

蜂群崩壊症候群について

～その問題点と解決案を探る～

慶應義塾大学 経済学部

大沼あゆみ研究会 第7期生

学籍番号 20513562

関矢勇毅

目次

はじめに P4～

概要 P5～

第一章 ミツバチについて P6～

- i ミツバチとは
- ii セイヨウミツバチとトウヨウミツバチ
- iii ミツバチ社会の仕組み
- iv ミツバチの情報伝達
- v ミツバチの採集行動

第二章 養蜂について P9～

- i 養蜂の歴史
- ii 現代の養蜂
- iii 移動養蜂と定置養蜂

第三章 CCD について P11～

- i 蜂群崩壊症候群 (CCD) とは
- ii CCD による影響
- iii CCD の原因と考えられている諸説

第四章 分析の前に P16～

第五章 分析 P18～

- i 現状分析
- ii 解決策

第六章 考察 P23

最後に・・・ P23

参考文献 P24

後悔はない……

こんな世界とはいえ

オレは自分の『信じられる道』を歩いていたい！

ジョジョの奇妙な冒険 第五部 文庫本 35 巻 ブローノ・ブチャラティ

始めに

大学 3 年の冬、私は環境経済学のゼミを選んだ。理由は、自然が好きだからという至極単純な動機からであった。実際にゼミに入ってから、様々な分野の環境経済学を学んだ。上記の理由でゼミを選んだことが、恥ずかしくなるくらい環境経済学という世界はとても奥が深く、そして幅広いものであった。そのゼミ生活の中で、強く興味を抱き続けていたのが、生物に関わる分野のものであった。

そんな私が卒業論文のテーマを選ぶ際に、目にとまった一つの記事があった。その記事は、Newsweek 2008 年 7 月 2 日発行 第 23 巻 25 号に記載されていた。題名は「悲しきミツバチの過労死」。就職活動を終えたばかりで、「過労」「激務」という言葉に敏感になっていたことも、目にとまった理由の一つかもしれない。しかしその内容は非常に興味深いものであった。

たかが蜂じゃないか、このように思われる方もいるかもしれない。しかし、その考えは断じて間違っていると、私は考える。詳しくは後述するが、ミツバチと人間の関わりの歴史はとても深く、授かってきた恩家は計り知れない。人間が人間社会において一人では生きていけないように、人間が地球という世界においてその種だけで生きていくことはできない。

IUCN(国際自然保護連合)が作成している、絶滅の危機に瀕している世界の野生生物のリスト「レッドリスト」には、現在 16000 を超える種の野生動物が名を連ねている。有名なところでは、メダカもその中の 1 種である。個人的な話になってしまうが、私の母方の祖母の家が白神山地のふもとにある。白神山地といえは、人為の影響をほとんど受けていない世界最大級の原生的なブナ林を有しており、多種多様な動植物が生息し、貴重な生態系が保たれているとして世界遺産に登録された場所である。幼少のとき、その祖母の家に帰省すると、裏の川でメダカをペットボトルに捕まえるのが、私の楽しみの一つであった。しかし去年(2008 年)帰省したとき、川にメダカが見当たらなくなっていた。実際に目を凝らしてよく探せばその姿は見つかるのだが、その数が激減したことは、10 年以上の記憶のタイムラグを考慮しても明らかであった。

これに似た経験をした方もいるのではないだろうか。身近にその危機を感じる事が出来るほどに、そして私たちの想像以上に、生物は窮地に陥っているのではないだろうか。

効率化が叫ばれる世の中であって、人間の過労死がメディアを騒がせた時期があった。人々は、住みづらい世界になったと嘆いたが、それは人間に限ったことではない。今、その波は人間だけでなく、その他の種まで及んでいる。今回、「悲しきミツバチの過労死」という記事に出会い、ミツバチに焦点を当てて、環境経済学の分野から現状の問題点、解決策について模索していく。ミツバチという 1 個体としてはとても小さな存在が、人間に向けて発信している問題に興味を抱いていただけたら幸いである。

概要

「悲しきミツバチの過労死」、これはミツバチが世界中でかつてない規模で激減している現象のことを示しており、正式には蜂群崩壊症候群 (CCD) と呼ばれている。

この現象の特徴として、商業的な養蜂コロニーにおいてのみ発生しており、野生のコロニーで発生していないことが挙げられる。つまりここから、人間の利害による行動が、ミツバチに影響を及ぼしていると考えられるのだ。「人間の利害行動による生物への悪影響」、これを問題意識として、卒業論文は以下のような構成にした。

第一章では、ミツバチについて論述していく。ミツバチが持つ特徴から、本来の彼らの生活についてである。CCD を考える上で、ミツバチ本来の生態を知ることは必要不可欠の要素であるからだ。

第二章では、養蜂について述べる。養蜂についての知識も野生のコロニーで CCD が発生していない現状を鑑みると、ミツバチの生態と同様に重要であるからだ。

第三章では、CCD について論述していく。CCD の原因と考えられている諸説、現状の被害、今後及ぼすと思われる影響について述べる。

第四章では、現実に行われている CCD 対策について述べた後、第二、三章から考えられる私なりの CCD の原因を述べていく。

第五章はモデル分析である。経済学的な観点から、CCD の現状を分析し、それに対する解決案を提案し、その可能性について模索していく。

第六章で、モデル分析から得られた結果に対する私なりの考察を述べる。

第一章 ミツバチについて

i ミツバチとは

ハチは分類上、昆虫綱・膜翅目に属する、透明で丈夫な薄い羽をもった昆虫である。ほとんどの種類が、卵を産む産卵管が変化した針を持ち、この針で身を守ったり餌を刺したりする。

ミツバチは膜翅目ミツバチ科に分類されており、現在世界に 9 種が生息している。ヒメミツバチ、トウヨウミツバチ、セイヨウミツバチ、オオミツバチなどがこれに属しており、ニホンミツバチはトウヨウミツバチの一種である。

また、ミツバチは集団で生活して、仕事を分担するような社会性を持っている。彼らが花の蜜を集めるのは、女王蜂を頂点とした集団(コロニー)全体が生き延びていくためである。蜜だけでなく花粉も集めながら、色々な花を飛び回るため、自然に受粉活動も行っている。この行動は、花や木の実りに役立っている。

ii セイヨウミツバチとトウヨウミツバチ

ミツバチは現在世界に 9 種が存在しているわけだが、その中で養蜂生産物を生み、世界の養蜂業を支えているのはセイヨウミツバチである。養蜂に関しては、次の章で詳しく述べるので、ここではセイヨウミツバチと、アジアの養蜂資源として期待されているトウヨウミツバチについて論述する。

セイヨウミツバチは数枚の巣板からなる複葉巣を、閉鎖空間に作るミツバチである。原産地はヨーロッパからアフリカで、24 の亜種が確認されているが、ヨーロッパで家畜化されたイタリアン種、カーニオラン種、コーカシアン種、クロバチ種の 4 亜種が養蜂種として広く世界中で利用されている。現在、南北アメリカ諸国やオーストラリア、ニュージーランドは養蜂の盛んな国になっているが、これらの地域にはミツバチがまったく生息していなかった。1600~1800 年代にかけて、ヨーロッパの国々からの移民とともに養蜂種としてのミツバチが持ち込まれた。

トウヨウミツバチはセイヨウミツバチと同様に複葉巣を閉鎖空間に作る。現在 4 亜種が確認されており、インドから東南アジアの熱帯地域に生息しているインド亜種、東アジアに生息している中国産の原亜種、ヒマラヤの山岳地域に生息するヒマラヤ亜種、日本列島にのみ生息する日本亜種がそれである。トウヨウミツバチは攻撃性の低い、おとなしいハチで、伝統的にアジア各地で飼育されている。一つのコロニー当たりのハチの数は、ニホンミツバチでは数千から 2 万匹程度で、セイヨウミツバチの 3 万匹程度と比べると少ない。もとが熱帯起源であるため、集蜜力はセイヨウミツバチに比べると低く、また巢内の環境が悪化すると、巣を放棄する「逃去性」が高い。



セイヨウミツバチ



トウヨウミツバチ

(出展: <http://mushi.didi-oto.com/index.php>)

(出展: http://pds.exblog.jp/pds/1/200806/09/29/c0093829_15594962.jpg)

iii ミツバチ社会の仕組み

ミツバチの社会構造は母系家族を基本としており、その心臓部に一匹の長命な雌である女王バチがいる。典型的なコロニーには3万匹ほどハチがいるが、その母親であるハチだ。3万匹のうち、95%は娘の働きバチで、交尾もせず、そして母親が生きている限り卵も産めない。その代わりに、働きバチたちは産卵以外のコロニー内の仕事をすべて行って、母親の生存と生殖を助けていく。同じ雌バチでも、女王バチと働きバチの違いは食料によって決定される。ミツバチの社会では雌として産み付けられた卵は、その時点では女王バチまたは働きバチのいずれにもなる可能性があるが、各々の食事が全く異なる。女王バチの候補にはローヤルゼリーが、働きバチの幼虫には花粉、蜂蜜が与えられる。また、女王バチは王台と呼ばれる特別の部屋で育てられ、働きバチは六角形の部屋で育てられることになる。卵を産み付けられた場所でその運命が決まるのだ。この両者の違いとして、体の機能や寿命が挙げられる。寿命は、働きバチが1ヶ月余りなのに対して女王バチは6年も生き延びるものもいて、昆虫界ではとても珍しいものである。

女王バチの子供の5%は生殖階級、つまり女王バチと雄バチに発達する。雄バチは巣の仕事には一切関わらず、時々外出して結婚相手の処女王を待ち続ける。一度女王バチを見つけると、一匹の処女王に対して死に物狂いの戦いを展開する。この戦いで生き残った雄は、交尾をした直後にショック死してその生涯を終える。なかには交尾に行こうとせず、巣に残ってブラブラしているものもいるが、そういった雄バチは巣の中で役立たずということで、巣から外に出されてしまう。交尾もせず、巣の仕事もしない雄バチは、餌を浪費するだけの無用の長物にすぎないからだ。まさに「働かざるもの食うべからず」であり、ミツバチの社会は役割分担が徹底的された、とても厳しい社会といえる。

iv ミツバチの情報伝達

ミツバチの社会は、ハチ同士の協力がないと成り立たない。このことが最も顕著に見られるのが、ハチの情報伝達である。ハチは生命維持のために蜜や花粉を集めるわけだが、巣

には女王バチの他に沢山のミツバチの赤ちゃんが餌を待っているわけで、一匹の働きバチ（ここでは収穫バチを意味する）では賄いきれない。そこで、大勢の働きバチが協力してハチの巣に良質の蜜や花粉を運び込む必要がある。このためには、蜜や花粉のありかは、働きバチのそれぞれが自分自身で見つけるのではなくて、一匹が見つけた蜜源を他の働きバチに伝えなくてはならない。そこでミツバチが用いる情報伝達方法が「ダンス」である。下の画像は、ダンスをしているミツバチである。蜜のある場所までの距離、方向、蜜の品質などをダンスによって巣の仲間に伝達する。具体的には、蜜を見つけて巣に戻った働きバチは円形ダンス(ぐるぐる回る)をする。すると残った働きバチはお知りを追いかけて同じようなダンスをし、次々に伝達が伝わっていく。このダンスは、蜜が良質で豊富なほど活発に行なわれ、多くの働きバチの動員が必要でないときにはダンスは行なわれない。蜜源が枯れてくると、ダンスは気の抜けたようになり、やがて踊らなくなる。また、蜜源までの距離が近い場合は円形ダンスを、遠い場合は尻振りダンスを行なう。最近では、羽の羽ばたく回数で、より細かい情報を伝えることが出来ることが分かってきている。以上から、ミツバチが正確な情報伝達手段を有しており、コミュニケーション能力が非常に高いことが分かる。



(出展: http://www.b-topia.com/story_top.html)

V ミツバチの採集行動

ミツバチは、1回の採集飛行で30分ほどの時間をかけて200以上の花をめぐり、自分の身体の半分ほどの重さの蜜を運ぶ。ちなみに、セイヨウミツバチ1匹の体重はおよそ80mgである。彼らはこの採集飛行を1日に10数回繰り返す。さらに研究から、セイヨウミツバチは蜜や花粉を求めて飛び回るときに、燃料としての蜜を持って出かけるが、最初に出かけるときは、教えられた距離を飛ぶのに必要な量の3~4倍の蜜を持って出かける。これは、迷子になったときのための備えである。3、4回目に出かけるときは、適量の蜜だけを持つようになる。また、巣から蜜源までの距離は、飛行中の風景の流れを量的に捉えて、測っ

ている。この事実からも、ミツバチが非常に賢い昆虫であることが分かる。

第二章 養蜂について

i 養蜂の歴史

ミツバチの巣から蜂蜜を採る「ハニーハンティング」の様子の最も古い記録は、紀元前 6000 年頃であり、東スペインの洞窟壁画にハチの巣から蜜を採っている人の姿が描かれている。巣箱を用いた養蜂の最古の記録は紀元前 1500 年頃で、エジプトの墓の壁画には泥で作った円筒形の巣箱でミツバチを飼っている姿が描かれている。ここで注目すべき点は、古代エジプトではすでに転地養蜂が行なわれていたことである。古代エジプト人たちは、蜂群を舟に乗せて、花を追いながらナイル川を上下したという。河口のデルタ地域が、いちばん蜜源が豊富であったようだが、それに先立って上エジプトでは果樹や野草の花が咲く。それに、下エジプトの地帯には有名なナイル川の氾濫があった。これらの事情が転地養蜂のきっかけとなり、下エジプトの養蜂家たちはミツバチを舟やイカダに積んで上エジプトへ大転育を行なったのだ。下の画像は、古代エジプトの養蜂を描いた墳墓の壁画である。粘土で作った灰色の巣箱から蜂蜜のたまった巣を取り出し、蜜を壺に貯蔵している様子が描かれている。この他にも、蜂蜜入り菓子パン作りの絵や、貢物として蜂蜜入り壺を運んでいる絵もあり、当時の貴族の生活に蜂蜜が重要であったことがうかがい知れる。



(出展: <http://www.b-topia.com/story4.html>)

ギリシャ・ローマ時代になると養蜂は企業化され、多数の奴隷を使用する大規模養蜂場が登場する。市民の間でも蜂蜜を利用する人が増え、肉料理や飲み物、デザートなどに利用されるようになる。

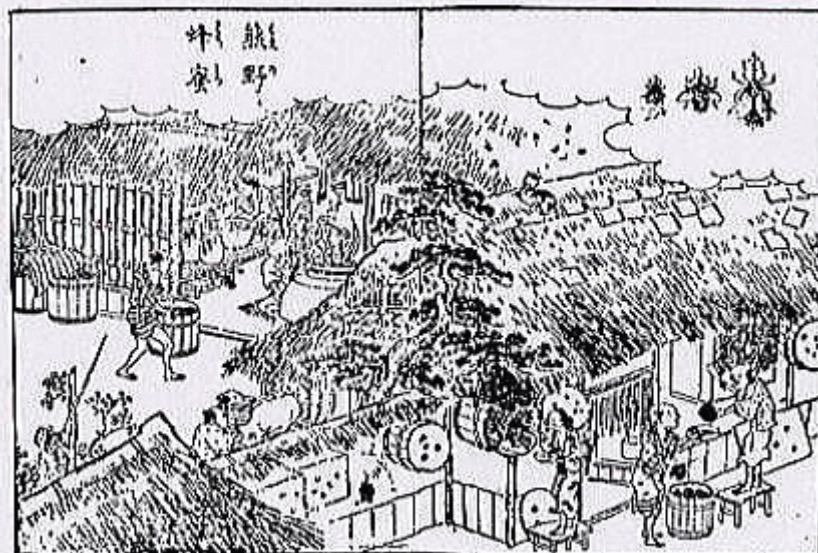


ギリシャのミツバチ貨幣

(出展: <http://www.b-topia.com/story4.html>)

1700年代後半になると、セイヨウミツバチが棲みついている木を探して、木に登る、はしごを使うなどして、巣から蜂蜜を採る「森林養蜂」が北欧で行なわれるようになった。森林養蜂が盛んになると、空洞の丸太を木につるしてハチが入るのを待つようになった。やがて、木につるしていた丸太を地上に並べて管理することによって、養蜂の形態が作られてきた。

日本における養蜂事情で、最も古い文献は飛鳥時代に編纂された「日本書紀」である。同書には、皇極天皇二年(西暦 643 年)に養蜂を試みたが失敗に終わったという記述がある。平安時代に編纂された「延喜式」には、日本各地から宮中に献上された特産物が記録されているが、そのなかに「蜜、甲斐国一升、相模国一升、信濃国二升、能登国一升五合」という記述がある。一国の献上が1~2升であることから、当時は蜜の生産量が少なく、貴重品であったことが分かる。江戸時代になると、「家蜂蓄養記」、「日本山海名産図会」、「公益国産考」などの養蜂技術を解説した本も出版されるようになり、生産量も増え、薬としては一般の人の口にも入るようになった。



江戸時代の採蜜風景 「日本山海名産図会」より

(出展: <http://www.b-topia.com/story4.html>)

人類は自然巣から蜜を採る方法を経て、粘土製の巣箱や桶、くりぬいた丸太の巣でミツバ

チを飼うようになったが、採蜜の方法はヨーロッパでも日本でも、巣を押しつぶして蜜を採るという原始時代と変わらない方法だった。こうした方法に革命をもたらしたのが、1851年にアメリカ人のラングストロスによって考えられた、巣箱の改良と可動式の巣箱を用いた「可動巣枠式巣箱」であった。1857年にはドイツ人のメーリングによって、巣枠に巣板を構築していくきっかけとなる「巣礎」が、1865年にはオーストリア人のフルシュカによって、遠心力を利用して蜂蜜を絞る「遠心分離機」が相次いで発明された。これらの養蜂器具のよる近代養蜂が確立してくると、巣箱に落ち着いているハチが残り、攻撃性の強いものは排除され、蜜の収集力が低いものは越冬できずに死に絶え、生き残ったものには病気や寒さに強い性質の改良が加えられた。このようにして、セイヨウミツバチは家畜化が進んでいった。

ii 現代の養蜂

養蜂では、巣礎と呼ばれる厚板を直方体の箱に 8~10 枚並べる。自然の巣をまねて、巣礎は鉛直面に平行に並んでいる。巣礎はミツバチが巣板を形成する土台となるものである。ミツバチが蜂蜜を貯蔵するのは、自然の状態においても養蜂においても巣板の上部に限られており、下部は卵を孵し、幼虫を育てるための領域となる。また、下部には花粉を貯める領域もある。

iii 移動養蜂と定置養蜂

養蜂には、移動養蜂と定置養蜂の 2 種類がある。定置養蜂は同じ場所で次々に咲く異なる種類の花の蜜を集めるもので、近年では果樹の授粉目的のほか、定年退職後のサラリーマンなど個人が自宅の庭やベランダに設置した巣箱で飼育し、蜂蜜も自家消費する分だけ採るといった「趣味の養蜂」も増えている。これに対して移動養蜂では、特定の花の開花時期に合わせて国内各地を移動する。写真からも分かるように、トラックに大量の巣箱を積んで移動する。



(出典: <http://rengedo-inc.com/>)

第三章 蜂群崩壊症候群 (CCD) について

i 蜂群崩壊症候群 (CCD) とは

蜂群崩壊症候群 (ほうぐんほうかいしょうこうぐん) とは、ミツバチが原因不明に大量に失踪する現象のことである。日本での別名で「いないいない病」ともいわれる。ミツバチの減少率が大きなものとなったため、「蜂群崩壊症候群」(CCD) の名称が、ミツバチ失踪現象を表すことが提唱された。

近年になって、セイヨウミツバチが大量に失踪する現象が米国各地で起こっており、その数はおおよそ米国で飼われているミツバチの 4 分の 1 にもなっている。米国だけでなく、ヨーロッパの養蜂家においても、スイス、ドイツ、ベルギー、フランス、オランダ、ポーランド、ギリシャ、イタリア、ポルトガル、スペインでも同様の失踪現象が確認されている。ヨーロッパ以外ではカナダ、インド、ブラジルでもこの問題が報告されている。すべての事例が CCD と断定はされていないが、その被害は世界中に広まっているといえる。

ii CCD による影響

<授粉の観点から>

CCD が人間にもたらす影響として最も大きいことは農作物である。世界の主要農産物 115 品目のうち、87 品目までは果実や種子の収穫を自然な受粉に依存している。また、世界の農業生産物の年間総売り上げは 3 兆ドル弱とされているが、その内受粉の必要な作物は約 1 兆ドルにのぼる。これは、私たちの年間消費カロリーの 35% に相当し、ビタミンやミネラル、抗酸化物質のほとんどが含まれるブルーベリーやサクランボ、リンゴやグレープフルーツ、胡瓜、マカデミアナッツやアーモンドにミツバチの助けは不可欠であるし、レタスやブロッコリーのような野菜もミツバチが花粉を運ばなければ翌年の作付け用の種子を確保できない。米国において特に深刻なのは、カリフォルニアで栽培されているアーモンドなどの作物である。カリフォルニアでは、ミツバチがほぼ独占的に授粉を行っており、2006 年の作物収穫高は 15 億ドルであった。2000 年には、ミツバチに授粉を依存している米国の総収穫高は 150 億ドルを上回っていると推定されている。花粉媒介を行う昆虫は、米国作物の種類のおよそ 3 分の 1 の授粉を媒介している。米国において昆虫が花粉媒介を行っている作物には、アーモンド、桃、大豆、リンゴ、西洋梨、サクランボ、木苺、ブラックベリー、クランベリー、スイカ、メロン、胡瓜、苺などがある。これらの植物の多くは、米国においては他の種類のミツバチなどの昆虫が花粉を運んで授粉を行うことが可能であり、実際に行われていることもあるが、商業規模ではない。個々の状況を見て、他の種の方が実際に授粉の効果があつたとしても、ミツバチが授粉を担当する作物の種類 30% では、野生の花粉媒介種のほとんどはミツバチほど簡単もしくは効果的に大量使用ができない。多くの例において、それらの昆虫は植物を訪問しようとはしない。蜂の巣は必要に応じて、ある

作物から別の作物へ移動することができ、ミツバチは大群を成して多数の植物を訪れる。効率的に不足する点を数で補っているのだ。そのため、これらの作物の商業的生産量は養蜂産業に強く依存している。

<経済的な観点から～アーモンドに関して～>

先にアーモンドのミツバチへの依存を論述した。現在、中国やインドにおいて経済的な発展とともにアーモンド需要が増加してきている。アーモンドは利益率も高いため、その作付面積は05年に22万haであったが、07年には25万haへと拡大しており、10年には32万haに達すると見込まれている。大規模農場では1ha当たり巣箱4個以上が必要とされるので、アーモンドの持続可能な生産には約200万個弱の巣箱が必要という計算が出来る。この数字は今の米国に生息するミツバチの数とほぼ同数(60年前にはこの3倍のミツバチが生息していた)である。さらに、CCDによるミツバチの減少から、ミツバチの受粉料がアーモンド農家の利益を圧迫してきている。アーモンド農家のために適切なミツバチ巣箱のリースを仲介する受粉ブローカーによれば、受粉費用の高騰が非常に著しいという。50年前に巣箱1箱の貸出価格は3ドルであったが、04年には60ドルになり、08年には160~180ドルまで上昇した。天井が見えない価格高騰にあって、カリフォルニア州のアーモンド農家の受粉料負担は総コストの20%にまで上昇した。この割合は、肥料や水、人件費よりも高い。そして08年には、栽培者の生産コストを出荷価格が上回った。農産物の価格は国際的な市場で決まるため、農民が生産コストの増加を価格に転嫁するのは容易ではない。そのため、農家は板ばさみになっており、廃業か転作を迫られている。

iii CCDの原因と考えられている諸説

その原因は、「栄養失調説」、「遺伝子組み換え作物説」、「農薬説」、「疫病説」、「電磁波説」、「ミツバチへの過労働・環境の変化によるストレス説」などがある。CCDは、問題の発生した地域の商業養蜂家により報告されており、野生のコロニーや有機農法では発生していない。そのため、養蜂の慣習が基礎的な要素であると考えられている。

・栄養失調説

米国のペンシルバニア州の研究グループによって、問題の失踪現象の前にハチのコロニーが栄養不足や水不足の両者、あるいは片一方のストレスにさらされていたと報告されている。

・遺伝子組み換え作物説

一部の研究者は、冬の貯蔵物に高果糖コーンシロップ(HFCS)を与える観衆に原因があるとしている。さらにヨーロッパの解説者は、遺伝子組み換えトウモロコシから作られたHFCSに関連があると示唆している。しかし、冬にHFCSを与えていない養蜂家においてもCCDが多数報告されており、CCDの原因としてHFCSと一概には断定できない。

・農薬説

農薬は昆虫に対する害の大きさを問題になることが多いが、その中でも CCD に関して影響が大きいと考えられている農薬がイミダクロプリドである。その理由は、ミツバチをはじめとする昆虫に見られるイミダクロプリドの効果が、CCD の症状と一致するからだ。例えば、シロアリへのイミダクロプリドの効果は免疫系に影響を与え、方向感覚を失わせる。05 年にイタリアのポローニャの養蜂国立研究院の科学者のチームが、イミダクロプリドがついた種から得られた花粉は致命的なレベルの殺虫剤を含むことを発見し、汚染された花粉はミツバチのコロニーを死に導きかねないと発表した。スクロースに溶けたイミダクロプリドは、数時間で蜜蜂のコミュニケーションを減少させ、イミダクロプリドの濃度によっては、ミツバチの帰巣本能と摂食活動に影響を与え、飛翔活動と嗅覚機能を減少させ、嗅覚機能による学習能力の減少が生じるという。それに対する対策として、フランスでは 99 年にイミダクロプリドのヒマワリへの使用を禁止し、04 年には他の作物への使用も禁止した。その後、代用品としてフィピロニル、もしくはフェニルピラゾールが使用されたが、これもミツバチに毒性があると分かり、フランスでは部分的に使用禁止となった。しかし、フランスにおけるミツバチの数は回復していない。イミダクロプリドは年間約 8 億 6000 万ドルも売り上げる農薬のベストセラーであるが、いまのところミツバチの減少との因果関係を裏付ける証拠はない。

また、米国において、冬にフロリダの柑橘植物の果樹園で蜂を越冬させ、2、3 週間の内にさらに蜜を集めるためにガルベリーというモチノキ科の植物に灰を移動。最後にメイン州のブルーベリーの交配で仕上げると、女王蜂が卵を産まなくなり、幼虫が死に、群れが半分になるという報告がある。しかし、CCD が農薬の影響を受けているかどうかを確認するのは難しい。その理由は以下による。

- ① CCD が報告されている様々な地域において、使用されていると報告のある農薬の種類から、農薬のすべての可能性のある組み合わせを確認することが難しい。
- ② 商業的な養蜂家は移動可能であり、季節の移り変わりに合わせて非常に長距離にわたり、蜂の巣を移動させる。それぞれの場所で異なる農薬をミツバチはあびることになる。
- ③ ミツバチは自身の生態として、花粉と蜂蜜を長期間に渡って貯蓄する。そのため、コロニーに汚染された食料が運ばれてから、数日から数ヶ月の遅れが生じる。兆候の出現を農薬により実際に汚染された時点と関連づけることが難しい。

・疫病説

疫病説の中で、CCD の原因として一番有力なのが「ミツバチヘギイタダニ」である。その理由は、このダニが CCD に関連があるとされてきた奇形羽ウイルスやミツバチ急性麻痺ウイルスなどのウイルスを運ぶからだ。そのため、このダニは CCD の原因である可能性が高いと考えられているが、死亡したコロニーの全てでこれらのダニが発見されているわけではな

い。

・ミツバチへの過労働・環境の変化によるストレス説

<移動養蜂からくるミツバチへの負担>

米国農業にとって、授粉のための蜂の貸し出しは必要不可欠な要素である。自然の受粉のみで現在のレベルの生産を行うことが非常に困難であるからである。米国の養蜂家は、蜂蜜の生産収入より、授粉のためにミツバチを貸し出す収入のほうがはるかに多い。養蜂家の移動と CCD の関係について重要なことは、授粉のためにミツバチのコロニーを国中に運搬すると、ほかのコロニーのミツバチと交流があり、コロニー間でウイルスやダニを広げることになっているのではないかということである。さらに、その様な連続しての移動と定住の繰り返しは蜂の巣全体に緊張と混乱を招き、あらゆる種類の異常に対する抵抗力を減らすことになるのだとする説もある。

ある有名な米国の養蜂家は、蜂の巣を 1 月にアイダホ州からカリフォルニア州に移動すると、3 月にはワシントン州のリンゴ園に移り、その 2 ヶ月後にはノースダコタ州に、11 月には再びアイダホ州に戻ると報告しており、その移動距離は数千キロにもなる。他にも、蜂の巣をフロリダ州からハンブシャー州やテキサス州に移動する養蜂家もいるが、いずれも 1 月にはアーモンドの授粉のためにカリフォルニア州に立ち寄る。

<大規模農場がミツバチにもたらす負担>

特にアメリカにおいて、農場は第二次世界大戦以降その平均農場面積を拡大し続けている。政府は大規模農場に有利な政策を採用し、規模拡大を奨励してきた。その結果、企業が経営する大規模農場が利益を上げてきたからだ。大規模農場の特徴として、広大な面積に単一の植物だけを栽培し、画一的な作物の植え方をすることが挙げられる。そのため、ミツバチの成虫や幼虫は一つの種類の植物の蜜や花粉を採取し続けることになる。実験により、ミツバチの幼虫が 1 種類の餌のみを与えられた場合、その寿命は 5 種類の餌を与えられた幼虫の半分ほどになるという結果が出ている。この実験からも大規模農場がミツバチに課す負担の大きさが分かる。

ミツバチ本来のあるべき生活は、一つの場所に巣を構えて、3~4km の範囲で季節の花から蜜や花粉を採集するものである。その際、彼らは周りの景色や花の形も覚えている。移動養蜂は、移動中のストレスだけでなく、一つの場所に巣を構えるというミツバチ本来の生態に反しているし、大規模農場はその画一的な植え方により、栄養の偏りだけでなく、周りの景色を覚えることも阻害している。ミツバチへの過労働・環境の変化によるストレス説は、これらが理由となってミツバチはストレスを感じ、その免疫力を低下させ、CCD 発生につながっているという説である。

電磁波説

ランダウ大学が、研究対象を携帯電話として CCD に関連付けた論文を発表した。ランダウ

大学の試験的な調査は、ミツバチ(セイヨウミツバチ)に対する無線周波数(RF)の非熱的効果を探るものであり、ミツバチが巣に DECT 携帯電話の基地局を埋め込まれた場合、近距離の電磁界(EMF)がミツバチの帰巢能力を減少させることがあると示唆している。また、処理を施したコロニーでは蜂の巣の重さも僅かに減少したとも述べている。その研究の過程で、DECT 基地局を埋めておかなかったコロニーも含めて、コロニーの半数が壊れてしまった。また、非電離放射線の考えられる生物学的影響は存在するものの、一般に最も顕著な効果は熱によるものであることが分かっている。ちなみに、一般の人々への通常の状態での RF の放射量は、熱を作り出したり、体の温度を上げたりするほどの強度ではない。現在、コードレスもしくは携帯電話の CCD への関係は完全に推論的であり、このような説明は断続的かつ突然発生したこれまで及び現在の CCD の状況とは合致しない。

第四章 分析の前に

症状が最初に観察され CCD の現状が報告されている米国では、米国農務省(USDA)が CCD 対策を公開し、以下のように述べている。

- ① 調査とデータ集
- ② サンプルの解析
- ③ 仮説に基づいた研究
- ④ 軽減策や防止策

この対策は理に適ったものだと感じる。しかし、具体的な解決策ではない。CCD の原因を究明しきれていないのだ。他に、現在実験されている CCD 解決策として、以下の 2 つがある。一つ目は、更にハチを働かせる方法である。これは、幼虫のフェロモンを巣の中に大量投入(実験では幼虫 20 万匹分)することで、ミツバチを花のもとへより多くの回数行かせようとするものである。結果として、ミツバチの労働力を 150%まで引き上げることに成功したが、代償として実験対象となったハチの寿命は著しく短くなった。

二つ目は、ミツバチの生命力を強くしようとする試みである。免疫力、繁殖力が強いアフリカ種のミツバチをセイヨウミツバチと交配することで、種としてより強いものを生み出そうとしたのだ。しかし、アフリカ種のミツバチは攻撃性がとても強く、刺されて人が死に至ったケースもあるため、生み出された新たな種が養蜂に向くか疑問視する意見も多い。以上が現状の対策である。しかし、これらの対策は実現性や倫理面を考慮した場合、適切であるとは言いがたい。

これから、私なりの CCD の原因について述べていく。これは、次の章における分析および解決策を提案する上で必要なものであるからだ。米農務省が原因を突き止めていないのに、一介の学生である私が原因を断定するのはおかしな話かもしれない。私は生物学者ではないし、専門知識も持ち合わせていない。集めた情報、データをもとに推論した CCD

の原因である。そのことはお断りしておく。

私が出した CCD 発生原因の結論は「ミツバチのストレス過多による免疫力の低下」である。第三章において、現在考えられている、CCD 発生原因の諸説をいくつか挙げた。その一つ一つに対してまとめると、

- ①栄養失調説・・・近年、急に CCD が増えた説明付けができない
- ②遺伝子組み換え作物説・・・関係ないコロニーでも CCD が発生している
- ③農薬説・・・農薬が CCD の原因だと断定できる材料に欠ける
- ④疫病説・・・遺伝子組み換え作物説と同様で、関係ないコロニーでも CCD が発生している
- ⑤電磁波説・・・CCD 発生状況と必ずしも一致しない
- ⑥ミツバチへの過労働・環境の変化によるストレス説・・・失踪の直接の原因とは成りえない

つまり、それぞれの説が一つずつだと、CCD の原因とはならないのだ。ここから、複数の説が絡み合っ、世界中で CCD が発生していると考えられる。失踪の直接の原因となるのは、挙げた 6 つの説のうち、上の①~⑤である。ではなぜ、近年になって CCD が急増したのか。それは、⑥によってミツバチの免疫力が慢性的に世代を超えて低下し、そこに①~⑤の要因が絡んで起こったと考えれば説明がつく。

CCD 発生要因は「ミツバチのストレス過多による免疫力の低下」、この仮定を踏まえて第五章の分析を進めていく。

第五章 分析

i 現状分析

私の問題意識と CCD 発生要因の仮定を改めて述べると、「人間の利害行動による生物への悪影響」と「ミツバチのストレス過多による免疫力の低下」である。そのため、養蜂家の利害行動がミツバチに悪影響を及ぼしているのではないかと、ストレスを過剰に与えているのではないかと、という視点から分析を進めていく。

養蜂家の効用を、無差別曲線を用いて表す。その際のパラメーターは以下の通りである。

労働(移動)日数: N 余暇(滞在)日数: h 労働から得られる所得: M

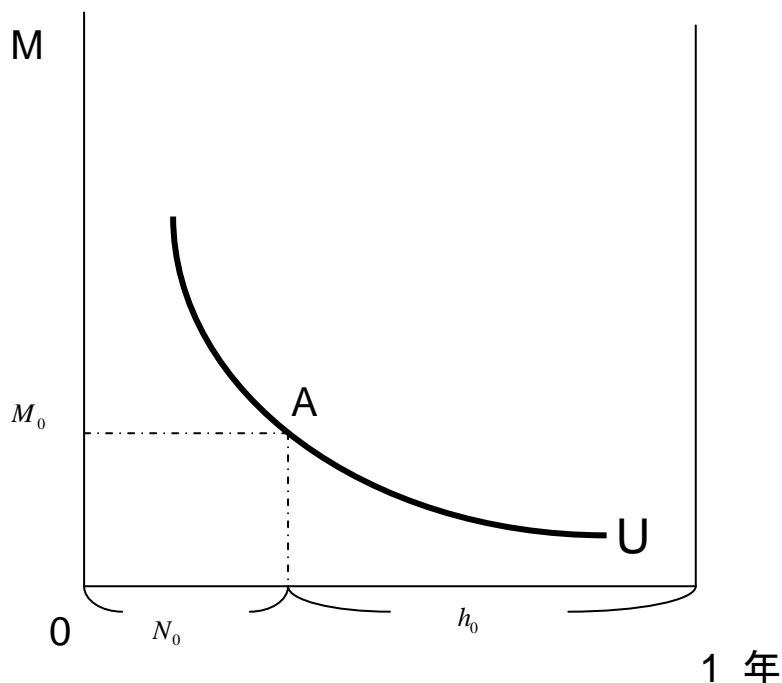
所得と余暇の両方から得られる効用: U

ここで、ミツバチのストレスを考慮するため、養蜂家の労働日数は移動養蜂における移動の日数と考える。

養蜂家は1年をサイクルとして行動するので、1年を労働と余暇に使えると考えると、余暇日数 h は $h = 1 \text{年} - N$ と表すことができる。

よって効用 U は $U = u(M, 1 \text{年} - N) \cdots \textcircled{1}$ 式 と表せる。これを図示すると

図-1



上の①式が、養蜂家にとっての所得と余暇の効用関数である。この効用関数をもとにして、同一の効用水準を示す所得と余暇の組み合わせを表す無差別曲線を描いたのが、上の図-1である。

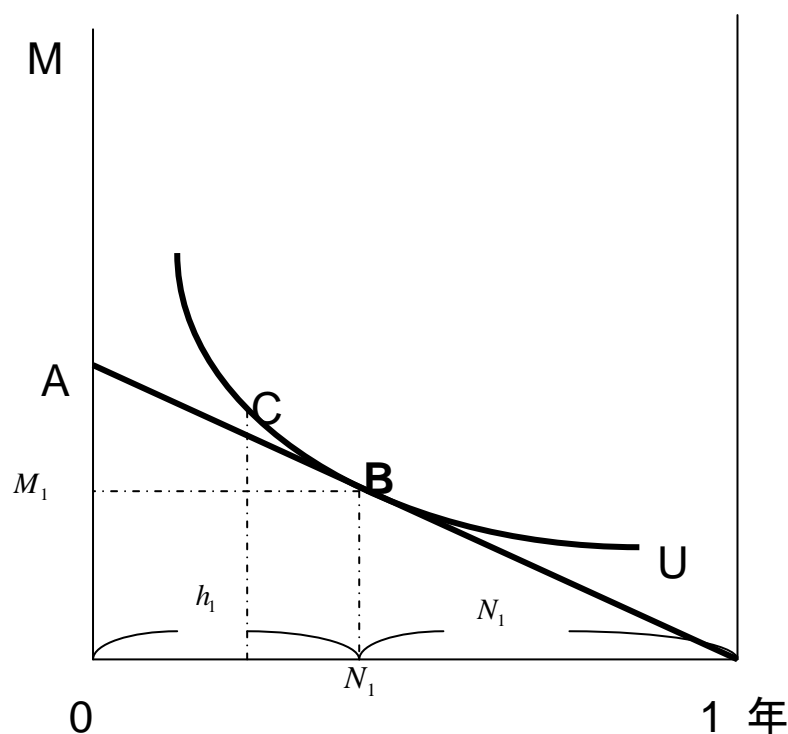
縦軸に所得、横軸に余暇日数をとると、そこに所得と余暇の組み合わせから得られる効用水準が一定である無差別曲線を上の図のように描くことができる。

なお横軸は全体として労働と余暇に利用できる時間が1年間であることを示しており、右端の1年間から左に向かって労働日数が測られている。残りは余暇日数になるので、図のA点では労働日数は N_0 、余暇日数は h_0 となる。

養蜂家としては、原点から遠い無差別曲線を選択すれば、所得と余暇の組み合わせを多くすることができる。しかし、賃金の高さに限度があるので、賃金率が与えられると、選択できる無差別曲線はその所得の範囲に制約されることになる。

賃金率 w を一定とすると、所得は $M=wN$ で与えられる。ここで、養蜂家が生産する財の価格 P を $P=1$ と仮定しておけば、所得 M は名目所得であるとともに実質所得を表す。この所得制約線を図-1に加えると、以下の図-2のようになる。図-2には所得制約線、および効用の無差別曲線が描かれている。なお、所得制約線において、横軸右端は労働時間 N がゼロであるから、 $M=wN=0$ となる。

図-2



この図-2 から、最適労働供給量を決定することができる。図-2 において、効用の無差別曲線と所得制約線の接する点が、養蜂家にとっての効用を最大にする所得と余暇の最適な組み合わせとなる。したがってこの接点に対応する N_1 が最適労働供給量を決定する点となる。

しかし、ここで一つの疑問が浮かぶ。この効用関数は養蜂家のものである。養蜂家は余暇時間にもハチの世話をしなければならない。しかも第三章で述べたように、ミツバチが生産する財から得られる収入より、農場に授粉のためにミツバチを貸し出す収入の方が多い。ここから、労働(移動)日数の重要性は、養蜂家にとってそれほど高くないと考えられる。つまり、この仮定に基づくと養蜂家は効用関数上を、各々が決定して行動していることになり、最適労働(移動)日数が実現していないことになる。しかも、養蜂家にとっては財の生産よりミツバチを貸し出す収入の方が多いため、労働(移動)が本来の最適労働(移動)量より、図-2 における C 点のように本来の B 点から左にシフトし、労働過剰になっていると私は考えた。以上より、最適労働供給量より労働過剰になることで、ミツバチの移動距離は増加し、ストレスが増加していると考えられる。

ここから、過剰労働によってミツバチが受ける影響を、ロジスティック関数を用いて表してみる。その際のパラメーターは以下の通りである。

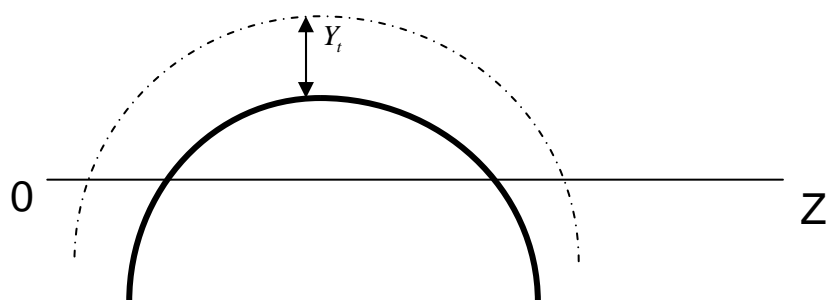
t 時点でのミツバチの個体ストック: Z_t t+1 時点でのミツバチの個体ストック: Z_{t+1}
 t 時点での過剰労働がミツバチに及ぼす影響: Y_t ストック純増加関数: $H(Z_t)$

このようにパラメーターを設定すると、ミツバチの増殖は以下のような関数で表すことが出来る。

$$Z_{t+1} = Z_t + H(Z_t) - Y_t \dots \text{②式}$$

これをグラフで表すと図-3 のようになる。

図-3



この①式および図-3 より、移動があるときは移動量 Y_i だけ増殖関数は下にシフトし、ミツバチの増殖率は減少することになる。ミツバチの個体数は減少しているので、現状は増殖関数の 0 以下の点に位置していると考えられる。この分析から、ミツバチは過剰な労働からストレスをため込み、免疫力が低下し、CCD の発生につながっているということが言える。

ii 解決策

i の現状分析から、養蜂家の所得と余暇の効用関数と所得制約線の接点で、労働供給量が決定していないことが、ミツバチの免疫力低下を引き起こし、CCD 発生の要因となっていることが分かった。労働供給量が効用関数と所得制約線の接点で決まれば、過剰労働はなくなり、ミツバチの免疫力回復につながるはずである。

現状として、接点で労働供給量が決まっていない理由は、養蜂家にとって余暇日数の重要性が高くないからだ。余暇日数の重要性が高まれば、労働供給量は効用関数と所得制約線の接点で決定され、過剰労働はなくなるはずである。

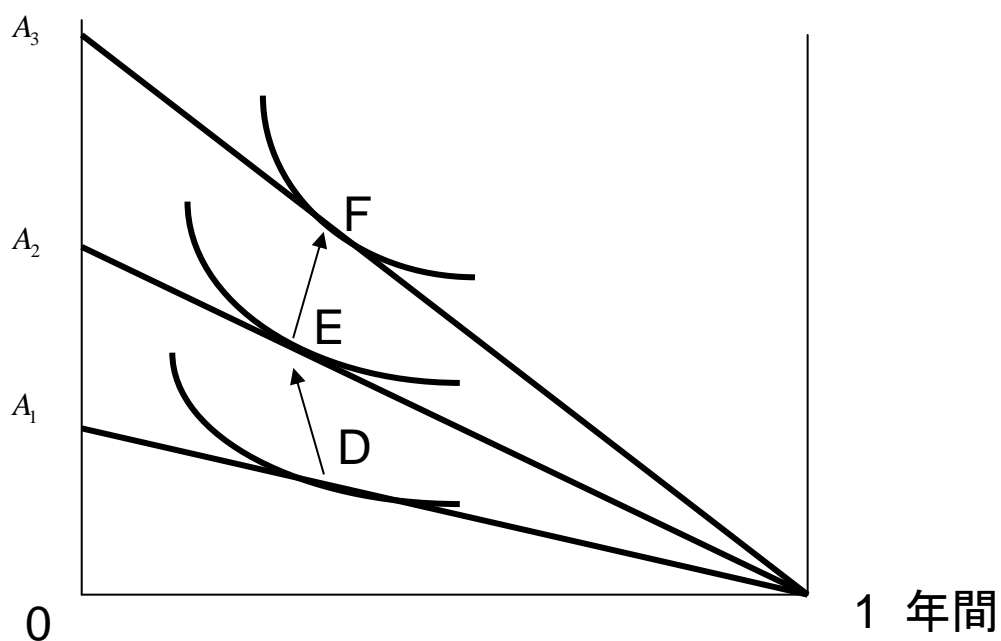
そこで、私が提案する具体的解決案は「補助金」である。重要なことは、この補助金をどのように効率的に使うかだ。そこで効率的に補助金を使う手段として、「二段階補助金」を提案する。段階分けは以下のように行う。

第一段階

余暇、つまり移動せずにいる養蜂家に限定して、補助金を提供する。この目的は、養蜂家にとっての余暇の重要性を増すことにある。養蜂家は本来、余暇においてもミツバチの世話をするために、それを重視しない。しかし、そこに経済的なファクターを与えることで、余暇の重要性が増えるのである。これにより、養蜂家は所得と余暇の効用関数と所得制約線の接点で労働を供給するようになる。もちろん、補助金は適切な額でなくてはならない。

第二段階

養蜂家の賃金 w を上昇させる。この目的は以下の図-4 を実現することである。



これにより、最適労働供給量が右にシフトしていく。 w の上昇は所得を増加させる。所得増加により、賃金上昇の所得効果が発生するからだ。この場合、所得増加に応じてD点からE点に移行する場合は一旦労働日数は増加するが、F点に向かうようになると労働日数は減少し、余暇日数が増えていく。ミツバチにとっては、移動距離が減るのでストレスが軽減し、免疫力向上につながると考えられる。

第六章 考察

問題意識は「人間の利害行動による生物への悪影響」であった。第五章の分析から、養蜂家の利害行動からミツバチが過度のストレスを課されていることが分かった。ここから、CCD 発生要因の仮定である「ミツバチのストレス過多による免疫力の低下」が起こり、これが現在世界中で起こっているミツバチ失踪を引き起こしている、と言えたのだ。更に、対策として二段階補助金を行うことで、この問題を解決しミツバチの免疫力を回復できる。これによりミツバチの失踪はなくなり、その数をまた復活させていくことができる。以上が私の卒業論文の結論である。

ただ今回の結論は、CCD 発生要因が「ミツバチのストレス過多による免疫力の低下」という仮定に基づいている。この仮定は、先にも述べたが私なりの仮定にすぎない。

今後は、CCD に関する研究がさらに進み、確実な原因を究明されることが望まれる。原因が究明され、それに対する現実的で確実な対策が行われることを期待したい。

個人的な意見として、その対策が人間の利害行動によって毒され、再び生物に悪影響を与えることがないような、ミツバチという地球上に存在する一つの生命体の存在を軽んじて扱うようなものではないことを心から願ってやまない。

最後に・・・

今回の卒業論文を書いた後に、この 2 年間のゼミ生活で自分の身になったものの大きさを改めて感じた。至らない点多々あるであろうし、拙い卒業論文かとは思いますが、自分としては納得いくものが書けたと自負している。

この 2 年間は、環境経済学の知識を学んだだけではなく、先生はもちろん素晴らしい先輩との人間関係を作ることができ、ゼミ生という掛け替えのない友人もでき、インゼミの論文執筆、合宿、ソフトボール大会、マラソン大会など数え切れない程の思い出も作ることができ、非常に有意義なものであった。

あの教室で皆がそろって学んでいたことが、思い出になりつつあることには若干の寂しさも感じるが、その学んだことをこれから社会で存分に発揮していきたいと思っている。

最後になりましたが、大沼あゆみ先生には大変お世話になりました。ご迷惑も多々おかけしたかと思えます。この言葉だけでは足りないかも知れませんが、本当に感謝しています。どうもありがとうございました。

参考文献

『環境経済学入門』

R. ケリーターナー、イアンペイトマン、デビットピアス著 大沼あゆみ翻訳

Newsweek 2008年7月2日発行 第二十三巻 二十五号

『環境・資源経済学』 時政勲 中央経済社

『ミクロ経済学』 関谷喜一 創成社

『ニホンミツバチの社会をさぐる』 吉田忠晴 玉川大学出版部

『ミツバチの文化史』 渡辺孝 筑摩書房

『ミツバチの生態学 社会生活での適応とはなにか』 トーマス・D・スィーレイ著/大谷剛 訳
日本経済新聞「サイエンス」欄 2007年1月7日付け

参考ホームページ

WWFジャパン <http://www.wwf.or.jp/index.htm>

世界遺産 白神山地 <http://apti.net.pref.aomori.jp/sirakami/index.html>

プロポリス専門 <http://www.dione-pro.co.jp/mitubachi.htm>

B topia <http://www.b-topia.com/story4.html>

http://envs.ucsc.edu/shennan/Joji/Muramoto_2001b.pdf

<http://homepage3.nifty.com/shirakobato-network/honey/hnyabout.htm>