

「氷河学におけるジレンマ」

北大・地球環境 澤柿 教伸

キーワード：科学哲学・研究手法・パラダイム

< 今回の比較氷河研究会の目的 >

雪氷屋と地形屋との相互理解・コンセプト・パラダイムの衝突の解消．
科学分野間の相互理解とは，よって立つ主義を理解しあうこと．
自分自身が実施している研究の根底にある主義を意識したことがあるか？

< 雪氷屋と議論中のモゾモゾ感 >

このモゾモゾ感を無視してばかりいると，根元的なものを見落とし
てしまう危険性がある．

時には，暗黙に前提された思考の枠組みをチェックし，場合によっ
ては別のものに据え換えることも必要なのではないか．

人はこのモゾモゾを「パラドクス」とか「ジレンマ」などと呼
ぶ．

アインシュタイン「最初から矛盾していない理論は見込みがない」
ヒルベルト「矛盾が見つかりと，これで前進できる」

この言葉に励まされて，私はモゾモゾ感とつきあっていくことにし
た．

< 科学はどう有るべきか・科学はこういうものだ >

雪氷屋であれ地形屋であれ，研究者としてどのような専門分野に属
しようとも，自分の論理や操作の概念的・方法論的位置づけをしっ
かりすること．

聴衆自身による考察を喚起したい．

< 注意 >

—事後参照用発表資料の公開にあたって—

本発表は、基本的に科学哲学や科学革命に関する研究のレビューであり、一般的あるいは他分野に関する議論を氷河学の立場で読み替える試みである。これに記述されている内容のほとんどは以下に示す参考文献およびWEB記事からの引用であり、それらに、私独自の解説と考察を加えたものである。本資料を利用される場合は、オリジナルを直接参照されることを強くお勧めする。

Boulton, G. S. (1986): A paradigm shift in glaciology? Nature, 322, 18.

「科学哲学」小林道夫，産業図書 (1996)。

澤柿教伸 & 平川一臣 (1998): ドラムリンの成因と氷河底環境：氷底堆積物の変形か氷底水流か。地学雑誌, 107(4), 469-492。

「科学革命とは何か」都城秋穂，岩波書店 (1998)。

「科学と技術の諸相—現代科学の方法論」吉田伸夫 (1998),
<http://www3.justnet.ne.jp/~yoshida-phil-sci/index.htm>

「Glaciers」P.G. Knight (1999)。

「パラドックス」林 晋，日本評論社 (2000)。

< 通俗的なパラダイムの用法 >

- ・ある時代のものの見方・考え方を支配する認識の枠組み．
- ・多くの人々に指示されている考え方・学説．

< 厳密な意味のパラダイムのための 必要・十分条件（都城） >

演繹的階層構造を持つ理論であること．

演繹的階層構造は，次の条件と一緒に，理論の**自律性**を支える．

自律性...そのパラダイムに合わない新しい観察が現れても，もっと工夫すればその観察もそのパラダイムの中で説明できるようになるだろうと考えられること．

科学者共同体のなかで實際上全員に支持され，しかも信頼感を持ってみられていること．

パラダイムにもとづく研究をパズル解きの的にすること，

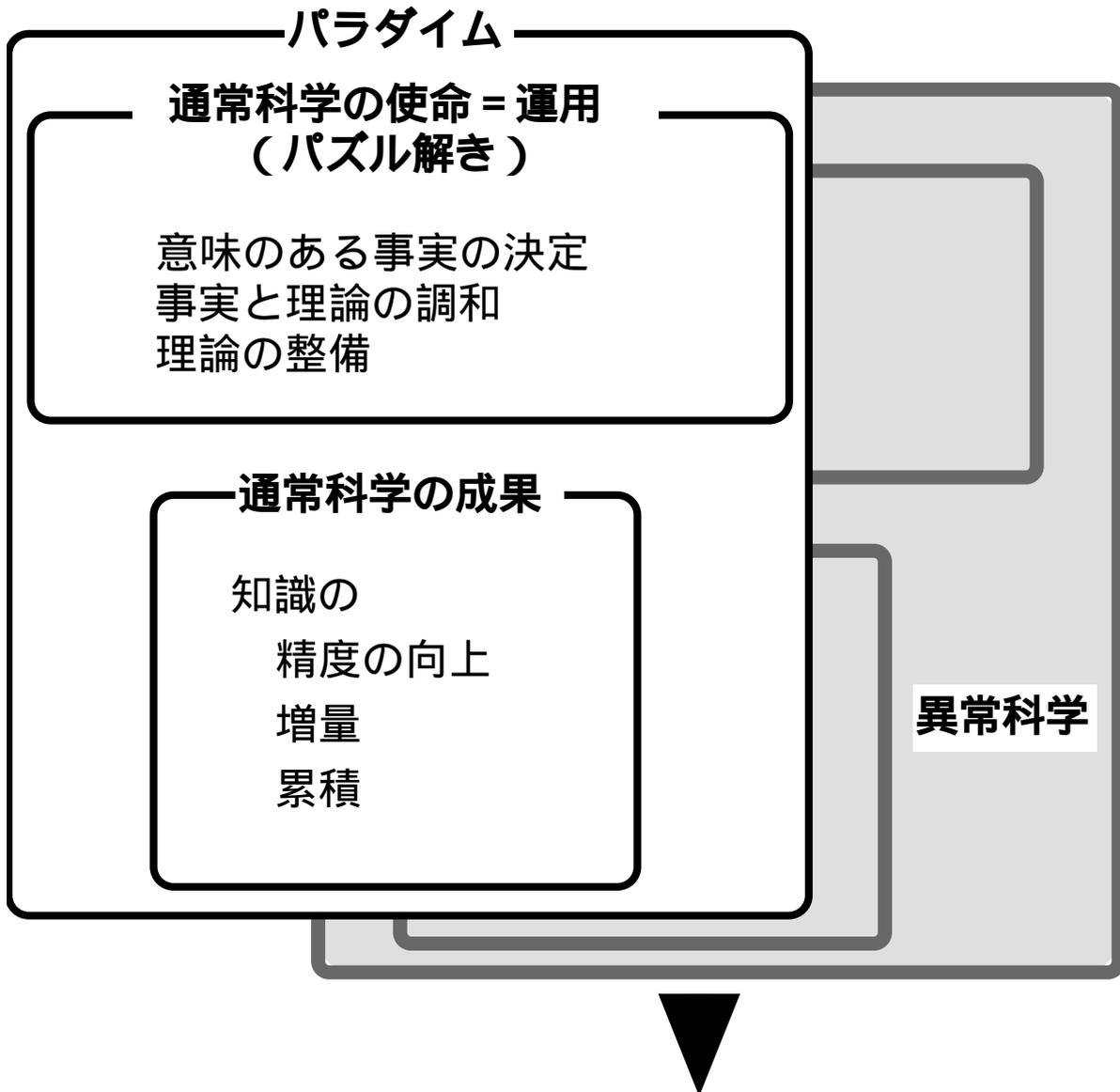
それができるほど整った論理体系をもち，

その理論を多くの多様な問題の説明に使えるくらい論理的な展開と応用ができる能力を持つ．

（一つのパラダイムがほかのパラダイムによって取って代わられるときには，その変化は突然の根本的変化によっておこること．）

以上の全部がそろうことが十分条件

パラダイムシフト（クーン）



科学革命

共約不可能性

古いパラダイムを捨てて新しいパラダイムを採用するようになるのは、純粹に論理的な過程ではなくて、宗教的回心に近い考え方の変化（転換）である。

< ラカトシュの科学的研究プログラム >

おのおの研究プログラムは**変化しない中核**を持っている。

理論が**変化（進歩）**してもこの**中核**を変化させないという規約をしてある（**否定的発見法**）。

補助的な仮説・仮定・初期条件からなる**防護帯**の設定。

予見（研究の進め方の方針）に導かれて理論を改善するために防護帯中の仮定を変えていく（**肯定的発見法**）。

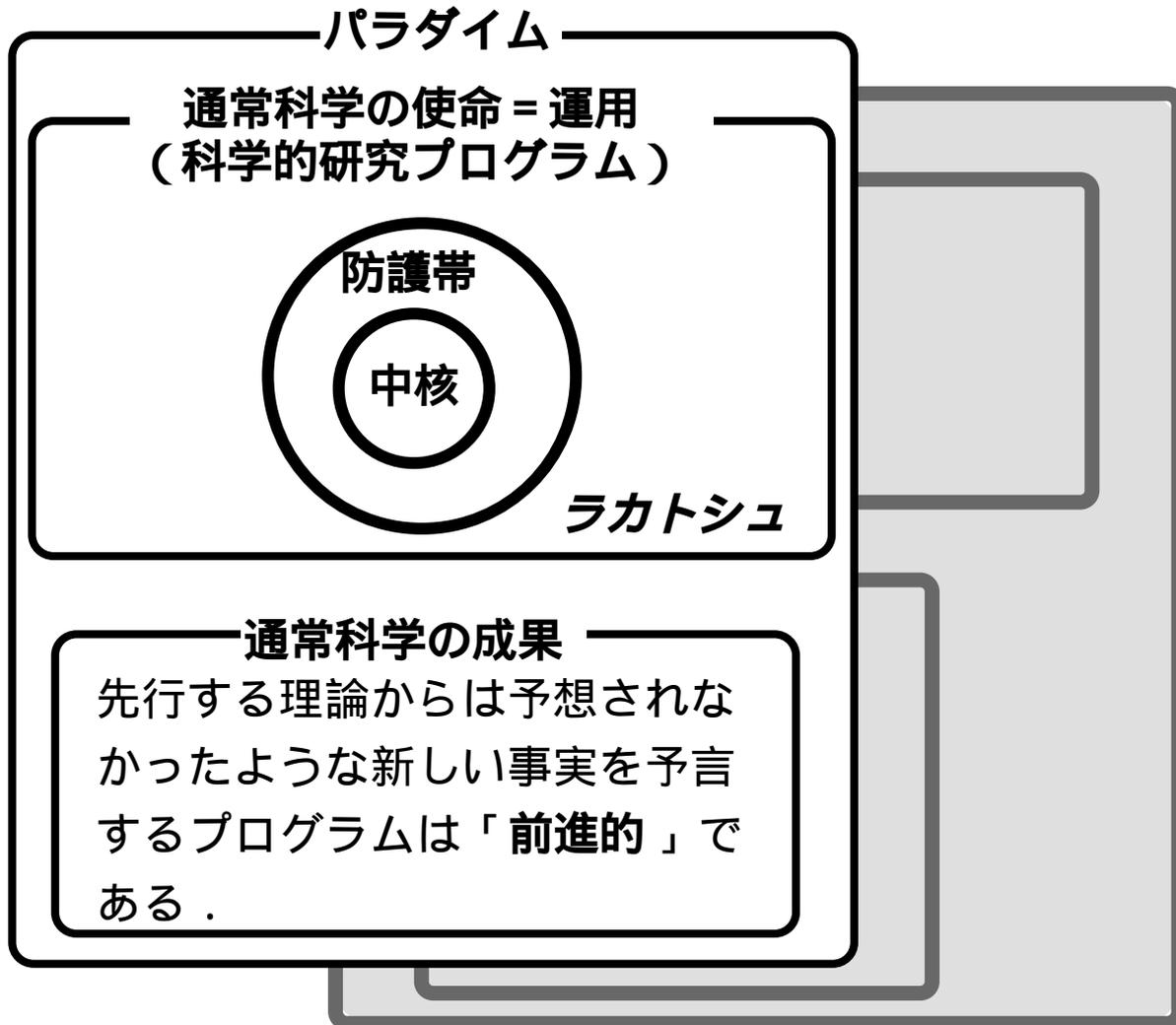
先行する理論からは予想されなかったような新しい事実を予言するプログラムは「**前進的**」である。

< 都城の解釈 >

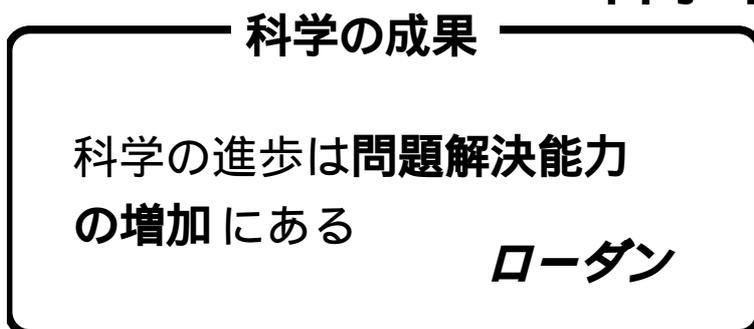
科学的研究プログラム説は**パラダイム論**のなかの**通常科学期**を指しているのではないか。

地質学理論の多くは**中核**と**防御帯**の区別があいまいなので、**科学的研究プログラム説**は一概にはあてはまらない。

パラダイムシフト (都城による修正)



科学革命



< ローダンの「問題解決型科学論」 >

真理に向かって進む科学と問題解決のための活動としての科学。
科学の進歩は問題解決能力の増加にある。

問題とは

経験的疑問

概念的疑問

内的問題 . . . 論理的矛盾，論理に内在する概念の曖昧さ。

外的問題 . . . 世界観，哲学，形而上学，社会理論，倫理学などの
方面の信念との矛盾。

< 都城の解釈 >

真偽の決定や真理への近接度に結びつけることを回避して，そのかわり
新しい価値評価基準を導入することで解決。

ex. 進化論につながる動的な生物観は，内的な矛盾や説明できない事
実の発見ではなく外の自然観の違いから生まれた。

いろいろな説が対立・並存するとき，そのおのおのはその科学分野のな
かの違ったデータや理論的矛盾から生まれるのではなくて，その分野の
範囲より外の考え方，自然観，社会観の違いに基づいて生まれる場合が
多い。つまりこの場合には，ローダンのいう概念的の問題が論理の運命に
とって非常に重要になる。

< 都城の「複合構造理論」 >

科学における階層構造

- ・ 観察データの階層
- ・ 経験的法則の階層 ... 観測データにない特有の概念と仮説を含む .
- ・ 基礎原理の階層 ... 演繹的階層構造の基礎になる法則 = 原理 .

演繹的階層構造は，各階層が演繹的に結びついている .

演繹的階層構造をとる理論は，パラダイムや研究プログラムが成立する .

法則（仮説）の型

- ・ 普遍的法則
- ・ 確率的法則
- ・ 傾向的法則

複合構造の主張

普遍的あるいは確率的法則 + 観測データの階層構造の場合は，**演繹的階層構造**が成立する .

傾向的法則 + 観測データの階層構造の場合は，演繹的階層構造をとらない .

基礎原理や経験的法則が複数にほぼ対等に存在する場合は，演繹的階層構造をとらず，**複合構造**をとる .

複合構造をとる理論は，パラダイムで対立していても，**折衷的に解決**されうる .

地質学にはパラダイムも通常科学期も科学革命も存在しなかった (都城)

ライエルの**斉一説**が地質学の根本原理であるという認識は間違い。

斉一説とは

- ・ **過程の斉一性**の主張。
- ・ **速度の斉一性**の主張および**漸次説**。
- ・ **定常的地球観**（歴史的進化に対する反対）。

パズル解きは地球科学に適用できない。

一つの問題に対する答えが、ただ一つの学説に統一できないで、学会のなかにいろいろな学説がいつまでも対立・並立する事が多い。
一つの学説が広く支持される場合でも、確信的に支持される**不変な中核**というものはなくて、様々に変形をうけやすい。

広く支持された学説が崩壊する場合には、突然一度に崩壊しないで、**なし崩しに崩壊**する。

緩やかで小刻みな変化は革命（＝急激な変化）でもパラダイムシフトでもない。

<プレートテクトニクスとそれ以前> (都城)

狭い意味でのプレートテクトニクスは、パラダイムや研究プログラムを作り、その上演繹的階層構造をもつ。それ以前のテクトニクスにはパラダイムは存在しなかった。

地域的記載の枠組みとしての地向斜造山説は、あくまで記載を整理してそれに基づいて地史を書く際の枠組みであり、説明するための理論にはほとんど無意味で、どんなデータとも調和させられる。

世界中にわたる巨大な量の記載的なデータをもっており、よく組織されていて、記載的（現象論的）な範囲内では科学として成熟していた。

パラダイムがないからといって、それが科学であることの否定にはならない。

表 科学理論と科学革命の種類（都城）

科学理論の構造による分類	理論の具体的な例	理論の構造的な特性	パラダイムや研究プログラムになるか	科学革命の有無と内容
演繹的階層構造をもつ理論	ニュートン力学、熱力学、狭い意味のプレートテクトニクス	全体性をもつ。全体を変えることなしに、個々の部分を変えることはできない。	厳密な意味のパラダイムになりうる。研究プログラムになるものと、ならないものがある。	科学革命はパラダイムの転換である。そのとき、古い理論全体がいちどに崩壊する。
第一種の複合構造理論	変成岩成因論、化学的物質観の理論	構成部分が独立性をもつ。個々の構成部分を他の部分から独立に変えて修正できる。	厳密な意味のパラダイムになりうるが、研究プログラムにはならない。	理論の個々の構成部分を独立に変化させて、修正できるが、それですまなくなるとパラダイムの転換としての科学革命がおこるであろう。
第二種の複合構造理論	火成岩成因論、地向斜造山説	構成部分が独立性をもつ。個々の構成部分に異説があるので、さまざまな理論ができる。	パラダイムにも、研究プログラムにもならない。	パラダイムはないが、研究上の考え方の伝統の大きな急転換としての科学革命がおこる場合もあり、科学革命のない場合もある。

パラダイム

通常科学
パラダイムの運用
パズル解き

= 科学研究プログラム

↓
異常科学

↓
科学革命

複合構造理論

理論の運用 = 問題解決型科学

真偽の決定や真理への近接度に結びつけることを回避して、
そのかわり**新しい価値評価基準**を導入することで解決。
概念的問題が論理の運命にとって非常に重要になる。

なしくずしの崩壊

< 帰納主義 >

個別的知識を構成する感覚所与の集積から，一般的知識を推理する。
ひたすら事実収集にはげめばよい。
事実の専門的解釈に思い悩む必要はない。

< 帰納主義の難点 >

「事実の理論負荷性」ハンソン

「思い込みや先入観のない事実」は存在しない。
なぜなら，事実の成立を許す論理的文脈や社会的背景が必要だから。

「帰納の飛躍」J.S.ミル

博物学者の獲得する個々の知識は，単称文で表現されるものであり，どれだけ集めたところでその数が有限個であるがぎり，全称文で表現される普遍法則の知識と論理的に等価になることはありえない。

帰納によって知識が得られる過程は，本来，一意的に決定されねばならないが，実際には帰納には多義性がつきまとっている。
複数の解釈の中から最もふさわしい解釈を選択する方法として，「簡潔性の原理」があるが，それを前提しなければいけない場合，この原理自体は帰納的には証明できない。

< 発見と仮説 >

発見

- ・ Xであることの発見 .
- ・ なぜXであるかの発見 .

発見が語られるのは、発見としての候補資格を持つ .

よい研究をするには良い問題を見つけ、よい仮説を思いつかなければいけない (都城) .

仮説を発見する手続き (ライヘンバッハ)

思い付き・予見

ポラニーの「暗黙知」

パースの「仮説発想」

仮説を正当化する手続き

論証

証明

確認

アドホックな仮説

観察によって確認することができない .

何かほかの既知の関係から導くことができない .

なにか他の新しいことが出てくるわけでもない .

< 術語の弊害 >

地質学の上で術語が占める役割があまりにも大きく、しかも術語の意味内容に対する反省もなく使われている。

記載に直接結びついたもの
仮定をふくむもの
内容の曖昧なもの
無内容なもの

< 術語の定義の重要性 >

意識的に区別することのない**混用**によって、理論的な構造がはっきりしなくなる。

すでに確認されたものとして決定的な意味合いで、**術語を乱用**する混乱。

物体の状態を記載する術語の定義に**プロセスの概念**が入ったとたんに、それは、**仮説的術語**に変貌する。

仮説として残される部分を明確にする。

< 氷河学を担う研究者群 >

国内外を問わず，氷河学を担う研究者は異なるバックグラウンドを持つ二つのグループを含んでいる（Knight）．

一つは，**地形や自然地理**に興味を持つ人々であり，**地理学者・地質学者・地形学者**などがこれに相当する．

もう一方は，**現象の物理的・数学的性質**に興味を抱く人々であり，このグループには，**物理学者・数学者・物性学者・結晶学者**などが含まれる．

このように，氷河学には，知的にも美学的にも全く異なる観点で課題にアプローチしようとするグループが存在する．

さらには，学問領域ごとに異なる教育的背景があることによって，全く異なる研究スタイルや，科学的言語を用いるようになっている．

とはいえ，氷河学におけるこれらの異なるグループは，伝統的に，相互に関係しあってきた．

歴史的にみても，氷河学はその発足当初には，以前から存在していた別の科学分野からの参加者によって始められた経緯がある．

最新の氷河学の著しい特徴は，異なるバックグラウンドの技術を調和させることによって生まれる効果があることであり，その中で氷河学者たちは錬磨され，複数の学問領域からのアプローチに充分応えるだけの素養を身につけつつある．

< 氷河学は地球科学である >

物理学を想定した科学哲学（科学革命論）は地球科学に適用できない。（都城）

地質学的知識の中で、**比較的信頼でき**、その意味で**重要**なのは、

個々の地域や岩体の記載

経験的法則・経験的規則性・現象論的規則性

それらの基礎になるテクトニクな枠組みを取り扱う根本的理論ではない。

根本的理論はあっても、あまりあてにならないものであって、その意味で体系のなかでの役割は付随的である（都城）。

地質学の「**岩体**」を氷河学の「**氷体**」と読み替えたとき、それらの記載や法則・規則性を扱うのは雪氷の物理特性に関する基礎理論であり、それらの基礎になるテクトニクな枠組みを取り扱う根本的理論な枠組みを与えるのは、質量収支や氷河ダイナミクスであろう。しかし氷河学では、後者のほうが付随的なわけではない（澤柿）。

< 氷河学にパラダイムはあるか？ >

氷河学の基礎原理

- ・ 雪氷の物理特性に関する基礎理論
- ・ 質量収支
- ・ 流動

これらは、**演繹的階層構造**を持つので、パラダイムや研究プログラムをつくる。

- ・ 「**氷期**」の概念

氷期の概念はそれ自体が**複合構造理論**であり、

地層累重の法則（経験法則）

地史学的観点 など

氷河学の基礎原理を複合的に構成する理論の一つである。

「氷期」の概念は氷河学の成立に不可欠か？

「氷期」の概念を基礎原理に含めても、パラダイムとしての性格は保てる。

一方、「氷期」の概念を基礎原理に含めると、演繹的階層構造が保てなくなり研究プログラムはつくれなくなる。

つまり、**複合構造理論**となる。

The two concepts that now form the fundamental core of glaciology - namely that glaciers are dynamic agents and that glaciation is a time and space-transgressive phenomenon (Knight).

< 地形学と雪氷学は 同じ階層上の異なるパラダイムで 対立しているか？ >

- ・ 対立とは共通な枠組みがあって、その中の同じ問題あるいは同じものについて論じていることである。
- ・ 氷河学の基礎原理は、地形学と雪氷学の共通の枠組みとなっているか？

氷河学の基礎原理は、雪氷屋固有のものであるか？

雪氷屋であれ地形屋であれ、この**氷河学の基礎原理を維持する**という規約を共有している（しなければならない）。

氷底環境（氷と基盤地質とのインタラクション）の解明の範囲では、地形学も雪氷学も「氷河学の基礎原理」の範疇で議論できる。

地形学が「氷期」の概念を重要視しているからといって、「氷河理論」の議論にふさわしくないと考えるのはまちがい。

両者が対立（他方に違和感を感じている）しているのは、「氷期」という概念を**氷河学の基礎原理に含めるかどうか**の対立にあるのではないか。

< 双方の理解のために > — 《超科学》を例として— (吉田より引用)

科学者が《超科学》に対して反感を覚える2つの理由

- ・ 《超科学》が取り扱う対象が、従来の科学研究が守備範囲としてきた領域から逸脱。 **領域の問題**。
- ・ 《超科学》が対象を取り扱う仕方に方法論的な欠陥があるため。 **手法の問題**。

多くの科学者は両者の境界線上で判断を下しているが、**科学者が抱く反感の起源はどちらかというところ 手法の問題にある**。

僅かな変更によって科学的な知見と融合させられるような体系は、《超科学》の範疇に含まれない。

例えば **ガイア仮説**

地球全体を一個の生物として取り扱うなる主張

生物活動に深くかかわっている物質の循環を明らかにするためには、単に生態系にとどまらず、全地球規模でのシステム論的な考察が必要になる。

実際、二酸化炭素ひとつとっても、サブダクションによる地殻への取り込みから火山活動による放出まで考慮しなければ、大気中の構成比が説明できない。

こうした全地球的な物質循環のシステムは、微少な擾乱に対して原状を回復するホメオスタシスの機能すら示すことが知られており、これを生物個体になぞらえても何ら違和感はない。

したがって、地球というシステムに対する統一的な視座を提供する **ガイア仮説** は、現行の科学の延長線上に位置する **《新科学(ニューサイエンス)》** ではあっても、**《超科学》** ではないと言ふべきだろう。

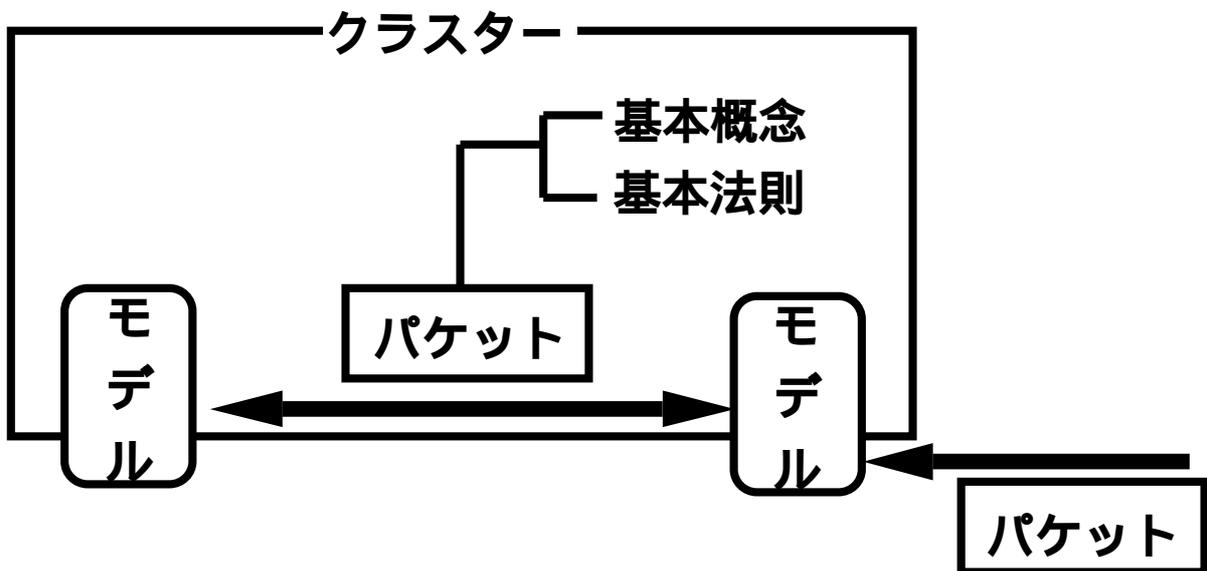
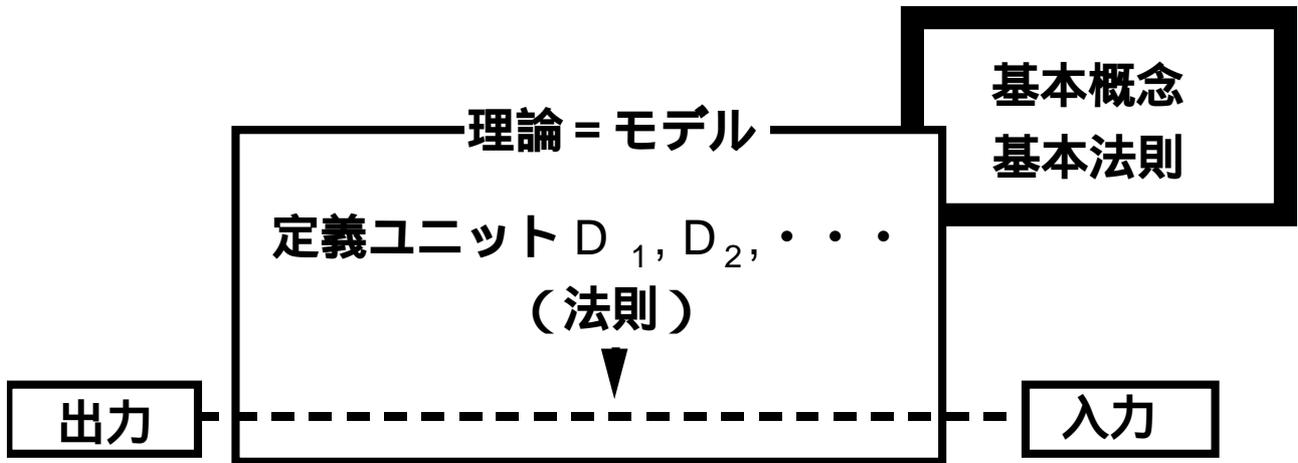
< クラスタ・パッケージ論 >

都城氏は**複合構造理論**を提唱したが、その**運用・成果・評価**に関する詳細な検討はしていない。

それに相当するものと思われるのが、吉田伸夫氏の
「クラスタ・パッケージ論」
であると思われる。

- ・現代科学の諸理論は、ある理論での定義ユニットが別の理論の基本前提をなすという形で錯綜した構造を形成しているが、その中にあって、一定の機能をもつ理論の集まりが階層的にクラスタ化されているというある種の秩序を指摘することができる。
- ・「命題」と「命題を解釈するための概念・法則」をセットにした、いわば**使用説明書付きの道具**であるこのセットを、「機能パッケージ」、あるいは単に「パッケージ」と呼ぶことにする。

吉田伸夫のクラスター・パッケージ論



< パケットの性格 >

バケットが同一理論内部で交換される場合

バケットにおける解釈の前提は当該理論の定義ユニット（および基本前提）である。

バケットの交換が異なる理論にわたるとき

理論を包含するクラスターの基本概念・法則がバケットにおける解釈の前提となる。

いずれの場合も，バケット自体にはその解釈法が書き込まれてはいないが，その所属が明らかである限り，これを実際に使用する科学者が意味を取り違えることは稀にしか起こらない。

バケットの利用は，各理論の自律性を最大限に尊重する。

自然の階層で上位に相当する理論が下位の理論を拘束することもない。

実際に行われているのは，各階層間でのバケットによる情報交換であり，この情報交換を除けばそれぞれの理論が事実上独立に機能している。

各バケットは有効な知識を与えるものであっても，それを集積する場の状況によっては妥当な結論が導かれない可能性がある。

定義ユニットの交換による理論の変更は，前提となる基本概念や法則の訂正が迫られる場合には通用しない。ここで必要になるのが，こうした基本前提の書き換え，すなわち，いわゆる**パラダイムの転換**である

現代科学は，理論体系として容易に覆されない高度な安定性を備えており，（たとえパラダイムの転換が起きるとしても）周囲への影響が最小になるような「**静かな革命**」に終ることは必至である。こうした特質は，科学を**機能的な道具として利用する社会的要求**に合致するものである。

< 理論の構築 >

「理論」とは、以下の**概念化・理想化・数理化**によってモデル化された機能モジュールを指し、研究において科学者が実際に操作する**道具**を意味する。

概念化

- ・ 科学理論をモデルとして明確に記述するために、理論で使われる諸用語を外延が指定できるような形で内包的に定義しておく。
- ・ 概念化に際して最も重要な過程は、理論の構築に有害な生活世界の諸要素をいかに排除するかにある。

理想化

- ・ 自然現象の完全な把握を目標とせず記述可能な近似的体系を構想する作業。
- ・ 理想化された理論を基幹としながらも現実の自然は常にそこからの差異を含むことを主張し、問題となる差異は新たな研究の対象と見なす（**但し書**）。
- ・ 研究者が期待するのは、こうした「**但し書**」の集積によって、科学が**漸近的**に自然への密着度を高めていくという発展的プロセスである。

数理化

- ・ 科学において前提から結論に到る論理の流れは、単なる原因（動力因）結果の連鎖ではなく、システムの構造を与えるのに必要な諸要素および要素間の結合関係（＝法則）をもとにした操作的過程である。
- ・ **連続系**の理論は、方程式に基づく。
- ・ **離散系**での変換規則は、その中間に予想される具体的な過程を**黙殺**している。

< 理論の応用 >

- ・ 個々の理論を数理化された法則を使って機能させること .

< 理論の運営 >

- ・ 個々の理論を応用しながら理論集合全体の発展消長を図る .
- ・ 具体的には、理論間の相互交流と理論の変更（理論の定義条項の書き換え，理論自体の取捨選択，理論の背後にある基本概念の変更など）を一定の形式に則って実施する .
- ・ 従って、理論の運営法は、元の理論に対してメタ理論の関係にある .

< 理論の評価（受容と正当化） >

理論が受容されるための最低条件

体系性

理論は命題の羅列ではなく，何らかの体系を構成していなければならない。

相互依存性

理論は完全に孤立してはならず，他の領域と多少なりとも相互に依存していることが必要である。

有効性

理論は何か無意味でない帰結をもたらす可能性を持つものでなければならない。

理論としての内在的な《能力》 = 《予言能力》

予言能力とは，必ずしもその時点で発見されていない現象を予見する能力ではなく，**アドホックな仮説**を設けなくとも，理論の定義ユニットから独立で，かつ実験や観察と比較できる（**反証可能**）理論的命題を提出する能力を指す。つまり**自律的に機能バケットを生成する能力**である。

理論の受容に際してこのように予言能力に重きを置く評価法は，自然科学の領域で**発見的方法論**としての**帰納法の用い方**に大きな変化をもたらした。

帰納的命題は本質的に予言能力を持っていない。帰納的命題を軸に構成されている学説は，単なる観測データ以上のものではなく，科学理論として学界に受容されることはない。

逆に言えば，帰納的手法を使って理論を建設するためには，与えられたデータとは形式の異なる予言を生成するモデルを考案する必要がある。

< 正当性の判定で鍵となる概念は、 予言能力の有効性である。 >

有効性を判定する**最も簡単な方法**は、理論的な予言が現実の実験・観測のデータを誤差範囲内で再現するか否かを調べることで、この結果に基づいて当該理論を採用するか破棄するかを決定すれば良い。

しかし、現代科学においては、こうした素朴な検証法は一般に完全には実施できない。

なぜなら、現在のように理論が機能的に細分化されている現状の下では、実験・観測データと比較できる予言を生成するためには、多数の理論を組み合わせなければならず、たとえデータと理論に食い違いが生じたとしても、それだけでは部分的な修正で済むか、理論体系全体を破棄しなければならないか、判定できないからである。

こうした状況に対処するために、科学における評価法として、**定義ユニットを交換した結果を比較対照しながら、最も妥当なユニットを採用する**という手法が用いられるのが一般的である。

科学理論の評価は、対抗理論が提出されて初めて意味をもつことが多い。

< 研究体制 >

(研究の分業化は現代科学の体制として必須の要素である)

研究の分業化の欠点

(特に若手の) 科学者がその時点での最先端理論に熱中するあまり , 学問の大局的な流れを見失いがちであるという現代科学の体制に内在する事情だろう .

研究の分業化の利点

研究の主題を理論の特定機能に集約することにより , 安易な観念化によって人間の思考の限界を科学に押しつけることを回避できる . 理論の細分化の結果 , 各部門ごとに研究が尖鋭化され , 特殊技能をもつ専門家によって研究が内容的にも技巧的にも洗練される . 発見の文脈では理論全体の構造を考慮する必要がなく , 自由なアイデアの提出や他の領域との交流が容易となるため , 学説の新陳代謝がより活発になる .

分業化の功罪を秤にかけるならば , 圧倒的に利点の方が上回ることは確実である .

データが情報になること (福田)

実際に研究の分業化が功を奏した例

非線型な力学系で観察されるカオスについての理論的展開（気象学の例）

ナビエ/ストークス方程式，連続の方程式，気体の状態方程式，および熱伝導方程式を基本方程式系とする気象モデルを（適当に近似して）コンピュータでシミュレートしても，1週間以上の長期にわたって精度の良い予報を提出するのは困難．

1950年代までは，その理由は主としてモデル計算を遂行する際の**近似の精度**に由来すると想定されていた．

1963年にローレンツが簡単な3元常微分方程式を使って，初期条件の僅かな差が予報結果を大幅に変動させることを示し，予報の不確定性が単なる誤差ではなく**理論に本質的な要素**であることを明らかにした．

ローレンツの理論は気象学に直接的に貢献するものではないにもかかわらず，この理論は，気象学のみならず，応用数学，理論物理学，数理生物学などに多大な衝撃を与えている．

その理由は，ローレンツ・モデルが**初期条件に敏感に依存する非周期解を持つ非線型系の実例**であり，同様の性質が他の系にも存すると期待されたことにある．

こうして，ひとたびある方程式系で**カオス的な振舞い**が発見されると，他の方程式の解を具体的に探索するのは数学者，特にコンピュータ専門家の手に任される．彼らは，物理的なモデルに形式上の制約を受けることがないので，単純かつ（比較的）一般的な力学系の性質を調べることにより，カオス的な振舞いが普遍的な性質であることを見いだした．

乱流をカオスと見なす立場は，少数自由度の決定系でも未来は不可知になるという全く異なった自然観に与するものである．しかしながら，現実の研究論文で自然観への言及がなされることは稀で，あくまで乱流に関する数学的モデルの解析および実験結果との比較が主眼となっていた．このようにある意味ではプラグマティックな研究に徹して自説に有利な結果を徐々に蓄積していくことにより，最終的には，「乱流 = カオス」説が旧来の解釈に代わって定説として多くの研究者に受容されるに至った．

< 現代科学に対する批判 1 >

科学の細分化された結果，科学者が学問全体の動向や自分の置かれている状況を見失い，社会的な視野が狭くなる．

これは，科学が現代社会において強大な力を行使している科学者の社会的責任を問うものであり，現代科学者の多くが自分の専門以外に興味を感じていないという事実がある以上，正鵠を射た批判と言えよう．

しかし

第一に，現代科学は体系として余りに巨大化したため，もはや一人の科学者が学問全体を掌握することは現実問題として不可能であり，体系を支えるための多数の研究要員が必要になっている．ここでは研究者は，実質的に，高度に自律的な巨大組織の下部構成員に過ぎず，社会に対する科学の影響力に個人で責任を負うとは言いかねるばかりか，学問の発展に貢献するために積極的に専門能力の尖鋭化を図ることを要求されている．

第二に，大学のように政治的・経済的に独立性の高い研究機関においては，営利機構などに見られるような縦割りの管理体制とは異なり，**理論の機能的な側面を主眼とする組織化**がなされているため，研究方針が上部の管理機構に拘束されて研究の自由が失われる危険は，現状ではかなりの程度まで回避されている．

以上の点を考慮すれば，しばしば**科学者に社会的を視座が欠けていることも容認できる**．

< 現代科学に対する批判 2 >

科学の細分化・専門化が進むと、専門が僅かでも異なる研究者の間で十分な意見の交換がなされず、学問の硬直化を招来してその衰退の原因となる。

しかし、これは、**機能主義的な方法論**が徹底されている限り、懸念するに当たらない。

機能主義の下では、教条主義的な学問と異なって特定の研究素材がさまざまな観点から機能的に分析され、各々の立場に立脚した見解をそこに照射することが可能なため、**同一素材に関する研究**を通じて学問相互の交流が実践されるからである。

具体例としては、複雑な自然現象の解明に当たって、**解析的なモデルを適用する数理科学者と現象の克明な記録を主とする実験科学者が対決することが挙げられる。**

しかも、個々の学説はいくつかの独立したユニットによって定義されており、それを状況に応じて交換できることから、学問が展開していくための自由度が大きく、学説が特定のドグマに支配される可能性は少なくなる。

< 現代科学に対する批判 3 >

科学的方法論そのものに対する批判

モデル化された理論では、自然が持っている本質を反映できない。

これは、古典的な科学が、**還元主義的な方法論を過信**して、現象の全体像を見失ったり副作用を失念したりする結果を招いた経験から、科学的な理論に対する不信感を募らせたための意見。

しかし、逆に考えると、科学に依存しない認識がこうした欠陥を持っていないかと言えばそうではなく、むしろ、その寄り所とする人間の直観が必ずしも十分な対象把握の能力を持たないこと、そればかりか人間の思考様式に束縛されていることが、近年の認知科学の研究から明らかにされている。

科学的方法論は、直観によらない**機能主義的**な立場に身を置くことによって、こうした人間の認識能力の限界を超克すべく考案されたものであり、上記の批判は妥当でないと言える。

このように、現時点で科学的方法論は、他の思考方式に比して多くの利点を有しており、科学研究を支える重要な礎石となっていると考えられる。

<Boulton (1986)は なぜパラダイムシフトといったか？>

- ・それまでの氷河の流動モデルでは，氷の内部変形と底面すべりが氷河流動のメカニズムとして考えられ，底面すべりにおいては，氷が堅い基盤岩の上を流れることが想定されてきた．
- ・一方，氷河地質学の分野では，氷河によって変形した構造が広範囲に堆積物中にみられることは古くから知られていた．
- ・西南極氷床での発見によって，比較的粗粒な氷底堆積物であっても，容易に変形して氷河流動の主要な要因となりうることが実際に示された．

この結果は，現在の南極やグリーンランドの氷床像についても変革をせまることとなった．

受動的な固い底面から氷と堆積物の相互作用への認識の変化．

さらに，氷底地形と氷床流動との関係において，氷河地質学と地球物理学とをつなぐ重要な意味を持つ。

Boulton (1986) は最後に，基底の形態と構造を氷河の力学と組み合わせることによって，地質学と雪氷学を統一することに役立ち，両領域の発展に貢献するにちがいない，と述べている．

- ・ **既存のクラスターの新たな結合**
- ・ **パケットの通路の開拓**

< 研究会を始めるにあたって，頭の体操 >

(パケットを通りやすくするために)

ゼノンのパラドクス

二分割

移動する物体は，目的点に到達する以前にその半分の距離の点に達していなければならないので，運動できない。

アキレスと亀

最も速く進む物体も，最も遅く進む物体に追いつけない。

飛ぶ矢

移動する矢は停止している。

競走場

反対方向に等しい速さで運動する物体を考えると，半分の時間がその2倍の時間に等しい。

「超作業のパラドクス」

有限時間内に無限回の作業をなしとげてしまう。

「分割のパラドクス」

運動を限りなく小さな部分の無限の集合として捉えることの間違い .

一つの運動は無限個の微小運動からなる .

それゆえそれは無限回の運動の遂行を含む .

だが , 無限回の運動を完了させることは無限の意味からしてできっこない .

だから運動は不可能だ .

時間・空間は最小単位をもたねばならない , と結論したくなる .

「第四のパラドクス」

静止したものに対しては , 単位時間当たり単位長さを移動していたものが , 同じ速さのものとすれ違うときには速さは倍になるので , 単位時間を半分に分割しなければならなくなる .

時間・空間は無限に分割できなければいけない , と結論したくなる .

一分後については何も語っていない。

「以下同様に繰り返す」，これは語り方の指示であって，実際の様子を語り出したものではない。

時間・空間はそれ自身が語られる対象ではなく，何事かを語り出す形式にほかならない。

それゆえむしろこう問うべきである。

最小単位をもつ語りをすべきか，

**限りなく微小になっていくことを
許す語り方をすべきなのか，**

点的な語り方をすべきなのか。

さまざまな語り方の特性を見定めること。

参考文献

Boulton, G. S. (1986): A paradigm shift in glaciology? *Nature*, 322, 18.

「科学哲学」小林道夫，産業図書 (1996) .

澤柿教伸 & 平川一臣 (1998): ドラムリンの成因と氷河底環境：氷底堆積物の変形か氷底水流か．*地学雑誌*, 107(4), 469-492 .

「科学革命とは何か」都城秋穂，岩波書店 (1998) .

「科学と技術の諸相－現代科学の方法論」吉田伸夫 (1998) ,
<http://www3.justnet.ne.jp/~yoshida-phil-sci/index.htm>

「Glaciers」P.G. Knight (1999) .

「パラドックス」林 晋，日本評論社 (2000) .