

消えるハチ

Bees In Decline

A review of factors that
put pollinators and agriculture
in Europe at risk

Greenpeace Research
Laboratories Technical Report
(Review) 01/2013

GREENPEACE

消えるハチ Bees in Decline

A review of factors that put pollinators and agriculture in Europe at risk

Greenpeace Research Laboratories
Technical Report (Review) 01/2013

要約	3
第一章 序：農業と生態系保護 における、ミツバチ及び その他の重要性	11
第二章 世界とヨーロッパ における、ミツバチ及び その他の花粉交配者の状況	15
第三章 ミツバチの群れの健康 に影響を及ぼす主な要因	21
第四章 殺虫剤	27
第五章 ミツバチとその他の 花粉交配者を守るために、 私たちができること	35
第六章 結論と提言	41
参考文献	44

For more information contact:
pressdesk.int@greenpeace.org

Written by:

Written by Reyes Tirado,
Gergely Simon and Paul Johnston
Greenpeace Research Laboratories,
University of Exeter, UK

Front and back cover images

© Greenpeace / Pieter Boer

Honeycomb background image

© Greenpeace / Pieter Boer

JN446

Published April 2013
by

Greenpeace International

Ottho Heldringstraat 5

1066 AZ Amsterdam

The Netherlands

Tel: +31 20 7182000

greenpeace.org

要約

※ 本レポートは、2013年3月にグリーンピース・インターナショナルが発行したものである。日本語版発行にあたり、要約は2014年4月現在のヨーロッパにおける規制の現状と日本での状況を加筆し、本文はそのまま日本語訳した。

今度飛び交うハチを目にしたら、私たちが口にする食物の多くが、自然の虫媒受粉、つまりハチや他の花粉交配者による、生態系の主要なシステムに頼っていることを思い出して欲しい。

虫媒受粉がなければ、私たちが口にしてしている作物の3分の1は他の手段で受粉をするか、さもなければ食糧の生産量が著しく落ちることとなり、私たちの農産物の75%が生産量の減少に見舞われることとなる。私たちの食生活において最も栄養価が高く重要な作物（主要な果物や野菜の多くを含む）及び肉や乳製品の原料となる作物が、花粉交配者である虫が減少することにより悪影響を受けるのは疑いの余地が無い。とりわけリンゴ、イチゴ、トマト、そしてアーモンドが深刻な被害を受ける。

受粉による世界の経済利益は、自然受粉により生産される作物の価格をもとに評価した直近の試算で2,650億ユーロ（約37兆円）にもものぼる。もちろん、これは現実の額ではない。自然受粉が重大な被害を受けたり、またはまったくできなくなってしまった場合、代替手段はもはや無いため、実際の価値は事実上際限なく高くなるという事実を忘れてはならない。

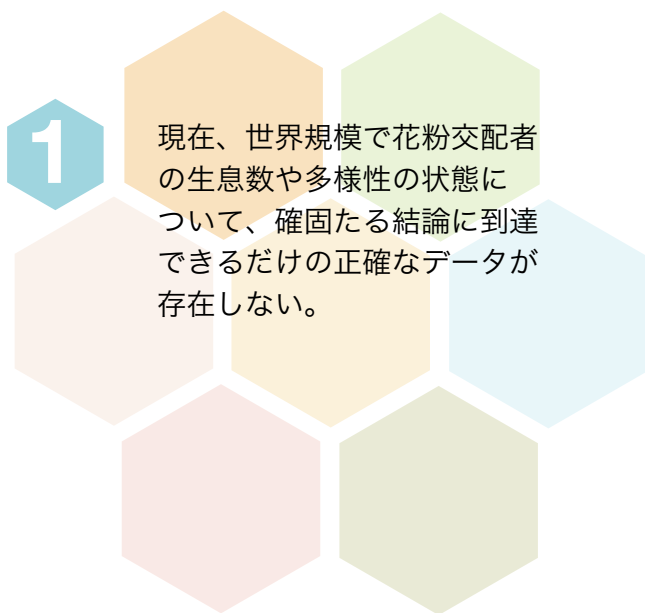
例えば、うららかな春の日に私たちの眼に入る豊かな色彩に、どれほどの価値をつけられるだろうか？作物以外にも、ほとんど（およそ90%）の野生の植物は、繁殖のために動物が媒介する受粉を必要としている。そして同様に他の生態系や、生態系を育む野生の生息地も、直接または間接的に虫媒受粉に左右されているのだ。

ミツバチ（飼育下のミツバチや多くの野生種を含む）は、ほとんどの地域において主たる花粉交配者であり、かつ最も経済的に重要な花粉交配者である。しかし飼育されているミツバチは、世界がミツバチによる受粉に頼る作物を増産しようという方向にますます動いているにも関わらず、近年ますます深刻な状況に陥っている。同様に、野生の花粉交配者 - 即ち野生のミツバチ類やその他の昆虫 - の役割は世界的に重要度を増しており、研究対象としてますます注目されている。さらに、野生のミツバチもまた、自然または半自然の生息地の減少や、人工の化学物質に曝露されることが多くなってきたことなどを含め、多くの環境的な要素によって脅かされている。

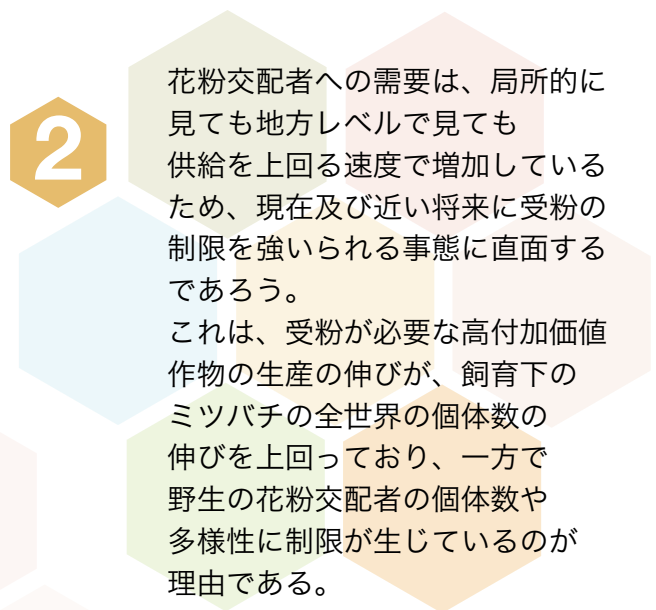
単純に言えば、ミツバチやその他の花粉交配者は - 野生および飼育下双方とも - 世界的に減少しており、特に北米とヨーロッパでその傾向が強い。花粉交配者の現状と傾向を監視するための地域的なまたは国際的な強固な計画は存在しておらず、この減少の規模や範囲には相当な不確実性が認められると考えられる。それにもかかわらず、証明されているものだけを見ても、減少の規模や範囲の大きさは衝撃的である。最近数年間の冬で、ヨーロッパで死滅したミツバチの巣は平均で20%前後（国によって1.8%から53%まで幅がある）に達するのだ。

※ 1ユーロ141円、1ドル102円で換算。

花粉交配者の健康について、 世界規模で重要な問題は以下の3点である：

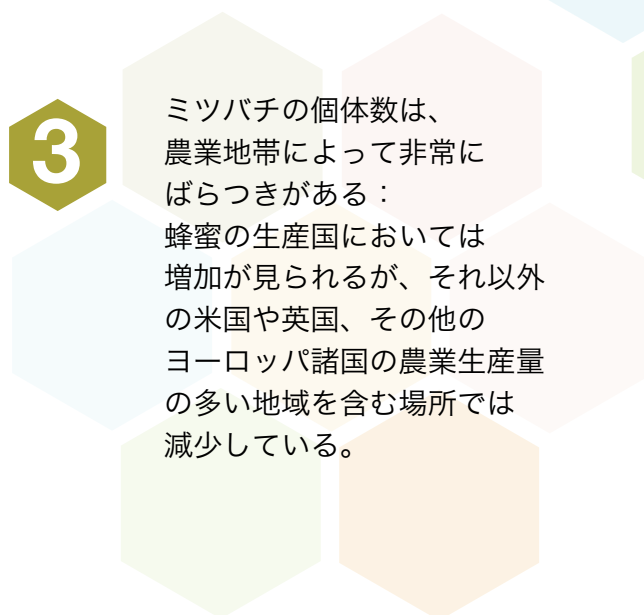


1 現在、世界規模で花粉交配者の生息数や多様性の状態について、確固たる結論に到達できるだけの正確なデータが存在しない。



2 花粉交配者への需要は、局所的に見ても地方レベルで見ても供給を上回る速度で増加しているため、現在及び近い将来に受粉の制限を強いられる事態に直面するであろう。

これは、受粉が必要な高付加価値作物の生産の伸びが、飼育下のミツバチの全世界の個体数の伸びを上回っており、一方で野生の花粉交配者の個体数や多様性に制限が生じているのが理由である。



3 ミツバチの個体数は、農業地帯によって非常にばらつきがある：蜂蜜の生産国においては増加が見られるが、それ以外の米国や英国、その他のヨーロッパ諸国の農業生産量の多い地域を含む場所では減少している。

北米、東アジア及びヨーロッパの特定の地域では、受粉の価値は1ヘクタールあたり1,500ドル（約15万円）にもものぼる。この数字は、これらの地域で花粉交配者が減少した場合、農家一ひいては社会が受ける損失の額である。イタリアやギリシャの大部分ではこの受粉利益に非常に高い値をつけており、またスペイン、フランス、英国、ドイツ、オランダ、スイス、そしてオーストリアの多くの地方には、受粉価値の高い「ホットスポット」がある。

花粉交配者の減少と作物の収穫量との緊張状態に対する最近の「警報」は、1993年から2003年にみられた、受粉が必要な作物の価格上昇にあるだろう。花粉交配者の減少による単位面積当たりの収穫量の低下を、面積の拡大（農地開発）で補おうと森林伐採が進むのを食い止めようとするならば、ミツバチや野生の花粉交配者に対する影響に着目し、受粉にストレスを与えている根本的な要因に取り組むべきだろう。

ミツバチの個体数、または総合的な健康状態が世界的に減少していることは、ひとつの要素だけが原因ではない。この減少は、まぎれもなく、既知、未知にかかわらず複合的な要因が単独で、または連鎖して働いた結果なのである。

にもかかわらず、花粉交配者の健康に影響を及ぼす最も重要な要因は、病気や寄生虫、そしてミツバチのライフサイクルに多面的な影響を及ぼす、工業型農業の拡大に関係するものである。全ての要因の根本にある気候の変化も花粉交配者の健康にさらなる被害を及ぼしている点がある。殺虫剤は花粉交配者を直接的な危険に曝す。ミツバチにとって有害な化学物質を農業から取り除くことは、ミツバチの健康を守る上できわめて重大で、かつ最も有効な第一歩なのだ。

病気と寄生虫

多くの養蜂業者が、外部寄生虫であるミツバチヘイタダニ (*Varroa destructor*) は、養蜂業にとって世界的に深刻な脅威であるということに同意する

だろう。ノゼマ原虫 (*Nosema ceranae*) のような他の寄生虫は、南ヨーロッパの数力国でミツバチの集団に多大な被害をもたらすことが判明した。

その他の新しいウィルスや病原体がミツバチの群れに更なる影響を及ぼす可能性もある。病気や寄生虫に対するミツバチの抵抗力は、複数の要因、とりわけ栄養状態や有害化学物質への曝露状態から影響を受けるものとみられている。例えば、いくつかの殺虫剤は、ミツバチを弱めて、病気または寄生虫への感染を容易にする。

工業化された農業

飼育下であろうと野生であろうと、花粉交配者は工業型農業の大規模な影響からは逃れられない。彼らは農業によって引き起こされる自然の生息環境の破壊と、花粉交配者の自然の分布区域が工業化された農場とどうしても重なるために集約的な農業によって引き起こされる有害な影響によって脅かされている。自然及び半自然の生息地の細分化、単一栽培の拡大と多様性の欠如、これらすべてが要因となっている。ミツバチの営巣能力を抑制する有害な要因、除草剤や殺虫剤の散布をとまなう工業型農業は、世界中で花粉交配者の群れに対する大きな脅威のひとつになっている。

一方で、有機農業のように生物多様性を生かし、化学物質に依存しない農業システムは、飼育下及び野生の花粉交配者の群れに良い影響を及ぼす。例えばミツバチにとっての異種生息地が増えることにより、いくつかの異種の作物を一つの圃場で一緒につくる農法では新たな蜜源をもたらすこととなる。このことは、有機／生態系農業の有益性を強調する。

気候変動

たとえば気温の上昇、降雨パターンの変化など、気候変動の結果として予測されているものの多くは、そして不規則または極端な気象は、花粉交配者の個体数に影響を与える。こうした変化は花粉交配者の個体、ひいては集団全体に影響し、花粉交配者の種がより死滅の危険性を高めることにつながってゆく。

殺虫剤

特に殺虫剤は花粉交配者を最も直接的な危険に曝す。その名の通り、これらは虫を殺すために作られた化学物質であり、自然環境、とりわけ農耕地において広く散布されている。花粉交配者の世界的な減少において殺虫剤が果たす役割は未だにほとんど特定されていないが、殺虫剤のなかには、現在の農業集約型の破壊的な農業システムで周期的に散布された殺虫剤は、その散布濃度において、花粉交配者の個体、およびコロニー全体の双方の健康に、明確な悪影響を及ぼすことが徐々に明らかになってきている。

殺虫剤による致死レベル以下の、低使用量におけるハチへの影響は多種多様に観測される。一般的な影響は以下に分類される：

1) 生理的影響 複数のレベルで発生し、例えば成長率（例：成虫に到達するのに必要な時間）や奇形発生率（例：巣箱の巣房での発生率）によって計測されてきた。

2) 採餌パターンの混乱 例えば、誘導や学習行動に明らかな影響がみられる場合。

3) 摂餌行動への干渉 忌避物質、摂食阻害物質、または嗅覚の低下による。

4) 神経毒性殺虫剤による学習過程（例えば、花や巣の認識、空間定位）への影響 非常に関連性が高く、研究が進んでおり、ミツバチの種類ごとに概ね確認されている。

こうした悪影響は、ミツバチに被害をもたらす殺虫剤が他の花粉交配者にも予期せぬ影響を及ぼす可能性があることを警告するものであり、飼育下と野生、双方の花粉交配者全体を保護するための予防原則を適用する必要があることを再認させるものである。

ミツバチが寄ってくる作物のみに使用制限をかけても、ミツバチに被害をもたらす殺虫剤に他の花粉交配者がさらされることになるのだ。

ネオニコチノイドとして知られる一群の農薬（殺虫剤）は、全身的に、つまり植物に散布されたときに表面にとどまらず維管束に入り込み、維管束を通して動く。ネオニコチノイド系農薬の中には、蒔いた種を守るため、種の表面をコーティングするために使われるものもある。コーティングされた種子が発芽し、成長し始めるとき、ネオニコチノイドは茎や葉や植物全体に行き渡り、溢液（幼苗が葉の先端に作り出す水滴）や、後には花粉や花蜜に入り込むこともある。ネオニコチノイド系農薬の使用を増やすということは、長期にわたって花粉交配者をこれらの化学物質の危険にさらす可能性を拡大するということである。なぜなら浸透性殺虫剤は植物の生涯にわたって様々な箇所に残留するためである。

ミツバチが集めた花粉には、複数の殺虫剤が高レベルで含まれることがある。花粉はミツバチにとって主要なタンパク源であり、ミツバチの栄養や集団の健康にきわめて重要な役割を果たしている。ミツバチを取り巻く環境の中に多数の異なる残留物が存在する場合、複数の殺虫剤の相互作用がミツバチの健康に影響を及ぼす恐れがある。ある研究ではこのように結論付けている。「平均して7種類の殺虫剤の入った花粉を食べて生き延びることは何らかの影響がある恐れがある」（Mullin 他, 2010）

花粉交配者の健康に即影響する可能性のある危険に着目して、ミツバチに被害を及ぼす農薬（殺虫剤）の一覧表を作成する。現時点での科学的証拠に基づき、グリーンピースではミツバチやその他の花粉交配者が曝露しないよう優先的に使用制限し、環境から取り除くべきものとして、7種の主要なミツバチに被害を及ぼす殺虫剤を確認した。その7種とは、

イミダクロプリド、チアメトキサム、クロチアニジン、フィプロニル、クロルピリホス、シペルメトリン、そしてデルタメトリンである。

これら7種の化学物質は全てヨーロッパでも広く使用されてきたが、2013年12月から、イミダクロプリド、チアメトキサム、クロチアニジン、フィプロニルについてはEUレベルでの使用規制が始まっている。規制に着手していない日本では、これらに加え、急速に使用量の増加しているネオニコチノイド系農薬のジノテフランも、優先的に使用制限する対象物質とすべきである。

高濃度で使用された場合ミツバチに深刻な影響を及ぼすことが分かっている - 対象モデルとしてはほとんどがミツバチであるが、他の花粉交配者についても同様である。慢性的な曝露及び致死量以下の低量でも悪影響を及ぼすという事実が更なる懸念を引き起こしている。観察された影響とは、採食能力の欠陥（採食した後でミツバチが巣に戻る際に道に迷い、効率よく他のハチを誘導することが出来なくなる）、学習能力の欠陥（嗅覚一匂いを記憶する、ミツバチの行動の基本となる能力）、死亡率の上昇、そして幼虫や女王バチを含めた発育の機能不全が含まれる（7種の主要な殺虫剤が及ぼす可能性のある害の概要については本文末の別表1を参照）。

科学は明瞭かつ強い警鐘を鳴らしている：これらの殺虫剤が及ぼす可能性のある害は、害虫駆除の効果による農作物の増産から得られる推定利益を遥かに上回っている。実際に、有益性が相殺されている推定を証明しようとするのは全く非現実的だとみなされがちである。しかしこれらの殺虫剤 - 特に3種類のネオニコチノイド系農薬 - の危険性は、欧州食品安全機関（EFSA）によって確認されており、一方で花粉交配者をもたらす経済利益が非常に重要だということは、同時に広く認知されている。

私たちに何ができるか？

現在の、農業集約型の農業システムから生態系に調和した農法システムに切り替えることは、世界中の花粉交配者の健康への明らかな利益のほかに、環境にも、また人の食糧安全保障の面でも多くの利益を伴う。

短期～中期間で、世界の花粉交配者の健康のために、現代社会が直ちにに取り組むべき問題がいくつかある。利益があることはほぼ即座に明らかになるだろう。世界的な花粉交配者の健康についての現在の科学調査をもとに、ミツバチに被害を与える可能性のある殺虫剤への曝露を無くすことは、飼育下および野生のミツバチのみならず、自然受粉の生態学上および経済上の高い価値を守るきわめて重要な一歩だといえる。

科学的根拠に基く、世界の花粉交配者の減少を食い止める手助けをするための短期～中期のアクションは、大きく2つに分けることができる。

1) 花粉交配者のリスクを遠ざける（例えば、有害な可能性のある物質に曝露しないようにする）

及び

2) 花粉交配者の健康を促進する（現在の農業生態系の中の、その他の習慣を変更する）

さまざまな規模で植物の多様性を増やすために行動することにより、空間的及び時間的両方の面から、花粉交配者に花蜜資源をより多くもたらすことが出来る。

最近のヨーロッパで有機農業が拡大していること、それに伴う化学物質の殺虫剤の劇的削減、及び/または使用を止める技術の進歩（例：総合的病害虫管理 IPM）は、農薬を使わない農業が十分に実行可能で、経済的にも利益を生むことが可能であり、そして環境にも安全だということを示すものである。

有機農法・生態系農業

化学物質の農薬や殺虫剤や化学肥料を使用せず、生物多様性を維持する有機/生態系農法は、花粉交配者の数や多様性を豊かに保つために役立つことが繰り返し示されている。これは一方で作物の受粉、ひいては収穫高にも利益をもたらしているのだ。有機/生態系農法は、花粉交配者関連以外にもさまざまな利益をもたらしている。例えば、雑草や病害、害虫をより確実にコントロールし、生態系の全体的な回復力を本質的に高めることも可能なのである。

しかし、こうした試みは従来型の農業集約型の農業システムに比べて、生態系と調和した農業慣習及び管理法の発展を目的とした調査のための公的資金を受けることが明らかに少なかった。有機農法が既存の農法とほぼ同量の食糧 - と利益 - を生産することが可能で、かつ環境にも社会にもはるかに害が少ないとすれば、このサポートの無さは驚くべきものである。先進的な有機/生態系農法の調査と開発のためにはもっと公的及び私的な資金調達が必要である。究極的には、このような農法こそが、食糧生産と環境保全に並んで生態系の働きを最大限に高めるための最良の選択肢であり、同時に持続可能な社会および経済を促進する手助けとなるのだ。

EUの規制状況と日本の農業政策

EU諸国ではハチの保護のために、ネオニコチノイド系農薬の規制に着手した。

イミダクロプリド、クロチアニジン、チアメトキサムについては、2013年12月1日から、つづいてフィプロニルについては、12月31日から使用が暫定的に一部禁止された(注1)。EUでは禁止から2年の間にさらに調査を行い、暫定禁止の是非や恒久的な禁止にするかどうかを判断する。この規制は、温室の中や開花時期以外の散布を認めているなど、まだ充分とはいえない。

同12月、欧州食品安全機関(EFSA)は、ネオニコチノイド系農薬のアセタミプリドとイミダクロプリドの2種類について、学習や記憶のような機能に関係する神経と、脳の構造の発達に有害影響を与えるかもしれないとする見解を発表した(注2)。

日本は花粉交配者に依存する種類の農作物の多い国の1つである。EFSAの上記の見解も実は、日本の研究者の論文(注3)に基づいたものだ。それにもかかわらず、日本の対応ははるかに遅れている。国内のネオニコチノイド系農薬の使用はこの15年で3倍に伸びており、食品への残留基準の引き上げや、散布対象農作物の拡大もこの間に徐々に進められてきた。農林水産省は2013年度に、「ミツバチの被害事例に関する調査・報告について」とする3年計画の調査を始めたが、進捗は公開されておらず対策の更なる遅れが危惧される。

農業政策の意思決定者は、飼育下のミツバチ及び野生の花粉交配者双方の利益及び脅威に関しての現在の科学的な証拠に基づいて行動するべきである。受粉という重要な生態系機能を保護するために、早急に行動をとることが必要である。

ミツバチを害する可能性のある物質の使用については、ミツバチの被害と脆弱性についての現在の科学的証拠を取り入れ、予防原則に従って厳格な規制がなされるべきである。また、対策の範囲は、現在及び不確実な将来においても受粉ができるよう保証する非常に重要な役割を果たしていることから、対象を他の花粉交配者にも拡大するべきである。

注1) 欧州委員会プレスリリース 2013年5月24日 http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-457_en.htm
2013年7月16日 http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-708_en.htm

注2) 2013年12月17日付け欧州食品安全機関(EFSA) プレスリリース <http://www.efsa.europa.eu/en/press/news/131217.htm>

注3) Kimura-Kuroda J, Komuta Y, Kuroda Y, Hayashi Kawano H. Nicotine-like effects of the neonicotinoid insecticides acetamiprid and imidacloprid on cerebellar neurons from neonatal rats. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0032432>

グリーンピースの求めること

ミツバチや野生の花粉交配者は、農業と食糧生産において非常に重要な役割を果たしている。しかしながら、現行の農業集約型の農業システムはその双方を脅かし、それによってヨーロッパの食糧供給を危険にさらしている。

このレポートは、ネオニコチノイドやその他の殺虫剤が、現在のミツバチの減少に重大な責任があることを明示する強固な科学的証拠があることを報告する。

政策決定者は；

1) 【緊急的禁止】 現在EUで認可されている中でもトッランクの危険性の最も高い物質、例えばイミダクロプリド、チアメトキサム、クロチアニジン、フィプロニル、クロルピリホス、シベルメトリン、そしてデルタメトリンの7種(別表1を参照)やジノテフランを始めとする、**ミツバチに有害な殺虫剤の使用を禁止するべきである。**

2) 【生態系に調和した農業への支援】 化学農薬に依存した害虫駆除から、天敵など生物多様性をベースにした手段へと切り替え、生態系の健全性に寄与する農法の研究と発展のための財源を確保し、そうした農法の生態学的、社会的価値を反映した流通の支援を含む支援を行うこと。

3) 【短・中期的計画の策定】 養蜂家や花粉交配を必要とする農家からのヒアリング・情報収集を行い、花粉交配者の実態を把握・公開し、花粉交配者に関する国レベルの計画(モニタリングを含む)を策定すること。計画には、輪作や多種混植、畦などへの開花植物の植栽など農地レベルでの環境保全や、花粉交配に有益な農業地域の形成やその周辺の自然・半自然の保全に対する支援や促進も含むこと。

4) 【農業登録と残留基準】 化学農薬の登録や使用方法の審査にあたっては、花粉交配者への影響に関する詳細かつ最新の知見を含む毒性情報を公開すると同時に、審査に予防原則を組み込むこと。また、ネオニコチノイド系農薬の食品への残留基準の引き上げ適用拡大は凍結し、既存の基準を最新の知見にもとづき、予防原則の観点から見直すこと。



第一章

序：農業と生態系保護におけるミツバチ及びその他の花粉交配者の重要性

「ミツバチたちは転機を迎えている。なぜなら彼らはますます住みにくくなった世界で活動することを求められるからだ」

— Spivak 他, 2010

人類の健康は、地球上の生活を支える様々な生態系の働き（自然のもたらす機能）によって維持され、促進されている。これらの生態系の働き - ほんの一部を挙げると、水の浄化、害虫駆除、受粉など - は、科学技術に支配された日常生活においては必ずしも目に見える形ではなくとも、人類の利益のために当たり前存在するものと見なされることがある。

今度ブンブン飛び回るミツバチを目にしたら、私たちが口にしている食物の多くが、自然の虫媒受粉 - ミツバチや他の花粉交配者による、生態系の主要なシステム - に頼っていることを思い出して欲しい。この、花粉を効率よく花から花へと運ぶ必要不可欠な機能がなければ、私たちが口にしている作物の3分の1は他の手段で受粉をするか、さもなければ食糧の生産量が著しく落ちることとなる (Kremen 他, 2007)。さらに、野生の植物の多く（推定60%~90%）は繁殖のために動物媒受粉を必要としており、それゆえ他の生態系の働きも、それを供給する自然の生息地も - 直接または間接的に - 花粉交配者となる虫に頼っているのである。

世界の人類の食糧の大部分を占める小麦や米、トウモロコシといった穀物は、ほとんどが風によって受粉を行い、花粉交配者としての虫にはそれほど影響を受けない。しかし、果物や野菜といった私たちの食生活において最も栄養価が高く効率の良い作物、および畜産や酪農業の飼料となる作物が、花粉交配者が減少することにより悪影響を受けるのは疑いの余地が無い (Spivak 他, 2011)。

授粉を行う野生生物には、ミツバチや多くのチョウ、ガ、ハエ、カブトムシ、スズメバチ、そして一部の鳥や哺乳動物が含まれる。商業的に飼育されているミツバ

チの種（主に西洋ミツバチの一種、*Apis mellifera*）もまた重要な花粉交配者である。実際に、ミツバチはほとんどの地域において最も優勢であり、かつ最も経済的に重要な花粉交配者である。しかし近年、飼育ミツバチは様々な病害、農薬、または環境によるストレスにますます脅かされている。それに従って、野性の花粉交配者（その他多数の種類のミツバチや他の昆虫類）が作物の受粉に貢献する割合は増大している (Kremen and Miles 2012; Garibaldi 他, 2013)。

このレポートでは、主にミツバチに着目する。授粉についての科学的な情報は、ほとんどが飼育ミツバチに関するもので、また、それよりは少ないが、マルハナバチについての情報も存在する。しばしばミツバチは花粉交配者の代名詞として扱われるが、その他の虫や動物が必要不可欠な役割を果たしていることも私たちは認めている。多くの場合、ミツバチの個体群に影響を及ぼすものは、他の花粉交配者となる昆虫類（チョウ、ハエなど）にもあてはまるが、多くの特殊な、また複雑な要素がからむため、一般化して仮説をたてることは非常に危険である。虫の花粉交配者の群れの状態や健康を完全に把握するには、科学的な情報がより多く必要である。

地球上の大多数の植物は、種子や果実を作るために動物媒受粉を必要とする；ほんの一握りの種の植物だけが、繁殖のために他の植物と花粉をやりとりする必要がなく、ミツバチの個体群の健康状態の変化に影響を受けないのである。ほとんどの種の植物は種子や果実を作るために隣接する植物との花粉のやり取りが必要であり、ミツバチの個体群に変化が起こったときに劇的な影響を受ける。たとえミツバチによる授粉が必要不可欠ではない場合でも、ミツバチが花粉を運ぶことにより、より多くの種子や大きな果実が出来る傾向が多くみられる。

「アーモンドやブルーベリーなど商品作物の中には、花粉交配者がいなければ結実しないものがある。多くの植物において、十分に受粉した花からはより多くの種子ができ、その種子は発芽率が高く、ひいてはより大きく、形の良い果実ができる。充分受粉することによって開花から結実までの時間が短くなり、それによって果実が害虫や病害、悪天候や農薬に曝されるリスクが減少し、水の節約にもつながる。」

– UNEP, 2010

最近の試算によれば、87.5%の開花植物が動物媒受粉を行っている (Ollerton 他, 2011)。この試算は作物と野生植物双方をカバーしており、ミツバチ - 世界の主要な花粉交配者のひとつ - が食糧生産と野生植物の生態系の維持において極めて重要な役割を果たしていると示唆している。動物媒受粉によって世界の主要な食糧作物の75%において果実や種子が増産されており (Klein 他, 2007年)、直近の試算では、受粉による世界の経済利益は、受粉による生産性に換算して2650億ユーロにもものぼる (Lautenbach 他, 2012)。もちろん、その他あらゆる生態系機能の評価と同様に、重要な働きが損なわれた場合、代替が不可能であればその価値は無限に上がる。

「国連食糧農業機関 (FAO) の試算によれば、世界の食糧の90%を占める約100種の作物のうち、71種がミツバチを花粉交配者としている。

ヨーロッパに限定すれば、264種の作物のうち84%が動物媒受粉を行い、ミツバチによる受粉のおかげで4000種の野菜が存在している。」

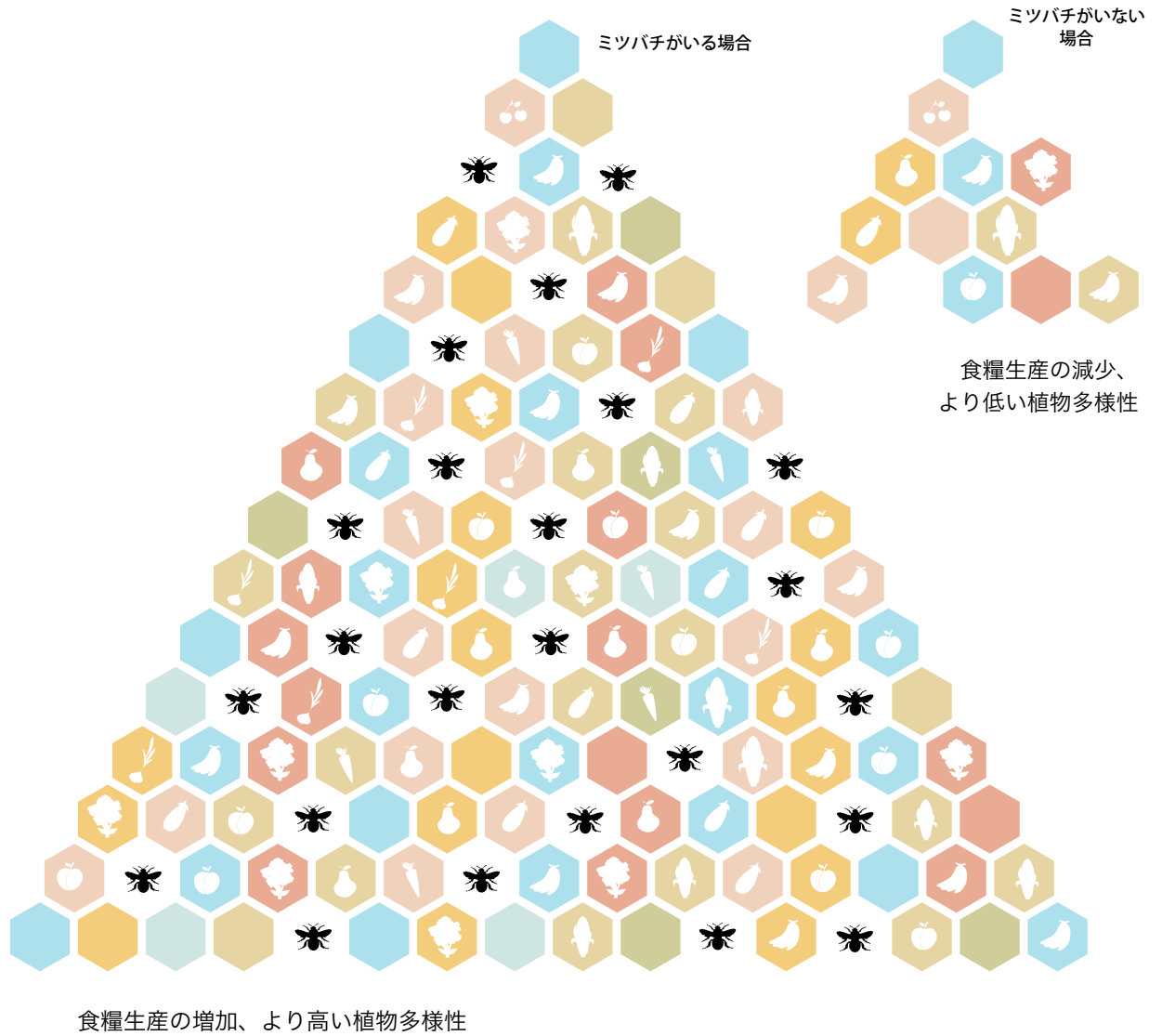
– UNEP, 2010

「花粉交配者が必要な作物1トンの生産価値は、虫を必要としない種類の作物のおよそ5倍以上にのぼる。」

– UNEP, 2010

ヨーロッパの一部の地域では、存続能力のある野生のミツバチの群れは存在しない。それは工業型農業による圧力 (単一栽培、除草剤、殺虫剤) や、自然の病害や寄生虫のために、人間の手を加えなくては生き残れなかったためである。例えばスペインでは、外部からの給餌と投薬によって高度に管理された国産のミツバチの群れしか残っていない (Mariano Higes personal communication)。

人間は既に地球上の耕作可能な土地の大部分を農業生産のために占有しているが、ここ数十年で先進国、および発展途上国の双方で、花粉交配者を必要とする作物の耕作面積がめざましく増加している。1961年から2006年の間に、先進国では受粉を要する作物の耕作面積が16.7%増加しており、一方で発展途上国では9.4%増加している (Aizen and Harder, 2009; Aizen 他, 2009)。しかし、受粉を要する作物の増加に対して、受粉の量が追いついていない。これは、世界の農業生産量の低下という望ましくない結果が生じる可能性があることを示唆している。そして、生産量の低下を補うために更に農地化に拍車をかける可能性もある。





第二章

世界とヨーロッパにおける ミツバチ及びその他の 花粉交配者の状況

「もし野生の花粉交配者の減少が続けば、私たちは世界の植物相の大部分を失う危険性を背負うことになる。」

— Ollerton 他, 2011

ミツバチやその他の花粉交配者 - 野生および飼育下双方とも - は、世界的に減少しており、特に北米とヨーロッパでその傾向が強い (Potts 他, 2010)。花粉交配者の現状と傾向をモニタリングするための地域的又は国際的に確率された計画が存在しないため、こうした減少の規模や範囲には相当な不確実性が認められる。それにもかかわらず、証明されているものだけを見ても、減少の規模や範囲の大きさは衝撃的である。

米国では 2006 年以降、飼育ミツバチの巣の 30~40% が失われたが、これは「蜂群崩壊症候群 (CCD)」という、働き蜂が消えてしまう現象 (Lebuhn 他, 2013 参照) に関係していた。2004 年以降、ミツバチの群れの減少により、北米では過去 50 年間で飼育下の花粉交配者の数が最低となってしまった (UNEP, 2010)。

中国には 600 万のミツバチの群れがいる。この地域では約 20 万人の養蜂家が西洋ミツバチと東洋ミツバチを飼育している。近年、中国の養蜂家たちは、両方の種類のミツバチの群れの不可解な減少に直面している。これらの減少の大部分は非常に不可解で、これに関連した兆候も非常に複雑であった。ナイル川沿いを拠点とするエジプトの養蜂家も蜂群崩壊症候群の兆候を報告している (UNEP, 2010)。

中央ヨーロッパでは、1985 年以降ミツバチの巣は推定 25% 減少し、うち英国では 54% に達している (Potts 他, 2010)。

「1998 年以降、ヨーロッパの個人養蜂家から群れの異常な弱体化と死亡率が報告されており特にフランス、ベルギー、スイス、ドイツ、英国、オランダ、イタリア及びスペインで顕著であった。死亡率は特に冬の終わりと春の初めの活動を再開する時期に極端に高かった。」

— UNEP, 2010

ここ数年間の冬季において、ヨーロッパで崩壊したミツバチの巣は平均で 20% 前後 (国によって 1.8% から 53% まで幅がある) に達する (注 1)。2008/09 年の冬には、ヨーロッパにおけるミツバチの減少は 7~22%、2009/10 年の冬には 7~30% の範囲に達した。両年の調査に参加した国について言えば、冬季の減少は 2008/09 年よりも 2009/10 年の方が明らかに深刻化していた (注 2)。

飼育ミツバチの群れに加え、地球上の特定の区域では野生の花粉交配者の減少が広く報告されており (Cameron 他, 2011; Potts 他, 2010)、英国とオランダを含む事例がよく知られている (Biesmeijer 他, 2006)。

これらの観察結果に対して、全世界の蜂蜜の生産量はここ数十年間で増加している。これはつまりミツバチの減少している地域は非常に限定され、ほとんどが北米とヨーロッパで起こっていることであり、こうした減少は、主要な蜂蜜生産国 (中国、スペイン、アルゼンチン) で生産量が増加したことで補われているためだと言える (Aizen and Harder, 2009)。

注 1) 第 4 回 COLOSS 会議 (2009 年 3 月 3-4 日、クロアチア、ザグレブ) の議事録より。Williams 他 2010 にて引用。http://www.coloss.org/publications にて閲覧可能

注 2) http://www.ibra.org.uk/articles/Honey-bee-colony-losses-in-Canada-China-Europe-Israel-and-Turkey-in-2008-10

しかし、この分野の研究者の大部分が同意するように、花粉交配者のグローバルヘルスについて重要な問題が3点ある：

- 1) 現在、世界規模で花粉交配者の個体数や多様性について、確固たる結論に到達できるだけの正確なデータが存在しない (Lebuhn 他, 2013; Aizen and Harder, 2009)。実際、動物の種の個体数調査を試みた場合、数値が変動する可能性は極めて高く、「減少の証拠が検知される前に個体数が50%近く減ってしまう可能性もある」 (Lebuhn 他, 2013)。
- 2) 花粉交配者への需要は、- ある特定の地域や地方で - 供給よりも速く増加しているため、現在及び近い将来で受粉の制限を強いられる事態に直面するであろう。これは、受粉が必要な高付加価値作物の生産の伸びが、飼育ミツバチの全世界の個体数の伸びを上回っているためである (Garibaldi 他, 2011; Lautenbach 他, 2012)。野生のミツバチが行う受粉も、特に飼育ミツバチでの受粉に限界がある地域 (例：英国) では大きな役割を果たしている。しかし、集約農業の増加により生息地が破壊されたり、生息地の多様性が低下しており、野生の花粉交配者にはさらに厳しい状況となっている (Kremen 他, 2007; Lautenbach 他, 2012) さらに、飼育ミツバチの巣が増える可能性があっても、農業において増大している受粉の需要を満たし、土着の花粉交配者の減少分を補える見込みはない (Aizen and Harder, 2009)。
- 3) 全世界的には増えているものの、ミツバチの個体数は、農業地帯によって非常にばらつきがある。蜂蜜の生産国 (スペイン、中国、アルゼンチン) においては増加が見られるが、それ以外の場所では減少しており、米国、英国その他西ヨーロッパ諸国の農業生産量の多い地域も例外ではない (Aizen and Harder, 2009; Garibaldi 他, 2011; Lautenbach 他, 2012)。

しかし、昆虫の花粉交配者の減少が実際に起こっているのかどうかを検証しようという地域的、国家的または世界的なモニタリング計画は存在しない。それゆえミツバチの群れの状態を数値化したり、減少が起こっている範囲を推定するのは困難である (Lebuhn 他, 2013)。こうした計画の策定は急務であり、それによって花粉交配者の生息数の世界的な状況や傾向を調査し、その減少に対して早期の警告を出すことが可能

となる。こうしたシステムにかかる費用 (概算で200万USドル (約2億500万円)) は、花粉交配者の深刻な減少によってかかるであろう経済原価に比べれば些少な投資である。こうした計画によって「花粉交配者の減少を緩和し、予期せぬ急激な群れの崩壊が起こった場合の経済上、栄養供給上の危機を回避する」ことが出来るであろう (Lebuhn 他, 2013)。

農業 - つまりは食糧生産 - は、長い時間をかけて少しずつ、より花粉交配者に依存する体制になっていることは明らかである。同時に、野生および飼育下の花粉交配者に重大な減少が見られることも明確に指摘されている。花粉交配者の減少と作物の収穫量の間の緊張状態に対する最近の「警報」は、1993年から2003年に見られた、受粉を要する作物の価格上昇にあるだろう (Lautenbach 他, 2012)。私たちが食物生産の伸び悩みを回避し、農地を増やすための更なる森林伐採をも回避したいのであれば、ミツバチや野生の花粉交配者に対する影響を含め、受粉にストレスを与える根本的な要素に対し取り組まなくてはならないだろう。

農産物への需要とそれに伴う受粉の必要性が、無限に増加することはもちろんありえない。公正で持続可能な農業システムを行えば、おのずと絶対生産量 - およびそれに伴って地球にかけられる負担 - の上限が出来てくる。それには、作物のほとんどを動物飼料ではなく人間の食糧として生産することと、より少ない動物性たんぱく質とで構成される、地球規模でみて公平性のある食事をとることが有効である。これにより、自然および半自然の地域をより多く残すことが可能となり、野生の花粉交配者への阻害要因をいくばくかは解消出来るであろう。

授粉の経済的価値

初めて行われた世界的試算では、世界の生態系の働きとしての授粉に関連した経済的価値は1170億ドル (約12兆9700億円) と結論付けられた (Costanza 他, 1997)。最近では、Gallai 他 (2009) が、改良された方法論を利用して概算を1530億ドル (約15兆6000億円) に修正した (Gallai 他, 2009)。直近の試算では、世界的な食糧供給における受粉を要する作物の相対的な重要度の上昇を鑑みて、受粉の価値を2650億ユーロ (約37兆4000億円) と推定している (Lautenbach 他, 2012)。こうした上昇傾向は、世界的な食糧システムにおいて花粉交配者への依存度が

高まっていることや、こうした自然および自然のシステムを金額に換算することには少なからぬ不確かさがつきまとうことも示している。

多くの条件による価値試算にみられるように、受粉の経済的な価値は観点にも左右される。個人農家にとっては、それは単に他の花粉交配者の不在に際し飼育ミツバチを導入するために払う金額のことであろう。また他の者にとっては、自然受粉が出来ないために失われた収穫に相当する金額であろう。例えば、カナダ北部では、未耕作地の近隣の農場で育つアブラナはより多様で多数のミツバチの恩恵を受けてより多く受粉し、種の収穫量も増大する (Morandin and Winston, 2006)。コスト／利益の分析は複雑である。この著者らは、農場の30%を未耕作地にすることで残る70%で収穫量を伸ばすことができ、またその30%分の耕作コストを削減できるため、利益を増大することができるかと推定し、示唆している (Moradian and Winston, 2006)。

受粉不足による作物収穫量の減少と関連機関の対応が Kremenら (2007) によって2例まとめられている：

- ・「カナダで、農業フェニトロチオンの大規模散布 (近隣の森林で、マイマイガの駆除に使用された) の後、花粉交配者の群れとブルーベリーの収穫量のいずれにも減少が見られた (Kevan & Plowright, 1989)。ブルーベリー生産者の経済的損失は政府の政策にも影響を与え、マイマイガの駆除にフェニトロチオンを使用することが実質上禁止されると、ブルーベリーの花粉交配者と作物生産量の両方が回復した (Tang 他, 2006)。」
- ・「2004年、アーモンドの受粉に必要なミツバチの群れが不足していることから、米国農業省はすぐにミツバチの輸入関連政策を変更し、オーストラリアから米国にミツバチの群れを輸入できるようにした。」 (National Research Council of the National Academies, 2006)

動物媒受粉の正確な価値評価の難しさは、作物や野生植物の単純な受粉以外にも、大きく貢献している部分があるという事実からくる。野生植物の結実を促進することで、多くの虫や鳥や哺乳類、そして魚の餌も増えることになり、生物多様性の維持に直接貢献することになる。また植物の生産性と植被の維持を手助けすることで、洪水の防御や侵食の防止、気候システムのコントロール、水質浄化、窒素固定、二酸化炭素固定など、多様な生態系の働きにも貢献している

(Kremen 他, 2007)。つまり、受粉というのは生態系の鍵を握る働きなのである。地球上での人類の健康に貢献する食糧生産のみならず、植物全体の生産を促進することで、ミツバチはまた、他の多くの生態系機能の鍵となっている。

最近の徹底的な研究において、Lautenbach 他は一連の世界地図上で受粉利益の分布とその脆弱性を示した (2012)。これらは様々な地域での農業における受粉の重要性を基にしている。緯度－経度の格子で5度×5度 (赤道上で約10km×10km) の「升目」ごとに、その中で栽培される作物のうち、動物媒受粉による農業生産物を金額的価値に換算することを基に分析が行われている。これらの世界地図は、受粉利益の集中する場所、つまり受粉という生態系機能が減少し、脆弱性が非常に高まっている地域にスポットを当てている (Lautenbach 他, 2012)。

図解1の受粉の世界地図において、濃い色で示されている部分は、USドルで換算した1ヘクタール当たりの受粉利益が最も高い地域を強調したものである。北米、東アジア、ヨーロッパの一部では受粉の価値がヘクタールあたり1500USドル (約1兆5000億円) 相当になっている (Lautenbach 他, 2012)。これは、もしこの地域で花粉交配者が減少した場合に農家が - ひいては社会が - 失う金額なのである。

ヨーロッパは、1ヘクタール当たりの受粉利益の金額が高い土地が密集している (図表1を参照)。イタリアとギリシャの大部分は特に受粉利益が高額であり、またスペイン、フランス、英国、ドイツ、オランダ、スイスおよびオーストリアの広範囲には受粉利益が高い「ホットスポット」がある。ポーランド、ハンガリー、ルーマニアにもかなり受粉利益の高い地域が存在する。さらに、イタリアとスペインは農業システムを全面的に自然受粉に頼る傾向が比較的高い (Lautenbach 他, 2012)。

世界的に見て、ブラジル、中国、インド、日本そして米国もまた受粉から大きな経済価値を引き出している。アフリカでは、エジプトのナイル川流域が最も高い。中国では、1993年から2009年の間に、都会の中流階級と輸出市場の需要に答えるため果実の生産を推進したことを反映して、受粉の想定上の利益は350%上昇した。中国だけで、世界の受粉による経済利益総額の30%から50%を占めている (Lautenbach 他, 2012)。

図表 1。行政区画レベルでみた世界の受粉利益。「2000年時点の、ヘクタールあたりの価値をUSドル換算で表示。インフレ（2009年まで）、および購買力平価により価値を修正した。ラスタの全てのセルに収穫量に関連付けている。」Lautenbach 他（2012）より複製。「Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit」PLoS ONE 7（4）：e35954、クリエイティブ・コモンズ 帰属ライセンスに準拠。

全体として、虫による非常に重要な受粉を至急保護しなくてはならないことが科学的な研究によって強調されている：「受粉利益を金銭的な価値に置き換えてみることで、政策決定者は農業政策の構造的な多様性を追及しながらコストと利益の比較ができるようになる。従って図1の地図上の情報は、例えばEUの共通農業政策（Common Agricultural Policy: CAP）などの農業政策の改定を検討する際に使用されるべきである。」（Lautenbach 他, 2012）

「受粉による利益は、世界の大部分において非常に高いため、もしもこうした価値を考慮に入れるならば、それは保護戦略や土地利用の決定において重大な影響を及ぼす。」

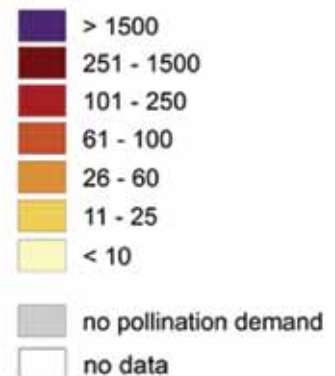
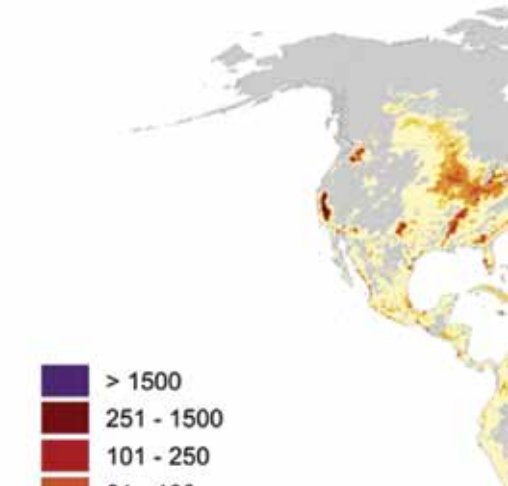
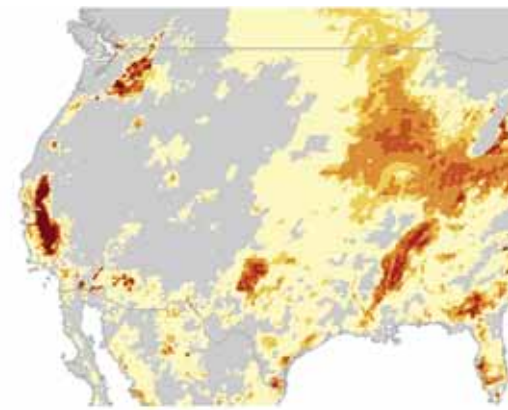
－ Lautenbach 他, 2012

「2001年以降、受粉を要する作物の価格は著しく上昇しており、実際のところ米や麦などの穀物やトウモロコシなど、受粉の不要な作物の価格よりも上昇速度ははるかに速い。」

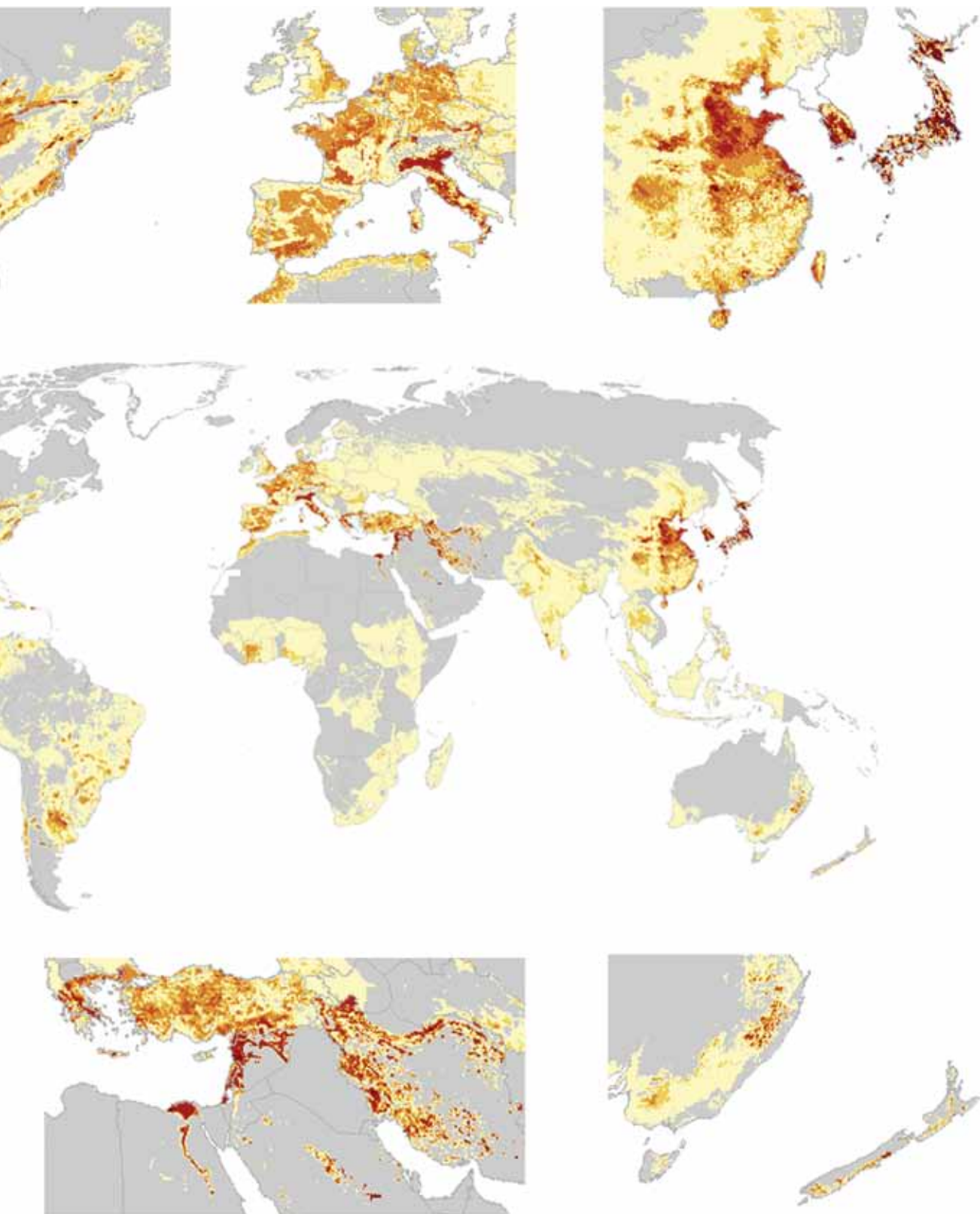
研究者は、このことを農業の集約化が受粉を要する作物の世界的な価格上昇の原因となっているという兆候であるとみなしている。**畑に農業がより多く散布され、より多くの肥料が施され、農業の構造要素として価値のある生垣や並木などが畑に変えられてしまったら、虫は消えてしまうだろう。」**

（注3）

－ ヘルムホルツ環境研究センター（UFZ）, 2012



注3) Lautenbach 他, 2012 の研究についての 2012年4月27日付プレスリリース
<http://www.ufz.de/index.php?en=30403>



出典：Lautenbach, S., R. Seppelt, 他（2012）「Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit」 PLoS ONE 7（4）：e35954
 （クリエイティブ・コモンズ帰属ライセンスに準拠） <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0035954>

2000年時点の、ヘクタールあたりの価値をUSドル換算で表示。インフレ（2009年まで）、および購買力平価により価値を修正した。
 ラスタの全てのセルに収穫量に関連付けている。



第三章

ミツバチの群れの健康に影響を及ぼす主な要因

ミツバチの群れの減少と総合的な健康度の低下（蜂群崩壊症候群またはその他の現象）は未知と既知の両方にわたる複数の要因に基づいており、それらは単独で、または複合して作用する（Williams 他, 2010）。

一般的に、ミツバチの減少は3つの一般的なストレス要因によって引き起こされる：

1. 病気のミツバチ

ミツバチは**ミツバチ特有の病気や寄生虫**に脅かされて弱り、死んだりする。こうした病気や寄生虫のほとんどは外来種であり、野生のハチは自然順応性や病害虫への抵抗力を発現することができず、それらに対抗できない。病気のミツバチ、または寄生虫がいるミツバチは、栄養状態の悪化や有毒化学物質への暴露といった他の要因に対しても被害を受けやすい。

2. 飢餓状態のミツバチ

ミツバチは、花で採餌するため、場所、時間共に十分な状態で花を安定供給する必要がある。飼育ミツバチは、養蜂家によって完全な栄養状態になるよう補助的に給餌されているが、それでも巣の周辺から主食でありタンパク源でもある花粉を採集するため、花が必要となる。ミツバチの季節に開花期の花が不十分な場合、例えば単一栽培によってピーク時に種類の花しか咲かない場合、ミツバチは自分自身と幼虫たちに十分な餌を確保できない。ミツバチが飢えるのは様々な要因の結果であるが、最も関連が深いのは**工業型農業の慣行**である。除草剤は農場内および周辺の野生の植物の多様性を損ない、そして農業が拡大するにつれ畦や生垣など、農場周辺の植物の多様性を担っていた土地の余白部分がなくなっていく。更に、**気候の変化**が開花のパターンを変え、その土地でミツバチの主要な食物となっていた植物を駆逐する、またはいわゆる「季節のずれ」を引き起こし、開花期と春にミツバチが出現する時期とが一致しなくなる（Kremen 他, 2007 ; Cameron 他, 2011）。

3. 毒物に曝露したミツバチ

多くの花、巣の周辺、そしてミツバチを取り巻く一般的な環境 - 農場の作業から流れてくる埃を含む - は、しばしば化学物質、ほとんどの場合農薬で汚染されている。殺虫剤や除草剤、殺菌剤は作物に投与されるが、花粉や花蜜、そして空気や水や土壌を通してミツバチに到達する。これらの農薬は、単独または複合で短期間に急性毒性症状をもたらすか、または低量で慢性毒性症状を引き起こし、ミツバチを弱めて最終的には死に至らしめる（次章も参照）。

不健康なミツバチの群れに包含される様々な特殊要因

病気と寄生虫：外来種

多くの養蜂業者が、外部寄生虫であるミツバチヘギイタダニ (*Varroa destructor*) は、養蜂業にとって世界的に深刻な脅威であるということに同意するだろう。アジア原産とされているミツバチヘギイタダニは、現在ではほぼ世界全域に分布している。ミツバチヘギイタダニは体長 1~2mm の小さな虫で、ミツバチの体液を食糧とし、巣箱から巣箱へと広がっていく。ミツバチを弱らせるだけでなく、ウィルス性の病気やバクテリアも媒介する。この影響は深刻で、もし駆除しなければ通常 3 年以内という短期間に群れ全体が死滅してしまうだろう (UNEP, 2010)。

一般的には常に複数の要因が関係しているのだが、ダニやその他の病原体は、冬季の蜂群減少とつながっている。例えば、ドイツではダニの大量寄生とウィルス感染、それに加えて女王バチの年齢や秋に群れが脆弱化していたことが全て、冬季の蜂群減少被害へと関係していることが明らかになった (Genersch 他, 2010)。

もうひとつ、ミツバチの病原体は、微孢子虫属のノゼマ原虫 (*Nosema ceranae*) で、世界中で見つかっているが特に地中海沿岸諸国で流行しており、被害を出している (現在の調査結果は Higes 他, 2013 を参照)。スペインや他の南ヨーロッパ諸国でミツバチの群れに大きな被害が確認されているが、北ヨーロッパでは被害程度が比較的 low だった。ノゼマ原虫は働きバチの死亡率を高め、それによって順次群れの発展を阻害し、最終的には群れの個体数を減らし崩壊を招く可能性がある。ノゼマ原虫に関する知識は近年深まっているにもかかわらず、群れの被害に対しノゼマ原虫が果たす役割との関連性については、恐らくは様々な地域へ分布していることを理由に、依然として議論的となっている (Higes 他, 2013)。

ミツバチの病気や寄生虫への抵抗力は、多くの要因、特に栄養状態と有害化学物質への曝露の程度によって左右される。例えば、ネオニコチノイド系農薬のイミダクロプリドと、ノゼマ原虫の両方に曝された場合、著しくミツバチを弱らせることが分かっている (Alaux 他, 2010)。両方の要因による相互作用は個体の死亡率を高めてストレスを引き起こし、ミツバチが持つ、蜂

群と餌の殺菌能力を阻害し、群れ全体を弱体化する。

最近の別の研究では、高レベルの農薬成分が残留している蜂児巣板で飼育されたミツバチは、残留物が低レベルの蜂児巣板で飼育されたものと比較して、低日齢のうちにノゼマ原虫に感染する割合が高いことが判明した (Wu 他, 2012)。

「これらのデータが示すのは、発育途中に蜂児巣板の中で農薬に曝された場合、ミツバチのノゼマ原虫への感染に対する感受性が高まるということだ。」

— Wu 他, 2012

このレポートの著者はこう結論付ける：「この研究により、農薬にさらされたミツバチには、ノゼマ原虫への感染に対しより大きな感受性が見られることがわかる。これは農薬を帯びた巣板で成長したことによるストレスと、おそらくは重要なエネルギー源と解毒酵素を使用したためと思われる。巣 Y 及び G に含まれる複数の農薬の残留物の量や種類が特定できても、どの成分が原因となっているか明確には指摘できない。農薬への曝露とノゼマ原虫への感染との相互作用については更なる調査が必要であり、とりわけ蜂児巣板で発見された農薬の残留濃度については考察するべきだ。」

最近の他の研究では、既にノゼマ原虫に感染しているミツバチが垂致死レベルの農薬、フィプロニルとチアクロプリドに曝露した場合、感染していないものよりも致死率が高いことが判明した (Vidau 他, 2011)。

これらの、またその他の相互作用が明らかになるにつれ、花粉交配者の健康にストレスを与える複数の要因を切り離すための更なる研究が必要であることは明白となってきた。また、これらの研究はミツバチにのみ焦点を当てている。他の花粉交配者、たとえばマルハナバチもまた農薬に対するよく似た感受性を持っており、ノゼマ原虫のような寄生虫がおり、同じように個体数が減っている (Williams and Osborne, 2009; Alaux 他, 2010; Winfrere 他, 2009; Cameron 他, 2011)。農薬への曝露によって病害への感受性が高まる可能性のような、相互作用を引き起こす要因を制限するために、更なる研究と予防原則に基いたより強力な措置が必要であり、それによって世界レベルで花粉交配者の全体的な健康が守られるのである。



工業型農業

耕作地と牧草地双方を合わせた農業用地は、地球の水に覆われていない地表の35%を占め、広さにおいて森林に匹敵し、地球上の最も大きな生態系の1つである（Foley 他, 2007）。さらに、過去一世紀ほどの間に、農業は急速に工業化されている。それはつまり、より多量の肥料を投与し、より有毒な農薬などの化学物質を使用し、より単一品種の作物を栽培し、他の用地から農地への転換を拡大するという形を取ったということである。現在の農業が環境に与える影響は、これら全ての要因によって計り知れないほど有害なものとなっている（Tilman 他, 2001 ; Foley 他, 2011 ; Rockstrom 他, 2009）。

飼育下であろうと野生であろうと、花粉交配者は工業型農業の大規模な影響からは逃れられない。花粉交配者は農業によって引き起こされる自然の生息環境の破壊に脅かされ、また同時に彼らの自然生息区域が工業型農場とどうしても重なる場合は、集約的な農業によって引き起こされる悪影響に脅かされている。

工業型農業はミツバチやその他の花粉交配者たちに様々な形で影響を与えている。特に：

集約的な農業は、アグロフォレストリーシステムや草原、休耕畑や灌木の茂る土地、森林、生垣といった、花粉媒介者にとって価値のある自然または半自然の通年の生息地を無くし、または細分化させた。これが、飼育ミツバチには影響は少ないが、野生の花粉交配者が減少した大きな原因だと考えられている（Brown and Paxton , 2009 ; Winfree 他, 2009）。

工業的な単一栽培、および一般的には耕作地内または周辺の植物の多様性の欠如が、空間的にも時間的にも、花粉交配者が入手できる食物の量を制限している。英国とオランダでは、局地的な規模で植物の多様性の低下とミツバチや他の花粉交配者の減少が同時に確認されているが（Biesmeijer 他, 2006）、これは実際にはより広範囲に及ぶ現象と見られている。

耕作や灌漑、そして木の伐採といった行為が、花粉交配者の営巣地を破壊している（Kremen 他, 2007）。

大規模な除草剤の使用は、作物以外の植物の多様性と数を一気に減少させ、現在・未来を問わず、ミツバチの食物を制限する。除草剤の大量投与による生息地の化学的な破壊は、特に農業環境における花粉交配者の分布に長期にわたり重大な結果をもたらす（UNEP, 2010）。

最後に、現在の農薬集約型の破壊的な農業システムにおいて一般的な、広範囲にわたる農薬散布は、野生および飼育ミツバチ双方の採餌能力を変化させたり、さらには死に至らしめる場合もある。（この要素については次章で詳しく扱う）。花粉交配者の健康に農薬が及ぼす影響を特定することは更に複雑である。なぜなら農薬が集中して投与される場所は、花資源と営巣地（多くの野生の花粉交配者にとって重要な）の双方が少ない場所であることがよくあるからだ（Kremen 他, 2007）。それぞれ別々の影響の、相対的な比重を識別することは重要な挑戦である。

局地的規模から景観規模に至る農業の集約化は、一般的に野生の花粉交配者の個体数と多様性の減少、つまりは彼らが作物に対して担う生態系機能の減少と相関関係がある（Kremen 他, 2007）。集約化はまた、ミツバチの健康や個体数の維持に悪影響を及ぼす可能性がある。

こうした一般的な悪影響とは対照的に、例えば細分化した天然の生息地に花資源を増やすなど、花粉交配者の群れに対し農業が与える良い影響もあるという研究結果も出ている（Kremen 他, 2007 中の Winfree 他, 2006）。しかし重要なことに、こうした良い影響が見られる地域は、農業のやり方としてミツバチの生息地の異種多様性（小規模農場や混合栽培、生垣など）を減らすのではなく増やそうとしている地域であり（Kremen 他, 2007 中の Tscharrntke 他, 2005）これは有機/生態系農法の潜在的な有益性を示している。

更に、工業型農業では、花粉交配者に一部は依存しながらも、それらとの共存を困難にしているという矛盾を秘めているために、農業そのものでも、受粉が制限され、不利益を被る可能性がある。

気候の変化

たとえば気温の上昇、降雨パターンの変化そして不規則または極端な天候といった、気候の変化によってもたらされる数々の現象は、花粉交配者の個体数に影響を与える。こうした変化は花粉交配者の個体、ひいては群れ全体に影響し、種が絶滅する危険性を増大させてしまう（UNEP, 2010）。

例えば、ポーランドではミツバチが気候の変化に対応して、冬の最初の飛行（越冬後の目覚めの時）の日をどのように早めているかが記録されている。これは一般的に「季節のずれ」として知られている現象の一部である。25年間の観察期間中、冬の最初の飛行の日は1カ月以上も早まっており、これは気温の上昇によるものとされている（Sparks 他, 2010）。

種レベルでの影響に加え、気候の変化は花粉交配者とかれらの餌の相互関係をも変化させる可能性がある。たとえば顕花植物が、特に開花日や開花パターンを変化させることがこれに当たる。最近の分析結果では、花粉交配者のうち17%~50%の種が、現実的に予想される気候の変化からくる植物の開花パターンの変化によって餌不足に悩むことになるだろうと言われている（Memmott 他, 2007）。これらの影響により、数種の花粉交配者・植物の絶滅、ひいては彼らがつ重要な相互作用の喪失が予測されている（Memmott 他, 2007）。

結論として、気候の変化は、種の絶滅という予測された脅威の他に「生態系にとって重要な働きである植物の受粉を担う相互作用の大規模な消失」につながる可能性がある（Memmott 他, 2007）。



写真：2013年2月、グリーンピースの活動家と地元の養蜂家が、スイス政府に対しミツバチの保護と農薬の使用禁止を求める8万件の署名と嘆願書を手渡す。

第四章

殺虫剤

殺虫剤は農薬の中でも作物や家畜、または家庭環境内の害虫を駆除することに特化して作られた種のものである。殺虫剤は、高濃度の場合、害虫を殺す（致死）または撃退するが、低濃度でも意図しない影響（亜致死）を目的以外の虫、例えば害虫の天敵や花粉交配者に及ぼすことがある（Desneux 他, 2007）。殺虫剤は、その固有の性質や機能ゆえに、農薬のなかでも花粉交配者に最も直接的な危険を与える。

花粉交配者の世界的な減少と殺虫剤の相関関係はほとんど解明されていないが、現在では、殺虫剤には、個体及び群体レベルの花粉交配者の健康に明らかな悪影響を与えるものがあるということが今までになく明確になっている（Henry 他, 2012; Whitehorn 他, 2012; Easton and Goulson, 2013; Mullin 他, 2010）。このことは、殺虫剤に関する研究において、比較的高レベルでの曝露による急性的影響に焦点が当てられている時でさえ、明らかなことである。低量での曝露による微細な、長期間にわたる影響については、これまで一貫して分析も毒性研究もされてこなかった。更に、研究のほとんどがミツバチに焦点を当てており（マルハナバチについても少数の事例があり）、作物の受粉と生物多様性の維持において重要な、その他多くの種類の野生の花粉交配者に与えるかもしれない影響については明らかに無視されてきた（Potts 他, 2010; Brittain 他, 2013; Easton and Goulson 2013）。

殺虫剤は、濃度の高低に関わらず、また故意ではない場合でも花粉交配者に脅威を与える可能性がある。しかしながら、このような化学物質への曝露は、様々な理由によっていたる所で起こっている：

1. 世界的にみて、現在は歴史上最高レベルの量の農薬が使用されている（Tilman 他, 2001）。

2. 殺虫剤の残留物は、散布された作物周辺の、多くの種類の花粉交配者にとっての生息地となる様々な場所に届き、留まる可能性がある。例えば、殺虫剤は農場の土壌に残留し、種蒔きや殺虫剤噴霧の際には埃や空気を介して移動し、農場周辺の水路に到達し、作物や周辺の雑草の花粉や花蜜に入る可能性がある。それらは最終的に巣箱の蜜蝋から検出される（Mullin 他, 2010）。

3. 殺虫剤の中には、浸透性、つまり植物に散布されたときに表面にとどまらず維管束に入り込み、その中を移動するものがある。例えば浸透作用をもつネオニコチノイド系農薬の中には、蒔かれたときに種を守るため、種の表面をコーティングするのに使われるものもある。コーティングされた種子が発芽し成長し始めるとき、ネオニコチノイド系農薬は茎や葉や植物全体に行き渡り、溢液（幼苗が葉の先端に作り出す水滴）や、後には花粉や花蜜に入り込むこともある。ミツバチはこうしたコーティングされた種子が蒔かれた畑で溢液を飲むことがしばしばあり、そうしてこの薬剤に曝されることになる（Girolami 他, 2009）。更に、ネオニコチノイド系農薬でコーティングされた種子から成長した植物が開花したとき、残留成分が花粉や花蜜から検出されることもある。従って、こうした花から食物を採取しているミツバチは、花粉や花蜜から化学物質に曝露することもあるのだ。ネオニコチノイド系農薬の使用を増やすということは、長期にわたって花粉交配者をこれらの化学物質の危険に曝す可能性を拡大するということである。なぜなら浸透性農薬は、コーティングされた種子から成長し、溢液や、そして開花の時期を通して花粉や花蜜まで、植物の生涯にわたって様々な箇所に残留するためである（Ellis, 2010）。

花粉交配者に対する農薬の影響は、作用が早く過酷で急速に死に至る場合を急性または致死、そして実験個体群においては死を誘発しなかったものの、生理学上または行動学上微細な影響が長期にわたって見られた場合、例えば学習能力や行動、その他の神経生理学上の観点から見た能力に影響が見られるような場合を亜急性または亜致死と呼ぶ（Desneux 他, 2007）。

歴史的に見ると、化学物質のミツバチに対する急性の影響にのみほとんどの注意が払われてきており、花粉交配者の健康に影響を与え農業生産を低下させる可能性があるにも関わらず亜致死性の影響については理解が乏しく、記録に残されることも比較的少なかった。それでも、亜致死性の影響について様々な例が記録されており（Desneux 他, 2007）、これらは観察された影響の性質によって大まかに4つのグループに分類される：

- 1) **生理的影響**は様々なレベルで見られ、例えば成長速度（例：成虫に到達するのに必要な時間）や奇形発生率（例：巣箱の巣房での発生率）によって計測されてきた。
- 2) **ミツバチの採餌パターンの混乱**
例えば、誘導や学習行動に明らかな影響が見られる場合
- 3) **摂餌行動への干渉**
忌避物質、摂食阻害物質、または嗅覚の低下による影響
- 4) **神経毒性農薬による虫の学習過程（例えば、花や巣の認識、空間定位）への影響**は、非常に関連性が高く、ミツバチに多く見られ、研究が進んでいる

亜致死性影響の例

生理的及び発達上の影響

ピレスロイド系デルタメトリンは、実験室分析では広範囲にわたりミツバチの細胞機能に影響を及ぼすことが明らかになった。例えば、心臓の収縮頻度と収縮力に変化をもたらすほどの心臓細胞の著しい機能障害などの影響である。さらに、プロクロラズという化学物質と連動した場合、ミツバチの体温調節に問題が生じ、低体温症が発症したが、デルタメトリン単独で使用した場合にはこの症状は見られなかった（Desneux, 他 2007）。

亜致死レベルの低濃度でネオニコチノイド系アメトキサムに曝されたアフリカナイズドミツバチには、脳と中腸に損傷が起こり、寿命が短縮された（Oliveira 他, 2013）。

ネオニコチノイド系農薬のイミダクロプリドは、非常に低量でもマルハナバチの蜂群の発育に有害な影響を及ぼし、特に女王蜂に被害を与えた（Whitehorn 他, 2012）。微量のイミダクロプリドで汚染された餌を食べたマルハナバチは正常な発育をせず、その結果、農薬処理された蜂群は小さかった（8～12%）。より重要なことは、女王蜂の数が不釣り合いに激減しており、農薬が検出されない蜂群では14匹いた女王蜂が、1～2匹しか見られなかった。女王蜂は越冬して次の春に群れを作り続けられる唯一の固体であり、群れが生き延びるために不可欠な存在である（Whitehorn 他, 2012）。

最近発表された実験室での研究（Hatjina 他, 2013）によれば、亜致死レベルのネオニコチノイド系農薬イミダクロプリドに曝された場合、ミツバチの呼吸パターンに著しい変化が見られ、また曝露していないミツバチに比べて下咽頭腺の発育が悪く小さいという結果が出た。このようにイミダクロプリドに曝された場合の生理的影響については、個体レベルだけでなく群れ全体に及ぶ可能性を持っているため、他の評価基準に加えて考慮されるべきだと研究者は結論付けている。

運動性

実験室での観察結果によると、ネオニコチノイド系農薬イミダクロプリドは、低量でもミツバチの運動性に影響を及ぼすことが分かった。この影響は薬品の量によって左右され、時間によって変化し（Suchail 他, 2001 ; Lambin 他 2001）、観察の時間帯が殺虫剤の微妙な影響を検知するのに極めて重大であることが明らかになった。

他の実験では、亜致死レベルのイミダクロプリドによって運動性が大きく損なわれた。一時的な影響ではあるが、ミツバチは、曝露していないものに比べて運動量が少なくなった。また、ミツバチはコミュニケーション能力を失い、これによって社会行動に重要な影響が出る可能性が示された（Medrzycki 他, 2003）。

飛行と帰巢本能

花粉交配者にとっては、空間定位のために目印を見て覚えることが重要となる。例えば、ミツバチは食糧源に向かって飛行するために、また群れの他の個体に距離や方向を正確に伝えるために視覚的な目印を利用する。農薬は、採餌行動の際の視覚パターンの学習と、巣での情報伝達の両方に影響を及ぼす。

ピレスロイド系デルタメトリンを局所的に亜致死レベルで投与した場合、採餌蜂の帰路が変化し、巣に戻ってくる数が減少した（Vandame 他, 1995）。

半自然の条件で、ミツバチを対象にした非常に高度な研究が最近行われ、たとえ微量であってもネオニコチノイド系農薬のチアメトキサムで汚染された花粉または花蜜を食べている蜂は、巣に戻る際に道に迷うということが明らかになった。結果として、一日で死亡する蜂の数が2倍となり、群れが弱体化して崩壊する危険性がより大きくなった（Henry 他, 2012）。

ネオニコチノイド系農薬イミダクロプリドもまた、亜致死レベルで投与されたミツバチの採餌飛行に遅れが生じ、ミツバチの損失が増えたことから、低濃度でも採餌飛行に影響を及ぼすことが明らかになった（Yang 他, 2008）。

ミツバチがネオニコチノイド系農薬のイミダクロプリドまたはピレスロイド系農薬のデルタメトリンのいずれに曝された場合でも、採餌飛行において20%~60%

の減少が見られた。デルタメトリンはまた、学習能力の変化を誘発した（Ramirez-Romero 他, 2005）。

摂餌行動

「ミツバチの場合、摂餌行動が損なわれた場合、巣箱内の個体数が著しく減少する。ほとんどの大規模農場では、ミツバチの食糧原が栽培植物だけになり、農薬の忌避効果により、花粉や花蜜の摂取が減少し、蜂群の個体数の減少へとつながる可能性がある。」

— Desneux 他, 2007

ピレスロイド系農薬は花粉交配者が忌避することでおそらく最も知られる殺虫剤であり、この忌避行動はほとんどのケースにおいて、曝露リスクを軽減するための適応修正だと考えられてきた（Desneux 他, 2007）。しかし、後に採餌行動のピーク時（真昼時）にピレスロイドを散布した場合、高レベルの曝露が見られることが明らかになった（Desneux 他, 2007の議論を参照）。

「つまり、忌避効果を、農薬曝露からの保護行為であるかのように誤って解釈してはならないということだ。」

— Desneux 他, 2007

農薬による曝露は、ミツバチの食糧資源を感知する能力もまた減退させる。例えば、低濃度のフィプロニルを局所的に投与されたミツバチは、未投与のミツバチに比べ、低濃度のショ糖を感知する能力を約40%失っていた（El Hassani 他, 2005）。

イミダクロプリドはある種の花粉交配者（授粉媒介するハエと甲虫）を忌避させるため、彼らの曝露は軽減されるであろうが、もしも農業地帯の中で食糧源がイミダクロプリド処理された作物しかない場合は、彼らは結果的に飢えてしまう。更に、もしも花粉交配者が薬品処理された作物の花を訪れるのを忌避した場合、忌避反応の強さと花粉交配者の個体数によっては逆に作物の収穫量が減少してしまう可能性がある（Easton and Goulson, 2013）。

学習行動

農薬がミツバチの学習行動に及ぼす影響については、採餌行動の効率について学ぶことの重要性ゆえ、また彼らが合理的に理解しやすいシステムを持っていたため、いくつかの研究の対象にされてきた（Desneux 他, 2007）。ミツバチの嗅覚での学習と記憶は、給餌戦略と効率的な採餌飛行において、個体及び群体レベルの双方で重要な役割を果たしている。それゆえ、低濃度の農薬による長期間の曝露の悪影響は、ミツバチの群れの健康にとっては危険なものとなる。

実験室での状況下で、ネオニコチノイド系農薬チアメトキサムとフィプロニルの亜致死レベルの投与によってミツバチの嗅覚の記憶は減退した。ミツバチは既知と未知の匂いの識別が出来なかったのだ。フィプロニルを投与されたミツバチは、長時間動くことも出来なかった（Aiouane 他, 2009）。

様々な農薬による生物検定実験では、イミダクロプリド、フィプロニル、テルタメトリン、そしてエンドスルファンの経口投与を受けて生き残ったミツバチは、長期にわたって学習行動の減退が見られた（Decourtye 他, 2004 ; Decourtye 他, 2003 ; Decourtye 他, 2005）。低量のイミダクロプリドに曝されたミツバチは、中期的に嗅覚の記憶を損ねたようだった（Decourtye 他, 2004）。採餌行動におけるこうした慢性的な影響の重大性については未だ判明していない（Desneux 他, 2007）。

他の花粉交配者の群れに対して 亜致死レベルの農薬がもたらす脅威

亜致死レベルの農薬の影響は、ミツバチやマルハナバチの群れの健康に関わる複数の機能に及ぶ（例：採餌、産卵力、可動性）。同様に他の花粉交配者の群れに脅威を与えることもありえる。多くの花粉交配者の群集生態学上の亜致死レベルの影響についての分析はほとんど進んでいない（Desneux 他, 2007）。さらに、殺虫剤がどのような影響を花粉交配者に及ぼすかという例は大部分が種レベルのものであり、野生の花粉交配者の群衆レベルでの脅威についてはほとんど情報が無い。

ミツバチはしばしば花粉交配者の群れに対する農薬の亜致死レベルの影響を研究するモデル生物として使われているが、実際には他の蜂を含む他種の花粉交配者に対する影響をほとんど代表していないと考えられる。蜂類は非常に多様なグループに分かれており、農薬の曝露に関する脆弱性に関しては大きな違いがある。

「ミツバチに対し、農薬は社会組織に影響を与える（採餌の減少、または働き蜂／幼虫の数の減少）が、そうした影響は補うことが出来るものであろう。なぜなら女王蜂は採餌行動に参加せず、おそらく働き蜂よりも曝露する可能性が少ないからだ。対照的に、マルハナバチのような違う社会性を有する花粉交配者の場合は、春には女王蜂が巣を作るため、自身で食物を見つけなくてはならない。この場合、農薬の悪影響が重大な脅威となるだろう。つまり、通年にわたって群れで過ごさない社会的花粉交配者、または非社会的花粉交配者のほうが、より農薬の曝露に脅かされる可能性が高いということだ。」

— Desneux 他, 2007

加えて、ある特性をもった花粉交配者はより農薬に弱い。例えば、ヒラタアブ亜科のハナアブは作物の畑に産卵し、そのため子孫を農薬に曝露させてしまう可能性がある（Brittain and Potts, 2011）。花粉交配者は、それらの特性や生態によって、受ける危険性の度合いが異なる。その結果、生物群衆内で曝露によって花粉交配者の群れの構成が変化し、ひいては花々の群生構造も作為的に変化する可能性がある（Brittain and Potts, 2011）。こうした悪影響は、ミツバチに被害をもたらす農薬が他の花粉交配者にも予期せぬ影響を及ぼす可能性があるという警告になり、飼育下と野生、双方の花粉交配者全体を保護するために予防原則を適用する必要があるという注意喚起となる。ミツバチが好む作物にのみ農薬の使用制限を課したとしても、その他の花粉交配者は依然として同じ農薬の悪影響を受け続ける場合があるためである。

複数の残留農薬による曝露と相互作用の影響

工業型農業地域では、殺虫剤や除草剤、殺菌剤、その他を含む複数の農薬の混合物に曝される可能性が高い。

除草剤は、特に工業型農業で典型的な大規模な単一栽培がそこで行われている場合、ミツバチやその他の花粉交配者の食糧源が制限されるという影響をもたらす (Brittain and Potts, 2011)。

花粉交配者の身体の高さによって全体的にどの程度影響を受けるかが左右され、身体の高さな種類はより大きな影響を受ける。大きなハチは食糧を求めてより遠くまで飛ぶことが出来るが、小さな種は飢えるであろう (Brittain and Potts, 2011)。

「除草剤はまた、ハエやネズミに対して数種の殺虫剤の毒性を高めることが分かっているが、これはミツバチには見られない。除草剤の散布によって食糧資源が減少すると同時に、亜致死レベルの殺虫剤でミツバチの採餌行動の効率が落ちた場合に、結果としてより大きなダメージを引き起こす。」

– Brittain and Potts, 2011

ミツバチが受粉を行う作物の開花期（ミツバチの採餌期）に、農家は決まって殺菌剤を散布している。これは殺菌剤がミツバチにとって毒性が低いとされていることと、現在のところほとんど使用に規制がないためである。しかし、殺菌剤の中には、畑に散布する濃度でミツバチや孤独性ハチに直接の毒性を持つものがある (Brittain and Potts, 2011)。同様に心配なのは、殺菌剤の中に、ミツバチに対しピレスロイド系殺虫剤の毒性を高めるものがあることが発見されたということだ (Brittain and Potts, 2011)。

いくつかの研究によって、農薬と殺菌剤の相互作用の可能性が挙げられている。エルゴステロール生合成阻害剤 (EBI) はピレスロイドと相互に作用する (Norgaard and Cedergreen, 2010)。テルメトリンと共に殺菌剤のプロクラズまたはジフェノコナゾールに曝された場合、ミツバチの低体温症を誘発するが、同量の薬剤を単体で使用した場合は体温調節に大きな影響は見られなかった (Vandame 他, 1998)。

他の研究では、一般的なネオニコチノイド系農薬であるチアクロプリドは、殺菌剤のプロピコナゾールと組み合わせると、ミツバチに対し約数十倍の毒性を持ち、トリフルミゾールと結合すると数百倍の毒性を持つことが判明した (Iwasa 他, 2004)。

2012年末のEFSAの報告書には次のように記載されている「EBI殺菌剤とネオニコチノイド系農及びピレスロイド系農薬には重大な相互作用が発生するが、中でも高レベルの相互作用が認められたケースでは、殺菌剤の使用量がこのレポートの曝露セクションで特定された量をかなり上回っていた。…実験室では、畑に投与された濃度のEBI殺菌剤と、殺ダニ剤として使用されたピレスロイド（フルメトリン及びフルバリネート）、及びクマホスとフルバリネート殺ダニ剤の間でより大きな相互作用が観察された」 (Thompson, 2012)。

しかし、これらの結果や、殺菌剤とその他の殺虫剤の潜在的相互作用が何を意味するのかは、その発見の重要性にもかかわらずほとんど解明されていない (Mullin 他, 2010)。

様々な農薬との相互作用の他に、殺虫剤は例えば寄生虫の横行といったストレス要因とも相互作用を引き起こすことが判明した (Alaux 他, 2010; Wu 他, 2012)。例えば「ネオニコチノイド系農薬イミダクロプリドによって引き起こされるミツバチの死亡率はノゼマ原虫に寄生された個体の方がより高く、これら2つの要素の相互作用によって蜂群の食物の殺菌作用をつかさどる酵素の働きが減少することが分かった」 (Alaux 他, 2010; Brittain and Potts, 2011)。

「花粉交配者は、ますます農薬のカクテルに曝されている。例えばミツバチの巣から採取した、たった1つの花粉サンプルから17種類に及ぶ農薬が検出されたこともある (Frazier 他, 2008)。ミツバチの健康と授粉活動にとって、このことは未だ知られざる重大な結果を招くだろう。世界的な農薬製造の増大 (Tilman 他, 2001) と花粉交配者に依存する農作物の作付 (Aizen 他, 2008) の増加予測を見れば、この問題は将来的により重要になるであろう。集約型農業の農薬による脅威と集約型農業のほかの局面を切り離すことは困難であり、複数の農薬投与の累積及び相互作用がより問題を複雑にしている。」

– Brittain and Potts, 2011

ミツバチの巣箱内の残留農薬

最近北アメリカで、ミツバチの巣箱内の残留農薬について、特に花粉、蜜蝋、そしてミツバチ自身をターゲットに、現在までに最大規模のサンプリングが行われた。その結果、ミツバチは常に複数の農薬に曝されていることが明らかになった (Mullin 他, 2010)。「今までにないレベルの殺ダニ剤と農薬が、米国中およびカナダの1州にかけてのミツバチの巣で発見された」と著者は述べている。

この研究で明らかにされたのは、ハチが採集した花粉には、著しい量の殺虫剤 (アルジカルブ、カルバリル、クロルピリホス、イミダクロプリド) と殺菌剤 (ボスカリド、キャプタン、ミクロブタニル)、除草剤 (ペンディメタリン) を含む複数の農薬が高濃度で残留するという事実だ。また高濃度のフルバリネート及びクマホスも検出された。最後の2つは防ダニ剤で、ミツバチへのヘギイタダニの寄生を防ぐため、養蜂家がしばしば巣箱に投与している。

花粉はミツバチにとって主要なタンパク源であり、ミツバチの栄養補給と蜂群の健康に非常に重要な役割を果たす。ミツバチを取りまく環境の中に多数の農薬が残留しているのであれば、それらの相互作用は充分ありえる話である。花粉の中に10種類の残留農薬がハチの半数致死量の1/10以上の濃度で検出され、単独でも亜致死レベルの影響がありえることも判明した (Mullin 他, 2010)。つまり、「平均して7種類の農薬が残留する花粉を糧に生きることによって、何らかの影響を受ける恐れがある」。

殺虫剤に加え、殺菌剤は花粉に存在する残留農薬の中でも最も重大なものである。著者は殺菌剤と巣の健康状態の悪さについての相関関係に着目した (Mullin 他, 2010)。上述の通り、殺菌剤は一部の殺虫剤のミツバチへの有害な影響を激化させる。

非常に有毒なピレスロイド (デルタメトリンとピフェントリンを含む) は、北米での調査で最も頻繁に、また多量に確認された殺虫剤であり、ある条件下ではミツバチにとって致死レベルであることが証明された。さらに、ピレスロイドは農家によってしばしば殺菌剤と共に投与されるが、再々述べている通り殺菌剤はピレスロイドの毒性を高めることが明らかになっている。

「複数のピレスロイドと殺菌剤の潜在的相互作用は、ミツバチの健康にとって未知の脅威である可能性が高い。」

— Mullin 他, 2010

ネオニコチノイド系農薬の残留物はしばしば花粉と蜜蝋から検出されるが、その量はピレスロイドより低レベルである。しかし、花粉サンプルの一つに、非常に高レベルのイミダクロプリドが含まれていた。ネオニコチノイド系農薬が他の農薬と共にどのような相互作用をもたらすのかはまだほとんど分かっていない (Mullin 他, 2010)。

結論として、「複数の残留物が広範囲で発見されており、中には有害なレベルの混合物も存在していることと、農薬が混在することが生物学的にいかなる結果を及ぼすかという科学論文が無いことから、花粉交配者の安全に関わる農薬の登録とモニタリング手続についての規制行政政策を早急に改善するための議論が必要である。これは、農薬が花粉交配者に与える重大な影響についての科学的知識の欠如が無数にあるという現実に取り組むための、緊急の資金提供をさらに呼びかけるものだ。登録された農薬のミツバチに対する毒性については、ラベルへの警告表示しかされておらず、浸透性農薬がミツバチにもたらす被害について、登録の過程において過小評価したことが、結果的に主な花粉交配者の主要な食糧資源である花粉の広範な汚染につながったのだ。私たちの食糧システムに140億USドル (約1兆4320億円) の貢献をしている花粉交配者を危険に曝しているのに行動を起こさないことは本当に正当なことなのだろうか? (Mullin 他, 2010)

ヨーロッパでのミツバチの巣材のサンプリングでも残留農薬が検出された。例えばスペインの養蜂場では殺ダニ剤と農薬がハチパン (蜂蜜で練られた花粉) から検出され、中にはハチに有害な亜致死レベルの農薬 (シベルメトリン、デルタメトリン、クロロピリフォス) もいくつか検出された。殺ダニ剤は、農薬よりはるかに高濃度で検出された (Orantes-Bermejo 他, 2010)。スロベニアでは、殺虫剤が散布されたリング園に配置された蜂群から、ハチパンの中にダイアジノン散布後16日間残留物が見られ、花粉の中にはチアクロプリド散布後6日間、ダイアジノン散布後10日間残留物が見られた (Škerl 他, 2009)。

ミツバチに有害な農薬の一覧表：ミツバチに有害な7つの主要化学物質

ヨーロッパでの農薬の使用について入手可能な証拠とミツバチやその他の花粉交配者に与える影響を基に、私たちは花粉交配者に致死レベルの急性中毒、または亜致死レベルの害を及ぼすリスクを防ぐため、環境から取り除かれるべきものとしてミツバチに被害を及ぼす農薬の一覧表を作成した。現時点での科学的証拠に基づき、グリーンピースはミツバチに被害を及ぼす7種の主要な殺虫剤を、ミツバチやその他の花粉交配者が曝露しないよう使用制限されるべきものであり、環境から取り除かれるべきものとして認定した。本リストには **イミダクロプリド、チアメトキサム、クロチアニジン、フィプロニル、クロルピリホス、シベルメトリン、そしてデルタメトリン** が含まれる。各々の農薬の簡単な特徴と、有害である証拠としての参考文献については表1を参照のこと。それは環境から取り除くための予防原則の必要性を明白に示している。

ネオニコチノイド系農薬

ネオニコチノイド系農薬は、この数十年の間に最も一般的に使用される殺虫剤となった。ネオニコチノイド系農薬には、ニトログアニジンとシアノアミディンという2つのサブクラスがある。ニトログアニジンにはイミダクロプリド、クロチアニジン、チアメトキサム、ジノテフランが含まれ、これらはミツバチにとって急性毒性が高く経口毒性は1匹あたり4～5ナノグラムである。これらの殺虫剤メーカーによれば、「ネオニコチノイド系農薬は殺虫剤の中で最も成長株で、吸汁性害虫から食害性害虫まで幅広い用途で広範囲に使用される。」(Jeschke 他, 2010)。使用の増加に並行して、花粉交配者、特にミツバチやマルハナバチに対する影響への懸念が増大している(多くの研究論文ならびにUNEPのレビュー、直近では欧州食品安全委員会(EFSA)のレビューが発表された)。しかしながら、政策決定者はこの懸念に対する対応が遅く、フランスやイタリアを含む数カ国のみが法律制定のための暫定措置を取っている。しかしたとえ法律が制定されたとしても、それによって花粉交配者が完全に保護されたわけではない(EEA, 2013)。

EFSAはつい最近3種のネオニコチノイド系農薬(クロチアニジン、イミダクロプリド、チアメトキサム)の特定の使用に関連する危険性についての懸念を明確に表現し、欧州委員会にこれら物質の規制に変更を考慮するよう求めた。しかし、メンバー国の一部の反対と根強いメーカーのロビー活動により、明らかになったリスクに照らして現在の認可を変えようという試みはスローダウンしているように見える。これら3種のネオニコチノイド系農薬は世界で最も売れている殺虫剤であり、2009年時点でネオニコチノイド系農薬の市場の85%、22億3600万USドル(約2314億円)に達する(Jeschke 他, 2010)。イミダクロプリドは世界で最も売れている殺虫剤で、その売上高は2009年現在で10億9100万USドル(約1116億円)である(Jeschke 他, 2010)。

グリーンピースは、これまでに明らかにされた懸念は、ミツバチにとって有害なネオニコチノイド系農薬を含む数々の農薬の使用を完全に禁止する充分合理的な理由になりえると確信する。特定の何種類かの使用を取りやめるだけでは、本来すべての種類の花粉交配者の安全を保障することは出来ない。イミダクロプリドがハエや甲虫といった他の種類の花粉交配者に与える影響を観察している最近の研究者が述べるように「実際のところ、ネオニコチノイド系農薬が、ミツバチ以外の駆除対象ではない昆虫に対してどのような影響を与えるかについてはほとんど何も知られていない…いかに私たちがこの広く使われている殺虫剤の、環境毒性的な知識を有していないかは驚愕すべきことである」(Easton and Goulson, 2013)。

注4) <http://www.efsa.europa.eu/en/press/news/130116.htm>



第五章

ミツバチとその他の 花粉交配者を守るために 私たちができること

野生及び飼育下双方の花粉交配者への脅威は現実のことであり、重大で複雑である。全ての脅威に総合的な方法で取り組むのは途方もなく大きな、だが根本的に必要な課題である。明らかなのは、例えば現在の農業集約型の破壊的な農業システムが及ぼす脅威など、現在花粉交配者に影響を与えている要因のうち主たるものから取り組みは始めるべきだということであり、それが正しい方向への極めて重要な一歩となるだろう。現在の農業集約型の破壊的な農業システムを生態系に調和した農業に切り替えていくあらゆる過程で、世界中の花粉交配者の健康という明確な利益に加えて、環境のほかの面や、私たちの食物の安全に関連する多くの利益も得られることであろう。

現在のシステムを環境保護と世界の食糧需要の双方を満たすシステムへと転換することは気が遠くなるほどの難題であり、確固とした長期的ビジョンへの強く進歩的な一歩が必要だ。これらのステップの中で重要なもののひとつは潜在的毒性をもつ農薬をやめ、花粉交配者とその曝露から保護することである。それにより、重要な自然または管理された生態系の構成要素は、直接的または間接的に保護されるだろう。

世界の花粉交配者の健康のために、現代社会が短中期的に取り組むことのできる、具体的で即効性のある問題がいくつかある。利益があることはほぼ即座に明らかになるだろう。世界的な花粉交配者の健康についての現在の科学調査をもとに、ミツバチに被害を与える農薬の曝露を無くすことは、飼育下および野生のミツバチのみならず、自然受粉の生態学上および経済上の高い価値を守るための極めて重要な一歩だとグリーンピースは確信する。

科学的根拠に基く、世界の花粉交配者の減少を食い止める一助となる短中期の行動は、2つの基本的なグループに分かれる：

- 1) 花粉交配者を危険から遠ざけること（例えば、有害な可能性のある物質に曝露しないようにする）
及び
- 2) 花粉交配者の健康を促進する（例えば、農業生態系内で他の農業慣行を変更する）

ミツバチへの潜在的有毒性をもつ 農薬の使用と曝露をなくし、 花粉交配者への害を予防する

本レポートの前章までで、ミツバチに被害を与える農薬の使用に伴う重大なリスクについての現在の科学的な指摘を要約してきた。科学は明快で強い根拠をしめしている：これらの農薬が及ぼす可能性のある害は、害虫駆除の役割を果たすことによる農作物の増産から得られる推定利益を遥かに上回っている。実際に、利益が上がると思われている方法（化学薬品集約型農業）が、完全に非現実的だと証明される見込みがある。これらの農薬 - 特に3種類のネオニコチノイド系農薬 - の危険性は、欧州食品安全機関（EFSA）によって確認されており（注5）、一方で花粉交配者のもたらす経済利益が同時に非常に重要だということも、広く認知されている。

さらに、特にヨーロッパにおける有機農業の拡大（注6）を伴う総合的病害虫管理（IPM）の拡大は、農薬を使わない農業が完全に実行可能で、経済的にも利益を生むことが可能であり、そして環境にも安全だということを示すものである（Davis 他, 2012）。イタリアにおいては、数年前に、種子のコートティングの

注5) 「EFSAがネオニコチノイド系農薬がミツバチに与えるリスクを確認」2013年1月16日 付けプレスリリース
<http://www.efsa.europa.eu/en/press/news/130116.htm>

注6) 「有機栽培は、ヨーロッパの農業のうち、近年着実に伸びている部門である。」http://ec.europa.eu/agriculture/organic/home_en

際にミツバチに害を及ぼす農薬を使用することが中止されたが、農家からはこうした殺虫剤の使用を停止した後に害虫の問題が増加したという報告は上がっていない。反対に、有害農薬に対する適切な規制が迅速に採用された後も、収穫高における有意な減少は報告されなかった（APENET, 2011）。

にもかかわらず農家は、毒性のない環境的に安心な方法で作物を害虫から守る新しい方法を模索するための支援を必要としており、更なる調査と代替方法の開発が、必要とされていることはあきらかである。さらに、既にある代替的解決手段を奨励することも重要である。そして、ひとたびその代替方法の有効性が試され確立された後には、商業的に成り立つよう支援することも重要である。

農業生態系と半自然の生息地に 生きる花粉交配者の健康を促進する

農業風景の中に、花資源の多様性と豊かさを 向上させる

工業型農業の環境は、ミツバチにとっては事実上砂漠のようなものである場合も多い。大規模な単一栽培が優位を占めていると - ほとんどの時期は開花している植物が無く、つまり植物の多様性が少なく、そして大規模な除草剤の散布が行われている - ミツバチたちは適切な食物を見つけることが難しくなる。

様々な規模で植物の多様性を促進することにより、花粉交配者にとっての空間的及び時間的な豊かさを取り戻すことが可能である。例えば、個人農家の場合、赤クローバー、ヒマワリ、メロン、アブラナ、またはアーモンドといった、大量の花粉や花蜜を供給できる作物の栽培など、短期間で花粉交配者にとって生息しやすい条件を整えることが可能となる。（Kremer 他, 2007）

農場レベルとなる作物では、メインの作物の開花前後には、代替のハチの餌を育てる、または保存しておくことで花粉交配者が利益を享受できる。畑の隅の豊かに花咲く部分や休耕地、草の生えたあぜ道部分や常緑樹の垣根などを保存しておくこと（Kremen 他；Carvell 他, 2004）が効率的な方法である。作物の間に違った植物を間作することは、益虫や花粉交配者を引き寄せ、花の「宝庫」を作り出す（Kremen他,

2007）。その他年間を通じて生える、いわゆる雑草もまた、健全な花粉交配者のコミュニティを支える（Morandin and Winston, 2006）。そして、例えば果樹園とオリーブの立木は、効率よく管理できる一方で、野性の花粉交配者にとって高レベルの生物多様性をもつ生息地をもたらす（Potts 他, 2006）。

より広い地域スケールにおいては、半自然の区域と管理下にある農業区域を統合することで野生の花粉交配者を増やし、受粉を促すことが出来る。農場における野生の花粉交配者の数は、しばしば農場周辺に自然または半自然の区域が存在するかどうかに関連しており、それによってカリフォルニアの露地物のトマトの場合のように飛躍的に野菜の収穫を増やすことが出来る（Greenleaf and Kremen, 2006）。例えば最近では、飼育ミツバチと野生のハチの両方が存在するような、全体的な花粉交配者の多様性が増したことにより、受粉が促進されアーモンド園での収穫が増大したことが判明した（Brittain 他, 2013b）。マンゴー農園では、農園に野生の花を咲かせておいた場合のほうが木一本あたりの果実の生産量はずっと多かった。果樹園と自然の区域が近い場合、農薬の使用量が少ない場合も生産量が伸びた（Carvalho 他, 2012）。農業地域に野生の花の咲く自然の生息地を組み合わせることで、生産地域の野生のミツバチを活性化させて受粉と収穫を増大させ、自然の生産地が失われないようにすることで農業の損害を低減することが可能となる。

野生の昆虫の花粉交配者、主に多種のハチ類、その他ハエ類、チョウや甲虫類も、農業地域での花粉の運搬者として重要性を増している。直近の世界的な分析によれば、多様性に乏しく野生の花粉交配者の少ない地域では、たとえ飼育ミツバチが豊富に存在しようとも作物の生産性は低下する（Garibaldi 他, 2013）。このことは、生物多様性のため、また食物生産における野生の花粉交配者の極めて大きな役割のために、彼らを保護することの重要性を示している。ミツバチは大切だが、作物周辺の様々な野生の昆虫が行う効率的な受粉に代わることは出来ない（Garibaldi 他, 2013）。

サクランボは、飼育ミツバチに比べて、野性のハチが訪れた方が効率よく受粉が進み、生産性が上がったことが明らかになった（Holzschuh 他, 2012）。逆も同様に、野生のハチの数と種類の多さは、サクランボの果樹園の近くに自然の生息地がどれほど残されているかということに関連している。自然の生息地と野

生のハチの存在が果実の生産性に及ぼす影響はかなり大きなものである。「多様性に富んだハチの生息地が20～50%増えると、果実の生産が150%にまで高まる」。著者はこう結論付けている：「受粉と高い生産量を保障するために、農家は半自然の生息地を農場の中に保存する必要がある」（Holzschuh 他, 2012）。

マルハナバチのような野生の花粉交配者は、多様な花を求めてより長距離を移動することが分かっている（Jha and Kremen, 2013）。このことから、自然な環境であれ管理された環境であれ、その中でより種類豊富な花の咲く土地を増やす試みは自然受粉のメリットをさらに増大させると言える。この試みはまた、農家や土地の管理者、都会生活者にさえも、生物多様性の維持と受粉の促進活動に同時に関わる素晴らしい機会を提供することとなる（Jha and Kremen, 2013）。

「農業地域に手付かずの自然の土地を統合することで、生態系の保存及び保護を低いコストで達成することが可能となる。」

－ Lautenbach 他, 2012

高い生物多様性と農薬不使用の農業：環境に優しい持続可能な有機栽培システム

花粉交配者がより多様で多数いる場合、作物の花の受粉も増え、結果的に果実や種の生産量も増える。これはアブラナでの実験で明らかになった。収穫量の増加と市場価値の上昇は、受粉が促進されたことから来ている（Bommarco 他, 2012）。

農業と同時に生物多様性を高レベルで維持し、化学物質の農薬や合成肥料を使用しないということは有機農法に当てはまるが、この農法は花粉交配者の個体数の増加に役立つことが何度も証明されている。この技術は作物の受粉、ひいては収穫量の増加につながる（Morandin and Winston, 2005 ; Andersson 他, 2012）。しかしながら、有機または他の化学薬品不使用の農法が花粉交配者の健康に役立つかどうかと

いう研究はほとんどなされていない。重要な点は、これらの代替方法は、ハチの群れを保護し、強化させるための効率的な手段としては無視されがちであるという点だ。

スウェーデンでの最近の研究では、イチゴがどのように有機農法のメリットを享受しているかが明確に示された。有機栽培のイチゴはより多くの花粉交配者を引き付け、結果的に従来の手法で栽培されたイチゴよりも受粉機会が多く、またこの違いは従来の農法から有機栽培に切り替えてすぐに明確になった。有機農法は作物の受粉を促進し、収穫物の質、量共に増加させるのに役立つと結論付けられている（Andersson 他, 2012）。

生態系に調和した農業は花粉交配者の多様性と個体数双方に利益をもたらし、特に農業集約型の破壊的な農業システムを行っている環境においてより大きなメリットを与えている（Batáry 他, 2011 ; Holzschuh 他 2008）。このことは、作物の収穫できる可能性を最大限引き出すという形で利益をもたらすことができる（Kremen and Miles, 2012）。

カナダの有機農法、慣行農業、そして遺伝子組み換え（GE）による除草剤耐性を持ったキャノーラ畑で、それぞれ野生のハチの数を比較したところ、従来型及び遺伝子組み換えの畑に比べ、（表2を参照）有機の畑が最もハチの数が多く、受粉不足の数は最も少なかった（十分に受粉が行われたことにより、果実あたりの種子の数が増加している）（Morandin and Winston, 2005）。慣行農業の畑ではハチの数も受粉の低下も中程度にとどまり、GE除草剤耐性の畑は最もハチが少なく、最も受粉が不足していた。GE除草剤耐性の畑で最も受粉が制限されていた理由は分からないが、除草剤のグリフォサートの大量散布がハチの健康に直接的な、または花資源の減少を通じて間接的な影響を与えたのではないかとされている。確かなのは「遺伝子操作により雑草を駆除して収穫量を上げる目的で作られた作物は、畑のハチの減少という望まぬ結果を招き」、結果作物の収穫量を落としたということである（Morandin and Winston, 2005）。

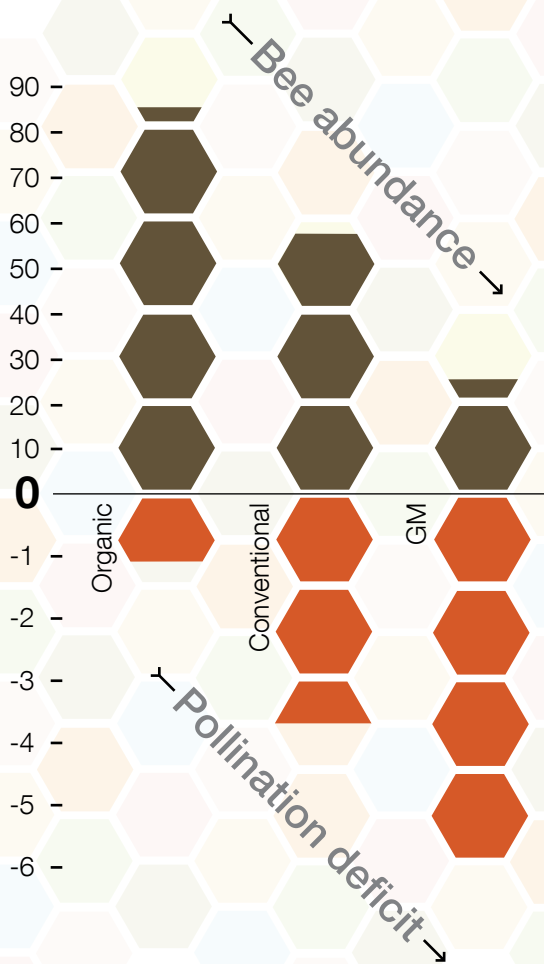


表2.

畑のタイプ別（処理ごとの畑の数=4）のハチの数と受粉の不足（標準誤差あり）。

ハチの数（上段）と受粉の不足度（下段）は、3つの畑のタイプで大きく異なった。

Morandin LA と Winston ML (2005) の許可を得て数字を転載。「通常型、有機、そして遺伝子操作のキャノーラ畑における野生ハチの数と種子の生産」

Ecological Applications 15 (3) : 871-881

手助けをしてくれる花粉交配者の多様性と豊かさという観点において、有機農場の利益は周辺の慣行農業の畑にも及ぶ。ドイツの小麦畑の場合、有機にすることで花粉交配者の多様性が60%、個体数が130~160%慣行農業の畑よりも増加した（Holzschuh 他, 2008）。更に、ランドスケープレベルで有機の畑が5~20%増えたことで、花粉交配者の多様性と個体数が有機及び従来型の畑の双方で60%以上増加した（Holzschuh他, 2008 ; Kremen and Miles, 2012）。

多様性を活かした農業システムは、有機農法あるいは生態学的生産方法のように、受粉の増加に加え様々な利益をもたらす。雑草や病害、害虫にも強くなるのである（Kremen and Miles, 2012）。しかし、こうした試みは慣行農業に比べて、先進的農業及び管理法の発展を目的とした調査のための公的資金を受けることが明らかに少なかった。有機農法あるいは生態学的農法のように既存の農法とほぼ同量の食糧と利益を生産することが可能で、かつ環境にも社会にもはるかに害が少ないとすれば、これらへの支援の無さは驚くべきものである（Kremen and Miles, 2012 ; Davis 他, 2012）。スイスの有機農法研究機関（FiBL）のウルス・ニグリの試算によると、年間520億USドル（約5兆3182億円）くらいの予算を農業研究に費やしているのに対し、有機に特化した調査や評価にまわされるのはそのうち0.4%以下ということである。（注7）

したがって、食糧生産と環境保全に並んで生態系の働きを最大限に高めるための最良の選択肢であり、同時に持続可能な社会的および経済的発展を促進する手助けとなる生態学的農業の調査と開発のためには、より多くの公的及び私的な資金調達が必要である（IAASTD, 2009）。

注7) 「有機農法への科学的な事例の適用ネットワーク」
SciDev Net 2013年2月22日

<http://www.scidev.net/en/agriculture-and-environment/farming-practices/news/network-to-push-scientific-case-for-organic-farming.html>





第六章

結論と提言

ハチやその他の花粉交配者を保護するために必要な行動

「受粉による利益の高さは、その価値を考えれば世界の広範囲において保護政策を取り、また土地利用はその影響を考慮の上で決定してしかるべきである。伝統的な地域の農家と提携して、継続していけるだけの収入を保障することにより、世界中で花粉交配者の回復と保護につとめるべきである。」

— Lautenbach 他, 2012

ヨーロッパの農業政策 - まず第一に共通農業政策 (CAP) - は、飼育ミツバチ及び野生の花粉交配者双方の利益及び脅威に関する現在の科学的な証拠を取り入れ、それを基に行動するべきである。重要な生態系機能である受粉を保護するために、至急行動することが必要である。花粉交配者を保護するための既存手段となる既述の証拠は、ミツバチを増強する農法を奨励する手段として農業政策に組み込まれるべきである。

さらに、ミツバチを害する可能性のある物質の使用については、ミツバチの被害と脆弱性に関する現在の科学的証拠を取り入れ、予防原則に従ってEUの厳格な法律に規定されるべきである。また、予防策については、現在及び不確実な将来において受粉が行われることを保証するために非常に重要な役割を果たすという観点から、対象を他の花粉交配者にも拡大するべきである。

グリーンピースの提言

ミツバチや野生の花粉交配者は、農業と食糧生産において非常に重要な役割を果たしている。しかしながら、現行の工業型で農薬集約型の破壊的な農業システムはその双方を脅かし、それによってヨーロッパの食糧供給を危険にさらしている。このレポートは、ネオニコチノイド系農薬やその他の農薬が、現在のミツバチの減少に重大な責任を負っていることを明示する、強固な科学的証拠があると伝えるものである。

したがって、政策担当者は：

1) 現在EUで認可されている中でもトップランクの、最も危険な物質、例えばイミダクロプリド、チアメトキサム、クロチアニジン、フィプロニル、クロルピリホス、シベルメトリン、そしてデルタメトリンの7種 (別表1を参照) を始めとする、**ミツバチを害する農薬の使用を禁止するべきである。**

2) 花粉交配者に関する国家レベルの行動計画の採用を通じて、輪作や農場レベルでの環境保全区域、そして有機農法といった、**農業システムの中でも受粉に益をもたらす手法を補助し、促進するべきである。**

3) **農業地帯周辺における自然、また半自然の生息地域の保全を進め、また農地内の生物多様性を促進するべきである。**

4) 化学薬品に依存した害虫駆除から、生物多様性をベースにした手段へと切り替え、**健全な生態系を強化する生態学的農業の実践の研究と発展のための財源を確立するべきである。** EUの政策立案者は、**生態学的農業による解決策の研究**に対し、CAP (補助金直接支払) および Horizon 2020 (EU 研究フレームワーク) の援助のもとにより多くの資金提供を指示するべきである。

		LD ₅₀ 経口摂取時 ハチ1匹 あたり µg	LD ₅₀ 接触時 ハチ1匹 あたり µg	暫定禁止になる前の EU内での使用国	種子コーティ ングへの使用	浸透性薬品 かどうか	ヨーロッパで主に使用 される作物
系統 メーカー 商品名	イミダクロプリド ネオニコチノイド バイエル ガウチョ、コンフィドール、 インプリモ、その他	0.0037	0.081	オーストリア、ベルギー、 ブルガリア、キプロス、チ ェコ、ドイツ、デンマー ク、エストニア、ギリシャ、 スペイン、フィンランド、 フランス、ハンガリー、ア イルランド、イタリア、リト アニア、ルクセンブルグ、 マルタ、オランダ、ポーラ ンド、ポルトガル、ルー マニア、スウェーデン、ス ロヴェニア、スロヴァキ ア、英国	yes	yes	米、穀類、トウモロコシ、 ジャガイモ、野菜類、テ ンサイ、果物、綿、ヒマワ リ、庭でも使用。 種子または土壌処理に使 用された 場合の浸透作用
系統 メーカー 商品名	チアメトキサム ネオニコチノイド シンジェンタ クルーザー、アクタラ	0.005	0.024	オーストリア、ベルギー、ブルガ リア、キプロス、チェコ、ドイツ、 デンマーク、エストニア、ギリシ ャ、スペイン、フィンランド、フラ ンス、ハンガリー、イタリア、リト アニア、ルクセンブルグ、ラトビ ア、マルタ、オランダ、ポーラ ンド、ポルトガル、ルーマニア、ス ウェーデン、スロヴェニア、スロ ヴァキア、英国	yes	yes	トウモロコシ、米、ジャ ガイモ、ヒマワリ、テン サイ、葉または実の野 菜、綿、かんきつ類、タバ コ、大豆
系統 メーカー 商品名	クロチアニジン ネオニコチノイド バイエル、住友化学、 ボンチョ、シエンス、ダン トツ、サンタナ	0.00379	0.04426	オーストリア、ベルギー、ブル ガリア、チェコ、ドイツ、デンマ ーク、エストニア、ギリシャ、ス 페인、フィンランド、フラン ス、ハンガリー、アイルランド、 イタリア、リトアニア、オラン ダ、ポーランド、ポルトガル、ル ーマニア、スロヴェニア、スロ ヴァキア、英国	yes	yes	トウモロコシ、ナタネ、 テンサイ、ヒマワリ、大 麦、綿、大豆
系統 メーカー 商品名	フィプロニル フェニルピラゾール BASF リージェント	0.00417		ベルギー、ブルガリア、 キプロス、チェコ、スベ イン、フランス、ハンガリ ー、オランダ、ルーマニ ア、スロヴァキア	yes	moderately	種子コーティングとして； トウモロコシ、綿、乾燥 豆、大豆、モロコシ、ヒマ ワリ、キャノーラ、米、小 麦。作物用以外にノミ、シ ロアリ、ゴキブリの駆除、 ミバエの誘引
系統 メーカー 商品名	クロルピリホス 有機リン酸エステル バイエル、ドー・アグロサイ エンス、他 クレサス、エグザク、レルダ ン他多数	0.25	0.059	オーストリア、ベルギー、ブル ガリア、キプロス、チェコ、ド イツ、エストニア、ギリシャ、 スペイン、フランス、ハンガリ ー、アイルランド、イタリア、 ルクセンブルグ、マルタ、オラ ンダ、ポーランド、ポルトガ ル、ルーマニア、スロヴェニ ア、スロヴァキア、英国	yes	no	トウモロコシ、綿、アーモ ンド、オレンジやリンゴを 含む果樹。作物用以外にノ ミ、アリ、シロアリ、蚊な どの駆除
系統 メーカー 商品名	シベルメトリン ピレスロイド SBM DVLPT、CPMA他 デーモンWP、レイ、サイ ファ、クノフ、アーモーC、 シグナル	0.035	0.02	オーストリア、ベルギー、ブル ガリア、キプロス、チェコ、ド イツ、デンマーク、エストニア、ギ リシャ、スペイン、フィンラン ド、フランス、ハンガリー、ア イルランド、イタリア、リトアニア、 ルクセンブルグ、ラトビア、マル タ、オランダ、ポルトガル、ルー マニア、スウェーデン、スロヴァ キア、英国	yes	no	果物や野菜、綿。 殺生物剤として家庭及び工 場で使用。（学校、病院、 レストラン、食品加工工 場、家畜）
系統 メーカー 商品名	デルタメトリン ピレスロイド 多数 クレサス、デソシス、デルタ グレイン、イケール、ケシェ、 パール、エキスパート、他 多数	0.079	0.0015	オーストリア、ベルギー、ブル ガリア、キプロス、チェコ、ド イツ、エストニア、ギリシャ、スベ イン、フィンランド、フランス、 ハンガリー、アイルランド、リト アニア、ルクセンブルグ、ラトビ ア、マルタ、オランダ、ポーラ ンド、ポルトガル、ルーマニア、ス ウェーデン、スロヴェニア、スロ ヴァキア、英国	yes	no	果樹（リンゴ、梨、プラ ム）ブラシカス（キャベツ 類）、豆、キュウリ、トマ ト、コショウ、 観葉植物などの温室作物

ハチの健康を守るためにこの薬品を禁止する根拠

一般的な種子のネオニコチノイド処理による、低量でのハチの中毒/亜致死：

- 処理した種子から成長した植物の溢液にて高濃度検出、ハチの中毒症状あり (Girolami 他, 2009)
- 寄生虫ノゼマ原虫と相互作用の可能性あり (Pettis 他, 2012; Alaux 他, 2010)
- 花粉交配者の野生バエと甲虫に、食物からの忌避作用 (Easton and Goulton, 2013)

亜致死レベル濃度：

- ミツバチの中期記憶と脳の代謝機能低下 (Decourtye 他, 2004)
- ミツバチの摂食行動異常 (Schneider 他, 2012; Yang 他, 2008)
- 微量でもマルハナバチの群れ形成に影響、

特に女王蜂に顕著 (Whitehorn 他, 2012)

- 野生バチの神経系に異常、成長したバチに歩行異常 (Tome 他, 2012)
- 畑の濃縮に比べると低濃度で、ピレスロイド系チャノトリンと合体した場合マルハナバチの働き蜂の死亡率が高まり摂食行動にも異常が現れ、群れの健康が損なわれる。(Gill 他, 2012)

一般的な種子のネオニコチノイド処理による、低量でのハチの中毒/亜致死：

- 処理した種子から成長した植物の溢液にて高濃度検出、ハチの中毒症状あり (Girolami 他, 2009)

亜致死レベル濃度：

- 働きバチが採食の後道に迷い、群れが弱体化、崩壊の危機 (Henry 他, 2012)

- ハチの中期の嗅覚記憶に異常 (Aliouane 他, 2012)
- アフリカナイズドミツバチの脳と中腸を損傷、寿命の短縮 (Oliveira 他, 2013)

一般的な種子のネオニコチノイド処理による、低量でのハチの中毒/亜致死：

- 処理した種子から成長した植物の溢液にて高濃度検出、ハチの中毒症状あり (Girolami 他, 2009)

亜致死レベル濃度：

- 採食行動の低下と飛行距離の短縮 (Schneider 他, 2012)

一般的な種子処理による、低量でのハチの中毒/亜致死：

- ミツバチにおける他の殺虫剤 (チアクロプリド) 及びノゼマ原虫の相互作用的悪影響。(Vidau 他, 2011)

亜致死レベル濃度：

- ミツバチにおいて運動抑制、水分摂取量増加、においの認識に異常 (Aliouane 他, 2009)
- ミツバチにおいて学習能力低下。殺虫剤中最も学習能力を阻害

世界で最も一般的に使用されている殺虫剤のひとつ

- ウルグアイミツバチが、ヨーロッパ種に比較して10倍感受性が高く (Carraso-Letelier 他, 2012)、他の花粉交配者に呼応して変異する可能性あり

ハチの中毒性が強い

- 低濃度でミツバチの生理機能に影響、運動能力の低下 (Williamson 他, 2013)

世界で最も一般的に使用されている殺虫剤

亜致死レベル濃度：

- 長期の低濃度曝露により、幼虫を含む群れの健康に悪影響 (Bndahou 他, 1999)

世界中で使用されている殺虫剤

- 畑での投与/残留レベルにおいて、ミツバチの採食行動のための飛行距離低下、及び学習能力への悪影響 (Ramirez-Romero 他, 2006)
- 個体の産卵、成長に影響 (Dai 他, 2010)

表 1. ハチへの悪影響を前提に、環境から取り除かれるべき7つの殺虫剤

(注：LD50とは、一定期間実験を続けた被験者の半数が死亡する服用量)

2013年12月1日から、欧州連合 (EU) においてネオニコチノイド農薬3種 (クロチアジジン、イミダクロプリド、チアメトキサム) について、ミツバチを保護するために一時的に使用が部分禁止された。また、ネオニコチノイド系農薬と同様に、ミツバチの大量死の原因とされ、植物に浸みこむ性質をもつ「浸透性農薬」の1つである、フィプロニルについても種子処理が規制され、2014年3月からは処理された種子をまくことも禁止された。



LD50の値の出典：

LD Imidacloprid: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/3068.pdf>

LD Thiomethoxam http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=activesubstance.ViewReview&id=399

LD Clothianidin http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=activesubstance.ViewReview&id=368

LD Fipronil: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/316.htm>
Acute 48 hour LD₅₀

LD Chlorpyrifos: http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=activesubstance.ViewReview&id=138

LD Cypermethrin: http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=activesubstance.ViewReview&id=143

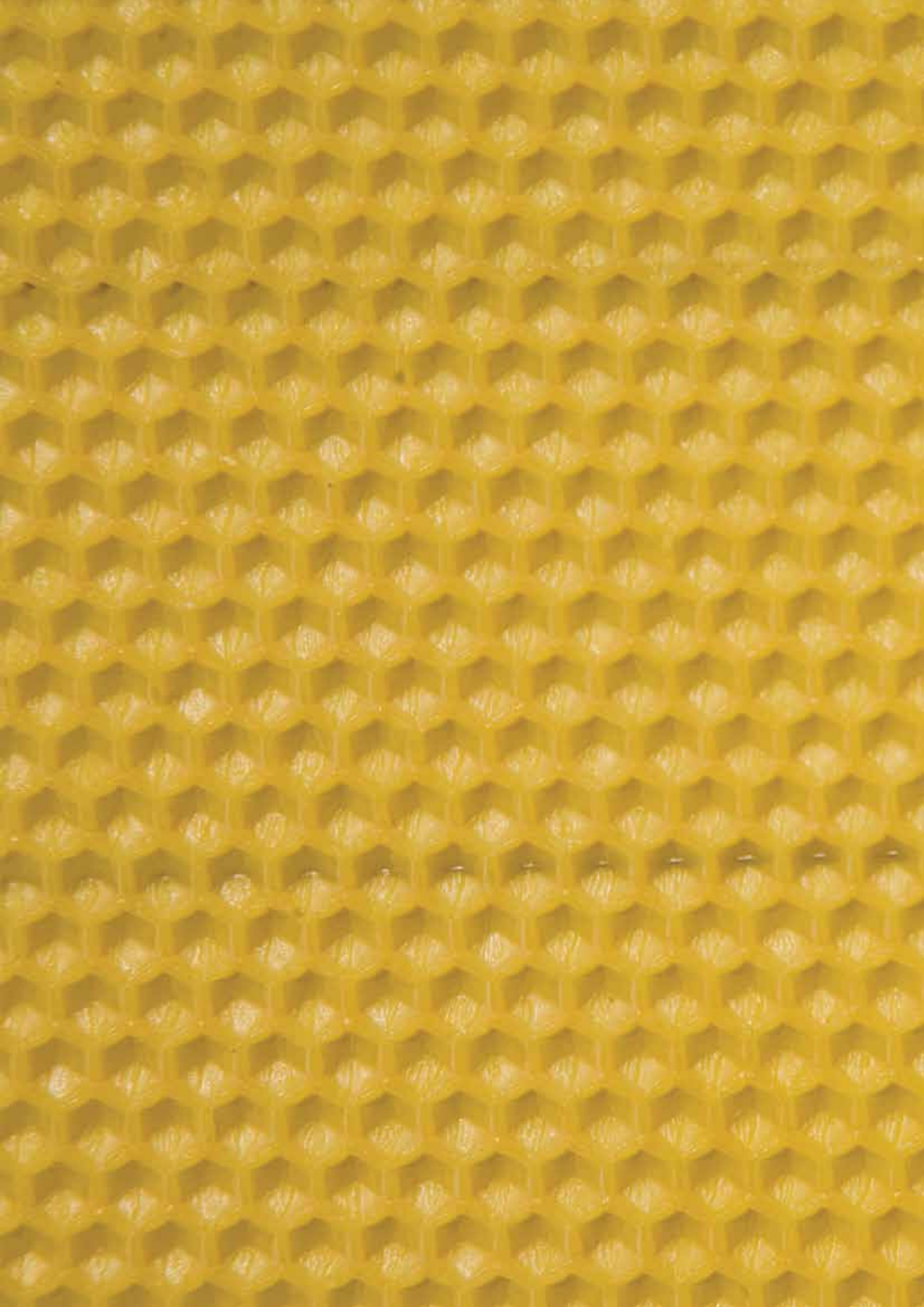
LD Deltamethrin: http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=activesubstance.ViewReview&id=60
Acute 48 hour LD₅₀

参考文献

- Aizen MA, Garibaldi LA, Cunningham SA & Klein AM (2009).** How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*, 103:1579-1588.
- Aizen MA & Harder LD (2009).** The Global Stock of Domesticated Honey Bees is Growing Slower than Agricultural Demand for Pollination. *Current Biology*, 19: 915-918.
- Alaux C, Brunet J-L, Dussaubat C, Mondet F, Tchamitchan S, Cousin M, Brillard J, Baldy A, Belzunces LP & Le Conte Y (2010).** Interactions between *Nosema* microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*). *Environmental Microbiology*, 12: 774-782.
- Aliouane Y, el Hassani AK, Gary V, Armengaud C, Lambin M & Gauthier M (2009).** Subchronic exposure of honeybees to sublethal doses of pesticides: Effects on behavior. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28: 113-122.
- Andersson GKS, Rundlof M & Smith HG (2012).** Organic Farming Improves Pollination Success in Strawberries. *PLoS ONE*, 7: e31599.
- APENET (2011).** Effects of coated maize seed on honey bees. Report based on results obtained from the third year (2011) activity of the APENET project.
- Batáry P, Báldi A, Kleijn D & Tscharrntke T (2011).** Landscape-moderated biodiversity effects of agri-environmental management: a meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278: 1894-1902.
- Bendahou N, Fleche C & Bounias M (1999).** Biological and Biochemical Effects of Chronic Exposure to Very Low Levels of Dietary Cypermethrin (Cymbush) on Honeybee Colonies (Hymenoptera: Apidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 44: 147-153.
- Biesmeijer JC, Roberts SPM, Reemer M, Ohlemüller R, Edwards M, Peeters T, Schaffers AP, Potts SG, Kleukers R, Thomas CD, Settele J & Kunin WE (2006).** Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313: 351-354.
- Bommarco R, Marini L & Vaissière B (2012).** Insect pollination enhances seed yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia*, 169: 1025-1032.
- Brittain C & Potts SG (2011).** The potential impacts of insecticides on the life history traits of bees and the consequences for pollination. *Basic and Applied Ecology*, 12: 321-331.
- Brittain C, Kremen C & Klein A-M (2013a).** Biodiversity buffers pollination from changes in environmental conditions. *Global Change Biology*, 19: 540-547.
- Brittain C, Williams N, Kremen C & Klein A-M (2013b).** Synergistic effects of non-*Apis* bees and honey bees for pollination services. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280.
- Brown MF & Paxton R (2009).** The conservation of bees: a global perspective. *Apidologie*, 40: 410-416.
- Cameron SA, Lozier JD, Strange JP, Koch JB, Cordes N, Solter LF & Griswold TL (2011).** Patterns of widespread decline in North American bumble bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108: 662-667.
- Carrasco-Letelier L, Mendoza-Spina Y & Branchiccela MB (2012).** Acute contact toxicity test of insecticides (Cipermetrina 25, Lorsban 48E, Thionex 35) on honeybees in the southwestern zone of Uruguay. *Chemosphere* 88 (4): 439-444 doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.02.062
- Carvalho LG, Seymour CL, Nicolson SW & Veldtman R (2012).** Creating patches of native flowers facilitates crop pollination in large agricultural fields: mango as a case study. *Journal of Applied Ecology*, 49: 1373-1383.
- Carvell C, Meek W, Pywell R & Nowakowski M (2004).** The response of foraging bumblebees to successional change in newly created arable field margins. *Biological Conservation*, 118: 327-339.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P & van den Belt M (1997).** The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Dai P-L, Wang Q, Sun J-H, Liu F, Wang X, Wu Y-Y & Zhou T (2010).** Effects of sublethal concentrations of bifenthrin and deltamethrin on fecundity, growth, and development of the honeybee *Apis mellifera* ligustica. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29: 644-649.
- Davis AS, Hill JD, Chase CA, Johanns AM & Liebman M (2012).** Increasing Cropping System Diversity Balances Productivity, Profitability and Environmental Health. *PLoS ONE*, 7: e47149.
- Decourtye A, Armengaud C, Renou M, Devillers J, Cluzeau S, Gauthier M & Pham-Delegue MH (2004).** Imidacloprid impairs memory and brain metabolism in the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 78: 83-92.
- Decourtye A, Devillers J, Genecque E, Le Menach K, Budzinski H, Cluzeau S & Pham-Delegue MH (2005).** Comparative sublethal toxicity of nine pesticides on olfactory learning performances of the honeybee *Apis mellifera*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 48: 242-250.
- Decourtye A, Lacassie E & Pham-Delegue MH (2003).** Learning performances of honeybees (*Apis mellifera* L.) are differentially affected by imidacloprid according to the season. *Pest Management Science*, 59: 269-278.
- Desneux N, Decourtye A & Delpuech J-M (2007).** The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.*, 52: 81-106.
- Easton AH & Goulson D (2013).** The Neonicotinoid Insecticide Imidacloprid Repels Pollinating Flies and Beetles at Field-Realistic Concentrations. *PLoS ONE*, 8: e54819.
- EEA (2013).** European Environment Agency. Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation. <http://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2>.
- El Hassani AK, Dacher M, Gauthier M & Armengaud C (2005).** Effects of sublethal doses of fipronil on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 82: 30-39.
- Ellis MD (2010).** Managed pollinator CAP coordinated agricultural project: Pesticides applied to crops and honey bee toxicity. *American Bee Journal*, 150: 485-486.
- Foley JA, Monfreda C, Ramankutty N & Zaks D (2007).** Our share of the planetary pie. *PNAS*, 104: 12585-12586
- Foley JA, Ramankutty N, Brauman KA, Cassidy ES, Gerber JS, Johnston M, Mueller ND, O'Connell C, Ray DK, West PC, Balzer C, Bennett EM, Carpenter SR, Hill J, Monfreda C, Polasky S, Rockstrom J, Sheehan J, Siebert S, Tilman D & Zaks DPM (2011).** Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478: 337-342.

- Gallai N, Salles J-M, Settele J & Vaissiaé BE (2009).** Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68: 810-821.
- Garibaldi LA, Aizen MA, Klein AM, Cunningham SA & Harder LD (2011).** Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108: 5909-5914.
- Garibaldi LA, Steffan-Dewenter I, Winfree R, Aizen MA, Bommarco R, Cunningham SA, Kremen C, Carvalheiro LsG, Harder LD, Afik O, Bartomeus I, Benjamin F, Boreux V, Cariveau D, Chacoff NP, Dudenhöffer JH, Freitas BM, Ghazoul J, Greenleaf S, Hipólito J, Holzschuh A, Howlett B, Isaacs R, Javorek SK, Kennedy CM, Krewenka K, Krishnan S, Mandelik Y, Mayfield MM, Motzke I, Munyuli T, Nault BA, Otieno M, Petersen J, Pisanty G, Potts SG, Rader R, Ricketts TH, Rundlof M, Seymour CL, Schüepp C, Szentgyörgyi H, Taki H, Tscharrntke T, Vergara CH, Viana BF, Wanger TC, Westphal C, Williams N & Klein AM (2013).** Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science*, Published Online February 28 2013.
- Genersch E, von der Ohe W, Kaatz H, Schroeder A, Otten C, Bachler R, Berg S, Ritter W, Mohlen W, Gisder S, Meixner M, Liebig G & Rosenkranz P (2010).** The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies*. *Apidologie*, 41: 332-352.
- Gill RJ, Ramos-Rodriguez O & Raine, NE (2012).** Combined pesticide exposure severely affects individual –and colony-level traits in bees. *Nature* 491: 105-108 doi:10.1038/nature11585
- Girolami V, Mazzon L, Squartini A, Mori N, Marzaro M, Bernardo AD, Greatti M, Giorio C & Tapparo A (2009).** Translocation of Neonicotinoid Insecticides from Coated Seeds to Seedling Guttation Drops: A Novel Way of Intoxication for Bees. *Journal of Economic Entomology*, 102: 1808-1815.
- Greenleaf SS & Kremen C (2006).** Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biological Conservation*, 133: 81-87.
- Hatjina F, Papaefthimiou C, Charistos L, Dogaroglu T, Bouga M, Emmanouil C & Arnold G (2013).** Sublethal doses of imidacloprid decreased size of hypopharyngeal glands and respiratory rhythm of honeybees in vivo. *Apidologie* DOI: 10.1007/s13592-013-0199-4
- Henry MI, Beguin M, Requier F, Rollin O, Odoux J-F, Aupinel P, Aptel J, Tchamitchian S & Decourtye A (2012).** A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science* 1215039 Published online 29 March 2012 [DOI:10.1126/science.1215039].
- Higes M, Meana A, Bartolomé C, Botías C & Martín-Hernández R (2013).** *Nosema ceranae* (Microsporidia), a controversial 21st century honey bee pathogen. *Environmental Microbiology Reports*, 5: 17-29.
- Holzschuh A, Dudenhöffer J-H & Tscharrntke T (2012).** Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry. *Biological Conservation*, 153: 101-107.
- Holzschuh A, Steffan-Dewenter I & Tscharrntke T (2008).** Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos*, 117: 354-361.
- IAASTD (2009).** International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development. Island Press. <http://www.agassessment.org>.
- Iwasa T, Motoyama N, Ambrose JT & Roe RM (2004).** Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Protection*, 23: 371-378.
- Jeschke P, Nauen R, Schindler M & Elbert A (2010).** Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59: 2897-2908.
- Jha S & Kremen C (2013).** Resource diversity and landscape-level homogeneity drive native bee foraging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110: 555-558.
- Kevan PG & Plowright RC (1989).** Fenitrothion and insect pollinators. In: *Environmental Effects of Fenitrothion Use in Forestry: Impacts on Insect Pollinators, Songbirds, and Aquatic Organisms* (ed. Environment Canada, Conservation and Protection). Environment Canada, Conservation and Protection, Dartmouth, pp. 13-42.
- Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C & Tscharrntke T (2007).** Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274: 303-313.
- Kremen C & Miles A (2012).** Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-Offs. *Ecology and Society*, 17.
- Kremen C, Williams NM, Aizen MA, Gemmill-Herren B, LeBuhn G, Minckley R, Packer L, Potts SG, Roulston Ta, Steffan-Dewenter I, Vazquez DP, Winfree R, Adams L, Crone EE, Greenleaf SS, Keitt TH, Klein A-M, Regetz J & Ricketts TH (2007).** Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10: 299-314.
- Lambin M, Armengaud C, Raymond S & Gauthier M (2001).** Imidacloprid-induced facilitation of the proboscis extension reflex habituation in the honeybee. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 48: 129-134.
- Lautenbach S, Seppelt R, Liebscher J & Dormann CF (2012).** Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit. *PLoS ONE*, 7: e35954.
- Lebuhn G, Droege S, Connor EF, Gemmill-Herren B, Potts SG, Minckley RL, Griswold T, Jean R, Kula E, Roubik DW, Cane J, Wright KW, Frankie G & Parker F (2013).** Detecting Insect Pollinator Declines on Regional and Global Scales. *Conservation Biology*, 27: 113-120.
- Medrzycki P, Montanari R, Bortolotti L, Sabatini AG, Maini S & Porrini C (2003).** Effects of imidacloprid administered in sub-lethal doses on honey bee behaviour. Laboratory tests. *Bulletin of Insectology*, 56: 59-62.
- Memmott J, Craze PG, Waser NM & Price MV (2007).** Global warming and the disruption of plant–pollinator interactions. *Ecology Letters*, 10: 710-717.
- Morandin LA & Winston ML (2005).** Wild Bee Abundance and Seed Production in Conventional, Organic, and Genetically Modified Canola. *Ecological Applications*, 15: 871-881.
- Morandin LA & Winston ML (2006).** Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116: 289-292.
- Mullin CA, Frazier M, Frazier JL, Ashcraft S, Simonds R & Pettis JS (2010).** High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: implications for honey bee health. *PLoS ONE*, 5: e9754.

- National Research Council of the National Academies (2006).** Status of Pollinators in North America. National Academy Press, Washington, DC.
- Nørgaard KB & Cedergreen N (2010).** Pesticide cocktails can interact synergistically on aquatic crustaceans. *Environmental Science and Pollution Research*, 17: 957-967.
- Oliveira RA, Roat TC, Carvalho SM & Malaspina O (2013).** Side-effects of thiamethoxam on the brain and midgut of the africanized honeybee *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Environmental Toxicology*, in press.
- Ollerton J, Winfree R & Tarrant S (2011).** How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120: 321-326.
- Orantes-Bermejo FJ, Gómez-Pajuelo A, Megías-Megías M & Torres Fernández-Piñar C (2010).** Pesticide residues in beeswax and beebread samples collected from honey bee colonies (*Apis mellifera* L.) in Spain. Possible implications for bee losses. *Journal of Apicultural Research*, 49: 243-250.
- Pettis J, van Engelsdorp D, Johnson J & Dively G (2012).** Pesticide exposure in honey bees results in increased levels of the gut pathogen *Nosema*. *Naturwissenschaften*, 99: 153-158.
- Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O & Kunin WE (2010).** Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25: 345-353.
- Potts SG, Petanidou T, Roberts S, O'Toole C, Hulbert A & Willmer P (2006).** Plant-pollinator biodiversity and pollination services in a complex Mediterranean landscape. *Biological Conservation*, 129: 519-529.
- Ramirez-Romero R, Chauvaux J & Pham-Delègue M-H (2005).** Effects of Cry1Ab protoxin, deltamethrin and imidacloprid on the foraging activity and the learning performances of the honeybee *Apis mellifera*, a comparative approach. *Apidologie*, 36: 601-611.
- Rockstrom J, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin FS, Lambin EF, Lenton TM, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber HJ, Nykvist B, de Wit CA, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sornil S, Snyder PK, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell RW, Fabry VJ, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P & Foley JA (2009).** A safe operating space for humanity. *Nature*, 461: 472-475.
- Schneider CW, Tautz J, Grünewald B & Fuchs S (2012).** RFID tracking of sublethal effects of two neonicotinoid insecticides on the foraging behaviour of *Apis mellifera*. *PLoS ONE* 7(1): e30023. doi:10.1371/journal.pone.0030023.
- Škerl MIS, Bolta ŠV, Česnik HB & Gregorc A (2009).** Residues of Pesticides in Honeybee (*Apis mellifera carnica*) Bee Bread and in Pollen Loads from Treated Apple Orchards. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83: 374-377.
- Sparks TH, Langowska A, Głazaczow A, Wilkaniec Z, Bienkowska M & Tryjanowski P (2010).** Advances in the timing of spring cleaning by the honeybee *Apis mellifera* in Poland. *Ecological Entomology*, 35: 788-791.
- Spivak M, Mader E, Vaughan M & Euliss NH (2010).** The Plight of the Bees. *Environmental Science & Technology*, 45: 34-38.
- Suchail S, Guez D & Belzunces LP (2001).** Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20: 2482-2486.
- Tang J, Wice J, Thomas VG & Kevan PG (2007).** Assessment of the capacity of Canadian federal and provincial legislation to conserve native and managed pollinators. In: *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 3 (1): 46-55
- Thompson HM (2012).** Interaction between pesticides and other factors in effects on bees. EFSA Supporting Publications 2012:EN-340. [204 pp.]. Available online: <http://www.efsa.europa.eu/publications>.
- Tilman D, Fargione J, Wolff B, D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, Schindler D, Schlesinger WH, Simberloff D & Swackhamer D (2001).** Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science*, 292: 281-284.
- UNEP (2010).** UNEP Emerging Issues: Global Honey Bee Colony Disorder and Other Threats to Insect Pollinators. United Nations Environment Programme.
- Vandame R, Meled M, Colin ME & Belzunces LP (1995).** Alteration of the homing-flight in the honey-bee *Apis mellifera* L. exposed to sublethal dose of deltamethrin. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14: 855-860.
- Vidau C, Diogon M, Aufauvre J, Fontbonne R, Vignes B, Brunet J-L, Texier C, Biron DG, Blot N, El Alaoui H, Belzunces LP & Delbac F (2011).** Exposure to Sublethal Doses of Fipronil and Thiacloprid Highly Increases Mortality of Honeybees Previously Infected by *Nosema ceranae*. *PLoS ONE*, 6: e21550.
- Whitehorn PR, O'Connor S, Wackers FL & Goulson D (2012).** Neonicotinoid Pesticide Reduces Bumble Bee Colony Growth and Queen Production. *Science* 1215025 Published online 29 March 2012 [DOI:10.1126/science.1215025].
- Williams GR, Tarpay DR, van Engelsdorp D, Chauzat M-P, Cox-Foster DL, Delaplane KS, Neumann P, Pettis JS, Rogers REL & Shutler D (2010).** Colony Collapse Disorder in context. *BioEssays*, 32: 845-846.
- Williams P & Osborne J (2009).** Bumblebee vulnerability and conservation world-wide. *Apidologie*, 40: 367-387.
- Williamson SA & Wright GA (2013).** Exposure to multiple cholinergic pesticides impairs olfactory learning and memory in honeybees. *Journal of Experimental Biology* doi:10.1242/jeb.083931
- Williamson SM, Moffat C, Gomersall M, Saranzewa N, Connolly C & Wright GA (2013).** Exposure to acetylcholinesterase inhibitors alters the physiology and motor function of honeybees. *Frontiers in Physiology*, 4.
- Winfree R, Aguilar R, Vázquez DP, LeBuhn G & Aizen MA (2009).** A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90: 2068-2076.
- Wu JY, Smart MD, Anelli CM & Sheppard WS (2012).** Honey bees (*Apis mellifera*) reared in brood combs containing high levels of pesticide residues exhibit increased susceptibility to *Nosema* (Microsporidia) infection. *Journal of Invertebrate Pathology*, 109: 326-329.
- Yang EC, Chuang YC, Chen YL & Chang LH (2008).** Abnormal Foraging Behavior Induced by Sublethal Dosage of Imidacloprid in the Honey Bee (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology*, 101: 1743-1748.





GREENPEACE

日本語版制作・発行：
国際環境NGO グリーンピース・ジャパン

翻訳協力 山田敏郎 金沢大学名誉教授
山田和子

〒160-0023 東京都新宿区西新宿8-13-11 NFビル 2F
Tel. 03-5338-9800 Fax. 03-5338-9817

グリーンピースは、1971年に設立された国際環境NGOです。オランダに本部を置き、日本を含めた世界40カ国以上の国と地域に事務所があります。環境保護を願う市民の立場で利害関係に左右されない活動を行うため、政府や企業から資金援助を受けず、世界280万人の個人会員の寄付によって支えられています。

www.greenpeace.org/japan