二重過程理論に基づく不確実性を伴う値の 推定に関する検討

松室 美紀 三輪 和久 寺井 仁¹ 山田 賢人 名古屋大学

Dual process in large number estimation under uncertainty

Miki Matsumuro, Kazuhisa Miwa, Hitoshi Terai, and Kento Yamada (Nagoya University)

According to dual process theory, there are two systems in the mind: an intuitive and automatic System 1 and a logical and effortful System 2. While many previous studies about number estimation have focused on simple heuristics and automatic processes, the deliberative System 2 process has not been sufficiently studied. This study focused on the System 2 process for large number estimation. First, we described an estimation process based on participants' verbal reports. The task, corresponding to the problem-solving process, consisted of creating subgoals, retrieving values, and applying operations. Second, we investigated the influence of such deliberative process by System 2 on intuitive estimation by System 1, using anchoring effects. The results of the experiment showed that the System 2 process could mitigate anchoring effects.

Key words: dual process theory, estimation, anchoring effect, problem solving.

The Japanese Journal of Psychology

2016, Vol. 87, No. 3, pp. 229–239

J-STAGE Advanced published date: May 10, 2016, doi.org/10.4992/jjpsy.87.14077

「世界には何人のピアノの調律師がいるでしょう
か？」

これは、Google の入社試験として有名になった問題である。このような、直接的に測定することが困難な値の推定はフェルミ推定と呼ばれている。フェルミ推定では、限定された不確実な情報を基に推定が行われる。本研究では、このような不確実性を伴う値の推定のプロセスを二重過程理論の観点から論じる。

二重過程理論では、人間の意思決定や推論などの思考は、システム 1 とシステム 2 と呼ばれる 2 種類のシステムにより行われているとされている (Evans, 2003; Kahneman, 2011)。Evans & Stanovich (2013) は、認知負荷がかからない自動的な推論をシステム 1 の特徴としてあげている。そして他方のシステム 2 の特徴を、課題の心的表象を操作、保持しながら推論を行う事と

している。また、両システムは、システム 2 の推論が、システム 1 による推論に介入するという関係にあるとしている (Stanovich & Toplak, 2012)。

本研究では、不確実性を伴う値の推定における 2 種類のシステムの働きを調べるため、参加者に制限された短い時間での推定と時間をかけた推定を行わせた。前者を「直観的推定」、後者を「熟考的推定」と呼ぶ。

直観的推定では、システム 2 が介入する時間がないため、システム 1 による推定が行われる。このような短い時間での推定に焦点を当てた研究が、先行研究の多くを占めている (Brown & Siegler, 1992; Dougherty, Gettys, & Ogden, 1999; Kahneman, 2011; Stanovich & West, 2008; Tversky & Kahneman, 1974)。これらの研究は、直観的推定により推定値に生じるバイアスを強調している。

対して、本研究は熟考的推定に着目する。熟考的推定では、参加者は正確な回答を導こうと、システム 2 による推定を行うと考えられる。しかし、不確実性を伴う値の推定の場合、推定に必要な情報が不足している。そのため、推定者は与えられた情報のみを用いて、メンタルシミュレーションや計算を行い、規範的な解

Correspondence concerning this article should be sent to: Miki Matsumuro, Graduate School of Information Science, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan. (E-mail: muro@cog.human.nagoya-u.ac.jp)

¹ 現所属：近畿大学 産業理工学部

に到達することができない。そこで、熟考的推定中に正確な知識を持っていない情報の推定が必要となる。推定を行う際にはシステム 1 によるプロセスが自動的に生じる。よって、熟考的推定にはシステム 1 が関与すると考えられる。実験 1 では参加者の推定を観察し、不確実性を伴う値の熟考的推定に含まれるプロセスを二重過程理論の観点から論じる。特に、推定がシステム 2 によるプロセスを中心に行われるかを観察する。さらに、直観的推定と熟考的推定の推定値を比較する事により、熟考的推定の正確性を検討する。

先述の通り、直観的推定の値にはバイアスが生じやすい (Brown & Siegler, 1992; Tversky & Kahneman, 1974)。そのようなバイアスは時間をかけて考えても、緩和が困難であるとされている。そこで、実験 2 では直観的推定の値にバイアスが生じた状況での、熟考的推定の正確性を検討する。バイアスとして推定値が推定前に与えられた値に影響されるというアンカリング効果を用いる。直観的推定の値に生じたアンカリング効果を、熟考的推定が緩和することが可能か、また緩和できない場合の原因は何かを検討する。はじめに、先行研究から熟考的推定に含まれるプロセスの予測を行う。

推定プロセス

はじめに、数学教育と数的知識の発達の研究分野における先行研究を挙げる。数学教育の研究では、フェルミ推定は推定対象の変数を他の変数を用いて定式化することにより行われるとされている (Ärleback & Bergsten, 2013; Peter-Koop, 2009)。例えば、3 km の渋滞に含まれる車の数を推定する場合、3 km / (車の長さ + 車間距離) という定式化が行われた (Peter-Koop, 2009)。Ferri (2006) は、その過程をいくつかのフェーズに分けまとめている。また、Ärleback & Bergsten (2013) は、Ferri (2006) のモデルに基づき、高校生のグループによるフェルミ推定の過程を観察した。しかし、複人数による推定であるため、各人の詳細な思考までは取得できていない。さらに、このような実際の推定を対象とした研究は少ないため、参加者がどのように定式化を行っているかについては明らかとされていない。また、推定値の正確性については、触れられていない。

また、数的知識の発達の分野では、Siegel, Goldsmith, & Madson (1982) が、瓶に入った飴の数などの、視覚的に対象を捉えられる場合の値の推定について研究を行った。彼らは、子どもは年齢が上がるにつれ、推定対象をいくつかのまとまりに分解し、数を見積もり、再構築を行うことを通して値の推定をするようになることを示した (Crites, 1992)。Siegel et al. (1982) は推定のステップをフローチャートとして表現した。しかし、Siegel et al. (1982) のチャートは、視覚的パターンのまとまりへの分解、ベンチマークとの比較のような視覚

的な特徴に頼ったプロセスが中心となっていた。そのため、推定対象が視覚的に捉えられない場合については、検討範囲から外れている。

本研究では、先行研究と異なる状況、つまり、視覚的に捉えられない対象の値を個人で推定した場合でも、先行研究で観察された分解 (定式化)、再構築が行われるかを検討する。さらに、先行研究は、値の推定に含まれるプロセスを明らかにしているが、それらの特徴を特定の理論に基づき、一貫して論じてはいない。本研究では、先行研究に基づき、熟考的推定に含まれるプロセスを予測し、思考を発話させながら推定させることにより、その詳細を取得する。それに基づき、熟考的推定に含まれるプロセスを二重過程理論の観点から統合的に論じる。さらに、先行研究では触れられていなかった、熟考的推定の正確性を明らかにする。

まず、先行研究に基づき、熟考的推定中に観察される行動を予測する。値の推定は問題解決の一種であるとされている (Paritosh & Forbus, 2005; Siegel et al., 1982)。そこで、本研究では、Newell, Shaw, & Simon (1959) による、一般的な問題解決の枠組みである General Problem Solver (GPS) に基づき、そのプロセスを考える (Newell & Simon, 1972)。GPS では、現在の状態から目標の状態へと直接的に到達することが困難である場合、その途中の状態を先に達成すべき副目標に設定する。不確実性を伴う推定では、対象の値を直接的に推定することが困難であるため、推定者はその途中状態を副目標に設定するだろう。この副目標の設定は、先行研究における、推定対象の変数を分解し、それを構成する変数を先に推定する変数と設定することにあたる (Ärleback & Bergsten, 2013; Peter-Koop, 2009; Siegel et al., 1982)。実際に、Larkin, Reif, Carbonell, & Gugliotta (1988) や Paritosh & Forbus (2005) は推定や計算の対象となる変数を分解し、新しい目標を定めることを副目標の設定としている。本研究では、このような副目標の設定を「分解」と呼ぶ。先行研究では、視覚的な推定対象の分解に限定されていたり (Siegel et al., 1982)、分解過程に注目していないため (Ärleback & Bergsten, 2013)、どのような方略で分解が行われているかは明らかにしていなかった。そこで、本研究は、分解の方略を明らかとすることを目的に含める。

GPS では現在の状態に、目標状態へと近づく操作子 (operator) を適用する。操作子にあたる行動は、「想起」と「計算」である。推定者は、「分解」により、想起が可能な変数に達したと判断した場合、その変数の値の「想起」を行う。この「想起」は、Brown (2002) により示されたような、様々な方略を用いた値の想起を含む。複数の副目標が達成されている、つまり、いくつかの変数の値が推定されている場合は、その値を用いて「計算」を行うことにより、最終的な推定対象

Table 1
OME (mean) and estimated value (median) in Experiment 1

Problem	n	pre		post	
		OME	Med	OME	Med
Student	19	1.139	1,000	0.410	4,480
Doctor	20	1.049	300	0.632	133
Passenger	19	1.065	40	0.690	30
Dog	20	1.561	1,000	0.519	10,000
Cell	20	3.653	3,500,000	2.699	2 trillion

Note. A unit of medians is a thousand (except for a post median for the cell problem). “Med” means median.

に近づくことができる。これは、Siegel et al. (1982) のフローチャートにおける再構築 (recomposition) や、Ärleback & Bergsten (2013) の研究における計算 (calculation) にあたる。

実験 1 において、これら「分解」「想起」「計算」の 3 種類の行動が実際に生じるかを確認する。そして、発話からその詳細を取得することにより、二重過程理論の観点から、各行動について論じる。

実験 1

上に挙げた 3 種類の行動を確認し、二重過程理論の観点から論じるため、参加者の推定過程を観察した。さらに、直観的推定と熟考的推定による推定値の正確性の比較を行った。

方法

参加者 名古屋大学の学部生 20 名 (文系 19 名, 理系 1 名) が実験 1 に参加した。

問題 なんらかの機関によりその値が公表されていること、多くの人が具体的な知識を持たず、直接的に推定することが困難であることを条件とし、以下の 5 つの変数を細谷 (2007) から推定対象に選出した (かつこ内は公表値²)。学部生問題では日本の大学に在籍する学部生数 (257 万)、医師問題では日本の医師数 (202,825)、乗降客問題では 1 日あたりの成田空港の乗降客数 (81,410)、犬問題では日本で飼われている犬の数 (1,087 万 2,000)、細胞問題では人間の体を構成する細胞数 (60 兆) を推定させた。これらの変数をターゲット変数と呼ぶ。

手続き はじめに、参加者は 10 秒以内にターゲット変数の推定値を回答した。この回答を、直観的推定に基づくブレ推定値とした。その後、参加者は紙とペンを用い、納得できるまで自由にターゲット変数の推

定を行った。この時間をかけた熟考的推定の結果をポスト推定値とした。参加者には熟考的推定中の全ての思考について発話を求め、その様子は録音、録画された。同様の手続きで、全 5 問の問題が実施された。問題の順番は参加者ごとに無作為に決定された。

結果

推定値の正確性 推定値は負の値を取らず上限がないため、対数正規分布をとった。正規化のため全ての推定値を対数変換し分析に用いた。学部生、乗降客問題において、推定値が平均から 3 標準偏差以上離れていた参加者を 1 名ずつ分析から除外した。分析には、Brown (2002) による absolute Order of Magnitude Error (OME) を用いた。OME は対数変換した公表値と推定値の差異の絶対値であり、各参加者の推定値と公表値の距離を指す。OME は 0 に近いほど推定値が公表値に近く、1 の時に 1 桁のズレがあったことを示す。Table 1 に各問題の OME と推定の中央値をまとめた。ブレ推定からポスト推定にかけて、学部生、医師、犬問題において、OME の値の有意な減少が生じ (学部生 $t(18) = 4.640, p < .001$; 医師 $t(19) = 2.238, p = .037$; 犬 $t(19) = 3.732, p = .001$)、乗降客、細胞問題では減少傾向があった (乗降客 $t(18) = 1.915, p = .072$; 細胞 $t(19) = 1.982, p = .062$)。

発話分析 全ての問題において正確性の向上が生じたため、同様の推定プロセスがとられていると考える。参加者の沈黙時間が最も短く、発話から推定プロセスが観察しやすかった学部生問題を分析に用いた。予測された「分解」「想起」「計算」に加え、複数の参加者で推定された値の「調整」が観察された。以下の基準により、発話の長さにかかわらず、行動の開始から終了までを 1 行動として各行動の生起数を数えた。

第一に、何らかの変数に言及した後、その要素となる変数へと推定を移行した場合、「分解」が行われたと定義した。下の例で、参加者 11 は全国の大学の数から、その要素である 1 県あたりの大学数に推定対象を変更した。

参加者 11 「… (全国の) 大学の数か、大学の数、(し

² 以下の機関 (書籍) により公表された値を用いた。学部生数: 総務省統計局、医師数: 厚生労働省・病院報告、乗降客数: 成田国際空港株式会社、飼育犬数: 一般社団法人ペットフード協会、細胞数: 東京書籍「生物 1B」。

ばし考え込む) 1 県に何個あるんだろうな」

第二に、長期記憶から変数の値を想起した場合を、「想起」を行ったと定義した。具体的には、それまで値が言及されていなかった変数に、計算によらず参加者が値を割り当てた発話を「想起」とした。下の例は、参加者 9 が日本の人口を想起した時の発話である。

参加者 9「日本は今何万人だ？ 1 億、…1 億 2,000 だっけ？ 1 億 2,000 万とする」

続いて、推定された値を用いて他の変数の値を求めた場合を、「計算」を行ったと定義した。参加者 3 は、1 学年の学部生の人数に修学年数である 4 をかけて、1 大学の学部生の数を算出した。

参加者 3「1,000 人くらいは 1 学年いると考えて（ここまででは想起）、…4 かけて、4,000 人くらいがいる」

最後に、推定された値を計算によらずに変更した場合を、「調整」を行ったとした。ただし、計算結果の下位桁の四捨五入に関しては調整に含まない。参加者 16 は、名古屋大学の学部生数を 1 万 2,000 人から 8,000 人へと調整した。

参加者 16「1 万 2,000 人、こんなに名古屋大にいるのかな、…こんなにいるかな、名古屋大に 1 万 2,000 人、8,000 人ぐらいにして、…」

熟考の推定中の、「分解」「想起」「計算」「調整」の回数を参加者ごとに Table 2 に示した。表中の「計算」に関しては、同じ変数同士の計算であれば、複数回行っても 1 回として数えた。また、それらの計算を別個に数えた場合の回数を括弧内に示した。参加者 4, 7, 8 は計算を 2 回以下しか行っておらず、大半を想起と調整に費やした。それ以外の参加者は想起と計算、および調整を繰り返し、推定を行っていた。

続いて、各参加者の利用した変数の関係性をまとめた。言及された変数をノードとし、関連が示されたノード間をリンクでつなぎネットワークの構築を試みた。Figure 1 に代表的な 2 種類の解法を用いた参加者 9 と

Table 2

Number of each action in an estimation process (Student problem)

Participant	Decompose	Calculate	Retrieve	Adjust
P 13 *	4	9	19	0
P 6 *	4	7 (8)	14	5
P 1 *	4	6	14	0
P 11 *	3	4 (6)	6	1
P 18 *	2	5	9	0
P 16 *	2	3	12	1
P 12 *	2	3	6	0
P 19 *	1	5	11	3
P 8 *	1	1 (2)	4	5
P 5	2	9	9	0
P 10	1	9	12	1
P 15	1	6	6	1
P 20	1	5 (6)	8	0
P 2	1	5	6	1
P 4	1	1	5	1
P 17	0	9	7	0
P 14	0	6	10	2
P 3	0	5	6	0
P 9	0	5	4	0
P 7	0	2	3	1

Note. Values in parentheses are the number of calculations when calculation of the identical variables with adjusted values is counted as a new calculation. An asterisk means the participant started estimation from “decomposition.”

11 の変数ネットワークを挙げた。例えば、参加者 11 の左下は、1 県あたりの大学数と都道府県数をかけあわせ、日本の大学数を求めたことを示している。

Figure 1 の左側は、大学に通う年代の人口に進学率

Figure 1. Examples of variable networks observed in the student problem. The left one is a network of participant 9 and the right one is that of participant 11.

をかける解法を用いた参加者の代表である参加者9のネットワークである。彼は、分解を経ずに、日本の人口の想起から推定を始め、他のいくつかの変数の値を想起し、図に示されるように計算を行った。Figure 1の右図は、全国の大学数と1大学の学部生数をかけ合わせる解法を用いた参加者の代表である参加者11のネットワークである。彼は、いくつかの分解を経た後、1学部の学部生数から想起を始め、図の通り計算を行った。20名中19名の参加者はいずれか、または、両方の解法を用いた。サイズは異なるが全ての参加者において同様の図を描くことが可能であった。

「分解」の生起に着目すると、参加者は大きく2つのグループに分類された。推定の最初に分解を行った参加者とそれ以外の参加者である。Table 2に*印が示された9名は推定を分解から始め、他の11名の参加者は明確な分解を経ずに、ターゲット変数以外の値の想起から始めた。

OMEの値が平均から3標準偏差以上離れた1名を除いた、各グループの参加者の学部生問題のプレ、ポストOMEの平均値は以下の通りである。分解からプレ1.375、ポスト0.373; 想起からプレ0.968、ポスト0.436。2(方略: 分解, 想起) × 2(推定: プレ, ポスト)の混合要因分散分析を実施した。推定要因の主効果のみが有意に達し($F(1, 17) = 24.931, p < .001, \eta_p^2 = .595$)、方略要因の主効果($F(1, 17) = .782, p = .389, \eta_p^2 = .044$)、交互作用($F(1, 17) = 2.354, p = .143, \eta_p^2 = .122$)は有意ではなかった。

考 察

実験1は、不確実性を伴う値の熟考的推定のプロセスを二重過程理論に基づき検討すること、およびその推定値の正確性の検討を目的に行われた。実験の結果、全問題でOMEの減少が生じた。熟考的推定により推定値の正確性が向上したことが示される。

続いて、予測された「分解」「想起」「計算」と、実験で観察された「調整」について考察を行う。まず、本研究では、参加者が分解を行い、ターゲット変数の要素となる変数を副目標に設定することを予測していた。実験の結果、全ての参加者の発話から、変数のネットワークを描くことができた。これは、予測通り、参加者がターゲット変数の値を推定するために、その要素となる他の変数を用いていたこと、つまり、副目標を設定していたことを示す。なお、以降では、分解により副目標に設定された変数を関連変数と呼ぶ。

しかし、「分解」の発話は約半数の参加者でしか観察されなかった。これは、副目標の設定に異なる方略が存在していたことを示す。第一に、1つずつ順を追ってネットワークをたどり、副目標を再帰的に設定する方略である。この方略を再帰方略とする。参加者は意識的に、現在の推定対象の変数をその要素となる変数

に分解し、副目標として設定した。推定を「分解」の発話から始めた9名の参加者が、再帰方略を利用していたと考えられる。

第二に、他の11名の参加者は、再帰的な分解を経ることなく、「想起」の発話から推定を開始していた。ターゲット変数から連想される変数を副目標に設定し、ネットワークの中間を省略して推定を始めたため、この方略を連想方略と呼ぶ。各方略を使用した参加者間に推定値の正確性の差異はなかった。

また、全ての参加者は「計算」を行っていた。これらの分解と計算では、現在の推定対象や計算結果を保持しつつ、新しい変数を推定対象に設定することが必要とされる。これらのプロセスは、システム2の特徴である、心的表象の操作、保持にあたる。よって、分解、計算はシステム2によるプロセスであると定義される。

また、全ての参加者は、「想起」により得た値を利用していた。想起には、自身の学科の人数を調整することにより他学科の人数を想起する既有知識の調整(Brown, 2002)や、市内の大学を数えることにより大学数を想起する具体例の利用などの方略が用いられた。これらの方略では、知識を組み合わせること、つまり、心的表象の操作により値が求められている。よって、これらの方略を用いた想起はシステム2によるプロセスであると定義される。

上記の方略が用いられない場合、参加者は直観的に値を想起していた。これはシステム1によるプロセスである。ただし、参加者は「300大学あるとして」のように、想起された値を仮の値として推定を進め、場合により値の修正を行った。これは、もし、変数の値がこうだったら、この変数の値はこうなる、というシミュレーションの一部であると考えられる。つまり、想起自体はシステム1によるプロセスであったとしても、仮の値をおいて、それに基づき算出される値の妥当性を確認するというシステム2のプロセスの一部であると考えられる。

最後に、約半数の参加者が「調整」を行っていた。参加者が推定の妥当性を常に確認していたことを意味する。Siegel et al. (1982)やÄrleback & Bergsten (2013)も、推定中に妥当性の確認が行われていることを示している。調整を行わなかった参加者も、満足のいく妥当性が得られたため、調整を行わなかったと考えられる。

調整の方略として、既有知識の利用が行われていた(例: 団塊の世代の人口が多いため、各世代の人口を調整する)。このような方略を用いた調整は、想起と同様、システム2によるプロセスであると定義される。しかし、調整は、しばしば短時間で直観的に行われており、熟考的推定の中で、システム1による関与が最も大きい行動であると考えられる。

以上から、不確実性を伴う値の熟考的推定は、部分的にシステム 1 によるプロセスを含むが、システム 2 が中心となり行われていることが示される。

実験 2

目的

実験 1 の結果、熟考的推定を通し推定値の正確性の向上が確認された。ただし、直観的推定に生じたバイアスは時間をかけて考えても、緩和が困難であるとされている (Brown & Siegler, 1992; Tversky & Kahneman, 1974)。そこで、実験 2 では、アンカリング効果を利用し、システム 2 を中心とした熟考的推定によりバイアスは緩和されるか、また、緩和されないとしたらその原因は何かを検討した。

推定前に与えられた値であるアンカーが推定値に影響することはアンカリング効果と呼ばれている。Tversky & Kahneman (1974) は、アフリカ系アメリカ人の割合を推定させる前に、その割合が 10%、または 65% より多いか、少ないかを判断させた。その後の推定では、10% と比較した参加者は平均 25%、65% と比較した参加者は平均 45% と回答し、アンカーの影響が示された。この効果は、アンカーにより活性化された情報が、推定に自動的に影響することにより生じるとされている (Mussweiler, 2002; Mussweiler & Strack, 1999)。

熟考的推定により、バイアスを緩和するためには、以下の 2 点が必要とされる。第一に、熟考的推定中に副目標に設定される変数である関連変数の推定値にバイアスが生じないこと、第二に、直観的推定の結果を棄却し、熟考的推定の結果を採用することである。この 2 点に関連し、ターゲット変数の推定値に生じたアンカリング効果が緩和されるかに関して、先行研究に基づき、3 つの仮説をたてた。

推定中バイアス仮説 第一の点に関して、不確実性を伴う推定においては、熟考的推定中に関連変数の推定値にバイアスが生じる可能性が存在する。熟考的推定にはシステム 1 によるプロセスである想起や調整が含まれているためである。Wilson, Houston, Etling, & Brekke (1996) は、アンカーはそれが与えられた変数とは直接関係のない変数の推定にも影響することを示している。関連変数の推定値にアンカーの影響が生じるため、ターゲット変数のアンカリング効果は緩和されないだろうという仮説を推定中バイアス仮説とする。推定中バイアス仮説が支持された場合、熟考的推定が、システム 1 によるプロセスを含むため、推定状況の影響を受けやすいことが示される。

固執仮説 一方で、Brewer & Chapman (2002) はアンカーが推定対象の値に対して一定の範囲内に存在しない場合、推定には影響しないと主張している。その

場合、分解を通してターゲット変数から離れることにより、関連変数の推定値にアンカーの影響が生じないと考えられる。こうして得られた、バイアスのない推定値を最終的な回答とするためには、システム 1 による直観的推定の結果を棄却し、熟考的推定の推定値を採用する必要がある。

システム 1 の推定により生じたバイアスは、システム 2 による推定により緩和することは困難であることが示されている (Kahneman, 2011)。さらに、不確実性を伴う推定であるため、熟考的推定による推定値が正確であるとは限らない。よって、熟考的推定によりアンカーの影響を受けない推定値が得られたとしても、直観的推定の推定値に固執し、アンカリング効果が緩和されないだろうという、固執仮説が考えられる。固執仮説が支持された場合、熟考的推定が直観的推定の結果を変更することが困難であることが示される。

緩和仮説 一方で、実験 1 で推定値の正確性が向上したことから、システム 1 による直観的推定の結果が棄却され、システム 2 を中心とした熟考的推定の値が採用される可能性も存在する。熟考的推定がアンカーの影響を受けず、直観的推定の結果を棄却できた場合はアンカリング効果の緩和が生じる。これを、緩和仮説とする。緩和仮説が支持された場合、システム 2 を中心とする熟考的推定は正確性が高く、システム 1 による直観的推定の結果の修正が可能であることが示される。

実験 2 では、これらの仮説を検証するため、参加者に 3 種類の変数の推定を行うよう求めた。最終的な推定対象であるターゲット変数と、熟考的推定において副目標に設定される関連変数の値を推定してもらった。さらに、ターゲット変数と関連のない変数を無関連変数として推定対象に追加した。

いずれの仮説が支持されるかにより、各変数のアンカリング効果の有無に関して異なる予測がなされる。推定中バイアス仮説が支持される場合、熟考的推定中に副目標に設定される関連変数の推定にバイアスが生じるため、関連変数の推定値にアンカリング効果が生じると予測される。一方、固執仮説、緩和仮説が支持される場合、関連変数の推定はアンカーの影響を受けないため、その推定値にアンカリング効果は生じないと予測される。

続いて、固執仮説が支持される場合、システム 1 による直観的推定の結果に固執し、システム 2 を中心とする熟考的推定の結果は棄却される。そのため、最終的な推定値、つまり、ターゲット変数のポスト推定値にプレ推定値と同様にアンカリング効果が生じることが予測される。一方で、緩和仮説が支持される場合、直観的推定の結果を棄却することに成功するため、ターゲット変数のポスト推定値ではアンカリング効果が緩和されることが予測される。

Table 3
Variables to be estimated in Experiment 2

Problem		Variable to be estimated	Answer	Anchor
Student	(A) Target	No. of undergraduate students in Japan	2.6 million	high: 30 million low: 100,000
	(B) Relevant	No. of undergraduate students per university	2,340 ^a	
		No. of universities per prefecture	25 ^a	
Doctor	(A) Target	No. of physicians in Japan	202,825	high: 10 million low: 5,000
	(B) Relevant	No. of physicians per general hospital	Unknown ^b	
		No. of hospitals and clinics in Japan	180,000	
Passenger	(A) Target	No. of passengers arriving at and departing from Narita Airport a day	81,410	high: 10 million low: 5,000
	(B) Relevant	Passenger capacity per international flight	185 ^a	
		No. of taking off and landing per hour	32 ^a	
(C) Irrelevant		Weight of Asasyoryu	154 kg	
		Age of the Statue of Liberty	138 years	
		Height of Sagrada Familia	170 m	
		Box office of Princes of Mononoke	19.3 billion yen	
		Size of France	674,843 m ²	
		Annual income in Moscow	1.92 million yen	

^a We calculated the value from other published data shown in footnote 2.

^b There is no published data related to the variable.

さらに、ターゲット変数と関連しない無関連変数の値の推定を求めることにより、アンカーの影響する範囲を明らかにする。もし、ターゲット変数と関連のない変数までアンカーの影響が生じるならば、無関連変数の推定値にもアンカリング効果が生じると予測される。

方 法

参加者 名古屋大学の学部生 38 名（文系 30 名，理系 8 名）が実験 2 に参加した。

課題 学部生，医師，乗降客問題が実験 2 に用いられた。Table 3 に示した 3 種類の変数の値を推定してもらった。(a) ターゲット変数は，実験 1 と同様の変数が用いられた。(b) 関連変数として，実験 1 において多くの参加者が副目標に設定した変数が，各問題につき 2 つ選出された。ターゲット変数と関連のない 6 つの変数が (c) 無関連変数として選出された。無関連変数は各問題に 2 問ずつ，参加者ごとに無作為に割り当てられた。参加者は，各問題で，1 つのターゲット

変数と 2 つの関連変数，2 つの無関連変数の推定を行った。

ターゲット変数のアンカーの値は予備調査における 96 名の参加者の推定に基づき決定された。予備調査ではターゲット変数の推定値を 10 秒以内に回答してもらった。回答の下位 15% の上限値をアンカー低条件，上位 15% の下限値をアンカー高条件のアンカーの値に設定した。

手続き 参加者は最大 6 名の小集団で，個別にパーソナルコンピュータを用い課題を行った。はじめに，参加者はターゲット変数の値がアンカーの値より大きい小さいかを 10 秒以内にボタンの押下により回答した。その後，参加者はターゲット変数，2 つの関連変数，2 つの無関連変数の推定値をそれぞれ 10 秒以内に入力した（プレ推定）。ターゲット変数をはじめに入力し，他の変数の入力の順番は参加者ごとに無作為に決定された。

続いて，参加者はターゲット変数の値を，時間無制限で自由に推定した。推定中は紙とペンの使用が認め

Table 4
OME (mean) and estimated value (median) in Experiment 2

Table 1: Mean and standard error (SE) in Experiment 1										
Problem	Decompose					Non Decompose				
	<i>n</i>	pre		post		<i>n</i>	pre		post	
		OME	Med	OME	Med		OME	Med	OME	Med
Student	35	0.867	2,000	0.648	1,980	2	1.040	3,025	0.630	13,000
Doctor	33	1.278	30	0.670	100	4	0.886	300	0.805	525
Passenger	31	1.269	100	0.683	60	6	1.050	275	1.035	350

Note. A unit of medians is a thousand. "Med" means median.

られた。この時間をかけた推定が熟考的推定にあたる。その後、プレ推定と同様に5つの変数の推定値の入力を行った（ポスト推定）。入力時には、熟考的推定時の紙を参照することが可能であった。同様の手続きで残り2問の問題が実施された。

参加者は半分にわけられ、一方は、アンカー高、低、高の順に、もう一方は、アンカー低、高、低の順に3問のアンカーが設定された。問題の順番は、学部生、医師、乗降客問題に固定された。全問題が終了した後、参加者に、推定対象および推定対象の値を知っていたか回答してもらった。その後、各問題においてどのように値を推定したかを自由記述で回答してもらった。

結 果

実験1と同様に、推定値は対数変換を施され分析に用いられた。推定対象ごとに、実験前から値を既知であった、推定対象を知らなかった、推定値が平均から3標準偏差以上離れていた参加者を分析から除外した。また、成田空港ではなく全国の空港の乗降客数を推定した1名を乗降客問題の分析から除外した。各推定対象で0から11名 ($M = 1.93$, $SD = 2.74$) が分析から除外された。

実験1の結果は、熟考的推定は分解と再構築に特色付けられることを示していた。そこで、推定方法の記述をもとに、各問題の熟考的推定において、副目標の設定を行った参加者を分解群、行わなかった参加者を非分解群とした。学部生問題で2名、医師問題で4名、乗降客問題で6名の参加者が分解による副目標の設定を行わなかった。非分解群では、含まれる参加者が少なかったため、統計的な分析は実施しなかった。

はじめに、ターゲット変数の推定値の正確性を検討するために、実験1と同様に各問題のOMEを算出した (Table 4)。分解群では、プレ推定とポスト推定のOMEに、医師問題と乗降客問題では有意な減少が (医師 $t(32) = 5.828$, $p < .001$; 乗降客 $t(30) = 3.626$, $p = .001$)、学部生問題では減少傾向があった ($t(34) = 1.570$, $p = .063$)。一方、非分解群では、学部生問題以外では、OMEは減少しなかった。学部生問題では2名中1名の参加者がプレ推定において公表値から大きく外れた推定を行ったため、OMEの平均が減少したと考えられる。

続いて、アンカーの影響を検討する。分析に先立ちアンカー高条件と低条件における推定値がそろわなかった5名の参加者が分析から除外された。先行研究と同様に (Epley & Gilovich, 2005; Mussweiler, 2002;

Figure 2. Transition of the z-scores of estimated values. The transition of estimated values of (a) target variables estimated with/without decomposition, (b) relevant variables, and (c) irrelevant variables. (b) and (c) show the scores estimated with decomposition. Error bars represent standard errors.

Strack & Mussweiler, 1997), 対数変換した推定値を問題ごとに z 得点に変換し, 各参加者のアンカー高条件, 低条件それぞれの z 得点の平均を算出した。

Figure 2 に分解群の (a) ターゲット変数, (b) 関連変数, (c) 無関連変数の推定値の z 得点の推移を示す。各変数の推定値において, 2 (アンカー: 高, 低) $\times$ 2 (推定: プレ, ポスト) の参加者内分散分析を実施した。その結果, ターゲット変数でのみアンカー要因と推定要因の交互作用が有意に達した ($F(1, 32) = 10.847, p = .002, \eta_p^2 = .253$)。下位検定の結果, アンカー高条件では, プレ推定からポスト推定にかけて推定値が有意に減少し ($F(1, 32) = 4.426, p = .043, \eta_p^2 = .122$), アンカー低条件では有意に増加した ($F(1, 32) = 9.713, p = .004, \eta_p^2 = .233$)。さらに, プレ推定においてはアンカー高条件における推定値が低条件の推定値より有意に大きかったが ($F(1, 32) = 25.892, p < .001, \eta_p^2 = .447$), ポスト推定においては有意傾向のみであった ($F(1, 32) = 3.650, p = .065, \eta_p^2 = .102$)。効果量 (η_p^2) を比較すると, プレ推定から, ポスト推定の間に大きな減少が生じた。なお, アンカー要因の主効果が有意に達し ($F(1, 32) = 23.653, p < .001, \eta_p^2 = .425$), 推定要因の主効果は有意ではなかった ($F(1, 32) = .076, p = .784, \eta_p^2 = .002$)。関連, 無関連変数においては, 関連変数における推定要因の主効果が有意傾向であった ($F(1, 32) = 3.587, p = .067, \eta_p^2 = .101$) 以外に, 主効果や交互作用は有意に達しなかった ($F_s < 1.500, p_s > .200, \eta_p^2_s < .050$)。

非分解群のターゲット変数の z 得点には, アンカー高条件では 8 名 9 問, アンカー低条件では 3 名 3 問の問題が含まれる (Figure 2 (a))。グラフの傾向からアンカリング効果の緩和は見られなかった。

考 察

実験 2 では, システム 2 を中心とする熟考的推定によりバイアスは緩和されるのか, そして, 緩和されない場合はその原因は何かを検討した。そのために, 推定中バイアス仮説, 固執仮説, 緩和仮説のいずれが支持されるのかを検討した。

実験 2 の結果, 不確実性を伴う値の熟考的推定について, 以下の点が明らかとされた。第一に, 関連変数の推定に終始アンカリング効果が生じなかったことから, 熟考的推定中の関連変数の推定に, アンカーの影響は生じないことが明らかとされた。第二に, ターゲット変数のプレ推定値からポスト推定値にかけて, アンカリング効果が緩和されたことから, システム 2 を中心とする熟考的推定の結果がシステム 1 による直観的推定の結果を修正可能であることが明らかとされた。一方で, 分解を行った参加者であっても, ターゲット変数のポスト推定値に軽微ながらアンカリング効果が残存した。この点に関しては, 総合考察で議論を行

う。

実験 2 はアンカリング効果に関する理論についての検証が主な目的ではないが, 以下の 2 点の新しい知見を与える。第一に, アンカーが影響を与える範囲を明らかとした。アンカーが無関連の変数の推定に影響するとする先行研究 (Wilson et al., 1996) と, 一定の範囲にしか影響しないとする先行研究 (Brewer & Chapman, 2002) が存在するが, 本研究の結果は後者を支持した。

第二に, 頑健で「よく考えること」では緩和されない (Epley & Gilovich, 2005) とされてきたアンカリング効果を, 参加者への特別な教示なしに緩和させることに成功した。実験 2 の結果は, 一度アンカーが与えられた変数から, 分解を通して, 離れて推定を行うことにより, アンカリング効果の緩和が可能であることを示した。

総 合 考 察

本研究は不確実性を伴う値の推定における, 熟考的推定を対象とした。第一に, 熟考的推定のプロセスを二重過程理論の観点から論じることを目的とした。第二に, 熟考的推定の正確さを検討した。実験 1 では推定状況进行操作せず, 実験 2 では推定値にバイアスを生じさせる状況で, 推定値の正確性が向上するかを検討した。

実験 1 では, 参加者の発話に基づき, 「分解」「計算」「想起」「調整」の 4 つの行動を抽出し, Evans & Stanovich (2013) の定義に基づき (Stanovich & Toplak, 2012), 二重過程理論の観点から各行動を論じた。熟考的推定は部分的にシステム 1 によるプロセスを含むものの, システム 2 によるプロセスを中心とした推定であることが示された。

この結果は, Siegel et al. (1982) による実験と異なり, 参加者は視覚的なまとまりがなくとも, 推定対象の変数を分解し, 推定を示した。さらに, Årleback & Bergsten (2013) による研究では明らかにされなかった, 再帰方略と連想方略という 2 つの分解方略を明らかにした。ただし, どちらの方略を用いたとしても, 推定値の正確性に差異はなかった。

推定値の正確性に関しては, 実験 1, 2 ともに, 直観的推定と比べ, 熟考的推定を行うことにより推定値の正確性が向上した。この結果から, 不確実性を伴う推定であっても, 熟考的推定の正確性が高いことが示された。

さらに, 分解が行われた問題と行われなかった問題で正確性に差が生じた。実験 1 で他の 4 問と比べて分解が行われなかった細胞問題では, ポスト推定値でも公表値から 1 桁以上のズレがあった。実験 2 では, 分解が行われなかった問題を抽出すると, バイアスは緩和されていなかった。よって, 熟考的推定において分解を行うことは, 推定値の正確性を向上させるために

重要であることが示された。

実験 1 の細胞問題や実験 2 の乗降客問題は他の問題よりも分解が行われにくかった。その理由として変数の熟知度 (familiarity) があげられる。熟知度とは、対象を知っているという感覚を指す (Diana, Yonelinas, & Ranganath, 2007)。熟知度の高い変数の推定値にはバイアスが生じにくいことが示されている (Block & Harper, 1991)。よって、参加者は推定対象の変数を分解し、より熟知度の高い変数を副目標に設定することにより、正確な推定を行おうとしたと考えられる。

例えば、人間の細胞数は学校の授業で取り上げられるため、体の一部の細胞数と比べ、熟知度は低くない。そのため、分解が行われにくかったと考えられる。変数の値の熟知度は熟考的推定における重要な属性であると考えられる。

アンカリング効果に関しては、軽微ではあるが、分解が行われた後の推定値にも、効果が残存していた。これは、実験 2 の固執仮説であげたように、直観的推定の値が棄却しきれなかったためであると考えられる。不確実性を伴う場合、熟考的推定を行っても、正確な値への到達は困難である。そのため、参加者は直観的推定の値を考慮に入れた回答をしてしまったと考えられる (Kahneman, 2011)。ただし、直観的な推定値と比較すると、熟考的推定を行った後の推定値のアンカリング効果は、その効果量に示される通り、大きく緩和されていた。この結果は、直観的推定の値への固着は軽微であり、熟考的推定はアンカリング効果を緩和することが可能であることを示す。

本研究の結果から、不確実性を伴う値の推定であっても、熟考的推定はシステム 2 を中心として行われることが示された。Kahneman (2011) はシステム 1 による直観的な推定が介入されにくい例を多く示しているが、本研究では熟考的推定の正確性は高く、直観的推定に生じたバイアスを緩和することが可能であることが示された。不確実性を伴う値の推定において、システム 2 によるプロセスは、分解を通し熟知度を高め、推定の不確実性を軽減することにより、参加者がより正確な推定を行うことを可能にするという役割を果たしていると考えられる。

引用文献

- Ärleback, J. B., & Bergsten, C. (2013). On the use of realistic Fermi problems in introducing mathematical modelling in upper secondary mathematics. In R. Lesh, P. L. Galbraith, C. R. Haines, & A. Hurford (Eds.), *Modeling students' mathematical modeling competencies* (pp. 597–609). Netherlands: Springer.
- Block, R. A., & Harper, D. R. (1991). Overconfidence in estimation: Testing the anchoring-and-adjustment hypothesis. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 49, 188–207.
- Brewer, N. T., & Chapman, G. B. (2002). The fragile basic anchoring effect. *Journal of Behavioral Decision Making*, 15, 65–77.
- Brown, N. R. (2002). Real-world estimation: Estimation modes and seeding effects. *Psychology of Learning and Motivation*, 41, 321–359.
- Brown, N. R., & Siegler, R. S. (1992). The role of availability in the estimation of national populations. *Memory & Cognition*, 20, 406–412.
- Crites, T. (1992). Skilled and less skilled estimators' strategies for estimating discrete quantities. *Elementary School Journal*, 92, 601–619.
- Diana, R. A., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2007). Imaging recollection and familiarity in the medial temporal lobe: A three-component model. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 379–386.
- Dougherty, M. R. P., Gettys, C. F., & Ogden, E. E. (1999). MINERVA-DM: A memory processes model for judgments of likelihood. *Psychological Review*, 106, 180–209.
- Epley, N., & Gilovich, T. (2005). When effortful thinking influences judgmental anchoring: Differential effects of forewarning and incentives on self-generated and externally provided anchors. *Journal of Behavioral Decision Making*, 18, 199–212.
- Evans, J. S. B. T. (2003). In two minds: Dual-process accounts of reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 454–459.
- Evans, J. S. B. T., & Stanovich, K. E. (2013). Dual-process theories of higher cognition advancing the debate. *Perspectives on Psychological Science*, 8, 223–241.
- Ferri, R. B. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. *ZDM: Mathematics Education*, 38, 86–95.
- 細谷 功 (2007). 地頭力を鍛える——問題解決に活かす「フェルミ推定」—— 東洋経済新報社
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Larkin, J. H., Reif, F., Carbonell, J., & Gugliotta, A. (1988). FERMI: A flexible expert reasoner with multi-domain inferencing. *Cognitive Science*, 12, 101–138.
- Mussweiler, T. (2002). The malleability of anchoring effects. *Experimental Psychology*, 49, 67–72.
- Mussweiler, T., & Strack, F. (1999). Hypothesis-consistent testing and semantic priming in the anchoring paradigm: A selective accessibility model. *Journal of Experimental Social Psychology*, 35, 136–164.
- Newell, A., Shaw, J. C., & Simon, H. A. (1959). Report on a general problem-solving program. *Proceedings of the International Conference on Information Processing*, 256–264.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Paritosh, P. K., & Forbus, K. D. (2005). Analysis of strategic knowledge in back of the envelope reasoning. *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence* (Pennsylvania, USA), 651–656.

- Peter-Koop, A. (2009). Teaching and understanding mathematical modelling through Fermi-problem. In B. Clarke, B. Grevholm, & R. Millman (Eds.), *Tasks in primary mathematics teacher education* (pp. 131–146). New York: Springer.
- Siegel, A. W., Goldsmith, L. T., & Madson, C. R. (1982). Skill in estimation problems of extent and numerosity. *Journal for Research in Mathematics Education*, 13, 211–232.
- Stanovich, K. E., & Toplak, M. E. (2012). Defining features versus incidental correlates of Type 1 and Type 2 processing. *Mind & Society*, 11, 3–13.
- Stanovich, K. E., & West, R. F. (2008). On the relative independence of thinking biases and cognitive ability. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94, 672–695.
- Strack, F., & Mussweiler, T. (1997). Explaining the enigmatic anchoring effect: Mechanisms of selective accessibility. *Journal of Personality and Social Psychology*, 73, 437–446.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185, 1124–1131.
- Wilson, T. D., Houston, C. E., Etling, K. M., & Brekke, N. (1996). A new look at anchoring effects: Basic anchoring and its antecedents. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 387–402.
- 2015. 3. 17 受稿, 2016. 1. 23 受理 ——