

ニホンウナギの稚魚及び成魚に対する 漁獲圧力の等価的評価に関する考察

神頭一郎^{1†}

Consideration of the equivalent estimation of the fishing pressure on glass eels and adult eels of Japanese eel *Anguilla japonica*

Ichiro KANTO^{1†}

ニホンウナギの合理的な資源管理のためには、資源に対する天然ウナギ（成魚）漁業及びシラスウナギ（稚魚）漁業による漁獲圧力を等価的に評価することが重要である。そこで本研究では、漁獲圧力を同一次元にて等価的に評価・比較するための一つの手法を考案したとともに、それをを用いて双方の漁獲圧力に関する相対的関係の歴史的推移を明らかにした。それによると、成魚1tの漁獲は稚魚16.4–120.0 kgの漁獲に相当し、1970年代頃まで成魚漁業の方が稚魚漁業より漁獲圧力が明らかに強かったが、その後は両者が逆転し、稚魚漁業の方が支配的になったと考えられる。また、これらの結果をもとに、資源水準の歴史的推移及び資源の現状に見合ったニホンウナギの合理的な管理手法について考察した。

In order to implement the rational stock management of Japanese eel *Anguilla japonica*, it is important to evaluate the fishing pressure (FP) on Japanese eel stocks by adult eel catch and glass eel catch equally. I accordingly developed a FP evaluation method that compares FP by adult eel catch with that by glass eel catch in the same dimension. I succeeded to clarify the historical changes of the relative relationship of both FPs by using it. According to this method, FP by 1 t of adult eel catch is equivalent to 16.4–120.0 kg of glass eel catch, and FP by adult eel catch continued to be stronger than that by glass eel catch until around the 1970s. However, FP by glass eel catch came to be dominant thereafter. In addition to the above, taking into account the estimation and comparison of both FPs, I considered the historical change of the stock level and the rational management measures for the current status of Japanese eel stocks.

Key words: Japanese eel, *Anguilla japonica*, glass eel, adult eel, fishing pressure

はじめに

ニホンウナギ *Anguilla japonica* は、環境省やIUCNによる絶滅危惧種への指定、CITESにおける附属書掲載への懸念等に関連し、その資源の動向に注目を集めている。神頭(2015a)によると、東アジア全体におけるニホンウナギの養殖生産量は、1990年頃をピークとしてその後減少傾向にあり、特に、2008年以降はその程度が著しい。また、FAOの漁業統計データベース (FishStatJ, <http://www.fao.org/fishery/topic/166235/en>, 2015年3月16日)によると、東アジア全体におけるニホンウナギの天然ウナギ（成魚）漁

獲量についても、近年、その減少傾向が著しい。さらに、シラスウナギの採捕量については、近年、著しい不漁が続いている。これらのことから、ニホンウナギの資源水準に対する懸念が広がり、国内外において資源保護のために様々な対策が講じられている。

ニホンウナギを対象とする漁業は、天然の成魚（黄ウナギ、銀ウナギ）及び稚魚であるシラスウナギを対象とするものの大きく2種類に分類される。このうち、成魚については主に日本で漁獲される。水産庁の「ウナギをめぐる状況と対策について」(<http://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/pdf/meguru09.pdf>, 2015年10月15日)によると、近年、ウナギ資源の減少が危惧される状況に鑑み、日本国内において、内水面・海面におけるウナギ成魚の期間を定めた採捕禁止や自粛、採捕禁止区域の設定、再放流の励行など、成魚を保護するために様々な対策が講じられている。一方、シラスウナギについては、主に、日本、中国、台湾、韓国にお

2015年11月17日受付、2016年7月4日受理

¹ 国立研究開発法人水産研究・教育機構 経営企画部

Fisheries Research and Education Agency, General Planning and Coordination Department, Queen's Tower B 15F, 2-3-3 Minato Mirai, Nishi-ku, Yokohama, Kanagawa 220-6115, Japan

† osakanar@affrc.go.jp

いて採捕され、近年の採捕量の減少は、これら関係国の共通認識となっている。このため、シラスウナギについても、関係国において様々な資源保護に向けた措置が講じられ、そのうち、日本国内では、関係都府県において採捕期間の短縮等の措置が講じられている。また、シラスウナギを利用するウナギ養殖業については、2015年6月に届出制から許可制に移行した。このほか、2015年漁期には国際合意に基づき、上記4カ国の養殖場へのシラスウナギ池入れ量に上限が設けられた。

このように、ニホンウナギの資源保護に向けた取り組みは、成魚及び稚魚の両方を対象に幅広く実施されている。しかしながら、各々の取り組みについては、実施効果に関する具体的評価や科学的検証がほとんどなされないまま、言わば手探り状態で進められているのが実情と考えられる。また、成長段階の異なる成魚及び稚魚については、双方の漁獲圧力を等価的に評価するための手法が確立されていない。このため、成魚及び稚魚に対する様々な資源保護対策について、各々の効果を定量的に比較することが難しく、対策ごとの効果の大小を考慮した効率的な全体設計が困難な状況にある。

以上を踏まえ、本稿では、本研究によって得られる結果があくまでも一定条件のもとでの試算結果である点に留意しつつ、ニホンウナギの成魚及び稚魚を対象とする漁業による漁獲圧力を同一次元により等価的に評価する手法の考案を試みる。さらに、その手法を用いて各々の漁業が資源に加えた漁獲圧力の相対的關係について検証するほか、資源の総合的な水準についても検証を試みる。また、これら検証結果から、今後の資源保護対策の在り方について考察する。

材料と方法

漁獲圧力の等価的評価手法について

成長段階が異なる成魚及び稚魚に対する漁獲圧力（成魚及び稚魚を対象とした漁業による漁獲圧力）については、一方の成長段階による漁獲量を、もう一方の成長段階による漁獲量として等価的に評価する手法により、両者の漁獲圧力を同一次元により定量的に比較することが可能となる。そこで本稿では、これら比較を実現するため、*Anguilla*属に関する自然死亡係数、漁獲死亡係数、年齢と性別によって異なる降海率、性比、漁獲された成魚の年齢組成、体重などの基礎データをもとに、ニホンウナギの成魚の漁獲量を稚魚の漁獲量へ等価的に変換するための漁獲量変換係数 P を試算した。次に、試算された P をニホンウナギの成魚の漁獲量（公式統計）へ適用することにより、成魚漁獲量に対応した稚魚（シラスウナギ）採捕量相当値を計算し、その歴史的推移を推定した。なお、計算に用いる成魚漁獲量については、1950年以降の数値がFishStatJ及び農林水産統計年報（農林省、1955；農林水産省、1959–2015）の漁獲

量を、1949年以前については農林省累年統計表（農林省、1932）及び農林省統計表（農林省、1933–1949）による漁獲量をそれぞれ引用した。一方、シラスウナギ採捕量については、東アジア全体の数量に関し、長期間をカバーした信頼できる公式統計が存在しない。このため、神頭（2015a）が東アジア全体のニホンウナギ養殖生産量から推定した東アジア全体のシラスウナギ採捕量に相当する「養殖必要量」を引用した。さらに、日本におけるシラスウナギ採捕量については、水産庁が取りまとめた養殖用稚魚の漁獲量（<http://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/unagi.html>, 2015年11月7日）を引用した。養殖必要量は、実際のシラスウナギ採捕量と比較し、養殖の生育期間に起因するタイムラグ及び同一年級魚の出荷時期（年次）の分散に伴う増減の平均化が見られるものの、その水準は概数として実際の採捕量を反映していると考えた（神頭、2015a）。

漁獲量変換係数の試算に必要なデータ

以下に (i) 成魚の漁獲対象年齢及び成熟年齢、(ii) 成魚の性比、(iii) 成魚の年齢別平均体重、(iv) 自然死亡係数、漁獲死亡係数及び降海に伴う減少係数の順に説明する。

(i) 漁獲対象年齢及び成熟年齢

成魚の漁獲対象年齢については、廣澤（1999）が吉野川の漁獲調査等により入手した成魚17尾の年齢を調べた結果、4–10歳の範囲にあった。また、Sudo et al.（2013）が浜名湖及びその流入河川を産地とする成魚252尾について年齢を調査した結果、雄については4–7歳、雌については3–22歳の範囲にあり、雌の年齢の分布範囲が大きかった。さらに、二平（2006）によると、雌の成熟年齢は6歳以上と考えられる一方、雄の成熟年齢は4歳以上で、5歳以上の雄の個体数が極めて少ない。これらのことから、本稿においては、加入年齢を雌雄共に4歳とし、雄の漁獲対象年齢を4–7歳、雌については陸水域での滞在期間が長いことを考慮し（Sudo et al., 2013; 吉川, 1995）、4–13歳と仮定した。また、成熟年齢については、雄が4歳、雌が6歳と仮定し、この年齢に達した成熟個体からニホンウナギの基本的な生物特性に従って順次降海すると考えた。

(ii) 性比

性比については、Yokouchi et al.（2014）が天然の成魚4,738個体について調査した結果、雌の比率が79.6%と高かった。その一方、農林水産技術会議（http://www.s.affrc.go.jp/docs/report/report26/no26_p3.htm, 2015年10月21日）は、天然でとれるウナギの性比をほぼ1:1としている。また、雄については5歳以上の個体数が極めて少ない一方、雌については6歳以上で成熟し、陸水域における滞在期間が長いことから（二平, 2006; Sudo et al., 2013; 吉川, 1995）、自然界においては高齢の個体ほど雌の比率が高くなると考えられる。これらのことから、本稿においては、次式により示される性比 S について、上記約80%及び50%のほぼ中間値に相当する0.65と仮定した。

Table 1. Estimated values of the average weight for wild caught adult eel by age.

Age	4 yr.	5 yr.	6 yr.	7 yr.	8 yr.	9 yr.	10 yr.	11 yr.	12 yr.	13 yr.
W_t (g)	80	134	199	273	352	435	518	602	683	762

$$S = \sum_{t=4}^{13} N_{f,t} \quad / \quad [\sum_{t=4}^{13} N_{f,t} + \sum_{t=4}^7 N_{m,t}] \quad (1)$$

なお、(1)式中の $N_{m,t}$ 及び $N_{f,t}$ は、それぞれ成魚漁獲物1t中に含まれる t 歳雄及び雌の尾数を示す。

(iii) 年齢別平均体重

成魚の年齢別平均体重に関連し、廣澤 (1999) が調査した天然のニホンウナギ成魚17尾の年齢及び体重データ (4-10歳, 31-1,184 g) をもとに、Microsoft Excelのsolver機能を使用した非線形最適化法によりパラメータを求めた von Bertalanffyの成長式 ($W_{B,t}$: t 歳の体重 (g), $t_0=0$ と仮定) を以下に示す。

$$W_{B,t} = 1,671 \times (1 - e^{-0.113t})^3 \quad (2)$$

本稿においては、成魚の年齢別平均体重に関し、雌雄差を裏づける十分な情報がなかったことから、同一年齢の雌雄の平均体重に差を設けず同一の値と仮定したとともに、(2)式により求められる漁獲対象年齢 ($4 \leq t \leq 13$) ごとの体重 $W_{B,t}$ を、それぞれの年齢における平均体重 W_t と仮定した (Table 1)。

(iv) 各種減少係数

自然死亡係数については、Dekker (2000) が同じ *Anguilla* 属のヨーロッパウナギについて、大陸生活期における自然死亡係数を0.138と推定した。Tanaka (2014) は、ヨーロッパウナギの情報から求めたニホンウナギの自然死亡係数について、0歳が3.40、1歳が0.20、2歳が0.10、2歳超は0.05と推定した。また、Lin et al. (2010) は、標識・再捕実験から求めたニホンウナギ成魚の自然死亡係数を0.177と推定した。さらに、森山・松宮 (1999) は、ヨーロッパウナギ等のデータから求めたニホンウナギの自然死亡係数について、0-1歳が約1.03、2歳が約0.22、6歳が約0.10、10歳以上を約0.08と推定した。このように、自然死亡係数は、各推定値間に大きな差があり、特に0-2歳までの若齢魚における差が大きいため、雌雄差を裏づける十分なデータはなかった。さらに、自然死亡係数は環境等の影響により変動するため、単一の値による推定は精度に対するリスクが大きいと判断した。これらのことから、本稿においては、上記の推定値を参考に、自然死亡係数に雌雄差を設けず、初期死亡が大きく自然死亡係数の累計値が最も大きい「シナリオH」、初期死亡が小さく年齢とともに自然死亡係数が緩やかに減少し、その累計値が最も小さい「シナリオL」、両者の中間の数値を与えた「シナリオM」による3種

Table 2. Estimated values of mortality rates for P -values calculation.

Age	0 yr.	1 yr.	2 yr.	3 yr.	4 yr.	5 yr.	6 yr. ≤
$M_{H,t}$	3.4	0.2	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
$M_{M,t}$	2.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1
$M_{L,t}$	1.1	0.25	0.18	0.13	0.1	0.09	0.08
$Z_{H,m,t}$	3.4	0.2	0.1	0.05	0.85	0.85	0.85
$Z_{M,m,t}$	2.2	0.2	0.2	0.15	0.95	0.9	0.9
$Z_{L,m,t}$	1.1	0.25	0.18	0.13	0.9	0.88	0.88
$Z_{H,f,t}$	3.4	0.2	0.1	0.05	0.16	0.16	0.45
$Z_{M,f,t}$	2.2	0.2	0.2	0.15	0.26	0.21	0.5
$Z_{L,f,t}$	1.1	0.25	0.18	0.13	0.21	0.2	0.48

類のシナリオを仮定し、それぞれについて年齢別に自然死亡係数を定義した。シナリオごと (H, M, L) の年齢別自然死亡係数は、 t 歳の値を $M_{H,t}$, $M_{M,t}$, $M_{L,t}$ として Table 2に示す。

漁獲死亡係数については、Dekker (2000) がヨーロッパウナギについて0.10と推定したほか、Lin et al. (2010) がニホンウナギの標識・再捕実験の結果から0.120と推定した。その一方、年齢差及び雌雄差を裏づける十分な情報がなかったことから、本稿においては、これら推定値をもとに、加入年齢以降 ($t \geq 4$) の漁獲死亡係数 F_t について、年齢差及び雌雄差を設けず、両者の平均値に相当する0.11と仮定した ($t \leq 3$ の場合、 $F_t=0$)。

降海に伴う減少係数については、雄については4-5歳で多くの個体が降海するとともに、雌については6歳以上で成熟し成魚の陸水域滞在期間が長い (二平, 2006; Sudo et al., 2013; 吉川, 1995) といった間接的情報は存在するものの、ニホンウナギの降海率に関する具体的な知見は乏しい。このため、本稿においては、これら間接的情報をもとに、雄は4歳以上で毎年50%ずつ、雌は6歳以上で雄の半分の比率の毎年25%ずつの個体が再生産のために降海すると仮定し、次式により雌雄別の降海に伴う減少係数を求めた。

$$\theta_s = 1 - e^{-D_s}, D_s = -\ln(1 - \theta_s) \quad (3)$$

θ_s はニホンウナギの降海率、 D_s は降海に伴う減少係数を示し、性別 s は雄の場合 m 、雌の場合 f とする。(3)式において、降海率 $\theta_m=0.5$ 及び $\theta_f=0.25$ から、降海に伴う減少係数として、雄について $D_m=0.69$ 、雌について $D_f=0.29$ を

得た。

上記各種減少係数から求めたシナリオごとの雌雄別年齢別全減少係数 ($Z_{H,m,t}$, $Z_{H,f,t}$, $Z_{M,m,t}$, $Z_{M,f,t}$, $Z_{L,m,t}$, $Z_{L,f,t}$) を Table 2 に示す。

漁獲量変換係数の計算式

以下に漁獲量変換係数 P の計算式を示す。なお、 P による変換前の成魚の重量及び変換後の0歳魚の重量は同じ単位とする。

$$P = \left[\sum_{t=4}^7 N_{m,t} \times e^{Z_{m,t}^c} + \sum_{t=4}^{13} N_{f,t} \times e^{Z_{f,t}^c} \right] \times w_0 \times 10^{-6} \quad (4)$$

(4)式中の w_0 は、0歳魚1尾当たりの平均重量 (0.2 g) を示す。また、 $Z_{m,t}^c$ 及び $Z_{f,t}^c$ は、 t 歳雄及び雌の接岸期 (0歳) 以降における累積全減少係数を示し、次式により求める。

$$Z_{m,t}^c = \sum_{i=0}^{t-1} Z_{m,i}, \quad Z_{f,t}^c = \sum_{i=0}^{t-1} Z_{f,i} \quad (5)$$

(5)式中の $Z_{m,i}$ 及び $Z_{f,i}$ は、 i 歳雄及び雌の全減少係数を示す。また、(4)式中の $N_{m,t}$ 及び $N_{f,t}$ については、雌雄別に未熟と成熟に分け、次式を適用する。

○未熟 (雄： $t=4$, 雌： $t \leq 6$), t は自然数。

$$N_{m,t} = N_{m,4} \\ N_{f,t} = N_{f,(t-1)} \times e^{-Z_{f,t-1}} = N_{f,(t-1)} \times e^{-(F_{(t-1)} + M_{(t-1)})} \quad (6a)$$

○成熟 (雄： $t \geq 5$, 雌： $t \geq 7$), t は自然数。

$$N_{m,t} = N_{m,(t-1)} \times e^{-Z_{m,(t-1)}} = N_{m,(t-1)} \times e^{-(F_{(t-1)} + M_{(t-1)} + D_m)} \\ N_{f,t} = N_{f,(t-1)} \times e^{-Z_{f,(t-1)}} = N_{f,(t-1)} \times e^{-(F_{(t-1)} + M_{(t-1)} + D_f)} \quad (6b)$$

上記計算式において、稚魚来遊水準の年変動はなかったと仮定する。また、(4)式中の $e^{Z_{m,t}^c}$ 及び $e^{Z_{f,t}^c}$ は、 t 歳成魚 (雌雄別) 1尾と等価になる0歳魚採捕尾数相当値を求めるため、減少率に当たる $e^{-M_{(t-1)}}$ ($1 \leq t \leq 4$), (6a) 及び (6b) 式中の $e^{-Z_{m,(t-1)}}$ 及び $e^{-Z_{f,(t-1)}}$ ($t \geq 5$) をそれぞれ逆方向に累計したものである。

本稿においては、漁獲圧力の観点から成魚1尾の漁獲と等価になる平均的な0歳魚採捕尾数 G についても、次式により推定した。

$$G = P / w_0 \times 10^{-6} / \left(\sum_{t=4}^7 N_{m,t} + \sum_{t=4}^{13} N_{f,t} \right) \quad (7)$$

生物特性を考慮した漁獲量変換係数

本稿においては、上記 P とともに、再生産のために降海するニホンウナギ成魚の生物特性を考慮した漁獲量変換係数 P' についても試算した。再生産のために降海する成魚については、降海に伴う減少を通じて新たな資源を生み出す観点から、再生産に寄与しない自然死亡や漁獲死亡といった

単純な減少とは、減少の性質が本質的に異なる。このため、これら生物特性を考慮した P' では、(4)式中の $N_{m,t}$ 及び $N_{f,t}$ から0歳魚採捕尾数相当値を求める計算プロセスにおいて、降海に伴う減少を再生産に寄与しない単純な減少と区別し、計算に用いた累積全減少係数の値から降海に伴う減少係数の値を除いた。

以下に P' の計算式を示す。

$$P' = \left[\sum_{t=4}^7 \times e^{Z_{m,t}'} + \sum_{t=4}^{13} N_{f,t} \times e^{Z_{f,t}'} \right] \times w_0 \times 10^{-6} \quad (8)$$

(8)式中の $Z_{m,t}'$ 及び $Z_{f,t}'$ は、それぞれ t 歳雄及び雌について、(5)式中の $Z_{m,i}$ 及び $Z_{f,i}$ から降海に伴う減少係数 (D_m 及び D_f) を除いた全減少係数 ($Z_{m,i}'$ 及び $Z_{f,i}'$) を、接岸期 (0歳) から ($t-1$) 歳まで累計した累積全減少係数を示す。また、(8)式中の $N_{m,t}$, $N_{f,t}$, w_0 については、(4)式中のそれぞれの値に等しい。

成魚単位重量中の雌雄別年齢別尾数

P 及び P' の計算式に適用する $N_{m,t}$ ($4 \leq t \leq 7$) 及び $N_{f,t}$ ($4 \leq t \leq 13$) については、3種類のシナリオごとに各年齢の値を求める必要がある。シナリオごとの値の計算方法は基本的に共通するため、以下にシナリオ H に対応した $N_{H,m,t}$ 及び $N_{H,f,t}$ の計算方法を示す。

① 加入年齢 (4歳) の雌雄別漁獲尾数にあたる $N_{H,m,4}$ 及び $N_{H,f,4}$ に、それぞれ任意の尾数を与える。また、(6a) 及び (6b) 式にならい、次式により、雄 ($5 \leq t \leq 7$) 及び雌 ($5 \leq t \leq 13$) について、各年齢の漁獲尾数 ($N_{H,m,t}$ 及び $N_{H,f,t}$) を定義する。

$$N_{H,m,t} = N_{H,m,4} \times \exp\left(-\sum_{i=5}^t (Z_{H,m,(i-1)})\right) \quad (9a)$$

$$N_{H,f,t} = N_{H,f,4} \times \exp\left(-\sum_{i=5}^t (Z_{H,f,(i-1)})\right) \quad (9b)$$

② (1)式にならい、性比に関し、次式を得る。

$$S = \sum_{t=4}^{13} N_{H,f,t} / \left[\sum_{t=4}^{13} N_{H,f,t} + \sum_{t=4}^7 N_{H,m,t} \right] \quad (10)$$

③ 雌雄別の年齢別漁獲重量の合計 ($W_{H,m}$ 及び $W_{H,f}$) 及びこれら雌雄の合計 $W_{H,(m+f)}$ を以下に示す。

$$W_{H,m} = \sum_{t=4}^7 (N_{H,m,t} \times W_t), \quad W_{H,f} = \sum_{t=4}^{13} (N_{H,f,t} \times W_t) \quad (11a)$$

$$W_{H,(m+f)} = W_{H,m} + W_{H,f} \quad (11b)$$

④ $W_{H,(m+f)}$ について、目標値を単位重量である 10^6 g, 制約条件を $S=0.65$ として、Microsoft Excel の solver 機能を使用した非線形最適化法により、 $N_{H,m,t}$ ($4 \leq t \leq 7$) 及び $N_{H,f,t}$ ($4 \leq t \leq 13$) の値を各年齢について求める。

結果と考察

シナリオごとのP及びP'の推定

Pについては、材料と方法に従い、3種類のシナリオごとに計算した結果、シナリオH： $P_H=120.0 \times 10^{-3}$ 、シナリオM： $P_M=52.3 \times 10^{-3}$ 、シナリオL： $P_L=16.4 \times 10^{-3}$ を得た。また、成魚1尾の漁獲と等価になる平均的な0歳魚採捕尾数相当値Gについては、シナリオごとに $G_H=108.0$ 尾、 $G_M=44.2$ 尾、 $G_L=14.2$ 尾を得た。

さらに、再生産のために降海するニホンウナギ成魚の生物特性を考慮したP'については、シナリオごとに、 $P'_H=64.6 \times 10^{-3}$ 、 $P'_M=27.8 \times 10^{-3}$ 、 $P'_L=8.7 \times 10^{-3}$ となり、それぞれ P_H 、 P_M 及び P_L の0.53-0.54倍の水準であった。また、(7)式を準用し、P'を用いて成魚1尾の漁獲と等価になる平均的な0歳魚採捕尾数相当値G'をシナリオごとに計算した結果、 $G'_H=58.1$ 尾、 $G'_M=23.4$ 尾、 $G'_L=7.5$ 尾となった。以上のことから、成魚を対象とする漁業の漁獲圧力については、再生産のために降海するニホンウナギの生物特性を考慮して評価した場合、考慮しない場合と比較しておよそ半分の水準となった。

東アジア全体における漁獲圧力に関する考察

Figure 1に、農林水産統計年報及びFishStatJによる日本及び東アジア全体における成魚漁獲量の推移を示した。それによると、東アジア全体の漁獲量は、その多くを日本が占め、残りの部分のほとんどを韓国が占める。東アジア全体の漁獲量は、1920年から1940年頃まで約3,000 tの水準で推移した。その後、第二次世界大戦による漁業活動の中断を経て、1961-1969年にかけて再び3,000 t台の水準に回復した。しかしながら、それ以降、急激に減少し、2013年には東アジア全体でピークの年の約20分の1に相当する204 tとなった。なお、内閣統計局（1930, 1938）によると、朝鮮、台湾における1928年及び1936年の天然ウナギ漁獲

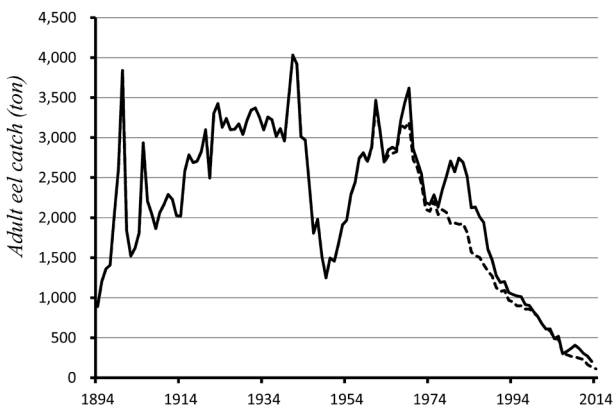


Figure 1. Historical changes of the amount of adult eel catch in Japan (dotted curve), and in the whole of East Asia (solid curve); the catch amounts from 1944-1948 are estimated by using the total amount of inland catch and the average share ratio of Japanese eel catch from 1941-1943 and 1949-1951.

高（金額ベース）は、それぞれ朝鮮が日本本土の5.0%及び6.6%、台湾が1.3%及び1.9%の水準であった。また、中国におけるウナギ消費は、近年に至るまで少量であったと推定される（神頭, 2015a）。このため、本稿においては、FishStatJのデータが存在しない1949年以前の東アジア全体における漁獲量に関し、日本以外の国による漁獲量を少量とみなし無視して取り扱った。

次に、成魚及び稚魚に対する漁獲圧力の相対的關係を検証するため、Figure 2に東アジア全体におけるシラスウナギの養殖必要量の推移及び東アジア全体における成魚漁獲量を P_H 、 P_M 及び P_L を用いて換算したシラスウナギ採捕量相当値の推移を示した。いずれのシナリオも明治期から1963年までの間、成魚漁獲量に対応したシラスウナギ採捕量相当値が養殖必要量の水準を上回った。特に、シナリオHでは、1994年に至るまで、シラスウナギ採捕量相当値が養殖必要量を上回ったほか、長期にわたり養殖必要量を大幅に上回る300-400 tの水準にあった。1970年代に入ると日本及び台湾の養殖生産量が急増したため、養殖必要量が急増した一方で、天然ウナギ漁業によるシラスウナギ採捕量相当値は減少に転じている。これら減少傾向は1980年代以降、特に顕著となり、2011年には最も高値を示したシナリオHでも、養殖用稚魚漁業の68%の水準にまで低下した。

Figure 3にニホンウナギの総体的な資源水準について検証するため、東アジア全体における養殖必要量及び P_H 、 P_M 、 P_L に対応したシラスウナギ採捕量相当値の合計数量の推移を示した。それによると、これら合計数量は、戦時中の1941年にすべてのシナリオが一つの大きなピークを記

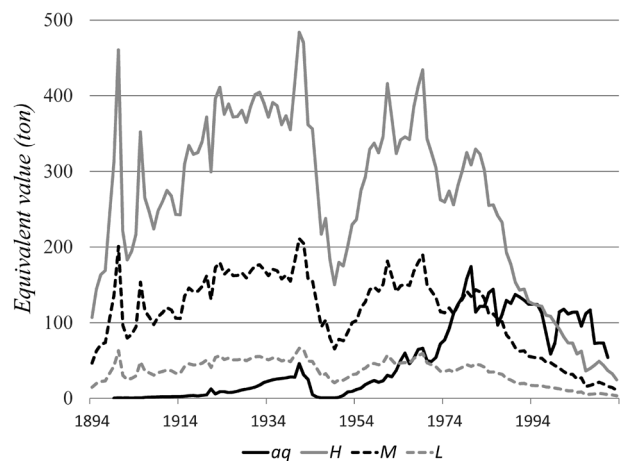


Figure 2. Historical changes of the estimated total amount of glass eels needed for Japanese eel farming (aq), and the equivalent values of glass eel catch which were estimated by the adult eel catch with P value in accordance with the different scenarios of H (H), M (M), L (L), in the whole of East Asia.

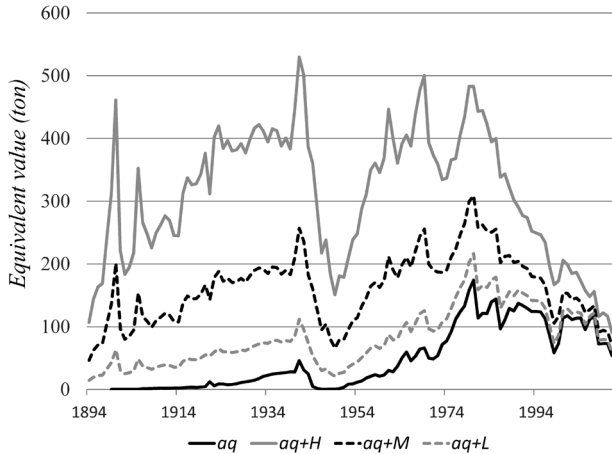


Figure 3. Historical changes of the estimated total amount of glass eels needed for Japanese eel farming (aq), and the total amounts of aq plus equivalent value of glass eel catch which was estimated by the adult eel catch with P value in accordance with the different scenario of H ($aq+H$), M ($aq+M$), L ($aq+L$), in the whole of East Asia.

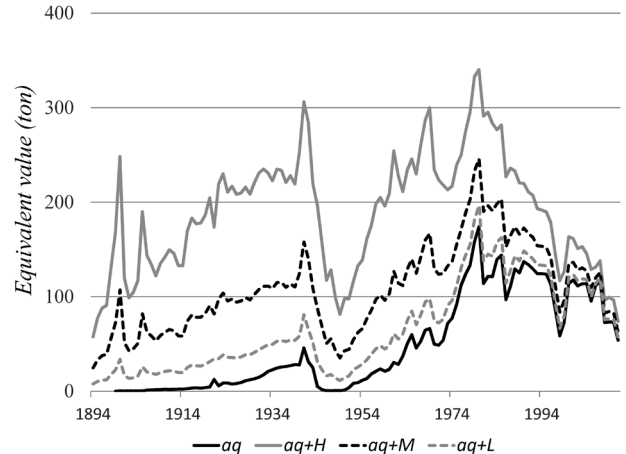


Figure 4. Historical changes of the estimated total amount of glass eels needed for Japanese eel farming (aq), and the total amounts of aq plus equivalent value of glass eel catch which was estimated by the adult eel catch with P' value in accordance with the different scenario of H ($aq+H$), M ($aq+M$), L ($aq+L$), in the whole of East Asia.

録したが、その値は112.2–529.8tとシナリオごとの推定値の幅が大きい。その後、戦争による減少を経験した後、戦後再び増加し、シナリオHが1969年に、シナリオM及びLが1980年にそれぞれ500.5t、308.9t及び216.5tのピークを記録した。これらピークの後、それぞれの合計数量は変動を伴いながら減少し、2011年には59.0–90.7tの水準となった。この水準は、概して明治期または戦後の混乱期の水準に匹敵する。

以上のことから、少なくとも養殖が東アジア全域において盛んになる1970年代より以前においては、ニホンウナギ資源全体への漁獲圧力として、天然ウナギ漁業が養殖用稚魚漁業を上回っていた可能性が高く、資源に対して一次的な影響を与えていたと考えられる。近年、天然ウナギ漁業による漁獲圧力の比率が急速に低下し、それに代わって養殖用稚魚漁業による漁獲圧力が支配的な立場に変化した。2つの漁業に関連した養殖必要量及びシラスウナギ採捕量相当値の合計値は、東アジア全体におけるニホンウナギの総体的な資源水準を示す一つの指標になると考えられ、2011年にはピーク時の17–27%の水準にまで低下した。さらに、同様の試算を P' により行った場合も、その水準が22–29%となり、 P による試算とほぼ同程度の低値を示した (Figure 4)。これらの結果は、東アジア全体における総体的な資源水準の低下と、養殖用稚魚漁業による漁獲圧力の比率拡大が同時進行している状況を示唆するものであり、養殖用稚魚漁業による漁獲圧力と資源水準の低下との間に一定の関連性を裏づける一つの根拠になると考える。

日本における漁獲圧力に関する考察

養殖用稚魚漁業が東アジア地域の複数の国で営まれる一

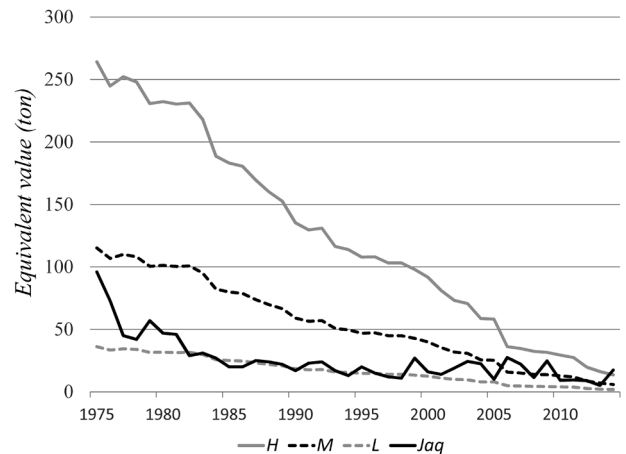


Figure 5. Historical changes of the glass eel catch (Jaq), and the equivalent values of glass eel catch which were estimated by the adult eel catch with P value in accordance with the different scenarios of H (H), M (M), L (L), in Japan.

方、天然ウナギ漁業は、その多くが日本という局所において営まれてきた。このため、天然ウナギ漁業による漁獲圧力については、地域を日本国内に限定した局所的範囲において、養殖用稚魚漁業による漁獲圧力との相対的關係について分析する必要がある。

Figure 5に、1975年以降について、天然ウナギ漁業と養殖用稚魚漁業による漁獲圧力の相対的關係を検証するため、国内シラスウナギ採捕量の推移 (Jaq)、国内成魚漁獲量と P_H 、 P_M 及び P_L により計算したシラスウナギ採捕量相当値の推移をそれぞれ示した。それによると、いずれのシ

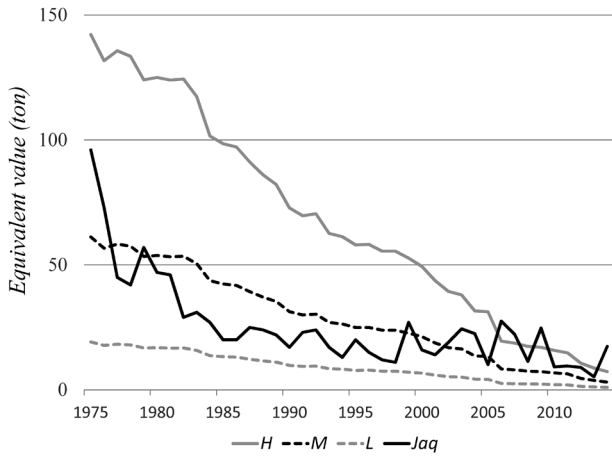


Figure 6. Historical changes of the glass eel catch (*Jaq*), and the equivalent values of glass eel catch which were estimated by the adult eel catch with P' value in accordance with the different scenarios of H (*H*), M (*M*), and L (*L*), in Japan.

ナリオでも、天然ウナギ漁業のシラスウナギ採捕量相当値が *Jaq* と同等もしくは *Jaq* より高水準で、特にシナリオ H では、最近年を除き、全ての期間で *Jaq* を上回った。また、シナリオ M においても、2005 年まで天然ウナギ漁業による漁獲圧力が *Jaq* を上回ったほか、その後も減少傾向を辿りつつも *Jaq* と同程度の水準を維持した。さらに、シナリオ L では、全体的に天然ウナギ漁業による漁獲圧力が *Jaq* を下回るものの、1980 年代後半から 1990 年代後半にかけて *Jaq* とほぼ同水準で推移した。

以上のことから、日本国内においては、天然ウナギ漁業による漁獲圧力の水準が総じて高かったものの近年低下し、養殖用稚魚漁業による漁獲圧力の大きさが同等若しくは逆転する状況となった。しかしながら、天然ウナギ漁業による漁獲圧力は、最近 3 ヶ年のシナリオごとの平均値が養殖用稚魚漁業の 22–157% の水準で推移したと考えられ、依然として資源への影響が無視できない。さらに、同様の試算を P' により行った場合でも、天然ウナギ漁業による漁獲圧力の水準は養殖用稚魚漁業の水準の 11–84% と決して低いとは言えない (Figure 6)。これらの結果は、少なくとも日本国内においては、養殖用稚魚漁業とともに、天然ウナギ漁業に対する管理の重要性を示唆する一つの根拠になると考える。

資源保護対策の在り方

Figure 7 に、神頭 (2015b) による 1975 年以降の東アジア全体におけるシラスウナギ総採捕量推定値 (*AQ*)、水産庁が取りまとめた日本国内におけるシラスウナギ採捕量 (*Jaq*) 及び 1980 年以降の高知県におけるシラスウナギ採捕者 1 人当たりのシラスウナギ採捕量 (*CPUE*) の推移を示した (高知県, 2014)。なお、高知県における同採捕量については、各年の標本数 (採捕者数) が 2,689–12,747 人

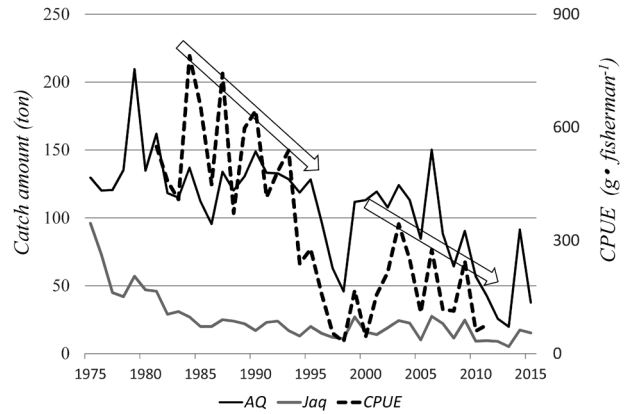


Figure 7. Historical changes of the estimated catch amount of glass eels of Japanese eel in the whole of East Asia (*AQ*), that in Japan (*Jaq*), and the CPUE of the glass eel fishing in Kochi pref. in Japan (*CPUE*); the original data of *AQ* was updated by the data of “<http://unaginews.blog.so-net.ne.jp/>”, 10 December 2015”.

であり、養殖用稚魚漁業の単位漁獲努力量当たりの漁獲量 ($\text{g}\cdot\text{fisherman}^{-1}$) に相当する数値であることから、その推移の傾向はニホンウナギの資源水準を表現すると考えた。

Figure 7 に示したグラフは、いずれも年変動が激しいが、*CPUE* については、短期的変動が資源水準以外の海洋環境等の変動によりもたらされた部分が大きいと考え、図中の矢印で示した通り、エルニーニョ等の影響による一時的変動が疑われる 1990 年代後半を除いた極大値を結ぶ長期的トレンドを見た。その結果、*CPUE* はほぼ右肩下がり減少傾向が解析される一方、他の 2 つのグラフについては、*CPUE* の長期的トレンドと比べて減少傾向が比較的緩やかであった。特に *Jaq* においては、増減を繰り返しつつも、その水準が近年ほぼ横ばいに近い傾向を示している。このことは、*CPUE* の長期的トレンドから、ニホンウナギ全体の資源水準が低下しているにもかかわらず、漁獲量を維持するため、シラスウナギに対する強い漁獲圧力が継続している状況を示唆していると考えた。また、近年、東アジア全体において、天然ウナギ漁業と比較し、養殖用稚魚漁業による漁獲圧力が相対的に大きくなった状況を併せて考慮すれば、親魚以上に稚魚に対する資源保護対策の充実が急務と考える。

日本、中国、台湾及び韓国は、稚魚の資源保護対策として、養殖場へのシラスウナギ池入れ量を、直近 5 年間で最も多かった 2014 年を基準に 20% 削減することで国際合意した。これによって 2015 年漁期には、4 ヶ国の合計池入れ量を 78.7 t に制限するとともに、2016 年漁期についてもほぼ同じ制限が合意された。これら国際合意については、資源保護を目的に多国間で困難な合意形成に成功した点については高く評価できる。しかしながら、そもそもシラスウナギ来遊量が制限数量に達しない場合、20% の削減が実際

に機能しないことから、この手法は資源水準が低い場合に資源保護対策が機能しないという大きな矛盾を抱えている。このため、資源水準が低い場合でも資源保護対策が有効に機能する現実的手法として、例えば効率的な密漁監視も考慮し、1週間のうち特定の曜日（例：月・水・金曜日）に養殖用稚魚漁業を全面禁漁にするといった資源管理の手法についても検討することが望ましい時期にあると考える。

謝 辞

本原稿作成に当たり編集委員及び2名の査読者には、多くの有益なコメントをいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

引用文献

- Dekker W. (2000) A Procrustean assessment of the European eel stock. ICES J. Marine Sci., **57**, 938–947.
- 廣澤 晃 (1999) 内水面漁場高度利用調査委託事業（ウナギ資源調査）。平成11年度徳島県水産試験場事業報告書, 6 pp.
- 神頭一郎 (2015a) 中国におけるニホンウナギの養殖生産量に関する代替データを用いた間接的推定. 水産海洋研究, **79**, 61–66.
- 神頭一郎 (2015b) 関連情報の解析によるニホンウナギのシラスウナギ総採捕量に関する考察. 水産海洋研究, **79**, 287–296.
- 高知県 (2014) ニホンウナギの資源管理について（提言）。高知県内水面漁業管理委員会, 30 pp.
- Lin, Y., Y. Chang, C. Sun and W. Tzeng (2010) Evaluation of the Japanese eel fishery in the lower reaches of the Kao-Ping River, southwestern Taiwan using a per-recruit analysis. Fish. Res., **106**, 329–336.
- 森山彰久・松宮義晴 (1999) ウナギの繁殖価と再生産効果の試算. 共同利用シンポジウム「ウナギ資源の管理現況と保全対策」講演要旨集, 45–46.
- 内閣統計局 (1930) 第四十九回大日本帝国統計年鑑. 大日本帝国内閣統計局編纂, 92–93.
- 内閣統計局 (1938) 第五十七回大日本帝国統計年鑑. 大日本帝国内閣統計局編纂, 94–95.
- 二平 章 (2006) 利根川および霞ヶ浦におけるウナギ漁獲量の変動. 茨城内水試研報, **40**, 55–68.
- 農林省 (1932) 明治六年乃至昭和四年 農林省累年統計表. 農林大臣官房統計課.
- 農林省 (1933–1949) 第10–26次農林省統計表. 農林大臣官房統計課.
- 農林省 (1955) 農林省累年統計表 明治1年–昭和28年. 農林経済局統計調査部.
- 農林水産省 (1959–2015) 昭和32年–平成26年漁業養殖業生産統計年報. 農林水産省大臣官房統計部.
- Sudo, R., N. Fukuda, J. Aoyama and K. Tsukamoto (2013) Age and body size of Japanese eels, *Anguilla japonica*, at the silver-stage in the Hamana Lake system, Japan. Coast. Marine Sci., **36**, 13–18.
- Tanaka, E. (2014) Stock assessment of Japanese eels using Japanese abundance indices. Fish. Sci., **80**, 1129–1144.
- Yokouchi, K., Y. Kaneko, K. Kaifu, J. Aoyama, K. Uchida and K. Tsukamoto (2014) Demographic survey of the yellow-phase Japanese eel *Anguilla japonica* in Japan. Fish. Sci., **80**, 543–554.
- 吉川昌之 (1995) 天然及び養殖ニホンウナギ *Anguilla japonica* の大型魚における性比と体重及び年齢の関係. 静岡県水産試験場研究報告, **30**, 29–34.