

異なる専門をもつ者が対話を成立させるために

－横断型科学技術の考え方から学んで－

田中 秀幸（技術・情報教育学講座）

要約

本稿では「教科教育学研究方法論」にたずさわった経験をもとに、著者の専門とする横断的科学的技術のタイプの工学に関する知識に基づいて、異なる専門を持つ者が対話を成立させるために必要なことについて考察する。異分野の人間が共同で問題を効率よく解決するためには、抽象的に考え、「問い」を立て「対話」を行い、検証を行うための「行動」が必要である。また、「対話」の方向性についても述べる。

I はじめに

広島大学において、2016年度から教育学研究科の大学院生を対象に「教科教育学研究方法論」の授業が始まった。これは教科教育学専攻の大学院生に必修の授業で、ますます複雑・複合化する教科教育学の今日のおよび将来的課題に対して、研究者ならびに実践者が柔軟かつ現実的に対応するために必要となる研究の方法論を学ぶこととなっている。教科教育学専攻は中高等学校における教員養成に関わっており、多様な専修がある。それらに関して中高等学校の教科でいえば、理科、数学科、技術科、社会科、国語科、英語科、体育科、家庭科、音楽科、美術科があり(順不同)、少なくとも理系と文系の教科がある。

この授業では、大学院生が自律的な研究課題の選択ができるよう自覚を促すために、最初の段階において「問い」についての説明がなされた。二回目以降はこの科目が必修である意義を院生に理解してもらうよう努めるために各教科の教員から説明があり、それに基づいて「対話」を行うことで理解を深めるという形をとっている。具体的には、この授業を受講する学生には様々な背景や文化があるため、お互いの分野の専門性を理解するために「各教科における課題と問題」について各専修の教員が説明を行った後、専修を異にする者でグループとなって「対話」を行うことによって理解を深めていくという形をとった。その後、各専修に課題等を持ち帰り学んだことを再度、「発表」し「対話」を行うことによってさらに理解を深めるという授業となっている。

この授業が進むにつれて、何人かの学生から「なぜ、10教科の学生が集まってこのような授業を受ける必要があるのか、意義が分からない」とか、「方向性もなく答えのないことを話しつづけることに意味があるのか」といった率直な声を受講する何人かの学生から聞いた。私を含めて授業を展開する側の教員からすれば、答えのない問いについて異分野の者が集まって「対話」を行い考え続けることが重要であり、そのことを敏感に感じてもらうことが社会に出たときに有用だという思いもあったのかもしれない。しかし、この授業を受講する学生の多くは各教科に分かれて教員免許を取得するために授業を受けてきた学生がほとんどである。このような質問は出てきても不思議ではなく、むしろ多くの学生が

戸惑いを覚えながらも学びにつなげようと対応してしまったことに驚いている。

異なる文化や専門を背景に「対話」を行うことは容易でないであろう。たとえば、理系と文系で専門的に「対話」を行う場合の困難とは、両者が本質的に共通言語を持たないことではないだろうか。理系の中だけで話す場合には数式がなんらかの共通言語となり得るが、文系の人間にとっては数式が記号の羅列にしか見えなくても不思議ではない。一方、対話が成立する文系のグループに理系の人間が入っていても、背景とする文化が理解できないことは十分にあり得る。また、文系といっても共通言語さえも存在しない可能性もあろう。言葉が重要な役割を果たす場合に、共通の言葉で置き換えてしまえばその本質が失われてしまうことも十分にありえる。さらに、暗黙知のような非言語[1]が本質のような場合には、「対話」さえも困難となるかもしれない。

筆者は学部時代から大学院において工学について学んできた。その中でも「異なる工学の分野を横に結ぶ知の統合により普遍的な知の体系を目指す」、いわゆる横断型科学技術[2, 3]に属するタイプの制御工学について学んでいる。本稿では、この経験に基づいて、異なる分野で「対話」を行うにあたって重要なことを考察してみたい。筆者は必ずしも異なる専門で複数の専門を深く学んでいるわけではないが、教育学という観点からはやや異なる背景から考え方を示すことができるのではないかと思ひ、ここに考察を述べる次第である。少し変わったところから例を出しながら話をしていると思ってお付き合いいただければ幸いである。本稿で述べる「対話」とは、問題解決のために異なる分野の人間が共同で行う意思疎通のためのものを想定している。「言語」は日本語や英語といったいわゆる言語のみを指しているのではなく、数式を含めて概念や考え方を何らかの方法で伝える手段のようなものとする。また、問題解決のために「対話」を行うに場合にも、ある程度の方角性がなくてはその解決は困難であると考えられる。「対話」は自分と話す相手があって初めて成立する。したがって、この点についても述べる。

II 横断型科学技術から学ぶ「対話」

横断型科学技術に基づいて、異なる分野の人間による「対話」について考察する。

1. 制御工学について

メカトロニクス系を例に制御工学[4]の話から述べる。現在では、自動車やカメラ等の身の回りのものを始めとして飛行機や人工衛星などコンピュータを介して自動で動くもの、いわゆるメカトロニクス製品を始めとしてコンピュータ制御なしには成り立たないものが増えてきた。身近に制御工学が使われている例として、機械系と電気系が組み合わさってシステムとなるメカトロニクス製品がある。例えば、エレベータやカメラの手ブレ防止等もそのような技術が使われている。エレベータを例にとれば、人間が乗るカゴが機械系の部分であり、モータ等が電気系の部分に相当する(図1)。制御エンジニアの役割の一つは、異なるものをシステム全体として有機的に結びつけ適切に動くようにすることである。

制御は基本的には現物合わせだと言われる。例えば、エレベータといってもそれぞれの大きさや重さも異なるので、それぞれ動きが異なる。すなわち、モータをどの程度強く回すかを適切に決めなければ思った通りに動かない。小さなエレベータは小さな力を大

大きなエレベータには大きな力が必要である。また、素人目には電気系は命令したら即座に動くように思えるかもしれないが、モータが一定の速度に回るまでに多少の遅れがある。制御エンジニアが適切に制御系を設計しているため普段は気にもしないが、コンピュータに適切に動くようにシステムを構築しておかなければエレベータは思ったように動かない。機械系には摩擦等の外乱が存在するためでもある。機械系だけでなく電気系にも動きを考慮しないと思ったとおりに動かないことが多く、単に現物合わせをやっているだけでは効率が悪いので現在ではシミュレーション等を援用して制御系の設計を行っている[5]。

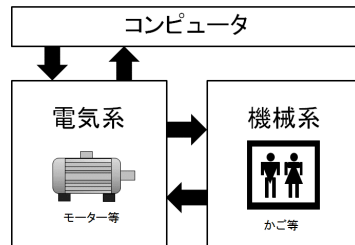


図1 メカトロニクス系の例(エレベータ)

制御工学では、「機械系エンジニアだから電気系のことは知らない」、「電気系エンジニアだから機械系のことは知らない」とならないよう教えられる。機械の動きはその位置と時間で記述されることから、その挙動は微分を用いる種の微分方程式として表される[†]。同様に、電気系も微分方程式で表される。微分方程式と微分方程式の組み合わせは微分方程式になるので、全体として思い通りに動くようにコンピュータも微分方程式として振る舞うようにする(図2)。制御する対象が微分方程式だとみなしてしまえば、数学や論理に基づいた制御理論や工学理論等を使い、解析や設計を行うことが可能となる(例えば[6])。

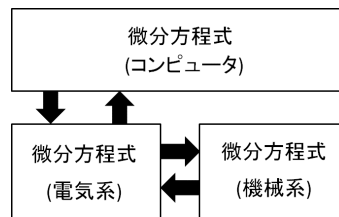


図2 共通言語としての微分方程式

シミュレーションを行うためにはある程度は正確に対象の微分方程式をモデルとして求める必要がある。誰かがモデルを用意してくれるわけではないので、制御エンジニアが対象のモデルを自ら求める(図3)。ただし、物理学者が物理定数を極めて正確に求めるのとは違って、制御に使うモデルはある程度正確であれば良いことが知られている。ただし、モデルに基づいて解析・設計した結果を補償器としてコンピュータ上に実装して動かしても、モデルの精度が良くなければ実際に当てはめた結果は芳しくない場合がある。この場合には、図3のようにモデルを作りなおし解析・設計の試行錯誤が必要である。

[†] 読者によっては、微分方程式という言葉に拒否反応が出たかもしれない。しかし本稿に関する限りでは、微分方程式とは対象がどのような動きをするかを表すかを「簡潔に表した言葉」と思っただけであれば良い。

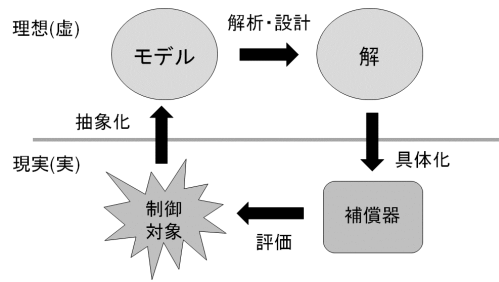


図3 モデルに基づく制御システムの構築 (文献[7]をもとに修正)

2. 横断型科学技術について

制御理論家の大家である木村は、制御工学の考え方に基づいて横断型科学技術という考え方を提唱している[2]。工学には二つのタイプがあり、自然科学に基礎を持つ「応用工学」とそれとは無関係の「純粋工学」があるとしている。図4において、縦軸は電気工学や機械工学等の応用工学を表す。一方、横軸はシステム工学や制御工学等の純粋工学を表す。○印は応用工学と純粋工学の接点を表し、それを通して技術は社会と関わるとしている。以降、応用工学・純粋工学をそれぞれ縦型技術・横断型技術ともよぶ。

縦型工学は自然に依拠することを通して要素技術に達し、横断型工学は論理に依拠して要素技術を人間社会に結びつけるとしている。図1と図2を例に、図4を考えてみよう。縦軸の電気工学と機械工学および横軸の制御工学に注目する。エレベータを動かす前提として、機械工学によって機械系のカゴ等や電気工学によってモータ等が適切に作られなくてはならない(縦軸)。一方、エンジニアが機械系だから電気系だからと言ってはエレベータがシステム全体として適切に動かない。これらを統合するための工学理論が必要である(横軸)。横断型科学技術からしても、縦型の工学がなくては技術による社会との接点がないため縦型工学は必要不可欠である。

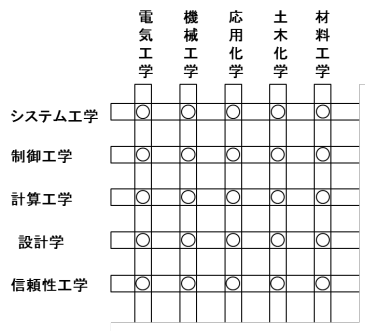


図4 縦型工学と横断型工学 [2]

図4 が示していることは、異なる分野を意識して構築された工学理論は制御工学だけではないということである。制御工学が特殊なわけではなく、システム工学、計算工学、設計学、信頼性工学等、他にもいろいろ存在する。文献[2]で木村は、横断型基幹横幹科学技術とは何かについて述べている。設計科学で「知の統合」を担うのが横断型基幹科学技術であり、ここで設計科学とは、価値命題、最適化、実現、検証のループをまわすことを通じて全体最適化に近づいていく知の営みであるとしている。ここで、横断型科学技術でモデルを用いる際には検証が必要なのは図3から分かる。実際、抽象化によってモデルを

構築する際に必ず抜け落ちた現象が存在するため、モデルに基づいた最適化を行ったとしても実際の制御対象には最適とはならないためである。

3. 異なる分野での「対話」

上記のことから異なる縦型の工学分野を背景にしても横断型科学技術を共通知識として持っていれば、その知識を通じて他の専門について類推することは可能となる。たとえば、筆者は学生時代にはどちらかといえば機械系の専門ではあったが、制御工学の知識を通じて電気系のことについて類推することも可能となる。ただし、横断型科学技術を通して抽象化を行うため、類推により得られた知識はなんらかの検証が必要となるであろう。

異なる分野での対話を表すと図5のようになる。左下のブロックが自らの持つ具体的経験とし、右下のブロックが異分野の人の持つ具体的経験とする。異分野であるため、そのままでは「対話」が困難であるとする。この場合には基本的には異なる分野の具体的なことはお互いに知らないので、相手の経験を”想像”しながら対話することとなる。すなわち、自らの具体的な経験をもとに抽象的思考に基づいて、相手が具体的に経験していることを類推しながら対話をするしかない。その際、お互いの経験の本質が近ければ具体的経験が異なっても、抽象的思考による対話がうまくいく可能性が高い。また、お互いに類推しながら「対話」をしていることになるので必ずズレが生じる可能性がある。このズレを埋めるために何らかの検証が必要になる。

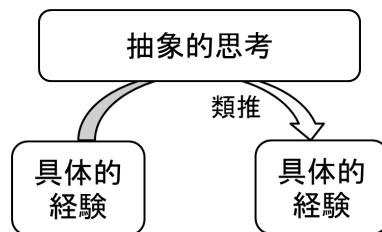


図5: 異なる分野での「対話」

これらのことに基づいて、異なる分野での「対話」について横断型科学技術から学べば以下の通りになると考えられる。

- 異なる分野の間で「問い」が存在する場合、対象を抽象化し共通の知識により本質を抜き出すことが重要である。「問い」に対してその対象が適切に抽象化され本質が適切にとらえられていれば、問題の解決に近づく。
- 本質を押さえられていなければ、どれだけ「対話」しても机上の空論に過ぎない。抽象化することによってなんらかの単純化される面が必ず存在するため、現実の世界では必ず検証が必要となる。すなわち、なんらかの「行動」が必要である。
- たとえ共通の知識が無くとしても、縦型の専門を一つと横断型の知識を持っていれば、他の縦型の知識について類推が可能となる。抽象的思考にも慣れることが重要である。

抽象的思考に慣れるといっても、必ずしも簡単ではないことが制御工学における教育の観点から指摘されている。文献[2]において、木村は制御工学の授業を行う際に抽象的思

考を扱うことの難しさについて述べている。大学で制御工学の講義を行う際にその理論の核心となる部分にさしかかると付いてくる学生の方が急に減ってくるという。これは抽象のレベルが高いからではなく、抽象の質がそれまでの経験世界を超えているからであるとしている。実際、制御工学では大学程度の数学を使用しているが、高校を卒業するまでに制御に関する経験的な知識を得る機会が少ないため理解を困難にしている。浅井ら[8]は制御工学に関する体験的な先行知識がないために学生に制御理論が受け入れられないのではないかという仮説を立てている。これに基づき、モータによる制御系の実験を体験させるという導入講義を行った後に講義を行うという試みについて結果を述べている。これによると、フィードバックや不安定化の体験をさせることで、制御工学に関する先行知識を与えることにおおむね成功したとある。このことは、具体的な制御の例や演習問題といったことではなく、モータを触るという具体的な体験が効果的に先行知識を与えたことを示している。具体例により先行知識をどのように与えるかは、一つの問題となるであろう。

Ⅲ 「対話」の方向性について

異なる専門の人間が集まって「対話」が必要になるのは、なんらかの問題に対して解決を模索するためである。しかし、方向性もなく「対話」をしていては問題の解決へと進むことが困難となるであろう。前節では、横断型科学技術に基づいて異なる分野での「対話」について考察した。横断型科学技術のような状況が成り立つためには、異なる分野での本質を共通言語として抜き出すことが重要であり、異分野の隔たりが大きすぎる場合には共通言語が存在することを期待することは難しいかもしれない。

文献[7]において、鈴木は横断型科学技術とは何かという議論に対して、学際や融合と横断型科学技術との違いについて説明している。横断型科学技術は学際や融合は複数の既存の学問分野を横につなぐという意味で似ているが、その存在を主張するために独自の視点を付け加えて役割を与えるとしている。本節では、異なる分野での「対話」の理解を深めるために、学際や融合と横断型科学技術の考え方の違いについて紹介し、続いて重なり思考についても紹介する。

1. 学際や融合について

横断型科学技術学会連合を発足するための準備としてその概念を明確にさせる際に、「横断型は学際と同じことではないか」、「学際がより多くの複数の分野に広がったものが横断型ではないか」という疑問がなされてきたという[7]。これに対して、文献[7]で鈴木は学際領域や融合領域による概念を説明している。それによれば、学際は2つ以上の異なる学問領域のどちらにも属さない隙間、あるいは2つ以上の学問領域の周辺部で重なり合う領域の重要性が拡大し、1つの学問領域として巣立ったものとして考えると分かりやすいとしている。一方、融合は2つの学問領域まで含めて一体化し、より拡大した1つの学問領域を指すものと考えると分かりやすいとしている。図6、7にそれらの概念を示す。

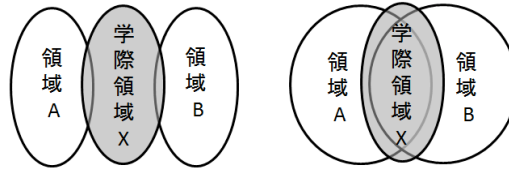


図6 学際領域の概念 [7]

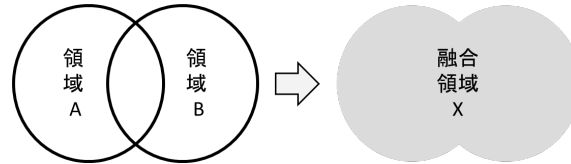


図7 融合領域の概念 [7]

文献[7]で鈴木は学際や融合を超えた独自の視点を付け加えたものとして、横断型科学技術の二つの役割を示している(図8, 図9)。

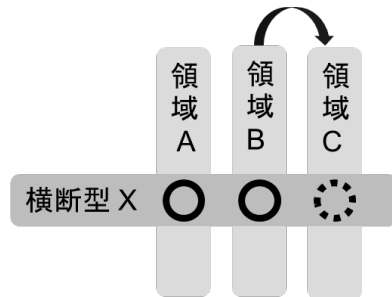


図8 横断型科学技術の役割1 [7]

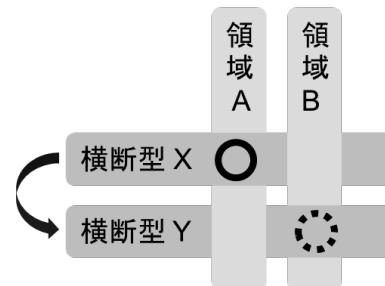


図9 横断型科学技術の役割2 [7]

図8は既存の学問領域をAとBの両方で顕在化している問題に対して、それらの問題間に共通なフレーム構造およびその解決策(あるいは概念)からなる横断型技術Xを確立したところ、横断型科学技術Xを確立したことで、異なる領域Cでそれまで顕在化せずには内在化していた共通フレーム構造をもつ問題を見出し、かつ横断型科学技術Xが当該課題の解決に貢献したことを表している。図9は横断型科学技術Xが確立しているときに、Xに対するアナロジーで領域Aにおける別のフレーム構造を持つ新たな科学技術Yが新たに確立し、その科学技術Yが領域Bにおける新たな問題を顕在化し、その解決に貢献したことを表している。

以上のことから、学際的や融合的な考え方は従来の領域の境目がなくなり「独立性」が無くなる方向性であるのに対し、横断的科学技术としての思考としては縦型の領域に関して「独立性」を保っている点異なることがわかる。一方、「独立性」を保ち横断型となるためには具体的な対象そのものではなく、図2のように共通言語として抽象化する考え方が大事であることがわかる。いずれにせよ、異なる分野で「対話」を行うためにはなんらかの接点が必要である。異なる分野の人が「対話」をしなくてはならない場合、必ずしも横断型のようにする必要もない。もし、共通言語が見つからなければなんらかの接点あるいは重なりを探すことで「対話」を行うしかない。

2. 重なり思考について

文献[9]の著者は企業における問題を例に、ズレた問題解決はやめようと提唱している。たとえば、ものづくりを行って利益を得る企業もサービス業もあらゆる企業は顧客の問題を解決するために存在している。しかし、自社の理論で考えてしまいがちな企業も存在する[9]。このような企業は短期的には利益が上がっても、自社の都合を押し付けていると顧客の立場に寄り添ったプレイヤーが出てきたときに負けてしまうという。それは、自分の問題を解決しているだけにすぎず、顧客の問題を解決していないからであるとしている。大切なことは、自分たちの問題を解決しようとしているだけで顧客の問題、市場の問題を解決していなかったということにならないためにも、「相手の思い」と「自社の思い」を重ねていくことであるとしている。

文献[9]では、他者と自己の関係について世阿弥(例えば[10])の離見の見を紹介し、相手が切実に思っていることを発見し自分のポテンシャルを理解して重なりをつくることが大切であるとし、このような技術を重なり思考として問題解決を述べている。自らの強みや思いとして、独自性やポテンシャルを活かすことが重要性であり、これまでの常識が邪魔をしてできていない本来の思いを再発見することの大切さを示している。一方、相手が言葉にしていなくても、実はまだ満たされていない欲求があるため、その不安や不満を発見することを勧めている。重なり思考は我見と離見の重なりを探すことで答えを見出す思考である。図10に重なり思考を示す。文献[9]では、30のビジネスにおける成功例について、図5の重なり思考に基づいてシンプルに解説を行っている。「対話」の観点からすると、自分と相手の視点を考慮し両者の問題を解決することはそれが成り立つために最も重要なことの一つであると考えられる。

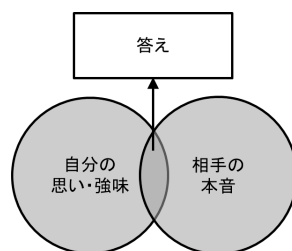


図10 重なり思考 [9]

IV おわりに

本稿では「教科教育学研究方法論」における経験をもとに、異なる専門を背景とする人間での「対話」について考察を行った。横断型科学技術の考え方に学ぶとすれば、「問い」を立てて「対話」を行う際には、抽象的に考えて共通となる言語で本質を抜き出すことが重要である。ここで、抽象化を行う際に抜け落ちる部分は必ず存在する。このため、なんらかの「行動」により検証が必要となる。たとえ共通の知識がないとしても、類推により「対話」を続けることが重要であるため、抽象的思考に慣れることも重要である。ただし、抽象的な思考は具体的な思考に比較して必ずしも簡単とはいえない。また「対話」の方向性について、自分の専門だけではなく相手の専門も考慮し、両者の問題を解決することが重要となる。

横断型科学技術の考え方を紹介しながら考察を行ったわけではあるが、実際に異なる分野での人間が「対話」することは決して簡単ではないかもしれない。理系・文系・非言語系まで含めれば、狭い範囲内のことだろうという指摘があるかもしれない。あるいは、浅学非才ゆえに、もしかしたら簡単なことをわざわざ微分方程式まで出して分かりにくく説明しているかもしれない。むしろ重要なのはお互い協力しようという心構えかもしれない。本稿では自らの狭い視野から見えることに基ついで考えを述べたわけであるが、さらなる良い議論や対話のためとなればと思う次第である。「教科教育学研究方法論」について考えると、今後より良い授業を行っていくために、授業を行う教員と授業を受ける学生側で重なりを見つけ出すことが大事であると考えられる。

引用文献

- [1] M. Polanyi, 高橋(翻訳): 暗黙知の次元. ちくま学芸文庫(2003).
- [2] 木村: 横断型基幹(横幹)科学技術とは何か. 横幹, Vol. 1, No. 1, pp. 4-8 (2007).
- [3] 木村: もののつくり配線「匠の呪縛が日本を推戴させる」. 日本経済新聞社(2009).
- [4] 木村: 制御工学の考え方-産業革命は「制御」からはじまった. 講談社(2002).
- [5] 日経エレクトロニクス編集, dSPACE Japan(監修): モデルベース開発-モデリング, プラント・モデル, コントロール・モデル-. 日経 BP 社(2013).
- [6] 茨木, 片山, 藤重[監修], 太田, 酒井, 高橋, 田中, 永持, 福島[編集]: 数理工学事典, 朝倉書店 (2011).
- [7] 鈴木: 横断型基幹科学技術としてのマネジメント技術. 計測と制御, Vol. 42, No. 3, pp. 178-182 (2003)
- [8] 浅井, 大須賀, 石川, 井上: 体感型制御実験装置を用いた動機付け講義とその効果. 計測自動制御学会論文集, Vol. 48, No. 10, pp. 622-631 (2012).
- [9] 坂田: 問題解決ドリル-世界一シンプルな思考トレーニング. ダイアモンド社(2016).
- [10] 土屋: NHK「100分 de 名著」ブックス世阿弥風姿花伝. NHK 出版(2015).