JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	主要先進国の科学技術活動の総合指標の作成
Author(s)	丹羽，冨士雄；富沢，宏之
Citation	年次学術大会講演要旨集，8：195-202
Issue Date	1993-10-22
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/5408
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般論文

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

2C9　主要先進国の科学技術活動の総合指標の作成

○丹羽　冨士雄（埼玉大学），富沢　宏之（科学技術政策研究所）

1．はじめに

指標とは対象とする内容をいくつかの数値で指し示すものである。例えば、かってＧＮＰ（国民総生産）が一国の経済活動を総合的に示す指標として使用されていた。ＧＮＰは１個の数値で対象を表現している典型的な指標の例である。

科学技術活動の場合は、その活動を１個の数字で指し示すには余りに複雑であるとされ、複数の数値あるいは表で表現されてきた。その代表例が１９７２年よりほぼ隔年に発表されている、米国科学財団（ＮＳＦ）の科学技術指標[1]である。わが国でも１９９１年に指標を体系化して、発表している[2]。確かに、多数の数表で作成された科学技術指標は、ただ１個の数値よりも、科学技術活動を多面的にかつ詳細に表現することが可能である。

しかし、その一方では、多数の数値で表現されても、一国の全体をどのように把握できるのかという疑問や、１個ないしは２個程度の数値で一国の科学技術活動を表現したいという要望がある。また、そのような数値を時系列で表現し、国際比較し、我国の科学技術の総合力がどのように位置づけられるかを知りたいという希望もある。実際、国民生活指標[3]では各県毎の生活指標を算出しているが、このような試みは対象を１個の数値で表現し把握したいという欲求のあらわれと言える。

科学技術活動に対しても同じような要望はあり、本研究はそのような要望に応えようとしたものである。しかし、国民生活指標がその発表時に大きな議論を巻き起こしたように、一国の科学技術活動を１個で表現することには妥当性等様々な問題がある。そこで、本報告で著者らの試みを提出し、諸賢のご批判を得たいと思うものである。

2．総合化の方法

一つないしは二つの指標を得るためには、広い意味での総合化が必要になる。総合化の方法は以下のように分類できよう。

（1）主観的方法
（2）客観的方法
（3）両者の併用

（1）の主観的方法とは、指標化したい対象に関する専門家がその指標を提出するものである。科学技術について言えば、その専門家が例えば１９９３年の日本の科学技術力は５．３点、米国は９．５点というようにである。科学技術のように広範で複雑な対象の場合には、このような主観的な指標化は困難であり、疑問が多いと考えられる。

（2）の客観的方法では、対象に関連する統計データを収集して、それらを統計手法等で分析し、総合指標を求めるものである。分析手法としては、多変量解析のうちの主成分々析法、入力と出力の関係を扱うＤＥＡ法、あるいは成長曲線やライフサイクルを仮定しその位置で対象を総合的に指示するなどの方法がある。いずれにしても統計データを使用するので、客観的方法と名付けているものの、統計データ、手法あるいは表示方法を選択する際には、主観的判断が要請される。

（3）の両者の併用とは、例えばいつくかの統計データ（客観的）を収集する一方で、それが総合性にどの程度寄与するかを関係者に対する意識調査（主観的）で収集し、両者を例えば重み付き平均値のように結合する方法である。先に挙げた国民生活指標等がこれに属する。

本研究においては、様々な検討の末(2)の客観的方法、中でも主成分々析法を採用することにした。主成分々析法自身がこのような総合指標（あるいは得点）を作成するために開発された手法であるのが、その大きな理由である。また、類似の分析は因子分析法の因子得点を利用することでも可能である。一方、相対値（平均値で除するような）を対象にした分析は、対象の構造を明らかにする上で有効である。したがって、本研究では総合指標を開発すると共に因子分析法を用いた構造分析を試みた。

3．採用した科学技術統計

採用した統計は、いわゆる３次元構造を構成している。すなわち、（1）変数、(2) 国及び(3) 年である。まず、(2) の国では統計が整備されていること、日本の国際舞台での位置づけを明らかにできること等の理由により、いわゆる先進国を対象にした。具体的には、日本、米国、西ドイツ（統一されたものの、統計は旧西ドイツ時代のものである）、フランス、イギリスの５カ国である。次に年では、統計の制約から１９８１年から１９８９年の９年間のデータを採用した。

変数は、科学技術活動に関する入力と出力に分類した。厳密には、過去の出力変数は将来の入力変数になり得るが、その基本的性格から入力か出力かに分けた。具体的には、以下の１３変数を採用した。

（Ｉ）科学技術活動への入力

(1) 理学・学士取得者数（理学士数と略す）：理学系の大学学部において学士を取得した人の数。データの出所は前出のＮＳＦの指標報告書である。

(2) 工学・学士取得者数（工学士数と略す）：工学系の大学学部において学士を取得した人の数。データの出所は(1) と同じである。なお、国によって理学系と工学系の分け方が異なる。

(3) 研究者数：大学卒業後２年以上の研究歴があり、現在研究開発活動に従事している人の数。出典は「科学技術白書」平成４年版。各国の研究者の定義はＯＥＣＤによるフラスカチ・マニュアルに準じているものの、相違がある。また、先進各国はＦＴＥ（Full-time equivalent、実際に研究開発に従事している時間）を採用しているのに対し、日本は採用していない。

(4) 研究開発費：直接研究開発活動に投資された費用。出典は前述の白書である。

定義とＦＴＥについては研究者数と同じ問題がある。

(5) 技術輸入額：技術特許等を購入して外国に支払った金額。出典は「科学技術要覧」平成５年版である。技術輸入では、クロス・ライセンスの存在、定義、調査方法等に課題がある。

（Ⅱ）科学技術からの出力

(6) 論文数：学術誌に掲載された論文の数。具体的には、学術論文のデータベースであるＳＣＩに収録された論文数である。出典は、ISI,"National Science Indicaors Database, 1981-1992," 1993。本統計に関しては、採用された学術誌に偏りがある（英語圏のものが多い、臨床医学系が多い等）こと、等の問題がある。

(7) 論文被引用件数：学術誌に掲載された論文が他の論文に引用された回数。出典は前統計と同じである。なお、この統計は前統計と同じ問題がある他、引用の性格上、被引用件数は年次が新しくなるほど値が小さくなることがある。そのため、1988年以降の総引用件数は1981年～1887年の値より外挿して求め、各国の被引用回数は総引用件数に過去の平均国別シェアを乗じて求めた。

(8) 対内特許数：ある国の発明者による発明で、その国に登録された特許の件数。出典は「特許庁年報」各年版である。特許登録の制度は国によって異なり、特許に値する発明であっても申請されない等の問題がある。

(9) 対外特許数：ある国の発明者による発明で、その国以外の国に登録された特許の件数。出典は対内特許数と同じである。また、それと同じような問題がある。なお、対内特許数と対外特許数はその性格を異にすると考えられる。例えば、対内特許の方が対外特許に比較して容易であり、後者の方が一般に質が高く、産業の国際化や知的所有権の問題化につれて後者が増加する。

(10) 特許被引用数：特許登録の際に引用された既存特許の数。このような統計が整備されているのは米国特許局だけであるので、具体的には、米国で登録された特許の被引用回数である。出典は、CHI Research INC., "International Technology Indicators Databese," 1993である。米国に登録された特許を対象にしているので、米国人に非常に有利であるという歪みは避けられない。また、被引用という点では論文被引用と同じ問題を有しており、同じような操作によって近年の件数を外挿している。

(11) 技術輸出額：技術特許等を販売して外国から受け取った金額。出典は「科学技術要覧」平成５年版である。技術輸入額と同じ問題がある。ただし、科学技術活動における技術輸出の役割や性格は技術輸入より明確である。

(12) 工業製品生産額：第２次産業の生産額。出典は先に紹介したＮＳＦの指標報告書である。この統計は科学技術活動の成果を示すものである。

(13) ハイテク製品生産額：いわゆるハイテク製品の生産額。出典は前統計と同じである。この統計は前統計よりもより強く科学技術活動の成果を反映している考えられる。

（Ⅲ）補助変数として、以下の諸統計を利用した。

・購買力平価：金額で示された統計は、購買力平価を用いて全て邦貨（円）に換

算した。さらにデフレータを用いて実質価値に換算した。

・国民総生産（ＧＮＰ）：因子分析では、金額を単位にする統計はＧＮＰで除した。この操作によって、入力変数については国の科学技術努力の度合いを、出力変数については一種の生産性を表すものと考えられる。

・人口：同じように、因子分析で人数を単位にする変数のいくつかを人口で除した。なお、論文数等は研究者数で除した。

4．分析手法

総合指標の作成に当たっては、主成分々析法を採用した。各国の科学技術力を表現できる方法として最適と考えたからである。なお、本研究では3次元データを対象にしている。主成分々析法は2次元データを対象にした分析法であるため、3次元に拡張する必要がある。そこで、次のような3次元主成分モデルを採用することにした。

$$z_{k,jt} = \Sigma_i l_{k,i} \cdot x_{i,jt} \qquad (1)$$

$z_{k,jt}$：科学技術に関する第j国の西暦t年における第k主成分（総合指標）

$l_{k,i}$：第i変数の第k総合指標の因子負荷量

$x_{i,jt}$：第j国の西暦t年における第i変数の測定値

ここで、主成分（総合指標）の数はできるだけ少ない方がよいことは言うまでもない。統計的に第1指標の説明力が大きい時は1とすることができる。その時は添付した記号kは不要である。

このモデルでは3次元データを2次元に並べ変えて主成分々析法を応用することを想定している。すなわち、各国の縦（年）×横（変数）という2次元データを上から順に並べて、縦（国×年）×横（変数）という2次元構成のデータにし従来の主成分々析法を応用する。

3次元データを対象にした因子分析法のモデルは以下の通りである。

$$x_{jt,i} = \Sigma_k f_{jt,k} \cdot a_{k,i} + \varepsilon_{jt,i} \qquad (2)$$

$x_{jt,i}$：第j国の西暦t年における第i変数の測定値

$a_{k,i}$：第i変数の第k因子の因子負荷量

$f_{jt,k}$：第j国の西暦t年における第k因子の因子得点

$\varepsilon_{jt,i}$：第j国の西暦t年の第i変数に関する特殊因子

主成分々析法と因子分析法とはモデルは異なるものの、共にx(jt,i)という同じデータを利用している。また、両モデルを比較するとその添字から、z(k,jt)はf(jt,k)と、l(k,i)はa(k,i)と強い対応関係があることが分かる。実際、各係数は交換して利用されることがある。

因子分析は変数間の関係を定量的につかみ、その構造を明らかにしようとするものである。そこで、例えば研究者数など絶対値を使用せず、研究者数を人口で除するなど相対化した上で因子分析法を応用することも試みた。

5．科学技術活動の総合指標と構造

総合指標

図1に主成分々析法で得た各国の総合指標の推移を示す。まず、日本は米国の約半分で、独英仏はこの順で日本の約半分である。近年米日は増加傾向にあるが、欧州3国は横ばい傾向である。主観的にこのような傾向は納得されるであろうか。著者らは納得できるものと考えた。読者諸兄のご意見をお寄せいただきたい。この総合指標の固有値は10．1、その比率は77．7％である。したがって、この総合指標は8割近い説明力があると言える。

なお、米国は1981年から2年間漸減ないし横ばい傾向にある。この原因は数量面で、対内特許数、対外特許数、特許被引用、技術輸出額および工業製品生産額が減少する一方で、他の数値がそれを補うほどは上昇しなかったからである。これらの減少傾向を示した変数はすべて科学技術活動の出力に属するものであることに注目する必要がある。

因子負荷量を見ると、技術輸入額のそれが0．01である他は、すべて0．3前後である。この結果は、技術輸入額が他の科学技術活動を示す変数とは異なった性格を有することを示唆している。因みに技術輸入額と相関が高い変数は、対内特許数（.580）、工学士数（.450）である。国際的評価とは別の次元の、したがってその国にとって真の技術開発とは性格を異にする技術開発活動と思われる。

各国の入力指標と出力指標の推移

科学技術活動に関する変数を一括して、総合指標を作成できることの妥当性は、その第1主成分の固有値が8割り近いことから明かである。しかし、変数は科学技術活動の入力と出力とに分けられることから、それぞれ独立に総合指標を求めることを試みた。得られた主成分々析の結果を図2に示す。

図は、各国とも入力と出力との間に強い数量的関係があることを示している。米国は図1と同じように我が国のほぼ2倍の技術力（入力、出力とも）を有している。しかし、80年代前半では入力の順調な伸びに対し出力は低下ないし横ばいである。それが80年代後半では、入力の横ばいに比して出力は伸びている。一方、日本はこの間入力も出力も順調に伸びており、なかでも出力の伸びが入力の伸びを上回っていることが注目される。日米とも近年入力に対する出力の伸びが大きく、いわゆる生産性が向上したことを示している。それでも、平均的傾向（原点と平均値とを結んだ直線）を多少越えた程度である。欧州3国はいずれもその入力と出力の指標は日本の半分以下である。しかし、いずれも常に平均的傾向を上回り、特に西ドイツの場合はその生産性の向上は著しい。

入力の総合指標の固有値は3．56であり、その比率は71．3％であった。出力の場合は、固有値が6．64、その比率は82．9％であった。

科学技術活動の構造

因子分析の結果を図3に示す。使用した変数名は前図と同じものを使用している。しかし、いわゆる絶対値ではなく、人口（研究者数等人に関する変数の場合）や国民総生産（研究開発費等金額に関する変数の場合）で除した相対値を用いている。

図で、第１因子軸の右側に位置する変数は論文引用数、論文数、理学士数等である。一方、左側に位置する変数は工業製品生産額、ハイテク製品生産額、工学士数等である。すなわち、第１因子は右に科学、研究、より基礎的な活動に関する変数が分布し、左には技術、生産、開発、より応用的な活動に関する変数が分布していると言える。そこで第１因子を「科学－技術」因子と名付ける。第２因子では上側に研究開発活動の出力に関する変数が分布し、下側には入力に関する変数が分布している。そこで第２因子を「入力－出力」因子と名付ける。

なお、回転後の第１および第２因子の固有値は各５．２７、４．０８である。その累積寄与率は各４０．６、７２．０％である。両者で７割強の説明力があると言える。

図４は各国各年の因子得点を図示したものである。この図は各国の科学技術活動の性格を明示していると言えそうである。すなわち、まず米国はその人口や国民総生産に比して豊富な資源を科学技術活動に投入しており（第２因子の下側に配置）、その性格は科学的あるいは基礎的であることが分かる（第１因子の右側に配置）。その反対に位置するのが日本である。日本もその人口や国民総生産に比してかなりな資源を科学技術活動に投入している。しかし、最近は出力の性格が増加気味である。またその性格は技術面あるいは応用面に優れている。欧州３国の場合は、その人口や国民総生産に比して科学技術活動で豊かな出力を出している。また、その性格は科学と技術の中間あるいは基礎と応用の中間である。なお、英国を除いた４カ国の共通の傾向として、その科学技術活動が科学、研究あるいは基礎的な方向に向かっている。これは注目すべき点である。

６．おわりに

本研究の目的は、国の科学技術活動を一つの指標で表現することの可能性を追求することである。利用できる変数に様々な問題はあるものの、一応初期の目的を達成することはできたと考える。それによって先進各国の科学技術力の総合力を想定することができた。さらに、関連する因子分析によって、科学技術活動の構造を明らかにできた。それは科学技術活動量と科学－技術軸であった。これは従来記述的に言われていたことである。本研究では、科学技術活動を代表する統計がそのような仮説を支持することを示したことで一定の成果があったと考える。

一方、今後の展開に関しては様々な課題が考えられる。適切な統計の収集、定義の差を少なくする補完法の開発、解釈の深化等が考えられる。一方、この成果が多方面に与える貢献は大きいと考えられる。従来定性的にしか触れることできなかった領域に定量的な操作の可能性を与えたこと、結果や構造の解釈等で新しい知見が得られること、等である。

参考文献

[1] NSF, "Science and Engineering Indicators," 1991.
[2] 科学技術庁、「体系科学技術指標」、1991.
[3] 経済企画庁、「国民生活指標」、1991.

図１　各国の科学技術総合指標の推移

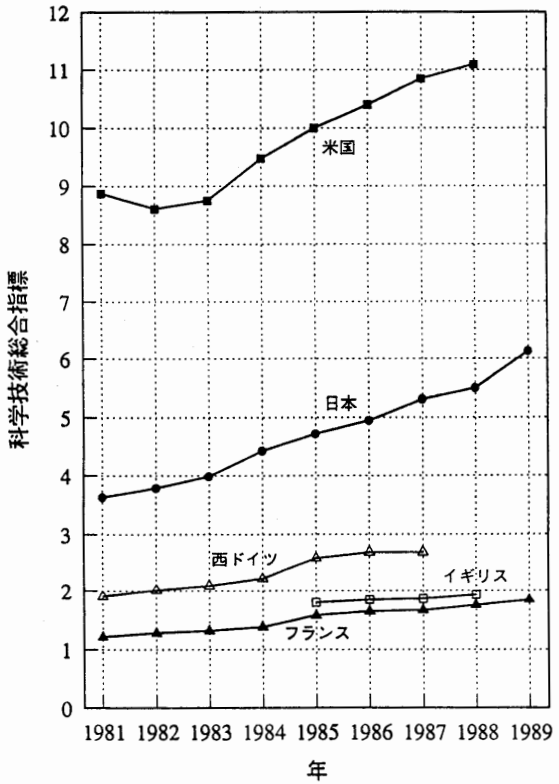

図２　各国の科学技術入力指標と出力指標の推移

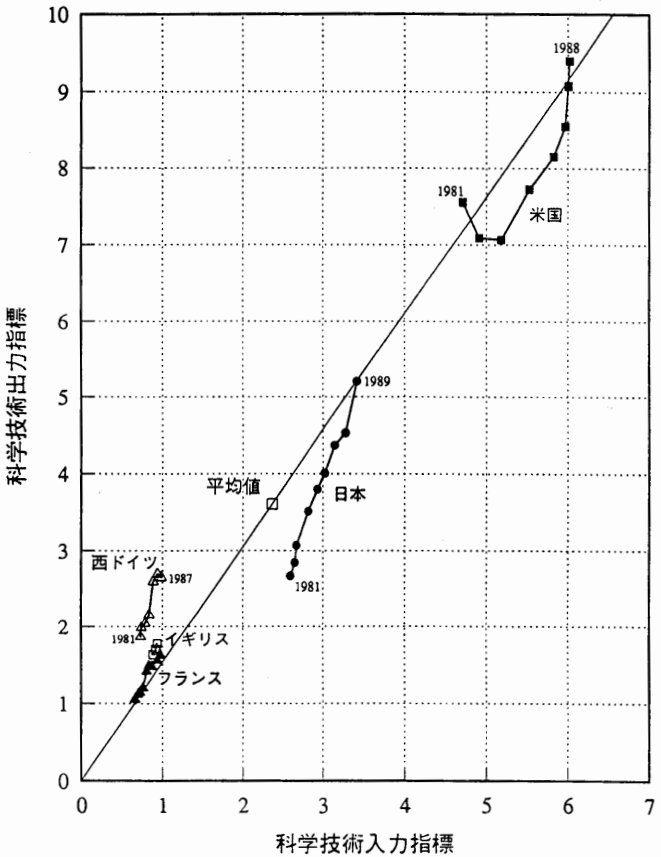

図３　科学技術活動変数間の構造

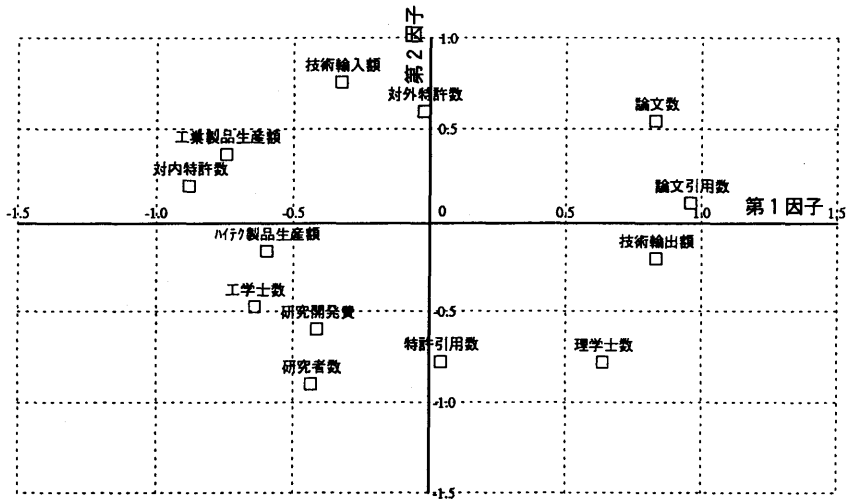
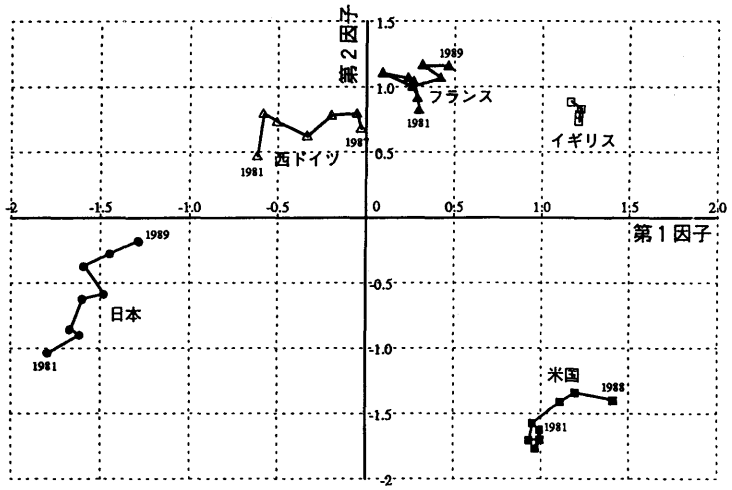
図４　各国の科学技術因子得点の推移