

科学的リテラシーの涵養を目指した高等学校「生物基礎」の学習内容の検討

—米国の動向を参照して—

○徳永 聖一^A, 坂本 憲明^B

○Tokunaga Seiichi^A, Sakamoto Noriaki^B

福岡教育大学大学院(福岡県立香住丘高等学校)^A, 福岡教育大学^B

【キーワード】科学的リテラシー, 全米科学教育スタンダード, 生物基礎, Framework

1. はじめに

現在, 人口問題, 食糧問題, エネルギー問題およびそれらを包括する環境問題等といった解決すべき深刻な課題が山積している。そして, これらの問題を解決し持続可能な社会を形成するためには, 市民の科学的リテラシーの向上が必要とされている。かつて国内において科学的リテラシーを「科学的表現力」や「ミニマムエッセンシャルズ」として捉える動きも見られたが¹⁾, 社会全般において科学的リテラシーの捉えは十分に認知されておらず, とくに学校教育において「科学的リテラシーとは何か」「科学的リテラシーをいかに涵養するのか」等に関しての十分な共通理解が図られている状態ではないのが現状であろう。

一方国外では, 米国において 1950 年代に, J.B.Conant 及び P.D.Hurd らによって学校教育における科学的リテラシーの概念が示され, 1970 年代に全米科学教師協会(NSTA), 1980 年代にアメリカ科学振興協会(AAAS)の Project2061, 1990 年代に全米研究評議会(NRC)の National Science Education Standards (以下, NSES)によって明確に定義付けがなされてきた。さらに 2000 年代には国際的機関である経済協力開発機構(OECD)の PISA²⁾において科学的リテラシーの概念及び定義がなされ(表 1), その後 PISA2006 では科学的リテ

表 2 PISA2006 科学的リテラシーの 4 つの側面³⁾

《状況・文脈》科学とテクノロジーが関係する生活場面を認識すること
《知識》自然界に関する知識(科学的知識)と科学自体に関する知識(科学についての知識)の両者を含む科学的知識に基づいて, 自然界を理解すること
《能力》科学的な疑問を認識し, 現象を科学的に説明し, 証拠に基づいた結論を導き出すことを含む能力を示すこと
《態度》科学に対する興味・関心, 科学的探究の支持, 天然資源や環境に対して責任ある行動をとるための動機付けを示すこと

ラシーの評価の枠組みとして 4 つの側面が示された(表 2)。

ところで, 生命科学領域においては, 1990 年代以降ヒトゲノム解析の完了, 分子生物学の発展や再生医療技術の構築など, 革新的な概念の構築および技術の発展が著しい。そのうねりの中で, 科学教育の新たな時代に対応する改革は必然だといえる。

この様な社会背景を踏まえて, 我が国の理科教育においては学習指導要領の改訂が行われた。なお米国では NSES の改訂に向けた具体的な取り組みが始まっており, 2012 年に次期スタンダードの枠組みである A Framework for K-12 Science Education(NRC, 2012) (以下, Framework)さらに 2013 年 4 月には Framework をもとにした新しいスタンダードである The Next Generation Science Standards(以下, NGSS)が発表されるなど, 注目すべき動向がある。

そこで本研究では, 今回改訂された高等学校『生物基礎』の学習内容及び指導について, 米国の生物教育の動向を参照しながら考察を加え, 先に述べた科学的リテラシーの諸側面に関する具体的検討を行う。本稿では研究の一環として, まず高等学校学習指導要領(平成 21 年 3 月 9 日公示)に見られる国内の高等学校理科(生物領域)の動向について, 新設された『生物基礎』の特徴から述べる。次に米国の NSES 及び Framework を概観する。

2. 高等学校学習指導要領(生物領域)改訂について

平成 20 年 1 月の中央教育審議会答申⁴⁾を受け, 平成 21 年 3 月に高等学校学習指導要領(以下, 「新課程」)が公示された。新課程は平成 25 年 4 月入学

表 1 主な「科学的リテラシー」の定義

Project2061(1989) 科学的リテラシーを備えた人物というのは, 科学, 数学, 技術がそれぞれの長所と制約をもち, かつ相互的に依存する人間活動であるということを意識した上で, 科学の主要な概念と原理を理解し, 自然界に精通してその多様性と統一性の双方を意識し, 個人的, 社会的目的のために科学知識と科学的な考えを用いるような人物である。
NSES(1996) 科学的リテラシーは, 日常の経験について好奇心から導かれる探究をし, 答えを見つけるか, 意思決定をすることができる人のことを意味する。このことは, 自然現象について記述し, 説明し, かつ予測する能力を持っている人のことを意味する。...(中略)...さらに科学的リテラシーは, 証拠に基づいた議論を生み出し, そして吟味し, かつそのような議論から結論を適切に導く能力を意味する。
PISA(2006) ・疑問を認識し, 新しい知識を獲得し, 科学的な事象を説明し, 科学に関連する諸問題について証拠に基づいた結論を導き出すための科学的知識とその活用 ・科学の特徴的な諸側面を人間の知識と探究の一形態として理解すること ・科学とテクノロジーが我々の物質的, 知的, 文化的環境をいかに形作っているかを認識すること ・思慮深い一市民として, 科学的な考えを持ち, 科学に関連する諸問題に, 自ら進んで関与すること

生から年次進行により段階的に適用され、数学、理科及び理数の各教科・科目については平成 24 年 4 月入学生から年次進行により先行して実施されている。高等学校理科においては、(1)小中高等学校を通した内容の構造化と科学的に探究する能力と態度の伸長を図ること、(2)知識基盤社会において重要な基礎的な科学的素養を幅広く養うこと、(3)変化に対応できるように学習内容を見直し、科学や科学技術の成果と日常生活や社会との関連に留意した改善を図ることという考えに基づき⁸⁾、科目構成を表 3 のように改めた。これら(1)～(3)(以下、「改訂の基本的な考え」)は、前回の改訂(平成 11 年 12 月)に比べて、前述の科学的リテラシーの 4 側面に近づいた内容になったと思われる⁹⁾。さらに履修については、『物理基礎』、『化学基礎』、『生物基礎』、『地学基礎』(以下、「基礎を付した科目」)及び『科学と人間生活』のうち、『科学と人間生活』を含む 2 科目、又は「基礎を付した科目」から 3 科目を必修とした。なお、大学入試センター試験における入試科目として、『科学と人間生活』を設定せず「基礎を付した科目」の 2 科目選択を実質義務づけたような形になったこと⁷⁾、さらに理系大学が理科 3 科目の受験を求める可能性もあることから、普通科では「基礎を付した科目」の 3 科目履修が主となることが予想される。

今回の改訂によって、我が国の生物教育は大きな転換期を迎えることになった。80～85%の高校生が履修すると見込まれている⁸⁾『生物基礎』では、小・中・高等学校の繋がりを重視し、「生物と遺伝子」、「生物の体内環境の維持」、「生物の多様性と生態系」を柱とした内容構成となった(表 4 左)。協力者会議⁹⁾によると、多くの高校生が履修すると考えられる『生物基礎』は、これまでの『生物 I』を継承したものではなく、まったく新しい科目として新設するものであるとしており¹⁰⁾、今回の改訂が大変更であったことを示唆している(表 4)。具体的に述べると、「(1)細胞と遺伝子」では、細胞構造について「生物の共通性」という視点から捉えることで生命活動に必要なエネルギー及び代謝が細胞内で行われていることを学習し、細胞構造の詳細は『生物 I』¹¹⁾で取り扱うことになった。また、いわゆるセントラルドグマについて学習し、「メンデル遺伝」は一部を中学校に移行し、高等学校での学

表 4 『生物基礎』と『生物 I』の内容

『生物基礎』	『生物 I』
(1)生物と遺伝子	(1)生命の連続性
ア 生物の共通性と多様性	ア 細胞
(ア)生物の共通性と多様性	(ア)細胞の機能と構造
(イ)細胞とエネルギー	(イ)細胞の増殖と生物体の構造
イ 遺伝子とその働き	イ 生殖と発生
(イ)遺伝情報と DNA	(イ)生殖細胞の形成と受精
(イ)遺伝情報の分配	(イ)発生とその仕組み
(イ)遺伝情報とタンパク質の合成	ウ 遺伝
ウ 生物と遺伝子に関する探究活動	(イ)遺伝の法則
(2)生物の体内環境の維持	(イ)遺伝子と染色体
ア 生物の体内環境	エ 生命の連続性に関する探究活動
(ア)体内環境	(2)環境と生物の反応
(イ)体内環境の維持の仕組み	ア 環境と動物の反応
(イ)免疫	(イ)体液とその恒常性
イ 生物の体内環境の維持に関する探究活動	(イ)刺激の受容と反応
(3)生物の多様性と生態系	イ 環境と植物の反応
ア 植生の多様性と分布	(イ)植物の生活と環境
(イ)植生と遷移	(イ)植物の反応と調節
(イ)気候とバイオーム	ウ 環境と生物の反応に関する探究活動
イ 生態系とその保全	
(イ)生態系と物質循環	
(イ)生態系のバランスと保全	
ウ 生物の多様性と生態系に関する探究活動	

習の機会はなくなった。高等学校で遺伝の法則を体系的に学ぶ機会が失われることで遺伝の仕組みが正しく理解されなくなることを懸念する声も上がっている¹²⁾が、「優性の法則」が国際的に法則として標準的でないこと、「独立の法則」が成立するのは連鎖がない場合に限られること¹³⁾などから、中学校で「分離の法則」を学習すること以上を高等学校には求められない。また「遺伝子とその働き」を学ぶことは「遺伝」を学ぶこととは異なり、遺伝情報と DNA について理解すること(分子生物学的)、および遺伝子・DNA・ゲノムの関係を理解することであり、近年の生物学の発展から見て、社会的要請は「遺伝子とその働き」を学ぶことにある。次に「(2)生物の体内環境の維持」では、特にヒトへの焦点化がなされた。新学習指導要領では、小中学校理科において人体のつくりと働きについて大きく取り扱われるようになった。新課程では、「体内環境を維持する仕組みの理解」という観点から循環系、腎臓と肝臓、自律神経系と内分泌系を学習し、また糖尿病といった具体的な疾患や、免疫といった健康に関わる内容について学ぶことになった。『生物 I』の「環境と生物の反応」に比べ、体内環境というヒトと健康に関わる内容に特化されたことは、前述の「改訂の基本的な考え」に沿ったものだといえる。さらに「(3)生物の多様性と生態系」では、『生物 I』では取り扱わなかった内容を新たに加えたものになった。大まかに言えば、『生物 II』の「(3)生物の集団」の「イ 生物群集と生態系」を『生物基礎』の「(3)生物の多様性と生態系」に、同「ア 個体群の構造と維持」を『生物』の「(4)生態系と環境」に分けた形になった。現在人類は、森林伐採、砂漠化、地球温暖化、生物資源の乱獲、環境汚染など地球環境に関する危急の問題を数多く抱えている。その中で、生態系を正しく理解し行動できる市民の育成が求

表 3 高等学校理科の科目の構成

旧課程		新課程	
科目名	標準 単位数	科目名	標準 単位数
理科基礎	2	科学と人間生活	2
理科総合 A	2	物理基礎	2
理科総合 B	2	物理	4
物理 I	3	化学基礎	2
物理 II	3	化学	4
化学 I	3	生物基礎	2
化学 II	3	生物	4
生物 I	3	地学基礎	2
生物 II	3	地学	4
地学 I	3	理科課題研究	1
地学 II	3		

められる。このことについて新課程は「生態系の成り立ちを理解させ、その保全の重要性について認識させる」と示している。また、協力者会議のメンバーである松浦は「(2)生物の体内環境の維持」がヒト(動物)中心であることと時間数の関係から、「(3)生物の多様性と生態系」は植物を中心に扱うように配慮したと述べている¹⁴⁾。さらに「遷移」の進行が必ずしもモデルどおりにならないことの留意を促して多様性を意識させ、加えて「群系」という学習者の混乱を招いていた表現を改め、生物群系を「バイオーム」と表すことにした。物質循環については中学校理科における炭素循環の学習を踏まえ、『生物基礎』では窒素循環まで拡大し、物質循環に伴うエネルギー移動の理解まで目指している。また、一般に厳密に釣り合っている状態を意味する「平衡」¹⁵⁾という言葉の改め、生態系の「バランス」としているが、これは生態系が常に変動していること及び変動は一定の幅の範囲内に収まっていることを適切に表現したものになった。なお「生殖と発生」に関する内容はすべて『生物』に移行した。近年の発生学の発展によってメカニズムを分子生物学的に捉えることが求められことから鑑みて、基礎的な知識として遺伝情報とその発現の理解が必須である為、『生物基礎』を学んだ後の『生物』への移行は適切な配置といえる。

このように国内の高等学校生物において、学習内容の枠組みが大きく変化した。改訂の基本的な考え方に沿って「小中高を通した内容の構造化」や「学習内容の見直し」等が積極的に図られる一方、これらの内容を軸として「知識基盤社会において重要な基礎的な科学的素養を幅広く養うこと」についての学習指導の具現化に関してはまだ大いに課題が残る。そこで次節では、学校教育における科学的リテラシーを早期に定義し、90年代より科学教育に導入してきた米国の動向を概観してみる。

3. 米国の科学教育の新しい枠組み—生命科学領域 (1) 1990年代—『全米科学教育スタンダード』

1996年、米国ではNRCによって、すべての児童・生徒が科学的リテラシーを身につけるべきであるという目標が掲げられ、21世紀に向けた科学教育のビジョンについて提言したNSESが公表された。このNSESは科学的リテラシーを定義し(表1)、

表5 NSESの6つのスタンダード

科学教授スタンダード
専門性向上スタンダード
アセスメントスタンダード
科学の内容スタンダード
科学教育プログラムスタンダード
科学教育システムスタンダード

表6 NSES「科学の内容スタンダード」

・科学における統合概念とプロセス
・探究としての科学
・物理学
・生物学
・宇宙及び地球科学
・科学と技術
・個人的、社会的観点から見た科学
・科学と歴史の本質

科学学習の中心に探究活動を据え、6つのスタンダード(表5)を設定した。教育の行政権が各地(行政区)に委ねられている米国において、我が国の学習指導要領のような国家的な法的拘束力を有する教育課程の基準は存在せず、教科書検定制度もない。その様な歴史的・制度的背景において、NSESはその第1章「序」¹⁶⁾において、従来の各地の自治の有用性を認めつつも、科学教育の全国的な整合性、一貫性や統一性を奨励し、効果的な方策は共有し、リスクは全体で対応しようという理想のもと、スタンダードを示したとしている。なお、このスタンダードは、「科学の内容スタンダード」以外は教師や学校といった教育サービスの提供者側の在り方などが中心の構成になっており、教育課程を示すものではなく、スタンダードを具体的にどの様に使用していくかは、カリキュラムの設計者に委ねられているとしている。

(2)「科学の内容スタンダード」—生命科学

NSESは「科学の内容スタンダード」に表6のような8つのカテゴリを設定し、児童・生徒が自然科学について何を知り、理解し、できるようになるべきかのあらましを示している。「科学における統合概念とプロセス」を除く7つのカテゴリは、それぞれK～第4学年(6～10歳)、第5～8学年(11～14歳)、第9～12学年(15～18歳)ごとに分けられ、さらに詳しく説明されている。「生命科学」のスタンダードは表7のように基本的な原理と概念を含むものとされ、表8のように生徒が理解を深めるべきことを示している。

(3)次世代のスタンダードに向けた動き

現代科学技術の著しい発展、さらに理数分野への進学者数の低下、科学技術人材育成の必要性等から、米国内では1996年に示されたNSESの改訂を行うべきだという要望が、教育委員会や大学の専門家及び、研究機関などから出されるようになった¹⁷⁾¹⁸⁾。

表7 NSESの「生命科学」スタンダードの基本的な原理と概念

K-第4学年	第5-8学年	第9-12学年
・生物の特徴 ・生物のライフサイクル ・生物と環境	・生命システムにおける構造と機能 ・生殖と遺伝 ・調節と行動 ・個体群と生態系 ・生物の多様性と適応	・細胞 ・遺伝の分子基礎 ・生物進化 ・生物間の相互依存性 ・生命システムにおける物質、エネルギー、組織化 ・生物の行動

表8 NSESの「生命科学」スタンダード—生徒が理解を深めること

※長洲南海男監修『全米科学教育スタンダード—アメリカ科学教育の未来を展望する』(2001)pp.92-201から作成した

K-第4学年	第5-8学年	第9-12学年
・生物に疑問を持ち、個々の生物がどのようにして生命を維持し持続しているのかを理解すること	・生態系でのパターンを認識すること	・分子といったより小さなものと生命圏といったより大きなものの両方の尺度を包含させること
・生物と環境との関連づけと、環境や様々な動物が生き残る為の行動が多面的に依存しあっているという二義的な考えの確立すること	・生命システムの細胞レベルの次元についての理解を深めること	・生命の化学的基礎を理解すること
	・光学顕微鏡を用いる為の運動技能	・自然選択の仕組みを理解すること
	・人間生物学の導入	
	・栄養とエネルギーの流れについての考えの導入	

その流れを受けて2012年、NRCよりFrameworkが発表された。主な内容は、「科学(Science)と工学(Engineering)の観点を設定したこと」、「探究(Inquiry)という文言を実践(Practices)という言葉に置き換えたこと」、「科学教育の目標(表9)を達成するために、①科学と工学の実践(Scientific and Engineering Practices)、②横断的概念(Crosscutting Concept)、③学問のコアアイデア(Disciplinary Core Ideas)の3つの次元(Dimensions)を設定したこと」、「学問のコアアイデアを「物理学」「生命科学」「宇宙科学」「工学、科学技術、応用科学」の4つの領域としたこと」などがあげられる¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾。なお「科学と工学の実践」の構成を表10に、「横断的概念」の構成を表11に、「学問のコアアイデア」は一例として「生命科学」の構成を表12にそれぞれ挙げる。またK~第2学年、第3~5学年、第6~8学年、第9~12学年の4つの学年段階(grade)を設定し、表12に示した内容そ

表9 Frameworkの科学教育の目標²⁰⁾

- ・すべての生徒が、科学の美しさや素晴らしさを味わう力を持つこと
- ・すべての生徒が、社会的問題について、一般の議論に関する科学と工学の十分な知識を備えていること
- ・すべての生徒が、日常生活に関係する科学と科学技術の情報に慎重な消費者であること
- ・すべての生徒が、学校教育以外の科学について学び続けることができること
- ・すべての生徒が、選択した職業に携わるための能力を持つこと

表10 「科学と工学の実践」の構成²⁰⁾

1. (科学の)質問に答えることと(工学の)問題を明確にすること
2. モデルをつくり、使用すること
3. 調査を計画し、実行すること
4. データを分析し、解釈すること
5. 数学とコンピュータの考え方をを使うこと
6. (科学の)説明を構築し、(工学の)解決策をデザインすること
7. 証拠をもとに議論に参加すること
8. 情報を獲得し、評価し、伝えること

表11 「横断的概念」の構成²⁰⁾

1. 様式
2. 原因と結果—仕組みと説明
3. スケール、比率、量
4. 仕組みと、仕組みのモデル
5. エネルギーと物質—流れ、循環、保存
6. 構造と機能
7. 安定と変化

表12 Frameworkの「生命科学(LS)」のコアアイデアの構成²⁰⁾

- LS1: 分子から生き物まで: 構造と作用
 A: 構造と要素 B: 生き物の成長と発達
 C: 生き物内の物質とエネルギー—循環のための組織 D: 情報処理
- LS2: 生態系: 相互関係、エネルギー、力関係
 A: 生態系内の相互依存関係 B: 生態系内の物質とエネルギーの循環
 C: 生態系の原動力と機能と回復力 D: 社会の相互作用と集団の作用
- LS3: 遺伝: 形質の遺伝と変異
 A: 形質の遺伝 B: 形質の変異
- LS4: 生物学的進化: 統一性と多様性
 A: 共通の先祖の証拠と多様性 B: 自然淘汰
 C: 適応 D: 生物多様性と人間

表13 「生命科学」におけるコアアイデアの grade 別到達目標(一例)²⁰⁾

- LS2.B 生態系内の物質とエネルギーの循環
- 学年別最終到達点
- 第2学年の終わりまで
 生き物は自然環境において成長や生存に必要な材料を手に入れる。それらの物質の多くは生き物から来ていて、他の生き物によって再び利用される。
- 第5学年の終わりまで
 生き物の生や死によって物質は、空気と土壌の間、および植物、動物、微生物の間を循環する。生き物は環境から気体、水、無機物を取り込み、不要な物質(気体、液体、固体)を環境に戻す。
- 第8学年の終わりまで
 食物網とは生態系内で互いに影響し合う(中略)物理的環境への物質の出入りの移動は、すべての段階において起こる(中略)。生態系内の生き物をつくる原子は、生態系内の生物と非生物部分の間を何度も循環させられる。
- 第12学年の終わりまで
 (略)食物網内の上位への繋がりにおいて、下位の段階で消費されたエネルギーの一部が上位に転移され、より上位の段階で、細胞呼吸によって成長をもたらす。エネルギーを放出する。(中略)生き物の分子を構成する化学物質は、食物網を通り抜け、そして様々な方法で大気や土壌を出入りしたり、組み合わせられたり、組み換えられたりする。(中略)光合成と細胞呼吸は、炭素循環の重要な要素であり、そのとき炭素は生物圏、大気圏、水圏、岩石圏の間で化学的、物理的、地質学的、生物学的な過程を通して交換される。

れぞれに grade ごとの到達目標を示している。表13にその一例を示す。

4. 終わりに

この様に、国内外において新しい時代に対応した科学教育の更新が、具体的な取り組みとしてなされている。米国において50年代より始まった学校教育における科学的リテラシーの議論は、その内容や運用に賛否両論はあるものの、そのコンセプトを明確に示してきたことは評価できる。そこには知識の量は勿論、知識の獲得方法とその質、さらにその活用方法について重要な示唆がある。それはまさに我が国の生徒が苦手とする内容に焦点をあてるものである。

今後はFrameworkとNGSSの「生命科学」等の枠組みを概観しつつ、米国の高等学校(生命科学分野)の教科書の内容分析を行う。さらに、米国で定義されている科学的リテラシーの観点から抽出されるいくつかの特徴的な内容について、国内の高等学校の生徒を対象とした調査を行い、新科目として設置された『生物基礎』の指導内容の改善及び新たな可能性について考察してみたい。

《註及び引用・参考文献等》

- 1) 齊藤萌木、長崎栄三「日本の科学教育における科学的リテラシーとその研究の動向」国立教育政策研究所紀要第137集2008
- 2) Programme for International Student Assessment 生徒の学習到達度調査2000年より3年毎に実施 2006年の調査「科学的リテラシー」が中心の調査であった。
- 3) 国立教育政策研究所「PISA2006 調査評価の枠組み」ざようせい、2007
- 4) 中央教育審議会「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領の改善について(答申)」平成20年1月
- 5) 文部科学省「高等学校学習指導要領解説理科編数編」平成21年12月、pp.5-6
- 6) 平成11年の改訂では、(1)観察、実験を重視し、問題解決的、体験的な学習の推進により、ゆとりある教育課程の編成をすること(2)生徒の実態に応じた弾力的な教育課程の編成ができるようにすること(3)柔軟な思考力や創造的な能力が育成できるように内容とすること、などが「改訂の要点」として挙げられていた。
- 7) 独立行政法人大学入試センター「平成21年告示高等学校学習指導要領に対応した大学入試センター試験の数学、理科の出題科目等について」、平成24年7月24日
- 8) 久力誠「日本生物教育学会第88回全国大会シンポジウムのまとめ」生物教育第51巻特別号、2010
- 9) 高等学校学習指導要領解説・理科編・作成協力者のこと。メンバーは前掲書8の巻末の一覧を参照のこと。
- 10) 松浦克美「高等学校学習指導要領改訂2009における、生物領域大変更の経過の側面—協力者の立場から—」生物教育第51号特別号、2010
- 11) 『生物基礎』の履修後に選択可能な科目
- 12) 例えば、向井康比己「学習指導要領における「遺伝の法則」の位置づけ」生物の科学 遺伝 Vol.66 No.3、2012
- 13) 松浦克美「高等学校理科「生物基礎」「生物」、平成21年改訂学習指導要領および解説における主な変更点について(PDF)」2009
<http://www.comp.tmu.ac.jp/kmatsuura/index.html>
- 14) 前掲書13
- 15) 『理化学辞典第5版』岩波書店、2006
- 16) 長洲南海男監修「全米科学教育スタンダード—アメリカ科学教育の未来を展望する—」梓出版社、2001、pp.16-23
- 17) 熊野善介「中学校理科の教育課程が目指す学力」『今こそ理科の学力を問う』日本理科教育学会、2012
- 18) 千田有一「米国における科学技術人材育成戦略—科学、技術、工学、数学(STEM)分野卒業生の100万人増員計画—」科学技術動向2013年1、2月号、2013
- 19) The Next Generation of Science Standards: Implications for Biology Education R.W. Bybee, The American Biology Teacher Vol.74, No.8, 2012
- 20) Scientific and Engineering Practices in K-12 Classrooms Understanding A Framework for K-12 Science Education R. W. Bybee, The Science Teacher, December, 2011
- 21) "A Framework for K-12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas" The National Academies, 2012
- 22) 前掲書21 p.1 筆者訳
- 23) 前掲書21 p.42 筆者訳
- 24) 前掲書21 p.3 筆者訳
- 25) 前掲書21 p.142 筆者訳
- 26) 前掲書21 pp.163-164 筆者訳