

Fast, frugal, and rational: How rational norms explain behavior

N. Chater, M. Oaksford, R. Nakisa, & M. Redington

1. Introduction

判断と意思決定の研究: "古典的な合理性規準"と"実際の人間の推論(パフォーマンス)"との関係に焦点を当ててきた。

人間のパフォーマンスはいくぶん規準に達していない(Evans, Newstead, & Byrne, 1993; Tversky & Kahneman, 1974; Kahneman, Slovic, & Tversky, 1982; Tversky & Kahneman, 1986; Colman, 1995)

このギャップはおかしいんじゃないか? パフォーマンス・エラー、計算的限界、課題の誤解釈(Ayton & Hardman, 1997; Cohen, 1981; Oaksford & Chater, 1993; Stanovich, 1999; Stanovich & West, 2000; Stein, 1996)

Stanovich たちの研究: 認知能力や教育的背景についての個人差がギャップに影響(認知能力が高かったり課題が認知的限界にそれほど差し迫らなかつたりすると上手く遂行できるときもある) 少なくとも、ある個人、ある環境ではギャップはなくなる。

Evans & Over (1996, 1997)の2種類の合理性

Rationality₁: Thinking, speaking, reasoning, making a decision, or acting in a way that is generally reliable and efficient for achieving one's goals

Rationality₂: Thinking, speaking, reasoning, making a decision, or acting when one has a reason for what one does sanctioned by a normative theory

rationality₁ は rationality₂ とは大部分独立である

もしこれが正しければ・・・rationality₁ は rationality₂ を要しない。すなわち Evans & Over は、古典的な合理性規準で正当化され得ない思考や行為や決定がにもかかわらず一貫して実際的成功をもたらす、という見解である。

Gigerenzer らの研究(Gigerenzer, 2000; Gigerenzer & Goldstein, 1996; Gigerenzer & Todd, 1999)

推論は、自然環境の文脈において(その推論と)生態学的に関連する問題の解決に成功するかという点で評価されるべき。古典的合理性よりも進化した環境との関係で生体の心を考える。(人においては日常的世界との関係で考えている)

このラディカルな提案の妥当性を再考するのが本論の目的。

Gigerenzer & Goldstein (1996)

生態学的基準による合理性が古典的規準と置き換わるべき3つの主張

(A) 環境の重要性

(B) 認知的限界の存在

(C) 明白な合理的正当化がなくとも実環境で成功するという存在証明(特定のアルゴリズム: Take-the-Best)

Take-the-Best の先行者。

non-compensatory strategy 研究 (Einhorn,1970,1971; Ganzach,1995): elimination by aspects(Tversky, 1972), lexicographic heuristic(Tversky, 1969)など

Payne たちの Adaptive Decision Maker(ADM)研究 (Payne,1976; Payne, Bettman, & Johnson, 1988, 1990, 1993, Payne, Bettman, & Luce, 1996)

意思決定者は数々の決定法(多くは fast & frugal)の中から方略的に選択することができる。

ADM 研究では fast & frugal アルゴリズムは選択肢の連続体の一端でしかない。十分な時間、認知資源、動機づけがあればより精緻な方法を用いる。

ADM と Gigerenzer らの違い

- ADM 研究は選択肢から**選択**[choice]の仕方を理解することに興味があつたが、Gigerenzer らは**判断**[judgment]に焦点がある(世界が2値のどちらなのかを(限定された情報から)判断する課題)

判断と選択は領域としてはかなり異なるが、それぞれの基本的認知アルゴリズムが密接に関係していることは大いにあり得る。事実、lexicographic heuristic と Take-the-Best は非常に近い。

- ADM 研究は fast & frugal な方法が使われる条件、そのような方法が成功する条件を調べることに焦点があり、認知的ヒューリスティックと方略の柔軟な使用を強調する。

Gigerenzer たちは Take-the-Best が普遍的認知的アルゴリズムであるかどうかや、多くの決定法の中から意思決定者によってダイナミックに選択されるのか、という議論は明示的にはやらない。

しかし adaptive toolbox¹というアイデアには後者の立場が入っているように見える。

2. Rationality and the explanation of behavior

Evans & Over, Gigerenzer らの主張は

「古典的な合理的原理(論理、確率、決定理論、ゲーム理論)は日常の行動を説明するのに役に立たない。古典的合理性と生態学的合理性は別物である」-日常の行動と古典的合理性規準を比較することはリンゴとオレンジを比較するようなもの。これが正しければ、社会、生物科学に大きな波及があるだろう。これらの分野では古典的な合理的原理が日常の行動を説明するのに頻繁に用いられるから。

しかし、これは古典的な合理的原理の誤った特徴づけである。彼らは「(古典的合理的原理を用いて合理的説明をする学問分野が)心が合理的"算定"をすると想定している」と思っているが、そんなことはない。

2.1 Rational calculation vs. rational description

Gigerenzer & Goldstein による古典的な合理的規準の特徴づけ: 合理的規準は思考の法則である。(いくつかの学問分野における行動の合理的説明を一掃するよう意図されている)

Evans & Over による古典的な合理的規準の特徴づけ: 古典的合理的規準は行為者が関連する規範の正当化(rationality₂)を理解しているときのみ行為者の行動を説明する。

両者とも、古典的合理的規準による説明は合理的算定が人の心によって実行されることを前提している、と考えている。

しかし、行動生態学、経済学、心理学において合理的原理を使って思考と行動を説明する方法をそのように特徴付けるのは誤り。これら学問分野の研究者は、合理的算定ではなく合理的記述にコミットしている。

合理的算定: 確率論的、論理的、決定理論的操作を実行することによって心は働いている、という見方

合理的記述: 行動は合理的な算定によって得られるような結果と適合するものとして近似的に記述し得る、という見方

- 鳥の翼のアナロジー

行動生態学者は動物が合理的算定をやっているとは前提していない。それどころか明確に否定している。

経済学者も効用の概念を心理学的構成概念から行動的構成概念(顕示選好)へと変えた。経済学的理論は近似であり理想化されたものだとして認識している。

それは、推論や判断や意思決定の心理学でも同じことである。

3. Rational analysis: A methodology for the rational description of behavior and cognition

3.1 Rational and algorithmic explanations of cognition

人の推論行動はとんでもなく上手くいく。基本的な2つの疑問とその特徴づけ (Anderson, 1990)

なぜ推論は上手くいくのか? - 合理的レベルでの説明

どのようにこの成功は達成されるのか? - アルゴリズム的レベルでの説明

3.2 Rational analysis

合理的レベルでの説明における基本的考え

「もし認知がある環境での目標を達成することによく適応しているなら、その環境でその目標を達成するための最適解にある程度近似するものとして認知を記述できる。」

この種の説明をするには

- システムの目標の特定
- 環境の構造の特定
- その環境でその目標を達成するための最適解の形式的導出

をしなければならない。

このような説明を構築するための方法論が認知心理学の文脈で定式化されてきた (Anderson, 1990 の rational analysis)

1. 認知システムの目標を正確に特定
2. システムが適応している環境の形式的モデルを作る
3. 計算的限界について最小限の仮定をする (optional)
4. 上記 1-3 から最適な行動関数を導出する (合理的規準を用いた数学的分析が必要)
5. 経験的証拠を調べて行動機能の予測が確認されるかどうかを見る (4 が認知システムによって実行されるとは仮定しない)
6. 繰り返し、理論を洗練する。

¹ "the collection of specialized cognitive mechanisms that evolution has built into the human mind for specific domains of inference and reasoning, including fast and frugal heuristics" (Gigerenzer & Todd, 1999, p.30)

3.3 Ecological considerations

合理性の生態学的論者たちの言いたいことは要するに、合理性の古典的原理は生態学的でないので実世界の基準としては不適切である、ということ。

しかし rational analysis の中心要素は適切なレベルの理想化をして環境をモデリングすること(step 2)。推論の環境的成功は最適な行動関数(step 4)との近似の程度で説明される。

心理学(視覚モデリング)でも行動生態学でもミクロ経済学でもマクロ経済学でも合理的説明はこのようになされる。

合理的原理と環境的成功は対抗するものではなく相補的である。

よって、環境的分析は、なぜ行動が上手くいくのかの説明として合理的規準にとって代わることはできない。

3.4 Cognitive limitations

認知的限界はアルゴリズム的レベルの話である。

合理的説明が合理的算定でなく合理的記述と理解されれば、計算的複雑性の問題はなくなる。

3.5 Take-the-Best as an existence proof

Gigerenzer たちは「Take-the-Best は実世界で成功するメカニズムが合理的規準を満たす必要がないこと存在証明である」と言う。

上手くいく合理的アルゴリズムが、なぜそれが上手くいくのかについての合理的説明が作られる前に開発されることは可能。

Take-the-Best は存在証明というよりも、よくある伝統(レスコーラ-ワグナー学習則、コネクションモデル、統計的検定など)に味方するものである。

3.6 Counterarguments and replies

3.6.1 Iteration and rational norms

step 6 の反復はおかしいんじゃないのか? 論理や確率や決定理論の原理は反復で先見的な分析によるもので修正されるものではない。

修正は step 1-3 のことでもある。

3.6.2 Evolution as an alternative "why" explanation

進化で説明できるのでは? Gigerenzer らや Evans & Over も進化的な説明を取り入れている

進化心理学(あるいは進化的説明)はなぜ(不適応な行動でなく)そのような適応的行動を持つに至ったかは説明するが、なぜその行動が適応的なのかは説明しない。

3.7 Summary

「環境」も「認知的限界」も「実環境で上手く動くシンプルなアルゴリズムの発見」も認めるが、これらは全体的に古典的合理性と一貫する。

4. How Plausible is Take-the-Best?

Gigerenzer & Goldstein の言う Take-the-Best の認知的なもっもらしさ

- (1) 都市人口推定(あるいは他の課題)においてパフォーマンスがよい
- (2) 速い
- (3) 儉約的(記憶からの情報を比較的使わない)

筆者らの主張

- (1) 多くの標準的アルゴリズムのパフォーマンスも Take-the-Best に匹敵する
- (2) これらのアルゴリズムは Take-the-Best と同じくらい速いかもしれない
- (3) 情報検索の儉約性は認知的なもっもらしさに関しては利点にならないかもしれない

4.1 Gigerenzer and Goldstein's competition

Gigerenzer & Goldstein は 5 種類の線形の単回帰もしくは重回帰を Take-the-Best の比較対象に用いた。

4.2 A new competition

(統計学からではなく)認知心理学や人工知能研究の標準的手法からとってきたアルゴリズムを比較

4.2.1 Representation of data

Gigerenzer & Goldstein は各都市を 9 つのバイナリ値のベクトルで表現していた。

本論では、比較しやすくするために、9 つの手がかりにおける都市のペアの差異を表現した(よって各値は-1, 0, 1 の3値)。

各パターンは1つ目の都市が2つ目の都市よりも[大きい/同じ/小さい]の3つのラベルと結びつけた。

(この表現の違いは Take-the-Best には何の影響もない。)
全都市の組み合わせ (6806 パターン) でシミュレーションを実施。
各アルゴリズムは 6806 パターンのサブセットでトレーニングされた。
トレーニングに用いる事例の割合を変化させて影響を見た (Fig. 1)

(Fig.1 - removed)

4.2.2 Take-the-Best

Gigerenzer & Goldstein と同様、手がかり妥当性がトレーニング事例から計算される。

4.2.3 Exemplar-based models

2種類を使用。

ニアレスト・ネイバー (Cover & Hart, 1967)

GCM (Generalized Context Model) (Nosofsky, 1990)

4.2.4 Feedforward connectionist network

3層のフィードフォワード型ネットワーク (入力層 9 ユニット、中間層 2 ユニット、出力層 1 ユニット)

誤差逆伝播法で学習。

4.2.5 Decision trees: C4.5

決定木アルゴリズム C4.5 を使用 (Quinlan, 1993)

決定木は全てではなく少数の手がかりを用いるが、Take-the-Best のように単一手がかりではなく複数を利用

5. Result and Discussion

Take-the-Best は利用可能なデータが限定されている場合に他のアルゴリズムよりも飛びぬけてパフォーマンスがよい。
ほとんど全てのデータが利用可能な場合でもほぼ同等である。
Gigerenzer & Goldstein の結果ともほぼ正確に同じ。

Gigerenzer & Goldstein は TTB が特に魅力的だと言っている。なぜなら、

- ・速い (系列処理ステップの数が少ない)
 - ・儉約的 (非常に限定された情報だけを使う)
- これは本当だろうか？

5.1 Is Take-the-Best especially fast?

1. 大量の情報の急速な統合が、言語処理、知覚、運動制御、常識推論などで生じると言われている。
統合的な処理が、比較的ゆっくりとしている (都市人口推定課題における) 人間の反応を説明するのに十分なほど速くはできないと考える理由はない。
2. Gigerenzer & Goldstein のスピードの測度は認知システムのアーキテクチャに依存している。
シリアルなアーキテクチャで各情報が一定レートで検索されることを想定するなら TTB は重回帰などよりも速いだろうが、パラレルなアーキテクチャでは処理速度は一般的に検索する情報の量に関係しない。シリアル・アーキテクチャを前提してスピードを考えるのは間違い。

5.2 Is frugality an advantage?

TTB が儉約的だというのは疑い得ない。しかし、儉約的で TTB が認知的にもっともらしいということになるか？
複数のソースの情報を急速に統合する、あるいは、大量の制約が急速に同時に満たされるなどという知見が得られている。

1. 大量の情報を統合する能力は認知的に自然なものである。従って少なくとも connectionist や exemplar-based モデルの非儉約性はもっともらしさを低めることにはならない。
2. このような大量で急速な情報の統合は非統合タイプのアルゴリズム (TTB) では扱えない。従って、非統合タイプのアルゴリズムは逆に認知的パフォーマンスの一般性の点で不利である。

反論：大量の情報の急速な統合なんて都市人口判断課題には必要ないじゃないか！

日常推論の領域のほとんどでは、大量の情報が急速に利用されているようだ。 (Oaksford & Chater, 1991, 1998)

実際、利用される知識の量は無限に多いように思える (フレーム問題が示すように)。

都市人口の近似推定などもおそらく大量の情報を検索するだろう。ならば儉約的な認知的アルゴリズムを好む強い理由はない。

儉約性が判断における決定的な制約であるような状況は率直ではないので、儉約的アルゴリズム (TTB) が他の認知的アルゴリズムよりも自動的に優れているということはない。

速さや俊約性を特定の認知的アーキテクチャの文脈を外して評価するのは難しい。

5.2.1 Empirical evidence for Take-the-Best

間接的証拠: 基本的原理に関して独自のモチベーションが存在する程度

少なくともある状況では人々は限定された情報にだけ焦点を当てる (Shepard, 1967)

TTB は長い伝統のあるルールベースのシステムにも通じるものである。

しかし、本論で比較対象となった他のモデルは他の認知的領域から持ってきたものであり、TTB はこの種の課題に特化して作られたものである。例えば多くの認知心理学的モデルで用いられているコネクショニストの手法はその原理が強い経験的基盤を持っていることを示唆する。その点、TTB は基本的原理の経験的もっもらしさということに関して明らかでない。

直接的証拠: TTB は実際の反応をどれくらい予測できるか

TTB もしくは類似の非補償的方法略を使っていた - Reiskamp & Hoffrage(1999), Broder(2000), Dhimi & Ayton(2001)

ほとんど fit しなかった - Newell & Shanks(2001)

結果はまちまち。個人差も大きい。

本論で比較した他のモデルも実際の反応との比較はしていない。 将来の研究を

5.2.2 Summary

TTB と他のアルゴリズムは少なくとも同じくらいもっともらしく見える。これらをどのような方法で比較するのが適切かも定かではない。

TTB は判断課題に普遍的な認知的アルゴリズムでない結論するのがよいかもしれない。(Gigerenzer, 2001)

本論からのより一般的な示唆として、幅広い研究分野からの技術輸入が役立つだろう。

認知科学や人工知能の一般目的アーキテクチャを取り入れるのが有益かもしれない。

6. Conclusions

1. 心理学や社会、生物科学における合理的説明の標準的概念は最近の研究(Gigerenzer など)によって崩されるものではない。この手の説明は、心を確率論的もしくは統計的算定機械と見なすのではなく、なぜ行動が上手くいくのかを説明する合理的記述を提供するものである。

合理的説明の標準的概念は(A)環境を強調し、(B)認知的限界を説明に組み込み、(C)アルゴリズム的理論が合理的説明の先を行くことを許すものである。

2. 認知心理学で familiar な認知的アルゴリズムは都市人口推定課題において Take-the-Best と同等のパフォーマンスを持つ。また、速さや記憶検索、経験的証拠の点から、それらは同程度にもっともらしい。

いつ、そしてなぜ、認知システムが適応的に成功しているのかを説明できる合理的記述的説明を提案する研究プロジェクトが重要。