

## Stimulus Complexity and Information Integration in the Spontaneous Interpretations of Line Graphs

CARSWELL, C.M., EMERY, C. & LONON, A.M.

APPLIED COGNITIVE PSYCHOLOGY, VOL.7, pp.341-357 (1993)

### ◆ はじめに

- 人は特に教えられなくても、図的表象が意味していることを理解できると考えられている
  - ✧ しかし、自発的な解釈をどのような方略で行っているのか、また、どのような図の特徴がその方略を促しているのかはほとんどわかっていない
- Kosslyn (1989) はグラフの理解は、図の視覚的特徴（目立つ点など）とグラフを読む経験（どのように答えるのがベストか）に影響されると述べている
- 本研究では同じデータから作成されたグラフの表現の効果を検討するよりも、さまざまな特徴の単ラインのグラフについての理解を検討する
- 本研究の1つ目の目的として、グラフの理解にかかる時間から、グラフ理解の困難さを評価する
  - ✧ グラフの複雑性は、データポイントの数によって検討されてきたが、まだきちんとした理論はない (e.g. Casali and Gaylin, 1988; Jacob, Egeth, and Bevan, 1976; Schutz, 1961)
  - ✧ グラフの理解に影響を与えると考えられるその他の特徴
    - Symmetric (左右対称) か
    - 線形的か
- 本研究の2つ目の目的として、グラフ理解における、左右対称性、データポイントの数、線形性がどのように関連し合っているかを検討する

### ◆ EXPERIMENT 1

Experiment 1 では、実験参加者は、データポイントの数、symmetry の有無、傾向の反転の数を操作した単関数の線グラフの読み取りを行った

- Methods
  - ✧ *Subjects*
    - 心理学入門の受講学生32名（うち2名除外、18-30歳）
  - ✧ *Materials and apparatus*
    - ITT Model XTrdProfessional Series 300 microcomputer で視覚刺激をランダムイズして呈示し、反応時間を記録
    - 防音室
    - 18ページの冊子

◇ *Graphs*

- 単関数の線グラフ, 18個
  - data points (8, 15,22)
  - symmetry(symmetrical vs. asymmetrical)
  - number of trend reversals (0,3, or 5)
    - ◇ x軸に対して逆の傾きに変化
  - Figure 1 参照
    - ◇ ‘new hotels’ : 8-point, 3-reversal, asymmetric
    - ◇ ‘unemployment’ : 15-point, 5-reversal, symmetric
    - ◇ ‘residency’ : 22-point, 0-reversals, asymmetric
  - x 軸は1962年～1990年を4年刻みにしたもの
  - 黒地に白で軸とラベルが表示, point と線グラフのライン赤で表示
  - サイズ : 18 x 12cm.

➤ Procedure

- ◇ 個人実験で, 2-3時間かかった
- ◇ グラフの読み取りに先立って, 認知スタイルを評価するために, 視覚マッチング課題を行った (参照 : Carswell and Emery, 1992)
- ◇ グラフ読み取り課題
  - 各グラフが呈示される前に, 簡単にグラフの内容の説明が呈示された
    - 「次のグラフは1962年から現在までの新しいホテルの数を示したものです」
    - (‘The next graph describes the number of new hotels from 1962 to the present’)
    - ◇ グラフを見ている時間に, タイトルの理解の時間を含めさせないため
    - ◇ 参加者はそれを読んだ後にキーを押す
    - グラフが呈示される
      - ◇ 十分に理解できたと思ったら, キーを押し, 終了する
      - ◇ グラフが呈示されていた時間を 学習時間 (‘study time’) とした
    - グラフが消えると読み取りの内容の確認の教示が呈示
      - ◇ 「あなたの言葉で, グラフから理解したことを書いてください」
      - (‘in your own words, describe what you learned from the graph’)
      - ◇ 図ではなく言葉で
  - 18回繰り返し

➤ Scoring of written protocols

- (1) the number of times specific x-axis values (i.e. dates) were mentioned
- (2) the number of times y-axis values (i.e. new hotels, new residences, etc.)
- (3) the number of local integrations  
: 2つ以上すべての点未満を統合した記述
- (4) the number of global integrations  
: すべての点を統合した記述

Table 1. Sample of statements from actual interpretations of the ‘Residency’ graph (see Figure 1) with examples of content coding

Subject’s Statement: Coded as:	
‘The number of new residents increased greatly until about 1966.’	<i>Two local integrations.</i> Notes increase across limited part of graph. Notes that the magnitude was ‘great’. One x-axis reference. 1966.
‘Yearly increases in residency requests seem to be slowing down.’	<i>Two global integrations.</i> Notes overall increase across graph. Notes trend in magnitude of increases.
‘The number of people applying for residency started out at about 60,000 in 1962.’	One x-axis reference. 1962. One y-axis reference. 60,000.
‘After 1968 the number of applications was steady.’	<i>One local integration.</i> Notes lack of change in limited part of graph. One x-axis reference. 1968.
‘The lowest number of applications was in 1962.’	<i>One global integration.</i> Compares all displayed values. One x-axis reference. 1962.

➤ Results and discussion

◇ *Study time* (Figure 2 参照)

- 3 (number of data points) x 2 (symmetry) X 3 (number of trend reversals) 対応ありのANOVA で分析
- trend reversals が増えると学習時間も増加( $F(2,58) = 21.82, p < .0001$ )
  - 平均時間 0 reversal:38s, 3 reversal: 56s, 5reversal: 63s
  - Tukeyの多重比較で, 0 vs. 3 or 5 reversals ( $p < .05$ )
    - 反転があると学習時間が増加する

- データポイントの数の主効果なし ( $F < 1$ )
  - データポイントと反転の数の交互作用あり ( $F\{4,116\} = 2.80, p < .03$ )
    - 単純主効果の検定
      - ◇ 8 points:  $F\{2,58\} = 4.86, p < .02, MSe = 651.42$
      - ◇ 15 points:  $F\{2,58\} = 10.76, p < .0001, MSe = 1486.77$
      - ◇ 22 points:  $F\{2,58\} = 17.70, p < .0001, MSe = 910.33$
  - Symmetryの有無の主効果なし ( $F < 1$ )
    - Symmetryの存在は情報理解の負荷を軽減すると考えられるのでこの結果はsurprisingである(see Pomerantz and Kubovy, 1986, for review of structural information theory)
    - 人は実際のグラフよりもsymmetricに捉える (Tversky and Schiano, 1989) という報告もあるので、本実験でのsymmetricの効果が消えてしまった可能性がある
  - 学習時間の増加が、グラフの複雑性を反映しているならば、傾向の反転の有無で複雑性が変わる.
  - データポイントの数は全体としては学習時間に影響しなかったが、データポイントの数が増えると、反転の有無の効果が大きくなった
  - これらから、参加者は、直列の point-by-point 方略を使用して反転を理解していると考えられる
- ◇ *Written protocols*
- 大きく2つに分類
    - 'global productivity': すべてのデータポイントを統合した記述
    - 'local productivity': それ以外の3つに分類されたものの合計
    - 全体の77%が上記のいずれかに分類
  - 3 (number of data points) X 2 (symmetry) X 3 (number of trend reversals) の対応あり ANOVAで分析
  - number of data points, symmetry, reversals のすべての主効果あり
  - reversals と number of data points, reversalsとsymmetryにそれぞれ二次の交互作用あり
    - Figure 3, Figure 4 参照.
  - reversals の主効果 $F\{2,58\} = 38.26, p < .0001, MSe = 18.25$ 
    - no reversals ( $M = 3.933$ ) < 3 ( $M = 7.19$ ) or 5 ( $M = 7.48$ ) reversals (Tukey simultaneous contrasts,  $p < .05$ )
    - global productivityにおける reversals の効果, 有意傾向( $F\{2,58\} = 3.15, p = .05, MSe = .641$ )

- Figure 3 は reversals と symmetry が global と local の記述に与える効果を示したもの
  - Global記述におけるSymmetryの有無の効果 ( $F\{1,29\} = 25.74, p < .0001$ ) はLocal記述におけるものよりも大きい ( $F\{1,29\} = 9.90, p < .004$ )
  - symmetry の効果は, reversalの数に影響される(global:  $F\{2,58\} = 4.36, p < .02$ ; local:  $F\{2,58\} = 14.07, p < .0001$ )
    - ◇ 0 reversal でSymmetry だと完全な線形となるため, Symmetry の有無の効果が大きくなる
- Figure 4 は reversals と number of data pointsが global と local の記述に与える効果を示したもの
  - Global においても, Localにおいてもnumber of data points の効果あり (global:  $F\{2,58\} = 7.47, p < .0013$  ; local:  $F\{2,58\} = 20.63, p < .0001$ )
    - ◇ Global: 8-point:  $M = .75$ , 15-point:  $M = 1.0$ , 22-point:  $M = .98$
    - ◇ Local: 8-point:  $M = 7.15$ , 15-point:  $M = 5.69$ , 22-point:  $M = 5.76$
    - ◇ Tukey の多重比較の結果, 8-pointのときだけ他の2つと異なる
  - 学習時間の結果と同様に, data points の数によって reversals の効果が異なる (global:  $F\{4,116\} = 6.84, p < .0001$ ; local:  $F\{4,116\} = 4.87, p < .002$ )
    - ◇ Local 記述において, data point が多くなると, reversal の効果が小さくなる (8-points:  $F\{2,58\} = 37.58, p < .0001$ , 15-points:  $F\{2,58\} = 25.84, p < .0001$ ; 22-points:  $F\{2,58\} = 8.77, p < .0005$ )
    - ◇ Global 記述において, data point が多くなると, reversal の効果が大きくなる (8-points:  $F\{2,58\} = 3.05, p < .053$ ; 15-points:  $F\{2,58\} = 4.69, p < .013$ ; 22-points:  $F\{2,58\} = 8.32, p < .0007$ )
- Data point の増加は, Localな記述よりもGlobalな統合を促す
  - 記憶容量の限界の影響
    - ◇ データセットが小さいと, 表のように個々の値を覚えていられると感じる
    - ◇ 大きなデータセットの中の細かい特徴を覚えることには困難を感じる
  - これらのことは人は線グラフの全体の形に注意を向けているのではなく, 個々の点に注目していることを示している
  - Experiment 2 では, data point の数の効果を詳細に検討する

## ◆ EXPERIMENT 2

Experiment 2 においては, x軸に対する傾向が変わらないnon-reversing(nonR) と傾向が変わる true reversal (R) を用いて, 傾向の変化が学習時間や解釈にどのように影響するかを検討する

## ➤ Methods

◇ *Subjects* : 大学生15名, 10\$ でリクルート

◇ *Apparatus*

- An IBM PS/2 Model 55sx microcomputer
- 12ページの冊子

◇ *Graphs*

- 全12個のグラフ (Figure 5 参照)
  - 9個
    - ◇ Data point (4, 7, 13)
    - ◇ trend changes (none, 2nonR, or 2R)
  - 4回trend change(2R + 2nonR)
    - ◇ 7-pointで1つと13-pointで2つ

◇ *Procedures*

- Experiment 1 とほぼ同じ
- 最後 (12枚目) のグラフだけ3秒で提示が打ち切られた (予告なし)
- 基本的にランダム呈示, 12枚目だけは共通

## ➤ Results and discussion

◇ *Study times*

- 3 (number of data points) X 3 (trend changes) ANOVA
  - Trend changes の主効果あり ( $F_{\{2,28\}} = 7.70, p < .005, MSe = 34.36$ ).
    - ◇ no trend changes  $M = 22$  s; 2nonR graphs:  $M = 24.5$  s; 2R graphs:  $M = 35.3$  s
    - ◇ Tukey pair-wise contrasts ( $p < .05$ )
      - no changes or those with 2nonR < 2R
  - 7-point と13-pointグラフにおいて, 2R と 2R+non2R を比較したが, 有意差はなかった
  - Experiment 1 と異なり小さくはあったが, number of data points の主効果が有意であった( $F_{\{2,28\}} = 4.83, p < .05, MSe = 160.33$ )
    - ◇ 4 data points: 24.9 s; 7-points: 26.0 s; 13-points: 31.9 s
    - ◇ 4-points < 13-points (Tukey contrasts,  $p < .05$ )

◇ 全体のポイント数が比較的大きくないときに, data pointの数の効果が表れる

◇ *Written protocols*

- Local, global それぞれにおいて, 3 (data points) x 3 (trend change) ANOVA
- 結果は Figure 6
  - Local においては, trend change が増えると増加( $F\{2,28\} = 16.12, p < .0001$ )
  - Global においては, trend change が増えると減少( $F\{2,28\} = 5.42, p < .0001$ )
- 2R + 2nonR グラフ と 2R グラフの比較
  - Globalにおいて+2non-Rのほうが少ない傾向が見られた( $F\{1,14\} = 4.3, p = .06$ )
- number of points の効果
  - Experiment 1 と同様にGlobal 記述においてdata point の数の効果が見られた( $F\{2,28\} = 15.42, p < .005$ )
  - 7-point ( $M = 2.2$ ) , 13-point ( $M = 1.73$ ) > 4-point ( $M = 1.53$ )
  - global において, number of data points と trend changes に交互作用あり( $F\{4,56\} = 2.89, p < .05, MSe = .483$ )

◇ *Restricted exposures*

- 3秒で切ったグラフ
  - 13-points, 2R + 2nonR
- 1名が時間切れのため除外
- 同レベルのグラフで自己ペースで理解したものと比較すると
  - Localにおいては自己ペースのほうが記述が多かった( $M = 9.93$  self-paced;  $M = 5.86$  3-seconds;  $F\{1,13\} = 14.44, p < .005$ )
  - Globalでは有意差はなかった
- 内容に関しては
  - Reversal について
    - ◇ 制限時間なし 10/ 14名
    - ◇ 制限時間あり 10/ 14名
  - nonReversal について
    - ◇ 制限時間なし 7/ 14名
    - ◇ 制限時間あり 1/ 14名
- 参加者は早い段階で重要な情報を統合しており, 反転の存在に早い段階から敏感である

- 実験参加者は傾向の変化を選択的に捉えている

#### ◆ GENERAL DISCUSSION

- 実験1, 2から, グラフの学習時間と解釈は, 傾向の反転に大きく影響されるということが確認された
- データセットが小さい時は point-by-point 方略を使用し, データセットが大きくなると統合方略も使用するようになる
- データセットが大きくなるとGlobalな記述が増えるのは
  - ◇ 記憶容量の問題
  - ◇ 表現の方法の問題 (e.g. Pomerantz and Schweitberg, 1975)
- 今後も教育や実用的な観点から考えると, 実験参加者に質問をして, その回答を分析するよりも, 本研究のように自発的な読み取りを分析していったほうがよい

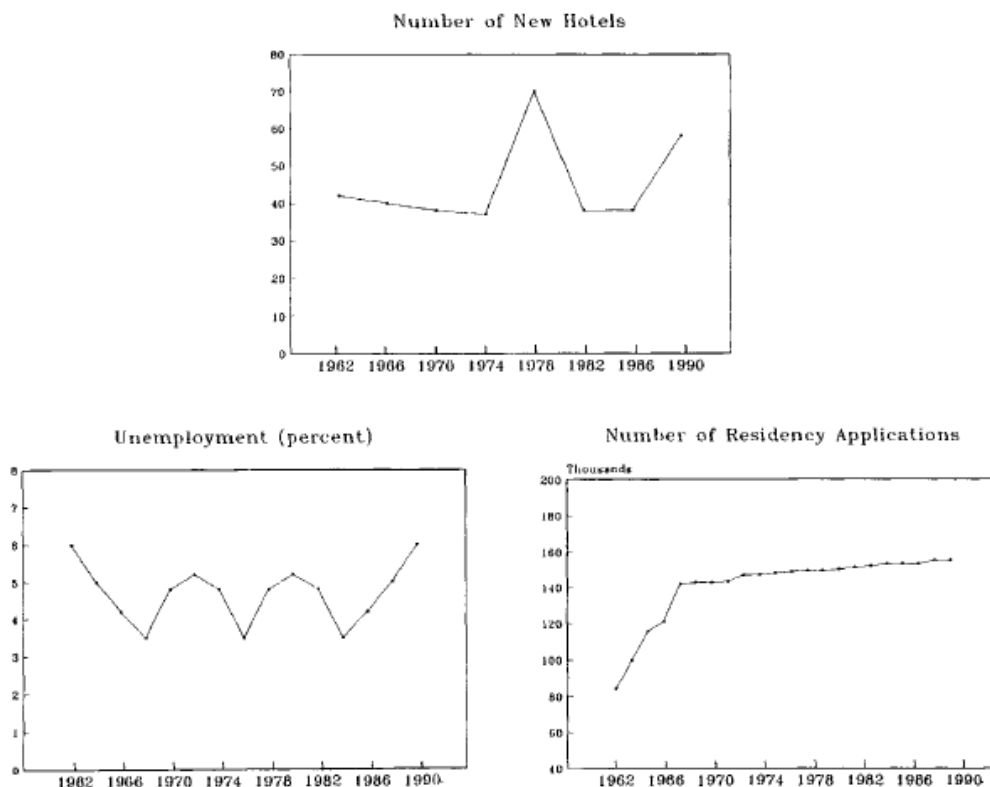


Figure 1. Three examples from the set of 18 line graphs used as stimuli in Experiment I. The 'new hotels' graph in the upper left is an asymmetric graph with 8 data points and 3 trend reversals. The 'residency' graph in the upper right is asymmetric, has 22 data points, and no trend reversals. The bottom graph is symmetric, has 15 data points, and no 5 trend reversals



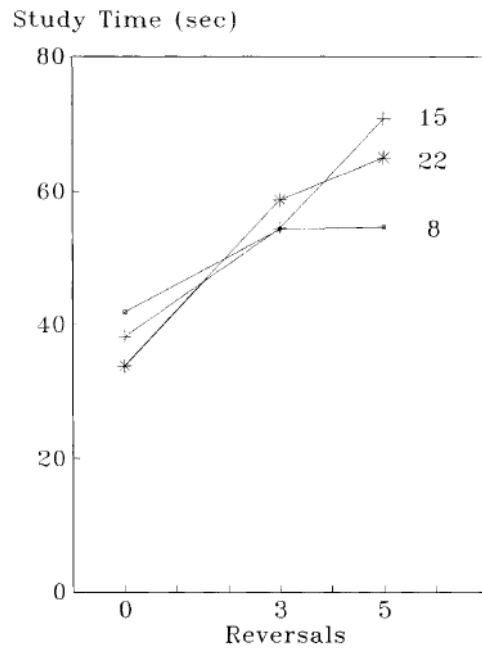


Figure 2. Study time as a function of number of trend reversals (0, 3, or 5) and number of data points (8, 15, or 22)

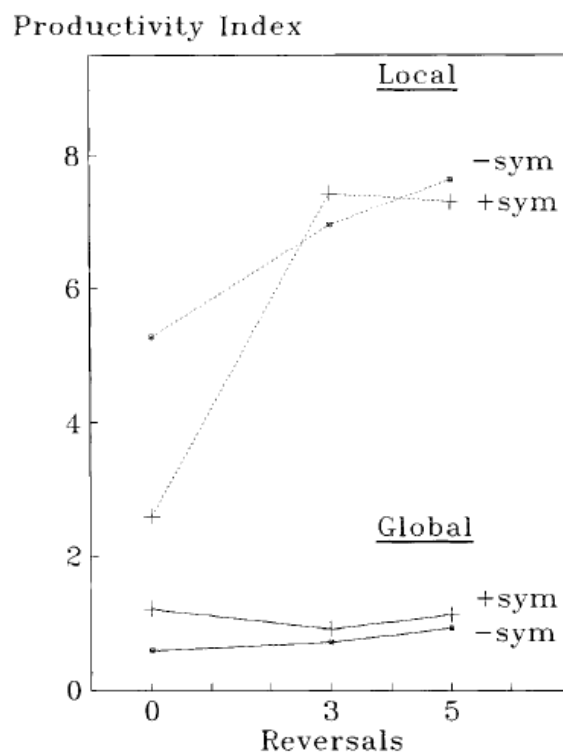


Figure 3. Local and global productivity as a function of the presence (+sym) or absence (-sym) of symmetry and number of reversals (0,3, or 5)

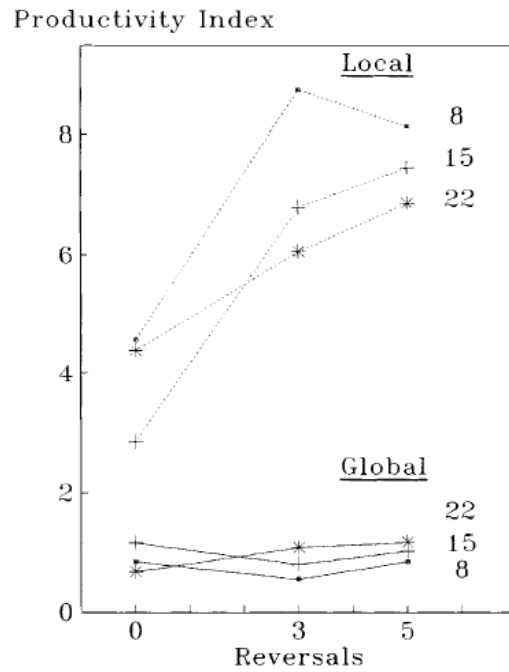


Figure 4. Local and global productivity as a function of number of trend reversals (0, 3, or 5) and number of data points (8, 15, or 22)

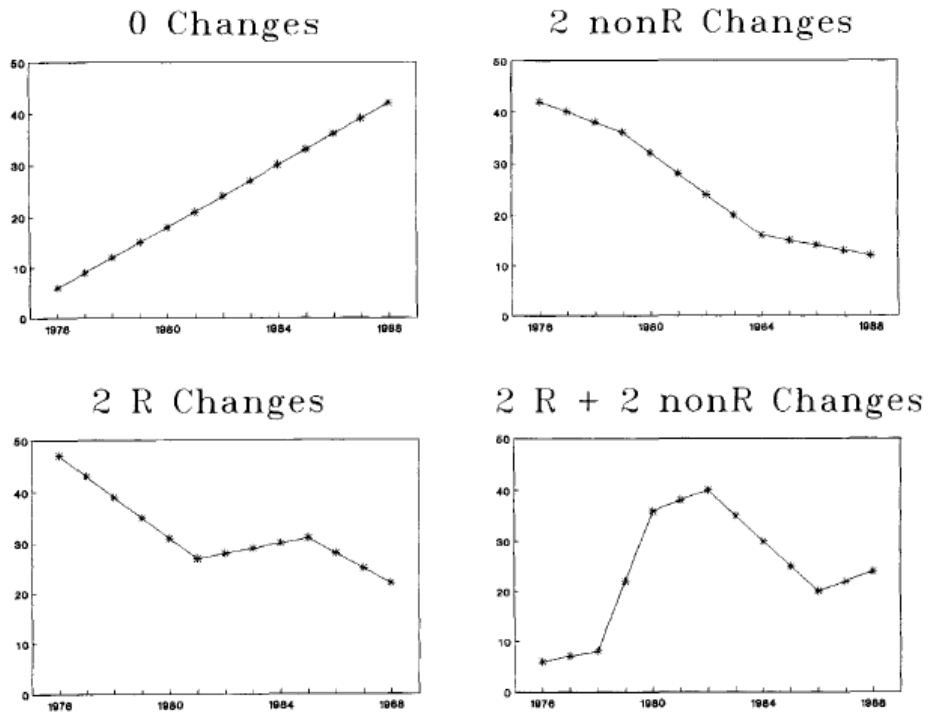


Figure 5. Three examples of the graphical stimuli used in Experiment 2. In addition to 7-point graphs, graphs with 4 and 13 points were included in the sample. For each data set size, a graph was created with no trend changes, 2 non-reversal (2 nonR) changes, and 2 reversal (2R) changes. The set of 7-point and 13-point graphs also included graphs with 2 reversals and 2 non-reversals (2nonR + 2R)

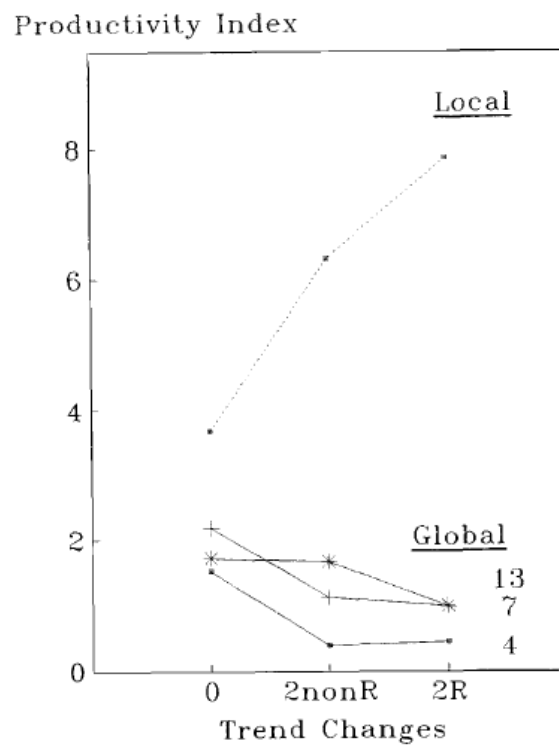


Figure 6. Local productivity as a function of type of trend change, and global productivity as a joint function of type of trend change and number of data points