

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 12 日現在

機関番号：12605
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21510027
 研究課題名（和文） 統合的サステナビリティ・インデックスによる環境政策評価モデルの構築
 研究課題名（英文） Development of environmental policy evaluation model by integrated sustainability index
 研究代表者 加藤 亮（KATO TASUKU）
 東京農工大学 大学院農学研究院 准教授

研究者番号：10302332

研究成果の概要（和文）：

地域の環境評価に向けた、サステナビリティ・インデックス構築に向け、その評価を行うためのモデルとシナリオ開発を行った。まず、水環境保全に向けた水・窒素循環モデルの構築を行った。シナリオ開発面では持続的システムとして資源循環シナリオについて考察した。また、茨城県霞ヶ浦流域を対象に、参加型流域管理シナリオの開発を実施し、データベースの構築から主成分分析、クラスター分析をベースに市町村の類型化を実施し、各類型についての将来シナリオの分類を行った。

研究成果の概要（英文）：

To develop Sustainability Index for environmental assessment in rural area, scenario development and environmental assessment by model simulation were conducted. At first, water and nitrogen balance model was developed, and then material circulation by biomass utilization scenario was considered for scenario development system. Finally, development scenarios were classified in each clusters based on the city/village database in Kasumigaura basin in Ibaraki analyzed by cluster analysis and principal component analysis.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
平成 22 年度	900,000	270,000	1,170,000
平成 23 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：複合新領域（環境学）

科研費の分科・細目：環境影響評価・環境政策

キーワード：SWAT モデル、パス解析、シナリオ評価、水物質循環、環境データベース、
 循環型農業技術

1. 研究開始当初の背景

高度成長期に悪化した水環境を解決するために、統合的な流域水質管理が行われてき

た。しかし、例えば茨城県の霞ヶ浦では、水質保全計画が策定され様々な対策がとられてきたにもかかわらず、期待されるほど水質

の改善は見られていない。そこで近年は、社会経済や生態系保全の視点から、流域水質管理システムの構築が試みられている。

一方、持続可能な社会構築を目標として、学際的なアプローチを行うべく、サステナビリティ学（持続可能性学）が創生された（Komiyama and Takeuchi, *Sustainability Science* 1(1)1-6）。温暖化に対する研究などで成果をあげており、持続可能な水環境のための研究は行われているものの、流域のサステナビリティを定量的に評価する統合的な指標は確立されていない。

本研究は、流域の持続的な発展のための環境政策支援を行うべく、これまで個別に評価されてきた、環境、人間活動、生態系、環境技術などを、国連を中心としたミレニアムエコシステムアセスメント（MEA）に提示された要素を考慮しながら（MEA *Ecosystems AND HUMAN WELL-BEING Synthesis*, p.10）、サステナビリティ・インデックスを開発することにより、様々な環境要因を共通の指標で評価し、環境政策に実践するための手法の開発を行う。MEA とサステナビリティ学を実際の流域に実践する研究として位置付けられる。

申請者は、閉鎖性流域の水質の問題を研究しており、これまで霞ヶ浦流域、インドネシアやラオスの流域において、効果的な水環境政策を実施するためには、社会経済の影響を考慮することが有用であることを指摘し、評価モデルを開発してきた（奨励研究 A、若手研究 B、Kato T. *Paddy and Water Environ.* 3(2): 103-109.）。その後、モデルの精度向上や流出負荷の実態の把握を目標に、農業地域における水循環、物質循環に関連した調査とを行い、詳細な水の流出や窒素流出過程について明らかにしてきた（Kato et al. *Paddy and Water Environ.* 6(3): 349-353.）。

一方、環境を積極的に修復することを目的に、様々な環境技術が研究されている。申請者は、メタン発酵消化液の研究に参加している（Kato et al. 2008. *Proceedings of the XXXVI Congress of the IAHR*）。その際、各環境技術の効果は定量化されつつあるものの、複数の環境技術の影響を地域レベルで総合的に評価するモデルが環境政策立案のためには必要ではないかと考えた。また、分担者の中里も参加している東京大学が統括するサステナビリティ学連携研究機構（IR3S）内の茨城大学の ICAS の兼務教員の経験から、環境、人間活動、生態系、環境技術などをサステナビリティ学の視点から地域レベルで総合的に評価するインデックスを開発し、環境政策を評価するモデルを構築することは、効果の高い環境政策を実施する上で非常に有用で緊急の課題であるという考えに至った。

2. 研究の目的

本研究は、水環境政策をサステナビリティ（持続可能性）の視点から総合的に評価するために、水環境の構成要因である、土地利用、水利用、人間活動、生態系、環境技術について共通の指標で評価するための新しい指標として「サステナビリティ・インデックス」を提案し、水、窒素、炭素循環およびエネルギー収支を定量的に評価するモデルと組み合わせることで、環境政策評価システムを構築し、環境政策シナリオを提示することを目的とする。

3. 研究の方法

本科研では上記の目的に対し、3つの方法で、研究を実施した。(1) 流域水環境モデルの開発、(2) 持続型シナリオとしての資源循環技術のシステム化 (3) 既存データに基づく地域評価ツールの開発、である。

(1) 流域水環境モデルの開発

持続的な地域の発展において、適正な水循環および物質循環は、人間社会を基盤から支える環境や生態系に対し、基盤的な機能を有する。特に、農業が優勢な地域においては、窒素、リンといった栄養塩類は多投入にならざるを得ず、さらに水田等の活用のため、水の需給バランスが逼迫しているため、排水水質の濃度が上昇するが、希釈しうる余剰水が存在しないのが現状である。

このような地域においては、適正な水利用、土地利用に向けて、きめ細やかな水と土地の管理を行う必要がある。その際、社会実験を含めた実地試験を導入するのが困難であるため、シミュレーションモデルによる仮想的な対策やシナリオの評価が必要となる。

本研究では、流域水環境モデルに米国で開発された流域評価ツールである SWAT を援用し、日本の農業地域（茨城県霞ヶ浦流入河川流域）の水田地帯における適正な水物質循環の評価に向けたツールの開発を実施した。特に水田地帯は、水物質循環の評価の際に、水物質循環の複雑さから、ツール開発があまり考えてこられなかった分野である。

(2) 持続型シナリオとしての資源循環技術のシステム化

適正な水物質循環に向けた主要なオプションに、バイオマスの利活用がある。特に、ここでは、メタン発酵消化液の液肥利用とスイートソルガムによるバイオ燃料システムについて、流域環境保全への対策案としてのシステム化およびシナリオ評価について検討した。

まず、メタン発酵消化液の液肥利用として、作物栽培面における、肥料効果の特性を検討し、同時に環境負荷に関する影響を評価した。また、環境負荷を緩和する手法について検討

した。次に、スィートソルガムのバイオ燃料については、LCIを構築し、システムに対するLCAを適用し、エネルギー収支に関する評価を検討した。

上記の研究から、農業地域へのバイオマス利活用オプションの導入について検討し、地域レベルでの持続性に関するシナリオ構築を検討した。

(3) 既存データに基づく地域評価ツールの開発

対象として、茨城県霞ヶ浦流域市町村を取り上げ、そのデータベースを構築し地域評価を試みた。データベースは1970年代から現代に至るまで、公表されている統計データを収集した。このデータベースについて、各市町村の、これまでの履歴、つまり農業地域から都市地域といった地域の変遷を明らかにし、また地域の特性ごとにクラスター化を行った。

各クラスターに対し、パス解析を用いてデータベース内に現れる因果関係について考察し、各地域の特性に応じたシナリオ開発に向け、検討を行った。

4. 研究成果

(1) 流域水環境モデルの開発

SWATモデルは、米国の畑地帯に対しよく適合するツールであり、世界でも穀倉地帯を中心に、畑地での環境負荷の評価が実施されている。一方で、本研究対象において対象とした水田地帯での利用実績は少なく、これは水田の水利用、土地利用が人為的に管理されることによる複雑さに起因するものであることが示された。

特に、SWATの大きな問題点は水田灌漑の際に頻繁に見られる湛水と落水とを繰り返す水管理や、小規模な堤防となりうる畦畔の存在といったものを取り入れていないことによる、流出解析に対する影響や、水田での脱窒等の窒素循環が、実装されていない点が明らかになった。この点については、本研究を通じ、米国開発チームとこの点について連絡を取り合い、水田地帯におけるツールの開発について、上記の課題となった点を中心に議論を続け、今後とも水田地帯モデル開発に取り組むこととした。

このような、欠点があるものの流域レベルの水物質循環の評価ツールとして、備えるべき基盤的要素があることからSWATを、対象地域に適用し、シミュレーションを実施した。結果として、低平地水田地帯の特性である富裕土砂の抑制や、灌漑期における窒素濃度の減少といった事象を明らかにすることができた。

(2) 持続型シナリオとしての資源循環技術のシステム化

バイオマス利活用は資源循環技術として最も主要な技術である。その中でも、メタン発酵によるバイオガス生成は、バイオマスの中でも比較的安価に導入できるシステムであり、中規模な市町村でも対応しうるシステムである。バイオガスの生成の際に問題となるのは、その副産物である消化液であるが、この消化液は窒素、リンといった肥料成分を多量に含んでおり、農地還元によって地域内での物質循環を推進することができ、処理費用の負担軽減にもつながることが期待されている。

研究成果として、そのようなシステム化について作物栽培での技術的課題の抽出と、LCAによるシステム化に対するエネルギー評価を実施した。技術的課題としては、液肥の施肥タイミング、散布の均一性等に関する点が抽出され、それぞれの対応策として播種前液肥散布について検討がなされた。

また、エネルギー収支としてはLCAにより十分な成果が出るようになったが、運搬、貯蔵プロセスについては課題が残ることが示され、地域の持続性に対する課題解決として有用であることが示されたものの、導入システムについては今後の検討が必要であることが明らかとなった。

(3) 既存データに基づく地域評価ツールの開発

クラスター分析と主成分分析をデータベースに適用し、霞ヶ浦流域市町村の特性を分類した。工業化の進展と、技術導入による効率性の二つの軸によって、流域市町村を分類することができた。

また、上記の分析を年代ごとに実施したのち、パス解析により各年代の問題構造を明らかにした。これより、流域市町村の形態変遷が明らかとなり、個の変遷に基づき、フィージビリティの高い将来シナリオを検討することが可能であることが示された。

(4) まとめ

上記(1)-(3)の研究成果に基づき、地域の持続性に対する指標および将来シナリオを適用するシステムの構成について、プロトタイプが構築できた。

プロトタイプの要件として、水物質循環評価ツール、オプションの技術的・システムの検討、対象市町村の受け入れ状況の評価について、ここでは検討した。持続性に関するインデックスとして、このような時間変動も考慮した評価は今後の地域環境保全政策に対し有用な方法であると考えられる。

今後、これらのシステムを統合的に運用し、単なる既存対策案のシステム評価にとどまらず、シナリオ開発も含めたシステムに発展させることを検討する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

(1) 加藤亮, 井上栄一, 佐藤達雄, 福司健治, 岩下幸司, メタン発酵消化液によるコマツナ栽培と環境への影響, 農業農村工学会資源循環研究部会論文集, 査読有, No.7, 2011, 27-34

(2) 吉田薫平, 乃田啓吾, 吉田貢士, 加藤亮, 耕作放棄地栽培のスイートソルガムを原料とするバイオエタノール生産システムの評価, 農業農村工学会資源循環研究部会論文集, 査読有, No.7, 2011, 61-66

(3) T. Kato, H. Somura, H. Kuroda and H. Nakasone, Simulation of nutrients from an agricultural watershed in Japan using the SWAT model, International Agricultural Engineering Journal, 査読有, 20(3), 2011, 40-49

〔学会発表〕(計11件)

(1) 日野田悠太, 乃田啓吾, 加藤亮, 吉田貢士, 黒田久雄, 霞ヶ浦流域管理に向けた市町村データのクラスター分析, 農業農村工学会関東支部大会講演会, 2011年10月21日, 静岡県静岡市

(2) 乃田啓吾, 加藤亮, 吉田貢士, 黒田久雄, 低平地水田地帯における SWAT モデルの不確かさに関する検討, 農業農村工学会大会, 2011年9月7日, 九州大学箱崎キャンパス

(3) 松山広樹, 乃田啓吾, 加藤亮, 吉田貢士, 黒田久雄, 低平地水田地帯を含む農業小流域の水質特性の統計解析, 農業農村工学会大会, 2011年9月7日, 九州大学箱崎キャンパス

(4) 加藤亮, 低平地水田地帯における SWAT モデルの適用に関する考察, 農業農村工学会大会, 2011年9月7日, 九州大学箱崎キャンパス

(5) 松山広樹, 臼田薫, 加藤亮, 黒田久雄, 吉田貢士, 低平地水田地帯における栄養塩類の流出特性, 農業農村工学会大会講演会. 2010年9月1日, 神戸大学

(6) 臼田薫, 松山広樹, 加藤亮, 水質流出解析に向けた霞ヶ浦小流域への SWAT モデルの適用, 農業農村工学会大会講演会, 2010年

9月2日, 神戸大学

(7) 小山知昭, 加藤亮, 黒田久雄, 吉田貢士, 井上栄一, 佐藤達雄, 岩下幸司, メタン発酵消化液の肥料効果の検討, 農業農村工学会大会講演会, 2010年度8月31日, 神戸大学

(8) 柴田鑑三, 井上栄一, 佐藤達雄, 福司健治, 岩下幸司, 加藤亮, メタン発酵消化液を用いた作物栽培と環境への影響, 農業農村工学会, 2009年8月5日, 筑波大学

(9) 小山知昭, 井上栄一, 佐藤達雄, 福司健治, 岩下幸司, 加藤亮, メタン発酵消化液に含まれる窒素形態の変化と作物栽培への影響, 農業農村工学会, 2009年8月5日, 筑波大学

(10) 松山広樹, 臼田薫, 黒田久雄, 加藤亮, 低平地水田地帯における栄養塩濃度の水文統計解析, 農業農村工学会, 2009年8月5日, 筑波大学

(11) 臼田薫, 杉下新, 黒田久雄, 加藤亮, SWAT を用いた霞ヶ浦流域水田地帯の流出特性の解析, 農業農村工学会, 2009年8月5日, 筑波大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 亮 (KATO TASUKU)
東京農工大学 大学院農学研究院 准教授
研究者番号: 10302332

(2) 研究分担者

中里 亮治 (NAKAZATO RYOJI)
茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター 准教授
研究者番号: 30292410