

スイゲンゼニタナゴ *Rhodeus atremius suigenis* (Mori)

河村功一・三宅琢也

三重大学 大学院生物資源学研究所

(〒514-8507 三重県津市三重県津市栗真町屋町 1577, TEL 059-231-9549, e-mail: kawa-k@bio.mie-u.ac.jp)

緒言

スイゲンゼニタナゴ (*Rhodeus atremius suigenis*) はコイ目コイ科タナゴ亜科の一種で岡山平野を中心とする特定の水域にのみ限定的に生息する(河村, 2003)。本種は亜種であるカゼトゲタナゴ (*R. a. atremius*) と共に染色体数が $2n=46$ とタナゴ亜科において特異な核型を持つだけでなく(小島ほか, 1973)、系統発生的にも特化的な種である事が判っている(Okazaki et al., 2001)。この事からスイゲンゼニタナゴはタナゴ亜科の進化だけでなく、日本列島の成立を考える上でも貴重な種であると言える。しかしながら本種は近年の圃場整備、宅地開発等の影響により生息地、個体数共に著しく激減し、1999年には環境省により絶滅危惧 IA に、更に 2002年には国内希少野生動植物種に指定されている。こうした状況下で、スイゲンゼニタナゴの保護対策は急務の課題とされている(河村, 2003)。

昨年度はマイクロサテライトマーカー (MS) による保全単位の推定ならびに機能的遺伝子の一つである MHC 遺伝子を用いた適応度の間接的推定を行った所、スイゲンゼニタナゴの保全単位はほぼ 1 であり、遺伝的多様性は MS、MHC 共に西高東低型を示した。特に東限の集団である吉井川集団においては過去における大規模なボトルネックの存在が示唆された。また継代飼育に伴う遺伝的劣化の程度を見るため、各既存飼育系統について野外集団との間で MS と MHC の遺伝的特徴の比較を行った所、多くの飼育系統において遺伝的多様性の低下が認められ、遺伝的改善の必要性が示唆された。

本年度はこうした事実を踏まえ、1) 遺伝的劣化の見られる飼育系統における遺伝的改善策の実施ならびに効果の検証、2) 遺伝的多様性の低い東部集団における遺伝的改善のための交配集団の探索を行った。行った。また、矢掛高校で行っている保存系統については継続して遺伝的モニタリングを行い、3) 遺伝的劣化を生じない系統保存技術の確立に向けた知見の収集を試みた。なお、本研究の実施に当たり野外集団の採捕ならびに鱗組織の採取については、事前に中国四国環境事務所から許可を取得済みである。

材料と方法

1) 遺伝的劣化の見られる飼育系統における遺伝的改善策の実施ならびに効果の検証

高松農業高校(岡山県岡山市北区高松原古才)においては足守川集団の系統保存を 2003 年から行っているが、近年、形態異常個体(骨格異常)が高頻度に出現する事が

知られている（図 1, 2）。今回、この飼育系統において形態異常の問題を改善するため、足守川産野外個体との間で交配試験を行い、交配個体における形態異常の出現頻度と交配による遺伝的多様性の向上の程度について調査した。交配は形態異常個体においては卵質の影響が考えられる事から、形態異常個体の雄と野外個体の雌の間でのみ行った。遺伝的多様性の推定においては昨年同様、MS7 座と MHC class IIB 遺伝子（Exon II 領域）について平均ヘテロ接合度（ H_e :期待値； H_o :観察値）と allelic richness（ A_r ）を求める事によって行った（河村ら，2010）。遺伝的多様性のパラメータの計算には FSTAT 2.9.3.2（Goudet, 2001）を用いた。また、遺伝的ボトルネックの有無を見るため、Bottleneck ver1.2.02（Piry et al., 1999）による Wilcoxon's test と Mode shift test を併せて行い、Wilcoxon's test においては TPM model（SMM 90%；multiple mutations 10%；variance 10）（Garza and Williamson, 2001）を用いた。

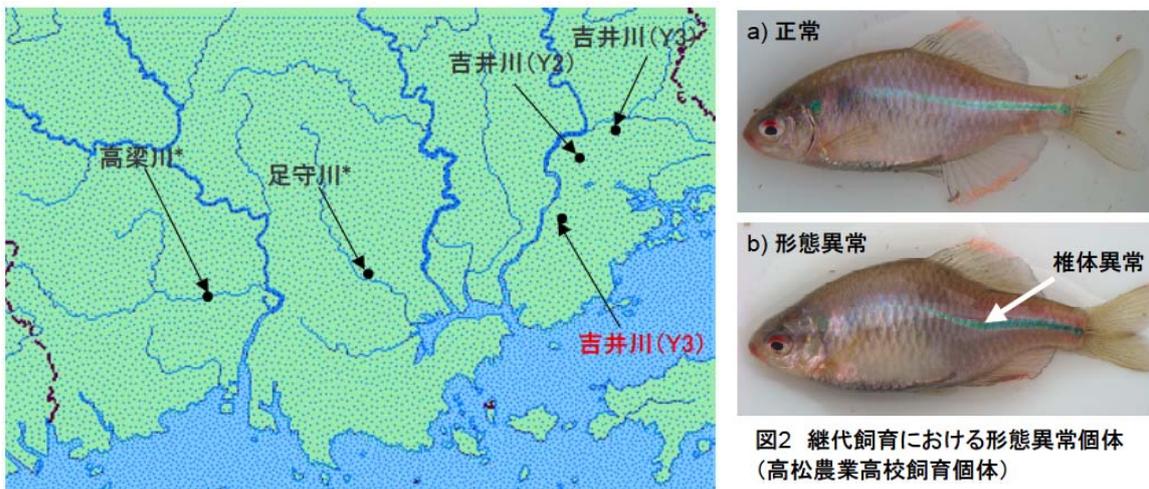


図1 調査地点（*は飼育集団を含む。Y3は昨年調査した集団。）

図2 継代飼育における形態異常個体（高松農業高校飼育個体）

2) 野外集団における遺伝的多様性改善のための交配集団の探索

昨年度の結果において野外集団の遺伝的多様性は MS、MHC の何れにおいても西高東低型となり、岡山平野西部に位置する高梁川水系が最も高いのに対し、東限の吉井川水系が最も低い事が明らかにされている（河村ら，2010）。特に吉井川水系の集団（Y1）においては MHC class IIB 遺伝子のアレルが 1 つであり、保全遺伝学的に見ても適応度の低い集団である可能性が考えられる（Höglund, 2009）。このため本年度は、他集団からの個体導入による Y1 集団の遺伝的改善を目的として、昨年末に見つかった吉井川水系の Y2 と Y3 の 2 集団（図 1）について遺伝的特性調査を行った。内容としては MS と MHC について 1) と同様の方法により遺伝的多様性を推定すると共に集団間の遺伝的分化の程度を見るため、Arlequin 3.5（Excoffier et al., 2005）により固定指数（ F_{ST} ）を求めた。なお、今回分析に用いた一部の個体については岡山理科大学にて系統保存用として持ち帰った。

3) 遺伝的劣化を生じない系統保存技術の確立に向けた知見の収集

矢掛高校においては2008年から高梁川集団について、系統保存を行っている。本課題では遺伝的劣化を生じない系統保存技術の確立に向けた知見の収集を目的として、2008年からこの保存系統について遺伝的特性調査を継続して行っている。本年度は、これまでと同様、MSとMHCについて1)と同様の方法によりヘテロ接合度とallele richnessを求めると共に、MSについては F_{ST} 、血縁度(r)、有効集団サイズ(N_e)の推定も併せて行った。血縁度の推定はMicrosatellite Toolkit v3.1 (Park, 2001)を用いたallele sharing estimator (Blouin et al., 1996)により行い、有効集団サイズ(N_e)はNeEstimator v1.3 (Peel et al., 2004)を用いたTemporal法 (Waples, 1989)により求めた。

結果

1) 遺伝的劣化の見られる飼育系統における遺伝的改善策の実施ならびに効果の検証

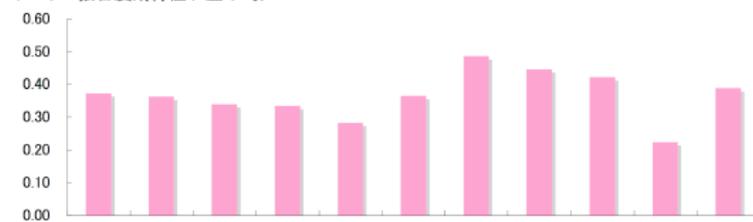
高松農高産飼育系統においては雄47%、雌25%と全体で約40%の個体において形態異常が認められた(表1)。このうち形態異常の見られた雄5個体と足守川集団の雌10個体を用いて水槽内で交配試験を行った所、11個体が得られ(2010年11月現在)、何れの個体においても形態異常は認められなかった。

表1. 形態異常(骨格異常)の出現状況

SEX	飼育系統 (足守川産F ₇)			足守川	交雑個体 (高松♂×足守♀)
	♂	♀	Total	♀	未成魚
分析個体数	17	8	25	12	11
異常個体の数	8	2	10	0	0
異常個体の割合(%)	47.1	25.0	40.0	0.0	0.0

*交雑試験には高松農高産(雄:奇形個体5匹)と足守川産(雌:10個体)を使用

a) ヘテロ接合度期待値(7座平均)



b) Allelic richness (7座平均)

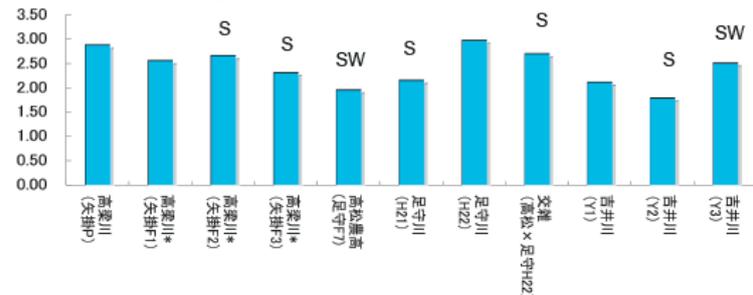


図3 マイクロサテライト(7座)から見たスイゲンゼリタナゴの遺伝的多様性
Sはshift mode test, wはWilcoxon's test ($P < 0.05$)におけるボトルネックを表す。

MSにおいて飼育系統の遺伝的多様性は足守川産の約6割であり、野外集団において遺伝的多様性の最も低い吉井川のY1集団に匹敵する値を示した(図3)。交雑集団における遺伝的多様性は飼育系統を上回り、足守川集団に匹敵する値を示した。遺伝的ボトルネックの有無について見ると飼育系統はWilcoxon's test, Mode shift testの両方において、交雑集団はMode shift testにおいて存在が示唆された。しかしながらMHCの遺伝的多様性について見ると飼育系統は足守川集団よりも高く、遺伝的多様性の最も高い高梁川

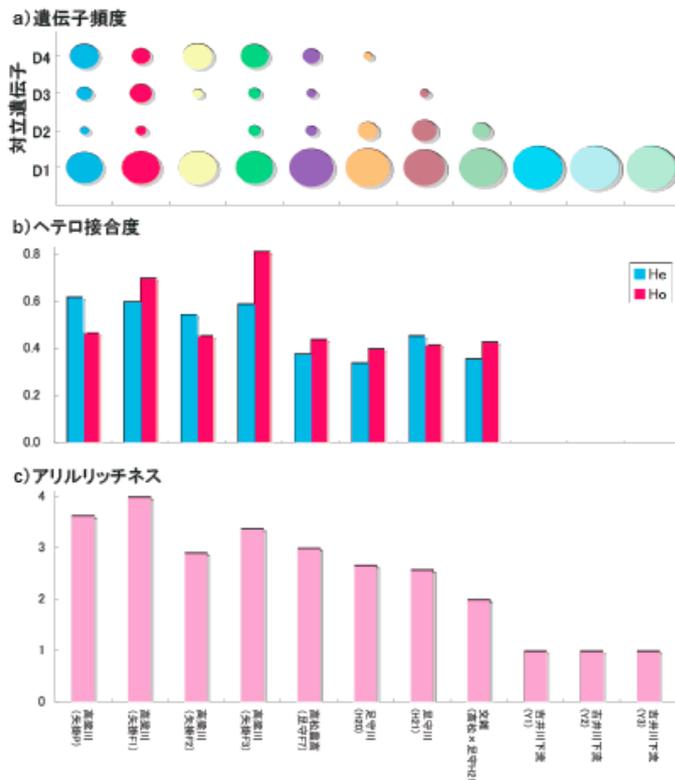


図4 MHC遺伝子(class II B, Exon II)における遺伝的多様性

表2. MSから見た吉井川の集団間における遺伝的分化(F_{ST})の程度

	Y1	Y2
Y2	0.092 (0.008**)	
Y3	0.249 (0.000***)	0.170 (0.000***)

括弧の値は*P*値を表す。

** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

(検定水準はSequential Bonferroni法により補正)

集団に匹敵する値を示した。交配集団の遺伝的多様性は足守川集団よりも低かった。

2) 野外集団における遺伝的多様性改善のための交配集団の探索

MSにおいて吉井川3集団の遺伝的多様性についてみると Y2 集団は H_e 、allelic richness の何れのパラメーターにおいても Y1 集団より低い値を示したのに対し、Y3 集団は allelic richness において Y1 集団よりも約2割高い値を示した(図2)。しかしながら Y2、Y3 の何れに集団においても遺伝的ボトルネックの存在が示唆された。MHC に

おいては Y2、Y3 の何れの集団においても Y1 集団同様、ハプロタイプ D1 しか検出されなかった。なお、集団間における遺伝的分化の程度について見るといずれの集団間においても高い有意差が認められた [$P = 0.05$ (Sequential Bonferroni 補正; Rice, 1989)] (表 2)。

3) 遺伝的劣化を生じない系統保存技術の確立に向けた知見の収集

MS の遺伝的多様性において第3世代 (F_3) の H_e と allelic richness は第1-2世代 (F_1 - F_2) よりも若干低かったが、他水系の集団よりは高い値を示した(図3)。また、世代間で F_{ST} の値に有意差は認められなかった [$P = 0.05$ (Sequential Bonferroni 補正; Rice, 1989)] (表3)。血縁度において、 F_3 は F_2 よりも若干値が高く、標準偏差は小さくなったが、世代間で有意差は認められなかった (Kruskal-Wallis test, $P >$

表3. MSの F_{ST} から見た飼育系統(矢掛高校)における世代間の遺伝的分化の程度

	P	F_1	F_2
F_1	0.043 (0.013)		
F_2	0.027 (0.023)	0.039 (0.061)	
F_3	0.029 (0.013)	0.031 (0.064)	0.018 (0.100)

括弧の値は*P*値を表す。

0.05) (図5)。各世代における有効集団サイズについて見ると founder と F_1 においては約

表4. 飼育系統(矢掛高校)における有効集団サイズ(N_e)

	N_e	信頼範囲
Founder(足守川産)→第1世代(F_1)	6.2	1.8-39.0
第1世代(F_1)→第2世代(F_2)	6.9	1.5-∞
第1世代(F_2)→第2世代(F_3)	10.4	3.0 - ∞

Temporal法により推定(Waples, 1989)

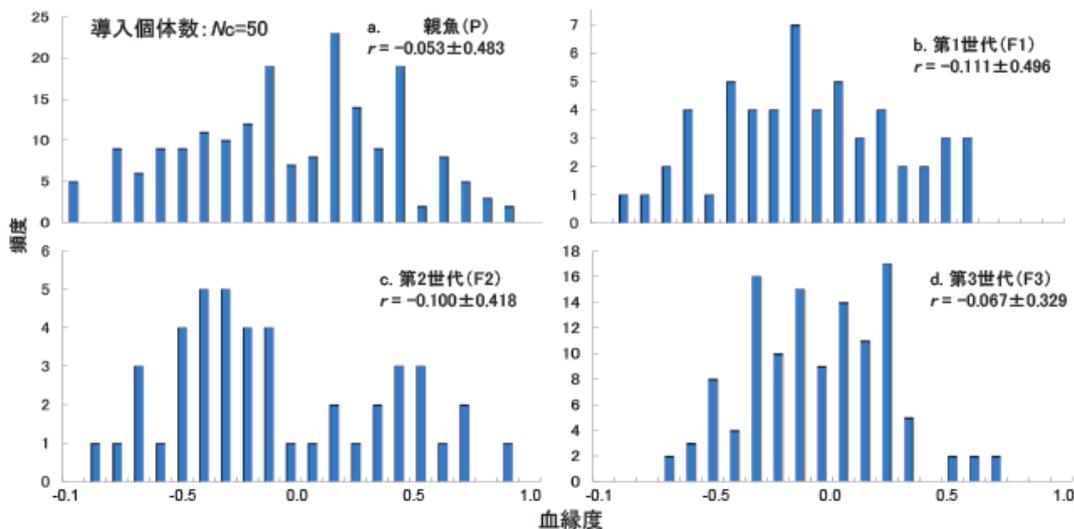


図5 保存系統(矢掛高校)における血縁度(r)の経年変化

6 個体となったが、 F_2 においては約 10 個体となり、 F_1 の 1.5 倍となった (表 4)。

考察

1) 遺伝的劣化の見られる飼育系統における遺伝的改善策の実施ならびに効果の検証

高松農高の飼育系統において形態異常の見られた個体は、雌雄何れも尾椎骨前端部における椎体の形成異常と一貫していた事から、この形態異常は遺伝的要因による可能性は高いと考えられる。また、野外集団を用いた交配において、交配個体においては形態異常が全く認められなかった事はこの異常が劣性遺伝である可能性を示唆している。魚類において高頻度の形態異常の出現は飼育系統だけでなく野外集団においてもしばしば報告されており、この要因として小集団化に伴う近親交配がしばしば指摘されている (Morita and Yamamoto, 2000; Gjerde et al., 2005)。

MS の遺伝的多様性において飼育系統は野外集団よりも低く、遺伝的ボトルネックの存在が示唆されたが、MHC の遺伝的多様性においては逆の結果となった。この理由として、飼育系統は過去 7 年間の継代飼育において個体群ボトルネックを経験してはいるもののその程度は低く、安定化淘汰が働きやすいとされる MHC に対しては遺伝的ボトルネックの影響は小さかった事が考えられる (Höglund, 2009)。この事はまた飼育系統における骨格異常は近交度がそれほど高くない環境下においても生じうる事とごく少数の遺伝子座に支配された形質である可能性を意味している。

骨格異常を含む形態異常は希少種の系統保存においてしばしば個体の適応度の低下を示す特徴として見なされているが (Hedrick, 2009)、今回の結果は形態異常が野外個体との交配により改善可能であることを意味している。魚類の系統保存において形態異常個体の頻度上昇はその系統の破棄に繋がる場合が多い。しかしながら、希少種においては利用可能な野外個体の数も限られていることから、今回のような既存飼育系統と野外個体の交配による改善は、広い意味での希少種保護において望ましい方法であると言えることができる。しかしながら、長期に渡る継代飼育は集団の遺伝的と特徴

を著しく変化させ、場合によっては母集団である野外集団との交配において異系交配弱勢(Hallerman, 2003)を生じる場合もあることから、生存率等を含めた交配個体の適応度についてのモニタリングは今後必要であると思われる。

2) 野外集団における遺伝的多様性改善のための交配集団の探索

昨年度の遺伝的多様性の調査において吉井川水系の Y1 集団は中立分子マーカーである MS だけでなく、機能的遺伝子である MHC においても野外集団の中で遺伝的多様性が最も低い野外集団であることが示唆された。今回、同一水系の上流において昨年末に発見された集団である Y2 と Y3 について遺伝的多様性を調べたところ、MS の allelic richness において Y2 集団の遺伝的多様性は Y1 集団より低かったものの Y3 集団は、Y1 集団よりも若干高い値を示した。しかしながら MHC の遺伝的多様性において Y2 と Y3 集団はいずれも Y1 集団と同じく対立遺伝子が単型的であり、この事は全年度の結果において指摘された大規模なボトルネックが吉井川水系全体において生じた可能性を示すものとする事が出来る。

MS において同一水系内の 3 集団間で有意な遺伝的分化が認められた事は、水系内における集団間での遺伝的交流が低い事を意味している。この理由として河川内における堰堤、堰等の障害物の存在が考えられる。吉井川集団の遺伝的多様性の低さの問題については、今後、飼育実験等を用いた適応度等の観点からも検討が必要であるが、現時点での最善策としては水系内での集団間の遺伝的交流を促進し、更なる遺伝的多様性の低下を避ける事が重要であると思われる。また、Y2、Y3 集団において Y1 集団で見られたような形態異常個体（骨格異常）が見られなかった事は、集団間での遺伝的交流の促進により、Y1 集団における形態異常が改善可能である可能性を示唆している。

3) 遺伝的劣化を生じない系統保存技術の確立に向けた知見の収集

今回のいで遺伝的特性調査の結果は矢掛高校の保存系統において founder が持つ遺伝的多様性はほぼ維持されている事を示している（図 3-5, 表 3）。この事は、母集団である高梁川集団の遺伝的特徴がよく維持されている事を意味している。

保存系統の個体数（H22. 12 月現在）は 100～150 個体と推定され、スイゲンゼニタナゴの野外における平均寿命は約 2 年と考えられている事から（鈴木, 1995）、0 才魚は約 50 個体と考えられる。またこの保存系統において founder は 50 個体であり、有効集団サイズが 6～10 個体と推定された事は保存系統における有効集団サイズは実サイズの約 1/10 であると共に雌 1 個体当たりの繁殖個体数が 5～8 個体である事を意味している。この値はスイゲンゼニタナゴの繁殖率等を考慮しても、ほぼ妥当な値であると思われる（鈴木, 1995）。以上の事からスイゲンゼニタナゴの系統保存においては、50 個体の founder とその 3～4 倍の環境収容力を持つ飼育環境化下において短期間の遺伝的特徴の維持は可能であると考えられる。しかしながら、系統保存においては短

期と長期では遺伝的多様性の維持に必要とされる founder が異なるとされる事から (Franklin, 1980; 鷺谷・矢原, 1996)、この飼育系統についての遺伝的モニタリングを継続すると共に Voltex (Lacy, 1993) 等による個体群存続可能性分析 (PVA) のシミュレーションが必要であると思われる。

謝辞

野外調査ならびに飼育実験においては、青江 洋氏 (倉敷水辺の環境を考える会)、室貴由輝氏 (岡山県立矢掛高校)、田中康敬 (岡山市自然環境課)、田中道明氏 (岡山県淡水魚研究会)、小林秀司氏 (岡山理科大学動物学科)、最上祥成氏 (中国四国地方環境事務所)、鴨谷慎之氏 (岡山県環境保全課) に大変お世話になった。これらの方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

業績

Miyake T, Nakajima J, Onikura N, Ikemoto S, Iguchi K, Komaru A, Kawamura K. The genetic structure of two subspecies of *Rhodeus atremius*, an endangered bitterling in Japan. *Conservation Genetics*. DOI: 10.1007/s10592-010-0146-0.

引用文献

- Blouin, M. S., M. Parsons, V. Lacaille and S. Lotz. 1996. Use of microsatellite loci to classify individuals by relatedness. *Mol. Ecol.*, 5: 393-401.
- Excoffier, L., G. Laval and S. Schneider. 2005. Arlequin version 3.0: An integrated software package for population genetics data analysis. *Evol. Bioinform.*, 1: 47-50.
- Franklin, I. R. 1980. Evolutionary change in small populations. M. E. Soulé and B. A. Wilcox (編), pp. 135-150. *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*. Sinauer Associates, Massachusetts.
- Garza, J. C. and E. G. Williamson. 2001. Detection of reduction in population size using data from microsatellite loci. *Mol. Ecol.*, 10: 305-318.
- Gjerde, B., M. Pante, R. Josefa and G. Baeverfjord. 2005. Genetic variation for a vertebral deformity in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 244: 77-87.
- Goudet, J. 2001. *FSTAT, Version 2.9.3: a program to estimate and test gene diversities and fixation indices*. Available at <http://www.unil.ch/izea/software/fstat.html>.
- Hallerman, E. M. 2003. Coadaptation and outbreeding depression. E. M. Hallerman (編), pp. 239-259. *Population Genetics: Principles and Applications for Fisheries Scientists*. American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Hedrick, P. W. 2009. Natural, Detrimental, and Adaptive Variation in Conservation Genetics. G. Amato, R. Desalle, O. A. Ryder and H. C. Rosenbaum (編), pp. 41-57. *Conservation*

- Genetics in the Age of Genomics. Columbia University Press, New York.
- Höglund, J. 2009. Evolutionary conservation genetics. Oxford University Press, Oxford 189 pp.
- Lacy, R. C. 1993. VORTEX: a computer simulation model for population viability analysis. *Wildlife Research*, 20: 45-65.
- Morita, K. and S. Yamamoto. 2000. Occurrence of a deformed white-spotted charr, *Salvelinus leucomaenis* (Pallas), population on the edge of its distribution. *Fisheries Management and Ecology*, 7: 551-553.
- Okazaki, M., K. Naruse, A. Shima and R. Arai. 2001. Phylogenetic relationships of bitterlings based on mitochondrial 12S ribosomal DNA sequences. *J. Fish Biol.*, 58: 89-106.
- Park, S. D. E. 2001. Trypanotolerance in West African Cattle and the Population Genetic Effects of Selection. Ph.D. thesis, University of Dublin. Available at <http://www.animalgenomics.ucd.ie/sdepark/ms-toolkit/>
- Peel, D., J. R. Ovenden and S. L. Peel. 2004. NeEstimator: software for estimating effective population size, Version 1.3. Brisbane, Queensland. Available at http://www.dpi.qld.gov.au/28_6908.htm.
- Piry, S., G. Luikart and J.-M. Cornuet. 1999. BOTTLENECK: a computer program for detecting recent reductions in the effective size using allele frequency data. *J. Hered.*, 90: 502-503.
- Rice, W. R. 1989. Analyzing tables of statistical tests. *Evolution*, 43: 223-225.
- Waples, R. 1989. A generalized approach for estimating effective population size from temporal changes in allele frequency. *Genetics*, 121: 379.
- 河村功一. 2003. スイゲンゼニタナゴ. 環境省自然環境局野生生物課 (編), pp. 46-47. 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック— 4 汽水・淡水魚類. 自然環境研究センター, 東京.
- 河村功一・三宅琢也・山田充哉. 2010. スイゲンゼニタナゴの保全技術の開発—保全単位の推定と遺伝的多様性保全技術の開発—. pp. 31-42. 漁場環境・生物多様性保全総合対策事業 (希少水生生物保全事業) 平成 21 年度報告書. 独立行政法人水産総合研究センター, 上田.
- 小島吉雄・上野紘一・林 真. 1973. 日本産タナゴ亜科魚類の核型と系統的類縁との関係. *動物学雑誌*, 82: 171-177.
- 鈴木伸洋. 1995. スイゲンゼニタナゴ. 水産庁 (編), pp. 308-313. 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 (□). 社団法人日本水産資源保護協会, 東京.
- 鷺谷いずみ・矢原徹一. 1996. 保全生態学入門—遺伝子から景観まで. 文一総合出版, 東京. 270 pp.

アユモドキ *Leptobotia curta* (Temminck and Schlegel)

渡辺勝敏

京都大学大学院理学研究科

1. 対象魚の現状と調査目的

背景 絶滅危惧種アユモドキ *Leptobotia curta**は、アユモドキ科**に属する日本固有の淡水魚で、アジアモンスーン地域に含まれる西日本の気候に見事に適応した繁殖生態をもつ。つまり、本種は雨季の初期に集中して河川氾濫原の一時水域に遡上し、速やかに産卵・ふ化・初期成長を行うことにより、餌が豊富で、捕食者や競合者が少ない環境を巧みに利用している（岩田，2006；Abe et al., 2007a, b）。氾濫原の多くが失われた今日、アユモドキは水田周辺を代替地として利用してきたが、近年ではその環境も宅地化や圃場整備（特に水路と水田の水位差や取水堰堤による移動阻害）によって失われ、アユモドキは絶滅の危機にある（阿部・岩田，2007）。本種はもともと琵琶湖・淀川水系から広島県東部に至る瀬戸内東部地域に自然分布していたが、現在では京都府桂川水系と岡山県吉井川および旭川水系の狭い範囲にのみ残存している（片野，1997）。本種は国の天然記念物、絶滅危惧 IA 類（環境省）、絶滅危惧種（水産庁）、および「種の保存法」の指定種となっている。

課題 アユモドキはこれまで、地域や行政による保全活動の対象、あるいは環境教育の題材とされ、近年は特に、水田周辺環境のもつ多面的な生態系機能や生物多様性の保全における象徴的な種として位置付けられている。しかし、アユモドキの保全には基礎から実践に至る多くの課題が山積している。

主な保全上の課題は、(1) 繁殖遡上経路の確保（堰堤等水文操作との整合性）、(2) 繁殖・初期成育場所（一時水域）の確保、および (3) 外来魚対策である。またこれらを評価するために、(4) 各水系におけるアユモドキの集団サイズと局所集団間の交流程度を明らかにする必要がある。さらに、(1) と (2) を実現するためには、(5) 農業活動との継続的な調整・共生の仕組みを確立することが必須である。また (6) 本種の自然史、系統的由来や集団分化などに関する情報も、保全のインセンティブを高める上で有用である。

繁殖・初期成育場所の確保のためには、現存する場所の保全と改善が必要であり、そのための科学的情報の蓄積と順応的な整備・管理が必要である。さらに危険分散や安定した集団サイズの維持のために、繁殖・初期成育場所を増加させることが必要である。これらの課題を解決しながら、アユモドキの生息地域での河川-水路-水田周辺の水系ネットワークを再構築し、本種の生態と風土・季節性および農業活動との整合性を維持、創出することがアユモドキの保全の本質である。

本年度の目的 既往の研究調査および 2008・2009（平成 20・21）年度の当事業の成果を踏まえ、本年度は、特に (2) に関係して、旭川水系におけるほぼ唯一の繁殖場所と考えられる保全用休耕田の環境改善の評価およびモニタリングと、昨年度の当事業で見出された潜在的な繁殖適地の現状把握を重点的にとり行うこととした。これらにより中・長期的に頑健なアユモドキの生息・繁殖場所ネッ

* Nalbant (2002) や Watanabe et al. (2009) により、*Parabotia curta* とするのが妥当とされている。

** かつてはドジョウ科アユモドキ亜科とされていた。

トワークを形成するための基礎情報の収集を目指した。

さらに、(1) の遡上実態の継続調査や (3) 外来魚侵入状況の監視と駆除を同時に行いつつ、調査のなかで一時捕獲されたアユモドキから非侵襲的に鱭の一部を採取し、(4) に関わる集団遺伝解析を行った。特に、本年度は、これまで主に解析を進めてきた主要な繁殖集団以外の縁辺小集団に関して遺伝分析を進め、アユモドキの集団構造の全体像を把握することを目指した。

なお、本調査は、これまでに引き続き、NPO 法人岡山淡水魚研究会や岡山市等、地域における継続的な調査・保全活動と連携して行い、すでに得られている天然記念物の現状変更および種の保存法に関係する許可のもとで実施した。(5) に関する農業者との調整は岡山市を中心に進められている。

2. 調査方法

(1) 繁殖・初期成育場所の環境改善と拡張

(1-1) 初期成育場所の環境特性の解明とモニタリング

旭川水系で岡山淡水魚研究会がアユモドキの保全・繁殖用に借り受けている休耕田において、初期成育環境の調査を行った。休耕田の中には複数の「溝」やそれを拡張した「たまり」、水深 20 cm 程度の「浅場」がある (図 1)。この休耕田は、6 月中旬から、中干しが行われる 7 月下旬まで、横を流れている水路から常時取水し、同じ水路に排水している。入水口と排水口には、大型魚の侵入を防ぐため、網が取り付けられている。休耕田内はヨシ *Phragmites australis* やジユズダマ *Coix lacryma-jobi* などが繁茂しており、冠水した場所では部分的にそれらの枯死体が堆積している。2008 年冬季に、環境改善のため、この休耕田の北半分を、2009 年冬季には残りの南半分の一部を小型油圧ショベルを用いて耕し、表面土砂を一部除去した。

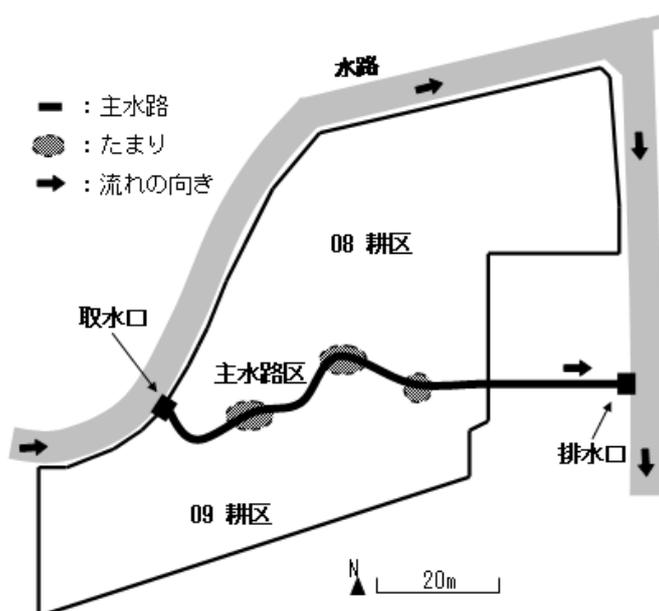


図 1 旭川水系アユモドキ繁殖用休耕田の概要。

初期成育場所の詳細な調査は繁殖後の2010年6月27日を中心に行った。この休耕田内を2008年に耕した場所(08耕区)、2009年から2010年に耕した場所(09耕区)、休耕田中央を流れる主水路(主水路区)に区分した(図1)。各区ではその中に掘った「水路」とその脇に広がる「浅場」で、主水路区では「主水路」とその一部を広げた「たまり部」で調査を行い、計12箇所水生生物の捕獲を行った。水生生物の捕獲は2人でタモ網(1mmメッシュ)を用いて行い、各地点とも1人10掬い(計20掬い)とした。種名と個体数に加え、アユモドキと他魚種の一部は標準体長を計測した。各地点では水路を横断的に5地点で水深と流速を測定し、中央の1地点でpH・溶存酸素量・電気伝導率・濁度・水温を測定した。また、各地点の植比率や堆積物が底を覆う割合を計測した。

(1-2) 2009年度に発見された潜在的な繁殖適地の現状調査

各生息地において、繁殖場所が限定されていることが、保全上の重要な課題となっている。前年には、旭川水系の既知の繁殖地に隣接する地域において潜在的な繁殖適地(陸上植物が生育、流れがほとんどない一時的な水域、成魚が進入しやすい構造)が発見された。今年度は、灌漑期にその潜在的な繁殖適地において、灌漑開始直後の6月27日にタモ網等を用いて周辺で採集を行い、アユモドキや類似した生態をもつ魚類の実際の利用状況を調査した。

(2) 遺伝集団構造分析

本年度は、これまで主に分析を進めてきた主要な繁殖集団の新たなサンプルに加え、縁辺的な小集団(結果参照)からの試料の分析と集団解析を行った。これにより、過年度の分析分を含め、岡山2水系(吉井川、旭川)から、6地点10サンプル、計155個体のマイクロサテライトデータを取得した。これを京都1水系3地点5サンプル、計174個体のデータ(Watanabe et al., 未発表データ)とともに解析を行った。また一部のサンプルについては、ミトコンドリアDNA(mtDNA)の塩基配列解析を行った(計118個体)。

遺伝分析試料は、野外調査の一時捕獲時に鱭の小片を切り取るにより、低侵襲的に得た。マイクロサテライト分析では、最近われわれが開発したもののうち(Watanabe et al., 2008)、33遺伝子座を用いた。遺伝子型は、蛍光プライマーを用いたPCR産物を自動塩基配列決定装置GA310(アプライド)を用いて電気泳動することにより決定した。PCRの実験効率を高めるために、Type-it Microsatellite PCR Kit(QIAGEN)を用い、一度に4~6遺伝子座を1チューブ内で増幅するマルチプレックスPCRを実施した。遺伝子型の決定にはコンピュータソフトウェアGeneScan(アプライド)を用いた。mtDNAの塩基配列決定は、シトクロムb遺伝子のほぼ全長(1,134塩基対)について、ダイ・ターミネーター法に基づき、GA310を用いて行った。

マイクロサテライトデータについては、ベイズ法を用いた帰属性(アサインメント)分析をStructure2.3(Pritchard et al., 2000)により行い、集団構造を推定した。始祖集団数(K)の選択には、尤度を参考にした。mtDNAデータについては、得られた配列をハプロタイプに整理し、ネットワークを算出し、その地理分布から、集団構造成立の歴史を推定した。

3. 結果

(1) 繁殖・初期成育場所の環境改善と拡張

(1-1) 初期成育場所の環境特性の解明

今回の調査で、アユモドキは標準体長 11.6 mm の当歳魚が主水路区で 1 個体捕獲されたのみだった (図 2 ; 表 1)。これは、2009 年の 59 個体に比べて著しく少なかったが、2008 年の 1 個体と同様の結果であった。捕獲地点の環境は、水深 22.7 cm、流速 1 cm/s 以下であり、ヨシや枯草が調査範囲の 8 割を覆っていた。アユモドキのほか、この休耕田で繁殖したと考えられる当歳魚としては、フナ属 (1 個体)、スジシマドジョウ小型種山陽型 *Cobitis* sp. S San-yo form (9 個体)、ナマズ *Silurus asotus* (70 個体) が確認された。このうちナマズは 2008 年の 12 個体および 2009 年の 27 個体に比べて多かった。また、カトリヤンマ *Gynacantha japonica* 等トンボ目の幼虫が浅場、冠水域を中心に 351 個体捕獲され、特に目立つ存在であった (トンボ目幼虫は、2008 年 ; 284 個体、2009 年 ; 173 個体)。



図 2 保全用休耕田で 2010 年 6 月に採集されたアユモドキ (左 ; 標準体長 11.6 mm) と多く見られた潜在的な捕食者 (右 ; ナマズ稚魚、ヤンマ類幼生、ガムシ類幼虫)。

表 1 各地点の物理環境と水生生物の個体数

	地点	pH	溶存酸素 (mg/l)	電気伝導率 (S/m)	濁度 (NTU)	水温 (°C)	幅 (cm)	平均水深 (cm)	平均流速 (cm/s)	植被率 (%)	堆積物 (%)	アユモドキ	ナマズ	トンボ目 幼虫	
08 耕区	浅場1	1	6.49	5.86	8.9	0.0	24.6	600	15.4	0.2	98	70	0	2	25
	水路1	2	6.00	9.05	8.2	0.5	23.9	90	18.3	0.1	80	60	0	6	54
	浅場2	3	7.57	11.23	8.3	0.0	24.5	700	12.9	0.3	90	90	0	3	22
	水路2	4	7.17	8.28	8.7	0.0	23.9	120	21.4	0.1	100	90	0	0	55
中央水路区	水路1	5	7.04	8.02	8.6	3.2	24.0	100	18.6	0.2	100	90	0	13	19
	たまり1	6	7.11	8.33	8.8	0.2	23.8	350	34.2	0.6	90	90	0	0	23
	水路2	7	6.57	7.49	8.8	1.6	23.7	160	20.8	1.7	80	80	0	5	42
	たまり2	8	6.74	7.52	9.2	1.4	23.1	300	21.0	1.4	80	70	0	15	46
09 耕区	浅場1	9	6.04	1.91	8.9	0.0	23.8	500	16.9	0.1	100	10	0	3	0
	水路1	10	6.47	7.31	9.1	0.0	23.4	120	22.7	0.5	80	80	1	10	22
	浅場2	11	5.87	3.69	9.4	0.0	25.1	200	10.0	0.1	100	80	0	2	1
	水路2	12	6.86	8.05	8.8	0.0	23.4	80	17.2	0.2	20	20	0	11	42

(1-2) 2009 年度に発見された潜在的な繁殖適地の現状調査

今回調査を行った 6 月 27 日は、前年に発見された潜在的な繁殖適地において灌漑直後にあたり、アユモドキの産卵が行われる可能性が最も高い時期であったが、アユモドキは確認されなかった。しかし、環境としては既知の繁殖場所に酷似しており、繁殖場所としての潜在的な機能があると考えられた (図 3)。実際に、アユモドキと繁殖環境が重複するスジシマドジョウ小型種山陽型の繁殖個体および卵、仔魚が確認された。その他にもコイ、フナ類、ナマズなどアユモドキ同様に氾濫原環境を利用する魚類の当歳魚が多数確認された。



図 3 旭川水系で見つかった潜在的な繁殖適地周辺の休耕田と遡上したスジシマドジョウ小型種山陽型 (放精可能なオス; 中段右)、およびナマズとその卵 (下段)。

(2) 遺伝集団構造分析

マイクロサテライト 33 遺伝子座データを用いた帰属性分析の結果、モデルの尤度は始祖集団 $K = 3 \sim 5$ で頭打ちとなった。 $K = 5$ (最大尤度) では集団の地理的構造と無関係な集団内・個体内の分割が見られたので、最も情報の多い $K = 4$ を採用した (図 4)。 $K = 2$ 以降の分割パターンは、まず岡山集団群と京都集団群とに分かれ、次に 2 つの京都集団 (一方は飼育集団) が分割された。次に岡山集団群が 2 分され、基本的に吉井川水系と旭川水系の集団に対応した。しかし、吉井川水系 2 (縁辺小集団; 図 4 中の 8) や吉井川水系 3、4 (縁辺小集団; 同 10、11) は吉井川、旭川両方の遺伝的特徴を合わせもち、両水系間での現在のあるいは歴史的な集団交流が示唆される。また吉井川水系 1、2 の一部の個体で、わずかに桂川集団のシグナル (図 4 の黄色) を示すものもみられた (集団レベルでは 3% 未満)。

mtDNA 分析において、近縁な 4 つのハプロタイプが得られた (hpt1~4; 図 5、表 2)。京都集団群は hpt1 のみを示し、単型的であったが、岡山集団は hpt2 を中心にすべてのハプロタイプを含んでいた。また縁辺集団でまれなハプロタイプが見られる傾向にあった。京都府集団で固定していた hpt1 は、吉井川水系 2 のみから得られた (15%; 表 2)。

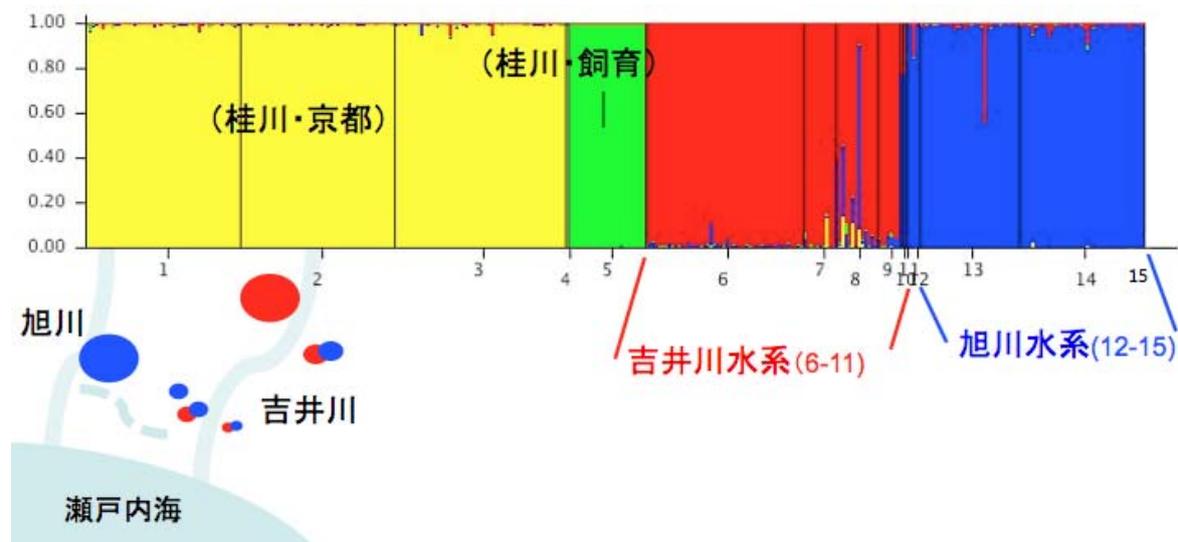


図 4 Structure 2.3 を用いたベイズ帰属性分析の結果 ($K = 4$)。横軸の数字は集団のラベル。個体の遺伝的特徴は縦の帯状に示され、各色は仮定された始祖集団への帰属確率を意味する。左下は岡山集団の空間分布の模式図と遺伝的特徴 (色はバープロットに対応)。1-4, 京都府桂川水系 1-自然集団 ($n = 149$); 5, 京都府桂川水系 2-飼育集団 ($n = 24$); 6, 7, 吉井川水系 1-主要集団 ($n = 59$); 8, 9, 吉井川水系 2-縁辺小集団 ($n = 20$); 10, 吉井川水系 3-縁辺小集団 ($n = 1$); 11, 吉井川水系 4-縁辺小集団 ($n = 1$); 12-14, 旭川水系 1-主要集団 ($n = 73$); 15, 旭川水系 2-縁辺小集団 ($n = 1$)。



図 5 アユモドキから検出された mtDNA シトクロム b 遺伝子のハプロタイプネットワーク。数字は各ハプロタイプ番号、白丸は未検出の仮想的ハプロタイプ。線分は 1 塩基置換 (= 0.09%) を示す。

表2 アユモドキ各集団の mtDNA シトクロム b のハプロタイプ頻度

	合計	hpt1	hpt2	hpt3	hpt4
京都府					
桂川水系 1	26	26 (100%)			
桂川水系 2 (飼育集団)	18	18 (100%)			
岡山県					
吉井川水系 1 (主要集団)	29		26 (90%)	3 (10%)	
吉井川水系 2 (縁辺集団)	20	3 (15%)	17 (85%)		
吉井川水系 3 (縁辺集団)	1				1 (100%)
吉井川水系 4 (縁辺集団)	1				1 (100%)
旭川水系 1 (主要集団)	21		18 (86%)	1 (5%)	2 (10%)
旭川水系 2 (縁辺集団)	1				1 (100%)

4. 考察と今後の展開・課題

(1) 初期成育場所の環境特性と改善、および潜在的な繁殖適地の活用に向けて

本年度の6月下旬の調査で確認されたアユモドキの当歳魚は1個体のみであり、例年に比べ著しく少なかった。6月中旬の産卵期にアユモドキ親魚が少なからず休耕田に侵入する姿が観察されていることから(阿部司、未発表)、産卵自体は行われた可能性が高い。一方、アユモドキの仔稚魚の潜在的な捕食者であるナマズ稚魚やトンボ目幼生が今年度は目立って多く確認されたこともあり、6月中旬の産卵で生まれた仔稚魚の生残率はかなり低かった可能性がある。

2010年7月末に岡山淡水魚研究会のメンバーが再度この休耕田で確認したところ、1cm程度の当歳魚が50個体以上確認された。体長や体側の模様から、それらは7月上旬から中旬に生まれたものと推定された。このような遅い季節の繁殖は異例であり、今年度の繁殖の中心は例年の6月中旬より、1ヶ月ほど遅かったと推定される。ただし、この仔魚が確認された数日後には中干しが行われ、休耕田は干上がった。1cm程度の当歳魚は遊泳力が弱いため、水路に流下してもほとんど生残できないと推察され、今年度は全体的に再生産が低調であった可能性が高い。

今年度のように繁殖がうまくいかない状況は2008年にも観察されており、本繁殖地での再生産が安定的でないことを示している。今後も休耕田整備の効果の検証と合わせて、繁殖状況を注視する必要がある。また、これまで水路の出入口に金網を張るなどしてナマズの侵入や繁殖抑制を行ってきたが、高い移動能力をもつ本種の対策にこれまで以上に努力する必要があるだろう。

2009年度の踏査により発見された潜在的な繁殖適地において、今回、灌漑開始直後に調査を行ったが、アユモドキの卵および仔魚は確認されなかった。しかし、アユモドキと繁殖環境が類似するスジシマドジョウ小型種山陽型をはじめ、フナ類やコイ、ナマズといった氾濫原環境を繁殖場とする魚類の卵および仔稚魚が多数確認された。したがって、この潜在的な繁殖適地は繁殖場所としての質を備えていると考えられた。一方で、繁殖に備えて親魚が移動する5月には、周辺水路の水量が少なく、

成魚が繁殖場所周辺に留まるには不十分と考えられた。今後、より詳細に周囲の水系ネットワークの季節消長を明らかにする必要がある。おそらく、この地域をアユモドキの良好な生息地にするためには、まずは水量の確保が重要であろう。

旭川水系では30年以上にわたってアユモドキの保全活動が行われているが、既知の繁殖地は上記の保全用休耕田1ヶ所のみである。今回の潜在的な繁殖適地（あるいは別の場所）で繁殖を可能とできれば、本水系のアユモドキの積極的な保全に向けた大きな一歩となるだろう。一方で、アユモドキの生息地周辺では休耕田（耕作放棄地）が増加しており、住宅地等への土地利用の転換が進んでいる。また繁殖場所の近接地域に道路建設計画等も存在し（阿部，2006）、さらにはオオクチバス等の捕食性外来種の侵入も進んでいる。それらに関係する土地や水利用、あるいは水辺環境における急速な変化を見据え、関係者間で情報を共有しながら、アユモドキの生息場所ネットワークを構築・再生していくことが大きな課題である。

(2) 遺伝的集団構造の全体像と特性

今年度までの遺伝分析により、一部解析個体数が十分でないものの、現存するアユモドキの遺伝的集団構造の全体像がほぼ明らかになった。

ミトコンドリアDNAの分析から、桂川水系（琵琶湖・淀川水系）と岡山平野の集団間で、際立った遺伝的分化はみられないことがわかった。これは氷期の海水準低下時に瀬戸内東部に広がったであろう平野部を通じて、2地域間で少なくとも歴史的に部分的な集団交流が存在したことを示唆する。一方、すでに絶滅したとされる琵琶湖東部の集団の遺伝的特性は不明である。琵琶湖東部に広がる平野には特徴的な魚類相（イトモロコ、ズナガニゴイ、ムギツクなど）が存在し、アユモドキにおいても何らかの固有な遺伝的特徴が存在した可能性がある。

より高感度の遺伝子標識であるマイクロサテライトによる分析から、岡山と京都の現存するアユモドキ集団が遺伝的に明瞭に区別できることが明らかとなった。また岡山平野の中でも、吉井川水系と旭川水系に対応して、2つに分化した集団構造が認められた。しかし、特に下流縁辺集団において、両水系間の特徴を合わせもつ個体がみられ、現在の、あるいは近い過去における集団交流の存在を示唆している。大河川が下流域で隣接する岡山平野の原風景を考えると、このような集団構造は理解しやすい。

今回特に対象とした縁辺集団では、そのような集団交流のシグナルの他、頻度の低いミトコンドリア・ハプロタイプを有するなど、知られている主要な集団の他に小さな繁殖集団が散在する可能性を示唆している。それらの状況を詳しく明らかにするのは困難であるが、そのような未知の集団の存在と重要性を認識しながら、流域全体の水系ネットワークの健全性を高め、頑健なメタ集団を維持、増大させていくことが必要である。

一点、未解決の懸念事項として、岡山集団でまれに見られる、京都集団群で固定したミトコンドリア・ハプロタイプ（hpt1）の由来と、マイクロサテライトにみられた岡山集団群における京都集団のシグナルに関する問題がある。いずれも自然状況下でも見られる可能性がある。しかし、かつて、飼育下で岡山・京都集団を交配させて得られた多数の個体が吉井川水系に放流されたという未確定情報があり、その影響だという解釈も矛盾しない。情報の確定とともに、それを含めた今後の保全管理について考えていく必要がある。

現在各地の水族館施設で保持されている飼育集団は、1980年代に得られた、桂川水系のすでに絶滅した地域集団に起源する。これまで調べられた1つの飼育集団では遺伝的多様性が顕著に失われていた。遺伝子分析の今後の活用として、それぞれの飼育集団の遺伝的多様性評価を踏まえ、施設間の個体の移動を計画的に行い、遺伝的多様性の回復、ひいては飼育個体群の繁殖力や環境抵抗性を高める実践的な調査研究が考えられ、それらの集団が飼育下で約30年、数世代以上を経た現在、その必要性は高いだろう。

(3) アユモドキ保全を通じた社会への貢献にむけて

これまでの岡山県におけるNPOを中心とするアユモドキの保全活動を通じて、アユモドキの保全は少なくとも次の5点で重要であり、今日的な意義があると認識されている。それらの実現のために、今後、関連行政や研究者、NPO等の市民、特に地域の農業従事者をはじめとする住民が協働して、よりよい形でアユモドキの保全を進めていくことが望まれる。

①**生物多様性の保全** 日本の国家戦略にも位置付けられる生物多様性の保全に直接貢献する。学術的・社会的に独自の重要性をもつこの日本固有の淡水魚種を守ることに合わせ、その良好な生息環境には他の希少な魚類や植物等が存在する(した)ことが明らかにされており、そのような貴重な地域群集を保全し、次世代に受け継ぐことにもつながる。

②**内水面水産有用種の持続的利用の促進** アユモドキは氾濫原環境に適応した繁殖生態をもつが、コイやフナ類、ドジョウ、ナマズといった内水面における水産有用種(またはその候補)も同様の繁殖スタイルをもつ。アユモドキの生息地域周辺で従来利用されてきたこれらの魚種も、アユモドキと同様の問題により減少している。自然状態で繁殖に適した氾濫原が形成されない今日、アユモドキに適用されている休耕田等を活用した繁殖場所の整備手法は、これらの資源の維持、増殖にも有効だと考えられる。

③**水田の多面的機能の認識と増進** 東アジアモンスーン気候のもとで発達した水田を中心とした土地利用は、主要な二次的自然として、水循環維持や生物多様性の涵養等、多くの生態系機能を担っていることが認識され始めている。アユモドキの保全を目標に置いた水田(休耕田を含む)や水路環境の整備・保全は、それらの機能に対する私たちの理解をさらに深めるとともに、地域の水環境や農業生産に関わる持続的で好ましい新たな社会的基盤の創出につながりうる。

④**農業生産物への付加価値** 登録商標「アユモドキ米」など、アユモドキは環境配慮型農業による農産物への付加価値を上げることに貢献しており、さらに開発・展開が可能だろう。

⑤**環境教育および地域教育のテーマ** アユモドキは、「身近な環境に生息する日本固有の希少種」、「水環境」、「水田・農業」、「河川改修」、「生態系の連続性」、「外来種」などのキーワードをとめない、この地域の学校や社会における環境教育の実践的なテーマとして活用されてきた。各世代にわたって、ますますこのような社会活動は重要であり、アユモドキの存在はその要となる。

これまで、岡山淡水魚研究会などが主体となり、上記保全用休耕田での野外観察会、生息場所管理などが、市民参加のもとで長年継続されてきた。さらに本年度より、岡山市が率先して、地元の複数の小学校で、専門家の指導のもと、教師や生徒たちの手によりアユモドキの繁殖試験が行われている。このような具体的かつ現実的な意義のある教育・啓発活動は、環境・生物多様性保全の主流化が目指される現代において、短期的にも、また長期的にも非常に重要である。

5. 引用文献

- 阿部 司. 2006. 岡山県瀬戸町アユモドキ繁殖地の現状と開発計画について. 日本生態学会中四国地区会報, 60: 59–60.
- 阿部 司・岩田明久. 2007. 日本の希少魚類の現状と課題 アユモドキ：存続のカギを握る繁殖場所の保全. 魚類学雑誌, 54: 234–238.
- Abe, T., I. Kobayashi, M. Kon and T. Sakamoto. 2007a. Spawning behavior of kissing loach (*Leptobotia curta*) in temporary waters. Zool. Sci., 24: 850–853.
- Abe, T., I. Kobayashi, M. Kon and T. Sakamoto. 2007b. Spawning of kissing loach (*Leptobotia curta*) is limited after the formation of temporary waters. Zool. Sci., 24: 922–926.
- 岩田明久. 2006. 特集水田生態系の危機 アユモドキの生存条件について水田農業の持つ意味. 保全生態学研究, 11: 133–141.
- 片野 修. 1997. アユモドキ. 長田芳和・細谷和海 (編), pp. 95–103. 日本の希少淡水魚の現状と系統保存. 緑書房, 東京.
- Nalbant, T. T. 2002. Sixty million years of evolution. Part one. Family Botiidae (Pisces: Ostariophysi: Cobitoidea). Trav. Mus. Natl. Hist. Nat. “Grigore Antipa” 44: 309–344.
- Pritchard, J. K., M. Stephens, P. Donnelly. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. Genetics 155: 945–959.
- Watanabe, K., H. Takeshima, A. Iwata, T. Abe, K. Uehara, R. Kakioka, D. Kihira and M. Nishida. 2008. Isolation and characterization of 39 microsatellite loci in the endangered Japanese loach *Leptobotia curta*. Mol. Ecol. Resources 8: 145–148.
- Watanabe, K., T. Abe and A. Iwata. 2009. Phylogenetic position and generic status of the Japanese botiid loach. Ichthyol. Res., 56: 421–425.

6. 調査組織

担当者 (所属) : 渡辺勝敏 (京都大学大学院理学研究科)

住所 : 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町

Tel : 075-753-4079, Fax : 075-753-4079, e-mail : watanak@terra.zool.kyoto-u.ac.jp

共同研究者 : 阿部 司 (NPO 岡山淡水魚研究会, NPO 流域環境保全ネットワーク)

岩田明久 (京都大学大学院アジア・アフリカ地域研究研究科)

沖縄におけるジュゴンの生態に関する文献等調査

担当機関 京都大学大学院情報学研究所

担当者 荒井修亮

1. はじめに

ジュゴン (*Dugong dugon*) は海牛目に属する海産哺乳動物で、太平洋とインド洋の北緯 30 度から南緯 30 度の熱帯から亜熱帯の浅海域に生息する海草食性の動物である。本種は、IUCN (国際自然保護連合) のレッドリストにおいて、近い将来絶滅の危機に瀕する種(VU)として登録されている。沖縄本島周辺域は分布の北限と言われているが、日本哺乳類学会は、沖縄本島の海域に生息するジュゴンの個体群は成熟個体が 50 個体以下であるとして、1997 年に絶滅危惧種に指定した。また水産資源保護法による捕獲の禁止に加え、文化財保護法によって天然記念物に指定されている。

平成 13 年度から 19 年度に亘って、沖縄特別振興対策調整費によって「ジュゴンと漁業との共存のための技術開発研究」が実施された。本事業では混獲の回避に資する生物学的調査を沖縄周辺海域に代わって、比較的生息数が多いタイ国の南部、アンダマン海に面したトラン県タリボン島周辺において実施した。本調査は音響観察手法によるジュゴンの鳴音調査やジュゴンの摂餌場である海草藻場の調査など、沖縄周辺海域でのジュゴン混獲回避に資する知見を集積してきたが、これらの知見を沖縄周辺海域へ適応し、沖縄における希少水生生物であるジュゴンの保全と漁業との共存に資するためには、沖縄におけるジュゴンの生態に関する調査が必要である。このため、希少水生生物保全事業において、沖縄各地に残る伝承などの記録を文献から収集するとともに、関係者への面接調査を行うことを目的とした。

2. 文献調査

平成 21 年度において、沖縄県、石垣市、竹富町など官公庁関係が発行した調査報告書を収集するため、関係官署への面会による資料の収集と石垣市立図書館での検索による資料収集を行った。平成 22 年度においても引き続き、文献の収集を行い、表 1 に掲げたとおりの資料を収集した。

表 1. 沖縄県、石垣市などで収集した文献資料

整理番号	資料名	出版年	著者	出版社等
028	秘祭	1984	石原慎太郎	新潮社
029	八重山研究の歴史	2003	三木 健	南山舎
030	石垣市史巡見 Vol.10	2008	石垣市総務部市史編集課	石垣市
031	石垣市史叢書 12 大波之時各村之形行書 大波寄揚候次第	1998	石垣市総務部市史編集課	石垣市
032	月刊やいま 2010 年 4 月号	2010		南山舎
033	月刊やいま 2010 年 6 月号	2010		南山舎

034	八重山民俗関係文献目録	1995	石垣市史編集委員会	石垣市
035	石垣市史叢書 7 翁長親方八重山島規模帳	1994	石垣市総務部市史編集室	石垣市
036	八重山を読む	2000	三木 健	南山舎
037	海のクロスロード八重山	2010	沖縄県立博物館・美術館	沖縄文化の社
038	八重山関係文献目録（自然編）	2003	石垣市史編集委員会	石垣市
039	石垣市史叢書索引 I	2002	石垣市総務部市史編集室	石垣市
040	ジュゴンの唄	2003	盛口 満	総合出版
041	あさばな一人頭税廃止百年記念誌	2003	八重山人頭税廃止百年記念事業期成会	南山舎
042	八重山歴史研究会誌	2010	八重山歴史研究会	八重山歴史研究会
043	海を渡ったモンゴロイド	2003	後藤 明	講談社
044	海から見た日本人	2010	後藤 明	講談社
045	南島の神話	2002	後藤 明	中央公論社
046	海の群星	1981	谷川健一	集英社
047	南西諸島におけるジュゴンの生息可能性検討調査	2010	特定非営利活動法人地球環境カレッジ・ジュゴン研究会	特定非営利活動法人地球環境カレッジ
048	琉球列島	2001	安間繁樹	東海大学出版会
049	怒り滾る基地の島沖縄	2010	山内徳信	創史社
050	沖縄昔ばなしの世界	1991	石川きよ子	沖縄文化社
051	名護の選択	2010	浦島悦子	インパクト出版会
052	琉球の伝承文化を歩く 1	2000	福田晃・山里純一・村上美登志編	三弥井書店
053	近世八重山の民衆生活史	2007	得能壽美	榕樹書林
054	あおじゅごん	2002	金城明美	沖縄タイムス社出版部
055	ジュゴンの海	2010	長浜益美	ボーダーインク
056	月刊やいま 2010年8月号	2010		南山舎

これらの資料の内、整理番号 028（秘祭）、040（ジュゴンの唄）、046（海の群星）は小説（フィクション）であるが、いずれも新城島（秘祭については、明示されていないが、新城島と推測できる）におけるジュゴンの捕獲にまつわる話が盛り込まれている。特に、46（海の群星）の作者、谷川健一は高名な民俗学者の著作であるので、フィクションではあるが文献資料、現地調査などを基に描写されていると考えられる。物語は昭和 20 年代、ヤトイングウ（雇い子）と呼ばれ

るいわゆる人身売買によって奄美から石垣に連れられ、親方の下で海人として成長しながらも親方に反発する少年を描いている。その一節に、新城島でのジュゴンの描写がある。以下引用。

あいかわらず新城島の洞窟に寝泊まりする生活がつづいた。

ある夜俺はふしぎな声を聞いた。赤んぼうの鳴き声のようなものが、夜風に乗って聞こえてくる。近くの鳴き声と遠くの鳴き声が呼応している。みんな耳をそば立てた。

「ザンがこのそばまできているんだ」

親方がむしろの上で寝返りを打ちながら言った。

「あいつらは湾の浅瀬に映えているヒラナ（アマモ）やナチョウラ（海人草）を食べにくるんだ」

昔は八重山の海にはどこにもザン（ジュゴン）がいた。とくに新城島の海域には多かった。それが戦後ダイマナイトの密漁で、一、二年の間に数百頭殺されて、またたく間に姿を消したという。しかしまだ生き残ったものがいたのだ。（中略）

ザンの声は、新城島と黒島との間の深くえぐられた海溝のあたりから聞こえてくるように思われた。そこはかつての海底の噴火があったのではないかといわれている。海のまんなかの奥深いところからひびいてくる声が耳についてはなれなかった。海のたましいが俺に呼びかけているように感じられた。（中略）

「明治のなかばまで、この新城島^{ばなり}はザンをとって、それを税のかわりに沖縄の王さまに納めねばならなかった。わしがまだ若い頃は、新城島の船はザンとりにしばしば出かけた。おやじの乗った船が帰ってくるのを、わしもこの崖のうえから待っていたことがある。

老人は、父の思い出に視線をあわせるように遠くを見た。

「ザンをとるには、一本マストの二反帆の船が二艘一組になって出かける。一艘の船には十人から十五人が乗り組んでいて、ザンをさがすのだが、その船がザンをとって帰ってくるには、まだ水平線に帆が見えているときでも分かった。ザンとりの船は一本マストの片帆船ときまっていた。（中略）

だが今のように木綿の網があるわけじゃない。アダンの根をとって数日間晒しておき、その繊維で縄を縛ったものだ。網の目の大きさは人間の頭の太さぐらい。網の高さは一丈、長さは二百ヒロ、それに浮子と錘をつけてある。ザンをとるには、四、五日から一週間、海上ですごさなくてはならなかったから、食糧ももっていった。新城島では米が作れないから、麦を炒って石臼でひき、その粉を芋にまぜてこね、水分があると腐りやすいのでもう一度蒸し、大きな団子をこしらえる。それをティルと呼ぶ蓋のあるザルに入れて海にのって行く。それで幾日ももった。

ザンの居所はもぐって海底をしらべると分かる。ザンは砂地に生えているヒラナやナチョウラなどの海藻類を馬みみたいな鼻先で掘り起こして、その白い根の部分を食べる。ザンの食べた跡はまっすぐにつづいている。海藻の様子をみれば、ザンが朝の潮で食べたか、夕方の潮で食べたかが判断できる。

ザンは潮が満ちたときに浅瀬に近寄ってくるので、網を入れるのは、上げ潮のときだ。網をたてて逃げ道を遮断し、海の中で潮の引くまで網を支えながら立っている。網を入れると、その近くを他の島の船がとおることはできない。となりの小浜島の船がとつても、なぐったもんだ。ザンをとるのは上納のためだから、そうすることが許されていた。ザンを逃がしたら仲間から制裁

を受けるから懸命だ。

潮が引きはじめると、二艘の船は網の端をたぐって次第におたがいの間をちぢめ、海岸の方に引きよせていく。見えかくれしていたザンの姿があらわになる。網にかこまれたザンはおぼれまわる。ザンの前にうっかり出ようものなら、ザンは胸びれで人間を引きよせ、抱きすくめる。そうすると漁師は即死する。そこでどうするか」

老人は皺にかこまれた眼の中に、海からしのびよってくる董色の暮色をしみこませた。

「そのときはだな、これはわしの親父が話してくれたことだが、ながい木の柄のついた大きな斧をかかえて、ザンのうしろに泳ぎつき、折を見計らった、ザンの尾びれを、斧で二回、三回打って逃げる。ザンは痛さのあまり立ち上がって、尾びれでつよく潮を蹴り、ひっくりかえる。その拍子に尾びれの骨がピシンと折れる。その音をきくと、近くの海中に立ったまま網を支えていた漁師たちは、やったと叫び、なかには感極まって泣き出す若者もいたそうだ。(中略)

「それからどうしたというのかね。まず部落の東^{ある}のはずれにあるアルオガンにもっていった。それはイッシュウガンともザンの御^{うたぎ}嶽とも言った。イッシュウというのは漁のことが。漁をするときは、島の人たちは神女たちを先頭にたてて祈願する。だからこんどは感謝の祈りをささげ、ザンの頭骨を奉納してかえてくる。あとの肉は島中で分けてたべた」(中略)

「そうだ。カメの肉もうまいが、ザンの肉はそれよりもうまい。こたえられない。だから分配が不公平だと喧嘩が起こる。肉だけでなく、内臓も食べた。煮て脂をとり、灯火^{あかり}の材料に使うこともあった。新城島では医者も産婆もいなかったので、お産が長引くと、ザンの切れ端を削って、汁を作って飲ませていた。ザンは哺乳動物だから、それにあやかってお産が軽く済むようにと願ってやった。問題はザンの皮だが、それは干乾にして、厚さと長さをきめ、まとめて上納した。これはわしの祖父^{じい}の話だが、毎年二回、首里の王さまの方から一艘の船を仕立てて、上納のザンの皮をとりよってきたそうだ」(引用ここまで)

以上のとおり、ジュゴンが新城島の周辺に多数生息しており、その鳴き声が聞こえたこと、明治 35 年(1902 年)に人頭税が廃止されるまで、ジュゴンのしかも干した皮が上納されていたこと、第二次世界大戦後にダイナマイト漁でほんの 1～2 年で数百頭が捕獲されたこと、かつてのジュゴン漁は 10 名～15 名が乗り込んだ船を二艘用いて 4, 5 日から 1 週間かけてアダンの繊維で作った網を用いて捕獲していたこと、捕獲にさしては大変危険な作業であったことなどが読み取れる。

整理番号 035 (石垣市史叢書 7 翁長親方八重山島規模帳) は威豊 8 年(1858 年)に首里王府から八重山に布達されたものである。翁長親方は王府から派遣された検使である。八重山に派遣された検使には、康熙 17 年(1678 年)の恩納(佐渡山)親方安治、康熙 50 年(1711 年)の奥武親雲上、乾隆 32 年(1767 年)の与世山(漢那)親方朝昌、威豊 6 年(1857 年)の翁長親方朝典、同治 12 年(1873 年)の富川親方盛奎らがいる。彼らは、それぞれ派遣された時点で、八重山の実情を王府に報告し、規模帳などが作成されている。

翁長親方八重山島規模帳の第 349 条と第 350 条にジュゴンに関する記述がある。現代語訳を引用する。

第 348 条 御用物のジュゴン、新城村に限り手形を出し、他所から所望しても譲渡は禁じられているが守られていない。余分がある時は希望者へ渡している、年々その捕獲に多人数の手を長期に使い迷惑しているというが、どんなものであろうか。以後は規則のとおり他所への譲渡は近似、余分は在番・頭の印紙によって確保を申しつけ、後日の御用に当てるよう取り締まること。

第 350 条 御用物のジュゴンの調達、新城村の受持ちと申し付けてあるが、年々その捕獲に大勢の人足を使い難儀なので交代させて欲しいと申し出たところ、交代については先年定期の交代を定めたので今更代えるのは難しいが、一応島の内では一斤を四人で分担し、所遣人に引き合いさせるので、そのように心得ること。

この記述によれば、ジュゴンの捕獲は新城島に特許されており、王府への納付が義務づけられているにも関わらず、その肉については、需要が多かったことが推測できる。また新城島内においても、当番制でジュゴンの捕獲をしており、島内が納めるべき人頭税である上納ジュゴンを捕獲するための労働力は多大なものであったことがうかがえよう。整理番号 31（石垣市史叢書 12 大波之時各村之形行書 大波寄揚候次第）は、いわゆる「明和の大津波（1771 年）」関係の史料である。「大波之時各村之形行書」は津波の被害状況を八重山から首里王府に伝えた公式の報告書であると考えられるが、その記述のなかに各村の人口と被害状況が詳細に書かれている。これによると、新城村の住民は男 305 人、女 249 人、合計 554 人で、大津波で男 70 人、女 135 人、合計 205 人が溺死した。すなわち男 235 人、女 114 人、合計 349 人が生き残り、村を再建したとある。津波から 87 年後ではあるが、ジュゴンを捕獲するために男 30 人が携わるとした場合、村内の男手の 1 割相当である。その労力が多大であることは想像できよう。

「大波之時各村之形行書」には次のような奇妙変異記が掲載されている。以下引用。

卯（1771）年 3 月 10 日に安良村の百姓男つこのうという物が大津波に引き流され、干潮の外から一理あまりの沖へ引き出され、どこへ流されるのか分からなくなった。方角を見失って立ち泳ぎしていたところ、長さ一丈程の鯖がつこのうの股の下に入って浮き出たので、どういふことかと驚いて抱きついたところ、あつという間に干潮の近くの材木の浮きただよっている上に乗せ移して、鯖は沖の方へ帰った。正気になり、これはただごとではなく神の助けと感謝し、手を合わせて典を仰いで拝んだ。材木につかまって陸へ二〇〇尋までの距離を泳いで無傷で陸に上がった。その日から津波の被害を受けた人々の手当に働いたという。不思議な生き残り方である。（引用ここまで）

安良村は石垣島の北部、平久保半島の東側に位置する集落で、明和の大津波でほぼ全滅し、再建したものの明治 45 年（1912 年）に廃村となっている。この奇妙変異記では、一丈の鯖となっているが、1 丈=10 尺=約 3m であるので、サバとは思えない。ジュゴンあるいはイルカのことではないだろうか。

整理番号 030 (石垣市史巡見 Vol.10) には、人魚を助けたことによって大津波から難を逃れたという民話が掲載されている。この言い伝えを題材にした絵本や民話集は多数出版されているが、その内容はおよそ次のとおりである。(以下引用)

昔、石垣島のずっと北の方、東海岸沿いにヌバレームラ(野原村)がありました。

ある夜、村の若者たちが浜辺で遊んでいると、海の彼方から美しい女の歌声が聞こえてきました。「いったい、どこの村の女だろう」と、みんな不思議に思っていました。

それから数日後、村の若者たちは、くり舟をこぎ出して漁をしました。いつものように網を入れては引き上げると、おもしろいように魚がかかります。若者たちは夢中になって漁を続けていました。三度目の網は、とても重くて、なかなか引き寄せられません。

「これは大漁だ。今度は大きな魚が沢山はまっているぞ」と大喜び。「ヨイショ、ヨイショ」と掛け声も勇ましく引き寄せ、網の中の獲物を見てびっくりしました。胸から上の上半身は美しい女で、胴から下は、うろこの美しい長い尾びれの魚です。

「これは話に聞いた人魚が。毎夜のようにきれいな声で歌を歌っていたのはこの魚だったのか。珍しい魚がとれた。これはよい土産ができたぞ」と、若者たちは大喜びで舟に引き上げようとなりました。すると、人魚はすすり泣きをしながら、「私は人魚です。どうぞ私を海に帰してください。お助けくださいましたら、お礼に恐ろしい海の秘密をお教えしましょう」と言いました。

若者たちも気の毒になり、「あまりにかわいそうだ。放してやろうではないか」ということで、網の中から人魚を抱き上げて海に放してやりました。

人魚は元気をとりもどし、うれしそうに舟のまわりを泳いでいましたが、「お助け下さって有難うございます。お礼に海の秘密をお教えします。明日の朝、大津波がおこって、この島を襲います。一刻も早く山の方へ逃げてください」と言い残して波の彼方へ消え去ってしまいました。

若者たちは、びっくりして急いで村に帰り、村中にこのことを伝え、こぞって近くの山に難をさけました。また、近くの白保の村にも馬をとばして、そのことを伝えました。しかし、白保の村の人たちは、「そんなばかなことがあるものか」と言って、だれ一人相手にする物はありませんでした。

あくる日の朝、ヌバレー村の人たちは、山の上から海の潮が急に引いて丘のようになるのを見ました。それから間もなく、沖の方に黒い雲のようなものが横に一直線にのびたのが見え、それがだんだん近づいて、白い波頭を立てた山のような波となり、ものすごい響きをたてて島に襲いかかりました。大波は岸をたたきつけ、村をのみ、村の後ろの畑を洗って山の麓まで駆けあがって来ました。二度、三度、引いては返す大津波に、村も畑もすっかり海にさらわれてしまいました。

肩を抱き合い、ぶるぶる震えて見ていた村の人たちは、あくる日になって、しょんぼりと山を下りました。海は何事もなかったかのように静まりかえっていましたが、村は跡かたもなく流され、あたりには石がゴロゴロ転がっているだけでした。

何一つ残らない村跡には、ぼんやり立ちつくしていた村人たちは、これから先どうして生きていくかを思い、がっかりとなっていました。人魚のおかげで一人の死者もなく助かったことを

せめてもの幸せと思い、力を合わせて村おこしに励みました。

それに引き替え、白保村の人たちは、ほとんど家とともに海に引き流され、助かったのは、朝早くから畑に出ていた数えるばかりの人だったということです。

これは、明和八年に石垣島を襲った大津波にまつわる話です。（「ぱがー島 八重山の民話」より）（引用ここまで）

現在、野原村は野原崎として地名に残っており、路線バスの停留所に「野原」(Fig.1 左上)があり、隣接した伊野田漁港の入り口にはジュゴン（Fig.1 左右）を形取ったレリーフがあり、同じく星野では、人魚伝説の村として人魚をかたどった公衆トイレ (Fig.1 左下) が設置されている。野原の集落はサトウキビ畑 (Fig.1 右下) となっているようである。「大波之時各村之形行書」によると、明和8年（1771年）当時の白保村の住民は男771人、女803人、合計1574人が、大津波によって、男750人、女796人、合計1546人が溺死した。実に98%が災難に遭ったことになる。わずかに生き残った男21人、女7人、合計28人では村の再建ができないため、波照間島より男193人、女225人、合計418人を寄百姓し、残った人数と合わせて446人で村の再建を図ったという。



Fig.1. 人魚と大津波の民話が伝わる野原村（ヌーバレ村）の現状

3. 面接調査

平成 21 年度において、公的機関並びに漁業協同組合、漁業者などへの面接調査を行った。面接調査に協力いただいたのは、安里眞幸氏（1917 年生まれ、新城島出身、海人）、寄川和彦氏（八重山博物館学芸員）、林原 毅氏（西海区水産研究所石垣支所）、仲盛 敦氏（竹富町教育委員会）、飯田泰彦氏（竹富町教育委員会町史編纂室）、上原ヨシヒロ氏（黒島・サンダー、海人）、照屋忠敬氏（沖縄県水産海洋研究センター石垣支所長）、当山昌直氏（沖縄県教育庁文化課文化財班長）らである。安里眞幸氏の紹介によって、昨年度は新城島での節祭（2009 年 9 月 27 日）に参加することが出来た。しかし、現在、八重山諸島にジュゴンが生息しているかどうかについての情報を得ることが出来なかった。このため本年度は、沖縄本島周辺島嶼域での聞き取り調査と西表島を営業域としているダイビング等のレジャー関係者への面接調査を試みた。

(1) 伊是名村

伊是名村は沖縄本島の北部の離島である（Fig.2）。2005 年より環境協力税が導入されており、島へ亘るフェリー代を支払う際に運賃に加えて一人 100 円が課税される仕組みとなっている（Fig.3）。課税対象は地元住民、観光客であるが、高校生以下ならびに身体障害者は非課税となっている。今回、環境協力税に関わる社会調査に合わせて、ジュゴンに関する調査を行った。



Fig.2. 伊是名村と座間味村の位置。

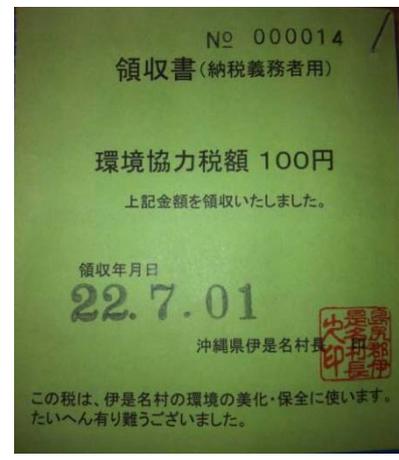


Fig.3. 伊是名村の環境協力税領収書。

2010 年 7 月 1 日～7 日に伊是名村において目撃談、昔からの言い伝えなど、ジュゴンに関して海人をはじめ、地元住民に対する聞き取り調査を行った。その結果、ジュゴンを直接目撃したという情報は得られなかった。50 代の元海人の男性によると、昔は沖縄の南方海域ではジュゴンがいたという証言を得た。

(2) 座間味村

座間味村は沖縄本島の南に位置する離島である (Fig.2)。座間味村においては、長年、環境保全を目的とした法定外目的税導入の議論が進められており、平成 23 年 4 月より「美ら海税」(100 円) という名称での導入を目指している。

2010 年 7 月 8 日～15 日に座間味村村役場、地元住民、観光客ならびに慶良間海洋文化館館長への聞き取り調査を行った。その結果、90 歳近くの元ダイビング業者の男性の祖父の時代、慶良間諸島周辺のあちこちにジュゴンが生息しており、それらを捕獲して食用にしていた。また特に座間味村北部のチン海岸は当時、海草藻場が発達しており、そこがジュゴンの摂餌場になっていたが、現在では海草藻場は消滅しているとの話を得た。さらに、スーパー・民宿経営の 70 歳台男性によると、第二次世界大戦以前はジュゴンを見かけたことがあるが、食べることは無かった。なお、イルカやクジラは食した。

慶良間海洋文化館館長の話によれば、座間味村にある約 3000 年前の貝塚からジュゴンの骨が出土している。また館長の話によると、文化人類学者の後藤明は、東南アジアからジュゴンを求めて沖縄へ移住してきたという。

後藤明 (2003)によると、今から約 13000 年前、最後の氷河期には海水面が低下し、その結果、西部インドネシアの島々は東南アジアと連続し、スンダランドを形成した。一方、ニューギニアとオーストラリアも一つになり、こちらはサフル大陸を形成した。スンダランドとサフル大陸の間では、動物相が大きくことなるが、両者に共通に分布する数少ないほ乳類がジュゴンなのである。そして、オックスフォード大学の動物学者ジョナサン・キングドンが唱える「ジュゴン=オオコウモリ・コネクション」仮説によれば、新しい人類は、アフリカからアジアにかけて、獲物としてのジュゴンなどを追って、海岸線と浅瀬の連なる、島や海へと好んで進出していったのではないかと言う。

(3) 西表島

西表島 (Fig. 4) の周辺は八重山諸島の中でも最も海草藻場が発達している海域である。仮にジュゴンが生息しているとすれば、もっとも可能性の高い海域であると考えられる。そこで、西表島をもっぱら対象としている海洋性レジャーであるダイビングとシーカヤックの案内業者への聞き取り調査を行った。

竹富町ダイビング組合は組合員 20 社であるが、そのうち 19 社が西表島、1 社が小浜島に拠点がある。湊次郎組合長を通じて、組合員にジュゴンの目撃情報の有無を調査したが、組合員がダイビング中にジュゴンを目撃した例はなかった。しかし、5 年前に海人が南風見沖 (Fig. 4) でジュゴンを目撃したという話を得た。

西表島フィールドガイドの山元俊雄氏 (南風見ぱびよん代表) に面接調査したところ、2002 年頃、新城島からシーカヤックでの帰り午後 4 時頃に仲間崎沖 (Fig. 4) でサメでもなく、イルカでもなく、一瞬「タマちゃん」(アザラシ) かと思ったとのことである。当時、多摩川に迷入したアゴヒゲアザラシが連日、テレビで報道されていた。

4. 考察

本年度、新たな試みとしてレジャー関係者への面接調査を試みた。調査を行うにあたって、業界団体を通してのアンケート調査なども考えたが、普天間基地移転にともなう辺野古への飛行場建設など、世間の関心がジュゴンにも高まっているなかでの調査はいたずらに関係者を刺激すると思われたため、差し控えることとした。面接調査にあたっては慎重に対象者に趣旨を説明した上で、協力をお願いした。結果的には2件の目撃情報が得られた訳であるが、その両者とも信憑性は高いと思われる。文献による過去におけるジュゴンが多くいたとされる新城島の周辺から西表島の南風見から仲間崎にかけての海域でのジュゴンの生息の可能性は大きい。

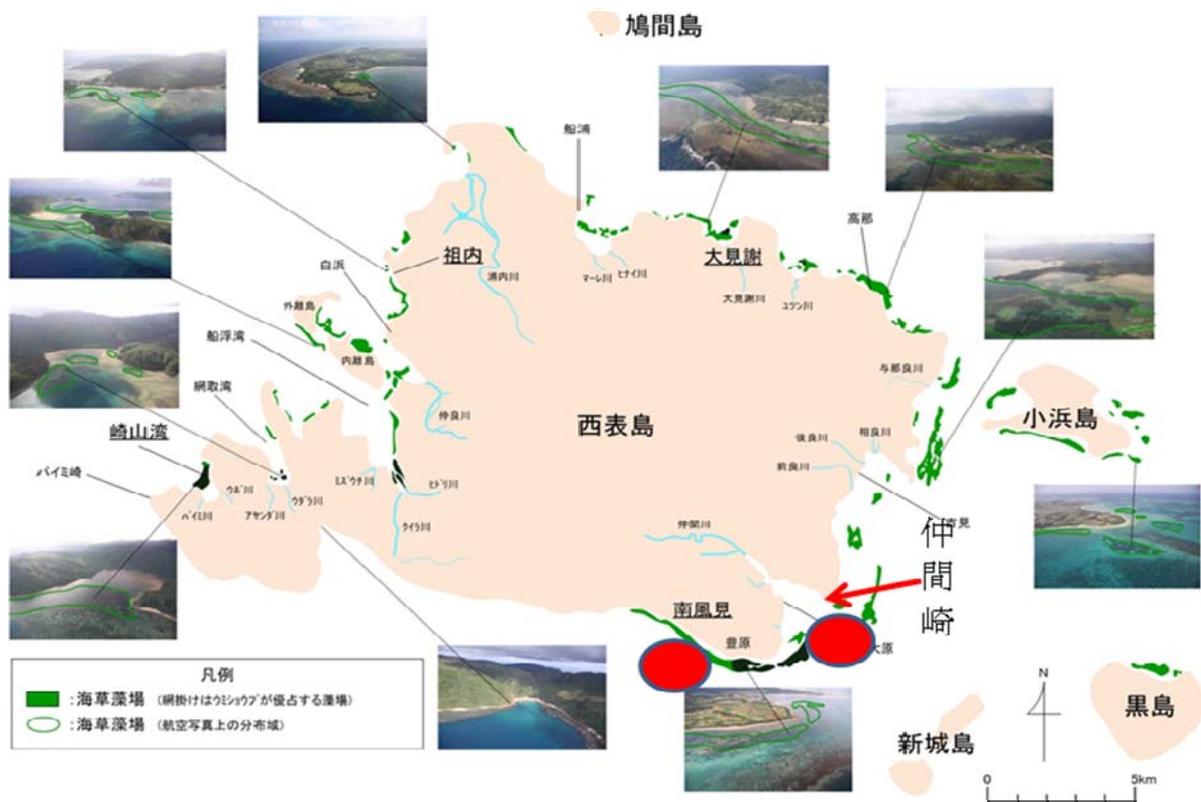


Fig. 4. 西表島周辺の海草藻場の現状とジュゴンが目撃された海域（赤い楕円の海域）。航空写真は平成20年11月25日に特定非営利活動法人地球環境カレッジ・ジュゴン研究会による調査で撮影した。

本委託事業に参加する前年に非営利法人地球環境カレッジ・ジュゴン研究会の自主研究として行った数日間の調査では、直接的なジュゴン生息の証拠（ジュゴントレール、鳴音の録音、航空機による目視等）を得ることは出来なかった。しかし、昨年度と今年度の文献調査と面接調査の結果からは、西表島周辺でのジュゴン生息の状況証拠は得られており、長期間の観察を継続することで直接的な生息の証拠を得ることが出来るのではないだろうか。

沖縄本島はジュゴンの生息域の北限と言われている。そして、その分布は東南アジアからアフリカへの回廊をとおしてつながっている。そしてそれは、われわれ人間の営々とした移動の歴史でもある。

5. 参考文献

石垣市総務部市史編集課（1998）、大波之時各村之形行書・大波寄揚候次第、石垣叢書 12、石垣市

石垣市総務部市史編集室（1994）、翁長親方八重山島規模帳、石垣市叢書 7、石垣市

石垣市総務部市史編集課（2008）、石垣市史巡見 Vol.10、石垣市

後藤明（2003）、海を渡ったモンゴロイド、講談社

谷川健一（1981）、海の群星、集英社

特定非営利活動法人地球環境カレッジ・ジュゴン研究会（2010）、南西諸島におけるジュゴンの生息可能性検討調査、特定非営利活動法人地球環境カレッジ

メガネモチノウオ *Cheilinus undulatus* Rüppell

担当者：平井慈恵・照屋和久・小林真人・武部孝行・佐藤 琢
所属： 独立行政法人水産総合研究センター 西海区水産研究所石垣支所 栽培技術研究室

住所： 〒907-0451 沖縄県石垣市桴海大田 148

TEL: 0980-88-2136

FAX: 0980-88-2138

E-mail: nrhirai@affrc.go.jp

1. 緒言

メガネモチノウオ *Cheilinus undulatus* は、ベラ科モチノウオ属に属し、最大全長 2m (体重、190kg) に達し、ベラ類の中で最も大きくなる種である。インド・太平洋域に広く分布し、日本では沖縄県以南の岩礁域やサンゴ礁外縁部に生息する¹⁾。

本種は、中国、香港、東南アジアの各国で人気が高く高級食材として消費されており、近年乱獲や自然破壊などによって資源が減少しているとされ²⁾、2004 年に「絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約」(CITES: 通称、ワシントン条約) の付属書 II (商業取引を行なうことが可能であるが、輸入国の輸入許可及び輸出国の輸出許可が必要) に記載された。

沖縄県水産試験場事業報告書によると、1989 年から 2005 年の八重山海域における本種の年間漁獲量は 1990 年に最も多く 6.4t であり、その後、次第に減少し 2005 年には 3.0t を下回り、その後も 2006 年に 3.2t、2007 年には 3.6t と低水準で推移している³⁾。水揚げ金額についても、1990 年がもっとも多くて 850 万円を越えたが、その後は減少し 2005 年には 300 万円を下回って最低となった。現在も、依然として漁獲量は低水準で推移しており、また、この期間の CPUE には大きな変動はなく、八重山海域においても本種の資源量の減少は顕著である。

このため、西海区水産研究所石垣支所栽培技術研究室では、本種の資源保全に関する取り組みの一環として、本種の親魚養成、採卵等の技術開発を行なった。

2. 試験内容及び計画

2-1 親魚養成及び採卵

前年度までに購入したメガネモチノウオ天然魚 12 個体について親魚養成を継続した。外部形態(大きさ、頭部のこぶおよび体色)および前年度までの卵黄タンパク前駆体の有無、排卵、排精の実績から雌雄を判別し、雄 1 尾、雌 2 の割合で、8 角形の 60kL 水槽 4 基に収容して飼育した。各個体は、PIT タグを装着して個体識別を行った。本報では、各個体を識別する番号として、標識の下 3 桁の数字を示す(表 1)。

養成魚は、火、水、金曜日にタカサゴとイカの切り身を、月および木曜日には殻付きのアサリ(冷凍)を給餌した。給餌基準は、タカサゴとイカは総魚体重の 1.5%、アサリは総魚体重の 2%とし、タカサゴとイカにはビタミン剤(ヘルシーミックス-2、大日本製薬)を外割で給餌量の 5%添加して与えた。飼育水には砂ろ過海水(4kL/時)を用いた。

2-1-1 養成親魚の血液中の卵黄タンパク前駆体等の検出による成熟過程の把握

すべての個体について毎月 1 回、全長、体重、および排卵・排精の有無の確認を行った。また、上記の測定時に採血を試み、4 月から 12 月に得られた血液について、血中の卵黄タンパク前駆体(ビテロジェニン:Vg)の検出および性ホルモン濃度の分析を行った。採血はヘパリンコートしたシリンジを用い、各個体 2.5mL ずつ血液を採取後、1.5mL マイクロチューブ 2 本に分注し、氷冷で 1 時間静置した。その後、血液を 3000rpm で 15 分間遠心し、上清のみ回収して分析試料とした。Vg の検出はオクタロニ

表1 平成22年度 メガネモチノウオ養成親魚

親魚群	個体番号	性別	4月の全長(cm)	12月の全長(cm)
A群	043	オス	95	96
	75B	メス	82	83
	62D	メス	83	83
B群	421	オス	100	101
	F3A	メス	86	84
	92D	メス	83	85
C群	057	オス	84	88
	E03	メス	68	69
	A2F	メス	52	53
D群	C6D	オス	117	117
	500	メス	51	54
	839	メス	48	51

一法によって行い、1.8%アガロースゲルプレート（2.5×2.5cm、厚さ約1mm）を作成し、ゲルプレートの中央とその周囲に直径3mmの穴を開け、中央の穴にはシロクラベラピテロジェニン抗体を10μL、周囲の穴には分析試料を10μLずつ注入し、24時間室温で静置した後、抗原抗体反応による沈降線の有無を調べた。

一方、性ホルモン濃度の分析においては、雄については雄性ホルモン（11-ケトテストステロン）、雌については雌性ホルモン（17β-エストラジオール）の測定を酵素免疫測定法（ELISA）によって、市販のELISAキット（Cayman chemical社）を用いて行った。測定試料は分析試料からステロイド画分を抽出して作製した。雄性ホルモンの抽出は、シリコンコートした5mLガラス試験管中で分析試料5μLをELISAキットに添付されたEIAバッファーで40倍に希釈し、それぞれにジエチルエーテル1mLを添加してヴォルテックスミキサーで攪拌後、冷却したメタノールで水層のみ凍結し、エーテル層のみを回収した。雌性ホルモンの抽出は、分析試料60μLをEIAバッファーで2倍に希釈し、以下、雄性ホルモンの抽出と同様の方法で、エーテル層のみを回収した。回収した抽出液を40°Cに加熱して乾固した後、雄性ホルモン抽出試料には、EIAバッファーを200μL、雌性ホルモン抽出試料には、120μL添加し、ヴォルテックスミキサーで再度攪拌したものを測定試料とした。

2-1-2 産卵期や産卵水温帯の把握

6月から10月の間、親魚A群と親魚B群の水槽の外側に、ゴース地製の直方体型産卵ネット（縦130cm×横130cm×深さ80cm）を張った採卵水槽（2kL FRP水槽）を設置し、養成水槽からのオーバーフロー海水を受けて集卵した。産卵の確認は、前年度までの採卵ネットでの卵の出現時刻を参考にして午後4-5時の間に行った。受精卵が見られた場合は、午後11時の時点ですべての卵を回収した。加えて、産卵時に受精、未受精のいずれの場合でも産卵日の翌朝9時に卵を回収し、前日に得られた卵数を合算して総産卵数を算出した。なお、CとD群については、7/23-8/3の間、C群の雄（ID:057）とB群の雄（ID:421）を入れ替えた以外は、産卵試験から除外した。

また、親魚A群については、9/29から10/18の間、飼育水槽を加熱し、最低水温28°Cに保つことで、加熱条件下での産卵の可否を確認した。

2-1-3 その他の採卵方法の検討

効率よく受精卵を得るために、6月から10月の採卵期間中に親魚A群について水位低下による産卵誘発試験を試みた。6-8月の午後1時より20分間、水深2.5mから0.5mまで水位を下げ、水深0.5mの状態で通気をしたまま、30分間静置し、飼育魚の行動観察を行った。その観察30分後に、水槽内をプランクトンネット（目合い63μm）で表層を約1m曳網し、産卵の有無を確認し、産卵した場合は実体顕微鏡下で受精の有無を確認した。その後、通常の注水状態に戻し、受精卵が得られた場合には午後

11 時に採卵ネット内の卵をすべて回収した。また、8 月までの産卵観察の結果、午後 12-1 時に産卵が見られる場合もあったため、9, 10 月は午前 11 時より 2 時間水位を下げた後、上記と同様の方法で、産卵と受精の有無を確認して卵の回収を行った。

2-2 卵質評価

採卵時に受精卵が確認された場合には卵の一部を採取して受精率を算出した。その後、午後 11 時に卵を回収し、20L ポリバケツ中に収容した。収容した卵を攪拌しながら 100mL ビーカーで採水し、100mL 中の受精卵数と未受精卵数を実体顕微鏡下で計数し、容積法によって回収した総産卵数を算出した。その後、静置して浮上卵と沈下卵が分離した後、サイフォンで沈下卵のみを除去し、浮上卵のみを 0.5kL ポリカーボネート製アルテミアふ化槽に卵を収容して、注水量は 1.0L/分、通気は 0.1L/分程度の弱通気でふ化まで管理した。翌朝 500mL ビーカーで採水して、500mL 中のふ化仔魚数を計数し、容積法でふ化仔魚数を算出した。また、取り残しの採卵ネット内のふ化仔魚数、死卵数も計数して、前日に回収した卵数と合算して、総産卵数、およびふ化率を算出した。得られたふ化率の結果のうち、水位低下による産卵から得られたふ化率については、前年度の水位低下による産卵で得られたふ化率のデータと比較し、卵の取り揚げのタイミングの違いによるふ化率の違いを検討した。

2-3 統計解析

各データは必要に応じ、統計解析を行った。2 群データの場合は、F 検定による分散の均一性の検定を行った後、t 検定を実施した。水位低下の有無による受精成功回数の違いについては、カイ二乗検定を実施した。パーセントで表現されるデータについては、各値について逆正弦変換した後、上記の統計解析を行った。

3. 結果

3-1-1 養成親魚の血液中の Vg 等の検出と排精、排卵に関する成熟過程

4 月から 12 月に実施した血中 Vg の検出結果と排精、排卵に関する結果を表 2 に示す。メスの血中 Vg は、A 群では 5 月から 10 月の間、B 群では 7 月から 10 月の間、C 群で 7, 9 月に検出された。Vg が検出された個体は 4 月の全長が 68cm 以上の個体であり、全長 52cm 以下の個体では検出されなかった。排精は A 群で 8, 9, 12 月、B 群で 9 月に観察され、一方、C と D 群では観察されなかった。排卵は A 群のメスで 7-9 月に観察された。

表 2 各親魚の血中ピテロジェニン検出および排精、排卵結果

親魚群	個体番号	性別	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A群	043	オス	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	75B	メス	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)
	62D	メス	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)
B群	421	オス	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	F3A	メス	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)
	92D	メス	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)
C群	057	オス	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	E03	メス	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
	A2F	メス	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
D群	C6D	オス		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	500	メス	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	839	メス	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

(-): Vg 陰性
 (+): Vg 陽性

☐ : 排卵
 ▨ : 排精

空欄は、技術的な問題で採血できなかったことを示す。

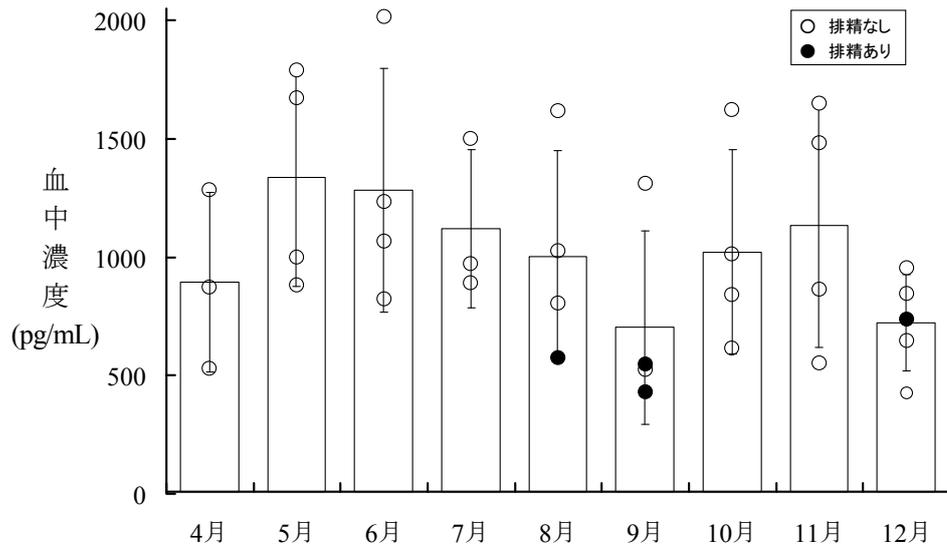


図1 4-12月に採血したオスの血中11-ケトテストステロン濃度

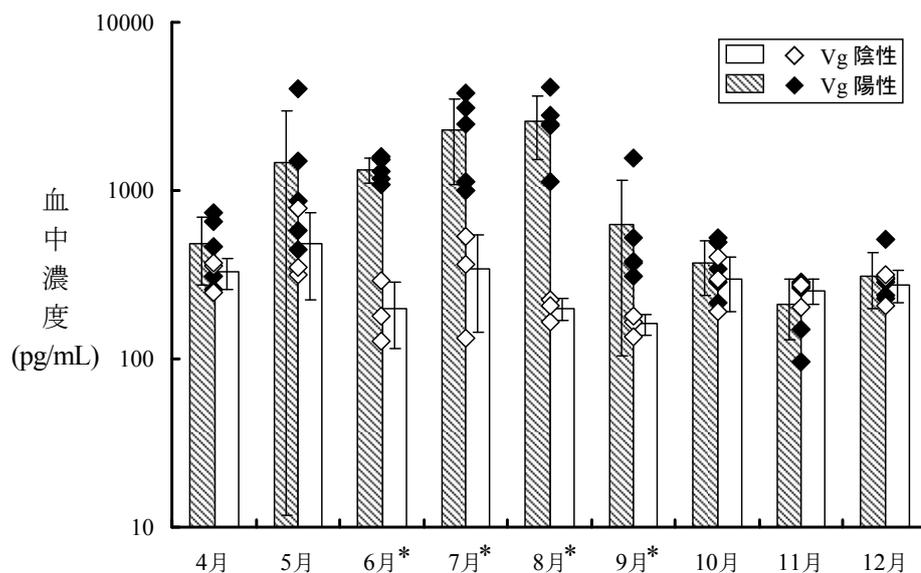


図2 4-12月に採血したメスの血中17β-エストラジオール濃度
* : ビテロジェニン(Vg)陽性個体と陰性個体の間で有意差 (p<0.05)

雄の血中の11-ケトテストステロン(11KT)濃度については、相対的に4-5月にかけて上昇したが、その後6-9月にかけて低下する傾向が見られた(図1)。特に5月はすべての個体が880pg/mL以上の値を示したが、8,9,12月に観察された排精個体は430-738 pg/mLと低く、排精個体の11KT濃度は、排精をしていない個体の濃度と比べて有意に低かった(p<0.05)。

雌の血中の17β-エストラジオール(E2)濃度については、試験期間中にVg陽性を示した個体では、4-8月にかけて濃度が上昇し、9-11月にかけて低下した(図2)。特に6-8月の間はすべてのVg陽性個体のE2濃度は994pg/mL以上の値を示し、6-9月のVg陽性個体のE2濃度はVg陰性個体での濃度と比べて有意に高かった(p<0.05)。一方、Vg陰性個体のE2濃度は試験期間を通じて顕著な変動は見られず、最大で783pg/mLであった。

3-1-2 産卵期や産卵水温帯の把握

メガネモチノウオ親魚の産卵は、A群では6月14日–10月14日の間に38回、B群では7月8日–7月23日までの間に4回の産卵があった。産卵時の水温は、26.3–29.9°Cであった(図3)。A群での平均採卵数は65.5±60.7万粒(4.3–220万粒)、B群での平均産卵数は23.7–13.4万粒(6.0–38万粒)であった。また、A群で加温により、10月に初めて産卵が確認された。

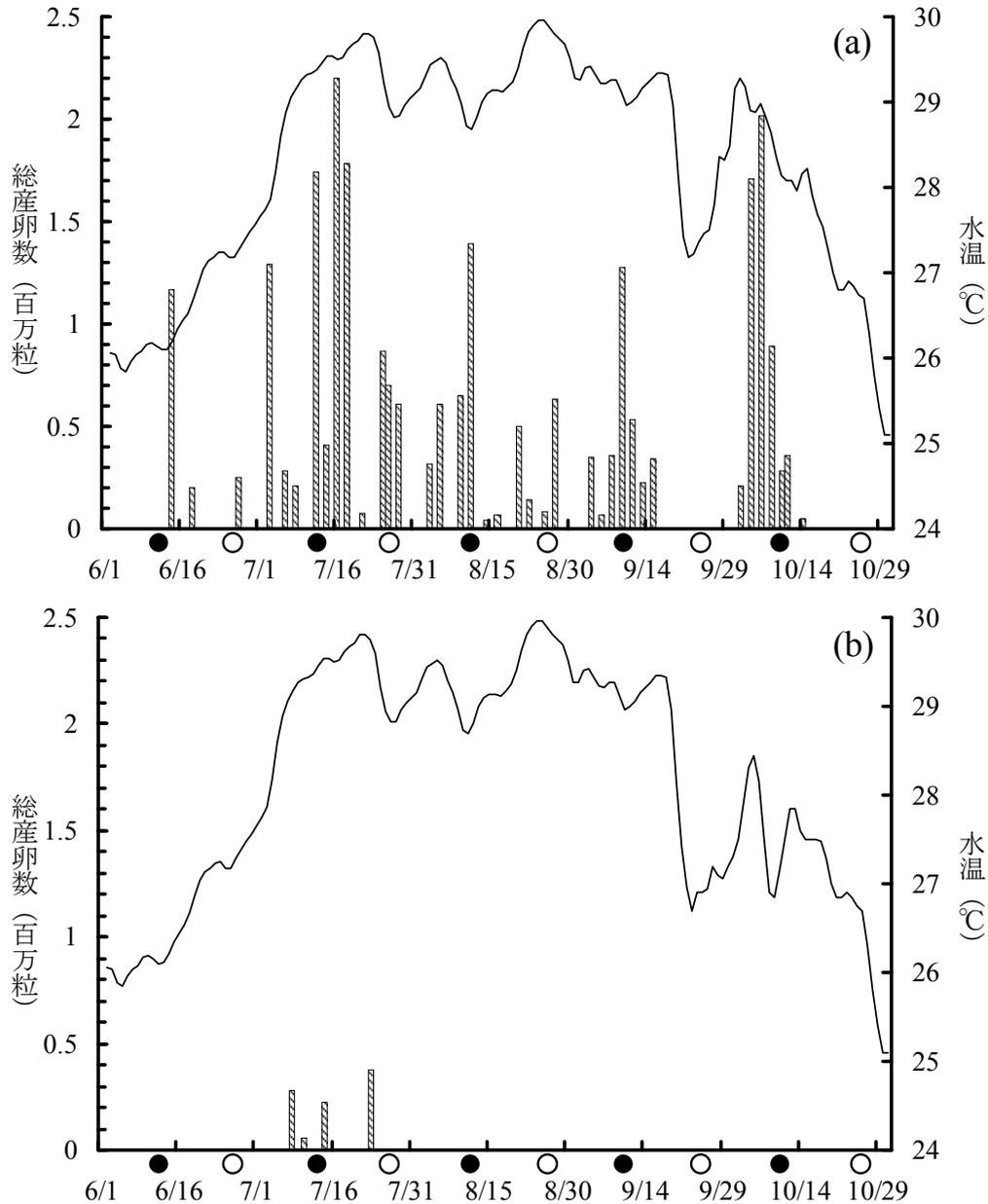


図3 2010年の親魚A群 (a) およびB群 (b) における産卵 (棒グラフ) と水温 (折れ線)
●: 新月、○: 満月。

過去2年の産卵状況と比較したところ、産卵と水温、産卵と月齢の関係は、いずれも同じような傾向を示した。2008年から2010年の産卵水温の88%以上は水温28°C以上であり、全産卵回数の60%以上は29±0.5°Cの範囲で観察された(図4)。また、産卵は新月の前後に多く、満月の前後に少ない傾向があった(図5)。新月の前後1週間以内の産卵は2008年で全産卵回数の61%、2009年では72%、2010年では74%とそれ以外の期間と比べて多かった。

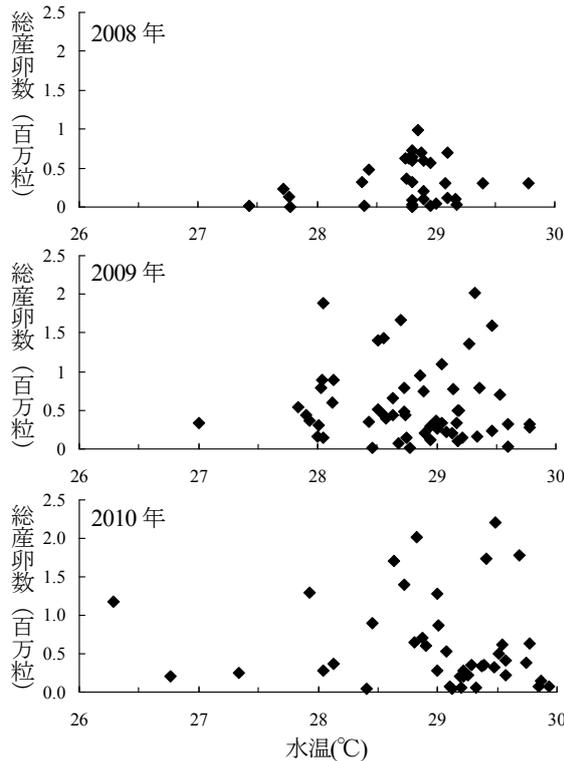


図4 2008年-2010年の産卵と水温の関係

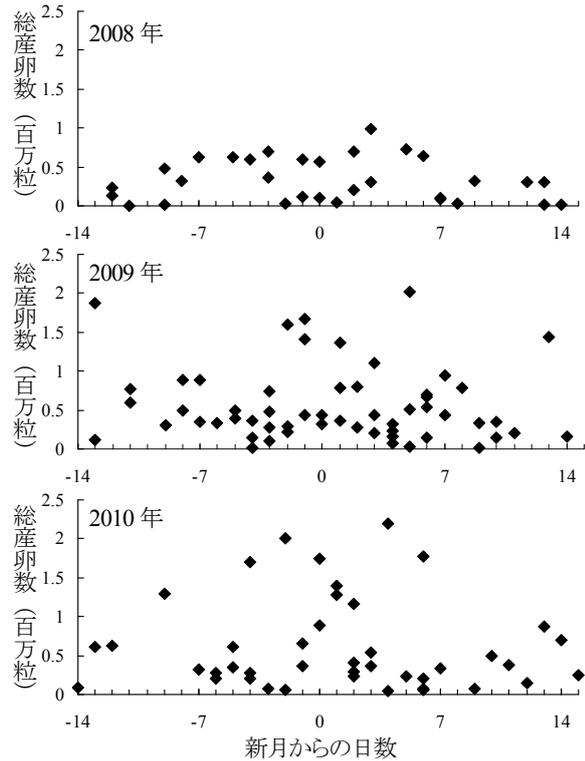


図5 2008年-2010年の産卵と月齢の関係
「0」は新月を示し、「-14」,「14」は満月を示す。

3-1-3 その他の採卵方法の検討

水位低下による産卵誘発試験の結果、A群において、メスが産卵した14回すべてで受精卵を得た。産卵は個体番号62Dのみが行った。総産卵数は平均で 63 ± 63 万粒(5.1-201万粒)であった。(表3)

3-2 卵質評価

通常の産卵では受精卵はA群で24回の産卵中6回得られ、受精率は $39 \pm 30\%$ (0.3-63%)、卵径は $658 \pm 17\mu\text{m}$ (639-686 μm)、および総産卵数に対するふ化率は $16 \pm 20\%$ (0-48%)であった(表3)。一方、水位低下による産卵における受精卵は14回の産卵中14回すべてで得られ、受精率は $73 \pm 21\%$ (26-97%)、卵径は $631 \pm 14\mu\text{m}$ (619-659 μm)、および総産卵数に対するふ化率は $62 \pm 24\%$ (0-88%)であり、通常の産卵での結果と比べて受精率、ふ化率は有意に高く、卵径は有意に小さかった(表3)。これらの結果は、受精成功回数および受精率については昨年度と同様の結果であった。上記のふ化率について、昨年度の結果と比較したところ、今年度の結果(体節形成後[受精後10時間]で取り揚げ、14回)は、昨年度、体節形成前に卵の取り揚げを行った回(28 \pm 3.3%, 4回)よりも統計的に有意に高く、体節形成後に卵の取り揚げを行った回(65 \pm 7.2%, 3回)とほぼ同等のふ化率を示し、統計的有意差は認められなかった(図6)。

表3 水位低下の有無による総産卵数、受精率、ふ化率、卵径の違い(2009年、2010年の結果)

実施年	2009		2010	
	あり	なし	あり	なし
総産卵回数	7	29	14	24
受精成功回数	7**	3	14*	6
総産卵数(万粒)	37 \pm 23	87 \pm 23	63 \pm 63	70 \pm 52
受精率(%)	79 \pm 10*	54 \pm 14	73 \pm 21**	39 \pm 30
ふ化率(%)	44 \pm 20	39 \pm 19	63 \pm 24**	16 \pm 20
卵径(μm)	624 \pm 12	630 \pm 17	631 \pm 14**	658 \pm 17

(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

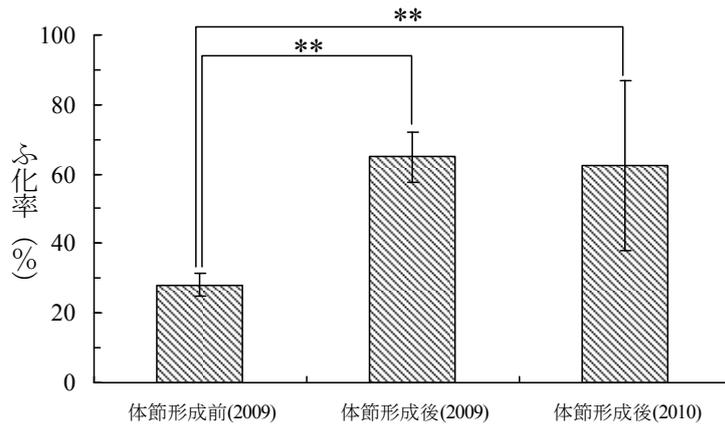


図6 卵取り揚げのタイミングによるふ化率の違い

4. 考察

養成親魚における雌の血中 Vg は産卵期前の 5 月より検出された (表 2)。また、Vg 陽性メスの E2 濃度は 4-8 月に上昇し、9-11 月に低下した (図 2)。これらは 2009 年と同様の成熟パターンを示しており⁴⁾、本種は 5 月頃には成熟期に入っていることが示唆される。しかしながら、5 月の当研究室地先の水温は 26℃以下であり、本種の産卵水温には達していない。したがって、本種では卵黄蓄積などの成熟は 5 月頃には始まっているが、排卵などの産卵に直接関係する現象は水温が 28℃以上に達する 6 月以降に活発になると考えられる。さらに 10 月以降、自然水温が 28℃を下回る時期であっても、加温によって水温を 28℃以上に維持することで産卵が観察されたことから、本種のメスの産卵や Vg 合成には日長などの影響よりも、水温の影響が大きく関係していることが考えられた。

また、雄の 11KT 濃度は産卵開始前の 5 月に最も高くなり、産卵開始後の 6 月以降低下した (図 1)。特に、排精個体では、排精していない個体と比べて 11KT 濃度が低く、2009 年と同様の結果になった。11-ケトテストステロンは硬骨魚類では精子形成に関与し、精子形成後の排精期に濃度が低下することが知られている⁵⁾。このことから、11KT の濃度変化は本種の雄の排精能の有無を示す指標として用いることができると考えられる。

一方、成熟サイズについて、Vg 陽性を示した雌個体は全長 69-88cm の範囲にあった (表 1, 2)。また、全長 69cm の個体は 2008 年に採血した際 (全長 63cm) には Vg は検出されなかった。このことから、本種の雌の成熟は 63-68cm 頃より成熟を開始すると考えられる。一方、雄個体については、全長 96cm および 101cm の個体で排精が確認されたことから、これらのサイズの雄では成熟度が高いと考えられる。一方で、全長 84cm や全長 117cm の雄では排精が確認されなかった。全長 84cm の雄は昨年度より、体色が雄の体色に変化した個体であり、全長 117cm の雄は過去 5 年間の記録では排精が確認されていない。これらの結果から、雌の産卵・成熟サイズは全長で 70-90cm 程度の範囲にあり、排精可能な雄の成熟サイズは全長で 90-100cm 程度の範囲であり、それ以上のサイズでは高齢で、排精能が低下していることが考えられた。

2010 年の産卵結果において、本種の産卵水温は主に 28℃以上であり、最適水温は 29℃であることが示された (図 4)。また、産卵は月齢と関係し、新月の前後 1 週間以内に集中することも示された (図 5)。この結果は、ハタ類など他の熱帯、亜熱帯性魚類でも見られている月齢に対応した産卵リズムを持つ可能性が考えられる⁶⁻⁸⁾。また、2008 年⁹⁾、2009 年⁴⁾でも同様の傾向であることから、これらの水温や月齢との関係は本種の産卵特性を示していると考えられる (図 4, 5)。さらに、2009 年と 2010 年の卵の取り揚げのタイミングによるふ化率の違いから (図 6)、本種の受精卵は発生初期にハンドリングなどの外部からの物理的なストレスに弱い可能性が考えられた。

また、2010 年の結果でも、2009 年と同様に水位低下により受精率、受精成功率ともに高いことが示された (表 3)。飼育環境下での通常の産卵において、受精成功率が低い理由は今のところ明らかではな

いが、空間的な制限（水槽サイズ）や恒常的な水循環（潮汐や潮流がない）など、自然環境とは異なる要因が受精率の低さに関係している可能性が考えられる⁴⁾。また、水位低下時に生じる環境変化として、水流や水圧の変化が考えられるが、飼育下ではこれまでのところ特定の理由は明らかではない。同じベラ科のミツボシキウセンでは、潮汐の変化によって排卵、成熟リズムが制御されていることが報告されている¹⁰⁾。本研究では水位低下によって産卵が誘発されたが、水位の低下は約2mの水位を20分間で下げており、自然界での潮汐変化に比べると非常に早く、産卵は水位低下を伴わなくても観察されることから、水位の低下のみが本種の排卵、成熟リズムの制御に直接関与しているとは考えにくい。一方、パラオでの潜水観察によって、本種の産卵は引き潮時の最も離岸流の速い時に行われることが報告されている¹¹⁾。このことを併せて考えると、水位低下時は通常よりも速い水流が生じることが産卵行動を誘発させている可能性が考えられる。本研究では飼育水槽内に設置したエアブロックを操作することで、水位低下を落とさずに水流を起こすことも予備的に試みたが、この場合は親魚の遊泳速度は速くなっているように見えたものの、産卵行動の誘発には至らなかった。飼育環境の場合は空間的制限があり、水位低下のような、より大きな環境の変化のほうが、効率よく受精を誘発するのかもしれない。

過去3年間の産卵結果から、本種の飼育下での産卵は主に水温28-30°Cで新月の前後1週間の範囲にあるときに活発であることが示された。また水位低下によって、産卵誘発が可能であり、高頻度で受精が成功することも示された。一方で、天然海域での産卵生態については不明であり、今後は飼育下での産卵特性を参考にしつつ、天然での成熟状態等についても検討する必要があると考えられる。

5. 引用文献

- 1) 島田和彦 (2000) ベラ科. 日本産魚類検索 第二版 (中坊徹次編)、東海大学出版会、東京、pp.1582-1587.
- 2) Sadovy Y. Kulbicki M. Labrosse P. Letourneur Y. Lolakani P. Donaldson T.J. (2003) The humphead wrasse, *Cheilinus undulatus* synopsis of a threatened and poorly known giant coral fish. Review in Fish Biology and Fisheries, vol.13, pp.327-364.
- 3) 太田 格、工藤利洋、海老沢明彦 (2007) 八重山海域の沿岸性魚類資源の現状、平成17年度沖縄県水産試験場事業報告書、pp.165-175.
- 4) 平井慈恵、武部孝行、浅見公雄、奥澤公一(2010) 平成21年度生物多様性保全総合対策委託事業(希少水生生物保全事業) 報告書、独立行政法人水産総合研究センター、pp.62-70.
- 5) Fostier A. Jalabert B. Billard R. Breton B. and Zohar Y. (1983) The gonadal steroids, In Fish Physiology Vol. IX 'Reproduction Part A' (Eds, Hoar W.S. Randall D.J. and Donaldson E.M.), Academic Press, New York, pp. 277-372.
- 6) Samoily M.A. Squire L.C. (1994) Preliminary Observations on the Spawning Behavior of Coral Trout, *Plectropomus Leopardus* (Pisces: Serranidae), on the Great Barrier Reef. Bulletin of Marine Science, vol.54, pp.332-342.
- 7) Lee Y.D. Park S.H. Takemura A. and Takano K. (2002) Histological observations of seasonal reproductive and lunar-related spawning cycles in the female honeycomb grouper *Epinephelus merra* in Okinawan waters. Fisheries Science, vol.68, pp.872-877.
- 8) 山本和久、與世田兼三 (2005) 飼育条件下におけるスジアラの産卵生態について、栽培漁業センター技報、第4号、pp.9-13.
- 9) 山本和久、武部孝行、奥澤公一 (2009) 平成20年度生物多様性保全総合対策委託事業(希少水生生物保全事業) 報告書、独立行政法人水産総合研究センター、pp.66-78.
- 10) Takemura A. Oya R. Shibata Y. Enomoto Y. Uchimura M. Nakamura S. (2008) Role of the Tidal Cycle in the Gonadal Development and Spawning of the Tropical Wrasse *Halichoeres trimaculatus*. Zoological Science, vol.25, pp.572-579.
- 11) Colin P.L. (2010) Aggregation and spawning of the humphead wrasse *Cheilinus undulatus* (Pisces: Labridae): general aspects of spawning behaviour. J. Fish. Biol. 76, 987-1007.

生息域を共有する希少種 カジカ大卵型 (*Cottus pollux*) とアカザ (*Liobagrus reini*) の食性比較

棗田孝晴*・井口恵一朗

中央水産研究所 内水面研究部 生態系保全研究室

連絡先：〒386-0031 長野県上田市小牧 1088

Tel: 0268-22-1331 Fax: 0268-22-0544

E-mail: keyichi@fra.affrc.go.jp

(*現所属：千葉科学大学 危機管理学部)

諸言

カジカ大卵型 *Cottus pollux* (以下カジカとする) は、カサゴ目カジカ科に属する底生の陸封性淡水魚で、かつては日本の本州、四国、九州の河川上流域に広く生息する普通種であった(後藤, 1987) が、近年では半数以上の自治体で絶滅危惧種にリストアップされており、本種の具体的な保全策の構築が急務となっている。本種は他の遊泳性魚類と較べて移動能力が乏しく、かつ冷水環境を好むため、多くの場合生息地が河川支流の縁辺部に隔離されがちであることに加えて、河川改修や土地利用形態の変化等にもともなう生息環境の悪化が、彼らの生息域の縮小原因となっている可能性が考えられる。

一昨年度ではカジカの食性調査から、千曲川のカジカ各集団は餌資源利用に関してスペシャリスティックな要素をもつ個体から構成され、餌生物多様度が個体間で顕著な変異性を示すことから、カジカが利用する多様な餌資源を支える多様な生息環境保全の重要性を指摘した(棗田ほか, 2009a)。また昨年度は、モルフメトリーおよび遺伝的マーカー (mtDNA 調節領域前半部) を用いてカジカの食性変異と外部形態および遺伝的変異との関連性を総合的に検証し、流速などの地域環境への適応に起因する外部形態形質の変異が存在する可能性があること(棗田ほか, 2009b)、また移動能力の乏しいカジカの保全を実施するうえで、粗くとも枝沢スケールの管理単位が必要であることを指摘できた(棗田ほか, 2010)。

本年度ではまず、支流におけるカジカの流程生息分布および各流程の生息個体数を説明する環境要因の抽出を目的とした。また千曲川の支流にはアカザ科の底生魚アカザ *Liobagrus reini* が生息し、カジカとともに水生昆虫を主要な餌資源とすることから、ニッチが近いこれら二種が同所的に生息する水域では、餌資源や生息場所利用をめぐる競争関係が生じている可能性が想定される。そこで本年度は、二種の食性における比較生態調査を通じて、二種が持つ食性のニッチ幅と餌料生物の選択性を明らかにすることにより、二種の共存を支える生息環境を保全するうえで不可欠な情報を得ることも目的とした。

材料と方法

カジカとアカザの流程分布 カジカとアカザの採集は、長野県特別採捕許可を受けてアユ漁解禁前の2008年と2009年6月に千曲川支流の依田川、神川、浦野川の3支川の流程(下流、中流、上流)で電気ショッカー(Smith-Root社製、直流200ボルト)を用いておこない、アカザとカジカの生息状況を調査し、二種の出現状況から、カジカ単独域、カジカ・アカザ混生域、アカザ単独域の3パターンに区分した。また各調査地1時間当りのカジカ捕獲個体数を生息個体数の指標とし、その説明変数として(1)アカザの生息(無:0, 有:1)、(2)水温(°C)、(3)pH、(4)水深(cm)、(5)底層流速(cm/秒)、(6)川幅(m)、(7)河床の礫サイズ(cm)、(8)水生昆虫現存量(g/m²)の8つの物理・生物的環境要因を用いてステップワイズ法による重回帰分析をおこなった。

餌料選択性 カジカ・アカザとも底生の水生昆虫を主食とする底生魚である(水野・御勢, 1972; 名越・村上, 1980; 片野ほか, 2006)。そこで両種にとって餌資源として利用可能とみなされる底生動物の現存量を明らかにするため、各調査地の流心部でサーバーネット(間口:25cm×25cm、網目0.2mm、網

の長さ1 m) を用いて河床 (25cm×25cm : 0.125 m²) の底生動物を採集した。底生動物の採集は1 調査地あたり3 回おこない (計 0.375 m²)、1 m²に換算した値を、カジカとアカザにとって潜在的に利用可能な餌資源密度とした。

採集した底生動物は実体顕微鏡下で川合・谷田 (2005) の検索図説を用いて、科レベルまで同定した。カジカ単独域とカジカ・アカザ混生域における水生昆虫相および食性の類似度を Schoener の重複度指数 (S : Schoener, 1970) を用いて評価した。S は以下の公式によって求めた。

$$S = 1 - 0.5 (\sum |P_{xi} - P_{yi}|)$$

P_{xi} は調査地におけるカジカの胃内容物カテゴリー (科) i の占める比率を、 P_{yi} は調査地におけるアカザの胃内容物カテゴリー (科) i の占める比率をそれぞれ示す。この指標は 0.0 から 1.0 の範囲内を変異し、値が 0.60 を超える場合、有意な重複度を示すものとした。

次に二種の食性のニッチ幅の大きさを、Levins (1968) の食性多様度指数 (B) を用いて評価した。

$$B = 1/\sum (P_j^2)$$

P_j は餌生物全カテゴリー (科) のうち、カテゴリー (科) j の占める比率を示す。

また各調査地の水生昆虫相と、カジカ・アカザの胃内容物の餌生物の出現比率の比較から、Chesson (1978) の選択性指数 α を用いて餌料選択性の評価をおこなった。 α は以下の公式によって求めた。

$$\alpha_i = \frac{ri / pi}{\sum (ri / pi)}$$

式中の ri はカジカ (アカザ) の胃内容物中に占めるある餌生物 i (科) の割合を、 pi は底生動物中に占める餌生物 i (科) の割合を示す。 α の値が、カジカ (アカザ) が環境中に存在する底生動物の科のグループをランダムに摂餌したと仮定した値 ($=1/n$, n は底生動物のグループ数を示す) よりも大きい場合、正の選択性があることを示す。

モルフォメトリー 2009年6月に千曲川支流の神川と依田川のアカザ混生域 (下流域) およびカジカ単独域 (中流域) から採取した個体について、モルフォメトリー法を用いて、アカザ生息の有無がカジカの外部形態上の変異性に及ぼす影響を検証した。外部形態形質として、魚体に設けた15 定点間の距離をつないだ27 ヲ所の計量形質を測定し、各計測形質を標準体長で除すことで標準化した (写真1)。

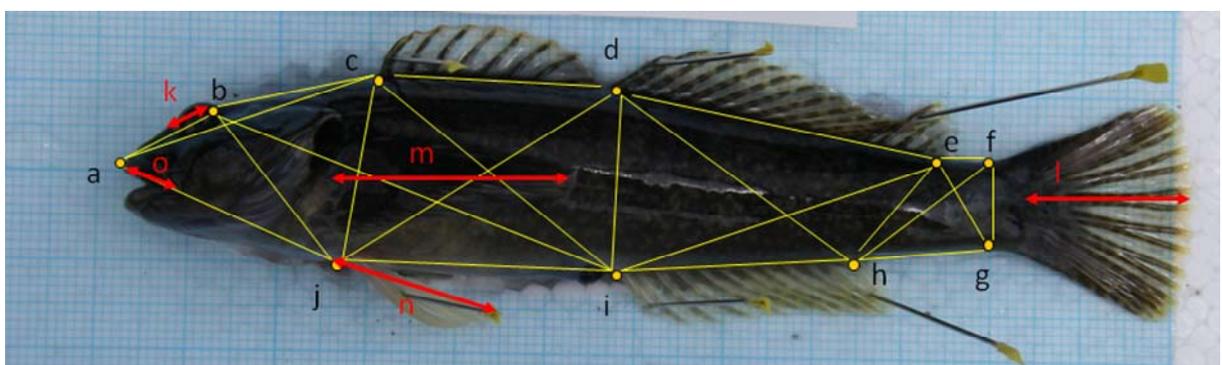
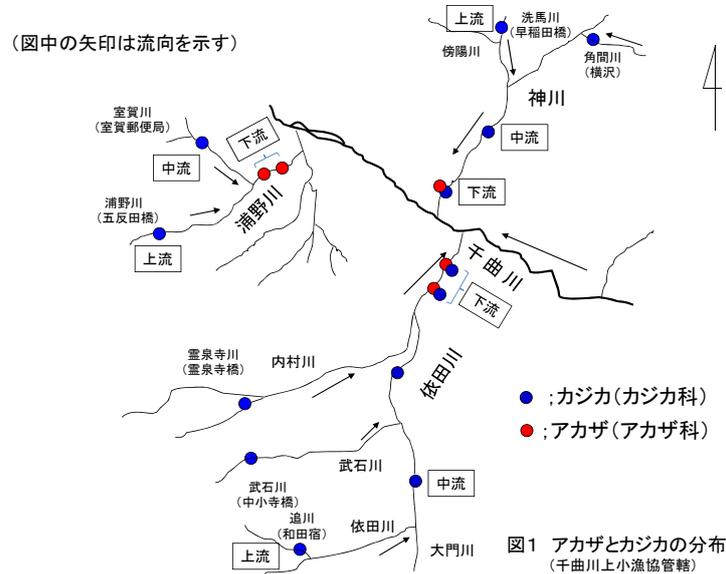


写真1 モルフォメトリー手法のための27測定部位

結果

カジカとアカザの流程分布 3支流のうち神川と依田川では、下流域でカジカとアカザの両種が採集され（カジカ・アカザ混生域）、中流域と上流域ではカジカのみが採集された。浦野川では、下流域でアカザのみが、中流域と上流域ではカジカのみが採集され、両種の混生域は存在しなかった（図1）。



重回帰分析に用いた8つの物理・生物的環境要因のうち、アカザの生息がカジカの生息個体数に有意な負の影響（標準化係数 $\beta = -0.664$, $p = 0.026$ ）を及ぼしていた。また、カジカやアカザにとって主要な餌資源であると考えられる水生昆虫の現存量 (g/m^2) は、アカザ生息域（3地点、うち1地点はアカザのみ生息）の方がカジカ単独域（既存データ含めた全9地点）よりも有意に大きかった（Mann-Whitney U-test, $p = 0.012$ ）。

水生昆虫相の重複度 調査地点間での水生昆虫相の重複度指数を表1に示す。水生昆虫の重複度の平均値は、同一河川、同一流程（例：異なる河川の上流同士）、その他の3群間で有意差はなかった（一元配置分散分析, $F_{2,35} = 2.18$, $p = 0.129$ ）。しかしアカザ・アカザ混生域同士の重複度指数の平均値（浦野川のアカザ単独域も含めた: 0.72 ± 0.04 SD, $n = 3$ ）は、カジカ単独域 (0.40 ± 0.15 SD, $n = 15$) よりも有意に高く (t -test 両側, $p = 0.004$)、ともにカジカ・アカザ混生域である依田川下流と神川下流との重複度は0.74と高い値を示し、カジカ・アカザ混生域とアカザ単独域の組み合わせでも同等またはそれに次ぐ高い有意な値を示した（神川下流 v.s. 浦野川下流: 0.74, 依田川下流 v.s. 浦野川下流: 0.67）。

表1 調査地間の水生昆虫相の重複度指数 (Schoener's overlap index: S)

		依田川			神川			浦野川		
		下	中	上	下	中	上	下	中	上
依田川	下									
	中	0.45								
	上	0.45	0.68							
神川	下	0.74	0.36	0.35						
	中	0.63	0.45	0.49	0.65					
	上	0.31	0.29	0.30	0.27	0.49				
浦野川	下	0.67	0.42	0.40	0.74	0.66	0.31			
	中	0.40	0.28	0.25	0.40	0.44	0.35	0.35		
	上	0.37	0.30	0.27	0.33	0.47	0.77	0.39	0.36	

黄色枠はともにアカザとカジカが同所的に分布している調査地の組み合わせを示す

青文字:ともにカジカ単独域, 黒文字:カジカ単独域×アカザ混生域, 赤文字:ともにアカザ混生域

食性の重複度 カジカ食性の重複度の平均値は、同一河川、同一流程、その他の3群間で有意差はなかった（一元配置分散分析, $F_{2,27}=1.80$, $p=0.187$ ）が、カジカ・アカザ混生域同士の組み合わせである神川下流と依田川下流のカジカ食性の重複度は0.65と高い有意な値を示した（表2）。

		依田川			神川			浦野川		
		下	中	上	下	中	上	下	中	上
依田川	下									
	中	0.33								
	上	0.21	0.52							
神川	下	0.65	0.38	0.33						
	中	0.37	0.46	0.33	0.44					
	上	0.16	0.45	0.68	0.32	0.57				
浦野川	下	-	-	-	-	-	-			
	中	0.30	0.56	0.39	0.40	0.69	0.67	-		
	上	0.31	0.37	0.26	0.39	0.80	0.46	-	0.60	

青文字:ともにカジカ単独域, 黒文字:カジカ単独域×アカザ混生域, 赤文字:ともにアカザ混生域
太字はS > 0.6 を示す

カジカ・アカザが同所的に混生する調査域でのカジカとアカザの食性の重複度の平均値 (0.55 ± 0.113 SD, $n=2$) は、その他の群の平均値 (0.34 ± 0.14 SD, $n=22$) よりも有意に高く (t -test 両側, $p=0.049$)、なかでもカジカとアカザが同所的に生息する神川下流での両種の食性の重複度指数は、0.63と最も高い有意な値を示した（表3）。

				アカザ								
				依田川			神川			浦野川		
				下	中	上	下	中	上	下	中	上
カジカ	依田川	下	0.47		-	0.43	-	-	0.31	-	-	
		中	0.35	-	-	0.36	-	-	0.17	-	-	
		上	0.33	-	-	0.37	-	-	0.12	-	-	
	神川	下	0.59	-	-	0.63	-	-	0.27	-	-	
		中	0.50	-	-	0.38	-	-	0.17	-	-	
		上	0.42	-	-	0.38	-	-	0.11	-	-	
	浦野川	下	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		中	0.52	-	-	0.39	-	-	0.11	-	-	
		上	0.51	-	-	0.39	-	-	0.18	-	-	

黄色枠はともにアカザとカジカが同所的に分布している調査地の組み合わせを示す
黒文字:カジカ単独域×アカザ混生域, 赤文字:ともにアカザ混生域, 太字はS > 0.6 を示す

ニッチ幅と餌料選択性 カジカ（カジカ単独域、アカザ混生域）とアカザの3群間での食性ニッチ幅には有意差があり（Kruskal-Wallis test, $p=0.021$ ）、カジカの食性のニッチ幅はアカザ混生域の方がカジカ単独域よりも若干広い傾向が見られた（図2）。

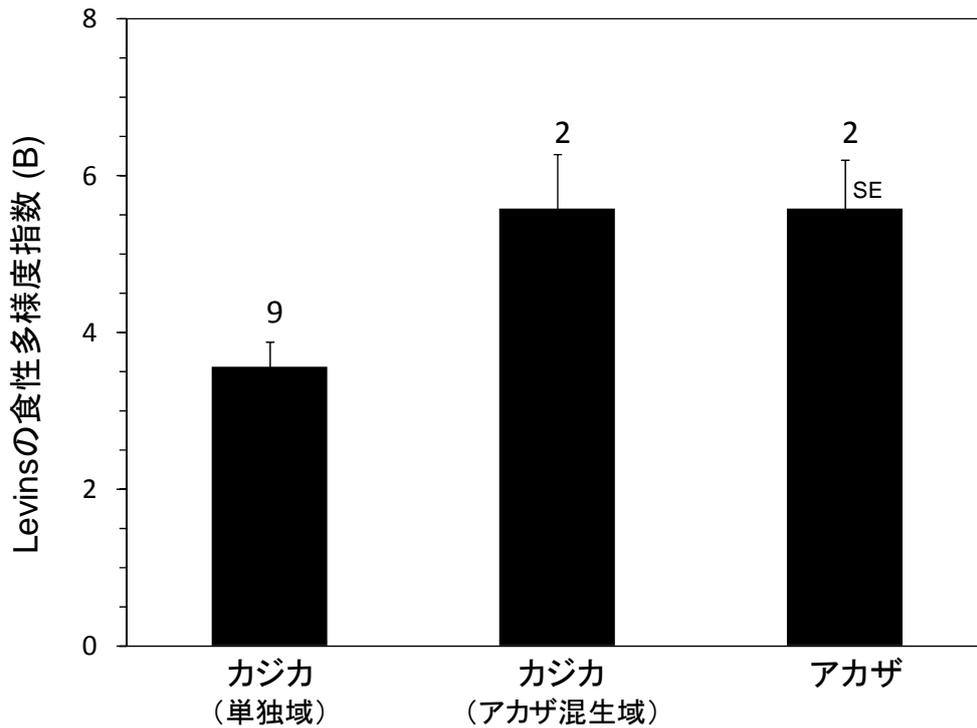


図2 異なる分布様式間での食性ニッチ幅の比較

カジカ・アカザ混生域である神川下流では、二種間で有意に高い食性重複度 (0.63, 表 3) を示すが、主要な餌生物に対する選択性指数に着目すると、ヒラタカゲロウ科、コカゲロウ科、ガガンボ科の3科では、正の選択性を示す個体の比率が有意に異なり、ヒラタカゲロウ科はカジカに、コカゲロウ科とガガンボ科はアカザに有意に頻繁に利用されていた (図3)。

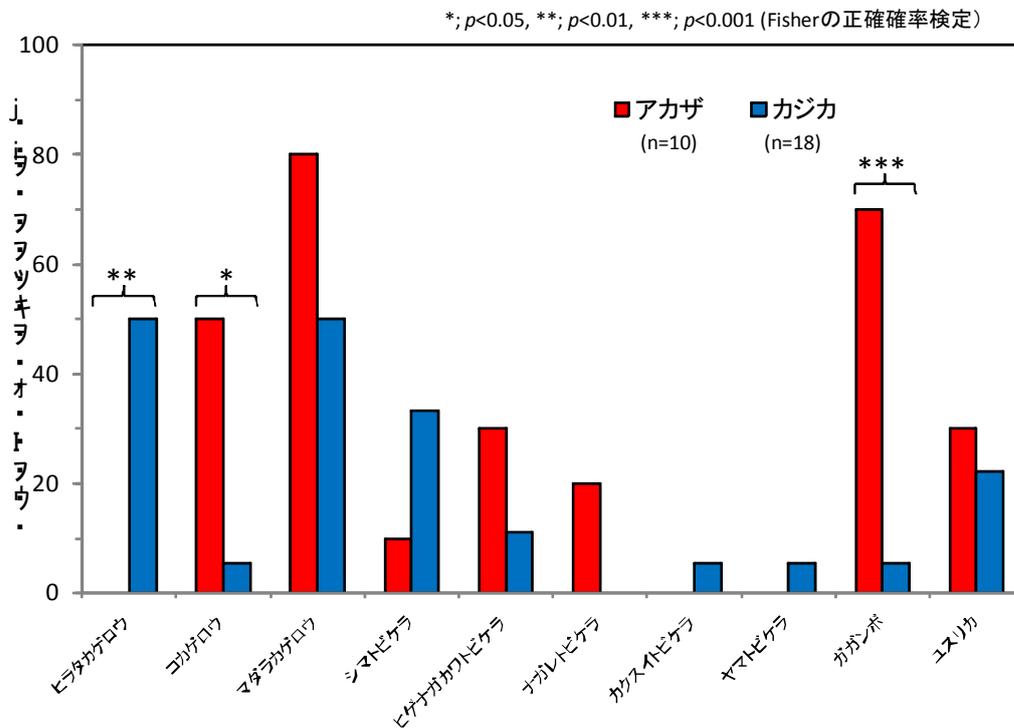


図3 同所的に生息するアカザとカジカの餌料選択性の比較 (神川下流)

モルフォメトリー 主成分分析 (Kaiser の正規化を伴わない VARIMAX 回転) の結果、神川のカジカでは 27 の計量形質は 7 主成分に分配され、はじめの 4 主成分 (PC1~PC4) で全分散の 50.1% が説明され、PC1 では o (上顎長) と fg (尾柄高) が、PC3 では fh (尾柄長) が高い正の主成分負荷量を示した (表 4)。4 主成分のうち、PC1 と PC3 のスコアは、アカザ混生域□カジカ単独域間で有意差が認められ、PC1 ではカジカ単独域 ($-0.42 \pm 0.79SD$, $n=21$) の方がアカザ混生域 ($0.43 \pm 1.03 SD$, $n=20$) よりも有意に小さかった (t -test 両側, $p=0.005$)。いっぽう PC3 は、カジカ単独域 ($0.33 \pm 0.99 SD$, $n=21$) の方がアカザ混生域 ($-0.35 \pm 0.91 SD$, $n=20$) よりも有意に大きかった (t -test 両側, $p=0.027$)。

表4 神川下流と中流(アカザ混生域VSカジカ単独域)の個体間での				
外部形態上の変異の主成分(PC1~PC4, VARIMAX回転後)				
	PC1	PC2	PC3	PC4
固有値	4.331	3.779	2.756	2.649
累積寄与率(%)	16.0	30.0	40.2	50.1
ab	0.237	0.608	-0.181	0.153
bc	0.516	0.410	0.012	-0.042
cd	0.195	0.143	0.118	0.320
de	0.263	-0.222	-0.600	-0.252
ef	-0.688	-0.166	0.354	0.242
cj	0.626	-0.243	0.535	0.081
ci	-0.382	-0.175	0.606	0.230
dj	0.503	-0.541	-0.281	-0.032
di	-0.349	0.574	0.111	-0.049
dh	0.420	0.461	0.321	-0.305
ei	0.275	0.341	0.451	-0.447
eh	-0.100	0.605	0.478	-0.442
eg	0.381	0.708	-0.232	0.087
fg	0.798	0.165	0.214	0.205
gh	-0.444	0.318	0.328	0.080
hi	0.544	0.250	0.071	0.477
ij	0.528	0.020	0.704	-0.170
ja	0.383	-0.548	-0.109	-0.376
bj	0.624	-0.492	-0.093	-0.034
bi	0.599	-0.300	0.366	0.197
ca	0.275	-0.236	0.641	0.221
fh	0.056	-0.273	0.798	0.122
o	0.854	0.045	-0.261	0.061
k	0.087	0.253	0.232	-0.540
n	0.516	0.483	-0.387	0.254
m	0.047	0.601	-0.084	0.035
l	-0.203	0.373	0.002	0.452

主成分負荷量の絶対値が0.75以上の部位を太字イタリックで示す

依田川では、27の計量形質は8主成分に分配され、はじめの4主成分(PC1~PC4)で全分散の49.0%が説明され、PC1ではcj(第一背鰭先端部位の体高)、ij(第一背鰭部位の体躯の長さ)、fg(尾柄高)の順に高い正の主成分負荷量を示した(表5)。4主成分のうち、PC1のスコアではアカザ混生域-カジカ単独域間で有意差が認められ、PC1ではカジカ単独域(-1.30±0.49 SD, n=20)の方がアカザ混生域(0.80±0.78 SD, n=3)よりも有意に小さかった(t-test 両側, p=0.01)。

	PC1	PC2	PC3	PC4
固有値	5.018	2.845	2.722	2.633
累積寄与率(%)	18.6	29.1	39.2	49.0
ab	0.076	0.240	0.039	0.406
bc	0.061	0.024	0.827	0.126
cd	-0.081	-0.167	-0.239	-0.835
de	0.407	-0.034	-0.635	0.282
ef	0.200	-0.471	0.264	0.176
cj	0.902	-0.155	0.061	-0.010
ci	-0.004	-0.837	0.188	0.135
dj	0.501	0.177	-0.141	0.109
di	-0.217	0.344	0.012	0.058
dh	-0.073	-0.007	-0.002	0.162
ei	-0.227	-0.216	0.349	0.351
eh	-0.146	-0.054	0.308	0.036
eg	0.073	0.631	0.542	0.198
fg	0.860	0.128	0.048	-0.305
gh	0.249	-0.168	-0.010	-0.440
hi	0.272	0.197	0.122	-0.797
ij	0.865	-0.149	0.034	-0.096
ja	0.715	0.216	-0.356	0.094
bj	0.699	0.155	-0.133	0.127
bi	0.412	0.081	0.411	0.414
ca	0.762	-0.171	0.215	0.033
fh	0.224	-0.546	0.702	0.156
o	0.358	0.407	0.179	-0.204
k	0.156	-0.061	0.001	-0.358
n	-0.057	0.724	0.085	0.270
m	-0.030	0.036	-0.165	0.154
l	-0.143	0.083	0.022	0.022

主成分負荷量の絶対値が0.75以上の部位を太字イタリックで示す

カジカ・アカザ混生域である神川と依田川の下流では、カジカの27の計量形質は8主成分に分配され、はじめの4主成分(PC1~PC4)で全分散の52.3%が説明され、PC1ではfh、ef(ともに尾柄長)、ci(第一背鰭先端~臀鰭先端長さ)、PC2ではhi(臀鰭基底長)、fg(尾柄高)の順に高い正の主成分負荷量を示した(表6)が、4主成分のスコアとも河川間では有意差が認められなかった(*t*-test 両側, $p > 0.05$)。

	PC1	PC2	PC3	PC4
固有値	4.462	3.466	3.171	3.021
累積寄与率(%)	16.5	29.4	41.1	52.3
ab	-0.321	0.052	0.266	0.529
bc	0.022	0.005	0.302	0.019
cd	0.068	0.146	-0.252	0.129
de	-0.645	-0.447	-0.157	-0.085
ef	0.831	-0.195	-0.244	0.139
cj	0.444	0.608	-0.203	0.076
ci	0.805	-0.030	0.122	-0.105
dj	-0.161	0.114	-0.237	-0.762
di	-0.124	0.468	0.091	0.727
dh	-0.218	0.164	0.783	0.365
ei	0.178	-0.128	0.854	0.101
eh	0.268	0.051	0.515	0.556
eg	-0.378	0.229	0.540	0.161
fg	-0.163	0.857	0.190	-0.087
gh	0.040	0.419	0.001	0.314
hi	-0.046	0.899	-0.092	0.084
ij	0.417	0.471	0.396	0.248
ja	-0.239	-0.017	-0.589	-0.315
bj	-0.215	0.029	-0.261	-0.751
bi	0.001	0.148	0.024	0.007
ca	0.535	0.433	-0.329	0.198
fh	0.832	0.079	0.275	0.106
o	-0.547	0.473	0.138	-0.364
k	0.135	-0.084	0.048	0.198
n	-0.677	0.238	-0.062	-0.017
m	0.058	0.074	0.125	0.118
l	0.046	0.232	0.006	0.132

主成分負荷量の絶対値が0.75以上の部位を太字イタリックで示す

カジカ単独域（神川中流と依田川中流）では、27の計量形質は8主成分に分配され、はじめの4主成分（PC1～PC4）で全分散の51.1%が説明され、PC1ではcj（第一背鰭先端部位の体高）、ij（腹鰭～臀鰭先端までの長さ）、ca（第一背鰭先端部位の体高）の順に、PC2ではeg（尾柄高）、bc（頭長の一部）、n（腹鰭長）の順に、PC3ではk（眼径）でそれぞれ高い正の主成分負荷量を示した（表7）。4主成分のうち、PC2とPC3のスコアの平均値には神川-依田川間で有意差が認められ、PC2では神川（ 0.20 ± 0.82 SD, $n=21$ ）の方が依田川（ -0.85 ± 0.75 SD, $n=20$ ）よりも有意に大きく（ t -test 両側, $p=0.001$ ）、PC3では逆に神川（ 0.33 ± 0.99 SD, $n=21$ ）よりも依田川（ 1.29 ± 0.56 SD, $n=20$ ）の方が有意に大きかった（ t -test 両側, $p=0.001$ ）。

	PC1	PC2	PC3	PC4
固有値	4.318	3.220	3.167	3.088
累積寄与率(%)	16.0	27.9	39.6	51.1
ab	0.218	0.387	0.496	-0.292
bc	0.285	0.815	-0.247	0.038
cd	0.097	-0.038	0.084	-0.093
de	0.167	-0.053	0.010	0.789
ef	0.137	-0.312	-0.639	-0.341
cj	0.845	0.216	0.205	0.212
ci	0.108	-0.295	-0.672	-0.295
dj	0.041	0.183	0.179	0.740
di	-0.308	-0.038	-0.073	-0.185
dh	0.054	0.102	0.551	0.112
ei	-0.016	0.287	-0.004	0.035
eh	-0.269	0.198	0.055	-0.119
eg	0.146	0.834	0.237	-0.072
fg	0.755	0.251	0.198	0.345
gh	0.060	-0.247	-0.219	-0.233
hi	0.264	0.323	-0.072	0.093
ij	0.790	0.081	0.244	0.273
ja	0.221	-0.058	0.235	0.887
bj	0.455	0.137	0.066	0.553
bi	0.762	0.125	-0.217	-0.063
ca	0.767	0.041	-0.139	0.040
fh	0.542	-0.116	-0.496	-0.269
o	0.417	0.600	0.263	0.251
k	0.109	-0.065	0.831	0.075
n	0.012	0.798	0.163	0.050
m	0.033	0.118	0.071	0.035
l	-0.197	0.079	-0.485	-0.071

主成分負荷量の絶対値が0.75以上の部位を太字イタリックで示す

考 察

重回帰分析の結果から、アカザの存在がカジカの生息個体数に有意な負の影響を及ぼしていることが示され、二種が同所的に生息する調査地での両者間の食性の重複度が極めて高いことから、餌資源をめぐる二種間の競合の可能性が示唆される。北海道に生息する同属のハナカジカ (*C. nozawae*) でも、その生息密度が餌資源をめぐる競合種であるフクドジョウ (*Noemacheilus barbatulus*) の生息密度と負の相関関係にあることが知られている (Inoue and Nunokawa, 2005)。このように系統的には必ずしも近縁ではないが、餌資源や生活場所をめぐる要求が大きく重複する種が同所的に生息する場合には、何らかの競合が生じている可能性があり、対象種の生息状況や個体群動態だけでなく、競合種の動向にも注意を向け、両種の共存を可能にする多様な生息環境の保全を進めることが重要と考えられる (片野・森, 2005)。

一般に、同所的に生息する二種の食性が重複する場合、種間競争が生じていると考えられ、時・空間的なすみ分けや食い分けなどによる資源分割の可能性が示唆される (中野・谷口, 1996; Tsuruta and Goto, 2007)。アカザ混生域におけるカジカの食性ニッチ幅は、カジカ単独域のそれよりも大きい傾向が見られ、アカザが同所的に生息する水域では、カジカはまず食性のニッチ幅を広くすることで、アカザとの餌資源をめぐる競合を軽減している可能性が示唆される。また、アカザとカジカが同所的に生息する神川下流では、二種間の食性の重複度は高かった (0.63) が、主要な餌生物に対する選択性指数に着目すると、カゲロウ目のヒラタカゲロウ科とコカゲロウ科、および双翅目ガガンボ科の3科では、正の選択性を示す個体の比率が有意に異なり、ヒラタカゲロウ科はカジカに、コカゲロウ科とガガンボ科はアカザにそれぞれ有意に頻繁に利用されていた。カジカは河床の礫を摂餌場所として利用する待ち伏せ型の摂餌様式を持つ (Natsumeda, 2007) ため、河床の礫などの平滑な基質表面を滑るように素早く移動する滑行型のヒラタカゲロウ科を捕食し易いことが示唆される。それに対してアカザ個体が正の選択性を示したガガンボ科は、砂礫などの細かい河床材料に掘潜する (竹門, 2005) ため、カジカ・アカザ間で見られた餌生物に対する選択性の種間差異は、二種間での底質の微小生息場所利用様式や索餌モードの相違を反映している可能性があり、今後更なる検証が必要である。

また種間競争は形質置換に代表される、餌を捕えるための器官が特殊化した種内多型などの外部形態上の進化をもたらし、結果的に魚類群集における複数種の共存を可能にすることが指摘されている (Kido, 1997; Svanbäck et al., 2008)。神川のカジカのマルフォメトリーの結果から、水生昆虫相の重複度が高い (0.65) 神川のアカザ混生域-カジカ単独域間では PC1 と PC3 のスコアに有意差が見られ、PC1 の上顎長で高い正の主成分負荷量を示すことから、摂食と関連する形態形質を反映していることが示唆される。いっぽう水生昆虫相の重複度が比較的低い (0.45) 依田川のアカザ混生域 - カジカ単独域間や、アカザ混生域同士 (神川下流-依田川下流)、カジカ単独域同士 (神川中流-依田川中流) では、摂食と関連した同様の形態的変異の発現は不明瞭であることから、神川のアカザ混生域-カジカ単独域間で見られる外部形態上の変異は、近い食性ニッチを持つアカザの存在を媒介した、摂食に関連した形態変異の可能性が示唆される。またカジカ単独域間で見られた PC2 (尾柄高、頭長の一部、腹鰭長) は、体形のずんぐり度を表しており、この主成分スコアは底層流速が小さい神川の方が高い (神川: 35.6 cm/秒 ± 31.0 SD, 依田川: 50.0 cm/秒 ± 35.1 SD) ことから、生息環境の流速と対応した外部形態上の可塑性を反映していると考えられる (橿田ほ, 2009b; Haas et al., 2010)。

今年度のカジカとアカザの生態調査で得られた一連の成果は、進化的なプロセスを通じて形成された二種の地域適応 (local adaptation) の一端 (Adalberto and Kapoor, 2003) を反映していると考えられる。このような背景をもつ希少種の生息環境の保全は、内水面漁場環境や、ひいては水域の生物多様性の保全にも通じる重要な道標となることが期待される。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、上小漁業協同組合には終始、多大なご協力を頂いた。中央水産研究所内水面研究部の武島弘彦博士 (現: 東大大気海洋研究所)、および鶴田哲也、安房田智司両博士からは、現地調査やデータ解析に大きなご助力を頂いた。以上の方々に厚く御礼申しあげます。

引用論文

- Adalberto LV, Kapoor BG (2003). Fish adaptations. Science Publishers, Inc., Plymouth.
- Chesson J (1978). Measuring preference in selective predation. *Ecology*, 59:211-215.
- 後藤 晃 (1987). 淡水カジカ類の分布と種分化. 「日本の淡水魚類 その分布、変異、種分化をめぐって」 (水野信彦・後藤 晃編) 東海大学出版会、東京、156-166.
- Haas TC, Blum MJ, Heins DC (2010). Morphological responses of a stream fish to water impoundment. *Biol Lett*, 6: 803-806.
- Inoue M, Nunokawa M (2005). Spatial variation in density of stream benthic fishes in northern Hokkaido, Japan: does riparian vegetation affect fish density via food availability? *Limnology* 6: 7-14.
- 片野 修・森 誠一 (編) (2005). 希少淡水魚の現在と未来 ー積極的保全のシナリオー. 信山社, 東京.
- 片野 修・中村智幸・阿部信一郎 (2006). 長野県浦野川におけるアカザの胃内容物. *水産増殖*, 54: 225-226.
- 川合禎次・谷田一三 編 (2005). 日本産水生昆虫一科・属・種への検索. 東海大学出版会, 東京.
- Kido MH (1997). Food relations between coexisting native Hawaiian stream fishes. *Environ Biol Fish*, 49: 481-494.
- Levins R (1968). Evolution in changing environments. Princeton University Press, Princeton.
- 水野信彦・御勢久右衛門 (1972). 河川の生態学. 築地書館, 東京.
- 名越 誠・村上俊明 (1980). 平倉川のカジカ (*Cottus hilgendorfi*) の生息量と食性. 三重大学水産学部研究報告, 7: 29-44.
- 中野 繁・谷口義則 (1996). 淡水性サケ科魚類における種間競争と異種共存機構. *魚類学雑誌*, 43: 59-78.
- Natsumeda T (2007). Estimates of nocturnal home-range size of the adult Japanese fluvial sculpin, *Cottus pollux* (Pisces: Cottidae) in relation to bottom topography and sampling intervals. *J Ethol*, 25: 87-93.
- 棗田孝晴・鶴田哲也・武島弘彦・井口恵一朗 (2009a). 千曲川上流域におけるカジカ大卵型の食性と餌料選択性. 第28回日本動物行動学会講演要旨集.
- 棗田孝晴・鶴田哲也・武島弘彦・井口恵一朗 (2009b) カジカ大卵型における外部形態変異と生息環境の関係. 日本魚類学会年会発表講演要旨集.
- 棗田孝晴・武島弘彦・鶴田哲也・河村功一・井口恵一朗 (2010). ミトコンドリア DNA 塩基配列データに基づく千曲川水系のカジカ大卵型の遺伝的集団構造. 第57回日本生態学会大会講演要旨集.
- Schoener TW (1970). Nonsynchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats. *Ecology*, 51: 408-418.
- Svanbäck R, Eklöv P, Fransson R, Holmgren K (2008). Intraspecific competition drives multiple species resource polymorphism in fish communities. *Oikos*, 117: 114-124.
- 竹門康弘 (2005). 底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系評価. *日本生態学会誌*, 55(1), 189-197.
- Tsuruta T and Goto A (2007). Resource partitioning and asymmetric competition between sympatric freshwater and Omono types of ninespine stickleback, *Pungitius pungitius*. *Can J Zool*, 85: 159-168.