

環境と健康

Vol.27 No.1 SPRING 2014

特集 / ミツバチ研究の最前線 - 社会性昆虫の不思議を探る

Editorial / 少子高齢社会の生き甲斐

特別企画 / 笑いの雰囲気と母親の役割

いのちの科学 / 魚の左右性とその動態

コラム / 補聴器を使いこなす

オピニオン / 放射線がんリスクの線量率依存性を如何に勘案するか

サロン談義 / 現在の教育問題を考える (I)

連載講座 / 統合医療: 一人ひとりに合った医療を目指して (III)



献眼登録にご協力をお願いします

アイバンクとは、角膜を提供して下さる方と角膜移植を受ける患者さんとの橋渡しを担っている団体です。当アイバンクは昭和 38 年に**財団法人体質研究会(現在 公益財団法人)**の一部として設立されました。法律上、角膜あっせんはアイバンクを通してでしか行えないことになっています。

角膜は眼球の最前部にあるいわゆる「黒目」の表面にある、透明な膜です。これを通して光が網膜に達し、はじめて物が見えるのです。病気やケガで角膜が白く濁ったり、傷ついたり、変形が生じると視力が低下したり見えなくなったりします。この角膜を透明な角膜と取り替える手術を角膜移植といいます。

移植に使う透明な角膜は亡くなられた方からご提供いただきます。角膜の寿命は 200 年ともいわれており、年齢制限はなく、近視や乱視、白内障や緑内障のある目でも角膜移植に使えます。ただ、伝染病(HIV、B、C 型肝炎など)や血液の病気で亡くなられた場合や変死の場合は使えないこともあります。

1,242,844 人

現在、全国のアイバンクへの登録者総数は約 124 万人ですが、手術を待っている人たちの数から比べると、まだまだ登録者がたりません。

36,262 人

これまでに献眼された方は約 36,000 人です。

2,489 人

今すぐ手術を受けなければならぬと診断され、角膜移植を申し込んで順番を待っている方は約 2,500 人もおられます。

1~3 年

今、角膜移植を受けたいと申し込んでも移植まで 1~3 年先で、待っている間は、とても不自由な生活や思いをされています。



6~10 時間

角膜摘出は死後、夏季は 6 時間以内、冬季は 10 時間以内に特殊な保存液内に保存しなければいけません。早急なご連絡が必要となります。

親族への優先提供

平成 22 年 1 月 17 日の臓器移植法改正に伴い、親族(配偶者、子、父母)への角膜提供が可能となりました。

*表示している数字は日本全国のもので、2012 年 3 月末現在の(公財)日本アイバンク協会のデータです。

献眼登録のお問合せは、下記へお願いします。

公益財団法人 体質研究会 アイバンク

〒606-8225 京都市左京区田中門前町 103-5

パストゥールビル 5F

Tel.075-702-0824 Fax.075-702-1141

ホームページ <http://www.taishitsu.or.jp/eyebank/>

特集 “ミツバチ研究の最前線 —社会性昆虫の不思議を探る—

ミツバチは自然共生系の中で送粉者として重要な役割を担っており、世界のおおよそ 90% の果樹の花の授粉がミツバチに依存していると言われています。この種はまた人にハチミツやミツロウ、プロポリスなどを供給してくれる資源昆虫でもあります。これが示す謎に満ちた不思議な行動や生態にいままで多くの研究者が引きつけられてきました。ミツバチは高度に社会性を進化させた昆虫の一つで、一匹の女王を中心に多数の働き蜂が絶妙な方法で情報交換を行いながらコロニーを形成し生活を営むため、そのコロニーは「スーパー個体」と呼ばれています。今回の特集では、遺伝子から行動レベルまで様々なアプローチでもってミツバチの生活や生理現象を調べている研究者に最近の話題を紹介してもらいました。

少子高齢社会の生き甲斐

山岸秀夫*

先日テニスクラブでの試合待ちの時間に、昨秋に訪ねた岐阜県養老町の「養老の滝」を話題にしたところ、居酒屋チェーンの「養老乃滝」と間違われた。それもそのはず、働けど働けど暮らしに追われて、老父の楽しみ晩酌の酒も買えない不甲斐無さを嘆く、親孝行息子の前で、「滝の水がお酒になった」という「養老孝子伝説」（古今著聞集、鎌倉時代）は、私ども国民学校世代の「修身」の教材であって、「君に忠」と並んで「親に孝」は「忠孝」の精神として教え込まれた。この孝行息子にとっては、老父の喜ぶ晩酌の酒を汲みに滝に行くのが「生き甲斐」だったのかもしれない。しかし第2次世界大戦の敗戦後、「君に忠」の否定と共に「親に孝」も忘れ去られてしまった。

果たして少子高齢社会では、「親に孝」は死語となったのであろうか？ ポール・ゴーギャンの絵画に刻まれた、「われわれはどこから来たのか われわれは何者か われわれはどこへ行くのか」の全てには答えられないが、少なくとも「われわれは一人では生きて行けない者である」と答えることは出来よう。養老の孝行息子も、親の庇護が無ければ赤子から人間へと成人できなかった。人間の一生の「生病老死」の全ての過程に親以外にも他者が関わり、このサイクルが繰り返されて、親から子へと「いのち」が継承されている。現在では、育児・介護・医療の全ての分野において、他者としての社会的関与が高められている。

このような視点から少子高齢社会の問題を考えてみることにする。1945年の敗戦の灰燼の中から驚異的な経済復興を果たし、1975年に経済大国となったわが国では、人々の生活水準が飛躍的に向上した。その後も、仕事と生活の利便性を求めて、人々は農漁村（地方）から都会（中央）へと流動し、都会では核家族化が進行し、徐々に村落共同体で見られていた様な、地域社会（コミュニティ）の絆を失うことになった。結果として、仕事に追われる現役世代の女性一人あたりの生涯出生率が低下する一方、この半世紀の間に、日本人の平均寿命は16歳も延び、世界でも有数の長寿国になると共に少子高齢社会となった。現在は65歳以上の高齢者1人に対して、現役世代が3人の割合となって

*（公財）体質研究会主任研究員、京都大学名誉教授（分子遺伝学、免疫学）

いる。日本人の平均寿命の延伸は、医療保険、介護保険の制度整備や保健衛生環境の向上に負うところが多い。しかし近代科学技術の進歩による生産効率の上昇を見込んで、減少する現役世代の労働人口が、多数の高齢者を支える経済成長がいつまでも続く筈がない。

しかも経済成長政策の下で現在進められている、無制限な地球資源の開発競争は、発展途上国での自然と生物の多様性を壊滅させ、深刻な地球環境の激変をもたらすに違いない。さらにその開発競争の中で、人々の間に貧富の差が生じ、相互扶助の人々の絆が失われつつある。その上、わが国は数枚の地殻プレートの接点に位置し、これまでも地震や津波や火山爆発など、数々の自然災害に遭遇してきた。3.11の東日本大震災は自然災害に重なった、科学万能の安全神話による人災であった。働き手を失った、災害地の高齢社会の打撃は深刻である。自然の恩恵と共にそのリスクの中で生きていることを、私どもに実感させた大震災であった。今や日本のような地球上の一部で起きた事件も、その情報が国境を越えてインターネットで拡がり、経済的にも世界全体に影響を及ぼすのである。それでも国内外から無償の援助が寄せられ、地球規模で支え合う人々の絆に救いを覚えた。

労働経済学者の橘木俊詔氏は「幸せの経済学」（岩波書店、2013）の中で、少子高齢社会の課題として、経済成長社会から定常型経済社会への転換を提唱し、幸せな「働き方、遊び方」を生き甲斐とするような社会保障制度の充実が重要であるとされている。

かつて自然人類学者の西田利貞氏は、本誌関連シリーズ「いのちの科学を語る」第4巻「チンパンジーの社会」（東方出版、2008）のシナリオの中で、「反文明の時代」と題して、(1) 少子高齢化歓迎、(2) 発展途上国を犠牲にする飽食日本、(3) 亡国の発明：シュレッターとウォシュレットなど、数々の文明批判を展開して、「持続可能な節約社会」への道を提唱され、「他人に迷惑をかけないで楽しく生きること」に生き甲斐を求められた。確かに地球生物はすべて食物連鎖で繋がりと、リスクに耐えて譲り合って生きているのであって、人間だけを例外とするのは問題であろう。

「生活機能病」の予防を提唱されている整形医学者の山室隆夫氏は、本誌関連シリーズ「共に生きる科学」の「不老長寿を語る」（ミネルヴァ書房、2012）の中で、「平均寿命」でなく、人が健康で自立して生活できる「健康寿命」の延伸に注目して、高齢者の定義を75歳以上に引き上げて、自立した健康な高齢者の生産活動や社会活動への参加を促して労働人口を増やし、子育て世代を援助することを提唱されている。ここでは、「子どもたちの世代のために働く」という連帯感が高齢者の生き甲斐とされている。

人それぞれに様々な生き甲斐がある。現役世代の生き甲斐は、主として子育てと職場労働であり、社会貢献の充実感であろう。しかし生涯現役の人生を送れる人は少ない。若者もやがて現役を離れて高齢者となる。「生病老死」^(注1) は全ての人がリスクを背負って通る道である。現在の高齢者は、若者の将来の生きた教材である。宗教家の奈良泰明氏は、本誌 26 巻 3 号の特集「高齢者のいのちの輝き」の中で、「年齢相応の社会貢献は、その気になれば何時でも出来ることで、今という時間を自分なりに充実感を持って過ごすこと」と語っておられる。健康で自立して長寿を楽しむ高齢者の姿は、若者の励みとなる。若者と高齢者が支え合って、「生病老死」のサイクルを持続できる社会の構築のためには、新しい「文明の知識と文化の知恵」が求められている。そこでは、経済成長社会の「一人勝ち」でなく、定常経済社会の「他者のために役立つ」ことが生き甲斐として普遍化し、人々の絆が強まるであろう。その未来の絆は、家庭や地域や国家の枠組みを越えて、個人と個人とがインターネットで結ばれるものかもしれないが、誰もが「生まれてきてよかった、生きてきてよかった」(永六輔：「大往生」より)と思えるような尊厳ある人生で、「生病老死」のサイクルを繋ぎたいものである。



Random Scope

文学作品を読むことは他人を思いやる心を向上させる

他人の心を読み取ることは、複雑な人間関係を円滑にする一種の技術である。この技術 (TOM) を養成することは大切なことであり、その定量化テストが導入されたところ、映像よりも小説 (フィクション) を文字で読むことが TOM の値を向上させることが示された。芸術活動も同様に TOM の値の向上に寄与することが示唆されている。(Yan)

Kidd, D.C. and Castano, E.: Reading literary fiction improves theory of mind. *Science* **342**, 377-380 (2013)

注1) 一般には「生老病死」とされるが、その生起の順から「老」と「病」を入れ換えている。

目 次

特集 / ミツバチ研究の最前線 －社会性昆虫の不思議を探る

Editorial

少子高齢社会の生き甲斐	2
山岸秀夫	

執筆者紹介	7
-------------	---

特集：ミツバチ研究の最前線－社会性昆虫の不思議を探る

特集 “ミツバチ研究の最前線－社会性昆虫の不思議を探る” にあたって	10
--	----

清水 勇	
日本におけるミツバチの減少原因について－本当にミツバチたちは消えたのか－	12

高橋純一	
ニホンミツバチの不思議な生態	23
坂本文夫	

ミツバチの尻振りダンスの謎はどこまで解けたか	35
久保健雄	
ミツバチとヒトの社会を比較する－脳の発達と情報システムを中心に－	48

佐々木正己	
-------	--

特別企画

笑いの雰囲気と母親の役割	57
小川 侃	

いのちの科学プロジェクトシリーズ

テーマ：共に生きる	
③魚の左右性とその動態	67
堀 道雄	

連載講座

統合医療：一人ひとりに合った医療を目指して（Ⅲ）	80
今西二郎	

コラム

補聴器を使いこなす	90
本庄 巖	

オピニオン

放射線がんリスクの線量率依存性を如何に勘案するか	94
巽 紘一、田ノ岡宏	

サロン談義

サロン談義 12 現在の教育問題を考える（Ⅰ）	
問題提起：社会環境の変容と子どもの教育	99
上田 学	
コメント 1：「ゆとり教育」再考	105
岩槻知也	

Books

津守 眞 著	107
『保育の現在－学びの友と語る－』	
アズビヨン・ヴォール 著（渡辺雅男 訳）	107
『福祉国家の興亡』	
ピーター・バーンスタイン 著（青山 護 訳）	108
『リスク－神々への反逆 上・下』	
村田翼夫、佐藤真理子 編著	110
『南南教育協力の現状と可能性－ASEAN 新興ドナーを中心に－』	

Random Scope

文学作品を読むことは他人を思いやる心を向上させる	4
好熱菌の多様なセルロース分解酵素機能を利用してバイオマスを液体燃料に変える	22
米国における農地開拓以前の大草原の土壌微生物を探る	34
ヒト神経細胞は遺伝子のコピー数変異に関してはモザイクである	47
抗がん剤のシクロホスファミドは腸管免疫の活性を高める	89
結婚生活には無意識の内面的な気持ちが強く影響する	93
がん遺伝子が染色体外で増幅する悪性脳腫瘍では抗がん剤の断続的使用が有効である	98

読者のコーナー	112
編集後記	115
26 巻総合目次	116
投稿規定	120
原稿執筆の手引き	121
本誌購読案内	122

執筆者紹介

Editorial: 山岸 秀夫 (やまぎし ひでお)

1934 年生まれ。京都大学理学部卒業、京都大学理学研究科博士課程 (植物学) 修了、理学博士。大阪府立放射線中央研究所技師、カナダ政府 NRC フェロー、米国カーネギー財団フェローを経て、1969 年より京都大学理学部生物物理学教室助手、講師、助教授、教授を勤め、1998 年停年退官後、財団法人体質研究会主任研究員。京都大学名誉教授。専門は免疫・分子遺伝学。著書に「遺伝子を観る」(裳華房)、「免疫系の遺伝子戦略」(共立出版)、「生命と遺伝子」(裳華房)、訳書に「オオノススム、遺伝子重複による進化」(岩波書店) など。

特集: 清水 勇 (しみず いさむ)

1945 年生まれ。京都大学理学部卒業。京都大学理学部助手、同助教授、ウィーン大学動物学研究so招聘研究員、京大大学生態学研究センター教授などを経て、2008 年定年退職。京都大学名誉教授。専門は環境生態学。著書に「リズム生態学：動物の社会を支えるリズムの仕組み」(編著 東海大出版社)、「生物多様性ってなんだろう：ミツバチのリズムと時計遺伝子」(共著 京都大学学術出版会)「生物多様性のすめ：見える世界が魚を変える」(共著 丸善株式会社)、「光環境と生物の進化：地球生態系と光環境」(共著 共立出版) など。

高橋 純一 (たかはし じゅんいち)

1974 年生まれ。2004 年玉川大学大学院博士後期課程修了、博士 (農学)。(独)日本学術振興会特別研究員、京大大学生態学研究センター研究員を経て、2010 年から京都産業大学総合生命科学部准教授、2012 年より京都産業大学ミツバチ産業科学研究センター研究員兼任。専門は、社会性ハチ類の分子生態学、養蜂学。

坂本 文夫 (さかもと ふみお)

1948 年生まれ。京都大学大学院農学研究科農芸化学専攻修了。約 30 年間医薬品会社にて医薬品の研究開発業務に従事し、主に新薬探索、薬物動態研究および国内外での臨床開発業務を経験した。2006 年 4 月から京都学園大学バイオ環境学部教授。専門は有機化学、生物有機化学、化学生態学。

久保 健雄 (くぼ たけお)

1960 年生まれ。1981 年 東京大学薬学部卒業。1987 年東京大学大学院薬学系研究科生命薬学専攻博士課程中退、博士 (薬学)。東京大学薬学部助手、講師、助教授 (准教授) を経て、2001 年より同大学大学院理学系研究科生物科学専攻教授。著書に Honeybee Neurobiology and Behavior (Eds. Garizia, G., Dorothea, E., Giurfa, M.) (共著、Springer) など。

佐々木 正己（ささき まさみ）

1948年生まれ。東京農工大、東大（農学博士）を経て、母校の玉川大学にもどり、農学部、ミツバチ科学研究センター、脳科学研究センターを兼務。農学部長、学術研究所長などを歴任。現在は同大学名誉教授。専門は昆虫行動生理学。著書に「養蜂の科学」、「ニホンミツバチ」、「蜂からみた花の世界」など。

特別企画：小川 侃（おがわ ただし）

1945年生まれ。京都大学文学部哲学科卒、京都大学大学院文学研究科博士課程修了、京都大学博士（文学）。1991年より京都大学大学院人間・環境学研究科教授、2002年京都大学大学院地球環境学堂および人間・環境学研究科両任教授、2008年度より人間環境大学学長、2010年より人間環境大学特任教授、2012年度より甲子園大学学長、京都大学名誉教授。主要著書「現象のロゴス」勁草書房（1986）、「風の現象学と雰囲気」晃洋書房（2000）、「雰囲気と集合心性」京都大学学術出版会（2001）、Grund und Grenze des Bewusstseins, Koenigshausen und Neumann（2001）、Machiavelli e La Fenomenologia, Napoli（2003）、環境と身の現象学、晃洋書房（2004）、「京都学派の遺産—生と死と環境」晃洋書房（2008）、Essen und Wissen, Muenchen: ludicum Verlag（2008）など。

いのちの科学プロジェクトシリーズ：堀 道雄（ほり みちお）

1948年生まれ。京都大学大学院理学研究科卒業。京都大学大学院理学研究科教授を勤め、京都大学名誉教授。専門は動物生態学。著書に「タンガニカ湖の魚たち」（共著 共立出版）、「Fish Communities in Lake Tanganyika」（共著 京都大学学術出版会）、訳書にM. Begon 他著「生態学」（監訳 京都大学学術出版会）など。

連載講座：今西 二郎（いまいにし じろう）

1947年生まれ。京都府立医科大学卒業。同大学院博士課程修了。パリ第7大学留学。現在明治国際医療大学教授、京都府立医科大学名誉教授（免疫・微生物学）。専門は、微生物学、補完・代替医療、統合医療。主な著書に、「微生物学 250 ポイント」金芳堂、「免疫学の入門」金芳堂、「世界の伝統医学」（編著）医歯薬出版、「代替医療のいま」（編著）医歯薬出版、「看護職のための代替療法ガイドブック」（編著）医学書院、「未病の医学」（編著）医歯薬出版、「免疫疾患第2版」（編著）医歯薬出版、「現代西洋医学からみた東洋医学」（編著）医歯薬出版、「医療従事者のための補完・代替医療」（金芳堂）、「病気はなぜ起こる」ブリメド社、「メディカル・アロマセラピー」金芳堂など。

コラム：本庄 巖（ほんじょう いわお）

1935年生まれ。京都大学医学部卒業。京都大学医学部外科系大学院修了後、耳鼻咽喉科助手、関西医科大学耳鼻咽喉科講師、ドイツ・ヴェルツブルグ大学客員講師、関西医科大学耳鼻咽喉科助教授、高知医科大学耳鼻咽喉科教授、京都大学医学部耳鼻咽喉科教授を歴任。1999年 京都大学名誉教授。主な著書に、小児人工内耳（金原出版、2002）、聴覚障害（金原出版、2001）、言葉を聞く脳・しゃべる脳（中山書店、2000）、人工内耳（中山書店、1999）、脳からみた言語（中山書店、1997）など。

オピニオン：巽 紘一（たつみ こういち）

1943年生まれ。京都大学医学部卒業。滋賀県国民健康保険病院組合甲賀病院内科医員。京都大学大学院医学研究科博士課程内科系専攻入学、京都大学医学博士。日本学術振興会奨励研究員、米国シカゴ大学微生物学教室研究助手、米国白血病協会リサーチフェロー、金沢医科大学血液免疫内科講師、京都大学放射線生物研究センター放射線システム生物学部門助教授、京都大学医学部分子腫瘍学助教授を経て、放射線医学総合研究所生物研究部部长、同放射線安全研究センター遺伝子発現ネットワーク研究グループグループリーダー、（財）放射線影響協会放射線疫学調査センター長、（公財）体質研究会主任研究員、（医法）啓仁会介護老人保健施設というの杜施設長。

田ノ岡 宏（たのおか ひろし）

1931年生まれ。名古屋大学理学部物理学科卒業、同修士、同博士課程中退、日本原子力研究所保健物理部研究員、ロチェスター大学医歯学部 Ph. D. in Biophysics、エール大学客員研究員、日本原子力研究所保健物理部個人被ばく管理班長、国立がんセンター放射線研究部研究員、同部長を歴任し、定年後同客員研究員、電力中央研究所研究顧問、放射線医学総合研究所客員研究員、（公財）放射線影響協会理事。

サロン談義：上田 学（うへだ まなぶ）

1947年生まれ。帝塚山大学講師、助教授を経て、1991年から京都女子大学教授、2012年から千里金蘭大学教授。教育行政学、教育制度学を専攻。博士（教育学）。京都女子大学名誉教授。主な著書に「日本の近代教育とインド」（多賀出版、2001）、「日本と英国の私立学校」（玉川大学出版部、2009）、「現代日本の教育課題」（編著、東信堂、2013）など。

岩槻 知也（いわつき ともや）

1966年生まれ。大阪大学大学院人間科学研究科博士後期課程中退後、大阪大学人間科学部助手を経て、京都女子大学准教授、教授。専門分野は、社会教育学・生涯学習論。主な編著は「家庭・学校・社会で育む発達資産－新しい視点の生涯学習」（北大路書房、2007）など。

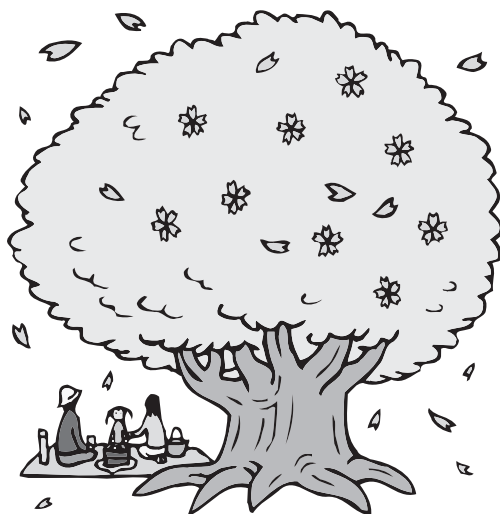
Books：山岸 秀夫（やまぎし ひでお）：前掲

西原 英晃（にしはら ひであき）

1934年生まれ。京都大学工学部卒業。同大学院工学研究科修士課程修了、米国ミシガン大学大学院博士課程修了（Ph.D.）、京都大学工学博士。京都大学工学部助手、助教授を経て京都大学原子炉実験所教授、1989－1995年京都大学原子炉実験所長、京都大学評議員。京都大学工学研究科教授（原子核工学専攻）、同エネルギー科学研究科教授（エネルギー社会・環境科学専攻）。1998年京都大学名誉教授。科学技術庁技術顧問（もんじゅ安全性総点検チーム主査）、（財）原子力安全技術センター参与、日本原子力学会理事・関西支部長、日本工学アカデミー理事、関西原子力懇談会理事・会長等歴任。

村田 翼夫（むらた よくお）

1941年生まれ。京都大学教育学部卒業。カリフォルニア大学バークレー校教育学研究科修士課程修了。京都大学博士（教育学）。京都大学教育学部助手、マラヤ大学文学部非常勤講師、京都家政短期大学講師、国立教育研究所研究員、筑波大学教育学系教授、大阪成蹊大学現代経営情報学部教授を経て、2007年より京都女子大学発達教育学部教授に就任し現在に至る。専門分野は、東南アジアを主とする比較国際教育学。著書に、「タイにおける教育発展－国民統合・文化・教育協力－」（東信堂、2007）、共編著「バイリンガル・テキスト：現代日本の教育－制度と内容－」（東信堂、2010）、共編著「多文化共生社会の教育」（玉川大学出版部、2001）、編著「東南アジア諸国の国民統合と教育－多民族社会における葛藤－」（東信堂、2001）など。



特集 “ミツバチ研究の最前線 —社会性昆虫の不思議を探る” にあたって

清水 勇*

ミツバチと人の関わりは古い。共生生態系で重要な役割を果たすミツバチはカイコとともに資源昆虫として古来、利用されてきた。そして、この針を持つ膜翅目の昆虫はいままで多くの人々の観察や研究の対象でもあった。ちなみにミツバチのラテン語の名前は *Apis pubescens, thorace subgriseo, abdomine fusco, pedis posticis glabris utrinque margine ciliatis* という長ったらしいもので、「毛むくじらのハチで、胸は灰色、腹部は暗色、後脚は光沢があり縁に毛の列を生ずるもの」を意味する。近代になり、スウェーデンの分類学者のリンネの二名法によってセイヨウミツバチの学名は *Apis mellifera*（属名と種小名）として表記されるようになった。ちなみに、属名 *Apis* は「ミツバチ」に対応するラテン語で、種小名の *mellifera* の *melli-* は「蜂蜜」を、*ferre* は「運ぶ」をそれぞれ意味する。

ミツバチの集める花蜜やそれが巣で作るロウは養蜂家の大事な商品である。最近ではプロポリスが健康食品として販売されている。さらにミツバチの生活を題材としたミツバチの文化は児童文学やコマーシャル世界に広く浸透している。また忘れてならない事は送粉者としてのミツバチが受粉のために農業において盛んに利用されている事である。

古代ギリシャの哲学者であるアリストテレスは「動物誌」などの著書でミツバチの形態や行動の記録を残している。その記述には「働き蜂は女王が生むが雄蜂は外から運ばれてくる」などという誤ったものもあるが、多くは正しい観察でいまでも通用するものである。アリストテレスは、ミツバチのコロニーで分業が行われヒエラルキーが存在し働き蜂が女王のコントロール下にあると述べている。このヒエラルキー説はその真偽が現在も検査されているが、この頃からミツバチの社会性は注目されていたようである。

偉大な進化学者であるチャールズ・ダーウィン（1809–1882）はその著「種の起原」の中でミツバチが共同作業で行う絶妙な巣造りの本能の進化について、「あらゆる既知の本能の中で最も驚異的なミツバチのそれは、連続的で軽微な本能の数多い変容を自然

*京都市大学名誉教授（環境生態学）

選択が利用したものであろう」と述べている。

そのダーウィンのミツバチに関する疑問は、メスの働きバチは自分の子を産まず母親である女王バチの産んだ子を育てて生涯を終えるが、なぜ子を残せないメスが大半を占めるにも関わらずハチが自然選択により社会性を進化できたのかということであった。この疑問に対してウィリアム・ハミルトン（1930–2000）は、社会を作ると自分で子を産まなくても母親である女王の残す子どもの数が増え、母親経由で弟妹に伝わる働きバチの遺伝子量が増えるからだという理論的なハミルトン則を唱えた。

動物の社会性の特徴は密集性とそれにとまなう情報伝達の高度化・効率化である。ミツバチでそれを見事に示したのはドイツのカール・フォン・フリッシュ（1886–1982）であった。フリッシュの発見した採餌バチの示す巣盤上での尻振りダンスの仕組みに世界の人々は驚嘆した。ミツバチは体を振動させながら歩行する方向でもってえさ場の方向を巣の仲間知らせ、それは太陽の位置と関係がある事が分かったのである。1973年にはこれらの功績に対して、ティンバーゲン、ローレンツと共にノーベル生理学・医学賞が贈られた。

ミツバチなどの社会性昆虫のコロニー全体を有機的統一体とみなしてスーパーオーガニズム（超個体）と名づけたのは米国のウィリアム・ウイラー（1865–1937）である。さらにトーマス・シーリー（1952–）は民主的意思決定のプロセスを備えた超個体と位置づけ、こういった視点での研究が進められている。

この特集では、上で述べたような巧妙な社会性を発達させたミツバチの研究調査にたずさわっている日本の研究者に、分子から行動・生態のレベルにわたる最近の話題について提供いただいた。最初に、米国やヨーロッパ諸国を中心として蔓延しているコロニー崩壊症候群現象（CCD）の実体と我が国における状況を高橋純一先生が解説する。ついで、トウヨウミツバチの一亜種であるニホンミツバチはセイヨウミツバチにはない特異な生態や行動を見せるが、その内容と生理的背景を坂本文夫先生が紹介する。第三の話題は、ミツバチの脳の高次中枢であるキノコ体の特異部位における遺伝子発現に関するもので、これがミツバチの尻振りダンスの神経機構と関連している可能性が久保健雄先生によって提案されている。最後に佐々木正己先生によって、ミツバチ脳の発育、機能分化の視点からヒト社会とミツバチ社会の比較が詳しく論じられている。これらの論説によりミツバチに対する読者の知識と興味がさらに深まれば幸いである。

日本におけるミツバチの減少原因について —本当にミツバチたちは消えたのか—

高橋純一*

要 旨：2009 年の春に世界中でミツバチが大量失踪しているという話題が、さまざまなメディアで取りあげられ、大きな社会的問題となった。これは一般の方々がミツバチに関心を持つようになり、養蜂の重要性や諸問題を認識してもらう良い機会となったが、同時に誤った情報も広まってしまったため、国内でミツバチが減少しているような印象を与えている。本当に日本でミツバチは消えたのか。死滅原因は不明なのかについて解説する。

はじめに

日本には、在来種のニホンミツバチと養蜂（外来）種のセイヨウミツバチが生息している。セイヨウミツバチは、明治 10 年（1877 年）に欧州原産のセイヨウミツバチ（イタリア亜種）がアメリカ経由で輸入され、現在も養蜂種として飼養されている（写真 1）。一方、ニホンミツバチの養蜂は、江戸時代に発展がみられたが、野生の性質が強いため、セイヨウミツバチと比べて逃げやすく、また蜂蜜の生産量も低いため産業としては不向きであったことから、現在は趣味的養蜂や地域振興等の目的で飼養されている（写真 1）。

2009 年 2 月頃から受粉用ミツバチが不足しているというニュースが全国に流れた。ミツバチが足りなくなり、農作物の受粉ができないため食料生産に支障を生じさ

せてしまうことから、大きな社会的問題としてマスコミでも大きくとりあげられた。農林水産省は、各県の関係者へヒアリングを行ったところ、21 県でミツバチが不足して、農作物の受粉ができないことが明らかになったため、その年は、ミツバチ利用農家にミツバチの仲間のマルハナバチ（写真 2）を利用する代替法や、これまで地域ごとに個別に対応していた需要供給の連絡体制を全国規模で構築する等の緊急対応が行われた。2009 年以降は、このような状況を受けてマスコミ等がミツバチの大量失踪を盛んに取り上げるようになった。この時期の報道は、2006 年にアメリカでミツバチがいなくなる原因不明の現象が発生し、これを蜂群崩壊症候群（CCD）と呼んで大きな話題となっていたことから、日本でもこの現象と関連付けて同様の

*京都産業大学総合生命科学部准教授（応用昆虫学）

現象が起きているかのような報道が多かった。そのため今でも日本のミツバチが原因不明の症状や農薬の影響によっていなくなっているような誤解をしている一般の方々も少なくない。

結論から言えば、現在に至るまで日本では CCD の現象は確認されていない。CCD とは、広範囲の地域で多数（数十から数百）のミツバチ群が、一部の女王蜂と働き蜂や幼虫を残して働き蜂がいなくなるとされている。つまりある日一夜にして忽

然とミツバチが失踪していなくなるといった現象である。海外でもミツバチが CCD により減少していると報道されているが、国単位での統計上は、2006 年を境にミツバチ群が有意に減少しているようなデータは、今のところ存在していない。ミツバチ群の大量死は 100 年以上前から突発的に発生しており、2006 年の前後にもたびたび起きているが、原因不明のまま終息している。また、海外の養蜂様式は、大規模であるため一度養蜂場に巣箱を設置する



写真 1 日本に生息するニホンミツバチ（左）とセイヨウミツバチ（右）



写真 2 エゾオオマルハナバチの巣（左）とセイヨウオオマルハナバチ（右）

とほとんどは放し飼いの状態であり、日本のように毎週のように巣箱内部を点検することはない（写真3）。したがって、CCDが発生したといっても、採蜜や巣箱の移動のために久しぶりに巣箱内部をみるとミツバチ群が死滅していたといった状態であるため、前日に元気であったミツバチ群が翌日にいなくなってしまうような現象に立ち会うことはないのである。さらにミツバチ群は、毎年越冬に失敗して一定の割合（冬季の長さや温度に依存するが、10～20%前後）で死滅するが、一部では、この越冬の失敗による死滅をCCDと誤解している例も多方面で見受けられる。

今回は、海外におけるミツバチ減少要因について紹介し、国内におけるミツバチの死亡要因について、死滅したミツバチ群を分析している例を含めて紹介する。

ミツバチについて

ミツバチの減少要因を理解するために必要なミツバチ特有の生態について解説する。ミツバチのコロニー（群とも呼ぶ）は、1匹の女王蜂と数千から数万匹の働き蜂が、一緒に暮らす社会性昆虫と呼ばれるグループの一種である。社会性昆虫は、コロニー単位で生活し、個々にコロニーの生存に必要な役割分担（カスト分化）を行っている。例えば、女王蜂は産卵のみを行う。働き蜂は産卵以外の育児や餌集めの他、コロニーの維持に必要な全ての仕事を行う。ハチ目の働き蜂は、全て雌個体で雄蜂は、働くことはない。繁殖の時期に交配のためだけに数百から2,000匹ほど羽化してくる。ミツバチは、餌を花に完全に依存した昆虫である。花蜜は、蜂蜜としてエネルギー源となり、花粉はタンパク源・ミ



写真3 ミツバチ群の巣箱の中を点検（内検と言う）する様子（左）とトマトハウスに設置されたセイヨウオオマルハナバチの巣箱（右）

海外では、一般的に大規模養蜂であるため、このような巣箱内の病害虫検査を養蜂家はほとんど行わない。

ネラル源となって、これらを幼虫・成虫が餌として利用している。したがって、コロニーの成長は、餌となる蜜源植物の量に依存している。ミツバチ群は、通常 1 万匹を超える働き蜂が 1 つの群として構成しているが、一般に考えられるよりも脆弱で、天敵や病害虫の蔓延、蜜源植物の不足、異常天候など自然界でも起こり得るさまざまな状況において、群内の働き蜂が一時的にでも減少することで、働き蜂の分業体制の混乱や、巣内の環境維持に困難をきたして群が崩壊してしまうことが少なくないのである（図 1）。

日本では、春から夏にかけてミツバチのコロニーは、20,000 匹ほどに成長する。女王蜂の産卵は、この時期最盛期となり 1 日に 1,000 個ほどの卵を産むようになる。コロニーが順調に成長していくと、春に新しい女王蜂が産まれてきて、巣

を引き継ぐ。もともといた母親にあたる女王蜂は、コロニーの半分の働き蜂と雄蜂と一緒に新しい巣に移動（分蜂）する。女王蜂の寿命は 2 から 3 年程度である。

マルハナバチについて

マルハナバチは、ミツバチと同じミツバチ科マルハナバチ属に位置する昆虫で、ミツバチと同じように群れを作って生活している。国内ではミツバチ不足が問題となったときに代替種として使用が推奨されたが、本来はミツバチの利用が難しいハウス栽培用のトマトなどの花蜜を分泌しない農作物の授粉に利用されている（写真 3）。マルハナバチは、世界中でハウス栽培用の花粉交配昆虫として用いられている。日本でも 1991 年から、ヨーロッパ原産のセイヨウオオマルハナバチが導入されるようになり、その輸入量は年々増加している。

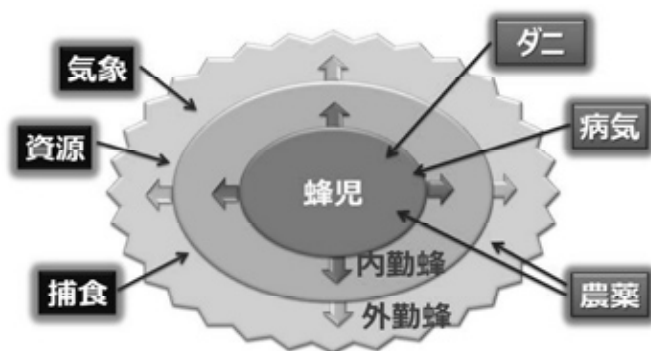


図1 ミツバチ群のバランスを崩す外環要因

外は強いが中は弱い、もともと中からの圧力で外に向かって湧きだすような構造をイメージすると理解しやすい。図はみつばち協議会による作成を元に一部改変した。

本種は北海道を中心としたトマト栽培の施設などで広く用いられ、ホルモン剤を用いない高品質な農作物の生産に貢献してきた。しかしながら、本種の導入以降、一部の個体がハウスから逃げ出し、北海道・東北地域で帰化し、在来の生態系への影響が発生している。本種は繁殖力が強く、近縁の在来マルハナバチ類や他の在来動植物で構成される生態系に影響を与えることが危惧されたため、2006年には特定外来生物に指定され、現在はその利用が制限されている。北海道における帰化状況の調査からは、外来種のセイヨウオオマルハナバチが年々分布範囲を拡大し、一方で地域によっては希少な在来マルハナバチ類の個体数や生息範囲が狭くなっていることが確認されている。

日本の養蜂

国内海外ともにミツバチの飼養者数は、環境の保全や食の安全問題への関心の高まりから、ここ数年増加傾向にあると言われている。特に国内では、都市部で地域振興や定年後の趣味としてミツバチを飼養する人が増加しており、第3次養蜂ブームとまで言われている。各種学校等でもミツバチを教材として利用した活動が盛んになっている。このような状況の中、養蜂人口の増加により、現行法では対応できない諸問

題も生じていた背景もあり、平成25年（2013年）に改正された養蜂振興法が施行されている。ミツバチは、分類学的には昆虫綱のグループに属しているが、日本ではカイコとともに法律上は家畜動物として取り扱う必要がある。家畜動物であるミツバチは、趣味であっても毎年都道府県へ飼養群数届を提出することや、家畜法定伝染病に感染していないか検査を受けることが義務付けられている。さらに地域の事情に合わせた条例により飼養等が制限されている。

明治時代にはじまったセイヨウミツバチを飼養する近代養蜂（ニホンミツバチの養蜂はそれに対して伝統養蜂と呼ぶ）は、1970年代までは主として蜂蜜の生産を目的としていた。冬の越冬から目覚めたミツバチは、春から秋に花から蜜を集めて蜂蜜にするので、それを養蜂家は春・夏の数回巣板から絞って蜂蜜を採集する。秋にも蜂蜜を貯めるが、これはミツバチが越冬用に蓄えている保存食なので、通常は絞ることはない。専門の養蜂家であっても、越冬前に十分な蜂蜜を蓄えさせておくことは難しく、すべてのミツバチ群が越冬に成功するわけでない。越冬準備は、豊富な経験と高度な管理技術が必要となる部分でもある。初心者や一部の趣味養蜂家などは、この事情を知らずに蜂蜜を採れるだけ採集し

てしまうとミツバチは越冬できずに死滅してしまう。冬にミツバチ群は、1週間で1Kgの蜂蜜を消費するが、最近のミツバチの死亡要因に、冬季の餌切れによる餓死が原因であることも少なくない。

1970年代以降になると、農業の様式にも変化が見られ、冬季にビニールハウスでイチゴの栽培などが行われるようになった。ハウス内では、自然の昆虫が授粉することができないため、ミツバチの巣箱を導入して花粉交配を行うようになった。その後、スイカ、メロンなどでもミツバチが利用されるようになり、ハウス栽培が盛んになると国内の養蜂は、蜂蜜生産から蜂自体を生産する様式へと大きな転換が進むことになった。近年は、屋外の果樹栽培でも野生の授粉昆虫が少なくなって実の付き方が悪いことから、ミツバチ群を導入する傾向が強くなっている。通常花粉交配に使用するミツバチ群は、農家が養蜂家からレンタルや使い切りの形で購入し、使用している。

現在国内では、少なくとも約17～20万群のミツバチが飼養されている。そのうち半数以上の11万群が、施設園芸の授粉用に使用されている。実際には統計上に乗らない部分もあるため、この数値以上に多くのミツバチ群が受粉用に利用されていると思われる。ミツバチは、蜂蜜などの養

蜂生産物以外にも花粉媒介を通じ多大な貢献をしているが、その経済価値を正確に見積もったデータは残念ながら今のところ存在しない。1999年に日本養蜂はちみつ協会の調べによると、約3,200億円の経済価値があると推定され、家畜として牛、豚、鶏に次いで第4番目の価値があると言われている。近年は、国内蜂蜜の需要増加や花粉交配への利用増加から6,000～7,000億円以上になるとも言われている。

これまで専業養蜂家とミツバチの飼養群数ともに減少していたが、2000年代からは横ばいから若干増加傾向になっている。近年のミツバチの需給バランスは、拮抗している状態のため、天候不順などによるミツバチ生産量の減少が生じると、2009年のようなミツバチ不足による問題が生じる可能性は潜在的に存在している。

世界のミツバチ減少要因

2006年の冬にアメリカで約25%のミツバチ群がある日忽然といなくなったと報道され、当初死亡原因がわからなかったためCCDと呼ばれる発端となった。その後、欧州等でも同様の事例が報告されたが、それに関連して花粉交配用のミツバチ群が不足したため世界的なニュースとなっ

た。調査が進むにつれてわかってきたことは、ある日忽然といなくなるわけではなく、数日から数ヶ月の間に徐々に群の働き蜂の数が減少していき、最終的にミツバチ群が死滅していた。当初は、原因不明とされていた CCD であるが、調査が進みミツバチ群の死滅要因の原因として、いくつかの病原性微生物が候補に挙げられている。例えば、ミツバチに寄生するミツバチヘギイタダニと呼ばれる寄生性ダニがいるが、このダニがミツバチ群に蔓延すると、被寄生個の死亡や奇形化が発生し、ミツバチ群のバランスが崩れるためやがてミツバチ群は死滅する。また、このダニは、ミツバチのウイルス病を媒介するため、ダニとウイルスの複合的な影響によりミツバチ群が弱って死滅することも多い。カナダでは、約 27% の群が越冬できなくて死滅した年があるが、のちの調査で約 87% がこの外

来性の寄生ダニによると示唆されている。ハワイでは、2007 年から 2008 年にかけて約 60% のミツバチ群が、外来性のダニが変異した強毒性の縮翅ウイルスを媒介することにより死滅したとされている。一方アメリカ本土では、死滅したミツバチ群から微生物の遺伝子を網羅的に調べたところ、イスラエル急性麻痺ウイルスが、大量死要因の 1 つの候補にあげられている。また、2007 年前後から欧州を中心に中国を起源とする新型のノゼマ病（真菌のノゼマ微胞子虫、*Nosema ceranae* 感染）による寄生が流行しており、ミツバチ群の死滅要因として注目されている（写真 4）。このようにミツバチの死滅要因は、詳しく調べてみると多様な要因が存在していることがわかってきた。

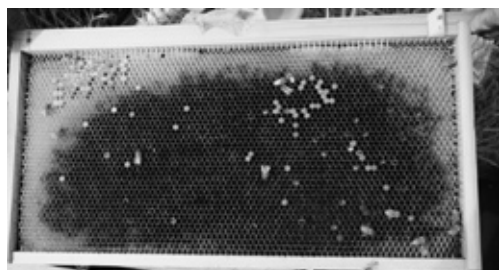


写真 4 新型ノゼマ病（*Nosema ceranae* 感染）による被害を受けた群の巣板（左）と健全なもの（右）

被害を受けると、幼虫や働き蜂が減少している。健全な場合は、中央に蛹の繭（巣房が蓋をされている）が見られる。

日本におけるミツバチ・マルハナバチ群の 死亡要因

ミツバチやマルハナバチには、20 種類以上の致死性の病害虫（ウイルス、細菌、真菌、原虫、ダニ等）が存在する。これまで国内では毎年多数のミツバチ群が死亡しており、家畜法の評価額にもとづくと3 億円以上の損失が報告されているが、死滅要因について大規模に調査されたことがなかった。そこで我々の研究グループでは、2009 年に問題となったミツバチ不足にともなう死滅要因を解明するために、病原性微生物の感染状況を調査して死亡要因の解明を試みた。花粉交配用の代替候補でもあるマルハナバチ類も対象に同様の調査を行った。調査対象種としては、セイヨウミツバチ、ニホンミツバチに加えて花粉交配に利用されているセイヨウオオマルハナバチ、在来種のエゾオオマルハナバチ *B. hypocrita sapporoensis* とした。セイヨウミツバチおよびニホンミツバチは、全国の養蜂家を対象に死滅したミツバチ群を検体とした。マルハナバチは、春に北海道で訪花中の個体を捕虫網により女王蜂または働き蜂を採集し、室内飼育により増殖した群を使用した。検体は、解剖による寄生種の顕微鏡観察と PCR による遺伝子判定を併用した。分析対象には、判別法が確立されている病原性微生物のふそ病、麻痺

病、縮翅病、サックブルード病、チョーク病、ノゼマ病、バロア病、アカリンダニ症、ポリブダニ、原虫、寄生性の双翅目、膜翅目、センチュウとした。ミツバチの検体採集地は、北海道、岩手県、福島県、埼玉県、東京都、神奈川県、新潟県、長野県、岐阜県、三重県、京都府、大阪府、奈良県、滋賀県、和歌山県、兵庫県、広島県、山口県、愛媛県、長崎県、福岡県、熊本県、鹿児島県の23 都道府県から総計645 群とした。マルハナバチは、北海道の札幌市、旭川市、帯広市、釧路市、浜中町、根室市、中標津町で総計258 個体とした。

病原性微生物の浸潤状況

調査の結果、約80%を超えるミツバチ群は、病原性微生物により死亡している可能性が高いことが示された。セイヨウミツバチとニホンミツバチの間で、死亡原因に相違が見られている（図2）。セイヨウミツバチは、*Nosema seranae* 感染によるノゼマ病が65%と過半数を超えており、その他にアメリカふそ病が6%、ヨーロッパふそ病が6%、縮翅病が3%、原因が特定できなかった不明が17%であった。ニホンミツバチは、サックブルード病が30%、アカリンダニ病が27%、ノゼマ病が25%で、同じく原因

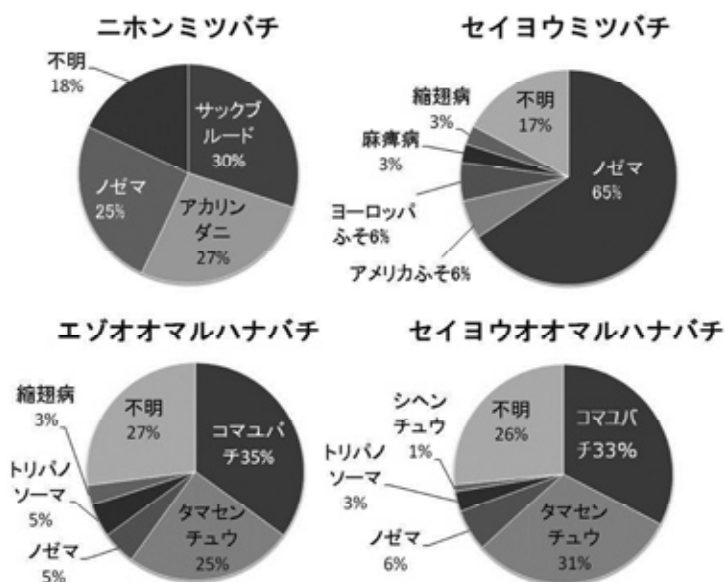


図2 ミツバチ大量死群（上）とマルハナバチ群（下）での病原性微生物の保有状況
これらの病原性微生物は、感染しても発症しない場合も多い。

が特定できなかった不明が18%であった。ノゼマ病は、2種ともに欧州やオーストラリアで流行している新型の *Nosema ceranae* であった。そこで、さらに海外から輸入されているセイヨウミツバチを対象にノゼマ病の浸潤率を調査したところ、オーストラリア産セイヨウミツバチの62%が、国内のミツバチ群では、それまでほとんど感染が確認されていなかった *N. ceranae* のキャリアであることがわかった。

死亡したマルハナバチ群における病原性微生物の浸潤状況については、種間での差は見られなかった（図2）。セイヨウオオ

マルハナバチは、コマユバチが33%、タマセンチュウが31%、ノゼマが6%、トリパノソーマが3%、シヘンチュウが1%、不明が26%であった。エゾオオマルハナバチは、コマユバチが35%、タマセンチュウが25%、ノゼマが5%、トリパノソーマが5%、縮翅病が1%、不明が27%であった。今回マルハナバチで確認されたノゼマも、本来はマルハナバチ類を宿主としていなかった *N. ceranae* の寄生であった。本来新型と言われている *N. ceranae* は、中国原産のトウヨウミツバチを宿主としていたが、セイヨウミツバチの輸出入に伴って世界各地に分散して

いったと考えられている。北海道にはニホンミツバチが生息していないため、セイヨウミツバチ群から在来マルハナバチに水平感染した可能性が高いことが示唆された。

おわりに

今回調査したミツバチおよびマルハナバチの中で死滅原因が不明であった中には、おそらく病原性微生物以外による要因も含まれている。その中には、問題になっているネオニコチノイド系の農薬の影響もあると思われる。しかしながら、農薬がすべてのミツバチの死亡要因であるかのような報道が多くみられるが、農薬による原因とされているこれらの実験はいずれも高濃度の農薬にミツバチ群を暴露し、ミツバチの死亡を誘導し、CCD を再現したかのような印象を与えている。実際に私どもの研究グループでは、野外のミツバチ群やマルハナバチ群が、いくつかの実験のような濃度の農薬に暴露し、死滅したことを示すデータは得られていない。さらに2012年のアメリカの報告では、越冬（2011年－2012年）できなかった要因として「秋季に群が弱かった」ことをあげている養蜂家が最も多く（34.4%）、以下「女王がいなくなったこと」（31.7%）、「餌不足」（30.6%）、「ミツバチヘギイタダニ」（17.5%）、「不完全な越冬準備」

（10.0%）、CCD（8.6%）の順であった（複数回答）。このような報告が出てきている中で、未だにミツバチの減少や大量死のすべてを大量失踪などの表現を使って、農薬唯一論としていることは問題であると考えている。

今回私どもの調査グループは、国内におけるミツバチ群の死滅要因の解明を試みた結果、少なくとも80%を超えるミツバチ群は、病原性微生物の感染により死亡している可能性が高いことがわかった。特にこれまで注目されていなかった新規病原体が海外からもたらされた可能性が高く、国内のミツバチだけでなく、マルハナバチにまで広く浸潤していることが示唆される結果を得た。今日、人の経済活動と輸送手段の発達により、人やさまざまな物が国境を越えているため、新しい病害虫が侵入するリスクも当然以前よりも高くなっている。ミツバチやマルハナバチは、養蜂や農業にとって欠かすことのできない生物である以上、今後も新たな病原体が海外から侵入するリスクがある。安易に価格の安いミツバチを国外から輸入するといった方法ではなく、安定供給を目的とした国内自給率の増加および病原体の持ち込みを注意深く監視することで、国内におけるミツバチの供給不足や大量死を未然に防ぐことができると考えている。

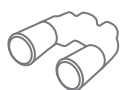
謝 辞

本原稿を作成するにあたり、故吉田忠晴教授、木村澄博士、中村純教授および加藤学氏には、写真提供も含めてご助言を受けました。この場を借りてお礼申し上げます。本研究は、平成24年度日本学術振興会科学研究費若手B（課題番号24780323）および基盤研究B（課題番号24380178）、平成24年度環境省環境研究総合推進費（RFd-1202）および社

団法人日本養蜂はちみつ協会による支援により行われた。

参考文献

- 木村 澄：農業3月号、25-35（2011）
木村 澄：現代化学1月号、68-69（2014）
越中矢住子：ミツバチは本当に消えたか？ ソフトバンククリエイティブ（2010）
みつばち協議会編：初心者養蜂マニュアルⅠ・Ⅱ・Ⅲ（2012）
みつばち協議会編：養蜂指導者手引書（2013）



Random Scope

好熱菌の多様なセルロース分解酵素機能を利用してバイオマスを液体燃料に変える

好熱性細菌のセルロース分解機構を調べたところ、多様な分解酵素を分泌し、それらが集合して多様な酵素反応の足場を作り、セルロース構造体表面に新たな空隙を形成して、分解を促進していることなどが示された。これまでに示されている腐生菌類のセルロース分解作用と併用すれば、酵素作用による大量のバイオマスの液体燃料への転換も夢ではない。（Yan）

Brunecky, R. et al.: Revealing nature's cellulose diversity: The digestion mechanism of *Caldicellulosiruptor bescii* CelA. Science **342**, 1513-1516 (2013)

ニホンミツバチの不思議な生態

坂本文夫*

要 旨：ニホンミツバチの特異的な生態に関する二つの研究成果を紹介する。まず、ニホンミツバチが天敵のスズメバチを熱だけではなく呼吸の副産物の炭酸ガス・水を利用して効率的に熱殺しているメカニズムを述べる。次に、ニホンミツバチだけを誘引するキンリョウヘンの誘引成分を突き止め、合成誘引剤を作り分蜂群の捕獲試験を行ったので、その概要を説明する。

1. はじめに

ハチ、アリ、シロアリなどのように、集団を作りその中に繁殖個体（女王）、労働個体および雄からなる社会を形成する昆虫を社会性昆虫といいます。その中でミツバチは人間との関係が深く、多くの恵みを与えてくれる昆虫で、最も親しまれている昆虫だと思います。大学を卒業してから約30年間、医薬品の研究開発に従事した後、2006年に現在の勤務先の大学に採用され、研究テーマを探していた時に、「ミツバチ学」¹⁾の著者である菅原道夫氏からニホンミツバチの共同研究を打診されました。医薬品の研究開発は大掛かりで、チームで行うのが普通ですが、ニホンミツバチの研究は個人や少人数でも行なえらと思われたので、専門の有機化学の知識を生かせる化学生態学的な研究を行うことにしました。こうして、大学の敷地内に巣箱を

設置して、飼育方法を学ぶことからニホンミツバチの研究が始まりました。

ミツバチの社会は数千～数万匹の群に、1匹の女王蜂と大多数の働き蜂（両方も雌）、そして春、夏の時期だけ全体の1～2割程度の雄蜂が生まれて生活します。女王蜂の役割は卵を産み続けて群の仲間を増やすこと、雄蜂の役割は交尾のシーズンだけ現れて、他の群の女王蜂と交尾をすることです。働き蜂は群が生存するための労働を全て引き受け、花蜜や花粉の採餌、巣作り、子育て、巣の清掃・維持、天敵との戦いなど、あらゆる労働をこなします。1つの群れ全体が協調してあたかも1個体のように振る舞うことから、超個体と呼ばれることもあります。

2. ニホンミツバチとセイヨウミツバチ

市販されている蜂蜜には国産品と輸入品

*京都学園大学教授（有機化学、生物有機化学、化学生態学）

がありますが、そのほとんどはセイヨウミツバチが生産したものです。採蜜や花粉媒介のために家畜として飼育されているのがセイヨウミツバチで、巣箱の移動を苦にしないという特長があるために転地養蜂や花粉媒介に日本を含め世界中で飼育されています。これに対して、日本古来の野生種であるニホンミツバチはスズメバチなどの天敵や病害虫に強く、大木の洞や石垣のすき間などに天然の巣を作って生息しています。セイヨウミツバチは蜜源の花が咲く地域へ次々と移動する転地養蜂が可能で、レンゲやアカシア蜜のような単花蜜の生産に適しているのに対して、ニホンミツバチの飼育では基本的に巣箱を移動させないために、多種多様な蜜源に由来する百花蜜を生産するのが普通です。

セイヨウミツバチは規格化された可動式巣板を収納した箱型巣箱で飼育し、巣板に貯められた蜜を遠心分離により効率的に分離して採蜜します。空になった可動式巣板は繰り返し使用できるので、蜂蜜の生産性が飛躍的に高まりました。この方式に順応し、家畜化したセイヨウミツバチが選別されて世界中に普及したわけです。ニホンミツバチは規格化された巣箱よりも、大きな空間を好み、その空間に自前の巣板を一から作ります。その結果、巣板を破壊しないと採蜜ができないし、遠心分離も使えない

ために蜂蜜の生産性がセイヨウミツバチの数分の一しかありません。明治初期に輸入されたセイヨウミツバチは、その生産性の高さのゆえに短期間のうちに全国に普及し、在来種のニホンミツバチの蜜源を奪いました。ニホンミツバチは生息地を追われ、一時は絶滅する危機もあったのですが、近年になり安価な蜂蜜の輸入量が増え、国内のセイヨウミツバチによる養蜂業が衰退したために、ニホンミツバチの生息数が以前の状態に回復しつつあると言われています。蜂蜜の生産性が低いことさえ気にしなければ、ニホンミツバチは日本の環境に適合して手が掛からず、性質も大人しいので飼育を希望する人が増加しています。また、ニホンミツバチの百花蜜は種々の花蜜がブレンドされて滋味深く、その独特の風味を好む愛好者が増えています。

3. スズメバチを撃退するニホンミツバチの秘密兵器

(1) ニホンミツバチ開放空間巣の作製と蜂球研究への応用

熱帯地方のコミツバチやオオミツバチは、大木の枝や岩陰に巣板 1 枚だけの巣を作ります。これらの種から木の洞などの閉鎖空間に複数の巣板が並んだ巣を作るセイヨウミツバチやトウヨウミツバチが進化し、冬の低温に耐えることが可能となり温

帯地方に分布を広げたと考えられています。もともと温帯最北部に生息するニホンミツバチが閉鎖空間の巣を放棄して開放空間巣を作ることは珍しい現象でしたが、市街地におけるニホンミツバチの巣の造営場所を調査したところ、全体の約10%が開放空間巣だったそうです。市街地では、屋根裏や床下などの閉鎖空間が少ない訳ではないので、開放空間巣を作るようになった理由は、市街地で天敵のスズメバチが減少したことでヒートアイランド現象により越冬が容易になったためと考えられます。共同研究者の菅原氏は市街地で人工的に開放空間巣を作らせることが可能と考え、分蜂群を入れた木箱を軒下に取り付け、巣が十分大きくなった後、巣箱の天井を残し底と側面の板をはずしたところ、巣はその後も成長し、最大の巣板の幅が50cm、高さ30cmの開放空間巣を作製することに成功しました¹⁾。

養蜂家の巣箱から逃亡したセイヨウミツバチが自然の巣を作って大きな群れに成長することは珍しくありませんが、通常翌春まで生き延びることはできません。その第一の理由は秋にスズメバチの攻撃により全滅するからです。セイヨウミツバチの原産地では天敵のオオスズメバチがいないために有効な対抗手段を持っていません。スズメバチの攻撃を受けるとセイヨウミツバチは

1匹ずつ立ち向いますが、ミツバチに勝ちはなく、全滅してしまうので、養蜂家はオオスズメバチからミツバチを守ってやる必要があります。

一方、野生のニホンミツバチは天敵のスズメバチ類と共存してきました。集団攻撃されると全滅することもあります。多くの場合は熱殺による対抗や籠城・逃亡などにより群の存続をはかって来ました。とりわけ特徴的な対抗手段が蜂球による熱殺で、偵察のスズメバチが巣に侵入すると、200～300匹の働きバチが一斉に取り囲み蜂球をつくります。そして、翅を動かす筋肉を激しく震わせて高熱を発生させ、スズメバチを熱殺してしまいます。この研究は以前から日本で行われ、ニホンミツバチの独特の対抗手段が世界的にも注目されました²⁾。

通常、ニホンミツバチの蜂球は巣箱の中に侵入したオオスズメバチに対して形成されるために実験や観察が困難です。特殊な自動撮影装置が無くても観察できるように、閉鎖空間巣の巣門付近で人工的に蜂球を形成させる方法を検討している時に、菅原氏は偶然、開放空間巣の表面に着地したシオヤアブに対して蜂球が形成されることを発見しました。この経験から、開放空間巣でも蜂球が形成されることが分り、これを使って蜂球形成、熱殺メカニズムの解析

をすることになりました。

(2) 開放空間巣の表面での蜂球形成と 10 分間の致死温度

スズメバチをピンセットでつまみ、開放巣の巣板に接触させるとミツバチが集結し、短時間で蜂球が形成されます。蜂球にトラップされたスズメバチの状態を確認するためには、鉄製の火箸で蜂球を挟んで巣板から引き離し、虫除けスプレーを瞬間的に噴射すれば蜂球を解散させることができます。蜂球からスズメバチを取り出すと、蜂球形成後 10 分で全てのスズメバチが死んでいました。10 分以内に死亡するということが熱殺のメカニズムを研究する上で大変重要であることが後に分かりました。蜂球の中心温度の測定には携帯型の熱電対温度計を使いました。熱電対の先に、麻酔したオオスズメバチをセロテープで固定

し、覚醒後に巣板に接触させると、コブのような蜂球が形成されました (図 1a)。

この時の蜂球内温度を測定しました (図 1b)。外気温が高い時は低い時に比べ、最高温度が高くなる傾向が見られましたが、いずれの場合も約 4 分間で急激な温度上昇が起こり、その後高温状態が続くことが分かりました。蜂球内部の最高温度は平均 45.9°C ($n=15$) に達し、その温度が維持されました。

オオスズメバチとニホンミツバチの致死温度は、それぞれ $44-46^{\circ}\text{C}$ 、 $48-50^{\circ}\text{C}$ と報告されています²⁾。この報告では、スズメバチやミツバチを 100ml のフラスコに入れ、毎分 2.7°C の速度で温度を上昇させて致死温度を決めています。一般に致死温度は、その温度が持続する時間 (保持時間) が長くなればなるほど低くな

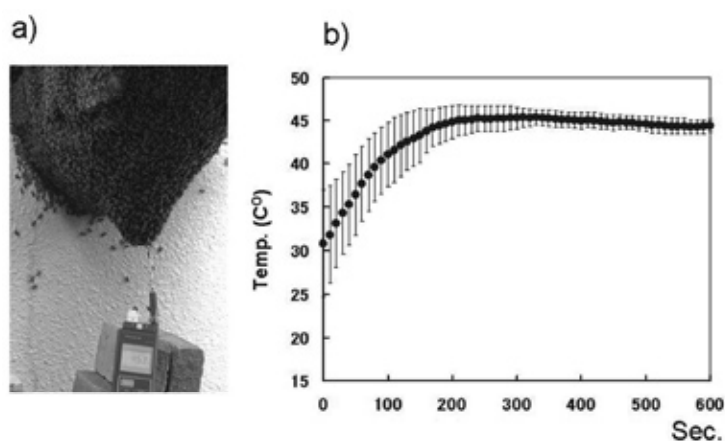


図 1 開放空間巣の表面に形成された蜂球とその内部温度の測定

ることが知られています。そこで、私達はまず一定温度に設定した恒温器に一定時間スズメバチあるいはミツバチを入れて致死温度を測定しました。保持時間 30 分での致死温度は、オオスズメバチが 45–46℃、ニホンミツバチが 48–49℃で、上記の報告と類似していました。次に、蜂球内で全てのオオスズメバチが殺される 10 分間での致死温度を測定したところ、オオスズメバチは 48℃、ニホンミツバチは 50–51℃で、保持時間 30 分での致死温度より約 2℃ 高くなりました。前述のように蜂球内での最高到達温度は平均 45.9℃で、オオスズメバチは全例が 45.9℃・10 分で死んでいたのですが、

恒温器の中では蜂球と同じ 46℃・10 分間では 1 匹も死なないという矛盾した結果となりました。この観察はオオスズメバチの死の原因が蜂球の熱（温度）だけでは説明できないことを示しています。

(3) 蜂球の CO₂ 濃度の測定

蜂球の形成時、ミツバチは飛翔筋の激しい運動により発熱していますが、この発熱は激しい呼吸（酸素吸入と CO₂ 排出）の結果です。発熱時にどのくらいの CO₂ が排出され、蜂球内の CO₂ 濃度がどの程度上昇するかは報告はまだありませんでした。私達はポータブルガス検知器を使って蜂球内の CO₂ 濃度の測定を試みました。この検知器は 1 分間に 250ml の大気を

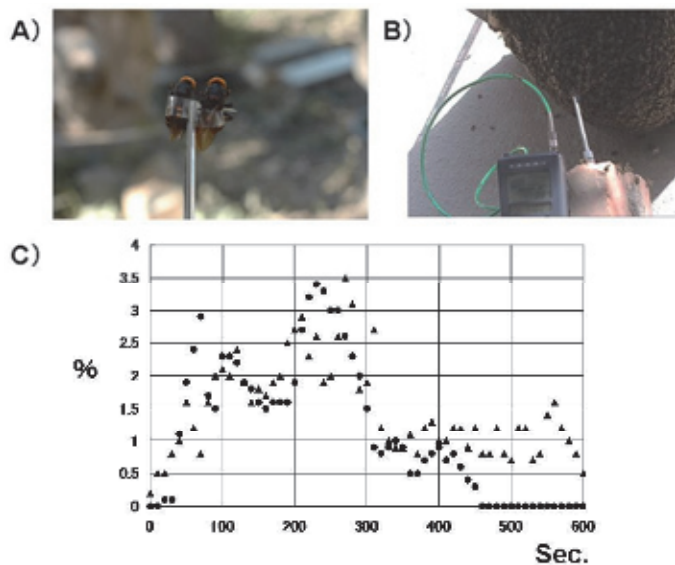


図 2 固定したオオスズメバチと蜂球内の CO₂ 濃度測定

吸引し、その吸引した大気中の CO_2 濃度を連続して測定することが出来ます。吸入管は直径 5mm で、温度計の熱電対より太いので 2 匹のスズメバチをセロテープで固定し（図 2A）、蜂球を形成させて測定しました（図 2B）。4 例の測定で CO_2 濃度の最高値の平均は 3.59% で、大気中の 0.04% に較べると約 90 倍の濃度でした。蜂球内部から連続的に大気を吸引して測定されるために、蜂球内の空気は次々と排気されるから、今回の測定値は過小評価されていると思われます。実際の蜂球は蜂が何重にも重なりあってコンパクトに出来ていて、生じた CO_2 は漏れにくいと思われます。また、図 2C に見られるように、 CO_2 濃度が約 4 分を境に低下する点は蜂球の温度が約 4 分を境に定常状態を示すのに丁度対応しています。4 分でスズメバチを蜂球から取り出すと瀕死の状態であったので、この境目はスズメバチの死

亡の時期に対応しているように思われます。

測定された蜂球の CO_2 濃度の最高値は、ヒトの呼気（3.7%）に匹敵しますので、 CO_2 濃度が高い呼気中における致死温度を測定することにしました。危険なオオスズメバチを生きたまま取り扱うという難しい実験でしたが、 CO_2 濃度が 3.7%、温度が 46℃、保持時間 10 分で、9 匹中 6 匹（67%）のオオスズメバチが死亡するという結果になりました³⁾。同様の実験を、設定温度を変化させて 4 種のスズメバチとニホンミツバチで行った結果を表 1 に示します。大気中で 47.5℃であったオオスズメバチの 10 時間の半数致死温度は呼気中では 2 度低い 45.4℃に低下し、蜂球内では大気中より低い温度で死亡するという予想通りの結果となりました。一方、ニホンミツバチの致死温度は大気中でも呼気中でも 50.4℃で

表 1 大気中と呼気中での半数致死温度の差

	大気中 (CO_2 0.04%) での致死温度 (℃)	呼気中 (CO_2 3.7%) での致死温度 (℃)	温度差 (℃)
オオスズメバチ	47.5	45.4	2.1
コガタスズメバチ	48.5	45.6	2.9
キイロスズメバチ	49.0	45.9	3.1
モンスズメバチ	49.8	43.8	6.0
ニホンミツバチ	50.5	50.4	0.1

変化がなく、大気中では両者の致死温度の差が3℃だったのが、呼気中では5℃に広がるという結果でした。

(4) スズメバチに対抗するニホンミツバチの秘密兵器はCO₂と水分である。

呼気中でスズメバチの半数致死温度が大気中より低下するのはCO₂増加によるのでしょうか。酸素の減少によるのかも知れません。窒素をベースにCO₂濃度を5%にし、酸素濃度が20%（大気中の濃度）と15%（ヒトの呼気中の濃度）の2種類の混合ガスを調製して、その中での半数致死温度を調べました。その結果、酸素濃度が減少しても致死温度の差はなく、スズメバチの半数致死温度の低下はCO₂の増加によると結論しました。前述のように、今回の実験ではCO₂濃度は過小評価されていて、実際の蜂球内のCO₂濃度は大気中の100倍以上の濃度と予想され、温度とCO₂濃度の急激な上昇が相乗的に作用してスズメバチに致命的なダメージを与え、10分以内に死に至らしめたと考えられます。さらに、空気中の湿度（水分）もスズメバチの致死温度を下げる働きがあることが分りました。結論として、スズメバチに対するニホンミツバチの秘密兵器はCO₂濃度と湿度（水分）の上昇だったのです⁴⁾。

表1に示すように、ニホンミツバチの致死温度はCO₂や湿度（水）の上昇の影響を受けませんでした。ミツバチは寒さに耐えるために閉鎖空間巣の中で女王蜂を中心に蜂球を形成して、蜂球内温度を30℃以上に保ちつつ越冬しますが、この時も蜂球内のCO₂濃度は大気中よりかなり高くなっています。つまり、ミツバチは越冬のために高いCO₂濃度に耐える機構を獲得しているのです。更に、CO₂は温室効果ガスで、保温に活用しているのかも知れません。CO₂と水は両方とも呼吸の副産物ですが、熱を発生させる際の副産物を越冬の手段として活用しているばかりでなく、最強の天敵に対抗する手段としても活用しているとすれば驚くほかありません。この論文は科学誌「ネイチャー」やBBCのオンラインニュースなどに紹介され国際的な反響を呼びました³⁾。

4. キンリョウヘンに含まれるニホンミツバチに特異的な誘引物質

(1) 誘引成分の解明

キンリョウヘンという中国原産のランがあり、ニホンミツバチはこの花の香りに引き寄せられますが、この花には蜜腺がないのでこの行動の目的は花蜜集めではありません。花蜜集めをしない雄蜂や女王蜂も誘引され、分蜂群までもが誘引されてランの

花房を包み込むように集結します（図3）。キンリョウヘンは観賞用に中国から持ち込まれ全国に広まりましたが、セイヨウミツバチは全く関心を示さず、ニホンミツバチを特異的に誘引するために、多くの研究者の関心を集めました。共同研究者の菅原氏は以前からニホンミツバチの誘引・集結の研究を行っており、誘引活性のバイオアッセイ法を考案していました¹⁾。約1メートル四方のベニア板の端近くにハガキ大の黒画用紙2枚をピンで留め、一方に試験サンプルを置き、他方を対照とします。ベニア板の中央に巣板ごと移動させた

ミツバチをゆすり落して、一定時間後に試験サンプルの黒画用紙に集結したミツバチの数を調べて誘引率を算出する方法です。この方法で、セイヨウミツバチのナサノフ腺フェロモン（商品名「スオームキャッチ」）として市販されている集合フェロモンの誘引活性がセイヨウミツバチを使って測定できることから、この方法がミツバチの誘引活性測定に有効であるという確信を得ました。

キンリョウヘンの花卉とガクの部分にニホンミツバチが誘引されることが、このバイオアッセイ法により確かめられたので、



図3 キンリョウヘンの花とネットの中のキンリョウヘンに誘引された分蜂群

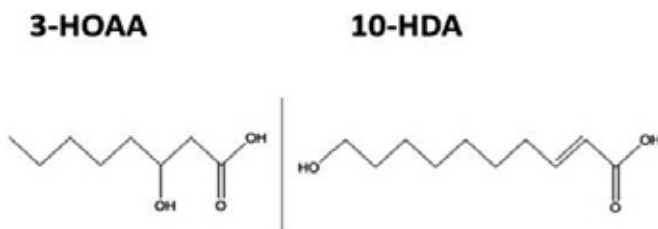


図4 誘引成分、2種の構造

この部分から集合フェロモン様作用を示す成分の分離を行いました。エーテル抽出物のニホンミツバチを誘引する成分は最新の分析機器を駆使して 3-ヒドロキシオクタ酸 (3-HOAA) であることを確認しました (図 4)。次に、化合物を合成し、誘引活性を測定したところ、単独では活性が弱く、キンリョウヘンには第 2 成分が存在することが示唆されました。そこで、キンリョウヘンと同様に誘引活性を持つ近縁のランの成分を詳細に比較した結果、10-ヒドロキシ-(E)-2-デセン酸 (10-HDA) が第 2 成分であることが判明し、二つの成分をある比率で混合した誘引剤はキンリョウヘンの花と同様の誘引活性を有することが分りました⁵⁾。

(2) ミツバチの大アゴ腺物質と集合フェロモン

3-HOAA について文献調査をしたところ、インドネシアに生息するトウヨウミツバチとクロオビミツバチの大アゴ腺 (頭部にある分泌腺) に含まれているという論文が見つかりました。そこで、ニホンミツバチの大アゴ腺の抽出物を分析したところ、3-HOAA と 10-HDA が検出され、この抽出物の誘引活性を上記の方法で調べたところ、キンリョウヘンの抽出物に匹敵するような誘引活性があることが分りました。すなわち、キンリョウヘンはニホンミツバ

チの集合フェロモンを合成し、それを利用してミツバチを呼び寄せ、授粉させているという仮説が考えられました。大アゴ腺含有成分がニホンミツバチの集合フェロモンであるかどうかは今後検証する必要がありますが、植物のランと花粉媒介昆虫のミツバチの共進化の過程で共通の成分を持つようになったのは大変興味深いことです。

日本ではもともと自生していないキンリョウヘンの香りに、ニホンミツバチが引き寄せられるのは何故でしょうか。ニホンミツバチはトウヨウミツバチの亜種の一つで、中国亜種、インド亜種、ヒマラヤ亜種が兄弟分ですが、台湾およびタイでの実験の結果、中国亜種とインド亜種でもニホンミツバチと同じ現象が確認されました。トウヨウミツバチ 4 亜種の共通の祖先が生息していた地域と、キンリョウヘンの自生地域は共に中国南部と考えられており、大陸から日本列島が分離した後に、ニホンミツバチは亜種として独自に進化してきたが、大アゴ腺物質を集合フェロモンとする生態を遺伝的に受け継ぎ、長い空白の時間の後に、観賞用に輸入されたキンリョウヘンと再会したと想像されます。一方、セイヨウミツバチは腹部後背のナサノフ腺からの分泌物質を集合フェロモンとして利用しており、その成分も解明されて、成分の混合物がスオームキャッチとして分蜂群の捕

獲用に製品化されています。セイヨウミツバチは大アゴ腺に 3-HOAA を持たないため、キンリョウヘンの香りには反応しないのに対し、ニホンミツバチは逆にスオームキャッチに反応しません。ニホンミツバチとセイヨウミツバチで集合フェロモンが全く別物であるのは不思議なことです。

(3) キンリョウヘンの誘引成分に基づく ニホンミツバチの分蜂群誘引剤（ルアー）

キンリョウヘンの花は分蜂群を誘引するので、ニホンミツバチの養蜂家はこの性質を利用して、空の巣箱の近くにキンリョウヘンの花を置いて分蜂群を捕獲します。ニホンミツバチの群を増やす確実な方法は分蜂群を捕獲することですが、分蜂の時期とキンリョウヘンの開花時期が一致しなければ役に立ちません。何時でも簡便に使えるキンリョウヘンの代替物の誘引剤が求められていることが分かったので、合成誘引成分を用いた分蜂群誘引剤の開発を行うことにしました。そのためには、合成誘引剤が群全体を誘引し集結させることを確かめる必要がありました。

ニホンミツバチの群全体を使った誘引試験として、巣箱の群全体を炭酸ガス麻酔にかけ、誘引剤を施した黒画用紙を貼り付けた板と、対照の黒画用紙を貼り付けた板を 2 メートル離れた杭に固定し、それらの

中間の位置に麻酔から覚めた群を放して群の行動を観察しました。飛び立ったミツバチの群は試験開始から 20 分後に誘引剤の板に集結して蜂球を形成しました。（図 5 写真の右側）同様の試験を分蜂群や捕獲群を使って 4 回繰り返し、全ての試験で誘引剤の方に群が誘引されるという結果を得ました。

誘引剤の製剤（ルアー）はプラスチックシャーレに炭化水素系の基材を敷きその上に 3-HOAA と 10-HDA の混合物を塗布して作製します。キンリョウヘンの花を使って分蜂群を捕獲する方法と同様に、このルアーを空の巣箱（待ち箱）の巣門付近に吊るすことにしました。誘引剤の効果を確かめる試験を近畿地区のニホンミツバチ養蜂家約 50 人のご協力を得て行いました。従来から行われている分蜂群の捕獲方法を下の A～E とし、2011 年度と



図 5 ニホンミツバチの群全体を使った誘引試験

2012年度の捕獲実績は各養蜂家の記録や記憶に基づき、A～Eに分類しました。2013年度は各養蜂家が、従来から用いている方法に加えて、ルアー付き待ち箱による捕獲を実施してそれぞれの方法の捕獲数を記録しました。

A：蜜蝋や蜂蜜を塗った待ち箱による捕獲

B：キンリョウヘンの花を備えた待ち箱による捕獲

C：分蜂誘導板に集結させた群を空の巣箱に移動させて捕獲

D：樹木や軒下の集結群を網などを用いて捕獲

E：その他の方法による捕獲（2013年度はルアーによる捕獲を含む）

ルアー導入前（2011～2012年度）のキンリョウヘンの花を備えた待ち箱による捕獲成功率は50%を超えていましたが、ルアー導入の2013年度は開花時期と分蜂の時期がずれて、10%に低下しました。一方、ルアー導入後のルアー付き待ち箱での同年の捕獲成功率は45%を超え、例年のキンリョウヘンによる捕獲成功率に匹敵しました。この結果から、ルアーが分蜂群捕獲に有効で、キンリョウヘンの代替として有用であることが分かりました。

2013年度は分蜂が例年より早い4月

中旬から始まり、キンリョウヘンの開花は5月にずれ込んだために、キンリョウヘンによる捕獲が例年より減少したと考えられます。もしキンリョウヘンの開花時期が分蜂と一致していたら、キンリョウヘンによる捕獲成功率は向上したと思われますが、合成誘引剤（ルアー）は気候の変動に左右されずに使用できることを示したとも言えます。

5. おわりに

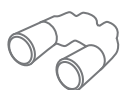
京都学園大学と京都市中京区は2011年秋からニホンミツバチとの共生による「まちなか緑化推進」の取り組みとして「京都みつばちガーデン推進プロジェクト」を共同で進めています。現在、中京区役所の屋上庭園や協賛する企業等のビル屋上にニホンミツバチの巣箱を設置し、緑化・人的交流・都市養蜂の普及を目的に活動を継続しています。

ニホンミツバチの飼育やニホンミツバチが生息できる環境への市民の関心は高く、ニホンミツバチのおとなしく親しみやすい性質が徐々に理解され、まちなかでミツバチを飼い、蜜源植物を植えようという機運が高まりつつありますが、分蜂時の対処などが解決すべき課題として残っています。乱舞する分蜂群に驚いた市民が警察に通報する事態が時折発生しますので、開発中の

分蜂群誘引剤が分蜂群のコントロールに役立ち、都市部での養蜂に必要な技術になることを願っています。

文 献

- 1) 菅原道夫：ミツバチ学 東海大学出版会 (2005)
- 2) Ono, M. et al.: Nature **377**, 334-336 (1995)
- 3) Sugahara, M. and Sakamoto, F.: Naturwissenschaften **96**, 1133-1136 (2009)
- 4) Sugahara, M. et al.: Zoological Science **29**, 30-36 (2012)
- 5) Sugahara, M. et al.: Zoological Science **30**, 99-104 (2013)



Random Scope

米国における農地開拓以前の大草原の土壤微生物を探る

米国中西部にかつて存在した野生の大草原は農地に変換されて、大草原を支えた土壤細菌とともに、その生態系は消滅した。その中で辛うじて現存している未開の大草原の土壤細菌を解析したところ、出芽細菌類に属するベルコミクロビアが豊富であった。これは貧栄養地帯で繁殖するもので、そのゲノム解析の結果、炭水化物代謝遺伝子の多様性に富み、窒素代謝や細胞分裂に関する遺伝子は少なかった。土壤微生物の多様性の変化が地上生態系に及ぼす重要例である。

(Yan)

Fierer, N. et al.: Reconstructing the microbial diversity and function of pre-agricultural tallgrass prairie soils in the united states. Science **342**, 621-624 (2013)

ミツバチの尻振りダンスの謎はどこまで解けたか

久保健雄*

要 旨： 餌を見つけて帰巢したミツバチの働き蜂は、尻振りダンス（8の字ダンス）によって仲間に餌の在処を教える。最近の私たちの研究から、ミツバチ脳の高次中枢であるキノコ体は、異なる遺伝子発現プロファイルをもつ3種類の神経細胞（大型、中間型、小型ケニヨン細胞）から構成されることが分かった。この内、餌を集める働き蜂の脳では、小型ケニヨン細胞に加えて、今回新しく見つかった中間型ケニヨン細胞の一部が興奮していた。

1. ミツバチの尻振りダンスとヒトの言語

セイヨウミツバチ (*Apis mellifera* L.) はハチミツやローヤルゼリーという生産物や、受粉を媒介するポリネーターとして、私たちにとって身近な昆虫である。一方で、ミツバチはコロニーを作って生活する社会性昆虫であり、尻振りダンス（8の字ダンス）という特異なコミュニケーション能力をもつ動物として、生物学の興味深い研究対象でもある。

花の蜜や花粉を集めて帰巢したミツバチの働き蜂は、垂直な巣版の表面で尻振りダンスを踊って仲間に餌場の位置：巣から餌場への方向と距離を教える。尻振りダンスでは、働き蜂は尻を振りながら直進し、右に回って元の位置に戻り、再び同じ方向に尻を振りながら直進し、今度は左に回って

元の位置に戻り、という8の字を描くダンスを何度も繰り返す。尻振りダンスでは、尻を振りながら直進する時間が巣から餌場までの距離と相関し、巣から見た太陽の方向から餌場の方向のずれが、垂直軸上の向きからのダンス軸（尻を振りながら直進する方向）の傾きに対応する（図1）^{1,2)}。つまり、ダンスを踊る働き蜂は、自分が経験した、巣から餌場までの採餌飛行のミニチュア版を仲間に何度も見せているのである。周囲の働き蜂たちはこのダンスを踊る働き蜂に追従して回り、ダンスを踊る働き蜂から餌場の位置に関する情報を得ることで、それまで一度も行ったことがない餌場に到達できる。このように餌場の距離と情報が、ダンス時間とダンス軸の傾きに暗号化されて仲間に伝達される点で、

*東京大学大学院理学系研究科教授（動物生理化学、分子生物学）

尻振りダンスは動物界でも稀な、記号的コミュニケーションの一種と考えられている。ヒトの言語は記号的コミュニケーションの代表例であるが、それ以外ではミツバチの尻振りダンスしか、はっきりと記号的コミュニケーションに分類される例は知られていない。従って、ミツバチは記号的コミュニケーションを成り立たせる神経的基盤を調べる上で格好の研究対象である。

さて、ヒトの脳新皮質では、部域毎に担う働きが異なっており、言語能力に関わる脳領域としては、ウェルニッケ野とブローカ野という2つの言語野が知られている(図2)³⁾。両者とも、言葉が話せなくなったり、言葉の意味が分からなくなる失語症の患者で、脳の特定領域で梗塞が起き、その部位の機能が損傷されていたことから発見された。ウェルニッケ野は言葉の

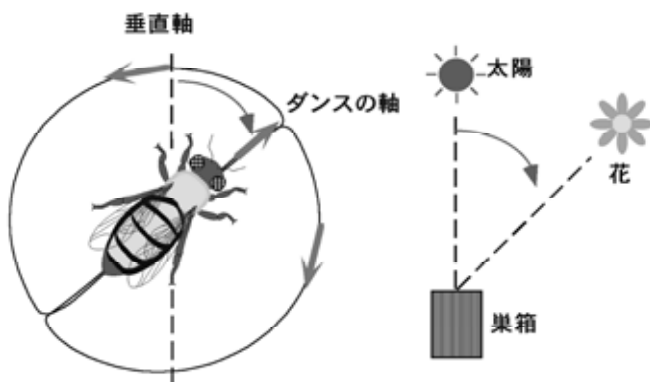


図1 ミツバチの尻振りダンス

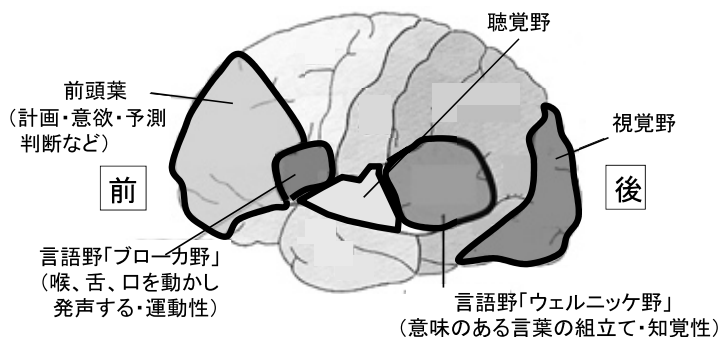


図2 ヒトの脳新皮質の「脳機能局在論」
左脳半球を示す。

理解、ブローカ野は発声に関わるが、それぞれの領野の働きの詳細については良く分かっていない。こうした脳の特定の領野で担われる高次機能を調べる上では、その領野でのみ発現する遺伝子^(注1)が見つかることが非常に有用である。その領野で発現する遺伝子のプロモーター^(注2)の下流に、緑色蛍光タンパク質 (green fluorescence protein) の遺伝子をつないだ遺伝子組換え個体を作成すれば、その領野の神経細胞の投射先^(注3)が分かるし、細胞毒素を発現させる遺伝子をつないだ遺伝子組換え個体を作成すれば、その遺伝子が発現する神経細胞が除去されるので、その個体の行動の変調を調べることで、その神経細胞の働きが分かる。さらに、その遺伝子のプロモーターを駆動させる転写調節メカニズムを調べることで、そもそも、その領野が他の領野とどのように分子的に区別されているのかという、その領野の進化にも繋がる問題の解決の糸口が得られる可能性がある。

しかしながら、ヒトを研究対象とした言語研究には幾つかの障害が存在する。1

つは、当たり前であるがヒトを用いた実験はできないことである。一方、他の霊長類に言語をもつものはおらず、彼らを言語研究の研究対象とすることは難しい。もう1つはこれまでヒトを含めた哺乳類では、大脳新皮質で領野選択的に発現する遺伝子が僅かしか見つかっていないことである。このため、上記のような研究戦略もとりにくい。

私たちはミツバチを研究対象として、この研究戦略を実施してきた。つまり、ミツバチの脳でどの領野が尻振りダンスに関わるか調べるとともに、ミツバチの脳領野選択的に発現する遺伝子の発現マップを作成し (ミツバチ脳の「分子的解剖」、これらの領野選択的に発現する遺伝子を利用してミツバチの「ダンス言語野」とも言える脳領野を同定し、その仕組みを解明することを試みたのである。本稿では最新の知見に基づいて、ミツバチの尻振りダンスの謎がどこまで解けたか、ご紹介させて頂きたい。

注1) 遺伝子の発現: 「遺伝子が発現する」とは、その遺伝子が mRNA として転写され、コドン (3 つ組みの塩基配列が 1 つのアミノ酸をコードする) の並びに従ってアミノ酸が連結され、タンパク質に翻訳される、その一連の流れを指す。タンパク質が実働分子なので、簡単には「遺伝子が働く」と読み替えていただいて構わない。

注2) 遺伝子のプロモーター: 多くの遺伝子が、特定の組織や発生段階で発現するが、これは主に、その遺伝子の上流にあるプロモーター (特定の塩基配列) により制御されている。プロモーターには、多くの種類の転写調節因子が結合し、その遺伝子の RNA ポリメラーゼ II による転写頻度を調節している。

注3) 神経細胞の投射: 神経細胞には樹状突起で感覚情報が入力され、軸索を通して次の神経細胞へと電気信号が伝達される。このように、軸索がある方向に伸びており、その方向に電気信号が伝達されることを神経投射という。

2. ミツバチの脳の構造と機能

次にミツバチの脳について、ご紹介したい。この雑誌の多くの読者の方は「昆虫にも脳があるのか」と思われるかも知れない。しかし、ヒトでは脳容積（約 1.4 l）は体重（約 60kg）の 1/40 程度であるが、ミツバチの脳容積（約 1 μ l）も体重（約 80mg）の 1/80 程度を占めるので、体に占める割合を考えれば、かなり立派な脳をもつと言える。ミツバチの脳は視覚中枢である視葉（optic lobe）、嗅覚中枢である触角葉（antennal lobe）、高次中枢であるキノコ体（mushroom body）などから成る。キノコ体は上向きの傘（カップ）のような構造を 2 つもつ左右一対の構造体であり、ケニヨン細胞とよばれる神経細胞から構成される（図 3A）⁴⁾。ケニヨン細胞の細胞体は傘の内側と傘の外側

の底部に集合している。傘の内側に細胞体をもつケニヨン細胞をクラス I ケニヨン細胞、傘の外側底部に細胞体をもつケニヨン細胞をクラス II ケニヨン細胞とよぶ。クラス I ケニヨン細胞はさらに、形態的（細胞体の大きさや位置）に、細胞体が大きく、傘内側の両側に存在する大型ケニヨン細胞と、細胞体が小さく、傘内側の中央部に存在する小型ケニヨン細胞に区別されてきた。ケニヨン細胞は傘部に樹状突起、柄の部分に軸索を伸ばしており、傘部で視葉や触角葉から感覚情報が入力され、柄の部分を通して運動神経へと出力される⁴⁾。

キノコ体は昆虫脳の高次中枢とされ、さまざまな感覚の統合や記憶・学習に働く⁴⁾。ミツバチでは、働き蜂の採餌経験の増加に伴って、キノコ体の傘の部分の容積が増加する（感覚入力が増えている）。ま

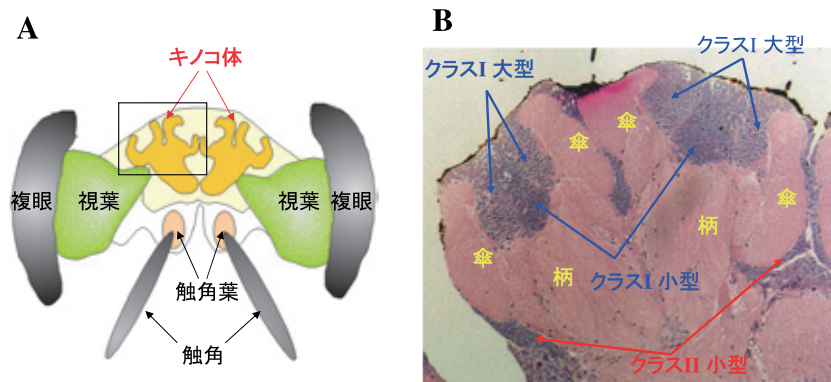


図 3 ミツバチの脳とキノコ体

(A) ミツバチの脳の模式図：黄色で示す左右一対の構造体がキノコ体。(B) 左のキノコ体（黒い枠で示す）の切片の染色像。

た、ハチの間では寄生性や社会性（巣を作り、巣で生活する、あるいは巣に戻って産卵する）をもち、高い空間的記憶力をもつ仲間で、より発達しており、探索行動や採餌行動との関係が推測されている。しかしながら、それぞれのケニヨン細胞がどのような役割を担うのか、ミツバチの尻振りダンスのような高度な行動にキノコ体がどのように関わるのかは不明であった。

3. ミツバチの脳の「分子的解剖」

私たちはこれまでミツバチの社会性行動に関わる遺伝子を探索する目的で、ディファレンシャル・ディスプレイ法や、cDNA マイクロアレイ法^(注4)を用いて、ミツバチの脳で領野選択的に発現する遺伝子を検索し、キノコ体で選択的に発現する15個の遺伝子を同定してきた。そのうち、7つはキノコ体の中では大型ケニヨン細胞選択的に、4つは小型ケニヨン細胞選択的に、2つはキノコ体全体で発現していた（図4）⁵⁾。ところが、juvenile hormone diol kinase (*jhd*k) と takykinin-related peptide (*trp*) の2遺伝子は他の遺伝子と発現パターンが異

なった。両者とも、大型ケニヨン細胞が占める部分の外側半分と、小型ケニヨン細胞で発現し、大型ケニヨン細胞が占める部分の内側半分では発現しなかったのである（図4）。ここで少し話を先回りさせていたのだが、実は、この *jhd*k と *trp* が発現しない、「大型ケニヨン細胞が占める内側半分」こそが、私たちが最近、発見した「中間型」ケニヨン細胞の細胞体が占める部域であった。また、後の解析で、上記の「大型ケニヨン細胞選択的に発現する遺伝子」は中間型と小型のケニヨン細胞にはほとんど発現せず、「小型ケニヨン細胞選択的に発現する遺伝子」は大型と中間型のケニヨン細胞にはほとんど発現しないことが判明した。従って、以下の文章では「大型」と「小型」はそのまま、「（中間型と小型でなく）大型」と「（大型と中間型でなく）小型」と読み替えていただいて差し支えない。

これまでに同定された大型ケニヨン細胞選択的に発現する7つの遺伝子の内5つ（イノシトール3リン酸受容体遺伝子 *IP₃R*、イノシトール3リン酸フォスファターゼ遺伝子 *IP₃P*、リアノジン受容体遺

^{注4)} ディファレンシャル・ディスプレイ法と cDNA マイクロアレイ：共に、ある組織／細胞に比較して、他方の組織／細胞で強く発現する遺伝子を探索する方法。前者では、比較したい2つの組織／細胞から抽出した mRNA を逆転写し、その cDNA を鋳型とし、ランダムプライマーを用いて PCR を行い、PCR 産物をシーケンスゲル電気泳動で比較することにより、片方で強く発現する遺伝子を該当レーンで強く検出されるバンドとして検出する。後者は、生物の全遺伝子をスライドガラス上にスポットしておき、比較したい2種の組織／細胞から抽出した mRNA を異なる蛍光色素で標識し、先のスライドガラス上のスポットにハイブリダイズさせる。mRNA の発現強度に応じて、各スポットの色調が変わるので、目的の遺伝子を選別することができる。

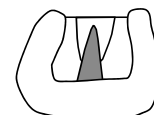
クラスⅠ 大型ケニヨン細胞

Ca²⁺情報伝達系 (CaMKII) や神経リモデリングに働く転写因子 (Mblk-1) という、「記憶・学習」に働くタンパク質の遺伝子が強く発現する。



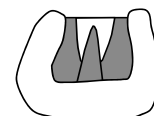
クラスⅠ 小型ケニヨン細胞

エクダイソン受容体 (EcR) と、その仲間 HR38 の遺伝子が強く発現し、HR38 の発現は働き蜂の分業に伴い増強する。



クラスⅠ 大型＋小型ケニヨン細胞

JHDK (幼若ホルモン代謝酵素) と Trp (タキキニン関連ペプチド) が強く発現する。



クラスⅠ 中間型ケニヨン細胞

mKast (機能未知タンパク質) の遺伝子が強く発現する。



図 4 キノコ体選択的に発現する遺伝子のまとめ

左は遺伝子の名称と機能、右はキノコ体における発現の模式図。1 つの傘の内部を示しており、それぞれの遺伝子の発現部位を塗りつぶして示す。

伝子 *ryr*、Ca²⁺/カルモジュリン依存性タンパク質リン酸化酵素遺伝子Ⅱ *CaMKII*、レティキュロカルビン遺伝子 *reticulocalbin* は、細胞内カルシウム情報伝達系に働くタンパク質をコードしていた (図 4)⁵⁾。神経細胞が活動すると、軸索末端のシナプス内部の Ca²⁺ 濃度が上昇する。この結果、細胞内カルシウム情報伝達系が、シナプスの伝達効率を良くする方向に働く。マウスでは細胞内カルシウム情報伝達系は記憶・学習に重要な働きをもつと考えられている。こうしたカルシウム情報伝達系に働く遺伝子の多くが大型ケニヨン細胞選択的に発現することは、大型ケニヨン細胞では記憶の仕組みが増強されてい

ることを示唆している。

一方、小型ケニヨン細胞ではエクダイソン受容体遺伝子 *EcR* と、それとは似て異なる受容体の遺伝子 *HR38* が選択的に発現していた (図 4)⁵⁾。エクダイソンは昆虫の脱皮ホルモン (ステロイドホルモン) であり、幼虫では前胸腺で合成され、脱皮や変態を制御する。一方、変態の際に前胸腺が崩壊するので、成虫では、もはやエクダイソン情報伝達系は働かないと考えられてきた。ところが働き蜂の脳で *EcR* が選択的に発現することは、ミツバチでは成虫脳でエクダイソン情報伝達系が働くことを示唆している。一方、*HR38* の脳での発現は、働き蜂の羽化後の育児から採餌への

分業^(注5)に伴って増大する。つまり、小型ケニヨン細胞のエクダイソン情報伝達系は働き蜂の分業に伴って、EcR 依存からHR38 依存へとモード転換する可能性がある。このことは、脳のエクダイソン情報伝達系が、働き蜂の齢差分業の進行と何らかの関わりをもつ可能性を示唆している。

4. *mKast* の発現解析がもたらした「中間型」ケニヨン細胞の発見

このように最近まで私たち自身、ミツバチのキノコ体は異なる遺伝子発現プロファイルをもつ大型と小型のケニヨン細胞から構成されると考えてきた。ところが、私たちが *mKast* と命名した新規遺伝子の発現解析から、実はミツバチのキノコ体は大型と小型のケニヨン細胞に加えて、その境界域に細胞体が存在し、両者とは異なる遺伝子発現プロファイルをもつ「中間型」ケニヨン細胞から構成されることを見いだした⁽⁶⁾。

2005～2009 年に、私たちの研究室の大学院生であった金子九美博士は、ミツバチの視覚情報処理の分子・神経的基盤を調べるため、脳で視覚選択的に発現する遺伝子をディファレンシャル・ディスプレイ法と cDNA マイクロアレイ法を用いて検索した。それに先立つ 2001 年には、採

餌飛行をするミツバチがどのようにして自身の飛行距離を測定するかに関する興味深い論文が発表された⁽⁷⁾。私たちが前に歩くと、周囲の光景は私たちの視野を前から後ろへと流れる。このような視野を横切る視覚対象の流れを、視覚流動 (optic flow) とよぶ。ミツバチの働き蜂は自身の飛行距離を、採餌飛行中に複眼で受容した視覚流動量として捉え、それをダンスに表現して仲間に伝えていたのである。働き蜂を、内側表面に細かな縦縞模様のついた細長い 9m のトンネルを通り抜け、その奥にある餌場まで飛んで通うように訓練し、飛行中に受容する視覚流動を人為的に大きくすると、その働き蜂のダンスは実際よりもずっと遠くの距離を示した。一方、トンネル内側に横縞模様を付けた場合は、飛行中に受容する視覚流動は変わらないので、実際の飛行距離を示した。このことは、働き蜂は実際の飛行距離ではなく、そのルートに沿って飛行した際に受容する、視覚流動量を仲間に教えていることを示している。ミツバチの視葉は 3 層構造をとり、それぞれの層で視覚対象の色や位置、動きに関する情報が処理されると考えられている。では、視覚流動も視葉のどこかで処理されているのではないだろうか？ そうした疑問

^{注5)} 羽化後の分業：ミツバチの働き蜂は羽化後の日齢に応じて分業（齢差分業）する。羽化後約 6～12 日齢では、口からローヤルゼリーを分泌し、幼虫に与える育児を、約 18～30 日齢では巣外で餌を採集する採餌に携わる。尻振りダンスを行うのは採餌蜂である。

から先の実験がなされた。

方法としては、先に述べた、脳の中でキノコ体選択的に発現する遺伝子の検索の、丁度逆のことを行った。つまり、働き蜂の脳で、他の領野より視葉選択的に発現する遺伝子をディファレンシャル・ディスプレイ法と cDNA マイクロアレイを用いて検索したのである。この結果、3 つ遺伝子が同定されたが^{6, 8)}、ここでは「中間型」ケニヨン細胞の同定に至った *mKast* についてのみ、紹介したい。

mKast は上述のように、ミツバチ脳で視葉選択的に発現する遺伝子候補として同定した。しかし、金子博士は *in situ* ハイブリダイゼーション法^(注6)を用いてミツバチ脳での発現部位を調べた際に、キノコ体内部で非常に変わった発現パターンを示すことに気づいた。大型と小型ケニヨン細胞の境界域と思われる部域で発現していたのである。このことは、「視葉選択的に発現する遺伝子を見つける」という目的からすると、優先度が高い遺伝子候補ではないこ

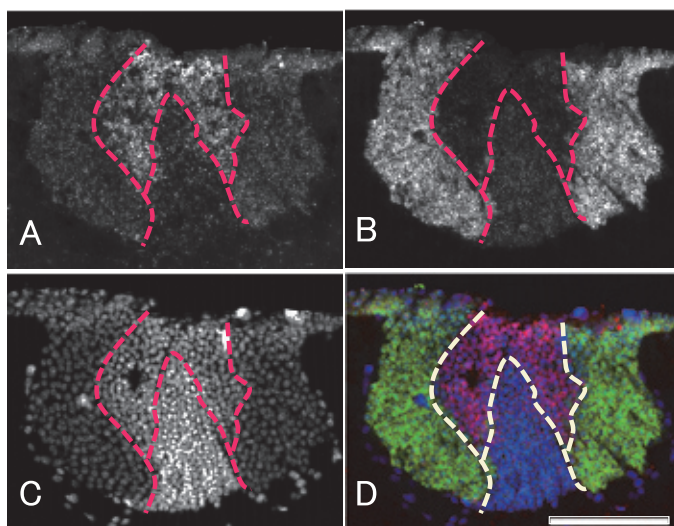


図5 「中間型」ケニヨン細胞の発見

「中間型」ケニヨン細胞選択的に発現する *mKast* (A では白、D ではマゼンタの染色) と、大型ケニヨン細胞選択的に発現する *CaMKII* (A では白、D では緑の染色) の二重蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション。小型ケニヨン細胞は DNA を染める色素で染色してある (C では白、D では青の染色)。

注6) *In situ* ハイブリダイゼーション法：ある遺伝子が組織のどこで発現するか調べる方法で、その組織の切片を標識した cDNA とハイブリダイズさせる。cDNA は、その遺伝子の発現部位で mRNA とハイブリダイズし留まるので、余分な cDNA を洗い流し、標識した cDNA を発色させるなどして可視化し、顕微鏡で発色を観察する。

とになる。しかし、キノコ体の未知の構造の発見に繋がるかも知れないとの期待から、この遺伝子の解析を行った。そこで先ず、これまで大型ケニヨン細胞選択的に発現することが知られていた *CaMKII* (既出) と *mKast* の二重蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション法^(注7)を行った(図5)。その結果、*mKast* の発現領域は *CaMKII* の発現領域とは重ならず、その内側に存在したことから、*mKast* は大型ケニヨン細胞では発現しないことが分かった⁽⁶⁾。同様の結果は、大型ケニヨン細胞選択的に発現する別の遺伝子 *Mblk1* を用いた解析でも得られた。

次に、「大型ケニヨン細胞が占める部分の外側半分と、小型ケニヨン細胞で発現し、大型ケニヨン細胞が占める部分の内側半分では発現しなかった」、*jhdK* と *trp* についても同様の実験を行ったところ、*mKast* の発現領域は *jhdK* と *trp* の発現領域と重ならず、両者が発現しなかった「大型ケニヨン細胞が占める部分の内側半分」に相当したのである(図5)。同時に *mKast* は小型ケニヨン細胞でも発現しないことが分かった。つまり、*mKast* は大型でも小型でもない、新規なケニヨン細胞

種で発現していたのである。*mKast* が発現するこの新規なケニヨン細胞は、その細胞体が大型と小型のケニヨン細胞の境界域に存在し、細胞体の大きさも、大型と小型の丁度中間であることから、私たちはこの新規のケニヨン細胞を「中間型」ケニヨン細胞と命名した。なお、*mKast* (middle-type Kenyon cell-preferential arrestin-related protein) という遺伝子名は、この遺伝子が「中間型」ケニヨン細胞選択的に発現し、細胞内情報伝達に働くアレスチンというタンパク質と共通なドメインを2つもつ、機能未知のタンパク質をコードすることに由来している。

5. 採餌蜂の脳では、小型と「中間型」ケニヨン細胞の一部が活動している

過去に発表した論文データを再検討した結果、これまでに「大型ケニヨン細胞選択的に発現する」とした遺伝子はいずれも小型と中間型ケニヨン細胞では発現しておらず、「小型ケニヨン細胞選択的に発現する」とした遺伝子はいずれも大型と中間型ケニヨン細胞では発現していなかった。つまり、「中間型」ケニヨン細胞選択的に発現する遺伝子は *mKast* のみであることにな

^{注7)} 蛍光二重 *in situ* ハイブリダイゼーション法: *In situ* ハイブリダイゼーション法の発展型で、2種類の遺伝子の発現プロファイルを同じ組織切片上で観察させるため、それぞれに対応する2種類のcDNAを別々の蛍光色素で標識しておき、ハイブリダイズの後、切片を蛍光顕微鏡で観察して蛍光を観察する。

る。では「中間型」ケニヨン細胞は一体、どのような働きをもつのであろうか？

木矢剛智博士（現金沢大学大学院特任助教）は、当研究室の大学院生であった頃、ダンスを踊る働き蜂の脳でどこが活動（神経興奮）しているか調べるために、初期応答遺伝子を利用することを着想した。初期応答遺伝子とは、ある神経細胞が活動した（つまり、電気信号が通った）際に、活動から15～30分遅れて、その神経細胞自体で一時的に発現誘導される遺伝子のこと、その遺伝子は神経活動のマーカーとなる。木矢博士は働き蜂を麻酔から覚醒した際に、脳で一過的に発現誘導される遺伝子として、自身が *kakusei*（覚醒）と命名した初期応答遺伝子を、昆虫では初めて、

ミツバチで同定し、その発現を指標に、ダンスをしている働き蜂の脳でどの部位が活動しているかを調べた。その結果、キノコ体の傘内側の中央部あたりに存在するケニヨン細胞が選択的に活動していることを見いだした⁹⁾。なお、この神経活動パターンはダンスを踊った採餌蜂だけでなく、帰巢したがダンスを踊らなかった働き蜂でも見いだされたので（つまり、帰巢した働き蜂の一部がダンスを踊る）、ダンス行動そのものではなく採餌行動に関連するものと考えられている⁹⁾。当時はこれは主に小型ケニヨン細胞であると考えたが、今回新たに「中間型」ケニヨン細胞を見いだしたので、再度、*kakusei* と *mKast* の発現部位を比較することで、採餌蜂の脳でどのケ

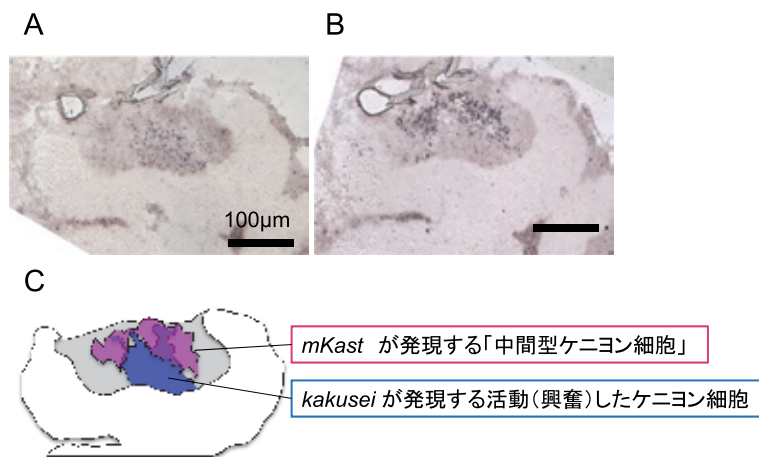


図6 採餌蜂では小型と「中間型」ケニヨン細胞の一部が活動する

(A) *kakusei*（神経活動のマーカー）と (B) *mKast*（「中間型」ケニヨン細胞選択的に発現する）の in situ ハイブリダイゼーション。(C) 両者の発現の重複の模式図。ピンクは *mKast*、青は *kakusei* の発現部位。両者の重なった部分が紫に見える。

ニヨン細胞が活動しているか調べた。その結果、神経活動の指標となる *kakusei* の発現は、小型ケニヨン細胞に加えて、*mKast* を発現する「中間型」ケニヨン細胞の一部で検出され、採餌蜂の脳ではこれらのケニヨン細胞が活動していることが判明した (図 6)⁶⁾。このことは、これらのケニヨン細胞が採餌飛行時の感覚情報処理に働くことを示唆している。

6. おわりに

本稿では、(1) ミツバチの脳の高次中枢であるキノコ体が、従来考えられてきたように大型と小型ケニヨン細胞からなるのではなく、その境界域に存在する「中間型」ケニヨン細胞を加えた 3 種のクラス I ケニヨン細胞から構成されること、(2) 「中間型」ケニヨン細胞は大型や小型ケニヨン細胞と遺伝子発現プロファイルが異なり、知られている限りでは *mKast* のみが「中間型」ケニヨン細胞選択的に発現すること、(3) 採餌をする働き蜂の脳では、小型ケニヨン細胞に加えて、「中間型」ケニヨン細胞の一部が活動していることを新たに紹介した。

ミツバチの尻振りダンスを発見したフリッシュは、尻振りダンスを、それが記号的コミュニケーションであるため、「ダンス言語 dance language」とよんだ¹⁾。

現在ではミツバチの尻振りダンスはヒトの言語とは異なり、文法が無いことや抽象的概念は伝達できないことから、「言語」とはよばず、「ダンスコミュニケーション」とよばれることが多い。しかし、本稿ではヒトの言語野との対照から、ミツバチ脳でダンスコミュニケーションを司る仮想の領域を「ダンス言語野」とよんでいる。本稿で紹介した、採餌蜂の脳で活動している小型と「中間型」ケニヨン細胞の一部は、「ダンス言語野」の一部の有力な候補であるが、未だ証拠は不十分である。ヒトの言語野には、言葉の組み立てや理解を担当するウェルニッケ野と、発声を担当するブローカ野がある。ウェルニッケ野の働きで文章が組み立てられ、それをブローカ野の働きで音声に変えて伝達するのである³⁾。今回、採餌蜂の脳で活動した領域は、ダンス行動と直接関係するものではないが、もし、ダンスに表現されるべき、採餌飛行時の視覚情報処理（その受容と暗号化）に関わるのであれば、むしろウェルニッケ野としての働きに近いのかも知れない。今後、こうした仮説が検証される必要がある。採餌飛行時の感覚情報処理に小型と中間型ケニヨン細胞がどのように役割分担するかは最も興味深い問題であるが、現時点では全く不明である。あるいは「記憶の座」としての大型ケニヨン細胞と「分業の要」とし

ての小型ケニヨン細胞のインターフェースにあって、採餌飛行時に受容した感覚情報の内、どの情報を記憶すべきかの選抜に関わるのかも知れない。

mKast はアレスチンという、細胞内情報伝達系の仲立ちをするタンパク質と部分的な相同性をもつタンパク質をコードするが機能未知な新規遺伝子であり、その分子機能は不明である。尻振りダンスの神経機構を解明する上では、*mKast* の分子機能の解明も必要であると思われる。

最後にミツバチにおける遺伝子操作の現状について触れておきたい。現在、幾つかの昆虫で遺伝子破壊や、強制的遺伝子発現などの遺伝子操作が可能になっている。しかしながら、ミツバチでは未だ安定した遺伝子操作技術は開発されていない。一般的に遺伝子導入のためには、例えばショウジョウバエでは、受精直後の卵にトランスポゾン^(注B)の転移酵素の遺伝子と、その標的配列に導入したい目的遺伝子を繋いだ2種類のコンストラクト（遺伝子断片）を顕微注入することで、卵の染色体DNA中に目的遺伝子を導入する。しかしながら、ミツバチでは未だこの技術が確立されていない。1つには、ミツバチで働くト

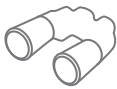
ランスポゾンが未だ分かっていないためである。加えて卵に顕微注入すると卵が傷つくが、この卵を巣に戻すと働き蜂が、病気がコロニーに蔓延することを嫌って排除するからである。しかし、現在では他の動物種でトランスポゾンを使わない遺伝子破壊法も開発されているし、コロニーに卵を戻さないで人工的に胚を発生させて、傷の無い幼虫をコロニーに戻すことも可能かも知れない。これらの方法を検討することで、ミツバチでも早急に遺伝子操作法が確立されることを期待している。

仮にミツバチで遺伝子操作法が可能になれば、*mKast* 遺伝子のノックアウト個体の作出が可能になる。また *mKast* のプロモーターの下流に人為的に活性化できるイオンチャネルをつないでミツバチ個体に発現させ、それを発現する神経細胞を人為的に興奮させることも可能になる。それらの個体の尻振りダンスがどのように障害されるかを調べることで、「中間型」ケニヨン細胞とダンス言語との関連の理解が進むと思われる。これらの知見を集積することで、ダンス言語の分子・神経基盤の一端が解明されることを期待している。

^{注B)} トランスポゾン：ある種の生物のゲノムの位置を転移するDNA断片で、自分自身のDNA配列を標的とする染色体DNAに挿入するための配列と、挿入に必要な酵素、トランスポゼースをもつ。トランスポゾンを外来遺伝子導入のためのベクターとして利用する際は本文中にあるように、標的配列に目的遺伝子を繋いだDNA断片と、転移酵素のDNA断片の2つに分断して利用する。

文 献

- 1) Winston, M.: The Biology of the Honeybee, Harvard University Press (1987)
- 2) Frisch, vK et al.: Science **158**, 1072-1077 (1967)
- 3) Kandel, E. R. et al.: Essentials of Neural Science and Behavior, Appleton & Lange (1995)
- 4) Fahrbach, S.: Ann. Rev. Entomol. **51**, 209-232 (2006)
- 5) Kubo, T.: *In: Honeybee Neurobiology and Behavior* (Eds. Garizia, G., Dorothea, E. and Giurfa, M.), Springer (2012)
- 6) Kaneko, K. et al.: PLoS ONE **8**, e71732 (2013)
- 7) Esch et al.: Nature **411**, 581-583 (2001)
- 8) Kaneko, K. et al.: PLoS ONE **5**, e9213
- 9) Kiya et al.: PLoS ONE **4**, e371



Random Scope

ヒト神経細胞は遺伝子のコピー数変異に関してはモザイクである

ヒトの多能性幹細胞から分化した神経細胞や死亡直後の脳細胞での単一細胞ゲノム解析をしたところ、多数の遺伝子増幅や染色体の異数性が同定された。大脳前頭葉由来ニューロンでは単一細胞の13~24%で、百万塩基もの欠失が見つかり、複数の変異が蓄積していた。ヒトのニューロンは遺伝子が欠失したり増幅した細胞のモザイクであるといえる。将来その生物学的意義が培養系で明らかにされるものと思われる。

(Yan)

McConnell, M.J. et al.: Mosaic copy number variation in human neurons. Science **342**, 632-637 (2013)

ミツバチとヒトの社会を比較する —脳の発達と情報システムを中心に—

佐々木正己*

要 旨：ミツバチは、幼虫時は眼も触角もなく脳も未発達であるが、成虫では優れた記憶・学習能力を示し、数や抽象概念までも理解する。しかしこの個体の能力もさることながら、ミツバチのすごさはコロニーとして存分に発揮される。数万のハチが情報を共有して外敵に対処したり、言語に近いコミュニケーションを駆使する。ただし「真似」はできないようで、サルのイモ洗いのように、経験を「文化」の形で次世代に伝承することはない。

はじめに

ミツバチが「8の字ダンス」で仲間へ花のありかを教えることは、フリッシュ博士がノーベル賞を受賞したことで有名だ。最近の研究ではさらに、「同じ」、「違う」などの抽象概念を理解することや、高度な学習能力が明らかになっている¹⁾。径1ミリメートル、神経細胞数にして100万個の小さな脳にもかかわらず、それがこのような高度な機能を発達させた理由は、彼らがヒトやサルと同様、多くのコミュニケーションを必要とする社会生活をしているからだと思われる。ここではミツバチとヒトの社会の比較を試みてみたい。

1. ミツバチの個体の脳の発達

トンボは大きな眼をしていて、脳の中でも視覚の情報処理能を行う部分はよく発達

している。しかし記憶・学習能力に関わる部分の発達はきわめて悪い。一方、ミツバチでは脳の中でも、視覚、嗅覚、味覚、それに聴覚の情報を統合処理したり、記憶・学習に関わる「キノコ体」と呼ばれる部分の発達が著しい(図1、2)。こうした発達の特徴は実はミツバチだけでなく、アリやスズメバチなどの社会性昆虫全般に共通していることから、おそらく社会生活がコミュニケーション能力を発達させ、それがまた脳の発達を促してきたのではないかと思われる。

そんなミツバチだが、実は幼虫の時の脳は極めて未発達である。ミツバチの幼虫は働きバチの保護下にあり、外敵に備える必要はなく、食べ物もミルクの形で親から与えられるので、脳を使う必要がないからであらう。脳は成虫になる前の蛹の時期に急

*玉川大学名誉教授(昆虫学、生理・生態学、行動学)

速に発達する。しかし成虫になったばかりでは、まだ学習能力はほとんどない。この能力は通常羽化後 1 週間ほどで発達するのである。これもミツバチの巣の中には食

料は貯蔵してあるし、外敵からも守られ、安全であり、羽化後 1 週間程度は外に出ることもないことが関係しているのではないと思われる。

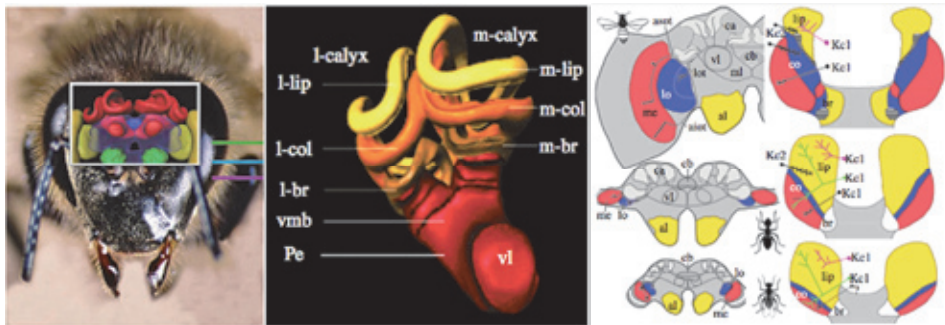


図 1 よく発達したミツバチの脳

左図の赤で示した部分がキノコ体。中央はその 3 次元模式図で、双子のキノコのような形をしている。上部の黄色から橙色、黄褐色で示した部分が傘部で、ここに眼や触角からの情報が入力される。下の赤で示した部分は柄部で、統合処理された電気信号がここから出力される。右の図はミツバチとアリのキノコ体の発達具合を比較したもの。アリの場合、中段の雌と下段の雄のキノコ体を比較すると、餌集めなどの仕事にまったく従事しない雄では、その大きさが半分ほどしかないことがわかる。
出典：文献 1

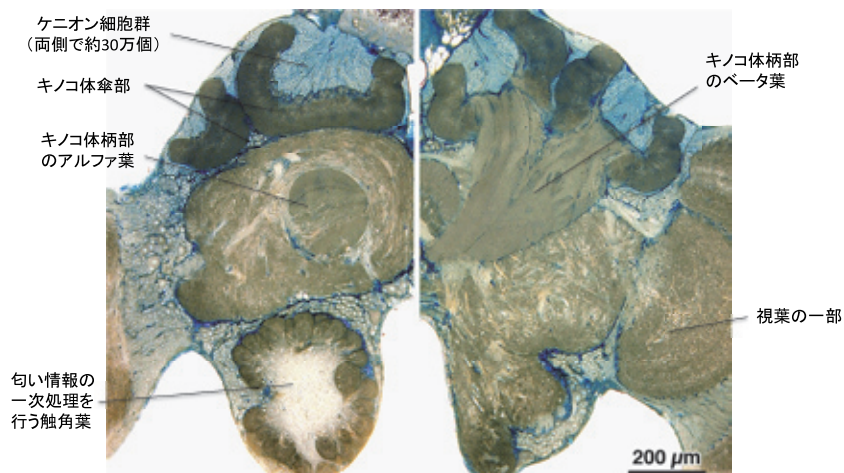


図 2 ミツバチ働きバチのキノコ体の断面図

左半が頭部前面に近い浅い部分の切片像。右はもう少し深い部分の像。これらは脳を固定後、樹脂に包埋し、薄く輪切りして、電子顕微鏡で撮影した写真。

ここで面白いのは脳の発達に重要なのが社会的な環境のようで、温度や食べ物を同じにしておいても、仲間がいない「独房」に入れておくと、学習能力の発達が進まないものである（図3）。しかも新たなことを学習する能力が発達しないばかりか、いったん学習したことの保持時間も影響を受ける。正常にコロニー内で過ごしてきたハチは、学習したことを2週間くらいは忘れないが、独房バチは1週間程度で忘れてしまう²⁾。ヒトとミツバチを安易に一緒にするのは問題かもしれないが、このように仲間からの刺激がないと脳機能が衰えてしまうことは、ヒトの幼時期や老後にも共通していよう。最近の研究によれば、記憶・学習の細胞や分子レベルでの基本メカニズムは、ヒトとミツバチの間で驚くほど似ていることが分かってきているので、こうし

た基礎研究にミツバチがモデルとして役立つ可能性はおおいにあるものと思われる。

2. ミツバチの脳にも左右の機能分化がある？

ヒトの脳機能に左右の分化があることはよく知られているが、ミツバチでもその可能性を示唆するような知見が得られている。嗅覚学習でも視覚学習でも、左右の触角または複眼で学習させた場合、右で学習した方が成績がよい³⁾。その違いは学習率にして10~20%程度ではあるが、筆者らの実験も含め、再現性があることは間違いない。ショウジョウバエでは左右の脳構造に違いが認められ、関連が論議されているが、詳細はまだわからない。機能分化の可能性として注目されるのが、短期記憶の取り出しでは右が勝っているが、それが長

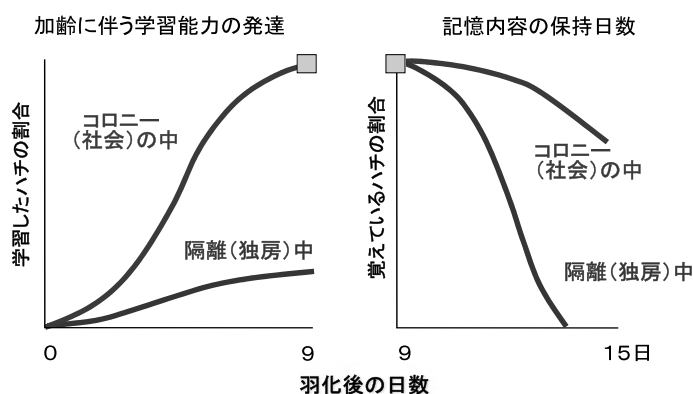


図3 ハチを社会から隔離して独房内で育てた場合の学習率の違い

独房下ではハチの学習能力の発達が遅れ、いったん学習した内容の保持日数も短くなる。出典：文献2より改写



図 4 連合学習の実験方法

原理的には、よく知られた「パブロフの犬」の実験法と同じ。まず報酬の砂糖水が有効となるよう固定したハチを飢えさせておく。次いでトレーニングとして、匂い刺激（例えばバニラの匂い：条件刺激）を触角に吹きかけ、直後に砂糖水（無条件刺激）を一滴与える（写真左）。これを 1、2 回で、短期記憶が成立し、匂い刺激を与えただけで、口吻を伸ばすようになる（右の写真）。短期記憶は 1 時間程度しかもたないが、このトレーニングを 10 分以上の間隔をあけて、4～6 回繰り返せば、10 日以上覚えていられる長期記憶となる。実験では、例えば 50 匹のうち何匹が覚えていたかを評価していく。

期の記憶になると左からの方が勝るとした Rogers らの報告がある⁴⁾。事実ならば興味深いが、筆者らの解析ではこの点は否定的である。これらの解析をさらに進めるには、固定したハチで左右を選択できる検定系や、学習できたか否かを率で評価するだけではなく、個体レベルのハチの学習能力を定量的に評価できる評価法の開発が望まれる。その方法の一つとして、連合学習実験法（図 4）があげられる。

3. ヒト社会 vs ミツバチ社会

一匹一匹のミツバチの能力が優れていることはお分かり頂けたのではないかと思います。が、実はミツバチのすごいところは、コロニーが全体としてひとつの生き物のように

ふるまえる点にある。そこでミツバチ社会の特徴をヒトのそれと比較してみることにしよう（図 5、6）。

ヒト社会は、多くの情報を中央（社長などのトップ）に集めて断を下す「中央制御型」なのに対し、ミツバチ社会では、縦の命令系統はない。経験を活かしたスペシャリストはいても、はっきりしたリーダーはいない。女王バチがリードしているのでは？と思われがちであるが、女王には命令をしたり、重要なことを決定する役割はない。自己組織化された、あるいは分散並列型のシステムといえる。

外部から得られた情報は、普通はローカルに処理されるだけで組織全体のものとはならない。しかしそれでいて的確なコロ

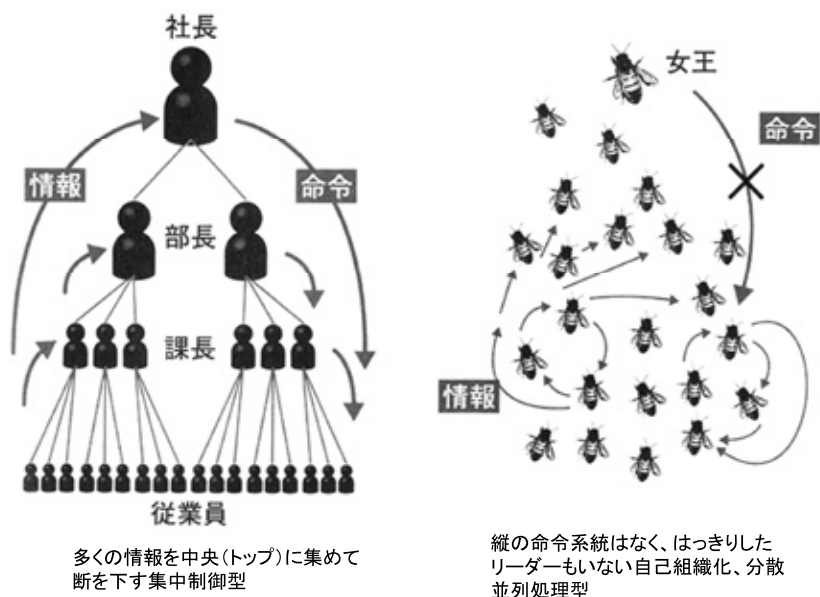


図5 ヒトの会社組織とミツバチ社会の比較

出典：文献5

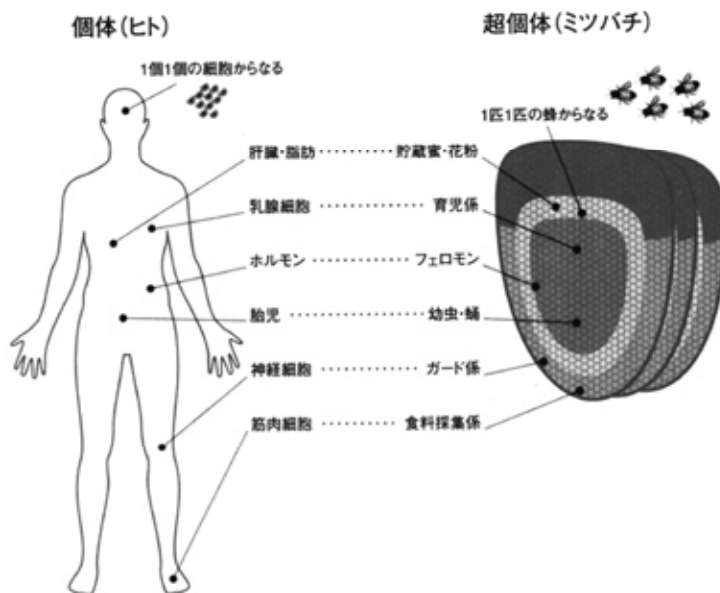


図6 ヒトの体とミツバチコロニーの比較

出典：文献5

ニーレベルの状況判断ができるところがすごい⁵⁾。たとえば、家（巣）作りの現場を考えてみると、ヒトの場合はまず設計図を作る者がいて、様々な工事は監督者の下、分業で進められる。しかしミツバチの場合は、デザインの自由な変更はなく、設計図はすべてのメンバーの頭の中に生まれながらにして書き込まれており、作業は、何時でも、誰でも、途中から受け継いでも、出来てしまうのである。

ただ、分業がないわけではなく、たとえば、蜜を採ってくるハチと花粉を採ってくるハチは分かれている。蜜を集めてきたハチは、巣に戻ると貯蜜係のハチに口移して渡し、自分はまた花に飛んで行く、といった具合だ。このように一つの仕事に習熟すると、当面その仕事に専念する 경우가多く、スペシャリスト的に振る舞う。これは経験を通じて仕事のコツをつかんだハチが、その仕事を専門的に受け持つことになり、全体としての効率アップにつながる。

4. ミツバチのコロニーは超個体

花を訪れているミツバチをよく見てみると、体の造りこそ違おうが、私達と同じく立派な「個体」に見える。しかしミツバチの一匹一匹は、いわば私達の細胞 1 個 1 個のようなもので、女王、ワーカー、雄バチが揃って初めて、一つの単位としての「生

き物」（超個体、superorganism）といえるのである（図 6）。いまコロニーが 1 万匹から成っているとすれば、1 万個の脳が連絡しあって 1 つのコロニーとしてのパフォーマンスを産み出すと考えられる。多くの場合、情報は通常はローカルにしか行き渡らず、個々のハチに状況の全貌がみえていることはない。しかし情報が共有される場面がまったくないわけではない。たとえば、オオスズメバチが襲来した時のニホンミツバチの巣内では、情報は直ちに全員で共有され、組織全体が「防戦モード」に入る。周囲の餌環境が劣化したときに巣ごと引っ越す（逃去ともいう）際にも、8 の字ダンスを変形させた特異なスローダンスで、全員を「引っ越しモード」にさせることができる。

5. 経験によるモードの共有「対オオスズメバチ防衛戦」

ヒトの個体＝ミツバチのコロニーとして見た場合、コロニーには、ヒトの脳のように経験した情報を集積していく領野のようなものはない。個々のミツバチの経験は、各個体の脳に蓄積されるだけである。ヒトの脳は、生涯にわたって経験の蓄積が可能だが、ミツバチ・コロニーの「集合脳」は、長期間の経験を保存しておくことができない。これは働きバチの寿命が通常

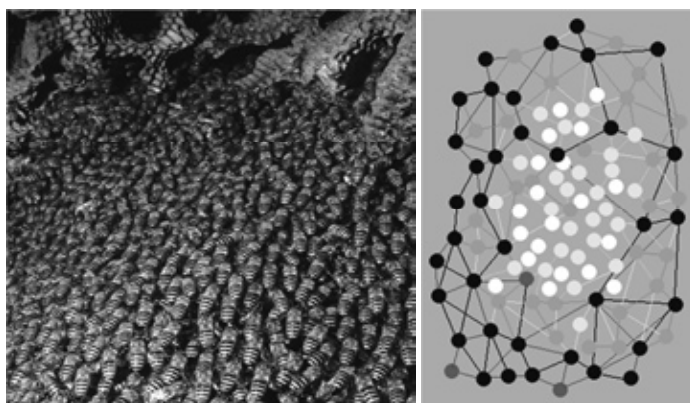


図 7 全体が一つのシステムとして機能するミツバチのコロニー

音、振動、フェロモンなどにより連絡し合うことにより、数万匹からなるコロニーが、あたかも一匹の脳のように意志をもって行動できる。一匹の脳細胞は 100 万個でも 1 万匹分が繋がれば、10 億個の神経細胞を擁するともいえる。右は加齢の進んだ働きバチの間で一つの時計機能を共有する時のイメージ図。若い働きバチ（薄い色で示してある）は時計機能が未発達で十分な役割を果たさないが、その代わり昼夜を問わず育児にあたるのに適している。

1 ヶ月程度（活動が低下する冬季には半年程度）しかないからである。

一方、ヒトの脳は細胞の更新は限られており、一部が損傷すると大きなダメージとなるが、新陳代謝のように常に個体が更新されるミツバチ・コロニーの「集合脳」では、たとえ半数の個体が失われたとしても、決定的にシステム・ダウンすることはない。

ミツバチの場合、個々の個体の脳で容量的に十分とは言えない部分を補完する機能として、様々な状況下、複数の個体の脳がモード設定を共有したり、ネットワークをつくって応答しあったりすることにより、コロニーレベルでの対応力を向上させる。ひとつにまとまった「脳」はないが、多数

の働きバチの脳が連携することにより、コロニー全体が一つの脳で動いているかのよう

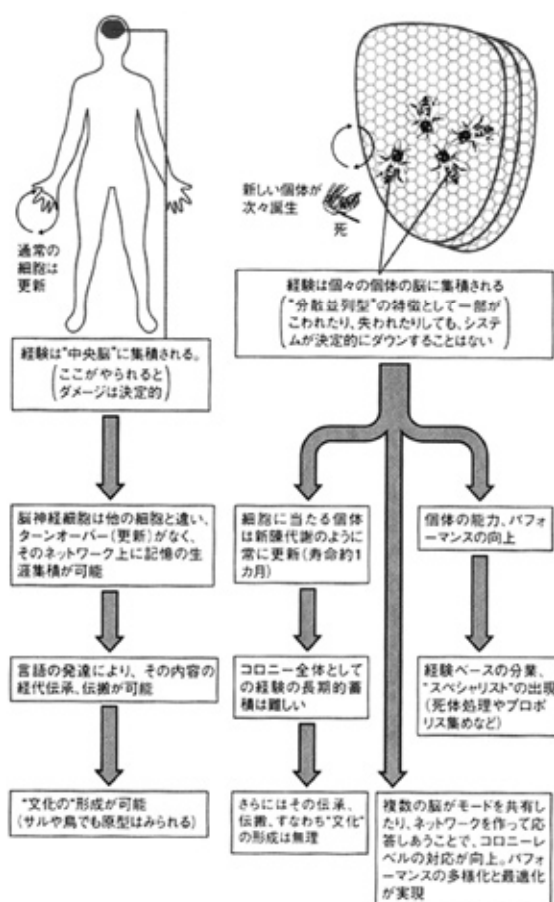
に機能するといってもよい（図 7）。
そのような例として、ニホンミツバチの対オオスズメバチ作戦をみてみよう。オオ



図 8 スズメバチをボール状に取り囲んで熱殺しているニホンミツバチ

スズメバチは中に閉じ込められていて見えない。内部の温度はスズメバチには致死的な 47℃程度にまで上がる。

オオスズメバチの襲撃が頻繁となる秋のシーズン中、最初の襲撃より、2度目、3度目の襲撃に対するほうが、防戦モードへの移行が素早く、また確実に行われるようになる。経験によって行動反応閾値が低下し、より敏感に反応するようになる。数日前にオオスズメバチの攻撃があったといった場合、まず採餌活動をストップする。次



特集 / ミツバチ研究の最前線—社会性昆虫の不思議を探る 55

いで多数の防衛係の働きバチが飛翔筋を動かして発熱するための蜜（燃料）を蜜胃に積み込み、巣の入り口近くにスクラムを組んで陣取る。巣内は異様な静寂に包まれ、その中で、スクラムを組んだハチたちは、スズメバチの侵入を待ちかまえて発熱する。襲撃が何度も続いた直後には、オオスズメバチがいなくても、その匂いを漂わせただけで反応するようになる。

6. 経験の活かし方「文化の形成」

ミツバチも個々には経験を活かすことができ、それでコロニーのパフォーマンスが上がることは既にのべた（図9）。ではミツバチもヒトのように、個体が蓄積した経験や知識をほかの個体に伝承することはできるのだろうか？ サルの社会では、イモを洗って食べる術をあみだした仲間がいると、これを真似する者が現れ、これが「文化」として定着・伝承されていく。鳥類も頭がよく、ヒヨドリなどでは、春のサクラやコブシの花を食べることが流行したりする。

ミツバチでは、個々のハチの寿命は短く

とも、他の虫達と違い、越冬中でさえ多くの働きバチ達が共存して生活を継続するという特殊な位置付けになっていることから、「サルのイモ洗い」の場合のように、仲間の発明を「真似る」ことさえできれば、たとえ言葉は未発達であっても、これを伝承できる、つまり「文化」を形成する素地はあるといえよう。私は30年間ほど、このことを気にしながらミツバチを見てきたが、残念ながらミツバチには、この「真似する」ということは出来ないようである。その辺がヒトとミツバチ社会の大きな違いといえるかもしれない。

文 献

- 1) Avarguès-Weber, A. and Giurfa, M.: Proc. R. Soc. B **280**, 1907 (2013)
- 2) Ichikawa, N. and Sasaki, M.: Appl. Entomol. Zool. **38**, 203-209 (2003)
- 3) Letzkus, P. et al.: Current Biology **16**, 1471-1476 (2006)
- 4) Rogers, L.J. and Vallortigara, G.: PLoS One **3**:e2340 (2008)
- 5) 佐々木正己：昆虫はスーパー脳（山口恒夫監修）、技術評論社（2008）
- 6) Ono, M. et al.: Nature **377**, 334-336 (1995)

小川 侃*

企画の概要

本企画は、当初「笑いの雰囲気－哲学者と語る」と題して、主に子育て世代の保護者を対象としたもので、健康財団グループの「いのちの科学プロジェクト」が協力して、京都大学総合博物館夏休み学習教室の一環として、2013年8月10日（土）に開催された。当日は保育士も参加して、子ども同伴の保護者の便宜を図った。本稿は当日の記録を基に再生したもので、参加者との対話を踏まえて、「家庭の笑いは平和のシンボルである」ことを結論としたタイトルにした。

はじめに

今日は笑いについて考えてみます。なぜ笑うのか。おかしさとは何か。笑いの底にあるのは「おかしみ」「おかしさ」です。それについては、薄田泣菫という明治の詩人に興味深い詩が残されています。

大笑い

梟が水をおよぐなら、海鼠が山へのぼるなら、むぐらが唄をうたふなら、おどけメガネを覗くより なんぼうそれが可笑しかろ

梟は水に沈まうし、海鼠は路で滑らうし、むぐらは唄をどもらうし、その可笑しさに神様も お腹抱へて笑はれよう（薄田泣菫詩集、岩波文庫 24 頁）

ここで描かれているのはできないことをやろうとする動物喜劇です。これは、本日の私のお話の一つのテーマです。

笑いの雰囲気

私は、笑いということに、学生時代から関心がありまして、たとえば、関西落語のトップで非常に有名な人ですが桂米朝の落語はよく聞きました。彼の落語にはいろいろあるの

*甲子園大学学長、京都大学名誉教授（現象学、政治哲学）



ですが、面白いのもあるし、おもしろくないのもある。真面目すぎるのもあるのです。落語と言うのは落とし話となっていますが非常に良い教訓を含む落語もあります。私がいちばん好きなのは、「貧乏花見」と「池田の猪買い」という落語です。笑いというのは、人間関係の中では重要なものです。人間関係の潤滑油のようなものです。今日は、初めはちょっと真面目な話をしますけれど、あとで皆さんに、腹の底から、笑っていただかなければならないのです。笑いには二種類あります。事柄そのものが滑稽で吹き出してしまうものと、単なる言葉の面白さ、例えば、ダジャレ、おやじギャグの類です。あきらかに事柄そのものの面白さが高級感を漂わせます。

笑いというのは何でしょうか。笑いの構造というのは、どういったものなのでしょうか。第一に言えるのは、笑いというのは極めて人間的な事柄であるということです。笑うということ、また笑わせるということは人間だけにできることだろうと思います。お猿のある種の行動が面白くて人間たちが笑うというのはよくあります。お猿がお尻を搔くと面白いので動物園の檻の前で人間たちが笑います。お猿のほうはきょとんとしている。それが面白くてまた笑うということがあります。その次には笑いには無感動があるということです。「心を打たれて」感動したから笑うということは起こりえません。感動するとふつうは涙をこぼすのです。第三に笑いというのは、集団の笑いであります。笑いは社会的であり、多くの人が集まるということが笑いの条件です。笑いは、ベルクソンによると「社会的な身振り」です。集団の笑いということは、笑いは同じ場のほかの人々に伝染するというこを意味します。そこから笑いは社会の身振りであるといわれるのです。

家庭の笑いは平和のシンボルでもあるわけです。笑いに満ちた家族、人間集団には深刻なコンフリクトはないといえます。どんな雰囲気の人に人はいったい笑うのだろうか。私は、哲学のなかで、特に現象学という哲学をやっているのです。これは現象をいろいろ分析し、現象を研究する哲学の分野なのですが、特にここ 10 年近くはずっと雰囲気の現象学というのを研究しています。研究したり分析したりしていると、これはちょっと笑うことはできないのです。笑っていたら分析はできません。笑わないと笑いの分析はできないのです。自分の笑ったことを反省して、なぜ面白かったのかという分析をするというのが、哲学者だと思います。一度も笑ったことのない人には、笑いが理解できません。まず笑わないといけなけれど笑っているとなぜおかしいかわからないというのが、分析の難しいところでは。これは、一種の逆説なのです。これは笑いの創作についても同じように



言えます。上方漫才の台本作家に秋田實という方がおられました。その娘さんの藤田さんという方が朝日新聞に書いておられたのですが、彼が漫才の台本を作るときは真剣そのもので笑っていなかったようです。笑っていたら漫才の台本を書くことはできません。

「笑いのための笑い」というものもあります。今日は「笑いの展覧会を開きましょう」ということでもあるわけです。笑いの雰囲気とはどんなものでしょうか。家庭の中で、家の中で、お母さんが「わっはっは」と大笑いしたりするような家庭は（お母さんの笑いは家庭の太陽みたいなものですから）、それは必ず明るいリベラルな家庭だろうと思います。

この連関で私は常に思い起こすことがあります。29歳で私が初めてドイツに行ったときに、フランクフルトの町の出身の友人（この間まで東京の駐日大使をしていたシュタンツェル博士）のいとこの家に厄介になったことがあります。「泊まれ、泊まれ」といわれて、泊めてもらったのですね。このいとこは、当時京都にいた私の友人を訪ねて日本に来た時に私が京都案内をしてあげたのです。当時ドイツ人の友人のほうはまだ日本に居ました。そのいとこの家の雰囲気が問題なのです。夕方になるとお父さんが帰ってこられます。この父さんは、片足がびっこをひいておられて非常に難しい表情の人なのです。その当時日本にいた友人自身が、「いとこの母親は良いのだけれども、いとこの父さんが、しんどい、しんどい」と言っていましたね。そのお父さんが帰ってくると、家の中が、なんというか沈黙が支配する。家の雰囲気が凍りつく、そういうお父さんだったのですね。私も実際に話しかけたけれども彼は、全然笑わない。ユーモアを理解しない。いつも気難しい顔しておられるので、ちょっとしんどかったですね。それに対してお母さんの方は、絶えず笑うお母さんでいつも楽しく笑っておられたのです。私は、そういう経験をしたことがあります。

ですからやはりお母さんがニコニコ笑って、周りに気をもんで笑いを引き起こすということが家庭にとって必要です。そのようにしてはじめて、いわゆるリベラルな家庭になるのではないかと。そういうことが必要だと思います。泊めてもらって3日目ぐらいの時ですが、そのお父さんが帰ってくると、家の中が、ぶるぶる、ぶるぶると震えているような感じなのですね。それまで皆ニコニコと、お母さんを中心に、「わっはっは」と笑っていたのですが、お父さんが帰ってくると沈黙が支配して、雰囲気が激変し、凍りつくような雰囲気になるのですね。

今日の話の一つのポイントは、考察もしくは分析の方法に関わります。笑いについて分



析をしたり、笑いについて考えてみたり。笑いについていろいろ研究すればするほど、笑いそのものからは、あるいは笑いのあり方からは、遠ざかっていくのではないか。端的に言えば、笑っていても笑いの分析はできません。笑っていても、笑いの分析ができないし、笑いについてよくわからない。しかしながら笑わないと、笑いというものがどういうものかも理解できない。だから笑うことと笑いの分析とのその両方のサイクルが何であり、どのようなものかが分かるためには、この両者を経験してみることが必要です。私自身は実際に、笑ってみることがいちばん重要だと思うので、あとで皆さんに「あはは」と笑ってもらおうつもりです。そういうふうな笑いの効果といったものについて少し考えてみたいと思います。例えば初めのうちおかしくなくても、みんなで笑っているうちに本当におかしくなって涙が出るほど、お腹が痛くなるほど笑うということはまああるのです。その意味では笑いは社会的なものですし、集団的な「身振り」なのです。

これについて一つ思い起こすことは、今から10年ほど前のことですが、ドイツのある大学町で行われた展覧会のことです。そこの博物館で「笑いの展覧会」というのをやっていたのですね。「笑いの展覧会」とは結構面白いものでして、笑いの絵、笑いの彫刻、写真がずっと展示されていたのですね。こんなに色々な笑いがあるのかと思ったのですが、京大の博物館でも、そのような笑いの展覧会などをやると面白いと思います。しかし、今日は我々めいめいで、笑いを作るということをもくろんでいるのです。笑いがなぜ人間にとって、人間関係にとって快いのかということも笑いの経験から理解して頂きたいと思います。例えば笑うというのは昔から日本では、幸福を呼ぶものであると考えられています。このことは、よく理解されています。「笑う門には福きたる」と言いますし、それはその通りだと思います。

カントの笑い

哲学者と笑いについて語るというのが今日のテーマです。哲学者の顔を見るのは大学以来初めてだという人が、多いと思います。哲学者というのはいろんなタイプの哲学者がいるのですが、日本にいる哲学者のほとんど90%は、哲学の文献学をやっています。私は彼らを哲学者と呼ばないですね。ニーチェなんかはそのような人々を哲学学者といって軽蔑しています。要するに、ほかの哲学者の文献を一所懸命勉強してそれで論文を書いているという人です。私も昔はそういうことをやりました。昔はベルクソンやフッサールや、



あるいはヘラクレイトスやプラトンについても書いたし、カントについても書きました。いろいろそういう研究はしたのですが、いつまでもそういうことをやっているのは哲学者としては、無能そのものだと思っています。哲学者は、やはり実際に、事柄そのものを見てそれを分析してそれについて考えないといけないと思っています。

哲学者、特に優れた大哲学者というのは意外と皆、笑いについて考えを巡らし、書いているのです。一番有名なのは、イマヌエル・カントです。ドイツで最大の哲学者というよりは、彼は西洋哲学の歴史の流れをカント以前とカント以後に分けるくらいの分水嶺になる人なのです。カントという人は、ケーニヒスベルク大学でいろいろな講義をしていたのです。彼のやった講義で一番当たったものが二つあるのです。その一つは人間学、あるいは「実際的な見地から見た人間学（アントロポロギー）」という本です。それはもともと講義集なのです。もう一つは、哲学の歴史の講義ではなくて自然地理学です。自然地理学というこの講義もものすごく当たったのです。ケーニヒスベルク大学のカントのこの講義を聴くために市民が大学に来たといわれています。いま京都大学でそのような哲学の講義はありますでしょうか。

この二つは、カントの講義として特別に編集されております。現在では、カント全集の中にも入っています。したがって日本語でも読めます。ものすごく面白い本です。もとよりカントの理論的な書物は難解で鳴ります。カントの『純粋理性批判』とか、『実践理性批判』とかあるいは『判断力批判』など三批判書といわれるのですが、あれだけ読んで、普通はみんな「もうカントはごめんだ。もうカントの力の字も見たくない」というのがほとんどの普通の読者なのです。これは現在のドイツの若い学生も同じです。文章が恐ろしく難しいのです。だけど、カントの中で本当に面白くてカントの奥行きをよく見せてくれるのは、この「人間学」という本です。もう一つは、「永久平和のために」というこれは小さい論文ですけど、これも非常にいいものです。私は、カントの「人間学」とか、「永久平和のために」とか、そういう比較的小品から非常に多くのものを学びまして、カントはやっぱり非常に偉いと思っています。

その「人間学」の中でカントは、こういうことを書いているのですね。「笑うと消化にいい、なぜ消化にいいかというと、笑うと横隔膜が動くわけで、それが消化を助けるのだ」というふうに言っています。実際、カントは食事についてもたくさん書いているのです。私は食の哲学、料理哲学とか、栄養学だとかにも強い関心があります。哲学者という



のはだいたい人間にかかわるほとんどすべてのことに関心を持っています。人間と世界にかかわるほとんどすべてのことに関心があるのが本当の哲学者なのです。そうでない哲学者はだいたいデカルト、カントとかハイデガーに代表される有名な哲学者にしか関心がない。要するに、哲学者の書いた文献ばかり読んでいるわけです。いろいろな文献がハイデガーについてもカントについても出てきますからそれを追いかけただけで十分だと思っているタイプの哲学者。これが、私がいう哲学文献学者とか哲学学者です。哲学者というのはちょっと違まして文献のみならず、まずもって事柄そのものに関心を持って、事柄そのものにもっと肉薄して分析しようというところがあるのです。

カントという人は、生涯独身だったのです。生涯独身なら、変人だったのかと問われるとすれば、私は、「彼は全く変人ではない」と答えます。カントが一番好きだったのは自分の家にいろいろ友人を呼んで一緒に食事をして笑い、議論をすることだったようです。とりわけ、食卓の上でいろいろ話をしてそこで盛り上がって、大笑いが飛びでてきたりするというのが、人生の一つの大きな楽しみだと考えていたということはカントの伝記作家が書いております。私はここでカントの「人間学」の文献学をやつつもりは全く無いので、むしろ笑いというものを研究したおそらく最も重要な哲学者が、カントというドイツの哲学者なのだということを思い起こしていただきたいのです。

ベルクソンの笑い

イマヌエル・カントについて極めて批判的だった哲学者がフランスにいます。前々世紀19世紀の終わりから20世紀の初めに生きていた、これも知る人ぞ知る大哲学者です。アンリ・ベルクソンというのです。彼はカントを尊敬していたけれど、終生カント批判でいろいろ本を書いていた人です。基本的には反カントの人でカントをライバルと考えていた人です。ベルクソンはもっとも普通には「生の哲学者」とか、「ライフの哲学者」だと言われるのです。ベルクソン自身も実は『笑い』という小さい本を書いています。笑いについて書くのですが、ちょっとカントと違うのです。視点が違うのです。ベルクソンはどういうときに笑いが起こるかということを書いています。たとえば一人の人が道の上で滑って転んだりするとみんなが、「わっはは」と笑う。それはなぜかと問うのです。ベルクソンからすると、我々が生きているというのは常に動きの中にあるということです。滑って転んで「どたり」とコケますとその動きが「ばたっ」と止まるわけですね。要する



に生き生きと流れ動いている生の強張り、それが笑いをひき起こすというふうな分析をしています。

ベルクソンはイマヌエル・カントについて、自分の弟子のシュバリエと言う人と対話しているのですが、その対話が非常に面白いのです。実は、カントの住んでいた町、ケーニヒスベルクというのは現在のドイツではないのです。今は、カリニングラードといって現在ではロシア領に入っています。当時は東プロイセンといわれました。そういう辺境の地、ケーニヒスベルクの大学で彼は一生教えたのです。カントはケーニヒスベルクの街を一生一歩も外に出なかったのが有名なのです。ケーニヒスベルクの中で生まれて育って、ケーニヒスベルクの大学の哲学の先生になって終わったという人です。カントはその意味では、もっと南の方、ベルリンとかミュンヘンとかにも全く旅行さえしていません。しかしベルクソンが弟子のシュバリエという人と対話したときに、「カントという人は、何か音楽についても、あるいは絵画や絵についても極めて優れたことを言っているように思う」とシュバリエが言ったのです。なぜならカントは『判断力批判』という今日では、芸術学、美学の基礎の基礎をなす本を書いていますし、それはものすごく重要な本でして、日本の美学者や美学会の人には必ず一度は勉強しないといけない本なのですね。この『判断力批判』の中で、美学とか、もっと正確には感性学といいますか、我々が音楽を聴いたり、絵を見たりする時の感覚の動きがどういうことなのだろうかということをカントは研究し、分析したのです。しかし「カントには芸術のセンスがある」と人が述べたときに、ベルクソンはカントを冷やかすようなことをシュバリエに言っています。もちろん、カントとベルクソンは会ったこともありません。彼らの間の年齢の隔たりはほぼ150年くらいですから、生きていた時代が違うのです。「シュバリエ君、君どう思うかね？ カントが、音楽学やあるいは芸術学やあるいは絵画について非常にすばらしい業績をあげたと君は言うけれども本当にそう思うかね。カントが聞いていた音楽というのはせいぜい軍楽隊の音楽であり、カントが見ていた絵画というのは全て本物の絵画ではなくていわば偽物であり、まがいものだったのだよ」というふうに言ったのです。それに対して弟子のシュバリエは「はい、はい」と聞いていました。シュバリエの書いた『ベルクソンとの対話』のこのあたりを読んだ時に、私は、いろんなことを考えました。ベルクソンは一体カントを尊敬しているのだろうか、それともちょっと嘲笑しているのかと思いました。私は次のように考えます。ベルクソンは、カントの芸術生活をどちらかといえば嘲笑しているの



すけれど、しかしながらカントの書いたのは、『判断力批判』という芸術学の最も根本の本ですから非常に尊敬しているのかなとも思います。ベルクソンがカントについて高校や大学で最もよく講義しているのは事実です。学者としてはベルクソンがカントを尊敬していたのは間違いないと思います。

この辺から、哲学でいう解釈の問題に入ってきました、要するにベルクソンが言っていることを底の底まで考えて練り直しますと、「カントは大した音楽は聞かなかった。カントの見た絵はしょうもない絵ばかりだった。だけど作った理論はあんなに素晴らしいじゃないか」と言えるわけです。これが、ベルクソンの言いたい事だろうと私は解釈しているのです。

笑いの実践

笑うと、いろんな意味で健康になるということは、本当に横隔膜が、動くからかどうかわかりませんが、それは今日の生物学や医学でだいたい検証されているようです。つまり笑うと免疫力がつくという予防医学の研究があるのですね。ちょっと引用しますと、こんなことを言っている方がいます。これは今日の私の話の中で一番医科学に近いところの話です。脳が刺激されて、笑いの効果が神経に伝わりそこで、免疫機能ホルモンが分泌されます。するとがん細胞の殺し屋として有名なナチュラルキラー細胞が活性化され、がん細胞や細菌に感染した細胞を死滅させます。また、モルヒネの数倍もの鎮痛作用と快感作用のある、つまり快い感情を引き起こす作用のある β エンドロフィンのホルモンが大量に分泌されます。これら全部は、笑うことから起こるというのですね。そういうようなことを言う生物学もしくは医学の主張があるのです。

とはいえ私はいつもここで、「はっ、そうですか」とは思いません。私はやっぱり哲学者ですから「ほんまですかいな、そんなこと本当に言えるのですか。証明してみなさい」と考えます。そう述べると、これが、なかなか証明できないのです。医学で証明するということは、普遍化することですが、人間の経験は常に特殊的ですし、人間の体質は個別的ですから、何度も実験できないのです。先ほど言及した『ベルクソンとの対話』のなかで、ベルクソンは、「病気の診断の場合にこそ個別的なものが本質的なものだという君の考えがそのすべての価値を発揮する。個別的なものの科学以外に真の科学はない」と言っています。



しかしながら面白いことにベルクソンは、今述べたような笑いの健康への効果をすでに『笑い』という著書の中で暗示しています。引用しますと、「ちょうど我々の身体からたえず分泌されている軽微な毒素（例えばがん細胞）を、もしほかの分泌物（例えば β エンドロフィン）がその作用を中和しなかったら、ゆくゆくは我々の身体を毒（たとえば癌）で満たしてしまうのとおなじように、社会生活の自然な産物の一つである虚栄心がどうして社会の邪魔をしているのか、理解されるであろう。笑いは絶えずこの種の役目を果たしている。この意味で虚栄心の特効薬は笑いであり、本質的に笑いを誘う欠陥は虚栄心だということができる」と述べています。社会の中での虚栄心と人間への毒作用を持つものと、それを笑い飛ばすものとの関係がここでのキーポイントです。ですから今日は、腹の底から笑って、免疫力をつけましょう。皆さんは私の言葉を真面目に聞いていますが、実は、まずここで笑って見ないといかんです。「ほんまかいな、あっはは、そんなことあらへんで、本当にそんな β エンドロフィンなんていうホルモン見たことあるのですか、見せてください」と言ったらみな困るのです。まず笑って見ないといけません。それにもかかわらず、笑いについて思索し、笑いの条件を分析したりしていると、笑いは起こらないのです。さっきも、言いましたように、笑いについて分析し、それについて考えると、笑いは起こらない。だから、笑いをまず作ってみることが必要ですね。

心理学でいうジェームズ・ランゲ説に触発されて述べますと、「我々は悲しいから泣くのではなく、泣くから悲しくなってくるのだ」と言えます。泣くとどんだんだんだん悲しくなってくるというのですね。悲しいから泣くのではなく、泣くから悲しい。何かショックなことがあったら、たとえば何でもいいのですが、「わっ」と涙が出てきますね。例えば自分の知っている人が何か大事件にまきこまれ、それで死んでしまった。涙が「ブワン」と出てきたらますます悲しくなる。悲しいから涙が出るのでは無いのですよというのが、ジェームズ・ランゲの説であり、ベルクソンの説なのです。それはかなり真実をついていると思います。

同じことを今度は笑いに持ち込みますと笑うから楽しいのであって楽しいから笑うのでは無いのだと言えるのですね。ですから笑いというのは、そういうふうな面があって、ことが面白いから笑う。笑うとますますおもしろくなるというので、一種の循環が起こるわけですね。プラスのスパイラル、循環が起こるのです。ですから、笑いはまず実践すること。笑いはまず自分で笑いを作りだすこと、笑うことが重要です。その中からおかしく



なってくるのではないかとと思っています。これが今日、私がいちばんいいことなのですが、要するに笑うから楽しい、楽しいから笑うではありませんということです。

例えば笑いといっても実はいろんな笑いがありまして、何か一人で笑う。ほくそえむような笑い、皮肉な笑い、暗い笑い、陰湿な笑いというのがあります。「あいつ大失敗しよったな」と、にたっと笑うという笑いは実はあまり健康的ではありませんね。いちばんいい笑いは、その家庭が民主的で、お母さんを中心にして、同じような序列の構成員が、みな平等であるというのが重要なのです。これが大きな笑いが起こる原因ですね。このためには私の話に出てきたような怖いお父さんはダメなのです。お父さんが帰ってくると、家の中がシューと氷の雰囲気になるというのはいけないので、お父さんのリベラルな理解が必要です。お父さんはニコニコしてお母さんと一緒に、大きな笑いを作るというのがいちばんいいと思いますね。つまり、最も良いのは一つの家族たとえば一つの家族の全体が、笑い声で満ちあふれることなのです。

そのグループのメンバーが相互に同じ資格であること、相互に平等で、対等であるということが必要であります。ですから、何かお父さんが上の方において「上から目線」で家族を見ているとなると、これは失敗です。それはやっぱりお母さん方が、下から改革をしてお父さんの頭を「ぐっ」と押さえてしまうしかありませんね。もっともこの頃は、もう日本ではそういう封建的なお父さんは非常に少ないらしい。「育メン」というのが、流行っているらしいですからね。我々の若い時代では考えられない。そのことに関して、私はあまり心配していないのです。ですから家庭のお母さんが子供達と一緒にお父さんも含めて、大声で笑うということ、これが福を呼ぶのであります。まず笑うことが、家庭の笑いの雰囲気を呼びこむと思います。ですからやっぱり家庭が全体として、自由でリベラルなあり方をしているというのがいいのではないだろうかとと思っています。つまり、笑いの実践ですね。笑うことです。すべては笑うことから始まります。笑うことでまずおなかの筋肉が震える。「わははは、わははは」、これが、笑いの実践なのです。笑っていると何となく楽しくなってくるでしょう。こういうことをやることによってだんだんそういう雰囲気が起こってくるということです。だから、笑いというのはどうも、まず、そういう全体の雰囲気が、笑いに満ちてくることから起こるのです。

テーマ：共に生きる

③9 魚の左右性とその動態

堀 道雄*

要 旨：アフリカ大陸タンガニカ湖のスケールイータ（鱗食魚）で発見された左右性という種内二型について紹介し、さらに左右性が魚類に広く共有される遺伝形質であることを示し、それが捕食－被食関係を介した頻度依存的な自然選択によってダイナミックに維持されており、それによって群集構造の安定性を生み出していることを論じている。

はじめに－左右性発見の背景－

アフリカの東部には大地溝帯と呼ばれる巨大な陥没地が南北に走り、この大地溝帯に沿っていくつかの巨大な湖、ビクトリア湖、タンガニカ湖、マラウィ湖などが存在する。この大地溝帯はプレートテクトニクスという大陸を引き裂く力によって形成され大地の割れ目である。普通の湖は河川を通じて流れ込む土砂によって埋め立てられるので地史的な時間の中では短命（通常約 1 万年）であるが、これら大地溝帯の湖は埋まる以上の早さで割れているので、きわめて長い歴史を持っている。なかでもタンガニカ湖は 1 千万年～ 2 百万年前に成立した一番古い湖で、その中に生活する生物も、周囲とは隔絶された状態で独自の進化を遂げている。そのため、それらは生物進化の研究にうってつけの対象であり、世界中の進化生物学者がこぞって研究を続けている。日本の研究チームも 1978 年から北端部、中部東岸、南端部の 3 カ所で調査を継続しているが、私もその調査の初期から参加してきた。日本チームの研究テーマは、この湖で繁栄しているシクリッド類と呼ばれる魚類を主とした生物類群集の構造と各魚種の社会構造の解明であった。群集とはある地域に生活する生物集団全体を指す言葉で、私が専門とする群集生態学は、その生物たちの生活が互いにどのような関係をもって成立しているかを探究する分野である。私の研究テーマは、その魚類たちの捕食－被食関係を主とする食物関係、つまりそれぞれの魚種が何を餌としているか、特に捕食魚（魚を食べる魚）とその獲物となる被食魚

*京都大学名誉教授（動物生態学）

の関係を調べることによってこの魚類群集の構造（どのような種がどれだけいるかということ）とその安定性、最近はやりの言葉で言えば、多様性の維持機構を解明することになった。主な調査方法は、潜水調査によるセンサス（群集調査）と行動観察を行い、そして水中で採集した魚類サンプルを解剖し、その胃の内容物を調べる（胃内容分析）ことである。調査対象としては、湖の中でも生物多様性の最も高い沿岸域岩礁の魚類群集を選んだ。

調査を進めるうちに、この湖の魚類群集がきわめて安定した構造を維持していることが分かってきた。そしてその維持機構には魚たちの種間関係が深く関わっていることも見えてきた。群集の構造についての、生態学で広く信じられているテーゼ（規則性についての言説）がある。曰く、「生態的要求の近い２種は長くは共存できない」。つまり、餌などの生活資源が似ている２種は、それを巡って競合するので、その資源を少しでも効率よく利用できる方が生き残り、他方はその場所では消滅するとするテーゼで、別名「競争排除則」とも呼ばれ、それには数理モデルや実験の長い研究史がある。そしてこの規則性のもとで近縁の２種以上が共存するには、依存する餌を違える「食い分け」か、あるいはそもそも生活場所を違える「すみ分け」というメカニズムが一般的とされる。しかし、タンガニイカ湖の、特に私が研究対象とした沿岸岩礁域は、多様性の最も高い魚類群集が成立しているが、同じ餌に依存する近縁な魚種が、エビや小魚などの、それぞれの餌品目ごとに数種ずつ共存しており、明らかにこのテーゼに反する現象がごく普通に見られた。そこで私は新しい共存のメカニズムとして、「襲い分け」を提案した^{1,2)}。タンガニイカ湖の肉食性魚類（魚食者やエビ食者）たちは、確かに同じ小魚とかエビを餌としているが、その襲い方は種間でおおきく異なっている。例えばある魚食者は忍び寄りを得意とするが、別の魚食者は無害な藻類食者を装って接近するとかである。魚食者の襲い方が多様であればあるほど被食者はそのぶん警戒が難しくなるはずで、結果として魚食者達の摂食成功率が単独でいる場合よりも上がると考えたのである。

この襲い分けの効果と見なせる現象を、スケールイーター２種について見てみよう（図１）。スケールイーターとは、ほかの魚を襲って、その体表から何枚かの鱗をはぎ取り餌とする肉食者の一種で、鱗食魚とも呼ばれる。この食性はタンガニイカ湖で初めて発見されたが、その後、他の地溝帯の湖、南米の河川、海洋でも知られるようになった。我々が潜水調査を行う沿岸岩礁域には２種のスケールイーター（*Perissodus*

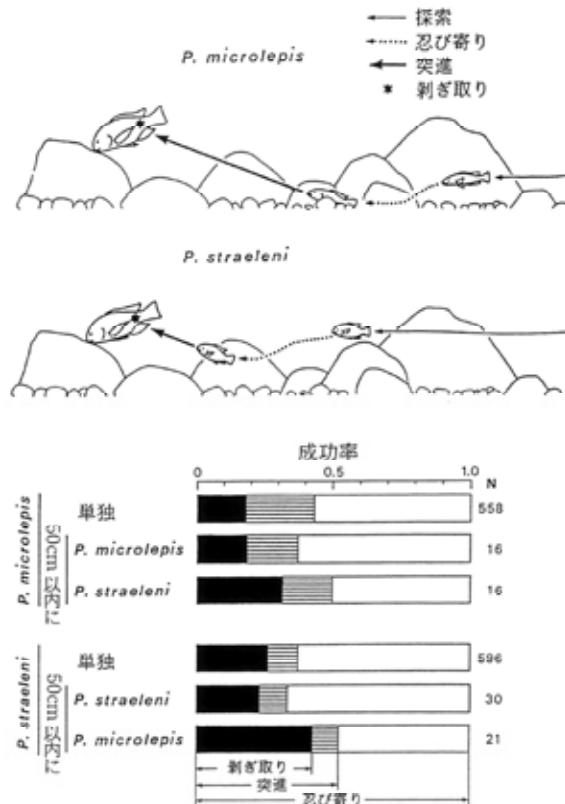


図 1 2 種のスケールイーター（鱗食魚）の摂食行動と状況ごとの摂食成功率

上図はミクロレピスとストラエレニーが岩上で摂食中の藻類食魚を襲撃する場合を模式的に示す。下図はこの 2 種について、観察個体の周囲 50cm に同種個体か異種個体がある場合と単独時の成功率と比較。N は観察回数を示す。出典：Hori, M: Mutualism and commensalism in the fish community of Lake Tanganyika. In: Kawano, S., Connell, J. H. and Hidaka, T. (eds.), Evolution and coadaptation in biotic communities, p. 219-239, Tokyo University Press (1987)

micorlepis と *P. straeleni*) が生息する。和名がないので、学名の一部をカタカナで表し、ミクロレピスとストラエレニーと呼ぶことにする。2 種とも主に藻類食者を襲っていて、襲う魚種はほとんど同じである。ところがその襲い方は 2 種の間で異なっている。どちらも中層を遊泳しながら獲物を探しているが、摂食中など隙のある魚を見つけると、ミクロレピスは底づたいに忍び寄り、比較的遠くから突進して獲物に体当たりする。ストラエレニーは何気ない素振りでゆっくりと近づき、近くから飛びつく。前者が「かっぱらい」なら、後者は「すり」である。どちらの種も、周囲に他のスケールイーターがいない場合の襲撃の（接近開始から鱗をはぎ取るまでの）成功率は約 1 割であるが、近く

に他種のスケールイーターがいる場合には成功率は約 2 倍となる。ところが近くに
いるのが同種のスケールイーターの場合、単独の場合と比較して成功率には有意差がない。す
なわち、狙われた魚の警戒が他種の方にも分散して疎かになったと考えられる結果であ
る。

こうして「襲い分け」の概念によって多種共存のひとつのメカニズムを考え出した訳で
あるが、それが実際に機能しているかどうか、特にある捕食者の増殖率が、別の捕食者の
存在によって上昇するのかなどの実証は、ほとんど不可能である。その理由は、別
の捕食者が「いる・いない」という状況を、他の条件を変えずに作り出したり見つけたり
することができないからである。私の研究がこのような状況で足踏みしていた頃、思わぬ
現象に出会い、その現象が「襲い分け」の概念を体現したものであり、多種共存の謎にさ
らに迫ることができる希望が見えてきた。その現象こそ、魚類の左右性という現象で、や
はりスケールイーターの生態研究の中から見えてきたのである。

1. スケールイーターの右利きと左利き

タンガニカ湖には 6 種のスケールイーターが知られており、我々が潜水できる深さ
に生息するのは、これまで上記のミクロレピスとストラエレニーだけで、他はもっと深い
場所に生息している。1976 年に、水深 100m という深場から新たにエキセントリク
スという名のとても奇妙な形の口をもつスケールイーターが発見された。14 匹の標本に
基づいて記載されたが、個体によって、口が明瞭に右方向か左方向かに曲がって開くので
ある。この魚の口の曲がり方は、できるだけ獲物に気づかれないように背後から接近し、か
つ獲物の体表にできるだけ広い面積で口を当てるための形態上の適応であると考えられ
る。14 匹のうち 7 匹は口が右に曲がり、残り 7 匹では左に曲がっていた。

この奇妙なスケールイーターの捕食行動はぜひとも調べたいところであるが、深場にい
る希な種なので簡単に観察できるわけではない。それでも、口の形態だけでも見ることが
できるならと考え、我々が集めた深場での刺し網からの古いサンプルの中を探してみた。
結局、目的の魚は見あたらなかったのであるが、スケールイーターと思われる魚種を片端
から口を開けて調べている過程で、思わぬことに気づいた。どのスケールイーターも、個
体ごとに口は右か左かにわずかに曲がって開くのである（図 2）。その後、エキセントリ
クスも手に入れることができ、7 種すべてについて、個体ごとの口の曲がりを確認し

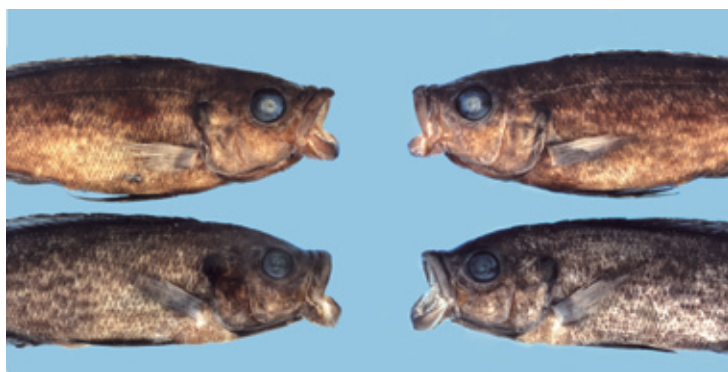


図2 スケールイーターのミクロレピスの左利き個体（上）と右利き個体（下）
それぞれ体の右側と左側を撮影。出典：文献3

た。口が正面をまっすぐに向いて開く個体は1匹もいなかった。

こうして、スケールイーターのどの種にも口の曲がる方向に右か左かの2つのタイプがあって、個体群中におよそ半々の比率で右のタイプと左のタイプがいることが分かった。タンガニイカ湖における摂食の特化と多様性を改めて実感した。この種内二型の現象を見つけて、次に私が解きたいと望んだ謎はその比率である。なぜおよそ半々なのか。なぜ、もっとばらついた比率にならないのだろうか。なぜ片方だけのタイプからなる種はいないのだろうか。もしかしたら、この現象は種内多型と多種共存の問題に迫ることのできる絶好の研究対象なのではないだろうか。

口がねじれているなら、右利き個体は被食者の左体側しか襲えないし、左利き個体は右体側しか襲えないことになる。つまり、襲い方に個体ごとの「利き」があって、口が右に曲がる個体は左顎が発達しているので「左利き」、反対に曲がる個体は「右利き」と呼ぶとすると、口が右に開く左利きは獲物の左体側を襲い、「右利き」は獲物の右体側だけを襲うと予想される。この予想は、スケールイーターの2種、ミクロレピスとストラエレーニーについて、罠（おとり）を使った野外実験から確かめることができた。また、その点は胃の中の鱗の左右性からも確認できた。鱗にも、我々の耳朵や手の平と同様に左右性があって、スケールイーターの胃から取り出した鱗が被食者の右体側についていたものか左体側についていたものかが判定できたのである³⁾。

次に、「利き」は遺伝形質であろうか、あるいは発生途中で個体ごとに偶然に決まるような後天的な形質であろうか。口の曲がり、下顎骨の左右差や目の向きなどで計測で

きる形質である。こうした骨格にまでおよぶ形質となれば、遺伝形質である可能性が高い。ミクロレピスは両親が子供を守って育てる習性を持っていて、幸いなことに我々の研究チームでその子育てについて研究していた同僚がその親子のサンプルをたくさん保存していた。このサンプルを使って、親子の利き手の関係を調べることができた。その結果、やはりこの左右性は遺伝形質で、それは単一の遺伝子座にある対立遺伝子に支配されており、左利き優性のメンデル遺伝をすると考えられた³⁾。

左右性が遺伝形質ならば、集団中の右利き個体と左利き個体の比率も何らかの規則性を示すと予想される。もし、スケールイーターから襲われる魚が、頻繁に襲われる体側の方をその分だけ熱心に警戒するなら、この比率は理屈上 1:1 になることが予想される。なぜなら、その状況ではその時点で多い方の利き手に対する警戒が強くなり、従って少数派の利き手の摂食成功率が高まり、ひいては少数派の利き手が子供を多く残すことになり、その利き手の個体数が増加すると考えられるからである。そして、左右性という鏡像をなす二型では、色彩二型のような暗色の個体は物陰、明色の個体は開けた場所での捕食を得意とするといった、物理的な環境に対する有利・不利は考えられない。左右性は生物同士の関係でしか意味をなさない形質なのである。従って、どこかに釣り合う点があるのなら、それは 1:1 であると予想できる。釣り合う点がなく、どちらかがいつも他方より有利なら 1:0 の比率、つまりどちらかの型しかないという状態も考えられるが、スケールイーターではその状況にはないので、考慮から外すことができる。

個体群中での左右性比率は 1:1 であろうとの予測を確かめるために、これまで我々の研究チームが採集し保存してあったミクロレピスの標本を調べ、スケールイーターとしてはこの種だけがほぼ単独で生息する場所（ルハンガ地区）での 10 年間の左右性の比率の変化を見た³⁾。その比率は 7:3 から 3:7 の間を変動していたが、平均は予想通りほぼ 1:1 であった（図 3）。

もしこのメカニズムが本当に働いているなら、これは、利き手という種内二型のそれぞれのタイプへの自然選択のかかわり方、すなわち、どちらのタイプの個体がより多く子供を残せるかが、その 2 つのタイプの相対的な頻度（比率）に依存して変化することを意味する。すなわち、この種内二型は頻度依存選択によって維持されているといえる。重要な点は、この被食者の警戒に起因する捕食者の有利さが頻度に依存して変化する場合、少数派が有利になることである。逆に、多数派が有利になる頻度依存選択の場合、少数派は

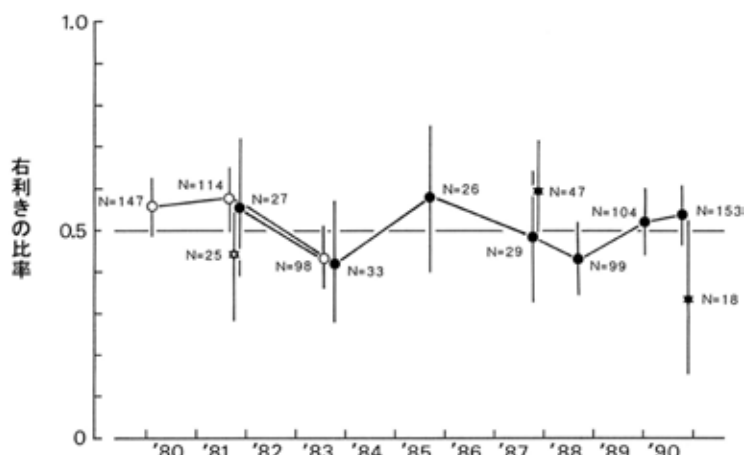


図3 スケールイーターのマイクロレピスの左右性比率の年変化

タンガニカ湖北端のルハンガ（白丸）と2キロメートル離れたベンバ（黒丸）の岩場で採集された10年間のサンプルに基づく。星印は子育てしていた個体のサンプルで、年変化の比率には含まれていない。これら繁殖個体の比率はその時の個体群の比率と大きく異なることに注意。縦棒は母比率の95%区間推定値。出典：文献3

集団中から遅かれ早かれ消滅することになる。

さて、右利きと左利きの比率は10年間を通してみるとほぼ1:1に維持されていたが、細かく見れば約5年の周期で振動していることが統計的な検討によって確認された。なぜこの比率は振動するのであろうか。その理由としては、少数派が多くの子供を残しても、その子供が鱗を食べるようになるまでに時間的なずれ（タイムラグ）があることが考えられる。すなわち、少数派ゆえの利益を得ても、それが繁殖率を高め、生まれた子供がスケールイーターとして多数派になるまでには1年近くかかるので、それまでは少数派としての利益が続くため、さらに個体数が増え続けると考えられる。生物がある利益を得ても、その効果が子供の代になって現れることはごく一般的なことなので、そのタイムラグが振動を生むことは理解しやすい。

この左右性という現象によって、種内二型が維持される機構が個体群レベルで解明されたといえる。それは被食者の警戒を介した頻度依存選択によって、少数派の捕食者が少数派ゆえに利益を得て、したがって多数派に転じていくというメカニズムである。これは、最初に考えた、襲い方の違う複数の捕食者の共存が促進されるメカニズムそのものであり、それが同一の個体群のなかで働いている場合とみなすことができる。

2. 魚類の左右性とその動態

ここまでの種内多型の話では、スケールイーターという捕食者に遺伝的な二型があって、被食者はその比率に応じて警戒を振り向けると考えてきた。しかし、被食者がどちらを主に警戒するかは、状況に応じて判断できるのではなく、個体ごとに遺伝的に決まっている、つまり、被食者の警戒や逃走の能力など、感覚能力と運動能力にも「利き」があったら、どうなるであろうか。

私はスケールイーターの利きを顎の開閉の向きで判断してきた。毎年、現地で左右性の比率を算出するためのサンプルや遺伝様式を見るために親子のサンプルを何百匹と見てきた。そのため、他の魚のサンプルを扱う場合もつい口を開けてみることもあり、それが結果的に次の発見につながった。最初に気づいたのはタンガニイカ湖のエビ食魚であった。胃内容分析用の解剖をすべく、この魚を手にとってつい口を開けてみた。口が右方向に曲がったので、ノートに左利きと記録しようとしていることに気づき、自分でも驚いた。これはエビ食者であってスケールイーターではない。にもかかわらずこの魚はスケールイーターと全く同様に左利きと判定できるほど、口は右に曲がっている。別の個体の口の開きを調べると、こちらは左利きである。それではと手持ちのエビ食魚を全部引っ張り出して調べたところ、右利きか左利きかのどちらかに分けることができた。さらに、他のエビ食者、魚食者、そして藻類食者と検討を広げた。その左右性の度合いを口の向きの角度で測定したところ、その頻度分布は二山形となり、まっすぐ前を向いている個体はいなかった(図4)。さらにペットショップに行き、他の湖、すなわちビクトリア湖とマラウィ湖、さらには南米のシクリッドを何種か買い求め、口の形を調べて確信した。全てのシクリッドが左右性を持っているのである。

話はこれに留まらなかった。タンガニイカ湖のシクリッド魚類以外の魚たちもその目で検討すると、口はどちらかにちゃんと曲がる。今度はスーパーマーケットに行き海の魚をいくつか買い求めた。その魚たちも右利きか左利きかに判定でき、まっすぐな口を持つ魚は一匹もいなかった。こうして、魚類群集の構造を解明する手段として調べ始めたスケールイーターの左右性は、魚類の左右性として、別の大きな研究テーマとなっていった。

最近の発見によれば、どの魚も、程度の差こそあれ、スケールイーターと同じく口はどちらかにねじれて開く。口のねじれと対応して、頭と体全体もわずかに同じ方向に反って

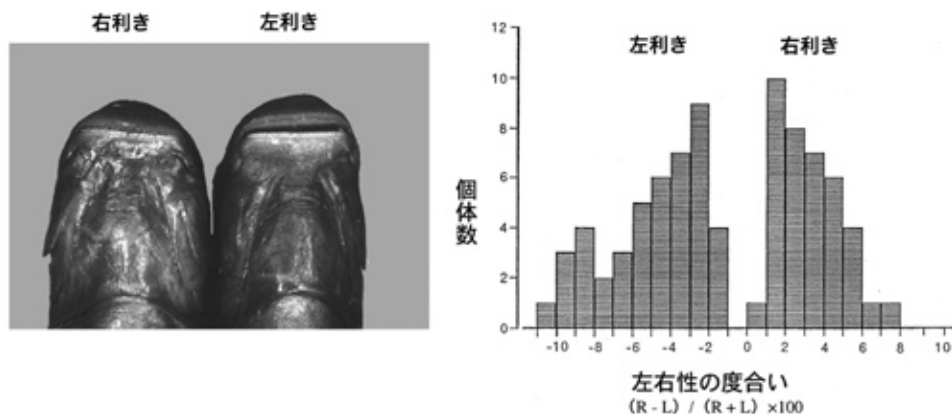


図4 タンガニカ湖の藻類食シクリッドの一種、*Tropheus moorii*の左右性(写真)と集団内での頻度分布
写真は頭部を腹面から撮影(堀:未発表)。

おり、目の位置も左右ですれている。そして、どの種でも、何個体かがまとまって採集されているサンプルでは、その「右利き個体」と「左利き個体」はほぼ 1:1 である。この形質は骨格にもおよぶ左右差なので、遺伝形質と考えられる。親子のサンプルが検討できる種(タンガニカ湖の藻類食者と日本のカワヨシノボリ)で調べたところでは、スケールイーターと同じ様式の遺伝形質であった⁴⁾。

遺伝的な二型であるなら、各魚種の左右性の比率は、やはりスケールイーターと同様に、周期的に変動していると予想される。そしてそれが捕食-被食関係によって変動するなら、各魚種の比率の変動は、群集全体のなかで何らかのパターンを示すことが予想される。この予想のもとに、タンガニカ湖の南部の岩場で、群集を構成する全魚種の左右性の比率を追跡した。この調査は 1994 年から始め、毎年一回の調査を現在も続けている。その結果を図 5 に示す。予想通り、各魚種の左右性の比率は、少数の例外を除き、0.3 から 0.7 の間を、増えては減り、減っては増えるという形で変動している。なぜこのような振動が生じるのであろうか。タンガニカ湖では、スケールイーターも含めて、全ての種が多く他種と相互作用しているので、50 種以上からなるこの群集で、特定の種の変動が別の種の変動とどう関係しているかを個別に検討することはほとんど不可能である。

もっと単純な構成の群集でなら、個々の種間相互作用と左右性の比率の変動との関連を解析できるかもしれない。そう考えて、タンガニカ湖の調査とは別に、日本の琵琶湖で

右性は種間の相互作用、特に捕食－被食関係と密接に関係しているようである。

3. 交差捕食と群集

この群集全体におよぶ左右性の動態を動かしている力はどのようなものであろうか。スケールイーターでは、左右性の比率を振動させる力は、被食者の頻度依存的な警戒を介して少数派が摂食に有利となるからだと考えた。すなわち、左利きは獲物の左体側を襲い、右利きは右体側を襲い、そのため被食者はその時点で多数派の利きから襲われる体側の方を多く警戒する、従って少数派の利きが多く鱗を取れるからだと考えた。

ではハスによるアユの補食において、左右性はどのように発揮されているのであろうか。これを調べるには、ハスの右利きと左利きが、アユの右利きと左利きをそれぞれどれだけ食べているかを知る必要がある。魚食魚はふつう被食魚を丸飲みするので、右利きか左利きを確認したハスを解剖して胃の中に入っている魚を取りだし、その利きを調べればよいのである。残念ながら、エリは、いったん入ると出られないよう工夫された定置網で、網を上げるまで魚は生け簀状の囲いの中に1日か2日間は放置されるので、エリで捕れるハスは殆ど空胃で、私が得意とする胃内容分析は使えなかった。

しかし、魚食魚の胃内容の資料は、タンガニイカ湖の調査で蓄積されている。捕食－被食関係において双方の利きが何か関係しているのなら、タンガニイカ湖の魚食者と被食者でも調べることができるはずである。そこでこれまで得られている魚食者の胃内容物から食べられた魚を選びだしてその利きを判定し、それを食べていた魚食者の利きと対応させてみた(図7)。結果は明瞭で、左利きの魚食者は右利きの魚を、右利きの魚食者は左利きの魚を圧倒的に多く食べていた。逆の利きの魚を食べることを「交差捕食」、同じ利きの魚を食べることを「並行捕食」と呼ぶことにすると、タンガニイカ湖の捕食－被食関係では交差捕食が卓越するといえる。その後の調査で、海産の魚食魚においてもこの関係は認められた。なぜこのような対応関係が生じるのであろうか。それを明らかにするには、水槽内で利きを確認した魚食魚と被食者の行動を観察し、捕食行動と捕食回避行動それぞれに利きがどう関係しているかを調べる必要がある。現在、かつての私の研究室の院生がこの研究に取り組んでいるので、近い将来、利きと行動の対応関係は解明されるであろう。すでに、人工池に離れたブラックバスをルワーで釣る実験では、ルワーの針は利き側の顎に多く掛かることが分かっており、さらにタンガニイカ湖の魚食魚で、獲物に狙いを



	捕食者		被食者	
		L	R	
	<i>L. elongatus</i> (N=28)	L	1	11
		R	13	3
	<i>L. profundicola</i> (N=24)	L	2	11
		R	9	2
	<i>L. kendallii</i> (N=17)	L	1	9
		R	6	1
	<i>L. fasciatus</i> (N=12)	L	1	6
		R	4	1
	<i>L. lemairii</i> (N=8)	L	1	7
		R	0	0

捕食者		被食者	
計 (N=89)		L	R
	L	6	44
	R	32	7

図 7 タンガニイカ湖産魚食者 5 種に見られる交差捕食の卓越

魚食者 5 種の胃内容分析によって、捕食者と被食者の利きの対応関係をまとめた。各数値は、右利きおよび左利きの魚食者が食べていた小魚の右利きと左利きの個体数を示す。交差捕食（網掛けの欄）が並行捕食（それ以外の欄）よりも平均 3.3 倍多い（堀：未発表）。

つける時にどちらかの体側を岩に沿わせる魚食魚では、その利き側の体側の方を多く岩に沿わせることも分かっている。これらを考え合わせると、少なくとも捕食者では、捕食行動においてどちらかの体側を主に使うという、我々ヒトの利きと同じ左右での機能的偏り、つまり体側に得意な側と不得手な側があると考えられる。被食者の捕食回避において利きがどのように発揮されているかは今後の研究を待たねばならない。

もし捕食－被食関係において、交差捕食が卓越することが一般的であるなら、ハスとアユの左右性比率がなぜ上述のように振動するかは理解できる。ある時点で、仮に右利きのハスが左利きよりも多かったとしよう。その場合、左利きのアユが右利きよりも多く食べられるので、アユでも右利きが多くなる。そして、利きは遺伝形質なので次世代でも右利きが多くなるだろう。そうすると左利きのハスの摂食率が増すことになり、今度はハスで左利きの比率が増大することになる。すなわち、捕食と捕食回避に左右性に関わる状況下では、捕食者と被食者の双方で少数派の利きが有利となるが、その有利さゆえに少数派は多数派となってゆく。これが繰り返されるのでハスとアユの左右性比率は振動しながら、双方で個体群中に右利きと左利きが存在し続けるのである。そして、交差捕食が卓越する場合には、被食者では捕食者と同じ利きの個体が相対的に安全となるので、その子供が増える。その結果として、被食者の振動が捕食者の振動の後を追うように変化し続けると考

えられる。数理モデルによる検討によると、振動の周期は捕食者と被食者の前繁殖期間（生まれてから繁殖するまでの期間）の和の2倍になると予想される。アユは年魚（前繁殖期間は1年）で、ハスの前繁殖期間は2-3年と考えられるので、予想される周期は6-8年であるが、観察された周期はほぼ6年で、この予想と合致している。

こうして、全ての魚に左右性があり、どの魚も捕食-被食関係によって結ばれているのなら、タンガニカ湖における群集全体での左右性の動態も、個々の2者間の関係は抽出できないとしても、ある比率の範囲の中に収まりながら絶えず変動していることも理解できそうである。数理モデルでの検討によると、被食者と捕食者、さらにそれらの両方を食べる捕食者の3種の系について、それぞれが左右性を持ち、さらに交差捕食が卓越する場合、左右性が多種の共存を促進すること、また、交差捕食が卓越しなければ比率の振動は生じないことが明らかにされている。

魚類の左右性の研究はまだ始まったばかりである。現時点で分かったことは、この現象の大枠、すなわち、全ての種に遺伝的な形態的・行動的二型があり、それは捕食や捕食回避に発揮される個体ごとの「利き」であり、さらにそれは交差捕食を介して捕食者と被食者双方の個体群の左右性比率を振動させており、その振動が双方の個体群、さらには群集構造を安定化させている可能性があるということである。しかし、その安定化の作用は群集の安定性にどの程度寄与しているか、さらにはこの現象がどこまで一般化できるかについては、今後の進展を待たねばならない。

文 献

- 1) 堀道雄（編）：タンガニカ湖の魚たちー多様性の謎を探る、平凡社（1993）
- 2) Kawanabe, H. et al. (eds): Fish Communities in Lake Tanganyika, Kyoto University Press, Kyoto (1997)
- 3) Hori, M.: Science **260**, 216-219 (1993)
- 4) Hori, M. et al.: Zoological Science **24**, 489-492 (2007)



統合医療： 一人ひとりに合った医療を目指して（Ⅲ）

今西二郎*

Ⅲ. アロマセラピー

1. アロマセラピーの歴史

私たちの日常生活において、さまざまな臭いや香りが満ちています。家、仕事場、学校、公共機関、交通機関、各種店舗などには、それぞれ独特の臭いや香りがあります。また、海、山、温泉地などの自然環境にも特有の香りがあります。さらに香りを利用した製品も多くあります。それらの代表的なものとして、化粧品（香水、コロン、クリーム、ローションなど）、芳香剤、入浴剤、石鹸、シャンプー、洗剤、線香、キャンドル、食品（飲料、お菓子、ラーメンなどあらゆるもの）、サプリメント、ハーブ、スパイスなど実にさまざまなものがあります。これらの香りには、それなりの効用があります。すなわち、消臭効果、食欲増進効果、リラクゼーション誘導効果、体の機能調整作用などです。これらの効用を利用した療法がアロマセラピーといえます。

アロマセラピーの歴史は古く、芳香性のあるエッセンシャルオイル（精油）を、さまざまな用途に使用していたという記録は、約 5,000 年前のエジプトですでにみられます¹⁾。そこでは、ミイラの保存や化粧品、香水、媚薬（惚れ薬）などに用いられていたのです。また、新約聖書においては、180 以上のエッセンシャルオイルの使用について引用されています²⁾。そして、そこでは精神的、霊的、あるいは肉体的な癒しのために用いられていたと思われます。このように、古くはエジプトをはじめ、イラク、メソポタミアなど、世界各地でエッセンシャルオイルが用いられたことが記録されています。この記録のうちのいくつかは、アロマセラピーが行われていたことを物語っています。たとえば、イラクでは、芳香植物が各種の病気の治療に使われていた形跡が窺えます。これらの古代で行われていたアロマセラピーは、その後、ギリシア医学に導入されました。さらにアラビアにも入り、アラブ伝統医学のユナニにも受け継がれたのです。したがって、今でもユナニの実践されている中近東諸国や西アジア諸国では、アロマセラピーが盛んに行われています。

*明治国際医療大学教授（統合医療学）、京都府立医科大学名誉教授（免疫・微生物学）



やがて、これらのアロマセラピーの原型ともいえるべきものが、ヨーロッパに導入されていきました。そして、ヨーロッパでもエッセンシャルオイルの持つ抗微生物作用や鎮静作用などを利用して、感染症やその他多くの疾患の治療に用いられていました。近年になって、フランスのガットフォセ（Gattefosse）が、積極的にエッセンシャルオイルを用いて、痛みや創傷の治療に用いようとしたことから、本格的なアロマセラピーの研究が始まったのです。アロマセラピー（aromatherapy）、フランス語ではアロマテラピー（aromathérapie）という言葉も、ガットフォセによって作られました。

2. アロマセラピーとは

アロマセラピーとは、エッセンシャルオイル（精油：essential oil）を用いて、その香りを楽しんだり、リラクセーションを得たり、さらに病気の治療や症状の緩和などを図る補完・代替医療の一つです。

アロマセラピーは、大きく2つの領域に分けることができます。すなわち、エステティック・アロマセラピーとメディカル・アロマセラピーです²⁾。エステティック・アロマセラピーは美容を目的としたものであり、エステティック・サロンなどで行われているものを指します。メディカル・アロマセラピーは、病気の治療や症状の緩和を目的としています。しかし、これには、もっと広い守備範囲があり、看護領域で用いるアロマセラピー、介護で用いるアロマセラピーなどもここに含まれます。

3. エッセンシャルオイル

エッセンシャルオイルとは、さまざまな芳香植物の全草、花、草、根や種子などから抽出された100%天然の比較的沸点の低い低分子量の非水溶性の混合物で、精油ともいいます。エッセンシャルオイルには、多くの成分が含まれています。アロマセラピーを行うのにこれらの成分の効果を知っておくと、ある程度、そのエッセンシャルオイルの効果も推定することができます。参考までに、エッセンシャルオイルの成分とその効果について記しておきます（表1）。

エッセンシャルオイルには、抗菌作用、抗ウイルス作用、抗真菌作用、防虫作用、鎮咳作用、祛痰作用、抗炎症作用、抗アレルギー作用、性ホルモン様作用、ステロイドホルモン様作用、降圧作用、血行促進作用、抗うつ作用、抗不安作用、鎮静作用、抗痙攣作用、



表 1 エッセンシャルオイルの成分の種類

	成分の種類	分子種	芳香植物	薬理作用
テルペン類	モノテルペン			抗菌作用、抗ウイルス作用、利尿作用、免疫活性化
		カンフェン		
		カリオフィレン	イランイラン、ラベンダー、スイート・マージョラム、ローズマリー	鎮静作用、鎮痛作用、抗菌作用
		フェランドレン		
		ビネン		
		ミルセン	レモングラス	鎮痛効果
		リモネン	ディル、柑橘系	抗腫瘍作用
	セスキテルペン			抗炎症作用、抗菌作用、抗ウイルス作用、抗アレルギー作用、体温低下
官能基を有する炭化水素化合物類		カマズレン	カモミール・ジャーマン、フランキンセンス、レモン、パチュリー	抗炎症作用、抗アレルギー作用
		ファルネセン	ジンジャー	
		ビサボレン	ブラックペッパー	
	アルコール類			抗菌作用、抗ウイルス作用、精神高揚作用
		ゲラニオール	パルマローザ	
		リナロール	真正ラベンダー、ネロリ、タイム	
		シトロネロール	レモンガム	
		メントール	ペパーミント	抗菌作用
		ネロール	ベルガモット、ネロリ、プチグレン	
		ファルネゾール	カモミール・ジャーマン、ローズ、パルマローザ、イランイラン	
		テルピネオール	ベルガモット、ネロリ、ゼラニウム、スイートマージョラム	抗菌作用
		テルピネン-4-オール	ティートリー	抗菌作用
	フェノール類			抗菌作用、免疫活性化、神経系活性化
		チモール	タイム	抗寄生虫作用
		オイゲノール	クローブ、シナモン	抗炎症作用、止痢作用
		カルバクローール	オレガノ、ウィンターセーボリー	
		アネトール	スターアニス	
	アルデヒド類			精神安定、鎮静作用、抗炎症作用、抗真菌作用
		シトラール	レモンバーム、レモングラス、ゼラニウム	抗菌作用
		シトロネラール	レモングラス、シトロネラ、レモンユーカリ、メリッサ	抗真菌作用
		ゲラニアル	レモンガム	
		ネラール	パーペナ	
	エステル類			抗痙攣作用、鎮静作用、抗真菌作用
		リナリルアセテート	クラリセージ、ベルガモット、ラベンダー	
		ゲナリルアセテート	スイート・マージョラム	
		アングリックスエステル	カモミール・ローマン	
		チグリックスエステル	カモミール・ローマン	
	ケトン類			瘢痕形成促進、粘液溶解作用
		ジャスモン	ジャスミン	
		フェンション	フェネル	
		メントン	ゼラニウム、ペパーミント	
		β -ダマセロン	ローズ	
	酸化物類			粘液排出、免疫活性化
		カンファー	ローズマリー	
		シネオール	ユーカリ、ブルーガム、ローズマリー、ペイローレル	精神高揚作用
		アスカリドール	アメリカアリタソウ	
	ラクトン類			精神高揚作用、粘液溶解作用
		アラントラクトン、フタリド	エレキャペーン	
	クマリン類			
		フラノクマリン・ベルガプテン	ベルガモット、レモン、フェネル	
		ケリン	ケーラ	血管拡張作用、気管拡張作用
		ビスナギン	ケーラ	血管拡張作用



表 2 メディカル・アロマセラピーの適用する疾患や症状

- ① 風邪やインフルエンザ、気管支喘息などの呼吸器疾患
- ② 花粉症などのアレルギー疾患
- ③ アトピー性皮膚炎、その他接触性皮膚炎などの皮膚疾患
- ④ 妊娠中や出産時での使用、月経困難症、月経前緊張症、更年期障害
- ⑤ さまざまな心身症
- ⑥ 不眠症、パニック障害、うつ状態などの精神疾患
- ⑦ 高血圧、糖尿病、肥満症などのさまざまな生活習慣病に伴う各種症状
- ⑧ 肩こり、腰痛、関節痛、筋肉痛などの疼痛を伴う疾患
- ⑨ 時差ぼけなどのリズム障害
- ⑩ 便秘などを含む胃腸障害

鎮痛作用、利尿作用、浮腫改善作用など多くの作用があります。これらをうまく利用することにより、疾患の治療や症状の軽減を図ることができます。ここに、メディカル・アロマセラピーの対象とする疾患や症状を表 2 にまとめておきますが、実に多くの疾患や症状にメディカル・アロマセラピーが、用いられていることがわかるかと思います。

4. アロマセラピーの行い方

アロマセラピーは、さまざまな方法で行います。すなわち、芳香浴、全身浴や部分浴、塗布、清拭、温シップ、冷シップ、マッサージなどです。これらの方法のうち 1 つあるいは複数を組み合わせることによって、アロマセラピーの治療効果を引き出すことができます。以下に、それぞれの方法について簡単に説明していきます。

1) 芳香浴：芳香浴は、香りをかぐことによって、アロマセラピーの効果を得る方法です。芳香浴の特徴は、香りによって、リラクセーション効果がもたらされることです。また、エッセンシャルオイルが直接鼻粘膜から体内に吸入されることにより、全身にエッセンシャルオイルが到達し、その薬理効果を期待することもできます。

芳香浴は、さまざまな方法によって行うことができます。最も簡単なのは、ティッシュペーパーやコットンなどに直接エッセンシャルオイルの滴をたらし、香りをかぐ方法です。コップにお湯を入れ、エッセンシャルオイルの滴を垂らす方法もあります。この方が、よりエッセンシャルオイルが揮発しやすく、香りが強くなり、芳香浴の効果が高まり



ます。同じような方法で、洗面器にお湯を張ってエッセンシャルオイルをたらす方法もあります。この場合、もっと濃厚に芳香浴を行うために、バスタオルをかぶるなどしてより吸入されやすくします。

素焼きでできたテラコッタなどを用いる方法もあります。すなわち、テラコッタにエッセンシャルオイルをたらししておき、部屋の中に置いておきます。狭い部屋だと、これで十分部屋中にエッセンシャルオイルの香りを立ち込めることができます。さらに、より効率を高めるために、アロマポットを用いることもあります。アロマポットは、電球の熱によりエッセンシャルオイルの揮発を促し、より芳香性を高めるための器具です。

ディフューザー（芳香拡散器）を用いる方法もあります。これは、エッセンシャルオイルを噴霧状にし、部屋中に香りを満たすものです。比較的広い部屋や大きなホールなどに使うこともできます。家庭用のディフューザーから、業務用のディフューザーまで各種揃っています。ルームスプレー（エアフレッシュナー）を用いる方法もあります。これは、無水エタノールにエッセンシャルオイルをたらし、さらに精製水を加えて作成するもので、この混合液を噴霧容器（アドマイザー）に入れてスプレーすることによって、急激に芳香を漂わせることができます。

このように、さまざまな芳香浴の方法がありますが、それぞれの目的にあわせ、選択するのが良いでしょう。芳香浴の変法として、吸入器によって、直接吸入するという方法がとられることもあります。しかし、エッセンシャルオイルそのものの刺激作用などがありますので、直接吸入する場合は、エッセンシャルオイルの選択が重要となります。

芳香浴は、一人だけを対象にした場合は、好みのエッセンシャルオイルを用いるなど、特に問題となることはないでしょう。しかし、複数人がいる場所で芳香浴をする場合は、すべての人の好みや目的に合わせる必要があり、それだけ難しくなります。このことも考慮し、芳香浴で部屋全体に香りを満たす場合は、注意点として、ごく軽い芳香浴を行うのがよいと思います。

また、部屋の中に香りのムラができるので、ある場所では香りが弱くても、ある場所では非常に強く、不快感の出ることもあります。このようなことを避けるためのコツとして、入り口付近にのみディフューザーを置いて、香りをたたせるのもひとつの方法です。入り口だけに置いてあっても、部屋全体が香っているような錯覚にとらわれるのです。そして、中に入ってしまうと、実際はほとんど香りがしないので、香りによる不快感



などを起こすことはありません。

2) 入浴剤として：エッセンシャルオイルを入れたお湯に、全身あるいは半身浸かったり、臀部、手や足などの局所を浸ける方法をアロマバスといいます。アロマバスで注意しなければならないのは、エッセンシャルオイルの原液が直接皮膚に接触することを避けることです。特に、柑橘系エッセンシャルオイルは刺激が強く、注意を要します。このためには、無水エタノール法やバスソルト、バスオイルを用います。

無水エタノール法は、無水エタノール 5ml にエッセンシャルオイル数滴を混ぜ、よく混和した後、さらに精製水を加えます。これを、さらに浴槽に入れるという方法です。

バスソルトは市販されていますが、自分で簡単に作ることもできます。すなわち、塩 1 カップ、重曹 1/2 カップを混ぜ、さらにそこに目的に応じたエッセンシャルオイル数 10 滴加えてよく混ぜ合わせます。これを、適宜入浴剤として用いればよいのです。

無水エタノール法やバスソルトでは、エッセンシャルオイルによっては、完全にお湯と溶け合わない場合があります。この場合は、市販のバスオイル（またはバスエマルジョン）を用います。バスオイル 5～10ml に数滴のエッセンシャルオイルを加えるだけで、すぐに使えます。また、どんなエッセンシャルオイルに対しても、完全に溶解することができる特長があります。

全身浴や半身浴では、どちらかといえばぬるめのお湯（約 38℃）に 30～40 分ぐらしかけてゆっくりつかるのが効果的です。これに対して、手浴や足浴は、やや温かめのお湯（約 40℃）で 5～10 分つけるのが良いとされています。

全身浴は、肩までつかり、鎮静効果を得たい場合などに用います。この場合、たとえばプチグレンやラベンダーなどのブレンドオイルを用います。また、リフレッシュしたい場合は、やや温かめにし、レモングラスやローズウッドなどのブレンドを用いればよいのです。

半身浴は、全身浴でのぼせやすいような体質の人に適しています。低血圧や冷え症の症状改善に用いると良いのです。半身浴をする場合は、胸の下までお湯を張って 30～40 分ぐらしかけてつかります。その場合、冬などでは肩が冷えるので、タオルをかけておき、お湯を時々かけて保温します。

座浴は、バスタブに 10cm ぐらいのお湯を張り、5～10 分、下半身だけを浸る方法です。便秘や月経不順、膀胱炎、痔などの症状改善に役立ちます。エッセンシャルオイル



としては、ラベンダーやカモミールなどを用います。

手浴は、両手を 15 分ぐらいお湯につけます。肩こり、首の痛み、冷え、しもやけ、緊張緩和などに用います。肩こりには、バジルやプチグレンなどを用いるとよいと思います。

足浴は、専用の足浴器を用いる場合と、深めのバケツにお湯を張って足をつける方法があります。10 から 15 分つけておきます。足のむくみや疲労回復に有効です。疲労回復には、ラベンダーやローズマリーなどを用います。むくみには、サイプレスやレモングラス、ヨーロッパアカマツなどを用います。

3) 塗布：1 あるいは数種類のエッセンシャルオイルをキャリアオイルで希釈して用いる方法です。また、精製ワセリンや軟膏などの基剤に混ぜても良いと思います。エッセンシャルオイルの濃度は、1～2%が普通であり、最大でも 5%以下で用いるようにして下さい。塗布は、皮膚のさまざまな炎症、乾燥症や掻痒症などに用います。また、デコルテ（前胸部）に塗布し、喘息などの呼吸器疾患の治療に用いることもできます。

4) 温シップ、冷シップ：温シップの場合は、精油を入れた熱湯でタオルを濡らし、患部をシップする方法です。筋肉痛や月経痛、歯痛などに用いることができます。反対に、氷水にエッセンシャルオイルをたらし、タオルを濡らしてあてがう冷シップもあります。捻挫や打撲、腫脹、炎症などの起っている場所にタオルを当てると効果があります。

5) アロマセラピーマッサージ：エッセンシャルオイルを用いたマッサージ（アロマセラピーマッサージ）は、マッサージ効果に加えて、さらにエッセンシャルオイルの薬理効果が期待でき、強いリラクセーション効果が得られます。さらに、血液循環の促進や、神経系や内分泌系への刺激が高まることも期待されます。

一般に、マッサージを行ってはいけないのは、手術直後や急性疾患のある時、伝染性の疾患のある時、全身状態の悪化している時、アルコール摂取をした場合、エッセンシャルオイルに対するアレルギーのある場合、指圧、鍼治療などの物理療法を受けた当日などです。また、妊婦やがん患者に対しては、エッセンシャルオイルを選ぶ必要があります。

5. アロマセラピーの具体例

アロマセラピーを行う場合、単味のエッセンシャルオイルを用いるよりも、いくつかのエッセンシャルオイルをブレンドして用いる方が、香りもよく、また効果も高いとされて



います。ここでは、ブレンドの代表例を載せておきますので、ご参考下さい（表 3）。なお、エッセンシャルを塗布する場合は、原液で用いず、1～2%に希釈することに注意して下さい。

文 献

- 1) Buckle J. (今西二郎、渡邊聡子 訳)：クリニカル・アロマセラピーーよりよい看護をめざして、フレグランスジャーナル（2000）
- 2) 今西二郎：メディカル・アロマセラピー第 2 版、金芳堂（2010）

表 3 疾患・症状別エッセンシャルオイルの処方例

疾患・症状	エッセンシャルオイルのブレンド法
頭痛	ペパーミント 2 滴・真正ラベンダー 2 滴
花粉症	ティートリー 1 滴・カモミール・ローマン 1 滴・ユーカリ・ラジアタ 1 滴
	ユーカリ・ラジアタ 2 滴
風邪	ユーカリ・ラジアタ 2 滴、ティートリー 2 滴
インフルエンザ	ティートリー 2～5 滴
	ティートリー 3 滴・ユーカリ・ラジアタ 2 滴
肺炎・気管支炎	ユーカリ・ラジアタ 2 滴、ティートリー 2 滴、タイム 2 滴
喉の痛み	ティートリー 2～5 滴
	ティートリー 3 滴、ゼラニウム 1 滴、ユーカリ・ラジアタ 2 滴
咳	サイプレス 2 滴、プチグレン 2 滴、バジル 3 滴
痰	ユーカリ・グロブルス 2 滴、ユーカリ・ラジアタ 2 滴、サイプレス 1 滴、ティートリー 2 滴
喘息	スパイク・ラベンダー 2 滴、サイプレス 1 滴、ジュニパー 2 滴、ユーカリ・ラジアタ 1 滴
首の痛み	スパイク・ラベンダー 2 滴、バジル 2 滴、ペパーミント 1 滴、真正ラベンダー 1 滴
肩こり	ペパーミント 1 滴、バジル 2 滴、スパイク・ラベンダー 1 滴



高血圧	真正ラベンダー 2 滴、ゼラニウム 1 滴、イランイラン 1 滴、マジョラム 1 滴
低血圧	ローズマリー・カンファー 2 滴、ペパーミント 1 滴
吐き気	ペパーミント 2 滴、真正ラベンダー 1 滴
食欲不振	ペパーミント 1～2 滴、レモン 1～2 滴、オレンジ・スイート 1～2 滴
胃痛・胃炎	ペパーミント 2 滴、バジル 1 滴、レモン 1 滴
二日酔い	レモン 1 滴、ローズマリー・カンファー 1 滴、ペパーミント 1 滴
便秘	バジル 2 滴、ペパーミント 1 滴 マジョラム 3 滴、ローズ 1 滴
腰痛	レモン・ユーカリ 5 滴、レモン 5 滴、タラゴン 5 滴、サイプレス 5 滴 カモミール・ローマン 2 滴、ペパーミント 2 滴
肋間神経痛	レモン・ユーカリ 2 滴、マジョラム 2 滴、ペパーミント 3 滴、カモミール・ローマン 1 滴
坐骨神経痛	ローズマリー・カンファー 3 滴、レモン・ユーカリ 3 滴、バジル 2 滴、サイプレス 2 滴
月経痛	ラベンダー 2 滴、クラリセージ 1 滴、フチグレン 1 滴
月経前緊張症	クラリセージ 3 滴、ゼラニウム 3 滴（情緒不安定時） ジュニパー 4 滴、グレープフルーツ 2 滴（むくみがある時） ジュニパー 2 滴、サイプレス 1 滴、レモン 1 滴（むくみがある時） ゼラニウム 2 滴、真正ラベンダー 2 滴（リラクセーション）
妊娠線予防	真正ラベンダー 4 滴、ネロリ 4 滴
更年期障害	クラリセージ 3 滴、サイプレス 3 滴、バジル 3 滴
更年期障害 （のぼせ・ほてり）	ゼラニウム 2 滴・真正ラベンダー 1 滴
捻挫	ペパーミント 1 滴、ローズマリー・カンファー 2 滴、スパイク・ラベンダー 2 滴 ヘリクリサム 4 滴、ペパーミント 4 滴、シトロネラ 4 滴
こむらがえり	ローズマリー・カンファー 2 滴、ペパーミント 1 滴、真正ラベンダー 2 滴
全身のむくみ	サイプレス 2 滴、ジュニパー 2 滴、ローズマリー・カンファー 1 滴
身体のだるさ	レモン 1 滴、ローズマリー・カンファー 2 滴、ペパーミント 1 滴、ユーカリ・ラジアタ 2 滴
冷え性	サイプレス 2 滴、クラリセージ 2 滴、レモン 2 滴 レモン 5 滴
水虫	ゼラニウム 2 滴、ティートリー 2 滴、ラバンサラ 1 滴
ヘルペス（帯状疱疹）	ティートリー 2 滴、ラバンサラ 2 滴、ペパーミント 1 滴
床ずれ	ティートリー 2 滴



不眠	・ シダーウッド 1 滴、真正ラベンダー 2 滴あるいは柑橘系オイル 3 滴 ・ ローマン・カモミール 1 滴、真正ラベンダー 2 滴あるいは柑橘系オイル 3 滴 ・ シダーウッド 2 滴、ローマン・カモミール 1 滴
うつ	オレンジ・スイート 2 滴かグレープフルーツ 2 滴、バジル 1 滴
	バジル 1 滴、ゼラニウム 2 滴かスイートオレンジ 3 滴
	ゼラニウム 3 滴 ゼラニウム 2 滴、イランイラン 1 滴
	ローズ 1 滴
不安・緊張	シダーウッド 2 滴、サンダルウッド 1 滴
	真正ラベンダー 3 滴、サンダルウッド 1 滴
パニック発作	オレンジ・スイート 2～3 滴
自律神経失調症	レモングラス 2 滴、プチグレン 1 滴、サンダルウッド 1 滴
マタニティブルー	ジャスミン、イランイラン、クラリセージ
	クラリセージ 1 滴、真正ラベンダー 2 滴、イランイラン 1 滴



Random Scope

抗がん剤のシクロホスファミドは腸管免疫の活性を高める

抗がん剤のシクロホスファミドをマウスに投与すると、小腸細菌群の構成を変え、特別のグラム陽性菌をその末梢リンパ組織に転移させる。そこでは、細菌の刺激により、ヘルパー T 細胞が増殖して免疫系を活性化し、薬剤の抗がん作用を補強する。無菌の担がんマウスや抗生物質を与えたものでは、ヘルパー T 細胞が減少し、シクロホスファミドに耐性を示した。そこでヘルパー T 細胞を導入すると、その抗がん剤の効果が部分的に回復した。(Yan)

Viaud, S. et al.: The intestinal microbiota modulates the anticancer immune effects of cyclophosphamide. *Science* **342**, 971-976 (2013)

補聴器を使いこなす

本庄 巖*

高齢になると程度の差こそあれ誰も耳が遠くなる。最近の調査では難聴が認知度に関係することも分かって来ている。たしかに聴こえが悪いとまわりの人達の会話の輪に入りにくくなり老人の孤立化にもつながる。ヘレンケラー女史は「盲目は人と物とを遮るが、聾は人と人との間を遮る」と言っており、聞こえが悪くなると私たちがいかに言葉によって人とつながっているかを実感させられる。その意味でも難聴に気づいた場合、なるべく早期に補聴器を使用することをお勧めしたい。しかし補聴器に対する誤解も一部にはあるようで、まずは私の補聴器装用の経験を述べて、補聴器一般について解説をしてみたい。

1. 私の場合

私が難聴に気づいたきっかけは学会で演者の言葉が分かりにくいことであった。初めはホールの音響効果が悪いせいと思っていたが、度重なるうちに自分の聴力に問題があることに気づいた。幸い家人の診療所で補聴器外来をやっているので聴力検査を受けたところ、やはり難聴があり具体的には平均 40 デシベルの中等度難聴であることが分かった。さっそく耳掛け式の補聴器を私の聴力図に沿って調整してもらい、1 週間ほど試聴することにした。これで幾分聞こえは楽になったがやはり物足りない。そこでもう一段音量を増幅する調整をして貰ったところよく聞こえるようになり、この状態の補聴器を現在使っている。

補聴器を使用する場面は学会や講演会、会議や会合など、内容がよく聞き取れなかったり間違った聞き取りを避けたい時で、私の同僚は国際学会での外国語の聞き取りが悪くなったので補聴器を希望して受診している。私は家庭内では原則として補聴器を使わないが、テレビを見る時に使用すると余りボリュームをあげないで視聴できる。今後も私の難聴は少しずつ進んでゆくと思われるので、補聴器に頼る場面はより多くなると思っている。

*京都大学名誉教授（耳鼻咽喉科学）

る。

2. いつから補聴器を使うか

聴力は若い世代が最もよくて年をとるごとに悪くなってゆく。ちなみに聴力検査の正常ラインは20歳男子の聴力の平均値がとられている。年齢が進むと高い音から聞こえが悪くなり、会話に必要な中間部の周波数の聴力は比較的保たれるのである年齢まではあまり難聴を自覚しないが、それを越えて難聴が進むと先ず子音の聞き取りが悪くなって、日常会話やテレビドラマの会話が聞き取りにくくなる。お年寄りの難聴の特徴は良くいわれるように音は分かるけれど言葉が分かりにくいというものである。

従ってテレビのボリュームを上げないと言葉が分かりにくい、他人の言葉をよく聞き返す、会話の輪で人が笑っているのに自分は笑えない、などに気づいたら、耳鼻科で聞こえの検査を受けることをお勧めしたい。その結果は聴力図になって現れるが0デシベルのラインが正常の聞こえであり、これよりデシベルが増すほど聞こえが悪いことになる。30デシベルまでは軽い難聴で補聴器の必要はないが、40デシベル以上の中等度の難聴では補聴器が役に立つ。さらにこれ以上の80や90デシベルの高度の難聴になると、補聴器がないと会話ができなくなり補聴器を手放せなくなる。しかしそれ以上の重度の難聴になると補聴器も役に立たず、その場合は後で述べる人工内耳の埋め込み手術という方法がある。

3. 補聴器に対する誤解

補聴器は音の大きさを増幅するだけで、例えば言葉だけを分かりやすく伝えるといった機能はない。一番多い誤解は補聴器を着けた日から言葉がよく分かるようになるという期待によるもので、実際は補聴器を介して入ってくる音に慣れて行かなければならない。近視や老眼などの眼鏡は装用した時からよく見えるので、それとはやや趣が異なる。また言葉の情報だけでなく周囲の雑音も増幅するのでそれも心得ておかねばならない。補聴器を使いこなすにはある程度の慣れと、聞きたいという意欲や社会人としての必要性そして何よりも頭脳の働きが重要なので、年齢的に余り遅くならないうちに補聴器を付け始めることをお勧めしたい。

これと関連して値段の高い外国の補聴器には特別な機能があるように思われているが、

残念ながら高価なドイツ製の補聴器でも国産の普通の補聴器と性能はほとんど変わらない。また両耳に着けるやり方は例えば私のような中等度の難聴の場合は必要ないが、高度の難聴では両耳装用がどの方向からの会話にも対応でき大勢の中での聞き取りには有利である。しかし片耳に着けた場合に比べて、その2倍よく聞こえることはない。

なお補聴器を着けると言葉の理解は出来るが音楽を楽しめないケースが稀にある。これは音の高低（周波数）を感知する耳の機能に障害があるためで、具体的には内耳の感覚細胞が少なくなったためと思われる。しかしそのような内耳の状態でも言葉は周波数に関してはかなりアバウトなので理解できる。後で述べる人工内耳を着けた人でも音楽を楽しめないという訴えがあるが、これは人工内耳の電極数が少なく音の高低（周波数）の情報が十分に脳に伝えられないことによる。

4. どこで補聴器を購入するか

街の補聴器店や眼鏡店で補聴器を購入することもできるが、できれば補聴器相談医の資格を持つ耳鼻咽喉科で私の場合のように聴力検査を受け、そのデータに基づいて音の増幅の程度を調整した補聴器をしばらくの間試聴し、役に立つと納得をしたならば購入することをお勧めしたい。店頭で勧められるままに試聴期間なしに購入すると、その補聴器は使用されずに筆筒にしまいこまれがちになる。

補聴器の購入に保険適応はないが難聴の程度が進み両耳で重度の難聴になると、身体障害者の認定を受けることができ、補聴器購入の際に5万円の補助が得られる。使いやすいタイプの補聴器は耳掛け式のものであるが、家庭内だけで使用するのであれば箱型の補聴器の方が操作しやすく電池も長持ちする。耳に入れる挿耳式のは目立たないが細かい操作がお年寄りでは難しく、価格も割高で電池を度々取り換えなければならないなどの短所がある。

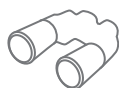
5. 補聴器が使えない場合

難聴が高度で補聴器が役に立たない場合、近年実用化しかつ保険が適応されている人工内耳という方法がある。これは手術で内耳に微細な電極を挿入し音の情報を電気信号に変えて脳に伝える方法で、8割前後の言葉は聞き取れるようになる。しかし聴力を獲得したいというはっきりした意志がなければ後のリハビリなどがうまくゆかない。なんとかして

も聴力を得たいという強い意志をお持ちの 80 歳を過ぎた方で、この手術で聞えを再獲得された後はバリバリと社長業を再開した方もおられる。

おわりに

人は誰しも年をとると聞こえが悪くなる。よくいわれる「耳の遠い人は長生きをする」というのは逆で、「長生きをすると耳が遠くなる」方が正しい。これに対処するのは今のところ補聴器しかないが、言葉の聞きとりでは必ずしも満足できる機器でなく、期待はずれの結果になることもある。しかしうまく使いこなせば会話によるコミュニケーションが円滑にでき、まわりからの孤立化が防げ、ひいては脳の活性化にもつながる。従って難聴を自覚したら、頭脳のしっかりした早い時期から補聴器の装用を始めることをお勧めしたい。なお、本稿は補聴器相談医・本庄嘉子医師の意見を参考にしたことを付記し謝意を表する。



Random Scope

結婚生活には無意識の内面的な気持ちが強く影響する

米国テネシー州東部の 135 組の新婚夫婦の結婚生活の満足度について、2006～2007 年頃から 4 年間に亘り、6 ヶ月ごとに、意識的、無意識的な調査を行った。意識的満足度は 15 項目のアンケートの回答により、無意識的満足度は夫婦の映像化された会話記録の解析に基づいた。両調査結果の間に相関は無かったが、無意識の好意が結婚生活を支えていることが明らかとなった。
(Yan)

McNulty, J.K. et al.: Though they may be unaware, newlyweds implicitly know whether their marriage will be satisfying. *Science* **342**, 1119-1120 (2013)

放射線がんリスクの線量率依存性を 如何に勘案するか

巽 紘一^{*}、田ノ岡宏⁺

はじめに

現在の放射線防護の基準は広島長崎の原爆放射線の超高線量率データを参考として構築されているが、原爆放射線のがんリスクを、福島原発事故周辺地域のような環境レベルの放射線がんリスクの推定および放射線防護の基礎データとしてそのまま用いてよいかどうかには科学的知見からみて大きな問題がある。それは広範囲にわたる線量率の違いが無視されていることである。現在、原爆データに線量率効果の補正係数として、国際放射線防護委員会（ICRP）の提案した2程度の値を当てはめてがんリスクが評価され、それをもとに放射線防護体系が組み立てられ、線量規制値が定められているが、これはどうしてもリスクの過剰評価につながる。本当は低線量・低線量率放射線の害はもっと少ないのではないか。リスクの過剰評価は過剰の規制、社会的不安を生じ、そのことから実質的な害を生じている。さらにこれをもとにして論じられる文明論はわが国の将来を誤った方向へ導く懸念を含んでいる。このような現状の中で放射線影響研究者は、この線量率問題について厳密な分析を行い正しい答を出す社会的任務を持っている。以上のような状況を踏まえて、（公財）体質研究会後援のもとに、2013年10月18～20日、青森市ホテルクラウンパレス青森で、日本放射線影響学会第56回大会が開催された際、その第1日目にこのシンポジウムが企画された。以下に司会者としての見解を示すと共に、各講演者の要旨を記す。

放射線線量率問題

司会者から放射線線量率問題の重要性が指摘された。ひとが遭遇する放射線環境の中で、原爆と自然環境レベルの放射線の線量率を比べた時に、線量率の差は10の15～

^{*}（公財）体質研究会主任研究員（放射線生物学）

⁺（公財）放射線影響協会理事、元国立がんセンター放射線研究部長（放射線生物学）

16 乗倍にも達する。100 ミリシーベルトの放射線で 0.5% ががんリスクの増加があるという言われるが、これは原爆の場合のことであって環境放射線に当てはめられることはできない。ICRP は原爆放射線の超高線量率を高低 2 群に分け、その各々に対する発がんの線量効果直線の勾配の比から線量率効果係数 (Dose and Dose-Rate Effectiveness Factor, DDREF) を算出してこれを 2 とした (ICRP Publication 60)。この値が現在でも原爆データをもとにして低線量・低線量率放射線のがんリスクを推定するために用いられている。しかし、その適用範囲は原爆レベルの非常に高い線量率の範囲に限られるもので、それよりはるかに低い線量率の医用放射線、宇宙空間における放射線、内部被ばく放射線、さらに環境レベルの放射線リスク推定に適用できるものでない。この問題の解決のためには、今まで小刻みに求められた線量率効果係数を積み重ねて原爆から環境レベルへもって行って、広域線量率の差に適用できる線量率効果係数を求めるか、もう一つは実際にひとが住んでいる自然環境の中で自然放射線レベルが高くなっている地域の疫学データを直接適用する方法が考えられる。一方、実験動物ではこのシンポジウムで紹介される環境研で進行中の実験のように、自然放射線レベルの線量率を 10 倍、100 倍と高くして得られる発がんデータからどの程度まで動物が耐えられるかを調べる方法で、このデータをもとにしてさらに高い中間線量率域、さらに原爆レベルの超高線量率へと延長することが考えられる。いずれにせよ、全領域にわたる線量率効果を把握することにより、ひとが遭遇する放射線環境のがんリスクの全貌を明らかにしていくことが求められる。

線量率依存の基礎：修復と回復

(公財) 体質研究会の内海博司氏は、ICRP は安全を最優先にして放射線利用に関する勧告を出してきたこと、ICRP の勧告した DDREF は科学だけでは解決できない政治経済を含むトランスサイエンス (超領域科学) を含んだものであるため、学会では政治、経済などを抜きにして、低線量、低線量率問題を科学の問題として問い直すことが求められていることをまず述べ、科学の見地からみて DDREF について 2 という値は小さすぎるのではないかと述べた。内海らの取り組んできた実験培養細胞系からみると、線量率依存性は線量を一度に照射するのに比べて、線量を分割することによって (分割する間の時間が空くことによって)、放射線影響を軽減する現象 (Elkind 回復) が観察されている。その

後、解明されてきた DNA 修復の分子機構、とくに電離放射線による DNA 二重鎖切断 (DSB、double strand breaks) の修復である相同組換え修復と非相同末端再結合修復の修復効率は異なるが、どちらも Elkind 回復現象は知られている。更に、今まで誤りが生じ易いとされてきた非相同末端再結合修復が、実は誤りの少ないものであることがわかってきたので、この修復効率はさらに高いものと考えられる。1 Gy の放射線照射で細胞当たり 30 個の DSBs が生成する一方、細胞あたり 1 日当たり 10 個 (=333mGy に相当) の DSBs が自然に生成すると報告されている。そこで、その 1 割となる 1 個程度の DSB は自然修復能として許容されるものとする、これに相当する放射線量は 1 日あたり 33mGy という計算になる。すなわち 33mGy/d (2.3×10^{-5} Gy/min) は、安全線量率とみてよいのではないかと考えられる。

マウスにおける低線量率放射線長期照射の影響

環境科学技術研究所の小野哲也氏は、同研究所で実施しているマウス長期低線量率照射実験の意義と、現在までに得られた結果を紹介した。福島原発事故のあと放出された放射能は環境レベルの数倍から数十倍程度の低線量率放射線を周囲の環境に与え、その健康影響とくにがんリスクについて大きな問題を生じているが、この影響の正確な評価のためには線量率を正確に設定した動物実験が必要とされる。環境研の実験は世界で唯一といってよい本格的に設計された実験でその成果が待たれるところである。調査したのは、寿命、発癌率、染色体異常、遺伝子変異、mRNA と蛋白質の発現レベルの変化などである。いずれの指標でも 20mGy/d、400 日間照射で影響が顕著に現れることがわかった。それに対し、1mGy/d の連続照射では発がん率と遺伝子変異の増加は観察されなかった。さらに低い 0.05mGy/d で 400 日間照射したマウスではほとんど影響はみられず、3 種類の mRNA のレベルにわずかな変化がみられただけであった。これらの結果から、宇宙ステーションレベルでの被ばく相当の線量率、線量では何らかの生体影響の存在が推測されるが、原発作業従事者の線量限度レベルでの影響は存在しないか、あるいは存在してもその量は極めて少ないと思われる。また、染色体異常誘発についての線量率効果をマウス脾臓細胞の相互転座頻度でみると、890mGy/min から 0.3mGy/min に下げたとき明らかな低下が見られたが、さらに線量率を下げても変化は見られなかった。本実験で最高線量率 20mGy/d (1.5×10^{-5} Gy/min) で得られた発がん率を、同種のマ

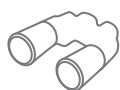
ウスについての文献（放医研、佐々木ら）から得たさらに高い線量率 1Gy/min の結果と比較すると発がん効率に 2～3 倍の差がみられた。原爆データから直線モデルで推定した 100mSv あたり 0.5%がん増加という値からみると、長期照射の発がん効率が非常に小さい値になって、原爆データからの推定値から大きくずれていることが、総合討論で指摘された。これはヒトとマウスの感受性の差ということもあるが、線量率効果が今まで考えられていたよりはずっと大きいことを示唆する。

チェルノブイリ原発事故における一般公衆の精神的な健康影響と我が国への政策的示唆

政策科学研究所におられた伊東慶四郎氏は、福島原発事故の健康影響について、精神的な健康影響の面から論じた。ICRP は、2008 年の Pub.111 において長期の被ばく状況下における新たな放射線防護の考え方を打ち出したが、緊急事態終焉後の長期の放射性セシウムによる汚染や健康影響の実態とかけ離れた 1mSv がその目標値として明記されたため、福島原発事故後の我が国においても、深刻な社会経済影響を引き起すに至っている。近年、欧米のみならず我が国でも、規制が重大な社会経済影響を及ぼすとの認識の高まりを背景としてその妥当性の検証と改善を図るため、規制の影響分析（Regulatory Impact Analysis）が重要視され、制度的に義務付けられ始めてきた。福島原発事故を引き起した我が国には、それ故、低線量率のセシウム放射線被ばくによるがんリスクの多角的な解明や放射線以外の要因によるがんリスクとの分りやすい比較分析、および規制が及ぼす深刻な心理的・社会経済的な影響と損害の多角的な調査・分析を行うことにより、現状の放射線防護対策の見直しと改善を図り、避難地域住民の生活再建と産業の復興に役立てていくことが求められてきている。チェルノブイリの教訓として、最大の健康影響は精神的な不安からきたものであるという WHO 報告を受けとめ、福島においても精神影響の面に最大の注意を払うべきである。この中には規制の行き過ぎによる過度の強制移住によるものもあり、これも精神面からさらに肉体面での健康影響の原因となっている、すなわち規制行為の実施そのこと自体が健康リスクの原因となっていることを認識せねばならない。現在リスク推定は、がん増加の有無など目に見える身体的影響に注目が集まっているが、このような目に見えない精神的影響を定量的に把握し、その原因を分析し、これを突きとめるのは重要な課題である。チェルノブイリの最大の教訓を我が国はまだ生かしていないという指摘であった。

低線量・低線量率のリスク推定のための理論とデータ

大分看護大学の甲斐倫明氏は、リスクを定量的に把握するための方法についてまず述べ、低線量および低線量率放射線のリスクの推定における問題点を紹介した。今回のシンポジウムでとりあげられたように、環境レベルの低線量率放射線のがんリスクを推定するためには、そのための理論、モデルについて検討が必要であるが、疫学データが先行して生物学データとの間のギャップがまだ埋められていないという現状が述べられた。一方、これまで ICRP、UNSCEAR、BEIR が行ってきた努力が紹介されたが、これらの機関においては依然として、放射線がんリスク推定のためには直線しきい値なし LNT モデルがもっとも妥当なモデルとして採用されており、線量・線量率効果係数 DDREF も 2 またはそれ以下に評価されている現状が紹介された。



Random Scope

がん遺伝子が染色体外で増幅する悪性脳腫瘍では抗がん剤の断続的使用が有効である

悪性脳腫瘍（神経膠芽細胞腫）のがん遺伝子を単一細胞で解析したところ、がん遺伝子は染色体外 DNA として増幅しており、抗がん剤投与によって除去されるが、染色体上に残存するがん遺伝子が耐性を発揮することが示された。そこで抗がん剤投与を中止すると再び染色体外のがん遺伝子が増幅した。このことは、抗がん剤の副作用を緩和する観点からも、薬剤の連続投与よりも、より高濃度の薬剤の断続的投与の方が、がんの増殖を抑制するのに有効であることを示唆している。

(Yan)

Nathanson, D.A. et al.: Targeted therapy resistance mediated by dynamic regulation of extrachromosomal mutant EGFR DNA. *Science* **343**, 72-76 (2014)

問題提起：社会環境の変容と子どもの教育

上田 学*

子どもたちが元気よく、また活発に活動していくことが望ましいと考えるのは極めて自然であり、これを否定する人々はおそらく皆無であろう。子どもたちの成長を促し、学べる空間として全国的に学校が用意され、一定のプログラムに基づいて学習環境が整えられていることは周知のとおりである。人々は子どもたちがそこで楽しく学校生活を送り、意欲的に活動しているであろうと想像し、将来に向けて着実に成長していくことを期待している。このような受け止め方には、大人の側の過去のよき思い出と重ね合わせ、学校はかくあるべし、子どもはこうあるべき、という観念が前提としてあると考えられる。もちろんこのような思考に問題がある訳ではなく、むしろごく自然な考え方であるといえよう。

しかしこの前提が崩れるとき、大人は当然のことながら愕然とし、あるいは大きなショックを受けるのである。2003 年（平成 15 年）に公表された OECD（経済協力開発機構）による国際教育調査の結果はまさにその象徴であった。通称 PISA と呼ばれる生徒の学習到達度調査（Programme for International Student Assessment）は 41 か国の 15 歳の生徒を対象にして実施されたが、その結果、日本は 2000 年に実施された当時に比べて 8 位から 14 位まで順位を下げたことが明らかになり、これが大きく報じられた。これを受けて早速、何が下落の原因かの詮索が始まったのである。やり玉に挙げられたのは「ゆとり教育」であった。

「ゆとり教育」は学習内容の過密化を是正し、これを精選して、いわゆる「詰め込み」を解消することを目的として、1977 年（昭和 52 年）から実施された教育課程の改革がその起点であった。またこれ以後も学習内容の厳選や学校五日制の導入などが政策の主軸となっていく。このような動向の中で子どもたちの学力保障は十分なのか、学力が落ちてきているのではないかという懸念が醸成されていった。「大学生の学力不足」が指摘され、他方では子どもたちの学力は憂慮するほど落ちてないないという反論が出てくるな

*千里金蘭大学教授（教育学）

ど、20 世紀の終わりから 21 世紀のはじめにかけて「学力論争」は活発に展開されてきた。

このような状況のなかで先の PISA による学力調査の結果が報じられたため、大きな反響を呼ぶとともに、教育の質をいかに確保していくのかが教育界の大きな論点になってきたのである。これを受けて文科省は 2007 年（平成 19 年）から「全国学力・学習状況調査」を実施し、その実態把握を試みることになり、子どもたちの学力問題は人々の一大関心事となっていった。子どもたちの学力の現状はこの国の将来に多大な影響を与えるとともに、国際化時代を念頭におけば他国との競争において不利になるだけでなく、国際社会の発展から取り残されるのではないか、という不安感や懸念などこれに関わる論議は今日でも衰えを知らない。これについては、人々が教育の現状とその成果に過敏に反応していると考えるべきではない。むしろ日本の教育に高い水準を期待していることの表れと考えるほうが適切であろう。

しかし教育の水準への関心の高さは、これを阻むものへの批判と懐疑心を増幅させていく。そのターゲットは学校とくに個々の教員の指導力に向けられていった。これまで日本の学校は教育を継続的に供給する唯一の場所であった。そのため人々は学校の提供する教育は絶対的なものとして受け入れ、先生の言うことに耳を傾けるのは当然とされてきた。しかし近年は、各地に「学習塾」が開設され、学校と競業するサービスを提供するようになってきた。保護者や子どもは学校での授業と塾での指導を容易く比較することができるようになってきたのである。また高校、大学への進学率が上昇していくにしたがい、保護者の学歴も高度化し、大学を卒業している教員がそれだけで優越性を維持できなくなるという現象も視野に入れる必要がある。さらには学校の教員のいわゆる「不祥事」が報じられると学校への不信はこれまで以上に肥大していくのである。

このような見方が根本的に誤っているとはいえないが、そこに一つの前提が潜んでいることを確認しておく必要がある。それは子どもたちには昔と変わらない「向学心」があり、学習にたいする意欲が普遍的に備わっているという前提である。はたして本当にそうだろうか。

「少子化」が話題にされるようになって久しい。いわゆる「特殊出生率」（15～49 歳までの女性の年齢別出生率を合計したもの）は 2012 年（平成 24 年）の場合 1.41 であり、また小学校に通う児童数も過去最多であった 1958 年（昭和 33 年）の 1,349

万人に対し、昨年度で 667 万人、また中学校においても最大値を示した 1962 年（昭和 37 年）の 732 万人に対し 353 万人（昨年度）と半分近くまで減少してきている。「一人っ子」が家庭の一般的なパターンになってきているのである。

このような「少子化」は当然のことながら子どもの教育をめぐる数々の問題を引き起こしている。子ども一人に寄せられる親からの関心と期待は明らかに大きくなってきている。親にとって子どもがかけがえのない存在であり、親の愛情が子どもに注がれることはごく自然である。一般的に言って、子どもに寄せられる期待や願望が子どもの成長にとって有効に作用すると考えられるが、それらが過度になった場合、子どもにどのような影響が及ぶであろうか。過干渉ほどではないにしても、口うるさく子どもの行動に関与し、規制を加えていくと、子どもの注意力は散漫となり、親に判断をゆだねるいわゆる依存症的な傾向があらわれ、自分でものを考えず、また進んで行動しない「指示待ち」タイプが形成されてくる。親の現況や行動の特性が分かる年齢になると、このような干渉や指示を疎ましく感じ、これに反発あるいは無視するなどの拒否的態度も形成されるであろう。これにたいして親は子どもの自立を促すことの必要性は感じつつも、親離れや反発などの傾向をすんなりと受け入れられず、ますます子どもの離反が促進されるか、あるいはまた自立を抑制して「親のいいなり」になる子どもをよしとする方向にいつてしまうこともありえよう。甘やかされた子ども、十分にしつけられていない子どもの事例など、「家庭の教育力」は明らかに低下してきているといえよう。

これとは別に、親が子どもの学業の成就を最優先課題とする場合、対人関係や言葉遣い、礼儀、さらには生活にまつわる基礎知識などの伝達などの重要性が棚上げにされ、あるいは家事への協力や手伝いなどを体験する機会が少なくなってくるであろう。他方「核家族化」の進行とともに親以外の家族からこのような知識や行動の習得機会が得られる場面が想定しづらい状況であれば、「家庭の教育力」の向上をすぐさま期待することはむづかしいといわざるを得ない。

「少子化」現象は家庭のなかの人間関係に微妙な影響を与えるだけではすまない。かつて日本がすべてを失って再起をはかろうとした 1950 年台や 60 年台には、経済復興と成長が目覚ましく、大人だけでなく子どもも自ら成功を望み、またそれを実現するための努力を惜しまなかった。これを裏支えるかのように、人々の間にも特権や優越性はそれほど顕著ではなかったため、努力をすればそれなりの結果が見通せ、成果を手に入れること

ができる時代であった。したがって結果を求めるには、努力をすることが必要であるという認識は共通に広がっていたといえる。そのため学校での勉強も不可欠の要素としてこれを受け入れ、切磋琢磨するのが当然と考えられていた。

これに対して現在はどうであろうか。「少子化」は過度の競争を必要としない社会的風潮を形成し、高望みさえしなければそれなりの結果がついてくることを今の子どもたちは知っている。つまりそんなに頑張らなくても生活できる社会環境が出来上がっており、高い望みを設定してうまくこれがクリアされれば問題はないが、それに挑戦して失敗したときに発生するリスクを負うかもしれないため、これを回避しそんなに努力しなくても得られる中間的な目標の達成で満足し、あるいはもっと低い目標でもよいとする「非挑戦的行動」を是認する風潮が広がっている。まさに「豊かな社会」であるがゆえの恩恵を甘受することができるのである。

逆に野心的な願望をもったとしても、成熟したこの現代にあっては「コネ」や「家庭の経済力」さらには「親の七光り」などという得体のしれない怪物がはびこり、いかんともしがたいハードルが随所にあることがわかれば、普通の家庭の子どもはチャレンジすることの無力さを自然と体感せざるを得ないであろう。すなわち子どもたちの目には、すでにこの社会は不平等であることが薄ぼんやりと分かってきているのであろう。見果てぬ夢を追うのはばかっている、それよりも今を楽しく、という心の動きからは「頑張ること」を導くのは至難の業となる。むしろ「頑張ること」は「ダサい」ことであり、努力をすることは無駄という考え方が子どもから青年までの世代に広がってきている。他方では、子どもから若者にいたるまで、「面倒くさい」「邪魔くさい」などの言動や気だるい風潮があることも無視できない。

学校においても、時間の経過とともに段階を追って淡々と学習活動が展開される仕組みが用意されている。子どもが何らかの原因でこれについていけなくなると、ドロップアウトへの道に足を踏み外すことにもりかねない。それが子どもの意欲の欠如によるものか、興味を失った結果なのか、あるいは学習内容が定着しなかったためなのか、他にも多様な原因が考えられるが、中には「何のために学習するのか」「これを覚えて何になるの」などという疑問を契機に意欲を低減させることもある。また一旦軌道から外れると学習プログラムや学習環境に容易に戻ることができないことも、子どもたちの「あきらめ」に手をかしているといえよう。

同時に一部の例外的な行動をとる子どもの心の動きや態度などが、親しい人間関係を通じてその輪を広げ、最初はごく局所的な現象にすぎないものが、これに同化されていく範囲を広げていく傾向もみられる。あるいは「ツイッター」や「ライン」を通じて情報の交換が行われ、またテレビその他のメディアによって一つの流行や通例となって世相を形成していくと考えられる。

子どもたちが次第に学校では学習に関心を示さなくなってくると、ものごとに対する「集中心」は失われ、また「あきらめ」は虚ろな心を作り上げていくであろう。しかし子どもたちのエネルギーが霧消していくのではなく、むしろ学習や向上心とは異なる分野で発散されるのである。とはいえ他者と意思疎通をはかりながら、学校での学習とは次元を異にする情報の授受や人間関係を作り上げる機敏さや配慮に欠け、表現力や感情をコントロールする力量に乏しい子どもにとって、発散的・創造的な方面に能力が発揮されることは少ない。困難を克服することは「しんどい」ためこれを回避し、安易な方向を選択するのはよく見られる行動である。むしろ心の空疎さを癒し、その場しのぎの短絡的な行動をもって良しとする傾向に走る子どもが登場しても不思議ではない。その一例として「いじめ」があげられる。自分より弱い者をターゲットにして攻撃を加えることにより、自らの優位さを確認でき、また快楽さを享受できるため、そこにうたかたの活路を見出そうとするのである。「いじめ」の背景には子どもの追い詰められた心があるといえよう。「いじめ」は「児童生徒が、一定の人間関係のある者から、心理的、物理的な攻撃を受けたことにより、精神的な苦痛を感じているもの」と定義されているが、現在にいたるまで学校の内外で多発し、なかでも自殺にまで追い込まれる子どもがいることを考えると、決して容認されるような行動ではなく、また軽率かつ結果を見通せない短絡的な、自己中心的な行為によって他者を貶めるようなことが許されるべきでないのは当然であろう。

陰惨な「いじめ」が後をたたないもう一つの背景として「地域の教育力」の低下が指摘できるであろう。「地域の教育力」もまたよく使用される言葉ではあるが、これはいったい何を意味するのであろうか。地域社会が子どもたちに一定の教育力を持っているとすれば、子どもが家庭外の大人たちの目を気にして、迷惑をかけないだけでなく、大人の期待する規範を順守し、また周りの大人から笑われないように自らを方向づけるという教育的な雰囲気を感じているのであり、格別のプログラムが用意されているわけではない。その意味で大人になるための準備期間として、大人の行動様式や世間の価値基準を知り、これ

を参照枠あるいは社会の規範として自らの行動の指針を形成していくのである。「家庭の教育力」とともに「地域の教育力」が低下してきたことがよく指摘されるが、これは世間の大人たちが子どもの接点が希薄になり、子どもに一定の方向性やモデル像を付与することが少なくなっていることを示すとともに、大人の側には子どもへの無関心や介入を回避する傾向が強くなってきたことを意味しているのであろう。同時に子どもの側でも、大人が存在や行動を認知せず、そこから何かを得ようとする姿勢が欠落しているともいえよう。「大人との接点が少ない」「大人を敬遠する」などがその具体的な行動パターンであると考えられるが、他方では大人も子どもの側から毛嫌いや無視されるような振る舞いをしていないか、謙虚に自省しなければならないであろう。

このように見てくると、子どもたちはつねに「向学心」をもち、何事にも前向きな姿勢を保って、勉学意欲を発動させているとは言い難い風景が見えてくるであろう。子どもたちを取り巻く社会環境や親や大人たちの行動様式やその傾向、さらにはメディアや情報環境から得られる多様な「考え方」や「アイディア」などが徐々に子どもたちに影響を与え、彼らの学習意欲や学校生活を左右しているといっても過言ではない。その意味で現代社会の世相と教育の成果は密接に連動しているといえることができるのであり、これら社会の諸動向との関連で教育が論じられ、その方向性が検討されなければならないであろう。

それならば、どのようなことが今後考えられなければならないのであろうか。教育の在りようを検討していくためには、当然のこととはいえ、教育がうまく、効果をあげるための工夫が開発される必要があるが、教育という領域内での工夫だけで十分であるとは決していえないことは上記の論考からお分かりいただけるだろうと思う。むしろ子どもたちの周辺に広がる社会環境や文化的風土にも一定の働きかけが必要となるであろうし、そのためには社会構造や経済格差の是正が早急に求められるであろう。

子どもたちに多彩な影響をあたえている社会環境の改革と連動しながら、教育界にあって子どもたちが興味をもち、潜在的にもっていると思われる意欲を刺激して知的な向上をはかっていくことも教育の質を高めていくうえで重要となってくると思われる。そのための指導上の工夫たとえば子どもたちの体験活動の幅をひろげ、それに基づく学習を展開していくこと、あるいは「ゆとり教育」を真に意味あるものにし、その本来の意図と生涯教育とをどのように関連づけていくのか、さらには子どもたちの個性や特性を尊重してより効果ある学習を進めていくための工夫など考えていかなければならない課題は多い。こ

れらに加えて教育の質やこれを担う教員の能力の向上をどのように図っていくべきかなども検討課題となるであろう。

本欄では次号以降、現代の学校において解決を迫られている諸課題を、順次とりあげながら検討を加え、新たな知見の提供を試みていきたいと考えている。

「サロン談義 12」コメント 1 「ゆとり教育」再考

岩槻知也*

「ゆとり世代」という言葉をご存じだろうか。「悠々自適のゆとりある生活をおくる世代」のことかと思いきや、この言葉は、全く違う意味で使われているようだ。先日、筆者が担当する大学 1 年生のゼミで、「私たちは『ゆとり教育』を受けた『ゆとり世代』と呼ばれて、いろいろと問題視されているが、ゆとり教育とは、そんなにダメな教育だったのか？」という疑問が出てきた。彼女たちは、何も好き好んで「ゆとり教育」を受けたわけではない。いわば大人たちに無理やり受けさせられ、その大人たちから「これだから、ゆとり世代は……」などと揶揄されているのである。学生たちからすれば、誠に迷惑な話であろう。ただ興味深かったのは、彼女らの議論の中で、自分たちの受けてきた「ゆとり教育」が、世間で言われているほどには「ダメ」なものでもなく、むしろ印象に残る面白い授業も多かったと、その思い出を楽しそうに語る者が結構いたことだ。果たして「ゆとり教育」は、間違っていたのだろうか？

この「ゆとり教育」の考え方は、すでに 1977 年改訂の学習指導要領の中に登場している。当時は、子どもたちの多忙化や受験競争の熾烈化による「詰め込み教育」の弊害が大きく取り上げられていた時期であり、子どもたちの「ゆとりある充実した学校生活の実現」のために、各教科の指導内容が精選されることとなった。さらにその後もこの考え方は踏襲され、1998 年の改訂では、ついに各教科の内容や授業時数の大幅な削減が行われるとともに、従来の教科の枠を超えた「総合的な学習の時間」が新たに導入される。「学力低下」が声高に叫ばれ、その批判の槍玉に挙げられてきた「ゆとり教育」課程は、

*京都女子大学教授（社会教育学・生涯学習論）

ここに具現化されたのである。ちなみにこの「総合的な学習の時間」のねらいについて、98年改訂の小学校学習指導要領には、次のようなことが記されている……「①自ら課題を見付け、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、よりよく問題を解決する資質や能力を育てること。②学び方やものの考え方を身に付け、問題の解決や探究活動に主体的、創造的に取り組む態度を育て、自己の生き方を考えることができるようにすること」。それにしても、この「ねらい」の、一体どこが間違っているというのだろうか……。

筆者がこれまで研究を進めてきた「生涯学習」の理念に照らせば、上記「ねらい」に示されたような能力を学校時代に身につけておくことは極めて重要である。すなわち、現代のように変化の激しい社会では、知識自体も絶えず生成変化していくため、学校時代に身につけた知識だけでは必ずや不十分となる。したがって学校卒業後も、新たに生成変化する知識を継続的に学び活用していく必要が生じてくるのだが、その際に不可欠なのが、上記「ねらい」が掲げる諸能力なのである。「総合的な学習の時間」における体験的な探究活動を通して、学ぶことの楽しさを経験し、知的好奇心や学びへの意欲を育むこと、また「学び方」を実際の活動の中で学ぶことが、生涯にわたる学びの重要な基盤となるのである。

以上のように考えると、筆者の見る限り、「ゆとり教育」の理念や「総合的な学習の時間」のねらいに大きな誤りはないように思われる。というよりもむしろ、人間の一生という長いスパンで考えれば、至極まっとうな理念でありねらいだと言える。この「ゆとり教育」課程が導入されて15年近くが経過した今、上記のような理念やねらいが実際にどの程度達成されたのかについて、実態に即した丁寧な評価を実施していく必要があるだろう。その際、評価の材料として重要なのは、現在大きくクローズアップされている「学力テスト」の結果だけでなく、その当事者である子どもや教師、保護者等の「生の声」である。なぜなら学力テストの結果からは、子どもたち自身の「学ぶ楽しさ」の経験や学びへの意欲、「学び方」の習得状況などは、決して見えてこないからである。このような評価の作業には莫大な時間と労力、そして資金が必要となるだろうが、実現することができれば、今後の学校教育の方向性を考える上で、極めて重要な素材を提供してくれるはずである。



Books

津守 眞 著

保育の現在－学びの友と語る－

(株) 萌文書林 ¥2,200+税 2013年5月11日発行 ISBN 978-4-89347-187-1

本書の著者は、お茶の水女子大学児童学科にて、約30年間に亘って保育学に関する講義をして学生を指導された後、定年を前にした1983年に教授職を辞されて、愛育養護学校の校長に転任されて現在に至る。米寿を迎えられる今日までの更に約30年間、障害者保育の現場に身を投じられて、保育の観察者から転じて実践者の道を歩んでこられた。その実践を踏まえた思索は、毎年1回お茶の水女子大学での教え子たちの保育研究グループ「はるにれ」で話されてきた。本書は、その記録に基づいて、教え子たちによって編集された特色のある講演集であるが、本書の題名に恥じない現代的话题を含んでいる。定年期を境に、第1の人生での保育研究の成果を、第2の人生での養護の実践の場で保育の臨床として問い、高齢者としての著者が、直接幼児や知的障害者と触れ合って得られる日々新たな発見が本書に盛り込まれている。

例えば、物を放り投げたり、髪の毛を引っ張ったりして、他者に危害を与えるような行為があった場合には、従来は当事者の子どもを鍵のかかる部屋に一時隔離したが、著者はあくまでも1対1の対応の中で、その行為の意味を探り、当事者の心に触れる行動の中で解決しようとしている。また敢えて危険な高所を選んで歩く子どもの中にも、誰かに支えを求める心を発見している。著者は、幼児教育の場でも、養護教育の場でも、一貫して、言葉と話さない子供の持つ言葉を行為面から理解しようとしている。

また著者は OMEP（世界幼児教育・保育機構）日本委員会の会長を務められたことがあり、「未来を託す子どもの保育の場に平和を生み出す文化がある」として、保育の概念の画期的な転換を求めておられる。

山岸秀夫（編集委員）

アズビヨン・ヴォール 著（渡辺雅男 訳）

福祉国家の興亡

こぶし書房 ¥3,800+税 2013年9月30日発行 ISBN 978-4-87559-279-2

北欧3国は自由主義経済圏の中でも、富の公的再分配によって経済的・社会的不平等の是正に成功した福祉国家の優等生とされ、これまで本誌でもしばしば取り上げられてきただけに、本書の題名の「興亡」は大変意外に思われた。原著の題名は、“The rise and

fall of the welfare state”で、2011年の出版である。著者は経済学者ではなく、ノルウェーの労働運動の活動家であって、その豊富な体験に基づいて語っている。わが国でも少子高齢社会を迎えて、福祉財源としての消費増税や経済活性化のための規制緩和や民営化の風潮が高まっているだけに、他山の石として見逃せない。

本来、人間の顔をした資本主義として特徴づけられる福祉国家は、消費者の高負担と公的な福祉の保障の上に成立してきた。ところが1990年代に入り、経済がグローバル化する中で、産業資本主義が金融資本主義となり、労働が商品として非人間化され、国内法による労使協定が無視され、過労によって健康を損ない、市場から排除される労働者が増え続けた。結果として障害年金の受給や早期退職が生じた。今や貧困者層の増大による、公的基金の債務危機がノルウェーのような福祉国家を解体させようとしているのである。

1960年代の最盛期の福祉国家は、①民から公へ、②資本から労働へ、③富裕層から貧困層へという3つのレベルで富の再分配に貢献したもので、労使のバランスオブパワーの産物であった。しかし、もう公的再分配を軸とした福祉国家へと時計の針は戻らない。福祉社会は労働者の絆と消費者の絆が両輪となって機能したが、今や生産現場での絆としての労働組合が弱体化しているのである。著者は、消費の中でなく、グローバルな生産の中での不平等を是正することの重要性を説き、国境を越えて機能する労働組合の新たな取り組みに期待して、本書を閉じている。しかし国境を越えたところでは、死の商人の暗躍の場としての民族紛争の戦火によって多くの若者の命が失われている。「福祉を支える労働者の絆」には世界から戦争を無くすることが不可欠ではなかろうか。「働く喜び」を国際的に共有できるような生存システムの構築に対する答えはまだ出ていない。

山岸秀夫（編集委員）

ピーター・バーンスタイン 著（青山 護 訳） リスクー神々への反逆 上・下

日本経済新聞出版社（日経ビジネス人文庫） 各巻¥714+税 2001年8月1日第1刷発行、2013年8月（上）14刷 / （下）10刷 ISBN 978-4-532-19079-8/ISBN 978-4-532-19080-4

昨年12月、京都健康フォーラム2013の最終回「食と心は関係するか？」で石井均教授が「医学は全部確率」と述べていたように、医学・工学などの応用科学には確率やリスクで表されるような不確実性が必ず伴う。しかし、リスクを語る様々な分野の専門家で、その基礎となる統計学、確率論がどのような先人たちによって創られたのかを詳しく知る人は少ないであろう。また、その発展がどのような社会的背景の下になされたかについては、なおさらそうであろう。

本書の原書は 1996 年に、また日本語版は 1998 年に刊行されているが、その後文庫版として出版され、版を重ねている。出版社も訳者も経済畑なので本書を手を取るまで主題の深い意味合いは汲み取れなかったが、ページを進めるにつれてこれは只ならない著作であることが分かった。「訳者あとがき」で述べているように、本書は「単に金融や証券投資分野に固有の」ものではなく、「まさに『現代』を理解し、『未来』を展望するための人類思想の歴史を語る壮大な書物」なのである。

評者は原子力安全の立場からリスク問題には深い関心を持ち、わが国における関連分野の成熟度の遅れを憂いてきた者のひとりであるが、本書を紹介する動機は、本書に登場するこの分野の歴史的先駆者がどのような視点で「リスク学」と呼んでよい数理科学と社会科学が融合したこの分野に取り組んできたかを学ぶことで、読者がリスクに関連のあるいずれかの領域の専門家であるのか、また単に複雑化した社会の一員であるかにかかわらず、大変参考になることと感じたからである。ただこの文庫版の下巻では投資分野を中心的題材としているので、工学や生物・医学の専門家には興味の薄いことかもしれない。

ルネッサンスを経て 17 世紀に数理科学で確率論や統計理論は目覚しく進展した。そこにはパスカルやフェルマが登場する。世紀が改まり、ダニエル・ベルヌーイは「大数の法則」を確立した。彼は華麗なベルヌーイー族の一員であるが、原子炉の流動に関心を持つ評者などはベルヌーイの定理としてその名を記憶している。ベルヌーイは現在われわれが理解しているリスクの定義に沿った議論を展開している一方、「個々の人間が予期するリスクは等価値でなければならないと考える理由はない」と述べる。3.11 の影響をどの被災者も等価値的に受けているのではないことで被災地の問題は複雑になっていることに思いが及ぶ。更に統計・数理学上の巨人、ド・モアヴルやベイズが登場する。ド・モアヴルは正規分布に神の意思を視る。神々がリスクにどのように関わってきたのか、また「反逆」は何を意味するのかを限られた紙数の中で紹介するのは評者の能力を超えている。是非とも本書を繙いてほしい。ただ言えることは、その神々は安全神話の著者ではない。「神話」は神々の成せる技の人間による叙述にすぎない。

西原英晃（京都大学名誉教授）

村田翼夫、佐藤眞理子 編著

南南教育協力の現状と可能性－ASEAN新興ドナーを中心に－

協同出版 ¥2,500+税 2013年11月10日発行

近年、発展した開発途上国が後発の開発途上国に協力援助するケースが増えており、それは南南協力と呼ばれている。教育領域における場合が南南教育協力である。東南アジア諸国では、タイ、マレーシア、シンガポールのような開発の進んだ国が、低開発のラオス、カンボジア、ミャンマーあるいはアフリカのケニア、ウガンダ、ザンビアなどへ協力援助しつつある。また、いまだ経済的には低開発状況にあるが、教育的に国際援助を実施しているベトナムのケースもみられる。その際、開発途上国間のみで行われるケースと日本のような先進国が関わっているケースがある。それらの南南教育協力は、主に国家間レベルで実施されているが、中には民間団体が関与しているケースもある。

こうした南南協力が、どうして実施されるようになったのであろうか。主には、開発途上国の中で開発が進み中進国が登場し他の低開発国に経済的、社会的協力援助を行えるようになったわけである。しかも、開発途上国同士は、経済的、社会的開発の経緯・段階が比較的に類似しており、また、文化的、社会的背景が似通っていて協力援助がし易いという事情もあった。それらのことを考慮しつつ、本書においてASEAN（東南アジア10ヶ国）の中で発展が著しく新興ドナーとみなされている5ヶ国（フィリピン、タイ、マレーシア、シンガポール、インドネシア）の国際教育協力プログラムを中心に検討している。国毎の章（5章）にコラム・ベトナムと序章・終章の構成である。執筆は、各国の教育専門家が担当している。

本書の発端は、平成18年度（2006年度）から平成20年度（2008年度）にかけて科研費（基盤研究A）「南南教育協力の必要性と可能性－環インド洋地域に留意して－」のテーマで共同研究調査を行ったことにある。今回の出版は、主にこの科研費研究の成果をまとめたものである。本書を通して実際に行われていた南南教育協力の性格についてみると、東南アジア地域の新興ドナーである5ヶ国などが主に2国間協力としてCLMV（カンボジア、ラオス、ミャンマー、ベトナム）に対し教育協力を行っていた。その中身は、教員研修、技能・技術者研修、経営者研修、留学生への奨学金提供、学校・児童生徒学生寮の設立などが含まれていた。その他、フィリピンが、JICAの協力を得つつアフリカのケニア、ウガンダ、ガーナ等の中等理数科教員に対し研修も行っていた。

南南教育協力を行う主体に関しては、政府開発援助（ODA）が主なものであるが、各国の協力プロジェクトに先進国である日本、オーストラリア、ニュージーランドなどが関与して三角協力あるいはパートナーシップ・プログラムを実施するケースも増えていた。ま

た、東南アジア各国が ASEAN 統合イニシアティブ（IAI）のような国際プログラムを組織し国際協力を実施する例もみられた。例えば、シンガポールは、IAI のプログラムとして CLMV との経済格差是正のためにそれらの国に研修センターを設立し各種の知識技能・経営研修を行っていた。さらに、東南アジア教育大臣機構（SEAMEO）の国際的な理数科教育研修センター（RECSAM）が、東南アジア各国の中等理数科教員の研修を行ってきている上に、アフリカ諸国の中等理数科教員に研修の機会を与える実践もあった。後者のケースには JICA も協力していた。

ASEAN 新興ドナー国における本調査によれば、各国の南南教育協力プログラムに対する研修者の評価は高かった。その理由として挙げられているのは、第 1 に先進国ドナーに比べ、新興ドナーと被援助国の環境条件（居住、食事、宗教、慣習、学校教育等）が類似している。第 2 に南南教育協力における適正技術が活用されている。第 3 に南北協力に比して研修事業経費（宿泊費、交通費、日当等）が安価である。第 4 にプログラムの使用言語の近接性（マレー語系、タイ・ラオス語等）である。本書は、国際協力の新しい動向である南南教育協力の上述のような特質を認識し、国際協力援助コミュニティにおける ASEAN 新興ドナー国や日本のこれからの役割と可能性、そして課題を理解するのに役立つと思われる。

村田翼夫（編著者）



Books



読者のコーナー

- (1) 本誌 26 巻 4 号、特集「国際化に対する学校教育の実践的課題」を興味深く読ませていただきました。先日、文部科学省が発表しました「英語教育改革実施計画」では「グローバル化に対応した教育環境づくり」とかで学習指導要領の改訂を経て、2018 年から段階的实施を目指すということで、いずれ中学校の英語の授業はすべて英語で行われることになるそうであります。本当にそんなことが出来る英語教員は全国に何人いるのでしょうか？ とでもではないが無理であります。学校の授業というものを、あまりにも軽く考えているのではと思います。政治家や財界人の思い付きの英語教育強化論は、肝心の母国語による思考能力をも劣化させていくと思われます。国際的に通用する人間になるには、まず国語を徹底的に固めること、表現する手段より表現する内容を整える方が重要であります。英語はただたどしくても、内容がすべてであります。その内容を豊富にするにはしっかり国語を勉強すること、本を読むことが大事であります。初等教育ではとにかく国語であります。一生懸命本を読ませ日本の歴史や伝統文化を教え、内容を作ること、これが国際人をつくるためのよい方法であります。英語より中身であります。
2013/12/16 (T.T.)
- (2) 本誌を毎回楽しく読ませていただいています。26 巻 2 号の特集「体内時計と健康」は、夜昼逆転している者が家族にいるものにとって大いに興味があったのですが、内容が盛り沢山で素人には消化しきれませんでした。改めて個々に読み直す必要があります。26 巻 3 号の「森林浴の健康増進効果」では森林浴が NK 活性を上昇させるとのこと、近くの神社の森の散歩を再開しようと思います。その随想も北欧、タジキスタンなどあまり知らないところが出てきて興味深く、26 巻 1 号の随想「米国一般外来緊急治療室体験記」も日本との違いに驚きました。
2014/1/20 (Y.T.)
- (3) 本誌 26 巻 4 号の「日本は訴訟社会となりうるか」を拝読して思い出したことがあります。1989 年の 9 月にカリフォルニアで酒造の現地法人を設立し、建物及び設備完成に 1 年、最初の仕込みを開始して更に 1 年後、無事に初荷を送り出してほっとしていた頃、裁判所から出頭命令が届きました。法令を遵守するための当局の厳しい指導にあがなうこと無く従順に従い、問題無く進めてきたというのに「裁判に訴えられるというのはどういうことや！」とびっくり仰天したのを、昨日の事のように思い出します。われわれ日本人にとり、裁判というのは、日常生活では全く縁が無く、しかも莫大な費用がかかるとうんでもない事だと思っているからです。さて当該の裁判に戻ると、訴えた当事者は、時給 8 ドル（当時 1 ドルが約 100 円くらいなので日本円で時給約 800 円）の分析係りだったので、先ず、お金のかかる裁判を、安い賃金の人がどうして、しかも簡単に起こせるのかという疑問が頭をよぎりました。訴訟の内容は、「アルコール分析中に、蒸留を終えた時点で酒の加熱を止めなければならないのに、本人のミスでガスを止めるのを忘れたために、酒のエキスが焼け焦げて煙が発生し、それを吸って喉を痛めた」というものでした。日本では、「本人の過失で喉の炎症が発生したのであり、企業側の責任が追及される事案ではない」というのが常識的な考えだと思います。何回か裁判所

に出頭して、企業の社員教育、安全教育、安全設備、作業基準の整備等を説明し、無事に勝訴したことはいうまでもありません。

この経験で学んだことを2つ御紹介します。一つは、日本社会では社会的問題になるまでに民主的に当事者間で解決される問題が、アメリカでは社会問題として大きく取り上げられ、それを解決するために、多くの人と時間と費用がかかる社会だということです。アメリカの勤務評定は、自己申告を基に、会社側と過去一年間の勤務状態を具体的に話し合っ、双方納得した上で成績を決めます。最初の年、われわれは勤務評価が平均すると普通だと考えていたA君の自己申告が、なんと採点項目の8割が5（5点評価で5が最高）、3は1つか2つで後は2割弱が4となっていたのでびっくり仰天しました。項目毎に話し合った結果、こちらの示した3で合意しサインした後何事も無かったようにわれわれと握手をしました。主張に相当の開きがあるので、説得するのに結構時間がかかるのが大変でした。A君だけに留まらず、多くの人が申告より大幅に削られた結果にサインしました。翌日は緊張して出勤し、A君を初め皆の様子をそれとなく観察しました。というのは、われわれの感覚からすると、自分の評価が下げられると、凄く機嫌が悪くなるのが当然だからです。しかしいずれも昨日までと何ら変わらない様子で出勤してきたので、自分の意見が通らず相当成績を下げられたのを何とも感じていないのかと思いましたが、様子を見ていくことにしました。その後、勤評について何の問題も起こらず次の年の話し合いがやってきました。大体こちらの評価が判っており、それに同意したのだから、昨年とはがらりと申告を変えて来ると思って臨んだところ、A君は昨年とほぼ同じように、相変わらず5が殆どで、3がちなり、後は4と明記した書類を平然と提出しました。話し合いの結果は、勿論昨年と同じ3で合意したのです。この傾向は他の社員もほとんど変わりませんでした。彼等の意図は、「最初平均5に近い数字を出しておいたから、色々削られても3で収めることができた。もしも初めから3と申告したら、色々削られて3以下になる恐れがある。どうしても3にはしたいので申告は5にしておいた」ということではないかと、この時初めて気が付いた次第です。勤評について問題が起らなかったのはそのためだと合点しました。

現地の小学校の一学年に子供を通わせている日本のお父さんに聞いた話ですが、一時間目は、皆の前で昨日どんなことをして遊んだのかとか、休みにはどこへいったのか等のテーマを与え、スピーチをさせることから授業が始まるということでした。要するに、人前でしっかり話ができるように、小さい頃から教え込んでいるということなのです。日本の教育の基本は、読み、書き、そろばんの3本柱ですが、アメリカの教育は、先ずスピーチ、それから読み、書き、そろばんの4本柱ということではないかと推察しています。老いも若きも、人前で上手にインタビューに応え、大勢の前で堂々と自分の意見を吐露することが出来るのは、この教育制度のお陰なのだなと考えました。このためにアメリカ人は、子供の頃から、人の前で自分を主張することがとても上手になり、自己主張の傾向が強くなって、交渉の際、目指すポイントで決着するために、相手に交渉させるための幅を上乗せしたポイントから開始する習慣が強くなったのではないのでしょうか。アメリカ社会が交渉の社会といわれる所以だと思います。

2 つ目は、何故手軽に裁判を起こせるのかということです。その理由の一つに、現地で聞き及んだ話に寄れば、成功報酬というやり方があるからだということです。それは、お金になりそうな話があると、それを事件にして訴えを起こし、敗訴した時には、訴えた側から弁護士費用は取らない代わりに、成功した時は、成功報酬を訴えた者と弁護士で分け合うやり方だということです。

日本で中学校の頃読んだ英語のマンガに、父親と一緒に弁護士事務所に行った子供が一言も話さないの、父親が「どうしてしゃべらないの？」と聞いたところ、「弁護士のおじさんとお話をすると、すごく高いお金がかかるから」と答えたというのがありました。カリフォルニアでもこの裁判を含め、弁護士に色んな仕事を依頼しましたが、電話で話をしている時間も 1 分幾らで費用が計算される実情を経験して、言いて妙のマンガだったなと苦笑いしたものでした。このように莫大な弁護士費用がかかる裁判なのに、本人や担当弁護士に確かめたわけではありませんが、どうして時給 800 円の従業員が、いとも簡単に訴訟を起こせるのかという一つの理由として、法的に問題のない成功報酬の方式が採用されたと考えてもおかしくないと思いました。たった数年間アメリカ社会を見ただけですが、陳腐な言い方すれば、日本には無い素晴らしい点を沢山学ばせてもらった上に、それ以上に日本の良さを再発見させてもらったアメリカ赴任でした。今思い返して見ても色々ありましたが、「経験は力なり」と言われるように、全ての経験がその後の小生の人生に有難い影響を与えてくれました。小生の拙い経験が何かの御参考になれば幸いです。

2014/1/22 (K.S.)

- (4) 私は健康財団グループが主催される「いのちの科学フォーラム」を楽しみに聞きに行っている京都に住む老人です。ある時、会場入り口に置かれている「環境と健康」という季刊誌を手に取りました。それは、財団が催しているフォーラムを特集として掲載した雑誌であることを、傍にいた若い女性から説明をうけました。そこで、雑誌の表紙の素晴らしいさにも引かれて定期購読をするようになりました。その後は、季節の移り変わり毎に送られてくる「環境と健康」を楽しみにするようになりました。1 つの楽しみは、聞きに行ったフォーラムが文章になり、もう一度、その時の講師のお話を復習することができるからです。また、聞き逃したお話を読むことが出来るからです。2 つ目は、「環境と健康」の表紙が素晴らしいからです。掲載された特集のエッセンスを上手くデザイン化して表現されているのを観賞する楽しみです。時には、季節感だけを表したデザインになっている時もあり、それは特集の内容が難しく、デザイン化するのが困ったからかなと、作家さんのご苦勞を思いながら観賞するのも楽しみです。昔の話になりますが、竹内六郎さんの描いた週刊新潮の表紙絵が素晴らしくて、本屋でのぞき見していたことを思い出します。今後とも楽しみにしています。

2014/1/24 (H.U.)

編集後記

本号 Editorial では、「少子高齢社会の生き甲斐」として、「他者のために役立つ」ことを提言しているが、本号特集「ミツバチ研究の最前線」では、はからずも個体の活動が社会全体に役立つように進化した社会性昆虫の話題が取り上げられていて、その民主的意思決定のプロセスの実態が興味深い。引き続く「いのちの科学プロジェクト」では、アフリカ大陸の巨大な湖の中で、多くの魚類群集が「一人勝ち」でなく、その多様性を維持している動的な実態が明らかにされている。また少子高齢社会の未来を託す子どもの教育は大変重要な問題であるので、本号からサロン談義として取り上げ、今後数回にわたって誌上討論を掲載する予定である。是非多数の読者のご参加を期待したい。

本誌に寄稿される原稿は、当然のことながら著者自身の目線で執筆されている。しかし本誌が学術専門誌でなく、多様な一般読者を対象としている以上、編集子は読者の目線を意識して編集せざるを得ない。とはいえ、果たして他者である著者や読者の心を察して編集作業がなされているかと問われれば、はなはだ心もとない。多様な原稿を1冊子に収めることは、多様なおせち料理を重箱に詰めるようなものである。著者の意図にそぐわない原稿の修正依頼をすることもあるが、その上でページ立てをして余白が生じた場合は、その埋め草としての Random Scope の出番である。Random Scope は最近の科学の進歩を紹介する記事であり、主な取材源としては、国際的にも評価の高い総合学術誌である Nature や Science である。そのためには、常日頃から読み貯めておいた論文の中から本誌に相応しいものを選んで、その抄録を記事とするのである。編集子にとっても、新しい体験の良い機会である。

本号掲載の Random Scope では、他人の心を読み取って、複雑な人間関係を円滑にする技術が、映像でなく、文学作品（フィクション）を文字で読み取ることで養成されるとのことである。本誌掲載の記事はフィクションではないが、文字媒体として読者の「他人を思いやる心」の向上に役立てば幸いである。またヒトの個々の脳細胞では、それぞれに固有の遺伝子構成の変化が発見されており、遺伝的に拘束されない全ての人々の能力の無限の可能性を示唆するものとして、将来の研究の進展が待ち遠しい。

なお読者の皆様に長年親しんで頂いた表紙デザインのシリーズが前号で終了し、本号から新たなデザインがスタートした。2006年から8年間に亘って、素晴らしい作品を提供して頂いたアーティストの中野仁人氏に心から御礼申し上げる次第である。今後、編集委員会関係者で絵心のある方々の御好意により、本誌の表紙が飾られることになる。

(Yan)

総 合 目 次

Vol.26 No.1-No.4 2013

Editorial

遺伝学の革新が与えてくれる新しい人生観	山岸秀夫	26-1	2
留学について思うこと	本庄 巖	26-2	112
倫理と職業	竹下 賢	26-3	262
科学の不正行為	今西二郎	26-4	384

特集：放射線とマスメディア

特集“放射線とマスメディア”にあたって	福本 学	26-1	10
低線量放射線の人体影響－発がんか健康効果か－	中村仁信	26-1	13
放射線について市民は何を知りたいのか、どう伝えればよいのか	木下富雄	26-1	22
マスコミから見た放射能問題	室山哲也	26-1	31
分かっていないことをどう伝えるか？	中村 典	26-1	38

特集：体内時計と健康

特集“体内時計と健康”にあたって	小西淳二	26-2	120
からだの時計は今何時？－地球と時計遺伝子の物語－	岡村 均	26-2	122
時間栄養学から肥満予防を考える	平尾彰子	26-2	131
睡眠と体内時計－現代型睡眠障害を克服するために－	大川匡子	26-2	141
時間薬理学について－薬はいつ飲むか－	大戸茂弘	26-2	149

特集：高齢期のいのちの輝き

特集“高齢期のいのちの輝き”にあたって	奈倉道隆・中井吉英	26-3	269
物語りとしての老い	中井吉英	26-3	272
老を「平気」で生きよう	奈良康明	26-3	285
老いの日々を生き抜くためにできること	内藤いづみ	26-3	295

特集：国際化に対応する学校教育の実践的課題

特集“国際化に対応する学校教育の実践的課題”にあたって			
小学校における外国人児童教育の取り組みと課題	村田翼夫	26-4	392
高校での国際教育の取り組み－ユネスコ活動、模擬国連などを通して－	古山友和	26-4	395
	岡 憲司	26-4	404
わが国における特別支援教育の国際的対応	中田英雄	26-4	415
国際理解教育の課題－共に生きる子どもを育てる－	佐藤郡衛	26-4	426

いのちの科学プロジェクトシリーズ

テーマ：共に生きる

③④環境中のホルムアルデヒドを吸収・同化する遺伝子組換え植物の開発	泉井 桂	26-1	43
③⑤「東アジア低炭素共同体」構想と原子力安全保障システムの構築	周 瑋生	26-2	161

③⑥ ムギ類の利己的な染色体	遠藤 隆	26-2	174
③⑦ 日本測地系の変遷と地殻変動	竹本修三	26-3	299
③⑧ 日本は訴訟社会となりうるかー日米比較を基にした日本の法の仕組みと働きー	木下麻奈子	26-4	435

JCSD プロジェクトシリーズ

森林浴の健康増進効果	李 卿	26-3	310
------------	-----	------	-----

連載講座

メタボの正体 (Ⅸ)	篠山重威	26-1	53
メタボの正体 (Ⅹ)	篠山重威	26-2	183
メタボの正体 (Ⅺ)	篠山重威	26-3	321
メタボの正体 (Ⅻ、終章)	篠山重威	26-4	447
感染症あれこれ (Ⅵ)	今西二郎	26-1	64
感染症あれこれ (Ⅶ)	今西二郎	26-2	195
統合医療：一人ひとりに合った医療を目指して (Ⅰ)	今西二郎	26-3	333
統合医療：一人ひとりに合った医療を目指して (Ⅱ)	今西二郎	26-4	460

コラム

漫画冊子「ママと呼んでほしいから」の製作にかかわって

辞世論：言葉の魂と人間の魂ー魂の死と再生	本庄 巖	26-1	68
	小川 侃	26-2	200

随想

ノルウェー紀行ー森と湖の国の健康志向ー	竹下 賢	26-1	71
米国一般外来緊急治療室体験記	秋山麗子	26-1	76
米国からの石巻被災者支援センターでの体験	藤村咸治	26-2	204
シルクロードの光と影	本庄 巖	26-2	209
パプア・ニューギニア紀行ー昔の戦場は生物多様性の宝庫へー	竹下 賢	26-2	214
スペイン歴史紀行ー文化の融合、クレオールー	竹下 賢	26-3	338
タジキスタンの旅ーソグディアナ地方を訪ねて	本庄 巖	26-3	348
シルクロードの風景	本庄 巖	26-4	467

サロン談義

サロン談義 10 低線量被ばくを考える			
コメント 2：食品の安全性など	内海博司	26-1	84
コメント 3：過去の核爆発実験など	内海博司	26-2	220
コメント 4：原発事故に何故過度な反応をするのか	内海博司	26-3	354
サロン談義 11 高齢者の持病を考える			
問題提起 1：私の不整脈自己管理小史	瀬野悍二	26-2	229
コメント 1：主治医との信頼関係での不整脈の管理	本庄 巖	26-3	361
問題提起 2：無胃な人のつづやき	富浦 梓	26-2	231
コメント 2：術後の後遺症に対処する医療	本庄 巖	26-3	362

Books 談義

岩槻邦男・仁王以智夫 著「共生する生き物たち」をめぐって			
コメント4：人類さん、待ったなしですよ	瀬野悍二	26-1	90
コメント5：共生に対する視点の転回	宇高恵子	26-1	92
河田照雄 編著「脂肪の功罪と健康」をめぐって			
コメント1：脂肪食に求められる節度のある食習慣と食育	山岸秀夫	26-1	93
コメント2：脂質と健康についての若干の代謝論的考究	清水 勇	26-2	240
コメント3：「生きている脂肪」を描出	岡本浩二	26-2	242
コメント4：「脂肪」は「死亡」につながらない	今西二郎	26-2	245
コメント5：多彩な角度から見た脂肪の功罪	乾 明夫	26-2	247
コメント6：健康寿命の延伸を願いつつ	佐藤隆一郎	26-3	364
鈴木晶子 著「智恵なすわざの再生へー科学の原罪」をめぐって			
コメント1：知の客観的普遍性と主観的普遍性	山岸秀夫	26-2	248
コメント2：アポロの叡智のみで技術は再生できない	富浦 梓	26-3	366
コメント3：現場から出発する科学の構築へ	坂東昌子	26-3	368
コメント4：知と科学とーヒトが求めているもの	岩槻邦男	26-3	373
コメント5：国民の知恵が必要	松久 寛	26-4	472
コメント6：科学とその応用技術ー科学に原罪はあるか？	池原健二	26-4	473
コメント7：量子力学の衝撃	佐藤文隆	26-4	475
コメント8：「ポスト・フクシマ時代」の責任の所在	鈴木晶子	26-4	478

Books

秋田 巖・金山由美 編『死を育てる』		26-1	95
小泉義之 著『生と病の哲学ー生存のポリティカルエコノミー』		26-1	95
金馬宗昭 著『不登校、ひきこもり こころの解説書			
ー僕がひきこもりだった時に言えなかったこと』		26-1	96
野間俊一 著『身体の時間ー（今）を生きるための精神病理学』		26-1	97
門田隆将 著『死の淵を見た男 吉田昌郎と福島第一原発の五〇〇日』		26-1	98
美馬達哉 著『リスク化される身体ー現代医学と統治のテクノロジー』		26-2	250
中山 理、K. ライアン 他4名 編著『グローバル時代の幸福と社会的責任			
ー日本のモラル、アメリカのモラル』		26-2	251
滝川一廣 著『子どものそだちとその臨床』		26-2	252
大谷栄一、藤本頼生 編著『地域社会をつくる宗教』		26-2	253
スティーヴン・グリーンブラット 著（河野純治 訳）			
『一四一七年、その一冊がすべてを変えた』		26-2	254
岩槻邦男 著『桜がなくなる日ー生物の絶滅と多様性を考える』		26-3	376
岩槻邦男 著『新・植物とつきあう本』		26-3	377
樋口和憲 著『笑いの日本文化ー「烏滸の者」はどこへ消えたのか？』		26-4	489
大友芳恵 著『低所得高齢者の生活と尊厳軽視の実態			
ー死にゆきかたを選べない人びと』		26-4	489
橘木俊詔 著『「幸せ」の経済学』		26-4	490

宇野賀津子 著『低線量放射線を越えて－福島・日本再生への提言』	26-4	491
村田翼夫、上田学 編著『現代日本の教育課題－21世紀の方向性を探る－』	26-4	492
J・リー、N・マッコミック 著（西原英晃 監訳） 『原子力発電システムのリスク評価と安全解析』	26-4	493
ブライアン・フェイガン 著（東郷えりか 訳） 『海を渡った人類の遙かな歴史』	26-4	494
木村正俊 著『ケルト人の歴史と文化』	26-4	495

Random Scope

血液検査で複数の早期がんを簡便に検出－新しいプレがん検診に期待	26-1	37
ヒト単一細胞での遺伝子変異の検出が可能になった	26-1	67
ヒト精子単一細胞の DNA ゲノム解析が染色体の組換え能と異数性との関連を示した	26-1	67
内耳有毛細胞の感覚糸の特殊な構造が遺伝性難聴に関係する	26-1	70
がんを知り、がんを制す	26-1	83
腸管出血性大腸菌が腸内に定着する化学感知系	26-1	94
心房細動に“切らない”手術	26-2	130
既存の心筋細胞が分裂して心臓の恒常性維持に働く	26-2	140
腸管の炎症は窒素酸化物を産生して大腸菌を増殖させる	26-2	160
炭水化物合成シグナルが植物の開花に関わっている	26-2	173
甘味、苦味、旨味を知覚するⅡ型味覚細胞では、イオンチャネルに依存して ATP を神経伝達物質として放出する	26-2	199
高齢者の聴力低下は認知機能低下の危険因子	26-2	208
老年期の脳細胞の新生には大きな個体差がある	26-3	271
神経ペプチドで刺激される神経巡回路でかゆみが誘発される	26-3	284
腸内細菌群が 2 型糖尿病の環境リスク因子として働く	26-3	332
細菌や真菌などの微生物はヒトの皮膚に部位特異的に共存している	26-3	337
大型鳥類の減少は餌となる果実の種子を小型にする	26-3	347
腸管常在菌の抗原情報を認識するリンパ球細胞が小腸上皮に存在する	26-3	353
殺虫剤に混入されたブドウ糖を忌避するゴキブリの出現	26-3	375
野球の投手の様な高速投てき能力は約 200 万年前のホモ属原人に見られる	26-4	394
ヒト腸内細菌のクロストリジウム混合株は調節性 T 細胞を誘導して、 腸炎を抑制する	26-4	446
ヒトのがんにおける遺伝子変異は多様である	26-4	459
腸管粘膜固有層には末梢リンパ器官が存在する	26-4	466
炭疽菌の 2 種の毒素の標的は異なり、それぞれ心筋細胞と肝細胞である	26-4	466
高齢者の認知能力を高める多重課題のビデオゲーム	26-4	471
細菌感染による痛みは感覚神経への直接刺激により生じる	26-4	471

投稿規定 (改訂: 2013/9/28)

1. 本誌は「環境と健康」に関する諸問題を学術的な基礎に基づきながらできるだけ一般の方々に理解しやすい形で提供し、また誌上での自由な討論をふまえてみんなで問題を掘り下げたいという目的で出版しています。
2. (公財)体質研究会と(公財)ひと・健康・未来研究財団の活動を中心として編集していますが、読者からの投稿も受け付けます。ご投稿に当たっては、本誌掲載の「原稿執筆の手引き」を参照いただくか、「いのちの科学」のホームページ (<http://www.taishitsu.or.jp/inochi-u/index.html>) を開き、季刊誌「環境と健康」を見て下さい。
3. 編集の方針としては、医療・科学技術に偏することなく、文理の智慧を動員して、環境の中で生かされている身心を総合的にとらえ、一般社会への啓発を目指します。
4. 原稿は下記編集委員会事務局宛に E-mail の添付ファイルでお送り下さい。「執筆の手引き」に基づいて投稿された原稿については編集委員会において査読し、採否の決定をします。必要があれば訂正の申し入れをすることを予めご了承下さい。
5. 予め申し込いただければ 30 部まで別刷を無料で差し上げます。原稿にその旨一筆下さい。投稿原稿の記名掲載分には、各巻発行後一括して薄謝を差し上げると共に、本誌を 1 年間献本します。

環境と健康 編集委員会

編集委員	山岸秀夫 (代表)	京都大学名誉教授	免疫・分子遺伝学
	内海博司 (副代表)	京都大学名誉教授	放射線生物学
	今西二郎	明治国際医療大学教授	統合医療学
	小西淳二	京都大学名誉教授	核医学、内分泌学
	本庄 巖	京都大学名誉教授	耳鼻咽喉科学
	村田翼夫	京都女子大学教授	比較国際教育学
	竹下 賢	(公財)ひと・健康・未来研究財団理事	法哲学・環境法思想
	中村清一	(公財)体質研究会常務理事	公衆衛生学
	小林宣之	(公財)体質研究会常務理事	編集委員会事務局
編集顧問	小川 侃 (現象学、政治哲学)	大東 肇 (食品科学)	
	栗原紀夫 (農業科学)	篠山重威 (循環器内科学)	
	清水 勇 (環境生態学)	菅原邦雄 (幾何学)	
	鈴木晶子 (教育哲学)	奈倉道隆 (老年学、仏教カウンセリング)	
	中井吉英 (心身医学、行動医学)	山極寿一 (人類学)	
	ルスターホルツ、A. (キリスト教倫理学)		

〒 606-8225
 京都市左京区田中門前町 103-5
 パストールビル 5F
 公益財団法人体質研究会内 編集委員会事務局
 TEL 075-702-0824 FAX 075-702-2141
 E-mail: inochi-kenko@taishitsu.or.jp

原稿執筆の手引き (改訂：2013/10/11)

本誌の標準的な原稿作成に関する手引きを示します。その他の原稿も本手引きを参考として下さい。

1. 本誌の特徴：理系文系を問わず、「原報」を載せる学術雑誌ではありません。アカデミズムと社会とを結び、一般読者向けの学術雑誌です。
2. 本誌には次のものを掲載します：①各種特集、②各種プロジェクト、③トピックス（総説）などの標準的原稿を中心として、④Editorial（提言）、⑤連載講座、⑥随想、⑦コラム（短い評論、解説など）、⑧オピニオン（耕論）、⑨各種談義（Books談義、サロン談義など）、⑩Books（書評）、⑪その他編集委員会で認めたもの。
3. 標準的な原稿の構成：①和文表題、②著者名（原則として単著）、所属、専門分野、③要旨（200字以内）、④本文（12,000字以内、見出し符号は、「1、(1)、1）、①」を基本単位とする）。⑤文献リスト、⑥脚注（用語解説など）、⑦図・表・写真等（全てを含めて6点以内、WordではなくPower Pointで添付）、⑧図・表・写真等のタイトルと説明文、⑨執筆者紹介。
4. 原稿の入力：文書はMS Wordを、図・表・写真等はMS Power Pointをご使用下さい（Macintosh・Windowsどちらでも可）。他のソフトの場合は、必ず、テキスト形式にして下さい。略語は初出箇所で、括弧を付けて正式名を記して下さい。図・表・写真等は、モノクロ印刷を基本としていますが、カラー印刷も可能です。なお講演等で発表したMS Power Pointをご使用の場合、図中の重複するタイトルや説明文などを除いて下さい。
5. 文献：総説的な文献を中心に10件以内、引用順に、本文中該当箇所の右肩に番号を示し、まとめて文末の文献リストに記載下さい。文中に番号を付記しない場合は、参考文献とします。文献引用は以下の例にならって、著者が3名以上の場合は筆頭著者名のみを記して「－他」または「－et al.」と略記して下さい。雑誌の論文題目は必要ありません。
(例) 1) 加納善光：中国医学の誕生、東京大学出版会（1987）
2) パウエル、D.H.（久保儀明、檜崎靖人 訳）：〈古い〉をめぐる9つの誤解、青土社（2001）
3) 大熊盛也 他：化学と生物、**37**、542（2001）
4) Lee, W. et al.: Radiat. Res. **92**, 307（1982）
6. 執筆者紹介：本誌の読者のために、下記の例を参考に、簡単な略歴を付けて下さい。
(例) 体質 太郎（たいしつ たろう）
19〇〇年生まれ。〇〇大学医学部卒業。〇〇大学医学部長、〇〇〇〇センター長、〇〇病院長などを歴任。専門は〇〇〇〇学。現在、〇〇〇〇財団理事長、〇〇大学名誉教授。著書に「〇〇〇」（〇〇出版）、「〇〇〇」（共著、〇〇堂）、「〇〇〇」（編、〇〇堂）など。
7. 原稿締切日：各掲載号の発行予定日（3、6、9、12月の1日）の3ヶ月前です。
8. 著者校正：著者校正は初校のみとし、校正は脱字、誤植等に限ります。初校のPDF送付先住所とE-mail、TEL及びFAX番号を記して下さい。
9. 原稿提出先：原稿は、E-mail (inochi-kenko@taishitsu.or.jp) の添付ファイル、あるいはCDなどで下記の住所にご寄稿下さい。

〒606-8225 京都市左京区田中門前町103-5 パストゥールビル5F
(公財) 体質研究会内「環境と健康」編集委員会事務局
TEL 075-702-0824 FAX 075-702-2141

本誌購読案内

公益財団法人体質研究会と公益財団法人ひと・健康・未来研究財団の両健康財団グループは様々な「環境」要因をキーワードに、「健康」な生活の実現をめざして研究広報活動を行っています。本グループでは、その活動が掲載されている季刊誌「環境と健康」（年4回、季刊）の購読者を募集しています。

本誌の購読者は、医学、薬学、医療技術関連の方々と一般読者です。当誌の記事は、JST（科学技術振興事業団）のJOISデータベース、医学中央雑誌、同誌CD-ROM版、WEB版、（株）メテオインターゲートが行うメディカルオンライン等に掲載されています。

年間購読をご希望の方は、巻末の郵便振替払込用紙にてお申し込みください。

なお本誌は、19巻1号（2006年春季）より全国の主な書店（主として医学系）にて販売すると共に、23巻第2号（2010年夏号）より雑誌のオンライン書店（Fujisan.co.jp）にても取扱っております。

〒606-8225 京都市左京区田中門前町 103-5 パストゥールビル 5F
公益財団法人体質研究会 季刊誌発行係
TEL：075-702-0824（平日9：00～17：00）
FAX：075-702-2141

次号予告

27巻2号（2014年夏号）6月1日発行

特集 / 予見と思い誤り—人間の経験のあり方

／ 原発事故後の状況とその対応

いのちの科学プロジェクトシリーズ

連載講座 / 統合医療（Ⅳ）

／ 漢字の散歩道（Ⅶ）

／ 和の風土と食（Ⅰ）

サロン談義 12 / 現在の教育問題を考える（Ⅱ）

環境と健康

Vol.27 No.1（春季）2014年3月1日発行

編集 環境と健康 編集委員会

発行 公益財団法人 体質研究会

公益財団法人 ひと・健康・未来研究財団

発行所 公益財団法人 体質研究会

〒606-8225 京都市左京区田中門前町 103-5

パストゥールビル 5F

TEL：075-702-0824（平日9：00～17：00）

FAX：075-702-2141

E-mail：taishitsu@taishitsu.or.jp

HP：http://www.taishitsu.or.jp

発売所 有限会社 共和書院

〒606-8255 京都市左京区北白川西瀬ノ内町 6-1

北白川松園 2A

TEL・FAX：075-722-4058

表紙デザイン 内海仁美

いのちの科学を語る◎全5巻



1 子どもの心と自然

山中康裕 (京都大学名誉教授・京都ヘルメス研究所所長) 心の専門家 (臨床心理学者) である著者が、子どもたちの心に何が起きているのかを示し、その危機を打開する可能性を自然とのかかわりに探る。「子どもたちの瞳に輝きを」をキャッチフレーズに、そのいきいきとした未来への取り組みを、わかりやすく語る。 ISBN4-86249-016-6 四六・並製■本体1,500円+税



2 痛みを知る (3刷)

熊澤孝朗 (元愛知医科大学医学部痛み学 (ファイザー) 寄附講座教授) 傷の症状として起こるのとは違った、神経系に発生した病気としての痛み「慢性痛症」のしくみをわかりやすく解説。「痛み学」の先駆である著者が、医療者・患者・医療行政者に向け「痛み治療」への学際的アプローチを提案。

ISBN978-4-86249-084-1 四六・並製■本体1,500円+税



3 虫と草木のネットワーク

高林純示 (京都大学生態学研究センター教授) 昆虫と植物たちは匂いによって交信している。彼らの相互作用の仕組みを生態学の専門家が平易に紹介し、生物間の多様な関係性の世界へ案内する。

ISBN978-4-86249-066-7 四六・並製■本体1,500円+税



4 チンパンジーの社会

西田利貞 (京都大学名誉教授、元 (財) 日本モンキーセンター所長) 40年以上も野生チンパンジーの生態を観察しつづけてきた著者ならではの、平明で深い分析と貴重な写真53点を満載。野生チンパンジーの魅力を語り、ヒトとの共通祖先が持っていた行動を再構成し、現代の文明批判を展開する。

ISBN978-4-86249-128-2 四六・並製■本体1,500円+税



5 いのちの医療 心療内科医が伝えたいこと

中井吉英 (関西医科大学心療内科学講座教授) 心療内科が対象とする疾患はストレス関連身体疾患 (ストレスが要因となっているからだの病気)。心療内科に対する誤解と偏見を解き、真の心療内科とは何かを示す。病気の部分だけを診るのではなく、身体や心、社会や環境、スピリチュアリティを含めた全人的医療の実際を紹介。 ISBN978-4-86249-089-6 四六・並製■本体1,500円+税



東方出版

〒543-0062 大阪市天王寺区逢阪2-3-2

TEL06-6779-9571 FAX06-6779-9573 http://www.tohoshuppan.co.jp

<表示の価格は税別です>

科学の思想をわかりやすく伝える

シリーズ・ともに生きる科学

四六判・上製美装カバー

山室隆夫 著

不老長寿を考える

——超高齢社会の医療とスポーツ——

運動器学に長年かかわる著者が、歳をとっても自立した生活を送るための方法や、スポーツの効果とケガのリスクをわかりやすく伝える一方、長寿者の人口増加がもたらす食糧・水不足問題、社会保障問題などへの影響にも触れ「不老長寿」にまつわる想いを広い視野で語る。 2500円

第I部 不老長寿、その過去、現在、未来

- (目次) 1 紀元前のアジアの長寿者／2 不老長寿の医生物学／3 女性はなぜ男性よりも長寿なのか／
4 わが国の超高齢社会を診る／5 生活習慣病と生活機能病／6 生活機能病の予防／7 わが
国の介護保険制度はこれでよいのか／8 超高齢社会「日本」のゆくえ／9 不老長寿と地球社会

第II部 スポーツと生活機能病

- 10 人とスポーツ／11 成長期のスポーツ障害／12 中年期のスポーツ／13 高齢者の身体訓練

岩槻邦男／仁王以智夫 著

共生する生き物たち

——微生物の世界から日本の共生観まで——

多様な生物種は、様々な関係性をもって生きているが、とくに不可分離の関係にあるものを共生と呼ぶ。本書では微生物から動植物にかけての生物界における共生の具体例を紹介しつつ、日本古来の「共に生きる」精神と対比させながら人と自然の共生について考える。 2500円

- (目次) 序 共生—伝統的な日本語と生物学の学術用語(岩槻邦男)／1 微生物の生態(仁王以智夫)
2 共生のパートナーとしての微生物(仁王以智夫)／3 植物と動物にみる共生(岩槻邦男)
4 共生系と環境保全(仁王以智夫)／5 人と自然の共生(岩槻邦男)／おわりに／索引

鈴木晶子 著

智恵なすわざの再生へ

——科学の原罪——

私たちは果たして自らの手に余るような技術とつきあっていけるのだろうか。本書では、科学や技術の専門家が具えるべき思考のわざや判断、倫理について考察し、生き物としての人間が、世界と共に生きていく智恵の再生を模索する。 3500円

- (目次) プロローグ—3.11のあとに／I 科学を生きるとは／II 知ること／III 知の果てまで／
IV 欲望と責任の間で／エピローグ—有限抱擁／引用・参考文献／索引

(全6巻、以後続刊予定)

ミネルヴァ書房

〒607-8494 京都市山科区日ノ岡堤谷町1※表示価格税別 目録呈
TEL 075-581-0296 FAX 075-581-0589 www.minervashobo.co.jp/

人と食と自然シリーズ〔全5巻〕

京都健康フォーラムで2009年より発足したフォーラム「人と食と自然」をまとめたシリーズ。
食と免疫、サプリメント、食品脂肪、食と薬の接点、食習慣とところをテーマにとりあげていく。

1. 食と健康のための 免疫学入門

上野川修一・吉川正明 編 A5判/244頁 本体2,400円

*免疫系の多面的な機能に対して、食品による健康の増進や疾患予防の可能性が期待されている。
食品と免疫に関する研究の最新知見を追究するとともに、研究の新しい方向性を提示する。

おもな内容 腸管免疫と腸内細菌 プロバイオティクスと感染症、炎症性腸疾患、アレルギー
食物アレルギーの治療 植物を利用したワクチン がんとペプチドワクチン



2. サプリメントを考える

今西二郎 編著 A5判/144頁 本体1,700円

*サプリメントは、多くの場合に病気になっていない人が摂取するため、安全性が重要である。
サプリメントについての全般的な知識と研究開発の課題と展望を解説する。

おもな内容 サプリメントとは何か 補完代替医療および食の三次機能としてのサプリメント
薬との相互作用 メタボ時代におけるサプリメントの使い方と科学的根拠



3. 脂肪の功罪と健康

河田照雄 編著 A5判/164頁 本体1,900円

*脂肪はわたしたちの身体へどのようにはたらくのか、その功罪二面性を整理し、健康を軸としたさまざまな視点から、初学者にもわかりやすく第一線の研究者が詳述する。

おもな内容 ヒトと脂肪のかかわり 油脂と健康 食の認識—心理学の視点から 体内脂肪は
諸刃の剣となる 褐色脂肪による肥満の軽減 運動と脂肪



4. 食べものとかすりー食の薬効を探る— 近刊

大東 肇 編著 A5判/160頁 本体予価1,900円

*私たちが日常食するものには、古来よりさまざまな薬としての効能があることが知られており、
いろいろな形で受け継がれてきた。それらの効能を科学的に解説する。霊長類の食行動にも迫る。

おもな内容 食べものと薬の接点 野生霊長類の薬用植物利用 薬用食品にメタボ予防物質を
探る トウガラシの健康科学 グルコサミン類の機能 お茶の健康機能性 ほか



関連書籍のご案内

亜鉛の機能と健康 —新たにわかった多彩な機能—

最新刊

日本栄養・食糧学会 監修 駒井三千夫・神戸大朋 責任編集 A5判/248頁 本体3,800円

*亜鉛は遺伝子の増幅にも直接的な関与をしているほかに、多くの酵素の活性中心として、あるいは免疫機能等の他の機能性を介して生理機能を調節・維持してくれる微量元素であることが明らかにされてきた。近年研究の進展が著しい亜鉛について、最新の基礎・臨床的研究の成果をわかりやすく記述する。



機能性タンパク質・ペプチドと生体利用

日本栄養・食糧学会 監修 岡 達三・二川 健・奥 恒行 責任編集 A5判/248頁 本体3,600円

*これまで科学的な根拠の少なかった機能性タンパク質・ペプチドの基礎から応用にわたる最新の知見をまとめる。機能性タンパク質の「生体利用」(第1編)、「作用機序」(第2編)から「発現・合成」(第3編)まで全体を概説。機能性食材としてのタンパク質・ペプチドの今後の発展性と将来性を展望する。



ISBN978-4-905681-53-3
C0047 ¥762E



9784905681533



1920047007628

環境と健康

健康財団グループ
Twin Health Group, Japan

公益財団法人体質研究会
Health Research Foundation

公益財団法人ひと・健康・未来研究財団
Japan Health Foundation

定価 800 円（本体 762 円 + 税）