

Cognitively active externalization for situated reflection

Hajime Shirouzu, Naomi Miyake, Hiroyuki Masukawa

Cognitive science, 2002, 26, 469-501

1. Introduction

1.1. Overview

➤ 目的

どのように協同活動が抽象的, 柔軟な問題解決へ導くのか明らかにする

・ 2つの要因

- ① 外的資源の使用
- ② 協同問題解決時の課題実行者とモニターの役割交代

➤ 内的資源と外的資源の相互作用

内的資源: 蓄積され, 構造化された知識

外的資源: 人間の生活する物理的, 社会的環境

・ 問題解決における内的資源と外的資源の相互作用のプロセス

- ① 外的環境で使用可能なものに依存する
 - ▶ 状況の違いにより, 異なる解が生み出されるかもしれない
- ② 解を選別し, スキーマや, 抽象的表象に統合する
 - ▶ 人間は抽象度の異なる様々な解を蓄積し, 組織化する
- ③ 新たな解スキーマを異なる環境での新たな問題に適応させる

⇒ 様々な解を獲得することが重要

- ▶ 協同活動により様々な解を得られる

・ 内的資源と外的資源の相互作用についての研究

⇒ 生産的学習プロセス等が促進される環境デザインに貢献する

➤ 課題について

・ 2/3 の 3/4 を折り紙を使用して求める課題

- 内的資源と外的資源を使用する
- 様々な解法が存在する
- 外的資源の使用, 協同活動によるリフレクションの観察が可能である

➤ 3つの性質に焦点を当てる

- ① 日常的な問題解決場面での外的資源の性質
- ② 外化された認知プロセスのリフレクションの性質
- ③ 協同問題解決の性質

1.2. Nature of external resources

➤ 積極的／受動的な外的資源の使用

- ・ 2/3 の 3/4 のチーズを取り分ける課題(Brown, Collins, and Duguid, 1989a)
 - ① 2/3 のチーズをカップから取り出す
 - ② まな板の上でチーズを平らにする
 - ③ 指で十字を描く
 - ④ 1/4 を取り除く
 - － $3/4 \times 2/3 = 1/2$ というアルゴリズムを用いない
 - ⇒ 人間は外的資源を積極的に使用する
- ・ 状況による制約が大きく、他の状況でこの解法は転移されない(Palinscar, 1989; Salomon, 1990; Wineburg, 1989)
- ・ チーズの代わりに糖蜜を用いた課題(Wineburg, 1989)
- ・ 同じ課題をまな板のない状況で行う課題(Salomon, 1990)
 - － 同じ解法は使用されないと予想
 - ⇒ 人間は環境に対して受動的である／内的資源使用の有効性

➤ Initial impulse, Proto-plan について

- ・ 外的資源を使用する内的傾向は、人間固有のものである(Brown, Collins, and Duguid, 1989b)
 - － 外的資源を使用する人間の内的傾向 = Initial impulse
 - － Initial impulse は、与えられた環境の中で、失敗のない解法を開始するための Proto-plan (初期計画)である
- ・ 2/3 の 3/4 のチーズを取り分ける課題
 - － Proto-plan は、2/3 のチーズを取り出すこと
 - ▶ 課題全体が単純なサブタスクに分割される
 - ▶ 途中結果が外化され、操作の確認ができ、次の操作を容易に開始できる

➤ Proto-plan に関する研究

- ・ 様々な長さの 20 本の針から、最も長い針を探す課題(Kirsh, 1996)

- 被験者は、候補と候補でない針を異なる領域に分割する(= Proto-plan)
⇒ 課題全体が、候補領域から最も長い針を探す課題へ単純化された

- 船のナビゲーションに関する研究(Hutchins, 1995)

- 異なる状況でのナビゲーション
- 作業手順の外化や再解釈により、Proto-plan の構造が外化される
⇒ 緊急時の対応が大きく変わる

➤ Proto-plan は訓練されるものでも、意識的に生成されるものでもない

- 我々の課題により、Proto-plan の性質を明らかにする

1.3. Nature of situated reflection

➤ 人間は外的資源を積極的に使用する

- 操作の物理的痕跡を残す → 解への経路を確証する
 - 主観的／客観的に行われる
- アヒルとウサギを見分ける課題(Chambers and Reisberg, 1985)
 - 曖昧な絵を見て記憶に留める
 - 2つの内、1つの解釈を得る
 - 記憶した絵を紙に描く → もう一方の解釈に気づく

- 聴覚刺激を使用した実験(Reisberg, 1987)

- 外化された痕跡が特殊であるとき、最初の解釈は再構成させる

⇒ これらの研究は、外化は客観的に使用されることを示すように思われる

- リフレクションや、視点の切り替えは稀に起こり、使用可能な資源や状況の制約を強く受ける

- チーズを取り分ける課題

- カップの中のチーズが、他の解法の客観的トリガーとなり得るかどうかはわからない → 再解釈が行われたかはわからない

➤ 折り紙課題

- チーズの代わりに折り紙を使用する
 - 断片を切り分けるのではなく、折る、線を描く
⇒ 初期状態と途中結果を比較することができる

⇒ 問題状況の再解釈を促すことができる

- ・ 折り紙課題により，2つの疑問に答える
 - ① 折り紙の外的痕跡から，客観的視点を得るだろうか
 - ② 外的資源の使用はリフレクションを促進させるだろうか

1.4. Nature of collaboration

➤ 協同活動は，構成的に概念的理解を深め，抽象的表象を発達させる (Greeno, Sommerfeld, & Wiebe, 2000; Miyake, 1986; Schwartz, 1995)

➤ 概念的，抽象的理解の基となるメカニズム

- ・ 1人よりも，複数人の状況の方が，抽象的な解を含む機会が得られる (Okada & Simon, 1997)
 - ⇒ 複数人により集約された解をグループの解として適応させる (Roschelle, 1992)
- ・ 様々な解の生成や統合を引き起こす
 - ⇒ 他のメンバーにより，抽象的，概念的理解が促進される

➤ 協同活動での構成的相互作用に関する研究

- ・ ミシンはどのように糸を縫うのか理解する課題 (Miyake, 1986)
 - － 1つのステージでの理解が，更なるステージの疑問を生む
 - ⇒ 反復のプロセス → それぞれのメンバーが深い理解を得た
 - － それぞれのメンバーは，独立して知識を再構成させた
 - ⇒ 意見の食い違いが，リフレクションや，それぞれの説明を再組織化するきっかけとなった

➤ 協同研究の2つの特徴

- ① 途中結果が共有され，容易に理解でき，メンバー全員にコントロールされている場合，協同活動は構成的になる
- ② 協同活動でのリフレクションが，多様な解を生成する
 - ⇒ 多様な意見が，各メンバーのリフレクションを深め，解の統合へ導く

➤ Miyake(1986)の研究より

- ・ 協同問題解決の状況では，1人は解法を実行し (doer)，もう1人はそれを理解しようとする (monitor)
 - － monitor は，doer が実行してたどり着いた解を特定，共有することがで

きるとは限らない

- ▶ **monitor** は, **doer** の実行したプロセスを外的に観察するのみ
⇒ メタ認知的な視点が, 自分自身の解を異なる概念レベルで再構成するきっかけとなる

- ミシン課題では, **doer** と **monitor** の役割交代が行われた
→ 抽象レベルが異なっていた
⇒ 個別の **Proto-plan** による影響

2. The performance data

- $2/3$ の $3/4$, $3/4$ の $2/3$ を折り紙を使用して求める課題
- 計算による解と計算なしの解を比較

2.1. Experiment 1

- 積極的／受動的な外的資源の使用
 - もし人間が積極的に外的資源を使用するのであれば…
 - 資源の外見や, 課題途中での資源の使用可能性に影響されないであろう
- 実験 1 の目的
この問題を解決するために, どのように外的資源を使用するのか観察する
 - 計算で解くことが可能
 - 紙を折る, 切る, 書き込むことでも解くことが可能

2.1.1 Experimental design

- 折り紙条件(**3/4-first**): 折り紙を使用して $2/3$ の $3/4$ を求める
- 折り紙条件(**2/3-first**): 折り紙を使用して $3/4$ の $2/3$ を求める
- カードボード条件: カードボードを使用して $2/3$ の $3/4$ を求める
 - 折り紙よりも折ることが難しい, 切ることはできる
- アクリルボード条件: アクリルボードを使用して $2/3$ の $3/4$ を求める
 - 折ることも切ることもできない

⇒ 異なる外見が, 外的資源の使用を妨げるだろうか

2.1.2 Method

2.1.2.1. Subject

- ・ 大学生 40 人：各条件に 10 人ずつ

2.1.2.2. Materials

- ・ 15cm×15cm の折り紙
- ・ 同じサイズのカードボード，アクリルボード
- ・ 折り紙条件には，鉛筆
- ・ カードボード条件には，鉛筆と消しゴム
- ・ アクリルボード条件には，マーカーとマーカー消し

2.1.2.3. Procedure

- ・ 実験は個別に行われた
- ・ 折り紙条件では，折り紙と鉛筆が渡された
- ・ 教示：この折り紙の $\frac{2}{3}$ の $\frac{3}{4}$ に斜線を引いてください
- ・ 課題終了時に，折り紙を受け取る
- ・ 質問 1：斜線の領域が折り紙の $\frac{1}{2}$ であることに気づいたか
- ・ 質問 2：分数の計算を行う可能性に気づいたか，実際に行ったか

2.1.3. Results

2.1.3.1. Mathematical and non-mathematical strategies

2.1.3.2. Strategy coding

- ・ 被験者全員が正解した
- ・ 数学方略： $\frac{3}{4} \times \frac{2}{3} = \frac{1}{2}$ → 折り紙の $\frac{1}{2}$ の領域に斜線を引く
- ・ 非数学方略： $\frac{3}{4}$ や $\frac{2}{3}$ を折り目，鉛筆等によって記す

2.1.3.3. Strategy preference

Table 1
Number of subjects using mathematical and non-mathematical strategies

	Origami		Cardboard	Acrylic board
	2/3-first	3/4-first		
Non-mathematical	9	10	9	9
Mathematical	1	0	1	1

Note: Subjects solved the 3/4-first problem in the cardboard and the acrylic board conditions.

- ・ 全ての条件で，非数学方略が多く使用された (Table 1)
- ・ 問題の順序，外的資源の違いによる影響はみられなかった
- ・ 被験者は，非数学方略を容易に見つけたと思われる

- ・ 折り紙条件の解答時間
 - － 数学方略：63 秒
 - － 非数学方略：53.1 秒(SD=42.8 秒)
- ⇒ 資源の物理的特徴に関わらず，被験者は資源の有効な機能を利用した
 - ▶ 物理的結果を求める課題であった
 - ▶ 折る，切ることができるものを使用して解を求めるよう教示をした

2.2. Experiment 2

➤ 実験 2 の目的

被験者は，外的な痕跡を客観的にリフレクションするか検証

➤ 客観的リフレクションによって，被験者は数学方略に気づくのでは？

- ・ 数学方略による解答の方が容易
- ⇒ 非数学方略から数学方略へのシフトにより観察することができる

2.2.1. Experimental design

- ・ ペア 2/3 of 3/4-first 条件：ペアで 3/4 の 2/3 を求め，後に 2/3 の 3/4 を求める
 - ・ ペア 3/4 of 2/3-first 条件：ペアで 2/3 の 3/4 を求め，後に 3/4 の 2/3 を求める
 - ・ ソロ 2/3 of 3/4-first 条件
 - ・ ソロ 3/4 of 2/3-first 条件
- (各条件で折り紙のみを使用)

⇒ 2 試行目に数学方略へのシフトがみられるか

2.2.2. Subject

- ・ 大学生 90 人：各ペア条件に 30 人ずつ，各ソロ条件に 15 人ずつ
- ・ ペア条件では，同性の知っている者同士のペア

2.2.3. Procedure

- ・ 実験 1 と同じ
- ・ 1 試行目の後に，新しい折り紙が渡される
- ・ 2 試行目の後にも質問を行う
- ・ ペア条件では，1 組に 1 枚折り紙が渡され，協同で解を求めるよう教示
- ・ ソロ条件では，声を出して解を求めるよう教示

2.2.4. Result

Table 2

	Pair	Solo	Nominal Pair
(a) Number of Pairs vs. Solos using mathematical strategy ($N = 60$)			
First trial	5/30	1/30	1.97/30
Second trial	19/30	4/30	7.46/30
(b) Number of Pairs vs. Solos using mathematical strategy by problem orders ($N = 30$ per each)			
3/4 of 2/3-first			
First trial	3/15	0/15	0/15
Second trial	8/15	0/15	0/15
2/3 of 3/4-first			
First trial	2/15	1/15	1.93/15
Second trial	11/15	4/15	6.93/15

- 被験者全員が正解した
- 各条件で、1 試行目に非数学的方略が多く使用された(Table 2a)
 - 1 試行目に数学的方略が使用された数
ペア条件：5/30，ソロ条件：1/30
直接確率の結果，有意差なし($p > .10$;両側)
- 2 試行目に，ペア条件で数学的方略へのシフトが多くみられた(Table 2a)
 - 2 試行目に数学的方略が使用された数
ペア条件：19/30，ソロ条件：4/30
直接確率の結果，有意差あり($p < .01$;両側)
 - ペア条件で 5 組，ソロ条件で 1 人が，1，2 試行目で数学的方略を選択
- 問題の順序による効果(Table 2b)
 - 1 試行目は，各条件で同様の傾向
 - ペアの 2/3 of 3/4-first 条件では，数学的方略へのシフトが顕著

⇒ ソロ条件では，客観的リフレクションは行われず，ペア条件では行われた

2.3. Summary of performance data

- 1 人でもペアでも，最初に問題に直面したときは，外的資源を使用する
- 1 人の場合，折り紙でもアクリルボードでも，実行が容易でも容易でなくても，外的資源を使用する
- ペアの場合，2 試行目に数学的方略へのシフトが生じた
⇒ 詳しく分析を行う

3. Persistent individuals

- 1人で課題を行った場合
 - 外的資源使用の一貫性, Proto-plan, 外的痕跡との相互作用について検証
 - 以下について分析
 - ▶ 選択された方略
 - ▶ 解法のステップ
 - ▶ 解の認識

3.1. Solution variations

- $3/4$ の $2/3$, $2/3$ の $3/4$ を得るための様々な方略(Fig. 1)

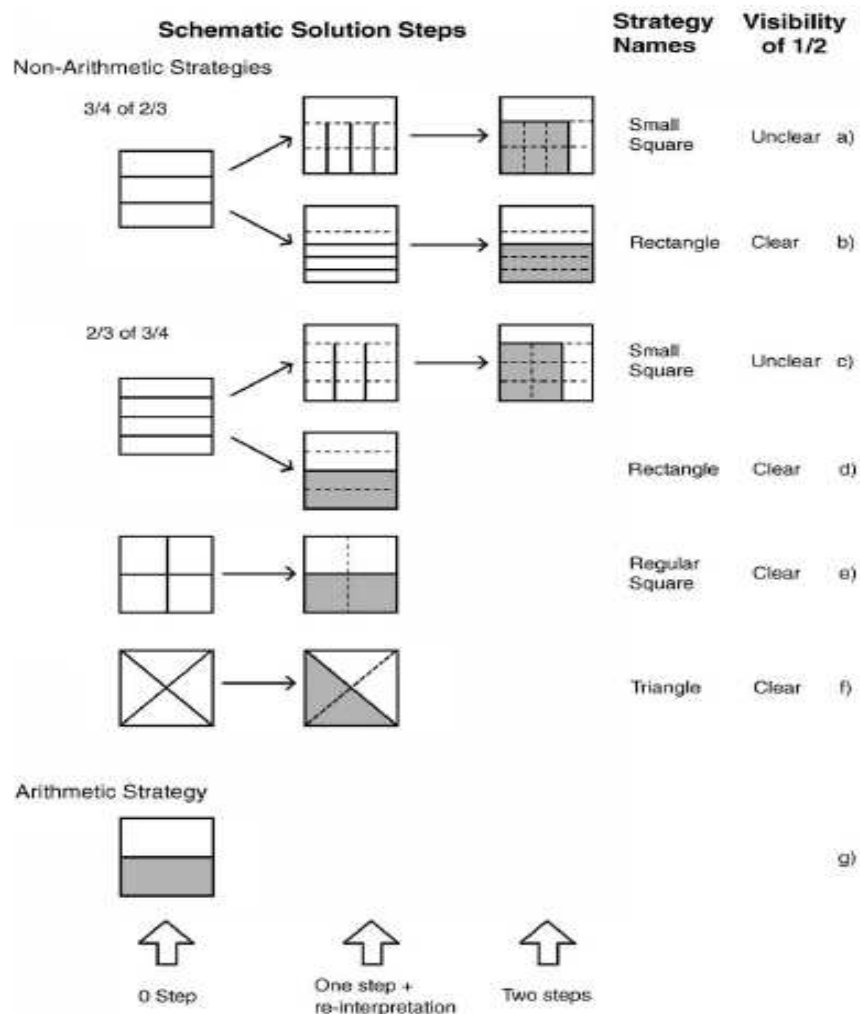


Fig. 1. Strategies.

- (a)~(c) : 2ステップ. 物理的にのみ解を得られる
 - 外的資源に依存した方略
- (d)~(f) : 1ステップ. 物理的操作と外的痕跡からの再解釈が必要
 - 内的, 外的資源の統合が必要

- ▶ (c) : 3/4 の次に物理的操作が必要
- ▶ (d) : 3/4 が 2/3 を示していることに気づくことが必要
- (a), (c) : 解が明らかでない
- (b), (d), (e), (f), (g) : 解が明らか

3.2. Strategy choice

➤ 非数学方略を使用した 48 人について分析

- 実験 1 の折り紙条件(19 人), 実験 2 のソロ条件, 1 試行目(29 人)

Table 3
Strategy distribution of Solos

	3/4-first problem		2/3-first problem			
	Small square	Rectangle	Small square	Rectangle	Regular square	Triangle
Folding	11	2	3	2	4	1
Partitioning	8	4	3	3	4	3
Sum	19	6	6	5	8	4

Note: Two solo subjects in the 2/3-first condition calculated the answer.

- Small square, Rectangle, Triangle → Fig. 1
- Folding : 折り紙を折る
- Prtitioning : 折り紙に書き込む

- 25 人が Small square 方略を選択(全体の 52.1%)
 - 2 つの物理的ステップを踏む → 経済的ではないように思える
 - 1 ステップの方略は選択されにくい → 内的な再解釈を必要とする

⇒ 被験者は, 外的資源を使用する傾向にあることを示す
 = 外界に方向づけられた Proto-plan

3.3. Intermediate check

➤ 非数学方略を使用した 48 人の内, Folding を行った 23 人について分析

3.3.1. Solution path coding

- Fig. 2 は 3/4-first 問題(2/3 の 3/4)における Small square 方略の解経路を示す

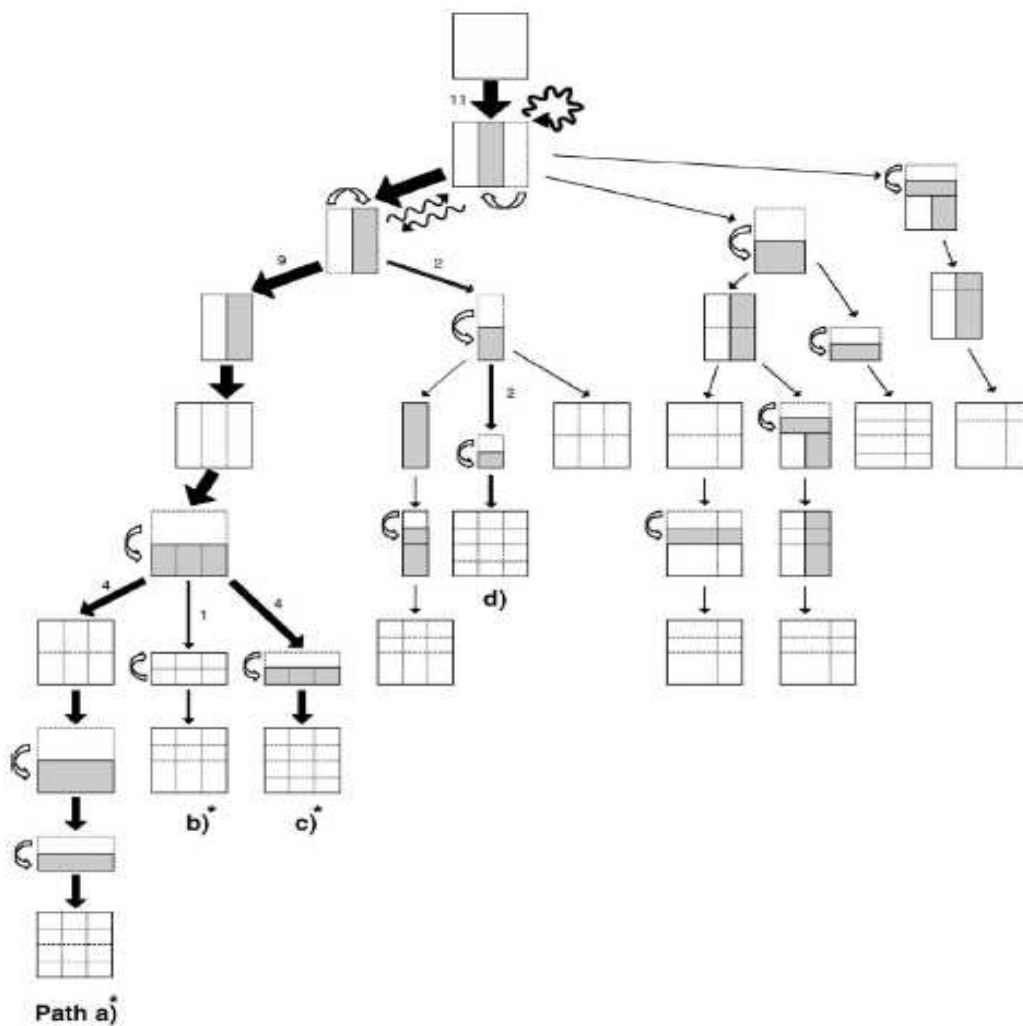


Fig. 2. Solution paths taken in the folding and small square strategy for the 3/4-first problem. The shaded areas aid distinction between origami sides. The curving arrow represents folding, and the part surrounded by dotted lines corresponds to the folded part. The broken line is a crease. The straight arrow between the figures represents the transitions between states. The paths with asterisks are defined as the going-back-to-the-original routes. The wavy lines indicate that one subject went back to the original size by unfolding the thrice-folded paper before entering into path (d).

3.3.2. Result

- (a), (b), (c)の経路がより多く選ばれた
 - 他の経路との違い：折り紙を途中で開く → 中間地点=2/3 を得た
 - ▶ ステップ数は増える
- Small square 方略を選んだ 11 人中 9 人が, (a), (b), (c)の経路を選択
 - ⇒ 途中結果を確認できる経路がより多く選ばれた
- Table 4 は, Folding を行った 23 人全員が選んだ Folding 方略を示す
 - Going-back-to-the-original：一度折り紙を開く
 - Not-going back：折り紙を最後まで開かない

Table 4
Number of trials followed the going-back-to-the-original route and others in folding strategies

	Strategies						Total
	3/4-first problem		2/3-first problem				
	Small square	Rectangle	Small square	Rectangle	Regular square		
Going-back-to-the-original	10	2	3	-	-	-	15 (65.2%)
Not-going back	1	0	0	-	-	-	1 (4.3%)
Unidentifiable	-	-	-	2	4	1	7 (30.4%)

Note: It is difficult to identify whether the purpose of opening the folded paper was to go back to the original or to perceive the goal area in the rectangle, the regular square, and the triangle strategies for the 2/3-first problem. Thus, they are classified as "Unidentifiable."

- ・ 23 人中 15 人が Going-back-to-the-original を選んだ
 - － ステップ数の負担に関わらず，多く選択される
 - ⇒ Proto-plan には，課題の分解が含まれることを示唆

3.4. Verbal references of the outcome

- 解の客観的な認識について検証
 - ・ 解が 1/2 と気づかない → 主観的に文字通り 2/3 の 3/4 を形成した
- 非数学方略を使用した 47 人について分析
 - ・ 全員が正解
 - ・ 32 人(全体の 68.1%)が 1/2 という解に気づかなかった
 - ⇒ 実行結果，Proto-plan の結果を解として捉え，その結果を客観的に捉えられなかった → 途中結果も同様であろう
 - ・ Table 5 は，解が 1/2 であることに言及した被験者数
 - － 解が明らかでない場合に 1/2 と答えた被験者はいない
 - － 解が明らかな場合でも，全員が答えたわけではない
 - － 実験 2 では，2 試行目に 3 人が数学的方略へシフトした
 - ⇒ 外的形状から，リフレクションを行うことは可能ではある

Table 5
Number of subjects who referred to one-half in relation to the visibility of the resultant area in the first trial ($N = 47$)

	Verbalized	Not verbalized	Sum
Clear appearance	15	14	29
Unclear appearance	0	18	18
Sum	15	32	

Note: Two solo subjects calculated and one subject's answer was not recorded.

3.5. Summary

➤ Proto-plan に関する 3 つの側面

- ① 外的に方向づけられている
- ② 外的痕跡を利用する
- ③ 進行状況や結果を主観的に捉える
 - 教示を聞いた時点で、何らかの Proto-plan を持つだろう
 - 2 ステップの外的に方向づけられた方略が多く選ばれた
 - 外的に余分なステップを含む経路が多く選択された

⇒ このような Proto-plan の仮説を基に、協同プロセスの分析を行う

4. Flexible pairs

➤ 協同活動がどのように柔軟な問題解決に貢献するのか

- 方略のシフトについて分析
- 実験 2 の 2/3 of 3/4-first 条件で、2 試行目に方略シフトした 9 組のペア
 - 1 試行目のプロトコル分析 → 2 試行目の方略シフトへの影響
 - 2 つのコーディングスキーマ
 - ① 内的ステップ
 - ▶ 外的痕跡の認識, 解決者の視点, 注意点
 - ② 役割の交代
 - ▶ 役割の交代と方略のシフトの関係

4.1. Gradual shift

- Table 6 は、実験 2 のペア条件で選ばれた方略を示す

Table 6
Strategy distribution of Pairs

	3/4-first problem		2/3-first problem				Sum
	Small square	Rectangle	Small square	Rectangle	Regular square	Triangle	
Folding	10	1	3	8	1	0	23
Partitioning	0	1	0	0	1	0	2
Sum	10	2	3	8	2	0	25

Note: Five pairs calculated the answer.

- 25 組中 23 組が Folding を行った
 - 23 組中 20 組が折り紙を途中で開いた
- ⇒ ソロ条件と同様の傾向

- 2/3-first 問題の場合
 - ソロ条件では Small square 方略(Fig. 1: c)が多く選択
 - ペア条件では Rectangle 方略(Fig. 1: d)を選択
 - Rectangle 方略を選択した数
 ソロ条件：5/11(45.5%)，ペア条件：8/11(72.7%)
 - ⇒ Rectangle 方略では，再解釈を必要とする
 - 方略をシフトさせた数の違いでは

4.1.1. Framework for levels analysis

➤ 外的資源を使用する方略～抽象的方略へのシフト：4つのレベル(Fig. 3)

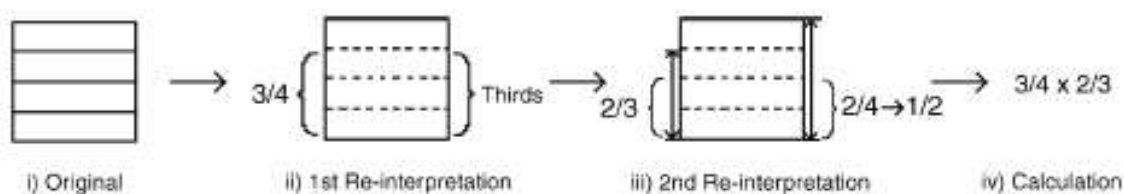


Fig. 3. Schematic steps involved in the interpretation shift.

- レベル 1(i)：初期状態
 - 外的に方向づけられた Proto-plan によって， $3/4$ を形成する
 - $3/4$ を更に 3 等分する計画を立てる
- レベル 1～2(ii)
 - 客観的視点により， $3/4$ の痕跡が既に $2/3$ を形成していることに気づく
- レベル 2～3(iii)
 - $3/4$ の $2/3$ が $1/2$ であることに気づく
- レベル 3～4(iv)
 - 一度答えが $1/2$ であることに気づくと，計算で解が得られることに気づく

4.1.2. Prspective level coding

➤ レベル 1～4 へのシフト

- 徐々に起こるのだろうか，飛躍的に起こるのだろうか(Fig. 4)

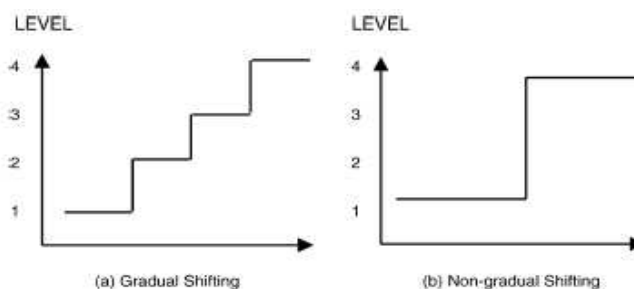


Fig. 4. Schematic diagrams of gradual (a) and non-gradual (b) perspective shifting for the 2/3-first problem. The vertical line represents the levels of perspective; the horizontal line represents time.

- 発話に基づきレベルを識別
- Table 7 は、レベルのコーディングで使用された操作的定義と発話の例

Table 7
Categorization cues for perspective level categories

Level	Operational definition	Key expressions
1	Reference to dividing the end result of the first step, three-fourths, into three ^a	“You can get the 3/4 this way, and the 2/3 that way.” “I am folding it into thirds this way.”
2	Reference to the existence of three parts as the basis for obtaining the second two-thirds	“The thirds is already here.”
3	Reference to the one-half answer	“This is one-half”
4	Reference to multiplication	“You can calculate the answer.”

^a Special cases include questions such as “Should I fold this again?” requests such as “Would you make 2/3?” and evaluations “Making 2/3 looks difficult, doesn’t it?” all of which explicitly refer to dividing the original paper into three.

- 被験者が 2/3 について言及している時
 - ▶ レベル 1 と 2 とも解釈できる
 - 折り紙を折ればレベル 1
 - 折らなければレベル 2 (再解釈が生じた)

- Table 8 は、典型的なペア A の例を示す

Table 8
Example of level coding: Pair A’s protocol in their intermediate step

	ID	Utterance [behavior]	Identified level
1.	A1:	This line is the three-fourths [opening the paper and tracing the line]	
2.	A1:	<i>so folding this as futon-like, we can get a one-third, you see?</i> [starting to fold it into three-fourths again]	Level 1
3.	A2:	Of three-fourths . . .	
4.	A2:	aha	
5.	A2:	two-thirds of three-fourths is [opening the paper folded by A1]	
6.	A2:	so, of three-fourths . . . [pressing each part of the three-fourths]	
7.	A2:	<i>the two-thirds is here</i> [pointing at the two-thirds area]	Level 2
8.	A1:	Oh, you, silly	
9.	A1:	this is <i>the half</i> [pressing the area pointed to by A2]	Level 3
10.	A2:	Oh, my [with the facial expression of amazement]	
11.	A1:	Why, you should use your brain more	
12.	A2:	Two-thirds of three-fourths is going to be . . .	
13.	A2:	first, where is the 3/4? [sliding the unfolded paper in front of A1]	
14.	A1:	Yes, here it is, this is the 3/4 [surrounding the 3/4 area]	
15.	A2:	Then, the 2/3. Where? [sliding the 3/4 folded paper]	
16.	A1:	The 2/3 of this is . . . ahhh, here [leaning over the paper]	
17.	A1:	oh, I’ve got it. We could have solved it <i>with multiplication</i>	Level 4
18.	A2:	If We could have	

Note: Some lines are omitted or integrated due to the space constraint. Key expressions are italicized. See text for details.

Line 2：「ここを折れば 1/3 になる」 レベル 1

Line 7：「2/3 はここだ」 レベル 2

Line 9：「これは半分だ」 レベル 3

Line 17：「掛け算で解けたね」 レベル 4

4.1.3. Result of perspective shifts

- ・ 方略のシフトが生じた全 9 組は，レベル 1 から課題を始めた
- ・ 9 組中 7 組がレベル 4 に達した（他の 2 組はレベル 3 のままであった）
⇒ 方略のシフトが生じたペアは，少なくともレベル 3 には達していた
- ・ 9 組中 7 組が，レベル 1～3 まで段階的に上昇した(Fig. 4a)
 - － 3 組：レベル 1→2→3→4
 - 2 組：レベル 1→2→3
 - 2 組：レベル 1→2→4
- ・ 9 組中 2 組は，レベル 1→4 に飛躍的に上昇した
- ・ Table 9 は，レベルの推移を示す
 - － 全 19 の推移の内，15 が段階的な推移であった

Table 9
Number of shifts following expected or unexpected moves within the framework of gradual perspective shifting

	Number of shifts
Expected moves	
Level 1-2	7
Level 2-3	5 (7)
Level 3-4	3 (5)
Sum	15 (19)
Unexpected moves	
Level 2-4	2 (0)
Level 1-3	0
Level 1-4	2
Sum	4 (2)

Note: Numbers in parentheses are those when an implicit shift to Level 3 is included as Level 3.

- － カッコ内の数字は，レベル 1→2→4 と上昇させたペア数を含んだ数
→ 発話はないが，指によって 1/2 という答えを確証していた

⇒ ペアのほとんどが，再解釈を繰り返し，段階的に数学的方略にたどり着く

4.2. Role exchange and shift patterns

➤ 役割交代と方略のシフトの関係性

- ・ monitor による幅広い視点が，レベル上昇に貢献すると予測

4.2.1. Role coding

- 段階的にレベルを上昇させた 7 組のペアを分析
- 役割のコーディング
 - doer : 課題に適切な内容話をしている, 課題に適切な操作を行っている
 - monitor : doer の役割を行っていない
- 全ての発話を 18 のカテゴリーに分割(Appendix A)

4.2.2. Result of role exchange and level shift

- Table 10 は, ペア A の役割交代とレベル上昇の関係を示す
- 役割の交代に従って, 全ての Line を 7 つのターンに分割した
- レベルの上昇
 - Line 7 : A2 の発言によってレベル 1→2
 - Line 9 : A1 の発言によってレベル 2→3
 - Line 17 : A1 の発言によってレベル 3→4

⇒ 前のターンでの monitor 役が doer となってレベルが上昇する

Table 10
Example of role coding: Pair A's protocol in their intermediate step

ID	Utterance [Utterance Category]	Identified Level	Task doer	Monitor
1.	A1: This line is the three-fourths [Identification]		A1	A2
2.	A1: so folding this as <i>fatou</i> -like, we can get a one-third, you see? [Plan/ Question]	LEVEL 1 ----- A1	A1	A2
3.	A2: Of three-fourths... [Instruction]		A2	A1
4.	A2: aba, [Surprise]		A2	A1
5.	A2: two-thirds of three-fourths is, [Instruction]		A2	A1
6.	A2: so, of three-fourths... [Identification]		A2	A1
7.	A2: the two-thirds is here [Identification]	LEVEL 2 ----- A2	A2	A1
8.	A1: Oh, you, silly [Criticism]		A2	A1
9.	A1: this is the half [Identification]	LEVEL 3 ----- A1	A1	A2
10.	A2: Oh, my [Surprise]		A1	A2
11.	A1: Why, you should use your brain more [Criticism]		A1	A2
12.	A2: Two-thirds of three-fourths is going to be... [Plan]		A2	A1
13.	A2: first, where is the 3/4? [Execution guide]		A2	A1
14.	A1: Yes, here is, this is the 3/4 [Identification]		A1	A2
15.	A2: Then, the 2/3. Where? [Identification/ Execution guide]		A2	A1
16.	A1: The 2/3 of this is... ahhh, here [Identification/ Surprise]		A1	A2
17.	A1: Oh, I've got it. We could have solved it with multiplication. [Reflection]	LEVEL 4 ----- A1	A1	A2
18.	A2: If we could have. [Consent]		A1	A2

Note: The utterance categories in bold represent task-relevant verbalizations. The member who verbalized them was coded as the task-doer when he also controlled the origami paper. The horizontal lines correspond to turn takings between A1 and A2. The left-downward arrows represent the monitor-initiated shift.

- Table 11 は, doer/monitor によるレベル上昇について示す

Table 11
Number of monitor- and doer-initiated shifts

	Number of shifts		
	Total	Monitor-initiated	Doer-initiated
Level 1-2	7	7	0
Level 2-3	5 (7)	3 (4)	2 (3)
Level 3-4	3 (5)	1 (1)	2 (4)
Level 2-4	2 (0)	1 (0)	1 (0)
Sum	17 (19)	12 (12)	5 (7)

Note: Numbers in parentheses are those when implicit Level 3 is included as Level 3.

- モニターがレベル上昇に関わる傾向がみられる
- ⇒ 外的形状の再解釈よりも, 内的知識の参照がレベル上昇に関わる

4.3. Summary

- 方略がシフトしたペアは, 相互に, 段階的に異なる抽象レベルの解を統合した
 - 一方がプロセスを実行し, 外化した痕跡を残す
 - もう一方が, 幅広く, 抽象的な視点で観察をする
 - ⇒ 再解釈の相互的なリンクとなる
- ⇒ 外的痕跡は, 積極的な再解釈となり, 協同活動でのリフレクションを促す

5. General discussion

- 折り紙を使用して $3/4$ の $2/3$ を求める課題
 - ① 人間は外的資源を積極的に使用し, 使用した痕跡を残す
 - ② このような痕跡により, 他者は実行プロセスを観察する機会を得る
 - ③ 観察者により, 幅広い視点が言語化される
 - ④ これにより多様な解が得られる
 - ⑤ 多様な解のリフレクションが, 抽象的な数学的解法へと導く
- 我々の立場
 - 人間の外的資源の使用は積極的である
 - 外的資源の使用によるリフレクションは, 状況に依存する
 - 協同活動を行う間, 抽象度の異なる様々な解を統合することができる
 - doer の Proto-plan と monitor の再解釈による相互作用の結果

- この研究は、協同学習の原理を特定するために行われた
 - ・ 協同活動の結果、多様な解が柔軟な問題解決へと導くことが示された

- 更なる課題
 - ・ 異なる解の統合はどのように行われているのか理解する必要がある
 - － この研究では、外的資源を使用した協同活動において解の統合が行われた
 - ・ リフレクションが状況に依存し、外的に方向づけられている
 - ⇒ 更に抽象度を増して検証する必要がある

- 外的な痕跡
 - ・ 物理的特徴がどのように再解釈を促すのか検証を行った
 - ・ 外化された結果の効果については、知られていないわけではない
 - － 認知プロセスの外化された痕跡が、我々の認知をどのように高めるのか
 - ⇒ これは新しい研究課題である

Appendix A. Categories for role coding

Categories	Example
Task-doing (relevant)	
1. Plan	"We must fold it into fourths first of all." (before folding)
2. Execution report	"I am folding it into thirds in this way." (with folding), "Two-thirds multiplied by three-fourths is..." (with calculating)
3. Identification	"The $\frac{2}{3}$ of $\frac{3}{4}$ is here," "This is one-half." (with pointing at particular areas or lines)
4. Reference to one-half	"It is one-half." (without any pointing)
5. Reflection	"We could have multiplied."
6. Execution guide	"First, where is the $\frac{3}{4}$?" (guiding the other member for "identification")
Task-doing or monitoring (conditional)	
7. Question	"The answer is here, isn't it?" "Should I fold this again?" (to the other), "Is the answer here?" (to oneself)
8. Answer	"(What should we do?) Drawing oblique lines." (replying to the other's question)
9. Repeat	"(This is thirds) Thirds..." (repeating the other's words)
10. Consent	"Oh, yes," "I see."
11. Denial	"No, I don't think so," "Oh, you, silly."
12. Non-understanding	"It does not make sense," "I can't see," "Mmm"
13. Criticism	"Why, you should use your brain more," "You have a different image than I."
14. Evaluation	"Making $\frac{2}{3}$ looks difficult," "This is the trap."
15. Surprise	"Ahhh, (here)," "Oh, you are right," "Aha," "Oh, is it this?"
16. Request	"Would you make $\frac{2}{3}$?" "You should take the initiative next."
17. Instruction	"The $\frac{2}{3}$ of $\frac{3}{4}$," " $\frac{3}{4}$..." (without meaningful actions on origami)
18. Interaction with experimenter	(questions or confirmation)