

## Cognitive Processes in Understanding Line Graphs

Maichle, U.

In Schnotz W. and Kulhavy, R. W. (Eds.), *Comprehension of Graphics*, Chapter 13, pp.207-226, North-Holland, 1994

- はじめに
  - 線グラフは多面的な科学データを示すときによく使用される方法であり，教育場面でも多く使用されている。
  - 理系の大学生は線グラフをどの程度理解できるのか
    - ◇ 小学校でも使用されるようになってきているが，中学生は全体的な特徴を捉えるのが苦手である (Bell & Janvier, 1981)
    - ◇ 大学生でも線グラフの読み取りに問題があり (McDermott et al, 1983)，個人差が大きい (Trost, 1989)
  - 本研究では，Pinker(1990) のグラフ理解の理論に基づいて，グラフ理解の能力が高い人と低い人がそれぞれどのようにグラフからの推論を行っているかの検討を行う。
- Theoretical framework
  - Some characteristics of line graph
    - ◇ 図面や地図は空間的な情報を空間的に表現しているが，線グラフは空間的ではない情報を空間的に表現している (Plunkett, 1979)
    - ◇ 線グラフの理解には，個々の点の理解を超えて，線が表わしている変数の変化を読み取らなければならない
      - そのためには，二次元における点の動きが，2 つの変数における変化を一度に表わしているということをおわかっていないといけない (Clement, 1988)
  - A model of graph comprehension
    - ◇ Figure 1 のグラフは生理学の教科書に載っている，血圧と年齢の関係を表したグラフ
      - このようなグラフから人は何を理解するのか
    - ◇ グラフを理解するプロセスで重要な2種類の表象 (Pinker, 1990)
      - Visual description と graph schema
      - Visual description: 視覚的な知覚システムのアウトプットとしての状態の構造的な記述 (位置的情報など)
      - graph schema : グラフの視覚的な情報を概念的な情報に翻訳する知識構造
        - ◇ pictorial content / L-shaped framework (x 軸, y 軸の見方) / 文章的な素材 (現実場面についての情報)
      - グラフ理解能力が高い人は，一般的なグラフスキーマよりさらに，特化した特定のグラフスキーマを持っていると考えられる
        - ◇ 棒グラフスキーマ，線グラフスキーマ
        - ◇ 棒グラフスキーマについては Pinker(1990)のなかで示されているが，線

グラフについてはなされていない

- ◇ 線グラフではデータの傾向が読み取られやすいことが示されている (Culbertson & Powers, 1959; Simcox, 1983; Wainer & Thissen, 1981; Washburne, 1927)
- ◇ 我々は、線グラフスキーマが活性化されると、傾向についての読み取りは促進され、それ以外の情報についての比較は労力が必要となると考える
- 先行研究ではグラフを読み取る人を1つのタイプに集約しているが、実際の読み取りは個人差が大きい
  - ◇ **Pinker** によれば、線グラフの読み取り能力が低い人は、線グラフスキーマが欠如しているか、線グラフスキーマに重要な要素が欠けている
  - ◇ 我々は線グラフ理解能力が高い人は線グラフスキーマを使用し、低い人は一般的グラフスキーマを使用していると仮定する
    - ⇒ 線グラフスキーマを用いているグラフ理解能力高群は、低群よりも傾向の比較に労力を使わないだろう
    - ⇒ 高群は、傾向の比較よりも、個々の値の比較に労力を使うだろう

## ● Study 1

- 目的：時間を x 軸とした多次元のグラフから、学生はどのような情報を取り出すのかを検討する
  - ◇ 一般的な傾向とグラフ理解能力が高い群、低い群の傾向を探る
- Method
  - ◇ 実験参加者；高校3年生：男子15名、女子18名
  - ◇ materials
    - 医学部入試テストの中の”Diagrams and Tables”(DaT)テスト
      - 線グラフや棒グラフ、表などの基本的な図表の読み取り能力を測定するテスト
      - 60分で24問
    - 教科書から x 軸が時間となっているグラフ (time plot graph) 6つを使用
  - ◇ 手続き
    - 集団で行われた
    - DaT テストを行った後、time plot graph を順番に見せられグラフから読み取ったことを出来るだけ多く記述するように教示された
    - 1つの time plot graph につき10分間の時間が与えられた
  - ◇ Dat の分析：正答率を計算。正答率60%以上だった6名をグラフ理解能力高群、40%以下だった8名をグラフ理解能力低群とした。
  - ◇ 記述された文の分類；time plot graph についての実験参加者の記述は下記のカテゴリに分類された

- (a) Point reading ; 個々の点の値について
- (b) Comparison between two individual point values ; 個々の値の比較について
- (c) Trend reading ; 各線の傾向について
- (d) Comparison between two trends ; 傾向間の比較について
- (e) Visual description ; 各線の配置について「最高血圧のラインは最低血圧のラインより常に上にある」

➤ Results

◇ Results of the overall analysis

- 実験参加者は6つの time plot graph に対して平均 35.6 文を生成 (1つのグラフに対して約 6 文)
- カテゴリ別の割合を Table 1 に示した
- おもに trend information が読み取られていた
  - 全記述の 60%が, trend または comparison between two trends
  - 個々の値についての記述は 20%以下
  - visual descriptions は 11%

◇ Results of differential analysis (グラフ理解能力高群 vs. 低群)

- 文全体の量は同程度
  - 高群 : 36.5(SD=8.4) ; 低群 : 34.6(SD=14.6)
- カテゴリ別の割合を Table 2 に示した
  - Comparison between two individual point values と Comparison between two trends においてそれぞれ, cross-sectional (凡例間) の比較についての記述か, longitudinal (x 軸間) の比較についての記述かというサブカテゴリを設けた
- 低群の記述のうち 38%が特定の線の傾向, もしくは特定の点の値についての記述 (高群は 18%)
- 高群の記述のうち過半数 (53%) はなんらかの 2 者間の比較 (低群は 32%)
  - 2 者間の比較のうち, 高群の 80%は傾向の比較で, 20%が個々の点の比較 (低群は 65%が傾向の比較で 35%が個々の点の比較)
    - ◇ 高群の傾向の比較のうち, 65%は cross-sectional だった
      - 「最高血圧の 50 代から 70 代への上昇は女性のほうが, 男性よりも急激である」
    - ◇ 高群の傾向の比較のうち, 35%が longitudinal
      - 「女性の最高血圧の上昇は, 20 代から 40 代よりも, 50 代から 70 代のほうが急激である」
    - ◇ 低群では, longitudinal の比較はほとんどなかった
- visual description の割合にはほとんど違いはなかった

➤ Discussion

- ◇ 線グラフの読み取り全般について
    - 線グラフから最も顕著に読み取られるのは傾向である
    - 個々の点の値を傾向の情報から分離するのは難しい
  - ◇ グラフ理解能力高群と低群の違いについて
    - 高群は低群よりも複雑な情報を読み取ることができた
    - 多くの先行研究（物理の問題解決課題やチェスなど）の結果と同様に、初心者と比較して経験者は、情報のまとまり（chunks）を使用して問題解決をしているということを示唆している
    - グラフの理解において、この点を詳しく検討した研究は（著者が知る限りでは）まだない。
- ⇒ 続く実験2では think-aloud を通して、グラフ理解の認知プロセスを検討した

- Study 2

- ◇ Method

- ◇ 実験参加者：実験1の参加者のうち、高群と低群に分類された16名
- ◇ materials
  - time plot graph 4つ
  - 1つのグラフにつき、5種類の statement がセットで提示される
    - 正しいものと間違っているものがあり、参加者はそれぞれの statement について、グラフに基づいて判定をする
  - (a) a qualitative, cross-sectional comparison between two trends
  - (b) a quantitative, cross-sectional comparison between two trends
  - (c) a quantitative, longitudinal comparison between two trends
  - (d) a quantitative, cross-sectional comparison between two individual point values
  - (d) a quantitative, longitudinal comparison between two individual point values
    - quantitative comparison は具体的な数字が入り、参加者はグラフから計算しなければならぬ；「2倍の大きさに増加している」
    - qualitative comparison は計算を求めない；「より大きく増加している」
- ◇ 手続き
  - 個別実験で実施
  - 考えていることを全て口に出すように教示
  - 提示されたグラフと statement の内容が合っているかを判定した
- ◇ 分析
  - 発話は書き起こされ、内容によって分割された
  - 発話は以下のカテゴリに分類された（Maichle, 1992 参照）
    - (a) Localization of graph component
    - (b) Identification of a point value
    - (c) Identification of a trend

- (d) Performance of a calculation
- (e) Evaluation
- (f) Rereading/paraphrasing parts of the verbal statements that has to be judged
- (g) Statements indicating the monitoring of the whole evaluation process
- (h) meta cognitive statements

- それぞれのグラフについての発話を 2 つの Phase に分けた
  - Orientation phase：グラフをチェックする段階. グラフが提示されてから最初の statement を読み始めるまで
  - Verification phase：最初の statement を読み始めてから
- 発話が多ければ多いほど，評価するために労力を使ったと見なす

➤ Results

◇ Individual differences concerning the “Orientation phase”

- 高群
  - 平均 19.3 発話
  - statement を読む前に，変数のラベル，傾向等，グラフの概要を把握
- 低群
  - 平均 6.7 発話（高群に比べて少ない）
  - 半数が変数のラベルを読んだだけ．傾向についての記述はなし

◇ Individual differences concerning the “Verification phase”

- Amount of verbalization
  - それぞれの statement に対する判定に関わる発話の度数を Table 3 に示した
  - Comparison between two trends の qualitative / cross-sectional の度数は，高群（10.8），低群（14.2）ともに少ない
  - 高群は Comparison between two individual point values の quantitative / longitudinal が最も多かった
  - 低群は Comparison between two trends の quantitative / cross-sectional と quantitative / longitudinal がともに多く，高群よりも有意に多かった ( $ps < .05$ )
  - 高群は低群よりも少ない発話で判定している⇒労力が少ない
    - ◇ Oriental phase を含めても，高群：32.9 < 低群：45.8
    - ◇ 時間も短い 高群：4.1 分 < 低群：5.4 分

◇ Type of verbalization

- 判定のタイプごとの発話の種類を Table 4 に示した
- Comparison two trends (qualitative / crass-sectional)
  - 全体として少なかったが，そのうちの多くは Evaluation にかかわるものであった
  - Identification of a point value と Calculation は発話されなかった
  - Strategic statement はほとんどなかった

- Comparison two individual point values (quantitative / longitudinal)
  - 高群にとってもっとも労力を必要とした判定であった
  - なかでも Identification of a point value と calculation に関する発話が多かった
- Comparison two trends (quantitative / longitudinal)
  - 高群よりも低群にとって、労力を必要とする判定であった
  - 低群の発話の多くは graph component localization と calculation, identification of a point value に関わるものであった
  - 高群は localization と identification of a point value については発話しなかった
  - 低群と比較して、高群は傾向についての発話が多く、 calculation についての発話が少なかった
- Discussion
  - ◇ 本研究は、グラフ理解能力が高い人は、特定のグラフスキーマを使用してグラフを解釈しているという仮説を検証するために計画された
  - プロトコル発話を分析することによってグラフ理解能力高群と低群の認知プロセスについて深い洞察を得ることができた
    - プロトコル発話は以下の考えに基づいて分析された
      - ◇ 個々の発話について
        - (1) mental effort は発話の量に反映される
        - (2) 特定の種類の発話は特定の種類の認知プロセスと関連がある
      - ◇ 発話全体について
        - グラフ理解は orientation phase と verification phase に分けられる
    - Orientation phase について
      - ◇ 高群は個々の判定を読む前に、グラフの概要を把握する発話をしていた
      - ◇ 結果として低群は Verification phase において高群と比較してより多くの時間と労力を必要とすることとなった
      - ◇ このことは、高群は、線グラフの情報への自動的な注意と素早い情報の把握を促進する線グラフスキーマを使用しているという仮説を支持するものである
    - 線グラフスキーマが促進するもの
      - ◇ 線グラフスキーマは傾向の把握については促進するが、個々の値については促進しない
        - 特定スキーマ（線グラフスキーマ）を使用していると思われる高群は、傾向の判定よりも個々の点の値の判定に、より労力を使っていた（一般的スキーマを用いていると思われる低群は逆の結果であった）
        - quantitative trends comparison において、高群は低群よりも少ない労力で判定していた

- ◇ 全体として、identification と localization のプロセスが多かった
    - ⇒ 全体のプロセスは、線グラフスキーマによって自動的に起こる傾向の比較のプロセスと、意識的に行う認知プロセスからなる
  - Qualitative trends comparison について
    - ◇ 予想と反して、高群も低群もあまり労力を使わなかった
      - どちらの群にとっても自動的に起こったと考えられる
    - グラフ理解能力の発達は、高次レベルの符号化として現れ、高次のパターン知覚を可能にする
    - Ericson & Simon(1984) は think-aloud 法は特定の領域における熟達化の程度を同定するのに役立つとしている
      - ◇ 熟達化すると発話が初心者よりも完全ではなくなる
        - ← 認知プロセスが自動化されるから
      - ◇ 本研究の結果も、これを支持する
        - 高群のほうが、低群よりも発話の全体量が少なかった
- Conclusions
  - グラフ理解能力高群と低群の認知プロセスの違いは、テストだけではなく、講義方法の発展と妥当性に対して、示唆をもつ
  - グラフ理解の能力を判定したいのなら、高群が低群よりも、少ない労力で回答できる課題を用いればよい
    - ◇ qualitative comparison よりも quantitative comparison
    - ◇ cross-sectional comparison よりも longitudinal comparison
  - グラフの理解の仕方を教えるときのための示唆
    - ◇ 科学技術が増加しつつある社会に住む学生にとって、グラフを自在に読み取ることは重要な関心事である
    - ◇ スキーマは発達すると、より精緻化し特化する (Rumelhart & Ortony, 1977)
      - 低群は一般的なグラフスキーマを用いていた
      - 線グラフの読み取り能力を向上させるためには、一般的グラフスキーマを精緻化し、特化させる教育が必要である
    - ◇ 具体的な教育方法
      - (1) 知覚するときに、どのように知覚的に適切な単位に分解するかについて教える
      - (2) 視覚的なパターン（平行や変化など）が線グラフの情報（増加や交互作用など）をどのように表しているのかについて教える
      - (3) 上記のエンコーディングが意識的なものから自動的なものになるように練習する

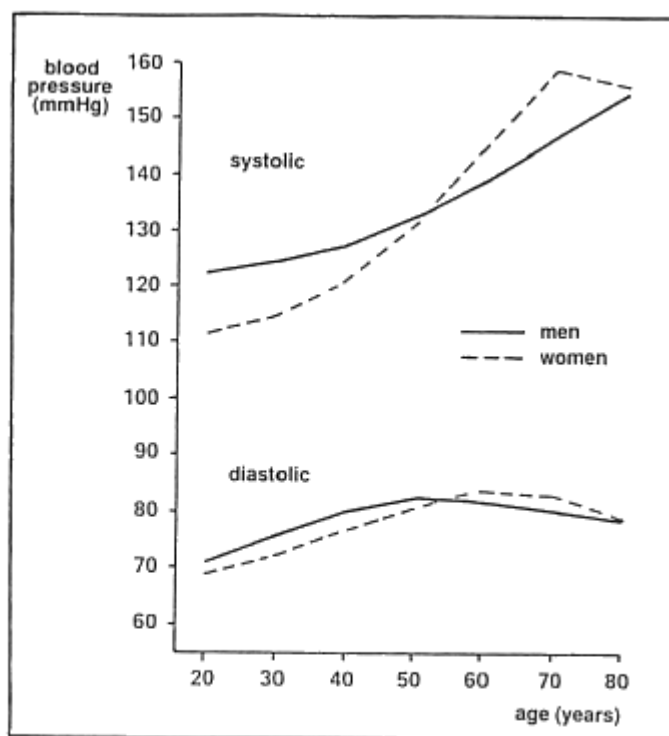


Figure 1. A line graph used in study 1.

Figure 1. 実験 1 で使用した線グラフ

Table 1. 線グラフから読み取られた情報のカテゴリ別割合

Table 1. Percentages for different types of information extracted spontaneously from line graphs

Type of information	Percentage
Point reading	.08
Comparison between two individual point values	.11
Trend reading	.36
Comparison between two trends	.25
Visual description	.11
Unclear	.09

Note. Percentages are based on 1 176 statements. Number of subjects: 33.



Table 2. グラフ理解能力高群，低群の線グラフから読み取られた情報のカテゴリ別割合

*Table 2. Percentages for different types of information extracted spontaneously from line graphs by good and poor graph readers*

Type of information	Graph readers	
	good	poor
Point reading	.01	.05
Comparison between two individual point values		
- cross-sectional	.02	.08
- longitudinal	.08	.03
Trend reading	.17	.33*
Comparison between two trends		
- cross-sectional	.28	.17
- longitudinal	.15	.04*
Visual description	.11	.15
Unclear	.18	.15

Note. Percentage are based on 292 statements (good graph readers) respectively 277 statements (poor graph readers). \*p < .05.

Table 3. 判定タイプごとの発話の度数の平均

*Table 3. Mean number of verbalizations produced while thinking aloud performing different types of verifications.*

Type of verification	Graph readers	
	good	poor
Comparison between two trends		
- qualitative / cross-sectional	10.8	14.2
- quantitative / cross-sectional	20.1	45.7*
- quantitative / longitudinal	27.4	46.5*
Comparison between two individual point values		
- quantitative / cross-sectional	23.7	39.1
- quantitative / longitudinal	30.4	33.0

Note. Number of good graph readers: 8; number of poor graph readers: 8. \*p < .05.

Table 4. 判定タイプごとの、発話の種類別の度数の平均

Table 4. Analysis of thinking aloud protocols: Mean number of different types of verbalizations while verifying verbal statements with respect to line graphs.

Type of verbalization	Type of verification					
	trends (qual./cross-sect.)		Comparisons between point values (quant./longitud.)		trends (quant./longitud.)	
	good	poor	graph readers good	graph readers poor	good	poor
Localization of a graph component	0.3	0.7	0.7	1.9	-	4.6
Identification of a point value	-	-	6.9	10.8	-	2.8
Identification of a trend	0.7	0.7	2.4	0.7	4.6	2.3
Calculation	-	-	8.6	6.6	4.0	6.9
Evaluation	2.7	2.9	3.0	6.0	3.4	4.6
Rereading / paraphrasing a text segment concerning						
- independent variable (time)	1.0	1.7	0.6	1.1	4.6	6.9
- dependent variable	2.3	2.3	1.3	2.9	2.3	2.9
- relational information	0.3	0.7	0.6	0.9	1.7	4.4
Strategic statement / check	1.0	1.8	3.7	3.5	3.5	5.8
Metacognitive statement	1.0	1.0	1.8	1.1	1.7	2.8
Unclear	1.5	2.4	0.8	0.7	1.6	2.3

Note. Number of good graph readers: 8; number of poor graph readers: 8.