

報 告

昆虫科学の果たすべき役割と
その推進の必要性



平成23年（2011年）7月28日

日 本 学 術 会 議

農学委員会

応用昆虫学分科会

この対外報告は、日本学術会議農学委員会応用昆虫学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議農学委員会応用昆虫学分科会

委員長	藤崎 憲治	(連携会員)	京都大学大学院農学研究科教授
副委員長	嶋田 透	(連携会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
幹事	後藤 千枝	(連携会員)	独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター主任研究員
幹事	沼田 英治	(連携会員)	京都大学大学院理学研究科教授
	磯貝 彰	(第二部会員)	奈良先端科学技術大学院大学学長
	上野 民夫	(連携会員)	大日本除虫菊株式会社中央研究所顧問、京都大学名誉教授
	木口 憲爾	(連携会員)	信州大学名誉教授
	小林 迪弘	(連携会員)	名古屋大学大学院生命農学研究科教授
	竹田 敏	(連携会員)	浜松ホトニクス株式会社筑波研究所顧問
	田付 貞洋	(連携会員)	東京大学名誉教授
	鎮西 康雄	(連携会員)	鈴鹿医療科学大学教授・三重大学名誉教授
	長澤 寛道	(連携会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	中島裕美子	(連携会員)	琉球大学分子生命科学研究センター准教授
	中筋 房夫	(連携会員)	岡山大学名誉教授
	山下 興亜	(連携会員)	中部大学学長

報告書及び参考資料の作成にあたり、以下の方から協力を得た。

前藤 薫 神戸大学大学院農学研究科教授

要 旨

1 作成の背景

日本学術会議第 20 期の 2005 年に発足した応用昆虫学分科会の設置目的は、昆虫科学研究の推進とその社会的な啓発・普及活動を通して、昆虫科学の社会的な認知の向上を図り、わが国の昆虫研究の学術的、社会的、国際的な基盤を強化するとともに、多様な昆虫学関連の研究者のネットワークを構築することである。日本学術会議第 21 期（2008 年～）においても、本分科会を継続、発展させることとなり、会員 1 名と連携会員 14 名の計 15 名の委員で設置目的を達成すべく活動してきた。両期を通して昆虫科学に関するさまざまな問題について議論を行い、その結論として、日本の昆虫科学とその関連分野が横断的に連携する「日本昆虫科学連合」の創設の提案とそのための支援を行った。その結果、2010 年 7 月 24 日に昆虫科学に関わる計 14 学会からなる「日本昆虫科学連合」が正式に発足するに至った。本報告は「日本昆虫科学連合」発足の過程でなされた議論の主要な論点を基に、日本の昆虫科学の現状と問題点及びその解決策について提案するものである。

2 現状及び問題点

日本昆虫科学連合の設立は、昆虫科学の発展と社会的な啓発・普及における大きな前進であるが、それ自体がゴールではなく、昆虫科学に関連するさまざまな問題を解決していくための方策の一つである。昆虫は地球上の生物多様性の維持と存続においてきわめて重要な役割を果たしている。しかし、その役割についての社会の認識は不十分である。それが顕著に現れているのが、生物多様性科学の基礎となる昆虫分類学に対する支援の不足である。また、気候温暖化をはじめ、さまざまな地球環境問題が深刻化し、熱帯性感染症の拡大や将来における食料の逼迫が懸念されている。それらを一元的に解決していくために昆虫科学が果たす役割はますます重要になっているが、それに対する社会的認識も十分でない。さらに、近年、昆虫を資源として捉え直し、新たな産業として興していこうとする昆虫産業や、昆虫のデザインや機能をモデルとして模倣し、新たな工業技術や医療技術の革新を図ろうとするバイオミメティクスも興りつつあるが、その推進に不可欠である工学や医学といった異分野との連携も不十分である。一方、昆虫を教材として理科教育や環境教育などに活用しようとする動きもあり、その重要性に対する社会的認識の向上も図る必要がある。

3 報告の内容

(1) 昆虫分類学の現状と展望

昆虫分類学は応用昆虫学の、また生物多様性科学の基礎的分野として、きわめて重要である。現在のところ国内の昆虫分類学の研究遂行力は決して衰

えていないものの、大学研究室の研究勢力は後退しており、その一方で大学博物館を含めた自然史博物館機能の拡充は進んでいないという深刻な状況にある。大学博物館や自然史博物館には、昆虫科学者を含むすべての利用者にとって同定や情報検索のサービスを提供できるような仕組みを整備する必要がある。そのためには、DNA バーコーディングをはじめとする世界的な潮流に乗った情報基盤プロジェクトに、早急に参画すべきである。

(2) 昆虫媒介性感染症への対応

さまざまな感染症の脅威が、人的交流のグローバル化や気候温暖化など、近年の地球規模での人的自然的環境変化によって加速増幅されている。感染症に対する備えと対策は喫緊の課題であるが、とりわけ重要な疾病を含む昆虫媒介性感染症の予防と対策を研究し実践する人材の養成が、他の分野と比べても、また諸外国と比較しても極端に弱体化しており、危機的状況であると言わざるを得ない。このような状況を打開するには、新たな立場からの学術の構築と研究教育体制の創出が必要である。これまでのように1つの学部や研究科という組織体制に固定するのではなく、昆虫媒介性感染症対策のために分野横断的な研究教育体制の整備が望まれる。

(3) 昆虫産業と異分野連携

昆虫科学研究の社会的アウトプットのの一つは、昆虫産業への貢献、とりわけ昆虫を利用した産業の創出であろう。産業としての利用には、昆虫個体の利用、昆虫生産物の利用、昆虫関連微生物の利用、さらには昆虫の構造や機能の利用といったものがある。一方、自然の優れた機能や形態などを模倣し、技術的革新を図ろうとする科学技術であるバイミメティクスのモデルとして最も注目を浴びているのが昆虫である。このような昆虫産業やバイオミメティクスの発展のためには工学や医学といった異分野との連携を積極的に推進していく必要がある。

(4) 昆虫を教材とした教育

昆虫の教材としての利点と教育上の実効性は、手ごろなサイズ、飼育の容易さ、種の多様性、生態系における役割の重要性、自然選択による急速な進化、害虫あるいは益虫としての人間との深い関わり、人間の情緒や文化に与える影響などにあると思われる。これらの利点を生かすかたちで、理科教育や環境教育・情操教育などに昆虫を教材として利用することをもっと積極的に図る必要がある。

目 次

1	はじめに	1
2	昆虫と人類—その基本構図—	2
3	昆虫分類学の現状と展望	5
(1)	日本の昆虫分類学の問題点	5
(2)	新しい潮流への対応	8
(3)	将来の展望	9
4	昆虫媒介性感染症への対応	11
(1)	今日における感染症の脅威	11
(2)	昆虫媒介性感染症対策への日本の貢献	11
(3)	昆虫媒介性感染症に関する教育のあり方	14
5	昆虫産業と異分野連携	15
(1)	昆虫産業におけるわが国の特異性	15
(2)	昆虫を利用した産業	15
(3)	異分野との連携	17
6	昆虫を教材とした教育	19
(1)	教材としての有用性	19
(2)	教材利用の現状	19
(3)	将来の展望	21
7	おわりに	23
	<引用文献>	24
	<参考資料>	
	農学委員会応用昆虫学分科会審議経過	25
	農学委員会応用昆虫学分科会セミナー「昆虫科学教育が拓く未来」	26
	日本昆虫科学連合設立記念・日本学術会議公開シンポジウム 「新時代の昆虫科学を拓く」	27

1 はじめに

昆虫は環境との関わりの中で大きな独自の世界を築いてきた。昆虫科学はこのような昆虫世界の成立と発展の進化的仕組みを解明し、その成果を地球環境の保全と人間生活の持続的発展に資することを目的とした生命科学の1分野である。昆虫は地球上で質的にも量的にも最も繁栄している生物群であり、それ故に現在の地球環境や人間生活に密接不可分の関係を有しており、そのことが、昆虫科学の存立の基盤になっている。これまで昆虫科学は、昆虫世界の科学的な解明とともに、昆虫機能の解明と利用および害虫管理に関する理論と技術を研究することを通して、人間社会の発展に貢献してきた。しかし、今日の昆虫科学においても、地球上に現存する昆虫の種数すら推測の域を出ないなど、未だに昆虫世界の全容を理解するには至っていない。

今後、昆虫科学は、昆虫が特異的に発達させてきた生命機構を解明し、新たな観点から生命の認識を深めることによって生命科学の発展に寄与しなければならない。さらに、このような基礎科学のための昆虫科学と対をなすのが社会のための昆虫科学の展開である。そのためには、昆虫科学は独自の方法論と評価基準を開拓し、応用昆虫学として、食料問題や環境問題など今日の地球規模での困難な課題の解決に参加する必要がある。具体的には、昆虫が特異的に発達させてきた生命機構を利用することによって、その活用と制御の論理・技術を構築することである。わが国は、養蚕業・蚕糸業という、かつて世界に例をみないほどの昆虫産業を推進して、社会経済活動を飛躍的に発展させ、また、世界の昆虫科学を先導してきた歴史を持つ。日本の昆虫科学はすでにわが国発の世界的な産業と学術の構築を実践した経験を有しているのである。

昆虫科学が学術ならびに社会に対する貢献を新たに展開するための前提条件は、科学者コミュニティによる昆虫科学基盤の再確認と今後の方針の明確化であり、さらにはそれを推進する後継者の継続的な養成である。これらの課題解決こそ知の総合化を必要とするものであり、科学者コミュニティの最も大切な任務である。科学者コミュニティの育成を支援し、草の根の科学活動を援助するという日本学術会議のミッションに基づき、応用昆虫学分科会は多くの議論を経て「日本昆虫科学連合」の創設を昆虫科学関連の学協会に提案した。2010年7月に設立されるに至った日本昆虫科学連合は、14の昆虫科学関連の多様な学会により構成されたオールジャパンのゆるやかな連合体であり、その創設はわが国の長い昆虫科学の歴史において画期的な事柄である (<http://www.insect-sciences.jp/>)。本報告は、科学者コミュニティの育成を支援し、草の根の科学活動を援助するというミッションに関連して応用昆虫学分科会でこれまで議論されてきた主な論点を中心にとりまとめたものである。

2 昆虫と人類—その基本構図—

昆虫は、地球上におけるその出現以来4億年の進化的歴史を持ち、最も繁栄している巨大な生物群である。既知の種だけでも100万種に達し、それは全動物種の4分の3を超える圧倒的なものである。同定が進めば将来的には500万種あるいは1000万種にもなると考えられている。地球が「虫の惑星」と呼ばれる所以である。このように昆虫の最大の生物学的特性は種のレベルの多様性（種多様性）である。日本列島には全ヨーロッパに匹敵する10万種程度の昆虫が生息すると推定されているが、現在記録されている種はその約3分の1にすぎない(2002年時点で30,747種、日本分類学会連合2003、

<http://research2.kahaku.go.jp/ujsb/>)。地球上で生物多様性が最も豊富な熱帯雨林では未知の昆虫種が莫大に存在しているが、急速な熱帯雨林の伐採・開発が今後もこのまま進められれば、多くの昆虫種が発見されないまま絶滅してしまう可能性が高い。

また、昆虫はバイオマスとしても全人類の約15倍を超えると推定されている。その結果、消費者としてだけでなく分解者としても、生態系の物質循環において大きな役割を果たしている。もし昆虫をはじめとする無脊椎動物がいなくなったら、自然界はわずか20~30年で、バクテリアや藻類、そして単純な多細胞生物が存在するだけの、言わば10億年前の地球に戻ってしまうと推定されている[1]。

このように昆虫は進化的に成功し、生態系の中できわめて重要な役割を果たしている生物群である。昆虫がこれまで生き抜いてきた4億年のうちに、地球は環境の大変動を何度も繰り返してきた。昆虫は苛酷な環境を生き延びるための方策を発達させながら、植物をはじめとする生物たちとの複雑で巧妙な生物間相互作用を取り結びつつ、消費者や分解者あるいは花粉媒介者として、生態系の中での不可欠な存在になっていった。昆虫がこのような繁栄を獲得するために発達させた生命機構は、地球上における生物が究めた一つの到達点と言えよう。われわれが、それを生き延びるための「知恵」と呼ぶなら、そこから学ぶことはすこぶる多いに違いない。

昆虫科学が近代科学としてほぼ体系化されたのは18世紀ごろであったが、20世紀になり、基礎生物科学の発展に多大な貢献を果たすようになった。キイロシヨウジョウバエを材料として、1910年のモーガンの研究以降遺伝学が著しく発展し、1980年以降は発生生物学や分子生物学の研究へと展開した。カイコでは福田宗一や長谷川金作による昆虫ホルモンの機能やカールゾーンとブーテナントによる性フェロモンの発見など生理学的研究が発展した。アズキゾウムシやコクヌストモドキを用いた密度効果理論に関する生態学的研究は内田俊郎やチャップマンによって推進された。これらは、昆虫がその興味深い習性ゆえに、あるいはモデル材料としての優れた特性ゆえに、生物科学の発展にいかにも有用であったのかを物語っている。また、このような基礎生物科学をさらに基礎として支えているのが分類学であり、地球上の生物の中でも最も高い種多様性を誇る昆虫に関する分類学、すなわち昆虫分類学の重要性はきわめて高い。

昆虫は生物科学という基礎科学の発展のためにだけ役立ってきたのではない。たとえば、ミツバチやカイコは、人類の長い歴史の中で「至福の恵み」をもたらす有用生物であった。その一方で、多くの昆虫が、大きな害をもたらす敵対的な存在、すなわち害虫として君臨

してきたことも事実である。作物栽培は常に農業害虫との戦いであった。さらに、ペストやチフス、マラリアや黄熱病などの昆虫が媒介する重篤な感染症は、長い間人類にとっての脅威であった。先進国では近代化とともにこれらの感染症は激減した。ところが、近年、地球温暖化という環境変動や貿易・人的交流のグローバル化により、マラリア、ウエストナイル脳炎、デング熱などの蚊媒介性の感染症を始め、さまざまな熱帯性感染症の拡大が懸念されつつある。このような新たな状況にいかに関国戦略として対応していくかは、喫緊の課題である。

近年では、自然保護思想や環境保全意識の高まりとともに、自然生態系が人類社会に提供する、いわゆる「生態系サービス」の重要性が評価され、自然界の生物との共存を図ることによる、生物多様性の維持が求められている。したがって、害虫防除においても、単なる駆除という考え方から、さまざまな防除技術を互いに矛盾なく適用して害虫を被害許容密度以下にコントロールするという総合防除あるいは総合的害虫管理 (IPM) に変わって来た。さらに近年では、IPMと環境保全という考え方を組み合わせた総合的生態多様性管理 (IBM) という概念が普及し始めている[2]。ところが、日本はこれだけの科学先進国でありながら、害虫や天敵昆虫の同定を必ずしも自国では遂行できないという貧困な状況にある。卵寄生蜂などの微小昆虫の同定は容易ではないが、それを専門とする分類学者が高齢化する一方、若手研究者が十分に育成されていないからである。このことはIPMやIBMの実践の上で重要な戦術である、天敵を用いた生物的防除法を開発する上で、大きな支障をきたすことを意味している。

さらに近年、バイオミミクリーという自然を模倣する新たな発想の学問分野が台頭してきている[3]。なお、バイオミミクリーとほぼ同義でバイオミメティクスという言葉が、より一般的に使われているので、以後本報告ではバイオミメティクスと呼ぶ。このバイオミメティクスの対象となるモデル材料として最重要視されているのが昆虫であり、そのデザインや機能を模倣することで、新たな工業技術や医療技術の革新を図ろうとする動きが始まっている。

一方、既に述べたように古くからミツバチやカイコなどの有用昆虫が言わば家畜的存在として利用されてきたが、近年ではハチミツや絹といった従来からの生産物に留まらず、昆虫由来のさまざまな有用物質やその機能が注目され、それらの活用は、昆虫産業として注目を浴びつつある。バイオミメティクスといった学問分野や昆虫産業の発展の鍵にしても、モデルとなる昆虫種やその生活様式の多様性が握っており、ここでも生物多様性の保全が重要である。

「虫を愛でる文化」という、世界的にも稀有な伝統文化をわが国は育んできた。このような伝統の流れの上に昆虫を理科教育や環境教育に活用していくことが可能である。昆虫の教材としての利点あるいは有利性は、手ごろなサイズ、飼育の容易さ、種の多様性、生態系における役割の重要性、自然選択による急速な進化的反応、害虫あるいは益虫としての人間との深い関わり、人間の情緒や文化に与える影響などにあると思われる。これらの利点を生かすかたちで、理科教育や環境教育などに昆虫を教材として利用することをもっと積極的に図る必要がある。そこでは、人類の持続的な発展を図るためには、生物多様性

を保全し、生態系サービスを受け続けていくことの重要性が基本的理念となるに違いない。

このように、現代における昆虫と人類との関係は、農業生産、感染症、有用資源、バイオミメティクス、文化・教育と多岐にわたる（図1）。一方、地球温暖化、環境汚染、土地開発、侵入生物といったグローバルあるいはローカルな環境インパクトにより生態系が大きく変動する中で生物多様性が急速に低下しつつある[4, 5]。このような状況を踏まえ、昆虫と人類との関係性についても再評価あるいは再構築すべき時が来ているものと思われる。

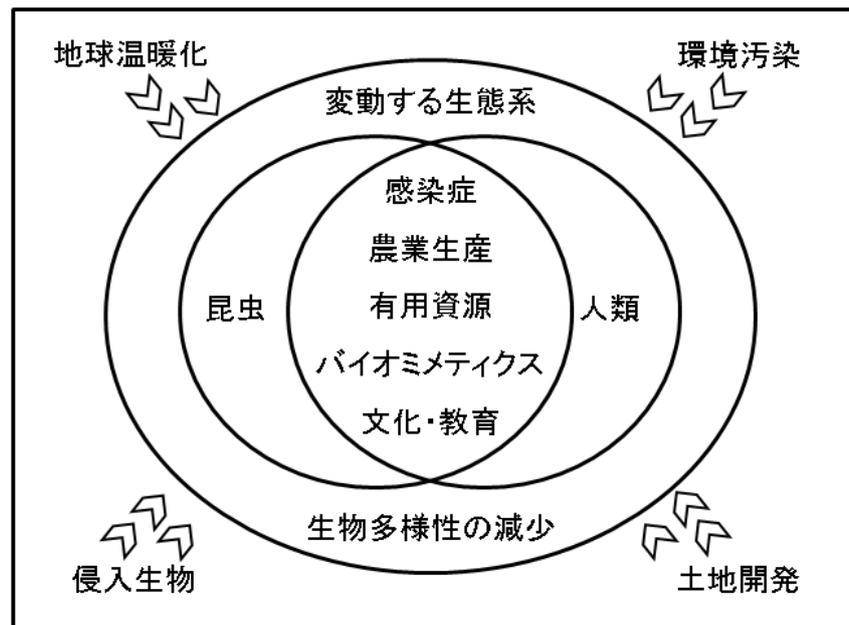


図1 現代における昆虫と人類の基本構図（[4]より改変）

3 昆虫分類学の現状と展望

(1) 日本の昆虫分類学の問題点

わが国の昆虫分類学は、農業昆虫学の一分野として始まり、欧米水準の自然史博物館を設置する機会を与えられないまま、それでも質の高い国際的水準の研究成果をあげて、とりわけアジア地域の生物多様性の解明に大きく貢献してきた。しかし、以前から脆弱な研究基盤に危機感をもっていた昆虫分類学者のみならず、昆虫多様性に関わろうとする多くの昆虫科学者の中にも、国内の昆虫分類学の現状と将来について不安が広まっている。ここでは、そうした不安の背景と問題点について分析し、挑戦すべき課題を明らかにしたい。

昆虫分類学の研究成果はさまざまな媒体に発表されるため全容を把握することは難しいが、日本昆虫学会が編集する国際学術雑誌 *Entomological Science* に掲載された昆虫分類学の論文数の 1989 年以降の推移を見ると、外国人による論文数が増加する一方で、国内著者による論文数は次第に減少している(図2)。しかし、この間も海外の代表的な専門誌に掲載された日本人による昆虫分類学の論文はほぼ一貫して増加しており(図3)、むしろこの 10 年間で日本の昆虫分類学者と学会誌の一層の国際化が進んだと考えるべきである。また、伝統的に多数の昆虫分類学者を育成してきた北海道大学と九州大学の農学系大学院で、昆虫分類学のテーマで博士号を取得した者の数は増加傾向にある(表1)。さらに他の大学院でも分類学研究者を育成しており、現在のところ若い日本人研究者の研究遂行能力は決して低下してはいない。

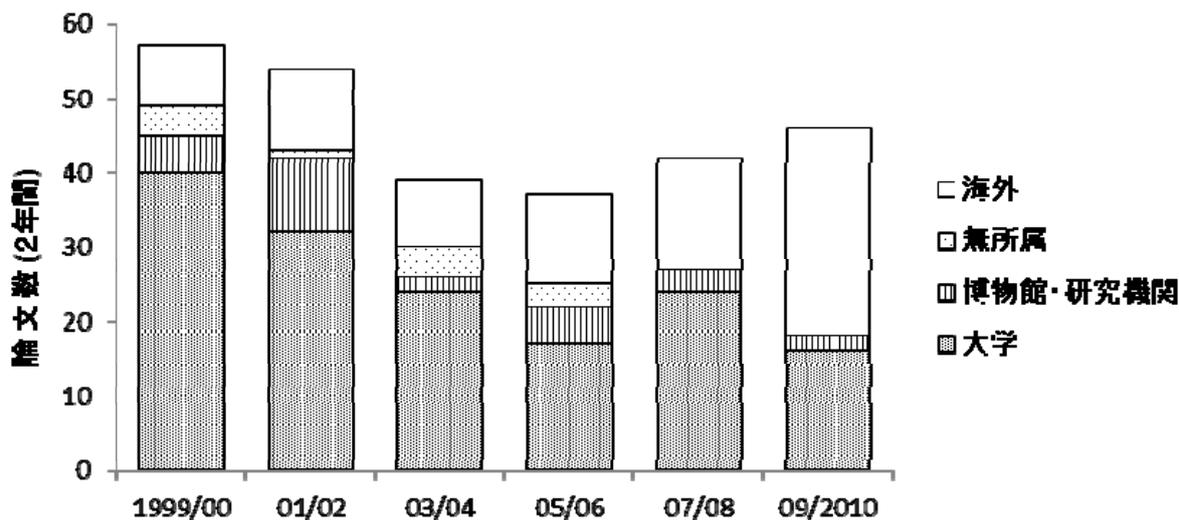


図2 Entomological Science に掲載された昆虫分類学の論文数

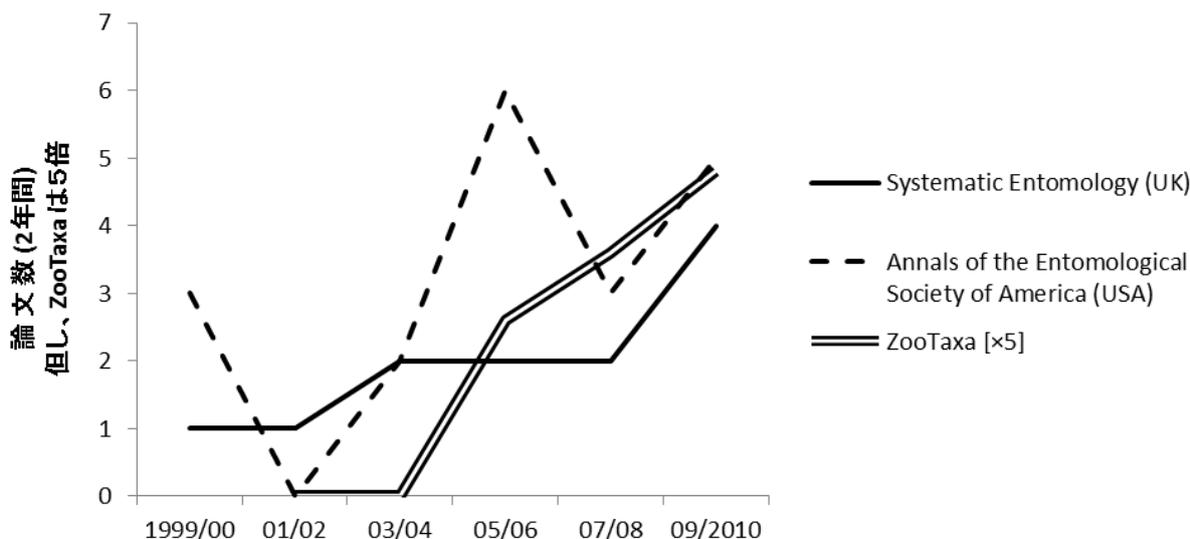


図3 海外の代表的な専門誌に掲載された日本人著者による昆虫分類学の論文数

表1 北海道大学と九州大学の農学系大学院昆虫分類学分野での博士取得数

年	1991-95	1996-00	2001-05	2006-10
日本人	5	6	9	11
留学生	0	2	1	2
計	5	8	10	13

しかし、学位取得後に研究を発展させようとしても、大学、博物館、公的研究機関における研究職ポストの状況はますます厳しくなっている。まず大学であるが、かつて昆虫分類学分野に存在した3～4人講座は、新しい学問分野の創設を優先したスクラップアンドビルドの考え方により、1～2人の少人数の体制に変更されており、さらに、新規採用が抑制されている現状では今後10年以内に多くの大学において昆虫分類学を主要研究テーマとする研究ユニットは消失し、複数教員が維持できる大学はごく少数になるだろう(表2)。また、国家的な戦略をもって国内外の生物多様性情報の集積と提供を行うべき(独)国立科学博物館の昆虫学分野の学芸員はわずか4名であり、普及サービスが重視される地域博物館のうち研究環境が比較的整えられているのは、千葉県、神奈川県、滋賀県、兵庫県、大阪市くらいであり、その維持も難しくなりつつある。農業系では、(独)農業環境技術研究所、(独)農業・食料産業技術総合研究機構、(独)森林総合研究所に若干名の昆虫分類学の専門家が配置されているが、農業環境技術研究所以外では分類学分野の研究継続が困難になっている。近い将来大学の研究勢力の縮小が生じた場合に、博物館や公的研究機関がそれを補完できるとは考えられない。

表2 昆虫分類学を主要研究テーマとする大学の研究ユニットの動向

最近 10 年間に消失	北海道教育大、富山大(理)、琉球大(農)、名古屋女子大、滋賀県立大	5
今後 10 年以内に消失へ	北大(理・環境)、帯広畜産大、筑波大(理)、信州大(教)、鹿児島大(理)、京都府大(農)、首都大(理工)、名城大(農)、南山大、大阪芸大、鹿児島女子短大	12
単独教員のため維持困難に	茨城大(理)、東大(農)、神戸大(農)、山口大(農)、鹿児島大(農)、大阪府大(農)	6
複数教員により維持可能	北大(農)、九大(農、比文)、愛媛大(農)、東京農大	4
最近 10 年間に加入	弘前大(白神)	1

また、標本の収集・保管・管理という博物館機能の脆弱性は、日本の生物分類学がずっと抱えてきた問題であるが、今に至るまで抜本的な改善が行われていない。1980年代に各地に整備された地域博物館の標本保管スペースは、民間収集家のコレクションを収納するだけでほぼ満杯の状態にある。1990年代に組織された主要大学の博物館は、多くが施設と人材を学部・研究科から移しただけであり、海外の国際水準の大学博物館とは施設も管理体制も大きく異なる。現在、国立科学博物館がつくば市移転を進めており、施設の拡充および農業系研究機関との連携強化が期待されるが、ここでも学芸員と支援人材の思い切った増強が行われなければ、国内外からの要請には応えられないだろう。

このような状況にあって、日本の昆虫分類学の裾野を広げているのは多くのアマチュア研究者の存在である。大学や研究機関からアマチュアの研究者に持ち込まれる同定依頼は増加しており、退職研究者や民間調査会社の研究者まで含めれば、広義のアマチュア研究者に支えられているのが日本の昆虫同定の現状である。しかし、こうした現状は、きわめて重要ではあるがアマチュア研究者等の注目を集めない分類群の同定を困難にしつつある。例えば、農林業害虫の生物的防除によく利用される天敵寄生蜂の研究には正確な同定が不可欠である。しかし、数万種にもおよぶ微小種を擁する寄生蜂の同定はしばしばきわめて困難である。特に重要なコバチ類は、国内だけでも 1000 種近い記録種を含む大きな分類群だが、公的研究機関を退職後すでに 10 年を超えるただ 1 人の民間研究者に同定を依存している。この間に当該分野に複数の大学院修了者がいたが、いずれも研究職ポストを得られず、後継者は育っていない。その結果、海外に同定依頼を行うにも仲介者がいない、あるいは海外では日本産種の情報が少なく同定ができない、といった危機的な状況が現実になろうとしている。このように応用上特に重要で、高い専門性を要する分類群については、計画的な人材の育成と確保が必要だが、慢性的に研究職ポストが不足している現状では難しい。

以上のように、現在のところ国内の昆虫分類学の研究遂行力は決して衰えていないが、大学研究室の研究勢力は後退しており、その一方で大学博物館を含めた自然史博物館機能の拡充は進んでいない。

(2) 新しい潮流への対応

昆虫分類学は地球の生物多様性を認識するための基礎であり、かつ昆虫科学を発展させるための土台である。生物多様性の解明と保全・利用を巡る最近の国際的潮流に日本の昆虫分類学はどのように応え、挑戦しようとしているのだろうか。パラタクソノミスト育成、DNAバーコーディング、生物多様性情報と博物館ネットワークについて、それぞれ概観してみたい。

パラタクソノミスト(準分類学者)の仕組みは、1990年代に熱帯地域の生物多様性調査を行う研究者が、その膨大な標本を整理するために現地の人達に生物分類の基本的な知識と技術を教授した上で雇用したことに始まる。これによって研究効率が上がっただけでなく、地域住民の生物多様性とその保全に対する理解と意識が向上したと評価されている。北海道大学の21世紀COE「新自然史科学創成」教育プログラムでは、市民、研究者、児童・学生を対象として、2004年以降、2010年3月までに99回の「パラタクソノミスト養成講座」を開催し、生物分類学への理解と技術の普及を進めている。こうした試みは、北海道大学の支援によってインドネシアでも始まっており、国内外を問わず、その必要性が広く認められている[6]。

外骨格の発達した昆虫では形態に基づく分類・同定が主流であり、信頼性も高いとされている。しかし、形態を読み解くには、分類群毎に特化した用語や記載方法を習得する必要があり、それが分類学の成果を他領域の生物学者に受け渡す際の大きな障害になっていた。しかも、形態によって同定できるのは通常、成虫だけであり生態学的調査などでは制約が多い。そうしたことから2000年代に入って、特定遺伝子の短い塩基配列をDNAバーコードとして、標本の同定や登録、情報検索に利用しようとする試みが始まり、鳥、魚、一部の昆虫での成功を受けて、いよいよ本格的なバーコード集積が各地域で始まっている(JBOLI 2011 http://www.jboli.org/wp/wp-content/uploads/2011/01/DNAbarcoding_JP.pdf)。国内でも、九州大学、愛媛大学、神戸大学、東京大学、農業環境技術研究所などが基礎研究の段階を終え、事業的な大型予算の獲得を目指している。九州大学は中国農業大学からの要請に応じて今年度から二国間共同研究を開始するが、日本が手を拱いているうちに、中国や韓国がアジア地域の生物多様性情報とアクセス権を掌握すれば、日本の学界、産業界は大きな不利益を被ることになるだろう。

塩基配列情報は、バーコードだけに用いられるわけではない。すでに昆虫の代表的な目(もく)にまたがる数10の種の全ゲノムが解読を終えており、昆虫の種多様性をゲノム情報の多様性として捉え直す新しい研究が脚光を浴びている。種間で相同遺伝子の有無や遺伝子ネットワークの比較などを網羅的に行い、その結果を各昆虫の形態的、生態的特徴と対応付けようとする比較ゲノム研究が世界中で始まっている。分類学とゲノム生物学の新しい出会いは、種多様性の際立つ昆虫でこそ大きな発展の機会があり、その

新分野でわが国が世界をリードするためにも、基盤となる分類学の知識と情報を国内で整備しておかねばならない。

2001年に設立された地球規模生物多様性情報機構(GBIF)をはじめとし、多くの国際組織によって生物多様性情報の電子化と公開が進められている[7]。国内でも、国立科学博物館が中核となって、博物館ネットワークの構築と並行して、標本情報や分類研究者情報のデータベース化が進められている。2005年に公開されたサイエンスミュージアムネット(S-Net <http://science-net.kahaku.go.jp/index.html>)では、全国の科学系博物館が所蔵する自然史標本や研究員・学芸員の専門分野等の情報を検索できる。ただし、このシステムには大学や公的研究機関の関連情報は一切含まれておらず、応用昆虫学者の多くがその存在を知るまでには至っていない。

このように国内の分類学者は新しいアイデアを積極的に取り入れて、開かれた分類学を目指している。しかし、そうした取り組みの多くは、現状では予算と人員の規模が不足し、国際的な関与が不十分であり、縦割り行政の枠内にある。

(3) 将来の展望

たとえ国内に適切な研究拠点がなくとも、海外の博物館を十分に利用すれば、日本人分類学者が生物多様性科学に貢献することはできる。しかし、分類学者に個人的なつてを持たなければ研究材料の同定や情報取得ができない現状においては、若い昆虫学者が想像力たくましく、昆虫多様性の暗黒から豊潤な果実をつかみ取ることは難しいだろう。ましてや工学系や医学系からの研究参加は困難である。同定・証拠標本を含むコレクションの収集と公開、DNAバーコードの集積、国内外の専門家ネットワークの形成は、分類学や自然史学分野に限定された課題ではなく、広範な生物学・応用生物学ひいては国民全体の知的公共財となるものであり、それに対する積極的な支援と関与が必要であろう。

大学は研究だけでなく人材育成の拠点であり、近い将来予想される研究勢力の大縮減を食い止めなければならない。そのためには、多くの若い分類学者が、純粋な分類学だけでなく多様性科学の最前線に挑戦できる環境の構築が必要であろう。そのためには、昆虫多様性を利活用する大型の昆虫科学研究プロジェクトを立ち上げ、その中に若い分類学者を参画させて、生物学者としての研鑽を積ませ、研究成果を上げさせるのも一案である。しかし、次世代の人的資源の養成は、一時的な対応で解決できるものではなく、時代を通じた継続的な活動によってはじめて成果が期待できるものである。したがって、時流をとらえたプロジェクト方式の措置だけではなく、安定した組織体制に基づく研究継続と人材養成方針を再考しなければならない。

他方で大学博物館や自然史博物館には、昆虫学者を含む誰もが、必要なときに同定や情報検索サービスを受けられる仕組みを整備する必要がある。そのためには、DNAバーコーディングをはじめとする世界的な潮流に乗った情報基盤プロジェクトに早急に参加して世界の学術の進展を支える知的基盤づくりに貢献し、その成果をわが国の現存および新規の科学の推進に反映させる学術体制を追求すべきである。昆虫分類学という

個別分野の学術活動も、このような新たな戦略の中で達成させることになる。また、海外からもっと多くの専門家を短期招聘する、あるいは国内の退職研究者に依頼して標本の整理を進められるように工夫することにより、少ない経費で大きな効果が得られる可能性がある[8]。

4 昆虫媒介性感染症への対応

(1) 今日における昆虫媒介性感染症の脅威

人類は多くの感染症の脅威にさらされ続けてきたが、病原体の発見や抗生物質の発見・医薬やワクチンの開発などこの一世紀余りの科学技術ならびに医療の進歩により一定程度克服され、感染症の減少は平均寿命の著しい延長の要因として貢献した。しかし、一部の疾病が根絶されたとは言え、感染症の原因になるほとんどの病原体は今も残って絶えず変化を続けており、その脅威がなくなったわけではまったくない。

こうした感染症の脅威は、近年の地球規模での人的ならびに自然的環境変化によって加速増幅されている。その要因の一つが航空機をはじめとする交通手段の発達である。社会の進歩に伴い人の交流や物の流通が盛んになり、感染症もグローバル化し、世界のどこかで発生した感染症が瞬く間に世界中に広がることになった。一昨年流行した新型インフルエンザやアメリカに定着し毎年死者を出しているウエストナイル脳炎等がその典型的な例である。2009年2月にメキシコの一地方で人感染性に変った豚インフルエンザが新型インフルエンザとして世界の隅々までに広がるのに半年もかからなかった。蚊によって媒介されるウエストナイル脳炎は、元来アフリカにあった病気であるが、10年前に突如ニューヨークで流行し始め数年で全アメリカ大陸に広がって定着した。米国では毎年数千人が感染し数百人が死亡する最も重要な感染症の一つとなり、現在ではヨーロッパそして中近東から中央アジアや極東ロシアまで広がっている。ウエストナイル脳炎が日本に入って来ないという保証はまったくない。

多くの人が世界の隅々まで旅行するようになり、熱帯病を始め世界各地にある風土病（地方病）に接し感染発病するケースは年々増加している。またそれらに感染して国内に持ち帰る「輸入感染症」もますます増えてきている。遠い国で起こる感染症の流行も対岸の火事では済まされない時代になったのである。

もう一つの要因が地球の温暖化である。感染症を媒介する昆虫は、気温に依存して生息域を広げ、温暖化のスピードは生物の進化適応のスピードを超えて生物相の変化をもたらしている。アジアから北米メキシコ湾岸に持ち込まれたヒトスジシマカはデング熱ウイルスの重要な媒介蚊であるが、温暖化の下で過去十数年の間にカナダ国境まで北上している。日本でもヒトスジシマカが年々北上して定着していることが確認されている。

(2) 昆虫媒介性感染症対策への日本の貢献

熱帯各地には、先進国では封じ込めに成功した多くの感染症が残っている。マラリア、フィラリア、リーシュマニアやトリパノソーマなどの寄生虫病や日本脳炎、デング熱、黄熱などのウイルス病は、昆虫（蚊など）やダニによって媒介されるものが大きな部分を占めており、重要な感染症が多い。マラリアは、現在も毎年数億人が感染し乳幼児を中心に数百万人が死亡する超一級の感染症であり、薬剤の効かない耐性病原体の出現やワクチン開発の遅れもあり対策は困難を極めている。これらの感染症が私たち日本人と無関係でないことは明らかであり、人類共通の課題として解決が求められている。

日本には、これまでほとんどあらゆる種類の寄生虫病が蔓延し、寄生虫王国とまで言

われた時代があった。フィラリア症やマラリアが全国各地にあって人々を苦しめてきた。これらは、第2次世界大戦後、媒介蚊などの徹底した防除対策および衛生状態の改善などの事業を計画的に推進することや診断ならびに治療技術の進歩などとも相まって、撲滅に成功した。他方、蚊によって媒介されるウイルス病である日本脳炎は、日本中で多くの患者を出し、子供から大人まで多くの生命を奪い、後遺症を残してきた。かつては県レベルの衛生研究所に必ず媒介蚊の研究者がおり、蚊の発生を定期的にチェックし、ブタのウイルス感染をモニターして予防することで病気の封じ込めを図ってきたのである。媒介昆虫の防除においては、日本が研究開発したピレスロイド系殺虫剤による防除技術が高い効果を示し世界的に高く評価されている。現在では媒介蚊密度が低下したこととワクチン接種の効果により、患者がほとんど出ない状況が続いているが、病原ウイルスが完全に駆逐された訳ではない。また、媒介昆虫の薬剤抵抗性の獲得が危惧されつつある今日では、防除法の改善も課題となっている。このように日本には、熱帯地域をはじめ世界各地で蔓延する寄生虫病や昆虫媒介性疾病を封じ込め克服して来た実績がある。これらの実績を積極的に生かし発展させて、さまざまな疾病の対策に力を発揮することが、わが国の学術の国際貢献に対する世界の期待である。

ところが、今、そうした経験と蓄積が日本から失われつつある。かつて日本中にいた日本脳炎媒介蚊の研究者はほとんど退職・転職し、疾病対策の現場にいる科学者や技術者に過去の研究成果や技術が継承されないまま、また、後継者の養成を保證する体制が劣化したため、日本が培ってきた感染症の研究成果と疾病対策の技術は、現場にいる科学者や技術者に継承されないまま消滅の危機に立っている。疾病を媒介する昆虫やダニ（衛生昆虫）を研究する分野は、これまで医動物学あるいは病害動物学として医学部の教育研究体制に組み込まれてきた。しかし、この教育研究の基盤である講座・研究室体制が変質・崩壊されつつある。日本の国公立大学の80の医学部のうち、かつては63の医学部に寄生虫学あるいは医動物学講座があり、そのうち少なくとも半数以上の講座で疾病媒介昆虫やそれと関連する衛生昆虫・衛生動物の研究と教育がなされていた。しかし、現在はその多くが他分野に転換され、残った講座についてもそのほとんどが実質的にこの分野の研究をする研究室ではなくなっている（表3）。その結果、現在、衛生動物研究を主要研究課題としている大学医学部の講座は数講座だけになり、衛生動物学の教育を行う場が日本の大学からなくなりつつある。医学部以外では唯一長崎大学熱帯医学研究所に教授職が維持され、病害動物学研究室として衛生動物の研究が行われている。また、いくつかの獣医学部に医動物・寄生虫学の講座があるが、衛生動物を主とする講座は帯広畜産大学・鹿児島大学などに限られている。大学以外では、国立感染症研究所に複数の研究室があるのみである。

表3 医学部における医動物・寄生虫学講座の現状

医動物・寄生虫の講座がなかった医学部	17
北大、札幌医大、岩手医大、東北大、福島医大、東大、日大、日本医大、東京医大、東邦大、滋賀大、京都大、大阪大、和歌山大、関西医大、大阪医大、山口大	
寄生虫学講座のあった医学部	47
○衛生動物研究者が研究教育を継続している	3
埼玉医大、福井大、愛知医大	
○衛生動物研究者が過去にいた（現在はいない）	18
旭川医大、山形大、独協医大、筑波大、群馬大、東京女子医大、横浜市大、信州大、金沢大、富山大、岡山大、広島大、高知大、香川大、福岡大、佐賀大、宮崎大、琉球大	
○衛生動物研究者のいたことがない	26
弘前大、秋田大、防衛医大、千葉大、順天堂大、慶応大、慈恵医大、昭和大、杏林大、北里大、東海大、山梨大、浜松医大、藤田保健衛生大、岐阜大、奈良医大、近畿大、兵庫医大、川崎医大、島根医大、徳島大、愛媛大、九大、久留米大、熊本大、鹿児島大、	
医動物学教室のあった医学部	16
○衛生動物研究者が研究教育を継続している	3
自治医大、金沢医大、大分大	
○衛生動物研究者がいたが寄生虫学あるいはその他の分野に変わった	11
東京医科歯科大、帝京大、聖マリアンナ医大、新潟大、名古屋大、三重大、京都府立医大、大阪市大、神戸大、産業医大、長崎大	
○衛生動物研究者のいたことがない	2
名市大、鳥取大、	
その他の附置研等の関連講座	6
○衛生動物研究を継続している	2
長崎大医熱研病害動物、琉球大環境保健	
○衛生動物以外の研究をしている	4
東大医科研、阪大微研（原虫）、長崎大熱研（寄生虫）、長崎大熱研（原虫）	

日本の80の医学部とその附置研等における関連研究室6を加え86講座の現状。
アンダーラインで示した医学部では医動物寄生虫以外の分野に転換されている。

日本でのこの分野の衰退には、病気の克服減少が背景にはあるものの、その大きな原因は、日本の医学部の組織体制が医学の著しい発展に対応して整備拡大されるのではなく、新規分野を取り入れるためにスクラップアンドビルドが行われてきたことにあり、その中での皺寄せを受けた結果である。それに加えて国立大学の法人化に伴う各大学の活性化・研究体制の再編といった流れの中で、医動物学や寄生虫学のリストラが加速していることも事実であろう。

(3) 昆虫媒介性感染症に関する教育のあり方

教育研究基盤が縮小した結果、衛生昆虫学分野の大学での研究の活性は必然的に低下し、学会への若い研究者の参入も限定的になり、活力が失われその活動は低調にならざるを得ない状態である。このような状況では後継者は育たないし、日本の医学教育研究の中で築き上げてきた衛生動物学（疾病媒介昆虫学）は消滅しかねない。一旦消滅した学問分野を再度構築するには、おびただしい労力と時間および資金が必要となる。病気が押し寄せてきてからでは完全に手遅れである。国外の状況を見てみると、欧米を中心に、衛生昆虫学を含む疾病媒介昆虫や寄生虫の研究は、医学部をはじめそのほか生物系の学科で盛んに行われ、学際的分野として新しい学会の発足や研究雑誌の新規発刊すらみられるほどである。日本のこの分野の研究や教育が立ち遅れ、感染症の脅威が迫る中で、一旦ことが起こった場合、国内の力だけでは十分対処できず、国外の援助を仰ぐ事態が来ないとは言い切れない。

感染症に対する備えと対策は喫緊の課題であるが、特に昆虫媒介性疾病の予防と対策を研究し実践する人材養成が、他の分野と比べても、また諸外国と比較してもあまりにも地盤沈下していることは危機的状況であると言わねばならない。一方衛生動物学の扱う範囲は広く、健康に関わるすべての動物が対象である。既に挙げた疾病媒介昆虫以外にも健康被害を与える昆虫や動物（スズメバチ類、ドクガ、ドクグモ、毒蛇、毒魚）や衛生害虫（シラミやトコジラミ）、アレルギーの原因となる室内塵性ダニなどが、現在日本で決して無視できない問題を起こしていることも指摘しておきたい。これらは、医学の問題であると同時に農学や獣医学・畜産学などと深いかかわりを持っている。他分野との連携の中で、この分野の研究と教育を守っていく手立てが今求められている。これを解決するには、新たな立場からの学術の構築と研究教育体制の創出が必要である。これまでのように1つの学部や研究科という組織体制に固定するのではなく、昆虫媒介性感染症対策のために分野横断的な研究教育体制の整備が望まれる。

5 昆虫産業と異分野連携

(1) 昆虫産業におけるわが国の特異性

わが国には、2000年以上の養蚕の歴史がある。特に明治から昭和にかけて、日本は世界最大の蚕糸生産国であった。生糸は長年にわたって輸出品目第1位を占め、わが国の外貨獲得とそれによる経済・産業の振興を通じて国家の近代化に大きな貢献を果たした。蚕糸業の発展を支えたのは、他国にまねのできない高度で科学的な育種技術や病害防除技術である。第2次世界大戦後、いわゆる高度経済成長の進展とともに、繊維産業は日本経済の足を引っ張る「斜陽産業」と揶揄されるようになる。しかし、蚕糸技術は、その逆風の中でも新たな研究成果を吸収して飛躍を続け、人工飼料の開発に代表されるような第2の技術革新を実現した。その結果、昭和30年から50年にかけて、日本は年間2万トンという戦前の最盛期にも匹敵するほどの生糸生産を復活、維持し、世界の座を譲らなかった。昭和50年代以降は、農村構造の変化、人件費の高騰、国際競争激化による繭価の低迷、補助金や関税の撤廃、などの要因により、国内の養蚕業は経済的に成り立たなくなり、方向性を大きく転換せざるをえなくなった。現在では、従来型の養蚕は台頭したアジア諸国に譲り、わが国は得意とする遺伝子組換え技術やゲノム解析技術を駆使し、医療素材や新機能繊維など経済価値の高いマテリアルを生産することに集中して、第3の技術革新を成し遂げつつある。以下に述べる新しい「昆虫産業」の創出の原点として、このようなわが国独自の歴史と学術・技術の蓄積がある。

(2) 昆虫を利用した産業

昆虫科学研究の社会的アウトプットの一つは、昆虫産業への貢献、とりわけ昆虫を利用した産業の創出であろう[9, 10, 11]。産業としての利活用には、昆虫個体を利用する、昆虫の生産物を利用する、昆虫関連微生物を利用する、さらには昆虫の構造や機能を利用するというものがある(表4)。昆虫個体の利用としては、天敵や受粉昆虫の利用がある。現在では、天敵製剤や受粉昆虫が一種の農業資材産業として成り立っている。しかしながら天敵製剤の農薬に占める割合は圧倒的に少なく、1%にも満たない。昆虫生産物の利用の代表例として、ミツバチが生産するハチミツやその関連副産物、カイコの絹(シルク)、カイガラムシのラックなどがある。ハチミツ関連産業や絹関連産業は、現在でも世界的な産業として大きなウエイトを占めている。昆虫関連微生物の利用も実績がある分野である。例えば、昆虫に特異的な病原細菌*Bacillus thuringiensis*を利用した鱗翅目害虫の防除は微生物防除として確立し、世界的にも広く利用されている。さらに、この細菌の毒素はダイズ、トウモロコシなどの耐虫性組換え作物作出に利用され、その栽培が多数の国に広がっている。

わが国では、個体利用、生産物利用、関連微生物の利用といった従来型の昆虫産業とは異なる種類の昆虫産業も芽生えている。それは、昆虫特異的な機能を解析したり、昆虫の構造を模倣して利用するという、いわゆる昆虫機能を利用した産業である。たとえば、モルフォチョウの翅の構造色を利用して色の褪せない繊維素材が開発されている。

表4 日本における主な昆虫産業の市場規模

個体の利用		
	天敵農薬（天敵昆虫・ダニ）	35 億円 ¹⁾
	受粉昆虫（マルハナバチなど）	16 億円
生産物の利用		
	ハチミツ	200 億円
	ミツバチ関連副産物（プロポリス、ロイヤルゼリー）	200～300 億円
	カイコ（絹の国内需要）	60 億円 ²⁾
昆虫関連微生物の利用（微生物農薬）		
	<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	9.4 億円
	Bt 以外の微生物農薬	1.9 億円
昆虫機能の利用		
	バキュロウイルス-カイコ系による有用物質生産	15～20 億円 ³⁾
	絹の非医療用途（化粧品、エステ製品など）	非常に小さい
	遺伝子組換えカイコ関連	未市場化
	スポーツドリンク（VAAM 明治乳業）	不明
	構造発色繊維（モルフォテックス 帝人）	不明

¹⁾ 2007版『農薬便覧』より

²⁾ 平成18年の絹内需と平成18年1月の国内生糸価格より算出（（社）日本生糸問屋協会 <http://homepage1.nifty.com/nittonkyo/index.htm>）

³⁾ ペット治療薬インターキャット、インタードッグの合計（東レ）。

このような分野は、昆虫産業という視点からするといまだ緒についたばかりで市場規模も小さいが、新たな産業創出は昆虫科学研究が目指す最も重要なアウトプットのの一つといえる。つまり、グローバル時代の昆虫科学は、昆虫機能に関して分子生物学やナノテクノロジーなど先端科学を利用し新産業の創出を図る使命をもっている。そのためには、医学、工学系など異分野との連携、融合が強く求められる。

わが国で昆虫機能分野の昆虫産業の創出が注目されている背景には、蚕糸業の衰退が少なからずある。蚕糸業を支えてきた蚕糸科学分野の知識や技術は、カイコや絹を材料、素材とした新たな昆虫産業に有効に生かされるはずである。昆虫機能を産業レベルで利用する場合、材料となる昆虫の特性が大きく関わってくる。カイコは他の昆虫に比べサイズが大きい、人工孵化と人工飼料が開発されているため周年飼育が可能である、高度に家畜化されているため逃亡しないなど、理想的な特長を持っている。特に大量飼育のシステムが確立していることは産業利用においては重要である。

実際、カイコやカイコが生産する絹を利用した新しい産業創出が1990年代以降精力的に進められてきた。その方向としては、大きく2つ、カイコを用いた有用物質生産と絹タンパク質を利用した新素材の開発がある。有用物質生産については、1990年代前半に

カイコとそれに感染するバキュロウイルスとを用いた系でネコインターフェロン生産に成功し、市場化された。その後、遺伝子組換えカイコの作出技術が開発されてからは、遺伝子組換えカイコを用いての有用物質生産も並行的に進められてきた。特に、遺伝子組換えカイコは、有用物質生産だけでなく、絹タンパク部分を改変することにより、機能性シルクを生産できることで注目されている。

もう一つの方向が絹タンパク質による新素材の開発で、これまで衣料分野にしか用いられなかった絹を絹タンパク質という高分子としてとらえ、粉末、フィルム、ブロック、スポンジなど多様な形態に改変させることによって、工業や生活用品、さらには医療材料としての用途開発を目指している。特にシルクスポンジは軟骨再生材料として医学分野で注目されている。また、絹の微細性、細胞非接着性などの特性を生かした人工血管についても開発が進められている。有用物質生産にしても、後者の新素材開発にしても、付加価値の高い物質、素材、例えば医薬品、医用材料などを対象とするのが効果的であるので、そこに医学、工学系など異分野の研究者さらには現場に関わる企業やその研究者との連携、融合が最重要となる。

近年、カイコや絹を用いた新産業創出を強く支援する重要な基盤的成果である「日中共同プロジェクトによる2008年のカイコゲノムの完全解読・統合」が得られ、それに伴い、統合カイコゲノムデータベースも公開され、新産業創出に有効な事象がゲノム、遺伝子レベルで追究できるようになった。また、このゲノムデータベースは鱗翅目害虫防除のための農薬開発にも有用性が高いものとして期待されている。

(3) 異分野との連携

自然の優れた機能や形態などを模倣し、工業技術や人間生活に役立てようとするバイオミメティクスのモデルとして最も注目を浴びている生物が昆虫である。昆虫は4億年以上の進化的歴史を持っている生物である。それは突然変異による遺伝的変異の創出と自然選択のふるいによる、無数の試行錯誤の歴史と言ってよい。その結果として彼らが極めた多様なデザインとその機能は、人類が持続的に存続していく上で学ぶべきモデルとなるに違いない。ここに昆虫を模倣した技術、すなわち昆虫ミメティクスが、新たな世代の科学技術として大いに期待される根拠がある。

昆虫ミメティクスの具体例として次のようなものが存在する。工業技術として実用あるいは期待されているものとしては、前述の構造色を利用した発色素材以外に、シロアリの巣の構造を模倣した自然冷却の設備、ガの複眼を模倣したスーパー反射フィルム、トンボの翅を模倣したプロペラによる小型発電機などがある。これらは高機能化と環境調和の両立を図る持続的な革新的技術として期待されている。最近の「日経サイエンス」には「昆虫サイボーグ」と名づけられた飛翔ロボットの研究が紹介されている[12]。この飛翔ロボットは甲虫類の一種カナブンの背中に電子回路を背負わせ、無線で筋肉を遠隔的に制御することで飛行をコントロールできるもので、軍事、救助などの場面で応用が想定されている。次に、医療技術としては、カの口針を模倣した医療用無痛注射針、スズメバチが生産するアミノ酸化合物由来の脂肪燃焼ドリンク、サイカブト由来の抗菌

物質、ガンの進行を遅らせるヤママユの休眠物質、モンシロチョウからの抗ガン物質、ダニやサシガメなど吸血昆虫からの抗血液凝固活性物質、ハエの蛆を用いた創傷治療（マゴットセラピー）[13]などがある。

一方、これらとは異なる昆虫ミメティクスとして、群知能の応用がある[14]。群知能とは、アリやミツバチのような社会性昆虫に見られる協調行動をもたらす自己組織化のことである。アリ類は人類の百万分の一ほどの小さな脳神経しか持たないが、驚くほどの複雑な仕事やっけてのける。例えば、個体レベルでは、フェロモンを辿るという、きわめて単純な原理で行動しているながら、群れのレベルでは、餌場までの最短の経路を探し出すといった難問を解決している。すなわち、群知能は、フェロモンというコミュニケーション手段をインターフェイスとした、一種の自己組織化の産物だと言える。計算機科学者たちは、このような群知能のアイデアを取り入れ、電話回線網の調整、顧客への請求書作成や発送など、幅広い分野での応用を図ろうとしている。また、ミツバチが仕事を分担する際の柔軟なやり方を工場における生産日程管理の参考にするなど、社会性昆虫の群知能は、人間の社会にも多大な貢献を果たす、きわめて大きな可能性を秘めている。

西洋諸国に比べてかなり遅れを取った感があるわが国のバイオミメティクスであるが、近年、このような状況を打開し、わが国でも本格的な展開を図ろうという動きが見え始めている[15]。2009年には産業技術総合研究所において、バイオミメティクス研究会主催の「エンジニアリング・ネオバイオミメティクス」に関する国際シンポジウムが開催された。さらに、このシンポジウムの成功を受けて、2010年に国立科学博物館において「次世代バイオミメティック材料の研究動向と異分野連携」に関するジョイントシンポジウムが開催され、工学系、化学系、生物系といった多分野にまたがる多くの研究者が参加した。その中で最も強調されたのは、生物学と工学といった異分野の連携の必要性であった。このシンポジウムが、生物の分類学と多様性科学のわが国における中心的存在である国立科学博物館で開催されたことに、その意図が象徴的に現れている。バイオミメティクスのモデルは昆虫をはじめとする多様な生物たちであることから、生物多様性の保全は工学など異分野の研究者からも強い関心を集めている。医学と工学の分野ではその連携を推進する「日本医工ものづくりコモンズ」が、13学協会の賛同を得て2009年に設立され活動を行っている (http://www.jscas.org/j_commons/)。昆虫科学分野では、昆虫科学全体をカバーする14学会による昆虫科学連合が活動を開始したが、今後は、工学系、化学系、昆虫以外の生物系、医学系などの異分野との連携を推進する活動が必要になるだろう。

6 昆虫を教材とした教育

(1) 教材としての有用性

人類にとっての昆虫という生物は、自然科学の研究対象としての枠を超えた、もっと大きくて広い存在である。昆虫はさまざまな意味合いで私たちの身近な存在であったし、都会ではその存在が認識されにくくなっているとはいえ、今でも最も身近な存在の一つである。そして、季節によりその種類や有様を変える存在でもある。したがって、昆虫は私たちを取り巻く自然の中でも、「ものあわれ」という日本人特有の情感を育む、文化的存在でもあった。このことは、昆虫を教材とした環境教育や自然教育の原点である。

今日的状況として、グローバルな情報化社会が急速に進展する中で、ITを用いた優れた教育プログラムや教材開発が進む一方、幼児から若い親世代まで日常的に電子映像メディアに接する時間が急増し、いわゆる「メディア漬け」に陥っている現状がある。こうしたバーチャルな生活時間が急増する状況の下で、自然や仲間と触れあう外遊びや、自然・環境・命の大切さなどのリアリティーを尊重する遊びと教育の実践・充実が求められている[16, 17]。リアリティーに目を向けさせる方策としてはさまざまなことが考えられるが、その一つに私たちの身近な存在である昆虫を用いた遊び・学び・教育があろう。昆虫は、その形や色彩、食性やライフスタイルの多様さなどから子どもたちの好奇心を最もそそる生物である。そして、命の仕組みや生物間の多様な相互作用を学ぶのに適した「生きた教材」として大きな可能性を秘めている。

生物学習用教材としてはさまざまな動植物が利用されている。その中で、昆虫は単に理科教育、自然教育、環境教育のみならず、歴史や文学、美術、音楽などを含むきわめて広範囲な分野で利用可能な利点を持っている [4, 5]。たとえば、手ごろなサイズ、ライフサイクルの短さ、飼育の容易さなどは、体の構造や生きる仕組みを理解するための生物実験用教材として有利な点である。変態に伴う形の変化や色彩の多様さ、擬態・擬死、過酷な限界環境で生き延びる休眠現象や適応力などは、生き物の不思議さに気づかせ興味をかき立てる昆虫ならではの特徴であり利点である。種の多さ、生息域の広さ、食性の多様さ、共生・寄生関係の複雑さ、進化的反応の迅速性などは、自然・環境教育を行う際に有利な点であろう。昆虫を詠んだ俳句や和歌も多く、実際俳句の季語になっている昆虫も数多い。音楽や絵画でも取り上げられており教材として利用することが可能であろう。日本には、かつて養蚕業や蚕糸業で栄えた地方も多く、そこではカイコは歴史を学ぶ上での貴重な教材になる。また各地に残されている虫塚や虫供養塔は、害虫被害に悩まされた先人の苦労について学ぶ教材になり得るであろう。これらはいずれも、命や暮らし、自然のリアリティーに思いを向け考えさせる教材としての有用性を示すものと考えられる。

(2) 教材利用の現状

各地に存在する自然史博物館、動物園や昆虫館は子供や一般市民に自然の魅力を伝える大きな役割を果たしており、最も身近な自然的存在としての昆虫を通して、自然への

窓口が開かれることが大いに期待される。2007年に神戸大学で開催された日本昆虫学会大会では、「2050年の博物館」というテーマの公開シンポジウムが行われた[18]。その中で以下のような発表があった。伊丹市昆虫館では、昆虫の魅力を引き出し、より分かりやすく伝えるためのさまざまな工夫を凝らしている。それは、ほんものに触れること、ほんものの魅力を引き出すこと、フィールドへ導くこと、共に発見し感動すること、ネットワークを広げ、多彩な切り口で情報発信することなどである。昆虫館は、昆虫をきっかけにして、さまざまな人が集い、新たな発見や喜び、さらなる人と人とのつながりを生み出していく場として位置づけられる。そこでは、昆虫たちは、市民の喜びを増やし、市民の生活を豊かにしていくための生物的存在として捉えられているのである。自然の中で昆虫と触れ合う自然学習会や自然体験教室などを開催しているNPO法人も少なくないが、地域自治体や個人の献身的な努力に負うところが大きく、永続・継続性という点では課題が多い。

奄美大島では、京都大学（21世紀COEプログラム「昆虫科学が拓く未来型食料環境学の創生」（2004年～2009年）、龍郷町、地元の有志、および地元出身の実業家が、産官学民の共同プログラムとして2006年に立ち上げた環境教育が実施されている。ここでは、龍郷町のすべての小中学校を対象にして、専用の教材を作り、多様な観点から環境教育プログラムを実践している。夏休みなどを利用した特別授業では、京都大学から大学院生が複数派遣され、昆虫科学に関する講義や実習を行なっている。使用するテキストには、「アサギマダラの旅」、「セミの音はどんなふうに聞こえる?」、「昆虫から学ぼう」など、昆虫を教材としたプログラムも多数織り込まれ、「生命の尊さ」、「生態系のつながり」、そして「自然と文化の関わり」などについて体系的に学べるようになっている。

自然に対する豊かな感性と知性を備えた子供たちは、大人になってからも自然のことを正しく理解し大切にできるようになるに違いない。ここに、子供たちに対する環境教育の意義がある。環境教育とは「自然を主な教材として、自然と人間との関係を探り、持続的に生きる力を育成する方法を教授すること」に他ならず、地球上で人類が生き延びていくための教育として不可欠なものである。私たち昆虫科学者は他分野の研究者と協力しつつ、このような環境教育を国民的な教育として展開していくことを積極的に提案し、実践するべきである。

昆虫を教材とした理科教育の代表的なものとしては、東京農工大学のInsect Bio Quest Projectによって作成されたプログラムがある。昆虫を教材として、生物学、化学、物理学、地学、数学などの理科系科目を総合的に学べるようにしたもので、DVDとして作成・配布された内容 (<http://www.viva-insecta.com/>) がインターネットで公開されている。最も入手・利用しやすい昆虫であるカイコについては、教材開発も進められ、実験手引書などが市販されている[19]。また、日本蚕糸学会が平成18年に小・中・高等学校を対象に行ったカイコの教材利用に関するアンケート調査[20]によれば、(1)小学校では教材としてカイコが利用されているが、中・高等学校ではほとんど利用されていない、(2)大学や試験研究機関から無償でカイコの提供を受けている場合が多い、

(3) 昆虫やカイコに興味がある教員の個人的努力で実施している、(4) カイコの教材利用に関する情報が不足している、などの点が明らかになっている。

カイコの卵や幼虫は、文部科学省のナショナルバイオリソースプロジェクト「カイコ」チーム (<http://www.shigen.nig.ac.jp/silkwormbase/index.jsp>)、農林水産省のジーンバンク (<http://www.gene.affrc.go.jp>)、大日本蚕糸会蚕業技術研究所及び民間蚕種製造業者などから提供されている。カイコ以外にも人工飼料などで大量に通年飼育が可能な昆虫が約20種あるが[21]、教材化はほとんど進められていないのが実情である。

以上のように、昆虫は教材としてさまざまな利点・有用性を持つものの、その利用は不十分と言わざるを得ない。とりわけ子供や一般市民に昆虫の不思議さや面白さ、自然の大切さを教え導く人材・教員は不足しており、かつ個人の献身的な努力に負っている場合が多い。

(3) 将来の展望

これまでに述べてきたように、昆虫はITの高度・加速化しつつある情報社会において、内向き傾向を強めている青少年の目を野外の自然環境に向けさせ、生物の生きる仕組みを理解させ、環境保全の重要性を学ばせるための教材として大きな役割を果たす潜在能力を持っている。しかしながら、現状ではまだ利活用が不十分であり、今後、昆虫の教材としての可能性を有効に引き出して利用するためには、以下の対応をとることが望ましい。

(1) 自然環境・自然生態系を幼児や児童の遊びや学びの場としてとらえ、積極的に利用する方策について検討するとともに具体的利活用を図る。(2) 小・中・高等学校生を対象として、昆虫を教材とした理科教育、自然・環境教育をより積極的に図る。(3) 大学等において昆虫の生体機能や自然生態系における昆虫の役割などを生かした教材・システムの開発をより積極的に進める。(4) 初等・中等学校の生物の教員で、自然環境や昆虫に興味・関心を持つ者を大学院修士課程等に受け入れ、教材開発や指導法について研究する機会をより多く設ける。(5) 昆虫の分類学を専門とし、生理・生態学、分子生物学まで幅広い知識・見識を持ち、かつこれらを子供や小・中・高校生たちに伝えることを喜びとする強い意欲・情熱を持つ社会参加型人材の養成を図る。

昆虫以外にもさまざまな生物教材が考えられるが、上記のような対策を講じることによって、今後ますます顕著になるメディア・情報化社会において昆虫を利用した教材が大きな教育効果を発揮するに違いない。なお、昆虫の教材化にあたっては、虫に対して生理的嫌悪感や拒否反応、アレルギーを示す児童や生徒も少なからずいることを踏まえ、画一的な教材使用は問題が生じる可能性があることに配慮する必要がある。たとえば、昆虫の解剖実験、遺伝実験、栄養実験、行動観察、虫を詠んだ俳句の調査や創作などを組み合わせて多様な選択肢を準備するなどの対応が望まれる。

このように昆虫を教材とした教育は大きな可能性を秘めていると言えるが、現実においては、わが国の大学や大学院における昆虫科学教育が十分組織的に行われているとは言いがたい。米国などの大きな大学は昆虫学部あるいは昆虫学科があり、そこでは農業

害虫から衛生害虫までのさまざまな昆虫を対象に、生理学、遺伝学、生態学などにまたがる幅の広い昆虫科学教育が行われている。これに対してわが国には昆虫学部・学科は皆無であり、農学部などの中に特定の分野の1～数名の専門家がいるに過ぎない。これでは到底、総合的な昆虫科学など学生に教授することは不可能である。大学の昆虫科学教育におけるこのような貧困な状況を少しでも改善し、社会的な役割を果たしていく必要がある。

7 おわりに

昆虫科学は、昆虫世界の成立と発展の進化的仕組みを解明し、その成果を地球環境の保全と人間生活の持続的発展に資することを目的とした生命科学の1分野である。しかし、その将来的な発展において不可欠である昆虫分類学は、多くの問題点や課題を内包している。本報告ではその点を指摘しつつ、生物多様性科学に貢献するためのその具体的な展望と方策について若干の提案を行った。昆虫の最大の特徴はその種多様性にあり、だからこそ昆虫科学は生物多様性科学の中心的な役割を果たすべきである。一方、重篤な昆虫媒介性感染症の世界的規模での流行の可能性を指摘し、その対応を担う研究現場が直面している危機的な状況を具体的なデータをもって確認し、将来に向けての抜本的取り組みの必要性を論じた。これは、人類の健康を守るという観点からの分析と提案である。

昆虫科学は新たな昆虫産業を興す大きな可能性を持っている。昆虫科学は純粋にわが国発の世界的な産業と学術の構築を实践した経験を有しているからである。バイオミメティクスという新規科学技術のモデルとして最重要視されているのが昆虫であることも、昆虫科学の可能性の大きさを期待させるものである。しかし、昆虫科学の飛躍的な発展を図るためには、純粋科学として昆虫世界の科学的解明をさらに促進させていくだけでなく、工学や医学などとの異分野連携を図りながら、人間社会のための科学として、産業への貢献をもっと積極的に果たすべきである。このことも本報告の重要な論点である。

最後に、教育の問題に言及した。初等教育や中等教育の教育場面、とりわけ理科教育や環境教育において、昆虫が教材として広く用いられる可能性を持っていることを述べたが、その一方で大学や大学院という高等教育における昆虫科学教育がきわめて貧弱であるとの認識に至った。言うまでもなく後継者の養成は学問の継承にとって最重要の課題である。

本分科会の次の任務は、昆虫科学連合ならびに日本学術会議の他の分科会と連携しながら、これらの課題を解決する具体的なロードマップを描くことである。

<引用文献>

- [1] ウィルソン・E・O (1999) 生き物たちの神秘生活 廣野喜幸【訳】 徳間書店
- [2] 桐谷圭治 (2003) 「ただの虫」を無視しない農業—生物多様性管理 築地書館
- [3] ベニユス・J・M (2006) 自然と生体に学ぶバイオミクリー 山本良一【監訳】 オーム社
- [4] 藤崎憲治 (2010) 昆虫未来学 「四億年の知恵」に学ぶ 新潮社
- [5] 藤崎憲治、西田律夫、佐久間正幸【編著】 (2009) 昆虫科学が拓く未来 京都大学学術出版会
- [6] 大原昌宏 (2010) 分類学者の養成—パラタクソノミスト養成講座について— 昆虫 (ニューシリーズ) 13 巻 83-92 頁
- [7] 神保宇嗣 (2010) 昆虫分類学者による情報公開の現状と今後の展開 昆虫 (ニューシリーズ) 13 巻 69-76 頁
- [8] 中村剛之 (2010) 博物館だより (1) アムステルダム大学動物学博物館研修報告—コレクション管理に関する博物館と外部研究者の協力関係について— 昆虫 (ニューシリーズ) 13 巻 137-143 頁
- [9] 竹田敏 (2003) 昆虫機能の秘密 工業調査会
- [10] 川崎建次郎、野田博明、木内信【監修】 (2005) 昆虫テクノロジー—産業利用への可能性— シーエムシー出版
- [11] 田付貞洋、河野義明【編】 (2009) 最新応用昆虫学 朝倉書店 214-226 頁
- [12] マハルビズ・M・M、佐藤裕崇 (2011) 跳べ! 昆虫サイボーグ 日経サイエンス 2011 年 3 月号 42-49 頁
- [13] フライシュマン・W、グラスベルガー・M、シャーマン・R (2006) マゴットセラピー—ウジを使った創傷治療 沼田英治・三井秀也【訳】 大阪公立大学共同出版会
- [14] ボナボー・E、テロラス・G (2000) 群れが生み出す知能 日経サイエンス 2000 年 7 月号 18-26 頁
- [15] 下村政嗣 (2010) 生物の多様性に学ぶ新世代バイオミメティック材料技術の新潮流、科学技術動向 2010 年 5 月号 9-28 頁
- [16] 日本学術会議健康・生活科学委員会報告『日本の子どものヘルスプロモーション』 2010 年 7 月 12 日
- [17] 清川輝基・内海裕美 (2010) 「メディア漬け」で壊れる子どもたち 少年写真新聞社
- [18] 日本昆虫学会・近畿支部 (2007) 日本昆虫学会第 67 回大会講演要旨 100-101 頁
- [19] 森精【編】 (1986) カイコによる新生物実験—生物科学の展開 筑波書房
- [20] 日本蚕糸学会 教育・研究用カイコ供給システム検討ワーキング・グループ (2006) カイコの教育・研究利用の現状—アンケート調査結果より— 蚕糸・昆虫バイオテック 75 巻 123-127 頁
- [21] 川崎建次郎 (2003) 昆虫の大量増殖 『昆虫学大辞典』三橋淳【編】朝倉書店 1067-1086 頁

＜参考資料 1＞農学委員会応用昆虫学分科会審議経過

平成 21 年

1 月 15 日 農学委員会応用昆虫学分科会（第 1 回）

○分科会委員長、副委員長、幹事の選出、分科会活動について

3 月 4 日 農学委員会応用昆虫学分科会（第 2 回）

○昆虫科学連合設立の支援方法について、分科会活動目標の設定

9 月 4 日 農学委員会応用昆虫学分科会（第 3 回）

○昆虫科学連合設立準備について分科会主催によるシンポジウムまたは勉強会の開催計画について

12 月 19 日 農学委員会応用昆虫学分科会（第 4 回）

○昆虫科学教育をテーマとする勉強会開催、昆虫科学連合設立記念シンポジウムの開催案について、分科会からの意思の表出について

平成 22 年

6 月 25 日 農学委員会応用昆虫学分科会（第 5 回）

○昆虫科学連合準備委員会ならびに連合加盟予定学会代表者との合同討議、提言（報告）による意思表示に向けた準備について

7 月 24 日 農学委員会応用昆虫学分科会（第 6 回）

○昆虫科学連合設立総会ならびに記念シンポジウム開催、提言（報告）の内容検討

平成 23 年

1 月 22 日 農学委員会応用昆虫学分科会（第 7 回）

○報告作成のスケジュール確認、内容・構成ならびに執筆分担の決定

2 月 18 日～2 月 22 日 農学委員会応用昆虫学分科会メール会議

○分科会三役とりまとめによる報告一次案の提案ならびに検討

3 月 14 日～3 月 18 日 農学委員会応用昆虫学分科会メール会議

○分科会三役とりまとめによる報告二次案の提案ならびに検討

3 月 22 日～3 月 25 日 農学委員会応用昆虫学分科会メール会議

○報告案の承認

7 月 28 日 日本学術会議幹事会（第 130 回）

応用昆虫学分科会報告「昆虫科学の果たすべき役割とその推進の必要性」について承認

＜参考資料 2＞農学委員会応用昆虫学分科会セミナー「昆虫科学教育が拓く未来」

日時：平成 21 年 12 月 19 日

場所：東京大学農学部

趣旨：日本学術会議農学委員会応用昆虫学分科会の活動目標の一つとして、昆虫科学の社会での認知度向上が上げられるが、その前段階として、大学における昆虫学教育あるいは大学が一般社会に対して提供している昆虫学教育の実態と問題点について議論し、分科会委員が共通の認識を持つことが必要である。昆虫学としてどのようなことをどのように学ばせているのかをさまざまな大学の現場から報告していただき、共通の課題をそこから見出していくことは、今後の昆虫学教育の将来を展望していく上で、避けて通れない作業である。とりわけ、さまざまに自然科学が多様化し、細分化していく中で、「昆虫学」あるいは「昆虫科学」の教育がいかに価値があり、また実効性があるのかを問い直していくことの重要性は大きいに違いない。それは昆虫学のアイデンティティーに関わる本質的な問題である。また、一方において理科離れやポストク問題などの、子どもたちが科学者を志向する上でのモチベーションを低下させるような社会現象も存在し、昆虫学や昆虫学教育もそのような事柄と無縁ではありえない。このような背景を踏まえ、昆虫学、応用昆虫学、蚕糸学、衛生昆虫学、エントモミメティクスなどの立場から、大学における昆虫学教育の現状とその問題点について議論を深めるという趣旨の下に、セミナー「昆虫科学教育が拓く未来」を開催させていただく次第である。

次第：

- 13:40-14:15 鎮西康雄（鈴鹿医療科学大学医用工学部教授、日本学術会議連携会員）
医学教育の中の衛生昆虫学教育—その変遷・現状・これから—
- 14:15-14:50 村井 保（宇都宮大学農学部教授）
宇都宮大学における応用昆虫学教育と研究の現状
- 15:00-15:35 普後 一（東京農工大学農学部教授）
昆虫行動をモデルとした中等・高等理科実験プログラムの開発
- 15:35-16:10 藤崎憲治（京都大学大学院農学研究科教授、日本学術会議連携会員）
京大昆虫 COE における昆虫科学教育の実践
- 16:10-16:45 参加者による意見交換

＜参考資料3＞日本昆虫科学連合設立記念・日本学術会議公開シンポジウム「新時代の昆虫科学を拓く」

日時：平成22年7月24日

場所：日本学術会議講堂

趣旨： 農学委員会応用昆虫学分科会は、我が国における昆虫科学および関連学問分野の研究・教育の推進とこの分野の社会的な普及を目的に、国内における昆虫科学研究者コミュニティの構築を目指し、活動してきた。平成21年3月に応用昆虫学分科会の呼び掛けに昆虫科学関連学協会が応えるかたちで準備委員会が組織され、来る平成22年7月に「日本昆虫科学連合」が設立される運びとなった。この連合が、自由で活発な学術情報の交換を可能にし、昆虫科学の一層の発展を支える基盤となることを期待し、設立記念公開シンポジウムを開催する。

次第：

I 日本昆虫科学連合設立報告（13：05-13：20）

山下興亜（中部大学学長、日本学術会議連携会員）

II 連合の将来展望と学術会議との連携（13：20-13：35）

藤崎憲治（京都大学大学院農学研究科教授、日本学術会議連携会員）

III 講演

1) 13:35-14:15 昆虫と化学—「喰う」と「喰われる」の狭間で—

森 直樹（京都大学大学院農学研究科准教授、日本農芸化学会）

2) 14:15-14:55 シロアリからエネルギーを創る

吉村 剛（京都大学生存圏研究所准教授、日本環境動物昆虫学会）

3) 15:15-15:55 ハエから学ぶ寄生戦略

舘 卓司（九州大学大学院比較社会文化研究院講師、日本昆虫学会）

4) 15:55-16:35 昆虫ウイルスの巧みな宿主制御戦略

勝間 進（東京大学大学院農学生命科学研究科准教授、日本蚕糸学会）

5) 16:35-17:15 虫とダニの共進化関係と多様性

五箇公一（国立環境研究所主席研究員、日本ダニ学会）