

高等学校の物理教育の目標に関する一考察

～フランスの高等学校 教科「物理・化学」におけるモデリングの位置づけを通して～

角島 誠*

(令和4年9月1日受付)

A Study on the Goals of High School Physics Education ～ Through the Positioning of Modeling in the French High School Subject “physique-chimie” ～

Makoto KADOSHIMA

(Received Sep. 1, 2022)

概要

高等学校の物理教育の目標に関して、モデリングという観点に着目し、フランスの高等学校の教科「物理・化学」の学習指導要領や国民教育省から出された資料における目標に関する記述と、同国の別教科「生命と地球の科学」や日本の学習指導要領での記述の違いを指摘しながら示唆を引き出した。物理・化学の目標として「実験」と「モデリング」を重要視することが3か年にわたって記述されていた。探究ないしは探求に相当する文言は一言も見いだされなかった。日本では教科理科として統一書式があり、科目の違いは内容に関する部分の差し替えであった。その他、高等教育に対する高等学校の位置づけに基づいた記述の違いも認められた。重要視する目標の違いを生み出す観点の一つとして、教科の括り、科目の括り方による違いを指摘し、高等学校という教育段階における教科理科と科目のありように対する問題提起を行った。

キーワード：高等学校、物理教育、理科教育、フランス、目標、モデリング、モデル化

1. はじめに

高等学校で物理を指導する際に、何を重要視して指導するかと問われ、その際にとっさに出てくる文言とは何だろうか。探究だろうか。

例えば、モデリング（ないしはモデル化）という視点がある。昨今の日本の高等学校の物理教育におけるモデリングに関しては、船川ら（2002）⁽¹⁾の物理Ⅱの課題研究を対象とした取組み、そして2002年以降の英国のアドバンシング物理の紹介とその後の「アドバンシング物理研究会」による取組みが挙げられる。同会によって2003年から2004年にかけての公開講座や高校の授業で、モデリングの意味を伝えることに留意しながらの modellus を利用した授業が行われ、modellas を用いた勉強会や教材研究が京

都地域を中心に行われていったものの、2015年時点で、「日本の中等教育におけるモデリング教育は大きく立ち遅れている。実際、モデリングを中等理科教育の中にどのように位置づけるかを本格的に論じた議論はほとんどなく、実践報告例もあまり見られない」笠（2015）⁽²⁾との認識で、modellus の日本語版の作成に関する報告がされた。古結ら（2020）⁽³⁾の報告もこの日本語版を用いた実践報告というもので、一連の延長にあるものである。また、現場の教員からの表明的なものとして、今井ら（2020）⁽⁴⁾は物理教育における大切な考え方として定量化・数値化・一貫性と共に、モデル化（モデリング）を掲げている。

高等学校の化学においては、「従来、問題（課題）解決力が重視されていたが、モデル化学習の考え方をを用いた学習は、問題（課題）解決における探究の過程の精緻化を目

* 初等中等教育研究センター、ICTセンター、広島工業大学生命学部食品生命科学科

指した取り組みであり、深い学びを実現するために手立てとして有効である」後藤ら (2016)⁽⁵⁾として、「モデル化学習」という表現での研究が進められてきている。

対象を理科教育 (科学教育)、小中高全般に広げてみると、近年はモデリングが注目されているとし、2016年現在のモデリングに関する国内の研究状況を雲財 (2016)⁽⁶⁾がまとめている。ただ、35件の論文のうち、殆どが小学生と中学生が対象であり、物理を領域として高校生が扱われているのは2件であった。その後、井形ら (2021)⁽⁷⁾などもモデル化の重要性を説いた研究を行っているが対象は中学生であった。

状況を俯瞰すると、日本ではモデリングは研究者やローカル的には注目はされるものの現場レベルで広く認識されている段階ではないようである。

日本の物理教育が何かと参考としてきたアングロサクソンの米英と違い、フランスは日本のように中央集権的な教育制度をとる国であるが、2019年に示されたフランスの高等学校の学習指導要領 programme では、後に見ていくように、モデリング (仏語で modélisation) が実験とともに2つの柱として示されている。こういった状況に着目し、フランスの高等学校の物理・化学の学習指導要領ならびに国民教育省が示す資料においてモデリングがどのように位置づけられ、かつ表現されているのかを踏まえ、諸視点を通して主として日本の高等学校の物理教育ならびに理科教育に示唆となるものを引きだすこととしたい。

尚、物理教育や理科教育でモデリングを柱とすることの妥当性を問うことが本報告の目的ではない。

2. フランスの学習指導要領に示された表現

フランスの高校1年では全員が教科「物理・化学」を履修する。そして、高校2、3年の2年間を最終サイクルと呼び、「専門の教育」l'enseignement de spécialité と称される学習指導要領の枠組みの中から、高校後の進路や学問に関わる教科を履修することとなっている。教科「物理・化学」は最終サイクルでは「専門の教育」の教科である。また、最終サイクルでは文系・理系の関係なく全員が「共通教育」tronc commun の枠組みで「科学の教育 ES」⁽⁸⁾ l'enseignement scientifique という教科も履修する。

以下、2019年、2020年に示された各学年の物理・化学の学習指導要領の前文にある教育の目標 Objectifs de formation の記述ならびに評価のコンピテンス compétence として示されたものを引いてみる。(強調文字は原文のまま。下線、注は筆者による。)

・高校1年 必履修 (注1)

「中学校から続けて、高校1年の物理・化学の学習指導要領は、特に実験 la pratique expérimentale とモデリン

グの活動 l'activité de modélisation に重点Aを置いて、この2つの科学の方法 méthodes とアプローチ démarches を実践することを目指している。目標は、生徒に物理と化学の面白くて本物の見方を与えることである。

この学習指導要領は、概念を重視し、具体的で文脈化された contextualisée アプローチを提供する。Bそして、生徒が学習した現象をよく理解し、物理と化学の法則と概念の統一された普遍的な範囲を認識できるようにしたい。モデリングのアプローチ la démarche de modélisation は、物理学者と化学者の活動の中心的位置を占め、事物、実験、事実の「世界」とモデルと理論の「世界」の間のつながりを確立する。Cまた、以下に示すようなこのアプローチの主要な構成要素を紹介するようにしている：

初期状況を単純化する；

数量間の関係を確立する；

事実を説明するために適切なモデルを選択する；

予測を行い、事実と直面する；

シミュレーションを使用してモデルを実験する；

法則をテストするための実験装置を選択、設計、および実装する。

推論が中心的位置を占めるこのようなアプローチによって、最終サイクル以降、ないしはバカロレア後の教育 formation において提供される物理・化学教育の忠実なイメージを構築する。Eことができる。

このように、高校1年の学習指導要領ですべての生徒が十分な情報を得て、高校2年の普通コースまたは技術コースの選択をし、普通コースの最終サイクルの教育の共通教育で行われる「科学の教育 ES」^Fを有益に学ぶことができる。⁽⁹⁾

・高校2年 「専門の教育」の教科として選択

「普通コースの高校2年で物理・化学の「専門の教育」を履修する生徒は、科学に対する関心 goût を表し、実験科学による教育に固有の推論のモードを習得することを選んできている。彼らは、実験科学、医学、技術、工学、コンピュータサイエンス、数学などの高等教育への道を切り開くのである。物理・化学は、基礎と応用を兼ね備えた科学であり、特に工学や生命・地球科学を学ぶ上で不可欠な知識とスキルの習得に貢献すると同時に、数学やコンピュータサイエンスの文脈化には重要な分野である。

高校2年の物理・化学の学習指導要領は、実験とモデリングを促進Aし、かつ学習した概念と現象の具体的で文脈化されたアプローチを提供Bしながら、高校1年の学習指導要領に引き続くものである。それゆえ、モデリングのアプローチは、生徒が事物、実験、事実の「世界」とモデルと理論の「世界」の間のつながりを確立する。Cためのトレーニングの中心的位置を担っている。さらに、このア

アプローチの主要な構成要素の習得を追求するようにしている。

化学と同様に物理でも、高校1年でのテーマ_Dが深化される。これらのテーマの学習は、高校3年の「専門の教育」の枠内で継続されるため、生徒は、高等教育への効果的な準備_Eとなることと明らかな形成的な教育効果 *vertus formatrices* を有するテーマを意図的に限定して、継続的かつ深く、段階的に学習することができるようになる。鍛えられた知識やスキル *savoir-faire* は、「科学の教育 ES_F」の学習指導要領で動員される知識やスキルを補完する。¹⁰⁾

・高校3年 専門の教育の教科として選択

「普通コースの高校3年で、物理・化学の「専門の教育」を履修する生徒は、高校2年で履修した3つの「専門の教育」の中からこの選択を行った。そうして、週6時間の枠組みならびに教科が求める要件の論理の中で、彼らは教科の内容と方法を深め、特に、実験科学、医学、工学、コンピュータサイエンス、数学および工学などの高等教育への道を敢然と切り開くのである。物理・化学は、基礎と応用を兼ね備えた科学であり、特に工学や生命・地球科学を学ぶ上で不可欠な知識とスキルの習得に貢献すると同時に、数学やコンピュータサイエンスの文脈化には重要な分野である。

高校3年の物理・化学の学習指導要領は、実験とモデリングを促進_Aし、かつ学習した概念と現象の具体的で文脈化されたアプローチを提供_Bしながら、高校2年の学習指導要領に引き続くものである。それゆえ、モデリングのアプローチは、生徒が事物、実験、事実の「世界」とモデルと理論の「世界」の間のつながりを確立する_Cためのトレーニングの中心的な役割を担っている。さらに、このアプローチの主要な構成要素の習得を追求するようにしている。形成的な教育効果から選ばれた高校2年のテーマ_Dは、高等教育で求められる準備_Eを確実にする方法で深められている。さらに、「科学の教育 ES_F」で扱われるテーマとの関係を有利に構築することができる。つまるところ、エネルギー、気候、天然資源利用の最適化などの社会問題を議論する機会をもたらし、また、科学的知識の本質や科学的知識の発展過程を強調することもできる。

最終的な口頭試験および関連するプロジェクトの準備の一環として、特に本物のデータを扱う実験の場面、モデリング、シミュレーションの活動、そして科学、経済、産業の世界への広がりに特に注意を払うことができる。このプロジェクトは、生徒が行った操作、公開された実験結果、科学記事、プログラミング活動に基づくことができる。口頭表現によって、特に、科学的アプローチの一貫性を提示することが可能となる。¹¹⁾

・読み取り

下線 A について：高校1年で示された実験とモデリングの活動に重点を置くことが、3年間にわたって、強調文字で貫かれている。

下線 B について：高校1年で概念を重要視するものの、単なる概念理解にとどまらないよう3年間にわたって、「具体的で文脈化した contextualisée アプローチ」との表現が繰り返され、「文脈化」が強調されている。

下線 C について：3年間にわたって、モデリングのアプローチを説明する表現として、『事物、実験、事実の「世界」とモデルや理論の「世界」…』のフレーズが繰り返されており、モデリングとは何かを捉えやすくしている。

下線 D について：高校1年では、物質の構成と変化、運動と相互作用、波動と信号を指し、高校2年ではエネルギーの保存と移動が加わり、学年ごとに深められていく。

下線 E について：最終サイクルである高校2年と高校3年では、高等教育に向けた準備が説かれている。高等教育の準備教育としてのフランスの後期中等教育の位置づけからして自然ではある。また、「情報の抽出 extraire と活用 exploiter」が強調された前回の物理・化学の学習指導要領が、実施以前から現場教員からもさらには高等教育側からも「バカロレア取得後の高等教育の1年目に大量の脱落が懸念される」とか、「新学習指導要領は、将来の学生がより良い進路を選択することを可能にするという目標を明確に示しているが、彼らの多くが、物理学が何であるかについて完全に歪んだ考えのまま進んでいることが明らかである。学生は、状況の記述とそれを解釈するための数式の適用に知識が限られている文学のフロンティアの分野として物理学を理解している。方法論的厳密さと高度な数学的な定式化が物理学者の日常的なツールであることを知ったとき、多くの学生が経験するショックは重要である」角島 (2020)¹²⁾とあまりに不評であったことへの対応ととれる。そして、その対応の具体的な柱が「情報の抽出と活用」ではなく、「モデリング」と「実験」である。

下線 F について：3年間にわたって、物理・化学の目標の文面に出てくる唯一の他教科名「科学の教育 ES」であり、限られた文面の中で言及していることから、同教科とつながる意味合いの大きさを受け取ることができる。

下線 G について：この学習指導要領の対象学年が受験するバカロレア試験から、内申点も含めたバカロレア総得点割合の10%を占めるグラントラル Grand Oral という口頭試験が新たに導入されることに対応する内容である。3部構成合計20分で実施される口頭試験では、「専門の教育」で年間かけて自身が掘り下げてきた2つテーマを試験官に提示し、試験官によって選択された1つのテーマについて

プレゼンし、その後、「専門的教育」で学んだ知識や内容を駆使しながら試験官とやり取りを行う。さらにはその学びからつながる進学やキャリアの計画の成熟度をアピールすることが求められている⁽¹³⁾。関連するプロジェクトとあるのは、テーマに対する自身の深掘りのプロセスであり、こういった質問にも耐える自身の将来設計に関するプロジェクトも意味する。尚、この度の改革で、角島 (2019)⁽¹⁴⁾ が報告した日本の総合的な学習の時間に相当した TPE が廃止となった。グラントラルへの準備となるプロジェクトが、この TPE に置き換わる位置づけに相当するかの対比などもされている⁽¹⁵⁾。そういった意味で、ここに出てきた「プロジェクト」の文言は重い意味を持つ。

その他：3年間の目標を示す文章において、探究ないしは探求の文言 (Investigation や Explorer)、探究的アプローチ (Démarche d'Investigation) は出てきていない。

・評価のためのコンピテンス

表 1⁽⁹⁾ 科学的アプローチのコンピテンス

コンピテンス	関連する能力の例
適切に整える S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> 問題点を述べる 調査した問題に関連する情報の検索と整理 状況を図で表す
分析する/推論する Analyser/ Raisonner	<ul style="list-style-type: none"> 仮説を立てる 解決策を提案する タスクを計画する 大きさのオーダーを評価する モデルや関連する法則を選択する プロトコルを選択し、開発し、正当化する モデルを使って予測する アナロジーを行う
実行する Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> プロセスの段階を実行する モデルを使う 一般的な手順 (計算、表現、データ収集など) を行う 安全規則を守って実験プロトコルを実行する
検証する Valider	<ul style="list-style-type: none"> 批判的思考力を発揮し、妥当性のチェックを行う 誤差の原因を特定し、不確かさを推定し、基準値と比較する モデルを実験結果とつき合わせる アプローチやモデルの改善点を提案する
コミュニケーションする Communiquer	<p>記述ならびに口頭でも：</p> <ul style="list-style-type: none"> 合理的で総合的かつ首尾一貫した方法でアプローチを提示する 適切な語彙を使用し、適切な表現モードを選択する 級友間の交流

(強調文字は筆者による)

高校1年から高校3年のいずれの学習指導要領にも「科学的アプローチのコンピテンス」として、以下のような説明と共に表1が示されている。(強調文字は原文のまま)
「科学的アプローチを特徴づけるために選択されたコンピテンスは、生徒の育成 former と評価を構成することを目的としている。提示された順番は、活動の中で生徒が用いるコンピテンスの順番を示すものではない。関連する能力の例をいくつか挙げて、各能力の概要を説明したが、全体が厳密な枠組みを構成することを意図しているわけではない。

これらのコンピテンスの習得度は、学習指導要領で求められる概念や能力に関して生徒たちに提案された活動において求められる自律性や自発性にかかっている。」

3. モデリングに関する解説

上記の学習指導要領で示されたモデリングについて、国民教育省が運営する教員のための様々な情報のレファレンスサイトである Eduscol から「モデリング、科学的アプローチのコンピテンスのために不可欠な活動」⁽¹⁶⁾と題された22ページのPDFが出された。

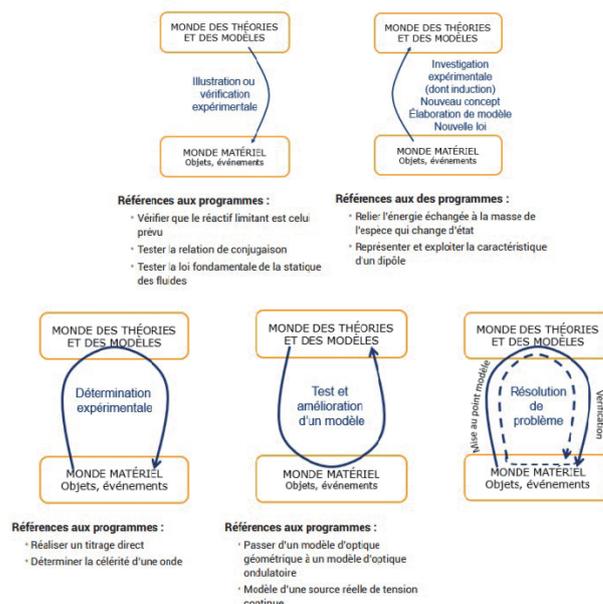


図 1 モデリングとさまざまな活動のタイプ

ここで、どのような説明がなされているか概観してみる。

5部構成の第1部にて、数学においても学習指導要領でモデリングが重要なコンピテンスとして示され、別教科の「生命と地球の科学」(以下 SVT)においても模型といった物質化されたモデルを用いることなど、モデリングが物理・化学だけに特有のことではないとしながらも、「科学とは、対象や事象を記述し、解釈し、理解することを可能にする概念的、理論的、実験的性質の知識体系であると考えれば、モデリングの活動は科学的知識の構築と活用を中心であると言える」と、まずは科学としてのありようを述べている。そして、モデリングは物理・化学の学習 apprentissage にとって本質的な活動であるとし、「物理と化学を実践することは、私たちの周りの物質界の出来事を理解、解釈、予測するために、モデルを構築して使用することにかかり依拠している。モデリングのアプローチは、理論的な内容と事物および事象との間を行き来することによって、実験 pratique expérimentale と密接に結びついており、その土台となったり支えにもなる。よって、これ

ら2つの「柱」に基づいて物理および化学の学習指導要領を作成することは当然 *légitime* である。」とモデリングと実験を2つの柱と据えたこのたびの学習指導要領の背景を説明している。

そして、以下、第2部から第4部のタイトルと内容である：

第2部 物理と化学でのモデリングの活動と用いられるモデルの特徴づけ

モデリングの種類を具体的な学習内容を例に示している。

第3部 詳述する *expliciter* 活動

モデリングと2つの世界に関係することを詳述することは、学習を促進するための必須条件として、その重要性や事例など要約された論証が示されている。

第4部 モデリングとさまざまな活動のタイプ

学習指導要領で示された学習内容に対応したモデリングと活動が：

理論とモデルの世界

と

現実世界

の間のありようを示す図として、図1のように例示されている。

そして、第5部として「*科学的アプローチのコンピテンスのためのモデリング*」とのタイトルで、学習指導要領で示された表1のコンピテンスに関して：

「コンピテンスは、関連する能力の例を示しており、生徒の行動や成果物に基づいて、より正確でより簡単に評価することができる。ある活動、あるテーマで、生徒はある数の知識と能力を使う。そのうちのいくつかは、2つの世界の間で非常に特殊な役割を担っている。そのため、コンピテンスに関連する能力を、モデリング活動との関係で「位置づける」ことが可能である」として、表1で示された「コミュニケーションする」以外の4つのコンピテンスにモデリングがどのように対応しているかが説明されている。

紙面の都合上、ここでは、「検証する *Valider*」について説明と図を引いておく。他のいずれのコンピテンスの説明においても下記のように、「理論とモデルの世界」と「現実世界」の図による説明がなされており、2. の教育の目標の下線Bでの表現が一貫として繰り返されていることが確認できる。

「検証する

検証は一度使用したモデルに対して行われることが多い。採用した仮説の検証、得られた結果の考察、関係と観測の一貫性の検証、モデルの予測と観測の一致を高めるためのモデリング選択の調整などが含まれる。

また、個人的な知識、写真、観察結果などから、ある値の妥当性を推定する場合など、対象物や事象に対して内部的に行うこともできる。検証に関するある種の能力は、2つの世界を結びつけることに必ずしも貢献しない。」

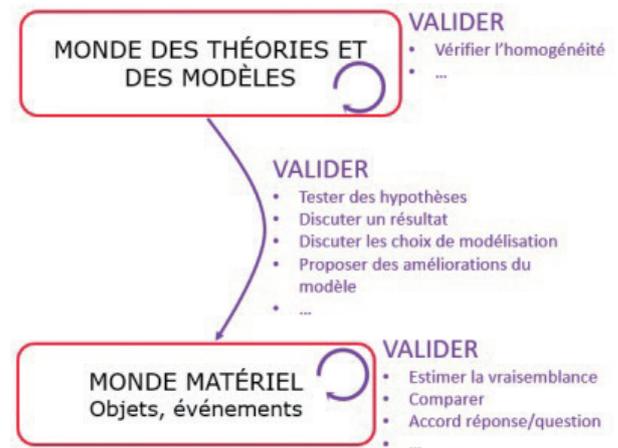


図2 検証する

同PDFは、モデリングに関して、この分野に関する研究の表現をそれぞれ引きながら、最後に以下のように結んでいる。(下線は筆者による。)

「モデリングの活動は物理や化学の学習において、また、明日の社会人の科学教育において、極めて重要な課題である。モデルを単純に定義しようとすると、ささやかな理論的ツールであるが、観測された現象を解釈し、起こりそうな事象を予測するのに十分有効なものである (Gaidioz & Tiberghien, 2003; Robardet & Guillaud, 1997) とすることができる。たとえモデルに固有の首尾一貫性があるとしても、モデルが決して独り歩きすることはなく、理論と物質的状况の間の仲介役を構成するものである。「それは常に関係的である：モデルの、モデルのための」(Bachelard S., 1979)。同じことが科学教育にも当てはまり、独断専行を避けるためには、最良のモデルを教えることが問題ではなく、その仮説的で修正可能な特徴に加えて、それがある文脈におけるある問題に関連していることを示すことが必要である (Martinand, 2002年)。そのため、このモデルは状況や問題を通してこそ、その真価を発揮する。モデリングに関わる特定の特性を明示するさまざまな活動を通じて、各々の生徒は、新しい状況で動員できる有用な理論的知識をよりよく習得することができ、また、科学的アプローチのコンピテンスを習得することができるようになる。日常生活の記述的・説明的な枠組みから、観察可能な世界に対する科学的な視点への移行 (Gaidioz, Vince & Tiberghien, 2004) は、学習において不可欠かつ構造的な要素を構成している。」¹⁶⁾

4. 視点

①日本の理科という括りとフランスの教科の括り

日本の高等学校では理科という教科名の下に物理、化学、生物、地学…の科目が存在し、理科という教科で括られている。このことによって、学習指導要領での表現や書式が統一的に各科目に適用される。

例えば、高等学校学習指導要領理科における目標は、下記のように示されており、各科目においては、下線の「自然の事物・現象」が、各科目が対象とする内容を示し、斜体の部分について基礎科目では「日常生活や社会との関連を図りながら、～について理解するとともに」との表現で統一され、基礎を付さない科目で「～学の基本的な概念や原理・法則の理解を深め」で統一されており、科目の違いは対象としている内容の表現が違うという体裁である。学習指導要領解説¹⁷⁾において四角枠で囲まれた各科目の目標を説明する以後の解説も、内容を指すこと以外はいずれも同じ文章で統一されている。

理科の目標¹⁸⁾

自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 自然の事物・現象についての理解を深め、**科学的に探究**するために必要な観察、実験などに関する技能を身に付けるようにする。
- (2) 観察、実験などを行い、**科学的に探究**する力を養う。
- (3) 自然の事物・現象に主体的に関わり、**科学的に探究**しようとする態度を養う。

(斜体、強調、下線は筆者による)

また、四角枠に示された目標は数行程度の文章(本報告では書面の都合上10行)であるが、「科学的に探究」が4回も繰り返されており、物化生地いずれの科目においても「探究」の文言が貫かれている。

これに対し、フランスの場合は、科目の上位概念としての理科に相当する枠組みがなく、括りとして物理・化学とSVTが独立した教科となっている。だから、何を目標とするかについては、両教科で書式の統一のようなことはない。

そして、フランスの学習指導要領において記述されていた高等教育の準備、あるいはそれに近い表現は、日本の学習指導要領解説全体を通してもない。平成30年度改訂は、高大接続改革の文脈で進められたとされているものの、そ

もその日本の高等学校の位置づけからして高等教育の準備と書ききれない。

②SVTの学習指導要領の表現

別教科として存在するSVTについて、この度の学習指導要領ではどのようなことが目標として示されていたのだろうか。以下に、必履修となる高校1年の学習指導要領に目標 *objectifs* として示された前文を以下に引いてみる。

(斜体、下線は筆者による)

「高等学校におけるSVTの教育は、確かな科学教育 *solide formation scientifique* を行うことを目的としている。中学校からの延長として、生徒の市民教育 *formation civique* を継続する。SVTは、知識・技術の発展に対応した教科として、科学的な題材や方法の理解、環境・健康・安全に関する学習など、将来の市民の育成 *formation* に貢献することができる。

その学習指導要領は、3つの主たる目標を有している：

- 科学的に検証された知識と科学に固有の推論のモードの習得を強化し、より一般的には、生物学と地質学の基本的な概念に基づいた科学的教養 *culture scientifique* の習得を確実にする。
- 現実世界とその発展を科学的な観点から理解し、批判的精神の育成と市民教育 *éducation civique* に寄与する。
- 科学教育を選択した生徒が、高等教育でさらに学び、その先の職業につくための準備をする。

これらの目標を達成するために、高校1年のSVTの学習指導要領は以下の3つのメインテーマ(それぞれいくつかのトピックに分かれている)から構成される：

地球・生命・生物進化

科学は、地球や生物界を観察し、その状態、機能、歴史について、厳密な調査・分析方法を用いて一貫した説明を構築する。

地球が抱える現代の課題

環境、持続可能な開発、資源・リスク管理など、21世紀の人類が直面する主要な問題について理解する。それには、生物学や地球科学などの科学的アプローチが欠かせない。

人体・健康

選択されたテーマによって、生徒は自分の体がどのように機能するかをより深く理解し、個人を環境に統合し、かつ公衆衛生の問題を考慮したグローバルなアプローチによって今日の健康の定義を知ることができる。

この3つのテーマは、特に科学の貢献度が問われる中で、批判的精神を働かせる必要がある。また、3つのテーマにより、基礎科学(研究、教育)に関連する職業、環境科学や持続可能な開発、地球科学、資源・リスク管理などの現在または将来の職業、さらには健康やスポーツ分野に関連する職業を見出すことができる。¹⁹⁾

最終サイクルの専門の教育の高校2年²⁰、高校3年²¹の学習指導要領の目標の文章も同じ構成であり、3つの主たる目的を示した斜体文字部分は、全く同じ表現であった。

また、学習指導要領では、コンピテンス Compétences travaillées として、表2を示している。

・読み取り

目標の文章の中に、物理・化学が中心に据えた「実験」「モデリング」の単語はない。また、日本で多用されている探究ないしは探求、それに相当する単語もない。進路や市民教育的な側面を除くと、物理・化学に比べると知識理解的な面と「科学に固有の推論のモード」の習得ということになる。

表2⁽¹⁹⁾ コンピテンス

コンピテンス	関連する能力の例
科学的アプローチを実践する Pratiquer des démarches scientifiques	科学的な疑問や問題を立て、それを解決する。 ・問題を解決するための道筋を考案し、実行する。 ・観察する、質問する、仮説を立てる、検証可能な結果を得る、実験する、厳密な推論をする、 モデル化 する。理論、推論、実証を正当化し、説明することができる。 ・結果を解釈し、結論を出す。 ・自然現象と数学的言語の関係を理解する。 ・1つの効果には複数の原因があることを理解する。 ・観察可能な現象の見かけ上の複雑さの中にある基本的な要素や原理を区別することができる。 ・信念や意見であるものと、科学的な知識であるものを区別する。科学的知識を構成するもの
考案、制作、実現する Concevoir, créer, réaliser	・科学的アプローチを実施するための概念、ツールや技術、または単純な モデル を特定し、選択することができる。 ・プロトコルを設計し、実装する。
学ぶためにツールを使用し、方法を動員する Utiliser des outils et mobiliser des méthodes pour apprendre	自分のすべきこと travail を整理することを学ぶ。 ・自分の研究 recherches を記録するためのツールやテクニックを特定し、選択することができる（口頭および書面）。 ・情報だけでなく、知識を得る目的で、文書から情報を識別、抽出、整理し、出典を明示して利用することができる。 ・プロジェクト方式で協力・連携する。
コミュニケーションとデジタル技術の活用 Communiquer et utiliser le numérique	・自分のアプローチ、結果、選択について、議論することで伝えることができる。 ・科学的に適切な言語でのコミュニケーション：口頭、書面、グラフィック、デジタル。 ・デジタルツールを使う。 ・科学的な疑問や問題に関連して、インターネット上で情報検索を行い、関連するキーワードを選択し、情報源の信頼性と結果の妥当性を評価することができる。 ・データ収集、シミュレーション、処理ソフトを使用する。
倫理的で責任ある行動をとる Adopter un comportement éthique responsable	・人間活動が環境に与える影響（便益と害悪）をさまざまなスケールで識別することができる。 ・自分の健康や環境に対して責任ある行動をとるための選択を、科学的な論拠に基づいて行うことができる。 ・地球の資源（生物多様性、鉱物資源、エネルギー資源）と健康の保全について、個人と集団の責任を理解している。 ・安全ルールの作成に参加し、実験室やフィールドで適用する。

(斜体文字、強調は筆者による)

そして、同じSVTでも、強調文字で示したメインテーマごとに、その展開や指導方法として下線で示したような方法やアプローチが示されていることも扱う対象や現象が広範囲な同教科の特性によるものといえる。

表2において、モデル化、モデルの表現が出てきているが、SVTの教科を貫く考え方というより、科学的アプローチを説明する表現の一つといったものであり、物理・化学の位置づけとは異なっているといえる。

③「探究」

フランスの科学教育において探究の文言は、探究的アプローチ (DI démarche d'investigation、以下DI) での表現がよく用いられている。国際的動向におけるDIに関するフランスでの捉え方は、「…フランスで発表されたいくつかの報告書 (Bach, 2004; Rolland, 2006) では、理系科目をより魅力的なものに刷新する必要性が強調され、DIに基づく調査が提案されている。欧州のロカール報告 (Rocard et al., 2007) でも、生徒自身の探究に基づく科学教育の改革が求められている。この探究的アプローチベースの教育手法は、1990年代にアングロサクソン系の数カ国の公式文書に定着した「探究に基づく科学教育 (IBSE)」や「探究に基づく科学の指導 (IBST)」に通じるものである。米国では、全米研究評議会も探究に基づく科学教育を提唱しており、1990年代以降、国際的にも、今日の世界に適応するために誰もが必要とする科学教育の発展を目指して、国際的にも科学教育のカリキュラムの大きな変革が起こっている。また、多くの国で、これらのカリキュラムは、科学教科のより一層の連携に基づいている…」²²と描写される。

中等教育段階でDIが導入されたのは2006年から実施の中学校の学習指導要領²³からで、実験科学、数学、テクノロジーの3教科では、教師による問題場面の選択、生徒による問題の利用、推測、説明用仮説、可能なプロトコルの策定、生徒による調査または問題解決、作成した提案をめぐる議論のやりとり、知識の獲得と構造化、知識の運用化といったDIを重視した授業が始まった。

高等学校では、2010年の高校1年から実施の学習指導要領においてからであった。以下、この高等学校段階におけるDIの導入に関するBoilevin (2017)²⁴の表現である。

「高校1年の物理・化学の学習指導要領では、DIと呼ばれる教育的アプローチを、科学的アプローチや実験的アプローチと区別しており、学習指導要領の前書きにおいて「科学的アプローチ」と「実験的アプローチ」の間のつながりと、それらの教育的な意味合いが展開されている。しかし、理系コースの高校2年と高校3年は、「科学的アプローチの主要段階である観察、モデリング、現実への働きかけを中心に、文脈に即した最新のアプローチと問いかけによって生徒の支持と関心を求める」構成となっており、科学的アプローチとDIの間に一定の混乱が生じているようである」

そして、「体験型、科学調査型の学習 tâches は、科学へ

のモチベーションや興味に重要な役割を果たしていると思われるので、よく使われる。しかし、「DI」を構成するものの定義は、社会構成主義タイプの教授法モデル（必ずしも明示的ではない）や現実の状況に基づいているように見えるにもかかわらず、安定していない」としている。

また、フランスにおけるDIを進めていくために、理系4教科の現場教員が、DIに関してどういった認識であるかのアンケート調査が2011年に、国立教育研究所とリヨン高等師範学校によって行われ、「中等教育における探究的アプローチ：数学、物理・化学、SVT、テクノロジーの教師の意識」²²と題された報告書にまとめられた。そこで、現場の教師達はDIの導入は困難であると回答していたことや、DIの4つのコンセプト（問題、仮説、実験、モデル）の意識について、理系4教科の教員で同じ言葉でありながら互いに認識が違う状況などが報告された。

このように、前回学習指導要領ではDIの文言が前面に出たものの、諸々の課題や未整理な状況が指摘された。そして、この度の物理・化学の学習指導要領では、探究ないしは探求、DIの文言は無くなっていた。

ただ、高校3年の学習指導要領ではバカロレア試験のグラントラルに対応する「プロジェクト」の文言があったことは留意すべきものとして指摘しておく。

④フランスの教科「科学と実験室」「科学の教育 ES」

物理・化学はいわゆる固有の学問体系を背景とした従来型の教科であり、扱う内容やそれに応じた固有の概念の理解などが要求され、積み上げて定着すべき内容が軸となっている教科であることはいうまでもない。そういった意味で、科学的アプローチの強調がされることも然りであるが、扱う夫々の特有の概念や内容の理解ということが伴う。SVTについても似たようなことが言える。

一方で、フランスでは、角島（2021）²³が報告した「科学の教育 ES」、同じく角島（2022）²⁴が報告した「科学と実験室」という独特の名称の教科が設けられてきている。

高校2年以降に物理・化学を専門の教育の教科として履修する生徒が高校1年で選択することとなる「科学と実験室」については物理・化学の教員が授業を担当し、「系統的な知識の積み上げではなく、しっかりと手を動かす操作が強調されじっくりテーマに取り組めるなど、のびのびとした形で実験科学の「実験」をより具体的な形として落とし込んだものといえ、既存の物理・化学やSVTでは実現することができなかったものを補完する教科といえる」とされている。

高校2年、高校3年で全ての生徒が履修する「科学の教育 ES」は、その学習指導要領作成にあたって以下の5点：

- ①既習の成果を定着させる、新しい概念はほとんどない
- ②学際的なアプローチに適したテーマを選択する

- ③歴史的、認識論的、社会的側面を考慮に入れる
- ④本物の科学的実践を中心として生徒を活性化させる
- ⑤各教科に固有のコード、習慣、暗黙知を避けるために共有できる捉え方 regard commun を見出す

に基づいているとされているが、①のように、新たな概念の理解が求められる知識の積み上げは行われず、物理・化学やSVTや数学など他教科で学習したことを使うのであり、物理・化学やSVTや数学などの従来の教科単独では難しい②のように学際的なアプローチがとられる。

この度の物理・化学の学習指導要領の目標の中に3か年にわたって「科学の教育 ES」に関する言及があったが、一教科では十分できないものを補完し合い、教育課程全体として、社会変化に伴い様々に要求されていることに対応していると映る。

だから、物理・化学では、様々な要求をのみこんで過積載となるのではなく、高等教育への接続に十分耐えうる指導として、物理・化学に固有の概念の理解と具体化と文脈化、ならびに展開において重点とすべきことを、「モデリング」と「実験」という言葉に集約しているとみてとれる。

⑤平成30年告示の高等学校学習指導要領と解説

平成30年告示の高等学校学習指導要領の理科に関する全ページ pp.103-130において、モデリング、モデル化、モデルの単語は一語もなかった。同解説の全ページ（pp.1-201）の中では、物理関係では一語も出ていなかったが、他所にて以下のような10単語を確認した。

p.10 資質・能力を育むために重視する探究の過程のイメージとして示された図3において、課題の解決における資質・能力の例として「新たな知識やモデル等を創造したり、次の課題を発見したりする力」との記述

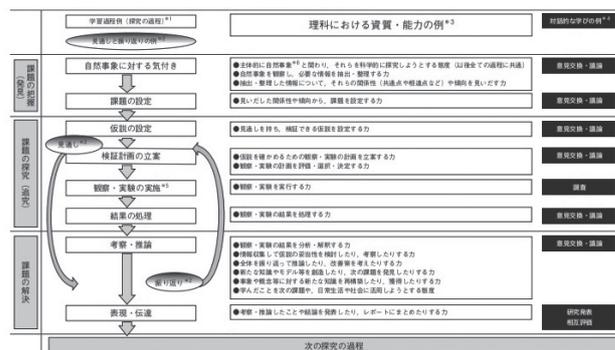


図3 探究の過程のイメージ

p.40 「平野部では地理情報システム（GIS）を活用した浸水域の推定や液状化現象のモデル実験、山間・山麓部では土石流のモデル実験、火山地帯では資料などを基にした身近な火山の活動史の調査、都市部では高層ビルの長周期地震動のモデル実験などが考えられる」

p.41 「…断層や褶曲のモデル実験、降水による地形変化のモデル実験、火山噴火のモデル実験などが考えられる」(科学と人間生活)

p.89 「原子の電子配置については、原子の簡単なモデルを用いて、…」(化学基礎)

p.133 「遺伝子頻度に変化する要因を見いださせるには、モデル実験を行い、…」(生物)

p.179 「…ハッブルの法則が成り立っていることを、モデルを用いた実験などから検証…」(地学)

・解釈

モデリングやモデル化という意味合いを強調するというものでなく、一般的に認識されている展開の方法として示されているものといえる。そういった意味では、フランスのSVTと似たような扱いといえる。

⑥科学的アプローチと探究の学習過程のイメージ

フランスの物理・化学の表1、SVTの表2の科学的アプローチの実践の欄、そして日本の図3を比較したとき：

- ・日本では探究の過程ありきで、これに対する理科の資質・能力が示されている。
- ・日本では探究の過程において「見通し」と「振り返り」が強調され、表1では「モデル」が多用されている。
- ・フランスの表1の「コミュニケーションする」は、図3の右端に示された「意見交換・議論」に対応する。
- ・アプローチ・過程の順序性を必ずしも求めないことは、日本の資質・能力についても表1においても同様である。

などが指摘できる。ただ、科学を教育するというある意味同じものを捉えているので、全く異質なものとえば大同小異といえるものの、「探究」「モデリング」と強調していることの違いに沿って諸々の表現の差異が出ていと捉えることができる。

5. まとめ

日本の高等学校では、物理、化学、生物、地学の4領域が科目として独立して扱われる。それぞれの特性に応じて、科目が据えるべき目標に独自色が出ることなく、理科としての統一的な文章の書式となっており、「探究」が繰り返される文言であり柱であった。

フランスの科学教育も世界的な潮流の中にあって探究なしは探求という文脈にはあるものの、日本では同一教科別科目となる物理、化学を1つに束ねた物理・化学が1つの教科として示した目標では、実験とモデリングの文言が繰り返され、2010年の学習指導要領では出ていた探究ないしは探求の文言は一言も出てこなかった。物理・化学が重要視したのは、日本の生物、地学を1つに束ねたSVTが示したもの、日本の学習指導要領のものとも違っていた。

そして、日本の物理教育界隈や理科教育関係者の中で、重要性が説かれもしているモデリングについて、「理論とモデルの世界」と「現実世界」の間のありようを示す図をいくつも提示し、実験と共に「2つの「柱」に基づいて物理および化学の学習指導要領を作成することは当然légitimeである」と書ききった国民教育省の資料を確認した。

日本の科目としての物理、フランスの物理・化学の物理も、物理を教えるということについて、科学的アプローチとして示されたものなど最大公約数的には大同小異なものがあるとはいえ、柱として表現されている文言の違いに、教科・科目の括り方による違いを明らかに指摘できる。

フランスに見た物理・化学とSVTの目標の間にあった違いに鑑みたとき、両者を束ねた上位概念としてある日本の教科理科が、科目としてのありようを縛ってはいないか。

フランスは物理・化学だけではカバーできないものを、「科学と実験室」「科学の教育ES」といった科学系の別教科との連携で補い、物理・化学はその学習内容に固有の概念の学習にもっとフォーカスし、さらには高等教育の準備として求められる教科指導のありようを鮮明にしている。

また、本報告が対象としてきたのは、義務教育段階ではなく後期中等教育段階であった。この教育段階の高等教育との関係のありようが、教科として何を指すのかという文言のありように如実な違いを認めた。

以上を踏まえて、次の問いをもってまとめたい。

「物理の目標のありようとして打ち出されるべき視点が、理科という傘の下にあることで打ち出されないのであるとすると、後期中等教育段階である高等学校での科目と教科の関係はそもそもどうあるべきだろうか。」

6. おわりに

物理であり理科を教えていく際に何を大切に、何を柱に教えていくのか。物事が多様かつ複雑になればなるほど、結局には繰り返される文言であり、キーワードが頭に残り、その文言を頼りに授業のありようを考え、あるいはその文言にしばられもしないだろうか。研究レベルで様々に論じられることとは違って、政策決定の具体物として示される学習指導要領は、現場の教員にしてみれば、特定の文言でありキーワードがシャワーのように降り注ぐ研修や諸々の情報の源であり、依拠すべきものである。

物理や理科のある指導内容の場面だけを切り取れば、他国と同じようなことをしているようでも、年間の活動あるいは3年間という時間軸の中で教師が何を大切としどこに軸をおいてどうとらえるかということが、有形無形に繰り返されることを想像したときに、自国のありようをみつめ

る意味においても、他国でどのようなことに軸がおかれな
 ぜそうになったかを知ることは、有意義と思われる。

本報告がその一助となれば幸いである。

また、グラントラルに対応するプロジェクトの具体的な
 内容や展開については、本報告では十分に扱えていない。
 別の機会に報告したい。

文 献

- (1) 船川豊ら (2002) 「モデリング学習による高等学校物
 理Ⅱ課題研究の単元開発と実践」『日本教育工学雑誌』
 26, pp.177-182
- (2) 笠潤平 (2015) 「高校物理におけるモデリング教育の
 可能性：—英国の『アドバンシング物理』と
 Modellus—」『日本科学教育学会年会論文集』39
 (0), pp.35-36
- (3) 古結 尚ら (2020) 「高校物理力学分野におけるモデリ
 ングソフトを用いた生徒実験」『日本物理学会講演概
 要集』75.1 (0), 2971-2971
- (4) 今井章人ら (2021) 「高校必修理科に向けた物理から
 の視点」『日本科学教育学会第45回年会論文集』
 pp.177-180
- (5) 後藤顕一ら (2016) 「モデル化学習」の考え方、進め
 方に関する一考察：高校化学の試行実践を通して」『科
 学教育研究』40 (2), pp.166-179
- (6) 雲財寛 (2016) 「理科教育におけるモデリング研究の
 動向と課題—日本の研究動向を中心として—」『広島
 大学大学院教育学研究科紀要第二部』第65号 pp.19-
 27
- (7) 井形哲志 (2021) 「モデル化思考の能力を高める6つ
 の局面からなる理科指導法の開発」『埼玉大学紀要。
 教育学部』70 (2), pp.1-16
- (8) 角島誠 (2021) 「フランスの高等学校 教科「科学の
 教育 ES」について」『広島工業大学紀要 教育編』第
 20巻 pp.53-62
- (9) BO spécial n°1 du 22 janvier 2019, Programme de
 l'enseignement de physique-chimie de la classe de
 seconde générale et technologique, Annexe Programme
 de physique-chimie de seconde générale et technologique
- (10) BO spécial n°1 du 22 janvier 2019, Programme
 d'enseignement de spécialité de physique-chimie de
 la classe de première de la voie Générale, Annexe
 Programme de physique-chimie de première générale
- (11) BO spécial n°8 du 25 juillet 2019, Programme de
 l'enseignement de spécialité de physique-chimie de la
 classe terminale de la voie générale, Annexe
 Programme de physique-chimie de terminale générale
- (12) 角島誠 (2020) 「高等学校の物理の内容に関する一考
 察：フランスの教科「物理・化学」を参考に」『広島
 工業大学紀要 教育編』第19巻 pp.15-24
- (13) [https://www.education.gouv.fr/baccalaureat-2021-
 epreuve-du-grand-oral-permettre-aux-eleves-de-
 travailler-une-competence-89576](https://www.education.gouv.fr/baccalaureat-2021-epreuve-du-grand-oral-permettre-aux-eleves-de-travailler-une-competence-89576)
- (14) 角島誠 (2019) 「高等学校の総合的な学習の時間に関
 する一考察～フランスの高等学校における理系コース
 の TPE を参考に～」『広島工業大学紀要 研究編』第
 53巻 pp.105-115
- (15) Académie de Grenoble, 'Mettre en œuvre et évaluer
 les TPE et le grand oral :quels points communs? quelles
 évolutions? ',
[https://interlangues-pedagogie.web.ac-grenoble.fr/
 sites/interlangues-pedagogie.web.ac-grenoble.fr/
 files/comparaison_tpe-go_academie-grenoble.pdf](https://interlangues-pedagogie.web.ac-grenoble.fr/sites/interlangues-pedagogie.web.ac-grenoble.fr/files/comparaison_tpe-go_academie-grenoble.pdf)
- (16) La modélisation, une activité essentielle pour travailler les
 compétences de la démarche scientifique
[https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Physique-
 chimie/40/2/RA19_Lycees_GT_2-1-T_PHYCHI_modeli-
 sation-competences-demarche-scientifique_1171402.pdf](https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Physique-chimie/40/2/RA19_Lycees_GT_2-1-T_PHYCHI_modelisation-competences-demarche-scientifique_1171402.pdf)
- (17) 高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 理科編
 理数編 文部科学省
- (18) 高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 文部科学省
- (19) BO spécial n°1 du 22 janvier 2019, Programme de
 l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre de
 la classe de seconde générale et technologique, Annexe
 Programme de sciences de la vie et de la Terre de
 seconde générale et technologique
- (20) BO spécial n°1 du 22 janvier 2019, Programme
 d'enseignement de spécialité de sciences de la vie et de
 la Terre de la classe de première de la voie Générale,
 Annexe Programme de sciences de la vie et de la Terre
 de première générale
- (21) BO spécial n°8 du 25 juillet 2019, Les programmes de
 l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre (SVT)
 de la... Spécialité SVT de terminale générale, Annexe
 Programme de sciences de la vie et de la Terre de
 terminale générale
- (22) MONOD-ANSALDIR. & PRIEUR M. (2011), Démarches
 d'investigation dans l'enseignement secondaire:
 représentations des enseignants de mathématiques, SPC,
 SVT et technologie. Rapport d'enquête IFÉ - ENS de
 Lyon. Décembre 2011.
- (23) BOHors-Série n°5 du 25 août 2005, programme des
 collèges Annexe I Introduction commune à l'ensemble

des disciplines scientifique pp.6-7

注

- (24) Jean-MarieBoilevin (2017), 'La démarche d'investigation: simple effet de mode ou bien nouveau mode d'enseignement des sciences ?', Epistémologie et didactique, pp.195-220
- (25) 角島誠 (2022) 「フランスの高等学校の選択教科「科学と実験室」について」『広島工業大学紀要 教育編』第21巻 pp.27-36

※ 掲載サイトの閲覧は2022年4月5日に最終確認

注1) 高校1年の学習指導要領については、以下に全訳をしている。

角島誠 (2023) 「フランスの高等学校1年物理・化学の学習指導要領2019」『広島工業大学紀要 教育編』第22巻 pp.27-30