

現代社会科学と方法の問題(3) — 「実在的可能性」と現代の諸科学 —

金谷義弘

Die Moderne Sozialwissenschaften und das Problem der Methode (3) — "Die Reale Möglichkeit" und die Moderne Wissenschaften —

Yoshihiro KANAYA

問題の所在 — 偶然と必然の中間を射抜く実在的可能性と現代の諸科学 —

現代社会科学と方法をテーマにした三つ目の論文となる本稿では、ヘーゲルの「実在的可能性 (die reale Möglichkeit)」を取り上げます。この研究は、ヘーゲルの論理学の論理的カテゴリーの現代的評価を行い、現代諸科学の研究に役立てることをめざします。しかし、200年近く前の論理学・方法論を再現し、その思想史的な解説を行うことが、本稿にとって問題なのではありません。そうではなく、本稿の基本的精神は、これまでと同様に、(1)現代科学の探求の最前線に孕んでいる論理的問題をヘーゲルの論理学的カテゴリーとの関係で取り出して検討し、ひるがえって、(2)ヘーゲルの論理学的カテゴリーの研究を科学的批判的に検証し、現代科学研究に有効なものとして鍛えることです。

本稿では、現代科学の探求に分野を越えて役立つカテゴリーとして「実在的可能性」を扱います。このカテゴリーを支える下位の概念として、条件(Bedingung)・事柄(Sache)・活動(Tätigkeit)を合わせて検討します。これらは1830年に第三版として刊行された『エンチクロペデー』の第一部論理学(1812年に初版が刊行された大部の『大論理学』に対比して『小論理学』と言われる)では、第二部本質論C「現実性」の中に位置します。そこで、検討の対象を『小論理学』に限って、まず「現実性」が如何なるものかという点から始めましょう。

このカテゴリーを研究する理由は、(1)研究対象における事物の発生と発展が、単に偶然でもなく、必然でもない。その中間にある場合を捉える、科学の実用的手段になるからであり、実際には諸科学がやっていることではあるが、(2)論理学と科学方法論とは、これを意識的に、個別科学が個々の具体的研究対象で行っていることを、普遍的に検証する材料になってくれるからです。事物の発生と発展を単なる偶然の連鎖と見るのも、反対に、事物の変化と発展を全て必然の系列に置いて見るのも、経験科学に携わる私たちにとっては、多くの場合、誤りであることは明らかです。しかし、多くの研究の中で語られる語彙を見ると、偶然と必然の間にある中間の段階に適切な論理と方法、そして、それを支える的確な論理学的カテゴリーが無いというのが実情です。本稿では、歴史上、新しいものが生まれる事象として、(1)資本主義経済の発

生、それも世界で最初に産業革命を起こしたイギリス資本主義確立の諸条件と、(2)宇宙生命論として、系内惑星や系外惑星で生命が発生しうる諸条件とを事例にして、その分析に照応すると考えられる実在的可能性というカテゴリーとその意味を検証します。

このように、本稿では、科学的認識の観点からみて、偶然と必然の間にある中間の段階、実在的可能性を論理学的研究の対象にします。そして、この見地の真価を検証するためには、個別科学の今日的な到達点から学ばねばなりません。本稿が「現代社会科学と方法の問題(3)」という主題を掲げていますが、本稿(3)で何よりも取り挙げたいのは、21世紀初頭における生命観の大転換と言っても良い「宇宙生命論」の登場です。というのも、生命が発生した奇跡の水惑星としての地球という、地球に限定された生命観から、後で詳述するように、科学諸分野の発展に支えられ、宇宙生命論という新しい分野では、地球に限らず、太陽系内惑星と衛星、系外惑星において、一定の諸条件がそろえば生命が発生しうるという生命観への劇的な転換が、ここ20年程で起こったのであり、地球外生命の発生というテーマが科学研究の射程距離に入ってきたからです。これらの研究では、生命発生の「諸条件」をどのように探究し、論理学的カテゴリーとしての「条件」の語はどのように使われているのでしょうか。そして、この点から見てヘーゲルの「実在的可能性」の長所と弱点は何であり、現代社会科学は、ここから何を学ぶべきでしょうか。これが本稿の問題の所在です。

第1節 実在的可能性は偶然と必然の中間を射貫く

— ヘーゲルの見解とその経験科学における肯定的な意味内容 —

まず、ヘーゲルが実在的可能性を問題にする領域を少し大きめにみます。『小論理学』第一部が「有論」(本稿の(1)でその冒頭部分を取り扱った)、第二部が「本質論」、第三部が「概念論」の三部で構成される論理学で、第二部本質論の最後の「C 現実性」の中で、実在的可能性が取り扱われます。そこで、以下、まず、現実性とは何かという点から始め、実在的可能性の問題領域に迫ります。

1. 実在的可能性をヘーゲルが扱う問題領域 — 第二部 本質論 C 現実性 —

ヘーゲルは『小論理学』で現実性について、冒頭部分で次のように言います。

「現実性(Wirklichkeit)とは、本質(Wesen)と現存在(Existenz)との統一、あるいは内的なものとの外的なものとの統一が、直接的統一となったものである。現実的なものの発現は、現実そのものである。したがって現実的なものは、発現にうちにあっても、依然として本質的なものであるのみならず、直接的な外的現存在のうちにあるかぎりにおいてのみ本質的なものである。」¹⁾

ヘーゲルは、現実性が本質と現存在との統一だと言います。まず、現存在とは私たちの眼前にあるもの、直接的な外的存在です。しかし、現存在、外的存在といっても、内側から何の支えもないために移ろい行くものもあるでしょう。それはただ外的存在としてあるだけで、ヘーゲルにとっては有(Sein, あること)、ある特定のものがあるという意味では定有(Dasein, ここに存在すること)と言われます。しかし、ここでは、そうではないのであって、この現存在は、故あってここにある、言い換えると本質に支えられてここにあるのです。そして、反対に、本質も、事象の内部に静かに留まるものではなくて、常に現存在に影響して顕現することで本質

として威力を証明するものです。これが現実性というカテゴリーが捉えている論理であり、事物の連関です。

これは、私たちが多くの場合、事物を認識して、具体的に現れた現存在と、背後の本質とに区別するが、ヘーゲルは、それだけではダメで、(1)現存在は本質の支えあって現存在であり、(2)本質は、現存在に顕現してこそ本質たりえると、両者を再び統一しているのです。すなわち、区別したものを、その生きた姿を復元するために、区別したものの連関を併せ分析することで、全体像を忘れない思考、これがヘーゲルの思考法、弁証法の優位性です。しかし、ヘーゲルと言えば弁証法と言われますが、ここは科学の基本である分析と総合に基づく極めて経験科学的な論点でもあるのです。本稿の第二節で取り扱うテーマの類例を挙げましょう。

私たちが山を歩いて花崗岩を見つけます。一見ただのありふれた岩石です。しかし、科学的な知識があれば、地球には、系内惑星には存在しないプレート運動という科学的観点から評価することができます。すなわち、地球の地殻は、厚さ6～7kmの薄い海洋地殻と平均35kmある厚い大陸地殻とに区分され、前者の岩石は玄武岩が特徴づけており、後者のそれは花崗岩が特徴づけています。すなわち、花崗岩があることは、(1)地球という惑星では、プレート運動に基づく大陸地殻固有の岩石であること、(2)その形成には水が必要であり、水の惑星が前提となること、(3)他の系内惑星と対比して言うと、他の系内惑星にはプレートの運動と花崗岩が発見されておらず、花崗岩があるということは、極めて特殊地球的な現象なのです。

そこで、(a)見つけた**花崗岩**は、この場合、ヘーゲルの言う現存在です。しかし、(b)これは水の惑星である地球固有の**プレート運動**に支えられ、この運動がこの場合の本質です。

すなわち、この地表に見いだされた花崗岩は現実性なのです。というのも、この花崗岩は、たまたまそこにあってやがては移ろいゆくような根の無い存在ではなく、太陽系で地球にしか観測されていない、プレート運動と水惑星という地殻の動的なシステム＝本質に支持された現存在なのです。眼前の花崗岩は、ただその現れの一つにすぎないとは言え、これら現存在が多数あるからこそ、本質もまた本質たりえているのです。

ヘーゲルが現実性で主張していることは、私たちの科学的認識の営為を正しく捉えています。私たちが直接に見るものは現存在である。しかし、それだけではなくて、背後にこの現存在を支える本質があるのです。一つの事物を、現存在と本質に二重化して把握しているのが、この本質論のものの見方なのです。これに対して、人が眼前のものを「有(ゆう、有る)」としか見ないのであれば、それはそのものを事実として如何に重く受け止めようと、一重にしか見ていません。ヘーゲル論理学の第一部有論もその把握が段階的に高度化するけれども、有論の中ではどこまで行っても、この点は同じなのです。これに対して、本質論は、常に本質と現象という二重性で把握するのです。

現実性では、第一に、本質は現存在とは区別されねばならない。この探求の過程では、この現存在は意味があるかと問い、それは手に取れる直接性だと把握し、これと対比して、この現存在を背後から支持している本質が何かと探求して、その本質を取り出すのです。まず、人は両者を区別します。通常は、曖昧に、このような区別の指摘だけで終わるのですが、ヘーゲルは、もう一歩進みます。すなわち、第二に、現存在としての花崗岩は、背後の本質としての地球固有のプレート運動に支えられてあるし、後者のプレート運動の本質としての威力は、地球上での多数の観察で得られる、現存在に表されていると証明できるからこそ、本質は自分を実証できるのです。そのようにして区別された現存在と本質は互いに支えあう関係に入ります。

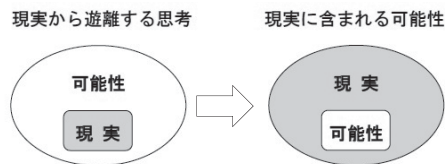


図1 可能性と現実性に対する通常理解とヘーゲルの理解

これは区別されたものが相互に媒介され、統一されるのです。論理的にヘーゲルが優れているのは、区別したものを元あった統一に戻すことも行い、包括的な見地に立ち戻ることを極めて方法的、自覚的に行っている点²⁾にあります。

こうして現実性というのは、単に直接的な事物がある（有とか定有とか呼ばれる）という一重の把握ではなく、事物を法則的に現れた事物と見るという、この認識の相を、ヘーゲルは「現実性」というカテゴリーで捉えているのです。

2. ヘーゲルによる可能性と偶然性の把握とその合理的な意味

次に、実在的可能性についてのヘーゲルの研究を見て行きましょう。最初に可能性と現実性の関係について簡潔にヘーゲルの主張を見て、その後、実在的可能性に入ります。実在的可能性に入る前に、可能性について見ておくのは、常識的な可能性についての理解に、ヘーゲルは批判を行っており、それが実在的可能性の理解の前提になるからです。

ヘーゲルは「可能性は広い規定で現実狭い規定である」とする常識的な理解を批判します。何故、可能性は広く、現実狭いと考えられたのでしょうか。どこに謬見があると言うのでしょうか。

「表象〔常識的思考に立つ人の意識（筆者）〕にとってはまず、可能性は豊かな広い規定であり、現実、これに反して、貧しく狭い規定であるというように思われる。かくして人々は、あらゆるものが可能であるが、しかし可能であるすべてのことが、必ずしも現実的ではない、と言う。しかし、実際には、すなわち、思想から言えば、現実性の方がより包括的なものである。なぜなら、現実性は具体的な思想であるから、可能性を抽象的なモメントとしてのそのうちに含んでいるかである。」³⁾

可能性は広く、現実狭いという、この常識的な可能性の理解は、ヘーゲルの記述では、例えば「月は地球から離れた物体であり、したがって空中へ投げ上げられた石と同じく、落下するかもしれない」⁴⁾というように、現実から遊離した思考を指しています。重要なことは、これに対してヘーゲルは、現実性が可能性を抽象的なモメントとして含んでいると言うことで、可能性はこのような思考の自由な働きの所産ではなく、現実性の一つのモメントであり、変化する可能性は現実の中にあるものだと指摘しているのです。

図1では、可能性を現実から遊離する思考の産物とする見方が左側で示されており、ヘーゲルは、現実が客観的な事態として可能性を含んでおり、可能性はリアルな事実であることを指摘しているのです。このように可能性の意味が置き換えられたことは、可能性が、現実から遊離する人間思考の自由の問題ではなく、現実が今このような姿を取っているが、その現実の内部に別のものに転化する可能性も持っている、すなわち、現実に変化する可能性をその内部に持つことを研究すべきだという主張を意味するのです。

しかし、当該の事物が可能性を如何に保持しているかには、この抽象では二つの場合があるのです。一つには、可能性が現実性に外在的なものに留まる場合⁵⁾です。この場合、上掲の可能性を現実性から遊離する思考の産物に当てはまる場合で、ヘーゲルはカントを批判しつつ、これを単に可能性であるとも言います。そこで、ヘーゲルは「偶然的なものとは一般に、その存在の根拠を自分自身のうちにではなく、他のもののうちに持つものである」と言い、この可能性は偶然性に帰着するというのです。そして、こうした偶然性も「当然客観的な世界の内にその位置を持っている」⁶⁾と述べています。ヘーゲルは現実を良くみています。このようにして可能性と偶然性とは現実性のモメントであると説明しています。

二つには、今度は、可能性が現実性に結びつく場合です。それは互いによそよそしい諸条件のある特定の組み合わせが、この組み合わせよって新しい事態を生み出す場合で、これが実在的可能性あるいは相対的必然性 (die relative Notwendigkeit) です⁷⁾。

そこで、次にこの実在的可能性についてのヘーゲルの研究を検討します。

3. 実在的可能性とは何か？

長い引用ですが、ヘーゲルは、実在的可能性を構成する三つのモメントについて、次のように言います (引用と後で行うコメントを対照するため [1] から [4] の番号を加筆)。

「条件(Bedingung)、事柄(Sache)、活動(Tätigkeit)という三つのモメントのうち、

[1] a. 条件は(イ)あらかじめ措定されているものである。それは、単に措定されてもの(Gesetzes)としては、事柄にたいして相関的なものにすぎない。しかし、先行するもの(Voraus)としては、それは独立的なもの—事柄と無関係に存在する偶然的な、外的な事情である。しかし偶然的であるとはいえ、このあらかじめ措定されているものは、統体的なものである事柄と関係させてみれば、諸条件の完全な円である。(ロ)諸条件は受動的であり、事柄のために材料として使用され、かくして事柄の内容へはいつていく。それらはまたこの内容に適合しており、内容の規定全体をすでにそのうちに含んでいる。

[2] b. 事柄も同じく(イ)あらかじめ措定されているものである。措定されたものとしては、まだ内容的なものであり、可能なものにすぎないが、先行するものとしては、それだけで独立の内容である。(ロ)事柄は諸条件を使用することによって外へあらわれる、すなわち諸条件と対応しあう内容諸規定を実現する。したがって事柄は内容諸規定によって自己を事柄として示すとともに、また諸条件から出現するものである。

[3] c. 活動(Tätigkeit)も(イ)同じく独立に存在するが(例えば人間、人物のように)しかもまた諸条件および事柄のうちにその可能性を持っている。(ロ)それは諸条件を事柄へ移し、また事柄を諸条件(これは現存在に属する)へ移す運動である。否むしろ、そのうちに事柄が即自的に存在している諸条件から事柄のみを取り出し、そして諸条件が持っている存在を揚棄することによって、事柄に存在を与える運動である。

[4] これら三つのモメントが相互に独立した存在という形を持つかぎり、上の過程は外的必然として存在する。——外的必然は限られた内容を事柄として持つ。なぜなら、事柄は単純な規定態における全体であるが、しかしこの全体的なものは、形式上、自己に外的であるから、自分自身においても、また自己の内容においても、自己に外的であり、そして事柄におけるこの外面性が、事柄の内容の制限をなすからである。」⁸⁾

条件を扱う〔1〕についてみると、条件と事柄は互いに支え合う相関の関係にあるというのです。更に、事柄の形成に先立つものとしてみると、条件の一つひとつは、それぞれの事情によって与えられたもので、出現した事柄からみると、諸条件はそれぞれに無関係で偶然的であり、事柄にとって外部の事情であるとヘーゲルはいいます。この限りで諸条件は、ただ互いによそよそしいもの同士の関係であり、ある偶然の組み合わせにすぎないのです。

しかし、諸条件の全体である事柄から見ると事態は一変します。すなわち、偶然の構成ではあるけれども、この諸条件の全体は、特定の一条に絶対に解消できない新しい事態としての事柄を出現させており、諸条件は、新しい事柄の成立に万全の組み合わせになっているため、これをヘーゲルは「諸条件の完全な円」、欠けることのない円だということです。各条件は、材料として事柄の中へ入っていくし、この円は内容＝事柄の規定全体を含んでいると言います。

これは後述するように、イギリス資本主義の成立、特にその最終局面としての、世界史で最初に産業革命を達成し「世界の工場」が出現する事態を事例に挙げることもできます。それは、他国にはない諸条件があったればこそ出現した事態です。しかし、各条件は、一定の連関を持ちますが、政治的条件は政治固有の事情に媒介されてあります。経済的条件は、また政治的条件と相対的に独立した事情を持ち、軍事・制海上の条件はまた、この領域固有の事情に左右されており、諸条件は、その限りで無関係なものです。しかし、一旦揃った諸条件は、融合して事柄、すなわち、マニュファクチャから機械制工場への発展に結実し、その中で、新しい時代を担う二つの階級、資本家階級と労働者階級による資本主義的生産関係が生まれ、急速に支配的な経済諸関係になっていくのです。これが事柄や活動です（後掲図2参照）。

この諸条件の組み合わせこそが、経済発展が先行したイタリアにも、スペインにもオランダにもなかった新しい事象（事柄）を生み出したのです。ここでは外部に何らかの統御者を一切必要とせず、諸条件の組み合わせだけで、新しい事象が生まれたのです。

その条件が万全の組み合わせで揃うのは、一つの偶然です。しかし、それだけでしょうか。違います。条件が揃えば、その時には新しい事象、例えば産業革命が発生するのです。それは単なる偶然でしょうか。先に述べたヘーゲルの言葉を踏襲すると、「ひょっとしたら、投げ上げられた物体が地上に落下するように、明日、月が落ちてくるかもしれない」というような「そうかもしれないし、そうでないかもしれない」というような形式的な可能性ではなくて、当時、イギリスにおいて貨幣資本が蓄積された。エンクロージャームーブメントによって労働者が都市部に供給された。市民革命によって生命・財産権が保証され、政党政治が新興諸階級を守る役割を果たした。そこへ、綿工業での技術革新が起こり、当時の先端素材である綿織物の安価で大量の供給が可能になる、というように、諸条件が一つひとつ積み上げられ、その全体（＝事柄）は中世の封建社会への回帰ではなく、産業革命と資本主義経済の確立の方向性を指し示したのです。その諸条件が揃うことは偶然かも知れないが、諸条件が揃ったときには、新しい事象としての事柄が生まれる。そうした諸条件に支持されて事柄（産業革命）が起こるといって、方向性を持った可能性、これがここにいう実在的可能性なのです。

では、事柄を扱う〔2〕についてみると、まず、事柄も条件と同様に他者（＝この場合は諸条件）によって措定されたものだと言います。しかし、諸条件の時は、条件毎様々な事情によってバラバラに規定されていたのですが、ここで事柄は、一定の組み合わせの諸条件を材料とした全体性です。それは諸条件に解消されない新しい事柄、世界で最初の産業革命であったり、後述する系外惑星における生命の発生であったりするのです⁹⁾。

活動を扱う〔3〕に入ると、諸条件と事柄に対して、新しい事柄が生まれる出現の過程を媒介する活動が問題にされています。まず、活動は、諸条件や事柄にたいして独立に存在すると説明します。しかし、活動は諸条件や事柄が存在しなければ、活動たりえません。そこでヘーゲルはいいます。活動は諸条件を事柄に移し、また事柄を諸条件へ移す運動であると言い、活動の独立性について「例えば人間、人物のように」と言います。ここはヘーゲルが何を事例として思い浮かべて書いているかが分かりにくい部分です¹⁰⁾。この意味を1831年の講義録によって補ってみます。この記録によると、時代のうねりに乗って行動するリーダーシップある人物を事例にして、ヘーゲルは活動を次のように説明しています。

「先端に立っている人間、人物はそれ自身で現存在します。人間に力があることの内実、現存する諸条件であり、そして〔彼が〕事柄を自分の活動の内実に行っていることです。事柄が諸個人を失敗しないものにします。そして個人は事柄に反しては自分では何もできません。個人が事柄の側に立つ場合にのみ、個人は〔ひとかどのことを〕なすことができます。活動は事柄においてのみ内実を持ちます。—それゆえ活動は諸条件を事柄に変換する運動であり、その肯定であり、事柄の定有〔です〕。事柄はこの運動によって必然的なものになります。生起するものは、事柄そのものです。」¹¹⁾

すなわち、諸条件が揃い、これが事柄になる際のまとめ役の行為をヘーゲルは活動と呼んでいるのです。時代のうねりに乗る人物は、その人物の実力だけでは薄弱で、諸条件とそれが結びつく事柄、言わば時代の機運を捉えているからこそ、その力を発揮するというのです。そして、かつて現実性があった事象に対して、新たな現実性をもった諸条件・事柄・活動が前者と交代するという記述も、この引用の後に出てきます。

社会現象の場合には、産業革命に結実するイギリス資本主義の確立の諸条件・事柄にたいして、名だたる同時代の産業資本家や発明家の活動がこれを媒介する¹²⁾という点で、この諸条件・事柄・活動は高い妥当性があります。系外惑星の生命の出現を問題にする場合や、広く自然諸現象ではどうでしょうか。この点で、私は非専門家です。また、同じ生命の発生を分子生物学のレベルで問題にしたら、その時はまた評価が異なるのではないのでしょうか。

このようにして、実在的可能性を構成する諸条件・事柄・活動は、それまでには無かった新しい事象を生む過程を捉える可能性を有しています¹³⁾。

本稿では新しい諸現実とこれを解明する科学に役立つ論理学を鍛えることが問題です。そこでこの論点から立ち去り、ヘーゲルの実在的可能性を、先に見たよりも一歩具体的に、イギリス産業革命と資本主義の確立を事例にして研究しましょう。

第2節 イギリス産業革命と実在的可能性

産業革命とは、(1)生産過程の技術革新によるマニュファクチャから機械制大工業への転換を基礎にして、(2)資本-賃労働関係に基づく資本主義経済が、それまでの封建的経済諸関係から自立・確立していく過程であり、(3)この資本主義経済関係の自立・確立の最終局面を表しています。これはイギリスでは、(a)およそ1760年より1820年代にかけて、(b)綿工業における資本-賃労働関係の形成とこれを担う諸資本の資本蓄積の進展によって開始され、やがて製鉄業・石炭業・鉄道業・機械工業・建設業などの諸分野に波及する一連の経済構造と社会諸関係の変容の過程を表しています。また、(c)このイギリス一国の変容の過程は、当時の世界経済の

諸条件にも支持されているため、原料供給と綿製品を中心にした製品販売市場との両面を通じて、イギリスを中心とした世界資本主義経済体制へと変容する起点（欧州・アメリカの対抗する社会経済的な運動や一見時代に逆行するよう見える奴隷制の温存と発展などを含む）を表しています。そうした多様な諸条件と活動の過程に支持されて、イギリスは「世界の工場（Workshop of the World）」になったのです。そして、その研究過程を回顧すれば、イギリスの内国的な発展を懸命に追及した時期もあれば、イギリスを支える国際的諸条件を改めて分析・総合し、イギリス資本主義を世界的な観点での資本主義の生成過程として確定しようとした時期もあり、着実に包括的な諸条件と形成過程を把握する努力が重ねられてきたのです¹⁴⁾。

1. 資本主義経済の確立の局面としてのイギリス産業革命とその諸条件

ここでは、世界で最初に機械制大工業の確立と新しい資本-賃労働関係の形成を、資本主義経済の出現の諸条件という観点から、また、実在的可能性という見地から論理的に限定して研究します。ここで資本-賃労働関係の形成と言いましたが、その大局的な帰結は、地主階級に対する資本家階級と労働者階級という二大階級の形成です。しかし、これは前者と全く同義とは言えないことにも注意して下さい。

そこで問題は単純化できます。事柄に相当するものは資本主義経済です。諸条件は、イギリスの当時の社会経済的な諸事情に求めなければなりません。

そこで歴史学から見ると乱暴に見えるかもしれませんが、出現する事柄である資本主義にたいして、その出現の基礎になった諸条件や活動を一枚の図に表します。それが図2です。

イギリス産業革命は、確かに先に述べたように1760年くらいから始まりますが、技術革新から見ても、農業革命の観点から見ても、遥かに長い前史を持っており、産業革命以前に、少なからず資本主義的發展やその予兆がありました。その限りでは産業革命の時期にイギリス資本主義の発生の全てを帰することはできません。ここでは、イギリスにおける資本主義の出現の最終的な確立の局面である産業革命期に焦点を当てて、そこに至る諸条件を枚挙することになります。

そこで、第一に挙げることのできる資本主義成立の条件は、図の①にある「重商主義政策による経済の成長と貨幣資本の形成」です。重商主義政策とは、16世紀半ばから18世紀にかけて、西ヨーロッパで絶対君主制が行った経済政策で、貴金属と貨幣を重視し、貿易などを通じてこれを蓄積することで国富の増加に資せんとする政策のことです。コルベールなど推進者の意図は、絶対王政を維持・発展させることですが、それはイギリスに貨幣資本の蓄積を促し、産業革命の条件の一つになって行きます。

第二の条件は、市民革命によって議会政治が確立し、産業資本家であるブルジョアジーが政党政治を通じて政治的発言力を高め、彼等の生命財産権を擁護し、それまでの特権的商人の独占権を抑止するようになったことです。産業革命に先行する複雑な政治的制度的変化ですが、ここでは一つの条件にまとめておきます。

第三の条件は、植民地であるインド経営や、対オランダ・フランスの戦争に勝利したことによる広大な海外市場のイギリスによる確保です。先にも述べたように、この条件の成立は、イギリスに、産業革命の指導的産業である綿工業の原料、ヨーロッパで調達できない亜熱帯繊維である原綿を確保することを可能にし、また、綿織物を中心とする工業製品の輸出を保証したのです。

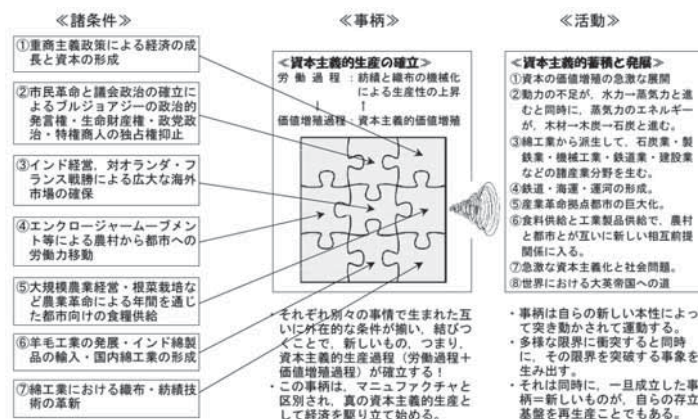


図2 実在的可能性から見たイギリス産業革命 筆者作成

第四の条件は、綿工業などを営む個別資本が必要とする賃金労働者の都市への供給です。エンクロージャームーヴメントなどによって農村から都市へ労働力が移動し、この供給を支えました。

第五の条件は、大規模農業経営が生まれ、ノーフォーク農法の普及や根菜の栽培など農業革命が起こり、年間を通じて都市に向けて食料供給が可能になったことです。

第六の条件は、綿工業に先立ち、イギリスでは羊毛工業が発展して、綿工業の基礎を生みだし、インド綿製品の輸入を通じて当時の最先端素材である綿の認知をイギリス国内に広げました。

第七の条件は、それまでの綿工業における紡績と織布の技術基盤を革新する画期的なものが登場したことです（先行する革新の歴史もある）。それは後に、機械と機械の連鎖反応や、織布と紡績の相互促進作用などの複雑な過程につながっていきます¹⁵⁾。

このように見てくると、イギリス一国の変化としての資本主義の確立、そして、イギリスを中心とする世界資本主義の形成から見ると、その出現を支持する諸条件は大変多岐に渡ることが分かります。すなわち、

- (1) 上述の①貨幣資本の蓄積や、④エンクロージャームーヴメントによる都市への労働力の供給、⑤農業における農業革命の遂行と農業生産性の向上、⑦綿工業における織布・紡績技術の革新など、多様な国内の経済的諸条件です。
- (2) ②の、市民革命を通じて獲得したブルジョアジーの政治的発言権と国家・法を媒介して得られる生命財産権と特権商人の独占権の抑止など、政治的法的な権利と権利侵害を抑止する体制の構築という法的政治的諸条件もあり、
- (3) 原綿などヨーロッパでは調達できない原材料の調達と製品の販路確保である⑥及び、これを支える軍事的制海的条件である③などの国際的諸条件、というように、経済、政治と法、国際的条件と軍事など極めて広範な諸条件があることが分かります。

これらは、(1)直接に産業・流通などに組する条件（ヘーゲルの言葉では材料として事柄の中に入って行く条件）もあれば、(2)資本主義の確立という動きの外部にあって、その成立を保証する枠組みを担うもの（これはヘーゲルにはない）もあり、このような(1)と(2)の区別がある

ことは、後で検討する生命の星の条件との類似があります。

2. 諸条件によって出現する事柄 — 資本主義経済の確立・体制の確立 —

このような諸条件を踏まえて出現するものは資本主義経済です。そのコアにある経済関係は、図2の中央にある、(1)紡績と織布の機械化と生産性の上昇であり、(2)資本家と賃金労働者の雇用契約に基づく産業資本の価値増殖過程の成立です。しかし、そうした経済関係が形成・確立するには、コアの経済関係のみの形成ではダメで、先に見た①から⑦の諸条件があってことで、これによってこの経済関係の成立が中長期的に保証されるのです。

この諸条件は、それぞれ別々の事情で生まれたもので、互いに外在的なものですが、この諸条件が揃うことが、イタリア、スペイン、オランダやフランスではなく、ほかならぬイギリスが世界の工場になるという必然性を導いたのです。それは諸条件によって制約され、方向性を持った実在的可能性なのです。

実際の歴史的過程を見ると「諸条件→事柄」という組み合わせでは単純すぎ、前段階を含んでいます。一例をとれば、「産業資本家－賃金労働者」関係に類似したものがありました。それはマニユファクチャ段階の「親方－徒弟」関係です。しかし、産業革命は、主要産業からこの古い関係を締め出しました。何故なら、技術革新が、親方や徒弟の高い手技の優位性を奪い、手技の高さが徒弟を親方にするという対流関係を破壊したからです。この時代に無くてはならない紡績機・織機や蒸気機関など機械設備は高価なもので、産業資本家と賃金労働者の関係は、資本所有の有無によって決定される時代へと転じたのです。その意味で、本稿では、一定の長い歴史的過程の中で、産業革命と資本主義の生成を1段階だとしているのではなく、それまでの助走段階を踏まえて、資本主義が最終的に確立する段階として位置付けています。

3. 産業革命の開始は、諸条件を結び付け、外延的にも展開する

こうして活動を開始した産業資本主義は、図2の右側に示したように、①急激な価値増殖の展開を示します。そして、諸条件に働き返して、不足する条件を創出する主体性を発揮します。それはもはや資本主義の発生ではなく、発生した資本主義の発展局面なのです。すなわち、②これに連動して、より大きな発動機を必要とするようになり、それに伴って水力から蒸気力への移行が進み、蒸気力のエネルギー源を、材木・木炭から石炭へと移行させる動力革命が惹き起こされました。そして、③石炭業・製鉄業・機械工業・建設業などの産業分野を派生・発展させたのです。こうした産業諸分野の自立と依存関係の成立は、それらの諸連関を繋ぐ物流のルートを革新する必要性により、④蒸気機関車を使う鉄道、蒸気船を駆使する海運、河川間の壁を破って船舶を運航する運河などの建設を促しました。更に、⑤産業革命の拠点となった諸都市の人口や経済活動の巨大化が進展しました。そして、⑥農業革命で生産性を上昇させた農村に対して、都市は日々拡大する農産物需要を生み、反対に、工業製品を供給することで、それ以前にはなかった都市と農村の相互依存関係を形成しました。⑦急激な資本主義化は、労働時間や労働環境の過酷な実態を生んだり、上下水道の整備を欠いた巨大都市化は、労働者街を流行病の温床と化し、多様な社会問題を生み、その克服が求められることになりました。⑧19世紀を通じて、こうした多様な動きは、イギリスに、追隨した先進諸国に対して大英帝国としての経済基盤を形成しました。

これらの動きは、諸条件から事柄が、すなわち、それまでの非資本主義的ないし半資本主義

的な諸条件から、自立した資本主義経済の成立を意味するのに対して、この活動の諸部面の諸点は、(1)一旦成立した資本主義が、諸条件をよりうまく融合させたり、(2)当初の指導的産業であった綿工業という特定産業から多様な産業諸分野へと外延的に広がる過程を伴ったと言えます。ヘーゲルの諸条件・事柄・活動では、この(2)の外延的な展開を意識させる論点が無いことも併せ指摘しておきます。

では次に、資本主義の確立の諸条件という問題から、生命が存在する惑星(衛星)の諸条件という問題(本稿では以下「生命の星」の条件と略記)に眼を転じて、最後に両者の比較を通じて、実在的可能性という論理のカテゴリーを現代的に総括します。まず、生命の星の論点、現代の宇宙生命論の研究の現在を概括することから始めましょう。

第3節 生命の星の条件に関する阿部豊氏の研究と条件・事柄・活動の論理

海部宣男氏は『宇宙生命論』¹⁶⁾の巻頭で次のように述べています。「私たちは歴史上はじめて、地球外に生命の存在を見出すことに大きな科学的期待を抱き、そうした疑問に正面から向き合う時代にいる」。そして、SFやアニメで扱われた地球外生命を、今日、科学研究の対象にできることの論拠として次の3点を指摘しています。(1)恒星に隠れてそれまで直接観測できなかった太陽系外惑星が発見され観測可能になったことです。1995年にペガサス座51番星bが発見されるや、発見は加速し、2015年には4000個以上に達しました。これらの発見は、恒星の少なくとも10%から20%が惑星を持つ可能性を示しており、太陽系と同様に、系外惑星にも、地球と同様の岩石惑星と木星や土星と同じ巨大ガス惑星もあり、岩石惑星では惑星表面に海を持つ可能性が認められたのです。また、(2)無人探査機による太陽系の惑星・衛星の直接探査が、詳細なデータとともに、木星の大型衛星であるエウロパやガニメデの表面を覆う氷床の下に深い海を見つけたり、土星の衛星タイタンが有機物で覆われ、メタンの大気循環の可能性があったり、火星にかつて海が存在して川の流れがあったことが確認されたりしたのです。こうした観測の事実から、地球だけが「生命の星」だとすることができない状況が生まれたのです。また、(3)地球および地球上の生命に対する理解も進展しました。プレートテクトニクス、地球深部の対流構造、過去の大気の構成とその変化、海流や地球回転の影響と気候史など多面的な理解が前進し、地球と生物との「共進化」の姿がしだいに明らかにされたのです。

この結果、特殊地球の制約を越えた生命研究の構想が可能となり、上述のように広い科学分野を総合するAstrobiology(宇宙生物学)が生まれたのです。こうした研究対象の設定は、天文学・地球惑星科学・生物学・人類学などの諸科学の共同研究が不可欠で、各分野の壁を越えて課題、対象の選定、研究方法などを共有する困難な仕事が今日まで続けられています。

こうした一連の動きの中で、21世紀初頭、生命観は大きく変貌しました。宇宙における奇跡の存在としての地球の生命という生命観から、地球外でも諸条件がそろえば発生しうる生命という生命観への転換です。地球外の宇宙で生命が発生しうるということを説明するには、どれだけの条件が必要なのかという問いは性急で、今ある現実、現在進行形の探求の過程であり、担い手となる学際研究集団は、どれだけの条件を想定すべきかを意見交換し、互いの専門分野の知見を提供しあい、対話可能な言語を共有して、バラバラの研究ではなく、互いの研究の内的なつながりを予見し、分野や分析方法の相違が生み出す壁を越えて、諸条件の真実のつながりを看過しない集団的な保証を育てることに注力しているのではないのでしょうか。

本章では、生命の星が生まれる条件という観点から、単著によって包括的に問題を提起された阿部豊氏の見解¹⁷⁾に限定して、第一章で簡潔に解説したヘーゲルの「実在的可能性」と「条件、事柄、活動」の有効性を考えつつ論評を試みます。こうした一連の疑問と対比して、今度はヘーゲルの実在的可能性の意義と限界を明らかにしたいと思います。それは、進展する共同研究とそれを総括された阿部氏の著書の意義を、科学方法論・論理学の立場から明らかにして、研究進展への方法論的な支援と戦略を示唆することにつながると 생각합니다。

1. 生命の星の条件を阿部氏は幾つどのように取り出したか

生命の星の条件を阿部氏は、この著書でどのように検討し提示されているかを見ます。氏の考察の全体を通して言えることは、阿部氏は、二段階の作業を行っています。

- (1) 過渡的な研究の成果として、生命の星が成立すると考えられる諸条件を、地球環境の分析、太陽系での進展した惑星探査の分析、系外惑星の最近の発見と分析を相互に参照しながら枚挙しています。
- (2) と同時に、この作業は、特殊地球の分析から取り出された、例えば「水の存在」という条件が、特殊地球の環境から解放されて、特異性を持つ系外惑星の環境の中で通用する普遍的な条件と言えるかどうかの検討も併せて行っています。

この限りで、生命の星の条件を枚挙することは、取り出された諸条件の普遍化の作業と不可分の関係に立つと言えます。研究者は、条件を取り出し、取り出した条件をより普遍的なものとして提示できるかを常に検討することで、こうした学際的な研究を進めることができると言えます。

そこで、阿部氏が挙げる**第一の条件**は、水の存在¹⁸⁾です。それは生命現象が起こす物質代謝の媒体であるためです。宇宙に存在する元素の圧倒的な部分(99%)は水素とヘリウムで、残る0.9%が酸素・炭素・ネオン・窒素・マグネシウム・珪素・鉄です。この内、ヘリウムが不活性であるため、水は最もありふれた水素と酸素からなる物質で、岩石や鉄などより遥かに豊富に存在することになります。この水は、高温になるまで液体で、多様な化学反応の媒体になりえる特別な性質を持ちます。それはH₂Oの分子は、繋がるHとOとHとがクの字に折れ曲がっているため、2個の水素原子のプラスの電荷と1個の酸素原子のマイナスの電荷とが、一分子としてこの形状から打ち消し切れず、電荷に偏りがある極性分子であることからきています。この結果、水分子同士で強い力が働き、更に、水分子の間でも水素原子を挟んで結合する水素結合も働くため、極性分子でないメタンなどと違って、電解質と呼ばれる物質をはじめ、化学物質を良く溶かし、生命現象の物質代謝に適合する媒体です。

そして、阿部氏の叙述を見通してみると、第一条件の水を含み、これから枚挙される、如何なる生命のための条件も、一つひとつの条件は、それが置かれた一定の限界¹⁹⁾の中で条件としての役割りを果たすと考えられているように読み取れます。

水の場合、この限界は、一方で、地球がかつて幾度か経験したとされる**全球凍結**(snow ball)のような状態と、他方では、**暴走温室状態**(runaway greenhouse effect)²⁰⁾と言われる、水蒸気や二酸化炭素などの温室効果ガスの働きで、地球が過度の高温の状態に置かれ、いずれも生命の存在を否定する状態という二つの極の中間に、生命の生存可能な領域があることが示されます。この上限・下限の限界内にあるというバランスが如何にして成立するかと言えば、太陽から受け取るエネルギー入力である「太陽放射」と、受け取ったエネルギーを惑星が吐き出す「惑

星放射」の平衡関係によって決定されることが示されます。

現在の地球環境は、大気・雲・地表が太陽放射を反射する惑星放射が行なわれて、暴走温室状態になることが妨げられています。この事が液体の水が存在するという条件を維持しているのです。阿部氏の研究によると、最重要な具体的条件は、(a)惑星放射の範囲であり、液相二酸化炭素にならない約70ワット/m²以上、暴走温室状態にならない約280~300ワット/m²以下であり、(b)そうした環境の中で、現在の地球の海洋質量の1/8程度のH₂Oが存在することだとされています²¹⁾。

事物の把握は、一般的に質と量の二側面を持ちます。氏の探求で重要な位置を占めるのは、生命の星の第一条件が水惑星であることですが、その際に、その水に量の観点を入れて、地球固有の水惑星の条件を相対化する点にあります。すなわち、当該惑星の水の量に多寡の区別を付けて、地球のような海惑星と、水はあっても惑星上に分散し、相互に繋がっていない陸惑星とを想定する点にあります。後者の陸惑星は今なお発見されていませんが、阿部氏は、特殊地球の条件=海惑星の限定を相対化して陸惑星をも想定します。この区別は当該惑星の生命の条件に大きな影響を与えるし、観測データから何れのカテゴリーに属するかを区別できる基準を持つことができれば、今後の研究の展開にとって非常に重要な判別の視点を提供することになります。この最後の点については、本稿の別の論点で再度言及します。

そこで、海惑星の水を一定の限界を越えて減少させていくと、海は陸地に遮られて、複数の独立した海になります。今ある地球という個別の事態を、存在が想定される水惑星一般(類)に還元し、それに特定の区別を加えて、海惑星と陸惑星の二つのカテゴリーに区分し、地球を海惑星のカテゴリーの一形態として捉えると同時に、他の形態規定を取る惑星を想定する。

これは分析と総合の一連の過程を表しており、この一連の分析・総合の過程によって「地球=生命の星」の認識が「地球⊆生命の星」という認識に変換されます。このようにして、阿部氏など宇宙生命論の研究者は、地球の諸条件から生命の星の諸条件の変異の可能な範囲を想定し、押し広げます。これを本稿では、諸条件の相対化と呼ぶことにします。

すると、これらの研究は、(1)生命の星の諸条件を提出すると同時に、(2)地球自体の研究、系内惑星の探査・研究、系外惑星の研究を総合しつつ、地球から得られる生命の星の条件を相対化する研究とを併せ持っていることになります。

生命の星の**第二の条件**として、阿部氏が挙げるものはプレート運動の効果です²²⁾。太陽系の中でプレート運動の存在が確認されているのは地球だけです。そこで問題なのは、このプレート運動の効果が生命の星としての条件の重要な一角を占めているという点です。すなわち、プレートの運動が、温室効果ガスを一定量に保ち、生命現象が成立できる限界の中に長期的な炭素循環システムの運動を確保していることが明らかになってきたからです。

その循環を簡単に整理するとこうなります。(a)火山ガスしたがって二酸化炭素が、溶岩と共に、ガスのみかで大気に供給されます。これを脱ガスと言います。次に、(b)降雨が大気中の二酸化炭素を捉えて炭酸(H₂CO₃)になります。大陸に雨が降れば、カルシウムイオンなどを溶解して海へ押し流す化学風化²³⁾も起こります。(c)海へ流れたカルシウムイオンは、炭酸と反応して炭酸塩となり、海底に沈殿します。海底で水と反応した含水鉱物も地下に運ばれます。(d)プレートの運動に乗って、炭酸塩や含水鉱物はマントルに沈み込みます。高温の岩石と水が出会うと、沈み込み帯で岩石は溶けてマントルになります。この結果、二酸化炭素は、大気中から炭酸塩として固定されます。しかしまた、(e)マントルで温められた炭酸塩や含水

鉱物は、再び脱ガスによって二酸化炭素と水として大気中に放出される道も辿ります。したがって、このサイクルは地表に水があることが前提になっています。このようにして、研究の深化の結果、プレート運動のメカニズムは、単なる地球科学的な変動の域を越えて、長期的な惑星大気の構成と生命の存在に大きな影響を与えたことが分かってきたのです。

この循環の決定的な二要因、すなわち、(1)脱ガスによる大気への二酸化炭素の供給と、(2)海洋での炭酸塩としての二酸化炭素の固定の量的関係が、(3)大気中の二酸化炭素量と気温を決定するのです。そして、温度が高い場合には、岩石の化学風化と海洋中での炭酸塩の固定が増加し、脱ガス量に対する二酸化炭素量が減少します。反対は反対の結果になり、これが炭素循環を前提にした自動的な温度調整システムです。これらの活動は、海と水の存在を前提としており、第一の要因、水の存在と結びついていると言われます。更に、プレート運動の速度は変化しており、その遅速が炭素循環と温度調整を規定するのです。速い場合は、脱ガス加速によって温室効果が上がり、遅い場合は、脱ガスが減少して温室効果が下がるのです。

阿部氏が指摘する生命の星の**第三の条件**は大陸の存在です。ここまででは海洋だけの想定でしたが、大陸というもう一つの条件が付加され、大陸は二つの機能を発揮します。一つは、大陸はカルシウムイオンの供給源であるため、炭素循環において二酸化炭素を固定する運動に参加することで適温の水の存在を可能にするのです。二つには、大陸は生物の体を構成する物質、特に燐の供給源となるためです。

地球の内部構造は、中心に中心核、その外側にマントル、一番外側に地殻があります。この地殻は、海洋地殻と大陸地殻に分かれます。海洋地殻は、6～7kmと薄く、主要な岩石は玄武岩であり、これは地球型の岩石惑星に一般的な岩石とされています。これに対して、興味深いのは大陸地殻です。その厚さは平均で35km、場所によっては30kmから60kmあり、大陸棚は大陸地殻に属するのです。大陸地殻を特徴づける岩石は花崗岩であり、その形成に水が欠かせず、これまで地球以外で発見されていません。このため、花崗岩は、生命の惑星と深いかかわりが推測されています。

大陸地殻の存在は、先に述べたプレート運動による炭素循環に次のような運動を付加します。大陸は特にカルシウムイオンの供給源であり、降雨などの化学風化で海に炭酸塩を供給します。これは炭素循環の流れに沿って二酸化炭素の固定に寄与します。また、海底で固定された炭酸塩は、大陸があるので、一部が大陸に持ち上げられて石灰岩になり、大陸は炭酸塩の貯蔵庫の役割も果たします。それは大気中の二酸化炭素の低減に寄与しており、海洋と大陸を持つ惑星では、大陸が小さいほど高温になる傾向を持つと予想されます。阿部氏によると、大陸の無い地球を想定すると、気温が60℃から80℃になり、生命が皆無ではないが、高度好熱菌しか繁殖できない環境になります。

これが、阿部氏が想定する大陸の存在が果たす一つの機能です。これに対して、二つ目の機能は、生命現象の媒体としての水に対して、生物を構成する物質を供給する機能です。水素・酸素・炭素・窒素・カルシウム・硫黄・ナトリウム・カリウム・塩素などの物質を供給する機能です。阿部氏は、生物を構成する元素が、地球上のみならず、宇宙でもありふれた元素であるとした上で、特に燐が地球上では生物にとって不足気味である生物制限元素であり、生物に必要でありながら海に少ないと指摘します。燐は、生体内に広く分布して、エネルギーの放出・貯蔵、物質の代謝・合成に役立つアデノシン三リン酸(adenosine triphosphate)も、遺伝情報を担うリボ核酸(nibonucleic acid, RNA)やデオキシリボ核酸(deoxyribonucleic acid, DNA)に

も、燐が不可欠です。地球では、燐が多いと赤潮が発生するように、燐は地球上では生物増殖を左右しています。そこから、先に述べた炭素循環の流れに即応して燐の循環が形成されている点に注目して、生命の星を検討することが必要になるのです。すなわち、陸の土中の燐が化学風化によって海に運ばれ、生物に活用され、生物が死滅すると、他の生物に捕食されない限り、深海底に多数沈殿する。大陸は燐の貯蔵庫の役割りを果たしているのです。異論もあるが、このように判断し、阿部氏は大陸の存在を生命の星の第三の条件に挙げます。

第四の条件は酸素の存在です。生命が発生した時期の地球の大気には酸素が存在せず、当時の生命にとっては酸素はむしろ有害な存在であったと言えます。しかし、阿部氏はあえて酸素も一つの条件として挙げています。酸素を取り扱った章の扉で氏は次のように書いています。「しかし現在のよう複雑な進化をとげた生物、知的生命は存在できないだろう。エネルギーを効率よく生み出す酸素の機能とは？生物の大型化と酸素の関係とは？」²⁴⁾。阿部氏の生命の星の諸条件は、生命誕生の時期だけではなく、その後の多様な進化と種の分化した諸段階を視野に入れたものであることが分かります。今日、多数発見されてきている系外惑星には、(1)地球と異なり、水を媒体にせず、RNA・DNAなど生命情報を他の諸形式で保存した生命があるやも知れず、(2)それらの相違に応じた生命の星の諸条件が、地球環境とはことなつた限界の中にあるやも知れません。そこで、時々観測された限られた情報から多様な可能性を判別できるように、生命の星の諸条件を極力多様に想定する必要があるし、そうした変異の幅を共有した共同研究が成立せねばなりません。この限りで、阿部氏が生命の星の条件を、生命誕生初期から知的生命までを視野に置かれることは適切なことであり、私もまったく異論がありません。

しかし、他方で生命の星の諸条件を考察する上で、生命誕生から知的生命を有する段階まで、諸条件が同じであると考えすることはできません。すなわち、24億5000万年前の原生代初期では、酸素はほぼ存在せず、これがその後20億年の間に現在の1%くらいまで増加しその直後に真核生物が登場したと見られています。原核細胞から真核細胞への進化は、生命の最小単位の細胞を約1000倍と量的にも増加させ、細胞内共生による光合成や酸素による呼吸、細胞内小器官を備えるなど、生命の進化と多様化の梃子となりました。6億年前にあたる原生代後期には、大気に占める酸素の割合は21%という現在の値に近似し、大型の多細胞生物の登場をみました。このように、酸素の登場は、(1)そもそも生命活動によってもたらされたのであり、シアノバクテリアが原核単細胞生物、光合成細菌として登場し、これらの活動によって大気の組成が変化させられ、(2)生命の基本単位である細胞に大きなエネルギーと進化の可能性を切り開いたと言えます。しかし、上述の炭素循環と対比すると、酸素濃度が保たれるシステムは不明の点が多いと阿部氏は指摘します²⁵⁾。炭素循環になぞらえていえば、生物の死体が腐敗・分解されないで地下・海底に埋まることで、消費されたはずの酸素を大気に保持するなどのメカニズム(埋没)も分析され、これまた大陸の存在という第三の条件と結びついて議論されているようです。阿部氏は、全球凍結が大気の酸素濃度を増加させるかと問うて、否定的にこの見解を評価しています²⁶⁾。

生命の惑星の第四の条件としての酸素の存在は、阿部氏によると二つの役割を担っています。一つには既述のように酸素を使って生物はエネルギーを効率良く生み出すことが可能になることで、二つには、オゾン層の形成によって、太陽光に含まれる紫外線の生物に対する脅威を減衰していることを挙げられています。

生命の星は非常に複雑系です。そのため、一つの条件は、生命の星の一機能だけを果たすとは限らず、一つと同じ条件で、複数の機能を同時に、段階的にか発揮し得るのです。

生命の惑星の**第五の条件**は、惑星がその形成過程²⁷⁾において大気と水が如何なるルートで地球(惑星)にもたらされるかという条件です。欧米の通説を批判しつつ、阿部氏が指摘するのは、地球という惑星の形成過程で微惑星の衝突によって起こる衝突脱ガスを中心とした、固体經由の大気の供給ルートの存在と、地球軌道付近の微惑星の H_2O を直接取り込むという水の供給ルートです。氏は、この地球における水と大気の獲得を基にして、系外惑星における大気と水が獲得できる条件に分析を進めます。

惑星の大気獲得ルートは、大きく、(1)重力による捕獲大気と、(2)脱ガス大気の二つに区別できます。前者は、原始惑星系円盤には水素やヘリウムを中心とする大量のガスがあり、これを惑星の重力が捉えて得られます。後者は、微惑星が衝突する時に、内部にあった水素・炭素・窒素などの揮発性の物質が外部に出てきて大気として付加される場合です。原始惑星系円盤のガスには、現在の地球の大気で少ないヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンなどの希ガスをより多く含んでいたとされ、阿部氏によれば、地球の大気は捕獲大気を主な起源と見るより、脱ガス大気を優位と見るのが適切とされます。

H_2O も同様で、含水鉱物が、微惑星の高速の衝突で運動エネルギーが熱に転化し、 H_2O を吐き出すのです。これを衝突脱ガスと言います。阿部氏は、惑星形成期に揮発性物質が僅少であり、ジャイアントインパクトで完全に揮発性物質を喪失したとする欧米の通説を批判して、(a)惑星形成とともに揮発性物質の多くが取り込まれ、(b)微惑星が衝突する度に、大量の揮発性物質が噴出した。そして、(c)最後のジャイアントインパクトで地球ができた時には、既に大気があったと推定されています。揮発性物質獲得のルートとしては、かつて主張された彗星では地球に降る確立が小さいとして否定的で、 H_2O を含むものも多い小惑星帯付近の固体物質、特に炭素質コンドライトが、地球の物質と同位体比が大きく異なるとして、地球軌道付近の微惑星の H_2O を直接に取り込んだとするシナリオを有力視されます。阿部氏は、系外惑星に水が存在する条件について、(1)惑星表面で H_2O が水になる軌道範囲(ハビタブルゾーン、habitable zone)にあること、(2)氷天体が安定的に存在できる軌道範囲に当該惑星の軌道が重ならないことの二つの条件を挙げています。ハビタブルゾーンに必ずしも水が存在するとは限らないため、ここに水を供給するメカニズムが必要であり、それは、(ア)原始惑星系円盤のガスの獲得、(イ)惑星系の外側でできた彗星の存在、(ウ)スノーライン²⁸⁾のすぐ外側でできた氷天体の存在、(エ)スノーラインの内側でできた H_2O を含む天体の存在、(オ)スノーラインが内側に移動していた時にできた昇華しつつある氷惑星の存在などであると推定されます。

しかし、これらの諸条件が有効に作用するためには、正味太陽放射が惑星の射出限界を越えてはならないという限界があります。すなわち、地球型の岩石惑星でも、より太陽に近い金星のように、正味太陽放射が射出限界を超えると、長時間暴走温室状態を生み、強い紫外線によって水蒸気が分解されて、水素は宇宙空間に失われ、酸素はマグマオーシャンに吸収されるという場合があるからです。

このように見てくると、ここでも阿部氏は、(1)生命の星の条件を科学的に挙げるという作業と同時に、(2)実在する生命の星である特殊地球の諸条件から遊離して、各条件が有効なものとして成立する質的・量的な変異可能な範囲を考察するという、生命の星の諸条件の相対化を行われていると言えます²⁹⁾。後者の代表例を例示すると、(a)自己を再生産する生命現象の媒体

となる水に代えて、メタンやメタノールを検討して、この場合には否定的な結論を出していません (pp.25-26)。(b)或る恒星から受け取る正味恒星放射(正味太陽放射ではない)とこれを反射する惑星放射との対比から、地球で実際に与えられている両変数を一般化して、更に海惑星と陸惑星の区別を入れて、全球凍結から暴走温室状態の幅広い変異可能性の帯域を問題として提出しています (pp.107-122)。

すなわち、生命の惑星の**第六の条件**は惑星の大きさです。ハビタブルゾーンで長期間大気を保てる天体には、大きさの限界があって、これは火星サイズ以上と指摘されます。他方では、地球の10倍ほどの質量を持つ「スーパーアース(巨大地球型惑星)」が発見されています。氏は、この両方を睨みながら、生命の星の大きさを、特殊地球から相対化された条件として導き出す必要があると考えられています。

すなわち、地球に比して火星の半径と質量は、それぞれ0.532と0.107でおよそ1/2と1/10です。大きさと質量は比例する関係にあり、小さい惑星ほど重力が弱くなります。そのため、(1)一定の限界を超えて惑星が小型になると、長期間大気を引きつけておくことができません。また、(2)小さくなくても表面積が大きいので、熱量が発散されやすい特性があります。そこから、(3)脱ガスも行われず、二酸化炭素などの温室効果ガスの供給も続かないこととなります。惑星のコアが冷えると流体核が形成されないため、磁場が維持できず、結果、太陽風や高エネルギーの粒子が入り、大気が失われやすくなります。そこで、氏は小さいサイズの惑星は死んだ惑星になりがちであると推定されています³⁰⁾。

反対に、スーパーアースの場合には、当該惑星の形成段階において、水素が多いと考えられる円盤ガスを獲得するが、惑星が受ける紫外線量が多いとしても、惑星重力を振り切って水素が宇宙空間に逃げる可能性が低く、水素が惑星表面に存続して水となります。そこで、氏は、総質量の0.023倍の水、総面積の7割の海を持つ現在の地球より水の割合が大きくなる海惑星の可能性があると云います。

生命の星の**第七の条件**は、惑星の公転軌道と自転軸の傾きです。後掲の恒星の大きさや、恒星と惑星の距離を与えられたものとする、惑星の表面温度を決定する条件は、公転軌道の形と自転軸の傾きです。これまでの阿部氏の考察では、公転軌道の形が、地球のように円形に近いものを想定しました。しかし、生命の星を考える場合に、楕円形の細長さが、つまり軌道離心率³¹⁾が大小に変異する場合を想定することで、相対化ができます。

軌道半径が小さく、軌道離心率が小さすぎると、恒星放射をまとも受けて高熱で惑星表面の水は蒸発してしまいます。反対に、軌道離心率が多すぎると、軌道長半径の大きいところで惑星表面の水は凍結してしまいます。軌道離心率が大きいと、恒星に最も近づく近点と最も遠ざかる遠点の間に恒星放射量の差が大きくなり、ハビタブルゾーンは、離心率の大小の中間に成立することになります。

次に、自転軸の傾斜角度です。惑星が恒星の周囲を公転する公転面に対して、惑星の自転軸が如何なる角度にあるかという問題です。これは惑星の軌道離心率より遥かに大きな影響を惑星環境に与えると考えられます。しかし、系外惑星の自転軸傾斜は、現在、なお観測困難な段階にあります。

地球の自転軸傾斜は23.5°で、太陽光を受ける角度が公転に伴って変化するため、この自転軸傾斜が季節を生み出し、北半球・南半球で季節が逆転します。恒星放射を受ける惑星の自転軸傾斜が存在することで、北極・南極の何れもが恒星放射を受けるようになります。これは、恒

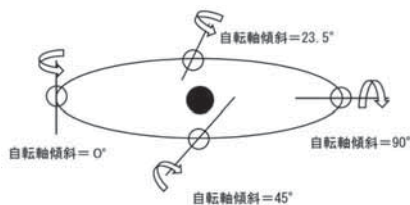


図3 公転面と多様な自転軸傾斜 筆者作成

星から当該惑星が受け取る1年の放射総量を変化させるものではないが、傾斜の大小によって、当該惑星には全く違う気候条件が現れることとなります(図3)。

惑星は恒星放射を受けると、熱帯にあたる惑星表面で水蒸気を含んだ上昇気流が発生し、緯度 30° 付近で下降気流に転じ、ここで砂漠が形成されます。この循環をハドレー循環と言いますが、地球では「自転軸傾斜が $23.5^\circ <$ ハドレー循環 30° 」の関係が成立し、これを直立レジームと言います。もしここで、傾斜レジームを仮定して、例えば「自転軸傾斜 $45^\circ >$ ハドレー循環 30° 」の関係が当該の惑星に与えられたら、(1)直立レジームの場合の、赤道付近が暑く、高緯度に行くほどに寒くなるという規則性が壊れて、(2)赤道付近が氷に覆われることも起こりえます。更に、(3)平均気温が高くなる傾向があります。結果、直立レジームの方が全球凍結を起こしやすく、傾斜レジームでは、地域毎・季節毎の温度変化が大きくなり、この温度変化が生命に厳しい条件にもなり得ると推定されています。

軌道長半径は変化しにくいですが、軌道離心率、近点の方向、自転軸傾斜は可変的です。また、潮汐力の働きによって、公転面に対して垂直の方向に修正される効果もあります。阿部氏は、月や木星が存在しない場合、木星・土星・天王星が今の2倍である場合などを分析しています。このように阿部氏は、この条件についても、(1)自転軸傾斜という生命の星の一条件を取り出し、同時に、(2)これを 23.5° という特殊地球から解放した変異可能性を検討されています。

生命の星の**第八の条件**は、恒星の質量で、これは恒星の明るさと寿命を決定し、重元素という生命の素材を決定します。すなわち、恒星の大きさは、(1)単位時間当たりに放射するエネルギー、すなわち恒星の光度と温度を規定します。しかし、それだけではなくて、(2)恒星の寿命をも規定します。また、(3)恒星は、惑星の素材を規定してもいます。恒星は、高温で水素とヘリウムを持ち、核融合によって炭素、酸素、ネオン、硫黄、珪素、マグネシウム、鉄などを生み出していきます。水素・ヘリウム以外の重元素は、恒星の組成からみれば微量³²⁾ですが、これら重元素は惑星の生命の素材としては不可欠なのです。

まず、(1)については、恒星が明るく大きいと、生命の星となる惑星の軌道は大きくなければなりません。反対は反対です。したがって、第八の条件である恒星の質は、同時に恒星放射の量に応じた、恒星と生命の星となる惑星との距離を規定するので、恒星と惑星の距離関係もまた重要な条件とも言えます。次に(2)では、質量の大きな恒星は、主系列星として存在した後、急激に明るくなり、急激にその寿命を終えます。例えば、太陽の2倍だと約10億年、5倍だと約1000万年と、巨大化するにしたがって急激にその寿命は短くなるのです。それは当該の「恒星-惑星」の関係を規定し、生命の星における誕生から進化の期間を制約します。地球では、生命の誕生からヒトの登場までに20億年を要しており、適切な大きさの恒星放射と恒星寿命は、生命の星の土台を決定する条件とも言えます。

このように私は、阿部氏が挙げられた諸条件を八つに整理しました。それは、(1)生命に必要な材料と環境、(2)エネルギー獲得、(3)惑星と恒星の地球科学的条件に分かれます。

2. 偶然でも、必然でもなく、その中間を射貫く実在的可能性と生命発生の諸条件

阿部氏による、これらの生命の星の条件分析を見ると、私は、これが論理的カテゴリー「実在的可能性」の好適な事例であり、この論理のカテゴリーを意識的に活用することで個別科学の研究戦略を考えられると考えました。反対に、ヘーゲルから取り出した実在的可能性の論理は、含意が多いとは言え単純に過ぎて、宇宙生命論の研究の営為から学び、さらに検証・発展させられるように思いました。不十分ですが、次にこの点を明らかにします。

宇宙において、生命の発生は必然か、或いは偶然かと問うて、私たちはその何れでも無いと考えます。生命の発生は必然か。そうではない。あらゆる惑星に生命が発生する見通しなどないからです。では、生命の発生は偶然か。確かに未だ系内・系外に地球外生命は発見されていません。しかし、生命の存在は、広い宇宙で太陽系と地球に例外的で奇跡的な事象に過ぎないと論断できないところに現代科学は到達しています。ここに実在的可能性という見地を仮説的に当てはめると、問題は鋭く提起され、更なる試行錯誤の基盤が与えられるように思います。すなわち、偶然でも必然でもなく、その中間の段階にあるのが、おそらく生命の発生であり、一定の条件が揃う時に、非生命的な諸条件が結びつき、それまでに存在しなかった新しい物質の運動法則である生命現象を出現させるのではないか。諸条件に対してこのような結びつきをヘーゲルは事柄と名付け、この事柄が固有の運動法則に従って動き出すことを活動と呼びました。大事なことは、この過程の外部に生命発生を統御するものを一切想定していないことです。一つの条件から新しいものが生まれ出るのでは決してない。必要な諸条件の組み合わせが、何れの条件にも解消できない新しい生命活動に帰着するのです。そして、この可能性は、実在する諸条件とその組み合わせによって、一定の方向性を持つ実在性なのです。

しかし、潜在的な事象が現実化する過程を把握するのに、科学者も含めて、一般には偶然性と必然性という二つの論理のカテゴリーしかなく、その中間にある実在的可能性があることは、あまり知られていません³³⁾。偶然性(Zufälligkeit)と必然性(Notwendigkeit)に対して、ヘーゲルは実在的可能性(Reale Möglichkeit)というカテゴリーも持っています。ヘーゲルは、実際には事実を極めて丁寧に分析・総合している場合も多いのに、体系上の要請から科学的認識の基本である分析と総合を否定してしまい、萌芽から発展して自然や社会の世界全体が必然的で有機的に生成する哲学体系を書きました。そして、論理学・自然哲学・精神哲学の哲学体系の論理のあゆみは、概ね三段階になっています。「正・反・合」のトリアーデと言われるものです。しかし、そうした絶対理念と論理の自己展開の観念論の建前を取り除くと、現代科学が学ぶに足る、強靱な思考力に支えられて現実を分析したヘーゲルが見いだされるのです。この実在的可能性の場合は、ありていに言えば火薬庫に火薬が充満している。それは他のものへの変化、すなわち庫内の酸素と結びついて爆発しようしようとする圧力がかかっている。これがこれまでに言う方向性です。しかし、その方向性は、外部の誰か仕掛け人の意図によって操られているのではなく、実在している諸条件とその組み合わせが示唆する方向性です。爆発するもしないもその時次第だというような形式的な可能性ではなく、実在する、そして幾重にも独立した条件が折り重なって一定の方向を指し示す可能性、これが実在的可能性です。

このカテゴリーは、与えられた事象を把握するために思考が分析し、多様な規定を区別して

打ち立てる作用としての、ヘーゲルの言う悟性(Verstand)的な領域に属するものです。そのため、条件・事柄・活動から構成される実在的可能性という論理学的カテゴリーは、事物の有機性、矛盾とこれに基づく発展など、従来、弁証法を特徴づけるとされてきた諸論点と対比すると、極めて分析的であり、経験科学的です。そうしたカテゴリーでありながら、ヘーゲルはこれを論理学の第二部本質論で不可欠の論点として取り入れたのです。その論理のどこが弁証法的かと言えば、事物を成立させる諸条件を把握するなら、同時に、諸条件の全体、つまり事柄を把握せよ、条件と事柄は一つの相関として把握せよという点にあります。したがって、諸条件を分析・考察する時は、事柄や活動という諸条件の結びついた別質の事態を併せ把握する必要があります。

こうした論理学の問題、そして科学方法論の問題は、(1)単に研究を進める科学者個人の思考過程のツールであるだけでなく、(2)共同研究を行う者同士の共通の課題やアプローチにの影響します。或る条件を研究する者が、その条件が占める事柄全体における位置を、共同研究者と共有する。また、事柄全体を絶えず一望できる分野を研究する者と部分を研究する者とが緊密な意見交換を行う。或いは、事柄が生み出す活動を研究する者と、元の一条件を研究する者が互いの位置関係を確認しつつ意見交換をする。更に、諸条件の組み合わせに違いが生じた場合を相互に検討するというように、論理学と方法論は、各自の研究の位置を自覚したり、共同研究の方略を立てたりすることに役立つと言えます。

現代の宇宙生命論の研究は、先に示したように、(1)恒星に隠れて観測できなかった系外惑星を相次いで発見し、その多様性を確認してきたこと、(2)太陽系の惑星や衛星の探査が進展して多数のデータがもたらされたこと、(3)地球科学の研究が前進し、地球という惑星の形成と生物との共進化の過程が解明されてきたことという三つが重なり、これまで地球で、自然史上一回限りの奇跡的な出来事としか考えようの無かった³⁴生命の発生を、地球に限定されず、一定の条件が揃う時に成立しえる事態と捉え、経験科学の研究対象にできる時代を迎えました。宇宙生命論という研究課題の成立は、21世紀初頭の科学研究の大きな飛躍であったと言われるでしょう。しかし、それはなお一大発見の画期と言えるものではなく、それは学際的なテーマの設定を表現しており、未だその解明を意味していないからです。この意味で、方法は共同研究の共有されるべきフレームワークの形成とも関係します。

宇宙生命論としての阿部氏の生命の星の条件研究と実在的可能性の関係について述べましたが、同時に忘れてはならないことは、事物の成立を説明する条件というものを、如何に把握すべきか、この点について宇宙生命論は条件というもののイメージを非常に拡張したように見えます。生命の諸条件として、系統進化、分子進化、遺伝暗号の進化、集団遺伝学と分子系図学など生命科学を研究する諸分野に対して、宇宙生命論は、上述のように恒星、水と惑星、プレート運動と炭素循環と大陸の存否、大気の起源、惑星の大きさや公転軌道、自転軸傾斜と恒星の大きさなど、一見、生命現象とはかかわらないと思われた諸条件が、生命の星を支える諸条件として検討されているのです。

これは先のイギリス産業革命研究でも類似した歩みを示しています。すなわち、研究の初期では、綿工業から諸産業へと波及する内国的な経済的諸特徴に重点を置いていましたが、次第に研究は、19世紀世界資本主義経済体制との結びつきが強調されるようになったり、産業の研究から一国経済を越えて、政治、法と制度、軍事、文化や庶民の生活といった広大な諸側面を含めて解明するように進んできました。

したがって、これは或る研究対象の研究の深化を示すだけでなく、諸研究分野の総合によって宇宙大の生命の発生を解明するという総合化の性格を持っています。阿部氏は自身の研究テーマや研究室の名称を示しつつ、取り組んでいる研究の性格について「どんな学問も、研究が進むにつれて専門的に細分化していくものですが、それを再びつなぎ合わせようというのです。」³⁵⁾と言います。この限りでは、宇宙生命論の時代は、自然科学の諸分野を結集する総合化の時代と言え、科学は、これまでの細分化からターンする時代を迎えています。

では、阿部氏の生命の星の諸条件と実在的可能性という論理のカテゴリーとを対比して、氏の研究の基本的特徴と問題について考えます。

3. 阿部氏の生命の星の条件研究の基本的特徴と問題点

阿部氏の条件研究の**第一の特徴**は、研究対象の基本的性質に規定されて、生命の星の条件を抽出する研究が二重の作業になっていることです。すなわち、(1)一つの事態を生命の星が存立する条件として取り出す作業が、(2)幾重もの吟味を通じて、取り出されたその条件を特殊地球及び特殊太陽系の制約から相対化して、ありえる変異の範囲を質的量的に提示する作業にもなっています。これは生命科学や地球科学と言っていた時代とは異なった特長です。

例えば、水を生命の星の条件として挙げる場合に、生命活動の媒体として水以外にも、アンモニア水、メタン、エタン、ホスファンなどを挙げて、水の分子内極性、水素結合、極性溶媒としての特性、酵素蛋白の溶解、触媒活性、疎水性相互作用などの諸特性を検討して、阿部氏は、水以外のものが水に代替することは難しいとされます。宇宙に極めてありふれた物資としての水を基本的な条件として仮定して更に探求するのが、その他の溶媒に基づく研究より適切である³⁶⁾と、阿部氏は事態を総括しています。この場合は、特殊地球、特殊太陽系から取り出された条件を堅持しているのです。

また反対に、惑星が保持する水の量的限界について検討するため、氏は地球のような水惑星を、惑星表面にある水の多寡の区別を入れて海惑星と陸惑星³⁷⁾とに区別して、水の量を変化させると惑星の環境がどのように変わるかを研究しています。(1)正味恒星放射とこれを受ける惑星の反射である惑星放射とのバランスという普遍的な指標が設けられ、(2)水蒸気フィードバックとアイスアルベドフィードバックに基づいて環境変動を増幅する水の効果を示すことで、太陽系における水惑星としての地球の特異な地位が指摘されます。すなわち、氏は「水は環境の変動を増幅させる」ことを示し、海惑星としての地球が必ずしも生命の星として理想的な環境とは言いきれず、陸惑星の方がハビタブルゾーンが3倍以上広いことを指摘しています。またここには、恒星として太陽の放射が10~15%増大すると予測される約10億年後に、地球は暴走温室状態に陥り、水惑星でなくなるという研究が含まれています。この意味で、氏は特殊地球、特殊太陽系の条件を大きく相対化して生命の星の条件を普遍的に研究しています。

阿部氏はこうした研究の諸点を整理して次のように課題に総括しています。「地球型惑星がどのような環境を取りうるか、その中で地球の環境がどれくらい特殊か、あるいはどれくらいありふれているか、を明らかにしていくことは非常に重要な課題です。」³⁸⁾

阿部氏の条件研究の**第二の特徴**は、生命の星の生命体を、最初の最も単純な生命体からヒトのような知的生命体まで非常に幅広く想定している点にあります。宇宙生命論の研究は、先にも説明したように、広大な科学諸領域の発展に支えられています。とすると、今後、或る系外惑星の観測と分析が進んだ時、上掲の八つの条件のどの条件に注目が集まるか分からないし、

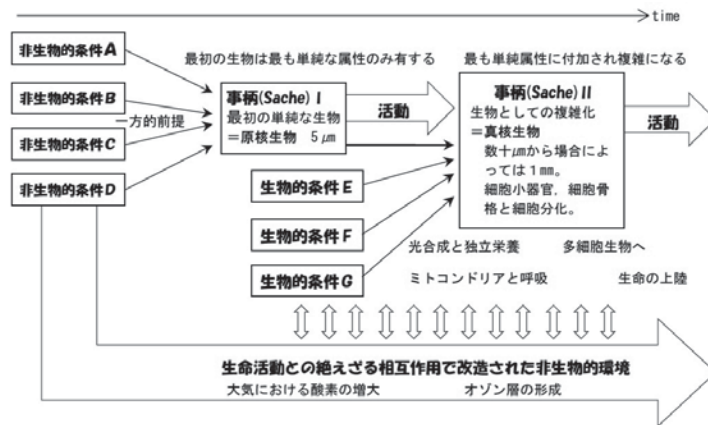


図4 条件・事柄・活動の観点から見た生命の進化

当該惑星でどの程度、生命体が進化して、惑星環境を改造してきたかの度合いも多様であると考えられます。したがって、想定する生命体の進化の度合いを幅広く想定することには、現実的な効果と意義があると言えます。これは、阿部氏が生命の星の条件を抽出しつつ相対化するように、存在する生命体の進化の度合いも相対化して多様な共進化の諸階梯を想定することを意味し、極めて適切な想定と言えます。

阿部氏の条件研究の**第三の特徴**は、上記の第二の特徴と深い関係があります。ヘーゲルは、条件・事柄・活動を常に一組の対立関係に置いて考察します。そのことで条件研究を鋭くすると考えているからです。ヘーゲルの論理学研究の領域は広大で、実在的可能性はわずか一つの論点に過ぎませんが、ヘーゲルの各論点にはこうした繊細さがあると、ここでは指摘しておきます。

そのヘーゲルの考えに学び浅学菲才を顧みず述べると、私は、阿部氏の考察には、諸条件と対立する関係に立つ事柄のような概念が無いが弱く、諸条件が何に向かって収斂するのかという対立関係が鮮明に示されないように思われます。これを鮮明にすると、この事柄に収斂するのはこの諸条件、反対に、これらの諸条件は外ならぬこの事柄に収斂するというように、よりタイトに諸条件と事柄の関係を突き詰められると思うのです。

そこでこの点を、第一の局面としての最初の生命の発生と、第二の局面としての既存の生命の更なる複雑化という二つの局面に機械的に区別して考察します(図4)。

第一の局面は、生命の誕生とそれを支えた諸条件の局面です。生命が発生するという事は、それ以前の地球環境は非生物であることを意味し、発生するものはそれまでに存在しなかった生命になります。とすると、この場合の生命の星を生む諸条件は、温度、大気の構成、水の存在と組成、太陽放射と惑星放射、化学進化などあらゆる点において今日とは著しく異なった約40億年前のものであり、それまでの化学進化を踏まえながらも生命の諸条件は、全て非生物的条件になります。この場合、諸条件が結びついて成立する事柄は、今までに無かった新しい物質的運動原理の生成³⁹⁾、すなわち最初の生命です。しかし、この誕生したばかりの生命は、現代の多様な生命と異なり、かろうじて生命たりえるような、最も単純な構造の生命体でもありと言えます。それは真核生物のように巨大ではなく、細胞骨格や細胞内小器官が発達してい

ない原核生物でしょう。それは、生殖細胞と体細胞への分化による多細胞生物へ発達の道を持っていない生物でしょう。この生命生成の研究を深化させるためには、生命体の複製がRNAによる複製かDNAによる複製かという問題、非酸素系のエネルギー獲得機構を熱水噴出孔と化学合成菌が生み出す生物群集として想定するか、或いはもっと穏やかなロストシティーへの具体化を図るかというような諸問題へと具体化されねばならないでしょう。ここでの行論を越えて、諸条件(=非生物的諸条件)と事柄(=最初の生命体)の限定されたより鋭い対立関係に立った研究と討論が必要となるのではないのでしょうか。

この第一の局面について、私は一方的前提という語を使います。というのは、ここでは、各条件は、全て非生命的条件でありながら、その全体でもって生命を生み出すための前提になっており、生まれた生命は、非生物的なこれらの諸条件にのみ依存していることを明示したいためです。すなわち、生成した生命(事柄)は、これらの非生物的諸条件(諸条件)に一方的に前提されているのです。

図2では、時間的に先行する非生物的な諸条件が、左上のAからDです。ここでは機械的にわずか四つの条件があると図示していますが、それは阿部氏が挙げているような具体的条件であるべきです。これらの諸条件から生まれる事態が各条件から矢印で繋がれた右側の事柄Iです。これが第一の局面です。

これに対して第二の局面は、既に成立した生命が複雑化する局面です。この場合は、(1)第一の局面で生成していた生命が前提され、自ら新しい過程の一条件となっています。図2で言うと、最初に誕生した生命=事柄Iも自ら一条件となり、その下に記された別の生物的条件EからG、そしてその下にある非生物的環境もまた諸条件となり、新しい事柄IIとその活動を生み出すという運動を構成しています。(2)自ら一条件である事柄Iは、この図では、その外部にある生物的条件EからGと結びつくとはしましたが、これは例えば、シアノバクテリアや α -プロテオバクテリアでしょうか。それらとの細胞内共生によって、例えば真核生物=事柄IIへと複雑化すると私は想定しています。

したがって、第一の局面と峻別されねばならないことは、(a)第一の局面で誕生した生命体は最も単純な生命体であり、この第二の局面では、それが外部の生物的・非生物的な諸条件と組み合わせられて複雑化を遂げるのであり、(b)この生命体の外部にある諸条件では、第一の局面とは異なって、(ア)光合成によって酸素を生産し、大気の構成を生命活動によって改造するシアノバクテリアや、この酸素を活用してそれまでにないエネルギー獲得を可能にする条件としてのバクテリアの存在などの生物的条件が付加されています。これに対して、(イ)図の左上にあった非生物的な条件は、大きな矢印に沿って位置を変え、下側に示されています。下側の非生物的な諸条件は、既に生物的活動との相互作用に入っており、第一の局面のような生命に対する一方的前提の地位を喪失して、生命活動によって改造された非生物的な諸条件になっていると言えます。

この第二の局面では、先に非生物的な諸条件から生み出された生命は、既に非生物的な諸条件に反作用を開始し、非生物的な諸条件自体が、生命活動を通じた変容を受けています。すなわち、生命は非生物的な諸条件との関係を、第一局面での非生物的な諸条件による最初の生命に対する一方的前提関係から、相互作用の関係に、すなわち共進化の関係に変化させています。

この第二の局面もまた、私は図式主義的に描きました。実際には、第二局面は、(1)或る種のシアノバクテリアとの細胞内共生に基づく光合成と独立栄養の成立であったり、(2) α -プロテ

オバクテリアなどとの細胞内共生による酸素呼吸によるエネルギー獲得の高効率な段階への前進や、(3)真核生物の生成と細胞の巨大化および細胞内小器官の多様化、(4)多細胞生物への進化、(5)アバロン爆発やカンブリア爆発のような種の急激な多様化、(6)生命の上陸などが考えられ、実際には多様な諸段階に区別されるべきで、図2の図式が幾重にも繰り返される諸階梯になると考えます。また、(7)プレート運動に支えられた炭素循環も、生命系の進化との長い相互作用と考えた場合には、第二の局面に整理するのが良いかも知れないと思います。そして、その一つひとつの事柄と諸条件を限定されたより鋭い対立関係に立った研究と討論が可能になると思います。しかし、私にはこれを適切に具体化して記述する見識がありません。乱暴な議論になっているとすると、お詫びしつつも、論理的で方法論的な議論が高まることを期待します。

ここでは論理学と科学方法論の立場から、私にとって精一杯の考察を示しましたが、それは、諸条件と事柄を絶えず論理的な相関に置いて考察する立場に立つことで、阿部氏や氏につながる研究者が、もっと鋭利に問題を設定し、学際的な共同的討論を生産的に進められるのではないかとの思いからです。

また、このテーマを検討される研究者に対して、条件と事柄を対にして議論することはおそらく有効であると推測しますが、ヘーゲルのように更に活動を付加していることについての意義があるか、この分野の研究者の考えを伺いたいところです。

そしてこの観点に立つ時、阿部氏が挙げられたおよそ8つの条件は、一方的前提関係にある第一の局面と、相互前提の関係・共進化の関係になる第二の局面の二つの次元から再編成する価値があると私は考えます。

例えば、(1)氏は生命の星の条件に酸素を挙げています。上掲の第一・第二の局面を当てはめると、これは明らかに第二の局面に属する条件と言えます。しかし、同時に、酸素の惑星大気中での存在は、更にオゾン層の形成を生みます。これは、更に後の段階で、進化した生物が深海から、有害な紫外線が降り注ぐ海洋の浅瀬、更には陸上への進出を可能にするという、第二局面のもう一つの段階を表しています。一つの条件は複数の効果を持ち、これに応じて、第二局面を単一の局面と捉えることは間違いであることが分かります。

これに対して、(2)水の存在、プレートテクトニクスと炭素循環（第二の局面の可能性を示唆した前言とは矛盾するが）、大陸の存在、水等の揮発性物質の惑星形成過程における獲得、惑星の大きさ、惑星の公転軌道と自転軸傾斜、恒星の大きさは、第一の局面に属する条件であると浅学の私には見えます。

また改めて整理しなおすと、(3)生命の星の一つの条件は、同時に複数の効果を持っていることが分かります。例えば、阿部氏は、恒星の大きさを挙げています。この条件は、(a)当該の恒星が直接に惑星に与える単位時間当たりの恒星放射のエネルギー量（光量と温度）を規定するだけでなく、氏が指摘されるように、(b)当該の恒星が太陽質量の40倍などと大きいほど赤色巨星を経て超新星爆発に至るまでの恒星の寿命が短く、生命の進化を保証するだけの時間が与えられないこととなります。(a)の前者は、その他の諸条件と結びついて、第一局面としての条件をなすと同時に、後者の(b)の側面から見た時、長期に渡る生物進化の過程を保証するという第二局面ともかかわります。酸素の存在も、呼吸とオゾン層による浅瀬や陸上の生命の保護という複数の段階的效果を持っています。

阿部氏の研究から読み取れる**第四の特徴**は、(1)ヘーゲルの言うように、諸条件は完全にバラ

バラに枚挙できるとは限らず、また、(2)ヘーゲルの言うように、各条件は常に事柄の材料として事柄の中に入って行くとは限らないことが見い出されます。

すなわち、(1)ヘーゲルの場合では、第一章で見たように、条件は「独立的なもの」であり「事柄と無関係に存在する偶然的な、外的な事情」でした。しかし、阿部氏は非常に興味深い発言をされています。すなわち「『キーとなるいくつかの条件さえ整えば、地球とまったく同じではないが、生命の存在に適した環境が生じる。その環境が十分に長く保たれていれば、生命が発生し、環境に適応した、生命の進化が起こりうる』というのが、私の考えです。」⁴⁰⁾ (傍点筆者)と云われます。これはここまで私が論じてきたような機械的に諸条件から事柄を導く議論とは少し違います。すなわち、仮に8つある諸条件の内、5つが結び合って生命が発生することがありえて、その結びついた小規模な事柄が、不足する環境に適合して進化したり、適切な環境を求めて移動したり、自らの活動を通じて不足する条件を生み出したりしえると主張されているのではないのでしょうか。これは諸条件の段階での条件間の連関の問題なのか、また、活動のレベルの問題であるのか、私は解答を持ち合わせていません。

また、(2)水、炭素循環による脱ガスを通じた二酸化炭素の排出や炭酸塩の生成による二酸化炭素の固定、大陸の存在とカルシウムや燐などの供給、酸素、惑星形成期における揮発性物質の獲得、恒星の質量と惑星までの距離などは、エネルギーと物質代謝の諸条件として、ヘーゲルの言うように生み出される事柄の材料として「入っていく」と言えますが、惑星の公転軌道と自転軸傾斜は、あたかも生命の星の「触媒」のように自らは材料にならず、変化しないままで条件であることが確認できます。これはおそらく先に宇宙生命論が条件というもののイメージを非常に拡張したと指摘したことと深い関係があると言えそうです。

次は、これまでと少し異なる論点になりますが、阿部氏の条件研究と実在的可能性との一致点として挙げる**第五の特徴**です。すなわち、事柄を生み出すのに必要な諸条件の内の一つが違うものになる場合です。この場合、第一に考えられるのは、当該の条件が違ふものに代替してしまったことによって、新しい事柄が生まれなかったという場合です。しかし、第二に考えられるのは、一条件が異なる性質になるものに代替しても、やや異なった新しい事柄が生まれる場合があるということも考えられます。阿部氏は、この第五の特徴に近接して次のように指摘します。「私は、生命の基礎になっている化学反応が、普通の物理化学の法則にしたがう以上、条件を整えば生命が誕生するということは認めてよいように思います。しかし、前にも述べたように、その生命が現在の地球の生命とそっくり同じに進化するとはいえないでしょう。」⁴¹⁾。当該の惑星における諸条件が全て同じということは考えにくく、また、生命の星が生まれる場合を考察しているため、阿部氏は異なった進化を遂げると想定されています。

経済現象で事例を挙げると、好景気を越えて、一国経済が景気の過熱と過剰蓄積の局面に入った場合に、通常の諸条件を放置すれば恐慌現象が起こるが、この時に、政府が有効需要政策と取り、中央銀行が金融機関に救済融資を行うと、発現する事柄が、つまり恐慌がなだらかな不況に形態転換します。もちろん、これによって問題が解消するのではなくて、過剰な設備や不良債権が温存され、その処理が長引き、むしろ不況を長期化させることにつながることもなるのですが。

このように阿部氏の生命の星の条件研究に学ぶと、実在的可能性は現代科学でも有効な一つの論理のカテゴリーであり、方法は、協働の方法としても活用することができそうです。

結論 - 現代科学と実在的可能性の問題群の社会科学から見た教訓

では、次に上掲の宇宙生命論の研究から、人文社会科学が学ぶことのできる点はどのようなものかについて簡潔にまとめます。

第一に、自然科学も、社会科学と同様に歴史的に一回限りのことも科学の課題にしていることが確認できます。「生命の起源について今日考察することは全くばかげたことです。それが許されるならば、物質の起源について考えることもゆるされる事でしょう」とダーウィンがJ・フッカー卿に宛てた手紙で述べたのは1887年のことでした。この手紙を引用して「生命の物理学的基礎」と題して生命の起源に関する講演をJ.D.バナルが行ったのは1947年のことでした。当時は、ハックスレー、オパーリン、シュレーディンガー、バナルなどが物理や分子遺伝学からのアプローチを切り開きました。そして今日は、この生命発生が他の惑星や衛星であり得ることとして科学の対象になりつつあるのです。歴史的に一回限りの事象も、科学的法則的に把握できるという点が、生命の起源、系外惑星での生命の発生、ピックバンの研究などによって示されています。

第二に、社会科学では、歴史的・地域的に固有の事態は、例えばMax Weberのように歴史的個性の問題として取り扱われたり、その分析方法に理念型というアプローチがありました。各国に固有の特殊性を一旦歴史的個性として確り把握したり、それを理念型で理解したりすることは、事実を正しく把握する上で必要なことです。しかし、同時に言わねばならないことは、それは最終の段階ではないということです。どんな歴史的個性も、分析の方法で解きほぐせば必ず普遍的な諸要素・諸契機に分解できるのではないのでしょうか。私が経済学・社会科学を学び始めた1970年代は、先進資本主義諸国の各国毎の特殊性が強調されていました。しかし、資本主義は国境を越え、レッドオーシャンとも言うべき時代を迎えています。世界資本主義における先進諸国の産業革命の「型」を問題にした時代とは比較できないくらい、現代の中国経済やその製造業は、グローバルな生産・投資・物流の中に組み込まれています。私たちの社会科学の分析に各国の特殊性に対する分析の不徹底がないのでしょうか。これは社会科学の領域と自然諸科学の諸領域の境界を破る研究が進むこととも関係して、21世紀の社会科学の在り方が問われる時代になるでしょう。

第三に、実在的可能性について述べます。(1)諸条件を分析する際に、(a)各条件を等価値に扱うか、(b)主要なものと次要なものの区別することが有効かという点をもっと立ち入って研究する必要があります。また、プレート運動は水の惑星であることとも深く関わり、炭素循環とも、生物制限元素の循環にも関わっていました。そこで、(c)諸条件を、ヘーゲルのように、それぞれ別の事情によって措定された互いに疎遠なものとするか、(d)一定の包含関係と見るかという問題もあり、この点も更に研究する必要があります。また、(2)諸条件から生み出された事柄と活動は、内包的に新しい現象を生み出す場合もあれば、周辺の諸条件を巻き込み外延的にも展開する場合があります。更に、(3)諸条件が事柄に比較的単純に結実する場合と、諸条件が事柄に転じる際に、それを仲介する別の現存在の活動が非常に重要な場合とがあり、これを区別する必要があります。

第四に、本稿ではイギリスの産業革命を取り挙げました。これに対して、近年、産業革命の用語を捨て、工業化という概念で経済発展を迫る試みがありました。しかし、工業化という概念は、二つの点で重大な問題があります。(1)工業化は、資本主義のその後の歴史の中で、何時の時代にも使える抽象的普遍の概念にならざるをえません。そのため、各時代の工業化の特徴

を抽出することができず、各時代の特殊性を、この普遍的な工業化に対して付加・統合するような把握になり、各時代の生き生きとした把握のむしろ障害になります。また、(2)最初の工業化としてのイギリス産業革命は、これを用意した諸条件は、先に述べたように、非資本主義的条件か半資本主義的条件でした。それらが一方的前提となって、封建経済から自立した資本主義が出現しました。この意味で、イギリス産業革命や、これに続くフランスやドイツ、アメリカや日本という先進諸国の産業革命は、(1)非資本主義的な諸条件が一方的前提となって、各国で資本主義が自立・確立する端初の歴史的過程です。それはその後の、(2)確立した資本主義経済としての技術革新と経済成長の時期という資本主義経済として循環とは異なる独自の意味を持ちます。この(1)を(2)と同一視するという点が、工業化論の謬見です。これは、第一次産業革命から第四次産業革命と序数を付して呼ぶ場合でも同一の謬見を表しています。

追悼：筆者がこの拙い論考を校了とし、阿部先生に送付させていただこうとした矢先に、先生の訃報に接しました。もう少し早く完成しておけばと残念でなりません。謹んで哀悼の意を表し、ご冥福を祈ります。

注釈

- 1) ヘーゲル『小論理学 下巻』§142. 岩波文庫, 1952年, 松村一人訳, 81ページ。G.W.F.Hegel, *Werke 8, Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse*, §243, Suhrkamp Verlag, S.219(以下, Werke 8と略記する)。
- 2) 区別したものを絶えず忘れずに統一するという見地は、ヘーゲルでは各所に見出されます。事物を考察して、質と量に分けたら、次に、それらを統一しています。『小論理学』では「さしあたり家は大きくても小さくても家が変わりはない」(区別)と言いながら、次に、家が多量に小さかったら、また大きかったら家は家であることをやめるとして、或る質は一定の量の限界の中にあると言って、統一します。
- 3) ヘーゲル『小論理学 下巻』§143補遺, 85~86ページ。Werke 8, S.281-282
- 4) ヘーゲル『小論理学 下巻』§143補遺, 86ページ。Werke 8, S.283.
- 5) ヘーゲルはこれを次のように言っています。「現実の具体的な統一に対峙するものとして、抽象的で非本質的な本質性として定立されている自己内反省である。可能性は現実性にとって本質的なものであるが、しかし同時に単に可能性であるような仕方である。」『小論理学 下巻』§143, 84ページ。Werke 8, S.281
- 6) 『小論理学 下巻』§145補遺, 91ページ。Werke 8, S.286. この部分でヘーゲルは「自然の表面には、言わば偶然がほしきままにはびこっている。……学問および特に哲学に任務が、偶然の仮象のもとにかくされている必然を認識することにあるというのは、全く正しい。しかしこのことは、偶然的なものは主観的な表象にのみ属し、したがって真理に達するにはそれを全く排除しなければならない、というような意味に理解されてはならない。一面的にこのような方向のみを追う学問的努力は、空虚な遊戯であり、融通のきかぬベダゲンチズムであるという正当な非難をまぬかれることができないであろう」とも述べています。ヘーゲルは世に言われるような単純な有機体説ではないのです。
- 7) 本文のように機械的に二分せず、ヘーゲルは、私たちの認識過程が段階的に深化していく過程、論理的諸カテゴリーを次々高度なものへと検討していく過程を、先行する論理のカテゴリーが自己分裂し、また統一を回復するように描きます。この点は拙稿「現代社会科学と方法の問題(1)」で説明しました。ここで二分した点も、前者から後者へと概念が自己展開するかのようになっているのです。それが、ヘーゲルの難解さの原因です。前者から後者への移行を仲介している§146前後の記述が概念の自己展開の過程を担っています。
- 8) ヘーゲル『小論理学 下巻』§148, 100~102ページ。Werke 8, S.292-293.

- 9) 1833年版より古い1831年の論理学の講義録で、ヘーゲルは次のように論じています。この発言は事柄について、より明確に新しいものが生まれ出ることを強調しています。「[事柄は]諸条件の利用によって[外面的な]現存在を獲得します。— 世界の中ですべてのものが秩序づけられた状態が存在しても、突然なにかが現れて、状態の全体がくつがえされることがあります。しかしその状態は、自分のもとに火がつかなければ、そして別の事柄がすでに自分の中になければ、くつがえされることはありません。軽薄さの思い違いは、直接的な現在にだけ制限されていることです。諸条件からは事柄が出現します。」『G.W.F.ヘーゲル論理学講義 ベルリン大学1831年』牧野広義・上田浩・伊藤信也訳、文理閣、2010年、182ページ（以下、『1831年の論理学講義』と略記する）。Georg Wilhelm Friedrich Hegel, *Vorlesungen, Ausgewählte Nachschriften und Manuskripte Band 10 Vorlesungen über die Logik, Berlin 1831*, nachgeschrieben von Karl Hegel, Herausgegeben von Udo Rameil unter Mitarbeit von HansßChristian Lucas, Felix Meiner Verlag GmbH, Hamburg 2001, S.164. 本文も含めて、本書訳文からの引用にある [] は、原典の編者が付加した補足です。
- 10) 『小論理学』は、ハイデルベルクやベルリンでの聴講者への講義のための要綱として出版されたもので、ヘーゲルは口頭で多様な事象を取り挙げて説明しました。その一部が編集者の手によって「補遺(Zusatz)」として収録されています。
- 11) 前掲書、『1831年の論理学講義』、182ページ (*Vorlesungen über die Logik*, S.164-165)。
- 12) この文脈においては、活動というカテゴリーに、私はむしろシュンペーターの「企業者(Unternehmer)」を見出します。この点について簡単な文献では以下を参照。J.A.シュンペーター『企業家とは何か』東洋経済、1998年。
- 13) このような科学的精神と深い分析をしながらも他方で、ヘーゲルは、どんな新しい事物が生成しようとも、すべて世界の形成の端初からある概念(精神、理念、思想)が、つまるところは何の変化もない概念の自己展開に過ぎないの見るのです。すなわち、ヘーゲルは事物が一見「自分とは全く別な或るものへの萌芽をそのうちに含んでいる」と言いながら、他方で「かくして出現するこの新しい現実とは、それが消費する直接的な現実自身の内面である。したがってそこには全く別の姿を持った事物が生じるが、しかしそれは最初の現実の本質が定立されたものにすぎないのであるから、なんら別なものは生じないのである。自己を犠牲にし、減じさり、消耗される諸条件は、他の現実のうちでただ自分自身とのみ合一するのである。」(ヘーゲル『小論理学 下巻』 §146補遺、93ページ。Werke 8, S.287-288.) と言うのです。これは、本節で論じたヘーゲルの優れた部分を、概念の自己展開説というヘーゲルの体系上の要請が押しつぶしてしまった典型例です。
- 14) 私が、実在的可能性をイギリス産業革命を事例に検討するために、特に依存した文献は以下のものです。角山栄「イギリス産業革命」『岩波講座 世界史18 近代5 近代世界の展開II』岩波書店、1970年、151-190ページ。川北稔「工業社会の誕生」『世界歴史体系 イギリス史3 — 近現代 —』山川出版社、1991年、第一章、3-33ページ。長谷川貴彦『産業革命』(世界史リブレット116) 山川出版社、2012年、90ページ。
- 15) 1733年にジョン・ケイが飛び杼を開発し特許を取りました。これに次いで、1779年にサミュエル・クロンプトンがミュール紡績機を発明しました。これは工場制工業が前貸し問屋制の綿工業を駆逐し、輸入されるインド・キャリコに制覇する技術的基礎となったと言われています。そして、1825年には自動ミュールが生まれました。
- 16) 海部宣男・星元紀・丸山茂徳編『宇宙生命論』東京大学出版会、2015年。
- 17) 阿部豊『生命の星の条件を探る』文藝春秋、2015年。阿部氏の著書は、一般向けの概説書であり、各記述を支える典拠も示されていない入門書です。しかし、「地球型惑星の多様性の起源と生存可能惑星の形成条件」という学際的領域の研究者として、阿部氏は、本稿に述べた大状況を概括し、未来に向けた研究の方向性と共同の在り方を指し示そうとされています。それは、実証に裏付けられた記述もあれば、まだ実証されていないが大局的な見地から妥当なものを説明するような記述もあります。しかし、それは、シュレーディングターの講演録『生命とは何か』(1944年、講演は1943年ダ

プリン)のように、その後、多くの建設的な討論と若い研究者への強い示唆を与えると思われる、この書籍を取り上げることにしました。私は、当初、この著書を科学方法論・論理学の応用事例として紹介することを目論みました。しかし、氏の情熱に応え、論理学や科学方法論からも役立つことができるかも知れないと考え、氏の立論に対して問題提起も行うことにしました。経済学者である私が、浅学非才の身を顧みず筆を取ることも、偏に氏の著書の滾るような情熱に少しでも応えられたらとの思いからです。

- 18) 水惑星のための第一に重要な条件が水であるという阿部氏の主張におそらく誰も異論がないと思われます。水惑星の条件を阿部氏は具体的に三つ挙げています。一つには、当該惑星が H_2O ないし水素と酸素を取り込んで水にするという惑星形成過程に支持されていることで、二つには、そうして取り込まれた H_2O が、地中に保存されるのではなく、熱せられ重力に逆らって宇宙空間に散逸するのではなく、惑星表面に存在することです。三つには、その H_2O が、凍結するのではなく、水蒸気でもなく、液体の状態で存在することです。これらの指摘は、第一の条件である水の存在形態をより具体化して規定するためのものです。阿部、前掲書、32-33ページ。
- 19) 金谷義弘「現代社会科学と方法の問題 —『限界と制限』の弁証法と事物の発展—」『宮崎大学教育文化学部紀要 社会科学』第34号、2016年3月、1-23ページ。
- 20) 阿部豊「暴走温室効果」『天気』第37巻5号、1990年、65-66ページ。こうした状態の成立についての分析が進み、多数発見されてきた系外惑星の環境を推定する手法にも応用されるようになりました。石渡正樹「暴走温室状態」『天気』第61巻8号、2014年、pp.123-124。これらの一連の研究が明らかにしたことは、生命の星にとっての水の存在というものを、一方で、肯定的に捉えると同時に、他方では否定的にも見るというリアルで興味深い分析へと到達したことです。すなわち、水が存在は、(1)極性分子で分子量が小さいために多量に存在し、高温まで液体であることで、生命活動の良好な媒体であると同時に、(2)環境の変動を増幅するという否定的な面が指摘されています。すなわち、(a)惑星の気温が上昇すると、水が液体から水蒸気、すなわち二酸化炭素と同様の温暖化ガスに転換し、ますます気温上昇を加速するという「水蒸気フィードバック」を起こし、反対に、(b)気温が下がると、表面の水は氷や雪になり、太陽光に対する惑星表面の反射率を増大させ、ますます気温を低下させるという「アイスアルベドフィードバック」を引き起こすことが分かっています(阿部、前掲書、114-119ページ)。
- 21) 阿部、前掲書、35-41ページ。
- 22) ここでは、阿部氏はプレートテクトニクスの語を表題に使われています。しかし、確かに太陽系でプレートテクトニクスという地殻の運動形態を持っているのは地球だけであるとしても、生命の星を支える第二の条件としては「プレート運動に媒介された長期的な炭素循環システム」と、炭素循環に重点を置く方が適切であるように感じます。
- 23) 化学風化の対立概念は、乾湿風化・凍結破碎・圧力変化・水流・砂塵・塩分碎屑などの物理風化であり、太陽風・宇宙線・微小隕石などによる宇宙風化です。これは物理風化に近いものです。
- 24) 阿部豊、前掲書、81ページ。
- 25) 阿部、前掲書、96ページ。
- 26) 阿部、前掲書、99-103ページ。
- 27) ここでは古典的な太陽系形成理論について説明しておきます。137億年前にビッグバンによって宇宙が発生し、46億年前には太陽系が発生しました。その過程は、まず1/1000mmの塵が星間分子雲を構成しました。これはその後の固体惑星の材料となるもので、太陽と地球の間の距離、約1億5000kmを基準に1天文単位と言うが、その大きさは1000万天文単位と巨大です。人間が触れる地球の大気では1cm³で水素分子が 25×10^{18} 個あるのに対して、分子雲では50個ある程度の極めて希薄な状態であるが、100万年という単位で互いの引力で収縮を始め、中心密度が上昇して、その中に太陽の元になる原始星が生まれます。周辺のガス、鉱物、有機物、氷などの塵も、原始星に向かって落下し、回転することで円盤状になり、回転の遠心力と原始星の重力とが釣り合って100天文単位くらいの原

- 始惑星系円盤が形成されます。ガスと塵が減少しつつTタウリ型星を経て、このコアは水素の核融合反応を伴って自ら発熱する主系列星になります。他方で、円盤の中では、1~10kmの微惑星が生まれる。太陽系の近くでは、水蒸気が凝結せず、岩石・酸化物・金属鉄などを中心とする微惑星になり、周辺では水蒸気が凝結して氷の塵が大部分を占める微惑星になります。両者の境界をスノーラインと呼び、これが太陽から1.5237天文単位の火星と5.20天文単位の木星の間、2.7天文単位の位置にあるとされます。これら微惑星は、10億個ほど形成されたと考えられています。微惑星は、軌道を中心に勢力圏を持ち、衝突・弾き出し・合体を繰り返して成長し、原始惑星になりました。太陽系の内側では、衝突・合体が10万年から100万年続いたと考えられ、火星のサイズくらいの地球型惑星が10個ないし20個くらい原始惑星として形成されたのです。太陽系の外側では、水が氷となり個体物質が多数存在し、太陽の重力で引きちぎられることも少なく成長し、地球の10倍くらいの質料を持つと、周辺の水素・ヘリウムなどを引きつけて巨大ガスボール（木星型惑星）になったが、天王星や海王星では円盤ガスを奪われ巨大化できなかった。原始惑星の成長に伴って、原始惑星円盤の中にあつた水素やヘリウムなどのガスが消滅し、巨大化した木星型惑星の作用もあつて、軌道が乱されるようになりました。数百万年から1000万年に一度の頻度で、原始惑星同士の巨大衝突が起り、これによって原始惑星は再度成長を始めて大型化しました。この衝突の一連の過程をジャイアントインパクトと呼びます。これが古典的な太陽系形成理論です。
- 28) 太陽の近くでは水蒸気が凝結せず、岩石や酸化物、金属鉄が主体の微惑星となり、周辺では水蒸気が凝結するので氷が塵の大部分を占める。その境界をスノーラインと呼び、標準的な理論では太陽から2.7天文単位と言われる。中心部分では岩石質で、外側の微惑星は質量の約70%が氷だとされています。
- 29) 阿部氏は次のように述べている。「一つの根源的問題は、我々が地球の生命という、一つの生命しか知らないことです。これから『一般的な生命』を推測するしかありません。」(阿部, 前掲書, 214ページ)。
- 30) 阿部氏は、同時に金星のように、地球の0.815倍の質量で100倍近い大気圧の二酸化炭素を中心とした大気を持っている場合もあり、慎重に、大気を保てる閾値を超えた場合には、惑星の大気量と質量の関係は単純ではないと述べています。阿部, 前掲書, 164ページ。
- 31) 惑星軌道は、惑星相互の重力の影響を捨象すると、双曲線を描くと想定できます。
- 32) 質量比で見ると太陽の73.1%が水素、24.8%がヘリウム、炭素・酸素・鉄などの重元素が残りの1.34%をなします。「宇宙の元素組成」(国立天文台編『理科年表 平成29年/第90冊』丸善出版, 2016年11月, 141-142ページ)。
- 33) 更科功氏は「宇宙→ヒト」の進展について次のように述べます。「この奇跡的な宇宙についても、必然と偶然の両方の説明が可能である。しかし科学の立場では、偶然の方を採用するのが普通だろう。もしも必然の方を採用すると、創造主のような、科学では扱えない存在を仮定しなければならないからだ。私たちの宇宙が奇跡的にうまくできているのはなぜかという・・・それはたまたまなのだ。」(『宇宙からいかにヒトは生まれたか—偶然と必然の138億年—』新潮選書, 2016年, 19ページ)。
- 34) オパーリン『生命の起源』岩崎学術出版社, 改訂版, 1977年。J.D.バナル『生命の起源—その物理学的基礎—』岩波新書, 1952年。
- 35) 阿部, 前掲書, 8ページ。
- 36) 阿部, 前掲書, 23-30ページ。
- 37) 阿部, 前掲書, 107ページ。
- 38) 阿部, 前掲書, 213ページ。
- 39) 地球の生命で生命の特徴を規定すると、(1)外界と生命体を区別する仕切りであり、細胞膜や上皮細胞による境界、(2)物質やエネルギーを外界とやりとりして、境界内部の状態を一定に保つ代謝と恒常性であり、その動的平衡、(3)そうした生命のシステムを再生産する複製です。
- 40) 阿部, 前掲書, 215ページ。傍点は筆者。
- 41) 阿部, 前掲書, 212ページ。