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 *
Dual Process in Large Number Estimation under Uncertainty

松室 美紀 †，三輪 和久 †，寺井 仁 ‡
Miki Matsumuro, Kazuhisa Miwa, Hitoshi Terai
† 名古屋大学 大学院情報学研究科，‡ 近畿大学 産業理工学部
Graduate School of Informatics Nagoya University, Faculty of Humanity-Oriented Science and Engineering Kindai University
muro@cog.human.nagoya-u.ac.jp

Abstract

According to dual process theory, there are two types of a process in the mind: an intuitive and automatic Type 1 and a logical and effortful Type 2. While many previous studies about number estimation have focused on simple heuristics and automatic processes, the deliberative Type 2 process has not been sufficiently studied. This study focused on the Type 2 process for large number estimation. First, we described an estimation process based on participants' verbal reports. The task consisted of dividing a target variable into relevant variables, retrieving values, and conducting calculations. Second, we investigated the influence of such deliberative Type 2 process on intuitive Type 1 estimation, using anchoring effects. The results of the experiment showed that the Type 2 process could mitigate anchoring effects.

Keywords — Dual Process Theory, Estimation, Anchoring Effect, Problem Solving

1. はじめに

本研究は，不確実性を伴う値の推定における，熟考を伴う推定のプロセスと効果を検討した。例えば，世界中のピアノの調律師の人数のような変数は，直接的に値を数えたり，想起したりすることが困難である。このような場合，限定された不確実な情報に基づき，値が推定される。

二重過程理論では，値の推定は直感的なタイプ 1 と，時間をかけたタイプ 2 の 2 種類の推定からなるとされている [6, 7, 12]。Evans & Stanovich は，タイプ 2 の推論が，タイプ 1 の推論に介入し，その結果を修正する関係にあるとしている [6]。

本研究では，不確実性を伴う値の推定におけるこれらの推論の効果を調べるため，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。

値の推定に関する多くの先行研究は，直感的なタイプ 1 の推定における，ヒューリスティックやバイアスに焦点を当てている [4, 7, 13, 14]。本研究では時間をかけた熟考を伴う推定であるタイプ 2 の推定に着目した。

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ため，メンタルシミュレーションや計算を通して，規範的な解に到達することは不可能である。そのため，推定中に直感的な推定を用いる必要がある場面が出現する。推定者が，どのように 2 つのタイプの推定を用い，推定値の不確実性を軽減しようとするのか，また，熟考により推定値の正確性が上昇するかを検討した。

実験 1 では，課題中の発話から，値の推定のプロセスを検討した。実験 2 では，直感的推定において生じたバイアスを，熟考を伴う推定により緩和できるかを，アンカリング効果を用い検討した。

2. 実験 1

2.1 方法

2.1.1 参加者

名古屋大学の学部生 20 名が実験 1 に参加した。

2.1.2 手続き

表 1 に示される各変数の値を推定の対象とした。はじめに，参加者は直感的推定として，10 秒で変数の推定値を回答した。その後，熟考を伴う推定として，時間無制限で値の推定を行った。参加者は，熟考を伴う推定中は紙とペンの利用が許可された。また，参加者

*松室・三輪・寺井・山田 (2016) の内容に基づく。

表 1　実験 1 における推定対象とその公表値

問題	推定対象の変数	公表値	公表機関
学部生問題	日本の大学に在籍する学部生の数	257 万	総務省統計局
医師問題	日本の医師数	20 万 2,825	厚生労働省・病院報告
乗降客問題	成田空港の 1 日あたりの乗降客数	8 万 1,410	成田国際空港株式会社
犬問題	日本で飼われている犬の数	1,087 万 2,000	一般社団法人 ペットフード協会
細胞問題	人間の体を構成する細胞数	60 兆	東京書籍「生物 1B」

表 2　実験 1 における推定値のまとめ

問題	n	直感		熟考		統計値	
		OME	中央値	OME	中央値	t	p
学部生問題	19	1.139	100 万	0.410	448 万	4.640	$< .001$
医師問題	20	1.049	30 万	0.632	13 万 3,000	2.238	.037
乗降客問題	19	1.065	4 万	0.690	3 万	1.915	.072
犬問題	20	1.561	100 万	0.519	1,000 万	3.732	.001
細胞問題	20	3.653	35 億	2.699	2 兆	1.915	.072

には推定中の思考内容の発話が求められ，その様子は録音，録画された。

2.2　結果と考察

2.2.1　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。

推定値の正確性の指標として，対数変換した公表値と推定値の差異の絶対値である absolute Order of Magnitude Error (OME) を用いた [3]。0 に近いほど公表値に近く，1 は 1 桁の誤差を示す。表 2 に結果をまとめる。OME は，直感的推定より熟考を伴う推定において小さく，推定値が公表値に近づいたことが示された。

2.2.2　発話分析

学部生問題を利用した発話の分析から，熟考を伴う推定は「分解」「計算」「想起」「調整」の 4 種類のプロセスを含むことが示唆された。発話の長さに関わらず，行動の開始から終了までを 1 プロセスとして各プロセスの生起数を数えた。以下に各プロセスへの分類基準と発話例を示す。

- 分解: 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」が行われたとした。

  参加者 11: …(全国の) 大学の数か，大学の数，(しばし考え込む) 1 県に何個あるんだろうな
- 想起: 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。

  参加者 9: 日本は今何万人だ? 1 億，…1 億 2000 だっけ? 1 億 2000 万とする
- 計算: 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。

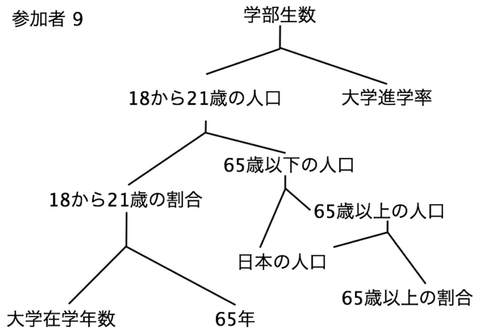
  参加者 3: 1000 人くらいは 1 学年いると考えて（ここまでは想起)，…4 かけて，4000 人くらいがいる
- 調整: 推定された値を計算によらずに変更した場合を，「調整」を行ったとした。ただし，計算結果の下位桁の四捨五入に関しては調整に含まない。

  参加者 16: 1 万 2000 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 2000 人，8000 人ぐらいにして，…

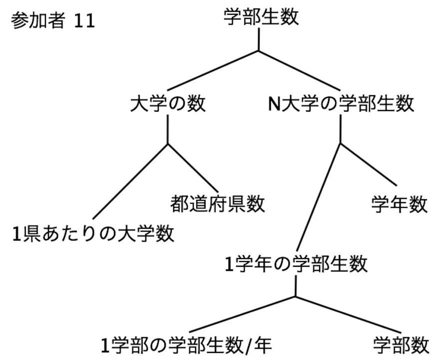
表 3 に参加者ごとの各プロセスの出現数を示す。なお，表中のカッコ内の数字は，同じ変数の組み合わせを用い，値を変えて計算し直した時に，新しい計算を行ったとして数えた場合の計算数を示す。参加者 4，7，8 は計算を 2 回以下しか行っておらず，大半を想起と調整に費やした。それ以外の参加者は想起と計算，お

表 3　各プロセスの出現数 (学部生問題)

参加者	分解	計算	想起	調整
P 1	4	6	14	0
P 2	1	5	6	1
P 3	0	5	6	0
P 4	1	1	5	1
P 5	2	9	9	0
P 6	4	7(8)	14	5
P 7	0	2	3	1
P 8	1	1(2)	4	5
P 9	0	5	4	0
P 10	1	9	12	1
P 11	3	4(6)	6	1
P 12	2	3	6	0
P 13	4	9	19	0
P 14	0	6	10	2
P 15	1	6	6	1
P 16	2	3	12	1
P 17	0	9	7	0
P 18	2	5	9	0
P 19	1	5	11	3
P 20	1	5(6)	8	0



(a) 参加者 9 の分解例



(b) 参加者 11 の分解例

図 1　変数の分解例

よび調整を繰り返し，推定を行っていた。ただし，発話として明示的に分解のプロセスを行なわない参加者も多く存在した。

さらに，図 1 に典型的な変数の分解例を示す。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，変数の分解をネットワークとして表している。例えば，参加者 11 の右下は，1 学年あたりの 1 学部の学部生数と学部数をかけあわせ，1 学年の学部生数を求めたことを示している。

1 名の参加者を除き，全ての参加者について，深さの差異はあるものの，どちらか，あるいは両方のネットワークを記述することが可能であった。残る，1 名は異なる種類の変数へと分解しており，そのネットワークが記述可能であった。以上の結果は，明示的な分解を省略する参加者も存在したが，ほぼ全ての参加者が，熟考中に変数を他の変数の組み合わせに分解し，推定を行なっていたことを示す。

3.　実験 2

アンカリング効果と呼ばれる，推定前に与えられた値の大きさに，推定値の大きさが影響されるバイアスを用いる [9, 10, 14]。Tversky & Kahneman 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 [14]。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。

直感的推定において生じたアンカリング効果が，熟考を伴う推定により，緩和されるかを検討した。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 1 に，熟考的推定中に分解を通して推定対象とされる変数の推定値にバイアスが生じないこと，第 2 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。実験 2 では，この 2 点に関して検討を行った。

3.1　方法

3.1.1　参加者

名古屋大学の学部生 38 名が実験 2 に参加した。

3.1.2　推定対象

学部生，医師，乗降客問題の各問題で，表 4 に示した 2 種類の変数の値を推定させた。ターゲット変数

表 4　実験 2 における推定対象とその公表値

問題	変数の種類	推定対象の変数	公表値	アンカー
学部生問題	ターゲット変数	日本の大学に在籍する学部生の数	257 万	高: 3,000 万 低: 10 万
	関連変数	1 大学あたりの学部生数	2,340[a]	
		1 県あたりの大学数	25[a]	
医師問題	ターゲット変数	日本の医師数	20 万 2,825	高: 1,000 万 低: 5,000
	関連変数	1 総合病院あたりの医師数	不明 [b]	
		日本の病院数	18 万	
乗降客問題	ターゲット変数	成田空港の 1 日あたりの乗降客数	8 万 1,410	高: 1,000 万 低: 5,000
	関連変数	国際便 1 便あたりの乗客数	185[a]	
		1 時間あたりの飛行機発着数	32[a]	

[a] 公表値を元に算出。
[b] 変数に関連する公表値が存在しない。

は，実験 1 と同様に，最終的に推定が求められる変数であった。アンカリング効果が緩和されるかを検討するために用いた。関連変数は，熟考的推定において，ターゲット変数の推定の過程で，推定対象とされる可能性が高い変数である。実験 1 において，多くの参加者に，分解を通して推定の対象とされた変数を用いた。

もし，熟考的推定中に，分解を通して推定対象とされる変数の推定値にもバイアスが生じるのであれば，関連変数においても，アンカリング効果が観察されるはずである。一方，もし，関連変数において，アンカリング効果が生じず，ターゲット変数においてのみ，熟考後にもアンカリング効果が観察されるのであれば，参加者は，直感的推定の結果を棄却できず，熟考的推定の結果を利用できなかったことが示される。

3.1.3　手続き

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か小さいかを 10 秒以内に回答した。アンカーの高低はカウンターバランスが取られた。その後，ターゲット変数，2 つの関連変数の推定値をそれぞれ 10 秒以内に回答した (直感的推定)。続いて，参加者はターゲット変数の値を，紙とペンを使用し時間無制限で自由に推定した。推定後，関連変数の推定値と，ターゲット変数の推定値を再び回答した (熟考的推定)。全問題が終了した後に，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させた。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させた。

3.2　結果と考察

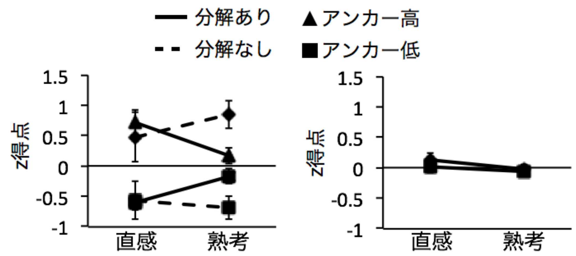
実験 1 と同様に，推定値は対数変換を施され分析に用いられた。推定対象ごとに，実験前から値を既知であった，推定対象を知らなかった，推定値が平均から 3 標準偏差以上離れていた参加者を分析から除外した。また，成田空港ではなく全国の空港の乗降客数を推定した 1 名を乗降客問題の分析から除外した。各推定対象で 0 から 11 名 ($M = 1.93, SD = 2.74$) が分析から除外された。

各参加者の自由記述の内容を元に，熟考を伴う推定において，分解を行なった分解あり群と行わなかった分解なし群に，参加者を分類した。実験 1 と同様に，表 5 にターゲット変数の推定値の正確性の結果を示す。分解群でのみ，熟考を伴う推定において，推定値の正確性が向上した。

続いて，対数変換した推定値を問題ごとに z 得点に変換し，アンカー高低それぞれの平均得点を算出した。図 2 に z 得点の推移を示す。分解あり群における，各変数の推定値において，2 (アンカー: 高，低) × 2 (推定：直感，熟考) 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 ($F(1, 32) = 10.847, p = .002$)。下位検定の結果，図 2(a) のグラフに示される通り，直感的推定においてはアンカーが大きい時の推定値が小さい時の推定値より有意に大きかったが ($F(1, 32) = 25.892, p < .001, \eta^2 =$

表 5　実験 2 における推定値のまとめ

問題	n	直感		熟考		統計値	
		OME	中央値	OME	中央値	t	p
分解あり							
学部生問題	35	0.867	200 万	0.648	198 万	1.570	.063
医師問題	33	1.278	3 万	0.670	10 万	5.828	$<$ .001
乗降客問題	31	1.269	10 万	0.683	6 万	3.626	.001
分解なし							
学部生問題	2	1.040	302 万 5,000	0.630	1,300 万		
医師問題	4	0.886	30 万	0.805	52 万 5,000		
乗降客問題	6	1.050	27 万 5,000	1.035	35 万		



(a) ターゲット変数　(b) 関連変数

図 2　z 得点の推移

.447)，熟考を伴う推定においては有意傾向のみであった $(F(1,32) = 3.650, p = .065, \eta^2 = .102)$。効果量は熟考を伴う推定において減少していた。なお，アンカー要因の主効果が有意に達し $(F(1,32) = 23.653, p < .001, \eta^2 = .425)$，推定要因の主効果は有意ではなかった $(F(1,32) = .076, p = .784, \eta^2 = .002)$。一方で，分解なし群のターゲット変数では，アンカリング効果の緩和は見られなかった。

また，関連変数の z 得点の推移は，図 2(b) のグラフに示されている。推定要因の主効果が有意傾向であった $(F(1,32) = 3.587, p = .067, \eta^2 = .101)$ 以外に，主効果や交互作用は有意に達しなかった $(Fs < 1.500, ps > .200, \eta^2 s < .050)$。この結果は，直感的推定，熟考的推定共に，アンカリング効果は生じなかったことを示す。

以上の結果から，以下の 2 点が示される。第一に，熟考を伴う推定時に，変数の分解を通し推定の対象とされた変数 (関連変数) では，アンカーの値の影響を受けない想起，または，推定が可能である。第二に，そのような値を用いターゲット変数の値を算出することにより，直感的推定により生じたバイアスが緩和される。

4.　総合考察

本研究の結果は，不確実性を伴う値の推定において，時間をかけて推定をする際は，対象の変数を，それを構成する他の変数に分解し，値の想起，計算を通し推定を行うことを明らかとした。この結果は，数学教育研究において示されている，学生のグループは，推定対象の変数を他の変数を用いて定式化するという結果と一貫している [1, 11]。本研究では，さらに，個人の詳細なプロセスを明らかとした。

実験 2 では，そのような推定を通し，直感的推定時に生じたバイアスの緩和が可能であることが示された。特に，分解が行われた問題で緩和が生じたことから，変数の分解が重要であると考えられる。参加者は不確実性が高い，つまり，熟知度 [5] の低い対象 (e.g., 全国の学部生の人数) を，熟知度の高い対象の組み合わせ (e.g., 1 大学の学部生数と 1 県の大学数と都道府県数) に置き換えることにより，推定の精度を上げようとし，実際に正確な推定を行えたと考えられる [2]。

一方で，実験 1 における細胞問題では，分解が行われにくかった。これは，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，熟知度は低くなかったためであると考えられる。分解の効果や動機付けに関しては，さらなる研究が必要である。

参考文献

[1] Ärlebäck, 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.

[2] Block, R. A., & Harper, D. R., (1991) “Overconfidence in estimation: Testing the anchoring-and-adjustment

hypothesis", Organizational Behavior and Human Decision Processes, Vol. 49, No. 2, pp. 188-207.
[3] Brown, N. R., (2002) "Real-world estimation: Estimation modes and seeding effects", Psychology of Learning and Motivation, Vol. 41, pp. 321-359.
[4] Brown, N. R., & Siegler, R. S., (1992) "The role of availability in the estimation of national populations", Memory & Cognition, Vol. 20, No. 4, pp. 406-412.
[5] 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, Vol. 11, No. 9, pp. 379-386.
[6] Evans, J. S. B. T., & Stanovich, K. E., (2013) "Dual-process theories of higher cognition advancing the debate", Perspectives on Psychological Science, Vol. 8, No. 3, pp. 223-241.
[7] Kahneman, D., (2011) "Thinking, fast and slow", New York: Farrar, Straus and Giroux.
[8] 松室 美紀・三輪 和久・寺井 仁・山田 賢人, (2016) "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", 心理学研究, Vol. 87, No. 3, pp. 229-239.
[9] Mussweiler, T., (2002) "The malleability of anchoring effects", Experimental Psychology, Vol. 49, No. 1, pp. 67-72.
[10] Mussweiler, T., & Strack, F., (1999) "Hypothesis-consistent testing and semantic priming in the anchoring paradigm: A selective accessibility model", Journal of Experimental Social Psychology, Vol. 35, No. 2, pp. 136-164.
[11] 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.
[12] Stanovich, K. E., & Toplak, M. E., (2012) "Defining features versus incidental correlates of Type 1 and Type 2 processing", Mind & Society, Vol. 11, No. 1, pp. 3-13.
[13] Stanovich, K. E., & West, R. F., (2008) "On the relative independence of thinking biases and cognitive ability", Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 94, No. 4, pp. 672-695.
[14] Tversky, A., & Kahneman, D., (1974) "Judgment under uncertainty: Heuristics and biases", Science, Vol. 185, No. 4157, pp. 1124-1131.