

## 【原著論文】

### 論文と研究者のインパクトに対する新しい計量書誌学的指標

— 論文引用グラフの固有ベクトル解析 —

角田裕之\*, 小野寺夏生\*\*

\* \*\*筑波大学大学院図書館情報メディア研究科

\*tsunoda@slis.tsukuba.ac.jp \*\*onodera@slis.tsukuba.ac.jp

**目的:** 本論は、論文の引用関係をもとにして、研究者のインパクトを示す新たな計量書誌学的指標を提案することを目的とする。**方法:** 論文 (Web ページ等の資料を含む) とその論文から引用された論文との関係は、論文をノードとし、引用関係をエッジとする有向グラフで表すことができる。また、同一著者の論文、同一雑誌の論文等の論文集合体をノードとする引用関係グラフも考えることができる。これらの有向グラフに対応するグラフ行列の連立方程式や固有ベクトルを用いて、論文や著者のインパクトを示す指標を与えるいくつかのモデルを考案、検討する。**結果と考察:** 論文のインパクト評価モデルとして、次の 2 つを提案した: (1) 引用元評価値配分モデル(DCM), (2) 学術知識プールモデル(KPM), いずれのモデルも、引用が必ず過去への 1 方向であるという論文の特性を考慮して、インパクト評価指標としての連立方程式や固有ベクトルの解の存在を保証する工夫をしている。次に、著者のインパクト評価モデルとして **ResearcherImpact(RI)** を提案した。これは、グラフ行列の要素として、ある著者が引用した他の著者の論文数を用いる。計量書誌学の主要研究者 15 人に対し、この手法を適用した。**結論:** (1) ここで提案した DCM, KPM, RI では、単純な被引用カウントに比べ、被引用数の多い論文/著者 (ハブ) からよく引用される論文/著者が高い評価値を得る。すなわち、インパクトの高いコミュニティの抽出に有効である。(2) RI を用いてインパクトを計算する際には、同分野かつ同時代の研究者を対象とすること、自己引用及び同一所属機関内/同一研究グループ内の引用に注意することが必要である。

キーワード: 計量書誌学的指標, 論文評価, 研究者評価, 引用論文, 固有ベクトル, 遷移行列

### A study on novel bibliometrical indicators about academic impact – Eigenvector analysis of citation graph matrice –

Hiroyuki Tsunoda\*, Natsuo Onodera\*\*

\* \*\*Graduate School of Library, Information and Media Studies, University of Tsukuba

**Objective:** This study aims at devising novel bibliometric indicators to evaluate academic impact of research papers or researchers. **Methods:** Citation relation among articles (or other materials such as Web pages) is expressible as an oriented graph in which a node is an article and an edge is a citation link between an article and its reference. In addition, an oriented graph relating authors can be considered in which a node is a set of an author's articles ('oeuvre') and an edge is citation link(s) between two oeuvres. We devise and examine some impact indicators for articles and authors, using the simultaneous equations or the eigenvector for a graph matrix build from those oriented graphs. **Results and Discussions:** Two models for impact evaluation of articles are devised: (a) Distributed Citation Model (DCM) and (b) Knowledge Pool Model (KPM). The both models contrive to ensure the existence of the solution for the simultaneous equations or the eigenvector as impact indicators, taking into account a feature of articles that citations are

necessarily made into one direction (from present to past). Next, ResearcherImpact (RI) is proposed as a model giving authors' impact. This uses the number of articles by an author cited by another author as an element of the graph matrix. The RI model is applied to impact evaluation of 15 principal authors in the bibliometric field. **Conclusion:** (1) The impact evaluation models DCM, KPM and RI proposed here give high impact scores to articles/authors contributing to (=frequently cited by) articles/authors of high impact ('hubs'), compared to the simple citation count method. They are effective, therefore, for identification of a high impact community. (2) When applying RI, authors to be evaluated must be in a same research field and contemporary with each other, and also the matter of self citations and citations within a same affiliated institute or a research group should be noted.

**Keyword:** Bibliometrical indication, Research evaluation, Researcher evaluation, Citation, Eigenvector, Transition matrix

## 1. 序論

高等教育研究機関などにおける多数の研究は、国庫から資金を補助されている。例えば、日本学術振興会が交付する「科学研究費補助金」は平成7年度に924億円であったが、平成17年度には1880億円となり、10年間で倍増している[1]。このため、公的研究資金による研究が適切に実施され、かつ効果的に研究成果が挙げられているかという観点から、研究評価の必要性が指摘されるようになった。文部科学省[2]の調査によれば、研究者評価の指標は、論文数、特許出願件数、研究成果の質が最も多く、次に製品化、学会発表数、受賞数・表彰数、競争的研究資金の獲得数、および論文の被引用度数が主に用いられている。

論文の被引用数は最近特に注目され、研究評価に盛んに利用されている。これは、次の理由によると思われる：①論文の利用度を示す定量的データに基づいており、客観性があると思われること、②単なる量的評価ではなく、研究の「質」の指標となると考えられること、③かなり包括的で国際的にデータを得ることができる情報源が存在すること。

しかし、被引用数の多寡が論文(あるいはその著者)の「質」や「重要性」を示すという単純な見方には、昔から多くの批判がある。そもそも、引用には、研究の背景や目的の説明、自分の主張や成果の正当化や補強、使用した理論や方法の明示等、

研究内容への実質的影響を示すものの他に、先駆者への敬意の表明等、実質的關係が希薄なものや、過去の研究の批判や否定をするもの(negative citation)も含まれる[3]。更に、他の論文や書誌からの転載のような無責任な引用や、仲間内での引用のやりとりのような正当でない引用もあるのも事実である[4]。従って、引用を数量的視点のみから見ることは不十分であり、文脈的視点からの分析が必要であると言われる[5]。MacRoberts & MacRoberts [6][7]やSmith [8]は、このような引用動機の問題の他、著名研究者への引用の集中(ハロー効果)、自己引用による偏り、研究領域による引用行動の相違、引用に現れない研究影響力の存在等、引用分析の問題点を指摘している。

このように、引用の理由、動機の文脈的理解のような質的研究は重要であるが、引用の計量分析とその研究評価への応用を無意味とすることは間違っている。引用は、学術情報伝達の公式で代表的なルートであり、知識の伝達、蓄積、発展に多大の貢献をしてきた。無意味あるいは無責任な引用があることは否定できないが、多くの研究で被引用データとピアレビュー評価の間に有意な相関があることが明らかにされている。たとえば、Riniaらは、オランダの研究評価委員会で行われた研究グループのピア評価得点と、その研究グループに対して求めた被引用評価指標との間に有意な正の相関があることを示した[9]。Oppenheimとその共同研究者は、英国の研究評価事業

(Research Assessment Exercise)でなされたいくつかの研究領域における学科評価の結果と、各学科の総被引用数や研究者あたり被引用数の間に有意な相関を認めた[10][11][12]. Aksnes[13]は、論文の被引用数と著者自身の自己評価との相関が高いことを明らかにした。否定的引用についてはいくつかの分析がなされている[14][15][16]が、その割合は一般的に低く(平均して10%程度)、また、何が「否定的」かについては議論のあるところである。

以上のことから、学術情報伝達過程における論文の影響度(研究インパクト)をその被引用数に基づいて測ることは、少なくとも統計学的には正当性を持つといえる[17]。ただし、ここでいう研究インパクトは研究の「質」とは異なることに注意する必要がある。研究の質は、いろいろな観点からの総合的判定であり、結局は主観(あるいは合意された主観)によるものである。被引用数から測られるインパクトは、質を構成する一つの側面と考えることができる。

被引用数が上記の意味でのインパクトを反映するとしても、それはいろいろな要因に影響される[18]ので、適切なインパクトの指標を設定するには、バイアスを除くための補正や規格化が必要であり、そのための多くの提案がある。

まず、インパクト評価に使用する際には自己引用を除くことが望ましい。国単位のようなマクロの比較では、自己引用を含めた場合と除いた場合で相対的な結果に大差がないことが示されている[19][20][21]が、著者や研究グループ単位のメソレベルの比較では、自己引用を含める効果は複雑であることが示されている[22]。

オランダのライデン大学科学技術研究センター(CWTS)では、著者や研究グループのインパクト評価のため、研究領域、論文タイプ(原著論文、レビュー、レター)、論文の年齢を考慮した規格化指標を創案し、これを応用した一連の大規模な研究を行っている[9][23][24][25][26]。また、研究ユニットの規模(発表論文数)と被引用数の関係が非線形であることを指摘し、この知見に基づく期待

被引用数に対する実際の被引用数の比をインパクト指標とする提案もある[27]。

ISI Thomson の Journal Citation Reports (JCR)で公表されている雑誌インパクトファクター(JIF)は、雑誌の被引用数を掲載論文数と掲載期間で規格化したインパクト指標であるが、雑誌に対する指標であるにも関わらず、個々の論文や研究者の評価に使われているのは明らかに誤用である。JCR から容易に JIF の値が得られるためこの誤用が安易になされているが、雑誌内の論文の被引用数分布は極めて歪んでおり(skew)、その平均値である JIF が代表値となり得ないことは、Seglen が綿密に立証している[28][29]。

被引用数を学術情報伝達過程におけるインパクトの測度ととらえるならば、重要な(インパクトの高い)論文からの引用は、そうでない論文からの引用より高いインパクトを持つと考えられる。しかし、従来の引用インパクト指標はほとんどこの点が考慮されておらず、どの引用も同じウェイトで扱われている。本研究は、論文及び著者のインパクト評価に引用元のインパクトを反映した指標を提案することを目的とする。その際、雑誌や Web ページの評価のため提案されているグラフ理論に基づく指標を(これについては 2.1 で詳述)参考とする。

筆者らは、本稿で提案するインパクト指標が必ずしも他の指標より優れていると主張するものではない。前述の通り、引用の理由は様々であり、被引用数の多寡を決める要因も複雑に絡み合っているため、インパクトを評価する視点や目的により、最適な指標は異なると考えられる。また、引用から見ることは一つの側面であるが、研究評価は多角的視点に立った主観評価によることを認識することが重要である。ここでの提案は、そのような多角的評価の一助となることを意図している。

## 2. 引用グラフを用いる諸評価指標

論文と、その論文に引用された論文との関係は、

論文をノードとし、引用をエッジとする有向グラフで考えることができる。さらに、研究者ごとに執筆論文の集合を作ると、各研究者の論文集合をノードとし、その論文集合間の引用をエッジとする有向グラフも考えることができる。本章では、論文や研究者以外の対象にこれらの有向グラフを用いた先行研究をレビューし、各モデルの持つ特徴と意味について検討を加える。そして、論文と研究者のインパクト評価にこの種のモデルを適用する場合の、問題解決の方法を探る。

## 2.1 先行研究

雑誌、Web ページ等の対象（グラフのノードに相当）に対する評価指標を、それらの引用グラフを用いて求める提案はいくつかある。本論では、その種の評価指標を  $R$ 、対象  $i$  に対する  $R$  の評価値を  $R_i$ 、対象  $i$  が対象  $j$  から受ける評価係数を  $a_{ij}$ 、対象数を  $n$  と一般化して、それらの提案を説明する。なお、ここでは Web ページにおけるリンクも引用の一種と見て、引用という語を共通に用いる。

### A. Pinski-Narin: Influence Weight

Pinski and Narin[30]は、物理学分野に分類される雑誌間の引用-被引用データに基づいて、雑誌がその領域に及ぼすインパクトの評価指標として Influence Weight を導入した。雑誌  $i$  に対するその値  $R_i$  は式(1)で表される。

$$R_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} R_j \quad (1)$$

$$a_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{k=1}^n C_{ki}} \quad (2)$$

[ $C_{ij}$  は雑誌  $i$  が雑誌  $j$  から受ける引用数

$a_{ij}$  は  $i$  が  $j$  から受ける影響係数]

たとえば、 $n=3$  で  $C_{ij}$  が次のように与えられたとする。

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 & 3 & 12 \\ 7 & 20 & 18 \\ 13 & 17 & 20 \end{bmatrix}$$

このとき式(1)は、

$$\begin{bmatrix} 0.33 & 0.10 & 0.40 \\ 0.18 & 0.50 & 0.45 \\ 0.26 & 0.34 & 0.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix}$$

となり、これを解くと次の解が得られる。

$$[R_1+R_2+R_3=1 \text{ となるように規格化}]$$

$$R_1=0.26 \quad R_2=0.40 \quad R_3=0.34$$

図1はこれをグラフに図示したものである。

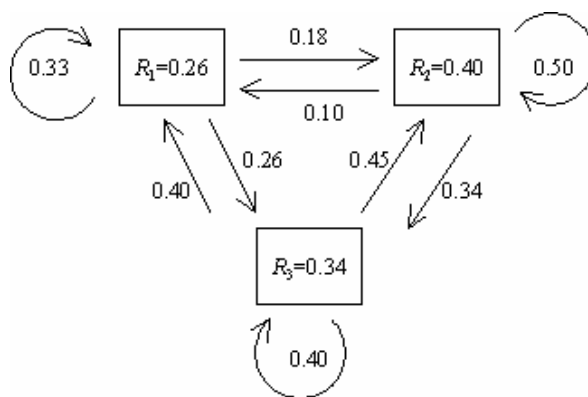


図 1 : Influence Weight のグラフ

式(2)で示すように、影響係数  $a_{ij}$  は、 $i$  の引用総数  $\sum_{k=1}^n C_{ki}$  で規格化しているので、被引用誌の引用総数が増加すると、被引用誌が得る影響係数（式(2)）が低下する。すなわち、被引用誌の規模によって影響係数が規格化されている。

### B. Shirabe-Fujigaki: Contribution

Shirabe and Fujigaki[31]は、論文の引用体系を自己組織的ネットワークであるオートポイエシスと考え、ジャーナルコミュニティなどの貢献量の指標として Contribution を考案した。ジャーナル  $i$  の評価値  $R_i$  を求める方程式は式(1)と同じであるが、その影響係数  $a'_{ij}$  (彼らはこれを  $i$  に与える  $j$  の規格化貢献量と名づけている) は次のようになる。

$$a'_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{k=1}^n C_{kj}} \quad (3)$$

この場合、影響係数は、引用元の引用数で規格化されている。よって、引用が多い論文や雑誌からの影響係数は低くなるという特徴がある。Contribution における  $a'_{ij}$  (式(3)) と Influence Weight における  $a_{ij}$  (式(2)) は、いずれも  $j$  から  $i$  への引用数に反比例するが、異なる考えで規格化されていることに注意されたい。

2.1.A で用いたのと同じ  $C_{ij}$  の例に対して式(3)を適用した行列方程式は、

$$\begin{bmatrix} 0.33 & 0.08 & 0.24 \\ 0.23 & 0.50 & 0.36 \\ 0.43 & 0.43 & 0.40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix}$$

となり、その解は以下のようになる。

[同様に、 $R_1+R_2+R_3=1$  となるように規格化]

$$R_1=0.19 \quad R_2=0.39 \quad R_3=0.42$$

図 2 はこれをグラフに図示したものである。

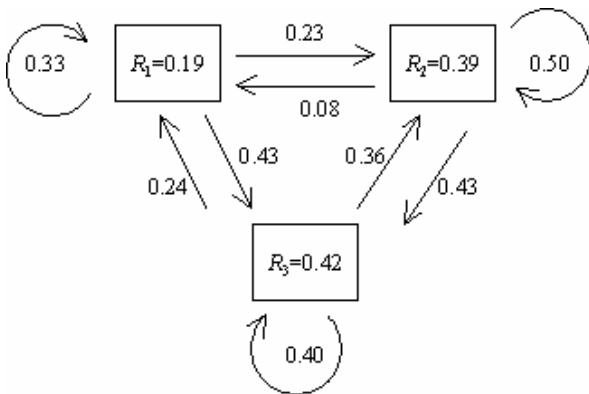


図 2 : Contribution のグラフ

ジャーナルコミュニティのような集合の場合、歴史が長いコミュニティほど引用数の絶対数が大きくなるため、Contribution は規模の差を回避する規格化である。

### C. Page-Brin-Motwani-Winograd: PageRank

Pageら[32]は Web ページを評価する指標として PageRank を考案した。Web ページ  $W_i$  の

PageRank 値  $R_i$  を式(4)で示す。

$$R_i = (1-d) + d \cdot \sum_{W_j \in B_i} \frac{R_j}{L_j} \quad (4)$$

[ $R_i$ は  $W_i$ の評価値,  $d$ はページ間遷移が引用をたどって行われる確率,  $L_j$ は  $W_j$ から外に向かう引用数,  $B_i$ は  $W_i$ を引用しているページを要素とする集合]

ページ  $j$  がページ  $i$  に与える影響係数は、ページ  $j$  から出る引用総数  $L_j$  で規格化されている。この考え方は、本質的に Shirabe-Fujigaki の規格化貢献量  $a'_{ij}$  と近似しているが、PageRank の影響係数  $a''_{ij}$  は式(5)である。

$$a''_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{L_j} \quad (5)$$

[ $\delta_{ij}$ は  $W_j \rightarrow W_i$ の引用があるとき 1, それ以外するとき 0]

これは、式(3)はジャーナルコミュニティなどの論文を要素とした集合のため、 $C_{ij}$ が実際の引用数であるのに対して、式(4)は対象が Web ページであることによる。

### D. Dominich-Skrop: General Equation

Dominich and Skrop[33]はグラフにおける遷移確率を導く General Equation を式(6)で示した。

$$R_i = \alpha \cdot (1-d) + \beta \cdot d \cdot \sum_{W_j \in B_i} \frac{R_j}{L_j} + \gamma \cdot E \quad (6)$$

[ $\alpha, \beta, \gamma$ : パラメータ,  $E$ : 全対象に共通の固有評価値, その他の意味は式(4)に同じ]

式(6)の  $\alpha, \beta, \gamma, d, E$  を適当に設定することで、各種の指標を表示することができる。本論では、式(6)の Dominich-Skrop の General Equation をもとに説明する。

### 2.2 論文または研究者の評価への応用について

2.1 で述べた先行研究に共通する骨子は、引用グラフに基づく影響係数行列  $\mathbf{A}$  に対する固有値  $\lambda = 1$  の固有ベクトルとして、評価指標ベクトル  $\vec{R}$  を求めることである。

$$\mathbf{A} \cdot \vec{R} = \lambda \vec{R} \quad (7)$$

$$[\mathbf{A} = [a_{ij}] \quad \vec{R} = [R_i]]$$

引用を引用元から引用先への遷移と考えれば、影響係数行列  $\mathbf{A}$  は遷移確率行列であり、式(7)は状態  $R_i$  が遷移確率  $a_{ij}$  で状態  $R_j$  に遷移するマルコフ過程を表すことになる。

式(7)が意味のある解をもつためには、引用グラフが次の条件を満たすことが必要である。

- (a)再帰：任意のノードから出発して有限時間内にもとのノードに帰り着く確率が1である。
- (b)強連結：任意のノードから出発して任意のノードへ到達できる道がある。

これに加えて、 $\mathbf{A}$  が  $\lambda=1$  で解を持つためには、その要素  $a_{ij}$  は、もとのデータ  $C_{ij}$  (対象  $i$  が対象  $j$  から受ける引用数) を何らかの形で規格化したものでなければならない。

先行研究における規格化の方法は、大別して、被引用者の引用総数で規格化する方式 (2.1A) と、引用者の引用総数で規格化する方式 (2.1B および C) の2通りがあった。被引用者の引用総数で規格化する方法は、雑誌のような論文の集合体に適用する場合は、雑誌規模による規格化となり、合理性を持つ。しかし、論文や研究者を集合の単位とする場合は、被引用者が多くの参考文献を挙げているほど、影響係数が小さくなることになり、不合理である。一方、引用者の引用総数による規格化は、1引用者 (1論文または1研究者) が他に与える全貢献量 (影響係数の和) は一定 (=1) とするので、1つの引用先に与える影響係数は、全引用数に反比例することになる。これは、レビュー論文のように参考文献の多い論文では、その1つ1つの引用先に与える影響係数は小さくなることを意味し、問題も含んでいるが一定の合理性を持つと考えられるので、本論では、 $C_{ij}$  を引用元  $j$  の引用総数で規格化する  $a'_{ij}$  もしくは  $a''_{ij}$  を採用する。

### 2.3 引用元の引用総数で規格化する方法

引用元の引用総数での規格化に基づく評価指標は、Webの検索エンジンに採用され、実用化している。実際に稼動している検索エンジンの評価モデルを例に、評価方法を検討する。第三世代の検索エンジン[34]と言われる Google の評判が高いのは、自動収集ロボットによる再現率の高さに加え、検索されたページの重要度を評価し重要なページから順次表示する PageRank によって、適合率を高めたことによる。2.1C で概要を述べた PageRank は、①多数のページから引用をされているページは信頼ができる、また、②信頼できるページから引用をされているページも信頼できるという考えに基づいている。つまり、PageRank は、①の単純カウントに基づく方法に、②の引用元が持つ評価値を引用先へ配分する方式を同時に両立させた方法である。この概念を図示したのが図3である。

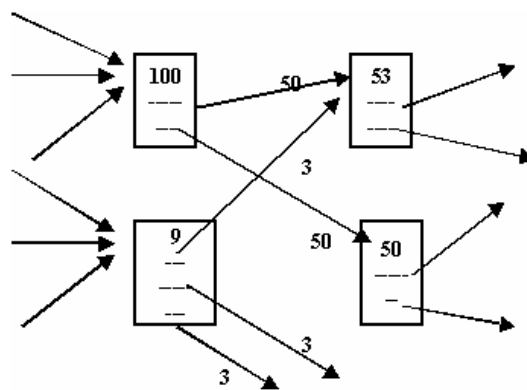


図3：PageRankの評価値計算方法  
[注・文献[32]からの転載]

図3のPageRankによる評価値の計算方法を示す。評価値100のページから2本の引用が出ていると、その引用先にそれぞれ50を配分し、評価値9のページから3本の引用は各引用先に3を配分する。よって50と3の被引用を持つページは評価値53となり、50の被引用を持つページは評価値50となる。このようにページの評価値が順次決定されていく。

Web の引用はページ相互に張られており、かつ、いくつかのページを巡回して最初のページに戻って来るような網目構造でもある。したがって、全てのページの評価値と、全ての引用の配分に対する整合が必須となる。これを図 4 で説明する。評価値 0.4 の A は、B と C の 2 ページへ引用があるので、その 1/2 の 0.2 づつを B と C に配分する。評価値 0.2 の B は、1 ページへ引用があるので、1/1 の 0.2 を C に配分する。同様に、評価値 0.4 の C も、1 ページへ引用があるので、1/1 の 0.4 を A に配分する。最終的にすべてが 2 つの条件「ページの評価値を引用先のページに等分に配分する」と、「ページの評価値は被引用の配分の合計となる」を満たしている。なお、ここではページの評価値の総和が 1 となるように規格化している。当然だが、配分の合計も 1 となる。

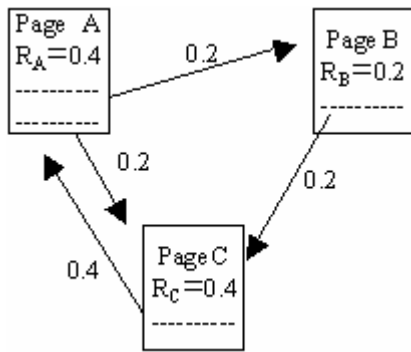


図 4：閉じたグラフの評価値計算  
[注・文献[32]からの転載]

この関係を式で表すと次のようになる。

$$R_i = \sum_{W_j \in B_i} \frac{R_j}{L_j} \quad (8)$$

これは、式(4)で、 $d=1$  とした場合に相当する。図 4 に式(8)を当てはめれば、

$$R_A = \frac{R_C}{L_C}, \quad R_B = \frac{R_A}{L_A}, \quad R_C = \frac{R_A}{L_A} + \frac{R_C}{L_C}$$

$L_A=2, L_B=1, L_C=1$  である。これを遷移確率行列で示すと式(9)となる。

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_A \\ R_B \\ R_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_A \\ R_B \\ R_C \end{bmatrix} \quad (9)$$

$R_A+R_B+R_C=1$  に規格化した場合、この解は、 $R_A=0.4, R_B=0.2, R_C=0.4$  となる。

ところが、Web には、参照されるが他への引用を持たないページがある。例えば一次コンテンツの新聞記事や資料、イメージ形式で保存された論文などのページは、他のページから引用されることはあるが他への引用がないことも多い。一方、他のページから引用がないページもある。例えば、一般に個人が設置したページは、外への引用を持つが外からの引用がないことが多い。これらから、Web 全体は、非再帰・非強連結グラフであるため、2.2 で述べたように式(8)は意味のある解を持たない。Page ら[32]は、ランダムサーファーマodel (Random Surfer Model: Web の閲覧者は引用を辿って移動する確率  $d$  の他に、引用に無関係なページに移動する確率  $1-d$  を持つ) を導入し、Web 全体を再帰・強連結グラフに変換することで問題を解決した。ランダムサーファーマodel は式(4)で表される。Page らは、実用目的には、 $d=0.85$  とした。従って、彼らのモデルを Dominich-Skrop の General Equation 式(6)に当てはめると、パラメータ  $\alpha=1, \beta=1, \gamma=0, d=0.85$  で、式(10)となる。

$$R_i = (1-0.85) + 0.85 \cdot \sum_{W_j \in B_i} \frac{R_j}{L_j} \quad (10)$$

### 3. 論文インパクト評価

2. で述べた先行研究を参考にして、本章では、引用に基づいた論文のインパクト評価指標を考える。

#### 3.1 雑誌間引用あるいは Web 引用と論文引用との相違

Pinski - Narin の Influence Weight と Shirabe - Fujigaki の Contribution は、共に雑誌やコミ

ユニティのような論文集合体間の引用を想定したモデルである。雑誌をノードとした場合、雑誌間に張られた引用は、一般に双方向である。また、PageらのPageRankはWebを対象にしたモデルであり、ノードであるWebページ間に張られた引用は、やはり一般に双方向である。つまり、雑誌もWebページも引用の向きに遷移していくと、同じ雑誌やページに戻る事が出来る道がある。これに対して、論文の引用は過去に出現した論文に対するものなので、時間軸に対して負の方向のみに遷移する。引用をいくら過去に遡っても、出発した論文にたどり着くことはありえない。雑誌に対するInfluence Weight, Contribution及び、Webに対するPageRankを論文引用に応用するとき、この違いを念頭に置くことが重要である。

### 3.2 被引用数による論文評価モデル

被引用データに基づいて論文を評価する方法として最も一般的なものは、被引用数そのものの測定である。これを被引用数モデル(TCM: Times Cited Model)と呼ぶこととし、そのイメージを図5に示す。

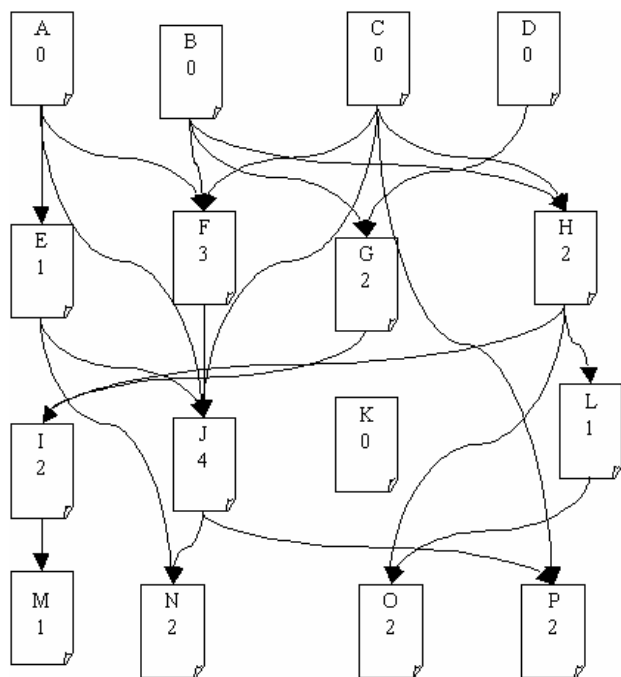


図 5 : TCM のイメージ図

図5のTCMは、引用数が直接的な評価指標であるので「多くの論文から引用された論文はインパクトが高い」を反映したモデルである。しかし、引用元論文が如何なる論文であっても、それが引用先に与える寄与は同じであり、引用元の評価値は反映されていない。

### 3.3 引用元による論文評価モデル

引用元の評価値を引用先の評価に反映させる1つのモデルとして、本論ではまず、引用元評価値配分モデル(DCM: Distributed Citation Model)を検討する。このモデルは、「論文は必ず零ではない一定の固有評価値を持つ」、「固有評価値に引用元からの評価値を加えて新たに評価値が決定される」、「引用元の評価値は引用先の論文へ等配分される」を、骨子としたモデルである。例えばこのモデルの論文に固有評価値として1を与えることによって、すべての論文の評価値を連鎖的に確定することができる。そのイメージを図6に示す。

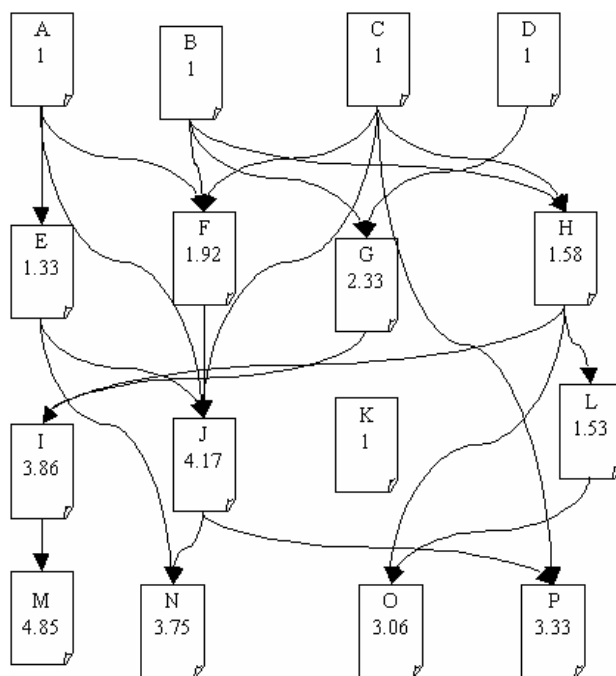


図 6 : DCM のイメージ図

図6の全ての論文は、発表された時点で固有評価値  $E=1$  を与えられる。論文Aは被引用論文が





図7のKPMは、Dominich-SkropのGeneral Equation式(6)において、パラメータ  $\alpha=0, \beta=1, \gamma=0, \delta=1$  とした式(13)で示すことができる。

$$R_i = \sum_{W_j \in B'_i} \frac{R_j}{L_j} + \frac{R_Q}{n-1} \quad (13)$$

$$R_Q = \sum_{W_j \in B'_i} \frac{R_j}{L_j} \quad (14)$$

[ $B'_i$ は  $B_i$ から  $W_Q$ を除いた集合]

Qも論文の1つと考えるが、これは他のすべての論文を引用し、他のすべての論文から引用されると考えるので、式(13)及び式(14)のように表される。KPMは学術知識プールとすべての論文間に相互引用があるので、再帰・強連結グラフである。従って、式(6)で  $\delta=1, E=0$  として解を得ることができる。図7の  $R_A \sim R_Q$  を求める固有値方程式は、遷移確率行列で示すと式(15)になる。

$$\begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & \frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{5} & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ 0 & 0 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_A \\ R_B \\ R_C \\ R_D \\ R_E \\ R_F \\ R_G \\ R_H \\ R_I \\ R_J \\ R_K \\ R_L \\ R_M \\ R_N \\ R_O \\ R_P \\ R_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_A \\ R_B \\ R_C \\ R_D \\ R_E \\ R_F \\ R_G \\ R_H \\ R_I \\ R_J \\ R_K \\ R_L \\ R_M \\ R_N \\ R_O \\ R_P \\ R_Q \end{bmatrix} \quad (15)$$

KPMの遷移確率行列において、たとえばQはAに一定の貢献をするという仮定から、第1列はAからE, F, Jへ遷移する(引用する)。とともにQへも遷移する確率があり、それぞれの確率が各1/4であることを示している。また、A~Pの各論文はQに一定の貢献をするという仮定から第17列においては、QからA~Pへのすべての遷移確率が1/16となる(Qが16のすべての論文を引用している)。KPMの遷移確率は、評価値の配分率に等しいので、論文の評価値を配分率で配分する

モデルであるといえる。上記の固有値方程式を解いて求めた  $R_A \sim R_Q$  値を図7に示す。ここで固有ベクトルの値は被引用のない論文(この場合は、A, B, C, D, K)が1となるように規格化している。

### 3.5 3つのモデルによる評価指標の比較

TCM, DCM及びKPMにおける評価指標の比較を表1に示す。

表1: 各評価モデルの評価指標比較

TCM		DCM		KPM	
論文	評価値	論文	評価値	論文	評価値
J	4	M	4.85	J	2.72
F	3	J	4.17	N	2.32
		I	3.86	I	2.24
		N	3.75	M	2.12
G, H, I, N, O, P	2	P	3.33	P	2.11
		O	3.06	O	2.04
		G	2.33	G	1.75
		F	1.92	F	1.70
		H	1.58	H	1.45
E, L, M	1	L	1.53	L	1.36
		E	1.33	E	1.25
A, B, C, D, K	0	A, B, C, D, K	1	A, B, C, D, K	1

表1の3つのモデルは、評価値の決定方法が異なっているため、各論文の評価値の差や順位の入替わりがある。その理由は、以下の通りである。

TCMは単純な被引用数評価だが、他の2つは、高い評価値の論文から引用された論文の評価値が高くなる。たとえば、Mは被引用数1のためTCMでは下位だが、他の2つでは高位になる。これは、その引用元であるIの評価値が高いためである。一方Fは、被引用数3なのでTCMでは2位だが、その引用元はいずれも被引用文献を持たないため、DCM, KPMでは評価が低い。

DCMとKPMの順位には大きな差はないが、差が生じるのは学術知識プールへの寄与による。たとえば、Mが被引用数1にもかかわらずDCMで最高位になる理由は、その唯一の引用元であるIが他に引用をしていないため、その評価値すべてがMに配分されるためである。ところが、KPM

では、I の評価値は学術知識プールにも配分されるため、M への配分は半減してしまい、その順位はかなり下がる。これに対し J, N などは複数の引用元を持ち、それらの引用元はいくつかの論文を引用していることが多いので、学術知識プールの導入が大きな影響を及ぼさず、相対的に順位が上昇する。

#### 4. 研究者のインパクトを評価するモデル

3.で検討した論文のインパクト評価モデルを基礎にし、本章では、研究者が他の研究者へ与えるインパクトの評価モデル RI (ResearcherImpact) を考える。初めに、同一研究者が執筆した論文を要素とした研究者別の集合を作成する。次に、論文集合間の引用関係から研究者ごとのインパクト指標を求める。

ここで考える研究者評価の方法は、評価対象者が同分野に所属し、研究活動期間が同年代であることが前提条件である。研究者相互の引用関係に基づく評価方法なので、評価対象者が所属する研究コミュニティが同一である必要がある。また、この方法では、過去に発表された論文ほど引用が蓄積して高く評価される傾向になるので、同年代の研究者を対象とすることが望ましい。さらに、インパクトの評価であるので、自己引用の問題に注意する必要がある。自己の研究テーマにもっとも密接な研究をしている研究者が自分自身であることも多いので、自分が以前に発表した論文を引用（自己引用）するのはごく自然であるが、研究者が与えるインパクトを評価するときには、自己引用は外されるべきだという議論がある[35]。本論では、自己引用を含めた場合と除外した場合の両方について、RI を検討する。

##### 4.1 研究者間の相互引用行列

図5のA-Pの16論文は4人の研究者が執筆したと仮定し、論文間の引用関係を著者間の引用関係に置き換えてインパクトを評価する。研究者I

は論文A, E, I, Mの著者、研究者IIは論文B, F, J, Nの著者、研究者IIIは論文C, G, K, Oの著者、研究者IVは論文D, H, L, Pの著者であるとする。研究者ごとの論文集合を示したものが図8である。

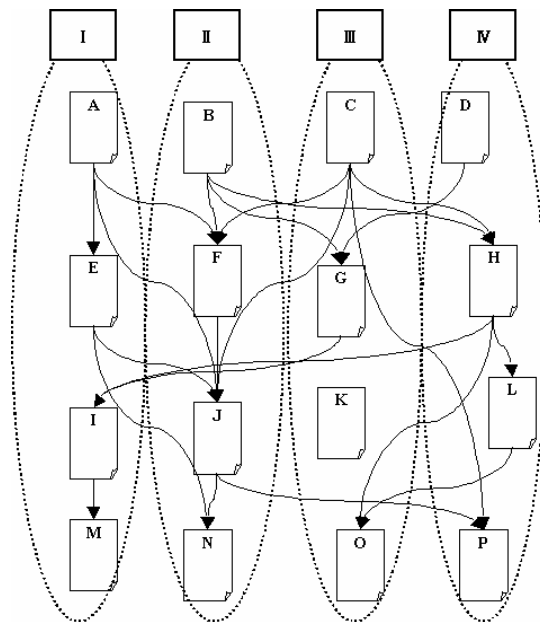


図 8：研究者間論文引用図

図8に従って、I~IVの研究者単位に論文を集めて、研究者間における論文の引用関係は表2となる。

表 2：研究者間論文引用関係表

引用 被引用	I				II				III				IV			
	A	E	I	M	B	F	J	N	C	G	K	O	D	H	L	P
I	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
	M	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	J	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	N	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
III	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	G	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
IV	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	P	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0

研究者間論文引用関係表に基づき、研究者のペアにおける引用・被引用数を表す「相互引用行列」を作成する。表2に対する自己引用を含む場合と含まない場合の相互引用行列は表3のようになる。

表3：表2に対する相互引用行列

(a)自己引用を含む					(b)自己引用を含まない				
引用→ 被引用↓	I	II	III	IV	引用→ 被引用↓	I	II	III	IV
I	2	0	1	1	I	0	0	1	1
II	3	3	2	0	II	3	0	2	0
III	0	1	0	2	III	0	1	0	2
IV	0	2	2	1	IV	0	2	2	0

表3の各要素の値は、引用数の単純集計ではなく、引用された論文数とする。たとえば、Iの論文AがIIの論文F, Jを引用し、同じくIの論文EがIIの論文J, Nを引用しているの、論文Jは同じIから2回引用されている。したがって、IがIIの論文を引用した延べ回数は4回であるが、被引用論文数は3論文であるので3回と数える。これは、IIがIに与えたインパクトを論ずるときには、Iが利用したIIの論文数の方がより適切な測度であるという考えによる（Iの論文AとEは、同じような観点からIIの論文Jを引用した可能性が高い）。

#### 4.2 研究者間遷移確率とRI

上記の考えから、研究者インパクト指標RIに対する研究者*i*の評価値 $RI_i$ は、式(16)と式(17)で与えられる。

(a)自己引用を含む

$$RI_i = \sum_{j=1}^n \frac{C_{ij}}{\sum_{k=1}^n C_{kj}} RI_j \quad (16)$$

(b)自己引用を含まない

$$RI_i = \sum_{j \neq i}^n \frac{C_{ij}}{\sum_{k \neq i}^n C_{kj}} RI_j \quad (17)$$

これは、評価値を引用研究者からの配分値の合計とし、各研究者はその引用先の研究者に対して、相互引用行列の引用数に比例して自己の評価を配分する方法である。この配分率が遷移確率になる。従って、表3に対応する遷移確率行列は表4のようになる。

表4：表3に対応する研究者間遷移行列

(a)自己引用を含む					(b)自己引用を含まない				
引用→	I	II	III	IV	引用→	I	II	III	IV
被引用↓	I	II	III	IV	被引用↓	I	II	III	IV
	$\begin{bmatrix} \frac{2}{5} & 0 & \frac{1}{5} & \frac{1}{4} \\ \frac{3}{5} & \frac{3}{6} & \frac{2}{5} & 0 \\ 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{2}{4} \\ 0 & \frac{2}{6} & \frac{2}{5} & \frac{1}{4} \end{bmatrix}$					$\begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} \\ \frac{3}{3} & 0 & \frac{2}{5} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} & 0 & \frac{2}{3} \\ 0 & \frac{2}{3} & \frac{2}{5} & 0 \end{bmatrix}$			

表4の遷移行列に対する $RI_i$ は以下のようになる（合計が1になるように規格化）。

(a) 自己引用を含む場合：

$$I = \frac{95}{542} \quad II = \frac{198}{542} \quad III = \frac{105}{542} \quad IV = \frac{144}{542}$$

(b) 自己引用を含まない場合：

$$I = \frac{19}{123} \quad II = \frac{33}{123} \quad III = \frac{35}{123} \quad IV = \frac{36}{123}$$

#### 4.3 研究者評価方法の比較

ここで提案したRIによる評価値を、単純な被引用数モデル(TCM)による評価値と比較してみる。また、それぞれ自己引用を含む場合と含まない場合について比較する。単純評価指標は表3の相互引用行列の行和で与えられる。これは、ある被引用者に対する各引用者が引用した論文の延べ数である。

被引用数は、自己引用を含む場合でIが4回、IIが8回、IIIが3回、IVが5回であるが、自己引用を含まない場合でIが2回、IIが5回、IIIが3回、IVが4回となる。被引用数を1で規格化した被引用率とRIを比較するために、自己引用を含む表5(a)と含まない表5(b)を示す。

表 5：研究者インパクト評価比較

(a)自己引用を含む		(b)自己引用を含まない	
TCM	RI	TCM	RI
II 0.40	II 0.37	II 0.36	IV 0.29
IV 0.25	IV 0.27	IV 0.29	III 0.28
I 0.20	III 0.19	III 0.21	II 0.27
III 0.15	I 0.17	I 0.14	I 0.16

[ I + II + III + IV = 1 で規格化]

自己引用を除外した表 5(b)において TCM と RI を比較すると、順位が上昇したのは III と IV、順位が下降したのは II、いずれの統計でも順位が低いのは I である。これは、II の被引用数 5 回のうち 3 回が評価値の低い I からの引用であるためである。それと比較して、IV は 4 回の引用が評価値の比較的高い III (2 回) と II (2 回) からのものであるためである。同様に III も II と IV から引用されたためである。つまり、RI は、「多くの研究者から引用された論文を執筆した研究者はインパクトが高い」および「インパクトの高い研究者に引用された論文を執筆した研究者はインパクトが高い」の機能を備えたモデルであるといえる。

自己引用を含めるか含めないかには議論があるが、研究者のインパクトを測定する観点からすれば、自己引用を除外して評価をした方が妥当な結果を導出することになるであろう。

## 5. 「計量書誌学」研究者インパクト評価への適用

本章では、4. で述べた RI の応用事例として、「計量書誌学」関係の雑誌論文を用いて、この分野の代表的研究者に対する RI を計算する。前章での議論により、以降は自己引用を含めない。

### 5.1 評価対象者の選定方法

ISI Thomson の Web of Science (WoS) を用いて計量書誌学の主要著者に対して RI を求める実験を行った。用いた筑波大学の契約サイトでは、SCI (1993 - 2004), SSCI (1997 - 2004), A&HCI (1997 - 2004) が含まれる。General Search の Topic

(Title only) で bibliometric\* を検索語とすると、276 件のヒットが得られた。被引用数 (TC: Times Cited) 順にソートし TC  $\geq 10$  の論文 16 件の筆頭著者を調査対象者として選択する。この中で 2 件は同一筆頭著者であったので調査対象者は 15 人となる。

15 人の所属は大学が 5 人、財団等 4 人、企業等 5 人、軍関係 1 人である。大学に所属している 5 人のうち Noyons と van Raan はオランダのライデン大学中央理工研究所 (Leiden Univ, Ctr Sci & Technol Studies) に所属している。そして、財団等に所属している 4 人のうち Grant と Lewison は英国の評価機関であるウエルカム財団 (The Wellcome Trust) に所属している。さらに、企業等に所属している 5 人のうち Hicks と Narin は、米国の CHI (Comp Horizons Inc) に所属している。上記の 3 組 (6 人) の同一機関に所属する研究者を評価する際の、相互作用については後述する。

### 5.2 引用数の集計と著者間相互引用行列

調査対象者の氏名を、各々 WoS の General Search の Author 項目における選択語とし、検索した結果 (著者に記載されていれば筆頭著者でなくともヒットする) 計 967 件の論文 (Set A) がヒットした。これらの論文の参照論文 (reference) を調べ、その中から筆頭著者が調査対象の 15 人のうちいずれか 1 人であり、かつ Set A にある論文を抽出した (但し自己引用を除く)。これら抽出した論文と、それらの論文を参照した Set A 中の論文を合わせた 76 件の論文集合を Set B とする。

Set B の論文が、調査対象者を引用している回数を集計する。同一著者が別の論文で同一論文を複数回引用している場合は、その著者にインパクトを与えた論文数という観点から 1 回と数えた。調査対象者の相互引用行列は表 6 となる。

表6：計量書誌学研究者の相互引用行列

Citing \ Cited	Bordons M	Borgman CL	Cronin B	Grant J	Hicks D	Ingwersen P	Kaminer N	Kostoff RN	Lewison G	Luukkonen T	Narin F	Noyons ECM	Rinia EJ	Van den Berghe H	van Raan AFJ	total
Bordons M	0	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5
Borgman CL	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Cronin B	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Grant J	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Hicks D	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	4
Ingwersen P	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3
Kaminer N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kostoff RN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3
Lewison G	1	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Luukkonen T	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
Narin F	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	1	0	1	6
Noyons ECM	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5
Rinia EJ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4
Van den Berghe H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
van Raan AFJ	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5
total	3	3	5	4	3	7	0	0	7	0	2	7	3	0	7	51

表6の引用行列の第1列はBordonsが引用した各著者の論文数を表している。例えば、Bordonsは、9行目のLewisonを1回、12行目のNoyonsを1回、13行目のRiniaを1回引用したことを表示している。一方、引用行列の第1行は、Bordonsを引用した各著者の論文数を表している。つまり、Bordonsは、2列目のBorgmanに1回、3列目のCroninに2回、9列目のLewisonに2回、引用されたことを表している。引用数は、単純に論文に表示された引用総数ではなく、被引用論文数とした。例えばHicksはNarinの論文を5回引用しているが、5回とも同じ論文を引用している。この場合、HicksがNarinを引用した回数は5回ではなく1回と数えることにする。

その結果、Kaminerの論文は、他の14人からの引用が1回もなく、かつ、他の14人のうち1人の引用もしていないため、Set Bに含まれない。また、Kostoff、Luukkonen、Van den Bergheの3人の論文は、他の14人の誰からか引用されているのでSet Bに入っているが、他の14人の誰も引用をしていない。RIを適用するためには、

著者グラフが再帰かつ強連結である（すなわち各著者が、他の誰かを引用するとともに他の誰かから引用されている）ことが必要なので、今回のRIの計算には、Set BからKostoff、Luukkonen、Van den Bergheの3人の論文を除いた11人の69論文を使用した。これを、Set Cとする。表7に、Set A, B, Cに含まれる各著者の論文数を示す。

表7：研究者別標本数

Researcher	Set A	Set B	Set C
Bordons M	19	7	7
Borgman CL	17	2	2
Cronin B	120	8	8
Grant J	313	3	3
Hicks D	213	7	7
Ingwersen P	25	6	6
Kaminer N	3	0	0
Kostoff RN	49	3	0
Lewison G	30	11	11
Luukkonen T	5	1	0
Narin F	27	3	3
Noyons ECM	9	6	4
Rinia EJ	6	4	4
Van den Berghe H	98	1	0
van Raan AFJ	33	14	14
Total	967	76	69

### 5.3 RI の計算

Set C からなる著者単位のグラフの中では、全ての著者が自分以外の他の 10 人のうち少なくとも 1 人以上を引用しており、かつ全ての著者は、他の 10 人の著者の少なくとも 1 人以上から引用されている。この固有値方程式は式(18)となる。

$$\begin{bmatrix}
 0 & \frac{1}{3} & \frac{2}{5} & 0 & 0 & 0 & \frac{2}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{2}{3} & 0 & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{6} & 0 & \frac{2}{2} & \frac{1}{5} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2}{5} & 0 & 0 \\
 \frac{1}{3} & 0 & \frac{1}{5} & \frac{4}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & 0 & \frac{2}{6} & 0 & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} \\
 \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2}{6} \\
 \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3}{6} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3}{6} & 0 & 0 & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 RI_{BordonsM} \\
 RI_{BorgmanCL} \\
 RI_{CroninB} \\
 RI_{GrantJ} \\
 RI_{HicksD} \\
 RI_{IngwersenP} \\
 RI_{LewisonG} \\
 RI_{NarinF} \\
 RI_{NoyonsECM} \\
 RI_{RiniaEJ} \\
 R_{vanRaan,AFJ}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 RI_{BordonsM} \\
 RI_{BorgmanCL} \\
 RI_{CroninB} \\
 RI_{GrantJ} \\
 RI_{HicksD} \\
 RI_{IngwersenP} \\
 RI_{LewisonG} \\
 RI_{NarinF} \\
 RI_{NoyonsECM} \\
 RI_{RiniaEJ} \\
 R_{vanRaan,AFJ}
 \end{bmatrix}
 \tag{18}$$

式(18)の解は、合計を 100 に規格化すると

<b>Bordons M</b>	<b>=</b>	<b>6.31</b>
<b>Borgman CL</b>	<b>=</b>	<b>1.86</b>
<b>Cronin B</b>	<b>=</b>	<b>9.29</b>
<b>Grant J</b>	<b>=</b>	<b>1.98</b>
<b>Hicks D</b>	<b>=</b>	<b>20.53</b>
<b>Ingwersen P</b>	<b>=</b>	<b>7.22</b>
<b>Lewison G</b>	<b>=</b>	<b>5.94</b>
<b>Narin F</b>	<b>=</b>	<b>16.64</b>
<b>Noyons ECM</b>	<b>=</b>	<b>13.42</b>
<b>Rinia EJ</b>	<b>=</b>	<b>7.00</b>
<b>van Raan</b>	<b>=</b>	<b>9.80</b>
<b>AFJ</b>		

となる。

## 6. 研究者インパクト評価指標についての考察

### 6.1 TCM, DCM, KPM, RI の比較

5.で求めた各研究者の RI 値とともに、3.で述べた論文インパクト評価指標(TCM, DCM, KPM)に基づき、各研究者に対して求めた値を表 8 に示す。RI 以外の指標については、引用した論文のなかった Kostoff, Luukkonen, Van den Berghe も含

めた Set B を用いて計算を行った。

なお、研究者に対する TCM, DCM, KPM の値は、研究者の論文の各モデルに評価値を合計したものである。各モデル間で研究者の比較がしやすいように、全指標値とも合計が 100 となるように規格化した。

表 8 : TCM, DCM, KPM, RI 比較 (100 に規格化)

Researcher	TCM	DCM	KPM	RI
Bordons M	7.04	8.87	9.12	6.31
Borgman CL	1.41	2.17	2.36	1.86
Cronin B	5.63	9.36	9.11	9.29
Grant J	7.04	6.34	3.93	1.98
Hicks D	7.04	7.36	9.91	20.53
Ingwersen P	4.23	5.19	7.03	7.22
Kaminer N	—	—	—	—
Kostoff RN	4.23	3.92	4.61	—
Lewison G	8.45	9.78	12.98	5.94
Luukkonen T	2.82	1.87	2.26	—
Narin F	16.90	10.26	7.21	16.64
Noyons ECM	15.49	9.29	8.83	13.42
Rinia EJ	9.86	6.76	6.34	7.00
Van den Berghe H	2.82	2.17	1.51	—
van Raan AFJ	7.04	16.66	14.81	9.80
<b>total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

全評価指標から得られた 11 人について、Spearman の順位相関係数を表 9 に示す。

表 9 : TCM, DCM, KPM, RI の順位相関係数

	TCM	DCM	KPM	RI
TCM	1			
DCM	0.544	1		
KPM	0.195	0.755**	1	
RI	0.414	0.509	0.455	1

Spearman の順位相関係数はすべて正の値になる。しかし、DCM と KPM が 1%水準で有意であるが、他の相関は有意ではなかった。

表 9 から、DCM と KPM は近似しているが、全体的には指標間の相関は強く、それぞれ異なる意味を示す評価指標であると言える。表 8 から、Narin と Noyons は TCM と RI で評価値が高く、逆に、van Raan と Lewison は DCM と KPM で評価値が高い。Hicks は RI だけが突出して評価値が高い。これを順位変化にしてグラフに示すと図 9 になる。

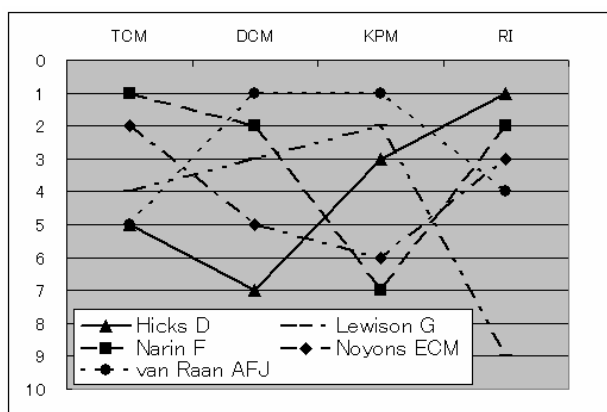


図 9 : 各モデルにおける 5 人の順位グラフ

TCM では、Narin が 12 回の被引用を持ち 1 位、Noyons が 11 回で 2 位であった。TCM は単純な被引用数カウントなので、引用回数に比例する。

DCM では、van Raan が論文生産では最も多数な 14 本で、これに引用元からの評価値 9 を加え合計が 23 で 1 位、Narin が、論文生産では 3 本と少数だが、引用元からの評価値 11.17 を加えた

合計が 14.17 で 2 位となる。DCM は、論文の固有の評価値と引用から受けた評価値の合計である。よって、論文生産量と引用元の評価値の 2 つの要素に影響を受ける。

KPM は、引用元からの評価値と学術知識プール(KP)からの評価値の合計である。各論文が KP から一定の配分を得るので、DCM ほどではないが論文生産量からの影響を受ける。一方、引用元の評価値が KP へも一部配分されるため、特に引用元の引用総数が少ない場合、負の影響を受ける。DCM と KPM の間で Narin と Hicks の順位が逆転しているのは、このような影響によると考えられる。

RI では、Hicks が 1 位、Narin が 2 位となる。Narin は Hicks だけしか引用していないので、Hicks は Narin の全評価値を受ける。加えて Ingwersen と Noyons からも受けたので高い評価値となった。RI は引用元の評価値から決定するため引用者と被引用者の関係が重要な要素であることが分かる。

上記の考察より、各評価指標に影響を及ぼす要因は、表 10 のようにまとめられる。このように 4 つの指標は、いずれも被引用数に基づいているが、異なる特徴を持つことが判る。

表 10 : 各指標に影響を及ぼす要因

要因 \ 指標	TCM	DCM	KPM	RI
生産量		◎	○	
被引用数	◎	○	○	○
引用元の被引用数		○	○	◎
引用元の総引用数			○	

## 6.2 RI の特徴

TCM は、単純カウントであるので被評価者の全体集合から被引用数の多い被評価者（ハブと呼ぶ）がよく分かるモデルであるのに対して、DCM, KPM, RI は、引用元の評価値を引用先に配分するモデルである。表 10 が示すように、RI は引用元の引用数の影響が強いため、ハブの引用数が少数



である場合、ハブから引用を受けた被評価者群が上位に集中する傾向がある。上位集合を取れば、ハブを核としたコミュニティが形成される。RIは、被評価者の全体集合からTCMでは必ずしも明確に現れなかったインパクトの高いコミュニティを抽出するモデルともいえる。ただし、RIを用いてインパクトを計測するためには、評価対象者が近い関係、例えば、同時代に活躍した人、かつ同分野であることが望ましい。逆に、異分野間や異なる時代の研究者のインパクトを評価することは、避けるべきである。

### 6.3 除外された評価対象者について

インパクト評価の対象として検索され、抽出される著者集合には、本来の分析対象ではない異分野の著者が混入する可能性がある。5.において当初作られたSet Aには、このような著者が含まれていると考えられる。適正な分析をするためには、標本に混入した分析対象外のデータを除去する必要がある。

そこで、Set Aに評価対象者間の一方向引用のフィルタをかけることによりSet Bを抽出した。この結果、Set Aには含まれるが他の著者と全く引用・被引用関係のないKaminerが除外された。この過程は、異なるコミュニティに属する著者を対象から除く手法として妥当と考えられる。

RIを求めるためには、さらに、著者グラフが再帰・強連結であることが必要であるため、その条件を満たさないKostoff, Luukkonen, Van den Bergheを除外したSet Cを用いた。しかし、これらの3人は一方向の引用関係を持っているので、異分野の著者とするのは適当でない。このことは、今回提案したRIの弱点であり、改善の余地がある。

### 6.4 同一機関内引用の考察

評価対象の11人のうち、6人がそれぞれ2人づつ3機関に所属していた。同一機関内引用と機関

外引用との差を以下に考察する。

Noyonsとvan Raanは、ライデン大学中央理工研究所(Leiden Univ, Ctr Sci & Technol Studies)に所属している。Noyonsは、van Raanの1論文を引用しており、かつvan RaanもNoyonsの2論文の引用している。GrantとLewisonは、ウエルカム財団(The Wellcome Trust)に所属している。GrantはLewisonの4論文を引用しており、LewisonはGrantの2論文を引用している。HicksとNarinは、米国のCHI(Comp Horizons Inc)に所属している。HicksはNarinの1論文を引用し、NarinはHicksの2論文を引用している。同一機関内の所属する研究者間の相互引用は、3組全てに観測された。RIの評価値による順位は、CHIに所属する2人が1位と2位、ライデン大学の2人が3位と4位、ウエルカム財団の2人が9位と10位であった。これらから、RIは相互に関係が強い者が順位で接近する特徴があることが分かった。研究評価のような目的の指標値を考えるときは、同一機関内の相互引用を割引する方法や機関間評価値を求め、それを所属者に配分する方法などが考えられるが今後の課題とする。

## 7. 結論

論文の引用に基づくジャーナルコミュニティ評価、Webページの引用に基づくWebページ評価などの既存の研究を参考にして、論文や研究者のインパクトを評価する指標を考察した。論文を評価する方法として、TCM, DCM, KPMをモデル化して考え方と特徴を比較した。そして、3つのモデルを基礎にして、研究者のインパクトを評価する指標であるRIを導きだした。

従来の引用に基づく評価は、引用数を直接カウントする方法(TCM)であるが一般的であった。これに対して本論で考察した評価は、引用元のインパクトを引用先に反映させる方法(DCM, KPM, RI)である。

今後の課題は3点ある、最初に、DCM, KPM, RI

とも、全遷移確率が1になるよう、引用元の評価値が引用先に配分される。すなわち、引用文献数に反比例して、引用元論文がそれぞれの引用先に与える寄与（配分）は小さくなる。これは、レビュー論文などの引用が多い論文は、少ない論文における引用に比べ、引用から受ける影響度が軽いとする考えであり、ある面からは妥当と言えるが、議論を呼ぶ前提であるとも言える。また、3.5で述べたように、学術知識プールの導入が論文評価値に影響を及ぼすことがあるが、これも、引用元評価値を各引用先に分割配分することが原因である。このように設定したのは、固有値方程式が解を持つようにするという数学的理由によるものである。この点をより適切に取扱うことが第1課題である。

次に、DCM, KPM, RIに共通するもう1つの性質は、過去に発表された論文ほど高い評価を獲得する傾向を示すことである。この傾向を是正するには、評価値を発表後の経過年数で割る等の方法について検討することが第2課題である。

最後に、Set BからSet Cへの抽出過程で3人が除外されたが、3人には被引用があり同一のコミュニティだと考えられる。RIを適用する条件のうち、他の14人に引用がないため除外したが、本来なら評価対象として残すことが望ましい。RIに学術プールを組み込み、すべての著者と引用と被引用関係を確立させ、評価者の適用範囲が広いモデルを研究することが第3課題である。

本件研究から、研究者のインパクトを評価する際に注意すべき点は、共同研究グループや共著者として同一の所属先に勤務する研究者への影響が強く現れることである。RIを用いて研究者のインパクトを評価する際には、十分にこの点に配慮する必要がある。これらのことを考慮すれば、RIは研究者のインパクトを評価する指標になると考える。

ここで提案した方法は、同じ分野（研究コミュニティ）に属する同時代の研究者の間で行うべきだが、今回の計量書誌学研究者への適用例は、同分野ではあるが同年代か否かについては十分検討

していない。従って計算された評価値はあくまで参考値であることを付記する。

## 謝辞

本論をまとめるにあたって、筑波大学大学院図書館情報メディア研究科 緑川信之教授のご指導を賜り、深く感謝いたします。

## 注・文献

- [1] 独立行政法人日本学術振興会. 平成18年度科学研究費補助金公募要領. 2005, 83p.
- [2] 文部科学省科学技術・学術政策局調査調整課. 我が国の研究活動の実態に関する調査報告(平成15年度). 2004, 140p.
- [3] Garfield, E. Citation indexing: Its theory and application in science, technology and humanities. New York, Wiley, 1979, 274p.
- [4] Baird, L. M.; Oppenheim, C. Do citations matter? *Journal of Information Science*. vol. 20, no. 1, 1994, p. 2-15.
- [5] Liu, M. The complexities of citation practice: A review of citation studies. *Journal of Documentation*. vol. 49, no. 4, 1993, p. 370-408.
- [6] MacRoberts, M. H.; MacRoberts, B. R. Problems of citation analysis: A critical review. *Journal of the American Society for Information Science*. vol. 40, no. 5, 1989, p. 342-349.
- [7] MacRoberts, M. H.; MacRoberts, B. R. Problems of citation analysis. *Scientometrics*. vol. 36, no. 3, 1996, p. 435-444.
- [8] Smith, L. C. Citation analysis. *Library Trends*. vol. 30, no. 1, 1981, p. 83-106.
- [9] Rinia, E. J.; van Leeuwen, T. N.; van Vuren, H. G.; van Raan, A. F. J. Comparative analysis of a set of bibliometric indicators and central peer review criteria: Evaluation of condensed matter physics in the Netherlands. *Research Policy*. vol. 27, no. 1, 1998, p.95-107.

- [10] Oppenheim, C. The correlation between citation counts and the 1992 Research Assessment Exercise ratings for British library and information science university departments. *Journal of Documentation*. vol. 51, no. 1, 1995, p. 18-27.
- [11] Oppenheim, C. The correlation between citation counts and the 1992 Research Assessment Exercise ratings for British research in genetics, anatomy and archaeology. *Journal of Documentation*. vol. 53, no. 5, 1997, p. 477-487.
- [12] Norris, M.; Oppenheim, C. Citation counts and the Research Assessment Exercise V: Archaeology and the 2001 RAE. *Journal of Documentation*. vol. 59, no. 6, 2003, p. 709-730.
- [13] Aksnes, D. W. Citation rates and perceptions of scientific contribution. *Journal of the American Society for Information Science*. vol. 57, no. 2, 2006, p. 169-185.
- [14] Moravcsik, M. J.; Murugesan, P. Some results on the function and quality of citations. *Social Studies of Science*. vol. 5, 1975, p. 86-92.
- [15] Chubin, D. E.; Moitra, S. D. Content analysis of references: Adjust or alternative to citation counting? *Social Studies of Sciences*. vol. 5, no.4, 1975, p. 423-441.
- [16] Small, H. Citation context analysis. *Progress in Communication Sciences*. vol. 3 1982, p. 287-310.
- [17] Moed, H.F. *Citation analysis in research evaluation*. Dordrecht, Springer, 2005, 346p.
- [18] Peters, H. P. F.; van Raan, A. F. J. On determinants of citation scores: A case study in chemical engineering. *Journal of the American Society for Information Science*. vol. 45, no. 1, 1994, p. 39-49.
- [19] Folly, G.; Hajtman, B.; Nagy, J. I.; Ruff, I. Some methodological problems in ranking scientists by citation analysis. *Scientometrics*. vol. 3, no. 2, 1981, p. 135-147.
- [20] Glanzel, W.; Thijs, B.; Schlemmer, B. A bibliometric approach to the role of author self-citations in scientific communication. *Scientometrics*. vol. 59, no. 1, 2004, p. 63-77.
- [21] Glanzel, W.; Thijs, B. World flash on basic research: The influence of author self-citations on bibliometric macro indicators. *Scientometrics*. vol. 59, no. 3, 2004, p. 281-310.
- [22] Thijs, B.; Glanzel, W. The influence of author self-citations on bibliometric meso-indicators: The case of European universities. *Scientometrics*. vol. 66, no. 1, 2006, p. 71-80.
- [23] Moed, H. F.; Burger, W. J. M.; Frankfort, J. G.; van Raan, A. F. J. The use of bibliometric data for the measurement of university research performance. *Research Policy*. vol. 14, no. 3, 1985, p. 131-149.
- [24] van Raan, A. F. J. Advanced bibliometric methods as quantitative core of peer review based evaluation and foresight exercises. *Scientometrics*. vol. 36, no. 3 1996, p. 397-420.
- [25] Van den Berghe, H.; Houben, J. A.; de Bruin, R.E.; Moed, H. F.; Kint, A.; Luwel, M.; Spruyt, E. H. J. Bibliometric indicators of university research performance in Flanders. *Journal of the American Society for Information Science*. vol. 49. no. 1, 1998, p. 59-67.
- [26] van Raan, A. F. J. "The Pandora's Box of citation analysis: Measuring scientific excellence, the last evil?" *The Web of Knowledge: A Festschrift in Honor of Eugene Garfield*. Cronin, B; Atkins, H. B. ed. American Society for Information Science,

- 2000, p. 301-319
- [27] Katz, J. S. The self-similar science system. *Research Policy*. vol. 28, no. 5, 1999, p. 501-517.
- [28] Seglen, P. O. The skewness of science. *Journal of the American Society for Information Science*. vol. 43, no. 9, 1992, p. 628-638
- [29] Seglen, P. O. Causal relationship between article citedness and journal impact. *Journal of the American Society for Information Science*. vol. 45, no. 1, 1994, p. 1-11.
- [30] Pinski, G.; Narin, F. Citation influence for journal aggregates of scientific publications: Theory, with application to the literature of physics. *Information Processing & Management*. vol. 12, no. 5, 1976, p. 297-312.
- [31] Shirabe, M.; Fujigaki, Y. The introduction of economic methods to scientometrics: The citing-cited table and the autopoietic systems of citations. *Scientometrics*. vol. 47, no. 1, 2000, p. 117-130.
- [32] Page, L.; Brin, S.; Motwani, R.; Winograd, T. The PageRank citation ranking: Bringing order to the web. *Publication Server of Stanford Database Group*. 1998, 17p. (online), available from <<http://dbpubs.stanford.edu:8090/pub/1999-66>>, (accessed 2006-07-29).
- [33] Dominich, S.; Skrop, A. PageRank and interaction information retrieval. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. vol. 56, no. 1, 2005, p. 63-69.
- [34] 福島俊一. 検索エンジンの仕組みと技術の発展. *情報の科学と技術*. vol. 54, no. 2, 2004, p. 66-71
- [35] 根岸正光. 学術情報の流通と利用 *情報学とはなにか*. 東京. 丸善株式会社. 2002, p.43-69.

(2006年1月21日 受付)

(2006年9月26日 採録)

(2007年3月12日 出版)