

2020年東京オリンピックを見据えた霞ヶ浦の浄化政策

水野谷 剛（筑波大学）

2013年9月7日にブエノスアイレスにおいて開催された第125次IOC総会において、2020年夏季オリンピックが東京で開催されることが決定した。これに伴い、茨城県も茨城県東京オリンピック・パラリンピック推進本部を設置し、海外からの観光客の誘客や出場選手のキャンプの誘致、県産品の販路拡大による地域活性化推進につなげようとして取り組んでいる。霞ヶ浦は日本第二の湖沼面積を有し、大きな観光資源である一方、昭和40年代中頃から慢性的な水質悪化の状態にあった。近年の各主体の活動によりその状態はやや改善の方向にあるが、更なる浄化努力が必要となっている。オリンピックが開かれる東京から約60km圏内と比較的近距離にある霞ヶ浦への観光客誘致のためにも、水質の浄化は欠かせない課題である。本研究では、地域経済と水質浄化のトレードオフ関係を考慮したシミュレーション分析により、オリンピックの開催される2020年までに霞ヶ浦は最大でどの程度まで浄化が可能なのか、そのポテンシャルとそのため最適政策及び地域経済への影響を明らかにする。

モデルは、流域市町村の社会経済活動を記述した社会経済活動モデル、流域市町村から霞ヶ浦への汚濁物質の動態を記述した水質汚濁物質動態モデルがリンクする構造をとる。社会経済活動モデルは、産業連関表における物量バランスをベースとし、各市町村の財政状況や各生活排水処理施設人口、土地面積の変化、各種補助金施策による産業活動への影響等が決定される。水質汚濁物質動態モデルは、各汚染排出源からの汚濁物質の排出量とその動態が決定されるものであり、社会経済活動モデルと水質汚濁物質動態モデルは一括リンクされ、相互依存の関係にある。モデルには、考える全ての交代的政策変数が組み込まれており、流入する水質汚濁物質の総量制約と茨城県の財政制約の下で、流域での汚濁物質の制御を、どのタイミングで、どこの地域に行くかという政策の最適組み合わせ、実施プログラムの内容を内生的に求められる。かつ同時に流入河川の水質や流域の社会経済活動の変化など、そのプログラムの効果、インパクトの総合評価を行うことが出来るものとなっている。

A Study on Optimal Environmental Policy for Lake Kasumigaura Toward 2020

Takeshi MIZUNOYA (University of Tsukuba)

Tokyo will be hosting the 2020 Summer Olympics. Kasumigaura is situated in southeast of Ibaraki prefecture, which relatively close from Tokyo. It is essential to improve water quality of the lake to invite more tourists.

Purposes of this research are clarifying how much we can reduce water pollutants flow into the lake by 2020 potentially and evaluating the effectiveness of regional environmental policy to control water pollutants emission in Kasumigaura basin by computer simulation. We consider both the total ecological system in and around the lake and the socio-economic situational changes over a certain period of time in the catchments area of Lake Kasumigaura.

This research presents a dynamic mathematical model based on expanded I-O analysis, which determines the optimal level of economic activities and their optimal emission of water pollutants so as to maximize the gross regional product (GRP) being subject to the emission standards of the water pollutants. By making the emission standards strict step by step, we analyze the feasibility and implementability of the reduction scenario by the numerical simulations.

2020年東京オリンピックを見据えた霞ヶ浦の浄化政策

水野谷 剛 (筑波大学)

1. はじめに

2013年9月7日にブエノスアイレスにおいて開催された第125次IOC総会において、2020年夏季オリンピックが東京で開催されることが決定した。これに伴い、茨城県も茨城県東京オリンピック・パラリンピック推進本部を設置し、海外からの観光客の誘客や出場選手のキャンプの誘致、県産品の販路拡大による地域活性化推進につなげようとしている。霞ヶ浦は日本第二の湖沼面積を有し、大きな観光資源である一方、昭和40年代中頃から慢性的な水質悪化の状態にあった。近年の各主体の活動によりその状態はやや改善の方向にあるが、更なる浄化努力が必要となっている。オリンピックが開かれる東京から約60km圏内と比較的近距離にある霞ヶ浦への観光客誘致のためにも、水質の浄化は欠かせない課題である。本研究では、地域経済と水質浄化のトレードオフ関係を考慮したシミュレーション分析により、オリンピックの開催される2020年までに霞ヶ浦は最大でどの程度まで浄化が可能なのか、そのポテンシャルとそのため最適政策及び地域経済への影響を明らかにする。

霞ヶ浦の水環境政策の評価に関しては、多くの研究が存在する。例えば、藤田ら(2006)は水物質循環モデルを活用して霞ヶ浦及びその流域圏を再生するための水環境政策について行っているが、目標とする水質の汚染削減目標を設定した上で内生的に最適政策を導出しているものではない。また、社会科学的手法によって社会経済モデルとエコシステムモデルを構築し、社会的活動と水質汚濁の問題を取り扱った研究として広瀬と氷鉋(2000)、Higano and Yoneta(1998)及びHigano and Sawada(1997)等が挙げられる。筆者らもMizunoya et al.(2007)等で新しく開発された技術の最適配置を考慮した最適水環境政策を提言している。しかし、これらの研究は1999年以降に政府主導で行われた市町村合併、いわゆる平成の大合併以降の市町村状況を反映しておらず、合併以後の状況を考慮したより現実的な政策提言が必要となっている。こういった課題に対し、筆者らは水野谷ら(2014)において、1999年のデータを元に、1999年から2020年に渡る長期の最適化シミュレーションにより、平成の大合併による行政区の変化を考慮しつつ、現実に実施されたそれまでの水質改善政策と最適政策との比較及び今後の政策方針について分析を行った。しかしこれはこれまでの政策の検証が可能であった一方、ベースとしたデータがシミュレーション対象の最終年から21年前のものとなり、データの最新性に課題が残された。本研究では、現時点で最新である2012年の産業連関表を用いた他、各種データを最新のものに更新し、より現状にあったシミュレーション分析を行った。

2. 研究方法

2.1 研究方法の概要

本研究では、対象とする霞ヶ浦流域の社会経済活動と流域内での汚濁物質の動態を同一のモデルに包摂し、平成の大合併以降の市町村状況を鑑みながら、東京オリンピックまでに最大限可能な霞ヶ浦への水質汚濁物質削減量とそのため最適政策についてシミュレーション分析により検討する。

研究方法は、流域内の水質汚濁物質の動態、社会経済活動、さらに地域環境政策変数を包含したシミュレーションモデルを構築し、霞ヶ浦へ流入する水質汚濁物質質量制約条件のもとで経済活動の指標であ

る地域 GDP を目的関数としたコンピューターシミュレーションを行い、得られた解より分析を行うというものである。

2.2 シミュレーションモデルとシミュレーション設定

分析対象地域は、霞ヶ浦及びそこへ流入する 17 の河川、そしてその流域市町村とした。流域内にある小河川は全てこの 17 の主要河川のいずれかに合流する。モデル内では各市町村で発生した水域負荷物質はすべて河川に流入し、霞ヶ浦へ流入するまでに一定の浄化作用を受けることとした。分析対象市町村を表 2 に示す。

本研究で構築したシミュレーションモデルは、筆者らが Mizunoya et al.(2007)等で構築したものがベースになっている。Mizunoya et al.(2007) 等で構築されたモデルとの最も大きな違いは、茨城県から支出されるべき各市町村への補助金額やあり得べき生活排水処理別人口が合併後の市町村ごとに導出されるよう構築されている点である。その一方で、生活排水処理別人口や汚濁負荷発生量などの各内生変数は合併前の市町村ごとにも導出されるようになっている。これは、平成の大合併により、複数の河川流域が同一市町村に存在する現在において、一つの市町村の中で、どの地点にどのような政策を実施すべきかといったより詳細な情報を得ることを可能にするためである。

このモデルは、流域市町村の社会経済活動を記述した社会経済活動モデル、流域市町村から霞ヶ浦への汚濁物質の動態を記述した水質汚濁物質動態モデルがリンクする構造をとる。社会経済活動モデルは、産業連関表における物量バランスをベースとし、各市町村の財政状況や各生活排水処理施設人口、土地面積の変化、各種補助金施策による産業活動への影響等が決定される。水質汚濁物質動態モデルは、各汚染排出源からの汚濁物質の排出量とその動態が決定されるものであり、社会経済活動モデルと水質汚濁物質動態モデルは一括リンクされ、相互依存の関係にある。

モデルには、考える全ての対政策的政策変数（表 1）が組み込まれており、流入する水質汚濁物質の総量制約と茨城県の財政制約の下で、流域での汚濁物質の制御を、どのタイミングで、どこの地域に行くかという政策の最適組み合わせ、実施プログラムの内容を内生的が求められる。かつ同時に流入河川の水質や流域の社会経済活動の変化など、そのプログラムの効果、インパクトの総合評価を行うことが出来るものとなっている。

表 1. 税収入からの支出を想定する政策

政策実施対象	具体的な政策内容
産業	I. 各産業への生産資本ストック減少補助金 II. 生産資本ストック減少補助金
家計(市町村)	IV. 市町村への下水道及び農業集落排水整備のための補助金支給 V. 市町村への合併処理浄化槽設置促進のための補助金支給
土地利用	VI. 米生産者への施肥田植機購入補助金支給 VII. 米生産者への溶出抑制肥料使用補助金支給 VIII. 農業生産者への補助金支給による耕作地の削減(休耕地への転換)

茨城県が表 1 に挙げられた政策群に支出する予算の総額は、実績値（広瀬と氷鉦（2000））より、年間 200 億円を限度とし、シミュレーションによって最適予算配分とその効果及び社会経済活動の変化が明らかに

される。制御対象とした水質汚濁物質は、T-N、T-P、COD の 3 つである。汚染物質の発生源は、産業系、生活系、面源系に分類し、それぞれを更に細分化し定義した。産業分類は表 3 の通りに分類した。水域負荷物質の生活系、面源系発生源は表 4 の通りに分類した。

表 2. 分析対象市町村

水域 Index	水域名	河川 Index	河川名	流域市町村 Index	旧市町村名	現市町村名	水域 Index	水域名	河川 Index	河川名	流域市町村 Index	旧市町村 名	現市町村名								
1	土浦沖	1	桜川	1	岩瀬町	桜川市	4	麻生	8	新利根川	24	利根町	利根町								
				2	大和村	桜川市					25	河内町	河内町								
				3	真壁町	桜川市					26	新利根町	稲敷市								
				4	明野町	筑西市					27	東町	稲敷市								
				5	協和町	筑西市					5	北浦(1)	9	鉾田川	28	旭村	鉾田市				
				6	下館市	筑西市									10	巴川	29	岩間町	笠間市		
				7	下妻市	下妻市											30	美野里町	小美玉市		
				8	つくば市	つくば市											31	茨城町	茨城町		
				9	新治村	土浦市											32	小川町	小美玉市		
				10	土浦市	土浦市											33	鉾田町	鉾田市		
2	清明川	11	美浦村	美浦村	11	山田川	34	北浦町	行方市												
2	高崎沖	3	恋瀬川	12	千代田町	かずみがうら市	6	北浦(2)	12	(直接放流)							35	大洋村	鉾田市		
				13	八郷町	石岡市											13	雁通川	36	雁通川	行方市
				14	石岡市	石岡市											14	(直接放流)	37	鹿嶋市	鹿嶋市
				15	玉里村	小美玉市					7	外浪逆浦	15	夜越川			38	牛堀町	潮来市		
				16	玉造町	行方市									16	前川	39	潮来町	潮来市		
				17	茎崎町	つくば市									17	常陸利根川	40	波崎町	神栖市		
18	牛久市	牛久市	41			神栖町	神栖市														
19	竜ヶ崎市	竜ヶ崎市																			
20	阿見町	阿見町																			
3	湖心	6	小野川	21	江戸崎町	稲敷市															
				22	桜川村	稲敷市															
				7	一ノ瀬川	23	霞ヶ浦町	かずみがうら市													

表 3. 産業分類

Index	産業名
1	稲作農業
2	畑作農業
3	酪農・肉牛
4	養豚
5	水産業
6	その他の工場・事業系産業
7	その他の産業

表 4. 水域負荷物質生活系・面源系発生源分類

Index	生活系	面源系
	生活排水処理分類	土地利用分類
1	下水道	畑
2	農業集落排水	水田
3	合併処理浄化槽	山林
4	単独処理浄化槽	市街地
5	し尿処理場	その他の土地利用
6	雑排水未処理	

2.3 モデルのフレームワーク

サブモデル間の構成を図 1 に示す。シミュレーションデータは 2012 年のデータを用い、対象期間は 2012

年から東京オリンピックが行われる 2020 年（1 期 1 年、9 期動学）とした。シミュレーションケースは、2012 年の汚濁負荷量データをもとに、2020 年の霞ヶ浦への汚濁負荷総量に制約をかけて設定し、それぞれのケースについてシミュレーションを行った。なお、このシミュレーションは LINDO SYSTEMS 社の数理計算用ソフトウェア LINGO を用い、コンピューターにより行った。

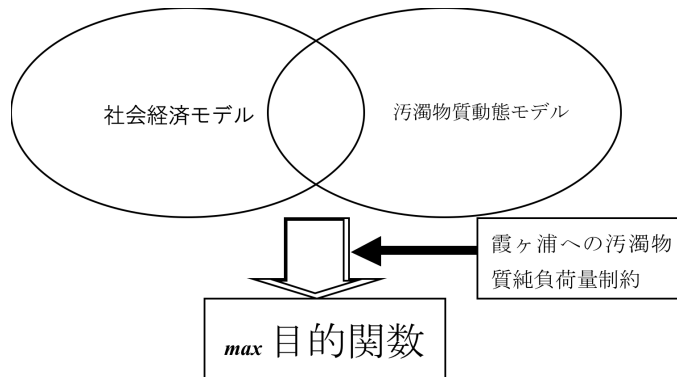


図1 サブモデル間の構成

3. シミュレーションモデルの構造（ページ数の制約上、ここでは一部のみ記述する。）

3.1 目的関数 *以下、(内) = 内生変数 (外) = 外生変数とする。

目的関数を霞ヶ浦流域市町村の GRP として、最大化問題を定義する。

$$\max \sum_{t=1} \frac{1}{(1+\rho)^{(t-1)}} GRP(t) \quad (1)$$

subject to eqs.

ここで、

ρ ; 社会的割引率 (=0.05)

3.2 河川による流入汚濁負荷

流域市町村の社会経済活動によって発生した水域負荷物質は、河川を通じて霞ヶ浦に流入する。汚濁負荷量は、合併前の旧市町村毎に決定される。

$$RQM_{ij+1}^{hp}(t) = RQM_{ij}^{hp}(t) + \gamma_{ij}^{hp}(t) + QR_{ij}^{hp}(t) + QD_d^{ip}(t) \quad (2)$$

(霞ヶ浦の水域 h に流入する河川 i の旧流域市町村 j に流入する負荷量 (内))
 = (霞ヶ浦の水域 h に流入する河川 i の旧流域市町村 j の社会経済活動による負荷量(内))
 + (霞ヶ浦の水域 h に流入する河川 i の旧流域市町村 j への降雨による負荷量(外))
 + (旧流域市町村 j にある下水処理場 d からの負荷量(内))

3.3 霞ヶ浦への流入汚濁負荷制約

本研究では霞ヶ浦へ流入する汚濁物質の量に制約をかけ、分析を行う。

$$Q^{p*}(t) \geq \sum_h Q^{hp}(t) \quad (3)$$

ここで、

$Q^{p*}(t)$: 霞ヶ浦流入汚濁負荷規制値 (外)

$WQ^{hp}(t)$: 霞ヶ浦の水域 h へ流入する水の水質 (内)

4. シミュレーション結果

4. 1 目的関数

本シミュレーションでは、2012年の汚濁負荷量データをもとに、最終年の霞ヶ浦への汚濁負荷総量に制約をかけて設定し5%刻みに、削減率25%以上のケースでは1%刻みに設定しシミュレーションを行った。また、各汚濁物質の負荷量は必ずその前年の負荷量と同じ、または減少するように制約を掛けた。その結果、削減率26%よりも削減率を大きくした場合のケースでは、実行可能解を得ることが出来なかった。このことにより、オリンピックの開催される2020年までに霞ヶ浦流域は最大で2012年比25%の霞ヶ浦への流入負荷を抑制出来るポテンシャルを持つことが明らかとなった。

各ケースにおける目的関数の推移を図2に示す。目的関数であるGRPの対象期間合計は、削減率20%のケースまではいずれのケースも29兆7,000億円程度で推移したが、削減率20%のケースを境に急激に減少し、削減率25%以降のケースでは18兆円を割り込むという結果となった。中村(1970)では、公害の特性の一つとして、ある地域全体としての公害の生産関数には環境容量の限界を示す閾値的特性をもつことを明らかにしている。図2にも、急速に関数形の曲率が急に大きくなる点(閾値)が削減率20%から25%で見られる。このことは、流域経済にとって25%の削減率を受容するには困難である事を示している。

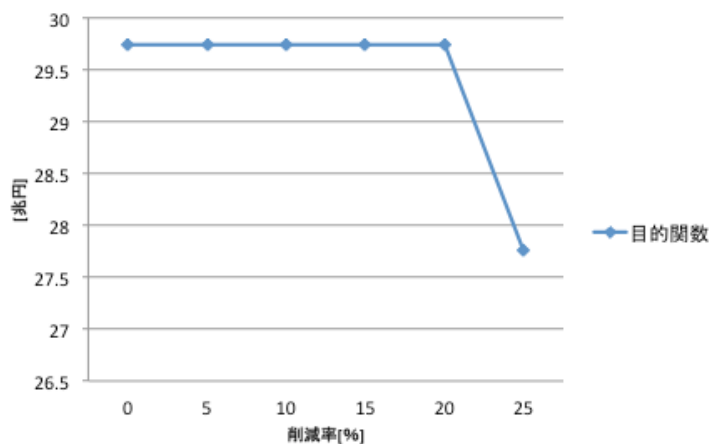


図2. 目的関数の推移

[参考文献]

- [1] 藤田光一,伊藤弘之,小路剛志,安間智之(2006),自然共生型流域圏・都市の再生 資料集 (II) 水物質循環モ

デルを活用した水環境政策評価～霞ヶ浦とその流域を対象として～,国土技術政策総合研究所資料

[2] 広瀬史明,氷鮑揚四郎 (2000) ,“霞ヶ浦流域における流入汚染負荷削減のためのシミュレーション分析”,
地域学研究,第30巻第1号,pp.47-63

[3] Higano.Y and A.Yoneta (1998) ,“Economical Policies to Relieve Contamination of Lake Kasumigaura,” *Studies in Regional Science*, vol.29, no.3, pp.205-218

[4] Higano .Y and T.Sawada (1997) ,“The Dynamic Optimal Policy to Improve the water Quality of Lake Kasumigaura,” *Studies in Regional Science*, vol.26, no.3, pp.75-86

[5] 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課 (2004) ,第4期の霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画策定関係資料集

[6] 水野谷剛,盧克宇,野崎乃倫子,ヤバーレ ヘルムート,氷鮑揚四郎(2014),「多部門分析による流域環境管理政策の提言」日本地域学会 第51回 (2014年) 年次大会, 麗澤大学

[7] 中村貢 (1970) ,“公害対策の経済学—経済成長との調和は可能か—”, エコノミスト 48 (46) (No.1839) 10月30日号

[8] Takeshi Mizunoya, Katsuhiko Sakurai, Shintaro Kobayashi, and Yoshiro Higano (2007), “Simulation Analysis for an Optimal Environmental Policy Including the Introduction of New Technologies” 日本地域学会『地域学研究』 Vol.37, No.1, pp.199-227.