

Vol. 17
Mar. 2020

目次

論文

加速膨張宇宙におけるフェルミオン場の長距離相関
..... 関野恭弘, 新井 幸 3

アーチェリーの矢羽根形状がシャフトの回転および
振動特性に及ぼす影響に関する実験的研究..... 平野孝典 11

研究速報

「基礎科学実験」教科書に見られる形容詞の特徴..... 小林伊智郎 19

展望・解説

ヒトCD10分子糖鎖のニュートラルエンドペプチダーゼ
触媒活性に及ぼす役割..... 片桐洋子 25

物理教育研究に基づいた物理リメディアル教育..... 岸澤眞一 33

機械と笑い——物語が描く人と技術と自然 (1)..... 大森裕二 41

沼底の精霊——物語が描く人と技術と自然 (2)..... 大森裕二 51

調査報告

不登校状態の経験を有する児童・生徒のための学習導入ツール
『とんとん走れ』の検証..... 高橋拓夢, 工藤芳彰 63

留学報告

香港理工大学への留学..... 三堀邦彦 73

研究所所員及び研究課題一覧..... 81

研究活動一覧・他..... 89

論文

FULL PAPERS

加速膨張宇宙におけるフェルミオン場の長距離相関*

Long-Range Correlations of Fermion Fields in Accelerating Universe

関野 恭弘 Yasuhiro SEKINO**

新井 幸 Miyuki ARAI***

Abstract

We study correlation functions of fermionic fields in spatially flat Friedmann-Le Maître-Robertson-Walker (FLRW; homogeneous and isotropic) universes. It has been known that quantum fluctuations of scalar fields have characteristic long-range correlations in an accelerating universe, which give rise to important observable effects, such as correlations of temperature fluctuations in the cosmic microwave background radiations across the celestial sphere. The aim of this work is to understand whether similar long-range correlations exist for fermions. We study Dirac and Rarita-Schwinger fields, and reach negative conclusions to the above question, at least in the cases studied here. We discuss possible directions for the generalization of our work.

1. はじめに

1.1 加速膨張宇宙

宇宙の歴史において、少なくとも2つの時期に加速膨張が実現していた(いる)と考えられている。1つは現在の宇宙である。その加速膨張は、1990年代に超新星爆発の観測によって初めて明らかになり、その後様々な種類の観測により確認されている¹⁾。加速膨張を引き起こすエネルギーの起源は不明で、ダークエネルギーと呼ばれている。現在の宇宙は、物質優勢からダークエネルギー優勢への移り変わりの時期にあると考えられている。物質優勢の前には輻射優勢の時期があったことが分かっている。物質優勢や輻射優勢の時期では、宇宙の膨張は減速している。これらの時期の宇宙の発展はよく理解されており、現在知られている元素がどのように合成されたか等が詳しく解明されている。

輻射優勢のまま限りなく過去まで遡ろうと考えると、2つの概念的困難が生じる。1つは「平坦性問題」である。現在の宇宙は空間的に平坦である(平行線が交わらない)ことが高い精度で知られているが、輻射や物質は宇宙の曲率を増大させるので、現在の平坦性を実現するには、過去において宇宙の初期条件が限りなく高い精度で調節されていなければならない、というのがこの問題である。もう1つは「地平線問題」である。これは、我々が見る天球上の2つの領域は、輻射や物質優勢を仮定して過去に遡ると、過去には因果的に無関係だったことが結論されるが、それにも関わらずそれらの領域が同じような性質を持っているのはなぜか、という疑問である。これらの問題の解決策として、宇宙初期に「インフレーション」と呼ばれる加速膨張期が存在したことが提唱されている²⁾。その時期の急激な膨張により、それまでに因果的につながっていた領域が少なくとも我々が現在見ることのできる範囲全体まで広がるとともに、空間的曲率がゼロに近づいたと考えられる。

さらに、理論的な予想の段階であるが、我々の宇宙は、大きな膨張率を持った加速膨張宇宙の中で、バブルの生成によって出来たことが超弦理論から示唆されている⁴⁾。それが事実

なら、通常のインフレーションより前にもう1つ、バブルの生成前の宇宙という加速膨張期があったことになる。

本稿の主な目的は、加速膨張宇宙一般における相関関数の計算方法を明らかにすることなので、具体的な時期を指定せずに解析を行うが、主にインフレーション期への応用を念頭に置いている。

1.2 加速膨張宇宙における量子揺らぎ

加速膨張宇宙における量子揺らぎは、早い時間に生成された揺らぎが宇宙膨張により引き延ばされ、そこに新しい揺らぎが重ね合わせられるため、平坦な時空の場合とは大きく異なる性質を持つ。平坦な時空では量子揺らぎの相関の強さは、距離に応じて冪的(質量ゼロの場合)あるいは指数的(質量がある場合)に減衰する。ところが、加速膨張宇宙の典型例である、指数的に加速膨張する宇宙(ドジッター空間)における質量ゼロの場の量子揺らぎは、「スケール不変」なスペクトルを持つ。これは、相関関数が対数関数で表され、相関の強さが距離によらない、という非常に特異な性質である^{5,6)}。

インフレーション期に生成された量子揺らぎは、エネルギー密度の不均一性を生み出し、その後の発展により銀河等の構造が生まれる「種」となると考えられている。この考え方の妥当性は、スケール不変な密度揺らぎを初期条件とした構造形成の数値シミュレーションにより確かめられている。また、インフレーション期の量子揺らぎは、宇宙背景輻射(CMB)の温度揺らぎを生み出す。CMBは全天でほぼ一様な温度(約2.7K)を持つが、それに対して 10^{-5} 程度の大きさの揺らぎが存在する。Planck衛星³⁾等の観測により、天球上の2点での温度揺らぎの相関が、スケール不変性からのわずかなずれを含めてインフレーションから期待される性質を持っていることが明らかになっており、インフレーションの最大の証拠とされている。

理論と観測を結び付けるには、量子揺らぎの相関関数の詳しい解析が重要である。例えば、インフレーションより前に、異なる性質を持つ宇宙(例えば、バブルの生成前の宇宙)が存在すると、CMB温度揺らぎのスペクトルの長波長側でスケール不変性からのずれが生じる。それが観測されれば、そこからインフレーションより前の宇宙の性質を読み取る可能

* 原稿受付 令和元年11月5日

** 拓殖大学工学部

*** お茶の水女子大学大学院修士課程

性が出てくる^{7,8)}。また、インフレーション期（あるいはそれ以前）に生成された量子揺らぎのエネルギーが現在まで残存して、ダークエネルギーとなる可能性がある^{9,10,11,12)}。それを検証するためにもスペクトルの詳しい理解が必要である。

CMBの温度揺らぎに直結するのは、正確には、断熱的密度揺らぎと呼ばれる量で、インフラトン場という、インフレーション期の加速膨張を支えるエネルギーを担う場の量子揺らぎにより生成される⁶⁾。インフラトン場は特殊なポテンシャルを持ち、重力のスカラーモードに結合しているという点で複雑だが、後述するように、スケール不変性は本質的には、質量ゼロの自由スカラー場の性質から理解できる。

1.3 フェルミオン場を考える動機

加速膨張宇宙で、スカラー以外の場はどのような長距離相関を持つだろうか。場（粒子）は、ローレンツ対称性（空間的回転、および時間と空間を混ぜるローレンツ・ブースト）の表現を指定するスピンという量子数により分類される。理論的整合性のためには、スピンは0から2までの値でなければならないことが知られている。スピンが整数の場合、ボソン（同種粒子の入れ替えに関して対称）、半整数の場合、フェルミオン（同種粒子の入れ替えに関して反対称）となる^{15,16)}。スカラー場はスピン0を持つ。電磁場をはじめとするベクトル場はスピン1を持ち、スカラー場とは異なり、加速膨張宇宙でも長距離で相関が減衰することが知られている。重力場（重力子）はスピン2を持ち、質量ゼロのスカラー場と同じ運動方程式に従うので、やはり特徴的な長距離相関を持つ^{5,6)}。重力子の量子揺らぎはCMBにBモードと呼ばれる特徴的な偏光を引き起こすので、それを観測できればインフレーションの決定的証拠となる。現時点では観測されていないが、それに向けて盛んな努力が重ねられている³⁾。

本稿では、加速膨張宇宙でのフェルミオン場の相関関数を調べる。スピン1/2の場（ディラック場）は、電子やクォーク等、我々の知る物質を表す場である¹⁾。スピン3/2の場（ラリタ・シュインガー場^{13,14)}）は、実験的に発見されていないが、超対称性（ボソンとフェルミオンを結びつける対称性）を持つ理論に存在し、重力場と超対称変換で結びつく¹⁴⁾。超対称性は現実世界では破れているが、超弦理論のような基本理論には必要なので、高エネルギーでは回復すると考えられている。スピン3/2の場の質量は、超対称性が有る場合はゼロ、超対称性が破れている場合は、超対称性の破れのスケール程度になることが知られている。

ボソンの場合、後述のように、場の質量がある値（宇宙の膨張率のオーダー）より小さいと、加速膨張宇宙特有の長距離相関が生じる。フェルミオンの場合もそうだとすると、現在の宇宙でのラリタ・シュインガー場の相関を見ることにより、過去の宇宙での超対称性の破れの情報が読み取れるのでは

ないか、というのが本研究の主要な動機である。その他、ボソンの場合と同様に、場の2次の期待値がダークエネルギーの候補になりうるか、という期待もある。本稿の結果自体は、これらの期待に関して肯定的な答は与えるものではないが、今後のより一般的な場合の解析に向けた予備的結果と考えている。

1.4 本稿の構成

以下では、まず、第2節で一樣等方宇宙の表し方、第3節で加速膨張宇宙におけるスカラー場の相関関数について、基本的事項を解説する。第4節でディラック場、第5節でラリタ・シュインガー場の相関関数を求める。これらの節では、空間的に平坦な一樣等方宇宙での場の運動方程式の導出、場の量子化、長距離極限での相関関数の解析を行う。第6節でまとめを行い、今後の課題を述べる。

第5節の内容が本稿の主な結果であるが、研究途上で、その結果は文献^{17,18)}にほぼ含まれることが分かった。よって、本稿の内容自体が本質的に新しいとは言えないが、第6節に述べる、未解明の今後の課題への準備としての意味があると考えている。

本稿では、 $c=\hbar=1$ とする自然単位系をとる。なお、参考文献では、本稿の主題に直接の関係があるもの以外については、原論文にこだわらず、本稿の内容の理解の助けになるものを優先した。

2. 一樣等方宇宙

我々の宇宙は、銀河団より大きいスケールで平均すると、一樣等方であると考えられている。したがって、背景時空（揺らぎを含まない時空）として、一樣等方（Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker [FLRW]）宇宙を考える。その計量は、以下のように表される。

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu = a^2(\eta) (-d\eta^2 + dx^i dx^i) \quad (1)$$

空間成分の添字を $i=1, \dots, 3$ で表し、時間（第0成分）を含めた添字を $\mu=0, 1, \dots, 3$ で表す。アインシュタインの規約（繰り返し現れる添字は和をとる）に従い、和の記号を省略する。

我々の宇宙は非常に空間的に平坦に近いので、本稿では、それを仮定し、空間方向は線素 $dx^i dx^i$ で表されるユークリッド空間とする。一樣等方な空間には、その他、球面と双曲面がある。我々が住む空間が完全に平坦である必然性は無く、球面と双曲面も曲率半径が十分大きければ排除されていない。宇宙がバブルの生成によって出来たとすると、空間は双曲面でなければならないことが理論的に明らかになっている¹⁹⁾。

ここで用いている時間座標 η は、共形時間と呼ばれ、スケールファクター（宇宙の大きさを決める因子） a が計量全体に掛かるように定義されている。宇宙の物質に対して静止している

観測者（共動観測者）の固有時間 t は、共形時間 η と $dt = a(\eta) d\eta$ の関係にある。物理的時間というべきものは t だが、様々な計算の際に便利なので、ここでは共形時間 η を用いて式を表す。

最も典型的な加速膨張宇宙は、指数的に膨張する宇宙である。そのような宇宙はドジッター空間と呼ばれ、そのスケールファクターは、物理的時間 t を用いて

$$a(t) = e^{Ht} \quad (-\infty \leq t \leq \infty) \quad (2)$$

と表される。ドジッター空間では、ハッブルパラメーター（膨張率） $H(t) \equiv \frac{da}{dt}/a$ は、定数 H になる。共形時間 η を用いると、スケールファクター (2) は

$$a(\eta) = -\frac{1}{H\eta} \quad (-\infty \leq \eta \leq 0) \quad (3)$$

と表される。

インフレーション期の宇宙は、ドジッター空間に近いと考えられている。インフレーションの解析における標準的な考え方は、過去の初期条件としてドジッター空間 (2) または (3) を考え、ある時刻でインフレーションが終わるとして、輻射優勢宇宙等のスケールファクターに接続するというものである。

スケールファクター a が時間によらない場合、平坦な時空（空間的だけでなく、時間も含めて平坦）、すなわちミンコフスキー時空になる。

3. ドジッター空間でのスカラー場の長距離相関

本稿の主題であるフェルミオンの解析に入る前に、ドジッター空間上のボソン場について知られている基本的事実^{5,6)} を手短かに述べる。

曲がった時空上のスカラー場 ϕ の運動方程式

$$\left(\frac{1}{\sqrt{-g}} \partial_\mu \sqrt{-g} g^{\mu\nu} \partial_\nu - m^2 \right) \phi = 0 \quad (4)$$

に FLRW 計量を代入し、 $\hat{\phi} = a(\eta)\phi$ とすると、

$$\left(\partial_\eta^2 - \partial_i \partial_i + m^2 a^2 - \frac{a''}{a} \right) \hat{\phi} = 0 \quad (5)$$

と書ける。（ここで、 ∂_μ は、座標 x^μ による偏微分 $\frac{\partial}{\partial x^\mu}$ を表す。）以下で見るように、最後の項 $-\frac{a''}{a}$ は、曲がった時空特有の効果をもたらす。

場を空間座標についてフーリエ変換し、以下のように表して量子化を行う。

$$\hat{\phi}(\eta, \mathbf{x}) = \int \frac{d^3 k}{(2\pi)^3} \left(a_{\mathbf{k}} f_{\mathbf{k}}(\eta) e^{i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x}} + a_{\mathbf{k}}^\dagger f_{\mathbf{k}}^*(\eta) e^{-i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x}} \right) \quad (6)$$

太字の \mathbf{x} 、 \mathbf{k} は、ベクトルの空間成分 x^i 、 k_i を表し、* は複素

共役、 \dagger はエルミート共役を表す。 $f_{\mathbf{k}}(\eta)$ は、規格化条件

$$f_{\mathbf{k}}(\eta) \partial_\eta f_{\mathbf{k}}^*(\eta) - f_{\mathbf{k}}^*(\eta) \partial_\eta f_{\mathbf{k}}(\eta) = i \quad (7)$$

を満たす、運動方程式の解である。生成、消滅演算子 $a_{\mathbf{k}}^\dagger$ 、 $a_{\mathbf{k}}$ は、交換関係

$$[a_{\mathbf{k}}, a_{\mathbf{k}'}^\dagger] = (2\pi)^3 \delta^3(\mathbf{k} - \mathbf{k}') \quad (8)$$

を満たす ($[A, B] \equiv AB - BA$)。

全ての \mathbf{k} について $a_{\mathbf{k}}|0\rangle = 0$ を満たす状態を真空（粒子を含まない状態）と呼ぶ。場 ϕ の 2 点関数は、(6) より、(以下、 $\langle \dots \rangle$ は $\langle 0 | \dots | 0 \rangle$ の意味)

$$\langle \phi(\eta, \mathbf{x}) \phi(\eta', \mathbf{x}') \rangle = \int \frac{d^3 k}{(2\pi)^3} f_{\mathbf{k}}(\eta) f_{\mathbf{k}}^*(\eta') e^{i\mathbf{k} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}')} \quad (9)$$

となる。生成消滅演算子（すなわち真空）の定義は、運動方程式の解 $f_{\mathbf{k}}(\eta)$ の選び方に依存する。平坦時空では、振動数 $\omega_{\mathbf{k}} \equiv \sqrt{k^2 + m^2}$ ($k \equiv |\mathbf{k}|$) の「正振動数の解」

$$f_{\mathbf{k}}(\eta) = \frac{1}{\sqrt{2\omega_{\mathbf{k}}}} e^{-i\omega_{\mathbf{k}}\eta} \quad (10)$$

をとればよい（真空が最低エネルギー状態になる）ことが分かっているが¹⁵⁾、曲がった時空上で真空を定義する原理には一般には明らかでない。

ドジッター空間 (3) で、運動方程式 (5) は、

$$\left(\partial_\eta^2 + k^2 + \frac{m^2 H^{-2} - 2}{\eta^2} \right) f_{\mathbf{k}} = 0 \quad (11)$$

となる。ドジッター空間では、「Bunch-Davies 真空」^{20,21)} と呼ばれる定義をとるべきだと考えられている。Bunch-Davies 真空の特徴の 1 つは、時空の曲率が無視できるような近距離の極限では、物理量は平坦時空のものに一致するという点である。(1) と (3) で表される空間的に平坦なドジッター空間では、近距離は過去の極限 $\eta \rightarrow -\infty$ に相当するので、その極限で (10) に近づくような $f_{\mathbf{k}}(\eta)$ をとる、というのが Bunch-Davies 真空の定義の仕方の 1 つである²⁾。

それを満たす解は、例えば、質量ゼロの場合、

$$\langle \phi \phi \rangle = \int \frac{d^3 k}{(2\pi)^3} \left(1 + \frac{1}{(k\eta)^2} \right) \frac{\eta^2}{2k} e^{-i\mathbf{k} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}')} \quad (12)$$

であり、同一時間 $\eta = \eta'$ での 2 点関数は、

$$\langle \phi \phi \rangle = \int \frac{d^3 k}{(2\pi)^3} \left(1 + \frac{1}{(k\eta)^2} \right) \frac{\eta^2}{2k} e^{-i\mathbf{k} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}')} \quad (13)$$

となる。平坦時空では、(13) の括弧内第 1 項のみ存在し、2 点関数は、座標表示で $\langle \phi \phi \rangle \sim |\mathbf{x} - \mathbf{x}'|^{-2}$ の形をしている。ドジッター空間の未来の極限 $\eta \rightarrow 0$ では、括弧内第 2 項が支配的

になる。この項は時間的に一定であり、 k^{-3} を dk^3 で積分していることから、空間依存性は対数的である。この振る舞いが「スケール不変」と呼ばれる。

質量がゼロでない場合、過去の極限 $\eta \rightarrow -\infty$ で初期条件 (10) を満たす解 $f_{\mathbf{k}}(\eta)$ はハンケル関数²²⁾で表される。ここではそれを使わずに、2点関数の長距離での振る舞いを簡単に理解するために、以下のように考える。未来の極限 $\eta \rightarrow 0$ では、運動方程式 (11)の空間微分項 k^2 は無視できる (これは、宇宙の膨張に伴い、フーリエ成分 \mathbf{k} で表されるモードの波長が引き延ばされ、エネルギーが小さくなるためである)。その極限で、(11)の解は $\hat{\phi} \sim |\eta|^a$ の形の冪関数で表すことができる。元の場 $\phi = \hat{\phi}/a \sim |\eta|^{1+a}$ を $\phi = |\eta|^A$ と表すことにすると、

$$\Delta = \frac{3}{2} \pm \sqrt{\frac{9}{4} - m^2 H^{-2}} \quad (14)$$

の2つの冪が可能であることが分かる。(Δのことを統計力学系の用語を援用して、スケーリング次元と呼ぶこともある²³⁾。) 初期条件を $\eta \rightarrow -\infty$ で課しており、 $\eta \rightarrow 0$ では特別な条件を課することはできないので、冪が低い方 (-符号) が支配的となる。

ドジッター空間では、時間と空間の間の対称性のため、時間方向と空間方向の冪は等しくなることが知られており^{23, 24)}、波動関数の時間に関する冪が(14)なら、2点関数の空間依存性は $\langle \phi \phi \rangle \sim |x - x'|^{-2\Delta}$ となる。質量ゼロの場合、支配的な冪は $\Delta=0$ なので、上記のように相関関数は対数的になる。また、質量が $m < (3/2)H$ の場合、(14)から分かるように冪は実数になり、波動関数 (運動方程式の解) は時間的に振動しない。このように、質量が小さいとき、エネルギーを持つにもかかわらず振動せず、長距離での相関の減衰が遅い (あるいは無い) というのが、ドジッター空間における特徴的な性質である。これに類似の振る舞いが、フェルミオン場でも存在しうるかどうかを以下で調べる。

4. デイラック場 (スピン 1/2)

電子やクォーク等を記述するスピン 1/2の場は、4次元時空では、4成分の「スピノル」によって表される。スピノルは、ローレンツ群の表現として定義されるので、曲がった時空上で直接定義することはできず、まず、各点のまわりで局所的に平坦な座標系 (局所ローレンツ系) を考え、その上で定義する必要がある²⁵⁾。

四脚場 (テトラド) と呼ばれる 4×4 行列 e^a_μ を、

$$g_{\mu\nu} = \eta_{ab} e^a_\mu e^b_\nu \quad (15)$$

満たすように定義することにより、局所ローレンツ系を定義する。以下、時空の添字を μ, ν, \dots 、局所ローレンツ系の添字を a, b, \dots で表すことにする。平坦時空の計量 η_{ab} は、対角要

素が $(-, +, +, +)$ の対角行列である。計量 (1) についての四脚場として、

$$e^a_\mu = \frac{1}{a(\eta)} \eta^a_\mu \quad (16)$$

をとることとする。

スピノル場 ψ の共変微分は、

$$D_\mu \psi = \left(\partial_\mu + \frac{1}{4} \omega_\mu^{ab} \gamma_{ab} \right) \psi \quad (17)$$

と表される。スピン接続 ω_μ^{ab} は、異なる点における局所ローレンツ系を結び付けるローレンツ変換を表す。具体的には四脚場を用いて表され (例えば文献²⁵⁾参照)、四脚場 (16) に対するスピン接続のゼロでない成分は、

$$\omega_j^{0i} = -\omega_j^{i0} = f' \delta_j^i \quad (18)$$

のみになる (ただし、 $f \equiv \log a$ とし、 $'$ は ∂_η を表す。すなわち、 $f' = (\partial_\eta a)/a$)。平坦時空では、スピン接続はゼロ $\omega_\mu^{ab} = 0$ である。

デイラック行列 (ガンマ行列) γ_a は、

$$\{\gamma_a, \gamma_b\} \equiv \gamma_a \gamma_b + \gamma_b \gamma_a = 2\eta_{ab} \quad (19)$$

を満たす、4つ ($a, b=0, 1, 2, 3$) の 4×4 行列として定義され、 $\gamma_{ab} \equiv \frac{1}{2} [\gamma_a, \gamma_b]$ とする³⁾。行列 γ_{ab} はローレンツ代数の表現となっており¹⁵⁾、スピノル場のローレンツ変換を生成する。時空の添字を持ったデイラック行列は $\tilde{\gamma}_\mu \equiv e^a_\mu \gamma_a$ で定義される。

質量 m のスピノル場は、運動方程式 (デイラック方程式)

$$(\tilde{\gamma}^\mu D_\mu + m) \psi = 0 \quad (20)$$

に従う¹⁵⁾。FLRW宇宙で(16)の四脚場を用いると、

$$\left(\gamma^0 \partial_0 + \frac{3}{2} f' \gamma^0 + \gamma^i \partial_i + ma \right) \psi = 0 \quad (21)$$

となる。ここで、 $\hat{\psi} \equiv a^{3/2} \psi$ は、

$$\left(\gamma^0 \partial_0 + \gamma^i \partial_i + ma \right) \hat{\psi} = 0 \quad (22)$$

を満たし、質量ゼロなら平坦時空の場合と全く同じ形になる。この事実は古くから知られている。

(22)の解を求めるには、左辺に $(\gamma^0 \partial_0 + \gamma^i \partial_i - ma)$ を作用させると

$$\left(-\partial_\eta^2 + \partial_i \partial_i + \gamma^0 f' ma + m^2 a^2 \right) \hat{\psi} = 0 \quad (23)$$

となることを使う。行列 γ^0 は、(19)より $(\gamma^0)^2 = -1$ を満たすので、固有値 $\pm i$ を持つ。スカラー場の場合と同様に、ドジッター空間のスケールファクター (3) を代入し、未来 ($\eta \rightarrow 0$) の極限で $\psi \sim |\eta|^A$ として解を求めると、

$$\Delta = 3/2 \pm imH^{-1} \quad (24)$$

となる。ただし、 \pm は γ^0 の固有値の符号を表す。(24)から分かるように、ボソンの場合と異なり、質量が小さくても波動関数は時間とともに振動する。また、2点関数 $\langle \psi(\eta, \mathbf{x}) \psi^\dagger(\eta', \mathbf{x}') \rangle \sim |\mathbf{x} - \mathbf{x}'|^{-2\Delta}$ は、距離の3乗で減衰し、ボソンの場合のような長距離相関は存在しない。

5. ラリタ・シュインガー場 (スピン 3/2)

スピン3/2のラリタ・シュインガー場 ψ_μ は、スピノル添字とベクトル添字の両方を持ち⁴、後述の拘束条件を満たす^{13,14}。

質量 m のラリタ・シュインガー場の運動方程式は、

$$(\tilde{\gamma}^{\mu\nu\rho} D_\nu - m\tilde{\gamma}^{\mu\rho}) \psi_\rho = 0 \quad (25)$$

で表される。平坦時空の場合、式(25)を γ_μ で縮約⁵した式と ∂_μ で縮約した式から、以下の2つの拘束条件が導かれる。

$$\gamma^\mu \psi_\mu = 0, \quad \partial^\mu \psi_\mu = 0 \quad (26)$$

これらの拘束条件を用いると、式(25)は、

$$(\gamma^\mu \partial_\mu + m) \psi_\rho = 0 \quad (27)$$

となることが簡単に示される¹⁴。つまり、平坦時空では、ラリタ・シュインガー場の各成分は、ディラック場と同様の方程式に従う。

FLRW宇宙(1)では、時間方向と空間方向の間の対称性は無いので、それぞれ別々に扱う必要がある。運動方程式を独立な成分に対する式に分離するため、場 ψ_i が以下のように分解できることを使う^{26,17}。

$$\psi_i = \psi_i^{(T)} + P_i^{(1)} \gamma^j \psi_j + P_i^{(2)} \hat{\mathbf{k}} \cdot \psi \quad (28)$$

ここで、 ψ_i の空間依存性を $e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}}$ とした。 $\hat{\mathbf{k}} = \mathbf{k}/|\mathbf{k}|$ は、 \mathbf{k} 方向の単位ベクトルを表す。 $\psi_i^{(T)}$ は、 $k_i \psi^{i(T)} = \gamma_i \psi^{i(T)} = 0$ を満たす「横波」成分である。また、

$$P_i^{(1)} \equiv \frac{1}{2} \gamma_i - \frac{1}{2} \hat{k}_i (\hat{\mathbf{k}} \cdot \boldsymbol{\gamma}) \quad (29)$$

は、 $\gamma_i P_i^{(1)} = 1$ かつ $k_i P_i^{(1)} = 0$ を満たし、

$$P_i^{(2)} \equiv \frac{3}{2} \hat{k}_i - \frac{1}{2} \gamma_i (\hat{\mathbf{k}} \cdot \boldsymbol{\gamma}) \quad (30)$$

は、 $\gamma_i P_i^{(2)} = 0$ かつ $k_i P_i^{(2)} = 1$ を満たす。

運動方程式(25)の空間成分($\mu=i$)で、分解(28)を用いると、横波成分 $\psi_i^{(T)}$ が満たす方程式

$$\left(\gamma^0 \partial_0 + \frac{3}{2} f' \gamma^0 + \gamma^j \partial_j + ma \right) \psi_i^{(T)} = 0 \quad (31)$$

が得られる。これは、スピン1/2の場のディラック方程式と同じ形をしている。

横波成分 $\psi_i^{(T)}$ 以外の成分は、 $\gamma^i \psi_i$ 、 $k_i \psi^i$ 、 ψ_0 の3つあるが、平坦時空の場合と類似の2つの拘束条件がある。その1つは、運動方程式(25)の時間成分($\mu=0$)

$$\partial_j \psi^j = \{ f' \gamma_0 + \gamma^j \partial_j - ma \} \gamma^i \psi_i \quad (32)$$

である。もう1つは、(25)の空間成分($\mu=i$)を γ_i で縮約したものと ∂_i で縮約したものから導かれる、

$$\gamma^0 \psi_0 = A \gamma^i \psi_i \quad (33)$$

ただし、 A は時間の関数

$$A = -\frac{2f' + f^2 + 3m^2 a^2}{3f^2 + 3m^2 a^2} = -\frac{-p/m_p^2 + m^2 a^2}{\rho/m_p^2 + m^2 a^2} \quad (34)$$

である。第2の等式では、背景時空が満たすフリードマン方程式を用いて、宇宙を満たす物質の圧力 p とエネルギー密度 ρ によって結果を表した(ただし、 G を重力定数として、 $m_p^2 \equiv 8\pi G$)。

平坦時空($f=0$)では $A=-1$ であり、たしかに $\gamma_\mu \psi^\mu = 0$ となっている。興味深いことにドジッター空間でも、 $p = -\rho$ を満たすため⁶、平坦時空と同様に $A=-1$ となる。

拘束条件(32)、(33)を用いて、 $k_i \psi^i$ と ψ_0 を $\gamma^i \psi_i$ によって表すこととして、独立な成分 $\gamma^i \psi_i$ が満たす方程式を求めると、

$$\left\{ \gamma^0 \partial_0 + \left(1 - \frac{3}{2} A \right) f' \gamma^0 - A \gamma^j \partial_j - \frac{ma}{2} (1 + 3A) \right\} \gamma^i \psi_i = 0 \quad (35)$$

となる。これは、一般にはディラック方程式とは異なるが、ドジッター空間等、 $A=-1$ を満たす場合、

$$\left\{ \gamma^0 \partial_0 + \frac{5}{2} f' \gamma^0 + \gamma^j \partial_j + ma \right\} \gamma^i \psi_i = 0 \quad (36)$$

となり、ディラック方程式と同様の形になる。

よって、ドジッター空間でのラリタ・シュインガー場の相関関数はディラック場と同様の性質を持ち、スカラー場のような特徴的な長距離相関は持たないことが結論される。この結果は、文献¹⁸で、ドジッター時空の特殊な対称性の表現論を用いた手法で求められた結果に一致している。

6. まとめと今後の課題

本稿では、FLRW宇宙におけるフェルミオン(特にスピン3/2)場の運動方程式を求め、場の量子化を行い、ドジッター空間(指数的に加速膨張する宇宙)における相関関数の長距離における振る舞いを調べた。宇宙初期のインフレーション

期に生成されたスカラー場の量子揺らぎは特徴的な長距離相関を持ち、それが宇宙背景輻射の温度揺らぎとして観測されている。フェルミオン場にも同様の長距離相関が存在するかどうかを明らかにすることが研究の第一の目的だったが、それに対しては否定的な結論を得た。今後の課題として、以下の2つの方向が考えられる。

1つは、フェルミオン場にスカラー場のような長距離相関が存在しないという事実を、ここで行ったような具体的な量子化によらず、何らかの一般論から示せないか試みることである。スカラー場の長距離相関は、量子場の「古典化」に伴うと言われることもあり、ボソン場と違ってフェルミオン場は古典的な値を持ちえないので、これはある程度、当然と言うべき事実なのかもしれない。ただし、古典化という現象には複雑なダイナミクスが関与すると考えられており、その解釈自体明らかでないので(最近の議論は、文献²⁷⁾参照)、単純な直観に頼るわけにはいかないようにも思われる。具体的方針としては、フェルミオン場の運動方程式がボソンと違って時間微分について1階であることに基づいて、スピン(整数か半奇数か)と統計(フェルミオンかボソンか)の関係¹⁶⁾のような一般論が構成できないか試みる。

もう1つは、本稿の解析を、バブルの生成で出来た宇宙に拡張することである。そのような宇宙は必ず負の空間的曲率を持つので¹⁹⁾、空間的に平坦でないFLRW宇宙での解析が必要である。場の量子化の際、バブルの生成前の宇宙に解析接続して場に初期条件を課す。このようにして取り入れられたバブルの生成前の情報が、現在の宇宙にどのような影響を与えうるかを調べる。少なくとも、ラリタ・シュインガー場の一部についての運動方程式(35)は、純粋なドジッター空間ではない場合、変更を受けるはずなので、まずその影響を詳しく調べたい。バブルの生成は超弦理論から示唆されているので、その帰結を明らかにすることには意義があると考えている⁷⁾。

注釈

- 1 粒子は、場の量子化によって現れる。場の各フリーモードが自由粒子にあたる。
- 2 Bunch-Davies真空は、時間を虚数にして得られる、正定値な計量を持つ空間(そこでは真空は一意に定まる)からの解析接続で定義される真空、ということもできる。
- 3 行列要素を指定する、スピノルの添字は省略している。例えば、(17)の ψ は4成分を持ち、(17)の ∂_μ や(19)の右辺にはスピノル空間での 4×4 の単位行列が掛かっている。
- 4 デイラック場の場合と同様、スピノル添字は省略する。
- 5 γ_μ で縮約するとは、 γ_μ を掛けて添字 μ について和をとるという意味。 ∂_μ についても同様。

- 6 ドジッター空間の指数的な加速膨張は、負の圧力を持った物質によって支えられている。
- 7 これに関する先行研究は、我々の知る限り存在しない。

参考文献

- 1) D. H. Weinberg *et al.*, “Observational Probes of Cosmic Acceleration,” *Phys. Rept.* **530**, 87 (2013).
- 2) A. H. Guth, “The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems,” *Phys. Rev. D* **23**, 347 (1981).
- 3) Y. Akrami *et al.* [Planck Collaboration], “Planck 2018 results. X. Constraints on inflation,” arXiv:1807.06211 [astro-ph.CO].
- 4) L. サスキンド, 「宇宙のランドスケープ」日経 BP社, 2006.
- 5) A. D. Linde, “Particle physics and inflationary cosmology,” CRC press, Boca Raton, 1990,
- 6) V. Mukhanov, “Physical Foundations of Cosmology,” Cambridge University Press, Cambridge, 2005.
- 7) J. Garriga, X. Montes, M. Sasaki and T. Tanaka, “Spectrum of cosmological perturbations in the one bubble open universe,” *Nucl. Phys. B* **551**, 317 (1999).
- 8) B. Freivogel, Y. Sekino, L. Susskind and C. P. Yeh, “A Holographic framework for eternal inflation,” *Phys. Rev. D* **74**, 086003 (2006).
- 9) H. Aoki, S. Iso and Y. Sekino, “Evolution of vacuum fluctuations generated during and before inflation,” *Phys. Rev. D* **89**, 103536 (2014).
- 10) H. Aoki and S. Iso, “Evolution of Vacuum Fluctuations of an Ultra-Light Massive Scalar Field generated during and before Inflation,” *PTEP* **2015**, 113E02 (2015).
- 11) H. Aoki, S. Iso, D. S. Lee, Y. Sekino and C. P. Yeh, “Vacuum fluctuations in an ancestor vacuum: A possible dark energy candidate,” *Phys. Rev. D* **97**, 043517 (2018).
- 12) D. Yamauchi *et al.*, “Observational signatures of dark energy produced in an ancestor vacuum: Forecast for galaxy surveys,” *JCAP* **1905**, 055 (2019).
- 13) W. Rarita and J. Schwinger, “On a theory of particles with half integral spin,” *Phys. Rev.* **60**, 61 (1941).
- 14) P. Van Nieuwenhuizen, “Supergravity,” *Phys. Rept.* **68**, 189 (1981).
- 15) M. E. Peskin and D. V. Schroeder, “An Introduction to quantum field theory,” CRC press, Boca Raton, 1995.
- 16) R. F. Streater and A. S. Wightman, “PCT, spin and statistics, and all that,” Princeton Univ. Pr., Princeton, 1964.
- 17) R. Kallosh, L. Kofman, A. D. Linde and A. Van Proeyen,

- “Gravitino production after inflation,” *Phys. Rev. D* **61**, 103503 (2000).
- 18) L. Anguelova and P. Langfelder, “Massive gravitino propagator in maximally symmetric spaces and fermions in dS / CFT,” *JHEP* **0303**, 057 (2003).
 - 19) S. R. Coleman and F. De Luccia, “Gravitational Effects on and of Vacuum Decay,” *Phys. Rev. D* **21**, 3305 (1980).
 - 20) T. S. Bunch and P. C. W. Davies, “Quantum Field Theory in de Sitter Space: Renormalization by Point Splitting,” *Proc. Roy. Soc. Lond. A* **360**, 117 (1978).
 - 21) N. D. Birrell and P. C. W. Davies, “Quantum Fields in Curved Space,” Cambridge University Press, Cambridge, 1984.
 - 22) 森口繁一他, 「岩波数学公式 3 (特殊関数)」, 岩波書店, 1987.
 - 23) A. Strominger, “The dS / CFT correspondence,” *JHEP* **0110**, 034 (2001).
 - 24) M. Spradlin, A. Strominger and A. Volovich, “Les Houches lectures on de Sitter space,” hep-th/0110007.
 - 25) S. Weinberg, “Gravitation and Cosmology,” John Wiley & Sons, New York, 1972.
 - 26) S. Corley, “The Massless gravitino and the AdS / CFT correspondence,” *Phys. Rev. D* **59**, 086003 (1999).
 - 27) M. Morikawa, “Transient Dynamics from Quantum to Classical-From the Developed Coherent State via Extreme Squeezing -,” arXiv:1810.11293 [quant-ph].

アーチェリーの矢羽根形状がシャフトの回転および振動特性に及ぼす影響に関する実験的研究*

Experimental study on the effect of archery arrow vane shape on shaft rotation and vibration characteristics

平野 孝典 Takanori HIRANO**

Abstract

Archery has many competitors around the world, and new materials are used for the parts of bows as technology develops in recent years. There are increasing number of unexplained areas of archery performance due to the diversification of new materials. One of them is the arrow feather (vane). Vane is roughly divided into rotary and non-rotary types. Since the rotary type is mainly the drag type, the arrow speed decreases. But if a lift type rotary vane can be developed, it is considered that a vane with better performance can be achieved because the rotational force can be obtained with lower drag. If we can clarify the characteristics and common points of vane that lead to higher scores, we can expect to develop new vanes. In wind tunnel experiments, using a jig with an arrow model, measurement and analysis were performed on the rotational performance and convergence performance of the arrow model at a uniform flow velocity of 20 m/s (1/3 of the actual arrow speed). To evaluate the performance of vane, the rotational performance was evaluated by the number of revolutions for each of the non-converging motion (at rest) and the converging motion (vibration), and the convergence performance was evaluated by the time until convergence of vibration of arrow shaft. In the performance evaluation of off-the-shelf products, it became clear that rotary vanes can be further classified into those with top pitches and those that do not, and those with many users worldwide do not have top pitches.

Keywords: Archery, Vane, Arrow, Wind tunnel experiment, Oscillation, Rotation, Texture

1. はじめに

オリンピック競技に指定され早150年もの歴史を持つアーチェリーであるが、競技に用いられる弓具等も時代の流れと共に進化し続けてきた⁽¹⁾。弓本体も木、マグネシウム、ジュラルミンを経てカーボンが登場し、矢ですら木、竹、アルミ、カーボンと来て現在はアルミニウムとカーボンの複合材料が主流になっている。多くのアマチュア競技者が数多くの製品の本質に迫るのは非常に困難である。

ヴェイン（矢羽根）は、弓具の中でも点数に結びつく大きな要因の一つであるが、最良のヴェインとは何かという質問の答えは明確ではない。弓具本体の性能評価では、競技者本人の感覚も大きな要素となってくるため、自身に適した選択を行うことは比較的困難ではないが、矢においてはその限りではない。これは、矢そのものが性能を発揮するのは弓から離別した後であるため、感覚で判断するのはほぼ不可能であるからである。的面での矢の集合率、分散の形状やパターン（以下グルーピング）を基に判断する手法が主流ではあるが、アマチュアでは、道具の選択ミスによる要素より分散に及ぼすヒューマンエラーの要素が遥かに大きくなってしまふ。

アーチェリーの矢に関する研究では、安藤ら⁽²⁾、宮崎⁽³⁾、松本ら⁽⁴⁾、オルティスら⁽⁵⁾、長谷川ら⁽⁶⁾の研究報告があるが、これらは矢（シャフト）の振動に関する内容が主であり、矢羽根の影響や矢の回転については言及されていない。そのため、実際に矢が飛翔している場合に生じる矢の振動だけでなく、シャフトの回転も含めた研究が必要であると考えられる。矢の回転はヴェインによって生じるので、その特性を把握する

ことが重要である。

アーチェリーのヴェインの特徴は大きく三つあげられる。①風見鶏効果による早期の姿勢安定化、②ジャイロ効果による外乱への対抗及びパラドックスの抑制、及び③立ち上がりの回転力の保持（前半の空気抵抗による回転力が後半の回転数を維持）である。矢は高回転である程外乱の影響を受けにくい、回転力はヴェインの空力抵抗で生じるので、回転数を高める程抵抗が増加して推進力が低下することになり、そのバランスが重要である。オリンピック競技である70mは回転式ヴェインが主流であるが、冬季に多く行われるインドア競技では、18mの短距離であるため、非回転式ヴェインも多く用いられている。

本研究では70mで用いられるヴェインを対象とし、世界中でプロ、アマ問わず愛用されている種々のヴェインの特徴を解析し、今後の製品開発における性能評価の指標とすること、また、これらのデータを基により高性能のヴェインの開発を目指すことを最終の目的としている。実際の矢は回転しながら振れ回り運動をするが、本報では研究の第一段階として、数種類のヴェイン（市販の非回転式と回転式ヴェイン及び、非回転式ヴェインの表面に粗さを付加した自作ヴェイン）について、矢が軸周りに回転しながら平面内で振動する場合について風洞実験を行い、各ヴェインの特性・特徴の把握と考察を行った。自作ヴェインについては、抗力で回転する現在のヴェインは飛翔速度を低下させる要因となるため、振動が収まっても揚力で回転し抗力による抵抗を抑える揚力型ヴェインの可能性を調べるために実験対象とした。

* 原稿受付 令和元年11月12日

**

2. 実験装置及び実験方法

ここでは実験装置及び実験方法について説明する。

2.1 風洞および試験装置

Fig. 1 に風洞写真を示す。この風洞は75kW直流モータにより、測定部風速を0m/s～90m/sの範囲で設定可能である。吹出し口は幅1,600mm×高さ200mmの矩形断面で、出口上流500mmは平行部となっている。風速の設定には風洞吹出し口に設置した熱線式微風速計を用いた。実験装置はFig. 1 に示す風洞吹出し口内の平行部に設けた吹出し口内部中央の丸穴位置に設置した。

Fig. 2 に実験装置写真を、Fig. 3 に設計図を示す。実験時は矢模型を風洞出口中心に設置した。Fig. 4 に装置土台の軸受けに挿入する矢模型支持部詳細を示す。Fig. 4 の図中に示す座標系の原点は鉛直支持軸と水平支持軸の交点である。矢模型支持部はφ3mm、長さ145mmの鉛直支持軸（図中のz軸方向）及び、120グレイン（約7.8g_r）のポイント（矢尻）及びφ2mm、長さ94mmの水平支持軸（図中のx軸方向であり主流方向をz軸回りの角度0°とする）で構成されている。水平支持軸の先端部10mmをφ1mmに削り、長さ26mmのポイントを取り付けた。鉛直支持軸下部は台座上部のベアリングで支持されており、鉛直支持軸上部に固定された矢模型はz軸回りにxy水平面内で角振動が可能となっている。また、ポイントに接合された水平支持軸両端付近にマイクロベアリングが固定されており、φ4.6mm、長さ295mmのシャフト（シャーシ）がシャフトの軸（x軸）回りに回転できる構造となっている。なお、鉛直支持軸は矢模型のほぼ重心位置で支持しており、ベアリングによる摩擦も非常に小さく軸のねじり剛性も高いので、z軸回りの振動における摩擦によるモーメントでの励振については考慮していない。シャフトはアーチェリー競技で使用されているEaston社製のA/C/Eを使用し、長さを295mmに加工し、水平支持軸をシャフトに挿入してマイクロベアリングに止めねじで固定した。実際の矢の振動はおよそ90Hzの1次モードのたわみ振動⁽²⁾であるが、本



Fig. 2 Experimental equipment

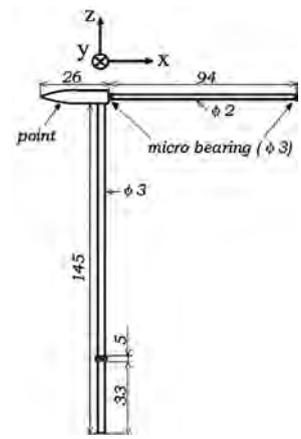


Fig. 4 Detail view

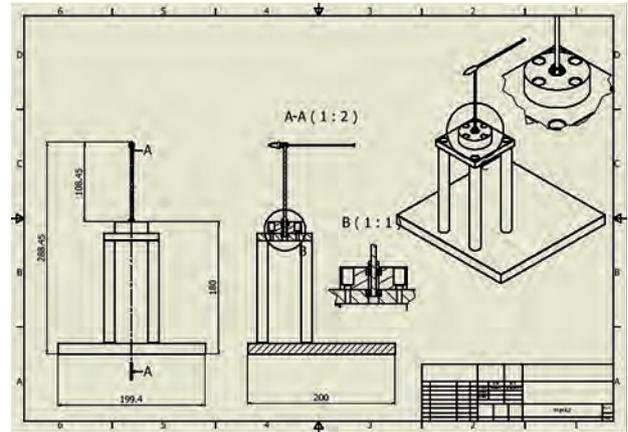


Fig. 3 Experimental equipment diagram

研究ではシャフト長さは約1/3であり実際の振動を模擬するものではないが、回転と振動の関係を調べるには有意であると考えられる。

2.2 測定方法および実験条件

Fig. 5 に計測システムを示す。矢のシャフト回転数はシャフト先端部に貼付された白色テープとシャフトの黒色部分に当たったホワイトスポットセンサ（キーエンス社製LR-W500）の出力電圧（パルス状電圧）により計測した。シャフトの角振動は、支持ロッド下端に取り付けたポテンショメータ（緑測器製QP-2HC）の出力電圧により計測した。

本実験で対象とするヴェインは40種類（既製品8種、2種類の形状のヴェインにそれぞれ16パターンの異なるテクスチャを施したもの計32種）である。代表的なヴェインの写真をFig. 6 (a)～(c)に示す。また、表1に供試ヴェインの名称と詳細を示す。自作ヴェインのテクスチャパターンは格子、ハニカム、波、横スリット、縦スリット、ドット、テクスチャ無しの7種類とし、一つのパターンにつき2～3種類の縮尺で実験を行った。



Fig. 1 Wind tunnel

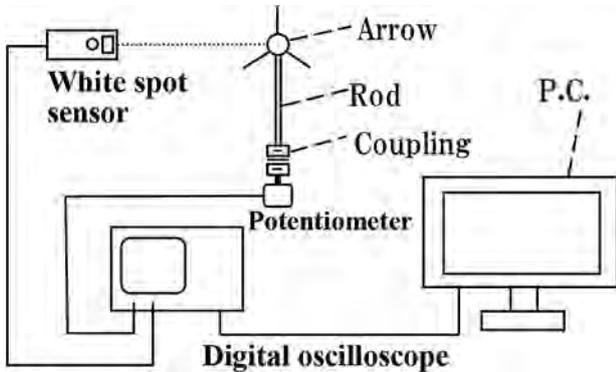


Fig. 5 Measurement system

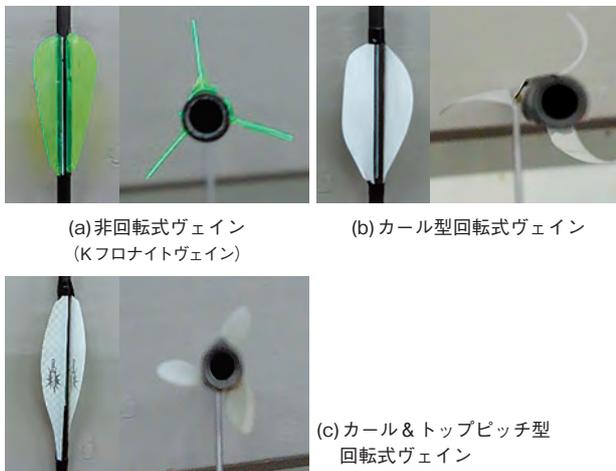


Fig. 6 Photographs of typical vane
 (a) Non-rotation vane
 (b) Curl type rotation vane
 (c) Curl & top-pitch type rotation vane

Table 1 Test vanes

既製品ヴェイン	xs ヴェイン, スピンウィング Spider ヴェイン, GAS PRO ERI ヴェイン, K フロナイト EP16, フレックスヴェイン
自作ヴェイン	2種類の形状(丸形, 角形)のヴェインに16パターンの異なるテクスチャを施した試作ヴェイン: 計32種 テクスチャパターン: 格子, ハニカム, 波, 横スリット, 縦スリット, ドット, 無し: 計7種類 (1つのパターンにつき3種類の縮尺)

実験は一様流速20m/s (実際の矢速の1/3) で矢模型の回転性能及び収束性能を測定する。回転性能については、非収束時(静定時)と収束運動時(振動時)それぞれの回転数(rev/sec)を計測する。収束性能については初期角度30°付近で矢模型をリリースし、角度0°±5%に静定するまでの時間を計測する。非回転式ヴェインについては回転数の測定は行わず、

収束性能のみを測定する。計測データは一旦デジタルオシロスコープに保存された後、USBメモリーを介してパソコンに保存される。

3. 実験結果及び考察

ここでは実験で得られた各ヴェインの回転数と振動のデータを示し、考察した結果について述べる。

3.1 回転式ヴェインの分類及び性能評価

既製品のヴェインは大きく回転式と非回転式に分けられるが、本実験により回転式ヴェインにはカール(曲げ)によってのみ回転するものと、カール及びトップピッチ(流れに対する角度)により回転するものに分類されることが確認できた。

3.1.1 カール及びトップピッチ型

性能評価の例としてxs ヴェインの回転数と振動角変位の時間履歴をFig. 7(収束運動時)とFig. 8(非収束運動時)に示す。横軸は時間、左縦軸はポテンショメータ出力電圧(振動角変位を表し2Vは角度0°を、4Vは36°に相当)、右縦軸はシャフト回転数を示す。図中の赤線は振動角変位、青線はシャフト回転数である。Fig. 7を見ると、時刻0.3s付近でリリース直後に角振動を始めた矢は、減衰振動しながら1.5s以降は角度0°(左縦軸の2V)に収束している。シャフトの回転

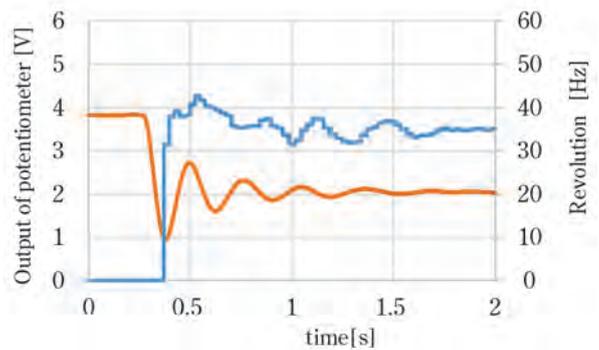


Fig. 7 Rotation speed and angular displacement of xs vane (at convergence)

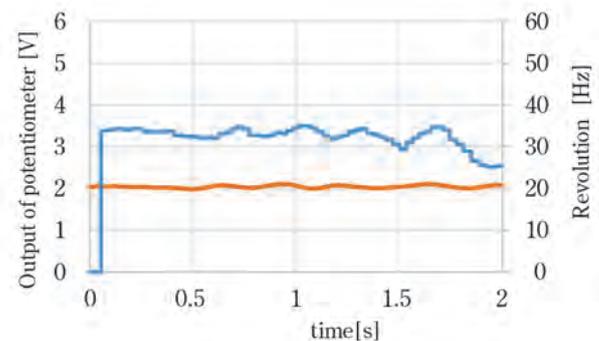


Fig. 8 Rotation speed and angular displacement of xs vane (at non-convergence)

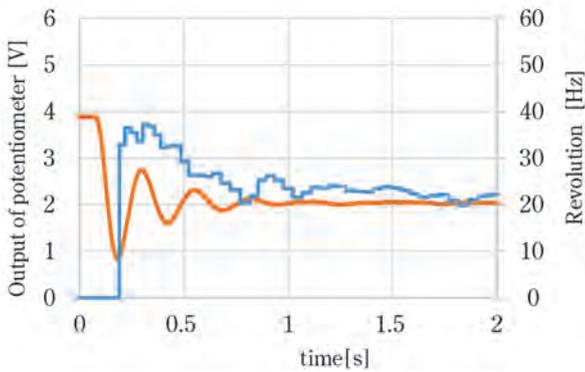


Fig. 9 Rotation speed and angular displacement of Spinwing (at convergence)

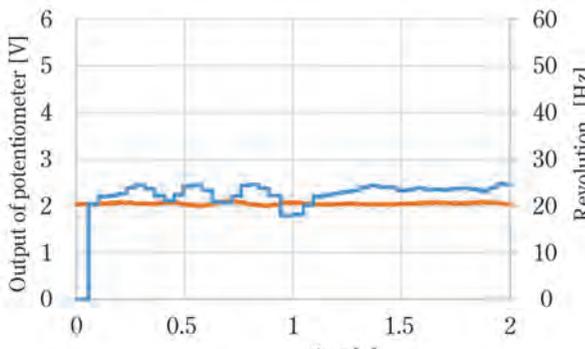


Fig. 10 Rotation speed and angular displacement of Spinwing (at non-convergence)

は0.4s付近から急速に大きくなっている。これは、矢の振動により生じる横風を受けてシャフトが急速に回転を始めることを意味している。Fig. 7より収束運動時の瞬間最高回転数が42.74rev/secであることが分かる。これはヴェインが持つカールにより、収束運動中に受けた横風により生じた回転力によるものである。以下これをカール効果と呼ぶ。その後時間が経過しても回転数は35rev/secのまま一定となっている。これはトップピッチによる回転力維持と考えられる。それに対しFig. 8の非収束運動時（初期角度0°）では、矢の角度は0°のまま振動していないにも関わらず急速に回転を始め、最高回転数は34.97rev/secである。収束運動時と非収束運動時で7.77 rev/secの差は見られたが、最高回転数の18.2%程度であり、振動が収束した後の回転数の低下が少ないことから、xsヴェインはカール及びトップピッチ型の回転式ヴェインに分類することができる。収束時間は1.283sであり、既製品のヴェインの中では平均的な値である。

3.1.2 カール型

カール型回転式ヴェインの一例として、スピンウィングの回転数と角振動変位の時間履歴をFig. 9（収束運動時）とFig. 10（非収束時）に示す。収束運動時の瞬間最高回転数が37.31rev/secであり、非収束運動時の最高回転数は24.75rev/

secである。収束運動時と非収束運動時では12.56rev/secの回転数の差が見られ、これは最高回転数の33.7%に及ぶ、つまり振動収束後の回転数の低下が大きいことからカール型の回転式ヴェインに分類できる。収束時間は0.934sである。トップピッチを有さないヴェインにおいては、収束後角度が0°になるため、回転数が大きく下がる特徴があることが分かった。

3.2 自作ヴェイン

自作ヴェインにおいては上述の既製品のヴェインに見られるようなカール及びトップピッチは付加せず、表面テクスチャのみを施した。16種の異なるテクスチャを施した丸形と角形の2種類の形状のヴェイン（計32種類）を用いて試験を行った結果、全く収束しない物、全く回転しない物もあったが、25種類は回転、収束する結果となった。図には示さないが、テクスチャの効果については明確な差異があるとはいえない結果であった。原因としてはテクスチャの加工をレーザー加工機で行った際、テクスチャパターンによっては熱が集中し、ヴェインの裏面にも凹凸が生成されたことが挙げられる。しかしながら、中には回転数上昇に繋がった物もあることから、今後テクスチャ加工したヴェインにカールを施し性能を調べる予定である。

3.3 ヴェイン形状と回転数・振動抑制の総合的判定

回転数の高いヴェイン程収束性能も高くなると予想していたが、実際は却って回転数が高いヴェインは収束が遅い傾向にある事が分かった。この理由については不明である。回転数と振動の収束時間との関係をFig. 11に示す。図より、現在世界的に最も多く使用されているスピンウィングは、既製品のヴェインの中では回転数が低い部類に入るが、収束時間はかなり短いことが分かった。このことは、高性能ヴェイン、換言すれば使いやすいヴェインに求められる条件は、回転性能より収束性能にあることを示唆するものと考えられる。

また、本研究で作製した表面テクスチャを有する試作ヴェインは、Fig. 11に見られるように、その殆どが既製品ヴェインより高い収束性能を見せたが、これはヴェインの面積が既製品より大きく、振動に対して減衰力が増加したことにも起因すると推察され、飛翔時の飛行速度低下に繋がる可能性が高いと考えられる。今後、同一面積での比較実験が必要と考えている。

4. 結論

本研究では、既製品ヴェインの性能評価及び新型ヴェインの開発を主たる目的として、既製品と自作の数種類のヴェインについて、矢の回転性能と振動収束性能に及ぼす効果を風洞実験により調べた。今回は、カールの有無とヴェインに施したテクスチャに関する評価を行い、以下の結論を得た。

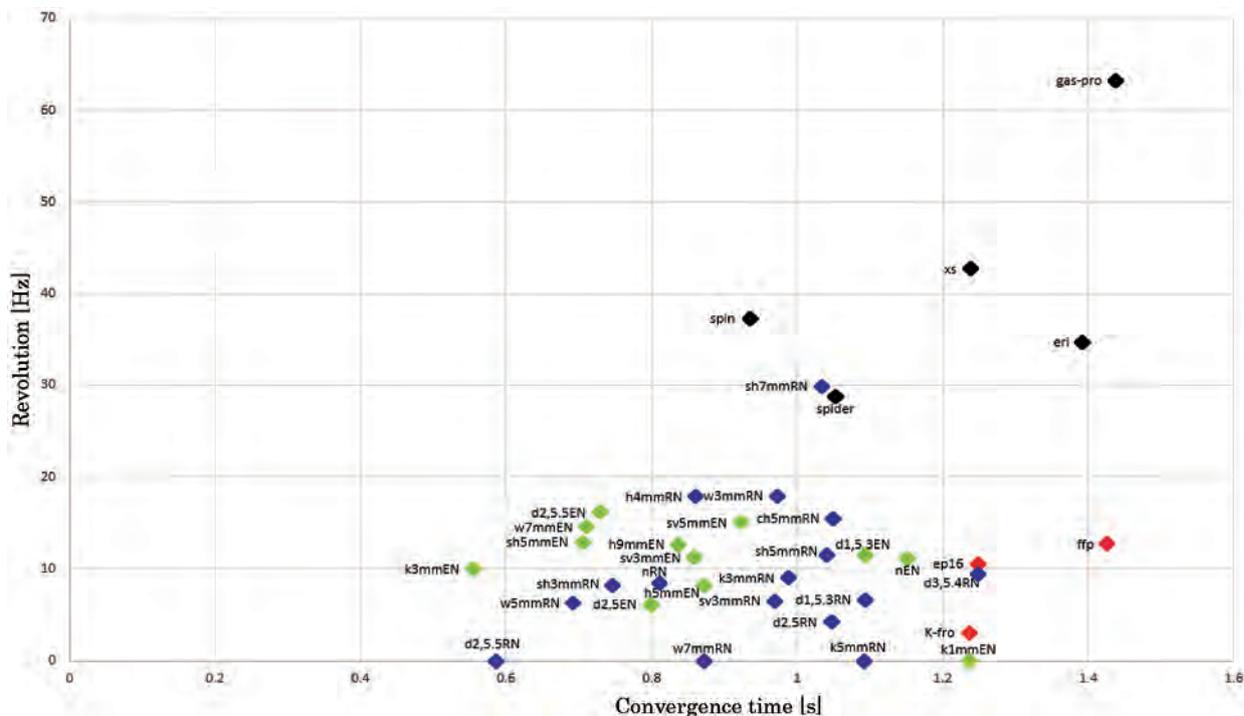


Fig. 11 Relationship between rotation speed and convergence time of arrow

- (1) 回転式のヴェインはトップピッチを有するものとそうでないものに分類でき、現在世界的にユーザーの多いヴェインはトップピッチを有さないカール式ヴェインであることが分かった。
- (2) 現在世界的に多く使用されているスピンウィングは、既製品ヴェインの中では回転数が低い部類に入るが、収束時間はかなり短いことから、高性能ヴェイン（使いやすいヴェイン）に求められる条件は、回転性能より収束性能にあることを示唆していると考えられる。
- (3) 有効面積が大きいヴェイン程、収束性能が高くなる傾向が見られる。
抗力で回転する現在のヴェインは飛翔速度を低下させる要因となるため、振動が収まっても揚力で回転し抗力による抵抗を抑える揚力型ヴェインの可能性として、表面テクスチャを施したヴェインについて調べた結果は以下の通りである。
- (4) ヴェイン表面にテクスチャを施したカールの無いヴェインでは、テクスチャのパターンによっては矢の回転数が増加する場合もある。しかし今回の実験では、テクスチャによる回転数増加の理由は必ずしも明白ではなく、テクスチャを施す有効性については不明である。
- (5) 今回の試作ヴェインはカールを付加するまでに至らなかったため、今後の研究では、本実験で回転性能及び収束性能が向上したテクスチャを施したヴェインに対しては更

にカールを付加し、回転式ヴェインとしての性能にテクスチャがどのような影響を及ぼすか検討する必要がある。

参考文献

- (1) 亀井孝, arechery.com. 弓の素材のこと (<https://www.a-archery.com/bowl117.htm>)
- (2) 安藤龍, 他3名, アーチェリー矢の空力特性—たわみ振動の及ぼす影響—, 日本機械学会2014年度年次大会, J0520102, 2014
- (3) 宮崎武, アーチェリー矢の流体力学最前線, 日本機械学会2015年度年次大会, W231001, 2015
- (4) 松本樹昌, 他4名, アーチェリー矢の飛翔姿勢と乱流遷移, 日本機械学会2016年度年次大会, J2340101, 2016
- (5) フリオ・オルティス, 他2名, アーチェリー矢の飛翔軌道と飛翔姿勢～背景風による影響の推定～, 日本機械学会2018年度年次大会, J2340203, 2018
- (6) 長谷川俊成, 他4名, 矢の側面境界層の線形安定性解析, 2018

研究速報
SHORT NOTES

「基礎科学実験」教科書に見られる形容詞の特徴*

Characteristics of Adjectives in the “Science Laboratory” Textbook

小林 伊智郎 Ichiro KOBAYASHI

Abstract

Analyzing adjectives in the “Science Laboratory” textbook, it was found that the most of them in frequent use are in beginner level. Then they show the following characteristics;

- 1) *Chiisai* is used with numeric words and *chiisa-na* is used for sizes of things. Then the pair of *okii* and *ooki-na* has a same relationship.
- 2) *Ookii* is used for counting times instead of *ooi* when the times are indicated by characters. It seems to cause that *ookii* and *chiisai* are used more frequently than *ooki* and *sukunai*.
- 3) *Yoi* is used less for indicating evaluation and judgement than for instructing students such as “*ba yoi*”, “*to yoi*”, “*de yoi*”, and “*te mo yoi*”.
- 4) *Ooi* indicates frequency of some occasions and cases more than numbers of things. It shows characteristics of the textbook.
- 5) *Seikaku* does not indicate only something precise but an instruction such as “*seikaku-ni keisan suru*” i.e. “calculate accurately”. It shows characteristics of the textbook of experiments.

1. 背景

理工系分野で使われる日本語は、日常生活の場面で使われる日本語と比較し、どのような特徴があるか。それを明らかにし、留学生が科学技術に関する論文やレポートを読み書きできるよう指導する際の指針とすることを本稿の目的とする。

筆者はこれまで、理工系の教科書を対象とした研究を通して、以下の点を明らかにした。

- ・CAD指導用の教科書においては、基本動作を表す動詞が多く使われているものの、その意味は一般的な場面で使われるものではないことが多い。たとえば、以下のような例が観察された。

「する」：具体的な動作を表す用法は1例だけで、「にする／くする」(位置・形状・設定を変える, 決める), 「とする」(具体的な数値や記号に後接し, それを基準として場面や環境を設定する)といった用法がほとんどであった。

「置く」:「物体をある場所に置く」という用法は限られ, 図中に記号などを「配置する／書き入れる」という意味で使われている例のほうが多い。

「引き出す／引く」:「物体を自分のほうへ寄せる」という用法はなく, 見られた用例はすべて「線を引く」に類するものであった¹⁾。

- ・大学における専門基礎科目に属する「基礎科学実験」の教科書における機能語(文法項目)は, 日本語能力試験の公式問題の読解文と比べてバリエーションが少なく, しかも使用頻度の高い機能語は「によって」「ように」「ため」など, 日本語能力試験N3レベルの平易なものが多かった。これらの機能語は複数の意味を持つが, それらは実験レポートを構成する〈目的〉〈解説〉〈方法〉といったパートで, 限られた意味で使われていることがわかった(「によって」であれば手段, 原因に限って使われ, 対応関係や受身主体を

表す用例は極端に少ない)²⁾

筆者は引き続き「基礎科学実験」の教科書^{注1)}を対象に, 今後はその語彙的な特徴を概観するべく, 本稿では形容詞に注目した。

2. 方法

本稿では, いわゆる「形容詞」のほか, 学校文法でいうところの「形容動詞」も研究対象とする。また, それらに類するもので, 一般的な形容詞型の活用をしない「大きな」「同じ」などの語も, 本稿の研究対象として扱った。

ただし, 形容詞型の活用をするものであっても, 以下の例は形容詞本来の意味を失い, 機能語化していることから, 対象から除外した(各例文末尾の数字は, ページ番号を示す)。

- (1) 自然現象を深く把握してほしい p. 1
- (2) 判断しにくい p. 8

名詞に「的」が後接して形容動詞化しているものはひとつの形容詞として数えたが, 形容動詞の活用を成さず, その語幹のみが造語成分となっている例(3)や独立した副詞として使われている例(4)は, 対象から除外した。

- (3) 統計的手法を用いて p. 17
- (4) 比較的沸点が低く p. 93

3. 結果

対象範囲に見られた形容詞は, 延べ語数498語, 異なり語数169語であった。このうち, 使用例の多かった形容詞上位10位は, 以下のとおりである。丸数字は, 旧日本語能力試験出題基準における該当級を示す。³⁾

- 1) 小さい 31例 ④
- 2) 大きい 29例 ④
- 3) よい 24例 ④
- 4) 等しい 18例 ②

* 原稿受付 令和元年11月11日

- 5) 確率的 16例 ② (「確率」)
- 6) ない 15例 ④
- 7) 多い 13例 ④
- 8) 正しい 12例 ③
- 8) 低い 12例 ④
- 10) 正確 10例 ②
- 10) 高い 10例 ④

これら11語190例は、形容詞全体の延べ語数の38.2%をカバーする。

4. 考察

これら10語は、4位「等しい」、5位「確率的」、10位「正確」を除けば、初級レベルの語彙に属するものばかりである。大学教育課程の専門的な教科書とはいえ、初級レベルの語彙が重要であることがあらためてわかる。

これ以降、まず上位3語について個別に考察する。

4.1. 「小さい」

実験の教科書の「小さい」は、「不確かさ^{注2)}」(11例)をはじめ、数値を表す概念に対して用いられる例(5)~(7)に限られ、数値を表す概念を伴わず、一般の物体に対して用いられる例は見られない。

- (5) 不確かさを小さくしようとして p.17
- (6) 大気は上層ほど密度が小さくなるので、それに応じて屈折率も小さくなる p.76
- (7) 無限に小さい円形断面積 p.103

ところが、連体形「小さい」と同じ意味を表す「小さな」に注目すれば、5例中3例(「小さな穴」p.74, 「小さなすきま」p.75, 「小さな枝」p.75)が物体に対して用いられており、「ちいさい」に比べると意味の幅が狭く、具体的な大小を表す意味で用いられることが多い⁴⁾という先行研究と重なる。

4.2. 「大きい」

前項「小さい」に比べて、「不確かさ」への集中は少ないものの、「不確かさ」「絶対値」「桁」など、やはり数値を表す概念に対して使われる例(8)(9)が多く、数値を表す概念を伴わない物体のサイズの大きさを表す例(10)は29例中2例に過ぎない。

- (8) これらの不確かさが確率的な不確かさよりも大きい場合は p.21
- (9) 末位の桁(0.01)が他より大きいので p.15
- (10) 太陽の上辺から発する光は大気中に上層から斜めに入射し、大きく曲げられ p.76

さらに「大きな」において、7例中2例(「影」p.75, 「分子」P.98)が物体の大きさを表し、その比率で「大きい」を

上回り、「小さい-小さな」と同様な結果となっている。

ところで、「大きい」には

- (11) 測定回数Nを大きくとることにより p.19
- (12) 測定の回数Nがじゅうぶん大きい場合 p.19

のように、本来「多い」と表現すると思われる「回数」について、Nに置き換えることによって、結果的に「大きい」と表現されている例が2例見られた。これは、本稿の調査結果において「多い/少ない」より「大きい/小さい」のほうが、用例数が多かった形容詞の上位を占めたことの一因とも考えられ、理工系教科書の特徴の一つとも考えられる。なお、測定回数がN等に置き換えられず、「多い」と表現された例も以下の1例が見られた。

- (13) 一般に多くの測定をした場合 p.17

4.3. 「よい」

一般的な場面における「よい」は、ものごとに対する発話者の評価・判断を表す例が多いと想像され、そのような例(14)も散見するが、基礎科学実験の教科書においては、実験者(学生)に対する指示や許可など、方向性を示す指導に関する例(15)~(18)が24例中16例を占めた。そして、教科書特有のこうした事情が、「よい」を上位語に押し上げた結果となった。

- (14) 直線性のよい範囲を吟味し p.52
- (15) どの桁までを記せばよいかを決める有効数字は p.16
- (16) 雲型定規を使用するとよい p.31
- (17) ヒータ線はつけたままでよい p.52
- (18) データ点は曲線の上下に分布してもよい p.63

次に、上記3語より用例数は少ないものの、科学技術系文章の特徴を示していると思われる形容詞2語について考察を加える。

4.4. 「多い」

上記(13)で、回数について、数値を文字に置き換えて「大きい」に変換されることなく、「多い」が用いられた例を挙げた。回数について「多い」が使われたのはこの1例のみで、その他、数量について「多い」が使われたのは「桁数」(19)2例、「ヒドロキシ基-OH」2例、「氷」1例など、5例見られるが汎用性は高いとは言えない。

- (19) 有効数字の桁数が基準の桁数より多い測定値は四捨五入して p.15

一方「多い」は、以下のように、数値の多さより、ある場合やケースの頻度が多いことを表すことが多く、(20)のように「~こと/ものが多い」という文末表現が4例、(21)のように「多くの~(で)」という一般化した表現が3例見られ、この点が教科書の特徴を表していると考えられる。

- (20) 対数目盛のグラフ用紙が使用されることが多い p.25

- (21) 多くの物理実験では、Qという物理量を測定するのに
p.21

4.5. 「正確」

単に間違いがない状態を表す用例(22)(23)も3例見られた。しかし、残りの7例はおもに「正確に～する」という連用修飾の形で、実験手順などにおいて動作（その多くは「計算」）を指示する用例(24)～(26)であり、実験の教科書としての特徴を示す結果となった。

- (22) 正確なDNAの複製を容易に行うことができるため
p.97
- (23) 地球からレーザー光を照射し反射した光が戻ってくる時間を原子時計を用いて正確に測定することで、地球と月の距離が正確に求められる p.79
- (24) 必要な範囲内で正確に計算し 数値誤差がないように注意する必要がある p.30
- (25) 平均値の不偏標準偏差の計算も正確に行う p.20
- (26) この冷水をメスシリンダーで正確に200mL測る p.51

5. まとめと今後の課題

「基礎科学実験」の教科書に見られる形容詞を抽出したところ、上位語は日本語教育の初級レベルのものが多いことがわかった。このうち、上位語について分析した範囲では、以下の点が明らかになった。

- ①「小さいー小さな」「大きいー大きな」のそれぞれの対立については、それぞれ「な」を伴う後者の方が、物体に対して用いられる傾向が強い。
- ②一般には「多い」と表現すると思われる（測定）回数について、その数値を文字に置き換えて論じる際に、「大きい」への変換が見られた。これが、「大きい／小さい」が上位を占めた一因と考えられる。
- ③「よい」については、物事に対する評価・判断を表す例は少なく、「～ばよい」「～とよい」「～でよい」「～てもよい」などの形で、学生に指導を与える用法が多かった。
- ④「多い」は数値より、ある場合やケースの頻度が多いことを表すことが多く、教科書としての特徴を表していると考えられる。
- ⑤「正確」は単に間違いがない状態を表す例より、おもに「正確に計算する」の形で、実験手順として間違いがないように計算などをするように指示する例が多く、実験の教科書としての特徴を表していると考えられる。

なお、以下の点を今後の課題としたい。上位語についての分析をさらに進めるのもさることながら、用例数がさほど多くはないものの、かなり特徴的な動向を示した例について分析を深めたい。たとえば、研究対象の中に「独立」という語が5例あったが、それらはいずれも通常の名詞（および「独

立する」という複合サ変動詞）とは異なり、形容動詞としての特殊用法であった。

- (27) ある物体の長さを、何回か独立に測るとき p.16

国語辞典でも、この用法・用例に触れているものは少なく、注意を要すると考えられる。理工系分野に見られるこのような特徴的な用法を抽出し、留学生に提示する方法を、今後検討したい。

注記

- 1) 拓殖大学工学部基礎教育系列 編，“専門基礎科目基礎科学実験（第1版 第5刷）”，学術図書出版社，東京，2018
- 2) 実験結果を $x \pm \Delta x$ と表したときの Δx を不確かさという。これは、かつては誤差と呼ばれていたが、それだと「正しい値からのずれ」という印象を与えるので、現在では不確かさと呼ぶのが望ましいとされている。

引用文献

- 1) 小林伊智郎，“CAD指導用教科書に見られる動詞の分析—基本動詞の意味の特殊性について—”，拓殖大学日本語教育研究，第2号，pp. 1-19, March, 2017
- 2) 小林伊智郎，“「基礎科学実験」教科書に見られる機能語の特徴”，拓殖大学日本語教育研究，第3号，pp. 1-18, March, 2018
- 3) 国際交流基金・日本国際教育支援協会，“日本語能力試験出題基準（改訂版）”，凡人社，東京，2002
- 4) 飛田良文・浅田秀子，“現代形容詞用法辞典”，東京堂出版，東京，p. 352, 1991

展望・解説

REVIEWS

ヒト CD10 分子糖鎖のニュートラルエンドペプチダーゼ触媒活性に及ぼす役割*

The role of sugar moieties of the human CD10 molecules for neutral endopeptidase activity catalyzing the hydrolysis of peptide bonds in several peptide hormones

片桐 洋子 Youko KATAGIRI**

Abstract

Glycoconjugates are molecules of carbohydrate bonded to other compounds, such as protein and lipid. Forms of these molecules serve various functions in cell-to-cell communication and cross-linkages between proteins. We have studied the functional structure of carbohydrate moieties in immunological interaction, tumor metastasis, bacteria infection and so on.

CD10 exhibiting neutral endopeptidase (NEP) activity, is expressed by B-lineage hematopoietic cells as well as a variety of cells, and cleaves peptides such as cytokines to act for terminating of inflammatory responses. Although CD10 molecules have 6 consensus *N*-glycosylation sites, three of them are known to be *N*-glycosylated. In order to investigate the role of *N*-glycans in the fully expression of NEP activity, we modified *N*-glycans by treatment of NALM6 cells with various glycosidases or alter each of the consensus *N*-glycosylation sites by generating site-directed mutagenesis and compared the NEP activities of the sugar-altered CD10 with those of intact CD10. Although neither desialylation nor further degalactosylation caused defective NEP activity, removal of *N*-glycans by treatment with glycopeptidase decreased NEP activity completely. Surface expression of *N*-glycan at Asn₆₂₈-deleted CD10 was greatly decreased as well as it lost entire NEP activities. *N*-glycosylation at Asn₆₂₈ is essential for not only NEP activities, but also surface expression.

Keywords: Glycoconjugates, *N*-glycan, CD10, Neutral endopeptidase (NEP), Liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC/MS/MS)

1. はじめに

生体を構成する有機化合物として、タンパク質、DNA、脂質、糖質の4つがあげられ、糖質は前三者と複合体を作って、その機能は奥深い。筆者は、長年、複合糖質を研究対象としてきた。興味ある物質の精製、同定を進めていくと、ステロイド配糖体であったり、糖脂質であったり、糖タンパク質であったということに過ぎないが、それだけ、糖質は重要な機能を担っているということを示している。扱う対象が生体由来の有機化合物であるので、一般的には、熱や振とう、泡沫、凍結/融解の繰り返しに弱く、その扱いには特別な配慮を必要とする。糖質について概説し、筆者が前任地で最後に携わった“ヒト CD10 分子糖鎖のニュートラルエンドペプチダーゼ (NEP) 触媒活性に及ぼす役割”¹⁾について述べる。

2. 糖質とは

糖質は単糖を最小単位とする2~数千、数万に及ぶ重合体 (=ポリマー) であり、その重合度により、二糖、オリゴ糖、多糖とよばれる。糖鎖とは、読んで字のごとく、糖が鎖状につながったもの。ただし、単糖が延々と続く一本の糖鎖もあれば、所々で分枝しているものなど、その構造は様々である。

単糖は「炭素数3以上の直鎖のポリヒドロキシアルデヒド、またはポリヒドロキシケトン」と定義され、炭素数3の単糖トリオースのグリセルアルデヒドはアルデヒド基を持ち (Fig. 1a)、ジヒドロキシアセトンにはケトン基を持つ (Fig. 1b)。トリオースから炭素数7のヘプトースまで数十種類の単糖があるが、量的には炭素数6のヘキソースが大部分を占める。ヒ

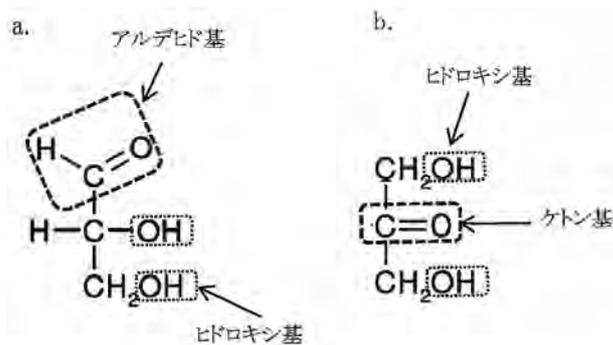


Fig. 1 Structural formula of two trioses, i.e. aldose and ketose.
a. D-glyceraldehyde. The (+) enantiomer was guessed to have the configuration on the right and was designated D-.
b. dihydroxyacetone.

ドロキシ基を5つも持ち、よく水和し、水に溶ける。ヒドロキシ基の配向の違い (炭素骨格の環に対して水平か直角か)、アルデヒドかケトンかの違いにより、二十数種類のヘキソースが存在しうが、高等生物では数種類あるのみである。置換基 (アミノ基、カルボキシ基など) の違いを含めると、その数は倍増する。ヘキソースの一つグルコースをフィッシャー投影式で表すと、1番目の炭素C1がアルデヒド基を形成しており、以下、C2~C6までヒドロキシ基が一つずつ結合しているのがよくわかる (Fig. 2a)。溶液中では、 α 型ピラノース環⇔鎖状構造⇔ β 型ピラノース環 (Fig. 2b) を行き来しており、 α 型が37%、 β 型が63%の比で平衡状態になっている。わずか0.01%の鎖状構造の時にのみ、アルデヒド基は、還元性を呈する。この還元力を利用して、グルコースの定量をするこ

* 原稿受付 令和元年10月28日

** 拓殖大学工学部基礎教育系列

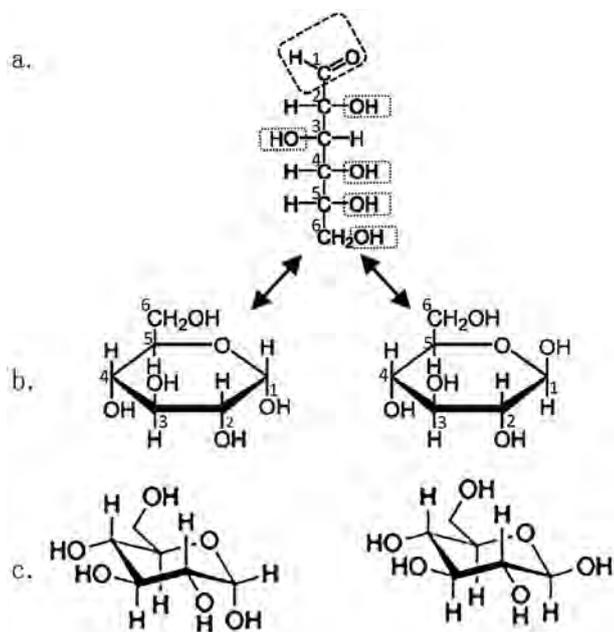


Fig. 2 Structural formula of D-Glucose

- a. Fischer projection of D-Glucose. (---): aldehyde group, (---): hydroxyl group.
- b. Haworth projection of α -D-Glucose (left) and β -D-Glucose (right). In solution, the both anomers (α and β) are equilibrium, and interconvert through the open form.
- c. Chair conformation of α -D-Glucose (left) and β -D-Glucose (right).

ともある。実際の環の構造は、炭化水素のシクロヘキサン同様、イス型 (Fig. 2c) をしている。

糖尿病などでよく知られるグルコース (いわゆるブドウ糖) 以外にも、果物に多いフルクトース (果糖), こんにゃくの主成分であるマンノース, 寒天の主成分であるガラクトースなどは、お聞き及びであろう。二糖では、砂糖の主成分スクロース (ショ糖), 水飴の主成分マルトース (麦芽糖), ミルクの遊離糖ラクトース (乳糖) がよく知られている。添加物として用いられることが多いトレハロースは、昆虫の血糖である。三糖以上のオリゴ糖は健康食品として脚光をあびているが、これらのほとんどをヒトは分解できない。食品として身近な多糖は単一の単糖あるいは二糖のポリマーであることが多い。アミロース (デンプン, 小麦粉, 片栗粉の主成分) は α -グルコースのポリマーで α -グルカン, 寒天の主成分であるアガロースは β -ガラクトースと α -アノヒドロガラクトースのポリマーでガラクトタン, こんにゃくは β -マンノースと β -グルコースとのポリマーでグルコマンナンとよばれ, これら多くの糖質を食品として我々は利用している。いわゆる炭水化物で, Carbohydrateの日本語訳である。植物に多いセルロースは同じグルカンでも β -グルコースのポリマーで, β -グルカンとよばれ, ガラクトタン, マンナン同様, 多くの動物は自

身では分解できない (Table 1)。

我々ヒトが甘いと感じる糖はそう多くなく, 一部の単糖と二糖のみといっても過言ではない。最も甘いのはフルクトースで, グルコースはその半分程度である。したがってグルコース1分子とフルクトース1分子からなるスクロースは甘く, グルコース2分子からなるマルトース, グルコースを1分子もつラクトースと, 甘みの順位は下がる。オリゴ糖や多糖はほとんど甘味を有しない。

Table.1 Saccharides and glycoconjugates.

糖質	単糖	グルコース (ブドウ糖), フルクトース (果糖), ガラクトース, マンノース, など
	二糖	スクロース (ショ糖), ラクトース (乳糖), マルトース (麦芽糖), トレハロースなど
	多糖	アミロース (でんぷん), グリコーゲン, アガロース, セルロースなど
複合糖質	糖タンパク質	ほとんどのタンパク質
	プロテオグリカン	ヒアルロン酸, ヘパリン, など
	糖脂質	スフィンゴ糖脂質, グリセリン脂質, など
	その他	核酸など

3. 複合糖質

糖質は、自然界ではタンパク質や脂質と共有結合した複合糖質としても存在する (Table 1)。複合糖質中の糖の重合度は低く, 数個から数十個である。構成糖はヘキソースが大部分だが, 単純糖質に比べその種類は多く, 単なる貯蔵物質として存在しているのではないということの裏返しでもある。中には, プロテオグリカン (タンパク質部分を持つ多糖という意味) のように糖鎖部分の重合度は高く, 巨大分子化しているものもあるが, ここでは言及しない。多くの複合糖質は構造的役割のほか, それらの糖鎖配列構造を介して, 実に多様な識別現象に関与している。

糖タンパク質は, タンパク質を構成する特定のアミノ酸 (アスパラギンのアミド基やセリン・スレオニンのヒドロキシ基) に糖鎖がN-グリコシド結合またはO-グリコシド結合したものである。糖鎖を構成するヘキソースは, 高等生物ではアミノ糖を含め数種類に過ぎないが, その糖鎖構造は多様性に富む。ただし, ヘキソースの結合方法, 結合順には規則性があり, 糖鎖中のヘキソースの組成から, 糖鎖構造を推定できる。N-グリカンの場合, タンパク質1分子あたり, ヘキソース5~30残基の重合した糖鎖が数か所で結合している。ヘキソースが特定の糖転移酵素により, グリコシド結合で付加されていき, その結合様式, 順序は, 厳密に規定されている。

糖脂質は, 細胞膜を構成しているセラミドやリン脂質に糖鎖がグリコシド結合したもので, 糖鎖の重合度は1~9個程度

と、糖タンパク質よりも低く、構造はシンプルである。糖タンパク質の糖鎖生合成と同じ糖転移酵素によって伸展される。

糖鎖の末端には、シアル酸^{注1)}が結合していることがしばしばみられ、重要な生物学的機能をもっていることが多い。いくつか例を挙げると、インフルエンザウイルスは、鼻道や気道の粘膜上皮細胞膜表面にある複合糖質末端のシアル酸の結合様式を認識して、宿主に侵入する²⁾。赤血球膜の糖脂質やある種の遊離糖タンパク質は、糖鎖末端にあるシアル酸がはずれると、速やかに肝臓で吸収され、分解される³⁾。品質管理上での、タグといったところか。バクテリアの産する毒素も、細胞表面の糖鎖を認識して結合することが多い。時折、ニュースで伝えられる病原性大腸菌O-157の産するシガ毒素(Stx)は、スフィンゴ糖脂質の仲間グロボトリアオシルセラミド(Gb3-Cer)に、コレラ菌の産するコレラ毒素(Ctx)はガングリオシドGM1に結合して、感染細胞を死に至らしめる⁴⁾。細胞膜リン脂質二重層を貫通したあるいは埋め込まれた糖タンパク質は細胞外の部分のみに糖鎖が結合しており、糖脂質は細胞膜外側のみに存在する(Fig. 3)。「糖鎖は細胞の顔」といわれるゆえんである。後述する血液型物質などは、「赤血球の顔」である。

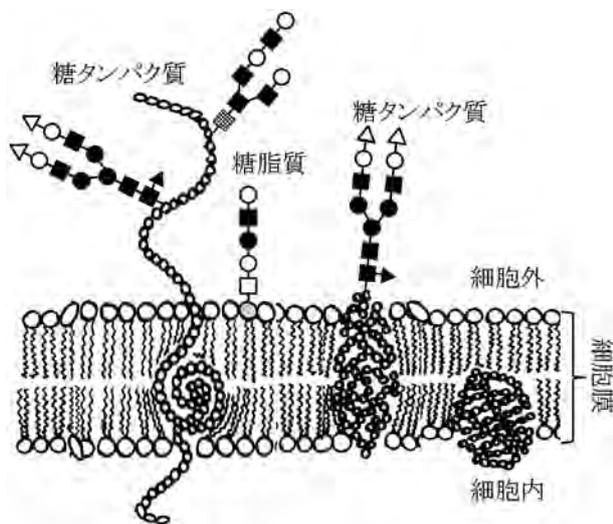


Fig. 3 Glycoproteins and glycolipids in plasma membrane.

タンパク質が、遺伝情報の源であるDNAをテンプレートとして生合成されるのは、今やだれもが知っているセントラルドグマである。では、糖タンパク質や糖脂質はどうやって作られるのか。糖タンパク質は、DNAからRNA、タンパク質を経て、決まった位置に、糖鎖が結合する(グリコシル化)。このことを翻訳後修飾という。グリコシル化は特定の糖転移酵素によりなされ、この転移酵素はタンパク質であるので、翻訳後修飾も、DNAの支配下にあるといえる。

4. ヒトABO式血液型

4.1 血液型物質

ヒトの血液型の分類には数種類あるが、一番よく知られているのはABO式血液型である⁵⁾。輸血、献血、親子間の遺伝などでよく取り上げられ、自分の血液型を知る人がほとんどであろう。「A型って、割と冷静でさあ、つめたいじゃん? B型はおっちょこちょいでなんとなく憎めない。O型は優しくて、AB型は二重人格!」などと血液型による性格判断とか、カップルの相性、はたまた、運勢まで様々なことを判断する材料に使われている。しかしながら、血液型とは、単なる赤血球表面に存在する物質の分類に他ならない(Fig. 4)。O型のヒトは2個の単糖からなるH型物質とよばれる基本糖鎖構造をもち、H型物質のガラクトースに特定の結合様式で α -N-アセチルガラクトサミンが結合したのがA型物質であり、 α -ガラクトースが結合したのがB型物質である。AB型のヒトはA型物質、B型物質両方を持つ。これらは、赤血球膜上で、糖脂質や糖タンパク質の形で存在している⁶⁾。

なお、これら4種の血液型は一つの遺伝子座に3つ以上の変異型が存在する複対立遺伝子の教科書的、古典的な例となっている⁷⁾。すなわち、1つの遺伝子が、数か所の塩基配列が異なるだけでA型合成酵素になったり、B型合成酵素になったり、どちらも作れなくなった結果としてH型物質合成酵素になったりする。遺伝子型はA, B, O, 3種類あり、両親から一つずつもらうので、A型の人の遺伝子型はA/AかA/O、B型の人にはB/BかB/O、AB型の人にはA/B、O型の人にはO/Oということになる。と、まあ、誰でもわかる単純明快のようであるが、人生そう簡単ではない。なんと、さらに塩基配列の変異が起こり、A型物質、B型物質両方とも作れる遺伝子型cis-ABというのも、非常にまれではあるが、見られる。何が問題かという、遺伝子型がA/BとO/Oの両親からは、A型かB型しか生まれえない。しかるに、cis-AB/OとO/Oの両親からだと、O型かAB型の子供が生まれる。病院での取り違い?とか、オレの子じゃない!なんて騒動になることもある。まずは、血液型物質合成酵素のDNA塩基配列の解読をすべきでしょう。

4.2 “どうして違う血液型の人から輸血してもらえないの?”

糖鎖は、抗原性が強いものが多い。赤血球膜上には様々な分子があるにもかかわらず、上述の血液型が輸血の際問題になるのは、それだけ抗原性が強いからである。抗原性とは、一般的には、抗体との結合の強さをあらわす。A型の人には抗-B抗体を、B型の人には抗-A抗体を保有する。AB型の人にはどちらの抗体も保有せず、逆にO型の人には両抗体を保有する。ともに自然抗体^{注2)}で、何事もなければ、これらの自然抗体を保有していても何ら問題は起きない。ところが、一旦自前の血液では生存できないような事態になったとき、「だれの血液で

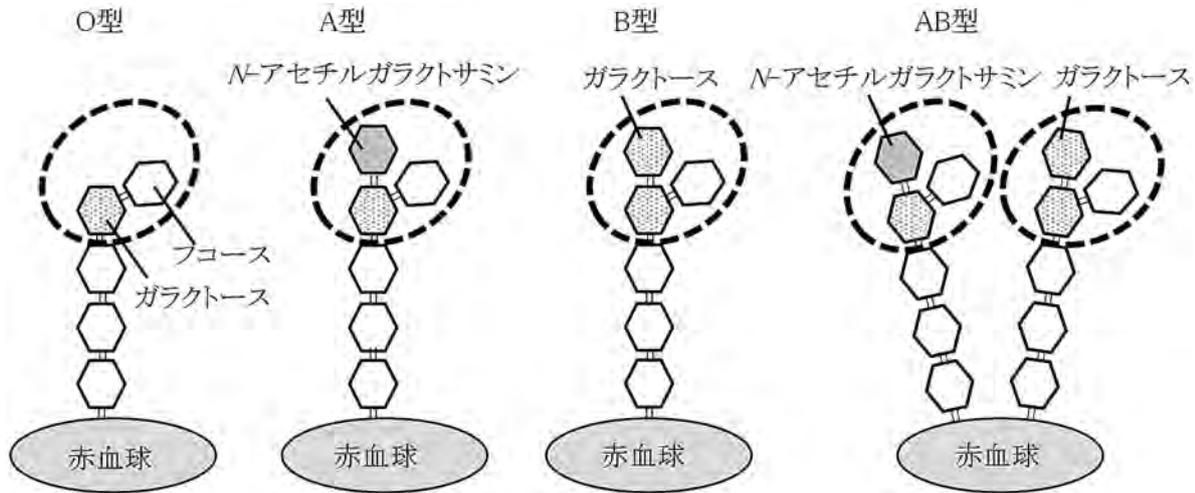


Fig. 4 Carbohydrate structure of human ABO-blood type antigens.
The H antigen (○) of blood type O is the base oligosaccharide found in all three blood types AB, A, and B.

もよいから補充しろ」というわけにはいかない。抗原性の強い血液型物質は、血液型の異なる人の血管内に入ると、その人の持つ血液型物質に対する自然抗体と複合体を形成し、溶血という重篤な現象が生じる。というわけで、輸血は、同じ血液型同士で行われる。ここで賢明なる読者は、「O型の人の赤血球をよく洗って、抗-A抗体、抗-B抗体を除き、赤血球だけにすれば、どんな人にも輸血できるじゃないか！」と思いつくことでしょう。緊急時には、抗-A抗体も抗-B抗体も除去したO型赤血球製剤を、輸血に使用しているそうです。もう一歩進んで、「AB型の人は、抗-A抗体、抗-B抗体どちらも持っていないのだから、誰からも輸血してもらえる！」そりゃそうですが、やはり、緊急時以外は、同型間でのみ輸血します。こういう輸血原則から、“O型の人は優しくて博愛型”なんて迷信が生まれたのかもしれない。ではAB型は、誰の血でも受け入れる“吸血鬼型”それとも、“来るものは拒まず”の大衆受け入れ型？

5. 複合糖質の糖鎖構造の研究方法は？

研究対象となる物質の単離精製が、生化学の1st. ステップ。大昔は、大量（それこそトラクター一杯）の材料から、肉体労働に耐え、地道にコツコツ、しかもたいていの場合、低温で単離精製を行ったものである。2008年緑色蛍光タンパクの発見でノーベル化学賞を受賞した下村脩氏は、1960年代当時、オワンクラゲを数十万匹集めたというのは有名な話。現在では、精製技術・解析方法の進歩と分子生物学の勃興のおかげで、生化学研究のスタイルは一変した。とりわけ質量分析計(MS)の革新的開発と進歩は、物質の同定および構造決定に大きな改革をもたらした。2002年田中耕一氏の“ソフトレーザー脱離イオン化法の開発”によるノーベル化学賞受賞は記

憶に新しい。分子量100~1,000,000の広範囲にわたるペプチドおよびタンパク質の構造解析・同定ができるようになった。この場合、構造解析とは、アミノ酸の配列順序（これを、タンパク質の1次構造という）を解析することを言う。最終的な構造解析には、タンパク質を結晶化し、「CDスペクトル測定」「X線結晶構造解析」「NMR（核磁気共鳴）」「赤外分光法」、電子顕微鏡を用いた「単粒子構造解析」などを駆使して、初めてその全容を知ることができる。

一方、糖鎖の場合、構成する単糖の m/z (注3) は、ヘキソースは162、N-アセチルガラクトサミンやN-アセチルグルコサミンは203で、結合の様式は多様。タンパク質に比べて、質量分析計は糖鎖の構造解析には本来適当ではない分析装置である。ところが、多段階のタンデム質量分析(MSⁿ)を行うと、ほとんどの糖鎖はそれぞれ独自のスペクトルパターンを示すことがわかってきた。有機合成の技術を駆使し、多数の糖鎖標品を用いてそれらのMSⁿスペクトルをデータベース化しておき、検体のMSⁿスペクトルをそのデータベースに参照して構造を推定できる。質量分析計による解析は、今や、研究者の手を離れ、外部業者に委託する時代になった。筆者がこの研究を進めていたころはまだ商業ベースにまでは普及しておらず、国立医薬品食品衛生研究所の川崎ナナ氏（現横浜市立大学医学部）、理化学研究所鈴木佑典氏（現日本大学理工学部）との共同研究のもと、解析が進んだ。

6. ヒトCD10分子糖鎖のNEP触媒活性に及ぼす役割

6.1 CD10分子

CD (Cluster of Differentiation) とは、ヒト白血球分化抗原に関する国際会議（1982年）で決定された順に番号をふったもので、CD15までで始まったものが、今では400を優に超え

る。CD10抗原は造血幹細胞がBリンパ球へと分化していくある特定の時期に発現する分化抗原であり、CD10を発現している白血病細胞なら、B前駆細胞または胚中心B細胞期にガン化したということが推定でき、白血病診断の重要な指標となる。小児血液ガン的一种急性リンパ種 (ALL) では、CD10を発現している例が多々みられ、それゆえ、CD10はCALLA (Common ALL Antigen) という呼称でもよく知られている。

白血球のCD10抗原は白血球のみならず、脳神経系や腎臓系など他にも分布し、エンケファリナーゼとか、ネプリライシンなどともよばれる。これらは同一分子で、以下、CD10

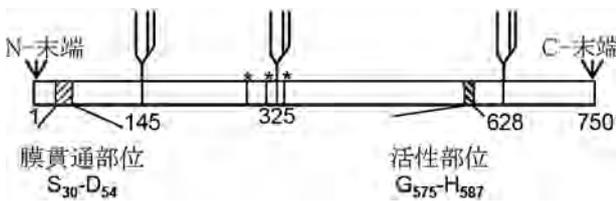


Fig. 5 Schematic diagram of *N*-glycosylation sites in human CD10 molecule.

*: putative glycosylation sites, but confirmed to be unglycosylated by X-ray crystallography. ↓: confirmed to be glycosylated. N-末端: amino terminal, C-末端: carboxy terminal, S: serine, D: aspartic acid, G: glycine, H: histidine

分子とよぶ。CD10分子は、アミノ酸750残基、アミノ酸組成から算出される分子量は85,514である。アミノ末端が細胞質側に、カルボキシ末端が細胞外に配向したII型膜タンパク質で、*N*-グリコシル化可能なアスパラギン Asn 残基は6か所あるが、実際に*N*-グリコシル化されているのは、145番目、325番目、628番目のアスパラギンである (Fig. 5)。NEPとしての酵素活性部位は575番目のグリシンから587番目のヒスチジン間で、カルボキシ末端に近い。

個体から取り出した細胞が不死化して、永遠に実験室で継体培養できるようになった細胞群を“Cell line (細胞株または培養細胞)”とよび、生化学者はしばしば、この培養細胞を研究の出発材料とする。CD10陽性のPre-B前駆細胞株NALM6の細胞膜の特性を検証していたところ、CD10分子は高度に多様に富む糖鎖を持ち、細胞間のシグナル伝達に重要な役割を果たす膜画分 (ラフトマイクロドメイン、後述) に局在していることが明らかになり、解析を進めた。

6.2 NALM6細胞のCD10分子

NALM6細胞の細胞膜を単離し、細胞膜を非イオン性の界面活性剤TritonX-100で処理後シヨ糖密度勾配超速心分離すると、界面活性剤で破壊されなかった細胞膜成分Triton-

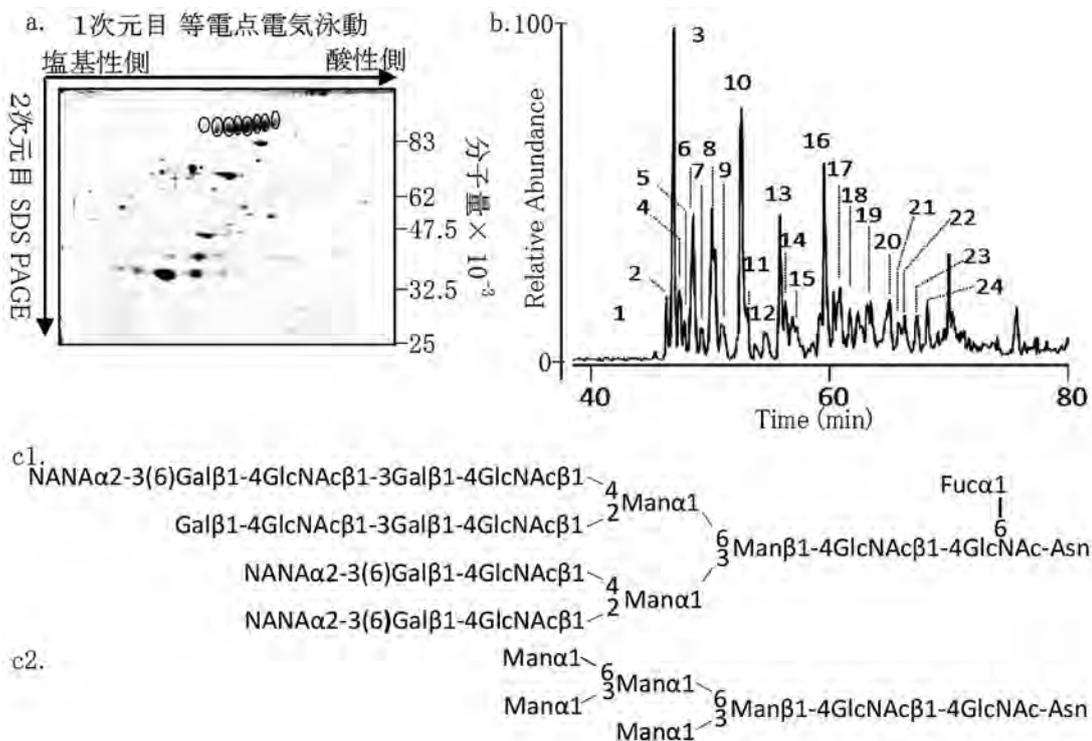


Fig. 6 Characterization of raft protein of Nalm6 cells.

a. Two-dimensional electrophoresis of raft microdomain.

b. Total ion current chromatogram of *N*-glycans released from NALM-6 CD10.

c1. Carbohydrate structure deduced from MSⁿ spectrum of peak #23 (4122 *m/z*).

c2. Carbohydrate structure deduced from MSⁿ spectrum of peak #11 (1236 *m/z*).

NANA: *N*-Acetylneuraminic acid, Gal: galactose, GlcNAc: *N*-Acetylglucosamine, Man: mannose, Fuc: fucose, Asn: asparagine

insoluble microdomainが軽い画分に回収される。このマイクロドメインは、細胞膜という大海を動き回る筏に例えて“ラフトマイクロドメイン”とよばれることもある。外界からのシグナルを細胞内部に伝える重要な分子がラフトマイクロドメインにコンパクトに埋め込まれていることが多い。ラフト内のタンパク質を二次元電気泳動法（1次元目は等電点の違いにより、2次元目は分子量の違いにより分離するきわめて分離能の高い泳動法）で分離すると、分子量 $91\sim 120 \times 10^3$ 、等電点 $4.9\sim 5.3$ のひときわ目立つ一連のスポットが得られた (Fig. 6a, 実線楕円)。各スポットを質量分析計で解析すると、これらのスポットすべてがCD10分子と同定された。縦長のスポットの形、広範囲の等電点は、CD10分子のグリコシル化の多様性を示している。

CD10分子の糖鎖構造は、液体クロマトグラフィータンデム質量分析装置 (LC/MS/MS) で解析した。トータルイオンクロマトグラム (Fig. 6b) からは24個のイオンが確認され、各イオンのプロダクトイオンを帰属したところ、42種類もの糖鎖が確認され、多くの糖鎖の末端には、*N*-アセチルノイラミン酸が結合していた。一番大きい糖鎖は、[*N*-アセチルノイラミン酸]³、[ガラクトース]⁶、[マンノース]³、[*N*-アセチルグルコサミン]⁸、[フコース]¹計21個の単糖が結合した4,122 (m/z)の4本枝複合型糖鎖 (Fig. 6c1)、最小は[マンノース]⁵、[*N*-アセチルグルコサミン]²計4個の単糖が結合した1,236 (m/z)のハイマンノース型糖鎖 (Fig. 6c2) であった。糖鎖結合部位は3か所に過ぎないので、様々な糖鎖が*N*-グリコシド結合していることが示された。

6.3 CD10分子のNEP活性

糖鎖構造が、NEP活性にどう影響を及ぼしているか検証するために、CD10分子の糖鎖を改変し、酵素活性を測定した。NEPは非極性（疎水性）アミノ酸のアミノ基側のペプチド結合の加水分解反応を触媒する。代表的な非極性アミノ酸であるフェニルアラニン (Phe) をカルボキシ末端に含むトリペプチド (アラニン-アラニン-フェニルアラニン) と、7-アミノ-4-メチルクマリン (AMC) の7位のアミノ基がアミド結合した化合物 (1) (Fig. 7) を基質に用いた。CD10分子は化合物 (2) を遊離させ、さらに、広範囲の基質特異性を持つ市販のロイシンアミノペプチダーゼを過剰量加えて酵素反応を継続すると、強い蛍光を発する化合物 (3) AMC が遊離してくる。AMCの蛍光を蛍光分光光度計マイクロプレートリーダーで測定し、遊離してくる AMC を定量した。NEP活性は、30分間の反応で、 $50\mu\text{L}$ 中に遊離してくる AMC のモル数 (AMC (nmol) released/assay) として、タンパク質一定量当たりの活性 = 比活性 (specific activity) は AMC (nmol) released/CD10 arbitrary unit としてあらわした。

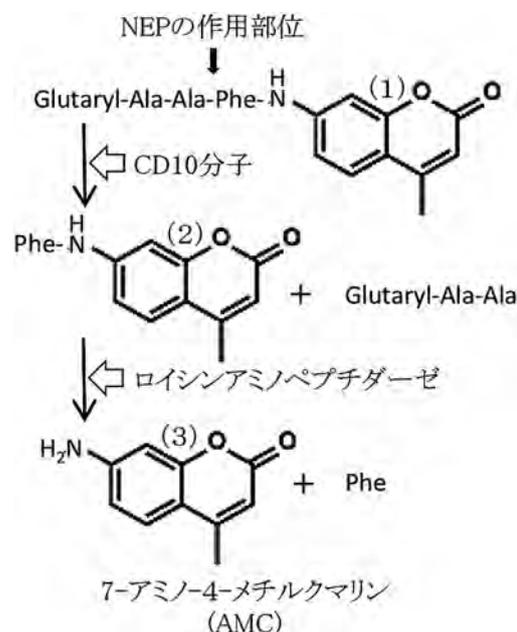


Fig. 7 Chemical reaction pathway of production of fluorescent 7-amino-4-methylcoumarine (AMC).

Substance(1): glytarylalanyl-alanyl-phenylalanyl-4-methylcoumaryl-7-amide.

Substance(2): phenylalanyl-4-methyl-coumaryl-7-amide.

Substance(3): 7-amino-4-methylcoumarine. Ala: alanine, Phe: phenylalanine.

酵素処理時の緩衝液だけで処理したCD10分子のNEP活性に対して糖鎖改変CD10分子のNEP活性がどれだけ変化するかを測定した。CD10分子糖鎖の末端に結合する*N*-アセチルノイラミン酸 (NANA) を除去しても、さらに、露出してくるガラクトース (Gal) を除去しても、NEP活性はわずかに低下しただけだったが、*N*-グリカンそのものを除去すると活性は著しく低下した (Fig. 8a)。糖鎖が結合していることが、NEPの活性発現の必要条件であると推察される。

3か所ある糖鎖結合部位のうち、どの部位に結合した糖鎖が必須なのか？ このことを明らかにするため、糖鎖結合部位のアミノ酸であるアスパラギンをグルタミンに置換したCD10分子 ($\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$) を構築し、NEP活性を野生型と比較した。すると、3か所の*N*-グリカンのうち、最もカルボキシ末端に近い628番目のアスパラギン (Asn_{628}) に結合する*N*-グリカンを欠損した $\Delta 3$ のみ、酵素活性を示さなかった (Fig. 8b)。ところで、この $\Delta 3$ CD10は正常に細胞膜表面に発現できるのだろうか？ フローサイトメトリー解析してみると、驚くべきことに、 $\Delta 3$ は全く細胞表面に発現していなかった (Fig. 8c)。つまり、CD10分子のタンパクは作られても、 Asn_{628} の*N*-グリカンが欠損していると、異常CD10分子とみなされ、排除されるということである。

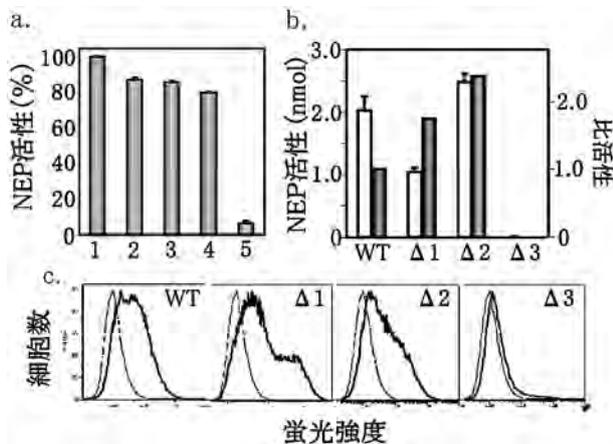


Fig. 8 Effects of modification of sugar moieties of CD10 molecules on NEP activities.

- a. NEP activities of glycosidase-treated CD10 molecules. Percentages of NEP activities of the glycosidase-treated to that of the mock-incubated are shown. 1: mock-incubated, 2 sialidase, 3: β -galactosidase; 4: sialidase and then β -galactosidase, 5: glycopeptidase F under nondenaturing conditions.
- b. NEP activities of carbohydrate-deleted CD10 molecules. \square : AMC (nmol) released, \blacksquare : specific activity. WT: wild type, $\Delta 1$: Asn₁₄₅ N-glycan deleted, $\Delta 2$: Asn₃₂₅ N-glycan deleted, $\Delta 3$: Asn₆₂₈ N-glycan deleted.
- c. Surface expression by transfected cells with wild type and mutated c-DNA of CD10. Thin line: back ground, bold line: CD 10.

7. 結語

シグナル伝達分子が多く集まる細胞膜のラフトマイクロドメインに局在するCD10分子は、NEP活性を有し、炎症性ペプチドを分解して、炎症を終焉させる働きを持つ。その他、ペプチドホルモンやアミロイド β ペプチドの分解にも関与するなど、生命の維持には欠かせない。CD10分子を欠損したノックアウトマウスは、LPS²⁴⁰注入で惹起される炎症に対して脆弱であり、LPS濃度依存性に死亡する。

CD10分子は分子量1,000~4,000のN-グリコシド型糖鎖を3本有し、非還元末端の多くにN-アセチルノイラミン酸が付加している。NEPの活性発現には、活性部位近辺の628番目のアスパラギンに糖鎖が結合していることが必須であり、この部位に糖鎖の結合してない分子は、速やかに分解される。生命の維持に必要なNEP活性を有するCD10分子の細胞表面発現と触媒活性の発現には、Asn₆₂₈位置のN-グリコシド型糖鎖の存在が、必須であることが示された。

謝辞

本研究は、国立成育医療センター研究所小児血液・腫瘍部門でおこなわれた。当時千葉大学医学部大学院生であった佐藤

伴君(現筑波大学生命環境系)、本研究所流動研究員であった飯島一智君(現横浜国立大学大学院)の貢献は大で、ここに、謝意を表す。

注

- 9炭素骨格の α ケト酸(2-ケト-3-デオキシノノン酸)の5位に結合したアミノ基のN-アシル誘導体の総称。ピラノース環構造を取る。多くはN-アセチル化体で、神経系に多く見られ、N-アセチルノイラミン酸(NANA)とよばれる。単にシアル酸といえば、NANAのことを指すことが多い。
- T細胞に依存せずに産生されるIgM型抗体。血液型抗体はその代表であり、生後半年ぐらいいまでに暴露される腸内細菌や食物などにより産生が誘導されると考えられているが、詳細な機構は不明である。
- イオンの質量を、統一原子質量単位で割り、さらにイオンの電荷量で割って得られる無次元量を表す。電荷数 z は、1をとる場合が多い。1価イオン($z=1$)だけが観察される場合では、 m/z は m 値にそのまま対応する。
- Lipopolysaccharideの略。グラム陰性菌外膜の主要な構成成分で、強力な炎症反応を惹起する。

参考文献

- Ban Sato, Yohko U. Katagiri, Kazutoshi Iijima, Satsuki Ito, Nana Kawasaki, Hajime Okita, Junichiro Fujimoto, and Nobutaka Kiyokawa, "The human CD10 lacking an N-glycan at Asn628 is deficient in surface expression and neutral endopeptidase activity", *Biochim. Biophys. Act.*, Vol. 1812, pp. 1715-1723, 2012.
- 鈴木 隆, 鈴木 康夫, "インフルエンザウイルスはどのように感染するか", *化学と生物* Vol. 35, No. 5, pp. 340-345, 1997.
- Morell AG, Gregoriadis G, Scheinberg IH, Hickman J, Ashwell G. "The role of sialic acid in determining the survival of glycoproteins in the circulation", *J. Biol. Chem.*, Vol. 246, pp. 1461-1467, 1971.
- <https://www.glycoforum.gr.jp/glycoword/glycolipid/GLB02J.html>
- Landsteiner K., "Zur Kenntnis der antifermentativen, lytischen und agglutinierenden Wirkungen des Blutserums und der Lymphe.", *Zentbl. Bakt. Orig.*, Vol. 27, pp. 357-362, 1900.
- 山川民夫, "糖脂質物語", 講談社学術文庫, 562, 1981.
- <https://www.glycoforum.gr.jp/glycoword/glycoprotein/GPA04J.html>

物理教育研究に基づいた物理リメディアル教育*

Developmental Education of Physics Based on Physics Education Research

岸澤 眞一 Shinichi KISIZAWA**

Abstract

An academic field called “Physics Education Research (PER)” has been established in the United States since the 1970s. At present, PER has shown a huge spread worldwide. The Learning Support Center of the Faculty of Engineering of Takushoku University conducts developmental education named “Basic Course of Physics”, and the curriculum of this course is based on PER. When I measured the effect of the class using the assessment tool adopted in PER, it was clear that students who were not good at physics could acquire the basic concept to some extent.

1970年代よりアメリカにおいて「物理教育研究 (Physics Education Research: PER)」と呼ばれる学問領域が確立していった。現在ではこの「物理教育研究」は世界的に大きな広がりを見せている。本学工学部の学習支援センターでは、「物理基礎講座」という名称のリメディアル教育を行っており、授業プラン作成に当たってはこの「物理教育研究」の研究成果を参考にしている。授業の効果を「物理教育研究」で採用されている理解度評価ツールを用いて測定してみたところ、物理を苦手とする学生でも基本的な概念をある程度までは獲得できていることが明らかになった。

1. 物理教育研究

1.1 「物理教育研究」誕生の背景

物理教育を改善しようとする試みはかなり以前から行われている。1950年代には、いわゆるスプートニックショックをきっかけにアメリカのhysical Science Study Committee (PSSC) は高等学校向けの物理の教科書を作成した¹⁾。ヨーロッパにおいても探究的な物理は以前から提唱されおり、たとえばイギリスではナフィールド物理²⁾ (1960年代) のような革新的なコースが作られた。一方、外国ではあまり知られていないが、日本においても小中学校の理科の授業を対象にした、「仮説実験授業」³⁾や「学習課題方式 (玉田方式)」⁴⁾などの優れた授業方法が開発された。

1970年代に入ると、アメリカの物理の専門家たちの間から物理の授業や学習について科学的な視点から検討する人々が現れ、「物理教育研究 (Physics Education Research: PER)」とよばれる学問分野が確立されていった^{5), 6)}。この動きは徐々に広がっていき、現在では多くの研究者が物理教育研究の共同体に参加している。それとともに物理教育関連する論文も膨大な量が蓄積されつつある。このような大規模かつ継続的な動きはこれまではなかったことである。今ではPERという言葉が、この一連の研究領域を表す固有名詞のように扱われている。本稿ではこのPERに対応する語として、カギ括弧付きで「物理教育研究」を使用する。

「物理教育研究」が生まれてきた背景には主に、次のような二つの要因がある。第一の要因は、伝統的な物理の授業ではどんなに優れた教科書を使っても、また、どんなに優秀な教師

が教えてもなかなかうまくいっていないということが明らかになってきたことである。第二の要因は、物理教育の目的が物理の専門家を育成するだけでなく、より広い範囲の学生に自然科学的な考え方を伝えること、すなわちgeneral scienceとしての物理を教授することが要請されるようになってきたことである。

第一の要因について、もう少し詳しく述べる。物理を学習している学生たちは、どうも教師が望むようには学習していないよさだという指摘はかなり以前からなされていた。微積分を使わない大学1年次の物理コースで、電気回路に関する定量的問題と定性的問題を出題した結果の報告^{7), 9)}がある。定量的な問題は電池2個、抵抗3個からなる典型的なキルヒホッフの問題 (Fig. 1 (a)) で、回路上のab間の電位差を質問している。定性的な問題は電池に豆電球3個が直列につながっていて、回路の一部をショートカットしたときに電池を流れる電流や各豆電球の明るさなどを問いている (Fig. 1 (b))。後者は単なる回路の短絡であるから簡単のように思われるが、前者の正答率が75%に対して後者の正答率は40%であった。(b)では、40%以上の学生が、スイッチを入れても電池を流れる電流は変化しないと答えていた。このことは、物理をよく理解していなくても、一定の手続きに従って解く問題では正解に達することができることを示唆している。

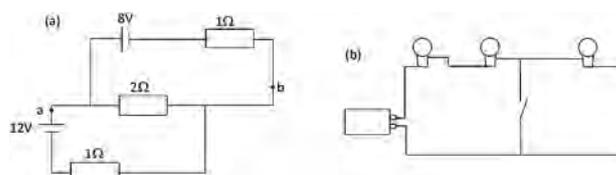


Fig. 1 直流回路に関する定量的問題と定性的問題

物理における力学概念の理解度を測定するツールとして、FCI (Force Concept Inventory)⁸⁾がある。30問からなる多肢選択式の設問からできており、すべて定性的な問題である。大学の教授達はこれらの問題はあまりに簡単すぎると見なしていたが、新入生がきわめて低い成績しかとれないことにショックを受けた。さらに、1年次の力学の授業終了後同じ調査を実施して、正答率があまり上昇していないことに失望した。これらの事例は、正しい物理概念を獲得することがいかに難しいか、学習者の持っている素朴概念・誤概念はいかに強固であるかを示している。

* 原稿受付 令和元年10月29日
 ** 拓殖大学工学部学習支援センター

1.2 「物理教育研究」の成果

「物理教育研究」の成果は非常に多岐にわたっている。本節ではそのごく一部を紹介する。

いかに優れた授業であっても、それが個人の名人芸によるものであれば、個人が修得したノウハウは一代限りで途絶えてしまう。「物理教育研究」では、だれが教えても効果があるような学習方法を確立すべきであると主張している。

認知科学や脳科学の発達により、学習のメカニズムが明らかになりつつある。カリキュラム開発に当たって、これらの研究成果を取り入れるべきであると「物理教育研究」は主張している。

さらに、「物理教育研究」が学問分野となるためには、証拠に基づいて議論する必要があると主張している。

E. F. Redish による「物理教育研究」の入門書⁹⁾には、「物理教育研究」の成果が要領よくまとめられている。ここでは Redish が提唱している、認知モデルから得られる教育への5つの指針（原理）を紹介する。

- ①構成主義の原理：新しい知識はすでに持っている知識とのつながりを作ることで獲得する。教員は、学生が何を知っているのか、新しい知識を既有知識とどのように関連づけて理解しようとしているのかについて注意を払わねばならない。
- ②文脈の原理：課題への応答は文脈に依存する。物理的には同等だが、異なる文脈で出された問題、たとえば問題集にあるような理想化された状態での問題と、日常的な現象を日常的な言語で記述された問題とでは正答率が異なる。教員は、学習者が様々な文脈でも一貫したスキーマ（知識の連想パターン）を形成できるように支援すべきである。
- ③変容の原理：既存のスキーマに合致するかそれを拡張することを学ぶのは容易だが、確立されているスキーマを大きく変えることは難しい。新しい情報は情報の受け手が慣れ親しんでいる文脈に沿って提示されるべきである。
- ④個別性の原理：個々人はそれぞれ自分自身のやり方で知識構造を構築していくので、学生の学習スタイルは多様である。したがって、最良で唯一の学習方法というものはない。
- ⑤社会的学習の原理：ほとんどの学生にとって、最も効果的な学習は、社会的な相互作用によって行われる。「物理教育研究」では様々な授業方法が提案されているが、いずれも学生が能動的に参加する形態であり、学生どうしの対話を重視している。

2. 本学における物理リメディアル教育

筆者が工学部学習支援センターでリメディアル教育を担当したのは2011年度からであり、それ以降毎年少しずつカリキュラムに修正を加えていった。本章では、物理リメディア

ル教育の概要、参加学生の状況、授業方針や授業形態、成果などについて報告する。

2.1 リメディアル教育の概要

本学工学部のカリキュラムにおいて、1年次に履修する「物理学Ⅰ（力学分野）」および「物理学Ⅱ（電磁気分野）」は、主に機械システム工学科、電子システム工学科、情報工学科を対象として開講されている。これらの科目は、学科によって必修または選択となっているが、実際にはほとんどの学生が履修している。入学してくる学生の多くは高校時代、物理を履修してきており、物理学の授業もそのような学生を念頭に置いて授業が構成されている。一方入試制度の多様化により、全く履修してこなかった学生や、一応履修してきてはいるがほとんど理解できなかった学生もある程度おり、そのような学生にとって、物理学の授業を理解することにはかなりの困難を伴う。このような学生を支援するため、工学部学習センターでは「物理基礎講座」という名称で正規の授業を補う講座を開講している。また質問に来る学生に個別に対応するための「学習相談」も開いている。本稿では授業形式の「物理基礎講座」について述べる。この講座は正規の授業と同様、前後期とも15回実施される。ただし単位はつかない。同じ内容の講座が週3回開講されているので、学生は自分の都合の良い曜日、時間を選ぶことができる。基礎講座に1回でも参加している学生は30~50人程度いるが、継続的（2/3以上）に出席している学生は15~20人程度であり、物理学履修者全体の1割弱である（Fig. 2）。断続的にしか出席していない学生のデータは基礎講座の学習効果を反映しないので、以降に示す統計データは、継続的に参加した学生のみを対象としている。

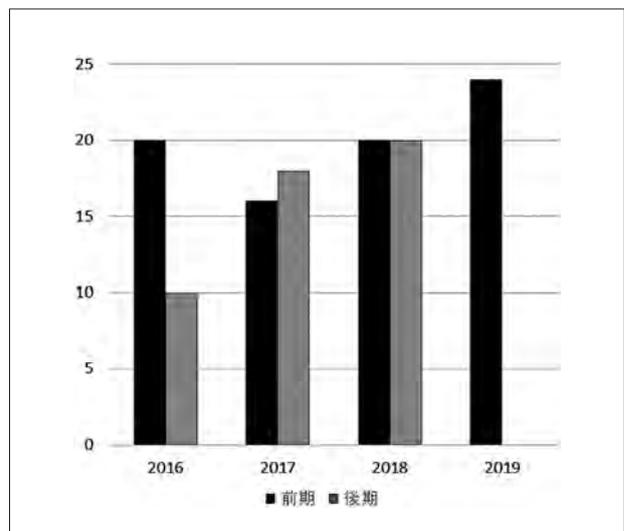


Fig. 2 最近4年間の基礎講座継続的受講者数推移

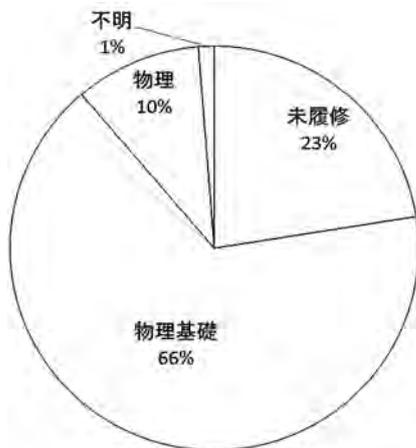


Fig. 3 基礎講座受講者の高校物理履修状況
2016~2019前期累計 N=80

基礎講座受講者の高校時代における物理履修状況は「未履修」や「物理基礎のみ」がほとんどであり、本来履修していることが望ましい「物理」の履修者はごくわずかにすぎない (Fig. 3)。したがって、基礎講座では高校物理の内容から始めなければならない。

学生の力学概念理解度を調査するため、本学では物理履修者を対象に、前述したFCIを使用して力学学習前の4月に事前調査 (プレテスト) を、力学学習後の7月に事後調査 (ポストテスト) を実施している。基礎講座受講生のプレテストの平均正答率は30%である。FCIには正答率60%あたりに閾値が存在し、この閾値以下の概念理解度では効果的に問題を解くことは不十分であって、そのような学生に対しては誤概念を考慮した授業をすることが本質的に重要であるとされている⁸⁾。なお、日本の理系大学生の入学時における正答率の平均は約60%である^{10) 注1)}。

科学的推論能力は物理を学ぶ上の根本的な能力である。科学的推論能力を調査するためのツールとしてローソンテスト (Lawson's Classroom Test of Scientific Reasoning: CTSR)¹¹⁾ がよく知られている。このテストは知識や概念ではなく、論理的に考える力を調査するものであり、多肢選択式の24問から構成されている。このテストの正答数と、ピアジェの発達段階との間には対応関係があるとされ、正答数により具体的操作期、形式的操作期およびその間の移行期に分類される。具体的操作期は具体的なものを見たり、具体的な経験があったりする場合に限り、論理的な思考が可能な段階である。形式的操作期は抽象的な対象に対して論理的な思考が可能であり、また仮設演繹的な思考が可能な段階である。日本の大学生は形式的操作期が4分の1、具体的操作期が1割であり、残りが移行期である^{12) 注1)}。この割合は、アメリカや中国でもほぼ同じである。一方、本学基礎講座参加者のうち形式的操作期に相当する学生は1割に満たず、具体的操作期に相当する



Fig. 4 基礎講座受講者の認知的発達段階の割合
2016~2019前期累計 N=78

学生は4分の1に達する (Fig. 4)。このことは、授業に際して具体的なものを見せたり経験をもとに考えさせたりするなどの工夫がかなり必要となることを示唆している。

2.2 基礎講座の構成

基礎講座の授業は、「物理教育研究」の成果を参考にし、また受講者の学習歴や認知的発達段階を考慮している。カリキュラム構成にあたっては以下の4項目を基本方針としている。

① 学生参加型授業

教員が望むようには、学生は物理を理解していない。そのような状況を改善するには、「彼らは何を考え、どのように学んでいるのかについてもっと耳を傾け、分析しなければならない」(参考文献9 p.11)。授業を学生参加型にし、学生が自分自身の考えを言語化し表現するような場面を作ることによってこのことが可能となる。また、自分の考えを説明し、他人の考えを聞くことによって理解を深めていく活動は、Redishの教育の指針の「社会的学習の原理」に示されているとおり効果的な学習方法である。

② 基本の重視

基礎基本が大切であることは当然であるが、どこまでさかのぼればよいのだろうか。学生の多くは小学校や中学校で学習する比例的思考を苦手としており、割合、当たりの量、グラフの傾き、比例、反比例などの理解があやふやなまま大学生になっているケースが多い。そのような項目が出てくるたびに基本に戻って考えさせることが必要になってくる。

速度、加速度、力、電場、電位などの基本的概念を獲得することは、初学者にとって容易なことではない。定義を示すことが理解に直結するわけではない。具体的な現象を通じて考えさせ、その後に言葉の定義を示すことが望ましい (idea first name afterwards)。また、一度学習した概念を定着させ

するためには、様々な文脈の中でその意味を振り返る場面を作ることが重要になってくる。概念理解が不十分でも計算問題は解けてしまうし、学生はそれで満足してしまうかもしれないが、そこに大きな落とし穴がある。

③ 多様な表現

物理現象を表現するには、図、グラフ、式、数値、言葉など様々な表現がある。それぞれの表現は現実の現象をモデル化したものであり、これらの間の関係を理解することは、自然に対する一貫性のある描像を構築することへの手助けとなる。学生に「問題文を読んで略図を描きなさい」という指示を出しても、文章から情報を拾い出して略図を描くことは難しい。現象をモデル化するような訓練はほとんど受けてこなかったためであると考えられる。授業では様々な表現の読み方や書き方の支援をしていく必要がある。

④ 具体的なイメージの提示

基礎講座に参加している学生の多くは抽象的な思考は苦手としているので、自分自身の経験や具体的な事物を手掛かりにして論理を組み立てていけるように支援する。具体物を扱うという意味で実験は重要であるが、その目的は正確なデータを出すことにあるのではなく（正確な実験は正規の授業の「基礎科学実験」で行われている）、概念を獲得することにある。実験で見せることが困難な現象については、動画を見せることも非常に有用である。

2.3 授業の流れ

授業構成に当たっては、2.2節で示した項目を念頭に置きながら組み立てる。ディスカッションをしやすいように、5人程度の班を作り、机を向かい合わせる。班の構成方法には、名簿順、異なる成績の学生を混ぜる、全く自由などがあるが、基礎講座では話をしやすいように自由に作らせている。典型的な授業の流れは以下のとおりである。

- ①基本的な内容（速度・加速度の定義、力の合成とつり合い、運動の法則、電場、電位など）の説明
- ②課題への取り組み（課題は1コマで数個程度）
 - (1) 課題の説明
 - (2) 個人で考えて意見表示（なるべく理由も挙げる）
 - (3) 班で討論
 - (4) 再度意見表示
 - (5) 教員からの説明（可能ならば実験、動画等提示）
 - (6) 必要ならば課題に関係する簡単な問題の練習

③授業の最後に理解確認問題の実施

④振り返りシートの記入（理解度・興味度の自己評価(5段階)、分かったこと、分からなかったこと、興味を持ったこと）
 このような形態の授業では、課題の設定が鍵となる。課題の選定にあたっては、既習事項や自分の経験をもとに考えることができ、かつ、つまずきやすい内容のものを選ぶ必要が

ある。難しすぎて学生の実情からかけ離れている課題や、公式に当てはめさえすれば答えが出てしまうような課題は好ましくない。学生が考えるに値するような課題を考えることが重要である。ILDs¹³⁾、McDermottのチュートリアル¹⁴⁾、仮説実験授業などの先行研究で開発されたカリキュラムにはよく考えられた課題が多く存在しており、積極的に採用している。教科書にあるような典型的な問題も、提示の仕方によっては良い課題となりうる。課題の形式には、選択肢を選ぶ、グラフの概形を描く、文章で説明するなどさまざまな形式があるが、いずれの形式でも答えを導いた根拠を書き、他者と意見交換することが求められている。

実際に授業をしてみると、選択肢を選ばない、選んでも根拠を書かない（もしくは書けない）、話し合いをしようとしなない、といったようなことは頻繁に生じる。学生参加型の授業を目指すといっても、その実現はそれほど容易ではない。このような場面で、いかに学生を励まし、授業に参加させていくかについてはある程度経験の積み重ねが必要になる。特に基礎講座に参加するような学生の多くは、これまで授業に積極的にかかわっていく経験があまりないため、学生へのはたらきかけが重要になってくる。ただし、教員は討論を促したり、論点を整理したりする役割に徹するようにし、正答に誘導するような発言は控えよう心がける必要がある。また、学生の発言を頭から否定することは厳に慎まなければならない。なお、議論がかなりずれてしまいそうな場合に軌道修正することは必要である。



Fig. 5 授業の様子（電場の学習）

理解確認問題と振り返りシートは、学生がどこまで理解しているのか、誤解していることはないかを知るうえで貴重な資料となる。教員は授業中のやり取りを通じて理解したはずだと思っけていても、学生は自己流に解釈してしまっている場合も多い。理解不十分と判断したときには、次の授業で補足説明をする。一方、理解したことを的確に表現していると思われるシートは、次の授業で書いた本人に読んでもらい、理

解の共有化を図る。これは書き方の見本を示すことにもなる。

2.4 課題例

実際の課題例と授業の様子を示す。この課題は、糸で連結した水平面上の2物体の運動方程式を学習したあとに実施した。

課題：次の(A), (B) 2通りのやり方で力学台車を引いた (Fig. 6)。

- (A) 質量 M の台車に糸をつけ、糸の他端に質量 m のおもりをつるした。
 (B) 質量 M の台車に糸をつけ、糸を(A)のおもりにはたらく重力に相当する力 $F (=mg)$ で引いた。
 (A), (B)の加速度の大小関係はどうなるか。

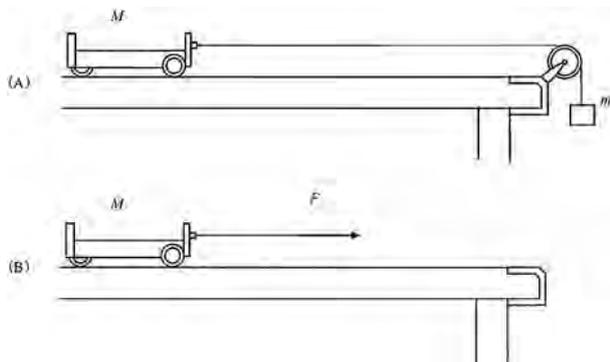


Fig. 6 課題例

課題のねらい：

個々の物体にはたらく力を見だし、運動方程式を立てられるようになること。

予想

- ア. (A)の方が大きい。
 イ. 両方同じ
 ウ. (B)の方が大きい。

数分間考えさせてから、挙手により1回目の集計を行った。

1回目 ア. 0 イ. 3 ウ. 3

イの意見：両方同じ力で引いているから。

ウの意見：(A)で糸が引く力を S とすると、 S が mg より小さくないと動き出さない。(B)では $F=mg$ だから $F>S$ 。

イの意見は、おもりにはたらく重力がそのまま台車にはたらくと考えている。ウの意見は、おもりにはたらく力に注目して推論を進めている。その後しばらく待っても議論が進みそうもなかったため、ウの意見を拾い上げ、黒板に描かれたFig.

6 (A)の中のおもりに重力 mg と糸が引く力 S 、台車に糸が引く力 S のベクトルを描き入れた。なお、糸の両端に結ばれた物体に糸がおよぼす力が(糸の質量が無視できれば)等しいことは直前に学んでいる。この図を参考にして班で討論するように促したところ、2回目の集計結果は以下のようになった。

2回目 ア. 0 イ. 0 ウ. 5

この日の出席者は7人だが、全員は手を上げていない。意見表明することは促すが、無理強いはいしない。実験の動画((B)は定力装置を使用)を見せてウが正しいことを確認した。

次のステップは運動方程式を立てて加速度を求め、(A)と(B)の比較することである。学生自身が運動方程式を立てられるようになることが望ましいが、連結された物体の運動を扱うのは本時が初めてであったので、教員が運動方程式を黒板に書いた。

(A) (B)それぞれの加速度を a, a' とすると

$$(A) \text{ 台車: } Ma = S \quad (1)$$

$$\text{おもり: } ma = mg - S \quad (2)$$

2つの式を連立させて解くと

$$a = \frac{m}{M+m}g \quad (3) \quad S = \frac{M}{M+m}mg \quad (4)$$

$$(B) \text{ 台車: } (F=mg \text{ と仮定したので}) Ma' = mg \quad (5)$$

$$a' = \frac{m}{M}g \quad (6)$$

式(3)と(6)とを比較すると $a < a'$ であるからウ.が正しい。

(A)で台車を手で押さえている間はつり合っているため $S=mg$ であり、手を離れた後は式(4)から $S < mg$ となる。このことを確かめるため、(A)の運動についてコンピュータ計測を行い、「力」対「時間」グラフ (Fig. 7) を提示した。

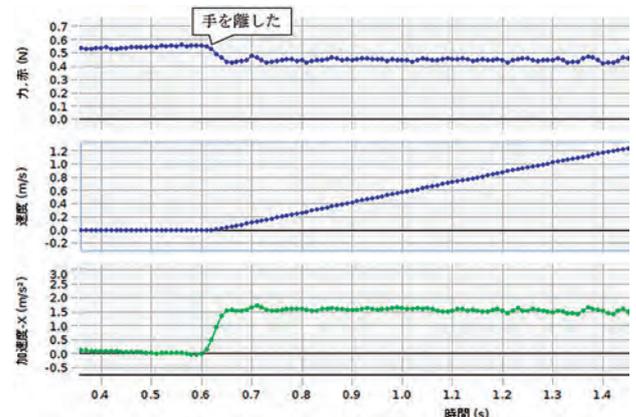


Fig. 7 力学台車の力、速度、加速度グラフ (横軸は時間)

以下は、この時間の授業の振り返りシートより抜粋した学生のコメントである。

学生a：運動方程式を立てるときには、その物体にはたらく力を探す。はたらく力は接触しているものと重力。動いているということは合力が0ではない。おもりと台車について別々に式を立てる。

学生b：直接触れていないと力はない。→どれを求めなくてはいけないか明確にする必要がある。押す力、引く力を見て連立方程式を立てればよい。

学生c： $ma=F$ を軸に問題から分かる情報をしっかり当てはめていくとその運動が詳しく分かる。 F が合力ということをちゃんと頭に入れて $ma=F$ を立てること。

他の学生のコメントもこれらとほぼ同様である。当日はこの課題を含め、運動の法則に関する4つの課題に取り組んだ。運動方程式の学習を始めてから3週目、ようやく物体にはたらく力を見つけて運動方程式が立てられるようになってきた。

2.5 授業の評価

カリキュラム開発は 開発→実践→研究と評価→開発…のサイクルでらせん状に進化していく。このサイクルでは評価が重要な鍵となるが、授業の効果を客観的に評価することは難しい。本稿では、「物理教育研究」で一般によく用いられている指標である、FCIの規格化ゲインを採用する。規格化ゲインとは、クラスの力学概念の理解度がどの程度進んだかを示す指標であり、プレテストのスコアによらずに授業効果を表しているとされる。規格化ゲイン g は次式で計算される。

$$g = \frac{\text{ポストテスト正答率の平均} - \text{プレテスト正答率の平均}}{1 - \text{プレテスト正答率の平均}}$$

「物理基礎講座」の規格化ゲインは0.3程度 (Table. 1) である。日本の基礎課程力学クラスの規格化ゲインの平均は0.08であり^{15) 注1)}、本学の正規の授業である「物理学I」(力学)の履修者全体の規格化ゲインもほぼ同様である。アメリカの大学のカリキュラムでは初年度の入門物理の授業時数がかなり多いため、日本のデータと直接比較はできないが、伝統的な講義中心の授業で0.1~0.3、アクティブ・ラーニング型授業で0.3~0.5と報告されている⁹⁾。

Table. 1 基礎講座受講者のFCI規格化ゲイン

年度	2016	2017	2018	2019
受講者数*	18	14	18	21
プレ正答率 (%)	33.5	27.9	29.4	27.9
ポスト正答率 (%)	47.2	49.5	51.3	51.6
規格化ゲイン	0.21	0.30	0.31	0.33

*継続的な受講者全員がプレ・ポスト両方を受けているわけではないので、この人数はFig. 2より若干少ない。

基礎講座受講者のFCIプレテストのスコアと個人ゲインとの関係をFig. 8に示す。個人ゲインとは、規格化ゲイン g を求

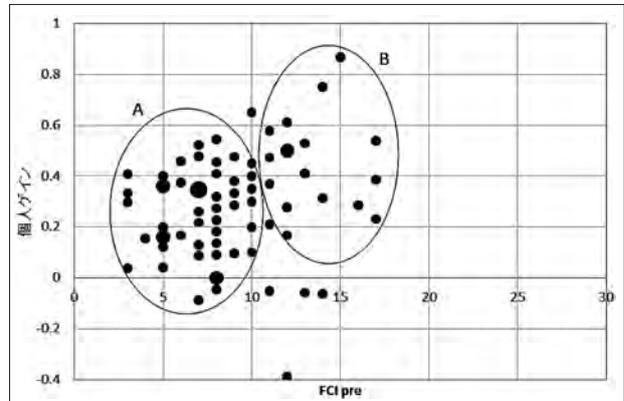


Fig. 8 個人ゲイン対FCIプレテスト (全30問)

2016~2019 累積 (黒丸の面積が人数を表す)

める式の「クラスの平均正答率」の部分に「個人の正答率」を当てはめたもので、個人の概念理解の伸びを示す指標である。

基礎講座には、入学時の概念理解がかなり不十分な領域 (FCIプレテストで30%以下, Fig. 8のグループA) に多くの学生が属していて、おもにこのグループに焦点を当てて授業を行っている。グラフからはこのグループの概念理解がある程度進んでいることが読み取れるが、それより理解度の高いグループ (FCIプレテストが30%以上のグループB) はより高いゲインを獲得していることがわかる。このことは、基本概念の理解に重点を置いた授業が高位層にも有効であることを示唆している。

基礎講座の目的は正規の授業との接続にあるので、基礎講座では基本概念を理解するとともに、定量的な問題を解けるようになることも求められている。2016年度より物理学I、物理学IIの期末試験が全クラス共通問題となり、物理学履修者全体と基礎講座受講者との比較が容易になった。Table.2に示すように、ほとんどの試験で、基礎講座受講者の平均は全履修者の平均を上回ることができた。さらに学年でトップレベルの成績を取る学生も現れてきた。

Table. 2 物理学の期末試験正答率 (%)

年度	2016		2017		2018		2019
	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期
全体	55.6	55.8	66.0	66.4	66.2	70.6	68.6
受講者	52.2	66.4	76.9	79.9	70.5	74.1	71.3

2.6 学生の感想

物理基礎講座は学生にどのように受け入れられていたのだろうか。そのことを探るために、年度末に書かれた基礎講座に関する感想文を2編掲載する。学生Aはマレーシアからの留学生で、機械システム工学科に所属している。母国では文系の学問を学び、物理はこれまで全く学習してこなかった。学生Bは情報工学科の学生で、高校時代は物理基礎までしか履修してこなかった。

学生A：(原文は英語) このクラス(訳注：物理基礎講座)の授業の様子は、通常の授業とはかなり異なっています。先生は学生をいくつかのグループに分け、お互いに協力しやすいようにします。この授業は、先生が私たちを正しい考え方に導くためのガイド役を務める、グループ学習のようなものです。したがって班の人たちが互いに意見を述べ合うことは難しくありません。各班の学生たちは解答を見つけるために協力し、先生が私たちに質問すると、私たちは答えます。しかし、もし班の5人の中で誰かが異なる答えや考え方を思いつくと、私たちはそのことについて話し合い、またその人に、どうしてそのように考えたかを聞きます。異なる見方から導き出された考えを知ることは、私にとってとても役に立ちます。なぜなら私の限られた物理の知識では、そのような答えは想像すらできないからです。

学生B：物理学の基礎講座を受けてみて良かったことは、物理基礎しか履修していない人でも分かるような基礎の基礎から教えてもらえることと、グループを作り意見交換や話し合いの時間が多かったことです。公式をただ覚えるのではなく、電場とは何か、磁場とは何かといったような定義から1つ1つ丁寧に説明してもらえました。そのおかげで物理基礎しか習っていないでも講座の内容についてこられました。意見交換を行い他の人の意見を聞くことで自分が理解していないところや勘違いをしていたところに気付くことが多かったです。また、自分なりの言葉で理由を説明することも多かったです。分からなくても自分で考えて自分なりの理由を説明する、そうすることで考える力を身に付け、理解が曖昧な部分を発見する。それがこの基礎講座の魅力だと思います。人に説明することは難しく理解をしていないとできないというのがよく分かりました。物理は文章を読むだけでは、どうしてそうなるのかわかりづらいところがありました。基礎講座では実験が多く行われ、実際に見て体験することで、イメージをつかむことが出来ました。特に電気や力学の分野において実験することで力の関係や電気回路などのイメージをつかむことが出来ました。

学生参加型授業の目標は、自分の意見を表明し、また他人の意見に耳を傾けることによって、様々な考え方があることを知り、人と意見交換をする中で徐々に論理的に整合性のある、首尾一貫した考え方を身につけていくことにある。学生Aはあまり物理が得意ではないが、感想文からこのことがある程度で実現できていることが伺える。学生Bの文章からは、2.2節で示した授業構成の基本方針のうちのいくつか、すなわち、「言語化」、「基本の重視」、「具体的なイメージ」などをかなり正確に理解していることがわかる。

3. おわりに

高校教員時代、学生参加型の授業(いわゆるアクティブ・ラーニング)を20年以上続けてきて、アクティブ・ラーニングに教育効果があることは分かっていた。FCIと同様の力学概念調査であるFMCEの規格化ゲインは0.5~0.7を得ることができていた。大学でリメディアル教育を担当することになっても、この基本方針は変わらないと考えた。大学の物理教育を主な対象とした「物理教育研究」で述べられていることが、高校物理での経験と一致することが多かったからである。ただし、学生の知識や学習意欲・態度などが今までに対応してきた高校生とはかなり異なっていること、大学では正規の物理学や専門科目との接続が重要となることなどから、今までの経験がそのまま生かせるわけではなかった。このような違いを意識しながら授業を構成し、学生の反応を見ながら毎年少しずつ修正を加えていった。その結果、学生に学習意欲とある程度の科学的思考力がありさえすれば、たとえ高校時代物理をほとんど履修していなくても、概念理解が進み、問題解法能力も向上することが明らかになってきた。

それでも基礎講座だけでは理解できない学生は毎年1~2名は存在する。そのような学生に対しては、基礎講座と同時平行して週1回程度の個別指導も行った。学生の学習歴、学習観、思考力などは一人ひとり異なっているので、それらを勘案して指導方法を考えた。正規の授業以外に基礎講座と個別指導を受けることは、学生にとってかなりの負担になる。それでも彼らは全員最後までやり通し、単位を取得することができた。

一方、授業がほとんど理解できていないにもかかわらず基礎講座に参加しようとする学生は一定数おり、そのような学生が単位を落とすケースも多い。学習意欲に欠ける学生をいかに取り込むかはこれからの大きな課題である。単位のつかない基礎講座に参加しようとするには、それなりの覚悟を持たなければならない。基礎講座に参加させるために何らかのインセンティブが必要になるのかもしれない。

最後になりましたが、カリキュラムの構成について相談に乗って頂いたり、データの収集に協力して頂いたりした鈴木康夫教授、関野恭弘教授に感謝いたします。

注1 参考文献10), 12), 15)は、JSPS 科研費 2682032 の助成を受けた、我が国の高校および大学初年時の物理教育の現状を探る「物理教育の現状調査プロジェクト」(代表：梶具博義)の成果の一部である。筆者はこのプロジェクトのメンバーの一員である。

参考文献

- 1) 山内恭彦 他訳, "PSSC 物理", 岩波書店, 1967

- 2) 原島鮮 他訳, “ナフィールド物理”, 講談社, 1969
- 3) 板倉聖宣, “仮説実験授業のABC—楽しい授業への招待” 仮説社, 1977
- 4) 「理科の授業づくり入門」編集委員会編著, “理科の授業づくり入門 玉田泰太郎の研究・実践に学ぶ”, 日本標準, 2008
- 5) K. Commings, “A developmental history of Physics Education Research”, A commissioned paper written at the requests of the national academies’ board on science education, Mar. 2011
- 6) 覧具博義, “物理教育研究の誕生とその背景”, 物理教育, Vol.64-1, pp.36-41, Mar. 2016
- 7) E. Mazur, “Peer Instruction: A User’s Manual”, Prentice Hall, New Jersey, pp.5-7, 1997
- 8) D. Hestenes, M. Wells, and G. Swackhamer, “Force Concept Inventory”, The Physics Teacher, Vol. 30, pp.141-158, Mar. 1992
- 9) E. F. Redish 著, 日本物理教育学会監訳, “科学をどう教えるか—アメリカにおける新しい物理教育の実践”, 丸善出版, 2012
- 10) 岸澤眞一他, “2014物理教育の現状調査・力学概念調査からの分析 (1): 全体の概況”, 日本物理教育学会年会 第32回物理研究大会発表予稿集, pp.57-58, Aug. 2015
- 11) A. Lawson, “The development and validation of a classroom test of formal reasoning”, J. Res. Sci. Teaching 15 (1), Nov. 1978
- 12) 谷口和成他, “2014-2016物理教育の現状調査Ⅲ—科学的思考力の現状—”, 日本物理教育学会年会 第34回物理研究大会発表予稿集, pp.19-20, Aug. 2017
- 13) D. R. Sokoloff and R. K. Thornton, “Interactive Lecture Demonstrations”, John Wiley & Sons, 2001
- 14) McDermott and P. S. Shaffer, “Tutorials in Introductory Physics”, Pearson, 2001
- 15) 長谷川大和他, “力学概念理解度調査から見てきた日本の高校および大学基礎課程での物理教育の課題”, 日本物理教育学会年会 第35回物理研究大会発表予稿集 pp.26-27, Aug. 2018

機械と笑い——物語が描く人と技術と自然(1)*

Machines and Laughter

—Understanding World Literature from the Sci-Tech Perspective (1)

大森 裕二 Yuji OMORI**

Abstract

The aim of this article is to see how science, technical arts, and technology are generally depicted in terms of their relations to humans and nature in world literature in a broad sense, including folk tales, myths, comics and movies as well as novels, short stories and plays. After examining the basic relations between humans, technical arts and nature in *Three Little Pigs* and Greek mythology, several thematic issues characteristic of the modern technological age, such as science and happiness or robotization and laughter, are discussed in several works in the 19th and 20th centuries.

Keywords : *Three Little Pigs, Rappaccini's Daughter, The Adding Machine, Modern Times*

1. はじめに

本稿は、二編から成る連作論文の第一部です。物語が描く人と技術と自然の関係性を考察することを目的として、民話、神話、小説、演劇、漫画、映画など、様々なジャンルからテーマに沿う古今東西の物語を素材に取り上げて議論します。第一部を成す本稿では、最初に『三匹の子豚』とギリシア神話を素材に、人間の技術が自然を支配するための手段として用いられてきたことを考察します。次に、近現代の小説、漫画、演劇、映画を幾つか紹介しながら、科学技術の発達によって生活の利便性が向上する一方で浮上してきたテクノロジーの時代に特徴的な主題群——科学／技術と人間の幸福、科学と公共性、科学と倫理、人間のロボット化と笑いなど——を概観します。

2. 技術力で立ち上がる人間

世界各地の子供たちに親しまれている民話『三匹の子豚』には、人間と技術と自然の基本的な関係性が簡潔に示されています。

昔々、三匹の子豚がいました。子豚たちは家を建てました。一番目の子豚はわらの家、二番目の子豚は木の家、三番目の子豚はレンガの家を建てました。そこに大きな悪いオオカミがやって来ました。「子豚くん、僕を家の中に入れておくれ」。「絶対に入れるもんか」、一番目の子豚は言いました。オオカミは「それならお前の家を吹き飛ばしてやる」と叫ぶと、ワらの家を吹き飛ばしました。一番目の子豚は木の家に逃げ込みました。「子豚くん、僕を家の中に入れておくれ」。大きな悪いオオカミは言いました。「絶対に入れるもんか」、二番目の子豚は言いました。オオカミは「それならお前の家を吹き飛ばしてやる！」と叫ぶと、木の家を吹き飛ばしました。二匹の子豚たちはレンガの家へ逃げ込みました。「子豚くん、僕を家の中に入れておくれ」。「絶対に入れるもんか」、三番目の子豚は笑顔で答えました。オオカミは「それならお前の家を吹き飛ばしてやる！」と叫びました。レンガ

の家はびくともしません。オオカミは考えました。「そうだ、屋根に上って煙突から入ろう!」。三番目の子豚はとても賢い子豚でした。暖炉で大きな鍋にお湯を沸かしていたのです。ドボン!「熱っ、熱いっ!」オオカミはそう叫ぶと、逃げていきました。三匹の子豚はいつまでも幸せに暮らしました。

子供向けの可愛らしい語り口によって緊迫感は薄れていますが、ここで語られているのは、命懸けの争いです。子豚たちはもちろん人間を表しています。太古の人間にとって、オオカミは動物の中でもとりわけ脅威の存在でした。丸腰で戦えば、人間は食べられてしまいます。食肉として世界各地の食卓で美味しく食べられている豚が擬人化されて登場することで、かつての野生状態における人間の弱い立場が上手に伝わります。そして人間がそのような危険な状態から脱するために技術を進化させ、安全で快適な生活圏を確保してきことが、ワラ、木、レンガ、という三種類の素材を用いた家を使って分かりやすく表現されています(図1)^①。オオカミが自然の強大な力一般を象徴していると考えれば、オオカミと子豚の



図1

* 原稿受付 令和元年11月19日

** 工学部基礎教育系列

対立は、時に台風や地震その他の様々な天変地異を引き起こして私たちの生活を脅かす自然と人間の対立関係一般を表すこととなります。そうすると、この民話は自然との戦いに技術力で対抗してきた人類の歴史そのもの、人類の技術の勝利の歴史を語っていると考えることができます。想像力を膨らませて、21世紀現代の「子豚」の多くは、エアコン完備の鉄筋コンクリートに住んでいる、などと考えるのも一興です。核戦争の脅威に怯えていた1970年代なら、地下シェルターに住む子豚もいるかもしれませんし、今から100年後の子豚は火星に住んでいるかもしれません。「レンガの家」以降の各時代の子豚たちが戦う敵たちにも想いを巡らせば、様々な物語ができあがることでしょう。

子豚たちが建てる家についてももう一つ注目しておきたいのは、堅牢性と遮断性に最も優れているのは三番目の子豚のレンガの家ですが、生物分解性に最も優れていてエコフレンドリーなのは、一番目の子豚のワラの家であることです。この点に着目すれば、人間の技術力の向上とともに環境問題が生じるであろうことも予想できます。オオカミに襲われることのない地域では、あえて「腐る家」を建てて、エコな生活をする「子豚」が増えていることも、最近の興味深い現象です。『三匹の子豚』を読むと、人間が技術力で自然を支配する構図だけでなく、そのような支配と被支配の関係性が孕む問題点も見えてきます。

3. 自然と人間の力関係の逆転

『三匹の子豚』では、子豚たちが勝利を取りますが、素朴な技術しかなかった太古の時代の人間にとって、動物や自然の力は圧倒的だったに違いなく、動物たちは神とさえみなされていました。ブライドッティ (Braidotti) らの簡潔な説明に従えば、動物たちは「働かなかったし、言葉を話さなかったため、人間よりも高次の存在とみなされた」ということとなります⁽²⁾。働かないことを理由に動物を偉大と考える発想は、労働を人間に与えられた根源的な罰とみなす文化圏に特有のものと思われ、動物が食料を得るために行なう様々な活動を労働とみなしてもよいかもしれませんが、いずれにせよ、神とみなされていた動物たちは、同時に「食糧、住居、衣料、道具、武器などの人間の生活必需品の全てを提供」してくれるありがたい存在でした⁽³⁾。オオカミは、熊と並び、多くの北方地帯で神性をそなえた超越的な「森の王」や「動物の王」とみなされました（日本語の「オオカミ」という語は「大いなる神」の含意を色濃く残しています）。しかし、その後、新石器革命によって農業と動物の家畜化が始まり、やがて国家の出現とともに「人間の王」が登場するようになると、動物たちの地位は下降することになります⁽⁴⁾。

動物が人間よりも偉大な存在とみなされた太古の時代から、技術を手に入れた人間が世界の主人として台頭してくる「人

間の時代」への移行を刻印する物語として、ギリシア神話に登場する古代ギリシア最大の発明家／技術者ダイダロスの話を取り上げます。よく知られた半人半牛の怪物ミノタウロスも、ダイダロスの発明品によって産み落とされました。概要は以下の通りです。

クレタ島のミノス王の王妃パシパエは、美の女神アフロディーテの呪いによって、白い牡牛に欲情を抱いていた。ダイダロスは王妃のために輝く黄色の目と象牙の角と音楽的な鳴き声を持つ素晴らしい木製の牡牛を作製した。パシパエは木製牡牛の中に入り込み、目的を成就した。その結果、ミノタウロスが生まれた。怪物誕生の経緯を知ったミノス王は、ミノタウロスとパシパエを迷宮に幽閉し、ダイダロスとその息子イカロスも迷宮の一角に住むことを余儀なくされた。ミノタウロスは毎年生贄を要求したが、生贄に扮して迷宮に忍び込んだ英雄テセウスに殺された。テセウスはダイダロスの考案した魔法の糸玉によって迷宮から無事に脱出した。

一方、ダイダロスは無数の鳥の羽根を蠟で固めて翼を作り、息子イカロスと迷宮からの脱出を試みた。ダイダロスは無事に飛行したものの、息子のイカロスは、父親の警告を無視して太陽の近くを飛びすぎたために、羽根を固めた蠟が溶けてしまい、海に墜落死した。

当時の技術レベルを反映して、この一節に登場するダイダロス作の「木製牡牛」、「魔法の糸玉」、「鳥の羽根を蠟で固めた

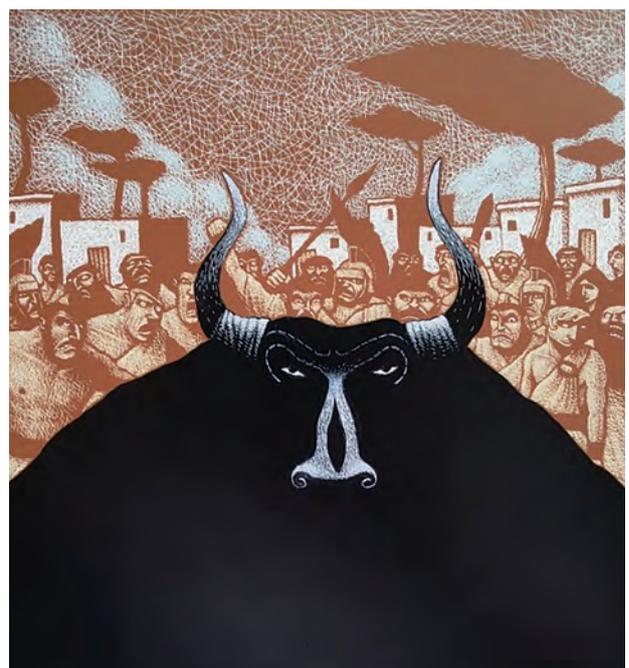


図2

翼」などの発明品は、どれも素朴で荒唐無稽なものばかりです。エヴスリンによれば、魔法の糸玉は「ひとりではほどけ、角を曲がり、道をしるすと、またひとりでは巻きもどって」きたことになっています⁶⁾。しかし、アポロドーロスの古い文献には、テセウスはあらかじめ迷宮の入り口の扉に糸の端を結びつけておいたので、ミノタウロス殺害後は糸を手繰って脱出することができた、と記されているだけですから⁶⁾、「魔法」というのは後の時代の脚色と思われる。現代の作家であれば、遺伝子工学、遠隔操作、ドローンなどの最新テクノロジーの知見に基づいた精妙な発明品を創案することでしようが、技術者の作るモノに魔術の入り込む余地がある点が、テクノロジーの進んだ私たちの時代のSF的作品とは異なります。

ダイダロスの物語で特に注目しておきたいのは、ダイダロスの技術援助によって誕生したミノタウロスが、「動物と人間のハイブリッド」であることです(図2)⁷⁾。鳥の羽根を固めて作った翼で飛ぶイカロスも、少なくとも外観は「鳥と人間のハイブリッド」です。普通の人間よりも高い能力を持つ存在が「動物と人間のハイブリッド」のイメージになるのは、動物が人間よりも高次の存在とみなされていた古代の影響と考えることができます。特に牛は、世界各地の古代文化において神聖な動物とみなされていました。ミノタウロスに生贄が捧げられるのは、牛を祀る古代文化の名残りと思われるのですが、生贄の風習もダイダロスの発明品の力を借りた人間の英雄テセウスの活躍によって終焉を迎えます。人身御供の廃止は、自然(動物)と人間の力関係が逆転したことを示す象徴的出来事です。つまり、ここでも『三匹の子豚』と同様に、全体としては、自然(動物)と人間の戦いにおいて、人間の側が技術力によって勝利を取める物語になっています。そもそもミノタウロスを誕生させたのも、迷宮に閉じ込めることを可能にしたのも、ダイダロスの技術のおかげでした。自然の力を徴発し、かつコントロールするのが技術の本質のひとつであり、ミノタウロスは自然に内在する強大な力そのものを見事に象徴しています。そしてミノタウロス誕生に人間の技術が関わっているという設定自体が、既に「人間の時代」が始まっていることを示しています。自然が強大な威力を発揮するための暗黙の前提として、人間の技術の介入が想定されているからです。

それにしても、古代ギリシア随一の発明家/技術者という触れ込みのダイダロスにしては、ミノタウロスもイカロスも、彼の考案した危なっかしい発明品のために翻弄され、不幸な末路を辿っているようにも見えます。太陽に近づきすぎて墜落したイカロスの物語は、今日では一般に人間の傲慢と技術批判の物語として受容されています。試行錯誤を繰り返し、多くの失敗に支えられて、人間の技術は進歩してきましたが、ミノタウロスの不幸な誕生やイカロスの事故死は、そうした

数多くの失敗を想起させる負の物語と言えます。同類の物語にはイギリスの作家メアリー・シェリー(Mary Shelly, 1897-1851)の『フランケンシュタイン』(*Frankenstein*, 1818)のような近代小説もあります。よく知られているように、理想的人間の創造を目指す科学者フランケンシュタイン博士は、動物の骨や肉を利用して人造人間を作ります。しかし、その結果、誕生したのは理想とは程遠い怪物でした。人工的に産み出された生命体が怪物になるのは、その時代の科学技術のレベルを反映しているだけでなく、生命を人工的に創造したり操作したりすることに倫理的な問題や躊躇があることにも関係しています。スパイダーマンや仮面ライダーなど、20世紀以降の映画やテレビに登場する「異種生物と人間のハイブリッド」型キャラクターの多くが、実験上の事故や偶然によって誕生したり、あるいは反社会的な悪の科学者集団によって創造されたりするのは、倫理的な問題を回避するための巧みな設定と言えます。

4. 負の科学者の系譜

これまでにない新たな発見や創造に取り組む科学者や技術者は、地動説を唱えて宗教裁判にかけられたガリレオ・ガリレイ(Galileo Galilei [1564-1642])がそうだったように、かつては世の中の常識とのあいだの軋轢に苦しむことも多かったに違いありませんが、時代を経るにつれ、科学者の物語は、世間一般の人たちの好奇心をそそる読み物として愛好されるようになります。『フランケンシュタイン』を始めとする、現代のSFの元祖と呼べるような作品群の登場です。その一例として、19世紀のアメリカの作家ナサニエル・ホーソン(Nathaniel Hawthorne [1804-1864])の『ラパチャーニの娘』(*Rappaccini's Daughter* [1844])を次に取り上げます。興味深いことに、フランケンシュタイン博士の場合と同様に、本作品に登場する科学者ラパチャーニ博士の研究結果も悲惨な結果をもたらします。概要は以下の通りです。

イタリア南部出身の青年ジョバンニは、北部の古都で大学生活を始める。間借りした家の窓からは隣に住む医学博士ラパチャーニの庭園が見えた。地元の人によれば、ラパチャーニ博士はこの庭園で毒性植物の毒から薬を作る研究に没頭しているらしい。庭園を眺めているとラパチャーニの娘ベアトリーチェが現れる。ジョバンニとベアトリーチェはたちまちお互いに惹かれ合う。だが、不思議なことが起こる。ベアトリーチェの近くを飛んでいた虫が地面に落下して動かなくなるし、ジョバンニが渡した花束はベアトリーチェの手の中で瞬く間に萎れてしまう。そんなある日、ベアトリーチェが大切に育てている植物にジョバンニが触れようとすると、ベアトリーチェは激しくそれを制止する。ジョバンニの手には、慌てたベア

トリーチェがその時に触れた指の形の痣ができる。ラパチャーニ博士の実験によって、博士が作り出した毒性植物の花の香りを生命の糧として生きてきたベアトリーチェは、自らも有毒人間となり、庭園の外の世界との繋がりを断って生きてきたのである。好意を寄せていたジョバンニにも毒が回ってしまったことを知り、ベアトリーチェは絶望して解毒剤を飲む。有毒人間ベアトリーチェにとって、解毒は死を意味した。ベアトリーチェは地面に倒れこも直前、恨めし気に父親に尋ねる——「なぜ自分の娘にこのような悲惨な運命を与えたのですか？」博士は答える——「国王ですら一息で屈服させられることが悲惨だということか。その美しさに匹敵する恐ろしさを併せ持つことが悲惨だということか。この世のあらゆる悪にさらされながら、何ひとつ悪をなすことができない弱い女でよいのか」。ベアトリーチェは「私は恐れられるのではなく、愛されたかったです」と言っており、地面に倒れ込んで、息をひきとる。

黒いローブを着るラパチャーニ博士の風貌は「若い頃ですら心の温もりが浮かぶことは決してなかつただろうと思わせる厳しさがあった」と形容され、彼をライバル視するバリオーニ教授は「自分の患者を新しい研究の実験台くらいにしか思っていない」と揶揄している⁽⁸⁾。「感情面に欠落のある科学者」のイメージはよくあるステレオタイプで、例えば、『スター・トレック』(Star Trek [1966-2016])に登場するミスター・スポックなどもこのタイプに属します。娘の将来を案じる不安や愛情のために、善悪の判断基準がおかしくなったラパチャーニ博士には、まだ血の通った人間性を感じることができますが、黒服をまとった科学者にさらに徹底した「悪の心」が加われば、仮面ライダーに登場する死神博士のような分かりやすい悪役キャラクターになります。そうなる数歩手前のところに留まる『ラパチャーニの娘』は、科学と倫理、科学と公共性、あるいは科学と幸福の関係性について、大人の読者にも考えさせる作品になっています。科学や技術は、本来、特定の個人や集団のためではなく、公共の利益のために資すべきであり、さもなくば幸福をもたらすどころか、むしろ災いの種となる可能性もある、ということがこの作品は示唆しています。

子を思う親心が発端にあるとは言え、結果的に実の娘を毒を吐く美しい「怪物」に変えてしまったラパチャーニ博士は、純粋な「悪の科学者」ではありませんが、少なくともフランケンシュタインに始まる「狂気の科学者」の系譜に属する人物と言えます⁽⁹⁾。そして本作品のさらに面白いところは、狂気を感じさせる人物がラパチャーニ博士だけではないことです。概要では触れませんが、ベアトリーチェが服用した解毒剤を用意したのは、実はバリオーニ教授でした。明朗かつ

「温かな性格」の持ち主と思われたバリオーニ教授ですが⁽¹⁰⁾、ラパチャーニ博士に対する対抗心は尋常ではありません。ラパチャーニ博士に医学を学んだベアトリーチェは「既に教授職に就任できるほどの学識を有している」という根も葉もない噂を信じ、「もしかしたらラパチャーニは、娘を私の後任にしようとして企んでいるのかもしれない！」と声を荒げることもありました⁽¹¹⁾。計画通り解毒剤をジョバンニに手渡したバリオーニ教授が含み笑いを浮かべながら心の内で密かに思う通り、イタリア医学界で名声を二分するライバルを挫折させる機会を虎視眈々とうかがっていたのです。そして本作品は、ベアトリーチェが倒れる様子を遠方から眺めていたバリオーニ教授の「恐怖心の入り混じった勝利の雄叫び」で締めくくられています——「ラパチャーニ！ ラパチャーニ！ これがお前の実験の結果なのか？」⁽¹²⁾。バリオーニ教授が解毒剤を用意したのは、表向きは有毒人種の繁栄を阻止するためであり、旧友の息子のジョバンニを助けるためですが、ただひとり有毒人間として取り残されたジョバンニは救われたとは言えない状況です。正義の名のもとに解毒剤を使った毒殺を見事に果たしたバリオーニ教授が罪に問われることはないでしょうが、私利私欲のために科学を利用している点においてバリオーニ教授もラパチャーニ博士と同様であり、その意味では彼もまた「狂気の科学者」だったのです。ラパチャーニ博士の狂気に比べ、バリオーニ教授の狂気はごくありふれた世間的狡知の暴走に過ぎませんが、それでも一人の人間の命を奪う破壊力をもつのは、彼が高度な医学的知識をもつ科学者であるからです。かくして二人の科学者の狂気を物語る本作品は、逆説的に、高い倫理性が科学者には求められることを伝えていると言えます。

5. 魔術と技術

動物神崇拝の時代から人間の時代へと移り変わった後、時代を経るにつれ、新たな時代の立役者として技術者や科学者が次第に物語上の重要な役割を果たすようになりますが、ギリシア神話のダイダロスの発明品のひとつが「魔法の糸玉」と称されていたように、魔術や呪術の類は、かつては現代の私たちが考える以上に実際的な知と技術の体系として信じられ、活用されていました。技術者と並び、魔術を使う人間、すなわち魔法使いの登場と活躍も、人間の時代を印象づける物語上の特徴のひとつと言えます。魔法使いの物語は、動物ではなく人間に尋常ならざる力を与える「人間のエンパワメント (empowerment) の物語」だからです。以下に取り上げる19世紀デンマークの童話作家ハンス・クリスチャン・アンデルセン (Hans Christian Andersen [1805-1875]) の『幸福の長靴』は、魔術と科学技術、そして技術革新と人間の幸福の関係性を描いた優れた作品です。物語の冒頭、仙女と悲しみという不思議な二人の登場人物が次のような会話を交わします——

仙女「実は、今日は私の誕生日なのよ。それでそのお祝いに、長靴を一足渡されて、それを人間の世界へ持っていくように言われたのです。この長靴には、不思議な力があって、誰でもこれを履くと、そのとたんに、その人の一番望んでいる場所なり、時代なりへ連れて行ってくれるのです。時と場所のことなら、どんな願い事でも叶います。これで人間もいよいよこの世で幸福になれる時が来たのよ」。

悲しみ「そう思うのは勝手だけど、その人はきっと幸福どころか不幸になって、長靴の脱げた時をありがたがると思うよ」⁽¹³⁾。

最初に長靴を履くのは、クナップ法律顧問官という人物です。宴会の席でクナップ氏は、当時「中世よりも現代のほうが優れている」と主張していた物理学者ハンス・クリスチャン・エルステッド (Hans Christian Ørsted [1777-1851]) の説を激しく攻撃し、デンマークの黄金期と言われるハンス王 (Hans [1455-1513]) の頃が最も幸福な時代であると熱弁をふるいました。帰り際、再びハンス王の時代のことを考えながら、クナップ氏は長靴を自分のものと誤って履いてしまったために、19世紀から16世紀初頭のデンマークに知らぬ間にタイムスリップしてしまいます。19世紀と違い、舗装されていない道を歩いた顧問官は、ぬかるみに足を取られます。街には外灯もなく真っ暗で、辻馬車を拾おうにも走っていません。街並みの家の大半は木の家で、ワラの家もまだかなりあります。当然のことながら、街の人々と話しても会話が噛み合わず、顧問官はすっかり辟易してしまいますが、偶然、長靴が脱げたことで無事に元の時代に帰って来ることができました。こうして顧問官は、自分がいかに幸福な時代に生きているかを実感します。もちろん、その幸福は技術の進歩の賜物です。

同様に、偶然長靴を履いた人たちが単なる思いつきに過ぎないような願いを、次から次へと叶えていきます。月を間近で見てみたいと思った夜勤警備員の魂は、たちまち月に移動しています。一方、彼の肉体は街で死んだ状態で発見されますが、遺体消毒をするために病院で長靴を脱がされたところで、魂が月から戻って息を吹き返します。「幾ら金を貰ってもこんな思いは二度とごめんだ」というのが警備員の実感です⁽¹⁴⁾。そしてその後、最後に長靴を履いた神学生は、「すべてのものの中で一番の幸福」を求めます⁽¹⁵⁾。すると神学生は故郷に舞い戻り、棺の中で永遠の眠りについてしまいます。宗教が今よりもずっと強い影響力を保持していた当時、一番の幸福はこの世で実現できるものではなく、天国に召されることでした。しかし、アンデルセンは、物語を以下のような悲しみの言葉で終わらせています。

悲しみ「この人は自分で死んだので、召されたのではあ

りません。この人の魂には、自分に定められた宝を掘り出すだけの力が、まだできていないのです。私が一つ望みを施してやりましょう」。こう言って悲しみは、学生の足から長靴を脱がせました。すると、眠りは終わって、学生は目を覚まして起き上がりました。悲しみは姿を消しました。同時に長靴も見えなくなりました。きっと悲しみは、それを自分のものとして持って行ってしまったのでしょう⁽¹⁶⁾。

時空間を自在に行き来することを可能にする長靴は、ドラえもん「タイムマシン」と「どこでもドア」の機能をあわせ持つ究極のアイテムです。アンデルセンの父親が貧しい靴職人で空想好きの読書家だったので、長靴がそのようなアイテムとして着想されたのでしょう。この作品を通じてアンデルセンは、魔法のような道具に頼っても幸福は得られない、というメッセージを伝えています。とは言え、最初に長靴を履いてタイムトラベルをした顧問官が実感したように、技術の着実な進歩のおかげで人間の生活が快適になっていることも一方でしっかりと描き込まれていますから、ここで否定されているのは、技術そのものではありません。酒席でクナップ氏が批判していた物理学者エルステッドは、1820年に電流が磁場を形成することを発見し、電磁気学の基礎を築き、その後のテクノロジーの発展に大きく寄与した人物です。そしてエルステッドは、アンデルセンの子供の頃からの良き理解者で、二人には深い親交がありました。エルステッドとの親交を通じて、アンデルセンは科学や技術の発展が人類の幸福に寄与することをよく分かっていました⁽¹⁷⁾。本作品の中で否定されているのは、科学や技術ではなく非科学的な魔法であり、アンデルセンは、魔法による飛躍を期待する愚かさを戒めていると言えます。このことは、例えば、ドイツの劇作家ベルトルト・ブレヒト (Bertolt Brecht [1898-1956]) の『ガリレオの生涯』(1939年)の主人公ガリレオが、太陽黒点の観測に臨む際の心得を弟子たちに以下のように語っていることから傍証されます——「いいか、君たちは一切の希望的観測を捨てて、観察しなければならない。(…)一足飛びに魔法の靴で7マイル飛ぶのではなく、かたつむりの歩みをすることだ」⁽¹⁸⁾。「魔法の靴」のそもそもの出自がアンデルセンにあるのか、ガリレオにあるのか、あるいは全く別のところにあるのか、定かではありませんが、少なくともブレヒトの時代には、魔法の靴は科学的精神とは対極にある精神態度のメタファーとして使われていて、現在では代表的な独和辞典にも掲載される慣用表現となっています。『幸福の長靴』は、魔術と科学技術を明確に分離し前者を否定する点において、科学技術の時代の本格的到来を予感させるファンタジー作品と言えるのです。

6. 未来の道具の二重性

前節で少し触れた藤子・F・不二夫（1933-1996）の『ドラえもん』（1969-1996）の未来の道具やエピソードの中には、アンデルセンの童話から着想を得たと思われるものが少なからずあり、「どこでもドア」と「タイムマシン」の発想の原点には「幸福の長靴」があることが既に指摘されています⁽¹⁹⁾。ドラえもんがポケットから出す数々の未来の道具は、願いごとを魔法のように叶えてくれる点でも「幸福の長靴」と似ていますし、『ドラえもん』という作品自体も『幸福の長靴』に似て、人間と技術の幸福な関係性をテーマとして追求している面があります。

『三匹の子豚』において子豚たちが技術の力でオオカミから身を護ったように、のび太はネコ型ロボットのドラえもんの道具の力で、ゴリラのようなジャイアン腕力や、キツネのようなスネ夫の悪知恵から身を護ります。野生状態であれば、人間やネコにとって、ゴリラやキツネは相当に手ごわい相手ですから、ここにも自然の力関係を技術で転倒する構図が背後にあることが分かります。自然の摂理の転倒の図式は、ドラえもんがネズミを怖がることにも可愛らしく表現されています。もちろん、「転倒」と言っても「ゴリラ」や「キツネ」が「ネコ」の助けを借りた「人間」に完膚なきまでに撃退されるようなことはありません。ドラえもんが行なうのは、子供たちの関係をできる限り対等に近づけて、よりよい友好関係を築く援助をすることです。つまり、技術（ドラえもん）は、人間（のび太）と自然（ジャイアンとスネ夫）のあいだに良好な関係を育むために存在しています。『ドラえもん』の背景にあるのは、『三匹の子豚』の技術観（自然を支配するための手段としての技術）とは異なるオルタナティブな技術観と言ってもいいかもしれません。ジャイアンとスネ夫をそのまま人間と解しても、人と人の繋がりを円滑にするのが技術（ドラえもん）の目的ですから、ラパチャーニ博士の目指すところともかなり違います。普段は小競り合いばかりしている子供たちが実は固い友情で結ばれている事実は、数々の映画版で大きな試練に直面した時に彼らが示す団結ぶりに明らかです。

特にこれといった取柄もないのび太ですが、あやとりが得意なことに暗示されるように、心の綾を知る繊細さや優しさは、それなりに備えています。そういうごく普通の男の子が、ドラえもんの道具という未来の科学技術の力を借りて日々の生活の困難を面白おかしく切り抜けて行くストーリー設定ですから、『ドラえもん』は、基本的に科学技術礼賛の物語です。ところが、個々の多くのエピソードは、必ずしも未来の道具への依存を全面的に肯定していません。「アンキパン」を食べ過ぎたのび太がお腹を壊してしまい、覚えたことをすっかり忘れてしまうエピソードが典型的に示すように、むしろ、道具を使ったことで新たな問題が生じる結末がオチになっている場合が多く見受けられます。こうしたエピソードは、便

利な道具に安易に頼り過ぎるのは、特にのび太のような成長期の子供にはよくない、というメッセージを巧みに伝えています。よく知られているように、のび太の子孫は「セワシ」と言いますが、彼の名前には、今よりも便利で豊かな社会を生きているはずの未来の子供たちが、もしかしたらせわしなく慌ただしい日々を送っているかもしれない、という作者の懸念が示されています。一方、「野比のび太」という名前に込められているのは、子供たちにのびのびと生きて欲しいというメッセージです。当然のことですが、アンキパンで大事なことを瞬時に暗記するよりも、じっくり学んでお腹を壊さないことのほうが、実は重要視されています。

このようなメッセージを極端な形で示したのが、第6巻収録のエピソード「さようなら、ドラえもん」です⁽²⁰⁾。映画『Stand By Me ドラえもん』（2014年）でも使われたエピソードなので、ご存知の方も多いと思いますが、このエピソードでは事情があって未来の世界にドラえもんが急きょ帰ることになります。のび太はドラえもんを心配させないために、道具がなくても一人でやっていけることを示そうとして、ポロポロになりながらもジャイアンに最後まで立ち向かっていく、という話です。子豚が猛獣に素手で立ち向かうようなものですが、ジャイアンは最終的にのび太のしつこさに根負けして退散し、ドラえもんは安心して未来の世界に帰っていきます。

最近、アンパンマンがバイキンマンを毎回アンパンチで撃退するのは、子供たちに暴力肯定を教えることにならないか、という議論が巷でありましたが、現実に正義はいつも実力で悪を排除するものですし、子供向けの勧善懲悪物語は現実をなぞるもので、暴力の全面的肯定とは全く異なります。自分の顔を食料として他人に分け与えることのできるアンパンマンは、虎に我が身を差し出す仏陀のようです。先ほどのパリオ二教授の怪しげな正義とは異なり、アンパンマンの正義は本物ですから、子供たちに誤解を与えるようなことはないはずです。もし誤解が生じる余地があるとすれば、それは、バイキンマンが悪役としてはお茶目に描かれ過ぎていて、そのようなバイキンマンに対するアンパンマンの正義の味方としての制裁が生ぬるいところに、つまり、勧善懲悪の物語としては善悪の峻別が曖昧なところにあります。

同様に、上記のドラえもんのエピソードも、現在の基準からすれば巷の物議を醸しそうではありますが、暴力を奨励しているわけでももちろんなく、大敵に立ち向かう勇気と成長期におけるフィジカルな鍛錬の大切さを説きつつ、便利な道具への過剰な依存を戒めることに作者の真意があります。先進技術が開く未来の素晴らしさを子供たちに想像させながら、一方で現実を着実に生きていくことの大切さを伝えるのが、『ドラえもん』の真のテーマです。ドラえもんの摩訶不思議な道具は、幸福の長靴に似て、実はリアリズムを教えるための道具として機能しています。『ドラえもん』が大好きな子供た

ちが怠惰な夢想家になったという話を聞かないのは、このためです。

日本の物語の伝統に照らして言えば、ドラえもんの四次元ポケットは、富を産み出す「打出の小槌」の現代版と考えることもできます。一寸法師は鬼から奪い取った小槌の力で、人並みの背丈の若者になりますが、その後、彼が小槌で出したのは、必要最小限の飯と金のみでした。『花咲爺』に登場する隣の欲張り爺が割れた瓦や瀬戸物しか手に入れることができなかつたように、昔話では強欲な人物に富や福がもたらされることはありません。妖怪研究で著名な小松和彦は、一寸法師が必要以上のものを打出の小槌で出し続けていたら「恐らく、ある時点で、今まで出した「富」をすべて失うことになったにちがいない」とし、打出の小槌は「欲を張らない者に「富」を授けてくれる呪具」であり、「望みをすべてかなえてくれるのではなく、むしろそうした際限のない人間の欲望を戒める呪具らしい」と述べています⁽²⁾。ドラえもんの四次元ポケットも同様です。便利な道具だからと言って、あらゆる欲望を安易に満たそうとしてはならない、という暗黙の前提があり、従って、のび太が欲を張りすぎた場合には、必ずオチが待っているのです。本稿の続編「沼底の精霊」で詳述しますが、打出の小槌は、古来の富の観念と結びついた古い技術観の象徴であり、打出の小槌と同様に機能するドラえもんの四次元ポケットも、古い技術思想の伝統をしっかりと汲み取っているのです。

7. 技術への依存と人間の劣化

ドラえもんがネズミを怖がる事実には、ドラえもんがネコ本来の野生を失ってしまったことも暗示されています。現代の飼ひ猫たちも既にそうですが、ドラえもんが作られた便利な未来の世界では、猫が狩猟本能を失ったところで全く不都合はないからでしょう。では、人間の場合はどうでしょうか。刻々と進歩する技術がもたらす利便性に依存し過ぎると、人間の能力全般は衰えてしまうのではないか——例えば、よく知られているように、メジャーリーグでも活躍した松井秀喜が読売巨人軍の若手選手だった頃、当時監督を務めていた長嶋茂雄は松井のバットが空を切る「音」でバッティングの良し悪しを判断し、松井自身も音で自分のバッティングの状態を見極めることができるようになったと言います。しかし、現在ヤンキースのアドヴァイザーを務める松井によれば、今の若い選手たちはデータと映像を重視するので、「音」に注目するバッティング指導を行なうことはないそうです。結果的によいバッティングの技術が得られれば、どちらのやり方でもよいのですが、このエピソードが示すように、テクノロジーへの依存度が高まるにつれて失われる能力は、様々な分野で存在するものと思われまます。

機械化が急速に進んだ20世紀初頭、アメリカの劇作家エル



図3

マー・ライス (Elmer Rice [1892-1967]) は、テクノロジー依存から生じる人間の劣化への不安を『計算機』(The Adding Machine [1923]) という作品で巧みに描いてみせました。『計算機』の主人公は、ゼロという無価値の象徴のような名前を持つ事務職員です。同僚にもイチ、ニ、サンと数字が名前として与えられているのは、彼らが個性を持たない画一的な労働力とみなされていることを強調するためです。ゼロは25年間、無遅刻無欠勤で真面目に勤務してきましたが、会社は効率化を求めて計算機導入を決定します。実際、タイプライターほどのサイズのデルトン社製計算機が行政機関や企業などに爆発的に普及し始めたのが1910年代から1920年代にかけてのことです (図3)。

ゼロはその煽りを受けて、上司から突然の解雇を告げられます。逆上したゼロは、その場で机の上に置いてあった伝票差しで上司を衝動的に刺殺してしまいます。物語は、死刑判決を下され処刑されたゼロが、死後の世界でも事務仕事のようなことを任せられ、最新の計算機を使って黙々と作業に従事している姿を描くシュールな結末を迎えます。最終場の舞台となるのは、死んだ人間を「新品同様に」修理して生の世界に送り返す再生工場⁽²²⁾、ゼロも間もなく新たな人生を再び始めるために生の世界に送り込まれることになっています。ある種の輪廻転生と言うとよく聞こえますが、作者の意図は、何度もリサイクルされる労働力に過ぎない存在としての人間像を提示することにあります。死後の世界でゼロを監督する立場にあるチャールズという人物の以下の言葉が、作者のメッセージを明確に伝えています。

チャールズ：お前は失敗作だ、ゼロ、失敗作。廃棄品だ。鋼鉄製の仕掛けの奴隷だ。動物としての欲求に素直に身を委ねることもない。そりゃあ、お前だって動いて、食べて、消化して、排泄して、生殖する。だけど、そのくらい微生物にだってできるさ⁽²³⁾。

面白いことに、作者が最も鋭い批判の矛先を向けているのは、会社がゼロを突然解雇したことでもなければ、ゼロが上司を刺し殺してしまったことでもありません。死後においてなお計算機に向かって単純作業を続けているゼロの仕事中毒ぶりを最も辛辣な嘲笑の的にしています。生前から仕事と生活のバランス (work-life balance) を著しく欠いていたゼロは、死後においては仕事と死のバランス (work-death balance) を失っています。これを作者が問題視し批判するのは、当時の資本主義社会では機械の導入によって単純化し、単調になった仕事に対して誇りも持てない、喜びも感じられない労働者が続出していたからです。計算機の導入がオフィスに著しい効率化をもたらしたように、工場では機械化による流れ作業組み立て方式 (assembly line) の確立が、労働環境に劇的な変化をもたらしていました。アメリカの大手自動車メーカー、フォード社の創設者ヘンリー・フォード (Henry Ford [1863-1947]) が1910年代に自社工場に導入し、広く普及した方式です⁽²⁴⁾。自動車1台を組み立てるのにかかる時間は飛躍的に短縮され、作業人員数の削減にも成功し、自動車の大量生産が可能になりました。これに伴い、組み立ての全工程に関わっていた職人的熟練労働者は去り、一部の組み立て作業に延々と従事する非熟練労働者が新たに大量に雇われました。当時の労働者の日給は、9時間労働で2ドル50セントほどだったようですが、フォードの自社工場では8時間労働で5ドル、破格の日給でした。あまりに単調な作業のために後を絶たない離職者をつなぎとめるためだったと言われます。高給を提供してくれたフォード社は良心的なほうで、街には劣悪な環境のもとに低賃金で長時間労働を強いる「搾取工場 (sweatshop)」が数多く立ち現れました。『計算機』の作者ライスも当時、工場見学で目の当たりにした労働環境に愕然とし、その体験が『計算機』執筆の動機のひとつになったと言われています⁽²⁵⁾。

仕事以外の生活全般においても、ゼロは生きている充実感もさしてなく、惰性的習慣の日々を過ごしていました。その姿は、まるでロボットのようなと言えます。機械化の時代に人間が機械化 (ロボット化) する、というテーマは、ライスの作品に限ったことではありません。人間のロボット化は、20世紀初頭のモダニズムの時代に広く共有されたテーマでした。

8. 機械化と喜劇

流れ作業組み立て方式を採用した工場で働く労働者の様子を滑稽に描いた喜劇映画として有名なのが、チャーリー・チャップリン (Charlie Chaplin [1889-1977]) の『モダン・タイムス』(Modern Times [1936]) です⁽²⁶⁾。ベルトコンベア上を流れてくる製品パーツのボルトを延々とナットで締めるのが、チャップリン扮する労働者の役割です。モニターで監視され、休憩もろくに与えられずに単純作業を繰り返しているために、



図4

チャーリーは丸いものを見ると何でも反射的にナットで締めたくてしまい、女性事務員の服のボタンまでナットで締めようとする始末です。それでも経営陣はランチ・タイムを短縮して更なる効率化を図るために「自動給食機械」の試作品を開発し、チャーリーはその実験台にされます。両手の自由を奪われて固定されたチャーリーの口に、スープや料理やケーキが機械によって自動的に運ばれますが、上手く機能しません (図4)。自動給食機械は壊れてしまい、導入は見送りとなり、結局、酷い目に合っただけのチャーリーの姿が笑いを誘います。

言うまでもなく、この場面の笑いには日本の「二人羽織」という芸に通じるものがあります。袖に手を通さずに羽織を着た人の後ろから、もう一人が羽織の中に入って袖に手を通し、前の人に物を食べさせたりするのが二人羽織という芸で、思うように物を食べられない姿が笑いを誘います。思い通りに物を食べられない姿の可笑しさは、現在も通用する鉄板ネタで、ダチョウ倶楽部のおでん芸もこの系譜に属します。チャップリンの自動給食機械の場面には「パイ投げ」の要素も含まれていますが、これも本来は美味しく食べるはずのケーキを期せずして顔面に食らってしまう姿が笑いの発生源になっています。

ヘンリ・ベルグソン (Henri Bergson [1859-1941]) は、笑いが生じるメカニズムの根本には「生きているものに貼りついた機械的なこわばり」があると論じました⁽²⁷⁾。「機械的」な行為とは、意思とは無関係に (繰り返し) 行ってしまう行為のことを言います。真剣に演説する政治家が何度もしゃみをすれば、聴衆は失笑するでしょうし、朝礼のために演壇に向かう校長先生がバナナの皮を踏んで滑ったら、生徒たちは笑いを堪えるのに必死になるに違いありません (もちろん、転んで大怪我をすれば、喜劇ではなく悲劇になります)。つい最近、北野武が天皇皇后両陛下に祝辞を述べる際、マイクに頭をぶつけるなどのお馴染みの小ボケを幾つか披露しまし

だが、あの至芸もフォーマルな場に相応しくない粗忽な振舞いを敢えて行なうことで、笑いを誘っています。意思をもって自律的に生きているはずの人間が、状況に柔軟に対応できずに機械的に反応してしまうと笑いが発生するメカニズムを巧みに利用しているのです。「お約束」と言われるくらい想定内でも、周囲の人々の口元は緩みます。もちろん、「笑わせている」のであって、「笑われている」のではないところが、先の例の政治家や校長先生とは異なるところです。

効率主義の下に機械化された20世紀初頭の都会的産業社会には、この種の笑いのネタに溢れています。ベルグソンの論を参照枠とした以下の解説は、『計算機』のゼロや『モダン・タイムス』のチャーリーが客席に引き起こす笑いの本質を言い当てています。

現代の人間は自動人形のように振舞い、自らの考えも自発性もなく行動しはじめる。家庭においても単に習慣で行動しているに過ぎない。人間の活動は時計仕掛けの規則性を帯びる。こうして、私たち人間は融通が利かなくなり、従って滑稽になる。要するに、人間はモノや機械に似てくると滑稽に映るのだ。笑いとは、従って、人間性を回復するための社会的身振りである⁽²⁸⁾。

チャーリーが笑えるのは、工場の機械生産システムの一部であることを強制された彼が、およそ人間らしからぬ機械的な振舞いを示すからです。先の『計算機』のゼロが読者や観客に嘲笑を引き起こすのも、時計仕掛けのロボットのように無遅刻無欠勤で勤勉だった彼が、会社の都合で文字通りモノのように扱われる様子が哀れでもあり、滑稽でもあるからです。コメディアンや作家にとっては、観客や読者を「笑わせる」ネタとしてありがたい面もありますが、「笑われる」当人にとっては、当然のことながら望ましい状況ではありません。

ロボットという言葉は、キャレル・チャベック (Karel Capek [1890-1938]) のSF劇『ロボット』(R.U.R. [1920]) において考案されました⁽²⁹⁾。この作品には、人間の代わりに労働をさせるために大量生産された人造人間(ロボット)が登場します。感情を持たず、一様に同じ顔をしたロボットたちは、人間よりはるかに効率的に仕事をこなしますが、やがてロボットたちは覚醒し、人間に反旗を翻します。このロボットのイメージの一部が、時計仕掛けの機械のように働く当時の労働者たちのイメージに由来することは言うまでもありません。

かくして20世紀初頭における人型ロボットには負のイメージがつきもので、ロボットのような人間は笑いの対象となることがよくありました。ドイツの哲学者マルティン・ハイデガー (Martin Heidegger, 1889-1976) によれば、近代以降の技術には、人間を人的資源として「倉庫から搬出される食材や木材と同様の何かにしてしまう」悪しき一面があります⁽³⁰⁾。

ゼロやチャーリーのロボットのような仕事ぶりを見ていると全くその通りと思えます。しかし、単調な仕事や危険を伴う仕事を人間の代わりに機械がしてくれる素晴らしい現実を生きている現代の私たちは、機械化やロボットの導入自体が害悪ではないことを既に知っています。当時の労働者たちの労働環境が劣悪であったがために、ロボットの人間の滑稽さや不気味さが強調されることになったのです。現代では「動物と人間のハイブリッド」型ヒーローと並び、ハイテク時代に呼応した想像力によって産み落とされた数多くの「機械と人間のハイブリッド」型のサイボーグ・ヒーローが、正義や友情や愛のために活躍しています。SF的作品における人型ロボットの地位は総じて大きく向上したと言えるでしょう。

9. 終わりに

『三匹の子豚』やダイダロスの神話が示していたように、太古の人類は技術力によって自然の脅威を克服し、かつての畏怖すべき動物神たちを玉座から引きずり下ろし、やがて世界の支配者に等しい立場に立つことになりました。近代以降は、科学／技術の飛躍的な発達のおかげで、人類はかつてない便利で豊かな生活を享受していますが、一方で、技術をめぐる様々な懸念や弊害が生じてきたことも事実です。ホーソーンが『ラパチーニの娘』で暗示していたように、強大な威力を持つに至った科学／技術を一部の人間が独占し、好き勝手に行使すれば、世界は大変なことになります。また、ライスの『計算機』やチャップリンの『モダン・タイムス』は、効率と利潤を追求するあまり、ロボットのように酷使される機械化時代の労働者を滑稽に描き出しました。ここに取り上げた作品の多くは、本来、幸福や豊かさ(富)をもたらすはずの科学／技術が人間に悲惨な状況をもたらす様子を時に悲しく、時に面白おかしく描いてみせています。このような逆転現象を回避するためのヒントを与えてくれるのが、『ドラえもん』を論じた第5節で触れたオルタナティブな技術観ですが、これについては第二部で改めて論じます。

注

- 1) 新垣結衣『三匹の子ぶた』東京：mpi, 2010年。
- 2) Rosi Braidotti and Maria Hlavajova, *Posthuman Glossary*. London: Bloomsbury, 2018, p. 35.
- 3) Braidotti and Hlavajova, *ibid.*, p. 35.
- 4) 中沢新一『緑の資本論』東京：集英社, 2002年, 44頁。
- 5) バーナード・エヴスリン『ギリシア神話物語辞典』小林稔訳, 東京：原書房, 2005年, 147頁。
- 6) アポロドーロス『ギリシア神話』高津春繁訳, 東京：2013年, 岩波文庫, 174頁。
- 7) ジャン＝コーム・ノゲス他『イカロスの夢』東京：小峰書店。

- 8) Nathaniel Hawthorne, "Rappaccini's Daughter" in *Hawthorne's Short Stories*. NY: Vintage Classic, 2011, pp. 208 and 211.
- 9) 八木敏雄『アメリカン・ゴシックの水脈』東京：研究社，1992年，186頁。
- 10) Hawthorne, *ibid.*, p. 211.
- 11) Hawthorne, *ibid.*, p. 212.
- 12) Hawthorne, *ibid.*, p. 234.
- 13) ハンス・クリスチャン・アンデルセン「幸福の長靴」, 『完訳アンデルセン童話集1』大畑末吉訳, 東京：岩波文庫, 2005年, 169頁。
- 14) アンデルセン, 前掲書, 186頁。
- 15) アンデルセン, 前掲書, 214頁。
- 16) アンデルセン, 前掲書, 215頁。
- 17) エアリング・ニールセン『アンデルセン』東京：理想社, 1983年, 167-181頁。
- 18) ベルトルト・ブレヒト『ガリレオの生涯』谷川道子訳, 東京：光文社古典文庫, 2015年, kindle版, 第9場。
- 19) 佐藤義隆『物語が伝えるもの——『ドラえもん』と『アンデルセン童話』他』東京：近代文藝社, 2017年, 47頁。
- 20) 藤子・F・不二雄『ドラえもん』第六巻, 東京：小学館, 1975年。
- 21) 小松和彦『鬼と日本人』東京：角川ソフィア文庫, 2018年, 63, 67頁。
- 22) Elmer Rice, *The Adding Machine in Three Plays*. New York: Hill and Wang, 1993, p. 57.
- 23) Rice, *ibid.*, p. 61.
- 24) Kat Eschner, "One Hundred and Three Years Ago Today, Henry Ford Introduced the Assembly Line: His Workers Hated It." *Smithonian.com*. December 1, 2016.
- 25) 松本美千代, 他『ドラマで観るアメリカ社会』東京：新水社, 2012年, 93頁。
- 26) Charlie Chaplin, *Modern Times*. CA: United Artists, 1936.
- 27) ヘンリ・ベルグソン『笑い』増田靖彦訳, 東京：光文社古典新訳文庫, 2016年。
- 28) Magda Romanska and Alan Ackerman. *Reader in Comedy: An Anthology of Theory and Criticism*. London: Bloomsbury Publishing, Kindle Version, 2016, p. 188.
- 29) キャレル・チャベック『ロボット』東京：岩波文庫, 1989年。
- 30) 池田喬, 他「表象・有限性・技術：フォーコーとハイデガー」『ハイデガー：生誕120年, 危機の時代の思索者』東京：河出書房新社, 2009年, 103頁。
- 31) 本稿は, 2018年度及び2019年度に拓殖大学の教養科目

『科学技術と人間』の一環として行なった講義に基づいている。

沼底の精霊——物語が描く人と技術と自然 (2)*

A Spirit at the Bottom of the Water

—Understanding World Literature from the Sci-Tech Perspective (2)

大森 裕二 Yuji OMORI**

Abstract

Following *Machines and Laughter*, this article aims to argue how science, technical arts, and technology are generally depicted in terms of their relations to humans and nature in literature. Particularly in this article, an alternative perspective regarding the above tripartite relationship is pursued in a Japanese folk tale (in comparison with Northern European stories of trolls) and Hayao Miyazaki's animation film *Spirited Away*.

Keywords: *Carpenter and Oniroku*, Troll, *Spirited Away*

1. はじめに

本稿は、文学が描く人と技術と自然の関係性を考察する二編から成る連作論文の第二部です。ここでは、第一部で述べた自然支配の思想と結びついた自然観や技術観とはやや異なる、オルタナティブな人と技術と自然の関係性を日本の昔話や映画を主たる素材に少し詳しく探ります。

2. 文化と自然を媒介する技術者

第一部「機械と笑い」の冒頭で取り上げた『三匹の子豚』は、技術力で自然に立ち向かう人間の物語であり、そこには人間と自然の対立関係が描かれていました^①。子豚たちが狼を家から締め出すことに見事に成功する物語の背景には、文化と自然を明確に分割する発想がありますが、これとは異なるオルタナティブな自然と文化の関係性を示唆する物語として、日本の昔話『大工と鬼六』を取り上げます。櫻井美紀の研究によれば、この昔話は、北欧の聖オラフ教会建立伝説を翻案した水田光の『鬼の橋』(1917年)という童話がその後、昔話化したものようです^②。1980年代に櫻井がこの事実を明らかにするまでは、古くからある純和製の昔話だと考えられていましたし、現在の日本でも昔話として広く親しまれています。外国由来のものが和風に変容されて国内で広く浸透することはよくありますが、20世紀に昔話の分野で同様のことが生じるのは珍しいことです。よほど日本の昔話として流布するにふさわしい何かがあるからに違いありません。北欧由来の物語であることをあまり意識しないで、まずは純粋に和の昔話として議論を進めたいと思います。概要は以下の通りです。

昔あるところに大雨が降るとすぐに橋が流されてしまう川があった。困った村人たちは相談して橋造りの名人の大工に頼むことにした。大工が流れの速い川を眺めていると、川から鬼が現れて、目玉をよこせば立派な橋を架けてやるという。翌日、大工が川に行くと、既に橋は半分できあがっていた。鬼は目玉をよこせば残り半分をつくってやると言うが、さすがに大工はうんと言えなかった。また翌日、川に行くと橋は完成していた。鬼が現れ

て、わしの名前をあてることができれば、目玉をあきらめてやると言った。大工は家に帰ってからずっと考えていたが、どうしても名前がわからない。大工はあてもなく山のほうに逃げて行った。山を歩いていると、遠くから子守歌を歌っているのが聞こえた。「はやく 鬼六めだま もってこないかな」。大工が翌日川へ行くと鬼が出てきたので、大工は「お前の名前は川太郎だ」とでまかせを言った。すると、鬼は喜んで「そんな名前ではない」と笑った。大工はまた「権五郎だ」と言った。「違う」。「大太郎だ」。「違う、違う」。大工が最後に「お前の名前は鬼六だ!」と言うと、鬼は姿を消してしまった。鬼六の架けた橋はどんな大雨でも流されることはなかった^③。

『三匹と子豚』のオオカミのように、鬼六は自然の強大な力を表していますが、オオカミが動物であるのに対して、鬼六は川に棲む超自然的な存在 (spirit) と考えるのが妥当です (図1)。鬼研究で著名な馬場あき子は、〈ぬし〉としての鬼の系譜を辿りながら、以下のように述べています。

池沼の〈ぬし〉としての竜であるとか、山や洞の〈ぬし〉としての猿とか大蛇とかいう認識が生まれてくるのは、かつてそれが広い地方一円の主神であったことがすっかり忘れられているのであって、たんに〈ぬし神〉は常住



図1

* 原稿受付 令和元年11月19日

** 工学部基礎教育系列

する場所だけを領有して特権を発揮するものであるという考えが定着したのである。このように、土地神としての大きな性格の認識が薄れ、一定の場所に古くから棲むもの、として固定され、縮小されてゆく〈ぬし〉の魂は、したがって安らがず、土地神としての正身ひざねをかくしたまま、隠然たる力を災いのかたちで発揮するようになってゆく…⁽⁴⁾。

馬場の解説を敷衍すれば、鬼六の場合も、川の神（川の主）が鬼に姿を変えて何らかの不満を表明しているものと考えられます。実際、鬼六は従来、「川を支配する水の神の零落した姿」として解釈されています⁽⁵⁾。水際に棲む蛇や龍や鰻が川の主になる伝承はよくあります。足の長い長い体をうねうねと動かす様子が川の流れるようだからでしょう。一方で、昔話において鬼が川の主として現れるのは珍しいことも指摘されています⁽⁶⁾。図1のように、現代の私たちは鬼というと赤や青の肌の色をした、頭に角の生えた大男をイメージしますが、鬼という語は元来、「今日でいう「化け物」と総称される異形の者たちを意味する語」で、その姿かたちも多種多様でした⁽⁷⁾。従って、鬼という語の本来の意味からすれば、鬼六が川の水の中から現れても何ら不思議なことはありません。また、太古の動物神崇拜の時代が遠ざかるにつれて、大蛇や龍よりも得体のしれない鬼のほうが恐ろしい存在と思われるようになった経緯もあります。そして何よりも重要な理由は、後に詳述しますが、橋を作る物語の展開上、やはり鬼が最適なのです。

村人たちが川に橋をかけようとしても、氾濫によって流されてしまうのは、川の主の不満の現れと解することができます。鬼六の不満の具体的な理由は語られていませんが、大工が鬼六の名前を知らないことにも表れているように、恐らく村人たちがかつては地域の神として崇められていたかもしれない自分の存在を忘れていて、不満の原因と考えられます。〈主〉を祀る祭礼やお供え物も当然、不十分もしくは皆無なのでしょう。もちろん、現実の自然災害を祈りで鎮めることは不可能ですが、自然に棲む霊的存在を想定することは、古来、自然と人間の良好な関係の維持に役立ってきた一面があります。植村花菜のヒット曲『トイレの神様』（2010年）にあるように、トイレにはキレイ好きな神様が棲んでいるとお婆ちゃんに教えられれば、トイレ掃除が苦手な女の子でも、毎日トイレをピカピカに磨こうとします。これと同様の好ましい変化が、大規模に生じることが期待できるからです——こんな風に言うと、「子供騙し」に聞こえるでしょうか。このような世界観は英語圏でアニミズムと呼ばれます。ブライドッティ (Braidotti) らの定義に従えば、アニミズムにおいては、人間以外の動植物や非生物を含むあらゆるものが生きた主体、あるいは何らかの行為主とみなされます⁽⁸⁾。近

代以降、アニミズムは非論理的思考としてすこぶる評判が悪く、非西洋圏の文化的伝統が貶められることにもなりましたが、環境問題がいよいよ深刻化し、長らく続いた「人間の時代」の人間至上主義を見直すべき段階に差しかかっている現在、アニミズムは哲学的、存在論的、あるいは倫理的な思考の枠組みとして、西洋でも再評価されつつあります。ジェームズ・キャメロン (James Cameron) 監督の映画『アバター』 (Avatar [2009]) の大ヒットや『ポケモンGO』 (2016年) の世界的流行などにもその兆しが見られます。

実験室の試験管の内部とは異なる生きた自然環境では、当然のことながら無数の不規則な現象が起こり得ます。あらゆるものが周囲との差異と関係性の網目 (network) の中で存在しているからです。このネットワークがあらゆるものに先行するのであり、その逆ではないと考えるのがアニミズム的存在論です。自然を対象化して支配するのではなく、世界は自然と文化の連続体 (the nature-culture continuum) と想定されます。動植物はもちろん、あらゆるものが主体だとすれば、環境問題は人類存続という目的論的な観点からではなく、むしろ倫理上の観点から捉えられることとなります。アニミズムを日常生活で徹底的に実践しようとするれば身の回りは禁忌に溢れ、あるいは厄介なことになりそうですが、実際のところ、身の回りのあらゆるものを生きた主体として常に実感できる現代人はいません。科学的合理主義に支えられた日常的意識がそれを阻んでくれるからです。それでもあらゆるもののネットワークからなる世界は、本質的に底抜けで「多孔的」であるため⁽⁹⁾、特定の条件下では、不可知の他者としての不思議な「生きた主体」に遭遇する場合も恐らくないことはない——その可能性を排除しないのが、アニミズムです。宮崎駿監督の映画『となりのトトロ』 (1988年) の中で、メイがトトロに会ったことを父親に伝えると、大学で考古学を研究しているらしい彼女の父親は、「メイはきっと、この森の主に会ったんだ。それは、とても運がいいことなんだよ。でもいつも会えるとは限らない」と優しく、でも真剣に答えています⁽¹⁰⁾。鬼六と大工の遭遇も、そのような突発的な偶然の出来事として描かれていますし、『ポケモンGO』は拡張現実 (Augmented Reality) の技術を使って、モンスターたちが世界に遍在する不確定な「孔」から出没する様子を巧みに演出しています。かつて自然に棲んでいたスピリットたちが管理の行き届いた現代の森や川に戻ることはまずありませんが、彼らは今も文芸や芸能や娯楽の領域を大いに活気づけています。

『大工と鬼六』にはアニミズム的な世界観における人と自然の関係性がよく表れています。「鬼の形相」は恐ろしいはずです。実際、目玉を要求する鬼六は、まさに「鬼のよう」です。「たま」は魂を意味し⁽¹¹⁾、鬼をめぐる説話には、魂の代替物としての何らかの「珠 (玉)」を人間とやり取りするモチーフが頻出します。大工の目玉もそのヴァリエーションのひとつ

つです。多くの場合、鬼と人間の対決は命懸けであり、目玉を賭ける『大工と鬼六』の場合も、もちろん真剣勝負です。それでも『三匹の子豚』のオオカミと子豚の敵対関係に比べ、鬼六と大工のやり取りはとてユモラスで、名前を当てさえすれば橋を架けてやると申し出る鬼は、オオカミに比べてずっと友好的です。鬼の名前を子守唄から知るくんだり、「目玉」と子どもの好きな甘い「飴玉」との可愛い語呂合わせも連想させ、「たま」のやり取りの緊迫感はさらに希薄になります。

大工が子守唄を山中で耳にして鬼六の名前を知るのは、多くの伝承上で、文化の中心から離れた周縁に位置する山のどこかに鬼が棲む異界（パラレル・ワールド）に通じる入り口があるとされているからです。川に現れる鬼の棲み処が山というのはおかしいと考える向きもありますが⁽¹²⁾、川上には山があるものですし、山と川は繋がっているものです。鬼が棲むような異界は、通常、浦島太郎の訪れた海中の異界「龍宮」での東の間の楽しいひと時が、人間の世界の一生分以上の時間に相当したように、人間の世界に比べて時間がゆっくりと流れています⁽¹³⁾。ちなみに亀は、その風貌と長寿と鈍い動作のために、しばしば人間とは異なる時空を生きる動物とみなされ、例えばゼノンの「アキレスと亀」のパラドックスに登場する亀も、足の速いアキレスと競走しても負けることはありません。動きが鈍く、甲羅の中に隠れる習性のある防御型動物の亀は、文字通り徹頭徹尾「弱者」に思えます。だからこそ、逆説的に、弱肉強食の現実世界を超えた異次元の世界を知るにふさわしい存在と想像されるのでしょう。

鬼六があつという間に橋を架けてみせたのも、異質な時間が流れる異界との時間差を利用したトリックです。人間の時間を基準にすれば、たった二日で橋を完成させたように見えますが、鬼は異界でそれ相応の時間をかけて橋を作ったのです。プライドottyらも「人間以外の主体にも世界を生成する力がある」と論じている通り⁽¹⁴⁾、この驚きの展開は、自然に宿る生成力と造形力を物語っています。森の主のトトロが、メイが庭に蒔いたドングリをあつという間に発芽させるのと同様です。彼岸と此岸を繋ぐ「橋」は異界への通路と考えられ、川の主の大蛇や龍に橋の上で出くわす伝承も少なくありません。川の主と橋は、そもそも因縁浅からぬ関係にありますが、さらに重要なのは、大工職人が鬼とみなされる習俗があったことです⁽¹⁵⁾。昔、「川の民」と呼ばれた河原周辺に住む様々な職能を持つ人たちの中には、架橋を得意とする下級大工もいました。先述の通り、鬼は元来、異形の化け物を指しましたが、やがて「川の民」のように賤民として社会の周縁に暮らす人たちも鬼と呼ばれるようになったと言われます。こうした下級大工たちを使って治水や架橋、土木業を行なう側の名匠と呼ばれるような大工は、鬼退治譚を語ることで、鬼に匹敵する腕前を主張し、自らの大工としての正当性を誇

示しました。茨木童子という鬼の片腕を切り落としたという伝説を持つ渡辺綱を始祖とする渡辺党がその好例で、渡辺党は治水や架橋などに従事する河川港湾労働者たちを束ねる支配者でした⁽¹⁶⁾。かくして「鬼とみなされた人々の諸属性が想像上の鬼のイメージ形成に作用し、それとは逆に、想像上の鬼のイメージが社会的存在としての鬼の諸属性やイメージを形成しているようなことがしばしば見られた」と言われています⁽¹⁷⁾。先述の『一寸法師』の鬼が本来は大工道具の小槌を持っていることや、大工職人が建てる家にはかつては必ず鬼瓦があったことなどは、大工と鬼の習俗上の深い繋がりを示しています。名匠と呼ばれる大工が鬼六に橋を賭けさせる設定は、このような習俗を見事に踏まえています。水田の原作童話が昔話として日本に広く浸透した大きな理由の一端はここにあると思われます。

技術論の観点からみると、鬼六が橋を作る展開には、アニミズム的な世界観に由来する古来の技術観が示唆されていると言えます。アニミズムの世界では人間の自然に対する一方的なアクションではなく、自然と人間のインタラクションが強調され、技術は双方にとって有益でバランスの取れた関係性（win-win relationship）の構築を目指して行使されるものと考えられます——第一部「機械と笑い」第5節で述べた「技術」としてのドラえもん立ち位置と役割と同様です⁽¹⁸⁾。言い換えれば、それは、事前に用意した設計図に従って自然を加工しながらも、現実に即して当初のプランを柔軟に変更することで自然との有効な妥協点を見出そうとするプリコラージュ的な技術です。日本の田舎の風景が自然と人間の共同作業の結実であると言われるのもこのためです。また、先に触れた「打出の小槌」が「人間の際限のない欲望を戒める呪具」に思えるのも⁽¹⁹⁾、このような技術観と関係しています。小槌は大工道具ですし、鬼と大工職人には深い繋がりがあったので、鬼が持っている打出の小槌とは、要するにアニミズム的な世界観において自然と文化の均衡を保ちつつ媒介する技術を象徴するアイテムです。富や福は古来、自然の内奥にある超越的領域からもたらされるものと考えられましたから、富や福を現出させる打出の小槌は、自然から際限なく富や福を徴発してはならないという技術倫理のもとに取り扱われなければなりません。そのことがよく分かっているために、一寸法師も貪欲に小槌を振り続けたりはしないのです。

『大工と鬼六』の大工は、突然現れた鬼六と交渉し、名前を知ることで窮地を脱しただけでなく、鬼六に橋を架けさせることに成功しました。人間同士の社交生活でも、まずは名前を覚えることから関係の構築が始まりますから、大工が鬼六の名前を覚えたことは、人と川のあいだにコミュニケーションの通路が開かれたことを意味します。人間が自然に対して一方的に働きかけるのではなく、インタラクティブな対話の通路が開かれたということです。このようにしてはじめ

て自然の生成力や造形力は活かされますから、架橋は鬼六という川の主の力を引き出した大工の手柄でもあります。鬼六を川に棲むスピリットではなく、大工仕事が得意な川の民と解すれば、川に精通した鬼六は、その流れや自然の諸力を巧みに読むことで架橋に成功したとも言えます。ポストテクノロジーの時代を描いた宮崎駿監督『風の谷のナウシカ』(1984年)のナウシカが巧みに風を読んでメーヴェを操るのに似て、その技術の背後で働くのは、事物を分割した上で再構成する「分別知」ではなく、主客未分の状態で全体を瞬時に把握する「無分別的な知性」に違いありません⁽²⁰⁾。いずれに解しても、『大工と鬼六』には自然を客体視せず、自然と文化の連続体の中で働く大工=鬼が体現する古来の技術観が語られているのです。

ハイデガー (Martin Heidegger, 1889-1976) も注目していたように⁽²¹⁾、ドイツ語で「建てる」を意味する *bauen* には、「(作物などを) 育てる」や「(場所に) 棲みつく」の意味があることを本節の最後に付記しておきたいと思います。現在では「棲みつく」の意味で使われることは少ないようですが、*bauen* の持つ複数の意味から類推できるのは、建造物には元来生命が宿るとされ、建造物を建てることは、本質的に農作物のような生命を育てる行為に近いこととみなされていたのではないかと、ということです。このような発想のもとでは、建築における人間の技術の役割は、建物の自発的生成を促す支援をすることになります。こうした技術観に照らせば、瞬時にドングリを発芽させるトトロと橋を建てる鬼六のあいだには、実は大きな差異はないことになり、*bauen* の含意は『大工と鬼六』が示すような技術観がかつてはヨーロッパにも存在したことを暗示しています。

3. 古来の技術者としてのトロール

さて次は『大工と鬼六』のもとになった原作童話に素材を提供した聖オラフ国王の伝説を取り上げます。北欧の何百という教会の建立譚として語られ、ノルウェー最大の劇作家ヘンリック・イブセン (Henrik Ibsen [1828-1906]) の『棟梁ソルネス』(*The Master Builder* [1892]) の重要なモチーフにもなっている伝説です。ヴァリエーションも多いですが、概要はおおよそ以下の通りです。

教会の建設中、高い尖塔部分を建てるのに苦労しているところへ、よそ者(トロール)がやって来て、援助を申し出る。ただし、教会を建て終える前にオラフが彼の名前を言い当てることができなければ、オラフの身を貰い受けると言う。オラフは山と谷を歩くうちに、偶然、トロールの妻と子供の会話を立ち聞きして、トロールの名前を知る。トロールが教会を今まさに建て終えようとしている時、オラフはトロールの名前を叫ぶ。すると、トロールは教会か

ら転げ落ち、死んで石になった⁽²²⁾。

トロールとは北欧古来の精霊です。姿かたちは多様で、大きさも巨人のトロールもいれば、小人のトロールもいます。自然が人間にとって畏怖すべき存在だった頃、深い森に覆われていたヨーロッパにも様々な精霊が棲んでいると信じられていました。科学や技術の進歩に伴い、自然を科学的観察の対象もしくは食糧や資源の単なる調達源とみなす合理的思考が強まるにつれて、自然に棲む精霊の類は、動物神たちの後を追うように姿を消していきます。科学や技術が発達する以前には、キリスト教も精霊たちの排除に大きな役割を果たしました。北欧には8世紀にキリスト教が導入されますが、すべての人々がすぐにキリスト教徒になったわけではありませんでした。それまではひとつの土着の信仰や習俗のもとに暮らしていた人々がクリスチャンと非クリスチャンに二分される状態が数世紀にわたり続くうちに、国教となったキリスト教のもとに土着の信仰は邪教となり、北欧古来の超自然的存在は悪魔化される運命を辿りました⁽²³⁾。北欧文学研究者の山室静も「昔の神々が悪魔ないし巨人の地位におとしめられて、巨人も神々も区別がつかないような状態を呈してくる。民話に度々出てくるトロールは、そのなれの果てとしてよい」と述べています⁽²⁴⁾。

ドイツ版教会建立譚で排除されるのは、トロールではなく文字通り悪魔で、「教会を建てる愚かな悪魔」が登場する類似の伝説はヨーロッパ広域に存在しますが、これらの伝説に登場する悪魔も、もともとは自然に宿る精霊であったと考えられています⁽²⁵⁾。上記の聖オラフ伝説では、トロールがキリスト教の聖者によって教会という聖域から排除され撃退されますから、トロールの役どころも、要するに「悪魔祓い」される悪魔です。悪魔を排除することによって浄められた教会の聖性と正当性が担保されるわけです。ちなみに、オラフ王が山や谷を歩くうちに聞き及んだトロールの名前は、筆者の調べた限りでは、「暴風雨」あるいは「頭蓋骨」です⁽²⁶⁾。暴風雨 (Vind och Veder) は自然災害ですし、頭蓋骨 (Skalle) は死を連想させます。どちらの場合でも、トロールが自然に棲む邪悪な存在とみなされていることは明らかです。転落死したトロールが石になるのは、トロールは光を浴びると石になるという伝承を連想させ、危険を顧みずにトロールと取引をして勝利したオラフによって、救済の光がもたらされたという結末を印象づけます。しかもトロールは勝手に転落死(事故死)したので、大声を上げただけで暴力を振るったわけでもないオラフ王には一点の非もありません。完全無欠の正義の物語の完成です。自然は排除すべき悪であり、子豚にとってオオカミが敵であるように、オラフ王にとってトロールは本質的に敵と想定されています。トロールの石化ほどアニミズムの世界観の終焉を端的に象徴する出来事はありません。西洋においてキリスト教が自然を支

配する思想にひと役買ったというのは、この意味においてです。このオラフ伝説の流布に伴い、深い森の中でトルルに出会ったら、神の名を口にして祈れば撃退できるという信仰がキリスト教信者たちに広まったと言いますから、信者たちにとってはとても心強かったに違いありません。日本にも神仏のご加護によって魍魎を追い払う『三枚のお札』のようなタイプの民話はたくさんありますから、そのこと自体は特別なことではありません。人と技術と自然の関係性を追う私たちにとって興味深いのは、そもそもなぜトルルが教会建設の援助を申し出るのか、ということです。実は、北欧には教会の他に、宮殿や城や橋などの建築物が超自然的存在によって建立されたという民話が数多くあるようです⁽²⁷⁾。例えば、日本の子供たちにも大人気の『三びきのやぎのがらがらどん』に登場するトルルは、橋の下に棲み、橋を通るヤギに因縁をつけます——「俺の橋をカタコトさせるのは誰だ！」⁽²⁸⁾。恐らくこのトルルは、鬼六と同様に、かつての川の主のなれの果ての姿であり、橋もきつと自分で作ったのでしょう。鬼六と違うのは、その結末です。名前を当てられた鬼六は、ヴァージョンによって捨て台詞を吐く場合、感謝の言葉を口にする場合、あるいは何も言わない場合など細部は異なりますが、姿を消すだけです。一方、この民話のトルルは、最後は一番大きなヤギに切り刻まれて、聖オラフ伝説中のトルル以上に壮絶な死を迎えます。鬼六とトルルが迎える結末の差は歴史としていますが、ここで第一部で触れた『アンパンマン』に登場するバイキンマンが迎える結末を思い起こせば⁽²⁹⁾、その差の意味がいっそう明確になります。バイキンマンは毎回アンパンチで撃退されますが、殺されたりはしません。遠ざけられるだけです。人間にとって厄介な害悪でしかないばい菌をキャラクター化したバイキンマンですら、殺さずに生かされますが、『アンパンマン』の作者は食品としての「アンパン」と「ばい菌」の共存・共栄を暗に主張しているわけでももちろんありません。これらの結末の差は、自然を制圧すべき悪の対象とみなすか否かの文化差を象徴的に示しています。

キリスト教の普及とともに、北欧の土着の神々や精霊はトルルとして矮小化・悪魔化されたことは既に述べましたが、改めて注目しておきたいのは、その変容過程の中で、日本において社会の周縁者が鬼とみなされるようになったのと類似の事態が、北欧でも起こったのではないかと想像されることです。ヤコブセンも述べていますが、つまり、キリスト教に改宗しなかった土着信仰を抱えたままの人たちは、トルルと同類の異人、あるいはトルルそのものとみなされるようになったということです⁽³⁰⁾。自然に畏敬の念を持つ文化の中で生きる人々ですから、彼らの中には、勝手知ったる土着の風土に合った土木、治水、建築の技術に長けた人々も多数いたことでしょう。教会の塔の部分を作ることには、職人的な技術が要求されるだけでなく危険が伴います。鬼とみなされた

日本の川の民と同様に、トルルとみなされた人々も危険な仕事を引き受けなければならない立場にあったものと想像されます。トルルによる建物建立譚が数多く残存する事実は、このような事情が背景にあったことを思わせますが、いずれにしても、こうした建立譚は、かつてはヨーロッパの土着習俗にも人間と自然のインタラクションに技術の本質を見る思想があったことを想像させます。建物建立譚に登場するトルルは、自然と文化を媒介する技術者であり、そのような技術思想を体現しています。動物神崇拜の時代が終わり人間の時代になっても、人間がモノを作るときに必要な材料も道具もすべて自然から得られるものであるという本質は、少なくともテクノロジーが高度に発達する以前の時代においては変わりませんでした。したがって、モノを作る技術者がトルルや鬼とみなされたのも当然と言えば当然です。かくして『三匹の子豚』が示す技術観とは異なるオルタナティブな技術観は、かつてはヨーロッパを含む世界の広域に存在したことが推測されますが、民話や伝説中のトルルの死や石化は、そのような技術観から現代のテクノロジーに繋がる『三匹の子豚』型の技術観への移行を象徴的に刻印する結末と考えられます。その他の民話に登場するトルルもことごとく悲惨な目に合います——多くの場合、トルルたちは日本の鬼同様に、棲み家に宝を隠し持っていますが、結末では主人公の人間に宝をごっそりと奪われてしまいます。こうした結末が、自然の完全支配と自然資源の全面的搾取という近代以降の事態を予感させることは言うまでもありません。このように考えると、スピリットとしての鬼やトルルは富の発生源としての超越的自然を管理する恐ろしい守護者と考えることもできますが、鬼が人間の貪欲を戒める呪具としての打出の小槌を持っていたのに対して、トルルは打出の小槌に相当するアイテムを持ち合わせていません。自然と文化の全体的均衡を考慮して行使される古来の技術思想は、多くのトルルの物語において既に明確な痕跡すら留めていないということです。もちろん日本にも『桃太郎』の場合のように、最後に人間の主人公が鬼の宝をごっそり持ち帰る話がありますが、桃太郎が鬼から奪う宝物は、江戸時代中期までは伝統的な打出の小槌や隠れ蓑などであったようです。

オラフ王の教会建立伝説には、プラトニズムの影響を指摘することもできます。F. M. コーンフォードによれば、ギリシアの思想はほぼ二つに分けられます——「一つは、進化論的なもので、世界は生命のように生まれ成長するという見方であり、もう一つは、創造説的なもので、世界は芸術作品のようにデザインされているという見方」です⁽³¹⁾。柄谷行人が述べるように、言い換えれば「生成 (becoming)」として世界をみるか、「制作 (making)」として世界をみるかに二分されるのですが、後者の立場をとるプラトンは「生成」に対して、「制作」をもって対抗する姿勢をメタファーとしての建

築」に見出ししていました⁽³²⁾。ギリシア人にとって「建築は、たんなる職人的な技術ではなく、原理的知識をもち、職人たちの上に立ち、諸技術をすべ、制作を企画し指導する者の技術」とみなされる一方で⁽³³⁾、職人的な手仕事を要する現実の建築家は軽蔑されていたと言われます。建築の実際は半ば「生成」であり、「生成」の偶然性と多様性に晒されているからです⁽³⁴⁾。前節での議論を踏まえれば、分別知のもとに行なうのが「制作」としての建築で、一方、無分別的な知性や勘を駆使しながら行なうのが「生成」としての建築です。トルロはもちろん、生成としての建築に職人的に従事する側です。しかし、既に見た通り、結末ではトルロの石化によってプラトンの「制作者」としてのオラフ王の偉業のみが燦然と輝きます。生成から制作へのパラダイムシフトは、自然を対象として客体視することなしには実現しませんから、この観点からみても、オラフ王の教会建立譚は、アニミズム的な世界における技術観の終焉と『三匹の子豚』的な技術観の始まりを告げる物語とみなすことができます。

教会建立譚とは対照的に、『大工と鬼六』の場合は、既に見た通り、「生成」としての建築があくまでも強調されていて、古来のオルタナティブな自然観と技術思想を色濃く留めているところに、日本の昔話としての「和風化」のプロセスを確認することができました。しかし、水田の童話が創作された時代から100年ほど経った現代では、テクノロジーのさらなる発達により、モノ作りの現場に生じる可能性のある偶然性や多様性すら、あらかじめテクノロジーで演出できますので、無分別的な知性を駆使する古来の技術が活躍する領域はますます限られてきているようにもみえます。

4. 人間と川の絆の物語

人間の生活は古来、川と切っても切れない関係にあるため、人と川の物語は、その時代や地域の文化的エッセンスや人々の暮らしぶりをよく映し出します。テクノロジーの時代を生きる現代人と川との（問題含みの）関係性を描いた物語として、最後に、宮崎駿監督の映画『千と千尋の神隠し』（2001年）を取り上げます⁽³⁵⁾。物語の冒頭、主人公の女の子、荻野千尋と彼女の両親は、便利な都会から郊外の引越先に向かう最中に、道を間違えてしまいます。舗装されていない山道に迷い込む場面は、彼らが「テクノロジーの普及以前の時空」に遡及する不思議な旅の途上にあることを暗示しています⁽³⁶⁾。しばらくすると、彼らの車は緑深いトンネルの入り口に辿り着きます。トンネルの向こうは1980年代のバブル期に建てられたテーマパークの跡地なのですが、通りの店先に並ぶ御馳走があまりに美味しそうなので、店の人間が留守なのにもかかわらず、千尋の両親は「来たら払えばいいんだから」、「カードも財布も持ってるし」と考えて、つい勝手に食べてしまいます。しかし、のちに湯婆婆が言うように、ここ

は八百万の神様が日々の穢れを落とすためにやってくる湯処を中心とする異界で、千尋の両親が食べてしまったのは、訪ねてくる神様たちのために用意されたご馳走でした。

大人になって改めて観ると、森を開発してできたテーマパーク跡地という場面設定が、冒頭から自然破壊と環境汚染のテーマを巧みに導入していることに気づかれると思います。千尋の両親がしたことは、神社のお供え物を盗み食いするようなものですから、罰当たりなことで、代金を払えば済むような話ではありません。ましてや、現代人の大規模な経済活動によって棲み処を奪われ、汚れ、疲弊しきった神様たちのためのご馳走です。二人は即座に湯婆婆の魔法によって豚にされてしまいます。二人のしたことは確かにいけないことですが、それにしてもあまりに重い罰です。千尋の両親はこのテーマパークの開発とは直接には無関係ですが、二人はあたかも金儲けのために乱開発を繰り返した人間たちの仲間として、ここぞとばかりに森（自然）の側からの手痛い報復を受けているようにも思えてきます。四駆の高級外車を乗り回して裕福そうな彼らが「食べられる側」の豚にされてしまうことで、普段は常に「食べる側」にある人間一般の傲慢や不遜や貪欲が、あらためて浮き彫りになるからです。

ちなみに、湯婆婆の湯屋が「油屋」と表記されていることに関して、作家の荒俣宏は油には伝統的に「悪霊やけがれを落とす力が認められていた」ことを指摘し、湯婆婆の湯屋が「罪とけがれを洗い流す聖水、つまり油」を売りにしているためだと述べています⁽³⁷⁾。なるほどと思いますが、「油」は、あるいは単純に「湯」の誤表記なのかもしれません。湯婆婆が漢字にあまり強くないことは、千尋が契約書に書いた「萩」の字が間違っていることに気づかない事実にも仄めかされています。宮沢賢治の『どんぐりと山猫』（1924年）の山猫が人間の字を書くことに不慣れなように、異界に棲む得体のしれない魔女の湯婆婆も、人間の文字を完璧に覚えているとはかぎりません。外国語で書かれた看板の表記に誤りがあることは現実にもよくあることです。異界であればなおさらです。いずれにしても、現実とは異なるパラレルワールドの不思議感が強まる演出です。

湯婆婆の支配する湯屋では、人間は働かない限り、ベーコンかハムにされて食べられるか、石炭にされます。つまり、ここでは人間が食糧が資源として消費されます。働くことを許された場合でも、千尋が千と呼ばれることになったように、人間は名前を奪われて別人として扱われます。本来の自分を忘れ、やがてはアイデンティティーを失うことになります。その昔、「神隠し」と考えられた事例の中には、人さらいによって別人として労働をさせられた場合も多かったことを連想させますが、それだけではありません。自然に宿る八百万の神様たちの存在が忘れられている現実とは逆に、ここでは人間が名前を奪われて正体不明の忘れられた存在にならなく

てはならない、ということです。宮沢賢治の『注文の多い料理店』(1924年)の世界に似て、千尋たちが迷い込んだのは、人間と自然の立場が逆転する世界で、したがって現実とは逆に、自然ではなく人間のほうが搾取されたり消費されたり酷使されたりするのです。自然に対して圧倒的な力を行使できるテクノロジーの時代に、千尋たちは人間と自然の力関係が現実とは反転した異界に迷い込んだということです。

千尋は両親を助けたい一心で、湯婆婆のもとで一生涯懸命働きます。強烈な悪臭を放つオクサレ神は、千尋の活躍によって穢れを落としてきれいになり、「さぞ名のある川の主」本来の龍の姿になって、砂金を撒き散らしながら帰って行きます。湯船に浸かるオクサレ神の体内から出てきたのは、釣り竿やら自転車やら、人間たちが川に不法投棄したゴミの山でした。どうやら投棄された自転車が川の流れを詰まらせ、川の水を腐らせる大きな契機となったようです。自転車の製造業者でも販売業者でもなく、所有者(消費者)に致命的な責任があることは当然ですが、自転車のようなエコフレンドリーな乗り物ですらオクサレ神誕生の原因になってしまうことを伝えるこの場面は、大量生産・大量消費のシステム自体に問題があることを仄めかしています。近年、シェアリング・ビジネスが世界各地で流行していますが、なかでも自転車のシェアは、その先陣を切って世界中の大都市で行なわれてきました。自転車シェアリング・ビジネスの創業者たちがこの映画からインスピレーションを得たかどうかは定かではありませんが、私有から共有へと価値観をシフトする人が増えれば、新たなオクサレ神の出現防止に貢献できるかもしれません。オクサレ神を真似て金をばら撒くカオナシの周りにあつという間にカエルや女たちが群がるように、問題の根底には際限のない人間の貪欲があるからです。湯屋で働くカエルについて宮崎駿が「背広を着ている日本のおじさんにそっくりでしょう」と述べている通り⁽³⁸⁾、現実を反転させたような異界は、かくして現実を合わせ鏡のように映し出しています。

カオナシが土くんで作った金をばら撒く場面は、ジョン・D・ロッカーダック(John D. Rockerduck)というディズニー・キャラクターを連想させます。日本では東京ディズニーランドにも登場しないレア・キャラですが、石油王のロッカーダックはお金持ちで、自惚れが強く、傲慢で、見栄っ張り、新品の硬貨を街でばら撒く習慣があります。その名前からも察せられる通り、ロッカーダックは人類史上最大の富豪と言われるアメリカの石油王ジョン・D・ロックフェラー(John D. Rockefeller [1839-1937])を戯画化したキャラクターで、硬貨を撒くロッカーダックの癖も、ロックフェラーの有名なエピソードに基づいています。スタンダード石油(Standard Oil)を創業して巨万の富を築いたロックフェラーには、出会った人に5セント硬貨を渡す習慣がありました。「5セントは1ドルの年利なのだから、たった5セントでも軽んじるべきではな

い」ということを伝えたかったからだと言われています。誤解のないように予め断っておきますが、ロックフェラー個人は慈善事業家としても活躍し、超人的な社会貢献をした立派な人物でした。利子の重要性を説きながら硬貨を分け与える彼のエピソードにここで注目するのは、以下のような資本主義の成立事情を考えると、それが極めて象徴的な行為であることが分かるからです——かつては、西洋では利子付きの金の貸し借りは罪深い悪徳とみなされていました。利子に対する偏見が取り払われたのは、中世になって商人や起業家が活躍するようになり、彼らが牽引するプロテスタントの教義においても「利子付きの借金が神の計画の一部として」受け入れられるようになったためです⁽³⁹⁾。こうして利子(利潤)に基づく資本主義という新しい経済システムが誕生すると、金＝貨幣観に変化が生じます。アリストテレス以来、「金は金を生まない」とされてきた伝統的な貨幣観は崩れ、「金は金を生む」ことになります。かくして金は必要なものを手に入れるための交換手段であるだけでなく、金自体を得ること、つまり金儲けが目的化しました。

これに伴い、富の観念にも変化が生じます。既に述べた通り、古来、富は自然の内奥にある超越的領域からもたらされるものと考えられてきましたが、貸金(親としての金)が利子(子としての金)を産む資本主義の成立後、人間社会の外部に富の発生源を措定する伝統的な考え方は大きく揺らぐことになりました。富は資本主義システムという人間社会の内部で増殖するという通念が生じたからです。このようなシステムの中で人類史上最大の富豪になったのが石油王ロックフェラーですから、利子の重要性を説きながら誰彼となく硬貨を与えるロックフェラーの姿は、「資本主義の王」の振舞いとして極めて象徴的なのです。動物神崇拝の時代が終わった直後に出現した古代の王は、自らの神的な権威を誇示するために、野獣に乘ったり動物を模した装飾品で着飾ったりすることで動物(自然)との繋がりを強調しました。しかし、私たちの石油王は、もはや虎の威を借る必要はありません。石油が自然資源である事実にも関わらず、資本主義というシステムの中で大成功を収めた石油王には、富や力の源泉としての自然との繋がりを強調する必要はなく、利子の重要性を説くだけで十分なのです。ロックフェラーが設立したスタンダード石油の「スタンダード」に「規範」の意味があることもまた象徴的です。資本主義システムが生んだ最強の勝ち組であるロックフェラーは、資本主義の「規範」であり、その意味で彼は神話的存在なのです。神話の人物としてのロックフェラーの浸透度は、例えば、アメリカの劇作家ユージーン・オニール(Eugene O'Neill [1888-1953])の作品に「スタンダード石油」という名前の会社を経営する巨大資本家のことが「アメリカの王」として言及される事実などにも確認することができます⁽⁴⁰⁾。ロッカーダックと同様に、オニールの作品でも石油

王の富豪ぶりが戯画化されています。文学作品や漫画で神話的な「資本主義の王」の戯画化が生じるのは、誰もがこぞってマネー・ゲームに奔走するような社会が望ましくないことが、歴史上、幾度も証明されていることと無関係ではありません。『千と千尋』の時代背景にある「バブル経済の繁栄とその破綻」も、もちろんそうした歴史上の出来事の一例です。

以上のことを踏まえると、土くれでできた金を誰彼となく分け与えるカオナシは、神話的な石油王が体現する精神をさらにグロテスク化した「資本主義の化け物」としての一面をもっていると考えられます（ひょっとすると湯婆婆の湯屋が「油屋」と表記されているのは、このことにも関係しているのかもしれないと勘ぐりたくります）。湯屋の従業員でも客でもないカオナシは、現実と異界の境界領域をさまよう存在です。千尋がカオナシに初めて出会う場所が「橋」の上であることが、現実にも異界にも居場所のないカオナシの境界領域性を象徴しています。居場所も顔も仕事も語るべき言葉も持たない正体不明のカオナシはあてどなく孤独にさまよい、隙あらば金の方で欲望を満たすだけの存在です。カエルたちを金で誘惑して呑み込み、ご馳走を次々と平らげて肥大化する姿は食欲そのものです。カオナシの手の平から湧くようにして金が出てくる場面は、「泡銭 (easy money)」の禍々しさを見事に表現しています。その不気味さは海外のアニメファンたちにも広く浸透しているようで、コスプレイベントなどにカオナシが出現して金を渡そうとしても、来場者は絶対に受け取らないと聞きます。

富をもたらすことができる点においては、カオナシは打出の小槌を手中に収めているに等しいですが、カオナシには打出の小槌が含意するあらゆる価値が欠けています。食欲を戒める心も持ち合わせていませんし、技術や労働の価値も知らないからです。その大盤振る舞いは、当初は湯屋の従業員たちを狂喜させますが、カオナシがくれたのは土くれでできた金ですから、当然、湯屋に「大赤字」をもたらす結果になります。言い換えれば、カオナシは湯屋を舞台に「バブル経済の繁栄と破綻」を再演してみせているのであり、カオナシの暴走は、人々の富への欲望を糧に際限なく自己増殖する資本主義の運動をグロテスクに体現しています。

親元から離れて働くことを体験して、いつの間にか成長した千尋は、カオナシを諭すように言います——「あなたは来たところへ帰ったほうがいいよ。わたしが欲しいものはあなたには絶対に出せない」。千尋の機転でニガダンゴを食べたカオナシは、呑み込んだものを吐き出し、やがて元のおとなしい姿に戻ります。そして千尋を追いかけて銭婆を訪ねる各駅列車の旅に出たのが幸いし、銭婆のお手伝いとして残ることになり、仕事と居場所をいっぺんに確保します。カオナシが家事手伝いになるのは、英語で「経済」を意味する「エコノミー (economy)」の語源がギリシア語の「オイコノミア

(oikonomia)」にあることを考えると、極めて示唆的です。オイコノミアとは「家庭を運営し管理するための法則」という意味です。バルファキスが論じるように、市場社会が誕生する以前、多くの生活必需品は市場の外で生産されていました。地域社会の人々は、家族が家事を分担するように、様々なものを作り、互いに助け合いながら必要なものを交換し合っていました。当時の地域社会は大家族のようなものであり、オイコノミアとは、そこで行われる「家族的な」生産や交換の活動を指す語でした⁽⁴¹⁾。彼らが行なう交換は商業的な取引とは異なり、日頃の人間関係から生じる信頼に基づきますから、彼らが作り交換する物は、生産者の顔の見えない現代の多くの商品とは全く異なります。人間の経済活動の原点には、このような家族的な絆に基づく物資の交換があり、経済活動とは元来は人と人の絆を強化するコミュニケーションの形態のひとつでした。

したがって、銭婆の家事手伝いをするようになったカオナシは、言わばこのような経済活動の原点に立ち戻ることになるわけです。「魔法で作ったんじゃないなんにもならないから」と言う銭婆を手伝って、カオナシはテクノロジー以前の素朴な糸車を使って千尋のために髪留めを作ります。もちろん、それは商品ではなく、ギフトです。先の場面ではカオナシに差し出された金も御馳走も受け取らなかった千尋は、出来上がった髪留めを湯婆婆から受け取ると、目を丸くして「きれい」と呟きます。糸を紡ぐ行為は人の絆や連帯の象徴ですし、資本主義が産んだ化け物としてのカオナシは、かくして人と人を繋ぐ贈与的交換としての経済活動や、物を作る生産技術、そして労働の本来のあり方に触れます。「二人で一人前」のはずの双子の魔女が反目し合っている事実は、オイコノミアという語が示唆する人間の諸活動の原点がすっかり忘れ去られていることを暗示していますが、その名前とは裏腹に、「銭婆」のほうが金銭では測れない価値を教えてくれるのも、理詰めでは計り知れない異界の不思議さを醸し出しています。

千尋はどうやら知らぬ間にカオナシを「来たところ」へ導いていたようです。彼らが降り立つ六番目の駅「沼の底」という駅名も、そのことを暗示しています。そもそも橋の上にふっと現れたカオナシは、その昔はどこかの水辺の霊であったことを想起させますし、細長いその姿は龍に似ていなくもありません。そして何より重要なのは、人間世界の外部からもたらされる富という古来の観念において、そのような「外部」と人間世界を繋ぐポータルとして想像された場所のひとつに、川や海の底があったことです。龍宮城が水底にあるのもその一例ですが、ここで最も参考になるのは、ギリシア神話のミダス王の黄金伝説です。ディオニュソスに願い事を叶えてもらったミダス王は、「触れるものすべてを金にする力」を手に入れます。ミダス王は当初は身の回りのものを次々と金に変えて喜んでいますが、最愛の娘を金にしてしまったこ

とで、ようやく自分の愚かさに気づきます。ディオニュソスの指南によってパクトロス川で身体を洗い清めたミダス王の魔力は解け、以来、パクトロス川は砂金の産地となった、という伝説です。この伝説でも際限のない黄金欲は否定され、金は人間世界の外部の領域へと戻されます。「黄金欲を糧に巨大化する資本主義の化け物」から「糸車を操る沼底の家事手伝い」になるカオナシの変容にも、同様の神話的思考が働いていることは明らかでしょう。既に見た通り、千尋とともに赴いたカオナシの各駅列車の旅は、経済、技術、労働、富の起源に立ち戻る原点帰郷の旅に他ならなかったからです。本作品の影の主演としてのカオナシの物語は、こうして終わります。

オクサレ神を救い、カオナシを沼底へ戻してやった千尋は、最後にハクを救う大活躍を見せます。ハクの本当の名前はニギハヤミコハクヌシという名前の川の神様で、幼い頃、その川で溺れた千尋を浅瀬まで流して助けてくれたのがハクでした。川のあった場所には既にマンションが立ち並び、川は暗渠とされたのか、埋め立てられたのか、既に存在しません。ハクがそもそも湯婆婆に弟子入りを志願したのは、川の神様としての棲み処を人間に破壊されたためだと推測できます。高畑勲監督『平成狸合戦ぽんぽこ』(1994年)が描く多摩丘陵の狸たちが人間の宅地開発に対抗するために「化け学」を学び直したように、ハクは魔法を習って人間にひと泡吹かせたかったのかもしれませんが。しかし、かつて自分が助けた千尋に救われることで、ハクの中に芽生えていたと思われる人間に対する怨念は消えました。かくして互いが互いの命の恩人となったハクと千尋の疑似初恋譚は、川と人間の強い絆の物語として完結します。カオナシが沼底に棲み続け、家事手伝いとして糸車を操り続ける限り、千尋とハクの再会は実現することでしょう。沼底に棲むカオナシ像は、人間の諸活動が世界の全体的均衡のもとに行なわれていることを象徴的に示す護符と呼ぶべきものだからです。

5. 終わりに

以上、本稿では、自然と文化の均衡を保持しつつ両者を媒介しようとするオルタナティブな技術観について論じてきました。本来、豊かさ(富)や幸福をもたらすのが技術であり、実際に、現代テクノロジーは多大な豊かさや利便性を人間にもたらしました。しかし、圧倒的な影響力を持つに至ったテクノロジーの行使の仕方を誤ると、人にも自然にも悲惨な状況をもたらすことになります。すぐれた物語は、極上のエンターテインメントでありながら、物事を考えるための素材(food for thought)を提供してくれます。本稿に取り上げた物語には、持続可能な(sustainable)世界を実現するための様々な示唆が含まれていたことを改めて指摘して、本稿を終ります⁽⁴²⁾。

注

- 1) 大森裕二「機械と笑い——物語が描く人と技術と自然(1)」、『拓殖大学理工学研究報告』第17巻第1号, 2020年, 25-34頁。
- 2) 櫻井美紀「『大工と鬼六』の出自をめぐる」、『口承文芸研究』第11号, 1988年, 33-45頁。
- 3) 松井直『だいくとおにろく』東京: 福音館書店, 2019年。
- 4) 馬場あき子『鬼の研究』東京: ちくま文庫, 1988年, 105頁。
- 5) 高橋宣勝「昔話『大工と鬼六』翻案説への道」、『文学』第56巻第2号, 1988年, 27頁。
- 6) 高橋, 前掲論文, 32頁。
- 7) 小松和彦『鬼と日本人』東京: 角川ソフィア文庫, 2018年, 34頁。
- 8) Rosi Braidotti and Maria Hlavajova. *Posthuman Glossary*. London: Bloomsbury, 2018, p. 39.
- 9) Ibid., p. 39.
- 10) 宮崎駿『となりのトトロ』劇場版アニメーション, 東京: スタジオジブリ, 1988年。
- 11) 小松, 前掲書, 79頁。
- 12) 高橋, 前掲論文, 32頁。
- 13) 小松, 前掲書, 96頁。
- 14) Braidotti and Hlavajova, *ibid.*, pp. 293-294.
- 15) 小松, 前掲書, 69頁。
- 16) 小松, 前掲書, 78頁。
- 17) 小松, 前掲書, 48頁。
- 18) 大森, 前掲論文, 30頁。
- 19) 小松, 前掲書, 67頁。
- 20) 中沢新一『野生の科学』東京: 講談社, 2012年, 171頁。
- 21) マルティン・ハイデガー『技術とは何だろうか』森一郎編訳, 東京: 講談社学術文庫, 2019年。
- 22) 高橋, 前掲論文, 30-31頁。
- 23) Per Schelde Jacobsen and Barbara Fass Leavy. *Ibsen's Forsaken Merman: Folklore in the Late Plays*. New York: NYU Press, 1988, p. 69.
- 24) 山室静『北欧の民話』東京: 岩崎美術社, 1981年, 298頁。
- 25) Martin Puhvel, "The Legend of Church-Building Troll in Northern Europe." *Folklore*, Vol. 72, Dec. 1961, p. 568.
- 26) 櫻井, 前掲論文, 38頁; 高橋, 前掲論文, 31頁; Puhvel, *ibid.*, p. 573.
- 27) Puhvel, *ibid.*, p. 567.
- 28) マーシャ・ブラウン『三匹のやぎのがらがらどん』東京: 福音館書店, 2006年。
- 29) 大森, 前掲論文, 30頁。
- 30) Jacobsen and Leavy, *ibid.*, p. 69.

- 31) 柄谷行人『定本柄谷行人集2——隠喩としての建築』東京：2009年，岩波書店，25頁。
- 32) 柄谷，前掲書，25頁。
- 33) 柄谷，前掲書，24-25頁。
- 34) 柄谷，前掲書，4-5頁。
- 35) 宮崎駿『千と千尋の神隠し』劇場版アニメーション，東京：スタジオジブリ，2001年。
- 36) Eric Reinders. *The Moral Narratives of Hayao Miyazaki*. Jefferson: McFarland, 2016, p. 119.
- 37) 荒俣宏「ヒトと妖怪の混浴風呂」，スタジオジブリ他編『ジブリの教科書12：千と千尋の神隠し』東京：文春ジブリ文庫，2016年，236-237頁。
- 38) スタジオジブリ，前掲書，31頁。
- 39) Yanis Varoufakis, *Talking to My Daughter: A Brief History of Capitalism*. London: Vintage, 2017, p. 61.
- 40) Eugene O'Neill, *Long Day's Journey into Night. Complete Plays: 1932-1943*. New York: The Library of America, 1988, 725.
- 41) Varoufakis, *ibid.*, p. 33.
- 42) 本稿は，2018年度及び2019年度に拓殖大学の教養科目『科学技術と人間』の一環として行なった講義に基づいている。

調查報告

RESEARCH REPORTS

不登校状態の経験を有する児童・生徒のための学習導入ツール『とんとん走れ』の検証*

A verification of the learning introduction tools for elementary and middle school students had been a non-attendance condition on the past

高橋 拓夢 Takumu TAKAHASHI**

工藤 芳彰 Yoshiaki KUDO***

Abstract

This paper was a report on a verification of the learning introduction tool for the adaptation class "Yamayuri" with Takaosan-Gakuen, an elementary and middle school that specializes in accepting students who were in school refusal, located in Hachioji, Tokyo. The details of the tool consisting of three items have been reported by a previous report.

In first verification, we worked on a scroll action game "Tonton-hashire" and analyzed the results of four subjects in free study periods. In second, we worked on the game with another item "stamps" pushed as remuneration for achieving the target for self-study and analyzed the results of two subjects in the same periods.

As a result, we were able to confirm an effect of the learning introduction about the students having a certain ability for self-study in comparison with the game application when not in use. In addition, we were able to get some suggestion about the improvement of "stamps" and the importance of the concrete goal setting.

Keywords : School Non-Attendance, Learning Introduction, Social Design

1. 研究の背景と目的

東京都八王子市館町に所在する市立高尾山学園は、不登校状態（心理的、情緒的、ないしは社会的な何らかの要因で年間30日以上欠席）となった市内小・中学校の児童生徒（小4～中3）に対応するため、2004年に設立された不登校特例校である。その特色は、公立校として基本的な集団学習の環境を維持しながら、大幅に時数軽減した教育課程が組める点にある。

同校には、上記の特徴を端的に示す2つの教室がある。一つは、同校併設の適応指導教室「やまゆり」で、転入学希望者が体験通級または入級する。同教室は、高尾山学園の校舎内に設置されているが、組織的には市教育委員会の運営である。設置の目的は、集団学習の経験が不足傾向にある児童生徒を個別指導に近いかたちで支援しつつ、適正な転入学時期を見定めることにある。もう一つは、転入学後も集団学習に馴染めない児童生徒を支援する特別支援教室「きよたき」で、こちらは高尾山学園の一部である。同教室では週に数回、小グループ制の授業が実施される。

前稿では、筆者らが開発した学習導入支援ツール『とんとん走れ』の概要を報告した^[註1]。本稿では、上記の「やまゆり教室」および「きよたき教室」の内、前者における同ツールの検証結果について報告する。

2. 学習導入支援ツール『とんとん走れ』の概要

上記のとおり、学習導入支援ツール『とんとん走れ』の詳細については前稿にまとめているため、ここでは簡単な紹介に留める。

同ツール（図1）は、学習継続性が極めて低い児童生徒の学習導入を支援しようとするもので、1) 学習の目標を設定する

「目標シート」、2) 学習前に使用する同名の「タブレットPC用アプリ」、3) 目標達成の報酬として「目標シート」に押印する「スタンプ」の3点から構成される。

1) のシートはA4サイズで、氏名記入欄の他、5回分の自習に対応する日時、学習目標の記入欄、および3) のスタンプの押印欄が設けてある。「5回分」という対応回数については、スタンプのサイズに加え、遅刻欠席の多い児童生徒が使用する場合においても、1枚のシートを埋めることをストレスに感じさせないことを考慮している。

2) のアプリは、八王子市に伝わる昔話「とんとんむかし」の一つ、「天狗の湯」^[註2]を題材とした横スクロールアクションゲームで、主人公の進行を阻む障害物を関連ボタンのタップで消去していくシンプルなものである。児童生徒が同アプリに集中してしまうことが無いよう、難易度は極めて低く設定してある。

2) のアプリと3) のスタンプについては、ツールに対する児童生徒の関心を高め、また継続利用による飽きを防ぐため、主人公や障害物、背景などのイラストを他の物語のものへ差し替えることで、コンテンツの多様化を可能としている。

3. 適応指導教室「やまゆり」における検証

3.1 「やまゆり教室」の学習環境について

高尾山学園の校舎は、1974（昭和49）年に建設された鉄筋コンクリート造の殿入小学校（1975（昭和50）年開校、2002（平成14）年閉校）のそれを流用したものである。教室は「昭和の鉄筋コンクリート造校舎の標準設計」を踏まえた幅7×奥行き9メートルほどの箱型で、廊下側に前後出入口があり、前方に黒板、後方に棚が作り付けられている。教室内には一人掛けの机が等間隔に並んでおり、それぞれ児童生徒と紐付けられる。その内の1室が「やまゆり教室」の教室として使用される。また、隣接する1室が、「やまゆり教室」を管轄する八王子市教育委員会学校教育部教育支援課配下の登校支援チー

* 原稿受付 令和元年11月28日

** 工学研究科情報・デザイン工学専攻

*** 工学部デザイン学科

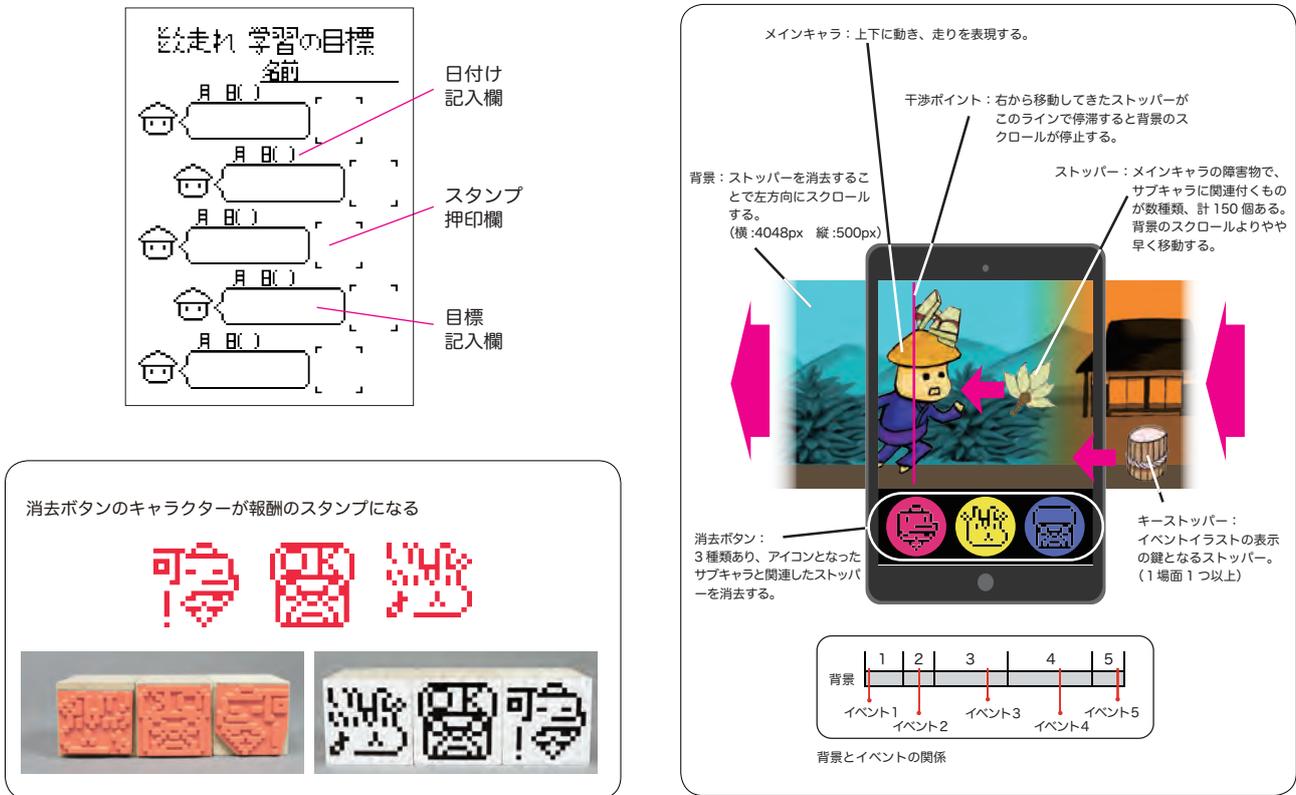


図1 学習導入支援ツール『とんとん走れ』概要 (左上：目標シート，左下：スタンプ，右：タブレットPC用アプリ)

ム職員室となっている。同チームは基本的に、チーフ（市職員）、心理相談員、研究主事（教員経験のある嘱託職員）、スクールソーシャルワーカー（SSW）、児童厚生員、指導補助員などから構成される。2019年度については、チーフ1名、研究主事4名（内1名はチーフ兼任）、心理相談員4名、児童厚生員1名、指導補助員3名、SSW 6名という体制で、これを有償ボランティアである時給制の学習サポーターが補助する。学習サポーターは退職教員や教員・SSW志望者、近隣の大学生、主婦などからなり、概ね20名前後が登録されており、各自の都合に合わせて出校し、学習を支援する。同チームは高尾山学園の教職員組織とは別組織だが、設置の目的が転入および不登校支援であるため、組織間連携や情報の共有がはかられている。

「やまゆり教室」は先述のとおり、高尾山学園へ転入を希望する児童生徒のための適応指導教室と位置付けられ、随時の体験通級または入級、および高尾山学園への転入があるため、在籍者数には常に増減がある。2019年度に関しては、在籍者数が70名前後で推移しているが、実際の継続的な登校者数は概ね3割程度と「やまゆり教室」設置時から変わらず、教室1室で十分に取まっていたが、年度末になるにつれ、登校者が増え、1室で取まらなくなっている（2020（令和2）年1月より2教室体制となった）。

学校生活は平日のみで、基本的なタイムスケジュールは次のとおりである。児童生徒は9時半を目安に登校し、「朝の会」（9:30-9:40）と「読書の時間」（9:40-9:50）をへて、自習時間に入る。時程は1コマ45分が、昼食時間および昼休みををさんで4コマある。4時間目（13:15-14:00）の後、10分間の「帰りの会」をへて、下校（14:10）となる。登校および下校時間は原則自由である。実際の学校生活においては、遅刻・早退・欠席がちの児童生徒も多い。よって、高尾山学園に転入するまでにかかる時間は、個々によりさまざまである。

基本的な曜日別の1～4限の時間割は次のとおりである。

- 月曜日：自習・自習・体育・レクリエーション
- 火曜日：自習・自習・自習・レクリエーション
- 水曜日：自習・自習・体育・レクリエーション
- 木曜日：自習・自習・自習・レクリエーション
- 金曜日：自習・自習・図書・体育

一週間の授業時間の内訳は、「自習」（12時限）、「レクリエーション」（4時限）、「体育」（3時限）、「図書」（1時限）である。学習に対する集中力を比較的維持し易い午前中に「自習」を、維持しにくい昼食後に「レクリエーション」を設定している。「自習」は、不登校状態にあった児童生徒の修学段階に対応するもので、各自持参のドリルや「やまゆり教室」常備のプリント教材の解答、または読書など、個々の希望を尊重した自

表1 第1期検証の実施概要（数字は被験者別の回数）

月日	時限	被験者					
		A	B	C	D	E	F
7月11日(木)	3限	①	①				
7月16日(火)	2限						①
	3限		②				②
7月22日(月)	1限			①			
	2限		③				
7月23日(火)	2限			②			
	3限	②	④	③			
7月24日(水)	2限		⑤				
9月5日(木)	1限				①	①	
	3限		⑥				
9月6日(木)	3限	③					
9月13日(金)	3限			⑦			

表2 第2期検証の実施概要（数字は被験者別の回数）

月日	時限	被験者			
		F	G	H	I
9月20日(金)	1限			①	
10月2日(水)	2限	①		②	①
10月4日(金)	2限				②
10月9日(水)	2限			③	③
10月10日(木)	3限			④	
10月11日(金)	2限			⑤	④
10月16日(水)	1限				⑤
	2限		①	⑥	⑥
10月17日(木)	2限				⑦
10月23日(水)	1限				⑧
10月30日(水)	1限			⑦	⑨
	2限				⑩

習に当てられる。「レクリエーション」の内容は曜日によって異なり、月・水曜日はテーブルゲームのプレイなど、火曜日は高尾山学園の「講座学習」と連動した活動など、木曜日は高尾山学園の「プレイルーム」での遊びの時間に参加するなどである。「レクリエーション」も「自習」と同様、個々の希望を尊重した活動となる。

3.2 検証の概要

「やまゆり教室」における学習導入支援ツール『とんとん走れ』の検証は2期に分かれている。第1期は2019年7月11～24日と、夏休み後の9月5～13日で、アプリのみの検証である。第2期は9月20日～10月30日で、報酬スタンプを含んだ検証である。どちらも、筆者が学習サポーターを務める「自習」において、自習を支援するかたちで実施し、その様子を事後に筆記によって記録した。

第1期の被験者は6年生3名(A～C)、中学1年生2名(D, E)、同2年生1名(F)の計6名である。被験者Fのみ女子である。検証の実施日・時限は表1のとおりである。

第2期の被験者は中学2年生1名(F)、同1年生3名(G～I)の計4名である。被験者Fは第1期と同一人物である。検証の実施日・時限は表2のとおりである。

前述のとおり、「やまゆり教室」の入級・転入時期はまちまちである。入級からほどなくして高尾山学園の授業体験に参加し、そのまま転入したため、「やまゆり教室」の在籍が比較的短期間となる場合もあれば、欠席が多い等、集団学習に対応する準備が不十分との判断により、長期に渡って在籍する場合もある。以上のことが、表1・2の被験者ごとの検証回数の差として表れている。

紙面の関係で、検証時の筆記録のすべてを紹介することは

できないが、一例として以下に、最も検証回数の多い被験者Aの初回分①を示す。

時限開始後、何もしていない被験者に自習を促したところ、「やまゆり教室」常備の計算プリントを解くことになった。そこで、学習サポーター(高橋)が制作した集中力向上ツールとしてアプリを紹介、使用の意思を確認し、検証開始した。被験者のアプリ使用は初めてだったため、まず、実際にアプリを使って見せながら、使い方についてレクチャーした。被験者は問題無くクリアした。その後、計算プリント1枚(2桁の掛け算練習)を20分ほどをかけて解く。アプリ使用から自習への移行はスムーズであった。学習サポーター(高橋)による計算プリントの採点を待つ間、被験者の希望を受け、再度アプリを使用した。その際、初回と異なり、ボタンと障害物の適合を考えながらでなく、消去ボタンを連打することでクリアした。採点およびアプリ使用の終了後、被験者は保有していた「やまゆり教室」常備の間違い探しプリントを解く(15分ほど)。時限中をとおして自習に対する集中は継続し、学習態度も良好に見えた。

以上のような記録を基本資料として、次項から内容分析に取り組んだ。

3.3 第1期検証の結果

第1期では、ツールの核となるアプリについて検証を実施した。検証に際しては、口頭で学習目標を確認し、教材自体に印を付ける等に留めた。すなわち、目標シートおよび報酬スタンプの存在については、被験者に説明していない。

分析の対象とした被験者は、同一被験者による比較が可能となる2回以上の検証を実施できたA～C, Fの4名である。

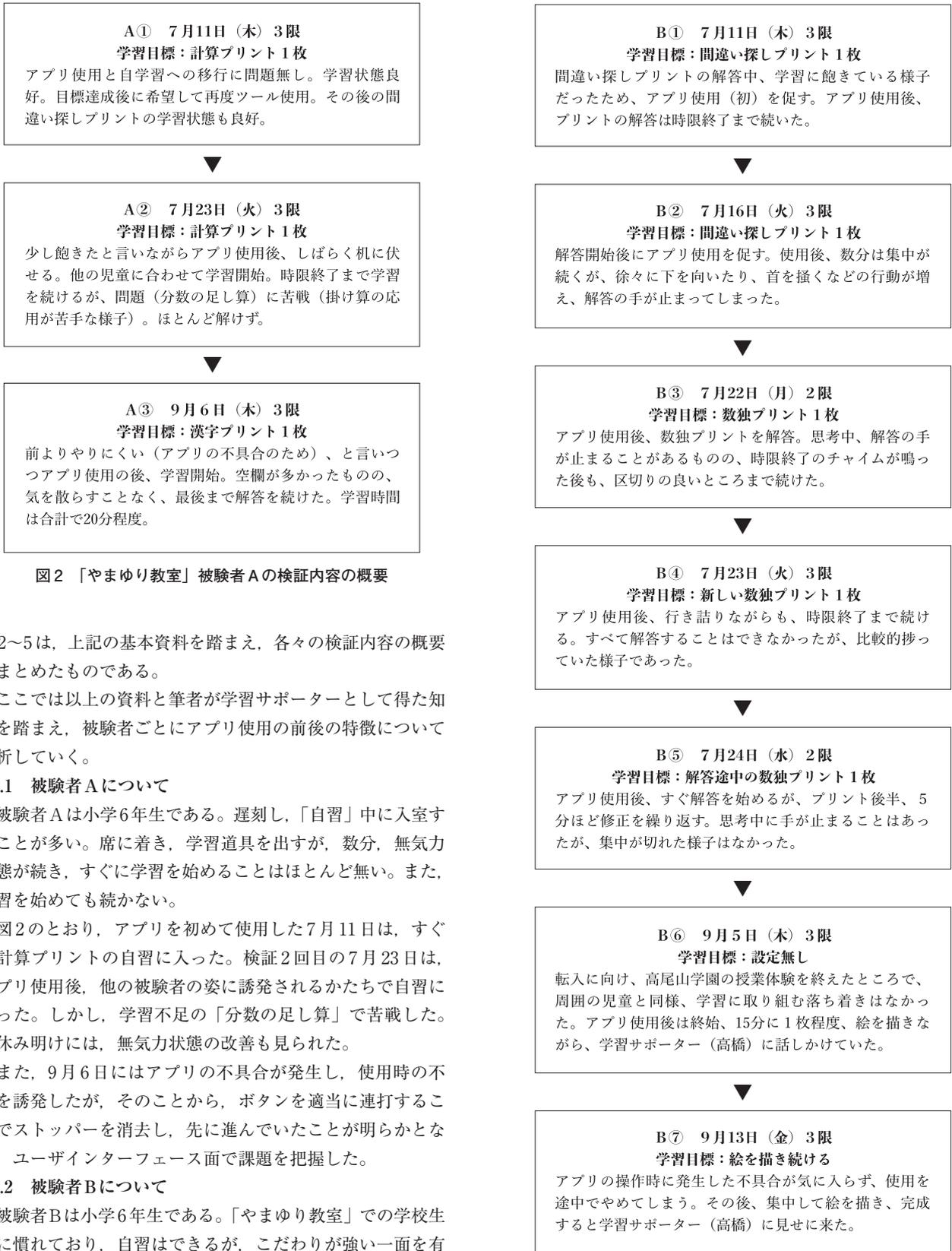


図2 「やまゆり教室」被験者Aの検証内容の概要

図2～5は、上記の基本資料を踏まえ、各々の検証内容の概要をまとめたものである。

ここでは以上の資料と筆者が学習サポーターとして得た知見を踏まえ、被験者ごとにアプリ使用の前後の特徴について分析していく。

3.3.1 被験者Aについて

被験者Aは小学6年生である。遅刻し、「自習」中に入室することが多い。席に着き、学習道具を出す、点数、無気力状態が続き、すぐに学習を始めることはほとんど無い。また、学習を始めても続かない。

図2のとおり、アプリを初めて使用した7月11日は、すぐに計算プリントの自習に入った。検証2回目の7月23日は、アプリ使用後、他の被験者の姿に誘発されるかたちで自習に移った。しかし、学習不足の「分数の足し算」で苦戦した。夏休み明けには、無気力状態の改善も見られた。

また、9月6日にはアプリの不具合が発生し、使用時の不満を誘発したが、そのことから、ボタンを適当に連打することでストッパーを消去し、先に進んでいたことが明らかとなり、ユーザーインターフェース面で課題を把握した。

3.3.2 被験者Bについて

被験者Bは小学6年生である。「やまゆり教室」での学校生活に慣れており、自習はできるが、こだわりが強い一面を有し、取り組みが長続きしないことが多い。

図3のとおり、初めてアプリを使用した7月11日は、学習

図3 「やまゆり教室」被験者Bの検証内容の概要

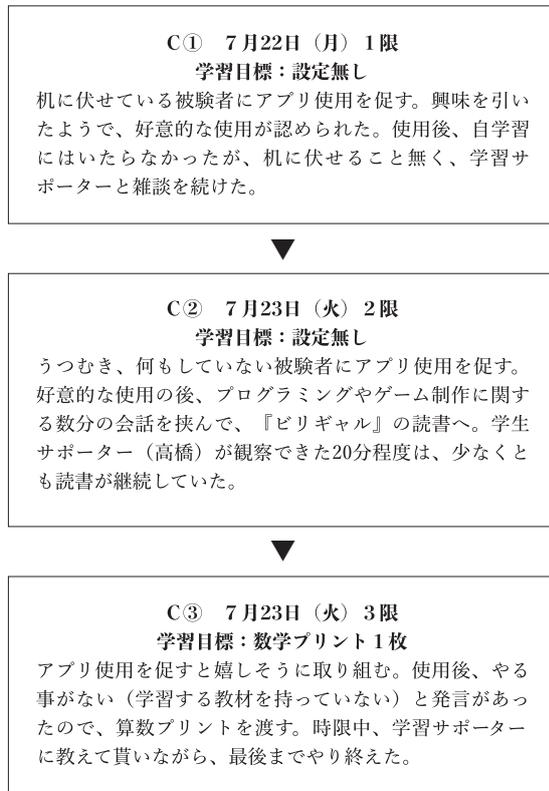


図4 「やまゆり教室」被験者Cの検証内容の概要

に飽きた状態から学習継続状態を誘発しており、被験者の気分の切り替えに効果を発揮したことを示している。一方、7月16日は学習継続が10分ほどであった。

3.3.3 被験者Cについて

被験者Cは小学6年生である。「やまゆり教室」に入級して日が浅く、欠席がちで無気力、登校しても他者と会話することがほとんど無く、目前の机を眺めているか、机に伏せている。デジタルゲームを好む。

図4のとおり、1回目（7月22日）と2回目（同11日）は、自習に結びつかなかったものの、机に伏すこともなかった。3回目（7月23日）は学習サポーターの支援を受けつつであるが、目標設定した自習をやり遂げている。

3.3.4 被験者Fについて

被験者Fは情緒的に不安定な傾向があり、常に落ち着きがなく、常に誰かに話しかけているか、立ち歩いている。また、椅子に座った状態でも勉強することや、新しい知識をつける事を不安に感じる傾向があり、学習はほぼしていない。

図5のとおり、2回の検証時とも学習目標の設定ができず、アプリは使用できたが、自習にも繋がらなかった。

3.3.5 第1期検証の考察

情緒的に不安定な傾向がある被験者Fを除き、個人差はあれども、筆者が学習サポーターをとおして把握していた日常

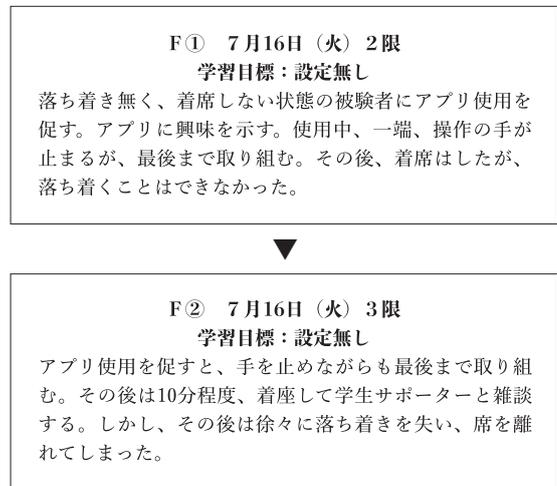


図5 「やまゆり教室」被験者Fの検証内容の概要

的な（アプリ未使用の）自習の様子と比較して、はっきりとした効果を確認することができた。被験者Bのように、日頃から自習に取り組める場合、その継続性を高める効果が指摘できる。また、被験者AやCのように、自習に対して無気力傾向にある場合、アプリ使用が気分の切り替えを促し、自習の導入に効果を発揮したことが指摘できる。もっとも、初めてアプリを使用することへの新鮮さがより効果を高めることも示唆され、継続使用する場合の課題としてあげられる。また、アプリ使用の効果は、自習者の知識を確認する難易度の低い問題の方が高まる傾向にあることも確認できた。

3.4 第2期検証の結果

第1期検証の成果を踏まえ、学習目標の達成に対する報酬スタンプ押印を含めた第2期検証（表2）に取り組んだ。

分析の対象とした被験者は、第1期と同じく、2回以上の検証を実施できたHとIの2名である。図6・7は、前述の基本資料を踏まえ、各々の検証内容の概要をまとめたものである。

3.4.1 被験者Hについて

被験者Hは中学1年生である。人から指示を受けることを強く拒む傾向があり、勉強自体に「受動感」を感じるようで、「やまゆり教室」で自習することがほぼ無い。そのこともあって、「自習」の時間に周囲の友人に話しかけ、学習に対する集中を妨げることが多い。

図6のとおり、被験者Hについては、計7回の検証を実施し、すべてアプリの使用が認められ、その内、4回（1～3回目、5回目）が自習に繋がった。6回目のみ、目標設定ができなかった。

1回目（9月20日）は周囲に会話の相手がおらず、被験者自身が集中しやすい環境にあった。報酬スタンプに関心を寄せ、学習サポーターの支援を受けつつだが、自習（クロスワードパズル）に取り組むことができた。上記の「学習しない」状

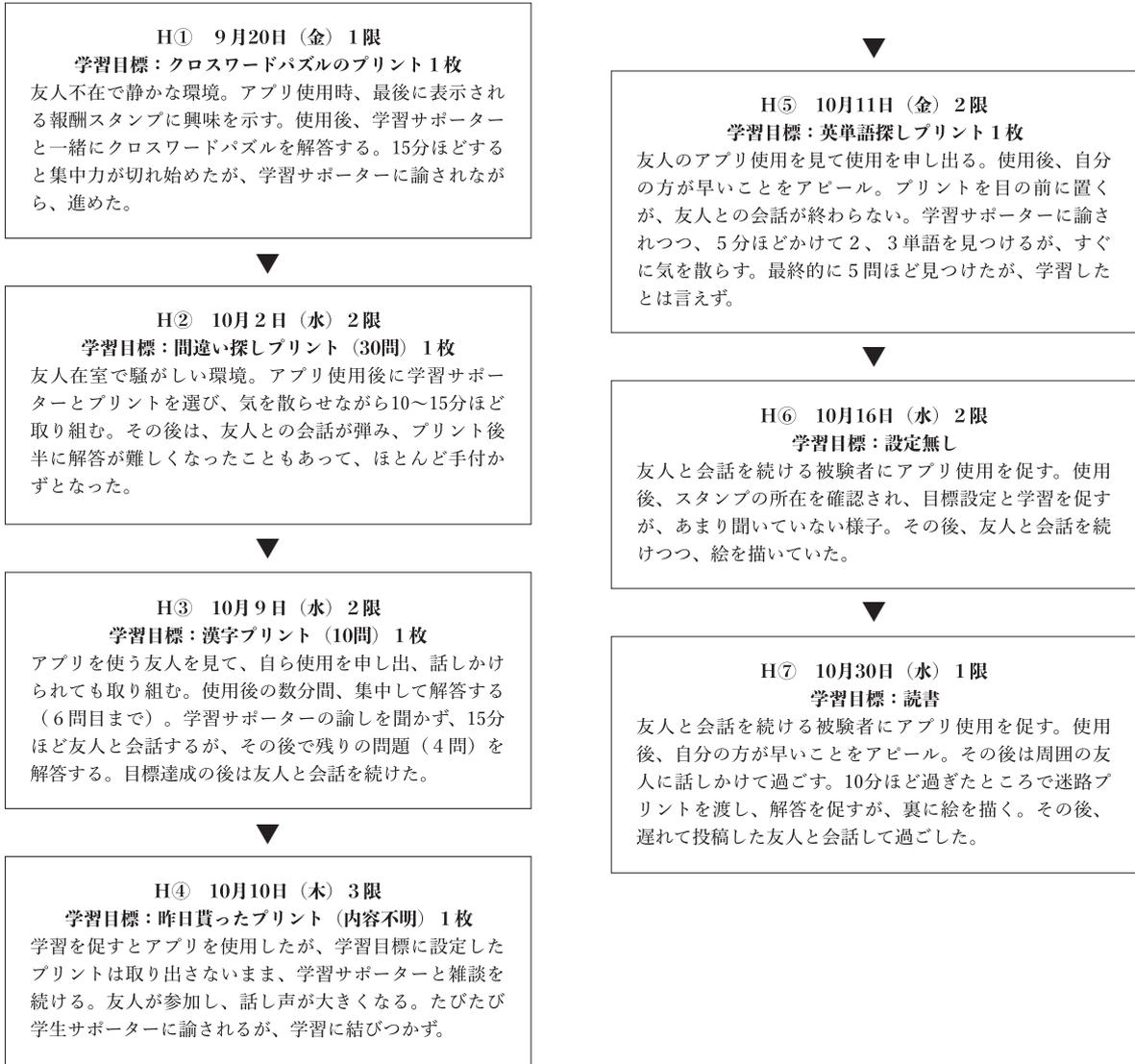


図6 「やまゆり教室」被験者Hの検証内容の概要

態を踏まえると、特筆すべき成果である。

3回目(10月9日)と5回目(10月11日)には、自ら進んでアプリを使用する場面が見受けられた。しかし、自習に集中できたり(3回目)、プリントを目の前に集中できなかったり(5回目)、アプリ使用後の様子に大きな差が現れた。この差は被験者Hが他者(後述する被験者I)とアプリを終了するまでの競争に気を取られ始めた(5回目)ことによると考えられる。すなわち、アプリ使用という自習支援の手段が目的に転じたのであろう。他者との競争を想起させないゲーム性が必要と考えられる。

3.4.2 被験者Iについて

被験者Iは、同Hと同じく中学1年生である。勉強の必要性は意識しているが、能動的ではない。周囲に勉強以外のことをしている友人がいれば、同調する傾向にある。

図7のとおり、被験者Iについては、計10回の検証を実施し、すべてアプリの使用が認められ、また、差はあれども自習に繋がった。その内、半分にあたる4・5・7・9・10回目で学習目標を達成した。比較的后半に達成が確認できる。

1回目(10月2日)の「問題集を広げるが、単元の理解不足と友人のお喋りに気を取られ」や、2回目(10月4日)の「使用后、すぐに問題集を広げるが、友人との会話をはさんでから」、3回目(10月9日)の「開いてあった問題集をみるが、面倒だと不平を漏らしつつ、5分ほど友人と会話」が示すように、アプリ使用後は自習の教材を開くところまで進むが、学習環境における他者との関係によって、集中できず、学習に繋がらない、または短時間で止まってしまう場合が多い。このことは、本アプリに設定した「集中力を高めるための単純作業」が、被験者の勉強に対する苦手意識に区切りを



図7 「やまゆり教室」被験者Iの検証内容の概要

付けることに効果を発揮していると考えられる。この気持ちの切り替えをいかに保持させるかが、次の課題と考える。

全体をとおしてみると、前半では学習目標の途中で諦めてしまうのに対し、後半では達成度が高まっている傾向にある。また、5回目（10月16日）の「学習サポーターと話しつつ、15分ほど学習を続け、目標を達成する」や、7回目（10月17日）の「周囲の雰囲気の影響され、友人と会話を始める。10分ほどして解答を再開。気を散らしながらも10分ほどで目標達成」は、報酬スタンプの存在が、自習の継続には働きかけにくい、目標達成に対しては効果的に働いたのではないかと考える。

上記のとおり学習環境によって徐々に集中力が切れることも多いが、4回目（10月11日）の「使用後すぐに学習に移り、5分ほど黙々と取り組む」や、7回目（10月17日）の「使用後、すぐに問題集を開く」など、ツール使用後にすぐ、あるいはほとんど自習に移る場合も散見される。この効果が現れたのは、検証開始後、しばらくしてからで、アプリの設計要件の一つである「ルーティン」が効果を発揮したのではないかと考える。

10回目（10月30日）の「学習目標に到達したが、スタンプ押印の必要無しとのこと」については、被験者が学習目標として設定したところが、前回（9回目、同日の前時限）の押印ページから離れていなかったからである。すなわち、押印の近接を嫌ったと考えられ、報酬の表示を当初の「目標シート」（図1内）のように、学習教材から分離することが有効かも知れない。

3.4.3 第2期検証の考察

被験者HとIを比較すると、前者はアプリおよび報酬スタンプが有効に働いていない場面が多々見られる。これは、4回目（10月10日）の「昨日貰ったプリント」や、6回目（10月16日）の「設定無し」、7回目（10月30日）の「読書」のように、学習目標の設定が不明瞭であることに対して、後者のそれが3回目（10月9日）の「数学の問題集1ページの半分」や10回目（10月30日）の「理科の問題集1ページの1/3」のように、明確に設定されていることと無関係では無いであろう。前者においても、3回目（10月9日）の「漢字プリント（10問）1枚」の様に、学習目標が明確な場合、自習の継続が良好となっている。後者も、6回目（10月16日）の「1限の続き」のように、やや不明瞭だと明らかに継続できていない。以上のことは、アプリによる学習に対する意識の切り替え効果を高める上で、明確な目標設定を支援する重要性を示唆している。

4. 検証のまとめと今後の課題

本稿では、八王子市立高尾山学園併置の適応指導教室「やまゆり」における「自習」時限を対象に、筆者らが開発した

学習導入支援ツール『とんとん走れ』の検証に取り組んだ。ツールは「目標シート」と「タブレットPC用アプリ」、報酬スタンプ」の3つで構成される。第1期の検証では、6名の被験者に対して「タブレットPC用アプリ」を使用し、結果として4名を分析の対象とした。第2期の検証では、4名の被験者に対して同アプリおよび「報酬スタンプ」を使用し、結果として2名を分析の対象とした。

第1期の検証に関しては、ある程度の自習能力を有する児童生徒については、筆者が学習サポーターをとおして確認してきたアプリ未使用時の様子と比較して、明らかな学習導入の効果を確認することができた。また、第2期の検証に関しては、第1期と同様の効果に加え、「報酬スタンプ」の改良と具体的な目標設定の重要性に関する示唆を得た。

今後は以上を踏まえ、ツールの改良および特別支援教室「きよたき」を含めた検証に取り組む予定である。

謝辞

本稿の調査については、高尾山学園校長・黒澤正明先生をはじめとする高尾山学園の関係者、および適応指導教室「やまゆり」を運営する登校支援チームの皆様のご理解とご協力を頂きました。ここに記して御礼申し上げます。

なお、本稿は拓殖大学理工学総合研究所2018年度共同研究助成の成果と、2019年度に取り組んだ検証を踏まえて作成されました。

注

- 1) 高橋拓夢、佐々木整、工藤芳彰:不登校状態の経験を有する児童・生徒のための学習導入ツール『とんとん走れ』の開発、拓殖大学理工学研究報告、Vol. 16 No.1, pp. 17-23, 2019
- 2) 菊池正：とんとんむかし、ふこく出版、1996

留学報告

REPORTS

香港理工大学への留学*

Report on my Sabbatical Year at the Hong Kong Polytechnic University

三堀 邦彦 Kunihiko MITSUBORI**

Abstract

I spent my sabbatical year at the Hong Kong Polytechnic University (Poly U). While I studied the nonlinear circuit theory and the power electronics, I had many social and cultural experiences. This report shows brief introduction of academic and daily experiences during my stay at Poly U and in Hong Kong.

Keywords : Hong Kong Polytechnic University, Nonlinear Circuit Theory, Power Electronics.

1. はじめに

私は2017年8月から1年間、本学の教員海外長期留学制度の助成を受けて、図1に示す香港の香港理工大学 (The Hong Kong Polytechnic University) に Visiting Scholar として滞在する機会を得た。本稿ではその概要を報告する。

2. 留学先の選定

今回は私にとって初めての長期留学であった。私は2016年5月にこの留学のお話をいただいた。そのとき直ちに、希望留学先を香港理工大学のC. K. Michael Tse (謝智剛) 教授の研究室とした。図2にTse教授の近影を示す。こちらを希望した理由は以下の通りである：

- Tse教授は私と同様に非線形回路・非線形システムの研究者であるが、そのご研究はパワーエレクトロニクス分野への制御理論の応用から出発している。私は研究対象としてのパワーエレクトロニクスに昔から興味を持っていたが、生来の怠け癖のためその分野をじっくり学ぶことが出来ずに来ていた。私はこの留学のお話をいただいた時、それを取り返せる最後のチャンスかもしれない、と考えた。
- Tse教授は、その研究成果で私が博士課程の学生の頃からお名前を聞き、現在も第一線で活躍を続ける研究者である。そのご縁で他大学の私に近い分野の知り合いが、これまで何人かTse教授の研究室で Visiting Scholar として滞在していた。そのため、様々な意味でこの留学先が身近に感じられた。
- 家内を同伴させることを考えたので、日本人が暮らしやすいことを留学先の条件の一つとした。観光や仕事のために多くの日本人が香港を訪れ、同様の理由で多くの香港人が日本を訪れている。その結果、香港は日本人にとって暮らしやすく発展し、かの地でも日本の商品は容易に手に入る。
- この留学のお話をいただく5ヶ月前の2015年の12月上旬に、国際会議のために香港を訪れていた。このときの滞在はわずか4日間であったが、香港が「日本人にとって暮らしやすい外国」であることを実際に感じていた。

2016年の8月ごろ、徳島大学の知り合いを通じて同教授に長期留学の受け入れをお願いしたところ、ご快諾いただいた。



図1 香港理工大学



図2 Tse教授

3. 留学先について

3.1 香港理工大学

香港理工大学は、香港特別行政区の公立大学である。学生数は約28,000 (内訳は学部約16,000・大学院約12,000)、教員数は約2,600、職員数は約2,600である。学生数は香港最大であり、その約20%が留学生である。この大学はホンナム (紅磡) キャンパスおよび西クローン (九龍) キャンパスの2つのキャンパスから成る。ほぼ全ての機能がクローン半島の中心であるホンナムキャンパスに集中しており、その広さは93,000m² (文京キャンパス3.5個分に相当) である。この大学は1937年に創立された香港官立高級学院を前身とし、1994年に正式に大学として認可された。創立当時は理工系コースのみの専門学校であったが、現在は理学部・経営学部・人文学部・建築

* 原稿受付 令和元年10月24日

** 工学部電子システム工学科



図3 Hotel ICON



図5 工学部が入っているビル



図4 Innovation tower



図6 私が使わせていただいたオフィス

環境学部・工学部・医療社会科学部・ホテル観光学部・デザイン学部の8学部を持つ総合大学となっている。工学部は機械工学科・電気工学科・電子情報工学科・計算機工学科・工業システム工学科・航空宇宙工学科・生体医療工学科の7学科で構成される。

キャンパス内の特徴的な建物としてHotel ICONとInnovation towerがある。図3にHotel ICONを、図4にInnovation towerを示す。Hotel ICONは世界的に有名な5ツ星ホテルであるが、香港理工大学によって経営されホテル観光学部の実習棟を兼ねている。一方Innovation towerは、世界的に有名な建築家ザハ・ハデイドによって設計された。日本では、ザハ・ハデイドは新国立競技場の第一デザイン案の提案者として知られる。この建物はデザイン学部の定例展示会場になっていた。

これだけの規模の組織を持つ大学であるため、ホンナムキャンパスを歩くとその広さに比べむしろコンパクトにまとまった印象を受ける。私は工学部の入ったビルの5階の、中庭に



図7 中庭での合同説明会

面した6畳ほどの広さの部屋をオフィスとして使わせていただいた。図5に工学部が入っているビルを、図6に私が使わせていただいたオフィスを示す。中庭では図7のように、香港での大学生の就職活動が盛り上がる11月には、中国内地（と



図8 電子通信研究実験室



図9 お誘いいただいたコンサートにて

りわけ深圳)や日本からも大企業のブースが並び、その場で企業説明会が行われていた。後で分かったことだが、このオフィスは歴代の日本からの Visiting Scholar がよく使わせていただいた部屋であった。同じ5階には、電子情報工学科の学部生・院生が共同で利用する実験室が集中していた。その中の回路系の実験室、電子通信研究実験室は私もしばしば使わせていただいた。図8にこの実験室を示す。Tse教授を含む電子情報工学科の教員室はもう一つ上の階の6階に集中しており、先生方の居室がずらりと並んだ静かな廊下を歩くと、もはや学生ではないはずの私も緊張した。この6階には、20人分程度の座席とスクリーン・プロジェクタを備えたゼミ室があった。Tse教授は隔週の金曜日にこの場所で研究成果発表会を実施されていた。私もここで研究成果を発表し、コメントをいただいた。

3.2 C. K. Tse教授

私は電子情報工学科のC. K. Michael Tse (謝智剛)教授に

お世話になった。Tse教授は同学科非線形回路システム講座の主任教授である。同教授の研究分野は、パワーエレクトロニクスと非線形システムである。パワーエレクトロニクスでは非接触給電・LED点灯の効率化・電力変換回路のモデリング・マイクログリッド・電力網とそのロバスト性などの応用に直結するテーマに、非線形システムでは電力変換回路に発生するカオスの理論的解析・複雑系ネットワークの工学的応用など基礎的で先進的なテーマに取り組んでいた。

電子情報工学科は大講座制を採用しており、非線形回路システム講座は主任教授1名・教授1名・准教授2名・助教1名で構成されていた。同講座所属の学部生は20名、Tse教授はそのうち3名を指導されていた。2018年7月現在、同教授はその他に博士課程5名とポスドク2名を担当されていた。

Tse教授は私や家内を気遣い、またさまざまな便宜を図って下さった。私と家内を何度か夕食会やクラシックコンサートに誘って下さった。図9に、お誘いいただいたクラシックコンサートでの一コマを示す。夕食会には、Tse教授は必ず奥様と一緒に来られた。奥様はTse教授のメルボルン大学での同窓生であり、香港の知的財産局に勤務されている。ご夫婦とも大変な日本通であり、よく来日されている。あるときは(私ではなくTse教授が)九州の太宰府の歴史について説明され、新宿西口から都庁までのルートをネット検索なしで(!)説明された。奥様は日本語のListeningとSpeakingが堪能であり、奥様がいて下さることは英語をあまり話せない家内にとってとてもありがたかった。

非線形回路システム講座では毎年12月上旬に、所属する教員・学生全員で離島へのハイキングに行くのが恒例となっており、これにも誘っていただいた。残念ながら家内がこのころ体調を大きく崩したため、このハイキングへの参加は出来なかった。

4. 研究活動について

私は長期留学中、非線形回路の2つの分野について考察を深めた。一つは(a)パワーエレクトロニクス、もう一つは(b)カオスである。

パワーエレクトロニクスは電力変換回路に関する技術の総称である。電力変換回路は、その変換効率向上のためにトランジスタなどのスイッチング素子を含む非線形回路である。この分野は電気自動車や太陽光発電などの産業応用で中心的な役割を果たすため、近年急速に注目を浴びようになってきた。

一方、カオスは決定論的な系に発生する乱雑かつ複雑な振動であり、ある種類の発振回路や非線形回路がこの振動を発生する。(a)は応用技術寄り、(b)は基礎科学寄りの分野である。

これらについて、それぞれ以下のテーマに的を絞りに取り組んだ：

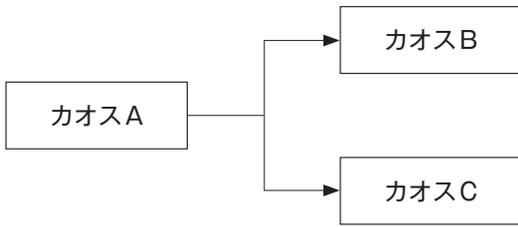


図10 本研究で注目した一方向結合系



図11 研修ビザ

(a) DC-DCコンバータの設計と解析の理論

DC-DCコンバータは、入力された直流電圧（および直流電流）を異なる値の直流電圧（および直流電流）に変換して出力する回路であり、一般に90%以上の変換効率を実現できる。ここでは以下の3つについて取り組んだ。

(a)-i. 回路設計の理論

この回路は、コイル・コンデンサ・ダイオード・トランジスタを含む電力段と、出力電圧をトランジスタのON・OFFにフィードバックして関連付ける制御回路で構成される。この回路の設計では定常状態に的を絞り、電力段と制御回路のパラメータを決定する。しかしながら動作原理に含まれる非線形性のため、この回路の設計の手続きは複雑である。ここでは電力段・制御回路の設計について、いくつかの文献を理論的に検討し考察した。

(a)-ii. 安定性解析の理論

前述の通り、この回路の動作には出力フィードバックによるスイッチングが含まれる。その動作の安定のためには、電流および電圧のノイズに対する安定性の解析が必要となる。電力段の回路方程式は、トランジスタやダイオードのON・OFFにより複数の場合に場合分けされる。そのため安定性の解析では、定常状態での電力段の動作を平均化して、その結果に制御理論を適用する方法が主流である。この平均化には、状態方程式のレベルで平均化する状態平均化法と、回路素子の振る舞いのレベルで平均化する回路平均化法の2つがある。ここでは両平均化法についていくつかの文献を理論的に検討し考察した。

(a)-iii. カオスの挙動の理論的解析

この回路では、通常の構造のまま特定のパラメータに設定することで、その電圧や電流がカオス的に変動する。そうした振る舞いの解析には、過渡状態を含めて扱うためにiiに挙げた平均化をせず、しかも回路全体の動作を出来るだけ簡潔に表わすことが必要となる。Tse教授はその業績の初期にこの問題を、状態方程式における行列指数関数のべき級数近似により解決した、「DC-DCコンバータのカオス」の開拓者である。それに関連する彼のいくつかの文献を理論的に検討し考察した。

(b) カオス発生回路の結合系における一般化同期の解析的基準による安定性解析とその実験的検証

本研究では、カオスの結合系における同期現象を考えた。カオスの同期は結合された複数のカオスの間で位相がそろった現象である。厳密な意味での同期は、各カオスのパラメータが完全に等しい場合にのみ発生する。この理想的な状況で発生する同期は完全同期（CS）と呼ばれる。もしそれらのパラメータにミスマッチがあれば、各カオスの間の位相差が一定の範囲内に収まりながらCSが崩壊する。ここで、CSの自然な拡張として一般化同期（GS）が導入される。GSは、カオスの一方向結合系において、送信側と受信側の間で一定の関数関係が成り立つ現象として定義される。

図10に、本研究で注目した一方向結合系を示す。この系は1つの送信側Aと2つの受信側B,Cで構成される。AはBとCに影響を与えるが、BとCはAに影響を与えない。結合がなければ、A, B, Cは個別にカオスを発生する。A, B, Cは同じ構造を持ち、BのパラメータはCと等しくAとは異なる。以上の設定の下では、AとBの間では位相がそろわないが一定の関数関係が成り立つ。AとCの間でも同様である。その結果、直接には結合されていないBとCの間で位相がそろった。これが、この一方向結合系のGSである。

この系はカオスのGSが観測される代表的な系であり、数値的・実験的なアプローチの対象として多数の研究者により研究されてきた。一方でその振る舞いの複雑さから、カオスのGSへの解析的なアプローチは後回しにされてきた。そんな中で香港理工大学のWongらのグループが近年、この結合系におけるカオスのGSを調べるための解析的基準を提案した。この解析的基準の妥当性は数値的なアプローチによって確かめられてきたが、実験的なアプローチではいまだ確かめられていない。

本研究では、この結合系を3つのカオス発生回路で構築した。本系でのGSの発生は、その実装例を用いた実験的観測

と、その状態方程式を用いた数値積分の両方により観察された。本系のGSの局所的安定性は、Wongらの解析的基準により調べられた。この成果は2019年12月にマレーシアで開催される、電子情報通信学会の非線形理論とその応用に関する国際会議The 2019 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2019)において発表される。

5. 留学生活について

5.1 ビザ

私と家内が香港に滞在するためのビザはTraining Visa (研修ビザ)であった。図11にこの研修ビザを示す。これは大学や企業での研修のためのビザであり、最大12ヶ月の滞在が認められる。その申請には受入先を必要とするが、研修が香港以外では行えないものであり、出向元・受入先ともに健全で申請書類に不備がなければ、このビザを取得できる。私の場合、2017年4月にTse教授がこのビザの取得を勧めて下さり、その後メールでの同教授との必要書類のやり取りの後、6月下旬にこのビザを郵送していただいた。

5.2 住まい

前述の通り、香港には多くの日本人が仕事で滞在している。そのため香港の不動産業者にも日本人や日本語を話せるスタッフが多くおり、そのうちの幾つかは日本語のwebサイトを持ち、日本語のE-mailで交渉が進められる。私は6月中旬からそうした業者の一つに日本語のE-mailでコンタクトをとり、7月1日には現地で家内と共に幾つかの物件を内見した。香港は日本からの距離が近いので、このような留学前の現地での準備が可能であり、大変助けられた。奇しくも私と家内が現地の物件を内見した2017年7月1日は、香港の中国返還からちょうど20年という記念日であった。この日の夜は強い雨が降ったが、そんな中この記念日を祝福する花火がビクトリア湾で打ち上げられていた。宿泊先のホテルから眺めたこの花火を、今でもよく覚えている。

私は内見したうちの1つのサービスアパートメントに住まいを定めた。サービスアパートメントとはホテルとアパートの中間の機能をもった住居のことであり、ホテルのように家具等が備えられておりアパートのように長期滞在者を対象としている。私たちが住んだサービスアパートメントは香港理工大学まで徒歩で10分ほど、観光地として有名な尖沙咀(チムサーチョイ)には送迎バスで10分ほどの場所にあった。非常に便利な場所にあり大変ありがたかったが、毎月の家賃が約23,000HK\$ (約30万円)と非常に高かった。日本の感覚であれば超高級ホテルであるが、実際の室内はそれほどきれいではなく、水周り等の故障にもよく悩まされた。この金額には光熱費・TV・インターネット環境は含まれるが食費は含ま

れておらず、修理費は別途徴収となっていた。前述の不動産業者によれば、香港のサービスアパートメントは毎月の家賃が約23,000HK\$を超える辺りから選択肢が急に増えるとのことであった。

5.3 その他

ビザや住まいの他にも、留学生活のための様々な準備をした。その中で特筆すべきは(a)携帯電話(b)銀行のキャッシュカード(c)海外旅行医療保険であろう：

- (a) 携帯電話は日本からSIMフリーのモデルを持ち込み、現地のキャリアでプリペイドSIMの手続きを行った。日本で得た情報ではこれが一仕事になる予定だったが、前述の不動産業者が同席してくれて英語と広東語を流暢に操り、1年間有効のファミリープランの手続きを代行してくれて大変助かった。
- (b) 銀行のキャッシュカードは、香港に多数存在する銀行のATMで引き落としが可能なカードを日本から持ち込んだ。幸い私たちのサービスアパートメントから徒歩で5分ほどの場所にそのATMがあり、大変重宝した。
- (c) 海外旅行医療保険は出発直前に加入した。これを役に立たないまま帰国したかったところであるが、留学開始から1ヶ月後の9月後半に私が夏風邪をひき、この保険がさっそく役に立ってしまった。また家内が12月の上旬ごろから胃の不調を訴えるようになり、胃カメラによる検査と4ヶ月間ほどの投薬を受けた。私たちがお世話になった病院は公立のものではなく、いわゆるprivate doctorであった。香港では公立病院なら一回に一律千円ほど(ただし何時間も待たされる)であるが、一般にprivate doctorはとても料金が安い。もしこの保険に加入していなかったらと思うと背筋が寒くなる。なお、香港には日本人相手の医療通訳を生業とする日本人が多数いる。私たちも日系のスーパーマーケットで入手した日本語のフリーペーパーでその医療通訳の電話番号を知り、コンタクトをとった。上記の受診の際には、毎回その通訳に同席してもらった。

6. 香港入国時のトラブル

実は香港入国の際、小さなトラブルが発生していた。この報告を読む皆さんは注意深い方々であり、私たちのようなドジを踏まないと思っているが、ここにそのトラブルの顛末を記しておくので他山の石として役立てていただけるとありがたい。

2017年8月17日に日本を出国し、同日香港に入国した。この入国の際には、トラブルは表面化しなかった。8月19日にサービスアパートメントに入居し、8月23日にはTse教授へのご挨拶も済ませた。8月25日、私と家内はHong Kong IDの申請のため、灣仔(ワンチャイ)にあるimmigration tower



図 12 訪れたマカオの街並み



図 14 松本真澄先生



図 13 Hong Kong ID



図 15 CBSの新入生歓迎イベントの一コマ

を訪れた。Hong Kong IDとは、香港政府が発行する身分証明書である。この申請の窓口の職員に、8月17日の私たちの入国が前述の研修ビザ（1年間有効）ではなく、観光などのための短期滞在ビザ（90日間有効）によるものであることを指摘された。具体的にいうとこれは、研修ビザがパスポートに添付されているが、入国日がわかるスタンプが押されていない状態である。余談だが家内のその日の日記によれば、「私も頭真っ白で、隣を見ると主人が魂の抜けそうな顔をしていました（笑）」とのことであった。

思い返してみれば、香港国際空港での入国審査の窓口でパスポートを提出する際、私と家内は（二人とも！）ビザのあるページを開かず、閉じたまま係員に渡していた。入国審査の係員は我々を短期滞在者と勘違いし、短期滞在ビザを発行して我々を入国させた、ということである。

私は香港での長期滞在のために、なんとか研修ビザを有効にさせて、Hong Kong IDカードを申請して取得したかった。その後、中環（セントラル）にある在香港日本領事館でスタッ

フに相談したところ、いったん香港を出国し香港に再入国することを勧められた。私たちはこのアドバイスに従い、8月31日に日帰りで行った香港を出国してマカオを訪れ、マカオから香港に再入国した。図12に訪れたマカオの街並みを示す。

2019年5月現在では、香港・マカオ・中国本土の珠海を結ぶ橋（港珠澳大橋）が開通しており、香港からマカオへは車やバスで30分ほど(!)で行くことができる。またその便数もとても多い。しかしながら当時はまだこの橋が開通しておらず、フェリーで片道60分ほど、便数もそれほど多くなかった。そのためマカオでは限られた場所しか行けなかったが、香港と異なる雰囲気の街並みがとても新鮮だった。ご存じの通り、香港は中国への返還まで英国の植民地、マカオはポルトガルの植民地であり、それぞれの街並みは元宗主国の影響を強く受けている。再び家内のその日の日記によれば、「香港出国時のimmigrationでは、ベテランばい職員さんが『戻ってきた時にスタンプ押してもらってね〜』と声を掛けてくれ

ました」とのことであった。香港への再入国の際には入国審査で係員に研修ビザへスタンプを押してもらい、夫婦そろって胸をなでおろした。後日改めてimmigration towerを訪れ、無事Hong Kong IDを取得することが出来た。図13に取得したHong Kong IDを示す。

7. 松本真澄先生について

松本真澄先生は、私が香港でお知り合いになれた日本人である。図14に、松本先生の近影を示す。松本先生は香港理工大学人文学部で専任講師として、日本語の教育を担当されている。先生の所属はDepartment of Chinese and Bilingual Studies (CBS) であり、CBSは中国の標準語である北京語と、日本語もしくは韓国語を学ぶ学科である。

私が香港に出発する直前の2017年8月7日に、本学国際部の小西井さんからメールで松本先生をご紹介いただいた。そのメールには松本先生と日本語を学ぶ学生2名が来日し、8月4日には本学文京キャンパスにて川名学長や河田常務理事と交流されたこと、同5日には八王子キャンパスにてオープンキャンパスに参加されたことが書かれていた。また9月12日には本学の商学部と国際学部の1年生3名が香港理工大を訪れて日本語を学ぶ学生と交流、そのときも松本先生が対応して下さいました。

渡航後の9月18日に、香港理工大にて私が松本先生にお会いし、ご挨拶することが出来た。10月13日には、CBSの日本語・韓国語学生による新入生交流イベントが開催され、日本語のグループは「巻き寿司ワークショップ」「浴衣試着コーナー」「伝統おもちゃ体験コーナー」を実施した。図15に、このイベントでの一コマを示す。この1週間前に松本先生からの依頼があり、家内に「巻き寿司ワークショップ」に参加してもらった。おかげでこのイベントは大成功に終わり、松本先生からは「日本語を希望する学生が増えました」とお聞きした。

8. まとめ

本稿では、2017年8月から1年間の香港理工大学への長期留学について報告させていただいた。

私は2018年8月にこの長期留学を終え、家内と共に帰国した。ご存知の通りこの時期以降、香港は国際的な大きなうねりの只中にある。2019年3月、香港の行政長官は「逃亡犯条例の改正案」を香港議会に提案した。この改正案は犯罪容疑者の身柄を中国本土に引き渡すこともできるようにする内容であったため、乱用を恐れた民主派が強く反発し、香港市民による大規模なデモが繰り返されてきている。

私と家内は1年間香港に住み、地元の方々の温かさに触れた。留学直後こそ地下鉄内での人々の会話が喧嘩のように聞こえ、そうした会話を聞くたびに緊張していた。香港に適応

するにつれ、そうした会話の雰囲気は地元の人たちのはっきりとした自己主張に起因することを知った。さらに時間が経つと、むしろそうであるからこそ、他人や外国人に配慮し、シンプルな考え方と高いモラルを持ち、マナーを守る人が多いように感じられてきた。私と家内にはそれが、現在の日本から少しずつ失われてきている、昭和の日本にあった良い部分に似ているように見え、帰国直前には香港を離れ難くなっていた。

地元の方々には大変お世話になった。大学の教職員はもちろんのこと、サービスアパートメントのスタッフや日系スーパーマーケットの店員、果てはその近くのマクドナルドの清掃スタッフまでが、言葉の不案内な我々を快く受け入れ、サポートして下さいました。

本稿を執筆している2019年9月上旬には、香港政府が「逃亡犯条例の改正案」の正式な撤回を発表した。いまだ香港の今後は不透明であるが、地元の方々にとって少しでも良い方向に向かっていくことを、祈らずにはられない。

この長期留学では研究に関してはもちろん、それ以外の部分でも一年間大変に貴重な経験をさせていただいた。この場をお借りして、多大なご迷惑をおかけした本学の先生方並びに職員の方々、特に電子システム工学科の先生方と関係各位に心から感謝申し上げます。

理工学総合研究所員及び研究課題一覧

RESEARCHERS & TITLES

(2019年度)

機械システム工学科

ロボット制御 香川 美仁 教授 博士 (工学)	<ul style="list-style-type: none"> • 2脚ロボットの歩行軌道創出に関する研究 • リハビリテーション支援ロボットの研究 • ロボット・セラピーの研究
接着・設計 木原幸一郎 教授 博士 (工学)	<ul style="list-style-type: none"> • 接着接合の構造物への応用 • 衝撃負荷を受ける接着接合体に関する研究 • CADシステムを用いた機械加工及び組み立て図面の作図方法
強度・構造設計 杉林 俊雄 教授 工学博士	<ul style="list-style-type: none"> • プラスチック射出成形用の簡易金型の構造設計 • シアノアクリレート及びエポキシ樹脂の変形と強度 • 各種工業材料のテクスチャ評価と感性評価
機械力学 鈴木 保之 教授 博士 (工学)	<ul style="list-style-type: none"> • 圧電素子やSMAを利用した機械構造物の振動抑制方法に関する研究 • 弾性ロータの釣合せに関する研究
流体工学 藤本 一郎 教授 工学博士 平野 孝典 准教授 博士 (工学)	<ul style="list-style-type: none"> • ジェットエンジンのエアロダイナミクスに関する研究 • ターボ機械の非定常空力特性と性能向上に関する研究 • 電気自動車の高効率化に関する研究 • 飛行物体の飛行制御に関する研究
熱物性 松永 直樹 教授 工学博士	<ul style="list-style-type: none"> • ガスクロマトグラフ法 (テイラー法) による気体の拡散係数の測定 • 蒸発管法 (ステファン法) による気体の拡散係数の測定 • バイオディーゼル燃料の物性に関する研究
計算力学 吉田 勉 教授 工学博士	<ul style="list-style-type: none"> • 最適設計に関する研究 • 材料物性測定に関する研究 • 構造物に作用する外力の固有振動数による測定
機能設計 森 きよみ 准教授 博士 (工学)	<ul style="list-style-type: none"> • 耐熱性新素材の開発と高温物性の評価 • エネルギー源となる植物を生産するための植物プラントシステムに関する研究 • ソフトアクチュエータを応用したマイクロロボットの開発研究
情報生体システム 西川 佳男 助教 博士 (工学)	<ul style="list-style-type: none"> • 生体信号を利用したインターフェースに関する研究 • 体の動きを生体信号から間違えずに推定するシステムの構築

電子システム工学科

<p>機械学習・ニューラルネット 小川 毅彦 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高次元ニューラルネットの学習・推定とその応用に関する研究 ・筋電位による生体動作の認識・評価とその応用に関する研究 ・自律移動ロボットの軌道計画および制御とその応用に関する研究
<p>医工学 長谷川 淳 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・音響的方法による人工弁機能診断に関する研究 ・光学式センサによる振動現象の可視化に関する研究 ・振動型マイクロインジェクション法に関する研究 ・生体情報によるフライトシミュレータ訓練の評価に関する研究
<p>デジタル信号処理 林 誠治 教授 博士 (工学)</p> <p>渡邊 修 准教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・タッチレスインタフェースによる情報提供に関する研究 ・広帯域音声拡張法における高域利得調整フィルタに関する研究 ・カメラおよび移動機構を実装した音声認識合成ソーシャルロボットの製作 ・生体認証デバイスを用いた出席管理と鍵開閉連動システムに関する研究 ・高効率画像符号化に関する研究 ・画像検索技術に関する研究 ・国際標準化 (JPEG, JPEG 2000 等) に関する研究
<p>通信・ネットワーク 前山 利幸 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・アンテナ・電波伝搬に関する研究 ・ワイヤレス通信技術を応用した IoT に関する研究 ・次世代ワイヤレス通信技術に関する研究 ・電磁環境, 電磁解析に関する研究
<p>非線形回路・非線形システム 三堀 邦彦 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・電子回路のカオスの解析とその応用に関する研究 ・強化学習アルゴリズムとその応用に関する研究 ・マルチエージェントシステムとその応用に関する研究
<p>超伝導エレクトロニクス・カオス応用 吉森 茂 教授 工学博士</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・超伝導送電に関する研究 ・超伝導電力貯蔵に関する研究 ・テラヘルツ領域におけるジョセフソン・テトロードの応用に関する研究 ・超伝導マイクロストリップ線路に関する研究
<p>超音波工学 渡辺 裕二 教授 工学博士</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波発生用振動体に関する研究 ・超音波の応用に関する研究 ・圧電素子の応用に関する研究
<p>ミリ波工学 常光 康弘 准教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ラジアルラインスロットアレーアンテナの研究 ・平面導波管スロットアレーアンテナの研究 ・ミリ波帯超広帯域FM-CW レーダーの研究 ・ウェアラブルアンテナによる筋電位観測の研究
<p>行動認識・ロボットシステム 何 宜欣 助教 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・センサーによる人間の日常生活及び生活リズムに関する研究 ・データマイニングによる情報推薦に関する研究 ・ロボット及びモバイル端末によるユーザーインターフェースの開発に関する研究 ・拡張現実(AR) 及び仮想現実(VR) による情報提供に関する研究

情報工学科

<p>プログラミング言語処理 岩澤 京子 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> コンパイラの最適化技術の研究 プログラミング言語と環境の研究 自動並列化コンパイラの開発
<p>教育情報工学 佐々木 整 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> スマートデバイスの教育利用に関する研究 教育ビッグデータの分析・活用に関する研究 不登校児童生徒の学校復帰支援に関する研究
<p>計算機支援設計 高橋 文博 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> コンピュータを用いた回路実装設計支援技術に関する研究 電磁ノイズ発生メカニズムと低減技術の研究 画像を用いたロボット制御
<p>プログラム解析 西田 誠幸 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> プログラム解析を利用したソフトウェアの脆弱性検出 セキュアプログラミング支援環境 安全な Web アプリケーションの開発支援環境
<p>計算機システム工学 早川 栄一 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 組み込みシステムを対象とした高信頼オペレーティングシステムとシステムソフトウェア環境 システムプログラミング教育支援環境 次世代コミュニケーション支援システム
<p>知識処理 水野 一徳 教授 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 知的推論のための組合せ探索アルゴリズムの開発と効率評価 制約充足パラダイムによる知識処理と問題解決支援 マルチエージェントによる複雑現象シミュレーション
<p>高信頼性システム工学 蓑原 隆 教授 工学博士</p>	<ul style="list-style-type: none"> ワンタイムアドレスを利用したIPv6 通信のプライバシー向上 仮想ネットワークを利用したスケーラブルなハニーポットファームの実現 競合学習型ニューラルネットワークの耐故障化
<p>画像工学 諸角 建 教授 工学博士</p>	<ul style="list-style-type: none"> 不可視情報の可視化 映像の持つ潜在的情報の抽出と機械学習を利用した認識 色情報と形状特徴を利用した物体抽出
<p>形式手法・システム検証 島川 昌也 助教 博士 (工学)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ソフトウェア仕様の形式検証に関する研究 形式仕様からのシステム合成に関する研究 セキュリティプロトコルの安全性検証に関する研究
<p>自然言語処理 寺岡 文博 助教 博士 (学術)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 単語間概念関係を用いた比喩表現の検出と言い換え 動詞に関する連想オントロジーの構築と自動拡張 言葉の連想に基づいた語彙学習システムの開発と評価

デザイン学科

用品設計 阿部 眞理 教授 博士（工学）	<ul style="list-style-type: none"> • 木材料の開発と製品への応用 • 防災に関わる生活用品デザインの研究
感性メディアデザイン 大島 直樹 教授 博士（デザイン学）	<ul style="list-style-type: none"> • 感覚間相互作用（クロスモダリティ）を活用した感性メディアデザインの研究 • 創造活動を活性化させる記憶操作の研究
感性インタラクション 岡崎 章 教授 博士（感性科学）	<ul style="list-style-type: none"> • チャイルドライフ・デザインに関する研究 • デザインにおける感性操作と感性評価に関する研究
室内設計 白石 照美 教授 博士（工学）	<ul style="list-style-type: none"> • 内装用材の特性研究とデザイン開発 • 室内防災に寄与するインテリアアイテムの研究・開発
プロダクトデザイン アルバレス・ハイメ 准教授 博士（環境形成研究領域）	<ul style="list-style-type: none"> • 防災製品デザインに関する研究 • ものづくりによるソリューションデザインの探求 • デザイン理論・方法論・実践の視点から「機能」の概要を再構築する研究
コミュニティデザイン 工藤 芳彰 准教授 博士（工学）	<ul style="list-style-type: none"> • コミュニティデザイン支援に関する研究 • デザインの歴史文化に関する地域研究
視覚デザイン 小出 昌二 准教授	<ul style="list-style-type: none"> • プリントメディアを主としたコミュニケーションに関する研究 • 印刷加工と平面構成に関する研究と制作
シビックデザイン 永見 豊 准教授 工学修士	<ul style="list-style-type: none"> • 橋梁デザインにおける機能性，経済性，優美性に関する研究 • 錯視効果を利用した交通安全対策に関する研究 • 地域活性化に関する研究
ヒューマンコンピュータインタラクション 崔 烘碩 助教 博士（工学）	<ul style="list-style-type: none"> • VR環境における「怒り」心理量測定ツールの開発 • 全天球動画を用いた患児向けプレパレーションツールの開発
ユーザエクスペリエンスデザイン 森岡 大輔 助教 博士（工学）	<ul style="list-style-type: none"> • 福祉用具の形状設計に関する研究 • デジタル技術を応用した装具設計支援システムの開発に関する研究

基礎教育系列・その他

ユニタリ表現論 青木 茂 教授 理学博士	<ul style="list-style-type: none"> 半単純対称空間上の調和解析
文学 大森 裕二 教授 文学修士	<ul style="list-style-type: none"> アメリカ演劇 比較文学
解析学 織田 寛 教授 博士 (数理科学)	<ul style="list-style-type: none"> 実簡約Lie群の表現論と次数Hecke環の表現論の関係 Riemann対称空間上のベクトル束に対する調和解析
日本語 小林 伊智郎 教授 修士(日本語日本文学)	<ul style="list-style-type: none"> 日本語学 日本語教育学
理論物理学 鈴木 康夫 教授 理学博士	<ul style="list-style-type: none"> 物理教育研究 ソフトマター物理学 ブラックホール
素粒子理論 関野 恭弘 教授 博士(理学)	<ul style="list-style-type: none"> 超弦理論による宇宙論とブラックホールの研究
画像解析(外国語学部) 日比 哲也 准教授 工学修士	<ul style="list-style-type: none"> 色彩情報を利用した交通標識の画像認識システムの開発 視覚情報を認知する自動運転支援システムの開発 GPSを利用した自動航法システムの開発
農業総合入門(国際学部) 竹下 正哲 教授 博士(農学)	<ul style="list-style-type: none"> イスラエル農業 ドリップ灌漑システム 世界の農業
作物学・農学 (拓殖大学北海道短期大学) 田中 英彦 教授 博士(農学)	<ul style="list-style-type: none"> 水稲の省力生産技術に関する研究 水田水温を用いた水稲の幼穂形成期予測モデルに関する研究
栽培土壌学 (拓殖大学北海道短期大学) 岡田 佳菜子 准教授 博士(農学)	<ul style="list-style-type: none"> 水稲の養水分環境 水稲移植栽培への窒素質肥料の利用 深川市蛇紋岩質土壌における水稲初期生育不良 北海道における水稲直播栽培と生育環境

理工学系専任教員研究活動一覽・他

ACADEMIC REPORTS & SOCIAL ACTIVITIES

(2018年4月～2019年12月)

【研究業績および研究活動区分】

原稿及び翻訳＝著書 学位論文＝学論 学術論文＝論文 学会等の受賞＝受賞

学会誌掲載の展望・論説等＝展望または論説 調査報告書＝調査 新聞・専門誌への寄稿等＝寄稿

技術等解説＝解説 招待講演＝招待 国際会議・海外・国内シンポジウム等での発表（審査付）＝討論

大会口頭発表・学会研究会＝口頭 学会等の運営＝運営 学会誌及び各種の審査＝審査

団体または企業よりの依頼製作＝依頼 コンペ・団体展公募＝公募 招待出品及び指名設計、依頼出品＝作品

団体・個人展覧会＝展示

機械システム工学科

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
香川 美仁	口頭	リハビリ支援ロボットの研究	第19回(公)計測自動制御学会SI部門講演会講演論文集	2018年12月	共著	2946-2947
杉林 俊雄	学術論文	透明アクリル樹脂板の表面性状が視覚のテクスチャに及ぼす影響	色材	2019年5月		131-135
鈴木 保之	学術論文	Dynamic tracking control of an SMA wire actuator based on model matching	Sensors and Actuators A: Physical	2019年4月	共著	DOI information: 10.1016/j.sna.2019.04.011
松永 直樹	学術論文	アセトアルデヒド蒸気の空気および窒素に対する拡散係数	熱物性 第32巻	2018年5月	単著	88-89
松永 直樹	学術論文	Gaseous Diffusion Coefficients of FC14, HFC23 and FC116 into Air, Nitrogen, and Oxygen	Heat Transfer-Asian Research	2018年	単著	
吉田 勉	その他	Stress Measurement by Spectrum Analyses for Round Bar Subjected to Time-Varying Load	International Summit on OPTICS,PHOTONICS AND LASER TECHNOLOGIES	2019年6月	共著	
吉田 勉	その他	Measurement of Time-Varying Stress by Natural Frequency of Impact Sound	6th Annual Conference on Engineering, Athens Journal of Technology & Engineering	2019年6月	単著	
平野 孝典	学術論文	翼ピッチ制御機構を有する垂直軸抗力型風車の性能	拓殖大学理工学研究報告 Vol. 16, No. 1	2019年3月	共著	11-16
西川 佳男	著書	大学時報 2018 9月号(第67巻382号)	日本私立大学連盟	2018年9月	共著	104-105
西川 佳男	その他	リハビリ支援ロボットの研究	計測自動制御学会	2018年12月	共著	pp.2946-2947

電子システム工学科

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
小川 毅彦	討論	Texture Evaluation of Transparent Acrylic Resin Using Self-Organizing Maps	Proc. of ICAI2018	2018年7月	共著	289-292
小川 毅彦	その他	自己組織化マップによるアルミニウム合金のテクスチャ評価方法	拓殖大学理工学研究報告	2019年3月	共著	3-10
長谷川 淳	学術論文	Development and Evaluation of the Second Version of Vibratory Microinjection System	Advanced Biomedical Engineering, Vol. 7	2018年11月	共著	131-140
林 誠治	口頭	病室でのタッチレスインタフェースによる情報提供に関する一考察	電子情報通信学会 2018年ソサエティ大会	2018年9月	共著	A-15-10, p127
林 誠治	口頭	広帯域拡張法における?域利得調整フィルタに関する一考察	電子情報通信学会 2018年ソサエティ大会	2018年9月	共著	A-8-12, p48
林 誠治	口頭	顔の状態認識を用いたリハビリゲーミフィケーションの検討	電子情報通信学会 2019年ソサエティ大会	2019年9月	共著	A-15-10
林 誠治	口頭	全波整流を用いた広帯域拡張法における高域利得調整の検討	電子情報通信学会 2019年ソサエティ大会	2019年9月	共著	A-8-9
前山 利幸	口頭	屋内大規模空間における電磁解析手法の検討	電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会	2019年8月	共著	pp. 23-28
前山 利幸	口頭	屋内IoT機器向け指向性, 偏波及び空間ダイバーシティを有した920MHz帯アンテナ設計と実験的評価	電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会	2019年8月	共著	pp. 91-96
前山 利幸	討論	Spurious Power Detection using Mobile Sensors for Spectrum-Sharing	2018 IEEE International RF and Microwave Conference: 4 pages	2018年12月	共著	B2: Measurement, Sensors & Electromagnetic Modeling:
前山 利幸	口頭	大規模屋内空間の電磁解析	電子情報通信学会 総合大会	2019年3月	共著	B-1-4
前山 利幸	口頭	プライマリユーザの許容SINRを用いた周波数共用システム	電子情報通信学会 総合大会	2019年3月	共著	B-17-9
前山 利幸	口頭	5G ホットスポットにおけるソフトウェア無線を用いた周波数共用可否判定	電子情報通信学会 総合大会	2019年3月	共著	B-17-10
前山 利幸	口頭	ブロックチェーンによる周波数共用調停の改善	電子情報通信学会 総合大会	2019年3月	共著	B-17-11
前山 利幸	口頭	ミリ波帯におけるアンテナの高精度測定について	第33回 エレクトロニクス実装学会 春季講演大会	2019年3月	共著	11D2-04
前山 利幸	口頭	28GHz帯アンテナ実装に関する一検討	第33回 エレクトロニクス実装学会 春季講演大会	2019年3月	共著	11D3-05
前山 利幸	口頭	屋内を対象とした大規模電磁解析	日本建築学会 建築電磁環境に関する研究発表会 2019	2019年3月	共著	学生演題 4
前山 利幸	討論	Increasing Spectrum Sharing Opportunities by Radio Link Design in an Urban Environment	2019 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing	2019年8月	共著	W11: 5G Networks, 4 pages
前山 利幸	口頭	大規模屋内空間に対する電磁解析の一検討	電子情報通信学会 ソサエティ大会	2018年9月	共著	B-1-26
前山 利幸	口頭	屋内IoT向け指向性, 偏波及び空間ダイバーシティを有した920MHz帯アンテナの一検討	電子情報通信学会 ソサエティ大会	2018年9月	共著	B-1-55
前山 利幸	口頭	波源推定方式における端末の偏り検出についての一検討	電子情報通信学会 ソサエティ大会	2018年9月	共著	B-17-21
前山 利幸	口頭	一次利用者の現実的な許容SINRによる干渉判定手法	電子情報通信学会 ソサエティ大会	2018年9月	共著	B-17-22
前山 利幸	口頭	LoRaWANを用いた水位センサネットワーク構築における伝搬損失の検討	電子情報通信学会 ソサエティ大会	2018年9月	共著	B-18-10

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
前山 利幸	口頭	特別講演 IoTを支えるワイヤレス技術	日本建築学会 建築電磁環境に関する研究発表会 2019	2019年3月	単著	特別講演
吉森 茂	その他	時間依存のGinzburg-Landauモデルを用いたジョセフソン弱結合のピコパルス応答の解析	拓殖大学理工学研究報告, Vol. 16, No. 1	2019年3月	単著	
渡辺 裕二	討論	A Designing Method of Ringing Suppression for Ultrasonic Sound Source and its Application to Ultrasonic Machining	Proc. Symposium on Ultrasonic Electronics, Vol. 39	2018年10月	共著	1P4-8
渡辺 裕二	討論	A Driving Method for Reduction of Ringing Duration of High Power Ultrasonic Pulse Source	Proc. Symposium on Ultrasonic Electronics, Vol. 39	2018年10月	共著	2P4-5
渡辺 裕二	学術論文	A design method of applied waveform for high-power ultrasonic monopole pulses	Jpn. J. Appl. Phys. 58	2019年7月	共著	SGGD15-1~8
常光 康弘	口頭	ミリ波60GHz帯超高速大容量無線伝送システムの実空間伝搬実験	2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会	2018年9月	共著	B-1-24
常光 康弘	口頭	屋内や高速鉄道客車内における60GHz帯無線LAN有効範囲の解析	2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会	2018年9月	共著	B-1-25
常光 康弘	口頭	微細化加工技術による太陽光発電用導波管スロットアレーアンテナ	2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会	2018年9月	共著	B-1-83
常光 康弘	討論	The Radial Line Slot Antenna using Non-Resonant Cross-Slot Pair for Radiating Waveguide Termination	2018 Asia-Pacific Microwave Conference, The Institute of Electronics Information and Communication Engineers (IEICE) of Japan	2018年11月	共著	FR3-IF-27
常光 康弘	口頭	小型端末実装用非共振クロススロットペアを有するラジアルラインスロットアンテナ	第33回 エレクトロニクス実装学会春季講演大会	2019年3月	共著	12C1-03
常光 康弘	口頭	Tの字型スロットと非共振クロススロットによる所望の利得を実現する同心円状配列ラジアルラインスロットアレーアンテナ	2019年電子情報通信学会総合大会	2019年3月	共著	B-1-50
常光 康弘	口頭	ミリ波帯実装基板向けに適した一層構造導波管平面スロットアレーアンテナ	第33回 エレクトロニクス実装学会春季講演大会	2019年4月	共著	12C1-04
渡邊 修	討論	Lossless Two-Layer Coding using Histogram Packing Technique for HDR Images	IEEE International Symposium on Circuits and Systems	2018年5月	共著	B5P-S
渡邊 修	討論	Two-layer Lossless HDR Coding considering Histogram Sparseness with Backward Compatibility to JPEG	Picture Coding Symposium	2018年6月	共著	
渡邊 修	学術論文	Two-Layer Lossless HDR Coding using Histogram Packing Technique with Backward Compatibility to JPEG	IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E101-A, No. 11	2018年11月	共著	pp. 1823 - 1831
渡邊 修	討論	JPEG Pleno light field coding technologies	2019 SPIE Optical Engineering + Applications	2019年8月	共著	11137-52, http://dx.doi.org/10.1117/12.2532049
渡邊 修	討論	A MATLAB Implementation of the Emerging HTJ2K Standard	IEEE GCCE 2019	2019年10月	共著	Accepted
渡邊 修	その他	Draft Amendment JPEG 2000 Part 1	ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1	2018年4月	共著	N79016
渡邊 修	その他	JPEG標準の技術動向	画像電子学会年次大会, オーガナイズドセッション「画像イノベーションを牽引する新たな符号化技術」, 基調講演	2018年6月	共著	OS-1
渡邊 修	その他	JPEGファミリー標準とその標準化活動の実際	映像情報メディア学会誌 Vol. 72, No. 4	2018年7月	単著	TBD
渡邊 修	その他	CD text of Information technology - JPEG 2000 image coding system - Part 15: High-Throughput JPEG 2000	ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1	2018年7月	共著	N80034

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
渡 邊 修	その他	DIS text of Information technology - JPEG 2000 image coding system - Part 15: High-Throughput JPEG 2000	ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1	2018年10月	共著	N81011
渡 邊 修	その他	FDAM Text for ISO/IEC 15444-1: 2016 Rec. ITU-T T.800:2015 AMD1: Signalling for profiles and extended capabilities	ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1	2018年10月	共著	N81017
渡 邊 修	その他	PCS 2018 参加レポート	映像情報メディア学会誌 Vol. 72, No. 6	2018年11月	単著	TBD
渡 邊 修	その他	FDIS Text for ISOIEC 15444-1 Rec. ITU-T T.800 4th edition	ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1	2019年1月	共著	N82062
渡 邊 修	その他	WD text of 15444-5-2015 AMD1 (HTJ2K Reference Software)	ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1	2019年1月	共著	N82056
渡 邊 修	その他	FDIS text of Information technology - JPEG 2000 image coding system - Part 15: High-Throughput JPEG 2000	ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1	2019年3月	共著	N83008
渡 邊 修	その他	CDAM text for AMD1 to 1544-5:2015 (HTJ2K Reference Software)	ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1	2019年7月	共著	N84010

情報工学科

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
岩澤京子	討議	Prototyping for a Parallel Programming Tool	The Fourth International Conference on Fundamentals and Advances in Software Systems Integration, FASSI 2018	2018年9月	単著	FASSI_2018_1_10_70005 (pp.1-5)
岩澤京子	学術論文	Assist Method for Parallel Programming	The 16th International Conference Applied Computing 2019	2019年11月	単著	pp. 280-285
岩澤京子	運営	the editorial board of the International Journal On Advances in Software	International Academy, Research, and Industry Association	2012年～		
佐々木整	討議	Development of Edutainment Contents for Programming Education Aimed to Reduce Students with Weak Awareness in Programming	E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education	2018年10月	共著	pp.1370-1378
佐々木整	討議	Program Evaluation Support Application for Elementary School Teachers	Eurasia Research International Conference	2018年12月	共著	No.11
佐々木整	口頭	Improvement of Edutainment Contents for Programming Education Aimed to Reduce Students with Weak Awareness in Programming	日本教育工学会第34回全国大会講演論文集	2018年9月	共著	11a-A102-03
佐々木整	口頭	ビジュアルプログラミングの評価支援システムの開発・福永理絵, 佐々木整, 岡本俊一	JSiSE Research Report	2019年1月	共著	vol. 33, no. 5, (pp.121-126)
佐々木整	著書	本格学習Java入門 改訂3版	技術評論社	2018年12月	単著	
佐々木整	運営	編集委員会委員	日本教育工学会	2006年～2018年5月		
佐々木整	運営	一般情報教育委員会委員	情報処理学会	2009年～		
佐々木整	運営	社員	教育システム情報学会	2014年～2018年		
佐々木整	運営	研究会委員会委員	教育システム情報学会	2003年～		
佐々木整	運営	評議員	日本教育工学会	2015年～		
佐々木整	運営	教養教育として必要な情報教育カリキュラム標準の策定ワーキンググループ	情報処理学会	2018年		
佐々木整	運営	Conference Committee	The 9th International Conference on Internet Studies	2017年～2018年		
佐々木整	運営	Reviewer	The 9th International Conference on Internet Studies	2018年		
佐々木整	運営	Programing Committee	IEEE An International Conference on Engineering, Technology and Education 2018	2018年		
佐々木整	運営	Reviewer	IEEE An International Conference on Engineering, Technology and Education 2018	2018年		
佐々木整	審査	オフィスソフトウェアソリューション職種主査	若年者ものづくり競技会	2015年～		
西田誠幸	学術論文	Correlating Program Code to Output for Supporting Program Understanding	International Multi-conference of Engineers and Computer Scientists 2019	2019年3月	共著	180-183
水野一徳	学術論文	Solving Constraint Satisfaction Problems by Cunning Ants with Multi-Pheromones	International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 8, No. 4	2018年8月	共著	361-365
水野一徳	学術論文	Ant Colony Optimization with Negative Feedback for Solving Constraint Satisfaction Problems	The 2018 International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI2018)	2018年12月	共著	156-159

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
水野一徳	学術論文	Escher-like Tiling Design Using Estimation of Distribution Algorithm	The 24th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB2019)	2019年1月	共著	262-265
水野一徳	学術論文	Music Recommendation for Individual Music Preference	International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 11, No. 2	2019年3月	共著	35-38
水野一徳	学術論文	Refining a Pheromone Trail Graph by Negative Feedback for Constraint Satisfaction Problems	The 2019 International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI2019)	2019年11月	共著	
水野一徳	学術論文	Application of Escher-like Tiling Design to Confectionery Shape Design	The 2019 International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI2019)	2019年11月	共著	
水野一徳	口頭	複数種類のフェロモンを用いたcASによる制約充足問題の解法	人工知能学会第32回全国大会	2018年6月	共著	1E1-1
水野一徳	口頭	ACOを用いたデータクラスタリングにおける最適パラメータの考察	人工知能学会第32回全国大会	2018年6月	共著	1E1-3
水野一徳	口頭	複数種類のフェロモンを用いたACOによる制約充足問題の解法	信学技報, AI2018-2, Vol. 118, No. 116, 電子情報通信学会	2018年7月	共著	7-10
水野一徳	討論	Music Recommendation for Individual Music Preference	The 2nd International Conference on Intelligent Autonomous Systems (ICoIAS2019)	2019年2月	共著	ID: IAS19-653
水野一徳	口頭	対話型遺伝的プログラミングを用いたポスターデザイン支援ソフトの開発	進化計算学会第15回研究会	2019年3月	共著	192-197
水野一徳	口頭	Expressway Congestion Simulation Involving Lane Changing	情報処理学会第81回全国大会	2019年3月	共著	2P-9, pp. 1-341-1-342
水野一徳	口頭	フェロモン更新に負のフィードバックを取り入れたACOによる制約充足問題の解法	人工知能学会第33回全国大会	2019年6月	共著	3J4J-1-01
水野一徳	口頭	制約充足問題に対するACOの動的パラメータ調整の有効性の検討	第110回人工知能基本問題研究会 (SIG-FPAI-B901), 人工知能学会	2019年9月	共著	pp. 31-36
水野一徳	運営	Programing Committee Member	The 2018 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence(TAAI2018)	2018年		
水野一徳	運営	Programing Committee Member	The 2019 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence(TAAI2019)	2019年		
水野一徳	運営	Session Chair	The 2019 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence(TAAI2019)	2019年		
水野一徳	審査	論文誌表彰委員	進化計算学会	2019年		
水野一徳	審査	競技委員	第13回若年者ものづくり競技大会 (中央職業能力開発協会)	2018年		
水野一徳	審査	競技委員	第14回若年者ものづくり競技大会 (中央職業能力開発協会)	2019年		
水野一徳	受賞	Excellent Paper Award	The 2019 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI2019)	2019年11月		
竹下正哲 中西一弘 高橋丈博 蓑原利幸 前山利克 戸祭ひろみ 益満藤元	論文	ドリップ灌漑およびドリップ・ファティゲーションが露地ピーマンの収量に及ぼす影響	農作業研究, 53巻, 4号	2018年12月	共著	pp.183-194

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
竹下正哲 中西一弘 高橋文博 蓑原隆幸 前山利哲 日比哲也 戸祭克 益満ひろみ 後藤元	論文	ドリップ灌漑およびドリップ・ファーターティゲイションを用いたスイートコーン栽培における増収効果および多本取り	農業研究, 54巻, 3号	2019年9月	共著	pp.151-161
蓑原隆	招待	無線センサーネットワークのセキュリティ	IEEE Reliability Society Japan Joint Chapter Seminar	2018年6月		
蓑原隆	運営	組込み技術とネットワークに関するワークショップ ETNET2019, DC研担当幹事	電子情報通信学会	2019年3月		
蓑原隆	運営	ディペンダブルコンピューティング研究専門委員会委員	電子情報通信学会	2012年5月~		
蓑原隆	その他	無線センサーネットワークのセキュリティ対策の最適化	電子情報通信学会技術報告 DC2018-101	2019年3月	単著	327-331
諸角建	その他	仮想空間におけるアバターを利用したコミュニケーションの没入感への影響	情報処理学会	2019年3月	共著	7ZJ-05
島川昌也	学術論文	A Characterization on Necessary Conditions of Realizability for Reactive System Specifications	Workshop on Computation: Theory and Practice	2018年	共著	
島川昌也	学術論文	Towards Improvement of Realizability Checking for Reactive System Specifications by Simplification of Infinite Games	Workshop on Computation: Theory and Practice	2018年	共著	
島川昌也	学術論文	Verification of Verifiability of Voting Protocols by Strand Space Analysis	International Conference on Software and Computer Applications	2019年	共著	
島川昌也	学術論文	Towards Efficient Implementation of Realizability Checking for Reactive System Specifications	International Conference on Software and Computer Applications	2019年	共著	
寺岡文博	論文	VAIR Field - Multiple Mobile VR Shooting Sports	Virtual, Augmented and Mixed Reality: Applications in Health, Cultural Heritage, and Industry, Springer	2018年7月	共著	235-246
寺岡文博	寄稿	フェロー紹介 石崎俊 フェロー	認知科学 26巻3号	2019年9月	共著	299-304
寺岡文博	討論	Automatic Generation of a TV Programme from Blog Entries	ACM TVX 2018 Booklet	2018年6月	共著	2 pages
寺岡文博	討論	Analysis of Associative Information for Second Language Learning of Japanese	Proceedings of 4th Asia Pacific Corpus Linguistics Conference (APCLC)	2018年9月	単著	434-439
寺岡文博	討論	A Prediction Model for End-of-Utterance Based on Prosodic Features and Phrase-Dependency in Spontaneous Japanese	Proceedings of the APSIPA Annual Summit and Conference 2018	2018年11月	共著	1782-1786
寺岡文博	討論	Visualize medical information using VISTouch technology	Proceedings of SPIE 11049, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2019	2019年3月	共著	(110491G) 1-5
寺岡文博	討論	Application of Archery to VR Interface	HCI International 2019 - Posters (21st International Conference HCI 2019, Proceedings, Part II), Springer	2019年7月	共著	90-95
寺岡文博	討論	A Investigation of Prosodic Features Related to Next Speaker Selection in Spontaneous Japanese	Proceedings of the 22nd Conference of the Oriental COCODA (International Committee for the Co-ordination and Standardisation of Speech Databases and Assessment Techniques)	2019年10月	共著	#36 (5 pages)
寺岡文博	討論	CUBISTA: Applying Medical Information to Art	Proceedings of 17th International Conference of Asia Digital Art and Design (ADADA)	2019年11月	共著	138-142

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
寺岡丈博	討論	Physical e-Sports in VAIR Field system	SIGGRAPH Asia 2019 XR (SA'19)	2019年11月	共著	31-33
寺岡丈博	口頭	VAIR FIELD - モバイルVRを用いたスポーツ競技の創造	Computer Entertainment Developers Conference (CEDEC 2018)	2018年8月	共著	web
寺岡丈博	口頭	言葉の連想に基づいたなぞなぞ文の自動生成	情報処理学会第81回全国大会講演論文集(2)	2019年3月	共著	119-120
寺岡丈博	口頭	話者移行適格場予測のための発話内文節位置推定モデルの構築	日本音響学会2019年春季研究発表会講演論文集	2019年3月	共著	805-806
寺岡丈博	運営	第32回全国大会委員会実行委員長補佐	人工知能学会	2017年10月~2018年7月		
寺岡丈博	運営	Scientific Committee Member	11th edition of the Language Resources and Evaluation Conference (LREC 2018)	2017年11月~2018年5月		
寺岡丈博	運営	編集委員会企画幹事	映像情報メディア学会	2018年6月~		
寺岡丈博	運営	第33回全国大会委員会プログラム委員	人工知能学会	2018年7月~2019年7月		
寺岡丈博	運営	第34回全国大会委員会プログラム委員	人工知能学会	2019年10月~		
寺岡丈博	運営	Scientific Committee Member	12th edition of the Language Resources and Evaluation Conference (LREC 2020)	2019年11月~		
寺岡丈博	運営	代議員	言語処理学会	2019年12月~		
寺岡丈博	受賞	Best Paper Award	2019 International Conference for ADADA + CUMULUS	2019年11月		

デザイン学科

著者・氏名	区分	著書、学術論文、作品等の名称	掲載誌、発行所、学会、講演会、展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁、分担・担当等
阿部 真理	口頭	弾性スギ圧縮木材による収納家具部材の振動特性	日本デザイン学会 第65回春季研究発表大会概要集	2018年6月	共著	
阿部 真理	口頭	弾性スギ圧縮木材による平織り加工を施した座面部材の開発	日本デザイン学会 第65回春季研究発表大会概要集	2018年6月	共著	
阿部 真理	口頭	タケ材の特性を活かした収納家具の開発	日本デザイン学会 第65回春季研究発表大会概要集	2018年6月	共著	
阿部 真理	口頭	弾性スギ圧縮によるブロックシェルフの開発	日本インテリア学会 第30回大会梗概集	2018年10月	共著	87-88
阿部 真理	口頭	弾性スギ圧縮による平編み加工を施したスツールの開発	日本インテリア学会 第30回大会梗概集	2018年10月	共著	89-90
阿部 真理	口頭	タケ材による中空構造シェルフ	日本インテリア学会 第30回大会梗概集	2018年10月	共著	91-92
大島 直樹	展示	ENCOUNTER_Genesis by Two Lines	ANBD2018 マレーシア展	2018年8月	単著	
大島 直樹	展示	MARRIAGE_Genesis by Two Lines	ANBD2018 中国展	2018年9月	単著	
大島 直樹	展示	PREGNANCY_Genesis by Two Lines	ANBD2018 韓国展	2018年11月	単著	
大島 直樹	展示	BIRTH_Genesis by Two Lines	ANBD2018 台湾展	2018年12月	単著	
大島 直樹	展示	KIRIKO_Illuminating Asia	ANBD2019 Colombo Special Exhibition	2019年2月	単著	
岡崎 章	学術論文	プレパレーション前から処置後までの鼻部皮膚温度の変化による入院児のストレス状態の評価	日本デザイン学会 デザイン学研究作品集 23 (1)	2018年4月	共著	74-77
岡崎 章	学術論文	プレパレーション前から処置後までの鼻部皮膚温度の変化による入院児のストレス状態の評価	小児保健研究 77 (4)	2018年5月	共著	373-379
岡崎 章	受賞	痛み評価ツール [Pamin]	第12回キッズデザイン賞	2018年8月	共著	
岡崎 章	討論	Developing Informed Consent Tool for Relieving Fear for Cataract Operation	ISIDC 2018	2018年10月	共著	371-376
岡崎 章	著書	感性と情報からデザインを考えるために	Kindle, 株式会社KANSEI DESIGN	2019年3月	単著	1-122
岡崎 章	招待	招待講演：看護のための感性評価ツールデザイン	日本官能評価学会	2019年11月	単著	
白石 照美	口頭	タケ材の特性を活かした収納家具の開発	日本デザイン学会 第65回研究発表大会概要集	2018年6月	共著	
白石 照美	口頭	弾性スギ圧縮木材による平織り加工を施した座面部材の開発	日本デザイン学会 第65回研究発表大会概要集	2018年6月	共著	
白石 照美	口頭	弾性スギ圧縮木材による収納家具部材の振動特性	日本デザイン学会 第65回研究発表大会概要集	2018年6月	共著	
Alvarez Jaime	討論	Revisiting the concept of 'function': A conceptual expansion for product, service and system innovation. International Service Innovation Design Conference	Proceedings of the International Service Innovation Design Conference	2018年10月	共著	pp. 201-206
アルバレス・ハイメ	口頭	感性インタラクションの視点から「機能」を思案する	第20回日本感性工学会大会 「感性に響くものづくり, デザインの魅力と機能」(企画セッション)	2018年9月	共著	A-405
アルバレス・ハイメ	口頭	歩行リハビリ患者を支援する感性ロボットの役割分析	第20回日本感性工学会大会 「感性に響くものづくり, デザインの魅力と機能」(企画セッション)	2018年9月	共著	A-406
アルバレス・ハイメ	口頭	一人暮らしの生活の質を低下させる原因の抽出と考察	第20回日本感性工学会大会 「感性に響くものづくり, デザインの魅力と機能」(企画セッション)	2018年9月	共著	A-407
アルバレス・ハイメ	口頭	リハビリ支援ロボットの研究	第19回(公)計測自動制御学会SI部門講演会講演論文集	2018年12月	共著	2946-2947

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
アルバレス・ハイメ	依頼	高齢者 x デザイン	東京大学 高齢社会総合研究機構 「活力ある超高齢社会を共創する グローバル・リーダー養成プログラム」	2018年10月		講師
Alvarez Jaime	その他	Research about innovation opportunities in the medical device industry through Japan-Mexico Bilateral Collaboration. International Service Innovation Design Conference, 2018	Proceedings of the International Service Innovation Design Conference	2018年10月	共著	pp. 553-561
アルバレス・ハイメ	その他	A new approach to understand and implement Accesibility and Universal Design	Keynote speaker at the 6th International Forum for Inclusive Cities	2019年10月		基調講演
工藤 芳彰	学術論文	昔話を題材としたボードゲーム型総合学習ツール『とんとんならべ』の検証	デザイン学研究 Vol. 65 No. 4	2019年3月	単著	19-28
工藤 芳彰	学術論文	知的障害児に対するアプリケーションを用いた歯磨き指導の効果	弘前大学教育学部研究紀要 クロスロード第23号 (通巻63号)	2019年3月	共著	131-137
T. Takahashi Y. Kudo	討論	A Verification of "Tonton-narabe", the Tool for Integrated Studies based on old tales	12th ADCS Conference	2018年11月	共著	pp. 1591-1596
工藤 芳彰	運営	理事	日本デザイン学会	2017年4月 ~2018年6月		企画委員長
工藤 芳彰	運営	理事	日本デザイン学会	2018年 7月~		第2支部 副支部長
高橋 拓夢 福永 理絵 佐々木 整 工藤 芳彰	口頭	八王子市立高尾山学園のための学習導入ツールの提案	日本デザイン学会 第65回春季研究発表大会概要集	2018年6月	共著	pp. 180-181
工藤 芳彰 高橋 拓夢 佐々木 整	口頭	不登校状態の経験を有する児童生徒のための学習導入ツール『とんとん走れ』の提案	第43回教育システム情報学会 全国大会概要集	2018年9月	共著	pp. 417-418
工藤 芳彰	著書	「地域×大学生」が未来をひらく 実践! まちづくり学 拓殖大学編	大空出版	2019年7月	共著	10-13, 58-77
小出 昌二	学術論文	長方形のプロポーションに関する嗜好性の再検証	日本基礎造形学会論文集・作品集 2018 基礎造形027	2019年2月	単著	pp. 19-26
小出 昌二	学術論文	顔文字の構成要素による新たな使用法の可能性	日本基礎造形学会論文集・作品集 2018 基礎造形027	2019年2月	共著	pp. 13-18
小出 昌二	受賞	平成30年度 日本基礎造形学会 研究奨励賞	日本基礎造形学会	2018年9月	単著	
小出 昌二	運営	第29回 日本基礎造形学会 埼玉大会 実行委員会	第29回 日本基礎造形学会 埼玉大会 実行委員	2018年 7月~9月		
小出 昌二	審査	日本基礎造形学会論文集・作品集2018 基礎造形 027 査読	日本基礎造形学会 査読委員	2018年4月 ~2019年3月		
小出 昌二	審査	UCDA AWARD 2018	一般社団法人ユニバーサル コミュニケーション デザイン協会 評価員	2018年6月 ~11月		
小出 昌二	展示	東京ミッドタウン・デザインハブ第72回企画展「JAGDAつながりの展覧会 Part 1 マスキングテープ」	東京ミッドタウン・デザインハブ 他多会場	2018年3月 ~4月	単著	
小出 昌二	展示	モダンアート協会主催 第68回モダンアート展 デザイン部門 (平面構成作品)	東京都美術館, 熊本県立美術館分館	2018年4月 ~5月	単著	
小出 昌二	展示	第68回モダンアート展 デザイン部門 WHITE BRAIN ACT 7	モダンアート協会主催 第68回モダンアート展 デザイン部門 東京都美術館, 熊本県立美術館分館	2018年4月		
小出 昌二	展示	平面構成作品 WHITE COCOON ACT1, WHITE COCOON ACT2	GALLERY ART POINT 企画展, Mixed Media 2018 展 一現代抽象作家13人展一, GALLERY ART POINT	2018年7月		

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
小 出 昌 二	展示	GALLERY ART POINT 企画展, Mixed Media 2018 展 ―現代抽象作家 13 人展― (平面構成作品)	GALLERY ART POINT	2018 年 7 月	単著	
小 出 昌 二	口頭	平面構成作品	日本基礎造形学会 第 29 回埼玉大会 文教大学越谷キャンパス	2018 年 9 月	単著	p. 35
小 出 昌 二	展示	東京ミッドタウン・デザインハブ第 77 回企画展 「JAGDA つながりの展覧会 Part 2 チャリティ・アート・タンブラー」	公益社団法人日本グラフィックデザイナー協会企画・運営 東京ミッドタウン・デザインハブ	2019 年 2 月		
小 出 昌 二	展示	第 69 回モダンアート展 デザイン部門 WHITE COCOON ACT3	モダンアート協会主催 第 69 回モダンアート展 デザイン部門 東京都美術館, 愛知県美術館ギャラリー	2019 年 4 月		
永 見 豊	著書	実践! まちづくり学 ―コミュニティを幸せにする, デザインの挑戦―	大空出版	2019 年 7 月	共著	10-13, 78-93
永 見 豊	口頭	運転手に一時停止を促す立体横断歩道	日本デザイン学会研究発表大会 概要集 65 巻	2018 年 6 月	共著	454-455
永 見 豊	口頭	住民発信型まちづくりの取り組み	日本デザイン学会研究発表大会 概要集 65 巻	2018 年 6 月	共著	270-271
永 見 豊	口頭	高速道路出口部における逆走への気づきやすさと空間構成要素の関係	第 38 回交通工学研究発表会 論文集	2018 年 8 月	共著	71-74
永 見 豊	討論	Experiments on patients with MCI to confirm effects of measures against wrong-way driving	25th ITS World Congress	2018 年 9 月	共著	CD-ROM
永 見 豊	学術論文	視覚的逆走対策提示時における MCI 有病者を含む高齢者の逆走への気づきやすさの CG 動画を用いた評価	交通工学論文集 第 5 巻, 第 4 号	2019 年 2 月	共著	A217-A222
永 見 豊	学術論文	高速道路における軽度認知障害有病者による逆走通知内容の評価	交通工学論文集 第 5 巻, 第 4 号	2019 年 3 月	共著	B1-B6
永 見 豊	口頭	上り下り両方向から立体に見える横断歩道	日本デザイン学会研究発表大会 概要集 66 巻	2019 年 6 月	共著	516-517
永 見 豊	口頭	ドライビングシミュレータ実験による逆走ドライバーの視行動の特徴に関する分析	第 39 回交通工学研究発表会 論文集	2019 年 8 月	共著	703-709
永 見 豊	口頭	ドライビングシミュレータを用いた高速道路サグ部における路面標示対策による速度回復評価	第 39 回交通工学研究発表会 論文集	2019 年 8 月	共著	617-622
森 岡 大 輔	学術論文	Measurement System for Kinetic Loads Acting on an Orthosis during Swing Phase	Advanced Experimental Mechanics, Vol. 3	2018 年 4 月	共著	Vol. 3, pp. 192-196
森 岡 大 輔	学術論文	歩行中のプラスチック短下肢装具に作用する荷重と装具変形の分析 ―自動装具設計製作システムの開発を目指して―	『実験力学』2019 年 19 巻 2 号	2019 年 8 月	共著	p. 99-107

基礎教育系列

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・発表年月	単著・共著	刊号頁, 分担・担当等
青木 茂	その他	第26回「工学系数学基礎教育研究会」のご報告	日本数学会発行「数学通信」第23巻第1号	2018年5月	単著	p. 33
青木 茂	その他	第27回「工学系数学基礎教育研究会」のご報告	日本数学会発行「数学通信」第23巻第3号	2018年11月	単著	p. 58
織田 寛 示野 信一	学術論文	Small K-タイプに付随したRiemann対称空間上のベクトル束における球変換	京都大学数理解析研究所講究録2077	2018年7月	共著	79-97
Hiroshi Oda Nobukazu Shimeno	学術論文	Spherical Functions for Small K-Types	Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 290	2019年9月	共著	121-168
織田 寛 示野 信一	学術論文	ミニスキュル K タイプに対する球関数と Heckman-Opdam 超幾何関数	2019年度表現論シンポジウム講演集	2019年11月	共著	57-86
織田 寛	学術論文	A vector-valued version of Kostant's separation of variables theorem	京都大学数理解析研究所講究録2103	2019年2月	単著	90-108
Hiroshi Oda	口頭	Classification of minuscule K-types	6th Tunisian-Japanese Conference	2019年12月	単著	
織田 寛	口頭	複素簡約Lie環上のベクトル値多項式に対する変数分離定理	日本数学会2018年度秋季総合分科会函数解析学分科会講演アブストラクト	2018年9月	単著	43-44
織田 寛 示野 信一	口頭	G2型の実split Lie群のsmall K-typeに対する球変換	日本数学会2019年度年会函数解析学分科会講演アブストラクト	2019年3月	共著	45-46
織田 寛 示野 信一	口頭	minuscule K-type に対する球変換 (1階不変微分作用素がある場合)	日本数学会2019年度秋季総合分科会函数解析学分科会講演アブストラクト	2019年9月	共著	61-62
織田 寛	運営	「第57回実函数論・函数解析学合同シンポジウム」	日本数学会函数解析学分科会	2018年9月		会場責任者
鈴木 康夫	解説	ループリック	日本物理教育学会	2019年6月	共著	100
関野 恭弘	学術論文	Observational signatures of dark energy produced in an ancestor vacuum: Forecast for galaxy surveys	Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	2019年5月	共著	55
Yasuhiro Sekino	学術論文	"Evidence for Gauge/Gravity Correspondence for Dp-branes at Weak't Hooft Coupling"	arXiv.org	2019年9月	単著	1909.06621 [hep-th]
山内 大介 青木 一 磯 暁 Da-Shin Lee 関野 恭弘 Chen-Pin Yeh	口頭	Testing ancestor vacuum fluctuations as the origin of dark energy from galaxy surveys	日本物理学会 秋季大会	2018年9月	共著	
Yasuhiro Sekino	口頭	"Evidence for Weak-Coupling Holography from the Gauge/Gravity Correspondence for Dp-branes"	KEK theory workshop 2019	2019年12月	単著	
関野 恭弘	招待	Dark Energy due to quantum fluctuations in an ancestor vacuum	お茶の水女子大学 宇宙物理研究室コロキウム	2018年11月	単著	
関野 恭弘	招待	Evidence for Weak-Coupling Holography from the Gauge/Gravity Correspondence for Dp-branes	立教大学 理論物理学コロキウム	2019年11月	単著	

その他

著者・氏名	区分	著書, 学術論文, 作品等の名称	掲載誌, 発行所, 学会, 講演会, 展覧会等の名称	発行・ 発表年月	単著 ・共著	刊号頁, 分担・担当等

理工学総合研究所

運営委員

○岡崎 章
西川 佳男
林 誠治
水野 一徳
永見 豊
鈴木 康夫

理工学研究報告

編集委員

○岩澤 京子
青木 直
常光 康弘
崔 烘碩
須賀 治

表紙デザイン

石田 光男
鳥井 貴彦

拓殖大学理工学研究報告

第17巻

2020年（令和2年）3月22日 印刷

2020年（令和2年）3月31日 発行

兼発行人 岡崎 章

発行所 拓殖大学理工学総合研究所
東京都文京区小日向3-4-14
電話 03-3947-7595
(学務部研究支援課)

印刷所 株式会社外為印刷



TAKUSHOKU UNIVERSITY

HEAD OFFICE : 3-4-14 KOHINATA
BUNKYO-KU, TOKYO, JAPAN
RESEARCH INSTITUTE OF
SCIENCE AND ENGINEERING
815-1, TATEMACHI, HACHIOJI CITY
TOKYO, JAPAN

ISSN 0919-8253

BULLETIN OF SCIENCE AND ENGINEERING TAKUSHOKU UNIVERSITY



CONTENTS

FULL PAPERS

Long-Range Correlations of Fermion Fields in Accelerating Universe
..... *Yasuhiro Sekino, Miyuki Arai* 3

Experimental study on the effect of archery arrow vane shape
on shaft rotation and vibration characteristics..... *Takanori Hirano* 11

SHORT NOTES

Characteristics of Adjectives in the "Science Laboratory" Textbook
..... *Ichiro Kobayashi* 19

REVIEWS

The role of sugar moieties of the human CD10 molecules for neutral endopeptidase
activity catalyzing the hydrolysis of peptide bonds in several peptide hormones
hormones *Youko Katagiri* 25

Developmental Education of Physics Based on Physics Education Research
..... *Shinichi Kisizawa* 33

Machines and Laughter
—Understanding World Literature from the Sci-Tech Perspective (1)
..... *Yuji Omori* 41

A Spirit at the Bottom of the Water
—Understanding World Literature from the Sci-Tech Perspective (2)
..... *Yuji Omori* 51

RESEARCH REPORTS

A verification of the learning introduction tools for elementary and middle
school students had been a non-attendance condition on the past
..... *Takumu Takahashi, Yoshiaki Kudo* 63

REPORTS

Report on my Sabbatical Year at the Hong Kong Polytechnic University
..... *Kunihiko Mitsubori* 73

RESEARCHERS & TITLES 81

ACADEMIC REPORTS
& SOCIAL ACTIVITIES 89