

## 多次元空間における余弦値を用いた経営分析

著者	小沢 浩
雑誌名	商学論究
巻	66
号	4
ページ	147-161
発行年	2019-03-10
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10236/00027930">http://hdl.handle.net/10236/00027930</a>

# 多次元空間における余弦値を用いた経営分析

小 沢 浩

## 要 旨

事象の正常・異常を識別するには、部分进行分析する視点と全体を捉える視点の両方が必要である。しかし、従来の経営分析は、財務諸表上の2項目の比率計算にとどまり、全体的な視点から捉えることができていなかった。本稿では、基本的な計算構造は従来と同じでありながら、これを3項目以上の比率計算に拡張する方法を提案する。具体的には、分数を使った算術的な計算方法を、ベクトルの内積の公式を使って幾何学的な計算に置き換える。これによって、全体を一つの指標で表現できるほか、財務状態の類似性の判定が容易になる。

キーワード：財務諸表分析 (financial statement analysis)、コサイン類似度 (cosine similarity)、企業間比較 (inter-business comparison)、時系列比較 (time-series comparison)、業種間比較 (inter-industry comparison)

## I はじめに

経営分析の手法には、絶対的金額で表現された数値に基づいて評価を行う実数分析と、2つ以上の数値の関係を比率に換算して解釈を行う比率分析がある(桜井 1997)。このうち、経営分析として一般的に想起されるのは、後者の比率分析であろう。ところで、この比率分析は、「2つ以上の数値の関係を比率に換算」と定義されているものの、実際には、2項目の比率計算に限られている。3項目以上の比率の計算に言及した著述は、筆者が知る限り

において存在しない。

3項目以上の比率計算が行われて来なかったのは、その計算が不可能と思われることが第一の理由であろう。比率計算を算術的、すなわち割り算または分数によって行っている限り、扱える項目数は自ずから2項目に限られてしまう。もう一つの理由としては、仮に計算ができたとしても、3項目以上の比率を使ってどのような分析ができるのかが、イメージできなかったことがあるかもしれない。

そこで、本稿では、算術的な計算方法ではなく、幾何学的な計算方法によって、多項目の比率を計算する方法を提案する。その上で、多項目指標を使って試みた経営分析の実例を紹介する。それによって、多項目の比率指標は、財務諸表上の多数の数値のプロポーシオンを表現したもので、複数の財務諸表の類似性を評価する指標となることを示す。

## II 実数分析・2項目比率分析の限界

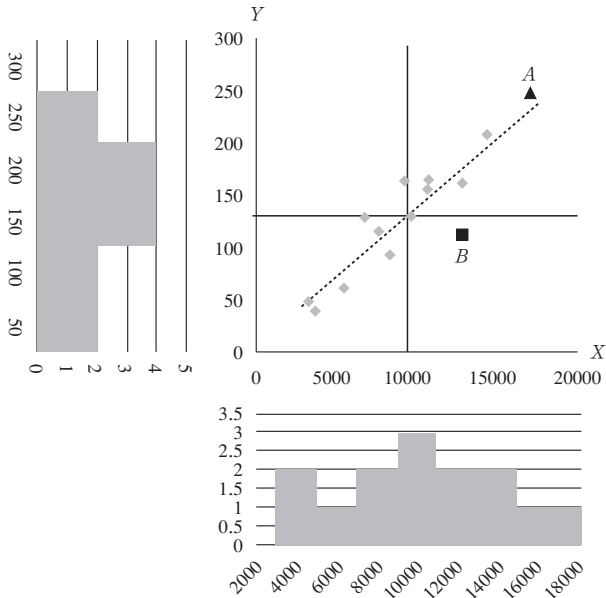
経営分析に限らず、ものごとを理解するには、全体像を眺める視点と、部分に分けて調べる視点の両方が必要である。どちらか一方だけでは、見落とされてしまう事象がある。

例えば、第1図は、相関を持つ2変数の実数データを $X-Y$ 平面上にプロットしたものである。右上にプロットされている三角の点 $A$ は、横軸の変数だけを単独で見た場合には、極端に大きく、例外的に見えるデータである。縦軸の変数だけを単独で見た場合も同様である。実際に点 $A$ のデータは、縦軸・横軸のどちらにおいても、信頼区間95%（両側）のわずかに外側にある。しかしながら、縦軸と横軸の2変数の比率でみると、点 $A$ は回帰直線の近傍にあり、決して例外的なデータではない。経営分析に当てはめると、売上高が例外的に大きかったが、同時に営業利益も例外的に大きかったために、売上高営業利益率としては平均的であったというような場合である。このように、個別項目だけでは異常に見えるが、全体（この場合は2項目の比率）を見ると正常に見えることがある。

逆に、中央のやや右下にプロットされている四角の点 *B* は、横軸と縦軸のどちらの変数を見ても平均的な値である。縦軸では平均の少し上、横軸では平均の少し下である。しかし、回帰直線からは大きく外れており、比率で見た場合には例外的なデータに見える。実際にこのデータにおける縦軸と横軸の比率は、信頼区間95%の外側にある。経営分析で言えば、売上高も営業利益も平均的でありながら、売上高営業利益率は大きく変化しているような場合である。このように、部分だけを見た場合と全体を見た場合では、正常と異常の判断が異なることがある。

しかしながら、冒頭にも述べたように、従来の経営分析では、実数（1項目）か2項目の比率の分析にとどまっており、3項目以上を同時に考慮して全体像を把握することができていない。

第1図 相関のある2項目データの分布例



### Ⅲ 多項目分析法の数理

従来の経営分析指標では、例えば、売上高経常利益率は「経常利益／売上高」と計算する。これは、売上高を横軸（ $X$  軸）、経常利益を縦軸（ $Y$  軸）にとった平面上において、売上高（ $a_1$ ）と経常利益（ $a_2$ ）によって定められる点  $A(a_1, a_2)$  と原点（点  $O$ ）とを結ぶ直線が  $X$  軸との間になす角（ $\theta$ ）の正接値（ $\tan \theta$ ）を計算していることと同じである（第 2 図）。なお、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$  であるから、 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  である。 $\tan \theta$  の値は、 $\theta$  によって決まるのであるから、売上高経常利益率は、 $\theta$  によって表現することもできる。そして、これは天下りの的ではあるが、 $\theta$  を求めるためには、まずは  $\cos \theta$  を計算するのが都合がよい。

$\cos \theta$  を求めるためには、直線  $OA$  上にベクトル  $\overrightarrow{OA}$  を定め、売上高の軸（ $X$  軸）上にベクトル  $\overrightarrow{OB}$  を定める。このとき点  $B$  は、 $B(b_1, b_2)$ （ $b_2=0$ ）となる任意の点である。そして、ベクトルの内積の公式より、次のように  $\cos \theta$  を計算することができる。

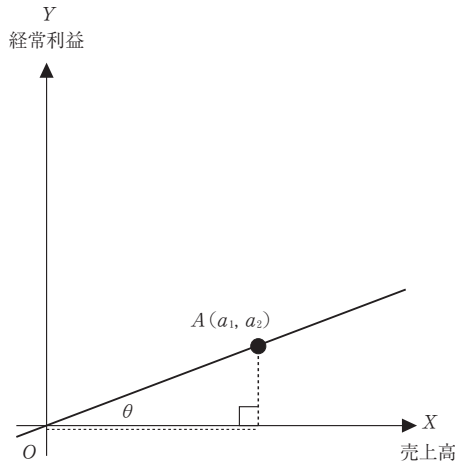
$$\begin{aligned} \overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} &= |\overrightarrow{OA}| |\overrightarrow{OB}| \cos \theta = a_1 b_1 + a_2 b_2 \\ \cos \theta &= \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2} \sqrt{b_1^2 + b_2^2}} \end{aligned} \quad (1)$$

こうして  $\cos \theta$  の値が得られれば、そこから  $\theta$  の値を求めることができる。もちろん、これを  $\tan \theta$  に換算して、従来通りの経営分析指標で表現することもできる。そして、この式を次のように一般化すれば、2 項目に限らず、多項目の比率計算にも容易に拡張することができる。

$$\cos \theta = \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2 + \cdots + a_n b_n}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + \cdots + a_n^2} \sqrt{b_1^2 + b_2^2 + \cdots + b_n^2}} = \frac{\sum a_n b_n}{\sqrt{\sum a_n^2} \cdot \sqrt{\sum b_n^2}} \quad (2)$$

この方法は、従来と同じ指標を、異なるアプローチで計算しているだけである。したがって、従来の指標とは完全に整合的でありながら、3 項目以上の比率計算への拡張を可能にしている。第 1 表には、2 項目の比率を従来の方法で表現したものと、 $\theta$  で表現したものとを並べて表示している。

第2図 経営分析指標の幾何学的理解



第1表 θによる経営分析指標の表現

パナソニック (単体)

(単位：百万円)

		2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
資産合計		4,837,454	4,672,025	4,679,087	4,935,233	4,099,204	4,427,681
売上高		3,916,950	4,084,606	3,852,419	3,782,279	3,655,233	4,056,083
経常利益		110,523	145,158	190,240	213,761	247,651	321,023
売上高経常利益率	従来表現 (%)	2.8	3.6	4.9	5.7	6.8	7.9
	θ (°)	1.6	2.0	2.8	3.2	3.9	4.5
総資本回転率	従来表現 (%)	0.81	0.87	0.82	0.77	0.89	0.92
	θ (°)	39.0	41.2	39.5	37.5	41.7	42.5
総資本利益率	従来表現 (%)	2.3	3.1	4.1	4.3	6.0	7.3
	θ (°)	1.3	1.8	2.3	2.5	3.5	4.1

IV 多項目分析における基準設定の問題

ここまで、2項目間の比率計算を多項目間の比率計算へと拡張するための数理について述べた。しかし、実用的には、これだけでは不十分である。3項目以上の比率計算に拡張する場合には、2項目間の比率計算では生じな

い、新たな課題に対処しなければならない。

第2図および第1表では、2項目の比率を計算するために、 $\overrightarrow{OB}$  と  $\overrightarrow{OA}$  のなす角 ( $\theta$ ) を求めた。このとき、 $\overrightarrow{OA}$  は、評価したい対象 (標本) に関するベクトルであるから、これを、「信号ベクトル」とよぶことにする。これに対して、 $\overrightarrow{OB}$  は、それ自体は評価の対象ではなく、信号ベクトルである  $\overrightarrow{OA}$  を評価するための基準として用いるベクトルである。そこでこれを「基準ベクトル」とよぶことにする。つまり、 $\theta$  を求めるというのは、基準ベクトルに対して信号ベクトルがつくる角の大きさを求めるということであると言い換えられる。

これまで、2項目の比率計算を行う場合には、暗黙のうちに基準ベクトルが  $X$  軸と  $Y$  軸のどちらかに設定されていた。そして、2項目であれば、 $X$  軸を基準にして計算した  $\tan \theta$  と  $Y$  軸を基準にして計算した  $\tan \theta$  は、相互に逆数になるだけである。そのため、2項目の比率計算においては、基準ベクトルを意識的に選択する必要がなかった。

比率計算を3項目以上に拡大しようとする、3つ以上ある軸のどれを基準にするかという問題に直面する。どの軸を基準にするかによって、計算された指標の意味が異なってしまうからである。つまり、3項目以上の比率計算においては、基準ベクトルをどのように設定するのかについて、意識的に考えなくてはならないという課題が生じる。

基準ベクトルを設定する方法については、いくつかの方法が考えられる。その方法は大きく、(1) 絶対的な基準ベクトルを設定する方法と、(2) 相対的な基準ベクトルを設定する方法の2つに分けられる。

### (1) 絶対的な基準ベクトル

絶対的な基準ベクトルを設定するというのは、信号ベクトルにはなり得ない、つまり、それ自体は特定の事象を表すことのない、意味的に中立なベクトルを基準とする方法である。

例えば、任意の軸上のベクトル (要素のうち1つだけが「1」で、他は

「0」のベクトル)を基準ベクトルにする方法である。従来の2項目の比率分析はこの方法に該当する。上述したように、この場合は、複数の要素のうち、どれを「1」にするかによって指標の意味が変わるため、目的に合わせて慎重に検討しなくてはならない。その他に、要素がすべて「1」のベクトルを基準にすることが考えられる。この方法は、特定の軸を基準にする方法に比べて汎用性が高い。

## (2) 相対的な基準ベクトル

相対的な基準ベクトルを設定するというのは、信号ベクトルにもなり得る、特定の企業や特定の年度のデータを要素にもつベクトルを基準とする方法である。

例えば、分析対象企業の過去のデータを基準ベクトルにする方法がある。過去の業績は単年度でなく複数年度の平均であっても構わない。この方法によれば、例えば、過去10年の業績平均と比較した対象年度の業績を評価するというようなことが可能になる。同様に、時系列ではなく、同時期の他社のデータを基準ベクトルにする方法も考えられる。

このように計算された $\theta$ は、基準ベクトルと信号ベクトルとの要素の類似性を表している。例えば、 $\overrightarrow{OA}=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 、 $\overrightarrow{OB}=(b_1, b_2, \dots, b_n)$ としたときに、要素 $a_1, a_2, \dots, a_n$ の比率と、要素 $b_1, b_2, \dots, b_n$ の比率が同じであれば $\theta$ は0になり、違っていれば $\theta$ は大きくなる。さらに言えば、要素の比率によって $\theta$ が決まるのであるから、ベクトルの方向だけが意味もっていて、大きさは意味を持っていない。つまり、ここでいう類似性は、相似性と言い換えることもできる。つまり、 $\theta$ の値は、企業の規模を無視して、財務諸表の数値のプロポーシオンだけに注目した類似(相似)性を評価することになる<sup>1)</sup>。

1) 本稿では、経営分析指標を多項目に拡張する方向で $\cos\theta$ の計算を経て $\theta$ を求める計算を展開してきた。同様にベクトルの内積の公式を使って求めた $\cos\theta$ を類似性の判定に用いる方法は他の領域においても用いられるようである(Dosi et al.; 2017,



このように、多項目の比率分析においては、意識的に基準ベクトルを設定しなくてはならないという煩わしい問題が生じる。しかし反面で、このことのポジティブな作用として、比率の相対評価や、比率分析を類似（相似）性の評価に応用するという発想がもたらされる。

## V 分析事例

以下では、実際のデータを用いて多項目の比率指標（多項目総合指標）の計算結果を示し、多項目総合指標の課題や利点を明らかにする。そのために、まず、2項目指標と3項目指標を比較して、どのような違いが生じるのかを検討する。そして、相対的基準ベクトルを使った時系列分析、絶対的基準ベクトルを使った業種間比較を試みる。

### 1. 2項目指標と3項目指標の比較

(1) 絶対値の小さい項目の変化が小さく評価される効果

第2表は、パナソニック株式会社（単体）の売上高、経常利益、総資本の数値に基づいて、基準ベクトルと信号ベクトルのなす角 ( $\theta$ ) を計算した結果である。なお、2013年のデータを基準ベクトルの要素としている。また、14～18年の各年のデータを信号ベクトルの要素としている。つまり、2013年を基準とした時系列変化を表している。第3図は、これをグラフで表現したものである。①～③は、3項目のうちの2項目でその変化を表しており、④は3項目総合指標でその変化を表している。

なお、例えば「売上高経常利益率」は、「売上高に対する経常利益の比率」であり、売上高の軸上に絶対的な基準ベクトルをとった場合の  $\theta$  を表す名称である。したがって、基準ベクトルを軸上にとらない場合に、このような名称を用いることは誤解や混乱を招きかねない。そこで、本稿では、これと区別するために、便宜的に、「売上高・経常利益比率」という名称を用いる。

---

Lang and Stice-Lawrence; 2015)。明示的ではないが、マハラノビス・タグチ・システムのRT法の計算式にも同様の発想が見られる（立林，2008）。

他の指標についても同様である。

第2表および第3図を見ると、④3項目総合指標は、①～③の3通りの組み合わせのうち、②売上高・総資本比率に最も近い値をとっていることが分かる。これは、経常利益の値が、売上高や総資本の値の2～2.5%程度と極端に小さいため、経常利益の変化が3項目総合指標にほとんど影響を及ぼし

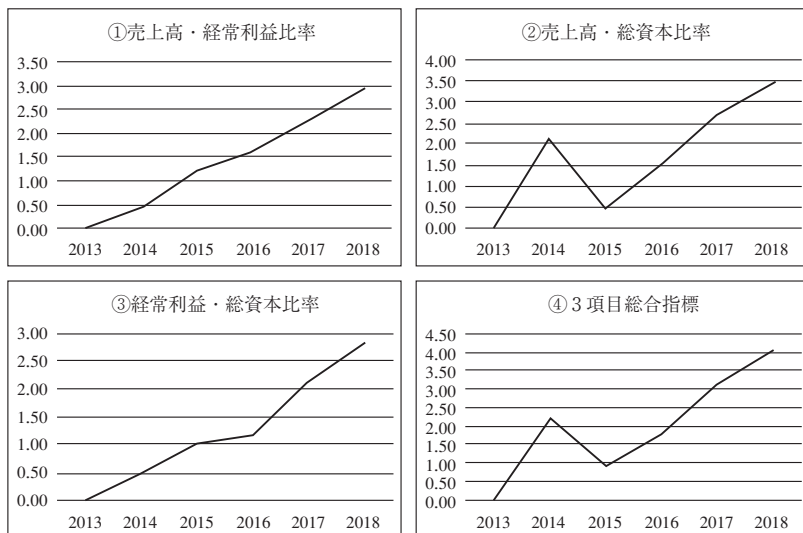
第2表 2項目指標と3項目指標の比較（数値）

パナソニック（単体）

（単位：百万円）

	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
資産合計	4,837,454	4,672,025	4,679,087	4,935,233	4,099,204	4,427,681
売上高	3,916,950	4,084,606	3,852,419	3,782,279	3,655,233	4,056,083
経常利益	110,523	145,158	190,240	213,761	247,651	321,023
① 売上高・経常利益比率(°)	0.00	0.42	1.21	1.62	2.26	2.91
② 売上高・総資本比率(°)	0.00	2.16	0.47	1.53	2.73	3.49
③ 経常利益・総資本比率(°)	0.00	0.47	1.02	1.17	2.15	2.84
④ 3項目総合指標(°)	0.00	2.19	0.91	1.80	3.14	4.05

第3図 2項目指標と3項目指標の比較（グラフ）



ていないことが理由である。このように、多項目の比率指標では、極端に値の小さい項目がある場合には、その変化を捉えにくくなるという性質がある。

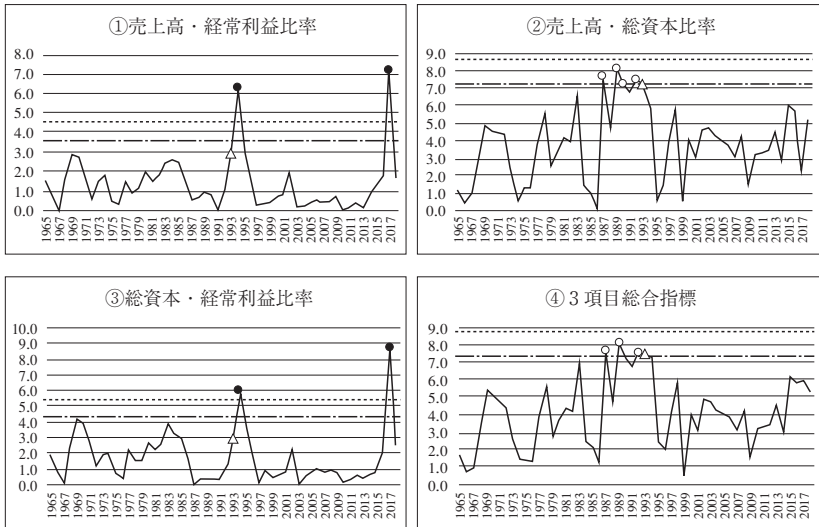
## (2) 焦点の範囲によって見落とされる異常

第4図は、東芝テック株式会社（単体）の①売上高・経常利益比率、②売上高・総資本比率、③経常利益・総資本比率、および、④3項目の総合指標の時系列推移を示したものである。1965年3月から2018年3月までの54年間の売上高、経常利益、総資本のデータのうち、1965年から2014年までの50年間の平均値を要素とするベクトルを相対的な基準ベクトルとしている。そして、各年度のデータを要素とするベクトルを信号ベクトルとしている。

また、グラフ中には、 $\theta$ の分布が正規分布に従うと仮定した場合の信頼区間95%および99%の水準を破線で示すとともに、95%信頼区間（片側）の外側のデータを白抜き丸、99%信頼区間の外側のデータを黒丸で表している。

このグラフからは、本項の冒頭で述べた、部分に焦点を当てた場合と全体

第4図 東芝テックの50年平均ベクトルと各年度のベクトルがなす角



に焦点を当てた場合における正常・以上の判定の違いが観察される。まず、1994年と2017年に①売上高・経常利益比率と③総資本・経常利益比率のグラフ中に黒丸が現れている。これに対して、どちらの年も④3項目指標では正常値を示している。これは上述したように、数値が極端に小さい経常利益の異常が全体にはほとんど影響を及ぼさないことに起因している。

次に、1993年の値が全てのグラフ中に三角印で示されている。この年には、①売上高・経常利益比率、②売上高・総資本比率、③総資本・経常利益比率のいずれにおいても正常の範囲に収まっている。しかし、④3項目総合指標では95%の信頼区間の外に出ている。これは、個別指標では発見されにくい異常が総合指標によって発見されることを示している。

## 2. 3項目指標を用いた時系列分析：50年平均との比較

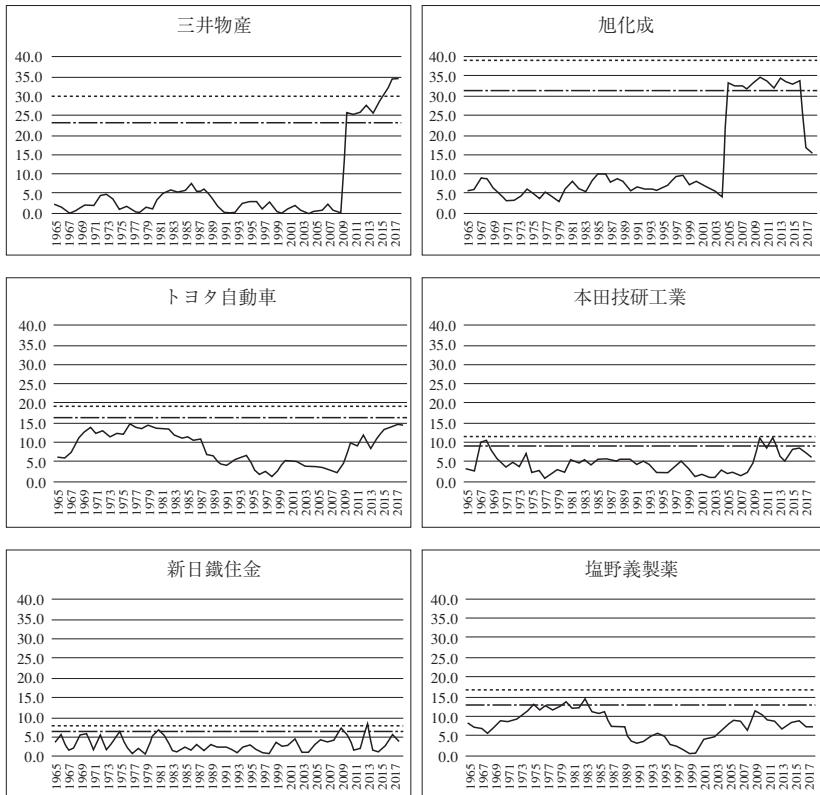
第5図は、6つの企業（単体）の3項目総合指標の時系列推移を示したものである。1965年3月から2018年3月までの54年間の売上高、経常利益、総資本のデータのうち、1965年から2014年までの50年間の平均値を要素とするベクトルを相対的な基準ベクトルとしている。そして、各企業の各年度のデータを要素とするベクトルを信号ベクトルとしている。また、グラフ中には、 $\theta$ の分布が正規分布に従うと仮定した場合の信頼区間（片側）95%および99%の水準を破線で示している。

グラフからは、各年度のベクトルは、いずれの企業も平均ベクトルの周りに概ね $\theta < 15^\circ$ の範囲で分布していることが分かる。ただし、三次元空間において、基準ベクトルと $\theta < 15^\circ$ の角度をなすベクトルは、基準ベクトルの周囲に円形（円錐状）に分布している可能性があることに注意しなくてはならない。つまり、 $\theta$ の値が近いことは、必ずしも、基のデータどうしが近い値であることを意味しない。例えば、n年、m年ともに基準ベクトルとなす角が $\theta = 15^\circ$ であっても、n年とm年のベクトルが、互いに基準ベクトルを挟んで正反対にある場合には、両者のベクトルがなす角は $30^\circ$ にもなる。

また、第5図を見ると、三井物産は2010年に、旭化成は2005年に $\theta$ の値

が非連続に大きくなっている。こうした変化から、この年に経営上の大きな変化があったか、財務諸表の作成方法に影響を与える大きな変化があったであろうことが推察される。こうして全体の変化を捉えた上で、変化の詳細や原因を調べようとすれば、今度は部分に焦点を当てた分析指標をする必要がある。

第5図 様々な企業における3項目総合指標の50年平均との乖離



### 3. 8項目指標を用いた業種間比較

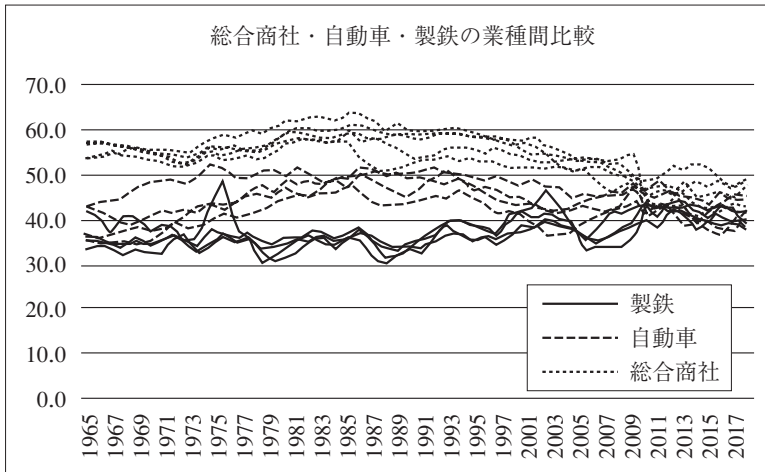
第6図は、総合商社（5社）・自動車（4社）・製鉄（4社）の計13社の8

項目総合指標の時系列推移を示している。なお、1965年から2018年までの各企業の各年度の固定資産、流動資産、固定負債、流動負債、売上高、売上総利益、営業利益、経常利益の8項目のデータを要素とするベクトルを信号ベクトルとしている。また、全ての要素が1のベクトルを絶対的基準ベクトルとしている。

このグラフを見ると、1970年代から2005年頃までは、 $\theta$ の値が業種ごとに近い値をとっている。また、業種間の違いは比較的鮮明である。しかし、2005年以降は、 $\theta$ の値に業種ごとの差異がみられなくなっている。このことは、かつては、業種ごとに財務諸表に特徴があったが、近年では、業種による財務諸表の差がなくなってきたことを示唆している。

ところで、前項で述べたことと同様に、 $\theta$ の値が近いことは、単に基準ベクトルとなす角が同じであるというだけであって、元のデータどうしが近い

第6図 絶対基準ベクトルを用いた総合商社・自動車・製鉄の指標<sup>2)</sup>



2) 商社は、伊藤忠商事、丸紅、住友商事、三井物産、三菱商事の5社。自動車は、トヨタ自動車、本田技研工業、マツダ、日産自動車の4社。製鉄は、新日鐵住金、JFE、神戸製鋼所、中山製鋼所の4社である。

値であることを意味するわけではない。例えば、第3表に示すように、2014年の新日鐵住金のデータが基準ベクトルとなす角 ( $39.8^\circ$ ) と、同じ年の住友商事のデータが基準ベクトルとなす角 ( $39.9^\circ$ ) は、非常に近い。しかし、新日鐵住金と住友商事を直接比較すると、その角は ( $14.7^\circ$ ) である (第3表)。

第3表 絶対基準による数値と一対比較による  $\theta$  の値

(単位:  $^\circ$ )

	基準	新日鐵住金	住友商事
基準	0.0	39.8	39.9
新日鐵住金	39.8	0.0	14.7
住友商事	39.9	14.7	0.0

## VI おわりに：多項目指標の課題と可能性

本稿では、経営分析指標の計算方法を、従来の算術的な計算方法から幾何学的な計算方法に転換することで、2項目の比率の計算から、多項目の比率の計算へと拡張できることを示した。しかもそれは、全く新しい指標ではなく、従来の指標の延長線上に定義される計算方法である。そのため、従来の指標を包含し、矛盾なく共存させることができる。

この方法による経営分析には、解決すべき課題と応用可能性がある。解決すべき課題は、2項目指標のときには意識する必要がなかった基準ベクトルについて、3項目以上の指標では意識的に設定しなくてはならないことである。

反面で、基準の設定に裁量の余地があることは、この分析指標の応用の幅を広げる。例えば、優良格付け企業や長寿企業など模範的と考えられる企業のデータから基準を定めることができれば、それらと分析対象企業の類似性を評価し、優良性の判定に使えるかもしれない。あるいは、戦略の類似性と財務データの類似性を比較する、業界内のポジションと財務データの類似性

を比較する、バリュー・チェーンにおけるポジションと財務データの類似性を比較するという使い方も考えられる。このような展開を試みる場合には、どのような企業の、どの数値を基準ベクトルの要素とするべきかという、基準ベクトルの開発が課題となる。

その他に、財務データにこだわることなく、社会関連会計などの分野で、多面的に評価され、統一指標に集約することが難しかった社会貢献の多様な指標の統合にも応用できるかもしれない。

(筆者は名古屋大学大学院経済学研究科教授)

(付記)

本研究は科学研究費補助金基盤研究 (C) (16K03808) による研究成果の一部である。

#### 参考文献

- 桜井久勝 (1997) 「財務諸表分析」『会計学辞典 第五版』神戸大学会計学研究室 編、同文館、pp. 526-527.
- 芝野広志・安永英明 (1999) 「マハラノビス距離を活用した企業経営状態の把握」『品質工学』第7巻第4号.
- 立林和夫編著 (2008) 『入門 MT システム』日科技連.
- Dosi, G., M. Grazzi, L. Marengo, S. Settepanella (2017) Production Theory: Accounting for Firm Heterogeneity and Technical Change, *The Journal of Industrial Economics*, Vol. 64, No. 4, pp. 875-907.
- Lang, M. and Stice-Lawrence, L. (2015) Textual analysis and international financial reporting: Large sample evidence, *Journal of Accounting and Economics*, No. 60, 110-135.