

農薬や雑草管理の視点から見た環境リスク

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
技術顧問

與語 靖洋

はじめに

リスクの語源は、古代ギリシャの航海において暗礁に乗り上げることに端を発しており、ラテン系の言語には、英語の risk の語源となる単語が存在する。それが、ビジネス、経済、さらには環境など、様々な分野で使われるようになった。現在、リスクには様々な定義があるが、ある物質や事象が持つ有害性や危険性に対して、時間的・空間的に暴露された状況に応じて生じる影響と考えてよい。また、日本リスク研究学会では、産業経済の発展や情報化社会への変化の原動力である科学技術が持つ効用（ベネフィット）に対して、その利用などにおける不確実性を「リスク」と捉えている。すなわち、物質や事象そのものは危害要因（ハザード）で、実際のどのような危害が加わるかは暴露次第であり、あくまでも確率論的な概念である。

ここでは、農薬や雑草管理の視点から環境リスクを考えてみたい。

生物多様性を脅かすリスク

唐突だが、環境リスクのうち、まず生物多様性に対するリスクを取り上げる。生物の多様性に関する条約、いわゆる生物多様性条約（CBD）は、1992年に採択され、わが国も同年署名、翌年に発行した。この条約には、現在200近い国や地域が締結している。それを受けて、わが国では生物多

様性基本法が成立・施行（2008年）するとともに、生物多様性国家戦略（2012～2020）も策定された。基本法は生物多様性の保全と持続可能な利用のバランスの良い推進を基本原則とした理念法である。国家戦略はCBDおよび基本法に基づいて、CBDにおける「愛知目標」の達成に向けて策定された。その中で、生物多様性を脅かす4つの危機（リスク）が示されている（石濱2016）。

第1の危機は、人口増加や文明の発達に伴う人間活動の拡大によって引き起こされる。国際連合食糧農業機関（FAO）によれば、世界人口は2050年には97億人に到達し、栄養不足人口は2010年初頭から8億人前後でほぼ横ばいであり、その大半が開発途上国に集中している。人間活動の拡大としては、森林伐採、ダムや護岸の工事、道路整備を含む都市化、農耕地の整備などが挙げられる。それらとは別に、農業被害をもたらす害獣としてのオーストラリアのフクロオオカミや、羽や食肉を目的とした日本のトキなど、乱獲によって絶滅に追い込まれた生きものも数多くある。

第2の危機は、第1の危機とは逆に、少子高齢化や都市集中型の人口の偏在による人間活動の縮小によって引き起こされる。少し矛盾を感じるかもしれないが、ヒトが長い年月をかけて安定した生態系を構築した“SATOYAMA（里山）”はヒトと自然が絶妙なバランスを保っていた。しかし、近年の経済発展に伴い、河畔や森林の下草刈り、

間伐、放牧、火入れなどの人間活動が減少しそのバランスが崩れた。その結果として、例えばわが国における二次自然の一つである草地は、明治以前には10%以上あったものが、今では1%程度まで減少している。野生動物が都会に進出することが最近ニュースなどで話題になっているが、そのずっと以前から野生動物が農耕地に侵入して、いわゆる鳥獣害を引き起こしており、今でも問題が山積している。

第3の危機は、人間により持ち込まれた、すなわちヒトの文明がもたらしたものである。具体的には、自動車、飛行機、船舶など発達する交通手段は、大気や海洋の汚染を引き起こす。これらはその場の生態系に少なからず悪影響を及ぼす。生物多様性の観点からさらに大きいのが、輸入品に非意図的に混入または意図的に輸入する各種外来生物である。最近ではヒアリが話題になっているが、輸入港湾の植物検疫において、病虫害などの検査や駆除が実際に行われているものの、完全に防ぐことは難しい。また、ペットとして輸入される様々な動物や観賞用の植物の中には、わが国の自然生態系に侵略的に広がる危険性を有するものもある。一方、科学技術の発展の成果としてヒトが導入した物質に、化学肥料や化学合成農薬（以下“農薬”とする）がある。農薬はそもそも対象とする病虫害・雑草を防除する道具であり、有害生物に影響を及ぼすことが求められる。しかし、農薬を含む生態系には防除対象以外の生物も多く存在する。そのため

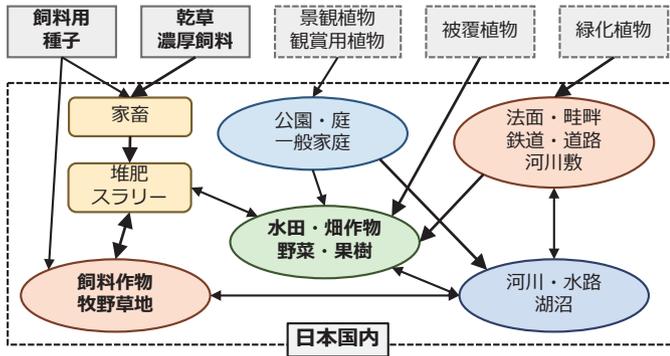


図-1 輸入飼料等に混入する雑草種子の侵入・蔓延経路（概略）

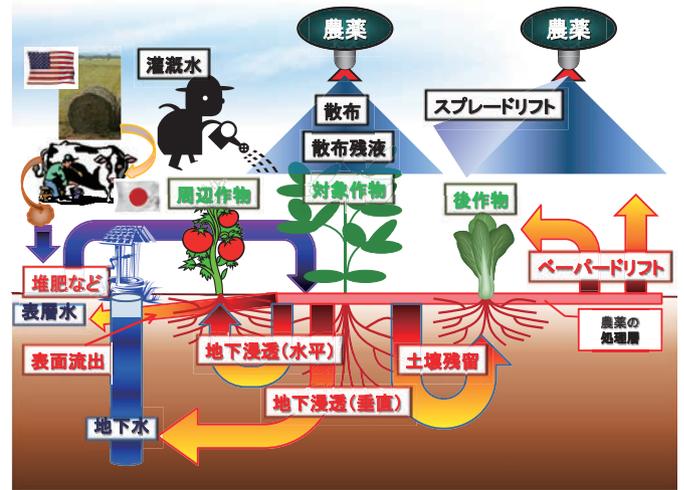


図-2 農業の環境中挙動（概要）

農薬を過度にまたは間違っ使用したり、農耕地外に流出したりすることで、結果として農耕地内外のいわゆる環境生物に負の影響を及ぼすことが懸念される。

第4の危機は、地球環境の変化によって引き起こされる。地球温暖化を考えると、第1の危機と同様に人間活動の拡大が主因であるが、第1の危機に比べてより広域な影響を捉えている。具体的には、気温の上昇やそれに伴う陸域や海洋の環境変化が、その環境への適応性の異なる様々な生物が生息する生態系の構成等の変化を引き起こすというものである。在来植生への影響に関しては、ブナ林や高山植物などが温暖化の影響を受けやすいといわれている。

このように、生物多様性を脅かすリスクを類型化したものの、環境自体複合的なものであり、時間的にも空間的にも変化しながら存在し、実際はそれぞれのハザードやリスクが互に関連しあっている。

農業の環境リスク

農業においては様々なリスクが存在する（與語 2018）が、ここでは農業環境におけるリスクに絞って、いくつか紹介する。前述の生物多様性を脅かすリスクと重複する部分もあるが、農

業の視点から整理したものと理解いただきたい。

第1に地球温暖化である。近年の温暖化の主因は人間活動と考えられるが、国連気候変動に関する政府間パネル、いわゆる IPCC の第5次評価報告書（2013）における代表的なシナリオによれば、2081～2100年には、世界の平均気温で0.3～4.8℃上昇している。温暖化は大気中の水分上昇に結びつくとともに、極端気象を引き起こす。それらの気候変動は、洪水や乾燥など1つの作期における影響だけでなく、土壌侵食や砂漠化に代表される耕作可能な農耕地面積の減少など、長期的にも農作物の収量や品質に影響を及ぼす。開発途上国を中心とした人口増加に伴う食料消費量の大幅な増大が見込まれる中、国際的に解決すべき喫緊の課題である。

第2に外来生物である。これらは鳥や風などによっても長距離輸送されるが、近年の外来生物の侵入・定着・蔓延の要因としては人為的なものが大きいとされる。外来雑草を例に挙げれば、一旦国内に侵入した雑草は例えば河川や用水路を介して、また農業機械に付着するなどによって拡がる。その後、農耕地に定着し、蔓延するものもあり、農作物の収量や品質に甚大な被害をもたらす（図-1）。

害をもたらす（図-1）。

第3に化学物質である。環境影響として一般には化学肥料や“農薬”が取り上げられる。いずれも安定的に高い収量や品質を得るための重要な道具である。一方で、農耕地環境にアンバランスを生じさせたり、陸水や地下水などの周辺環境に悪影響を及ぼしたりすることもある。農薬の詳細については後述する。

第4に社会経済情勢の変化である。世界では、人口増加に伴う食糧や資材の需要が高まることで、過度な森林伐採が進んでいる。一方、わが国では少子高齢化による農業従事者の減少によって、耕作放棄地の増加など大きな問題となっている。同じ地球上で異なる現象が生じている。

農薬の環境リスク

農薬は、土壌、水、大気などの環境中を受動的に挙動する（図-2）。

土壌中では、農薬の一部は農耕地土壌に長期間とどまる。これをエージングという。一方、土壌に吸着した農薬は、降雨や水田における代掻きなどによって土壌とともに移動することもある。

水中では、水に溶解または土壌粒子

に吸着したのも含めて、水系に流出した農薬は、水の流れに沿って挙動するとともに、一部は底質の堆積とともに河川や湖沼に残留し、さらには海洋に流出することもある。また、農薬は長い時間をかけて、水の流れとともに土壤中を下方移行し、地下水に混入する可能性もある。

大気中では、処理時のスプレードリフトと処理後のベーパードリフトによる大気中拡散が想定される。前者はよく知られているが、後者には農薬が水滴を含む粒子に付着したものと、農薬そのものが気化したものがあり、有効成分（農薬）の物理化学的性質により、挙動が大きく異なる。いずれにせよ、農薬は大気の動きに伴って移動し、地球規模で移動することが報告されている。その事例として、上昇や下降気流や降雨等によって大気中を飛ぶように移動することもあり、それをバツタ効果と呼んでいる。

さらには、食物連鎖によって、高次の生物に蓄積することもある、いわゆる生物濃縮である。暴露経路などによって、BCF (bioconcentration factor), BMF (biomagnification factor), BAF (bioaccumulation factor) があるが、詳細は割愛する。

一方、“農薬”の大きな特徴として、環境中における分解・消失がある。農薬は程度の違いはあるものの、一定期間に環境中で分解・消失する。つまり、ここでいう“農薬”は、二酸化炭素などの一部を除いて炭素を含む化合物であり、光や微生物などにより、分解・

代謝される。生体内では、一般に第1相反応（酸化・還元）と第2相反応（抱合化）によって水溶性が高い物質に変化し、結果として、動物では排泄しやすくなるとともに、一般には無毒化される。

農薬の環境リスクとしてここまで述べてきたのは、リスクの要素の一つである暴露に関することであるが、それに毒性が絡んで初めてリスクが生じる。すなわち、当該生物において、その農薬が有する毒性や有害性の質や程度が異なり、それらを示す部位への残留程度によって、その生物の生育などに影響する。環境としての生態系への影響を考えた場合、そこには多数の生物が互いに関係しあって存在するし、季節変動もある。また、そこに存在する化学物質も人工的なものから自然に存在するものまで多種多様で、そのため、そこにおける影響評価は困難を極める。それらのうち農薬については、本誌（45巻11号、3-11、2012）に掲載された「環境保全型農業と除草剤（農薬）の新たな生態リスク評価法」（永井孝志）を参照願いたい。

なお、ストックホルム条約で指定されている残留性有機汚染物質（POPs）の約半数は農薬の目的で使われていたものであるが、環境中での残留性、生物蓄積性、人や生物への毒性が高く、長距離移動性が懸念される国際的に製造及び使用の廃絶・制限、排出の削減が求められている。PC、DDT、ドリノ類などである。

世間では農薬というこのイメージ

が未だに深く刻まれている。しかし現在は、農薬を登録・使用するに際して、農薬取締法などに則って、食の安全はもちろん、環境中の生物に対する毒性などの生態系影響まで、幅広いリスクを想定した調査や審査がおこなわれている点で、最も広範に安全性評価されている化学物質といえる。

雑草管理における環境リスク

雑草管理は、農作物の栽培や畦畔管理だけでなく、高速道路などの法面、スポーツグラウンドや公園などのアメニティー、森林や河川・河川敷など様々な場所や場面で求められる。また、それらにおける管理目標も様々であるが、いずれのケースでも雑草管理に対するコストや労力の削減が求められる。なお、本来“農薬”は農薬取締法上の定義であるが、ここでは有効成分の用途としての農耕地以外も取り上げた。

農作物の栽培では、その収量と品質の安定的確保が主たることは言うまでもないが、農業の大規模化が進む一方で、中山間地農業もあり、それぞれに適した雑草管理が必要である。

畦畔雑草管理では、作業性だけでなく、カメムシ防除を切り離しては考えられない。また、畦畔の強度維持や透水性の抑制との関係から、ある程度の植生の維持も必要である。

その他、高速道路などの法面や路肩では、畦畔で示した強度維持に加えて、視界の確保も求められる。スポーツグラウンドや公園などでは、プレーのし

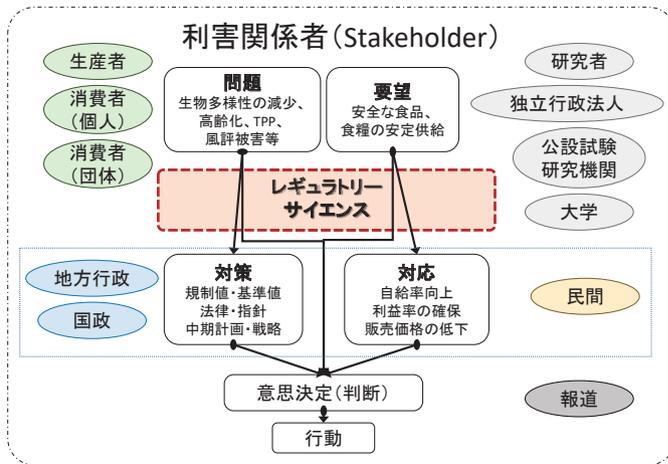


図-3 レギュラトリーサイエンスの俯瞰図

あるがゆえに、両者の一過的なバランスに一喜一憂するのではなく、持続性の感覚をもって対応する必要がある。

レギュラトリーサイエンスは、1970年代に米国環境庁（EPA）において産声を上げ、わが国では医薬分野において1987年に導入された。この定義には様々なものがあり、またトランスサイエンス等、類似の考え方も多くあるが、私自身は、「ある課題に対する問題や要望に対して、直接または間接的な利害関係者が行う意思決定や行動を支援するための科学」と考えている（図-3）。レギュラトリーサイエンスは一見難しいように思えるが、我々が日常的に行っていることであり、それを振り替れば、確率論的かどうかは別にして、意思決定や行動が揺らいでいるのがわかる。そのため、農業や雑草管理の視点から考えた環境リスクについても、ハザードを中心とした固定概念で判断するのではなく、ベネフィットも含めた揺らぎの中で意思決定することが望ましいであろう。

参考文献

石濱史子 2016.【環境問題基礎知識】日本の生物多様性を脅かす「4つの危機」、国立環境研究所ニュース 35, 9-10.
 永井孝志 2012. 環境保全型農業と除草剤（農薬）の新たな生態リスク評価法, 45, 451-459.
 與語靖洋 2018. 農業環境とリスク研究, ニュース農業と環境.No.113, 2.

やすさや見た目、子供の安全などが求められる。森林では、下草や干ばつの管理が木材の質などに影響するし、河川や河川敷さらに湖沼などの水系では、用水路の水流や船舶の航行の確保などがある。

それらの場面で除草剤や抑草剤などの農薬が利用されるが、それらをハザードとして捉えた環境リスクには、前述の農薬の部分で述べたことが想定される。しかし、雑草管理目標が達成されることがベネフィットであるので、それを最大限にして、環境リスクを最小限にする管理が求められる。別の言い方をすれば、リスクの要因である多くのハザード、この場合除草剤は雑草管理の道具であり、有効に利用すればベネフィットが生まれる。一方、ベネフィットを求めるための行動には、必ずと言っていいほどリスク、この場合環境リスクが伴う。

なお、このように雑草管理の環境リスクとして一般に取り上げられるのは除草剤であるが、ハザードはそれだけではない。例えば、乗用・自走を含む各種刈り払い機を利用した物理的防除

は、エンジン駆動のための多くの燃料を利用することで、排気ガスを排出し、大気環境にも影響する。同様に栽培前の耕起や中耕培土も雑草管理手段の1つであるが、同様の影響がある。さらに、緑地管理に利用される外来牧草の中には、産業管理外来種に指定されているものもある。

おわりに

2016年から2030年までの国際目標として、持続的な開発目標（SDGs）として17項目が掲げられた。その中には農林水産業だけでなく、ここで取り上げた環境リスクや生物多様性と関連性が深いものが多い。持続可能な農業の実現のためには、物質や事象をハザードとしてだけ捉え、環境リスクを低減するのではなく、それらが提供するベネフィットとのバランスを考慮することが肝要である。

また、これら物質や事象がもたらすリスクやベネフィットは、どこかで線を引けるものではなく、常に揺らいでいる。まさに確率論である。確率論で