

2020 年度第 5 回創発セミナー報告

大隅基礎科学創成財団理事
大谷清

大隅基礎科学創成財団は 2021 年 2 月 26 日、第 5 回創発セミナーを Zoom 方式で開きました。テーマと講師は「生物の知、人間の知」(梅田眞郷京都大学名誉教授、ホロバイオ(株)代表取締役)と「人間行動と意思決定の科学」(矢原徹一九州オープンユニバーシティ研究部長兼福岡市科学館館長)です。

生物の知、人間の知

ー 生物学研究を通して思うこと、そしてこれから

京都大学名誉教授
ホロバイオ(株)代表取締役
梅田眞郷

私は大学時代から分子のレベルで生物を研究してきた。いくつかの疑問を設定することから話を進めたい。

まず第 1 は「体温はどうやって決まるか」。

ヒトは通常 37℃前後、鳥はやや高く 40℃、動物の中で哺乳類と鳥類はかなり高い体温に保って生活する恒温動物だが、両生類や爬虫類のような変温動物は幅広い温度域で生活している

ヒトを含めた恒温動物はたくさんの食物を摂取することでエネルギー代謝を常に高いレベルに保ち、熱を放出することによって高い体温を維持している。一方、変温動物は自分の体で作る熱は少なく、外気温が下がると体温も下がる。たとえばトンボは夏、暑くなると逆立ちして上からの太陽の光を避けて体温の上昇を防ぎ、イグアナは暑くなりすぎると太陽に顔を向けて日陰を作り、暑い岩から体を離して体温調節する。

このように変温動物が自分の体温を決めるメカニズムは何か。我々はショウジョウバエを使って実験してみた。25℃で飼育したハエは 22℃前後の場所を好んで集まる。彼らは飼育温度を覚えていて、それに近い温度域に集まることがわかった。そのメカニズムを探るためには例外を見つけることが手がかりになる。例外には必ずその理由があり、それを突き止めることで全体が理解できる。

そこで遺伝子の一箇所だけを破壊した変異体を作った。この変異体は選択温度が変わった「暑がり *atsugari*」で、野生株に比べて一目散に 16℃当たりの冷たい場所に移動していく。蛍光顕微鏡や代謝活性を因る装置などを使って詳しく観察すると、ヒトの筋ジストロフィーという病気に関連したタンパク質の発現量が少なく、代謝活性が非常に高いことが分かった。つまり体内の酸素濃度が下がっているときはエネルギー代謝が活発だと判断して冷たい場所に移動する。

ショウジョウバエは代謝によって消費される体内の酸素の濃度を指標に自分の代謝レベルを計り、体温を調節している。ある意味で必要な時だけ体温を上げたり下げたりする「省エネ型」の体温調節だ。彼らから見れば、多くの食物を摂取して熱を発散して体温を維持するヒトや哺乳類、鳥類などの恒温動物は極めて「迷惑な存在」に映るのではないか。



そのショウジョウバエには腸内細菌が多く存在する。それらの細菌を一つずつ取り出して同定していくと、細菌によって好きな温度があることが分かる。ショウジョウバエは腸内細菌によって温度調節を行っている。つまり細菌がハエの行動をコントロールしている。ヒトも微生物に大きく影響されている。特に腸内細菌は宿主に社会的影響を及ぼし、行動変容を迫っていることが分かっている。

我々ヒトは微生物の惑星に住んでいる。地球上の生命の歴史を1カ月に短縮すると微生物のみが生存していた日が長く、ヒトは30日目にやっと誕生した計算になる。今日の問題はその微生物が目に見えないところで減少していること、特に雑誌 Nature が指摘したように微生物の多様性が失われて始めていることだ。

かつて2001年にマイケル・ポラン (Michael Pollan) が「Botany of Desire : A Plant's Eye View of the World (植物の目から見た世界)」という本のなかで、人間中心の考え方を少し抑えたらどうか、と主張した。同じ2001年に Time 誌が「地球の温暖化 (Global Warming)」特集を組み、2004年には英国 BBC が「地球上から100万種の生物が絶滅する」と警告した。これらの指摘は重く受け止めるべきではないか。

第2の疑問は、昆虫は何故小さくなれるか。

地球上の生物種の9割は昆虫で、アメーバサイズの昆虫もいる。昆虫がなぜ多様かといえば小型化できるからだ。そこで超小型昆虫の細胞を電子顕微鏡などで調べてみた。

細胞は必ず細胞膜で包まれている。その膜を拡大してみると脂質という分子の集合でできていて、この脂質分子はじっとしていない。それぞれが細胞膜の内側と外側をトンボ返りするなど活発に運動している。このことが生きていくことでもある。

トンボ返りするタンパク質は変形能力が高い。つまり超小型昆虫の細胞膜は張力こそ低いが、柔らかくて強い。血液細胞が体内循環して微細な組織を作るには、細胞の高い変形能力が必要。超小型昆虫にはその能力が備わっているということだ。ちなみに魚類の培養細胞も柔らかく細胞老化しない。人工的に細胞を老化させると細胞膜は硬くなる。細胞老化しないのは物理化学的な性格と言われているが、まだわからないことも多い。

最後に科学者の独創性と創造性について

私達は、独創的な夢を見るが、創造的な夢を見ることは出来ない。創造性には、それを検証して形にするプロセスが含まれるからである。ワラス (G.Wallas) は創造には Preparation (準備)、Incubation (あたため)、Illumination (ひらめき)、Verification (検証) 4段階が必要で、特に「ひらめき」が大事だと説く。数学者のポアンカレ (1854-1912) は「不正確な図を見ながら、正確な推論ができる人」と言われる。「Creativity」の著者シルバーノ・アリエッティ (Silvano. Arieti) も「明晰な概念と、曖昧な認識が集まった内念 (endocept) とが結びついてはじめて創造性が生まれる」という。

考えてみれば日本語も主語が曖昧な言葉だ。曖昧な概念の新たな結合が創造性につながる。近代合理主義は曖昧なものを排除する ambiguity intolerance (曖昧なものへの不耐性) を特徴としてきたが、異質なものを、未知なものを排除せず、逆に受け入れる ambiguity tolerance (曖昧なものへの耐性)こそ大事なのではないか。

私は大学を定年退職後、ホロバイオという会社を起業した。ホロは「全て」、バイオは「生

物」という意味で、「自然と生物の時代」に向けて生物の力で未来を支えたいというのが私の願いだ。地域固有の魚の機能を発見して人間世界に技術移転したいと考え、琵琶湖の固有魚種であるイサザから体内細菌を取り出し、養殖漁業やサプリメント、感染症の予防や水質浄化などに活用できないか研究を進めている。

今の日本には私のようなシニア研究者が企業、大学、市民とネットワークを張って起業し、社会進出する仕組みが必要だと思う。あくまで「自然に生かされている」ことを念頭において、だ。目指す方向は大隅基礎科学創成財団と一致していると思う。

以上

人間行動と意思決定の科学

— 持続可能な未来に向けてどうすれば社会を変えられるか？

一般社団法人九州オープンユニバーシティ研究部長
福岡市科学館館長
矢原徹一

私は植物分類学から進化生物学の研究に進み、保全生態学を開拓し、現在は人間の行動・意思決定についても研究している。最近では、新型コロナウイルス感染症の流行下での人間の行動について分析を進めている。未発表のデータを含む実証研究の一端を紹介する。



新型コロナウイルス感染症が二度の緊急事態宣言の発出にもかかわらず収束しないのは、きちんと予防行動をしないために感染しやすい人がいるからだと考えられる。

予防行動の強弱について、以下の4つの仮説をたててみた。

- 1 積極的で強気な人（リスクを取る傾向の強い人）ほど予防行動をしない
- 2 正確な知識を持たない人ほど予防行動をしない
- 3 男性の方が女性より予防行動をしない
- 4 若者の方が高齢者より予防行動をしない

2000名対象のオンライン調査（有効回答1856名）によって、これらの仮説を検証した。さらに、市民の性格や道徳観が、予防行動や不安、不満、ストレスなどの心理的負担にどう影響するかを調べた。

心理学の研究から、人の性格には「神経質」「外向性」「協調性」「良心性」「開放性」という5つの基本的な性格因子（ビッグファイブ）があることが解明されている。「神経質」は罰感受性で、罰を受けることを避けようとする性格因子、「外向性」は報酬感受性で、褒められると嬉しいという性格因子、「良心性」は自制心、「協調性」は共感力、「開放性」は知性と好奇心に関係した性格因子だ。これらはいずれも人間社会における他者からの評価の下で進化してきた性質だと考えられる。これら5つの性格因子のいずれにおいてもきわめて大きな個人差がある。この事実は、社会的に評価されて成功する方法が多様であることを示唆している。

「神経質」、「外向性」、「協調性」はそれぞれ、ネガティブな感情（罪悪感など）、ポジティブな感情（喜び）、共感と結びついたセンサーであり、人間はこれらのセンサーを使って他者からの評価をモニタリングし、「良心性」によって自分の行動をコントロールする。「神経質」は罰

学習、「外向性」は報酬学習、「協調性」は緊張状態の解除を行う生理的メカニズムに関係しており、それぞれセロトニン、ドーパミン、オキシトシンという神経伝達物質が関与する感情の変化と関係している。「良心性」は、道徳・約束・規則に従うように自分の行動をコントロールする仕組みであり、勤勉性とも呼ばれる。自制心の大小を決める性格因子である。これら4つの性格因子は、部族間競争の下での部族内の協力行動を高める仕組みとして進化したと考えられている。これらは人間の協力行動を支える重要な性格因子だが、部族間競争の下で進化した「内集団びいき」と結びついている。つまり、内集団（同郷、同窓など）のメンバーに対しては協力性を高めるが、外集団に対して競争心・敵愾心を持つ傾向と結びついている。したがって、道徳は普遍的な協力をもたらすものではなく、しばしば部族間（組織間や国家間など）の対立を生み出す。

5つの因子のうち「開放性」だけが外集団への関心を通じて、外集団との協力を促す仕組みである。したがって、部族間（組織間や国家間など）の対立を回避し、協力を促すうえでは、「開放性」を高めることが重要である。

いずれの因子においても人は極めて多様だ。個人の性格因子を評価するための60の項目の回答すべてにおいて、大きな個人差があった。オンライン調査の結果は、1856名の回答が5つの性格因子に要約されることを支持したが、いずれの性格因子においても、大きな個人差があった。このような個人差は、性格因子の進化の過程で、社会において評価を受けて成功する方法が多様であったことを示唆している。

心理学における性格因子の標準的分析では、因子分析という多変量解析の方法が使われている。しかしこの方法では、5つの性格因子間の相関が残る。私たちの研究では、互いに相関しない成分を抽出する多変量解析法（主成分分析）を採用した。その結果、「神経質」は「外向性」と明瞭な負の相関を示すことが明らかになった。つまり、「外向性」が高く、積極的な行動をとる人ほど、「神経質」傾向が低く、リスクのある行動をとりやすいという背反関係（トレードオフ）があった。一方で、「神経質」は「開放性」「良心性」と正の相関成分を示した。これらの分析から、神経質には以下の3つの成分があることがわかった。

- 1 消極的な神経質：よくわからないこと、リスクがありそうなことを避ける性質
- 2 知性的な神経質：よく考えて、リスクが高い行動を避ける性質
- 3 計画的な神経質：リスクを避けるための自己規則を決めて、規則からはずれる行動を避ける性質

これら3つの神経質指標（主成分1, 2, 3）は、いずれも予防的行動の強さと相関していた。この結果から、「神経質な人ほど予防的」という仮説が支持された。会社の役員など、リーダー的な役割をこなす人はリスクをとる行動を好み、「消極的な神経質」が低い傾向がある。私たちの研究結果は、リーダー的な人に予防行動を強めるように呼びかけることの重要性を示唆している。一方で、知性的な人や計画的な人ほど予防行動が強い傾向があるので、科学的知識や予防行動のルールについての教育が、市民の予防行動を高める効果があると考えられる。

私たちの研究結果は、「知識のある人ほど予防的」「女性の方が男性より予防的」という仮説も支持した。しかし、「高齢者の方が若者より予防的」という仮説を支持せず、予防行動の強弱に年齢による有意な差はないことがわかった。社会的リーダーは感染リスクのある行動を避け、感染についての正確な知識をもち、女性の意見に耳を傾け、世代の分断には与しないよう心がけるべきだ、

ここからは決断科学について

私は 2021 年 1 月 Springer 社から「Decision Science for Future Earth」を出版した。今日の社会的紛争の原因の多くは「内集団びいき」だ。同じチーム、支持政党、民族などが集団内部の協力を深める一方で、異なる外部集団とは激しく争う。これを解決するには、性格因子の一つである「開放性」を高めるしかない。知識、好奇心で他の集団への関心、理解を深め、尊敬することで紛争をなくしていくことが重要だ。

人類の未来を左右する指標は確実に改善している。死亡率は低下し、所得や女性の雇用率は増え続けている。所得とともに二酸化炭素の排出量は増えているが科学技術と社会制度の改革で解決できるだろう。

遺伝子の進化と人間社会の進化はいくつかの基本的性質を共有している。第一に、いずれも選択プロセスである。生物進化において遺伝子の変異が選択され、適応進化が進むように、社会においても、知識・制度・技術が取捨選択され、改良されていく。第二に、いずれにおいても最終的なゴールは設定されていない。そのときそのときの選択が、次の世代の状態を決めるだけだ。これまではナチズムにつながった社会ダーウィニズムの苦い経験から人間社会に「進化」の考え方を入れることに進化生物学者は慎重だった。しかし第二の点をよく理解することは、社会ダーウィニズムの失敗を繰り返さないために重要だ。これからの社会の改革を考えるうえでは、進化生物学的考え方を積極的にとり入れるべきだ。

ノーベル平和賞受賞者のムハマド・ユヌス氏は 2010 年に出版した「Social Business Revolution」の中で、社会は私たちがどんな夢を描くかによって変わる、Wish list を書き出し、それを実現することが大事だと言っている。ユヌス氏の Wish list にあげられた社会的課題の多くは、SDGs という形で国際的に合意された。今後は、SDGs の合意をベースにして、知識・制度・技術を取捨選択し、改良していくことが重要だ。その際、価値観の違いを認め合い、「部族」間の対立を回避することが重要だ。違いを認め合い、さまざまな個性、価値観、能力を持つ市民が「部族」をこえて協力してこそ社会の進歩がなされる、と考える。

以上