

DEAによるJORSJ掲載論文の評価

—JORSJの国際的地位の向上に向けて—

趙 宇, 関谷 和之

1956年創刊の日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌(JORSJ)は学会誌として広く認知されているが、国際的学術雑誌としての評価は十分ではない。本稿では、データ包絡分析法(DEA)に基づき、JORSJが過去25年間に採録した論文を対象として価値分析を行う。DEAによる価値分析では、一対比較分析から得られた情報を乗数制約として扱うモデルを提案する。さらに、論文の正味価値を示す効率性を二つの尺度に分解し、それらの尺度に基づいた論文の分類方法を紹介する。提案するDEAモデルから、JORSJの知名度と国際地位を向上させるための取り組みについて議論する。

キーワード：データ包絡分析法(DEA)、乗数制約、一対比較分析、効率性分解

1. はじめに

1956年創刊の日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌(Journal of the Operations Research Society of Japan: 以下JORSJと略す)は、半世紀以上にわたってオペレーションズ・リサーチ(OR)分野の研究者たちに支持されてきた伝統のある学術雑誌である。電子ジャーナルの普及による学術雑誌の国際化が進む中、2004年に和文論文誌を別途創刊することで、JORSJは英文論文のみを掲載することになった。

2001年以降のJORSJの掲載論文はWeb of Scienceに現在収録されていないが、Elsevier社が運営するScopusでは、1996年から2021年までの掲載論文が収録されている。2021年6月末時点のScopusのCiteScoreランクによると、ORを含む専門分野(MS/OR)では、JORSJは189冊の学術雑誌の中で112位であり、過去25年間では600本の掲載論文のうち500本が日本人の研究者が関与する。つまり、JORSJは日本OR学会員の情報交換の場を提供するが、国際的学術雑誌としての評価が低いことがわかる。

現在、学術雑誌または論文の評価、たとえば、ScopusのCiteScoreやIF(Impact Factor)は引用に基づいて定量化されている。本稿では、過去25年間分のJORSJ掲載論文に対する引用実態を調査し、データ包絡分析法(DEA)を用いて掲載論文を評価する。掲載論文のDEA評価から、JORSJのOR分野での国際的地位の向上に向けた今後の取り組みを提案する。

2. 掲載論文の評価概要と論文の評価データ

ある論文の価値を評価するにあたって、それが一定の期間においてどれだけ引用されているか、どのような雑誌に引用されているかといった情報を無視してはならない。また、引用されている論文は出版後の経過年数が一定の期間において長くなるほど引用される可能性が大きくなるため、その価値評価には出版後の経過年数による影響を考慮する必要がある。さらに、著者数が多いほど自己引用のケースが多くみられることから、著者数を考慮した相対的な評価が望ましい。そこで、論文の価値はどれくらいよい論文からどれだけ多く引用されているかを出版後の経過年数と著者数で割り引いて評価し、その評価値を論文の正味価値と呼ぶ。

JORSJに掲載された論文 j を引用する論文数を z_j とする。表1に被引用件数別に集計したJORSJ掲載論文数を与える。 $z_j \geq 1$ である論文数は過去25年間に掲載された600本の中で445本である。この445本の論文に対して、論文 j の価値を2段階に分けて評価する。まず、引用した論文の本数を出版後の経過年数と著者数で割り引いて評価し、次に引用した論文を掲載した学術雑誌のランク別集計本数を用いて評価する。学術雑誌は5段階のクラスに分類し、SCImago Journal Rank(SJR)に収録された学術雑誌に付与された4ラ

表1 被引用件数別のJORSJ掲載論文数

掲載 論文数	被引用件数 z_j 別の論文数				
	$z = 0$	$z = 1$	$z = 2$	$z = 3$	$z \geq 4$
600	155	87	82	41	235
100%	26%	14%	14%	7%	39%

ちょう う, せきたに かずゆき
東京理科大学経営学部
〒102-0071 東京都千代田区富士見 1-11-2
yu.zhao@rs.tus.ac.jp
sekitani@rs.tus.ac.jp

表2 被引用件数1以上の掲載論文445本の属性

引用論文の5クラス分類の内訳 $\sum_j y_{ij}$				
Q1	Q2	Q3	Q4	その他
1319	675	573	143	1051
35%	18%	15%	4%	28%
経過年数別 x_{1j} の論文数				
1~5年	6~10年	11~15年	16~20年	21~25年
44	42	102	102	155
10%	9%	23%	23%	35%
著者数別 x_{2j} の論文数				
1名	2名	3名	4名	5名以上
105	210	90	25	15
24%	47%	20%	6%	3%

ランク, Q1クラス, Q2クラス, Q3クラス, Q4クラスとSJRに収録されていない雑誌のクラスとし, 順に価値が高いものとする. Q1~Q4はSCImago Journal Rank (SJR) に収録されている学術雑誌をSJRスコアの上位順に四分位毎に分類した. なお, JORSJは2019年にQ4からQ3クラスにランクアップした. 論文 j を引用する論文の学術雑誌それぞれを5分類ごとに集計した値を

- y_{1j} : 論文 j を引用するQ1クラスの論文数
- y_{2j} : 論文 j を引用するQ2クラスの論文数
- y_{3j} : 論文 j を引用するQ3クラスの論文数
- y_{4j} : 論文 j を引用するQ4クラスの論文数
- y_{5j} : 論文 j を引用するQ1~Q4クラス以外の論文数とする.

445本のJORSJ掲載論文の被引用件数合計 $\sum_j z_j$ は3,761件であり, 5クラスごとの被引用件数合計を表2に与える. 評価対象の論文群は自身の所属クラスであるQ3より上位のクラスからの引用が半分以上である. 論文 j の出版後の経過年数を x_{1j} , 著者数を x_{2j} とする. $z_j \geq 1$ である445本の論文の出版後経過年数分布と著者数分布も表2に与える. 評価対象の論文群の多くは3名以下の著者で作成されており, 出版後11年以上の論文が全体の80%以上を占める.

3. 論文正味価値の評価モデル

慎重に決定したウエイト $\mathbf{v} = (v_0, v_1, v_2)$ と $\mathbf{u} = (u_0, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$ に対して論文 k の正味価値を

$$\frac{z_k}{\sum_{i=1}^2 v_i x_{ik} + v_0} \frac{\sum_{r=1}^5 u_r y_{rk} + u_0}{z_k} \quad (1)$$

として与える. (1)の第1項 $\frac{z_k}{\sum_{i=1}^2 v_i x_{ik} + v_0}$ は論文 k の被引用数 z_k を割り引いた値であり, その分母

$\sum_{i=1}^2 v_i x_{ik} + v_0$ は論文 k の出版後の経過年数と著者数の加重和と定数項 v_0 の和である. $\sum_{r=1}^5 u_r y_{rk} + u_0$ は論文 k の被引用件数のランク別加重和と定数項 u_0 の和であり, これを論文 k の価値として考える. (1)の第2項 $\frac{\sum_{r=1}^5 u_r y_{rk} + u_0}{z_k}$ は被引用1件当たりの論文 k の価値である. (1)は論文 k の価値を論文 k の出版後の経過年数と著者数で割り引いた値である.

ウエイト \mathbf{v} と \mathbf{u} は評価対象の論文 $k \in \{1, \dots, 445\}$ ごとに決定する可変ウエイトとする. 具体的には, ウエイト \mathbf{v} と \mathbf{u} は論文 k に対する(1)を最大化する問題

$$\max .\theta_k = \frac{\sum_{r=1}^5 u_r y_{rk} + u_0}{\sum_{i=1}^2 v_i x_{ik} + v_0} \quad (2)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^2 v_i x_{ij} + v_0 - z_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, 445) \quad (3)$$

$$z_j - \sum_{r=1}^5 u_r y_{rj} - u_0 \geq 0 \quad (j = 1, \dots, 445) \quad (4)$$

$$\mathbf{v} \in V \quad (5)$$

$$\mathbf{u} \in U \quad (6)$$

の最適解とする. ここで, V はウエイト \mathbf{v} が存在すべき領域を示し, U はウエイト \mathbf{u} が存在すべき領域を示す. 領域 V と U の設定は次節で述べる.

最大化問題(2)~(6)は乗数制約付き乗数型DEAモデルと呼ばれている. その最適解を $(\mathbf{v}^*, \mathbf{u}^*)$ とすると, 論文 k の正味価値は

$$\frac{z_k}{\sum_{i=1}^2 v_i^* x_{ik} + v_0^*} \frac{\sum_{r=1}^5 u_r^* y_{rk} + u_0^*}{z_k} \quad (7)$$

であり, DEAモデル(2)~(6)の最適値である. $(\mathbf{v}^*, \mathbf{u}^*)$ は制約式(3)を満たすので, $\sum_{i=1}^2 v_i^* x_{ik} + v_0^* \geq z_k$ が成立する. したがって, $\sum_{i=1}^2 v_i^* x_{ik} + v_0^*$ は論文 k の被引用件数 z_k の上限であり, (7)の第1項は被引用件数 z_k に対する上限達成比率である. そこで, (7)の第1項を目標被引用件数達成比率と呼ぶ. (7)の第2項は引用論文価値の平均であるから, それを引用論文平均価値と呼ぶ.

目的関数(2)の最適値を θ_k^* とする. $\theta_k^* = 1$ であれば, 出版後の経過年数と著者数から上限として見積もられた総被引用数に匹敵する価値の高い雑誌に引用されていることを示し, θ_k^* が1より小さくなればなるほど, 論文 k は出版後の経過年数と著者数からみた正味価値がより不足していることを示す.

4. 乗数制約の設定

ウエイトの存在領域 V と U を設定するために, AHP

(階層化意志決定法)の一对比較行列 [1] を用いる。まず、ウエイトの存在領域 V の設定方法を説明する。著者数と出版後経過年数のどちらかが引用論文 1 本増加することにどれくらい貢献するかを AHP の手順に準じて比較する。ここでは、筆者が一对比較した結果を表 3 に与える。筆者は著者数と比べて出版後経過年数は「引用論文 1 本増加においてきわめて重要である」と判断したので、一对比較値を 9 とした。そこで、出版後経過年数と比べた著者数の一对比較値は $1/9$ とする。

表 3 の各値を要素とした一对比較行列を P^v とする。Saaty [2] は、一对比較行列の主固有ベクトルを評価対象の重みの推定量とすることを提案した。すなわち、 P^v の主固有値を λ_{\max} とすると、主固有値 λ_{\max} とその主固有ベクトル $\mathbf{w} = (w_1, w_2)^T$ は次の固有値問題の解であり、主固有ベクトル \mathbf{w} を評価対象の重みの推定量とする。

$$P^v \mathbf{w} = \lambda_{\max} \mathbf{w} \text{ かつ } \mathbf{w} > \mathbf{0}. \quad (8)$$

一对比較行列 P^v における整合性条件は整合度が 0.1 以下であること、つまり、 λ_{\max} が

$$\frac{\lambda_{\max} - 2}{2 - 1} \leq 0.1$$

を満たすこと [2] である。一对比較行列 P^v における整合性条件が満たされなければ、主固有ベクトル $\mathbf{w} = (w_1, w_2)^T$ は受け入れずに一对比較を再考すべきであり、整合性条件が満たされれば主固有ベクトル $\mathbf{w} = (w_1, w_2)^T$ を評価対象の重みの推定量として受け入れてもよいと Saaty [2] は主張した。

Sekitani and Yamaki [1] は、式 (8) の主固有値とその主固有ベクトルそれぞれは次の最適化問題の最適値と最適解であることを紹介した。

$$\lambda_{\max} = \min_{\mathbf{w} > \mathbf{0}} \max \left\{ \frac{\sum_{j=1}^2 p_{ij}^v w_j}{w_i} \mid i = 1, 2 \right\}. \quad (9)$$

つまり、 P^v における整合性条件は、

$$\min_{\mathbf{w} > \mathbf{0}} \max \left\{ \frac{\sum_{j=1}^2 p_{ij}^v w_j}{w_i} \mid i = 1, 2 \right\} \leq 2.1 \quad (10)$$

を満たすことである。さらに、条件 (10) は、次の条件を満たす正のベクトル \mathbf{w} が存在することと等価で

表 3 出版後経過年数と著者数との一对比較の結果

	出版後経過年数	著者数
出版後経過年数	1	9
著者数	1/9	1

ある：

$$\max \left\{ \frac{\sum_{j=1}^2 p_{ij}^v w_j}{w_i} \mid i = 1, 2 \right\} \leq 2.1. \quad (11)$$

Saaty [2] の主固有ベクトルの受容基準は、式 (9) の右辺にある問題の実行可能解の目的関数値で言い換えることができる。本稿では、式 (9) の右辺にある問題の最適解だけでなく実行可能解が (11) を満たすならば、評価対象の重みの推定量として受け入れることは可能とする。すなわち、乗数 $\tilde{\mathbf{v}} = (v_1, v_2)^T$ を式 (9) の右辺にある問題の実行可能解に制限し、

$$P^v \tilde{\mathbf{v}} \leq 2.1 \tilde{\mathbf{v}}, \quad (12)$$

$$\tilde{\mathbf{v}} > \mathbf{0} \quad (13)$$

を出版後経過年数と著者数のウエイトに関する乗数制約とする。

乗数型 DEA モデルでは、 v_0 の符号に関する 3 種類の制約、 $v_0 = 0$, $v_0 \leq 0$, $v_0 \geq 0$ それぞれが、規模の経済性に関する収穫一定、逓増、逓減を仮定することが知られている [3]。本稿では、 $v_0 \leq 0$ とすることで、被引用件数は出版後経過年数と著者数に対して逓増することを仮定する。 $v_0 \leq 0$ と (3) から出版後経過年数と著者数のウエイトに関する乗数 $\tilde{\mathbf{v}}$ は正ベクトルになる。したがって、 $v_0 \leq 0$ の下では、乗数制約 (13) は $\tilde{\mathbf{v}} \geq \mathbf{0}$ に緩和できる。ウエイトの存在領域 V は

$$V = \{ \mathbf{v} \mid v_0 \leq 0, P^v \tilde{\mathbf{v}} \leq 2.1 \tilde{\mathbf{v}}, \tilde{\mathbf{v}} \geq \mathbf{0} \}$$

である。

同様に、各掲載論文を引用している雑誌の違いを評価する際には、5 クラスの価値について一对比較を行う。筆者の主観判断から表 4 に与える一对比較表を得た。表 4 を行列表示したものを P^u とする。前述の提案方法により、5 クラスに関する乗数 $\tilde{\mathbf{u}} = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)^T$ への制約は

$$P^u \tilde{\mathbf{u}} \leq 5.4 \tilde{\mathbf{u}},$$

$$\tilde{\mathbf{u}} > \mathbf{0}$$

表 4 5 クラスの価値に関する一对比較の結果

	Q1	Q2	Q3	Q4	その他
Q1	1	3	5	7	9
Q2	1/3	1	3	5	7
Q3	1/5	1/3	1	3	3
Q4	1/7	1/5	1/3	1	3
その他	1/9	1/7	1/3	1/3	1

で与えられる。 u_0 の符号に関する 3 種類の制約, $u_0 = 0$, $u_0 \leq 0$, $u_0 \geq 0$ それぞれが, 規模の経済性に関する収穫一定, 逓減, 逓増を仮定することが知られている [3]. 本稿では, $u_0 \leq 0$ とすることで, 被引用件数は 5 クラスごとの被引用数に対して逓減することを仮定する。 $u_0 \leq 0$ と最大値が正であることから, 5 クラスに関する乗数制約 $\tilde{u} > 0$ は $\tilde{u} \geq 0$ に緩和できる。したがって, ウェイトの存在領域 U は

$$U = \{u \mid u_0 \leq 0, P^u \tilde{u} \leq 5.4\tilde{u}, \tilde{u} \geq 0\}$$

である。

5. 分析結果

5.1 出版年別正味価値合計の経年変化

図 1 は, 過去 25 年間における JORSJ の掲載論文の出版年別被引用件数合計値と出版年別正味価値合計値の経年変化を示す。過去 25 年間の出版年別正味価値合計の経年変化は出版年別総被引用件数合計のそれを増幅した波状形である。出版年別正味価値合計値の平均値 (1.24) を超えたピークは 5 回あり, 2000 年, 2004 年, 2009 年, 2012 年および 2017 年である。ピークの要因を調査し, JORSJ の掲載論文の価値評価向上について検討する。

表 5 はピークである 2000 年, 2004 年, 2009 年, 2012 年および 2017 年それぞれの年に掲載された論文に対する分析結果 (引用された論文数, 被引用件数合計, 正味価値合計) を示す。2012 年には特集号の発行はなかったが, ほかのピーク年では特集号が組まれていた。2017 年では第 60 巻 3 号に OR 学会 60 周年記念特集号, 2012 年では第 52 巻 2 号に「評価のための OR」特集号, 2004 年では第 47 巻 4 号に「ネットワークデザイン, 制御, 最適化」の特集号, 2000 年では第 43 巻 1 号に「数理計画の新潮流」の特集号が発行され

た。いずれの特集号も当該年の被引用件数合計と正味価値合計のどちらに対しても過半数を占めていることが表 5 からわかる。第 60 巻 3 号, 第 52 巻 2 号と第 43 巻 1 号の特集号それぞれの正味価値合計は正味価値の年平均値である 1.24 を超えていることから, これら 3 冊の特集号は JORSJ の高評価と価値向上に寄与したと考える。

OR 学会 60 周年記念のために第 60 巻 3 号は 2017 年 7 月に発行されたが, この特集号企画には多くの優秀な論文が投稿されたために, 続編が 2018 年 1 月に第 61 巻 1 号として発行された。第 61 巻 1 号では, 引用された論文 ($z_j \geq 1$) は 4 本, 被引用件数合計 $\sum_j z_j$ は 18 件, 正味価値合計 $\sum_j \theta_j^*$ は 1.04 である。ほかの特集号と比較して出版後経過年は浅い割りに, 正味価値合計は高い。実際, 第 61 巻 1 号から 2 本の論文が論文賞 (2018 年度第 8 回と 2019 年度第 9 回) として表彰されている。2018 年度第 8 回論文賞は OR 学会 60 周年記念特集号に掲載された論文を表彰対象とし, 第 60 巻 3 号から別の 1 本の論文に授与されている。このことから, OR 学会 60 周年記念特集号の企画は高評価の論文を集める効果があると考えられる。

第 52 巻 2 号, 第 47 巻 4 号と第 43 巻 1 号の特集号は特定の研究分野を対象とした特集号である。第 52 巻 2 号は「評価のための OR」特集号であり, 採録された 10 本のうち, DEA に関する論文が 8 本である。また, 第 52 巻 2 号の正味価値合計 1.51 のうち, DEA の論文 8 本の正味価値合計は 1.44 である。つまり, 「評価のための OR」特集号の高評価は DEA に関する論文が貢献している。Emrouznejad and Yang [4] の文献調査によると, 2004 年以降は DEA の研究論文の数が指数関数的に増加する時期である。特に 2009 年における DEA の論文数は前年の約 1.5 倍であった。したがって, 2009 年の特集号は DEA の潮流に乗った企画

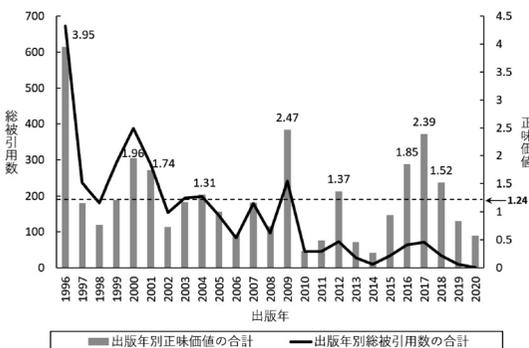


図 1 1996 年以降掲載論文の出版年別価値推移

表 5 ピーク年の掲載論文の分析結果

発行年 (巻. 号)	$z_j \geq 1$ の論文数	$\sum z_j$	$\sum \theta_j^*$
2017 (60.1 から 60.4)	17	71	2.39
60.3 (学会 60 周年記念)	8	44	1.56
2012 (55.1 から 55.4)	9	72	1.37
2009 (52.1 から 52.4)	25	241	2.47
52.2 (評価のための OR)	9	137	1.51
2004 (47.1 から 47.4)	21	199	1.31
47.4 (ネットワークデザイン, 制御, 最適化)	8	141	0.95
2000 (43.1 から 43.4)	25	388	1.96
43.1 (数理計画の新潮流)	12	269	1.46

であり、本特集号によって高評価の論文を集めることができたと考える。同特集号には著名な海外の研究者が執筆した招待論文を含む。これは論文の質と高評価を確保するための効果的な取り組みであろう。

第47巻4号の「ネットワークデザイン、制御、最適化」の特集号は、正味価値0.69として高評価された海外の研究者が執筆した論文を採録した。第43巻1号の「数理計画の新潮流」の特集号では、当時では珍しい文献調査論文を採録した。さらに、日本OR学会以外の学会を活躍の場とする研究者の論文も採録している。これらの論文の正味価値は高く評価された。

特集号の発行がなかった2012年では、正味価値が高く評価された2本の論文が採録されていて、その合計は1.17であった。その1本の著者は、日本OR学会以外の学会を活躍の場とする研究者である。もう1本はDEAに関する論文であり、JORSJへの投稿動機は査読の確かさと論文賞の制定であった。

以上の分析結果から、優れた論文を集めるには以下の取り組みが効果的といえる。

- 最新の研究動向を意識した特集号や記念号の企画
- 優れた研究論文の表彰
- 国内外で活躍されている研究者へ寄稿を依頼

5.2 論文の正味価値分解

各掲載論文の正味価値を目標被引用件数達成比率と引用論文平均価値に分解した結果を図2に示す。

図2を、目標被引用件数達成比率の幾何平均(0.06)と引用論文平均価値の幾何平均(0.45)に対応する実線により、四つの領域に分ける。左上の領域(R2)には、目標被引用件数達成比率が平均以下であるが引用論文平均価値が平均以上の論文126本が分布する。その対

称な位置にある領域(R4)には、引用論文平均価値が平均以下であるが目標被引用件数達成比率が平均以上の論文70本が分布する。また、右上の領域(R1)は、目標被引用件数達成比率も引用論文平均価値も平均を超える領域で、右上に位置するほど論文の正味価値が高い。領域R1に分布する論文は合計146本であり、被引用件数と引用論文の平均価値の観点からみて優れた論文である。反対に、左下の領域(R3)には103本の論文が含まれ、これらの論文は目標被引用件数達成比率も引用論文平均価値も平均未満である。

第60巻3号、第52巻2号、第47巻4号と第43巻1号の特集号4冊合計には論文37本が採録されているが、領域R1、R2、R3、R4それぞれには、21本、5本、4本、7本が分布し、4領域の分布割合は57%、14%、11%、19%である。論文全体では4領域R1、R2、R3、R4の分布割合は、33%、28%、23%、16%である。4領域の分布割合の違いから、445本の論文と比べて四つの特集号では、被引用件数と引用論文の平均価値の二つの観点において優れた論文が多く、劣った論文が少ないことがわかる。

6. おわりに

AHPのアイデアを取り入れた乗数制約の下で論文の正味価値を評価するDEAモデルを提案し、JORSJの過去25年間の取り組みを検証した。

特集号を企画する際、日本国内外で活躍する第一線の研究者に寄稿を依頼することが論文誌の価値向上に向けた仕組みとして有効だと考えられる。また、最新の研究動向に関連した特集号であれば、掲載論文がほかの研究者に引用される可能性が高くなる。

JORSJは日本OR学会の学会誌として日本ないしアジアを中心としたOR分野の研究者を育てる役割を担っている。学術雑誌としての高評価だけでなく、創立50周年記念特集号(第50巻4号)のように若手研究者育成の場を提供することも検討すべきである。

参考文献

- [1] K. Sekitani and N. Yamaki, "A logical interpretation for the eigenvalue method in AHP," *Journal of the Operations Research Society of Japan*, **42**, pp. 219-232, 1999.
- [2] T. L. Saaty, "How to make a decision: The analytic hierarchy process," *European Journal of Operational Research*, **48**, pp. 9-26, 1990.
- [3] R. D. Banker, A. Charnes and W. W. Cooper, "Some models for estimating technical and scale inefficiencies

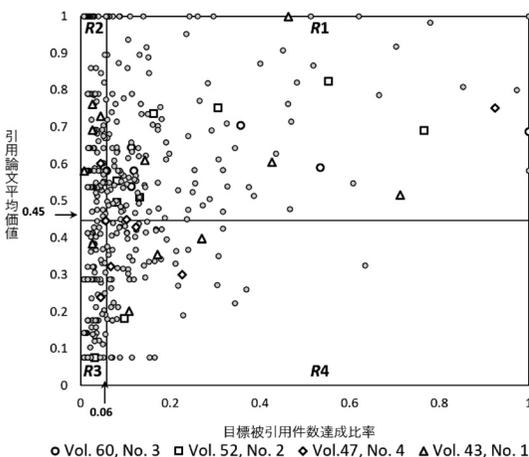


図2 1996年以降掲載論文の2面評価

in data envelopment analysis,” *Management Science*, **30**, pp. 1078–1092, 1984.

[4] A. Emrouznejad and G. L. Yang, “A survey and

analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016,” *Socio-Economic Planning Sciences*, **61**, pp. 4–8, 2018.