



Blue
Planet
Prize
2020

2020年(第29回)ブループラネット賞
受賞者 取材抄録

デイビッド・ティルマン教授

デイビッド・ティルマン教授 (米国)

Prof. David Tilman



生態学者

1949年7月22日 米国生まれ

ミネソタ大学 教授 大学理事

カリフォルニア大学 サンタバーバラ校 卓越教授

<子ども時代>

幼い頃、私は両親と3人の姉妹と一緒に、米イリノイ州ネイパービルで暮らしていました。父は大学の財務係をしていました。6歳の時に家族でミシガン州に引っ越し、ミシガン湖のほとりにある家に住みました。ミシガン湖は湖岸の長さが2300kmもある大きな湖です。私は自然に囲まれた素晴らしい子供時代を過ごしました。湖岸や砂丘、森や池、小川を探検したり、植物や昆虫、鳥やカエルを観察したりしました。リトルリーグで野球をするのが好きで、コーチには「リトル・プロフェッサー（小さな教授）」と呼ばれました。ライトの守備に飽きるとその場を離れ、自然観察をしていたからだと思います。まさか私が教授になるとは、誰も思っていないませんでした。気力や熱意を生産的なことに向けることができるようになったのは母のおかげです。



1歳のころ



家族を大切にした両親



ミシガン湖にて（左が本人）

企業の最高財務責任者をしていた父はとても明るい人で、良識や家族への愛情を持ち合わせている父を素晴らしいと思っていました。私は、ピア・スクールという地元の小さな公立学校に8年生まで通うと、ベントン・ハーバー・ハイスクールに進学しました。数学、理科、ラテン語の授業が大好きでした。理科の授業は実験に重点が置かれており、科学分野の発見がいかにして成されるのかを学びました。この高校時代に、科学者になる将来を確信しました。

＜大学時代・生態学との出会い＞

1967年にミシガン大学に成績優秀者として入学した私は、物理学か、あるいは数学を専攻するつもりでした。ところが、2年生の後半に生物学を受講したのです。その最後に数週間にわたる生態学入門の講義がありました。講義では生態学の主要な科学的問題に焦点を当て、それを理解するのに数学を用いていました。そして私はこの数週間で、すっかり生態学のとりこになっていました。進化や生態系から汚染に至るまで、地球上の生命に関する大きな疑問を投げかけていたからです。子供の頃、ミシガン湖が汚染されていくのを見ていた私は、こうした諸問題を解決するために、生態学が物理学のように機構論的かつ予測的科学になる必要があると考えていました。生態学の研究で人類と環境への関連性を扱うかわら、この研究には自身の定量的スキルや理論的スキルを活用できると思いました。動物学科の生態学者、特にスティーブン・ハッベル氏とジョン・ヴァンダーミーア氏に刺激を受け、動物学を専攻することにしました。スティーブ・ハッベル氏には本当にお世話になり、4年生の時には指導や助言をいただきました。次いで、博士課程でご指導いただくことにもなりました。



ミシガン大学で博士号を取得する際、私は種同士がいかにして競い合うかを研究テーマに選び、機構論的な方法で取り組むことにしました。私は、種の生存と繁殖の能力を規定する資源物質をめぐる種は競争すると考えていました。資源物質を制限することについての私の競争理論が、種の間での競争の結果を正確に予測できるかテストする実験をしたいと思います。それまで生態学者が用いていた理論は単に既に観察された競争の結果を述べただけのものでした。どの種が勝ち残るのか、負けるのか、それとも共存するのかを予め予測する方法を提案した生態学者は存在しませんでした。自分の研究をミシガン湖の栄養素汚染に関連付けるため、私は2種類の藻類の研究をしました。まず、

藻類のそれぞれの種の成長速度が、ミシガン湖の水中で生存し繁殖するための藻類の能力を規定する二つの資源物質にどう依存しているのかを調べました。それらの資源物質とは、リン酸塩とケイ酸塩です。実験の結果、藻類 A 種（アステリオネラ）は、リン酸塩が非常に低濃度でも成長できましたが、生存と繁殖のためには高い濃度のケイ酸塩が必要でした。藻類 B 種（キクロテラ）は正反対でした。B 種には高濃度のリン酸塩が必要でしたが、ケイ酸塩は低濃度でも成長できました。モデル上では、ミシガン湖の中央部のようにリン酸塩の濃度が低く、ケイ酸塩の濃度が高い場合には、A 種が勝つと予測されました。B 種は、湖岸付近や河川の作用でリン酸塩の濃度が高く、ケイ酸塩の濃度が小さい場所で勝つと予測されました。湖岸と湖の中心部の間のような、リン酸塩とケイ酸塩が中程度の濃度である所では、両方の種が共存すると予測されました。ミシガン湖と約 70 の実験室における競争実験で、その通りのことが起きたのです。これにより、生態学が予測科学になりうるということが初めて実証されたのでした。この研究は、1976 年にサイエンス誌に掲載され、広く知られるようになりました。

<生物多様性の重要性と人類によるダメージ>

1976 年、私はミネソタ大学で助教授の職を引き受けました。大学には私が尊敬する著名な生態学者の方が何人かいらして、助言を求めました。数年間はスペリオル湖で研究に取り組みましたが、その後、対象をプレーリーと呼ばれる草原地帯の生態系に変えました。幸い、米国国立科学財団から「長期生態学研究」に対する多額の助成金を得ることができました。



ティルマン教授の実験農場

1988 年の干ばつの影響を分析すると、草原の植物の多様性が充実しているほど、生態系が安定していることが分かりました。この知見を、1994 年にジョン・ダウニングと共同で発表しました。しかし、この発表が生物多様性をめぐる論争を引き起こすのは目に見えていました。さらに、生物多様性の実験を行わないことには、植物種の数で生態系の機能に及ぼす真の影響を判断できないことも明らかでした。私たちは 1993 年、こ

うした実験に世界で初めて着手しました。次いで 1994 年春、160 以上の区画それぞれについて、さまざまな小規模（9m×9m）の草原生態系となるよう植え込みをしました。区画ごとに、すべて無作為で選ばれた 1、2、4、8、16 種類のいずれかの草原多年草種が植えられました。以来 25 年にわたり、この実験によって生物多様性が極めて重要な役割を果たしていることが分かってきました。生態系に生産性や安定性、さらには侵入に対する抵抗力をもたらし、生態系の土壌を肥沃にし、生態系が炭素を捕捉し、貯留す

る機能を持てるようにするために、多様性が役立っているのです。例えば、16種のさまざまな種をまいた区画は、それぞれの種を区画ごとに単作で育てる場合と比べ、生産性が200%増します。論争が必然のごとく起き、他の科学者たちが競って別の種類の生態系のもとで、同様の実験に着手するに至りました。今では、生物多様性が失われると、ほぼすべての生態系の機能が損なわれることが分かっています。生物多様性が重要なのは、種ごとに違いがあるからです。種ごとに、特化したスキルを進化させていて、それは他のスキルを犠牲にして得たものです。こうしたトレードオフから、地球上で極めて多くのさまざまな動植物の種がなぜ共存しているかが分かります。

人間社会も、まさに同じように機能しているのです。人間は訓練によって、それぞれが特有の専門的なスキルを持っています。現代の経済が機能するためには何千ものさまざまなスキルが必要で、何千ものさまざまな企業が必要であるのも同じことです。こうした職業や企業はいずれも、それぞれが必要な仕事を他よりもうまくこなせる場合、共存、存続します。社会は全体として、こうした多様性のおかげで、いっそう経済面で生産的となり安定します。何億年にもわたって化石の記録をたどると、新しい種の出現と進化に、既存の古い種の絶滅は関連がなかったことが分かります。人間が、分かっている限りで唯一の例外です。他の種とは異なり、人類は10万年前から現在に至るまで時間をかけ、知識を見つけて蓄積してきました。人類はこうして蓄積された知識のおかげで、地球上の他のすべての種を制約するトレードオフから解放されたのです。人類は特別な種になったのです。このことにより、人類は地球上で唯一、他の種を絶滅させる動物として知られています。約5万年前から加速度的に絶滅を引き起こしてきたのです。



<多様性を危機にさらす農業>

人類が行うすべての活動の中で、農業は生物多様性に対する最大の脅威です。農業よりも工業の方が環境問題を引き起こしているように見えるかもしれませんが、工業はここ40~50年の間に次第に厳しく規制されるようになりました。しかし、農業にはほとんど規制がありません。肥料や殺虫剤は多くの国で過剰に使用されています。農業に使われる土地は地球上の40%を占めており、世界中の生態系を破壊することで新たな農地が作られ続けています。温室効果ガスの30%は農業によるものです。農業が必要不可欠なのは明らかですが、人類が必要な食糧を生産するのに、より持続可能である方法を見つけなければなりません。

<持続可能な農業の集約化>

世界の食糧需要は急増しており、これを変えない限り、農業による環境破壊は深刻化するでしょう。国連は2010年から2050年にかけて、世界の人口が30%増加すると予測しています。しかし、GDPの増加予測と、GDPが各国の食生活に与える影響を調査したところ、30%の人口増加分を養うのに、世界的に100~110%の収穫増が必要になる可能性があることが分かりました。なぜでしょうか？私たちは1日に1人あたり約2,000キロカロリーを食べる必要がありますが、その食糧を確保するのに、高所得国では1日に1人あたり8,000キロカロリー以上の穀物が必要になります。直接食べない6,000キロカロリーの穀物は、人の食料となる家畜の餌になるか、廃棄されてしまいます。簡単に言えば、人類が豊かになるにつれて肉の消費量が増加傾向になり、必要になる農地も増えるということです。



つれて肉の消費量が増加傾向になり、必要になる農地も増えるということです。

この問題を解決し、2050年までに、世界中の約7億ヘクタールの生態系を農地に変える必要をなくすにはどうすればよいのでしょうか。ほとんどの低所得国では、作物の収量は潜在的な収量の約1/3にとどまります。こうした収量は、農業の持続可能な集約化と呼ばれる方法で、潜在的な収量に

まで増やせる可能性があります。必要なタイミングで適切な量の肥料を与えることで収穫量が増え、一方、農業の地下水汚染や温室効果ガスの排出は最小限に抑えられ、新しく土地を開墾する必要も最小限になります。収量の高い国でも、持続可能な集約化には大きなメリットがあります。米国と中国で持続可能な集約化の方法を採用している農家では、窒素肥料の使用を30%減らしても収量が同じか増える結果となりました。別の研究では、2種類の別々のコメの品種を交互の列に植えて栽培することで、農家はコメの深刻な病気を防ぎ、高価で有害な殺菌剤が不要になることが分かりました。単作から、2種類の作物を交互に植えて栽培する間作に移行することで、収量は20~30%増加し、しかも肥料の使用は少なくなります。高収量でありながら持続可能な農業に世界レベルで移行するには、新しい知識や技術を採用し、国際的に支援して、低収量で低所得国の農家が持続可能な集約化を進める必要があります。

<研究結果の影響と社会における変革のスピード>

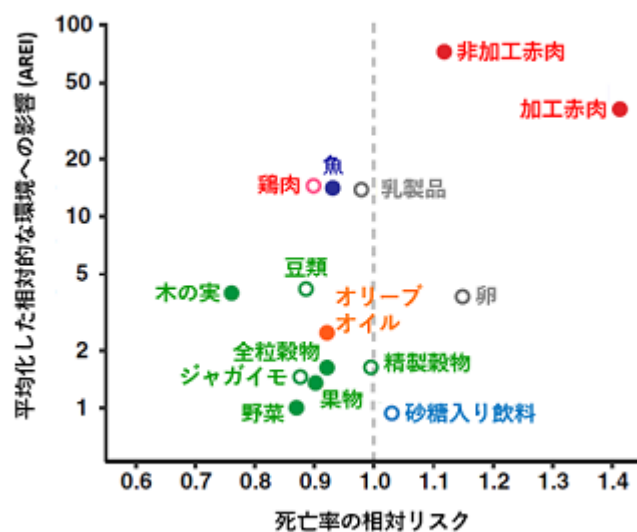
農業が環境に与える影響、特に農業による温室効果ガスが与える影響に関する私たちの研究は満足のいくものです。というのも、気候を制御する方法について、国連の IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の仕事に影響を与える一助となったからです。また、私たちの研究は、他の研究者が農業の影響だけでなく、環境への影響を抑えながら必要な食糧を生産する方法の研究も始めるよう喚起しました。

私の研究が他の人たちに活用される点にはやりがいを感じますが、実際に社会で採り入れられるには時間がかかります。人間社会は、昔からゆっくりと考え方を変えています。例えば、ガリレオの発見は、数百年たって初めて社会に受け入れられました。ダーウィンは 1 世紀半以上前に進化論を発見しましたが、米国では進化論を理解しないか信じない人が多くいます。しかし、地球上に約 80 億人がいて、それぞれが人類史上かつてないほど大きな影響を及ぼしている以上、新しい知識を取り入れるスピードを加速する必要があります。これは、私たちが選択して口にする食事、食糧を生産する方法、エネルギーを生産して利用する方法において、特に重要です。新しい発見が、人間の生活に実際に影響を与えるまでにかかる時間の長さは、科学者としての私が最ももどかしく感じるものの一つです。

<食習慣・健康・環境のトリレンマ>

トリレンマとは、密接に関連した 3 つの部分があって、それぞれが他に影響を与える問題のことです。私は、環境への影響の懸念から農業に関心を持つようになった際、農業は食生活のあり方に左右され、食習慣は人間の健康に影響を与えると悟りました。このトリレンマ、すなわち食、健康、環境が密接に関連し合っていることを認識することで、実行可能な解決策を見つけやすくなることを願ったのです。この問題を解決する一つの方法は、食習慣を変えることです。目標は、人にも環境にも優しく、しかも人に好まれる食習慣を見つけることでした。私たちは、作物の環境に対する影響や、健康に対する影響の違いについてのデータを収集しました。多くの人が好む食習慣の中には、健康と環境の両方によいものがありました。そうした健康的な食習慣の一つは、地中海式の食事で、全粒穀物シリアル、野菜、豆類、木の実、健康的な油、果物、魚が多く、赤肉が少なくなっています。日本の伝統的な食事と同様の食材を使っていて、同じように健康的です。インドの伝統的なベジタリアンの食事の中にも、健康と環境に良いものがあります。

食物群の死亡率への影響と平均化した相対的な環境への影響



出典: Michael A Clark et al. PNAS 2019;116:46:23357-23362
 もとに旭硝子財団で日本語化

上記のグラフは、さまざまな食物群が人間の死亡率や環境に与える影響を示しています。縦軸は、ある食物を育てることが環境に与える悪影響の平均値を示しています。値が低いほど環境への影響が少なく、値が高いほど環境への影響が大きいことを示しています。横軸は、それぞれの食物を毎日1食分ずつ食べることが死亡率に与えた影響を示しています。1より小さい値は、ある食物の死亡リスクが平均を下回ることを意味します。1より大きい値は、死亡率が平均を上回ることを示しています。赤肉と加工された赤肉は、環境への悪影響が最も大きく、死亡率も平均を上回っています。穀類、豆類、野菜、木の実、果物はすべて死亡リスクを低減し、環境への悪影響も赤肉の10分の1から50分の1程度にとどまります。一般的に、この図が示すように、人の健康により良い食物は、環境にとってもより良いのです。

私たちは、この図にまとめられたデータを使って、多くの「What-if分析」と私が呼ぶ分析を行いました。人々が食べる赤肉の量を半減させたらどうなるでしょうか。あるいは、赤肉を食べるのを一切やめたらどうなるでしょうか。こうした食生活の変化はいずれも、健康と環境に大きなメリットをもたらします。牛は、温室効果が大きいガスであるメタンを放出します。さらに牛には、成熟するまでに大量の飼料が必要です。食用の牛肉たんぱく質を1キログラム生産するのに、20キログラムの植物性たんぱく質が必要です。豊かな国では、1日に必要な量の3倍の赤肉のたんぱく質を食べる人が多くいます。栄養学者の指摘では、特に子供たちは、赤肉を食べることで得られるビタミンやミネラルを必要としています。しかし、赤肉を食べる量を大幅に減らすことは健康の増進につながり、赤肉が原因となる温室効果ガスや汚染を大幅に減らす効果もあります。

科学論文は影響力を持つ可能性があります。食習慣、健康、環境に関する私たちの論文が 2014 年にネイチャー誌で発表された後、英国の主要医学誌であるランセット誌は私たちに対し、食習慣と健康と環境のトリレンマの詳細な分析を委託された学際的なチームに参加するよう依頼してきました。そのチームの報告書は 2019 年のランセット誌に掲載されました。さらに米国、ブラジル、英国やその他数カ国について、国別の食事ガイドラインに取り組む人たちからも連絡が入りました。米国は私たちの分析を採用しませんでした。他のいくつかの国は採用した模様です。また、糖尿病の罹患率が高いメキシコのように、清涼飲料水への課税で健康的な食習慣を促す政策を採用するのに積極的な国があるのは、励みになります。

<他分野との共同研究>

世界が直面している環境や健康の問題は、経済、農業、食糧のシステムと複雑に絡み合っているため、こうした問題の理解や解決には、多様なスキルが必要です。新しい分野に飛び込み、他分野の専門用語を学び、意思疎通や発見に必要な共通点を模索することには、尻込みしたくなりつつも、好奇心がそそられます。私は幸運にも、こうした諸問題に取り組むにあたり、経済学者、栄養学者、農学者との共同研究の機会を得ました。こうした共同研究者から多くのことを学んできましたし、私たちはチームとして、単独で取り組むよりもはるかに仕事をはかどらせてきました。今や共同研究は不可欠です。科学者が取り組む地球規模の問題は多岐にわたり、相互に関連し合っているからです。

<家族について>

妻のキャシーとは大学で知り合いました。友だちの関係から、やがて恋に落ちました。2 人とも真面目な学生でした。私たちの「デート」は、たいてい平日夜に一緒に食事をし、次いで夜中まで図書館で勉強するというものでした。1971 年に結婚しましたが、まだ私は大学院に進む前でしたし、キャシーは学部生としてあと 1 年残っていました。



母親と子供たちと



妻のキャシーと
サンタバーバラにて



初孫と

多くの大学院生と違って、私は朝早くから夜遅くまで大学にいたくはありませんでした。大学では極力、時間を効率的に使って過ごし、キャシーと一緒に夜や週末を過ごせるようにしました。さらに、科学に愛着を感じつつも、家族や友人、趣味のあるバランスの取れた生活を送りたいと思いました。キャシーと私は以来、そうした生活を送ってきました。私は木工作业、セーリング、カヌー、森林散策、自転車、写真撮影が大好きです。退屈さに我慢できず、絶えず何かに夢中に取り組んでいるのが好きです。何よりも家族や友人が大切です。もちろん、科学も大切です。科学以外の活動を通じてリセットされた新鮮な気持ちで日々、科学に取り組んでいる分、クリエイティブな科学者であると心得ています。私の科学は、人類が創り出す未来を理解し、その未来を万人にとっていっそう持続可能で望ましいものにする手立てに焦点を当てています。それは、地球上の全人類の必要を満たし、さらに地球を護る解決策を探索することです。未来のあらゆる世代が、少なくとも現在と同程度に満ち足りた生活を送ることができるようにするためです。

<若い人たちへのメッセージ>

環境問題には解決策があり、充実した生活を送りながらでも解決は可能だという点を、すべての若者に知ってほしいと思います。地球は人類が暮らす家であり、素晴らしく美しい場所です。人類は地球上で支配的な種となり、過去に例のない存在となりました。人類の行動は地球の未来と、地球に住む未来のあらゆる世代にとって重要な意味を持つのです。未来の世代にとって地球は唯一の生きていける家なのです。どうやって食糧とエネルギーの必要を満たすかという問題に対し、一人ひとりが格別の意識を向けるべきです。小さな歩みを一つひとつ進めることで、今後何十年もかけて少しずつ食糧とエネルギーの問題を解決していくことができるのです。食習慣の変更は、簡単かつ楽しみながらできることのひとつでしょう。その都度一品ずつ変えることができます。新しい食べ物を試してみたり、その食べ物が美味しいだけでなく健康や環境にも良いことを発見したりするのです。次いで、友人を自宅に招き、美味しく健康的で持続可能なディナーを味わってもらいます。レシピを提供してもよいし、次回と一緒に料理するために招待してもよいでしょう。自分や家族が車を持っているのなら、次に買う車はエネルギー効率の良い車種にするか、可能ならば、公共交通機関に切り替えましょう。家電製品が壊れた時は、エネルギー効率の高いもの買い替えましょう。エネルギー供給業者に対し、非化石燃料のエネルギーを家庭や事業所に届けるよう求めましょう。政治家や企業のリーダーたちにメッセージを送り、自分が関心を持つ環境問題に取り組むように要請するのも手かもしれません。人類の一人ひとりが小さな一步一步を積み重ねることで、私たちの生活が向上し、地球が持続可能になるのです。

(注) この取材抄録は、ブループラネット賞の番組制作のために取材した内容にもとづき、スチュアート博士に原稿の監修をお願いし、旭硝子財団が作成いたしました。