

諏訪湖ワカサギの持続的供給を目指して

～森は湖の母～

慶應義塾大学 経済学部

大沼あゆみ研究会 13 期 生物班

大野 晴菜

川原 昌也

手塚 達也

鳥取 豊也

## 目次

序論.....	3
先行研究.....	3
<b>第1章 現状分析 .....</b>	<b>3</b>
1.1 諏訪湖の地形 .....	3
1.2 諏訪湖の現状 .....	4
1.3 諏訪湖周辺の観光業.....	5
1.4 ワカサギの生態.....	6
1.5 諏訪湖漁業の現状 .....	7
1.6 諏訪湖林業の現状 .....	9
<b>第2章 問題提言 .....</b>	<b>10</b>
2.1 ワカサギ減少による影響.....	10
2.2 現在の対策と問題点.....	10
<b>第3章 政策提言 .....</b>	<b>11</b>
3.1 政策の概要.....	11
3.2 栄養塩.....	12
3.3 間伐と栄養塩の関係性 .....	13
3.4 政策の可能性と問題点 .....	14
<b>第4章 モデル分析.....</b>	<b>15</b>
4.1 仮定 .....	15
4.2 関数 .....	16
4.3 効用 .....	16
4.4 観光客の効用 .....	17
4.5 社会の効用.....	17
<b>第5章 終わりに.....</b>	<b>20</b>
<b>第6章 参考文献.....</b>	<b>21</b>

## 序論

みなさん水清ければ魚棲まずということわざをご存じだろうか。川の水があまりに清らかだと栄養分も少なく、魚もすぐ見つかかり、かえって棲みつかないということである。これが現実となっているのが現在の諏訪湖のワカサギである。現在、ワカサギ釣りで有名な諏訪湖ではワカサギが減少している。その原因は水質変化による貧栄養化であることもわかっている。ワカサギの減少によってワカサギ釣りの量的、時間的規制が今年の10月から取り組まれているほどである。規制による観光客の減少、また、ワカサギの漁獲量の減少による漁師の収入の減少は経済全体の減衰に繋がりがかねない。

我々は長野県諏訪湖周辺の森林環境に焦点を当て、諏訪湖周辺の森林環境を改善することで、諏訪湖の富栄養化を進行させようと政策を考察する。森林環境改善のための費用をワカサギ釣りなどの料金に上乗せし、経済全体の利益最大を保つような上乗せする料金を考察する。経済全体の利益最大を保ち、ワカサギの持続的な個体数も保てるような、森林環境改善に必要な料金を考察していく。

## 先行研究

ワカサギ減少に対する対策を検証した研究としては、大力圭太郎 飯野哲也(2012)「人工湖におけるワカサギの自然産卵を利用した増殖手法の検討」がある。大力圭太郎 飯野哲也(2012)は、県外からの卵の移入に依存せず、県内でのワカサギ資源を継続的に確保するため、水位変動が少ない場所が産卵に適した環境であるかを調査した。結論としては、平均推定着卵数が多い傾向であったが、有意な差は認められなかった。この研究から、冬から春にかけては観光業、漁業ともに大きな利益になるワカサギが、過去例に見ないほど減少していることがわかる。しかし、先行研究での調査から有意なものは得られることができなかった。この先行研究を踏まえ、私たちは、諏訪湖の現状を分析して新しい政策を打ち立てていく

## 第1章 現状分析

### 1.1 諏訪湖の地形

諏訪湖は湖面標高 759mであり、長野市は 362m、松本市は 592mであり、比較的高い場所にあることが分かる。全国的に見ても有数の湖面標高が高い湖である。湖面積は 13.3 k m<sup>2</sup>(常時の湖面積は 12.91 k m<sup>2</sup>)、周囲は 15.9 kmであり全国で 24 位の面積である。最大深度 7. 2 m 平均深度 4. 7 mである。総貯水量は 62,987,000m<sup>3</sup>、滞留時間は 3. 9 日、琵琶湖は 2000 日、霞ヶ浦は 200 日と比較すればわかるように非常に短い滞留時間なの分かる。流入河川は 31 河川(一級河川 15、準用河川 5、普通河川 11)であり、流出河川 1 河川(天竜川)に比べると圧倒的に流出河川が少ないことが分かる。流域面積は 5 3 1. 2 k m<sup>2</sup>である。



図 1-1 長野県の地形

出所 長野県 県のすがた

<https://www.pref.nagano.lg.jp/koho/kids/menu02/yamakawa.html>

## 1.2 諏訪湖の現状

諏訪湖では主に、ワカサギ釣りが盛んである。ワカサギが旬となる冬～春先にかけて多くのワカサギ釣りを目的とした観光客が訪れる。またフィールドワークで諏訪湖を訪れた際、寒さ対策として船の上にビニールハウスを設置したドーム船もあった。地域を挙げてこの観光を推進していることが分かる。また釣り以外にも上諏訪温泉、下諏訪温泉などの温泉地をありホテル事業も盛んである。諏訪湖沿いにある間欠泉と7つの温泉の湧出口「七ツ釜」から湯けむりを楽しむというのも1つの観光名所である。毎年8月に約4万発を打ち上げる諏訪湖祭湖上花火大会が開かれ日本最大級の規模を誇り、来場者数は50万人に上り、夏の風物詩になっている。諏訪湖は霧ヶ峰や八ヶ岳などの日本アルプスが近いため、観光汽船に乗ってこれらの観光地を遊覧することができる。遊覧船も様々で動物の形をしたものなど子供に向けて遊び心を持ち合わせたような船も運航しておりここからも観光に力を入れていることが分かる。



図 1-2 フィールドワークで諏訪湖を訪れた際、お話しを聞いた遊覧船乗り場の方々

撮影日 2015/10/12 撮影者 筆者

### 1.3 諏訪湖周辺の観光業

諏訪地域は、昔から工業が盛んなところであり、産業観光も含め多種多様な観光資源が存在しており、観光地域としてもそれに相応しい地域でもある。諏訪湖周辺にはホテル、旅館が集積していて、美術館などは比較的均等に分散している。

諏訪湖の観光客の変遷は以下の図 1-4 である。昭和 50 年の延観光客総数は 207 万人、その内の 44 万人が宿泊客（宿泊比率 21.3%）で、観光消費額は 35 億 3,881 万円、観光客一人当たり換算すると 1,708 円であった（表 3 参照）。昭和 60 年に入ると観光客数は飛躍的に増加し、昭和 61 年には諏訪大社御柱祭や蓼科有料道路の無料化などにより、観光客数は対前年比 18.7%の増加、観光消費額は 100 億円（対前年比 107%増）を突破した。平成に入っても観光客数は 300 万人台を維持し、観光消費額も 130 億円台で推移している。平成 19 年はドラマ効果で、観光客数は 427 万人、観光消費額は 155 億円と過去最高を記録している。しかし、宿泊客数をみると、平成 9 年の 68 万人をピークに減少傾向にある。これは上諏訪温泉の宿泊客についても同様な傾向にあり、40 万人台から 30 万人台に落ち込みが続いている。

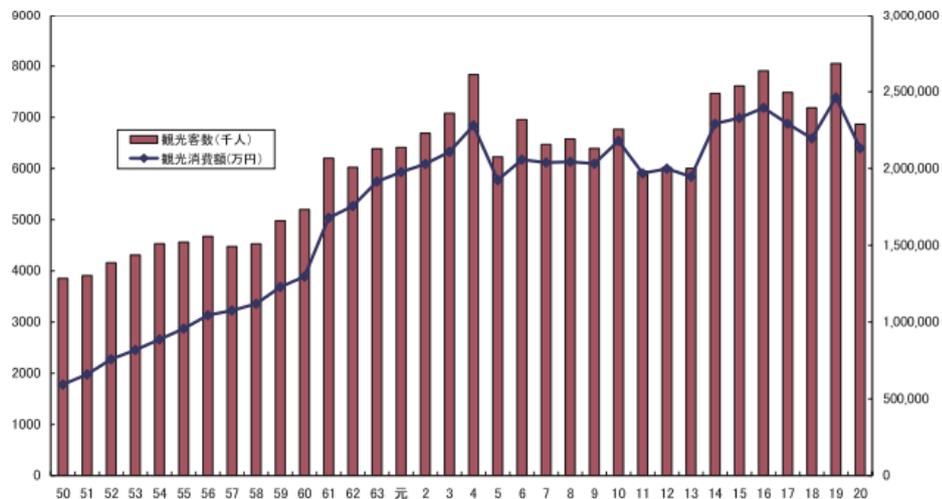


図 1-4 諏訪市観光客数と観光消費額の推移

出所 長野県諏訪市の観光動向

file:///C:/Users/hiroya/Downloads/05asou%20(1).pdf

#### 1.4 ワカサギの生態

よくワカサギ釣りなどで、この名前を耳にするがワカサギとはどんな魚なのだろうか。ワカサギは漢字で「公魚」と書くがこの由来は、霞ヶ浦や北浦の一部を治めていた麻生藩が江戸幕府11代将軍徳川家斉公に年貢として納めたことから、公儀御用の魚つまり「公魚」と名付けられたようだ。体長は15～20 cmまで成長する。日本に生息する食用魚であり水質の悪い湖や川などの適性もありさらに低水温や塩分に対しても適応力がある。生息域は内湾（沿岸海域）、汽水域、河川、湖など幅広い。産卵は冬から春にかけて行われ、この時期になると大群をなして川に戻ってくる。一匹の産卵数は多いもので2万粒にも達する。この産卵の時期に付随して冬～春咲きにかけて旬である。ワカサギは1年魚として知られ、翌年にはまた産卵のため河川や湖に戻ってくる。産卵したワカサギは死ぬ。食性は肉食性で、動物プランクトンや魚卵や稚魚などを捕食する。私たちはフィールドワークで訪れた諏訪湖も有数のワカサギ生息地であり、ワカサギ釣りなどが盛んである。



図 1-5 ワカサギ

出所 長野県 水産試験場 信州の魚たち

<http://www.pref.nagano.lg.jp/suisan/joho/sakanatachi/s-wakasagi.html>

## 1.5 諏訪湖漁業の現状

下の図 1-4 は諏訪湖のワカサギの漁獲量を表したグラフである。昭和 55 年の漁獲量は約 280 トンに上るが、平成 25 年の漁獲量は約 25 トンとかなり減少していることが分かる。この原因としてはブラックバスやブルーギルのような外来魚やワカサギを食べるカワアイサの増加、生活用水や工業用水の湖への流入によりプランクトンが増えたことなどが原因である。湖にリンや窒素が流入したことによってプランクトンが増えそのプランクトンを栄養にするワカサギなどの生物が増えると言う富栄養化の問題であった。しかグラフを見てもらえば分かるように大幅に減少している。これは諏訪湖周辺の下水道が普及したことにより川へ流入する生活用水が少なくなったことを示している。

さらに漁業としては漁獲だけではなく、採卵して全国に配送することによっても利益を得ている。1 年間に 12 億粒の卵を全国に配送している。100 万粒あたり 2 万 5000 円なので約 3000 万円の利益になることが分かる。諏訪湖漁業にとってワカサギの卵は大きな収入源になっている。しかし、去年は 25 億を全国に発送していた諏訪湖漁業であったが、今年は 1 億数千個にとどまり去年の 1 割に満たないほど減少した。ワカサギやワカサギの卵の減少は経済的な問題でもある。ワカサギの減少により諏訪湖漁協は大幅な財政悪化になり、2008 年の時点で累計財政赤字が約 600 万円に上り現在もその赤字が続いている。生態的な面からは、諏訪湖のワカサギの卵の輸出は以前から取り組まれており、減少による影響はかなり少ないと分析する。

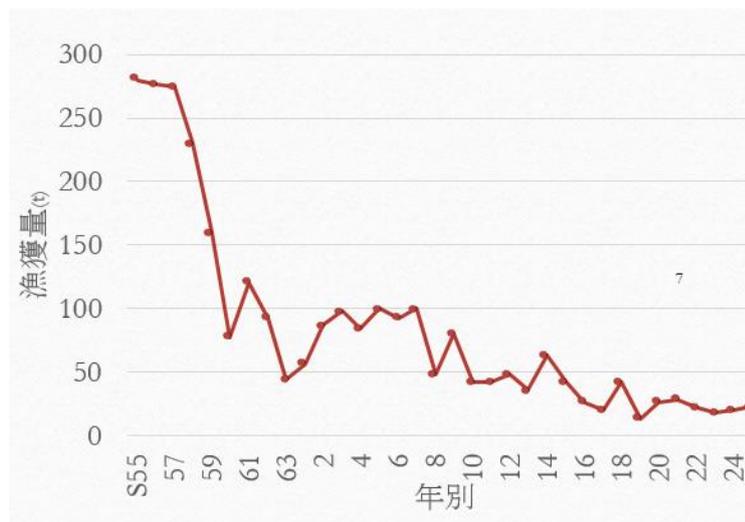


図 1-6 諏訪湖のワカサギの漁獲量

<http://homepage3.nifty.com/y-yajima/suwakogyokaku3.pdf> のデータより筆者作成

## 1.6 諏訪湖林業の現状

諏訪地区では森林所有面積3ha以下の森林所有が多く、県15%諏訪18%である。個人有林及び共有林が少ない。また集落有林・団体有林、社寺有林、会社有林が多く、公有林も多い。

現在、諏訪森林組合が間伐を進めようと計画を立てている。計画としては平成25年から平成29年までの5か年で5000haの間伐を進める目標を立てている。現在まででは1978haの間伐が進んでいる。

諏訪湖周辺では民有林の場合、間伐にかかる費用の7割は国と県の補助金から出る。残りの3割は所有者の負担となっている。1haあたりにかかる費用は森林の状況にもよるが、約70万円ほどである。

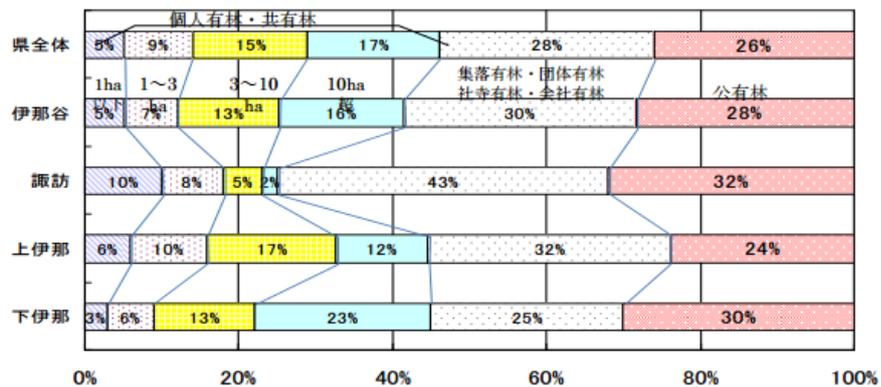


図 1-8 所有規模別の森林面積の割合

出所 森林所有者の動向

<https://www.pref.nagano.lg.jp/rinsei/sangyo/ringyo/shisaku/documents/inadani1020keikakuji-kou03-06.pdf>

## 第2章 問題提言

本章ではワカサギ減少による影響をもう一度振り返り、現在の問題点を探る。

### 2-1 ワカサギ減少による影響

1章でも述べた通り、諏訪湖におけるワカサギが減少したことで、諏訪湖周辺の漁協、釣り業者の収益は大きな打撃を受けた。特に漁協は大幅な財政赤字に陥り、2008年の時点で累計財政赤字が約7600万円に上り、依然として赤字が続いている状態である。

加えて、この問題は諏訪湖だけに留まらず全国の湖沼の生態系に影響を与える可能性がある。何故ならば一年魚であるワカサギの個体数を減らさぬ様、全国約140の湖沼が毎年諏訪湖からワカサギの卵を購入している。つまり諏訪湖でワカサギの個体数が減少し卵の安定供給が困難になることは、全国的にワカサギが減少し、生態系にも悪影響を与える事となる。

### 2-2 現在の対策と問題点

ここから、諏訪湖のワカサギ減少に対して行われている対策を説明し、加えてその対策の問題点についても述べていく。

現在行われている対策は長野県の諏訪湖に係る第六期水質保全計画である。これはワカサギの生息数に限定した政策ではないが、ワカサギを含む生物の生息数を増加させることが目的である。以下、この対策の詳細について説明する。

長野県は、[人と生き物が共存する諏訪湖]を目指すとして、関係機関や地域住民と共に水質保全活動に取り組んでいる。具体的には水質の改善、ヒシ等の特定植物の大量繁茂の制御、均衡のとれた豊かな生態系の確保、人々が集いやすさを与える美しい水辺空間の創出に努め、平成

39年を目途にかつての多種多様な水草や魚介類を育てていた諏訪湖の実現を目指している。そのために、現在長野県は大きく分けて2つの方法で課題に取り組んでいる。

1、水草のヒシの刈り取り

2、下水道整備を進め接続率の向上、浄化槽等の生活排水処理施設の整備

1では、ヒシを適当な量にすることで水質の浄化、貧酸素の軽減、沈水植物の再生等の環境の創出に努めている。県ではヒシ刈り取り船を導入している。

2の下水道処理に関しては、現在諏訪湖流域下水道の終末処理場が稼働中であり、下水道普及率は97.3%に達している。人間の生活用水には多くの窒素やリンが含まれているので、未普及地域の解消及び接続の促進を行うことでよりバランスのとれた水質を実現する効果が予想される。

これらの対策は、豊かな生態系の確保に必要ではあるが、費用の問題から順調に整備が進んでいるとは言えない。また、豊かな生態系を目指し、ワカサギの生息数を増加させるためには魚の餌となる植物プランクトンを増加させることが必要である。しかし残念なことに、植物プランクトンに着目した対策は現在行われていない。

つまりこれらの対策はワカサギの生息数の増加を図る政策としても十分ではないと言える。

## 第3章 政策提言

### 3-1 政策の概要

ここで我々が提言する政策は、諏訪湖の富栄養化計画である。具体的には、諏訪湖周辺の森林を間伐によって整備することで栄養のある湖、つまり植物プランクトンを増やし、持続可能的にワカサギの生息に適した環境を作り出すことを目的とする。以下で説明を加える。

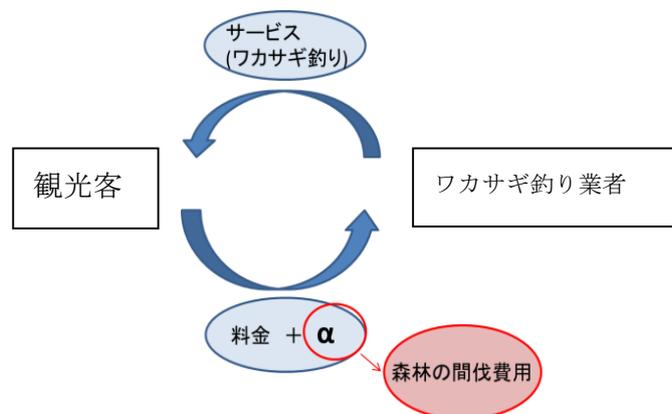


図 3-1：政策の流れ

上の図 3-1 では我々の政策を簡略に示している。この政策は、現状のワカサギ釣りの料金にある一定額  $\alpha$  を上乗せし、その上乗せ金を諏訪湖周辺の森林を間伐するための費用とする。今回一定額  $\alpha$  のことをワカサギ協力金と名付けた。

ここで、なぜ湖の富栄養化を進めるために森林の間伐に着目するのかを説明する。

### 3-2 栄養塩

まず本論文での湖の富栄養化、栄養のある湖とは具体的にどのような状態の湖を指すのかを改めて確認すると、これは湖の水中に植物プランクトンの餌となる窒素・リン・ケイ素と、窒素やリンなどの養分を吸収するための触媒の役割を果たす鉄が豊富にある状態のことを言う。水中では、窒素・リン・ケイ素などの養分が他の物質(酸素や水素)と反応を起こして塩の様に溶けており、これらを総称して栄養塩と呼ぶ。

そして、これらの物質が生み出されている場所というのが森林であり、間伐を行う事で多くの栄養塩と鉄を得られる。

窒素・リン	自然界では空気や土に含まれている物質であり、森林においては雨や地下水や川の水に溶け込んで流れてくる。加えて人間の生活排水や肥料の中にも多く含まれている。
ケイ素	岩や石に含まれる成分の一種。雨や地下水が岩や石の間を流れていく間にケイ素を溶かし込んでいく。
鉄	鉄は地中や水中では鉄粒子の状態、少しずつ鉄イオンとなって水中に溶け出す。しかしこのスピードは非常に遅く、植物プランクトンの需要を満たすだけの供給力はない。実際にはフルボ酸と結合して水溶性のフルボ鉄酸という物質となり森から川へ流れている。

表 3-1 富栄養化に必要な物質の特徴

表 3-1 では、先述の物質の特徴が記されている。フルボ酸は落ち葉が堆積した腐植土層をバクテリアが分解する過程で出来る有機酸の一種である。そして同じ過程で発生するフミン酸という物質が地中にある鉄粒子を鉄イオンにし、その鉄イオンとフルボ酸がキレート効果というフルボ酸のもつ特徴により結合し、安定したフルボ酸鉄となるのである。そうして、鉄イオンはフルボ酸鉄として植物プランクトンが栄養塩を吸収できるように働くのである。

### 3-3 間伐と栄養塩の関係性

3-2 で説明した栄養塩と森林の間伐にはどのような関係があるのだろうか。

間伐の手入れが不十分な森林の場合、木々の枝葉が重なり合い、森の中に光が入らず暗い森林になってしまう。すると密集しているので樹木はやせ細り、地表に太陽光が差し込まないため土地がやせ、下草もなくなる。加えて、森の保水機能も低下し、大雨が降れば一気に出水し、土石流や洪水を引き起こす危険性も高まる。そのため雨水は地表を流れ落ち、ケイ素の素となる岩や

石の間を通る頻度が減るだけでなく、落ち葉も堆積されて腐葉土となる前に雨風によって流されてしまう。

一方、間伐がしっかり行われると木々は降った雨を受け止め、地下水としてゆっくり水を供給し続ける。その過程で水は岩や石の間を通り、ケイ素を溶かし込んでいく。十分な日光が森の中に入ることによって、草や低木が育ち、地表の土が雨や風から守られ、枯れた草木が腐葉土となって豊富な土壌が守られる。つまりフルボ酸鉄が生成される環境が整い、水中に豊富に鉄イオンが存在出来ることとなる。

以上の内容をまとめると、諏訪湖周辺の森林の間伐を行う事で下草が生息し、土壌が守られ、地下水や腐葉土の豊富な森を維持することが出来る。その結果として、植物プランクトンの餌となる窒素・リン・ケイ素と鉄の豊富な水が31の流入河川へと流れ込み、諏訪湖へとたどり着くのである。

### 3-4 政策の効果と問題点

この政策の効果は、森→川→湖へと栄養素が流れ、湖の富栄養化である。これは結果として窒素やリンをより多く湖に存在させる事になり、一見すると長野県の水質保全計画に反する制度である。しかし実際は、水質保全計画によって人間が排出する洗剤や肥料などからの過度な窒素やリンを防ぎ、本論文の政策によって他の栄養素とのバランスの取れた量の窒素・リンが森林から安定的に供給される事で、プランクトンの異常増殖による赤潮などを引き起こさない範囲での富栄養化が可能となる。

この政策によって、間伐による費用を捻出することが出来、森林と湖が並行して豊かになり、結果としてワカサギの生息量の増加が見込める。諏訪湖は流入河川が31河川と非常に多いことから、栄養塩を生産出来る流域面積も広く、栄養塩の安定的供給も可能だと考える。しかし一方で、観光客にとっては実質的なワカサギ釣りの料金値上がりであり、需要が減少する可能性がある。

## 第4章 モデル分析

ワカサギ協力金をとることにより、観光客の効用がワカサギ協力金によってどう変化するのかを示していきたい。さらにワカサギ協力金と他の変数との関係を分析していきたい。

### 4-1 仮定

仮定としては以下の2点を考慮する。

- ・ワカサギ協力金を取ることによって、ワカサギが増えると単純化する。
- ・ワカサギの収穫量に上限は持たせない。

文字の設定は以下の通りである。

H：ワカサギ収穫量

S：ワカサギ個体数

K：環境容量

P：ワカサギの価格

r：増殖率

E：採取努力

$\alpha$ ：ワカサギ協力金

w：時間を含めたワカサギ採取費用

q：ワカサギ釣りのもともとの料金

## 4-2 関数

まずワカサギの増殖数とワカサギの個体数を表す関数、ロジスティック関数を考える。本来、ロジスティック関数は $\Delta S = rS(1 - \frac{S}{K})$ で表すが、ワカサギ協力金によって環境容量が増えたと考え、 $K$ を $\bar{K} + k\alpha$ と置いた。本来、ワカサギ協力金をとってから環境容量が増えるまでのフローは、「協力金→収入→森林整備→環境容量増加」となるが、簡単化のため「協力金→ $k\alpha$ →環境容量増加」というフローで分析する。今回のロジスティック関数は

$$\Delta S = rS \left( 1 - \frac{S}{\bar{K} + k\alpha} \right)$$

となる。ワカサギ収穫量は

$$H = h(E, S) = hES$$

となる。

## 4-3 効用

観光客の効用を考える。観光客の効用は、

$$PH(\alpha) - wE(\alpha) - (q + \alpha)$$

となる。ロジスティック関数を用いて、観光客の効用を最大化する $\alpha$ がどのように表せるかを見ていく。

前提として、ワカサギの持続的供給のためには、ワカサギを獲り過ぎてはならない。その年に増殖した分である $\Delta S$ だけ獲るとすると、以下が成り立つ。

$$\Delta S = H$$

即ち、

$$rS \left( 1 - \frac{S}{\bar{K} + k\alpha} \right) = hES$$

これを $S$ について解くと

$$S = (\bar{K} + k\alpha) \left( 1 - \frac{hE}{r} \right)$$

を得る。H = hESに代入すると

$$H = hE(\bar{K} + k\alpha)\left(1 - \frac{hE}{r}\right)$$

となる。

#### 4.4 観光客の効用

観光客の効用である、 $PH(\alpha) - wE(\alpha) - (q + \alpha)$ に上述のHを代入し、効用を最大化するEは次のように表せる。

$$E = \frac{rPh(\bar{K} + k\alpha) - rw}{2Ph^2(\bar{K} + k\alpha)}$$

さらにこのEを観光客の効用に代入し、効用を最大化するワカサギ協力金を求めると以下が得られる。

$$\alpha_v^* = -\frac{\bar{K}}{k} + \frac{w}{h} \sqrt{\frac{r}{kP(\bar{K}Pr - 4)}}$$

ここで今までの内容を図で整理する。本来のロジスティック関数でワカサギの増殖数は

$$\Delta S = rS\left(1 - \frac{S}{\bar{K}}\right)$$

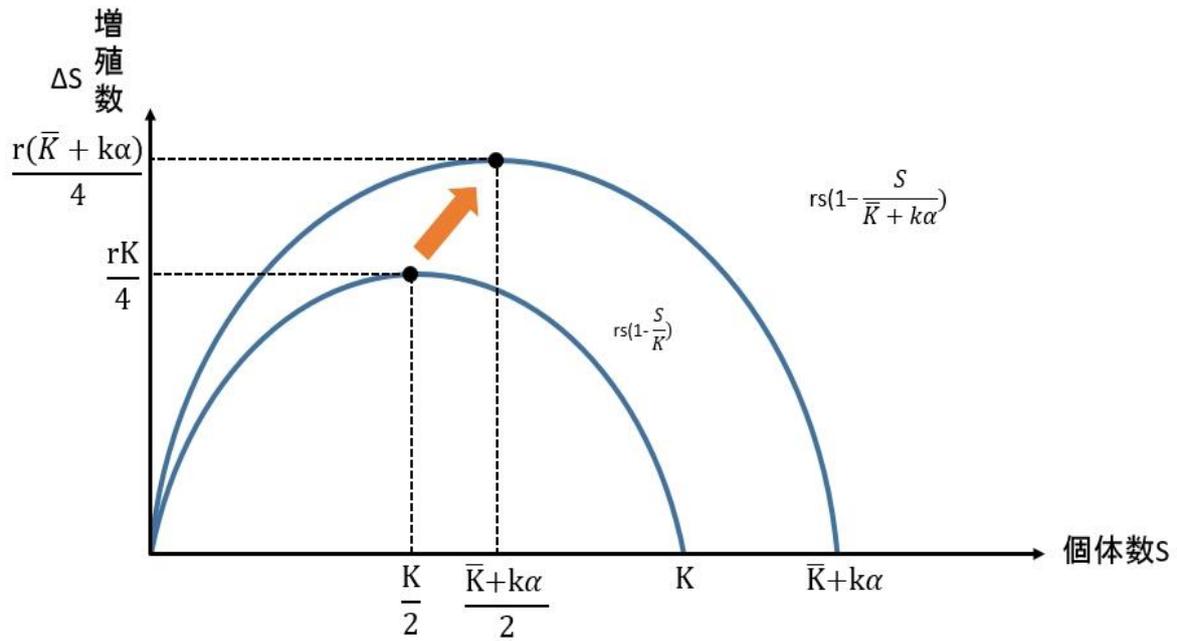
で表される。これを平方完成すると以下のようなになる。

$$\Delta S_B = -\frac{r}{\bar{K}}\left(S - \frac{\bar{K}}{2}\right)^2 + \frac{r\bar{K}}{4}$$

さらに今回のワカサギ協力金を加えたロジスティック関数で上記と同様の作業をすると

$$\Delta S_A = -\frac{r}{\bar{K} + k\alpha}\left(S - \frac{\bar{K} + k\alpha}{2}\right)^2 + \frac{r(\bar{K} + k\alpha)}{4}$$

を得る。 $\Delta S_B$ と $\Delta S_A$ のロジスティック関数を比べると



となる。このようにワカサギ協力金を導入することによって、環境容量が増加することがわかる。よって、ワカサギ協力金を徴収するという本政策は、ワカサギの供給増加に貢献すると考える。

これを元に今回のロジスティック関数の上での最適持続可能生産量を求める。ワカサギの個体数である

$$S = (\bar{K} + k\alpha) \left(1 - \frac{hE}{r}\right)$$

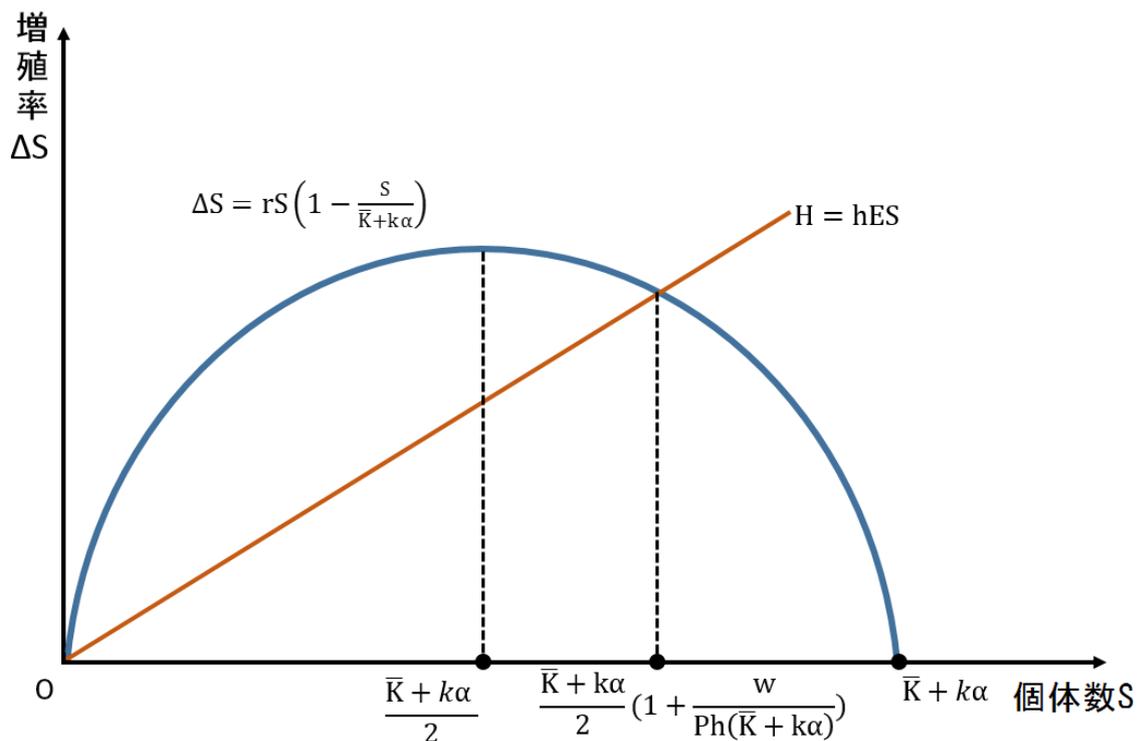
に採取努力である、

$$E = \frac{rPh(\bar{K} + k\alpha) - rw}{2Ph^2(\bar{K} + k\alpha)}$$

を代入すると、

$$S = \frac{(\bar{K} + k\alpha)}{2} \left(1 + \frac{w}{Ph(\bar{K} + k\alpha)}\right)$$

が得られる。これはワカサギの最適供給のために必要なワカサギの個体数を示しており、以下がそのグラフである。



上述の  $S$  の式は価格  $P$  が上昇すれば、最大持続可能供給量である、 $\frac{(\bar{K}+k\alpha)}{2}$  に近づくということを表している。

さて、ここからはワカサギ協力金  $\alpha$  と採取努力  $E$ 、ワカサギの増殖  $r$ 、ワカサギ採取時間  $w$ 、との関係について、それぞれ分析していく。

まず採取努力  $E$  とワカサギ協力金  $\alpha$  の関係を分析していく。ここで採取努力量  $E$  は、観光客の規模を示していることを理解していただきたい。

$$E = \frac{rPh(\bar{K} + k\alpha) - rw}{2Ph^2(\bar{K} + k\alpha)}$$

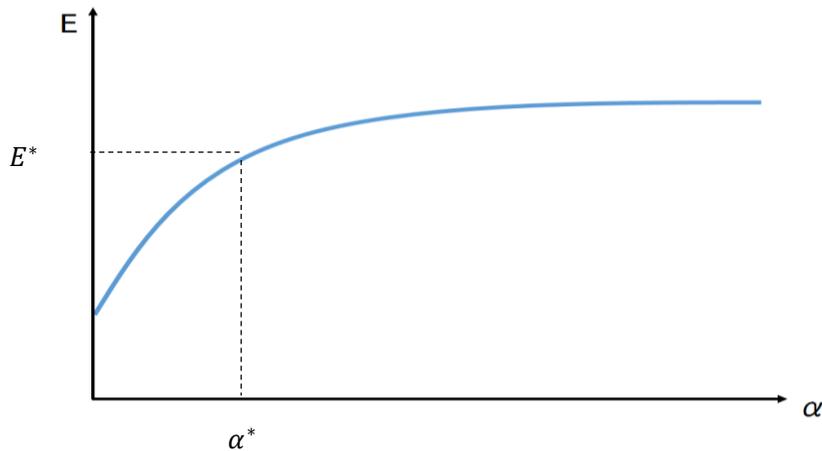
を  $\alpha$  で微分すると

$$\frac{dE}{d\alpha} = \frac{rwk}{2Ph^2} \cdot \frac{1}{(\bar{K} + k\alpha)} > 0$$

さらに2階微分で

$$\frac{d^2E}{d\alpha^2} = \frac{rwk}{2Ph^2} \cdot \frac{-2}{(\bar{K} + k\alpha)^2} < 0$$

が得られる。観光客の規模とワカサギ協力金の関係は以下のようなになる。



これは即ち、ワカサギ協力金が増えれば観光客の規模が増えることを示している。協力金を支払うことは、観光客にとってみれば負の効用であるはずだ。しかし、協力金が増えることによって、環境容量も増えるのである。環境容量が増えれば、ワカサギ量も増えるため、観光客は収穫量が増えるという効用も大きくなる。以上の理由より、ワカサギ協力金が増えれば観光客の規模が増えるのである。

次に最適なワカサギ協力金  $\alpha_v^* = -\frac{\bar{K}}{k} + \frac{w}{h} \sqrt{\frac{r}{kP(\bar{K}Pr-4)}}$  においてワカサギの増殖率

$r$ 、ワカサギ採取時間  $w$  を動かすと  $\alpha$  がどのように変化するかを見る。まず、増殖率  $r$  を増加させるとワカサギ協力金  $\alpha$  は小さくなる。増殖率が大きくなれば、森林整備をせずともワカサギの個体数は増加する。つまり、森林整備用のワカサギ協力金  $\alpha$  も少なくて済むのである。次に採取時間  $w$  を変動させる。採取時間  $w$  が多くなると、ワカサギ協力金  $\alpha$  も大きくなる。採取時間が増えるということは、採取されるワカサギの量も増えるということである。即ち、ワカサギの最適供給を目指すために、ワカサギ協力金  $\alpha$  を多くとり、ワカサギの量を増やす必要がある。まとめると、増殖率  $r$  が増加すると  $\alpha$  は減少し、採取時間  $w$  が増加すると  $\alpha$  も減少する。さらにワカサギ価格  $P$  が上昇したときにワカサギ協力金  $\alpha$  が減少するという結果がでた。

## 第5章 終わりに

本論文ではワカサギの持続的供給について述べてきた。「諏訪湖のワカサギ」には経済的・環境的価値があるものの、全く保護されていない現状に対して、森林保全の観点からアプローチした。過小利用の森林を伐採し保全することで、川に流れる栄養塩、主にリンや窒素が増え、諏訪

湖の環境容量が大きくなると考えた。長野では森林伐採は行われているものの、費用がかかるなどの理由によりあまり進んでいない。そこでワカサギ釣り料金にワカサギ協力金を上乗せしようと考えた。最適なワカサギ協力金はモデル分析によって示した。モデルにはレジームシフトなど湖特有の観点も考慮に入れたかったが、今回は時間的制約がありできなかった。また、観光客の効用だけでなく、社会的効用を

$$PH(\alpha) - wE(\alpha) - (q + \alpha) + F(\alpha)$$

と置き考えた。ここで、 $F(\alpha)$ は最適な森林環境である。しかし、この効用を最大化する最適な $\alpha$ が直観とは異なっていたため、今回は分析の対象としなかった。最後に、本論文執筆にあたって、ご指導をいただいた大沼先生、小村さん、12期の先輩方、ゼミの仲間、そして長野県諏訪湖漁協の皆様、長野水産試験場の星川さんに心より感謝いたします。

## 第6章 参考文献

大沼あゆみ(2014)「生物多様性保全の経済学」有斐閣

日本の旬・魚のお話 (2015年9月10日閲覧)

(<http://www.maruha-shinko.co.jp/uodas/syun/34-wakasagi.html>)

諏訪湖におけるラン藻の長期変動と生態系構造の変化 (2015年9月10日閲覧)

([http://www.plankton.jp/sub08\\_17\\_05.pdf](http://www.plankton.jp/sub08_17_05.pdf))

長野日報(5月8日更新) (2015年9月17日閲覧)

(<http://www.nagano-np.co.jp/modules/news/article.php?storyid=34135>)

諏訪湖漁業共同組合“平成 28 年春期 諏訪湖産わかさぎ卵の販売について” (2015 年 9 月 10 日 閲覧)

([http://www.suwakogyokyou.com/wakasagi\\_egg\\_sale.html](http://www.suwakogyokyou.com/wakasagi_egg_sale.html))

松永勝彦 (2010) 『森が消えれば海も死ぬ』 講談社

松永勝彦(2002) 「沿岸地域における生物生産機構に関する研究」 『日本海水学会誌』

長野県 web site 信州 第 6 期諏訪湖水質保全計画 (2015 年 12 月 8 日閲覧)

(<https://www.pref.nagano.lg.jp/mizutaiki/kurashi/shizen/suishitsu/6ki/documents/keikaku.pdf>)

大力圭太郎 飯野哲也(2012) 「人工湖におけるワカサギの自然産卵を利用した増殖手法の検討」

『埼玉県農林総合研究センター研究報告』第 11 号 p47～49

山岸 宏(1974) 「諏訪湖におけるワカサギ稚魚の生態について」 『日本生態学会誌』第 24 号 (1)

諏訪湖のカワアイサ問題を見に行く (2015 年 9 月 10 日閲覧)

([http://toriyamaehagaki.jpn.org/frs\\_html/kawaaisa.html](http://toriyamaehagaki.jpn.org/frs_html/kawaaisa.html))

諏訪湖の生態系の長期変遷 (2015 年 9 月 20 日閲覧)

(<http://www.pref.shiga.lg.jp/d/biwako-kankyo/lberi/03yomu/03-01kankoubutsu/kogan-kenkyukai/files/9hanazato.pdf#search='%E3%83%AF%E3%82%AB%E3%82%B5%E3%82%AE+%E8%AB%8F%E8%A8%AA%E6%B9%96+%E3%82%A2%E3%82%AA%E3%82%B3'>)

長野県の統計情報 (2015年9月20日閲覧)

([http://www3.pref.nagano.lg.jp/tokei/0\\_top/main/index.html](http://www3.pref.nagano.lg.jp/tokei/0_top/main/index.html))

環境省一生活環境の保全に関する環境基準 (2015年11月10日閲覧)

(<http://www.env.go.jp/kijun/wt2-1-2.html>)

山本民次「海と湖の貧栄養化問題: 水清ければ魚棲まず」地人書館 p124

藤原建紀(2011)「瀬戸内海の貧栄養化」『水環境学会誌』

京都大学化学研究所 宗林由樹 「琵琶湖の富栄養化と低酸素化」 (2015年12月8日閲覧)

([http://inter3.kuicr.kyoto-u.ac.jp/data/files/Lake\\_Biwa.pdf](http://inter3.kuicr.kyoto-u.ac.jp/data/files/Lake_Biwa.pdf))