

Title	知識創造場のデザインと評価に関する研究
Author(s)	菊池, 智子
Citation	
Issue Date	2007-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/9223
Rights	
Description	Supervisor: 中森義輝, 知識科学研究科, 博士

博士論文

知識創造場のデザインと評価に関する研究

菊池 智子

Submitted to
Japan Advanced Institute of Science and Technology
in partial fulfillment of the requirements
for the degree of
Doctor of Philosophy

指導教官: 中森義輝 教授

School of Knowledge Science
Japan Advanced Institute of Science and Technology

March 2007

A Study on Design and Evaluation of Knowledge Creating Environments

Tomoko Kikuchi

Abstract

Knowledge science has been producing results such as knowledge conversion theory, knowledge systematizing methods, and methods for the development of creativity. It is expected recently that knowledge science should help researchers produce creative theoretical results in important natural sciences. For this purpose, we have to establish an environment or circumstance, which supports the development and practice of scientific knowledge creation. This research tries to explore how the interaction between members and environments advance growth of graduate students of scientific research from the point of view of knowledge creation or knowledge management, by questionnaire surveys and modeling analysis.

We first search interaction rules between members and self-reform rules in some experiment laboratories at JAIST. The candidate of rules are extracted from the personality description sentences about factors: extroversion, agreeableness, conscientiousness, neuroticism and openness in the Big Five theory of personality psychology. Here, interaction and self-reform rules are not described by personalities themselves, instead, they are described by corresponding phenomena: activity empathy persistence, autonomy, and thinking skill which appear in the behavior side. Each member's initial value is determined from the main 5-factor personality investigation to the member, and the target value is given by the member's self-declaration. The rule selection is carried out by the genetic algorithm, where a sigmoid function is introduced in the renewal algorithm of the value, whereby a difficulty such as settlement of the renewal parameter is avoided. An analysis is added about the obtained rules, and the validity of this approach and the subjects for future study are discussed.

Because the above modeling analysis is not fully sufficient to explore the effects of research environment on the growth of students, we then propose a checklist on research capabilities and research environments based on a knowledge creation model to design and evaluate the environments for technology creation in academia. The Nonaka model is very famous as a knowledge creation model in the management domain, but the model developed by A. P. Wirzbicki may be the first one which treats the knowledge creation process in academia; our model is based on the latter one. We have carried out a questionnaire survey on the research capabilities and environments of the graduate students in the research fields of material science, then analyzed this data with the fuzzy correspondence analysis and presents some useful interpretation of data for supervisors.

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	研究の背景と目的	1
1.2	知識創造場のエージェントモデル分析	2
1.3	知識創造場のデザインと評価	3
1.4	論文構成	5
第 2 章	知識創造場のエージェントモデル分析	7
2.1	Big Five 理論について	7
2.2	パフォーマンス因子の導入	9
2.3	ルール候補の抽出	10
2.4	データの収集	13
2.5	モデルの構造	15
2.6	ルールの選択	16
2.7	モデル分析	19
第 3 章	場と持続力の関係	23
3.1	「場」の概念的枠組み	23
3.2	「場」概念の再考	23
3.3	システム概念による「場」の再定義	24
3.4	知識を統合し創造するシステム	25
3.5	場の評価項目	26
3.6	システム性能の評価項目	29
3.7	補足的調査	30
第 4 章	知識創造場のデザイン	33
4.1	知識創造プロセスのモデル	33
4.2	知識の統合と創造の方法論	38
4.3	研究活動・研究環境の評価モデル	41
第 5 章	アンケート調査とデータ解析	43
5.1	アンケート質問紙と調査	43
5.2	データの平均分析	46
5.3	データの対応分析	52
第 6 章	おわりに	63
	謝辞	65
	参考文献	67

第1章 はじめに

「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世紀までに登場した知識創造理解に関わる思想家たちは2つの学派にわけることができる。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、本学 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、知識創造への第3のアプローチを提唱している。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」という立場である。本研究では、この観点に基づいて知識創造プロセスと環境を合理的に分析することに焦点をあてている。

1.1 研究の背景と目的

知識創造場・プロセスやその成果とは、通常、科学研究 [1]、研究開発 [2]、プロセス [3]、あるいは企業の将来的目標や戦略 [4] を指すが、ナレッジマネジメントやイノベーションを生み出す場として用いられる場合もある [5][6]。最近では知識創造の要因の追求に焦点があてられている（例えば、永田 [2]、Jantunen[3]、Mireille[5]、William and Johnson[6]、Nieto[7] 等）。特に、人件費や投資というインプットと、技術開発や育成された人材というアウトプットの関係の解明 [1] や、ビジネス戦略の立案のための指標の開発 [7] 等が研究されている。

有益な知識のストックやイノベーションのための個人的な閃きの機会を増やすことによって経済成長を促進させることが出来るかもしれない。しかしながら、科学研究においては、人材と費用というインプットと国際レベルの知識プロデューサーを生み出すというアウトプットは、線形的な関係ではないという問題も指摘されている [1]。そして近年、企業だけでなく大学においても同様のことが指摘され、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。

本研究は、科学技術開発現場の大学院生たちが、教員や他の学生達との相互作用や研究環境（場）からの影響によってどのように成長していくかを、知識創造あるいは知識マネジメントの観点から解明しようとするものである。

本研究を開始するにあたって、本学マテリアルサイエンス研究科の指導教員に、有効な研究室マネジメントとは、あるいは研究室マネジメントに期待しているものは、という簡単なインタビュー調査を行なった。このとき、指導教員たちは「異なる性質を持った学生たちに研究活動をする上で最適な環境を与えられるマネジメント」を期待していることがわかった。

ここで、環境とは指導教員の指導方針も含むものである。例えば、テーマを与えるトップダウン的な研究室であるのか、あるいは各自がテーマを発見し研究に挑戦していくのか、というテーマの与え方の相違も含まれる。これは、いわゆる封建的な研究室体制（指導教員、助手、ポスドクター、博士課程、修士課程というようにピラミッド構造的に研究のプロセスや指導が伝達される体制）なのか、民主的な研究室体制（様々な問題があちこちの学生から生じ、階層のないディスカッションができる体制）なのか、という言い方もできる。どちらの構造も指導教員のこれまでの研究経験に基づく最適な指導体制ということができ、これらは研究の分野や指導教員の特質にも依存していると考えられる。

これらの方針を含めた環境の違いは、学生の性格・性質によって好ましい研究室タイプに分けられると予想できる。単に、その学生の好む研究分野ということではなく、研究活動をする上で環境は研究室決定に欠

かせない要因につながると考えられる。本研究ではこの問題に対して、研究活動における構成員間の相互作用と、研究プロセスをモデル化し分析することで、上記の問題の核心にせまることを目的とした。

ところで、野中ら [8] は知識創造場に関して人の存在、認識の重要性を指摘している。また、構成員間の知識共有も知識創造場で欠かせない要因として取り上げている。本研究でもこれらの要因を考慮し、まず、個人の特徴と相互作用に着目して知識創造場の特徴を捉えるため「研究室構成員間（大学院生）の相互作用に関するエージェントモデル」の構築を試みる。つぎに、このモデルで考慮されなかった研究環境に着目して「研究室構成員（大学院生）の成長と研究室の特徴（場）」に関する調査を、新たな知識創造モデルに基づいて実施し分析する。

1.2 知識創造場のエージェントモデル分析

性格心理学における知見とエージェントベースモデルの手法を融合したアプローチにより、大学院実験系研究室における構成員間の相互作用ルール及び自己変革ルールの導出を試みる。性格心理学では近年、相互作用論的な観点から因子間の関係性をいかに捉えるかという問題が扱われている [9]。一方、エージェントベースシミュレーションは、多様な局所関係から創発される全体のパターンをコンピュータ上で再現することが一つの目的である [10]。このことから、本アプローチは自然な融合であると考えられる。

パーソナリティ研究の分野において、性格を5つの因子で説明しようとする試みがある（例えば、Digman and Takemoto [11]、Costa and McCrae [12] [13]、柏木他 [14]、岩熊 [15]、辻 [16]、Hendriks et al. [17]）。これは Big Five 理論と呼ばれ現在でも論争が続いている。本研究は、グループの構成員の行動面に現れる変化を説明するルールを統計的に発見することが目的であるが、Big Five 理論を参照し、性格ではなく行動面に着目してルールの候補となる集合を設定して、その候補集合の中からグループにおける局所的ルール集合として矛盾の小さい部分集合を発見する方法を提案する。

エージェントベースモデルによるシミュレーション応用研究については、人工市場の設計（例えば、泉・植田 [18]、中村・泉・植田 [19]、辻岡・山本 [20]）、経済や環境問題（例えば、井庭 [21]、山形・水田 [22]）、心理や認知、教育問題（例えば、渋谷 [23]、菅沼・中森 [24]、松田 [25]、中村 [26]）、さらには SI (Social Impact) モデルを一般化した社会的影響モデルとして相互調整モデルを提案したもの（高木 [27, 28]）等、既に多くの成果が報告されている。これらの研究における重要な課題はモデルの妥当性の検証である [23]。本研究では、あらかじめ用意した局所ルールの集合から主観的なデータを説明する部分ルール集合を探索する新しい手法を提案する。

本研究におけるモデルはいくつかのルールの集合であるとし、ルールの候補は性格心理学における Big Five 理論において提供されている性格記述文 [29] を解釈して抽出する。ルールは他者への影響ルールと自己変革ルールに区別される。エージェントベースモデルのルールを記述する変数については、Big Five 理論において使用されている5つの性格因子「外向性」「協調性」「勤勉性」「情緒安定性」「知性」に対応して、行動に現れる変数としてパフォーマンス因子という概念を導入する。これに対して、研究室という「場」における学生の成長という観点から「活動力」「共感力」「持続力」「自律力」「分析力」という5つの解釈名を与える。これらの因子は学生ごとに異なる得点を有する。

本研究では、これらの値が構成員間の相互作用により変化するという仮説に立っている。データは学生へのアンケート調査から入手するが、日々の変化を問うことは事実上不可能であるから、学生への性格調査により初期値を決定し、研究室において1年間研究活動を行った後のパフォーマンスの変化を自己申告してもらい、これにより目標値を設定する。この変化を説明するエージェントベースモデルの構築プロセスを通じて、相互作用と自己変革ルールを発見することが本稿の目的である。

本研究はグループ・ダイナミクス研究 [30] の側面を有している。グループ・ダイナミクス研究における構成員の変化の測定法には、観察測定法と自己申告測定法があるが、ここでは後者を用いている。グループ・ダイナミクス研究の中で、例えば Interaction Process Analysis [31] では、構成員の短い期間での対話変化による相互作用に焦点を当てたものがある。一方、本研究では、長期間における構成員の成長変化を対

象にして、構成員間の集団内での態度が意識的あるいは無意識的に影響しあうことに焦点をあてている。

さて、前述のルール候補から各研究室における支配的ルールを抽出する。その際、任意に選ばれた2人（コンピュータ上ではエージェント2体）が相互作用することにより互いのパフォーマンス因子に影響を与え（Model 1 とする）、さらに変化した因子は自己の他の因子に影響を与える（Model 2 とする）ものと仮定する。このような因子の値の変化を最もよく説明するルールの集合を選択する。ルール選択の手段は遺伝的アルゴリズムであるが、シグモイド関数を導入して、更新幅、計算回数等のパラメータ設定の困難性を解消している。ルールは全構成員に様に適用されるものと、そうでないものがある。さらには、同じ条件で因子の値の増減が構成員によって異なる場合がある。そこで、ルールには適用される可能性を付与することとする。最後に、本アプローチの有効性と課題について考察する。

1.3 知識創造場のデザインと評価

相互作用分析では研究環境からの影響について十分な考察を得ることができないことを考慮して、知識創造モデルに基づいて評価チェックリストを作成し大規模なアンケート調査を実施した。経営系の研究においては野中モデルをはじめとする組織的知識創造モデルが議論されているが、本研究が対象とする個人的な科学技術創造に関する知識創造モデルとして本学科学技術戦略センターのウリツビツキー（A. P. Wierzbicki）教授が提唱されているモデルが最初のものであると考えられる。ここでは、彼のモデルを改良したモデルを提案し、それに基づいて本学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データを分析した。その結果、今後の研究運営に対して、いくつかの有用な知見が得られた。

知識創造モデルに関してはこれまでも多くの提案と議論がなされている。最初に取り上げるべきものは、経営科学の分野において野中が提案したものである。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」の中で紹介されている [32]。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的原理として提案している。この原理が革新的であるのは、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 [33] が別の理論を提唱している。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な能力である「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。モティツカは、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Gassonのアプローチ [34] 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Gasson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 [35]。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。

また、中森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を提案している [36]。それは、「*i*-System」と呼ばれ、その存在論的要素は「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。

本研究では、ウリツピツキーの3つのモデル EAIR Spiral、EDIS Spiral、EEIS Spiral を中森の知識創造システムと組み合わせたモデルを提案する。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。また「*i*-System」を「知」と「行」を対比させるように拡張したものである。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。

このモデルに基づいて、研究活動・研究能力に関するチェックリストと、研究環境・研究指導に関するチェックリストを作成し、本学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。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、109名の学生から回答が得られた。本研究では、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、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。

調査の結果いくつかの有用な知見が得られた。例えば、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、「研究対象に対する情報を集め理解を深めること」及び「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「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、「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。

注目したかったことは、「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、どの項目が高い相関を持つかであった。後期課程学生の方がより顕著な傾向を示しているが、「研究計画を合理的に立てること」「研究対象に関する情報を収集すること」及び「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がデータからも示唆された。ただし、「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ると考えられる。

研究環境評価において、前期課程学生に特徴的なことは、「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、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、「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、「研究対象に対する情報を集め理解を深めること」及び「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、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。

さらに、相関分析の結果から、前期・後期課程学生に共通していることは、「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、「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、「研究対象に対する理解を深めること」及び「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。

最後に、対応分析を用いて研究室間の相違、及び研究室配属年数の違いによる意見の相違について分析した。研究室名は匿名としているが、指導教員の性格が垣間見れる興味深い分析結果になっている。研究室の所属年数の違いの分析においては、例えば、「実験や調査などの研究遂行能力」あるいは「研究の社会的重要性の理解力」に関しては学年進行とともに増加している。本学では入学後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。

1.4 論文構成

本論文の構成は以下のとおりである。

第2章では、大学院実験系研究室における構成員間の相互作用ルール及び自己変革ルールの導出を試みている。ルールの候補は性格心理学の Big Five 理論における性格因子に関する性格記述文から抽出している。構成員に対する主要5因子性格調査から初期値を決定し、構成員の自己申告による行動面の変化を目標値とするデータに基づいて、研究室ごとの支配的なルールを選択している。得られたルールについて分析を加え、本アプローチの有効性と課題について考察している。

上記のモデルにおいては「持続力」の変化が説明しきれなかった。そこで、第3章では、大学院実験系研究室における知識収集・管理能力、知識伝達・伝承能力、及び知識獲得・創造能力という3つの観点から簡単な「場」の評価を指導教員に対して実施し、「持続力」が「場」の良否に大きな影響を受けることを確認している。ただしここでの調査は極めて限定されたものであるため、次章以降において知識創造モデルに基づく本格的な調査研究を実施している。

相互作用分析では研究環境からの影響について十分な考察を得ることができないことを考慮して、科学技術開発系の研究室における知識創造モデルを提案し、それに基づいて本学マテリアルサイエンス研究科の大学院生に対して大規模なアンケート調査を実施しデータを分析した。その結果、今後の研究室運営に対して、いくつかの有用な知見が得られた。知識創造モデルの提案を第4章で、アンケートデータの分析を第5章でおこなっている。

最後に第6章において、本研究の結論と今後の課題についてまとめる。

第2章 知識創造場のエージェントモデル分析

大学院実験系研究室における構成員間の相互作用ルール及び自己変革ルールを導出する。学生の成長を評価するために、ここでは性格心理学において広く知られている Big Five 理論における 5 つの因子「外向性」「協調性」「勤勉性」「情緒安定性」「知性」[29]を参照して、研究における「活動力」「共感力」「持続力」「自律力」「分析力」を成長の評価尺度として用いる。

2.1 Big Five 理論について

Big Five 理論は、語彙アプローチから得られた近年の成果である。語彙アプローチの元になっているのは、「人の活動における重要な個人差は、あらゆる言語において 1 つの言葉として表されうるだろう」という基本的名辞仮説 (Fundamental Lexical Hypothesis) である。この考え方は、最も古いところでは、Gaulton に認めることができる。Gaulton はさまざまな領域における個人差を研究したことで知られるが、パーソナリティを記述する単語の数やそれらの単語に共通する意味を調べるために辞書を用いた最初の人物でもある [16]。

語彙アプローチの先駆者は 1930 年代の Allport and Odbert であると言われている。彼らは「ある人の行動と、他の人の行動を区別できること」を基準として、ウェブスター社の辞書に記載された約 55000 語の中から約 18000 語を抜き出し、それを 4 つのカテゴリーに分類した。そのうち、1 つがパーソナリティを記述する特性語のカテゴリーである。一時的な状態や活動、気分、社会的評価などを表す単語は特性語とは別のカテゴリーにまとめられている [16]。

頑健かつ安定的な性格特性を何種類までに縮約して考えることができるか、という問題に対して多くの研究がなされており、それらの研究の中で、性格が 5 種類の特性、または因子で記述可能であるとするのが Big Five 論である [14]。ところで、5 因子論と Big Five 理論とを分けることもあるが、本研究で扱う 5 因子というのは Big Five 理論からくる 5 つの因子を指すものとする。

5 因子を見出す研究に関する文献が多々見られる中 [37]、Digman ら [38] は、これらの 5 因子の文献を集め、1949 年の Fisk の研究から、1990 年にいたるまでの 5 因子の研究を列挙した (表 2.1)。以下には John ら [37] がまとめた 5 因子の一般的解釈と円環モデルアプローチ [39][40] からの形容詞を示す。

- E: Extraversion, Energy, Enthusiasm (I) :
 - 外向性、情熱、熱中。にぎやかで (active)、元気がよく (energetic)、話し好き (communicative)、勇敢で (bold)、冒険的 (adventurous)、積極的 (unrestrained) な性格であり、「外向性 (Extraversion) + 」と表記する。逆の場合は、おとなしく (shy)、無口で (silent)、引っ込み思案 (unassertive)、臆病で (timid)、不活発な (unenergetic) 性格であり、「外向性 (Extraversion) 」と表記する。
- A: Agreeableness, Altruism, Affection (II) :
 - 愛嬌のある、利他主義、愛情。温かく (warm) 誰にでも親切 (kind)。愉快 (agreeable) で、人情にあつい (compassionate)、きまへのよい (generous)、協調性の高い (cooperative) 性格であり、「協調性 (Agreeableness) + 」と表記する。逆の場合は不親切で (unkind) 冷たく (cold)、利己的 (selfish)、疑い深い (distrustful)、非協力的 (uncooperative) で協調性に欠ける (smug) 性格であり「協調性 (Agreeableness) 」と表記する。

- C: Conscientiousness, Control, Constraint (III) :
 - 誠実、制御、抑制。責任感があつて (responsible)、仕事や勉強に良心的 (conscientious)、精力的に取り組む (thorough)、勤勉な (hardworking) 性格であり、「勤勉性 (Conscientiousness) + 」と表記する。逆の場合は物事への取り組みが中途半端で、でたらめ (disorganize) で、根気が無く (negligent)、気まぐれ (lazy) で、浪費癖 (wasteful) がある。無責任 (irresponsible) で、いい加減な (careless) 性格であり「勤勉性 (Conscientiousness) 」と表記する。
- N: Neuroticism, Negative Affectivity, Nervousness (IV) :
 - 神経質、ネガティブ、感情的。気分が安定していて (imperturbable)、不平不満がなく (contented)、気楽で (at ease)、嫉妬深くない (not envious)。理性的な (unemotional) 性格であり、「情緒安定性 (Neuroticism) + 」と表記する。逆の場合は、気分が不安定 (unstable) で、悩みやすく (anxious)、神経質で (nervous)、嫉妬深く (envious)、感情的になつたり (emotional)、怒りっぽい (angry) 性格であり、「情緒安定性 (Neuroticism) 」と表記する。
- O: Openness, Originality, Open-Mindedness (V) :
 - 開放性、独創性、偏見からの開放性。好奇心があつて (curious)、物事を分析したり (analytical)、考えたり (imaginative) する、思慮深い (reflective)、創造的 (creative) で知性的な (Intelligent) 性格であり、「知性 (Openness) + 」と表記する。逆の場合は好奇心に乏しく (uninquistive)、物事を分析するのが苦手 (unanalytical) で、知性に乏しい (unintelligent)。また素朴で (unsophisticated)、洗練されていない (unreflective) 性格であり、「知性 (Openness) 」と表記する。

実際に、語彙アプローチ研究の成果として、ドイツ語、オランダ語、アメリカ語をはじめ、非ドイツ語圏のハンガリー語、イタリア語、チェコ語、ポーランド語、ロシア語、日本語においてそれぞれ5因子構造が得られたという報告がある。また、中国語やタガログ語の特性語でも5因子が抽出されている。特性語は文章形式の項目に比べて翻訳が難しく比較研究には向かないとされるが、特性語を扱った語彙アプローチ研究においても、Big Fiveの通文化的普遍性が明らかにされているのである [16]。現在では、これらの5因子は13カ国で確認されている [17]。

Big Fiveを生物分類上有効であると指摘するJohnはこれらの分類の重要性を“性格心理学では、分類学は個人の特徴を重視した多くの特筆すべき実験の代わりに、はっきりした性格領域の研究を可能にさせるだろう [41]”と述べ、また、5因子説を主張するCostaとMcCraeは“全ての心理学研究は、全ての5因子の尺度を取り入れるべきだ。これらの因子と神経生理学上の変数との間の経験的な関連、たとえそれが、これらの理論から予測されないとしても、それらの関連は、性格の生物学的基礎のための価値のある手がかりを与えてくれるだろう [13]”と述べ、いずれも5因子の重要性を研究する上で統一するべきだという見解とその有効性を指摘した。

本研究におけるモデルはいくつかのルール集合であるとし、ルールの候補は性格心理学におけるBig Five理論において提供されている性格記述文 [29]を解読して抽出する。ルールは他者への影響ルールと自己変革ルールに区別される。エージェントベースモデルのルールを記述する変数については、Big Five理論において使用されている5つの性格因子「外向性」「協調性」「勤勉性」「情緒安定性」「知性」に対応して、行動に現れる変数としてパフォーマンス因子という概念を導入する。これに対して、研究室という「場」における学生の成長という観点から「活動力」「共感力」「持続力」「自律力」「分析力」という5つの解釈名を与える。これらの因子は学生ごとに異なる得点を有する。

表 2.1: パーソナリティの 5 つの次元 [38]

2.2 パフォーマンス因子の導入

5 つのパフォーマンス因子とその解釈を以下に示す。

- 行動 : 「外向性」に対応しており、どれだけ感じたり、思ったりしたことを実際に実行しているかの度合。
- 相手への配慮 : 「協調性」に対応しており、行動を起こすときにどれだけ相手のことを配慮して振舞うかという、相手を思う度合。
- 維持・持続 : 「勤勉性」に対応しており、行動の維持・持続の度合。Goldberg や Costa、McCrae らが良心性と解釈しているが、ここでは良心性のような解釈ではなく、どれだけ行動が持続されるかの度合。
- 気分 : 「情緒安定性」に対応しており、感情にどれだけ影響されないかという度合。

- 知性：「知性」に対応しており、洞察力、直感力、記憶力などを含む分析能力の度合。

ところで、集団は目的を有するので目的に応じてパフォーマンス因子に解釈名を与える方が理解しやすい。本研究で対象とする集団は大学院実験系研究室の構成員であり、研究と教育が目的である。そこで、以下のような解釈名を導入する。

- 「行動」は研究活動を示すものであり、研究発表の実施やゼミ参加、論文執筆などの現実的な取り組みであり「活動力」とする。
 - － 「研究という目的においては外向性は活動力である」と考えられる。そのため、質問では、研究活動（ゼミ、学会発表、論文作成、意見交換、実験、等の取り組み）というキーワードについて、学生の成長に満足か否かを問う。
- 「相手への配慮」は他の構成員を配慮することであり、研究発表やゼミへの参加意思、また、他の構成員の研究に対する興味や関心も含まれる。これを「共感力」とする。
 - － 「研究に対する協調性として考えると、他人の研究などへのアドバイスの意識や、興味関心である」と考えられる。これらをここでは共感力と呼ぶこととした。そのため質問では、研究室メンバーに対してどのように接するようになったのかをキーワードとして学生の成長の満足度を問う。
- 「維持・持続」は研究に対する継続的な姿勢であり「持続力」とする。
 - － 「研究に関しての勤勉性であり、具体的にはその研究への継続度合い、あるいは集中度合いである」と考えられる。ここではそれらを持続力とよび、質問では、研究の姿勢に対して、計画性が出てきたのかでたらしめたのか、責任感が出てきたのか無責任になったのか、実際になったのか観念的になったのか、徹底的になったのかいい加減になったのか、規律正しくなったのか乱雑になったのか、きちんとするようになったのかだらしくなったのか、節約的になったのか浪費的になったのかをキーワードとして、学生の成長に関する満足度を問う。
- 「気分」は研究に対する気持ちの不安を押し除けることも含まれていると考えられ「自律力」とする。
 - － 「研究に関しての情緒安定性であり、研究の精神的な姿勢である」と考えられる。ここではそれらを自律力とよび、質問では、普段の研究生活に対して穏やかか怒りっぽい、弛緩性があるのか緊張しやすくなったのか、気楽あるいは神経質になったのか、嫉妬深くなったのか、嫉妬深くなくなったのか、安定したのか不安定になったのか、満足が増えたのか不満が増えたのか、落ち着いたのか落ち着きがなくなったのかを問う。
- 「知性」は思考するきっかけも含めた外部の情報などを分析する能力「分析力」とする。
 - － 「研究に対する知性であり、研究では背景、目的、理論、方法、結果、考察等のいずれの課題にも思考を必要とする」と考えられる。ここではこれら进行分析力とよび、質問では、研究の内容に対して知性的になったのか否か、分析的になったのかそうでなくなったのかという学生の成長への満足度を問う。

2.3 ルール候補の抽出

ルール候補を得るため、上述の概念を用いて性格記述文を分類した。ここで、性格記述文とは、Big Five理論の各性格タイプを解釈する文章である。それらの性格記述文は、円環モデル [39, 40, 42, 43] の因子軸に近い形容詞を参考に記述されている [29]。性格記述文が性格の5因子とパフォーマンス因子をつなぐ掛け橋であるという観点で、性格記述文を以下のプロセスによって分類し、ルールの候補を求める。

1. 5 因子の概念に沿って性格記述文を分類する。
2. 影響の正負を判定する。
3. 「行為の主体がどのような傾向があるのか」等の文と「行為の主体が他人からどのように見られるのか、あるいは影響を与える傾向があるのか」等の文に分類する。前者が自己変革のルール候補となり、後者が他者への影響ルールの候補となる。

ところで、性格記述文 [29] には 2 因子を考慮するもの (2 ポイントコード) と 1 因子のみを考慮するもの (1 ポイントコード) とがあり、前者は 615 文、後者は 95 文存在する。本稿では簡単のため後者のみを用いる。性格記述文を分類するための観点と具体的なキーワードを表 2.2 に示す。また、表 2.2 の最下段は、他者への影響ルールと自己変革ルールの分類を行うためのキーワードを示したものである。

まず A 群のキーワードにより、どの因子について述べている記述文かを把握し、続いて B 群のキーワードに着目して影響の正負を分類する。この結果、57 文がルールの候補として採用された。選ばれなかった文は複合的な意味が含まれたものや、印象について述べられたものであった。57 の文をルールとして記述すると、複数の文章から同一のルールが得られるケースがあり、結果として表 2.3 に示した 41 個のルール候補が得られた。

表 2.2: 分類の観点とキーワード

活動力	
A 群	観点: 活動の対象、対象の行為 キーワード: 良い成績、チャレンジ、仕事、やりたいこと、世話
B 群	観点: 行為を行わないような働き、行為を否定するようなもの キーワード: 押さえ
共感力	
A 群	観点: 関心の対象となるもの キーワード: 他人、知人、知識の範囲、体験すること、音楽、広範囲の情報、友達、未知の事柄、理想的なこと、相手
B 群	観点: 関心の対象を否定するもの キーワード: 話せない、狭い、鈍感、利己的、おろそか、ありません、話さない、警戒、敵対、聞かない、言わない
持続力	
A 群	観点: 勤勉な様子 (状態) を表すもの キーワード: 怠惰、中途、地道、規律、根気、やり通す
B 群	観点: 勤勉に対する否定的な様子 キーワード: 怠惰、中途
自律力	
A 群	観点: 感情の対象となるもの キーワード: 感情、気分、情緒、生活、困った問題
B 群	観点: 否定または肯定 キーワード: 潤い、満足、くつろぐ、冷静沈着、嫉妬、ねたみ、怒り、動揺、犠牲、同情、不安定、疲労、払いのける、打ち勝つ、克服する
分析力	
A 群	観点: 考えることを重視した言葉 キーワード: 思考、分析、修正、洞察、推察、検討、内緒、思考、対応、考える
B 群	観点: 考えることを否定した言葉 キーワード: 困難、混乱、おろそか、考えない、単純に解決、理解できない、苦手
他者への影響ルールを抽出するためのキーワード	
強要、責める、敵対、非難、恥ずかしがる、黙っている、ねたむ、嫉妬、だます、怒り、利用不公平、けち、鈍感、努力する、友好、交際、付き合う、社交的、友好的、信じる、打ち解ける同情、優しい、依存的、認められる、世話、会話、話、相談	

表 2.3 において、例えばルール 0 は「もし、相互作用する相手の「活動力」が自分の「活動力」よりも高ければ (<)、自分の「共感力」は上がる (U=Up)、あるいは下がる (D=Down)」と読む。また、表 2.3 に

において、ルール14は「もし、自分の「活動力」が上れば（U=Up）、自分の「共感力」は上がる（U=Up）あるいは下がる（D=Down）」と読む。ただし、上がる、下がるは個人に依存し、次節4で示す2種類の自己申告データから構成員ごとに決定する。最終的には、ルールは使用割合を伴って選択されることになる。

表 2.3: ルール候補

ルール	前件部		後件部	
0	活動力	<	共感力	U or D
1	活動力	>	共感力	U or D
2	活動力	>	自律力	U or D
3	共感力	<	分析力	U or D
4	共感力	<	共感力	U or D
5	共感力	>	共感力	U or D
6	共感力	>	活動力	U or D
7	共感力	>	分析力	U or D
8	持続力	>	共感力	U or D
9	自律力	<	共感力	U or D
10	自律力	<	自律力	U or D
11	自律力	>	共感力	U or D
12	自律力	>	自律力	U or D
13	活動力	U	活動力	U or D
14	活動力	U	共感力	U or D
15	活動力	U	分析力	U or D
16	活動力	D	持続力	U or D
17	活動力	D	活動力	U or D
18	活動力	D	分析力	U or D
19	共感力	U	自律力	U or D
20	共感力	U	共感力	U or D
21	共感力	U	分析力	U or D
22	持続力	U	活動力	U or D
23	持続力	U	持続力	U or D
24	持続力	U	自律力	U or D
25	持続力	D	分析力	U or D
26	持続力	D	活動力	U or D
27	持続力	D	持続力	U or D
28	自律力	U	持続力	U or D
29	自律力	U	活動力	U or D
30	自律力	U	自律力	U or D
31	自律力	U	分析力	U or D
32	自律力	D	活動力	U or D
33	自律力	D	自律力	U or D
34	分析力	U	分析力	U or D
35	分析力	U	共感力	U or D
36	分析力	U	自律力	U or D
37	分析力	D	活動力	U or D
38	分析力	D	共感力	U or D
39	分析力	D	自律力	U or D
40	分析力	D	分析力	U or D

実際のルール候補の選定例を以下に紹介する。

- 例えば、「自分と他人の両方に怒りの感情が向けられて普段の生活を送ることが難しくなりがちです」という性格記述文から、「もし、情緒安定性が悪くなれば、物事や相手への配慮に影響する」「もし、情緒安定性が悪くなれば、気分に影響する」というルールの候補が得られる。これらは、もし「自律力」が他者と比べて低ければ、「共感力」が影響を受ける（ルール9）、及び「自律力」が影響を受ける（ルール10）に対応している。

- また、「こういう気持や行動が起こるのは自分が有利になったり、他人から認められたい気持ちが強いことに関係します」「社会的な流行や変化にも敏感で自分の方から話題を出して率直に発言するので知人や友人が大勢できます」という2つの性格記述文から「もし、外向性が高くなれば、物事や相手への配慮に影響する」というルール候補が得られる。これは、「活動力」が相手と比べて高ければ、「共感力」が影響を受ける(ルール1)に対応している。

2.4 データの収集

前述のルール候補の中から実際に有効なルールを選択するためのデータを得るために、大学院実験系の6研究室の学生78人の自己申告によるパフォーマンス因子の成長の変化と、主要5因子性格検査[29]という2種類の質問を実施した。これらのデータをそれぞれ目標値と初期値としてモデリング時に用いた。ここで、初期値は偏差値で与えられる。目標値は、大きく変化する場合は2ポイント、少し変化する場合は1ポイントを初期値に加えるか減じることにより決定する。ここでは、初期値に対して増加、もしくは減少しているという比較のみが必要で、増減量は重要でない。なぜならば、後述するシグモイド関数の導入により、選択されるルールの加減値が集約されてしまうからである。結果として、ルール選択ではどのようなルールが繰り返し用いられたのかという部分のみが重要となる。このように数値の絶対値には意味がないことから、ルールは「Up」「Down」と記述している。

主要5因子性格検査[29]においては

- 問題を綿密に検討しないで実行に移すことが多い。
- どちらかというにぎやかな性格です。
- 道筋を立てて物事を考える方です。

など70項目の質問に対して「はい」「いいえ」で回答をさせ、各性格因子の得点を20~80の偏差値によって与えるものである。本研究ではこの得点をパフォーマンス因子の初期値として読み替えた。

目標値の設定は、表2.4に示すように、両極に因子特徴を表すポジティブな言葉とネガティブな言葉を表示し、その間を5段階に分割したSD尺度法[44]により実施した。この結果得られた各因子の総合評価値を用いて、中心よりネガティブ側の得点を初期値から減算、ポジティブ側の得点を初期値に加算して各因子の目標値とした。

使用割合については、モデル1(ルール0~12)とモデル2(13~40)のそれぞれに対してUp、Downを含め使用された全ルールについての使用数を100とした場合の割合(%)である。

表 2.4: パフォーマンス変化の自己申告

質問 (1)「活動力」		
研究活動(ゼミ、学会発表、論文作成、意見交換、実験、等の取り組み)に対して		
1	外向的になった	内向的になった
2	精力的になった	精力的でなくなった
3	おしゃべりになった	無口になった
4	勇敢になった	臆病になった
5	活発になった	不活発になった
6	主張的になった	引っ込み思案になった
7	冒険的になった	冒険的でなくなった
以上 1~7 を参考として、全体の判定		
あなたは研究活動に対して、これまでよりも「活動的である」ように思われますか。		
	活動的になった	活動的でなくなった
質問 (2)「共感力」		
研究室メンバーに対してどのようにあなたが接するようになったかをお答え下さい。		
1	温かくなった	冷たくなった
2	親切になった	不親切になった
3	協力的になった	非協力的になった
4	利己的でなくなった	利己的になった
5	愉快になった	不愉快になった
6	信じやすくなった	疑い深くなった
7	正直になった	本音をいわなくなった
以上 1~7 を参考として、全体の判定		
あなたは研究室メンバーに対して、これまでよりも「共感力がある」ように思われますか。		
	共感力が向上した	共感力が下降した
質問 (3)「持続力」		
あなたの研究の姿勢についてお答えください。		
1	計画性が出てきた	無計画になった
2	責任感がでてきた	無責任になった
3	实际的になった	観念的になった
4	徹底的になった	いい加減になった
5	規律正しくなった	乱雑になった
6	きちんとするようになった	だらしくなった
7	節約的になった	浪費的になった
以上 1~7 を参考として、全体の判定		
あなたは研究の姿勢に対して、これまでよりも「持続力がある」ように思われますか。		
	持続力がついた	持続力が下がった
質問 (4)「自律力」		
「落ち着き度合い」 普段の研究生活についてお答えください。		
1	穏やかになった	怒りっぽくなった
2	弛緩性がでてきた	緊張しやすくなった
3	気楽になった	神経質になった
4	嫉妬深くなくなった	嫉妬深くなくなった
5	安定した	不安定になった
6	満足が増えた	不満が増えた
7	落ち着いた	落ち着きがなくなった
以上 1~7 を参考として、全体の判定		
あなたは普段の研究生活に対して、これまでよりも「情緒が安定してきた」ように思われますか。		
	情緒が安定した	情緒が不安定になった
質問 (5)「分析力」		
研究活動についてお答えください。		
1	知性的になった	知性的でなくなった
2	分析的になった	分析的でなくなった
3	思慮深くなくなった	思慮深くなくなった
4	好奇心が生じるようになった	好奇心がなくなった
5	創造的になった	創造的でなくなった
6	複雑になった	単純になった
7	芸術的になった	芸術的でなくなった
以上 1~7 を参考として、全体の判定		
あなたは研究活動に対して、これまでよりも「分析力が向上した」ように思われますか。		
	思考力が向上した	思考力が下降した

2.5 モデルの構造

以下では、表 2.3 のルール 0~12 から構成されるモデルを **Model 1**、ルール 13~40 から構成されるモデルを **Model 2** と表現する。

任意のエージェント A, B はそれぞれ a_i, b_i で表される変数を有している。ただし、 $i = 1, 2, 3, 4, 5$ は「活動力」「共感力」「持続力」「自律力」「分析力」に対応している。各エージェントは以下のように変数の値を変化させるものとする。

Step 1: 相手の変数の値と自分の変数の値を比較し、**Model 1** により自分の変数の仮の更新値を決定する。

Step 2: 仮の更新値と以前の変数の値を比較し、**Model 2** によって最終決定する。(ただし、後で説明するようにシグモイド関数を導入してこの値を修正する。)

この一連のプロセスを、エージェント A が実行すると同時に、エージェント B も実行する。上記 Step 1 では、エージェント A の変数の値の増減量は、例えば以下のように計算される。

$$\text{If } b_2 < a_2, \text{ then } \Delta'_{1j} = \alpha|b_2 - a_2| \quad (2.1)$$

すなわち、同一の因子（上では 2 番目の因子）を比較し、条件が満足されていれば、影響を受ける他の因子（上では 1 番目の因子）が差の大きさに比例して変化する。 α は影響度を表すパラメータであり、エージェント A の 1 番目の因子の目標値が初期値より大きい場合は正のルール (Up) を採用し、影響調整値 $\alpha = +0.01$ とする。後述するように、この値の大小は後のシグモイド関数導入によって重要ではなくなる。逆の場合は負のルール (Down) を採用し、 $\alpha = -0.01$ とする。このように、ルール自体はランダムに選択するが、影響の正負はデータに基づいてコントロールする。

Model 1 の全てのルールを適用した後に a_1 の仮の更新値 a'_1

$$a'_1 = a_1 + \sum_j \Delta'_{1j} \quad (2.2)$$

を求める。ここで、 j はカウンタであり、 a_1 に関する条件部が満たされたルールの数に対応している。

全ての変数について上記を繰り返した後に、Step 2 では、エージェント A の変数の値の増減量は、例えば以下のように計算される。

$$\text{If } a'_3 < a_3, \text{ then } \Delta''_{4j} = \beta|a'_3 - a_3| \quad (2.3)$$

すなわち、自己の以前の因子の値と仮の更新値を比較して、条件が満たされれば影響を受ける他の因子が変化する。 β は α と同様に決定する。**Model 2** の全てのルールを適用した後に a_4 の更新値 a''_4

$$a''_4 = a_4 + \sum_j \Delta''_{4j} \quad (2.4)$$

を求める。これを全ての変数について実行する。

ここで、**Model 1** による仮の更新値は **Model 2** の前件部にのみ影響を与えていることに注意する。これは、

- 各自のパフォーマンスは他人から直接影響を受けるのではなく、自分の中での内省を通して影響される

と仮定していることによる。

ところで、影響調整値 α, β の値の設定は困難である。実際はエージェントごと、ルールごとに異なる値が設定されるべきであるが、今回はともに ± 0.01 とした。しかし、以下で明らかになるように、シグモイド関数を導入することにより、この値の重要性はなくなる。また、計算結果はエージェントの初期状態、計算ステップ数、ランダム選択回数に依存する。さらに、「計算回数は現実のコミュニケーション時間とどう対応しているのか」、「1 ポイントの差が何を意味するのか」、「目標値と現在値の差が何を意味するのか」など、いくつか疑問が生じる。これらの問題を回避するため、相互作用を計算するほど計算結果が目標値に近くなるようにシグモイド関数を導入する。これによって、

- 目標値に近づくためにはどのルールを選択すればよいか

という単純な問題に置き換えることが可能となる。

以下では、 t を計算ステップを表すパラメータとし、変数の初期値を $a_i(0)$ 、目標値を a_i^T と表す。 $a_i(t)$ はシグモイド関数を用いて以下のように更新される。

$$a_i(t+1) = \frac{p}{1 + \exp\{-x_i(t+1)\}} + q \quad (2.5)$$

ただし、

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \{a_i''(t) - a_i(t)\}, \quad x_i(0) = 0 \quad (2.6)$$

なお、パラメータ p, q は初期値と目標値の関係によって以下のように定める。

$$p = \begin{cases} 2(a_i(0) - a_i^T), & a_i(0) > a_i^T \\ 2(a_i^T - a_i(0)), & a_i(0) < a_i^T \end{cases} \quad (2.7)$$

$$q = \begin{cases} a_i^T, & a_i(0) > a_i^T \\ 2a_i(0) - a_i^T, & a_i(0) < a_i^T \end{cases} \quad (2.8)$$

これは、各学生のデータを見て、後件部の Up, Down の選択を行い目標値に近づけるためである。結果として、各ルールの使用頻度が計算され研究室の特徴を検討できる。実際、上記の方法で以下が達成される。

- 目標値が低くなる場合 ($a_i(0) > a_i^T$):

$$a_i : a_i(0) \rightarrow a_i^T \text{ as } x_i : 0 \rightarrow -\infty \quad (2.9)$$

- 目標値が高くなる場合 ($a_i(0) < a_i^T$):

$$a_i : a_i(0) \rightarrow a_i^T \text{ as } x_i : 0 \rightarrow +\infty \quad (2.10)$$

2.6 ルールの選択

41 個のルール候補群から遺伝的アルゴリズムを用いてルールを選択する。染色体は 41 個のルールのうち、どのルールを採用するか否かの組み合わせを示す。従って、染色体の長さは 41 ビット、1 ビットごとに入る遺伝子は 1 か 0 のみとし、1 はルールを採用、0 は不採用としてランダムに決定する。これらのパラメータの決定により、遺伝子型は個人の行動ルールを表現し、その遺伝子型を用いてシミュレーションされた表現型は予想される個人の行動パターンを示す。

交叉、突然変異、世代数、等いくつかのパラメータを設定し試行を行った結果、染色体の個体数が 20 個で、50 世代繰り返した場合に、6 研究室それぞれの適合度が最適値に収束したため、染色体 20 個を準備する。

この数値は各エージェントの相互作用回数の決定に依存する。この相互作用回数は、エージェントが最低 30 回、他のエージェントと相互作用を行なうよう設定した。この 30 回という試行回数は、1 研究室のエージェント 10 個体前後と最低 1 回は相互作用されるような数値であり、相互作用の試行回数を少ない数値にしてしまうとエージェント同士、選択されない場合もあり、また多すぎると、どこまで相互作用を繰り返せばよいのか決められなくなるという問題点がある。従って、多すぎも少なすぎもしない 30 回を相互作用の試行回数としている。

ある研究室に注目し、調査に参加した学生に対応したエージェントを用意し、以下の手続きを実行する。

1. 各エージェントに 5 つの変数の初期値をもたせる。全てのエージェントは 1 世代目で準備された 20 個の染色体のうち、1 個の染色体に注目する。

2. 各エージェントはランダムに出会った他のエージェントと影響を与え合う。その際に用いるルールが現在参照している染色体の遺伝子情報 1、0 である。
3. Model 1, Model 2 に従って、一組のエージェントの変数の値がそれぞれの目標値に近づくように修正される。
4. 全てのエージェントが最低 30 回他のエージェントと相互作用を行うまで、上記 2. 3. のステップを繰り返す。
5. 全てのエージェントの各変数の目標値からの差の絶対値を計算し、それらの総和の逆数を現在参照している染色体の仮の適合度とする。ただし、総和が 0 の場合は十分大きな値を与える。
6. 2~5 のステップを、エージェントの出会い方をランダムに変えて 10 回繰り返す。10 回のうち最も低い仮の適合度をこの染色体の適合度とする。
7. 以上のステップを、20 個の染色体について同様に実行する。
8. 求められた適合度を比較して、上位 10 個の遺伝子からランダムに 5 組のカップルを作り単純交叉を行う。得られた 10 個の子に対して 1 ビットの突然変異を行う。選ばれた親と生み出された子の合計 20 個の染色体が次世代を構成する。
9. 以上のステップを 50 世代まで繰り返して終了。(実際、50 世代になるとほとんど変化しなくなった。)

ところで、エージェントの出会いがランダムに行われるため、頑健なルールを探索することは困難である。そこで上記アルゴリズムにおいては、適合度が高い染色体のときを利得最大とし、全てのエージェントの出会い方の 10 回の試行(手続き 6)によって染色体がとり得る(利得の)「最悪の場合を考慮した上で」次世代に残す遺伝子の「利得を最大にする(手続き 8)という最大化プレイヤーの行動原理」[45]で知られる MAX・MIN 戦略を用いて遺伝子の組み合わせを選択している。

研究室ごとに採用されるルールは少しずつ異なる結果となった。表 2.5 に研究室 A (14 人の学生からデータを得ている)において使用されたルール後件部の正負(Up, Down)の割合を示す。

表 2.5 から、他者からの影響(ルール 0~12)に関しては以下のような傾向が読み取れる。

- (ルール 0, 1 から) この研究室では「活動力」に関係なく 7 割程度の学生は「共感力」が下がっていることがわかる。
- (ルール 2 から) 「活動力」が自分より低い学生と交流すると「自律力」が下がる可能性がやや高くなる。
- (ルール 3, 7 から) この研究室では「共感力」に関係なく「分析力」が上がっていることがわかる。
- (ルール 4, 5 から) 自分より「共感力」の高い学生と交流すれば、自分の「共感力」も高くなり、自分より「共感力」の低い学生と交流すれば、自分の「共感力」も低くなりがちである。これから、「共感力」は他者の「共感力」に影響されやすいことがわかる。
- (ルール 8 から) 自分より「持続力」の低い学生と交流すれば、自分の「共感力」は低くなる。
- (ルール 9, 10 から) 自分より「自律力」の高い学生と交流すれば、「共感力」は低くなり、「自律力」は高くなる傾向がある。ただし、影響はそれほど大きくない。
- (ルール 11, 12 から) 自分より「自律力」の低い学生と交流すれば、「共感力」と「自律力」はともに低くなる傾向がある。

表 2.5: 研究室 A におけるルール採用割合

ルール	前件部	後件部	Up	Down	使用割合	
0	活動力 <	共感力	30	70	2.0	4.5
1	活動力 >	共感力	25	75	1.5	4.5
2	活動力 >	自律力	41	59	3.0	4.3
3	共感力 <	分析力	100	0	8.1	0.0
4	共感力 <	共感力	62	38	3.1	1.9
5	共感力 >	共感力	10	90	1.0	8.7
6	共感力 >	活動力	48	52	4.2	4.5
7	共感力 >	分析力	100	0	6.5	0.0
8	持続力 >	共感力	17	83	2.0	9.7
9	自律力 <	共感力	38	62	2.0	3.3
10	自律力 <	自律力	59	41	4.3	3.0
11	自律力 >	共感力	21	79	1.7	6.1
12	自律力 >	自律力	31	69	3.1	7.1
13	活動力 U	活動力	100	0	4.6	0.0
14	活動力 U	共感力	100	0	0.5	0.0
15	活動力 U	分析力	100	0	1.7	0.0
16	活動力 D	持続力	0	100	0.0	2.3
17	活動力 D	活動力	0	100	0.0	5.0
18	活動力 D	分析力	100	0	1.4	0.0
19	共感力 U	自律力	45	55	0.3	0.4
20	共感力 U	共感力	100	0	8.2	0.0
21	共感力 U	分析力	100	0	2.4	0.0
22	持続力 U	活動力	0	0	0.0	0.0
23	持続力 U	持続力	0	0	0.0	0.0
24	持続力 U	自律力	0	0	0.0	0.0
25	持続力 D	分析力	0	0	0.0	0.0
26	持続力 D	活動力	0	0	0.0	0.0
27	持続力 D	持続力	0	0	0.0	0.0
28	自律力 U	持続力	100	0	4.6	0.0
29	自律力 U	活動力	100	0	4.3	0.0
30	自律力 U	自律力	100	0	9.1	0.0
31	自律力 U	分析力	100	0	2.5	0.0
32	自律力 D	活動力	53	47	3.8	3.4
33	自律力 D	自律力	0	100	0.0	12.8
34	分析力 U	分析力	100	0	16.0	0.0
35	分析力 U	共感力	56	44	6.1	4.9
36	分析力 U	自律力	33	67	1.8	3.7
37	分析力 D	活動力	0	0	0.0	0.0
38	分析力 D	共感力	0	0	0.0	0.0
39	分析力 D	自律力	0	0	0.0	0.0
40	分析力 D	分析力	0	0	0.0	0.0

一方、自己変革（ルール 13～40）に関しては以下の傾向が読み取れる。

- （ルール 13, 17, 30, 33 から）「活動力」と「自律力」は上がり始めるとますます上がり、下がり始めるとますます下がる傾向がある。
- （ルール 14, 15 から）「活動力」が上がれば「共感力」と「分析力」は上がる。
- （ルール 16, 18 から）「活動力」が下がれば「持続力」は下がるが、「分析力」は上がる。
- （ルール 20, 34 から）「共感力」と「分析力」は一度上がればさらに上がる傾向にある。
- （ルール 21 から）「共感力」が上がれば「分析力」は上がる。
- （ルール 28, 29, 31 から）「自律力」が上がれば「持続力」「活動力」「分析力」は上がる。

上記から、自己変革ルールにはかなりはっきりした傾向がある。しかし、他者からの影響ルールについては、個人によって正の影響を受ける場合もあれば負の影響を受ける場合もある。

2.7 モデル分析

表 2.5 の右から 2 列は Model 1 と Model 2 それぞれにおけるルールの使用割合である。使用割合は、Model 1 における使用された 24 個のルール (Up, Down を分けてカウント) がモデリングにおいて使用された頻度を全体を 100 として示したものである。Model 2 については使用された 22 個のルール (Up, Down を分けてカウント) が全体となっている。

表 2.5 から Up, Down の傾向がかなりはっきりしており、かつ使用割合の比較的大きいルール 0, 1, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 20, 21, 28, 29, 30, 31, 33, 34 に関して全研究室における Up, Down の割合を表 2.6 に示す。

表 2.6: 6 研究室における主要ルール採用割合

Rule	前件部	後件部	研究室 A		研究室 B		研究室 C		研究室 D		研究室 E		研究室 F	
			U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
0	活動力 <	共感力	30	70	100	0	52	48	77	23	25	75	100	0
1	活動力 >	共感力	25	75	100	0	34	66	70	30	0	100	38	62
3	共感力 <	分析力	100	0	88	12	89	11	100	0	87	13	100	0
6	共感力 >	活動力	48	52	86	14	80	20	100	0	46	54	100	0
7	共感力 >	分析力	100	0	80	20	64	36	100	0	65	35	100	0
8	持続力 >	共感力	17	83	100	0	56	44	87	13	6	94	57	43
11	自律力 >	共感力	21	79	100	0	20	80	63	37	30	70	43	57
12	自律力 >	自律力	31	69	20	80	36	64	61	39	0	100	45	55
20	共感力 U	共感力	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
21	共感力 U	分析力	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
28	自律力 U	持続力	100	0	100	0	100	0	100	0	0	0	100	0
29	自律力 U	活動力	100	0	100	0	100	0	100	0	0	0	100	0
30	自律力 U	自律力	100	0	100	0	100	0	100	0	0	0	100	0
31	自律力 U	分析力	100	0	100	0	100	0	100	0	0	0	100	0
33	自律力 D	自律力	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
34	分析力 U	分析力	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0

表 2.6 を見れば、自己変革ルールはほぼ共通しており、以下のようにまとめられる。

- (ルール 20, 30, 34 から)「共感力」「自律力」「分析力」は一度上がり始めるとますます良くなっていく。
- (ルール 21, 31 から)「共感力」または「自律力」が上がれば「分析力」は上がる。
- (ルール 28, 29, 31 から)「自律力」が上がれば、「持続力」「活動力」「分析力」も上がる。
- (ルール 30, 33 から)「自律力」は一度変化すると、その傾向が続く。

ところが、相互作用ルールは研究室ごとに異なっていることがわかる。非常に複雑な関係があり、断定的に述べることはできないが、過半数の研究室では以下のような傾向がある。

- (ルール 0, 1 から)「活動力」の高い学生と交流すれば自分の「共感力」は高くなる傾向があり、逆に、「活動力」の低い学生と交流すれば自分の「共感力」は低くなる傾向がややある。
- (ルール 3, 7 から)「共感力」に関係なく「分析力」は上がる。
- (ルール 6 から)「共感力」の低い学生と交流すれば自分の「活動力」は高くなる傾向がややある。

- (ルール8から)「持続力」の低い学生と交流すれば自分の「共感力」は高くなる傾向がややある。
- (ルール11, 12より)「自律力」の低い学生と交流すれば自分の「共感力」「自律力」は低くなる傾向がややある。

以上の傾向の中では「共感力」が前件部もしくは後件部にしばしば登場している。また、表2.6から、研究室群A, Eと研究室群B, C, D, Fとが反対の傾向を示していることが読み取れる。

これを詳しく調べるために、各研究室の平均初期値と平均変化(平均目標値 - 平均初期値)を表2.7に示す。表2.7を見ると、研究室群A, Eの構成員の「共感力」は平均的に下がっており、研究室群B, C, D, Fの構成員の「共感力」は平均的に上がっている。この違いが結果に表れているものと考えられる。

表 2.7: パフォーマンスの平均初期値と平均変化

	研究室 A		研究室 B		研究室 C		研究室 D		研究室 E		研究室 F	
	初期	変化	初期	変化	初期	変化	初期	変化	初期	変化	初期	変化
活動力	49.6	0.31	47.9	0.27	48.9	0.53	52.3	0.64	51.3	-0.29	45.7	0.38
共感力	48.1	-0.15	50.9	0.50	46.5	0.06	49.8	0.55	47.8	-0.50	43.4	0.50
持続力	47.7	0.38	47.9	0.40	50.4	0.18	50.9	0.64	48.2	0.07	47.8	0.31
自律力	48.9	-0.25	44.4	-0.36	49.5	-0.29	51.6	0.45	46.2	-0.57	51.5	-0.08
分析力	47.2	0.58	46.9	0.29	49.4	0.24	52.3	0.82	55.7	0.50	50.5	0.46

表2.7からはさらに、大学院生活の中で「持続力」と「分析力」は総じて良くなる傾向が読み取れる。逆に、「自律力」が下がる傾向にあることが気になるところである。また、研究室Dはもともと優秀な構成員が集まっており、研究生活を通じて因子の値も良くなっていることがうかがえる。

ところで、研究遂行上重要な因子は「持続力」と「共感力」であるという報告がある[46]。「共感力」の変化を説明するルールはいくつか得られたが、「持続力」の変化を説明するルールが不足している。このため、モデリングにおいても全研究室を通して「持続力」の変化が説明しきれていない(他の因子についてはほぼ目標値に達したが、「持続力」についてはエージェントによっては目標値に到達しないものがあった)。

つぎに、得られたモデルによる簡単なシミュレーションを実行し、モデルのパフォーマンスを観察する。各研究室において、モデリング時に一度も使用されなかったルールを除いてシミュレーションを実行した。2体のエージェントが出会うと全てのルールが用いられるが、影響の正負(Up, Down)についてはモデリングにおける使用割合が50%以上の方を採用した。

その際、全てのパフォーマンス因子の初期値が40の仮想エージェントと、60の仮想エージェントを各研究室に投入し、それらの因子が変化していく様子を観察した。ただし、仮想エージェントを含めた全てのエージェントがどのような振る舞いをするかを見るものであるから、エージェントに目標値を持たせることができない。このため、シグモイド関数は用いず、因子の値の増減のみに注目した。

シミュレーション結果を表2.8に示す。モデリングと同様に各エージェントが最低30回相互作用を行うというシミュレーションを10回繰り返したものである。

表2.8の上段は、モデリングに用いた各エージェントのパフォーマンス因子が「Up」「Down」を言い当てたという正答率(%) (10回のシミュレーションの最低値と最高値)を示している。ただし、目標値が初期値と同じ因子が各研究室で30%程度あり、正答率はこれらを除いて計算している。

表2.8の下段は、仮想エージェントの因子の値が上がる(Upする)ケースの割合(%)を示している。このシミュレーションでは変化しないケースはなく、残りの割合は下がる(Downする)ケースであった。仮想エージェントALL40、60の「活動力」「共感力」「分析力」は上がって「自律力」は下がる傾向にある。また、ALL40の「持続力」は下がるが、ALL60の場合はほぼ上がるという結果となった。

表 2.8: シミュレーションによるモデルの評価

	研究室 A	研究室 B	研究室 C	研究室 D	研究室 E	研究室 F
学生数	14 人	15 人	17 人	13 人	6 人	13 人
正答率	70.0 ~ 72.5	77.5 ~ 87.5	68.5 ~ 74.0	77.5 ~ 82.5	62.5 ~ 68.7	72.4 ~ 82.7
初期値 All 40 の仮想エージェント						
活動力	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)
共感力	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)
持続力	Up (0)	Up (0)	Up (0)	Up (0)	Up (0)	Up (0)
自律力	Up (0)	Up (0)	Up (0)	Up (0)	Up (0)	Up (0)
分析力	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)
初期値 All 60 の仮想エージェント						
活動力	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)
共感力	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)
持続力	Up (90)	Up (100)	Up (90)	Up (100)	Up (100)	Up (100)
自律力	Up (30)	Up (100)	Up (40)	Up (40)	Up (100)	Up (0)
分析力	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)	Up (100)

この結果では、偏差値が全体的に高い、優秀であるエージェントは、どんな研究室になっても、成長する傾向があることが読み取れる。一方、どのエージェントでも、「自律力」については成長させることが難しいということが読み取れた。特に初期値の低い仮想エージェントに顕著である。これらは研究室運営においてヒントになる可能性がある。

第3章 場と持続力の関係

前章のモデリング分析において、場と学生の成長の関係が十分に捉えられなかったことから、本章では、場と学生の成長の関係を考察する。そのためにも、知識創造場をデザインするための概念的枠組みを考案する。ついで、システム概念による知識創造場の評価項目を選定し、予備的な調査を報告する。

3.1 「場」の概念的枠組み

遠山・野中 [47] は「知識創造場」を「知識創造のプロセスにおいて共有され再定義される動的な文脈」と呼んでいる。ここで扱われる「場」とは物理的な空間だけを意味するわけではなく、インターネットによるヴァーチャルな空間や、同じ経験の共有、同じアイデアの共有といったよりメンタルな空間を含むものであるとし、「人間存在の基盤となる時空間を含む場所性の概念」と捉えている。また、知識というものは、それが独立して存在し得るものではなく、常に人々によって共有される文脈としての場に埋め込まれた形でしか存在しえないと考えられている。従って、効果的な知識創造を行うためには、その知識の存在基盤となる「場」を創っていくことが求められる。つまり、「場」は知識創造プロセスにエネルギーを与え生み出される知識の質を決定すると考えられている。この場を前述した「知識創造場」と呼んでいる。

本稿で扱う知識創造場も以上のようなものであるが、「知識創造場」の概念をシステム論により再構築することを試みる。なぜなら、野中らの場の定義は評価観点とするには抽象的過ぎるからである。従って、より具体的にするために、システム概念を導入し、「知識創造場」のデザインと評価の枠組みを以下のように定義する。まず、

- 知識マネジメントに全体論的視点を導入する
- システム化のための概念的枠組を設定する

ことによってデザインし、

- 要素の評価 = システム要素（インフラ、アクター、情報）の性能
- 創発の評価 = 要素間の相互作用の結果としてのアウトプット評価

というコンセプトで評価する。

3.2 「場」概念の再考

「場」という言葉を学術用語として使用するためには、人々が「場」について共通の認識を持つにいたらなければならない。然るに、学術用語としての「場」は現在にいたるまでそのように定義されているとは考えられない。それは「場」という日本語の単語が英語などの外国語に翻訳できないことから示唆される。「場」という単語の持つ奥深さと多様性、それらを認識しつつ、各自は「場」の内容と境界を自由に定めることが許される。

「システム」という学術用語も、過去半世紀以上にわたって何度も再定義されてきた。しかし、各学問分野に特有の複雑性との関係で、学問分野ごとに定義しておく必要がある。チェックランド [48] による定義は

「システムとは、階層構造と創発特性を有し、通信と制御の機能を持ち、変化する環境に対して生存しつづけることができる総体」であり、日常用語としての「システム」との混乱を避けるために、チェックランドは「ホロン」という用語を充てるべきであったと述懐している。

遠山・野中 [47] は、知識創造に結びつく「よい場」の条件として以下のものをあげている。

1. 独自の意図、目的、方向性、使命などを持った自己組織化された場所
2. 参加者のコミットメントが存在する (場の目的にコミットし、場において生起するイベントに積極的に関与する)
3. 内部からと外部からの2つの視点を同時にもたらす
4. 参加者が直接経験をすることができる
5. 物事の本質に関する対話が行われる
6. 境界が開かれている (参加者が自由に出入りし、共有された文脈が絶えず変化していく)
7. 形式知を実践を通じて自己に体化することができる実践の場
8. 異種混合が行われる
9. 即興的な相互作用が行われる

以上のように、よい場の条件を、独自の意図、目的、方向性、使命などを持った自己組織化された場所であること、境界が開かれていること、相互作用が行われること、等と言及しており、チェックランドの「システム」と野中の「場」は共通点が多く同じことを言おうとしている可能性がある。

3.3 システム概念による「場」の再定義

場を設計するためにここで用いる「システム」を定義する。野中らが言う「よい場」とは、科学的知識のみならず、経験や洞察に基づく主観的知識を取り扱うため、ここでのシステムには関与する人々と、関与者たちが持つ知識、知識化される前のデータや情報が含まれる必要がある。

人間や情報を含めた複雑な総体をシステムとして認識することは可能である。しかし、認識したシステムは実在そのものではない。このような総体は主体によって異なるシステムとして認識されざるを得ない複雑性、多様性を持っているからである。このようなシステムをソフトシステムと呼ぶ事とする。チェックランドの「システム」の定義はソフトシステムを意識したものであり、野中郁次郎氏の「場」と共通した哲学的背景を有していると考えられる。

そこで、操作可能性と概念の共有可能性を高めるために、次の図式を導入する。

- 場 (ソフトシステム) = インフラ (ハードシステム) + アクター + 情報

場のインフラとして、人間を含まないハードシステムを設計・構築する。これは場所、ルール、情報インフラなどを含む実在のシステムを設計・構築することであり、エンジニアリングである。その上に、どのような人々を投入すべきか、どのような情報を投入すべきか、というソーシャルサイエンスを被せるという構図である。システムには物質やエネルギーの投入が必要であるが、それらはインフラが兼ね備えるべきものとして織り込み済であるとする。

「よい場」であるためには、その要素であるインフラ、関与者、情報の相互作用により、独自の意図、目的、方向性、使命などを持った自己組織化された時空間となる必要がある。従って、相互作用を意識し、

- 場 (ソフトシステム) = インフラ (ハードシステム) × アクター × 情報

と記述することもできよう。ここでは、システム概念により以下のように整理する。

- 場(ソフトシステム) = { 要素の集合、関係の集合、特性の集合 }
- 要素の集合 = { インフラ、アクター、情報 }
- 特性の集合 = { 創発、階層、通信、制御、... }
- 関係の集合 = 複雑 (この探求が課題)

関係を整理するために、全体論的視点・システム化のための概念的枠組みを導入する必要がある。

3.4 知識を統合し創造するシステム

ここでは、異なるタイプの知識を統合・管理し、また新しい知識を創造するシステムについて考察する。我々はこれを知識創造システムとよび、このシステムの全体論的視点と概念的枠組みを導入する。

これは、「正当化された真なる信念」あるいは、「システミックな知識」を創造するための知識科学における一つの研究である。この研究は自然科学と社会科学のアプローチを相互補完的に利用する。物理法則、データ解析手法などを駆使した科学的分析手法、大規模なコンピュータ・シミュレーションという情報科学の手法、組織や社会の構成員のパートナーシップ形成に関する社会科学的手法、及びそれらを総合的に管理するシステム科学的手法を有機的に用いる方法論である。

この方法論の目的は統計的データと個々の人間の持つ断片的知識を組み合わせ、*“誰も持っていない知識”*を導出することである。新しい知識は創発的知識と呼ぶことができるが明示的に表現することができない暗黙知である。暗黙知でないとするれば、少なくともシステムがそれをもつことになり、*“誰も持っていない知識”*という言い方に矛盾する。従って、創造された暗黙知を形式知に変換するプロセスを我々のシステムは保有していなければならない。これはプロジェクトのメンバーあるいは問題関与者が知識創造システムの一部を構成することを意味する。すなわち知識創造システムは参加型システムである。

以上を踏まえ、中森 [36] が参加型の問題解決方法論として提案している知識創造システムを全体論的視点・システム化のための概念的枠組みとして導入する。この知識創造システムは5つのサブシステムからなる。ただし、以下に紹介するサブシステムのうち2番目、3番目、4番目のものは通常それ自体で任務を完了することは難しく、その場合、それらは全体システムとまったく同じ構造の下位システムを内包する。

1. Intervention:これまで関わっていなかった問題状況に対して行動を起こす。新たな問題を解決するためには、どのような知識が必要であるかについて考察し、以下3つのサブシステムにそれらの知識を収集することを依頼する。
2. Intelligence:ものごとを理解し学ぶ我々の能力を高める。必要なデータと情報を収集し、それらを科学的に分析し、シミュレーションや最適化を図るためのモデルを構築する。
3. Imagination:新しいあるいは既存のものごとに関する我々自身のアイデアを作り出す。情報技術を駆使して、部分的な情報に基づいて複雑な現象をシミュレートする。
4. Involvement:我々と他の人々との関心や情熱を高める。会議を開催したり、聞き取り調査等により、人々の知見を収集する。
5. Integration:異質の知識を密接に関連するように結合する。上述の3つのサブシステムからのアウトプットの信頼性、正当性を検証する。

図 3.1: 研究室における学生の成長自己申告

3.5 場の評価項目

本節では、図 3.1[49] に示すように、知識システムの3つのサブ階層システム概念に基づく3つの“場の評価(研究室評価)”と、“システム性能の評価”についての具体的な評価項目を検討する。また“学生の成長”について評価尺度と評価項目を提案する。

前節で導入した「Intelligence」、「Involvement」、「Imagination」に対応して「集成場」、「交流場」、「想像場」という概念を導入する。以下では、知識創造システムでデザインされた「場の評価」、その場から生み出された創発成果としての「システム性能評価」について、これまでのシステム概念に基づいた評価観点を示すとともに評価項目を示す。Intelligenceには客観、論理、経験、知能に関わった「原理・事象の領域」を対応させ集成場という名で呼び、評価基準は集成能力として、「研究室の知識収集・管理能力」を評価するための評価観点を以下のように定義する。

- インフラ = 図書館、ネットワーク
- アクター = 教員、学生

- 知識情報 = 科学的な知識・情報

Involvement には興味、感情、信頼、共感などに関わった「社会・関係の領域」を対応させ交流場という名で呼び、評価基準は交流能力として、「研究室の知識伝達・伝承能力」を評価するための評価観点を以下のように定義する。

- インフラ = 講義室、ゼミ室、実験室
- アクター = 教員、学生
- 知識情報 = 経験に基づく知識・情報

Imagination には主観、直感、知恵、記憶に関わった「認識・心理の領域」を対応させ想像場という名でよび、評価基準は想像能力として「研究室の知識獲得・創造能力」を評価するための評価観点を以下のように定義する。

- インフラ = ブース、寮、喫茶室
- アクター = 教員、学生
- 知識情報 = 洞察に基づく知識・情報

そして以上の場の評価概念と野中らによる「よい場」の条件とを以下のように対応させている。

- 集成場
 - インフラ : 境界は開かれているか
 - アクター : 意図、目的、方向性、使命等を持っているか
 - 情報 : 内部からと外部からの2つの視点を持っているか
- 交流場
 - インフラ : 異種混合が行なわれるか
 - アクター : メンバーのコミットメントが存在するか
 - 情報 : 物事の本質に関する対話が行なわれるか
- 想像場
 - インフラ : メンバーが直接経験をすることができるか
 - アクター : 形式知を実践を通じて自己に体化することができるか
 - 情報 : 即興的な相互作用が可能か

また、弓野 [50] による「生きる力の育成を目指すための学習設計」の16項目のうち9項目がアクターの能力に対応している。

1. 深い理解と多角的な思考力 (集成場のアクター)
2. 創造力 (想像場のアクター)
3. リーダーシップとフォロワーシップ (交流場のアクター)
4. 表現力 (交流場のアクター)
5. 自己と個性

6. 学習に対する責任感（集成場のアクター）
7. 共感力と支援力（交流場のアクター）
8. 好奇心（集成場のアクター）
9. 勇気
10. 自己効力感
11. 集中力（想像場のアクター）
12. 自主的態度（想像場のアクター）
13. 競争的態度と共同的態度
14. 環境と調和を実践する態度
15. 国際理解教育で伸ばす知識・能力・態度
16. 地域特性及び問題の理解とそれを解決する能力・態度

以上を基にした評価項目を以下に示す。集成場のコンセプトは、「研究室の知識収集・管理能力に関する調査」とし、以下の評価項目を作成した。

- インフラ

1. 研究に必要な図書・雑誌・文献、実験装置は整備されているか、あるいは、すぐに入手できるか。
2. 教員・先輩の研究論文、ゼミ・実験の記録等は整備されているか。
3. 外部情報の収集システム、ネットワークシステムは完備されているか。

- アクター

1. メンバーは科学や社会に強い関心を持っているか。
2. メンバーは研究室のミッションを理解し、必要な情報収集・管理に努めているか。
3. メンバーは多様な情報を用いて研究開発を実施しているか。

- 情報

1. 科学技術の現状、研究の動向、学会の傾向、重点領域に関する情報を収集整備しているか。
2. 政策、規制、社会、経済、環境等、研究の発展・制限に関する情報を収集整備しているか。
3. 研究計画・開発マネジメント、知財マネジメントに関する情報を収集整備しているか。

交流場のコンセプトは、「研究室の知識伝達・伝承能力に関する調査」とし、以下の評価項目を作成した。

- インフラ

1. 意見交換の場所（ゼミ室、コラボ、リフレッシュルーム等）は整備されているか。
2. 教育プログラム（研究指導、外部研究者との交流等）は確立されているか。
3. 意見交換システム、グループウェア等は整備されているか。

- アクター

1. リーダーシップは発揮されているか。

2. メンバーは発表能力・コミュニケーション能力を訓練されているか。
3. メンバーは仲間の研究へ関心を持ち、積極的に意見を述べるか。

- 情報

1. 教員・先輩の経験に基づく研究遂行に関する知識を有効利用しているか。
2. 研究を遂行する上ですぐに必要のない情報が蓄積されているか。
3. 研究生活の動機、生きがい等について対話がなされているか。

想像場のコンセプトは、「研究室の知識獲得・創造能力に関する調査」とし、以下の評価項目を作成した。

- インフラ

1. 一人で熟考できる場所（個室、ブース、喫茶室等）は確保されているか。
2. 実験室、実験器具、コンピュータ、研究費等は満足できるか。
3. 発想支援システム、知識体系化システム等は整備されているか。

- アクター

1. メンバーは知識創造に向って自律的に活動しているか。
2. メンバーの企画力、分析力、問題解決能力は満足できるか。
3. メンバーの忍耐力、持続力、感性、成功に対する意欲は満足できるか。

- 情報

1. メンバーの創造性・洞察により新たな知識が生まれているか。
2. メンバーの即興的な相互作用により新たな知識が生まれているか。
3. メンバーは企画法、実験法、まとめ方、発表法に関する情報を持っているか。

3.6 システム性能の評価項目

場を評価するとともにその場で生み出された成果を評価することが重要である。これをシステム性能評価とよぶ。この評価はシステム概念において知識創造をおこなう Integration に対応している。このシステム性能評価では、評価基準を満足度とし、人材育成、研究論文、知識蓄積、特許取得、入学希望者、社会貢献に関する評価項目と成っている。

- 研究は予定通りに進行しているか（計画性、資金面、人材面）
- 著書・論文、特許は満足なレベルに達したか（量と質）
- 知識やスキルは蓄積されたか（ライブラリー、アーカイブの構築）
- 外部と連携は活発になったか（技術移転、製品化、共同研究、人脈）
- 社会的影響力、認知度は上昇したと思うか（入学希望者、見学者、報道）
- 研究資金は取りやすくなったと思うか（内部資金、外部資金）
- 研究室は活性化されてきたと思うか（独創的知識創造、新テーマ創出）
- 有能な人材が育成されつつあると思うか（次世代リーダー、研究後継者）

- 研究室運営はうまくいっていると思うか(コミュニケーション、組織的教育)
- 構成員は幸せだと思うか(満足度、将来性)

「学生の成長満足度」については以下の項目を指導教官に提示した。

- 活動力(創造力、好奇心、先見性、実行力)は向上したか
- 共感力(支援力、表現力、伝達力)は向上したか
- 持続力(集中力、計画力、将来性)は向上したか
- 自律力(責任感、自主性、情緒安定性)は向上したか
- 思考力(分析力、論理性、独創性)は向上したか

3.7 補足的調査

本節では、前節で考案した「場の評価と「システム性能」、そして「学生の成長満足度評価」の予備的な調査を実施し、得られた知見を報告する。この調査は6つの材料研究室の指導教官を対象に、ここ数年を通してどうであったかを質問した。これらの質問の全ての評価尺度は5段階で「満足している」「不満である」という主観的な評価尺度で尋ねている。

結果として、表3.1「場の評価とシステム性能評価との相関係数」、表3.2「場の評価と構成員の成長に関するデータの相関係数」を示す。ただし、データが少ないため統計的に十分意味のあるものではないことに注意する。

表 3.1: 場の相関とシステム性能の相関係数

知識創造場	集成場			交流場			想像場		
	インフラ	アクター	情報	インフラ	アクター	情報	インフラ	アクター	情報
研究は予定どおりに進行しているか	0.50	0.72	0.24	0.47	0.57	0.69	0.64	0.19	0.43
著書・論文、特許は満足なレベルに達したか	0.61	0.62	-0.02	0.18	0.43	0.60	0.77	0.02	0.05
知識やスキルは蓄積されたか	0.61	0.82	0.72	0.68	0.68	0.87	0.68	0.75	0.83
外部と連携は活発になったか	0.06	0.27	-0.14	-0.04	0.18	0.16	0.14	-0.29	-0.05
社会的影響力、認知度は上昇したと思うか	0.21	0.12	0.52	0.19	0.42	0.18	0.05	0.43	0.31
研究資金は取りやすくなったと思うか	0.40	0.23	-0.29	-0.48	0.03	0.17	0.47	-0.23	-0.52
研究室は活性化されてきたと思うか	0.50	0.87	0.68	0.33	0.65	0.81	0.56	0.57	0.66
有能な人材が育成されつつあると思うか	0.74	0.76	0.63	0.26	0.74	0.78	0.73	0.60	0.44
研究室運営はうまくいっていると思うか	0.72	0.69	0.09	-0.00	0.43	0.66	0.85	0.16	-0.01
構成員は幸せだと思うか	-0.00	-0.49	-0.68	-0.36	-0.17	-0.45	-0.06	-0.65	-0.79

表 3.2: 場の相関と構成員の成長に関するデータの相関係数

知識想像場		活動力	共感力	持続力	自律力	思考力
集成場	インフラ	0.36	0.10	0.77	0.26	0.04
	アクター	0.21	0.56	0.85	0.84	0.77
	知識情報	-0.28	-0.17	0.68	0.38	0.39
交流場	インフラ	-0.62	-0.26	0.23	0.25	-0.12
	アクター	-0.28	-0.09	0.59	0.35	0.11
	知識情報	0.10	0.36	0.88	0.70	0.55
想像場	インフラ	0.30	0.35	0.82	0.45	0.21
	アクター	-0.16	-0.18	0.76	0.29	0.26
	知識情報	-0.46	-0.03	0.50	0.57	0.45

補足調査の結果、表 3.1 の場と教育研究成果の関係では、知識やスキルの蓄積、研究室の活性化、人材育成の3つは、場の良否に線形的に強く関係している。また、集成場のアクター、交流場の情報、想像場のインフラに加え、集成場のインフラ、想像場の情報が知識やスキルの蓄積、研究室の活性化、人材育成に加え、研究の進捗、組織的教育に線形的に関係している。

外部との連帯、社会的影響力の向上、研究資金の取得は、場の良否と線形的には関係していない。これらは教員の努力に関連するものであるから、この結果は納得できる。

構成員の幸福度については、場の良否と反対方向の線形的関係が見られる。特に集成場のアクターと情報、交流場の情報、想像場のアクターと情報は構成員の幸福度と反対の方向を向いている。指導教官達は、場を整備すればするほど、特に、知識の収集・交換・創造に一生懸命取り組むほど学生達が気の毒であると見ているようだ。

表 3.2 では、構成員の能力と場の関係では、構成員の5つの能力のうち、持続力が場の良否に線形的に強く関係していることが分かる。また、集成場のアクター、交流場の情報、想像場のインフラが構成員の成長に線形的に関係している事がわかった。

データ数が少ないため結論は出せないが、相互作用ルールからは十分に説明できなかった「持続力」は「場」というファクターにより説明できる可能性がある。補足調査から、よい場を提供すれば、教育・研究両面の成果が上がると考えてよい。

第4章 知識創造場のデザイン

本章では、知識創造プロセスのモデルに基づいて、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。ここでは環境と自己成長能力を評価対象とする評価モデルを構築し、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をおこなう。

4.1 知識創造プロセスのモデル

経営科学の分野において、野中と竹内が1995年に国際出版した著書「知識創造企業」はあまりに有名である。その中で紹介されている「SECIスパイラル」の原理が認識論にとって革新的であるのは、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。モティツカは、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Gasson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Gasson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。

ウリツピ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。

組織的アイデア創造 SECIスパイラル [32] 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 4.1: 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。概念や比喻を使用し、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。

科学創造 ARME スパイラル [33] 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すことになる場合、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喻が得られ、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 4.2: 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。

西洋の組織文化 OPEC スパイラル [34] 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 4.3: 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。

解釈学的 EAIR スパイラル [51] 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 4.4: 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对象の認識の間で起こる。
- Reflection: この遷移は直観的对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。

相互主観的 EDIS スパイラル [51] 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 4.5: 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。

実験的 EEIS スパイラル [51] 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 4.6: 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。

4.2 知識の統合と創造の方法論

i-System (Knowledge Pentagon System) [36] 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 4.7: *i*-System.

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 [51]。「*i*-System」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)、「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性が生じてくる。

「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も達成しえない。

「統合」次元は、創造的プロセスのシステムのジンテーゼ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。

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 [52]。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) (原理/事象の領域、社会/関係の領域、認識/心理の領域)
- 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 (*Intelligence*, *Involvement*, *Imagination*)
- 行為 (Action) 知るという社会的行為 (*Integration*, *Intervention*)
- 構成物 (Constructs) 構成されるもの (知識、問題)

4.3 研究活動・研究環境の評価モデル

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 拠点の最大の特徴は、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。

大学院研究における知識創造モデル 本研究の提案は、図 4.9 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 4.8 のような Triple Helix Model を提唱している。

図 4.8: The Triple Helix Model

図4.9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 4.9: 大学院研究室における知識創造モデル.

第5章 アンケート調査とデータ解析

図 4.9 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、以下においては、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。

5.1 アンケート質問紙と調査

本学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 5.1 に示したように109名の学生から回答が得られた。次の5.2節では、表 5.2 から表 5.5 に研究室ごとの平均点を示す。そして、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。5.3節では、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。

質問項目

A. あなた自身の研究活動に関する質問

- A-1. 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。
- A-2. 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。
- A-3. 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。
- A-4. 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すか。
- A-5. 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すか。
- A-6. 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。
- A-7. 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。
- A-8. 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

B. 研究室、大学の研究環境（指導を含む）に関する質問

- B-1. 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。
- B-2. 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。
- B-3. 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。
- B-4. 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。
- B-5. 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。

- B-6. 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。
- B-7. 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。
- B-8. 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

表 5.1: 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)

5.2 データの平均分析

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 5.1 は能力の自己評価の平均を示したものである。太線 が前期課程学生 72 名の平均であり、細線 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。

図 5.1 より、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 5.2 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 5.6 と表 5.7 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 5.6 が前期課程学生 72 名のデータを用いたもので、表 5.7 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とがらであり、今後教育上の配慮が必要となろう。

表 5.2: 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 5.3: 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 5.4: 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 5.5: 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

図 5.1: 能力の自己評価の平均

図 5.2: 重要性の認識に関する平均

表 5.6: 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 5.7: 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	

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 5.3 は研究環境評価の平均を、図 5.4 は環境の必要性の度合いを示したものである。太線が前期課程学生 72 名の平均であり、細線が後期課程学生 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 5.4 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 5.4 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。

図 5.3: 研究環境評価の平均

図 5.4: 環境の必要性の度合

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。

表 5.8: 前期課程学生の研究環境評価における項目間相関行列

項目	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 5.9: 後期課程学生の研究環境評価における項目間活動評価

項目	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	

5.3 データの対応分析

この章では、ファジィ対応分析 [54] を用いて、研究室の知識創造プロセスにおける相対的な強化ポイントと弱点を提示する。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。平面に研究室の特徴とその項目をマッピングして見ることができ、評価の対象となった研究室での相対的な特徴に対する評価が可能となる。

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、本研究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、以下のような特別の場合になっている。

ファジィ対応分析 $E = \{1, 2, \dots, K\}$ 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 k が評価した対象集合とするとき、

$$|O_k| = 1, \forall k; \quad E_m \cap E_{m'} = \phi, \quad m \neq m'; \quad \sum_{m=1}^M |E_m| = K \quad (5.1)$$

となる。通常の対応分析（数量化 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、

$$Z_{mn} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K Z_{mnk} \quad (5.2)$$

$$P_{mn} = Z_{mn} / \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N Z_{mn} \quad (5.3)$$

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

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_M)^t, \quad y = (y_1, y_2, \dots, y_N)^t \quad (5.4)$$

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。

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \longrightarrow \max \quad (5.5)$$

ただし、ここで、分散、共分散は

$$\sigma_x^2 = \sum_{m=1}^M p_{m\bullet} x_m^2 - \left(\sum_{m=1}^M p_{m\bullet} x_m \right)^2, \quad \sigma_y^2 = \sum_{n=1}^N p_{\bullet n} y_n^2 - \left(\sum_{n=1}^N p_{\bullet n} y_n \right)^2 \quad (5.6)$$

$$\sigma_{xy} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N p_{mn} x_m y_n - \sum_{m=1}^M p_{m\bullet} x_m \sum_{n=1}^N p_{\bullet n} y_n \quad (5.7)$$

で与えられ、 $p_{m\bullet}$ 、 $p_{\bullet n}$ は

$$p_{m\bullet} = \sum_{n=1}^N p_{mn}, \quad p_{\bullet n} = \sum_{m=1}^M p_{mn} \quad (5.8)$$

で与えられる。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。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、

$$(x_{2m}, x_{3m}), m = 1, 2, \dots, M, \quad (y_{2n}, y_{3n}), n = 1, 2, \dots, N \quad (5.9)$$

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。

$$\mu_{X_{2m} \times X_{3m}}(\mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3) = \exp\{-d_X^{-1}\{(\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_{2m})^2 + (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_{3m})^2\}\} \quad (5.10)$$

$$\mu_{Y_{2n} \times Y_{3n}}(\mathbf{y}_2, \mathbf{y}_3) = \exp\{-d_Y^{-1}\{(\mathbf{y}_2 - \mathbf{y}_{2n})^2 + (\mathbf{y}_3 - \mathbf{y}_{3n})^2\}\} \quad (5.11)$$

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。

$$(\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_{2m})^2 + (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_{3m})^2 = d_X(-\log \alpha) \equiv s_m^2 \quad (5.12)$$

$$(\mathbf{y}_2 - \mathbf{y}_{2n})^2 + (\mathbf{y}_3 - \mathbf{y}_{3n})^2 = d_Y(-\log \alpha) \equiv t_n^2 \quad (5.13)$$

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。[54]

類似度 ここでは、項目と研究室の類似性を検討する。研究室 m の示す半径の中心座標と半径は、 $(\tilde{x}_{2m}, \tilde{x}_{3m})$ と、 s_m で示した。そして項目 n の座標は、 $(\tilde{y}_{2n}, \tilde{y}_{3n})$ で、 t_n は半径を示し、図における項目と研究室の距離は以下の式を用いて計算される。

$$d_{mn} = \sqrt{(x_{2m} - y_{2n})^2 + (x_{3m} - y_{3n})^2} \quad (5.14)$$

そして、類似度は以下の式で定義する。

$$S_{mn} = \frac{\exp\{s_m + t_n\}}{\exp\{2r\} \exp\{d_{mn}\}}, \quad r = \max\{s_m, t_n\} \quad (5.15)$$

この指標を用いて、研究室の強化されている箇所、弱い側面を提示する。

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、以下の分析をおこなう。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 5.5 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。本研究では研究室は匿名とする。データは各研究室の前期課程・後期課程学生のものを用いている。図 5.6 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 5.10 及び表 5.11 はそれぞれ図 5.5、図 5.6 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“社会的意義の理解能力”の重要性を訴えている。研究室 L6 は表 5.2 の研究能力自己評価が 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 5.2 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 5.5 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 5.11 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 5.6 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、各研究室を示す円の半径の大きさと項目を示す円の位置の近さを考慮すると、学生達はより具体的な能力の向上に目標を定めていることがわかる。

図 5.5: 能力評価の対応分析

図 5.6: 能力重要性の対応分析

表 5.10: 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 5.11: 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

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 5.7 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・後期課程学生のものを用いている。図 5.8 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 5.12 及び表 5.13 はそれぞれ図 5.7、図 5.8 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な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。

図 5.7: 環境評価の対応分析

図 5.8: 環境必要性の対応分析

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 5.4 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 5.4 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。

表 5.12: 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 5.13: 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

在学期間による学生間の意識の相違 - 研究能力 - 図 5.9 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。

図 5.9: 能力評価の対応分析（全学生）

図 5.10: 能力評価の対応分析（後期課程）

表 5.14 は図 5.10 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 5.10 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 5.15 は図 5.10 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。

本学では入学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。

表 5.14: 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 5.15: 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

在学期間による学生間の意識の相違 - 研究環境 - 図 5.11 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。

図 5.11: 環境評価の対応分析（全学生）

図 5.12: 能力評価の対応分析（後期課程）

表 5.16 は図 5.11 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 5.12 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 5.17 は図 5.12 に対応する類似度行列である。これを見ると表 5.12 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。

表 5.16: 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=社会的重要性理解	0.05
B2=先行研究調査	0.04	B4=社会的重要性調査	0.02	B4=社会的重要性調査	0.04

表 5.17: 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=社会的重要性調査	0.17	B6=研究遂行能力	0.15
B4=社会的重要性調査	0.12	B2=先行研究調査	0.16	B5=社会的重要性理解	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=社会的重要性調査	0.03

第6章 おわりに

本研究では、科学技術開発現場の大学院生たちが教員や他の学生達との相互作用や環境からの影響によって、知識創造あるいは知識マネジメントの観点から、どのように成長していくかをアンケート調査とモデリング分析によって解明しようと試みた。

まず、大学院実験系研究室における構成員間の相互作用ルール及び自己変革ルールを導出した。ルールの候補は性格心理学の Big Five 理論における性格因子「外向性」「協調性」「勤勉性」「情緒安定性」「知性」に関する性格記述文から抽出した。相互作用及び自己変革ルールは性格そのものではなく、行動面に現れる現象「活動力」「共感力」「持続力」「自律力」「分析力」によって記述した。

構成員に対する主要 5 因子性格調査から各構成員の初期値を決定し、構成員の自己申告による上記行動面の変化を目標値とするデータに基づいて、遺伝的アルゴリズムによって研究室ごとの支配的なルールを選択した。その際、行動面の 5 つの値の更新アルゴリズムにおいてシグモイド関数を導入して、更新パラメータの設定等の困難性を回避した点に技術的な新規性がある。

ところで、遺伝的アルゴリズムにおける種々のパラメータ（遺伝子の数、相互作用の数、ランダムな繰り返し回数、次世代の生成における親の数、突然変異の方法と変異させるビット数、世代数）の最適な設定は、エージェントの数にも関連し簡単に決定できるものではない。本研究では何度かの試行錯誤によってあたりをつけたパラメータを使用した。本来は、複数回の試行の平均を示すか、複数回の試行の共通性を示した後に代表的なモデリング結果を示す必要がある。従って、今回のデータによるモデリング結果の一般性は主張できないが、本研究の趣旨は、上述のように相互作用ルールと自己変革ルールを選択する手法を提案したことである。

大学院生がいかに成長するかは、第 1 に自己の意識、第 2 に指導法を含めた教育プログラムであろう。しかし、ここで注目したのは「学生間の相互作用」と「自己変革」である。いくら優れた教育プログラムが用意されていても、数年間ともに学び、研究を行う仲間達がどのような人間の集まりであるかが、学生の成長に少なからず影響するのではないか。これが本研究の動機である。

性格から導かれるパフォーマンス因子の導入が本稿の 1 つのオリジナリティであるが、現段階では十分な検証がなされていない。また、データフィッティングによりルール選択を実施しているため、意味論的な考察も十分ではない。これらはさらに多くのデータに当たることにより検証していかなければならない。また、性格記述文のみからルール候補を選択したため、「持続力」の変化を説明しきれていない。これについては研究室環境の影響を考慮するルールを発見することによって補強される可能性があり、今後の課題である。

なお、本稿では相互作用及び自己変革ルールからなるエージェントベースモデルの構築を試みたが、各エージェントが共通のルール群から確率的に、あるいは戦略的にルールを選択するなどの工夫を取り入れ、メンバーのパフォーマンス変化とグループ全体の成果（研究、仕事など）との関係を調べるといったシミュレーション研究へ展開させることも今後の課題である。また、本稿では、まだモデリングの段階であるが、シミュレーションとアンケート調査を繰り返し精度を上げていけば、性格心理学研究や集団心理学研究に対して、ゲーミング・シミュレーションが貢献ができる可能性がある。

つぎに、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概観した後に、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。

本研究では、Wierzbicki の 3 つのモデル EAIR Spiral、EDIS Spiral、EEIS Spiral を中森の知識創造システ

ムと組み合わせたモデルを提案した。ただし、内容は大学院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。このモデルに基づいて、研究活動・研究能力に関するチェックリストと、研究環境・研究指導に関するチェックリストを作成し、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。本研究では、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し、つぎに、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した。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した。その結果いくつかの有用な知見が得られた。

今後の課題として以下のことが挙げられる。

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- ここでは、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、研究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。

謝辞

本論文の全体は、著者の恩師である中森義輝先生の指導の下にまとめられたものです。非常なるご多忙にもかかわらず、論文の内容の研究計画、研究ディスカッション、全ての行程にいたるまで、また、調査に関わる貴重な経験、精神的な支援にいたるまで、厚く深いご指導を終始賜りましたこと篤く御礼申し上げます。また本論文の内見を行なっていただきました指導教官の橋本敬先生、佐藤先生、本田先生に篤く感謝申し上げます。そして、本論文と内見、構成に関するご指導を行なっていただきました領家美奈先生に篤く御礼申し上げます。

本研究は非常に多くの人に支えられて行なわれました。まず第1に、本研究では欠かせない2度にわたる貴重な事前アンケート調査に、大変ご多忙な中、貴重なお時間と貴重なアドバイス、そしてご指導を含め、篤い協力を頂いたCOEプロジェクトメンバーであるマテリアルサイエンス研究科の指導教官の先生方に、深く感謝申し上げます。そして同様に、今回の調査を学生に呼びかけ、アンケート調査にご協力して下さったマテリアルサイエンス研究科の指導教官の皆様、重ねて感謝申しあげます。また、協力を頂いた全てのマテリアルサイエンス研究科の学生の皆様に心より感謝申しあげます。特に、副指導教官である高木先生と、三宅先生には、マテリアルサイエンス研究科の調査に関するご協力に、大変尽力いただきました。特に高木先生には、貴重なご意見とともに、貴重な御時間を賜りましたこと、深く深く感謝申し上げます。

さらに、本研究はCOEのプロジェクトの下で研究を遂行いたしました。まず第一に、COEプロジェクトの助教授である小林先生には、研究を始める初期の段階で、貴重なご指導・御意見を頂きました。また当時、同じくCOEで欠かせない役割を担っておられました立瀬研究員には研究に関する貴重な意見とともに数多くの関連文献や資料を紹介頂きました。また、研究に際して初期の段階で、ご指導と貴重な意見を賜り、さらに貴重な体験を下さいましたJMACの佐藤さん、佐藤さんと平木さん、同時に、これらの調査のプレ調査に多大な尽力を頂きました高松君、また、同研究室での研究室内アンケートに協力をして下さいました2005年度卒業の中森研究室の修士課程の皆様、以上の皆様に篤く感謝申しあげます。

その他、COEでのセミナーや英語ゼミにて、ご指導とご意見をくださいましたWierzbicki先生、研究に関する的確な指摘とアドバイス、貴重な数々の資料を御紹介下さいました吉永さんに深く御礼申し上げます。またCOEのRAと成られたマテリアルサイエンスの学生の皆様と知識科学研究科の皆様に深く御礼申し上げます。またCOEを陰で支えて下さいました事務の蛭川さん、川端さん、河合さんには、事務の手続きから精神的な癒しまで、暖かいサポートを頂いたことを忘れません。誠にありがとうございました。

またプログラムの作成に当たり、大変有意義な情報とご指導を賜りました橋本研究室の畠山さん、研究に疲れた私を癒してくれた伊東さんと山内さん、金野さん、小林君、研究の助言から精神的安らぎをくれた宮下さん、数々の貴重な時間を気晴らしの時間としてすごしてくれた千原さん、エンさん、ニー君、村瀬さん、食事の時には研究の話をしてくれた平松さん、山下君、そして留学先では貴重な友達を紹介してくれたレンさん、このほか、研究の助言や、資料の紹介、励ましや、精神的支援を終始、絶え間なく下さいました中森研究室・橋本研究室の皆様には心より深く、深く感謝し申しあげます。

さらに、著者と同期で卒業した中森研究室の皆様には、修士課程の中森研究室配属の時点から、この年まで、遠くであるにも関わらず、研究に関する貴重な意見や気分転換に、大変ご多忙であるにも関わらずお付き合いくださいましたこと、心より深く感謝申し上げます。

何よりも、こんな年まで自由をつらぬかさせていただいている両親と祖母、妹に、篤く、篤く感謝申しあげます。

そして、中村和夫先生(長岡技術大学)と前田陽一郎先生(福井大学)には、学会の発表のセッションで知り

合うことが出来、数々の貴重なご指導と、貴重な発表の機会などを賜りましたこと誠に感謝申し上げます。特に中村先生には、大変ご多忙な中、このたびの外部審査員を勤めて頂きました。篤く御礼申し上げます。

本研究は独立行政法人日本学術振興会 21COE(Center of Excellence) プロジェクトで支援されました。日本育英会とともに、著者の全生活面と研究における多大な支援を賜りました。心より篤く感謝申し上げます。

本研究が皆様のよりよい研究活動に貢献できることを心より願ってやみません。

関連図書

- [1] J. Wang, H.P. Peters and J. Guan: Factors influencing knowledge productivity in German research groups; lessons for developing countries, *Journal of knowledge management*, Vol.10, 4, 113-126, 2006.
- [2] 永田晃也: 知識創造プロセスにおける開発リーダーの機能, *ビジネスレビュー*, Vol.47, 3, 13-29, 2000.
- [3] A.Jantunen: Knowledge-processing capabilities and innovative performance: an empirical study, *Journal of European Industrial Training*, Vol.8, 3, 336-349, 2005.
- [4] I.Nonaka and R.Toyama: The theory of the knowledge-creating firm: subjectivity, objectivity and synthesis, *industrial and Corporate Change*, Vol14, 3, 419-436, 2005.
- [5] M. Merx-Chermin and W. J. Nijhof: Factors influenceing knowledge creation and innovation in an organisation, *Journal of European Industrial Training*, Vol.29, 2, 135-147, 2005.
- [6] W. H. A. Johnson: Assessing Organizational Knowledge Creation Theory in Collaborative R & D Projects, *International Journal of Innovation Management*, Vol.6, No, 4, 387-418, 2002.
- [7] M. Nieto: From R & D management to knowledge management An overview of studies of innovation management, *Technological Forecasting & Social Change*, 70, 135-161, 2003.
- [8] 野中郁次郎・遠山亮子・紺野登: 知識ベース企業理論, *一橋ビジネスレビュー*, Aut. 79-93, 2004.
- [9] 詫摩武俊 (監修): 性格心理学ハンドブック, 福村出版, 1998, 2002.
- [10] M. J. Epstein and R. Axtell: *Growing Artificial Societies - Social Science from the Bottom Up -*, The Brookings Institution Press, 1996.
- [11] J. M.Digman and N. K.Takemoto-Chock: Factors in the Natural Language of Personality: Re-analysis, Comparison, And Interpretation of six major studies, *Multivariate Behavioral Research*, 16, 149-170, 1981.
- [12] R. R. McCrae and P. T. Costa: *Personality in Adulthood*, Guilford Press, New York, 1992.
- [13] P. T. Costa JR and R. R. McCrae: Four ways five factors are basic, *Person.individ.Diff*, Printed in Great Britain, Vol.13, No.6, 653-665, 1992.
- [14] 柏木繁男・和田さゆり・青木孝悦: 性格特性の Big Five と日本語 ACL 項目の斜交因子基本パターン, *心理学研究*, Vol.64, No.2, 153-159, 1993.
- [15] 岩熊史郎: パーソナリティ認知と社会的相互作用: 成員組み替え法による検討, *社会心理学研究*, Vol.17-1, 31-42, 2001.
- [16] 辻平治郎編: *5 因子性格検査の理論と実際*, 北大路書房, 1998.
- [17] A. A. J. Hendriks, M. Perugini, .et al: The Five Factor Personality Inventory Cross-Cultural Generalizability across 13 Countries, *European Journal of Personality*, *Eur. J. Pers.* 17, 347-373, 2003.

- [18] 和泉潔・植田一博: 人工市場入門, 人工知能学会誌, Vol.15, No.6, 941-950, 2000.
- [19] 中村茂雄・和泉潔・植田一博: 人工市場と実験市場の出会い; 模擬トレーディング実験による新しいエージェントモデルの提唱, オペレーションズ・リサーチ, Vol.46, 549-554, 2001.
- [20] 辻岡卓・山本耕司: 青果市場取引を対象とした人工市場の構築, 日本シミュレーション&ゲーミング, Vol.14, No.1, 3-10, 2004.
- [21] 井庭崇: エージェントベース経済シミュレーションのためのエージェント設計論, オペレーションズ・リサーチ, Vol.46, 561-567, 2001.
- [22] 山形与志樹・水田秀行: 京都議定書・国際輩出取引のエージェントベースシミュレーション, オペレーションズ・リサーチ, Vol.46, 555-560, 2001.
- [23] 渋谷和彦: エージェントシステムによる社会心理学研究視座, 日本シミュレーション&ゲーミング, Vol.14, No.1, 11-18, 2004.
- [24] 菅沼成正・中森義輝: 環境認知アプローチに関する社会シミュレーション, 日本シミュレーション&ゲーミング, Vol.13, No.1, 2003.
- [25] 松田稔樹: シミュレーション&ゲーミング手法の学校教育での活用に関する教育工学考察, 日本シミュレーション&ゲーミング, Vol.12, No.1, 2002.
- [26] 中村和男・吉岡松太郎・稗田哲也: 歩行者流動モデルとそのシミュレーション, 日本人間工学学会, Vol.10, 93-102, 1974.
- [27] 高木英至: 相互調整によるエージェントのクラスタ化: コンピュータシミュレーションによる検討, 日本シミュレーション&ゲーミング学会大会原稿, 2000, 参考 URL: http://homepage1.nifty.com/eiji_takagi/research/papers/papers.html
- [28] 高木英至: Social Impact シミュレーションのタネと仕掛け, 日本グループ・ダイナミクス学会第48回大会発表論文集, 2000, 参考 URL: http://homepage1.nifty.com/eiji_takagi/research/papers/papers.html
- [29] 村上宣寛・村上千恵子: 主要5因子性格検査ハンドブック, 学芸図書, 2001.
- [30] D. R. Forsyth: Group Dynamics, Third Edition, Wardsworth Publishing Company, 1999.
- [31] R. F. Bales: Personality and Interpersonal Behavior, Rinehart & Winston, 1970.
- [32] I. Nonaka and H. Takeuchi: The Knowledge Creating Company, How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press, 1995.
- [33] A. Motyka: *Science and Unconscious*. Leopoldinum, Wroclaw, 1998. (in Polish)
- [34] S. Gasson: The Management of Distributed Organizational Knowledge. In R. J. Sprague (ed.) *Proc. of the 37 Hawaii International Conference on Systems Sciences (HICSS 37)*, IEEE Computer Society Press, 2004.
- [35] A. P. Wierzbicki and Y. Nakamori: Creative Space: A Method of Integration of Recent Knowledge Creation Theories. in A. Kuklinski and B. Skuza (Eds.): *Turning Points in the Transformation of the Global Scene, The Polish Association for the Club of Rome*, Warsaw 2006, 127-148, 2006.
- [36] Y. Nakamori: Systems Methodology and Mathematical Models for Knowledge Management, *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 12, No. 1, 49-72, 2003.

- [37] O.P. John: The "Big Five" factor taxonomy; Dimensions of Personality in the natural Language and in questionnaires, In L.A.Pervin(Ed.), Handbook of personality, Theory and research, NewYork:Guilford Press, 66-100, 1990.
- [38] J. M.Digman: Personality structure: Emergence of the Five-Factor Model, AnnualReviews, 1990.
- [39] W. K. B. Hofstee, B. D. Raad and L. R. Goldberg: Integration of the big five and circumplex approaches to trait structure. Journal of Personality and Social Psychology, 63, 146-163, 1992.
- [40] J. A. Johnson and F. Ostendorf: Clarification of the five factor model with the abridged big five dimensional circumplex. Journal of Personality and Social Psychology, 65, 563-576, 1993.
- [41] O.P. John, A. Angleitner and F. Ostendorf: The lexical approach to personality; a historical review of trait taxonomic research, European Journal of Personality, Vol.2, 171-203, 1988.
- [42] L. R. Goldberg: The development of markers for the big-five factor structure, Psychological Assessment, 4, 26-42, 1992.
- [43] G.Saucier: Benchmarks; Integrating affective and interpersonal circles with the big-five personality factors. Journal of Personality and Social Psychology, 62, 1025-1035, 1992.
- [44] C. E. Osgood, G. J. Suci and P. H. Tannenbaum: The Measurement of Meaning, Univ. of Illinois Press, 1957.
- [45] 鈴木光男: ゲーム理論入門, 共立全書, 1999.
- [46] 独立法人科学技術振興機構プレスルーム編: 科学者になる方法 - 第一線の研究者が語る -, 東京書籍, 2004.
- [47] 遠山亮子・野中郁次郎: よい場と革新的リーダーシップ; 組織的知識創造についての試論, 一橋ビジネスレビュー 2000, Sum.-Aut, 2000.
- [48] P. B. Checkland: Systems Thinking, Systems Practice.John Wiley and Sons, Ltd., 1981.
- [49] 中森義輝: 知識科学に基づく科学技術の創造と実践-知識創造場の設計と評価-, 2, 2-27, 2004.
- [50] 弓野憲一: 教育心理学と実践活動 総合学習, 教育心理学年報, 第 42 集, 192-210, 2003.
- [51] A. P. Wierzbicki and Y. Nakamori: *Creative Space - Models of Creative Processes for the Knowledge Civilization Age*, Springer, December, 2005.
- [52] Y. Nakamori and Z. C. Zhu: Exploring a Sociologist Understanding for the *i*-System. *International Journal of Knowledge and Systems Sciences*, JAIST Press, Vol. 1, No. 1, 1-8, 2004.
- [53] Y. Nakamori: Designing, Utilizing and Evaluating "Technology-creating Ba" in a Japanese Scientific Research Institution, *Systems Research and Behavioral Science*, Vol. 23, 3-19, 2006.
- [54] Y. Nakamori and M. Ryoke: Treating Fuzziness in Subjective Evaluation Data. *Information Sciences*, Elsevier, Vol.176, 3610-3644, 2006.

学会誌等掲載論文（査読付き）

- Tomoko Kikuchi and Yoshiteru Nakamori: Agent Model analysis to explore effects of interaction and environment on individual performance, *Journal of Systems and Complexity*, Vol. 20, pp. 1-27, 2007.
- Tomoko Kikuchi and Yoshiteru Nakamori: Evaluation of Research Capabilities and Environments in Academia Based on a Knowledge Creation Model. *International Journal of Knowledge and Systems Sciences*, 2007. (in press)
- Tomoko Kikuchi and Yoshiteru Nakamori: Evaluation Models for Research Capabilities and Environments. *Journal of Dalian University of Technology*, 2007. (in press)

国際学会発表論文

- Tomoko Kikuchi and Yoshiteru Nakamori: Dynamics of Individual Performance by Inner-group Interaction. *Proc. of KSS2003 (The Fifth International Symposium on Knowledge and Systems Sciences)*, pp. 295-300, Guangzhou, China, November 29 - December 1, 2003.
- Tomoko Kikuchi and Yoshiteru Nakamori: An Interaction Model to Analyze Dynamics of Human Performance. *Proc. of SCIS & ISIS 2004 (Joint 2nd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 5th International Symposium of Advanced Intelligent Systems)*, FE-3-4, in CD, Yokohama, Japan, September 21-24, 2004.
- Tomoko Kikuchi and Yoshiteru Nakamori: Interaction Rules on Human Performance Changes. *Proc. of KSS2004 (The Fifth International Symposium on Knowledge and Systems Sciences)*, pp. 172-176, Ishikawa, Japan, November 10-12, 2004.
- Tomoko Kikuchi and Yoshiteru Nakamori: Effects of Interaction and Environments on Growth of Students. *Proc. of IFSR2005 (The First World Congress of the International Federation for Systems Research)*, in CD, Kobe, Japan, November 15-17, 2005.
- Tomoko Kikuchi, Yoshiteru Nakamori and Andrzej P. Wierzbicki: Modeling and Evaluation of Technology Creation Process in Academia. *Proc. of KSS2006 (The Seventh International Symposium on Knowledge and Systems Sciences)*, pp. 46-54, Beijing, China, September 22-25, 2006.

国内学会発表論文

- 菊池智子・中森義輝: 個人間のコミュニケーションモデルの提案と検討. 第14回ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集 pp.152-155, 北九州, 2004年03月13 - 14日.
- 菊池智子・中森義輝: ヒューマン・エージェント間の相互作用によるパフォーマンス変化の分析, 日本行動計量学会第33回大会発表論文抄録集, pp. 304-307, 長岡, 2005年8月26 - 29日.
- 菊池智子・中森義輝: 環境との相互作用によるヒューマン・エージェントのパフォーマンス分析. 第21回ファジィシステムシンポジウム講演論文概要集, p. 33, 東京, 2005年9月7 - 9日.