

理系ラボの教育体系の言語化とラボ内メンタリングに関する研究 —教育効果向上のためのツール(チェックリスト・リフレクションシート)活用の観点から—

和田 由里恵*

大学の理系ラボが好循環している指標の一つとなるのがラボにおける知の生産性であり、その多くはラボに所属する学生によって担われている。ラボにおける教育体系の充実が知の生産性を向上させる根幹と言えるが、ラボ教育を対象とした研究は極めて少ない。そこで本研究では、大学教育に関心を持つ理系PIを対象とし、ラボ教育の暗黙知を言語化することで、教育体系を可視化した。その結果、対象ラボの教育体系は、メンターおよびメンティーの関係性からなるメンタリングによって構造化されていることが示された。そこで、メンタリングを通して、好循環をもたらすことを目的としたツールを新たに開発し、大学教育に造詣が深い理系教員による本ツールの形成的評価を実施し、妥当性の確認および改善のための意見を得た。本研究の知見から、学生(主としてメンター)のメタ認知能力の向上にもつながるラボの教育体系を構築することの重要性を提案することができた。

キーワード：理系ラボ, 教育体系, PI, メンタリング, 形成的評価

1. 研究の背景

大学の理系ラボに必要とされる知の生産性は、ラボの活性化に直結するものであり、また、その質はラボが好循環する指標の一つともされている。知の生産性とは、質の高い論文、発明および特許の創出、研究手法・データベースの構築とその提供、研究成果に基づく製品やサービスの社会実装を意味しており、それらが相乗的に循環することで、ラボから得られる知の生産性は、社会に対する大きな影響をもたらす(隅蔵, 2013)。加えて、ラボの知の生産性を、専門家以外にも分かりやすく発信することも重要であり(隅蔵, 2013)、それを授受した人々は、ラボに対してさらなる社会ニーズを提示することで、ラボに新たな課題を生み出している。

大学のラボには、多くの学生(主として大学院生)が所属しており、ラボで行われる研究の大半は、教員が設定した課題を学生が取り組むことで実施されている(Austin, 2006; Kathy Barker, 2011)。ラボによっては、博士研究員(ポスドク)を雇用し、研究活動を精力的に実施している場合もあるが、

*教育学研究科 博士課程後期3年の課程

ポストクの有無に関わらず、ラボに所属する学生に対する教育は、ラボから得られる知の生産性を向上させる上での根幹と言える (Kathy Barker, 2011)。ゆえに、大学の理系ラボから知の生産性を持続し続けるためにも、ラボにおける教育体系を言語化することは重要である。しかしながら、我が国における理系のラボ教育を対象とした教育的研究は極めて少ないと言っても過言ではなく、その要因の一つとして、理系人材の多くが大学教育に強い関心を有していない、または、情報を共有する場がほとんどないことが考えられる。そこで本研究では、①大学教育に強い関心を持ち、かつ大学教育に関する学習経験を有する理系ラボ主催者 (Principal Investigator: 以後、PI) を対象者として選出し、②当該理系PIによるラボ教育の暗黙知を言語化し教育体系を可視化した。その後、③大学教育に造詣が深い理系人材による形成的評価を加えることで、大学教育に関する学習経験や教育ツールの活用が、ラボ教育に好循環を生み出すことを検証し、それをもとに、④当該理系PIにラボの教育体系の質向上をもたらす教育学的な提案を行った。

2. PIへのインタビューを通じた理系ラボの教育体系の言語化

理系ラボ主宰者の多くは、ラボPIになるまでの多くの時間を研究活動に費やしてきた研究のエキスパートである。一方で、教員としてのライセンスを必要としない大学のラボPIは、初等・中等教育における教員のような教育者としての訓練を受けることなく、ラボを主宰している場合が大半である。そのため、多くの場合、PIのそれまでの経験に基づく暗黙知によってラボ教育を行っているのが常であり、高等教育に関する学習経験を重要視している例は稀である。このことは、理系PIの脳内にあるラボ内教育に関する暗黙知を教育学的に言語化する際の障壁の一つと考えられた。よって、本課題における最初の調査は、東北大学に所属するラボPIの中でも、高等教育に関する学習経験を有した人材をケーススタディの対象として選出し、複数回のインタビューを行うこととした。

本研究の対象としたラボPI (以下、当該PI) は、2013年に東北大学に赴任後、東北大学高度教養教育・学生支援機構が主催する新任教員プログラム (New Faculty Program: NFP) を、また、2015-2016年度にアカデミックリーダー育成プログラム (Leadership for Academic Development Certificate Program: LAD) を受講し、その後も高等教育に関する学習を継続している人材である。また、当該ラボには、18名の学生 (博士後期課程大学院生5名、博士前期課程大学院生9名、学部生4名) が在籍しており、教授1名 (本課題での調査対象者)、助教1名、特任助教1名が教員として所属していた。このラボからは、コンスタントに大学院生が博士課程へ進学していることから、当該PIによる研究、教育活動の指導において高等教育に関する学習経験や成果を活かした何らかの工夫があるものと期待し、インタビューの対象とした。なお、インタビューは以下の通り3か月にわたり3回実施した。1回のインタビューは、1時間半から2時間であった。質問内容は、第1回のインタビューでは、研究室全体を把握するために、雑談に近い形でのインタビューであったが、それによって忌憚のない研究室の様子を知ることができた。第2回のインタビューでは、第1回で聞いた内容を掘

り下げる形でのインタビューを行った。さらに第3回のインタビューでは、第2回での回答をより探究する形の質問項目を策定した。これらのインタビュー内容をまとめ当該教授に提示し、内容に齟齬がないことも確認された。

【理系研究室における教育についてのインタビュー】

A 教授へのインタビュー

目的：理系ラボの教育体系の明確化と課題の抽出

方法：半構造化インタビュー（対面）

回数：3回（2021年9月～11月）

対象：東北大学理系教授

1. インタビュー 1回目

日時：2021年9月3日（金）

場所：A 教授研究室

質問内容

- (1) 理系ラボの全体像
- (2) 理系ラボの研究・教育方針
- (3) 理系ラボでPIになるまでのA教授の経緯

2. インタビュー 2回目

日時：2021年10月7日（木）

質問内容

- (1) 理系ラボにおける博士人材育成
- (2) 理系ラボにおける学生の研究活動
- (3) 理系ラボにおける教員と学生間のコミュニケーション

3. インタビュー 3回目

日時：2021年11月11日（木）

質問内容

- (1) 理系ラボにおける教育体系
- (2) 理系ラボにおける学生の研究成果に対する評価
- (3) 理系ラボにおける研究活動を通じた学生の成長

対象とした当該PIへのインタビュー内容をカテゴリー化し、これらの分析を通して、このラボに

における学生の研究力および教育力の向上を促す特徴として、次の2点が示された。

表1：インタビュー調査により言語化された理系ラボの教育体系

本研究で実施内容	項目	理系ラボの教育体系			
半構造化インタビュー	対象学生	課題実施者(メンティー)+上級生(メンター)			上級生(メンター)
	目的	研究内容の確認	研究活動の実施	研究結果の解釈	自己成長
	教育的スキル	正統的周辺参加	学習の5分類 チェックリスト 経験学習 足場かけ リフレクション	認知的徒弟制経験学習 リフレクション	経験学習
ステージ分類	ステージ	ステージ1	ステージ2	ステージ3	ステージ4
	タイミング	課題実施前	課題実施中・後	考察時	応用時
	確認内容	1: 研究背景 2: 社会ニーズ 3: ラボでこれまでに得られている研究成果 4: 競合者が得ている研究成果	1: 研究に用いる試薬と器具 2: 研究の実施 3: 研究成果の取得 4: リフレクション	1: 研究成果の解釈 2: 当初の仮説と得られた成果との比較 3: リフレクション 4: 次なる研究課題の設定	1: メンター自身の課題との関連性 2: メンター自身の課題への応用 3: メンター自身の課題を発展的に実施 4: メンター自身の成長

1つ目として、このラボでは、上級生は自分自身の課題に取り組むだけでなく、下級生の研究活動にも積極的に参加していた。具体的には、上級生は下級生への指導を通して、自分自身の理解不足を補うと同時に、下級生に指摘事項を理解させるための工夫を繰り返しており、下級生の疑問を共に考えることにより、上級生の視野が相乗的に広がる仕組みが散見された。2つ目として、上級生と下級生とで実施される研究活動を充実させることを目的とした教育活動は、複雑に段階的に構造化されており、その過程で、進捗状況を確認するための仕組みが備わっていた。特に、上級生と下級生間での①研究内容の確認、②研究活動の実施、③研究結果の解釈の3つのステージに加え、その後に行われる上級生に期待される④自己成長からなるステージが重要視されていた(表1)。

半構造化インタビューを通して、ラボで行われる教育体系の一連のプロセスを言語化した結果、対象とした理系ラボでは、下級生(課題実施者)が課題(実験)に取り組むに当たって、当該PIから課題実施者への説明を行った後、上級生がその課題をサポートするために補足説明を行うなどの仕組みが出来上がっていることが示された。具体的には、上級生は、当該PIが課題を策定するに至った社会ニーズをさらに明確にした上でそれを課題実施者に伝え、さらには、取り組む課題がラボ内の共通目標とどのような関連性があるのかを理解させるための「研究目的の確認」が行われていた。研究目的を明確にした課題実施者は、その後も上級生の支援を受けながら、実験に取り組むことになるが、そこでは、①最初は上級生が実施する実験手法を課題実施者が見る、②次に上級生と課題実施者が一緒に実験を実施する、③上級生の監督の下、課題実施者が1人で実験を実施するという

三段階の工夫が備わっており、それらは、「研究を通した教育」の仕組みと考えられた。

表2: 理系の教育体系と既存研究との関連

既存の研究	理系ラボの教育体系						
	ステージ1	ステージ2			ステージ3	ステージ4	
認知的 徒弟制の ステップ	該当なし	モデリング 教育者が学習者にデモンストレーションを行うことで、実施内容を視覚的に把握できるようにする。	コーチング 学習者のレベルに合わせて課題が与えられ、教育者から示された模範に従って実践する。教育者はヒントやアドバイスを与え、必要に合わせて課題を設定する。	スキヤフオールディング 「足場かけ」とも呼ばれる。学習者のレベルに合わせて、さらに多くの課題が与えられ、できることは任せ、必要な場合にサポートを行うことで、学習者への支援を少しずつ減らしていく。	アーティキュレーション 学習者が学んだ知識や技術を言語化させ、学びを確実なものにする。問題解決のプロセスを明確化する。	リフレクション 学習を振り返る。問題解決のプロセスを、教育者はほかの学習者と比較検討する。	エクスプロレーション 学習者が次の課題を自ら探索し、解決するよう促す。学習者は自主的に行動し、教育者は撤退する。
スキヤフオールディングの大項目	学習に向けた準備体制の整備・調整	理解・思考・発想の支援・促進			考察の支援・促進	リフレクションの支援・促進	メンティ自身の課題抽出・発展
具体的実践(下井)	心理的安全性の保証 学習目標・目的の提示 既有知識の確認・賦活 注意・興味・関心の喚起・賦活	ヒントや手がかりの提示・修正の示唆 換言 文脈化			思考の賦活 理解度の確認	該当なし	

一方で、当該PIへのインタビューによれば、「このような工夫をした場合であっても、理系ラボで実施される実験の大半は、仮説通りにはいかない(失敗に終わる)ものが大半であり、失敗経験を成功に導くための考察が必要である」と述べていた。そのような失敗の場面においても、上級生は課題実施者への支援を継続しており、それらは、「学生間の研究指導(ピアラーニング)」とも言える主体的学習による教育体制と考えられた。さらに、当該PIによれば、「課題実施者に対する研究指導の経験は、上級生自身の課題にも大いに活かされており、課題実施者の実験の成否に関わらず、そこで知り得た情報ももとに、上級生自身が立案する課題の質も向上している」とのことであった。これら一連の理系ラボで実施される実験をツールとした学生間の研究指導を通して、上級生は、多くの場面でこれらを有益な経験とし、「自己成長」を促すための原動力となっていると考えられた。

次に、当該PIへのインタビューを通して言語化されたラボの教育体系を4つのステージに分類することで、その教育活動の分析・理解を容易にすることを試みた。課題実施者と上級生からなるラボ内の教育活動の中心となっていたのが、メンタリング(吉良, 2014; 渡辺, 2003)に相当していたことから、以後は、上級生をメンター、課題実施者をメンティーとして表記する。「研究目的の確認」が行われるステージ1は、実験を開始する前の準備段階である。ステージ1では、メンティーが担当する研究課題の背景とラボが掲げる研究構想の確認が、「ラボ内で用いられる共通言語」を用いて実

施されており、これによって、メンティーは、ラボ内の教育体系を理解していた。そのためにメンターが、当該PIからの指導に補足する形で説明を行うことで、メンター自身もラボが掲げる研究構想について理解を深めるステージであるとともにメタ認知能力を育成するステージでもあると言えた。「研究を通した教育」が行われるステージ2では、実験を実施している最中および実験が終了した後の段階であり、メンターによる直接的な研究指導を通して、メンティーが実験に関する知識およびスキルを習得するステージであった。「学生間の研究指導」が行われるステージ3では、実験を通した考察が行われる段階であり、得られた結果に対する考察がメンターとメンティーの共同でなされることで、メンティーの実験結果に関する理解力の向上に貢献するだけでなくメンターの自身の考察力の向上にも役立つとともに、教育力向上が鍛錬されるステージでもあった。これらの3つのステージについては、アット・ザ・ヘルム等でも類似の分類が紹介されており、そこでは、実験を通して複雑な情報を段階的かつ体系的、総括的に理解し、さらに技術的背景を学ぶ仕組みの重要性が述べられていた(Kathy Barker, 2011)。しかしながら、この理系ラボにおける最も大きな特徴として、メンターの「自己成長」を期待するステージ4が設けられており、メンターがメンティーに対するメンタリング経験を通して、メンター自身の研究課題の発展を可能にする波及効果をもたらされていた。

理系ラボ内で行われている教育活動は、メンターとメンティーがチームとなって一連の実験を行い、そこから得られた成果を共に考察することを目的としており、座学による知識の習得とは異なり、実践を通した学習および経験によって熟達者から学習者がスキル・知識を獲得する「認知的徒弟制」を活用した学習と推測された。そこで、上述したラボ内教育の4つのステージと認知的徒弟制における学びの過程とされる6段階との対比を行った。その結果、「研究を通した教育」を目的としたステージ2では、認知的徒弟制のモデリング、コーチング、スキャフォールディングが活用されており、また、「学生間の研究指導」を目的としたステージ3では、認知的徒弟制のアーティキュレーションとリフレクションが活用されていた(表2)。特筆すべき点として、この理系ラボでは、得られた実験結果に対して、記録ノートをもとにした実験プロセスに対するリフレクションがステージ2でも行われており、ステージ毎の振り返りによるメンタリングの質向上を当該PIは期待していることが示された。加えて、メンターは、リフレクション後に、時間をおかずに当該PIとのディスカッションを行い、その中で、メンティーの課題に対する次のステップへのTipsを含むフィードバックを得ていた。さらに「自己成長」を期待するステージ4では、メンター自身の課題への応用として、認知的徒弟制のエクスペロレーションで述べられているように、学習者(メンター)が次の課題を自ら探索し、それを解決するために自主的な行動を実行する発展的ステージであると考えられた。また、この行動を起こすにあたって、リフレクションを通した当該PIとのディスカッションを通して、メンターのいかなる発言も当該PIが許容できる心理的安全性が重要であることは想像に難くないと考えられた。一方で、「研究目的の確認」を目的としたステージ1では、学習を循環させることを前提としていない認知的徒弟制の分類に無い、これまでに得られた結果をもとに立案された発展課

題を構築するという理系ラボの教育体系特有の段階であると推測された。

3. ラボ教育におけるチェックリストおよびリフレクションシートの開発

上述のように、この理系ラボにおける学生の研究力および教育力の向上を促しているのは、ラボ内の学生のメンタリングを通じた教育体系と、スモールステップを活用し課題を明確化する手法が、暗黙知として形成されていることが示された。このようなスモールステップの教育体系により、メンターおよびメンティーの学習に対する達成感、モチベーションの維持にもつながっていると考えられた。加えて、このメンタリングを通じた深い観察力および考察力の育成が、理系ラボにおける教育および研究の発展に大きく寄与していると推測された。そこで、本節では、この理系ラボ教育をより効果的にするための方策について検討することを目的としたツールの開発について述べる。一連の理系ラボ教育は、4つのステージに分けることが可能であったことから、各ステージにおいて習得すべき知識およびスキルの明確化を行なった。具体的には、この知識・スキルの習得を効率的・効果的にするためのチェックリストを作成し、PIが各ステージで学生に求める知識・スキルとの照合を行うための質問項目を用意することで、学生自身も何が必要なのかを理解することを可能にした。加えて、理系ラボ教育においては、グループで目標を達成していくということが重要であり、そのためのリーダーシップ能力が求められたことから、このリーダーシップ能力育成のためのメンタリング活動を通じたリフレクションを提案した。リフレクションは、一連の実験の中で、主に「研究を通じた教育」を目的としたステージ2および「学生間の研究指導」を目的としたステージ3で行うものとした。特に、ステージ2で行うリフレクションは、実験の失敗(または成功)の要因について、メンターとメンティーが事実確認をするとともにその改善点を洗い出すなど、次の実験のための振り返りを行うことに活用し、ステージ3で行うリフレクションは、結果を考察しそれらの要因について、メンターとメンティーの考え方のギャップを明確にし、ディープ・アクティブラーニング(松下, 2015)につなげるためのものとした。さらに、特筆すべき点として、PIが学生の考え方が成長するプロセスを観察できるものであることを意識して作成した。

その結果、ステージ1では、主に実験前に必要とされる知識を整理するための17項目、ステージ2は実験中・実験後に必要な知識およびスキルを確認するための15項目、ステージ3は考察に必要なデータの理解力および知識を確認するための18項目、ステージ4では、メンター自身の課題へ応用するための16項目をまとめられた(図1)。具体例として、ステージ1ではメンティーの課題が策定された際の背景(課題が策定されるに至った社会ニーズ)、ステージ2では実験を実施する際に用いる器具が選ばれる必要性や用いる試薬の組成、ステージ3では実験を実施する前の予測と実際に得られた結果を比較する際の必要事項などメンターがメンティーに対して行うメンタリング方法とそれぞれの事項に対する評価指標が言語化された。また、ステージ4では、メンタリング経験をメンター自身の課題に反映する際に必要とされる項目とその妥当性を判断する指標が具体的に言語化された。前述の4つのステージで活用するチェックリストは、各ステージの活動を通して、メンターと

メンティーが活動内容に関する知識およびプロセスを確認する際に随時使用し、評価できるものとして作成した(図2)。これにより、例えば、ステージ2では、実験に必要な薬品の情報、装置の操作手順、測定方法、解析手順が明確になり、実験を通して、繰り返し使用されるもののリスト化も可能であった。理系ラボでは、実験の度にチェックリストが活用されることで、やがてはこれらのチェックリストの必要性は薄れ、それらが、メンターが有する暗黙知となることが重要と推測された。加えて、これらのチェックリストを活用することで、実験のデザインを大局的に捉えることができることも、理系ラボの教育体系を好循環させる上で有益であると考えられた。

さらに、ラボ内教育にメンタリングを活用するにあたって、メンターの知識およびスキルの習得に加え教育力を向上させること、そのためのメンターのリーダーシップの成長を促すこと、さらには、経験学習を効果的に活用することを目的とし、コルトハーヘン(2021)、熊平(2021)を援用することで、リフレクションシートを作成した(図3)。ステージ2とステージ3の終了時に本リフレクションシートを活用することで、メンターおよびメンティーの実験に対する事実経過の確認(実験ノートに記載する内容)だけでなく、感情を内省することで考え方のクセについても自分自身が振り返ることができ、そのことは、次の実験を立案する際に大いに活かされると考えられた。

また、これらのリフレクションシートをPIが確認することは、実験を実施した際の学生の考え方と得られた結果との関係性を理解するだけでなく、学生の学習に対する癖や考え方、価値基準を把握することが可能となりPIからの必要なフィードバックをメンターおよびメンティーに的確に行うための一助となると推測された。

理系ラボにおける教育体系は、実験を通じた「認知的徒弟制」による学びであるといえる。PIは、メンターがメンタリングを活用した理系ラボ教育を通して、メンター自身の教育力の向上、さらにメンター自身が取り組む次の課題を自ら探索し、それを解決するための自主的な行動を起こすことができるように導く必要がある。これら一連の行動には、リーダーシップ・アイデンティティ発達モデル(The Leadership Identity Development Model: 以下LID)(泉谷 2013)に示されているようなメンターのリーダーシップ能力が求められており、そのためにも、メンターの活動および考え方を客観的に振り返るためのリフレクションシートを活用することを本研究で提案した。また、そのことを通して、なぜその行動を行ったのかなどについて振り返ることを可能にした。本研究を通して、①失敗の要因についての振り返りや、②失敗経験を成功経験に導くための新たな課題の着想方法、③メンティーの研究活動を効果的に助長するメンターによるリーダーシップの発揮の仕方などについて、メンターが正しく認識するきっかけとして本リフレクションシートが機能すると推察された。

<p>ステージ1</p>	<p>ラボの課題背景</p>	<p>社会ニーズが示された情報(例:教科書、新聞、記事)を使って説明できた。 周囲が示された情報(例:論文)を使って説明できた。 専門領域①に関連する情報(例:学会報告)を使って説明できた。 専門領域②に関連する情報(例:学会報告)を使って説明できた。 専門領域③に関連する情報(例:学会報告)を使って説明できた。 ラボに所属していた過去の学生の実験ノートを使って説明できた。 今回用いる研究材料(例:細胞)のラボ内外でのこれまでの使用例を説明できた。 今回用いる研究手法(例:PCR)のラボ内外でのこれまでの使用例を説明できた。 過去にラボに所属していた学生の実験ノート(結果欄)をもとに説明できた。 過去にラボに所属していた学生の実験ノート(考察欄)をもとに説明できた。 観念者が発表している論文をもとに、観念者の場外での実験背景を説明できた。 観念者が用いている研究材料(例:細胞)の観念者のラボ内外での使用例を説明できた。 観念者が発表している論文(結果欄)をもとに説明できた。 観念者が発表している論文(考察欄)をもとに説明できた。 研究倫理に関する申請書をもとに説明できた。 研究倫理に関する申請書をもとに説明できた。 実験に用いる器具の用途を確認した上で準備ができた。 実験に用いる器具の成分を確認した上で準備ができた。 実験に用いる試薬の組成を確認した上で準備ができた。 指が内容を整理した上でメンターの目的に的確に指示を出せた。 メンターは予定された実験工程を全て実施できた。 実験終了後に必要とされる器具の名称と用途をメンターと一緒に確認できた。 メンターは、実施した実験工程をメンターと一緒に確認できた。 メンターは、実験に必要な試薬の組成をメンターと一緒に確認できた。 メンターは、実験終了後に実施した片付け内容をメンターと一緒に確認できた。 メンターは、ミスに対する対処方法を考えた上で、トラブルシューティングの方法をメンターに伝えられた。 メンターは、ミスに至った理由を説明した上で、メンターに伝えられた。</p>
<p>ステージ2</p>	<p>観念者の課題背景</p>	<p>メンターの指摘が、メンターとして実施した内容(メンターノートに記載した内容)のどの項目に相当するかの理解した上で、教員の指摘を正しく記録ノードに記載できた。 メンターは指導教員からの指摘をもとに考察した方法(工夫)を、メンターが実施した項目に照らし合わせて、伝えられた。 メンターは、結果を予想した背景も含めてメンターに説明できた。 メンターは、メンターに対し、予想した結果通りならない可能性があることを伝えられた上で、予想した結果と実際の結果を比べることであった。 メンターは、メンターにメンターに伝えられた内容(例:実験材料、実験工程等)を伝えることができた。 メンターは、メンターがメンターに伝えられた内容及び、メンター(あるいはメンター)が行った考察の双方を、メンター記録ノードに記載できた。 メンターは、実験材料、試薬、器具の使用法に関する説明を、課題終了後に、再度、メンターに対して行うことができた。 当初予想した結果が得られなかった理由として、予想に至った経緯が十分でなく、失敗した理由があったのかを、追加資料等を使って説明できた。 メンターは、予想に反する結果を順次整理した上で、どの工程から予想から外れた結果になっていたのかを説明できた。 メンターは、自身の経緯を整理し、その中で、メンターの課題で活かされる経緯を抽出することができた。 メンターは、自身の経験の中から抽出した経緯(研究結果を、メンターに対する助言として抽出した判断理由(メンターの課題背景、研究結果、考察)を踏まえて、メンターに伝える)を伝えることができた。 メンターは、メンターが必要とされる情報やこれまでに取得済みのデータ、ラボ内外で得られている過去の知見を提示した上で、予想と反する結果が得られた理由をメンターが考察するきっかけを与えた。 メンターは、メンターとともに予想に反する結果が、良い/悪い結果であったのかを判断するための理由付けをすることができた。 メンターがメンターとともに予想に反する結果が、良い/悪い結果も含めて、指導教員にそれらを伝えられた。 メンターが得た結果と、メンター自身の経験、それをもとにメンターとメンターが行った考察を整理(整合性を確認)して、メンター記録ノードに記載することができた。 メンターは、メンターへの助言に対するメンター自身の考えを整理し、メンターに説明した上で、それに対する、メンターとしてのさらなる助言を行うことができた。 メンターは、メンターへの考えを整理し、メンター自身の助言と照らし合わせて、メンターがそのように考えた経緯を指導教員に伝えられた。 メンターは、自身の研究の中で行われたメンターの課題に関する、背景、内容、期待される成果の抽出点を取り上げた。 メンターは、メンター自身の課題を解決すること、メンター自身の課題の発展に活用できることにより実現した。 メンターは、メンター自身の課題解決を通して得られた知見がメンター自身の課題解決に活用であった際の、その後(メンター自身の経験を通してメンター自身の課題のどこに具体的に反映させるかを的確にすることができた)。</p>
<p>ステージ3</p>	<p>メンター自身の課題抽出</p>	<p>メンターは、メンター自身の課題を通して得た知見をもとに、自身の課題を再度抽出した経験を明確にできなかった。 メンターは、メンター自身の課題抽出の経験から得られた知見をもとに、メンター自身の課題への応用展開を、項目立てで実験ノートに記入できた。 メンターは、抽出した課題で用いた材料、試薬、器具の必要箇所を明確にできなかった。 メンターは、抽出した課題の対照となる結果を比較可能な場合、条件(時間/距離)を明確にできなかった。 メンターは、抽出した課題と抽出した課題から得られた結果を比較可能な場合、再度背景にあるメンターの課題および結果について、項目立てで整理できなかった。 メンターは、抽出した課題と抽出した課題から得られた結果、メンター自身の課題への波及効果について、項目立てで整理できなかった。 メンターは、抽出した課題、実験を明確し、メンター自身の課題(メンター自身の経験)の振り返りを行うことができた。 メンターは、抽出した課題が、自身の課題を発展させることのできる機会があることに気付くことができた。 メンターは、メンターに対し、メンター自身の課題を整理し、自身の課題も進展していることを具体的に伝えることができた。</p>
<p>ステージ4</p>	<p>メンター自身の成長</p>	<p>メンターは、メンター自身の課題を通して、自身の課題を整理し、自身の課題も進展していることを具体的に伝えることができた。</p>

図2:理系ラボにおけるメンタリングのための評価基準

	行った実験 / 取り組み	結果	結果に対する メンティーの 考察	結果に対する メンターの 考察				メンティー・メ ンターの考察に 対する教員から のコメント
上手くいつ た実験					/			
	行った実験 / 取り組み	結果	結果に対する メンティーの 考察	結果に対する メンターの 考察	行った実験/取 組を成功させる ための改善点 (メンターの助言)	新たな実験/ 取組から予想 される効果	メンターの課 題との関連性 について	メンティー・メ ンターの考察に 対する教員から のコメント
上手くいつ なかつた実験								

図3: 理系ラボのメンタリングのためのリフレクションシート

4. チェックリストおよびリフレクションツールの形成的評価

本研究では、高等教育に関する学習経験を有するPIを対象とし、当該ラボにおける教育体系の言語化とラボ内におけるメンタリングスキルの向上を目的としたチェックリストおよびリフレクションツールを開発した。本研究で開発した教育ツールの理系ラボ内での活用が、ラボ教育に好循環を生み出す可能性を有するものであるかを検証すべく、大学教育に関する専門知識を有する理系人材によるエキスパートレビューおよび形成的評価を行った。具体的には、本研究では当該PIの暗黙知を形式知とすべく、理系ラボ教育の構造化と言語化を行ったが、対象としたPIにさらなる気付きをもたらすことを目的とし、そのための4つの質問事項を用意し、形成的評価の要点とした。問いの設定根拠は、具体的にラボ教育の意義を抽出するための問い(問1)、ラボ教育により学生の充実度・満足度向上を促す要素を明確化するための問い(問2)、メンターの成長を助長するメンタリングの本質を具体化するための問い(問3)、ラボ教育におけるメンターの自主的行動とそれに対する当該PIの関与を最適化するための問い(問4)とした。これらのエキスパートレビューおよび形成的評価の具体的な内容を以下に記す。また、エキスパートレビューおよび形成的評価から得られた

要素をもとに、当該PIへ対し、理系ラボの教育体系の改善および発展を可能にするための教育的な提案を試みた。

目的：ラボ教育ツールに対するエキスパートレビューによる形成的評価と、それをもとにしたPIへの提案

方法：質問紙調査(自由記述)

対象：大学教育に関する専門知識を有する理系教員

国立大学理系教員1名, 国立大学教育工学系教員1名, 私立大学理系教員1名 計3名

内容：(1)~(4)の4つの問いをもとにした形成的評価および、分析結果をもとにしたPIへの提案

- (1) このチェックリスト・リフレクションシートは、PIがラボ内で暗黙知として行なっている教育活動を形式知として言語化したものです。本チェックリスト・リフレクションシートから、PIがラボ教育の中で、どのような点を最も重視していると読み取れますか。
- (2) 本チェックリスト・リフレクションシートは、メンターおよびメンティーに必要とされる知識・スキルを効果的に習得するためのツールです。ラボに所属する学生の既知の知識やモチベーションに差がある場合でも、普遍的に用いるためのPIの工夫が含まれているとすれば、それをどこから読み取ることが可能ですか。
- (3) 本リフレクションシートを記載することで、実験ノートだけでは確認できない感情や考え方をメンター自身が振り返るものです。このリフレクションから、PIはメンターの成長度合いと、PIがメンターに期待するレベルとの差をさらに埋める工夫が可能だとすれば、それにはどのような改善が可能ですか。
- (4) 本リフレクションシートは、PIが実験の経過や結果だけでなく、学生の考え方を理解し、より適切なフィードバックを行い、また所属する学生が情報を共有するためのものです。メンター／メンティー間のやり取り(メンタリング)と、PIによるメンターおよびメンティーへの直接的指導のバランスは、どの程度であるべきと考えますか。

上記4つの問いをもとにしたエキスパートレビューによる形成的評価により、それぞれの問いに対する以下の指摘事項が得られ、これらの指摘についての改善および発展のための提案を行った。

(1) 指摘事項

PIが理系ラボの教育体系で重要視している点として、理系ラボで培われてきた思想や技術を、先輩から後輩に引き継いでいくという、日本型の研究室運営を上手く行うこと、また、その過程における責任の所在を明確にしていることが挙げられた。一方で、今回開発したチェックリストやリフレクションツールには、研究室で行われるゼミでのメンターおよびメンティーの役割が考慮されていないことが指摘され、理系ラボの実態をより詳細に反映させることで、PIの暗黙知からなる教育体系がさらに具体的に言語化できると助言された。補足すべき点として、理系ラボのゼミとは、

研究室員が共に文献を読み込み、実験データを整理し、今後の研究の方向性を決めたりすることを目的とした、先輩・後輩・教員・学生の隔てなく、率直に議論するための場であり、ゼミを効果的に機能させることが、PIの大切な役目であると指摘されたことを明記する。加えて、理系における学問分野には、医学・歯学・薬学・農学に加え、物理学、地学、工学といった幅広い分野が存在していることから、その汎用性を検証する必要性も指摘された。

提案

本研究で対象としたラボは、大きく4つのプロジェクトが動いており、それぞれのチームにおけるメンタリング活動が独立して行われていた。各メンタリング活動で得られた成果がゼミで発表されることで、他のグループのメンターは、実験に対する興味だけでなく、教育方法に関する比較および情報の共有・獲得が可能な仕組みが構築されていると推察された。この事実によりメンターが気付くことにより、メンターはゼミを通して、研究力の向上だけでなく、教授法に関する興味や知識、メタ認知能力の向上が可能になり、結果として、ラボの知的生産の好循環につながるのではないかと提案した。

(2) 指摘事項

研究が失敗に終わった場合の対処について、メンターが論理的に行えたかどうかをチェックできる仕組みが評価された。実際、メンターの知識やモチベーションが不足する場合、ネガティブなアウトプットが多くなると予想されるが、そのような場面でも対応できるリフレクションが可能であることも評価された。また、開発したチェックリストおよびリフレクションシートを普遍的に理系ラボで用いるための工夫として、メンティーが計画・実施・考察をする過程を、メンターが言語的に理解していることがチェックできる仕組みも評価された。一方で、今回開発した教育ツールでは、メンターとメンティーの個別の関係に重きを置きすぎていることが指摘された。具体的には、メンターとメンティーの関係は、もっとダイナミックで、研究の進展につれて新しくできたり、消えたりするものであることから、最も有効なメンタリングは、研究室での日常的でインフォーマルなディスカッションであるとの指摘を受けた。また、この環境を醸成できるかどうかは、PIの個性と能力にかかっていると指摘され、チェックリストやリフレクションシートを活用する以前に、PIの教育者としての素質も重要であることが示唆された。

提案

本指摘については、インフォーマルなディスカッションによる情報共有を通し、①PIが学生の研究に対する興味を刺激できるような話題提供に努めること、②PIが有する研究やラボに対する将来像を学生に伝えることで、学生は自分の課題がその一部であることを正しく認識すること、さらには、③研究活動を通して社会ニーズに応えたいというPIが有する夢を学生が共有することで、ラボに所属する学生に対し、理系ラボ教育ツールをラボ内で普遍的に用いるために重要なこととして提案した。

(3) 指摘事項

開発したチェックリストが、Yes/No 式の評価になっていることは、メンターのレベル差を数値的に判断する上で不利であることから、ルーブリック式の3-4段階評価とすることで、その改善が可能であると助言された。加えて、PIがメンターに期待するレベルを設定する際に、PIとメンターの視点の違いを考慮することの必要性を指摘された。特に、PIは研究室の内のみならず、多くの場合において、外を見ている一方で、メンターは、多くの場合において、研究室の内しか見ていない現実を考慮した上で、理系ラボの教育体系を言語化する必要性を指摘された。その理由として、理系ラボが機能しなくなる場合の最大の要因が、理系ラボの内的な問題ではなく外的なものであることが挙げられた。ラボが提示する課題は、ラボが有する研究に対する興味に加え、ステージ1の背景にある社会ニーズと合致することが前提であり、ニーズ分析のための外的な視点と、課題が具体化された際に効率よくそれを実施するためのラボの教育体系とのバランスが重要視された。また、課題設定そのものはPIの責務であることから、PIがメンターに課題設定そのものを提案するように促すことは間違った手段であり、PIとメンターが、テーマを考える共通の時間を持ったか否かが最も重要であることが強調された。その意味でも、チェックリストには含まれていない、課題が開始される以前のPIがメンターと共有する時間(ステージ0)の必要性が明確になった。

提案

課題が開始される以前のディスカッションを通して、学生はPIの考えるラボの課題を明確化し、それを正しく理解し、実験に取り組むことで、価値ある成果を生み出すことができる。メンターは、PIとのインフォーマルなディスカッションを含む対話を重ねることで、実験を通してメタ認知能力を育成するための重要な機会を得ている。以上の理由から、課題が立案される以前に対話(ステージ0)ができる関係性をPIとメンター間で構築することの重要性を指摘した。

(4) 指摘事項

メンターおよびメンティーからなるメンタリングを取り入れる以上は、PIによるメンティーへの直接的指導は極めて限定的にすべきであると助言された。一方で、PIとメンターとの対話は、定期的に行うことが重要と指摘された。加えて、PIによるメンターおよびメンティーへの指導のバランスを考える以前に、PIはメンターおよびメンティーから人間的に信頼されていることが最も重要であると強調された。特に、実験が失敗に終わった際の、メンター／メンティーが有するPIに対する心理的安全性が、その後の課題の発展に大きな影響を与えることが明示された。

提案

メンタリング活動を通して、課題についての仮説をもとに実施した実験が失敗に終わったとしても、そのことは、一つの仮説が消失したにすぎず、正解に向け仮説が絞られている過程であることを考慮すれば、PIによるメンターおよびメンティーに対する直接的指導はある程度の寛容性も必要であると提案した。

5. 総合考察

メンティーは近い将来のメンター候補者であり、また、博士課程大学院生—修士課程大学院生—学士課程学部生からなるメンタリングの関係性では、修士課程大学院生は学士課程学部生のメンターでもあり、博士課程大学院生にとってのメンティーでもある。このように、理系ラボでは、学生がメンティーからメンターへと徐々に立場を変えながら成長しており、それは当該学生の課題の発展と密接に関係するものである。認知的徒弟制のステップにあるスキヤフォールディング(足場かけ)により、課題を実施するための土台が築かれ、課題を実施する際に必要とされる学生の経験値が増加するにつれ、その足場が徐々に外されていく。一方、その経験をもとにメンティーからメンターとして立場が変わり、メンティー(下級生)に対するスキヤフォールディングを行っていく発展的ステージが、理系ラボの教育体系の醍醐味でもあり、また、学生の自己成長にも重要である。今回作成したチェックリストおよびリフレクションシートには、理系ラボの教育体系を好循環させる仕組みが備わっていることが評価された。一方で、更なる質向上を可能にするための方法として、メンティーからメンターへ立場を変えて成長していくことの重要性までを形式知としていくこと、また、メンター・メンティーの立場は固定されたものではない関係性の中での教育体系を明確にできる仕組みを構築していくことが提案され、今後の課題とされた。

今回作成したチェックリストは、理系ラボ内の複雑なタスクにおいて何が重要なのか(求められているのか)という点に意識をむけ、与えられた課題を効果的に進めるために役立たせることを目的とした。また、リフレクションシートは、実験結果に対する考察およびメンター、メンティーの考察に至る考え方のギャップの把握、およびこれらの学生の成長を把握することを意図して開発した。この点においては形成的評価者から高い評価を得ることができた。しかし、形成的評価により、これらのツールは、知識の体系化、構築には役立つが、さらに重要なことはPIと学生とのディスカッションを通じた心理的安全性という環境の確保、その上で、これらのツールを活用しメンティーをメンターに育て上げることがラボを好循環させる要因の一つであることが示された。

今後は、理系の様々な分野からこれらの事例を集め、それぞれの観点からの分析を行い、共通項を抽出するとともに研究分野における特質、研究者による特徴も加味した多角的な研究を進めていく必要があると考えられた。また、本研究では大学教育に関する専門知識を有する理系教員(3名)にエキスパートとして形成的評価を依頼したが、評価者の専門性は様々であることから、エキスパートの数を増やすことで、専門性に応じた評価分析を行うことも興味深い。さらには、高等教育に関する学習経験を有さない理系PIに対し、理系ラボの教育体系を教育学的に考えることの必要性および重要性を伝える方法を検討することも、今後の課題として挙げられた。

【参考文献】

Austin, A. E. (2006). Using doctoral education to prepare faculty to work within Boyer's four domains of scholarship. *New directions for institutional research* 129 (pp51-65).

- 泉谷道子 (2013) 「学生の成長支援活動に関する研究展望：構造発達理論を用いた学生リーダーシップ養成を中心に」『産業・組織心理学研究』27 (1), 31-44.
- Kathy Barker (2005) 『アット・ザ・ベンチャーバイオ研究完全指南 アップデート版』メディカル・サイエンス・インターナショナル. pp166-171.
- Kathy Barker (2011) 『アット・ザ・ヘルム—自分のラボを持つ日のために 第2版』メディカル・サイエンス・インターナショナル.
- コルトハーヘン (2021) 『教師教育学』学文社.
- 吉良直 (2014) 「大学院生のための段階的な大学教員養成機能に関する研究—アメリカの研究大学から日本への示唆—」『教育総合研究』7, 1-20.
- 熊平美香 (2021) 『リフレクション—自分とチームの成長を加速させる内省の技術—』ディスカバー.
- 隅蔵康一 (2013) 「ラボノート再考：大学のラボラトリーにおけるリーダーシップとナレッジマネジメント」. 『日本大学知財ジャーナル』6, 47-58.
- スーザン A. アンブローズ, マイケル W. ブリッジズ, マケレ ディピエトロ, マーシャ C. ラベット, マリー K. ノーマン (2014) 『大学における「学びの場」づくり』玉川大学出版部. pp101-103.
- 松下佳代・京都大学高等教育研究開発研究センター (2015) 『ディープ・アクティブラーニング』勁草書房.
- 渡辺かよ子 (2003) 「米国高等教育におけるメンタリング・プログラムの研究成果と意義」『教育学研究』70 (2), pp213-222.

A Study on Verbalization of Lab Education Systems and Systematization of in-Lab Mentoring

Yurie WADA

(Doctoral Program, Graduate School of Education, Tohoku University)

One of the indicators of a positive spiral in scientific laboratories is the productivity of knowledge, much of which is carried out by the students in the laboratories. To improve the productivity of such knowledge, it is fundamental to improve the educational system in laboratories; however, very few studies have focused on education in laboratories. In this study, we visualized the educational system constructed by principal investigators (PIs) who are interested in higher education by verbalizing the tacit knowledge of higher education. The results showed that the education is mostly composed of mentoring, which consists of a mentor-mentee relationship. Therefore, we developed a new tool to create a positive spiral through mentoring. Specifically, formative evaluation by PIs was conducted to confirm the validity of the tool and to obtain feedback for improvement. Taken all together, we propose the importance of constructing an educational system in laboratories that improve students' metacognitive abilities centered on mentoring.

Keywords : Science lab, Education system, PI, Mentoring, Formative assessment

