

行動変動性研究における不規則性指標

村井 佳比子

日本大学大学院総合社会情報研究科

Index of Behavior Variability: Sequential Independence

MURAI Keiko

Nihon University, Graduate School of Social and Cultural Studies

The aim of this paper was to review the study of behavior variability and to present “C value” as a new index of sequential independence on variability based on the existing P value. The validity of the C value was examined using simulation data and the result indicated that the C value was a stable index which can assess sequential independence. Application research for behavior variability has just started, and its procedure and index of variability have also been improving. The C value has a potential to be one of the reliable alternatives and further modification is desirable.

1.はじめに

個人が問題に直面したとき、ある人はなぜ柔軟な発想で新奇の行動をおこし、ある人はなぜ頑なに慣例に従い続けるのか。行動分析学ではこのような個体の行動の変化の程度を行動変動性（behavior variability）と呼び、新奇の創造的な行動がどのように発現し、形成されるかについての研究が1960年代から行われてきた(e.g., Pryor, Haag, & Reilly, 1969 ; Goetz & Baer, 1973 ; Maloney & Hopkins, 1973 ; Parsonson & Baer, 1978 ; Manabe, Staddon, & Cleaveland, 1997)。1980年代には、Page and Neuringer (1985)による行動変動性そのものが結果によって制御されるという主張、つまり、行動変動性がオペラントであるという主張が示され、これをきっかけに、行動変動性とは何か、制御可能であるとするなどのような手続きを要するのかについての議論が活発化し、現在に至っている(Neuringer, 2002, 2012 ; 山岸, 2005 ; 八賀, 2008 ; Barba, 2012 ; Machado & Tonneau, 2012 ; Marr, 2012 ; Stahlman, Leising, Garlick, & Blaisdell, 2013)。

本稿では最近の行動変動性に関する研究を概観するとともに、行動変動性研究における変動性測定指標のうち不規則性（Sequential independence）と呼ば

れる指標について新たな指標を提案し、その有効性を検証することを目的とした。

2.行動変動性研究の最近の動向

初期の行動変動性についての研究はヒト以外の動物を対象にしたものが中心で、その後、その知見がヒトにも当てはまるかを検討する研究へと派生している。現在もヒト以外の動物を対象とした研究(e.g., Arantes, Berg, Le, & Grace, 2012 ; Pontes, Abreu-Rodrigues, & Souza, 2012 ; Doughty, Giorno, & Miller, 2013)と、ヒトを対象とした研究(e.g., Myerson, Robertson, & Hale, 2007 ; Murray & Healy, 2013 ; Baruni, Rapp, Lipe, & Novotny, 2014)があり、相補的な関係にある。

たとえば Pontes et al.(2012)は、ハトを対象とした実験で、ハトが高いレベルの変動性より最小限のレベルの変動性を好んで選択することを明らかにし、高い変動性より低い変動性が好まれるのは、そこにかかる労力が少ない（コストが低い）ことが要因であると推測している。また、Myerson et al.(2007)は、ヒトを対象とした実験で、高齢者と若年者の行動変動性を比較し、高齢者の変動性の方が低いことを示している。一般に高齢者は注意や関心がそれやすいため、変動性が高いと考えられていた。しかし実験

の結果、反応速度が緩やかな個体ほど変動性が高い傾向が示され、変動性の高さは年齢ではなく反応速度の個体差に関連している可能性があることが指摘されている。

行動変動性の研究は、さらにヒトの不適切な行動変動の制御にも応用されている。たとえば、自閉症児は広範な行動の反復があることが知られており、社会的な質問に対してもパターン化した反応の繰り返し、たとえば“*How are you?*”に対して常に“*Fine.*”と答える行動が生起する。このような変動の少ない言語反応に対し、変動を高めるシンプルな介入を行うことによって、比較的容易に複数の反応をランダムに生起させる効果があることが示されている(Lee, McComas, & Jawor, 2002 ; Lee & Sturmey, 2006)。Baruni et al.(2014)は、同様の手続きで自閉症児のおもちゃ遊びの変動性を上げることができることを示している。これまでの各種スキルトレーニングがバリエーションを増やすことを目指していたのに対し、変動性を高める介入によって行動のバリエーションを増やすだけでなく、複数の行動をランダムに生起させることができるとしている。

自閉症児と同様に、精神健康上の問題を抱えた人はパターン化した衝動的な行動を繰り返す、つまり、行動変動性が低下する傾向があることが指摘されている(村井, 2013)。村井(2014)は言語教示の種類によって人の行動変動性がどのように影響されるかを検討し、精神健康上の問題がある場合、指示されたり、自分で考えるよう教示されると変動性は下がるが、選択を求める教示であれば変動性が低下しないことを示し、心理面接の場面での選択教示の有効性を示唆している。

また一方で、大脳からのパルスによって制御されていると考えられてきたサッケード (Saccadic amplitude: 衝動性眼球運動) のような変動も、変動の制御実験によって増加させたり低減させたりできることが示されており(Paeye & Madelain, 2011)、行動変動性をオペラントとしてとらえることで新たな研究の方向性が見出されている。このように、最近の変動性研究の展開によって、行動の変動の原理が明らかにされるとともに、援助技術の開発・改善に役立っている。

3.行動変動性の制御手続きと測定指標

行動変動性研究で使用されている変動性を制御する手続きには、ラグ手続き、最低頻度分化強化手続き、パーセントイル手続きなどがある(八賀, 2008)。このうち応用研究において注目されているのがラグ手続きである(e.g., Lee et al., 2002 ; Lee & Sturmey, 2006 ; Murray & Healy, 2013 ; Lee & Sturmey, 2014 ; Baruni et al., 2014)。ラグ手続きとは、ラグ・スケジュール (Lag schedule) を用いた異反応強化スケジュールのことで、直前の N 試行に生起した反応と異なる反応を分化強化するものである(Page & Neuringer, 1985 ; Manabe et al., 1997 ; 山岸, 2000)。たとえば Lag3 の場合、直前の 3 試行で生起していた反応 (A、B、C) とは異なる反応 (D) が生起した場合にその反応を強化することになる。単純な実験場面においては、この N の値が小さいと特定の系列反応を繰り返すだけの規則性が生じることが指摘されている(山岸, 2000, 2003)。たとえば Lag1 の場合、A、B の 2 つの反応を ABABABAB... と繰り返す行動が生起しやすくなり、変動性が低下する。しかし、ラグ・スケジュールは簡便で使いやすく、ヒト以外の動物の研究にも使用されており、基礎研究の知見を援用しやすいという利点がある(Neuringer, 2012)。Baruni et al.(2014)は、自閉症児のおもちゃ遊びを対象とした実験において、Lag1 スケジュールが遊びの変動性を上昇させたのに対し、Lag2 スケジュールでは上昇しにくかったと報告している。Lee & Sturmey(2014)による自閉症児の社会的質問への返答のバリエーションを対象とした実験でも Lag1 スケジュールが使用されており、現時点の応用研究ではラグ手続きによる研究、中でも Lag1 スケジュールによる研究が活発に行われている。

一方、行動変動性の研究に用いられる測定指標については、初期の研究から現在に至るまで 30 種類をこえて存在し、大きく 2 つに分類される(山岸, 2003)。ひとつはデータのばらつきに関するもので、代表的なものとして等確率性指標 U 値がある(Page & Neuringer, 1985 ; Machado, 1989)。もうひとつはデータの生起する順序、つまり規則性あるいは不規則性の程度に関するもので、そのひとつに周期性指標 P 値がある(山岸, 2000)。変動性を測定する場合、複数

の事象が偏りなく生起し、そこに規則性がないとき、変動性が高いとされている。つまり、等確率性が高く、不規則性が高いとき（周期性が低いとき）が最も変動性が高いということである。

変動性の測定指標のうち、データのばらつきの指標である U 値とは、情報理論において不確定度 (uncertainty) と呼ばれているもので、ある情報量の数学的期待値を算出する際に使用されている (Attneave, 1959 小野他訳 1968)。U 値の算出方法を式 1 に示す。 p_i は特定反応 i の相対頻度を表し、U 値は 0 から 1 の間の数値をとる。各反応の相対頻度が完全に等しくなったときに最高値 1 をとり、0 に近づくほど等確率性が低くなる。

$$U = - \frac{\sum_1^N [p_i \log_2(p_i)]}{\log_2(N)} \dots \dots \text{式 1}$$

また、データが生起する順序の規則性の指標である P 値とは、複数の反応が周期的に生起しているかをみるもので、次の手続きによって算出する。まず、隣り合った試行 (M 試行目と M+1 試行目) において、同じ反応が生起した一致回数をカウントすることを繰り返し、次に M 試行目と M+2 試行目も同様の手続きでカウントし、これを M+20 試行目まで繰り返す。つまり、試行を縦に並べた行列を作り、その隣に同じ行列を並べて 1 マスずつずらして一致する個数をカウントする。その後、ランダムな生起確率との差の絶対値の総和を算出し、P 値としている。

現在の変動性研究では主に等確率性 U 値が用いられており (Neuringer, 2012)、不規則性の指標については確立したものはない。Barba(2012)は変動性の指標として U 値を使用することの問題を指摘しており、変動性指標の再検討が求められている。これに対し、村井・眞邊(2013)および村井(2014)は、変動性測定指標として U 値に加え、P 値を改良した C 値を使用している。C 値の算出方法は、次のとおりである。まず、得られた系列と同じ系列を用意し、それぞれの系列の最初の試行と最後の試行を繋いでループ状にする。一方の系列のみを 1 から N-1 試行分ずらし、動かない方の系列との全試行分の一致数を合計し、全試行数で割り平均を算出、1 から N-1 ずらした値の中の最大値を C 値としている。P 値の場合、系列

数 (反応パターン数) および試行数が異なると値が変わる、また、繰り返し周期が短い系列 (例えば 1 のみ) と長い系列 (例えば 123) では異なる値を示すなどの問題点を有している。C 値はこれらの点を解消し、規則性が小さいほど最小値 0 に近づき、規則性が大きいほど最大値 1 に近づくように設定されており、U 値と同様に把握しやすい指標となっている。村井(2014)では、U 値に有意な差が見られるグループと C 値に有意な差が見られるグループがあり、それぞれの反応に異なる特徴があることが示されている。行動変動性を測定する場合、等確率性 U 値に加えて不規則性 C 値を用いることで、実験結果をより厳密に分析することが可能になるものと思われる。

4.C 値の妥当性の検討

行動変動性研究に用いられている指標のうち、不規則性指標には確立したものはなく、村井・眞邊(2013)および村井(2014)は P 値を改良した C 値を提示した。この C 値が不規則性指標として妥当かどうかを検証するため、シミュレーションデータを用いて C 値が不規則性を的確に把握できるかを検討した。また、比較対象として P 値を用いた。

【方法】

最初に規則性のあるシミュレーションデータを作成した。反応の組み合わせを 4 種類 (1 カテゴリー、2 カテゴリー、4 カテゴリー、8 カテゴリー) 作り、それらをそれぞれ 30 回、60 回、90 回、120 回、150 回、180 回、反復させたものをシミュレーションデータとした。たとえば、2 カテゴリーを 30 回反復するデータでは、A と B という 2 つの反応 AB を ABABABAB・・・というように 30 回反復させている。出来上がったシミュレーションデータの C 値と P 値を算出し、カテゴリーごとにグラフにプロットした。

次に 2 カテゴリー、4 カテゴリー、8 カテゴリーのデータのうち、30 回、60 回、90 回反復させたデータをそれぞれランダムに並べ替えた規則性の低いシミュレーションデータを作成した。並び替えは各データに対応するように乱数を発生させ、それを基準として次数の小さい順に並べ替えた。ランダムに並べ替えたデータはカテゴリーごとに 10 回作成、それ

それぞれのC値とP値を算出して平均値と標準偏差を求め、標準偏差を平均値で割った変動係数をグラフにプロットした。

【結果】

カテゴリーごとにグラフにプロットしたC値とP値をFig.1からFig.7に示す。

規則性のあるシミュレーションデータ (Fig.1-Fig.4) において、C値は1カテゴリー、2カテゴリー、4カテゴリー、8カテゴリー、いずれも反復回数30では0.96前後のやや小さめの数値になるものの、反復回数60では0.98前後、反復回数90以上では0.99前後となっており、カテゴリー数にかかわらず最高値1に近い数値となった。これに対しP値は、1カテゴリーではいずれの反復回数においても190だが、2カテゴリーでは反復回数30で490、反復回数60で1090、反復回数90で1690といったように、徐々に上昇することがわかった。数値が徐々に上昇するという特徴は4カテゴリー、8カテゴリーにおいても同様であった。

また、ランダムなシミュレーションデータ (Fig.5-Fig.7) において、C値の変動係数は最低値が0.029、最高値が0.072で、すべて0.1より低い数値であった。これに対し、P値は最低値が0.081、最高値が0.170で、1つを除くすべての数値が0.1より大きい数値となった。

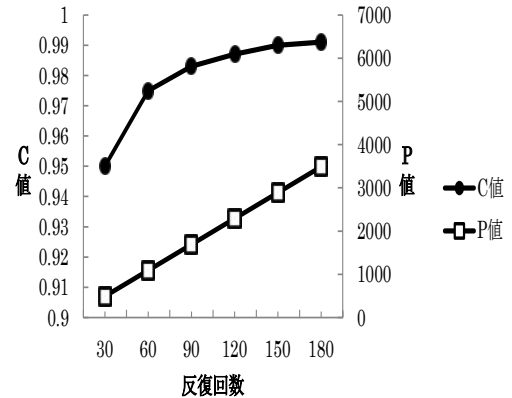


Fig.2 規則性のあるシミュレーションデータによるC値とP値：2カテゴリー

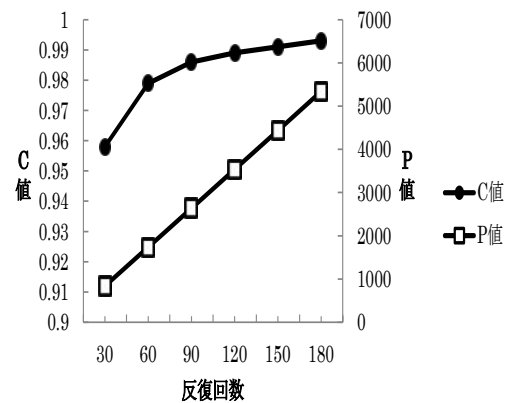


Fig.3 規則性のあるシミュレーションデータによるC値とP値：4カテゴリー

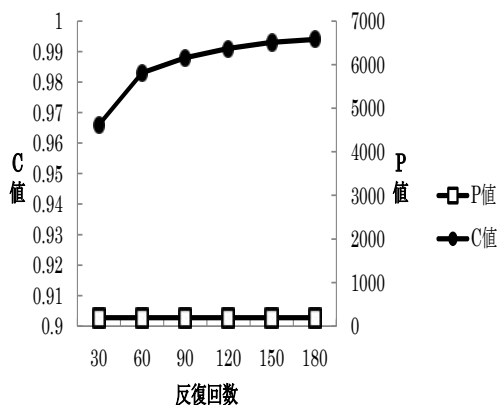


Fig.1 規則性のあるシミュレーションデータによるC値とP値：1カテゴリー

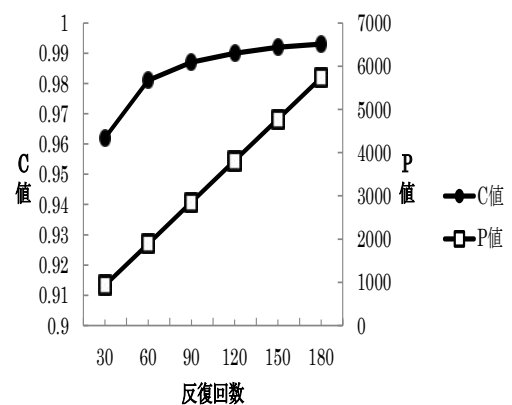


Fig.4 規則性のあるシミュレーションデータによるC値とP値：8カテゴリー

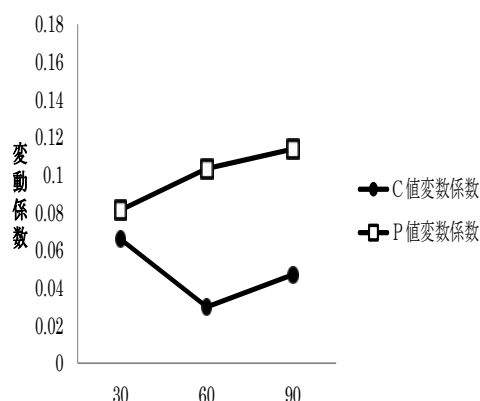


Fig.5 ランダムなシミュレーションデータによるC値とP値の変動係数：
2カテゴリー

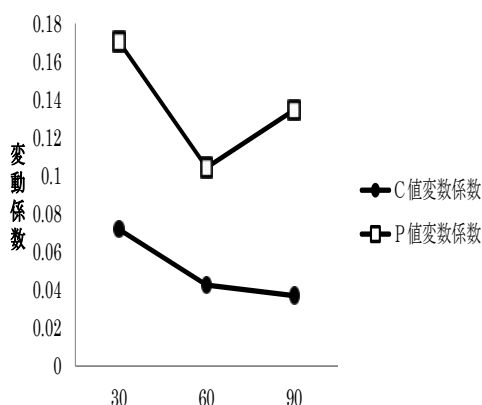


Fig.6 ランダムなシミュレーションデータによるC値とP値の変動係数：
4カテゴリー

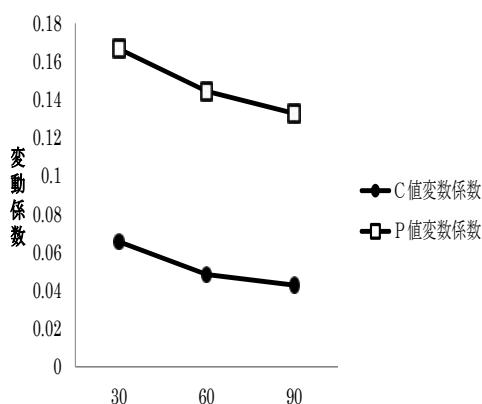


Fig.7 ランダムなシミュレーションデータによるC値とP値の変動係数：
8カテゴリー

【考察】

規則性のあるデータにおいて、C値はすべてのカテゴリー数、反復回数において、ほぼ最高値1に近い数値となっている。これに対してP値は、カテゴリー数、反復回数によって数値が変化したり、しなかったりするため、どの数値がどの程度の規則性を示しているのかが把握しにくい。C値は最高値を1として0から1の範囲で規則性を示すため、どの程度の規則性があるかを把握しやすい指標であるといえる。また、ランダムなデータにおいて、C値の変動係数はいずれも0.1未満でP値より低く、ばらつきの少ない安定した値となっている。以上により、C値はP値に比べて規則性に対して敏感であり、使いやすい指標であると考えられる。

5.おわりに

本稿の目的は最近の行動変動性に関する研究を概観し、変動性測定指標のうち確立していない不規則性指標について新たな指標を提案することであった。変動的な行動を制御できるか否かについては、現在も議論が続いているところである。しかし、行動変動性がオペラントであるという主張は、行動の出現順位や新規行動の形成など、行動変化のメカニズムに新たな視点をもたらした。行動変動性研究の応用場面での検証は始まったばかりであり、手続きや測定指標の開発も発展途上にある。不規則性指標C値についてもさらに検証を重ね、応用研究に役立つ、より精度の高い指標へと洗練させる必要がある。

引用文献

- Arantes, J., Berg, M. E., Le, D., & Grace, R. C. (2012). Resistance to change and preference for variable versus fixed response sequences. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 98(1), 1–21.
- Attneave, F. (1959). Applications of information theory to psychology: a summary of basic concepts, methods, and results. New York: Holt. (アトニー・F. 小野茂・羽生義正 (訳) (1968) 心理学と情報理論 ラテイス)
- Barba, L. de S. (2012). Operant variability: A conceptual analysis. *The Behavior Analyst*, 35(2), 213–227.

- Baruni, R. R., Rapp, J. T., Lipe, S. L., & Novotny, M. A. (2014). Using lag schedules to increase toy play variability for children with intellectual disability. *Behavioral Interventions*, 29, 21–35.
- Doughty, A. H., Giorno, K. G., & Miller, H. L. (2013). Effects of reinforcer magnitude on reinforced behavioral variability. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 100(3), 355–369.
- Goetz, E. M., & Baer, D. M. (1973). Social control of form diversity and the emergence of new forms in children's blockbuilding. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 6(2), 209–217.
- Lee, R., McComas, J. J., & Jawor, J. (2002). The effects of differential and lag reinforcement schedules on varied verbal responding by individuals with autism. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 35(4), 391–402.
- Lee, R., & Sturmey, P. (2006). The effects of lag schedules and preferred materials on variable responding in students with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(3), 421–428.
- Lee, R., & Sturmey, P. (2014). The effects of script-fading and a Lag-1 schedule on varied social responding in children with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 8(4), 440–448.
- Machado, A. (1989). Operant conditioning of behavioral variability using a percentile reinforcement schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 52(2), 155–166.
- Machado, A., & Tonneau, F. (2012). Operant variability: Procedures and processes. *The Behavior Analyst*, 35(2), 249–55.
- Maloney, K. B., & Hopkins, B. L. (1973). The modification of sentence structure and its relationship to subjective judgements of creativity in writing. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 6(3), 425–433.
- Manabe, K., Staddon, J. E. R., & Cleaveland, J. M. (1997). Control of vocal repertoire by reward in budgerigars. *Journal of Comparative Psychology*, 111(1), 50–62.
- Marr, M. J. (2012). Operant variability: Some random thoughts. *The Behavior Analyst*, 35(2), 237–41.
- 村井佳比子. (2013). 衝動的行動に対するセルフモニタリングの効果. 日本大学大学院総合社会情報研究科紀要, 14, 127–134.
- 村井佳比子. (2014). 行動変動性に及ぼす強化履歴の影響 -選択教示使用の有効性の実証的検討-. 行動療法研究, 40(1), 23–32.
- 村井佳比子, & 眞邊一近. (2013). Lag スケジュールによる行動変動性測定-精神疾患の行動アセスメント法の予備的開発-. 日本行動分析学会第31回年次大会発表論文集, 84.
- Murray, C., & Healy, O. (2013). Increasing response variability in children with autism spectrum disorder using lag schedules of reinforcement. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7, 1481–1488.
- Myerson, J., Robertson, S., & Hale, S. (2007). Aging and Intraindividual Variability in Performance: Analyses of Response Time Distributions. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 88(3), 319–337.
- Neuringer, A. (2002). Operant variability: Evidence, functions, and theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 672–705.
- Neuringer, A. (2012). Reinforcement and induction of operant variability. *The Behavior Analyst*, 35(2), 229–235.
- Paeye, C., & Madelain, L. (2011). Reinforcing saccadic amplitude variability. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 95(2), 149–162.
- Page, S., & Neuringer, A. (1985). Variability Is an Operant. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 11(3), 429–452.
- Parsonson, B. S., & Baer, D. M. (1978). Training generalized improvisation of tools by preschool children. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 11(3), 363–380.
- Pontes, T. N. R., Abreu-Rodrigues, J., & Souza, A. S. (2012). Choice between contingencies of variation: effects of the requirement of variation upon

- preference. *Behavioural Processes*, 91, 214–222.
- Pryor, K. W., Haag, R., & Reilly, J. O. (1969). The creative porpoise: Training for novel behavior, 12(4), 653–661.
- Stahlman, W., Leising, K., Garlick, D., & Blaisdell, A. (2013). There Is Room for Conditioning in the Creative Process: Associative Learning and the Control of Behavioral Variability. In O. Vartanian, A. S. Bristol, & J. C. Kaaufman (Eds.), *The Neuroscience of Creativity* (pp. 45–67). MA: MIT Press.
- 山岸直基. (2000). ヒトの系列反応の変動性に及ぼす強化随伴性の効果. 行動分析学研究, 15(2), 52–66.
- 山岸直基. (2003). 行動変動性とその測定法. 駒澤大学心理学論集: KARP, 5, 45–59.
- 山岸直基. (2005). 行動変動性とオペラント条件づけ. 基礎心理学研究, 23(2), 183–200.
- 八賀洋介. (2008). 行動変動性の強化可能性に関する概念的検討(<特集>行動変動性の実験研究とその応用可能性). 行動分析学研究, 22(2), 120–140.

(Received: May 31, 2014)

(Issued in internet Edition: July 1, 2014)