

# グラフ読解における視覚的複雑度と解釈要因の抽出

Extracting visual complexity and interpretation factors in graph comprehension

小笠原 優心<sup>†</sup>  
Yushin Ogasawara

曽根 寛大<sup>†</sup>  
Kanta Sone

家頭 裕也<sup>†</sup>  
Yuya Yagashira

中平 勝子<sup>†</sup>  
Katsuko T. Nakahira

## 1 はじめに

視覚情報を言語として他者に伝達する行為は、教育現場やビジネスレポート、報道資料など多様な場面で日常的に行われている。なかでもグラフは、数値を直感的かつ効率的に共有できる手段として広く用いられてきた。しかし、限られた時間や字数の中でグラフの要点を説明する際、伝達者がどの視点を選択するかによって、受け手が得る情報は大きく左右される。例えば、Pinkerの理論では、グラフは「概念的メッセージ (conceptual message)」を読者に伝える試みとし、読者がグラフから情報 (概念的メッセージ) を抽出する過程には、視覚的特徴を精神的な表現 (スキーマや述語) にマッピングするプロセスが関わるとされている。グラフの理解の容易さ・難しさは、視覚的特徴が概念的情報にどの程度明確にマッピングされているか、つまりグラフが伝えたい概念的メッセージが、人間が容易に知覚できる「視覚的述語 (visual predicate)」やパターンとして符号化されているかどうかによって依存する [1]。

こうした背景の中で、特に情報技術が発達した今日において、グラフ理解は私たちにとって不可欠な能力であり、グラフ理解の仕組みや理解に対する効果的な支援方法を解明するために様々な研究が行われている。

本研究では伝達者の視点による伝達内容の差異に関する基礎研究として、数値を視覚的に情報伝達する手段としてのグラフを対象とし、その読解に影響する潜在要因を抽出することを目的とする。そのための第一段階として、グラフ読解における視覚的複雑度と解釈要因の関係について、複合グラフを対象に、その解釈に至る要因の抽出を行う。

## 2 視覚的複雑度と解釈要因の関係抽出方法

### 2.1 グラフ理解の解釈レベル

グラフの視覚的複雑度と解釈要因の関係を抽出する際、解釈を行うもののグラフ理解についてのリテラシーによって読み取れる深さが違うと考えられる。この点について、現在ではグラフリテラシーはじめ様々な議論が存在するが、本稿では、広く知られている Friel らが示したグラフ理解における解釈レベルを採用する。

Friel らの研究では、以下に示すグラフ理解における解釈レベルを次の3つに分けることができると主張した [2]。

1. 初級レベル：グラフからのデータ抽出 (翻訳)
2. 中級レベル：グラフに示されたデータにおける内挿や関係

の発見 (統合や解釈, 内挿)

3. 上級レベル：データからの外挿, グラフにおける暗示された関係の分析

### 2.2 対象のグラフについて

本稿の目標である、グラフ読解における視覚的複雑度を制御するには、解釈対象となるグラフ選定に工夫が必要である。そのためには、グラフ理解度に従って分析可能なグラフ選定が必要となる。前節で述べた、Frielのグラフ理解度をもとに考えるならば、

1. 翻訳 (初級), 内挿 (中級), 外挿 (上級) の3レベルの読解処理 (表1) をいずれも誘発し得ること
2. 観察可能な視覚特徴 (軸数・系列数・季節性など) を系統的に操作できること

の2条件を満たす必要がある。

項目1に関連しては、以下の報告がある。新井ら [5] が行った、小学校から大学生までの553名に対する大規模調査によれば、大学生については折れ線グラフ・棒グラフ・円グラフ、ヒストグラムなどに対する基本的な読み取り能力、すなわち、Frielらが述べるところの初級・中級レベルについては、ほぼレベル到達していることが示唆されている。高等教育機関に所属するものを対象とする場合、初等・中等教育機関で学習するような基本グラフに対する読解では視覚的複雑度と解釈要因の関係を導くことはできないと判断できる。そのため、本稿で呈示するグラフは、基本グラフのうち、棒グラフと折れ線グラフが複合された“複合グラフ”を対象とする。複合グラフの特性として、同一グラフエリアに対して複数の折れ線、棒、ヒストグラムなどのグラフを追加することができ、その要素数で複雑度の程度を調整することができる。加えて、時系列分析の長さ調整、主軸・副軸双方の翻訳可能性、多くの凡例確認など、視覚情報としても抑えなければならない要素が多く、外挿へ向けた解釈の誘発が期待される。

本稿では、複合グラフの作成について、気象庁のWebサイトから取得した、平均気温、降水量の気象データ [4] を用いて、図1に示すように

- 降水量：棒グラフ
- 平均気温：折れ線グラフ

を組み合わせた2変数グラフを作成した。気象データは日常的な知識と結びつきやすく、内挿に留まらず、社会的文脈にあたる外挿といった高次推論を引き出しやすい点で適している。

<sup>†</sup>長岡技術科学大学

表1 Frielら(2001)に基づくグラフ理解度の分類

レベル	理論定義	本研究での運用定義
初級(翻訳)	データ抽出・読み取り	軸ラベルや値, 単一系列の極値を読み上げる
中級(内挿)	複数データの関係や傾向の発見	目盛り間で数値を推定/系列比較で趨勢を述べる
上級(外挿)	図外知識の適用・予測	背景知識を用いた推測・生成

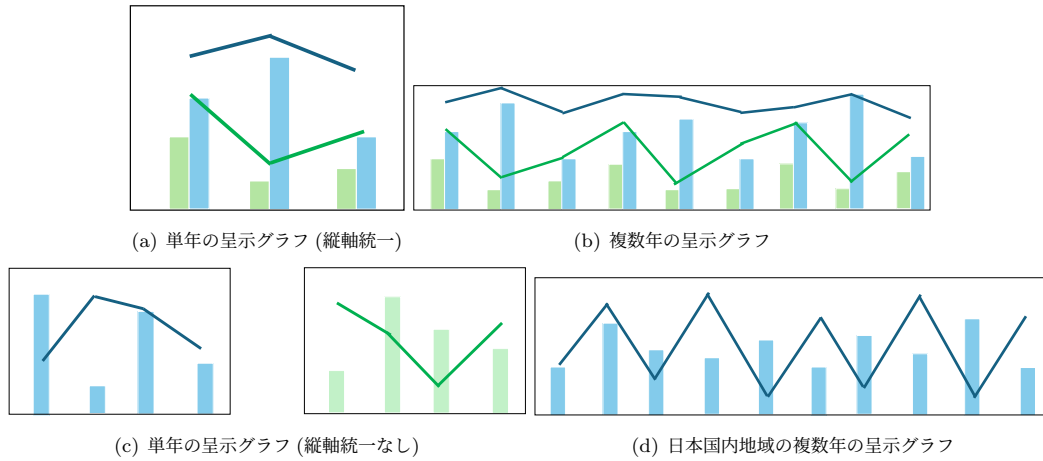


図1 呈示グラフ例

表2 呈示グラフパターン表

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)I	○		○
西岸海洋性気候(南半球)II	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)I		○	○
西岸海洋性気候(南半球)II	サバナ気候・北半球	○		○

対象地域と気候区分は以下の通りである。

- 熱帯湿潤気候(北半球)
- 西岸海洋性気候(南半球)I
- 西岸海洋性気候(南半球)II
- サバナ気候(北半球)

熱帯湿潤気候は1年を通して気温, 降水量が高く, 変化が小さい一方で, 西岸海洋性気候やサバナ気候は季節変化が顕著である。この対比により, 被験者が

1. 値を翻訳する場面
2. 系列を比較して傾向を内挿する場面
3. 背景知識を用いて外挿する場面

を意図的に散りばめ, 潜在要因, 例えば軸範囲の不統一性による難易度増加量や系列数による負担増加量を抽出できるよう設計した。

### 2.3 グラフ解釈データ取得

曾根ら[6]の実験にて得られた音声データをもとに, 各呈示刺激に対する回答を時間とともに文字起こした。これによって取得した回答内容をもとに, 時系列的にどのような難易度推移となっているかを分析する。Friel(2001)らの主張[2]に従

い, 本研究での運用定義は, Yagashira らが行った記述回答タスクにおける学校段階別差異研究で用いられたグラフ理解能力の分析[3]を採用する。

今回は予備実験として, 実験結果から分類方法や実験設計の妥当性について議論するものとする。実験には男性の大学生1名が被験者として参加した。なお, 被験者は基本的なグラフの読み取りに関する知識を有していたため, グラフの呈示自体が実験の目的を損なうことはなかった。被験者には, 実験開始前に説明用スライドを呈示し, 実験内容を理解したうえで同意を得た。実験では, 呈示刺激である複合グラフ呈示後, ただちにグラフを読み, 読み取れた内容について, 時間の制約なく自由に発言してもらうよう指示した。発言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, レコーダにより音声データとして記録した。

呈示刺激は, 気象庁ウェブサイトから取得した月平均気温および月降水量データ[4]をもとに作成した4枚の2変数グラフと, 基礎的な時系列パターンを示す単振動グラフ1枚の計5枚で構成される。気候帯は「熱帯湿潤(北半球)」「西岸海洋性(南半球)」「西岸海洋性(南半球・別都市)」「サバナ(北半球)」の4種を選定し, 降水量を棒グラフ, 平均気温を折れ線グラフとして重ね描いた。これらの図表は, データ変動が小さい気候と大きい気候を対比させることで, 翻訳・内挿・外挿の3レベル

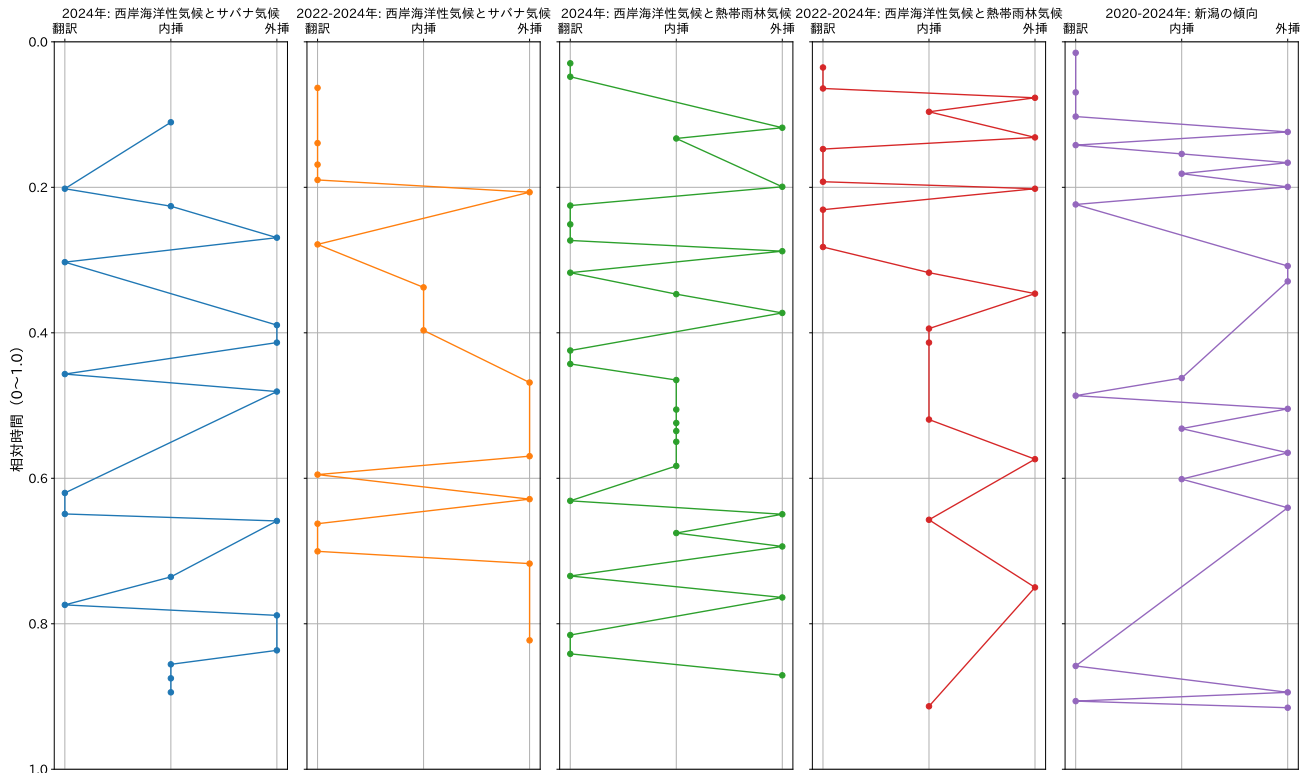


図 2 各呈示グラフの回答を基にした時系列解釈度レイヤ推移図

すべてを誘発できるよう意図的に作図している。例えば、縦軸範囲を固定しないグラフの読み取りタスクでは視認性の難化によって、縦軸範囲を固定したグラフの読み取りタスクに比べて翻訳にあたる部分が多くなるといった点や、地域差として、季節変化が乏しい熱帯湿潤気候のグラフは翻訳レイヤを中心に処理されやすい一方、季節性が顕著な西岸海洋性気候のグラフでは内挿や外挿を必要とする発話が増える点が予測される。

刺激の呈示順序は、表 2 に示す 2 通りのシーケンスを用意し、被験者には事前は無作為に割り当てた。各グラフは全画面表示し、被験者が読み取りを完了した時点でキーボード操作により次のスライドへ進む方式を採用した。呈示時間に上限を設けず、発話の中断や再確認も制限しないことで、自然な読解プロセスを観察できる環境を整えた。

## 2.4 回答データを使った理解度分析

本実験では、曾根ら [6] の方法論を参照し、被験者が各呈示刺激について自由発話した内容をすべて録音した。録音データは人手で文字起こしした後、句点単位で意味的に細分化した。こうして得られた発話単位を対象に、Friel ら [2] が提唱した 3 層モデルを適用して分類した。表 1 は、原理論の定義と本研究における運用上の判断基準を対比したものである。

## 3 分析結果

それぞれの呈示刺激の回答について、表 2 および Yagashira ら [3] の分類方法を基にして、被験者が回答した内容を翻訳、内挿、外挿の 3 段階に分けた。各分類に該当する回答内容として、例えば、翻訳においては「\*\*\*の平均気温が常に高い」、\*\*\*の降水量が 100 ミリ以下」が該当する。内挿は「\*\*\*と比

較して\*\*\*の降水量が 1 月から\*、\*月にかけて降水量が多い」「\*\*\*の降水量が特に\*月から\*あたりが特に大きい」という回答が該当する。外挿は「南半球の乾燥した地域と推察」、「熱帯のような気候になるのかなと考える」といった回答が該当している。この様にして分析された解釈データを基に、相対時間と回答属性パタンの時系列変化を示したものが図 2 である。この図より、回答属性パターンはおおよそ「翻訳」、「内挿」、「外挿」また、すべての刺激で立ち上がり直後は翻訳にあたる回答が中心であることがわかる。

## 4 考察

3 で示した分析結果から、以下では呈示刺激毎のレイヤ推移パターンを照合しながら、結果から視覚的複雑度、表示年数の違いによる解釈度、既知地域でのグラフ解釈度がどのように翻訳・内挿・外挿の発生に潜在要因が影響したのかを考察する。

### 4.1 グラフ呈示直後について

グラフの呈示直後はすべて翻訳レイヤにあたる回答が頻出した。これは被験者が軸や系列の値、ラベルを読み取り、より上位の内挿・外挿につながるデータを読み取る過程に繋げるための過程であると考えられる。

### 4.2 視覚的複雑度

視覚的複雑度の比較として、「2024 年: 西岸海洋性気候とサバナ気候」と「2024 年: 西岸海洋性気候と熱帯湿潤気候」のレイヤ推移を比較する。両者の主な違いは、2 系列(降水量・平均気温)それぞれに対して縦軸を共通にするか都市ごとに独立させるかである。両者を比較すると、全体を通じて、特に読み

取り難易度の高い「2024年: 西岸海洋性気候と熱帯湿潤気候」の方が翻訳から内挿、外挿へのレイヤ移行の頻度が高くなっている。これは、視覚的複雑度が上がることによって、翻訳にあたる情報から全体の特徴より多く読み解こうとしている表れであり、グラフ読解の解釈要因である情報をより多く取得することを促進していると解釈することができる。

#### 4.3 表示年数の違いによる解釈度

表示年数の違いによる解釈度の比較として、「2024年: 西岸海洋性気候とサバナ気候」と「2022-2024年: 西岸海洋性気候とサバナ気候」並びに、「2024年: 西岸海洋性気候と熱帯湿潤気候」と「2022-2024年: 西岸海洋性気候と熱帯湿潤気候」のレイヤ推移を比較する。単年グラフでは翻訳レイヤが多く現れていたのに対し、複数年のグラフでは表示後の相対時間が0.4以降は内挿・外挿が定常的となった。形状の重なりと年数の増加は、単純な値読み取りだけでは把握できない比較・統合を要求するため、視覚的複雑度が潜在要因として働いた結果と考えられる。

#### 4.4 既知地域でのグラフ解釈度

既知地域でのグラフ解釈として「2020-2024年: 新潟の傾向」と「2022-2024年: 西洋海岸性気候と熱帯湿潤気候」のレイヤ推移を比較する。既知地域である「2020-2024年: 新潟の傾向」のレイヤ推移では、「2022-2024年: 西洋海岸性気候と熱帯湿潤気候」のレイヤ推移と比較して被験者は呈示直後を超えたあたりから翻訳にあたる回答はほとんど見られず、内挿や外挿に分類される発話が多く記録された。これは、既知地域の気候特徴を呈示グラフによって暗黙的に解釈し、発話する内容もそれに合わせて内挿、外挿にあたる回答が多くなったことが潜在要因といえる。

### 5 まとめと今後の課題

本研究では、発話を3つの読解レイヤ（翻訳・内挿・外挿）に分類し、その時系列推移を手がかりに

1. 視覚的複雑度
2. 表示年数の違いによる解釈度
3. 既知地域でのグラフ解釈度

という3つの潜在要因を抽出した。

視覚的複雑度が高いグラフでは、軸の読み替えが必要になるため早い段階で内挿・外挿が現れた。一方で、年数を増やすと比較と統合が不可欠になり、単年のグラフよりも高次レイヤへの移行が持続した。さらに、被験者が既知の地域データでは、翻訳を飛ばして内挿・外挿に直行する場面が多く見られ、既有知識が推論を促進することが示唆された。

しかし、被験者は1名に限られているため、今後は参加者数の拡大と、より多様な視覚的特徴をもつグラフを取り入れ、得られた知見の一般化を図っていく予定である。

#### 参考文献

- [1] 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.

- [2] N. Friel Susan R. Curcio Frances and W. Bright George. Making sense of graphs: Critical factors influencing comprehension and instructional implications. *Journal for Research in Mathematics Education*, Vol. 32, No. 2, pp. 124–158, 2001.
- [3] Yuya Yagashira, Katuko T. Nakahira, Masaaki Arai, Gendo Kumoi, and Takashi Yukawa. Proposal of a method for estimating the acquisition of graph comprehension ability based on students' descriptive answers. *Procedia Computer Science*, 2025. in printing.
- [4] 国土交通省気象庁. 気象庁 japan meteorological agency, 2025. アクセス日: 2025-06-06.
- [5] 新井政明, 中平勝子, 湯川高志. Vlat による数的思考力の評価～データサイエンス教育支援へ向けた基礎調査～. 2023年度学生研究発表会・発表論文, 2024.
- [6] 曾根寛大, 小笠原優心, 家頭裕也, 中平勝子. 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. 第24回情報科学技術フォーラム講演論文集, 2025. 印刷中.