

複雑系科学である地質学における武谷三段階論の有効性 堆積学, 環境問題に関わる地質学的例を取り上げて —複雑系科学としての地質学 その3—

志岐常正 *

Significance of “Taketani’s three-stages of scientific recognition concept” in studies of complex systems with special reference to a few examples of sedimentary and environmental geology – Geology as a science of complex systems – part 3

SHIKI Tsunemasa*

Abstract According to the Taketani’s “three-stage theory” scientific recognition should be carried out through three stages; 1 the “phenomenological stage”, 2 the “substantial stage” and, 3 the “essential stage”. This theory is concerned originally with non-complex systems but can also be adapted to the study of complex systems also. A few examples are, 1: The contrary tendency problem among decrease of grain sizes and compositional maturity of the Permian and Triassic sandstones in the Maizuru belt was solved by investigation of the inner “substantial” structure of the stones. The grain sizes of the constituent minerals of the sediments were controlled essentially by the characteristics of substantial constituent crystals. 2: Mo content distribution in sediments of Lake Shinji researched by Yasumatsu (1973) provides another example showing the importance of trace-level investigation. Mo is concentrated substantially in fine clay-size sediments around a river mouth. 3: As and Pb were found in the water discharge tunnel which was planned to strengthen the discharge ability of Amagase dam. The source and the substantial state of the elements in the samples was not checked by the relevant government department. Therefore city offices could not offer any exact information about environmental pollution to citizens. These examples show the importance of substantial studies. The combined consideration of two concepts, the “system formation level concept” and the “three stages of recognition theory” is a strategically effective way to understand various complex systems.

Key Words : Complex systems, three-stage theory, system formation levels, geology

はじめに

一連の本論説のその 2 (志岐 2014) において, 筆者は, 地球科学の対象における階層性の不鮮明さとその発現理由を, 複雑系としての地球系の“自発的”形成経過などを踏まえて考察した。

この世界の構造に階層性があることの認識は, 志岐 (2014) で触れたように, 日本においては物理学や生物学, 医学などの諸分野を中心に広がり, すでに 1900 年代の中頃には, 研究課題説明に際しての常識的必要事項とされるまでに至っていた。しかし世界の学界では, (すでにエンゲルスによって指摘されていたのだが,) これまで論考されることは少なかったように思われる。

日本において指摘, 検証され, いまだ世界の学界にほとんど知られていないと思われる理論的問題には, 階層性の他に, 認識発展の 3 段階 (武谷 1942, 1966a, b) がある。武谷三男によって唱えられたこの論考 (以下, “三段階論” という) が, 湯川秀樹らの中間子論の発展を励ました (たとえば坂田 1965 参照) ことは, 日本では広く知られている。近くは益川敏英も, 小林 誠とともにノーベル賞を受賞したクォーク研究を進める際に, この三段階論を導きの星としていた。近年では, 三段階論は, 複雑系の科学論に, 階層論とともに取り入れられている (栗野 1997; 菅野 2013)。筆者は, 本論説 (その 3) において, 地球科学研究における 2, 3 の例を挙げて, 階層論と三段階論の關係に注目することの意義を検討する。

2015 年 10 月 27 日受付 2016 年 3 月 3 日受理 担当エディター 金井克明

* 京都支部 〒 611-0002 京都府宇治市木幡北畠 15-8
15-8, Kitabatake, Kohata, Uji, Kyoto, 611-0002, Japan

科学的認識の三段階論

自然の認識に関する武谷三男の三段階論を、坂田昌一の1959年の説明(坂田1966収録)に従って最も短く記せば、「自然の認識は、現象論—実体論—本質論という3段階の環を画きながら螺旋的に進む弁証法的過程である。」ということになる。3段階とは、「主として現象の記述を行う第一の段階」、「そこに何があるか、対象がいかなる構造になっているかを知る第二の段階」、「実体の相互作用の普遍的法則から現象を媒介して来る本質論的段階」である。ここで「媒介して来る」と言っている言葉の意味は、坂田の同じ著書での説明をみると、「実体論の整理を行いつつ、本質論へ高まる路を探している」といった内容であると解される。

武谷は当初、この三段階論を、当時の量子力学の研究段階を指摘して課題を明確にするために提起した。すなわち、地球と太陽との関係の本質がニュートン力学の法則にあることが明らかにされるためには、まず両者の「実体的関係」(武谷の表現による)の正しい認識が必須であったことを歴史的過程の検証によって示した上で、原子の構造を本質的に理解する上で、実体の導入が必要であることを論述したのであった。この指摘はその後拡張され、科学的認識一般に当てはまる論理であるとされる(武谷1966b)。その理由は、自然自体にこの三つの面が組み合わさっているからという。そうだとすれば、この三段階論は、地球科学にも適用されることになる。だが、我々が知っている地球系内部の事物、事象は、前編で検討したとおり、複雑系としての特質において、天体の運行や素粒子の世界とは非常な違いがある。果たして適用は可能、妥当だろうか。結論から言えば、可能であるだけでなく有効である。その際に、ポイントとなるのが階層論との組み合わせである。次章でその具体例を挙げる。

実体論か実態論か

以下に、筆者は「実体」と「実態」を区別して用いるので、読者は注意を願いたい。この場合、「実体」は哲学的に複雑な意味を含まず、単純に「実在する物」を意味する。中間子論における中間子はこの意味でも実体である。中間子は、それを想定すれば、原子の様態と、それが構成される力学的理由、つまり強い力の働きという本質とを、ともに提起、検証できるモノ、つまり筆者のいう「実体」として、その存在が予言されたものである。中間子に限らず素粒子は粒子性と波動性を持つものだから、「実体」には物質の物体だけでなくエネルギーを含む。

これに対して、当初に武谷(1942)が例示した太陽系の構造とニュートン力学の関係、すなわち、太陽が東から上る現象の本質(何故か)を知る過程で導入されたのは、すでにティコ・ブラーエやガリレイによって明らかにされていた事実、つまり地球の方が太陽を回っているという実態である。未知

の新しい物(実体)が想定されたわけではない。

このように、中間子論で導入された実体と、その導入の理論的(哲学的)根拠の考察にあたり参照された太陽系の構造とには、実在するモノとその存在様態(状態)という違いがある。このことは、武谷の三段階論では意識されていない。

武谷の「実体」の用法は間違っていない。彼が実体と言うとき、それは哲学用語としての実体であり、それにはしばしば「実態」が含まれるからである(付記参照)。しかし、そのように複数の意味を含むのでは、筆者の今の論述の場合には困る。

繰り返すが、ここでいう「実態」は実在する実体がつくる様態である。したがって、もし実態を構成する実体が未知ならば、原子核の構造論の場合のように、これを仮説的に導入しつつ、それがつくりうる様態を検証することが、本質論を展開するためには有効である。しかし、この手続きは常に必要なのではない。後の章で例を示すが、地質学の研究においては、実態としての構造を造る下位階層の「実体」が未知なケースは稀である。地質学の対象の研究に必要なのは、ほとんどの場合、実態の想定である。このことへの留意を読者に求める場合、以下に武谷の「実体」、「実体論」に代えて「実態」、「実態論」を用いる。

三段階論と階層論の結合経過

ちなみに、武谷の三段階論には階層論がない。彼は「現代科学思想」(武谷1942:武谷1966b収録)において、「多数の物質素粒子の集まりが宇宙を形成し、非歴史的な素粒子の世界はこうして自然の歴史の展開に投げ込まれる」と言っている。ここで彼が「本質と現象」という時、それらは彼の三段階論で言う「本質」と「現象」を指すものであるに違いない。ここでの彼の言説は、素粒子からいきなり宇宙に跳んでおり、その間の階層構造には触れていない。同じ事は、「弁証法の諸問題」、「續弁証法の諸問題」収録の彼のどの論文(武谷1966a, b)についても言える。

坂田昌一は早くから階層論と武谷三段階論、それぞれの意義を強調していた(羽仁・坂田・武谷1968)。ただし、坂田(1966)に収録されている彼の諸論説から推測すれば、彼も当初においては、階層論と三段階論との関係を論じてはいなかったらしい。しかし彼の1959年の論説(坂田1959)では、「現代の物理学が、原子から原子核へ、原子核から素粒子へと次々に物質の奥深い階層(レベル)をあばきだしてきた」と述べて、これに結びつけて武谷三段階論を解説し、「対象についての実体的知識が欠くべからざる要素となっていることを強調したのが武谷論文の骨子である」ことを指摘している。この頃にはすでに、素粒子論の分野では、三段階論と階層論を結びつけて議論が行われていたことがうかがわれる。さらに坂田(1965)では、視野を宇宙の全階層に広げ、自然界には質的に異なった無限の階層が存在していることを指摘した

上で、「新しい階層の研究がまず現象を記述する段階、すなわち現象論の段階から始まるのは当然の順序である。(中略)現象論の段階の次には現象の背後に横たわる新しい階層の実体をとらえる段階と、そこを支配する新しい法則とを見付けだす段階がある」、「本質論のなかにはつねに新しい現象論的要素が芽生え、次の発展を準備している」と述べている。

このような坂田による論説があったにも関わらず、階層論と三段階論との関係が、科学的認識論の問題として、栗野(1997)、菅野(2013)などによって正面からとりあげられ、複雑系の問題としても扱われるまでには、その後30年が経過した。もっとも、個別の研究においてこの二つの関係が意識的に問題とされたことは、物理学関係でも、地質学を含む他の分野においても、少なくなかったかも知れない。しかし、普通の調査・研究報告では研究の認識方法論を記述することはないので、それは明らかでない。いずれにせよ、武谷や坂田が論じて以来のこれら論説において、階層性が明確でない“普通の物質”の複雑系(志岐 2014)についての階層論と三段階論の関係が記述されたことはないと思われる。

筆者は数十年来、この関係を意識して研究してきたが、その経験を記述したことは一度だけにとどまる(志岐 1978)。以下に、2・3の例を紹介し、議論の材料としたい。

堆積学的研究・問題例

舞鶴帯砂岩の組成と成熟度

未固結堆積物や堆積岩、とくに砂質岩の各種研究法が、1950年代から1960年代にかけて再開発され、その研究が、世界各地の対象について盛んに進められた。まずなされたのは、当然ながら記載である。そのためには砂質岩の分類法の確立が必要であった。ところが、この対象は思いのほかに複雑、多様であり、20に及ぶ分類案が提出され、混乱といえる状況を生出した。多数の案が出されたのは、研究者による目的、あるいは着眼点などの違いがあったからと言える。その背景の一つには、当時発展していた地殻変動論、とくに造山輪廻説があった。堆積物がその生成条件・環境を反映していることは当然である。だがそれだけでなく、たとえば、グレイワッケ、アルコーズ、オーソコーツァイトなどと分類・命名される砂岩を、造山輪廻の三つの段階の指標としたいという思いが、分類を成因的なものに志向させ、結果として混乱をもたらしたと言われる。小論ではこれ以上の言及を省くが、現象論的記載から実態論、本質論へ、一見“ごちゃごちゃ”と、しかし、大きくみれば螺旋的に、あるいは正、反、合と弁証法的に認識が進んだ一例といえるだろう。詳しくは、庄司(1971)やOkada(1971)、Blatt et al.(1972)などの総括的記述や志岐・水谷(1965)の論文中的関係する記述を参照して頂きたい。

この論議のなかで打ち出された概念に、碎屑性堆積物の成熟と成熟度(maturity)がある。その一つは、堆積物の分

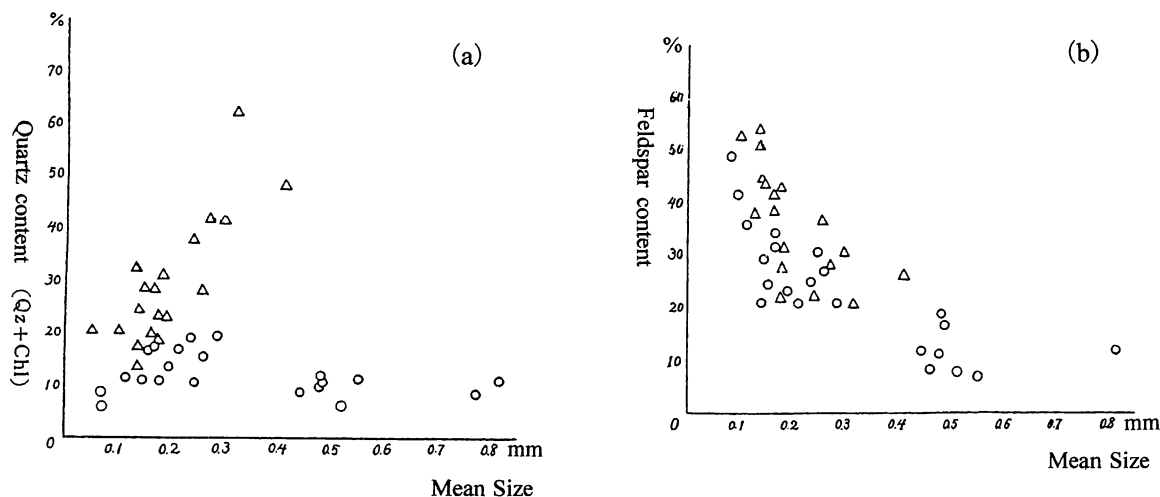
級度や、個別粒子の円磨度などを基準とする textural maturity (Folk 1951) である。一方、構成物の種類(鉱物、岩石片や生物遺骸を含む。以下、それらの組成を略称して鉱物組成という)による風化や運搬の過程での耐久性の違いに基づいて、compositional maturity の定義がいろいろと提唱された。とくに、石英の耐久性が高いこと、これに反して長石(とくに斜長石)は風化しやすく、また細かく割れやすい(undurable である)こと、岩石破片は当然ながら undurable であり、細粒碎屑物には含有量が低いことなどが留意された(Plumley 1948; Pettijohn 1949; フリッツ・ムーア 1999 など参照)。つまり、岩石破片や斜長石が少なく石英が多いほど、碎屑物の成熟度が高いことになる。

筆者は、この当時、舞鶴地帯の層序と構造、地史などを中沢ほかとともに研究する中で(中沢ほか 1958; 清水・中沢ほか 1962; 清水・志岐ほか 1962 など参照)堆積岩、とくに砂岩の堆積学的検討に取り組んだ。舞鶴地帯を構成する時代を異にする層群の砂岩のグレイワッケ質、アルコーズ質などといった特性が、考えられる地史、造構史ときわめて整合的であることが注目された。

しかし、成熟度のコンセプトを舞鶴地帯の砂岩に機械的に適用しようとする問題が生じた。たとえば中・下部三畳系夜久野層群の砂岩について鉱物組成だけを見ると、石英が多い砂岩には長石が少なく、石英が少ないほど長石が多い。ところで当時、碎屑粒子はより長時間、より長い距離を運搬されるほど、破碎や磨耗によって小さくなっていくに違いないというわけで、たとえば河川の堆積物が下流ほど細粒であることが、普通、これによって説明されていた。この点を合わせて舞鶴地帯の各層の砂岩をみると、全体の粒径が細い砂岩ほど斜長石が多く集まっており、石英は、より粗粒の砂岩に多く含まれるという記載の事実がある(第1図; 志岐 1959, Shiki 1959)。この現象に maturity の定義を機械的に適用すると、斜長石が多い、つまり compositional maturity が低い砂の方が、それが少なく石英が多い、つまり compositional maturity が高い砂より粒径が小さいのだから、遠距離、あるいは長時間、流されてきたものだということになる。これは奇妙ではないだろうか。(ちなみに、舞鶴地帯の舞鶴層群や夜久野層群の砂岩には、供給源の関係でカリ長石がほとんど含まれていない。)

この一見矛盾した現象は、運搬の距離や時間が長いほど碎屑粒子のサイズが小さくなるという漠然とした考えを捨て、粒径による選択的運搬機構(木村 1956)を重視することによって、不思議ではないことが説明された。以下に、筆者が実際に行った考察、検討の経過とは順序が異なるが、まずとくに、舞鶴層群の混濁流堆積砂岩の場合について検討してみよう。その方が読者の納得のためには早いかと思うからである。

そもそも、混濁流は集合運搬流であり、これによる運搬・堆積で、ほとんど時間差なしに一度に形成された同一単層の



第1図 舞鶴地帯砂岩の粒度（平均粒径）と鉱物組成（石英・長石量）。

○：Mizuru Group, △：Yakuno Group. a：砂粒の平均粒径と石英量との関係. b：砂粒の平均粒径と長石量との関係. (Shiki 1959)

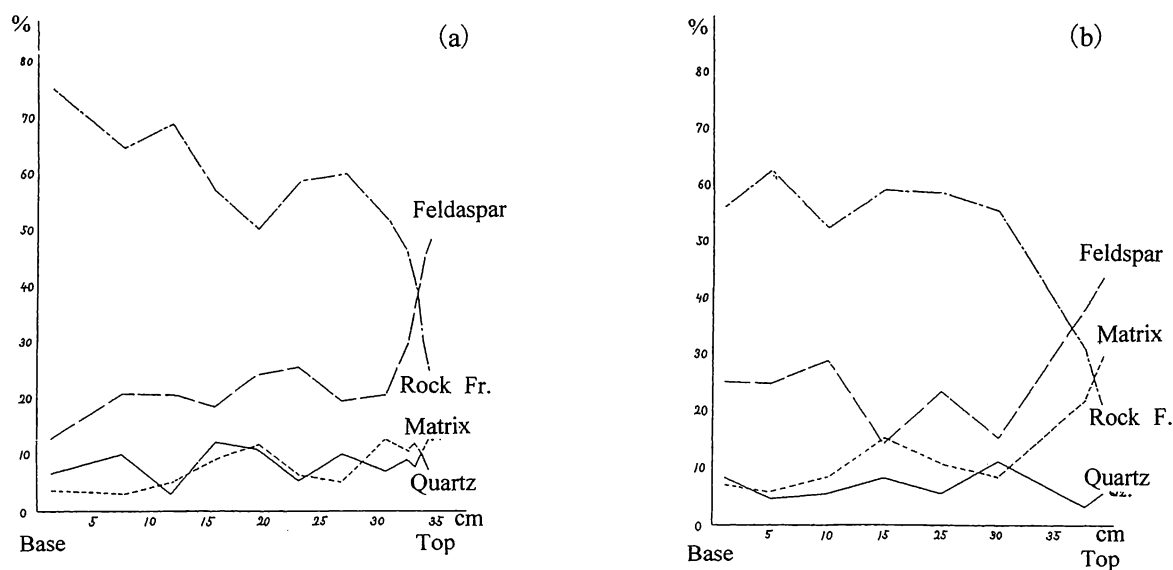
Fig. 1 Grain-size and mineral composition of sandstones in the Maizuru zone, Southwest Japan.

a: Relation between amount of quartz and mean size of sand grains. b: Relation between amount of feldspar and mean size of sand grains (Shiki 1959).

内部を，部分により成熟度が異なるとはいえない。つまり，運搬距離や時間などの影響を考えると自体が，この場合，実態論として意味がない。一方，混濁流内部では重力の下で粒度分級が起こる。碎屑堆積物は単層毎に級化成層する。結果として，単層の内部で，斜長石は粒度の細かい上部に集まり，石英含有量は粒度が大きい，より下部で高くなる（第2図）。言い換えれば，一見現象的に現れる矛盾は，砂岩の階層性の実態，具体的には砂岩の単層内部の構造（つまり粒度級化）と，それを造る運搬—堆積機構としての混濁流説の導入，および鉱物などが種類ごとに持つ性質の想起によって解決されたことになる（志岐 1959, Shiki 1959, 1961）。

砂岩の粒度と鉱物組成の同様な実態は，舞鶴層群の砂岩単層内部の上下分布についてだけでなく，舞鶴地帯の他の層群，すなわち夜久野層群，難波江層群などの砂岩層の地域的，水平的分布についても存在する。また，現世層を含む日本の多くの砂質堆積物についてもしばしば見られる（志岐 1961, Shiki 1962）。実は，本質的に重要なのは，運搬過程で磨耗されたりして粒径が小さくなることでなく，1）鉱物には種類によってとりやすい粒径があること，2）そうしてとった粒径により選択的に運搬されることなのである。

日本のような狭小な範囲では，碎屑粒子が割れたり磨耗したりして粒度が小さくなる影響は小さい（谷津 1954, 1955）。



第2図 舞鶴層群タービダイト級化層の砂岩鉱物組成 (a, b 二つの試料の例)。

横軸：単層下底から薄片試料採取位置までの厚さ（距離）。縦軸：含有パーセント. (Shiki 1961)

Fig. 2 Change of composition of main components in unit graded strata of the Permian Maizuru Group (Shiki 1961).

木村 1956 参照)。それで、堆積物の粒度的性質は、供給源において岩石や鉱物がとりやすい径に大きく支配される。言い換えれば source rock control, provenance factor (供給源要素)の役割が大きい。碎屑粒子は、その径により流体力学的法則(本質)に従って選択的に運搬される。その“とりやすい径”は岩石や鉱物の種類(実態)によって異なる。運搬による鉱物組成の成熟はほとんど起こらない。

このことは砂質堆積物に限らず、より粗粒の礫質堆積物についても言える。礫がその種類によってとりやすい径があることと、そのことの応用地質学的意義は、つとに小出(1952, 1973)によって強調されている。たとえば、チャートの礫があれば、その径が、河川の場合によらず何処でも、3cm から 5cm ぐらいに一つのモードをなすという現象が見られることは、多くの人が見ていることだろう。なぜそのサイズの礫がしやすいかは、層状チャートの一枚の層厚がそのくらいであるということ(実態)に由来するに違いない。ただし、この場合、その層厚で珪酸質殻をもつ生物遺骸が堆積する理由(本質)は、今もなお説明されていない。現在の大洋底の珪質軟泥堆積過程の実態が、単層より下位の階層について、もっと追求されねばならない。

鉱物について、何故斜長石が小さくなりやすく、石英がなり難いかは容易に推測される。たとえば斜長石には、劈開や双晶が発達するものが多い。石英結晶は、外から力を蒙っても、径 0.1mm 以下にはなりにくい。斜長石や石英のこのような性質は、多少成分が異なる(形成条件が異なる)多くの花崗岩の斜長石や石英についてみられる。たとえば筆者(志岐 1961)は、現世の六甲山地の土砂流堆積物の鉱物組成の形成要因(本質)の一部が、同様に鉱物が風化・浸食で砂粒となる前から持つ鉱物毎の特質にある例を示した。

ではこれらの鉱物が何故このような性質も持つのか。その要因(本質)は、さらに階層を下がって鉱物内部のイオンのつくる結晶構造(実態)にあるに違いない。つまり、まず砂粒という系の内部に存在する構造的関係(実態)を知らなければならない。さらにその本質は、鉱物学の範疇を外れ、より下位の階層の物理学で証明されることになる。

まとめて言えば、礫や砂の記載的な岩石種・鉱物組成(現象)の背後には、碎屑物が供給源の岩石の岩質(その風化特性)によっても粒度淘汰され、その粒度によって力学的に選択運搬されるという本質的メカニズムと、その結果としての時空的実態がある。複雑系科学の用語を使えば、まさに自己組織化による秩序形成である。

ここで付言しておきたいのは、このメカニズムが、さらに上位の広域な自然の事象を大きく規制することである。たとえば、供給源に火山岩が広く分布する関東地方と関西の花崗岩山地を後背地にもつ河川流域とでは、扇状地の形状その他や河川勾配の変換点の現れ方が異なる(志岐 2000)。関東地方の河川の縦断面形については、古く、上に触れた谷津(1954)の研究があるので参照されたい。この自然の自己組織化は、

ひいてはヒトの地域生活の様態までを規定したり、それに強く影響したりする。地域の環境や防災問題が、複雑系科学や、階層性、三段階論の視点から見られるようになることが望まれる。

ちなみに、誤解がありうると思われるので、ここで一つ付言しておく。上記、河川その他の堆積物の粒径を支配する供給源要素の重要性は、広い(つまり運搬距離が非常に長い)大陸環境では日本列島と非常に異なる。つまり、細粒のクラスほど石英粒が多く斜長石は少ないという状況が見られる(志岐 1961; Krumbein and Sloss 1953 参照)。もちろん、その場合についても、直接の研究対象の事象の本質を知るには、その内部の構造と運動の実態を観るべきであることは同じである。

宍道湖底堆積物中の重金属分布

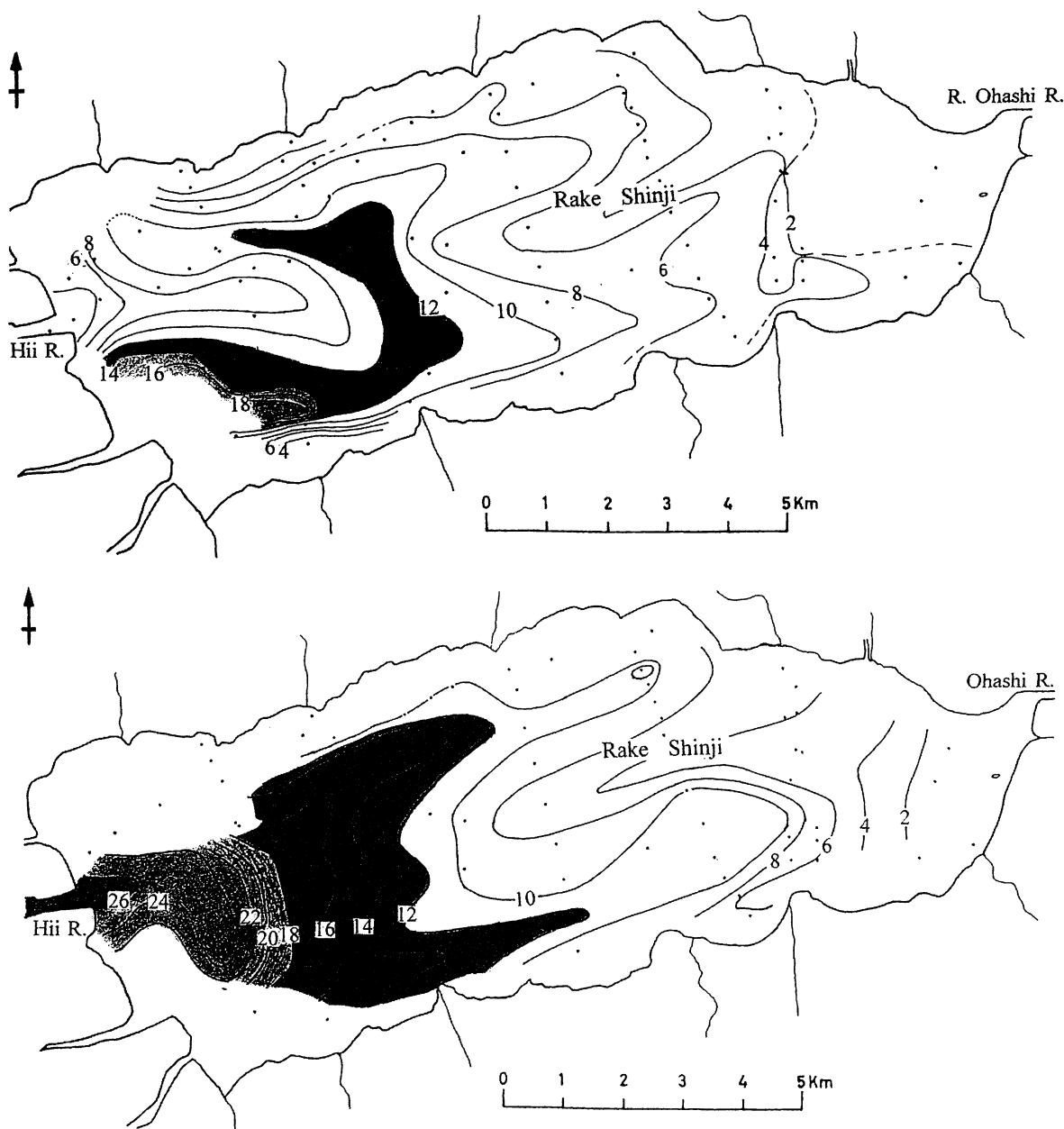
地表における元素分布の地域性は、環境問題の重要な調査・研究課題である。以下に 2 つの例を挙げて、三段階論の見地から、それらの研究を検討する。

以下に紹介するのは安松貞夫の京大修士論文の主要部分である(Yasumatsu 1973; 安松・志岐 2002)。

湖沼の底質に含まれる重金属の含有量は、早くから検討されてきた(たとえば、岡部 1961; 中尾ほか 1971)。しかし、湖沼や浅海の底質中に諸元素が濃集する機構は複雑であり、1970 年頃までは、宍道湖を含めて、良く解明されているとは言えなかった。安松は、地質調査所の中海・宍道湖の総合的研究に参加し、Mo その他数種の微量元素の存在・分布状態に関する調査・研究を行った。その際、採取原試料(バルク試料)だけでなく、その篩い法と水鋸法による粒径分画物を化学分析した。底質原土中の微量元素の現象的な地理的分布だけでなく、その実態をもう少し詳しく調べることによって、分布、濃集の要因をも知りたいと考えたからである(Yasumatsu 1973)。

宍道湖底質の原試料(バルク試料) Mo 含有量の平面分布を、第 3 図 -a に示す。非常に概括的に見れば、西に含有量が高く東に低く、東部から西へむけて舌状に低含有域が入りこんでいる。湖岸部では Mo 含有量が一般に低い。ところが、西端の斐伊川河口付近では相対的に含有量部が低く、それが、その南にある高含有量部から延びる高含有域に取り囲まれるような形になっている。実は、斐伊川上流の花崗岩は Mo を高濃度で含んでおり、その地域には Mo 鉱山も存在している。1950 年代には斐伊川流域の畜産牛に Mo 中毒症が現われた(林 1955; 林・八幡 1958)。当然、宍道湖には、この斐伊川上流から Mo がもたらされると考えられる。斐伊川河口の低含有は一見これに矛盾する現象である。その発現理由を考えるためには、Mo 元素がどのような形で運搬・堆積しているかの実態を、もう少し探る必要がある。

第 3 図 -b に、1/512mm 以下の粒径分割物の Mo 含有量の分布をしめす。この図では、斐伊川河口は著しい高含有域で



第3図 宍道湖底堆積物中のMo含有量コンター図.

a: バルク試料. b: 泥分(1/512mm以下)分画試料 (Yasumatsu 1973).

Fig. 3 Contour map of Molybdenum in bottom sediments in Lake Shinji, Southwest Japan.

(unit: ppm.) 1: In bulk samples. 2: In the mud fraction (finer than 1/512mm) (Yasumatsu 1973).

ある。この底質は砂質である。これらのことから、Moは底質の泥分に濃集しており、バルク試料ではここでMo含有量が低いように見えたのは、砂分で希釈されているに過ぎないことが容易に推定される。このMo濃集の機構をさらに検討するために、Yasumatsu (1973)は、各種の溶液処理によるMoの溶脱を実験し、また斐伊川河床試料の粘土フラクション中のMo含有量を調べた。また、原土のMo含有量と有機物質含有量の相関、関係水域の塩素量など水質の場所による違いや季節的変化なども検討している。これらの結果を

総合して、Yasumatsu (1973)は、Moが水中のイオンとしてではなく、コロイドに近い細粒子として運搬され、宍道湖への河口に至ったものと推定した。また、Moは、湖底では粘土鉱物自体の構造中や構造に結びついた吸着状態にあるのではなく、還元環境下で硫化鉄と共沈しているものと考えている。

上にはMoの分布問題のみをとりあげたが、Yasumatsu (1973)は、他の数種の元素についても、同様な調査・研究を実施した。その結果によれば、たとえばVやCrは、湖岸

の小さい川の河口付近に、岸に沿って濃集している。さらに、これらが Mo とは全く異なり、造岩鉱物の構成元素として、岩石破片や、鉱物粒子が川から湖に砂礫として持ち込まることにより濃集していることも明らかとなった。

この研究は、複数の階層にまたがって事象の 4 次元の実態を調査、把握することにより、その実態形成の機序、要因をも推定した好例と言えるだろう。次には、上下の階層をみなかったために科学性を欠き、事実上、社会的に無駄となった調査の例を記す。

天ヶ瀬ダムトンネル放水路の砒素等問題

京都市東南の宇治市の市街地から 2km の地点に、1964 年に竣工した天ヶ瀬ダムがある。

このダムについては、その堤体の“安全性”の不安を含むいろいろな問題があるが、本論のテーマから外し、ここでは記述しない。

近年、国交省は、このダムの放流能力を増強する意図でダム左岸側を回る巨大放水路を掘削した（第 4 図）。その工事の途中で、トンネル予定地域からの地下水やボーリング試料（岩石）から基準値を上回る砒素と鉛が検出された。国土交通省は、有識者を座長とし、主に事業者（国土交通省）、施工者からなる委員会を設け、岩盤や地下水がこれら元素を含む範囲、および処理対策を検討した（国土交通省琵琶湖河川事務所 2014）。だが、問題の砒素や鉛が何故そこに存在する

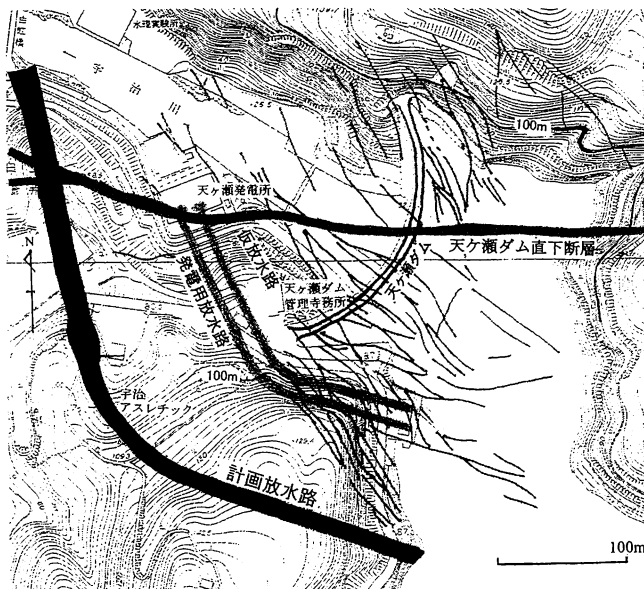
のかは解明しなかった。問題の場所の地下水の上流域に、養鶏団地、霊園などがある（あるいは過去にあった）。廃棄物不法投棄もなされていることが、住民によって目視されている。国交省は、国が規定しているマニュアルに即して、岩石試料を土壌として扱う“土壌分析”，すなわち問題の元素が試料から水に溶出している量の測定などを行った。しかし、これら元素が岩盤の鉱物粒の結晶をなすイオンとして存在するのか、断層や亀裂中の砂泥の鉱物や人工物の破片の構成要素（イオン、原子、分子）をなしているのか、特に粘土鉱物の層間隙水に含まれていて鉱物ごと（固体部分のイオンと液体の水中のイオンとの全体として）運搬されているのか、地下水にイオンとして溶解しているのかといった、つまりどの階層の運搬機構がどう働いたのかを検討するにはこれでは不十分である。また、上記の作業仮説的に想定される供給源からトンネルまでの地下水路の調査・検討もなされなかった。

この場所の地質は不均質であるだけでなく、断層や亀裂、剥離性が発達しており（第 4 図）、実際問題としては、この調査は複雑、厄介である。そのためか、問題の砒素などの検出箇所より階層（広義的に上位の、地域地質との関係も不明のままである。言い換えれば、上下どちらの階層との実態的關係もよく検討されていない。これでは問題の元素が何処にどうあるのか、あるいは何処から何処を、どういう機構で動いてきたのか、つまり、問題の実態や自然的要因（本質）は分からず、対策も技術的にあやふやなまま、社会的行為としての形式的なものに留まらざるを得ない。ところで、一般に還元性環境で堆積した泥質岩には燐が含まれている（岡村ほか 1995）。燐と化学的性質が似ている砒素が、いずれかの泥質岩にある程度高い濃度で含まれていても不思議ではない。天ヶ瀬ダムトンネルの場合も自然の岩盤に含まれているのならば、砒素に関する限り、実はなんの対策処理も必要ないのかも知れない。

問題例の社会地質的背景

本章の始めの 1 節（舞鶴帯砂岩の組成と成熟度）の例で触れたように、源岩の組成や、移動過程を含む堆積物の粒子内部の力の構造（堆積物の性質の本質的要因）は、階層を遡って、堆積物がつくる地形（たとえば河川の縦断面形、扇状地～沖積低地、地盤、湖沼や河川の底質など）の実態を強く規制する。これはヒトを含む生物の環境形成の本質的要因の構成要素である。

環境の化学汚染、すなわち原子、分子の階層の挙動による汚染問題に取り組んでいる地球科学者の多くは、今では、この階層をまたぐ実態の調査、とくに階層を意識した試料採取の重要性を良く認識していると思われる。しかし、上の天ヶ瀬ダムのトンネル放水路の例に見られるように、行政が事業をする場合のマニュアルでは、これは今も無視されている。早急な改善が望まれる。



第 4 図 放流設備（図中左上部）から基準値を超える Pb, As が検出された掘削中の天ヶ瀬ダム放水路トンネル。

近畿地方建設局天ヶ瀬ダム建設誌（1966）の図に紺谷吉弘が新掘削および既設の放水トンネル、大小の断層などを記入した図（国土問題研究会宇治川改修問題調査団 2011）に基づき、筆者が一部加筆。

Fig. 4 A new large drainage tunnel from and around which Pb and As were found.

Previously made smaller tunnels, and distribution of big and small faults are also shown (Based on Research Paper by J. Inst. Land Environ. Stud).

討論 — 本質論への要諦

以下に問題をもう少し一般化して論述し、読者の研究の参考に供したい。

武谷三段階論の要は実態論的研究の必要性、重要性の強調にある。現象論的認識段階での事象の正確な記載、記述は必須であり、それ自身重要である。だが、多くの人々は、事象の要因を知りたいと思うだろう。ことに、環境を守るためや防災のためには、問題の発生要因の解明、つまり本質的理解が必要である。その際、実態のしっかりした認識を欠いた本質論は、天動説のような誤った学説や、ナマズが地震を起こすといった類いの俗説だけでなく、多くの迷信や風評被害の根源となる。

何かの事象を本質的に理解したいとき、言い換えれば、記載的（現象論的）研究から本質論的研究に進みたいと思うならば、その要諦（効率的要領）は、直接に対象としている系が属する階層だけでなく、その上下の階層に渡って、それを構成する系（実体）の時間的空間的動きの実態を想定することである。堆積地質学的な課題を例にとれば、台風、豪雨、洪水、風波、沿岸流、地震、津波、重力流、コンターカレントなどといった多種、多様の営力や作用とそれを担った実体について、どれ（あるいはその複合したもの）が、何時、どこで、どう働いたかを（4次元の実態を）作業仮説的に導入し、その想定が堆積物の記載の特徴（feature）の形成を説明できるかどうかを具体的に検討することである。

その際、いろいろな実体や実態を想定して片端からあたってみても、必ずしも能率が上がるものではない。そこで注目してよいことがある。考えてみると、ある系の本質とは、それを動かす内部矛盾が明らかになることを意味する。そうとすれば、まずその系をなす、より下位の階層の系の時間空間的実態、とくに実体間の関係をみるのが、多くの場合早道である。たとえば、上記の砂岩の成熟度問題の例についてみれば、砂の層やラミナの下位である砂粒の性質（割れやすさ）を、そのまた下位のイオンのなす構造を念頭において見れば、矛盾なく理解される。

ただし、いつでも下の階層さえ視ればよいわけではない。地質研究においては、どの作用をどう取りあげるかについては、下位だけでなく上位の階層、つまり、地質調査によって明らかにされた風化・運搬・堆積場の地質環境の実態を踏まえることが、有効、必要であることは言うまでもない。上に挙げた宍道湖のMoの分布問題は、イオンより上位の砂粒子（実体）の動きを考えることにより明快に解決された例である。

武谷（1966a, b）も強調しているが、三段階とは、時間的順番を言っているのではない。上にも触れたとおり、地質学の研究では、実際のところ、本質、法則は既知である。つまり、宇宙に存在する4つの力のうち2つ（重力と電磁気力）や、それから派生する第二次、第三次などの諸力が支配する

法則（たとえば流体力学の法則）、すなわち本質が、その下位階層の実体を支配している実態は既知である。分子以下の階層の研究が、その法則に基づいて研究対象の複雑な実態を推定するに十分なほどにすでに進んでいる。知りたいのは、原寸大の事象の4次元の実態自身であり、検証されねばならないテーマは、それらの作用が働いている具体的状態である場合が多い。

念のために附記するが、筆者は本質論が実態論より高級であるとか、現象論的記載は低級な研究であるとか、実態論は本質論に進まねば無意味だとか言っているのではない。

なおまた、上述の文章で、“念頭において”と書いているのは、ある階層の本質論とは、上や下の階層の本質論的研究に入りこむことを、必ずしも意味しないからである。上記のように、下位の階層の系（実体）の動きが具体的に指摘できれば、それは問題にしている系の運動の要因の説明であり、その段階を本質論に触れたと言って良いと考える。

おわりに

本論説で挙げた3例は言うまでもなく複雑系の事象である。当然に、もっと複雑系科学の諸基礎概念の術語、たとえば自己組織化、散逸構造、非平衡、発展、カオスその他の言葉を用いて記述することが望ましいかもしれない。しかしここでは、あえて主題である必要概念の導入の試みに絞った。事象を複雑系として見るとは、複雑系科学の既存の概念を覚え、それらの例を挙げ、適用を試みるというだけのことではない。それだけでは実際の個別複雑系の研究としては充分ではない。自然の認識とは、その対象とする当該の系が所属する階層について、その上下に渡り、現象を正確に記述し、その現象をつくり出す実体が構成する4次元の実態を把握することであり、その実態の形成要因やそれを規制する法則（本質）を指摘、解明することである。つまり、階層の具体的系を三段階論的に認識することが必要である。

本論説では、堆積学に関係する例を挙げて、事象の研究に三段階論を意識し採り入れることと、その際に、（階層性がある対象については）階層性に着目するのが有効であることを指摘した。これらは、これまでの科学方法論や科学論で良く論議されてきたとは言えないと考える。

地震や津波の発生は、複雑系をなす自然の自発的な事象である。一方、環境、災害、防災問題の現場も複雑系である。そのことを無視した自然改変が、ヒトによって、そしてそれ自体あたかも自発的のように、無自覚に進められてきた。その結果、自らを、災害に被災のリスクだけでなく、存亡の危機に陥らせている。災害・防災問題を複雑系科学の視点から見の必要性について、筆者は最近とくに強調の必要を痛感している。

謝辞：本稿の主題に関する論議については、複雑系科学研究会シンポジウムその他において、菅野礼治、嶋田一郎、長野八久ほかの各氏にご教示、御討論をいただいた。原稿執筆にあたっては、安松貞夫会員、紺谷吉弘会員、武蔵野実会員には、未正式印刷の研究や資料の紹介、使用を許され、あるいは記述内容のチェックをいただいた。竹内圭史会員、小寺春人会員には注意深い査読と意見を、さらに金井克明担当エディターから懇切な査読とコメントをいただき、これらによって本稿を大いに改善することができた。いずれについても厚く御礼申し上げる。

付記：哲学用語の“実体”と武谷の用法

実体というコトバ（術語：英 Substance, ギ hypostasis, ousia）の意味は、哲学的には、古代ギリシャ以来、哲学者により多様である（丸井 1998；神崎 2002, 思想の科学研究会 2012 参照）。たとえば、“本当にあるもの”, “正体”, “そのものの本体”, “変化を通して持続するもの”, “属性と運動の基本”などと記述されている。そこにはしばしば、「我々が日常見たり聞いたりするモノはホントウのモノではなく、ミセカケのスガタである。このミセカケの下にあるホンモノを実体という」という考えが隠れている。つまり、仮象であるか実在であるかが観念的に問題にされている。さらに、モノの状態の変化（4 次元的構造）は意識にないか、むしろ排除されている。

武谷の用いた“実体”というコトバは自然科学者としてのものであり、観念論哲学的意味ではないだろう。ともあれ、武谷が実体という時、物体とそれがつくる構造との区別をあまり意識せず、両者を含めて、実体と呼んでいることは、上に記した三段階論提起のいきさつと論理からも明白のように思われる。もちろん状態の変化がモノの 4 次元の実態であり、それを持つことがモノの本質的属性であるとの認識を十分に持ったことであると考え。

文 献

- 栗野 宏 (1997) 「複雑系の科学」と自然弁証法. 経済特集・現代と唯物論哲学の課題, 76-87.
- Blatt H, Middleton G and Murray R (1972) *Origin of Sedimentary Rocks*. Prentice-Hall, INC., New Jersey, 634p.
- Folk RL (1951) Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *J Sed Petrol*, 21: 127-130.
- フリッツ WJ・ムーア JN 原田憲一訳 (1999) 層序学と堆積学の基礎. 愛智出版, 386p.
- 羽仁五郎・坂田昌一・武谷三男 (1968) 自然の発見. 岩波講座哲学 VI, 岩波書店, 275p, 2-53.
- 林 英夫 (1955) 牛のモリブデン中毒に関する研究 (第 1 報). 中国農試報告, 2: 109-134.
- 林 英夫・八幡策郎 (1958) 牛のモリブデン中毒に関する研究 (第 3 報). 中国農試報告, 3: 556-562.
- 神崎 繁 (2002) 実体. 永井 均・中嶋義道・小林康士・河本英夫・大澤真幸・山本ひろこ・中島隆博編著, 事典哲学の木, 講談社, 1060p, 462-465.
- 木村春彦 (1956) 分級機構について—堆積機構の基礎的研究 (その 7). 地質雑, 62: 472-489.
- 近畿地方建設局 (1966) 天ヶ瀬ダム建設誌, 365p.
- 小出 博 (1952) 応用地質 岩石の風化と森林の立地. 古今書院, 177p.
- 小出 博 (1973) 日本の国土 (上). 東京大学出版会, 283p.
- 国土交通省琵琶湖河川事務所 (2014) トンネル式放流設備重金属等含有岩石処理対策検討会資料 1-4 (ゼロックス印刷). 国土問題研究会宇治川改修計画調査団 (2011) 宇治川改修問題に関する調査報告書. 108p.
- Krumbein WC and Sloss LL (1953) *Stratigraphy and sedimentation*. W. H. Freeman and co., San Francisco, 660p.
- 丸井 浩 (1998) 実体. 広松 渉・子安宣邦・三島憲一・宮本久雄・佐々木 力・野家啓一・末本文美士編著, 哲学辞典, 岩波書店, 1929p, 670-672.
- 中尾征三・水野篤行・小野美代子 (1971) 中海・宍道湖の堆積物中の微量元素 (予察). 堆積学連絡会報, 3, 2-7.
- 中沢圭二・志岐常正・清水大吉郎・野上裕生 (1958) 舞鶴地帯の中・下部三畳系総括—舞鶴地帯の層序と構造, その 8. 地質雑, 64: 125-137.
- Okada H (1971) Classification of sandstones: analysis and proposal. *J Geol*, 79: 509-525.
- 岡部史郎 (1961) 天然水中におけるモリブデンの地球化学. 福岡大紀要, 11: 57-92.
- 岡田博有 (2002) 堆積学 新しい地球科学の成立. 古今書院, 219p.
- 岡村 聡・武蔵野 実・渡辺暉夫・石田 聖・久保田喜裕・久家直之・棚瀬充史・水落幸弘・吉野博厚 (1995) 岩石と地下資源. 新地学教育講座, 東海大学出版会, 201p.
- Pettijohn FJ (1949) *Sedimentary Rocks*. Harper & Sons, New York, 718p.
- Plumley WJ (1948) Black Hills Terrace gravels: a study in sediment transport. *J Geol*, 58: 525-577.
- 坂田昌一 (1959) 量子力学の解釈をめぐる. 坂田昌一 (1966) 科学に新しい風を, 新日本出版社, 190p. 所収.
- 坂田昌一 (1965) 素粒子と哲学—湯川理論三〇周年を記念して. 坂田昌一 (1966) 科学に新しい風を, 新日本出版社, 190p. 所収.
- 坂田昌一 (1966) 科学に新しい風を. 新日本出版社, 190p.
- 思想の科学研究会編 (2012) 新版哲学・論理学用語辞典. 三一書房, 408p.
- 志岐常正 (1959) 舞鶴地帯に分布する二畳系および三畳系の砂岩の 2・3 の性質, とくに maturity の問題について. 地球科学, 42: 5-17.

- Shiki T (1959) Studies on sandstones in the Maizuru Zone, Southwest Japan I. Mem Coll Sci Univ Kyoto, Ser B, 25, 239-246.
- Shiki T (1961) Studies on sandstones in the Maizuru Zone, Southwest Japan II. Mem Coll Sci Univ Kyoto, Ser B, 27, 293-308.
- 志岐常正 (1961) 六甲山地多井畑峠付近における砂質堆積物の石英量及び長石量. 横山次郎教授記念論文集, 303-313.
- Shiki T (1962) Studies on sandstones in the Maizuru Zone, Southwest Japan III. Mem Coll Sci Univ Kyoto, Ser B, 29, 291-324.
- 志岐常正 (1978) 研究課題の発展について, 一研究者の歩みから. 創意, 6, 3-10.
- 志岐常正 (2000) 国土問題科学塾第6回. 国土問題, 92-107.
- 志岐常正 (2014) 宇宙・地球の構造的階層性—複雑系科学としての地質学 その2—. 地球科学, 68: 173-182.
- 志岐常正・水谷伸治郎 (1965) グレイワッケについて—その1 “グレイワッケの特徴, その定義の変遷. 地球科学, 81: 21-32.
- 清水大吉郎・中沢圭二・志岐常正・野上裕生 (1962) 舞鶴層群の層序—舞鶴地帯の層序と構造, その10. 地質雑, 68: 237-247.
- 清水大吉郎・志岐常正・中沢圭二・野上裕生 (1962) 舞鶴地帯の堆積と二畳紀構造運動. 舞鶴地帯の層序と構造, その11. 地質雑, 68: 334-340.
- 庄司力偉 (1971) 堆積岩石学. 朝倉書店, 285p.
- 菅野礼司 (2013) 複雑系科学の哲学概論. 本の泉社, 192p.
- 武谷三男 (1942) ニュートン力学の形成について. 「科学」1942年8月号, 武谷三男 (1966a) 弁証法の諸問題, 勁草書房, 186p. 収録.
- 武谷三男 (1946) 現代自然科学思想. 武谷三男 (1966b) 續弁証法の諸問題. 勁草書房, 212p. 収録.
- 武谷三男 (1966a) 弁証法の諸問題. 勁草書房, 186p.
- 武谷三男 (1966b) 續弁証法の諸問題. 勁草書房, 212p.
- 谷津栄寿 (1954) 平衡河川の縦断面形について. 資源研彙報, 33: 15-24, 34: 14-21.
- 谷津栄寿 (1955) 平衡河川の縦断面形について. 資源研彙報, 35: 1-6.
- Yasumatsu S (1973) Geochemical study of the bottom sediments of Lake Shinji, Shimane Prefecture with special reference to the concentration of minor elements. Master theses Geol & Mineral, Univ Kyoto, 1972, 123p.
- 安松貞夫・志岐常正 (2002) 化学汚染物質の運搬・沈積過程推定における粒度分布の意義—宍道湖における2・3の金属の濃集分布例をみて. 日本環境学会講演要旨.

志岐常正. 2016. 複雑系科学である地質学における武谷三段階論の有効性 堆積学, 環境問題に関わる地質学的例を取り上げて—複雑系科学としての地質学—その3—. 地球科学, 70, 35-44.

SHIKI Tsunemasa. 2016. Significance of “Taketani’s three-stages of scientific recognition concept” in studies of complex systems with special reference to a few examples of sedimentary and environmental geology -Geology as a science of complex systems—part 3. Earth Science (Chikyu Kagaku), 70, 35-44.

要 旨

武谷三段階論は地質学の対象の複雑系階層に適用できる. たとえば 1: 舞鶴地帯の砂岩では, 粒径が細かいほど長石が多く石英がより粗粒な砂岩に多い. これは本質的性質としての成熟度と矛盾する現象に見える. しかし, 構成鉱物の内部構造の実態をみれば, 鉱物種によってとりやすい粒径があり, それごとに 粒径淘汰, 運搬されたと説明される. 2: 宍道湖の湖底堆積物中の Mo は, バルク試料についてみれば斐伊川が流入する西部で含有量が低い. しかし泥分を調べると, Mo は宍道湖に流入する斐伊川川口に濃集している. バルク試料の分析では, 粘土鉱物との共沈と砂分による濃度希釈というメカニズム (本質) と, その結果の実態に気付かないことになりかねない. 3: 宇治川の天ヶ瀬ダムで, 放流可能量を増すために造られたトンネルの放流口近くで, 地下水から規制基準を超える Pb と As が検出された. 規定に沿う調査が行われたが, 岩盤, 岩石鉱物, 水などでの具体的存在状態や, 疑われる供給源と供給経路などの実態調査がなされなかったため, これら元素が当該の場所に存在するわけ (本質) は不明である. 以上の例は, 多階層に渡る実態把握の重要性を示している. 一般的に, ある階層の現象の本質は下位の階層の実体がつくる実態である. ある現象から本質を知りたい場合の要諦は, 下位の階層の実態に目をつけることである. ただし, 地質学では, 本質は既知で知りたいのが実態である場合も多い.