

平成 25 年度
「リサーチ・アドミニストレーターを育成・確保するシステムの整備」
(研修・教育プログラムの作成)

15.研究力調査・分析手法

分析手法の概説と実践

早稲田大学 研究戦略センター 教授

松永 康

目次

シラバス	1
1 新しい評価指標	2
1.1 g 指数 (g-index)	2
1.2 新しい雑誌の評価指標	4
2 アンケート調査をする場合の標本数	6
2.1 有限母集団	6
2.2 必要標本数と母集団数との関係	8
2.3 回答に順序がある場合の検定	9
3 共語分析	13
4 多変量分析	15
4.1 主成分分析	15
4.2 簡単な事例と軸の見方	16
5 クラスタ分析	18
5.1 多次元尺度法	18
5.2 分割法 (k-means 法)	20
5.3 階層的クラスタリング	22
6 日本の主要大学ランキング低下の一要因—統計量から—	26
7 論文数・被引用数データ比較、論文数シェアに基づく類型化	28
8 研究ポートフォリオとプロファイリング	31
8.1 主要大学の研究ポートフォリオ比較	31
8.2 各研究領域・分野ごとの研究力の調査および学外研究動向の調査・比較	33
8.3 若手研究者の領域マップと研究者ポートフォリオ事例	34
9 国際共同研究と被引用度の相関	37
10 ツールで何がわかるか	40
10.1 被引用数の経時変化	40
10.2 ボストンマトリックス	41
11 演習課題例	45
12 まとめ	51
参考文献 一覧	52
著者略歴	54

シラバス

研修科目名	研究力調査・分析手法 分析手法の概説と実践
形式	講義 2 回
目的 及び概要	大学の研究力を分析し、戦略を立てる際の分析手法を概説する。計量書誌学的方法、各種ランキング、各種公開データを活用し、研究のトレンドを考察し各大学の立ち位置を把握する。既存の分析ツールの利用例も紹介する。
キーワード	新しい書誌学の指標、g-index、標本数、カイ 2 乗分布、共語分析、主成分分析、クラスター分析、樹形図、国際共同研究と被引用度、研究者ポートフォリオ、ポストンマトリクス、データからの大学の特徴抽出
計画	新しい書誌学の指標、標本数の注意点、分析手法概説、国際共同研究と被引用度の相関、大学の類型化、研究者ポートフォリオ、ツールで何がわかるか 演習課題としてデータから大学の特徴を抽出する
達成目標	論文数などのデータから大学の特徴を抽出できること。分析ツールを使いこなした上で、研究者・研究分野のマッピング等を行い、大学・部局等の研究特性の組織的把握ができること。研究教育資源の有効活用を前提に、拠点形成やチーム型研究の模擬戦略案を提示できること。
教材・資料	『研究評価・科学論のための科学計量学入門』『科学計量学の挑戦』『テキストデータの統計科学入門』『多変量解析入門』『データマイニングと集合知』『数理統計学』『多次元データ解析法』NISTEP の公開資料他
講師プロフィール※	大学における研究推進部長等
対象レベル※※	中級
想定される予備知識	確率・統計を履修した大学学士課程修了者程度

※ 想定する講師のイメージ、要件

※※ 初級：経験年数 1～5 年*、中級：5～10 年、上級：10～15 年以上(スキル標準による定義)* 経験年数は、エフォート率 30～50% を想定

1 新しい評価指標

初級編「研究力調査・分析入門」で示したように IF や h-index は単純で理解しやすいし、よく用いられる表計算ソフトで簡単に計算できるのだが、種々の問題があることも事実である^{17),18),19)}。本章では、比較的最近開発されたこれらの欠点を補う指標を紹介する。

1.1 g 指数 (g-index)

h 指数で問題となる高引用論文価値の取り込みと論文推移依存を克服するために g 指数というものが 2006 年に開発されている¹⁾。図 1.1 は、かなり極端だが、赤と青の 2 人の研究者の業績を、横軸に被引用数を降順に並べたものを取り、縦軸にその論文の被引用数を取ったものである。ここで、両者とも h 指数は 1 である。

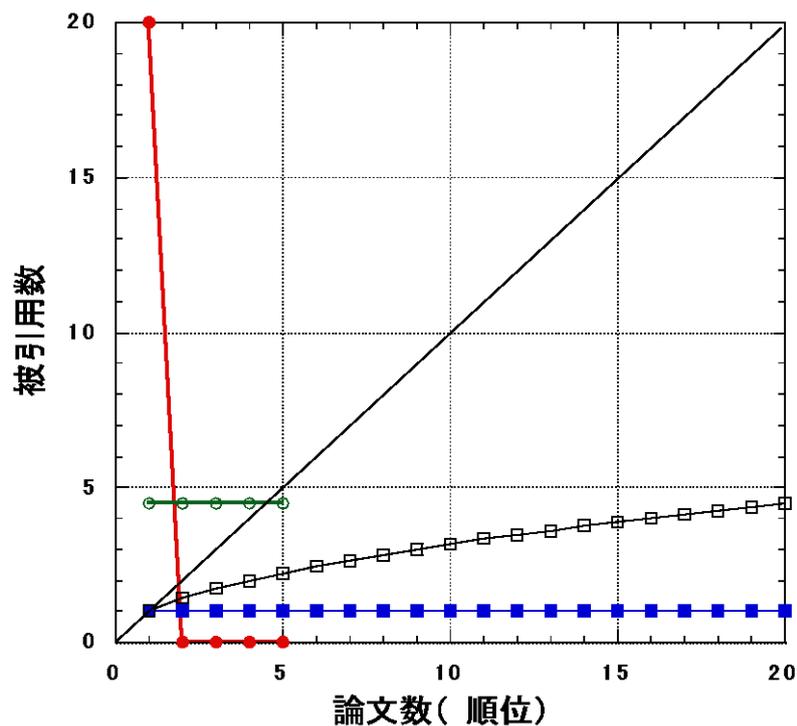


図 1.1 g 指数。h 指数が同じでも g 指数は異なる例。赤と青が 2 人の研究者の h 指数に基づく研究業績例で、引用数の和を取ってその平方根を取ったものが、緑の中抜き丸（赤の研究者）と黒の中抜き四角（青の研究者）である。両者とも h 指数は 1 であるが、g 指数なら赤が $g=4$ 、青が $g=1$ と赤の研究者の指数が上まわる。

ところが、引用数の和を取ってその平方根を取ったのが、緑の中抜き丸と黒の中抜き四角である。h 指数と同様に $y=x$ の直線を引いた場合、それが逆転する直前の被引用数の値が g 指数である。この事例の場合、緑の白抜き丸では $g=4$ 、黒の中抜き四角では $g=1$ と、赤の研究者の g 指数の方が高くなる。すなわち、高被引用論文の影響が大きく出るのである。ただし、この例はもちろん極端な場合で、赤の研究者はただひとつの論文の被引用数しか存在しない。さて、式で定義すると g 指数は以下のようなになる。

$$g^2 \leq \sum_{i \leq g} c_i \quad (1.1)$$

ここで、 g は g 指数、 c_i は被引用数で、和は g^2 を超えない論文まで取ることになる。すなわち、上位 g 番目までの論文の被引用数の総和が g^2 以上となる最大の g を g 指数と呼ぶ。g 指数は h 指数と同じように計算が簡単であり、論文数、被引用数、かつ高被引用数の 3 つの指標を反映させた指数である。

そのほか h 指数の改良版にあたる k 指数とか m 指数などいろいろな指数が開発されているが^{9),10)}、本章での説明は割愛する。確かにいろいろな指標が開発されてはいるが、URA (University Research Administrator) は、実用上は表計算ソフトで簡単に計算できる g 指数ぐらいまで知っておけば十分と考える。

参考までに、やはり、h 指数と g 指数が逆転する例を図 1.2 に示す。

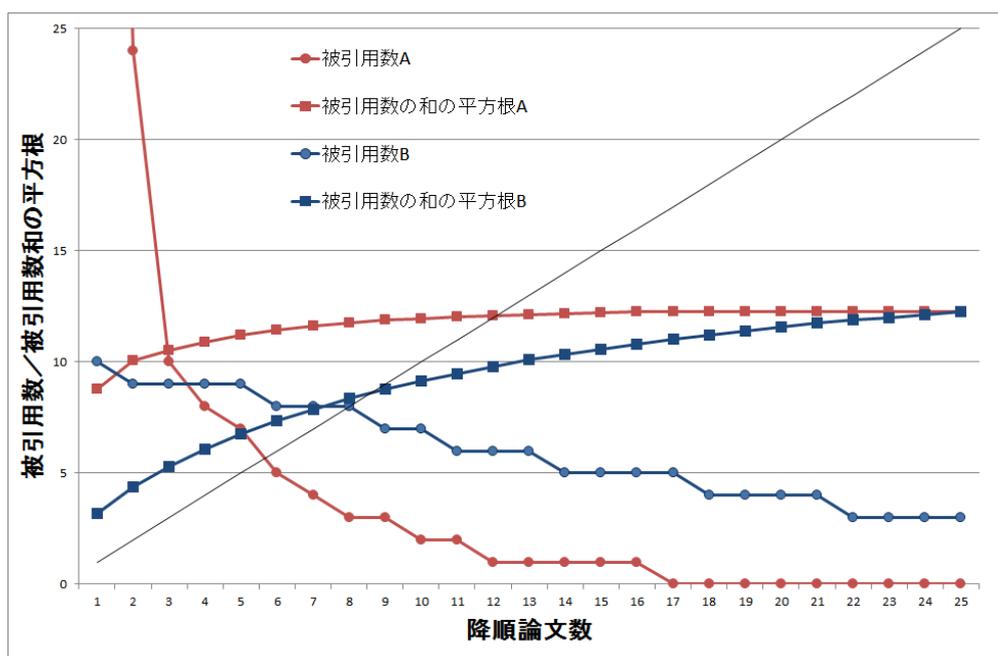


図 1.2 2 人の研究者の h 指数と g 指数の比較。赤の研究者は h 指数 5

だが **g 指数 12**、青の研究者は **h 指数 8** だが **g 指数も 8**。h 指数では、赤の研究者が上だが、g 指数では逆転する。

図 1.2 の例では、赤の研究者は **h 指数 5** だが **g 指数は 12**、青の研究者は、**h 指数 8** で **g 指数も 8** である。h 指数は研究者の打率を表すから、青の研究者はコンスタントに被引用数のある論文を書いているといえる。一方、赤の研究者は、3 報ほど高被引用論文を書き、うち一報は、図 1.2 の軸に示せないほどの高被引用論文である。つまり赤の研究者はホームランを打ったと考えてよい。このため **g 指数が 12** と青の研究者を上まわるのである。g 指数はホームランすなわち高被引用論文の影響を反映することができるのである。初級編「研究力・調査分析入門」でも示したように高被引用論文は研究者目線からの評価が高くなる。なぜなら高被引用論文は新たな分野の開拓や新たな発見をしたことを意味すると理解されているからである。つまり研究者目線の指数が **g 指数** ともいえる。

しかし現実には、**g 指数** だけで研究者の業績を論じるのはやはり危険である。第 1 に分野間の補正は相変わらずなされていない。第 2 に、図 1.1 に示した例では赤の研究者は **5 報** しか論文を書いていない少産の研究者であり、**1 回** だけホームランを打ったような状況である。図 1.2 でも同様のことがいえる。野球と同じようにアベレージ打者を評価するか、ホームラン打者を評価するかは状況によって異なるのである。

1.2 新しい雑誌の評価指標

最近の動向として、IF に変わる雑誌の評価指数を紹介しておく。ここでは、主に、WOS (Web of Science®) と SCOPUS® で用いられている指数を示すが、学術的にもっと一般化した指数も存在し、新たな評価指標の開発 (先に紹介した **g 指数** や **m 指数**、**k 指数** など) は、情報科学の一分野を築いている^{9),10)}。

WOS は例えば IF の改良版を提供している。分野 (category) ごとの IF の情報提供や、IF の分布、5 年の IF、自己引用を除いた IF などである¹¹⁾。また、被引用数の寿命の指標も提供している。

一方、SCOPUS は、SNIP (Source Normalized Impact per Paper)¹²⁾ と呼ばれる分野の補正を考慮した IF や¹⁾、ネットワーク理論から分野ごとの雑誌の引用のされ方を解析し、その重要性を指標化した

¹ <http://www.journalmetrics.com/>

SCImago Journal Rank (SJR) を提供している²。

また、トムソン・ロイターは JCR (Journal Citation Reports®) に IF に変わる新しい指標である Eigenfactor™を付けて提供している³。Eigenfactor は雑誌間の引用に重み付けをしている⁴。これは規格化された相互引用行列をどんどんかけていって収束したところでスペクトル分解、つまり固有値と固有ベクトルを求めて指標化するものである。引用行列については後ほど事例を記すことにする。Eigenfactor の方が、いわゆるその分野で定評のある雑誌が上位に来ることが多く、研究者の実感に近いといわれている。

² <http://www.scimagojr.com>

³ <http://www.eigenfactor.org/index.php>

⁴ Eigenfactor の考え方はグーグルのページランクと同じである。ページランクは、1. 数多くのウェブサイトからのリンク、2. ページランクの高いウェブサイトからのリンク、3. リンク先を厳選したウェブサイトからのリンクをウェブサイトの関係を表現する行列から計算する。

2 アンケート調査をする場合の標本数

URA はアンケート調査を行う場合も多いと考える。ここでは、その時の標本数（母集団に対する回答数）に関する注意点、並びに回答に順序がある場合の検定の例を示しておく。

2.1 有限母集団

学内研究者対象やシンポジウムのアンケートなど、母集団が有限 N の場合の誤差をある範囲に収めるための必要サンプル数 n との関係を以下に示す²⁾。正規母集団を仮定すると誤差は以下の関係式 (2.1) で記すことができる。

$$\begin{aligned} |P-p| \leq e &= K_{\alpha/2} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \\ &= K_{\alpha/2} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \frac{\sigma^2}{n} \end{aligned} \quad (2.1)$$

大文字の P は、母集団比率であり、一般に最も安全な $P=0.5$ ととればよい。小文字の p は抽出した標本が示す確率であり、推定値に変換可能な量である。 e が設定する誤差 ($0 < e < 1$) であり $\pm e$ で表すものとする。 α は有意水準（危険率）であり、通常の場合 0.05 とし、 95% を信頼度とする。正規分布の場合、図 2.1 の白部分の面積が 95% の信頼区間である。 K は、有意水準 α によって決まる値で 1.96 とすればよい。 σ^2 は、母集団の分散である。なお、比較的よく現れる 2 項分布集団は正規分布集団で近似できるので、ここでは、正規分布母集団の場合のみを議論する。

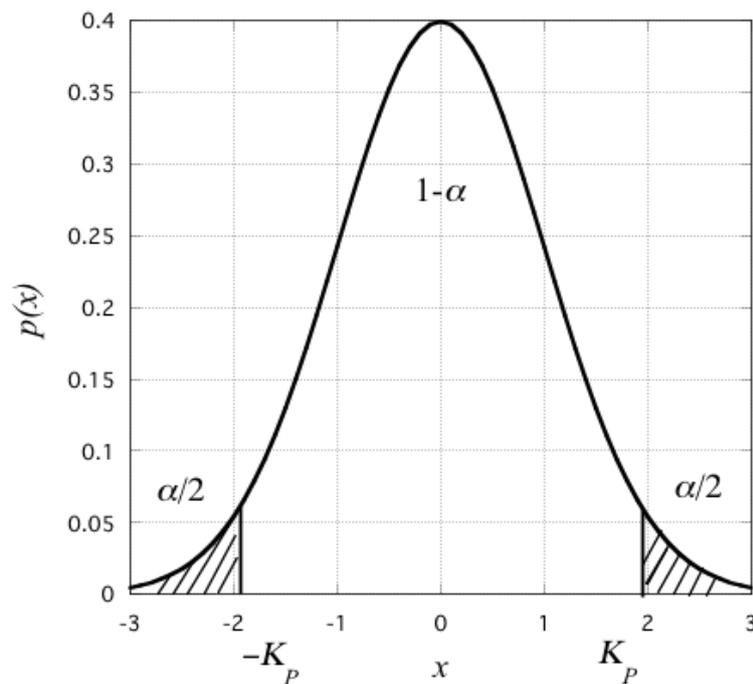


図 2.1 正規分布の棄却域と信頼区間。斜線の面積が、棄却域。有意水準 $\alpha=0.05$ の場合は、正規分布より $K=1.96$ が閾値となる。

式(2.1)は、数式で書くとややこしいように見えるが、要するに正規分布の有限母集団数 N を仮定した時に、どのくらいの回答数 n があれば、どのくらいの確度つまり誤差か、ということを示したものである。 N は、例えばアンケート対象とする学内研究者数、小文字の n が回答数である。その時、式(2.1)に示したように、誤差 e は、このような非線形関数になるのである。通常回答数が多ければそれだけ誤差が少ないと考えられる。それが一番後ろの $1/n$ の項に現れている。以下の式(2.2)が、注意すべき項である。

$$\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad (2.2)$$

式(2.1)と(2.2)でいいたいことは、母集団が有限数の場合は、補正項がつくということである。正確には、母集団が有限数の非復元抽出（取り出した標本を母集団に戻さない過程）の場合である。この補正は、有限母集団での分散を正直に計算してみれば、式(2.1)が出てくることがわかる²⁾。また、式(2.2)は、当然 N が無限大で 1 となる。

2.2 必要標本数と母集団数との関係

さて、式(2.1)を眺めているだけでは議論が進まないので、今度は、誤差を与えて、これを N と n の関係式に書き直す。すると、式(2.3)のようになる。

$$n \geq \frac{N}{\left(\frac{e}{K_{\alpha/2}}\right)^2 \frac{(N-1)}{P(1-P)} + 1} \quad (2.3)$$

式(2.3)での変数は N であり、誤差 e を与え、他の定数も代入して図示すると、図 2.2 と図 2.3 のようになる。横軸が N で縦軸が n である。

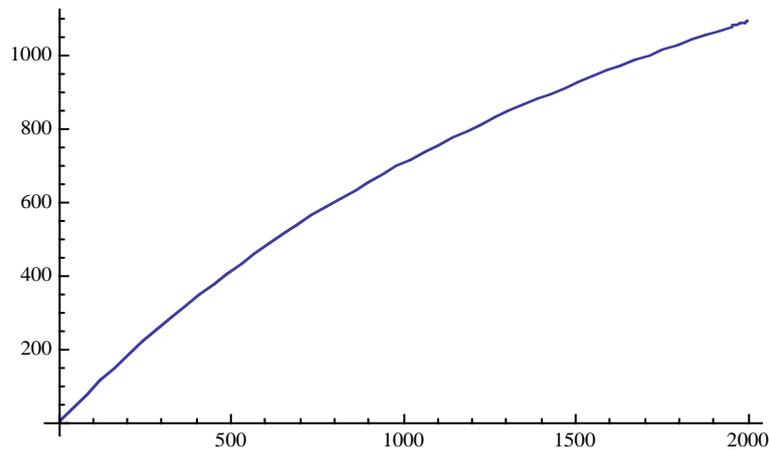


図 2.2 $e=0.02$ の場合の N と n の関係。 $K=1.96$, $P=0.5$ とした。横軸は、母集団数 N で縦軸は、抽出に必要な標本数 n である。

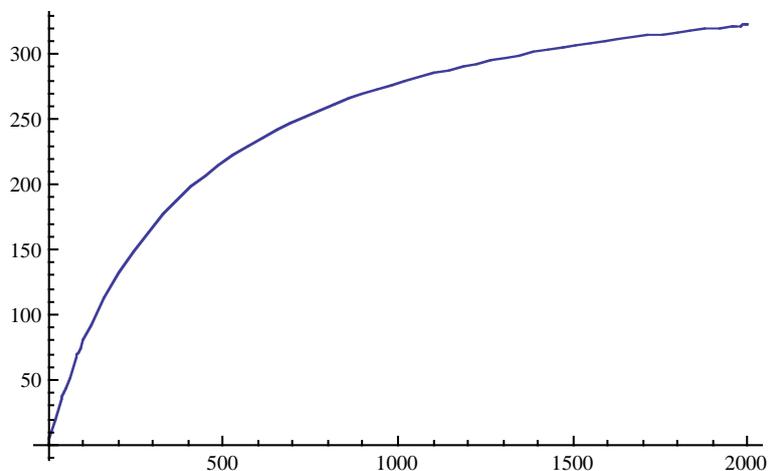


図 2.3 $e=0.05$ の場合の N と n の関係。 $K=1.96$, $P=0.5$ とした。横軸は、

母集団数 N で縦軸は、抽出に必要な標本数 n である。

図 2.2 と図 2.3 に示したように $n-N$ の関係曲線が非線形なので、母集団数 N が少なくなると誤差の範囲に収まる必要な回答数 n (標本数) の割合、つまり n を N で割ったもの、が高くなることに注意しなければならない。例えば、図 2.3 より、2000 人の母集団調査数に対して 322 人の回答があれば、誤差 e は 0.05 の範囲内にあり、この時の n/N の割合は、16%程度である。ところが、1000 人なら 277 人で、28%が必要であり、500 人なら 218 人と、44%もの回答が必要になるのである。母集団が少なくなると誤差範囲に収まる必要となる回答数の割合が高くなることははっきりわかる。

大抵のアンケート調査は有限母集団で非復元抽出の場合であるから、母集団が多ければ多いほど信頼度が高くなる。一方、元々母集団が少ない場合は、より一層回収率を上げる努力をしなければならないのである。なお、式(2.3)あるいは図 2.2 において、誤差 e を 0.02 に設定すると、 $N \rightarrow \infty$ のとき、 $n=2401$ に収束することがわかる。これは、内閣支持率などの一般的な世論調査では約 3000 人の抽出した標本数が目安となっていることの根拠である。日本の有権者数約 1 億人のうち、たった 3000 人調査すれば、誤差 2%の範囲内で支持率等がわかるのである。この割合は、なんと 0.003%に過ぎないのである。

2.3 回答に順序がある場合の検定

アンケート調査では、是非必要、必要、不要、絶対不要など質問に順序をつけて回答してもらった場合も多く見られる。そのような順序づけがある場合の検定の仕方の典型例を紹介しておこう。

片方に順序がありそれにスコアを割りつける検定は一般化されたマンテル検定と総称されるが、特にウィルコクソン・スコアを用いた一般化マンテル検定を紹介しておく³⁾。

表 2.1 国際共同研究に関する順序別のアンケート調査結果

	是非実施 したい	実施した い	どちらで もよい	実施した くない	計 (人)
若手研究者	95	91	77	38	301
シニア研究者	128	145	157	70	500
計 (人)	223	236	234	108	801

初級編「研究力・調査分析入門」では、 2×2 のクロス集計にまとめてカイ2乗検定を行う事例を示したが、表2.1のような複数の回答（この場合は4つ）の中から選ぶ調査はかなり頻繁に行われる。初級編第7章に記した事例においては、その元々の調査は4択から選んでそれを 2×2 のクロス集計に縮約した結果と考えてもらえばよい。さて、表2.1の結果から統計量を計算して、初級編第7章と同様の結論が得られるであろうか。検定すべき帰無仮説 H_0 、対立仮説 H_1 を再度記しておこう。

H_0 : 若手・シニア研究者と国際共同研究の意識は無関係である。

H_1 : 若手・シニア研究者と国際共同研究の意識には差がある。

まず割合と期待値は、初級編と全く同様に計算でき、表2.2と表2.3のようにまとめられる。

表 2.2 国際共同研究に関する順序別のアンケート調査結果割合

	是非実施 したい	実施した い	どちらで もよい	実施した くない	計 (人)
若手研究者	31.6%	30.2%	25.6%	12.6%	100.0%
シニア研究者	25.6%	29.0%	31.4%	14.0%	100.0%
計 (人)	27.8%	29.5%	29.2%	13.5%	100.0%

表 2.3 国際共同研究に関する順序別のアンケート調査結果の期待値

	是非実施 したい	実施した い	どちらで もよい	実施した くない	計 (人)
若手研究者	83.8	88.7	87.9	40.6	301.0
シニア研究者	139.2	147.3	146.1	67.4	500.0
計 (人)	223	236	234	108	801

初級編と異なるのは回答が4つになり順序がついている点である。これをどう反映させるべきであろうか。すぐ思いつくのは、列側に示した回答に重み付けをすることであろう。例えば、「是非実施したい」を4点、「実施したい」を3点、「どちらでもよい」を2点、「実施したくない」を1点、などとして、カイ2乗分布で検定できる統計量を計算することである。実際そのような検定法の手続きを以下に示すが、重み付けのやり方にコツがある。よく用いられるのが、ウィルコクソン・スコアと呼ばれるものである³⁾。これを式(2.4)に示す。

$$c_1 = \frac{1+n_1}{2}$$

$$c_j = \sum_{i < j} n_i + \frac{1+n_j}{2}, \quad j=2,3,\dots, m \quad (2.4)$$

今の場合 $m=4$ で、 n_i は、各列の総和である。例えば $n_1=223$, $n_4=108$ などを表す。式(2.4)より重みのスコアは、

表 2.4 重みのためのスコア値

c_1	c_2	c_3	c_4
112	341.5	576.5	747.5

と得られる。さて、後は初級編とほぼ同様に考えればよいのだが、若干異なる点もある。そのため少し一般化して説明しておく。最後にはカイ 2 乗分布の境界値を用いて仮説の棄却の有無を判断する。計算すべき統計量は、

$$\chi_w^2 = \frac{A+B}{W}$$

$$A = \frac{(c_1(a_1 - \bar{a}_1) + \dots + c_4(a_4 - \bar{a}_4))^2}{a} \quad (2.5)$$

$$B = \frac{(c_1(b_1 - \bar{b}_1) + \dots + c_4(b_4 - \bar{b}_4))^2}{b}$$

$$W = \frac{(c_1 - \bar{c})^2 n_1 + \dots + (c_4 - \bar{c})^2 n_4}{N-1}$$

である。ただし、

$$\bar{c} = \frac{c_1 n_1 + \dots + c_4 n_4}{N} \quad (2.6)$$

はスコアの期待値である。他の量は、表 2.5 で定義されるところ。なお式(2.5)中の \bar{a}_i 等は期待値を表し、表 2.3 で与えられている。

表 2.5 2×4 のクロス集計表

質問 A/質問 B	回答 1	回答 2	回答 3	回答 4	計
回答 a	a_1	a_2	a_3	a_4	a
回答 b	b_1	b_2	b_3	b_4	b
計	n_1	n_2	n_3	n_4	N

式(2.6)よりスコアの期待値は、表 2.4 の値を用いて $\bar{c} = 401$ と計算される。また、式(2.5)と式(2.6)、表 2.1 から表 2.5 より、

$$A = 127254.9$$

$$B = 76607.4$$

$$W = 49543.3$$

と計算できるから、求めるべき統計量は、

$$\chi_w^2 = \frac{127254.9 + 76607.4}{49543.3} = 4.1148 > \chi_0^2(1, 0.05) = 3.841$$

となる。これは、有意水準 5% の場合の自由度 1 のカイ 2 乗分布の閾値 3.841 を超えている。したがって、初級編同様に仮説 H_0 は棄却され、 H_1 が成り立つ。すなわち、若手研究者の方が、国際共同研究の実施をより求めていることになる。したがって、やはり若手研究者への支援を優先させることは理にかなっているといえる。

3 共語分析

初級編では引用数に注目した分析手法を概説した。引用分析は確かに客観的ではあるが、論文の内容まで踏み込んではいない。本章では、論文の内容に踏み込むための基本手法を示しておこう。

語の出現頻度を複数の雑誌単位や論文単位で比較することを共語分析という。語の頻度の類似性は当然論文の関係が深いことを表す。また語の関係まで踏み込んで分析すれば内容の構造化やクラスタリングが可能となる⁴⁾。共語分析は、情報科学のテキストマイニングの一種と考えるてもよい。

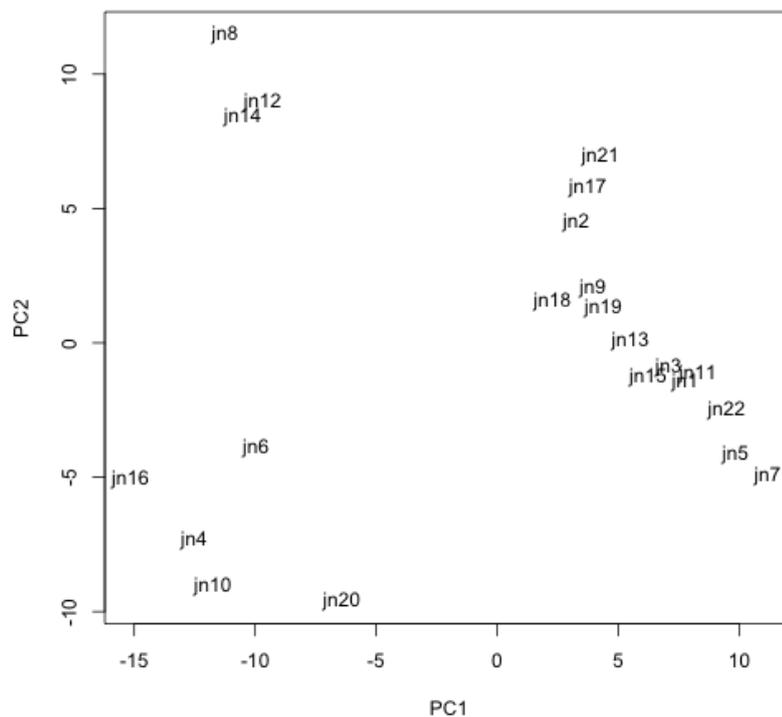


図 3.1 雑誌のキーワードをもとにした第 1 固有ベクトル（第 1 主成分得点）と第 2 固有ベクトル（第 2 主成分得点）を軸とした散布図（分散共分散行列を使用）

図 3.1 はある雑誌群の語の出現頻度によって、雑誌の類似性を散布図に示したものである⁵⁾。図の見方は、距離が近いものほど連関が高く、距離が遠いものほど連関がないと解釈すればよい。また、原点付近に位置する変数は、それぞれの軸成分とあまり相関のないものである。一方、両端に離れるほど相関が強くなる。原点を中心

として両端にある変数は互いに逆の性質をもっていることが一目で分かる。例えば、横軸を物理系の雑誌、縦軸を化学系の雑誌と解釈できたとする。すると、右側が物理系で、上側が化学系であるから、右上は、物理・化学両方に関連する雑誌であると解釈され、右下は物理特有の雑誌、左上は化学特有の雑誌、左下は物理・化学にほぼ関係ない雑誌となる。このように図 3.1 の例では雑誌分類が、左上（化学系）、右（物理系）、左下、と 3 分類ぐらいにまとまることが直感的にわかる。

共語分析は、次章に示す多変量解析の主成分分析の手法を用いることが多い。共語分析は語自体が変数であるから、詳しく解析しようとするほど変数が多くなり実行はなかなか大変である。しかも 4.1 節で説明する主成分、すなわち図 3.1 に示した横軸、縦軸の解釈が単純ではない場合も多い。軸、すなわち主成分の解釈は一般に変数が増加すればするほどやっかいになるからである。

4 多変量分析

本章では、先の章に続いて共語分析（変数となる語自体が多変量なので多変量分析となる）を行うための基本手法だけを示す^{5),6),7)}。共語分析は、科学計量学・計量書誌学から見た分析手法を指し、その目的を表している。一方、多変量分析は、統計学から見た言葉であり、多変量を扱う分析手法全般を指す。

4.1 主成分分析

共語分析に用いられる基本手法、すなわち多数の変数を扱うための手法のひとつに主成分分析がある。これは、多次元データのもつ情報をできるだけ損なわずに低次元空間に情報を縮約する方法で、頻繁に用いられる。多次元データを2次元・3次元データに縮約できれば、データ全体の雰囲気を見視覚化することができる。図3.1で例示したように視覚化により、データがもつ情報を解釈しやすくなるからである。

しかし、それほど難しく解釈することはなく、主成分分析といっても要するに語の出現頻度の行列の固有値問題を解くと考えてしまえばよい。以下に共語分析のための主成分分析の手順を示す。

① 母集団の語の分解と出現頻度のデータ作成

茶筌などのソフトで対象とする母集合の共出現語の品詞を分解し、コーパスソフトで必要語を抽出する。必要に応じてクロス集計を行う。Rなどの統計解析ソフトを用意する。

② データの変換

n （例えば雑誌名） $\times m$ （出現語名）のデータ行列から対称行列 R （分散共分散行列、相関行列、距離行列）を作成する^{5),6),7)}。

③ 線形変換の係数を求める

極値問題（ラグランジュの未定乗数法）として扱い、行列 R の固有値問題へ落とし込む。

④ 主成分の導出

相関行列 R （もちろん分散共分散行列でもよい）の第1固有値（最大固有値） λ_1 に対応する固有ベクトルから第1主成分 z_1 を求める。同様にして、第 k 主成分 z_k を求める（ $k = 2, 4, \dots, m$ ）。

⑤ 寄与率および累積寄与率の計算

それぞれの主成分の寄与率および累積寄与率を求める。「固有値が

1以上」ないしは「累積寄与率 80%を超える」を目安として主成分を選択する。これによって変数を減らすことになる。

⑥ 主成分と主成分得点の計算と解釈

主成分の意味について考察する。主成分や主成分得点を軸に個体を散布図にプロットし、サンプルの特徴付けや分類を行う。

表 4.1 データ行列例、数値は語の出現頻度

文献名 (個体) ＼共出現 語(変数)	magnetization	spin	superconductor	amorphous	silicon	…	m 番目
$J1$	120	90	30	12	0	…	
$J2$	90	38	0	100	130	…	
…	…	…	…	…	…	…	
Jn	25	85	89	10	25	…	

例えば、図 3.1 は表 4.1 に示した $n \times m$ 行列を作り、R 言語で①から⑥を行ったものである。列を変数とし、行を個体と呼ぶ。④⑤に示したように、固有ベクトルは変数の数 m だけ出てくるから、主要な主成分だけを取って解釈し、可視化するのである。その例が、図 3.1 である。

4.2 簡単な事例と軸の見方

次に簡単な例として、国語、社会、数学、物理、英語を変数とし、生徒 20 人の成績のデータを 4.1 節に示した手順にしたがって主成分分析した結果を図 4.1 に示す。共語分析に必要な 4.1 節の手順の①をあらかじめ与えたものと考えてもらえばよい。20 人にそれぞれ番号を振り、その番号で個体を表すものとする。主成分分析によって、変数が 5 つあったものが、2 つに縮約された。なお、手順②の解析する対称行列には分散共分散行列を用いた。

図 4.1 に目盛りが 2 種類あるのは、主成分（固有ベクトル）が黒（主成分軸の係数）、主成分負荷量が赤で表してある。赤いベクトルは各科目すなわち変数を表すベクトルである。赤は赤で示された軸だけにしか意味がない。この場合は、黒が個体の得点、赤が科目の得点を表す。各個体を赤いベクトルに射影した原点からの距離がその科目の能力を表す。主成分の解釈は、この場合は、横軸が総合力の得点、縦軸が理系向き成分の得点と解釈できる。例えば、9 の生

徒は理系科目は出来るが文系科目は不得手で、3はその逆である。10の生徒は総合力に優れ、5は学力不良である。

主成分得点は、主成分と個体データとの線形結合、すなわちこの場合行である個体との線形結合を作り得点化したもの。要するに、固有ベクトルの各成分の値と標準化した各科目の得点(平均を引き、標準偏差で割る z -スコアと呼ばれるもの)との積和である。主成分負荷量は、主成分と元の変数との相関係数に相当する。固有ベクトルの各成分の値と各固有値の平方の積和で定義する。この場合列である科目の線形結合を作り得点化したものである。

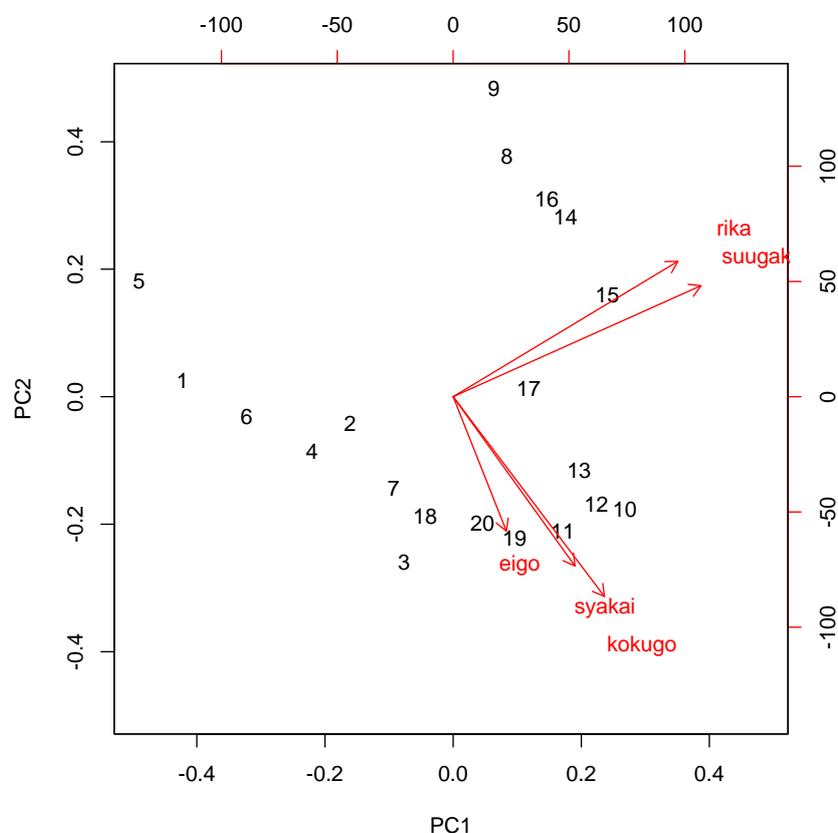


図 4.1 国語、社会、数学、物理、英語の成績を主成分分析した結果。横軸、縦軸は第 1、第 2 主成分の係数。第 1 主成分は総合力を表し、第 2 主成分は理系の能力を表すと解釈できる。赤のメモリは、各主成分負荷量を示し、赤いベクトルは主成分を定義したときの各科目を表すベクトル。赤いベクトルに個体（この場合は図中の数字）を射影したときの原点からの距離が科目の能力となる。

5 クラスター分析

次にクラスター分析でよく用いられる多次元尺度法 (MDS, Multi Dimensional Scaling) を紹介する。クラスター分析は、もちろん多変量分析の一種であるが、多変量分析は非常に大きな概念であるから、あえて本章を立てることとした。

5.1 多次元尺度法

高次元データ間の距離 (あるいは類似度) を、低次元、すなわち 2-3 次元におけるユークリッド距離に再配置する方法を多次元尺度法と呼ぶ。先に記した主成分分析と同様に高次元のデータから人間が認識できるマップを作るものと考えればよいのだが、データ間の距離 (あるいは類似度) が解析対象となる点が特徴的である。以下にその手順を説明する。

第 3 章の例示と同様に、雑誌の類似度を共語分析によって求め、それを MDS でマップ化するとしよう。第 3、第 4 章と同様にまず、データを表 5.1 のように $n \times m$ の行列 X_{nm} にまとめる。

表 5.1 データ行列 X_{nm}

列ベクトル	x_1	x_2	...				x_m
文献名 \ 共出現語 (変数)	magnetization	spin	superconductor	amorphous	silicon	...	
J_1	120	90	30	12	0	...	0
J_2	90	38	0	100	130	...	3
...						...	
J_n	25	85	89	10	25	...	10

次に、非類似度 (距離) か類似度 (相関係数、コサイン類似度) のどちらかで解析するかを決める。

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (j=1, \dots, n) \quad (5.1)$$

ここでは距離、しかも理解しやすいユークリッド距離を用いるもの

とする。式(5.1)に示すように文献 1、文献 2、…、文献 n のユークリッド距離を共語出現頻度で定義し、表 5.2 に示すような距離行列 D_{nn} を作る。

表 5.2 距離行列 D_{nn}

文献名 \ 文献名	J1	J2	…	Jn
J1	0	d_{12}	…	dn_1
J2	d_{21}	0	…	dn_2
…	…	…	0	…
Jn	dn_1	dn_2	…	0

データ座標値の平均（原点）がゼロとなるような線形変換を見つける。これは、ヤング・ハウスホルダー（Young-Householder）変換と呼ばれる変換である。すなわち、 D_{nn} を線形変換した行列 Z_{nn} の固有値問題に落とし込む。ここで、変換 Z_{nn} の要素は、

$$z_{ij} = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n \frac{d_{ij}^2}{n} + \sum_{i=1}^n \frac{d_{ij}^2}{n} - \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{d_{ij}^2}{n^2} - d_{ij}^2 \right) \quad (5.2)$$

で与えられることがわかっている。結局、距離 d_{ij} に対して式(5.2)に示した z_{ij} の変換を行うのである。後は行列のスペクトル分解、すなわち固有値、固有ベクトルを求め、数値化してプロットすればよい。固有ベクトルの得点（主成分得点と同じ）を散布図プロットすれば、特徴付けやクラスタリングができる。第 3 固有ベクトルの得点まで示せば 3 次元プロットとなり、雑誌の類似度の 3 次元マップ化ができる。図 5.1 にその例を示す。これは、図 3.1 にもう 1 軸追加したものと考えてもよい。図 5.1 の +z 方向から見た様子が図 3.1 に対応していることがわかるであろう。3 次元化することによって z 方向にも構造が現れ、より詳細な雑誌の分類の分析に使うことができる。本稿では静止画を記載しているけれども、今のソフトはドラッグして 3 次元プロットをあらゆる方向から見るので分析は容易である。

なお、多次元尺度法と主成分分析の違いは、多次元尺度法は他の距離や類似度が使えるという点にある。例えば、ユークリッド距離の代わりに類似度（相関係数など）を使えば、相関の高いもの同士が近い配置になるような図を作ることができる。多次元尺度法に用いる距離が、ユークリッド距離である場合（本節に示したのはユークリッド距離である）は、主成分分析の主成分得点の結果と等価と

なる。

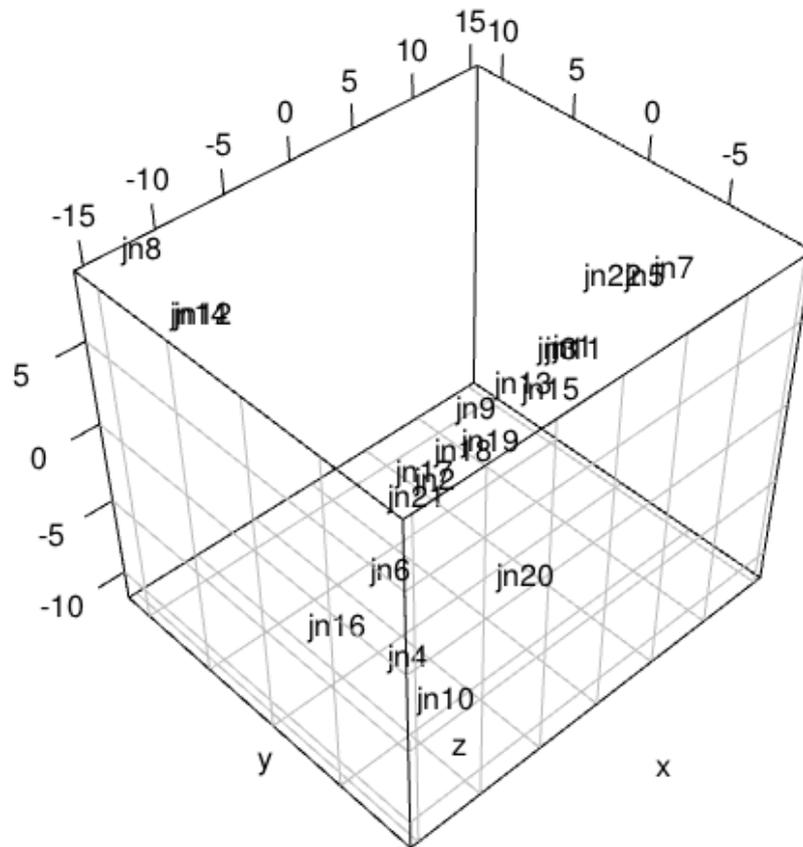


図 5.1 多次元尺度法の 3次元散布図

ここで手順を再度まとめておこう。

- ① データ行列を作る。
- ② 距離あるいは類似度で解析するかを選択する。
- ③ 距離を選んだ場合、データ行列より式(5.1)を用いて距離行列を作る。
- ④ データ座標値の平均（原点）がゼロとなる線形変換（ヤング・ハウスホルダー変換）を用いて、変換行列を作成する。
- ⑤ 主成分得点等を軸として要素を可視化する。

なお、非計量的 MDS は参考文献 5),6)を参照されたい。

5.2 分割法（k-means 法）

ここでは分割法について紹介する⁸⁾。非階層的クラスター法、パー

ティション法などとも呼ばれる。よく用いられる分割法である k -means 法を紹介する。 k -means 法は、クラスターの類似度を、対象とするオブジェクト（データ点）の値の平均、すなわち重心によって測る方法である。 k 個のクラスター数を最初に指定し、重心の再配置を繰り返していくものである。図 5.2 の場合、最初に $k=2$ と指定している。分割法は、大量データのクラスター分析に向いている。以下にその手順を記す。

- ① k 個のクラスターの重心を初期値として指定する。
- ② n 個の全てのデータ点について、 k 個のクラスターの重心との距離を求め、データ点を再配置する。
- ③ 新しく再配置されたデータ点に基づいて、各クラスターの重心を再計算する。
- ④ ②③を繰り返し、重心の値の 2 乗誤差などを評価し、その値が収束（クラスターの集合に変化がない終状態）すれば終了する。

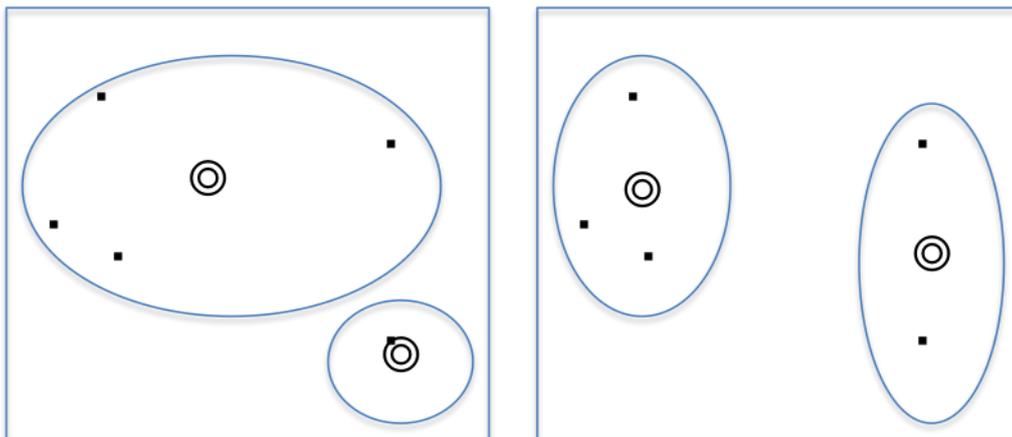


図 5.2 k -means 法の概念図。・をデータ点とし、◎をクラスターの重心とする。左が初期状態で、右が終状態とする。クラスターの数は変化しないが、属するデータ点と重心の位置が変わる。データ点を再配置し重心の移動を計算、式(5.3)で定義される誤差内に収束すれば終了する。

収束を判定する 2 乗誤差は式(5.3)で定義する。

$$\sum_{i=1}^k \sum_{p \in c_i} |p - m_i|^2 \quad (5.3)$$

k はクラスター数で人間が指定する。 c_i は i 番目のクラスター、 p はデータ点の位置、 m_i はクラスター c_i の重心とする。

5.3 階層的クラスタリング

階層的クラスタリングを紹介する^{6),8)}。これは、距離行列を用いて似ているものを段階的にグルーピング（クラスタリング）する方法である。図 5.4 に示すようにボトムアップの凝集クラスタリング HAC（Hierarchical Agglomerative Clustering）と、トップダウンの分割クラスタリング HDC（Hierarchical Divisive Clustering）がある。これは、マージするか分割するかの違いである。分割法に関しては、先の 5.2 節で紹介したので、本節ではその逆のボトムアップの凝集クラスタリングのスキームを紹介する。なお、クラスター間の距離はウォード（Ward）法を用いて定義するものとして以下は説明する。先に手順をまとめておく。

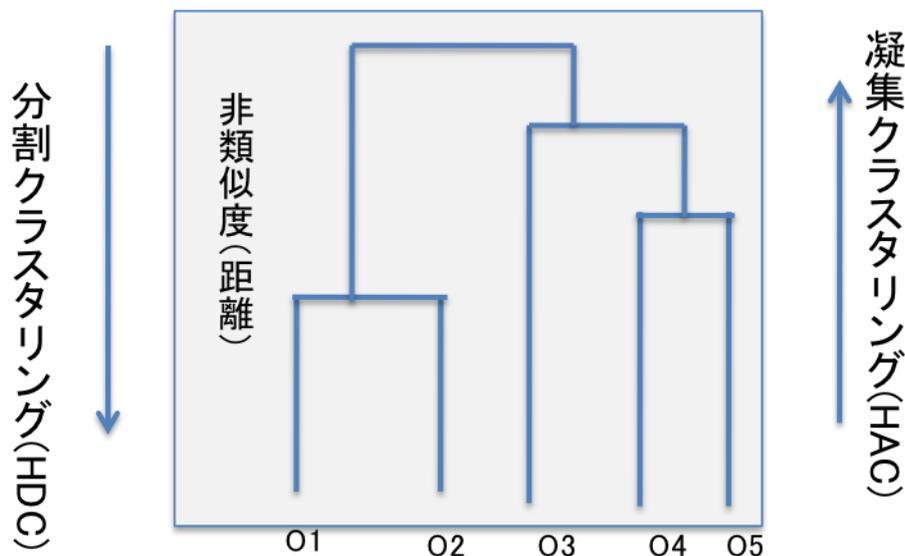


図 5.3 階層的クラスタリングの樹状図（デンドログラム）

- ① まず、各データ点をただひとつ含むクラスターを形成する。ここで、データ点の総数を n とし、クラスター集合要素を c で表す。
- ② 最初は、各クラスター間距離を、式(5.4)に示すように平方ユークリッド距離の $1/2$ として求めておく。
- ③ 平方ユークリッド距離の $1/2$ の値から最も類似した 2 個のクラスター c_1, c_2 を選びマージする。距離の値の最小値を選べばよい。これを c_{12} とする。
- ④ マージした $c_{12} = c_1 \cup c_2$ と他のマージしていない第 3 のクラスター c_k ($k = 3, \dots, n$) 間の距離を式(5.5)によって更新する。
- ⑤ 式(5.5)によって得られた距離から最も類似したクラスターを

- マージし新たなクラスターとする。
- ⑥ ④⑤を繰り返し、クラスター間距離を更新し、最後はひとつのクラスターに凝集する。
- ⑦ 樹状図（デンドログラム）を描く。

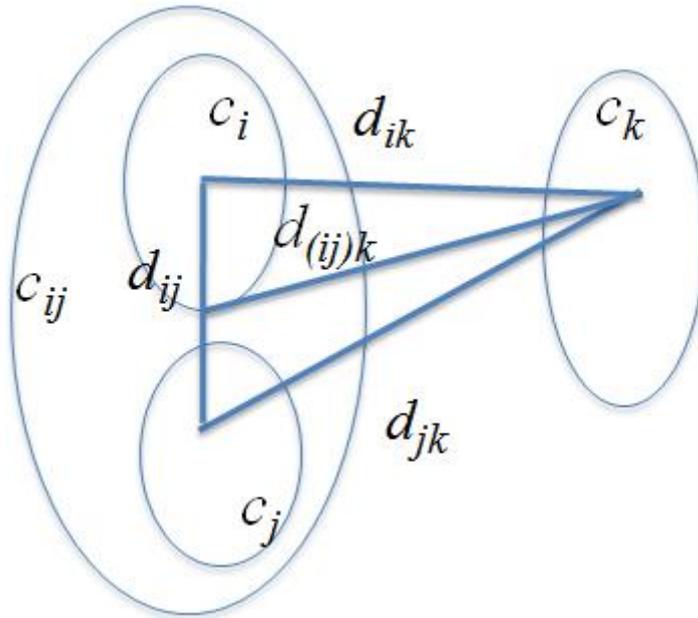


図 5.4 クラスター間の距離。 c_i と c_j から c_{ij} ができたとして、 c_k との距離を求める。 c_{ij} と c_k の距離 $d_{(ij)k}$ が、クラスターをマージするごとに次々と更新されていく。最初の d_{ij} , d_{ik} , d_{jk} は、式(5.4)によって求められている。

ここで、平方ユークリッド距離の $1/2$ は以下の通りである。 i, j が個体であるデータ点の添え字であり、 k が変数の数を表す。

$$d_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2, \quad (i=1, \dots, n, j=1, \dots, n, i \neq j) \quad (5.4)$$

クラスター間の距離計算は、組合せ的手法と呼ばれ、パラメータを用いて以下の式(5.5)で定義される。また図 5.4 にその概念図を示す。

$$d_{(ij)k} = \alpha_i d_{ik} + \alpha_j d_{jk} + \beta d_{ij} + \gamma |d_{ik} - d_{jk}| \quad (5.5)$$

α, β, γ のパラメータによってクラスター間距離の定義が違ってくる。それらを表 5.3 にまとめた。表 5.3 のパラメータは、Lance-Williams 係数と呼ばれる。

表 5.3 距離 $d_{(ij)k}$ を決める Lance-Williams 係数。 n_i は各クラスター c_i に含まれるデータ点の数を表す。

距離を決める 手法	α_i	α_j	β	γ
最短距離法	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$
最長距離法	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$
群平均法	$\frac{n_i}{n_i + n_j}$	$\frac{n_j}{n_i + n_j}$	0	0
ウォード (Ward) 法	$\frac{n_i + n_k}{n_i + n_j + n_k}$	$\frac{n_j + n_k}{n_i + n_j + n_k}$	$\frac{-n_k}{n_i + n_j + n_k}$	0

表 5.3 に示したように新しいクラスターを形成する際のクラスター間距離の定義はいろいろな種類があるが、ウォード法は最もバランスのとれた方法と考えられており多用される。これはクラスター内のデータ点の座標の平方和（分散）を最小にする手法を用いてクラスタリングするため、鎖効果が起きにくいからである。鎖効果とは、あるクラスターに順にひとつずつクラスターがマージされていく現象である。

図 5.5 は、ウォード法を用いてデンドログラムを描いたものである。前章でも示した 22 雑誌の分類を例としたデータを用いた。最終的には 2 分類されるわけだが、赤線のところで切れば 4 つのクラスターに分類されることがわかる。縦軸は、式(5.5)に基づいたクラスターをマージした距離である。図 5.5 から、どのクラスターにどの雑誌が属するか、またその数量が一目でわかる。

出来たクラスターの妥当性は、与えられた結果のデータだけを用いて 2 乗誤差を計算し凝集や分割度で評価することもできる。また、分類したカテゴリーがわかっている場合はエントロピーを計算するなどの方法もとられる。しかし、人の目で評価することが多い。デンドログラムでいえば、どの高さを設定して結果を解釈するかである。これは、実際には分析者が意味的に妥当だと思われるところで切断する。クラスタリング結果の質を評価することはなかなか難しいのである。

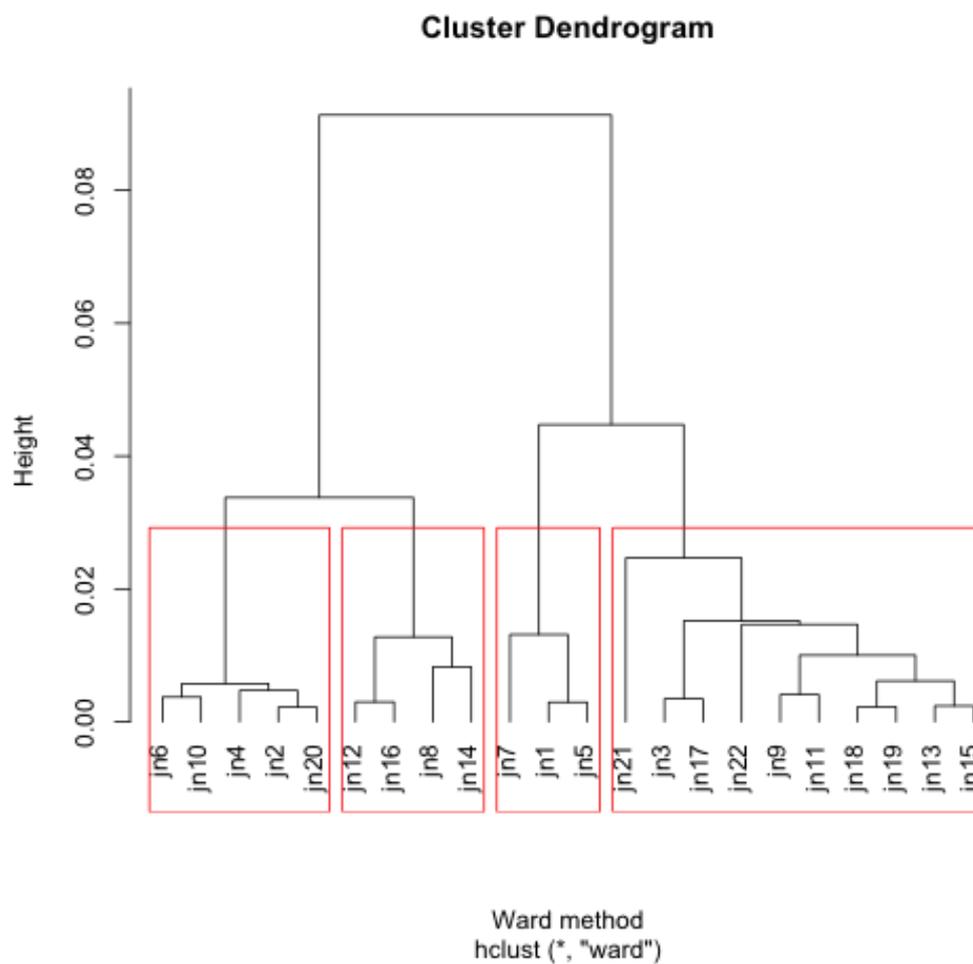


図 5.5 雑誌分類の樹形図（デンドログラム）。赤枠で区切れば、4 分類されることが視覚的にわかり、かつ一番右の雑誌群の数が多いことがわかる。

6 日本の主要大学ランキング低下の一要因—統計量から—

ここまで手法の理論的な話をしてきたが、以降の章では実際にどのようなところにこれらの手法が活かされているか、また筆者がどのような分析を行ってきたか例を示すことにする。

2010年のTHEのランキングを見ての分析例を図6.1に示す。

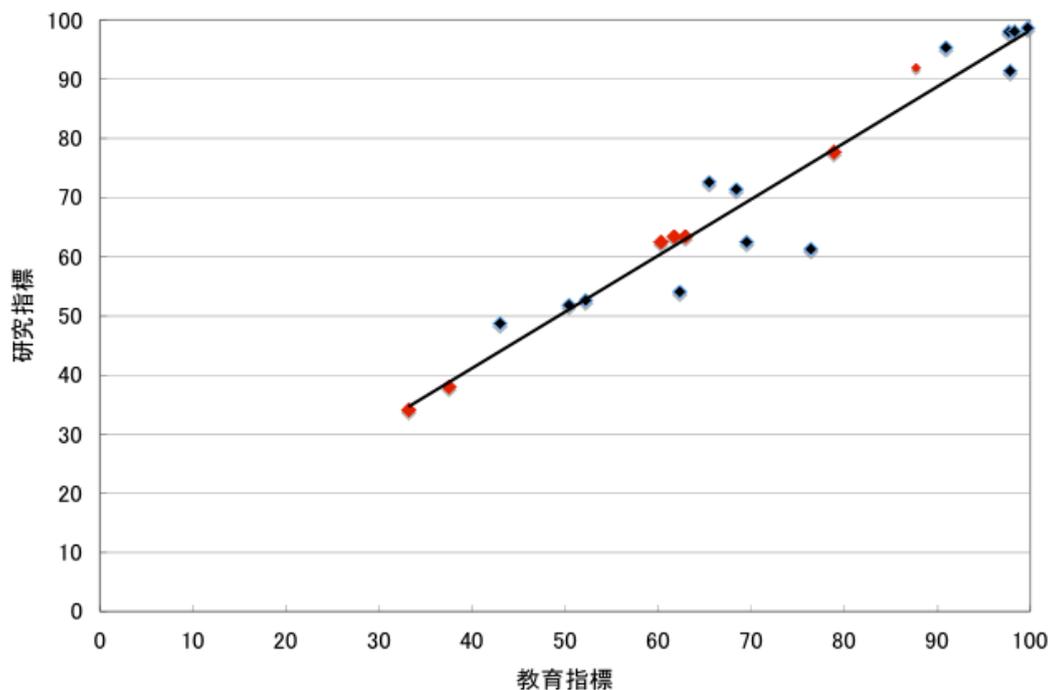


図 6.1 2010年のTHEランキングのトップ5と200位以内のアジアの大学(含む国内)、加えて早慶の教育指数と研究指数との相関。相関係数は $r=0.968$ 。

これはTHEの教育指標と研究指標が異常なまでに相関があることを示した例である(相関係数 r が 0.968 と 1 に近い)。ランキング上位大学を選び、スコアの相関を取ったものである。すると、教育指標(30%)と研究指標(30%)の相関が最も強いのである。ランキングの教育のレピュテーションは15%、研究のレピュテーションは18%である。研究者は自身の研究分野のことは学会や発表論文の内容などの情報からレベルが高いか否かを判断できるが、大学の教育内容についてはその内部にいなければ詳しくはわからない。教育に関してはイメージで点をつける可能性は否めない。心理的に自分の研究分野で良い成果が出ている大学は教育もすばらしいとなって

しまう。すなわち、教育（研究）が弱いと見なされると自動的に研究（教育）も弱いと見なされることを表している。分析結果を解釈すると、レビューアーが偏っているか、何らかの操作の可能性を示唆している。なお、調査対象を約 80 大学に広げても $r=0.942$ であり、やはり高い数字を示していた。

一方で、研究指標と引用指標の相関は、 $r=0.669$ とそれほど強くない。これは、引用などの数字には表れないピアレビューが活きている証拠でもある。

この年は、日本の主要大学のランキングが低く、また予期していなかった大学が被引用指標のスコアだけでランキング入りしていた。また、THE は、被引用スコアの標準化のために regional index のようなものを使っていたし、引用指標スコアの累積が正規分布の累積にならないなど、問題があった、これは、いわゆる z-score、すなわち標準偏差を分母にして分子に平均からの偏差をとって標準化する指標を使ったのだが、分母の標準偏差が国や地域によって異なるなどかなり作為的な操作をしたといえる。そこで、RU11（学術研究懇談会）は THE に対して正式に質問状をだし問題点を指摘した。すると次の年から少なくとも引用指標のスコアは改善された。いわんとすることは、URA たるもの、何か数字がおかしいと思ったら簡単な分析を行ってみること。そのためには手持ちの手法をもっておく必要があるという例である。

7 論文数・被引用数データ比較、論文数シェアに基づく類型化

主要国の大学の論文数と被引用数のデータベースの違いによる比較を表 7.1 と表 7.2 に示した。2013 年 1 月に調査を実施したものである。両データベースともに、収録雑誌数を増加させる傾向があるので、調査する時期によって、数字に違いが出てくることに注意されたい。また、両データベースの収録雑誌収集方針の特性から、数字、例えば被引用数がけっこう異なることがわかる。したがって、可能であるならば複数のデータベースを用いて、分野単位や大学単位での傾向を比較することが望ましい。これは、収集傾向の違い以外にも名寄せの問題があるからである。

各大学とも概ね論文数は微増で、むしろ被引用数の方が伸びていることがわかる。SCOPUS データの方がトムソン・ロイターの WOS に比べ日本の大学の論文数は大きいですが、逆に 1 論文当たりの被引用数は小さくなっている。ハーバード大、オックスフォード大も同様の傾向があるが、被引用数／論文数の数字の割合の差は、日本の大学の減少率と比較して小さい。また、東大の 1 論文当たりの被引用数の伸びが近年止まっている。これは両データベース共通の傾向であることがわかるので確度が高い。また、ハーバード大、オックスフォード大は両データベースから 1 論文当たりの被引用数、つまり被引用数／論文数を伸ばしていることがわかる。東京大学とオックスフォード大学の 2003-2007 と 2007-2011 の被引用数データを比べると、2003-2007 のデータでは、東京大学の方が多いにもかかわらず、2007-2011 では逆転していることがわかる。東大に代表される主要国立大学の論文数、1 論文当たりの引用数の伸びの停滞は科学技術・学術政策研究所（NISTEP）の 2012 年度の報告書でも指摘されており¹³⁾、我が国の大学ランキングの低下の一要因となっていることは否めない。

表 7.1 SCOPUS 論文数・被引用数のデータ。articles, reviews, letters, proceedings で 2013 年 1 月に比較。

大学名	論文数				
	2003-07	2004-08	2005-09	2006-10	2007-11
ハーバード大	44,441	47,725	49,822	52,197	54,615
オックスフォード大	25,687	27,720	29,758	31,906	33,677
東京大	46,147	47,712	48,910	49,591	49,620
慶応大	9,845	10,322	10,767	11,100	11,554
早稲田大	6,522	7,267	7,874	8,431	8,720

大学名	被引用数					被引用数 / 論文数				
	2003-07	2004-08	2005-09	2006-10	2007-11	2003-07	2004-08	2005-09	2006-10	2007-11
ハーバード大	537,509	587,714	627,403	678,320	728,929	12.09	12.31	12.59	13.00	13.35
オックスフォード大	217,400	239,453	265,648	295,406	338,386	8.46	8.64	8.93	9.26	10.05
東京大	260,933	268,190	272,148	284,850	296,982	5.65	5.62	5.56	5.74	5.99
慶応大	40,407	41,564	44,271	49,201	53,076	4.10	4.03	4.11	4.43	4.59
早稲田大	19,686	21,712	23,800	25,933	27,955	3.02	2.99	3.02	3.08	3.21

表 7.2 Web of Science 論文数・被引用数のデータ。articles, reviews, letters, proceedings で 2013 年 1 月に比較。

大学名	論文数				
	2003-07	2004-08	2005-09	2006-10	2007-11
ハーバード大	50,830	54,191	57,070	58,685	60,008
オックス フォード大	21,139	22,794	24,518	26,585	28,774
東京大	35,901	36,173	36,474	36,893	37,450
慶応大	6,673	6,852	7,083	7,292	7,624
早稲田大	4,308	4,482	4,879	4,866	5,063

大学名	被引用数					被引用数 / 論文数				
	2003-07	2004-08	2005-09	2006-10	2007-11	2003-07	2004-08	2005-09	2006-10	2007-11
ハーバード大	652,869	717,637	773,006	823,516	860,391	12.84	13.24	13.54	14.03	14.34
オックス フォード大	200,696	224,367	252,354	280,475	318,961	9.49	9.84	10.29	10.55	11.09
東京大	261,248	274,471	267,320	276,736	286,767	7.28	7.59	7.33	7.50	7.66
慶応大	35,306	36,889	39,324	43,179	46,332	5.29	5.38	5.55	5.92	6.08
早稲田大	19,381	21,776	24,366	25,367	28,279	4.50	4.86	4.99	5.21	5.59

8 研究ポートフォリオとプロファイリング

8.1 主要大学の研究ポートフォリオ比較

次は NISTEP の資料から主要大学の研究ポートフォリオを見てみよう^{13),14),15),16)}。

(参照先：阪彩香、桑原輝隆『研究論文に着目した日本の大学ベンチマーキング 2011 —大学の個性を活かし、国全体としての水準を向上させるために—』科学技術政策研究所、2012年、p.19、図表16世界の主要大学の研究ポートフォリオ（世界論文数シェア））

図 8.1 世界の主要大学の研究ポートフォリオ（論文数世界シェア）。NISTEP 『研究論文に着目した日本の大学ベンチマーキング 2011』参照¹⁴⁾。

図 8.1 に示すように世界的に見ても全方位型の研究ポートフォリオをもつ大学は少なく、それぞれの特徴を有することがわかる。例えば、ハーバード大は臨床医学や基礎生命科学に強みがあり、MIT は物理学、計算機科学&数学、工学に強みがある。ケンブリッジ大は物理学が強い。清華大は、材料科学が飛び抜けている。北京大は化学、物理学、環境&地球科学が強い。ただし、これは人文社会科学を除く自然科学系のみデータである。

日本の大学の論文数世界シェアの類似性に基づく分類を見てみよう。これは、クラスタリング分析の典型例であり、第 5 章に示した樹形図（デンドログラム）である。2007-2011 年の論文数世界シェアの研究ポートフォリオを用いて、日本の大学ごとに正規化し、ウォード法を用いてクラスタリングしたもので、NISTEP は 9 類型に分類している。縦軸は図 8.1 のスパイダーチャートに示した研究領域に対応している。赤が論文シェアが高く青が低い分野である。色つきの上に樹形図が示されており、その高さはクラスターをマージしたときの距離である。赤線の位置ではカットすると 9 分類になる。例えば、高さの数値が 3 でカットすれば、類型は 2 分類となり、医学特化型とそれ以外とで分類される。高さが、1 あたりでは、4 分類となり、その特徴は、左から、医学除く総合系、基礎生命・化

学特化型、ライフ系重視型、医学特化型と考えることができる。

(参照先：阪彩香、桑原輝隆『研究論文に着目した日本の大学ベンチマーキング 2011 —大学の個性を活かし、国全体としての水準を向上させるために—』科学技術政策研究所、2012年、p.21、図表18 研究ポートフォリオの類似性に基づく樹形図)

図 8.2 日本の大学の論文数世界シェアの類似性に基づく樹状図。
NISTEP『研究論文に着目した日本の大学ベンチマーキング 2011』参照14)。

9 類型は高さ 0.6 あたりでカットした場合で、以下の通りに名称をつけている。1.総合型（ライフ系/非ライフ系）、2.総合型（非ライフ系）、3.物理学重心型、4.材料科学重心型、5.基礎生命特化型、6.化学&基礎生命重心型、7.総合型（ライフ系）、8.臨床医学&基礎生命重心型、9.臨床医学特化型である。図 8.2 の左側が総合型で、真ん中が理工系、後半が生命・医学系というクラスタリングをしている。

次に各大学の事例を 2 つ紹介する。

(参照先：阪彩香、桑原輝隆『研究論文に着目した日本の大学ベンチマーキング 2011 —大学の個性を活かし、国全体としての水準を向上させるために—』科学技術政策研究所、2012年、p.92)

図 8.3 東京大学の強みの経時変化 (1997-2011)

図 8.3 に総合型（ライフ系/非ライフ系）の東京大学の事例を示す。この類型は、いわゆる旧帝大系で、京大、阪大、北大などが該当する。特に物理学に強みがあり、環境&地球科学や物理学では Top10% 補正論文数世界シェアが増加している。国内シェアでは、臨床医学や計算機科学&数学を除く 6 分野において、Top10% シェアが増加し、存在感がより大きくなっている。国内に強みが増加しているが、第 7 章で示したように世界的には強みは現状維持である。

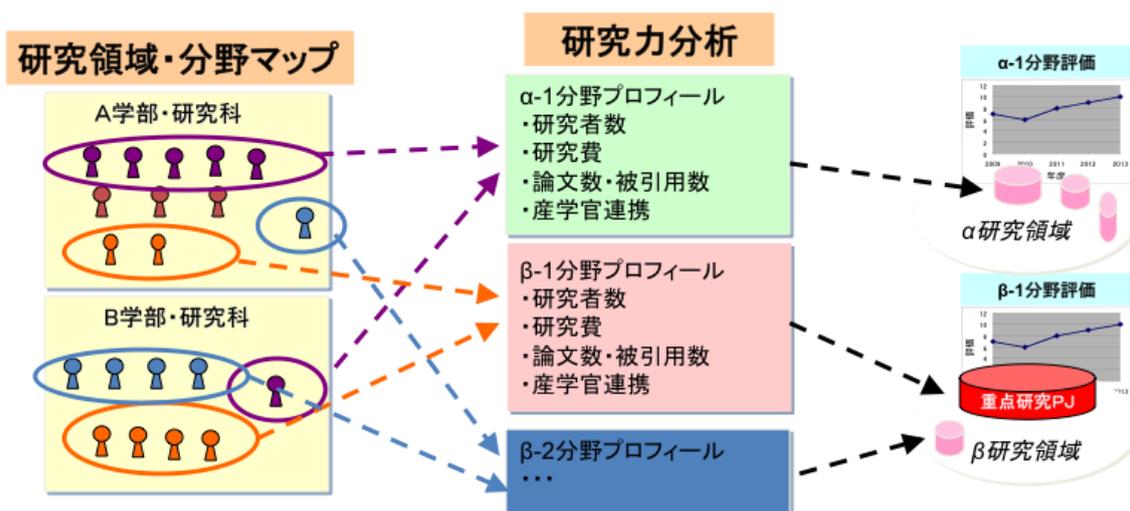
(参照先：阪彩香、桑原輝隆『研究論文に着目した日本の大学ベンチマーキング 2011 —大学の個性を活かし、国全体としての水準を向上させるために—』科学技術政策研究所、2012年、p.280)

図 8.4 早稲田大学の強みの経時変化 (1997-2011)

図 8.4 に総合型（非ライフ系）の典型、早稲田大学の例を示す。この類型は医学部のない理工系大学を指し、東工大、東理大、立命館大などが該当する。世界 Top10%論文では、近年、材料系から物理・数学・計算機に強みが移動していることがはっきりわかる。ただし、先の東京大学と比較して目盛りが 7 と小さいことに注意。

8.2 各研究領域・分野ごとの研究力の調査および学外研究動向の調査・比較

ここからは、早稲田大学の事例の紹介になる。2009年より大学が重要研究と公認する重点領域研究の策定に使用した考え方の例を示す。URA は各大学の各研究領域・分野の調査・分析をしなければならないが、そのモードを描いたものである。図 8.5 は、早大の各学部・研究科に分かれている研究者をカテゴライズして定量化し、研究分野の研究力分析を行った概念図である。

図 8.5 研究力分析の手順の事例⁵

それを研究分野ごとにマップ化した。そのためにエルゼビアやトムソン・ロイターの評価ツールを用いた。学外の研究動向と比較し、自大学の強みをどのように活かしていくか、またプロジェクトにしていくかが URA のミッションである。早大の場合は、シードマネーを提供してでも大学が重点化したいチーム型の「重点領域研究」の策定に、研究領域の類型化や、研究者のプロファイリングなどのデータを活用したのである。

8.3 若手研究者の領域マップと研究者ポートフォリオ事例

図 8.6 は、研究者個人のポートフォリオの例である。40 歳程度の若手研究者と対象者を限定し個人のポートフォリオの項目を設計した。研究業績だけではなく、国際共著が多いか、産学連携ができるか、府省の委員会に顔が利くか、一般にも知名度があるかなどもポートフォリオの項目とした。図 8.6 に示した数値は本来は集めた標本の偏差値でやるべきだが、母数の最大値を決めた相対値で数値化した。今後はある意味研究者評価をやらざるを得ないのでこれらのデータをストックしている。売り込む若手としてデータベース化までは出来るが（約 100 人規模で）、筆者自身の反省は、これを新たなプロジェクトの創成にまでまだ活用しきれていない点である。

⁵ エルゼビア研究戦略セミナー（2012 年 6 月 7 日、エルゼビア・ジャパン株式会社主催）他の資料（筆者作成）より転載。

<http://www.waseda.jp/rps/ura/news/20120807-3.html>

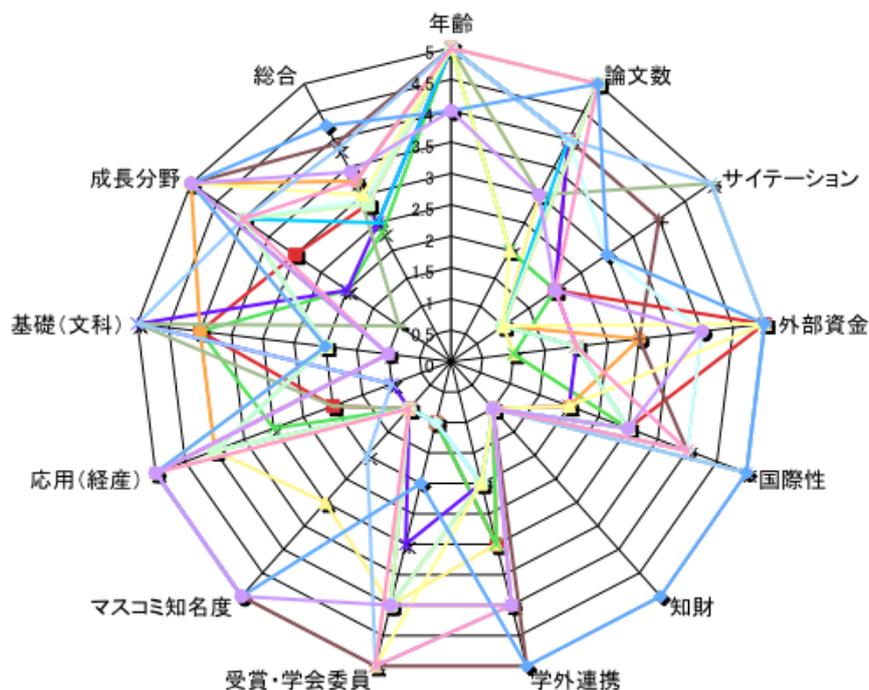


図 8.6 若手研究者の研究者ポートフォリオ事例

図 8.7 は、逆にマクロなデータで、強い若手研究者がどの研究分野に存在しているかを分類した概念図である^{20),21),22)}。研究分野と人数、年齢を可視化し、自身の専門のほかに他の分野と連携可能な場合にはその分野間で線を引いた。可視化のやり方はもちろん色々あるが、目的に合わせてどの程度の粒度で実施するかが URA の仕事であろう。この場合の粒度は研究者個人、分野別の若手研究者の集団、若手研究者集団、研究科、大学などである。その粒度をデータのみから類型化するのが、5 章で示したクラスター分析の考え方であるが、大学には既存の組織単位が存在し、むしろ既存の組織単位で類型化することが学内的に求められる場合が多いので、条件を付加してデータ生成を行ったり、可視化を工夫することも必要となる。

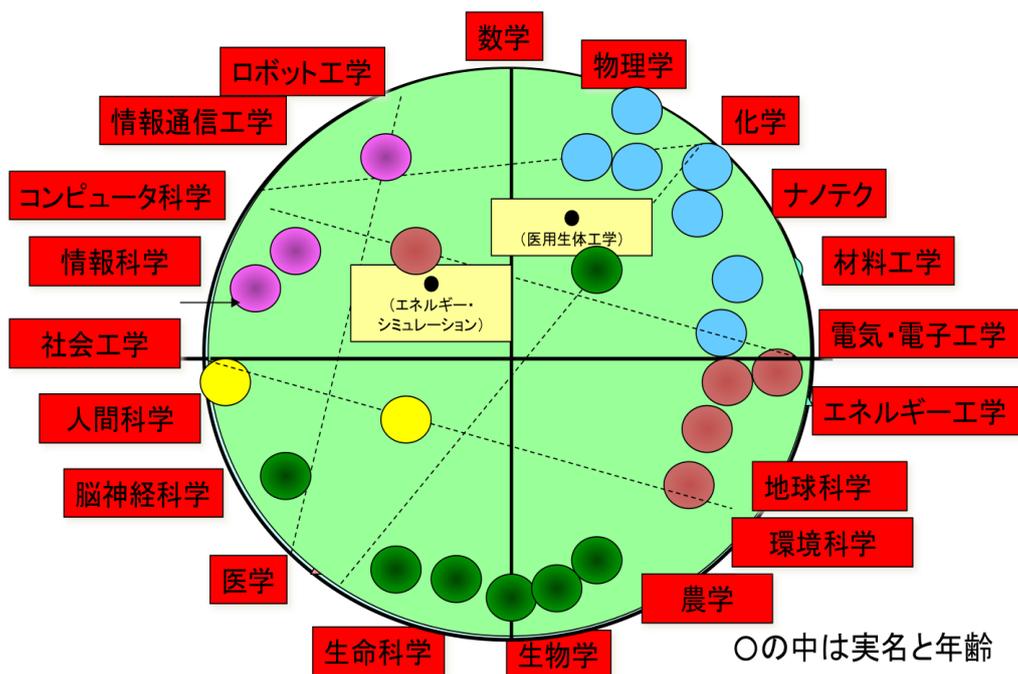


図 8.7 若手研究者の研究領域マップ⁶

⁶エルゼビア研究戦略セミナー（2012年6月7日、エルゼビア・ジャパン株式会社主催）他の資料（筆者作成）より転載。
<http://www.waseda.jp/rps/ura/news/20120807-3.html>

9 国際共同研究と被引用度の相関

さて、話題をかえて、よくいわれていることではあるが国際共同研究と被引用度との相関を改めて示しておこう。国際共同研究は、日本の学術研究の弱点であるとよく指摘されている。表 9.1 を参照（NISTEP 資料）されたい。

なぜ国際共同研究が注目されるのかというと、初級編にも記したが、研究者目線では、科学の普遍性の探究、科学共同体へのインパクトが大きいことが挙げられる。一方、ファンディング・エージェンシーや行政側からは、国際協力の観点、EU などの政治・経済的側面からの要請が挙げられる。また、大学首脳部としては研究パフォーマンスを数字で示すことが挙げられる。国際共著論文は、国内のみの研究よりも被引用数が高いことが明らかとなっているからである。これは、著者が多国にわたっていれば、自動的に各国の研究関係者が増加するという面が一要因としてある。もちろん引用するか否かは論文の質によるわけであるから、すべての国際共著論文が引用数が高いわけではないが、マクロ的には国内のみの論文よりも有利に働く要因を備えているのである。

例えば、前章で示したハーバード大は、特に、臨床医学の研究分野で国際共著論文を伸ばしているし、オックスフォード大の被引用数／論文数の伸びも国際共著の伸びと相関している。また、EU は EU 内の共同研究を推奨し、結果それが被引用数においても反映されている。また、早稲田大学の被引用数／論文数の伸びは国際共著によるはっきりとした証拠がある。

（参照元：阪彩香、桑原輝隆『科学研究のベンチマーキング 2010—論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況—』科学技術政策研究所、2010年、p.11、図表 13 主要国の論文を国内のみの論文と国際共著論文に分けた場合の比較（2005-2007年））

表 9.1 各国の国際共著率のデータ。NISTEP 『科学研究のベンチマーキング 2010—論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況—』、NISTEP REPORT-139 『サイエンスマップ 2008』参照。

次に表 9.1 の⑥の論文あたりの被引用回数の部分を改めて図 9.1

に示した。

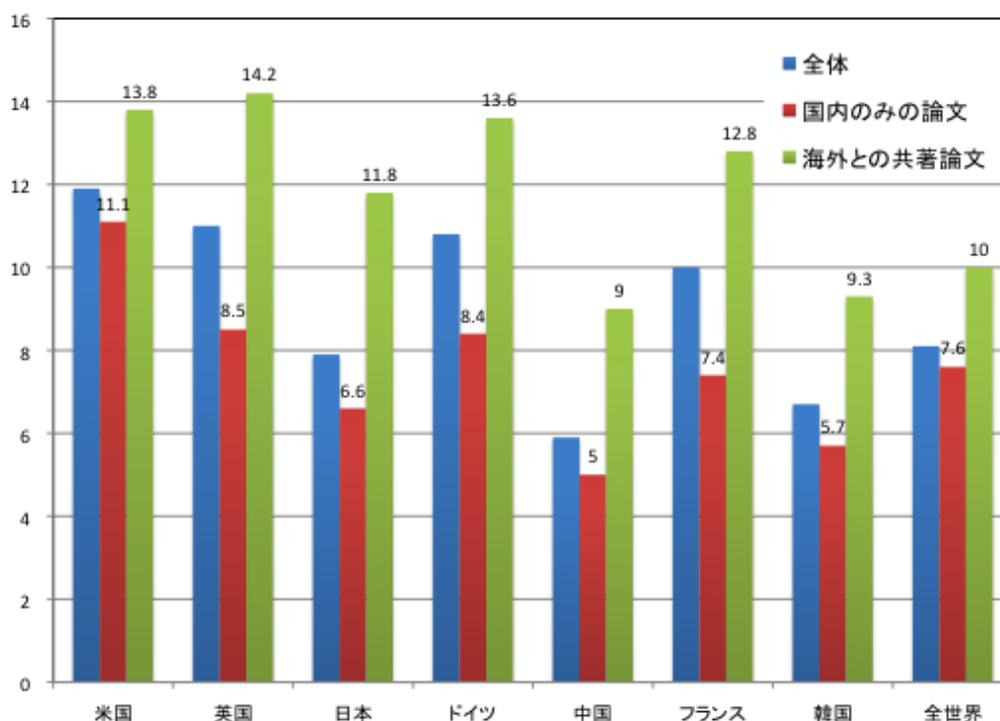


図 9.1 論文あたりの被引用数の各国比較（2005-2007年）。日本の国際共著論文の被引用数は世界平均以上あることがわかる。

これは少し古い数字ではあるが、日本の国際共著論文の1報あたりの被引用数は世界平均以上あり11.8である。これに対して、中国、韓国の国際共著論文の被引用数は世界平均以下である。質は日本の方が高い。つまり手っ取り早く被引用数を増加させるには国際共同研究を推進することが望まれるわけである。なお、国際共同研究等を評価している指標は蘭・ライデン大学が出しているのも参考にされたい⁷。

ではどうやって国際共同研究を進めるか。もちろんその分野のトップ研究者は既に国際共同研究を進めている。したがって、若手研究者やこれから国際共同研究を実施したいと考えている研究者が対象になる。特にこれからの若手研究者をどうプロモートするか、これもURAのミッションで、第3章～第8章で示した調査分析手法を応用することになる。そのためには例えば、

⁷ <http://www.leidenranking.com/>

- ① 学内研究分野把握
- ② 研究者プロファイリング
- ③ 海外グループ把握
- ④ 海外グラント情報
- ⑤ 留学生 OB の把握
- ⑥ ……

などを調査しなければならないであろう。もちろんこの他にも様々な議論が必要である。

10 ツールで何がわかるか

代表的な分析ツールで何がわかるかをまとめておこう。各大学の研究論文数や被引用数が伸びている分野、その世界的な研究動向はツールや資料でわかる。これに政策動向や公的機関の助成金情報を重ねれば、資金獲得の機会が増加することになる。マクロな動向はツールでわかるから、これに大学独自の特徴を重ねてカスタマイズし、戦略・戦術を練らなければならない。

10.1 被引用数の経時変化

図 10.1 に示した被引用数は、この例の場合、3年目でピークを迎え6年目からは完全に減少している。なお、これは2013年1月時点におけるESIからの早大の理工系のみデータである。図 10.1 より、研究にも旬があることがはっきりわかる。ここに示したように、各大学の強みも変化するから、特に理工系は経時変化にも気をつけなければならない。つまり、商品と同様、トレンドは意外にも早く変わるので定点観測が必要になる。そのために便利なツールは積極的に活用すべきであろう。

図 10.1 に示したように、理工系の研究の旬は10年強と考えられる。一方で、人文社会科学系は一般にこれよりも長い。ところで、研究者は、あるいは専攻などの研究分野単位での大学の組織は、10年では入れ替わることはまずない。URAは定点観測を行い研究者の旬を客観的に把握しておくことも必要である。旬をすぎたものはなかなか売れないから新たな方策が必要になるからである。

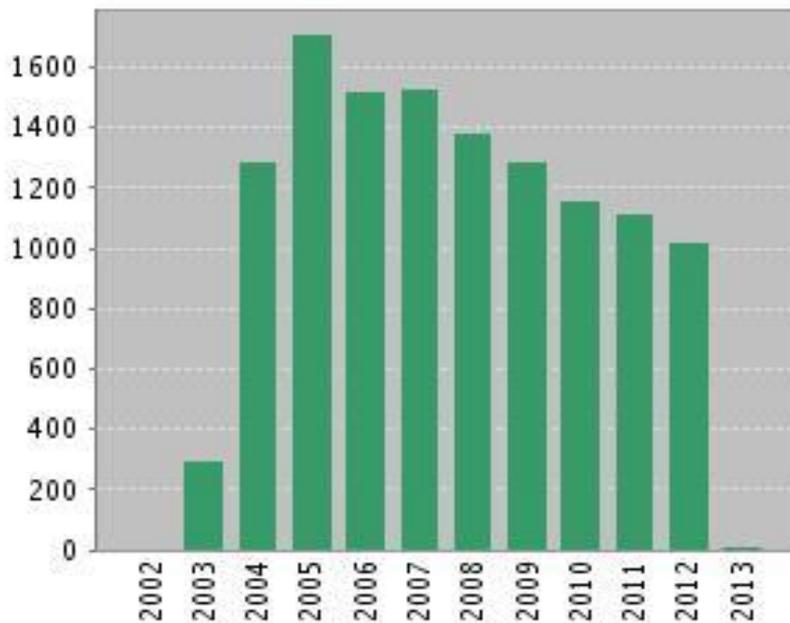


図 10.1 年代別被引用数（早稲田大学理工系）。横軸が年、縦軸が被引用数。2002 年に出版された論文が、2003 年以降に引用された経時変化。3 年後をピークに下がっていることがわかる。

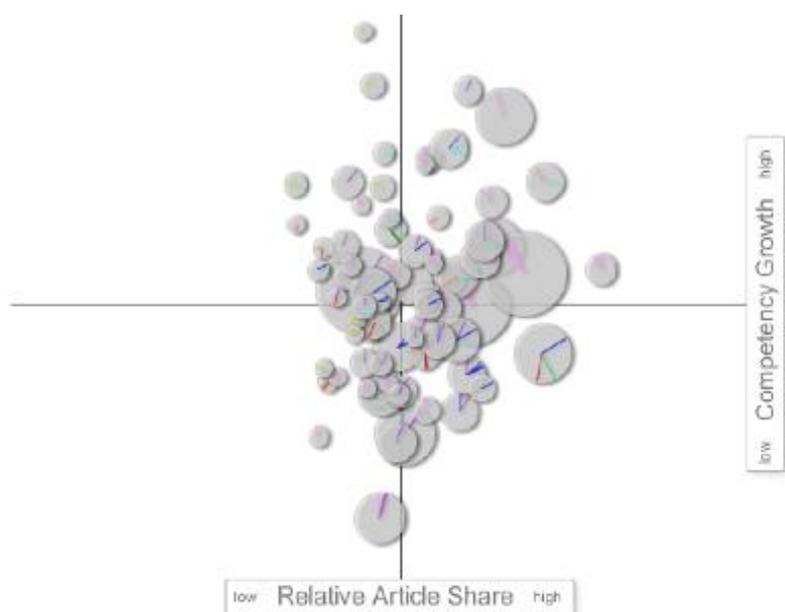
10.2 ポストンマトリックス

「市場の実質的な成長率」を縦軸、「相対的な市場占有率」を横軸にとった企業業績のポートフォリオを成長率・市場占有率マトリックス、通称ポストンマトリックスという。名前のおりポストン・コンサルティングが開発した可視化ポートフォリオである。このツールは大学の強みや成長している分野の把握に利用できる。

図 10.2 に早稲田大学の事例を示す。相対論文シェアを横軸と成長分野を縦軸にとり、○がある研究分野の単位、○の大きさがその分野の論文数を表す。第 1 象限は、**Star**（花形）と呼ばれ、シェア、成長率ともに高い領域である。大学の研究力の強化とは、いかに第 1 象限の○の数と大きさを増加させるか、である。一方、第 4 象限は、**Cash Cow**（金のなる木）と呼ばれ、いわゆる成長はないものの高いシェアが確保された安定的な定番の研究分野を示す。ここに○がある研究分野は、その大学の特徴を表し、成長動向は大体第 4 象限に推移して落ち着く。第 2 象限は、**Wild Cat**（問題児）と呼ばれ、市場成長率、この場合は研究のトレンドに沿っている分野で、今後シェアを伸ばす可能性がある領域を表す。第 2 象限にある○すなわちある単位の研究分野は化ければ花形になる。いわゆる若い分野といえ最も詳細な分析が必要な領域である。第 3 象限は、いわゆ

る Dog（負け犬）であって撤退を考える必要がある領域である。この象限に○が多く存在することは、その大学の強み（○自体がその分野の強みを表す）が、世界の研究のトレンドからかけ離れていることを表す。この象限にある研究分野や研究者集団に支援することは、基本的に無駄と考えなければならない。

この図 10.1 で大きく動いた○は情報系のある分野であり、Star から Cash Cow に移行、つまり定番化したのである。しかし、困ったことに 2 年で第 1 象限の Star の○が減ってしまっている。Wild Cat をどうするか、どうやって第 1 象限に引き上げるかが URA のミッションだろう。なお、産学連携のプロジェクトに関しては、トレンドや占有率の傾向よりも、完全な一品ものが多く、これらのツールでの把握はなかなか難しいだろう。



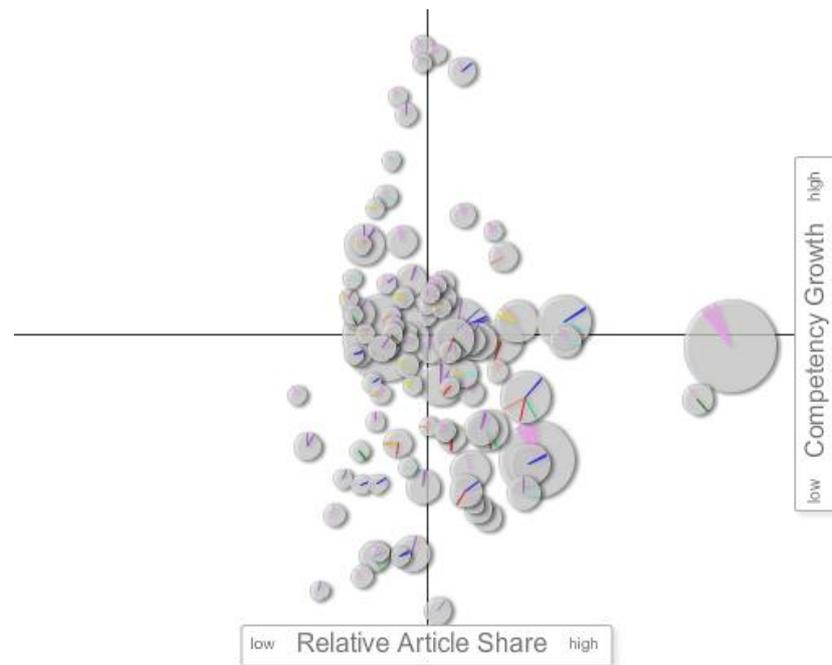


図 10.2 相対論文シェアと成長分野を軸としたマトリックス。○の大きさは論文数を表す。早稲田大学の事例。上図は 2009 年、下図は 2011 年のデータ。○が大きく移動していることがわかる。2 年でも大学の強みが増えていることがわかる。

図 10.3 には、少し古いデータを用いた科学研究費を例とした強みの優位性の把握例を示した。ポストンマトリックスと全く同じではないが、横軸に採択率の優位性、縦軸に金額の優位性を取った。これらは科研費の分科の平均採択率と金額で規格化したものである。横軸は市場占有率に対応するといってもよいだろう。例えば、経済学、言語学、健康・スポーツ科学、教育学などはこの大学の特徴をかなりよく表している。大学としては、線形に描いた直線の先、やはり、第 1 象限に多くの○かつ大きな○が欲しいが、そのために必要な方策を考えるデータのひとつである。強化すべき分科は図に示された第 1、第 2、第 4 象限にある分科と考えてよい。そこで、研究力の底上げをしたいなら、横軸を強化すべきであるし、一方で、導入資金を増加させたいなら、縦軸を強化すべきである。

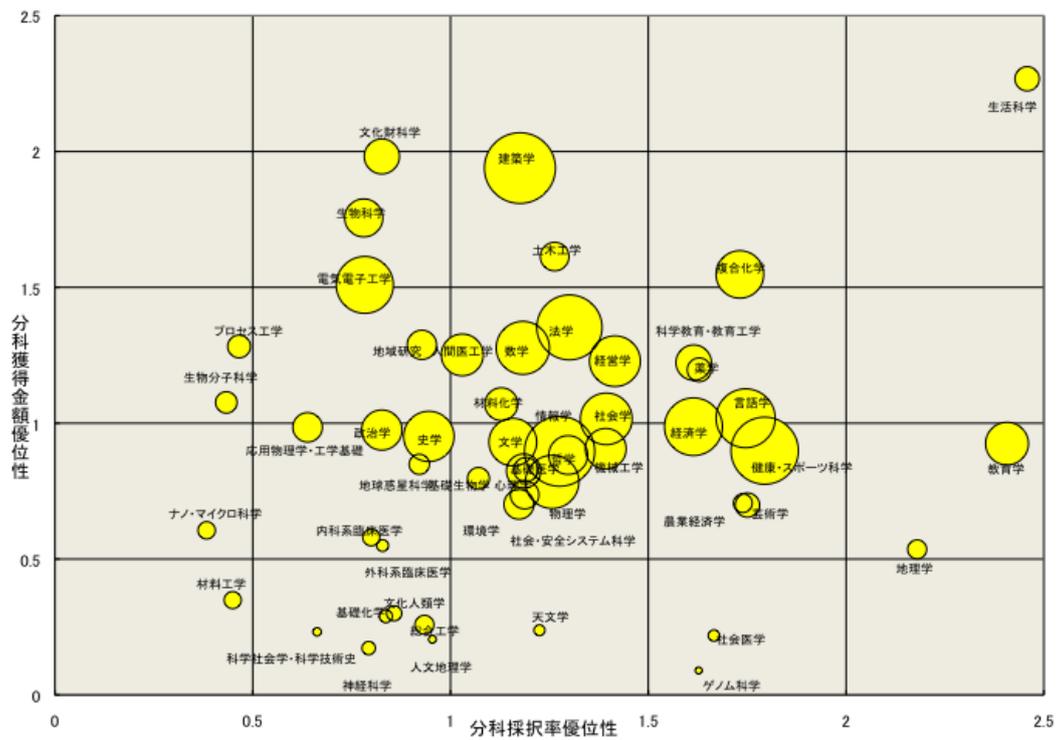


図 10.3 採択率と金額の優位性のマトリックス。○の大きさが金額を表す。

11 演習課題例

最後に大学の強み・弱みを把握する練習問題を示しておこう。以下に示す表 11.1 から表 11.3 より各大学の特徴を抽出し、強み・弱みを論ぜよ。

表 11.1 A～D の各大学の 5 年間の総論文数と総被引用数

		5年間の総論文数	5年間の総被引用数
人文社会科学	A 大学	1,250	6,875
	B 大学	2,950	18,290
	C 大学	1,850	9,250
	D 大学	3,050	18,605
化学	A 大学	4,500	36,450
	B 大学	5,400	49,140
	C 大学	3,550	26,625
	D 大学	200	1,600
材料科学	A 大学	4,050	30,375
	B 大学	4,900	39,690
	C 大学	4,200	31,080
	D 大学	200	1,600
物理学	A 大学	4,250	34,425
	B 大学	7,950	75,525
	C 大学	5,200	52,520
	D 大学	900	6,750
数学・計算機	A 大学	4,150	21,165
	B 大学	5,200	31,720
	C 大学	4,850	30,070
	D 大学	1,900	12,350
工学	A 大学	4,650	24,180
	B 大学	5,250	32,025
	C 大学	4,650	23,715
	D 大学	500	2,100
環境・地球科学	A 大学	1,850	11,285
	B 大学	4,950	40,095
	C 大学	2,350	13,865
	D 大学	150	720

臨床医学	A 大学	7,900	79,790
	B 大学	7,150	82,225
	C 大学	300	2,430
	D 大学	200	1,600
基礎生命科学	A 大学	4,350	50,025
	B 大学	4,550	63,700
	C 大学	1,250	13,750
	D 大学	250	3,875

表 11.2 分野別の 1 論文あたり平均被引用数 (5 年)

人文社会科学	化学	材料科学	物理学	数学・ 計算機	工学	環境・地球 科学	臨床医学	基礎生命科学
5	10	8	9	6	6	10	13	15

表 11.3 各大学の分野別研究者数

研究者数 (人)	人文社会科学	化学	材料科学	物理学	数学・ 計算機	工学	環境・地球 科学	臨床医学	基礎生命科学
A 大学	450	100	90	100	100	220	60	290	130
B 大学	550	110	100	130	120	260	160	230	120
C 大学	750	80	110	120	150	260	80	10	40
D 大学	600	4	4	5	50	10	3	5	5

まず表 11.1 より論文数、被引用数、研究者数、被引用数／論文数、のトップの大学を抽出すると、表 11.4 のようになる。A 大学は、臨床医学、基礎生命科学に特徴があり、B 大学は全方位に満遍なく強く、C 大学は物理学が強く、人文社会科学、材料科学、数学・計算機、工学にも特徴がある。D 大学は人文社会科学に特徴があり、数学・計算機も強い。

研究者数より C 大学は、医学部がない大学とわかる。D 大学は人文社会科学系に特化した大学であることがわかる。ただし数学・計算機に関係する学部は存在する可能性はある。A 大学、B 大学はほ

ば全ての分野を網羅した総合大学である。

表 11.4 各分野の数字のトップの大学を抽出

	人文社 会科学	化学	材料科 学	物理学	数学・ 計算機	工学	環境・地 球科学	臨床医 学	基礎生 命科学
論文数	D	B	B	B	B	B	B	A	B
被引用数	D	B	B	B	B	B	B	B	B
研究者数	C	B	C	B	C	B, C	B	A	A
被引用数 ／論文数	B	B	B	C	D	B	B	B	D

各大学の分野の数字が本当に強く、世界水準にあるかを調べるため、表 11.1 から 5 年の総論文数を a 、5 年の総被引用数を b と置くとしよう。また、表 11.2 の分野別の被引用数を c と置き、式(11.1)

$$d = \frac{b}{ac} \quad (11.1)$$

を計算し、各大学、各分野で比較する。 d は分野補正した 1 論文あたりの被引用数の相対値で、これを「インパクト」としよう。例えば、A 大学の人文社会科学の d は、

$$d_A = \frac{6875}{1250 \times 5} = 1.10$$

となり、世界の平均の 1 を超えていることがわかる。これらの結果をスパイダーチャートに表すと、図 11.1 となる。

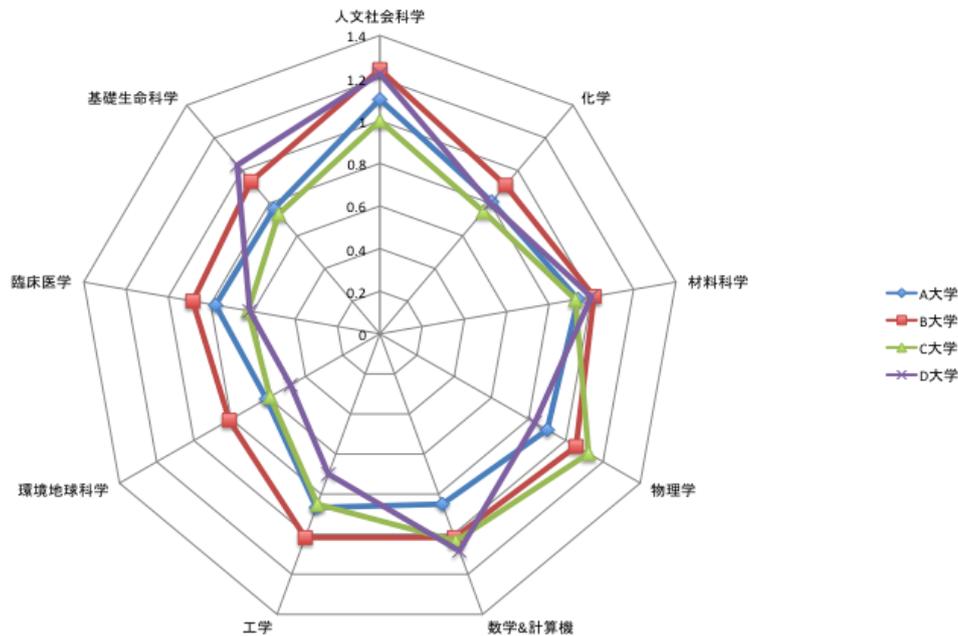


図 11.1 インパクト（被引用数の相対値）による各大学の比較

これより被引用数を世界水準で見た各大学の強みがわかる。例えば、B 大学は、人文社会科学、材料科学、物理学、数学・計算機、工学の 5 分野で世界水準を超えており、全方位型に強い大学である。これに 4 大学との比較を考慮すると、人文社会科学、材料科学、工学の 3 分野が特に強いといえる。C 大学は、人文社会科学、物理学、数学・計算機が世界水準を超えており、物理学が 4 大学中トップであり、特に強いといえる。D 大学は、研究者人数を考慮すると、人文社会科学、数学・計算機が世界水準を超えている。図 11.1 に示した研究の質を表すインパクトの数字の上では、数学・計算機が特に強いといえるが、量である研究者数、論文数を考慮すると、D 大学はあくまで文系主体の大学であり、数学・計算機研究の質も十分高い、といえる。A 大学は、人文社会科学でのみ世界水準を超える。臨床医学と基礎生命科学に特徴があるが、その質は B に及ばない。

4 大学の特徴をひとつの図で表すため、重み付けしたインパクト（総被引用数を母数として各分野の被引用数を係数とした）と論文生産性（研究者あたりの 1 年あたりの論文数）の比較を図 11.2 に示す。○の大きさは、研究者あたりの被引用数（1 年換算）であり、赤線がインパクトの世界水準ラインである。これより、世界水準を超えているのは D 大学ただひとつであることがわかる。つまり D 大学は、文系大学としては世界水準を超えている。しかし、文系の特性から、論文生産性や被引用数で劣ってしまう。初級編に示した ARWU や THE の世界大学ランキングでは文系大学が明らかに不利

なゆえんである。次に A 大学は、総合大学ではあるが、世界水準からすると 4 大学中最下位である。臨床医学・基礎生命科学に研究者を割いている割にはその質が低いためである。その質を上げることが課題といえる。ただし、研究者あたりの被引用数は臨床医学・基礎生命科学の特性によって稼げているので大学ランキングの数字では有利である。C 大学は、医学部がないため、研究者あたりの被引用数で損をしており、大学ランキングでは不利である。しかし、図 11.2 に示したように研究の質では、A 大学を凌いでいることがわかる。C 大学の課題は、とにかく量である。B 大学は、若干世界水準を下回っているが、全方位的に強く 4 大学の中では圧倒的である。世界水準を下回っている分野の質を上げる必要はあるが、大学ランキングを上げる方策を最も豊富にもっているといえる。

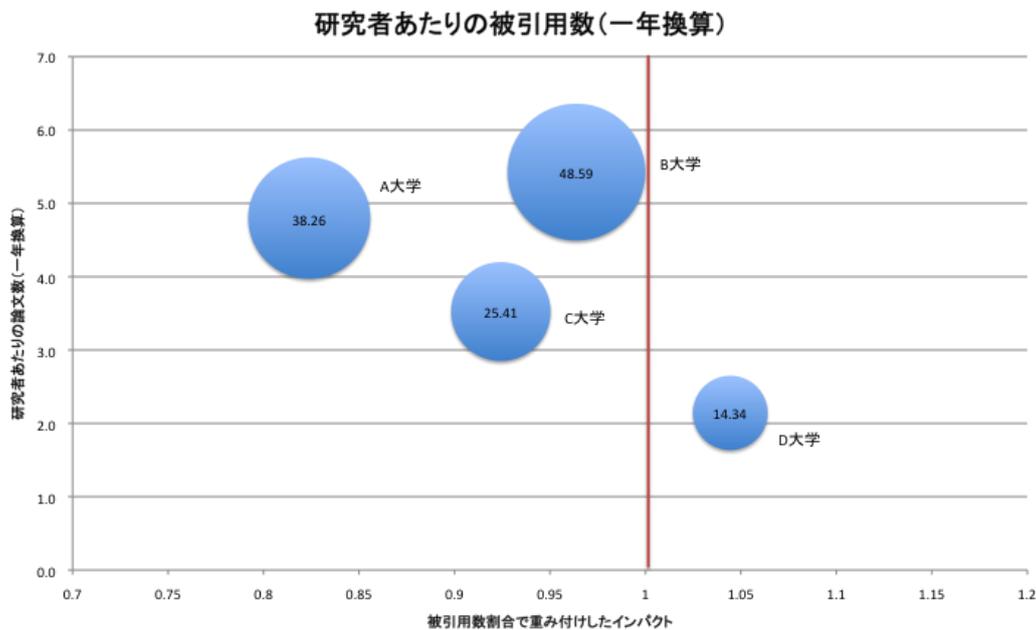


図 11.2 重み付けしたインパクト（総被引用数を母数として各分野の被引用数を係数とした）と論文生産性の比較。○の大きさは、研究者あたりの被引用数（1年換算）。

各大学の特徴を以下にまとめる。

- ① A 大学は、臨床医学、基礎生命科学に強みがある。化学、材料科学も強い。人文社会科学のインパクト（被引用相対値）も世界水準を超える。臨床医学、基礎生命科学が数字を押し上げているが、両分野とも世界水準には満たない。論文の生産性、研究者あたりの被引用数で 2 番手。医学・生命科学特化型に近い大学。
- ② B 大学は、全分野で強く、研究者数も最も多い総合大学。5 分野

でインパクトが、水準を超える。化学、環境地球科学は4校の中では強いが、世界水準を超えない。論文の生産性、研究者あたりの被引用数でトップ。全方位型の総合大学といえる。

- ③ C大学は、医学部をもたない大学。物理学、数学・計算機に強く世界水準を超える。工学は研究者は多いがパフォーマンスは今一つ。環境地球科学も同様。人文社会科学は研究者も多く、インパクトも水準並みだが、数字は最下位。論文の生産性、研究者あたりの被引用数で3番手となる。数物・計算機特化型に近い特徴をもつ大学。
- ④ D大学は、文系学部のみ大学。文系レベルは世界水準を超えるが、数字的にはB大学に次ぐ2番手。研究者は少ないが、数学のインパクトではトップ。人文社会科学系特化型の大学。

12 まとめ

科学計量学・計量書誌学でよく使われる手法を整理した。URAの立場としては手法の考え方を理解しておき、便利なツールやソフトを積極的に使えばよい。その際に何が測れて何が測れないか、また粒度を把握しておく必要がある。

また、エビデンスは重要ではあるが量化した数字が独り歩きしないように注意も必要である（典型例は、IFやh指数など）。一般には既存のツールが提供するエビデンスや情報だけでは不十分で、各大学の特性に合わせたカスタマイズが必要である。これを行うのがURAであろう。URAは、情報をカスタマイズし切り口を整理したうえで、最終的には学内外に対する戦略・戦術の提示や提案を実施することになる。本資料がその一助となれば幸いである。

参考文献 一覧

- 1) Egghe, L., “Theory and practise of the g-index”, *Scientometrics* Vol. 69, 2006, pp.131-152.
- 2) 鈴木武、山田作太郎『数理統計学—基礎から学ぶデータ解析—』内田老鶴圃、1996年
- 3) 柳川堯『応用統計数学シリーズ 離散多変量データの解析』共立出版、1986年
- 4) 藤垣裕子、平川秀幸、富澤宏之、調麻佐志、林隆之、牧野淳一郎『研究評価・科学論のための科学計量学入門』丸善出版、2004年
- 5) 金明哲『テキストデータの統計科学入門』岩波書店、2009年
- 6) 中村永友『多次元データ解析法』共立出版、2009年
- 7) 永田靖、棟近雅彦『多変量解析入門』サイエンス社、2001年
- 8) 石川博、新美礼彦、白石陽、横山昌平『データマイニングと集合知』共立出版、2012年
- 9) 角田裕之、小野寺夏生「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—」『情報メディア研究』、第5巻 第1号、2007年、p. 1-20
- 10) ルート・ライデスドルフ『科学計量学の挑戦』玉川大学出版部、2001年
- 11) Althouse, B. M., West, J. D., and Bergstrom, T. C., “Differences in impact factor across fields and over time”, *Journal of the American Society for Information Science and Technology* Vol.60, 2009, pp.27-34
- 12) Colledge, L., Anegón, F. M., Bote, V. G., Illescas, C. L., Aisati, M. E., and Moed, H., “SJR and SNIP: two new journal metrics in Elsevier's Scopus”, *Serials* Vol. 23(3), 2010, pp.215-221
- 13) 阪彩香、桑原輝隆『科学研究のベンチマーキング 2011 —論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況—』科学技術政策研究所、2011年
- 14) 阪彩香、桑原輝隆『研究論文に着目した日本の大学ベンチマーキング 2011 —大学の個性を活かし、国全体としての水準を向上させるために—』科学技術政策研究所、2012年
- 15) 阪彩香、伊神正貫、桑原輝隆『サイエンスマップ 2008—論文データベース分析（2003年から2008年）による注目される研究領域の動向調査—報告書』科学技術政策研究所、2010年

- 16) 阪彩香、桑原輝隆『科学研究のベンチマーキング 2010—論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況—』科学技術政策研究所、2010年
- 17) Hirsch, J. E., “An index to quantify an individual's scientific research output”, *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* Vol.102, 2005, pp.16569-16572
- 18) 窪田輝蔵『科学を計る』インターメディカル、1996年
- 19) Moed, H. F., *Citation Analysis in Research Evaluation*, Dordrecht (Netherlands), Springer, ISBN 1-4020-3713-9, 2005
- 20) Klavans, R. and Boyack, K. W., “Identifying a better measure of relatedness for mapping science”, *Journal of the American Society for Information Science and Technology* Vol. 57(2), 2006, pp.251-263.
- 21) Klavans, R. and Boyack, K. W., “Quantitative evaluation of large maps of science”, *Scientometrics* Vol. 68(3), 2006 pp.475-499.
- 22) Boyack, K. W., Klavans, R., and Börner, K., “Mapping the backbone of science”, *Scientometrics* Vol. 64(3), 2005, pp.351-374.

本文中の URL は 2013 年 12 月現在のもの。

著者略歴

松永 康

早稲田大学 研究戦略センター 教授

- 1988年 早稲田大学工学部卒業
- 1990年 早稲田大学理工学研究科修士課程修了
- 1990年 (株)東芝 ULSI 研究所 研究員
- 1995年 早稲田大学理工学研究科博士課程満期退学
- 1995年 早稲田大学工学部 助手
- 1997年 博士(理学)取得 早稲田大学
- 1998年 日本学術振興会特別研究員(PD)
- 2001年 早稲田大学工学総合研究センター 客員研究員
- 2004年 早稲田大学理工学術院 客員助教授
- 2009年 早稲田大学研究戦略センター 准教授
- 2013年 早稲田大学研究戦略センター 教授

タイトル 文部科学省「リサーチ・アドミニストレーターを育成・確保するシステムの整備」(研修・教育プログラムの作成)
講義教材「15.研究力調査・分析手法」

サブタイトル 分析手法の概説と実践

著者 松永 康

監修 学校法人 早稲田大学

初版 2014年2月28日

本書は文部科学省「リサーチ・アドミニストレーターを育成・確保するシステムの整備」(研修・教育プログラムの作成)事業の成果であり、著作権は文部科学省に帰属します。