

ネオニコチノイド系農薬の環境と食品汚染の現状と課題

かみ うら さ ゆ り ふし わき ゆう いち
上 浦 沙 友 里 †・伏 脇 裕 一 †

近年、我が国および欧米諸国において大量に殺虫剤として使用されているネオニコチノイド系農薬について、その種類、生産量、環境汚染および食品汚染例、毒性とヒトおよび生態系に与える影響などについて考察した。特に、世界各地において、ネオニコチノイド系農薬の散布に伴い、ミツバチの大量死とミツバチの減少による農産物への被害が深刻化している現象についても問題点として指摘し、ネオニコチノイド系農薬散布についての課題について言及した。

キーワード：ネオニコチノイド系農薬、殺虫剤、環境汚染、食品汚染、毒性、安全性

1. はじめに

ネオニコチノイド系農薬は、ニコチンと化学構造が類似している殺虫剤であり、有機リン系やピレスロイド系農薬に替わって、1990年代から世界中で使用されるようになった農薬である。我が国でも稲作を始めとした農作物に使用されているだけでなく、家庭用の殺虫剤や住宅建材、松枯れ対策のために全国の森林にも散布されるなどさまざまな用途に広く使用されており、近年国内での生産量、輸入量および出荷量は倍増してきている^{1),2)}。

ネオニコチノイド系農薬の特徴は、神経毒性、浸透移行性、残効性の3つを備えている^{2),3)}。神経毒性ではアセチルコリン受容体に作用し、アセチルコリンの働きをかく乱して異常興奮を起こす作用である。この神経毒性は、昆虫に対して大きな影響を与えることが明らかとなっている²⁾。この農薬の持つ浸透移行性により、散布後根から植物の体内に吸収されるために、昆虫から食害を防ぐことが可能となる。また、残効性を持つことで一度の散布で長期間効果が持続するために、散布量を減らすことにも繋がり、減農薬に貢献している。一方、農作物への残留性が高いために、ヒトおよび生態系への安全性や影響という点で疑問が高まっている^{4),5)}。

ネオニコチノイド系農薬が問題視されるようになったのは、2006年に米国で蜂群崩壊症候群(CCD)が起きたことによるものである⁶⁾。CCDと呼ばれる現象は成蜂のミツバチが急にいなくなり、巣に残ってい

る女王バチや卵、幼虫などが取り残される現象のことである。この現象はその後世界各地で起こっており、ネオニコチノイド系農薬が原因の一つと言われている⁶⁾。

そこで、本稿においてはネオニコチノイド系農薬の使用に伴う環境汚染および食品汚染の実態とその問題点および課題を整理し、今後のネオニコチノイド系農薬による環境および食品汚染評価と対策に役立てることとした。

2. ネオニコチノイド系農薬の種類、生産量および性状

2.1 種類および生産量

ネオニコチノイド系農薬は、1990年代に開発された比較的新しい農薬で、穀物、果樹、野菜などの農作物に使用されているだけでなく、種子消毒、害虫駆除、建材の防虫剤に使用されている。さらに、合剤として、肥料や他の殺虫剤、殺ダニ剤、殺菌剤に混ぜて市販されている。ネオニコチノイド系農薬は、ジノテフラン、クロチアニジン、イミダクロプリド、チアメトキサム、アセタミプリド、チアクロプリド、ニテンピラムの7種類が我が国で登録、使用されている。ネオニコチノイド系農薬の我が国における生産量、輸出量、輸入量、国内流通量を見ると、2014年には生産量は600トン、輸出量も200から500トンと増加傾向にあり、生産量、輸出量、国内流通量いずれも、2000年代前半の農薬登録後、急速に普及し、その量はこの10年間で3倍ほどに増加してきている¹⁾。

2.2 性状

ネオニコチノイド系農薬は、たばこの成分であるニコチンと類似した構造を持つニコチン様物質から成っている。この農薬の性状として、①水溶性かつ浸透性が

† 東京聖栄大学 健康栄養学部：〒124-8530 東京都葛飾区西新小岩 1-4-6

高い、②残効性が高い、③無味、無臭などが挙げられる。ネオニコチノイド系農薬は、水溶性で植物の内部に浸透していくことから浸透性農薬とも呼ばれている。

ネオニコチノイド系農薬7物質の物性値を表1に示す^{7)~14)}。表1より、ネオニコチノイド系農薬は、オクタノール／水分配係数が低く、水溶解度が高いことがうかがえる。このことから、ネオニコチノイド系農薬は生物濃縮がそれほど高くはないと考えられる。一方、ネオニコチノイド系農薬は水溶性、浸透性、残効性を持つために、種子、根、葉、実の表面から吸収され、植物の組織内に浸透移行して長期間効果を発揮する。したがって、食物への残留性が高いと考えられる。このことから、果実などを水で洗浄してもネオニコチノイド系農薬を取り除くことは困難である。表1より、蒸気圧が低いためにほとんど気化しないので、ネオニコチノイド系農薬による大気汚染は少ないものと考えられる。

3. ネオニコチノイド系農薬による環境汚染

3.1 大 気 汚 染

ネオニコチノイド系農薬7種類は、性状の項で述べたとおり、蒸気圧が低く、比較的揮発しにくい農薬であるために、ネオニコチノイド系農薬による大気汚染は見られないものと考えられている。そのため、大気汚染調査事例はほとんどないのが現状である。但し、閉鎖された室内空間などの限られた一定の環境条件下では、検出される例が見られている。

斎藤ら¹⁵⁾は、2012年2月から2014年9月までの間シロアリ駆除剤由来のネオニコチノイド系農薬の散布後に、7軒の住宅において室内環境調査を行った。そのうち、住宅7軒中4軒はイミダクロプリド、3軒はクロチアニジンを使用していた。室内空気からシロアリ駆除剤に含まれているネオニコチノイド系農薬が検出され、室内空気16検体中ネオニコチノイド系農

薬の検出率は56%で、最高濃度はイミダクロプリド17.6 pg/m³、クロチアニジン1090 pg/m³であった。

この調査例のように、ネオニコチノイド系農薬は蒸気圧の低い薬剤であるが、住宅のシロアリ駆除に使用された場合、床下から拡散し、室内を汚染することが明らかとなった。

そこで、斎藤ら¹⁶⁾はネオニコチノイド系農薬の拡散に水分、温湿度及び粒子状物質が及ぼす影響を調査する目的で、モデル実験を行った。その結果より、ネオニコチノイド系農薬の大気中への拡散は、薬剤散布場所の水分の影響を受け、水分の蒸発とともに薬剤の大気中への拡散が促進され、さらに高温乾燥及び粒子状物質の存在によっても促進されることが明らかとなった¹⁶⁾。

したがって、実際に屋外で薬剤が散布された場合は、降雨後の雨あがりでは薬剤の大気中への拡散が促進され、一時的に気中濃度が上昇する可能性が考えられる。また、ネオニコチノイド系農薬を含むシロアリ駆除剤の床下散布においては、水で希釈して土壌散布及び木部への塗布が行われることから、シロアリ駆除後しばらくの間は、水分の蒸発に伴って、床下のネオニコチノイド系農薬濃度が高まり、室内汚染が発生しやすい可能性が考えられる。ネオニコチノイド系農薬は蒸気圧が低い薬剤であることから、一般的には揮発しないとされているが、大気中への拡散が促進される条件があることから、これらの知見を活用することにより、薬剤のヒトへの曝露低減を図ることが可能と考えられる。

3.2 水 質 汚 染

ネオニコチノイド系農薬は、他の農薬と比べて水溶解度が高く、水溶性の農薬であるために、農耕地より河川へ流出した場合は、河川環境での検出割合が高いものと推定される。

ここで、我が国の河川環境調査例を示す。

神奈川県鶴見川流域におけるネオニコチノイド系農

表1 ネオニコチノイド系農薬7物質の物性値^{7)~14)}

一般名	略号	外観	融点 (℃)	密度 (g/cm ³)	蒸気圧 (Pa)	水溶解度 (g/L)	オクタノール／水分配係数 (log Pow)
イミダクロプリド	IMI	類白色粉末	143.8	1.41	2×10^{-7}	0.51	0.57
アセタミプリド	ACE	白色結晶固体	98.9	1.3	$< 1.0 \times 10^{-6}$	4.25	0.80
ニテンピラム	NIT	微黄色粉末	82.0	1.40	1.1×10^{-9}	> 590	-0.66
チアクロプリド	THI	黄色結晶性粉末	136	1.5	8×10^{-10}	0.185	1.26
チアメトキサム	TMX	白色結晶性粉末	139.1	1.6	6.6×10^{-9}	4.1	-0.13
クロチアニジン	CLO	無色粉末	176.8	1.6	1.3×10^{-10}	0.327	0.7
ジノテフラン	DIN	白色結晶	107.5	1.40	$< 1.7 \times 10^{-6}$	40	-0.549

注：密度はIMI, THI, CLO, DINは20℃, ACE, TMXは22℃, NITは26℃の条件下のデータである。

蒸気圧は、IMI, NITは20℃, ACE, THI, TMX, CLOは25℃, DINは30℃の条件下のデータである。

水溶解度は、IMI, NIT, THI, CLO, DINは20℃, ACE, TMXは25℃の蒸留水の条件下のデータである。

オクタノール／水分配係数は、THIは20℃, IMIは21℃, NIT, ACE, TMX, CLO, DINは25℃の条件下のデータである。

薬の水質結果を表 2 に示す¹⁷⁾。この調査はアセタミプリド、イミダクロプリド、チアクロプリドの 3 物質について、2009 年 5 月から 12 月までの期間、7 地点（寺家、田奈、千代橋、都橋、大綱橋、末吉橋、亀の子橋）で調査を実施したものである。3 物質の中で最高濃度はイミダクロプリドの 0.42 µg/L であり、次にチアクロプリドの 0.18 µg/L、アセタミプリドの 0.05 µg/L であった。

表 2 鶴見川流域におけるネオニコチノイド系農薬の水質結果¹⁷⁾

農薬	検出数	検出率 (%)	最高濃度 (µg/L)
アセタミプリド	18/74	24.3	0.05
イミダクロプリド	56/74	75.7	0.42
チアクロプリド	2/74	2.7	0.18

神奈川県相模川におけるネオニコチノイド系農薬の水質結果を表 3 に示す¹⁸⁾。この調査はネオニコチノイド系農薬 7 種類を対象とし、2014 年 4 月から 12 月に相模川の中～下流域を中心として 10 地点で行った。最高濃度はイミダクロプリドの 0.104 µg/L であり、次はクロチアニジン 0.085 µg/L であった。

表 3 相模川におけるネオニコチノイド系農薬の水質結果¹⁸⁾

農薬	試料数	検出数	検出地点数 (10 地点中)	最高濃度 (µg/L)
アセタミプリド	180	4	4	0.023
イミダクロプリド	180	130	10	0.104
クロチアニジン	180	95	10	0.085
ジノテフラン	180	46	9	0.048
チアクロプリド	180	2	2	0.002
チアメトキサム	180	36	7	0.042
ニテンピラム	180	1	1	0.017

神奈川県内河川におけるネオニコチノイド系農薬の水質結果を表 4 に示す¹⁹⁾。この調査はイミダクロプリド、クロチアニジン、ジノテフランの 3 物質を対象とし、2014 年 6 月から 9 月の期間、神奈川県内 11 河川（相模川、酒匂川、狩川、早川、鈴川、渋田川、金目川、小出川、山王川、引地川、境川）で行った。最高濃度は鈴川で検出されたイミダクロプリドの 0.018 µg/L であり、続いて相模川で検出されたクロチアニジンの 0.009 µg/L であった。

表 4 神奈川県内河川におけるネオニコチノイド系農薬の水質結果¹⁹⁾

農薬	検出数	検出率 (%)	最高濃度 (µg/L) (検出された河川)
イミダクロプリド	10/44	23	0.018 (鈴川)
クロチアニジン	1/44	2	0.009 (相模川)
ジノテフラン	1/44	2	0.008 (小出川)

名古屋市内河川におけるネオニコチノイド系農薬の水質結果を表 5 に示す²⁰⁾。この調査はアセタミプリド、クロチアニジン、ジノテフラン、イミダクロプリド、チアメトキサム、チアクロプリドの 6 物質を対象として、2015 年 7 月に名古屋市内の公共用水域常時監視地点 15 地点（河川 10 地点及び海域 5 地点）で実施したものである。6 物質中での最高濃度はチアメトキサムの 140 ng/L であり、次はイミダクロプリドの 33 ng/L、クロチアニジンの 22 ng/L であった。

以上のデータより、ネオニコチノイド系農薬の中では、イミダクロプリドの検出濃度が高く、また検出率も最も高かった。

表 5 名古屋市内河川におけるネオニコチノイド系農薬の水質結果²⁰⁾

農薬	検出数	検出率 (%)	濃度 (ng/L)
アセタミプリド	15/15	100	0.5 ~ 1.9
クロチアニジン	14/15	93	ND ~ 22
ジノテフラン	15/15	100	0.5 ~ 15
イミダクロプリド	15/15	100	0.5 ~ 33
チアメトキサム	15/15	100	3.6 ~ 140
チアクロプリド	14/15	93	ND ~ 0.2

3.3 土 壌 汚 染

ネオニコチノイド系農薬を散布した後の挙動は、土壌への吸着・残留が考えられる。ネオニコチノイド系農薬の土壌吸着および残留に関する研究例を示す。松くい虫による松枯れを防ぐ目的で、秋田県の日本海沿岸の松林にチアクロプリドとアセタミプリドを散布後の土壌中での推移を見ると、チアクロプリドの濃度は 2009 年に散布後徐々に増加し、13 日後に最大濃度 1 000 ng/g を示した。その後は徐々に減衰していったという²¹⁾。一方、アセタミプリドの濃度は 2011 年散布直後に最大濃度 720 ng/g を示し、その後の減衰はチアクロプリドとほぼ同様な速度で減少したという²¹⁾。

吉村ら²²⁾は、黄色土におけるネオニコチノイド系農薬の挙動についての研究で、黄色土中での推定半減期は、クロチアニジンが 97 日、イミダクロプリドが 85 日、ジノテフランが 72 日であったという。時枝ら²³⁾の報告によると、アセタミプリドの土壌での半減期に関して、圃場および容器内実験では共に 1 ~ 2 日と極めて短く、更に分解代謝物質を含めた半減期は 15 ~ 30 日程度であったという。このようにネオニコチノイド系農薬および土壌の性状や物性値がおのおの異なるものの、ネオニコチノイド系農薬は、微生物分解や作物等への移行により土壌中から徐々に消失していくものと考えられる。

4. 食 品 汚 染

ネオニコチノイド系農薬は、浸透移行性および残効性が高い農薬であるため、散布後環境（土壌、河川、大気）を経由して食品へ残留していくものと考えられる。そこで、食品への残留調査例を示す。

葉物野菜中に含まれるネオニコチノイド系農薬の含有濃度結果を表6に示す²⁴⁾。調査地域は、東北地方、関東地方、中部地方であり、ネオニコチノイド系農薬7種類について2016年に調査したものである。この結果より、最も高く検出されたネオニコチノイド系農薬は、ほうれん草から検出されたイミダクロプリドの0.22 ppmであり、次に小松菜から検出されたチアメトキサムの0.19 ppm、小松菜から検出されたジノテフランの0.12 ppmであった。

茶葉中に含まれるネオニコチノイド系農薬の含有濃度結果を表7に示す²⁵⁾。調査地域は静岡県、三重県、京都府、鹿児島県であり、ネオニコチノイド系農薬7物質について調査を行った。この結果より、最も高く検出されたネオニコチノイド系農薬は京都府産の緑茶から検出されたチアクロプリドの1.29 ppmであり、次に鹿児島県産の緑茶から検出されたチアクロプリドの1.01 ppmであった。このことから緑茶生産においては、ネオニコチノイド系農薬のチアクロプリドを多く使用する傾向があると考えられる。

米中に含まれるネオニコチノイド系農薬の含有濃度結果を表8に示す²⁵⁾。この調査は2013年10月までに収穫された米を使用し、ネオニコチノイド系農薬7物質について検査したものである。最高濃度は、秋田県産あきたこまち（玄米）から検出されたジノテフランの0.15 ppmであった。また検出されたネオニコチノイド系農薬はジノテフランのみで、他の農薬は検出限界値以下であった。この調査結果から、水田地帯ではジノテフランが散布されることが多いのではないかと考えられる。

果物中に含まれるネオニコチノイド系農薬の含有濃度結果を表9に示す²⁶⁾。最高濃度はいちごから検出されたチアクロプリドの1 ppmであり、次にいちごから検出されたアセタミプリドの0.6 ppmであった。

以上の調査結果では、食品中に含有されたネオニコチノイド系農薬は、いずれも我が国の残留基準値以下であった。

5. ネオニコチノイド系農薬の規制

欧米におけるネオニコチノイド系農薬の規制は早くから進んでおり、フランスでは2006年イミダクロプリドによるヒマワリとトウモロコシの種子処理が中止され、2012年にはチアメトキサムの販売が中止された²⁷⁾。これを受けてドイツ、イタリアなどでも種子処理が禁止された²⁷⁾。2013年EU委員会は、クロチ

表6 葉物野菜中に含まれるネオニコチノイド系農薬の含有濃度結果²⁴⁾

種類	産地	アセタミプリド	イミダクロプリド	クロチアニジン	チアクロプリド	チアメトキサム	ジノテフラン	ニテンピラム
小松菜	茨城県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
	群馬県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01～0.02 ppm	<0.01 ppm	<0.01～0.19 ppm	<0.01～0.02 ppm	<0.01 ppm
	石川県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01～0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01～0.10 ppm	0.10～0.12 ppm	<0.01 ppm
ほうれん草	青森県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
	栃木県	<0.01 ppm	0.13 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
	群馬県	<0.01 ppm	0.04 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
	石川県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
	長野県	<0.01 ppm	0.22 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	0.02 ppm	<0.01 ppm
	岐阜県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01pp	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
	茨城県	<0.01 ppm	0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
白菜	岩手県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
	群馬県	<0.01 ppm	0.02 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	0.04 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
	長野県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01～0.02 ppm	<0.01 ppm	<0.01～0.06 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
レタス	長野県	<0.01 ppm	<0.01～0.02 ppm	<0.01～0.05 ppm	<0.01～0.08 ppm	<0.01～0.08 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
	群馬県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm

表7 茶葉中に含まれるネオニコチノイド系農薬の含有濃度結果²⁵⁾

品種	産地	アセタミプリド	イミダクロプリド	クロチアニジン	チアクロプリド	チアメトキサム	ジノテフラン	ニテンピラム
緑茶	静岡県	<0.01～0.03 ppm	<0.01 ppm	<0.01～0.01 ppm	<0.01～0.04 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
緑茶	三重県	<0.01～0.48 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
緑茶	鹿児島県	<0.01 ppm	<0.01～0.02 ppm	<0.01～0.01 ppm	<0.01～1.01 ppm	<0.01～0.04 ppm	<0.01～0.11 ppm	<0.01 ppm
緑茶	京都府	0.01～0.16 ppm	<0.01～0.06 ppm	0.02～0.08 ppm	<0.01～1.29 ppm	<0.01～0.03 ppm	0.01～0.23 ppm	<0.01 ppm

表 8 米中に含まれるネオニコチノイド系農薬の含有濃度結果²⁵⁾

品種	産地	アセタミプリド	イミダクロプリド	クロチアニジン	チアクロプリド	チアメトキサム	ジノテフラン	ニテンピラム
ななつぼし (精米)	北海道	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ~ 0.06 ppm	<0.01 ppm
ななつぼし (玄米)	北海道	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
あきたこまち (精米)	秋田県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ~ 0.11 ppm	<0.01 ppm
あきたこまち (玄米)	秋田県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	0.15 ppm	<0.01 ppm
こしひかり (精米)	新潟県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
こしひかり (玄米)	新潟県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm
ひのひかり (精米)	熊本県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	0.01 ~ 0.08 ppm	<0.01 ppm
ひのひかり (玄米)	熊本県	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	<0.01 ppm	0.11 ppm	<0.01 ppm

表 9 果物中に含まれるネオニコチノイド系農薬の含有濃度結果²⁶⁾

種類	アセタミプリド 平均 (最高値)	イミダクロプリド 平均 (最高値)	クロチアニジン 平均 (最高値)	チアクロプリド 平均 (最高値)	チアメトキサム 平均 (最高値)	ジノテフラン 平均 (最高値)	ニテンピラム 平均 (最高値)
いちご	0.14 ppm (0.6 ppm)	—	—	0.30 ppm (1 ppm)	—	—	—
もも	0.12 ppm (0.2 ppm)	—	0.024 ppm (0.04 ppm)	0.05 ppm (0.06 ppm)	—	0.057 ppm (0.09 ppm)	—
ぶどう	0.053 ppm (0.14 ppm)	0.054 ppm (0.1 ppm)	0.008 ppm (0.008 ppm)	0.03 ppm (0.03 ppm)	—	0.025 ppm (0.03 ppm)	—
りんご	0.03 ppm (0.08 ppm)	—	0.02 ppm (0.02 ppm)	0.04 ppm (0.04 ppm)	—	0.025 ppm (0.05 ppm)	—

アニジン、チアメトキサム、イミダクロプリドの3物質の使用中止を加盟各国に勧告した²⁷⁾。その後、2014年3月には韓国で、EUで禁止されたネオニコチノイド系農薬を、EUでのリスク評価が終了するまでEUと同様の規制を開始した²⁷⁾。2014年9月にはアメリカのシアトル市は、市が保有または管理する土地で、ネオニコチノイド系農薬の使用を禁止するという条例を制定した²⁷⁾。

2015年4月にはアメリカ環境保護庁は、クロチアニジン、イミダクロプリド、チアメトキサム、ジノテフランの4種類のネオニコチノイド系農薬の新規の登録や既存の変更を不可とすると発表した²⁷⁾。2015年7月にはカナダ・オンタリオ州がネオニコチノイド系農薬の使用規制を開始し、クロチアニジン、イミダクロプリド、ジノテフランの3種類のネオニコチノイド系農薬で処理したトウモロコシとダイズの種子の植え付け面積を2017年までに80%減らすために植え付けを制限した²⁷⁾。このように、諸外国においては、ネオニコチノイド系農薬の使用を一時的に禁止する法的措置を講じているが、我が国においては、欧米諸外国と比べて残留基準値を緩和するなど逆方向の措置をとっている。

6. ネオニコチノイド系農薬の毒性と影響

6.1 毒性

ネオニコチノイド系農薬は、昆虫の神経系をターゲットとして開発された化学物質である。昆虫に対しては、神経伝達物質アセチルコリンの受容体であるニコチン様アセチルコリン受容体 (nAChR) に強いアゴニスト作用をもち、アセチルコリンがなくてもアセチルコリン受容体に結合することによって神経伝達を阻害して、神経興奮、方向感覚の喪失、神経麻痺を引き起こす²⁾。その結果、昆虫を死に至らしめる。哺乳動物に対しては、ネオニコチノイド系農薬は腸粘膜、脳血液関門および胎盤を通過し、大量投与により他の部位にも作用し、中枢神経系、自律神経系、神経筋接合部に関連する広範な症状を引き起こす⁴⁾。特に、脳に蓄積する傾向があるため脳への影響、とりわけ胎児・小児などの発達段階においては脳への影響が懸念される⁵⁾。ネオニコチノイド系農薬のうちアセタミプリド、イミダクロプリド、チアクロプリドについては、毒物・劇物取締法の「劇物」に指定されており、急性毒性が強いといえる。

6.2 生態系への影響

近年、ヨーロッパおよびアメリカなど世界各地において、ネオニコチノイド系殺虫の散布によるミツバチ

の大量死とそれに伴うミツバチ減少による農作物への被害が深刻化し、社会問題となってきた。1990年代にヨーロッパ諸国で始まったこの現象は、アメリカ、カナダ、中南米、インド、中国、日本などにも広がっており、我が国でも2003年頃から鹿児島から北海道まで全国各地でミツバチ被害が発生している。ネオニコチノイド系殺虫剤の生態影響が懸念される要因として、この殺虫剤の卓越した殺虫効果に加えて、浸透移行性および残留性があげられる³⁾。すなわち、植物体に取り込まれた殺虫剤が、花粉や蜜に移行して、それをミツバチが巣に持ち帰ることでハチ達に慢性毒性が発現するリスクと土壌などに残留した殺虫剤が長期的に毒性を発現するリスクが考えられる³⁾。

Yamada ら²⁸⁾ は我が国で広く使用されているジノテフランおよびクロチアニジンの蜂への長期投与実験を行い、その間の蜂数と蜂児数の変化および農薬摂取量を追跡し、蜂群が蜂群崩壊症候群の状態を経由して消滅に至ることを明らかにした。一方、フランスの研究チームでは、チアメトキサムに低用量曝露した蜂が帰巢できず、巣外で死亡する率が2～3倍高くなるとの報告がある²⁹⁾。イギリスの研究チームでは、イミダクロプリドの低用量曝露により、女王バチが減少するとの報告もある³⁰⁾。

トンボ類の減少要因として、ネオニコチノイド系農薬の影響が指摘されている。二橋³¹⁾ による富山県のトンボのアカネ属のアキアカネやナツアカネの個体数推移に関する報告では、ネオニコチノイド系農薬が使用され始めた1990年代から顕著な減少傾向を示した。2000年頃を境として、アキアカネおよびノシメトンボは5分の1から20分の1程度にまで減少したと考えられている。富山県ではイミダクロプリドが1993年から使用されているが、その出荷量の増加とアキアカネおよびノシメトンボの減少との間には、よい相関性を示しているという³²⁾。

鳥類への影響については、Tokumoto ら³³⁾ は、ネオニコチノイド系農薬を微量でも体内に取り込むと酸化酵素の減少を起こし、酸化ストレスに曝され、結果として雄では精子産生障害、雌では卵成熟の障害、産卵率の低下を招くことを報告している。また、クロチアニジンはウズラへの生殖毒性があるとの報告もある³³⁾。

6.3 人および哺乳類への影響

ヒト脳内では、ニコチン様アセチルコリン受容体(nAChR)は記憶、学習、認知などの高次機能に関与することが明らかとなっている⁵⁾。また、ヒトの脳発達では、nAChRが妊娠初期から高発現し、細胞増殖、分化、シナプス形成などの脳の発達過程に関与することが分かってきている⁵⁾。

ネオニコチノイド系農薬はニコチン同様、哺乳類のnAChRに結合するが、結合阻害実験では、昆虫類のnAChRへの結合性が哺乳類と比べて数十から数百倍高いことが明らかとなっている³⁴⁾。しかし、ヒトへの毒性を考えた場合に重要なのは、ネオニコチノイド系農薬が哺乳類のnAChRに低親和性であっても結合し作用をもつことであり、生体内では高い反応性を示す可能性があると考えられている⁵⁾。

イミダクロプリド急性経口投与実験では、中枢神経系症状として運動機能の低下、運動失調、痙攣、循環器系症状として心拍数増加並びに減少、血圧低下、呼吸症状として呼吸数の増加ののち減少、呼吸停止、瞳孔症状として瞳孔散大、瞳孔反射の抑制、消化器症状として腸管運動抑制、胃酸分泌抑制、筋症状として筋弛緩などの症状が観察されたという³⁵⁾。

同じくアセタミプリド急性経口投与実験では、中枢神経症状として自発運動量低下、痙攣などの刺激または脱抑制症状、運動失調、循環器症状として血圧低下、呼吸器症状として呼吸数の増加および異常、消化器症状として胃腸管内輸送性能低下、筋症状として筋緊張、筋弛緩、眼症状として瞳孔反射低下、散瞳などが観察されたという³⁶⁾。

ネオニコチノイド系農薬の慢性毒性では、アセタミプリドをラットに800 ppm以上90日間投与すると、体重増加抑制、小葉中心性肝細胞肥大、同じくマウスに800 ppm以上で肝障害、体重増加抑制、ヘモグロビン減少が観察されたという⁵⁾。

Kimura-Kuroda ら³⁷⁾ は、感受性の高い発達期脳への影響を明らかにする目的で、ラット新生仔の小脳の培養細胞を用いて、イミダクロプリド、アセタミプリドの影響をニコチンと対比させて調べたところ、この2種のネオニコチノイド系農薬はニコチン同様に1 μM以上で小脳顆粒神経細胞に興奮性反応を起こしたという。このことは、この2種のネオニコチノイド系農薬がnAChRを介して興奮性反応を起こすことが明らかとなった。

また動物実験の報告では、母体経路でイミダクロプリドを投与された仔ラットは行動と脳組織に異常があったという³⁸⁾。また、クロチアニジンを母胎経路で曝露した仔ラットで行動異常が確認されている³⁹⁾。

以上のことから、ネオニコチノイド系農薬がニコチンと類似した作用を持っていることは重要視されなければならない。ニコチンの害は禁煙すれば回避できるが、ネオニコチノイド系農薬は食品経路で摂取することになるので、多用されているネオニコチノイド系農薬を避けることは難しい。ネオニコチノイド系農薬は、低濃度長期曝露によって脳発達へ影響する可能性が高

いので、今後も注視していくことが必要である⁵⁾。

ネオニコチノイド系農薬による人的被害が生じた中毒症例をまとめると次のような結果であった。吸入曝露による亜急性中毒が疑われた事例を以下に示す。2004年5月から6月にかけて、群馬県では、マツ枯れ対策として、約1ヶ月間にわたって、アセタミプリドを地上散布した⁴⁰⁾。その間、前橋市の医院には、体調不良を訴える患者が78人受診した。患者の症状は、中枢神経症状（頭痛、全身倦怠、抑うつ、集中力低下、睡眠障害、記憶障害、焦燥感、言語障害）、骨格筋症状（肩こり、筋痛、筋攣縮、筋脱力）、循環器症状（胸痛、動悸）、体温症状（発熱、手足の冷え）、眼症状（調節害、視力低下）、消化器症状（腹痛、下痢、便秘）、呼吸器症状（咳、痰）、分泌症状（発汗、口渴）等ネオニコチノイド系農薬による健康影響と同様な症状がみられたという⁴¹⁾。

経口曝露による亜急性中毒が疑われた事例を以下に示す。2006年8月から、全身倦怠、頭痛、手のふるえ、記憶障害などを訴える患者が、2007年3月までにのべ1111人受診し、そのうち549人は果物、野菜、茶飲料の連続または大量摂取後に発症していた。果物、茶飲料の摂取禁止と治療により約1ヶ月で症状が改善されたという⁴²⁾。

以上のネオニコチノイド系農薬による中毒症例から、農薬散布に伴う被害や農薬含有食品の摂取による発症が主な原因と考えられるので、ネオニコチノイド系農薬に関する情報（農薬の散布時期、場所、期間または農薬による食品汚染状況など）の開示および提供やその周知徹底が必要ではないかと思われる。

7. 問題点と課題

ネオニコチノイド系農薬による環境および食品汚染問題並びに健康影響の改善のためには、次のような課題および提言があげられる。

1) 開放系で使用される農薬は、他の化学物質より使用後のリスク制御が難しいので、分解性が高く、広範囲に拡散しにくく、毒性の低い農薬に切り替えることや少量でも効果を発揮するリスクが小さい農薬の開発と普及が不可欠である。

2) イミダクロプリドの分解代謝物質の一つであるデニストロイミダクロプリドは、ヒト等の脊椎動物の体内においては、昆虫と比べて毒性が数百倍も強くなることが明らかとなっている²⁾。したがって、農薬本体および分解代謝物質を含めた総合的な農薬汚染を評価でき、高感度分析可能な試験方法と安全性（毒性）評価方法を開発し、モニタリングしていくことが必要である。

3) ネオニコチノイド系農薬を他の殺菌剤などと混ぜて使用すると毒性が高まるとの報告がある²⁾。例えば、ネオニコチノイド系農薬と殺菌剤トリフミゾールとを合わせて使用すると、ミツバチへの毒性が約1000倍も増加することが明らかとなっている²⁾。トリフミゾールは我が国でも野菜などの栽培に多用されており、ネオニコチノイド系農薬とこの殺菌剤を混合使用して育てられた農産物を食する可能性があるために、ヒトへの毒性の相乗効果が危惧されている。したがって、農薬の複合摂取による影響評価が必要である。

4) ネオニコチノイド系農薬は、低濃度長期曝露によって脳発達へ影響する可能性が高いことが明らかとなっている⁵⁾。そのために、従来の毒性試験では検出されにくい遺伝子発現の攪乱作用や発達期の脳への神経毒性が危惧されている。農薬の安全基準であるADIは現行の農薬毒性試験から算出されるが、脳機能や脳発達への悪影響などは確かめられておらず、現在の算出法では安全とはいえない。我が国ではADIを超える可能性のある残留基準値は早急に変更すべきである。

5) 近年では、農薬管理の基礎となる考えは予防原則であり、特に欧米を中心に多数意見となりつつある。この予防原則とは、「環境に重大あるいは回復不能な影響を及ぼす脅威が考えられる場合は、科学的に因果関係が十分証明されない状況でも規制措置を可能にする」という考えである⁴³⁾。子どもの将来に繋がる重要課題として、特に農薬についてもこの予防原則を適用し、ヒトの神経系を攪乱する殺虫剤についてはその使用を極力抑え、危険性の高いものは使用禁止するなどの方策が必要と考えられる。

8. おわりに

ネオニコチノイド系農薬は、近年世界各国で使用されてきた殺虫剤であり、その結果、昆虫などの生態系に影響を与えていることが明らかとなっている。このことから、EU諸国ではその使用を禁止する措置を講ずるなどの対策に取り組んでいるところである。しかし、我が国では、ネオニコチノイド系農薬の残留基準値を高く設定したり、使用禁止などの措置を講じないまま現在に至っている。今後は、ヒトおよび生態系への影響を十分に考慮した農薬の管理体制を構築していかなければならない。本報がその一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本植物防疫協会：農薬要覧（2015）
- 2) 水野玲子：ネオニコチノイド系農薬の諸問題，化学物

- 質と環境, No.120, pp.13-15 (2013)
- 3) 五箇公一：近年問題視されているネオニコチノイド系殺虫剤の生態影響評価の課題, 昆虫と自然, 49 (11), pp.2 (2014)
 - 4) 平 久美子：ネオニコチノイド系殺虫剤のヒトへの影響—その2：薬理学的特徴, 使用状況, 規制, 考察, 臨床環境医学, 21 (1), pp.35-45 (2012)
 - 5) 木村一黒田純子, 小牟田 縁, 川野 仁：新農薬ネオニコチノイド系農薬のヒト・哺乳動物への影響, 臨床環境医学, 21 (1), pp.46-56 (2012)
 - 6) 笠井 敦：ハチ類に対する残留ネオニコチノイドの影響, 昆虫と自然, 49 (11), pp.3-6 (2014)
 - 7) 日本植物防疫協会日本植物防疫協会：農薬ハンドブック 2016 年版, pp.87-103 (2016)
 - 8) 環境省：水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準について, イミダクロプリド評価書 (2017)
 - 9) 環境省：水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準について, アセタミプリド評価書 (2013)
 - 10) 環境省：水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準について, ニテンピラム評価書 (2017)
 - 11) 環境省：水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準について, チアクロプリド評価書 (2017)
 - 12) 環境省：水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準について, チアメトキシサム評価書 (2016)
 - 13) 環境省：水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準について, クロチアニジン評価書 (2016)
 - 14) 環境省, 水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準について, ジノテフラン評価書 (2017)
 - 15) 斎藤育江, 大貫 文, 鈴木俊也, 栗田雅行：シロアリ駆除剤由来のネオニコチノイド系殺虫剤による室内環境汚染, 東京都健康安全研究センター年報, No.66, pp.225-233 (2015)
 - 16) 斎藤育江, 大貫 文, 鈴木俊也, 栗田雅行：ネオニコチノイド系殺虫剤の大气中への拡散に及ぼす水分, 湿度及び粒子状物質の影響, 臨床環境医学, 24 (1), pp.37-47 (2015)
 - 17) 直井啓, 鎌田素之：ネオニコチノイド系農薬の水環境中における存在実態と洗浄処理評価, 関東学院大学工学総合研究所報, No.39, pp.11-17 (2011)
 - 18) 佐藤学, 上村仁, 浅見真理, 小坂浩司：相模川流域におけるネオニコチノイド系農薬等の実態調査, 第 49 回日本水環境学会年会講演集, pp.6 (2015)
 - 19) 久保明日香, 川寄悦子, 田中俊芳, 井上莉沙, 鎌田素之, 須戸幹：新たな農薬類を対象とした水道水源などの残留実態調査, 第 49 回日本水環境学会年会講演集, pp.9 (2015)
 - 20) 長谷川瞳, 平生進吾：名古屋市内河川におけるネオニコチノイド系農薬および代謝物の濃度分布, 第 18 回日本水環境学会シンポジウム講演集, pp.74-75 (2015)
 - 21) 小林貴司, 松渕亜希子, 菅原冬樹, 阿部 実：特用林産物の秋田ブランド化並びに安全性に関する研究, マツ林に散布された農薬の挙動について, 第 9 回秋田県健康環境センター調査研究発表会要旨集, pp.9-10 (2014)
 - 22) 吉村幸江, 大竹敏也, 糟谷真宏：4 種のネオニコチノイド系農薬の黄色土での吸着・分解と有機物によるジノデフランの分解促進, 愛知県農業総合試験場研究報告, No.46, pp.15-22 (2014)
 - 23) 時枝正則, 小澤道弘, 小林 茂, 五明 健, 武田明治：殺虫剤アセタミプリドの作物及び土壌における残留実態, 日本農薬学会誌, 24 (2), pp.115-122 (1999)
 - 24) 一般社団法人アクト・ビヨンド・トラスト：葉物野菜のネオニコチノイド系農薬残留試験 (2016)
 - 25) 一般社団法人アクト・ビヨンド・トラスト：abt ネオニコチノイド系農薬残留調査レポート (米・茶) (2014)
 - 26) 生活クラブ生協 自主管理委員会農業幹部会：ネオニコチノイド系農薬専門委員会, ネオニコチノイド系農薬委員会調査報告, pp.23-25 (2013)
 - 27) 国際環境 NGO グリーンピース・ジャパン：ミツバチと食の危機 (2016)
 - 28) Yamada T. et al.: Influence of dinotefuran and clothianidin on a bee colony, Jpn. J. Clin. Ecol., 21 (1), pp.10-23 (2012)
 - 29) Whitehorn PR, O'Connor S, Wackers FL, Goulson D.: Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production, Science, 336, pp.351-352 (2012)
 - 30) Henry M, Béguin M, Requier F, Rollin O, Odoux JF, Aupinel P, Aptel J, Tchamitchian S, Decourtye A.: A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees, Science, 336, pp.348-350 (2012)
 - 31) 二橋亮：富山県におけるアカトンボ激減の実態, 昆虫と自然, 47, p.10-15 (2012)
 - 32) 国立環境研究所：平成 26 年度環境省請負業務平成 26 年度農薬の環境影響調査業務報告書 (2015)
 - 33) Tokumoto J. et al.: Effects of exposure to clothianidin on the reproductive system of male quails, J Vet Med Sci., 76 (6), pp.755-760 (2013)
 - 34) Tomizawa M, Casida JE.: Neonicotinoid insecticide toxicology: Mechanisms of Selective Action. Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol., 45, pp.247-268 (2005)
 - 35) 食品安全委員会：農薬評価書イミダクリプリド (2010)
 - 36) 食品安全委員会：農薬評価書アセタミプリド (2008)
 - 37) Kimura-Kuroda J, Komuta Y, Kuroda Y, Hayashi M, Kawano H.: Nicotine-like effects of the neonicotinoid insecticides acetamiprid and imidacloprid on cerebellar neurons from neonatal rats., PLoS One 7 (2012)
 - 38) Abou-Donia MB, Goldstein LB, Bullman S, Tu T, Khan WA, Dechkovskaia AM, Abdel-Rahman AA.: Imidacloprid induces neurobehavioral deficits and increases expression of glial fibrillary acidic protein in the motor cortex and hippocampus in offspring rats following in utero exposure, J. Toxicol. Environ. Health A, 71, pp.119-130 (2008)
 - 39) Tanaka T.: Reproductive and Neurobehavioral Effects of Clothianidin Administered to Mice in the Diet. Birth Defects Research (Part B), pp.1-9 (2012)
 - 40) 市川有二郎, 盛山充, 本山直樹：群馬県で松林にスパウダーを用いて散布されたアセタミプリド液剤の飛散状況, 日本農薬学会誌, 33, pp.281-288 (2008)
 - 41) 平久美子, 青山美子, 川真田美和子：無人ヘリコプターによるネオニコチノイド系および有機リン系殺虫剤空中散布後に自覚症状を訴え受診した地域住民に大量に発見された心電図異常, 臨床環境, 14, pp.160 (2005)
 - 42) 平久美子, 青山美子：緑茶飲料および国産果物摂取後に出現した心電図異常を伴う症状群, 臨床環境, 16, pp.160 (2007)
 - 43) 浦野紘平, 浦野真弥：えっ！ そうなの？！ 私たちを包み込む化学物質, コロナ社 (2018)