

物質，時間，空間の視点からみた地質学的境界

小 出 良 幸

要 旨

地質学が扱う岩石は、過去のある時間、ある空間で形成されたものである。岩石には、形成時の物質だけでなく、時間と空間の情報も同時に記録されている。岩石は、形成から現在に至るまで、さまざまな変化を受けている。その変化によって、岩石の不連続として地質学的境界が形成される。不連続の記録は、形成から現在までの間に起きた事件の解明の手がかりとなる。地質学で扱っている物質，時間，空間を，連続と不連続という視点で整理した。

キーワード：岩石，物質，時間，空間，連続，不連続，地質学的境界

I はじめに：研究動機

岩石は、ある時ある場所で形成される。形成された岩石は、時間の記録やまわりの環境などの情報が、物質に変換され記録されている。その情報を岩石から読み取ることが、地質学の重要な目的の一つである。さまざまな時代、さまざまな地域で形成された岩石の情報を読み取り、それを全地球の全時代に拡大して、復元することが、地質学の重要な任務である。

だが、この目標を達成することは困難であろう。なぜなら、岩石は形成時の状態で現在まで保存され、研究素材になることがないからである。

形成時のまま岩石が保存されるということは、変動を受けることなく、その場に現在まで留まっていることになる。ところが、岩石の形成場とは、海底下や大陸の深部であり、人目に触れないところである。地質学的素材となるには、地表に持ち上げられ、地質学者の目に触れなければならない。そのためには、大地の変動によって、岩石が形成場から移動することになり、何らかの変化を受けていくことになる。実際に地球は変動を続けている。したがって、ほとんどの岩石は、形成以降に起こった様々な変動によって、元の状態を乱されているのである。そのような変動は、岩石中の不連続となって、現在の岩石に現れる。

現実には岩石を観察すると、多数の不連続が存在していることがわかる。岩石中の多数の不連続の一つ一つが、変動の記録ともいえるわけである。それぞれの不連続の境界（実際には3次

元的に広がる岩石内にある2次元の凹凸を持つ境界面)において、すべてが同等の地質学的重要性を持つわけではない。それぞれの境界では、「地質学的意味づけ」が違っている。

例えば、境界の変動の程度が考慮されて、時代区分がなされる。変動時期における境界の分布の範囲、環境の変化の程度、生物種の入れ替わりの規模などが、地球全体として考慮され集大成されていったものが時代区分となる。そのような時代境界は、地層の中に存在するものである。それぞれの時代境界は、地層の中に何らかの不連続として定義されるべきものである。地質学的境界は、概念ではなく、実在するはずのものである。

地質学の進歩に伴い、地層の解析技術の向上や知識の蓄積によって、「地質学的意味づけ」の変化が起これば、その境界はより合理的なものへと変更されることになる。このような境界の移動は珍しいことではない。時代区分の改編も10数年に一度なされている(Harland, 1990; Gradstein, 2004)。時代区分が移動することにより、地層境界が変われば、それまでなされていた以前の地層境界における記載や考察は、新たな境界での検討作業が必要となる。

地層境界の再編作業をする場合、岩石における境界の意味について整理しておく必要ある。そのような整理は、岩石ごとに境界の有無、つまり不連続と連続について考えていくことになる。しかし、地質学では、体系的に不連続と連続について考察されたことはなく、今後重要な課題になると考えられる。

地質学では、野外に産する岩石を観察することが、最初のアプローチとなる。著者は、地質学的境界を考えるにあたって、野外の岩石の観察を通じて「そもそも境界とは何か」という原点にまで遡って考察していくことにした。このような見方は、地質学にとどまらず、自然におけるより普遍的な視座への道を拓くと考えて研究を進めている。本稿では、岩石に残された連続と不連続に注目し、そこに読み取られる物質と時間、空間から地質学的境界を整理していく。

本研究の地層境界の現地調査には、札幌学院大学研究促進奨励金(個人研究)を使用した。

Ⅱ 地質学的境界

1 岩石における連続と不連続

自然の事象や物質の関係には、さまざまなものがありうる。地質学における事象や素材においても、多様な関係がありうる。ここでは多様な関係のうち、連続しているか否かについて考えていく。

連続とは、『岩波国語辞典』によれば「切れ目がなく続くこと」と定義されている。したがって、不連続とは「切れ目」があることになる。「切れ目」とは、「切れてできたあと」(『岩波国語辞典』)となり、そこには境界ができる。つまり、連続か不連続かは、対象としている事象や事物に、境界があるのか、ないのかによって、区分できることになる。

本論では地質学における関係を探るので、連続と不連続を問う対象は、岩石となる。それら

の対象を，野外において肉眼あるいはルーペで観察していくという状況を前提として，本論では考察をしていくことにする。

地質学の扱う岩石とは，過去に形成されたものである。岩石の分布状態を調べて，その中に切れ目がないか，その切れ目によって違った特徴を持つ部分が混在していないかなどが観察される。それは岩石中に，不連続の痕跡がないかを探ることになる。

実際に地質学的関係として岩石の連続と不連続を野外で調べるとき，どのような場合や可能性があるかを，深く考慮されることはない。

それには，いくつかの理由がある。

第1に，岩石の野外における調査とは，自然状態の露頭での観察となり，複雑なものを短時間で記載しなければならないためである。露頭では，風化や変質，崩壊，植生などによって，岩石本来の姿が非常に分かりにくくなっている。地質学的に重要な連続と不連続の関係が非常に判別しにくくなっている。また，一見するとさまざまな地質学的過程によって形成された不連続が認められるため，重要でない不連続を取り除かなければならない。その後，まず連続としてその露頭を代表する岩石が識別され，次いで重要な不連続を認定していくという作業を露頭ごとになさねばならない。各露頭での観察は，可能な限り短時間で行わなければ効率的に調査ができなくなる。そのため，露頭の記載以外に，連続や不連続の本質を野外で熟考する余裕がなくなる。

第2に，岩石には一般に多数の不連続が観察できるが連続の観察が優先されていくことが挙げられる。自然界の岩石には，宇宙からしか見えない数100km サイズから，顕微鏡でないと見えないmm サイズまで，さまざまなスケールの不連続がある（図1）。岩石が形成された場所にそのまま留まれば，不連続は生じることは少ないが，観察対象になるには，なんらかの地質学的変動を受けて，地表に現れなければならない。その期間は，古い岩石ほど長期に及び，多様な変動を受け，不連続が形成されていく可能性が大きくなる。そのすべてを解明して記述することは不可能である。まずは，連続性の発見と解明に多くの時間を費やすことになる。

第3に，野外で観察は地質学者の経験に基づいて不連続を取捨選択しなければならないことである。多数の不連続のうちどれに注目すべきかは，研究の目的を達成することが優先され，そのために必要となる不連続のみを選び記述されていくことになる。その要不要は，研究者の経験に基づくものである。もちろん客観的な評価として，最終的にどの不連続が重要かの基準は，より大きなスケールで検討して判断されることになる。例えば，その不連続が有意な時間ギャップを生じるのか，地図上（岩石や地層を区分した分布図として地質図を作成する）で意味を持つような規模なのか，岩石の成因に結びつくものなのかなどによって判断される。

岩石から過去の事象をより深く読み取っていくには，岩石に記録された連続がどのような意味を持ち，不連続がどのような意味を持ち，それぞれがどのように階層的に組み上げられるのかを検討しておく必要がある。今まで地質学では，そのような点に着目して，岩石を観察されることはあまりなかったので，本論でその点を中心に考えていく。

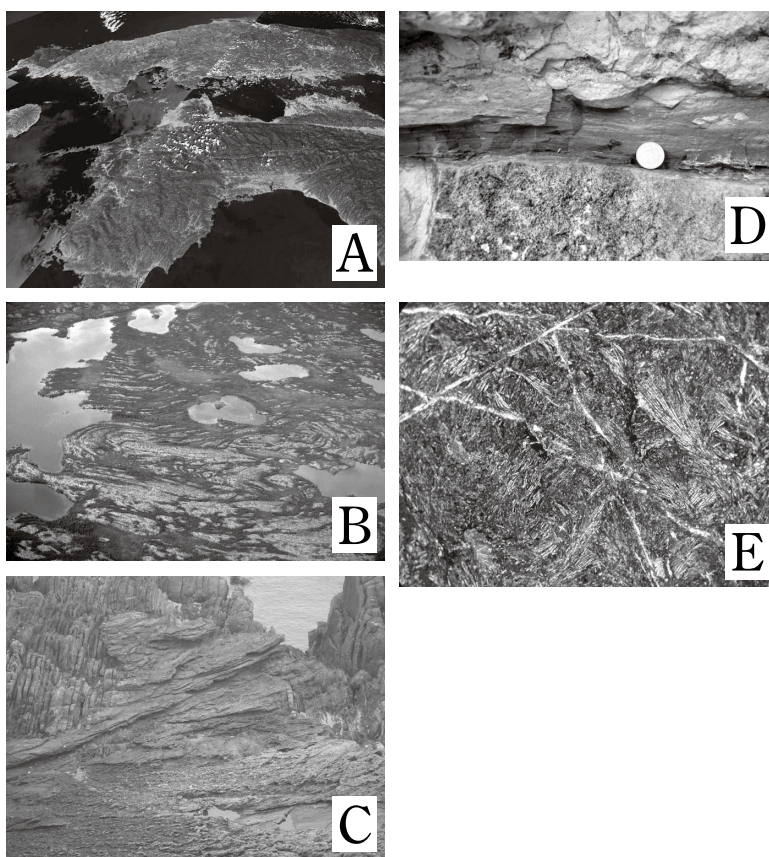


図1 さまざまなスケールの不連続

A：数100kmスケールの不連続。四国中央部を東西に横切る中央構造線。ランドサットの衛星画像を数値地図と構成して鳥瞰図としてコンピュータで構成したもの。B：数kmスケールの不連続。カナダ、北西準州に分布する褶曲する地層。C：数10mスケールの不連続。イギリス、スコットランドの時代の異なる地層における不整合。D：数cmスケールの不連続。デンマーク、スティーブンクリフの中生代と新生代の時代境界（K-T境界）にみられる粘土層と上下の石灰岩層。E：数mmスケールの不連続。愛媛県西予市に産する玄武岩の顕微鏡下で観察できる断層。白っぽく見える直線状の亀裂が断層。

2 地質学的連続

地質学的に一つの岩石名で呼ぶことができるのは、同時または短時間に、同一もしくは一連の作用によって形成された岩石である。このような岩石は、同一の成因によって形成されたといえる。

岩石には、3つの成因があり、堆積岩、火成岩、変成岩に区分されている。同一の成因をもつ岩石は、その規模は多様であるが、堆積岩では地層、火成岩では岩体、変成岩では変成相と呼ばれている。ここでは、呼び方を問題にしないので、一連の岩石を意味するときには、岩石グループ、あるいは単にグループと呼ぶことにする。

同一起源で「切れ目」なく連続する岩石では、同一の岩石名を持つグループとなる。同一起源であっても、形成の条件、時期、順番、岩石成分などによって「切れ目」が形成されれば、岩石中に不連続ができる。

ある露頭に岩石が出ている場合を考えていく（図2）。その露頭を構成する岩石に不連続がないが、まず観察される。露頭全体を見渡して際立った不連続が見られないとき、すべて同じ岩石種からできていると判断される。つまり一つの岩石が、連続して分布していると判断でき、一連の岩石グループと判断される。このような岩石グループは、均質な岩石から構成され同一名称で呼ばれることになる。

「切れ目がなく続く」連続な岩石でも、均質ではない岩石も存在する。例えば、一つの地層の中でどこにも境界がなくても、地層の一方の端と他方の端の岩石を見比べたとき、明瞭な違いがあれば、すべてが同じ岩石でできているとはいえなくなる（図3）。このような関係は「漸移」と呼ばれ、連続の中にも、均質と漸移という区分が必要となる。漸移する岩石グループを区分するとき、必要に応じて人為的な区分がなされることになる（図4）。

人為区分は、生物の分類とは明らかに違った区分手法となる。生物は「種」という区分が、人を見分けられようが見分けられまいが、ア・プリオリに存在する。したがって生物の分類は、自然界の種を見分けることが重要な観察目的となっている。このような分類は、自然分類と呼ばれ、生物学における分類の特徴となる。その後、その「種」がどのような分類体系（系統）に属するかを考えていくことになるが、その分類体系自体は、ア・ポステリオリで人為的なものとなる。

一方岩石グループには、もともと種というような概念がない。漸移する岩石グループは、定義によって人為区分していくことになる。そこには、研究上の便宜や研究者側の都合によって、目的論的な定義がなされ、区分されていく。漸移する岩石グループの区分とは、極めて人為的な行為であるといえる。

本論では、岩石の区分手法を考えるのではないので、漸移には不連続が認められず、ア・ポステリオリな区分をすることになることから、連続として一連の岩石グループとみなす。そして、ア・プリオリに存在する不連続の境界を持つか持たないかだけに注目して考えていくことにする。このような自然が示した明瞭な情報に基づいて考えるのが、岩石の関係の根本的理解につながるからである。

3 地質学的不連続

地質学的不連続とは、対象とする岩石に、観察可能な可視的境界が存在することを意味する。観測対象の岩石が、2つ以上の岩石グループによって構成されている場合である。境界自体は、容易に判別可能な場合が多い（図5）。しかし、境界の形成過程、境界の広がり、地質学的意味を読み解くことは容易でない。そのような境界の解明が、大地の生い立ち、つまり地質を明らかにすることとなる。

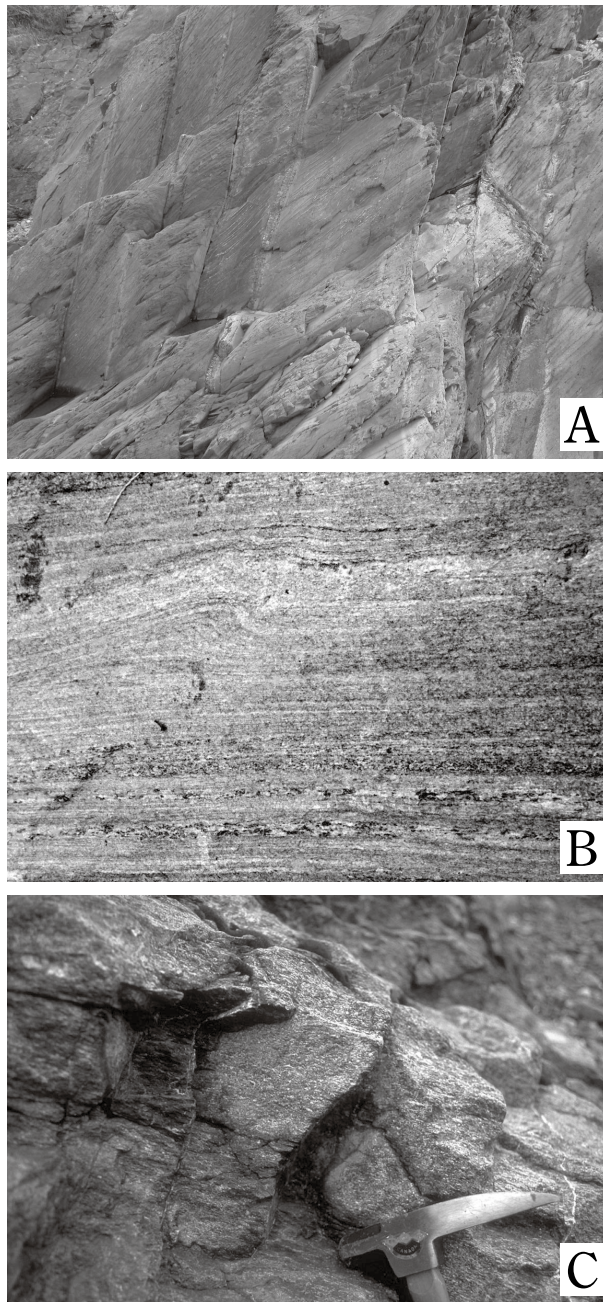


図2 連続的な岩石の露頭

A：連続的な堆積岩（地層）。イギリス、北ウェールズの古生代の泥岩の地層。B：連続的な変成岩。グリーンランド、ゴットハーブに分布する片麻岩。C：連続的な火成岩。カナダ、ニューファンドランド州に産する斑れい岩。



図3 典型的な一層の地層

沖縄県の四万十層群の地層で、2本の線ではさまれた矢印で示された範囲が連続する一層の地層である。AからBに向かって堆積岩を構成する粒子の粒径が小さくなっていく。Aでは砂岩、Bでは泥岩と呼ぶべき岩石となっている。

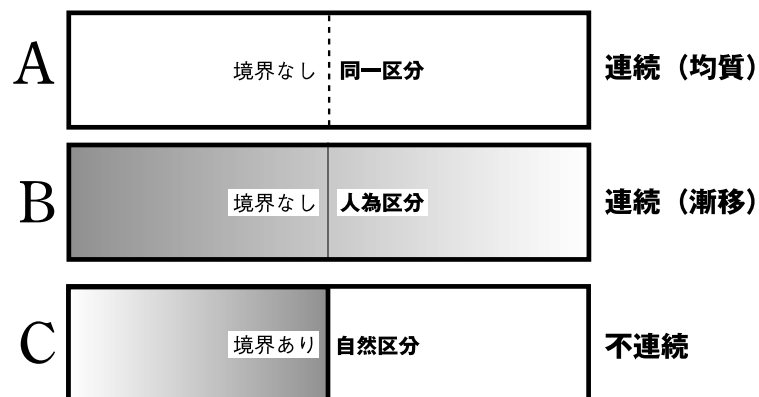


図4 2つの連続と不連続のパターン

A：連続で均質な場合。境界はなく同一岩石名と呼ばれ、区分も不要となる。B：連続で漸移する場合。境界はないが、必要に応じて岩石名が付けられ人為区分がなされる。C：不連続な場合。境界があり、自然区分がなされ、適切な岩石名が付けられる。

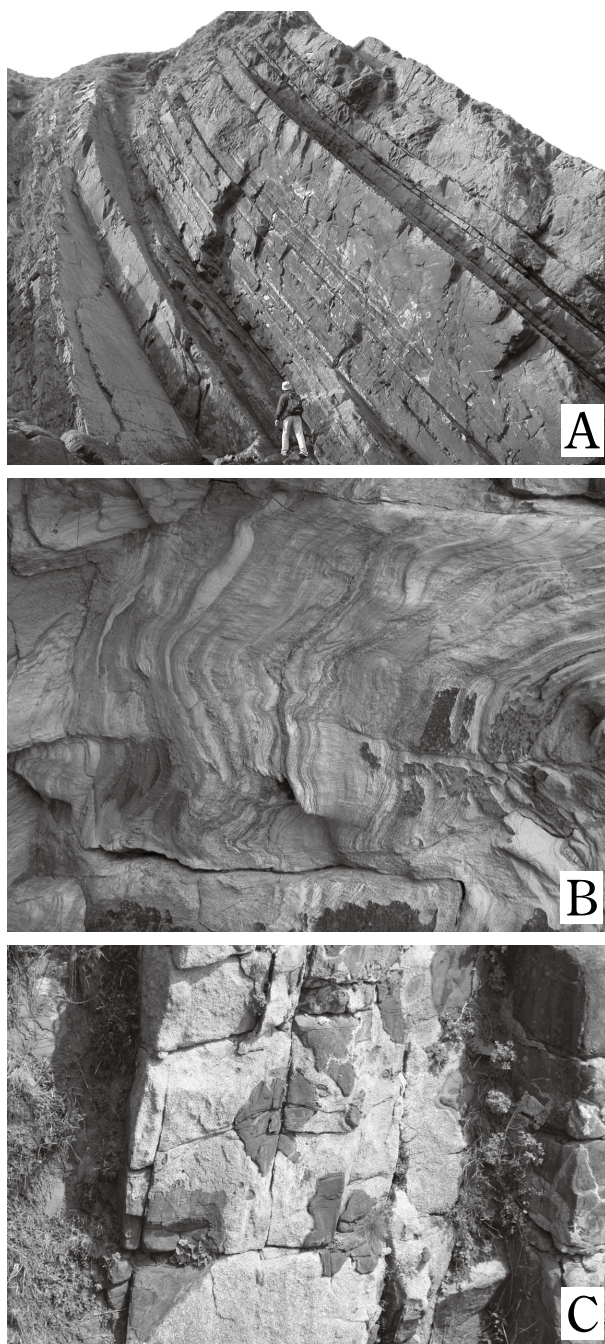


図5 典型的な不連続の岩石

A：堆積岩の地層。イギリス，北ウェールズの古生代の砂岩泥岩互層の地層。B：変成岩。イギリス，北ウェールズの原生代の珪質片岩。変形した細互層となっている。C：火成岩。高知県足摺岬の花崗岩。白っぽい粗粒の花崗岩の中に黒っぽい細粒の閃緑岩が取り込まれている。

例えば、下から上に順番に積み重なった地層があるとする（図6）。この順番は形成時のもので、不連続なく現在までその状態が保存されていれば、形成当時の順番をそのまま読み取ることが可能となる。もし何らかの不連続が形成され、順番が欠落したり、乱されたりしていると、その境界で何らかの事件が起こったことを意味している。その事件の情報を境界が保存していれば、過去の事件を読み取ることが可能となる。野外調査で、そのような連続と不連続から過去の事件の情報を読み取っていくことになる。

実際の作業は、現在まで保存されている過去の岩石から、形成後の事件を読み解き、形成時の情報まで読み取ることになる。ある露頭が、連続な岩石グループで形成されていれば、形成時の情報を再現できる。もし不連続な岩石グループが混在するのであれば、連続性を破った何らかの地質学的な擾乱や現象、事件が生じたことを意味する。もし、その地質学的擾乱を現在見られる不連続な境界から読み取ることができれば、その岩石グループ形成以降に起こったさまざまな現象を読み取ることが可能となる。

さらに不連続は、その内容によって、地質学的な重要度が付加されていくことになる。重要度も人為的な評価に基づくものではあるが、その現象の規模が、ある限られた地域だけの現象なのか、広域に及ぶものなのか、全地球的なものなのか、などによって、客観性を持たせ、階層性を与えることが可能となる。そのような視点に基づいて深く階層化された地質年代区分がなされている（図7）。

Ⅲ 地質学から見た連続と不連続の意味

1 基本的要素

地球の営みを、過去に遡って復元していくことが、地質学の重要テーマである。つまり地球

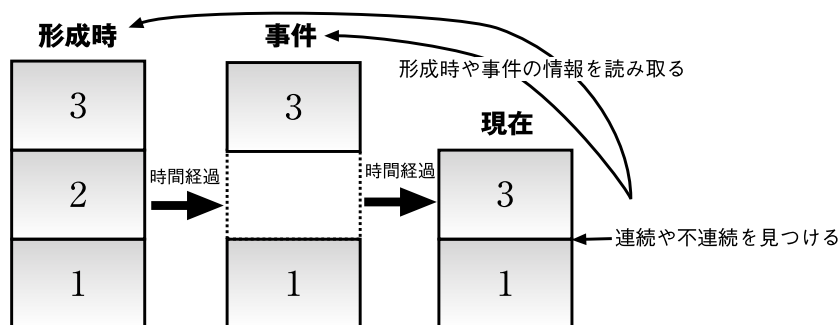


図6 不連続の解説

形成時に1，2，3の順番に形成された地層が、時間経過に伴って、なんらかの事件によって、2が欠落して現在に至った。現在観察される地層から、1と3の間の不連続から2の欠落を読み取り、その事件を知ることが可能となる。

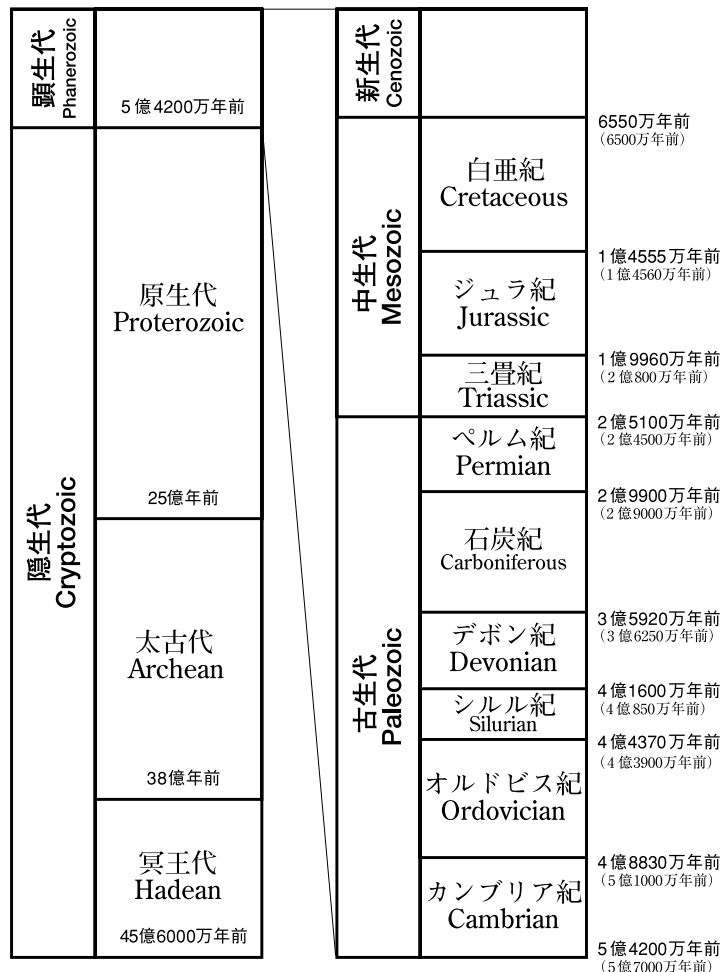


図 7 地質年代区分

時代境界で最新の年代 (Gradstein *et al.*, 2004) と括弧内ではそれ以前の年代 (Harland *et al.*, 1990) を示している。2004 年の時代改編は、主に顕生代で行われたことがわかる。

史の編成である。そのときに利用されるのが、過去に形成された岩石である。

地球史を根本的に考えるとき、各時代における地球の営みに関与する重要な要素を還元主義的に選び出していき、その要素の連続と不連続を考えていけば、地球の営みの主要部を解明していくことになる。そのような作業をすべての時代に繰り返していけば、地球史が構築できる。前述したように、地質学ではこのような要素還元的な作業を意識的にはなされてはいない。

ある時代の地球の営みの重要な要素とは、何であろうか。いろいろなものが候補として挙げられる。前提条件として「ある時代」とするからには、「時間」は不可欠な要素となる。また、営みの場となる「空間」も不可欠となる。

また，ある時空での地球の営みを考えると，その主体となる物質が必要となる。地球における物質には，岩石，鉱物など地球の固体部分を構成するもの，海洋を構成する水，大気を構成する窒素と酸素などの気体，あるいは生命を構成する有機物などが挙げられる。このうち地質学の対象となるものは，岩石である。岩石以外の液体や気体，有機物は，「現在」の地球を構成する重要な要素である。液体や気体は，あくまでも「現在」のものであり，できた当時の状態で保存されることはない。

したがって，地球の歴史を復元するためには，時間，空間，固体物質（以下で物質というときは固体物質を意味する）という3つの基本要素における連続と不連続について考えていく必要がある。

例えば，3つの違う時期に形成された地層があるとする（図8）。何らかの作用で運び込まれた物質が，ある場（空間）である時（時間）に，堆積して地層（図8では1の地層）が形成される。それが繰り返されて地層の連なりが形成される（図8では2と3の地層）。それらの地層がそのまま現在まで保存されていたとすると，時間や空間，物質が，形成時のまま保存され，形成時の情報を解読する手がかりとなる。

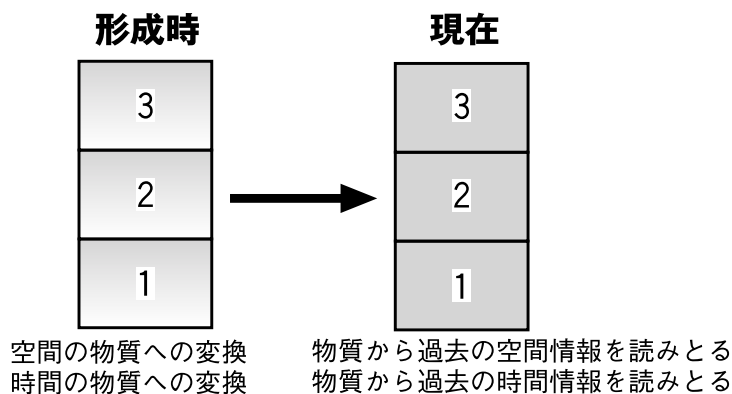


図8 地層に保存されている基本的要素

地層とは，時間と空間が物質に置き換えられた状態となって保存されているものである。「時間」は連続するものであるが，岩石として保存されている「時間」の多くは，過去の形成順序や物質が形成された時間である。地質学で読み取れる「時間」とは，このような順序や形成時間が重要となる。

順序と形成時間は違う。順序は時間軸で見れば，ある点を示しており，軸上の前後関係を示すだけである。一方形成時間とは，時間軸上で絶対的な位置を示すものである。しかし，形成時間の測定には誤差が生じる。誤差範囲で同じとみなされる形成年代だとしても，順序がわかっていれば，前後の関係を読み取ることができる。地質学では，非常に古い時間を扱うことが大

半なので、このような順序を読み解くことが重要な作業となる。

順序に形成時間（年代）という絶対時間を付することによって、異空間で形成された物質間の絶対時間軸上での対比が可能となる。放射性核種を用いた年代測定は、現在を基点とした絶対時間軸上で読み取った値である。このような年代測定を広域の岩石でおこなえば、過去の各地の時間変遷から広域の時間変遷を読み取ることができる。

地層ができた場ですべての空間が保存され、露頭として露出することはなく、空間の一部だけが保存されていることになる。つまり空間も物質がつまった部分だけの、断片的な情報としてしか得られない。

このような断片的な連続や不連続の関係から、ある時代の空間と物質を復元していくことになる。もちろん、断片的な不完全な記録から、完全な復元は不可能である。しかし、特徴的な環境の情報、例えば、海、池、熱帯、寒帯、湿地、乾燥地での堆積、ある生物だけが棲める環境など、が読み取られることになる。このような情報を積み上げていくことが地球史の編成となっていく。

2 空間における連続と不連続

過去に存在した空間を、現在調べることはできない。なぜなら空間とは、現在という時間と共に存在しているからである。また、空間とは、物理的に連続しているものである。したがって、空間自身には、不連続というものはない。

空間を物質に変換すれば、過去のある時にある空間を占めていた物質があり現在まで残された場合、過去の空間を知ることができる。この場合だけが、過去の空間を実証的に探ることができる。

空間を置き換えた物質が連続するものであれば、過去の空間も連続として保存される。空間を置き換えた物質に不連続が生じれば、過去の空間に不連続が生じる。つまり、物質の連続や不連続は、空間の連続や不連続に、置き換えることができるのである。

たとえば、ある時、ある空間に物質が存在し現在まで保存されたとする。現在に残された物質に欠損が発見されたとすると、ある時期に物質に欠損、不連続を生じさせる現象や事件がおこったとみなすことができる（図9）。

過去の空間における連続とは、置き換えられた物質に現在まで欠損がなく存在することである。また、空間における不連続とは、物質に欠損があり、もとあった物質が、一部もしくは全部なくなっていることである。

重要なことは、
物質的欠損＝空間的欠損（空間的不連続）
という関係である。

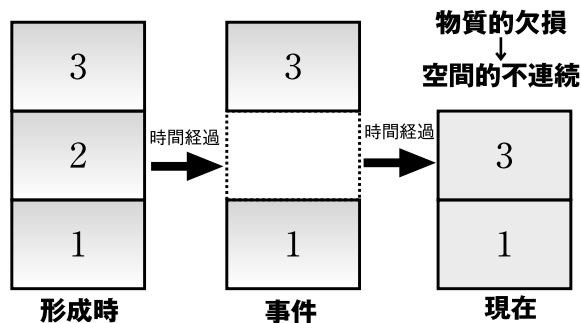


図9 空間の物質への置き換えと欠損の関係

3 時間における連続と不連続

時間は、連続的に途切れることなく流れており、基本的要素として連続している。また、時間の実証的観測ができるのは、現在のものだけである。過去の時間を実測することはできない。しかし、空間でおこなったように、過去にある時間間隔で、連続的な物質に置き換えられると、過去の時間を実証的に観測することが可能となる。

時間における連続とは、物質に欠損がなく存在することである。また、時間における不連続とは、物質に欠損があり、もとあったものがなくなっていることである。

たとえば、ある時、ある物質が連続的にたまっていたが、別の時に事件が起り、あるべき物質がなくなったら、そこには時間に不連続を生じさせる現象がおこったと、みなすことができる。物質の連続や不連続は、時間の連続や不連続に、置き換えることができる（図10A）。つまり、

物質的欠損＝時間的欠損（時間的不連続）

となるのである。

ただし、同時期にできた物質が、一部欠損しても、時間的欠損が起こっていない場合もある（図10B）。たとえば、過去にある量の物質ができたとする。現在その物質が半分になっていたとすると、物質の欠損はおこっているものの、「順序」としてみた時間には欠損は生じていないことになる。このような場合は、

物質的欠損≠時間的欠損（時間の連続）

となる。

物質が欠損した場合、過去の時間が欠損する場合としない場合があることが特徴となり、注意すべきこととなる。

4 物質における連続と不連続

過去に形成された物質を現在調べるとき、その連続や不連続には、空間的連続や不連続、時間的連続や不連続が加味されて、記録されていくことになる（図11）。これらの関係を物質が

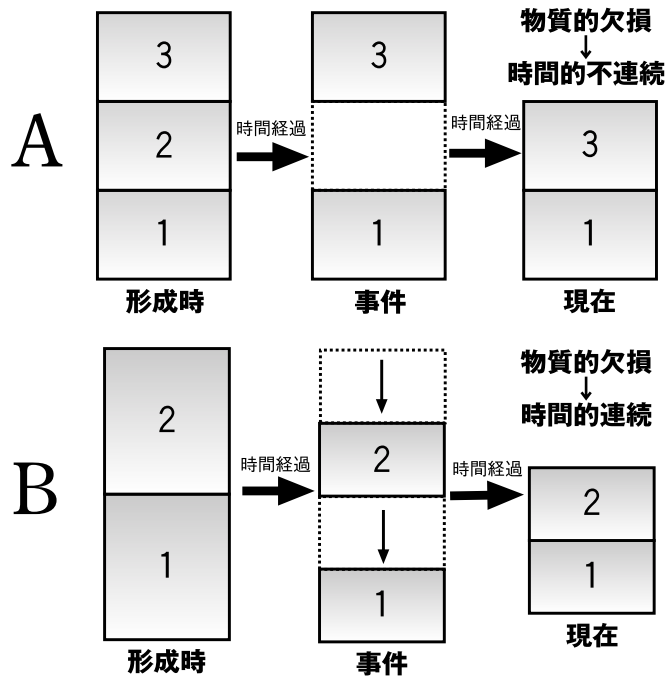


図10 時間の物質への置き換えと欠損の関係

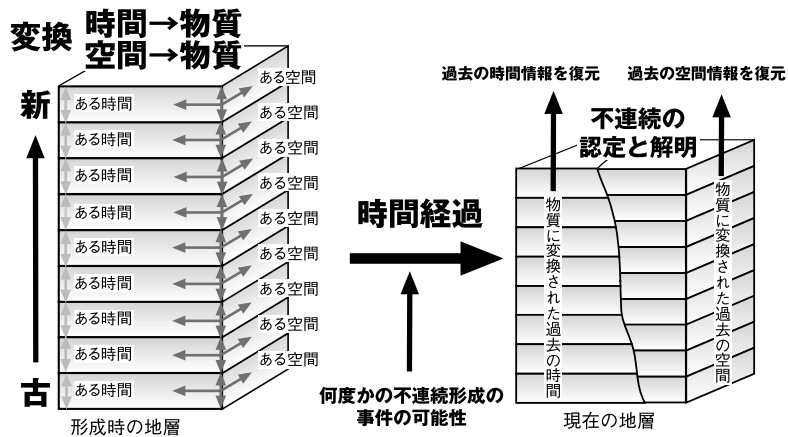


図11 連続と不連続から過去の情報を復元

現在存在する物質（岩石）に残された連続と不連続から、物質に変換された過去の時間と空間における連続と不連続の認定と説明をして、過去の時間と空間の情報を復元していく。連続からは形成時の、不連続から形成後の事件の意味を読み解く。

ら読み解いていくことが、地質学の作業となる。

物質が連続していれば、形成されたときの時間や空間が現在まで保存されていることになる。これは、過去を読み解く上では最良の素材といえる。

しかし、現実の素材には、大小さまざまな欠損、不連続があることが一般的である。その物質的欠損は、今までの議論からわかるように、注意すべきことがある。空間と時間とを物質に置き換え、形成された後に不連続を形成する事件があれば、物質的欠損が起こる。その時、

（物質的欠損＝空間的欠損）

（物質的欠損＝時間的欠損） or （物質的欠損≠時間的欠損）

という現象が同時に起こっていることになる。その状況を野外で観察し、どのような事件であったかを読み解いていくことになる。つまり、物質的不連続の意味を読み解くことになる。この作業によって、物質の形成からその後現在に至るまでの各種の事件を解読し、過去の歴史を作ることができる。

Ⅳ 地質現象における連続と不連続

以下では、物質（岩石）が、時間的、空間的に連続な状態で形成され、その後なんらかの事件や変化によって、どこかに不連続が生じた場合を考える。物質，時間，空間における連続と不連続の組み合わせを、地質現象で対応するものがあるかどうかを考え、それぞれの特徴をみていく。

物質，時間，空間の軸で考えると、3次元において連続と不連続があるから、2の3乗で8通りの組み合わせとなる（図12）。3次元の軸を紙面上で表示するのは困難であるので、2次元の表として示す（表1）。

これらの各場合は、地質学あるいは過去の保存と復元において非常に重要な意味をもっている。以下では、上述の連続（○で示す）と不連続（×）の組み合わせを網羅し、地質現象に実例があるかどうかを考えていく。

ただし、地質学では、連続と不連続の実体を目的論的に解釈して、実体を変更していることがある。その点についても言及していく。なお以下の見出しのアルファベットは図12及び表1と対応している。

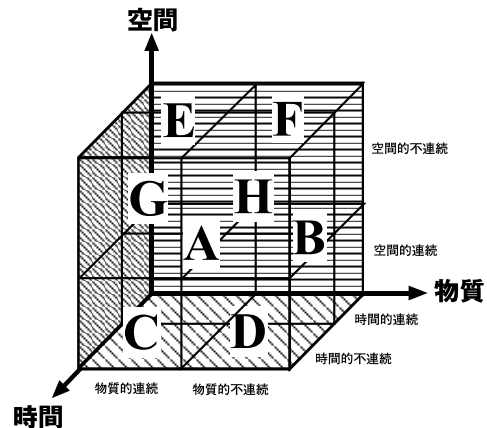


図12 連続・不連続の物質，時間，空間の3次的関係

アルファベット（A～H）のつけられた8つの領域は、表や本文中の見出し記号に対応している。

表1 連続・不連続の物質、時間、空間における組み合わせ

物質	空間的連続		空間的不連続	
	時間的連続	時間的不連続	時間的連続	時間的不連続
連続	A ある	C ある	E ある	G なし
例	単層の堆積岩 一つのマグマから形成された火成岩 連続な岩石が同一条件で形成された変成岩 整合の地層 (上記のものは漸移するものも含む)	【整合の地層】 ハイエイトス 複変成作用 累進変成作用 後退変成作用	堆積岩の圧密作用 火成岩の脱ガス 変成岩の流体	
不連続	B ある	D ある	F ある	H ある
例	深成岩（火成岩）の層状構造 火山岩（火成岩）の流理構造 【変質や変成作用に伴う元素移動】	地層の層理面	【一部の削割された整合の地層】	火成岩の貫入 断層 不整合

【】内は、現実にはこのような連続と不連続の組み合わせであるのだが、地質学では別の組み合わせに入れられているものを示す。

A 物質○時間○空間○

物質の連続、時間的連続、空間的連続である場合は、同一グループ内の岩石に不連続がなく現在に至っているものである。これは、形成時の状態がそのまま現在まで保存されている岩石を意味する。地質学による岩石の研究は、連続状態が基本となる。連続が確定された後、不連続が読み取られていく。大部分の岩石には不連続が多数あるが、連続状態がどこかに保存されている。このような連続状態から、岩石の形成時の条件や環境を復元していくのである。

火成岩では岩体内の同一岩石グループの深成岩や溶岩流、変成岩では連続した元の岩石（原岩と呼ばれる）が同一変成条件で形成された岩石、堆積岩では同時に堆積した地層（単層と呼ばれる）が、この場合に相当する。物質的には不連続はないが、物質の性質が漸移的に変化していく岩石グループも、ここに含まれる。

B 物質×時間○空間○

マグマが固化するとき、時間の経過は温度低下として現れる。温度低下は、物質の変化（組成変化）を起す。ゆっくりとマグマが固化する場合、「層状構造」が形成されることがある。層状構造とは、マグマ溜りの中で形成される結晶（鉱物）の種類が、温度に応じて変化していくものである。その変化が繰り返し起こり、沈殿した結晶の組み合わせによって層状の岩石が形成されるものである。これらは、物質的には明瞭な不連続が認められるが、同一マグマ溜まり（同一空間）であり、時間的に不連続性はあるが、その時間差が検出されないため、時間的不連続に関心を払われることはない。

マグマ溜まりで組成変化をもったマグマが、地表に流出すると、一つの溶岩流の中に縞模様が形成されることがある。このような火山岩中の縞模様を「流理構造」と呼ぶ。流理構造には、明瞭な物質的不連続が見られるが、時間や空間の不連続はみられない。

変質作用や結晶生成や変成作用による再結晶作用では、元素が移動する。しかし、そのよう

な小規模な移動は、岩石の鉱物レベル（ μm から mm のスケール）の移動なので、地質学での扱いとしては、標本レベルで物質の変化がないとみなされている（例えば、都城，1965； 都城・久城，1977など）。

C 物質○時間×空間○

次で示すDの地層の境界（層理面）は、物質がほとんどたまることのないところである。物質がたまらないために、そこには時間も空間も保存されない。空間は保存されていないだけであって不連続ではない。一方物質に置き換えられていない時間は、不連続となる。しかし、現状の技術では、層理面の時間的不連続を検出するほどの時間分解能をもった解析ができない。

地質学では、このような地層が連続的に連なるときを、「整合」と呼び、連続とみなされ、Aの区分に入れられている。

ところが、時間が物質に置き換えられなかった場合で、不連続が検出される場合がある。微化石による時間ギャップの検出や火山灰の堆積順序からあるべき火山灰がない場合などは、時間の不連続が認識できる（例えば、湊，1973など）。このような場合、検出できる時間欠損（時間的不連続）のある層理面を「ハイエイトス（無堆積）」と呼んでいる。ハイエイトスは、物質的、空間的には連続しているが、時間的には不連続が認識された場合となる。

変成作用では固体物質の連続性は破られない。つまり空間も変化しないということである。変成岩は、変成を受ける岩石の種類（原岩）は問わない。したがって、同一変成相でも、各種の岩石を混在しているのが、一般的となる。そのような変成岩は同一空間において同時に起こった事件でも、原岩に応じて区分される。しかし、これは物質の不連続がそのまま反映されているので、この場合には当たらない。

同じ岩石に、変成作用が2度以上にわたって起こる場合、別時間の変化が同一岩石に記録されることになる。このような変成作用を「複変成作用」という。いずれかの変成作用の効果が岩石中に偏在しているとき、複変成作用によって時間的不連続が同一の岩石に記録されることがある。

また、変成作用において、時間と共に変成作用の条件が変化する場合が記録されることがある。変成条件がより高温高压になる場合（累進変成作用）の変成条件は記録されやすいが、低温低压の条件になっていくもの（後退変成作用）は記録されづらい（例えば、周藤，小山内，2002など）。しかし、変成岩の研究は、このようなプロセスを解明することが、大地の変動を解明する上で重要となる。

D 物質×時間×空間○

一般に地層は、土砂が一気に海底に流れ込んで、一つの層が形成される。地層形成は地質学的には非常に短時間でおこなわれる。大部分の時間は地層の境界に存在することになる。地層

の主要部が短時間で形成された後は、微小の粒子が堆積するが、その量は少なく、地層の境界部分（層理面）では、物質がほとんど堆積しないところとなる。層理面の形成時に物質的不連続があるわけではなく、物質が堆積しないのである。堆積する物質が存在しないときは、空間も物質に置き換えられていないので、空間的に不連続を起こした現象は記録されようがない。層理面では空間は連続しているのである。ところが時間は、物質に置き換えられていないのであるから、層理面では明らかに時間的不連続が形成される。

E 物質○時間○空間×

堆積岩が形成されるとき、堆積物の粒子間を埋めていた水（海水の場合が多い）が埋没していく過程で、圧密作用を受けて、搾り出されていく場合がある（ほとんどの堆積岩ではこの作用が起こる）。陸上で堆積したものには気体が入っていることもある。このような水や気体の占める率は、空隙率として示される。堆積時の空隙率は60～80%ほどであるが、圧密作用により35～45%まで減少する（武蔵野, 1995）。空隙率の変化は、45～15%となる。比重で見ると、水を含む堆積物は1.5～2.6であるが、固結した堆積岩は2.5～2.6になる。このような作用は、時間の経過に伴って、空間の欠損と物質の欠損が生じたことになる。

火成岩が形成されるとき、マグマにもともと含まれていた揮発成分が発泡して、岩石中に閉じ込められる。しかし固結後長い時間を経過すると、岩石から大部分のガス成分が抜けて（脱ガス作用）いく。そのあとには、空隙が穴として残ったり、他の固体物質が後の事件で埋めたりすることがある。空隙には観察状態では、現在の空気が入ることになる。これも、形成後、ある空間が別の物質と空間によって置き換えられたものである。

変成岩の定義は、固相反応のみで形成され、物質の移動がないというものである。しかしこれは定義の上であって、変成岩が形成されるとき、流体（水とそれに溶解している成分）が関与している。変成反応を記述するとき、化学反応式に H_2O や CO_2 などの成分が取り除かれたり、添加されたりしていることが前提とされていることから明らかである。このような流体の出入りは、物質の空間の改変を意味する。

上記の状態は、空間の欠損と物質の欠損を起こしているが、地質学では岩石形成の過程で、水やガスなどの流体は固体でないため、特別な目的がない場合、注目されない。固体のみに着目してみると、形成後の物質は変化していないか、無視される程度のものとなり、物質は欠損していないと見てよいほどである。現在の岩石から過去の情報を読み取るには、流体相は変化し移動しやすく、いつの事件によるものかを認定することが難しい。固体であれば、基本的な挙動を理解しやすいので、地質学では固体に着目して調べられることが多い。したがって、地質学の扱いとしては、空間の欠損が起こっているが、物質は連続しているとみなされている。

F 物質×時間○空間×

地層が形成されるとき、すでに存在している地層の上に堆積していく。もし、新しい地層を形成する堆積作用である土石流や海底地すべり、乱泥流などが激しいものであった場合、既存の地層の上部を削剥して堆積することが起こる。これは、整然とたまった既存の地層を欠損させているので、そのような削剥作用が起こったことを容易に知ることができる。しかし、地質学では、このような削剥作用は、地層形成のときに定常的に起こりうる作用なので、特別な目的がない限り、順番を乱すことがないので、整合として扱われている。

G 物質○時間×空間×

このような組み合わせに該当する地質現象は存在しない。

H 物質×時間×空間×

岩石グループが不連続に接触する関係には、次の2つの場合がある。ある岩石グループが他のグループに接して形成された場合と、別々に形成された岩石グループが別の時期に接するようになった場合がある。

地下深部で形成されたマグマが上昇するとき、他の岩石を突き貫けていく。その時、不連続の関係が形成される。このような関係を、火成岩を中心としてみると「貫入」といい、堆積岩を中心としてみると「非整合」と呼ばれる。

ただし、「非整合」には、小さい規模の地層間の不整合に使うこともある。その境界に、物質、空間、時間の欠損があるが、陸上に出て侵食、削剥されるほどのことはなかったものをいう。わずかな堆積の休止のことで、ダイアステムとも呼ばれている。

別々に形成された岩石グループが接する場合として、断層と不整合がその典型である。

断層関係は、地質学的関係としては、一番多い不連続関係かもしれない。規模を問わなければ、至るところに断層があるのは上述の通りである。日本列島の地質図を見れば、どのようなスケールでも見ても、断層のない地域はない。大きな露頭をみれば、断層を多数発見できるし、顕微鏡でも小断層を見ることができる。

不整合とは、堆積作用に対して使われる言葉だが、不整合の相手となる岩石は、堆積岩だけでなく、火成岩や変成岩に対しても適用される。不整合には非常に多様な種類が観察される。不整合面で、地層の傾きが違っているものを傾斜（斜交）不整合（大きな時間間隙、空間間隙があったことを意味する）、不整合面が地層面と平行なものを平行不整合（不整合面は地層と平行でなくても、でこぼこでもいい）などがあり、その他にも形態や不連続の意味によって、混成不整合、部分的な不整合、ノンコンフォーミティ、準整合などが区分されている。

不整合において地層間にみられる時間間隙で、侵食、破壊された堆積物の時間と無堆積の時間を合わせたものを、ラキュナと呼んでいる。

V さいごに

岩石における連続と不連続の関係は、地質の変遷を探るために重要な情報を提供する。その解説はなかなか困難である。その困難さは、現状では技術的に困難である場合と、情報が保存されていないために不可能の場合がある。前者は技術や学問の発展によって、克服することが可能であるが、後者であれば、その解説はできないことになる。しかし、その「境界」がどこにあり、どこまで解説できるかはまだ判明していない。その判断を複雑にしているのは、本論で示したように、物質、時間、空間の情報が、物質内に非常に複雑に混在しているからである。

その複雑さを解きほぐすために、本論で示したように、岩石を要素還元的に、物質、時間、空間という基本的要素にし、その連続と不連続にして過去の現象を読み取るという手法が有効であろう。どこまで、何が解説可能かどうかは、本論のような視点で整理すれば、少なくとも不可能な情報をあらかじめ知ることができる。つまり、不可能を知っておけば、存在しない情報を求めるというような初歩的失敗はなくなるであろう。

地質学では、解析できるかどうか、意味を認識できるかどうかによって、現実に行っている不連続を連続とみなすことが、運用上おこなわれている。しかし、今後解析技術が向上してくれば、このような運用上の転換をすることなく、あるがままの自然の情報を読み取れるかもしれない。最終的に、連続と不連続の関係を、物質、時間、空間の形成から現在までの変遷として解説できたとき、地球の大地の歴史がすべて読み取れたこととなる。しかし、本文で議論してきたように、その道は遠い。

文 献

- Gradstein, F. M., J. G. Ogg and A. G. Smith, 2004. 『A geologic time scale 2004』 Cambridge Univ. Press, 589.
 Harland, W. B., R. L. Armstrong, A. L. Cox, L. E. Craig, A. G. Smith and D. G. Smith, 1990. 『A geologic time scale 1989』 Cambridge Univ. Press, 263.
 都城秋穂, 1965. 『変成岩と変成帯』 岩波書店, 458.
 都城秋穂, 久城育夫, 1977. 『岩石学Ⅲ』 岩波書店, 245.
 湊正雄, 1973. 『地層学 第2版』 岩波書店, 396.
 武蔵野実, 1995. 「堆積岩」『岩石と地下資源』 共立出版株式会社, 64-98.
 西尾実, 岩淵悦太郎, 水谷静夫編, 1971. 『岩波国語辞典第二版』 岩波書店, 1160.
 周藤賢治, 小山内康人, 2002. 『岩石学概論・下 解析岩石学』 共立出版株式会社, 260.

Geological boundaries in the view of material, time and space

KOIDE, Yoshiyuki

Rocks formed at the time and the space in the past. “Rock” material should be considered records of time and space at formation. Rocks have been affected by various changes from the formation to the present. The changes made discontinuity in the rocks, which are geological boundaries. The records of discontinuities in rocks could reveal the geological events from the formation to the present. In this paper, the geological boundaries are organized in a viewpoint of continuity or discontinuity in material, time and space.

（こいで よしゆき 本学人文学部教授 こども発達学科）