

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－

角島 誠*

(令和元年8月6日受付)

A study on the contents of upper secondary school “Physics”

- With the reference of “Physique Chimie” in France -

Makoto KADOSHIMA

(Received Aug. 6, 2019)

概要

中央集権型の教育制度をとる国において、国民教育の最後の共通教育の場として科学的リテラシーといった教育の側面と、世界的な競争に資する理系人材の育成という観点を後期中等教育でどのように実現するかという課題に対する最適解はどのようにあるべきか。日本と同様に中央集権型の教育制度を採るフランスの高等学校の現行の物理教育の学習指導要領は、この課題に対する特徴ある内容の構成を行なった。すなわち、高校1年でのテーマ設定、情報の抽出と活用というコンピテンスの下、所謂理系として求められる内容の知識・理解に比重をおいた高校2、3年での「観察する」「理解する」「行動する」といった括り方、深化した学びのための専門の教育という枠組みの設定などである。しかしながら、実際の展開では、配当時間削減の影響も大きく、現場の教員ならびに高等教育関係者からも批判を得るなどおおよそ成功した事例とはならなかった。この事例の特徴と評価を踏まえて、物理内容の取捨選択に求められる視点、相応の内容を扱うために求められる配当時間の必要性を指摘し、理科という傘と各科目の関係を捉える示唆を引き出した。

キーワード：高等学校、物理、理科、内容、フランス

1. はじめに

1.1 フランスに着目の理由

高大接続の改革が進む中、センター試験の廃止と共通テストの導入を筆頭に、現場は様々な現実対応に迫られる喧騒とでも言う状況にあるが、日本の高等学校の物理の学習指導要領で扱う内容の括り方、配列といった観点では、次期学習指導要領と現行学習指導要領の間で抜本的とでも言うべき大きな違いは見られない。その内容で2030年代中ごろまでを進むことになるのであろう。表現に苦慮するが、PSSCの影響以後、部分的な切り貼りはあっても、内容の構成という点では基本的な作りは半世紀近く変わっていない

いともいえる。半世紀近く変わらないとは、現役で勤務している教員が、日本で高校生として履修し教師として定年年齢に至るまで、それ以外のあり方を知らず、またそれ以外の必要性を感じなくなることにもつながりかねない。

他国の事例から学ぶということでは、前世紀末より2000年代にかけてイギリスのアドバンス物理の事例が様々な紹介され、示唆を得てきたところである。ただ、カリキュラム全体としての展開可能性は、その国の教育制度、学校環境、生徒層等で決まってくる。GCSE後にAレベルのカリキュラムを履修できる生徒層、また、必修科目数の少なさなどを考えると、示唆の得方としては教材の作り方、深め方の示唆といったことになってしまおうか。その後学

* 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

んだ他国の事例として、米国の ILDs による教授法から示唆を得てきたこと、また STEM 教育の文脈での K-12 科学教育フレームワークの物理科学の内容構成の紹介がなされてきたこと⁽¹⁾は周知のとおりである。

日本と比べてみれば英米同様に制度上の違いは諸々あるものの、フランスは日本と同様に中央集権的な教育制度を持つ国で、バカロレア試験という大学入学資格試験を実施する国であり、いわゆる学習指導要領 programme が存在する。

国民教育の最後の共通教育の場として国民教育的素養、科学的リテラシーといった教育の側面と、世界的な競争に資する理系人材の育成という観点を後期中等教育でどのように実現するかという課題は日本に限らずフランスにおいても同様の課題である。

この課題に対し、教育内容の構成という観点で日本の次期学習指導要領は大きな変化を見せなかったが、2010年から示されたフランスにおける高校物理の内容の括り方は日本のものとはかなり異なり独特なものが展開されてきたようである。

本論では、2010年代に実施されてきたフランスの物理教育の主として内容の括り方に注目して示唆を得てみたい。

尚、フランスでは、2021年のバカロレア試験の大改革に伴いバカロレア試験の教科数の削減や継続評価 contrôle continu の導入など今後諸々の変更が予想され、新しい学習指導要領も示されつつあるが、本論では2010年代に展開されてきた学習指導要領、それが適用された教育制度下での内容について扱うこととする。

1.2 フランスの高等学校の概要

高校1年はコースに分かれておらず全員必修の共通カリキュラムが展開される。普通科でいうと、高校2年から文系 A、経済・社会系 ES、理系 S とコースに分かれるが、コースに応じたカリキュラムが国によって指定されている。本論では、理系 S コースを選んだ事例を扱う。

また、従来の教育課程が教科のみで構成されていたのに対し、個別学習支援 Accompagnements Personnalisés という補完教科が入ってきており、既存の教科への配当時間が削減される状況となっている。

1.3 教科 物理・化学

フランスでは教科名は物理・化学で一つの教科名であり、教員も基本的に物理と化学の両方を指導する。ただし、教科指導以外の業務が極めて少ないのも特徴である。

日本では「理科」という教科の枠の中に、物理・化学・生物・地学が科目として位置付いているが、フランスでは教科の成立の歴史的な変遷の中、いわゆる中学校でいう1分野内容のものは、理化 Sciences Physique の教科名で永らく呼ばれ、1992年から物理・化学 Physique Chimie の

教科名となった。そして、伝統的に化学内容に比べて物理内容の比重が多かった。

また、時間割配分もいわゆる2分野内容の教科である生命と地球の科学 Sciences de la vie et de la terre (以下、SVT) より物理・化学の時間配分が多いのが特徴である。例えば全員必修の高校1年で、物理・化学が週3時間、SVT が週1時間30分と配当時間が倍違う。更に、SVT 中でも生命科学：地球科学の内容が2：1の扱いとなっている。

このように、物理・化学・生物・地学の配当時間、内容量が均等ではないが、理系 S コースの生徒は、物理・化学、SVT の2つの教科が必修である。日本は理科という傘の下に物理・化学・生物・地学が科目として時間配当、内容量が均等に扱われているものの、科目が選択扱いとなり、全く学習されない科目があり得るという状況である。

そして、理系 S コースの場合、物理・化学の標準履修時間は以下の通りである⁽²⁾。

- ①全員必修となる高校1年 週3時間
- ②理系 S コース 高校2年 週3時間
- ③理系 S コース 高校3年 週5時間
- ④理系 S コース 高校3年 専門的教育 週2時間

※専門的教育 l'enseignement de spécialité は、数学、物理・化学、SVT、情報学とデジタルサイエンスの4教科の中から1つを選んで、より深い学びを行うものである。

※高校2年については旧学習指導要領と比して週4.5時間から3時間と33%の削減となっている。

2. 内容の配列と特徴

学習指導要領では、大単元の括りと中単元的な表現がされたものの中で扱うべき内容が列挙されており、小単元までは組織化されていない⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。教科書ではこういった内容がどのような形で降りてきているか、以下、Nathan 社の Collection SIRIUS の教科書(※1)での目次構成を表1～表3として示し、別に訳出している学習指導要領⁽⁶⁾も踏まえながら、同教科書の記述内容から特徴を抽出していく。配色部分は化学の内容である。

2.1 高校1年

高校1年は文系・理系のコース分けとなっておらず、全員必修の学年である。大単元の構成が「健康」「スポーツの実践」「宇宙」と身近で具体的な対象の名詞で括られている。

中学校での SVT の「人体と健康」という大単元において、日本の2分野では扱われない健康やスポーツ時の測定が扱われており⁽⁷⁾、中学校の SVT で扱った人体に関する学習の対象が継続する形で、高校1年の物理・化学として、

切り込んでいくという形となっている。このあたりは日本に全くない事例である。

表1 高校1年の目次構成

大単元	中単元	小単元
健康	薬品	1 化学種の抽出と分離
		2 同定
		3 化学種の合成
	医療診断	4 周期的な信号
		5 波と医学的画像
		6 溶液と質量濃度
		7 モルとモル濃度
宇宙	宇宙の最初の説明	1 宇宙の記述
	星	2 光の分散と屈折
		3 光のスペクトル
		4 原子のモデル
	宇宙に存在する化学元素	5 化学元素
		6 元素の周期的な分類
	太陽系	7 運動と力
		8 万有引力
スポーツの実践	運動の研究	1 運動、慣性と運動エネルギー
	スポーツの実践時での体の要求と応答	2 化学反応
	スポーツにおける素材と分子	3 分子：分子式と特性基
	圧力とスポーツの呼吸	4 気体の圧力と液体への気体の溶解
		5 液体中の圧力とダイビングスポーツ

化学に関しては、いわゆる化学の基礎と言われるものがちりばめられている。また、中単元「医療診断」では実際に病院で使い得る身近な測定機器を通して測定されたものを読み取ることといった実用的な面が目指され、オシロスコープからの波形の読み取りや操作が強調されるものの、電磁気学としての系統性は見いだせない。

「宇宙」では、物理の内容として力学や波動の光波が扱われている。光波ではウィーンの法則や線スペクトル、吸収スペクトルが現象として扱われ、H-R 図が資料として扱われるなどしている。実験則としてのスネルの法則が扱われ具体的な計算が要求されている。「運動と力」とはあるものの、惑星を事例とした系、ベクトル、平均の速さが扱われるものの加速度は扱われない中、万有引力公式を扱っている。

スポーツの実践についても、ダイビングなど実生活との関連を具体的に深めたものとなっている。

物理の学びとしての系統性は無く、知識的にはカタログ的な構成となっており、公式等もいきなり提示され、数値をはめて公式から計算してみるといった扱いとなっている。

2.2 高校2、3年

理系コース選択となる高校2、3年では、学習指導要領の大単元の構成が「観察する」「理解する」「行動する」の動詞で括られている。「観察する」は、視認できる現象を扱う光学関係が主体に組まれている。「理解する」は、微視的現象や場といった観察ができないあるいはしにくい概念上のものを扱い、「行動する」は、応用的な側面を扱っているといえる。

表2 高校2年の目次構成

大単元	小単元
観察する (色と像)	1 目、薄レンズと像
	2 物体の色
	3 光と色
	4 光とエネルギー
	5 有色物質の有機分子
	6 有色溶液
	7 化学反応の促進
	8 分子の構造
理解する (法則とモデル)	9 基本的な相互作用
	10 放射能と核反応
	11 イオン固体と分子固体の凝集力と溶解
	12 アルカン、アルコールと状態変化
	13 場と力
	14 エネルギーの形と保存
	15 エネルギー資源と電気エネルギー
行動する (21世紀の挑戦)	16 燃焼と化学エネルギー
	17 電池と酸化還元剤
	18 有機化学と新素材

表3 高校3年の目次構成

大単元	小単元
観察する (波と物質)	1 波と粒子
	2 波の特徴
	3 音波
	4 波の回折と干渉
	5 紫外線・可視光スペクトルと赤外線スペクトル
	6 核磁気共鳴スペクトル
理解する (法則とモデル)	7 慣性の原理と運動量
	8 ニュートンの法則
	9 衛星と惑星の運動
	10 振動子と時間の測定
	11 時間の相対性
	12 化学反応速度の管理
	13 有機分子の立体異性体
	14 有機化学における変化
	15 プレンステッド理論。化学平衡の概念
	16 弱酸/弱塩基対。緩衝溶液
	17 エネルギーの熱移動
	18 エネルギーの量子的移動
	19 波と粒子の二重性
行動する (21世紀の挑戦)	20 エネルギーと環境問題
	21 品質管理：秤量
	22 有機合成の戦略
	23 有機化学における選択性
	24 情報の伝達とストレージ

「観察する」は、視認しやすい色が対象とされ、物理としては光学と初期量子論の扱いとなるが、物理・化学の両方を扱う教科の特性から日本では化学の領域となる有色物質を扱うことで、色を包括的に扱うことができている。

「理解する」の高校2年では中単元「場と力」で万有引力とクーロンの法則を同時に扱っている。

いわゆる日本でいう原子物理領域について、原子核と素粒子のモデルを高校2年の「理解する」という枠組みで扱い、具体的な応例につながる「粒子性と波動性」ならびに「原子とスペクトル」を、高校3年の「行動する」の枠組みで扱っている。そして、日本の物理、化学両方において扱っていないスペクトル分析を扱っている。

日本で扱っていない大きな内容としては、「特殊相対性理論」、「情報の伝達の連鎖」、「スペクトル分析」が指摘できる。

3. 考察のための視点

3.1 力学の観点から捉える

いわゆる物理分野の系統だった内容が独特に組み換えられた体になっているが、力学という括りで、フランスでの力学内容の扱われ方を捉えなおしてみる。本論では、Nathan 社の教科書を参考に、実際の扱われ方を捉えていく。

高校1年で、等速直線運動、等加速度運動、自由落下、放物運動といったことは扱われず、いわゆる速度・加速度の3公式はない。

運動については、大単元「宇宙」にて惑星の動きとしてベクトルを用いた速度の一般的な表現が扱われるものの、加速度が扱われることもない。そして、日本のように円運動とケプラーの法則を組み合わせる導くことも無く、法則として万有引力式を示し、そして、そのあとに地表付近の重力について mg と表記している。重力加速度 g には重力の強さ *l'intensite de la pesanteur* という表現をあて、加速度を扱っていないので単位が m/s^2 ではなく、 N/kg としている。そこで自由落下や放物運動といった様な重力場での運動が扱われることもない。また、運動の3法則の内、慣性の法則のみが大単元「スポーツの実践」で扱われている。運動エネルギーの $1/2mv^2$ も、いきなり表記されている。そして、大単元「スポーツの実践」において、簡単な分子運動論の図で定性的に圧力が説明され、単位 Pa の定義や、ダイビングに伴う浮力が続いて扱われている。

いきなり公式が表記されている背景の一つには、日本の場合、同じような内容でも中学校が日本語の文字表記、高校でローマ字の記号表記なのに対し、ローマ字を使う西洋言語国なので、中学校段階で vt グラフや mg 、 $1/2mv^2$ 、 mgh 、万有引力公式が既に記号表現で扱われていることもあろう。

とはいえ、速度・加速度の3公式を扱っていないので、全体を通して、具体的に運動の状態を記述することは無く、様々な場面での力の作用を説明することに終始しているともいえる。数式を使って運動を記述することの意味より、日常生活や応用的な側面で力がどのように作用しているかを把握することに重きが置かれ、そこに物理の原理や観点があることが示されているといえる。

続いて、理系となる高校2年では、場と力という概念で括られ、相互作用する力として万有引力公式とクーロンの法則が併記されている。高校1年に引き続き、 g については重力加速度の表現は用いられず、万有引力公式から m を除いたものを g として扱うにとどまっている。

「エネルギーの形と保存」の単位では、自由落下を扱い、コンピュータでのビデオ解析を行う実験が扱われている。実験では、解析ソフトを用いて yt グラフの作成、

$v=\sqrt{2gy}$ を利用した vy グラフへの実験データプロット、 g の値を任意に設定して vy グラフを数種描き、 $g=9.8$ を入力したグラフとプロットのフィッティングを確認するようなことが行われるものの、この力学単元を通じて運動方程式や運動を記述することは行われていない。

高校3年で中単元「慣性の法則と運動量」にて、改めて系と慣性の法則、運動量の保存が扱われ、続く中単元「ニュートンの法則」でやっと加速度の概念が扱われる。 vt グラフの活用等も無く、加速度はいきなり微分形式で表記され、速度・加速度の3公式もベクトル量として xyz の3次元で扱われ、それぞれインテグラルの記号は用いていないものの暗に積分を用いた形で導出されている。そして、等速直線運動、等加速度運動、自由落下、斜方投射、放物運動が扱われている。運動の第2法則も、ストロボ写真や関数関係から導出されることも無く、法則としていきなり運動量の微分形式で表現されている。

これら内容は、Nathan の教科書では小単元名「ニュートンの法則」で扱われ、更に高校2年で静電場を扱っていることもあり、一様な静電場での電子の運動の記述やオシロスコープの原理、比電荷の導出までが扱われている。

ただし、水平面、斜面での摩擦の有無等で物体の運動方程式を作って、運動を記述させるような日本でよく扱われる問題は扱われておらず、運動方程式という用語も扱われない。電子のようなほほ質点については扱えていても、モーメントや偶力も扱われず、剛体に関する力学は結局3年間、扱われていないということになる。

続いて、円運動やケプラーの法則の展開はオーソドックスな展開となっている。仕事や保存力、単振動、減衰振動が扱われているが、単振り子は扱われても、ばね振り子は扱われていない。

日本の場合、力学の学習が1丁目1番地のようにっており、物理I・IIや物理基礎・物理と分けても、運動の記述（速度・加速度の3公式）、ニュートンの運動3法則、運動方程式という流れが黄金律のように扱われてきた。しかし、速度・加速度の3公式で (S 、 v 、 v_0 、 a 、 t) と5つの文字を扱うようなことで物理から撤退する生徒を多く出してきたのではないだろうか。かといって理系選択した高校3年で原則的には微積分を使うことなく、また特殊相対論を扱うまで至っていない。

3.2 電磁気の観点から捉える

3.1同様、Nathan 社の教科書での扱いを参考に捉えていく。

高校1年で大単元「健康」で心電図などの電圧測定の事例やオシロスコープを用いた波形の見方等が扱われ、周期的な波形を説明する前段階として可変電圧の事例としてコイルと磁石での電磁誘導の現象が定性的に扱われている。

また、大単元「宇宙」で、光速を扱う導入部分で同軸ケーブル中の信号の伝播速度が事例として扱われ、同軸ケーブルが接続される具体物としてオシロスコープが紹介されているが、電磁気学としての系統性はない。

理系となる高校2年では、中単元「基本的な相互作用」で万有引力と並行して、静電気現象、帯電、電荷が扱われクーロンの法則が示されている。同単元では弱い力、強い力についても簡単に示されている。ミリカンの実験が扱われているが、運動方程式は扱っていないので、表から素電荷を求めることにとどまっている。

また、中単元「場と力」で、タッチスクリーンの作動原理の説明として、静電場の変化がいきなり示され、その後「場」の概念、スカラー場、ベクトル場の一般論が扱われる。続いて磁場や地磁気、そして改めて静電場が $E=F/q$ として示され、一様な静電場での $E=U/d$ が示されたが、Uについては単位 (V) の電圧 tention との表現のみで深い扱いは無い。

中単元「エネルギー資源と電気エネルギー」にて、可変抵抗、ジュール効果、電力式、オームの法則が扱われ、本文ではなく、バカロレアに向けた問題演習という扱いで、蓄電池の直列、並列接続での端子電圧と電流の特性、電流の定義 $I=Q/\Delta t$ が扱われている。

高校3年では、日本では扱われていない中単元「情報の伝達の連鎖」でアナログ信号、デジタル信号等その他情報関係の内容が扱われるものの、ここでもいわゆる電磁気学の内容は扱われていない。

すなわち、高校3年間でキルヒホッフ則や一般的な電気回路の計算が行われず、更に誘導起電力、コンデンサー、コイルといった素子の特性も扱われず、RLC回路も扱われていない。後に触れる専門の教育の中で素子と回路を部分的に扱う事例もあるが(※2)、そもそも学習指導要領では扱うことが明示されておらず、かつ教科書によってばらつきもあり、専門の教育の4教科の中から物理・化学を選択しない限りそれらを扱う可能性すら無いことになる。

3.3 「理解する」の意味

いわゆる物理の授業の本体の「観察する」「理解する」「行動する」で実験を扱わないというわけではないが、後の3.6で触れる探究的な学びにはTPEや専門の教育といった本格的な別枠が存在する。

「理解する」という単元は、まさに物理学の根本的な概念や見えないものを扱い、理解することが大切な内容を扱っている。そこでは探究的な学びよりも概念の理解と定着が求められる。ここでの実験の扱いはあくまで理解を助けるものと割り切れる。

日本の場合、運動の法則、万有引力公式等々、帰納的な形で法則や公式の導出の説明が手堅く行われている。しか

し、この度のフランスの学習指導要領では、むしろ法則はそのようあるものとしていきなり示され、それに伴う概念を理解することに比重を置いているといえる。

日本の教科書では、学習単元の内容に沿った実験を探究実験に仕立てている節がある。また、PSSC時代の実験の名残のようなものもその中に依然としてある。そして、何をどのように扱うかも各校・各教師次第であり、日本で行う諸々の実験の位置づけは、かなり曖昧とも映る。

3.4 物理と化学を扱うこと

物理の立場から見ると、化学を扱うことで物理と化学のつながりがあって説明が可能なが扱えている。

高校1年の大単元「宇宙」において宇宙から届く光の観察で線スペクトルや吸収スペクトルを扱い、宇宙にある元素の存在を扱い、化学の元素、そして原子の構造、電子配置とつなげているが、化学物質の性質が地球上に限定されたものでなく、普遍性あるものであるということが扱える。

高校3年ではスペクトル分析が扱われているが、前期量子論を扱わないと扱えない内容である。化学の主たる分析ツールであり物性物理でも扱うもので、その原理の理解と応用は、物理とも化学とも看板を争うものでないが、物理の学習の応用事例として扱えるという点からしても、物理・化学の両方を扱うからできていることともいえる。

3.5 テーマで括るということ

日本の場合、具体的な応用例については、「例えば…」ということで、その応用例の扱いは教師側に委ねられている。教科書に出ている挿絵程度を扱うこともあれば、全く扱わないこともあり得るし、自主教材を作成し深く扱うことも可能である。自由といえば自由である。また、日本では「物理学が拓く世界」が設定されてはいるものの、内容的には切り離された感がある。

フランスの場合、教科書検定はなく教科書内容をどのように扱うかは、教師の裁量に委ねられており自由である。とはいえ、物理専門の教師と雖も、オーソドックスな物理の体系から離れた応用例の分野に関してどこまで勘所をついた深みのある教材を自力で作りにくいかと言えば、一個人でできることにはあまりにばらつきが出てしまう。

高校1年に関しては大単元をテーマ設定することで、力学の対象がスポーツや宇宙に限定されているともいえるが、教科書本文のつくり、演習問題、活動において具体的な教材が作り込まれていることで、教師はそこをベースにスタートができる。テーマが固定されていることで、国全体として教材開発や事例の厚みが出てくるともいえる。

3.6 深めるための仕組み

角島(2018)が報告しているように⁽⁸⁾、高校2年で半年間取り組む3人のグループで行うプロジェクト学習(Travaux Personnels Encadrés、以下TPE)がある。日

本でいう総合的な学習の時間の位置づけにあり、理系に関していうと、その展開は自由度の高い探究学習と理科課題研究の中間的な性格のものである。全員必修かつバカロレア試験の対象となっており、成果物の提出と口頭試験が課される。

表4 専門の教育の内容

テーマ1：水	
学習領域	キーワード
水と環境	海、海洋；気候；化学トレーサー 侵食、溶解、凝結 汚染の監視および物理化学的制御；酸性雨
水と資源	飲料水の生産；水処理 海洋の鉱物および有機性資源；ガスハイドレート
水とエネルギー	燃料電池 水素の製造
テーマ2：音と音楽	
学習領域	キーワード
楽器	弦楽器、管楽器、打楽器 電子楽器 音楽音響；音階；ハーモニー サウンド処理
音の発信機と受信機	生理学的音響 マイク；音響スピーカー；ヘッドフォン 音声認識
音と建築	オーディトリウム；無響室 遮音性；アクティブ音響；残響
テーマ3：物質	
学習領域	キーワード
ライフサイクル	生成、エージング、腐食、保護、リサイクル、廃棄
構造と特性	導体、超伝導体、液晶 半導体、太陽光発電 膜 接着剤 界面活性剤、エマルジョン、発泡体
新素材	ナノチューブ、ナノ粒子 ナノ構造材料 複合材料 セラミックス、ガラス 生体適合性材料、革新的な繊維

日本の高校における総合的な学習の時間は、教科主体よりも学年団協働型などで展開されることは珍しくないが、フランスの場合、あくまで教科担当が教科専門を生かして指導するスタイルである。理系のTPEは、日本でいうと理科課題研究のような時間割で、自由度がかなり高い探究活動を行っているイメージだろうか。

さらに、高校3年では専門の教育 *l'enseignement de spécialité* と称されるものが週2時間設定されている。選択必修であり、数学、物理・化学、SVT、情報学とデジタルサイエンスの4教科のいずれかから1つの選択なので、どれかということにならざるをえないが、物理・化学の場合、表4のような内容を扱うこととなる⁹⁾。

物理・化学の専門の教育は、生徒の進路選択を固めつつ物理・化学分野での科学的学習 *études scientifiques* の継続を生徒に準備することを狙いとして、生徒を研究 *recherche* ならびに行動 *action* せざるを得ない状況に置いて、科学的アプローチ *démarche scientifique* に関連するコンピテンスを統合するようにしている。指導に当たっては、科学者にとって本質的な ①実験的実践、②科学的資料の分析と総合、③科学的な問題の解決 の3つの活動を

展開するように導かれるとしている¹⁰⁾。

テーマが指定された自由度の高い探究活動を徹底して、科学者としての姿勢でありコンピテンスのトレーニングを行うといったものである。

そして、展開の自由度や裁量が教師に委ねられているフランスであるからこそ明記する必要があるであろうが、学習指導要領にはわざわざこのような表現がある。「授業同様にバカロレアで生徒が扱う状況は、専門の教育の3つのテーマの学習分野に限定される」¹¹⁾つまり、学校設定で自由にテーマを選んで探究活動を行って然るべきコンピテンスを養うというのではなく、この指定されたテーマで科学者として求められるコンピテンスを徹底してトレーニングすることを要求していることになる。

日本では探究活動をどのように扱うかも、また実施状況も実際のところ不透明である。検定教科書でありながら、教科書で探究活動と称されている内容は自由度が低く似通っているともいえるが、かといって各社のばらつきもあり、これをしなければならないというものがない。

コンピテンスの養成とはいいながらも、各校・各教師に扱う内容まで自由にしてしまうと、日本のようになってしまう。これに対し、出力としてのバカロレア試験で問う事象や現象を限定することによって、掲げた狙いに対する評価を徹底するというフランスの姿勢を見て取ることができる。

4. 実際と批判

4.1 実施前からの不安視～物理化学教授者連合の見解

日本でいうと、日本物理教育学会、日本基礎化学教育学会と日本化学会の教育・普及部門が一体となったような組織に物理化学教授者連合 (*Union des professeurs de physique et chimie*、以下、連合) があり、当該教科の現場の声が集約される組織でもある。

高校3年のSコースの学習指導要領案が示された段階で、連合の事務局は以下のような見解を出した¹²⁾：

- ・現代化学と物理学の新しく興味深いテーマを扱うものの、理系の高等教育を継続するために構造化されかつ不可欠な内容を犠牲にして、定性的な側面がほぼ独占的に配置されている。
- ・要求されているコンピテンスが、多くの場合「情報の抽出 *extraire* と活用 *exploiter*」に限定されていることを深く残念に思う。
- ・この学習指導要領は、物理法則にとって不可欠な全ての定式化 *formalisation* を事実上扱っておらず、理系Sコースの理系的性格を強化し、理系の高等教育に生徒を準備させるという目的に完全に矛盾している。
- ・その結果、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。

- ・学習指導要領の起草の曖昧さにより内容の定義の責任が教師に委ねられることを遺憾とする。
- ・学校の裁量拡大と相まって、生徒間の非常に大きな学力差をもたらし、社会的不平等が強化される。

4.2 アンケート結果

連合は、現場の教師に対して、2013年にはこの学習指導要領が導入されて初めてのSコース高校2年の指導を終えた段階でのアンケート¹³⁾を、2014年には高校3年の指導を終えた段階でのアンケート¹⁴⁾を、2015年にはバカロレアを取得して進学した高等教育1年目の指導を終えた段階でのアンケート¹⁵⁾を集約している。そして、緊急性があった高校2、3年の理系カリキュラムについては早々にアンケート調査が行われたが、全員共通の高校1年に関しては2016年になってアンケート調査が実施されている¹⁶⁾。

以下、それぞれのアンケートから、いくつか結果を引いてみる。

尚、以下の各表やグラフはアンケートを基に筆者が作り直したものである。

高校2年

「生徒の関心」は低さから高さまで0～4までの5段階で、「生徒の難度」と「教える難しさ」については易から難を0～3までの4段階で問うている。

表5 高校2年 アンケート (N=320)

	生徒の関心	生徒の難度	教える難しさ
	0～4	0～3	
1. 視覚、像 (幾何光学)	2.6	1.5	0.8
2. 色	2.7	1.0	0.9
3. 有色光源	2.2	1.4	1.0
4. 染料と色素の合成、化学反応、分光光度計による秤量	2.6	1.6	1.0
5. 有色有機分子、指示薬、ルイス、異性体	2.2	1.4	0.9
6. 粒子、基本的な相互作用、安定性	2.0	1.8	1.2
7. 放射能	3.0	1.5	1.0
8. 物質の凝集力と熱移動の微視的解釈	1.6	1.9	1.4
9. 有機化学	2.3	1.3	0.9
10. 場と力	1.4	2.1	1.6
11. エネルギーの形と保存則	2.1	1.7	1.1
12. エネルギー資源、電気エネルギー、オームの法則、ジュール効果	1.8	1.7	1.2
13. 化学エネルギー、電池、酸化還元	2.6	1.7	1.1

※灰色部分は化学分野

これによると、生徒の関心の高い内容に放射能があるが、調査時期が福島原発問題から2年後のこともあったのかもしれない。他の内容と比べて「場と力」については生徒の関心が最も低く、最も理解しにくく、教える側も最も難しさを感じていることが重なっている。

連合の事務局は、このアンケート結果を代弁するものとしてアンケート回答の1つの自由記述を引いている。「扱われているテーマや項目は概ね興味深いものの、教師がフォーカスしたいことや生徒の反応に応じて、諸々の側面を発展させたり深めたりする時間が足りないので、フラストレーションの感情がわいてくる。書類上では、教授法の自由度は大きい。しかし実際には、極めて短い時間で扱わ

れるべき多くの項目といった点からして、この自由とは明らかに口輪をはめられた状態である¹⁷⁾。

高校3年

高校3年のアンケートは、高校2年のアンケートと違って、3項目共に0～5の6段階で問われている。

力学についてはいずれの項目でも不評な状況である。教える側の難しさは特殊相対性理論の方がわずかに高いが、生徒の難度という点では、力学の方がずっとポイントが高い。教える難しさでは回答のばらつきが多くあるが、生徒の難度という点では回答のばらつきが少なく、そういった点からも力学の4.5というのはただならぬ数字といえる。低学年での定番的な展開を飛ばして、高校3年になってやっと加速度を扱うとか微分形式で扱うといったことであろうか。力学の丁寧な積み上げの必要性を改めて感じさせられる。

表6 高校3年 アンケート (N=411)

	生徒の関心	生徒の難度	教える難しさ
1. 波と粒子	3.3	2.5	2.1
2. 波の性質と特性	3.3	2.9	2.2
3. スベクトル分析	3.6	2.8	2.5
4. 力学 (力学的エネルギー)	2.5	4.5	3.3
5. 相対性理論	3.5	3.6	3.4
6. 反応速度論	3.3	2.2	1.6
7. 立体化学	3.3	3.3	2.4
8. 有機化学 (巨視的、微視的側面)	3.1	3.1	2.5
9. 有機化学 (合成)	3.4	2.8	2.2
10. 内部エネルギー、熱移動、収支	2.4	3.2	2.7
11. 量子物理	3.3	3.3	2.8
12. pH、酸塩基反応	3.4	3.2	2.1
13. 秤量	3.7	3.2	2.1
14. 情報の伝達とストレージ	3.4	2.8	3.0

※強調数字は標準偏差が1.0を超えるもの

※灰色部分は化学分野

- アンケートでは、自由記述からの声を多く拾っていたが、
- ・「この学習指導要領の本質的な困難さは、生徒が方法的かつ操作的な確たる基礎を持っていないことに尽きる」
- ・「高校2年と高校3年の学習指導要領の連関が悪い：高校2年で力学が殆ど扱われない」
- ・… といった声が多数挙げられていた。

そして、高校3年のアンケートを締め括るに当たり、連合の事務局は、(※A)「理化教師の殆ど大多数が、理路整然としかつ厳密であった伝統的な教育が、現在の学習指導要領よりも少ない項目について方法やアプローチを深める代わりに、多くの項目について殆どを知ることもなく、ミニマルアートの曖昧といった要件の最低値の「文化的なもの」に場を与えるために性質を変えようとすることを望んでいない¹⁸⁾と結んでいる。

高等教育

フランス物理学会の教育委員会は、高等教育の1年目における高等学校の新学習指導要領のインパクトとして36項目についてアンケートを実施し268名からの回答得た。「高等学校の学習指導要領は高等教育が要求する水準に対して

十分か」との問いに、ほぼ全員がノーと回答するなどその実態は、予想した不安がその通りであったと確認するものであった。アンケートの分析結果を受けて：

「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。」と表現し、高等教育教員も高校教員と同様の見解であるとし、連合事務局が高校3年のアンケートを締め括るにまとめた前掲の文書(※A)を引いている。

そして、フランス物理学会は、2014年6月に大臣宛に高等教育にもたらした高校の新学習指導要領のインパクトによる不安について書簡を送った。

高校1年

20項目の質問と自由記述を分析している。以下、(N=706)

アンケートでは、学校裁量で内容を組むことができる補完教科の個別学習支援が新たに導入されたことで、物理・化学の配当時間が削減されたことに伴う指導内容の未消化、また探究的なアプローチやグループ学習といった指導方法やコンピテンスの評価の導入がなされているものの不徹底であることなどが浮き彫りにされていたが、本論では内容構成という観点について取り扱う。

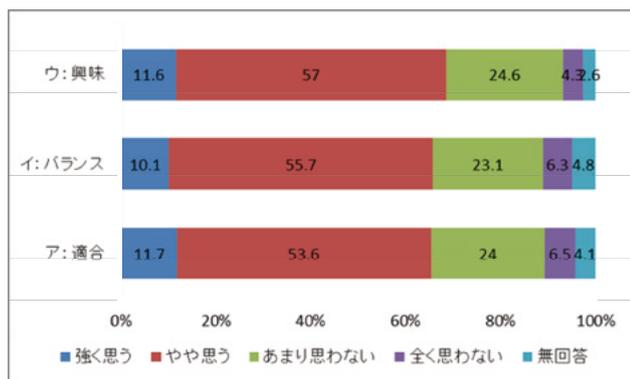


図1 高校1年 内容に関するアンケート

そこで、内容に関するアンケートとその結果について抽出したのが以下のものである。

ア：学習指導要領は実際の生徒に適合しているか。(N=703)

イ：学習指導要領は定性的部分とより定量的な部分とのバランスがとれているか。(N=702)

ウ：内容は全体的に生徒の興味を引くものであるか。(N

=700)

生徒にとってという視点での内容に関しては60%以上が肯定的に受け止めている。ただ、アンケートの自由記述などからは、物理として概念がばらばら、特に電気領域がひどく続いて力学も不十分といった物理のオーソドックな視点からは批判的な声が上がっていることも事実である。

指導に関して全くの自由裁量が与えられているフランスであるが、このような課題意識を抱えながら実際はどのようなのだろうか。そこで、アンケートでは、以下のような質問をしている。

「あなたの教え方は以下のどれですか？」

- A. テーマによる切り分けを尊重する
- B. テーマに関連したテーマ別の状況を選択しながら、3つのテーマ以外の基準に基づいた教育を構成する
- C. テーマを無視する
- D. その他

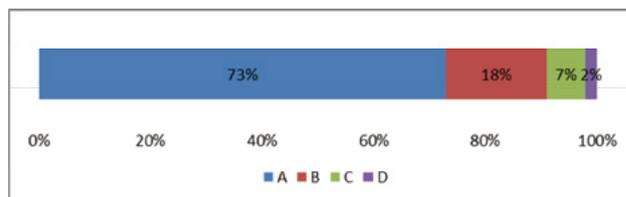


図2 高校1年 教え方 (N=704)

5. 考察

科学的リテラシーといった観点から国民教育の最後の砦のような学年である高校1年のありようと、大学等の高等教育に直結できる理系人材をより高いレベルに導くという課題に対して中央集権型の教育を展開する国の学習指導要領としてどのようにあるべきか。この課題に対するあるべき姿、最適解を希求することにおいてフランスは、高校1年では国民教育としての啓蒙的かつ実用的な知識内容を、高校2、3年では、情報の抽出と活用というコンピテンスの下、所謂理系として求められる内容の知識・理解に比重をおいた内容を、そして、4教科からの選択必修ではあるが、いわゆる探究活動的なより深い学びについては専門的教育という場を設定するといった大胆な括り方を示した。

特殊相対論やスペクトル分析など高度なものを扱う割には、情報の抽出と活用というコンピテンスによって、従来のような枠組みの中で扱っていた内容の定式化の過程を犠牲にし、結果的には断片的かつ表面的になぞることとなるなど高校2、3年の理系の内容の配列には多くの批判があった。一方で全員必修の高校1年の内容については、生徒の興味を引くものであったなどの評価できるものがあるともされている。とはいえ、結果的に高等教育の学びに影

を落とすなどアンケート調査ではこの学習指導要領全体に否定的な回答が多く、おおよそ成功した事例とはいえない。

ただ、教育課程全体の作りとして、教科に担当される時間の少なさが影響していることは否めず、新たな内容の配列を補う十分な展開ができないということも指摘されたように、高校2年での33%の時間削減が無かったなら力学や電磁気の内容を量的にも質的にも丁寧に扱えていたと考えられる。時間節約のために微積が扱えるようになった高校3年に力学を回さざるをえなかったのは苦渋の判断だったのだろうか。教科にとって担当時間の削減がいかに致命的であるかを物語っていると同時に、高校3年間という時間内で大学教育に接続できる物理の学習内容を相応に収めるための担当時間のあり方の重要性を示したものと見える。

また、フランスの場合、物理・化学という一つの教科として化学内容も含んだ担当時間であることも留意しなければならない。教科の歴史的な発展の過程で、現行の物理・化学との名が1992年から用いられている同教科は永らく理化 Sciences Physiques という教科名でありかつ化学よりも物理内容の比重が大きかった歴史があり、物理・化学の内容比率、時間配当比率が1:1でなければならないという制度的な枠組みは無い。物理という視点のみならず、今日の社会情勢下での普通高校教育の教育内容として求められる化学分野の内容との天秤で、物理内容と化学内容の取捨選択ということが如実に反映される教科といえる。21世紀の科学の分野において生物分野が益々興世となる昨今、スペクトル分析でNMRを扱うなど、生物を下支えする化学分野の充実との綱引きという中で、特殊相対性理論は扱っても真っ先に削られた対象となった内容が剛体の力学、電気回路や素子であった。この内容が物理の本質・本流というより、工学的・応用的内容ということだろうか。ここに高校の教科・科目としての物理の内容のありようの捉え方を垣間見ることができる。この点は、選択によって科目そのものが全く扱われないという代償によって、物理・化学・生物・地学が1:1:1:1の枠組みとして存在している日本では中々揺さぶられにくい。フランスに見たこの事例は、科目としての本質を考える一材料となろう。

このように現場から様々な否定的な指摘や批判も出た学習指導要領ではあったが、全てが否定されているわけではない。以下に示唆を引き出してみたい。

例えば、従来の系統だった力学等の手順を組むにはあまりに断片的になっていることが問題なのであって、「観察する」「理解する」「行動する」といった括り方そのものが否定されているのではない。場の概念について万有引力とクーロン法則をいきなり並置することは乱暴であるが、生徒が躓きがちな場の概念等をフォーカスして理解することに比重を置くといった視点までもが全否定されているもの

ではない。本線を従来の物理のオーソドックスな系統的な内容構成に戻したとしても、「観察する」「理解する」「行動する」という視点を、強調すべき視点として単元や指導事項に付し伏線として再構成することも可能である。成功事例ではなかったが、時間削減という制約の中、最適解を求めて動いてみたことで、フランスは次のステップに取り組む様々な糧を得たともいえる。それは日本にとっても、内容構成を捉える視点という示唆につながる。

また、国民教育の最後の共通教育としての啓蒙的な役割を担っている全員必修の高校1年のあり方にも示唆が得られる。日本でも、国民教育的素養、科学的リテラシーといった観点から2016年に、日本学術会議科学者委員会・科学と社会委員会合同広報・科学力増進分科会から、「提言 これからの高校理科教育のあり方」として基礎理科学案が出されたが¹⁹、理科という大きな傘で括るので、指導の専門性の壁が立ちはだかってしまう。教員免許は物理としてではなく理科の免許なので4科目の指導を要求されても理論上は対応可能なはずであるが、物理を専門としながら他3科目まで扱うとなると、またその逆も然りで現実的では無くなる。4科目全てのカバーとなると難はあっても中学校の1分野、2分野というくくりの延長程度であれば、高校1年対象ではどうだろうか。理科基礎として4科目を内包するのではなく、フランスの物理・化学のような教科内でのテーマ設定による括り方でその後の理系内容につなげていく方法も一つの示唆を投げかけるものである。

その他、示唆を得るものとして、日本の不徹底な探究学習や理科課題研究の開設率の低い状況に鑑みたとき、高等教育で求められるコンピテンスを深めるための週2時間の専門の教育を設定していることなどは注目されてよいものとも思われる。

6. おわりに

反動で振り子のように従来のものに戻るのか、あるいはこの度の形からまた違った進化形を見せるのだろうか。2019年現在で、高校2年の次期学習指導要領までが示されたところである。バカロレア試験の大改革に伴う変更事項等も含め、高校3年までの学習指導要領の全容が示され、実施されていく中で今後を追っていくことを課題としたい。

その他、多くの課題を残した。連合事務局のアンケートから窺う程度には、展開方法やコンピテンスの評価などに不徹底な現状や模索中な状況が垣間見えたものの、本論は内容の構成に比重を置いて捉えてきておりこれらは扱えていない。

また、高等教育で求められるコンピテンスを深めるとした専門の教育については、教科書も別物であるなど本論文ではその内容の分析は十分ではなく、別の機会に取り上げ

て行いたい。

さらに、配当時間の問題と物理・化学の内容の割合等については、歴史的な変遷の中で捉えていく中で、より科目としての本質に迫ることができるとテーマと考える。課題としたい。

注 釈

※ 1

Collection Sirius Edition 2017 2de Physique Chimie, Nathan

Collection Sirius Edition 2015 1re S Physique Chimie, Nathan

Collection Sirius Edition 2017 Term S Physique Chimie, Nathan

※ 2

以下の物理・化学の専門の教育を扱った3社の教科書で、唯一 Hachette 社において、電子楽器の小単元にて振動回路で音を作るとして、L、Cの記号、RLCの記号、振動回路の回路図が出てくるものの、記号の意味等が半行から1行程度の説明で、各素子のそもそもの原理や特性は扱われていない。固有振動数の式も、機械的にLCの数値を代入する式として扱われているにとどまっている。このように、専門の教育でも電気回路や素子の特性の扱いは不十分なし扱っていない状態である。

Collection Sirius programme 2012 Physique Chimie TermS Spécialité, Nathan, 2017

Nouveau programme collection Dulaurans durupthy Ts Physique Chimie Enseignement de spécialité, Hachette Education, 2018

Collection ESPACE lycée Tle S Physique Chimie programme 2012 Enseignement de spécialité, Bordas, 2017

文 献

- (1) 出口憲 他(2013)「米国のSTEM教育の最新の動向(1): K-12科学教育フレームワークの物理科学の内容構成に着目して」『日本理科教育学会全国大会要項』63, 372
- (2) MEN, Le nouveau lycée Voies générale & technologique :les informations utiles pour la rentrée 2011, https://www.education.gouv.fr/archives/2011/nouveau-lycee/docs/MEN_LYCEES2011_net.pdf
- (3) MEN, Bulletin officiel special n° 4 du 29 avril 2010, Enseignement commun Programme d'enseignement de physique-chimie en classe de seconde générale et technologique
- (4) MEN, Bulletin officiel special n° 9 du 30 septembre

2010, Programme d'enseignement spécifique de physique-chimie en classe de première de la série scientifique

- (5) MEN, Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011, Enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie de la série scientifique - classe terminale, Annexe Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie Classe terminale de la série scientifique
- (6) 角島誠(2020)「フランスの高等学校3年生理系 物理・化学の学習指導要領」『広島工業大学紀要 教育編』第19巻 pp.107-115
- (7) 角島誠 (2020)「フランスの中学校理科「生命と地球の科学」(SVT)の大単元「人体と健康」に関する一考察～日本の理科2分野、保健体育、家庭分野の教科書との対比を通して～」『広島工業大学紀要 教育編』第19巻 pp.5-14
- (8) 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
- (9) MEN(5), op.cit., p. 15
- (10) ibid. p. 14
- (11) ibid. p. 14
- (12) UdPPC-Bureau National, “Éditorial Position de l'UdPPC sur le projet de programme de physique-chimie de la classe terminale en série S”, Le Bup n° 933 avril 2011 pp. 411-422
- (13) UdPPC-Bureau National, “Résultats de l'enquête sur le programme de première S”, Le Bup n° 952 mars 2013 pp. 265-278
- (14) UdPPC-Bureau National, “Résultats de l'enquête sur le programme de terminale S”, Le Bup n° 962 mars 2014 pp. 399-421
- (15) Nathalie LEBRUN et al., “Résultats de l'enquête sur l'impact des programmes de lycée en première année d'enseignement supérieur”, Le Bup n° 972 mars 2015 pp. 319-348
- (16) Jacques VINCE, “Résultats de l'enquête sur la classe de seconde”, Le Bup n° 998 nov.2017 pp. 1079-1098
- (17) UdPPC-Bureau National, (13) op.cit., p. 277
- (18) UdPPC-Bureau National, (14) op.cit., p. 421
- (19) (提言)平成28年(2016年)2月8日
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t224-1.pdf>

※ 掲載サイトの閲覧は2019年7月25日に最終確認