

SDGs から見た雑草管理

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

2019年5月11日～12日、新潟において、G20サミット関連会合の一つとして、G20農業大臣会合が開催された。世界的な人口増加に対応できる食料生産の実現を目指して、全体テーマとして、「農業・食品分野の持続可能性に向けて—新たな課題とグッドプラクティス(優れた取り組み)—」を掲げた。その中の主要論点の一つに「SDGsの達成に向けた関係者の対応方法」がある。SDGsは「Sustainable Development Goals」の略称で、日本語では「持続的開発目標」となる。その詳細は後述するが、この目標を実現するためのわが国が取り組むべき技術開発として、「スマート農業」が掲げられている。スマート農業といえ、AI(Artificial Intelligence, 人工知能)やIoT(Internet of Things, モノのインターネット)等を活用した技術をイメージする。一方、持続的農業といえ、環境保全型農業や「有機農業(Setboonsarngら2017)」、近年では「協生農法(Synecoculture)(Ohtaら2019)」等があり、農林水産省も1999年の「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」の施行以来、積極的に推進している。さらには、生物多様性やそれを包括する地球の限界(Planetary boundaries)等、様々な場面で持続性の確保に警鐘が鳴らされている。また、日本学術会議は、2018年12月

に「植物保護科学のSDGsへの貢献」と題した公開シンポジウムを開催し、日本農学会は、2019年10月に「SDGsを超える農学のブレイクスルー」と題したシンポジウムの開催を予定する等、農業におけるSDGsへの注目度はますます高まっている。

本稿では、雑草管理について、これまでの取り組みをSDGsの観点からまとめることで、今後のあり方を考えてみたい。

1. SDGs と日本の取り組み

2015年9月、ニューヨークにおいて開催された「国連持続可能な開発サミット」の成果文書として、「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択された。そこで、人間、地球および繁栄のための行動計画として掲げたのがSDGs(持続的開発目標)であり、ミレニアム開発目標(Millennium Development Goals, MDGs)の後継として位置付けられている(表-1)。そこには、17の目標と169のターゲットがある。MDGsでは農業への直接的言及がなかったのに対して、SDGsには持続的農業が明記されるとともに、開発途上国だけでなく、先進国も含めて一丸となって、経済・社会・環境を不可分なものとして取り組むことで、主に開発途上国を対象とした経済発展と貧困削減(“誰一人残さない(No one will be left behind)”)の実現を目指すことになっている。なお、SDGsによる世界の市場規模の価値は

年間12兆ドルで、約3億8千万人の雇用創出も期待されている。

また、2016年12月に決定した「わが国における持続可能な開発目標(SDGs)実施指針」(外務省2017)には、2030アジェンダに掲げられている5つのPに即して、8つの優先課題が設けられている(表-2)。他にも、アジェンダ2030の基本理念にも通じる実施原則において、5つのキーワード(①普遍性、②包摂性、③参画型、④統合性、⑤透明性と説明責任)が掲げられており、省庁横断的であるとともに、その取り組みの大きさがうかがえる。

日本政府は、今から65年前の1954年から政府開発援助(ODA)を開始した。このODAにおいては、2000年から人間の安全保障を外交や開発協力の基本理念として捉えるとともに、SDGsの中心的テーマを保健・防災・女性等の国際協力の軸として進めてきた。また、1992年の「環境と開発に関する国連会議」の成果を踏まえ、1993年11月「環境基本法」が制定され、1994年12月の「第1次環境基本計画」から始まり、2018年4月には第5次環境基本計画が閣議決定され、経済・社会・環境の統合的な向上を含めてSDGsに貢献している。さらに、「男女共同参画社会基本法」、「女性躍進推進法」、「障害者基本法」等の法整備を進め、“誰一人残さない”を目指している。

それらを受けて、外務省を始め各省庁においても、様々な取り組みがなされている。少し例を示せば、環

表-1 SDGs と MDGs の目標の比較

SDGs (2016~2030)		MDGs (~2015)	
ゴール	内容	ゴール	内容
1	あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる	1	極度の貧困と飢餓の撲滅
2	飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する		
3	あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する	4	乳幼児死亡率の削減
		5	妊産婦の健康の改善
		6	HIV/エイズ、マラリア及びその他の疾病の蔓延防止
4	すべての人々への包摂的かつ公正な質の高い教育を提供し、生涯学習の機会を促進する	2	普遍的初等教育の達成
5	ジェンダー平等を達成し、すべての女性及び女児の能力強化を行う	3	ジェンダーの平等の推進と女性の地位向上
6	すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する	7	環境の持続可能性の確保
7	すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する		
8	包摂的かつ持続可能な経済成長及びすべての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用を促進する		
9	強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る		
10	各国内及び各国間の不平等を是正する		
11	包摂的で安全かつ強靱（レジリエント）で持続可能な都市及び人間居住を実現する		
12	持続可能な生産消費形態を確保する		
13	気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる		
14	持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する		
15	陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する		
16	持続可能な開発のための平和で包摂的な社会を促進し、すべての人々に司法へのアクセスを提供し、あらゆるレベルにおいて効果的で説明責任のある包摂的な制度を構築する		
17	持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化	8	開発のためのグローバル・パートナーシップの推進

表-2 アジェンダ 2030 における 5 つの P とわが国の実施指針における 8 つの優先課題

アジェンダ 2030 における P	わが国の実施指針における優先課題
People (人間)	1. あらゆる人々の活躍の推進 2. 健康・長寿の達成
Prosperity (繁栄)	3. 成長市場の創出、地域活性化、科学技術イノベーション 4. 持続可能で強靱な国土と質の高いインフラの整備
Planet (地球)	5. 省・再生可能エネルギー、気候変動対策、循環型社会 6. 生物多様性、森林、海洋等の環境の保全
Peace (平和)	7. 平和と安全・安心社会の実現
Partnership (パートナーシップ)	8. SDGs 実施推進の体制と手段

境省では、平成 29 年版「環境・循環型社会・生物多様性白書」の第 1 章・第 3 節に「SDGs を通じた地球環境課題の解決」と題して記述するとともに、2018 年には「持続可能な開発目標 (SDGs) 活用ガイド」を出版している。国土交通省では、今後の社会資本整備や土地利用等に際して、グリーンインフラの取組を推進する方策を幅広く議論するための「グリーンインフラ懇談会」を設置し、2018 年 12 月に第 1 回会合を開催した。農林水産省では、「農林水産業×環境・技術×SDGs, Ver.1.0 (2019 年 3 月)」や「SDGs×食品産業 (2018 年 12 月)」の Website を立ち上げている。

2. SDGs と農業

SDGs において農業との関連が最も強いのは「飢餓に終止符を打ち、食料の安定確保と栄養状態の改善を達成するとともに、持続可能な農業を推進する」と銘打ったゴール 2 である (櫻井 2018)。ここにおけるターゲットで、2020 年や 2030 年等の目標年を明記して、飢餓の撲滅、子供の発育障害や栄養不良の解消、小規模食料生産者の農業生産性や所得の向上、持続可能な食料生産システムの確保、遺伝資源等の利用から生じる利益の公正かつ衡平な配分等、農業に関連する内容を明確に取り上げている。これに続くものとして、ゴール 12 では、天然資源の持続的管理と効率的利用、生産から食卓まで (フードチェーン「農場から食

卓まで)、さらに食料ロスの削減を掲げている。また、ゴール 15 においては、逆に農業を生態系破壊の要因の一つとして捉え、陸上生態系の保全や管理との関連性から、資源の持続的管理を目指している。なお、ゴール 13 では農業と切り離せない気候変動が主たるテーマである (興語, 2018a) もの、その多くをゴール 2 で取り上げている。他に、水田農業を念頭に水の持続可能な管理等を求めるゴール 6 を含めることもある (Tafarini ら 2018)。

前述のように、SDGs の実現のために農業の果たす役割は大きい、さらに言えば農業は不可欠である。結論から言えば、SDGs における基本的理念、ゴール、ターゲットは、ここ四半世紀に農業が目指してきたものであり、その多くが新規に取り組む必要はないと考える (Squire 2017)。ここでは、その論点を整理してみたい。

第 1 に環境保全型農業である。これには、環境にやさしい農業、低投入持続型農業、代替農業、クリーン農業、精密農業、環境共生型農業等、類似の概念や呼名が様々にある。わが国における環境保全型農業は、1992 年に農林水産省が「新政策—新しい食料・農業・農村政策の方向—」において農政の新たな目標としたものであり、これ自体「SDGs」そのものである。1999 年には持続農業法の下、土づくり・減化学肥料・減化学合成農薬の 3 技術に取り組む農家を、都道府県知事が「エコファーマー」として認定する仕組みが構築された。さらに 2015 年度から

日本型直接支払制度の一つとして、環境保全型農業直接支払制度が法制化された。

また、SDGs の農業版に当たる持続型農業 (持続可能農業、持続的農業、Sustainable Agriculture (Gold ら 2009)) も環境保全型農業の一つであり、1980 年代にオーストラリアの農学者が使い始め、その後 1990 年代にかけて一般に使われるようになった。これは「各地域の特徴を活かして長期間続く総合的な農作物や家畜の生産システム」と定義できる。

第 2 に有機農業である。類似の概念や呼名には、無農薬栽培、無化学肥料栽培、自然農法等がある。化学肥料や化学合成農薬 (以後“農薬”) が利用される近代農業が始まるまで、つまりハーバーボッシュ法による窒素生産、リン鉱石の採掘、農薬の利用等が始まる前は、全て有機農業であった。近年その有機農業が見直されつつあるが、農薬や化学肥料を使わないまたは耕起しないだけの有機農業では単なる先祖返りであり、現在の社会経済的情勢を考えると現実的ではない。すなわち、世界の人口増加とそれに伴う食料需要の大きさを考えれば、従来の有機農業技術だけでは、求められる食料を充分供給できないであろう。

第 3 に生物多様性である。ワシントン条約やラムサール条約等に続き、生物多様性の包括的な保全と生物資源の持続可能な利用のための国際的な枠組みとして、1992 年ナイロビにおいて、生物多様性条約が採択され

た。わが国は、同年リオ・デ・ジャネイロで開催された国連環境開発会議においてこの条約に署名した。その10後の2010年には、同条約の第10回締約国会議（COP10、名古屋）において「愛知目標」が採択された。これは、生物多様性や生態系サービスを科学的に評価することで生物多様性の損失を防ぐための目標である。また、2012年には「生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム（IPBES：Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services）」が設立され、活動が加速化された。

ところで、いわゆる農耕地（On-farm）と非農耕地（Off-farm）では、求める生物多様性が異なる。On-farmでは、農作物の持続的生産のための土壌生物相の健全な安定化が目指すべき主たるゴールであるのに対して、Off-farmは幅広い場を含むが、そのうち自然生態系を念頭に置くと、地球における生命バランスの安定化やバイオマスの確保のために、自然生態系の維持・拡大および希少種の保護等を目指す。すなわち、単に生物が多様であればよいのではない。

第4にスマート農業である。これは2018年の農林水産大臣の所信表明や同年の未来投資戦略に示されており、前述のようにAI、IoT、ロボット化等が取り上げられている。関連して、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合

させたシステムによって、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会、いわゆるSociety 5.0もある。これは科学技術基本計画の中に位置づけられており、狩猟社会（Society 1.0）、農耕社会（Society 2.0）、工業社会（Society 3.0）、情報社会（Society 4.0）に続く未来社会を目指している。ここでも、AI、IoT、ロボット、ビッグデータ解析等が基幹技術である。現代社会は、グローバル化や国際的競争の激化、人口増加や偏在化、富の集中や地域間の不平等、エネルギーや食料の需要増加と供給不足の懸念、高齢化等、国内外を取り巻く環境はますます急速に変化するとともに、情報もあふれている。このような社会では、それらの最新技術に頼らざるを得ない部分も否めない。しかし、SDGsで「誰一人残さない」に不可欠な農林水産業は、生態系を相手にする生業であり、それに加えて地球環境の保全も求められることから、それらの技術に依存した推進だけでは、ゴールにたどり着くには大きな困難が待ち構えているように思われる。

第5に3Rsである。いわゆるReduce（リデュース）、Reuse（リユース）、Recycle（リサイクル）のことである。3Rsに、熱回収（Thermal Recycle）や適正利用等を加えることもあるが、ここでは「もったいない」に象徴されるSDGsに即した物（原料を含む）の利用がポイントである。農業技術において3Rsとの関係を考えると、古くから三圃式農業に代表される耕畜連携や作付体系（輪作・間作）の

技術が存在する。関連して、近年ではカバークロープやリビング・デッドマルチの技術があり、結果として、第1の環境保全型農業や第2の有機農業を実現するための有効な手段となっている。近年“Stacked crop rotation”という栽培体系を推奨する論文がWeed Scienceに掲載された（Garrisonら2014）。この技術を簡単にいえば、同じ作物を複数回連続栽培する作付体系、例えばイネ4回、小麦3回、大豆4回、トウモロコシ3回等の繰り返しをすることである。連作は“いや地”や“薬剤抵抗性”で問題が生じるので、多少疑問符が付くものの、論文によれば、毎年作物を変更するよりも、埋土種子量の減少を含めて、土壌環境が安定化しやすいとしている。何れにせよ、土地利用型農業は3Rsを基盤として成立する生業と言える。

3. SDGs と雑草管理

雑草管理においては、作物と雑草間の競合を管理するという基本的概念に、いわゆる「選択性」がある。また、当たり前のことであるが、現場における選択性は、作物と雑草が共存して初めて成立する。そのため除草剤の選択幅（雑草を防除できるが作物に影響しない範囲）には、作物の栽培方法、雑草の発消長、さらに気象や土壌等の環境条件が複雑に関係する。別の言い方をすれば、現場における除草剤の薬効や薬害は、その有効成分が有する潜在的な殺草スペクトルや残効性だけで

表-3 雑草管理技術のPros & Cons

雑草管理作業・技術	Pros	Cons
除草剤	省力, 低コスト, 安全 (法律)	危険 (世評)
有機資材等 (*)	安全 (科学的根拠の欠如)	危険 (不純物)
耕起や中耕培土	省力, 低コスト, 安全	中労働, 高コスト (機械費), 危険 (農作業事故)
草刈機	省力, 低コスト (機械費)	
手取り	安全	重労働, 高コスト (人件費)
不耕起	省力, 低コスト	土壌圧密
ロボット	省力	高コスト

* : 土壌還元資材 (米糠, フスマ, 糖蜜, 低濃度エタノール), 植物マルチ, アレロケミカル等。

判断することは困難であり, 製剤や処理方法・時期も含めて, 作物と雑草の共存下で評価する必要がある。ここが殺虫剤や殺菌剤との大きな違いであり, SDGs との関係を考えるうえでも念頭に置くべき概念である。

(1) SDGs のゴールとの関係

はじめに書いたように, SDGs には 17 のゴールと 169 のターゲットがある。農林水産業のうち, 雑草はその全て (水の場合は陸水が中心) に関連するが, ここでは主に「農」に絞る。雑草管理も前述した農業と同様に, SDGs の実現には不可欠であり, 近年の雑草管理の目標そのものが SDGs のゴールやターゲットと密接に関連している。また, 生態学的視点からは, On-farm と Off-farm を一体的に捉えるべきであろうが, ここでは論点を整理しやすいように両者を分けて, SDGs の観点から雑草管理において開発すべき技術等について考えてみた。

まず, On-farm については, 1) 栽培環境, 2) 作物生産, 3) 雑草管理と段階的に整理することができる。

栽培環境については, 農耕地面積と作土 (土壌) の質に集約される (Helming ら 2018)。第 1 に作物栽培に必要な土地の安定的確保である。世界では, 近年土壌侵食, 塩類集積土壌, 砂漠化によって, 耕作可能な土地の面積が毎年漸減している。場面によっては可塑性が極めて限定的, または回復するために多大な労力とコストがかかることも多く, 深刻な問題と

なっている。第 2 に雑草管理を含む栽培しやすいまたは持続的な作物生産を可能にする環境である。このような作物生産の場を如何に確保するかが最大かつ基盤となる課題であり, そこにおける重要な要素として, 水, 養分, 光, 温度, 二酸化炭素 (CO₂) がある。

作物生産については, 農作物の収量や品質の確保である。それによって食料不足を解消し, 飢餓の撲滅へと導く。若干詳述すれば, 人口増加による食料需要の増大に対応して供給量を増やすには, 農地面積の拡大と単位面積当たりの収量 (単収) の増大が考えられるが, 前項で述べた生物多様性の維持を含めると後者が望ましいであろう。しかし, 農耕地を単に“植物工場”として扱い, 単収の増加を極端に求めると, 農耕地に負担がかかり, 持続性が低下する危険性が高まる。そのため, 土壌に無理をさせないことが肝要であろう。また, 収量の安定, すなわちある土地における単収の年次変動を最小限に抑えることは, 食料の量的確保だけでなく, 価格の安定にもつながり, 消費者が安心して当該農作物を入手できるようになる。一方, 品質については, 様々な消費者ニーズが存在する。具体的には, 栄養源等 (タンパク質, デンプン, アミノ酸, 繊維質等) の供給, 植物保護に関連した雑草の混入, 病気, 害虫の食痕の防止, その他にも, 味, 食感, 低アレルギー (低毒性) 等である。また, 作物生産は, 栽培環境で言及した土壌と, 水や養分等に加えて, 種子や苗と, 農作業 (ヒト, 機械) を組み

合わせることで初めて成立するとともに, 生産者のノウハウが収量や品質を決定づける。

雑草管理については, 早期発見による雑草の農耕地への侵入警戒や, 侵入・蔓延した雑草の防除, さらには雑草管理しやすい環境の維持がある。雑草管理作業や技術は様々で, 表-3 にその一部をまとめたが, それぞれ良い面 (Pros) と悪い面 (Cons) がある。詳細については後述するが, それらの質や量も, 作目, 地域, 季節等によって異なるため, 雑草管理技術の画一的な選択はできない。なお, 雑草管理しやすい環境についてはここでは割愛する。

次に Off-farm である。これについては, 生物多様性とその管理に集約される。生物多様性には, 様々な空間スケール (遺伝子, 個体 (種), 群集, 景観) と時間スケール (年次変動, 季節変動) があり, それらを望ましい方向に導くまたは維持することが求められる。ここでは, On-farm と同様またはそれ以上に求める方向を画一的に考えることは困難である一方, SDGs という大きな課題に向かって推進し, 世界規模での実効性を高めるには, 省力と低コストが必須要件となる。

さて, On-farm と Off-farm を一体的に捉えた景観管理を考えた場合, わが国は自然と農業を含む人間の生活圏がモザイク状に細かく配置されており, そのバランスを如何に維持・向上させるかが大きな課題である。また, アジアモンスーン気候に位置付けられるわが国の景観は, ヨーロッパのよう

表-4 雑草管理技術の Pros & Cons

	日本	ヨーロッパ
森林率／耕地面積率	>5	≤1
作目	水田・畑地	畑地のみ
ほ場サイズ	小	大
景観	複雑	単純
気象	モンスーン	大陸性

な大陸性気候と大きく異なる。最も大きな要因が森林と耕地面積の比である(表-4)。OECD加盟国に限定したもののだが、森林率と耕地面積率の比を取ると、カナダや日本では5を超えるのに対して、ヨーロッパで最も多いスペインでも約1、デンマークでは1/4程度であり、日本はまさに“森の国”である。

しかし、そんな日本でも草地は、過去に10～20%の面積率があったものが、現在1～2%程度まで劇的に減少している。その原因として、家畜飼料を輸入に大きく依存するようになり、草地を利用しなくなったこと、また特に中山間地において耕作放棄地が増加したこと等が挙げられる。モンスーン気候で草地を放置すれば、生態系における極相(クライマックス)である森林にまで急速に遷移する。その結果、食物連鎖の頂点にいる猛禽類の餌場がなくなるとともに、農作物の鳥獣害が増加し、さらに草地特有の固有種が減少する。このことから考えれば、草地の回復はヒトと環境の両面から重要な課題である。しかし、このような多面的機能を目指して、例えば森林と農耕地の境に草地を復活・維持するとすると、現場における管理責任の所在が明らかでないことも多く、結果としてヒトも予算も付かず、技術開発も進みにくのが現状である。しかし、里山放牧と山菜栽培の組み合わせによる草地復活の成功事例や、いわゆる企業の社会的責任(CSR)としての共通価値の創造(CSV)活動の一環として、

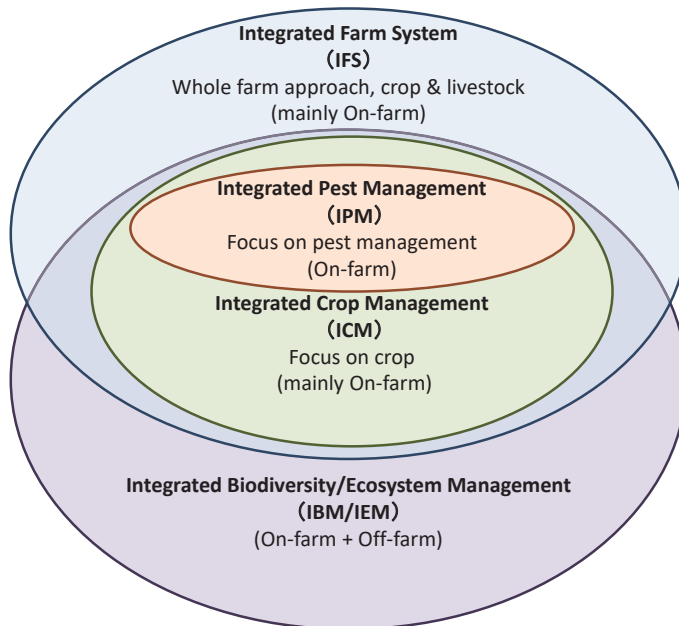


図-1 農業における各種管理の位置づけ

耕作放棄地を農耕地にする動きなどもある。後者は、環境保全をエンドポイントとした企業によるSDGsの活動として位置付けられている。また、それらの実効性を高める技術として、抑草剤や刈払いロボット等の技術があり、草地管理に必要なエネルギーやコストの削減も可能となっている。

(2) SDGsに関連した雑草管理技術

第1に総合的雑草管理、いわゆるIntegrated Weed Management (IWM)である。これは1970年代に研究が本格化した総合的病虫害管理(Integrated Pest Management, IPM)の概念から派生したものであり、環境保全型農業と深い関係にある。IWMは、1980年代にはIntegrated Crop Management (ICM)にまで発展しており、昨今は総合的生物多様性または生態系管理(Integrated Biodiversity/Ecosystem Management, IBM/IEM)を目指している(Liuら2016)。これらの技術は農耕地内外と管理対象で部類することができる(図-1)。

第2に抑草剤である。これは石塚

皓造氏や当協会の発想や提案に基づいているが、この考え方をベースにした研究(與語2010)が進められるとともに、様々な抑草剤が実用化されている。さて、この技術ニーズは、土壌侵食の問題とも大きく関わっている。特に、欧米の大陸性気候では、化学合成肥料の多投入や農薬の多用によって、土壌の団粒構造の崩壊、硝酸酸性土壌に代表されるpHの低下、塩類集積等が引き起こされ、作土が砂漠化または貧生物化する問題が顕在化している。除草剤は、別名殺草剤といわれるように雑草の枯殺を目指して開発される。一方、枯殺するだけが雑草管理の正しい方法かと問いかければ、農作物の一定レベルの収量と品質を確保するのに重要なのは「選択性(幅)」の確保であり、雑草は必ずしも枯殺する必要はない。また、雑草の根系が発達することで土壌侵食防止に繋がるメリットすらある。ただし、除草剤の利用においては、いわゆる薬量-反応曲線を想定すると、様々な環境要因がこの曲線、すなわち雑草防除効果に複雑に影響するため、完全枯殺を目指す方が扱いやすい。

第3にカバー作物やリビン

表-5 各栽培管理における除草剤抵抗性雑草発生リスク

栽培管理	リスク		
	低	中	高
除草剤の混合化や 作期内ローテーション	作用機構：>2	作用機構=2	作用機構=1
作期内の雑草管理	栽培＊，機械，除草剤	栽培＊，除草剤	除草剤のみ
1シーズンにおける同一作用機構 を有する除草剤の利用	1回	2回以上	多数
作付体系	制限なし作付体系	制限付き作付体系	なし
作用点における抵抗性発現程度	未知	限定的	一般的
雑草の分布	低	中	高
過去3年間の雑草管理	良	悪化しつつある	悪

*：栽培方法，刈後の火入れ，雑草との競合に強い作物，安定した埋土種子等

グ・デットマルチである (Keesstra ら 2016)。作期の間に栽培されるものの、作期前には枯殺されるものをカバークロープ、主作物の栽培期間中も植生を維持しているものをリビングマルチとし、デッドマルチは若干カバークロープに近い存在と考えられるものの、厳密には区別されていないようである。何れにせよ、これらの技術は、土壤侵食の防止や“いや地”の改善を含む土壤改良に役立つとされている。雑草管理の面から考えると、これら技術と強い関連があるのが、植物が有するアレロパシー（他感作用）である。実際はアレロケミカル（他感作用物質）の能力だけではなく、植物による被覆、養分や水分の競合等も関与し、それらの総和として雑草の生育を抑制する。

第4に除草剤抵抗性雑草対策である。これは第1から3と少し視点が異なる。同一作用点を有する除草剤の連続使用、つまり一方的ストレスによって、雑草の個体群が抵抗性バイオタイプ（生物型）にシフトするために、当該圃場においてその作用点を有する除草剤の効果が低下する。除草剤抵抗性雑草の国際的調査によると、2019年6月10日時点で、26種類の作用点のうち23、167種類の除草剤に対して、256種（双子葉＝149種、単子葉＝107種）の雑草において抵抗性を示す事例が示されている。これらは、作目では93種、70カ国で報告され

ており、年々増加の一途をたどっている。殺虫剤や殺菌剤も含めて、そのことに警鐘を鳴らしたのが、2008年に出されたリュブリアーナ宣言である。単に農薬の総量や数の減少を目指すのではなく、生物多様ならぬ化学的多様性、すなわち作用点異なる農薬を数多く確保することの重要性を訴えている。

殺虫剤抵抗性害虫の話ではあるが、Sudoら（2018）は、その出現を長期間抑えるための戦略、すなわち抵抗性の発達を遅延させる手法について、シミュレーションを駆使して解析した結果、殺虫剤の浸透移行性や昆虫の生活史によって、複数の殺虫剤の世代内と世代間交互処理の有効性に違いがあるとしている。雑草の場合、埋土種子や栄養繁殖器官によって増殖するため、同様に考えることはできないものの、除草剤抵抗性対策委員会（Herbicide Resistant Action Committee, HRAC）では、抵抗性雑草発現のリスクについて、栽培体系の観点から表-5のように整理している。ただし、実際の現場では、各種栽培管理方法の組み合わせや栽培歴の変遷等があり、リスクの大きさや質を単純に予測することはできない。

さて、SDGsと関連した上記4つのポイントを横断的に捉えると、人と環境の2つの視点がある。前者について浮かぶのが、効率化・省力化や低コストである。いくら効果的な技術で

あっても、主たる対象である開発途上国を念頭に置くと、コストが高い技術の導入は難しい。実際、国や地域によっては、在来品種よりも若干高価な遺伝子組換え作物の種子ですら購入できない農家もいる。一方、後者について浮かぶのが生物多様性保全や土壌侵食防止であり、このことが農業の持続性に繋がる。しかし、これらの安定化した状態は、地域や作目、さらには季節によって異なるため、SDGsと雑草管理の両立を考える際、同じベクトルまたは相反する技術という両方の側面がありうることも課題となる。

おわりに

本稿では、SDGsを雑草管理の視点までブレイクダウンしたが、今後の課題を一言で言えば、どのような理想的な状態“State-of-the-Art”を目指し、それを何年間で達成するかである。しかし、その規模を景観から全球レベルまで考えると、そこには多様な価値観に基づく様々な答えが存在する。SDGsは持続的開発目標であるが、全ての項目に対して、現状から変化すべきか、維持すべきか、また理想的な維持すべき状態とはどのようなものであろうか。人口増加を例にとると、2050年には98億人になると予想される人口増加を容認、停止、減少のどの選択肢が正しいのか、また人口自体

現実的に人間が制御できるものか。それを取り巻く環境、例えば地球温暖化は制御できるのか。何れも社会経済の実態を考えるとそう簡単に答えが出るものではないものの、それらの動向に合わせて、農作物や家畜の供給も大きく変える必要がある。

始めに述べたように、わが国は、SDGs 達成のために AI 等を利用するスマート農業を積極的に推進している。しかし一方で、生態学や環境科学のような長期の時間軸の中の複雑系を相手にする科学においては、未解明な部分が未だに多く、スマート化の対象は幅広い。そのため、明確な理屈や精度を基盤とする理工学的な対策だけでは対応できない場面に適用できる新しい知恵（技術）が求められる。また、本稿では取り上げなかったものの、グリホサート耐性作物に代表されるように、遺伝組換え技術はここ四半世紀で世界の農業分野に急速に浸透しており、最近ではゲノム編集のような新規技術も台頭してきている。農作物の効率的生産を考えると、このような新規技術の導入に際して、SDGs はどのように関係してくるのであろうか (Schwarzer 2018)。

自動車、蒸気機関車、自転車に駆動（エンジン）と制動（ブレーキ）があるように、全ての技術にベネフィットとリスクの両方を考慮する必要があるし、導入に際して社会経済的影響も無視できない。SDGs と雑草管理を考える際にも、このようなことを日常的かつ長期的に念頭に置くことが肝要であ

る（與語 2018b）。

参考文献

- 外務省 2017. 日本－持続可能な開発目標 (SDGs) 実施指針
外務省 2019. 「持続可能な開発目標」(SDGs) について
URL : https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/about_sdgs_summary.pdf
外務省 2017. 持続可能な開発のための 2030 アジェンダと日本の取り組み
URL : <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/000270587.pdf>
環境省 2017. 平成 29 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書, 第 1 章・第 3 節 : SDGs を通じた地球環境課題の解決
環境省 2018. 持続可能な開発目標 (SDGs) 活用ガイド (概要版), pp4.
環境省 2018. 持続可能な開発目標 (SDGs) 活用ガイド (本編), pp26.
環境省 2018. 持続可能な開発目標 (SDGs) 活用ガイド (資料編), pp46.
櫻井武司 2018. SDGs (持続可能な開発目標) への農学研究の課題と展望, 学術の動向, 64-67.
日本学術会議 2018. 公開シンポジウム「植物保護科学の SDGs への貢献」
農林水産省 2019. 農林水産業 × 環境・技術 × SDGs, Ver.1.0
農林水産省 2018. SDGs × 食品
URL : <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/sdgs/>
與語靖洋 2010. リグニン生合成系制御に関する生理生化学的研究, 雑草研究 55(2), 69-73..
與語靖洋 2018a. 環境変動が雑草の生態や管理の及ぼす影響, シリーズ 21 世紀の農業「大変動時代の食と農」日本農学会編, 41-58.
與語靖洋 2018b. 農業や雑草管理の視点から見た環境リスク, 植調 52 (2), 9-12.
Garrison A.J. *et al.* 2014. Stacked Crop Rotations Exploit Weed-Weed Competition for Sustainable Weed Management. *Weed Science*, 62:166-176
Gold, M. V. 2009. What is Sustainable

Agriculture? United States Department of Agriculture, Alternative Farming Systems Information Center.

Helming K. *et al.* 2018. Assessment and governance of sustainable soil management. *Sustainability*, 10, 4432; DOI: 10.3390/su10124432.

Keesstra S. *et al.* 2016. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Science of the Total Environment* 551-552, 357-366

Liu H. *et al.* 2016. Biodiversity management of organic farming enhances agricultural sustainability. *Scientific Reports* 6:23816, DOI: 10.1038/srep23816

Ohta K. and M. Funabashi. 2019. Sustainable Development Goals (SDGs) – Synecoculture -, *New Breeze*. 3-5

Schwarzer S. 2018. Alternatives for the use of glyphosate. *Foresight Brief*, Science Division, Early Warning, Engineering Issues and Futures 010.

Setboonsarng S. and E. E. Gregorio. 2017. Achieving sustainable development goals through organic agriculture: empowering poor women to build the future. *ADB Southeast Asia Working Paper Series* 15, Asia Development Bank.

Squire G. R. 2017. Defining sustainable limits during and after intensification in a maritime agricultural ecosystem. *Ecosystem Health and Sustainability* 3, 1368873

Sudo M *et al.* 2018. Optimal management strategy of insecticide resistance under various insect life histories: heterogeneous timing of selection and inter-patch dispersal. *Evolutionary Applications* 11, 271-283

Tafarini M. F. and M. Yazid. 2018. Sustainable water management in tidal lowland agriculture: A Research Agenda, *Sriwijaya Journal of Environment* 3 (3), 102-107