

Title	山梨県白州における地下水資源の取水制限管理：ゲーム理論による分析
Sub Title	
Author	越智, 柚月(Ochi, Yuzuki) 渡邊, 直樹(Watanabe, Naoki)
Publisher	慶應義塾大学大学院経営管理研究科
Publication year	2023
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2023年度経営学 第4101号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40003001-00002023-4101

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

慶應義塾大学大学院経営管理研究科修士課程

学位論文（ 2023 年度）

論文題名

山梨県白州における地下水資源の取水制限管理
ーゲーム理論による分析ー

主 査	渡邊直樹先生
副 査	岡田正大先生
副 査	武田史子先生
副 査	

氏 名	越智 柚月
-----	-------

論文要旨

所属ゼミ	渡邊直樹 研究会	氏名	越智 柚月
(論文題名)			
山梨県白州における地下水資源の取水 制限管理－ゲーム理論による分析－			
(内容の要旨)			
山梨県白州の地下水資源の持続可能な利用を目指す本論文では、地下水の過度な取水が環境へ与える影響を考慮し、ゲーム理論を用いた取水制限の管理体制を検討することを目的としている。特に、地下水資源の共同管理における業者間の意思決定を分析するために、「湖水ゲーム」と呼ばれるゲーム理論モデルを用いた。 第1章では、地下水資源の枯渇に対する問題意識と研究の必要性を提示し、本研究の目的と背景を明確にしている。地球環境危機時代において、地下水資源の持続可能な利用は重要であり、日本の指定区域を除いた地下水の汲水に関する現状と問題点を概説している。特に、地下水の過度な利用による枯渇のリスクとその社会的、環境的影響を指摘している。 第2章では、山梨県白州における現状と課題に焦点を当てた。地下水を利用する水関連企業や地域社会、行政の立場からの課題を分析し、水資源の過度な利用がもたらす環境への影響と社会的な影響を詳述している。特に、地下水利用に関する利害関係者間の複雑な関係性と、それによって引き起こされる「共有地の悲劇」のリスクを指摘した。 第3章では、「湖水ゲーム」を用いた分析を行い、共同管理団体の設立と懲罰制度の導入について分析している。この章では、業者の取水コストと政府の環境保全税の関係をモデル化し、ナッシュ均衡の分析を通じて共同管理団体への参加業者数が限定されることを明らかにした。この分析は、持続可能な水資源管理に向けた新しい洞察を提供し、地域コミュニティや政策立案への示唆を含んでいる。 研究の結果、全ての関連企業が共同管理団体に参加するわけではなく、加入する企業数は限定されることが明らかになった。持続可能な水資源管理というグローバルな課題に対して、具体的かつ理論的に裏付けられたアプローチを提示している。地下水資源の持続可能な利用は、地域コミュニティだけでなく、広い意味での地球環境にとっても不可欠である。この論文は、そのような問題への取り組みにおいて、新たな視点と解決策を提示し、水資源管理のための新たな道を開くことを目指している。			

目次

1.	序章	1. 1	はじめに	2
2.	山梨県における現状と課題			
		2. 1	山梨県白州における地下水保全	6
		2. 2	山梨県白州における利害関係者	8
		2. 3	山梨県白州の地下水位	9
		2. 4	山梨県白州における課題	9
3.	分析	3. 1	共同管理団体の創設	12
		3. 2	山梨県白州における湖水ゲーム	13
		3. 3	考察	21
4.	むすび			31
	謝辞			
	参考文献			
	付録 A.		山梨県白州の歴史	

山梨県白州における地下水資源の取水 制限管理—ゲーム理論による分析—

越智柚月

1. はじめに

本稿では、世界で広がる地下水資源の枯渇を背景として、その取水制限の管理体制をゲーム理論の観点から捉え、資源の共同利用を管理するためのある制度を検討する。考察対象地域として、日本有数の地下水汲水地である山梨県白州を取り上げる。

地下層を通じて広範囲で共有されている地下水資源の持続可能な利用は、地球環境危機を迎えている現代において、重要な課題である。日本において指定区域を除き、地下水の汲水に制限がかからないため、土地所有権を持っていれば、その下にある地下水を利用できる。指定区域を除き、個々の利用者は地下水の汲み放題が許されている¹。それぞれが個々の利益を優先し、地下水の汲み上げを行うと、水位が低下し、水が枯渇する。また、地下水の枯渇による地盤沈下や自然環境の破壊より、地下水を工業用水として利用していない周辺住民や自然環境へまで悪影響を及ぼす可能性がある²。

¹ 「工業用水法」指定地域内において地下水を採取し、これを工業用水として利用する場合、都道府県知事の許可を受けなければならない。また、地域指定は代替水源が確保できる地域に限られること、地盤沈下のおそれのない郊外や森林部での地下水利用には効果を発揮しないという問題点がある。

² 地下水源から過度に地下水が汲み上げられると、静水位が低下し被圧帯水層の水の圧力が低下し、被圧層の水の圧力と加圧層の水の圧力の均衡が崩れる。加圧難透水層(多くは粘土層である)から水が押し出され水分を失った分縮み、地下水位低下によって地盤沈下を引き起こす。

実際に、こうした事例として、人気ミネラルウォーターブランド「ボルヴィック」が挙げられる³。フランス中部ボルヴィック水源は枯渇し、同ブランドの商品が出荷停止となった。飲料メーカーや周辺地域での農業などによる水の過剰利用が原因であるとされている。水源の枯渇は、製品の供給に直接影響を与えるだけでなく、周辺の気候(湿度など)や生物生態系にも影響を与え、現在、地下水を利用して生きていた飲料メーカー、周辺住民、周辺の農家、生息する生き物、それぞれの生存が危ぶまれる事態になっている。

地下水の利用の管理において、利用者の利益と負担について分析し、誰でも自由に利用できる共有資源⁴である地下水を枯渇させないための制度が必要である。地下水が枯渇すると、一時的な水不足に収まらず、水資源の枯渇により生態系が変化することにより、生物多様性が減少し、元の水資源の環境への改善には長期間費やす。

本研究では、ボルヴィックの水源と似たような未来が訪れると予想できる山梨県白州の状況をShapley and Shubik (1969)によって定式化されたモデルを下敷きにした湖水ゲームを使って、整理する。山梨県白州の地下水を取水する業者が、予め決められた量の取水量限に应じるかを他社とは独立に決定することができるとき、取水制限に協力する場合と応じない場合の取水コストを比較する。地下水の枯渇を避けるために、業者が共同管理団体を創設しようとした

³ 橋本淳司,ボルヴィックだけじゃない！日本の水源枯渇危機いったん枯渇すると復活するには時間がかかる,東洋経済,2021/05/28, <https://toyokeizai.net/articles/-/431125>(2024/01/03)を引用

⁴ 日本では民法第 207 条の「土地の所有権は、法令の制限内において、その土地の上下に及ぶ」という条文を根拠に原則として、地下水は共有資源ではなく、私水という扱いとなっている。

ときの組織の成立可能性を判定するために、交渉プロトコルを定め、山梨県白州の地下水の枯渇を食い止めるために有効であるか、有効にするにはどのような制度が必要かを考察する。

分析の結果、取水制限に協力することで発生する損失額が一定以上のとき、共同管理団体に参加する業者が存在する可能性があり、その団体のメンバーは取水制限に参加し、非メンバーは取水制限に参加しないことがわかった。本稿で定めた交渉プロトコルによる共同管理団体の創設では、「共有地の悲劇」は緩和される可能性があるといえる。

本稿の次章以降の構成は次のとおりである。2章では、天然水名産地である山梨県白州における現状と課題を記述する。3章では、3.1節で分析のためのモデルと一般的な結果を記述し、3.2節ではそれを山梨県白州の状況に応用する。3.3節では、分析の結果、どのような示唆を得て、政策的には何をすべきなのか、関係者は何をすればいいのか、共有資源の枯渇を抑制するための土着の制度や文化について多くの事例を集めて考察したオストロムの示唆とは何がどう違うのかを考察する。4章では、研究結果の要約と共に、持続可能な水資源管理に向けた提案を行い、今後の政策立案や地域コミュニティの取り組みへの示唆を提供し、本稿を締めくくる。付録Aでは山梨県白州の歴史を、付録Bでは 飲用天然水の歴史を概観する。

2. 山梨県白州における現状と課題

2. 1節では山梨県白州の地下水管理に関する法律や条約を記述する。2. 3節と2. 4節では、山梨県白州の状況を整理し、2. 5節では山梨県白州における地下水管理の課題について記述する。

2. 1 山梨県白州における地下水保全の法律や条約

日本において、地下水保全管理に関する総合的な法律は存在しない。しかし、地下水を取り巻く環境や状況はそれぞれの地域によって異なる。総合的な地下水管理に関する立法化によって、政府による中央集権的統制は可能になるだろう。しかし、管理する地下水源が増加するにつれて、個別の事案に対応させて取水行動を抑制するための管理コストは膨大なものになり、その削減も政府にとって勘案すべき課題となるだろうと考えられる⁵。

山梨県白州の地下水地域には、四つの地下水管理の条約が設けられている。以下の表2では、山梨県白州における地下水管理の条約がまとめられている。地下水資源の保全のため、井戸設置に際する届出や採水量の報告が義務つけられている。しかし、取水制限に関する具体的な条約はない。

山梨県白州(現北杜市)は地下水を採取している水関連企業と経済的な利害関係を持っている。ボトリング工場は地元雇用をもたらし、広大な工場敷地に伴う多額の固定資産税を市は得ている。地元の地方自治体が、地下水の他採取地化が進んでいる大企業に対して、取水制限を設けることは難しいといえる⁶。

⁵ 渡邊(2023)を参照。

⁶ 新井(2014)を参照。

表1 山梨県白州における地下水管理の条約

条例名	条約の目的	条例の内容
北杜市地下水採取の適正化に関する条例	井戸設置者へ地下水採取の適正化と水源の保全	井戸設置者に井戸着工届出の義務付け，規制地域内の井戸設置の禁止，違反者は10万円以下の罰金
北杜市水資源の確保と保護に関する条例	水質の汚濁又は汚染防止，清浄な水の確保及び地下水の自然涵養と保護	汚染をもたらす規制対象施設の設置の禁止など
山梨県地下水及び水源地域の保全に関する条例	地下水の適正な採取	一定規模以上の揚水設備の設置者に事前届出を義務付けや地下水の涵養計画の提出及び地下水の採取量の報告を義務付け
	水源地域における適正な土地利用の確保	水源涵養機能の維持及び増進を図るべき森林の存する地域を水源地域に指定，事前届出を義務付け，保全を図るための助言の実施
山梨県生活環境の保全に関する条例	水質汚染による公害の防止	廃棄物等の発生抑制，処理計画の作成の義務付け

2. 2 山梨県白州における利害関係者

・水関連企業(6企業)

山梨県白州にて地下水を採取しているのは，ウィスキーや天然水を製造している飲料メーカーや菓子や加工食品を製造する食品メーカー数社である。各社

は多採取地化を進めているため、現地での反発が強まったり地下水が枯れたりした場合は、日本全国にある採取地で代用できる。しかし、ESGへの意識が高まっているため、地下水の枯渇が起きてしまった場合、株主や消費者から反発を受ける懸念はある。

・北杜市(旧白州町)議会

北杜市は、水関連企業から経済的な恩恵を受けている。高齢化と人口減少、産業構造の転換により、税収が減っていた北杜市(旧白州)は、誘致した水関連企業に経済的に依存した状況である。工場見学客を受け入れるなど白州町の観光に寄与してきたこと、広大な工場敷地に伴う多額の固定資産税を納め町の財政に寄与してきたこと、そしてミネラルウォーター製品の1本1本が「白州」という地名を消費者に認知させるものであったことから、誘致企業に対して強い規制に踏み切れない。しかし同時に、限りある地下水資源の将来に不安を感じている。このまま地下水を汲み続けて水資源が枯渇してしまうと、地下水位低下による地盤沈下や自然環境破壊、水関連企業の撤退による税収の減少などの懸念がある⁷。

・個人住民

北杜市では、水道水として地下水を利用している。水関連企業からの税収や観光効果によって、個人住民たちの生活のインフラは維持されていると言えるが、地下水が枯渇してしまうと、生活用水を失ってしまう。また、地下水枯渇

⁷ 新井(2014)の129ページの記述を参照。

による地盤沈下や生態系の破壊による気候の変化によって生活する場所を失う可能性がある。

2. 3 山梨県白州の地下水位

地下水位に関して、どのくらいの量を採取すると水源が枯渇するのか分かっていない。地下水位の観測が始まった1999年度から2004年度まで、各観測井の地下水位に大きな変化は見られなかった。しかし、地下水採取量が急激に増加した1995年度から1999年度までの地下水位は測定していないので不明であり、この時期には地下水位の急激な減少が起きていた可能性がある。公表されたデータによると、4本の観測井のうち1本で地下水位の低下がみられ、このことと井戸周辺での企業活動との関連が示唆されている⁸。

2. 4 山梨県白州における課題

山梨県白州にある地下水地域には、取水を制限する法律や条約が設けられておらず、水関連企業は実質地下水の汲水をし放題という状況に置かれており、「共有地の悲劇」を起こしてしまいかねない。「共有地の悲劇」とは、誰でも利用できる共有資源で個々人が自分の利益を最大化するために行動し、共有資源が枯渇してしまう現象のことを指す。以下のモデルで、山梨県白州の地下水資源をめぐる状況について、湖水ゲーム⁹を使って説明する。

⁸ 新井(2011)を参照。

⁹ このゲームはShapley and Shubik (1969)によって定式化されたモデルを下敷きにしている。

湖のまわりに湖水を利用する業者が n 社あり、各社は予め決められた量の取水量限に応じるかを他社とは独立に決定する問題に直面している。各社にとって取水制限に協力する選択を C 、それに応じない選択を D とする。

このとき、業者 $i = 1, 2, \dots, n$ の取水コストは

$$\begin{aligned} f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &= K + k_i L \quad \text{if } x_i = C \\ &= (k_i + 1)L \quad \text{if } x_i = D \end{aligned}$$

であり、 $K(>0)$ は業者 i が取水制限に協力する（ C ）ことで発生する損失額であり、 k_i は取水制限に応じない（ D ）業者 i 以外の企業数（整数）であるとする。ここでは、 $L(>0)$ を $L < K < nL$ を満たす実数とする。つまり、取水制限に協力しない業者の数が増えるほど、環境保全のための税が政府によって課され、各業者が被る取水コストが増加することを想定している。この湖水を利用した製品は同一であり、その価格は1に固定されているとする¹⁰。よって、すべての業者は取水コストを最小化しようとする。

このような状況において、 k_i がどのような整数であったとしても、 $L < K$ より、すべての業者 i にとって戦略 D は戦略 C を支配する。よって、 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) = (D, D, \dots, D)$ がこの戦略形ゲームの唯一のナッシュ均衡である。このとき、 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) = (D, D, \dots, D)$ が満たされる限り、どのような税を課したとしても、取水制限に応じる業者は現れず、各業者の取水コストは nL になる。しかし、すべての業者が取水制限に応じた場合

¹⁰ 市場への出荷量によって価格が決まるとしても、本校の記述と同様の議論は可能である。製品の差別化を導入してもよいだろう。交渉や裁判所の調停を導入する場合には、そのような市場構造の特定が必要になる。

($y = (y_1, y_2, \dots, y_n) = (C, C, \dots, C)$) には、各業者の取水コストは K なので、 $K < nL$ より、すべての業者の取水コストは削減される。つまり、 y_i の方が x_i よりも望ましい。それにも拘らず、他社が取水制限に協力すれば、その数がどのような場合でも、自社の取水コストも削減され、戦略 $K < nL$ は支配戦略となっている。この現象は「共有地の悲劇」と呼ぶことができる。

政治学者エリノア・オストロムと経営経済学者オリバー・ウィリアムソンは、共有地の悲劇を和らげるための地域固有のシステムと文化的要因を研究し、理論に発展させることは志し、2009年のノーベル経済学賞を受賞した。彼らの研究では、繰り返し発生する状況において、時間をかけて形成された慣習や管理方法が重要であることが示されている。これは、ゲーム理論の繰り返しゲームを通じてより厳密に分析される。同じ状況が何度も起こる場合、プレイヤー間の協力を促す慣習の形成や、懲罰制度の調整が地域ごとに工夫されているが、これらは長い時間をかけて発展したものであり、他地域に適用するのは容易ではなく、共有地の悲劇を完全に解決するわけでもない。したがって、山梨県白州のように水資源保全に関する法的規制や合意、文化の存在が確認できない場合、各業者が自発的に条件に応じることはなく、共有地の悲劇が生じる¹¹。

地方自治体と水関連企業の利害関係を考慮すると、政府や地方自治体によって取水制限が今後設けられる可能性は低く、水源の枯渇を招きかねない。水源が枯渇した場合、周辺の生態系や環境に影響が出る。

水関連企業にとって、地下水資源の枯渇は、商品の製造ができなくなる、企業イメージの低下につながるという大きなリスクがある。しかし、地下水資源

¹¹ 渡邊直樹(2023)を参照

を管理するための総合的な法律や条約は，前節の通り存在しない．水関連企業は，地下水資源枯渇による機会損失のリスクを避けるための制度が必要である．山梨県白州において取水制限の管理体制をゲーム理論の観点から捉え共同資源の利用を管理するための制度を検討する．

3. 分析

以下では、3. 1節では共有地の悲劇を緩和するための共同管理団体の設立の
プロトコルについて記述し、3. 2節ではそれを山梨県白州の状況に応用す
る。3. 3節では、分析の結果、どのような示唆を得て、政策的には何をすべき
なのか、関係者は何をすればいいのか、オストロムの示唆とは何がどう違うの
かを考察する。

3. 1 共同管理団体の創設

湖水ゲームにおける「悲劇」を緩和するために、業者が共同管理団体を創設
しようとしたとする。この組織では、メンバーとなった業者の間で戦略 C を取
ることを申し合わせるが、 D を取ったメンバーに対して罰金 $q(> K - L)$ を課すと
いう規定を自主的に設定することができる。このような組織の成立可能性を判
定するために、次のような交渉プロトコルを定める¹²。

(1)共同管理団体への参加決定段階：各業者 $i = 1, 2, \dots, n$ は他社とは独立に同時に
(つまり、他者の参加の意思を知ることなく) 上述の共同管理団体に加入する
($d_i = 1$) かしないか ($d_i = 0$) を決定する。

(2)罰金制度に関する交渉段階：共同管理団体に参加することにした業者は罰金
制度を設けるかどうかを投票で決める。罰金制度は全メンバーの $p\%$ が賛成す

¹² 渡邊(2023)を参照。

る場合には設けられ、そうでなければその導入案は却下される。ここでこの共同管理団体の維持費はかからないとする。

(3)湖水ゲームにおける行動決定段階で記述した湖水ゲームがプレイされる。罰金は共同管理組織のメンバーには適用できるが、取水制限に協力しない非メンバーには罰金を課することができない。

3. 2 山梨県白州における湖水ゲーム

山梨県白州は、日本有数の地下水汲水地であり、その地域特有の問題として地下水資源の過度な利用による環境への影響が挙げられます。本節では、白州の具体的な状況を考慮に入れ、湖水ゲームモデルを適用して、地下水資源の持続可能な管理方法を探求する。

山梨県白州において共同管理団体設立に必要な業者数を求める。山梨県白州において、地下水を取水している水関連業者は6社ある¹³。この湖水を利用した製品は同一であり、その価格は1に固定されている。また、各社年間100本ずつ製造したとする。業者は、取水制限に協力する（行動C）か、協力しない（行動D）かを選択できる。取水制限に協力すると、業者は損失Kを被る。取水制限に協力しないと、業者は政府から課される環境保全のための税Lを支払う。L（政府が課す環境保全のための税）は、山梨県で検討されていたミネラルウォーター税より、0.005(0.5%)とする。K（取水制限に協力することで発生する損失額）>Lである。

¹³ 新井(2014)の129ページの記述を参照。

また、岡田(1996)の4. 8節 (2011年に刊行された新版では4. 8. 2節) に従って、 $p = 100$ の場合に限定した場合の結果を記述する。ここでは、全員が賛成しないと罰金制度を導入できない場合を後ろ向き帰納法を用いて考える。

山梨県白州において業者が共同管理団体を創設しようとしたとする。この組織では、メンバーとなった業者の間で戦略 C を取ることを申し合わせるが、 D を取ったメンバーに対して罰金 $q(> K - L)$ を課するという規定を自主的に設定することができる。このような組織の成立可能性を判定するために、湖水ゲームの交渉プロトコルを前節と同様に定める¹⁴。

(1)共同管理団体への参加決定段階：各業者 $i = 1, 2, \dots, 6$ は他社とは独立に同時に

(つまり、他者の参加の意思を知ることなく) 上述の共同管理団体に加入する($d_i = 1$) かしないか($d_i = 0$) を決定する。

(2)罰金制度に関する交渉段階：共同管理団体に参加することにした業者は罰金制度を設けるかどうかを投票で決める。罰金制度は全メンバーの $p\%$ が賛成する場合には設けられ、そうでなければその導入案は却下される。ここでこの共同管理団体の維持費はかからないとする。

(3)湖水ゲームにおける行動決定段階で記述した湖水ゲームがプレイされる。罰金は共同管理組織のメンバーには適用できるが、取水制限に協力しない非メンバーには罰金を課することができない。

¹⁴ 渡邊直樹(2023)を参照。

山梨県白州におけるこの3段階ゲームのサブゲーム完全ナッシュ均衡を求め、共同管理団体の設立に必要な企業数を割り出す。

ここでは、全員が賛成しないと罰金制度を導入できない場合を後ろ向き帰納法を用いて考える¹⁵と、（１）で s 社が共同管理団体に参加し、（２）で罰金制度の導入が可決されたとき、（３）で組織のメンバー i が「行動」 $x_i = C$ を選択すると、取水コストは $f_i = K + 0.005k_i$ であり、 $x_i = D$ を選択すると、取水コストは $f_i = (k_i + 1)0.005 + q$ である。 C より、組織のメンバー i にとって、 k_i が何社あっても行動 C を取った方が取水コストは低くなる。つまり、行動 C は行動 D を支配している。非メンバーには罰金が課されることはないので、行動 D は行動 C を支配している。

よって、サブゲーム（３）における唯一のナッシュ均衡は

- ・ 共同管理団体のメンバーは行動 C をとる。
- ・ 非メンバーは行動 D をとる。

（２）で罰金制度の導入が可決されなかった場合には、前節で記述した湖水ゲームの状況と同じなので、組織のメンバーであるかどうかに関らず、

- ・ すべての業者にとって行動 D は行動 C を支配する。

次に、上述の（３）の結果を読み込んで、（１）で s が共同運営団体に参加したとき、（２）で罰金制度の導入が可決されるかどうかを考える。罰金制度導

¹⁵ 岡田(1996)の4.8節を参照。

入が可決されると、サブゲーム（３）の均衡より、組織のメンバー s は行動 C をとり、非メンバーは行動 D をとるので、共同管理団体の各メンバーの取水コストは $K + (6 - s)0.005$ である。

一方、罰金制度導入が否決されると、組織のメンバーであるか否かに拘らず、すべての業者は行動 D を選択するので、それは $6L = 0.03$ である。

よって、 s 社すべてが罰金制度導入に賛成すれば、各社の取水コストは $K + (6 - s)0.005$ であり、1社でも罰金制度導入に反対すれば、各社の取水コスト0.03である。

ここで、 $K + (6 - s)0.005 = 0.03$ すなわち $S = K/0.005$ のときには組織のすべてのメンバーは罰金制度導入に賛成し、そのことをすべてのメンバーが互いに認識していると仮定する。

すると、 $K + (6 - s)0.005 \leq 0.03$ ならば、組織のメンバー i にとって、他のメンバー全社が罰金制度導入に賛成していた場合に自社も賛成するとその取水コストは $K + (6 - s)0.005$ 、反対するとそれは0.03となり、1社でも反対していた場合には罰金制度導入に賛成しても反対しても、その取水コスト0.03である。

$K + (6 - s)0.005 > 0.03$ のときにも、同様の推論を行うと、（２）と（３）からなるサブゲームにおける組織の各メンバーにとって、次のことが成り立つ。

・ $K + (6 - s)0.005 \leq 0.03$ ならば、つまり、 $K/0.005 \leq S \leq 6$ ならば、

賛成は弱い意味で反対を支配する。よって、共同管理団体のメンバー全社が賛成する。

・ $K + (6 - s)0.005 \leq 0.03$ 、つまり、 $1 \leq s < K/0.005$ ならば、

反対が賛成を弱い意味で支配する。よって、共同管理団体のメンバー全社が反対する。

最後に、(2)と(3)からなるサブゲームの結果を読み込んで、(1)で共同管理団体に参加する業者の数 s を求める。業者 i の行動は $d_i = 1$ (参加)か $d_i = 0$ (不参加)である。

参加する場合、業者 i の取水コストは、 $k_i = 6 - s$ より、

$$\begin{aligned} u_i(d_1, \dots, d_i = 1, \dots, d_6) &= K + (6 - s)0.005 \text{ if } K/0.005 \leq s \leq 6 \\ &= 0.03 \text{ if } 0 \leq s < K/0.005 \end{aligned}$$

不参加の場合、業者 s の取水コストは、同様に、

$$\begin{aligned} u_i(d_1, \dots, d_i = 0, \dots, d_6) &= (6 - s)0.005 \text{ if } K/0.005 \leq s \leq 6 \\ &= 0.03 \text{ if } 0 \leq s < K/0.005 \end{aligned}$$

ここで、 s^* を $K/0.005 \leq s$ を満たす最小の整数であるとする、(1), (2), (3) の3段階からなる展開形ゲームのサブゲーム完全均衡では、(1) において次のような結果が生起する.

・ 共同管理団体に参加する業者の数は s^* を超えることはない.

$s > s^*$ の場合、共同管理団体に参加する各業者の取水コストは $K + (6 - s)0.005$ であるが、ある業者 s のみが参加を取りやめるとその取水コストは $(6 - s + 1)0.005$ になり、 $K > 0.005$ より、コスト削減を導くことになる。よって、 s 社の参加はナッシュ均衡では生起しえない。

$s = s^* - 1$ の場合、共同管理団体に参加しない各業者 i の取水コストは $s < K/0.005$ だが、参加することになると、 $s < K/0.005$ より、取水コストを $K + (6 - s^*)0.005$ に削減できる。よって、 $s = s^* - 1$ はナッシュ均衡では生起しえない。

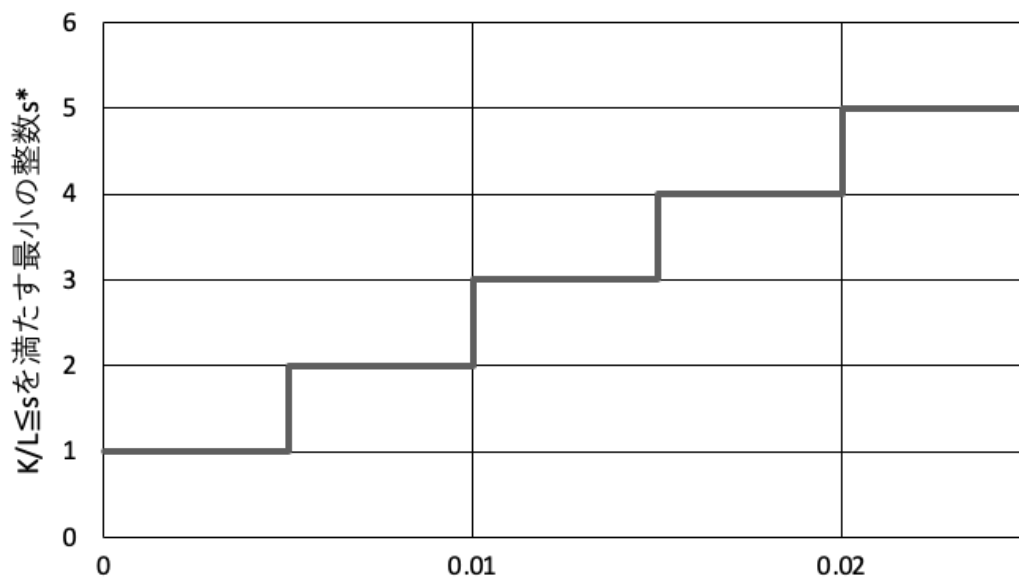
$s \leq s^* - 2$ の場合、共同管理団体に参加する各業者の取水コストは 0.03 だが、参加を取りやめてもその取水コストは変わらず 0.03 のままである。よって、 $s \leq s^* - 2$ はナッシュ均衡で生起しうる。

ここで、 s^* を $K/0.005 \leq s$ を満たす最小の整数 s^* であるとしたとき、湖水ゲームより、この3段階ゲームのサブゲーム完全ナッシュ均衡において、共同管理団体に参加する業者の数は s^* を超えることはなく、その団体のメンバーは行動 C

をとるが、非メンバーは行動 D をとる。従って、山梨県白州において、水関連業者全6社が共同管理組合に参加することはないことがわかった。

また、 s^* の値については以下の図1のようになる。

図1 山梨県白州における s^* の値



K (取水制限に協力することで発生する損失額) の値

$0 \leq s^* \leq 6$ である s^* の値は、

$$0 < K \leq 0.005 \text{ のとき } s^* = 1$$

$$0.005 < K \leq 0.01 \text{ のとき } s^* = 2$$

$$0.01 < K \leq 0.015 \text{ のとき } s^* = 3$$

$$0.015 < K \leq 0.02 \text{ のとき } s^* = 4$$

$$0.02 < K \text{ のとき } s^* = 5$$

図表3からは取水制限に協力することで発生する損失額が上がっていくと、共有管理組合に参加する業者のナッシュ均衡も階段状に増えていくことがわかる。取水制限に協力することで発生する損失額が上がっていくと、共有管理組合に参加する業者のナッシュ均衡も階段状に増えていくことがわかる。

以上の分析から、

- ・ $K/0.05 \leq S \leq 6$ ならば、賛成は弱い意味で反対を支配し、共同管理団体のメンバー全社が賛成。 $1 \leq s < K/0.005$ ならば、反対が賛成を弱い意味で支配し、共同管理団体のメンバー全社が反対する。
- ・ 罰金制度が導入されたとき共同管理団体のメンバーは取水制度に参加し非メンバーは取水制度に非参加,罰金制度が導入されないとき全社は取水制度に参加しない。
- ・ 共同管理団体の参加者は s^* を超えることがなく、 s^* の値は図表3のようになる。
- ・ 取水制限に協力することで発生する損失額が増えるほど共同管理団体へ参加する業者の最大数のナッシュ均衡は増える。
- ・ 取水制限に協力することで発生する損失額 $K > 0.005$ (図表3より)のとき、共同管理団体に参加する業者が存在する可能性があり,その団体のメンバーは取水制限に参加し非メンバーは取水制限に参加しない。

ということがわかった。よって、共同管理団体の創設により、共有地の悲劇の緩和は可能であるが、解消することはできない。

3. 3 考察

3. 2節での分析によって、共同管理団体の創設により、共有地の悲劇の緩和は可能であるが、解消することはできないことがわかった。本節では、 L （政府が課す環境保全のための税）や K （取水制限に協力することで発生する損失額）について深掘りし、諸制度について考察する。

前節での分析では、取水制限に協力することで発生する損失額 K を高めると共同管理団体への加入の必要性を高めることができることがわかった。 K は取水制限に応じる企業が被る「機会損失額」である。「機会損失額」には、取水量の制限による生産能力の低下やそれによる収益の減少が含まれる。この場合、取水制限によって製造できる量が減るときの損失額と取ることができる。取水制限に協力することで発生する損失額 K を高めるには、地下水を取水する業者への取水制限量を高めることで可能になる。 K （取水制限に協力することで発生する損失額）が0.02以上の時、共同管理団体への参加する業者数のナッシュ均衡が最大の5となる。

しかし、各業者は商品の価格をいつでも変更できるとき、単純に2%以上の取水制限を行うことで解決するわけではない。例えば、取水業者が商品の価格を1から1.5に変更して、全部売り切る場合、取水制限は0.52の時に共同管理団体への参加する業者数のナッシュ均衡が最大の5となる。このことから、取水制限を行う際に適切な取水制限量を設定するために、各業者が自由に価格を変更できなくする取り決めの制定が必要である。

各業者が自由に価格を変更できなくする取り決めの制定の必要性については、比較静学を用いて、詳しく説明する。前節での分析では、取水業者の商品の価格を1と設定した。ここでは、価格を1.5, 2にしたときのK（取水制限に協力することで発生する損失額）の変化について考える。

前節の分析と同じ手順で計算すると、価格を1.5としたとき

・ $K + (6 - s)0.005 * 1.5 \leq 0.03 * 1.5$ ならば、つまり、 $K/0.0075 \leq s \leq 6$ ならば、

（2）で賛成は弱い意味で反対を支配する。よって、共同管理団体のメンバー全社が賛成する。

・ $K + (6 - s)0.005 * 1.5 \leq 0.03 * 1.5$, つまり、 $1 \leq s < K/0.0075$ ならば、

（2）で反対が賛成を弱い意味で支配する。よって、共同管理団体のメンバー全社が反対する。

（2）と（3）からなるサブゲームの結果を読み込んで、（1）で共同管理団体に参加する業者の数 s を求めると

参加する場合、業者 i の取水コストは、 $k_i = 6 - s$ より、

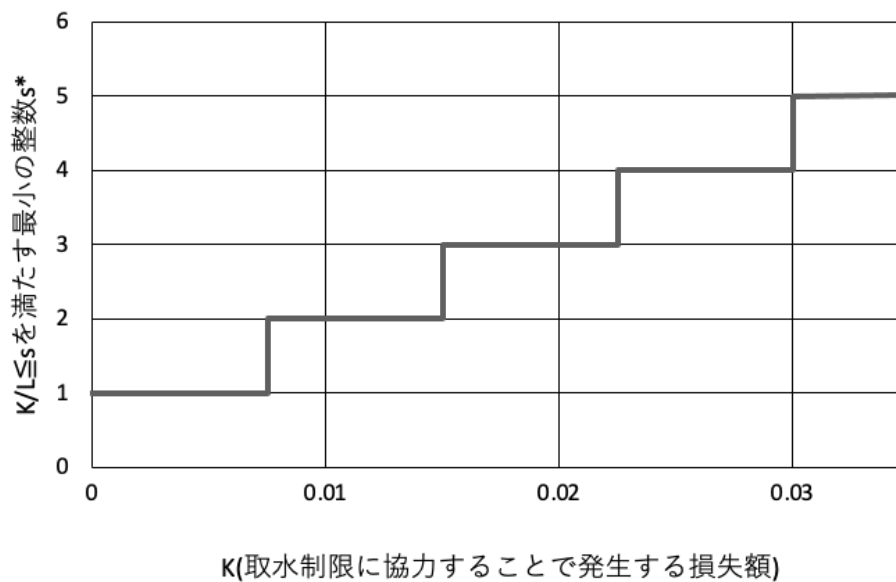
$$\begin{aligned} u_i(d_1, \dots, d_i = 1, \dots, d_6) &= K + (6 - s)0.005 * 1.5 \quad \text{if } K/0.0075 \leq s \leq 6 \\ &= 0.045 \quad \text{if } 0 \leq s < K/0.0075 \end{aligned}$$

不参加の場合、業者 s の取水コストは、同様に、

$$\begin{aligned} u_i(d_1, \dots, d_i = 0, \dots, d_6) &= (6 - s)0.005 * 1.5 \quad \text{if } K/0.0075 \leq s \leq 6 \\ &= 0.045 \quad \text{if } 0 \leq s < K/0.0075 \end{aligned}$$

ここで、 s^* を $K/0.0075 \leq s$ を満たす最小の整数であるとする、前節より、価格が1.5のときの s^* の値については以下の図2のようになる。

図2 山梨県白州における s^* の値



$0 \leq s^* \leq 6$ である s^* の値は、

$$0 < K \leq 0.0075 \text{ のとき } s^* = 1$$

$$0.0075 < K \leq 0.015 \text{ のとき } s^* = 2$$

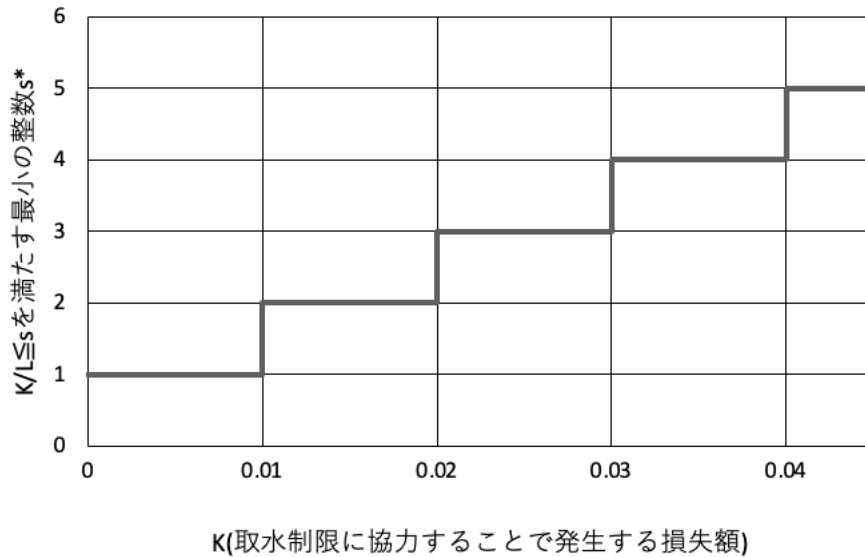
$$0.015 < K \leq 0.0225 \text{ のとき } s^* = 3$$

$$0.0225 < K \leq 0.03 \text{ のとき } s^* = 4$$

$$0.03 < K \text{ のとき } s^* = 5$$

同様に計算すると、価格が2のときの s^* の値については以下の図3のようになる。

図3 山梨県白州における s^* の値



$0 \leq s^* \leq 6$ である s^* の値は,

$$0 < K \leq 0.01 \text{ のとき } s^* = 1$$

$$0.01 < K \leq 0.02 \text{ のとき } s^* = 2$$

$$0.02 < K \leq 0.03 \text{ のとき } s^* = 3$$

$$0.03 < K \leq 0.04 \text{ のとき } s^* = 4$$

$$0.04 < K \text{ のとき } s^* = 5$$

前節の価格を1と設定したときと価格を1.5, 2に設定したときを比較すると, 価格を上げたときには, 共同管理団体に参加する業者数 s^* の値を上げるときに, より多くの取水制限に協力することで発生する損失額 K を必要とする.

これは, 価格の上昇に伴って同じ取水制限料をかけたときに, 機会損失額も上昇するからであるといえる. 以上の変化から, 取水制限を行う際に適切な取水

制限量を設定するために、各業者が自由に価格を変更できなくする取り決めの制定が必要であることがわかる。また、前節での分析では、L（政府が課す環境保全のための税）に山梨県で検討されていたミネラルウォーター税の値を使った。

- ・ ミネラルウォーター税

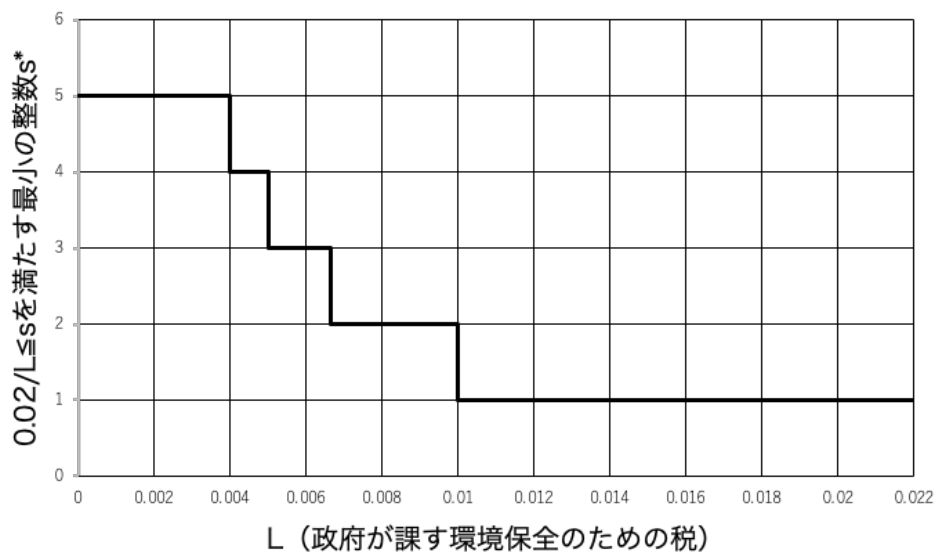
山梨県山梨県は面積比で78%が森林であり、豊富な地下水資源によって県民の生活用水の約7割がまかなわれている。加えて山梨県は日本一のミネラルウォーター生産量を誇り、30を超える企業が参入しそのシェアは33.9%(2011年)である。このことから地下水資源を保全するために、例年水源涵養事業に多額の財政負担を行っている。ミネラルウォーター事業者は水源地の土地を買入れ、採取した水そのものを販売して利益を得ており、受益者負担の原則から負担を求めるのは適当としてミネラルウォーター税の検討を2000年に開始し、森林整備と地下水の関係や課税の公平性の観点から検討が進められた。草案ではフランスの「ミネラルウォーター付加税」を参考にミネラルウォーター生産量に対し1リットル当たり0.5円従量課税し、税収見込みは年間2億6千万円というものであった。長い議論が行われたが結局山梨県はこの税について先送りされた¹⁶。

この事例では、山梨県白州地域だけでなく、山梨県全体で徴税する検討がされていた。ミネラルウォーター1リットルあたり100円としたとき、課税率は

¹⁶ 渡邊(2015)の62ページの記述を参照。

0.5%である。これを湖水ゲームのモデルに当てはめると、 L （政府が課す環境保全のための税） $=0.005$ となる。

図4 $K=0.02$ のときの共同管理組合に参加する業者数



前節での分析では、 L （政府が課す環境保全のための税）に山梨県で検討されていたミネラルウォーター税の値を使った。ここでは、図表3のように、 K （取水制限に協力することで発生する損失額）を0.02に固定したときの共同管理団体を創設し、前節の交渉プロトコルを定めたときの共同管理団体に参加する業者数をみると、

$0 \leq s^* \leq 6$, $0 < L < K$ より、その時の s^* の値については以下の通りである。

$$0.01 < L < 0.02 \text{ のとき } s^* = 1$$

$$0.0067 < L \leq 0.01 \text{ のとき } s^* = 2$$

$$0.005 < L \leq 0.0067 \text{ のとき } s^* = 3$$

$$0.004 < L \leq 0.005 \text{ のとき } s^* = 4$$

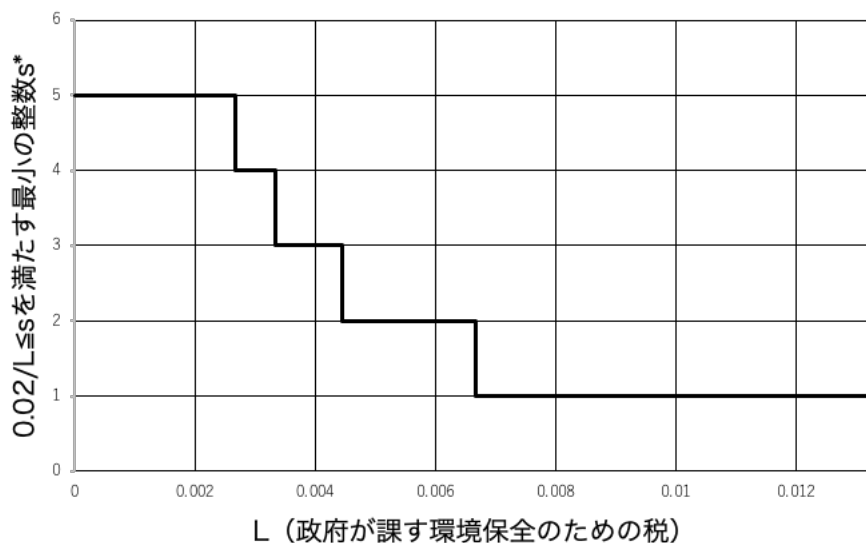
$$0 < L \leq 0.004 \text{ のとき } s^* = 5$$

L（政府が課す環境保全のための税）が減少すれば共同管理団体に参加する業者数の増加を実現することができるとわかる。

前節での分析では，取水業者の商品の価格を1と設定した．ここでは，価格を1.5，2にしたときのL（政府が課す環境保全のための税）＜Lの変化について考える．

K（取水制限に協力することで発生する損失額）を0.02に固定したときの共同管理団体を創設し，前節の交渉プロトコルを定めたときの共同管理団体に参加する業者数をみると，価格が1.5のとき以下の図5のようになる．

図5 K=0.02のときの共同管理組合に参加する業者数



ここでは、図5のように、 K （取水制限に協力することで発生する損失額）を0.02に固定したときの共同管理団体を創設し、前節の交渉プロトコルを定めたときの共同管理団体に参加する業者数をみると、 $0 \leq s^* \leq 6$, $0 < L < K$ より、その時の s^* の値については以下の通りである。

$$0.0067 < L < 0.0133 \text{ のとき } s^* = 1$$

$$0.0044 < L \leq 0.0067 \text{ のとき } s^* = 2$$

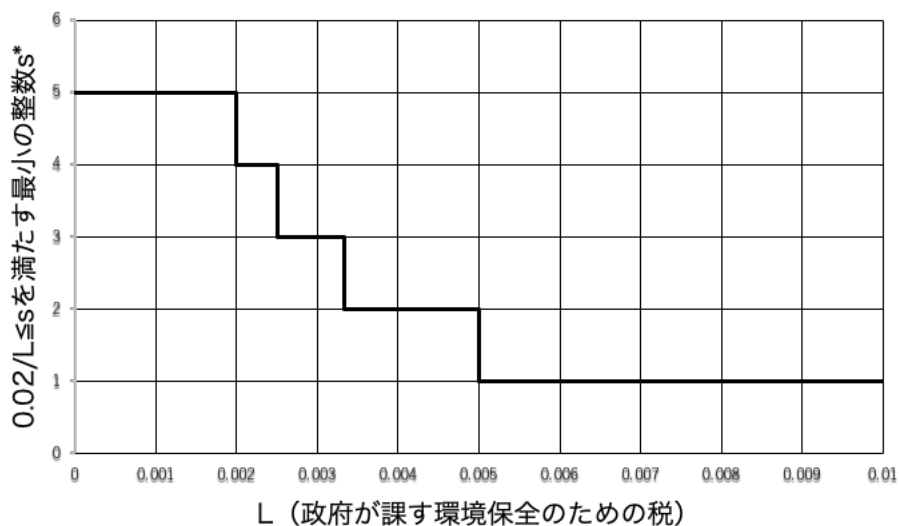
$$0.0033 < L \leq 0.0044 \text{ のとき } s^* = 3$$

$$0.0027 < L \leq 0.0033 \text{ のとき } s^* = 4$$

$$0 < L \leq 0.0027 \text{ のとき } s^* = 5$$

K （取水制限に協力することで発生する損失額）を0.02に固定したときの共同管理団体を創設し、前節の交渉プロトコルを定めたときの共同管理団体に参加する業者数をみると、価格が2のとき以下の図表6のようになる。

図6 $K=0.02$ のときの共同管理組合に参加する業者数



前節での分析では、 L （政府が課す環境保全のための税）に山梨県で検討されていたミネラルウォーター税の値を使った。ここでは、図表3のように、 K （取水制限に協力することで発生する損失額）を0.02に固定したときの共同管理団体を創設し、前節の交渉プロトコルを定めたときの共同管理団体に参加する業者数をみると、

$0 \leq s^* \leq 6$, $0 < L < K$ より、その時の s^* の値については以下の通りである。

$$0.005 < L < 0.01 \text{ のとき } s^* = 1$$

$$0.0033 < L \leq 0.005 \text{ のとき } s^* = 2$$

$$0.0025 < L \leq 0.0033 \text{ のとき } s^* = 3$$

$$0.002 < L \leq 0.0025 \text{ のとき } s^* = 4$$

$$0 < L \leq 0.002 \text{ のとき } s^* = 5$$

価格を1と設定したときと価格を1.5, 2に設定したときを比較すると、価格を上げたときに、共同管理団体に参加する業者数 s^* の値を増やすためには、より L （政府が課す環境保全のための税）を少なくすることが求められることが分かる。この変化から、取水制限を行う際に適切な取水制限量を設定するために、各業者が自由に価格を変更できなくする取り決めの制定が必要であることがわかる。

以上の分析より、北杜市(旧白州町)議会や個人住民は、山梨県白州において汲水している水関連企業(6企業)に対し、湖水ゲームを用いて現状の説明をし、

共同管理団体の設立を促すことが重要である。水関連企業間で共同管理団体を設立し、取水制限に合意し、違反した場合の罰金を設けることで、また、北杜市(旧白州町)議会や山梨県は、共同管理団体への参加を促進するために、取水制限による機会損失額（K）と政府による環境保全税（L）のバランスを考慮した政策が必要である。政府による環境保全税を決める際に、各業者が自由に価格を変更できなくする取り決めの制定が求められる。政府は水資源の効果的な管理を促進し、企業の自発的な協力を支援する政策を考慮すべきである。適切な税率の設定や共同管理団体の形成と運営を妨げない環境作りが必要である。

4. むすび

本稿では山梨県白州の地下水資源に関する湖水ゲームを「囚人のジレンマ」ゲームを用いて考察し、取水制限に参加する業者の数を明らかにした。共有地の悲劇を抑制するためにオストロム(1990)は多くの事例を集めて考察したが、それをゲーム理論の観点から定式化すると、繰り返しゲームによる分析となることには2章で言及した。本稿ではそれとは異なったモデルで、共同管理団体を個別事案の関係者によって設立し、水関連企業の自主的な運営を促進することも検討し、山梨県白州の地下水をめぐる状況を整理することで、地下水資源をめぐる利害関係者が誰でもその状況を容易に理解できることを目指した。共有地を、政府によって管理する方法や私有地化する方法による解決を目指さない点においては、オストロムの研究に準拠している。

松本(2011)は、土地所有者は同時にその土地での地下水の利用者となるという日本の現行の制度を批判し、国単位での地下水保全法整備を求めた。しかし、それぞれの地域によって、地下水資源保全のために必要な処置は異なり、個別事例を強制法規によって管理や維持するためには膨大なコストがかかる。水資源保全のための自発的行動を促すインセンティブを組み込んだ仕組みを整備するべきである。

また、前述の通り、環境保全のための政策は自治体、市、都道府県、国と規模が大きくなっていくほど、扱う案件が増えて、管理コストが増大し、政府が課す環境保全のための税 L を増やさざるを得なくなる。そこで、中央集権的管理ではなく、山梨県白州(現北杜市)市議会による地下水税の徴収についてもここで検討する。山梨県白州(現北杜市)では、高齢化と人口減少、産業構造の転

換により、税収が減っている¹⁷。そこで、地下水汲水に税を課すとする¹⁸。全国で山梨県白州のみが地下水の採取に課税するようになると、それが原価や市場価格にも反映されるので、山梨県の水は、競争上不利な立場におかれる。市議会の運営という点からも、地下水税の導入は却って山梨県白州の財政を悪くするものとなる。

また、本論文では共同管理団体を政府からの統制ではなく、個別事案の関係者によって自主的に設立され、運営する検討である。第3章で明らかになった通り、すべての企業が共同管理団体に参加することはないため、共有地の悲劇の完全な解消にはならない。また、6社中どの企業が参加するのかの検討も残っている。これらは将来の課題とする。

¹⁷ 付録Aを参照。

¹⁸ 小熊（2020）を参照。

謝辞

本論文の作成にあたり、ご指導いただいた渡邊直樹先生に感謝の意を表します。論文作成の過程において、知識、経験、そして無限の忍耐をもって、私を導いてくださりました。副指導教員の岡田正大先生、武田史子先生にも感謝の意を表します。私の個人的な状況に理解とサポートをいただきました。執筆中、相談に乗ってくださったゼミ生の皆様にも感謝の意を表します。皆様、本当にありがとうございました。

参考文献

- (1) Shapley, L. S. Shubik, M. 1969. On the Core of an Economic System with Externalities, American Economic Review 59, 678-684.
- (2) Ostrom, E. 1990. Governing the Commons: the Evolution of Institution for Collective Action, Cambridge University Press, Cambridge
- (3) 岡田章, 1996. ゲーム理論, 有斐閣. (新版, 2011)
- (4) 渡邊直樹, 2023. 水資源の管理: 共有地の悲劇への非協力ゲームからの接近. 講義ノート, 慶應義塾大学.
- (5) 国土交通省, 地下水関連条約の調査結果 (https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/mizsei/mizukokudo_mizsei_fr1_000038.html) (閲覧日 2024/01/09)
- (6) 小熊慎司, 2020. 地下水採取に対する課税の公平性・中立性に関する質問主意書 (https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_shitsumon.nsf/html/shitsumon/a203018.htm) (閲覧日 2023/12/27)
- (7) 新井智一, 2011. 山梨県白州町の地下水をめぐるポリティカル・エコロジー. E Journal GEO 5(2), 125-137.
- (8) 渡邊真大, 2015. 地下水保全のための制度整備に向けて, 香川大学 経済政策研究 第11号 (通巻第12号), 49-67.
- (9) 山梨県, 山梨県地下水及び水源地域の保全に関する条例 2018-10-04 <https://www.pref.yamanashi.jp/shizen/mizu-jyorei-koufu.html#contents> (閲覧日 2023/12/31)

- (10)橋本淳司, ボルヴィックだけじゃない!日本の水源枯渇危機いったん枯渇すると復活するには時間がかかる, 東洋経済, 2021/05/28, <https://toyokeizai.net/articles/-/431125>(2024/01/03)(閲覧日2024/2/17)
- (11)松本充郎, 2011. 地下水方の現状と課題, 69-96

付録

A. 山梨県白州の歴史

山梨県北巨摩郡白州町は、南アルプスと釜無川に挟まれた県境の町である。町の西部には甲斐駒ヶ岳がそびえ、これらの山への降水は、花崗岩層を浸透する際にミネラル類を含み、地下水として伏流する。地下水は工業用水と飲用水として釜無川の水は農業用水として供給されてきた。白州町には国道が通り、かつて町内の台ヶ原宿が栄えたが、鉄道の開通により衰退すると農業が産業の中心となった。隣町には JR 本線と中央自動車道があり、県庁所在地の甲府市や東京への便は良い。白州町の人口は1947年に8111人とピークを迎えた後、1960年代に大きく減少し、2000年の人口は4285人となった。高齢化も進んでおり2000年の高齢者率は28.7%に達した。また、いわゆる減反政策や農家の後継者不足・高齢化などにより総人口に占める第一次産業人口の割合は1970年の63.6%から2000年の21.8%にまで減少、第二次産業人口の割合が14.3%から36.5%へ第三次産業人口のそれが22.1%から41.7%へと大きく増加した。人口減少に悩む白州町は1980年代以降、食品工業を中心とした企業誘致を推進し、水関連企業の集積が進んだ。1990年代半ば以降、住民や一部の議員が企業に対する地下水採取規制を求めたが、白州町の行政は、規制に消極的であった。その要因は、白州町は人口定着のために企業誘致を行ってきたものの、1990年代における企業誘致は時間と困難を要したからである。このため、白州町の行政は誘致した数少ない企業に対し、強い規制を行うことを避けている¹⁹。

¹⁹ 新井(2011)の125-131ページの記述を参照。