

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651035

研究課題名(和文) 国際フロー解析を基盤としたアジアにおけるリン資源ガバナンス

研究課題名(英文) Phosphorus resource governance on the basis of international flow analysis focusing on Asian region

研究代表者

松八重 一代 (MATSUBAE, KAZUYO)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50374997

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では産業連関モデルを基盤としてリンのマテリアルフローと接続した統合リン資源循環モデル(IPCIO)の開発を行った。リン鉱石や、リン酸・リン酸塩といった中間製品や、鉄鋼スラグ・下水汚泥といった二次資源部門を新設、あるいは既存の行・列の各部門を細分化することで、サプライチェーンを通じたリン関連財の需給を定量評価可能にした。

さらにGLIOモデルを用いて日本の最終需要が引き起こす貿易を通じたバーチャルリン消費の推計を行った。リン資源の需給逼迫を背景として、未利用のリン資源に着目してリンの持続可能な循環を考える必要があることが定量情報をもとに示された。

研究成果の概要(英文)：Phosphorus is an important strategic resource for agricultural food production and the chemical industry. Considering the limited supplies of phosphorus resources, it is important to evaluate the quantity and availability of currently untapped phosphorus resources. Thus, we developed the Integrated Phosphorus Cycle Input Output (IPCIO) model to estimate the phosphorus requirements for economic activities and to evaluate the recycling effects. We found that automotive industry requires yellow phosphorus, which comprises about half of all required phosphorus in its supply chain, while the production bases of yellow phosphorus in Asia are located only in China and Vietnam, with practically the whole supply dependent on these two countries. It was suggested that since delays in the supply of yellow phosphorus present significant effects throughout the supply chain.

研究分野：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：リン資源 国際貿易 マテリアルフロー アジア ガバナンス

1. 研究開始当初の背景

リン資源管理、有効活用にはリン資源の需給量と未利用資源中のリンの量と質を明らかにすることが回収・再資源化技術イノベーションに大きく貢献する。リンに関する国レベルの物質フロー勘定は、申請者ら他、JOGMEC レポート等でも推定を行った実績がある。アジアにおいても中国、台湾等における行政区、町レベルの研究出力は数件あるものの、未利用リン資源に着目し、回収可能性を考慮にいれた存在形態別のフローは未だ把握をされていないのが現状である。まずは、リンの物質フローを明らかにし、関係者がアジアにおけるリン資源ガバナンスの必要性を認識する必要がある。さらに都市排水をはじめとして、リン含有廃棄物は水圏生態系にも大きな負の影響をもたらすことも知られている。アジアにおいて衛生処理設備の不十分な地域は、資源としてのリンを農業生産用途で必要とする反面、廃棄物に含まれるリン回収技術を必要としている。このようなアンバランスを解消し、リン資源の循環、有効利用をアジア全域で検討・促進することは長期的に見て世界レベルでのリン資源ガバナンスに大きく貢献できるものと期待されると考え、本申請の着想に至った。

2. 研究の目的

リン酸肥料は、食糧生産に欠かせない存在であるが、近年、リン鉱石が枯渇傾向にあり、世界中でリン資源の需給が逼迫している (Abelson, 1999, Vaccari, 2009)。2008 年のリン鉱石価格高騰を契機として、国内外でリン資源に関する関心が急速に高まっている。欧州、豪州、米国ではすでに国際ネットワーク形成が積極的にすすめられているが、これらの海外リン研究においてはアジアの視点と、未利用リンの再資源化技術に関わる視点、及びリンのライフサイクル全体を統合的に扱うという視点が大きく欠けている。アジアにおけるリン資源に関する情報 (マテリアルフロー)、技術情報 (回収、リサイクル技術) システム解析を通じた資源供給可能性、将来の需要予測等の情報や制度的規制的措施の選択肢に関する情報を統合的に整理して可視化することで、アジアにおけるリン資源問題に関する関係者の認識を高め、また、関係者と協議しつつ実行可能なアジアにおける国際的リン資源ガバナンスに向けたシステム設計・提示を目指す。

3. 研究の方法

本研究は、第一に、農作物生産、畜産物生産に関わるライフサイクル分析を通じて、肥料としてのリンの需要ならびに飼料を介した間接的なリン資源の需要量を明らかにし、ア

ジアにおけるリン資源の種類別、純度別マテリアルフローを整備する。第二に代表者が開発をしているリン資源循環分析用統合産業連関モデル (Integrated Phosphorus Cycle Input Output Model: IPCIO) と貿易統計と接続することでアジア各国ならびにその他国における経済活動を介したリン資源需要を把握し、アジア各国における未利用のリン資源の量と形態を推定し、導入可能性のあるリン回収技術、回収リンの利用先について検討を行う。第三に、未利用のリン資源を再資源化するためにどのようなシステム、規制、技術が必要なのか、アジア地域において可能なリン資源ガバナンスのシステムを設計し、評価する。その際、システムの要素として、利用可能な技術選択肢と共に、資源採掘規制、環境規制のあり方や貿易規制・国際協力のあり方も含めて検討を行う。

4. 研究成果

本研究では産業連関モデルを基盤としてリンのマテリアルフローと接続した統合リン資源循環モデル (Integrated Phosphorus Cycle Input-Output model: IPCIO) の開発を行った。本モデルは産業連関 MFA モデルの一つである WIO-MFA モデルに準拠し、データについてはリン鉱石や、リン酸・リン酸塩といった中間製品や、鉄鋼スラグ・下水汚泥といった二次資源部門を新設、あるいは既存の行・列の各部門を細分化することで、サプライチェーンを通じたリン関連財の需給を定量評価可能にした。

さらに GLIO モデルを用いて日本の最終需要が引き起こす貿易を通じたバーチャルリン消費の推計を行った。貿易統計のデータ整備は国際貿易統計 BACI に準拠した 231 ケ国、対象年は 2005 年とした。また、対象商品については HS コード (世界的に統一された国際貿易商品の名称及び分類を示すコード番号) の分類から農作物を中心に抽出し、バイオマス系 (256 商品) 食料系 (穀類、肉・酪農品、水産物等) 飼料系 木材系 (木材、木炭、木製品等) その他の食用作物系 非食用作物系 (タバコ等) 畜産系 (家畜) バイオマス含有商品 (皮革製品等) と、非バイオマス系 (30 商品) リン鉱石 黄リン 肥料系 工業系 (五酸化二リン、リン酸等) について、含有するリン濃度を各重量に乗ずることで貿易に随伴するリンのフローを明らかにした。

IPCIO モデルを用いて 100 万円あたりの経済活動が必要とするリンの重量についての推計をおこなった。結果を Fig.1 に示す。最も単位あたりのリン需要が大きいのは砂糖原料作物で 0.43 kg-P、次いで飲料作物、麦類である。生産量全体を見ると、農作物の中では米が最も大きく、日本全体の肥料に含まれるリンのうち約 15% が米生産に用いられている。

さらに日本の最終場が引き起こす貿易を介したバーチャルリン 5)消費の推計結果を Fig.2 に示す。

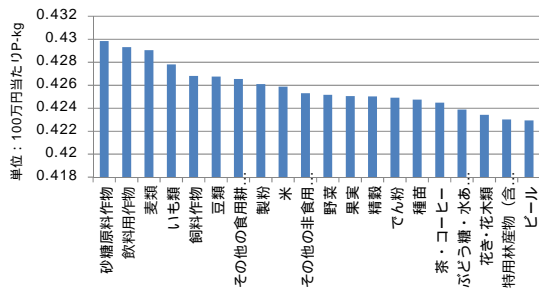


Fig. 1 100万円の経済活動が必要するリン重量

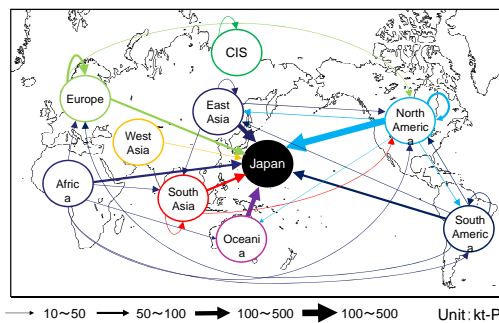


Fig.2 日本の最終需要が引き起こす直接・間接のバーチャルリン消費

世界人口の増大は食料需要の増大を引き起こし、食料生産に必要なとされるリン資源の需要増大を引き起こすことが予想される。特に中国やインドなど人口が多く経済発展の著しい国が先進国と同じような消費構造に近づくと、リンの消費量はさらに増大するものと予想され、世界全体での持続的なリン資源保全が求められる。世界におけるリン資源の需給逼迫と、将来における需要増大を背景として、リン鉱石からのリン資源ばかりに目を向けず、社会に眠る未利用のリン資源に着目をしてリンの持続可能な循環を考える必要があることが定量情報をもとに示された。

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 8 件)

1. Elizabeth WEBECK, Kazuyo MATSUBAE, Kenichi NAKAJIMA, Keisuke NANSAL, Tetsuya NAGASAKA, Analysis of Phosphorus Dependency in Asia. [SOCIO TECHNICA, 11, (2014), 119-126] 査読有
2. 佐藤隼, 佐藤俊秀, 仲川祐司, 林志洋, 松本頌, 城山英明, 松尾真紀子, 鎗目雅, 国内下水道からのリサイクル・リン普及

の課題, 社会技術研究論文集, 2014, 11, 108-118 査読有

3. 松八重一代, 久保裕也, 山末英嗣, 長坂徹也, 製鋼スラグからのリン資源回収の可能性. [環境技術, 43(2), (2014), 79-85] 査読無
4. E. Yamasue, K. Matsubae, K. Nakajima, S. Hashimoto, and T. Nagasaka, Using Total Material Requirement to Evaluate the Potential for Recyclability of Phosphorous in Steelmaking Dephosphorization Slag, Journal of Industrial Ecology, 17, (2013) 5, 722-730 査読有
5. Ali Kharrazi, Elena Rovenskaya, Brian D. Fath, Masaru Yarime, and Steven Kraines, "Quantifying the sustainability of economic resource networks: An ecological information-based approach," Ecological Economics, 90, 177-186 (2013). 査読有
6. 松八重一代, 長坂徹也, 国際貿易に伴う世界および日本のリンフロー. [生物工程学, 90(8), (2012), 470-472] 査読無
7. Ali Kharrazi, and Masaru Yarime, "Quantifying the Sustainability of Integrated Urban Waste and Energy Networks: Seeking an Optimal Balance between Network Efficiency and Resilience," Procedia Environmental Sciences, 13, 1663-1667 (2012). 査読有
8. Hideaki Shiroyama, Masaru Yarime, Makiko Matsuo, Heike Schroeder, Roland Scholz, and Andrea E. Ulrich, "Governance for sustainability: knowledge integration and multi-actor dimensions in risk management," Sustainability Science, 7 (Supplement 1), 45-55 (2012). 査読有

[学会発表](計 16 件)

1. Kazuyo Matsubae, Resource logistics analysis on phosphorus and its implication on resource governance, Seminar of The Centre for Social Responsibility in Mining, Brisbane, 13, March, 2014
2. 宮内雄飛, 松八重一代, 橋本征二: 水圏へのリンフローのシナリオ分析, 日本 LCA 学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日
3. 溝口修史, 松八重一代, 中島謙一, 南齋規介, 稲葉陸太, 長坂徹也: 窒素とリンに着目した農業用栄養塩類のサプライチェーン分析, 日本 LCA 学会春季大会, 東京, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 2014年3月4-6日
4. 松八重一代, 中島謙一, 南齋規介, 長坂

- 徹也：農作物消費に伴うリン資源の国際
フロー解析とバーチャルリン消費、環境
経済・政策学会 2013 年大会、2013 年 9
月 21 日～22 日、神戸大学
5. Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima and Keisuke Nansai, Resource Logistics Analysis on Phosphorus by Integrated Phosphorus Cycle Input Output Model, 21st International Input-Output Conference, Kitakyusyu, Japan, (7-12, July, 2013)
 6. Kharrazi, Ali, and Masaru Yarime, "Robustness of Economic Resource Networks: An Ecological Information Based Approach," 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference: Strategy for Green Economy, University of Ulsan, Ulsan, South Korea, June 25-28 (2013).
 7. Matsubae, Kazuyo, Masafumi Mizoguchi, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Masaru Yarime, and Tetsuya Nagasaka, "Resource logistics analysis on phosphorus and its implication on resource governance," 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference: Strategy for Green Economy, University of Ulsan, Ulsan, South Korea, June 25-28 (2013).
 8. K.Nakajima, K.Nansai, K.Matsubae, E.Yamasue, and Y.Kondo: "Global flow of metals and phosphorus: Supply chain analysis for sound resource logistics", 2013 ISIE conference, Ulsan, Korea, (2013/6/21-24, University of Ulsan, June 25-28, 2013),
 9. 溝口修史, 高橋麻理恵, 松八重一代, 稲葉陸太, 中島謙一, 南斉規介, 長坂徹也, 食糧生産における農業用塩類のマテリアルフロー分析, 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会, 2013 年 3 月 6 日～8 日, 立命館大学
 10. 森村武史, 松八重一代, 中島謙一, 稲葉陸太, 南斉規介, 長坂徹也, 農作物消費に伴うリン資源の国際フロー解析, 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会, 2013 年 3 月 6 日～8 日, 立命館大学
 11. 松八重一代, 中島謙一, 中村慎一郎, 長坂徹也, 廃棄物・資源問題に関わるステークホルダー抽出のための産業連関 MFA, 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会, 2013 年 3 月 6 日～8 日, 立命館大学 (受賞講演)
 12. Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka: Phosphorus Flow Analysis for Food Production and Consumption, REWAS2013 (March 3-7, 2013 (TMS Annual Meeting) * San Antonio, Texas * USA), (2013/3/7)
 13. Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Tetsuya Nagasaka: Potential of Steelmaking Slag as New Phosphorous Resource in Terms of Total Materials Requirement, REWAS2013 (March3-7, 2013 (TMS Annual Meeting) * San Antonio, Texas * USA), (2013/3/7)
 14. 三島慎一郎, 松八重一代, 木村園子ドロテア, 江口定夫, 白戸康人, 日本での食飼料生産に関わる養分フローと国内肥料資源の賦存量, 日本生態学会第 60 回大会, 2013 年 3 月 5 日～9 日, グランシップ静岡
 15. M.Yarime, Encouraging Innovation for Sustainable Phosphorus Management: Technology, Management, and Public Policy, International Conference on EcoBalance2012, 2012 年 11 月 20 日～2012 年 11 月 23 日, Keio University, Yokohama
 16. Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, and Tetsuya Nagasaka, Development of Integrated Phosphorus Cycle Input Output Model and Its Applications, International Conference on EcoBalance2012, 2012 年 11 月 20 日～2012 年 11 月 23 日, Keio University, Yokohama
- [図書] (計 2 件)
1. Sustainable Phosphorus Management: A Global Transdisciplinary Roadmap, Edited by Roland W. Scholz, Amit H. Roy, Fridolin S. Brand, Debbie T. Hellums, and Andrea E. Ulrich,, Springer, (2014).(318 ページ)
Dissipation and Recycling: What Losses, What Dissipation Impacts, and What Recycling Options?,
Yarime, Masaru, Cynthia Carliell-Marquet, Deborah T. Hellums, Yuliya Kalmykova, Daniel J. Lang, Quang Bao Le, Dianne Malley, Kazuyo Matsubae, Makiko Matsuo, Hisao Ohtake, Alan Omlin, Sebastian Petzet, Roland W. Scholz, Hideaki Shiroyama, Andrea E. Ulrich, and Paul Watts (P.247-274)
 2. Phosphorus, Food, and Our Future, Edited by Karl A. Wyant, Jessica R. Corman, and James J. Elser, Oxford University Press, (2013)(273 ページ)
Chapter 6: Phosphorus Recovery and Reuse, P is for Processing,
Hiroko Yoshida, Kimo van Dijk, Aleksandra Drizo, Steven W. Van Ginkel, Kazuyo Matsubae, Mark Buehrer (112-141)

Chapter 8: How MFA, transdisciplinarity, complex adaptive systems thinking, and education reform are keys to better managing P, P is for Parity, Rebecca Cors, Kazuyo Matsubae, Anita Street)167-182)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松八重 一代 (Kazuyo, Matsubae)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50374997

(2) 研究分担者

村上 進亮 (Shinsuke, Murakami)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：40414388

鎗目 雅 (Masaru, Yarime)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
准教授
研究者番号：30343106

城山 英明 (Hideaki, Shiroyama)
東京大学・大学院公共政策大学院・教授
研究者番号：40216205

馬奈木 俊介 (Shunsuke, Managi)
東北大学・大学院環境科学研究科・准教授
研究者番号：70372456