

放送大学茨城学習センター学生論集

# 茨城 S C フォーラム

第8号  
2018年3月



## 巻頭言

この学生論集は、2011年に創刊されて以来、今年で8年目となります。今年度は、茨城学習センターが開設されてから20周年を迎えたことから、この間の記録も整理されました。その中で、学生論集「茨城SCフォーラム」が初めて印刷された状況も明らかになりました。2011年3月11日に東日本大震災が発生したことで印刷所の機械も壊れ出版も危うくなつた中で、最終校正の原稿を仕上げ届けたとのことです。印刷所の奮闘により復旧にこぎ付け創刊号が誕生したことです。この思いがこの論集に息づいています。

“フォーラム”は交流する場を表し、放送大学に集う学生の情報発信をこの冊子は担っています。生涯学習機関である放送大学には、実に様々な学生がいます。これら学生の声が聞こえてくることに、ほんのり勇気づけられる思いがします。

今回の論集においても、頼もしくもあり、また、楽しい実践報告が載っています。修論・卒研報告では、堅実な研究の中で自らの主張と思いを貫いた竹内孝さんの修士論文研究活動と、対照的に気ままに楽しく奮闘された卒研の活動報告を金子紀夫さんが発表されています。卒研を経験した学生は、大変だったけれど楽しかったと云います。茨城学習センターに所属する学生はもっと多くが卒業研究に取り組んだ方がよいと思います。(教員)・学生講演会も8回目を迎えました。今回の教員発表は第3代茨城学習センター所長でもある塙見正衛先生でした。先生のお話からは、数学、特に統計の楽しさが伝わってきました。社会と産業コースに在学中の住谷光男さんは、若かりし頃(44年前:昭和48年)に取り組まれた「虎塚古墳の壁画(ひたちなか市)」調査と保存について報告しました。実際に発掘調査された者でしか知らない情報や貴重な壁画記録などが発表され、私も貴い体験となりました。生活と福祉コースに在学中の鯉渕登さんは、1960年代から取り組んだ「途上国での農業支援活動」を報告しました。この活動に至る自らの思想形成を満州開拓団の先輩や宣教師から受けた言葉などを交え、丁寧に話していただきました。1960年代にインドで強盗に入られた怖い話も衝撃でした。今年も、放送大学には色々な学生が集まっているとの思いを強くしました。

放送大学茨城学習センター  
所長 横沢正芳

## 目 次

### 巻頭言

### I 論説『知識・経験を生かした学びと地域社会活動』

#### I-1 生物の集団を統計と数学的な物差しで測る

元茨城学習センター所長 塩見 正衛 1

I-2 虎塚古墳の壁画発見と保存 社会と産業コース 住谷 光男 9

I-3 新たな生き甲斐を求めて～途上国での農業支援活動から～

生活と福祉コース 鯉渕 登 17

### II 修士論文・卒業論文

#### II-1 研究開発投資が全要素生産性の上昇に及ぼす影響に関する実証分析

社会経営科学プログラム修了 竹内 孝 25

II-2 卒業研究ゼミで学んだこと 社会と産業コース 金子 紀夫 27

### III 研究論文

#### III-1 ボランティア活動と生きる力の関連性－ボランティア体験塾の参加群と対照群との比較－

放送大学大学院修士選科生 茂呂 輝夫 29

### IV 技術解説

#### IV-1 線形代数学の特異値分解で統計学の主成分分析を解く

数学共楽会 山口 文夫 竹内 孝 石田 紀久 37

### V 知の小窓

V-1 水槽渦がダンスする 元茨城学習センター所長 白石 昌武 43

### VI 私の放送大学

VI-1 私にとっての放送大学とロードバイク 自然と環境コース 田辺 裕美 45

### 編集後記

# I 論説

## 『放送大学の教員と学生の知識・経験を生かした学びと地域社会活動』

### I – 1 生物の集団を統計と数学的な物差で測る

元茨城学習センター所長 塩見 正衛<sup>1</sup>

生物学が扱っている生物の集団には、同じ種類の生物から成り立っている集団と、異なった種類の生物が一緒になって作っている集団がある。同じ種類の生物の集団でも、人口増加に関係している年齢グループや、まだ増加に関係できない若い年齢のグループ、すでに人口増加には関係しなくなった集団など、年齢構成だけに注目しても複雑なシステムになっている。性別や栄養状態、体质、個体間の生存競争、さまざまな死亡原因など考えると、ますます複雑な集団である。人間だけではなく、すべての生物の集団は必ずこのような複雑なシステムをもっている。

異なる生物で構成される研究対象は、生物の種類内における生存競争の他に、種類間にも熾烈な競争が働いている。このような種類間の相互関係を調べ、法則を見つける研究は、わたし達が生物の集団を利用するため、また自然の生物集団と共存していくためには、欠かすことができない重要なテーマである。多くの研究者が永年研究をつづけてきたけれども、今でも、生物集団の中や生物集団の間には、未知・不明の要因が多く存在していて、研究テーマは尽きることがない。

本論では、先ず、同じ種類で成り立っている生物の個体数やバイオマスの増加・現象の初步的な規則を説明、後半で、わたしと共同研究者たちが行ってきた異なる種類の生物が混合している集団の生存様式の最新の研究成果について概略を述べる。以後、「生物の種類」のことを「生物種」あるいは単に「種」と呼ぶ。

#### 1. 同一生物種の集団内の個体数の増加・減少

同一生物種の個体の集団を、わたし達は個体群と呼んでいる。上にも述べたように、個体群といつても、その構造ははなはだ異なる性質をもった個体の複雑な集団であるから、それらを個体ごとに細かく調べていく方法がある。一方、そのような個体間の違いを生物集団のもつ性質とみなし、その集団全体としての行動を調べる方法がある。ここでは、後者の最も簡単な例を挙げよう。

人口やバクテリアなどの個体数の増加を考えよう。今、実験のはじめに個体数が  $y_0$  である集団を考える。性別がないバクテリアなら 1 個体から始まつても、環境条件が満たされればどんどん増えていくが、人間のように性別がある場合にはそうはいかないので、女性の人数だけを  $y_0$  人と考え、男性の人数は無視する。ある一定期間に 1 個のバクテリアは 1 時間で  $100r\%$  ずつ増えていくとすると、複利計算で  $t$  時間後のバクテリアの数  $y$  は、 $y = y_0(1+r)^t$  (1)

となることは中学で学んだ。そこで、1 日を  $n$  等分して  $1/n$  時間では  $100r/n\%$  の増加率とする。したがって、

式 1 は  $y = y_0 \left\{1 + \frac{r}{n}\right\}^{nt}$  と書ける。ここで、 $n \rightarrow \infty$  とすると、 $y = y_0 e^{rt}$  (2)

を得る。 $(\because \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n \rightarrow (e; e = 2.7183\dots))$ 。

<sup>1</sup> 茨城大学名誉教授、放送大学自然と環境コース 学生

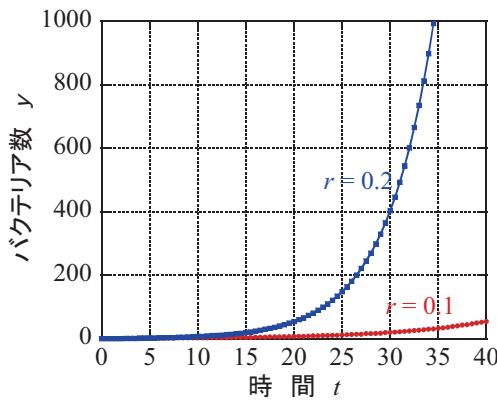


図1 バクテリア数の増加

式2は、もっと簡単な考え方でも求められる。バクテリア個数の瞬間の増加速度を  $dy/dt$  で表し、それはある時点  $t$  における個数  $y$  に比例する(比例係数を一定値  $r$ )とすると:

$$\frac{dy}{dt} = ry \quad (3)$$

が成り立つ。この式から、

$$\frac{dy}{y} = r dt ; \text{さらに } \int \frac{1}{y} dy = \int r dt + C \quad (C \text{ は積分常数})$$

を解くと、 $\log y = rt + C$  となり、 $y = e^{C+rt}$  において  $y_0 = e^C$  故、式2が得られる。

今、式2において、 $y_0 = 1$ 、 $r = 0.1$  の場合と  $r = 0.2$  の場合を比較して図1に示す。いずれも時間とともに、バクテリア数は無限大に向かって増加していく。バクテリアなどの生物では、 $r$  を複利率ではなく増加率と呼んでいる。

式2で示したバクテリアの増加を表す関数は、バクテリアの生息している環境が無限大までの個数を許容できる場合である。しかし普通、生存できる空間や食糧などの環境には上限があって、個数が増えづけるとバクテリアの増加は抑制される。このような条件を付け加えた生物の増加を表す関数が 1900 年代に考えられた。それは、集団を扱っている生物学の教科書には必ず記載されている「ロジスティック(成長)曲線」である。その式の概念は以下のとおりである。

ショウジョウバエを飼育ビンで飼育しているとしよう。ビンでショウジョウバエが占めることができる容積の上限を  $K$ (環境収容力という)、実験開始時の時刻  $t_0$  における個体数を  $y_0$ 、増加率を  $r$  とする。時刻  $t$  における個体数を  $y$  とすると、まだショウジョウバエ個体の収容可能な容積は  $K-y$  である。そこで、式2における  $r$  は図2( $r'$  と書く)に示すように、存在する個体数  $y$  が増加すると直線的に減少し、個体数  $y$  が  $K$  に達すると増加率  $r'$  は 0 になると仮定する。この図2を式で表すと、

$$r' = r \left\{ 1 - \frac{y}{K} \right\} \text{と書け、式3は}$$

$$\frac{dy}{dt} = r' y = ry \left\{ 1 - \frac{y}{K} \right\}$$

となる。 $a$ を初期条件によって決まる定数としてこの式を解くと、

$$y = \frac{K}{1 + ae^{-rt}} \quad (4)$$

が得られる。生物学の教科書では、ロジスティック曲線は式4の形で書かれている。

このロジスティック曲線は、古くから、生物学で広く使われてきた有名な式で、この式を基本にして、生物の年齢(エージ)を加味したり、生物の種間の争い(競争)や協調作用、捕食作用などを含んだ式が考えられ、非常に多くの研究業績や莫大な量の博士論文の原点になってきた。

図3に、 $K=10$  に設定し、種々の  $r$  値で描いたロジスティック曲線を示す。ここでは、負の値をもつていて増加率(減少率)の曲線も含まれている。

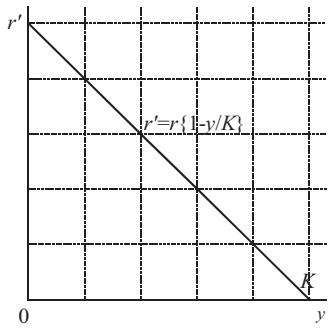


図 2 増加率に制限がある場合  
 $r' = r\{1-y/K\}$

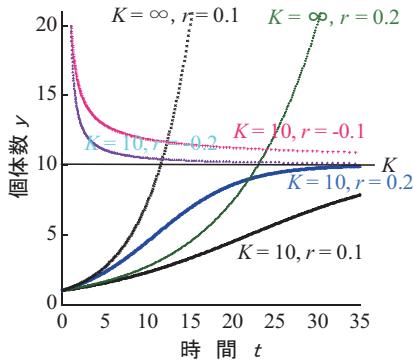


図 3 いろいろのパラメータに対するロジスティック曲線  
 $K = 0$ より上の曲線が増加率が負の場合である

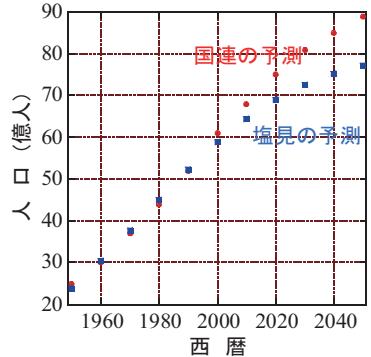


図 4 ロジスティック曲線による世界人口の予測  
**国連**: 2000 年までのデータから予測は、将来の食糧や衛生・医療の改善によって環境収容力  $K$  の向上を考慮している; 一方、  
**塩見**: 2010 年までのデータだけで予測

負の  $r$  が生じる現象は、例えば、環境条件の悪化で環境収容力  $K$  が低下した場合などに発生する。

図 4 に、世界の人口動態の実態と予測を示すが、2000 年までにはいまだ増加が続いている、人口構造には平常状態が見られない。2050 年までの世界人口の予測では、環境収容力  $K$  の存在が予測されるように見えるが、 $K$  は食糧生産や衛生・医療条件の改善に影響を受け大きくなるから、 $K$  は一定値ではなく、将来どの程度のラインまで上昇するか予測はむずかしい。農業害虫の発生数、野生生物数の変動、漁業資源量の変動の解析などにもロジスティック曲線の考え方方が使われている。

## 2. 複数の生物種の群れが形成している生物集団

わたしはほぼ 20 年間、「草原の植物集団は、どのような植物で、どのように構成されているか」を、日本、中国、中央ヨーロッパの草原で調べてきた。そこで見つけた法則の一端を紹介したい。研究結果は、草原の保全や荒廃した草原の回復、家畜飼料の生産に直ちに役立つものではないかもしれないけれども、このようなテーマの研究がいつかは、飼料生産や地球と地域の環境保全の政策に役立つと考えている。複数の生物種で構成されている集団を群集とか群落と呼んでいる。

### 2.1 植物の種数の空間分布（文献 [1]）

空間分布とは、ここでは草地内や森林内、耕地内などに、植物が分布している様式である。わたしたちは、ほぼ 20 年前から、「一定小面積当たりの植物の種数がどのように、空間的に分布しているか」に关心をもってきた。図 5a は、中国陝西省神木村の草原で調査した結果である。45 m のライン上に 50 cm × 50 cm の方形枠を 90 個置いて、それぞれの枠内の植物種数をかぞえた。90 個の枠の種数を頻度分布にまとめたのが図 5b である。最も少ない種数の枠では 4 種、最も多くの種が共存している枠では 11 種が見つかった。平均種数は方形枠当たり 6.28、分散<sup>注1</sup>は 2.46 であった。この頻度分布の特徴は：①平均 < 分散<sup>注1</sup>、②方形枠当たり種数の最小値  $k$  がある（図 5b では 4 種）。「なぜこのような特徴が見られるのか」と、長い間考えた末、2 年前ふと気がついたことは、「ポアソン分布<sup>注2</sup>を右に  $k$  単位移動した頻度分布が種数の頻度分布に適合する」のではないかということであった。それを図 5c に示す。図 5c では、草原で得られた種数の頻度分布は、ポアソン分布を左に 4 単位移動した頻度分布にかなりよく適合している。 $i$  種が存在している方形枠の割合  $P(i)$  を表す一般式（モデル）を式 5 に ( $i = 0, 1, 2, \dots, \infty$ ) 示す：

$$P(0) = P(1) = \dots = P(k) = 0,$$

$$P(i) = e^{-\mu} \mu^{i-k} / (i-k)! \quad (i = k, k+1, k+2, \dots) \quad (5)$$

ここで、 $k$ は枠当たり最小の種数、 $\mu$ は式5を左に $k$ 単位移動した頻度分布(ポアソン分布<sup>注2</sup>)の平均である。また、 $i=k, k+1, k+2, \dots \infty$ で、式5の平均 $\lambda$ は $\mu+k$ 、分散は $\mu$ である。故に、平均 > 分散。

私は、植物の集団でいつでもこのような現象が起こるのは、図6に示すような原因によると考えている:  
①方形枠内には $n$ 個のお皿がある(図6では $n=9$ 個のお皿);②草原に生存している植物種には、非常に多く出現する種から出現がわずかな種までいろいろある;③種ごとの出現量に比例して方形枠内のお皿を種々の植物種が埋める。ひとつのお皿にはひとつの種だけが入るが、出現量の多い種はいくつものお皿を占める。ひとつの方形枠内では、1個だけのお皿を占める種もいくつものお皿を埋めた種も、種数はどちらも1である。以上のようなプロセスで方形枠ごとに存在している種と種数が決まる、というのが基本的な種数決定のメカニズムであると考えている。

ここに示した陝西省神木村のデータ以外に、わたしたちがもっている日本、中国、中央ヨーロッパなどを行った調査データのうち1例を除いて、すべて式5でうまく表現できることができた。

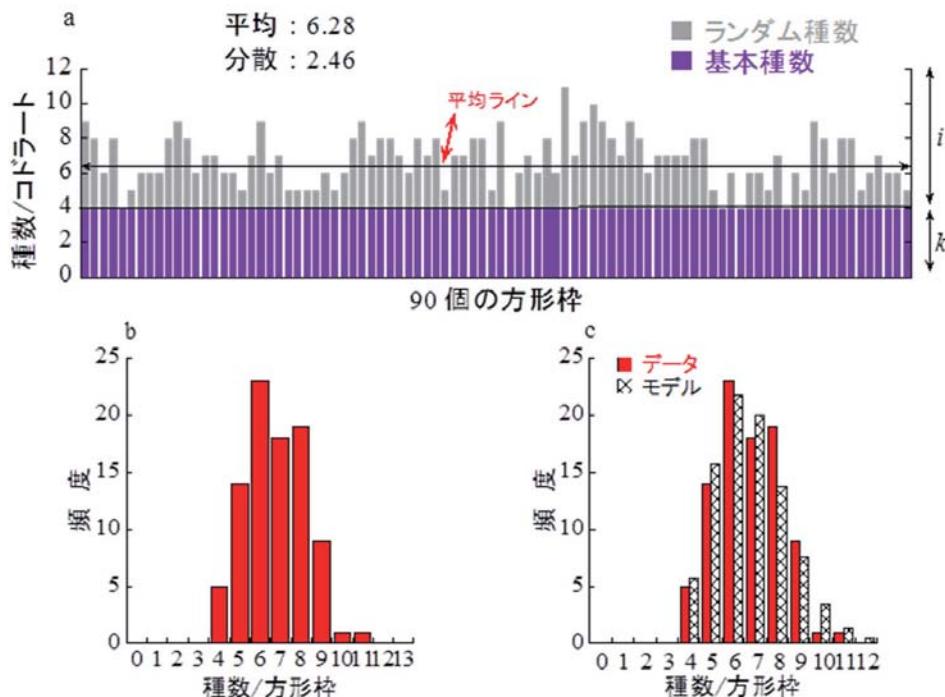


図5 a 45 m のライン上において大きさ 50 cm × 50 cm の 90 個の方形枠ごとに出現していた種数

b 方形枠当たり種数データの頻度分布

c 方形枠当たり種数データと式5(モデル)によって表した頻度分布

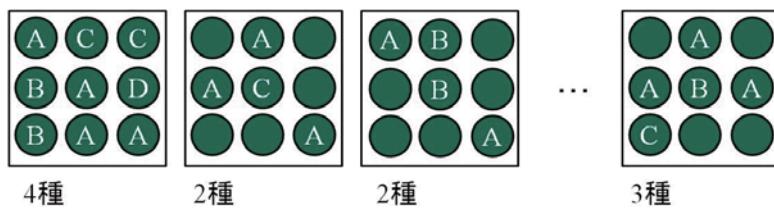


図6 どの矩形枠にも9個のお皿がある。お皿のいくつかはA、B、C、Dのどれかの種に占められる。

出現の多い種はいくつものお皿を占めるが、出現の少ない種はめったに入らない。どの種にも占められていないお皿もある

## 2.2 種構成に関する研究

植物の種構成が異なっているいくつかの場所や時期の調査結果を比較して、それらの植物集団の劣化や回復の水準を判断する必要性に迫られることが多い。砂漠化が進行したり、洪水や野火が発生すると、植物集団の種構成は大きな変化を受ける。表1は、チベット自治区松多三村の2つの草原AとBで行った調査結果の一部で、説明のために両草地とも5つの方形枠だけを取り出した。16種類の植物が出現在したが、同じ草原内であっても種構成は方形枠間で異なっているし、一般には、異なった管理を行っている草原間では、種構成はもつと大きく異なっている。わたし達は、このような草原内と草原間の植物の種構成のちがいを数値化している。そのために、ブレイ-カーチスが1955年に考案した指数を基礎に使うことにした。彼らの指数の計算式は、見た目はちょっと複雑だが、この式は、2つの方形枠の間で、①種構成が全く等しいときは0、②まったく異なっているときには1の値をとり、③その中間の種構成のときには0と1の間の値をとる。ブレイ-カーチスの基本的な式 $T$ は、 $z_{hi}$ を第 $h$ 番目の方形枠内の第 $i$ 番目の種が取った値、 $s$ を種数とすると、第 $h$ 番目の方形枠と第 $k$ 番目の方形枠の間の種構成の違いをあらわしている：

$$T_{hk} = \frac{\sum_{i=1}^s |z_{hi} - z_{ki}|}{\sum_{i=1}^s (z_{hi} + z_{ki})}$$

意味のある応用例をひとつあげる。2009年、茨城大学理学部と中国の西北農林科技大学の合同で、黄土地帯の中国寧夏自治区にある標高2000mの半乾燥草原で調査を行った。その草原では長年綿羊と山羊の放牧が行われてきたが、経済発展に伴ってこれまでより強い放牧が行われるようになり、草原は著しく損傷、砂漠化の寸前まできてしまった。西北農林科技大学は、1982年からその草原の回復のための国家プロジェクトに参加している。地域は膨大な面積を占めていて、その中に放牧を禁止した試験区を設けた。わたしたちの調査の時点では、2009年当時まだ放牧を行っていたとても貧弱な植物の草原、放牧禁止2年間の草原、放牧禁止7年間の草原、放牧禁止12年間の草原というように、5年ごとに放牧禁止27年間までの7種類の草原があった。同大学のご好意によって、わたしたちはその草地の調査を行った。それぞれの草原に50cm×50cmの方形枠を100個置いて、枠ごとにそれぞれの植物ごとの種の存在量を測定した。測定では、0(存在しない)～4(豊富に存在する)までの5段階の数値を与えた。そのようなデータにもとづいて、経歴が異なった7つの放牧禁止をつづけた草原の種構成の比較を行った結果を表2に示す。

この表では、前にも述べたように、大きな数字は種構成に大きな違いがあることを、小さな数字は種構成が似ていることを示している。全体として、放牧を同じ年数禁止している試験区内の方形枠間では、種構成の違いは小さいけれども、放牧禁止歴が異なっている試験区の方形枠間では種構成の違いは大きい。もう少し詳しく見るために、表2の一部を抜き出してグラフ化してみる(図7)。

図7aの点Aは、放牧禁止27年間の試験区と0年(すなわち、放牧中;0.7684)の試験区の比較である。B、C、…と右下へ順次、放牧禁止27年の試験区と放牧禁止2年の試験区の種構成の違い(0.7212)、27年の試験区と7年の試験区の違い(0.6903)、…というように見ていくと、放牧を禁止していた年数が27年に近づいていくにしたがって、2つの放牧を禁止した試験区間の種構成の違いは直線的に小さくなつていったことが分かる。図7bの点Aは、放牧中の試験区と放牧禁止2年間の試験区の間の種構成の違い(0.6219)を表し、順次右に、Bは放牧禁止2年の試験区と7年の試験区間の種構成の違い、…を表している。この図からは、点EとFはA～Dより種構成の違いが小さくて安定した種構成の違いを示しているように見える。わたしたちは、このような放牧禁止歴に従った種構成を検討することによって、何年

間放牧を禁止すれば優良な草原が回復できるかを検討することができた。草原の回復には 12 年から 17 年もかかり、わたし達が予想していたよりもかなり長い期間を要することに気づかされた。

**表1** 西藏(チベット)松多三村草原の草原 A と草原 B の 100 ずつの方形枠の最初から 5 方形枠ずつをとりだした 16 種の種構成と出現頻度

種名	草原A: 方形枠番号					草原B: 方形枠番号				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
高山嵩草	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
肉果草	0	0	3	3	0	3	4	4	4	3
钉柱委陵菜	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
针茅	2	4	4	3	1	0	0	0	0	0
羊茅	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
黒褐苔草	1	1	1	2	1	0	0	4	1	0
禾叶点地梅	3	1	3	1	3	3	3	0	0	0
高山唐松草	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0
蒲公英	2	2	4	0	1	1	1	3	0	4
火绒草	1	0	0	0	2	3	3	3	3	4
甘松	2	0	2	2	0	0	0	0	1	2
藏北嵩草	0	1	1	1	0	2	1	2	1	2
异叶米口袋	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
大花嵩草	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
西藏粉报春	0	0	0	0	0	3	1	0	3	3
高山大戟	0	0	0	0	0	4	4	3	4	4

**表2** 7 つの放牧を禁止した試験区内および試験区間における種構成の違い  
大きな数値は相異が大きいことを、小さい値は相異が小さいことを示す

放牧禁止年数	27 年間	22	17	12	7	2	0 放牧中
27 年間	0.4852†						
22	0.5060‡	0.3858					
17	0.5795	0.4885	0.4316				
12	0.6185	0.5244	0.5901	0.4051			
7	0.6903	0.6544	0.6373	0.6317	0.5598		
2	0.7212	0.6935	0.6381	0.7207	0.5960	0.5610	
0 (放牧中)	0.7684	0.7295	0.6298	0.8291	0.6909	0.6219	0.4307

†27 年間放牧を禁止した試験区内の種構成の違い ; ‡27 年間および 22 年間放牧を禁止した試験区間の種構成の違い

### 3. 小面積当たり種数の世界記録（文献 [2]）

わたしが在籍していた茨城大学理学部の生態学研究室では、中国西寧市に根拠地をおく西北高原生物研究所と日本の国立環境研究所の援助を得て、同研究所の中国青海省海北地区に所在する試験地で、2001 年から 2003 年まで草原植物の調査を行った。試験地の標高は 3200 m もあって、高所に慣れていないわたし達は、ゆっくり歩いても息切れした。移動するのがきつかったので、調査地は宿舎のごく近くに設定した。このことが偶然に、非常に多い種数の場所の発見につながった。この草原では、牧民は、暖季には村から数 km から数十 km 離れた山岳地帯で綿羊とヤクの混群を放牧し、夏が終わると村内の暖季に無垢で温存されていた比較的狭い草原に放牧を行っている。わたしたちの調査地はこのような冬季に放牧される草原である。調査は 8 月上旬に行ったから、そこは冬季の利用ために温存されていた草原

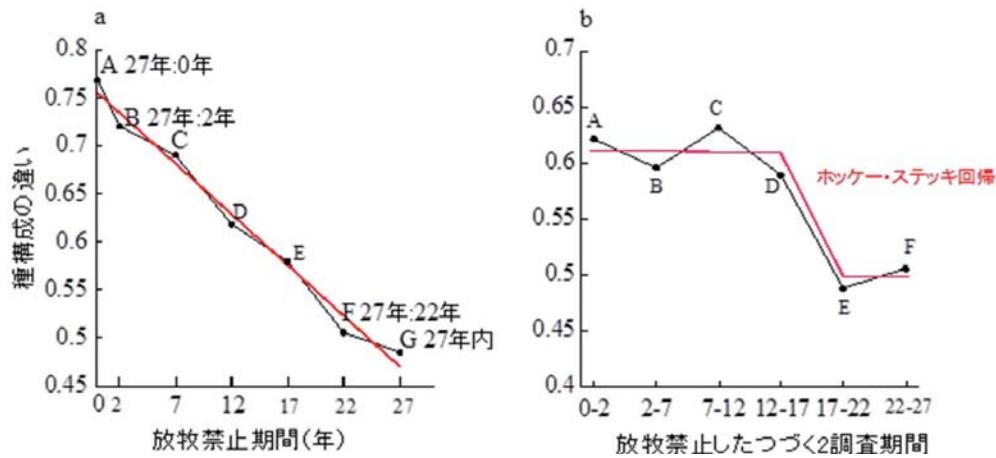


図 7 a 放牧禁止 27 年間の草地と他の草地の種構成の違い: 放牧禁止の年数が長くなつていくと、種構成の違いが小さくなつていく(横軸を  $x$ 、縦軸を  $y$  とすると、回帰式は  $y = 0.7554 - 0.0106x$ 、 $R^2 = 0.992$ ) ;  
b 放牧禁止したつづく 2 調査期間の種構成の変化: 放牧禁止 12–17 年間以降草地の種構成の違いは小さく安定した

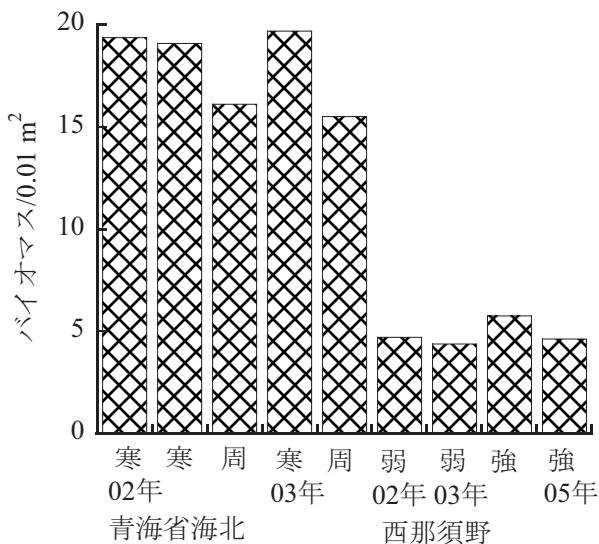
ということができた。ただし、疾病畜は暖季にも村内の草原の一部で飼育されている(周年放牧)から、そのようなところの調査も行った。2002 年には、10 m のライン上に、10 cm × 10 cm の方形枠を 100 個作って、枠ごとに地際で植物を刈取って袋に詰め、実験室に持ち帰つて種ごとに分別し、乾燥機にかけた後、植物種ごとに乾燥重を測定した。作業を始めてすぐ気がついたことは、種数がとても多いことであった。栃木県西那須野町に所在する農林水産省旧草地試験場の自然草地と比べると、種数は数倍あって、植物の分類に多大な手間を要した。そのため、残念ながら 100 個の方形枠の植物の一部は放棄せざるを得なかつた。次の夏、2003 年には、50 m のライン上に 50 cm おきに前年と同様の方形枠を 100 個設けて、調査を行つた。ここで得られた種数のデータを図 8 に示す。2007 年にこの結果を「世界記録」と書いて国際誌に投稿したら、論文の審査委員から『「世界記録」という語をはずすように』と言つてはしまつたのは、今思つて返す返すも残念である。

わたしは、2013 年にエストニアで開かれた植生学会の見学旅行に参加したとき、バスの添乗員を務めたタルト大学の先生が、「わたしたちは、エストニア国内で世界一種数が多い草原を見つけました」と何度も言つた。わたしたちはその草原のことは、1991 年に出版されたタルト大学のゾーベル教授らの論文を読んで知つていたが、それは 10 cm × 10 cm 当り平均 17.7 種であった。わたしたちの見つけた青海省の草原では、19.69 種であったから、世界記録はわたしたちのものであることは確実である。2015 年に同じ学会がチェコのブルノで開かれ、わたしはこれにも参加した。そこでは、チトリ教授が見学旅行で、「チェコのこの草原が世界一種数が多いですよ」とおつしやつた。帰国後、同教授から email で彼等の論文が送られてきた。論文には、「0.01 m<sup>2</sup> のある方形枠では最大 18(20?)種が見つかっている」と記されていた。わたしたちの調査の野帳を見ると、0.01 m<sup>2</sup> のある方形枠では 30 種が記録されているので、ここでも、わたしたちの優位は保たれた。

#### 4. 生態系で種数がもつ意味、まとめに代えて

種数の多少は、生態学的にどういう意味をもつてゐるのか? それはいろいろ議論されている。ひとつは、賛否両論があるが、自然環境において種の多様性を保つことが、自然の崩壊を防ぐのではないかという議論である。しかし、少なくとも、自然環境が人為か何かの作用で崩壊させられたとき、回復するために投入できる種は豊富な方がいい。

2000 年ごろから言つてゐることであるが、「高い種数は植物の生産量が高いことにつながる」という説



**図8** 青海省海北試験地のヤクと綿羊の放牧草地(左から5つ)、および栃木県西那須野町の旧草地試験場の和牛の放牧自然草地(右から4つ)における $0.01\text{ m}^2$ 方形枠当たり平均種数の比較;数字は調査を行った西暦年の下2桁;寒は冬季だけ放牧を行う草地、周は周年放牧を行っている草地;弱は5月から10月まで和牛の軽い放牧を行っている草地、強は同様に強い放牧を行っている草地

が議論されている。わたしたちは主に、「種数の豊富さや種構成をどのように測るか」という問題に関心を抱いて研究してきたけれども、種数の豊富さは、実は環境の安定性や生産量の豊かさと強く結びついていて、有意義な研究テーマであるから、もっと発展させなければならないと考えている。

#### 注1:分散とは

図5aの棒グラフを左から読むと、種数は9, 8, 6, …で、90番目は5である。この図では、平均種数は6.28であるから、各方形枠の種数から平均6.28を引いた値は、「各方形枠の種数が平均からどれくらい離れているか」を示している。したがって、その $2$ 乗値(データー平均) $^2$ の和も、平均からそれぞれのデーターがどれくらい離れているかを示すひとつの指標となっている。この指標値はデーター数が多いほど大きくなってしまうから、データー数で割った値にして、「分散」と呼んでいる(実際には数理統計学の理論から、データー数より1小さい値で割る)。このようにすると、異なるデーター数のグループの間でも分散の大きさを比較することが可能になる。図5aの数値からは、種数の分散は: $[(9-6.28)^2 + (8-6.28)^2 + (6-6.28)^2 + \dots + (5-6.28)^2]/(90-1)=2.46$

#### 注2:ポアソン分布とは

数学的にはいろいろな導き方があるが、ここでは例で説明する(厳密ではないが)。今、遠くから飛んでくるスギ花粉を一定の短時間(例えば10秒間)、大きさ一定の多数のシャーレで捕捉したとしよう。花粉群にはいかなる濃淡もなく、ランダムな群れとして飛来していると考える。シャーレ上に付着している花粉粒数を顕微鏡で調べると、一定面積(例えば $1\text{ cm}^2$ )当たり花粉粒数の頻度分布はポアソン分布に従っている。このように、完ぺきに空間的にランダムに分布した粒子の一定面積当たり粒子数がポアソン分布である。線源から離れた所で測定した放射性物質の一定面積当たり粒子数などもこれにあたる。

#### 参考にした既存の文献

- [1] Chen, J., Gáborčík, G., Shiyomi, M. (2016) A probability distribution model of small-scale species richness in plant communities. Ecological Informatics 33: 101-108. Doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.04.003
- [2] Chen, J., Yamamura, Y., Hori, Y., Shiyomi, M., Yasuda, Y., Zhou, H.K., Li, Y.N., Tang, Y.H. (2008) Small-scale species richness and its spatial variation in an alpine meadow on the Qinghai-Tibet Plateau. Ecological Research 23: 657–663. Doi.10.1007/s11284-007-0423-7

## I-2 虎塚古墳の壁画発見と保存

社会と産業コース 住谷 光男

### はじめに

奈良県の高松塚古墳は、1972(昭和 47)年3月に発掘調査が行われ、凝灰岩を組み合わせた横口式石槨から日月・四神・人物像等の彩色壁画が発見されて大きな話題となった。茨城県ひたちなか市の虎塚古墳は、それから1年半後の翌年8月に実施された発掘調査により、予想もしていなかった彩色壁画が発見された。この高松塚古墳の保存のため、未開口石室の保存科学調査がわが国で初めて虎塚古墳で実現し、温湿度、空気組成、微生物などの科学的データが測定された。これらは高松塚古墳の保存対策に取り入れられるとともに、自らが装飾古墳という虎塚古墳にとってその後の保存整備に大いに活用された。私が約 45 年前の学生の頃に、この発掘調査に調査団の一員として関わった当時の調査状況や成果[大塚 2014、勝田市史 1978]、壁画の保存と公開などについて、エピソードも交えて紹介したいと思う。

虎塚古墳のように遺体を納める石室の壁面や石棺等に、彩色・線刻・浮き彫りにより文様を描いているものを「装飾古墳」(墳丘を持たない横穴墓も含む)と呼んでいるが<sup>1)</sup>、高松塚古墳やキトラ古墳は、その文様構成が直接中国の影響を受けているものであるため、これとは区別して「壁画古墳」と呼んでいる。

### 1. 虎塚古墳の位置と調査の経過

#### 1.1 虎塚古墳の位置(図1、写真1)

ひたちなか市は那珂川を隔てて県都水戸市と接し、虎塚古墳はひたちなか市(旧勝田市)中根字指渕(さしふ)に所在している。太平洋から約4kmで、高速道路東水戸道路ひたちなか IC のすぐ西側に位置している。那珂川の支流の中丸川と本郷川の浸食を受けて発達した、東中根台地の標高約 20m の台地先端部に立地している。

虎塚古墳群は、虎塚古墳を主墳として周りに4基の方墳又は円墳が分布している。笠谷古墳群は前方後円墳2基、円墳8基が残されている。以前は18基以上存在し、墳丘から埴輪片が出土することから虎塚古墳群に先行する6世紀後半頃の時期である。十五郎穴横穴墓群は、指渕・館出・笠谷の3つの支群に分かれて分布し、最近の確認調査により全体で274基が確認され、未確認の数を算出すると総数 500 基を超える東日本最大級の横穴墓群と考えられる<sup>2)</sup>。

虎塚古墳に隣接して、1993(平成 5)年 12 月に市埋蔵文化財調査センターが建てられ、旧石器時代から中世までの考古資料や虎塚古墳石室の実物大模型を展示している。

#### 1.2 発掘調査の経過

全国で遺跡の発掘調査が行われているが、調査の原因は、宅地造成や道路築造等各種開発に伴う事前調査がほとんどである。そして、調査終了後はこれらの工事が進められて、遺跡は破壊されてしまう。有名な青森県の三内丸山遺跡は県営野球場建設、佐賀県の吉野ヶ里遺跡は工場団地造成に伴う事前調査であったが、極めて重要な遺構・遺物が発見されたため、例外的に開発計画が断念されて遺跡が保存されることになったものである。

##### (1) 第1次調査と壁画発見(図2、写真2~6)

虎塚古墳の場合は、前述の開発に伴う事前調査とは違って、1970(昭和 45)年から本格的に開始された



図1 虎塚古墳の位置



写真1 虎塚古墳付近航空写真

勝田市史編さん事業の一環の学術調査として実施した。発掘調査は3ヵ年計画で、第1次調査は、1973(昭和48)年8月16日から9月24日に、内部主体(埋葬施設)を明らかにすることを目的に実施した。

虎塚古墳の発掘調査組織は、明治大学文学部教授の大塚初重先生が団長、助教授の小林三郎先生が副団長として、明治大学・茨城キリスト教大学の学生などにより調査団が組織された(私は当時明治大学の2年生)。

第1次調査は、最初の4、5日は墳丘の樹木伐採を行い、並行して墳丘測量を開始した。測量終了後の墳丘測量図から得た所見は、墳丘全長52m、後円部径28m、前方部幅28.5m、後円部高さ5.5m、前方部高さ5mの前方後円墳であった。墳丘の高さがほぼ同じ位で、前方部が発達した墳丘の特徴から、典型的な後期古墳であることが判明した。後期古墳は、一般的に後円部の南側に横穴式石室が開口すると想定することができる。

虎塚古墳の主体部を探すためのトレンチ(試掘溝)は、石室が後円部南側に開口すると想定して、古墳の東西の主軸と後円部中心点とに直行する第Iトレンチ、主軸線に沿って後円部東側に第IIトレンチを設定し、発掘調査は8月22日から開始した(図2)。写真3-1は第IIトレンチの調査状況で、赤土(ローム層)と黒土を交互に版築状に積んでおり、当時の墳丘築造の状況がわかる。第Iトレンチの調査を開始して2日目に、墳丘裾の部分で軟質凝灰岩礫の一部分が確認された。この付近の調査区を拡張して追求したところ、横穴式石室が後円部の南側に開口する位置で発見された(写真3-2)。石室閉塞部の調査が進められ、閉塞のため頭大位の凝灰岩が積み上げられていた。石室閉塞除去と扉石の露出の経過を写真で示すが、閉塞部の下の方には大きな礫が積んでいた(写真4、5)。

ここで調査団の宿舎についてふれたい。宿舎は、地元の中根小学校の隣の「中根会館」という集会所で、舞台のある板の間にゴザを敷いて寝泊まりしていた(女子は畳のある部屋)。学生は宿舎から現場まで、約15分を歩いて通っていた。宿舎では、夕食後毎日ミーティングを行っており、いよいよ石室を開口する前日のミーティングでは、扉石の除去や石室内調査の段取り・役割分担などについて綿密に行われた。鉄製品などの副葬品が多数出土することを想定して、孟宗竹を2つに割って刀や剣を入れる容器、玉類など細かいものが出土した場合に備えて収納箱なども多数用意された。その時まで、まさか石室から壁画が発見されるとは、調査団の誰一人として予想もしていなかつた。

予告通り、9月12日午前10時、扉石除去作業を開始したが、扉石がきっちりと玄門に納まっていて動かなかつたため、扉石を手前に引き倒すことになった。午前11時、多数の市民や報道陣が見守る中で、静かに玄門を離れた扉石の奥に赤い円形の図文を目にし、まぎれもない彩色壁画の発見であった。我が国で唯一、発掘調査によって未開口石室から壁画が発見された瞬間であった<sup>3)</sup>(写真6)。



写真2 虎塚古墳墳丘測量風景



写真3-1 虎塚古墳調査風景

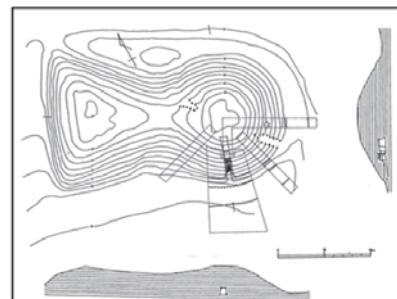


図2 虎塚古墳墳丘測量図



写真3-2 虎塚古墳調査風景(石室付近)



写真4 石室閉塞部全景と墓道

## (2) 保存科学調査の実施

奈良県高松塚古墳で彩色壁画が発見されて大きな反響を呼んだが、すでに中世に盗掘されていて壁画の保存状態は良くなかった。高松塚古墳の保存のためには、千数百年間どのような環境条件にあったのかのデータが必要だったが、当時そのようなことを調べた例がなかった。そこで、東京国立文化財研究所からの依頼により虎塚古墳で調査することになり、8月31日に東京国立文化財研究所保存科学部の専門技官により、我が国で初めて未開口石室(玄門に扉石があったため、玄室内ではなく羨道部の空気を採取)の温湿度・空気組成・微生物などの保存科学調査が実施された。当日の調査結果は、温度は外気が32度の時に15度、湿度は外気65%の時92%、炭酸ガス濃度は外気の50倍という高濃度であった。

### (3) 第2・3次調査

第2次調査は、翌年8月1日から8月30日に実施した。くびれ部の第IVトレーニチ内に発見された凝灰岩群の性格を明らかにすることや、墳丘規模等の確認を目的に墳丘裾部各所や周堀の調査を実施した。凝灰岩の礫群は、礫だけではなく破碎された石が多く、数ヶ所にまとまって出土した。この集石遺構は、横穴式石室構築の作業場とする見方、あるいは横穴式石室構築に際しての、地鎮祭的な古墳祭祀の場所と考えられている。

第3次調査は、1976(昭和51)年8月1日から8月25日に実施した。墳丘南側の周堀形態や前方部北西隅の陸橋状遺構存否を確認するのが目的である。調査の結果、墳丘南側の周堀は墳丘に沿った形でややくびれた形で、前方部北西隅には陸橋が存在していた(図3)。

## 2. 虎塚古墳の規模と構造

### 2.1 墳丘の形態と規模(図3)

3回にわたる発掘調査では、主軸線上及び後円部・前方部・くびれ部・前方部隅に15本のトレーニチを設定して調査を実施した。調査終了後の所見から、虎塚古墳の築造時の規模を復元すると、全長56.5m、後円部径32.5m、前方部幅38.5mで、周堀底面からの墳丘の高さは、後円部高さ7.5m、前方部高さ7.2mの計測値を得た。

周堀はローム層を切断して造られており、周堀は墳丘北側ではほぼ一直線で、盾形周堀の状況を示している。これに対し、南側の周堀は、くびれ部付近で墳丘形態に沿った形で確認された。本古墳の周堀は、通常の前方後円墳にみられる左右対称の形ではなく、極めて類例の少ないものであると判明した。

### 2.2 石室の規模と構造(図4・5・6)

虎塚古墳の内部主体は、両袖型玄門付の横穴式石室である。石室は後円部中心から、南に約4mの位置に奥壁を置いている。石室中軸線は北15度東を示し、開口は南南西の方角になる。墳丘立面図から見ると、玄室天井石は後円部墳頂部より4.6m下にあり、玄室床面は墳頂部より約6.1mも下にある(図4)。このことから、石室は当時の地山を掘り下げて、構築されたことを示している。



写真5 石室閉塞除去と扉石の露出経過



写真6 壁画発見と玄室床面の状況

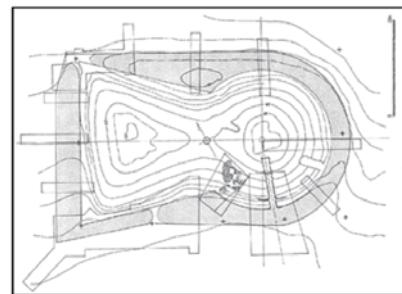


図3 墳丘と石室・周堀関係模式図

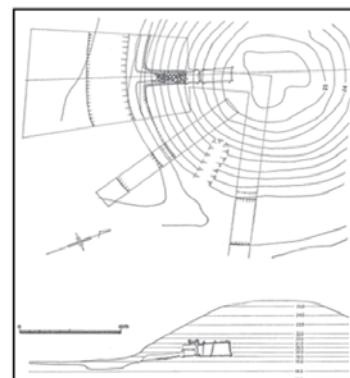


図4 虎塚古墳石室位置図

石室の手前には長さ約4m、下端幅0.8mの墓道が周堀まで続いており、底面には凝灰岩の敷石が認められる。墓道は地山を掘りこんで設けられ、上縁部幅は、羨道寄りでは1.5m、周堀先端部では1.9mである。

石室は、玄室・玄門部・羨道部から構成され、玄室は、奥壁1枚、東壁1枚、西壁2枚、天井石3枚、床石7枚の凝灰岩の板石を組み合わせて造られている。玄室の規模は、長さ3m、奥壁幅1.5m、中央部高さ1.4mを測る。奥壁石は方形の切石ではなく、台形状の石材を用い、東西側壁に接するすき間には三角錐状の詰め石が置かれている。詰め石部や若干のすき間には、白色粘土が目貼りとして詰め込まれていた。奥壁や両側壁は、内側にやや傾斜して立てられている。床面はほぼ水平で、天井石は奥壁から玄門にかけて約20度傾斜していた。床面には遺骸1体が横たわり、1~2cmの厚さで有機質土が堆積し、植物の根が床面に広がっていた。(図6、写真6)。

玄門部は、柱石と柱石上の楣石(まぐさいし)、柱石間に置かれた間仕切石で構成され、玄室と羨道を区分している。柱石の羨道側に1枚の板石が立てかけられて、玄室を閉塞していた。この閉塞石が安定できるように柱石と楣石の内側に深さ5~6cm、幅10cmの枘(ほぞ)が穿ってあった。枘面には鋸歯状の連続三角文が描かれていた。閉塞の板石は、高さ1.2m、上幅0.9m、下幅1.2m、厚さは上端11cm、下端20cmの台形状を呈している。

羨道は周堀より続く墓道の延長上に位置し、長さは東壁側で1.3m、幅は中央で1.2m、高さ1.5mを測る。両側とも3段積みで築かれ、天井石は1枚のみであるため、羨道部全体を覆ってはいない。天井石の中央部には、上からの圧力によると考えられる亀裂が入っていた。

### 3. 虎塚古墳の出土遺物

#### 3.1 石室内の遺物(図6、写真7)

虎塚古墳の出土遺物は、石室内副葬品と墳丘内部からの出土品に大別できる。石室内副葬品は、当初予想していたものと大変異なり、僅かな鉄製品のみであった。しかし、墳丘内部からは、石室閉塞石中、石室前庭部、周堀部、墳丘部等多くの遺物がみられた。墳丘各所や集石遺構からは、土師器・須恵器片が出土している。

石室床面中央には、北側頭位の人骨1体があり、頭骨・脊髄骨・骨盤・大腿骨などの一部分が確認されたに過ぎない。肋骨や他の支骨はほとんど腐朽し、人の形の範囲に骨粉の分布が認められるだけである。東京大学人類学教室埴原和郎教授によれば、身長160cm位のかなり頑丈な成人の男性であるとの同定結果を得た。

この遺骸の腹部に佩用した状態で、小大刀1口が切り先を南に向けて添えてあった。全長38cmの黒漆塗りの銀装で、柄頭は木質の造り出しで、頭に銀製紐通し環が付けられ、鞘部分に刀を吊るす丸い銀製の吊金具が付いている。遺骸の腰部東側に青銅製責金具を装着した刀子(小刀)と毛抜形鉄製品が添えてあった。刀子は現存長13.7cm、毛抜形鉄製品は全長9.5cmで、大刀を帯びる際に用いる装具ではな



図5 虎塚古墳石室実測図

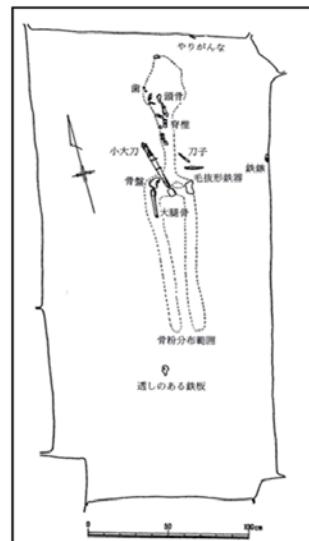


図6 石室内副葬品配置図



写真7 虎塚古墳出土主要遺物

いか考えられている。その東側の壁ぎわに鉄鏃1本が、切り先を奥壁に向けて発見された。この他に奥壁石と床石とに挟まれて、やりがんな1本が発見された。玄室の入り口に近い部分に、三角形・長方形の透かしを持つ鉄片が検出された。石室からはこの6点が出土したのみで、虎塚古墳の副葬品としては、質・量ともに貧相である。

### 3.2 石室前庭部の遺物と追葬(写真7・8)

石室前庭部の遺物は、周堀の緩斜面にあった東西の2つの礫群から出土したものと、石室墓道両側の墳丘基底面上に散布していた土師器片とが存在していた。

東側礫群は樹木の根による攪乱を受けており、礫群下及びその周辺に散乱した状態で多くの鉄製品が検出された。遺物は、鉄釧2個体分・鉄製環2個・鉄釘2本・笠鉢状鉄器2個・鉄鏃が23点以上(他に茎部等の断片14点)出土している。西側礫群下のほぼ中央部から、鉄鏃1口が検出された。鉄鏃は切り先を一部欠くが、17.6cmを測る。墳丘には埴輪や葺石は見られない。

このような出土状況をどのように考えるか。これらの鉄製品は、本来石室内にあったものであり、最初の埋葬時に副葬されたものが2回目の埋葬時に搔き出されて、凝灰岩の閉塞礫と一緒に捨てられたものと推定できるのではないか。つまり、虎塚古墳は追葬が行われ、2回埋葬が行われたと考えられている。年代は、虎塚古墳の築造が7世紀初頭、2回目の埋葬が前葉から中葉頃と考えられている。

## 4. 虎塚古墳の壁画

虎塚古墳の壁画は、横穴式石室の玄門・奥壁・東西両壁に幾何学文様と各種の器物を描いた具象的な文様とが描かれていた(図7)。文様は、石材の凝灰岩の上に白色粘土を下塗りし、ベンガラ(酸化第2鉄)を顔料として色鮮やかに文様が描かれている。

### 4.1 玄門の壁画等(写真9)

玄門の閉塞石が立て掛けた幅8cmほどの枘状の段差があり込まれている。この段差の上と左右の3面に、連続三角文が施文されている。三角文はフリーハンドで描かれ、楣石部は幅1.2~1.7cmの太い線で、門柱石は0.6~1.0cmの細い線で描かれている。玄門内側の楣石と間仕切石には、全面に赤色の彩色が認められるが、門柱石には認められなかった。また、天井及び床面には、全面にベンガラがかなり色濃く塗布されていた。

余談になるが、図7は壁画実測図でこの実測原図の作成のため、学生がメジャーで測る者と図面に記録する者が2人ペアになって、狭い石室内で実測作業を行った。石室内に20ワットの蛍光灯が1本入れてあり、30分位調査すると温度が3度位上がる所以、蛍光灯を消して発砲スチロールで入り口を塞いで石室外で待ち、温度が下がってから再開した。

私が担当したのは奥壁で、一緒に作業したのは、1年先輩の本田光子さんでした。本田さんは虎塚古墳の調査がきっかけで、古墳の顔料・ベンガラ等の研究を進め、その後大学や九州国立博物館にお勤めになり、



写真8 前庭部周堀内東西礫群

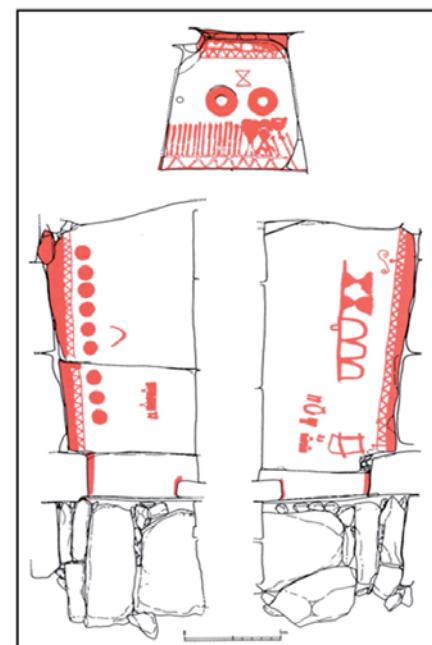


図7 虎塚古墳石室壁画実測図

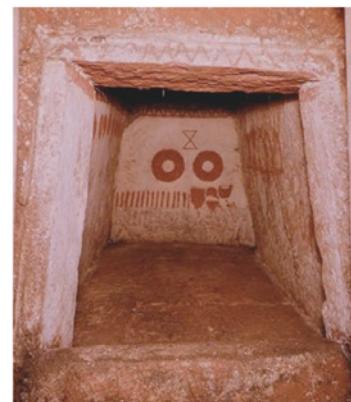


写真9 玄門の壁画

5、6年前から放送大学の客員教授として「博物館資料保存論(’12)」を担当している。

#### 4.2 奥壁の壁画(図7、写真10)

奥壁は下底幅 1.5m、上端幅 1.1m、高さ 1.5m の台形で、北西隅部は一部剥落し、下の方約 35 cm の文様は剥落している。この横線が旧表土と墳丘盛土の境と考えられ、これらの地層の水分の含有量の差で、凝灰岩に浸透した水分の影響により、このラインから下の顔料が剥落してしまったと考えられる。大形の三角文 8 個が、連続していたと推定される。その上に垂直に描かれた 15 本の棒状の槍か鉾と考えられる図文がある。その右に矢を入れて背中に背負う鞬(yuki)が大小 2 個あり、その右上に帽子のような形のものがあり、弓を射る手を保護するための防具である鞆(とも)が 2 個上下逆に描いてある。

右端には、大刀 3 本が斜めに描いてあり、東北の鬼門の位置に、大刀を立てかけたような状態を表していると推定される。奥壁の中央部には、2 個のドーナツ状の環状文が描いてあり、左側が 34.4 cm、右が 32 cm である。コンパス状器具で大小の円を描き、幅 10 cm の円形帶内に酸化鉄を塗布している。左側の彩色は暗褐色で、右は赤色に近い。この環状文は奥壁中央部に位置し、奥壁の壁画の中でもっとも重要な、象徴的な意味を持っていたものと考えられる。太陽と月あるいは鏡又は蛇の目などの考え方がある。

その上の上下三角文はよくわかつていない。奥壁の上端には 2 段の連続三角文がある。連続三角文は、両側の東壁・西壁にも描いてあり、しめ縄が張りめぐらされた状態と推定している方もいる。

#### 4.3 東壁の壁画(図7、写真11・13)

右側の東壁の上端には、連続三角文が描いてある。奥壁近くに連続三角文から吊り下げた形の小円文があり、そのすぐ下に蕨手状の双頭渦文がある。双頭渦文の右下方の中央部には、水平な板状の横線の上に中位がくびれた鞍が 2 個と半円状の楯と思われる図文 3 個が並んでいる。

東壁の右端側に、ややねじれた長方形を呈する井桁形図文が描いてあるが、例をみない特異な文様である。この下位に、小形の図文が 8 個描いてある。井桁形図文の下の 2 個一対の長靴形の図文は、馬にまたがる時に足を入れる鐙(あぶみ)と考えられている。鐙形図文の下に 2 個 1 対の凹字形図文が描かれている。凹字形の上に「夫」字形の図文を載せてあり、馬具ではないかとも考えられるが不明である。この左側にさしば形図文、その左に全高 25 cm の頸玉とみられる図文が描かれ、一番左側に有刺棒状図文が描かれている。

#### 4.4 西壁の壁画(図7、写真12)

左側の西壁の上端には、東壁と対応する形で連続三角文が描いてある。その下に 9 個の円文が並列しており、これらは鏡と考えられている。奥の 4 個は直径 15 cm、手前の 5 個は直径 14.5 cm で、コンパスで円を描いてから塗彩してある。その下中央部に月のような半円形の図文があり、舟と推定されている。西壁



写真10 石室奥壁の壁画



写真11 石室東壁の壁画

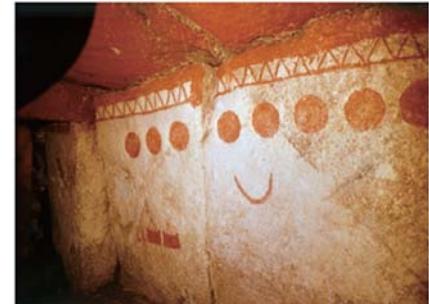


写真12 石室西壁の壁画

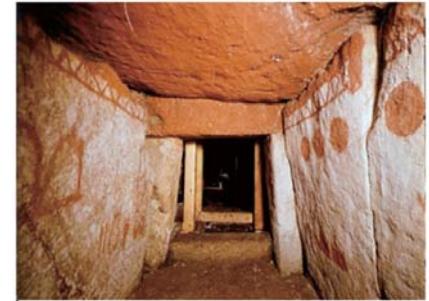


写真13 玄室奥より羨道を望む

の入り口を入ってすぐの位置に、東壁と同じ図柄の2個1対の回字形図文と鎧形図文が描いてある。

## 5. 虎塚古墳の保存と公開

### 5.1 公開保存施設の設置(図8・9)

1973年11月に、保存科学・考古学・建築工学などの学識経験者からなる「虎塚古墳保存対策会議」が設置され、虎塚古墳の保存について検討が進められた。壁画発見から4か月後の1974年1月23日に、国の史跡指定を受けた。1977(昭和52)年2月の保存対策会議において、保存するだけではなく公開を前提とする基本方針が決定された。国史跡指定地は私有地であり、1977年度までに指定地を購入した。1979(昭和54)年2月には、公開保存施設設置基本構想が策定されて、その後設計業務委託、整備工事が施工され、1980(昭和55)年10月に、壁画発見以来7年に亘る調査研究の末に公開保存施設が完成了[勝田市教委 1981]。一般公開は、1980年10月に初めて4日間実施された。さらに、保存対策会議を改組し、虎塚古墳の保存対策と今後の保存の経過点検及び十五郎穴横穴墓群を含めた環境整備等を検討するため、保存科学・建築工学・考古学等の専門家からなる虎塚古墳等保存対策委員会(現史跡保存対策委員会)が1981(昭和56)年4月設置された。

指定地内には散策ができるように公園として整備され、石室等の温度・湿度は常時測定され、管理棟で記録されている。一般公開は、石室内環境と外気環境とがあまり差がない季節である春(3月末～4月上旬)と秋(11月上旬)の年2回(各8日間位)実施している。一般公開は、毎年公開前後に史跡保存対策委員会委員による点検・調査を実施し、状態を確認してから公開を実施している。

### 5.2 虎塚古墳壁画の現状

虎塚古墳の壁画発見以来、あと数年で半世紀を向かえる。壁画の保存状況については、近年劣化の兆候がみられるため、当市史跡保存対策委員会委員長である矢島國雄明治大学教授を代表者として、日本学術振興会科学研究費補助金による虎塚古墳の保存科学的研究がなされ、その研究成果が報告されている[矢島ほか 2014]。成果報告書によると、「虎塚古墳壁画の劣化現象に気が付いたのは1990年代末である。例年の点検の折、東側壁の鞆の顔料が凝集化して、全体に色が薄く見えることに気が付いたのである。この現象自体は発掘調査時に奥壁左側環状文に見られたものであったが、その範囲が拡大している懸念があり、2011(平成23)年度から3ヵ年の科学研究費による調査を実施することになった。壁画面の定点観察(デジタル写真撮影・DMSによる拡大写真撮影)や原因解明のため実験(壁画を忠実に模した実験サンプルを作成し、大きな温湿度変化を早いサイクルで繰り返すことで、実験サンプルに及ぼす影響と変化について検証するための実験)を継続実施している。こうした現象の原因として考えられることは、壁画面の局所的な水のふるまいにあるのではないかと考えているが、その具体的なメカニズム等は全く不明と言わざるを得ない(要約抜粋)。」とのことである。1日も早い解説と保存対策が待たれる。

## おわりに

虎塚古墳の発掘調査当時の状況や成果などについて述べてきたが、最後に虎塚古墳の特徴をまとめると次のようになる。①全国の数ある装飾古墳の中で、学術調査である発掘調査によって未開口石室から壁画が発見された日本で唯一の古墳、②装飾横穴墓が主流を占める東日本で、前方後円墳の横穴式石室に彩色壁画を持つ古墳では東日本で最初の発見であり、全国的にも福岡県王塚古墳など十数例しか発見されていない極めて貴重な古墳、③古墳の未開口石室内の保存科学的調査がわが国で初めて実

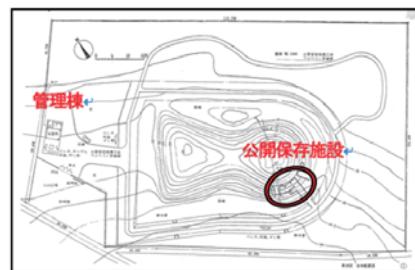


図8 虎塚古墳史跡公園全体配置図

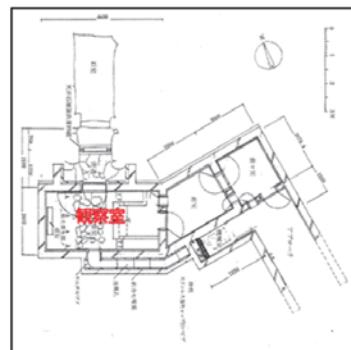


図9 公開保存施設平面図

施され、今後の古墳研究上の重要な科学的データを提供した古墳、④隣接して築かれている東日本最大級の横穴墓群である十五郎穴横穴墓群との関連など、墓制の変遷や古代史を考える上で重要な古墳

虎塚古墳以外の全国に存在する約 670 基の装飾古墳は、江戸時代以前にすでに開口していたものもあり、土木工事や農作業などの埋蔵文化財調査以外の偶然の機会に発見・確認されたものである。逆に言えば、本格的な調査によって壁画が確認された虎塚古墳は、何と恵まれた古墳であるかということがいえる。また、前述のように考古学だけではなく、壁画発見前・発見以後も保存科学などの学際的な保存と公開について手厚い調査研究が進められてきたことも画期的なことである。

このような滅多にない機会に立ち会うことができたことは、私にとって極めて貴重な体験であり、その後、勝田市(ひたちなか市)教育委員会の文化財担当者として、虎塚古墳の保存と公開に携わることができたことは幸せなことであった。今まで残してきた虎塚古墳などの文化財は、ふるさとの文化と歴史を物語る貴重な文化遺産であり、保存と適切な活用を図り、子孫へ伝えていかなければならないと考えている。

**【謝辞】** 本稿は、2017 年 12 月 10 日に茨城県立図書館において開催された、放送大学茨城学習センターの第8回教員・学生講演会の報告を紙数に合わせて再構成し、加筆・修正したものである。講演会報告及び本稿作成にあたって、ひたちなか市教育委員会文化財室及び同市埋蔵文化財調査センターから写真画像・図面等の資料の提供で大変お世話になりました。ここに記して、心より感謝申し上げる。

#### 【註】

- 1) 装飾古墳は全国で約 670 基が確認されているが、その内の約 6 割が九州に分布し、九州の次に多いのは、茨城県・福島県・宮城県で、特に彩色のものは鳥取県の 1 例以外は、九州と茨城・福島・宮城県のみに分布する。東日本で墳丘を盛した高塚の装飾古墳は茨城県のみに存在し、福島県や宮城県のものはすべて横穴墓である[ひたちなか市公社 2010 ほか]。
- 2) 7世紀前葉から9世紀前葉に築造された十五郎穴横穴墓群は、2008(平成 20)年度から 2014(平成 26)年度まで確認調査が実施された。館出支群 I 区第 35 号墓は未開口で、2012(平成 24)年冬に発掘調査が実施され、大刀・刀子・人骨や多数の須恵器などが検出された。全長 52 cm の大刀は蕨手刀で、刀子は 5 口出土し 1 口は全長 25 cm で、金銅製の金具を備えた非常に豪華な刀子である(写真 14)。この刀子の出土例はなく、正倉院御物に類例が認められる[ひたちなか市公社 2016]。
- 3) 虎塚古墳の壁画が発見されてから 1 週間後の 9 月 19 日には、勝田市内の小学生(5・6 年生)と中学生及び市民への発掘調査中の緊急の一般公開が実施され、1 万 2 千人の方々が見学に訪れている。



写真14 十五郎穴横穴墓群出土大刀(蕨手刀),  
刀子(縮尺不同)

#### 主要参考文献

- 大塚初重 2014 『装飾古墳の世界をさぐる』祥伝社 ※この他大塚先生の著作は多数あり  
勝田市教育委員会 1981 『史跡虎塚古墳保存整備報告書』同市教育委員会  
勝田市史編さん委員会 1973 『勝田市虎塚壁画古墳 第一次発掘調査概要』同市史編さん委員会  
勝田市史編さん委員会 1978 『勝田市史 別編 I 虎塚壁画古墳』勝田市  
鶴志田篤二 2005 『虎塚古墳』同成社、川崎純徳 1982 『茨城の装飾古墳』新風土記社  
国立歴史民俗博物館 1993 『装飾古墳の世界』朝日新聞社  
国立歴史民俗博物館 1995 『装飾古墳が語るもの 古代日本人の心象風景』同博物館  
国立歴史民俗博物館 1999 『国立歴史民俗博物館研究報告第 80 集 装飾古墳の諸問題』同博物館  
(財)ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社 2010 『装飾古墳の世界 公開講座「ひたちなか市の考古学」第 2 回』同公社  
(財)ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社 2016 『十五郎穴横穴墓群 東日本最大級の横穴墓群の調査』同市教育委員会  
矢島國雄編 2014 『虎塚古墳の保存科学的研究 日本学術振興会科学研究費補助金研究成果報告書』明治大学

## I-3 新たな生き甲斐を求めて～途上国での農業支援活動から～

生活と福祉コース 鯉渕 登

### 1. はじめに

飢餓に苦しむインドに対して、元駐インド大使那須皓博士とデシムク農相との間で、日本の稲作技術をインドの農民に血の通った在り方で注ぎ込む援助方式について折衝が重ねられた。その結果、両国の技術協定により、農業技術センターとしての農場が決められた。設置目的が同協定の1条に、「農場は、日本側の技術者により農業技術の模範を示すことを目的とし、インド側の農民に対する実地訓練のためのセンターとして役だつものとする。人力、畜力及び動力によって操作される改良農機具がインドの諸条件のもとで適しているかどうかを測るため、それらの農具の実地操作を行うものとする。……」と規定されている。

私は 1965 年 4 月から 3 年余り 4 名の日本人専門家のうちの一人としてその農場で 3 年間活動した。定年退職直後、1994 年 7 月 JICA 派遣の専門家として、嘗てタンザニア・キリマンジャロ州のローアモシにおいて、日本の円借款によりキリマンジャロ山麓の原野に、水田と畑地の圃場整備とプロジェクト方式技術協力により、現地の在来農法による収穫量の 3 倍に当たる驚異的成績を達成した灌漑稲作の技術をタンザニア全土に普及するため、キリマンジャロ農業技術者訓練センター計画(略称 KATC, タンキリ)にプロジェクトリーダーとして 7 年間活動した。

2009 年 8 月からは、NPO エチオピアの未来の子供から派遣されて、オロミヤ州北ショワ県ヤヤグレレ郡における、北ショア地域小規模農業改善活動支援事業(JICA の草の根無償事業)にプロジェクトマネージャーとして 3 年間、主として乾季における灌漑水の有効利用のための農法の展示、実証指導に 3 年間従事しました。ここでは、これらの活動経験を紹介する。

### 2. 私の海外活動歴と活動の成果

私の海外活動歴は、現職時のインド、退職後のタンザニア、エチオピアでの 13 年間である。

#### (1) インド農業技術センター(日印模範農場)

インドの稲作と日本のそれとの違いを表 1 にまとめた。

表1 インドの稲作と日本の稲作の比較

インド	日本
耕耘代掻きは牛耕	トラクタ、耕耘機
育苗は苗代で全面散播	短冊苗代
田植えは手植えで乱雑植え	田植え機、直線植え
草取りは手取り除草	除草剤、除草機
脱穀は打ち付け方式	脱穀機、コンバイン
選別は風選なので風任せ	脱穀同時選別
品種はインデカ	ジャポニカ
コメの志向はパサパサ米	粘り気の強い米

耕耘代掻き運搬などの作業は、化石燃料を使ったトラクタなどに頼ることなく畜力利用が主流である。苗代は全面バラまきだから苗代の上を平気で歩く。田植えは乱雑植えなので除草は手取りしかない。田植えはつらい作業であるにもかかわらず女性は歌に合わせて楽しみながらの作業となる。収穫期になると田んぼの一角の稲を抜き取り、田面を平らにして水に溶いた牛糞を塗り乾かして脱穀場を作る。中央に石または

板を置いてそれに稻束を打ち付けて脱穀する男の仕事。一回で約8割が落ち4~5回で終了するので能率は良い。選別は風任せ。品種はもちろんインデカで、コメへの趣向が日本と全く違いパラパラ米であって、新米よりも古米、古米よりも古古米が好まれる。

次にインドでの成果とエピソードを紹介する。まず成果で目立つのが①短冊苗代が定着したこと。②アルカリ害による不作付け地が解消されたこと。代掻き後数回水を交換することと耐塩性品種の導入により不作付地がほとんどなくなった。プロジェクトは現在農業科学大学バンガロール校傘下のマンディア県農業科学センターとなり、試験研究と普及の拠点施設として当初の施設が拡充強化されて活用されている。

ここでエピソードを紹介する。インドにはカースト制度がある。日本政府は協定の目的に沿って「インドの農民とともにやれ」との号令の下、派遣されたから、専門家は生活レベルまで現地農民並みに質素に暮らしていたとのこと。農場では努力の成果が上がっているのに、いっこうに評価されないという壁に打ち当たってしまった。何故なら生活態度から日本人専門家が最低のカーストにランク付けされてしまったとのこと。

そこで、我々第二次農場では、車、家庭電化製品など最先端の文化的生活をするよう大転換がはかられ。日本でマイカーがまだ普及していない時代に、車をもっていきなさい、電化製品も、資金は貸しますとのことでした。

仕事と生活の区切りをはっきりさせメリハリを利かせることになった。その結果目論見通りの効果が得られ、州の農業大臣によって初収穫の鎌入れ式が執り行われた。以後事ある毎に高位高官の方々の来訪はもちろんのこと、稻作農民の来訪者も多かった。

次に挨拶で日本人は相槌を打つときは頭をこっくりするが、インドでは頭を横に首をかしげる。慣れるまでは拒否されているような錯

覚を覚えた。もう一つ、何か好意を示しても有難うと言わない。言うと相手の行為が無になるとのこと。従って、現地語(カナラ語)で「ありがとう」の言葉を覚えなかった。次に特に物に対して自己管理責任が明確である。家族であっても物の所有がはっきりしていて、必要な物は収納して施錠する。放置されているものはいつの間にか見えなくなる。盗むのではなく所有権が移動する感覚であろう。ある時、町で大きな呉服店の店主をお茶に招待したことがあり、彼が帰った後テーブルに置いた万年筆がなくなっていた。これらはみな習慣の違いからくることと思われる。

## (2)タンザニア・キリマンジャロ農業技術者訓練センター計画(通称 KATC・タンキリ)

農業はタンザニアの最も重要な基幹産業であり、GDPの約60%、労働人口の約90%、輸出額の約80%を占めている。主食はトーモロコシで、粉にしてそばカキのようにして食べる。コメはお祭りの食べ物としてあこがれの食材であるが、近年収穫量の増加に伴って一般庶民の食卓に上るようになってきた。

タンザニア政府は開発計画の立案から実施に至るまで、州毎に支援国を定め我が国は、キリマンジャロ州に対し、1970年代から各種の開発に協力してきた。とくに、プロジェクト方式技術協力によって、収量性、



写真1 マンディア農場最初の収穫鎌入れ式(中央が州の農業大

耐病性等に優れた水稻の品種 IR54 が選択され、更にそれを支える技術体系、水管理方式や作業体系の確立によって、従来の畠平均収量 10aあたり 200 kgを大幅に上回る 600~700 kgという驚異的な収量を実現した。

そのほか有償資金協力によりキリマンジャロ山麓の原野に、1,100ha の水田と 1,200ha の畑地の圃場整備がなされたほかに、食糧増産援助によるトラクタの導入、電力供給施設の整備、糞乾燥施設の設置など日本政府の各種の協力事業を組み合わせて、灌漑稲作に必要な施設が総合的に整備された。

ここで生産されたコメは通称ジャパニーズライスなどと言われて、広く流通し内外で高い評価を得ている。今では名高い輸出作物キリマンジャロ・コーヒーよりも経営的に有利な換金作物となっていて、農家経済はもとより地域の活性化に大いに寄与している。その証拠にプロジェクトエリアでは土で作った従来の住居からコンクリートブロックやレンガを使った本格建築住宅の建設ラッシュになっている。

今度はキリマンジャロ州への支援ではなく、これらの成果をタンザニア全土に普及することを目的として、キリマンジャロ農業技術者訓練センター計画に対して、1994年7月1日から協力を開始した。このプロジェクトで日本人専門家は、プロジェクトリーダーとしての私のほかに、業務調整員、農業普及、稲作、水管理、農業機械の6名の専門家と、それに対応した現地側職員約35名、総勢約40名で構成された。

協力の内容は、研修センターの設立運営である。研修教材作りは教科書とともに実技研修のための稲作圃場の準備があり、毎月田植えをしてどの時期に研修を初めても、成育ステージがみられるよう準備した。つまり耕起から収穫脱穀調整までの全工程を経験できるよう準備したのである。研修カリキュラムを現地側スタッフとの共同作業で作り上げ、指導教官の養成に繋げた。

KATC のセールスポイントはタンザニアで7番目の研修所に当たるが、他の研修所は1年乃至2年の長期研修なのに対して、①KATC は灌漑稲作に特化した短期研修の研修所である。次に②灌漑稲作に関する政府職員(農業改良普及員、水管理職員、農業機械職員)だけでなく農民への研修をする。特に6週間の稲作研修を受けた普及員が一旦任地に帰り半年以内に、自分の活動地域から3人の中核農民を連れてきて、普及員と農民つまり指導者と被指導者が一緒に訓練する合同研修である。

この手法は後に KATC 方式と呼ばれるようになった。研修を終えて任地に帰った中核農民が、改良灌漑稲作の展示圃を設け地域の農民に普及の拠点的役割を果たしており、ある年の世銀のカレンダーの写真で紹介された。つまりオーソライズされたことになる。③研修修了者のフォローアップと出前研修。各研修コースとも終了後2年以内に KATC の指導教官と専門家がチームを組んで現地訪問し研修修了者のフォローアップをする。個別にインタビューして研修の効果や悩みごとの相談に応じ、その結果を研修計画に反映させる。その際、研修修了者が周囲の一般農民を集めて出前研修を行う。KJ 法を用いて農民が抱えている灌漑稲作における問題点を出し合い。課題に対する解決策を現地研修会の形で行う。課題の内容によっては問題の水田へ出向いて、実物を見ながら研修を行った。④タンザニア周辺の英語圏のケニア、ザンビア、マラウイに対してセミナーなど広域技術協力の道を開いて、タンザニア周辺国を巻き込んだ灌漑稲作の改善に努めた。

### (3) エチオピア

2001 年タンザニアから帰国後 3 年間県立農業大学校の研究科で嘱託職員、教育専門員として教鞭をとった。この間、エチオピアに農学校を作ろうという NPO エチオピアの未来の子供の会員に引き込まれ、農業大学校をモデルに農学校建設計画を練り、財政的支援を受けるため JICA の草の根無償事業をお願いしたところ、学校つくりでは事業年限の3年では成果が期待できない。3年間で成果が期待できる普及活動

であれば支援しようということになり、事業計画を変更して採択された。しかし、責任を担う人材が見当たらず、結局、事業計画立案者の私がその任に当たることになり、2009年8月から3年間単身で、首都アジスアベバから120km北西部のオロミヤ州北ショワ県ヤヤグレレ郡という純農村に入って普及活動をした。

現地側スタッフは県単独事業の海外技術研修員受け入れ事業を活用して、日本語研修と日本農業実践学園での農業研修を修了した2名と、エチオピア政府の規則に従った事務職員6名で構成した。私75歳の時でエチオピアの日本人専門家としては最高齢だったそうだ。NPOではボランティアとしての活動であり、任地までの渡航費と月々の食糧費を頂き、むしろ私財を投入しての活動となった。何しろ標高2800mの高地だったので稻作はできず、主として乾季に小さな湧水を利用した野菜栽培の改善に取り組んだ。その概要は次のとおりである。

#### **①拠点施設指導農場とそこでの農民研修**

当時エチオピア政府は農業生産の拡大に力を注いでおり、農村の各地で特別講習が開かれていた。しかし、その手法は朝から夕方まで、講義方式に終始している。我がプロジェクトでは、郡役所にお願いして農民研修館に近接したところに研修圃場を提供していただき、全面灌漑をしている現状を改善するため、畝立栽培を導入した畝間灌漑の普及に努めた。畝立栽培は節水だけではなく雨期に排水が容易で収量の増加や草取り作業や収穫作業の効率化につながったと、何千年來畑全面へのバラマキから畝立栽培を試験的に導入する事例がみられるようになった。

#### **②灌漑に必要な揚水ポンプ10台の貸与**

現地農家には貴重な水がありながら畑へ灌水する手段がないので、プロジェクトで11台のディーゼルエンジン付きのポンプを購入し内10台を貸与した。つまり、概ね40歳以下の若い農民20名程度の灌漑農業推進グループを組織させて、ポンプ灌漑農業への自主活動ができるよう育成した。

#### **③新規作物の導入と優良品種の種子増殖**

地域の特産物であるエシャロットに加えて、JICAプロジェクトの協力を得て、玉ねぎを新規作物として導入し農家に試作させたほかに、主要穀物であるテフと小麦の優良品種の種子の配布を受けて、指導農場で増殖して郡の農業事務所に提供した。

#### **④普及員への便宜供与**

日本の有志にお願いして英語の農業書を送っていただき、郡農業事務所に「ガラトマ(ありがとうの意)ライブラリー」を開設して、文献に乏しい農業改良普及員へ学習の助けになるよう努めた。

#### **⑤普及活動**

普及活動の拠り所となるよう主要な穀物と野菜作物の耕種基準を普及員との協議の中から作成し、伝達講習を開いてその活用と改善を指導した。

プロジェクト以外のNPO活動としては、下記がある。

#### **⑥不用となった制服の配布**

常陽銀行から不用となった制服1,600着寄贈いただき、二つの県立病院入院患者の部屋着として寄贈したほか、貧困対策のNGOを通して配布した。

#### **⑦茨城県内外での廃車の寄贈**

茨城県内外で廃車となった救急車を県立病院に、消防車、バキュームカーは町に寄贈した。救急車に関しては関係者をJICA事務所に呼んで、JICAの健康管理員と大使館の医務官により救急車の操法訓練を受けた。

## ⑧村落道路と給水施設の整備

整備と日本大使館草の根事業として 750 万円で 5 km の村落道路の整備と 250 万円で、生活用水の給水事業として 2.5 km のパイプラインと 3 か所の給水施設を整備して、地域住民の生活向上に資した。

### 3. JICA の「プロジェクト方式技術協力」とは

プロジェクト方式技術協力とは。専門家の派遣、施設・機材の無償供与、カウンターパートの派遣研修の三点がセットになった技術協力の方式を言う。

先ず専門家の派遣は、派遣期間が一年以上を長期派遣専門家、一年未満を短期派遣専門家と言う。長期派遣専門家はオールマイティーではないので、より高度な専門分野には短期専門家を要請して、7 年間に延べ 44 人の短期専門家を派遣していただいた。できるだけ同じ専門家を複数回呼んで現地事情通となり、より適切な指導授けられるよう心掛けた。プロジェクトで解決が困難な問題が生じた場合、アドバイザーチームの派遣が用意されているが、幸いにもその要はなかった。

次に施設・機材の無償供与であるが、機材の選定にあたっては、欲しいものより必要な物の選定に努め、高価な機材を専門家が帰国した後は全く使われないで眠っていることの無いよう気配りした。

三番目はカウンターパートつまり専門家と対になって活動する現地側スタッフを、主として日本に派遣して研修するもので、現地側スタッフにとって最も関心の高いものである。

### 4. 私を海外技術協力に向かわせたもの

何が私を海外それも開発途上国へ向かわせたのか？

第一は人との出会いである。私が高校 3 年生 1952 年の秋にアメリカ人の宣教師に出会った。集会所は私が自炊をしていた家の近の宣教師館でした。宣教師のトム・D・ガラット先生ご一家は排他的といわれる水戸の地に根を下ろそうとして、お子様を五軒町小学校へ入学させたのである。このことは新聞でも取り上げられた。先生はその生涯を日本での宣教活動に捧げられた。その生き様が多感な青年の心に海外への夢の灯をともされた。

私は昭和 28 年春農業高校を卒業して県立農業講習所に進学。そこで外来講師の一人に戦時中、中国の農業試験場長をなされた方がおられ、授業の合間に広く海外に目を向けることを説かれた。昭和 30 年 3 月に農業講習所を卒業したが、茨城県は財政逼迫を理由に職員の昇給ストップはもちろんのこと、2 年間県職員の新規採用がなかった。当時農業講習所は農業試験場に併設されていたので、試験場に研究生という制度が創設されそこで働くことができた。私は県の開拓課から試験場に駐在して開拓地の土壤調査と土壤分析に基づいて、土壤改良資材を無償で開拓農民に配布する業務に参加することとなり、そこで上司が満州帰りの方でした。ここでも大いに海外への夢を膨らませることになった。

更に、定年退職が近くなったある日、退職後の身の振り方に関して部長ヒヤリングがあり、そこで海外技術協力への夢と希望を語ったところ、農水省から来ておられたので私の夢がかなえられた。

次にインドでの体験で成果を上げた満足感・達成感のほかに、成果を上げるため現地側スタッフや農場労務者に対して厳しく当ったことに後ろめたさのようなものを持ち続け、もしチャンスがあったら、やさしいハートフルな技術協力をしたいという強い願望があった。

もう一つの要因は、農業試験場で稲の増収技術の開発に心血を注いでいた折、県庁へ転勤となり、増収技術の開発から一転して減反政策の推進役を負わされたのである。このことは退職後誰に気兼ねすることなしにコメ作りができる海外技術協力へ私を駆り立てた。

## 5. 海外技術協力とリーダーの役割

当時、JICA には沢山のプロジェクト方式技術協力が進められていた。ところが多くのプロジェクトでは、日本人専門家の間や現地スタッフとの人間関係から、本来の目的が達成できないと聞かされた。そこで先に立つ者として、協力の意味をよく理解してそれを実行することにした。

### その1.協力の意味をよく理解し実行すること。

裨益者

$$\text{協力} = (\text{力} + \text{力} + \text{力}) + \text{力}$$

被援助国 援助国

協力の協を分解すると3つの力を足すとなる。被援助国、援助国、そして最も大切な裨益者である。この3者をバランスよく束ねることがリーダーとしての役割の一つと解釈した。

### その2.最も大切なのは人ととの和、調和を日本のお城の石垣に学ぶ。

最も大切な人の和、調和を生み出すのに。日本のお城の石垣にヒントを得た。石垣には丸い石は使われていない。角張った大小さまざまな石で構成されている。開発途上国へ行かれる専門家は私を含めてある種の変わり者と言える。個性的な方が多い。角張った自己主張の強い一騎当千の兵ぞろいといつても過言ではない。その個性を殺さないで引き出しながらそれを束ねるのがリーダーの大きな役割である。

派遣に際して JICA 本部で開かれた壮行会の折、それぞれのリーダーに一言ご挨拶をと請われた。その時私は両手で輪を作りただ一言「和」と挨拶した。7 年間私は人ととの和を最も大切にした。そしてこの選択は正解だった。

次に、切羽詰まった専門家から「タンザニアはだめだな」とか「あいつらはだめだ」いう言葉を耳にした。その時私は「だめは禁句」とした。なぜなら「だめ」と決めつける思考がそこで止まってしまい何の解決策も生み出さない。むしろ「だめ」だから私たちが来ている。つまり「だめ」を出発点にして対応策を生み出すことにしたのである。また専門家が陥りがちなのに、成果を求めるあまり「おんぶに、抱っこに、肩車」専門家が丸抱えすることである。良い指導者とは「指導を受けた者がさも自分が編み出したと思わせるよう主体性を引き出せる人である。」と。そのような専門家に誘導することもリーダーの役割であろう。

## 6. 海外活動での優先順位

それは安全第一、健康そして仕事の順になり、安全には次の三原則がある。

- ①注意を怠らない。(絶えず周囲に気配りすること。)
- ②目立たない。(服装、持ち物、言動など。)
- ③行動を予知されない。(毎日同じ時間に同じ道を通行するな。)

JICA は海外での安全対策に力を入れてきた。毎年 1 回安全管理の専門家がこられて講習会や借り上げ住宅の診断とランク付けをなされて注意を喚起した。



写真 2 石垣に人との和を学ぶ

私たち夫婦は、1999年1月1日の夕刻、タンザニアの自宅で3人組の強盗に押し入られ、プロジェクトの車、発電機はじめ家庭電化製品、スーツケース、パスポート、円・ドル現金、小切手帳など金目のものおよそ750万円分強奪された。

その前の年には首都ダル・エス・サラームで医療プロジェクトの女性専門家が、待望の車を港から引き取り自分で運転して家の前で停車した際に、ピストル強盗に殺害されるという悲しい出来事があったばかりであった。元日に私は少し体調を崩していたので、夕方早めにベッドインした。屋外に出ていた家内を拘束した強盗が真っ先に私の寝室に入り、気が付いた時には靴のままベッドに上がり、私をまたいでパンガと呼ばれる蛮刀を振りかざしていた。私は咄嗟のことでオオと声を上げながら両手を上に伸ばしたのと軽く振り下ろしたのが一致して、翌日サファリ一帰りに立ち寄られた日本人医師に5針ほど縫っていただいた。怪我の程度にしてはやや多くの血が出たので強盗は一瞬ひるんだようだった。瞬時に安全講習で教わったことが頭に浮かび、まず心を込めて命乞いをした。それに無抵抗、素直に従うこと、相手の顔を見ないように徹した。彼らの要求は「ガン、カー、ビデオカメラ」でした。「ガンは持っていない。カーのキーは台所に掛けてある。」その通りだったので興奮はやや収まったようでした。彼らはテレビのコードを切って私の両腕を縛った。寝室から何回も戦利品を持ち出しているようだったが、私はその間ベッド上で窓際を向いて同じ姿勢で横たわっていた。やがてトヨタランドーのルーフキャリアー付きの新車とそれに積めるだけの戦利品を載せて静かに出て行った。追跡されないように私用車の前輪をパンクさせるという用意周到さなので相当慣れた強盗だと思った。最初に拘束された家内は別の部屋のクローゼットに押し込められていた。あわてた私たちは、家は電灯をつけたまま、カギをせず門扉は開けたままで近くの日本人専門家の家に助けを求める始末だった。

このころ「物の豊かさから心の豊かさの時代」と言っていたが、物がなくなったら何か重い肩の荷がなくなったように感じられた。

「あなたがたは、地上に富を積んではならない。そこでは、虫が食ったり、さび付いたりするし、また、盜人が忍び込んで盗み出したりする。富は、天に積みなさい。そこでは、虫が食うこと、さびつくこともなく、また盜人が忍び込むことも盗み出すこともない。」マタイ 6;19.20

「わたしは裸で母の胎を出た、また裸でかしこに帰ろう。主は与え、主がとられたのだ。主のみ名はほむべきかな。」ヨブ記 1;21

「人は、たとえ全世界を手に入れたとしても、自分の身を滅ぼしたり、失ったりしては、何の得があろうか。」ルカ 9;25 これらはいずれも聖書の言葉であるが、強盗事件の教訓として深く受けとめている。

次に健康に関して JICA は派遣前に健康診断を義務付けている。また一時帰国した際も健康診断でパスしないと帰任できない。任地では風土病などがあるので各種予防接種はもちろんのこと、飲み水、食べ物、寄生虫、感染症などには注意が肝要。注意していてもマラリヤには数回かかった。いずれも出張先で蚊に喰われたのが原因だった。幸い薬が手に入り早めの処置で大事に至らなかった。体の健康は食事、運動、快眠、快通である。私は現地の食事を好きになることに努めた。現地食を好きになるとどんな田舎へ出張しても食事に関して心配することがないばかりか、むしろ楽しみになる。次に運動、タンザニアでは JICA 事務所から道路を歩くことを原則禁止、短い距離でも車での移動をすすめられていた。研修センターの構内を見回ることが良い運動になった。町中にハーフコースのゴルフコースがあり、早速入会を申し込んだが、審査が厳しく入会には半年以上かかった。

次に睡眠ではタンザニアでの 7 年間快眠は得られなかった。泥棒、強盗など治安が悪く 24 時間体制で

ガードマンを雇っていた上に、番犬を飼っていたが熟睡できなかった。その点日本という国は何と安全で安心のできる幸せな国なのだろうかと心から思う。こんな話がある。アフリカの方が日本に来た当初は「日本の住宅や宿舎は鉄格子に囲まれていないので不安で熟睡できない。」と言われたことを耳にした。まるで刑務所のような装備が向こうではごく一般的な住宅、事務所の風景なのだから。

## 7. エチオピアでの麗しい習慣の紹介

エチオピアには日本の茶道にも似たコーヒーセレモニーがある。都会はもちろんのこと片田舎でも、公の会食でも家庭でも執り行われる。ホスト役は当家の女主人かお嬢さんが当たる。

床に青草を敷き、花弁を散らした上でコシロに炭火をおこす。コーヒー豆を水洗いしながら皮を取り。小さなフライパンに生豆を入れて、焙煎スタート、3分ぐらいで豆が色つき始める。絶えず豆の様子を見ながら煎る。5分位で煙が出て、パチパチと豆の弾ける音がする。6~10分で良い香りが漂い始める。濃い茶色から少し黒色を帯びてきたら、直ぐに皿にあける。色の薄い

豆は味が悪くなるので取り除く、木臼で粉状になるまで細かく碎く、この間ポットで湯を沸かす。熱湯に挽いた粉を入れる。沸騰してから弱火で4分~5分煮出す。ポットを斜めに傾けて置いてコーヒーの粉を沈殿させる。小さなコーヒーカップに注いで、沢山の砂糖を入れて飲む。お茶菓子としてポップコーンを煎って出す。同時に香炉に乳香や香木を焚いて香りを楽しむ。実に優雅なひと時である。

## 8. 新たな決意

私は新たな決意をした。その一つは人生の目標として生涯現役でいることである。

あの日野原重明先生が身をもって実行された生涯現役に感動した。私は密かに80歳を一つの終点として、社会の諸活動から身を引くことを考えていた。そんな折、札幌でお世話になった牧師さんにお会いする機会があり、老先生曰く「鯉渕さん私は85歳まで現役を続けるよ。」その言葉を聞いて早速80歳での線引きをやめた。

次に今年の3月放送大学の卒業式に家内を伴って参列した。式の中で最高齢卒業生への表彰があり、北海道から来られた99歳の男子学生でした。大学卒業は私にとって長年の願望でしたから、卒業することが目的でした。ところが卒業を果たした今、学びは手段であることに気が付き、生涯現役学生でいることを新たに決意したのである。

これからは、せいぜい面接授業、ゼミ、サークル活動に学習センターを活用させていただき、心豊かな生きがいのある人生を全うしたいと決意を新たにした。

## 9. 結び

最後に、過去から現在について語ったが、結局は定年退職後の新しい人生と言っても決して新しいことではなくて、生まれてからこれまでの基盤の上に積み上げられたものである。つまり、「限りある人生の今をどう生きるかにかかっている。」ということを皆様に考えていただきたい。



写真3 コーヒーセレモニー

## II 修士論文・卒業論文

### II-1 研究開発投資が全要素生産性の上昇に及ぼす影響に関する 実証分析

社会経営科学プログラム終了 竹内 孝

#### 1. 問題の背景

##### (1) 日本経済の課題

日本経済は、1990年代に入り低迷を続けた。この間、1992年のバブル崩壊に加え、2008年のリーマンショックに端を発する世界的金融危機、2011年の東日本大震災もあり、1990年初めからおよそ20年間に日本の一人当たりGDPの伸びは年平均0.8%程度に低迷し、一人当たりGDPの水準はOECD平均を大きく下回る結果となった。日本経済は、今後デフレから脱却し、新たな経済成長を期する必要に迫られている。

##### (2) 経済成長の要因としての全要素生産性の重要性

経済成長に欠かせないのが生産性の向上であり、この要因として貯蓄と投資、人的資源、技術進歩があげられる。それぞれの要因が経済の成長にどれだけ寄与しているかを相対的に評価するために、経済学者は全要素生産性 (Total Factor Productivity: 以下TFP) という方法を用いてきた。この分析では、総算出量の成長のうち、資本や労働の増加で説明できない部分はTFPの上昇と呼ばれる。TFPの上昇は経済が資源を利用する際の効率性の上昇を反映しており、技術進歩のほか、労働者の熟練度、経営効率の向上、分業の進展などが含まれる。我が国では、少子高齢化の進展により1990年代半ば以降、生産年齢人口の減少と共に労働投入が減少し、それまで経済成長を支えてきた設備投資が漸減しており、経済成長におけるTFPの重要性が高まっている。

##### (3) 先行研究

研究開発投資は、TFP上昇の要因にあげられる技術進歩の源泉として極めて重要な意味を持っている。近年、データの整備が進み、研究開発投資とTFP上昇との関係に関する実証分析の面で大きな進展があった。

権 赫旭・深尾京司・金 榮穂・朱 娅・田中秀幸らの先行研究で実証された点は、i) 2000-2005年度の経済成長の最大の源泉はTFPの上昇であった、ii) 研究開発投資は、企業レベルのデータによる分析の結果、TFPの上昇に対して統計的に有意な正の効果を有するが、産業間ではその効果は大きく異なる、iii) 2009年までを対象とした分析では、リーマンショック以後も研究開発投資の効果は持続している可能性がある、などである。一方、残された問題点は、i) 研究開発投資の効果については概ね概略の評価にとどまっている、ii) 先行研究では、2009年までが対象になっているが、その後経済情勢などの変化もあり、2010年以降の期間についても分析を行っておく必要がある、iii) 先行研究により日本企業の研究開発投資の成果がTFP上昇へ及ぼす影響については実証されたが、外国企業に比し、日本企業がどのようなレベルにあるのか、どのような特徴があるのかはわからない。

#### 2. 研究の要旨

##### (1) 研究の目的

この研究では、先行研究で残された問題点を中心に次の問題について解明を試みた。i) リーマンショック後の2010-2014年において企業の研究開発投資がTFPの上昇にどのように寄与したかについて、日本および米国的主要製造業企業の研究開発投資について、その性格および主な業種別に分析し、特徴を探る、ii) 研究開発投資の面から日本企業の問題点を把握し、持続的発展のための対策を検討する。

## (2) 対象企業、資料、分析方法

分析対象として、日本企業は日経総合企業ランキング 2015 から主要製造業企業 79 社、米国企業は FORTUNE 500 Largest US Corporations 2015 から主要製造業企業 77 社を選び、業種は代表的なものとして、食品、化学・医薬品、電気機器・機械、および自動車・輸送機器を選んだ。

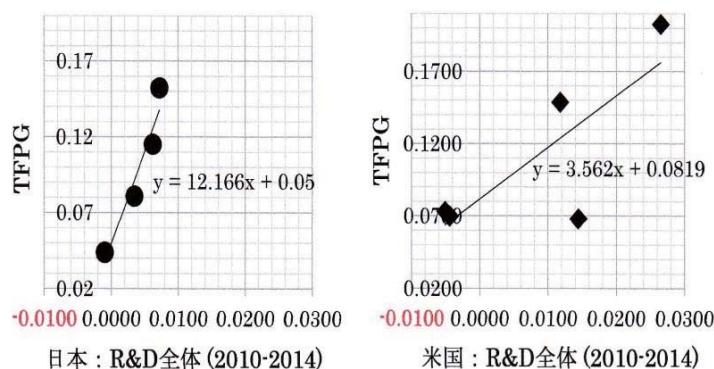
分析資料は、各企業の連結決算、研究開発投資、および賃金水準に関する資料を用いた。

分析方法は、まず企業別に TFP の上昇率を求め、研究開発投資を性格別に推計し、これらを基に重回帰分析を行い（仮説：研究開発投資はリーマンショック後も TFP の上昇に影響を与え続けている、目的変数：TFP の上昇率、説明変数：研究開発投資比率、売上高増加率）、研究開発投資による TFP 上昇率への影響を実証した。

## (3) 分析結果

重回帰分析結果から、研究開発（以下 R&D）投資が TFP の上昇（以下 TFPG）とどのような相関関係があるかを知るために、求められた重回帰式に R&D 投資の各変数の平均値を代入して平均的なデータを作成し、これを基に散布図を作成した。

まず、日米企業の R&D 全体の効果と TFPG との相関関係を図 1 に示す。図 1 から、日米企業とも R&D 全体の効果と TFPG とはプラスの相関関係にあり、リーマンショック後も R&D の効果が全体として TFPG にプラスの影響を与え続けていることが分かった。



〔図1〕日米企業の R&D 全体と TFPG の相関関係

次に、研究開発を性格別に見ると、日本企業は比較的に効果を出し易い応用研究や開発研究では TFPG とプラスの相関関係にあるが、不確定要素の多い基礎研究では TFPG とマイナスの相関関係にある（これは主に化学・医薬品および自動車・輸送機器の企業による）ことが分かった。一方、米国の企業は応用研究や開発研究では TFPG と緩やかなマイナスの相関関係にあるが、基礎研究ではプラスの相関関係にある（電気機器・機械の企業が主役となっていた）ことが分かった。

## (4) 日本企業の持続的発展のための対策

日本企業は、全体として米国企業同様、研究開発投資が TFPG とプラスの相関関係があり、優れた開発力を持っていることが分かったが、将来に備える意義を有する基礎研究では TFPG とマイナスの相関関係にあり、この面では米国企業に遅れをとっている。

これからは、自己の企業の利益充実を図るのみではなく、地球環境に優しい、地球全体の経済発展に貢献し得る製品やプロセスを開発し、地域社会に一層の貢献を果たすことが企業に求められるようになる。これに備えるには、応用研究や開発研究に加えて、企業の資源を従来以上に基礎研究に振り向けることが必要である。

## 3. 今後の展望

先行研究では、研究開発投資の効果はタイムラグをもって TFPG の上昇に寄与する可能性があることが示唆されているが、今回の分析では期待した結果が得られなかった。今後は、分析対象の企業数を増やし、分析の期間も少なくとも 10 年程度として実証分析に取り組んで行きたい。

## II-2 卒業研究ゼミで学んだこと

社会と産業コース 金子紀夫

### 1. まえがき

通信教育である放送大学の学習は、孤独なものになりがちである。面接授業や学習ゼミ、課外活動などを通じて、コミュニケーションを図ることは可能であるものの限定的である。教員や他の学生との双向の学習の意義は、特に一定の社会経験を積んだ者にとって大きい。卒業研究は専門分野の探索であると同時に、以上のような学習環境を改善、解決するための貴重な科目である。一人でも多くの学生が、卒業研究を選択して放送大学の醍醐味を経験することを勧めたい。

### 2 選択の動機

34年間、県内の製造業で新製品の開発設計に携わり、競合他社との闘いで生ずる特許問題を経験した。一昔前、企業の経営資源は「①ヒト②カネ③モノ」といわれてきた。しかし2000年ころ<sup>1</sup>から、これに④知恵が追加されるようになった。知恵はワザとか情報とか言われることも多く、要は人間の頭脳活動から生まれる総合的な無形財産である。定年退職後、数多くの中小企業との付き合いのなかで、改めて特許問題を考える場面に遭遇し、この課題の再整理に興味を持った。

また、放送大学の学習における欲求不満、つまりコミュニケーションの不足を何とか解消するためにゼミ、しかも本部ゼミに参加したかった。本部には全国からの学生が集まるので、県内とは別のインパクトを期待した。どのゼミにするかは本部にお任せし、結果的に法律を専門とされる来生先生が指導教員となった。特許の内容は技術であり、法律はその制度を定める。

また、放送大学の学習における欲求不満、つまりコミュニケーションの不足を何とか解消するためにゼミ、しかも本部ゼミに参加したかった。本部には全国からの学生が集まるので、県内とは別のインパクトを期待した。どのゼミにするかは本部にお任せし、結果的に法律を専門とされる来生先生が指導教員となった。特許の内容は技術であり、法律はその制度を定める。

### 3 ゼミに参加して

研究の目的は端的にいえば新しい事実や解釈の発見で、その証明をすることある。しかし単位取得のためには、説得力のある論文を期限内に完成し審査にパスしなければならない。論文の作成にあたりゼミで学び実際に経験したことをまとめることとする。

#### 3.1 論文の品質とレベル

良い論文の条件は「①新しく②説得力があり③分かり易く④見栄えが良い」ことである。②は裏付けがあり、応用力に富んでいることを意味する。

論文の形式は概略 「①課題②関連する事実③事実に対する批判・意見③まとめ」となる。②には歴史的事実のほか、本、論文、意見などがあり、各種WEB情報も含まれる。②に関しては重要な指摘があった。第一に「大風呂敷を拝げるな」である。あれもこれも取り入れる結果、期限内に論文がまとまらないばかりでなく、全体の辯證（ロジック）や個別テーマ間の関連性に不整合が生じやすくなる。第二に「主義・主張に注意せよ」である。特に学部の場合、個々の事実に対する他人の意見のまとめ程度でも良く、自己意見を言いたい場合は批評程度で充分である。修士論文の場合、主義・主張とそれを裏付ける証拠と、人から寄せられる反論に対する弁明など理論武装が必要となる。事実に対する批判・意見ができるだけ多角的に展開することにより、自己主張が徐々に形作られて行くという。「卒業論文（学部）は研究者の見習い、修士論文は研究者のたまご」との割り切りが必要である。このような観点で、論文の目次だけでなくテーマの見直しを数回行う。指摘は指導教員のほか、ゼミ参加者全員（学部、大学院、OB）から受けることができる。

<sup>1</sup> Windows98 から XP への移りかわり時期

### 3.3 私のケース

#### 第一ステップ 初期テーマ：我が国の知的財産に関する課題と地域社会における解決手段の一考察

第一に、この度のTPP交渉において参加各国間で知財問題が大きくクローズアップされている。…我が国は欧米諸国に比べ知財制度の整備が10年程度遅れている。…

この研究では知財問題を整理し、遅れの現状を分析し、解決手段を提案したい。

第二に現在の仕事を通じ、具体的な問題解決の道筋を探りたい。

指摘：問題意識が大き過ぎ具体性に欠け、論文にまとまりにくい。特定の問題に焦点を絞り問題意識を生かすように具体化せよ。

#### 第二ステップ 修正テーマ：1980年代から現在までの我が国知財政策／制度について

1980年ころ、米国がプロパテント政策に転換し、我が国産業に大きなインパクトを与えた。2002年小泉首相が新しい知財戦略を打ち出したにも関わらず、課題は多く残っている。…本研究では歴史的な整理を行い、課題を浮き彫りにし、解決の糸口を提案する。

指摘：動機とまとめ方は、まだ漠然としている感じである。中身でどんな議論が展開されるかが問題である。具体的な目次と中身のイメージを一部で良いから示せ。

#### 第三ステップ 最終テーマ：戦後の日米知的財産問題に関する考察

太平洋戦争の終結後、米国の直接的・間接的介入により日本の産業は、劇的な復興を遂げた。米国も予期しなかった勢いは、やがて貿易摩擦を生んだ。…この研究では戦後から最近までを次の4つの時期（フェーズ）に分け、知的財産関連を中心とした歴史的事実、商品の品質改善の状況、知的財産問題をまとめた。「①1945 – 1960年（復興期）②1960 – 1980年（貿易摩擦・前期）③1980 – 2000年（貿易摩擦・後期）④2000 – 2011年（新展開期）」

その結果、製品品質、貿易および知的財産の状況は各期間で時間的なラグがあるものの、それらが相互に関連していることが明らかになった。終戦後、日本の復興のスピードは米国を追い抜き、日本を貿易相手として脅威に感じた米国は、やがて1979年プロパテント政策へ舵を切る。改正された法律で米連邦政府が動き出し、それに支えられた米国企業は日本企業に対して激しい攻撃を加える。その間、通産省も水面下で問題分析をしていたが、攻撃の勢いのなかで歯が立たなかった。ようやく下火になってきた2002年、政府主導で知的財産重視の方針を表明した。米国に遅れること約20年、現在もアクションを継続しているが遅れの挽回は鈍い。その中で、日米対立の構造は、日米協力から中国との対立に変化しつつある。

### 4 まとめ

ゼミは、午後の殆どの時間を費やして行われた。一定の社会経験があり当初は少々の自信があつたものの、ゼミを通して普段、如何に物事を曖昧に考えているかと毎回頭を叩かれた。先生、学生とともにプロ意識をぶつけ合い、考えや文章をまとめる楽しみを味わった。また、ゼミ終了後のコンバは格別であった。ゼミには継続出席し、進学をして更に自己研鑽をする予定である。

### III 研究論文

#### III-I ボランティア活動と生きる力の関連性

##### —ボランティア体験塾の参加群と対照群との比較—

放送大学大学院 修士選科生 茂呂輝夫

###### I. はじめに

平成20年1月、中央教育審議会「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」(答申)<sup>1)</sup>の中で、教育の基本理念は学習指導要領が重視している「生きる力」の育成に他ならないとした。翌月の平成20年2月の中央教育審議会「新しい時代を切り拓く生涯学習の振興方策について～知の循環型社会の構築を目指して～」(答申)<sup>2)</sup>では、子どもたちが学校の内外で、その発達段階に応じて「生きる力」を育むことができるような環境作りが求められた。この観点から、より効果的で効率的な社会教育のプログラム等について検討することが重要であることが示された。

過去の社会教育施設での小・中学生を対象とした長期キャンプ事業の分析<sup>3)</sup>では、「生きる力」を構成する3能力及びそれらの下位尺度である14指標すべてにおいて、キャンプ初日よりも最終日に有意な向上が見られた。そのキャンプでは、克服的要素を含んだ活動が効果的であり、適度なストレスを含んだ活動が「生きる力」の伸長に寄与できる可能性があるとされた。

「生きる力」とストレスに関する分析<sup>4)</sup>では、「生きる力」は1日目を基準として3日目以降～最終日まで有意な向上が見られた。一方、ストレスの全体得点は、事前にに対して1ヶ月後に有意な下降が見られた。同様に、抑うつ不安感情においても事前にに対して1ヶ月後に有意な下降が見られた。このことから、長期キャンプを経験したことによって、子どもたちのストレスが1ヶ月後に低減したことが明らかになった。それゆえ、大自然の中での生活は、子どもの日常生活のストレスを解消させるものとして有効な方策であったと理解できる。不登校の原因是抑うつや不安感情などのストレスが起因しているとも考えられることから、このような集団での自然体験活動は、不登校の対応策として十分な予防効果が期待できることが示された。

参加群（短期キャンプ参加者）と対照群（非参加群）を比較した報告<sup>5)</sup>では、「生きる力」は参加群の方が対照群よりも有意に高いことが明らかになった。その構成要素である上位尺度3項目のうちの心理的・社会的能力、徳育的能力においても、参加群の方が対照群よりも有意に高かった。一方、身体的能力については、参加群と対照群を比較して有意傾向が見られた。このことから、「さしまの森オータムキャンプ」（2泊3日）は、児童の「生きる力」を向上させるのに非常に有効な手段であることが明らかとなった。さらに、短期の参加群を過去の長期キャンプの参加者93名と比較した。その結果、「生きる力」は短期の参加群と比較して、過去の長期キャンプ参加群の方が有意に高かった。これらのことから、自然体験活動として「生きる力」の伸長を期待するならば、1週間程度のキャンプ期間は必要であることが示唆された。

以上の研究は、小学校の高学年児童及び中学生を対象とした分析であり、限られた年代に着目したものである。現在、小・中学生のみならず、それ以上の青年にとっても「生きる力」は必要とされ、法的な整備も進みつつある。しかしながら、「生きる力」に関して、長期間にわたる縦断的な高校生以上を含む調査や高校生を対象としたプログラムの分析報告は近年見あたらない。仮に、追跡調査がなされて発達段階ごとの「生きる力」の伸長が明らかにされることもある程度は可能であ

ろう。しかし、キャンプに参加した子どもたちが複数の小学校から来ていること、回収率や時間的な面で追跡調査が難しいこと、その後の子どもたちの学校生活や教育環境がまちまちであり追跡調査自体が適切な方法であるかなど、縦断的な分析自体が疑問視されることも考えられる。さらに、キャンプから時間が経てば経つほど生育過程内の自己成長などの他の要因が入り込み、キャンプの効果であるかどうか不明となることから別な方法での検討も考えられる。

平成21年3月に改訂された高等学校学習指導要領<sup>6)</sup>の総則において、学校は地域や学校の実態等に応じて、就業やボランティアに関わる体験的な学習の指導を適切に行うようにし、勤労の尊さや創造することの喜びを体得させ、望ましい勤労観、職業観の育成や社会奉仕の精神の涵養に資するものとすると公示された。さらに、平成25年1月の中央教育審議会「今後の青少年の体験活動の推進について」(答申)<sup>7)</sup>において、青少年の「生きる力」を育むためには、意識的に目標を持って体験活動等にチャレンジする必要があると示され、青少年の体験活動を総合的に推進することが求められた。同時に、社会教育に関する専門職員である社会教育主事によるコーディネート等を通じ、学校を支援する体制を構築していく必要があることが示された。

このような教育の流れの中で、各地域における社会教育施設が担う役割は非常に重要視されつつある。それゆえ、茨城県では「ヤングボランティアセミナー」などを県内の各施設や生涯学習センターで実施し、様々な体験活動をとおして青少年の健全育成と「生きる力」の伸長を目指している。その茨城県内の各施設では、施設の特徴を生かしたり、創意工夫した事業の取組を行ったりしている。しかし、教育的な効果があったのかどうか、数値的な報告がなされていないのが現状である。そこで、茨城県立さしま少年自然の家ではヤングボランティアセミナーの講習会を1泊2日で行い、その後に1泊2日の子どもたちのキャンプに高校生らがボランティアとして参加した。さらに、当施設が企画したボランティア体験塾の参加生徒が被災地での体験活動をとおして、確実に「生きる力」を身に付けたのか、この事業が教育的に適切なものであったのか検証するために参加群と対照群による比較分析を試みる。上述のように縦断的な長期にわたる追跡調査に関しては、その評価自体に問題視される要素が含まれる危険性もあることから、横断的な視点に立って年齢層の異なるいくつかの対照群との比較によって数値的なデータを得て、この事業の分析を行う。

## II. 対象事業の概要

### 1. 目的

ヤングボランティアセミナー修了生が東日本大震災の被災地においてボランティア活動を体験することにより、「生きる力」と実践力を高め、地域や社会に貢献できる人間性豊かなボランティアの育成を図る。

### 2. 日程及び参加者

平成25年10月13日（土）～10月14日（日）の1泊2日で行われた。茨城県内の高校生38名と大学生3名、計41名がボランティア体験塾に参加した。

### 3. 事業の内容

ボランティア体験塾は、茨城県内の高校生と大学生の計41名で実施した。出発日は早朝であったにもかかわらず、誰一人として遅刻や欠席をする者もなく、全員が予定時刻前に集合した。このことから、この事業に参加するというモチベーションの高さと真摯な態度、被災地を初めて訪問するという張りつめた緊張感などがうかがわれた。

その後、数時間かけて、被災地入りをした。今回、地元のNPOに受け入れをお願いし、懇切丁寧な案内を受けた。

表1 ボランティア体験塾プログラム概要

時間	1日目：10月13日（土）	時間	2日目：10月14日（日）
6:20	受付 さしま少年自然の家	6:00	起床・身支度・部屋清掃
6:30	出発（バス移動：館林 IC～仙台南 JCT～三 陸道～南三陸町） ※途中SAでトイレ休憩、バス内昼食	7:00	朝食
13:00	南三陸町到着・大川小学校見学	8:00	仮設住宅の清掃
14:00	被災地支援ボランティア活動（河川敷の清 掃）	9:00	宿泊地出発
16:00	活動場所出発	9:30	石巻市での被災地見学（海岸通り・津波にの み込まれた地域など）
16:30	宿泊地到着（宮城県志津川自然の家）	12:00	仮設の商店街での自由行動
17:00	入所式・ミーティング	13:30	出発（バス移動：南三陸町～三陸道～仙台南 JCT～館林 IC）
18:00	夕食		
19:00	被災地に関する講話		
20:30	入浴	19:30	さしま少年自然の家到着・解散
21:30	班長会議・就寝準備		
22:00	就寝		

まず、大川小学校を見学し、校舎の後側を断崖絶壁に囲まれた逃げ場のない風景を目の当たりにした。参加者は、説明に耳を傾けながら、静かに黙とうを捧げた。たくさんの子どもたちと先生方の命が一瞬にして失われた現場に参加者がいることがショッキングな非日常的体験であった。午後は、付近の河川敷で廃材やゴミなどの回収作業を行った。2時間以上の重労働であったが、参加者はトラック数台分の流木などを撤収し、清掃が隅々まで行き届き、あたりには見違えるような美しい遊歩道がよみがえった。その後、宿泊先である宮城県内の自然の家に移動した。その途中でも回収された家屋などの廃材の山や跡形もなく津波にのみ込まれて更地になってしまった様子に参加者は深いため息をついていた。夕食後の被災地に関する講話では、パソコンを使って編集された写真や動画を通して説明を受けた。その中で、テレビでは放映されなかったとても悲惨な映像がたくさんあり、参加者は全員大きな涙を目にし、その中には号泣する者もいた。

2日目は早朝の仮設住宅の清掃活動を行った。ゴミを回収したり、ほうきで掃いたりなどの作業を行った。住民の方々からお礼の言葉があり、参加者は短い時間であったが、心の交流を図ることができた。その後、石巻市に移動し、海岸沿いが壊滅した地区の見学を行った。高台から見た風景は、津波にのみ込まれた風景を一望でき、その悲惨な出来事があまりの広範囲であることに参加者全員が驚愕した。最後に、復興を目指した仮設の商店街にて、被災地への直接支援になる買い物と自由見学を行った。この2日間で参加者からは、「実際に被害のあった現場を訪れ、自分の目で悲惨な出来事の大きさを実感することができた」「テレビで見るのと生で見るのには歴然とした隔たりがあった」「大震災が起きてから初めて、何気ない当たり前の生活がかけがえのないものであったと気づいた」「自分がどのような存在であり、今後どうあるべきかを学ぶ機会になった」という声が聞かれた。このように、参加者自身を見つめ直す成長のきっかけとなった実りの多い事業であった。

### III. 方法

#### 1. 測定尺度

質問紙調査票は、本事業が参加者の「生きる力」に及ぼす影響を明らかにするために「生きる力（IKR 短縮版 28 項目）」<sup>8)</sup>を使用した。これは、橘と平野が開発した 70 項目からなる「IKR 評定用

紙」<sup>9)</sup>を独立行政法人国立青少年振興機構が28項目に絞り込んだものである。質問紙は3つの上位尺度である心理的・社会的能力・徳育的能力・身体的能力及び14の下位尺度から構成されている。

## 2. 研究対象

表2 群ごとの分析対象人数

群	分析対象の児童生徒	人数
1	ボランティア体験塾の参加群（高校生・大学生）	38
2	ボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）	236
3	過去の短期キャンプ参加群（小学生）	26
4	キャンプ事業に参加していない対照群（小学生）	484
5	過去の長期キャンプ参加群（小学生）	121

平成25年の10月に実施された「ボランティア体験塾」（1泊2日）の参加者に対し、事業後にアンケートを実施した。その高校生及び大学生41名のうち未記入などのデータ3名を除き、38名（男子14名・女子24名）を参加群の分析対象とした。

一方、ボランティア体験塾に参加していない関東県内の高校生236名を対照群（男子100名、女子136名）とし、平成25～28年度においてデータを収集した。次に、過去の短期キャンプ参加者26名（男子13名、女子13名）を対照群とした。その群は、平成25年度において、社会教育施設主催の2泊3日の自然体験活動に参加した小学生高学年である。また、体験活動などのキャンプ事業に参加していない関東県内の小学生高学年484名（男子239名、女子245名）も対照群とし、平成24～28年度においてデータを収集した。さらに、過去の長期キャンプ参加者121名（男子66名、女子55名）も対照群とした。その群は、平成24～28年度の期間中において、東北及び関東県内の社会教育施設主催における1週間程度の長期自然体験活動に参加した小学生高学年である。

## 3. 分析方法

まず、ボランティア体験塾の参加群と対照群において「生きる力（IKR短縮版28項目）」を「生きる力」の総得点と上位尺度3項目ごとに集計し、平均点と標準偏差を求め、すべての群に有意差があったのか検定を行った。検定に当たっては、SPSS Statistics 22.0を使用し、分析には一要因五水準の分散分析とBonferroniの多重比較を行った。その5群とは、ボランティア体験塾の参加群、ボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）、過去の短期キャンプ参加群（小学生）、キャンプ事業に参加していない対照群（小学生）、過去の長期キャンプ参加群（小学生）である。ボランティア体験塾の参加群を中心にして、他の4群との比較を行った。

横断的な視点に立つことにより、それぞれの成長過程での「生きる力」の様態、今後の事業のあり方、評価方法などについて検討することとした。今回の分析結果と考察については、ボランティア体験塾の参加群を中心にして「生きる力」とその上位、下位尺度について言及する。

## IV. 結果

### 1. 「生きる力」の分析結果

分散分析の結果、「生きる力」の主効果が有意となった ( $F(4, 900) = 52.33, p < .001^{***}$ )。そこで、Bonferroniの多重比較を行ったところ、「生きる力」においてボランティア体験塾の参加群は、ボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）よりも有意に高い値を示した。同時に、「生きる力」においてボランティア体験塾の参加群は、過去の長期キャンプ参加群（小学生）よりも有意に低いことが明らかになった。

表3 「生きる力」及び上位尺度3項目の分析結果

	1 ボランティア体験塾の参加群 n=38	2 ボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）n=236	3 過去の短期キャンプ参加群（小学生）n=26	4 キャンプ事業に参加していない対照群（小学生）n=484	5 過去の長期キャンプ参加群（小学生）n=121	F 値	多重比較
生きる力	125.13 ( 19.45 )	106.33 ( 20.49 )	128.73 ( 22.60 )	118.28 ( 21.07 )	139.26 ( 21.14 )	52.33***	1>2, 1<5, 2<5, 4<5
心理的社會的能力	61.76 ( 11.11 )	51.80 ( 11.68 )	63.85 ( 11.23 )	58.42 ( 11.02 )	69.19 ( 11.56 )	50.27***	1>2, 1<5, 2<5, 4<5
德育的能力	38.18 ( 5.75 )	33.50 ( 6.20 )	37.69 ( 7.56 )	34.56 ( 7.09 )	40.41 ( 6.24 )	25.84***	1>2, 1>4, 2<5, 4<5
身体的能力	25.18 ( 4.79 )	21.04 ( 5.46 )	27.19 ( 5.35 )	25.30 ( 5.35 )	29.66 ( 4.83 )	57.48***	1>2, 1<5, 2<5, 4<5

上段：平均値、下段：(標準偏差)

(p&lt;.001\*\*\* )

## 2. 上位尺度3項目の分析結果

分散分析の結果、「心理的社會的能力」 ( $F (4, 900) = 50.27, p < .001^{***}$ )、「德育的能力」 ( $F (4, 900) = 25.84, p < .001^{***}$ )、「身体的能力」 ( $F (4, 900) = 57.48, p < .001^{***}$ ) となり、すべての上位尺度項目においても主効果が有意となった。そこで、上位尺度3項目それぞれにおいて、どの群と群に有意差があるのかを確かめるためにBonferroni の多重比較を行った。

まず、「心理的社會的能力」では多重比較の結果、ボランティア体験塾の参加群はボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）よりも有意に高い値を示した。また、「德育的能力」において、ボランティア体験塾の参加群は過去の長期キャンプ参加群（小学生）よりも有意に低いことが分かった。

次に、「德育的能力」では多重比較の結果、ボランティア体験塾の参加群はボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）及びキャンプ事業に参加していない対照群（小学生）よりも有意に高い値を示した。ここでは、ボランティア体験塾の参加群は過去の長期キャンプ参加群（小学生）と有意な差は見られなかった。

3番目の「身体的能力」では多重比較の結果、ボランティア体験塾の参加群はボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）よりも有意に高い値を示した。同時に、「身体的能力」では、ボランティア体験塾の参加群は過去の長期キャンプ参加者（小学生）よりも有意に低いことが明らかとなった。

## V. 考察

### 1. 「生きる力」について

分散分析の結果、「生きる力」はボランティア体験塾の参加群とそれ以外の群において、有意な差があることが分かった。そこで、Bonferroni の多重比較を行い、「生きる力」においてボランティア体験塾の参加群は、ボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）よりも有意に高いことが明らかとなった。ここで、ボランティア体験塾の参加群が38名と少人数であったため、正規性の検討を試みた。その結果、Shapiro-Wilk の有意確率が「生きる力」では  $p < 0.172$  となり、正規

性には問題がないことが分かった。過去の短期キャンプ参加者（小学生）も26名と少人数であったため、正規性の検討を試みた。その結果、Shapiro-Wilkの有意確率が「生きる力」では $p<0.03$ となり、その部分だけ正規分布をしていないことが考えられた。そこで、ノンパラメトリック検定であるMann-WhitneyのUの検定を行った。その結果、「生きる力」は $p<0.494$ となり、この対照群とボランティア体験塾の参加群に有意差が見られず、多重比較と同様の結果となった。

今回の事業を振り返ってみると、参加者が初めて被災地を訪れ、衝撃の連続であったに違いない。それにもかかわらず、しっかりと現状をつぶさに見て、今後自分たちがどうすべきか、どのように生きていくべきなどを考えさせるきっかけになった。アンケートからも、「将来の自分の進むべき道を前向きに検討したい」という意見がとても多かった。このように、ボランティア体験塾は現代の若者のアイデンティティを伸長させるのに非常に有効な手段であると考えられる。

一方、「生きる力」においてボランティア体験塾の参加群は、過去の長期キャンプ参加群（小学生）よりも有意に低いことが明らかにされた。このことから、ボランティア活動は1回きりではなく継続して行う必要性があること、高校生以上の青年においてさらなる「生きる力」の伸張が期待されることが示唆された。ところで、過去の長期キャンプ参加群（小学生）の突出した高い数値は、その後どのように変遷していったのか疑問が残る。数回にわたる小学校長期自然体験活動の合計データであるが、1人1人の発達段階の中でどのような成長があったのか、今後は分析方法を含めた検討が必要であろう。

## 2. 「心理的・社会的能力」について

分散分析の結果、ボランティア体験塾の参加群とそれ以外の群において有意差が見られた。そこで、多重比較を行い、「心理的・社会的能力」においてはボランティア体験塾の参加群は、ボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）よりも有意に高かった。

ここでも、ボランティア体験塾の参加群が38名と少人数であったため、正規性の検討を試みた。その結果、Shapiro-Wilkの有意確率が「心理的・社会的能力」 $p<0.406$ となり、正規性には問題がないことが分かった。同様に、過去の短期キャンプ参加者（小学生）も26名と少人数であったため、正規性の検討を試みた。その結果、Shapiro-Wilkの有意確率が「心理的・社会的能力」では $p<0.04$ となり、その部分だけともに正規分布をしていないことが考えられた。そこで、ノンパラメトリック検定であるMann-WhitneyのUの検定を行った。その結果、「心理的・社会的能力」は $p<0.452$ となり、この対照群とボランティア体験塾の参加群に有意差がないことが分かり、多重比較と同様の結果となった。

このように「心理的・社会的能力」は、「生きる力」と全く同じ分析結果となった。これは、「心理的・社会的能力」は、「非依存」「積極性」「交友・協調」「適応行動」などの「生きる力」の中核を成す下位能力を含んでいることからも理解できる。それらの下位尺度項目では「視野・判断」を除くすべてにおいて、多重比較の結果、ボランティア体験塾の参加群はボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）よりも有意に高かった。このことから、この事業は高校生たちの自立性や自主性、コミュニケーションスキル、その場にふさわしい行動がとれる能力などを伸長させるのに教育的效果があったことが示された。

一方、「心理的・社会的能力」において、ボランティア体験塾の参加群は過去の長期キャンプ参加群（小学生）よりも有意に低かった。これは、「生きる力」と同様であり、過去の長期キャンプ参加群（小学生）のデータは一時的に突出した、その場だけの数字ではないかという不安が隠せない。しかしながら、ボランティア体験塾の参加群は過去の長期キャンプ参加群（小学生）と比較して、下位尺度の「積極性」「交友・協調」「適応行動」において有意な差は見られなかった。このことは、この部分においては過去の長期キャンプ参加群（小学生）と同等の能力が身についたとも評価でき

る。それゆえ、被災地においては何事も自ら進んで行動することが重要であり、過酷かつ悲惨な状況においても前向きに物事をうまく対処し、緊急の場合は回りの人たちと協力することが大切であることを体感的にボランティア体験塾の参加者が身につけたのではないかと考えられる。今後は、さらなるデータ数の収集と全国的なレベルでの「生きる力」の質問紙調査の実施が期待される。

### 3. 「德育的能力」について

分散分析の結果、ボランティア体験塾の参加群とそれ以外の群において有意差が見られた。そこで、多重比較を行い、「德育的能力」では、ボランティア体験塾の参加群はボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）及びキャンプ事業に参加していない対照群（小学生）よりも有意に高いことが明らかになった。ここでも、ボランティア体験塾の参加群が38名と少人数であったため、正規性の検討を試みた。その結果、Shapiro-Wilkの有意確率が「德育的能力」 $p<0.401$ となり、正規性には問題がないことが分かった。同様に、対照群である過去の短期キャンプ参加者（小学生）が26名と少人数であったため、正規性の検討も試みた。その結果、Shapiro-Wilkの有意確率が $p<0.098$ となり、正規性には問題がないことが明らかとなった。

特に、「德育的能力」は、「まじめ勤勉」「思いやり」などの下位能力を含んでおり、ボランティア体験塾の参加群が2つの対照群よりも有意に高いということは、他者に対する配慮や被災者支援への真摯な態度が表れていると考えられる。ここでは、「德育的能力」において、ボランティア体験塾の参加群は過去の長期キャンプ参加群（小学生）と有意な差は見られなかったことから、2群ともに同等の他者への配慮などの意識が見られたと評価できる。さらに、人の心の痛みが分かる人間への成長が参加高校生らに期待できるであろう。

下位尺度の比較では、「自然への関心」「まじめ勤勉」「思いやり」の項目に、ボランティア体験塾の参加群は過去の長期キャンプ参加群（小学生）と有意差は見られなかった。このことは、過去の長期キャンプ参加群（小学生）と同等の心理的な伸長があり、被災地の目を背けたくなるような信じられない光景に驚愕し、震災復興の必要性や着実に生きていくこと、他者へのいたわりの気持ちなどをひしひしと身を持って感じたと考えられる。

### 4. 「身体的能力」について

分散分析の結果、ボランティア体験塾の参加群とそれ以外の群において有意差が見られた。そこで、多重比較を行い、「身体的能力」においてはボランティア体験塾の参加群は、ボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）よりも有意に高いことが分かった。ここでも、ボランティア体験塾の参加群が38名と少人数であったため、正規性の検討を試みた。その結果、Shapiro-Wilkの有意確率が「身体的能力」 $p<0.480$ となり、正規性には問題がないことが分かった。同様に、対照群である過去の短期キャンプ参加者（小学生）が26名と少人数であったため、正規性の検討も試みた。その結果、Shapiro-Wilkの有意確率が $p<0.084$ となり、正規性には問題がなかった。

「身体的能力」は、「体を動かしても疲れにくい」「暑さ寒さに負けない」などの屈強なメンタル的な要素も含んでいる。下位尺度の多重比較の結果、これらの項目すべてにおいて、ボランティア体験塾の参加群はボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）よりも有意に高かった。このことは、この事業に参加したことによって、どのような悲惨な場面においても強く生きていくとする意識向上であったと考えられる。特に、「野外技能・生活」では、ボランティア体験塾の参加群は過去の長期キャンプ参加群（小学生）と有意差がなかったことから、2群ともに同等であり、参加群の高校生たちの野外でのサバイバル的なスキルや意欲も高いと評価できる。これは、被災地の河川敷の清掃作業で流木を引き起こしたり、なたで枝を切り落としたり、仮設住宅での作業を体験したりして身についたものではないかと思われる。あるいは、この事業の全体を通して緊急事態

においてはどのようにしたら生きていくことが可能であるか体験的に学んでいったとも考えられる。

## VI. 今後の展望

「生きる力」において、ボランティア体験塾の参加群はボランティア体験塾に参加していない対照群（高校生）よりも有意に高いことが明らかとなった。これは、この事業が現代の若者のアイデンティティを伸長させるのに非常に有効であったと考えられ、高校生たちの「生きる力」を向上させるのに効果的な教育事業であったことが示唆された。今回の分析では、「生きる力」のボランティア体験塾参加群と対照群の比較を行った。その中で、過去の長期キャンプ参加群（小学生）の突出した高い数値が明らかとなった。数回にわたる小学校長期自然体験活動の合計データであるが、今後はより多くのデータ収集と発達段階ごとの全国的なレベルでの「生きる力」の質問紙調査の実施が期待される。それらに統計的な分析を加え、「生きる力」のさらなる伸長にはどのような課題が必要なのか見極めることが重要である。それらを明らかにし、体験活動を企画立案及び実践していくことが今後の社会教育施設でのプログラム開発を発展させる鍵となるであろう。

### 引用文献

- 1) 中央教育審議会、「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」(答申) 2008
- 2) 中央教育審議会、「新しい時代を切り拓く生涯学習の振興方策について～知の循環型社会の構築を目指して～」(答申) 2008
- 3) 橋直隆, 平野吉直, 関根章文, 「長期キャンプが小中学生の生きる力に及ぼす影響」, 野外教育研究, 第6巻第2号, pp. 45-56 2003
- 4) 茂呂輝夫, 「小学校長期自然体験と生きる力の関連性 — 1週間の時系列及びストレスの観点における分析」, 日本学校心理学会第16回大会, 発表論文集, pp. 74 2014,
- 5) 茂呂輝夫, 2014年10月, 「自然体験活動と生きる力の関連性—オータムキャンプの参加群と対照群との比較」, 国立青少年振興機構青少年教育研究センター紀要, 第3号, pp. 100-108 2014
- 6) 文部科学省, 「高等学校学習指導要領」2009,
- 7) 中央教育審議会, 「今後の青少年の体験活動の推進について」(答申), 2013
- 8) 国立青少年振興機構, 「事業評価に使える! 生きる力の測定・分析ツール」2010
- 9) 橋直隆, 平野吉直, 「生きる力を構成する指標」, 野外教育研究, 第4巻2号, pp. 11-16 2001

## IV 技術解説

### IV—1 線形代数学の特異値分解で統計学の主成分分析を解く

数学共楽会 山口 文夫 竹内 孝 石田 紀久

#### 1. はじめに

数学共楽会では米国 MIT の線形代数学のテキスト[Gilbert Strang :Introduction to Linear Algebra]を用いて輪講会を開催している。この輪講会をチーム Strang と名付けた。

このテキストでは、特異値分解に関して基本と応用について2か所で解説がある。

#### (1) 特異値分解(SVD:Singular Value Decomposition)の基本

特異値分解は線型代数学のハイライトである。行列  $A$  は任意の  $m \times n$  型行列、即ち、正方行列か矩形行列である。正方行列であれば、放送大学の印刷教材にもあるように、 $S^{-1}AS$  で対角化できる<sup>1</sup>。

しかし、行列  $A$  が矩形行列であっても  $U^TAV = \Sigma$  と表せる。ここに、 $\Sigma$  は対角上に特異値を持つ対角行列である<sup>2</sup>。

#### (2) 特異値分解(SVD)の主成分分析への応用

$A^TA$  の固有ベクトル行列  $V$  は統計学の主成分分析の係数行列と全く同一であることを確認した。

本稿では R 言語により、「主成分分析関数 prcomp()」と「特異値分解関数 svd()」から同一の主成分分析が得られることを確認する。また、主成分分析と特異値は完全なつながりがあることを数式上で確認する。

#### 2. 主成分分析とは何か

##### 2-1 多次元データを低次元データで表現する

主成分分析の対象となるデータは図 1. の如く説明変数( $p$ )と個体( $n$ )の関連表  $n \times p$  型行列である。 $p$  個の説明変数からなる行列  $A$  の情報を極力損なうことなく、次元を少なくすることができないか。主成分分析の目標はここにある。

ラグビーボールは長軸とこの長軸に直交する短軸がある。 $p$  個の説明変数の分散が最大になるように、長軸を座標とし、2 番目に大きい座標として短軸を選ぶと、よい主成分分析ができる場合が多い。(図4)



変量 個体 \	$x_1$	$x_2$	…	$x_p$
1	$x_{11}$	$x_{21}$	…	$x_{p1}$
2	$x_{12}$	$x_{22}$	…	$x_{p2}$
:	:	:		:
$n$	$x_{1n}$	$x_{2n}$	…	$x_{pn}$

図1. 行列  $A$

:説明変数( $p$ )と個体( $n$ )の関連表  $n \times p$  型行列

変量 個体 \	$u_1$	$u_2$	…	$u_p$
1	$u_{11}$	$u_{21}$	…	$u_{p1}$
2	$u_{12}$	$u_{22}$	…	$u_{p2}$
:	:	:	…	:
$n$	$u_{1n}$	$u_{2n}$	…	$u_{pn}$

図2. 行列  $A$  の標準化行列  $B$

<sup>1</sup>  $S$  は  $A$  の固有ベクトル行列、 $S^{-1}$  は  $S$  の逆行列。

<sup>2</sup>  $U^T$  は  $AA^T$  の固有ベクトル行列  $U$  の転置行列。  $V$  は  $A^TA$  の固有ベクトル行列。

## 2-2 主成分分析の仕組み

主成分分析は行列  $A$  の変数を組み合わせて新しい変数を作る。新しい変数の作り方は、できるだけデータの持つ情報を元のデータが表現できるようにする。具体的には、元の変数の線形結合を考え、その分散が最大になるように、線形形式の係数を決める。

線形結合を式(1)で表す。

$$z = a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_p x_p \quad (1)$$

ただし、 $\sum_{i=1}^p a_i^2 = 1$

ここに、式(1)の  $z$  は個体数  $n$  個に相当する  $n$  個の要素からなるベクトルである。従って、 $n$  個のデータの分散が最大になるように係数  $a_1, \dots, a_p$  を定める。主成分はデータが最も散らばっている方向を探していることになるが、これはある意味では、データに最も近い直線を求めていることと同じことといえる。

即ち、データが与えられたとき、データの中心から各データへの距離は固定される。いま、データの中心を通る 1 本の直線を引いたとする。この直線をできるだけ各データ点に近くなるようにすることは、各データ点から直線に対して垂線を下ろした点とデータの中心との距離が最大になることと同じであると考える。ゆえに、この直線を新たな座標軸と考えれば、この座標上でのデータの分散を最大にすることと同じことになる。

主成分は 1 つだけ求めるのではなく、最初の主成分が求まると、それと無相関になる 2 番目の主成分を求めることができる。2 番目の主成分を求めるときには、1 番目の主成分と無相関であるとの条件のもとに、その分散を最大になるようにする。このように求めた、主成分を順に、第 1 主成分、第 2 主成分・・・などと呼ぶ。理論的には、図 1 の行列  $A$  の列(説明変数)の数である第  $p$  主成分まである。

## 2-3 分散共分散行列(相関係数行列)

主成分を具体的に求めるには、図 1 の行列  $A$  の「分散共分散行列(相関係数行列)」の固有値を大きい順に並べたとき、その固有値が主成分の分散になり、固有ベクトルが主成分を作成するときの係数となるという、「分散共分散行列(相関係数行列)の固有値問題」に帰着される。

行列  $A$  は一般的には正方行列ではない。即ち、行数  $n$  と列数  $p$  は等しくなく、矩形行列である。従って、直接、固有値・固有ベクトルを求ることはできない。そこで、行列  $A$  の分散共分散行列  $S$ 、行列  $A$  の要素が標準化データ行列  $B$  の時は相関係数行列  $R$  から算出する。

$$S = \begin{bmatrix} s_1^2 & s_{12} & \cdots & s_{1p} \\ s_{12} & s_2^2 & \cdots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{1p} & s_{2p} & \cdots & s_p^2 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

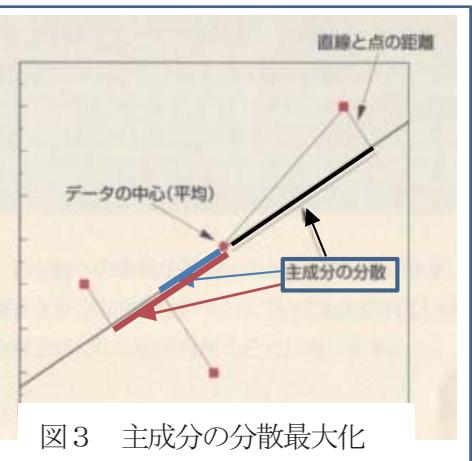


図 3 主成分の分散最大化

$s_i^2$  は変数  $x_i$  の分散、  
 $s_{ij} = s_{ji}$  は変数  $x_i$  と  $x_j$  との共分散である。  
 $r_{ij} = r_{ji} = \frac{s_{ij}}{\sqrt{s_i s_j}}$  は相関係数である。

## 2-4 固有値と固有ベクトル

:以降は標準化された行列  $B$  の相関係数行列  $R$  をベースとする

固有値  $\lambda_i$  に対応する固有ベクトル  $(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip})$  を求める。ここに、 $i = 1, 2, \dots, p$  である。

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{i1} \\ a_{i2} \\ \vdots \\ a_{ip} \end{bmatrix} = \lambda_i \begin{bmatrix} a_{i1} \\ a_{i2} \\ \vdots \\ a_{ip} \end{bmatrix} \quad \text{ここに、 } a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \cdots + a_{ip}^2 = 1 \quad (3)$$

固有値は大きい方から  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_p$  の順に  $p$  個ある。

## 2-5 第1主成分得点、第2主成分得点

固有ベクトルは  $p$  個の説明変数を線型に結び主成分得点を生成する係数である。

固有値が  $\lambda_1$  のとき、第1主成分、 $\lambda_2$  のとき、第2主成分という。

- ・個体  $j$  の第1主成分 :  $z_{1j} = a_{11}x_{1j} + a_{12}x_{2j} + \cdots + a_{1p}x_{pj}$
  - ・個体  $j$  の第2主成分 :  $z_{2j} = a_{21}x_{1j} + a_{22}x_{2j} + \cdots + a_{2p}x_{pj}$
- ここに、 $j = 1, 2, \dots, n$

## 2-6 主成分の分散

:ここに、変数  $x_1, x_2, \dots, x_p$  の標準化データ  $u_1, u_2, \dots, u_p$  で考える。

### (1) 主成分係数と変数(標準化)のベクトル表示

$$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix}, \quad u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_p \end{bmatrix}, \quad u_j = [u_{j1} \quad u_{j2} \quad \cdots \quad u_{jp}] \quad (5)$$

### (2) 主成分および主成分の分散

- ・第1主成分 :  $z_1 = a^T u = a_1 u_1 + a_2 u_2 + \cdots + a_p u_p$

・No.j の個体の第1主成分得点 :

$$z_{1j} = a_1 u_{j1} + a_2 u_{j2} + \cdots + a_p u_{jp} = a^T u_j^T \quad (7)$$

・主成分  $z_1$  の分散

$$V_{z1} = \sum_{i=1}^n z_i^2 = \Sigma(a^T u_j^T)(a^T u_j^T)^T = \Sigma a^T u_j^T u_j a = a^T \left( \sum_{j=1}^n u_j^T u_j \right) a = a^T R a \quad (8)$$

・相関係数行列  $R$  の固有ベクトルは  $a$  である。一方、固有値を  $\lambda$  とすると式(9)の関係がある。

$$R a = \lambda a \quad (9)$$

・式(9)の両辺に左から、 $a^T$  を掛けると、式(10)となる<sup>3</sup>。  $a^T R a = \lambda a^T a = \lambda$

・故に、式(8)と(10)とから、主成分  $z_1$  の分散は相関係数行列  $R$  の固有値に等しい(式(12))。

$$V_{z1} = a^T R a = \lambda a^T a = \lambda \quad (12)$$

- ◆ 上記は第1主成分に関して説明したが、第2主成分以降についても全く同一なことが言える。

---

<sup>3</sup>  $a^T a$  は単位ベクトル  $a$  の内積  $\therefore a^T a = a_1^2 + a_2^2 + \cdots + a_p^2 = 1$

### 3. 特異値分解による主成分分析

米国 MIT Strang 教授 Introduction to Linear Algebra 4<sup>th</sup> edition section 8.6 「統計確率のための線形代数『主成分分析』」では、特異値分解から主成分分析を行う仕組みを解説している。

図1 の矩形行列  $A$  は特異値分解により、式(13)のように対角化できる。

$$A = U \Sigma V^T \quad (13)$$

ここに、

$U : AA^T$  の固有ベクトルを正規化し、列に置いた直交行列

$V : A^T A$  の固有ベクトルを正規化し、列に置いた直交行列  $\Sigma$  : 特異値を主対角位置にセットした対角行列

特異値は行列  $A^T A$  の固有値の平方根である。かつ、この固有値は  $AA^T$  の固有値と同値である。

詳細は「5-2 特異値分解」を参照。

なお、チーム Strang は式(14)の  $A^T A$  の固有ベクトル行列  $V$  は統計学の主成分分析の係数行列と全く同一であることを導出した。

### 4. R 言語による主成分分析のケーススタディ

2015 年度全国都道府県小中学生学力調査のデータを、下記の 2 つの方法で主成分分析を行う。

- 主成分分析関数 `prcomp()` による主成分分析
- 特異値関数 `svd()` による主成分分析

このデータとプログラムは数学共楽会公式 HP (<https://goo.gl/Msy78p>) からダウンロードできる。

- データ「R47 全国学力調査.csv」
- プログラム「svd-pca.txt」

**R47 全国学力調査.csv** は「図1. 行列  $A$ 」の構造を持つ。即ち、行  $n$  は都道府県数 47、列  $p$  は小学校 5 教科、中学校 5 教科、合計 10 である。

#### 4-1 主成分分析関数 `prcomp()` による主成分分析

```
# 1 # データを読み込み、標準化データ行列 ww1 に設定
  • データ読み込み: w1 <- read.csv ("R47 全国学力調査.csv", header=T, row.names=1)
  • データの標準化: ww1 <- scale(w1[,1:10])
# 2 # 主成分分析関数 prcomp() で行列 ww1 の主成分分析し、固有ベクトルを求める:
  • w2 <- prcomp (ww1)
# 3 # 主成分得点を表す式(7)の係数を表 1 に示す
```

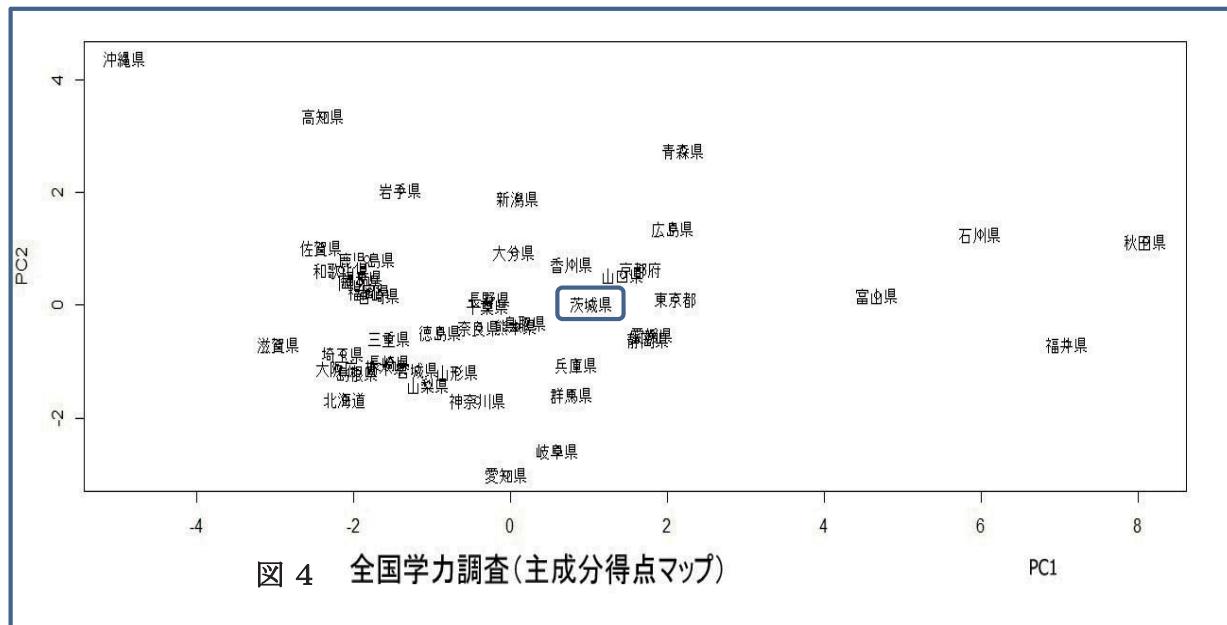
表1 固有ベクトル 主成分得点を表す式(7)の係数を表す

固有ベクトル $a_i$										
	小国A	小国B	小算A	小算B	小理科	中国A	中国B	中数A	中数B	中理科
PC1	0.263	0.320	0.283	0.332	0.329	0.344	0.309	0.316	0.331	0.328
PC2	0.427	0.345	0.423	0.185	0.222	-0.237	-0.288	-0.326	-0.310	-0.307

## # 4 # 主成分得点マップ

式(7)に従い、表1の係数と図2の標準化行列を掛けると主成分得点マップが得られる(図4)。

10次元のデータが、主成分分析を行うことにより、PC1とPC2の2次元で表せるようになった。



## 4-2 特異値分解関数 svd()による主成分分析

### # 1 # データを読み込み、標準化データ行列 A に設定

- データ読み込み: `w1 <- read.csv ("R47 全国学力調査.csv", header=T, row.names=1)`
- データの標準化: `ww1 <- scale(w1[,1:10])`
- `A <- ww1`

### # 2 # 特異値分解関数 svd()で行列 A の\$d(特異値)、\$u(正規直交行列)、\$v(正規直交行列)算出

- `A.s <- svd(A)`

### # 3 # 主成分(PC1・PC2)係数の算出：式(11)の正規直交行列 V の固有ベクトル

- `PC 係数 <- A.s$v[,1:2] # PC 係数`
- `PC 係数 [,1] # 第 1 主成分`
- `PC 係数 [,2] # 第 2 主成分`
- 表 2 に式(11)の正規直交行列 V の固有ベクトル、すなわち、PC 係数を示す

表2 固有ベクトル 式(11)の正規直交行列 V の固有ベクトル

固有ベクトル $a_i$	
	小国A 小国B 小算A 小算B 小理科 中国A 中国B 中数A 中数B 中理科
PC1	0.263 0.320 0.283 0.332 0.329 0.344 0.309 0.316 0.331 0.328
PC2	0.427 0.345 0.423 0.185 0.222 -0.237 -0.288 -0.326 -0.310 -0.307

## 4-3 主成分分析関数 prcomp()による主成分分析と 特異値分解関数 svd()による主成分分析

主成分分析関数 `prcomp()`による固有ベクトル(表 1)と特異値分解関数 `svd()`による固有ベクトル(表 2)の値は完全に一致することが、ケーススタディで確認できた。

## 5. 主成分分析と特異値のつながり

本節では説明変数と個体の関連表を図2の標準化行列 $B$ で考えることとする。

### 5-1 主成分分析

主成分分析は主成分を具体的に求めるには、図2の標準化行列 $B$ の「相関係数行列 $R$ 」の固有値を大きい順に並べたとき、その固有値が主成分の分散になり、固有ベクトルが主成分を作成するときの係数となるという、「分散共分散行列(相関係数行列)の固有値問題」に帰着される。

行列 $B$ の相関係数行列 $R$ を式(15)の如く表す。

$$R = B^T B = V_{pca} \Lambda V_{pca}^T \quad (15)$$

ここに、 $B$ は標準化データ行列、 $B^T$ は $B$ の転置行列である。 $V_{pca}$ は相関係数行列 $R$ の直交行列、 $\Lambda$ は $R$ の固有値対角行列である。

### 5-2 特異値分解

図2の標準化データ行列 $B$ は特異値分解により、式(16)のように表す。

$$B = U_{svd} \Sigma V_{svd}^T \quad (16)$$

式(16)を相関係数行列 $R$ に組込むと、式(17)の如くなる。

$$R = B^T B = (U \Sigma V_{svd}^T)^T (U \Sigma V_{svd}^T) = V_{svd} \Sigma^T U^T U \Sigma V_{svd}^T = V_{svd} \Sigma^T \Sigma V_{svd}^T \quad (17)$$

ここで、 $U$ は直交行列なので、 $U^T U = 1$ である。また、 $V_{svd}$ は $B^T B$ の直交行列、

$V_{svd}^T$ は $V_{svd}$ の転置行列である。

### 5-3 主成分分析と特異値分解のつながり

式(15)の $\Lambda$ は相関係数行列 $R = B^T B$ の固有値行列であり、式(17)の $\Sigma^T \Sigma$ もまた、相関係数行列 $R = B^T B$ の固有値行列である。特異値は正の固有値の平方根なので、 $\Sigma^T \Sigma = \Lambda$ となる。

従って、式(15)と式(17)は等しくなり、故に、式(18)が成り立つ。

$$V_{pca} = V_{svd} \quad (18)$$

## 6. おわりに

- (1) 主成分分析において、相関係数行列の固有ベクトル行列 $V_{pca}$ と特異値分解における正規直交行列 $V_{svd}$ は等しいことが確認できた。主成分得点は、これら固有ベクトルが係数となる線形結合なので主成分分析からでも特異値分解でも、同じ値の主成分得点を得ることができる。
- (2) 同じ観測データを主成分分析関数`prcomp()`と特異値分解関数`svd()`の両者でケーススタディをした結果は同一であることが確認できた。(表1、表2)

## 7. 参考文献

- (1) Gilbert Strang(米国MIT) “Introduction to Linear Algebra 4<sup>th</sup> edition”
- (2) 秋光淳生 <http://www.is.ouj.ac.jp/lec/data/C05/C05.pdf>
- (3) 山口和範・高橋淳一・竹内光悦「よくわかる多変量解析」秀和システム
- (4) 永田靖・棟近雅彦「多変量解析法入門」サイエンス社
- (5) 金明哲「Rによるデータサイエンス」森北出版株式会社

## V 知の小窓

### V-1 水槽渦がダンスする

元茨城学習センター所長 白石昌武

#### [水槽渦の回転方向]

小さい頃、お風呂の中でイタズラに底栓を抜いたことがあると思います。水は始めのうちはただ単に流れ出て行くだけですが、水位が次第に下がると一つの渦を巻いて底栓から流出して行くのを誰でも経験していることでしょう。回転方向はどうでしょうか？渦の規模が小さくなればコリオリの力（簡単に言えば、回転に伴う一種の慣性力）も小さく、また北半球では反時計回りと良く言われています。竜巻や小さなつむじ風も一種の低気圧ですが、必ずしも日本のような北半球では反時計回りとは限りません。ましてやお風呂の渦は非常に小さな現象ですからなおさらのことです。結論的には、お風呂の渦の回転方向は、お風呂の水が始めどのような状態か、水槽の形状がどうなっているか等によって右回りになったり、左回りになったりします。

#### [もし水槽の底に開口(丸穴)が二つあつたら渦はどうなるでしょう？]

元来好奇心が旺盛なことから、下図のように二つの開口（丸穴）があつたらどうなるだろうか？と言う疑問が自然に湧いてきたのです。早速「水槽渦の流出に関する研究」と題し、学生が嫌がるのを気にせず、工学部での卒業研究に取り入れました。実験を行うため透明なアクリル板を用い高さ40cm、縦横1m四方の水槽を作り、始めは水槽の底に直径4cmの丸穴の開口1と開口2を、その間隔が変えられるように作りました。まず二つの開口の間隔を10cm程度離し、始めは二つの開口を閉じた状態で水道水を入れ、適当な水位になった所で水道を止めて二つの開口を同時に開きました。この後、水はどうなったと思います？

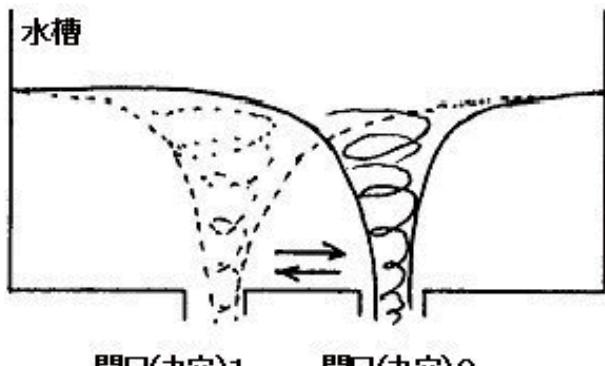


図1. 水槽渦

始めのうち水は二つの開口からただ流れ出るだけでした。ところが水位が次第に下がり、ある水位になった所から一つ大きな渦が右回転方向に形成され、その状態で水位を保つようになりました。やがてこの一つの渦はワルツを踊っているかのようにゆらりゆらりとダンスをするかのごとく、二つの開口を交互に流出して行くではありませんか。つまり、柱時計の振り子が左右に行ったり来たりするのと同じように、渦が同じ回転方向を保ちつつ一定の周期で開口1（渦の流れ）から開口2（通常の流れ）へ、そして開口2（渦の流れ）から開口1（通常の流れ）へと交互に切り替わりながら流失し続けました。二つの開口の間隔を10cmから7cmへと狭めると、その切り替わる早さ（周期）が約1.8秒から1.2秒と変わり、逆に間隔を13cmへ広げると周期が2.1秒と長くなりました。つまりワルツのステップが変わったかのようでした。

## [現象の解明]

“一体なぜこのような現象が起ころるのだろうか、事実とすればどのようなメカニズムによるのだろうか”と言う疑問が生じたのは当然のことです。丸穴の直径を変えたり、間隔を変えて種々実験を繰り返し、かつ流体工学的考察を行った結果、高校生の時理科の授業で学んだ「ベルヌーイの定理」という流れに関する基本法則が疑問を解くカギになったのです。

ベルヌーイの定理とは：数式を省略しますと、

“流体中で流れの速い部分の圧力が低くなる”

と言う現象により、渦の流出に伴う開口周辺の圧力の違いによって渦が交互に引き寄せられて起こる現象であることが判明したのです。具体的には、渦の無い丸穴周辺の通常の流れの速さは、渦が生じている場合の丸穴周辺の流れの速さよりも速くなります。つまりベルヌーイの定理によれば、

**通常の流れの丸穴周辺の圧力 < 渦が生じている場合の丸穴周辺の圧力**

という関係が生じ、渦の流れが圧力の低い通常の流れ方向に引き寄せられ、これが交互に繰り返されてあたかもダンスをしているかのような動きになるのです。

## [公園の渦時計]

噴水や池のある公園に“渦時計”を設置することは簡単ではないでしょうか。上に述べたような水槽を作成し、そこに噴水や池の水を循環させます。水槽の底に周期が1秒になる二つの丸穴と間隔を決めます。どちらかの流出の出口に回転受け皿(水車のような形)を設置すると、流速の違いに対応した動きとなります。その回転の動きで針を動かすようにすれば、水を動力とした珍しい水槽渦時計ができるかも知れません。

## VI 私の放送大学

### VI-1 私にとっての放送大学とロードバイク

自然と環境コース 田辺 裕美

#### 【仕事を離れて】

齢を重ねて壮年期から老年期に入ると誰しも体や頭の衰えを感じるもので、何とかその衰えを少しでも遅らせたいと考えます。私の場合、定年退職後に頭の現状維持を図るべく始めたのが放送大学です。

放送大学のBS授業は数年前からチラチラ見ていました。何か面白い番組がないかとチャンネルを探しているうちに、BS の奥の方に結構面白い番組があるのに気付きました。2016 年3月末に仕事から完全に離れて時間ができたので、宇宙科学や地球史など関心のある講義をビデオに撮って趣味の一環として見ていましたが、やはり知力の維持のためにも単位取得を目指して真面目に勉強した方がいいと考え、半年後の 10 月に入学しました。



川口湖畔にて(2016年富士エコcycling)

#### 【体の健康維持】

頭の現状維持の方は放大と付き合って行くことでひとまず OK として、さて身体の方はどうと、今は自転車です。もともとアウトドア志向が強く、若い頃出向して皇居の近くのオフィスで仕事をしていた際に、上司から昼休みの皇居 1 周(ほぼ5km)ランに誘われて、それ以降習慣化しました。茨城に戻って来てからも週末のマラソン大会などに出続け、結局フルマラソン(約 42km)完走 50 回、ウルトラマラソン完走 1 回をはじめとして、25 年間に走った距離が 60,000km に達しました。四半世紀かけて地球を 1 周半したことになります。中でも「しまなみ海道 100km 走(福山城→今治城)」を 12 時間台でゴールした時の達成感はこれまでに感じたことがないもので、本当に鳥肌が立ったのを覚えています。

さすがに年齢とともにマラソンはきつくなってきたので、5 年ほど前にロードバイク(スポーツバイクの一種)を買ってマラソンからバイクに徐々に切り替えを図り、今では完全に乗り換えました。バイクはマラソンに比べるとはるかに身体への負担が軽いので、外出すると2時間強、50~60km は走ります。また 1 日かけて 150km 程度走る日もあります。

#### 【ながら語学】

マラソンにせよバイクにせよ、健康のためとはいえ、毎日とか隔日とかに1時間以上かけるとなると、時間の有効な使い方を考える必要があります。走っているとき体はフルに稼動していますが、頭の方はほとんど暇なので、安全にさえ注意すればいろんなことができます。最初の頃は音楽を聴きながらマラソンしていましたが、それでも飽きて結局英語の音読を始めました。NHK ラジオの「英語音読徹底トレーニング」土曜版のモノローグを頭に入れてから出発し、マラソンしながら口をパクパクやって結局丸三年分暗唱しました。バイクになってからは、放送大学でフランス語入門を受講している関係で、フランス語の会話文を音読しながら走ることが多くなりました。ぶつぶつ言いながら自転車に乗って近づいて来るのを見て、他人からは「危ない人間がやって来る」と思われているかも。

トロイ遺跡の発掘で知られるシュリーマンは 18 カ国語に堪能だったとも言われていますが、彼の外国語習得法は、毎日 1 時間かけてひたすらテキストを音読して丸暗記することなどだったようです。走りながら

のパクパクも人目を気にせず反復音読できるので、発音や決まりきったフレーズの習得に適していると思います。

### 【力学的考察】

その他に走っている間に思い巡らせることとして、運動と仕事の関係などもあります。運動としてみた場合、マラソンとバイクとは当然のことながら似ている点もあれば異なる点もあります。似ている点は、ともに長時間継続してできる有酸素運動なので、メタボ対策に最適ということでしょう。

異なる点は力学というところの仕事の仕方です。話を簡単にするために、フラットな水平路を走っている場合を考えても、マラソンはジャンプしている間に左右の足を入れ替えるという動作の繰返しなので、主に地球からの重力に逆らって仕事をしています。もちろん水平方向に対しても、後ろ足で地面を蹴るときの加速、着地のときの減速という形で仕事をしますが、当り計算してみると垂直方向に対する仕事量の半分以下です。

一方、バイクでは、立ち漕ぎでもしない限り水平路では重心の上下動がほとんどないので、重力に逆らってする仕事量は小さいと考えられます。それでは何に対して仕事をするかというと、チェーンやギアでの機械的摩擦もありますが、何より空気抵抗に逆らって仕事をしているといえます。特に速度が上がれば空気抵抗はほぼ二乗則で増えて行くので、ますます無視できなくなります。私のレベル(全盛期?)でも、マラソンとバイクの速度はそれぞれ約10km/時と約25km/時と約2.5倍違うので、細かいことを無視すれば、バイクの場合は空気抵抗に逆らってする仕事量がマラソンの6倍程度ということになります。

以下は詳しく説明するには紙面が足りないので途中を端折りますが、その結果マラソンでは、時間当たりの消費エネルギーが走る速度にほぼ比例するので、走った距離が同じなら消費エネルギー量(燃焼脂肪と言い換えるのもよい)はほぼ同じで、走る速度にはほとんど関係ないことになります。一方バイクの場合には、同じ距離を走ったとしても、走る速度によって消費エネルギーは大きく変わってきます。つまりメタボ対策としてバイクを考えるなら、10 km/時程度で走っていては、ほとんど汗もかかず脂肪も効果的に燃やせないことになります。一方常に20 km/時以上を心がけて走っていれば、脂肪をどんどん燃やすことになります。

### 【リスクにも注意】

但し、バイクの注意点として、マラソンと違い車道の左端を走るため車に近い上スピードも出るので、転んだ場合のリスクは当然高くなります。従って、適切なコースの選択によって事故リスクを下げ、ヘルメット、手袋、眼鏡など必要な防護具を身に着けることが不可欠ですが、更に決して加害者とならないように安全運転、交通ルールの遵守などが重要であることは言うまでもありません。自転車通学の高校生などが道の右側を走ったり、平気で赤信号を渡って来るのにはいつも呆れています。結局は本人の自覚の問題ですが、学校にも交通安全の指導を期待したいものです。

マラソンとバイクと来れば、もうひとつスイミングを加えてトライアスロンを目指したくなるのですが、もう10歳若かったら私もチャレンジしていたと思います…。

### 【最後にひとこと】

放送大学に入るとBSやインターネットでの講義以外にも、キャンパスでの面接授業やゼミ、サークル活動に参加できることが大きな楽しみです。雨の日でない限り自転車通学を原則としていますが、最初の頃はバイクウェアを着たままゼミに出ては先生や仲間に失礼と思い普通の服で来ていました。でもやはり汗で下着がびっしょりなるので、今はバイクウェアで出させてもらっています。この場を借りて非礼をお詫びするとともに、どうかご容赦頂けるようよろしくお願ひします。

以上

## 学生論集『茨城 SC フォーラム』第8号 編集委員 名簿

放送大学茨城学習センター

茨城学習センター学生・卒業生

横沢 正芳センター所長

石田 紀久 葛貫 壮四郎 高柳 美伊子

栗田 稔事務長

竹内 孝 山口 文夫 山下 功

矢野 正義(編集委員長)

### 編集後記

「学生論集『茨城 SC フォーラム』」は、放送大学茨城学習センターが有する学識や思いを広く学内外に発信するものとして、本年度第8号を発行する運びとなりました。既刊1~7号の経験を踏まえ、充実した内容となっていました。本号もまた元センター長の塙見正衛先生、白石昌武先生のご寄稿をはじめ卒業生・学生より原稿をいただくことができました。以下に本号の掲載内容について編集委員会の意図をご紹介させて頂きます。

論説は『知識・経験を生かした学びと地域社会活動』というテーマのもと3篇が揃いました。これは2017年12月に開催しました同テーマの教員・学生講演会の講演内容を各講演者の方々に論文化していただいたものです。この講演会には先生方からも講演頂くこととしたことを反映して、茨城学習センター元所長塙見正衛先生にご講演とご寄稿をいただくとともに、卒業生・在学生からは住谷光男氏、鯉渕登氏に登場いただき、学識や経験や日々の研究や研鑽・活動が表現された内容で、読者の多くの人々に興味深く有益な情報を提供できるものになりました。

次に修士・卒業論文の関連で2篇、竹内孝氏に修了研究を金子紀夫氏に卒業研究を分かりやすく超コンパクトにまとめて頂きました。論文は筆者の仕事上のニーズや問題意識を放送大学での学びや研究で解明しより深く理解をしようとする事例であると考えています。本論文は大学に正式に受理されたものなので、全編を参照される場合は大学または著者にアプローチしていただくとして、本論集では今後続く方々の入口として参考にしていただけるものと考えています。

研究論文として茂呂輝夫氏、日頃の研究の成果を本格的な論文に纏めていただきました。

技術解説は数学共楽会のお三方にサークル活動の成果を発表して頂きました。

知の小窓は茨城学習センター元所長白石昌武先生からご寄稿をいただきました。先生の深い学識の世界に触れさせていただくとともに文章執筆のお手本にさせていただけるもので、読者の皆様の研究や学修の意欲をかきたてられるのではないかと想像しております。

次に私の放送大学と題して1篇です。これはわが茨城学習センターのサークル会のホームページ「よかつペネット」に掲載された“今、注目の人”に掲載されたものを転載させていただきました。筆者の放送大学に対する考え方や接し方が表れており、共感や触発を受けるのではないでしょうか。また、生涯学習の日本における最高機関の一つとしての放送大学の存在とその現実の姿を知つていただけることができる事例であると自負しております。転載をご承諾いただいた掲載者、ネット管理者の皆様に感謝致します。

今号の編集・刊行に関してご寄稿いただいた方々、各方面でご協力・ご尽力くださった皆様に厚くお礼申し上げます。

(矢野正義)

放送大学茨城学習センター学生論集  
『茨城 SC フォーラム』第8号

発 行 日 平成30年3月  
編集・発行 放送大学 茨城学習センター  
〒310-0056  
水戸市文京2-1-1 茨城大学構内  
電話 029-228-0683  
印刷・製本 ヨシザワ印刷社  
〒311-0105  
那珂市菅谷2468-84  
電話 029-295-7710