

ウナギが日本を救う¹

制御理論モデルによるウナギの養殖努力分析

慶應義塾大学 藤原一平研究会

松本広司朗

芦田和歌子

柄川愛

周郷万里菜

三浦晃暉

2014年11月

¹ 本稿は、2014年12月13日、12月14日に開催される、ISFJ 日本政策学生会議「政策フォーラム 2014」のために作成したものである。本稿の作成にあたっては、多くの方々から有益且つ熱心なコメントを頂戴した。ここに記して感謝の意を表したい。しかしながら、本稿にあり得る誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。

要約

近年、健康志向の高まりが目立つ欧米諸国や、所得水準が向上しつつあるアジア・アフリカの開発途上国へと魚食文化のグローバル化が進んでいる。これにより水産資源消費が活発化する一方で、乱獲等による水産資源枯渇防止への配慮として養殖業へのシフトが世界的に目立つようになってきている。このような状況の中、日本は 2010 年に世界初のウナギの完全養殖に成功した。この養殖技術は 2014 年現在、未だ他国で成功例がなく、仮に実用化の段階にまで運ぶことが出来れば、今後の日本の水産業、特に養殖業の発展に寄与するものと期待できる。ウナギはその多くが日本で消費される魚種であり、完全養殖の実用化に成功したとしても国際的な競争力の獲得に繋がるか否か疑問に感じられるかもしれない。しかし、既に世界的に消費されているクロマグロの完全養殖が日本において成功しているという点や、ノルウェーがサーモンの養殖技術を確立させたことで世界的にその需要が高まったという過去の事例を参照することで、ウナギの完全養殖の実用化に向けた取り組みに注力する意義を長期的な視点から説明することが出来ると考えられる。更に、現在日本のウナギ輸入の大部分について依存関係にある中国が来年以降日本へのウナギ輸出に規制をかけるという旨の表明をしたことや、日本・中国・韓国・台湾の 4 か国間でウナギ貿易に関する初の国際的枠組みを制定したことなどの最近の経済情勢に鑑みると、これからの日本のウナギの資源管理問題に関して経済モデルを通じた分析を試みることには水産業全般の発展を考えるにあたって非常に有用であると考えられる。

ウナギの完全養殖の実用化は、資源制約がある点や完全養殖に成功しているという点において、クロマグロが完全養殖の実用化に成功した事例と共通している。そこで、先行研究として、本稿と関わりの深いクロマグロの先行研究を 2 つ紹介する。1 つ目の先行研究は、クロマグロの需要と供給の動向と完全養殖技術の経済的可能性に関する研究である。この論文では、マグロ資源制約によって天然マグロや畜養マグロの供給に制約が生じる場合に、完全養殖以外と比較して完全養殖にどの程度の経済的可能性があるのかを、クロマグロの需要関数と供給関数に関するシナリオに基づいて考察している。2 つ目は、クロマグロの漁獲量・資源量と価格の動向に関する研究である。この論文では、この論文では、余剰生産モデルに代表される生物資源モデルのパラメータである環境許容量と内的増加率がとりうる現実的な範囲を推定すると共に、今後の漁獲枠に関していくつかのシナリオを設定して資源動向を分析し、価格の推移を展望している。

本稿は先述の 2 つの論文を参考にしているが、ウナギに焦点を当てた点、3 期間モデルを使用した点、マクロモデル（制御理論）を使用した点という、大きく 3 点の独自性を持っている。ウナギについての研究論文は本数が少なく、また、資源状況や制約などで様々な共通点のあるマグロの研究についても、期間に分けて動学的な分析を行っているものは限られている。さらに、環境の変動に対応できるようパラメータを動かしマクロ的な分析を行っているものは見当たらない。具体的に本稿で述べた先行研究と比較してみても、上記 3 点すべてにおいて、より発展的な分析を行っているといえる。

分析の章では、ミクロ経済学のモデルを用いてウナギ資源について分析する。完全養殖の実用化の有無での場合分けや、輸出を行うこと、期間設定など様々な想定のもとで理論

を構築し、望ましい養殖努力について技術進歩をパラメータを変化させることで表現し、その時の効用の変化を見る。

政策提言の章では、分析結果を基に、効用をウナギの数量に換算し、実際のウナギ資源データや、ノルウェーのサーモン輸出を事例としてウナギの完全養殖の実用化を進める事の将来的な有用性について述べる。

キーワード：ウナギ、完全養殖、制御理論

目次

はじめに

第1章 現状分析・問題意識

第1節 (1,1)研究の動機

第2節 (1,2)過去の養殖業の取り組みに関する考察

第3節 (1,3)日本におけるウナギ供給の現状と改善策

第2章 先行研究および本稿の位置づけ

第1節 (1.1)クロマグロの需給動向と完全養殖技術の経済的可能性に関する研究

第2節 (1.2)クロマグロの漁獲量・資源量と価格の動向に関する研究

第3節 (1.3)本稿の独自性

第3章 分析

第1節 (1.1)ウナギ消費の持続可能性

第2節 (1.2)ウナギ完全養殖に関するモデル分析

第4章 政策提言

第1節 (1,1)政策提言の必要性

第2節 (1,2)政策提言

おわりに

先行論文・参考文献・データ出典

はじめに

2014年6月12日、ニホンウナギは国際自然保護連合（IUCN）によって絶滅危惧種に指定され、日本に激震が走った。ここ数十年間、国内のウナギの生産量が減る中、国民が初めてウナギの資源について危機感を覚えたではなかろうか。日本のウナギ資源管理は正念場を迎えていると言える。ウナギの稚魚の国内漁獲量は1960年代200tを超えていたが、2013年には2tを下回り、急速に減少している。これには1990年代での日本のウナギの乱獲が大きく起因している。また、日本ではウナギの生産の99%を養殖したウナギに頼っており、その稚魚の半数以上が中国からの輸入で成り立っている。しかし、2015年1月には中国側のウナギの在庫も切れる。このままでは、今後ウナギを食べることはできなくなり、持続的な供給が不可能になる日は近い。

その打開策となるのが完全養殖の実用化である。日本は世界最先端のウナギの養殖技術を有しており、2010年にはウナギの完全養殖に成功した。このことはウナギの資源危機という切迫した問題への希望になる事は確かである。その一方で、現段階の完全養殖によって生まれる稚魚の雄雌の比率には9：1という大きな偏りが生じており、実用化までには未だ多くの課題が残っている。この課題を解決すべく、完全養殖の実用化に向けた策を講じることはウナギの資源を守る上でも、日本の水産業を守る上でも必要不可欠である。また、ウナギの完全養殖の実用化に成功した場合、日本のウナギの持続的な消費を可能にするだけでなく、輸出による経済効果も期待出来るため、この研究に取り組む意義は大いにありと考えられる。

今回の研究では日本がウナギの完全養殖の実用化に成功することを前提とし、現状から輸出に至るまでのウナギの完全養殖の実用化に向けた取り組みにかかるコストと効用をパラメータによって場合分けしながら比較し、効用を最大化する最適な値を分析する。日本の過去のクロマグロの養殖の事例やノルウェーでのサーモンの成功事例を踏まえつつ、日本がウナギの完全養殖の実用化に成功することの有意性とその後の展開について政策と共に提言していく。

第1章 現状分析・問題意識

第1節. 研究の動機

第1項. 世界と日本における水産業全般の現状に関する概観

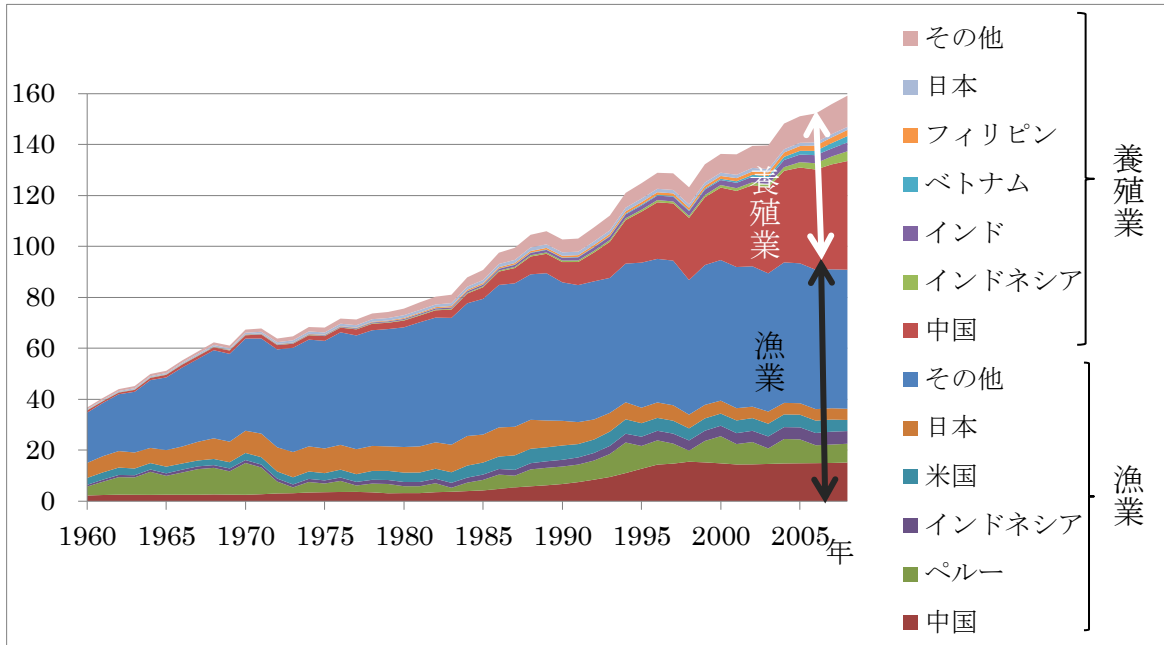
近年、日本食ブームをはじめとする欧米諸国の健康志向の高まりやアジア・アフリカの開発途上国の所得水準の向上などを原因として、世界的に水産資源の消費が活発化している。具体的に見てみると、韓国では一人あたりの消費量の推移に関して 1970 年代から急激な伸びを見せ、現在では 40 年前の約 4 倍の消費水準にまで達している。中国においても 80 年代まで横ばいだった消費量が 90 年代から急増し、従来約 5 倍の水準にまで達している。また、ここまで急激な変化は見られないものの欧米諸国も堅調ながら、着々とその水準を伸ばしてきているという点では他国と共通した動きが見られると言える。更に、過去 40 年間で世界人口が倍増し、今後も人口増加の傾向が続くと考えると、ますますこのような動きは顕著になってくるものと予想される。貿易という側面から見てみると、世界の水産物輸入貿易量および金額の推移について、総輸入貿易量・金額が平成 13 年時点でそれぞれ約 2,000 万 t・600 億ドルであるのに対し、平成 23 年時点ではそれぞれ 3,593 万 t・1,317 億ドルとなっており、過去 10 年間で水産資源の世界規模での需要は倍以上にまで増加していることが分かる²。

それでは、世界的に水産資源の需要が伸びてきている中で、その供給は需要に対して適切に対応できているのだろうか。この点、日本のみならず、水産業を営む世界各国で乱獲等を原因とした様々な魚種の枯渇が危惧されているというのが現状である。漁獲量、水産物輸入どちらをとっても、日本は世界的にトップクラスの水準にあるとすることができる。とはいえ、陸揚量や就業者数等の漁船漁業による経済効果は長きに渡って相対的に減少傾向にあると言わざるを得ない。また、世界的に見て将来ますます水産資源の消費量が増加していくと予想した場合、この現状に対して何らかの打開策を見出さないとこれらが完全に枯渇してしまう未来も現実味を帯びてくるだろう。

² これらのデータのみに着目すると、世界有数の水産資源消費国である日本も例外なく両者は増加傾向にあると予想できそうである。しかし、実際に日本国内における 1 人あたりの食用魚介類年間消費量の推移を見てみると、その予想とは真逆の結果となっていることが分かる。すなわち、平成に入って以降当該指標に関してピークの水準に達した平成 13 年時点で 40.2kg/人であるのに対し、平成 24 年時点で 28.4kg/人となっており、過去 10 数年の間に右肩下がり減少していたことが分かる。これらのデータから、近年の水産資源に関する経済情勢は世界全体で見た場合と日本国内のみで見た場合とで齟齬が生じている、という現状を指摘することができる。

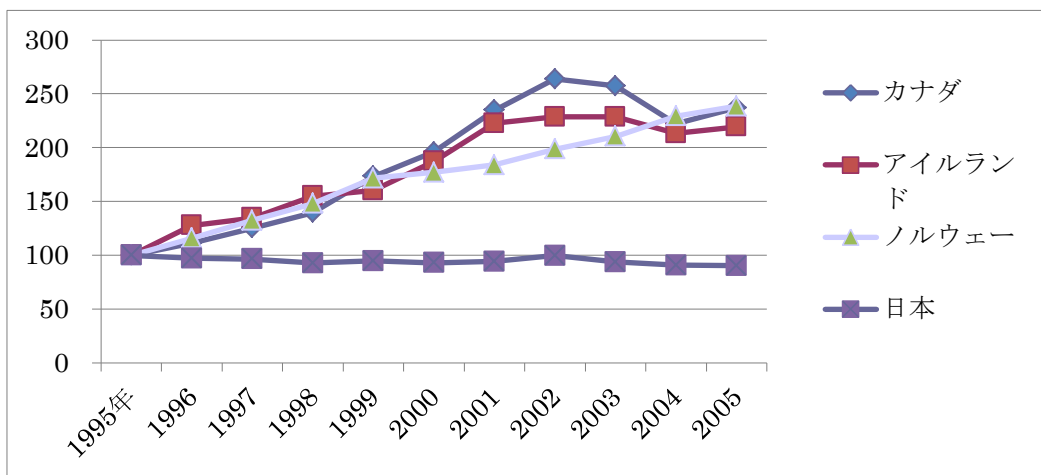
第2項. 世界と日本の養殖業の現状の比較

言うまでもなく、水産資源の枯渇を防ぐためには乱獲等、その原因となる行動に制限を設けなければならないが、それによって今後の世界の水産資源消費を賄いきれる訳ではないこともまた事実である。そこで近年、世界的に拡大している漁業形態が養殖業である。世界の養殖業とその他の漁業形態による水産物生産量、占有率について過去 50 年間の推移に関して図表(?) を見てみると、1990 年代に入るまでは非常に小規模な漁業形態であったのに対し、それ以降急速に拡大をはじめ 2005 年以降は世界的に見て漁船漁業とほぼ対等な規模にまで成長していることが分かる。



図表(1)世界の養殖業とその他の漁業形態による水産物消費量、占有率の推移

ここでさらに、近年養殖業で成長を続けている主要国と日本の状況を比較してみる。図表(1)より、ノルウェーやカナダにおけるサーモンの養殖などが養殖業の世界的な成長に大きく貢献しているものと推定される。これに対して、日本の養殖業がどれほど貢献できているのかということ、同図表より、過去数 10 年間での成長はほぼ無いと言ってよく、平行線の一途をたどっている。



図表(2) 日本と主要な養殖業成長国の成長率比較 (1995年：100%)

もちろん日本の養殖業による生産力が世界の標準に比して乏しいというわけではないが、既述の水産物資源の輸入量および消費量の推移と同様に、世界的な動きに反する推移を見せている点については、世界有数の水産資源消費国である日本にとって注目すべき事柄であると言える。

第3項. ウナギの完全養殖の実用化に関する研究の有用性

以上のように、世界的な水産業、特に養殖業の現状について概観したときに、日本の現在の漁業には考察すべき様々な問題点があると言える。しかし、このような現状のなかで日本の漁業の問題点と将来性を同時に呈する魚種が存在する。ウナギである。具体的には、日本で消費されているウナギのうち、国内で採られている天然のウナギは僅か 1%であり、残り 99%の養殖ウナギについても稚魚であるシラスウナギの国内生産量の減少や中国からの輸入制限の影響により、現状を回復できない場合に将来的な供給に関して危惧されるという点で日本の漁業の問題点を顕著に表している。しかし、その一方で日本は世界で唯一ウナギの完全養殖に成功している国である、という点に将来性を見出すことが出来る。完全養殖とは卵を孵化させる段階から養殖を行う方法をいい、外部から捕獲した稚魚を育てることで成魚を生産するという従来の養殖方法と比較したときに資源管理の面で優れた方法である。日本におけるウナギ供給の現状や完全養殖を通じた将来的なウナギ生産の展望に関しては本章の第 3 節において詳述するが、既に述べた世界的に水産資源の枯渇が問題視されているということや、ノルウェーなどの養殖業に成功している国と比べて現在の日本の養殖業は後れを取っているということを踏まえると、ウナギの完全養殖を実用化した場合に日本が得られる効用に関して研究することは、資源管理問題の解決への一助となるのみならず、日本の養殖業を国際的に発展させる端緒となると考えられる。そこで本稿では資源管理問題を踏まえた効用最大化モデルの分析を通じて、ウナギの完全養殖の実用化によって将来的に日本が獲得する効用を検証し、その有用性について考察していくこととする。

第2節. 過去の養殖業への取り組みに関する考察

第1項. クロマグロの完全養殖の実用化に向けた取り組み

ウナギの完全養殖が日本で初めて成功したのは 2010 年のことであるが、それ以前に完全養殖に成功していた魚種として代表的なものにクロマグロを挙げることが出来る。クロマグロもウナギと同様に養殖方法を中心に資源管理の重要性についてしばしば議論の的として取り上げられてきた魚種である³。そこで、本稿の研究への役立ちの為に、ウナギとク

³ クロマグロの養殖に関する先行研究については第 2 章で詳述する。

ロマグロそれぞれの養殖に際して共通の問題点として指摘されうる種苗および飼料の確保と生残率向上の為の技術開発に関する事項を紹介する⁴。

種苗の確保という問題への対応策として挙げられるのは、まさに完全養殖、つまり人工種苗の生産技術開発である。人工種苗の研究に関して、2009年時点ではその研究をリードしてきていた近畿大学でも多くて約4万尾（所要尾数の1割弱）程度の生産能力にとどまっていた。しかし、最近では民間企業もその開発に参画してきており、今後の伸びが期待できると言える。

次に、飼料の確保という問題に関して、大きく数量面⁵と価格面⁶に分けて考えることが出来るが、ウナギの飼料確保はクロマグロ等の大型種に比べて難しくないと考えられる。

最後に、生残率向上の為の技術開発に関して、近畿大学の開発ではクロマグロの卵から幼魚になるまでの生残率は今なお1~2%程度と低く、飼料コストの削減とともに今後の課題とされている。

以上のように完全養殖の実用化に向けた課題はどちらも資源管理上の問題と生残率の向上に関する技術上の問題を有するという点で共通していると考えられる。このうち生残率の向上に関しては、管理不能な面も多く、またウナギの場合クロマグロに比して生物学的に不明確な点が多いため、今後クロマグロ以上に大きな課題となると考えられる。

第2項. ノルウェーサーモンの成功例

第1項ではクロマグロの事例を用いて完全養殖の実用化に伴う技術面・管理面に関して想定される問題点について紹介した。それではこれらの課題を克服したと仮定したとき、完全養殖によって日本で生産されたウナギから合理的な収益は見込めるのだろうか。この点、ヨーロッパでは現地特有の様々な料理が存在することや、アメリカでは寿司のネタとして定番化しつつあることなどから、現時点で海外のウナギの需要は少なからずあると言える。とは言え、世界の消費量の大半は日本が占めており、海外の需要がそれほど多いとまでは言えない。

しかし、先述したようにノルウェーなど世界的な養殖業の拡大に大きく貢献している国もある⁷。このようなノルウェーのサーモン養殖業が持つ国際競争力の源泉は、世界各国へ

⁴ クロマグロの乱獲が問題視されるようになった経緯は、はじめに述べたように水産物への需要の世界的な増加にあり、再生産能力を上回る需要によって漁獲量の減少を誘発するという悪循環に陥ってしまったことによるものであると言われる。また、マグロ特有の要因として地中海産の養殖マグロの拡大によって90年代半ばからスーパー等の量販店や外食産業でトロ食材が定番化したことも挙げられる。そして養殖業の活発化に伴い、種苗用の幼魚（ヨコワ）の資源管理が問題視されるようになり、対応策として人工種苗への置き換え、すなわち完全養殖の実用化に向けた取り組みが本格化していった。とは言え、クロマグロの完全養殖に向けた取り組みの発端は1970年の水産庁のプロジェクト研究「マグロ類養殖技術開発試験」にあり、2002年の近畿大学による世界初の完全養殖成功までに32年もの年月を経ていることになる。そして今なお実用化に向けた課題が残されていることを考えると、ウナギの完全養殖の実用化に向けた取り組みも相当に長期的な視点で見ていく必要があると言わざるを得ないことが分かる。

⁵ クロマグロの場合は体重を1kg増加させるのに約15kgの生餌が必要であると言われる（これを増肉係数15kgと表現することがある）。したがって60kgのクロマグロを育てるのに1t弱もの餌を調達しなければならないということになる。ウナギの場合は体重10gの増加に対して約18gの飼料を要することが過去の養殖結果から推定される。

⁶ クロマグロの場合はほぼ全てが生餌という状況にあるが、魚粉を主たる原料とする配合飼料の開発も進められている。ウナギの場合も同様に、現在の養殖ではほとんどの場合、魚粉や澱粉、酵母を用いた配合飼料が用いられている。しかし、最大の魚粉供給国とされるペルーからの供給量の減少や中国等の養殖業の拡大に伴って世界的にその需給は逼迫し、価格が高騰しているのが現状である。

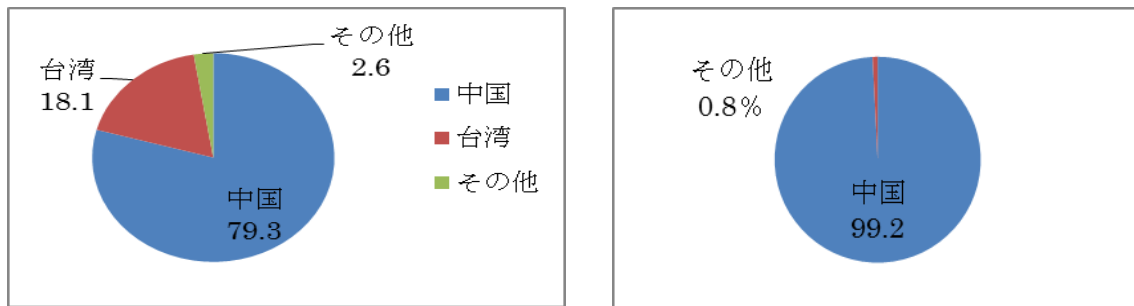
輸出することを目的とした養殖生産を活発化させ、大量に供給する体制を整備しているという点にあると言われる。さらに注目すべきは、ノルウェーが古くから世界的にその圧倒的なシェアを占めていた訳ではなく、今もなお成長を続けているということである。日本に限って考えても、もともとサケと言えば焼き鮭など加熱調理をして食べるのが主流であったが、近年では回転寿司で人気のネタとなっているように生で食べるケースも多くみられるようになり、従来よりもそのニーズの幅が広がっていることが実感できるだろう。このサーモンに対するニーズの多様化の端緒となったのが、まさしくノルウェーにおける徹底した品質管理の下での養殖技術の確立にあると言われているのである。つまり、従来ニーズが限られていた魚種であっても技術面の進歩次第では養殖業によって新たなニーズを生み出す可能性があると言える⁸。

したがって、現在日本でその多くが消費されているウナギの完全養殖が実用化した場合に対外的な収益性は見込めるのかという疑問に対しては、技術的な側面における努力が実を結べば、将来的にはポジティブな結果が得られるという予想を持って結論付けることが出来る。

第3節. 日本のウナギ供給の現状と改善策

第1項. 日本のウナギ供給の現状

最後に、現在どのように日本がウナギを国内に供給しているのかについて考察していくことにする。現在、日本で消費されているウナギのほとんどがシラスウナギを養殖場で育成したものであり、中国をはじめとする海外からの輸入に依存している傾向が強い。ここで 2013 年の輸入先別の数量について活鰻と調整品の別にみることにする。図(3)および図(4)によると、活鰻については中国・台湾からの輸入が総輸入量 4,789 t に対してそれぞれ 79.3%、18.1%となっており、調整品については総輸入量 8,081 t に対して中国のみで 99.2%のシェアを占めていることが分かる。



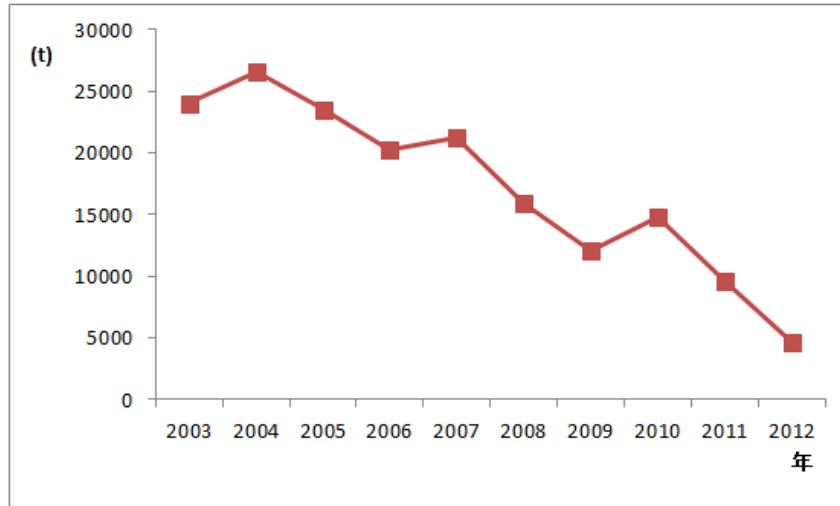
⁷ 東京税関および日本鰻輸入組合の調査によると、日本における近年のサケの消費態様に関して、国内生産量と全国輸入量の状況を見ると、水産資源全般の推移と同様、国内生産量は減少傾向にある一方で、ノルウェーやチリをはじめとする外国産の養殖によるものの消費が増加傾向にある。特に、生鮮冷蔵ものは 2012 年のデータでは全国 35,900t の輸入に対して約 9 割をノルウェー産が占めている。そして日本に限らず、多くのサーモン消費国がノルウェーからの輸入に頼る傾向が強くなっている。

⁸ 前段で取り上げたクロマグロについても、古くから日本人に好まれていたイメージがあるかもしれないが、実は江戸時代前期までは下品な魚魚であるとしてその評価は決して高いものではなかったと言われる。そのうえ、刺身などの食べ方が広く定着したのも戦後のことである。しかし、第 1 項で述べたように、養殖技術が発達してきている近年では、その資源管理が問題になるほど世界的な需要は大きいものとなっている。

(図表 3) 2013 年度活鰻国別輸入数量シェア

(図表 4) 2013 年度活鰻国別輸入数量シェア

また、過去 10 年間の輸入状況の推移に関して、図(5)によると、数量・金額ともに減少傾向となっているが、数量に比べて金額の減少幅が小さく単価が上昇傾向で推移してきていることが分かる。



(図表 5) 日本のウナギ輸入状況の推移

この状況をみれば、従来の養殖技術のままでは将来的に限界があると言わざるを得ないだろう。

そして、さらに悪いことに中国は 2015 年 2 月以降、日本への養殖ウナギの輸出を禁止するとの表明をした。この表明に至った明確な経緯は明らかにされていないが、中国が養殖用に調達していたヨーロッパウナギが在庫切れの状態に陥ったことや、品質上の問題などが関与している、と考えられている。

そして 2014 年 9 月 17 日には日本・中国・台湾・韓国の 4 ヶ国間でウナギ資源の管理の枠組みおよびウナギ生産の制限について協議がなされた。

その内容は、

- (1) 各国・地域はニホンウナギの池入量を直近の数量から 20%削減し、異種ウナギについては近年（直近 3 ヶ年）の水準より増やさないための全ての可能な措置をとる。
- (2) 各国・地域は保存管理措置の効果的な実施を確保するため、各 1 つの養鰻管理団体を設立する。それぞれの養鰻団体が集まり、国際的な養鰻管理組織を設立する。
- (3) 各国・地域は、法的拘束力のある枠組みの設立の可能性について検討する。

というものである。

このようなウナギの資源管理に関する国際的な枠組みが出来たのは今回が初めてのことであり、将来のウナギ資源に対する懸念が日本国内に留まらなくなっていることを象徴した出来事であると言える。

以上の事実から、日本のウナギ輸入量が減少傾向にあるのは、世界的にその資源が枯渇していること、つまり現状のウナギ生産技術では将来的な持続可能性が無いということに原因があると言える。

第2項. 今後のウナギ生産の展望

これまで述べてきたように、今後ますます需要が伸びてくると予想される水産資源において、養殖業が果たす役割はより重要なものとなってくると思われる。そして、外部から稚魚を捕獲して育てるといった従来の養殖技術では持続可能性に問題が生じてくる、ということは、養殖に頼るような魚種全般に言えることである。その中で、クロマグロのように未だ改善すべき点はあるながらも完全養殖の実用化がすでになされている魚種や、ノルウェーサーモンのように技術的・経営戦略的な側面から養殖業をリードすることになった魚種が存在することもまた事実である。したがって、既に完全養殖自体には成功しており、潜在的な生産能力を持っていると言える日本は、このような過去の先例にならって今後ウナギの完全養殖の実用化に向けた取り組みに力を入れていくべきであると言える。

それでは、仮に日本が政策的にウナギの完全養殖の実用化に向けた努力をしたとき、長期的な視点で得られる効用とそれに伴うコストはどのようにして考えればよいだろうか。そもそも、これから当該政策を開始したとして、将来のどの時点で完全養殖の実用化に成功するか、また完全養殖の実用化までにかかる費用はどれほどなのかということは現段階で具体的な数値として確定させることは不可能である。そこで我々は、これらの不確定要素を単純化して考えるために、「現段階（完全養殖自体は成功しているが、未だ実用化していない状態）」・「完全養殖が実用化した段階」・「完全養殖による生産が安定し、余剰を海外に向けて輸出する段階」の3期間に分けて、これら3期間全体にわたって得られる正味の効用を最大化するモデルを用いて分析していくこととした。そして当該効用を最大化するための資源配分という制約条件のもとでその最適な達成方法をパラメータで表現し、政策として提言したいと考える。

次章では、我々が当該分析をするに至るまでに参考とした先行研究に触れていくとともに、そこから導き出した本稿の独自性について述べていくこととする。

第2章 先行研究および本稿の位置づけ

前章では、日本をはじめとする世界のウナギを取り巻く現状について説明した。ウナギの完全養殖の実用化は、資源制約がある点や完全養殖に成功しているという点において、クロマグロが完全養殖の実用化に成功した事例と共通している。そこで、本章では、本稿と関わりの深いクロマグロの先行研究を紹介し、さらに本稿の独自性を述べる。

第1節. クロマグロの需給動向と完全養殖技術の経済的可能性に関する研究

まず、クロマグロの需要と供給の動向と完全養殖技術の経済的可能性に関する研究について述べる。松野・原田・多田（2010）は、マグロ資源制約によって天然マグロや畜養マグロの供給に制約が生じる場合に、畜養と比較して完全養殖にどの程度の経済的可能性があるのかを、クロマグロの需要関数と供給関数に関するシナリオに基づいて考察している。マグロの資源制約によって天然マグロや畜養マグロの供給に一層の制約が生じる点でクロマグロとウナギは同様であるため、この論文を先行研究として選んだ。完全養殖は、資源への負荷が皆無になると同時に、生産費に占める種苗費を低減しうる可能性がある。ここで、「畜養」とは、成魚と幼魚の養殖から構成されており、完全養殖は含まないとしている。

クロマグロの完全養殖技術の経済的可能性を求めるために、松野・原田・多田（2010）は日本市場におけるクロマグロの需給動向を調べている。⁹そこで、畜養技術の確立と合わせてクロマグロの輸入が増加し、クロマグロの価格は横ばい傾向で推移していることがわかった。

そして、クロマグロの価格弾力性と所得弾力性の値を得るために需要関数を計測している。その結果、1975～95年では所得弾力性の低下が見られた。このことから、クロマグロの需要は一時的に飽和に向かったが、90年代からの新たなトロブームによって再び増加に転じたと考えられる。近年は、日本経済の成長率が鈍化しているため所得弾力性は逡減している。そのため、トロブームが終息に転じたとは断言することは出来ず、所得弾力性

⁹日本市場において、クロマグロは刺身商材として最も高く評価され、消費地卸売市場価格は3,000円/kgであり、ミナミマグロやメバチマグロよりも高い値段がついている。1990年頃にはクロマグロの供給が減少したため、代替性の高いメバチマグロの漁獲と消費が促進されたが、90年代半ばから回転寿司の開業ラッシュと合わせてトロブームが生じた。1997年には天然マグロは3,000円/kgに対して国産畜養マグロは5,500円/kgと大きな価格差が存在していたが、2004年以降は養殖マグロの価格も3,000円近辺に下落している。トロマグロが終息し養殖マグロに付加されていたプレミアムが失われたと考えられるとしている。

の相違は需要予測の大幅な相違に結びつかない。さらに、松野・原田・多田（2010）は価格弾力性について検討した結果、クロマグロの「上級材」としての特徴を示すことが分かった¹⁰。

最後に、今後のクロマグロの供給動向に関する説明をしている。近年、稀少水産資源とされているクロマグロは、大西洋マグロ類保存国際委員会を中心に世界的に漁業規制が強化されている¹¹。今後さらなる漁獲量の削減や国際取引の禁止が検討されており、これが実現すると大西洋からの供給減少を国産畜養クロマグロの増産によって補うことは困難だとしている。長期的には、大西洋においてもクロマグロの漁獲規制が導入される可能性も高いため、天然クロマグロの漁獲量が減少するとともに、天然種苗を用いる畜養コストも上昇する。そのため、完全養殖クロマグロに新たな経済的可能性が生まれると考えられる。そして、このことは中国が 2015 年 2 月以降ウナギの輸出に規制をかけたという事実とも共通する点があると考えられる。

第2節. クロマグロの漁獲量・資源量と価格の動向に関する研究

次に、クロマグロの漁獲量・資源量と価格の動向に関する研究を紹介する。多田・松井・原田（2011）は、余剰生産モデルに代表される生物資源モデルのパラメータである環境許容量と内的増加率がとりうる現実的な範囲を推定すると共に、今後の漁獲枠に関していくつかのシナリオを設定して資源動向を分析し、価格の推移を展望している。この論文は動学的な分析をしている点で我々の研究と類似しているため、先行研究として選んだ。

現在、大西洋クロマグロは大西洋マグロ類保存国際委員会（ICCAT）によって管理されており、漁獲量の増加によって資源状態が徐々に悪化している。多田・松井・原田（2011）は、期末資源量を環境許容量、内的増加率、漁獲量に基づいて年次ごとに表す余剰生産モデルを紹介している。そして、生物資源モデルのパラメータである環境許容量と内的増加率について、2010 年には資源が絶滅しないが持続可能漁獲量を実現する資源量を下回って低位水準にあるという現実的な条件を満たす範囲を推定している。その結果、最大持続可能漁獲量を実現できる資源量を、環境許容量と内的増加率をもとに式を置くことができると思われる。

そして、環境許容量と内的増加率のとりうる範囲を推定すると、環境許容量が増加すると内的増加率が減少する関係が見られている。そこで、蓋然性の高い結果を示す環境許容量と内的増加率を見つけるために、多田・松井・原田（2011）は 1945 年から 2010 年にかけて資源動向の推移に関するシミュレーションした。モデルから導きだした現実的な範囲内でパラメータを用いて、2050 年に向けての資源変動を予測した結果¹²、環境許容量と内的増加率と漁獲量の相対的關係によって資源の絶滅から回復まで、いかなる可能性も取りうるということが明らかになった。さらに、環境許容量と内的増加率の設定値を限定的に変化させても 2010 年の資源量が現実的な範囲内に収まる環境許容量と内的増加率を求め、2050 年に向けて資源変動を予測している。その結果、漁獲量を低く見積もったとしても依

¹⁰計測式や計測期間に関わらず、概して-1.2~-1.5 の安定的な値を示している。また、クロマグロ価格に替えてクロマグロとメバチマグロの相対価格を用いても有意な値を示さないため、クロマグロとメバチマグロの代替関係は限定的なものとしている。

¹¹日本は大西洋から 28,000 トン程度を入手しており、大西洋マグロ類保存国際委員会による漁獲量削減を受けて、当海域からの供給は約 8,800 トン減少すると予想される。

¹² 2011 年以降の漁獲枠に関して ICCAT 2010 年次会合で合意された数字を当てはめている。

然として資源絶滅リスクが高いことがわかったため、ICCAT の漁獲規制はさらに強化されるのではないかと思われる。以上のように、この論文では、余剰生産モデルのパラメータを固定計数として決定論的分析を進めている。

第3節. 本稿の独自性

本稿は、本章で述べた 2 本の先行研究を参考にしているが、ウナギに焦点を当てた点、3 期間モデルを使用した点、マクロモデル（制御理論）を使用した点という、大きく分けて 3 点の独自性を持ち合わせている。

まずウナギに焦点を当てた点について、完全養殖の研究は、先述の通りマグロについては複数なされているが、ウナギについてはほとんど研究がなされていないのが現状である。その理由として、ウナギの完全養殖は 2010 年に世界で初めて日本で成功したばかりであるということに加え、現状では未だ日本以外では成功していない点などが考えられる。しかし昨今の資源状況に加え中国による輸出禁止などの状況に鑑みて、今後完全養殖ウナギの重要性はますます増大すると考え、本稿ではウナギに焦点を当て研究をすることにした。

次に、3 期間モデルを使用した点についてであるが、完全養殖マグロについての先行研究などを見ても、期間に分けて動学的にモデルを設定しているものはほぼ見当たらない。しかし、我々は完全養殖の発展の段階に合わせてモデルを変える必要があると考え、「現段階（完全養殖自体は成功しているが、未だ実用化していない状態）」・「完全養殖が実用化した段階」・「完全養殖による生産が安定し、余剰を海外に向けて輸出する段階」の 3 期間に分けて考えることにした。

最後にマクロモデル（制御理論）を使用した点についてであるが、我々の調査によると、マグロをはじめとした水産資源の研究において、制御理論などのマクロモデルを用いて動学的に分析したものはほぼ見当たらなかった。それらの研究では、パラメータを固定して分析しているが、本稿ではパラメータも変動させウナギ資源の環境全体について考えたという点も、本稿の大きな独自性の一つであるといえよう。

ここで、本章で先述した二つの先行研究と具体的に比較したい。まず、第 1 節で述べた松野・原田・多田（2010）では、現在のウナギと同様、資源制約によって供給により一層の制約が生じるという状況で、蓄養マグロと比較した完全養殖マグロの経済的可能性について考察されているが、需要関数と供給動向に関するシナリオに基づく分析しか行われておらず、完全養殖の必要性についてのみの言及にとどまっている。それに対し本稿では、完全養殖の必要性を論じつつも、期間を分けた独自のモデルを構築し、段階に応じた分析などのより発展した分析を行っている。

次に、第 2 節で述べた多田・松井・原田（2011）では、漁獲量から資源量を推定する余剰生産モデルを用いて動学的に 2050 年に向けての資源変動を予測しているが、持続可能漁獲量の推定にとどまっている上、モデルのパラメータを固定係数として決定論的分析を進めており、環境変動に対応しきれていない。それに対して本稿では、既述の通りパラメータを動かし環境全体についてマクロ的に分析しているため、環境が変動してもモデルの適用が可能である。

このように本研究は、研究があまりなされていない分野において、類似分野の先行研究での課題を含む様々な発展的な分析も行うなどの独自性と優位性を持ち合わせているといえる。

第3章 分析

本稿では、ウナギの最適な養殖規模および消費水準について、簡単な制御理論を用いて分析する。制御理論は、工学分野で生まれた数学的手法であり、センサネットワークや免震制御、操船の自動化などの自動制御系のシステム設計に幅広く用いられてきた。近年では、経済学や都市計画、資源管理などの社会科学の分野においても応用されつつある。制御理論を用いると、例えば、経済学では、現状（期初の資本ストック）を所与とした場合に、消費や投資が、どのような動学パスを採ることが望ましいかを理解することが可能となる。本分析の文脈で考えると、現状ないしある時点のうなぎの資源量を所与として、どのようにこれを消費し、養殖することが、経済厚生を最大化させるか（ないし、させたか）、といった点を明らかにすることができる。

以下では、まず、無期限期間の制御理論を用いて、近年、ウナギの漁獲残高が最適なものから大きく外れたものとなっていることを示す。次に、3 期間モデルを用いて、外的環境が変化した場合に、養殖努力や養殖ウナギの生産量、および、総消費量がどのように変化するかを明らかにする。この結果をもとに、次章にて、望ましい政策対応について議論する。

第1節. ウナギ消費の持続可能性

ウナギの消費量にフォーカスするため、ここでは、ウナギ消費 (C_t) とこれに伴う養殖努力 (e_t) から、効用が発生するような経済を考える。具体的には、経済厚生：

$$\sum_{i=0}^{\infty} \beta^i \left[\left(C_t - \frac{1}{2} e_t^2 \right) - \frac{\chi}{2} e_t^2 \right],$$

を、以下の遷移式：

$$K_t + C_t = (1 + g)K_t + \rho e_t. \quad (1)$$

の下で最大化する。ここで、 K_t は t 期における鰻の潜在資源量を表す。 ϕ 、 χ 、 g 、 ρ はそれぞれパラメータで、 g は成長率、 ρ は鰻の養殖技術をそれぞれ示す。(1)式で示される制約式は、 t 期には、最大で、 $(1 + g)K_{t-1} + \rho e_t$ 、すなわち、1 期前の潜在資源量に成長率をかけたものと養殖ウナギ生産量、の鰻を消費することができ、消費されなかったウナギは、翌期の潜在資源量になることを意味している。

上記、制約付き最適化問題より求まる一階の必要条件を整理すると、以下の 2 式を導出することができる。

$$1 - \phi C_t = \beta(1 + g)(1 - \phi C_{t+1}), \quad (1)$$

$$\chi e_t = (1 - \phi C_t), \quad (2)$$

$$K_t + C_t = (1 + g)K_t + \rho e_t. \quad (3)$$

(2)式は、いわゆる消費のオイラー方程式を示し、左辺に示される今期のウナギ消費から得られる限界効用が、今季消費を我慢し、潜在資源量の増加を見越したうえで来季に消費し

た際に得られる限界効用の割引現在価値に等しいことを意味する。(3)式は、養殖努力に関する最適条件を表し、養殖努力からの限界負効用（左辺）が、養殖努力からの限界生産物を消費した際に得られる限界効用（右辺）に等しいことを示す。(1)～(3)式が最適なウナギ消費、養殖努力、ならびに、潜在資源量が満たすべき最適条件となる。

ここで、2時効用関数の仮定から、(1)～(3)式は、すべて、アフィン関数となっており、ウナギ消費、養殖努力、潜在資源量の解も、以下のようなアフィン関数で示すことができる。

$$C_t = \bar{A} + \bar{B}K_{t-1}, \quad (4)$$

$$e_t = \bar{C} + \bar{D}K_{t-1}, \quad (5)$$

$$K_t = \bar{E} + \bar{F}K_{t-1}. \quad (6)$$

ここで、 \bar{A} から \bar{F} は、未定係数を示し、(4)～(6)式で表現される解を、(1)～(3)式の均衡条件に代入することによって、以下のように求めることができる。

$$\bar{A} = \frac{\beta(1+g)g\rho^2\phi + \chi[1 - \beta(1+g)]}{g\phi\beta(\chi + \rho^2\phi)(1+g)}, \quad (7)$$

$$\bar{B} = \frac{\chi[\beta(1+g)^2 - 1]}{\beta(\chi + \rho^2\phi)(1+g)}, \quad (8)$$

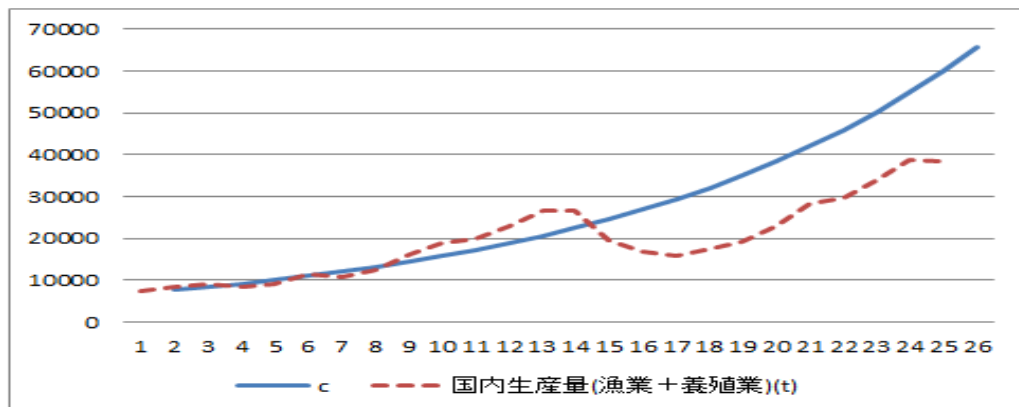
$$\bar{C} = \frac{\rho[1 - \beta(1+g)]}{g\beta(\chi + \rho^2\phi)(1+g)}, \quad (9)$$

$$\bar{D} = -\frac{\rho\phi[\beta(1+g)^2 - 1]}{\beta(\chi + \rho^2\phi)(1+g)}, \quad (10)$$

$$\bar{E} = \frac{1 + \beta(1+g)}{g\phi\beta(1+g)}, \quad (11)$$

$$\bar{F} = \frac{1}{\beta(1+g)}. \quad (12)$$

ここで、データが入手可能な 1956 年のウナギ消費を再現できるよう、初期(1955 年)の潜在資源量（13 万トン）、成長率（0.05%）を設定し、(4)～(6)式で表現される解を用いて最適パスを算出し、これを実際のデータと比較したものが図表 6 である。



(図表 6) 国内生産量と Ct の比較

1960年代は、最適消費と実際の消費量が同じような動きをしているが、70年代前半にかけて、実際の消費量がモデル上の最適消費を上回るようになり、その後80年代以降は、一貫して、実際の消費量が下回る状況が続いている。70年代に乱獲のような状況になり、この結果として、80年代以降、当初に持続可能であったウナギ消費量を大きく下回る状況が続いている、と解釈することもできる。しかし、データからは、潜在資源量およびその成長率を知ることができないため、モデル上の最適消費水準は当初時点より過大評価となっている可能性がある。すなわち、60年代より、ウナギが乱獲状態となっていた可能性も否定できない。

$$W = u(C_1) - v(E) + \beta\{[1 - \varphi(E)]u(C_2) + \varphi(E)[u(C_2) + \bar{u}[f(e_2)] - c(e_2)]\} + \beta^2\{u(C_3) + \bar{u}(\bar{C}) + u^*(\chi) - c(e_3)\},$$

第2節. ウナギ完全養殖に関するモデル分析

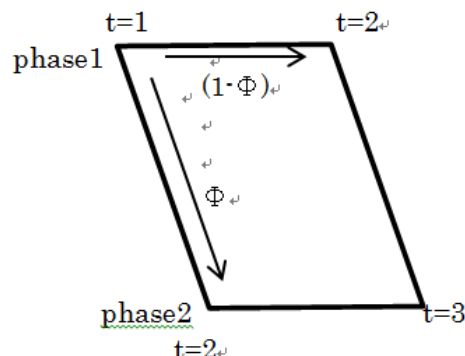
前述のとおり、ウナギの完全養殖はいまだ小規模にとどまっている。このため、過去のデータを用いて、ウナギの完全養殖の今後を展望することは難しい。以下では、3期間モデルを用いて、外生環境に応じて、完全養殖ウナギの産出量や養殖努力がどのように変化するかについて分析する。

まず、完全養殖の進展度合いがどのような環境変化の影響を受けるかを知るために、以下のような3期間を想定する。まず、第1期は、完全養殖の実用化にはまだ成功していない状態、すなわち現状を想定している。そこでは、ウナギの消費は、従来通り、天然ウナギないし天然ウナギの稚魚を用いた養殖ウナギに限られている（以下、従来のウナギ消費と呼ぶ）。なお、完全養殖の実用化に向けた努力（ E ）も続けており、これを高めると、翌期に完全養殖の実用化に成功する確率（ Φ ）が高まることを想定している。

第2期は、確率（ Φ ）で完全養殖の実用化に成功し、そこでは、完全養殖ウナギが養殖努力（ e_2 ）に応じて、完全養殖ウナギの消費が高まることとなる。一方で、完全養殖の実用化に向けた努力にもかかわらず、確率（ $1 - \Phi$ ）で完全養殖の実用化は実現せず、完全養殖ウナギの消費はゼロとなる。なお、第3期には、完全養殖の実用化が実現されるため、第2期には、完全養殖に向けた努力もゼロとなる。

完全養殖が実用化された第3期には、従来型のウナギ消費、完全養殖ウナギの国内消費に加え、完全養殖ウナギについては、国内需要を上回る分については、これが、広報努力などによって需要の高まることが想定される海外に輸出されることを想定する。ノルウェーのサーモンのように諸外国に輸出される可能性を考慮した。

図7は、このように定義された3期間の図表での理解を試みたものである。完全養殖ウナギの実用化に成功していない phase を phase1、一方、これに成功した phase を phase2 としている。



(図表 7) 3 期間の phase 推移

第 1 期の効用は、

$$u(\bar{K}_0 - K_1) - v(E) \quad (13)$$

と表現される。ここでは、従来のウナギ消費からの効用に加え、完全養殖の実用化に向けた努力からの不効用も考慮される。第 2 期の効用は、

$$+\beta\{[1 - \varphi(E)]u(K_1 - K_2) + \varphi(E)[u(K_1 - K_2) + \bar{u}[f(e_2)] - c(e_2)]\} \quad (14)$$

となり、確率 $(1 - \Phi)$ で従来型のウナギ消費のみから効用を得て、確率 (Φ) で従来型のウナギ消費に加え、完全養殖ウナギからの効用、さらに、養殖努力から不効用を受けることとなっている。第 3 期の効用は、従来型のウナギ消費、完全養殖ウナギの国内消費だけでなく、輸出からの効用も含まれている。

$$+\beta^2\{u(K_2) + \bar{u}(\bar{C}) + u^*[f(e_3) - \bar{C}] - c(e_3)\} \quad (15)$$

(13)~(18)式を併せて考えると、以下に定義される経済厚生を最大化する問題に書き換えることができる。

$$\max_{E, e_2, e_3} u(\bar{K}_0 - K_1) - v(E) + \beta\{[1 - \varphi(E)]u(K_1 - K_2) + \varphi(E)[u(K_1 - K_2) + \bar{u}[f(e_2)] - c(e_2)]\} + \beta^2\{u(K_2) + \bar{u}(\bar{C}) + u^*[f(e_3) - \bar{C}] - c(e_3)\}. \quad (19)$$

(19)式の最大化問題の一階の必要条件として、

$$v'(E) = \beta\{-\varphi'(E)u(K_1 - K_2) + \varphi'(E)[u(K_1 - K_2) + \bar{u}[f(e_2)] - c(e_2)]\}, \quad (20)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{f(e_2)} f'(e_2) = c'(e_2), \quad (21)$$

$$\frac{\partial u^*}{\partial \chi} f'(e_3) = c'(e_3), \quad (22)$$

$$\frac{\partial u}{\partial C_1} = \beta \frac{\partial u}{\partial C_2}, \quad (23)$$

$$\frac{\partial u}{\partial C_2} = \beta \frac{\partial u}{\partial C_3}, \quad (24)$$

が導出できる。以下では、定性的な分析ながらも数値的な感覚を得るため、それぞれの関数形を以下のように設定する。

$$v(E) = \Gamma E, \quad (25)$$

$$\varphi(E) = \frac{E}{1 + E}, \quad (26)$$

$$u(c) = \theta \log(C), \quad (27)$$

$$\bar{u}(C) = \Lambda \theta \log(C), \quad (28)$$

$$u^*(X) = \varepsilon\theta \log(C), \quad (29)$$

$$X = f(e_3) - \bar{C}, \quad (30)$$

$$c(e) = \pi e, \quad (31)$$

$$f = \sqrt{\Sigma e}. \quad (32)$$

(25)式は、完全養殖の実用化に向けた努力に応じて不効用が線形的に増加することを意味する。(26)式では、完全養殖の実用化に向けた養殖努力を最大限増やしても確率は 1 を超えないことを想定している。(27)～(29)式は、それぞれ、従来のウナギ消費から得られる効用、完全養殖ウナギを消費することによる効用、ウナギを輸出することによる効用が対数効用に従うことを示している。(30)式にあるように、完全養殖ウナギで国内消費されなかった分が輸出されることとなる。対数効用を仮定しているため、それぞれの消費の代替の弾力性は 1 となる。なお、同水準であれば、完全養殖よりも従来のウナギ消費からの効用の方が大きくなることとした。さらに、様々な広報努力から、ウナギに関する世界的な嗜好変化が起こり、輸出から得られる限界効用を 3 つの内で最も高いものとした。(31)式は、完全養殖が実用化された後、その生産にかかる不効用が養殖努力に線形に依存することを表している。(32)式は、一旦実用化されると、養殖努力に応じて限界生産物が逡減する（規模に対して収穫逡減）ような過程を設定した。

ここで、養殖努力を E 、 e_2 、 e_3 に区別していることに注意されたい。これは、完全養殖によってウナギを生産する上で、実用化するための努力と実用化してからの努力は異なることを想定している。

(20)～(32)式より、以下のような形で解が求まることとなる。

$$E = \left\{ \frac{\beta}{\Gamma} \left[\frac{1}{2} \Lambda \theta \log \left(\frac{\Sigma \Lambda \theta}{2\pi} \right) - \frac{\Lambda \theta}{2} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} - 1, \quad (25)$$

$$e_2 = \frac{\Lambda \theta}{2\pi}, \quad (26)$$

$$e_3 = \left[\frac{\frac{\bar{C}}{\sqrt{\Sigma}} \pm \sqrt{\frac{\bar{C}^2}{\Sigma} + \frac{2\varepsilon\theta}{\pi}}}{2} \right]^2. \quad (27)$$

この結果を用いて分析に入る前に、パラメータをどのようにセットしたかを説明する。まず、過去 10 年間のウナギの漁獲量が 20,889 トンであったため、これが 1～3 期における従来型のうなぎ消費量となるよう、初期の潜在資源量 (K_0) をセットした。その他のパラメータについては、完全養殖に関するデータが乏しいため、以下のようなストーリーに則り設定した。まず、ウナギ消費の効用や養殖努力にかかわるパラメータ (θ 、 ε 、 Γ 、 Π) はすべて 1 に基準化する¹³。次に、完全養殖ウナギがすべて輸出されるとの仮定の下で¹⁴、養殖技術を調整し、完全養殖ウナギの生産量が、おおよそ、従来型のウナギ消費の半分程度となるようにした。さらに、ここで、完全養殖ウナギの国内消費量の上限 (\bar{C} 、飽和消費水準) を従来型のウナギ消費の半分程度として、モデルを内生的に解いたものを、ベンチマークとした。ベンチマークモデルでの主要内生変数の値は、図表#の通りである。

〈図表 8：ベンチマークモデルでの主要内生変数の値〉

¹³ Λ はモデルの均衡条件に影響を与えない。

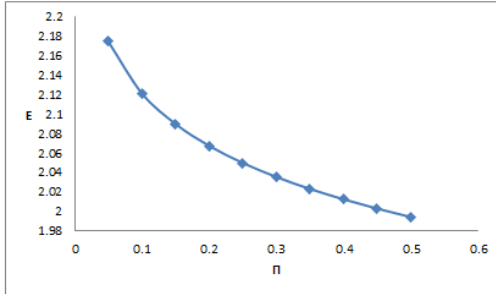
¹⁴ この結果、対数効用の仮定から養殖努力が養殖技術とは独立に決定されるようになる

C_1	C_2	C_3	$f(e_2) = f(e_3)$	\emptyset
21,100	21,097	21,095	13,736	0.67

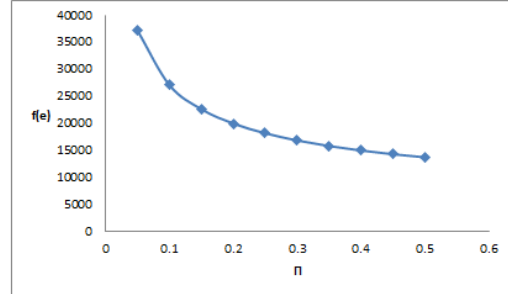
それでは(25)~(27)式によって表現される解から、外生環境の変化に応じて、均衡がどのように変化するかをみてみよう。

(i) Π が変化した場合

Π は実用化後の養殖努力に対する限界費用を表している。すなわち完全養殖の生産技術を表している。完全養殖において技術進歩がおこり、 Π が下がった場合を分析する。



(図表 9: Π と E の関係)

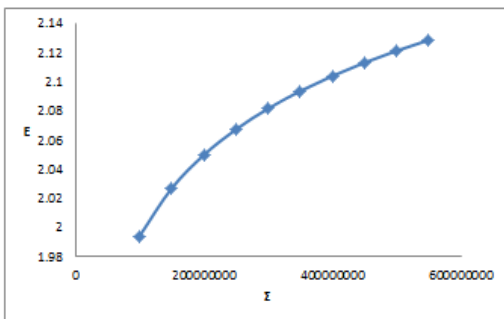


(図表 10: Π と $f(e)$ の関係)

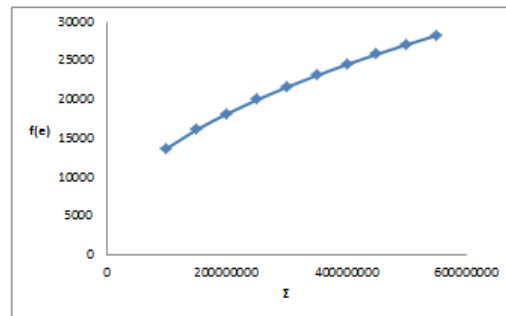
図表 9,10 をみて分かるとおり、 Π を 0 に近づけていくと、第 1 期の養殖努力(E)と $f(e_2)$ (= $f(e_3)$)は増加する。これは養殖技術が進歩することで第 2 期、第 3 期の完全養殖ウナギの生産量が増加し、その実現のために第 1 期に養殖努力を増やすことを示す。

(ii) Σ が変化した場合

Σ は完全養殖実用化後の生産効率を表している。養殖施設の増加や、生産規模の拡大によって生産効率が上がると E、 $f(e)$ もそれに伴って増加することが分かる。(図表 11,12)



(図表 11: Σ と E の関係)



(図表 12: Σ と $f(e)$ の関係)

(iii) Ξ が変化した場合

Ξ は完全養殖ウナギを輸出することによる効用を規定するパラメータである。前提として輸出から得られる限界効用を、他の 3 つの中で最も高いものとしたが、 Ξ の大きさを変えることにより、その優位性に変化を与える。 Ξ を大きくするほど輸出することの効用が大きくなり、生産者は生産したウナギを輸出に回そうとする。

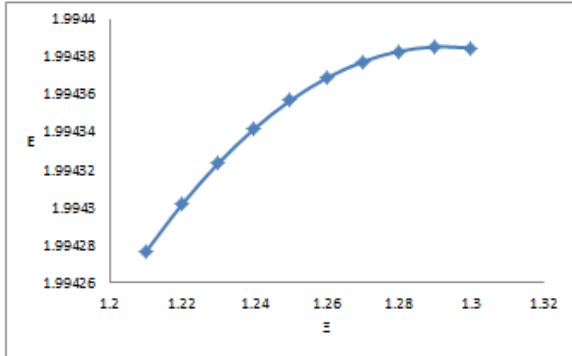
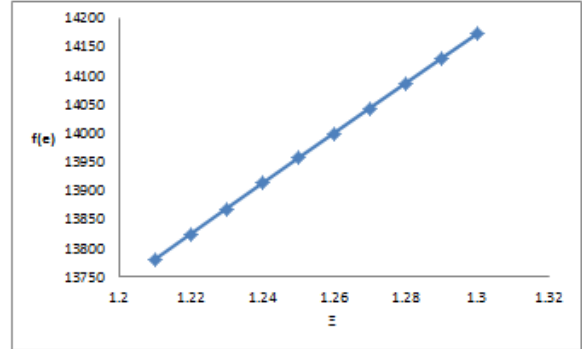
(図表 13: Ξ と E の関係)(図表 14: Ξ と f(e) の関係)

図 13,14 を見れば明らかなように、 Ξ を増加すると第 1 期の養殖努力(E)が増加する。これは第 3 期に輸出するために第 1 期に実用化にむけて注力しようとすることを示している。f(e)もそれに伴って増加することを示す。

第4章 政策提言

第1節. 政策提言の必要性

はじめに述べたように、世界的に水産物に対する需要が増加していることを受け、水産業、特に養殖業においての重要性が年々高まっている中、日本は養殖業においてノルウェーやカナダと比較した場合に著しく成長率が低いという現状がある。さらにウナギに関しては今年の6月にニホンウナギが絶滅危惧種に指定されたこと、日本が輸入するウナギの大部分を中国に依存している中、当国が日本へのウナギの輸出に規制をかける予定であることなどを踏まえると、世界で初めて成功したウナギの完全養殖技術の発達は今後の日本経済に大きな影響を及ぼす可能性が高いと言える。つまり、完全養殖技術を実用化し、海外市場にも売り出すことができれば日本は養殖業において国際的に有利な地位を築くことが出来ると考えられる。これが我々の実現したい日本の将来像である。

第2節. 政策提言

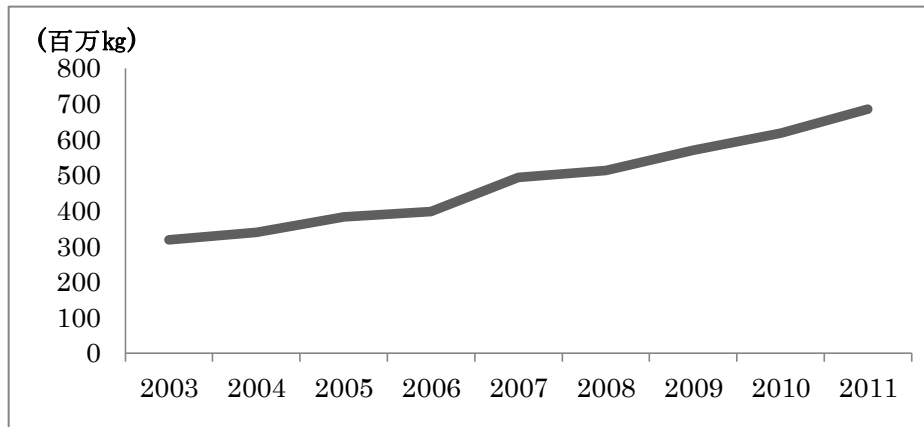
分析結果をもとに、(i)から(iii)のそれぞれの場合に関して政策提言を行う。

(i)は実用化後の養殖努力に対する限界費用である Π を小さくすることで第1期の養殖努力をするようになり、第2期、第3期の完全養殖生産量もまた増やすことが出来るようになる。それを実現するために政府がすべきこととして、補助金の給付が有効な手段としてあげられる。生産者の負担する費用を政府が代わりに負担することにより、我々のパラメータの Π に相当する部分を減らすことができる。その結果完全養殖技術は発達し、実用化を加速させることが出来る。

(ii)は Σ は完全養殖実用化後の生産効率を表している。結果から分かるようにこれを大きくすることもまた、完全養殖の実用化を進める有効な手段である。 Σ を大きくするために政府が出来ることとして生産施設への投資を挙げる。生産施設数を増やし、生産規模を拡大することにより、これを実現することができると考えられる。

(iii)は Ξ を増加させること。すなわち完全養殖ウナギを輸出することによる効用を高めることである。これは生産者にとって第1期に完全養殖実用化の努力をするインセンティブとなっている。

図15はノルウェーの養殖サーモンの輸出量である。ノルウェーがサーモン養殖に国を挙げて取り組んだことは既に第1章第2節において述べているため、ここでは詳しい説明は割愛するが、グラフを見ても明らかなようにその量は著しく伸びている。この成功の背景にはノルウェーがノルウェーサーモンのブランディング化、マーケティング戦略など国を挙げて取り組んできた歴史がある。



(図 15: ノルウェーのサーモン輸出量)

元々漁業が盛んであった点、ノルウェーがこの産業に取り組み始めたころ、輸出はほぼ無かった点などを踏まえると、日本の現状は当時のノルウェーと酷似している。今後日本にもウナギの養殖に国を挙げて取り組むことで輸出が伸びる可能性は大いにあると言える。

おわりに

最後に、本稿における議論の今後の発展の方向性について4点論じたい。

まず、モデルの期間についてである。本稿では、完全養殖の段階に応じて3つの期間に分けてモデルを設定した。しかし、半永続的にウナギを供給していくことが完全養殖の目的であるということを踏まえると、今後の研究では、期間を拡張し無限期間で分析を行うことが必要となるであろう。

次に、我々が設定したモデルについてである。今回の分析では現状に即した数値を設定したが、説明や分析の明瞭化・簡易化のため、コストなどの詳細なデータは組み込んでいない。そのため、現状の分析では実際の数値に近い値を算出できたものの、誤差が発生していることも事実である。したがって、今後の研究では、コストの構成要素などをより詳細に分析・検討する必要があるだろう。

また、関数形も今後の課題の一つである。今回は従来の養殖ウナギを消費することによって得られる効用、完全養殖ウナギを消費することによって得られる効用、完全養殖ウナギを輸出することによって得られる効用の三者をそれぞれ独立して考えた。しかしながら、実際にはそれぞれが相互に影響を及ぼしあっている可能性があり、それを考慮する必要がある。今回のモデルでは数学的な簡易化のために生産コストの関数を線形に設定しているが、今後は逡増していくような関数形でも同様の結果が得られるかを確認する必要があるだろう。

最後に政策提言について、本稿は、日本でのウナギの半永続的な供給を可能にする最適な養殖努力量を、環境の変化に応じて分析した結果に基づく提言に留まった。しかし、完全養殖が実用化し国内生産に余剰が生まれ海外へ輸出する段階に至ったとき、海外の需要を創出していくためにどういったマーケティング戦略をとるべきなのかなど、より具体的な政策の策定が求められる。

たしかに、上述のように検討の余地は残されているが、本稿でも繰り返し述べてきた通りウナギの完全養殖の必要性は明白である。また、完全養殖の実用化に注力することは、日本が水産業において国際競争力を回復するための大きな一歩になると考えられる。

このようにして、ウナギの完全養殖が日本の水産業の発展に大きく貢献するというシナリオが構築され、ひいてはウナギが日本を救うことに繋がるのである。

先行研究・参考文献・データ出典

先行研究・参考文献

- 池田他 ISFJ2011 (2011) 「持続可能な漁業を目指して (IVQ 方式)」
(http://isfj.net/ronbun_backup/2011/o04.pdf)
2014/9/2 閲覧
- 茨城県水面水産試験場 (2010) 「ノルウェーにおける水産物の持続的生産と経営安定化を図るための行政施策について」
(<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/nourin/naisuisi/kenkyuhappyou/2011%20norway.pdf#search='%E3%83%8E%E3%83%AB%E3%82%A6%E3%82%A7%E3%83%BC%E3%81%AB%E3%81%8A%E3%81%91%E3%82%8B+%E6%8C%81%E7%B6%9A%E7%9A%84%E7%94%9F%E7%94%A3%E3%81%A8'>) 2014/9/10 閲覧
- 岡本義行 (2013) 「ノルウェー漁業のトリプルヘリックスと Nofima」
(<http://www.maff.go.jp/primaff/koho/seika/review/pdf/primaffreview2013-55-7.pdf#search='%E3%83%8E%E3%83%AB%E3%82%A6%E3%82%A7%E3%83%BC%E6%BC%81%E6%A5%AD%E3%81%AE%E3%83%88%E3%83%AA%E3%83%97%E3%83%AB%E3%81%B8%E3%83%AA%E3%83%83%E3%82%AF%E3%82%B9'>) 2014/10/21 閲覧
- 水産総合研究センター (発行年不明) 「ニホンウナギの資源状態について」
([http://www.fra.affrc.go.jp/unagi/unagi_shigen.pdf#search="](http://www.fra.affrc.go.jp/unagi/unagi_shigen.pdf#search=)) 2014/9/16 閲覧
- 水産総合研究センター (2012) 「我が国の漁業管理の制度・経済分析と生態系保全への拡張(オプション理論)」(<http://www.nougaku.jp/award/2012/9-makino.pdf>) 2014/9/10 閲覧
- 水産総合研究センター 増養殖研究所 (発行年不明) 「世界および日本の養殖業の現状と課題」(<http://nria.fra.affrc.go.jp/kenkyu/sekai/>) 2014/9/10 閲覧
- 水産庁 (2010) 「世界の中の我が国の水産業」
(http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h21_h/trend/1/t1_2_2_1.html) 2014/11/2 閲覧
- 多田稔・松井隆宏・原田幸子 (2011) 「大西洋クロマグロの漁獲量・資源量と価格の動向」(<http://jifrs.info/Journal/Vol.9,Tada.pdf>) 2014/11/2 閲覧
- 内閣府経済社会総合研究所 (1989) 「最適制御理論の応用—マクロ経済政策の協調問題—」(<http://www.esri.go.jp/jp/archive/bun/bun115/bun115.html>) 2014/10/16 閲覧
- 農林水産省 (2012) 「輸出促進団体体制調査」
(http://www.maff.go.jp/j/shokusan/export/e_enkatu/pdf/h23_taisei_all.pdf#search='%E8%BC%B8%E5%87%BA%E5%80%8D%E5%A2%97%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%83%89%E4%BA%8B%E6%A5%AD+%E3%82%B8%E3%82%A7%E3%83%8D%E3%83%AA%E3%83%83%E3%82%AF%E3%83%9E%E3%83%BC%E3%82%B1%E3%83%86%E3%82%A3%E3%83%B3%E3%82%B0') 2014/9/2 閲覧
- 農林水産技術会議 (発行年不明) 「広域回遊魚類 (ウナギ・マグロ) の完全養殖技術開発」(http://www.s.affrc.go.jp/docs/report/report26/no26_p3.htm) 2014/9/16 閲覧

- 農林中金総合研究所 (2012) 「ウナギをめぐる最近の情勢」
(<https://www.nochuri.co.jp/report/pdf/n1208jo1.pdf>) 2014/09/16 閲覧
- 松野功平・原田幸子・多田稔 (2011) 「クロマグロの需給動向と完全養殖技術の経済的可能性」
(http://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fkurepo.clib.kindai.ac.jp%2Fmodules%2Fxoops%2Fdownload.php%3Ffile_id%3D3576&ei=DRdXVNysC-PTmAXiioCoAw&usg=AFQjCNEEXKaiBq_LJ673WWvGnWVpdQl4Yw&sig2=DTQldPdnjAddIbcU8y8UJA&bvm=bv.78597519,d.dGY) 2014/11/02 閲覧

- 八木信行 (2011) 『食卓に迫る危機 グローバル社会における漁業資源の未来』
pp.77-111 講談社 2014/08/04 閲覧

データ出典

- 水産庁「水産統計」(<http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/>) 2014/10/16 データ取得
- 日本鰻輸入組合「2013 年度 国別活鰻通関量」(<http://www.unagi-ia.jp/statistics/>) 2014/10/16 データ取得
- 日本鰻輸入組合「通関統計」(<http://www.unagi-ia.jp/>) 2014/10/16 データ取得
- 日本養鰻漁業協同組合連合会「鰻輸入量及び国内養殖生産量」
(<http://www.wbs.ne.jp/bt/nichimanren/toukei.html>) 2014/09/28 データ取得
- 日本養鰻漁業協同組合連合会「鰻養殖生産額」
(<http://www.wbs.ne.jp/bt/nichimanren/toukei.html>) 2014/09/28 データ取得
- 農林水産省「漁業生産額」
(http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/gyogyo_seigaku/index.html#r)
2014/09/28 データ取得
- 農林水産省「内水面漁業生産統計調査」
(http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/naisui_gyosei/index.html) 2014/09/16
データ取得
- FAO 日本事務所「世界の水産事情」(http://www.zensuiorosi.or.jp/syoku-umi/sekai_suisan.html) 2014/09/16 データ取得
- Uncomtrade「ノルウェーのサーモン輸出量」
(<http://comtrade.un.org/db/ce/ceSearch.aspx?it=salmon&rg=2&r=579&p=0&y=percent&px=HS>) 2014/09/16 データ取得