

Title	科学技術概念の整理・明確化の試み：人間の認知行動モデルに基づく
Author(s)	加藤, 寛治
Citation	年次学術大会講演要旨集, 25: 460-463
Issue Date	2010-10-09
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/9338">http://hdl.handle.net/10119/9338</a>
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

## 科学技術概念の整理・明確化の試み —人間の認知行動モデルに基づく

○加藤寛治 (文部科学省・科学技術政策研究所)

### 1. はじめに

科学技術が高度化・複雑化してきた今日、科学と技術の意味内容も問い直されつつあり、その基本概念をいま一度、整理・明確化しておくことは、科学技術政策の立案に少なからず影響を持ちうる重要な事柄である。本稿では、科学を中心にその歴史的観点および人間の認知行動の拡張として捉える観点からその基本概念や意味内容の明確化、再確認を試みる。

### 2. 科学とは何か ～歴史的観点から

科学とは何か。歴史的観点からその明確化を試みるため、日本語の科学の語に対応する英語の Science の語源に着目してその意味内容を調べる。

Science という語の意味内容はオックスフォード英語辞典 (以下、OED) <sup>[1]</sup>によれば、5種類存在する (図表 1)。Science の語源はラテン語の *scientia* (スキエンティア) で、そのラテン語に対応するギリシア語は *ἐπιστήμη* (エピステーメー) である。エピステーメーの語は、古代ギリシアの時代には、知識や認識、あるいは、学や学問の意味で使われていたことが、アリストテレス (B.C.384~322) の著作「形而上学」や「ニコマコス倫理学」に確認される。これらは OED による科学の意味の 1~3 番目に対応する。アリストテレスの著作は、伝承された写本等をもとに後代の人々が編纂して「アリストテレス著作集」として紀元前 1 世紀頃、ローマ帝国治世時にまとめられた<sup>[3]</sup>。西ローマ帝国の滅亡 (西暦 476 年) 以後 500~800 年間顧みられない時期もあったが、イスラム圏の人々が収集した文献類が欧州へ伝播されて以降、現代に至るまで我々の科学技術に思想的基盤として大きな影響を与えてきている。ガリレオ・ガリレイ (1564~1642 年) は、物体の自由落下について「重いものほど早く落下する」としたアリストテレスの自然哲学を実験により反証し、哲学から科学を分離したとされている。しかし、彼はケプラーの楕円運動説に反対し、アリストテレスの哲学・思想体系に依然縛られていた面も示していたとされる。それほどにアリストテレスの思想は欧州の科学思想に基本的かつ深く根付いている。アリストテレスの著作に科学技術思想の原型を確認することは、現在の科学技術の概念・思想を確認する作業において重要である。

学とか学的知識、学的認識と訳されるギリシア語のエピステーメーという語について、アリストテレスは次の

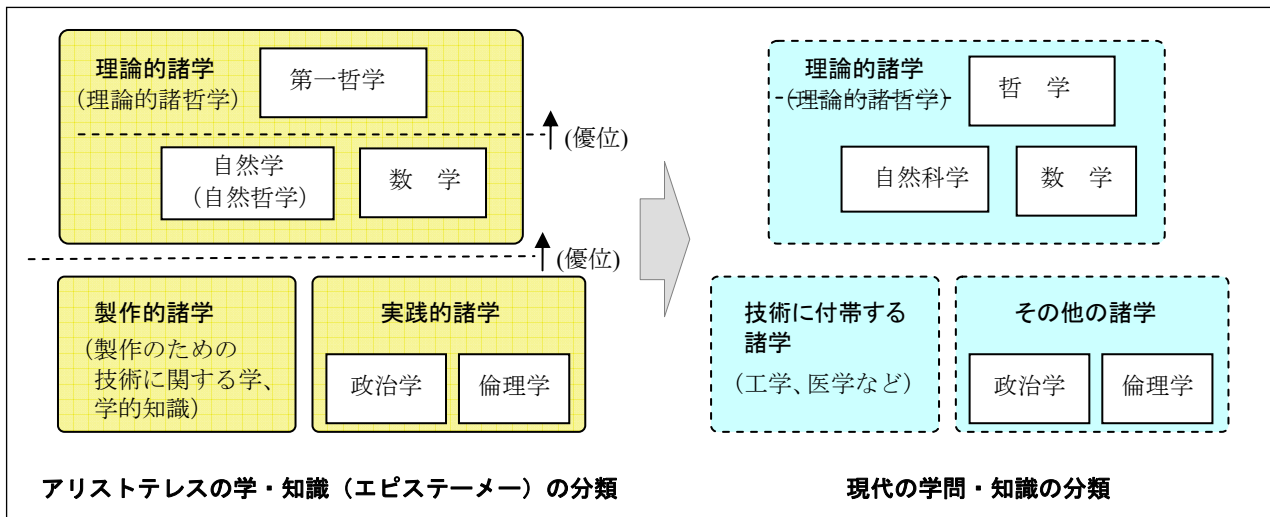
ように説明している。

- ・「すべてのエピステーメーはそのもとに属する認識対象 (エピステータ) のおのおのについて、その原理や原因を探求するものである」(「形而上学」第 11 巻第 7 章)
  - ・「あらゆる学 (エピステーメー) は、人に教えることができるものなのであって、学の領域に属する事柄は学ばれ得るものであると考えられる」(「ニコマコス倫理学」第 6 巻第 3 章) <sup>[4]</sup>
- また、学 (エピステーメー) の分類とその内容について記述している (「ニコマコス倫理学」第 6 巻第 1 章) <sup>[5],[6]</sup>;
- ① 諸学は理論的諸学、制作的諸学、実践的諸学の 3 つに分類される。
  - ② 理論的諸学は智慧 (ソフィア; *sophia*) を探求する「知ることそれ自身のための学」である。難度が高く他の諸学に優る。(アリストテレスは理論的諸学を理論的諸哲学 (フィロソフィア; *philosophia*) とも呼ぶ)
  - ③ 理論的諸学には、永遠不変等の属性を備える神的なものを認識するための学を最上位の哲学; 「第一哲

図表 1. Science の意味  
(オックスフォード英語辞典(OED)<sup>[1]</sup>による)

掲出番号/	意味
1	知っているという状態または事実。陰に陽に決まっている事柄についての知識または認識。やや広い意味で、個人の属性としての知識。(1340)
2	学習によって獲得できる知識。ある学習分野を知っていること、または習得していること。いろいろな種類の知識と訓練により獲得できる技能の意味がある。(1390)
3	知識または学習の特定の分野。認知されている学習分野。中世においては「七つの科学」は「七つのリベラルアーツ」、すなわち 3 教科 (文法、論理学、修辞学) および 4 教科 (算術、音楽、幾何学、天文学) と同義語としてしばしば使われていた。(1386)
4	明示的に示される真理、あるいは一般法則の下で組織的に分類され観察される事実の集まりであって、真理を発見するための信頼に値する方法を含む学問領域。(1725)
5	近年は「自然科学、物理科学」の同義語として用いられる。この場合は、物質的宇宙の現象と法則についての研究に限定され、純粋数学は科学から除外される。この使い方は、現在では通常の使い方として最も多い。(1867)

\*括弧内の数字はその意味での使用例の初出年を示す。邦訳は市川惇信<sup>[2]</sup>による。



図表 2. 学(あるいは学問、知識)の分類  
—アリストテレスのものと現代のもの

学(あるいは「神学(神的な学)」)として、自然科学(自然哲学)、数学を併せた3種類がある。

- ④ 制作的諸学には、建築術、医術、体育術、航海術、詩作の技術などの各技術に関連した学がある。(\*)
- ⑤ 実践的諸学には、政治学、倫理学がある。(\*)

註(\*)；④、⑤については著作集の他の個所の参照による(『アリストテレスの「分析論前書」注解』165.8-15, 等)。

以上の内容を図表2の左側に図示す。図表2の右側には現代の学問・知識の分類を示す。アリストテレスの思想において広く一般に学(あるいは学的知識)の意味で使われていたエピステーメーの語は、英語で Science の語であるが、同じく広く学の意味で用いられる場合もあるが、どちらかというと、自然科学をその代表とする比較的狭い限定的な意味(OEDの Scienceの4番目、5番目の意味)での使用が一般的となってきた(現代の日本語における「科学」の意味での使用)。現代の学問分類では、理論・製作・実践の3分類はあまり意識されないものとなり、哲学が主に第一哲学のみを指すものとなり、かつ、第一哲学が最上位の学であるとの意識が薄くなってきた、ということが言えそうである。3番目の事柄は自然科学の地位が高まり、相対的に哲学の地位が低下したためであろう。哲学が最上位のものであるとの価値意識は、最上位の学位が英語圏で PhD (Doctor of Philosophy)の称号として残されている。学(学問)間の優位性の差は明確な形ではないが、歴史的な名残として僅かに残されていると考えられる。

### 3. 観測能力の拡大によってもたらされた近代科学

近代の科学といえば、通常は自然科学のことであり、その特徴は「観測される事実」に基づくということであ

る。アリストテレスの時代においても、論理や推論のみ重点が置かれて現実の自然現象が無視されていたわけではなく、ただ現象を観測する能力・技術が低かったと考えることができる。アリストテレスは、学(エピステーメー)のもとになる論理や推論の基盤となる基本命題それ自信に係わるころのものを学ではなく直知(ヌーエス；「説明や推論なしに直ちに認められるもの」、人の感覚・知覚、具体的には人が目(肉眼)で見ても直ちに認められるもの)としていた。このことは、純粋に哲学的内容であった「第一哲学」(現在の形而上学)を別にして、少なくともアリストテレスの自然哲学においては、観測事実の正確さに問題はあったとしても、人間の認知を土台として感覚器官を通じた観測事実に基づくことを基本としていたことを意味する。近代の科学は、ケプラーやガリレオ、ニュートンが活躍した17世紀に、従来の自然哲学から飛躍的に進歩したが、この「観測する能力・技術」の飛躍的向上がこの進歩をもたらした要因として大きい。ケプラーはティコ・ブラーエの膨大な観測データをもとに惑星が楕円軌道を描くという結論を導出し、ガリレオやニュートンも観測結果や実験結果をもとに各種の科学的成果を挙げている。ロバート・フックはその著書「ミクログラフィア」(1665年)において、植物学・動物学・岩石学から光学・弾性体の力学・天文学にいたる分野を、当時、哲学機械と呼ばれた光学器械(望遠鏡と顕微鏡)を武器とする科学として捉えている<sup>17)</sup>。

### 4. 人間の認知行動プロセスの拡張として見た科学の活動

人間による科学の活動は、確かに人間が行う活動の中でも高度なもの1つに属するが、個々の人間による思考活動が高度化されたもの、個々の人間による思考活動の延長として捉えることはできないであろうか。個々の人間が行う思考活動(あるいは、行動も思考の一部に含

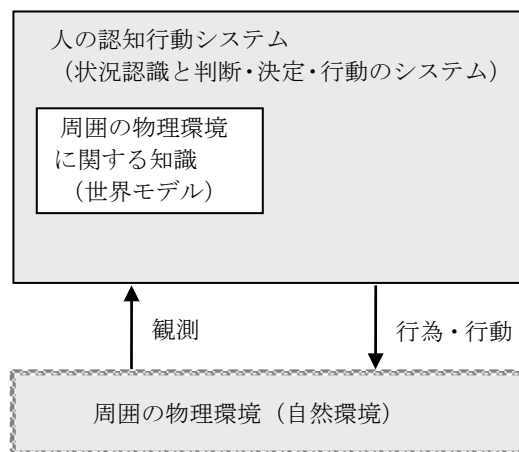
まれるという意味合いを持たせて、認知行動の活動)について考え、人間による科学の活動をその拡張として捉えようとする考え方は従来、既に出されてきている<sup>[2][10]</sup>。その一部は筆者によるもの<sup>[10]</sup>である。以下、その内容に補正、改訂を施した内容を説明する。

個々の人間は自らをとりまく物理的環境中で、環境から感覚刺激や情報を得ながら、環境に適切に対応、適応して日々の生活・活動を行っている。ついて特定の個別知識や広く一般の状況で使える汎用の知識を獲得して環境適応する認知的な行動プロセスを、視覚を代表とする感覚系および体や眼球の動きなどの行動を伴い脳で行っている。このプロセスにおいて、視覚を代表とする感覚系からの入力刺激や情報を、体や眼球の動きなどの行動に伴って得られる多少異なる刺激や情報を得ながら、それにより外部環境に関する自らの感覚・知覚内容(あるいはもっと高度な場合には認識内容)を確認しあるいはその内容に訂正や補正のフィードバックを施しながら、できるだけ正しい感覚知覚内容(あるいは認識内容)を得るように活動している。この活動を効率的に迅速に行えるように、人間の視覚系には物理世界の構造や法則の一部が組み込まれている。例えば、物理空間内の対象物の3次元位置の特定を音像や視覚像において迅速に(あるいは瞬時に)行うが、これは、左右の聴覚や視覚が相互に連携して物理空間内の対象物の位置特定を迅速に行えるように神経系が構造化されている証拠である(理論としては、視覚の神経理論<sup>[8]</sup>がある)。また、やはり視覚系の特性であるが、光沢のある物体に映り込んだ照明光源の位置推定も、物理空間内の光の直進や物体表面における反射や散乱などの物理法則をほぼ正確に反映して、ほとんど瞬時に無意識に行っている。これもまた、視覚系に物理世界の法則や構造が組み込まれている証拠と見ることができる。ちなみに、3次元空間内の対象を立体的に捉える両眼立体視の視知覚は人の成長段階で発達し6、7歳でほぼ終了すると言われているが、このことは成長の段階で学習により、脳内に物理空間内の3次元構造を捉える神経構造が形成されることを示している。

上述のような感覚・知覚系よりもさらに複雑でより抽象度が高い(記号化や概念化された)外部物理環境の認識について、人間は一種のモデルをつくり、それを記憶に留めて適時に使用しているらしいことが認知心理学分野の研究において明らかになってきている。このモデルはメンタル・モデルと呼ばれるが、各種の内容・抽象レベルのものが存在し得るようである。一方で、人工知能分野あるいは知能ロボット技術において、人工知能やロボットが外部物理環境を認識するために、外部環境に関して個別の知識(部屋や敷地内の地図など)やもっと一般的に物理世界の構造や法則に関する知識を使うことが行われてきている。後者の知識は、例えば、3次元空間

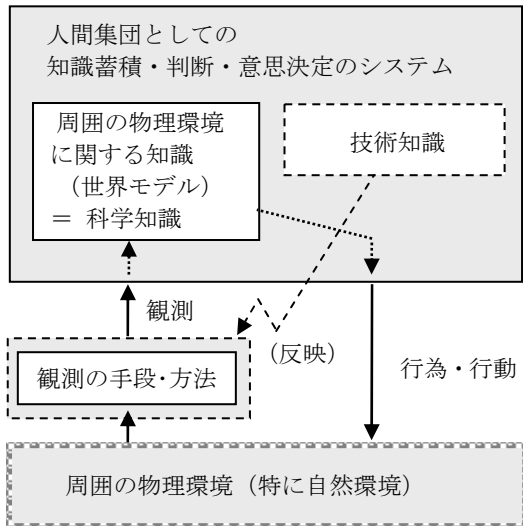
内で前方の物体は後方の物体の一部あるいは全部を隠すことがあるといった物理空間の構造、あるいは、鉛直方向に重力が働いており物体は放すと自由落下するといった物理法則、などである。この知識は「世界モデル(world model)」と呼ばれる。Albus<sup>[9]</sup>によれば「世界モデル」は自ら状況認識して判断する知能システムの基本要素の一つである。世界モデルは、ロボット等の行動主体の係わる領域内の現実世界について、その現在、過去、未来を教えてくれるものであり、したがって、世界モデルは、現実の世界について期待される状況や予測される状況を生成するシミュレーション機能を含むものとしている。

以上のように、認知科学の知見、人工知能・ロボット技術における知識は、生身の人間も人工的な技術システムもいずれも、「周囲の物理環境を認識するためには、物理法則やその他物理世界の構造に関する知識を適切に集積、構造化した一種のモデルを持つ必要があること」を示している。(以下、このモデルを人工知能・ロボット技術分野の用語を借用して「世界モデル」と呼ぶ。)図表3に、物理環境(自然環境)を認識するための人間の認知行動モデルを簡略化した形で示す。このモデルでは、物理環境中において行為・行動を行ない、適切な認識が行えない場合に適宜その世界モデルを修正して行く。これは、例えば、人間の視知覚が両眼立体視の場合のように、その発達段階で物理環境との相互作用を行う中でより満足なものへと徐々に修正・改変されていくといった事実を反映した一種のフィードバック型のモデルである。



図表3. 人の認知行動モデル

ところで、アリストテレスの思想において、自然哲学の目的は「自然界の事物・現象に関してその原理や原因を探求すること」であった。それはOEDにおけるScienceの4番目の意味にある「真理を探求すること」にほぼ等しく、現代の自然科学の目的としてもあてはまる。科学におけるこの探求のプロセスは、物理的環境に関する知識を、人が自らの直接の感覚や知覚を通じて得る認識、



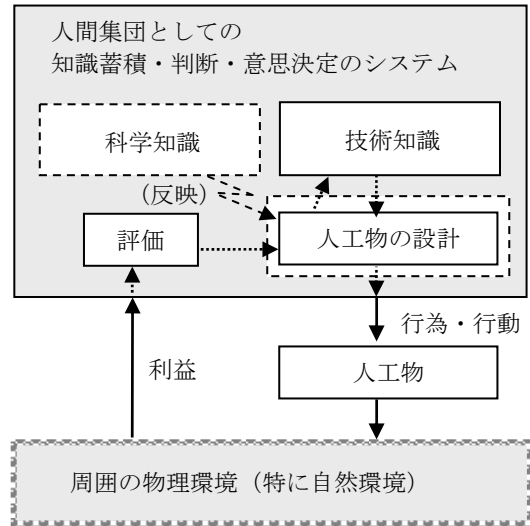
図表 4. 科学の活動モデル

経験の内容と出来るだけ矛盾が生じないようにフィードバックを繰り返しながら適宜に修正していく認知行動のモデル（図表 3）のプロセスと類似している。人間の認知行動モデルにおける「周囲の物理環境に関する知識（世界モデル）」を高度化・体系化したものを「科学知識」と捉え、かつ、近代科学が主に観測能力の拡大によってもたらされたことを考慮・反映して、図表 4 に示す科学の活動モデルを得る。例えば、惑星探査の場合、ロケットの打上げ自体は特定目標達成のための技術であり、その検証・高度化も並行して行うかもしれないが、探査本来の目的は観測であり各種データの収集である。この科学の活動モデルは、観測の手段・方法の充実・高度化が重要であり、自ずからそこに資源投入が集中することとなる。

一方、技術に係わる人間の活動のモデルは図表 5 に示すものが考えられる。人工物を作りだす制作のための知識が技術知識であるが、人工物を作りだすそもその目的は人が利益を得るためであり、その利益を増大させるあるいは新種の利益を生み出すように技術知識を創出、修正・改変し、増大させていく。技術知識を使い特定目的達成のために人工物を作成するプロセス中に「人工物の設計」があるが、ここに資源が集中投入され、科学知識もそこに反映される。技術知識を含めた図中の矢印のループを循環させることにより、人工物をより有用なものとするとともに技術知識を増大させていく。技術の活動モデルにおいて、科学知識は目的でなく手段であり、人工物が生み出す利益こそが目的である。

## 5. まとめ

科学技術の概念の明確化を狙いとして、科学技術概念をアリストテレスの思想を中心として歴史的観点から概観し、その科学技術思想を踏まえたうえで、人間の認知



図表 5. 技術の活動モデル

行動モデルの拡張として、科学と技術それぞれの（人間の）活動モデルを導出した。科学の活動モデルでは観測の手段・方法が重要でそこに活動の資源が集中することを、技術の活動モデルでは人工物の設計が重要でそこに資源が集中することを、それぞれ明示するものとなった。モデルをより厳密で明確なものとしていくことにより、科学と技術の活動の明確化を図っていくことは、今後の研究課題である。

## 参考文献

- [1] Oxford English Dictionary, Oxford Univ. Press, 1933.
- [2] 市川惇信, 科学が進化する 5 つの条件, (株)岩波書店, 2008.
- [3] 加藤信朗, ギリシア哲学史, 東京大学出版会, 1996.
- [4] 高田三郎 (訳), アリストテレス ニコマコス倫理学, 岩波文庫, (株)岩波書店, 1971.
- [5] 田中美知太郎 (編), アリストテレス, 世界の名著 8, 中央公論社, 1972.
- [6] 岩崎勉 (訳), アリストテレス形而上学, (株)講談社, 1994.
- [7] 山田慶児, 科学と技術の近代, 朝日選書 206, 朝日新聞社, 1982.
- [8] Marr, D.: Vision – A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information, New York: W. H. Freeman and Company (1982).
- [9] Albus, J. S.: Outline for a Theory of Intelligence, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol.21, No.3, 473-509 (1991).
- [10] 加藤寛治, 人間の自律制御行動モデルに基づく科学技術の俯瞰, ヒューマンインタフェース学会 シンポジウム予稿集, 2009.