

グラフ読み取り時における注視パターンと読み取り内容の整合性分析

Consistency Analysis between Gaze Patterns and Comprehension when Reading Graphs

曾根 寛大[†]

Sone Kanta

小笠原 優心[†]

Ogasawara Yushin

家頭 裕也[†]

Yagashira Yuya

中平 勝子[†]

Katsuko T. Nakahira

1 はじめに

現代の情報社会において、私たちは日常的に膨大なデータに接しており、それを正しく理解し、活用することが求められている。なかでも数値情報を視覚的に表現する手段として、グラフは広く用いられている。Lewandowsky ら [1]によれば、データが視覚的に呈示されることで、表形式では把握しにくい微妙な違いや傾向を認識しやすくなり、これは人間が視覚パターンを認識・処理するのに非常に長けているためであるとしている。また、グラフは統計データの分析と伝達のための本質的なツールとして、約 200 年間にわたり用いられてきた。用途としては大きく 2 つに分けられ、1 つは他者に情報を伝達するため、もう 1 つは自らデータを分析するためである。情報を呈示する側は、聴衆にメッセージが正しく理解されるだけでなく、記憶にも残ることを期待している。以上の点からグラフは単に数値の意味を視覚的に示すだけでなく、情報を受け取る読み手（リーダー）との間をつなぐインターフェースとしても機能している。そのため、グラフがどのように読み取られ、理解されるのかという認知プロセスを明らかにすることは、情報伝達の最適化に向けた重要な手がかりとなる。

本稿では、グラフ読み取り時の注視パターンに着目し、グラフを読み取った際の表出内容と注視パターンの対応を調べ、知覚—表出（行動）の整合性について分析を行う。

2 仮説の設定

グラフを読み取る際の視行動を計測することで、理解過程における認知的な操作を明らかにしようとする試みはいくつか存在している。たとえば、Thomaneck ら [3]の研究では、視線計測をグラフ課題に取り組む生徒の認知過程を捉える有望な手法と位置付けている。人が注視するものと処理するものとの間には密接な関係があると仮定する眼心仮説があるがそれには限界があるとしたうえで、文脈情報を含むコンテキストグラフと視線計測を用いた実験を通して、数学的課題における解釈プロセスを探ることに視線計測が有効であることを示した。

また、グラフに関して Pinker [2]は、人間の認知の重要な特性のひとつとして、定量情報を図式形式で処理することを好むと述べている。さらに、グラフ形式は情報をより知覚・理解しやすくすることも指摘しているが、その理由を説明する理論や原則は、当時の認知科学にはほとんど存在していなかった。こうした背景を踏まえ、グラフの読解過程を理解するには、その背後にある認知過程を明らかにする必要があるとの観点から、Pinker は自身の論文においてグラフ理解理論を呈示している。

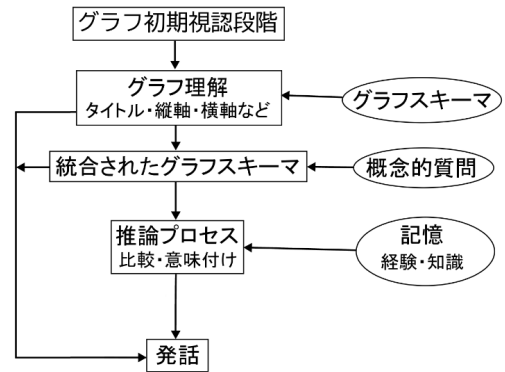


図1 Pinker の理論を参考に作成したグラフ認知過程モデル

その理論の中ではグラフの情報はまず、二次元の視覚的な刺激として目に入り、その後、形や配置などに基づいて視覚的な特徴が整理される。この視覚情報がこれまでに学習した知識や経験に基づきスキーマと照合されることで、グラフの構造に対応した理解が形成される。さらに、特定の情報を得ようとする意図が生じた際には、問いが立てられ、それに対応する意味内容がグラフから引き出され、思考や推論へとつながっていく、というものであった。

以上を踏まえ、本研究では Pinker の理論をもとに、グラフ理解の流れを簡略化したモデルを作成した。図 1 に視覚的な情報としてグラフが入力されてから、どのように意味づけされ、どのようなタイミングで発言へとつながっていくかを整理したものを示す。このモデルを作成した理由は主に 2 つある。ひとつは、実験の設計段階で、自身の中でグラフ理解の認知過程を明確にし、被験者がどの場面でどのような発言をするかをある程度想定したうえで設計を進めるためである。もうひとつは、実験後の分析において、被験者の発言内容やそのタイミングをこのモデルに照らして整理することで、グラフ理解の認知プロセスをより具体的に捉えるためである。視覚的な入力から発言に至るまでの流れを可視化することで、被験者の思考のプロセスを丁寧に追い、理解の過程を捉える手がかりとしたい。

このような認知過程モデルに基づけば、被験者はまず、グラフの内容を把握するためにタイトルや軸、凡例といった情報を見て、図の種類を自身のスキーマと照合することになる。この段階で、グラフの構造や示す内容に関する発言が生じると考えられる。その後、得られた情報に基づいて基本的な問いが生まれる。これに対して被験者は新たな注視や発言を行うことになる。最終的には、記憶との照合や比較、意味づけを通じて得ら

[†]長岡技術科学大学

表1 提示刺激パターン対応表

対象1	対象2	単年		複数年
		縦軸変動	縦軸固定	
熱帯湿潤気候（北半球）	西岸海洋性気候（南半球）・1	○		○
西岸海洋性気候（南半球）・2	サバナ気候・北半球		○	○
熱帯湿潤気候（北半球）	西岸海洋性気候（南半球）・1		○	○
西岸海洋性気候（南半球）・2	サバナ気候・北半球	○		○

れた理解が発話されることになる。このように、視行動と発話内容は、段階的な認知処理に沿って展開されると考えられる。よって本研究では、視線の遷移や注視と発話内容との間に対応関係が見られるという仮説のもと、実験を実施する。

3 予備実験

本実験は、仮説や分析方法の妥当性を検討することを目的とした予備的な実験として実施された。参加者は大学生の男性1名であり、視力に問題はなく、つけていたコンタクトが視線計測に支障のないことを確認したうえで実施された。実験開始前には、説明用スライドを用いて内容を説明し、本人の理解と同意を得た上で予備実験に参加してもらった。

実験は、雑音や強い光の影響を受けないよう配慮された学内のスタジオにて実施した。視線計測には Tobii Pro Spark（サンプリングレート：60Hz）を使用した。また、発話内容を記録するため、参加者の襟元に無線マイクを装着し、レコーダーにより音声データとして記録した。

提示刺激は、気象データに基づく5つのグラフ（降水量・平均気温）で構成された。気象データは、一般的な知識として親しみやすく、社会的文脈とも結びつけやすいことから選定し、降水量はヒストグラム、平均気温は折れ線グラフとして表現した。グラフは表1のような2パターン用意し、参加者にはいずれか一方がランダムに割り当てられた。

提示刺激の1枚目から4枚目には、2都市の降水量および平均気温のデータを掲載した。選定した都市についてだが、西岸海洋性気候や、熱帯湿潤気候といった、時期によって気温や降水量の変化がある地域、もう一方を比較的溫度変化がなく安定した地域とした。この2都市を並べることにより提示刺激としてより比較しやすくし、被験者に両都市の違いや共通点に着目したグラフ読み取り課題をうながした。図2に示すように、1年分のデータを示すグラフには、縦軸を固定したもの（1つのグラフに2都市を併記）と、都市ごとに個別の縦軸を用いたもの（グラフを横並びに配置）の2種類を用意した。複数年分のグラフは、縦軸を固定しどちらのパターンにも入れた。5枚目のグラフは1つの地域における複数年の降水量及び平均気温をプロットしたものである。このグラフは、特定の地域での気候パターンの読み取りを目的として選定した。

参加者にはモニターから約60cm離れた位置に楽な姿勢で着席してもらい、まずは説明用スライドにより実験の流れと内容を確認し、同意を得た。その後、視線計測装置のキャリブレーションを行った。実験の前には、1枚のグラフを用いてリハーサルとして実験内容の確認を行った。実験では、各グラフの表示直前に白い十字架（Fixation Cross）を中央に3秒間表示し、

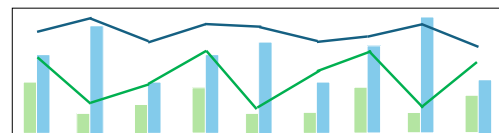
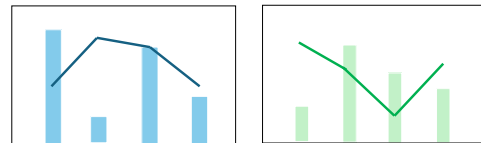
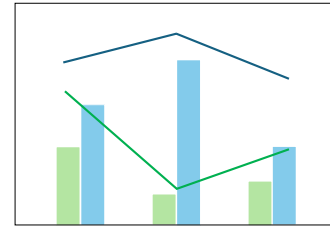


図2 提示刺激模式図。上から順番に、単年縦軸固定、単年縦軸変動、複数年である。

各グラフ読み取り前に画面中心を注視してもらうように仕向けた。グラフが表示された後、参加者には読み取れる内容を自由に発話してもらい、発話に制限時間は設けなかった。参加者自身の判断で読み取りが完了したときに、キーボードを操作して次のスライドに進む形式を採用した。

実験データ分析手順に関して本研究では、被験者の視行動と発話内容の対応関係を詳細に分析するために、まず実験中の発話をすべて文字起こしし、それぞれの発話にタイムスタンプを付して時系列順に整理した。その上で、各発話が行われているタイミングに対応する注視点抽出し、グラフ画像上に赤枠で主な注視領域を示すことで、視線と発話内容との対応が視覚的に確認できるように調整を行った。また、Tobii Pro Labで取得したGazeplotの視線移動動画と被験者の音声と同期させた動画を用いて、リアルタイムでの視線の動きと発話との関係を観察し、発話と注視のタイミング、視線移動の意図、情報探索

の様子を丁寧に見ていった。これにより、被験者がグラフからどのように情報を読み取り、どのような認知的処理を経て発話に至っているのかを、時系列的にとらえた。

4 予備実験結果

2章で構築した仮説の通りであれば、予備実験において視線の遷移や注視点に描かれるオブジェクトと発話内容の間に対応関係が見られると考える。この点を確認するため、視線の遷移と注視点、読み取られた内容とどのように関係しているかという観点から実験結果を述べる。

整合性の観点からは、多くの発言において、発話内容とその時点で注視していた箇所との間に関連性がみられた。

図3は、本実験における1つ目の提示刺激であり、対象都市の特徴として、一方の都市は四季があり、平均気温の折れ線グラフが氷点下付近まで低下する月が含まれている。もう一方は、気温が常に高いところを保っていて、特定の時期には極端な降水量の増加を見せる地域であった。この提示刺激は、気候特性の異なる2都市のデータを1つのグラフ上に配置することで、被験者が両都市の違いにどのように注目し、どのような過程で読み取るのかを観察することを目的として構成されたものである。この図における発話では、「平均気温も氷点下に近いところまで落ちて、けど降水量が少ないところから冬場でも結構乾燥……」と述べられていた。この発話の際には、まず図3中の注視点番号(1)において、平均気温が最も低下している箇所に注視が向けられた。続いて(2)にて、該当する気温データがどの都市に対応するものかを確認し、さらに(5)では縦軸に視線が移動し、気温が具体的にどの程度まで下がっているのかを確かめている様子が観察された。

図4は、3つ目の提示刺激であり、2都市の1年分のデータをそれぞれのスケールにあった軸で示して、グラフを横に2つ並べているというものであった。この提示刺激は、気温や降水量に対して実際には差があるため、2都市間の比較をするためには縦軸に注目しそのスケールの違いに気づく必要があった。その時の発話内容は、「シンガポールの方の気温の軸が27度から29.5度で、オークランドの気温の軸が12度から22度というところで、軸のそもそもの付け方からしてシンガポールの方が平均的に気温が……」と述べられていた。図4中の注視点番号(1)から(5)にて両都市のグラフから気温の縦軸にそれぞれ注視してスケールが違うことを確認したうえで、(6)以降において折れ線グラフに注目、そして両都市間の温度の上下関係について目で追っている様子が分かる。

このように、多くの場面においては、発言内容と視線の動きが連動していることが確認された。一方で、グラフ中の注視している場所と発言内容が必ずしも一致しない場面もいくつか見られた。たとえば、図3のような提示刺激においては、発言内容が年間の気温全体に言及しているにもかかわらず、実際の注視はその一部の範囲に限られており、すべてを確認しているわけではない場合があった。また、グラフから読み取った内容をもとに、都市の地形といったより高度な推察を行っている場面では、図5のようにどこかを注視するのではなく、グラフ全体を広く見渡すような視線の動きが見られることもあった。

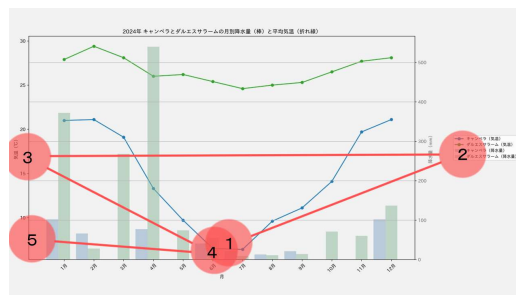


図3 提示刺激1における主な注視点とその順序

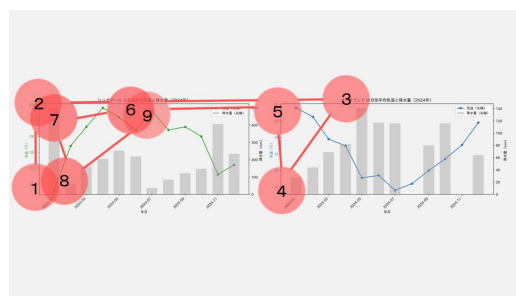


図4 提示刺激3における主な注視点とその順序

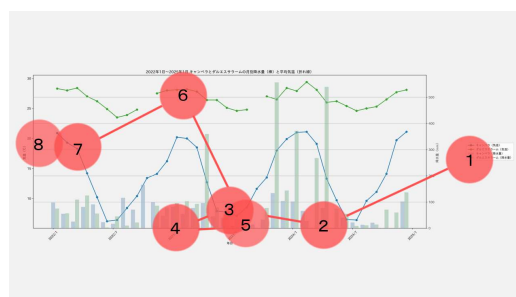


図5 提示刺激2における主な注視点とその順序

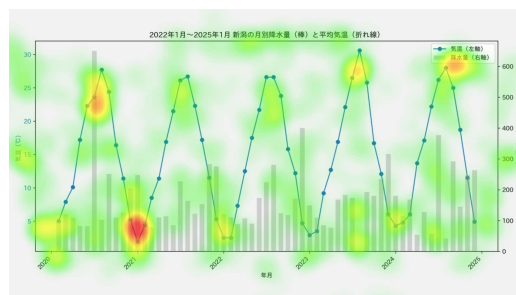


図6 提示刺激5のヒートマップ

また、整合性の分析を進める中で、特徴的な視行動が観察された。1つ目および5つ目の提示刺激には、一方の都市のある月の降水量が特に多く、そのヒストグラムの棒の途中が気温の折れ線グラフと交差するような構成になっているものが含まれていた。このようなグラフにおいて、参加者が該当する月の降水量について言及する際、視線は必ずしも棒の最上部に向けられるのではなく、気温の折れ線と交差している付近に注目している様子が確認された。さらに、全体的な注視傾向として、折れ線グラフにおける温度の上昇と下降が切り替わる、季節の変わり目にあたる部分への注視が多く見られた。この傾向はすべ

での呈示刺激に共通して観察された。一方で、温度が単調に増減している部分では注視はあまり見られず、それに関する発話も少なかった。図6を通して見ると、特に注視が集中しているのは折れ線グラフの凸部分や降水量のヒストグラムと気温の折れ線グラフとで交差している部分であった。これは発話の有無にかかわらず、このような場所で注視が見られた。一方で、折れ線や棒グラフ以外に特に情報が含まれていない領域については、注視されることは少なく、グラフが配置されていない余白部分に視線が向けられることはほとんどなかった。

5 考察

本研究では、統計グラフの読み取りにおける視行動と発話内容との整合性に注目し、時系列で処理された視線データおよび認知モデルに基づく分析を行った。

本研究の結果から、統計グラフの読み取りにおいて、視線の動きと発話内容が概ね連動していることが確認された。特に、すべての呈示刺激において、グラフの情報を読み取り始める際、まずタイトルや凡例、軸といった基本的な情報に視線を向け、グラフの概要を把握したうえで、折れ線グラフやヒストグラムの具体的な特徴に注目するという一連のグラフ理解手順が観察された。このことは実験設計段階で想定されていたことであり自身が作成したグラフ理解過程モデルとも対応していた。一方で、発話内容と視行動の間に明確な対応が見られない場面も存在した。たとえば、読み取ったデータそのものではなく、そこから推論された都市の地理的状況やその土地特有の気候に関する高度な考察がなされた場面では、発話中に視線が定まらず、グラフ上を広く流し見するような動きが確認された。これらは、単なる情報の読み取りではなく、読み取った情報をもとに意味づけや推論などの負荷の高い思考が行われていたことにより、視線が特定の箇所に定まらず、不安定な動きとなっていたと考えられる。また、発話の途中で視線がグラフの内容とは関係のない場所へ移動する場合も見られた。これについては、すでに発言内容が構築されていて、次の読み取りのための探索的な視行動として解釈するのが妥当であると考えられる。そのほか、気温全体について言及しているにもかかわらず、一部の範囲しか注視していない場面が見られた。このような場合、周辺視野を活用していた可能性があると考えられる。

また、本実験では、注視パターンおよび視線の移動において、いくつか特徴的な傾向が観察された。たとえば、最大の降水量に言及している場面では、本来であれば棒グラフの上端、すなわち最大値を示す位置に視線が向けられると想定していた。しかし実際には、降水量のヒストグラムの棒と気温を示す折れ線グラフが交差する部分、棒上端からやや下方に視線が集中しており、発言もそのタイミングでなされていた。このような視行動は整合性が取れていなく、また別の要因が影響している可能性がある。例えば人間の視線は情報を読み取ろうとするとより視覚的に、複雑になっているところでの注視が起りやすいと考える。その場合、実際、本実験全体のヒートマップからも、視線が長く留まるのは、複数の情報が重なり合う領域や視覚的变化の大きい箇所であることが確認された。このことから、単に棒の上端という数値的な極値を確認するのではなく、複数の

情報が交差して意味的な解釈が生まれやすい交点に視線が誘導されていた可能性が高い。

そして今回の結果から視線計測のデータを追うことによりグラフ読み取り時の思考を追うことが可能であり、Thomaneckからも述べていたように視線計測がグラフ理解の分析することに対して有益であることが分かった。さらに、今回の実験設計および分析の過程で活用したグラフ理解過程モデルについては、参加者の読み取り手順や発話のタイミングをある程度予測する枠組みとして機能した。

今回の予備実験では、仮定や分析方法、実験手法の妥当性を確認する目的で実施された。そのうえで、モデルに基づく仮定に関しても、得られた結果から一定の説明が可能であることが確認された。分析手法と実験手法に関しても、それぞれ特に大きな問題は見られず、概ね妥当であると判断された。そして仮に、呈示されたグラフが全く見慣れない形式であった場合や、データの意味を理解するために追加の説明が必要なものであった場合には、今回と同様の視行動や読み取り過程が見られるとは限らない。またこの実験の中でグラフの形状、情報の密度によっても視線の動きや注視点などに影響を与えてきそうということも分かった。これらの点に関しては、今後課題となってくる場所である。

参考文献

- [1] Stephan Lewandowsky and Ian Spence. The perception of statistical graphs. *Sociological Methods & Research*, Vol. 18, No. 2-3, pp. 200–242, November 1989.
- [2] Steven M. Pinker. A theory of graph comprehension. In Robert O. Freedle, editor, *Artificial Intelligence and the Future of Testing*, pp. 73–126. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1990.
- [3] Aylin Thomaneck, Maike Vollstedt, and Maike Schindler. What can eye movements tell about students' interpretations of contextual graphs? a methodological study on the use of the eye-mind hypothesis in the domain of functions. *Frontiers in Education*, Vol. Volume 7 - 2022, , 2022.