

地球環境解明への地球史からのアプローチ — 要素還元主義的方法論の提案 —

小 出 良 幸

要 約

現在の地球環境は、過去の環境変化の集積によってできている。現在を知るには、過去を知らなければならない。過去は、未来への道筋をも示してくれはらずである。本論文では、複雑な地球環境を解明するために、還元主義的手法を提案した。重要な視座（要素）として、階層、相、相互作用、時間がある。時代ごとで環境にかかわる変化をキーワードとして集め、4つの視座で整理していく方法と視覚化を提案した。キーワードを基にした相や層の相互作用の時間変化から、現在の地球環境成立の道筋が見えてくるはずである。

キーワード：還元主義的手法、階層、相、相互作用、時間、キーワード、視覚化

I はじめに：現在の地球環境は地球全史の集積

アメリカ合衆国元副大統領のアル・ゴア氏が2007年度のノーベル平和賞を受賞した。受賞理由は「人為的気候変動（地球温暖化）についての問題点を広く知らしめ、気候変動防止に必要な措置への基盤を築くために努力した」ことに対してであった。彼の著書「不都合な真実」（Gore, 2006）と、製作に携わった同名の映画が、受賞において重要な役割を果たした。世論は、地球環境問題（特に地球温暖化問題）が既知のそして既成事実と、とらえている。地球環境問題が話題になって以来、多くの研究が公表されている（例えば内嶋, 2005；山本, 2006）。また京都議定書によっても国際的な取り組みもなされている（Oberthur and Ott 1999）。

しかし、今なお、地球環境問題の原因解明や、現象の認定においてすらも、その真偽が議論されているという事実もある（伊藤, 2003；Lomborg, 1998；薬師院, 2002；矢沢, 2007）。少数派かもしれないが、メディアを通じてこのような情報が流れているのは現実である。なぜ、このように未だに反論をする科学者たちがいるのであろうか。それは、地球環境が、非常に複雑な振る舞いをしているため、我々人類は地球環境を完全に理解できていないからではないだろうか。

現在の地球は、地球が誕生以来の変化を積分的に重ねた結果として存在しているはずである。したがって、現在の地球環境を理解するには、過去の地球の歴史を理解しなければならない。

例えば、陸地を構成している大陸地殻は、さまざまな時代の地層や岩石が、いろいろな時代
に侵食・風化・変成・変質などを受けてきたものから構成されている。さらに、大陸は、現在
においてもプレートテクトニクスやプルームテクトニクスという地球内部に内在する原因に
よって変動を続けている。したがって、大陸の現状を理解するには、過去を理解しなければなら
ない。

大陸地殻の例でもわかるように、過去から現在までに起こった変化を総合的に解き明かして、
初めて現在の地球環境が理解できるはずである。そこには現在問題となっていることも、過去
の地球環境では経験していることもあるかもしれない。もしそうなら過去にこそ、我々人類の
未来に向けての対策のヒントがあるかもしれない。「現在」を解く鍵は「過去」にある。

地球環境とは、現在の地球の総体を意味している。ただし、ここでいう地球環境とは、「地
球環境問題」で使われるような、人間への影響に焦点を当てた内容に限定されたものではなく、
地球を取り巻くすべて、あるいは地球を構成するものに影響を与えるありとあらゆるものを意
味している。したがって、「地球環境問題」のような狭義ではなく、ここでいう地球環境とはもっ
と広義で用いることにする。

現在の地球の総体を意味する地球環境は、「多様」の一言に尽きるであろう。地球環境の多
様さは、さまざまな構成物が、さまざまな様相を呈し、さまざまな関係を持ち、お互いに影響
を与えあっているために生じている。

一つの事物に着目しても、その事物の起源、事物がその時々にな置かれている条件、事物の変
化（外的にも内的にも）、変化が周りに与えた影響のフィードバックなどによって、事物は変
化しうる。これらの変化が連鎖しあって、局所の環境となる。それら局所が有機的に連携しな
がら、地球の総体としての現在の地球環境ができあがる。

一つの事物に関係する複雑さがある上に、さらに多様な事物が存在するのであるから、変化
する関係を解き明かす困難さは想像がつく。その困難さには、定量化することや、関数化する
ことができないものを含んでいることは明らかである。関数化できたとしても、複雑系であつ
たり偏微分方程式でしか表わせないものもあつたり、解析的には解けないものも多い。つまり、
地球環境の複雑な関係を解き明かすための完全なる手法を、人類は有していないことになる。

現在の地球環境はあまりに多様で複雑であるために、現実的にはすべてのメカニズムを解析
的に解き明かすことが困難である。現在の地球環境つまり現状認識においてすら、このような
実状があるのに、過去から現在までの地球史の中で地球環境を解き明かすことは、まだまだ見
通しの立てようのない難題といわざるをえない。

だが、答えを出すことが非常に困難な問題であっても、解明への道筋を探ることは可能かも
しれない。その方法として、要素還元主義的なものが考えられる。要素還元主義に基づいた考
えでは、どのような複雑なものであっても、いくつかの重要な要素を抽象や捨象し、要素が相
互にどのような規則性や法則を持って関わっているかという連関を還元的に明らかにすれば、

全貌解明までに至らなくとも、概要を捉えることは可能かもしれない。さらにいえば、そのような要素や連関が確定できなくても、地球環境におけるキーになりそうな事象を可能な限り抽出し、それらを整理することで、素過程というべきものを解明する第一歩となるはずである。

地球環境についての要素還元主義的手法を、地球史の過去から現在までおこなっていけば、時間の流れの中で環境を左右する基本的な過程を洗い出すことができるであろう。まずは、地球全史を通じた環境への素過程というべき要素を見出すことが手がかりとなるはずである。本論文では、そのような環境要素を解明するための方法論を考察していく。

II 地球環境への視座

地球を要素還元主義的にみていくとして、どのような要素に区分していくかは、何らかの視座を持ってなされるべきである。本論文では、階層、相、相互作用、時代という視座に立って要素を選択していくプロセスを考えていく。以下にそれぞれの視座について見ていく。

1 階 層

多様な構成物の複雑な関係を解き明かそうとするとき、まず大局的に構成物を階層化していく要素還元的視点が有効である (小出, 1997)。その方法を全地球の物質に適用すると、物質のサイズに基づく階層化を行うとわかりやすくなる (図1)。なぜなら、物質はサイズによって、その属性や作用の範囲、役割などが変わってくるからである。

地球を見る視点として、どのような階層分けをすればいいのか。まずは、地球が存在している場として、地球を含む階層を考えていく。それは地球を取り囲む環境 (広義の「地球の環境」)、あるいは地球が存在する「場」というべきものである (小出, 1994 ; 1995)。

地球を含む最大の階層として「宇宙」がある。地球のことを考えるのに宇宙は広すぎて関係がないようにみえるが、地球も宇宙の一部である。宇宙の中に地球は存在する。宇宙より大きいものはないのであるから、階層の上限と位置づけられる。宇宙は、多数の銀河によって織りなされる泡状構造をもっていることがわかっている (小出, 1997)。宇宙の構成要素である銀河は、各種天体と各種の星間物質によって構成される。我々の銀河を構成する多数の恒星の一つとして、我々の太陽がある。太陽を母星とした太陽系がある。太陽系の第3惑星として地球がある。ここまでの階層、つまり宇宙、銀河、恒星、太陽系の階層までが、地球を取り巻く環境といえる。地球と同じ階層には、太陽系の他の惑星や衛星が属していることになる。同じ階層に属するものは、何らかの共通点を持っているはずである。地球上に、もはや残されていない時代の記録でも、他の同階層の構成要素 (他の惑星) にその時代の痕跡があれば、証拠として利用できるものもある (小出・山下, 1996a : 1996b)。

階層化の次の段階として、地球自体を要素還元的に見ることである。地球を構成する物質を

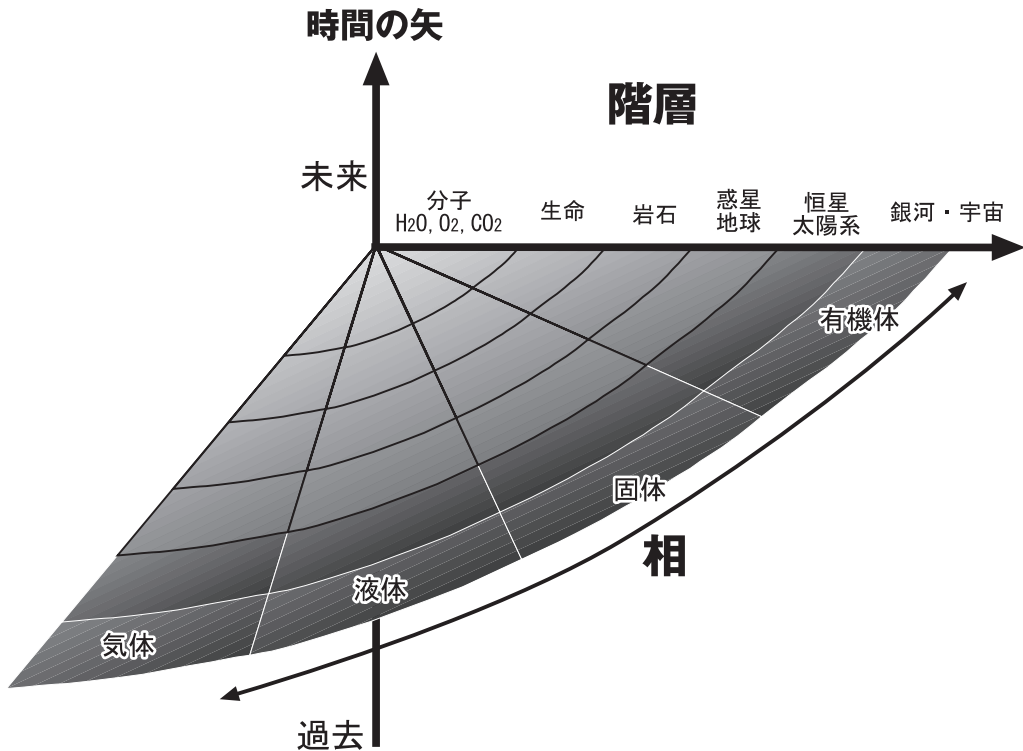


図1 相と階層による地球史の視座

階層の軸として小さいものから大きいものへと並べ、層の軸として、気体、液体、固体、有機体がある。それら2つの軸によって構成される面に、各区分に基づいたマス目ができる。そのマス目にキーワードが入ることになる。また、一方向に伸びる軸である時間の矢がある。キーワードを手がかりに、階層や相の相互作用を解明し、それらの相互作用の変化を時間軸で捉え、進化を考える。

みていくと、地球は、大気、海洋、生命、固体の階層からなることがわかる（小出ほか、1997）。

生命は、多様であるが、階層としては一つのもののみなせる（小出、1999a；1999b）。大気と海洋もさらに細分できるが、ここでは一つの階層としてみなす。

固体が地球の多くの部分を占めている。そして多様である。地球は、層状の構造を持ち、外側から地殻（大陸、海洋）、マントル、核となっている。固体は、岩石と金属鉄からできている。地殻とマントルは岩石から構成され、核は金属鉄を主成分とする。

大気、海洋、生命、固体は、すべて分子や元素からできている。元素は90種ほどであるが、分子は多様である。そして、検討するときには、地球の個性を生み出している分子に着目していくべきであろう。分子は多様であるが、地球の環境において重要な働きをしているのは、気体と液体、有機体の主成分である H_2O 、 O_2 、 CO_2 である。本稿では、これらの分子に着目していくことにする（小出、1997）。

原子のレベルより小さいものは素粒子になる。素粒子は最小の物質であるが、この階層までサイズが小さくなると、地球や環境に関わる特性が消えていくので、本稿では扱わないことにする。

以上のように宇宙から原子まで区分した各階層で、地球環境にかかわりのあるものを網羅的にとらえていくことにする。

2 相

階層という見方のほかに、もうひとつの物質の特徴として、「相 (phase)」というものがある。物質における相とは、気体、液体、固体の三態とよばれるものがある。しかし、最近では物質の三態 (3相) の中間的、あるいは漸移状態ともいうべき、分散系というものが注目されている。

分散系とは、ある相の物質が、他の相の中に均質に混在 (浮遊や懸濁という) している状態のものをいう。分散系では、分散しているナノメートルからマイクロメートルの粒子 (分散質, dispersoid) と、その媒質 (分散媒, disperse medium) の組み合わせによって、いろいろな物質が生じうる。そのような組み合わせによって、分散系は従来の3相が持っている以上にいろいろな特性が生みだされることがわかってきた。

生命体の基本である細胞は、有機物が水の中に溶け込んでいるゲルという分散系で、体液はエマルジョン (emulsion) ともいう分散系に分類できる。個々の生命体は多様な分散系より成っているが、ここでは生命を構成している分散系を「有機体」と総称する。有機体は、生命を考える上で欠くことのできない相となる。

以上のことから、地球史を解明するために、気体、液体、固体に有機体を加えた4相に着目した視座が必要となる。

最初に述べた階層に相という見方を組み合わせて、本論文では物質の特性を見ていくことにする。今まで物質には、大は宇宙や銀河から、小は原子や分子まで、多種多様なものがあつたのが、階層と相によって整理できることになる。

地球を中心とした階層で見ていくと、気体の相は地球の大気はその代表的なものとなる。液体の相は海洋に相当し、固体は、地殻 (大陸地殻と海洋地殻)、マントル、核の階層を持つが、物質としては岩石と金属鉄に総称できるものになる。金属鉄が均質な物質であるの対し、岩石は多種多様である。似ている岩石であっても、組成、成因、組織、構成鉱物、形成時代などさまざまな点で別のものとして区別できる属性の多様さを持っている。別のいい方をすると、ある岩石と同じものは、地球上のどこにもないとさえいえる。岩石の多様さには何らかの必然性があつたはずである。そのような必然性の中で、地球史にかかわりの深いものを考えていくことになる。

有機体も多様である。かつては、生物しか生産できないものが有機物の定義であつたが、現

在では人工的に多様な有機物を作ることができるようになったため、炭素原子を構造の基本骨格に持つ化合物の総称となっている。しかし、生物が有機物を基にしていることには変わりはない。

地球の階層で見ると、多様性を持つ相（固体、有機体）と単純な相（気体、液体）から構成されていることがわかってくる。

このように階層と相は、物質の構成や特性を知る上に、非常に重要な視座である。

3 相互作用

階層ごとに気体、液体、固体、有機体の相が存在する。地球の階層で示したように、相は単純な物質の場合もあるし、多様な物質のときもある。たとえ多様な物質であっても、物質を特定すれば、その性質についての情報を得ることは可能である。それは、我々がすでに多くの知識を蓄積し、調べる方法を確立しているためである。

現在の地球という階層で見ると、多様な固体（岩石）と有機体（生命）の相と、単純な固体（金属鉄）、液体（海洋）と気体（大気）の相がある。それぞれの相について専門的な学問分野がある。岩石や金属鉄については、岩石学や鉱物学があり、地殻やマントル、核については地球物理学がカバーしている。有機体については生物学や有機化学が、海洋は海洋学が、大気は気象学がある。それぞれの学問領域では、多様な物質の性質や特徴についても、知識がたくさん集積されている。

そのような情報に基づいて、四つの相が、お互いにどのような相互作用しているかを知れば、現状の地球の概要が解明できるはずである（図2）。しかし、相互作用を実証的に解明することは困難である。なぜなら、相互作用は両者の変化を伴う動的な振る舞いであるためと、解明する学問が超領域的になるためである。

相互作用とは、二つまたはそれ以上の物質が互いに影響を及ぼし合うことなので、一方が変化すれば、他方も変化していく。他方が変化すればそのフィードバックとして自分自身も再度変化する。そのような繰り返しが起これば、定常や平衡状態に達することもあるが、カオスのように不規則な変化が起こることもある。不規則な相互作用が解明されるには、単に物質の性質を知るだけでなく、より高次の規則や法則を理解しなければならない。

例えば、力学で扱う物質は、質量や大きさなどを測定すればよい。測定は、基準となるものを設定して、対象と基準と比べることによって定量的に調べることができる。物質間の相互作用（例えば引力）の存在を知るには、質の異なる測定を多数行った後に帰納的に法則性を導くか、ニュートンが行ったように物質の相互作用の規則性から演繹的に導いた予測を多数の測定によって検証していくことになる。同一階層の同じ相でもこのような困難さがあるのに、別の階層間あるいは別の相間の相互作用の解明は、さらに困難になることは明らかである。

それぞれの相を研究する学問分野は、細分化され、別の体系になっており、学界の活動も別々

地球の階層における相の相互作用

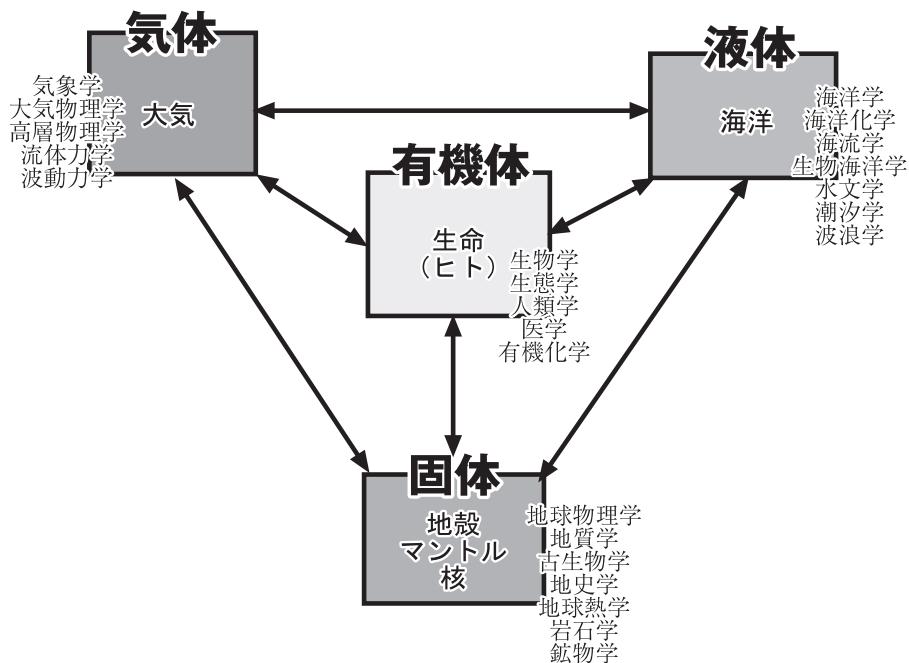


図2 相の相互作用

地球の階層における相の相互作用を示した。そして各相に関係する代表的な学問分野も示した。相の相互作用を解明するのに、学際的協力の必要性和、その困難さが見える。

に営まれている。そのため、相の相互作用を解明するには、超領域的な取り組みがなされなければならない。そのような超領域的連携の研究体制の試みは、近年いろいろなされている（文部科学省の超領域がその好例）。相間の相互作用を解明するには、より上の階層や下の階層との相の相互作用も解明が進まなければならない。階層が変わると学問体系も変わる。そしてますます細分化された研究分野で学際的共同研究がなければならないが、分野が離れれば離れるほど超領域的連携が困難になっていく。

ここまで見てきたように、階層ごとの相の相互作用が未解決であるということが、地球環境をより複雑にしている重大な原因であることがわかる。つまり、その階層ごとの相の相互作用の理解が、地球環境のメカニズム解明の目標とすべきであることが、以上の整理からわかってくる。本論文はその方法論を提示するものである。

4 時間

地球環境は、「現在」という時間だけで捉えることはできない。なぜなら、「現在」の地球環境は、地球誕生以来時間をかけて起こった変化や、その蓄積によって作り上げられてきた総

合的なものだからである。「現在」の地球環境は、どの時代にどのような変化が起こり、その変化の影響を当時の地球環境がどの程度蒙り、その影響がどのような形で残って後の時代に変化を与えているのかを知らなければ、解明できないはずである。過去の変化とは、急激な変化だけでなく、長期にわたる継続的な変化も含まれる。長期にわたる継続的な変化は、記録に残りにくい性質のものも多い。

そのような地球環境に関わる変化を、時間経過と共に解析することが重要である。地質学は、地球の歴史を過去の記録（地層や岩石、化石などが素材）から調べ、大きな異変による物質境界を時代の境界として、時間軸の階層化を行っている。それが地質時代区分（地質年代層序区分などとも呼ばれる）として体系化されている（図3）。

地質時代区分は、多くの記載データすべてを総合的に解釈するという壮大な作業によって構築されていく。地質時代区分は、10数年ごとに改定作業がなされているが、そのたびに膨大な文献（データ）が収集され、検討され、地質年代区分図が修正されていく（Harland, *et al.*, 1990；Gradstein, *et al.*, 2004）。

地球環境を時間軸でみたとき、すべての変化が必ずしも地質時代の境界で起こっているとは限らない。それは、過去の研究によって歴史的な経緯を踏まえながら地質年代区分がなされていくため、新しい研究の成果がそのまま区分図に反映されているわけではないからである。地質年代区分図とは、地質学的記載の集大成ともいうべきものであるが、それは完成したものではなく、現段階での合意にすぎない。時代や地域において研究の多寡があり、それぞれの時代区分が一様な精度をもっているわけではない。したがって、研究が進めばデータが増え、改定作業が必要になるのである。

地球環境を解明するには、その時代に地球環境へ影響を与えた重要な変化、つまり事件をピックアップしていかなければならない。地球史における重要事件の洗い出しは、すでにいくつも先行研究がある（例えば、熊沢ほか編, 2002；丸山・磯崎, 1998など）。そのような先行研究から重要事件をピックアップして整理すれば、どのような階層や相において、その変化が起こったかを読み取ることも可能となるはずである（図4）。

本論文では、時代を冥王代、太古代、原生代、顕生代に大別して、それぞれの相や階層を概観することにする。

Ⅲ 還元主義的方法論

要素還元主義的方法論の概要を示すために、キーワードの選択とその整理ための図式化の試案を提示する。

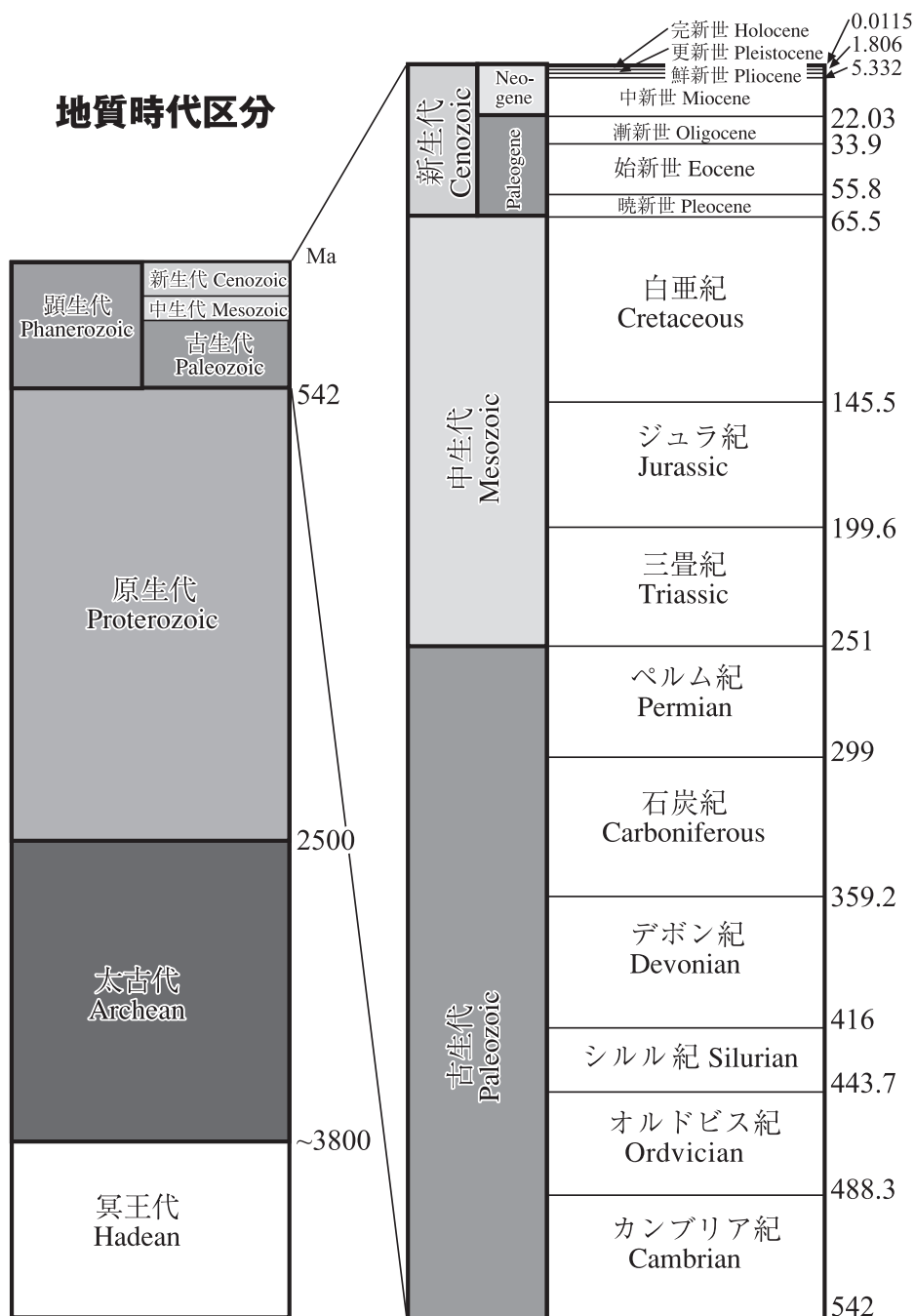


図3 地質時代区分

最新の地質時代区分 (Gradstein *et al.*, 2004) で、時代名称とその日本語を示した。新生代の Paleogene と Neogene は新しく提唱された区分なので、適切な日本語はまだ定められていない。図の左側は地球全史にあたり、右側は、顕生代だけを拡大したものである。時代の境界に示した数字は絶対年代 (単位100万年) である。

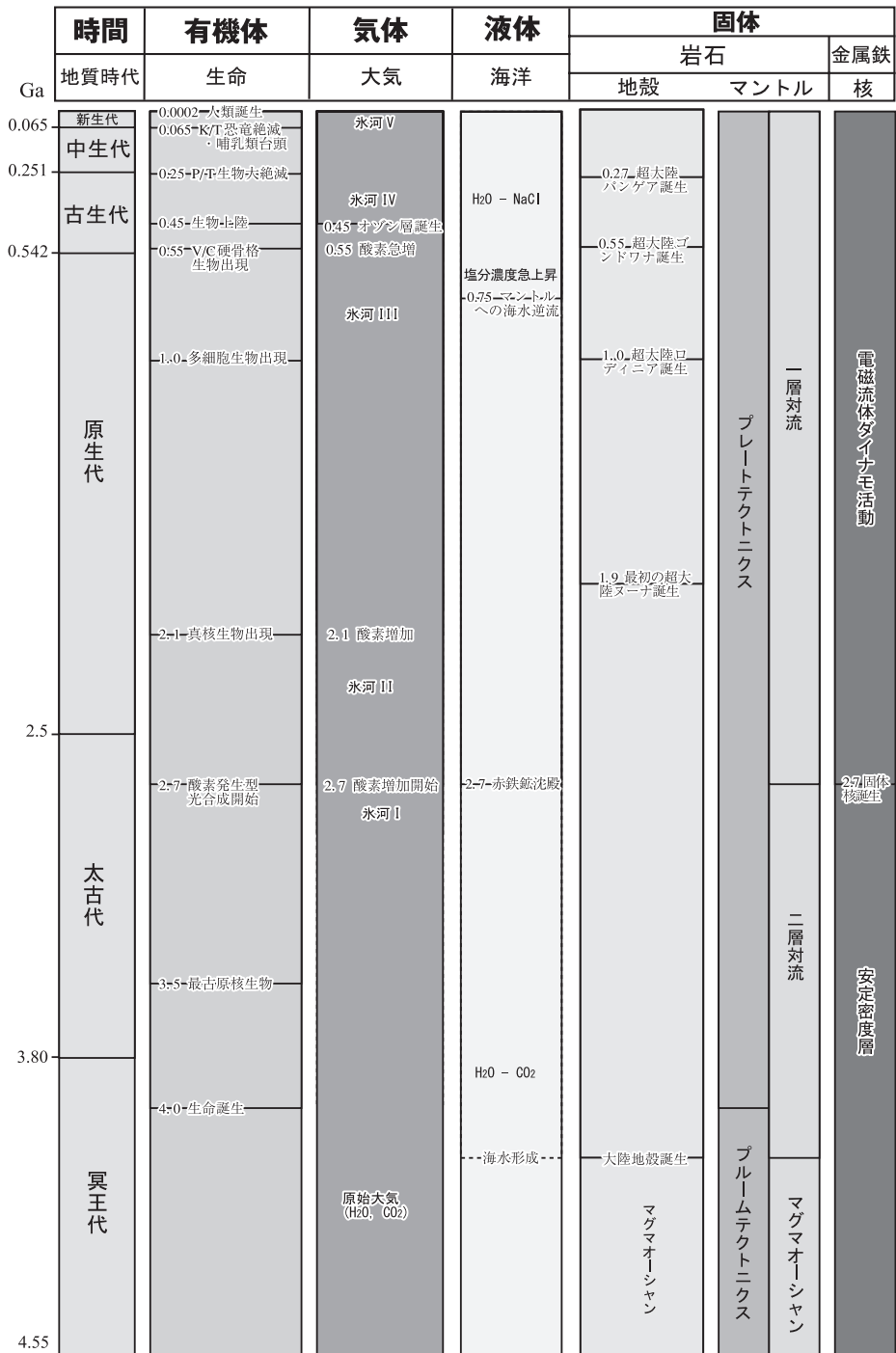


図4 地球史と主な事件

相と時代ごとに起こった主な事件をまとめたもの(丸山・磯崎, 1998)。Gaは10億年前という絶対年代の単位である。

1 解析手順

どのような研究においても、一般的な手順がある。研究分野や研究対象の違いによってその手順は変わってくる。地質学における研究手法は、ある地域を対象にして、あるテーマに沿って野外調査をし、収集した試料（岩石や化石）や計測値を室内で分析、解析をして基礎データを得、考察を進めていくことである（図5）。つまり、研究者自身の地質調査に基づく事実収集とその認識が研究のスタートとなる。地質調査に基づく事実収集や分析、解析過程には、技術の進歩は不可欠となる。

地質調査の目的は、その地域の地質履歴を解明することである。考察の過程で、自分たちの調査地域だけで得られたデータだけでは、不十分なことがある。時代変遷や地域差を比較検討するために、別時代や他地域のデータを先行研究からレビューして比較対照していく必要がある。その結果、ある時代のある地域の地質履歴そして地質環境が明らかにされる。

地域地質が明らかにした地質学的成果の中には、地球全体の環境あるいは地球史に関わる重要なものもあり、その時代の地球環境に関わる重大事件の実態解明も可能となる。地質学の多くの研究は、最終的にはそのような目的へとつながる。

もうひとつの重要な研究手法として、地域や時代を越えて、多数の論文のレビューをするものがある。関係する重要な現象、事件、成分、活動などの研究データを網羅的に収集して、目的の地域や時代の特徴を解明する方法がある。これは、地域地質でおこなう先行研究との比較対照をより拡大していくものである。この方法を地球全体、地球全史に拡大することが、今回のような取り組みにおいて非常に重要となる。

ある時代の特徴を、いくつかのキーワードとして抽出していけば、他の時代の特徴と比較しやすい。そのために、抽出されたキーワードを、階層と相によって整理すると効率的である。その整理を基に、相互作用として解析していくことが、その時代の地球環境を構成していくことになる。時代ごとの地球環境が、キーワードに基づいて相互作用の進化として整理されていけば、それが地球環境の進化となっていくであろう。

このような地球全史の解析ともいうべき作業は、野外調査の経験を経た地質学者が、今まで得られた多数のデータ、そして現在得られつつあるデータを集大成していくことになる。このような積み重ねが地球全史解読となり、その先に地球環境の真の解明があるといえる。しかし、これは特別な研究手法でなく、地質学者なら誰もがやっている正攻法ともいうべきものである。

2 キーワードによる相互作用の進化の解明法

本論文で提案する方法は、はじめに、いろいろな時代を特徴づけ、地球環境に関わると考えられる現象、事件、成分、活動などをキーワードとして、大量に抽出していく。次に、それらのキーワードを階層と相によって分類していく。最終的に、階層ごとに相の相互作用を探って

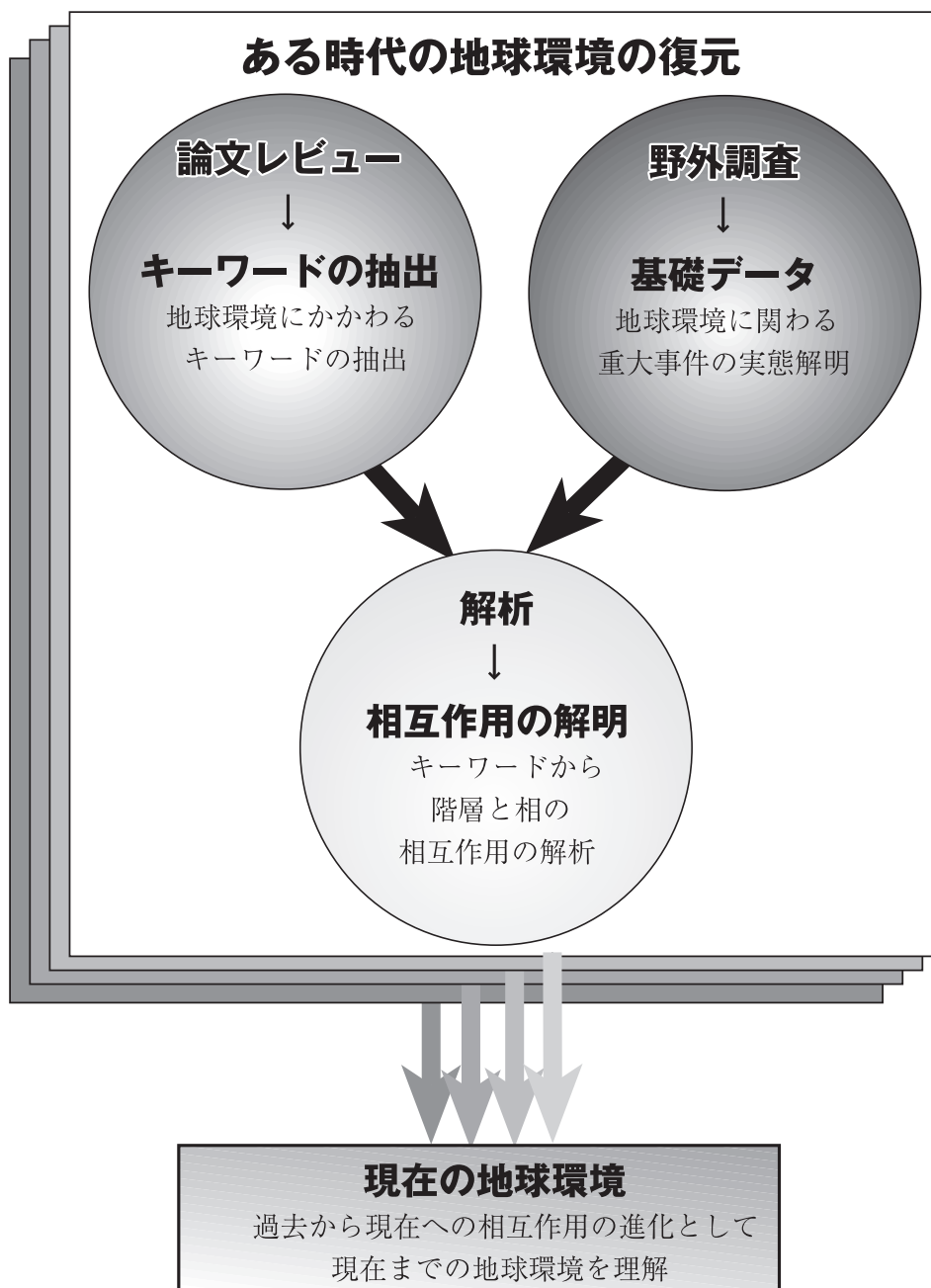


図5 研究手順

地質学の研究手法である、論文レビュー、野外調査、解析という一般的な研究手法がある時代の地球環境を復元するためにも使える。論文レビューからキーワードを抽出、野外調査によって基礎データを集め、階層と相における相互作用の解析から、その時代の地球環境が復元できる。それらの作業を地球のすべての時代でおこなっていけば、過去から現在まで相互作用の進化として、現在の地球環境が理解できる。

いくことである。これは遠大な目標ですぐには答えの得られないものである。しかし、ここで示したような還元的な方法で整理すれば、ある時代の相互作用を解明するために、どのような階層や相のどのキーワードに関する情報が足りないかを系統的に知ることができる。それらの補填が地球全史、最終的には現在の地球環境の解明へとつながると考えられる。

試行的にキーワードを抽出していくと、キーワードには時代区分をできないものがあることがわかる。時代区分できないキーワードで表される現象、事件、成分、活動は、地球史を通じて、いつの時代でも作用しているような定常的な営みといえるものがある。これらは、地球環境に普遍的に作用する役割を持っているものが含まれている。ここではそれらを普遍的キーワードと呼ぶことにする(表1)。普遍的キーワードを階層と相に基づいて図示すると、図6のように表現できる。この図は、先の図1で示した「時間の矢」はなくなり、どの時代にも作用するものとなる。

表1 地球史における普遍的キーワードの階層と相による分類

階層	相			
	気体	液体	固体	有機体
H ₂ O	水蒸気, 雲	水, 雨, 川, 熱水	氷	生命維持, 生活場, 体液, 循環, 生命起源, 有機物
CO ₂	大気, 温室効果, 二酸化炭素の大気		石灰岩, 沈殿	骨, 呼吸, 代謝, 光合成
O ₂	オゾン	沈殿, 酸化	酸化物, ストロマトライト, 縞状鉄鉱層	呼吸, 光合成
生命	呼吸, 大気	代謝, 循環, 海	骨格, 化石, 堆積, 堆積岩	進化, 個体, 代謝, 自己複製, 生命の材料, 絶滅
岩石	昇華, マグマ, 風化	沈殿, 侵食, 運搬	鉱物, 地層, 晶出, 火成岩	石灰岩, ストロマトライト, ドロマイト, 化石, 生活痕, 化学化石
地球	二次大気, バリヤー, 大気, 空気, 核の安定密度層, 電磁流動ダイナモ活動	ブルーム, 海, 海洋, 海進・海退, 塩分濃度	地殻, マントル, 核, プレートテクトニクス, プレートテクトニクスへ, 超大陸, マントル対流, 固体核, 氷河期, 氷床, 全球凍結	ガイア, 最初の生命, 生物進化, ヒト, 知的生命
太陽	H, He, 水蒸気	水	氷, 暗い太陽	地球生命
太陽系	原始太陽系ガス, 惑星間ガス	水惑星	隕石, 地球型惑星, 木星型惑星, 彗星, 隕石の爆撃	ガイア理論
宇宙	恒星, 超新星爆発, 重元素合成	水	地球外惑星, 銀河, 泡状構造, 銀河系誕生, 宇宙誕生	星間有機物, 地球外生命, 地球外知的生命(ETI)

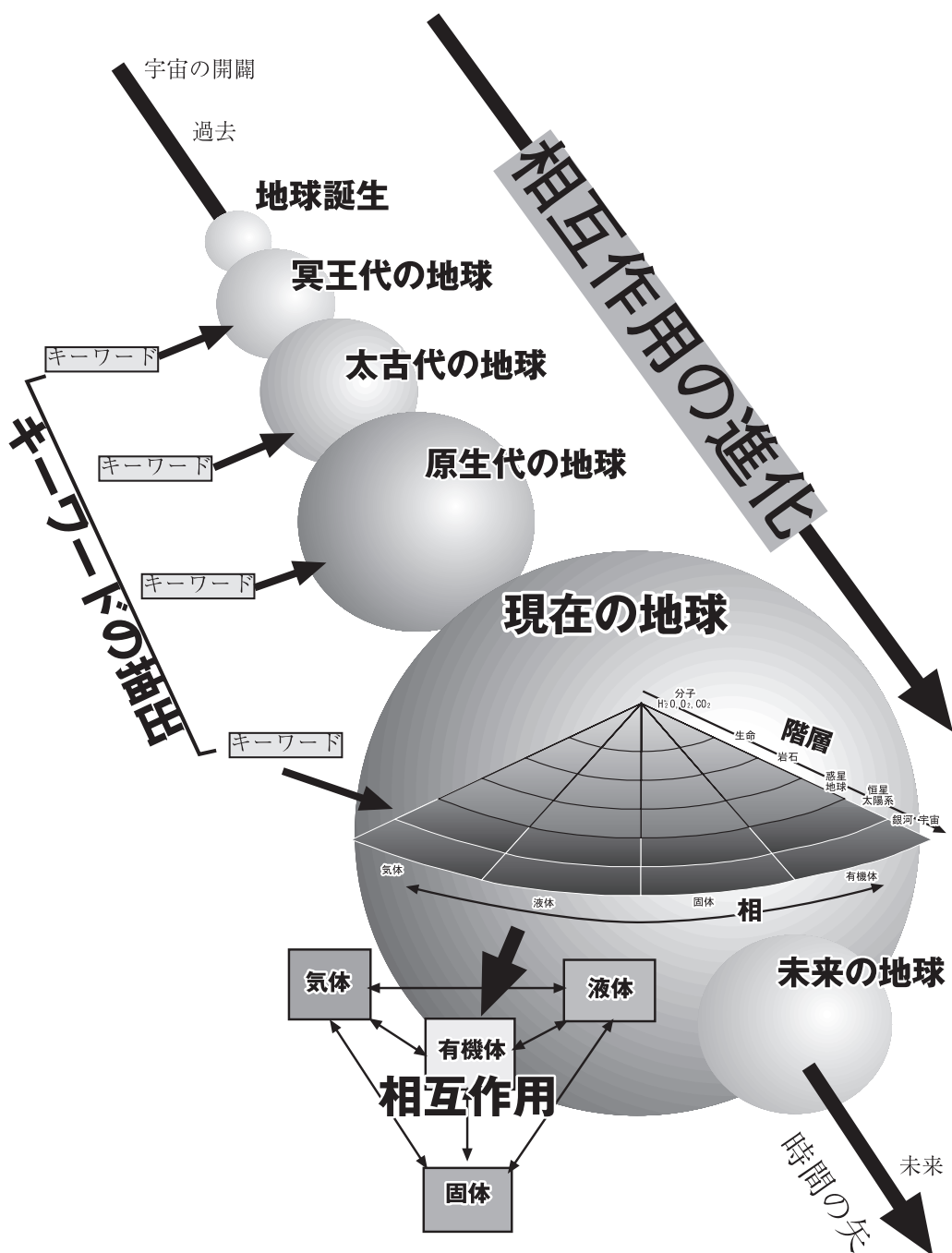


図7 相互作用の進化

各時代のキーワードを抽出し、階層と相で区分されたマス目に入れる。それを階層と相との相互作用として解析する。それらを時代ごとに行うことによって相互作用の進化が解明でき、現在にいたる地球環境が理解できる。

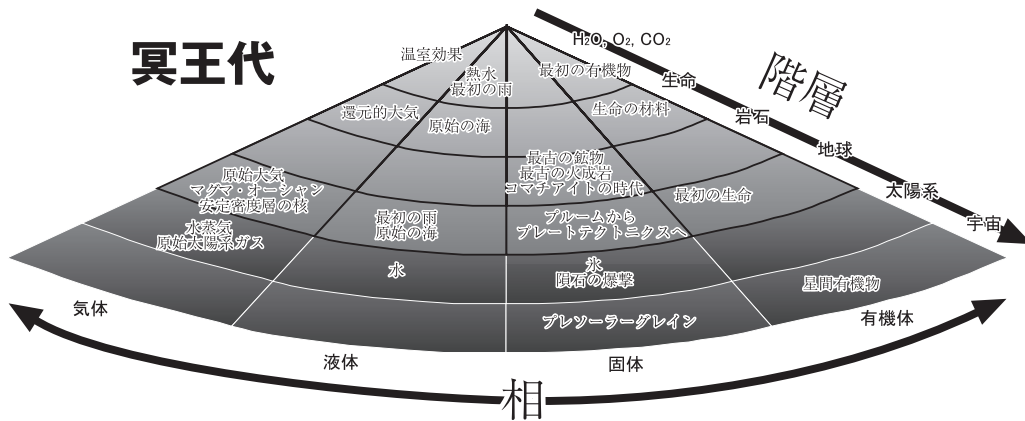


図8 冥王代の相互作用に関わるキーワード

冥王代のキーワードを、階層と相で区分されたマス目に入れたもの。キーワードがないマス目は、まだ研究されていないところか、この時代にはそのマス目の階層や相で重要な変化がないところとなる。各キーワードから階層や相の相互作用を解析していくことが今後の課題となる。そのときのテーマ設定にこのような整理が重要となる。

時代によっては、キーワードが入らないところもあるが、階層ごとに相がどのような相互作用をしているかを知るために、どのようなキーワードが重要であるかがわかる。また、マス目にキーワードがない部分は、我々の知識の体系で不足しているのか、それともキーワードで象徴されるような事件や現象がなかったかのかもしれない。そのような判断も可能となるであろう。

以上のようなキーワードを手がかりに相互作用の進化を解明していくことになる。

4 人類代

以上で、現在の地球環境を解明するために還元主義的方法論を示したのだが、最後に、地球史に関する人類の影響、あるいは役割について考えていく。

地球は、太陽系において、あるいは宇宙全体においても、非常に特異な存在といえる。なぜなら、地球には生命、それも人類という知的生命が存在するからである。

ある時に地球に生命が誕生し、その生命が途切れることなく、進化というメカニズムを用いて環境に適応して、現在まで継続的に存在し、知的営みができる生物であるヒトを生み出した。もちろん、我々が生命の一員であり、ヒトであるから、生命や知性を重視するというバイアスは介在するであろうが、それを差し引いたとしても、生命や知性の存在は、地球の特異性であるといえる。なぜなら、現在の進んだ地球外の天体観測技術を持ってしても、いまだに地球外の生命や知的生命の痕跡を発見できないからである。存在を確認できないから、生命が地球固有のものとはいえないが、特異で希少なものであることはいえる。

表2 時代ごとのキーワードの相と階層による分類

時代	階層	相			
		気体	液体	固体	有機体
冥 王 代	H ₂ O	—	最初の雨 熱水	—	最初の有機物
	CO ₂	最初の気組成 温室効果	—	—	酸化条件
	生命	還元的大気	原始の海 熱水噴出孔	—	生命の材料
	岩石	—	—	最古の鉱物 最古の火成岩 コマチアイトの時代	—
	地球	原始大気 核の安定密度層	水の彗星起源 マグマ・オーシャン 原始の海	成層構造の形成 プレートテクトニクスから プレートテクトニクスへ	最初の生命
	太陽	—	—	暗い太陽	—
	太陽系	水蒸気 原始太陽系ガス	水	氷 隕石の爆撃 彗星	—
	宇宙	—	—	プレソラーグレイン 銀河系誕生 宇宙誕生	星間有機物 パンスパーミア説
太 古 代	H ₂ O	—	熱水噴出場	最初の氷河 I	生命の起源
	CO ₂	CO ₂	—	—	—
	O ₂	還元的大気	—	縞状鉄鉱層の形成	呼吸
	生命	呼吸 O ₂ の増加開始	—	最古の化石 最初のストロマトライト	最古の原核生物 光合成の開始
	岩石	—	—	最古のダイヤモンド 玄武岩の時代 最古の堆積岩	—
	地球	二次大気 電磁流体ダイナモ活動	—	最初の氷河 I 最初の超大陸ヌーナ 2層から1層マントル対流へ 固体核の形成	—
	太陽	—	—	—	—
	太陽系	—	—	—	火星生命
原 生 代	宇宙	—	—	—	—
	H ₂ O	—	—	—	—
	CO ₂	—	—	—	—
	O ₂	酸化的大気	ウランの沈殿 鉄の酸化	—	呼吸 光合成
	生命	O ₂ 呼吸	—	—	真核生物の出現 多細胞生物の出現
	岩石	—	—	ストロマトライト 縞状鉄鉱層 赤色砂岩	—
	地球	CO ₂ からO ₂ の大気へ 塩分濃度の急上昇	海水のマントルへの逆流	氷河 II と III 全球凍結 (スノーボールアース) ロディニア超大陸誕生	—
	太陽	—	—	—	—
太陽系	—	—	—	—	
宇宙	—	—	—	—	
顕 生 代	H ₂ O	—	—	—	生活場の多様化
	CO ₂	—	酸性雨	石灰岩	—
	O ₂	酸素急増 オゾン・ホール	—	—	—
	生命	陸上への進出	—	硬組織 硬骨格生物出現 生物の上陸	カンブリアの大爆発 P/T大絶滅 K/T大絶滅 哺乳類の台頭 人類誕生
	岩石	—	—	花崗岩起源の堆積岩の時代	—
	地球	バリアー完成 (オゾン層誕生)	NaClの海	氷河 IV, V ゴンドワナ超大陸の形成 パンゲア超大陸の形成	ガイア理論
	太陽	—	—	—	目の誕生
	太陽系	—	—	隕石	太陽系内生命
宇宙	—	—	—	地球外文明生命の探査	

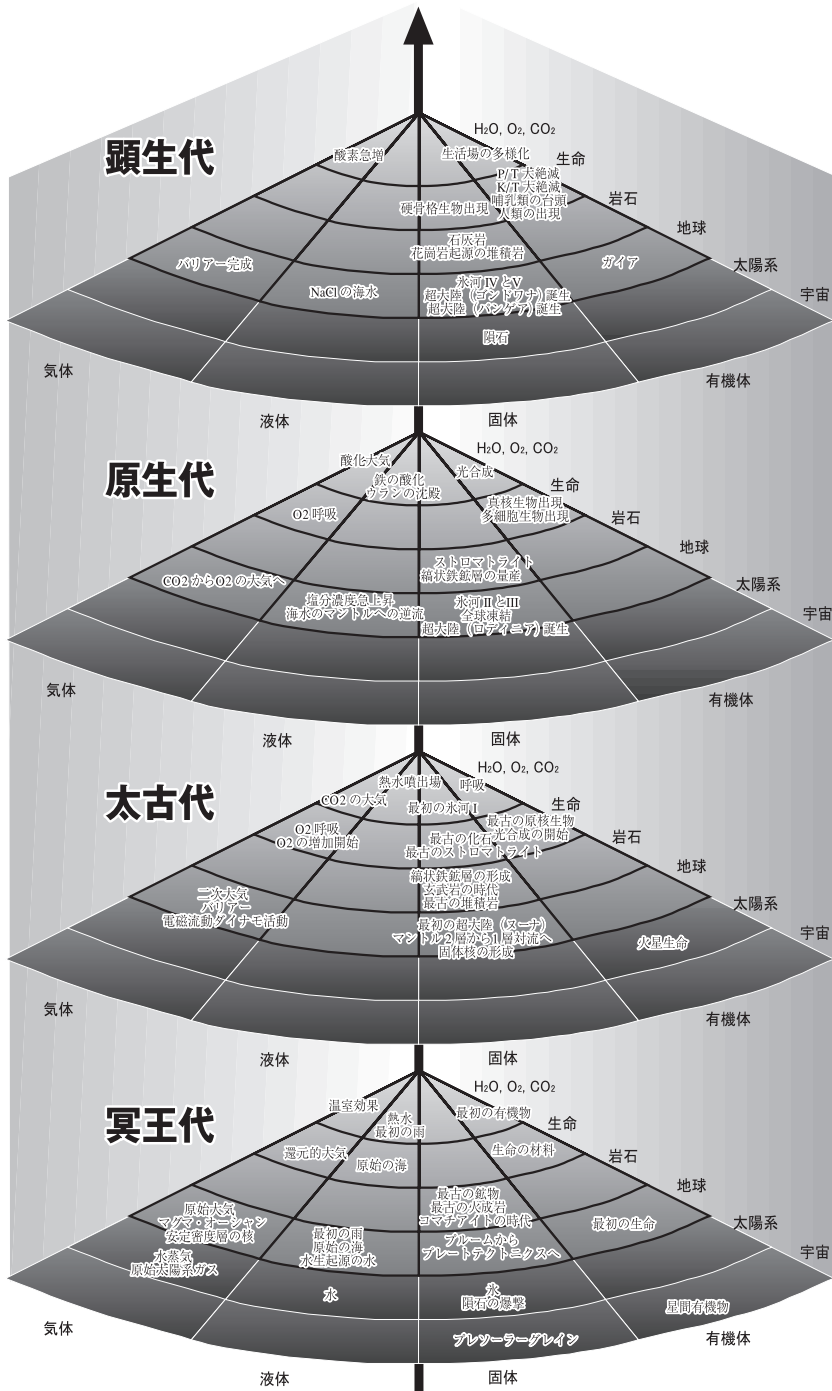


図9 地球全史の相互作用に関わるキーワード

表2で抽出したキーワードを地質時代区分ごとの階層と相対区分されたマス目に入れたもの。時代毎の扇型を時間順に並べたもの。

では、地球に生命や知性が現存することに、どのような意味があるのだろうか。

まず、現在の生命は、「現在」にのみ存在するのではなく、過去のある時期に誕生し、継続し、現在に至っていることに注目する必要がある。現在の生命は、過去に起源があり、過去のさまざまな環境変化をくぐり抜けて、生き延び、進化して現在に至っている。本論文で概観したように、地球は大きな環境の変化を何度も起こしてきた。そこに至るまでは大絶滅が何度も起きてきたこともわかっている。重大な環境変化に対しても、生命は「進化」という戦略で危機を乗り越えてきた。生命の進化の延長線上に知性も位置づけられる。つまり、現在の知性は、過去の生命が、進化として積分的蓄積をしてきた生命の総体の一つの現れであるといえる。

生命生存における重要な要因は、地球表層に液体の H_2O 、つまり水の存在である。地球の誕生初期から現在にいたるまで、水の存在条件が、継続して地球には保持されたことが重要となる。これは、地球が太陽系の惑星として誕生した場（太陽からの距離）、惑星の質量、惑星の材料組成が、たまたま水が存在できる条件を満たしていたからである。我々地球生命としては、幸運なスタートができたといえる。

では、そのような幸運な初期条件だけから、生命の誕生や進化ができる環境が長期間安定して継続できたという答えを得ることができるだろうか。初期条件は必要条件ではあるが、十分条件ではない。環境の継続のための条件は、まだ解決されていないが、今まで述べてきた地球全史解読の結果の中に答えはあるのではないだろうか。

ヒトは、科学と技術を用いて、地球において一つの階層や相をなすほどの影響力を行使できるにいたった。ヒトは、まだほんの数千年ほどの時間しかその影響力を行使していないが、人類代ともいべき特筆すべき歴史的変化を地球にもたらした (図10)。それは、すべて、知

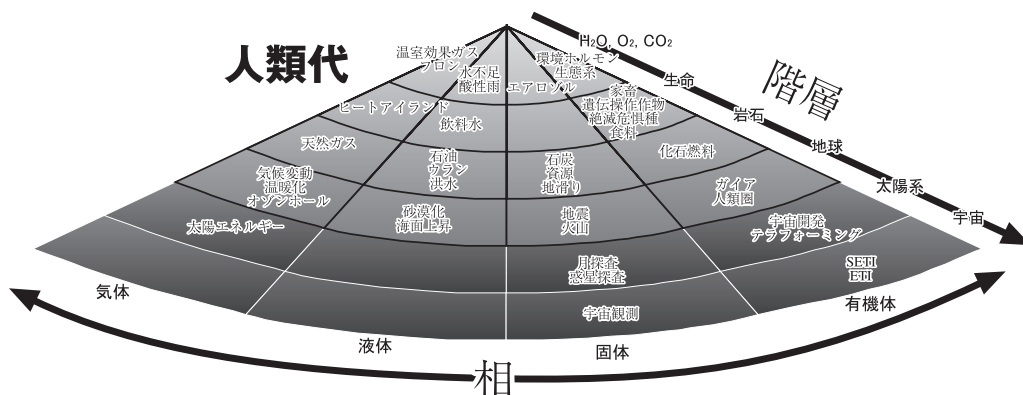


図10 人類代の相互作用に関わるキーワードの分類

人類が誕生し、科学や技術を用いるようになって地球に大きな影響を与えるようになった時代を人類代と呼ぶ。人類代で、人類が地球環境に関与しているキーワードを抽出して、階層と相で区分されたマス目に入れたもの。

性に基づいてなされたものである。知性の行使の結果、ヒトに対しての悪影響の部分だけが地球環境問題として現在クローズアップされているのである。

ヒトにとって科学と技術は、自分たちに益だけをもたらすものであった。しかし、過度の行使が、自分たちの生存を脅かすことがあることにやっと気づいた。そして、今や科学と技術を、自分たちヒトやより多くの生物種、あるいは他の相、他の階層の維持や保全に使い出した。それは、まだ半世紀にも満たない時間に過ぎないが、ヒトはその道を歩みだした。そのためにも、今回のようないつ終わると知れない遠大なテーマも、重要性を持つのである。

V さいごに：未来代に向けて

時間の流れにおいて、現在より先は、我々にとって、知ることでできない未来である。地質学者は、そのような未来を「未来代」として地球の時間軸の中に位置づけている。我々は、未来代を探ることができるのだろうか。

地球環境問題への対応とは、現在を生きる人類が、未来代に向けて行動するものである。世界中が議論している地球環境問題は、「現在」もしくはその前後の非常に短時間の分析のみである。それらの問題に対する緊急の対策が叫ばれているが、その対処に失敗があってはならない。なぜなら、対処の結果や評価は未来に下されるので、未来での失敗は、負の遺産を子孫に手渡すことになるからである。

本論文では、地球環境解明の複雑さを示した。ただ、その複雑さも、還元主義的手法を用いれば、解決の道筋を提示できることを示した。還元主義的手法を用いれば、一見すると解けないような複雑な問題も、解決可能である。

本論文でピックアップしたキーワードの中にもあったが、過去に大規模な温暖化や寒冷化が何度も起こっている。地球環境の変化も、地球史からみると過去には想像もつかない大規模なものも多い。変化は、何らかの理由で起こり、その後もとに戻っていることもある。

現在の地球環境問題で過去の歴史の中に類似の変化があるのであれば、それを理解することから、これから成そうとしている対策の評価を事前に行えるかもしれない。「過去は現在の鍵」である。さらに過去は、未来への道筋をも示してくれるはずである。

文 献

- Gore A. 2006 『An Inconvenient Truth』 Bloomsbury Publishing PLC, 枝廣淳子訳 『不都合な真実』 ランダムハウス講談社, 328.
- Gradstein F. M., Ogg J. G., Smith A. G., 2004. 『A geologic time scale 2004』 Cambridge Univ. Press, 589.
- Harland W. B., Armstrong R. L., Cox A. V., Craig L. E., Smith A. G., Smith D. G., 1990. 『A geologic time scale 1989』 Cambridge Univ. Press, 263.
- 伊藤公紀, 2003. 『地球温暖化 埋まってきたジグソーパズル シリーズ地球と人間の環境を考える I』 日本評論社, 209+4.

- 小出良幸, 1994. 「総説：地球形成の場まつわるモデルとその束縛条件」『神奈川県立博物館研究報告 (自然科学)』23, 51-86.
- 小出良幸, 1995. 「地球前史—地球形成場の素描—」『月刊地球』17, 203-209.
- 小出良幸・山下浩之, 1996a. 「地球初期への惑星物理的束縛条件」『神奈川県立博物館研究報告 (自然科学)』25, 1-26.
- 小出良幸・山下浩之, 1996b. 「地球初期への惑星化学的束縛条件」『神奈川県立博物館研究報告 (自然科学)』25, 27-55.
- 小出良幸・山下浩之・佐藤武宏, 1997. 「惑星進化論へのアプローチ：要因と概要」『神奈川県立博物館研究報告 (自然科学)』26, 1-24.
- 小出良幸, 1997. 「宇宙階層概論—宇宙の階層内における私たちの普遍性と特異性—」『神奈川県立博物館調査研究報告 (自然科学)』8, 131-170.
- 小出良幸, 1999. 「冥王代の地質学的素描」『神奈川県立博物館研究報告自然科学』28, 1-28.
- 小出良幸, 1999a. 「生命起源に関する研究動向の把握」『地学雑誌』108, 314-320.
- 小出良幸, 1999b. 「生命起源に関する研究動向」『地学雑誌』108, 509-536.
- 熊沢峰夫, 伊藤孝士, 吉田成生編, 2002. 『全地球解説』東京大学出版会, 540.
- Lomborg B., 1998. 『The Skeptical Environmentalist』山形浩生訳『環境危機をあおってはいけぬ—地球環境のホントの実態』文芸春秋, 671.
- 丸山茂徳, 磯崎行雄, 1998. 『生命と地球の歴史』岩波新書, 275.
- Oberthur S., and Ott H. D. 1999. 『The Kyoto Protocol - International Climate Policy for the 21st Century』岩間徹, 磯崎博司監訳『京都議定書—21世紀の国際気候政策』シュプリンガー・フェアラーク東京, 438.
- 内嶋善兵衛, 2005. 『〈新〉地球温暖化とその影響—生命の星と人類の明日のために—』襟華房, 216.
- 薬師院仁志, 2002. 『地球温暖化論への挑戦』八千代出版, 334.
- 山本良一編, 2006. 『気温変動 +2℃』ダイヤモンド社, 144.
- 矢沢 潔, 2007. 『地球温暖化は本当か?—宇宙から眺めたちょっと先の地球予測—』技術評論社, 231.

An Approach of Revealing the Present Earth's Environment from Earth's History:
A proposal of Element Reductionism Methodology

KOIDE, Yoshiyuki

Abstract

The present Earth's environment was composed of the accumulation of the past environmental transition. Understanding "past" understands "present". The understanding present should be led to know the future. In the paper, the element reductionism method was proposed to solve the complex Earth's environment. The important viewpoints (elements) are hierarchy, phase, interaction and time. The transitions relating the environment each age were collected as key words. The visualizing method arranged with four viewpoints was proposed. Time change of interaction among phases and hierarchy based on the key words reveals the complex present Earth's environment.

Keywords: element reductionism method, hierarchy, phase, interaction, time, key words, visualization

(こいで よしゆき 本学人文学部教授 こども発達学科)