

科学的思考における「成長によるエラー」発生メカニズムの解明

The examination of the cause of an increase in error with age on scientific thinking skills

代表研究者 北九州大学, 福岡教育大学非常勤講師 青木 多寿子
A Part-time Instructor, Kitakyushu Univ. and Fukuoka Univ. of
Education
Tazuko Aoki

These studies examined the cause of an increase in error with age on scientific thinking using weight addition tasks. Some developmental data on weight addition tasks has shown a U-shaped growth curve. In experiment I, a total of 234 students aged from ten to seventeen solved problems with paper and pencil. To ensure students considered more than just their initial reaction, the format listed all possible choices to answer. The result suggested a half of students under high school did not use scientific theory even though all possible answers had been listed. In experiment II, a total of 169 students aged from ten to fourteen were tested to examine the effect of other people opinions on their judgment. The results were as follows; (1) students under fourteen did not use scientific theory but naive theory (natural common sense reasoning). (2) Some students over fourteen were still affected by naive theory and even several high school students based judgments on naive theory. Due to the strong effects of naive theory, the need to consider the relationship between positive aspects of naive theory and the superiority of human thinking over artificial intelligence were discussed.

研究の目的

人は物を考える時, 多くの知識を用いて推論する。この時, 人がコンピュータと違うのは, 人が用いる知識は, 命題, 形式的な知識ではなく, 自ら体験することによって体得した体験的知識, 熟達することによって獲得する, いわゆる「こつ」や「感」などの運動感覚的など, 文字や言葉には表現できない知識を多く用いること, 社会規範, 習慣, 文化などの影響を無意識のうちに受けていることが挙げられる。そして, このような特性のため, 「個性」が生まれ, 「人間らしさ」が生じていると言える。人間ゆえに生じるミス, いわゆる「ヒューマン・エラー」が生じるのも, 人間のこの思考特性のためである。そこで本研究は, 機械のように単一でなく, 多種多様で, しかも時にはミスをする人の思考特性の発達差を検討することにした。

「重さ」は目に見えない量であるため, 知覚するには筋感覚を通すしかない。このことに関して, 数学者ポアンカレが述べていることを要約すると次のようになる。つまり, 人間の筋感覚的知覚では, 例えば, 10gのAと11gのBは区別できない。また, 11gのBと12gのCも区別できない。しかし, 10gのAと12gのCの間には差があると感じたとする。すると, 人の知覚の世界では $A=B, B=C, A<C$ という式が公式としてなり立つ。ところが人は, $A=B=C$ なのに, 同時に $A<C$ という公式が成立つとは信じられない。しあがって, この不一致を解消するため, AはBと, BはCと異なるのだが, 我々の感官が不完全であるためにそれらを識別することができなかったと仮定する。だから, $10g < 11g < 12g$ という数学的連続の概念は理知の力で創造された結論するよりしかたがない (Poincaré, 1902, 邦訳,

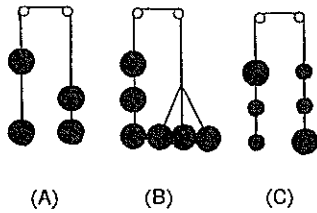


図 1. 重さ判断課題

pp. 44-45, 著者要約)。このように、「重さ」という物理的な量は、重さを「経験的」に知覚する筋力感覚とは切りはなせない関係にある。そして人は不完全な感官を通した「経験」から、重さについての直感的な理屈（素朴理論）を持っている。このようなことから重さを判断させる課題は、記号を論理的に操作することが主体である論理数学的な科学的思考（科学理論）と日常経験的で直感的な理屈（素朴理論）との関係を検討しやすい課題といえる。

本研究で用いる重さ判断課題とは次のようなものである。形をさまざまに変化させたおもりを滑車にかけてつりあわせ、おもりがつりあうかどうかを問う（図 1）。その際、滑車の左右でおもりの重さの総和が同じなので、「つりあう」という解答が科学的には正解となる。この課題の正答率を幼児から中学生で比較すると、5年生ぐらいまでは順調に成績が伸びるけれども、6年生ぐらいになると急に成績が悪くなる。さらに、誤った判断の理由を尋ねてみると、6年生以降では、「下にあるおもりは上にあるおもりにより重さが重くなる」「引張られる面積が増えると引力が強くなる」「下にかたまっていると重心がかかる」「シーソーに乗った時、後ろに乗った方が重くなるように、同じ重さでも下にかたまった方が重くなる」など、「引力」「重心」「シーソー」など、他の概念から因果関係を類推するような、直感的で日常経験的な素朴理論が判断に影響しているために誤る可能性が示されている（青木, 1988）。これらの誤りは、6年生以降で能力が退化したために生じたのではなく、成長したためにかえって誤ったのだと考えられる。

本研究は、科学的思考における、この成長によ

るエラーの発生メカニズムを、科学理論と素朴理論の関係で説明し、その発達差を検討することをおして、人の思考特性を示すことを試みた。その際、本研究では小学校 6 年生が 5 年生より多く誤るのは、経験的、直感的に判断し、科学理論を思いつかないからではないかと考え、①教示の際に、可能なすべての選択肢について考えさせる、②科学理論と代表的な素朴理論を他者の意見として提示して評価してもらい、その影響を調べる、という二つの方法を用いて検討した。

研究の経過

本研究の二つの実験で用いられた課題は、図 1 に示す。これらの課題は対辺に滑車のついた小テーブルにおもりをつるすもので、つるすおもりのペアの特徴は次のとおりである。つまり、(ア) おもりの重さは同じであるが、おもりの間隔が異なるペア、(イ) 一つずつのおもりの重さ、紐の重さは同じであるが一方は縦向き、他方は横向きに並んでいるペア、(ウ) おもりの種類が大小 2 種類あり、大きいおもりの位置が異なるペア、である。

課題は質問紙で一斉に調査したが、回答を書いてもらう前に、実験者が実際に課題を構成してみせ、おもりが動かないように紐を固定したまま課題を提示し「この手を離すとどうなると思うかを答えて下さい」と教示した。

実験 I 小学校 4 年生から高校 2 年生までの 7 学年（中 3 は除く）の児童、生徒、合計 234 人を被験者とした。高校は県内の中堅進学高であった。本研究では、「(ア) が下がる」「(イ) がさがる」「(ウ): つりあう」という、課題のすべての選択肢について「ありうるか」「ありえないか」を判断させ、その理由を記述させた。すべての選択肢について判断理由を記述させたのは、自分の好きな選択肢のみに注目して、直感的に判断するのを防ぐためである。この方法により、被験者は、科学理論、素朴理論の双方について、その可能性を吟味したと考えられる。

結果と考察 先行研究で示したように、科学的には重さは位置によって変わらないのに、「下にあるものが重く感じる」という素朴理論が存在す

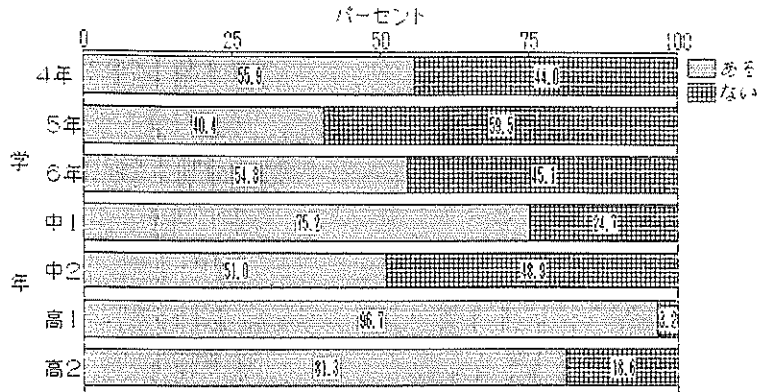


図2. 「つりあう」可能性について

表1. 被験者に提示した他者の意見

(A) 課題	① (ア) が下がると思う。下のおもりの重さが糸にかかるから。
	② (ア) が下がると思う。糸が長いと重さが伝わって重くなるから。
	③ (イ) が下がると思う。なるべく二つのものが寄り集まった方が重くなるから。
	④ (イ) が下がると思う。シーソーに乗った時、前より後ろに乗った時の方が重いと同じ理由。
	⑤ つりあうと思う。右と左ではおもりの重さが同じだから。
(B) 課題	① (ア) が下がると思う。全体が細長いから。
	② (ア) が下がると思う。おもりがだんだん下に重なっているから。
	③ (イ) が下がると思う。横向きにつながって幅が広がっているから。
	④ (イ) が下がると思う。シーソーに乗った時、前より後ろに乗った時の方が重いと同じ理由。
	⑤ つりあうと思う。右と左ではおもりの重さが同じだから。
(C) 課題	① (ア) が下がると思う。上に重たいのがあるから。
	② (ア) が下がると思う。上の重さが下に掛かるから。
	③ (イ) が下がると思う。思いのが下にあると重さが下になるから。
	④ (イ) が下がると思う。シーソーに乗った時、前より後ろに乗った時の方が重いと同じ理由。
	⑤ つりあうと思う。右と左ではおもりの重さが同じだから。

る。したがって、課題の三つの選択肢のうち、(ア)は、科学理論によっても、素朴理論によっても選ばれないもの、(イ)は素朴理論によって選ばれるもの、(ウ)は科学理論によって選ばれる正解となる。そこで、正解を選んだ人の比率を示すと(図2)、高校生、中1生は「つりあう」可能性があると答えたもの、つまり科学理論で考えている被験者が他の学年に比べて多いこと、他の小、中学生は、50%前後しか「つりあう」と考えておらず、科学的な正確について考慮する機会を与えても、半数はその正当性に気づかないことがうかがえる。

実験II 小学校5年生から中学2年生までの5学年、合計169人の児童を、被験者とした。この実験は三つのセッションから構成されている。つまり、①被験者に自分の考えを解答してもらい、②各課題について、先行研究で得られたもっともらしい誤反応への理由づけを1課題につき五つずつ示し(表1)、その意見について一つずつ、賛成か反対かを評価させる。③もう一度、自分自身の意見を書いてもらう、の三つである。

結果と考察 他者のもっともらしい、意見の影響を検討するため、三つの課題を通して①一貫して正答を貫いた人、②誤答の意見を変えなかった

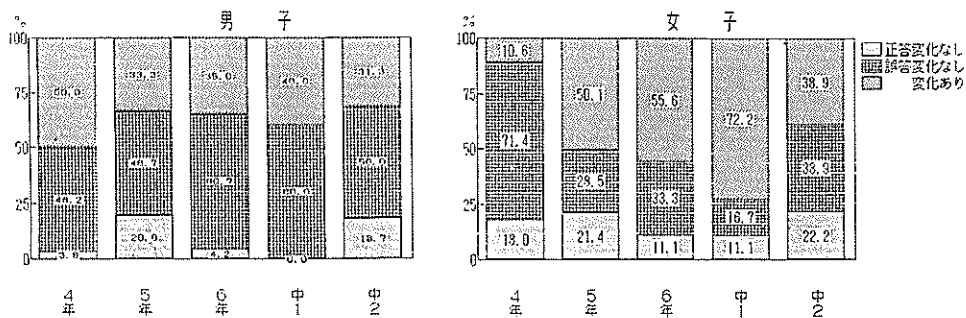


図3. 意見の変化

表2. 被験者の意見の変化の動向

	4年		5年		6年		中1		中2	
	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子
(誤→正) 変化方向	5.0	0.0	0.0	2.0	4.3	0.0	0.0	1.7	12.8	4.7
(正→誤) 変化方向	10.0	4.5	22.2	19.0	7.2	11.1	11.1	12.5	12.8	2.3
(誤→誤) 変化方向	11.3	4.5	2.2	0.0	8.7	9.2	6.7	7.1	8.5	9.5

人、③他者の意見に影響されて意見を変えた人、の比率を示したのが図3である。このグラフを見ると、男子では学年に関係なく50%以上の人、4年生以上では65%の人が、他者の意見に影響されず、とにかく自分の意見を貫き通したことがわかる。これに対し、中学2年生を除く女子は、年齢があがるとともに自分の意見を変えやすい。このことから、男子においては、提示された他者の意見が、直感に一致した素朴理論であろうと、科学的に正しい科学理論であろうと、とにかく自分の意見を変えにくいこと、女子においては、中学2年生を除き、年齢の増加とともに他者に影響されやすくなることわかる。

次に、意見を変えた被験者のうち、意見を変えたさせた課題についての変化の方向を示したものが表2である。この結果、中学2年生になると直感的な素朴理論に影響された人と同じくらい科学理論に影響された人もでてくるが、それ以外の学年では科学的理論にはほとんど影響されないことがわかる。このことから、重さ判断課題においては、素朴理論と科学理論の両方を同時に提示すると中学校2年生以前では素朴理論の方が受け入れやすいこと、科学理論は提示しただけでは受け入れ

にくいことがわかる。

研究成果

本研究の結果より、小中学生においては、①科学理論は判断の際にすべての選択肢を提示しただけで正しいものとして認識される訳ではない、②「科学理論」「素朴理論」他に「自分の理論」というものがあり、男子においては、他者の意見がどうであろうと自分の理論を変えにくい、③中学2年生以前の段階では、直感的、実感的な素朴理論の影響を受けやすい、④中学2年生でも、素朴理論に影響される学生があり、高校生でも全員が科学理論の正しさを認めるわけではない、ことがわかった。

本研究から、「成長によるエラー」に関し、次のことが示された。小学校高学年から中学生にかけて、自分なりの「理屈」(自分の理論)で重さを判断しようとする。その時、理論の形成に大きく影響するのは、科学理論でなく自分の日常経験から獲得された、体験的、実感的な素朴理論である。こうして、素朴理論に影響されて自分の理論を作った者は、それが日常経験や体験に一致するため、科学理論(「つりあう」)の選択可能性を示されても、その正当性に気づかない。科学理論が提

示され、科学理論の方向に自分の理論を変えたのは、中学校2年生の1部だけであり、このことは、このぐらいの年齢になると「自己の経験や体験」「自分の理論」を、主観的にではなく、客観的に評価できるようになることを示しているのではなかろうか。

今後の課題と発展

一つの論理命題に関しては一つの解決方法しかない機会の思考に対して、決して論理的ではない人の思考は、「論理的でない」という、ある意味での欠点とともに、「柔軟性」「多様性」に富むという、機械にない優れた側面を持つ。ところで、本研究から小中学生においては素朴理論の影響力がかなり強いこと、中学生、高校生になっても、必ずしも全員がその影響から免れられないことがわかった。このことから、論理的な思考が要求される場面においてさえ、科学理論よりも、決して論理的とは言えない素朴理論の方が、日常の人間行動や思考をうまく説明できる理論である可能性が考えられる。とすると、日常生活において観察される人の思考の「柔軟性」「多様性」などの、機械にない「優れた側面」は、この素朴理論と関係がある可能性が示唆される。このように考えると、今後は素朴理論のポジティブな側面、機能をもっ

と検討する必要性が考えられる。例えば、記号の論理操作だけでものを考える機械は、時にはとんでもない間違いをするが人間は機械のようなとんでもない間違いをしない。これは、素朴理論には大きなミスを防ぐという機能があるとも考えられる。さらに、機械の思考は、論理演算に支えられているので、一つの命題には一つの論理プロセスしか存在しないが、素朴理論は、多種多様な個人々の経験に支えられているので、alternativeでflexibilityが高い問題の解決方法が作りだされ、そのために臨機応変性が生まれるとも考えられる。今後は、素朴理論と人の思考の優秀性の関係を直接検討するような研究が必要である。

発表論文リスト

- 1) 青木多寿子(1993): 重さ判断課題における Scientific thinking 研究 (III)一個人の意見への科学理論、素朴理論の影響について一、日本教育心理学会第35回総会発表論文集、名古屋大学。
- 2) 青木多寿子 (1994年度日本教育心理学会発表予定): 重さ判断課題における Scientific thinking 研究 (IV)一個人の意見へ影響する他者意見の影響の発達差一、発表準備中。
- 3) T. Aoki: How scientific theory influences with individual own theory: A developmental research in basic scientific physical tasks (仮題)、準備中。