

External Support and the Development of Problem-Solving Routines

Melanie Cary and Richard A. Carlson

Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 1999, Vol. 25, No. 4, 1053-1070.

● はじめに

- － 複雑な問題解決課題を練習する際、人は正確に、円滑にパフォーマンスを行うための決まった方法を発展させることがある。
- － いくつかの練習の後(Anderson, 1987), または多くの練習試行の後(Carlson, Khoo, Yaure, & Schneider, 1990)に、学習者は最初にとった方略を最終的に特定の一定の行動に適応させる。

➤ 問題解決における一定の行動の組織化

- － 問題解決課題は最終目標や、操作ととり得る状態によって形成される問題空間によって定義することができる(A. Newell & Simon, 1972).
 - － 課題の定義は問題を解決するための可能な目標構造を完全に決定しているわけではない。人は同じ課題に異なる目標構造を適応させる(e.g., Lundy, Wenger, Schmidt, & Carlson, 1994).
- (例) ▶ $342+235+621=$ → サブゴール $342+235=577$ → ゴール $577+621=1198$
▶ $342+235+621=$ → サブゴール 1 桁目： $2+5+1=8$ → サブゴール 2 桁目： $4+3+2=9$ → サブゴール 3 桁目： $3+2+6=11$ → ゴール 1198

➤ 問題解決における一定の行動への複数の制約

- － 問題解決者によって適応された一定の行動は、学習時の制約のバリエーションによって決定される。これらの制約のいくつかは認知的であり、問題解決者の能力に依存する。
 - － 認知的制約の一つは概念的である。問題解決者の課題の定義や領域の理解は、可能な目標構造に制約を与える(Bassok, 1996).
 - － 他の認知的制約は処理の制限に関係している。作業記憶に途中結果を保持する能力は、可能な解経路に制約を与える。
- ⇒ これらの制約は、課題の定義や状況によって作り出された外的制約である。

- － 外的制約の一つは、課題の定義によって作り出された論理的制約である。
- － 他の外的制約は状況的制約である。定められた順序で必要な情報が提供されることは、可能な解経路に制約を与える。状況的制約は、ある環境で提供される情報に依存した問題解決に影響を与える。

- 調整された状態としての一定の行動
 - － これらのことから，問題解決における一定の行動は，複数の制約の中での調整された状態や，所有する技術の整理と考えられる．
 - － 多くの場合，調整された状態は制約間のトレードオフに影響を与える．

- 状況的制約の操作：問題解決の外的支援
 - － 日常的に多くの場面で，文脈は課題を行うための外的支援を与える．
 - － 外化された情報の使用は，2つのタイプのパフォーマンスの支援を行う．
 - ① 作業記憶の支援 － 正確なパフォーマンスを行うために，重要な情報の保持を支援する．
 - ② 方略の支援 － ゴール獲得のために必要なステップの見分け，順序付けを支援する．

- 外的記憶資源
 - － 外的記憶は，情報を保持する環境の使用を含み，問題解決での状況的制約に影響を与える．
 - － 計算問題解決での外的記憶資源の使用は，問題解決における一定の行動の発展に影響する．
 - ① 外的資源は概念的構造と計算の複雑さのトレードオフの必要性を削減する．外的資源を持つことで，人は概念的構造に調和した一定の行動に適応するだろう．
 - ② 外的資源を持つことで，認知的負担を削減するために，人は可能な解経路の探索を行い，一定の行動に落ち着く必要性を削減する．⇒ 外的記憶資源を持つ者は，時間をかけて一定の行動に落ち着いていくだろう．

- 例
 - － 例は，問題解決方略を発展させる外的資源を与える．人は例が示された場合，それを利用する傾向がある(e.g., Chi, Bassok, Lewis, Reimann, & Glaser, 1989; LeFevre & Dixon, 1986; Pirolli & Anderson, 1985; Ross & Kennedy, 1990)．
 - － サブゴールの示された例は，サブゴールに関する知識を提供する．それらの例は，どのように課題を達成するために必要なステップを組織化し，順序付けるのかについての情報となる．
 - － 良い例は，論理的制約や状況的制約を与える解経路を提供する．⇒ 問題解決者は，例が与えられると短時間で一定の行動に落ち着くだろう．

- 実験課題
 - － 異なる状況的制約で，セールスマンの歩合制による給与の計算を課題として用いる．
 - － この課題での概念的構造は，基本給+(時間給+歩合給)である．

- この課題でのサブゴールは、時間給の計算と歩合給の計算の2つあり、これらのサブゴールを獲得するためには、Figure 1 に示された情報を必要とする。
- Figure 1 には、セールスマンそれぞれの時間給、労働時間、営業成績が示されている。

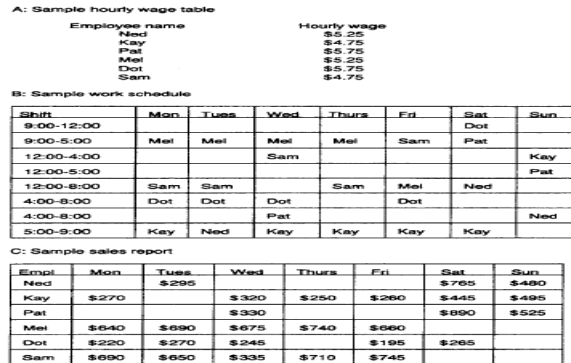


Figure 1. Sample informational displays. (A) Sample hourly wage table. (B) Sample work schedule. (C) Sample sales report. Empl = employee.

➤ 方略のバリエーションと処理の指標

- Figure 2 では、被験者によって適応された目標構造が示されている。
- Table 1 では、4つの代表的な経路が示されている。

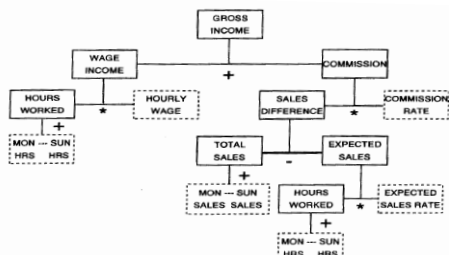


Figure 2. Goal structure adopted by participants for commission problems. Boxes with solid lines indicate subgoals (calculation results) to be achieved. Boxes with broken lines indicate variables to be identified as data for calculations.

Table 1
 Sequence of Subgoal Completion for Frequently Used Solution Paths

Subgoal	Concept-based paths		Demand-based paths	
	Preferred	Less preferred	Preferred	Less preferred
Hours worked	1	1	1	2
Wage income	2	2	6	6
Expected sales	3	4	2	3
Total sales	4	3	3	1
Sales difference	5	5	4	4
Commission	6	6	5	5
Gross income	7	7	7	7

Note. Based on the goal structure depicted in Figure 2. Paths labeled preferred were more frequently used by participants in this study. Cell entries indicate the position in the sequence of the calculation that achieves each subgoal. The final subgoal, gross income, corresponds to the highest level goal of the task.

- 解経路は概念的制約と処理的制約を持つ。Table 1 の 2, 3 列目は、歩合給の前に時間給を計算する。セールスマンは全員、時間給を支払われるが、歩合給が支払われるとは限らない。⇒ 概念的制約に沿った行動。
 - ▶ これらの経路は作業記憶の負担を削減しない。
- Table 1 の 4, 5 列目は、歩合給の後に時間給を計算する。⇒ 処理的制約に沿った行動。
 - ▶ 作業記憶の負担を削減する。
- Table 1 を含めたいくつかの解経路での作業記憶の負担を計測した。作業記憶の負担は、文字、数の element で計測する。
 - (例) ▶ 計算を行うために、セールスマンの名前(1element)と労働時間(2elements)を保持する。⇒ 3elements.
 - ▶ 計算を行う間、セールスマンの名前(1element)、労働時間(2elements)と時間給(4elements)を保持する。⇒ 7elements.

- Table 2 では、4 つの代表的な経路での記憶保持に必要な桁数の総数と、最も多く element を保持しなければならない処理段階での桁数が示されている。

Table 2
Working Memory Scores for Each of the Frequently Used Solution Paths

Working memory measure	Concept-based paths		Demand-based paths	
	Preferred	Less preferred	Preferred	Less preferred
Path total	45	47	43	45
Momentary maximum	12	12	11	11

➤ 情報収集

- 情報収集の方略は2つある。一つは計算を行う前にいくつかの画面表示から必要な情報をメモによって収集しておく方略がある。もう一つは、情報が必要な時に必要な情報の表示された画面から情報を獲得する方略である。

● 実験 1

- 実験 1 での目的は、練習の初期段階で、認知的行動の組織化における作業記憶資源の影響を検証する。特に、作業記憶での情報保持に貢献する概念的制約と処理的制約間のトレードオフに焦点を当てる。

➤ 方法

一 被験者

- ▶ 大学生 54 人。
- ▶ 実験時間 60 分。

一 材料

- ▶ セールスマンの名前 — 3 文字の 3 人男性名, 3 人女性名の 6 人。
- ▶ 時間給 — \$4.75, \$5.25, または \$5.75。
- ▶ 歩合 — 0.05。
- ▶ 目標成績 — 1 時間 \$85。
- ▶ 勤務表

- (a) 1 日で 2 つ以上の勤務シフトはない。
- (b) 1 週間で 3~6 日の勤務。
- (c) 1 週間で 40 時間以上の勤務はない。

一 手順

- ▶ 被験者の半数は外的記憶資源あり条件, もう半数は外的記憶資源なし条件に割り当てられる。
- ▶ 全ての被験者は、コンピュータ上の計算器を使用することができる。外的記憶資源の与えられる被験者には、ペンと紙が渡される。
- ▶ 被験者は、歩合、目標成績の割合、時間給、営業成績、勤務表、ターゲットにするセールスマンの名前を選択し、画面に表示することができる。

- ▶ 最後に選択された画面は、計算器を使用する間も表示されている。
- ▶ 被験者はキーを押し、総収入を入力する画面を表示させ、計算結果を入力する。入力後、被験者には正解、不正解と課題遂行時間がフィードバックされる。

➤ 得点

- Table 3 では被験者のコード化された行動が示されている。

Table 3
Coded Variables and Descriptions

Variable	Description
Solution path	Order in which requisite calculations were performed
Violation	Calculation that could not be identified as a requisite calculation
Omission	Omitted a requisite calculation
Repeated calculation	Repeated a requisite calculation
Name redisplay	Requested redisplay of target employee name
Combined calculation	Performed multiple requisite calculations in one calculation string
Stockpiled information	Gathered all information at the beginning of a problem

- Figure 2 の目標構造によって示された解経路のステップに沿って、ステップごとに適切な計算が行われたかを確認する。

➤ 結果

- Table 3 に従って、問題は得点化された。
 - 平均解答時間 167 秒。外的記憶資源あり，なし間に有意差なし。
 - 正答率は，外的記憶資源ありが外的記憶資源なしよりも有意に高い ($t(44)=3.24$, $p<.05$).
 - 外的資源ありが外的記憶資源なしよりも画面の再表示回数が有意に少ない ($t(44)=3.18$, $p<.01$).
 - 外的記憶資源ありは外的資源なしよりも計算ステップの削減が有意に少ない ($t(44)=2.89$, $p<.01$).
- ⇒ これらの結果は，この課題ではペンと紙が外的記憶資源として有効であることを示す。

➤ 解経路

- Table 1 で示した解経路が問題全体の 83% で使用された。
 - 2(外的記憶資源) × 2(解経路) の分散分析で交互作用がみられた ($F(3, 132)=8.63$, $p<.001$). Figure 3 で示されたように，外的記憶資源ありでは概念ベースの経路が頻繁に使用され，外的記憶資源なしでは処理ベースの経路が使用された。
- ⇒ 外的記憶資源が与えられた時，人は自分の理解に一致した解経路を使用するが，外的記憶資源が与えられない時，人は作業記憶の負担を削減する。

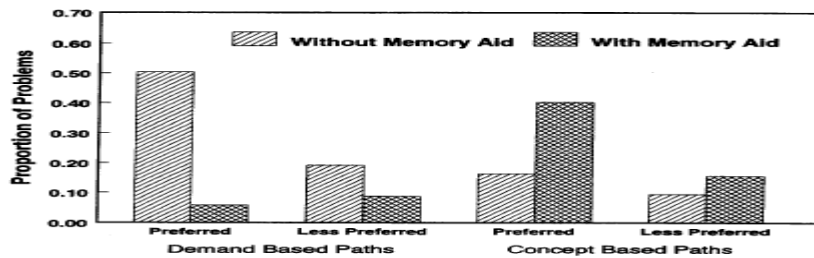


Figure 3. Mean proportion of problems on which participants used each of the common solution paths by memory aid condition in Experiment 1.

➤ 一定の行動

- Figure 4は処理ベース経路(Figure 4A)と概念ベース経路(Figure 4B)の使用された割合を示している。
- 2(外的資源)×12(試行数)の分散分析を行った結果. Aで交互作用がみられた ($F(11, 484)=11.72, p<.001$). Bでも交互作用がみられた ($F(11, 484)=4.98, p<.001$).
- ⇒ 課題領域での経験が得られたことで特定の経路を使用するようになる。
- 全ての問題で異なる解経路を使用した平均回数は2.50回であった。
- 外的記憶資源なしでは平均2.83経路使用され, 外的記憶資源ありでは平均5.00経路であった. 外的記憶資源なしでは, 外的記憶資源ありよりも早く一つの経路に落ち着く ($t(44)=2.09, p<.05$).
- ⇒ 外的記憶資源なしでは, ①新たな経路の探索よりも内的調整が有効である. ②処理ベース経路が記憶負担削減に適しているからであろう。

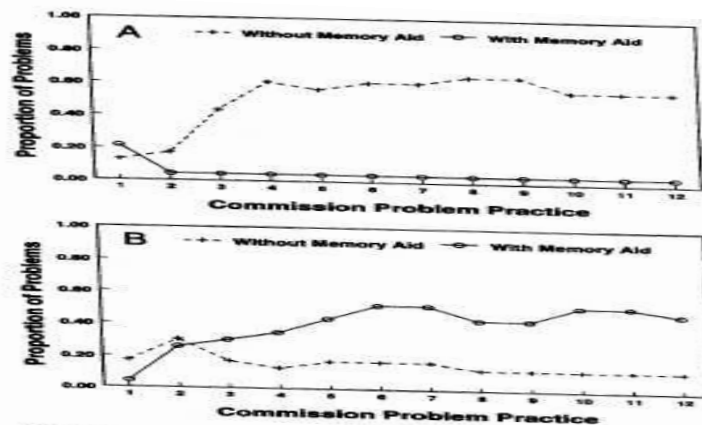


Figure 4. Probability of using particular solution paths by commission problem practice and memory aid condition in Experiment 1. (A) Probability of using the preferred demand-based path. (B) Probability of using the preferred concept-based path.

➤ 情報の収集

- 外的記憶資源ありでは29%の問題で最初に情報の収集が行われた. 一方, 外的記憶資源なしでは7%であった ($t(44)=2.31, p<.05$).

➤ まとめ

- 外的記憶資源の提供は特定の解経路の使用に影響を与えた。

- 学習者は概念的制約と処理的制約間のトレードオフを成立させ、問題解決の組織化を行う一定の行動を熟練させる。

● 実験 2

- 外的資源としてペンと紙の他に例を使用した実験を行い、例によって作業記憶は削減されるのか、一定の経路に落ち着く時間が遅くなるのか検証する。

➤ 方法

— 被験者

- ▶ 大学生 162 人.
- ▶ 実験時間 60 分.

— 材料

- ▶ 例以外は実験 1 と同じ.
- ▶ 例は、処理ベース経路 (Appendix B) と概念ベース経路が描かれた 2 つの例を使用.

Appendix B
Demand-Based Example

The General Manager has computed the gross income for an employee from another department for one week as follows. The hourly wage table, sales report, and work schedule are attached.

Employee: Pat

1) Look at the work schedule and calculate total hours worked

Pat worked
4 hours Wednesday
8 hours Saturday
+ 5 hours Sunday
17 hours worked for the week

2) Calculate expected sales

hours worked \times expected sales rate = $17 \times 85 = 1,445$

3) Look at the sales report and calculate total sales

Pat sold
330 dollars of merchandise Wednesday
890 dollars of merchandise Saturday
+ 525 dollars of merchandise Sunday
1,745 dollars of total sales for the week

4) If total sales are greater than expected sales, then Calculate the sales difference

total sales - expected sales = $1,745 - 1,445 = 300$

5) If total sales are greater than expected sales, then Calculate the employee's commission

sales difference \times commission rate = $300 \times .05 = 15.00$

6) Look at hourly wage table and calculate employee's wage income

hours worked \times hourly wage = $17 \times 5.75 = 97.75$

7) Calculate employee's gross income

wage income + commission = $97.75 + 15.00 = 112.75$

Pat earned \$112.75 for this week.

Received August 18, 1997
Revision received January 13, 1999
Accepted January 27, 1999 ■

— 要因計画

2(外的資源) \times 3(例)の被験者間要因計画.

➤ 結果

- 正答率は、外的資源ありが外的資源なしよりも有意に高い ($F(1, 136)=9.553, p<.01$).
- 外的資源ありが外的記憶資源なしよりも画面の再表示回数が有意に少ない ($F(1, 136)=18.634, p<.001$).
- 外的記憶資源ありは外的資源なしよりも計算のやり直しが有意に少ない ($F(1, 136)=9.56, p<.01$).
- 外的記憶資源ありは外的資源なしよりも計算ステップの削減が有意に少ない ($F(1, 136)=27.23, p<.001$).

➤ 解経路

- Table 1 で示した解経路が問題全体の 88% で使用された。Table 4 はそれぞれの経路が使用された割合を示している。

Table 4
 Mean Proportion of Problems on Which Participants Used Each of the Common Solution Paths by Example Condition and Memory Aid Condition

Example/ memory aid	Concept-based paths		Demand-based paths	
	Preferred	Less preferred	Preferred	Less preferred
No/memory	.378	.219	.156	.115
No/no	.109	.101	.536	.170
Demand/memory	.326	.132	.358	.028
Demand/no	.072	.065	.710	.105
Concept/memory	.524	.191	.042	.021
Concept/no	.260	.087	.510	.052

- Figure 5 で示されたように、外的資源ありでは概念ベースの経路が頻繁に使用され、外的資源なしでは処理ベースの経路が使用された ($F(3, 408)=26.25, p<.001$)。
- Figure 6 で示されたように、例と経路の間に交互作用がみられた ($F(6, 408)=4.65, p<.001$)。

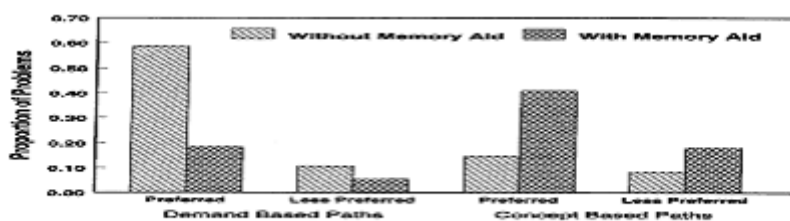


Figure 5. Mean proportion of problems on which participants used each of the common solution paths by memory aid condition in Experiment 2.

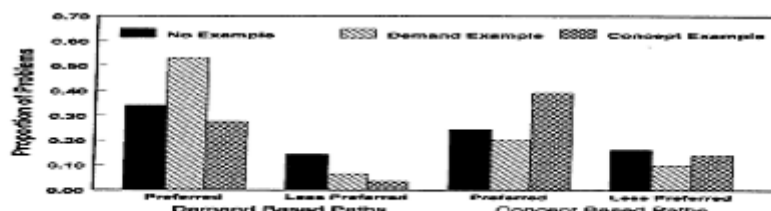
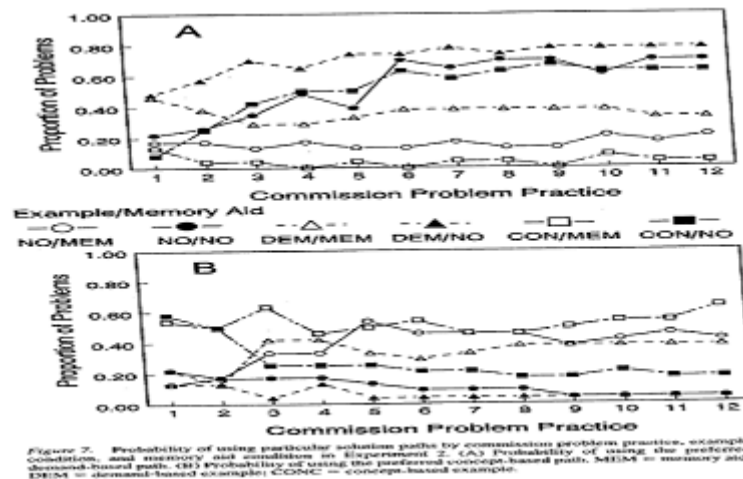


Figure 6. Mean proportion of problems on which participants used each of the common solution paths by example condition in Experiment 2.

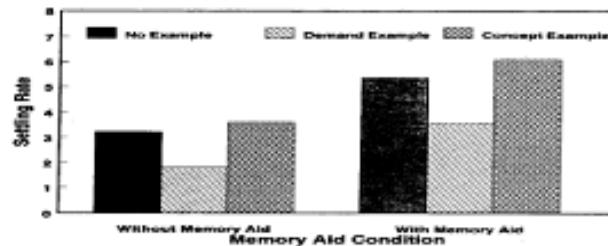
- Figure 7 は処理ベース経路 (Figure 7A) と概念ベース経路 (Figure 7B) の使用された割合を示している。
- 2(外的資源) × 3(例) × 12(試行数) の分散分析を行った結果、A で外的資源と試行数において交互作用がみられた ($F(11, 1496)=13.61, p<.001$)。B でも外的資源と試行数において交互作用がみられた ($F(11, 1496)=10.58, p<.001$)。B では例と試行数において交互作用がみられた ($F(22, 1496)=2.55, p<.001$)。

➤ 一定の行動

- 例における使用経路数に有意な差がみられた ($F(1, 136)=5.77, p<.01$)。処理ベース経路の例 (2.00 回)、例なし (2.72 回)、概念ベース経路の例 (2.66 回)。



— Figure 8 は、一定の経路に落ち着いた割合における外的資源と例との関係を示している。



- 2(外的資源)×3(例)の分散分析を行った結果、外的資源の主効果がみられた ($F(1, 136)=13.32, p<.001$)。外的資源なし(2.86), 外的資源なし(4.99)。
- 例の主効果がみられた ($F(2, 136)=5.11, p<.01$)。処理ベースの例(2.67), 例なし(4.30), 概念ベース(4.87)。

➤ 情報の収集

- 外的資源ありでは18%の問題で最初に情報の収集が行われた。一方、外的資源なしでは5%であった ($F(1, 136)=10.47, p<.01$)。

● 考察

- これらの結果より、問題解決課題を学習することは、状況的制約や認知的制約の中でとられる方略や一定の行動を発展させることが示された。
- 外的資源の使用は、問題解決における一定の行動の組織化に影響を与え、特定の行動に落ち着く割合を変化させる。
- 問題解決の方略を選択する時や、一定の行動を成立させる時、日常生活の場では人は環境の規則性に依存している。この実験では、被験者は外的要素(外的資源、例、情報を得る画面)を基に問題解決における一定の行動に適応したといえる。