

Pattern Emergence and Pattern Transition in Microdevelopmental Variation: Evidence of Complex Dynamics of Developmental Processes

Yan, Z., & Fischer, K.

Journal of Developmental Processes, Vol. 2, No. 2, pp.39-62, 2007

Introduction

- 学習・発達分野において、近年注目されている研究アプローチ
 - 短いスパンでデータを収集
 - ◇ パフォーマンスの局所的な変化を捉える
(e.g., Hsu & Fogel, 2003; Granott & Parziale, 2002; Kuhn, Gracia-Mila, Zohar, & Anderson, 1995; Siegler, 1994, 2006; Yan & Fischer, 2002)
 - ✓ 心理的变化と関連付けて議論 (Kuhn, 1995; Siegler, 1995, 2006)

- パフォーマンスの局所的な変化が重要な意義をもつ
 - ベキ法則に従わない「逸脱 (divergence)」した現象
 - ◇ 学習や発達における多様性や矛盾性を示唆
 - ✓ 個人の変化を観察することが重要 (Yan & Fischer, 2002)

- パフォーマンス推移に関する先行研究
 - 1950年代頃
 - ◇ 平均的なパフォーマンス推移、学習曲線が捉えられてきた
 - ✓ ベキ法則 (e.g., Shock, 1951; Thorndike, 1913, Thurstone, 1919)
 - 複数の被験者のデータに基づく
 - 1970年代頃
 - ◇ 個人のパフォーマンス推移、学習曲線が捉えられるようになった (Baltes, Reese, & Nesselroade, 1977; Nesselroade, 1991, 2001; Nesselroade & Baltes, 1979; Nesselroade & Molenaar, 2003)
 - ✓ 長期実験からデータを取得
 - 急速で可逆性をもつ変化 (Variability) や、安定状態に向けた変化を確認
 - 今日まで、前者のアプローチが根強かった (Brown & Heathcote, 2003)

- 本研究の目的
 - 統計ソフトの学習に関する長期実験
 - ◇ 個人のパフォーマンスにおける局所的な変化の特徴やパターンについて検討

Method

Participants

- 統計入門コースに参加した 20～40 歳の大学院生 30 名
 - 男子 9 名, 女子 21 名

Task

- 統計ソフトウェア SAS のホームワーク
 - 期間は 1 セメスター
 - 4 つのプロジェクトを行わせる
 - ◇ 1 つのプロジェクトにかける期間は 1 か月
- 1 つのプロジェクトを完了させるために 7 つのタスクが要求
 - DAT ファイルの生成
 - SAS ファイルの生成
 - COM ファイルの生成
 - COM ファイルの実行
 - LOG ファイルの確認
 - LIS ファイルの確認
 - LOG ファイルの印刷
- 7 つのタスクに関する学習に焦点をあてる
 - ある統計検定ができたかどうかではない
- 各プロジェクトで使用されるデータは異なる
 - 大学入学や期末試験に関連したデータを使用
- 参加者はコースの始めに SAS の使用に関する説明を受ける
 - その後, 4 度研究室に訪問し, TA と 1 対 1 で学習
 - ◇ 約 1 時間
 - ◇ 今回の分析対象
 - TA は, 参加者の SAS に関する質問に対してのみ回答し, 過度な助言は行わない

The Coding System

- 参加者の SAS の学習に関する認知的複雑性を評価
 - 学習中の言語報告をコード化
 - ◇ Yan (1998, 2000) に基づく
 - ✓ Microdevelopmental Scale for Assessing Cognitive Complexity of Performance in Learning SAS

- 複雑性を6つのレベルでコード化 (Table 1)
 - 各レベルに対してスコアを付けて評価
 - 例1：“EDIT”と打ち込む
 - ◇ それは何を意味しているのかは理解していない
 - ✓ sensory-motor systems のレベルでスコアは3.0
 - ◇ 新たなファイルの生成や、新たなファイルを開く意味があることを理解
 - ✓ single representational sets のレベルでスコアは4.0
 - 例2：“EDIT PROJECT1.SAS”と打ち込む
 - ◇ “EDIT”との関係を理解
 - ✓ representational mappings のレベルでスコアは5.0
 - 2名の評価者による一致率92% (Cohen’s Kappa statistic)
 - ◇ 全言語データの20%

Data analysis

- 個人の学習過程を詳細に観察
 - Microdevelopmental trajectory
 - ◇ 1つのプロジェクト内での学習
 - ✓ 7つのタスクを完了させるまでの複雑性を示すスコアの軌跡
 - 今回のパフォーマンスはスコアを意味
 - プロジェクト4つ×参加者30名=120の軌跡
 - ◇ 4つのプロジェクトを通じた学習
 - ✓ 参加者30名分の軌跡の変化

Results

Patterns of Microdevelopmental Variations Within One Project

- 1つのプロジェクトにおける複雑性を示すスコアの軌跡 (Fig.1)
 - 119の軌跡を得ることができた
 - ◇ 1軌跡は記録に失敗
- Trajectory 103
 - 1時間掛けて46ステップ，TAから10度のアドバイスを受けた
 - 複雑性レベル3,4~6までを行き来していた
- 軌跡の多様性を確認
 - 多様性：複雑性レベル，ステップ数，軌跡の形状 .etc
 - TAからのアドバイスにより，プロジェクトを継続・終了させることができた
 - ◇ TAからのアドバイス数に着目

- 各参加者，各プロジェクトにおける軌跡を3つに区分
 - Vygotsky (1978) に基づく
 - ◇ (a): Unstable trajectories
 - ✓ 「過度な」アドバイスが必要
 - ◇ (b): Fluctuating trajectories
 - ✓ 「ある程度の」アドバイスが必要
 - ◇ (c): Stable trajectories
 - ✓ 「最小限の」アドバイスが必要
 - アドバイス数が多かった順に119の軌跡を区分
 - ◇ (a): 上位25%
 - ✓ アドバイス数が10以上
 - ◇ (b): 上位25%～75%
 - ✓ アドバイス数が4～9
 - ◇ (c): 下位25%
 - ✓ アドバイス数が0～3

- Unstable trajectories を示す Trajectory 135, 326 (Fig.2 上段)
 - アドバイス数が30以上
 - ◇ プロジェクトを終了させることが困難
 - 軌跡のアップダウンを確認
 - ◇ アドバイスを受けたとしても，高い複雑性レベルは維持されず

- Fluctuating trajectories を示す Trajectory 206, 407 (Fig.2 中段)
 - アドバイスを何度か受けている
 - 前半から中盤に掛けて，軌跡のアップダウンをいくつか確認
 - ◇ 最終的には，高い複雑性レベルを維持する傾向
 - ✓ 1つのプロジェクト内で学習が行われたことを示唆

- Stable trajectories を示す Trajectory 101, 327 (Fig.2 下段)
 - アドバイスがほとんどなくても，課題を遂行できる
 - ◇ ステップ数が，Unstable や Fluctuating trajectories よりも少ない
 - 軌跡がフラットに近く，高い複雑性レベルを維持
 - ◇ SASに関する固有の知識を有していることを示唆

- プロジェクトを通じた3種類の各軌跡数の推移 (Fig.3)

- Stable trajectories の数が増加
 - ◇ 参加者が高い複雑性レベルを維持できるようになる
 - ✓ 1セメスターを通して、複雑性レベルが向上したことを示唆

Patterns of Change in Microdevelopmental Variations Across Four Projects

- 4つのプロジェクトを通じた、複雑性を示すスコアの軌跡における変化
 - 参加者 30 人による変化を観察

- 軌跡の変化を4つのトレンドに分類
 - The trend of disorganization
 - ◇ 4つの軌跡全てが Unstable trajectories
 - The trend of stabilization
 - ◇ 4つの軌跡全てが Stable trajectories
 - The trend of regression
 - ◇ Stable から Fluctuating trajectories へ遷移
 - The trend of improvement
 - ◇ Unstable から Fluctuating trajectories へ遷移

- 参加者 26 による The trend of disorganization (Fig.4)
 - 4つのプロジェクトを通して、アドバイス数が2桁で多い
 - 軌跡のアップダウンを確認し、高い複雑性レベルは維持されず
 - 1セメスターで学習されていないことを示唆

- 参加者 22 による The trend of regression
 - 前半2つのプロジェクト (Fig.5 上段)
 - ◇ アドバイス数は1桁で少ない
 - ◇ 軌跡はフラットな傾向を確認し、高い複雑性レベルを維持
 - 後半2つのプロジェクト (Fig.5 下段)
 - ◇ アドバイス数は2桁で多い
 - ◇ 軌跡のアップダウンを確認し、高い複雑性レベルは維持されず
 - 1セメスターを通して学習が後退したことを示唆

- 参加者 36 による The trend of improvement (Fig.6)
 - プロジェクト1
 - ◇ アドバイス数が2桁で多い
 - ◇ 軌跡のアップダウンを確認し、高い複雑性レベルは維持されず
 - プロジェクト2

- ◇ アドバイス数が1桁で少ない
- ◇ 軌跡のアップダウンを確認し、高い複雑性レベルは維持されず
- プロジェクト3と4
- ◇ 軌跡がフラットな傾向を確認し、高い複雑性レベルを維持
- 1 Semesterを通して学習が行われたことを示唆

- 参加者1による The trend of stabilization (Fig.7)
- 4つのプロジェクトを通して、アドバイスはほとんどなかった
- 軌跡がフラットな傾向を確認し、高い複雑性レベルを維持
- ◇ 単独で課題を遂行できることを示唆

- 各トレンドを示した参加者の数 (Fig.8)
- 人数分布に対してカイ二乗検定を実施
- ◇ 有意な偏りを確認 ($\chi^2(3) = 10.27, p < .05$)
- ◇ 半数が the trend of improvement, 学習が行われた

Discussion

- 個人による SAS の学習過程を長期的に、詳細に観察
- 個人の学習は多様であることを確認
- ◇ 同様の点が多く先行研究で確認
(e.g., Bidell & Fischer, 1994; Granott, 1993, 2002; Parziale, 1997, 2002; Schwartz, 2000; Schwartz & Sadler, in press)

- 今回は、多様な個人の学習をいくつかのパターンに分類できることを確認
- 多くの被験者を取得したことにより実現
- ◇ 両知見を組み合わせた議論が重要
- 本研究の取り組みは、心電図から心臓の異常を見つける医者の作業と類似
- ◇ 多くの患者を相手に個人差のある心拍数の時系列推移を観察、パターン分類
- ✓ 多様な中からパターンを抽出することはやはり重要

- 課題に要求される複数のスキルと、課題を構成する諸要素とのインタラクション
- 特定の文脈における短期間で、連続的なインタラクション
- ◇ 学習の多様性をもたらす可能性

Table 1. Microdevelopmental Scale for Assessing Cognitive Complexity of Performance in Learning SAS in a Network System

Code	Description	Score
SM3	<p>LEVEL OF SENSORY-MOTOR SYSTEMS</p> <p>Definition A learner can coordinate various pairs of keyboard movements and screen moves simultaneously and shows competent typing skills. This is the lowest performance observed in the study.</p> <p>Example: Typing competently without understanding A student read the course handout and quickly typed INFILE PART2. This example shows that this learner is competent at typing the words, but he simply copied the exact words from an example given by the instructor. He did not know that the exact meaning of PART2 was a demonstrating data file the teacher used in the class rather than the data file the student created a few minutes ago for himself. The correct file name is MOM2 instead of PART2.</p>	3.0
RP1	<p>LEVEL OF SYSTEMS OF SENSORY-MOTOR SYSTEMS OR LEVEL OF SINGLE REPRESENTATIONAL SETS</p> <p>Definition A learner can independently coordinate two systems, the type-look action system and the request-execution semantic system simultaneously. This formulates a basic unit of executable instruction, such as a VMS command or a SAS file.</p> <p>Example 1: A typical VMS command A student said, "OK, I want to change the SAS file," and then started to type EDIT after the \$ prompt. In this example, the student intercoordinated the type-look action system (typing EDIT) and the request-execution semantic system (changing the SAS file) and produced a VMS command EDIT. This student was not just typing a string of letters E-D-I-T, but was actually producing one of the basic commands in the VMS operating system.</p> <p>Example 2: Compounding SAS file components A student said, "Oh, I have to change the file," and then typed ASSIGN2.SAS. In this example, the student understood well that the SAS file includes a file name, ASSIGN2, and a file type, SAS. The student integrated these two components into a more complex but integrated unit, a complete SAS file.</p>	4.0
RP2	<p>LEVEL OF REPRESENTATIONAL MAPPINGS</p> <p>Definition A learner can coordinate a specific VMS command with a specific SAS file to create a complete instruction for execution.</p> <p>Example 1: A typical SAS statement After receiving the notification from the system, a student typed EDIT ASSIGN.LOG. In this example, the student coordinated a system command, EDIT, with a SAS file, ASSIGN2.LOG, and produced a proper instruction in order to view the LOG file. A complete instruction is the basic unit in a SAS programming sequence.</p> <p>Example 2: Not knowing about the next step After creating and checking a SAS file, a student read the class handout and said, "The next step is to create a . . . COM file." In this example, the student figured out the logic sequence between having a SAS file and having a COM file, but did not yet show how to make this sequence executable, a skill requiring intercoordinating the two steps simultaneously. This is a typical "next step problem."</p>	5.0

Table 1. Continued

Code	Description	Score
RP3	LEVEL OF REPRESENTATIONAL SYSTEMS	6.0
	Definition A learner can coordinate a variety of system commands with a variety of SAS files according to both the context and the syntax, e.g., the DIR command requires no SAS file, the EDIT command needs one SAS file, and the COPY command demands two SAS files. This results in an intended executable sequence with clear logic and behavioral evidence.	
	Example 1: A typical sequence Within a few seconds, as a student first typed EDIT ASSIGN2.DAT and then quickly typed EDIT ASSIGN2.SAS. In this example, the student coordinated two executable instructions and built an adjacent sequence.	6.0
	Example 2: Compounding with more components After creating three files, SURVEY.DAT, SURVEY.SAS, and SURVEY.COM, a student typed DIR SURVEY.* In this example, this student not only showed clear knowledge about the logic sequence, but also more knowledge about using the DIR command to search for specific files.	6.4
AB1	LEVEL OF SYSTEMS OF REPRESENTATIONAL SYSTEMS, WHICH IS ALSO LEVEL OF SINGLE ABSTRACT SETS	7.0
	Definition A learner can coordinate two systems, the VMS-SAS system and the computer conceptual system, to reach a good understanding of the hierarchical relationship between an operating system and an application. This leads to both fluent sequential flows in constructing various VMS commands and different SAS files and clear conceptual understanding of the VMS-SAS system architecture.	
	Example 1: A sound understanding of the VMS-SAS system To answer a question, "What does the dollar sign mean to you?" a student replied, "It tells me what mode I am in, for example, I can type MAIL. It is a command shell." Here, this student correctly used the computer concept of command shell to specify the function of the dollar sign as the VMS system prompt. This understanding was associated with the student's fluent sequential flow in using VMS commands and SAS files.	7.0
	Example 2: Compounding with SAS/VMS features When talking about processing the COM file, a student said, "We have to have a COM file. Give it to the sever to run it." Here, this student correctly used the concept of server to explain the particular function of a COM file in the VMS-SAS system. This understanding was associated with this student's rather fluent sequential flow in using VMS commands and SAS files.	7.4
AB2	LEVEL OF ABSTRACT MAPPINGS	8.0
	Definition A learner can coordinate the VMS-SAS system with the EVE-SAS system to achieve a strong conceptual understanding of the architecture of these two systems. This leads to flexible and innovative pathways in navigating among the systems and fluent navigation skills in the systems.	
	Example: Navigating within EVE editor After reading one COM file, unlike most students' efforts to close the file, a student with a professional programming background pressed the CTRL key and the Z key to bring up a prompt of COMMAND and then typed OPEN ASSIGN4.COM to open another COM file. This creative way of moving from one system to another system without even closing previous files reveals the student's solid understanding of the architecture among VMS, SAS, and EVE systems and her/his strong skill of navigating among different systems.	8.0

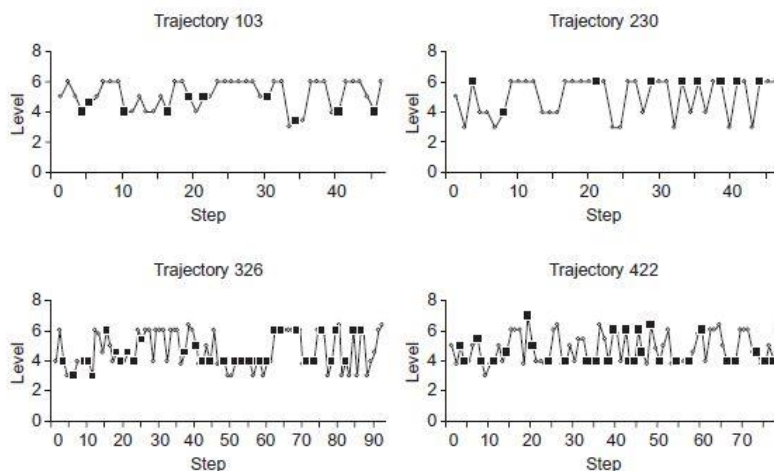


FIGURE 1. Four microdevelopmental trajectories (Trajectory 103, Trajectory 230, Trajectory 326, and Trajectory 422) by four students (Student 3, 30, 26, and 22) on four different projects (Project 1, 2, 3, and 4) illustrating pervasive and complex variations in microdevelopment in learning a computer program in the tutor-tutee context. The student performance is marked with small circles and the help provided by the teaching assistant is marked with solid small squares. Level on the Y-axis = Microdevelopmental Level. Step on the X-axis = Task Step. Note that in this study three digital numbers were used to label one of 119 microdevelopmental trajectories: the first digital number indicates the number of the project, from 1 to 4, and the second and third number represent the number of students, from 01 to 30. With this labeling system, one can easily see what specific project and which specific student a microdevelopmental figure represents.

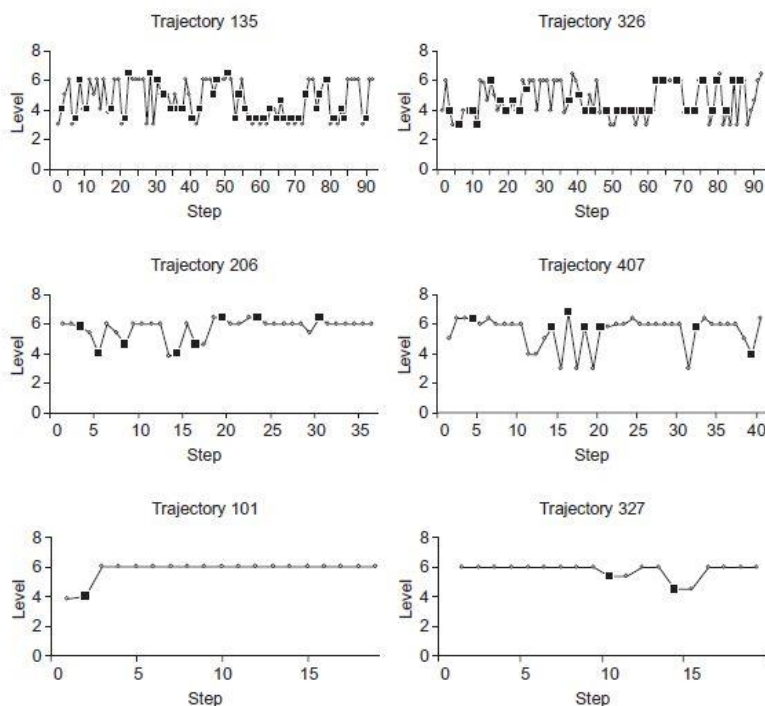


FIGURE 2. Prototypical microdevelopmental trajectories of unstable ones (Trajectory 135 and 326), fluctuating ones (Trajectory 206 and 122), and stable ones (Trajectory 101 and 327). The student performance is marked with small circles and the help provided by the teaching assistant is marked with solid small squares.

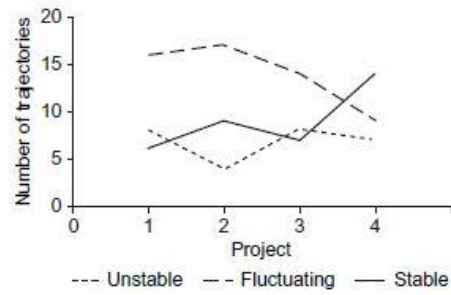


FIGURE 3. Change in number of the three types of microdevelopmental trajectories over four projects.

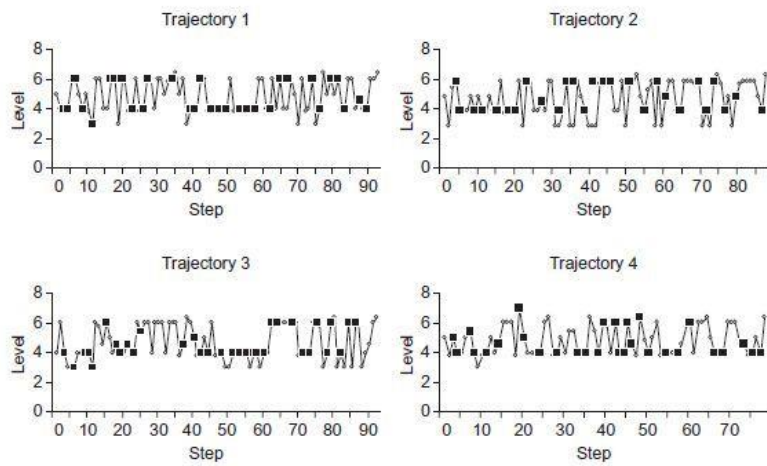


FIGURE 4. Prototypical microdevelopmental trend of disorganization (Subject 26). The student performance is marked with small circles and the help provided by the teaching assistant is marked with solid small squares.

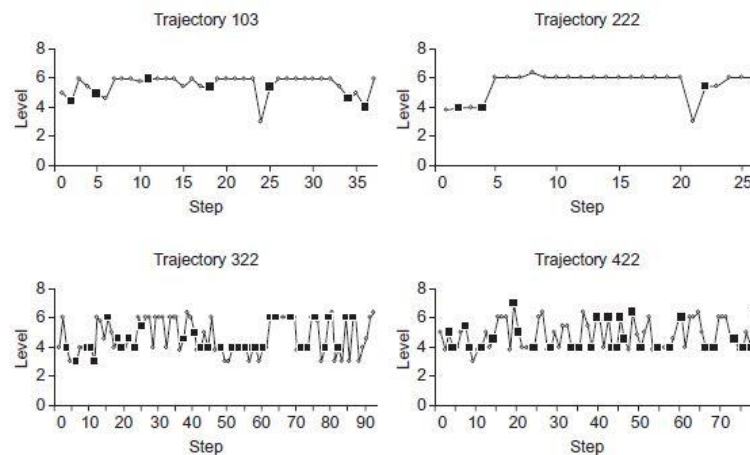


FIGURE 5. Prototypical microdevelopmental trend of regression (Subject 22). The student performance is marked with small circles and the help provided by the teaching assistant is marked with solid small squares.

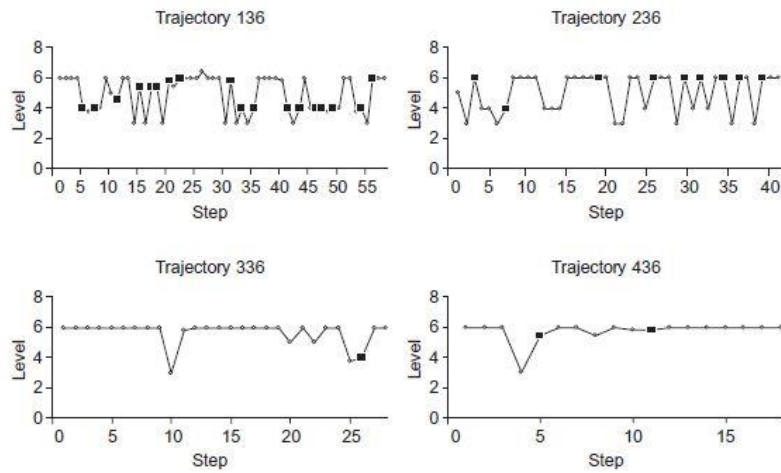


FIGURE 6. Prototypical microdevelopmental trend of improvement (Subject 36). The student performance is marked with small circles and the help provided by the teaching assistant is marked with solid small squares.

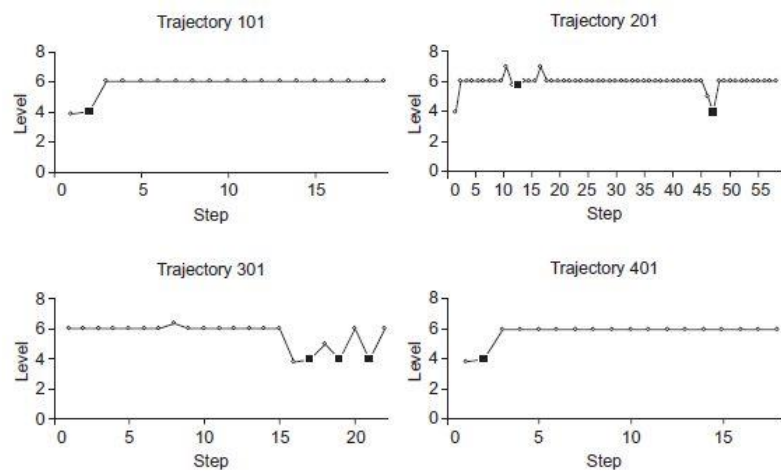


FIGURE 7. Prototypical microdevelopmental trend of stabilization (Subject 01). The student performance is marked with small circles and the help provided by the teaching assistant is marked with solid small squares.

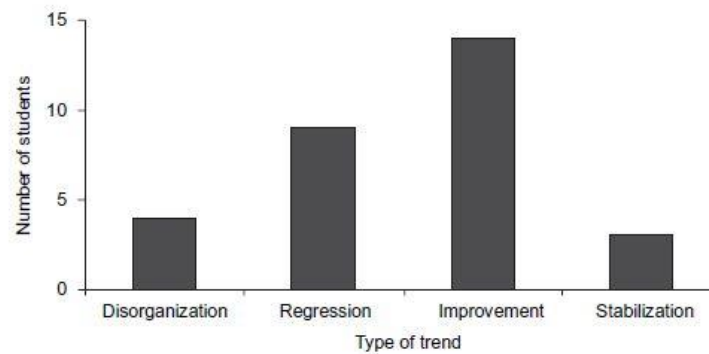


FIGURE 8. Distribution of the four types of microdevelopmental trends.