

教材開発における高校工業科教師の力量形成に関する事例研究

坂田 桂一*・稲森 龍一**

(2021年10月20日 受理)

Case Study on the Competence Development of a Teacher in a High School Industrial Department Through the Creation of Teaching Materials

SAKATA Keiichi, INAMORI Ryuichi

要約

教材研究・開発に関わる力量は、その教科における教師の専門的力量において重要な位置づけにある。本研究はそうした教師の力量形成の中でも、これまで着目されることの少ない高校工業科の教師に焦点をあてた。

その上で本研究は、高校工業科における教師の教材研究・開発と展開の過程を中心としたライフストーリーを明らかにする中で、その教材研究・開発を支えた要因や教師の力量形成について検討を試みることを目的とした。本研究はその教材として稲森龍一が開発した教材用スターリングエンジンに着目した。

検討の結果、稲森による教材用スターリングエンジンの開発、研究の過程は偶然性や同僚性及び他者との関係性に支えられていた。加えてそれを可能とした、授業づくりへの反省的な態度と生徒の実態を把握する力量、他者への敬意、その過程の中で高められた専門的知識や技能、教育的意図と計画性といった教師の力量がその要因としてあったと考えられた。

キーワード：教材開発、高校工業科、教師の力量形成、事例研究

* 鹿児島大学 法文教育学域 教育学系 講師

** 鹿児島県立工業高校元教諭

1. 研究の背景と目的及び方法

教材研究の良否はその授業の成功や不成功を規定する重要な要因とされている¹⁾。またそうした教材研究あるいはその開発に関わる力量は、その教科に関する教師の専門的力量として重要な位置にある。本研究はそうした教材研究・開発に関わる教師の力量形成に関わる研究の一環として、高校工業科の教師に注目する。

教師の力量形成(教師教育)に関する研究の中でも、高校工業科の教師に着目した研究は少ない。その中でも、民間教育研究団体である技術教育研究会が発行している論文雑誌『技術教育研究』に掲載された一連の論稿は注目される²⁾。そこでは、高校工業科の教師が自らの教師生活を振り返り、その力量形成の契機が記されている。いわば、そこに記された教師の力量形成の過程は、読者に向けられた著者の“ナラティブ”でありライフストーリーである。

教師教育研究においてナラティブアプローチやライフストーリーアプローチは、その力量形成の軌跡を捉える方法として、近年注目されている³⁾。そうした意味で前掲の『技術教育研究』に記された高校工業科教師の一連の論稿はその力量形成の方途を探る上で少なくない示唆を有しているものと考えられる。一方でライフストーリーはインタビュアーと語り手の相互によって構築されるものである。その点において、人生を自ら記すという方法をとった上記の一連の論稿は、読者という語られる対象は意識されつつも、インタビュアーの質問や分析による語りの補完や明瞭化はなされていない。また、上記の一連の論稿において教材研究や開発はそのライフストーリーを語る上で一つの要素としては記されつつも、とりたててそこに焦点はあてられていない。

そこで本研究は、高校工業科における教師の教材研究・開発と展開の過程を中心としたライフストーリーを明らかにする中で、その教材研究・開発を支えた要因や教師の力量形成について検討を試みる。本研究はその教材として稲森龍一が開発した教材用スターリングエンジンに着目した。

稲森は1963年から2001年の間、鹿児島県の工業高校(金属工業科・機械科)の教員を務めた。定年退職後は幾度も新任教員の指導教員や非常勤職員として勤務するなど同県の高校工業科教育に貢献してきた。

稲森が開発した教材用スターリングエンジンは、後述するように長年にわたり継続して開発、改良が行われてきた。また本教材は授業での活用は当然のことながら、地域の教育研修に何度も取り上げられ、全国規模の学会、海外への講演などへと展開した。本研究は教材開発に関わる事例研究の一環として、そうした特徴的な教材の開発や展開の過程を対象とし、それを可能とした要因や教師の力量形成について検討することを目的とした。

本研究は上記の目的に対し、次の3段階の方法をとる。第一に、稲森に教材用スターリングエンジンの開発や展開の過程における教師の成長に関する論稿の執筆を依頼した。第二に、第一の結果として提出された計6本の論稿を分析し、時系列やエピソードの文脈にそって構造化した。また、そのライフストーリーを構成する上で必要と思われる部分については電子メールやききとりによって質問を行い、補完した。また構成したライフストーリーについて稲森本人の確認を行い、字句等

の修正を行った。第三に、構成したライフストーリーの分析を行い、その教材研究、開発を可能とした要因や教師の力量形成について検討を行った。

以下、2節から10節において稲森による教材用スターリングエンジンの開発や展開の過程に関するライフストーリーを記す。その上で11節においてその考察を行う。記載にあたっては、ライフストーリーという性質上、口語的であってもそのままの表現とした。また鹿児島県を除く地名や学校名、稲森以外の個人名は、順にA,B...と表記を改めた。

2. スターリングエンジン教材化への動機・

1963年に大学は鉄鋼関係を中心とした金属工学科を卒業して教師をすることになった。初任校は前年に鹿児島県の北部に新設された金属工業科のあるA高校であった。そこでは合金分析、金属組織などの科目を週に20時間くらい授業しながら新設学科の実習室の計画などをした。

1975年に離島にあるB高校の機械科へ転勤したことによって、新しい科目「流体原動機」を教えることになった。当時はまだ教材用スターリングエンジンを開発する前であったが、授業をしてみると内容は難しいけれども大変面白く感じたのを覚えている。

スターリングエンジンを教材化する契機は、1996年に訪れた。当時、C高校の機械科に着任した。同校に勤務するのは2度目であった。しばらく経つと、以前に同高校に勤めていた頃の様子とは生徒が違うことに気がついた。とりわけ様子が違ったのは授業での学習の様子である。何年かぶりに「流体原動機」の授業を担当してみると、はじめはエンジンのことを習う授業ということで生徒達は興味深く授業を聞いていた。けれどもカルノーサイクルやボイルシャルルの法則などの文字や数字の入った式が出てくると元気がなくなり、遂には居眠りをする者が続出した。黒板を叩くようにして授業をすると、この科目も教師の私までも嫌われてしまう結果になった。教師として教えたい内容が伝わらない苛立ちと指導力不足で情けない授業になっていた。

そうした悩みを抱えていたその頃、ある日のTV番組の終わりの字幕に数秒間「スターリングエンジン」という文字が流れるのを目にした。熱を教えるにはこれを教材にしたら・・・と思ったことがこの教材化の契機である。

しかし、名前は知っていても動作原理も分からず写真すら見たこともない。温度差で動くらしいという程度でほとんど予備知識もないままにこの教材づくりを始めようとしていた。

自分の授業の拙さと挫折感から何とか抜け出したいという切実な教師の良心?が動機だったと言えばカッコ良いが・・・この時点ではこのあと起こる苦闘は知る由もないことであった。

3. 1号機誕生まで

まずは当時の同僚であった若い教師の二人(熱専門)に協力してもらい、イメージの中にある動作の説明を2時間位聞いてもらった。返事を聞くと「間違っではないけど、ほんとに回るのかな」と言う。「回るか回らないかは作る私の責任で、理論に矛盾することをやりたくないだけ・・・」と言

って設計と製作が始まった。

目的どおりの部品や品物もなく全て自作するしかなかった。特にピストンとシリンダーとの気密を保ちながら、両者の摩擦をいかに少なくするかが大きな問題であった。あるときその問題について知り合いの医者と話をする中でガラス製の注射器を紹介された。これは使える!!と一歩前進を感じた。

どれだけの空気が膨張してピストンを押す、径はいくらだからストロークをいくらにしたらトルクがいくら得られる・・・等と作った部品を組み合わせて計算をする作業を延々と繰り返す。それらしく形になり2ヶ月位テストを繰り返すが回る気配はない。機械摩擦もしくは圧縮の漏れが原因か、クランクのストロークの不具合か、フライホイールの大きさか、計算間違いか、温度差不足か、それらの複合か、はたまた考え方がもともと間違っているのかと五里霧中の毎日であった。

ある朝の通勤中、車の中で閃いた。気づいたのはクランク軸の角度の 0° と 180° は同じだというごく当たり前のことである。ディスプレイサとパワーピストンの位相角を 180° と勝手に思い込んでいたのに気づいて自分で赤くなった。針金で作ったクランクシャフトは、すでに両掌に余るほどになった。テストをしやすいように、クランクシャフトの角度を可変する工夫も施した。これで回るかと思ったが微動すらしない。

ある日、自宅での実験中にフライホイールに手をかけると、微かに”方向性がある”ことに気が付いた。だったら回るのだ!! 部品の精度を上げて摩擦抵抗を極力減らし、クランクの位相を 90° にして組み立て、室温との温度差を約 30°C にしたお湯に本体を静かに入れてみると、目的の回転方向とは逆方向にわずかに動いた。回転を誘うと静かにゆっくり回り始めた・・・。製作を思いついてから約7ヶ月経って初めて回ったのである(後日分かったのだがこの時私がイメージして作ったものは γ 型のエンジンだった)。大人になってこの瞬間にこれほどの感動を覚えるとは思っていなかった。

写真1のように一応の完成をみたスターリングエンジンを当時の勤務校の校長に見てもらった。「私も長年”熱”を教えてきたけれど、そんなに簡単に熱が運動になるとは思えないが・・・」と言う物理を専門とする校長を目の前に、お湯と氷でエンジンは回った。その日、校長は何も言わずに帰って行った。次の日の朝、校長室に呼ばれた。「昨日は騙したのではないか、もう一度説明してくれ」と言う校長の言葉をきっかけに、この教材の説明の方法を見直すことにした。物理の先生に分かりにくいのでは生徒に分からせられないと思った。それほど熱エネルギーから運動エネルギーへの変換が可視出来るこの教材は不思議だったのである。この1号機は室温との温度差 9°C まで回ったことを確認し、1996年10月に組立図とP-V線図上での動作説明図を書き、教材として完成させたことになった。

4. 2号機以降の製作とその経験

1号機を完成させ、本教材のおもしろさを感じ、すぐに2号機を製作することになった。2号機



写真1. 1号機（プロペラはデモ用）

はその頃偶然に手に入れた冊子『スターリングエンジンの製作』をもとにした。D 県の工業高校教員であった E 氏は総合実習の製作課題としてスターリングエンジン教材を開発し、その指導内容等を 1 冊の冊子としてまとめられた。この冊子にもとづき 2 号機を製作した（写真 2）。

2 号機がひとまず完成したものの、またもや一筋縄では回らない。何が良くないのか。仕方なく面識のない E 氏に電話をして聞くと「フライホイールを切り離してディスプレイサを手で動かしてみてください」と言う。その通りにやってみるとパワーピストンが同じ方向に動くのである。動きを伝えると「それは回っています、もう少し熱を加えてみてください」と言う。それを聞き、さらに熱を加えてみるとあっさり回った。スターリングサイクルは成り立っていたのだ。

1 号機とは異なり 2 号機以降は主に工作機械による金属加工を要した。こうした教材を製作する過程で私自身がものづくりや工作加工に慣れたことも大きな経験であった。

当時から実習の授業では、指導書に書かれた機械加工や手仕上げなどについての手順に沿って指導をしてきた。しかし、この教材作りでは形よりも機能が目的であり、何よりもこれまで以上に精度を優先する。幸い、当時の学校に企業で機械加工を仕事としていた高い技量の持ち主がおり、多くのことを学ぶことが出来た。

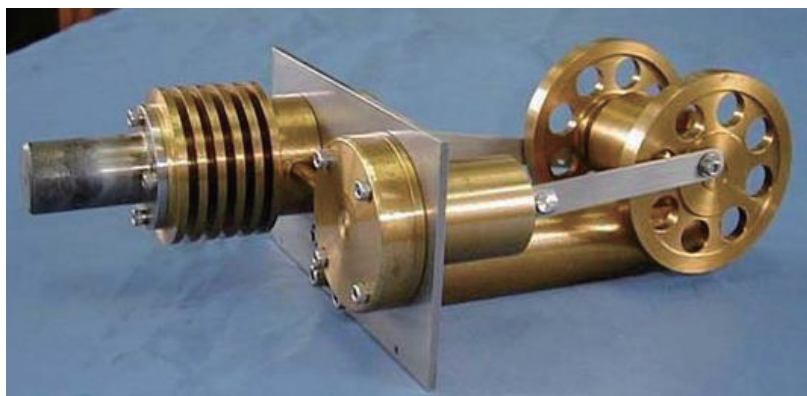


写真2. 2号機

あるとき私が旋盤でピストンとシリンダーを加工していた。シリンダーは黄銅で中に入るピストンはアルミ材、それを気密に作ろうとしているわけだからよほど精度良く仕上げなければならない。シリンダーの中ぐり加工が何とか終わったと思っていた時、その人が来て大きな指でシリンダーの内面をひと撫ですると、「中に 2/100mm 程度の段差がありますね」と言う。私としてはかなり良く仕上げたと思っていたがそれは 2/100mm 程度の精度だったのである。その人が「私が最後の 1 パスを削りましょうか」と言ってハンドルを替わり、刃物が通った跡が無いと思えるほどの表面精度に仕上がった。さすがプロ・・・それも私が使っていたそのままのバイトで仕上げるのですから・・・。

またある時、フライス加工をした部品が何回やっても合わないのでおかしいと首を傾けていたら、他の先生から他人の使った工作機械をそのまま使うのは使う方の責任ですよと言われた。機械を確認すると、テーブル上のバイスがわずかに傾いていた。言われてみれば当然なのだが、何事もやってみないと分からない、失敗・経験しないと分からない、だから実験実習が必要なのである。

これらの経験や失敗から難しいところ、危険なところ、失敗しやすいところなどが見えてくる。それらが生徒への実習の指導の際にそのまま生きる。難しいところがわかれば、そこで一言注意と説明を加えるとあっさり身に付く。

材料選びも教材作りには欠かせない。この教材作りにはアルミ材を多く使ってきたが、学校に来る業者では応じきれず素材問屋を紹介してもらった。問屋に行ってみたら沢山買わない上に色々と条件を付ける学校からの注文は喜んでもらえない。それでも数種類のサンプルを出して試しに削ってみて欲しいと言われた。加工してみるとカタログにある字面では分からないものが、実際に加工するとよく分かる。加工性が良くても耐食性に問題があったりする・・・なかなか一筋ではいかない。

5. この教材を使った授業と生徒の変化

さて、この教材を使って授業をすると、物理を習っているはずの生徒達がエネルギーや熱の本質を理解していないことに気が付いた。この教材のことを周りの人達を知るようになり、勤務校以外で話をする機会があったが、高専・大学の学生でさえ「エネルギーは無くならないのでしたよね」と話し始めると「えっ!」という声が聞こえたことが 1 度ならずあるのに驚いた。熱力学のエネルギー保存の法則や熱力学第一法則は良く知っているのになぜか言葉を変えて「エネルギーが無くならない」と聞いて驚くのか。物理で習ったものが机上・紙上の知識であってその本質が理解されていない。式に当て嵌めての計算なら出来るのに「熱」の捉え方が不十分なのだ。

そのことに気付いてからは例として挙げるほかは数式や文字を出来るだけ使わずに話しをすることにした。正確な計算の前にエネルギーや熱の性質を実感してもらおうと考えた。もちろん定量的にエネルギーや熱を知るために計算は不可欠であるのだが、何故その計算が必要なのかを知ってから計算するのか、ただ式から導き出す値が答えとして○か×なのかでは理解の意味が違うわけである。お湯や氷で回るこの教材を使った授業を受けた生徒達は、何の違和感もなく、同じ温度差ならば方向が異なるだけで同じエネルギー量であることが実感できるのである。黒板やプロジェクタ

一、数式だけを使って納得させるには声が潤れるまで説明が要るように思う。

またこの教材で授業をしてみると必ず「僕達も作ってみたい・・・」と言ってくる。心の中でニヤリとする瞬間である。後述する「課題研究」の出番でもある。作ると次には「どれくらいの力があるのか」と言い出す。やってみないと分からないと言えど動力試験やその方法を考え始める、次は動力の熱効率を知りたくなるのである。生徒達に限らずその先が「知りたい」という素朴な本音と欲求は人の本能なのかもしれない、教室での生徒達の目の色が変わり、授業中に寝る生徒などいなくなる。

教師の面白さとは分かった時の生徒の顔を見るのが嬉しいからである。生徒が変わったその一因としては、精一杯教えようとする私達教師の姿勢を示したことも大きいと思う。苦勞して作ったひとつの教材が変えた授業や興味関心の持ち方の有形無形の見返りは大きかったと思う。

6. 「課題研究」やものづくりの題材として・・・

「課題研究」という科目は指導の仕方によって成果も興味の持たせ方にも大きく違ってくる。3年生に週2時間を使い、クラス40人を4～5人の教師が指導している例が多いようだが、教科書や指導書などがない科目だけに自由度が大きく、ややもすると生徒任せで内容の少ない課題研究になってしまう嫌いさえある。

2004年の「課題研究」で8人の生徒を担当した。そこでは、これから1年間掛けてどんな課題について研究するのかを話合わせ、この科目では教師は相談には応じるが何事も生徒自らが解決していくことが大切であることをはっきりさせた。話し合いの末に γ 型のスターリングエンジンの製作・研究をテーマにすることが決まった。費用のこともあって二人で一台作り、秋に行われる生徒発表大会と文化祭に向けて完成させることを目標とした。

工作機械の使い方や材料の選択など、これまでの言われるままにやっていた実習では経験したことのない場面に次々に出会うことになりしばらくは戸惑う。しかしひと月もすると軌道に乗り手分けして経験を教え合うことによって能率が上がることに気づいてくる。夏休みになると部活動終了後に実習室に来るようになる。時には夕方になっても帰らないので帰らせるのに困るくらいに熱中した者もあった。夏休み前に一つのグループが完成させると刺激になって進みも早くなり製作についての工夫を教え合う場面もよく見られた。

完成したこのエンジンがどれだけの出力を持っているのか知りたくて、動力試験をしようとする試みが出てきた。原動機の教科書にある動力試験機の原理を応用して測定する。指導者の私も楽しみで一週間が待ち遠しいくらいになる。夏休みが終わったころ、別の課題研究の者達3人が「私達も仲間に入れてほしい」と言って来た。ここの課題研究があまりに楽しそうだから僕達もやりたいたいと言う。半年過ぎた今、まして今の課題研究のグループを抜けてここでやるのは難しいが・・・と言えど部活動も3年生の私達は引退した形ですから放課後でも良いですからやらせて欲しいと言う。担任と相談して受け入れた。合わせて11人の生徒達を指導することになったが、後から作ること

になった生徒は先行した者から聞きながら自分達で進めるので困ることもない。

では順調にものになって行ったのかと言うと決してそうではない。いや、もの作りには失敗や間違いはつきものでありそれ無くして完成するものはないと思う。それは部品の製作や考え方だけではない。この課題研究では二人で一台を作ることになっていたが、その二人の人間関係ともいえる足並みが必ずしも揃わないことがある。分担して作った部品を組み立てると合わない、一人の作業が遅れて計画が狂ってくるなどのトラブルが毎度のように起こる。遅れた者が焦るほどミスが増える。遂には作る本人も嫌気がさし、仕事から逃げだす。ますます事情が悪くなるのは分かっているがら..。

ある日一人があいつとは一緒に仕事はしたくないと言って来た。仕事から逃げてさっぱり責任を果たさないという。やはりそうだったか..と思った。その日の終わりの時間に全員を前に、すべてを話した。逃げる者も良くない、相棒の者も良くない、そして周りの者も良くないと、社会人になったら気の合った者達だけで仕事をするわけではない、中には意見の違った者もいるし、技量の違いや失敗をして約束が守れないことすらあるだろう、一番の原因は逃げ出す無責任者だがその時相手を責める前に周りも手を出す仲間としての優しさが必要なのだと、そしてどんなに小さいことでも約束が果たさなければ周りに迷惑をかけるのだということを知るべきだと、学校はそんなことを経験する場であるけど社会人になってから今回のようなことをやったら人格を疑われることになる、とも..。ものつくりを通して生徒達の人格を育てるのが学校教育であり、こんな場面こそ指導書にはない貴重な指導場面だと思う。

目標であった県内の専門高校の生徒発表大会と校内文化祭に展示ブースを貰った。校内の生徒や教職員、一般の方達にも説明と実験を披露する場面は見ていて頼もしいものもある。中の一人は卒業するときに持って帰りたいので自分用を作らせて欲しいと言ってきた。材料は使って良いけどベアリングなど自費になるよと言って許可したが、まもなく完成。製作も2台目になるとこんなに、と思うほど完成度の高いものを作り上げた。

私は最後の授業で生徒達に次のように言った。「いま、私は大変困っている。この課題研究について皆さんの成績評価を付けなければならないのだ。上手く作った人、何回も部品作りに失敗をした人もいたが評価に差があるのだろうか..私から見ると違いは見当たらないのだ..みんな精一杯やったのだから..」と。

提出された課題研究の報告書の感想には「やらされる仕事と自分からやる仕事ではこんなに違うのだ..」と書いた者もいた。

7. 学校外での広がり

授業におけるこの教材の生徒に対する影響は予想もし、目的であったわけだが、周囲の教師や学校外からの反響もあった。

専門高校が行う1999年の「全国産業教育フェスタ(島根)」、日本科学技術振興財団と鹿児島市

立科学館主催「青少年のための科学の祭典鹿児島 2006」への出展や、地元の大学や高等専門学校での講義に呼ばれることもあった。また学会員ではないが日本機械学会（2000年）や日本技術史教育学会（2006年）からも依頼があり、発表をした。海外では中国・F大学（2004年）及びG大学（2007年）での講演も行った。その他にも地元企業の懇親会でも話しをしたことがある。いずれも思いもよらない反響に戸惑いながらも参加して、多くの人達から興味を持ってもらったのは幸運であった。

2000年9月、鹿児島県で1、2の進学校・文系2年生への出前授業をクラス担任の先生から頼まれた。クラスで取り組んでいる文化祭のテーマがエネルギー問題と環境という事だがいま一つ深まりが足りないので工業の先生から何かヒントはありませんか、ということで50分の授業をすることにした。授業が始まって10分もすると、教卓の前の床に座り込んで聞くほど熱心に学ぶ生徒の姿があった。その後、文化祭にも呼ばれて見せてもらったが見学者の数も多く大成功となった。

しばらくしてこのクラスの文化祭のまとめ役の女子生徒から「文系から理系に移れないだろうか、理系の面白さを知らずに文系を選んでしまった」というメールが届いた。担任にもその相談があったと言う。進路を迷わせた責任を感じた。メールの返事には「文系理系という言葉は受験用語であって社会にあっては別々に仕事をしているわけではない、文系と言われる分野の人が理系の内容に知識関心があれば、むしろ特技にさえなると思う」と書いた。3年生になりメールが途絶えた。夏休み前にある大学を受験する旨だけ伝え、年明けに「合格しました」と連絡があった。ついては親元を離れる前に先生と会ってから行きたいので自宅を教えてください、と言う。自転車で来ると言うのを押し留めて迎えに行き、私の家で昼ご飯を食べながら文化祭の話が弾んだ。あの教材は僅か50分の授業で大学への進路を考え直そうとするほどショックだったとのことであった。

8. 67号機まで続く教材研究

この教材を原動機の授業に使い課題研究のテーマにし、いくつかの講演や講義もして来たが、その度に教材の発展の契機があった。今では67号機まで続いている（写真3）。講演や講義などで他人の目に触れると、必ず質問が出る。工作上的事など経験したものもあるが機構を変えた時の性能や動きなどは必ずしも計算だけでは答えられないものも多い。やってみないと分からない部分がい



写真3. 製作した教材用スターリングエンジンの内の約50機

くらでも出てくるのである。質問者が、「では作ってみよう」と言ってくれば、後日にでも結果を聞かせてもらいたいところである。ただ、「そうですか」で終わったときにはその質問に対しては回答していないことになる。だったら自分で作りやってみるしかないのである。そういうことが重なり、数が増える結果になった。それも聞かれた内容が当を得たものであればあるほど質問者への返事が出来なかったからではなく自分で納得してみたいくなる。

例えば α 型であれば膨張側と圧縮側の容積を変えた時にはどうなるのかとか、 γ 型のものではフライホイールの慣性をもっと小さくしたら、いやエンジンとしてどこまで小さくできるのかなど、想像はできても実際にやって見ないと動的挙動は分からない。だからこそ実験が必要なのかもしれない。

ある日、スターリングエンジンがきっかけで知り合ったH大学(当時)のI先生から、指導している卒論の学生が回らないエンジンを作ったが、なぜそういう動きをするのか解析中で私にも考えて欲しいと連絡がきた。よく聞いてみるとその学生は大変不器用?で何でも接着剤を使って作るのだという。そうして出来たものが回るのでなく振動するエンジンだという。試しに私も作ってみたが見事に振動する、次になぜ??を解くことになる。位相 180° だから名付けて π 型エンジン。I先生は作っている学生に途中で喉まで出かかった否定の言葉を言わなくて良かったと、何を考えているのかと思えることでもとことんやらせるのが教師なのかもしれないとも言っていた。

このように67号機まで製作していると「こんなにたくさん作ってどうするのですか」と聞かれたりもする。しかし、67機は全てに同じものはない。回るということだけで終われば単にオモチャだ、といったこともある。C高校にいる時に作った中に全く同じ設計で作ったものが二つある。いつか条件を違えて比較実験するために全く性能の同じものを作っておきたかった。 γ 型のエンジンで同時並行によほど注意して作ったのだが何回やってもそれぞれ室温との温度差 4°C と 5°C までで回り、双方には 1°C の違いがある。それを見ていたある職員が「たつた 1°C しか変わらない」と言った言葉に私は声を大きくしてあなたは熱が分かっていない!と言った。 500°C と 501°C であればたつた 1°C しかと言えりけど 4°C と 5°C では25%の違いなのにと・・・周りの先生方がそうですよね、熱はそういう考え方をするのでしたよね、と・・・。結果としてこの 1°C の違いは何が原因なのか今でも不明のままである。

9. まとめにかえて—教材用スターリングエンジンの開発がもたらした変化—

この教材作りの目的は生徒達に熱エネルギーを分かり易く教えたいということからであったが、思ったより遙かに得るものが大きかったと感じている。この教材用スターリングエンジンの開発・製作がもたらした影響は、授業や生徒に止まらず、学校内外や私自身にも変化をもたらした。

生徒達にとっては、目に見えない熱の性質やエネルギーとしての働きを可視化されたことで、分かりにくい理論の説明に興味関心を見せるようになった。その上で計算や理論公式の必要性に気付いて取り組む意思がはっきり見えてきた。質問も増え授業の空回りは無くなった。

それが進むと生徒達は授業で示した教材の原理と実際を自分達の手で確かめたくなり、自分達でやることに向かうようになる。課題研究で取り組む時も教室で見た教材と同じでものなく、一步工夫されたものを作ろうとする。作ってみるとその完成の喜びはやった者にしか味わえないものとなる。さらに産業教育フェスタや文化祭などで披露、展示して見学者から質問を受け、周りの人達に関心を持ってもらう機会に出会うと、これまでと人が変わったと思えるほど自信を持つようになる。このように成長する姿は工業高校ならではの思いで見えてきた。

また、この教材は授業に止まらず、初任者指導の一環として研修のテーマとしたり、何人もの機械科の教員が教材として作ったりした。また一人の教員が教育センターで長期研修の研究テーマにしたことなどもあって、この教材の存在が県内に広がって行った。小・中学校の理科教育の分野でも興味を持ってもらい、出前授業に行く機会も増えた。ある年、全国理科教育大会が鹿児島市で開催されたこともあって県外への広がりを大きくした。また校種や教科を超えて高専や大学の卒論などにも何回か取り扱われたのは、この教材の影響があつてのことだと思われる。この教材からは、作られた形ある教材だけでなく、広く工夫された授業の大切さを再確認するきっかけも得たと思う。

小学校の教職員向けの夏季講習会でも講演会を行った。その後で「エネルギー、熱、資源、環境を合わせて子供達向けの話はどこかですべきだね」という話が多くの先生方から聞かれ心強く思った。また中学校技術・家庭研究会での講演でも多くの先生方から質問や問い合わせがあり、この教材への関心の高さが伺えた。

このような教材の開発の過程とその広がりは、私自身にも変化をもたらした。理工学の理論を教えるには実物を示すことが何よりも説得力があることは言われている。そのために、これまでもいくつも教材を作ってきた。しかし、他の人達に勧められるほどのものではなく自分の授業の範囲であった。先にも書いたがこの教材用スターリングエンジン作りは授業に切羽詰まったことから手掛けたものであって生徒の反応や周りへの影響などを考えての取り組みではなかった。ましてや教材としてモノになるのかさえ予測できない状態から始まったのである。作り始めて見ると机上や紙上では解決しないことが次々に起こり、そこで得た知識や経験がほかの機械実習の指導方法や安全面に指導が届くようになった。教材の直接の効用のほかに多くの知り合いの輪が広がったことでそこからの話題や経験も貴重なものとなった。それは学校関係だけでなく企業や国を超えたものになり、私の視野さえも広げることになった。それらは教材を作るという当初の目標からは思惑外の体験を得ることになったと思う。

10. これからこの教材を作ろうとする方へ・・・

今では様々な媒体でその作り方が紹介されているので製作する際はそちらも参考にして下さい。この教材の製作ポイントを一言でいえば「摩擦と圧縮漏れの戦い」です。気密を求めると機械摩擦が増え、摩擦を小さくすると圧縮が漏れる、というジレンマを両立することが出来れば作るのは難しくありません。

11. 教材用スターリングエンジンの開発と展開を支えた要因

本節では、以上の稲森による教材用スターリングエンジンの開発と展開の過程に関する記述をもとに、それを支えた要因について検討を試みる。

まずは本教材を開発した動機である。稲森は機械科の科目「流体原動機」の授業をした際の生徒の様子をその動機として挙げた。授業の当初は興味深そうに稲森の話聞く生徒達であったが、熱力学に関する諸法則や数式などを説明すると途端に興味をなくしたという。その上で、「黒板を叩くようにして授業をするとこの科目も教師の私までも嫌われてしまう結果になった。教師として教えた内容が伝わらない苛立ちと指導力不足で情けない授業になっていた」と回想している。一見、これは教育実践によくみられる教材開発の動機と教員の悩みを描写する出来事であるとみることもできる。

ここで上記のエピソードは1996年頃の出来事であったことに注視したい。当時の勤務校における生徒の変化についてはその時代の複合的な背景があると考えられる。まず想起されるのは、1990年代当時の教育界における「学力低下」論争にみられる学習意欲の低下の問題である。市川伸一によれば「学力低下」論争は論者によって学力が低下しているかどうかの捉え方が異なるものの、学習意欲の低下についてはほとんど全ての論者から認められているという⁴。当時のこの学習意欲の低下に関わる一般的な見方と稲森の記す当時の生徒の様子は重なる部分がある。

次に想起されるのは少子化に伴う入学者数の減少である。学校基本統計によれば、同県の中学校卒業生数、高校入学者数も平成元年から減少し続けている。そうした入学者数の変化は、稲森が当時勤務した学校へも少なくない影響があったものと推測できる。つまり、この教材用スターリングエンジンの開発の動機は、生徒の学習意欲の低下によるものであったが、そこにはその地域や勤務校特有の課題に止まらない当時の時代的背景があったとみることができる。

また、稲森という教師のライフステージの中での1990年代後半という時期についても注目したい。1963年に教員となった稲森は、この頃には既に教師としてはいわゆる熟練の域にある。さらには、稲森は1970年代から80年代にかけて問題視されたいわゆる「学校の荒れ」の時代を経験した教師である。生活指導についても多様な経験を積んできたものと考えられる。また、かつて同科目を指導した際の印象として「内容は難しいけれども大変面白く感じた」と記しており、特段に悩んだ様子はない。加えて稲森にとって同校への勤務は2度目であり、近隣の様子や校風などの地域的条件については把握していたものと考えられる。そうした科目の教育内容や指導方法、生活指導や学校について熟知していた稲森にとって、その授業のありようを反省し改めるということには一定程度の決意が要求されたものと考えられる。それ程に当時の生徒の無気力な様子や反応が衝撃的であったとも考えられるものの、ここではそうした授業づくりに対する稲森の態度にも注目したい。誤解を恐れずに述べるならば、熟練教師であった稲森にとって、その授業を行い、やり過ごすだけであれば十分に可能であったものと推測できる。しかし、稲森は「自分の授業の拙さと挫折感から何とか抜け出したい」とその授業のありようを反省し、改善に向かった。その反省と改善に向けた態度

がなければ本教材の開発はなされなかったといえよう。稲森自身もそうした「切実な教師の良心？が動機だった」と記し、その自身の態度を意味づけている。また稲森は当時の授業における生徒の様子について「はじめはエンジンのことを習う授業ということで生徒達は興味深く授業を聞いていたものの、「文字や数字の入った式が出てくると元気がなくな」ったと記している。このように稲森は、生徒らは最初から無気力だったのではなく、数式が出てきた時点でその意欲が減退していったと具体的にその様子を認識していた。

ここに稲森がもつ反省的専門家としての教師の素養を見いだすことができる。1990年代以降、国内外で展開されてきた教師教育改革においては、「反省的（省察的）教師」という教師像がほぼ共通して掲げられてきた⁵。この「反省的教師」という教師像は「技術的熟達者」としての専門家像に対比されるものであり、『活動過程における省察（reflection in action）』を原理として、教室の出来事を省察し意味と関わりを構成しながら、子どもの学びを触発し促進する実践を遂行⁶するものである。上記にみられた稲森の授業への反省的態度や、教室の出来事である生徒の様子の具体をみとるその力量は教室の出来事を省察し、授業や教材のありようを改善しようとする「反省的教師」に必要とされる力量の基本とも考えられる。

そうした動機をもとに稲森は教材用スターリングエンジン1号機を開発し67号機まで製作、改良を重ねた。このようにその教材開発を成功裏に導き、改善を重ねることができたその要因は様々考えられるものの、少なくとも次の4点を指摘できる。

第1にそれはかなりの程度、偶然や予想外の出来事に支えられていた点である。稲森は上記の動機を得た後、テレビ番組を視聴した際にスターリングエンジンという文字を目にした。ここから教材用スターリングエンジンの開発が具体化された。そうしたテレビ番組を見ていたのは偶然であった。またその後の学校内外での展開も含め稲森は「教材を作るという当初の目標からは思惑外の体験を得ることになったと思う」と回顧している。そうした数々の偶然や予想外の出来事をいかしえたことが本教材開発と展開を支えていた。

また、稲森にとって多くの予想外の契機と展開をもたらしたのは他者との関係であった。これが第2の要因である。本教材の重要な部品の一つであるピストン・シリンダーは、知り合いの医者から紹介された物であった。また、学校外での講演や、67号機まで続く改良は、他者からの依頼や疑問に基づくものである。加えて生徒や同僚、校長、知り合いの医者や、2号機製作時に協力を得たE氏、I氏など、多くの人物との関わりがあった。稲森はときに同僚や校長に意見を求め、技能も学んだ。そのように考えるならば、本教材の開発と展開には他者の存在が不可欠であったと考えられる。佐藤学らは前述の「反省的教師」の成立条件として学校の内外における授業の研究とともに同僚性の形成を挙げている⁷。稲森が行った教材開発、研究においても同様に、同僚性やそれに止まらない他者との関係性がそれを支えていた。またそうした同僚性や他者との関係性を構築した要因としては稲森がもつ同僚や他者への敬意があったものと考えられる。

第3には、そうした他者からの影響を受けつつ稲森自身がその開発や展開のなかで専門的な力量

を習得していた点である。稲森は教材用スターリングエンジンを開発しようとした当初の時点では、「動作原理も分からず写真すらも見たことがない」状況であった。そうした状況下において、その動作原理の検討と教材の設計を行い、製作に取り組んだ。その開発の過程について稲森は「五里霧中の毎日」であったと回顧している。しかし試行錯誤の結果、教材用スターリングエンジンを開発した。その開発を支えたのは稲森自身の教材研究に対する熱意や粘り強さといった態度もさることながら、教材を一から考案し、形にする設計能力があったと考えられる。また稲森は1号機の開発の後にすぐに2号機の開発に着手している。その動機は「本教材のおもしろさ」にあったと述べている。こうした教材自体に対する教師の興味や関心も教材研究・開発を支える教師の専門的資質、力量といえよう。さらに2号機以降は金属加工を必要とし、ピストンとシリンダーの気密性を確保するための精密性が要求された。以前から授業において実習の指導を行ってきた稲森であっても、「形よりも機能が目的」とされるこの教材開発においては更なる技能の向上が求められた。そうして高められた技能もその後の本教材の改良を支えた要因であると考えられる。

第4に、教師のもつ意図と計画性である。第1に挙げたようにその開発と展開は偶然の出来事に支えられていた。ただし、稲森はそれらの偶然や予想外の出来事を教材の開発や発展に結びつけた点にその行動の特徴があることは既に述べた。稲森が熱力学に関する授業に課題を感じ、その改善を意図していたからこそ、その偶然の契機を教材開発に結びつけることができたのである。この偶然の出来事との関係はキャリア教育で注目されるクランボルツ (Krumboltz, J.D.) の「計画的偶発性」(プランド・ハプスタンス) 理論に関連付けると、教師としてのキャリア発達を考える上で示唆的である⁸。

またこの稲森の教育的意図が典型的に現れている出来事として課題研究の指導場面がある。そこでは、ある生徒らが人間関係での問題を抱え、稲森に相談をした。それに対し稲森は「やはりそうだったか・・・」と思いつつ、その後生徒達の指導を行った。つまり稲森は、そうした問題をある程度予想していた。おそらく題材を決めた時点で、人間関係上の問題を予想し、その教材として意図的に構成したものと推測できる。このように、こうした教師の予想と意図が、本教材の豊かな展開をうみだしたものと考えられる。

以上のように教材用スターリングエンジンの開発、研究の過程は偶然性や同僚性及び他者との関係性に支えられていた。加えてそれを可能とした、授業づくりへの反省的な態度と生徒の実態を把握する力量、他者への敬意、その過程の中で高められた専門的知識や技能、教育的意図と計画性といった教師の力量がその要因としてあったといえる。

さらに稲森はそうした教材開発、研究の一連の過程と展開を振り返り、「そこで得た知識や経験がほかの機械実習の指導方法や安全面に指導が届くようになった」「多くの知り合いの輪が広がったことでここからの話題や経験も貴重なものとなった」「それは学校関係だけでなく企業や国を超えたものになり、私の視野さえも広げる事になった。」と記している。このように稲森は本教材の研究や開発を通して、前述の教材開発を支えた教師の力量以外にも指導方法や他者の関係、視野の広がり

が得られたとその経験を意味づけていた。

結論

本研究では以上のように、高校工業科の教員であった稲森によって生み出された教材用スターリングエンジンの開発と展開の過程を検討した。その結果、長年にわたって改良と展開をし続けた本教材は、時代的な影響や偶然の出来事、他者からの影響を受けつつ、教師の意図性と力量形成によって開発、展開されていたことが明らかとなった。これらの要因は、工業科における教材の開発とそれに関する教師の力量形成を考える上で重要な示唆をもつものとする。

ただし、本研究は高校工業科の一教師による一連の教材開発の過程を事例的に検討したという点に特徴と限界をもつ。今後もその対象を広げ、検討を重ねていく必要がある。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP21K13577 及び鹿児島大学教育学部鶴丸優美子研究助成寄付金事業の助成を受けて行った。記して感謝の意を表す。

-
- 1 中内敏夫『新版 教材と教具の理論－教育原理Ⅱ－』あゆみ出版，1990，69 頁
 - 2 2021 年 10 月現在、直近では『技術教育研究』No.69，2010 において「技術・職業教育の教師の力量形成-世代から世代へ-」と称し、特集が組まれている。そこでは高校工業科教員 6 名の論稿が掲載されている。
 - 3 秋田喜代美他編著『教育研究のメソドロジー』東京大学出版会，2005
 - 4 市川伸一『学力低下論争』ちくま新書，2002，170 頁
 - 5 佐藤学『専門家として教師を育てる-教師教育改革のグランドデザイン』岩波書店，2015，48 頁
 - 6 佐伯胖他編著『岩波講座 現代の教育 第 6 巻 教師像の再構築』岩波書店，1998，20 頁
 - 7 同上
 - 8 クランボルツ，J.D. レヴィン，A.S. 著 花田光世 大木紀子 宮地夕紀子訳『その幸運は偶然ではないんです！』ダイヤモンド社，2005