

フランスの高等学校 教科「科学の教育 ES」について

角島 誠*

(令和2年9月8日受付)

On the discipline “Enseignement Scientifique” in upper secondary school science in France

Makoto KADOSHIMA

(Received Sep. 8, 2020)

概要

フランスでは大学入学資格試験であるバカロレア試験が2021年度より大幅な変更となるが、これに向けた教育課程では、普通科の高校2年、3年での週2時間の必修教科として、理系教科を統合したような教科「科学の教育 ES」が設置された。この教科についてその概要と特徴を以下のように報告した。

この度のバカロレア試験から導入される内申点・継続評価対象の教科であること、いわゆる理系と文系の分断に伴う社会の歪に対する課題意識から誕生した教科であること、フランスの教科名でいうところの物理・化学、生命と地球の科学、数学、情報科学系教科の4教科の学際的な教科であること、新たな知識の獲得ではなく既習内容を使いこなすという視点から作りこまれていること、科学を物語という視点で捉えて作り込まれてきたこと、哲学の教師など文系教科担当教師の協力も必要であること、異質性・学力幅のあるクラスで教える困難さ、担当や教員配置の課題もあることを踏まえた上で、実施に踏み切っていること。

キーワード：高等学校、理科、理科教育、科学教育、理系、新教科、科学の教育、フランス、バカロレア

1. はじめに

フランスでは大学入学資格試験であるバカロレア試験が2021年度より大幅に変わる⁽¹⁾。これに向けてフランスの高等学校では、新しい学習指導要領 programme が展開されており、2020-2021年度の高校3年がその最初の学年となる。

従来、フランスの高等学校のいわゆる理科関係の教育は、理科という教科の傘の下に、物理・化学・生物・地学という科目があるのではなく、日本でいう1分野相当の「物理・化学 Physique・Chimie」、2分野相当の「生命と地球の科学、Sciences de la Vie et de la Terre、以下 SVT」の2教科の柱で展開されてきた。そして、2000-2001年度より文学系 L コース、経済・社会系の ES コースの高校2年では、週1.5時間配当で、Enseignement Scientifique（直訳する

と科学教育)の名を冠した教育が展開されてきたが、扱われる指導内容も物理・化学と SVT の該当内容であると示されるなど、いわゆるフランスの理科2教科の柱を背景にした教育であった。(注1)

ところが、この度の改革で設定された Enseignement Scientifique は同じ名称でありながら、新教科というべき性格のものとして登場した。直訳すると科学教育、科学の教育、理系の教育といったところになるが、後に触れるように数学や情報科学も扱うなど、いわゆる理系の教科が束ねられている側面からすると理系教育とで訳すべきものであろう。しかしながら、これまた後述するように、歴史、社会における科学のありよう、認識論、倫理といったことに対する視点も強調されていることから、科学を様々な視点から扱う科学「の」教育とでもいうべきものである。

* 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

また、教育の分類としての理科教育、科学教育との表記との混同もあり得ることや、フランスでは単にESと表記されることなどから、本報告では、以下、「科学の教育ES」と表記する。

本報告では、国民教育省からの資料を中心に学習指導要領作成に関わった関係者の見解、教科書での取り扱い事例なども踏まえ、科学の教育ESを概観する。

尚、高校2年、高校3年の科学の教育ESの学習指導要領をそれぞれ翻訳している⁽²⁾⁽³⁾。本報告中の学習指導要領に関する引用の翻訳はこれらから行っている。併せて参考されたい。

2. バカロレア2021と教育課程

フランスの大学入学資格試験であるバカロレア試験は、ナポレオン時代から続く教育制度であり、バカロレアの種類に対応して高等学校で設置されたコースとそこで展開される教育課程の教科・科目は、そのままバカロレア試験の試験科目であり続けた。

2019-2020年度で最後となる制度でいうなら、普通科のコースでは、Lコース（文学系）、ESコース（経済・社会系）、Sコース（理系）と3つのコースがあり、高校2年から分かれ、コースで履修すべき教科・科目、配当時間が決まっている。そして履修したものが全て、大学入学資格試験であるバカロレア試験の評価の対象となっている。表では、Sコースのバカロレア試験で求められる教科・科目、その試験時間、いわゆる荷重を示す配点が示されている。

表1（注2）

	教科名	形態	試験時間	配点	合計
文系教科	仏語	筆記	4時間	2	15
		口頭	20分	2	
	哲学	筆記	4時間	3	
	地理・歴史	筆記	3時間	3	
	第1外国語	筆記	3時間	3	
		口頭			
第2外国語	筆記	2時間	2		
	口頭				
理系教科	数学	筆記	4時間	7	21
	物理・化学	筆記	3時間30分	6	
		実習	1時間		
	SVT	筆記	3時間30分	6	
		実習	1時間		
専門問題	筆記		2		
体育	体育			2	2
	TPE	口頭	3名30分	2	2

※仏語とTPEと称する総合的な学習に相当する教科については高校2年末に実施

すなわち、理系であっても高校3年末の6月には、文系教科も満遍なくともいべき教科・科目の最終試験が行われていたということである。

これが、2021年度のバカロレア試験に向けて、教育課程が表2のように変わり、バカロレア試験の実施形態は表3のように変わる。つまり、永らく存在してきたバカロレア試験に向けたコースがなくなり、高校3年を終えた6月に行う最終試験の教科・科目数が減り、評価割合の40%を占める内申点・継続評価 *contrôle continu* との合算の総合点で評価されることになったというわけである⁽⁴⁾。

文系教科は高校1年に引き続き高校2年以降もそのまま継続されている体裁であるのに対し、理系教科である数学、物理・化学、生命と地球の科学（SVT）、デジタル科学とテクノロジー *Sciences numériques et technologie* の4教科は高校1年での全員必修で終了し、高校2年以降は、理系4教科が全て科学の教育ESに集約されているように映る。

例えば、情報科学関係の進路を考える場合は、選択のパターンとして高校2年で、数学、デジタルと情報科学、物理・化学の3教科（週12時間）、高校3年で数学、情報科学の2教科（週12時間）を選択し、この2教科で高校3年末のバカロレア試験の専門の教育を受験するということが考えられる。

そして、従来の分類でいう文学系、経済・社会系、理系を象徴するような専門の教育として何を選択しようとも、全員が、バカロレア試験の評価につながる内申点・継続評価の対象教科として高校2年、高校3年の2年間は科学の教育ESが必修ということである。つまり、理系・文系といったことに関係なく、科学の教育ESは全員が学ぶ＝国民必須の教育としての性格を強くした教科と言える。

表2（注3）

	教科	高校1年 週時間	高校2年 週時間	高校3年 週時間
必修	哲学	-	-	4
	フランス語	4	4	-
	歴史・地理	3	3	3
	外国語AとB	5.5	4.5	4
	体育	2	2	2
	道徳・市民教育	年18時間	年18時間	年18時間
	科学の教育ES	-	2	2
	数学	4	-	-
	物理・化学	3	-	-
	生命と地球の科学(SVT)	1.5	-	-
	デジタル科学とテクノロジー	1.5	-	-
	個別学習支援			
	進路選択支援			
	クラスの時間			
		3教科選択	2教科選択	
選択	芸術	-	4	6
	生物-エコロジー	-	4	6
	歴史・地理、地政学と政治科	-	4	6
	人間科学、文学と哲学	-	4	6
	外国と地域の言語、文学と文化	-	4	6
	古代の文学と言語と文化	-	4	6
	数学	-	4	6
	デジタルと情報科学	-	4	6
	物理・化学	-	4	6
	生命と地球の科学(SVT)	-	4	6
	エンジニアサイエンス	-	4	6
経済・社会科学	-	4	6	

表3 (注4)

		試験の内容	係数	割合
内申点	共通試験	科学の教育ES	5	40%
		歴史・地理	5	
		外国語A	5	
		外国語B	5	
		体育	5	
	高校2年 専門の教育	5		
	高校2年、3年の学習記録簿	10		
最終試験	哲学	8	60%	
	口頭試験	10		
	専門の教育	16		
	専門の教育	16		
	仏語(高2未実施)	10		

3. 学習指導要領作成の背景

いわゆる理科のみならず理系教科全てを束ねたような教科がどのような背景から作り出され、またその作成の過程で何が重要視されてきたのだろうか。

あまりに斬新でどのように誰が展開していくのか、その実施前から様々な課題が想定され、2019-2020年度の新高校2年からの実施を前にした2019年5月15日、16日にソルボンヌ大学にて、総視学局と国民教育省学校教育局による全国研修計画「新たな科学の教育ESの課題」の検討会議が行われた。そのオープニングで、宇宙物理学者であり、フランス科学アカデミー会員であり、この度の学習指導要領の作成に関わったピエール・レナ Pierre Léna が語った内容(注5)、ならびに学習指導要領作成にあたったメンバーの内、物理・化学グループの総視学官 Jean Aristide Cavallès、数学グループの総視学官 Anne Burban、テクノロジーとSVTの総視学官 Robin Bosdeveix 3氏合同のプレゼンテーション(注6)を頼りに、まとめておきたい。

・社会の断絶、2極化への危機感

社会が、いわゆる理系的な専門化集団と文系的な社会集団に分かれて互いに逆方向を向いてしまっている現実に対し、ピエール・レナは、断絶 rupture、亀裂 cassure の表現を用い、総視学官は二極化 polarisation との表現で説明したが、このことがもたらす社会の歪や課題に対する危機感をまずもって指摘し、表明している。

・「科学」の捉え方

ピエール・レナは、探究的な学びを展開する科学教育を小学校、中学校、高校1年と学習してきて、「これら生徒たちは科学が何であるかを必ずしも理解していませんでした」と述べているように、社会の文脈における科学に対する視点と理解がないことを指摘している。総視学官は「科学文化」の全ての要素と科学的アプローチの理解という表現で、この視点からの教育の必要性を説き、3つの思い

ambitions と称した「科学」を以下のように説明している。

- ・ 知のための科学 la science pour savoir
世界における自らの存在、場所、関係を認識している明晰な市民の形成に貢献する。
- ・ つくるための科学 la science pour faire
世界への影響、世界に対する責任を自覚し、責任ある市民の形成に貢献する。
- ・ 精神を形成するための科学 la science pour former l'esprit
自律した批判的感覚に恵まれた、合理的な市民の形成に貢献する。

・ 壮大な物語 Le Grand Récit

ピエール・レナが用いた表現であり、「残念ながら、学習指導要領の前文において物語 récit という言葉 terme は高等評議会によって取り上げられませんでした。扱われているテーマの選択を導いたのはまさにこの言葉です」というように、学習指導要領の背後にある世界観といったものを表す言葉である。

「この教育は、数学的な冒険そして今後は情報科学の冒険から切り離せない物語 récit、ミシェル・セール Michel Serres がいうところの自然の科学によって構築された素晴らしい物語を彼らが理解できることを目指しています」

・ 学習指導要領作成の柱

総視学官は、学習指導要領作成にあたって以下の5つの観点を選択したと説明している：

- 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

①について：ピエール・レナが「この教育は、過去に獲得されたことに基づいて、すべての生徒たちが科学とは神秘的なアマルガムであることを知覚することを目指しています」と述べていることと重なることであり、それまでの既習内容やスキルを具体的な現象であり文脈で活用していくというものであり、従来の教科が次の新たな単元を学習するたびにその教科に特有の新たな概念を学習していくというものではないということである。

②について：interdisciplinarité や pluridisciplinarité の表現が用いられ、理系4教科、すなわち、物理・化学、生命と地球の科学、数学、情報科学で学際性 interdisciplinarité を確保するとしている。

③について：後にも示すが、学習指導要領の書式の項目に「歴史、問題、討論」という項目が設置されたことに結実している。理系4教科を統合しただけにとどまらず、科学という営み全体を歴史や社会という文脈の中で捉える文

系的アプローチも必要であることを教育の柱の一つとして明確に示したことになる。

④について：ともすると、科学の内容を知識として物語的に理解することに終始し、③からすると、文系的アプローチの科学理解、科学論といった教科のようにも映るが、あくまで実験や探究的な活動を通じた科学的な実践を行うことを通して生徒を教育する実験科学の教科であることを明確にしている。

⑤について：ここで言わんとすることは、この学習指導要領作成の作業の中で、いみじくも関係者自身が改めて経験したエピソードとしてピエール・レナが語っている。「たとえば、高校3年の気候と社会を扱う学習指導要領を作成したとき、私たちが扱おうと提案したものを理解していること、私たちが同じ用語 *terme* の下で同じ意味 *sens* を理解していることを確かなものとするための私たちのグループの努力、すなわちある命題 *affirmation* を定式化するために、私たちはオリジナルの論文を何度も参照しなければなりません！」。互いに違う専門性を持った者が共同する際に不可欠な作業であり、暗黙知を明示化していくことであり、そのために確認し、コミュニケーションをとり、確認し互いに誤解が無いような共有できる見方を見出すということである。まさに分断した社会において求められる作業である。

・誰が教える？

ピエール・レナは「理想的には、各高校では、理系教員だけでなく、歴史、哲学あるいは更には他の教師からなるグループが、高校の規模に応じて、1つ、2つ、10の科学の教育ESの授業で教えられることの全体的な一貫性に責任をもつことです」と説き、「学習指導要領のある部分が物理のように「見える」場合、その部分は数学または生命と地球の科学の教師によって教えられるべきです！」とすら語っている。

総視学官の立場になると現実的、具体的な対応を示しており、例えば、「数学の内容を担当する教師は誰か？」との課題に対しては：

- 自信があり *convaincu*、情熱的な数学教師
- (特に音の単元で扱うような数の性質) についての教科教授法、ならびに (GeoGebra、スプレッドシート、Python) など数学と情報科学に適合したデジタルツールの利用の研修準備ができて他の分野の教師と示している。現場においてそういう数学教師がおり時間割の調整がつけば数学教師が担当し、いなければ物理・化学や生命と地球の科学、情報科学の教師が研修を受けての担当ということとなる。

・数学

科学の教育ESは、いわゆる理科の教科の内容の切り貼

り然としたようなものではなく、数学と情報科学も含めた学際性ある教科となったが、この教科における数学の立ち位置とはどういうものだろうか。

数学の「固有な *particulier*」場所、との表現を用い、総視学官は、「なぜ「固有」なのか？」を以下のように説明している。

- 数学は、(経済、管理、法律、地理…) といった科学以外の分野で使用されるいわゆる「基礎」教育(読む、書く、数える、コード化する)の一部であり、科学の教育ESが数学が教えられる共通基礎の唯一の教科であるため。
- (ガリレオ:「自然という書物は数学の言葉で書かれている」)のように、数学は言語であり、他の科学分野の道具であるため。
- 数学は哲学と同様に、抽象化、一般化、伝達において特権的な場を与えており、科学以外にも、高等研究の成功に不可欠であると認められている特質があるため。といった説明を与えている。

つまり、高校1年で既習の内容に、新たな単元や分野の学習を積み上げるような数学教育ではなく、科学や社会という文脈における基礎的な教科である数学の有用性であり立場がこの新教科の中ではより鮮明になることとなる。

4. 学習指導要領のつくり、その特徴

この度の科学の教育ESがどのような特徴ある教科であるか、3で見た意図がどのように学習指導要領に落とし込まれているか拾い上げてみる。

特徴1 教育formationの一般的な目標

この教科が何を目標しているかについて、「教育」の目標といたいところであるが、この度の学習指導要領では、「教育」の相当箇所に、*formation*の言葉が用いられている。本報告では「教育 *formation*」と表現するが、トレーニング、訓練、鍛練といったニュアンスを含んだ教育という響きである。

総視学官による説明において3つの思いの一つ、「精神を形成するための科学 *la science pour former l'esprit* : 自律した批判的感覚に恵まれた、合理的な市民の形成に貢献する」と、市民を形作っていく *former* という動詞が用いられているところに通じる。

学習指導要領では、「教育 *formation* の一般的な目標」とのタイトルにて、「科学の教育ESは、科学的考察の実践を通じて一般的なコンピテンス *compétences* を伸ばすものである」と示されている。

そして、互いにつながりあうものとしながら、以下の3つの目標を掲げている。

- ① 科学的知識 *le savoir scientifique* の性質とその精緻化 *élaboration* の方法を理解する

②科学的実践 *pratiques scientifiques* を同定し実施する

③社会と環境に対する科学の影響を特定し理解する

以下、学習指導要領での①～③の説明を示す。

①について：

「科学的知識は合理的な構築から生まれる。それは信念や意見とは異なる。複雑な現実から抽出された、または実験の過程で生成された事実の分析に基づいている。そして、現実を物質的な原因で説明しようとする。

科学的知識は、議論の交換、時には白熱した論争によって方向付けられたものを長期にわたってまとめて構成されたものの結果である。多くの場合、技術の進歩に関連して、新しい事実を考慮しながら、合理的な確実性が安定しより明確になるのはゆっくりである。この長い知的作業には、論理的プロセスに従って結果が引き出される仮説の定式化が含まれる。これらの用語は、関係する分野に応じて部分的に変動する。

したがって、科学の教育 ES の文脈では、必要な特定の知識 *savoir* とスキル *savoir-faire* の習得を、その性質と構造の理解に永続的に関連付けることが大切である。」

②について：

「科学者は知識を生み出す活動中に、科学者の仕事に特有でない実践でも、不可欠な実践を一定数実施する。

いくつかのキーワードはそれらを提示することを可能にする：観察する、記述する、測定する、定量化する、計算する、想像する、モデル化する、シミュレーションする、推論する、未来を予測する、または過去へさかのぼる。

この教育は、特に議論の実践を通じて、口頭での言語的なコンピテンス *compétences* の伸長に寄与する。このことは、思考を明確にし、説得するための推論を説明することにつながる。

科学の教育 ES では、本物の科学的実践が実施されるたびに、それを説明し、その性質に気付くことが大切である。」

③について：

「現代社会は、科学とその技術的応用によって大きく変化している。それらの影響は、食物(農業および農業食品)、健康(医学)、コミュニケーション(輸送、情報交換)、学習および反省(人工知能)、自然および技術的リスクの制御、環境保護やその他に及ぶ。

これらの変化 *transformations* を理解することは、意思決定に不可欠である。純粋に科学的なアプローチを他のアプローチ(経済的、倫理的など)と区別する。

同様に、人間の活動は、科学が理解し制御できる環境に影響を及ぼす。環境に対する人間の活動の影響とその制御は、高校3年の学習指導要領で特に発展される。

科学の教育 ES の枠組みの中で、環境のような社会の進化を把握し、この進化を制御するために、今日どのように

科学文化が不可欠であるかを全員に理解させる問題である。」

そして、高校2年では：「生命倫理と環境責任に関する研究対象を提供する高校2年の「道徳・市民教育」の学習指導要領にリンクすることもできる。」

高校3年では：「科学教育は認識論と倫理の問題に関する「哲学」の学習指導要領にリンクされ、この2つの教育による補完的な方法でより見識あるものとなる。」と示されている。

特徴2 内容構成について

総視学官によると、2年間にまたがって展開されるこの教科では、高校2年・高校3年の学習指導要領はまとまりのあるものとして考えられており、それを証拠に同一の前文 *Préambule* が掲げられている。その共通の哲学の下、高校2年のテーマを補完すべく、特に高校3年では、気候、エネルギー、生態系の3つの変化 *transition* といった社会的な課題に重きをおいていると説明されている。

以下、大単元名と中単元名を示す。

高校2年

1-物質の長い歴史

- 1.1 組織化のレベル：化学元素
- 1.2 整然とした組織 *édifices ordonnés*：クリスタル
- 1.3 複雑な構造：生細胞

2-太陽、私たちのエネルギー源

- 2.1 日射
- 2.2 地上放射バランス
- 2.3 太陽エネルギーの生物学的変換：光合成
- 2.4 人体の熱収支

3-地球、特異な星

- 3.1 地球の形
- 3.2 地球時代の歴史
- 3.3 宇宙の地球

4-音と音楽、情報の担い手

- 4.1 音、振動現象
- 4.2 音楽または数字を聞く技術
- 4.3 サウンド、コード化する情報
- 4.4 音楽を聞く

高校3年

1-科学、気候、社会

- 1.1 地球の大気と生命
- 1.2 気候システムの複雑さ
- 1.3 未来の気候
- 1.4 エネルギー、開発の選択および将来の気候

2-エネルギーの未来

- 2.1 2つの世紀の電気エネルギー

- 2.2 電気の利点
- 2.3 送電の最適化
- 2.4 エネルギーの選択と社会への影響

3-生物の歴史

- 3.1 生物多様性とその進化
- 3.2 世界を理解するキーポイントとしての進化
- 3.3 人類の進化
- 3.4 人口統計モデル
- 3.5 人工知能

単元のタイトルの名称だけみる限り、高校3年の3.4.3.5を除けばいわゆる理科学的な内容であり、数学や情報科学の内容を示す名称が単元名として前面に出てはいないことが窺える。

特徴3 指導上の提案

学習指導要領では、「学習指導要領で一般的またはテーマ別の目的が明確に特定されている場合、それらを達成する方法は、教員または教員チームの指導上の自由によって引き立てられる。この段落は、この指導上の自由を制限するものでも、その表現を導くものでもない」とフランスの伝統的なスタンスとして指導の自由を説いているものの、設定された目的を達成するために、以下のような5つの指導原則が考慮されるものとして示され具体的に記述されている。

- ①実際の複雑なもの *le réel complexe* に触れる教育
- ②数学にとって特別な場
- ③実験室での観察と実験に充てられた場
- ④科学の体系的歴史にとって重要な場
- ⑤デジタルツールの明示的な使用

①の一部と③については、いわゆる理科教育として当然のレゾンデトルであるが、注目したいのは、②④⑤である。

単元名を見る限り、いわゆる理科学的なものであったものの、指導という観点からは他教科名でいうところの数学、情報科学、さらには科学史などの文系教科のかかわりが示されている。

指導の自由とはいうものの、相応の力量があればさもありなんであるが、これほどの新教科の展開において、様々な力量や年齢幅の全国の教員が一定の水準以上に展開するとなれば、参考となる事例やすぐに使える教材例が不可欠である。

そこで、国民科学省のホームページ *éduscol* では、具体的な展開事例や教材がダウンロードできるようになっている⁵⁾。具体事例については後に扱う。

特徴4 学習指導要領の書式構成

各単元が、以下のような3つのセクションで区切られた書式構成で記述されている。

- ①歴史、問題、討論
- ②必要な知識 *savoir* とスキル *savoir-faire*
- ③前提条件と制限

いわゆる単元としての扱うべき内容をオーソドックスに示しているのが②の知識とスキルの部分である。必要な知識 *savoir* とスキル *savoir-faire* が示されており、特に評価の目的で明確に特定された目標が示されている。教員または教員チームはこれらを踏まえて、その達成に向けたプロセスを構築することが仕事であり、目標が達成されるならそのアプローチは自由であり、教員に裁量が委ねられている。この二つの列は、テーマの具体的な期待を示しており、教育の目的は、これらの期待を高め、心を鍛え、上記の一般的な目標を達成することであるとされている。

その内容をどのように扱うべきか、展開すべきかを具体的に示しているのが①と③になる。

①について、学習指導要領では、「一方でテーマに関連するいくつかの歴史的要素を確立し、他方でテーマといくつかの社会的に活発な質問（経済的、倫理的など）の間のつながりを特定する。各テーマにおいて、予想されるアプローチの方法は、このリストの少なくとも1つの項目のためのスペースを空けることを要求する。たとえば、歴史的アプローチに従ってポイントに対処したり、その倫理的意味を強調したりすることができる。」と説明してある。

単に自然科学が対象とする現象や事実の解明としての科学的知識やその理解に終らせるのではなく、歴史という縦軸、経済・倫理といった社会という横軸の文脈の中で捉えることが求められている。

③の「前提条件と制限」では、中学校や高校1年の授業で学習したことをどのように動員するかが示されており、学習のつながりや既習内容の有用感が持てるように配慮されている。それゆえ、再動員する *remobiliser* との表現が多々用いられている。一方で、学習指導要領の要件を指定するための制限について説明がなされており、いわゆる理系・文系の生徒が混在した学力幅のある教室において、混乱させてしまうような深追いをしてないように歯止めをかけている。

5. 視点 数学、情報科学、ICT

特徴2での単元名や、特徴3の指導法でも指摘したように、いわゆる従来の教科「数学」らしい単元があるわけでもなく、指導上の方法として数学が位置づけられている。情報科学系に関しても同様である。

学習指導要領作成の段階でも、新たな概念をこの教育で習うのではなく、既習内容に基づいてそれらを活用し、再動員していくというスタンスである。では、具体的に高校1年で習った内容がどのように活用されているのだろうか。

例えば、表2に見たように高校1年の共通教育に情報科学系の新教科「デジタル科学とテクノロジー」が導入され、プログラミング言語としてPythonが学習されており、そこで学習したことを具体的に活用していくことが前提となっている。

それぞれ、数学、情報科学の視点から具体的な事例をとりあげながら、科学の教育 ES という教科の展開の側面をイメージしていきたい。

視点1 実験およびデジタルプロジェクト

高校2年の学習指導要領では、いわゆる単元に関する記述とは別に、「実験およびデジタルプロジェクト」との表題で、以下のような記述がなされている。

「プロジェクトは、実験科学の中心にある測定とそれが生成するデータを中心に展開する。目的は、材料(センサーとソフトウェア)の使用から結果の重要な分析に至るまで、実験的な科学的アプローチの実践に生徒を直面させることである。「実験およびデジタルプロジェクト」には3つの側面がある。

- 授業で実際にセンサーを使用。
- データのデジタル的な獲得。
- これらのデータの数学的処理、表現、解釈。

プロジェクトに応じて、これらの側面のいずれかを多かれ少なかれ発展させることができる。

研究の主題は、プログラムに関係するかどうかに関係なく、自由に選択できる。クラスまたは学校のプロジェクトの一部である場合がある。この作業は、1年を通して連続的または分散的に12時間以上行われる。それは、小グループで効果的かつ実践的な作業を可能とする物質的な条件の下で組織される。

デジタルについては、ハードウェア(マイクロコントローラーに関連付けられている可能性のあるセンサー)とソフトウェア(スプレッドシート、プログラミング環境)の使用に基づいている。

前提条件と制限

このプロジェクトは、測定と不確かさ、センサーとマイクロコントローラーの操作、構造化データとその処理、定量化された記述統計情報、スプレッドシートとプログラミング環境の使用など、以前の授業で習った特定の資産を再動員する。目的は、新しい概念を導入することではない。」(下線は筆者による)

「実験およびデジタルプロジェクト」に該当する内容の教科書への落とし込み方は、確認した範囲(注6)の教科書によって様々であるものの、「実験およびデジタルプロジェクト」を章立ててコンパクトにまとめていたHatier社の高校2年の教科書での事例を、以下に示しておく。

「手引きのページ Fiche Methode」として4つにまとめられていた。

- ① Arduino を用いてデータを獲得する
 - Arduino ボードを知る
 - ・ボードの説明
 - ・コンピュータへの最初の接続
 - Arduino ボードにプログラムする
 - Arduino ボードをデータ収集コンソールとして活用する
 - 電子モジュールを Arduino ボードに取り付ける
 - ・センサーモジュールをボードに取り付ける
- ② ExAO 用(注7)のセンサーからデータを収集する
 1. 細胞生物学
 - 光、酸素、比色計、ph の各センサーの使用場面と使い方
 2. 地質学、惑星学
 - 光、ピエゾ電気、熱、テスラメーターの各センサーの使用場面と使い方
 3. 健康
 - 酸素流量、脈、紫外線、騒音、筋電位の各センサーの使用場面と使い方
 4. エコロジー、環境
 - これまで活用してきたセンサーに加え、気象、湿気、各センサーの使用場面、フリーソフト Audacity の活用
- ③ データ処理に表計算ソフトを活用する
 - 計算式の活用
 - 関数を用いてデータを処理する
 - グラフィック表示する
 - ・表計算ソフトを用いてデータの統計処理
- ④ データ処理に Python を活用する
 - ・ Python の言語
 - ・ Python ライブラリー
 - データ処理用に numpy グラフィック表示用に matplotlib の活用が示されている。そして、Python を用いたデータの統計処理の事例として、以下のような課題を示し、その解答事例を解説している。

課題

35人の生徒の安静時の心拍数の記録があるファイル [Frequences Cardiac-Repos.csv] を用いて、この一連のデータから最大、最小、平均、中央値、標準偏差の値を計算できるプログラムを Python で作成し、対応するヒスト

グラムを作成しなさい。

※データは教科書会社からダウンロードが可能

※（注8）

視点2 数学

科学の教育 ES で、数学が具体的にどのように関わるかを示した教材が、国民教育省が開設しているホームページ *éduscol* にて示されている。尚、数学のフリーソフトである GeoGebra の使用を前提としている。

高校2年について

具体的な事例として Hatier 社の高校2年の教科書で、「数学ページ」として4つにまとめられていたものを示す：

①比例

②幾何学

- ・ 三角比の関係を活用する
- ・ 円の性質を活用する
- ・ 球の性質を活用する
- ・ 直線の傾きを求める
- ・ 図の変換を知る
- ・ 点対象、線対称、平行移動、相似変換

③データの示し方

- ・ グラフを読み活用する
- ・ 対数目盛を理解する
- ・ 表データの変換
- ・ 円グラフの作成
- ・ 棒グラフの作成
- ・ ヒストグラムの作成

④統計学

- ・ 用語
- ・ 平均とメジアン
- ・ 分散のパラメーターを求める

高校3年について

以下、*éduscol* にて具体的な教材と展開方法が示されている事例である⁶⁾：

- ・ 送電の最適化
- ・ サンプルングによる度数の推定
- ・ ハーディー・ワインベルグ平衡
- ・ ベイズ推定
- ・ 人口統計モデル
- ・ 機械とプログラム
- ・ 人工知能

そして、該当する GeoGebra の教材もダウンロードが可能となっている。

以下、*éduscol* で紹介された高校3年の教材での具体的

な活動事例を示す：

「ハーディー・ワインベルグ平衡」の活動事例⁶⁾。

フェニルケトン尿症はまれな遺伝性疾患である。それは劣性対立遺伝子によって運ばれる欠陥が原因である。この疾患は、ホモ接合型の aa 状態でのみ出現するが、ヘテロ接合型の病気でない対象は、欠陥遺伝子を運ぶ可能性がある。

対立遺伝子に欠陥が発生する確率は 1/100 である。

1. フェニルケトン尿症の影響を受けている被験者の割合を計算しなさい。
2. フェニルケトン尿症の影響を受けずに、欠陥のある対立遺伝子を持つ被験者の割合を計算しなさい。

活動2

嚢胞性線維症は、2,500 人に 1 人の子供に発症する疾患である。その伝達の研究は、それが特定の遺伝子のホモ接合 (aa) 状態に起因することを示した。ヘテロ接合 (Aa) 個体は健康であり、それらの病原性対立遺伝子を検出することさえ不可能である。

1. 病原性対立遺伝子頻度はいくらか？
2. 対立遺伝子 a の健康な保因者の頻度はいくらか？

「人工知能」の活動事例⁷⁾

活動事例：非線形回帰の例

ユネスコ世界遺産のアレッチ氷河は、スイス南部に位置し、ロース渓谷につながるアルプス最大の氷河である。この氷河の後退を長期にわたって研究するために、最初の測定が 1900 年に行われ、この氷河は 25.6km と測定された。その後、20 年ごとに調査が実施された。氷河の後退は、1900 年に氷河のふもとがあった場所から測定され、連続測定は、下の表の表に記載されている。1900 年からの経過年数を t 、後退した距離 (km) を r で表記する。

測定年	1900	1920	1940	1960	1980	2000
1900年からの経過年数	0	20	40	60	80	100
後退(km)	0	0.3	0.6	1	1.6	2.3

1. 散布図を表しなさい。
2. この散布図の線形回帰を求めなさい。
3. このモデルによると、2020 年の氷河の後退はどうなるか。
4. このモデルによると、アレッチ氷河は何年で消失するか？
5. 指数回帰を用いて同じ質問に答えなさい。

6. おわりに

バカロレア試験そのものの歴史的な大改革の中、科学の教育 ES のみならず様々な新しいことが要求されている現場においては、科学の教育 ES にかかわる教員や管理職にとっては、授業の組み立て、教員配置、評価など様々な不安や課題が重層し、混乱しているだろうことは容易に推測

できる。

新教科の創出とでもいうべき背景にあった課題意識、すなわち、理系、文系と社会集団が分断された状況によってひきおこされている社会の断絶による機能不全な状況に対する危機感に対して、国民教育の最後の砦となる学年を理系文系と別れる前とされていた高校1年ではなく、高校2年、高校3年全員にまで引き上げて展開するというのである。そこまでやりきる課題意識と熱意の裏返しは、分断された社会が抱える大きな歪であり課題を課題として直視できていることである。

科学の教育 ES で示された内容は、既存の指導内容の切り貼りではなく、壮大な物語とすら表現されたような知見に基づいてオリジナルに構成されており、数学、情報科学、哲学を総動員し、かつ既習内容を具体的な文脈の中でしっかり活用しきるといった形で、あたかも新教科然として生み出されている。そして、科学の教育 ES についてはっきりしていることは、必修履修教科であり、一定の出力が設定されかつ求められている大学入学資格試験の評価につながっているということである。選択しないとか各校任せといったことが許されない仕組みの中で行われているということである。この仕組みの中にあっては、指導する側の教員もその水準から逃げるができない。

そういった意味からも、高校1年の必修の後に分かれて選択される教科・科目ではなく、理系文系関係なく高校2年、高校3年まで全員がここに示したレベルの科学的な内容を学習しきことは、中央集権的な教育制度をとる国の理科教育、ないしは科学教育、理系教科のありようとして注目に値する。

本報告でも取りあげたピエール・レナをはじめ、学習指導要領作成に関わった関係者の思いや、その結実としての学習指導要領を読みこみ、課題認識や創出の想いの深さを理解する一方で、その展開の実現性を傍から窺う限り、果たして理想論、絵空事にすら映る部分もある。

とはいえ、割り当てられた週2時間という現実からすると、背水の陣とでもいうべき状況である。すなわち、文系教科を専門の教育として選択していく多数の生徒にとって、フランスの理系4教科が集約したこの2時間しか、この分野に触れる時間が全くなくなることも意味している。つまり、この週2時間の授業がうまく機能しなければ、理系4教科的内容・資質能力の総崩れを意味する。

この学習指導要領の展開の最初の学年が、コロナウイルス covid19 への対応による長期の学校閉鎖の状況下におかれ、当初の思惑通りの実施には一層の混迷が予想される。

理想論のようにすら映るこの教科が果たして根付いていくのかどうか、ピエール・レナが語った「教師が今後数年間、(この科学の教育 ES)で行うことは、10年後、20年

後にフランス社会が科学を理解し、評価し、判断する方法の結果の一部となるでしょう」の思惑がいかほどに実現されていくのか、展開数年後、この新教科の評価と課題を改めて報告していきたい。

また、従来の Enseignement Scientifique についても十分に報告されておらず、この度の科学の教育 ES の土台としてどのように機能したかなどを踏まえて報告していきたい。

文 献

- (1) 夏目達也 (2018) 「フランスの大学における高大接続の取組と教育改革」『名古屋高等教育研究』(18), pp.89-115, 2018-03
- (2) 角島誠 (2021) 「フランスの高等学校2年 教科「科学の教育 ES」の学習指導要領」『広島工業大学紀要教育編』第20巻 pp.29-35
- (3) 角島誠 (2021) 「フランスの高等学校3年 教科「科学の教育 ES」の学習指導要領」『広島工業大学紀要教育編』第20巻 pp.37-41
- (4) 細尾萌子、田川千尋、大場淳 (2018) 「フランスの高大接続改革の動向：バカロレア試験への内申点活用と進路選択システムの見直し」『フランス教育学会紀要』(30), pp.77-88
- (5) Programmes et ressources en enseignement scientifique,
<https://eduscol.education.fr/cid143130/enseignement-scientifique-bac-2021.html>
- (6) THÈME 3 SOUS-THÈME 3-1 : ÉQUILIBRE DE HARDY-WEINBERG
https://cache.media.eduscol.education.fr/file/les_mathematiques_de_1_ES/82/3/RA20_Lycees_G_T_ES_sous-theme-3-1-Hardy-Weinberg_1241823.pdf
- (7) THÈME 3 SOUS-THÈME 3-5 : INTELLIGENCE ARTIFICIELLE
https://cache.media.eduscol.education.fr/file/les_mathematiques_de_1_ES/22/3/RA20_Lycees_G_T_ES_Sous-theme_3-5_IA_1238223.pdf

注

注1) 例えば、従来の文学系コースの Enseignement scientifique の学習指導要領における目的と組織化に関して以下のような記述がある。

Cet enseignement scientifique porte sur les deux disciplines: sciences physiques et chimiques (PC) et sciences de la vie et de la Terre (SVT) .

この科学教育は2つの教科(物理・化学と SVT)を対象としている。

B.O.HS N° 7 du 31 août 2000
CLASSE DE PREMIERE ENSEIGNEMENT
SCIENTIFIQUE SÉRIE LITTÉRAIRE
ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

Annexe

Enseignement scientifique Série littéraire

Nouveau programme applicable à compter de l'année
scolaire 2000-2001

注2) Baccalauréat général série scientifique (S)

<http://eduscol.education.fr/cid58536/serie-s.html#ancrank> より作成。

注3) Seconde générale et technologique (à partir de la
rentrée 2019)

<https://eduscol.education.fr/cid144188/seconde-generale-et-technologique-a-partir-de-la-rentree-2019.html>

ならびに Cycle terminal de la voie générale

<https://eduscol.education.fr/cid144189/cycle-terminal-de-la-voie-generale.html>

より、様々な条件等が付されているが、簡略化して作成。

注4) MEN, les épreuves du nouveau baccalauréat
général 2019.2

https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Bac2021/05/8/les_epreuves_du_nouveau_baccalaureat_general_infog_1086058.pdf より作成。

注5) Ouverture du Plan national de formation

«Enseignement scientifique» Paris, inspection
générale et DGESCO, 15 et 16 mai 2019 Intervention
de Pierre Léna

https://ent2d.ac-bordeaux.fr/disciplines/enseignement-scientifique/wp-content/uploads/sites/67/2019/06/PNF_ES_mai2019_PL.pdf

尚、同文献は以下にて全文翻訳を行っており、該当内容の翻訳の引用も以下から行っている。

角島誠 (2021) 「フランスの高校学校の教科「科学の教育 ES」の全国研修計画検討会議のオープニングでのピエール・レナの発言」『広島工業大学紀要 教育編』第20巻 pp.25-28

注6) Anne Burban, Robin Bosdeveix, Jean Aristide Cavallès, 'Enjeux de l'enseignement scientifique du cycle terminal de la voie générale', PNF: Enjeux du nouvel enseignement scientifique, Paris, 15 et 16 mai 2019

<https://ent2d.ac-bordeaux.fr/disciplines/enseignement-scientifique/enseigner/ressources-nationales/pnf-enseignement-scientifique-15-et-16-mai-2019/enjeux-de-lenseignement-scientifique/>

本文中、「総視学官によると、」とある箇所はこの資料からの引用である。

注7) 以下の4社の教科書である

- ・ Ire Enseignement commun nouveau programme 2019 Enseignement scientifique, Nathan, 2019
- ・ Ire Enseignement scientifique programme 2019 Comment les sciences expliquent le monde, hachette Education, 2019
- ・ Ire Enseignement scientifique programme 2019, bordas éditeur, 2019
- ・ Ire Enseignement scientifique nouveau Lycée 2019 Hatier, 2019

注8) フランスではセンサーを活用したパソコン計測の実験を表す ExAO (Expérimentation assistée par ordinateur) という表記が一般的に用いられている。

注9) 教科書では IDE として IDLE や PyScripter を前提としているが、スマートフォンで利用可能な「QPython3」「Pydroid3」「Python2IDE」なども紹介されている。

また、フランスでは従来グラフ関数電卓の使用が前提となっているが、NumWorks という新会社が高校の授業用に特化して開発したグラフ関数電卓は従来のグラフ関数電卓機能に加え micro python を内蔵して Python のプログラミングが可能となっており、Hatier の教科書では、他社のグラフ関数電卓と同様に NumWorks の操作についても扱っている。

※掲載サイトの閲覧は 2020 年 5 月 5 日に最終確認