

## 【資料】

# 新しい理科教育を創造する「アースシステム教育」

五島 政一\* 下野 洋\*\* Victor J. Mayer\*\*\*

## 1. はじめに

日本は、2002年から新学習指導要領を導入する。新学習指導要領では、その内容が最低基準であることが明示された。今後、理科教師は学習指導要領に記載された内容を満たすだけでなく、生徒・学校・地域の実情に応じて内容を豊かにして行く必要がある。それによって、教師は自ら授業内容を開発・構成する能力が新たに求められることになる。

アースシステム教育 (Earth Systems Education) <sup>1)</sup>は、システム科学概念に基づいて、教師自らが生徒・学校・地域の実情に応じて教材・内容・カリキュラムを開発・構成する方法を提供する。アースシステム教育はその目標と指導方法については明示しているが教材・内容については規定していない。アースシステム教育は、新学習指導要領が求めている理科教育を実施する上で一つの具体的な方法の例となるので、この時期に紹介することは意義深いことであると考えられる。

日本の「理科教育」は自然科学の領域を中心とし、また日本の独自の自然観を含んでいる。それに対し、アメリカの「科学教育」は科学・技術・社会の関連を扱い、科学的リテラシーの育成を目標にしている。これらは互いの文化的な背景の違いを含んでいるので、この資料では日本の「理科教育」とアメリカの「科学教育」を区別して表現した。

## 2. アースシステム教育の概要

以下の文章は、1988年に誕生した「アースシステム教育(Earth Systems Education)」について Victor Mayer博士の文章を基にその概要を紹介する。

### (1) 「アースシステム教育」誕生の経緯

アメリカでは、冷戦以来、カリキュラムの再構築にはそれほど力が注がれてこなかった。今、科学教育スタンダードにみられるように、21世紀の科学カリキュラムの目標や目的を再検討する時期に来ている。特に、科学のカリキュラムの再構築は、中等教育段階で必要であり、過去の科学の応用に頼るのではなく、新しい科学の奨励に目を向けなければならない。それは中等教育段階でシステム科学の手法を用いた科学教育の導入である。惑星としての地球のシステムを中心概念にすえることで、現在の教科(分野)別の科学でなく、新たな考え方に基づいた科学カリキュラムの創造を提案する。それは、惑星としての地球のシステムに基づいた概念を中心とする中等教育段階の科学教育である。

冷戦の終了と民主主義の広がりによって世界は、過去の破壊的な戦争や経済戦争とは対照的に平和協力の時代に入っている。そのような時代の科学教育は、地球温暖化、森林破壊、オゾン層破壊など地球規模の環境問題を解決するような地球全般を視野に入れた科学的リテラシー<sup>2)</sup> (グロー

\* 教育課程研究センター基礎研究部 総括研究官 \*\* 次長 \*\*\* The Ohio State University

バルサイエンスリテラシー)を提供するような国際協力の時代の教育を構築する役割を担う必要がある。そのような問題を解決できるシステム科学に基づいた科学教育が21世紀の科学教育カリキュラム開発の中心になり得るものと考えられる。

カリフォルニア州選出の下院議員George E. Brown Jr.は長い間科学立法に関する指導的立場にあった人である。彼は、国家の最優先する科学、つまり冷戦時代に残された多くの国々の主要な問題の解決に効果的に貢献する科学に焦点を当てる必要性を述べている。「戦争の20世紀の政治的な要請を満足させる破壊的な技術の開発に重点をおいた科学の代わりに、科学はその背景に残された問題に向けられなければならない。」(Brown,1993)

世界市民の将来に利益をもたらす科学を確立することによって、環境破壊や社会悪の問題は解決できる。これによって科学はすべての民主国家が直面している問題や将来の課題に対応することができ、市民から役に立つと認識され、彼らの支持を受けることができる科学となれるのである。

「民主的な国家のすべての市民が科学の再構築に参加しなければならない。」このBrownによって提案された挑戦に対応するような全地球的な科学的リテラシーに対する考え方は、冷戦時代の科学の再構築を試みている多くの科学者の努力を支持するものである。同時に、科学は、世界平和の維持、環境破壊の危機をとめる産業の創造、世界の民主主義に属する市民にとって効果的なコミュニケーションのメカニズムを提供するものである。

アメリカの連邦科学局は、幾たびか国の補助金を受けて地球科学研究の本質を再編成する努力をしてきた。再編の委託を受けた委員会は、この成果として「アースシステム科学」という学問の概念を定義した(アースシステム科学委員会1988)<sup>3)</sup>。

それは、アースシステム科学は、「地球は相互作用するサブシステムで構成されるシステムである」という概念で捉え、それを研究する学問であるというものである。つまり、アースシステム(地球のシステム)は、そのサブシステムとなる大気圏、生物圏、水圏、岩石圏などの相互作用で構成されている。そしてアースシステムは、太陽系や宇宙のシステムのサブシステムであると考えている<sup>3)</sup>。アースシステム科学は、いまや地球科学研究の主要なパラダイムの一つとなっている。

アースシステム科学の研究方法は、物理・化学・生物・地学など分化された(専門)分野のアプローチではなく、物理学者、化学者、生物学者、地質学者、そして社会科の分野など違った分野の科学者が、地球の各システムがどのように作用したり、また相互作用したり、そして人間がそのシステムにどのような影響を与えるのかを理解する特別な知識や技能を適用し、協力して仕事をする学際的なアプローチをとる特徴を持っている。

物理・化学など物質科学は、自然のプロセスや物質の研究を行うとき、還元的な方法論をとった。それは、因果律や真実を発見することを期待して、制限された実験環境で、プロセスや地球物質を細切れにして分析的に調査するものである。その還元的なアプローチは、技術の発展と特別の目的のための生産物を提供することでは成功をおさめた(Mayer1996)。物理・化学を中心とする還元的な科学は、原爆や化学兵器などの製造など軍事的な利点や、コンピュータや電子機器や多様な化学製品など経済的利益を生んできた。しかし、還元的な科学は人間中心の科学であり、それが環境問題など地球環境や我々の生活に悪影響を残したことも事実である。

アースシステム科学の具体例は、三葉虫の進化、大陸の成長、海洋底の拡大、地球温暖化の理解などである。それは「還元的な科学のアプローチ」のように経済的、軍事的利点を生じるものではない。アースシステム科学は、人間のサブシステムを含む多様なアースシステムや、その相互作用を理解する方法として、科学の本質についてより総合的な理解を提供するものである。過去に還元

的な科学に向けられた比較的膨大な政治的、財政的支援は、歴史的、記載的手法をとった「システム科学」へのそれとは劇的に対照的である（Lazlow,1972）<sup>4)</sup>。

それらシステム科学の方法論を用いて導かれた知識は、我々人類の知的、文化的生活に対してずっと影響を与えてきた。それは、地動説による太陽系、広がる宇宙、有機的進化、地質学的時間（deep time）、プレートテクトニクス、最近では、地球の気象変動などを含んでいる。それらの科学は、世界の中で人間の存在に対して哲学的な場を提供する。それは、もはや人間は世界の中心ではなく、広大で複雑な宇宙の一要素であることを認識させるものである。これらの概念を通して、我々は一市民として、地球は我々のために作られたのではないということに気づくようになる。また、我々は、複雑多様なアースシステムの中で物質的なシステムと相互作用する生命システムの一要素であると理解することができるようになるのである。そしてアースシステムも太陽系の中では物理的にも時間的にも一つの小さい要素であり、太陽系さえもまた広大な宇宙の小さい要素であるということ了我々は理解するようになるのである。

歴史的にみても、自然の中での人間の地位の認識を劇的に変えてきたのは、物理など還元的な科学でなく、システム科学など総合的な（holistic）科学である。それは太陽を中心とした宇宙を定義したコペルニクスによって実践され、また、進化論を考案したダーウィンによって実践されたものである。また、この地球の将来の気候システムについて現在の人間の介在する潜在的な影響を説明できるのはアースシステム科学に代表されるようなシステム科学である。

現在、世界的に科学カリキュラムの方法論的な部分で焦点が当てられている還元的な科学だけでは、地球規模の複雑な環境変動を教えることはできない。しかし、アースシステム科学は、われわれのかけがえのない惑星・地球の将来の環境について予測することを可能にすると思われる。

このようにアースシステム科学に代表されるシステム科学的な総合的な見方や考え方は、市民が正しい自然観を身につけるために必要であると思われる。しかし残念なことに、従来行われてきた物理・化学・生物・地学など分化された専門分野の科学教育カリキュラムの開発に比べ、このシステム科学(systemic science)を中心とする総合的な科学教育カリキュラム開発は、今まで中等教育段階で非常に遅れていた。また、それは科学教育カリキュラムの中心に置かれてこなかった。

## （２）「アースシステム教育」による新しい科学教育の創造

アースシステム科学教育の中等教育段階の科学教育を「アースシステム教育(Earth Systems Education : ESE)」と定義する。アースシステム教育は、1988年にアメリカで誕生した。それは新しい概念「システム概念」に基づく科学教育の理念である。アースシステム教育は、科学の基本的概念を地球のシステムを中心に展開することで生徒が変化するアースシステムを学習する総合的な科学教育である。それは、生徒が身近な地域の自然で野外学習を展開し、地球規模でアースシステムに関する情報を収集するような科学教育を奨励している。それはオハイオ州立大学と北コロラド大学で開発された全米レベルの科学教育で、その開発の中心人物は、オハイオ州立大学名誉教授 Victor J. Mayer 博士である。

アースシステム教育は、地球規模の科学的リテラシーの習得を目指した総合的な理科教育であり、1980年代後半のアメリカ科学教育界において、「科学教育の危機」を打開する動きの中で、惑星としての地球に焦点を絞り、科学の概念やプロセスの枠を広げ、地球規模でとらえる試みとして開発されたものである。

開発に先立ち、アメリカ航空宇宙局、アメリカ海洋大気局、アメリカ地質調査所など著名な地球

科学者と教育者の会議で「高等学校卒業までに地球について知っておかなければならないこと」をまとめた報告書<sup>5)</sup>が作成され、その中でアースシステム教育の目標や概念、重点的な課題などの基盤が提示された。アースシステム教育は、この報告を受けて構築されたもので、そのカリキュラムモデルは、科学界と科学教育界の勧告に基づいている。それは、(日本の学習指導要領のように具体的な指導内容は明示していないが、)その理解目標と指導方法については以下のように明示している。

### (3)「アースシステム教育」7つの理解目標<sup>6)</sup>

アースシステム教育には惑星としての地球のシステムに関連する7つの理解目標があり、その7つの理解目標はそれぞれより具体的な下位目標によって構成されている。

- 1 地球はユニークで、たぐいまれな美しさを持ち、大変価値のある惑星である。
  - ・その地球の美しさと価値は、文学や芸術を通して人々によってまたは人々のために表現される。
  - ・人々は地球のサブシステムをよりよく理解することによって、惑星地球に関する鑑賞力を高めることができる。
  - ・人々は地球のサブシステムに対する責任ある行動を通して、鑑賞力を明確化することができる。
- 2 人間の活動は、集団的なものであれ個人的なものであれ、またそれを意識するしないにかかわらず、アースシステムに対して影響を与えている。
  - ・地球は傷つきやすく、その資源には限界があり、浪費や誤った利用によって影響を受けやすい。
  - ・継続する人口増加は天然資源の枯渇や他の種を含んだ環境破壊を加速させる。
  - ・天然資源の利用を考えると、人間はまず生活スタイルを再考し、そして消費を削減し、再使用やリサイクルを行う必要がある。
  - ・産業化の副産物は、大気、土地、水の汚染であり、その影響はその場所の近くだけでなく地球規模になる可能性がある。
  - ・我々は地球をよりよく理解するほど、その資源をよりよく管理することができ、そして世界的な環境への影響を削減することができる。
- 3 科学的思考力や科学技術の発達は、地球や宇宙空間を理解したり利用したりする人間の能力を伸ばしている。
  - ・地球や宇宙科学の研究者だけでなく、生物学者、化学者、物理学者もアースシステムの研究に多様な方法を使う。
  - ・直接観察、単純な道具、現代技術は、アースシステムの変化を表したり、説明したり、予測するモデルや理論を創造したり、テストしたり、変形することに利用される。
  - ・歴史的、記載的、経験的研究は、地球や宇宙について学習する重要な方法である。
  - ・科学的研究が技術革新を進める。
  - ・技術がどんなに精巧になろうとも、それは我々のすべての問題を解決することはできない。
  - ・技術の使用は予期しない副作用や利益をもたらす。
- 4 アースシステムは水、岩石、氷、大気、生命のサブシステムの相互作用で構成される。
  - ・サブシステムは常に自然サイクルやプロセスを通して変化している。

- ・力、運動、エネルギー変換は、サブシステム内やその間の相互作用を導く。
  - ・太陽は、地球やその付近での多くのシステムやサブシステムの相互作用を動かす主要な外的エネルギー源である。
  - ・アースシステムの各要素は、サブシステムの相互作用によって変化する特徴的な性質や構造や構成をもっている。
  - ・プレートテクトニクスは、内的な力やエネルギーが地球内やその表面で連続的な変化を起こす方法を説明する理論である。
  - ・風化、侵食、堆積は地球の表面を絶えず変形する。
  - ・生命の存在は、他のサブシステムの特徴に影響を与える。
- 5 地球は40億年以上の歴史があり、そのサブシステムは絶えず変化している。
- ・地球のサイクルや自然のプロセスは、秒以下から何十億年の時間間隔で起こる。
  - ・地球を構成する物質は何回もリサイクルされてきた。
  - ・化石は、生物が地質学的な時間を通して相互作用し進化してきた証拠である。
  - ・進化は、どのように生物が変化してきたか説明する理論である。
- 6 地球は、太古より広がる巨大な宇宙の中にある太陽系の小さいサブシステムである。
- ・生物を含む宇宙のすべての物質は、同じ要素で構成され、同じ物理法則で動いているらしい。
  - ・地球を含む宇宙空間のすべての天体は、太陽系や宇宙に作用する力に影響されている。
  - ・地球を含む9つの惑星は、ほぼ円軌道で太陽の周りを公転する。
  - ・地球は小さく第3番目の惑星であり、明確に知られた唯一の惑星のシステムである。
  - ・地球の自転によって、昼夜が決定する。
- 7 多くの人々が、地球の起源やプロセス、進化等に興味を抱き、これらに関わる仕事に携わっている。
- ・地球を研究する教師、科学者、技術者は、ビジネス、産業、政府機関、公立私立研究所で雇用されているし、また独立して仕事をしている。
  - ・地球を研究する科学に関する職業には、フィールドで標本やデータを収集したり、実験室で分析や実験を行うことが含まれる。
  - ・世界中の科学者は、口頭、文書、電子などの伝達手段を利用して共同研究をする。
  - ・地球を研究する科学者や技術者の中には、資源の位置を確定したり、アースシステムの変化を予測するのに特別な理解をしている人がいる。
  - ・多くの人々が、地球のプロセスと物質に関連した副業を求めている。

#### (4)「アースシステム教育」指導法<sup>7)</sup>

その指導方法は、Project2061(AAAS,1989)で提案されている方法に基づいている。それは、物理・化学・生物・地学の4領域の境界を取り去り、教科内相互の関連を重視する。生徒が学ぶ内容は以前の科学教育の内容より少なくし、アイデアを出したり、思考する事に重点が置かれ、専門用語の暗記については重点がおかれていない。科学的リテラシーを身につけることを目的とした指導法は、科学的探究の方法や科学的価値観と一貫していなければならないとしている。答えの用意されている問題よりは、ある自然現象に関する疑問や発見で学習を始め、仮説を立てて、証拠を集め、調査を企画するような、生徒の興味や創造性を喚起する事に重点を置いたアプローチでなくてはならない。

- 1 指導法は科学的研究の性質と一貫している。
  - a.自然に対する疑問で始める。
  - b.生徒の活動を活発にする。
  - c.証拠の収集や利用を中心に置く。
  - d.歴史的視点を配慮する。
  - e.明確な表現をするよう心がけさせる。
  - f.グループ研究を奨励する。
  - g.知る事と発見する事を分離しないようにさせる。
  - h.専門用語の暗記は重視しない。
- 2 科学の指導法は科学的価値を反映させる。
  - a.好奇心を歓迎する。
  - b.創造性を賞賛する。
  - c.疑問を持つ精神を奨励する。
  - d.独断を避けさせる。
  - e.美的反応を促進する。
- 3 科学教育は学習の課題・問題を解決することを目的とすべきである。
  - a.課題解決に成功した経験をつませる。
  - b.道具の使用について十分な経験をつませる。
  - c.科学において女性や少数派の役割を支持する。
  - d.グループ学習を強調する。
- 4 科学教育は学校教育の枠を越えて行うべきである。
- 5 教育には十分時間をかけるべきである。

#### (5)「アースシステム教育」カリキュラム開発と評価方法

アースシステム教育で、教師は7つの理解目標のアースシステムフレームワークを利用してカリキュラムを開発する。アースシステム教育に基づいたカリキュラムモデルは、生徒の身近な自然に関するテーマ学習を中心に展開されることが多い。生徒が地域の自然（身近なアースシステム）で課題を発見し（野外学習）、その課題をグループで協力して探究する学習（探究学習・グループ学習）を展開し、その課題に関する資料や情報をインターネットで世界から収集したり、コンピュータを利用した学習などを奨励している。また評価方法については正統的な評価方法を推奨している。それは、ペーパーテストでは評価できない生徒の多様な能力を、ルーブリック評価表による評価、概念地図による評価、生徒のレポートなど作品の評価、野外学習などグループ学習での技能・コミュニケーション能力の評価、研究発表など表現力の評価などを利用して、生徒の能力を多面的・総合的に評価しようというものである。

### 3 . アースシステム教育によって身に付けられる科学的リテラシー 「グローバルサイエンスリテラシー」<sup>8)</sup>

1988年にアースシステム教育が開発されたとき、それは生徒が7つの理解目標を身に付けることを目的としていた。Mayer博士は、その後、1996年に日本の兵庫教育大学で研究を行い、科学教育とグローバル教育の目標を融合することによって「グローバルサイエンスリテラシー」という概念を確立し、それをアースシステム教育で育成する科学的リテラシーとした。

科学者達によって行われた思考や問題解決のプロセスによって獲得された自然（我々の身近な世界）に対する情報は、あらゆる国家や文化の生徒に共通の知識を提供する。それら共有された知識は自然や科学や技術に関する情報である。科学の方法やプロセスは、あらゆる文化の間で共有でき、異文化交流のメカニズムを提供することができる。だから、科学は我々の世界について共通の考えを提供し、世界のあらゆる文化と関連したコミュニケーションの手段となる。

あらゆる国の子どもたちは、天気、川の流れ、岩石などを環境の一部として体験している。彼ら

は、日没の美しさ、嵐の力、鳥のさえずり、山の静けさ、川の流れの音、秋の紅葉の美しさを観察している。生徒を取り巻く自然環境であるアースシステムは、世界市民の共通の関心事である。

世界の各文化は、その特別な環境の思考や活動の局面に埋め込まれている。それゆえ地球システムは、国際的な関心や視野をもち、文化的に特別な意味がある。それは世界の各文化にとって意義があり、また総合的な科学カリキュラムに対して科学知識の基礎を提供する。そのようなカリキュラムに組み込まれる科学の方法論は、学校の子どもたちにコミュニケーションや問題解決の普遍的な方法を提供することになる。それゆえ、科学カリキュラムの組織的な焦点としてアースシステムを使うことで、生徒が自分自身や他の文化の地球規模の（グローバルな）理解や展望を身に付ける手助けをするために、他の教科のカリキュラムとの関連の中で、科学に重要な役割を与えることになる。

グローバル教育は、生徒に異文化理解やグローバルな展望を養成する要素をふくむカリキュラム開発へのアプローチを目的としたものである。それは、あらゆる年代の生徒や次の学習のあらゆる教科に向けられたカリキュラムを構成する。

- ・ 人類を空間と時間につながれた単体として（人間を宇宙の構成物：物質の定義）
- ・ 地球を人類の生態的宇宙的基地として（地球は家：物質の定義）
- ・ グローバルな社会構造を人間の社会組織の一つのレベルとして（地球を一つの国：機能の定義）
- ・ 自分自身を人類の仲間として、惑星地球の住民として、そしてグローバルな社会の参加者として（人間を地球という一つの国の住民：機能の定義）

（Anderson,1992）<sup>9)</sup>

グローバル教育の幾つかの目標は、すでに地球やそのシステムを扱うアースシステム教育に含まれていると見ることができる。ある地域の社会的・文化的な行為はその背景となる地域の自然環境（アースシステム）と関連しているので、その地域の自然環境を理解することは、その地域の社会や文化を理解することにつながることになる。

科学プロセスは、異なった言語や文化の人々の対話を可能にするモデルを提供する。よってグローバル教育は学校カリキュラムの横系となるべきである。それとは別に、科学は学校のグローバル教育プログラムの重要な要素となるべきである。ある意味で、学校カリキュラムの中で科学は、科学教師や社会科教師の共有できるの場所となることができる。アースシステム教育によって科学は、カリキュラムの分野間をつなぐ道となることができ、そして学際的な授業計画の機会を提供する。社会科と理科の教師が協力することで、将来の指導者や有権者が世界の人々の相互関連を理解し、我々の生活が地球やその資源にどのように影響を与えているか理解することを援助することができる(Mayer、1990)。これはグローバル教育の基本的な目的であるばかりでなくアースシステム教育の目標の中心にも位置していることである。

今日、アースシステム教育は異文化理解(グローバル教育)の目標を融合させた科学的リテラシー「グローバルサイエンスリテラシー」育成することを目標としている。

## 4．アースシステム教育の展開

アースシステム教育は全米の選ばれた学校であらゆる学年で実施されてきた。小学校プログラムはアラスカ、コロラド、フロリダで実施された。中学校プログラムはオハイオの3学区やオレゴンで、高等学校プログラムはコロラド、オハイオ、ニューヨークで実施された。この実施に伴い、全

米各地から200人の教師が集められ、全米科学財団(the National Science Foundation)の補助金によるアースシステム教育リーダー養成プログラム(the Program for Leadership in Earth Systems Education)に参加した。その200人のリーダーが各地で約1000人の教師にアースシステム教育のプレゼンテーションを行った。これらの活動の中から、アースシステム教育、総合的な理科カリキュラムを教師が開発できるようリソースガイド(教材)が開発された(Mayer他、1995)。

## 5 . おわりに

外国における科学教育の一つの良い例として、アースシステム教育をここで紹介する2つの理由がある。第一には、アースシステム教育は「地域の自然(身近なアースシステム)の教材化」を中心に展開するという科学教育を奨励している点である。また、その理論的背景がシステム科学に位置づいているだけでなく、実践的で総合的な科学教育である。本物の身近な地域の自然で理科教育(野外学習)を展開したいと考えている理科教師にとっては、アースシステム教育はカリキュラムや教育実践の理論的枠組みとして参考にできるものである。更に、アースシステム教育は、子どもが地域の自然で学習を展開しインターネットなどを利用して地球規模で情報を収集し考察するという「地域で活動し地球規模で考える(Act locally and think globally)」科学教育で、学習方法として直接体験とIT(情報技術)の利用を融合させることを奨励するが、それは情報化時代において望まれている教育である。第二には、自然を科学的に理解するだけでなく、美的な視点で鑑賞することをアースシステム教育の第1理解目標としているからである。それは、自然の科学的な側面とは異なる芸術的な側面を科学教育に導入することで、事実と想像、論理と感情(理性と感性)を混同することではなく、芸術的な側面を科学教育に導入することで、自然に対する興味・関心をより深めることにつながり、豊かな人間性の育成に役立つと考えているからである。そしてグローバルサイエンスリテラシーという概念を生徒が身に付けることを目的にする科学教育に発展したことで、アースシステム教育は、科学を中心とした総合的な教育を創造する哲学的側面を持っているからである。

それらの理由により、アースシステム教育は日本における新しい理科教育の一つの基盤となれるだけでなく、新学習指導要領の特徴である「総合的な学習の時間」の環境や国際理解などを構成する基盤を提供できる理科教育である。

アースシステム教育に関する日本語の詳しい情報は、国立教育政策研究所教育課程研究センター総括研究官(地学教育担当)五島政一のホームページ<http://www.nier.go.jp/masakazu/Myweb/index.htm>で紹介されている。

### 【参考・引用文献】

- 1) Mayer,V.J. 1988. *Earth systems education: A new perspective on planet Earth and the science curriculum*, Columbus: The Ohio State University Research Foundation.
- 2) Mayer,V.J. 1990. Teaching from a Global Point of View. *The Science Teacher*, The National Science Teachers Association. Washington, D.C. January 1990
- 3) Earth System Science Committee. 1988 *Earth System Science*. Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration
- 4) Lazlow, Ervin. 1972. *The systems view of the world*. New York: George Braziller, 131pp. シス



テム科学：歴史的、記載的手法をとる科学（Lazlow,1972）。それは、地動説太陽系、有機的進化、プレートテクトニクス、地球気象変動などを含んでいる。人間は世界の中心ではなく、広大で複雑な宇宙の一要素であることを認識させるような科学である。

- 5) Mayer, V.J. and Armstrong, Ronald E. 1990. What Every 17-year old should know about Planet Earth: A report of a conference of educators and geoscientists. *Science Education* 74(2): 155-165
- 6) Mayer,V.J. 1991. Earth systems education: Origins and Opportunities, Columbus: The Ohio State University Research Foundation: 8-9
- 7) 五島政一、下野洋. 1996. アースシステム教育と野外学習、『1996年日本科学教育学会20周年記念論文集』、pp157-164、日本科学教育学会、1996年7月、
- 8) Mayer,V J and Tokuyama 1997 Science Literacy in a global era. *Hyogo University of Teacher Education Journal*, 17,3, 75-89
- 9) Mayer,V.J. 1989. Earth Appreciation. The Science Teacher, The National Science Teachers Association. Washington, D.C. March 1989
- 10) 五島政一 2001正しい科学概念（自然観）を身に付ける方法（理科教育） システム科学的な理科教育「アースシステム教育」 - 『楽しい理科授業11月号』Vol.38. NO.421、pp58-61、明治図書、2001年10月
- 11) 五島政一 2001 正しい科学概念（自然観）を身に付ける方法（理科教育）(その2) グローバルサイエンスリテラシーの育成と地域の自然を利用した総合的な理科教育の創造 『楽しい理科授業12月号』Vol.39. NO.422、pp58-61、明治図書、2001年11月
- 12) 中野佳昭 大隈紀和 1993. 今後の理科カリキュラムの展望、『第17回年会論文集』;123-124
- 13) Mayer,V.J. 1991. Earth-systems science. *The Science Teacher*, 58(1), 34-39 The National Science Teachers Association. Washington, D.C.
- 14) Mayer,V.J. 1991. A Framework for Earth Systems Education. *Science Activities*, 28(1),8-9
- 15) 下野 洋 1998 いま、地学教育に求められるもの - 体験学習・野外学習の必要性 - 、*地学教育*51(5)、pp.201-212、地学教育学会
- 16) 下野 洋 1993 地球環境の理解を深める理科教育課程の編成の視点、「21世紀を展望する新教育課程編成の提案」日学選書3、pp.200-210、
- 17) Mayer,V.J. & Rosanna W. Fortner 1995. *Science is A Study of Earth.: A Resource guide for science curriculum restructure* The Ohio State University & The University of Northern Colorado
- 18) Rosanna W. Fortner & Mayer,V.J. 1993. *Activities for the Changing Earth System: Curriculum Activities for teaching about global environmental changes*. The Ohio State University. Columbus OH
- 19) Mayer,V.J. 1995. Using the Earth System for integrating the science curriculum. *Science Education* 79(4):375-391
- 20) Yoshisuke Kumano. 1997. The Significance of Earth Systems Science (Education) in the Curricula of Japan and other Asian Countries. *Second International Conference on Geoscience Eduaction: Learning About the Earth as a System Conference Proceedings*; 34-45

(付録)学習指導要領「中学校理科」・高等学校学習指導要領「基礎理科」・「理科総合A」・  
「理科総合B」の目標とアースシステム教育の理解目標の比較一覧表

学習指導要領「中学校理科」の目標	ESE 理解目標
自然に対する関心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、科学的に調べる能力と態度を育てるとともに自然の事象・現象についての理解を深め、科学的な見方や考え方を養う。	
<b>第1分野(目標)</b>	
(1) 物質やエネルギーに関する事象・現象に対する関心を高め、その中に問題を見いだし意欲的に探究する活動を通して、規則性を発見したり課題を解決したりする方法を習得させる。	理解目標 3・4
(2) 物理的な事象・現象についての観察、実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察、実験の結果を考察して自らの考えを導き出し表現する能力を育てるとともに、身近な物理現象、電流とその利用、運動の規則性などについて理解させ、これらの事象に対する科学的な見方や考え方を養う。	理解目標 3・4
(3) 化学的な事象・現象についての観察、実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察、実験の結果を考察して自らの考えを導き出し表現する能力を育てるとともに、身の回りの物質、化学変化と原子、分子、物質と化学反応の利用などについて理解させ、これらの事象に対する科学的な見方や考え方を養う。	理解目標 3・4
(4) 物質やエネルギーに関する事象・現象を調べる活動を通して、日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようになる。	理解目標 3・4
<b>第1分野(内容)</b>	
(1) 身近な物理現象 身近な事象・現象についての観察、実験を通して、光や音の規則性、力の性質について理解させるとともに、これらの事象を日常生活と関連付けて科学的にみる見方や考え方を養う。	理解目標 3・4 理解目標 4 理解目標 4
ア 光と音 イ 力と圧力	理解目標 4 理解目標 4
(2) 身の回りの物質 身の回りの物質について観察、実験を通して、固体や液体、気体の性質、物質の状態変化について理解させるとともに、物質の性質や変化の調べ方の基礎を身に付けさせる。	理解目標 3・4 理解目標 4 理解目標 4
ア 物質のすがた イ 水溶液	理解目標 4 理解目標 4
(3) 電流とその利用 電流回路についての観察、実験を通して、電流と電圧との関係及び電流の働きについて理解させるとともに、日常生活と関連付けて電流と磁界についての初歩的な見方や考え方を養う。	理解目標 3・4 理解目標 4 理解目標 4
ア 電流 イ 電流の利用	理解目標 4 理解目標 4
(4) 化学変化と原子、分子 化学変化についての観察、実験を通して、化合、分解などにおける物質の変化やその量的な関係について理解させるとともに、これらの事象を原子、分子のモデルと関連付けてみる見方や考え方を養う。	理解目標 3・4 理解目標 4 理解目標 4
ア 物質の成り立ち イ 化学変化と物質の質量	理解目標 4 理解目標 4
(5) 運動の規則性 物体の運動やエネルギーに関する観察、実験を通して、物体の運動の規則性やエネルギーの基礎について理解させるとともに、日常生活と関連付けて運動とエネルギーの初歩的な見方や考え方を養う。	理解目標 3・4 理解目標 4
ア 運動の規則性	理解目標 4
(6) 物質と化学反応の利用 物質と化学反応に関する事象の観察、実験を通して、物質と化学反応の利用について理解させるとともに、これらの事象を日常生活と関連付けて科学的にみる見方や考え方を養う。	理解目標 3・4 理解目標 4
ア 物質と化学変化の利用	理解目標 4
(7) 科学技術と人間 エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術の利用と人間生活とのかわりについて認識を深めるとともに、日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養う。	理解目標 2・3・4 理解目標 2・4 理解目標 2・4
ア エネルギー資源 イ 科学技術と人間	理解目標 2・4 理解目標 2・4
<b>第2分野(目標)</b>	
(1) 生物とそれを取り巻く自然の事象・現象に対する関心を高め、その中に問題を見いだし意欲的に探究する活動を通して、規則性を発見したり課題を解決したりする方法を習得させる。	理解目標 3・4
(2) 生物や生物現象についての観察、実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察、実験の結果を考察して自らの考えを導き出し表現する能力を育てるとともに、植物や動物の生活と種類、生物の細胞と生殖などについて理解させ、これらの事象に対する科学的な見方や考え方を養う。	理解目標 3・4・5
(3) 地学的な事象・現象について観察、実験を行い、観察・実験技能を取得させ、観察、実験の結果を考察して自らの考えを導き出し表現する能力を育てるとともに、大地の変化、天気とその変化、地球と宇宙などについて理解させ、これらの事象に対する科学的な見方や考え方を養う。	理解目標 3・4・5・6
(4) 生物とそれを取り巻く自然の事象・現象を調べる活動を行い、自然の調べ方を身に付けるとともに、これらの活動を通して自然環境を保全し、生命を尊重する態度を育て、自然を総合的に見ることができるようになる。	理解目標 2・3・4
<b>第2分野(内容)</b>	
(1) 植物の生活と種類 身近な植物についての観察、実験を通して、生物の調べ方の基礎を身に付けるとともに、植物の体のつくりと働きを理解させ、植物の種類やその生活についての認識を深める。	理解目標 3・4 理解目標 4 理解目標 4 理解目標 4
ア 生物の観察 イ 植物の体のつくりと働き ウ 植物の仲間	理解目標 4 理解目標 4 理解目標 4
(2) 大地の変化 大地の活動の様子や身近な地形、地層、岩石などの観察を通して、地表	理解目標 3・4

に見られる様々な事象・現象を大地の変化と関連付けてみる見方や考え方を養う。 ア 地層と過去の様子 イ 火山と地震	5 理解目標 4・5 理解目標 4
(3) 動物の生活と種類 身近な動物についての観察、実験を通して、動物の体のつくりと働きを理解させるとともに、動物の種類やその生活についての認識を深める。 ア 動物の体のつくりと働き イ 動物の仲間	理解目標 3・4 理解目標 4 理解目標 4
(4) 天気とその変化 身近な気象の観察、観測を通して、天気変化の規則性に気付かせるとともに、気象現象についてそれが起こる仕組みと規則性について認識を深める。 ア 気象観測 イ 天気の変化	理解目標 3・4 理解目標 4 理解目標 4
(5) 生物の細胞と生殖 身近な生物についての観察、実験を通して、細胞のレベルで見た生物の体のつくりと生殖について理解させるとともに、親の形質が子に伝わる現象について認識させる。 ア 生物と細胞 イ 生物の殖え方	理解目標 3・4 理解目標 4 理解目標 4
(6) 地球と宇宙 身近な天体の観察を通して、地球の運動について考察させるとともに、太陽の特徴及び太陽系についての認識を深める。 ア 天体の動きと地球の自転、公転 イ 太陽系と惑星	理解目標 3・4・6 理解目標 4・6 理解目標 4・6
(7) 自然と人間 微生物の働きや自然環境を調べ、自然界における生物相互の関係や自然界のつり合いについて理解し、自然と人間のかわり方について総合的に見たり考えたりすることができるようにする。 ア 自然と環境 イ 自然と人間	理解目標 2・3・4・5 理解目標 2・4 理解目標 2・4

学習指導要領「理科基礎」の目標	ESE 理解目標
科学と人間生活とのかわり、自然の探究・解明や科学の発展の過程について、観察、実験などを通して理解させ、科学に対する興味・関心を高めるとともに、科学的な見方や考え方を養う。	
(1) 科学の始まり 道具や火の使用、自然の観察とその積み重ね、自然の中に見られる帰巢性や法則性の発見など、科学の始まりと人間生活とのかわりについて考えさせる。	理解目標 3・7
(2) 自然の探究と科学の発展 自然への疑問や興味に基づく客観的な観察と新しい発想が科学を進展させ、自然の見方を大きく転換し、展開させたことについて理解させる。 ア 物質の成り立ち (ア)原子、分子の探究	理解目標 3・4・5 理解目標 4

(イ)物質の合成への道 イ 生命を探る (ア)細胞の発見と細胞説 (イ)進化の考え方 ウ エネルギーの考え方 (ア)エネルギーの考え方の形成 (イ)電気エネルギーの利用 エ 宇宙・地球を探る (ア)天動説と地動説 (イ)プレートテクトニクス説の成立	理解目標 4 理解目標 4 理解目標 4・5 理解目標 4 理解目標 4 理解目標 4 理解目標 4・5 理解目標 4・5 理解目標 5
(3)科学の課題とこれからの人間生活 様々な自然認識の展開による科学の成果についての学習を踏まえて、現在及び将来における科学の課題と身近な人間生活とのかわりについて考察させる。	理解目標 2・3・4・5・6・7

新しい理科教育を創造する「アースシステム教育」

学習指導要領「理科総合A」の目標	ESE 理解目標
自然の事物・現象に関する観察、実験などを通して、エネルギーと物質の成り立ちを中心に、自然の事物・現象について理解させるとともに、人間と自然とのかかわりについて考察させ、自然に対する総合的な見方や考え方を養う。	
(1)自然の探究 身近な自然の事物・現象についての観察、実験などを通して、それらの基本的な方法を習得させるとともに、エネルギーや物質について考察させ、自然を探究する力を養う。	理解目標 3・4
ア 自然の見方 自然をエネルギーや物質の変化と変換などでとらえ、自然に対する総合的な見方や考え方を養う。	理解目標 3・4
イ 探究の仕方 具体的な事例についての観察、実験などを通して、探究の進め方を体得させる。	理解目標 3
(2)資源・エネルギーと人間生活 人間生活にかかわりの深い化石燃料、原子力、水力、太陽光などの利用の隙見られる現象は、エネルギーという共通概念でとらえられることを理解させる。	理解目標 4
ア 資源の開発と利用 (ア)エネルギー資源の利用 蓄積型の化石燃料と原子力及び非蓄積型の水力、太陽エネルギーなどの特性や有限性及びその利用などについて理解させる。	理解目標 2・3・4 理解目標 4
(イ)その他の資源の開発を利用 金属、非金属資源の特性や有限性、資源探査の方法や開発、再利用について理解させる。	理解目標 2・3・4
イ いろいろなエネルギー (ア)仕事と熱 電流による発熱や仕事など、熱と仕事を中心としてエネルギーの基礎について理解させる。	理解目標 4
(イ)エネルギーの変換と保存	理解目標 4

太陽エネルギーは仕事に変えられたり生物のエネルギー源になったりすること及びエネルギーは変換されるがその総量は保存されることについて理解させる。	
(3) 物質と人間生活 身の回りの物質は原子、分子、イオンから成り立ち、それらの粒子の結びつきの変化で物質の性質が変わることやエネルギーの出入りがあることを理解させる。	理解目標 4
ア 物質の構成と変化 (ア)物質の構成単位 原子、分子、イオンとその結合についての基礎を理解させる。	理解目標 4 理解目標 4
(イ)物質の変化 物質の状態変化及び化学変化における原子、分子、イオンの状態をエネルギーと関連させて理解させる。	理解目標 4
イ 物質の利用 (ア)日常生活と物質 人間生活とかかわりの深い物質の特性と利用及び物質の製造にエネルギーが必要であることについて理解させる。	理解目標 2・4 理解目標 2・4
(イ)生物をつくる物質 生物が有用な物質をつくること及び生物体内の化学反応の精妙さについて理解させる。	理解目標 4
(4) 科学技術の進歩と人間生活 科学技術の成果と今後の課題について考察させ、科学技術と人間生活とのかかわりについて探究させる。	理解目標 2・3

学習指導要領「理科総合B」の目標	ESE 理解目標
自然の事物・現象に関する観察、実験などを通して、生物とそれを取り巻く環境を中心に、自然の事物・現象について理解させるとともに、人間と自然とのかかわりについて考察させ、自然に対する総合的な見方や考え方を養う。	
(1)自然の探究 身近な自然の事物・現象についての観察、実験などを通して、それらの基本的な方法を習得させるとともに、生物とそれを取り巻く環境について考察させ、自然を探究する力を養う。	理解目標 3・4
ア 自然の見方 自然を多様性と共通性、変化と平衡などでとらえ、自然に対する総合的な見方や考え方を養う。	理解目標 3・4・5
イ 探究の仕方 具体的な事例についての観察、実験などを通して、探究の進め方を体得させる。	理解目標 3
(2)生命と地球の移り変わり 生命の星としての地球の変遷をたどり、生命の出現と生物の変遷は地球環境の変化とかかわっていること及び生物は遺伝という共通の性質をもち、親の形質を子に伝えていることについて理解させる。	理解目標 4・5
ア 地球の移り変わり (ア)惑星としての地球	理解目標 4・5・6

他の惑星との比較において、生命を生み出す条件を備えた地球の特徴について理解させる。	理解目標 4
(イ)地球の変動 プレート運動による世界の大山脈の形成などの大地の変動について理解させる。	理解目標 4・5
イ 生物の移り変わり (ア)生物の変遷 地球上の光合成生物の誕生から生物が陸上に進出し現在の生物に至るまでの変遷について理解させる。	理解目標 4・5 理解目標 4
(イ)遺伝の規則性 生物には親から子へ形質を伝える遺伝現象があり、そこには遺伝子の存在という共通性があることを理解させる。	理解目標 4・5
(3)多様な生物と自然のつり合い 地球上の様々な自然現象は、変化するとともに、その過程で平衡が保たれ、そこで多様な生物が生活していることについて理解させる。	理解目標 4
ア 地表の姿と大気 (ア)多様な景観 現在の地球上の陸地、島弧、海洋底などの景観の特徴とその成因について理解させる。	理解目標 1・4 理解目標 1・4
(イ)大気と水の循環 地球規模の大気と水の循環や運動について理解させ、地球上では熱の移動が行われ、熱的平衡が保たれていることを認識させる。	理解目標 4
イ 生物と環境 (ア)生物の多様性 地球には多様な生物が存在していること及びそれらの生活の多様性について理解させる。	理解目標 2・4 理解目標 2・4
(イ)生物の環境とのかかわり 生物とそれを取り巻く環境は種々の生態系としてとらえることができること及び生態系における生物と環境とのかかわりを理解させる。	理解目標 2・4
(4)人間の活動と地球環境の変化 生物とそれを取り巻く環境の現状と課題について考察させ、人間と地球環境とのかかわりについて探究させる。	理解目標 2・3・4

※選択理科を除く

謝 辞

この資料は、平成12年度文部省長期在外研究員（五島政一）の研究に基づき、平成13年度科学研究費補助金（基盤研究（B）研究課題「アースシステム教育の国際比較研究に基づいた教育システムの開発に関する実証的研究」、課題番号13571043、研究代表者 五島政一）の一部を使用して作成されたものである。ここに記して感謝申し上げます。