

大学生の回答一貫性に見るルール帰納および演繹の状態 —植物の光合成を題材に—

荒井 龍 弥

Estimation of logical deduction and induction from consistency of responses from university students
— Using plant photosynthesis as a subject matter —

ARAI Tatsuya

This study examines the reasoning (induction and deduction) of university students. Students were asked questions were about plant photosynthesis. No more than 30% of students consistently answered the questions correctly. The abstraction level which was required for the questions differed from that of the subjects' actual answers.

【問題】

教授学習過程研究において、学習前に学習者が誤った法則を保有、利用しており、それらは通常の授業によっては容易に修正されない現象が報告されている。細谷(1970)はこれらの誤った概念・法則理解を「ル・バー」と呼んだ。一方、1980年代に入り、こういった誤りの様相が主として思考過程の特徴という点から認知心理学でも注目され始め、前概念、概念バグ、誤概念、素朴概念などと呼ばれ、科学領域を中心としたさまざまな知識領域において、それらの存在をめぐり研究が見られた。

これらの研究は科学教育の見地から、学習者の持つ個人的な理論（自らの断片的知識や経験に基づき生成したという成立過程から「自成理論」と呼ぶ）や、モデルを再構成していく過程を問題とする研究（「構成主義」と呼ばれる）とも結びついた。同時にこれらの一連の研究は、単一ないし少数の課題によって学習者の理論や

モデルの保持、修正状況が検討されることにより、いわば適用範囲の限定なしの議論が行われるようになってきた。この傾向を受け、山岡(2003)が「(誤概念は)調査用の一連の問題によって誘導される」と批判するなど、教授学習過程研究が対象とすべき場である授業から遊離する方向に展開されてきている。また同時に、「誤概念は、成長と共に修正されていくものであり、誤りを修正する意図的教育活動は必要ないのではないか」という批判もなされた(斎藤、2002)。

そこで本研究では、1～2題程度の課題に対する回答結果だけをもとに判断基準を推測するのではなく、より多くの関連事例に対する判断を同時に調査することにより、複数事例への適用判断基準としてのル・バー保持の有無を検討するとともに、大学生の論理操作上の誤りがこれらの反応に影響しているか否かを検討する。

以下の理由からこの検討が意義をもつと判断した。すなわち、小学生と大学生の間の個別知

識量は異なると予想できるにも関わらず、荒井(2004)では小学生も大学生もほぼ同様の割合で誤った判断基準を持っていると考えられる知識領域があった(例えば四角形の面積判断、質量保存判断など)。従来の教育心理学においては、この現象を知識の領域固有性や状況依存性などの概念により説明しようとする。すなわち、大学生に至るまで、関連領域の知識量には変化がないため、誤ったままである、ということになるのである。しかしながら、学校教育においては、ある程度の一般性や適用可能性をもつ法則を教授することが大きな目標の一部である。これらの目標を学習者に十分かつ効果的に実現してもらうためにはどうすればよいかという要請に対して、知識の領域固有性、状況依存性という説明は十分に答えることができない。そこで本研究では論理操作可能性という観点から、この問題に切り込むことにした。

そこで、小学生が示す誤りと大学生が示すそれとでは判断基準使用に至る操作過程が異なるという仮説を設定する。例えば、小学生は少数の事例群に関する知識しか持ち得ないゆえに、それらから帰納される法則を利用して判断せざるを得ない。それゆえに事例から帰納された判断基準に依存する割合が高いのではないか。同時に、この帰納過程の誤りから、誤った判断基準を帰納して使用する可能性がある。一方、大学生では、記憶している多くの事例群の中から、課題との類似度等を基準に参照事例を検索し、これに照らし合わせて判断する傾向が強いのではないかと考えられる。この場合、参照事例が適切でなければ、結果として誤った判断となる(したがって判断基準は帰納していない)可能性があるのである。本研究はこの点を調査したい。

【対象知識領域】

調査対象とした知識領域は植物の光合成(同化作用)である。現行学習指導要領および各社教科書によれば、小学校理科では「光合成は葉

で、体は茎が支え、根が水分や養分を吸う」というように植物の体を器官ごとに機能分化的に捉えた単元構成が行われている。また中学校理科では各器官の違いをもとに光合成が葉緑体で行われることを教えることとなっている。

しかし、典型的な植物のみを考えた場合にはこの指導系列は成立するが、例えば藻類や植物プランクトンについて学習結果が広がりにくい指導系列であるとも考えられる。

一方、植物体の緑の色は葉緑体の存在によるものであり、緑があればそれは葉緑体があり、光合成していると捉えることが可能である。これによると、各機能は器官により完全に分化しておらず、各器官は互いに機能を補完しあいながら主機能を果たしていると考えられる。現実はどうもこれに近い。

この問題により、大学生ではどのような理解になっているかを検討する。工藤(2000)の同じ知識領域を対象とした調査では、外延的にたずねた場合、光合成は「葉」のみで行う(機能分化説)とするものが圧倒的である一方、内包的には葉でない部分が光合成しているという情報に接した場合には葉緑体の有無に注目するなど、また別種の推論が行われている可能性が示唆された。

本研究はこの工藤の研究に依拠し、上述した仮説演繹的思考(緑は全部光合成するなら・・・とか、葉だけが光合成するなら・・・など)に基づき回答しているかどうか、さらに自らの回答を振り返り、どのような法則のもと、自らが解答したのかを帰納できるのか、また両者の関係はどうかを探る。

【方法】

対 象：仙台大学学生(「教育方法論(3年次以上)」履修学生 300名)

手続き：平成19年6月の通常授業後(授業において別の事例を用いてル・バーの紹介をした後)、質問用紙(30問；末尾添付)を配布、マークシートにより回

答させた。所要約 15 分。なお、マークシートは毎回授業後に行っており、8 回目の経験となるのでマークシート回答記入に際しての誤りや戸惑いは多くないと考えられる。

課題：課題は植物の光合成についてであり、問題 A～D の 4 ブロックに分かれている。問題 A はジャガイモ、ピーマンの各器官（9 事例）が光合成するか否かについて、自らの考えを尋ねるものである。問題 B は問題 A の考えを帰納した場合どのルールが正しいか尋ねるものである。さらに問題 C、D は問題 B でとりあげた 2 つの「決まり（ルール）」が正しいとすると、問題 A の 9 事例はどのような答えになるはずかを演繹的に尋ねた。

これらの 4 種の問題により、①大学生は自らの回答を帰納できるものか、②また同様に「決まり」から（自らの回答や考えに左右されることなく）回答を演繹できるかの 2 点を検討する。

【結果と考察】

①帰納状態について

問題 A の回答の割合を TABLE 1 に示す。全体の割合からみて、ジャガイモ、ピーマンの緑の葉は光合成をする一方、その他の器官は光合成しないとする回答が目立つ。この結果はかなりの数の大学生が葉のみが光合成を行うとする考えをもつ、とする先行研究の結果とも一致しており、必ずしも被験者たる本学学生の思考特徴とはいえない。

TABLE 1 問題 A 自分の考えをたずねる課題に対する正答率

	光合成をする	光合成しない	わからない	NR、マークミス？
ジャガイモ緑葉	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ジャガイモ緑茎	34.7%	54.0%	6.3%	5.0%
ジャガイモ芋	5.3%	81.3%	6.0%	7.3%
ジャガイモ白根	3.0%	83.0%	5.3%	8.7%
ピーマン緑葉	98.0%	1.3%	0.0%	0.7%
ピーマン緑茎	34.0%	53.0%	8.0%	5.0%
ピーマン緑実	21.3%	63.0%	12.0%	3.7%
ピーマン白根	3.3%	82.3%	5.7%	8.7%
ピーマン白花	16.3%	68.3%	8.7%	6.7%

※ 網かけは正答を示す。

一方、問題 B に対する反応割合を TABLE 2 に示した。最も多くの者が「正しい」と考えたのは「植物の体で緑の葉は光合成するが、それ以外の部分は緑色でも光合成しない」という決まりであった（56.2%）。この結果は上述の A の結果と一致しそうな気もする。しかし、ばらつきが大きく、半数をわずかに超えた程度である。

ところで、この問題 B の「決まり」の 3 文は、互いに排他的になっている（はず）だった。そのように答えたかどうかについて、第 10～12 問の 3 問に「○（正しい）」と回答した数をみると TABLE 3 のようになった。7 割の回答者が排他的回答をしていたといえる。一方、残り 3 割はいずれも正しいとは思わない（ここでは

明示されていない別のルールに基づいた可能性もある)か、質問項目10~12の問題文は排他的とは考えていないということになる。この3割の回答者に対しては問題が十分に伝わって

ない可能性がある。そこで、事例による回答からルールへの「帰納ぶり」およびルールからの「演繹ぶり」を考えるために、排他的回答をした7割を対象に考える。

TABLE 2 問題Bに対する回答の割合

	正しい	正しくない	部分的に	わからない	NR, マークミス
緑は全て光合成	22.7%	49.3%	23.0%	3.3%	1.7%
葉のみ光合成	56.7%	12.3%	25.0%	4.0%	2.0%
全て光合成	8.0%	64.3%	19.7%	5.0%	3.0%

TABLE 3 問題B 3文に対する「正しい」とする回答数

「正しい」反応数	人数	%	問10~12の主なパターン
0	62	20.7%	×・△・×、△・△・×など
1	215	71.7%	
2	22	7.3%	○・×・○、○・○・×など
3	1	3.3%	○・○・○

彼らは、問題Bの3文のうちいずれかが「正しい」と考え、他のものは「部分的に正しい」または「誤り」もしくは答えていないことになる。この者たちに限定して問題Bの回答を見ると、TABLE4のようになった。

「葉のみ光合成」を正しいとする割合がとて

も多い(実人数で160名(74.4%))。TABLE2に比し、こちらの方がより傾向がはっきりした。つまり、「緑は全て光合成」と考えている者が四分の一、「葉だけが光合成をする」と考えているものが四分の三おり、地上部分は全部する、と考えているものはあまりいない。

TABLE 4 排他的回答を行った者のみ(N=215)のBに対する回答

	正しい	正しくない	部分的に	わからない	NR, マークミス
緑は全て光合成	49 (22.8%)	115 (53.5%)	43 (20.0%)	4 (1.9%)	4 (1.9%)
葉のみ光合成	160 (74.4%)	18 (8.4%)	31 (14.4%)	4 (1.9%)	2 (0.9%)
全て光合成	6 (2.8%)	150 (69.8%)	40 (18.6%)	13 (6.0%)	6 (2.8%)

さて、問題Bの質問項目から考えた場合、各事例について導き出される(理想的)回答パターンを考えるとTABLE5に示す表のようになる。そこで問題Aに対し、上表と全く同一の回答パターンを示した人数はTABLE6となった。A

とBの回答が一貫している(問題Aの選択により正しく問題Bルールを帰納したといえる)のは、115名(55%)にすぎない。また、問題Bでの回答以外の選択肢に問題Aの回答パターンが一致する者が17名(8%)あった(Fig.1)。

TABLE 5 各ルールに対応した事例の理想的回答

	緑は全て光合成	葉のみ光合成	光当たれば全て光合成
ジャガイモ緑葉	○	○	○
ジャガイモ緑茎	○	×	○
ジャガイモ芋	×	×	○
ジャガイモ白根	×	×	×
ピーマン緑葉	○	○	○
ピーマン緑茎	○	×	○
ピーマン緑実	○	×	○
ピーマン白根	×	×	×
ピーマン白花	×	×	○

○：光合成する（はず）、×：光合成しない（はず）

TABLE 6 「理想的回答」と一致した人数

	Q10～Q12の選択				
	緑は全て光合成	葉のみ光合成	光が当たれば全て光合成	合計	
回答パターンA	緑は全て光合成	10	3	2	15
	葉のみ光合成	10	105	1	116
	光が当たれば全て光合成	0	1	0	1
	パターン外	28	46	3	77
合計	48	155	6	209	

※ 6名は問AのいずれかがNR

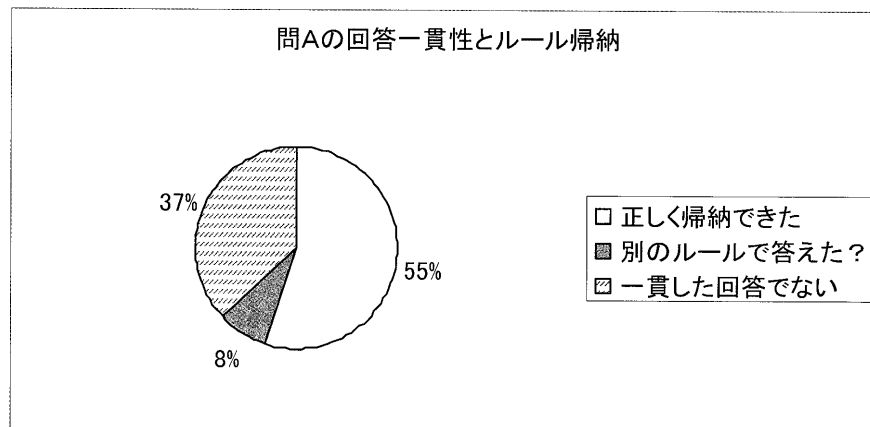


Fig.1 回答一貫性とルール帰納

②演繹について

問題C、Dは「もしBの・・・が正しいとしたら、それぞれ次の部分は光合成するはずだろうか？」から演繹させる課題であった。したがって、TABLE 5の回答パターンとなるべきである。この通りとなっているかどうかを検討すると、TABLE 7のようになった。67%程度が各々のルールと事例予想とを一致させている一方、そうできない者が3割程度いることがわかる。

また、予想が一致した者の割合がCとDでそれほど変わらないことから、これらの課題に対して、自らの意見に左右されて反応しているわけではないことがわかる。念のため問題CとDへの反応パターンを組みあわせて考えるとTABLE 8のようになった。ルールからの演繹が注文どおりとなっている者は6割に満たないことがわかる。

TABLE 7 問題CおよびDに対し「理想的回答」を行った人数とその割合

	問C (緑は全て光合成)		問D (葉のみが光合成)	
	人数	%	人数	%
緑は全て光合成	144	67.0	8	3.7
葉のみ光合成	3	1.4	145	67.4
光当たれば全て光合成	0		0	
パターン外	68	31.6	62	28.8

TABLE 8 問題CおよびDに対する回答パターンのクロス表

		回答パターンD							
		緑は全て光合成		葉のみ光合成		当てはまらない		合計	
回答パターンC	緑は全て光合成	6	2.8%	123	57.2%	15	7.0%	144	67.0%
	葉のみ光合成	1	0.5%	1	0.5%	1	0.5%	3	1.4%
	当てはまらない	1	0.5%	21	9.8%	46	21.4%	68	31.6%
合計		8	3.7%	145	67.4%	62	28.8%	215	100.0%

③帰納と演繹の関係について

問題A (事例)と問題B (ルール)との一致関係、ならびに問題C、D (ルール→事例)の

一致関係を組み合わせてみると、TABLE 9のようになった。両者が満足すべき回答を示す者は4割に満たない。

TABLE 9 問題A・Bに対する一致(帰納)とC・Dに対する一致との組合せ

		演繹					
		○		×		合計	
帰納	○	85	39.5%	30	14.0%	115	53.5%
	×	38	17.7%	62	28.8%	100	46.5%
	合計	123	57.2%	92	42.8%	215	100.0%

一方、ここまで省いてきた（問題Bで排他的ではなかった）回答者についてみると、問題C、Dで演繹が正答とみなせるのは34名（40%）、そうでないのは51名（60%）であった。問題Bで排他的だった回答者（42.8%）に比し、排他的でない回答者の方が多少多いものの、4割の回答が演繹可能だったとみなせることに注意すべきだと思われる。

すなわち、問題形式、必要とされる論理変換形式によって全く異なる様相を見せる、すなわち一般化した形での論理操作可能性という考え方から検討することの困難さがわかるといえる。

しかし、例えばジャガイモの茎の光合成の様子など、実際に確かめたことがある者はほとんどいないだろう。したがって、回答者の反応は個別的な事実に即して答えたわけではなく、何らかの「ルール」からの操作結果であると考えられる。これらの反応は、問題Bで示したような抽象度の高いルールではなく、例えば「茎は体を支える（したがって栄養は生産しない）などといった、やや抽象度の低いルールによってもたらされているのではないだろうか。すなわち、問題文や事例の性質などに応じて各々想起されるルールは、必ずしも問題で求められているのと同じ抽象水準（レベル）のルールではないのではなからうか。

本研究の結果は、従来考えられてきたように、ルールと同レベルのル・バーがあり、ル・バーがルールに「組み替える」という教授方略の問題点が示されたものと考ええる。

いずれにせよ、回答者がどういう「つもり」で答えたのかを、面接調査などでより詳細に検討することが今後の課題となる。

【まとめと結論】

本研究は、大学生の「誤り」が個別的なものなのかをめぐり、論理操作の状態を検討した。帰納操作、演繹操作両者について正答しえた者は全体の3割に過ぎなかった。この結果は課題

で求める抽象レベルと回答者の考える抽象レベルの違いが原因だと考えられる。

（文献）

- 荒井・宇野・斎藤・工藤・白井・舛田, 『誤った知識の保持状況と修正過程に関する研究』平成14・15年度科学研究費補助金報告書, 2004
- 斎藤 裕 パーソナルコミュニケーションによる, 2002
- 工藤与志文「ピーマン問題について」教授学習過程研究会発表資料, 2000
- 山岡 剛「素朴概念という用語とその内容について」理科教室, 2003年6月号, p.1
- 立木 徹・荒井龍弥「学習援助のストラテジー」, 『授業を創り授業に学ぶ教育心理学第二版』, 中央法規, 161-206, 2002
- 細谷 純「課題解決のストラテジー」, 『思考心理学』, 大日本図書, 136-156, 1976
- 細谷 純「問題解決」, 『講座心理学8 思考と言語』, 東京大学出版会, 207-236, 1970

本研究は平成19年度科学研究費補助金(基盤研究(C))研究課題名: 大学生の個別的課題解決傾向からの脱却をめざして(課題番号19530595)の助成を受けた。研究代表者 荒井龍弥, 研究分担者 工藤与志文(札幌学院大学), 宇野忍(東北大学), 白井秀明(東北福祉大学), 斎藤裕(県立新潟女子短期大学), 舛田弘子(札幌学院大学), 佐藤淳(北海学園大学)

(資料：調査に用いた課題)

☆次の問いを考えてみてください。あなたの考えを教えてください。したがって、解答が一つではありません。(いつものようには採点しません。)

A 植物の体で、次の部分は光合成(光と二酸化炭素と水から、デンプンやたんぱく質などを合成し、酸素を捨てること)ができるだろうか? 光合成をしたら [1] を、しなかったら [0] を、どちらかわからない場合には [5] を、それぞれマークしなさい。

- | | | |
|---------------------|--------------|-------------|
| 1. ジャガイモの緑の葉 | 2. ジャガイモの緑の茎 | 3. ジャガイモのイモ |
| 4. ジャガイモの白い根 | 5. ピーマンの緑の葉 | 6. ピーマンの緑の茎 |
| 7. ピーマンの緑の実(食べるところ) | 8. ピーマンの白い根 | 9. ピーマンの白い花 |

B. あなたがAについて答えた通りだとすると、次の決まりは正しいだろうか? 正しいと思ったら [1] を、正しくないと思ったら [0] を、部分的には正しいが部分的には正しくないと思ったら [2] を、よくわからなければ [3] をそれぞれマークしなさい。

10. 植物の体で緑の部分は全て光合成する
11. 植物の体で緑の葉は光合成するが、それ以外の部分は緑色でも光合成しない。
12. 植物の体で太陽が当たる部分は全て光合成する。

C. もしBの10.(植物の体で緑の部分は全て光合成する)が正しいとしたら、それぞれ次の部分は光合成するはずだろうか?

- | | | |
|----------------------|---------------|--------------|
| 13. ジャガイモの緑の葉 | 14. ジャガイモの緑の茎 | 15. ジャガイモのイモ |
| 16. ジャガイモの白い根 | 17. ピーマンの緑の葉 | 18. ピーマンの緑の茎 |
| 19. ピーマンの緑の実(食べるところ) | 20. ピーマンの白い根 | 21. ピーマンの白い花 |

D. もしBの11.(植物の体で緑の葉は光合成するが、それ以外の部分は緑色でも光合成しない)が正しいとしたら、それぞれ次の部分は光合成するはずだろうか?

- | | | |
|----------------------|---------------|--------------|
| 22. ジャガイモの緑の葉 | 23. ジャガイモの緑の茎 | 24. ジャガイモのイモ |
| 25. ジャガイモの白い根 | 26. ピーマンの緑の葉 | 27. ピーマンの緑の茎 |
| 28. ピーマンの緑の実(食べるところ) | 29. ピーマンの白い根 | 30. ピーマンの白い花 |