

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：32621

研究種目：若手 B

研究期間：平成 23 年度 ～ 平成 24 年度

課題番号：23730250

研究課題名（和文） 水質取引の可能性に関する理論・実証分析

研究課題名（英文） Theoretical and Empirical Analyses on the Possibility of Water Quality Trading

研究代表者

小西祥文 (KONISHI YOSHIFUMI)

上智大学 国際教養学部 准教授

研究者番号：40597655

研究成果の概要（和文）：

本研究は、水質保全政策における排出権取引市場(=「水質取引」)の可能性を探る為、TRS 型水質取引モデルと DTRS 型水質取引モデルの相対的な経済効率性を、理論的・実証的に検証した。その結果、①TRS 型水質取引政策では効率的な取引を阻害し、DTRS 型水質取引政策では非効率的な取引を誘引してしまう傾向がある事、②両者の相対的効率性は、汚染企業の空間上の分布に大きく依存する事、③しかしながら、このような非効率な空間的汚染価格によって誘引される経済的損失よりも、誤った総量基準を設定する事による経済的損失の方が遥かに大きい可能性がある事、が明らかになった。実証研究の準備として、米国ミネソタ川流域のリン汚染に関する TMDL 規制に着目し、同流域の 44 汚染者のリン汚染削減費用関数の推計を行い、より現実的かつ厳密な実証研究を行う準備を整える事が出来た。

研究成果の概要（英文）：

This research project investigated the viability of water quality trading (WQT) as a practical water quality conservation policy. We examined, theoretically and empirically, the welfare properties of the two WQT systems, the trading ratio system (TRS), proposed by Hung and Shaw (JEEM, 2005), and the damage-denominated trading ratio system (DTRS), proposed by Farrow *et al.* (Land, 2005). Our main findings were (i) TRS tends to preclude welfare-improving trades whereas DTRS tends to encourage welfare-decreasing trades under realistic conditions of river systems, (ii) their relative efficiency depends on the geographic distribution of polluting sources in the river basin, and (iii) nonetheless, the efficiency loss due to failing to get the total supply of permits is larger than that due to failing to get the spatial prices of permits. Furthermore, we identified the total maximum daily load (TMDL) regulation and its associated WQT policy for phosphorus pollution in the Minnesota River basin as a study area for our empirical research. We estimated the (marginal) abatement costs of phosphorus removal at 44 water treatment plants under the TMDL regulation. The project is currently at the stage of implementing our empirical simulation work using the estimated abatement costs.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 1,900,000 | 570,000 | 2,470,000 |

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・応用経済学

キーワード：水質取引、空間的汚染価格、水環境政策、河川・湖沼の水質、排出量市場、国際情報交換

1. 研究開始当初の背景

これまで日本国内の水質保全政策は、排出規制・技術規制などの直接的規制を中心に行われてきた。一方、米国では 1990 年代に導入された SO₂ や NO_x の排出権取引市場の成功によって、水質取引(Water Quality Trading)市場への関心が高まっている。2003 年には、米国 EPA によって、「水質取引ハンドブック」が刊行され、水質取引市場が積極的に推進されつつある。その背景には、1980~90 年代に、27 地域の水質問題に関して、「水質浄化法(Clean Water Act)が遵守されていない」として、市民グループが EPA を起訴した事情がある。これらの地域の水質問題対策費用をいかに最小限に抑えられるかが、米国 EPA の優先課題であった。

経済学者は、排出権市場が所与の環境水準達成のコストを最小化することを理論的・実証的に証明してきた (Dale, 1968; Montgomery, 1972)。水質取引は、この排出権市場制度を水質問題対策に適用するものであり、米国 EPA もその効果に期待する所が大きかった。しかしながら、このような制度面・政策面からの推進力、そして理論上の予測にも関わらず、米国に於ける水質取引の現状は、SO₂ や NO_x の排出権取引市場ほど明るいものではない。Morgan-Wolverton (2005)の調査によれば、調査対象とされた 19 の現実の水質取引プログラムのうち、実際に取引が行われたのはわずか 11 プログラムであった。そのうちの 7 プログラムに関しては、5 指に余る程度の取引しか行われなかったという。

2. 研究の目的

本研究は、水質保全政策における排出権市場(=「水質取引」)の可能性を、理論的かつ実証的に考察・検討することを目的とする。

水質取引市場を成功させる上での大きな障害の一つとして、「単一の取引市場に於いて、空間的汚染価格(Spatially Explicit Prices of Pollution)を、個別の水質権取引にいかに適正に反映させるか」という点が、既往研究によって指摘されてきた。この点に着目して近年の提示されたのが、Hung-Shaw (2005)による TRS 型水質取引モデルと、Farrow et al. (2005) による DTRS 型水質取引モデルである。本研究では、これら二つの先行研究を土台とし、提示された水質取引モデルの市場均衡が、効率的な最適解を達成する事が出来るか否かを理論的・実証的に考察する。

理論的な考察対象としては、日本国内のみならず国外(とりわけ米国)に於ける海洋部を除くすべての河川・湖沼・内湾・内海の水質保全問題である。したがって、より広範囲な地域・水質問題へ適応可能な水質取引モデルを構築することが第一義的な目的となる。その一方で、実証的な検証を行うためには、理論モデルを数値モデル化した上で、モデルの適用可能な河川・湖沼地域の水質問題を選別し、モデルのパラメータ推定を行う必要が有る。その後、推定されたモデルを使い、理論的予測の確認及び競合するモデルの相対的パフォーマンスを実証的に評価する。

3. 研究の方法

本研究を 4 つの研究段階に分け、各段階の必要性に応じた研究手法を採用する。第一段階では、非線形な非便益が存在し、かつ二つ以上の支流を含むような一般的な水系に於ける水質管理の最適化問題を定義し、それと同値の費用対効果問題が存在することを証明する。第二段階では、TRS モデル及び DTRS モデルの市場均衡が、上述の条件の下でも、前述の最適化問題(したがって費用対効果問題)の解を達成することが可能か否かを理論的に分析する。第三段階では、理論モデルを具体化した数値モデルを構築し、理論的予測との乖離、あるいは理論的予測の度合い(例：最適解と市場均衡との乖離)を数値化する。最終段階では、同数値モデルを具体的な水系へと適用し、数値モデルの予測を実証的に評価・分析する。

4. 研究成果

(1)理論分析の結果

二つ以上の支流が存在し、非便益関数が非線形であるような一般的な水系に於ける費用対便益問題を定義し、その最適解を達成する事の出来る Hung-Shaw 型と Farrow et al. 型の費用対効果問題が存在することを証明した上で、次の二つの命題を証明した。

命題 1. 二つ以上の支流が存在する場合、TRS 型水質取引政策下の市場均衡解は、最適解を達成しない。

命題 2. 非便益関数が非線形である場合、DTRS 型水質取引政策下の市場均衡解は、最適解を達成しない。

即ち、理論上は、いずれの水質取引政策モデルに関しても最適解を達成しないケースが存在する為、いずれが良い水質取引モデルか確定出来ない事が明らかになった。

(2) 数値分析の結果

次に、二つの水質取引政策の相対的な効率性を評価する為、米国 EPA によって開発された NWPCA Model をベースとして、三つの汚染企業が河川に存在するケースを仮定し、比較的単純化された数値モデルを構築した。解析ソフト Matlab を利用して、同数値モデルに基づいたシミュレーションを行ったところ、以下の三点が明らかになった。

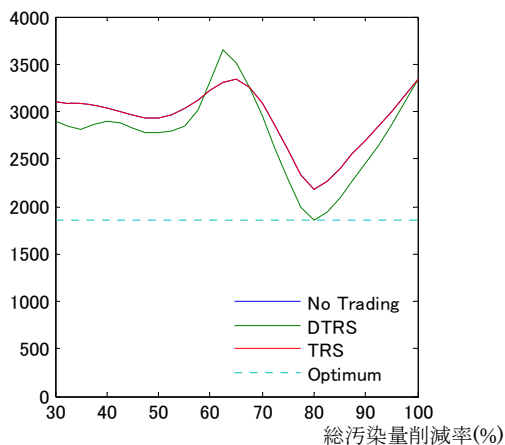
① TRS 型水質取引モデルがパレート改善的な水質取引を阻害する傾向がある一方、DTRS 型の水質取引モデルは反対にパレート非改善的な水質取引を推奨してしまう傾向がある。

② 二つの水質取引政策の相対的な効率性は、汚染企業の空間上の分布に大きく依存する。

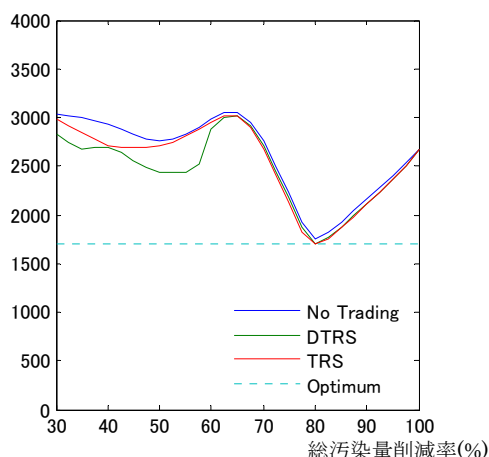
③ 排出権の初期配分量(分布は所与と仮定)を変動させた分析を行った結果、誤った初期配分量を分配する事によって生じる経済的損失の方が、TRS モデルないし DTRS モデルの市場均衡における内生的な空間的汚染価格が非効率である事から生じる経済的損失よりも遥かに大きい。

上記②③の二点を示す為、総汚染削減目標を 30%~100%へと変化させた際の経済コスト(総汚染削減コスト+総環境コスト)の変化を、それぞれの水質取引政策下でシミュレーションを行った結果を図表 1 と 2 に示す。

図表 1：ケース A
(高コストの汚染者が上流に存在する場合)



図表 2：ケース B
(高コストの汚染者が下流に存在する場合)



図表 1 は、高コスト汚染者が上流に位置する場合 (ケース A)、図表 2 は、高コスト汚染者が下流に位置する場合 (ケース B) である。

(3) 実証分析(準備段階)の結果

研究協力者である Jay Coggins 教授と密に相談した結果、米国ミネソタ川におけるリン汚染を対象とした TMDL 規制・水質取引政策を実証研究の対象水域として選別した。選別に当たって考慮した条件は、以下の通りである。(1)水質問題が顕著である、(2)二つ以上の支流が存在する、(3)非線形な非便益関数が予測される、(4)自然科学者による水質問題の既存研究が存在し、本研究の経済学的なモデルとの融合が比較的容易である、(5)比較的大きな水系であり、水質取引の導入による経済的メリットが大きい。加えて、研究代表者が、ミネソタ大学の出身である事から、規制当局との連携が比較的取り易い事がメリットとして挙げられる。

次に、ミネソタ大学の大学院生を雇用し、研究協力者である Jay Coggins 教授とともに、平成 24 年 7 月~平成 25 年 3 月の約 9 ヶ月間に渡り、①TMDL 規制に関する資料の収集・整備、②規制当局であるミネソタ汚染規制局(MPCA)と情報共有ネットワーク確立、③規制対象となる 44 の汚染者の汚染削減費用データ収集・計算を行った。結果として、ミネソタ川流域の 44 汚染者の詳細な汚染データ・情報を収集する事が出来た。また、データに基づき、以下の式で表される限界費用関数を推定した。

$$MC_i(x_i) = -\frac{[(\beta + \delta \ln f_i) OM_i + (\kappa + \omega \ln f_i) CC_i]}{x_i}$$

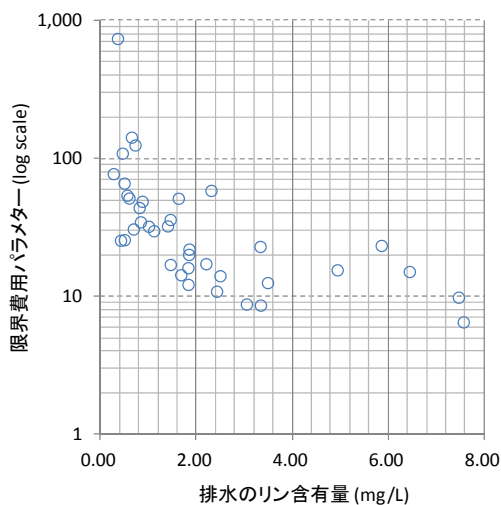
i : 汚染者

x_i : 汚染者 i の排水に含まれるリン含有量

f_i : 汚染者 i の排水処理施設の Design Flow
 OM_i : 汚染者 i のメンテナンス・コスト
 CC_i : 汚染者 i の資本コスト
 $\beta, \delta, \kappa, \omega$: 推定されたパラメーター

図表 3 に、実際に推計された限界費用(上の式の分子部分の値)と排水のリン含有量(過去 5 年間の平均値)に関する散布図を示す。今後は、推計された限界費用関数を使用して、TRS 型・DTRS 型の水質取引政策それぞれの相対的な効率性を評価する予定である。

図表 3: 推計された限界費用関数パラメーター (ミネソタ川流域の 44 汚染者)



(4) その他

上記(1)~(3)以外にも、当初予定していなかった追加的な研究成果があったので、簡潔に纏めておく。

第一に、日本国内における水質取引の可能性を探る過程で、大阪大学の水工学研究室の入江氏と面識を得る事が出来、流動水質モデルと社会経済モデルの統合による新たな水環境施策評価手法の開発を目指した派生プロジェクトを行うこととなった。同プロジェクトは、平成 25 年度の科研費「挑戦的萌芽研究」種目にて採択(内定)されている。

第二に、カナダの学会で、ブリティッシュ・コロンビア大学の Werner Antweiler 教授と面識を得る事が出来、同教授が研究されている新たな排出権取引モデル(水質取引に限定されない)を知る機会を得た。研究協力者と相談の上、同モデルも理論研究の考察対象に加える事とした。

第三に、上述のミネソタ川の TMDL 規制では、Jordan Trading Unit (JTU) という取引単位を使用した新たな水質取引モデルが既に実施されている事が明らかとなった。そこで、今後の実証研究では、TRS 型・DTRS 型・JTU 型と三つの水質取引モデルを評価する予定

である。

(5) 総括

理論分析・数値分析・実証研究準備の全ての段階に於いて、ほぼ申請時の計画通りに研究成果を出す事が出来た。そればかりでなく、同研究を更に発展させるような派生的研究プロジェクトをスタートさせる事が出来た。現時点では学術誌による採択には到っていないものの、これまでの成果を纏めた論文に対しては、メリーランド大学 Scott Farrow 教授、テネシー大学 Jacob LaRiviere 助教授、ブリティッシュ・コロンビア大学の Werner Antweiler 教授等から良いコメントを頂いており、経済学の権威ある学術誌 *Journal of Economic Perspectives* にも既に引用されている。その意味から、計画以上の成果が得られたと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

現在、海外学術誌 *Land Economics* にて審査中。

〔学会発表〕(計 4 件)

1. Yoshifumi Konishi or Jay Coggins, Association of Environmental and Resource Economists Summer Conference, Alberta, Canada, 2013 年 6 月 7 日(予定), 査読付き

2. Jay Coggins, *Water Quality Trading: Can We Get the Price of Pollution Right?* Canadian Resource and Environmental Economics Annual Conference, Vancouver, Canada, 2012 年 9 月 28 日, 査読付き

3. Yoshifumi Konishi, *Water Quality Trading: Can We Get the Price of Pollution Right?* The 2nd Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics, Bandung, Indonesia, 2012 年 2 月 3 日, 査読付き

4. Jay Coggins, *Water Quality Trading: Can We Get the Price of Pollution Right?* University of Minnesota, Environmental and Resource Economics Seminar (招待講演), 2011 年 9 月 26 日

〔その他〕

研究論文、成果報告の一部は以下のホームページに掲載されている。

<https://sites.google.com/site/yoshienvecon/research/water-quality-trading>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小西 祥文 (KONISHI YOSHIFUMI)
上智大学・国際教養学部・准教授
研究者番号：40597655

(2) 研究協力者

ジェイ・コギンス (COGGINS JAY)
ミネソタ大学・応用経済学部・准教授
研究者番号：該当せず