

状態空間モデルおよびベイズ推定法を用いたアユの個体数推定

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○城間 ミラ
東北大学大学院工学研究科 正会員 風間 聡

1. 背景と目的

現在広く行われている環境評価は大きな手間と費用を要し、侵襲性を持つものが多くみられる。河川において魚類の個体数を調べる場合、投網、エレクトロフィッシャー、潜水目視法などによるサンプリングを行い、母数を推定する手法が主流であるが、その労力の大きさと環境への負担の大きさから頻りに調査を行うことは困難である。そのため、元の生態系が回復不可能な段階に至るまで問題を検出できない事例が多くみられる。魚類のうち、アユは特に個体数の減少が懸念されており、その生態について多くの検討が行われている。アユの保全および生態系ピラミッドの保持を目的とした放流が行われているが、適切ではない種苗放流は生息場をめぐる野生魚・他魚種との競合を引き起こす可能性があるほか¹⁾、鳥類などへの給餌効果をもたらす生態系を乱すおそれがある²⁾。そこで、本研究においては、広瀬川流域におけるアユを対象とし、影響を与える環境条件を明らかにし、非侵襲性かつ低コストで個体数の推定を可能にするモデルを開発することを目的とする。環境条件からの個体数の予測が可能になれば、増殖計画に寄与する情報として、あるいは外来種の増加など生態系への打撃を捉える指標として活用できると考えられる。

2. 手法

アユは一年で成熟・世代交代をする一年魚で、季節によって河川から沿岸域まで生活の場を変える。本研究は、海域で冬を越したのち春頃に遡上するアユの個体数について推定する。環境条件がアユに与える影響を表現するために状態空間モデルを用いた。式を以下に示す。また、導入したパラメータを表1に示す。

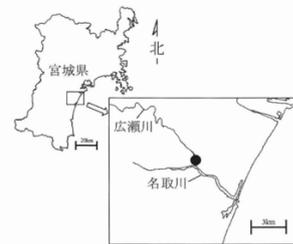
$$\mu_t = \mu_{t-1} + w_t \quad (1)$$

$$y_t = \mu_t + v_t \quad (2)$$

$$w_t = am_{t-1} + bn_{t-1} + z_t \quad (3)$$

表1 状態空間モデルに導入したパラメータ

略語	説明
μ_t	t 年度における真の個体数の推定値 [個体数/投]
w_t	$t-1$ 年度および t 年度における個体数の差 [個体数/投]
y_t	t 年度における個体数の観測値 [個体数/投]
v_t	真の個体数および観測値の差 [個体数/投]
m_{t-1}	$t-1$ 年度における任意の環境条件変数 α の値
n_{t-1}	$t-1$ 年度における任意の環境条件変数 β の値
a	環境条件変数 α がアユの個体数に与える影響を規定する係数
b	環境条件変数 β がアユの個体数に与える影響を規定する係数
z_t	環境条件以外の変動条件を含む状態誤差[個体数/投]

図1 調査地点³⁾

アユの個体数の観測値については、宮城県水面水産試験場により2004年～2015年にかけて5月上旬から6月下旬にかけて行われた広瀬川(図1)における投網による個体数調査による結果を用いた。投網(目合い26節、長さ3m)を10投から20投行なってアユを採集し、1投あたりの採集個体数(CPUE: Catch Per Unit Effort)を求めたものである。環境条件変数はいずれも水理および水質データである。仙台市環境局により2003年～2015年にかけて行われた観測による結果³⁾を用いた。全ての環境条件変数 k_t に関して、最大値 k_{max} および最小値 k_{min} により正規化を行った。

$$m_t = \frac{k_t - k_{min}}{k_{max} - k_{min}} \quad (4)$$

表2 環境条件変数の組み合わせ

モデル番号	環境条件 α	環境条件 β
1	大腸菌群数	全窒素濃度
2	大腸菌群数	全リン濃度
3	大腸菌群数	流量
4	全窒素濃度	流量
5	全窒素濃度	全リン濃度
6	流量	全リン濃度

キーワード 時系列モデル, 生態系, 環境条件, 観測誤差, マルコフ連鎖モンテカルロ法

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 水環境システム学研究室

各環境条件の組み合わせにより 6 つのモデルを作成し、検討を行った。各モデルの環境条件変数の組み合わせを表 2 に示す。R および Stan（統計解析用のオープンソースのフリーソフトウェア）によるベイズ推定法を用いてパラメータの推定を行った。すべてのパラメータについて、Stan のデフォルトである一様分布を事前分布とした。マルコフ連鎖モンテカルロ法により、繰り返し回数 7000 回、切り捨て期間 4000 回、間引き数 5 のサンプリングを 4 チェーンを行った。

3. 結果

結果を表 3 に示す。全リン濃度について、全てのモデルにおいてアユの個体数に対して負の影響を与えているという推定結果に、流量についてはすべてのモデルにおいて正の影響を与えるという結果となった。一方で、アユの生息条件において低い方が望ましいとされる大腸菌群数について、3 つのうち 2 つのモデルにおいて正の影響を与えるという結果となっている。 a 、 b の標準偏差が最も小さかったモデル 1 におけるそれぞれの確率分布を図 2 および図 3 に示す。

表 3 パラメータの平均値および標準偏差

	a		b	
	mean	sd	mean	sd
1	4.9	16.1	-2.9	15.8
2	6.1	19.9	-3.8	24.9
3	-2.9	22.8	10.7	26.9
4	7.8	23.5	1.8	24.1
5	10.7	17	-10.8	25.4
6	18.6	25.6	-13.8	26.8

4. 考察

モデル 1 およびモデル 2 において大腸菌群数の多さがアユの個体数に正の影響を与えたと推定された理由については、河川の清浄度が高く（BOD75%値の平均は 1.1mg であり、これは貧腐水性水域の生物の生息基準値である 3.0mg を下回っている）大腸菌群数が河川の汚染を測る指標として十分に機能しなかったことが考えられる。また、モデルの構造上の欠陥によるものが考えられる。考えられる欠陥は、環境条件変数を 2 つしか用いていないために一方の変数が大きな影響を持つ場合に他方の変数とその影響を補完する形で推定されるという点である。今後はモデル

の構造を改善するとともに環境条件について用いるデータの期間を調整し精度の改善を図る必要がある。

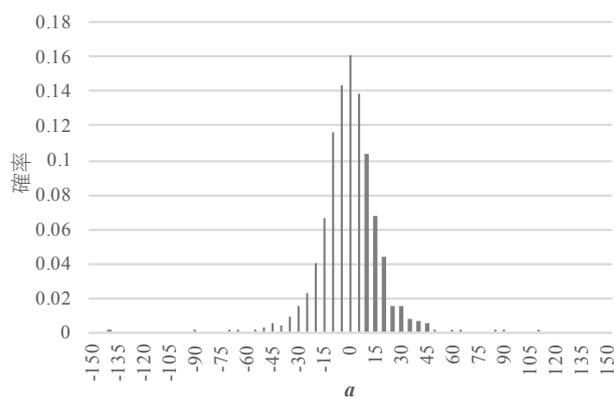


図 2 モデル 1 における a の確率分布

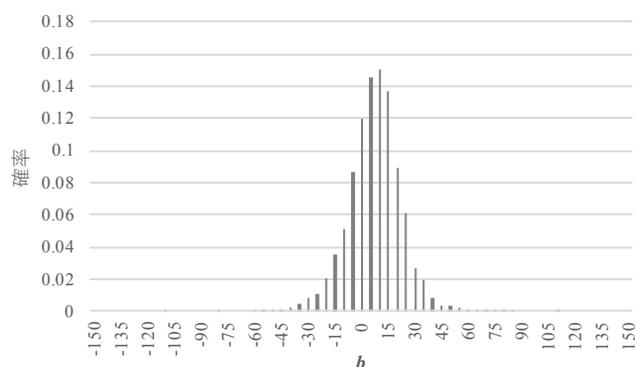


図 3 モデル 1 における b の確率分布

謝辞

また、本研究は、科学研究費補助金（16H02363，代表：風間聡）により実施されました。ここに深甚なる謝意を表します。また、宮城県水面水産試験場の野知里様および仙台市環境局の菊地様より貴重なデータをご提供頂きました。深く感謝申し上げます。

参考文献

1. 片野修，阿部信一郎，中村智幸：アユと河川生態系における他生物との関係，水産総合研究センター研究報告 別冊，2006
2. 熊田 那央，藤岡 正博，本山 裕樹：アユの大量放流はカワウのねぐらやコロニーの分布に影響するか，日本鳥学会誌，63 巻 1 号 p. 23-32，2014
3. 熊谷 明，三品 裕輔，伊藤 絹子：2004 年～2005 年の広瀬川における天然アユ及び人口放流アユの分布状況，宮城水産研報第 6 号，p. 65-70，2006