

持続可能な農業を目指して

高倉 弘 二 博士(工学)

高倉環境研究所, (公財)北九州国際技術協力協会

【要旨】人口の急激な増加を支えてきた慣行農業の継続が地球環境の破綻を招きかねないと危惧され、持続可能な農業が求められてから久しい。近年、北米とヨーロッパを中心に環境に配慮した農業として Regenerative agriculture(日本語訳：環境再生型農業)が注目され広がりを見せていることに対し、日本では 1992 年から環境保全型農業が推進されている。この両者を「定義」「実践方法」「得られる成果」に分けて比較することで、農地の現状が「損なわれた状態」もしくは「良好な状態」として両者の捉え方が分かれており、持続可能な農業の出発点・立ち位置が異なっていることが明確となった。

また、日本においては、持続可能な農業の展開として環境保全型農業の推進が適切であると考えられる。

キーワード：環境保全型農業、環境再生農業、持続可能な農業、土壌の健全性、土づくり

2023年8月16日

1.はじめに

科学技術の発展を振り返ると、18 世紀末以降の第 1 次産業革命(水力や蒸気機関による工場の機械化)を皮切りに 20 世紀初頭の第 2 次産業革命(電力を用いた大量生産)、1970 年代初頭からの第 3 次産業革命(電子工学や情報技術を用いた一層のオートメーション化)、そしていま現在の第 4 次産業革命(AI・IoT 及びビッグデータなどの活用による高度な知的活動と生産性向上)へと続く¹⁾。このような科学技術の進歩は急速な工業化とともに新たな産業の発展と経済活動の拡大を促すこととなり、私たちの生活の利便性も飛躍的に向上した。しかし、科学技術の発展は正の側面だけでなく負の側面も併せ持ち、地球温暖化を筆頭に地球環境に大きな負荷を与えるまでになっている。

ストックホルム・レジリエンス・センターは、人間が地球上で持続的に生存するために超えてはならない地球の環境容量を 9 つの分野に分け(①グローバルな淡水利用、②成層圏オゾンの破壊、③大気エアロゾルの負荷、④海洋酸性化、⑤窒素とリンの循環、⑥化学物質による汚染⑦土地利用変化、⑧生物多様

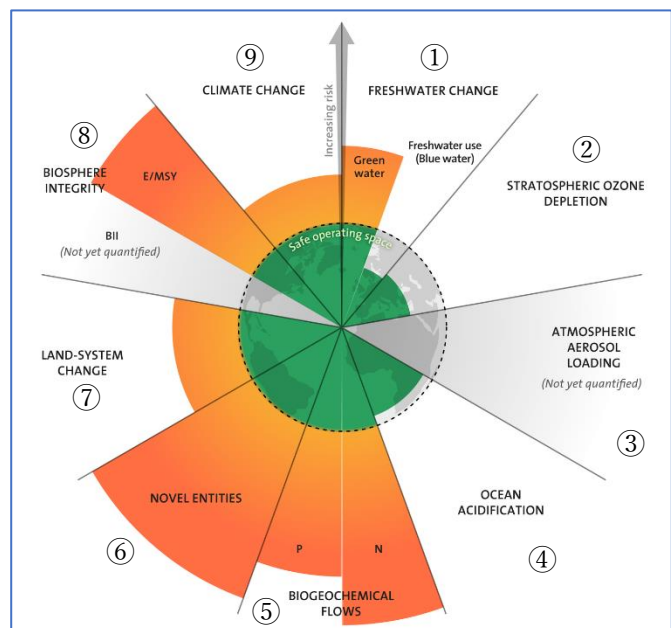


図 1 プラネタリー・バウンダリー

性の損失、⑨気候変動)、その境界(バウンダリー)をプラネタリー・バウンダリーとして評価しており、図 1 に 2022 年 4 月に公開されたプラネタリー・バウンダリーを示す²⁾。それによると①、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨の計 6 分野が既にバウンダリーを越えていると評価されており、人間の地球環境に与える負のインパクトは無視することができないほど大きくなっている。すなわち、私たちはプラネタリー・バウンダリーを越えることなく、また越えてしまった分野は修復し、限られた地球の環境容量の中で「持続可能な社会」を築いていかなければならないことは明白である。

また、世界の人口は科学技術の発展とともに確実に増えており、1950 年の約 25 億人から 1975 年約 40 億人、2000 年約 61 億人、そして 2022 年は 80 億人に達すると予想されている^{3),4)}。このような人口の急激な増加が可能になった要因の一つとして、「農業による食料の安定的な供給」をあげることができる。図 2 に示すように穀物の消費量と生産量は比例関係にあり、収穫面積の増加率からすると限られた農耕地で収穫量を向上させるべく農業技術を進歩させてきたといえる。このとき、現代の農業は作付面積当たりの収穫量(単収)を増やす効率重視に偏った取り組みであるため、GHG の大量排出、開墾による森林伐採、土壌の酸性化、富栄養化、淡水の大量灌漑使用など地球環境に対し過大な負荷を与えており⁶⁾、プラネタリー・バウンダリーの環境容量 9 分野と世界の食料システムとは密接に関係している^{7),8)}ことからすると、慣行農業が地球環境全体に対して大きな負荷をかけていることは明らかであり、その継続は地球環境の破綻を招きかねないと危惧される。大きな環境負荷をかけている慣行農業から環境に配慮した農業への転換が求められている。

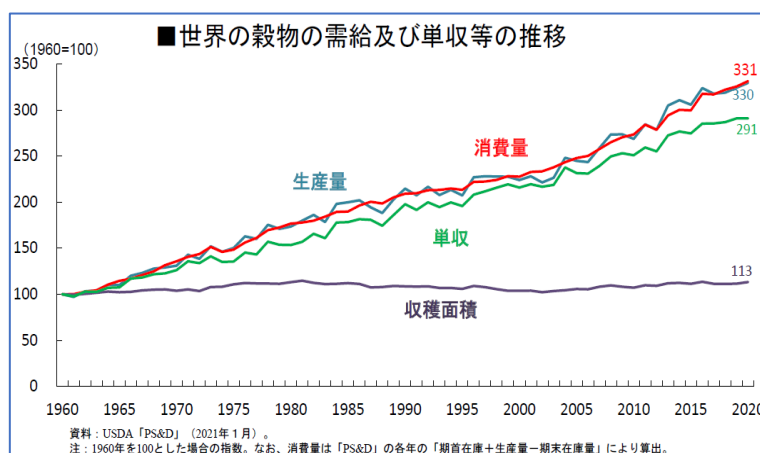


図 2 世界の穀物の需給及び単収の推移⁵⁾

2. 環境に配慮した農業への転換

海外では農業の持続可能性は将来の農業政策と実践において必要なものとして浮上しており、Barbara ら⁹⁾は、持続可能な農業実践として、①Agroecology、②Nature-inclusive agriculture、③Permaculture、④Biodynamic agriculture、⑤Organic farming、⑥Conservation agriculture、⑦Regenerative agriculture、⑧Carbon farming、⑨Climate-smart agriculture、⑩High nature value farming、⑪Low external input agriculture、⑫Circular agriculture、⑬Ecological intensification、⑭Sustainable intensification の 14 方法をあげている。これらのうち、Regenerative agriculture(以下、RA)の用語は 1982 年から使用されはじめ、研究論文数は最近急増し関心が高まっていることが示唆されている¹⁰⁾。最近、日本でも「リジェネラティブ農業」の用語が使われ始めており、RA の日本語訳として「再生型農業」または「環境再生型農業」が使用されていることが多い。

その一方で日本においては農業土壌の地力の増進を図るため「地力増進法(1984 年)」が定められ、1992 年 6 月には環境保全型農業(Environmental friendly agriculture 以下、EFA)の推進が示され、環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業を農業施策として取り組んでいるところである。

農業は気候風土、農地の規模、農作物の種類や品種、そして管理方法などさまざまな事象から影響を

受けることを考えると、地域性を考えた農業へのアプローチが必要であることから、海外での注目度が高まり、また今後日本においても浸透することも考えられる RA と日本において環境に配慮した農業として推進されている EFA の差異を明確にするため、「定義」「実践方法」「得られる成果」に分けて比較し、両者の差異を明確にすることを試みた。

3. 海外で注目される RA

RA については、現地調査や試験研究のデータとエビデンスがそろそろ北米とヨーロッパの事例がさまざまに報告されている^{※11}。

3-1. 海外における RA の取り組み

RA の用語はさまざまに使用されているもののその定義は統一されているわけではなく、研究者や実践者等により個別に定義して、もしくは何ら定義に触れることなく使用されていることが指摘されている^{12),13),14)}。すなわち、RA の解釈は研究者を含め情報発信者によって異なっており、現時点での普遍的な RA の定義は存在しないといえる。

RA の文献等における定義は「実践(プロセス)」と「成果(目的)」の二つのカテゴリーに分けることができ、Scarlett らはそれぞれのカテゴリーで使用頻度の高い項目を言及する論文数の割合で抽出している¹⁵⁾。

- ① 実践：不耕起又は減耕起(41%)、家畜の統合(41%)、カバークロップの使用(31%)、その他(輪作・水資源管理・緑肥の使用・堆肥の使用・化学合成農薬と化学肥料の使用量減または不使用)
- ② 成果：土壌の健全性改善(86%)、炭素隔離・貯留(GHG 排出量減)(64%)、生物多様性増(46%)、水資源の改善(46%)、コミュニティの社会的・経済的な幸福度増(生計の向上)(41%)、その他(生態系サービスの強化・生産性向上・食料システムの回復力改善)

3-2. RA と他の環境に配慮した農業システムの比較

環境に配慮する農業システムは RA だけでなく、既にさまざまな種類の農業システムが取り入れられており、Scarlett らがまとめた RA と他の農業システムの実践面における関連性を表 1 に示めす¹⁶⁾。この表を見ると RA は他の農業システムの実践を全て含んでいることになる。特に Organic Agriculture、Conservation Agriculture、及び Sustainable Agriculture の 3 種の農業システムの実践と、ほとんどの RA に含まれる実践とは 3 点以上共通しており、親和性が高いと考えることができる。

表 1 RA と他の農業システムの比較

Management practice ↓ Type of agriculture system	Reduce synthetic inputs	Eliminate synthetic inputs	Reduce or eliminate soil tillage	Permanent soil cover with cover crops	Crop rotation and diversification	Integrating trees (agroforestry)	Integrating animals	Pay farm workers a living wage
Regenerative	●	●	●	●	●	●	●	●
Regenerative organic		✓ (other than approved USDA)	✓	✓	✓	✓ (optional)	✓	✓
Organic	✓	✓ (other than approved USDA)						
Conservation			✓	✓	✓			
Agroecology	✓				✓	✓	✓	✓
Sustainable	✓		✓	✓	✓	✓		

● Found in most Regen Ag definitions
 ● Found in some Regen Ag definitions

- Regenerative : Regenerative Agriculture(RA)
- Regenerative organic¹⁷⁾ : アメリカ合衆国ペンシルベニア州の Rodale Institute が推進する農業システムとして「regenerative organic」を造語し、2018 年から農業認証基準として「Regenerative Organic Certified™ (ROC)」を導入
- Organic¹⁸⁾ : Organic Agriculture 外部からの農業投入ではなく、生態系管理に依存するシステム。化学肥料や化学合成農薬、動物用医薬品、遺伝子組み換えの種子や品種、防腐剤、添加物、放射線照射などの合成投入物の使用を排除し、環境や社会への潜在的影響を考慮
- Conservation¹⁹⁾ : Conservation Agriculture 最小限の土壌攪乱(不耕起)、恒久的な土壌被覆(30%以上)の維持、および植物種の多様化(3 種以上の作物栽培)を促進する農業システム
- Agroecology²⁰⁾ : 持続可能な農業と食糧システムの設計と管理に、生態学的・社会的な概念と原則を同時に適用する全体的かつ統合的なアプローチであり、10 要素を含む(①Diversity ②Co-creation and sharing of knowledge ③Synergies ④Efficiency ⑤Recycling ⑥Resilience ⑦Human and social values ⑧Culture and food traditions ⑨Responsible governance ⑩Circular and solidarity economy)
- Sustainable²¹⁾ : Sustainable Agriculture 特定の場所に適用される 5 つの要件を備える植物と動物の生産と実践の統合システム(①人の食物と繊維のニーズを満たす ②農業経済が依存する環境の質を高め、天然資源の基盤を強化 ③再生不可能な資源と農場資源を最も効率的に利用し、必要に応じて自然の生物学的サイクルと制御を統合 ④農業経営の経済性を維持 ⑤農家と社会全体の生活の質を向上)

3-3. RA の定義

RA の定義については、現時点での普遍的な定義は存在しないことを述べたが、ここで RA を論じるに当たり、その意味するところに不確実性が生じることがないように明確に定義づけする必要がある。RA の出発点はその言葉通り Agriculture(農業)であり、広辞苑²²⁾では農業を次のように説明している。「地力※1 を利用して有用な植物を栽培耕作し、また、有用な動物を飼養する有機的生産業。広義では農産加工や林業をも含む。」また、David ら²³⁾は The Oxford English Dictionary (1971)が示す農業の定義を引用し、“The science and art of cultivating the soil, including the allied pursuits of gathering in the crops and rearing live stock (sic); tillage, husbandry, farming (in the widest sense) (土壌を耕す科学

と技術であり、耕作、畜産、農業経営という関連した職業を含む(最も広い意味)”と捉えている。両者は農業の基本は土壌であることを示しており、これは誰もが同意することであろう。また、Ravjit²⁴⁾らは個々の RA の実践に関する多数の査読済み文献が土壌の炭素貯留と土壌生物学への影響を報告していることから、レビューの焦点を土壌の炭素貯留と土壌の健康改善を対象とすることに至った。そして、Schreefel ら²⁵⁾は暫定的な RA の定義として“we propose a provisional definition which defines RA as an approach to farming that uses soil conservation as the entry point to regenerate and contribute to multiple provisioning, regulating and supporting services, with the objective that this will enhance not only the environmental, but also the social and economic dimensions of sustainable food production. (持続可能な食料生産の環境面だけでなく社会・経済面も強化する目的で、複数の供給・調整・支援サービスを改善し、それらに貢献する入り口となる土壌保全に取り組む農業へのアプローチ)”を提案している。そこで、ここでの定義は、Scarlett らが示した文献等での出現頻度が高い「土壌の健全性改善」を主に置き、コミュニティの社会的・経済的な幸福度増(生計の向上)を加え、「土壌の健全性改善と維持を基本とする生態系サービスの改善(復元)により、豊かな暮らし※2づくりへの貢献を目指す農業システム」とする。

(※1 地力：土壌の性質に由来する農地の生産力と定義され²⁶⁾、具体的には、土壌の植物養分供給力(肥沃度)だけでなく、通気性、保水性、透水性、易耕性、微生物活性とその安定性などの要因が含まれる²⁷⁾。

※2 豊かな暮らし：経済活動の成果に加えて、文化の創造・享受、充実した日常生活の営み、旬の食べものやおいしい水に恵まれたくらし、環境への負荷が少なく循環を基調とし自然・生物と共に生きる生活、美しい風土、静謐な生活環境、慈愛や奉仕といった社会活動の成果を含む²⁸⁾)

3-4. 土壌の健全性とは

「土壌の健全性」の定義について、USDA-NRC (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE -Natural Resources Conservation Service)²⁹⁾では、“The continued capacity of soil to function as a vital living ecosystem that sustains plants, animals, and humans. (植物、動物、人間を維持する活力に満ちた生きた生態系として機能する土壌の継続的な能力)”とするなど、さまざまに報告されている^{30),31),32),33),34),35)}。その用語は10年以上にわたって広く使用されてきたが、それが意味するところとして正式な定義づけはされていなかったため、The Food and Agriculture Organization (FAO) が所管する The Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS) のもとで検討され、2020年10月に「土の健全性」を次のように定義した³⁶⁾。“The ability of the soil to sustain the productivity, diversity, and environmental services of terrestrial ecosystems. (陸上生態系の生産性、多様性、および環境サービス(生態系サービスと同義³⁷⁾)を維持する土壌の能力)”そして、継続した適切な土壌管理システムを実行することで、土壌の健全性を維持・増進したり、ダメージを受けた土壌を修復することも可能であるとしている。

一方、日本においても「土壌の健全性」との用語は学術文献を含めさまざまに使用されているが正式に定義されておらず、用語が持つ意味から考えると「土壌が正常に機能して、その構成が安定した状態にあること」を指し、またこのときの機能とは、農地土壌が有する公益的機能(5項目)と考えることができる^{38),39)}。

ITPS の土壌の健全性の定義は、日本で使用されている土壌の健全性の用語の意味を含んでいることから、ここでの土壌の健全性の定義は ITPS にもとづき、「陸上生態系の生産性、多様性、および生態系サービスを維持する土壌の能力」とする。

4. 日本の農業施策として推進する EFA

日本においては EFA(定義：農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業)の推進だけでなく、その時々⁴⁰⁾の社会情勢を背景として、「食料・農業・農村基本法(1999 年)」「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律(1999 年)」「有機農業の推進に関する法律(2006 年)」「農業の有する多面的機能の発揮の促進に関する法律(2015 年)」「環境と調和のとれた食料システムの確立のための環境負荷低減事業活動の促進等に関する法律(通称：みどりの食料システム法)(2022 年)」などの法律の制定、「環境と調和のとれた農業生産活動規範(2005 年)」「地力増進基本指針(2008 年)」などの指針、規範、対策、支援等の策定がなされるなど、農業施策として環境に配慮した農業システムを推進しているところである。

4-1. 食料・農業・農村基本法

日本の農業施策の拠り所である「食料・農業・農村基本法」は、①食料の安定供給の確保、②農業の有する多面的機能(14 項目⁴⁰⁾)の発揮、③農業の持続的な発展、及び④その基盤としての農村の振興を理念として掲げている。それらの関係性は図 3 のように示され⁴¹⁾、食料の安定供給の確保と農業の有する多面的機能の発揮のためには、農業の自然循環機能の維持増進が必要不可欠である。

また、国内外の社会情勢の変化を受け、当基本法の見直しが着手され、2023 年 6 月、見直し⁴²⁾の方向として、「環境負荷低減等を行う持続的な農業を主流化」とすることが示され⁴²⁾、このとき、みどりの食料システム法に基づいた取組の促進が基本となる⁴³⁾。

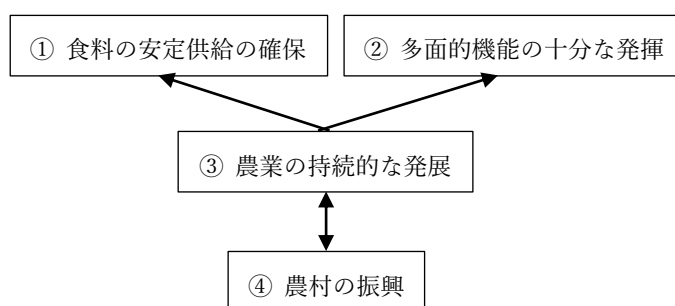


図 3 食料・農業・農村基本法の理念

4-2. みどりの食料システム法

みどりの食料システム法の環境負荷低減事業活動として、堆肥や有機質資材施用による土壌改良と化学肥料・化学合成農薬の使用量減少、そして GHG 排出量削減が明確に示され、この法律にもとづき「みどりの食料システム戦略」が策定され、政府として強力に推進していくことになる。また、みどりの食料システム戦略では「温室効果ガス削減」「農業」「食品産業」「林野」「水産」の 5 分野に分けて KPI と目標設定状況がなされており、農業分野では 2050 年までに化学合成農薬使用量 50%低減(リスク換算)・化学肥料使用量 30%低減・耕地面積に占める有機農業の割合 25%が示されている⁴⁴⁾。

なお、戦略策定に当たっては、E U 「Farm to Fork 戦略」(2020 年)(2030 年までに化学合成農薬の使用及びリスクの 50 %削減・肥料の使用を少なくとも 20%削減、有機農業に利用される農地を少なくとも 25%に到達等)の発表を背景としており⁴⁵⁾、またアメリカ農務省「農業イノベーションアジェンダ」(2020 年)(2050 年までに土壌健全性と農業における炭素貯留を強化し、農業部門の現在のカーボンフットプリントを純減・水への栄養流出を 30%削減等)の影響を受けたもの⁴⁶⁾と考えられる。

4-3. 環境に配慮した農業の推進

日本における環境に配慮した農業システムは、農業施策として EFA の推進をベースに展開を図り、

みどりの食料システム法に基づき有機農業等の取組を大幅に拡大することを目指すこととなる。(図 4)

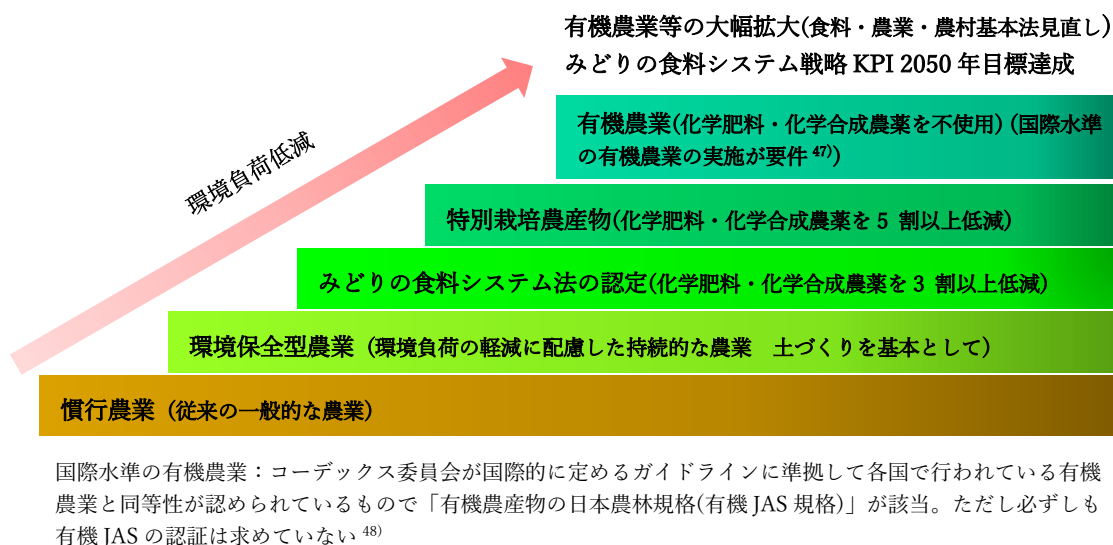


図4 日本の環境に配慮した農業の推進

4-4. EFA の実践と得られる成果

EFA の具体的な実践としては、地力増進基本指針の適切な土壌管理⁴⁹⁾及び環境保全型農業直接支払交付金の対象活動として示されており⁵⁰⁾、次のように整理できる。

- ① 実践：堆肥の施用、土壌・作物診断等に基づく適正な施肥、有機農業、不耕起栽培、多毛作及び輪作、カバークロップの使用、IPM(Integrated Pest Management：総合的病害虫・雑草管理)、土壌改良資材の施用、水田管理、耕運管理
(土づくりを基本とする EFA の推進を基本として、食料・農業・農村基本法の理念の実現と地力の増進を目指している)
- ② 成果：食料の安定供給の確保、農業の多面的機能(14 項目)の発揮、農地土壌が有する公益的機能(5 項目)の発揮、地力の増進

5. RA と EFA との比較

RA と日本の EFA について「定義」「実践方法」「得られる成果」に分けて比較した。

5-1.RA と EFA の定義の比較

(1) RA の定義：

土壌の健全性改善と維持を基本とする生態系サービスの改善(復元)により、豊かな暮らしづくりへの貢献を目指す農業システム

(2) EFA の定義：

農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業

表2 RA と EFA の定義の比較

	RA	EFA	備考
農業の基本	土壌の健全性を基本	土づくりを基本	共に土壌を基本とする
対象	農業を通じて環境・経済・社会へと広範囲	環境と農業	EFA はその推進を通じて「農村振興」を目指しており、環境・経済・社会も対象としていると推察
改善	生態系サービスの改善(復元)	環境負荷の軽減	RA は EFA よりも幅が広い
利用する機能	生態系サービス (生態系サービスのうち基盤サービスは栄養循環、水循環を含む)	農業の物質循環機能 (食料・農業・農村基本法でいう農業の自然循環機能に該当)	RA は生態系サービスという多様なサービスを活かすため EFA よりも幅が広い

RA と EFA の定義を比較すると、両者ともに農業の基本を「土壌」に置き、「対象」「改善」及び「利用する機能」は共通する部分があるものの RA はそれらの範囲をより広く捉えている。

5-2.RA と EFA の実践方法の比較

(1) RA の実践方法：

RA の実践方法は、Scarlett らが整理した 10 方法(化学合成農薬・化学肥料・堆肥・緑肥・輪作・カバークロップ・不耕起・減耕起・他業種と融合・土壌浸透水)とする。

(2) EFA の実践方法：

EFA の実践方法は、地力増進基本指針の適切な土壌管理及び環境保全型農業直接支払交付金の対象活動として示されている方法とする。

表3 RA と EFA の実践方法の比較

	RA	EFA	備考
農薬	化学合成農薬の使用量減または不使用		共通
	(ー)	IPM の実践	IPM(総合的病虫害・雑草管理)は RA と親和性が高く ⁵¹⁾ 実践に含まれると考えられる
施肥	化学肥料の使用量減または不使用		共通
	堆肥の使用		共通
	(ー)	土壌・作物診断等に基づく適正な施肥	RA も実践していると考えられる
緑肥	緑肥の使用	緑肥の作付け	共通
		リビングマルチ(主作物の畝間に緑肥を作付け)	RA も「living mulch」として含んでいると考えられる
		草生栽培(果樹又は茶の園地に緑肥を作付け)	RA も「sod culture」として含んでいると考えられる
輪作等	輪作		共通
	(ー)	多毛作	地力の維持・増進のための大豆等の作物や緑肥の栽培 ^{52),53)} RA の緑肥は多毛作を含むと考えることができる
土壌被覆	カバークロップの使用		共通 カバークロップは緑肥・リビングマルチ・草生栽培を含む ⁵⁴⁾

副資材	--	土壌改良資材の施用	土づくりの促進
	--	バイオ炭の投入	地力向上・炭素貯留
耕耘	不耕起		共通
	減耕起(Reduce Tillage)	--	EFA には含まれていないが「省耕起※3 栽培」も実施している
	--	耕耘整地上の改善	土壌侵食に対する畝立ての工夫(地域性)
他業種との融合	家畜と融合(integration of livestock)※4	--	EFA には含まれていないが「放牧活用型畜産※5」に近い(地域性)
	林業と融合(integrating animals(Agroforestry※6))	--	(地域性)
水資源	土壌浸透水の増加/水資源管理	--	土壌浸透水は土づくりの成果として得られる
水田管理	--	長期中干し	メタンガス等 GHG 発生抑制(地域性)
	--	秋耕(秋季に耕うん)	メタンガス等 GHG 発生抑制(地域性)
	--	冬期湛水管理	生物多様性 IPM
	--	江の設置	水生生物の生育(地域性)
	--	水田ピオトープ	夏季に実施(地域性)
その他	--	斜面分割	斜面長を短くする(土壌侵食・流出抑制)(地域性)

※3 省耕起栽培例：慣行農業と比較して、「春整地2回と収穫後プラウ耕起(深さ25cm)を春整地1回(深さ10cm)のみ行なう」⁵⁵⁾、「耕起回数を減らす」⁵⁶⁾、「収穫後にプラウ耕起(耕起深約25cm)および春先に砕土・整地(同約13cm)を春先に整地(同約13cm)のみを行う」⁵⁷⁾

※4 家畜と農業の融合：農作物栽培と同時に家畜を飼育し、輪作作物として動物用の飼料を生産に組み込む⁵⁸⁾。

※5 放牧活用型畜産：大幅な省力化とコスト低減が期待できる放牧飼養を組み入れることで、農地保全と低コストで高付加価値な畜産物生産を両立させ収益性向上を目指した畜産体系⁵⁹⁾

※6 アグロフォレストリー：3つのパターンがある「①農林複合システム：樹木及び農作物の同時生産」「②林畜複合システム：樹木と飼料用作物または林間放牧を組み合わせた生産」「③農林畜複合システム：樹木生産下で農作物と飼料用作物を交互に生産」⁶⁰⁾

(--)：直接的な記述はないが含まれていると考えられる

RA の実践方法の10方法のうち、EFA と共通する実践方法は7方法であった。RA で推奨される「他業種との融合(家畜と融合・林業と融合)」については、日本では耕種農業と畜産業、耕種農業と林業は分業体制になっていることから EFA として推進まではしていないと考えられ、逆に北米とヨーロッパでは水稻栽培を実施していないため、水田管理に係わる実践は適用されないなどの地域性が表れている。また、「土壌浸透水の増加」については、土づくりの成果として得ることができる。

RA と EFA の実践方法について比較した結果、両者に大きな差異はないといえる。

5-3.RA と EFA の得られる成果の比較

(1) RA の成果：

RA の成果については、Scarlett らが整理した8項目(土壌の健全性改善・炭素隔離と貯留・生物多様性増・水資源の改善・コミュニティの幸福度増・生態系サービスの強化・生産性向上・食料システムの回復力改善)とする。なお、土壌の健全性は「陸上生態系の生産性」「陸上生態系の多様性」「生態系

サービス」に分かれ、さらに「生態系サービス」は「供給サービス」「調整サービス」「文化的サービス」「基盤サービス」「生息・生育地サービス」を含む^{61),62)}。

(2) EFA の成果：

EFA の成果については、土づくりを基本とする EFA の推進が食料・農業・農村基本法の理念の実現と地力の増進を目指していることから、食料の安定供給の確保、農業の多面的機能(14 項目)の発揮、農地土壌が有する公益的機能(5 項目)の発揮、地力の増進とする。

表 4 RA と EFA の成果の比較

	RA	EFA	備考
土 壌 の 改 善・土 づ く り か ら 得 ら れ る も の	土壌の健全性(健康)改善	地力の増進	同様
	①陸上生態系の生産性	食料の安定供給 作物生産(公益的機能)	陸上生態系の生産性は繊維等食料 以外も含む
	②陸上生態系の多様性	生物多様性保全(公益的機能),(多面的機能)	同様
	③生態系サービスのうち供給サービス		
	食料供給	食料の安定供給 作物生産機能(公益的機能)	共通
	水流の調整及び浄水を含む水供給	河川流況安定・地下水涵養機能(多面的機能)	共通
	燃料及び繊維などの原材料供給	—	
	遺伝資源維持向上と提供	生物多様性保全(公益的機能),(多面的機能)	同様
	薬用資源及び他の生化学資源提供	生物多様性保全(公益的機能),(多面的機能)	同様
	観賞用資源提供	生物多様性保全(公益的機能),(多面的機能)	同様
	③生態系サービスのうち調整サービス		
	大気質調整	大気の浄化(公益的機能) 大気調節(多面的機能)	共通
	気候調整	大気調節(多面的機能)	同様
	局所災害の緩和	洪水防止(多面的機能)	同様
	水量調整	河川流況安定・地下水涵養(多面的機能)	共通
	水質浄化	水質の浄化(公益的機能)(多面的機能)	共通
	土壌浸食の抑制	土壌浸食(流出)防止(多面的機能), 土砂崩壊防止(多面的機能)	共通
	地力(土壌肥沃度)の維持	地力の増進	共通
	花粉媒介	—	
	生物学的コントロール	実践の IPM が該当	同様
	③生態系サービスのうち文化的サービス		
	自然景観の保全	土地空間保全(多面的機能)	共通
	レクリエーションや観光の場と機会	伝統文化の保存(多面的機能)	同様
	文化、芸術、デザインへのインスピレーション	地域社会の振興(多面的機能) 人間性の回復(多面的機能)	同様

	神秘的体験		同様
	科学や教育に関する知識	人間教育(多面的機能)	同様
	③生態系サービスのうち基盤サービス		
	炭素隔離	炭素貯留(公益的機能)	共通
	土壌形成	地力の増進	共通
	栄養循環	有機性廃棄物分解(多面的機能) 物質循環(公益的機能)	共通
	水循環	物質循環(公益的機能)	共通
	③生態系サービスのうち生息・生育地サービス		
	生息・生育環境の提供	—	生物多様性保全(公益的機能),(多面的機能)に近い
	遺伝的多様性の維持	生物多様性保全(公益的機能),(多面的機能)	共通
その他	炭素隔離・貯留	炭素貯留(公益的機能)	共通
	生物多様性増	生物多様性保全(公益的機能),(多面的機能)	共通
	水資源の改善	河川流況安定・地下水涵養(多面的機能)	共通
	コミュニティの社会的・経済的な幸福度増(生計の向上)	地域社会の振興(多面的機能)	同様
	生態系サービスの強化	—	RA と EFA の取り組み推進が該当
	生産性向上	作物生産(公益的機能)	同様
	食料システムの回復力改善	—	地域社会の振興(多面的機能)に近い
	—	資源の過剰な集積・収奪防止(多面的機能)	

RA 及び EFA から得られる効果として 37 項目抽出し、両者に共通すると考えられるものは 16 項目、ほぼ同じ内容を含んでいると考えることができるものは 14 項目、内容が近いと考えられるもの 3 項目、該当しないと考えられるものは 4 項目であった。

37 項目中、両者の内容が同様以上が 30 項目(81%)、内容が近いものも含めると 33 項目(89%)であり、RA と EFA から得られる成果を比較した結果、両者に大きな差異はないといえる。

6. 持続可能な農業を目指して

北米とヨーロッパを中心に環境に配慮した農業として注目され広がりを見せている RA と日本における環境に配慮した農業として推進されている EFA とを、「定義」「実践方法」「得られる成果」に分けて比較した結果、両者は共に土壌の健全性・土づくりを基本とする農業へのアプローチであり、同様の実践方法で取り組み、得られる成果も同様であると考えられる。

その一方で RA と EFA の用語が示す通り、事象の捉え方の立ち位置が、Regenerative(再生)と保全であり、ここに大きな相違点がある。この違いを考えるうえで日本の自然再生推進法で定める「自然再生(Nature Restoration)」における保全と再生の考え方⁶³⁾と Piero⁶⁴⁾が示す Restoration と Regenerative の考え方を参考にすると次のように表すことができる。

- ・ 保全：良好な状態が現存していることに対して、その状態を積極的に維持する行為
- ・ 再生(Restoration)：良好さが損なわれた状態に対して、その損なわれた状態を取り戻す行為

- ・ 再生(Regenerative)：良好さが損なわれた状態に対して、その損なわれた状態を取り戻し、想定される元の状態よりもより良くする行為

これらの言葉が持つ意味を加味して RA と EFA を考察すると、「北米やヨーロッパで RA に注目する地域では、損なわれた状態の農地が多く存在し、これを修復し、さらにより良い状態に改善する RA として持続可能な農業を目指すことである。これに対して、日本では基本的に良好な状態で維持されている農地がほとんどを占めていることから、EFA として持続可能な農業を目指している」と考えることができる。すなわち RA と EFA の出発点・立ち位置が違っており、ITPS⁶⁵⁾が環境への悪影響を最小限にとどめながら食料供給の増加を目指すための土壌に関する戦略が示す「土壌劣化による生産性の低下を防ぐことと過去において生産性が低下してしまった土壌の生産性を回復すること」のうち、RA は後者を主に置き、EFA は前者を主に置くことになる。

農業は気候風土などさまざまな事象から影響を受けるものであり、目指す成果は同様であっても、それぞれの地域で取り入れる最適な技術・システム等は異なることは当然のことである。RA についての評価は北米やヨーロッパに偏っていることが憂慮されており⁶⁶⁾、また、普遍的な定義がなされていないことなどから「Greenwashing のリスク」が潜む懸念が示されている^{67),68),69)}。

これらのことから、日本においては持続可能な農業を展開する場合、RA の考え方も参考にしたうえで、法整備等さまざまな技術・システム、支援策等が整い、日本の農業施策として展開する EFA の推進が適切であるといえるであろう。

なお、RA の日本語訳として「再生型農業」または「環境再生型農業」が使用されていることが多い。このときの「再生」の用語が意味するところは、自然再生推進法で定める「自然再生」の「再生」の用語が意味することと同様であると捉えてはならない。環境省で用いる「自然再生」の英訳は「Nature Restoration」であり、「Regenerative」の意味を表していない。そのため、RA の日本語訳としては誤解が生じないように「リジェネラティブ農業」が適していると考えられる。

参考文献等

- 1) 内閣府：第2章 新たな産業変化への対応（第1節），https://www5.cao.go.jp/keizai3/2016/0117nk/n16_2_1.html, (2023-06-09 参照)
- 2) Stockholm Resilience Center : Planetary boundaries, <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html> ,(2023-06-09 参照)
- 3) Department of Economic and Social Affairs Population Division(UN) : World Population Prospects 2022,<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/MostUsed/>, (2023-06-09 参照)
- 4) Department of Economic and Social Affairs Population Division(UN) : World Population Prospects 2022 Summary of Results,https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa/pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf, (2023-06-09 参照)
- 5) 農林水産省：食料安全保障アドバイザーボード第2回会合 議題：食料の安定供給に関するサプライチェーン上の課題、世界の食料需給の動向について 資料 2:世界の食料需給の動向,<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/anpo/attach/pdf/adviserr3-5.pdf>, (2023-06-09 参照)
- 6) Joseph Poore, Thomas Nemecek : Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers, Science 360, 987–992 (2018),, [http://josephpoore.com/Poore%20and%20Nemecek%20\(2018\)%20Reducing%20foods%20environmental%20impacts%20through%20producers%20and%20consumers.pdf](http://josephpoore.com/Poore%20and%20Nemecek%20(2018)%20Reducing%20foods%20environmental%20impacts%20through%20producers%20and%20consumers.pdf), (2023-06-09 参照)
- 7) Food Planet Prize : Global food production must stay within the planet’s safe boundaries, <https://foodplanetprize.org/news/global-food-production-must-stay-within-the-planets-safe-boundaries/> , (2023-06-09 参照)
- 8) Scarlett Benson. et al. : Aligning regenerative agricultural practices with outcomes to deliver for people, nature and climate, The Food and Land Use Coalition(2023), <https://www.foodandlandusecoalition.org/wp-content/uploads/2023/01/Aligning-regenerative-agricultural-practices-with-outcomes-to-deliver-for-people-nature-climate-Jan-2023.pdf>, (2023-06-09 参照)
- 9) Barbara Pia Oberč ら : Approaches to sustainable agriculture, IUCN, Brussels, Belgium, <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.07.en>, (2023-06-09 参照)
- 10) Peter Newton, Nicole Civita, Lee Frankel-Goldwater, Katharine Bartel and Colleen Johns : What is Regenerative Agriculture?, Frontiers in Sustainable Food Systems Volume 4 - 2020,<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.577723/full>, (2023-06-09 参照)
- 11) Scarlett Benson. et al. ・前掲(8)
- 12) Peter Newton ら ・前掲(10)
- 13) L. Schreefel, R.P.O. Schulte ,I.J.M. de Boer, A. Pas Schrijver, H.H.E. van Zanten : Regenerative agriculture – the soil is the base, Global Food Security Volume 26 (2020),<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912420300584> ,(2023-06-09 参照)
- 14) Scarlett Benson. et al. ・前掲(8)
- 15) Scarlett Benson et al. ・前掲(8)
- 16) Scarlett Benson ら ・前掲(8)
- 17) Rodale Institute : Regenerative Organic Agriculture, <https://rodaleinstitute.org/why-organic/organic-basics/regenerative-organic-agriculture/>, (2023-06-09 参照)
- 18) FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations) : What is organic agriculture? ,

- [https://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq1/en/#:~:text=%22Organic%20agriculture%20is%20a%20holisti,\(2023-06-09 参照\)](https://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq1/en/#:~:text=%22Organic%20agriculture%20is%20a%20holisti,(2023-06-09 参照))
- 19) FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations) : Conservation Agriculture, [http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/,\(2023-06-09 参照\)](http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/,(2023-06-09 参照))
 - 20) FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations) : Agroecology Knowledge Hub, [https://www.fao.org/agroecology/overview/en/,\(2023-06-09 参照\)](https://www.fao.org/agroecology/overview/en/,(2023-06-09 参照))
 - 21) USDA-NIFAFAO(UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE National Institute of Food and Agriculture) : Legal Definition of Sustainable Agriculture, [https://www.nifa.usda.gov/grants/programs/sustainable-agriculture-programs#:~:text=Legal%20Definition%20of%20Sustainable%20Agriculture,human%20food%20and%20fiber%20needs,\(2023-06-09 参照\)](https://www.nifa.usda.gov/grants/programs/sustainable-agriculture-programs#:~:text=Legal%20Definition%20of%20Sustainable%20Agriculture,human%20food%20and%20fiber%20needs,(2023-06-09 参照))
 - 22) 広辞苑 : [https://sakura-paris.org/dict/%E5%BA%83%E8%BE%9E%E8%8B%91/prefix/%E8%BE%B2%E6%A5%AD,\(2023-06-09 参照\)](https://sakura-paris.org/dict/%E5%BA%83%E8%BE%9E%E8%8B%91/prefix/%E8%BE%B2%E6%A5%AD,(2023-06-09 参照))
 - 23) David R. Harris ら : Agriculture Definition and Overview, Encyclopedia of Global Archaeology (Claire Smith, Ed.). Springer, New York. pp 104-113, [https://www.researchgate.net/publication/301345493,\(2023-06-09 参照\)](https://www.researchgate.net/publication/301345493,(2023-06-09 参照))
 - 24) Ravjit Khangura et al. : Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health, Sustainability 15(3):2338 2023, [https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/2338,\(2023-06-09 参照\)](https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/2338,(2023-06-09 参照))
 - 25) L. Schreefel ら・前掲(13)
 - 26) 農林水産省 : 地力増進法, [https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/attach/pdf/houritu-1.pdf,\(2023-06-09 参照\)](https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/attach/pdf/houritu-1.pdf,(2023-06-09 参照))
 - 27) 農業技術事典 : 土壌肥沃度, ルーラル電子図書館 一般社団法人農山漁村文化協会, [https://lib.ruralnet.or.jp/nrpd/#box_search=%E5%9C%B0%E5%8A%9B&kensuu=100&sort=0&logic=1&page=0&buoya=&koumoku=13764&db=&uid=0,\(2023-06-09 参照\)](https://lib.ruralnet.or.jp/nrpd/#box_search=%E5%9C%B0%E5%8A%9B&kensuu=100&sort=0&logic=1&page=0&buoya=&koumoku=13764&db=&uid=0,(2023-06-09 参照))
 - 28) 内閣府 : 豊かで安心できる暮らし部会報告, <https://www5.cao.go.jp/j-j/keikaku/kurashi1-j-j.html>
 - 29) USDA-NRCS (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE Natural Resources Conservation Service) : What is Soil Health?, [https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/soils/soil-health,\(2023-06-09 参照\)](https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/soils/soil-health,(2023-06-09 参照))
 - 30) FAO, Rome : An international technical workshop Investing in sustainable crop intensification: The case for improving soil health, Integrated Crop Management Vol.6-2008, [https://www.fao.org/3/i0951e/i0951e.pdf ,\(2023-06-09 参照\)](https://www.fao.org/3/i0951e/i0951e.pdf ,(2023-06-09 参照))
 - 31) D.C. Yoder ら : Soil health: Meaning, measurement, and value through a critical zone lens, Journal of Soil and Water Conservation January 2022, 77 (1) 88-99, [https://doi.org/10.2489/jswc.2022.00042,\(2023-06-09 参照\)](https://doi.org/10.2489/jswc.2022.00042,(2023-06-09 参照))
 - 32) John W. Doran ら : Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality, Applied Soil Ecology 15 (2000) 3–11, [https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=agronomyfacpub,\(2023-06-09 参照\)](https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=agronomyfacpub,(2023-06-09 参照))
 - 33) Ee Ling Ng ら : The Search for the Meaning of Soil Health: Lessons from Human Health and Ecosystem health, Sustainability 2019; [https://doi.org/10.3390/su11133697 ,\(2023-06-09 参照\)](https://doi.org/10.3390/su11133697 ,(2023-06-09 参照))
 - 34) Sudarsan Biswas ら : Soil health sustainability and organic farming: A review, Journal of Food,

- Agriculture & Environment Vol.12(3&4),https://www.researchgate.net/publication/267038963_Soil_health_sustainability_and_organic_farming_A_review,(2023-06-09 参照)
- 35) Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso ら : Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?, Scientia Agricola. v.70,n.4,p.274-289(2013),<https://www.scielo.br/j/sa/a/WDK9YhnmxmXGbkK3rzWJ6Qm/?format=pdf&lang=en>,(2023-06-09 参照)
- 36) The Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS) : TOWARDS A DEFINITION OF SOIL HEALTH 2020, <https://www.fao.org/3/cb1110en/cb1110en.pdf>,(2023-06-09 参照)
- 37) The International Tropical Timber Organization (ITTO) : Environmental services, https://www.itto.int/sustainable_forest_management/environmental_services/,(2023-06-09 参照)
- 38) 農林水産省生産局環境保全型農業対策室 : 農地土壌が有する多様な公益的機能と土壌管理のあり方 (1),https://www.maff.go.jp/j/study/kankyo_hozen/02/pdf/data1.pdf,(2023-06-09 参照)
- 39) 農林水産省 : 「今後の環境保全型農業に関する検討会」報告書, https://www.maff.go.jp/j/study/kankyo_hozen/pdf/h2004_report.pdf,(2023-06-09 参照)
- 40) 農林水産省 : 農業・農村の有する多面的機能, https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/nougyo_kinou/,(2023-06-09 参照)
- 41) 農林水産省 : 食料・農業・農村基本法の概要,<https://www.maff.go.jp/j/basiclaw/attach/pdf/index-1.pdf>,(2023-06-09 参照)
- 42) 農林水産省 : 食料安定供給・農林水産業基盤強化本部(第4回)資料3 食料・農業・農村政策の4本柱と今後の方向性,https://www.kantei.go.jp/jp/singi/nousui/shokunou_dai4/siryous3.pdf,(2023-06-09 参照)
- 43) 農林水産省 : 食料安定供給・農林水産業基盤強化本部(第4回)資料5 食料・農業・農村政策の新たな展開方向,https://www.kantei.go.jp/jp/singi/nousui/shokunou_dai4/siryous5.pdf,(2023-06-09 参照)
- 44) 農林水産省 : みどりの食料システム戦略の実現に向けて令和5年1月, <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/houritsu-73.pdf>,(2023-06-09 参照)
- 45) 原直毅 : みどりの食料システム戦略ー持続可能な食料システムの実現ー,立法と調査 439号 pp.49-64 (2021), https://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/rippou_chousa/backnumber/2021pdf/20211001049s.pdf,(2023-06-09 参照)
- 46) 農林水産省 : みどりの食料システム戦略(概要), <https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/youki/attach/pdf/jichinet-73.pdf>,(2023-06-09 参照)
- 47) 農林水産省 : 令和5年度環境保全型農業直接支払交付金の手引き,https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/attach/pdf/mainp-133.pdf,(2023-06-09 参照)
- 48) 栃木県農政部 : 栃木県有機農業推進計画(3期計画),<https://www.pref.tochigi.lg.jp/g04/work/nougyou/keiei-gijyutsu/documents/tochigi-yuuki-keikaku202103.pdf>,(2023-06-09 参照)
- 49) 農林水産省 : 地力増進基本指針の公表について, https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf,(2023-06-09 参照)
- 50) 農林水産省 : 環境保全型農業直接支払交付金取組事例, https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/attach/pdf/mainp-14.pdf,(2023-06-09 参照)
- 51) Timo Falkenberg ら : Integrated Pest Management (IPM) and One Health - a call for action to integrate, Current Opinion in Insect Science 53(2022), <https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.100>

960,(2023-06-09 参照)

- 52) 農林水産省生産局環境保全型農業対策室・前掲(38)
- 53) 農林水産省生産局環境保全型農業対策室：農地土壌が有する多様な公益的機能と土壌管理のあり方 (3),https://www.maff.go.jp/j/study/kankyo_hozen/04/pdf/data1.pdf, (2023-06-09 参照)
- 54) 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター：環境保全型農業のためのカバークロップ導入の手引き (Ver.1.0) , https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/narc_covercrop_man.pdf, (2023-06-09 参照)
- 55) 農林水産省生産局環境保全型農業対策室・前掲(38)
- 56) 石橋 英二：水稻の不耕起直播栽培における温室効果ガスの発生実態の解明と削減技術の開発,岡山県農林水産総合センター農業研究所研究報告 第 3 号,pp.41－111(2012),<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010851456.pdf>, (2023-06-09 参照)
- 57) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構：普通黒ボク土輪作畑の土壌炭素蓄積量に及ぼす省耕起と有機物投入の効果,<https://www.naro.affrc.go.jp/org/harc/seika/h22/HOKUNOUKEN/H22seika-340.pdf>, (2023-06-09 参照)
- 58) Rodale Institute：What is integrated crop-livestock?,<https://rodaleinstitute.org/blog/10-tips-for-adding-livestock-to-your-crop-rotation/>, (2023-06-09 参照)
- 59) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構：放牧活用型畜産, <https://www.naro.go.jp/laboratory/nilgs/houboku/index.html>, (2023-06-09 参照)
- 60) 千田雅之：アグロフォレストリー(林畜複合経営)の統合力と存続条件,農業経営研究 55 巻 3 号 pp. 14-25(2017),<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010920120.pdf>, (2023-06-09 参照)
- 61) 環境省：生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書, <https://www.env.go.jp/content/900489555.pdf>, (2023-06-09 参照)
- 62) 環境省：価値ある自然 生態系と生物多様性の経済学:TEEB の紹介, https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/library/files/TEEB_pamphlet.pdf, (2023-06-09 参照)
- 63) 環境省：自然再生推進法 Q&A 自然再生って何?,<https://www.env.go.jp/nature/saisei/contact/qa/qa1.html>, (2023-06-09 参照)
- 64) Piero Morseletto：Restorative and regenerative Exploring the concepts in the circular economy, Journal of Industrial Ecology 2020;24:763–773, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jiec.12987>, (2023-06-09 参照)
- 65) 高田裕介ら：Status of the World's Soil Resources(SWSR)–Technical Summary 世界土壌資源報告：要約報告書, 農業環境技術研究所報告 第 35 号,pp.119－153(2016),<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/publish/bulletin/niaes35-3.pdf>, (2023-06-09 参照)
- 66) Scarlett Benson ら・前掲(8)
- 67) IFOAM Organics Europe：Regenerative Agriculture & Organic Position Paper,2023,https://www.organicseurope.bio/content/uploads/2023/02/IFOAMOE_PositionPaper_RA_final_202302.pdf?dd, (2023-06-09 参照)
- 68) Andrea Beste：Greenwashing & high tech! FAKING IT: (UN-)SUSTAINABLE SOLUTIONS FOR AGRICULTURE,August 2022, https://www.gesunde-erde.net/media/fakesustainability_end_english_1.pdf, (2023-06-09 参照)
- 69) Ethan Gordon ら：Regenerative agriculture: a potentially transformative storyline shared by nine

discourses, Sustainability Science volume 18, pages1833–1849 (2023), file:///C:/Users/kitapc-6/Downloads/s11625-022-01281-1.pdf,(2023-06-09 参照)