

グリーンインフラの多面的機能の評価に向けた ライフサイクルインベントリ分析

新井 優希¹・秀島 栄三²

¹ 学生正会員 名古屋工業大学 工学部社会工学科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: y.arai.797@stn.nitech.ac.jp

² 正会員 名古屋工業大学教授 工学研究科社会工学専攻 (同上)
E-mail: hideshima.eizo@nitech.ac.jp

自然環境が有する機能を活用し、環境面や防災面で効果を得ようとするグリーンインフラに期待が寄せられているが、その多面的な機能を定量的に評価することは難しい。本研究では気候緩和機能、大気浄化機能、水質浄化機能について整備、供用、維持管理といったライフサイクルを通じての環境負荷物質の収支を明らかにすることを試みる。具体的には水田を例にライフサイクルインベントリ分析を行い、環境負荷物質の収支を事業段階別に集計する。結果として気候緩和機能、大気浄化機能においては吸収量が排出量を上回り、効果を発揮している。水質浄化機能においては排出量が吸収量を上回るものの営農段階において一定の浄化能力を有していると言える。

Key Words: *green infrastructure, life cycle inventory analysis, environmental load, climate mitigation, air purification, water purification*

1. はじめに

近年、地球環境問題が深刻さを増しており、改善に向けた取り組みや研究が活発に進み、いかにして持続可能な社会を実現するかに関心が集まっている。こうした社会情勢の中で、国内外においてグリーンインフラストラクチャー（以下、「グリーンインフラ」という。）への期待が高まっている。グリーンインフラとは、自然環境が有する多面的な機能を活用し、地域の魅力・居住環境の向上や防災・減災等の多様な効果を得ようとするインフラや土地利用計画のことである。その代表的な例である農地では、グリーンインフラという新たな概念が登場したことで、環境面の機能をはじめとした多面的な機能を活用する動きが実際に出てきている。日本学術会議農業・森林の多面的機能に関する特別委員会¹⁾によると、農地は環境面の機能として、気候緩和機能、大気浄化機能、水質浄化機能を有するとしている。気候緩和機能は、温暖化の原因である温室効果ガスを吸収して気候を緩和し、大気浄化機能は、大気汚染ガスである窒素酸化物、硫黄酸化物を吸収して大気を浄化し、水質浄化機能は、有機汚濁の原因である有機物、富栄養化の原因である窒素、リンを吸収して水質を浄化する機能である。農地は

農作物の生産だけでなく、以上のような環境面の機能も有しており、その活用に注目が集まっている。しかし、グリーンインフラは新たな概念であるがゆえ、その多面的な機能の定量的な評価手法が確立されておらず、農地を含め、グリーンインフラの新規事業としての拡大の妨げとなっている。既往研究では、費用便益分析の枠組みによりグリーンインフラの各機能の定量的な評価を行ったものがいくつか挙げられるが、気候緩和機能、大気浄化機能、水質浄化機能といった環境面の機能は、グリーンインフラの供用中の環境負荷物質の吸収量による定量化にとどまっており、建設、維持管理、撤去を含めたライフサイクル全体での環境負荷物質の収支による定量化までは行っていない。どの物質が事業のどの段階で何を原因として排出、吸収されるかまでは明らかにしていない。グリーンインフラの環境面の機能を定量的に評価するならば、前段階として、ライフサイクルを通じた事業全体での環境負荷物質の収支を明らかにすることで、各機能をライフサイクル全体の視点から定量化する必要があると考える。本研究では、グリーンインフラの農地として水田を例にとり、ライフサイクルインベントリ分析により、水田事業のライフサイクル全体における環境負荷物質の収支を事業の段階別に集計することで、水田

が有する気候緩和機能、大気浄化機能、水質浄化機能を定量化し、各機能の特徴を考察したうえで、水田の多面的機能の評価に向け、今後どのような事項を考慮する必要があるか検討する。

2. 分析方法

(1)インベントリ分析の対象の設定

水田事業のライフサイクルを圃場の建設、水田の営農、構造物の交換、圃場の撤去の段階に分類し、圃場の建設後、水田の営農と構造物の交換が、水田の標準耐用年数である 100 年間行われ、その後に圃場の撤去が行われるものとする。分析の対象とする環境負荷物質は、表 1 に示すような環境面の各機能が吸収するとされる物質とし、ライフサイクル全体における投入製品の製造による排出量、工事や農作業による排出量、水田による排出量、吸収量を算出する。排出量と吸収量の収支の算出に当たり、日本における標準的な水田から、図 1 に示す水田モデルを想定する。

表 1 分析対象の環境負荷物質

定量化する機能	インベントリ分析の対象の環境負荷物質
気候緩和機能	温室効果ガス (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs, SF ₆ , NF ₃)
大気浄化機能	NO _x (窒素酸化物), SO _x (硫黄酸化物)
水質浄化機能	COD(化学的酸素供給量), T-N(全窒素), T-P(全リン)

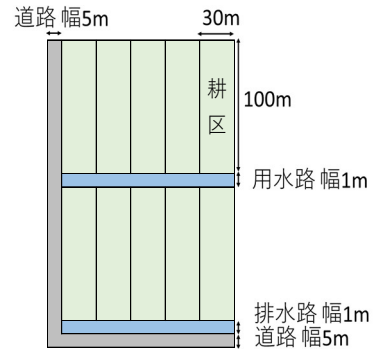


図 1 水田モデル

(2)各段階の投入製品の製造による排出量の算出

各段階での投入製品を小林ら²⁾、伊藤ら³⁾、野口ら⁴⁾を参考に設定し、各製品の投入量を水田モデルの規模や形状にに合わせて算出する。その上で、岐阜県の令和 4 年度実施設計書に使用する単価表⁵⁾、Web 建設物価⁶⁾から得られる製品単価を投入量に乗じて製品購入費を算出し、さらに、環境省の排出原単位データベース⁷⁾、国土交通省の流域別下水道整備総合計画調査指針と解説⁸⁾、南齋ら⁹⁾から得られる排出原単位を乗じることで各段階での投入製品の製造による環境負荷物質の排出量を算出する。

(3)工事や農作業による排出量の算出

建設、交換、撤去段階で行われる工事を農林水産省の令和 4 年度土地改良工事積算基準¹⁰⁾を参考に設定し、水田モデルの規模や形状に合わせて各工事の施工量を算出し、その施工量から燃料消費量を算出する。また、営農段階の農作業による燃料消費量は野口らのデータ水田モデルの規模に換算することで算出する。その上で、環境省の算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧¹¹⁾(以下、「排出係数一覧」という)、国立環境研究所の環境負荷原単位データブック¹²⁾から得られる排出係数を燃料消費量に乗ることで各段階での温室効果ガス NO_x, SO_x の排出量を算出する。また、建設、交換、撤去の各段階の燃料費と製品購入費の和を材料費とし、材料費から各段階の工事費を推定し、靄巻ら¹³⁾から得られる土木事業部門の排出原単位を工事費に乗ることで建設、交換、撤去段階の T-N, T-P, COD の排出量を算出

する。営農段階での T-N, T-P, COD の排出量は水田による環境負荷物質の収支に含まれるので、ここでは算出ししないものとする。

(4)水田による環境負荷物質の収支の算出

水田は、稲や水中の藻類の呼吸、土壌中の有機物の分解により、CO₂, CH₄ を排出し、肥料や灌漑水、土壌中の窒素の硝化、脱窒により N₂O を排出する一方、稲や水中の藻類の光合成により CO₂ を吸収する。有機物の分解による CH₄ の排出量、硝化、脱窒による N₂O の排出量は、排出係数一覧に掲載の係数を用いて算出する。呼吸や光合成、有機物の分解による CO₂ の排出量、吸収量は、野内¹⁴⁾の水田における炭素収支のデータを二酸化炭素の質量に換算して算出する。その上で、算出した各ガスの収支に温暖化係数を乗じ、二酸化炭素の質量に換算して水田による温室効果ガスの収支を算出する。また、水田は光合成によるガス交換の際に NO_x, SO_x 等の汚染ガスも吸収しており、松尾ら¹⁵⁾を参考に光合成による CO₂ 吸収量から NO_x, SO_x の吸収量を算出する。農作業や水田による T-N, T-P, COD の収支は、鶴田ら¹⁶⁾の単位面積当たりの各物質の収支に水田モデルの規模にかんさんすることで算出する。

(5)インベントリ表の作成

算出した環境負荷物質の収支を環境負荷物質ごと、段階ごとに分類してインベントリ表として集計する。環境負荷物質の排出量は正、吸収量は負として集計する。

表 2 インベントリ表

対応する機能	気候緩和機能	大気浄化機能		水質浄化機能		
事業段階	温室効果ガス (t-CO ₂)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	COD (kg)	T-N (kg)	T-P (kg)
建設：投入製品	110.956	241.951	86.490	319.056	10.789	19.553
建設：工事	26.896	412.065	21.174	33.063	20.516	20.380
営農：投入製品	662.293	427.074	256.512	432.295	414.262	515.174
営農：農作業	123.184	1,078.091	56.529	11,820.000	2,451.000	-62.100
営農：水田由来	-4,557.493	-3,972.776	-2,838.084			
交換：投入製品	345.276	707.355	327.752	821.716	28.695	39.205
交換：工事	23.092	353.788	18.180	126.489	78.488	77.969
撤去：投入製品	5.021	1.918	1.056	1.295	0.068	0.023
撤去：工事	11.621	178.046	9.149	1.281	0.795	0.789
合計	-3,249.154	-572.488	-2,061.242	13,555.195	3,004.613	610.993

3. インベントリ分析

インベントリ分析の結果を表 2 に示す。行方向を事業の各段階に、列方向を各環境負荷物質に分類して集計し、収支を示している。また、合計の行には、各物質の全ての段階の収支の合計、つまりライフサイクル全体での収支を示している。

4. 水田の各機能に関する考察

インベントリ表の各数値の比較を行い、水田の気候緩和機能、大気浄化機能、水質浄化機能について考察する。ライフサイクル全体における各環境負荷物質の収支は、温室効果ガスが-3,249.154t-CO₂、NO_xが-572.488kg、SO_xが-2,061.242kg、COD が 13,555.195kg、T-N が 3,004.613kg、T-P が 610.993kg と算出された。インベントリ表では物質の排出を正、吸収を負として集計しているため、これらの結果は、ライフサイクル全体を通して温室効果ガス、NO_x、SO_xは吸収され、COD、T-N、T-P は排出されることを示している。つまり、水田の気候緩和機能、大気浄化機能は、ライフサイクル全体で見ると、吸収量が排出量を上回り、その効果を発揮すると言える。一方、水田の水質浄化機能は、ライフサイクル全体で見ると、排出量が吸収量を上回り、その効果を発揮するとは言えない結果となった。一般に、水田は水質浄化機能を有するとされているため、水質浄化機能に関する各物質の事業全体の収支が正となる理由を段階に分けて考える。インベントリ表から、営農段階の農作業や水田による収支は、温室効果ガスが-4,434t-CO₂、NO_xが-2,895kg、SO_xが

-2,782kg、COD が 11,820kg、T-N が 2,451kg、T-P が-62kg であり、COD、T-N、T-P の収支は他の物質に比べて大きく、このことが理由として考えられる。営農段階の農作業や水田による収支は、各機能による各物質の吸収量を含んでいると考えられる数値であり、水田の水質浄化機能は気候緩和、大気浄化機能と比べて物質の吸収量が小さい、もしくは、そもそも水田には水質浄化機能がないとも言える。そこで、農作業や水田による COD、T-N、T-P の収支をグリーンインフラ以外の他の土地利用だった場合の収支と比較し、土地利用の観点から、水田による水質浄化機能の有無を確認することを考える。比較対象を住居、工場とし、面積 3,000m²における 100 年間の各排水による収支を千葉県你的生活排水の原単位と各種浄化槽による排出負荷¹⁷⁾、環境省の令和 3 年度水質汚濁物質排出量総合調査結果報告書¹⁸⁾をもとに算出すると、表 3 に示すように比較できる。なお、住居や工場は水質浄化能力を有していないため、収支として排出量のみを計上している。比較の結果、農作業や水田による各物質の収支は、工場による収支よりも大幅に小さく、住居による収支と比較しても、同程度であるか小さく結果となった。つまり、水田の水質浄化機能は、ライフサイクル全

表 3 農作業や水田による収支と住居、工場による収支

種類	COD (kg)	T-N (kg)	T-P (kg)
住居による収支	8,438.486	3,302.016	366.891
工場による収支	2,792,250.000	2,983,875.000	465,375.000
農作業や水田による収支	11,820.000	2,451.000	-62.100

体で見ると、効果を発揮するとは言えないが、他の土地利用に比べ、各物質の排出量が少なく、営農段階において一定の浄化機能を有していると言える。

5. おわりに

本研究では、グリーンインフラとして水田を例にとり、各環境負荷物質の収支をライフサイクルインベントリ分析により算出することで、水田の有する環境面の各機能をライフサイクルを通じた事業全体の視点から定量化した。分析の結果、どの環境負荷物質がライフサイクルのどの段階で何を原因として排出、吸収されるのかを明らかにしたうえで、環境面の各機能を定量化することができた。また、分析結果より、水田の気候緩和、大気浄化機能は、ライフサイクル全体で見ると、吸収量が排出量を上回るため、その効果を発揮していると言える。一方、水質浄化機能は、ライフサイクル全体で見ると、排出量が吸収量を上回るため、その効果を発揮するとは言えないものの、他の土地利用と比較すると、各物質の排出量が少なく、営農段階において一定の浄化能力を有していると言える。

今回の分析を踏まえ、水田の多面的機能の評価に向け、今後どのような事項を考慮する必要があるか検討する。ライフサイクル全体での環境負荷物質の収支が正となり、排出を示す場合であっても、水田は環境面の機能を有している可能性があり、収支の正負による単純な判別だけでは、必ずしも的確な機能評価が行えるとは言えない。収支が正となる場合でも、適当な比較対象や基準を設定し、算出された収支と比較することによって機能評価を行う必要があると考えられる。また、各物質で収支の規模が異なっているうえに、どの程度排出されるとどの程度環境へ影響を及ぼすかが不明なため、今回算出されたインベントリ表の各数値を単純に比較するだけでは、環境への影響を直観的に把握できない。算出されたインベントリ表を環境への影響が直観的に把握できるものにするために各数値を統一的な指標に換算する必要があると考えられる。例えば、各物質の環境への影響度合いを示す重み付け係数を設定し、各数値に乗じることで、各段階における各物質の収支が環境に与える影響を把握でき、的確な分析のもとで機能評価につながると考えられる。さらに、本研究で算出された環境負荷物質の収支は不確かさを有しており、実際の収支を正確に把握するためには詳細な条件の下で収支を計測、算出した多数の分析結果、データベースが必要となるが、そのような分析結果、データベースは未だ十分な数に達していないのが現状である。今後、グリーンインフラの多面的な機能の評価に向け、積極的に事例解析が行われ、その分析結果やデー

タベースから環境負荷物質の収支分析がより精度よく行われる必要があると考えられる。以上の点を考慮し、今後グリーンインフラの環境面の機能の評価につなげることで、多面的な機能の評価に向けたより高度な議論が行われることが期待できると考えられる。

REFERENCES

- 1) 日本学術会議農業・森林の多面的機能に関する特別委員会：地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について、2001。
- 2) 小林久，阿部幸浩：農業を対象としたLCAの特殊性と水系手法に関する考察，農業土木学会誌，第71巻第12号，pp. 1077-1081，2003。
- 3) 伊藤寛幸，増田清敬，山本康貴：草地圃場整備事業が及ぼす環境影響の経済評価，環境科学会誌，第23巻第2号，pp. 96-105，2010。
- 4) 野口良造，斎藤高弘：インベントリ分析による機械化水稲生産のエネルギー消費量・効率の考察，農業情報学会誌，第17巻第1号，pp. 20-30，2008。
- 5) 岐阜県農政部・林政部・県土整備部・都市建築部：令和4年「実施設計書に使用する単価表」，2022。
- 6) 一般財団法人建設物価調査会：Web建設物価，<https://www.web-ken.jp/>，2023.2現在。
- 7) 環境省：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース（Ver.3.2），https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/DB_V3-2.xlsx，2023.2現在。
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説，2015。
- 9) 南齋規介，森口祐一，東野達：環境負荷原単位一覧表，産業関連表による環境負荷原単位データブック(3EID)-LCAのインベントリデータとして，2002。
- 10) 農林水産省：令和4年度土地改良工事積算基準，2023。
- 11) 環境省：算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧，https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/tiran_2020_rev.pdf，2023.1現在。
- 12) 国立環境研究所：産業関連表による環境負荷原単位データブック(3EID)，。
- 13) 齋藤峰夫，野池達也：LCAにおける多項目環境負荷量の定量化に関する研究，環境システム研究，Vol.25，pp. 217-227，1997。
- 14) 野内勇：農業における温室効果ガスの排出と削減，大気環境学会誌，第41巻第3号，pp. 103-122，2006。
- 15) 松尾芳雄，三宅博，青木正敏：大気浄化機能からみた農林業的土地利用の存在効果—東京都における大気汚染ガス吸収量の推定から—，農業土木学会誌，第58巻第2号，pp. 131-137，1990。
- 16) 鶴田治雄，尾崎保夫：水田における温室効果ガス及び水質に関するLCA，農林水産技術研究ジャーナル，第22巻第10号，pp. 20-25，1999。
- 17) 千葉県：生活排水の原単位と各種浄化槽による排出負荷，2020。
- 18) 環境省 水・大気環境局 水環境課：令和3年度水質汚濁物質排出量総合調査 調査結果報告書，2022。

(Received March 6, 2023)