

鉄道作業場面における判断傾向評価手法

北村 康宏* 佐藤 文紀* 増田 貴之*
河地 庸介** 小野間 統子*

Developing a Decision-Making Skill Assessment Method in Railway Workplace

Yasuhiro KITAMURA Ayanori SATO Takayuki MASUDA
Yousuke KAWACHI Noriko ONOMA

Incidents can occur due to decision-making errors, such as not checking the results of one's work or decisions after the work. In order to prevent mistakes in the decision-making process, it is effective to educate and train employees depending on their individual decision-making skills. However, it is not easy to evaluate individual decision-making skill quantitatively. In this study, we model "decision making" not only on judgment and choice as a result, but also on a process that consists of four stages, including the situation awareness before and after the decision is made. On the basis of the model, we develop a method to evaluate individual decision-making skill.

キーワード：意思決定，認知バイアス，fMRI，労働安全

1. はじめに

鉄道の現場では自然環境やお客様の動向，車両や線路の状態などが刻々と変化しており，作業者は不確定な環境下で安全に作業を遂行するため，常に意思決定を求められている。例えば急ぎの検修作業で，目視上明らかに問題ない機器を手で触ってさらに再確認するかなど，規定までにはなっていないような作業で日常的に意思決定が行われている。しかしながら，まれに意思決定のミスが発生し，危険な事象につながる報告もみられる。

一般に意思決定という不確実性のある状況下での経営マネジメント場面で実施される判断のことに捉えられがちであるが，現場作業者が日々，意識的・無意識的に行っている判断も，事故の発生につながる可能性を孕んでおり，不確実性のある状況下での意思決定とみなすことができ，本研究では後者を対象としている。実際に，このような意思決定のミスによる事故が発生しており，様々な産業分野においてその対策として教育訓練が行われている^{1) 2)}。一方で，作業員一人一人には，リスクある判断をしがち，などの個人差，すなわち判断の傾向があり，より適切な教育訓練を行う上で，その傾向を正確に評価する手法（判断傾向評価手法）が求められる。

また，意思決定が危険な結果を引き起こすか否かは，状況の変化に大きな影響を受ける（確認を省略したが，偶々ミスがなく危険な事象が発生しない，など）。その

ため意思決定によって引き起こされた結果の良し悪しによって，個々人の意思決定を評価することは不適切であり，意思決定が適切に実施できているか否かを評価する必要がある。

そこで本研究では判断の傾向に影響する意思決定のスキルを評価する手法を開発し，さらに，開発した評価手法の妥当性を検証するため，機能的核磁気共鳴断層画像法（functional Magnetic Resonance Imaging，以降fMRI）を活用し，脳科学の観点から確認を行った。

2. 意思決定スキルモデルの提案

近年の意思決定研究では，意思決定を判断や選択のみではなく，その前後を含めた状況等の認識や選択後の見直しなど，複数の段階からなる一連の行為とみなしている³⁾。そこで本研究でも，意思決定は複数の段階から構成されていると考える。そして，この各段階を適切に実施するスキルを意思決定スキルと呼ぶことにする。

一方，不適切な意思決定を引き起こす要因として「バイアス」の影響が挙げられる。バイアスとは状況や物事を認識するときに，ある種の方向性をもって誤認や不適切な行動してしまう傾向のことである。この影響が大きい場合，状況等を誤って把握したり，状況を正しく認識したにもかかわらずリスクのある選択を行ってしまったりする可能性が高くなる。すなわち，意思決定のそれぞれの段階でバイアスの影響を受ける可能性があるのに対し，その影響を受け難くする各段階におけるスキルが意思決定スキルであるということが出来る。

* 人間科学研究部 安全心理研究室

** 東北大学

そこでまず、心理学分野の研究から、意思決定がどのような段階を経て実施されるのかを明確化した。そのうえで、先行研究や産業分野の取り組みを参考に、新たに作業場面における意思決定の段階を決定した。次に各段階を阻害するバイアスを明らかにし、それらを統合した意思決定スキルモデルを提案した。

2.1 意思決定の段階

2.1.1 心理学分野における意思決定の段階

心理学分野では意思決定について様々な検討がなされているが、特に安全に関わる研究領域で現実の作業場面を想定した Naturalistic Decision Making (NDM：自然主義的意思決定)の研究が発展しており⁴⁾、熟練した作業者の意思決定プロセスを記述する試みが行われている。

その特徴は、意思決定を「状況認識」と「判断・実行」の2段階に分けて評価する点であり、「判断・実行」と同等以上に「状況認識」の重要性が強調されている(図1(a)上段)。

2.1.2 産業分野における意思決定の段階

様々な産業分野において意思決定を構成する段階を把握する取り組みが行われている。中でも意思決定スキルに対する着目が最も早かったのは航空分野であった。1970年代に頻発した事故対策の一環としてパイロットへ聞き取り調査を行い、事故原因として意思決定の問題が多いことを明らかにしている⁵⁾。その対策としてCRM(Crew Resource Management)の概念を導入した訓練手法を作成している。

CRM訓練では意思決定を①解決策の選択、②決定の適用、③決定・行動のレビューの3段階で評価している。①、②は「判断・実行」、③はその後の「状況認識」として捉えられている(図1(a)の下段右側)。

近年は鉄道事業者でもCRMの概念を導入して訓練を

実施しているが、意思決定の段階として評価している内容は「状況認識」に相当しており、意思決定スキルを①いつもと違う状況がないか予測・確認した、②自分自身の意識レベルの変化に気づいた、の2段階で評価²⁾している(図1(a)の下段左側)。

2.1.3 意思決定を構成する4段階

先行研究ならびに産業界における意思決定を評価する段階をまとめ、これらを網羅、改良する形で新たな4段階(①状況や選択肢の把握、②作業結果の確認・参照、③判断と実行、④見直し)を提案した(図1(b))。

多くの先行研究における意思決定の段階モデルを踏まえ、意思決定をまず「状況認識」と「判断実行」の2段階に大別し、さらに「状況認識」の段階を細分化した。

具体的には、周囲のみならず、自分の作業結果も把握したうえで判断が求められることの多い鉄道作業場面を鑑み、状況認識の段階に「作業結果の確認・参照」を追加した。さらに鉄道の作業では繰り返しの作業が連続的に進行すること、「判断・実行」によって変化した環境に対応して判断を求められることから、「判断・実行」後に実施する状況認識として「見直し」の段階を採用して、意思決定を構成する段階を4段階とした。

これ以降、判断やその判断を実行する「判断・実行」と、その「判断・実行」を左右する前後の状況認識に含まれる「状況や選択肢の把握」「作業結果の確認・参照」「見直し」の4つの段階から構成されるものを意思決定として扱い、「判断・実行」は意思決定の一部、より狭義なものとして記述する。

2.2 意思決定の阻害要因

4段階で構成される意思決定の適切な実施が阻害される場合として、状況認識に属する「状況や選択肢の把握」、「作業結果の確認・参照」、「見直し」で失敗する場合と、

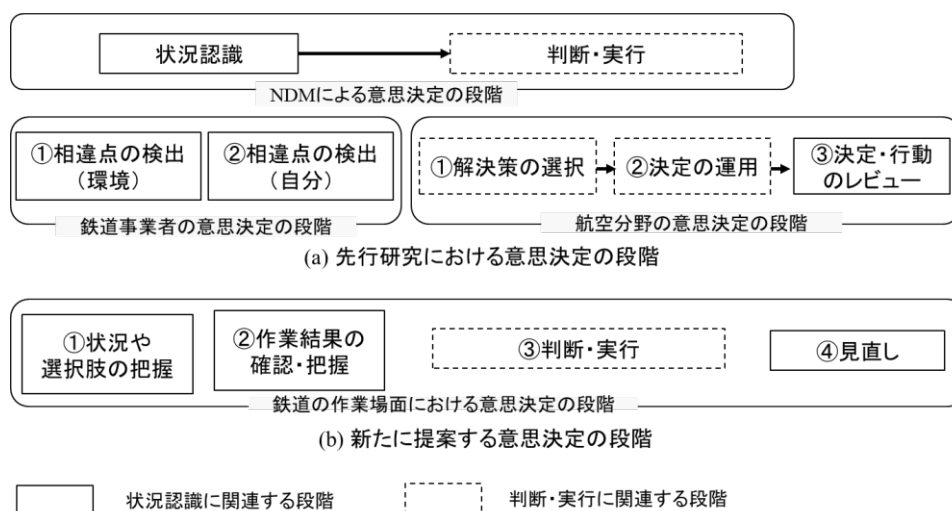


図1 従来の意思決定の段階(a)と新たに提案する意思決定の段階(b)

「判断・実行」で失敗する場合が考えられる。

これらの失敗を引き起こす要因を意思決定の阻害要因と定義する。

状況認識の失敗の要因としては様々な認知バイアス（不適切な判断パターン）の影響が指摘されており、認知バイアスによって適切な状況認識が阻害されることが明らかになっている。そこで状況認識に属する段階の阻害要因として、事故分析データから状況認識に属する「状況や選択肢の把握」「作業結果の確認・参照」「見直し」の各段階で発生しうる認知バイアスの抽出を試みた。

さらに、「判断・実行」の失敗としては、状況に存在するリスクを認識しても、あえてリスクのある選択をしてしまうバイアスとしてリスクテイキング傾向（以降 risk-taking 傾向と記す）の悪影響が考えられる。そこで、risk-taking 傾向と関連がある心理傾向を検討した。

まず、「状況や選択肢の把握」に関連する認知バイアスを抽出するため、鉄道事業者から提供を受けた74件の事故分析データ（事故情報を鉄道事業者が分析したデータ）から278件の意思決定エラー事象を抽出した。エラー事象ごとに、心理学の研究分野から選定した6つの代表的な認知バイアスに該当するか否かを2名の研究者によって評定し、エラー事象ごとに、該当するという評定が一致するバイアスを抽出した。その結果、短期的利得の重視(278件中205件で74%)が最も多くのエラー事象に該当したため、「状況や選択肢の把握」に最も関連ある認知バイアスとして採用した。

「作業結果の確認・参照」「見直し」の段階は、278件のエラー事象内に該当する件数が少なく、認知バイアスが該当するかを定量的に評価することが困難であったため、6種類の代表的な認知バイアス^{6)~10)}の中から、各段階に発生しやすいと考えられる認知バイアスを複数の研究者の合議によって選定した。さらに意思決定の各段階名に合致するような名称として「平均以上効果」を「自身の作業を過大評価する傾向」と、「現状維持バイアス」を「選択に固執する傾向」に変更した。

適切な状況認識ができたにもかかわらず、あえてリスクのある選択肢を「判断・実行」するバイアスとして考えられる risk-taking 傾向は、衝動的な心理傾向との関連が心理学の先行研究から指摘されている¹¹⁾。そこで適切な「判断と実行」段階の適切な実施を阻害する要因として「衝動的に判断する傾向」を採用した。

2.3 意思決定スキルモデル

これらの阻害要因と意思決定の段階を統合して、意思決定スキルモデルを提案した（図2）。

上述した阻害要因であるバイアスの影響が小さければ、各段階が適切に実施され、意思決定スキルが機能すると考えられる。

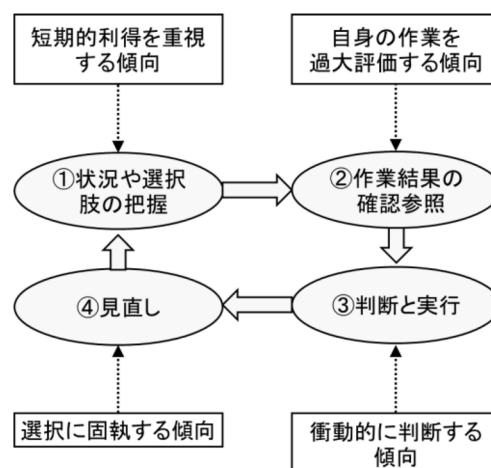


図2 意思決定スキルモデル

3. 意思決定スキル評価手法

3.1 意思決定スキル評価手法の概要

4つの段階の阻害要因として、関連するバイアスを抽出した。この阻害要因の影響の程度を測定することで、意思決定スキルがどれほど機能しているかを明らかにすることができる。

そこで阻害要因の影響が成績に現れる意思決定の4つの作業課題として、短期的利得を重視する傾向を測定する「タワー課題」、自分の作業結果を過大評価する傾向を測定する「確認の要否判断課題（コウテツ課題）」、衝動的に判断する傾向を測定する「BART課題」、前の選択に固執する傾向を測定する「異常時シナリオ課題」を作成した（図3実線枠内）。開発した意思決定スキルの評価手法では、意思決定の4段階に対応したこれらの作業課題の成績（測定結果）によって、意思決定スキルがどれほど機能しているかを定量的に評価する。

開発した評価手法は、意思決定スキルの重要性を強調するため、名称を意思決定スキル評価手法とした。

これらの作業課題に、結果表示画面を表示する機能を



図3 意思決定スキル評価用ソフトウェア

付加し、PC上で作動するソフトウェアとした（図3 破線枠内）。また、これらの作業課題はいずれも、一般実験参加者160名を対象に実験を行い、内容の理解しやすさ、課題の難易度の調整を行っている。

3.2 タワー課題

3.2.1 課題の概要

この課題は、短期的利得を重視する傾向を測定するための作業課題で、意思決定の研究分野で広く活用されている心理実験課題のIowa Gambling Task（以下IGTと記す）を改良したものである¹²⁾（図4）。

この課題では、タワーを積み上げるため、A～Dで示された4つのメーカーのいずれかを、合計100回選択することが求められる。選択すると、即時にタワーが積み上がり、まれに崩落が発生する。メーカーによって積み上がる高さや崩落の発生確率、崩落の規模が定められており、即時に得られる高さのみを重視して選択を続けると、長期的には損をしてしまうように、課題全体がデザインされている。



図4 タワー課題の画面例

3.2.2 評価指標

本課題の選択肢は、短期的な利得が大きい選択肢（A、B）と長期的な利得の大きい選択肢（C、D）の2種類がある。IGTでは長期的な利得の大きい選択肢を選択した回数から短期的な利得の大きい選択肢を引いた値（値が小さいほど短期的な利得を重視する傾向）をnet scoreとし、評価指標として採用している。本課題でもnet scoreを指標として選定した。

3.3 コウテツ課題

3.3.1 課題の概要

この課題は自分の作業の精度を過大評価する傾向を測定するための作業課題で、文字の探索画面（図5左）と確認の要否を判断する画面（図5右）から構成される。

まず文字探索画面では、9文字のカタカナ文字の中から、コ、ウ、テ、ツの文字が複数あるか否かを回答させ

る（図5左）。この画面が5回提示された後に確認の要否判断画面に移行し、画面にYES－NOの文字が提示される（図5右）。YESを選択すると、直近5問の文字探索課題の正誤に関わらず、文字探索が2問追加されると提示される。これは確認作業の手間を模擬したものである。一方でNOを選択すると5問の文字探索課題に誤りがない場合にのみ、課題の追加が発生しないと提示される。5問の文字探索課題に1問でも誤りがあった場合には課題が10問追加されると提示される。これは、作業にミスがない場合には確認を省略しても支障が無く、ミスがあった場合にのみ確認の省略が大きな悪影響を及ぼすという状況を模擬している。なお、実際には画面の追加は画面表示のみであり、5回の文字探索画面とその後の確認の要否判断からなる試行が25回繰り返された時点で課題は終了する。

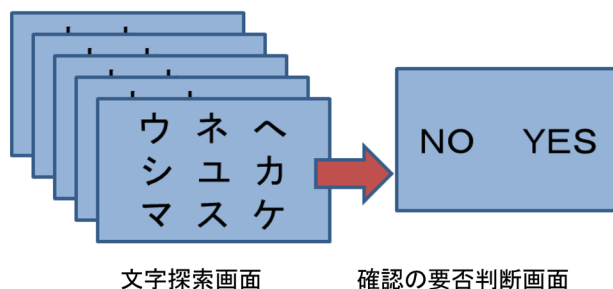


図5 コウテツ課題の構成（1試行分）

3.3.2 評価指標

この課題では、確認をしないという判断の回数、またその中でも文字探索画面でミスがあった回数を測定指標として採用する。この回数は、自分の文字探索作業の成績を正しくモニタリングできずに過剰評価すると増加すると考えられる。

3.4 BART課題

3.4.1 課題の概要

この課題は「衝動的に判断する傾向」を測定するための課題で、認知心理学の分野で危険と承知して行動を敢行するrisk-takingの傾向を測定するための作業課題として開発されたものであり、衝動性との関連も先行研究によって確認されている¹¹⁾（図6）。

BARTは風船を膨らませる作業をPC上で再現した課題で、空気を入れる送風ボタンを押すことで風船を膨らませることができる。送風ボタンを押すごとに風船が膨らみ、同時に一定の得点が得られる。ただし、送風の回数が定められた回数を超えると風船は破裂し、得られた得点がゼロになる。風船が破裂する前に集計ボタンを押すとその風船で獲得した得点が総合得点に加算される。

風船が破裂した後、または集計ボタンを押した後は次の新しい風船に切り替わる。

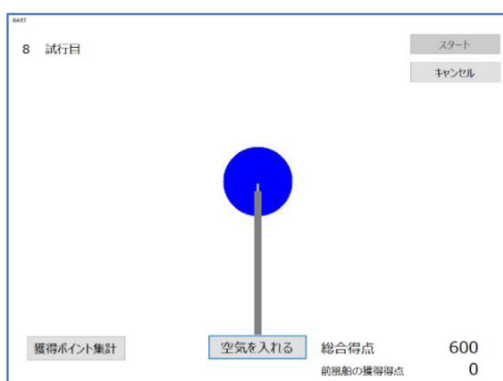


図6 BARTの画面例

3.4.2 評価指標

BARTでの指標は、風船を破裂させなかった試行において送風ボタンを押した平均回数が使用されており、本テーマでも同じ測定指標を採用する。この回数が多いほど、衝動的に判断する傾向が高いと考えられる。

3.5 異常時シナリオ課題

3.5.1 課題の概要

この課題は判断後に発生した状況変化に応じて選択を見直す場面を模擬しており、一度行った判断に固執する傾向を測定する作業課題である(図7)。

① PC画面上に鉄道場面に関連した判断の難しいシナリオと2つの選択肢が提示される。②③実施者はどちらか一方の選択肢を選んだあと、④その選択を行った理由を記述するよう求められる。⑤⑥その後一度下した判断を変更したほうが良いことが明らかな追加情報(例えば「車内で救援を待つ」を選択した場合には、「一部の

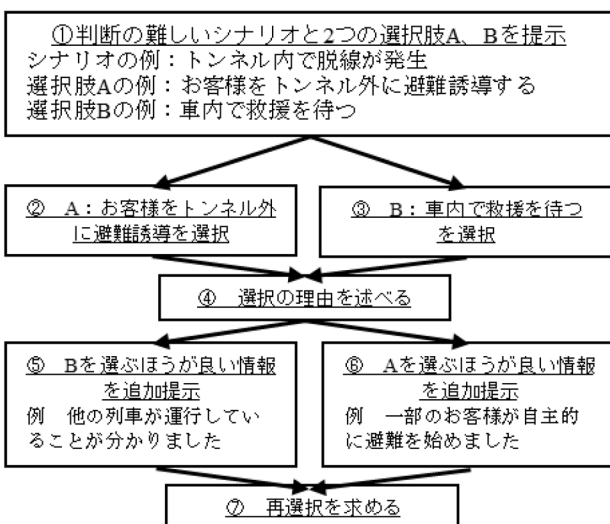


図7 異常時シナリオ課題の構成

お客様が避難を始めました」といった追加情報)が提示され、⑦そのうえで一回目と同様の選択肢が再度提示される。この一連の試行が20シナリオ分、実施される。

3.5.2 評価指標

異常時シナリオ課題の指標は、同じ選択肢を続けて選択した割合(%)とした。この値が大きいくほど、自分の選択に固執する傾向が高いと考えられる。

4. 作業課題の成績と脳活動

4.1 fMRIによる検証

開発した評価手法の一部について、fMRIによる検証を行った。作業課題の成績を評価指標としているが、作業課題が本当に関連するバイアスの影響を受けているか否かを脳活動の観点から検証することとした。

具体的にはタワー課題とコウテツ課題について、課題実施中の脳活動を fMRI で測定した。課題実施時の危険な判断や安全な判断時の脳活動を測定し、開発した作業課題で測定した測定指標がどのような脳部位の活動と対応しているかを明らかにし、その脳部位と想定しているバイアスとの関連性について考察した。

本稿では、タワー課題の分析結果について記載する。タワー課題の元となった IGT では、短期的な利得を重視する判断時に線条体の活動が報告されている¹³⁾。タワー課題の評価指標が短期的利得を重視するバイアスと関連している場合、同様の活動が見いだされると予想される。

なお、BARTについては既に心理学の研究分野で十分な検討が行われていることから、また異常時シナリオ課題については意思決定のみならず知識や経験など様々な脳内メカニズムが複合的に関与し、シンプルな条件間比較を行う fMRI 実験では検証が難しいことから、両課題に対しては fMRI による検証を省略した。

4.2 方法

実験参加者は20歳代から40歳代までの右利き、正常もしくは矯正視力をもつ30名(男15名女15名 平均年齢34.8歳)であった。分析に際しては課題を十分に理解できずに、課題開始から終了まで同一の選択肢しか選ばなかったデータを除いた。

各参加者の脳画像を3T MR スキャナー (Siemens MAGNETOM Verio, Siemens, Erlangen, Germany) を用いて撮像した。すべての課題は Presentation (Neurobehavioral Systems Inc., Albany, CA) で作成し、MRI スキャナー内で実施した。

解析には SPM12 (Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK) を使い、有意水準を voxel level で多重比較補正なしの0.1%に設定した。

4.3 タワー課題の成績と脳活動

短期的利得を重視する傾向に関連する脳活動を同定するために、短期的利得の選択肢を選んだ場合と長期的利得の選択肢を選んだ場合の脳活動を比較し、短期的利得の選択肢を取った際に強い活動を示す脳領域を抽出した。

その結果、短期的利得を重視する意思決定時に、線条体をなす尾状核の活動が有意に高まることが明らかになった。(図8)。意思決定の研究分野において、線条体は報酬の予測や選択肢がもつ価値を表象するという知見がある¹⁴⁾。今回の結果は、本課題の測定指標が、選択肢によって得られる報酬の予測に関連して活動する脳内メカニズムと関連していることを示しており、本課題の成績が、我々が想定した「短期的利得を重視する」バイアスを反映していることが明らかになった。

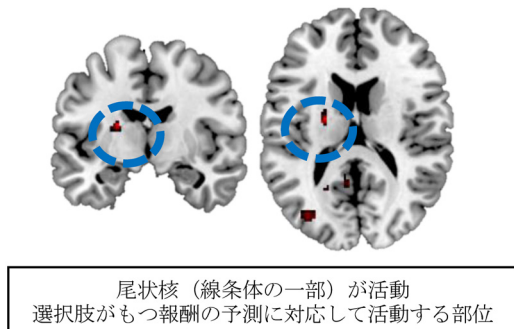


図8 短期的利得の選択肢を選んだ場合の脳活動

5. おわりに

意思決定スキルの個人差を評価する手法の開発を目的とし、まず鉄道の作業に即して意思決定スキルの評価対象となる意思決定のプロセス（段階）を検討した。さらに各段階の適切な実施を阻害するバイアスを決定し、これらの知見を統合した意思決定スキルモデルを提案した。

この意思決定スキルモデルを踏まえ、各段階の適切な実施を阻害するバイアスを測定するための作業課題を作成し、判断傾向評価手法を提案した。

さらに、fMRIを使った実験によってその評価手法の一部について生理的な妥当性検証を行い、評価手法の測定指標と、影響を評価したいバイアスとの関連を脳科学の観点から明らかにした。

これらの成果から、意思決定スキルを適切に発揮できるか否かを生理的な裏付けをもって、定量的に評価することが可能となった。

今後は、意思決定スキルを向上させるための教育訓練手法を開発する予定である。この評価手法はその教育訓

練手法の一部として活用する。評価用ソフトウェアを用いることで、これまでは自覚することが難しかった意思決定を構成する各段階の適切な実施を阻害するバイアスの影響を自己評価できる。また、そのデータを管理側が把握することで、指導の際の有効な資料になると考えられる。

文 献

- 1) 石橋明：ノンテクニカルスキル育成のためのCRM訓練，安全工学，vol.55，No.1，pp.34-41，2016
- 2) 守屋祥明，岸野稔，和田一成，阿部啓二，石橋明：異常時の対処方に関する研究 鉄道版CRM（R-CRM）の構築に向けて，あんけん，vol.4，pp.18-24，2011
- 3) R・フィリン，P・オコンナー，M・クリチトゥン（著）小松原，十亀，中西（訳）：現場安全の技術，海文堂，2012
- 4) 野村裕子：不確実性下の意思決定と状況認識，消防研究所報告，第123号，pp.22-39，2017
- 5) 稲垣敏之：リスクの認知と意思決定，vol.15，No.1，pp.20-28，2003
- 6) Amos Tversky¹，Daniel Kahneman¹：Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases，Science，Vol. 185，Issue 4157，pp. 1124-1131，1974.
- 7) 竹村和久，藤井聡：意思決定の処方，朝倉書店，2015
- 8) 矢守克也：再論－正常化の偏見，実験社会心理学研究，48(2)，p.137-149，2009
- 9) 楠見孝（著）山本真理子ほか（編）：社会的認知ハンドブック，北大路書房，2010
- 10) 伊藤忠弘：社会的比較における自己高揚傾向－平均以上効果の検討一，心理学研究，70(5)，p. 367-374，1999
- 11) Lejuez CW，Read JP，Kahler CW，Richards JB，Ramsey SE，Stuart GL，Strong DR，Brown RA：Evaluation of a behavioral measure of risk taking:the Balloon Analogue Risk Task（BART）. Journal of Experimental Psychology: Applied，vol.8，pp.75-84，2002.
- 12) A.Bachara，A.R.Damasio，H.Damasio，W.L.Anderson：Insensitivity to future consequences following damage to Human prefrontal cortex，Cognition，50，pp.7-15，1994.
- 13) Laurence，N. S.，Jollant，F.，O'Daly，O.，Zelaya，F.，Phillips，M. L.：Distinct roles of prefrontal cortical subregions in the Iowa gambling task. Cerebral Cortex，19，pp.1134-1143，2009.
- 14) Samanez-Larkin，G. R.，& Knutson，B.：Reward processing and risky decision making in the aging brain. In V. F. Reyna & V. Zayas（Eds.）. Bronfenbrenner series on the ecology of human development. The neuroscience of risky decision making（p. 123-142）. American Psychological Association，2014.