

# 基礎科学の未来: 大隅良典先生ノーベル賞受賞から考える

五神 真

## 1. はじめに

### 1. 1. 受賞のお祝い

大隅良典先生の2016年ノーベル生理学・医学賞受賞、心からのお祝いを申し上げたい。大隅先生は東京大学の卒業生で、東京大学で助手、講師、助教授時代を過ごされた。そして駒場の教養学部生物学教室の助教授として研究室を主宰された時期に、今回の受賞理由となった酵母の自食作用（オートファジー）を発見された。大隅先生が今回の受賞の端緒となる発見を東京大学でされ、それをその後大きく発展させられたことは、大きな誇りであり、東京大学総長としてまことに悦ばしく思う。

大隅先生のご研究は、自らの興味と発想を起点とする基礎研究である。大隅先生は酵母の液胞に注目され、小さな粒が蓄積し、激しく動き回る現象を、顕微鏡を通じて自分の眼で発見された。植物学教室で酵母の細胞生物学の研究に取り組む中で、タンパク質を分解処理することが、生命の活動の基本的仕組みとして必要なのではないかと思いついたのではないか。このような個人の興味から芽生えたアイデアを育み、そしてそれを大きな研究の潮流に成長させるためには、それぞれのステージごとに適切な環境が整っていることが必要である。大隅先生の研究について知れば知るほど、計画されていたわけではないが、研究の芽生えから成長、発

展という研究の三つの段階が非常に上手く機能していたように感じる。

近年の日本のノーベル賞連続受賞は大変喜ばしいことではあるが、多くの識者が、現在の研究環境について、新しい芽を出す研究に注力しにくくなっていると懸念を示している。本稿では、大隅先生の研究を支えた制度の方に視点を置き、先生の研究の展開を時系列で追いながら、当時の研究環境と現在の状況とを比べてみる。そして、大隅先生の研究から我々はどうのようなことを学びとるべきか、私なりに考えたことをお伝えしたい。

## 2. 大隅先生の研究とそれが育まれた環境

### 2. 1. 理学部2号館から駒場へ

大隅先生は1967年に東京大学教養学部基礎科学科を卒業され、その後、大学院理学系研究科博士課程に進まれた。その後、ロックフェラー大学に研究員として滞在され、1977年には理学部の助手、1986年には講師になられた。当時、所属していたのは、植物学教室の安楽泰宏先生の研究室である。赤門脇のレンガ造りの理学部2号館にあった安楽研は、大腸菌が細胞膜を介して外の物質を取りこむ膜輸送を研究する世界的に有名な研究室であった。その中で、大隅先生は、論文を量産するタイプではなかったよう

## PROFILE

五神 真 (ごのかみ まこと)  
日本学術会議第三部会員、東京大学総長  
専門：光量子物理学



だ。大学院時代は大腸菌、留学時代にはマウスの受精卵そして酵母の研究など多くの実験系を経験され、研究者としての素地を築かれたと聞く。教養深く、よく考えた上で発言される様子は、当時から若い人の憧れだったようである。酵母のオートファジーの現象に興味を持ったのは、周囲の話を聞くところでは、おそらく講師時代の終わりのころのようである。

1988年には駒場の教養学部で助教授になれば、ようやく独立した研究室を主宰されることになった。このとき、論文数こそ少なかったが大きな構想を持つ大隅先生を選んだ駒場の人事は優れていたのだと思う。独立する際に、大隅先生は、それまでの研究はすべて元の研究室に置いて、自由な環境で、本当にご自身がやりたい研究を新たにスタートさせたのだ。そしてそれが酵母のオートファジーの発見とその後の大きな学問展開につながった。

大隅研究室の最初の研究室（教養学部3号館）は狭く、顕微鏡と酵母の培養槽が置いてあっただけだったと聞く。ノーベル賞受賞対象となった論文の1本目は、当時、博士課程を終えて日本学術振興会の特別研究員になったばかりの若手研究員、竹重一彦氏（現レオ・ファーマ株式会社）とスタートされた。竹重氏は博士課程時代に安楽研究室の隣の田澤研究室に所属しており、当時から大隅先生に憧れていたという。来る日も来る日も顕微鏡を覗く日が続き、時間は

瞬く間に過ぎていったが、着実に前に進んでいる実感があり焦ることはなかったという。

この時代は、東京大学においても、研究予算は概して乏しかった。私自身も大隅先生が理学部で助手・講師をされていた時期に、同じ理学部の物理学教室で助手を務めていた。私も当時、小型の科研費を何とか獲得し、中庭の隅の廃棄物集積コーナーに出された廃棄装置の部品を加工して、実験装置を自作していたことを思い出す。しかし、1980年代当時は、研究に使える時間は今よりもはるかに潤沢であったように思う。大隅先生が新しいアイデアを育まれたのはそんな時代だ。大隅先生のオートファジーの研究には試薬の酵素が必要であるが、当時の先生がお持ちの少額の研究費（300万円／年）と竹重氏の研究費（80万円／年）ではそれをまかなうことができなかった。しかしそこであきらめることなく、毛利秀雄先生や馬淵一誠先生、桂勲先生などの研究室から試薬をわけてもらい、実験を行ったという。

1988年から始めた研究であるが、最初の成果を論文として出版するまでには時間がかかった。酵母のオートファジーの発見に、査読者たちも最初は懐疑的だったという。追加の実験を求められ、論文として出版されたのは4年目の1992年だった。

## 2. 2. 研究のスタート「ホップ」に重要な時間確保

大隅先生のオートファジーの仕組みの発見は、先生ご自身の観察と独創的な発想を起点としたうえで、自由に研究を行い、そしてそれに集中できる環境があったからこそだと思う。科学として本当に面白いものに夢中になり顕微鏡を覗き込み続けたことがノーベル賞につながった。研究の三つの段階、芽生え、生長、発展、のホップ・ステップ・ジャンプの、ホップにあたるこの時期に、じっくりと独創的な研究に取り組む時間が確保できていたことは重要だ。

振り返って現代はどうであろうか。科学技術・学術政策研究所の調査によれば、近年の大学教員の研究時間の減少は著しい。研究者にとって、時間は最重要だ。時間を確保できなければ、大隅先生のように自らが中心となって新しいテーマに挑むことは出来ない。

また、国立大学法人において、運営費交付金の漸減が10年以上続いたことと、年金支給開始年齢の段階的引上げという流れの中で定年延長が同時に起こったことで、若手教員の安定ポストが削られてしまった。それを補充するため、多くの若手教員・研究員は外部資金を原資とする不安定な雇用環境に置かれている。東京大学でも40歳以下

の教員研究員の大半は任期付き雇用となってしまった。このような環境のもとで、若手研究者は短期間で成果が出せる研究課題に向かわざるを得ない状況におかれている。運良く新たに研究室をスタート出来ても、一緒に立ちあげる大学院生や若手研究者の雇用維持を考えると、野心的なテーマにじっくりと時間をかけることは難しい。

## 2. 3. 研究の「ステップ」から「ジャンプ」期

大隅先生のご研究はまさに無から有を生み出した、基礎研究らしい基礎研究といえる。大隅先生の研究により酵母でオートファジーが発見され、その後に、吉森保先生、水島昇先生や動物を対象にした研究の方々が加わり、この数年では年に数千本ものオートファジー関連論文が出版される大きな学問領域となっている。この

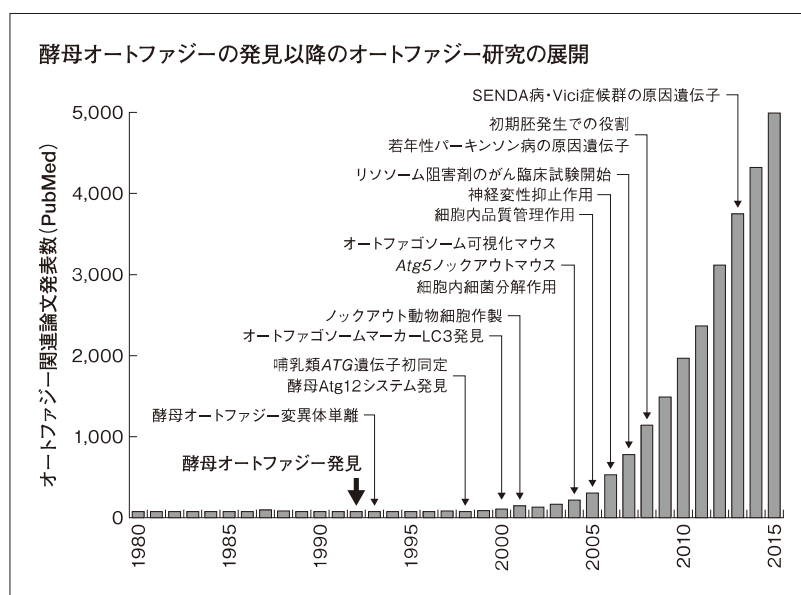


図1 オートファジー関連論文発表数 (水島昇先生提供)

ように研究分野が飛躍的に大きくなるきっかけは、植物学教室で進めた酵母研究から、動物研究に発展し、オートファジーがヒトを含む生命科学にとって普遍的に重要である理解が得られたことであった。

オートファジーの仕組みの発見を、水島昇先生は「ガラパゴス島の発見」に例えて説明されている。つまり、新しい「島」を見つけたら、すべてが発見になるというのだ。こうした島が見つかり、たちまち飛躍的に研究が広がるのだ。

大隅先生は1996年に愛知県にある基礎生物学研究所に移られた。500平米の広い研究室と、助教授1名、助手2名がつき体制が整った。酵母の研究が進みオートファジーに関連する遺伝子が同定されたことで、オートファジーの研究が植物細胞と動物細胞で一気にスタートした。この酵母の研究から動物の研究への発展はとても重要であった。最初の助教授として動物細胞の研究を開始したのは現在大阪大学の吉森保教授だ。東京大学医学系研究科の水島昇教授は、この時期に日本生化学会の学会誌を読んで大隅先生のオートファジーの研究に興味をもち、研究に参入された。水島先生は内科で大学院生を終えた後、ポスドクとして大隅研で酵母の研究に加わり、後に動物細胞で大きな成果を上げられる。

動物細胞でオートファジーが確認されると、研究の裾野は飛躍的に伸びたという。この数年の伸びはすさまじく、オートファジーの研究は

いままさに、ジャンプの中にあるという(図1)。ガラパゴスの時代は終わり、圧倒的な人数の研究者が押し寄せる中で、その競争に勝つために整えられた環境が不可欠な時期である。

## 2. 4. 「ジャンプ」期の進展を支えた環境

萌芽期にある研究を、国際的に認知される一大研究領域に育て上げるには涵養のための環境が重要になる。対象領域を拡大し、現代の厳しい国際研究競争に勝ち残るには、ホップ・ステップの段階まで到達した研究をジャンプにつなげ、大きく育てる研究資金の体制が不可欠であると当時に、研究の拡大戦略をアドバイスするメンターも必要であろう。

メンターとして基礎生物学研究所の当時所長をしていた毛利先生の役割は重要であったようだ。大隅先生の人事には直接関与はしていなかったが、以前より面識のあった毛利先生は、大隅先生が基礎生物学研究所に移った際に動物へ研究対象を拡大することを支援したという。この一押しによりマウスのオートファジー研究がはじまり、激化する競争の中で海外勢に研究成果を奪われることなく日本でここまで裾野を広げることができたのではないかと想像する。

研究の拡大においては研究資金も大事であった。大隅先生自身が長年に渡り科学研究費(科研費)を活用しており、その重要性は言うまでもない。しかし、これに加えて基礎生物学研究所での内部研究費も重要であったと推察される。当時は、法人化の前であり、基礎生物学

研究所の研究室では基盤的な研究費が大学に比べはるかに充実していたのではないかと思われる。このように、研究を一大領域に拡大させる研究戦略や予算支援は理化学研究所、国立大学の附置研究所、大学共同利用機関法人などが担うべきであると私は考える。しかし、現状では附置研究所なども、運営費交付金削減の影響を受け、長期的で大規模な研究を安定的に支える基盤的財源を失ってしまった。こうした中、日本の科学技術研究体制を俯瞰的にみると、ノーベル賞に手が届くようにする大きなジャンプを支援する場を確保することも極めて重要である。理化学研究所などの研究開発法人の役割が益々重要になる。特定国立研究開発法人として、研究成果を社会実装に繋げる橋渡し機能を強化することが強調されているが、国としての基礎研究を支える砦としての本来の役割を見定めることも重要だ。

### 3. 大隅先生の業績から これからの学術を考える

#### 3. 1. 基礎科学の支援の必要性

上述したように大隅先生の素晴らしい業績を可能にした環境の一部は、現在、失われつつあるといわざるを得ない。研究開発への投資総額は、当時と比べ遙かに大きくなっている。しかし、未来を支える基本的な仕組みはむしろ脆弱になっている。

現在、若手研究者が独立して研究室を持つこ

とは非常にむずかしい。独立できても、自由な発想を起点とする研究に無条件で活用できるフリーハンドの研究費は与えられない。結果を予測できる研究をまず提案し、その資金を回しながら、隙間で自らの興味に基づいた研究のきっかけを探る。しかしそもそも研究に費やす時間が減少してしまった、という状況である。

資源の乏しい日本において、知恵こそが未来の活力であることは論を俟たない。1995年に議員立法で制定された科学技術基本法のもとで、科学技術基本計画を定め、計画的に投資を行うという枠組みは整備された。5年の基本計画は現在第五期に入っている。20年以上にわたる科学技術基本計画のもとの科学研究に対する投資によるストックは少なからず蓄積しているはずだ。新たな価値創造の仕組みを生み出すために、このストックを正しく見極めそれを最大活用するように転換をはかるべきである。

既存の経済や社会の仕組みが大きく変化しつつあることを実感する中で、社会の長期的な成長のためにも、世界中がイノベーションを求めている。基礎研究はそのイノベーションの種まきである。それを支えるのは国の重要な役割であるはずだ。これをベースとしてこそ、民間の経済活力も生まれるのだ。

しかし、科学と国の関係は、経済活動やイノベーションだけで論じることはできない。大隅先生ご自身がノーベル賞受賞記念講演でおっしゃったように、基礎科学研究は「文化活動の核の一つ」("a core of cultural activities")<sup>1</sup>なのだ。

ここで、かつて米国のフェルミ研究所の所長であったロバート・ウィルソン博士の言葉を思い出す。1969年、素粒子分野の研究のために大型加速器の建設を提案した際の議会の公聴会での発言だ。莫大な費用を要する加速器が国防に役立つか問われたとき、博士は「国防には直接役立たないが、我が国を守るに値する国にするのに役立つ」("It has nothing to do directly with defending our country except to help make it worth defending.")と答えた<sup>2</sup>。これは示唆的である。国を守る以前に、国際的な信用を高め、守るに足る国にするために科学や学術があるというのだ。

### 3. 2. 新たな科学のモデル

しかしながら、国家財政が厳しい状況にある現実を見れば、税金を原資とする直接の支援を大幅に増加することを求めることも難しい。一方で、日本全体としては、経済基盤はまだ強いという国際的な信用がある。この信用が崩れる前に、基礎研究を支える新たな財政構造を創るための改革が必要だ。その前提として、基礎研究についての社会からの理解と信用を高めるべきだ。

社会における科学の役割については、特に環境研究の文脈で本誌でも長年に渡って議論されてきた(吉川 2002a, 2002b, 安成 2014など)。今までの議論を一步前に進める必要があるだろう。目的や理念、学術的方法論についての吟味のみならず、研究による社会的課題の解決

を通じた社会的価値とそれを公共財として支える新たな財源の仕組みについて検討すべきだろう。

具体的な新たなモデルを考える際に、吉川(2002a)の議論を復習しておく。学術の原点である基礎研究や抽象化された普遍的真理の探求の重要性を確認しつつ、学術が地球環境の劣化、資源枯渇、地域間格差といった地球規模の課題を解決するためには、新たな学問の構築<sup>3</sup>によって学術自体が問題解決へ立ち向かうことの重要性を説いている。その際、吉川(2002a)は学術の知見だけでは社会課題を具体的に解決できないことを指摘し、民間の産業活動、すなわち企業の関与が不可欠であるとした。

この指摘は国際的な議論と軌を一にする。2015年に国際連合で合意された2030年に向けた持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals, SDGs)は、現代社会が立ち向かうべき課題をほぼ網羅し、17の分野における目標と行動指針を具体的に描いたものである。SDGsは環境問題への対応を含め、人類社会をより良くするための開発課題を新たなレベルで統合する枠組みである。大学や研究機関と企業や非政府機関などの民間セクターとの「協創」の重要性を謳っている。特にビジネスとの関連で、「SDGsの企業行動指針」も策定されていることは重要である。

一方、学術界では国際科学会議(ICSU)や国際社会科学協議会(ISSC)の主導でFuture Earthという国際的な研究プラットフォームが

始動し（安成 2014）、SDGsなどへの貢献のために研究を始めている。Future Earthにおいても、学術成果の着実な社会展開のために産業界などのステークホルダーとの協創を大変重視している。このように、産業界と学術界が別のものとして協力するという旧来の視点を超えて、それぞれの活動を重なり合わせ、一緒に行動すること、すなわち、産学の「協創」という視点が、人類社会を安定化させ発展に導くために重要になるのだ。

そのための具体的なアクションとして、まずこの産学協創をSDGsなどに関連付け、社会への貢献をより確かなものにする活動を進めるべきである。それから得られた寄附金や共同研究資金の一定部分を活用し、基礎的学術研究を支援することも考えられる。これらを、基盤として着実に維持する公的支援と組み合わせることで、基礎研究から応用研究まで有機的につながったより重層的な研究と新たな価値創造が可能になるだろう。言い換えれば、産学の協創を通じて、人類全体の公共財としての基礎研究を支える仕組みを創るのだ。そして、安定性を保つ中で、よりよい社会に進む道筋をつけて行かねばならない。

ここで述べた、学術を支える新たなモデルの検討は緒に就いたばかりであり、今後本誌などを含め、積極的な議論が必要だろう。大隅先生の業績は、基礎科学を原点とした未来社会モデルを構想するための素晴らしい契機ではないだろうか。

## 謝辞

本文章をまとめるにあたり、医学系研究科の水島昇教授と、1992年の論文の第一著者になられた竹重一彦氏にスタッフを通じて情報提供をいただいた。この場を借りて感謝申し上げる。

## 注

- 1 <https://www.youtube.com/watch?v=8Uu9feq0fR0&feature=youtu.be&t=59m27s>（最終閲覧 2016/12/27）
- 2 <http://history.fnal.gov/wilson.html>（最終閲覧 2016/12/20）
- 3 吉川（2002a）の言葉では「第二種の基礎研究」に相当し、安成（2014）の議論では「超学際的研究」（transdisciplinary research）が該当する。

## 参考文献

- 吉川弘之（2002a）．産学官連携の新しい意味．*学術の動向*, 7(3), 7-18. <http://ci.nii.ac.jp/naid/40005136274>
- 吉川弘之（2002b）．環境研究．*学術の動向*, 7(3), 25-34. <http://ci.nii.ac.jp/naid/130001497534>
- 安成哲三（2014）．フューチャーアース：その目的、緊要性とアジアの重要性（特集 アジアの経済発展と地球環境の将来：人文・社会科学からのメッセージ）．*学術の動向*, 19(10), 84-87. <http://ci.nii.ac.jp/naid/40020236587>