

理科の評価の問題点と思考力・技能の評価基準の作成

井 藤 芳 喜*

Yoshiki ITOH: Character and Problem of Evaluation on Education of Science, and Forming the Norm for Evaluation of Scientific Thinking and Ability

Abstract : On the evaluation of the education of science it is essential to take not only scientific knowledge but also scientific thinking and ability in laboratory experiments. From the standpoint that evaluation is a form of the training system we consolidated the viewpoint of the evaluation of scientific thinking and abilities in detail, which showed definite viewpoints towards evaluating methods and in problem-making for evaluation purposes.

I 教育評価の意義と目的

評価 (evaluation) とは人物や事象あるいは行為などに価値 (value) を与えることである。教育評価は教育の目的や目標が十分に達成されているかどうかの価値を定めることにある。また評価は目的によって、この価値の与え方が異なってくる。この評価の目的は大きく分けて、次のようなものが考えられる。

1. 教師や生徒が教育の効果を判定し、指導上、あるいは学習上の反省の資料を提供する。
2. 学級の編成、入試選抜等のため、生徒の序列を決定する。
3. 教師が直接の指導と関係なく、学習指導法の適否などを研究するために必要な資料を収集する。*12

従来の評価の考え方はどちらかといえば第2の管理的目的に重点がおかれ、第1の指導的目的は軽視されがちであった。

教育活動においては、教師は常に生徒の実態をとらえ、これをもとに教育計画を立て、効率の高い教育を行わなければならない。また、日々の指導においても生徒の反応に注意し、指導効果を確かめながら授業を進めていかななければならない。一方生徒の方も、自分の学習した内容が十分なものか、誤った考え方をしていないかなどを確かめながら学習していく、このような指導の過程において、教師も生徒も、学習の現状を知るための信号を取り出すはたらきが必要で、これが評価である。取り出された評価結果は直ちに教育活動にフィードバックされなければならない。評価は最終的な子どもの学習結果としての学力を調査する目的にも必要で

※ 島根大学教育学部理科教育研究室

あるが、このような指導的役割にも使用されねばならない。現代的な教育評価の位置づけは、このように、第一に指導的役割に重点がおかれてきている。理科の評価もこのような立場から吟味してみよう。

II 理科の評価の特徴

教育の目的は文化の伝達と創造をとおして、豊かな人間を育成することにある。理科教育では、まず子どもが自然に接し、自然をとおして自然に関する事実や法則を理解すると同時に、これまでに解明されている自然の事物、現象に関する見方、考え方の諸能力を育成し、さらにこれらをもとにして、新しい自然に関する文化を創造する能力を育成することにある。このような理科教育で得られた諸能力は、単に自然科学の分野のみならず、広く人間生活の各分野で活用できる価値ある能力である。従って、科学的に既知の自然に関する事実や現象の理解も必要であるが、自然に親しみ、自然に働きかけて積極的に理解し、解決しようとする態度や、自然について考察し、新しい事実や法則を発見できるような創造的能力を育成することがより重要である。

理科の評価の目標は、このような理科の目標に合致したものでなくてはならない。すなわち、自然に対する関心を深め、自然に積極的に働きかけて物事を解決しようとする態度はもちろんのこと、伝承された文化遺産としての知識を理解するとともに、新しく未知の文化が創造できるような能力も評価の対象としなければならない。しかしながら従来の評価では、既知の自然に関する知識やその理解に重点が置かれ、科学的態度や問題解決上の諸能力の評価は軽視されがちであったといえる。

理科教育においては、他の国語や数学教育と異なって、問題を解決する場面に観察・実験等の実技を伴った場面が多い。従って、諸能力も実技を伴った能力が多く、これに関する評価は、他の教科のように単純にはできない点がある。しかるに、従来の評価ではこの点の評価をあまり行なわないで、多数を能率よく評価できる知識・理解と、ある程度の集団評価の可能な能力の一面を評価していたにすぎない。加うるに教師は、このような知識・理解の内容を伸ばすことが学力の増進と考え、この点に力を注いできたように思われる。

以上述べてきたように、理科教育においては知識・理解の面だけでなく、新しい文化を創造するに足る諸能力に重点を置かねばならない。このことはすでに19世紀末から H. E. Armstrong によって提唱され、わが国でも大正初期に棚橋源太郎、大嶋鎮治などによって強調されてきたことで、目新しいことではない。しかし、今日でも未だこの点が強調し続けられているのは、必要は承知でも実行されない状態であるといえる。その主な原因が、これを評価する適切な方法が確立されていなかったことにあるといつてよい。^{*34}

昨今、観察・実験などの技能的面の評価について、種々の実例が示され、しだいに利用されていることは喜ばしいことである。

Ⅲ 理科の評価の問題点

理科の評価には種々の問題点がある。これらについて、先に「理科教育の研究」*5や「現代理科教育法」*6でも述べてきたが、これらを別の立場からまとめてみると、次のような特徴が考えられる。

3.1 科学的思考力の評価

3.1.1 思考力評価の困難性

思考力は心理的・内在的のものであり、これを直接評価することは今のところできない。そこで外部から適当な刺激を与え、これによって引き起こされる行為や行動を分析し、間接的に評価する。*7この刺激が生徒に与える問題であり、課題である。行為の中には言語で表現できるものもある。すなわち理解の過程に用いられる思考はペーパーテストの結果を分析してある程度評価できる。このようにペーパーテストの可能なものは、できるだけこれを用いる方が能率的である。しかし、行動を伴う能力は、生徒の起こす行動も合わせ観察しなければ正確な評価は期待できない。

評価のために与える問題や課題は、目的の思考力を十分に評価できるものでなければならない。生徒の起こす行為や行動は、できる限りあらゆる方向から観察して、判断の資料を多分に収集することが必要であるが、他方評価の基準に合せて、目的の事項のみの達成を検討することも必要である。前者は指導上の生徒の思考の方法を探求するときに必要なが、後者は教育の目的に合致した思考がなされているか否かを検定するとき用いられる。

指導上の評価の重要な点は、生徒の行為・行動を早急に分析して、その結果を指導に反映させるのであるが、生徒の反応の形式と思考の形式との関係を見出すことが先決である。しかもその結果を短時間のうちに処理し、次の指導にフィードバックさせる教師の能力が要求される。いくつかの反応のパターンによって、生徒の思考の内容が定まれば、コンピューターを用いたレスポンスアナライザー等で、信頼度の高い評価を行なうことができる筈であるが、現在までのところ、ごく初歩的な研究しかなされていない。*8

3.1.2 創造的思考力の評価

既習の事実や法則等をもとに思考する批判的思考力 (critical thinking) はある程度客観テストで評価することが可能である。しかし、学習の範囲を超えたしかも生徒にとって未知の分野での思考、すなわち創造的思考力 (creative thinking) は、教師でさえ予想もできないので、客観的な評価問題を作成することは困難である。しかし、生徒の自由な活動や討論あるいは論文体テストの中などに、教師の予想さえもつかない創造的思考力を発見することができる。しかし、生徒の経験は必ずしも豊かでないので、科学的には正しくない解答をすることがある。

日常の授業では、教師は目的の教育内容の消化を急ぐあまり、旺盛な創造的活動がなされているにもかかわらず、かえりみないことがしばしばある。しかし、これらの思考力こそ重要な評価の観点としなければならない。従来、よく利用されている能率の良い客観テストは、批判的思考力のみを評価し、創造的面の評価がなされなかった欠点がある。しかも、創造的思考を行うための基礎的条件としてはある程度の批判的思考力を身につけることが必要であるので、先ずこの面を評価の対象としていたということができる。

一般に創造的思考とは、過去の経験や知識から、全く新しい事実や法則等を生み出す思考をさすが、学校教育で問題にする創造的思考では生徒にとって全く新しい場面であれば、たとえこれが既知の事実や法則であっても差支えない。また、限定された経験や知識、あるいは仮定を前提とした思考であれば、起り得ない事象を取扱っても、思考力の育成になる。従って、創造的思考力を評価するためには、生徒にとって全く新しい問題場面を用意して、既習の能力により解決できるか否かを評価するようにすればよい。従来の教育では理科の内容を伝達することに主眼が注がれており、能力を他の内容に適用すること自体が、指導内容の範囲を逸脱した行為だと考えられている。この考え方を改めないと、創造的思考力を評価する問題作成に限界があると考えてよい。*9

3.2 科学的技能の評価

理科の授業では、観察や実験等の技術や技能が要求される。技術は人から人へ伝達が可能であるから、評価もことばや文字をとおして可能である。しかし複雑な技術は表現も簡単でないので部分的内容で評価することになる。技術が生徒の身についたものが技能である。技能は簡単にペーパーテストで評価することができない。学習の場においては、教師は生徒の行動を観察して、これを記録し、後刻これらを総合して評価できるが、学習後に学習と離れて、これを改めて評価しようとするときは、類似の作業を課して評価しなければならない。これには大変な労力と時間が必要なので、一般には実施されていない。しかし、入試等の総合評価においては何らかの方法で、これを実施することが望ましい。

技能の評価は本来直接作業をとおして課すべきものであるが、これを間接的に評価することもできる。例えば技能と密接に関係ある知識はペーパーテストで評価できる。これらの知識が技能と相関の高いことを予め検定しておけば技能の評価に代えることができる。しかし、あまり乱用すると、実技なしの知識を強調することになるので注意を要する。また別の評価法として簡単な実技を課した後、これによって得られた測定値や観察事項あるいは結論等をペーパーテストで表現させ、技能が身についたか否かを評価することもできる。

3.3 評価の方法

指導的機能を有する評価問題は、教師にとって、生徒がどのように教育内容を理解している

か大体の検討がつけば十分である。教師はこれをもとに次の指導内容や指導方法にこれを反映させる。従って、学習後に行う総合的学力評価などと較べて、評価方法が異なってくる。特に指導前のテストにおいては、生徒全体の学習に必要なおおよその傾向がわかればよいので、信頼性、妥当性を厳密に考える必要はない。また指導の途中でも、生徒のおおよそ何%くらいが理解しているかを知る程度でよい。例えば「〇〇についてよくわかった者は手をあげなさい」というような質問は、指導的評価では生徒の正直な回答を期待して、可能であるが、最終的評価では、生徒に良い点を取りたいという欲望が働いて、正直な回答を期待できない。また、思考の様式が不明の場合に、A君の次にBさんと、それぞれ個々に問題解決の方法を発表させて確認することができる。このとき、BさんはA君の発言をもとに思考様式を変更して発表していることもあるが、指導的評価では、これらを厳密にチェックする必要はなく、逆にこのような教育効果をBさんだけでなく、他の生徒にも期待しているわけである。

このように指導における評価は、生徒の反応をみながら与えるべき問題や課題を変更できるので、予め問題の妥当性や信頼性を検討しておく必要はないが、評価の具体的観点は明確にしておかねばならない。また、与える問題や課題を修正して課した結果得られたデータは、逆に妥当性・信頼性の高いものが期待できる。技能などの総合評価を指導をとおして行う場合には、ある程度指導が完了した後に、一斉に同一条件で問題なり課題を与えてデータを得れば適切な評価を行うことができよう。

IV 評価の目標の設定

知識の評価では、その内容が明確で、詳細な評価基準はあえて作成するまでもなく、これまでも適格な評価問題が作成されている。指導的評価でも、ペーパーテスト等で比較的簡単に評価できる。科学的能力に関してはその内容が漠然としていて、評価目標が明確でない。

次に示す項目は科学の研究方法をもとに各種の能力を分析し分類したもので、科学的思考力や観察・実験の技能の評価の観点をさらに細かく分類したものとして、評価の基準とすることができる。思考力と技能とは評価の観点は異なるが、子どもの活動としては両者が融合して起こるので、この分類ではあえて区別していない。

この表の作成には M. A. Burmester や O. W. Cadwell, F. D. Curtis の分析、さらに AAAS の「科学の方法」等を参考にした。^{*10,11} 各項目の設定は主として Burmester の分類表を参考にした。彼女はこの項目作成を批判的思考力を評価する客観テスト作成の基準として掲げているが、新しく作成した基準は必ずしも批判的思考力に限定する必要はないし、客観テストに限らず、いかなる評価法を用いても、評価の基準とすることができる。各項目は10進分類法により100個の項目を設けたが、これは便宜上それぞれを10の項目にしたのであって、不必要に細かく分割したものやその逆もあり得る。しかし、一応考えられるあらゆる能力を網羅したつもりであり、科学的思考力や技能を評価する基準の観点としてこれを示した。

1.00 観察する能力

- 1.01 変化の程度を長時間にわたってみることができるか。
- 1.02 既知の事象と違った重要な事象に着目できるか。
- 1.03 補助的手段（薬品・器具）を使って、詳しく見ようとしているか。
- 1.04 多くの事項を観察することができるか。
- 1.05 より細かに観察ができるか。
- 1.06 目だけでなく、他の感覚も動員しているか。
- 1.07 2つの事象の間の関係に着目できるか。
- 1.08 観察に基づく事実と推論による事項とを区別できるか。
- 1.09 定量的に観察できるか。
- 1.10 部分的観察が全体と関連づけられているか。

2.00 分類する能力

- 2.01 分類の観点が立てられるか。
- 2.02 観点に従って、事象が整理できているか。
- 2.03 整理した結果をもとに分類できるか。
- 2.04 いろいろな組分けの中で、どの観点を優先させたらよいかを判定できるか。
- 2.05 多くの類似したものの中から共通性が見出せるか。
- 2.06 共通性に従って分類できるか。
- 2.07 大・小、上・下などの関係に従って分類できるか。
- 2.08 ある支えられた分類表に従って分類できるか。
- 2.09 ある原理に基づいて、系列化できるか。
- 2.10 事象を統一的にみることができるか。

3.00 実験を計画する能力

- 3.01 実験の目的を十分把握できているか。
- 3.02 実験に必要な材料を列挙できるか。
- 3.03 実験に必要な道具や材料を集めることができるか。
- 3.04 実験器具の使用の限界を考慮できるか。
- 3.05 実験の手順を示すことができるか。
- 3.06 何を変化させ、何を変化させないかを列挙できるか。
- 3.07 変化させる要因の範囲を定めることができるか。
- 3.08 実験に必要な器具を整備できるか。
- 3.09 測定の精度を考慮した実験計画がたてられるか。
- 3.10 既習の知識を十分活用した計画が立てられるか。

4.00 測定を正確に行う能力

- 4.01 測定器の調整がうまくできるか。（天秤の均合等）

- 4.02 測定に際して0点や端の点をうまく定めることができるか。(長さの測定で端を正しく合わせる。メニスカスを考慮して体積を測定する等)
- 4.03 速やかな測定ができるか。(気温の測定が速やかにできる。変化している測定値の瞬時の測定ができる等)
- 4.04 測定値が収斂しているとき、定常になるまで待って測定する。(液温の測定に際して、液を攪拌するか。定常になるまで待って測定するか等)
- 4.05 メーターの針に垂直に目の位置を置いて目盛を読むか。
- 4.06 精度に合った測定ができるか。(精度に合わせた桁数を求める。1目盛以下の目盛を分量で正確に表現する等)
- 4.07 誤差を考慮して測定できるか。
- 4.08 副尺の使用ができるか。
- 4.09 測定器に備わっている測定の条件を考慮して測定するか。
- 4.10 ただ1度だけでなく、何度も測定を繰返して、正確さを確かめようとするか。
- 5.00 器具を正しく使用する能力**
- 5.01 器具を使用できる状態に整備できるか。
- 5.02 器具の使用の順序が説明できるか。
- 5.03 器具を正しく操作しているか。
- 5.04 器具は使用の限界を正しく守っているか。
- 5.05 器具をじょうずに操作できるか。
- 5.06 器具を速やかに操作できるか。
- 5.07 器具の手入れができるか。
- 5.08 器具の特殊な使用法を心得ているか。
- 5.09 器具を使って正しい観察や正確な測定値が出せるか。
- 5.10 器具の使用後、後始末がうまくできているか。
- 6.00 データを解釈する能力**
- 6.01 表やグラフを読むことができるか。
- 6.02 データの精度を評価できるか。
- 6.03 データから得られた事実とデータから導かれる推論との区別ができるか。
- 6.04 データの限界を認識できるか。
- 6.05 データをもとにして推論できるか。(外挿, 内挿等)
- 6.06 データをもとにある関係を導くことができるか。(比較, 傾向, 因果関係等を導く)
- 6.07 測定から得られた証拠と, 間接的に得られた証拠との区別を認識できるか。
- 6.08 仮説や結論に含まれる仮定を認識することができるか。
- 6.09 データをもとにして, 一般的傾向を導くことができるか。
- 6.10 データをみて, 因果関係を正しく表現できるか。

7.00 条件統制を行なう能力

- 7.01 条件統制の必要性を認識しているか。(条件統制のないデータの不備を認識しているか)
- 7.02 測定値に影響のある因子と影響のない因子との区別ができるか。
- 7.03 起こり得るあらゆる因子を列挙できるか。
- 7.04 測定値に大きく影響を及ぼす因子とあまり大きく影響を及ぼさない因子を推定できるか。
- 7.05 変化させる因子と変化させない因子(コントロール)の区別がつくか。
- 7.06 目的に応じて、必要な因子について実験が計画できるか。
- 7.07 3個以上の変数に対して、2個のみを変化させ、他を変化させない実験を計画できるか。
- 7.08 1つの因子のみを変化させ、他の因子を変化させないで、実験計画ができるか。
- 7.09 止むを得ず2つの因子のみを変化させて測定した値と、1つのみを変化させて測定した値との区別がつくか。
- 7.10 変化させる因子が連続的に変化できる場合、これを任意の値に固定できるものと、できないものがあることに気付くか。

8.00 推理する能力

- 8.01 事実と推理から得られた仮定とを区別できるか。
- 8.02 数個の条件を満足する新しい仮定を推理できるか。
- 8.03 事実に即さない仮定を設けることができるか。
- 8.04 条件に即して、起こり得るあらゆる場面を想定できるか。
- 8.05 仮説と科学的結論とを区別することができるか。
- 8.06 傾向をもとにした推論をすることができるか。
- 8.07 データをもとに、外挿、内挿をすることができるか。
- 8.08 不十分なデータにより導かれた結果はあまり重要視しないか。
- 8.09 観察と観察から導かれる推論とを識別できるか。
- 8.10 結論と結論から導かれる仮定とを区別することができるか。

9.00 仮説を認識する能力

- 9.01 単なる仮定と仮説の区別ができるか。
- 9.02 いくつかの事実から、新しい仮説を構成できるか。
- 9.03 いくつかの事実や仮定から、全く別の仮説を構成できるか。
- 9.04 仮説と結論の違いを認識できるか。
- 9.05 仮説が実証されないとき、いさぎよく仮説を捨てるか、仮説の立て直しをすることができるか。
- 9.06 仮説の試験性を認識できるか。
- 9.07 事実と仮説との区別ができるか。
- 9.08 条件を変えることにより、様々な仮説を立てることができるか。
- 9.09 簡単な推理により、不備の仮説を棄却することができるか。

9.10 多くの仮説を立てた場合、これを検証することが容易な順序に並べることができるか。

10.00 モデルを形成する能力

10.01 事実とよく似たモデルを形成することができるか。

10.02 事実とモデルを対応させることができるか。

10.03 モデルにより新しい事象を推理することができるか。

10.04 モデルにより新しい仮定を推理することができるか。

10.05 事実に合わないモデルを修正することができるか。

10.06 原子次元や宇宙次元の物体を人間次元の物体に対応させて、比較思考することができるか。

10.07 複雑な事象の中から、ある特定のもののみを引出して、それでモデルを形成することができるか。

10.08 モデルと事実とを区別することができるか。

10.09 他人の作ったモデルで、事実を合理的に説明できるか。

10.10 抽象的な現象を具体的なものに置き換えて説明できるか。

具体的評価問題や作業課題を作成するに当っては、指導の内容と照らし合わせて、これに見合った項目を見出し、具体的評価目標とすることができる。

お わ り に

本研究では指導的立場から理科の評価を考えるときの問題点を指摘し、科学的思考力や技能を評価する際の細かい評価目標を作成した。今後の研究では具体的理科の教育内容をもとに実践的な評価内容や評価問題を作成することである。筆者は教育実践の経験が浅いので、この方面の権威者の援助を賜りたいと考えている。

最後に、評価の観点の細項目作成に際し、ご協力賜った、島根県立農林高校教諭、西田雄行氏、松江市教育委員会指導主事、白枝清氏に対し深く感謝の意を表したい。

要 約

理科の評価では科学的知識のほか科学的思考力や観察・実験における技能も評価しなければならない。教育評価を指導の一環として取扱う立場から理科の評価を考えると、科学的思考力、技能等の評価の必要性および、これらの評価方法の問題点を明らかにした。また、科学的思考力や技能等の評価の観点を細かく分類して、評価方法や評価問題作成等を検討する際により具体的評価観点の項目を示した。

参 考 文 献

1. 橋本重治 教育評価法総説 1959 (金子書房)
2. 橋本重治 `現行評価法の問題点、理科の教育 14 (1), 9 (1965)
3. 棚橋源太郎 新理科教授法 1913 (東京宝文館)
4. 大嶋鎮治 理科教授の原理 1920 (同文館)
5. 井藤芳喜 `理科の評価の研究、理科教育の研究 教員養成大学学部教官研究集会理科部会編 第3章 第6節 1 248頁 1969 (東洋館)
6. 伊神大四郎編 現代理科教育法 小学校編, 中高校編 第7章 1972 (明治図書)
7. 井藤芳喜 `評価の観点からみた科学的思考、理科の教育 17 (2), 13 (1973)
8. 滝沢武久 武村重和編 理科研究授業細案 6. 評価を主題にした研究授業 6頁 1972 (明治図書)
9. 木村仁泰編 理科教育学原理 第5章 131頁 (明治図書)
10. M. A. Burmester : "Behavior involved in the Critical Aspects of Scientific-Thinking" Sci. Education. 36, 259 (1952)
11. O. W. Caldwell, F. D. Curtis : Everyday Science p. 610-614 (1943)
12. 橋本重治 学習評価の研究 1971 (図書文化)
13. 井藤芳喜 `場面と目的に応じたペーパーテストの作成、理科の教育 17 (12), 13 (1973)
14. 大塚誠造, 小林学, 武村重和編 現代化理科指導事典 第1部 第7章 86頁 1972 (明治図書)
15. 井藤芳喜 理科の評価についての若干の考察 島根大学教育学部紀要 (教育科学) 1, 1, (1967)