

Title	知識創造モデルに基づく研究活動・研究環境の評価
Author(s)	菊池, 智子; 中森, 義輝; Wierzbicki, A.P.
Citation	知識創造場論集, 3(1): 1-44
Issue Date	2007-01
Type	Research Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/5107
Rights	
Description	北陸先端科学技術大学院大学 21世紀COE プログラム 「知識科学に基づく科学技術の創造と実践」

知識創造場論集

第3巻 第1号

知識創造モデルに基づく
研究活動・研究環境の評価

2007年1月

北陸先端科学技術大学院大学 科学技術開発戦略センター

知識創造モデルに基づく研究活動・研究環境の評価

菊池智子・中森義輝（知識科学研究科）

A. P. Wierzbicki（科学技術開発戦略センター）

概要 — 知識科学研究は、知識変換理論、知識構造化手法、創造性開発支援システム等、すでに多くの成果を生み出している。最近、知識科学研究に対して、重要な科学技術開発において創造的な活動をしている研究者を支援することが求められている。そのためには、そのような研究室を知識創造場として捉えモデル化し、必要な理論・システム、あるいはツールを投入していく必要がある。本稿は1つのモデルを提案し、それに基づいて北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科の大学院生に対して実施したアンケート調査を分析したものである。

PART 1 知識創造プロセスのモデル

1. 知識創造をどのように理解すべきか
2. 知識の正当化と実証のアプローチ
3. 知識創造プロセスのモデル
4. 知識の統合と創造の方法論

PART 2 研究活動・研究環境の評価

5. 大学院研究における知識創造モデル
6. 研究活動・研究環境評価のチェックリスト
7. アンケート調査とデータ解析

本稿は、北陸先端科学技術大学院大学における21世紀COE（Center of Excellence）プログラム「知識科学に基づく科学技術の創造と実践」の活動の一部を紹介するものである。

PART 1 知識創造プロセスのモデル

過去20年間に、知識創造と技術創造に関するいくつかの斬新なアプローチが登場した。これらのアプローチの顕著な特徴は、暗黙知(tacit knowledge)、感情や本能、直観など、人間の精神に存在する不合理的(irrational)あるいは非合理的(a-rational)な側面が持つ創造的な能力を合理的(rational)に説明しようとしていることである。

これらは来るべき知識社会の要請に応えようとするものである。基本的な問題は「知識や技術の進歩に対して、安全を確保するためにどのような仕組みが必要か」「知識や技術の創造を、情報技術や計算機知能によってどのように支援すべきか」というものである。

これらの問題に応えるためには知識創造のミクロな理論を構築する必要がある。これらは認識論の分野のものとは異なっている。認識論においては長期の歴史的スケールに適用可能な知識創造のマクロな理論が要求されてきた。例えば「知識や科学とは何かをどのように合理的に定義するか」あるいは「数学や物理のような基礎科学は歴史的にどのように進歩してきたか」といった問題である。

このことは、認識論がこれまで焦点を当ててきたことがミクロ理論に関する新しい問題に対して価値がないということの意味するのではなく、我々が新しい問題の答えをすぐに発見できなかったことを意味する。このように、知識創造と技術創造への新しいアプローチは哲学や認識論の外側から登場してきた。

これは科学におけるパラダイムシフト(科学的認識方法の変化)である。この大変革は実際には認識論に関係する。しかし、哲学における古典的な問題とは異なる問題を扱うことから、我々はこの大変革を「知識創造理論における大変革」と呼ぼう。

以下では、「知識創造や技術創造の問題」と「知識の正当化や技術の検証・実証の問題」について論じる。また、認識論的な知識の正当化アプローチの歴史を概観し、20世紀最後の10年及び21世紀初頭に登場した知識創造と技術創造に関わる新しいミクロ理論の特徴について触れる。これらは新しい情報・知識社会到来の兆しであるとみなすことができる。

世界を認識する方法の変化のトレンドを概観することは、様々な新しい概念の理解に役立つであろう。最も重要な変化は、19世紀と20世紀の哲学である「要素還元主義」から「創発原理」への変化であろう。この原理は生物学において実験的に観察されるし、決定論的カオス理論から合理的に説明される。それらだけではなく、現代のコンピュータネットワークにおける複雑性の複製などのように実際に発生している。

PART 1 は図書「Creative Space - Models of Creative Processes for the Knowledge Civilization Age, Springer, 2005」における A. P. Wierzbicki の考察を簡略に日本語訳したものである。

1. 知識創造をどのように理解すべきか

「知識はどのように創造されるか」ということを理解するために、歴史的に多くの試みがなされてきた。20世紀最後の10年までに登場した知識創造理解に関わる思想家たちは二つの学派にわけることができる。

最初に挙げる学派は、知識創造というものは本質的に知識の検証・実証とは別のものであると主張し、「知識発見コンテクスト」と「知識検証コンテクスト」とを区別する。この学派によれば、創造能力というものは不合理で直観的、そして本能的・潜在意識的なものであるという。このような知識理解の代表者達は、ニーチェ、ベルグソン、ポアンカレ、ブラウアー、アインシュタイン、ハイゼンベルグ、ボーア、フロイト、ユング、ゲーデル、ポパー、クーン、ポランニーなど、多様な哲学的信条や学問分野を背景に持つ思想家達である。ただし、彼らは、知識創造に関する見解を異なる側面から、または異なる部分についてそれぞれ主張している。

ニーチェは人間の意思が持つ不合理さの果たす重要な役割を信じていた。ベルグソン¹は直観の持つ創造的役割を主張したが、それを不合理で神秘的なこととして理解していた。ポアンカレ²は、創造的プロセスにおける啓示(閃き、悟り)の役割を強調した。ブラウアーとゲーデルは数学は全て直観に基づいたものであると信じていた。アインシュタイン、ハイゼンベルグ、ボーアは創造的行動には多様な不合理的側面があると強調した。フロイトは創造性を潜在意識的直観により説明し、ユングは無意識の中に潜む「神話」が重要であると説いた。

ポパー³はヒュームが以前にたどり着いた結論、つまり物理的帰納法は真理を保障するものではない(これは証明の有効な方法である数学的帰納法と対照的である)ということを論理的に強調し、これにより新しい理論は反証テストを受ける必要があると主張した。クーン⁴は反証の可能性と合理性を否定したが、科学的革命の基礎を形成する新たな概念は創造的で不合理な行動に由来することは認めている。

セリエ⁵は洞察力と直観の役割を強調している。ポランニー⁶は創造性というものを、本能や神話、直観を含む個人的な暗黙知の結果であると説明した。20世紀の終わりには、この考え方が「ソフトシステム理論」あるいは「批判システム理論」(ジャクソン⁷やミジェリー⁸参照)として社会学で理論的な支持を受けている。また、反パラダイム的な著作である「純粋人工知能批判」はあまり知られてはいないが、ドレイファス兄弟⁹によって行われた実験結果により実証的にも支持されることになった。

第2の学派は、「科学は実験的経験、帰納や論理の帰結である」という従来の解釈に基づいて、創造的活動を不合理と見なすことを拒んでいる。この観点は自然科学者たちに受け入れられ、特に英語圏で支持を受けている。英語圏で支持されている理由は、「科学」という言葉を、「技術」さえも入る余地のない「ハードサイエンス」と捉えるだけでなく、社会学や経済学、法律や歴史などの「ソフトサイエンス」や「人間科学」を排除して考える英語の不幸な属性のためである。他の言語、例えばドイツ語やポーランド語、日本語などは「科学」という言葉をもっと幅広く捉え、これらの言語を話す人々は創造的活動は不合理なものであるという意見を容易に受け入れる。実際に、日本人は直観を使うことを理解しているので、直観を不合理と呼ぶことに抵抗を感じ、代わりに非合理能力とさえみなしているのである。

にもかかわらず、科学は帰納的推論から導かれるものであり、創造的活動は完全に論理的に説明可能であるという考え方は根強く支持されており、ハードサイエンスを代表する人々は特にこの考え方を信奉している。「知識発見コンテキスト」と「知識検証コンテキスト」の間に違いはなく、完全に論理的に計画できる結合的創造プロセスのみが存在し、直観は蓄積された経験に過ぎず、啓示は隠れた仮説の改正であると主張することで、そのような考え方を論理的に説明することは可能であるという。

以上、知識創造に関する2つの学派を紹介した。1つは「知識は合理的に説明できない創造活動において創発される」、他の1つは「知識は帰納的に創造される」というものである。これに対して、我々は知識創造への第3のアプローチを提唱したい。すなわち『知識は創造的行動、直観的あるいは感情的なプロセスの中で創発されるものであるが、そのプロセスは合理的に分析可能である。』

1. Bergson H (1903) Introduction to Metaphysics (English Translation 1911, New York)
2. Poincare H (1913) The Foundations of Science (English Translation 1946, The Science Press, Lancaster)
3. Popper K R (1934) Logic of Scientific Discovery (English Translation 1959, Basic Books, New York)
4. Kuhn T S (1962) The Structure of Science Revolutions, Chicago University Press, Chicago (2nd ed., 1970)
5. Selye H (1964) From Dream to Discovery, McGraw Hill, New York
6. Polanyi M (1966) The Tacit Dimension, Routledge and Kegan, London
7. Jackson M C (1991) Systems Methodology for the Management Sciences, Plenum Publishers, New York
8. Midgley G (2003) Systems Thinking, Sage Publications, London
9. Dreyfus H L, Dreyfus S E (1986) Mind over Machine; the Role of Human Intuition and Expertise in the Era of Computers, Free Press, New York

2. 知識の正当化と実証のアプローチ

知識の正当化と実証は、認識論と呼ばれる哲学の分野の主要なテーマである。認識論の歴史を語るときには多くの場合、プラトンの「対話」(Plato, circa B.C.380)から始まる。プラトンは、人間の精神には、先天的に理性的イデア(観念、理想、理念)が備わっているという「合理主義」を形成し、当時のギリシャ哲学者の間で主流であった様々な「経験主義」に異論を唱えた。プラトンの書物の多くは彼の師であるソクラテスとの議論を描いたものである。ソクラテスは、もう1つの哲学的概念であり、そして現在では科学的真理に到達する最も確かな方法である対話技術「弁証法」を考案した。当時すでに、後に弁証法哲学者であるヘーゲルにより形式化される弁証法3要素：テーゼ(thesis)、アンチテーゼ(antithesis)、ジンテーゼ(synthesis)を見ることができる。

このように、弁証法は実際的な手法として生み出され、その理論的分析や、経験主義と合理主義との間の弁証法的論争という大きな適用へと続いていった。すなわち、何世紀にも渡って繰り返しジンテーゼ、新たなテーゼ、そしてアンチテーゼ、そしてまた新たなジンテーゼを生んできた経験主義と合理主義の間の弁証法的論争があり、この弁証法的循環は終わりなく続いていく。とはいえ、その結果として起こるプロセスが「循環的」というわけではなく、ジンテーゼが創造的活動であるために、むしろ「カオス的」である。カントは「純粹理性批判」において2つの学派の統合化を試み、カント後の新たな哲学の歴史を開いた。ヘーゲルとマルクスは2人とも弁証論家であったが、ヘーゲルの理想主義はマルクスの物質主義により反論を受けた。これはテーゼとジンテーゼのもう1つの例である。

20世紀は、ウィーン学派による新たなテーゼによって特徴付けられる。例えば、ラッセルやウィトゲンシュタインの論理実証主義である。ウィーン学派は、エイヤーやポパー、クーンやクワインなど多くの哲学者たちにとって長年の議論の背景となるものを与えた。同じくらい影響力のあった思想は、フッサールやハイデガー、そして後にガダマーが主張した、アンチテーゼとなった「人文主義的合理主義」である。新たなジンテーゼは1953年にクワインが「経験主義が持つ2つのドグマ」として発表した。偉大な論理学者であったクワインは、経験主義にある2つの基本公理は論理的に一致せず、現在「穩健経験主義と構成主義」と呼ばれるものを受け入れなくてはならないと主張した。つまり、全ての知識は人間の精神によって創られるが(これが合理主義であり構成主義)、境界条件としてのみ実際の経験に関わりを持つものであるとする(これが穩健経験主義)。後にクワインは、認識に関する神経生理学的モデル、すなわち生物学的な基盤を持つ合理主義と構成主義を付け加えている。

並行して、他の弁証法的テーゼとアンチテーゼが生まれていた。ポパーの「反証主義」と、クーンが紹介したパラダイムと科学的革命に関する概念である「歴史主義」の論争である。後に、認識論は科学における歴史的变化論に焦点をあて、クーンとポパーによるパラダイムと反証主義の論争が繰り広げられた。

20世紀の終わりには新たなテーゼがいくつも創られた。1つのテーゼは急進的な生物学的構成主義^{10,11}である。もし全ての知識が生物学的進化の結果、人間の精神によって創造されるのであれば、真理に関する概念は必要なくなる。急進的構成主義はある意味、主にバーンズ¹²やブローア¹³の「エンジンバラ学派ストロングプログラム」や、ポスト実存主義、ポストモダニズムなどにより推し進められた急進的社会学に端を発する「急進的相対主義」に基盤を置いている。

この急進的構成主義の正反対にある立場が、「人文主義的合理主義」の発展形となるものである。ガダマーは、真理の価値は人間の自己実現の本質であると強調した。人文主義的社会学において見受けられるもう1つ同様の傾向は、マークス¹⁴やハーバーマス¹⁵などの「一次元的人間」の概念に関するものである。この立場のアンチテーゼに当たるのは、ツァルノッカ¹⁶が主張する「多次元的知的主体」に関する概念である。またモダニズム¹⁷とポストモダニズム^{18,19,20}の間の論争も新しい挑戦である。

しかし、彼らは本質的に還元主義者である。すなわち、より基本的な概念を分析することによって、より複雑な概念を説明あるいは否定さえしようとする。20世紀の哲学の典型である要素還元主義の原理は、本質的に独立で分離不可能な、複雑性のある新しいレベルにおいてある意味常識を超えた概念である「創発原理」に置き換えられなければならない。

10. Maturana H, Varela F (1987) *The Tree of Knowledge: the Biological Roots of Human Understanding*, Shabhala, Boston
11. Von Foester H (1973) *On Constructing a Reality*, In Preiser E (ed) *Environmental Systems Research*, Dowden, Hutchinsonson and Ross, Stroudberg
12. Barns B (1974) *Scientific Knowledge and Sociological Theory*, Routledge and Kegan, London
13. Bloor D (1976) *Knowledge and Social Imaginary*, Routledge and Kegan, London
14. Marcuse H (1991) *One-dimensional Man*, Beacon Press, Boston
15. Habermas J (1974) *Theory and Practice*, Hainemann, London
16. Czarnocka M (2003) *The Knowing Subject and Science* (in Polish), Wydawnictwa Uniwersytetu Wroclawskiego, Wroclaw
17. Habermas J (1987) *Lectures on the Philosophical Discourse of Modernity*, MIT Press, Cambridge MA
18. Foucault M (1972) *The Order of Things: an Archeology of Human Sciences*, Routledge, New York
19. Derrida J (1974) *Grammatology*. The Johns Hopkins Press, Baltimore, MD
20. Lyotard J F (1984) *The Postmodern Condition: a Report on Knowledge*, Manchester University Press, Manchester

3. 知識創造プロセスのモデル

極東の哲学は調和が理想的であることを強調する。極東の文化は積極的にジンテーゼを重要視し、テーゼやアンチテーゼなど弁証法的対立軸を好まず、意見の一致を図ろうとするものである。しかし、あまりにもすぐに意見が一致すると、深みが足りないものだとみなされるのが普通である。社会的及び政治的には大きな価値を持つかもしれないが、深い科学的な価値が欠けていると思われる。

一方で、日本文化は西洋の哲学と認識論に影響を与えている。歴史的には、極東の概念である「心身一如」が西洋の思想家達に影響を与えた。ニーチェなどは影響を受けた思想家の一人であり、フロイトやユングもまた同様である。西洋人達はニーチェやハイデガーが概念の出所だと思っているようだが、「存在すること」、「何かになること」で人間は自我を実現するという考え方は、元々極東の考え方である。最近では、日本が出所である2つの概念である「直観」と「集団協調」が世界の知識創造理論に本質的な影響を与えている。

日本文化は西洋文化よりも直観に大きく頼っていることは間違いない。これにはいくつかの理由があるが、そのうち最も簡単なものは、日本語文法の構造の特徴として、文章の理解が議論の文脈に大きく左右され、必ずしも論理的なものではなく、対話する側の直観に任せてしまうことである。日本文化が西洋文化よりも集団協調を強調するという点にも疑いの余地はないが、これにもまた多くの歴史的、文化人類学的そして社会学的理由があり、その理由の1つは調和や意見の一致に重きを置いているということである。西洋の認識論では、個人と社会を対比させて社会的次元を分析するのが普通である。日本人にとっては、社会というものは存在論的に個人と同様に重要なものである。

理由が何であるにせよ、知識創造に対する新しいアプローチとして、20世紀最後の10年から起こった直観と集団協調の概念は、すべて直接または間接的に日本起源のものである。1990年代の初めから、創造的プロセスにおける人間精神の不合理能力を論理的に説明した多くのアプローチが登場したことは疑う余地がない。これは、新しい情報あるいは知識文明時代の幕開けを示す1つの兆しである。

歴史的に見て、そのようなアプローチとして最初の試みであったのは、意思決定科学及びシステム科学分野において榎木・中森が発表した「しなやかなシステムアプローチ」であった。それはソフト及びクリティカル・システム論の影響を受けてはいるが、知識や技術創造のためにプロセス的、あるいはアルゴリズム的方法を特定するのではなく、問題解決のためのいくつかの原理の集合を提案したものであった。これらの原理に含まれるものは次の通りである。直観を使うこと、オープンな精神状態を保つこと、多様なアプローチやパースペクティブを試すこと、適応できる姿勢と間違いから学ぶ心構え、柳のように弾力があるが剣のように鋭くなること、つまり「しなやかな」状態であることである。

並行して、経営科学の分野において、野中が1992年に別のアプローチを提案した。これは野中と竹内が1995年に国際出版した著書「知識創造企業」の中でも紹介されている。これが現在有名である「SECIスパイラル」で、組織的知識創造をプロセス及びアルゴリズムの原理として提案している。この原理が西洋の認識論にとって革命的であるのは、それが集団協調による知識創造を強調しているのみならず、感情と直観から成る暗黙知である不合理(日本人は非合理と捉える)な精神作用を合理的に捉えたところにある。

ほぼ同時期に、ポーランドのモティツカが別の理論を提唱した。科学革命以前に起こる危機的状況での基礎的知識創造理論である。モティツカは人間精神の不合理的能力である「本能」と「神話」を、「直観」の代わりに中心概念に置いた。これはユングによる「集団的無意識」概念でもある。モティツカによれば、基礎科学が危機的状況にある時には、科学者は本能や神話などに「後戻り」して、自分たちの科学研究分野に対して新しいアプローチを奨励しようとするものである、という仮説を立てた。

「知識創造企業」が出版されてから数年経った後、同書によって直接刺激を受けたアプローチが発表された。そのいくつかの論文は、2004年の第37回ハワイシステム科学会議で提出されている。ここではギャソンのアプローチを紹介する。労働者たちが持つそれぞれの個人知識を動員するために、西洋企業はSECIスパイラルに似たプロセスを使うであろうという観察をギャソンは行ったが、彼女のモデルでは知識はSECIスパイラルとは逆の方面に遷移する。

ウリツビツキーは研究開発環境における3つの知識創造モデルを提案した。解釈学的EAIRスパイラル、実験的EEISスパイラル、及び相互主観的EDISスパイラルである。

解釈学的EAIRスパイラルは、過去の成果を探索・解釈し現在の研究に反映させるというモデルである。学生が教員から研究テーマの示唆を得ると、学生は図書や論文により関連知識を収集・理解しなければならない。学生はそれに基づいて新しいアイデアを創造しようと努める。

実験的EEISスパイラルは実験を通してのアイデアの実証あるいは客観化のモデルである。主として科学技術分野において必要とされるモデルである。実験を行わなければ、理論の正当化も技術の実用性も立証できない。ただし、ここでは社会科学におけるアンケート調査なども広い意味での実験と考える。

相互主観的EDISスパイラルは、他のスパイラルから得られたアイデア、あるいは閃きに関する議論のモデルである。このような相互主観的あるいはグループによるアイデアの正当化は全ての科学技術において基本である。SECIスパイラルが集団利益に動機付けられ、個々のメンバーによって支えられるような市場組織における増加的知識創造を描写するのに対して、EDISスパイラルは、研究者個人の利益に動機付けられ、集団によって支えられるような、学問の世界における知識創造を説明する。

3.1 組織的アイデア創造 SECI スパイラル

Nonaka I, Takeuchi H (1995) The Knowledge-Creating Company. How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation, Oxford University Press

野中・竹内の組織的知識創造モデル(SECIスパイラル)が革新的であるのは、グループメンバーの協力により、暗黙知と呼ばれる合理的に説明しにくい人間の能力を合理的に使用する方法を提示し、知識の確かな増加へ導くステップを示したことにある。SECIスパイラルは2つの軸上の4つのノード間における知識の遷移をモデル化したもので、2つの軸の1つは認識論的次元であって形式知と暗黙知を対峙させている。もう1つの次元は存在論的次元であって個人とグループを対峙させている。

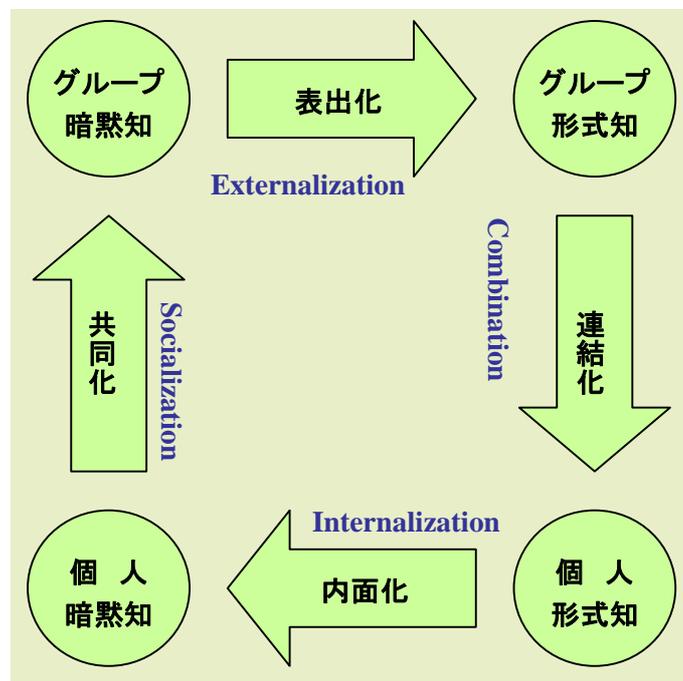


図1：SECIスパイラル

- 共同化：個人の暗黙知をグループの暗黙知に遷移。しかし、非公式会議、ビールを飲みながらの意見交換等は西洋文化では困難。社交中に仕事の問題をまじめに話し合うのは困難。
- 表出化：グループの暗黙知を言葉で表し合理化する。概念や比喩を使用し、意見の一致を図る極東の伝統。家庭用パン焼き器(捻り、伸ばし)、新車の概念(人間最大、機械最小)など。個人の実績や正確な定義をよしとする西洋文化にとっては困難。意見の一致に至るよりも、新しい概念の定義に関して論争になる。
- 連結化：グループの形式知を個人の形式知に遷移。しかし、この遷移は一方方向のものではないし、またこの遷移では、人類の合理的継承物と結合させることが行われる。
- 内面化：実践による学習により個人の新しい暗黙知を生じる。暗黙知の1つは想像、もう1つは脳内の直観パス。

3.2 科学創造 ARME スパイラル

Motycka A (1998) Science and Unconscious, Leopoldinum, Wroclaw (in Polish)

科学分野の危機の時には、その分野を代表する集団は直観的継承物に解釈を見つけることはできず、感情的継承物に回帰しようとする。科学者の分野集団が直観的継承物に満足な答えを見出せず、感情的継承物に暗黙的要素であるユングの「集団的無意識」を組み合わせたものを探ることになる場合、そのような探索の結果は「神話化」と呼ぶ変化により集団的感情に影響を与えるものでなければならない。この遷移においては、人類の神話や直観の曖昧な要素が集団を感情的に突き動かすことになる。これにより、集団の中で議論される類推や比喩が得られ、直観的継承物と比べられるような新たな理論の構築に向かう。

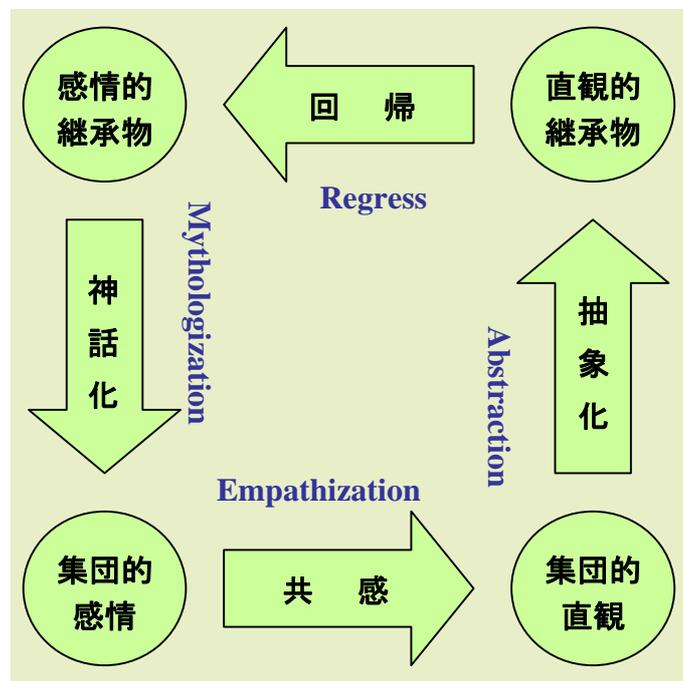


図2：ARMEスパイラル

- 合理的継承物
経験と合理的思考、つまり広い意味での科学から構成されている。
ハードサイエンス＝科学と技術
ソフトサイエンス＝人文科学、歴史、人間科学(社会学、経済学、法学、医学)
- 感情的継承物
芸術(音楽、絵画など)、人類によって作られたフィクション(文学、映画など)。
感情が創造的プロセスにおいて本質的な役割を果たすことは間違いない。
芸術的トレーニングが創造性に影響を与えることはよく知られている。
- 直観的継承物
空間や時間、倫理などに関する概念や判断。
空間はユークリッド的でないかもしれないし、時間は相対的であるかもしれない。
真であるように見えるが先天的真理ではない。そのような先入観は直観による。

3.3 西洋の組織文化 OPEC スパイラル

Gasson S (2004) The Management of Distributed Organizational Knowledge,
Proc. of the HICSS 37, IEEE Computer Society Press

Gasson はSECIスパイラルを西洋文明において適用するのは困難であると考え、西洋企業の組織文化を文脈としたSECIスパイラルとは正反対の遷移モデルを提唱している。目標に対する議論である「共有形式知」から始まり、効果的な設計技術に関する意見交換である「共有暗黙知」に進む。集団が共有暗黙知では不十分であると認識すると、個々の専門家を特定し、集団と暗黙知を共有するように頼み込む。追加的な専門技術を得ると、提出物のような公式的作業手続きを定義して「分散形式知」に戻る。

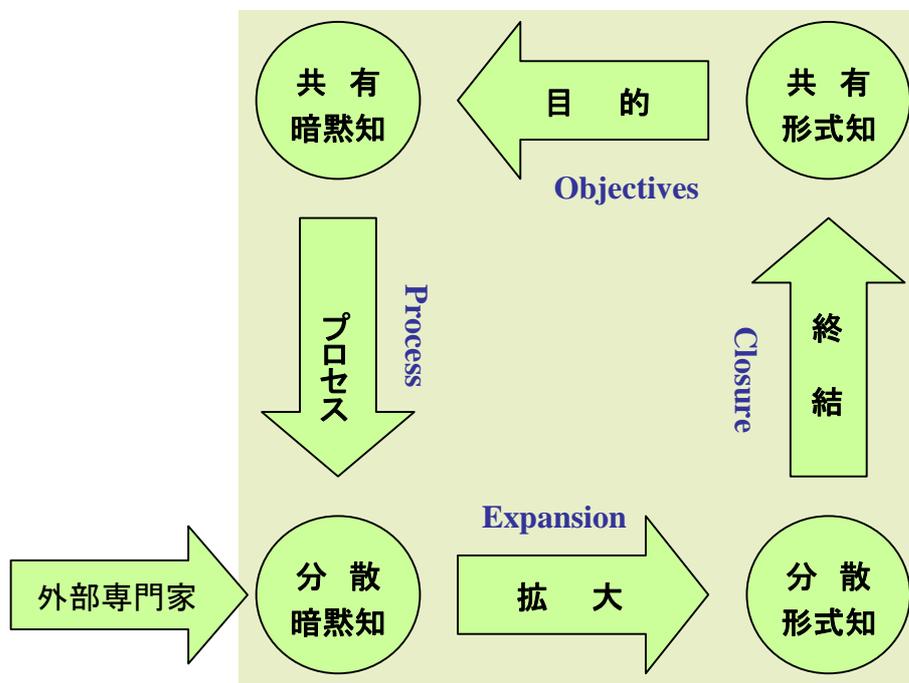


図3 : OPECスパイラル

- Objectives
プロセスは目標に関する議論である「共有形式知」から始まり、効果的な設計技術に関する意見の交換である「共有暗黙知」に進む。
- Process
集団が共有暗黙知では不十分であると認識すると、個々の専門家を特定し、集団と暗黙知を共有するように頼み込む。
- Expansion
追加的な専門技術を得ると、プロジェクト提出物のような公式的作業手続きを定義して、集団は個人の「分散形式知」活動に戻る。「分散暗黙知」から「分散形式知」への遷移は「閃き」に等しいものである。
- Closure
分散形式知を結合して新たな知識である共有形式知に戻る。

3.4 解釈学的EAIR スパイラル

Wierzbicki A P, Nakamori Y (2005) Creative Space - Models of Creative Processes for the Knowledge Civilization Age, Springer

研究の対象が歴史的・文学的文書や芸術である解釈学的サークルにおいては、分野の伝統に基づいて共感的な熟考を行う。最初の段階で、研究目的に従って人類の合理的継承物を探索・認識する。研究者は次に対象を直観的に認識(解釈学的傾倒)しなければならない。この遷移は批判的または統合的である。この傾倒が深い熟考を得る役にたち、個人直観を豊かにし、閃き、すなわち新しいアイデアにつながる。

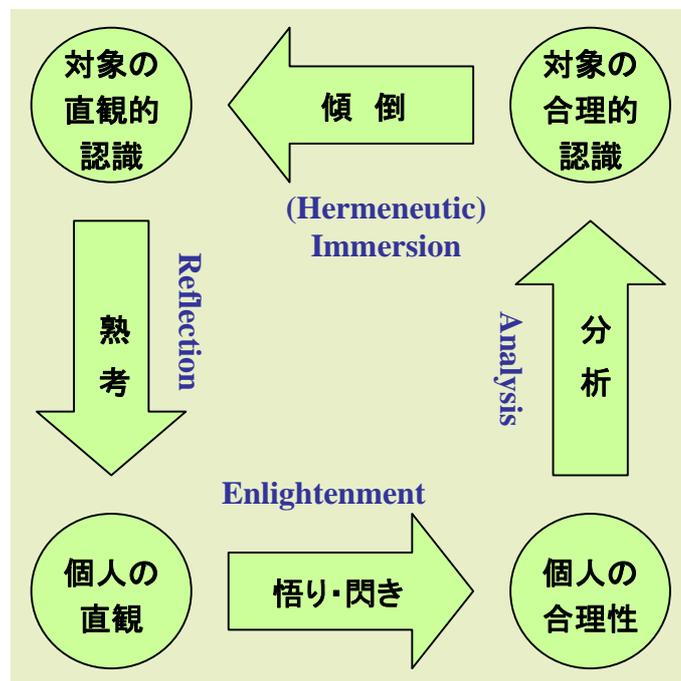


図4 : EAIRスパイラル

- Enlightenment: 研究を開始する最初の閃きは研究トピックに関するものであり、スパイラルを繰り返すごとに新しいアイデアが生まれる。学生は、この閃きを研究計画書という形式で合理的に文書化する必要がある。
- Analysis: 研究に関連する事柄に関する科学的な知見(人類の継承物)を探求する。この遷移は個人の合理性(研究計画書)から合理的な対象の認識(学生が読んだ文献及び理解の記録)の間で起こる。
- Hermeneutic Immersion: 分析結果を直観的認識へと内面化する。これは経験が必要な遷移である。分析結果を様々な角度から解釈することに努め、個人の直観的理解を深める。この遷移は、合理的な対象の認識から直観的対象の認識の間で起こる。
- Reflection: この遷移は直観的対象の認識から個人の直観への遷移であり、完全に直観のプロセスである。この遷移を分析したり学ぶことは難しいが、研究対象の多様な解釈を繰り返すことである。このプロセスの評価は新しい閃きの質でテストされる。

3.5 相互主観的 EDIS スパイラル

Wierzbicki A P, Nakamori Y (2005) Creative Space - Models of Creative Processes for the Knowledge Civilization Age, Springer

EDISスパイラルは、大学や研究所など学問の世界、少なくとも「議論」を通して得られる対人での知識正当化に頼る分野における「普通の知識創造」に関する基本的なプロセスを説明する。EDISスパイラルはまた、知識の更なる発展のために、個人がコメントやアイデアを選ぶ行為は合理的にではなく直観的に成し遂げられるという事実を強調する。

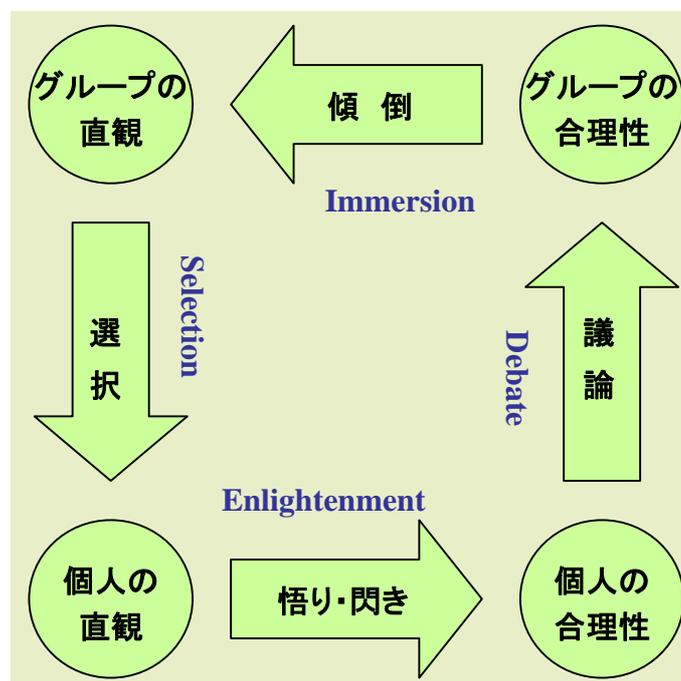


図5 : EDISスパイラル

- Enlightenment: 他のスパイラルと同様、個人の直観から個人の合理性へのアイデアが生まれる遷移である。
- Debate: アイデアを研究グループに提示し議論・検討、そして正当化する個人の合理性からグループの合理性への遷移である。
- Immersion: 議論の結果をグループの直観的認識に埋め込む遷移である。これを観察することは難しいが、時間が経てば各メンバーは議論の結果に対して新たな直観的コメントができるようになる。
- Selection: 議論の中から次の新しいアイデアを練るときに最も有用なものを選択する直観的なプロセスで、グループの直観から個人の直観への遷移である。他のスパイラルと同様に、このプロセスの評価は実験に関する新しい閃きの質でテストされる。

3.6 実験的 EEIS スパイラル

Wierzbicki A P, Nakamori Y (2005) Creative Space - Models of Creative Processes for the Knowledge Civilization Age, Springer

合理的、直観的、感情的全ての部分において、そして少なくともハードサイエンスと技術に関しては、実験をすることなしに、人類の継承物を使うことなしに、科学と技術の創造はない。EEISスパイラルは、「議論」を「実験」に、「傾倒」を「解釈」変更したEDISスパイラルの補強版である。

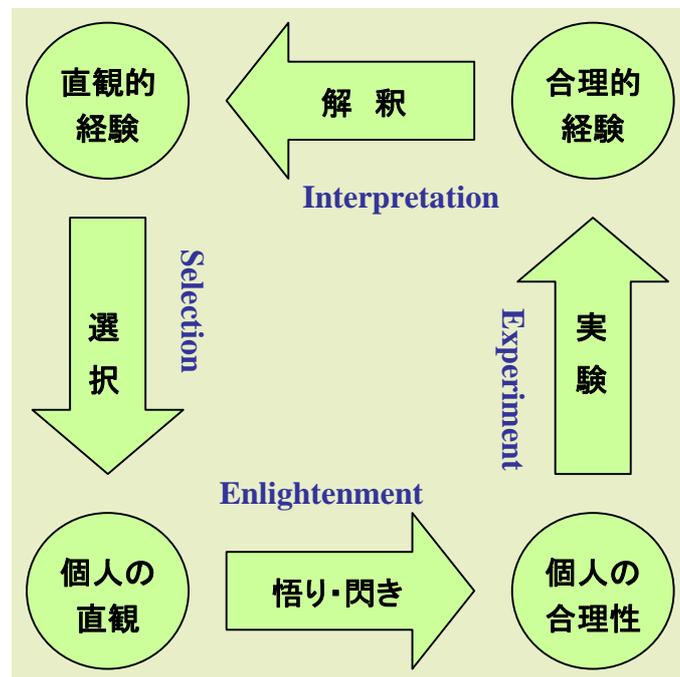


図6 : EEISスパイラル

- Enlightenment: 個人の直観から個人の合理性へのアイデアが生まれる遷移である。ただしこのスパイラルでは実験に関するアイデアに限定する。最初のアイデアは指導者や文献からもたらされる。良い実験はさらなるアイデアを生み出す。
- Experiment: アイデアを実験によって確かめ、同時に実験データを得るプロセスで、個人の合理性から合理的経験への遷移である。合理的な実験的経験とは、個人の経験ではあるが、それを他の研究者と合理的にコミュニケーションできることが求められる。
- Interpretation: 実験結果の解釈により、合理的な実験的経験は直観的な実験的経験に内面化される。これは経験が必要な遷移である。実験結果を様々な角度から解釈することに努め、個人の直観的理解を深める。
- Selection: 直観的な実験的経験の中から次の新しいアイデアを練るときに最も有用なものを選択する直観的なプロセスで、直観的な実験的経験から個人の直観への遷移である。このプロセスの評価は実験に関する新しい閃きの質でテストされる。

4. 知識の統合と創造の方法論

4.1 *i*-System (Knowledge Pentagonam System)

Nakamori Y (2003) Systems Methodology and Mathematical Models for Knowledge Management, Journal of Systems Science and Systems Engineering: 12(1), 49-72

このシステムは、知識創造へのシステム的かつプロセス的なアプローチである。このシステムの持つ存在論的要素は「Intelligence」（既存の科学知識）、「Involvement」（社会的モチベーション）、「Imagination」（創造性の他の側面）、「Intervention」（問題を解決しようとする意思）、「Integration」（システム知識）の5つである。これらの存在論的ノードの間で動かすアルゴリズム的方法は存在してはいない。個人のニーズに合わせた変化は全て等しく好ましいものである。このように、このシステムは創造的空間の持つ様々な次元の間を自由に動くことの必要性を強調するものである。

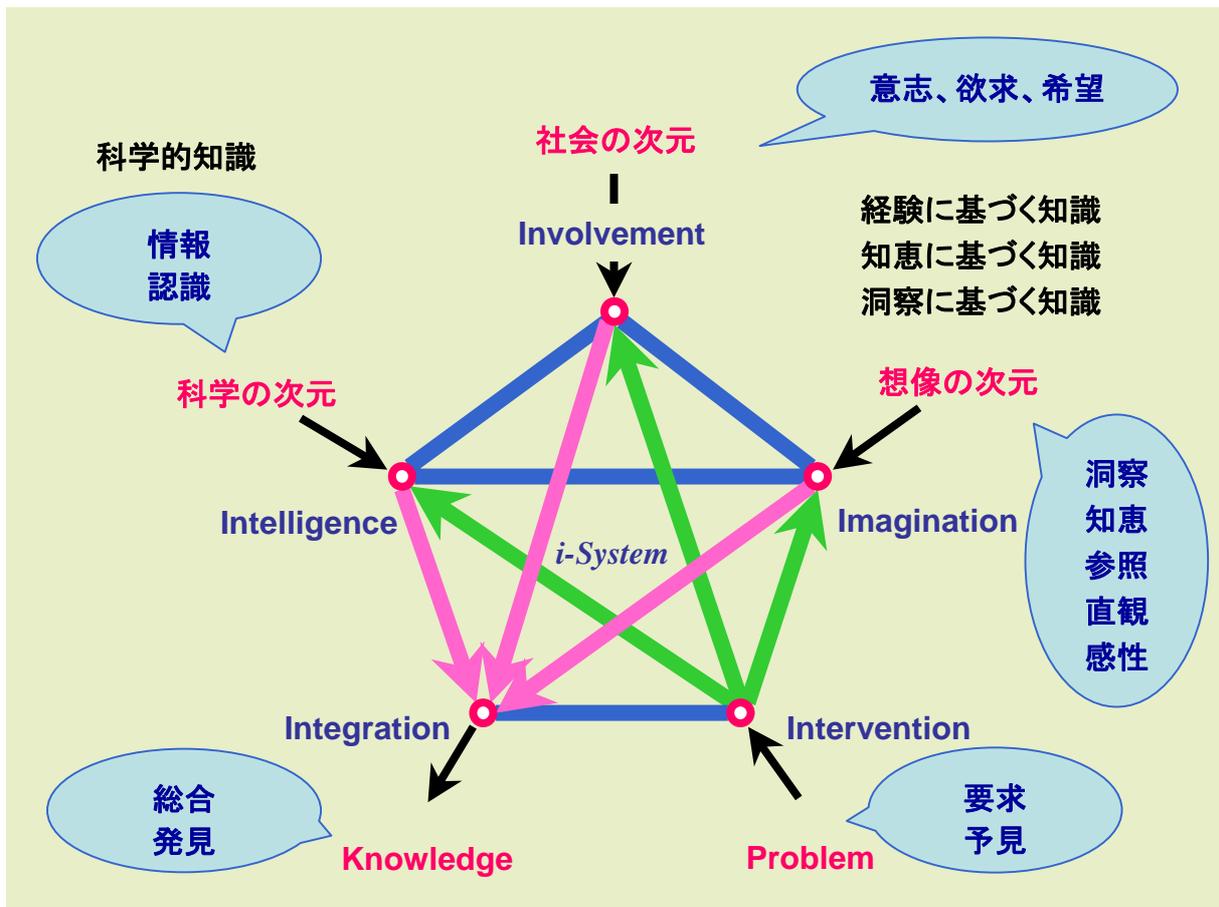


図7 : *i*-System

4.2 *i*-System の解釈—その1—

Wierzbicki A P, Nakamori Y (2005) Creative Space - Models of Creative Processes for the Knowledge Civilization Age, Springer

ウリツビツキーは「*i*-System」を「Pentagram System」と呼び、以下のような解釈を付け加えている。

「I5システム」は2000年に中森が創造的プロセスの持つ多様な要素の役割を強調するために導入した。「I5システム」(またはペンタグラム)の可能な解釈には様々なものが存在している。社会学的解釈は中森とズー(Nakamori and Zhu, 2004)が提示している。ここでは「I5システム」を知識創造と統合の理論を構成する重要な要素として考える。このシステムが持つ5つの存在論的要素は「知能」(既存の科学知識)、「関与」(社会的動機)、「想像」(創造性の持つ他の側面)、「統合」(システムの知識を使う)、そして「介入」(問題を解こうとする意思)である。

「I5システム」はシステムアプローチのジンテーゼとして提案されているものなので、「統合」はある意味において最終次元である。そこにノードとして解釈できる「統合」に収斂する全ての矢印があり、矢印のないリンクは両方向への影響の可能性を示すものである。最初のノードは「介入」であり、これは個人や集団によって認識された問題や課題が更なる分析や創造的プロセスを促す状態である。「知能」ノードは様々なタイプの知識に対応し、「関与」ノードは社会的側面を示す。創造的側面は「想像」ノードに大きく表現されている。

「知能」のノードは他の既存科学知識とともに「創造的空間」の持つ基礎的「認識論的次元」(感情的知識—直観的知識—合理的知識)にほぼ対応しているものである。「関与」ノードは社会的動機を強調し、基礎的な「社会次元」(個人—集団—人類)にほぼ対応しているものである。これらの次元を分析する際には2値論理では不適當であり、ラフな3値論理でかろうじて詳細にわたる分析に十分となる。例えば、個人、集団そして人類遺産レベルでの知識を区別する必要があるだけでなく、個人の利益、集団利益、そして人類利益に関係する動機を区別することも重要である。商業市場に直面している組織がその組織によって雇用されている人間の集団が持つ利益を強調するのは正しいことである一方で、大学における教育研究活動は学生や研究者の個人的利益を強調することで最もよく刺激を受けるかもしれない。その一方で、基礎的知識の個人独占が予想される場合には、人類の利益を保護する必要が生じてくる。

「想像」という次元は、個人直観の持つ本質的要素のみに関連があるように見える。しかし、「想像」は「創造空間」における別個の次元として扱うだけの価値は十分ある。普段あまり注目されることはないであろうが、創造的プロセスの持つ性質によって、想像を様々な度合いで利用する。最も低いレベルにあるのは「定型」であり、想像力を必要とするが標準的、そして訓練された形で現れる。例えば、道路脇にいる画家は30分で客の肖像画を描き出してくれるだろうし、建築家は標準的な家を設計し、エンジニアはギアボックスを作るが、想像力を標準的、そして「定型」的に使うものである。これらの職業に携わる人々は想像力をもっと強い形で使うことができる。それは「多様」という要素を含むレベルであるが、このレベルに至るには彼らがまず動機を与えられなくてはならない。動機には様々な形がある。例えば金銭的報酬、他にも職業プロとしてのプライド、時としては純粋な好奇心が創造性の増大につながることもある。最後に、創造力の最高レベルである、「空想」と呼べるものがある。20世紀には形而上のことに言及しないことが伝統であり、空想を芸術や感情の範囲に押しやってしまった。しかし空想は技術的なデバイスやシステムの構築を含む高度に創造的なプロセスに存在している本質的要素である。故に、全ての創造的プロセスは3つのレベルの想像、つまり「定型—多様—空想」と関りを持つ可能性がある。

「介入」という次元は、精神と肉体一致、そして人間と自然が1つのものであるという概念があるために、極東哲学や文化においては別個に考えることが困難である。何かを成し遂げるといふことは別個の現象として考えるのではなく、単に存在の一部であり、存在は人間と自然の一致を壊すようなものではないと考える。意見の一致や和を求める文化においては、そのような説明や原理を示すだけで十分なのである。その一方で、西洋文化は人間の介入や意志に関係する問題に対しおそらく明確な形で意識し、間違いなくさらに大きな注意を払っている。第1に、あらゆる人間の介入が自然や環境に対して最終的に影響があるということに注意する必要がある。この影響を理解し、いかにそれを害のないものにするかということの問題にする。第2に、西洋文化には意思や介入の自由の問題について哲学的に議論をしてきた長い歴史がある。あらゆる創造的活動に関して、動機、つまり新しいアイデアや芸術の対象、技術的道具などを生む意思に存在する役割が成功の中心的条件となることは明らかである。「動機—決意—専念」なしには、どのような創造的プロセスをも達成することはありえない。

「統合」次元は、創造的プロセスのシステムのジューズである最終的段階を示すためにあるノードである。故に、この段階においては、今日の人類の理性的遺産の大部分を占めるすべてのシステムの知識を用いるべきである。システム概念を新たに創造された知識に適用することは、統合を得るために適用できる明示的な合理的知識ツールでしかないことは確かである。故に、創造的能力を教える場合にはいずれもシステム科学の強力な構成要素を含むものでなくてはならない。一方で、全ての統合は必然的に部分的な直観プロセスであり、暗黙知が必要になり、啓蒙的な局面に信頼をおくものである。「統合」次元はその3つの異なるレベルである「専門—学際—文化交流」を考察することで分析することができる。最も単純に見えるのは、知識のいくつかの要素を特化された分野に統合する際の「専門的統合」である。例えば、現代のコンピューターネットワークの多様な知識を統合する作業を考えてみて欲しい。コンピューターネットワークが今よりも全く単純であった20年前でさえ、この作業は非常に骨の折れるものであった。その時代にどのように作業を実行したのかを思い出してみよう。

4.3 *i*-System の解釈—その2—

Nakamori Y, Zhu Z (2004) Exploring a Sociologist Understanding for the *i*-System, International Journal of Knowledge and Systems Sciences, 1(1), 1-8, JAIST Press

ズーは「*i*-System」を社会学の視点から再考し、以下のような解釈を付け加えている。まず、「*i*-System」における3つの次元を、原理/事象の領域、社会/関係の領域、認識/心理の領域と呼び、それぞれの領域で発揮される能力をIntelligence, Involvement, Imagination とした。また、Intervention, Integration を知るという行為とし、問題と得られる知識を構成物とした。

- 構造(Structure) 全体的状況と背後の原理(人々の行動を可能にし、また制限する)
- 能力(Agency) 社会における行為者(actor)が世界を変革し再生産する能力
- 行為(Action) 知るという社会的行為
- 構成物(Constructs) 構成されるもの

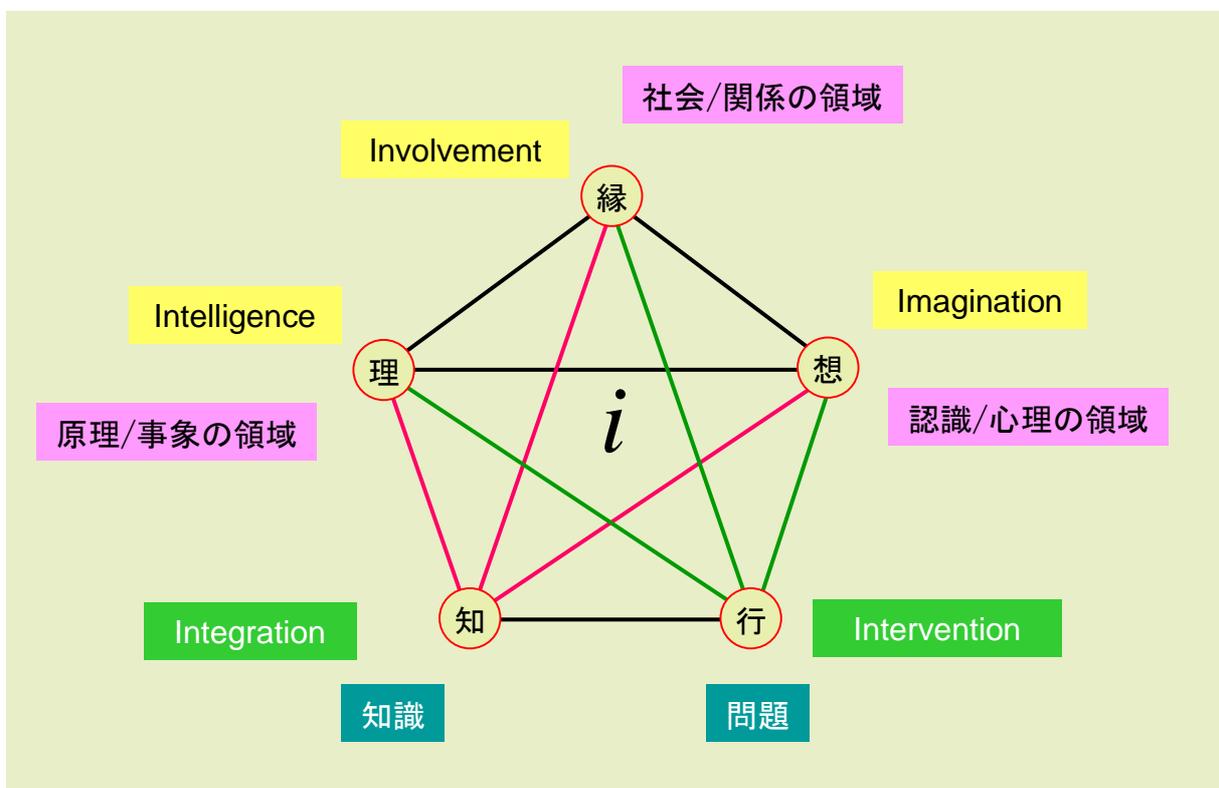
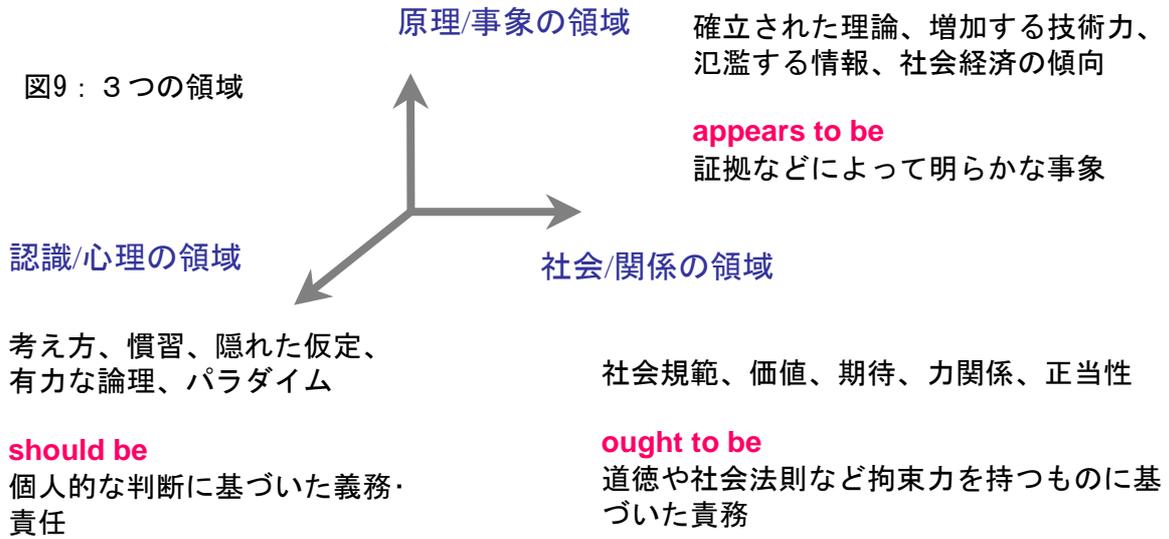


図8 : *i*-System の社会的解釈

構造としての3つの領域



多次元的能力としての3つの*i* それぞれの領域において発揮すべき能力

原理/事象の領域	理 Intelligence: know the game 客観、論理、経験、知能、合理
認識/心理の領域	想 Imagination: feel the game 主観、直観、知恵、記憶
社会/関係の領域	縁 Involvement: make the game 興味、感情、信頼、共感

知るという行為に関する2つの*i* 東洋思想における知識と行動: 知行合一

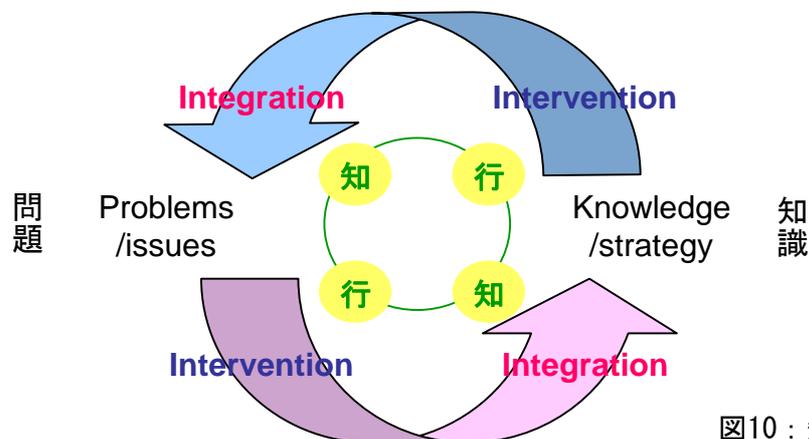


図10：知行合一の考え

PART 2 研究活動・研究環境の評価

北陸先端科学技術大学院大学21世紀COEプログラム「知識科学に基づく科学技術の創造と実践」においては自然科学、情報科学、経営科学研究者の連携による課題探索・解決型研究プロジェクトを実践し、知識科学の知見を科学技術研究の場で適用することで、様々な分野においてイノベーションを創出できる優れた人材を育成することを目的としている。特に「知のコーディネータ」「知のクリエイター」と呼ばれる人材の育成を謳っている。

知のコーディネータとは、社会・経営系学生を対象としており、理系・文系の枠を超えた幅広い知識、自由な発想と総合的判断力、深い洞察力やシステム思考の能力を有し、それぞれの分野におけるイノベーションを創出できる人材と定義する。習得すべき基本的な能力は、ナレッジマネジメント論、イノベーション論等の理論を身に付け、異なる分野とのコミュニケーションができ、学際研究プロジェクト等をコーディネートする行動力である。大学院修了後は研究・製品開発マネジメント、地域再生マネジメント等、社会におけるイノベーション推進事業に従事することが期待される。

知のクリエイターとは、材料・情報技術系学生を対象としており、新技術の開発、新しい社会システムのデザインや知識創造のメカニズムの探求等に携わる高度な専門能力や研究能力を有する人材と定義する。習得すべき基本的な能力は、材料技術分野あるいは情報技術分野における高度な研究開発能力に加え、技術マネジメント、知財マネジメント等を習得し、自らの、あるいはチームの研究マネジメントができる能力である。大学院修了後は研究開発部門の研究者・技術者となり、将来は有能な研究管理者すなわち「知のコーディネータ」へとキャリア移行していくことが期待される。

COEプログラムにおいては、本学博士後期課程の学生から志を持つ学生を選抜し、分野横断プロジェクトにおける研究開発に参加させ、また、知識科学研究科の科目、統合科学技術コースの科目、あるいは技術経営コースの科目を履修させることにより上記のような人材を育成している。また、本COE拠点の最大の特色は、知識マネジメントの視点から大学院実験系の研究開発活動を支援する点にあり、研究教育現場における技術マネジメントを実践していることである。

PART 1 においては、経営系の組織的知識創造モデルから研究開発系の知識創造モデルへの発展について紹介した。PART 2 においてはそれらに基づいて、大学院生の研究活動・能力の進歩を評価し、また研究室あるいは大学院全体を知識創造場と捉えた知識創造環境を評価するためのモデルを提案する。さらに、このモデルに基づいたチェックリストを用いた本学マテリアルサイエンス研究科大学院生に対するアンケート調査とデータ解析結果を報告する。

5. 大学院研究における知識創造モデル

本稿の提案は、次ページ図12のような知識創造モデルである。これは、Wierzbicki の3つのモデル EAIR Spiral、EDIS Spiral、EEIS Spiral を組み合わせた構造になっている。ただし、内容は大学院の研究室(あるいは企業や研究所の研究室)における知識創造プロセスに特化しており、特に、EDIS Spiral はグループの合理性・直観ではなく、社会的意義に関する情報・理解に変更している。実は Wierzbicki は3つのスパイラルを自由に行き来することの重要性から下図のような Triple Helix Model を提唱している。

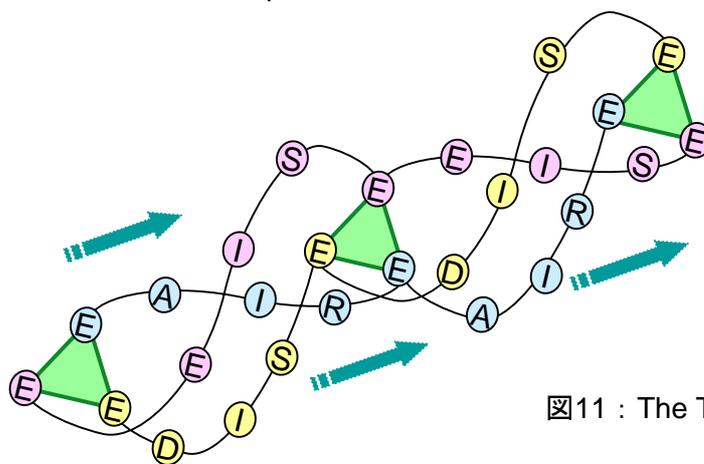


図11 : The Triple Helix Model

図12はまた「*i*-System」を「知」と「行」を対比させるように拡張したものと理解することができる。すなわち、「*i*-System」における「Intervention」と「Integration」を「研究計画」という「行」と研究成果という「知」として大きく対比させ、「Intelligence」、「Involvement」、及び「Imagination」をデータ・情報を得るという「行」とそれらを理解するという「知」として対比させている。

研究成果から研究計画への矢印は、以前の研究成果、研究経験などから新しい研究の発想が生まれる様を表現している。研究計画を立てた後に、科学の次元において文献収集や教員・先輩の指導により研究対象に関わる情報を得る(行)。それらを解釈し、研究成果の解釈・理解、あるいは次の研究アイデアに反映させる(知)。社会の次元では、研究の社会的意義に関わる情報を収集し(行)、それらの多様な解釈の中から選択し、研究成果の意義を考察する(知)。また、創造の次元では、実際に実験または調査を実施しデータを蓄積する(行)。それらデータを理解、解釈し研究成果としてまとめる(知)。

1つの研究において、以上の3つのスパイラルをそれぞれ一度だけ回すことは運の良い場合である。実際は、何度も最終の研究成果に至らないレベルの結果を得て研究計画の立て直しが行われる。特に、科学の次元と社会の次元におけるスパイラルは、実際に創造の次元のスパイラルを開始する前に何度も利用される。その意味で「Integration」は最終研究成果だけではなく、途中経過で考え直す場面も想定されている。

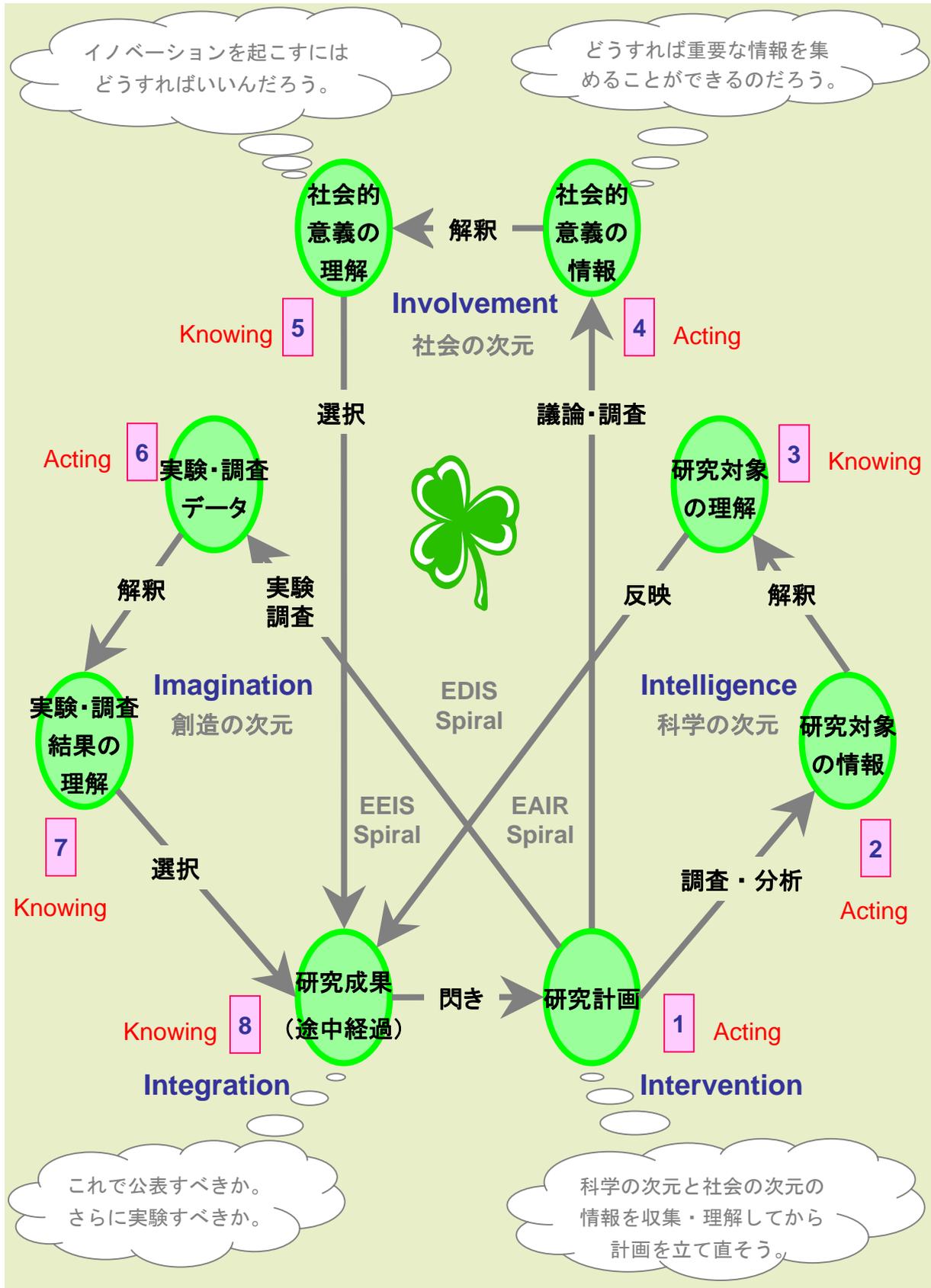


図12：大学院研究室における知識創造モデル

6. 研究活動・研究環境評価のチェックリスト

図12のような知識創造モデルに基づいて、大学院における研究活動(研究能力)と研究環境(研究指導を含む)に関するチェックリストを開発した。

以下では、知行合一の考え方にのっとり、4つのペアでリストを紹介する。

- ◆ 研究計画と研究成果 1 と 8
- ◆ 研究対象の調査と理解 2 と 3
- ◆ 社会的意義の調査と理解 4 と 5
- ◆ 実験・調査のデータ収集と解釈 6 と 7

また、A1～A8は研究活動(研究能力)に関する質問で、それぞれ

- ◆ できるようになった(あるいは自信がある)
 - ◆ その能力を身につけることは重要である
- という2つについて5段階で回答を求める。

B1～B8は研究環境に関する質問で、それぞれ

- ◆ その環境は十分満足できる
 - ◆ その環境を充実させることは必要である
- という2つについて5段階で回答を求める。

(調査票) あなたの研究活動、研究室環境に関して、研究室配属後の状況をお答え下さい。

回答例 a) では、研究活動についての現在の状況と、その活動があなたの研究にとっての重要度を、回答例 b) では、研究環境の客観的な充足状況とその環境に対するあなたの必要度をお答え下さい。

回答例 a) 研究に関わるテーマを探すことができますか。また、探すことはあなたの研究にとって重要であると思えますか。

未だにできない 1 2 3 4 5 できるようになった
重要でない 1 2 3 4 5 重要である

回答例 b) あなたの研究上必要な設備は整備されていますか。また、あなたが研究課題を遂行する上で、その環境をあなたは必要としていますか。

不十分である 1 2 3 4 5 充分である
必要としていない 1 2 3 4 5 必要としている

能力の評価と重要性

Intervention and Integration

A1

合理的に研究計画を立てることができますか。またその計画性はあなたの研究課題を遂行する上で重要であると思いますか。

未だにできない 1 2 3 4 5 できるようになった

重要でない 1 2 3 4 5 重要である

A8

研究成果の総合的(学問的・社会的・実験的)意義を充分理解し、それに基づき新しいテーマを発見できますか(あるいは自信がありますか)。またその行為はあなたの研究課題を遂行する上で重要であると思いますか。

未だにできない(自信がない) 1 2 3 4 5 できるようになった(自信がある)

重要でない 1 2 3 4 5 重要である

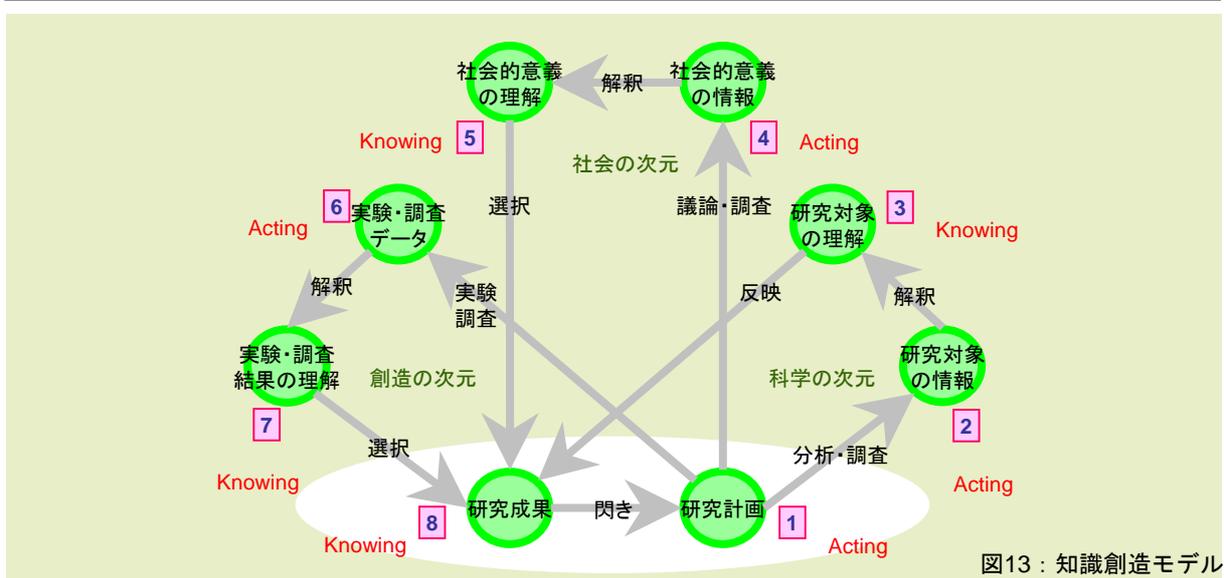


図13：知識創造モデル

環境の評価と必要性

Intervention and Integration

B1

研究計画を立てるとき、教員・先輩からの指導や助言は十分に受けていますか。また、あなたが研究課題を遂行する上で、その指導をあなたは必要としていますか。

不十分である 1 2 3 4 5 充分である

必要としていない 1 2 3 4 5 必要としている

B8

研究成果のまとめに関して、あるいは、新たなテーマに関して、研究室において議論や指導は充分になされていますか。また、あなたが研究課題を遂行する上で、その指導をあなたは必要としていますか。

不十分である 1 2 3 4 5 充分である

必要としていない 1 2 3 4 5 必要としている

能力の評価と重要性

Agency=Intelligence

A2

研究課題の学問的現状・見通しについて十分に調査していますか。また調査することはあなたの研究課題を遂行する上で重要であると思いますか。

全くしていない 1 2 3 4 5 充分している

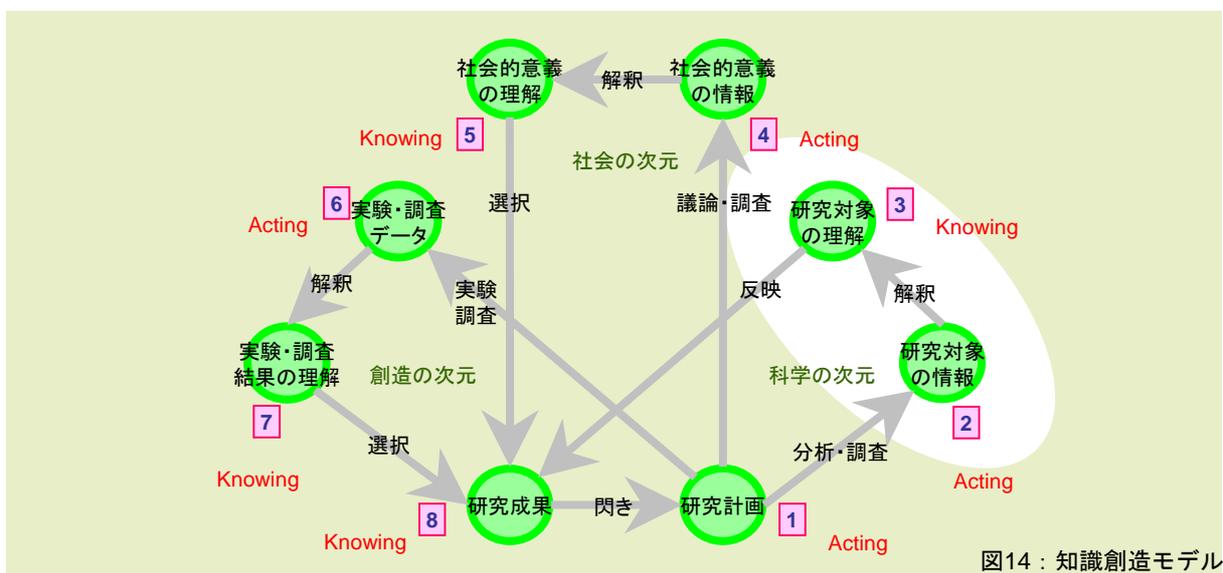
重要でない 1 2 3 4 5 重要である

A3

研究成果が得られた場合、その学問的意義(独創性、有効性など)を説明できますか(あるいは自信がありますか)。また、その説明をすることは、あなたの研究課題を遂行する上で重要であると思いますか。

未だにできない(自信がない) 1 2 3 4 5 できるようになった(自信がある)

重要でない 1 2 3 4 5 重要である



環境の評価と必要性

Agency=Intelligence

B2

研究課題の現状に関する図書・論文、あるいは教員・先輩の研究論文などは整備されていますか。またあなたが研究課題を遂行する上で、その環境をあなたは必要としていますか。

不十分である 1 2 3 4 5 充分である

必要としていない 1 2 3 4 5 必要としている

B3

研究課題の学問的現状に関して、研究室において議論や指導は充分になされていますか。また、あなたが研究課題を遂行する上で、その指導をあなたは必要としていますか。

不十分である 1 2 3 4 5 充分である

必要としていない 1 2 3 4 5 必要としている

能力の評価と重要性

Agency=Involvement

A4

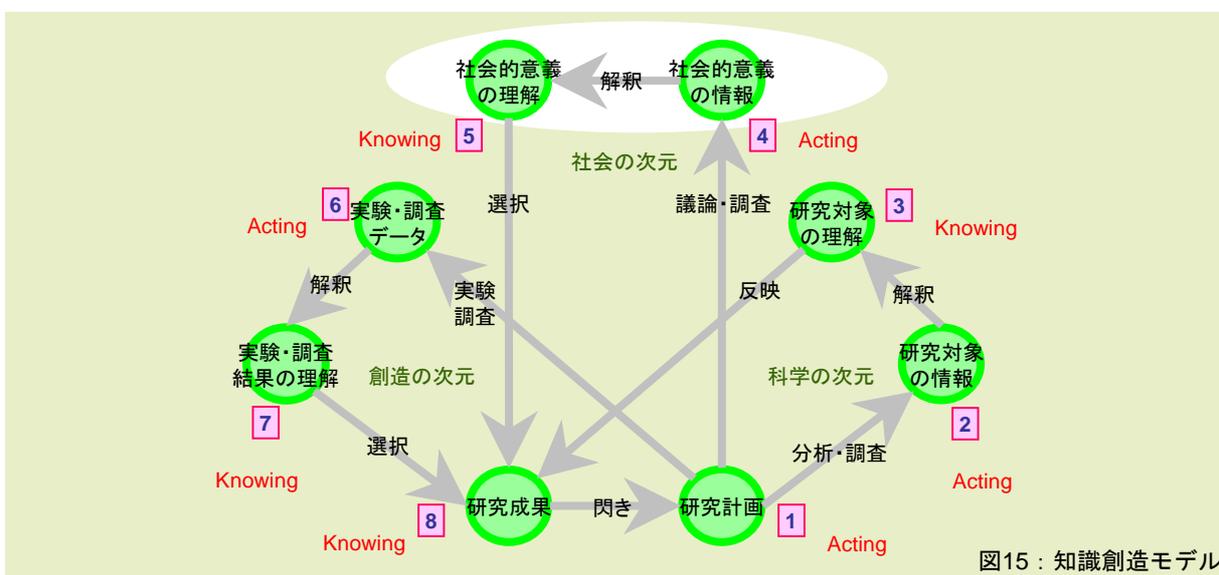
研究課題の社会的意義(波及効果、社会貢献)について十分な情報を収集していますか。また収集することはあなたの研究課題を遂行する上で重要であると思いませんか。

全くしていない 1 2 3 4 5 充分している
 重要でない 1 2 3 4 5 重要である

A5

研究成果が得られた場合、その社会的意義を説明できますか(あるいは自信がありますか)。またその行為は、あなたの研究課題を遂行する上で重要であると思いませんか。

未だにできない(自信がない) 1 2 3 4 5 できるようになった(自信がある)
 重要でない 1 2 3 4 5 重要である



環境の評価と必要性

Agency=Involvement

B4

研究課題の社会的意義に関する情報は、図書館あるいは研究室に収集されていますか。また、あなたが研究課題を遂行する上で、その環境をあなたは必要としていますか。

不十分である 1 2 3 4 5 充分である
 必要としていない 1 2 3 4 5 必要としている

B5

研究課題の社会的意義に関して、研究室において議論や指導は充分になされていますか。また、あなたが研究課題を遂行する上で、その指導をあなたは必要としていますか。

不十分である 1 2 3 4 5 充分である
 必要としていない 1 2 3 4 5 必要としている

能力の評価と重要性

Agency=Imagination

A6

合理的に実験(または調査、データ解析等)を実施できますか。またその実施は、あなたの研究課題を遂行する上で重要であると思いますか。

未だにできない	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	できるようになった
重要でない	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	重要である

A7

実験(または調査、データ解析等)結果の意義を理解し、結論を導き、重要性について説明できますか(あるいは自信がありますか)。またその行為は、あなたの研究課題を遂行する上で重要であると思いますか。

未だにできない(自信がない)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	できるようになった(自信がある)
重要でない	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	重要である

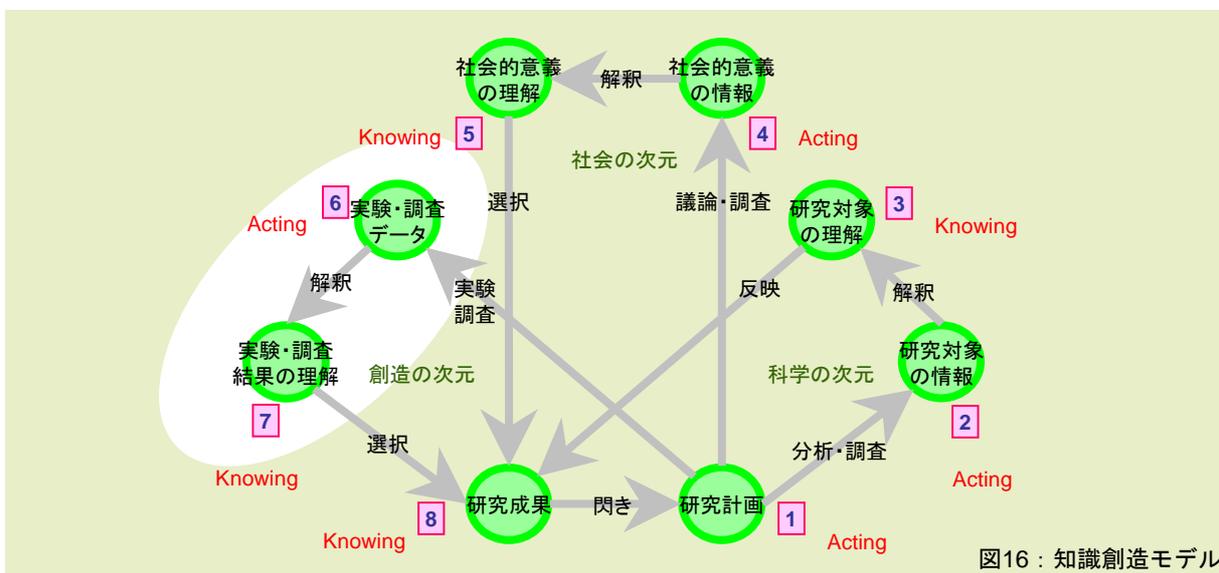


図16：知識創造モデル

環境の評価と必要性

Agency=Imagination

B6

実験(または調査、データ解析等)を実施するための設備、資金などは充分ですか。また、あなたが研究課題を遂行する上で、その環境をあなたは必要としていますか。

不十分である	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	充分である
必要としていない	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	必要である

B7

実験(または調査、データ解析等)の結果について、研究室において議論や指導は充分になされていますか。また、あなたが研究課題を遂行する上で、その指導をあなたは必要としていますか。

不十分である	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	充分である
必要としていない	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	必要としている

7. アンケート調査とデータ解析

JAISTマテリアルサイエンス研究科の大学院生に対してアンケート調査を実施した。研究科長及び評議員の先生方に依頼し、教員を通じて学生に調査票を配布し、学生自身が共通事務室に設置した回収ボックスに投入するという方法により、25研究室170名弱の学生に回答を依頼した。2006年6月6日調査票を配布し、6月15日に締め切ったところ、表1に示したように109名の学生から回答が得られた。表2から表5に研究室ごとの平均点を示す。本節では、まず全データを用いて前期課程学生と後期課程学生の意識の相違について分析する。つぎに、L1からL12の研究室の学生のデータを用いて対応分析を実施し、研究室による意識の相違について分析する。最後に研究室への配属期間による意識の相違について考察する。

表1：研究室別の回答数《回答者数 [内留学生] (在籍数)》

研究室	前期課程	後期課程	合計
L1	4 (6)	0 (3)	4 (9)
L2	5 (6)	0 (0)	5 (6)
L3	6 (6)	2 (3)	8 (9)
L4	6 (6)	3 (5)	9 (11)
L5	4 (6)	0 (0)	4 (6)
L6	6 (6)	2 (4)	8 (10)
L7	4 (4)	2 (2)	6 (6)
L8	4 (5)	1 (1)	5 (6)
L9	5 (6)	5 [1] (8)	10 (14)
L10	7 (7)	4 [1] (10)	11 (17)
L11	6 (6)	4 [1] (4)	10 (10)
L12	4 (6)	4 [1] (5)	8 (11)
L13	1 (2)	1 [1] (2)	2 (4)
L14	0 (0)	2 (3)	2 (3)
L15	1 (1)	1 (1)	2 (2)
L16	1 (1)	2 [2] (3)	3 (4)
L17	0 (2)	1 (2)	1 (4)
L18	0 (1)	2 (8)	2 (9)
L19	2 (2)	0 (0)	2 (2)
L20	1 (1)	1 (1)	2 (2)
L21	1 (1)	0 (2)	1 (3)
L22	1 (2)	0 (1)	1 (3)
L23	1 (2)	0 (2)	1 (4)
L24	1 (2)	0 (1)	1 (3)
L25	1 (5)	0 (3)	1 (8)
合計	72 (92)	37 (74)	109 (166)

表2：研究能力自己評価の研究室平均

研究室	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	平均
L1	3.25	3.50	3.00	3.75	3.25	3.50	3.25	3.25	3.34
L2	3.40	3.60	3.20	3.20	3.60	3.60	3.40	2.80	3.35
L3	3.38	3.75	3.75	3.50	3.63	3.50	3.38	2.75	3.46
L4	3.11	3.33	3.22	2.89	3.00	3.33	3.00	3.22	3.14
L5	3.75	3.25	3.25	3.75	3.75	3.25	3.00	3.75	3.47
L6	3.00	3.13	2.88	2.88	2.88	3.25	2.75	3.00	2.97
L7	2.67	3.83	3.00	3.50	2.83	3.17	2.83	2.50	3.04
L8	2.80	3.40	3.80	3.20	3.60	3.20	3.40	2.80	3.28
L9	3.60	3.60	3.50	3.40	3.20	3.70	3.90	3.40	3.54
L10	3.91	3.82	3.82	4.00	3.73	3.73	3.73	3.36	3.76
L11	3.40	3.60	3.40	3.40	3.50	3.60	3.30	2.60	3.35
L12	3.13	3.38	3.88	3.38	3.25	3.38	3.25	2.88	3.32
平均	3.28	3.52	3.39	3.40	3.35	3.43	3.27	3.03	3.33

表3：研究能力重要性データの研究室平均

研究室	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	平均
L1	3.75	4.50	4.00	4.25	3.50	3.75	4.25	4.00	4.00
L2	4.20	4.60	4.60	4.20	4.00	4.80	4.80	4.60	4.48
L3	4.38	4.50	4.88	4.00	4.25	4.63	4.63	4.50	4.47
L4	4.56	3.78	4.67	3.56	4.22	4.00	4.44	4.44	4.21
L5	4.50	4.50	4.75	4.25	4.50	4.25	4.75	4.50	4.50
L6	4.50	4.25	4.63	4.13	4.63	4.63	4.38	4.50	4.46
L7	4.17	4.00	4.50	4.17	4.17	4.00	4.83	3.83	4.21
L8	3.80	4.40	4.20	4.00	3.80	4.20	4.00	3.80	4.03
L9	4.90	4.70	4.80	4.40	4.70	4.90	4.70	4.80	4.74
L10	4.45	4.82	4.64	4.27	4.18	4.55	4.64	4.36	4.49
L11	4.80	4.70	4.50	4.10	4.30	4.70	4.50	3.80	4.43
L12	4.75	4.50	4.75	4.25	4.13	5.00	5.00	4.50	4.61
平均	4.40	4.44	4.58	4.13	4.20	4.45	4.58	4.30	4.38

表4：研究環境評価の研究室平均

研究室	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	平均
L1	3.00	4.00	3.50	2.25	3.25	4.00	3.50	3.25	3.34
L2	4.80	3.20	4.80	3.60	4.00	4.40	4.60	4.20	4.20
L3	4.38	3.50	4.38	3.00	3.88	4.75	4.13	4.13	4.02
L4	4.00	4.00	4.11	2.78	3.33	2.78	4.44	4.00	3.68
L5	4.75	3.75	3.50	3.50	3.00	4.75	3.50	3.50	3.78
L6	4.13	4.00	4.00	3.38	3.75	4.50	4.00	3.75	3.94
L7	3.67	3.67	3.00	2.50	3.33	4.17	3.17	3.67	3.40
L8	3.20	2.40	3.60	3.20	3.40	4.40	3.00	3.20	3.30
L9	4.50	3.20	4.10	2.80	3.40	3.60	3.70	3.80	3.64
L10	3.91	3.73	3.73	3.09	3.36	4.82	3.64	3.45	3.72
L11	3.90	3.50	4.10	2.70	3.30	4.10	4.00	3.60	3.65
L12	3.13	3.63	2.63	3.13	3.00	3.75	3.50	3.00	3.22
平均	3.95	3.55	3.79	2.99	3.42	4.17	3.77	3.63	3.66

表5：研究環境必要性データの研究室平均

研究室	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	平均
L1	4.00	4.25	4.25	3.75	3.75	4.25	4.25	4.00	4.06
L2	4.80	4.60	4.80	4.20	3.80	4.40	4.60	4.20	4.43
L3	4.50	4.38	4.63	4.13	4.13	4.63	4.63	4.63	4.46
L4	4.33	4.33	4.56	4.22	3.44	3.67	4.33	4.22	4.14
L5	5.00	5.00	5.00	4.50	4.75	4.50	4.50	4.25	4.69
L6	4.75	4.63	4.63	4.38	4.13	4.63	4.63	4.63	4.55
L7	4.33	3.83	4.17	3.50	3.67	4.17	4.00	3.67	3.92
L8	4.60	4.60	4.60	4.40	4.20	4.20	4.80	4.40	4.48
L9	4.80	5.00	4.80	4.60	4.20	4.80	4.50	4.70	4.68
L10	4.09	4.45	4.36	4.18	3.91	4.73	4.36	4.36	4.31
L11	4.10	4.30	4.30	4.30	3.70	4.70	4.50	4.10	4.25
L12	3.88	4.88	4.50	3.63	3.75	5.00	4.63	4.63	4.36
平均	4.43	4.52	4.55	4.15	3.95	4.47	4.48	4.32	4.36

7.1 前期課程学生と後期課程学生の意識の平均的相違－研究能力－

図17は能力の自己評価の平均を示したものである。青のラインが前期課程学生72名の平均であり、黒のラインが後期課程学生37名の平均である。後期課程学生が全項目でやや高い点数になっているが、いずれも5段階評価で3点付近の値となっている。

後期課程学生が前期課程学生と比べて高い値となっている項目は、

- ◆ A2とA3：研究対象に対する情報を集め理解を深めること
- ◆ A6とA7：実験データを収集しそれを理解すること

であり、実験系若手研究者として一日の長があることがわかる。その結果として

- ◆ A8：研究成果を得てそれを理解でき、新たなテーマを探索すること

に優れているという十分に想像できる結果となっている。一方

- ◆ A4とA5：研究の社会的意義に関して調査し理解すること

において前期・後期学生に大きな差はなかった。

図18は重要性の認識に関する平均であるが、前期・後期学生に差はなく、ともに現状よりも成長しなければという意識が感じられる。ただし、

- ◆ A4とA5：研究の社会的意義に関して調査し理解すること

に関する意欲が低いことについては注意を要する。

表6と表7は学生の自己評価における項目間相関係数を示している。表6が前期課程学生72名のデータを用いたもので、表7が後期課程学生37名のデータを用いたものである。

注目したかったことは

- ◆ A8：研究成果を得てそれを理解でき、新たなテーマを探索すること

に対して、A1からA7のどの項目が高い相関を持つかであった。後期課程学生のほうがより顕著な傾向を示しているが、

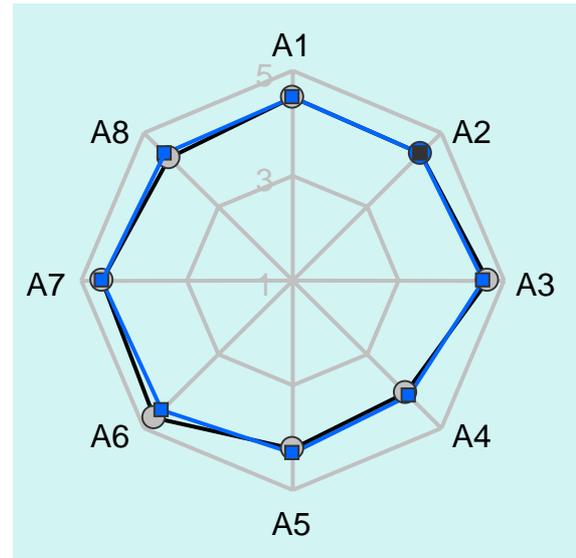
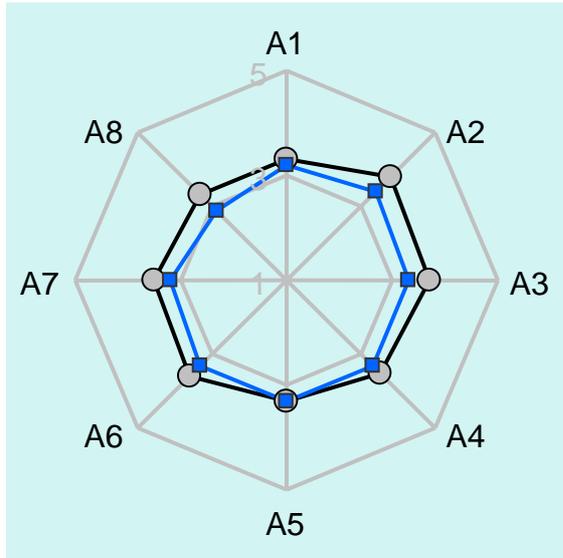
- ◆ A1：研究計画を合理的に立てること
- ◆ A2：研究対象に関する情報を収集すること
- ◆ A6：実験データを合理的に収集すること

が成果に結びつくことを示唆している。

これらの表からも

- ◆ A4とA5：研究の社会的意義に関して調査し理解すること

が最終成果とあまり高い相関を持たない。これらが成果に直接貢献しないことは理解できるが、将来自ら研究費を調達したり、特許を申請するような場合に必要となることがらであり、今後教育上の配慮が必要となろう。



■ 前期課程平均 ● 後期課程平均

図17：能力の自己評価（平均）

図18：重要性の認識（平均）

表6：前期課程学生の自己評価における項目間相関行列

項目	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1								
A2	0.54							
A3	0.41	0.50						
A4	0.41	0.71	0.36					
A5	0.43	0.60	0.60	0.68				
A6	0.78	0.54	0.36	0.41	0.41			
A7	0.58	0.63	0.64	0.43	0.64	0.60		
A8	0.57	0.39	0.55	0.35	0.46	0.45	0.53	

表7：後期課程学生の自己評価における項目間活動評価

項目	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1								
A2	0.73							
A3	0.63	0.60						
A4	0.20	0.20	0.40					
A5	0.32	0.40	0.63	0.42				
A6	0.77	0.75	0.66	0.45	0.44			
A7	0.46	0.46	0.50	0.36	0.37	0.62		
A8	0.65	0.65	0.47	0.25	0.28	0.60	0.48	

7.2 前期課程学生と後期課程学生の意識の平均的相違 — 研究環境 —

図19は研究環境評価の平均を、図20は環境の必要性の度合いを示したものである。青のラインが前期課程学生72名の平均であり、黒のラインが後期課程学生37名の平均である。能力の自己評価と異なりかなり複雑な状況になっている。

前期課程学生に特徴的なことは、

- ◆ B1：研究計画を合理的に立てること

に関してマテリアルサイエンス研究科の指導及び環境はかなり満足なレベルにあることである。ただし、図20を見れば研究計画作成のさらなる支援の必要性を訴えている。一方、

- ◆ B4：研究の社会的意義に関して調査すること

に関しては指導及び環境が充分でないという意見が多い。これは能力・活動力の自己評価でも低い値であり、教員側としても考慮すべき事項である。

後期課程学生及び前期課程学生ともに

- ◆ B2とB3：研究対象に対する情報を集め理解を深めること

- ◆ B6とB7：実験データを収集しそれを理解すること

に関しては、ある程度満足な支援・環境であると回答していることがうかがえる。ただし、これらについてもさらなる支援を訴えている。

また、図20から前期課程学生はすべての項目について後期課程学生よりも研究環境の充実を訴えていることがうかがえる。

表8と表9は学生の環境評価における項目間相関係数を示している。表8が前期課程学生72名のデータを用いたもので、表9が後期課程学生37名のデータを用いたものである。

前期・後期課程学生に共通していることは

- ◆ B8：研究成果を得てそれを理解でき、新たなテーマを探索すること

に対して、

- ◆ B7：実験データを解釈すること

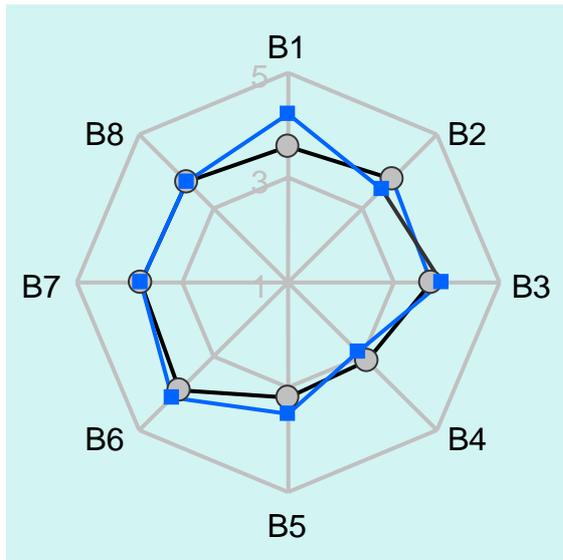
が高い相関を示している。また、特に後期課程学生は

- ◆ B3：研究対象に対する理解を深めること

- ◆ B5：研究の社会的意義に関する理解を深めること

と比較的高い相関を持っている。すなわち、Intelligence, Involvement, Imagination における3つの Knowing (知るという行為)が Integration における最終の Knowing に強く影響があることが推測される。

研究の社会的意義に関する調査に関しての自己診断は総じて低いものの、この点に充分留意することがよりよい研究を実施するためには必要であることを、マテリアルサイエンスの院生達は理解していると結論づけることができる。



■— 前期課程平均 ●— 後期課程平均

図19：研究環境の評価（平均）

図20：必要性の認識（平均）

表8：前期課程学生の研究環境評価における項目間相関行列

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
B1								
B2	0.38							
B3	0.57	0.42						
B4	0.25	0.44	0.41					
B5	0.58	0.44	0.61	0.51				
B6	0.13	0.11	0.25	0.34	0.29			
B7	0.49	0.39	0.62	0.35	0.49	0.10		
B8	0.51	0.41	0.55	0.29	0.53	0.16	0.79	

表9：後期課程学生の研究環境評価における項目間活動評価

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
B1								
B2	0.26							
B3	0.62	0.27						
B4	0.50	0.50	0.44					
B5	0.55	0.42	0.70	0.72				
B6	0.24	0.09	0.20	0.43	0.25			
B7	0.62	0.33	0.85	0.55	0.78	0.38		
B8	0.62	0.39	0.80	0.60	0.78	0.37	0.92	

7.3 ファジィ対応分析

Nakamori Y, Ryoike M (2006) Treating Fuzziness in Subjective Evaluation Data. Information Sciences, 176, 3610-3644, Elsevier

ファジィ対応分析とは、相対的ファジィネスという概念を導入して、主観評価データに内在するファジィネスを考慮した対応分析である。

一般に、評価に関するデータは、評価者、評価項目、評価対象に関する3相データとなる。しかし、本稿におけるデータは各評価者が自分自身或いは自分の研究室を評価し、他の評価対象を評価しないから、次のような特別の場合になっている。

$E = \{1, 2, \dots, K\}$ を評価者集合、 $O = \{1, 2, \dots, M\}$ を評価対象集合とし、

$E_m \neq \phi$ を対象 m を評価した評価者の集合

$O_k \neq \phi$ を評価者 k が評価した対象の集合

とすると

$$|O_k| = 1, \quad \forall k; \quad E_m \cap E_{m'} = \phi, \quad m \neq m'; \quad \sum_{m=1}^M |E_m| = K$$

通常に対応分析（数量化Ⅲ類）と異なる取り扱い、 $z_{mnk} \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ を評価者 k による評価対象 m の評価項目 n に関する評点とすると、

$$z_{mn} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K z_{mnk} \quad p_{mn} = z_{mn} / \left(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N z_{mn} \right)$$

を用いることである。

対応分析は、評価対象 m に x_m 、評価項目 n に y_n という数量を与え、相関を最大にするように

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_M)^t \quad \mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_N)^t$$

を定めるものである。

ここで、相関は以下のように計算される。

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \rightarrow \max$$

すなわち、反応の似通った対象と反応の似通った項目に近い数量を与えるという趣旨である。

$$\begin{aligned} \sigma_{xy} &= \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N p_{mn} x_m y_n - \sum_{m=1}^M p_{m\bullet} x_m \sum_{n=1}^N p_{\bullet n} y_n \\ \sigma_x^2 &= \sum_{m=1}^M p_{m\bullet} x_m^2 - \left(\sum_{m=1}^M p_{m\bullet} x_m \right)^2 \\ \sigma_y^2 &= \sum_{n=1}^N p_{\bullet n} y_n^2 - \left(\sum_{n=1}^N p_{\bullet n} y_n \right)^2 \\ p_{m\bullet} &= \sum_{n=1}^N p_{mn} & p_{\bullet n} &= \sum_{m=1}^M p_{mn} \end{aligned}$$

上記の問題は固有値問題に帰着されるが、最大固有値に対応する固有ベクトルは意味のない解であるから、2番目と3番目に大きい固有値に対応する固有ベクトルを用いて、

$$(x_{2m}, x_{3m}), \quad m=1, 2, \dots, M \quad (y_{2n}, y_{3n}), \quad n=1, 2, \dots, N$$

を2次元平面状にプロットし、評価対象と評価項目の位置関係を表示する。

ファジィ対応分析では、分散情報を用いて位置をファジィ化し、ファジィ座標 (X_{2m}, X_{3m}) , (Y_{2n}, Y_{3n}) のメンバシップ関数を拡張原理（詳細略）を用いて以下のように求める。

$$\begin{aligned} \mu_{X_{2m} \times X_{3m}}(x_2, x_3) &= \exp\left\{-d_X^{-1} \left\{ (x_2 - x_{2m})^2 + (x_3 - x_{3m})^2 \right\}\right\} \\ \mu_{Y_{2n} \times Y_{3n}}(y_2, y_3) &= \exp\left\{-d_Y^{-1} \left\{ (y_2 - y_{2n})^2 + (y_3 - y_{3n})^2 \right\}\right\} \end{aligned}$$

2次元平面で上記ファジィ集合のアルファレベル集合を表示する。

$$\begin{aligned} (x_2 - x_{2m})^2 + (x_3 - x_{3m})^2 &= d_X (-\log \alpha) \equiv s_m^2 \\ (y_2 - y_{2n})^2 + (y_3 - y_{3n})^2 &= d_Y (-\log \alpha) \equiv t_n^2 \end{aligned}$$

d_X, d_Y はデータの分散情報から得られる量であるが、ここでは詳細を省く。

評価対象と評価項目のファジィ類似度 S_{mn} を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} S_{mn} &= \frac{\exp\{s_m + t_n\}}{\exp\{2r\} \exp\{d_{mn}\}} & r &= \max\{s_m, t_n\} \\ d_{mn} &= \sqrt{(x_{2m} - y_{2n})^2 + (x_{3m} - y_{3n})^2} \end{aligned}$$

7.4 ファジィ対応分析による研究室間の意識の相違－研究能力－

対応分析結果をどう読むべきか。あくまでも相対的な対応であることを念頭において、以下の分析を行う。なお、以下の対応分析図において円の半径は回答の分散から導かれる位置の曖昧性を示している。具体的には $\alpha = 0.9$ におけるアルファレベル集合を示している。

図21は能力評価のファジィ対応分析結果である。A1からA8が評価項目、L1からL12が研究室である。本稿では研究室は匿名とする。データは各研究室の前期課程・後期課程学生のもを全て用いている。図22は同様に能力の重要性に関するデータを用いた対応分析結果である。また、表10及び表11はそれぞれ図21、図22に対応する類似度行列である。

これらの図及び表から以下のことが推測される。

- ◆ A1の研究計画の作成能力に自信がある研究室はL4, L6, L9である。これらの研究室の教員は指導熱心なことで知られており、学生達に研究計画作成の自信を持たせていることがうかがえる。
- ◆ 重要性に関する質問に対しては、研究室L4は特異な位置にある。
- ◆ 研究室L6ではA5の研究の社会的重要性の理解能力の重要性を訴えている。研究室L6は表2の研究能力自己評価は12研究室中最も低い平均評価点である。
- ◆ 研究室L9ではA3の研究対象の理解に関する能力の重要性を訴えている。
- ◆ A8の研究成果に関しては研究室L5が相対的に能力に自信を持っている。
- ◆ 他に高い数値を示しているのは、A3の研究対象の理解が研究室L8、A7の実験データの解釈については研究室L12である。L5は物理系、L8は生物系、L12は化学系研究室である。
- ◆ 研究室L10は表2の研究能力自己評価は12研究室中最も高い平均評価点であるが、どの項目にも比較的高評価点であるため、どれかの項目と類似度が特に高くなることはなく、図21では中央に位置している。

研究能力の重要性に関しては、表11から、A3, A5, A7の研究対象の理解力、社会的意義の理解力、実験データの解釈力という Knowing に関する能力の重要性を実感していることがうかがえる。このことは、表9の後期課程学生データによる項目間相関係数から導かれた結論と符合する。そこでは、Intelligence, Involvement, Imagination における3つのKnowing (知るという行為)が Integration における最終の Knowing に強く影響があった。

図22から、A1, A8の研究計画と研究成果に関する重要性が特異な位置にあることがわかる。これらはもちろん重要なのであるが、学生達にとってはより具体的な能力の向上に目標を定めているようである。

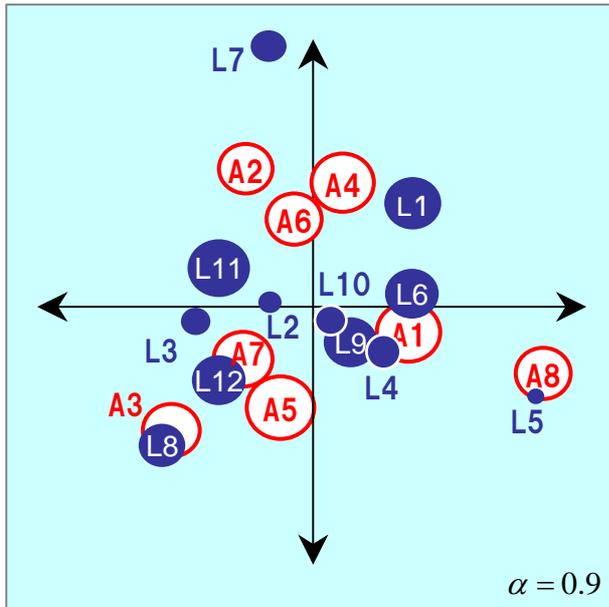


図21：能力評価の対応分析

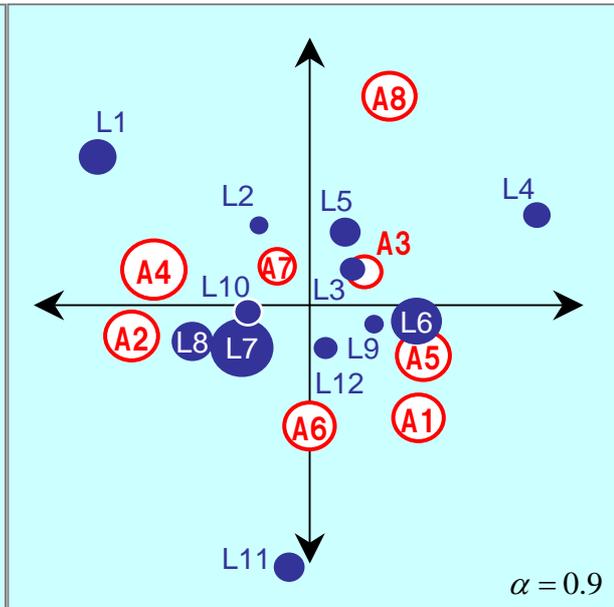


図22：能力重要性の対応分析

表10：研究能力評価における研究室と評価項目との間の類似度

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
L1	0.251	0.195	0.037	0.468	0.082	0.313	0.099	0.114
L2	0.213	0.217	0.172	0.202	0.278	0.353	0.448	0.058
L3	0.112	0.178	0.277	0.117	0.250	0.218	0.478	0.031
L4	0.631	0.093	0.103	0.147	0.281	0.181	0.231	0.197
L5	0.204	0.023	0.026	0.047	0.071	0.045	0.050	0.648
L6	0.646	0.126	0.068	0.261	0.174	0.259	0.172	0.224
L7	0.035	0.264	0.016	0.179	0.021	0.151	0.036	0.013
L8	0.068	0.052	0.777	0.038	0.272	0.069	0.294	0.024
L9	0.545	0.127	0.143	0.190	0.366	0.256	0.342	0.155
L10	0.400	0.159	0.136	0.211	0.312	0.302	0.350	0.109
L11	0.144	0.329	0.181	0.222	0.208	0.415	0.387	0.039
L12	0.146	0.109	0.498	0.091	0.485	0.163	0.707	0.046

表11：研究能力重要性に関する研究室と評価項目との間の類似度

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
L1	0.017	0.144	0.061	0.247	0.023	0.032	0.131	0.054
L2	0.072	0.160	0.297	0.267	0.108	0.104	0.569	0.136
L3	0.173	0.098	0.830	0.128	0.286	0.172	0.463	0.144
L4	0.087	0.016	0.171	0.022	0.147	0.043	0.078	0.142
L5	0.124	0.093	0.621	0.136	0.210	0.125	0.470	0.212
L6	0.367	0.067	0.474	0.075	0.677	0.224	0.227	0.101
L7	0.155	0.342	0.221	0.312	0.175	0.341	0.365	0.052
L8	0.098	0.526	0.168	0.396	0.105	0.236	0.330	0.041
L9	0.308	0.087	0.555	0.096	0.483	0.264	0.312	0.084
L10	0.130	0.291	0.301	0.321	0.159	0.247	0.563	0.068
L11	0.130	0.056	0.046	0.032	0.074	0.218	0.046	0.007
L12	0.285	0.139	0.406	0.136	0.342	0.395	0.362	0.062

7.5 ファジィ対応分析による研究室間の意識の相違－研究環境－

図23は環境評価のファジィ対応分析結果である。B1からB8が評価項目、L1からL12が研究室である。ここでもデータは各研究室の前期課程・後期課程学生のもを全て用いている。図24は同様に環境の必要性に関するデータを用いた対応分析結果である。また、表12及び表13はそれぞれ図23、図24に対応する類似度行列である。

これらの図及び表から以下のことが推測される。

- ◆ B1の研究計画を立てる際の環境・指導に相対的に満足している研究室は L3, L9 である。
- ◆ 研究室 L9 は研究計画を立てる能力に関しても比較的満足している研究室である。
- ◆ 同様に研究計画を立てる能力に満足している L4 は特異な位置にあり、環境に関する全ての項目について偏りが無いことを示している。
- ◆ 研究室 L6, L11 は B5 の社会的意義の理解に関する環境に相対的に満足している。
- ◆ 研究室 L3, L9, L11 は多くの項目について研究環境に満足している様子がうかがえる。
- ◆ 特に研究室 L9 は B3 の研究対象を理解する環境・指導について満足している。
- ◆ また、研究室 L11 は B8 の研究成果を挙げる環境・指導に相対的に満足している。

一方、研究環境の必要性に関してはどの環境・指導も必要であると考えているようで、特別大きな偏りは見られない。

ところで、対応分析における類似度の読み方には少し注意を要する。上述のような特徴が現われる研究室は、それらの特徴が他の研究室に比べて高く評価されていることを必ずしも意味しない。

例えば表4において最も平均点の高い研究室は L2 であるが、ほとんどの項目について高い評点であるため、ある項目についてのみ類似度が高くなることはない。一方、研究室 L9 は平均点において下位に位置するが、項目 B1, B3 については高い評点である。したがって上述のような特徴が検出されるのである。

ところが、研究室 L6, L11 は項目 B6 が最も高い評点であるにもかかわらず、項目 B6 ではなく、それほど高い評点ではない B5 と高い類似度を持っている。表4から項目 B6 はほとんどの研究室で高く評価されていて唯一4点台の平均点となっている。したがって、項目 B6 については特別な研究室と類似度が高くなることはない。

評価点は皆が甘い点をつける研究室、逆にからい点をつける研究室があり、そのまま受け入れることができないのに対し、類似度は比較的に優位な項目を際立たせるものである。

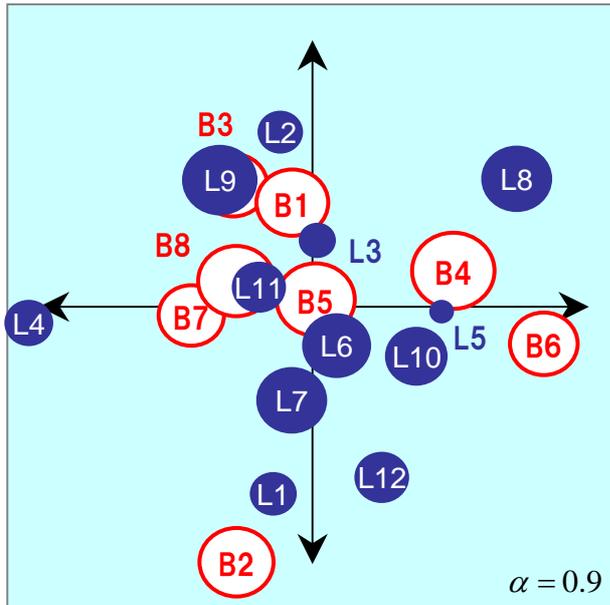


図23：環境評価の対応分析

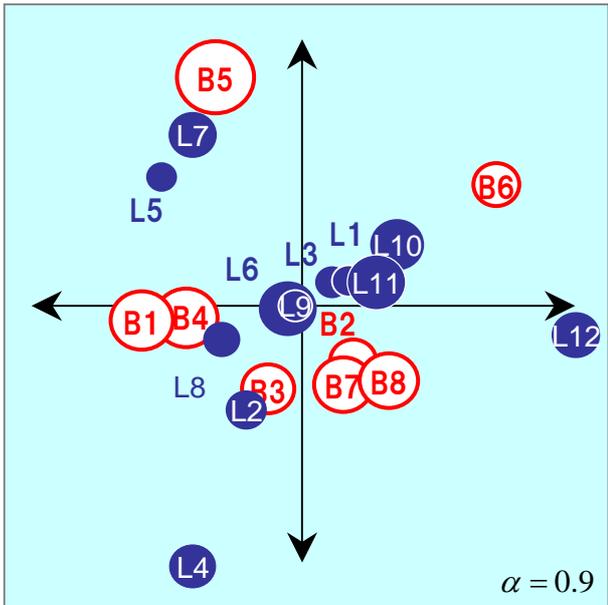


図24：環境必要性の対応分析

表12：研究環境評価における研究室と評価項目との間の類似度

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
L1	0.060	0.437	0.051	0.064	0.136	0.061	0.148	0.118
L2	0.452	0.016	0.475	0.117	0.174	0.045	0.139	0.204
L3	0.558	0.040	0.359	0.248	0.475	0.101	0.239	0.373
L4	0.074	0.051	0.104	0.022	0.074	0.011	0.224	0.143
L5	0.152	0.044	0.095	0.498	0.255	0.325	0.094	0.129
L6	0.244	0.108	0.176	0.273	0.585	0.167	0.274	0.332
L7	0.155	0.202	0.126	0.148	0.357	0.108	0.303	0.284
L8	0.139	0.013	0.088	0.336	0.120	0.21	0.047	0.072
L9	0.528	0.029	0.880	0.110	0.246	0.044	0.285	0.382
L10	0.157	0.081	0.103	0.378	0.326	0.320	0.133	0.168
L11	0.393	0.068	0.347	0.162	0.527	0.076	0.475	0.704
L12	0.062	0.200	0.046	0.113	0.149	0.141	0.097	0.096

表13：研究環境必要性に関する研究室と評価項目との間の類似度

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
L1	0.126	0.431	0.252	0.188	0.08	0.184	0.331	0.314
L2	0.245	0.324	0.694	0.311	0.033	0.041	0.360	0.241
L3	0.147	0.422	0.275	0.220	0.086	0.161	0.330	0.294
L4	0.081	0.085	0.152	0.083	0.008	0.010	0.101	0.077
L5	0.203	0.075	0.09	0.206	0.268	0.043	0.064	0.049
L6	0.249	0.446	0.444	0.374	0.085	0.104	0.399	0.300
L7	0.138	0.07	0.073	0.150	0.469	0.059	0.058	0.046
L8	0.407	0.275	0.476	0.586	0.063	0.050	0.269	0.182
L9	0.218	0.446	0.396	0.327	0.081	0.108	0.377	0.290
L10	0.082	0.298	0.158	0.121	0.087	0.337	0.231	0.254
L11	0.112	0.432	0.238	0.167	0.077	0.223	0.361	0.373
L12	0.017	0.128	0.055	0.026	0.014	0.192	0.107	0.163

7.6 在学期間による学生間の意識の相違－研究能力－

図25は研究能力自己評価データに基づいて、研究室への所属期間と評価項目との間でファジィ対応分析をおこなった結果である。記号及びデータ数は

- ◆ T1：研究室への所属期間が1年未満の学生22名
- ◆ T2：研究室への所属期間が1年以上2年未満の学生55名
- ◆ T3：研究室への所属期間が2年以上の学生29名

である。研究室への所属期間のみを考えているので、T1には後期課程の学生も若干含まれる。T3は全員後期課程学生である。

表14は図25に対応する類似度行列である。これを見ると、

- ◆ A1：研究立案能力
- ◆ A8：研究結果をまとめたり新たな研究を発想する能力

が所属期間が増加するとともに類似度が増加していることが特徴的である。また、

- ◆ A2：先行研究の調査

は研究開始時に重点的に行い、

- ◆ A3：先行研究の理解

が2年目に重視されていることがわかる。

図26は後期課程学生のみを対象とし、研究室への所属期間と評価項目との間でファジィ対応分析をおこなった結果である。記号及びデータ数は

- ◆ D1：研究室への所属期間が1年未満の学生6名
- ◆ D2：研究室への所属期間が1年以上2年未満の学生4名
- ◆ D3：研究室への所属期間が2年以上の学生26名

である。D1とD2のサンプル数がやや少ないが、学年進行とともに何に重点を移していったかが読み取れる。

表15は図26に対応する類似度行列である。これを見ると

- ◆ A6：実験や調査などの研究遂行能力
- ◆ A5：研究の社会的重要性の理解力

に関して学年進行とともに類似度が増加している。

JAISTでは入学後1年後に研究計画書を提出することが義務付けられており、1年目は先行研究の調査や社会的重要性の調査能力に関して鍛えられる。2年目に研究の立案能力・発想力が求められ、ついで研究遂行能力が求められる。データ分析結果はこれらの事実を再確認できるものである。

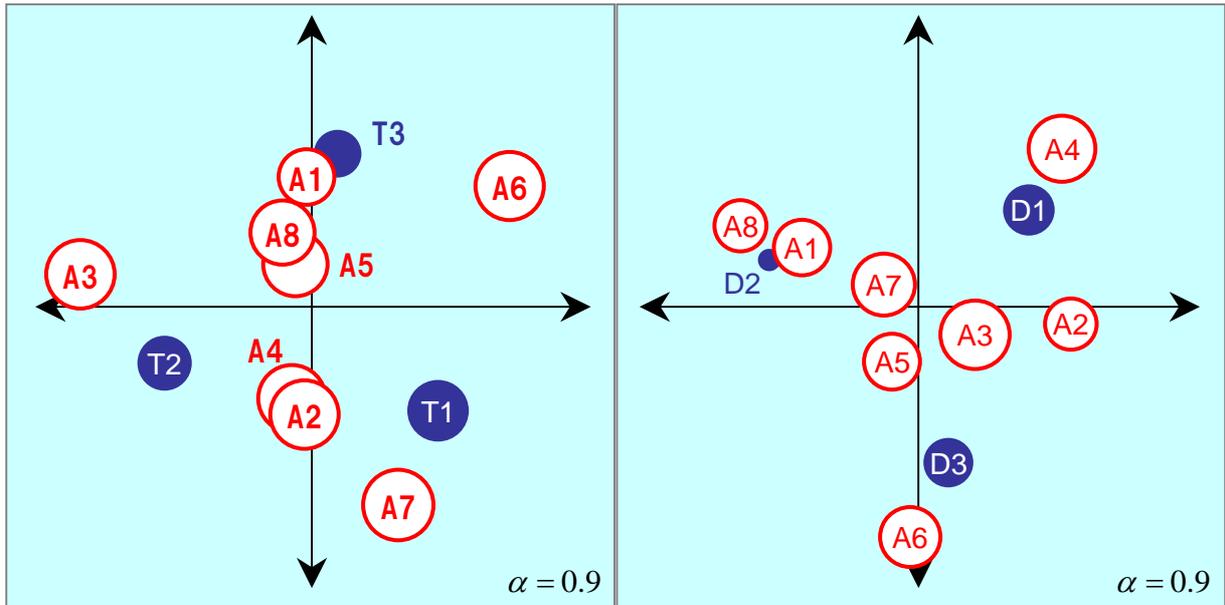


図25：能力評価の対応分析（全学生）

図26：能力評価の対応分析（後期課程）

表14：全学生の研究室所属期間による学生間の意識の相違（研究能力）

T1=1年未満	類似度	T2=1～2年	類似度	T3=2年以上	類似度
A7=実験結果解釈力	0.38	A3=先行研究理解	0.31	A1=研究立案能力	0.68
A2=先行研究調査	0.29	A4=社会的重要性調査	0.29	A8=統合力・発想力	0.39
A4=社会的重要性調査	0.26	A2=先行研究調査	0.24	A5=社会的重要性理解	0.32
A5=社会的重要性理解	0.15	A5=社会的重要性理解	0.21	A6=研究遂行能力	0.19
A8=統合力・発想力	0.12	A8=統合力・発想力	0.19	A4=社会的重要性調査	0.10
A6=研究遂行能力	0.12	A1=研究立案能力	0.12	A2=先行研究調査	0.09
A1=研究立案能力	0.09	A7=実験結果解釈力	0.06	A3=先行研究理解	0.07
A3=先行研究理解	0.03	A6=研究遂行能力	0.03	A7=実験結果解釈力	0.04

表15：後期課程学生の在学期間による学生間の意識の相違（研究能力）

D1=1年未満	類似度	D2=1～2年	類似度	D3=2年以上	類似度
A4=社会的重要性調査	0.48	A1=研究立案能力	0.62	A6=研究遂行能力	0.44
A2=先行研究調査	0.31	A8=統合力・発想力	0.58	A5=社会的重要性理解	0.33
A3=先行研究理解	0.26	A7=実験結果解釈力	0.26	A3=先行研究理解	0.27
A7=実験結果解釈力	0.21	A5=社会的重要性理解	0.19	A2=先行研究調査	0.18
A5=社会的重要性理解	0.15	A3=先行研究理解	0.11	A7=実験結果解釈力	0.16
A1=研究立案能力	0.12	A2=先行研究調査	0.05	A1=研究立案能力	0.09
A8=統合力・発想力	0.07	A6=研究遂行能力	0.05	A8=統合力・発想力	0.05
A6=研究遂行能力	0.04	A4=社会的重要性調査	0.04	A4=社会的重要性調査	0.04

7.7 在学期間による学生間の意識の相違－研究環境－

図27は研究環境評価データに基づいて、研究室への所属期間と評価項目との間でファジィ対応分析をおこなった結果である。記号及びデータ数は

- ◆ T1：研究室への所属期間が1年未満の学生22名
- ◆ T2：研究室への所属期間が1年以上2年未満の学生55名
- ◆ T3：研究室への所属期間が2年以上の学生29名

である。研究室への所属期間のみを考えているので、T1には後期課程の学生も若干含まれる。T3は全員後期課程学生である。

表16は図27に対応する類似度行列である。これを見ると、

- ◆ B2：先行研究を調査する環境
- ◆ B3：先行研究を理解する環境

が所属期間が増加するとともに類似度が増加していることが特徴的である。

図28は後期課程学生のみを対象とし、研究室への所属期間と評価項目との間でファジィ対応分析をおこなった結果である。記号及びデータ数は

- ◆ D1：研究室への所属期間が1年未満の学生6名
- ◆ D2：研究室への所属期間が1年以上2年未満の学生4名
- ◆ D3：研究室への所属期間が2年以上の学生26名

である。D1とD2のサンプル数がやや少ないが、学年進行とともに何に重点を移していつているかが読み取れる。

表17は図28に対応する類似度行列である。これを見ると表12と同様

- ◆ B2：先行研究を調査する環境
- ◆ B3：先行研究を理解する環境

に関して学年進行とともに類似度が増加している。

逆に類似度が減少しているのは

- ◆ B5：社会的重要性を理解する環境

である。

これらの結果は常識と逆のように見える。つまり先行研究を調査し理解する環境が研究を始めた段階で最も必要であると考えられるにもかかわらず、学年進行とともに環境が整っているという認識が高くなっている。こう認識するには時間がかかるものと解釈できる。

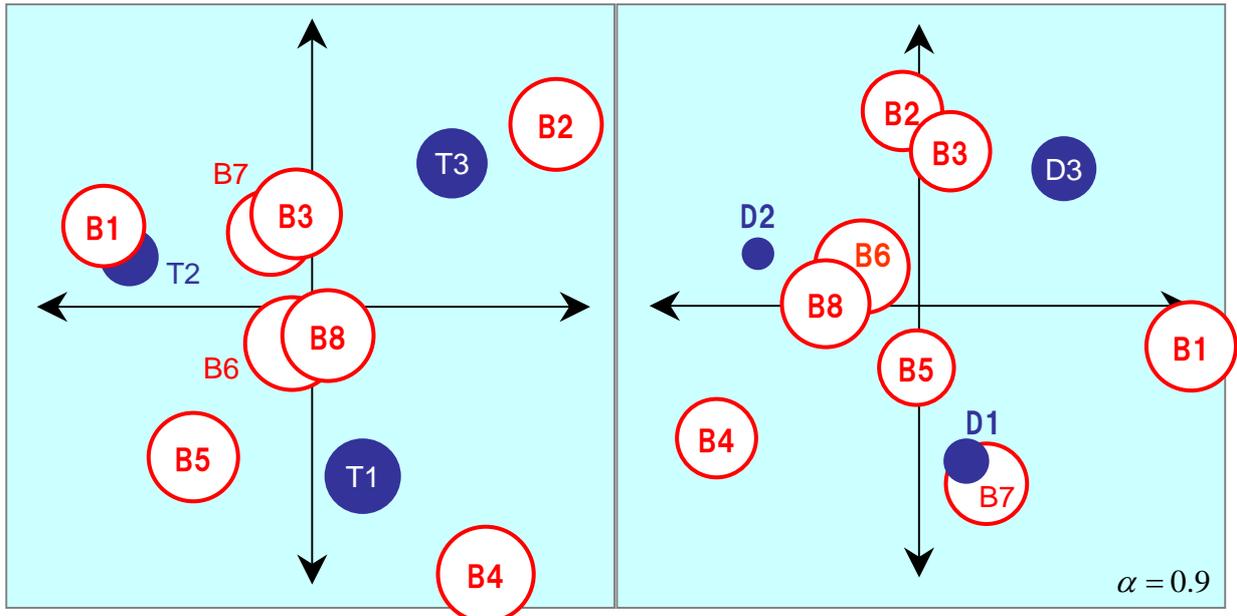


図27：環境評価の対応分析（全学生）

図28：環境評価の対応分析（後期課程）

表16：全学生の研究室所属期間による学生間の意識の相違（研究環境）

T1=1年未満	類似度	T2=1～2年	類似度	T3=2年以上	類似度
B8=統合力・発想力	0.31	B1=研究立案能力	0.67	B2=先行研究調査	0.40
B6=研究遂行能力	0.29	B7=実験結果解釈力	0.31	B3=先行研究理解	0.28
B4=社会的的重要性調査	0.28	B3=先行研究理解	0.25	B7=実験結果解釈力	0.22
B5=社会的的重要性理解	0.27	B6=研究遂行能力	0.22	B8=統合力・発想力	0.18
B7=実験結果解釈力	0.13	B8=統合力・発想力	0.18	B6=研究遂行能力	0.15
B3=先行研究理解	0.12	B5=社会的的重要性理解	0.18	B1=研究立案能力	0.07
B1=研究立案能力	0.06	B2=先行研究調査	0.03	B5=社会的的重要性理解	0.05
B2=先行研究調査	0.04	B4=社会的的重要性調査	0.02	B4=社会的的重要性調査	0.04

表17：後期課程学生の在学期間による学生間の意識の相違（研究環境）

D1=1年未満	類似度	D2=1～2年	類似度	D3=2年以上	類似度
B7=実験結果解釈力	0.65	B8=統合力・発想力	0.40	B3=先行研究理解	0.38
B5=社会的的重要性理解	0.37	B6=研究遂行能力	0.33	B2=先行研究調査	0.24
B8=統合力・発想力	0.15	B5=社会的的重要性理解	0.17	B1=研究立案能力	0.15
B6=研究遂行能力	0.13	B4=社会的的重要性調査	0.17	B6=研究遂行能力	0.15
B4=社会的的重要性調査	0.12	B2=先行研究調査	0.16	B5=社会的的重要性理解	0.13
B1=研究立案能力	0.11	B3=先行研究理解	0.14	B8=統合力・発想力	0.10
B3=先行研究理解	0.07	B7=実験結果解釈力	0.06	B7=実験結果解釈力	0.07
B2=先行研究調査	0.05	B1=研究立案能力	0.02	B4=社会的的重要性調査	0.03

8. おわりに

本稿では、PART 1 において知識創造の理解、知識の正当化と実証のアプローチを概観、さらに知識創造プロセスのモデルと知識の統合と創造の方法論を紹介した後に、PART 2 において大学院研究における知識創造モデルを提案し、それに基づいた研究活動・研究環境評価のチェックリストの作成、アンケート調査の実施、さらにはデータの解釈について報告した。

今後の課題として以下のことが挙げられる。

- 1 教員に対しても同様なアンケートを実施するとともに、それぞれの次元における具体的体験を聴取する。また、これらの次元はいかに重要であるか、あるいはそうではないか、または他の次元を考えるべきか、などを聴取する必要がある。
- 2 また、知識科学研究科の経営系研究室においてアンケート調査を実施し、実験系研究室との相違を調べる必要もある。
- 3 将来的には、企業や研究所においても調査を実施し、項目の精緻化を図る。その際には、各項目の下に具体的なチェック項目をつくり、リーダーが指導法や環境の改善を考えることを支援する必要がある。
- 4 ところで、学生に真にそれぞれの能力が身に付いたのか、あるいは環境・指導によって見かけ上そのようになっているか、を分離することができるだろうか。この疑問に答えるために、指導教員に対して各学生の評価をおこなってもらい、学生自身の評価と付き合わせてみる必要がある。
- 5 本報告では、平均データによって議論し、学生の個人データは明らかにしていない。研究室における教育効果を計り教育方法の向上に資するためには、少なくとも各指導者には学生の個人情報をも提示する仕組みを導入する必要がある。

さて、はじめに記述したように知識科学研究は、知識変換理論、知識構造化手法、創造性開発支援システム等、すでに多くの成果を生み出している。ただしこれらは主として企業経営に関わる分野において応用されてきた。本稿が取り上げた科学技術開発現場における知識創造を支援する試みはまだ初期の段階にある。今後は、本稿で提案したモデルを上記のような課題を追求する中で精緻化し、知識科学において開発されている理論・システム、あるいはツールをいかに投入していけばよいかを明らかにしなければならない。

知識創造場論集

第3巻 第1号

発行日：2007年1月

編集・発行：北陸先端科学技術大学院大学 科学技術開発戦略センター

〒923-1292 石川県能美市旭台1丁目1番

TEL 0761-51-1839 FAX 0761-51-1767

62178751722968987101
068412599288
804640640690909000
8406806964384680464684
0068406848040130400
604064010101
489006
8579794040684040840
406406406406406406
8787045465464646464
1010400040474404
40
40684068068406400
7844
8
9840687977333
6877779846666466
40640640640680

