『日本体育大学大学院教育学研究科紀要』
第２巻第１号　2018（pp. 45 - 54）

【特集論文】

# 理科教育特論
## ―教科教育における成立基盤、本質、学習指導―

角屋　重樹（日本体育大学）
稲田　結美（日本体育大学）
雲財　寛（日本体育大学）

本稿は，理科という教科を例に，
　なぜ教科が必要なのかという教科の成立基盤
　当該教科でしかできない人間形成とは何かという各教科の本質
　教科における学習指導
の３点から，教科教育の特論について論究した。

**キーワード**：教科の目的・目標，理科における人間性，学習指導

# Further Study in Subject Pedagogy
## —Purpose of science education, humanity on science education, Teaching and learning in activities—

Shigeki KADOYA（Nippon Sport Science University）
Yumi INADA（Nippon Sport Science University）
Hiroshi UNZAI（Nippon Sport Science University）

The purposes of this study discuss the bellows four points.

(1) The first, the purposes of science education became clear.

(2) The second, humanity and essence of science education and became clear.

(3) The fourth, how to teach in science education became clear.

**Key Words:** purpose of science education, humanity on science education、teaching and learning activities on science

## 教科教育特論をどのようにとらえるか

教科教育特論のシラバスに掲げる目標は，次のものである。

> 教科の成立基盤や各教科の本質を理解するとともに,教科の本質にもとづく人間性を涵養できる学習指導を構想し,展開できるようにする。

この目標は，以下の 4 つのキーワードから成り立つと考えられる。

① 教科の成立基盤
② 教科の本質
③ 教科の本質にもとづく人間性
④ 人間性を涵養する学習指導の構想と展開

そこで①～④のもとに項目を設定し，順に論を展開する。

## 1. 教科の成立基盤

教科の成立基盤は，いろいろな見地から論じることができる。いずれの見地から論を展開する場合でも,「当該教科がなぜ必要か」,あるいは,「その教科固有の教育的な価値は何か」ということを追究することになる。

「当該教科がなぜ必要か」，あるいは，「当該教科の固有の教育的な価値は何か」という問いは，当該教科が固有に目指すもの，つまり，教科固有の目標から具現化できると考える。

そこで，理科固有の目標について考える。

### 1.1 理科固有の目標

理科固有の目標については，学校教育法第二十一条の「義務教育の目標」で明確になっている。そこで，これを調べると次のようになっている。

> 七　生活にかかわる自然現象について，観察及び実験を通じて，科学的に理解し，処理する基礎的な能力を養うこと。

この文言は，次のようにいえる。理科という教科は，学習者が自然の事物や現象に対して実験・観察を行い，科学的に働きかけていくことから，その方法や結果などの知的な体系を構築していくことを目指しているといえる。

## 2. 教科の本質：理科の本質

学習者が実験・観察を行い，自然の事象に対して科学的に働きかけていくことから，その方法や結果などの知的な体系を構築していくということには，次の 2 つのキーワードが内在する。

それらは

① 実験・観察
② 科学的

である。

したがって，理科の本質は①と②であるといえる。ここで，①と②のそれぞれの意味・意義を検討する。

### 2.1 実験・観察

実験・観察[1]は，角屋ら（2012a，pp.9-13）では，おおよそ次の 2 つの意味・意義に大別している。

> 1．実験・観察は自分の考えである予想・仮説を事象で表現する活動である。つまり，実験・観察は自己の考えを事象で表現する活動である。
> 2．実験・観察は自分の考えを他者に納得させるための演示である。

ここで，上述の実験・観察が成り立つ条件について考える。

#### （1）実験・観察が成り立つ条件

学習者が実験を行うためには，以下のような 3 つの条件が前提になっている（角屋ら，2012a，pp.9-13）。

① 一人ひとりが自然の事象に関して問題を見いだし，問題となる事象に対して説明できる予想・仮説を発想し持つことが実験・観察が成り立つための前提条件である。

つまり，実験・観察を行う場合は，学習者が事象を説明できる予想・仮説を自分の考えとして持つことが必要となる。

自分の考えである予想・仮説は，次の形式で表記できる。

「○○○の条件を満たせば，◎◎◎という現象が生じる」

したがって，予想・仮説をこのような形式で表示できるようにしておくことも重要な一つの条件となるといえる。

② 学習者が自分の考えである予想・仮説が事象の世界で実際に起こるか否かを検討することが実験・観察である。このために，学習者が実験・観察方法を計画し立案することが実験・観察が成り立つための前提条件になる。

つまり，学習者は自分の考えである予想・仮説を，事象である「もの」に表出する計画を立案できるようにすることが条件となる。

③ 学習者は計画に基づいて実験・観察を実行することが前提条件となる。つまり，学習者は自分の考えである「○○○の条件を満たせば，◎◎◎という現象が生じる」という予想・仮説において，

「○○○という条件」を「事象で具現化した」ので，「◎◎◎という現象」が「生じるだろう」ということを見通しながら実験・観察を行うことが必要になる。

①～③の条件を満足する実験・観察は，予想・仮説を事象で置き換え，その事象が実際に成り立つかどうかを検討することがその基底となっている。

このことは，予想・仮説において，「○○○という条件」，つまり，事象の成立条件を具現化し，予想した事象が実際に起こるかどうかを検討しているといえる。このため，実験・観察は，自分の考えを事象で具現化する「もの化」がその基底になっているといえる。

### （２）　実験・観察を行うための技法

自分の考えを事象で表現し，検討するという「もの化」には，実験や観察を円滑に，かつ，適切に行う技法が必要となる（角屋ら，2012a，p.12）。

このような技法がない場合，実験・観察が「もの化」できなくなったり，あるいは実験・観察結果が予想・仮説と無関係になったりすることが多い。また，実験・観察の技法は実験・観察を容易に実施できるようにしている。

技法は，一般に，観察に関するものと実験に関するものとに大別できる。

実験の技能には，主に，次のものがある。

① 実験計画に関する技能
② 実験の精度を高めることに関する技能
③ 実験結果の処理に関する技能

また，観察の技能には，主に，次のものがある。

① 観察の仕方に関する技能
② 観察の視点に関する技能
③ 観察記録に関する技能

以上のような実験・観察の技法を学習者が獲得することで，学習者が自分の考えを事象で具現化するという「もの化」が容易になると考える。

## 2.2 「科学的」ということ

「科学的」ということを考えるために，まず，科学が何を目指しているかという科学の目的について考えることから始める。

### （１）科学の目的

科学とは，実証性や再現性，及び客観性を保証する実験を伴うものである（池内，1996）。また，科学は，実験・観察にもとづいて理論や法則を構

築していくという方法に依拠している（伊勢田，2003)。以下，実験・観察を総称して実験と略記する。

したがって，科学は実証性や再現性，客観性を保証する実験を行い，自然事象に関する理論や法則を構築していくことから，未来に起こる事象を予測することを目指しているといえる(ヘンペル，1981，pp.4-51)。このため，以下の手順をとることが多い。

未来に生起する事象を予測するために，

① まず，自然の事象を記述する。
② 次に説明する法則や理論などを定立する。
③ 未来に起こる事象を予測する。

ここで，①～③について詳細に述べる。

**１）事象の記述**

自然の事象を記述するということは，観察できる事実を記録することである。例えば，ヘチマを観察している場合，事実を記述することは次のようなことになる。

「ヘチマが枯れた」

「ヘチマがだんだん成長していく」

などである。

**２）説明**

説明とは，多くの場合，事象を「結果」と「条件(原因)」など,論理的に関係づけることである。

例えば，ヘチマの成長を例にすると，以下のようになる。

① 一方のヘチマは成長し，他方のヘチマは枯れた：観察事実
② なぜ，ヘチマは枯れたり，成長したりするのか？：問題の見いだし
③ 見いだした問題に対して，水をやり忘れたことが原因：原因の発想
④ 水をやり忘れたことが枯れることの原因と考えるならば，ヘチマに水を与えたならばヘチマは枯れないが，ヘチマに水を与えないならば枯れるだろうということ，つまり予想・仮説を発想する
⑤ 発想した予想・仮説を検証して,「水を与えるとヘチマが枯れない」,「与えないとヘチマが枯れる」

というように，水を与える，与えないということとヘチマが枯れない，枯れるという規則性を獲得するようになる。

上述のことから，次のようにいえる。

説明とは，問題となっている事象について，既に確立している原因と結果の関係から，原因を想定することである。

**３）予測**

予測とは確立している原因と結果の関係から，原因を想定し，未来に起こる事象を予想することであるといえる。

**４）まとめ**

今まで述べてきたことから，科学の目的は，次のように整理できる。

科学は，未来に起こる事象を予測することを目指して，

① 現象を記述し
② 説明し
③ 確立している原因と結果の関係から，原因を想定し，未来に起こる事象を予想すること

であるといえる。

**3. 教科（理科）の本質に基づく人間性：理科はどんな領域（あるいは区分）をもっているのか，教科区分論**

教科の本質に基づく人間性は，具体的には，教科を構成する領域あるいは区分における人間性になる（角屋，2013，pp.27-29)。

とりわけ，教科の成立基盤を学問的基盤に依拠させた場合，理科の人間性は，物理や化学，生物，地球科学のそれぞれにおける特徴，領域あるいは区分において顕在化する（角屋，2013，pp.33-34)。

このため，本稿では，まず自然科学の分類，次に各分野の特徴，そして，理科を構成する領域あ

るいは区分における人間性を検討する（角屋ら，2012b）。

### 3.1 自然科学はどのように分類できるのか

自然科学がどのようなものであるかをとらえるには，まず自然科学の体系を分類し，その分類した体系の特徴を考えることが一つの方法と考える。ここでは，自然科学史や自然哲学などの考え方を援用することから，自然科学の分類とその分類した体系の特徴を検討する。

自然科学という学問体系を端山（1998，pp.12-74,76-110,154-175）は次のように大別し分類している。彼は，自然科学を主に宇宙・地球観，物質観，生命観と分類している。さらに物質観を原子論・分子論，有機物質の化学などで代表できる化学，量子力学や原子核物理学などで代表できる物理学に分類している。

これらの分類から，自然科学は宇宙・地球観などの地球科学，生命観などを扱う生物学，原子論・分子論，有機物質などを扱う化学，量子力学などを扱う物理学に分けることができるといえる。

### 3.2 物理学，化学，生物学，地球科学の特徴

前項で自然科学を物理学，化学，生物学，地球科学と分けた場合の，その体系のそれぞれにおける特徴を考える。

#### （１）物理学，化学の特徴

柳瀬（1984，pp.3-23）は「ものとは何か」や「運動とは何か（あるいは変化とは何か）」という問いをもとに自然科学の特徴をとらえている。前者の問いは物質の構造，後者の問いは法則の発見ととらえ，法則の発見は主に，運動の法則と保存の法則に大別できるとしている。また，彼は「現在の物理学を一言で言えば，エネルギーの学問であるといえそうです。」といっている。このことから，物理学の特徴は「エネルギー」と考えることができる。

また，宮原（1977，pp.443-448）は物理学と化学を，その成立の歴史からとらえている。そして，両者はともに無機的自然の運動と変化を扱い，物理学は量的側面を，化学は質的側面を，それぞれ扱ってきたと述べている。したがって，物理学は量的側面，化学は質的側面が，それぞれの特徴といえる。

以上のことから，物理学は「エネルギー」の考え方を基盤とし量的側面，化学は「物質」を実体的に質的側面でそれぞれとらえているといえる。

#### （２）生物学，地球科学の特徴

柳瀬（1984）は「生き物とは何か」という項目で，「……（略）……，これだけを使っても分からないことが「生物」の中にはたくさんあるのです。ある物があり，それが何からできているか全部分かってしまえばバラしてしまった部品の性質が分かれば，できたものの性質が全部分かるーこれを還元主義といいますがーというと，必ずしもそうではない」と説明している。これは，システムの基盤となる枠組みで，全体の機能を部分という要素からとらえる，つまり，「全体と部分」という考え方である。同様の考え方は，細胞と生物体との関係においても展開されてきた。

また，地球科学の分野では 20 世紀後半の地球観としてプレートテクトニクスが創出された。この考え方は，例えば，日本の地震や火山現象という「部分」の現象を，地球全体の数枚のプレートの運動として説明する。この考え方は，生起する現象を「全体と部分」という視点からとらえているといえる。

以上のことから，生物学と地球科学は，共に「全体と部分」という考え方が共通しており，前者は生命現象を，後者は物質現象を，それぞれ対象としている点が異なる。

### 3.3 理科を構成する領域あるいは区分における人間性

今まで述べてきた，自然科学の分類における各体系の特徴は，理科を構成する領域あるいは区分において異なった人間性の涵養があることを意味するといえる。

そこで，学習内容を次の４種に区分しておくことが一つの考え方として成立する。

① 自然事象の中から，事象を主に関係的，かつ，量的に扱うことを学習内容とする。
② 自然事象の中から，主に事象を実体的にとらえ，かつ，事象の「質」をとらえることを学習内容とする。
③ 主に生命に関する事象について「全体」と「部分」という関係でとらえることを学習内容とする。
④ 地球やそれを取り巻く現象の中から主に地球や宇宙に関する事象について「全体」と「部分」という関係でとらえることを学習内容とする。

### 3.4 理科を構成する領域あるいは区分の変遷

#### （１）「A　生物とその環境」「B　物質とエネルギー」「C　地球と宇宙」という内容区分の考え方

小学校学習指導要領「理科」の内容は，1968（昭和 43）年版～1998（平成 10）年版までの区分は，

「A　生物とその環境」
「B　物質とエネルギー」
「C　地球と宇宙」

であった（角屋，2013，pp.34-37）。

この内容区分は，主に，以下のような考え方をもとにしていると考えられる。

学習者が生まれて初めて接するのは親などの生物である。そこで，まず，「A　生物とその環境」を設定する。

次に，学習者は成長とともにおもちゃなど動くものや事象に接する。そこで，「B　物質とエネルギー」を，さらに成長とともに，月や太陽などの事象に接するようになるので「C　地球と宇宙」，という区分が設定されたと考えることができる。

この内容区分は，学習者の認識を深化・拡大させることを目指していたといえる。

なお，2008（平成 20）年版からは小，中学校で統一されて，内容区分は「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」となった。

#### （２）「第１分野」「第２分野」という内容区分の考え方

中学校学習指導要領「理科」の内容区分は，1958（昭和 33）年版から第１分野と第２分野に分けられている。第１分野は物理と化学の学習内容，これに対して，第２分野は生物と地学から構成されている。内容区分が第１分野と第２分野に分けられているということは，各分野に対する学習者の働きかけ方の違いがあると考えられる。その違いは，以下のように考えることができる。

第１分野の学習内容は，主に，生起する事象が可逆的で実験で何度も繰り返して調べることが可能な事象である。これに対して，第２分野の学習内容は，主に，生起する事象が非可逆的で再現できない事象である。このように，各分野において学習する事象が可逆，あるいは非可逆という特徴を有するので，生徒の事象に対する働きかけ方が異なってくるといえる。

以上のことから，第１分野と第２分野という学習内容の区分は，学習者の事象に対する働きかけ方の違いという考え方にもとづくものといえる。

#### （３）「物理」「化学」「生物」「地学」という内容区分の考え方

高等学校の教科「理科」は，主に，物理，化学，生物，地学という４科目に大別される（角屋，2013，p.38）。教科「理科」が４つの科目に大別されているということは，「3.3 理科を構成する領域あるいは区分における人間性」で述べたように，各科目に固有な事象に対する扱い方があるからと考えられる。

科目「物理」は，主に事象を関係的にとらえ，事象を量的に扱うことをねらいとする。これに対して，「化学」は，主に事象を実体的にとらえ，事象の「質」をとらえることがねらいといえる。

また，科目「生物」，「地学」は，ともに，事象を「部分」と「全体」の関係でとらえ，主に生命に関する事象を扱うのが「生物」で，主に物質に関する事象を扱うのが科目「地学」であるといえる。

以上のことから,高等学校における物理,化学,生物，地学の科目区分は，事象に対する扱い方の違いという中学校の区分の考え方を細分したものと考えられる。

### 3.5 理科の学習内容を構成する考え方と教育的価値

今まで述べてきたことから，理科の内容領域を区分する考え方は，次のようにいえる。理科の内容領域は，自然科学という学問の分類体系をもとに児童・生徒の事象に対する働きかけ方や扱い方の違いという視点での教育的価値をもとに学習内容を構成しているといえる。

## 4. 人間性を育む理科の学習指導

理科の学習指導は，多くの場合，子供が主体的な問題解決を行うことによって人間性を育むことになる（角屋，2013，pp.33-34)。

そこで，子供が主体的な問題解決を行うことについて分析する。

問題解決活動は，一般に，①問題の見いだし，②予想・仮説の設定，③実験・観察方法の立案，④実行，⑤実験・観察結果の考察，⑥振り返り，という場面から構成することが多い。

### 4.1 人間性を育む理科の学習指導の事例

第３学年の「（５）電気の通り道」,「(ア）電気を通すつなぎ方と通さないつなぎ方があること」を例にすると，以下のようになる（角屋，2013，pp.30-32)。

①　問題の見いだし場面

教師は，学習者が問題を見いだすために，観察する現象について，現象どうしあるいは現象と既有知識との間の違いに気づくようにする。例えば，教師は，学習者に回路が見えないようにした装置を提示する。その提示において豆電球が点灯している事象と豆電球が点灯していない事象を学習者が観察し，豆電球が点灯している，点灯していない，という事象の違いに気づく。学習者がこのような事象の違いを見いだすことから,学習者は「どのようにして豆電球が点灯したり，あるいは点灯しなかったりするか」ということを，問題としてとらえる。

②　予想・仮説の設定場面

豆電球が点く，点かないという現象の違いに気づき，この現象の違いが「どのようにして生じたか」について学習者は考える。具体的には,「豆電球が点く，点かない」の違いを説明する原因として，例えば,「豆電球が切れている」あるいは「回路が断線している」などの既習を学習者は想起し，予想・仮説として発想する。

③　実験・観察方法の立案場面

「豆電球が切れている」,「回路が断線している」などの原因のうち，例えば，回路が断線しているという要因を取り上げ，回路の断線が「豆電球の点く，点かない」という現象に影響するか否かを調べる。このため，学習者は実験・観察方法を立案する。具体的には，閉じた回路とそうでない回路をつくり，豆電球が点くか否かを調べる。

④　実験・観察方法の実行場面

学習者は閉じた回路とそうでない回路で実験・観察方法を実際に行う。具体的には,「回路が断線していなければ豆電球が点くだろう」,「回路が断線しているならば豆電球が点かないだろう」という予想・仮説を検討するために，豆電球と導線を用いて，回路が断線している場合と断線していない場合で豆電球が点灯するかどうかを調べる。つまり，自分の考えである予想・仮説を自然事象で具現化し，事象で調べる。

⑤　実験・観察結果の考察場面

実験･観察方法を実行し,結果を得る。つまり,「回路が断線しているならば豆電球は点かず，回路が断線していなければ豆電球は点く」,という結果を得る。

そして，実験・観察結果について学習者は考察

する。考察については，一般的に，以下の２種の場合が想定できる。

１）予想・仮説と実験・観察結果が一致した場合

実験・観察結果は予想・仮説や実験方法のもとにおいて生じる。このため，考察は，まず，実験・観察結果を予想・仮説や実験・観察方法と比較することから始まる。前例で言えば,「回路が断線しているならば豆電球は点かずに，回路が断線していなければ豆電球は点く」という予想・仮説に対して，学習者は次のように考える。

「回路が断線していたので豆電球は点かなかった」という実験・観察結果は,「回路が断線しているならば豆電球は点かない」という予想・仮説と一致している。このため,「回路が断線すれば豆電球は点かないが，回路が断線しなければ豆電球は点く」という予想･仮説は妥当と学習者は考える。

２）予想・仮説と実験・観察結果が一致しない場合

予想・仮説と実験・観察結果が一致しない場合は，予想・仮説と実験・観察方法を見直す。つまり，実験・観察結果が予想・仮説と一致しない原因を，予想･仮説あるいは実験・観察方法や実験・観察技能などと関連づけて，予想・仮説や実験・観察方法などについて検討する。

⑥　振り返りの場面

学習者は今までの問題解決の全ての過程を振り返る。全過程を振り返るため，行ってきた問題解決の全ての過程を見直し,新たな問題を見いだす。そして，学習者が獲得した知識や技能である事象の性質や規則性を，それらを得る手続きとともに獲得する。さらに，これから追究すべき問題を明らかにする。

### 4.2 理科はどのような人間性を育むのか

前述の①～⑥の問題解決過程の分析から，以下に述べる人間性が実験・観察に伴って涵養できると考えられる（角屋，2013，pp.33-34)。

**（１）自己決定と自己責任**

一人ひとりが自然の事象に関して問題を見いだし，問題となる事象に対して説明できる予想・仮説を発想し持つことである。つまり，実験・観察を行う場合は，学習者が事象を説明できる予想・仮説を自分の考えとして持つことが必要になる。言い換えると，自分の考えである予想・仮説が事象の世界で実際に起こるか否かを検討することが実験・観察である。

したがって，事象を説明できる予想・仮説を自分の考えとして持ち，実験・観察を行うことは，自分で予想・仮説や実験・観察を決定することである。そして，自分の考えで実験・観察を行うことは，自己の責任において実験・観察を実行することである。このため，自分の予想・仮説を設定し，実験・観察を実行することは，自己決定と自己責任という人間性が涵養されると考える。

**（２）見つめ直し，予想・仮説や実験・観察方法の変更に伴う謙虚さ，考え方の柔軟性**

実験・観察結果について考察する場合，１）予想･仮説と実験･観察結果が一致する場合と，２）予想・仮説と実験・観察結果が一致しない場合とに分かれる。特に，予想・仮説と実験・観察結果が一致しない場合は，予想・仮説や実験・観察方法や実験・観察技能などと関連づけて，予想・仮説や実験・観察方法などを検討する。この場合，自己の行為の見つめ直しや予想・仮説や実験・観察方法の変更に伴う謙虚さ，考え方の柔軟性が必要となる。

ここでいう考え方の柔軟性は，視点を変換したり，いろいろな側面から考えるという多面的思考を意味する。

また，今までの問題解決活動の全ての過程を振り返る⑥の場面では全過程を振り返るため，行ってきた問題解決の全ての過程を見つめ直すことになる。

### 4.3. まとめ

これまで，理科という教科の成立基盤，理科の本質，理科の本質に基づく人間性，人間性を育む学習指導の構想と展開に関して述べてきた。具体的には，まず，理科という教科の本質について，「実験・観察」と「科学的」というキーワードを抽出し，それらの意味・意義を検討した。次に，理科の区分と教育的価値について，理科の内容領域は，自然科学という学問の分類体系をもとに，児童・生徒の事象に対する働きかけ方や扱い方の違いという視点での教育的価値をもとに学習内容を構成していることを論じた。そして，理科の区分に見る理科で育てたい人間性として，次の４点に整理した。

1　自己決定と自己責任
2　見つめ直し
3　予想・仮説や実験・観察方法の変更に伴う謙虚さ
4　考え方の柔軟性

### 注

1) ここで，実験と観察の関係を考えておく（八杉，1979)。実験は条件を制御して事象を観察する活動である。これに対して，観察は条件を制御しない状態で事象を観察する活動である。したがって，条件制御下における観察が実験であり，条件を制御しない場合が観察である。このように実験と観察には違いがある。しかし，実験は条件制御のある観察で，広い意味で観察と考えることができる。そこで，ここでは実験と観察を分けずに実験・観察と記す。

### 引用・参考文献

端山好和（1998)『自然科学史入門』東海大学出版会.
ヘンペル, K.（1981）黒崎宏訳『自然科学の哲学』培風館，pp.4－51.
池内了（1996)『科学の考え方・学び方』岩波ジュニア新書.
伊勢田哲治（2003)『疑似科学と科学の哲学』名古屋大学出版会.
角屋重樹（2013)『なぜ，理科を教えるのか―理科教育がわかる教科書―』文溪堂.
角屋重樹・石井雅幸・福田章人（2012a)『小学校理科実験・観察の指導』文溪堂.
角屋重樹・猿田祐嗣・松原憲治・後藤顕一・五島政一・鳩貝太郎（2012b)「理科教員養成のコア・カリキュラムのあり方に関する一考察－教職専門と教科専門の架橋を中心に－」『日本教科教育学会誌』35(2)，pp.11-18.
宮原将平（1977)『科学的認識の理論』，大月書店.
柳瀬睦男（1984)『科学の哲学』岩波新書，pp.3-23.
八杉龍一（1979)『科学とは何か』東京教学社.