトの「属」という分類レベルにおける平均的な生存レンジは、およそ七〇〇万年である。ところが白亜紀の後期には、生存レンジが一〇〇〇万年を超えるような長命の属が多くなる傾向にあった。逆にいうと、生存レンジが短いアンモナイトほど、白亜紀の末に向かつて多くが絶滅していることを示している。このような属の変化の傾向は、海洋生態系における大きな変化が、白亜紀末に向かつて徐々に起こったことを暗示していると彼らは考えた。

しかし一方でウォードは、これはいわば否定的な証拠であり、K/Pg境界の直下からたった一つ

でもアンモナイト化石が発見されればこの証拠はひっくり返されるだろう、と警告もしている。

肉眼で観察できる大型化石の研究者にとって、「すべての地層を調べ尽くしました。この時代からは化石が出ません」と断言することは非常に難しい。スマイアの数百点にもおよびアンモナイト・コレクションを使っても、そうだった。ところが、ウォードが観察した地層には、この問題を解決できる「肉眼では見えない化石」が含まれていた。

見えない化石

マイクロパレオントロジー、微古生物学と呼ばれる分野がある。学問上は「古生物学」としてひとくくりにされることもあるが、大型化石とは研究方法がまったく異なる。

微古生物学は、過去の海や湖の表層付近に生息していた植物プランクトンや、それを捕食する動物プランクトンをおもな研究対象とする。これらのプランクトンは魚に捕食されてフンとなるなどして凝縮し、重力によりゆっくりと海中を沈降する。もしあなたが深海底に立つことができたら、頭上から「マリンスノー」がふわふわと降ってくるだろう。プランクトン凝縮粒子であるマリンスノーは、少しずつ海底に降り積もり、やがて地層となる。

深海で堆積した地層を調べると、おびただしい数の美しいプランクトン化石に出会える。雪の結晶に勝るとも劣らない芸術的なプランクトンの世界は、見ていて飽きることがない。

誤解を恐れずにいうと、微古生物学は「物量」ものをいわせる研究である。この点が、恐竜やアンモナイトなど大型化石の研究とはまったく異なる。特に恐竜の化石は、地質学的な背景や堆積

環境を調べ尽くし、ここなら出ると確信して発掘した場所であっても、まったく出ないことも多い。成果ゼロの年はざらである。運よく見つかったとしても、たとえばこぶし大の岩石からは、せいぜい化石一つが関の山だ。

一方、プランクトンの化石を含む深海底堆積物は、こぶしほどの大きさがあれば数千から数万の「微化石」が見つかる。ただし肉眼では見えないほど小さいので、顕微鏡で調べることになる。大型化石と違い、微化石の研究はやればやるほどデータが増え、確実に結論へ近づくことができる。「努力は報われる」ことを主眼とした大学教育が仮にあったとしたら、微化石の研究は最高の教材だ（もちろん、とてつもない努力が必要なのだが）。

突然の消失

話をK/Pg境界に戻そう。深海で堆積し、微化石をたっぷりと含んだ白亜紀末の地層は、世界中に数多く存在する。たとえば現在の北西太平洋の海底だ。予算が十分にあり、深海底を掘削する調査船を利用できれば、海洋底からもK/Pg境界を含む地層を得ることができる。

かつて深海で堆積した地層が隆起して、現在は陸の地表に露出したK/Pg境界もある。

オランダ・アムステルダム大学の地質学者ヤン・スミットは、一九七四年、博士論文を書くためにスペインのカラバカにあるK/Pg境界を調べていた。カラバカのK/Pg境界は「マール」と呼ばれる地層から構成されている。大ざっぱにいうと、半分は陸から流れてきた泥や砂が、半分は生物骨格をつくる炭酸カルシウムが含まれた岩石がマールである。カラバカの地層に含まれる炭酸カルシウムの起源は、光学顕微鏡で見える「浮遊性有孔虫」と、さらに小さくて電子顕微鏡でなければ

確認できない「円石藻」の微化石だ。

スミットはこれらの微化石を調べ、マールにはさまれた厚さ一〇センチほどの粘土の層のあたりで、白亜紀の化石が絶滅していることをつきとめた。さらに詳しく調べると、白亜紀の微化石はこの粘土層より下、最後の数センチまで種類が変化することなく見つかるが、上の地層からはまったく出ない。“突然の消失”だ。

最初に彼は、白亜紀の浮遊性有孔虫や円石藻の絶滅は“見かけのもの”であると考えた。本来あるはずの地層が侵食によって欠如し、本当は少しずつ消えていった浮遊性有孔虫や円石藻を、あたかも突然絶滅したかのように見せかけていると解釈したのだ。つまり、カラバカでは白亜紀最後のページが抜き取られているというのである。

シンクロニシティ

ところがこのページの欠如は、カラバカの歴史書に特有の現象ではなさそうであった。彼が研究に邁進していた一九七〇年代の同時期に、スペインのスマイア、イタリアのグツビオ、チュニジアのエル・ケフなどでもK/Pg境界の微化石が調べられた。その結果、どの地域でも一つの薄い地層をはさんで白亜紀の浮遊性有孔虫が消失しているように見えた。

これは、偶然の一致には思えない。

一九七七年の春に、スミットは考えを変えた。見かけ上のものではなく、突然の消失をもたらすような海洋の化学的な変化が、このK/Pg境界層に記録されているのではないか。それを探るべく、彼は一〇〇個の試料をオランダのデルフトにある大学間共同実験所へ送り、さまざまな元素の濃集

度を調べることにした。^[3]

地球上のさまざまな場所で独立して進んでいた研究が、見えない糸でつながれようとしていた。

一九七〇年代は、K / Pg境界の研究が、大型化石と微化石の両方について精力的に行なわれていた時代である。大型化石の研究からあきらかになったこと。それは、陸では恐竜が、海ではアンモナイトが、K / Pg境界より少し前に姿を消した⁴”ということである。一方で微化石の研究からは、浮遊性有孔虫や円石藻の化石に、”K / Pg境界での突然の消失”が見られることがわかった。いったい、この違いはなにを意味するのか。

まず頭を悩ませることになるのは、微化石のデータである。先に述べたように、微化石研究では大量のデータが得られる。個体数が莫大だったからだ。現在の海洋にも、あらゆる海域、あらゆる深度に、植物プランクトンとそれを捕食する動物プランクトンが生息しており、途方もない数の個体が生命活動を繰り返している。それらすべてがK / Pg境界で突然いなくなることなど、本当にありえるのだろうか。やはり地層の一部が、たとえば一〇〇メートル規模の海水面の変動などによって、欠如しているのではないか。

そして古生物学者は、繁殖についても考えをめぐらす。いったいどれほどの個体数まで繁殖のペアを減らせば、次の世代に種を残せなくなる、すなわち”絶滅する”のだろう。

たとえば、世界中でペットとして愛されているゴールデンハムスターから、絶滅にかんする教訓を得ることができる。^[4]ゴールデンハムスターは齧歯類^{げっしゅるい}のネズミ科、ゴールデンハムスター属に分類される。その祖先は恐竜の絶滅後、いまから約六〇〇〇万年前に北アメリカ大陸で出現したと考え

られている。

かつては幻の動物と呼ばれるほど個体数が激減していたゴールデンハムスターは、別名「シリアンハムスター」ともいう。一九三〇年にシリアの地下二メートルの土の中から、一匹の雌と一匹の子供が捕獲された。しかし母親が一匹の子供を食い殺しはじめたため、残った子供だけが実験室に持ち帰られた。

驚いたことに、現在世界中で飼われているゴールデンハムスターの「すべて」が、このとき捕獲されたハムスターの子供に起源をもつ。人間が関与した例ではあるが、地球上から消滅する寸前まで激減してしまった個体数から、ふたたび多くの子孫を残すことも可能なのである。

当然、生物種により最小繁殖個体数は異なるだろうが、一九七〇年代当時に注意が払われはじめた絶滅の研究では（現在の動物学的知見からも）、ある種のすべてを地質学的な「一瞬」で地球上から消し去ることなど、とうてい不可能に思われていた。

マクリーンの温暖化説

過去の「ありえない」出来事に挑戦するとき、地質学者や古生物学者は「はいっ齊一説」的立場から物事を考える。齊一説は「現在は過去をとらえる鍵」という教義に支配されている。ようするに、現在の地球上で起こっている事象を、過去に起こった事象にも同じようにあてはめて考えようというわけである。

一九七〇年代にK/Pg境界の絶滅について考えはじめた地質学者として、ヴァージニア工科大学のデューイ・マクリーンを避けて通るわけにはいかない。彼は一九七八年、サイエンス誌に「中生

代末の温室効果——過去からの教訓」というタイトルの論文を寄稿した。⁵⁾
論文の概要は、次のように始まる。

中生代後期の化石記録によれば、二酸化炭素による温室効果が短期間（数十万から数百万年）で地球温暖化を引き起こしたようだ。（中略）海洋の微化石を使った酸素同位体のデータは、白亜紀後期まで徐々に進行していた寒冷化が、温暖化へと急変して新生代に向かったことを示唆している。

そして彼は、現代のK/Pg境界研究にも通用する優れた先見眼を示している。

陸上の植生の破壊により〔大気中の二酸化炭素が増加するため〕海洋に二酸化炭素が注入され、炭酸塩の溶解を引き起こす。

さらに、大きな恐竜は体積に対して表面積が小さいため、気温上昇によって温度耐性の限界を超えたことで絶滅した可能性を、恐竜に近い主竜類であるワニの実験結果を引用して示した。

つまりマクリーンของ考えでは、二酸化炭素濃度の上昇による温暖化が、恐竜や石灰の殻をもつ生物の絶滅の原因になった。では、どうして白亜紀の最後に二酸化炭素濃度が上がったのか。

彼によれば、二酸化炭素濃度の上昇に先立ち、円石藻が海から減少しつつあった。円石藻は、大気から溶け込んだ海洋表層の二酸化炭素を炭酸カルシウムの殻の形成に用いる。死後は海底へ沈降

して堆積物の一部となるので、円石藻は一時的に大気二酸化炭素を深海へ閉じ込める。このようなはたらきを「二酸化炭素の固定」と呼ぶ。逆に、このような生物が絶滅あるいは減少すると、二酸化炭素は固定されずに濃度が上昇するとマクリーンは考えた。

大気二酸化炭素濃度が上昇して温暖化が進行すると、海洋全体の温度も上がり、海の深層に溶ける二酸化炭素の量は減少する（冷やした炭酸飲料には炭酸はよく溶けるが、温めるとほとんど溶けない）。つまり、温暖化で海洋が温まると、深海に溶け込んでいた二酸化炭素も大気中に放出され、さらに濃度が上がる。こうなると二酸化炭素の増加による温暖化は止まらない。ついには白亜紀の生物は絶滅へと導かれた、というわけである。

マクリーンが展開する二酸化炭素増加のしくみは、コロンビア大学のウォレス・ブロッカーらが当時提唱した「炭素循環モデル」の影響を色濃く受けている。この論文で彼は、一九七〇年代の海洋学や生物学の知識を巧みに取り入れ、K/Pg境界の絶滅を鮮やかに描きだした。

現在は過去を知る鍵、過去は未来を知る鍵

勢いづいたマクリーンは、先の論文中で驚くべきことも述べている。

人類による化石燃料の燃焼や森林伐採の影響で、二酸化炭素は顕著に増加している。（中略）人為的な炭素循環の改変は、中生代を終わらせた大量絶滅のような状況を引き起こす可能性がある。

その根拠の一つとして、アメリカ科学アカデミーの「エネルギーと気候にかんするパネル」が、

次の世紀にも六度の気温上昇の可能性があると予想していることをあげている。

正しく地質学を教育された人ならば、「現在は過去を知る鍵」という斉一説のキフリーズは、まさしく骨の髄まで染み込んでいる。ところがマクリーンがいうには、K/Pg絶滅は人類の未来に教訓を与えてくれるという。つまり「過去は未来を知る鍵」。太古の記録を読み解くことで、私たちは未来について「天啓」を得ることができるといなのだ。

この「過去は未来を知る鍵」というフレーズは、研究資金が取りやすいという理由から、やがて世界中の地質学者のお気に入りとなる。マクリーンの論文はその先駆けといえよう。一九七八年一月のニューヨーク・タイムズ紙でも、マクリーンは次のように警告している。^[6]

温室効果のメカニズムは、すでに駆動しているかもしれない。化石燃料の燃焼によって大気が増え続ける二酸化炭素は、恐竜などを絶滅へと追いやった中生代末の「環境変動の連鎖」を開始するには十分な量でしょう。

マクリーンの名声は最高潮に達した。

さて、これで順風満帆に、恐竜は「地球表面の環境変化」によって絶滅することができた。恐竜の運命は、地球に内在された炭素循環システムの異常で引き起こされたのだ。海に棲んでいた生物の絶滅も、すべて二酸化炭素が原因だった。さまざまな問題は二酸化炭素という見えない糸でつな

がれていたことを、マクリーンが明らかにした、というわけだ。

*

彼の論文が世間に公表された頃、カリフォルニア大学バークレー校から不気味な炎が立ち上っていた。ある研究者の団が、マクリーンの論文を冷ややかな目で見ている。

地質学者がこれまで見たこともないような理論、概念、装置、方法論。この研究グループは、あ
る一人の天才科学者に率いられていた。

名声を得ていたデュイ・マクリーンは一九八一年を境に、この科学者によって徹底的に叩きのめされ、罵られ、侮蔑されることになる。ついには地質学の研究コミュニティから見放された彼は、精神障害になるまで追い詰められた。

彼はこの男の名前を、どんな気持ちで思い出すだろう。

ルイス・ウォルター・アルヴァレス。

マクリーンがK/Pg境界の歴史書から読み解いたのは、天啓などではなく、天からの警告だった。

SAMPLE