

「生息環境の変動に応じたカワシジユガイの個体群動態」

生態環境科学専攻 環境情報医学講座

博士後期課程 1 年 秋山 吉寛 (指導教官: 岩熊 敏夫)

1. 背景と目的

北半球に広く生息するカワシジユガイ科貝類は世界各地で減少傾向にある。若い個体が存在せず、大型個体みの個体群が増加していることから、母貝の繁殖能力や生活史初期段階に何らかの原因があると思われる。国内に生息するカワシジユガイ (*Margaritifera laevis*) の減少については、流域の開発による環境変化が関係していると考えられており、この意見を支持するいくつかの現象が知られているが、直接的な証拠は存在しない。本研究では母貝の繁殖能力と関係がある成長速度と最大殻長を的確に表すための手法を確立することと、カワシジユガイの生息地点と絶滅地点の生物地理学的環境の違いを示し、カワシジユガイの個体群縮小に影響を与えていると考えられる環境要因を特定することを目的とする。

2. 研究方法

成長速度・最大殻長の推定法の確立

当てはまりの良い推定法を特定するため、成長曲線が太くて計数しやすい尻別川産のカワシジユガイ 79 個体を用いた。靱帯欠損部の長さから殻長を導く式 (1 次式または 2 次式) を仮定して殻長を求める。得られた殻長の値を飽和型成長曲線の逆関数に代入し、欠損部分の年齢を推定する式を作る (パラメータは 3-5 個)。このとき、各パラメータは非線形最小 2 乗法で決定する。できあがった式から推定された年齢と、現存する靱帯切断面上の成長線数を足して全体の年齢とし、得られた年齢を再び飽和型成長曲線に代入してパラメータ (最大殻長、成長速度係数) を非線形最小 2 乗法を用いて推定する。

この作業を靱帯欠損部の長さから殻長を導くための式 3 種類 ($L=bX$ 、 $L=bX+c$ 、 $L=aX^2+bX+c$ 、 L : 殻長、 X : 靱帯欠損部の長さ、 $a \cdot b \cdot c$: 係数) と、飽和型成長曲線式 4 種類 (1st order hyperbolic: $L=a_1 \times a_2 Y / (a_2 \times Y + 1)$ 、Exponential saturation: $L=a_1(1-\exp(-a_2 \times Y))$ 、Hyperbolic tangent: $L=a_1 \times \tanh(a_2 \times Y)$ 、von Bertalanffy: $L=a_1(1-\exp(-a_2(Y-a_0)))$ 、 L : 殻長、 Y : 年齢、 $a_0 \cdot a_1 \cdot a_2$: 係数) の組み合わせで検討し、最も自由度修正済み残差平方和が最小になる式の組み合わせを選択する。さらに、最も当てはまりの良かった式の組み合わせで尻別川、イベシベツ川、千歳川、泊内川、ポンオンネベツ川の成長速度係数と最大殻長を求めた。

生息地点と絶滅地点の生物地理学的環境の比較

北海道・本州各地でのカワシジユガイの採集と文献によって、過去 26 年間に生息が確認された地点の記録をおこなった。同時に、文献や聞き取り調査により既に絶滅したとされる地点を記録した。そして、各地点の気象データとして気象庁の 1979 年から 2004 年までの各地点の平均気温、最高気温、最低気温、年間平均降水量、最大日降水量、最大 1 時間降水量、年間日照時間の平均値データを用いた。なお、気温は生息地と観測所の標高差 100m につき 0.8 を補正した。さらに地理データとして国土地理院の平成 11 年度版 1/25,000 地形図を用いて緯度、経度、標高、各地点下流の堰堤の数、河川の次数、河川勾配を計測して用いた。これらの環境データを生息地点群と絶滅地点群に分け、2 群の差の検定で傾向の異なる環境要因を選択した。さらに有意差が認められた環境要因を説明変数として主成分分析をおこなった。

3. 結果と考察

成長速度・最大殻長の推定法の確立

カワシジユガイの成長に最も当てはまりの良い式の組み合わせは、 $L=bX+c$ と Hyperbolic tangent equation であった (表 1)。Hyperbolic tangent equation は植物プランクトンの光合成曲線に良く当てはまる。また、推定される各個体群の最大殻長と成長速度係数を表 2 に示す。ポンオンネベツ川では求めるパラメータの数値が収束しなかった。各河川の最大殻長、成長速度係数は両方ともに異なっていた。最大殻長は尻別川で最も長く、泊内川で最も短かった。また、成長速度係数が最も大きかったのは尻別川で、最も小さかったのはイベシベツ川である。この結果は、各個体群の繁殖能力に差があることを示している。

生息地点と絶滅地点の生物地理学的環境の比較

生物地理学的環境を比較するため、国内でカワシジユガイが生息している北海道と本州から生息地 41 地点、絶滅地 10 地点を対象にした (図 1)。絶滅地点は日本海側と太平洋側の各南限域に集中しており、北部で

も北海道に2箇所みられる。生息地点と絶滅地点の環境を比較したところ、全13項目中、11項目で有意な差がみられた(表3)。特に危険率1%未満で有意な差がみられた緯度、経度、標高、平均気温、最低気温、最高気温、最大1時間降水量のうち、最大1時間降水量を除くすべての要因は温度と関係のあるパラメータであった。標高以外の環境要因は生息地点よりも絶滅地点の気温が高いことを示した。温度とカワシンジュガイの分布との関係を見るため、緯度と標高のグラフを作ったところ、日本海側南限域に分布している絶滅地点と生息地点の間に温度による境界が引ける(図2)。このことから、南限域は温度によって分布が制限されていると考えられる。また、標高だけが他の要因とは異なり、気温の低い場所では絶滅地点が多くなる結果が得られたが、図2をみると、南部では標高の高い位置に生息・絶滅地点が多くみられることから、このような結果になったのだろう。

次に生息地点と絶滅地点で有意な差が認められた環境要因を説明変数として主成分分析をおこなった(図3)。第1主成分のプラス側へ偏るほど降水量、気温、河川勾配、標高、堰堤数の値が増加する。これらはすべてカワシンジュガイの絶滅地点の環境傾向を示す。また、マイナス側へ偏るほど緯度、経度の値が増加する。よって、第1主成分のプラス側に偏るほど絶滅しやすく、マイナス側では絶滅しにくいことを示す。第2主成分のプラス側は標高、河川勾配、堰堤の数の値がそれぞれ上昇し、マイナス側は降水量、経度、気温の値がそれぞれ増加する。日本海側南限域、太平洋側南限域付近の絶滅地点は右下に集中したことから、両南限域の環境は似たような傾向を示していた。北海道の絶滅地点2箇所は左上にあり、南限域付近と異なる環境を示した。このことから、北海道では今回対象としていない環境要因がカワシンジュガイを絶滅させたと考えられる。日本海側南限域付近(広島県、岡山県)でいまだにカワシンジュガイが生息している地点は絶滅地点と環境の傾向が異なっており、南限域付近でも環境が整っていればカワシンジュガイの生息が可能である。それとは逆に、岐阜県大和町のように南限域から遠い生息地であっても環境の傾向が絶滅地点と似ている場合は絶滅する可能性が高いと思われる。現に、近年再生産がおこなわれていない生息地点の頻度は第1主成分のプラス側で高い。

絶滅地点で有意に値が大きかった環境要因について、次のような影響を与えることが知られている。水温の上昇は宿主の上流への移動を促す〔1〕ことから、幼生が宿主に寄生できなくなる。また降水量の増加は母貝の斃死〔2〕やグロキディウム幼生の着底の増加〔3〕を引き起こす。河川勾配が3°を超えるとカワシンジュガイは生息できず〔4〕、堰堤の下流部に生息するカワシンジュガイは繁殖しないことが知られている〔5〕。以上のことから、カワシンジュガイの生息地は気温や降水量、河川勾配、標高、堰堤の数、緯度、経度などの環境条件によって制限されていると考えられる。

4. 参考文献

- 〔1〕 Nakano, S., F. Kitano and K. Maekawa. 1996. Potential fragmentation and loss of thermal habitats for charrs in the Japanese Archipelago due to climatic warming. *Freshwater biology*, 36: 711-722.
- 〔2〕 Hastie, L. C., P. J. Boon, M. R. Young and S. Way. 2001 The effects of a major flood on an endangered freshwater mussel population. *Biological conservation*, 98(1): 107-115.
- 〔3〕 Hastie, L. C., P. J. Cosgrove, N. Ellis and M. J. Gaywood 2003. The threat of climate change to freshwater pearl mussel populations. *Ambio*, 32(1): 40-46.
- 〔4〕 木場一夫 1937. 青森県に産するカワシンジュガヒ. *Venus*, 7(3): 157-158.
- 〔5〕 粟倉輝彦 1969. カワシンジュガイの年齢組成とサケ科魚類の資源変動との相関性について. *水産孵化場研究報告*. 24: 55-87.

表1 各漸近式と韌帯から殻長を導く各関数によって得られた自由度補正済み残差平方和

	Equation	L=bx	L=c+bX	L=c+bX+aX ²
1st order hyperbolic	$L=a_1 a_2 X / (a_2 X + 1)$	58.81	33.85	26.33
Exponential	$y=a_1(1-\exp(-a_2 X))$	50.72	25.08	23.61
Hyperbolic tangent	$y=a_1 \tanh(a_2 X)$	37.06	21.95	21.99
von Bertalanffy	$y=a_1(1-\exp(-a_2(X-a_0)))$	24.52	25.31	23.93

L₁, y: 殻長 ai: パラメータ

表2 韌帯欠損部の長さから殻長を推定する式として1次式 $L=b+cX$ を用い、飽和型成長曲線式 (hyperbolic tangent equation 双曲線正接関数) の各河川データへのあてはめにより推定されたカワシンジュガイの最大殻長と成長速度係数 (\pm 標準誤差)。

	サンプル数	最大殻長 (mm)	成長速度係数 (year-1)
尻別川	79	116.4 \pm 2.0	0.113 \pm 0.007
イベシベツ川	156	68.1 \pm 2.6	0.036 \pm 0.007
千歳川	95	110.5 \pm 6.0	0.040 \pm 0.004
泊内川	87	64.4 \pm 1.3	0.083 \pm 0.011
ポンオンネベツ川	88	パラメータが収束せず推定できない	



図1 カワシンジュガイの分布

表3 生息地点、絶滅地点の生物地理学的環境の比較

環境要因	検定法	生息	絶滅
北緯**	U-test	高	低
東経**	U-test	高	低
標高**	Median test	低	高
平均気温**	U-test	低	高
最低気温**	U-test	低	高
最高気温**	Welch s t-test	低	高
最大1時間降水量**	U-test	少	多
年間降水量*	U-test	少	多
最大日降水量*	U-test	少	多
河川勾配*	U-test	緩	急
生息地下流の堰堤の数	U-test	少	多
河川の次数	U-test	ns	
年間日照時間	U-test	ns	

*: P<0.05, **: P<0.01

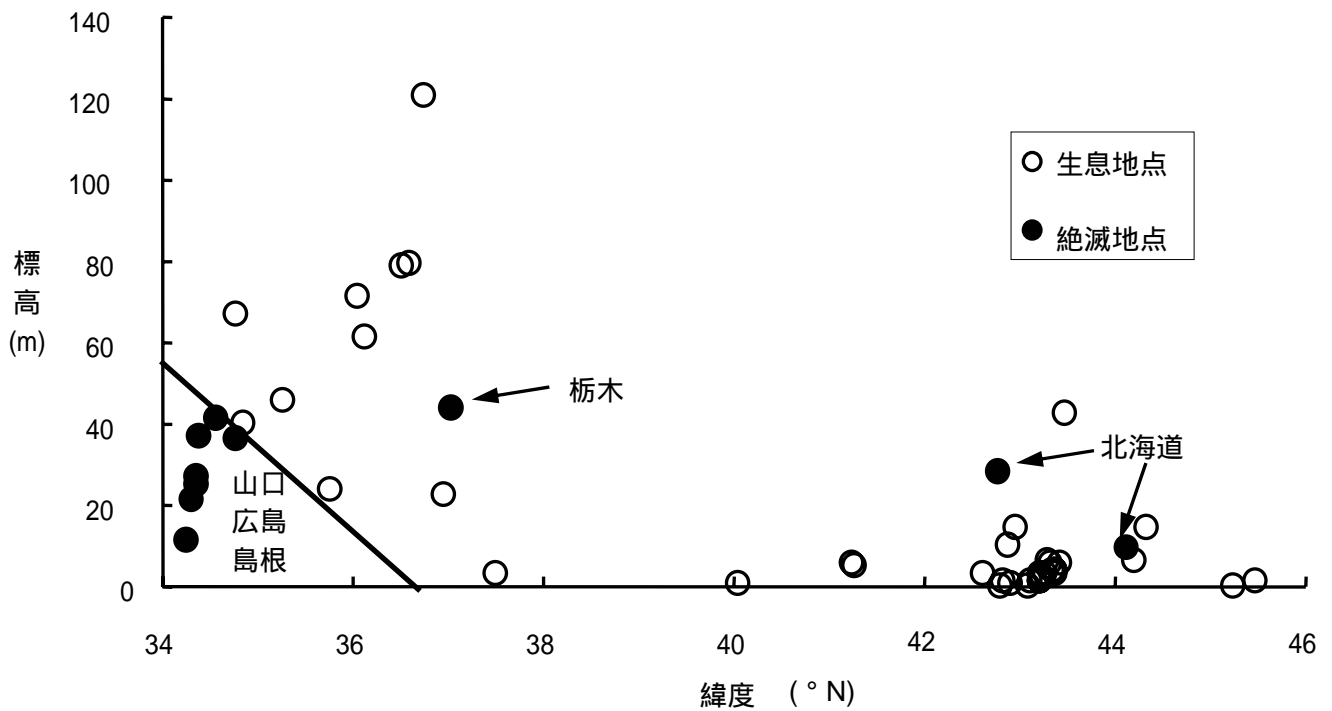


図2 カワシジユガイ生息・絶滅河川ごとの緯度と標高の関係

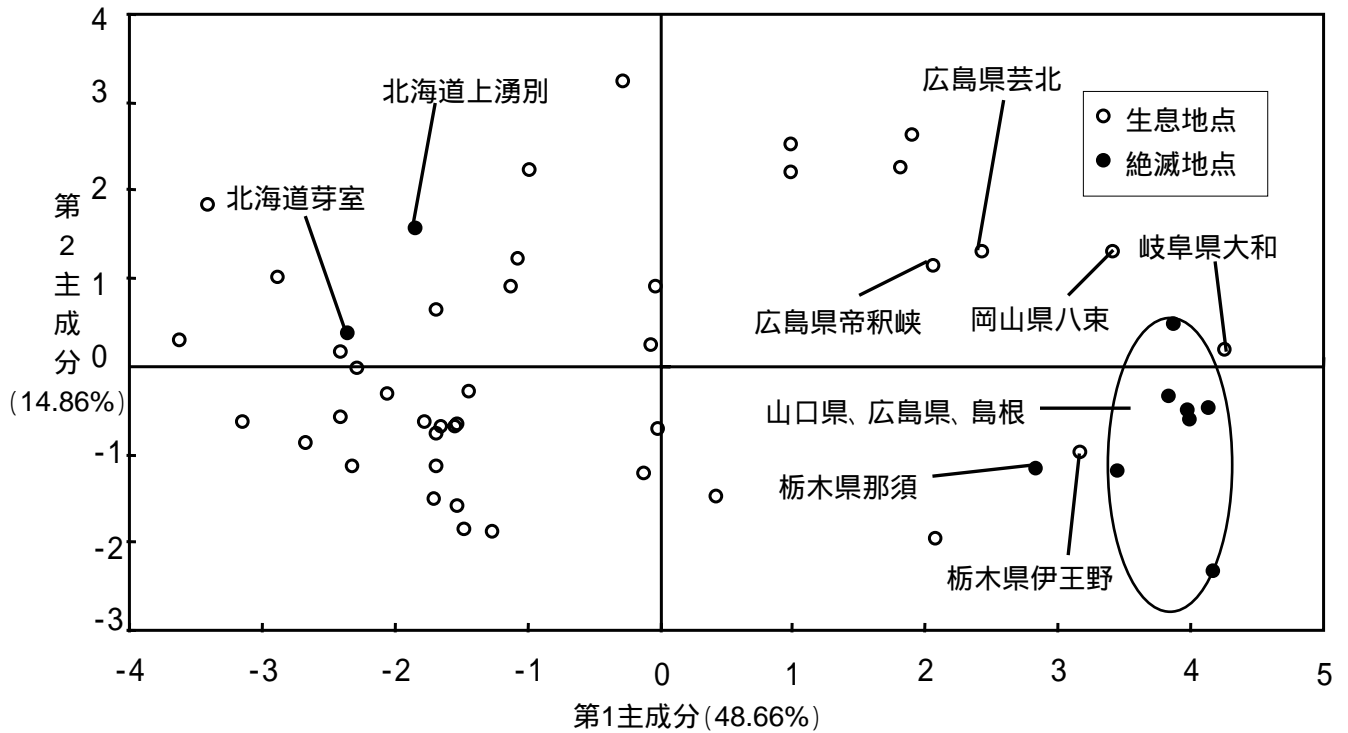


図3 カワシンジュガイ生息地点と絶滅地点の生物地理的環境間で有意差が見られた環境要因の主成分分析

論文・学会発表

- ・ Akiyama Y. and Iwakuma T. 2004 Examination of age estimation for a freshwater pearl mussel, *Margaritifera laevis*. *Zoological science*, 21(12):1348.
- ・ 秋山吉寛、岩熊敏夫 「長寿命淡水性二枚貝カワシンジュガイの年齢と成長の決定法の検討」
日本動物学会第75回大会 兵庫 2004年9月
- ・ 秋山吉寛、岩熊敏夫 「カワシンジュガイ *Margaritifera laevis* (Haas, 1910)の地理的分布と個体群の縮小」
第18回北海道水生昆虫研究会 札幌 2005年3月