

Simplicity and Complexity Preferences in Causal Explanation: An Opponent Heuristic Account

Samuel G. B. Johnson, J. J. Valenti, Frank C. Keil

SSRN, June, 2018

- ◇ the principle of parsimony (オッカムの剃刀, ケチの原理)
 - アリストテレスが物理学において「自然は可能な限り最短の方法で機能する」と記して以来, 科学者・哲学者の根底を成す概念の1つ (Sober, 1983)
 - Simplicity は, 科学・哲学だけでなく, 認識の原則であるかもしれない (Chater&Vitányi, 2003)
 - より単純な因果関係の説明 (Lombrozo, 2007), カテゴリー化 (Pothos&Chater, 2002) を好む
 - より単純な概念はより容易に習得され (Feldman, 2000), より単純な項目はノイズから分離しやすく (Hochberg&McAlister, 1953), 単純さは正確な類似性の判断を導く (Hahn, Chater, & Richardson, 2003)
 - 色々な Simplicity の定義:
 - 仮定する原因の数 (Lombrozo, 2007) ←本研究における Simplicity の定義はこれ
 - モデル内で自由に変更できるパラメータの数 (Akaike, 1974)
 - 最小記述長 (Rissanen, 1978; Kolmogorov, 1963)
- オッカムの剃刀は恣意的な概念ではない
 - 他のすべてが等しいとき, より単純な説明は, 多くの条件下で複雑な説明よりも高い事前確率を持つ
 - 飛行機の墜落事故を説明するとき, 以下の2つが考えられるとする
 1. 着陸システムの故障 (A)
 2. 翼の故障 (B) & エンジンの故障 (C)
 - 説明 A は1つの原因しか含まないため, ほとんどの人は説明 A をより満足のいくものとする (Lombrozo, 2007)
 - 各原因が独立しているとき, 全く同様の事前確率がある場合, この推論は規範的
 - 各原因が 1/1000 で起こる場合, 説明 A は 1/1000, 説明 B&C は 1/1,000,000 の確率を持つ
 - これの結果は, ベイズの定理におけるオッズ比でも同様に確認できる
 - この計算結果と一致する形で, Lombrozo (2007) は人間が事前確率を推定するために単純さを使用することを発見した
 - 参加者は, 疑似的な医療診断を行う際, 複雑な説明の事前確率を単純な説明の4倍以上にしない限り, 単純な説明を受け入れる傾向があった
 - 単純な説明に対する人々の選好は, 規範的に保証されたものよりも強い場合があるが, 単純な説明を支持する確率論的主張を支持する

- ◇ 「真実は純粋でなく、決して単純ではない」(Oscar Wilde, 2004/1895)
 - Simplicity には限界がある (複雑な説明の方がデータをより良く説明することもある)
 - 飛行機の墜落事故の例で再考する. 墜落前に, 飛行機のエンジンから黒い煙が出ているのを観測したとき, 説明 A (着陸システムの故障) と説明 B&C (翼とエンジンの故障) を考えたとする
 - 各原因の事前確率が 1/1000 で, データ全体 (墜落&煙) が説明 A の場合は 1/10,000 の確率で発生し, 説明 B&C の場合 1 の確率で発生する場合, 事後オッズは $A : B \& C = 1 : 10$ となり, 複雑な説明を支持する
 - 上記の 2 考察を考慮すると, 人々が常に単純な説明を支持するとは限らない
 - Lombrozo (2007) における Simplicity の効果は, 以下の 2 つの理由から再考する必要がある
 1. 単純さは仮説の形式にのみ影響し、観察には影響しない
 2. 単純さと, データとのフィッティング (漏れない説明) はトレードオフの関係にある
 - たとえば, 「くしゃみ」と「腹痛」の 2 症状を説明したいとき…
 - 「風邪」を原因とする説明は, 単純なためその事前確率が高いが, 風邪を患ったとき, どの程度の方がくしゃみと腹痛を訴えるだろうか (尤度はどの程度だろうか)
 - 「アレルギー」と「腹痛を引き起こすウイルス」の 2 つを原因とする説明は, 複雑なためその事前確率は低い, 観測データ (「くしゃみ」と「腹痛」) に (より良く) フィットする
 - Simplicity は事前確率の推定に, Complexity は尤度の推定にそれぞれ影響する
 - 一般人は, たとえフィッティングの度合いが同等であっても, 単純すぎる説明が描く回帰曲線よりも, 規範よりも複雑な説明が描く回帰曲線を選択する傾向がある (Johnson, Jin, & Keil, 2014)
 - 説明対象のドメインによって, 単純な説明の選好の度合いが変化する可能性がある
 - ドメインは, 事前確率や尤度に独立して説明の評価に影響するか?

Contextual Factors

- 決定論と確率論
 - 決定論: Simplicity が説明の事前確率の推定に影響する
 - 事象 X と Y が観測されたとき, 「原因 A が事象 X・Y を引き起こす」という単純な説明と, 「原因 B が X を, 原因 C が Y を引き起こす」という複雑な説明が存在するとする
 - A, B & C のそれぞれが確実に事象 X, Y を引き起こすとき, どちらの説明がより Simple かによって, その事前確率の高さを推定・比較する (Simplicity の影響を受ける)
 - 確率論: Complexity が説明の尤度の推定に影響する
 - A, B, C がそれぞれ事象をある一定の確率で引き起こすとき, どちらがより尤もらしいかを判断するのは難しい (各原因の正確な確率を知ること, その値を元に正確な同時確率を導出することは困難)

- より複雑な説明の方が事象をより詳細に記述できる（データへのフィッティングが良い）ので、複雑さに基づいて説明の尤度を推定する可能性がある（Complexity の影響を受ける）
- 説明対象のドメイン
 - 私たちは、社会、生物学、物理学など、様々な分野についての因果的知識を持つ（Wellman & Gelman, 1992）
 - 異なるドメインには、異なる因果観を持っている可能性がある（Strickland, Silver, & Keil, 2017）
 - 物理的事象に対しては比較的少ない原因による説明を好み、社会的事象に対しては比較的多くの原因が存在して然るべきだと考えている傾向がある
 - ドメインを超えて、異なる因果観を持っている可能性がある（Lombrozo, 2010）
 - 物理的説明は理論等の先行知識の転移などの観点から評価され（eg., Dowe, 2000）、社会的説明は反事実的に評価されるように思われる（e.g., Lewis, 2000; Mackie, 1965）

実験の概要

- Study 1: (a) Simplicity が事前確率の、(b) Complexity が尤度の推定に影響を与える？
 - Lombrozo (2007) の課題を参考に実施
- Study 2 & 3: 決定論的説明 vs. 確率論的説明において、
 - Study 2 では、異なる尤度を持つ説明を比較したとき、複雑な説明を好むかどうかを検討する
 - Study 3 では、異なる尤度を持つ説明を比較したとき、複雑な説明を好むかどうかを検討する
- Study 4 & 5: ドメイン間で好まれる複雑さのレベルは同じ？
 - Study 4 では、物理学的・生物学的・社会的・工芸的説明のそれぞれにおいて、単純な説明と複雑なそれを比較させ、事前確率と尤度を推定させた
 - Study 5 では、確率とドメインの異なる説明同士を比較させ、主観的事後確率を元に意思決定させた

Study 1

- 目的
 - Bayesian にとって、2つの仮説を比較するために必要なものは「事前確率」と「尤度」の2つ
 - 本実験では、人々がこれらを推定するために Simplicity を用いるかどうかを検討する
 - 実験 1A では、より単純な説明に、より高い事前確率を割り当てるかどうかを調べる
 - 独立変数: 原因の数, 従属変数: 主観的な事前確率
 - 実験 1B では、より複雑な説明に、より高い尤度を割り当てるかどうかを調べる
 - 独立変数: 原因の数, 従属変数: 主観的な尤度
- Method
 - Participants: 80 名
 - Amazon Mechanical Turk で募集

- 参加者は、ランダムに実験 1A（事前確率の推定）か 1B（尤度の推定）に割り当てられた

- Tasks:

- 実験 1A, 1B の両方とも、参加者は以下の説明のような 4 つの説明を読んだ

Gelfert の Glacier にエルフたちが住んでいます。エルフは、*muffets* による発熱や、耳がしわくちゃになるなどの医学的問題を抱えています。

Yewlie 感染は、発熱性の *muffets* を引き起こす可能性があります。

また、*Yewlie* 感染は耳のしわを引き起こす可能性があります。

Hepz 病は、発熱性の *muffets* を引き起こす可能性があります。

Aeona 症候群は耳のしわを引き起こす可能性があります。

他に、エルフを発熱させたり、しわくちゃな耳を引き起こしたりする原因は知られていません。

- 各説明は、カバーストーリー（生物の種類、名前、症状など）が異なる
- この情報と同画面上で、参加者は 10 個の正誤問題（ex: 「*Aeona* 症候群は、耳のしわを引き起こすことがある」）に回答した（正答率 33%を下回った 9 名は分析から除外した）
- 実験 1A の参加者は、一方の端が単純な説明に対応し、もう一方の端が複雑な説明に対応する、-5 から+5 までの連続尺度で事前確率（prior probability）を推定するよう求められた。
 - スケールの両端は、課題間でランダムに設定された（単純な説明が+5 あるいは-5 と決まっているわけではない）
 - 質問例: 「*Gelfert's Glacier* からエルフをランダムに選んだ。選ばれた可能性が高いのは、次の 2 種類のエルフのどちらだと思いますか」
 - Yewlie* 感染症を患ったエルフ（原因が 1 つの単純な説明）
 - Hepz* 病と *Aeona* 症候群を患ったエルフ（原因が 2 つの複雑な説明）
- 実験 1B の参加者は、同じスケールで尤度（likelihood）を推定するよう求められた
 - 質問例: 「*Yewlie* 感染症に罹患したエルフと、*Hepz* 病と *Aeona* 症候群の両方を患う別のエルフがいる。このとき、どちらのエルフが、熱い *Muffet*（症状 X）と耳のしわ（症状 Y）の両方を発症する可能性が高いと思いますか」

● Results & Discussion

- 分析のために、全データの負の数が単純な説明に対応し、正の数が複雑な説明に対応するようにスコアをコード化した
- 表 1 に示すように、事前確率について問うた実験 1A において、参加者は **Simplicity** ヒューリスティックを使用し、ランダムに選択されたエルフが「2 つの病気の罹患」よりも「1 つの病気の罹患」である可能性

が高いと判断した [t(33) = 7.19, p < .001, d = 1.23]

Quantity	Judgment
Prior Odds (Study 1A)	-2.19 (1.78)
Likelihood Ratio (Study 1B)	1.41 (2.35)

Table 1. Results of Study 1.

- これは、決定論的状況において、選好の度合いを 複雑な説明 > 単純な説明 にするためには圧倒的な事前オッズ（例えば 4 対 1）が必要であったことから、参加者が単純の事前確率を実際よりも高く見積るのだと主張した Lombrozo (2007) の研究結果と一致
- 尤度について問うた実験 1B において、参加者は複雑な説明を支持 [t(36) = 3.65, p = .001, d = 0.60]
- 尤度を推定する際に Complexity が与える影響は、事前確率を推定する際の Simplicity の影響 (d = 1.23) より小さいものの、中程度の大きさ (d = 0.60) だった
- これらの結果は、人々が単純な説明を盲目的に好むのではなく、質問（確率論的か決定論的か）に従って自分の好みを調整することを示している
- 問題に事前確率や尤度についての情報が含まれていなくても、参加者はこれらの 2 つの値を別々のヒューリスティック（Simplicity・Complexity）に従って推定した

Study 2

● 目的

- ◇ 尤度が確率的（1 未満）であるときの Simplicity の影響の程度を検討する
 - より単純な説明が選好されるかどうかを調べる
 - 独立変数: 原因の数 & 尤度（100%, 80%, 65%, 50%）、従属変数: 意思決定
- Simplicity ヒューリスティックと Complexity ヒューリスティックは、異なる値（事前確率・尤度）を推定するために、同じ手がかり（説明に用いられる原因の数）に基づいている
- どちらの因果的説明が正しいかを比較検討する課題において、各説明の事前確率は必ず 1 未満である
 - そのため、上記課題においては Simplicity ヒューリスティックが常に用いられる
- ただし、各説明の尤度の値は決定論・確率論間で異なる（決定論は尤度 1、確率論は尤度 1 未満）
 - 尤度が確率的である（原因が観測されたとき、事象が時々起こる）場合にのみ、Complexity ヒューリスティックが用いられる
 - したがって、尤度が確率論的状況においては両方のヒューリスティックが機能し、決定論的状況においては Simplicity ヒューリスティックのみが機能すると考えられる
 - これは、決定論的説明において、より単純な方を好むという従来の主張を支持する

- Method

- Participants: 80名 (14名除外)
- Task: 実験1と同内容の説明4つを使用
 - 因果関係が決定論的である例 (ある病気に罹患すると、常にある症状を引き起こす; 尤度 100%)

Zorg 星には、750 体のエイリアンが住んでいます。あなたは、エイリアンの医療疾患を理解しようとしている医者です。エイリアンの Treda さんは、2つの症状で悩んでいます： minttels の痛みと、体中にできた紫色の斑点です。

Tritchset 症候群は、常に (100%の確率で) minttels の痛みと紫色の斑点を引き起こします。

Morad 病は、常に (100%の確率で) minttels の痛みを引き起こしますが、(0%の確率で) 紫色の斑点を引き起こすことは決してありません。

Humel 感染症は、常に (100%の確率で) 紫色の斑点を引き起こしますが、(0%の確率で) minttels の痛みを引き起こすことは決してありません。

上記 2 症状の発生を引き起こす原因は他に知られていません

- 残る 3 つの説明文は、それぞれ 90%、80%、および 70%の確率条件に対応
 - $0.90 \times 0.90 = 0.81$ (≈ 0.80), $0.80 \times 0.80 = 0.64$ (≈ 0.65), $0.70\% \times 0.70 = 0.49$ (≈ 0.50)

Zorg 星には、750 体のエイリアンが住んでいます。あなたは、エイリアンの医療疾患を理解しようとしている医者です。エイリアンの Treda さんは、2つの症状で悩んでいます： minttels の痛みと、体中にできた紫色の斑点です。

Tritchset 症候群は、(80 or 65 or 50%の確率で) minttels の痛みと紫色の斑点を引き起こします。

Morad 病は、(90 or 80 or 70%の確率で) minttels の痛みを引き起こしますが、(0%の確率で) 紫色の斑点を引き起こすことは決してありません。

Humel 感染症は、(90 or 80 or 70%の確率で) 紫色の斑点を引き起こしますが、(0%の確率で) minttels の痛みを引き起こすことは決してありません。

上記 2 症状の発生を引き起こす原因は他に知られていません。

- この説明を読んだ後、参加者は「あなたは Treda の症状に最も満足できる説明はどれだと思いますか」と問われ、0 (単純な説明) から 10 (複雑な説明) で説明の選好度合いを評価した

- Results & Discussion

- 表 2 で示されるように、決定論的状況（尤度 = 1）では、参加者は単純な説明を選好した [t(65) = 15.84, p < .001, d = 1.95]
- これは、Lombrozo (2007, exp1) のほぼ正確な再現であり、決定論的因果における単純な説明に対して人々が非常に強い好みを持っていることを支持する結果

Likelihood	Judgment
100% (Deterministic)	-3.81 (1.95)
90% (Stochastic)	-3.00 (2.68)
80% (Stochastic)	-2.50 (2.58)
70% (Stochastic)	-2.48 (2.45)

Table 2. Results of Study 2.

- 新たな問題は、この好みは確率的条件で異なるかどうかということ
 - 尤度と Complexity の関係を理解するため有効である
 - 単純な説明の尤度 α : 複雑な説明の構成要素に対する尤度の積 $\beta = 1:1$ になるよう調整した
 - 参加者が、各病気・各症状がそれぞれ独立して発生すると信じていることを前提とする
 - 決定論的説明の評価と同様に、参加者は 3 つの確率論的条件のそれぞれにおいて頑健な単純さへの好みを見せたが、その影響の程度は決定論的説明のそれよりも弱く、予測（尤度が 1 未満であるとき、Complexity の影響を受けるので Simplicity の影響が小さくなる）と一致した
 - 90%条件: t(65) = 9.09, p < .001, d = 1.12
 - 80%条件: t(65) = 7.86, p < .001, d = 0.97
 - 70%条件: t(65) = 8.24, p < .001, d = 1.01

Study 3

- 目的

- 尤度の値を明示しない状況下でも、実験 2 と同様の結果が見られるかを検討する
 - 独立変数: 原因の数 & 尤度（決定論「常に」、確率論「時々」）、従属変数: 事後確率

- Method

- Participants: 159 名（60 名除外）
 - 参加者は、決定論群と確率群にランダムに振り分けられた
- Task:
 - 実験 1, 2 のカバーストーリーを修正し、4 つの説明状況を作成
 - 決定論群の参加者は、次のような説明を読んだ

あなたは、エルフの医療疾患を理解しようとしている医者です。エルフの *Wenlie* さんは、3つの症状で悩んでいます：ひどい発熱を促す *muffets*, 耳のシワ, *Nurino* 欠乏症です。

Yewlie 感染症は、常にひどい発熱, 耳のシワ, *Nurino* 欠乏症を引き起こします。

Hepz 病は、常にひどい発熱, 耳のシワを引き起こします。

Aeona 症候群は、常に *Nurino* 欠乏症を引き起こします。

Jonjo 病は、常にひどい発熱を引き起こします。

McArdel 病は、常に耳のシワと *Nurino* 欠乏症を引き起こします。

上記3症状の発生を引き起こす原因は他に知られていません。

- 確率論群は、説明文の「常に」が「時々」に変更された文章を読んだ
- この情報を読んだ後、参加者は候補となる説明の組み合わせ (*Yewlie & Hepz & Aeona*, *Jonjo & McArdel*) に確率をそれぞれ 0-100%で割り振った
 - その際、説明のペア 3 組の確率の合計値が 100%以下になるよう教示した
 - ex) 「*Wenlie* が *Yewlie* 感染症を罹患している確率を推定してください。その際、説明のペア 3 組の合計が最大 100%になるようにしてください」
 - これを 4trial 行い、各 trial における確率合計値の平均が 80 以下あるいは 120 以上である参加者は分析から除外した (なぜ 100%を超過する?)

● Results & Discussion

- 表 3 は、各条件で各説明に割り当てられた事後確率の平均、および統計分析を容易にするためのベンチマーク事後確率を示す
 - ベンチマークは、以下のように設定した (必ずしも規範的な値ではない)
 - 2-cause 説明の確率 = 1-cause 説明の確率²
 - 3-cause 説明の確率 = 1-cause 説明の確率³

Explanation	Posterior Probabilities		
	Deterministic	Stochastic	Benchmark
1-cause	67.9% (20.8%)	62.6% (17.7%)	54.4%
2-cause	20.8% (11.9%)	24.4% (11.3%)	29.6%
3-cause	12.6% (10.8%)	13.6% (9.1%)	16.1%
Euclidean Deviance	27.0% (14.8%)	21.4% (12.7%)	

Table 3. Results of Study 3.

- このベンチマークと比較すると、決定論群 [t(43) = 4.31, p < .001, d = 0.65] と確率論群 [t(54) = 3.46, p = .001, d = 0.47] の両方において、単純な (1-cause) 説明に対してより大きな確率を割り

振った

- 結果的に、参加者は（ベンチマークと比較して）より複雑な（2-cause or 3-cause）説明に大きな確率を割り振ることができなくなった
- 単純な説明の確率を大きく見積もる傾向は、私たちの以前の研究、および Lombrozo (2007) で見られた傾向と一致する
- 分布は条件によって異なった
 - これを検討するために、ベンチマークに対する「ユークリッド偏差」を導出した
 - ある確率分布が基準点（ベンチマーク）とどれほど異なるかを表す尺度（各説明に対する各参加者の平均判断と規範的ベンチマークとの偏差を二乗した値の総和の平方根）
 - 決定論群と確率論群のスコアを比較すると、決定論の方が有意に大きかった [t(97) = 2.04, p = .044, d = 0.41]
 - これは、決定論における分布が、確率論のそれから逸脱し、選好が単純な説明から複雑な説明へとシフトしたことを示す
 - 規範とのズレ（たとえば、参加者が「時に」は 90%を意味すると仮定したとする）
 - その場合、証拠の尤度は、1 要因の説明は 0.90, 2 要因の説明で 0.81 (=0.9*0.9), 3 要因の説明で 0.729 (=0.9*0.9*0.9) となる
 - この仮定が正しい場合、確率論では単純な説明が規範的には優先されなければならないが、今回の結果はそうでなかった

Study 4

- 目的

- Simplicity, Complexity の効果は、説明ドメインの影響を受けるか？
 - ◇ 4A（実験 1A に対応）：独立変数：原因の数 & ドメイン， 従属変数：事前確率
 - ◇ 4B（実験 1B に対応）：独立変数：原因の数 & ドメイン， 従属変数：尤度
 - 人々は、物理的、生物的、そして社会的な世界といったように、各分野に対して抽象的な期待を抱いている (Wellman&Gelman, 1992)
 - 具体的な問題とは無関係に、各分野によってどのような種類の説明が最も妥当かについての信念を持っている (Shipley, 1993; Kemp, Goodman, & Tenenbaum, 2010 など)
 - 最も重要なのは、人々は、物理的事象は社会的な事象よりも原因が少ないと信じており (Strickland et al., 2017), 物理的説明は物理学の知識を用いて行うが、社会的説明は複雑な反実仮定に頼って行うであろうこと (Lombrozo, 2010)
- 具体的に、実験 4 では、これらの領域にわたる単純な説明と複雑な説明の事前オッズ（調査 4A）および尤

度比（調査 4B）を推定するよう参加者に求めた

- Method

- Participants: 240 名（66 名除外）

- Tasks:

- 物理的説明は、以下のような課題を用いた（ex: 放射線、素粒子や流体力学についての課題もある）

北極から放射される紫外線の記録があります。時々、波は周波数振動または不規則なフィードバックのような異常なパターンを示します。

Plank 効果は周波数振動を引き起こす可能性があります。

Bjorl 障害は不規則なフィードバックを引き起こす可能性があります。

UV 散乱効果は周波数振動を引き起こす可能性があります。

UV 散乱効果は不規則なフィードバックを引き起こす可能性があります。

紫外線の周波数振動や不規則なフィードバックを引き起こす原因は他にありません。

- 社会的説明は、以下のような課題を用いた（ex: バレーボール、子供の行動やロマンチックな魅力についての課題もある）

国立体育館でバレーボールトーナメントがあります。時々、良いチームワークやポジティブさのような特別な強みを持ったチームが存在します。

相互の信頼は良いチームワークを引き起こす可能性があります。

リーダーシップはポジティブさを引き起こす可能性があります。

Collective Flourishing は良いチームワークを引き起こす可能性があります。

Collective Flourishing はポジティブさを引き起こす可能性があります。

バレーボールチームに、良いチームワークやポジティブさをもたらす要因は他に知られていません。

- 生物学的説明は病気、農業、食事に、人工物に関する事象はロボット、時計、おもちゃに関係した説明を用いて課題を作成した

- Results & Discussion

- 物理的説明において、参加者は単純な説明を強く支持した（表 4 参照）

Quantity	Physical	Biological	Artifact	Social
Prior Odds (Study 4A)	-1.11 (2.12)	-0.90 (1.96)	-0.75 (2.10)	0.08 (2.20)
Likelihood Ratio (Study 4B)	0.10 (2.25)	0.29 (2.45)	0.75 (2.32)	1.00 (2.19)

Table 4. Results of Study 4.

- 実験 4A は事前オッズの評価において単純な説明を支持したが [t(91) = 5.03, p < .001, d = 0.52], 4B は尤度の評価における複雑な説明を支持しなかった [t(81) = 0.39, p = .70, d = 0.04]
 - 実験 1 の参加者は尤度を評価する際に複雑さを好んだが、物理的現象における因果説明の場合（実験 4）、参加者はそうでなかった
- 社会的説明に対する評価は、物理的説明に対するそれとは異なっていた
 - 研究 4B は尤度を評価する際の Complexity による影響（複雑な説明を好むこと）を明らかにしたが [t(81) = 4.13, p < .001, d = 0.48], 事前確率を評価する際の Simplicity の影響（単純な説明を好むこと）において有意差は見られなかった [t(91) = 0.33, p = .74, d = 0.03]
- 人々が物理的説明に対しては単純で一因の説明を好むが、社会的説明に対しては複雑で多要因の説明を好むという、先行研究に基づく予測に沿う
 - 選好の程度は、物理的、生物学的、人工物的、社会的の順（別のタスクにおける同様のパターンについては Keil, Lockhart, & Schlegel, 2010 を参照）

Study 5

- 目的:
 - 実験 4 では、事後確率の要素（事前確率・尤度）のみを扱っていて、直接的に説明の確率について推論しているわけではない。実験 5 では、事後確率（最も可能性の高い説明はどれか）を扱う
 - ◇ 独立変数: 原因の数 & ドメイン, 従属変数: 事後確率
- Method
 - Participants: 479 名 (89 名除外)
 - 参加者の半数は、以下のような決定論的説明を読んだ
 - 残り半数の参加者は、「常に」を「時々」に、「100%」を「80%」（単純な説明用）または「90%」（複雑な説明の各原因用）に置き換えた確率論 ver を読んだ
 - これらの条件は実験 2 の 100%および 90%の条件に類似している
 - Task: 実験 4 で使用された 12 項目の修正版を読んだ
 - 以下のような説明文を読んだ後、参加者は実験 2 と同じスケールで説明を評価した（以下の例では「185 番目の波のパターンについて、最も可能性の高い説明はどれだと思いますか？」）

北極から放射される 750 の紫外線の配列記録があります。あなたは、波の異常の原因を理解しようとしている地球科学者です。

185 番目の波には 2 つのパターンがあります。185 番目は周波数振動と不規則なフィードバックを示します。

UV 散乱効果は、常に (100%) 周波数振動と不規則なフィードバックを引き起こします。

Plank 効果は、常に (100%) 周波数振動を引き起こしますが、(0%の確率で) 不規則なフィードバックを引き起こすことは決してありません。

Bjorl 障害は、常に (100%) 不規則なフィードバックを引き起こしますが、(0%の確率で) 周波数振動を引き起こすことは決してありません。

紫外線の周波数振動や不規則なフィードバックを引き起こす原因は他にありません。

● Results & Discussion

- 表 5 に示すように、理論的枠組みとこれまでの実験結果を考慮すると、決定論とドメインの両方の効果は予想通りだった

Causal System	Physical	Biological	Artifact	Social
Deterministic	-2.76 (2.10)	-2.59 (2.19)	-2.32 (2.41)	-1.81 (2.71)
Stochastic	-2.15 (2.40)	-2.15 (2.28)	-1.81 (2.53)	-1.22 (2.59)

Table 5. Results of Study 5.

- 全体を通して、確率論的説明よりも決定論的説明において、参加者は単純な説明を強く支持した
[t(388) = 2.52, p = .012, d = 0.26]
 - 実験 2 で見られた単純な説明を好む傾向は、医学的説明に特有の効果ではなかった
- ドメイン間の平均の順序は実験 4 と同じ
 - 物理的, 生物学的, 人工物的, 社会的の順
 - 実験 4 の結果と同様に、参加者は、社会的説明よりも物理的説明に強い単純さの好みを持っていた
[t(388) = 2.52, p = .012, d = 0.26]
- これらの結果は、独立した 2 つの働き (事前確率・尤度の推定) のために、人々が「原因の数」という 1 つの手がかりに頼るという謎を解決するのに役立つ
 - 社会的説明よりも物理的説明の方が単純な説明に対して事前確率・尤度をより高く評価するだけでなく、それを掛け合わせた事後確率も高く見積もる傾向にある
 - 明示的な尤度情報が、参加者を複雑さに頼る可能性を低くするという副作用がある
 - 現実の世界では、出来事の前確率や尤度を知ることは滅多にないので、本研究で見られた傾向と比較して、より均等にヒューリスティックを使用する可能性がある

- ドメイン間で、原因の数についての一般的な予想（例えば、「普段どの程度の原因を仮定する説明が妥当か」や「原因の独立性に対する期待」）が異なる
 - 事前確率に影響を与える可能性がある

General Discussion

- 因果説明において、Simplicity は事前確率の、Complexity は尤度または証拠への適合のための良い手がかり
 - 実験 1 では、原因の数 (simple or complex) を操作し、参加者に事前確率または尤度を尋ねることで、直接的に上記を明らかにした
 - 研究 2, 3 では、確率的な状況において選好が複雑な説明にシフトすることを示した
 - 研究 4, 5 では、ドメイン間で単純な説明を好む程度が異なることを示した
 - 物理的事象の説明を評価する際は Simplicity を最も重視し、社会的事象の説明を評価する際は重視の程度が最も低かった
- Simplicity は、因果説明だけでなく様々な認知プロセスに影響を与える
 - カテゴリに基づく推論 (Johnson, Merchant, & Keil, 2015a), 因果強度の推論 (Johnson, Johnston, Toig, & Keil, 2014), 社会的カテゴリ化 (Johnson, Kim, & Keil, 2016), 心的状態の推論 (Johnson, Hill, & Keil, 2016), 意思決定 (Johnson, Zhang, & Keil, 2016) など
- 生態学的に現実的な (尤度を明示しない) 条件下では、ヒューリスティックが役立ち、事後確率の推定を助ける
 - 明確に指定された事前分布があり、明確に定義された尤度関数を構築できる場合、おそらく規範的なベイズ推定よりも優れた、あるいは同等の事後確率を導出することはできない (しばしば単純な説明に不当に偏らせる)
 - しかし、Explanatory considerations (≡ explanatory virtues) はベイズ的な計算を超えて事後確率判断に影響するかもしれないという考えを主張する人もいる
 - 例えば、説明的な良さを考慮する確率推定・更新モデルは、ベイズ確率のみを組み込んだモデルよりも早く収束することもある (Douven & Schupbach, 2015a, 2015b)
 - これは、不確実な環境で行動を促進するのに役立つかもしれない (Douven & Schupbach, 2015b; Douven & Wenmackers, 2017; Johnson, Rajeev-Kumar, & Keil, 2015)
- 医者でさえ、すべての病気・症状の共変動情報を持っているわけではない
 - 今回のように、滅多にない状況 (たとえば、エルフや宇宙人の診察) や哲学的な問いについて考える場合、その事前確率や尤度に関する情報をほとんど、あるいは一切持ち合わせていない可能性がある
 - また、計算が複雑で、認知的負荷が大きいことが多い
 - Simplicity や Complexity のようなヒューリスティックは、そういった状況への適応的習慣の 1 つであるように思われる