

# グラフ理解と判断におけるボトムアップおよびトップダウン処理の影響

## Influence of Bottom-up and Top-down on a Graph comprehension and Following judgment

福岡未紗<sup>†</sup>, 三輪和久<sup>†</sup>, 前東晃礼<sup>†</sup>

Misa Fukuoka, Kazuhisa Miwa, Akihiro Maehigashi

<sup>†</sup>名古屋大学大学院情報学研究科

Graduate School of Information, Nagoya University

fukuoka@cog.human.nagoya-u.ac.jp

### Abstract

Graph comprehension requires both bottom-up processing from the graph representation and top-down processing guided by knowledge and attitude. In the current study, we investigated which of the bottom-up process phases: extraction, interpretation, and decision: were affected by the top-down processing derived by the impressions and social attitudes. The experimental results showed that the top-down processing driven by impressions temporarily formed in specific contexts affected both the extraction of information and the following decision phase whereas top-down processing driven by attitude formed over a long time based on social norms affected only the decision phase. In the latter case, a decision was made without any need for bottom-up processing

**Keywords** — graph representation, decision, bottom-up processing, top-down processing

### 1. はじめに

人は様々な外的表象を取り込み、そこに解釈、および意味づけを行うことで、判断を行う。本研究では、外的表象としてグラフのような視覚的な表現を取り上げる。視覚的な表現が情報を理解しやすくすることは広く受け入れられており、実際、グラフや散布図を含む画像表現が、社会により形成されたエラーを弱めることが明らかになっている[1]。一方で、グラフ表現が解釈にバイアスを与え、エラーを誘発することも少なくはない[2]。

グラフの理解は、トップダウンとボトムアップ、両方の処理によってなされることは、よく知られている。Freedman & Shah [3]は Kintsch [4]の文章理解の CI モデルに基づくグラフ理解の CI モデルを提唱した。それによれば、人は、視覚的特徴からのボトムアップ処理と先行知識からのトップダウン処理の相互作用によってグラフ理解を行うとされる。

また、グラフ理解のボトムアップ処理を詳細に検討した CaMeRa [5]によれば、グラフ理解のボムアップ処理は、大きく2つの段階において行われ、前半の「抽

出」では、グラフの画像表象から主要な記号の情報が取り出される。例えば、統制条件よりも、薬品 x を加えた実験条件において、測定値が大きくなるといった情報が抽出される。後半では、グラフから取り出されたこれらの記号の情報と、長期記憶内にある宣言的知識と照合され、結果が「解釈」される。例えば、薬品 x はある活動を促進するといった評価が行われる。

さらに、現実場面では、グラフを理解した後に、それに基づいて「判断」を下すことが求められる場合がしばしばある。例えば、薬品 x を購入するといった行動決定がこれにあたる。

これらの抽出、解釈、判断の一連の段階は、図1のような系列的処理としてまとめられる。

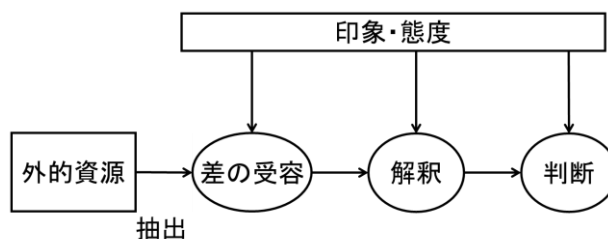


図1 本研究の分析の枠組

本研究の第1の関心は、これら一連のボトムアップ処理の確認であり、実験1では、外的資源と内的イメージという2つの要因を切り離して議論可能な実験を設定し、外的資源とは独立に、そこから抽出された内的イメージに基づいて、後続する解釈や判断が遂行されることを明示的に示す。

また、本研究では、グラフ理解と判断に影響をおよぼすトップダウン処理の要因として、「印象」と「態度」を取り上げた。「印象」は、一時的に形成され、不足し偏った情報に基づいても作られる[6]。一方、「態度」は、社会規範意識に基づき比較的時間をかけて形成され、人々、場所、ポリシーのような社会的対象へ向けられる [7]。

本研究の第2の関心は、印象や態度といった要因に

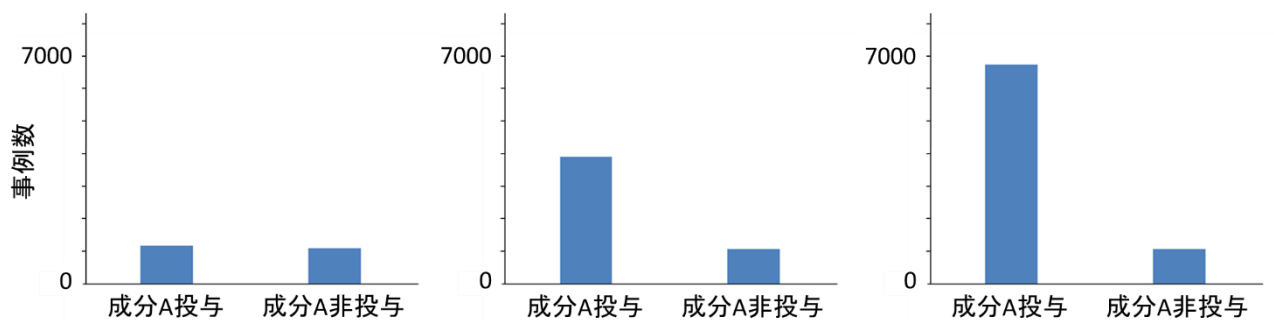


図 2.1 実験 1a の提示グラフ

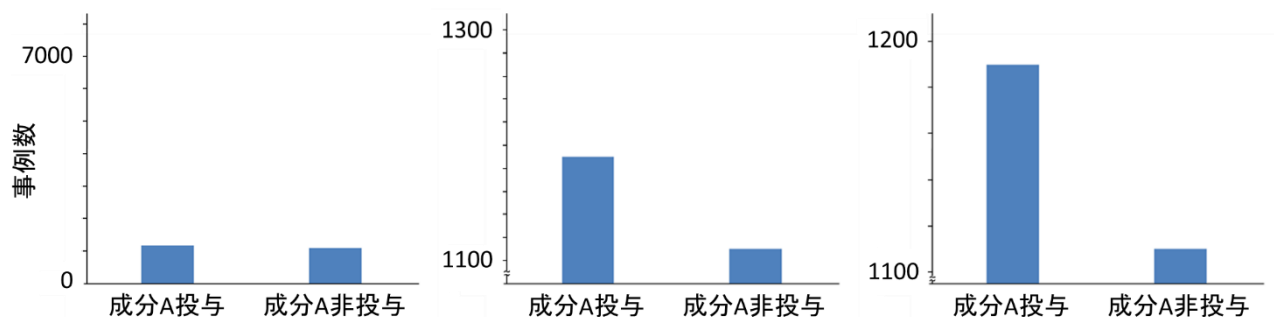


図 2.2 実験 1b の提示グラフ

基づくトップダウン処理が、一連のボトムアップ処理の段階のどこに影響するかという点であり、実験 2 では、その場で形成できる印象を操作する実験を、実験 3 では、時間をかけて形成される態度を説明変数とする実験を行った。

## 2. 実験 1

実験 1 は、1a と 1b の 2 つの実験から構成された。

### 2.1. 方法

**実験参加者** 実験 1a は、大学生 56 名 ( $M_{age}=18.64$ ,  $SD_{age}=0.82$ ) が参加し、最大 8 名の小集団実験で実施した。実験 1b は、大学生 54 名 ( $M_{age}=18.46$ ,  $SD_{age}=0.97$ ) が参加し、集団で実施した。

**材料** 実験 1a では、ラットを用いた「回し車課題」の実験を行い、持続力を高めることが期待される成分 A の効果を検討するという架空の実験状況が設定された。各グラフは、成分 A を投与されたラット群とされなかったラット群のそれぞれで、ラットが回し車を回した 2 万事例のうち、課題を達成できた事例数を示したものと提示した(図 2.1)。3 つのグラフで、両群における事例数の差は異なった。

実験 1b では、知覚的特徴は実験 1a と同一であるが、情報の内容が異なるグラフが用いられた(図 2.2)。具体的に言えば、3 つのグラフにおける 2 群間の知覚的な差異はそれぞれ異なるものの、縦軸のスケールを調整することで、実際の情報の内容は、成分 A 投与群が 1190

事例(全体の 5.95%)、成分 A 非投与群が 1110 事例(全体の 5.55%)で、両群間の差異は 80 事例(全体の 0.4%)と同一とした。

**手続き** 実験 1a と実験 1b は同一の手続きで行われた。まず、実験参加者に、図 2.1 もしくは図 2.2 に示された 3 つのグラフのうちの 1 つを提示し、「ある製薬会社のアドバイザーとして、提示されたグラフを基に、強壮剤の開発についての意見」を考えさせた。実験 1a と実験 1b のそれぞれで、グラフに 1 から 3 の得点を与え、この得点を「外的資源」の得点とした。グラフ提示後、「グラフの両条件間に差がある」という問いに対して、「全くそう思わない(1)」から「非常にそう思う(5)」の 5 段階評定をさせ、この数値を「差の受容」の得点とした。次に、参加者に、「成分 A は持続力を上げる効果がある」という問いに対して、同様の 5 段階評定をさせ、この数値を「解釈」の得点とした。最後に、参加者に、「強壮剤に成分 A を含めるべきである」という問いに対して、同様の 5 段階評定をさせ、この数値を「判断」の得点とした。

各実験の所要時間は約 30 分だった。

### 2.2. 結果

**実験 1a** あるフェーズの得点を従属変数、そのフェーズに先行するフェーズの得点を独立変数とする単回帰分析を、後続の 3 つのフェーズそれぞれにおいて行った。結果を図 3.1 に示す。分析の結果、外的資源と差の受容 ( $\beta = .51$ ,  $t(54) = 4.36$ ,  $p < .001$ ,  $R^2 = .26$ )、差の受容と

解釈( $\beta = .42, t(54) = 3.35, p < .01, R^2 = .17$ ), 解釈と判断( $\beta = .48, t(54) = 4.01, p < .001, R^2 = .23$ )の間に、有意な関連性がみられた。

**実験 1b** 実験 1a と同様の単回帰分析を行った。結果を図 3.2 に示す。分析の結果、外的資源と差の受容の間には有意な関係性は見られなかったが、差の受容と解釈( $\beta = .42, t(52) = 3.30, p < .01, R^2 = .17$ ), 解釈と判断( $\beta = .58, t(52) = 5.11, p < .001, R^2 = .33$ )の間には有意な関連性が見られた。

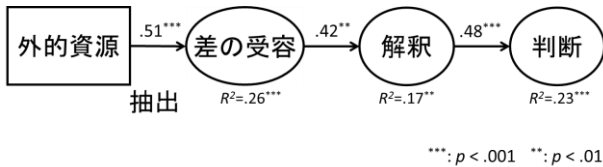


図 3.1 実験 1a の単回帰分析の結果

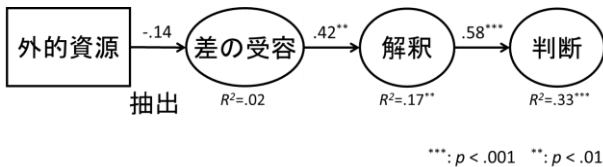


図 3.2 実験 1b の単回帰分析の結果

### 3. 実験 2

実験 2 は、2a と 2b の 2 つの実験から構成された。

#### 3.1. 方法

**実験参加者** 大学生 60 名 ( $M_{age} = 18.87, SD_{age} = 0.65$ ) が参加し、最大 8 名の小集団実験で実施した。各参加者は、実験 2a に参加した後、5 分間の休憩を挟んで、実験 2b に参加した。

**材料** 実験 2a は、以下で述べる状況設定以外については、実験 1b と同様の手続きで実施された。一方、実験 2b では、実験 1b と同様のグラフを用い、成分 A のかわりに、架空の成分「プロテン」、もしくは「ルビゾン」の効果を検討するという実験状況を設定した。

実験 2 では、実験 1 で設定された状況と共に、新たな状況設定が加えられた。具体的には、ラットを用いた「100m 走行課題」の実験を行い、疲労を回復させることが期待される成分 A の効果を検討するという状況が設定された。各グラフは、100m 走行後、成分 A を投与されたラット群とされなかったラット群のそれぞれで、血中の疲労物質が減少した事例数を示したものとして、実験 1b と同一のグラフを提示した。実験 2a、および実験 2b と、「回し車課題」、および「100m 走行課題」の組み合わせは、カウンターバランスが取られた。

**手続き** 実験 2a では、まず、実験参加者に、「製薬会社 X で研究されている成分 A」に対してどのような印象

を抱いているか、アンケートに答えさせた。参加者には成分 A についての 10 項目の問いに対して、5 段階評定をさせ、この平均値を「印象」の得点とし、得点が高いほど「成分 A にポジティブな印象」を持つとした。その後、図 2.2 に示された 3 つのグラフのうちの 1 つを提示し、強壮剤 (もしくは栄養ドリンク) の開発についての意見を考えさせた。グラフ提示後は、実験 1b と同様の手続きを行った。

実験 2b では、架空の成分、プロテン、およびルビゾンに対する印象を実験的に操作した。はじめに、製薬会社 Y についての約 500 文字の文章を提示した。文章は 2 種類あり、1 つは、架空の成分に対してポジティブな印象を形成することを期待した、優良企業の特徴を含んだ文章で、成分名を「プロテン」とした。もう 1 つは、ネガティブな印象を形成することを期待した、ブラック企業の特徴を含んだ文章で、成分名を「ルビゾン」とした。実験参加者にはどちらか一方を提示し、以降は、成分名をプロテンもしくはルビゾンに変更した課題で、実験 2a と同様の手続きを行った。

各実験の所要時間は約 30 分だった。

#### 3.2. 結果

**実験 2a** あるフェーズの得点を従属変数、そのフェーズに先行するフェーズの得点と印象のフェーズの得点を独立変数とする重回帰分析を、後続の 3 つのフェーズそれぞれにおいて行った。結果を図 4.1 に示す。分析の結果、外的資源と差の受容の間には有意な関連性は見られなかったが、差の需要と解釈( $\beta = .59, t(57) = 5.50, p < .001, R^2 = .38$ ), 解釈と判断( $\beta = .66, t(57) = 6.30, p < .001, R^2 = .42$ )の間に有意な関連性が見られた。また、印象と、差の受容、解釈、判断のそれぞれの間に関連性は見られなかった。

**実験 2b** 実験 2a と同様の重回帰分析を行った。結果を図 4.2 に示す。分析の結果、実験 2a と同様、外的資源と差の受容の間には有意な関連性は見られなかったが、差の受容と解釈( $\beta = .58, t(57) = 5.61, p < .001, R^2 = .44$ ), 解釈と判断( $\beta = .58, t(57) = 6.20, p < .001, R^2 = .57$ )の間に

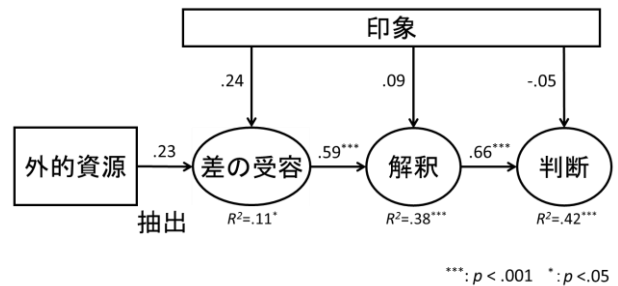


図 4.1 実験 2a の重回帰分析の結果

は有意な関連性が見られた。また、印象と解釈の間に有意な関連性は見られなかったが、印象と差の受容( $\beta = .28, t(57) = 2.25, p < .05, R^2 = .11$ ), 印象と判断( $\beta = .31, t(57) = 3.27, p < .01, R^2 = .57$ )の間には有意な関連性が見られた。

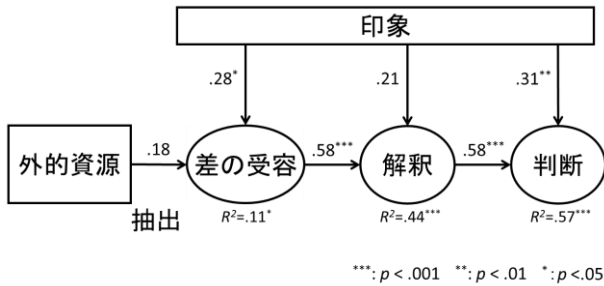


図 4.2 実験 2b の重回帰分析の結果

#### 4. 実験 3

##### 4.1. 方法

**実験参加者** 大学生 55 名( $M_{age}=18.50, SD_{age}=0.86$ )が参加し、集団で実施した。

**材料** 架空の都市 A 市において、市民の健康調査を行ったという架空の調査状況が設定された。グラフは、家族に喫煙者がいる人といない人のそれぞれ 2 万人において、呼吸器系疾患の罹患者の数を示したものと提示した。また、実験 3 では、実験 1b および実験 2 と同様のグラフが用いられ、家族に喫煙者がいる人の方がいない人よりも罹患者数が多くなるよう設定した。

**手続き** まず、実験を行う 1 週間前に、喫煙に対してどのような態度を抱いているかのアンケートを実施した。参加者には、喫煙についての 10 項目の問いに対して、5 段階評定をさせ、この平均値を「態度」の得点とし、得点が高いほど「喫煙を嫌悪する態度」を持つとした。1 週間後、3 つのグラフのうちの 1 つを提示し、社員の喫煙に関する意見を考えさせた。その後の手続きは、以前と同様であり、「解釈」として、「喫煙は周囲の呼吸器系疾患のリスクを高める」という問いを、「判断」として、「社員の会社内外における喫煙を、全面的に禁止すべきである」という問いを評定させた。

所要時間は約 30 分だった。

##### 4.2. 結果

実験 3 では、あるフェーズの得点を従属変数、そのフェーズに先行するフェーズの得点と態度のフェーズの得点を独立変数とする重回帰分析を、後続の 3 つのフェーズそれぞれにおいて行った。結果を図 5 に示す。分析の結果、実験 1b や実験 2 と同様、差の受容と解釈の間には有意な関連性が見られた( $\beta = .66, t(52) = 6.61, p$

$< .001, R^2 = .48$ )が、外的資源と差の受容、解釈と判断の間に見られなかった。また、態度と判断の間には有意な関連性が見られた( $\beta = .50, t(52) = 4.18, p < .001, R^2 = .28$ )が、差の受容、解釈の間には見られなかった。

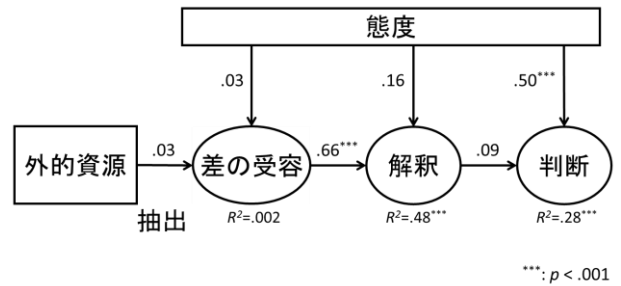


図 5 実験 3 の重回帰分析の結果

#### 5. 考察

まず、本研究の第 1 の関心は、外的資源と抽出、解釈、判断のボトムアップ処理を確認することだった。実験 1a では、仮想的実験の結果を示す棒グラフを用い、2 条件間での従属変数の値の差異の程度が異なるグラフを提示することで、その外的資源から取り出され内的に表象された差異に基づいて、その後のボトムアップ処理が駆動されることを確認した。さらに、実験 1b では、2 条件間での従属変数の値の差異が存在しないグラフを提示したが、実験 1a と同様にそのボトムアップ処理は、参加者の内的な差異表象に基づき駆動されることが確認された。

ここで重要な点は、ボトムアップ処理は、外的資源に表現されている情報とは独立に、外的資源から取り出された内的イメージに基づき駆動されることが確認されたという点である。

なお、本実験の参加者が、グラフに表現された視覚的バイアスに誘導されることなく、グラフに表現された差異情報を取り出したことは、多くの先行研究とは異なる。しかし、いくつかの先行研究において、批判的思考能力がグラフに表現された情報の読み取りに影響することが明らかになっており、Woller-Carter et al. [2]は、グラフリテラシーや認知的内省などの能力が誤ったグラフの解釈を防ぐことを明らかにしている。本研究では、参加者の批判的思考能力が高かったため、外的資源と差の受容の間に関連が見られなかったと考えられる。もし、参加者の批判的思考能力が乏しかったならば、外的資源と差の受容の間に関連が見られた可能性がある。

次に、本研究の第 2 の関心は、印象や態度といった要因によって誘導されるトップダウン処理が、ボトムアップ処理で仮定された一連の段階のどこに影響する

かという点だった。実験 2 では、その場で形成できる印象を操作した実験を行った。その結果、ボトムアップ処理は、トップダウン処理を仮定しない実験 1b や、その追試として行われた実験 2a で観察されたものと同様の結果を確認した。さらに、印象に基づくトップダウン処理は、ボトムアップ処理の初期段階である差の受容と後期段階である判断の両方の段階に影響していた。これらの結果は、印象に基づくトップダウン処理が、一連のボトムアップ処理と併存することを示している。ボトムアップ処理とトップダウン処理の共存は、先行研究にも示されており、神崎・三輪 [8] は、線グラフの理解において、トップダウン処理がボトムアップ処理を妨害することではなく、両処理が読み取りを促進することを明らかにした。

また、印象が「判断」に影響するという点は、先行研究と一貫するものであった[9]。さらに、印象に基づくトップダウン処理が、「差の受容」に影響したという点については、ある特定の特徴に対する印象が、本来その特徴とは関連のない他の特徴に対する評価に影響するハロー効果[10]により、参加者は、本来、明示的な関連が存在しない会社環境と薬剤の効力を関連づけて薬剤の効力に関する実験の結果を読み取っていたと考えられる。

一方、実験 3 では、時間をかけて形成される社会的規範に基づいた態度を説明変数とした実験を行った。その結果、実験 2b とは異なり、「判断」は、態度に基づくトップダウン処理によってのみ決定され、ボトムアップ処理からの影響は観察されなかった。態度と行動には強固な関連があることが知られており[11]、本研究の結果は、先行研究からも予測可能なものである。

実験 3 で重要な点は、最終的な判断において、トップダウン処理が、ボトムアップ処理の結果を、排除したことである。本研究で扱った喫煙は、誰もが日常的に接している問題であり、それに対する態度は、堅固なトップダウン処理を駆動した可能性がある。

以上の結果から、印象が介在するグラフの読み取りにおいては、ボトムアップ処理とトップダウン処理が共存するのに対して、相対的に強固なトップダウン処理を駆動すると考えられる態度が介在する状況においては、両処理が分断される傾向を示したと解釈される。

## 参考文献

[1] Ancker, J. S., Senathirajah, Y., Kukafka, R., & Starren, J. B., (2006) “Design features of graphs for

communicating health risks: A systematic review”, *Journal of the American Medical Informatics Association*, Vol. 13, No. 6, pp. 608-618

- [2] Woller-Carter, M. M., Okan, Y., Cokely, E. T., & Garcia-Retamero, R., (2012) “Communicating and distorting risks with graphs: An eye-tracking study”, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 56th Annual Meeting*, pp. 1723-1727
- [3] Freedman E. G., & Shah P., (2002) “Toward a model of knowledge-based graph comprehension”, *Lecture Notes In Computer Science*, pp. 18-30
- [4] Kintsch, W., (1988) “The role of knowledge in discourse comprehension. A construction-integration model”, *Psychological Review*, Vol. 95, No. 2, pp. 163-182
- [5] Tabachneck-Schijf, H. J. M., Leonardo, A. M., & Simon, H. A., (1997) “CaMeRa: A computational model of multiple representations”, *Cognitive Science*, Vol. 21, No. 3, pp. 305-350
- [6] Wang, Z., & Nelson, M. R., (2014) “Tablet as human: How intensity and stability of the user-tablet relationship influences users’ impression formation of tablet computers”, *Computers in Human Behavior*, Vol. 37, pp. 81-93
- [7] Greenwald, A. G., & Banaji, M. R., (1995) “Implicit social cognition: Attitudes, self-esteem, and stereotypes”, *Psychological Review*, Vol. 102, No. 1, pp. 4-27
- [8] 神崎奈奈, 三輪和久., (2012) “グラフの解読に表現と理解の視点が及ぼす効果に関する実験的検討”, *心理学研究*, Vol. 83, No. 3, pp. 163-173
- [9] Kostopoulou, O., Sirota, M., Round, T., Samaranyaka, S., & Delaney, B. C., (2017) “The role of physicians’ first impressions in the diagnosis of possible cancers without alarm symptoms”, *Medical Decision Making*, Vol. 37, No. 1, pp. 9-16
- [10] Murphy, K. R., Jako, R. A., & Anhalt, R. L., (1993) “Nature and consequences of halo error: A critical analysis”, *Journal of Applied Psychology*, Vol. 78, No. 2, pp. 218-225
- [11] Fazio, R. H., Chen, J., McDonel, E. C., & Sherman, S. J., (1982) “Attitude accessibility, attitude-behavior consistency, and the strength of the object evaluation association”, *Journal of Experimental Social Psychology*, Vol. 18, No. 4, pp. 339-357