

機関番号： 1 2 1 0 2
 研究種目： 基盤研究 (A)
 研究期間： 2007～2010
 課題番号： 1 9 2 0 3 0 1 4
 研究課題名 (和文) バイオマス廃棄物の適正処理およびエネルギー利用による
 中国の統合的流域管理政策
 研究課題名 (英文) Comprehensive Watershed Management in China
 by Proper Processing and Energy Utilization of Biomass Wastes
 研究代表者
 氷 鮑 揚 四 郎 (HIGANO YOSHIRO)
 筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授
 研究者番号： 9 0 1 8 9 7 6 2

研究成果の概要 (和文)：

統合的流域管理政策総合評価のための動的シミュレーションモデルを構築した。中国嘉興市南湖、雲南省滇池、北京市密雲貯水池の各流域に適応し、バイオマスエネルギー変換技術を中心とする畜産廃棄物処理の優位性とその対費用効果やバイオマスエネルギー変換技術導入のGHG削減効果を数量的に示し、また CDM 事業によるプロジェクト推進の可能性等を分析し、この定量的な総合評価手法の有効性を明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

We have constructed a dynamic simulation model for comprehensive evaluation of integrated river basin management. Applying the model to the basin of South Lake in Jiaxing City, Zhejiang Province; Dian Chi Lake in Yunnan Province and Miyun Reservoir in Beijing City, we analyzed the advantages of technologies when livestock wastes are properly treated to produce biomass energy, the social cost-benefit ratio of biomass plants, GHG reduction costs with installation of the plants, and possibility for implementing CDM projects in the basins, and have shown that the simulation model is effective and valid for comprehensive evaluation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合 計
2007 年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2008 年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2009 年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2010 年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
年度			
総 計	32,100,000	9,630,000	41,730,000

研究分野：環境政策評価

科研費の分科・細目：経済学・経済政策

キーワード：政策シミュレーション，統合的流域管理

1. 研究開始当初の背景

中国の急激なエネルギー消費の拡大とそれに伴う温室効果ガス排出量の増加は、地球規模の問題となってきた。また、消費活動に伴う廃棄物の増加による環境負荷の問題も顕在化しつつあり、特に有機系廃棄物からのメタンガスや亜酸化窒素など温室効果の高い

ガスの発生や、排水による水系の汚染は水資源の問題と関連して今後ますます重大になることが予想される。今や中国の環境が地球環境を左右するといっても過言ではない。一方、日本では京都議定書の目標達成が困難な状況であり、達成のための手段の一つとして、CDM事業による温室効果ガス排出枠の確保が

重要と考えられる。

中国では廃棄物の処理システムはあまり進んでおらず、廃棄物が屋外に放置されたり、未処理排水がそのまま水系に流れ込んでいる例も多い。そうした廃棄物からは、二酸化炭素の数十～数百倍の温室効果を持つメタンガスや亜酸化窒素が発生することにより地球温暖化を促進し、また水質汚濁は水系の富栄養化を引き起こし、プランクトンの発生による有毒化の原因ともなっている。従って飲み水や調理などに必要な生活用水のための水資源は量・質ともにますます深刻な状況になりつつある。一方では都市化に伴う水資源の需要は拡大しており、逼迫し、過度に地下水依存が行われている。

以上のような状況から、中国では廃棄物の適正な処理およびその技術の普及を早急に進める必要があるが、処理技術はまだ設置者においてメリットを生み出すだけのコストダウンが進んでいない。また、政策発動により地域単位で導入を進めようとしても、経済と環境の両面を考慮した統合的な評価手法は確立されていない。こうしたプロジェクトの評価に関わる従来の研究は、プロジェクト単独の効果や単一の環境指標（例えば温室効果ガス）のみを考慮したものがほとんどであり、温室効果ガス・大気汚染・水質汚濁を全て考慮し、さらに波及効果による産業全体への影響を考慮した評価方法に関する研究例は見当たらない。物質収支の観点から考えると、ある環境負荷を低減させた場合に他の環境負荷を増大させる可能性がある。これが環境負荷を総合的に捉えなくてはならない根拠である。

メタンガスや亜酸化窒素の発生、水質汚濁を引き起こしているのはバイオマス廃棄物の中でも特に水分の多い生ごみ、下水汚泥、畜産廃棄物（湿潤バイオマス）といったものである。これらを燃焼や熱分解といった熱化学的プロセスで処理するには水分を蒸発させるための大きなエネルギーが必要であり、投入エネルギーに対する回収エネルギーの比が小さい。生物的处理を行った場合にもメタンガスが発生するが、装置内であるため容易に回収が可能であり、エネルギー利用できる。それは最終的には二酸化炭素となるが、この二酸化炭素はカーボンニュートラルであり、同じエネルギーを化石燃料から得た場合の二酸化炭素の排出が抑制されることになる。つまりバイオマスの生物的处理により、温室効果の高いメタンガスや亜酸化窒素の排出がカーボンニュートラルな二酸化炭素の排出や、脱窒により無害の窒素に置き換わるのである。

研究代表者は以前より政策や技術の総合評価に関する研究を進めており、環境と経済の双方を考慮した最適政策を導出するシミュレーションモデルの開発を行ってきた¹⁾²⁾。文部

科学省都市エリア産学官連携促進事業（霞ヶ浦南岸新興都市エリア：生ゴミ・家畜ふん尿バイオマスのエネルギー化システムの開発）においては霞ヶ浦浄化のためのバイオマスのエネルギー化システムの開発プロジェクトに参画し、霞ヶ浦流域を対象として経済と環境負荷（大気汚染・水質汚濁・地球温暖化）を考慮したシステムの総合評価に携わった。ここでは、畜産業に対する対策が水質の改善に効果的であるという知見が得られ、「流域管理組合」の設置により従来よりも効率的な管理体制が可能となることがわかった。また、水質悪化の原因となる畜産業からのバイオマス廃棄物のエネルギー利用に関して株式会社安田、筑波バイオ・エコシステム協同組合との共同研究を行っている。海外でも、ウィーン大学（オーストリア）、ヴィクトリア大学（オーストラリア）、ワイカト大学（ニュージーランド）、南京大学、嘉興学院（中国）などでワークショップを開き招待講演を行った。本研究はこうしたバイオマスプラント・最適化シミュレーションおよび政策評価に関する知見を生かし、中国の環境改善とそのための方針の評価に応用するものである。

1) 氷鮑揚四郎・小林慎太郎・水野谷剛，“環境・経済・財政を視野に入れた科学技術の総合評価 —バイオマスリサイクルプラントを例として—”，会計検査研究、no. 32(2005)，pp. 51-70。

2) 内田晋・氷鮑揚四郎，“廃棄物のエネルギー利用促進政策の評価”，地域学研究，vol. 36(2006)，no. 1，pp. 21-34。

2. 研究の目的

特定の流域を対象とし、バイオマスプラントの普及により温室効果ガス・水質汚濁物質・大気汚染物質といった環境負荷物質の環境中への排出がどう変わるか、誘発される需要により流域の産業構造や生産額がどう変わるか、また限られた予算制約や設定された環境基準のもとで経済活動を最大化するための投資の予算配分やタイミングを導出することにより環境と経済の両立が最大限に考慮された施策をモデルシミュレーションにより求め、動学的に総合評価する。

実際にバイオマスプラントを導入していく場合の投資主体や事業形態などについて、日本・中国・その他の国の事例を研究し、実現性の高い進め方を提案するため、CDMなどの事業を通じた、温室効果ガス排出枠の獲得による日本へのメリットについて検討する。

3. 研究の方法

バイオマスプラント技術およびその投資効果の評価のためのシミュレーションモデル（動学的総合評価モデル）の開発を行う。モデルの構成は以下の通りである。まず、流

域圏内において経済活動を行う主体として、産業部門、民間消費部門、行政部門を設定する。バイオマスプラントについても産業部門の一つとして扱う。廃棄物の処理の適正、不適正は環境負荷に大きく影響を及ぼすため、廃棄物処理技術に関しても技術ごとに部門としてモデル中に設定する。汚染物質の排出に対してはその除去技術が用いられることがあるが、主になる産業と切り離して考えるため、それらも独立の産業として扱う。

それぞれの部門は、原料の購入、生産、消費、排出、納税、貯蓄、投資といった様々な活動を行うが、全てに共通しているのは、どの部門もその活動を通じて物質・価値（貨幣）・エネルギーがそれぞれ均衡していることである。例えば、ある廃棄物処理部門に取り入れられた窒素は、最終的には環境中に何らかの形で放出される。その際に窒素分子として空气中に排出されれば無害であるが、窒素酸化物になれば大気圏における環境負荷になり、硝酸態窒素になれば水圏、地圏における環境負荷になり、亜酸化窒素になれば温室効果を持つ。こういった収支が全て均衡式で表現される必要があり、またそうした制約式が、本研究におけるモデルの主要な部分を構成する要素となる。

特定の流域をフィールドとしてシミュレーションモデルを構築し、汚染排出権取引市場を前提として、環境負荷排出削減制約を数段階で厳しく設定し、これに応じて当該地域 GRP の成長がどのように変化するか、その時に新たに選択、設置されるプラントの環境修復技術はどのようなものであるか、その技術の私的収支と社会的収支はどの程度乖離するか、新規技術を体現するプラントの設置を日本からの海外投資で実現した場合、CDM プロジェクトとしての可能性を測る指標としての二酸化炭素換算 GHG 排出削減コストはいくらになるか、等を分析する。

4. 研究成果

統合的流域管理政策総合評価のための動的シミュレーションモデルを構築した。中国嘉興市南湖、雲南省滇池、北京市密雲貯水池の各流域に適応し、バイオマスエネルギー変換技術を中心とする畜産廃棄物処理の優位性とその対費用効果やバイオマスエネルギー変換技術導入の GHG 削減効果を数量的に示し、また CDM 事業によるプロジェクト推進の可能性等を分析し、この定量的な総合評価手法の有効性を明らかにした。

具体的には、

(1) 中国北京市の上水の 60%以上を依存している重要な水源であり、近年、養豚業から排出される畜産廃棄物の不適切な処理に起因して水質悪化が問題となっている密雲貯水池の流域である北京市密雲県をフィールド

ドとして、同貯水池における水質改善と流域から排出される温室効果ガス (GHG) 排出削減のための総合的流域環境政策について、2007 年から 2016 年までの動的シミュレーション分析に基づく総合評価を行い、流域が今後実施すべき環境政策について分析した。環境修復技術として新たに、T-N の処理に優れた高度処理バイオマス・リサイクルプラントおよび大型のバイオディーゼル・エネルギープラントを導入することを検討し、二つの新技術は非常に有効で、水質改善と GHG 削減の双方において非常に優れていること示した。例えば、流域の GRP 成長率を平均 1.4%/年に維持したまま T-N、T-P、COD を 10 年間で現状と比較して、それぞれ 20%、35%、30%以上削減可能なこと、養豚業の生産額は 10 年間で 30%以上成長できること等を明らかにし、また、養豚業から排出される GHG は、10 年間で約 16 万トン削減可能であり、新技術の導入は水質改善ばかりでなく、地球温暖化対策としても貢献することも明らかにした。流域の GRP 成長率を平均 1.9%/年に維持すると、バイオマス・リサイクルプラントと新エネルギープラントの投資総費用は約 10 億元 (約 140 億円) であるが、その社会的便益は 450 億元であり、対費用効果の大きなプラントになることを明らかにした。各プラントの私的収支の分析では、新エネルギープラントについては、各養豚業は電力売上等でその費用を賄うことが出来るが、他方、バイオマス・リサイクルプラントについては、その費用を収入で賄うことはできないこと等を明らかにした。

(2) 中国雲南省滇池流域を研究対象地域として、流域で発生する化学的酸素要求量 (COD)、全窒素 (T-N) および全リン (T-P) で測った水質汚濁物質および二酸化炭素 (CO₂ (化石系))、メタン (CH₄) および亜酸化窒素 (N₂O) の温室効果ガス (GHG) の排出削減を目的とする総合的な流域環境政策分析した。滇池は中国第 6 番目の湖であり、昆明市を含む流域の社会経済発展を支える重要な水源であるが、近年、昆明市を中心とする流域における社会経済活動の急速な発展によって富栄養化が進み、いわゆる「三湖三河川」の一つに指定され、もっとも水質が悪化している重要な湖として国家レベルで膨大な財政投入を行い重点的な水環境改善に取り組んでいる。その汚染物質の 80%以上は、環境対策が難しいとされている畜産業や水田・畑地からの面源負荷であり、特に畜産廃棄物は不適切に処理されるならば、水質汚濁の原因となるだけでなく、メタンや亜酸化窒素等の地球温暖化の原因となる GHG を排出する。2007 年を初期値として、2008 年から 1 期 1 年、10 期の動学分析を行い、T-N、T-P および COD 排出量を一律に 2007 年レベル (各々、23,000 t、2,000

トン、79,000 t) からn%削減することを制約に、流域の社会経済活動水準を示す指標としての流域 GRP を最大化するケース設定を行い、下水道建設等の既存政策や低溶出率化学肥料等の新規政策効果を分析した。GRP の減少から判断して 30%削減が最大可能削減率で、その時の GRP 減少額は約 70 億円/年であることを明らかにし、これ以上の削減のためには新しい高度技術の導入が必要であることを明らかにした。行政区で見ると、農業の盛んな Song Ming 県および Ji Ning 県への予算配分が多く、次が都市部の Guan Du 区であり、総予算額 300 億円のうち、これらで 60%以上を占める。発生源別対策でみると、やはり、これらの三つの行政区では畜産業対策が最も大きく、40%前後の予算を配分している、等を示した。

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 30 件)

- ①康伝金・閻晶晶・氷鮑揚四郎、“中国における排出権取引制度導入に関する研究” 日本地域学会『地域学研究』Vol. 40, No. 3, 2010. 12, pp. 721-733. (査読有)
- ②洪澤博幸・氷鮑揚四郎・河野博忠、“社会的便益の評価手法に関する研究 - 技術的伝播拡散の外部性を考慮した一般均衡モデルを用いて - ” 日本地域学会『地域学研究』Vol. 40, No. 1, 2010. 8, pp. 73-94. (査読有)
- ③ Zhihong Shen, Yoshiro Higano, “Synthetic Evaluation of Water Pollution Emission Controls by Environmental Tax in Taihu Basin” *JAHES(環境共生)* Vol. 17, 2010. 6, pp. 99-108. (査読有)
- ④ JingJing Yan, Feng Xu, Chuanjin Kang, Yoshiro Higano, “Comprehensive Evaluation of Integrated Pollutant-minimization Policies in Rural Areas around Beijing: Case Study of Miyun County” *JAHES(環境共生)* Vol. 17, 2010. 6, pp. 87-98. (査読有)
- ⑤ Yoshiro Higano, Takeshi Mizunoya, Shintaro Kobayashi, Kiyonori Taguchi, Katsuhiko Sakurai, “A Study on Synthetic Regional Environmental Policies for Utilizing Biomass Resources”, *International Journal of Environmental Technology and Management (IJETM)*, Vol. 11, No. 1/2/3, 2009, DOI:10. 1504/IJETM. 2009. 02 7190, pp. 102-117. (査読有)
- ⑥ Yoshiro Higano, Takeshi Mizunoya, Shintaro Kobayashi, Kiyonori Taguchi, Katsuhiko Sakurai, “A Study on Synthetic Regional Environmental Policies for

Utilizing Biomass Resources”, *International Journal of Environmental Technology and Management (IJETM)*, Vol. 11, No. 1/2/3, 2009, DOI:10. 1504/IJETM. 2009. 027190, pp. 102-117. (査読有)

- ⑦ Susumu Uchida, Takeshi Mizunoya, Yoshiro Higano, “A Dynamic Evaluation of Policies to Promote the Use of the Potential Energy in Wastes” *Studies in Regional Science*, Vol. 38, No. 2, October 2008, pp. 339-350. (査読有)
- ⑧ Shintaro Kobayashi, Katsuhiko Sakurai, Takeshi Mizunoya, Yoshiro Higano, “Environmental Impacts of Industrial Sectors on Bohai Sea, China: Results from an Environmental Input-output Analysis”, Center for Environmental Information Science, *Papers on Environmental Information Science*, No. 22, 2008. 11, pp. 31-36. (査読有)

[学会発表] (計 86 件)

- ① Yoshiro Higano, Zhihong Shen, “Agricultural Waste Management and Economic Development in Taihu Basin, China.” Western Regional Science Association 50th Anniversary Meeting Preliminary Program, Feb. 29, 2011, The Monterer Plaza Hotel, Monterey, Colifornia, USA, p. 9.
- ② Yoshiro Higano, Feng Xu, JingJing Yan, Takeshi Mizunoya, Huanzheng Du, “The Simulation Analysis of Optimal Policy Including Introduction of Biomass Plant Technology for Dereasing WaterPollutions in Jiaying City, China” Sustainable Regional Growth and Development in the Creative Knowledge Economy, 50th European Congress of the Regional Sciece Association International, Jonkoping. Sweden, 2010. 8. 22. p. 253.
- ③ Jingjing Yan, Fang Xu, Chuanjin Kang, Yoshiro Higano, “Comprehensive Evaluation for Effective Stockbreeding Biomass Resource Utilization and Environmental Preservation in Rural Areas around Beiging : a Case Study of Miyun County” 『日本地域学会第 46 回 (2009 年) 年次大会学術発表論文集』 2009. 10. 11、広島大学・広島市、CD-ROM pp. 1-6.
- ④ Hong Li, Yoshiro Higano, “Comprehensive Watershed Management Policies in the Dian Chi Lake of Yun Nam Province with Focus on Non-point Source Pollution” 『日本地域学会第 46 回 (2009 年) 年次大会学術発表論文集』 2009. 10. 11、

広島大学・広島市、CD-ROM pp. 1-6.

〔図書〕(計 2 件)

①氷鮑揚四郎・水野谷剛・内田晋・今津佳都子、“総合評価に基づく霞ヶ浦流域の持続可能な循環型社会づくり”『環境市民による地域環境資源の保全－理論と実践－熊田禎宣・山本佳世子編』第二部、第 12 章、古今書院、2008. 7. 30, pp. 215-223. (総頁p. 239)

② Bin Li, Yoshiro Higano, “An Environmental Socioeconomic Framework Model for Adapting to Climate Change in China”, *Advances in Spatial Science-Globalization and Regional Economic Modeling*, Springer, September 2007, pp. 327-349. (総頁p. 473) (査読有)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

氷鮑 揚四郎 (HIGANO YOSHIRO)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号：9 0 1 8 9 7 6 2

(2) 研究分担者

田中 正秀 (TANAKA MASAHIDE)

金沢星稜大学・経済学部・教授

研究者番号：0 0 3 5 0 7 4 4

渋澤 博幸 (SHIBUSAWA HIROYUKI)

豊橋科学技術大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：7 0 2 9 1 4 1 6