

在来プランクトン食魚の餌資源評価に関する研究

永田 貴丸・藤原 直樹¹⁾・一瀬 諭・古田 世子・池田 将平・木村 道徳・伴 修平²⁾

1. 目的

琵琶湖では、ホンモロコ等の在来魚の漁獲量が 1990 年前後から減少傾向にある。その原因として、人為的な水位操作や湖岸開発による産卵繁殖場の減少、魚食性外来魚の増加による影響等が考えられ、対策が行われてきた。一方、在来魚の餌の供給面からみた影響評価は進んでおらず、知見が求められている。そこで、本研究では、北湖沖帯におけるアユやホンモロコ等のプランクトン食魚（成魚）と餌のプランクトンとの関係に着目し、餌の影響を評価するため、プランクトンの量（現存量や生産量）と質（種構成）の長期データを整理するとともに、水質－植物プランクトン－動物プランクトン－プランクトン食魚の関係性を解析する。また、その解析結果を過去と現在で比較することにより、現在のプランクトンの量と質は、アユやホンモロコ等のプランクトン食魚にとって十分であるのかを評価する。研究期間は 2014 年から 2016 年とし、最終年度となる 2016 年度における水質からプランクトン食魚までの関係解析に向け、2014 年度では植物・動物プランクトンの量的なデータ（現存量と生産量）を整理し、その変化を示した。2015 年度では、植物・動物プランクトンの質的データ（種構成）を整理し、その変化を示す。

2. 研究内容と結果

【動物プランクトンの質(種構成)の経年変化】

琵琶湖の北湖沖帯における動物プランクトンのデータは、滋賀県立大学（滋賀県水産試験場の試料を分析）と当センターが有している。しかし、2つの機関では、調査の地点と方法が異なる（当センター：今津沖、水を採水して含まれているプランクトンを観察；県立大学：彦根沖、プランクトンネットでプランクトンを濾し集めて観察）。2つの機関の調査データを用いて動物プランクトンの質（種構成）を経年的に比較するため、1980 年から 2014 年までの 2 機関のデータを在/不在データに加工し、統合した。さらに、その在/不在データから算出される各年間の類似性指数（Jaccard 指数）を用い、非計量多次元尺度法（NMDS）によって動物プランクトンの種構成を経年的に比較した。

NMDS の結果から、琵琶湖の北湖沖帯における動物プランクトンの種構成は、1988 年、1996 年、1999 年を境に変化している可能性が示された（図 1）。そこで、1980～1987 年、1988～1995 年、1996～1998 年、1999～2014 年の 4 つの期間で種構成を統計的に比較した結果、差異に有意性がみられ（PERMANOVA, $p < 0.001$ ）、1988 年、1996 年、1999 年を境に動物プランクトンの種構成が変化したと考えられた。Hsieh et al. (2011) では、微小な動物プランクトン（原生動物等）も解析に加え、1990 年頃から動物プランクトンの種構成が変化したと報告している。これに対し、本研究では、アユやホンモロコ等の成魚の餌になるミジンコ類等に注目しているため、結果が少し異なると考えられる。

それぞれ 4 つの期間の動物プランクトンの在/不在データをみると、1988 年からはノロが消え、1996 年からはノロが再びみられるようになり、マルミジンコが新たに出現していた（表 1）。また、1999 年からは、ニセゾウミジンコやプリカリアが新たに琵琶湖に出現したことが分かった。これらの種は、いずれも新種ではなく、

昔から琵琶湖の沿岸や内湖等でみられていた種である（プリカリア以外）（Tanaka 2012）。プリカリアは、遺伝子解析等の結果から、北米からの移入種である可能性が指摘されている（Urabe et al. 2003）。

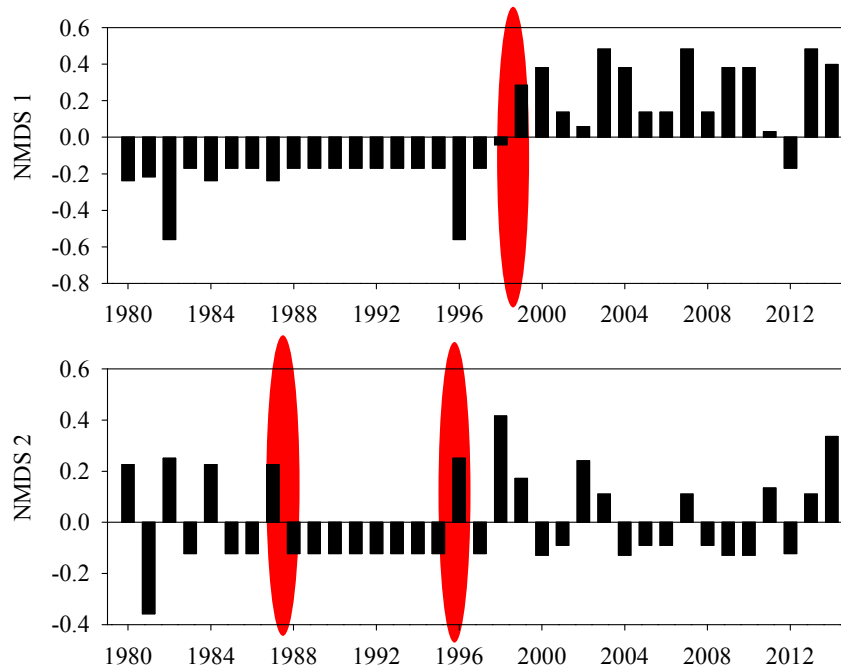


図1 非計量多次元尺度法による動物プランクトンの種構成の経年比較（琵琶湖の北湖沖帯）。
赤丸は種構成が変化した可能性がある年を示す。

	1980～1987年			1988～1995年			1996～1998年		1999～2014年		
year	<i>Chydorus</i> マルミジンコ	<i>Bosmina longirostris</i> ゾウミジンコ	<i>B. fatalis</i> ニセゾウミジンコ	<i>Bosminopsis</i> ゾウミジンコモドキ	<i>Diaphanosoma</i> オオメオナガミジンコ	<i>Daphnia galeata</i> カブトミジンコ	<i>D. pulicaria</i> プリカリア	<i>Leptodora</i> ノロ	<i>Eodiaptomus</i> ヤマトヒゲナガケンミジンコ	<i>Cyclopoida</i> ケンミジンコ	
1980	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	
1981	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	
1982	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	
1983	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1984	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	
1985	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1986	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1987	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	
1988	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1989	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1990	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1991	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1992	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1993	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1994	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1995	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1996	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	
1997	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
1998	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	
1999	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
2000	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
2001	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
2002	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
2003	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	
2004	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	
2005	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	
2006	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	
2007	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	
2008	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	
2009	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	
2010	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	
2011	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	
2012	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
2013	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	
2014	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	

表1 1980年から2014年までの琵琶湖の北湖沖帯における動物プランクトンの在/不在データ。
表中の1=在、0=不在。

【植物プランクトンの質(種構成)の経年変化】

琵琶湖の北湖沖帯における植物プランクトンの質(種構成)を経年的に比較するため、当センターが保有する1978年から2014年までの種ごとの現存量データを整理した。その現存量データから算出される各年間の類似性指数(Jaccard指数)を用い、非計量多次元尺度法(NMDS)によって植物プランクトンの種構成を経年的に比較した。

NMDSの結果から、琵琶湖の北湖沖帯における植物プランクトンの種構成は、1989年、2003年を境に変化した可能性が示された(図2)。そこで、1978~1988年、1989~2002年、2003~2014年の3つの期間で種構成を統計的に比較した結果、差異に有意性がみられ(PERMANOVA, $p < 0.001$)、1989年、2003年を境に植物プランクトンの種構成が変化したと考えられた。分類群ごとの植物プランクトンの現存量をみると、1978~1988年、1989~2002年、2003~2014年のそれぞれ3つの期間において、植物プランクトンの種構成は下記のように変化していた(図3)。

- ・1978~1988年・・・緑藻類が植物プランクトンの大部分を占めていた。
- ・1989~2002年・・・緑藻類が一時的に激減するが、再び増加した。藍藻類や珪藻類等が増加した。
- ・2003~2014年・・・緑藻類が減少した。藍藻類は1989~2002年と同じ水準を維持していた。
珪藻類や渦鞭毛藻類等が増加した。

上記から、1980年から2014年に向けて緑藻類が徐々に減少していることが分かった。これに対し、藍藻類、珪藻類、渦鞭毛藻類は増加していた。1988年頃には、植物プランクトンと動物プランクトンの種組成が連動して変化している(図1~3)。この時期には、緑藻類が激減していることから、緑藻類の減少が消費者である動物プランクトンの種組成の変化に影響したと思われる。一方、1990年以降には、植物プランクトンと動物プランクトンの種組成の変化は連動しておらず、別々の時期を境に変化している。種構成の変化が連動しなかった原因は分からないが、大部分を占めていた緑藻類の減少で、少数派だった藍藻類や珪藻類等が、種間あるいは種内で栄養塩の獲得競争をはじめ、植物プランクトンの種構成が不安定化したためかもしれない。

Kishimoto et al. (2013)によると、近年では、小型の藍藻類の割合の増加に伴い、植物プランクトン全体の平均細胞サイズが小型化しつつある。ミジンコ類等の甲殻類の動物プランクトンは、大型藻類を摂食しづらいため(Peters and Downing 1984)、植物プランクトン全体の小型化は甲殻類の動物プランクトンにとって望ましいかもしれない。しかし一方では、消化しづらい等の理由から、藍藻類は甲殻類の動物プランクトンにとって良い餌ではないとの報告も多くある(e.g. Lampert 1987)。今後は、植物プランクトンのサイズや、藍藻類に対する動物プランクトンの摂食効率にかかわる既存知見も活かし、植物プランクトンと動物プランクトンの関係解析を進めていく。

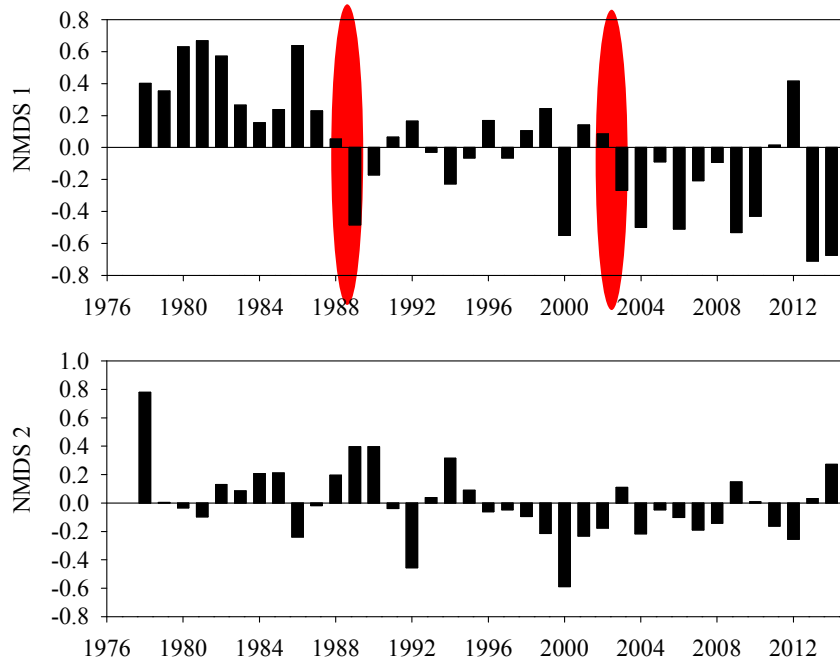


図2 非計量多次元尺度法による植物プランクトンの種構成の経年比較（琵琶湖の北湖今津沖）。
赤丸は種構成が変化した可能性がある年を示す。

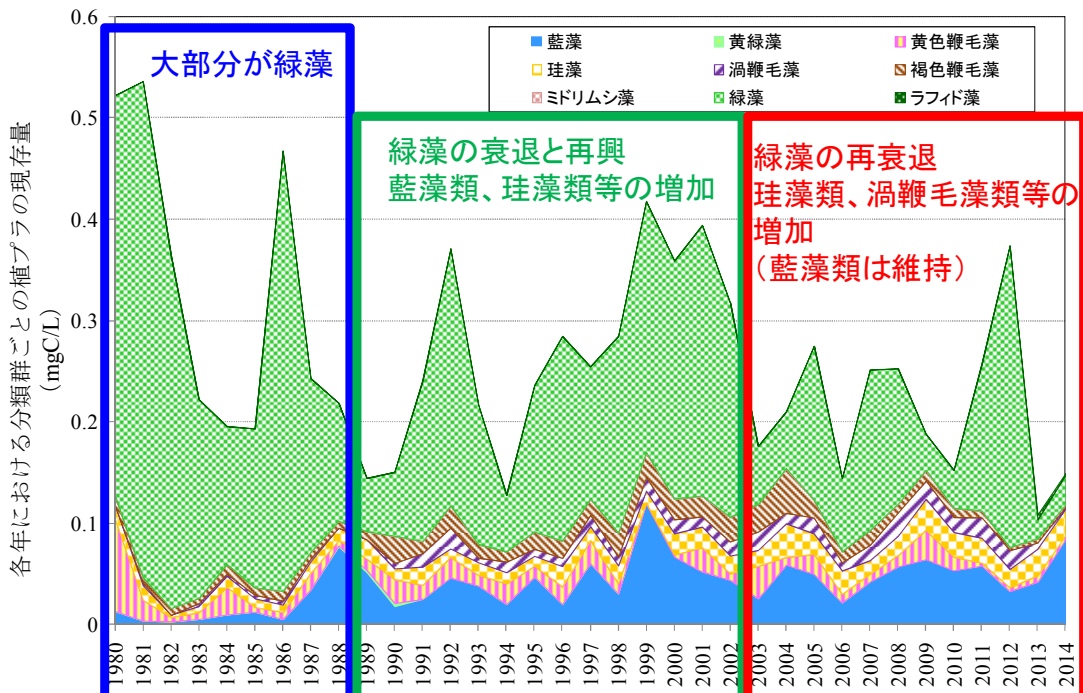


図3 琵琶湖の北湖沖帯（今津沖）における分類群ごとの植物プランクトンの現存量（炭素量）。

【ホンモロコの食性解析】

ホンモロコの食性を調べるため、2014年と2015年に琵琶湖北湖でホンモロコを採取した。採取は、沖島漁業協同組合に協力いただいた。

解剖してホンモロコの消化管内容物を調べたところ、動物プランクトンのミジンコ類等、底生動物のヨコエビ、スジエビ、双翅目昆虫のユスリカ等が含まれていた（表2）。各月で消化管に含まれていた餌生物を比較すると、夏から秋の5月、8月、11月にはミジンコ類が多く、冬の12月～3月にはヨコエビが多かった。また、分析したほとんど全ての月で（8月以外すべて）、双翅目昆虫が消化管に含まれていた。これらの結果から、プランクトン食魚と考えられていたホンモロコは、ミジンコ類等の動物プランクトン以外の底生動物や昆虫も餌にすることを確認した。一方、ミジンコ類とヨコエビについては、異なる時期に餌生物になっていたことから、①ホンモロコの餌の趣向性が季節的に変化した、または②ミジンコ類、あるいはヨコエビの現存量が増減したため、他方に餌生物を変えた、この2つのいずれかが生じたと考えられる。沖帯に生息するヨコエビの中には、秋に産卵し、秋から冬の間に現存量が一時的に急増する種もいることから（Ishikawa and Urabe 2002）、餌生物の現存量が、ホンモロコの食性に影響を及ぼしている可能性が高い。今後は、①と②の可能性を検証するため、各餌生物の現存量とホンモロコの食性との関係を解析する必要がある。

	2014年				2015年		
	5月	8月	11月	12月	1月	2月	3月
ヤマトヒゲナガケンミジンコ						0.6	
ゾウミジンコ			0.5		0.3		
ミジンコ	1.5	4.2	1.0		1.0		
ヨコエビ				6.8	2.7	2.2	7.1
スジエビ			1.0	0.5		0.4	
その他(双翅目昆虫)	1.0		1.0	1.3	0.3	0.2	

※2014年5月, 11月: ホンモロコ, n=2

表2 琵琶湖北湖で採取されたホンモロコの消化管内内容物. 餌生物の平均個体数.

3. まとめ

2015年度では、動物プランクトンと植物プランクトンの質（種構成）を経年的に比較した。種構成を比較した結果、動物プランクトンの種構成は1988年、1996年、1999年を境に、植物プランクトンの種構成は1989年、2003年を境に変化していることが分かった。一方、ホンモロコの消化管内容物の分析結果から、ホンモロコは、ミジンコ類等の動物プランクトン以外の底生動物（ヨコエビ等）や双翅目昆虫も餌にすることが分かった。研究の最終年となる2016年度では、これまで整理したプランクトンの量（現存量・生産量）と質（種構成）のデータを用い、水質－植物プランクトン－動物プランクトン－在来プランクトン食魚の関係性を統計やモデルで解析し、プランクトン食魚への餌としての動物プランクトンの影響を評価していく。

4. 引用文献

Hsieh, C. H., Y. Sakai, S. Ban, K. Ishikawa, T. Ishikawa, S. Ichise, N. Yamamura and M. Kumagai (2011) Eutrophication and warming effects on long-term variation of zooplankton in Lake Biwa. *Biogeosciences Discussions*, 8: 593-629.

Ishikawa, T. and J. Urabe (2002) Population dynamics and production of *Jesogammarusannandalei*, an endemic amphipod, in Lake Biwa, Japan. *Freshwater Biology*, 47: 1935-1943.

Kishimoto, N., S. Ichise, K. Suzuki and C. Yamamoto (2013) Analysis of long-term variation in phytoplankton

biovolume in the northern basin of Lake Biwa. *Limnology*, 14: 117-128.

Lampert, W. (1987) Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21: 483-490.

Peters, R. H. and J. A. Downing (1984) Empirical analysis of zooplankton filtering and feeding rates. *Limnology and Oceanography*, 29: 763-784.

Tanaka, S. (2012) A list of Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) in Lake Biwa and its adjacent waters. In: Kawanabe, H., M. Nishino, M. Maehata, eds. *Lake Biwa: Interactions between Nature and People*. Springer, New York, pp622-624.

Urabe, J., S. Ishida, M. Nishimoto and L. J. Weider (2003) *Daphnia pulicaria*, a zooplankton species that suddenly appeared in 1999 in the offshore zone of Lake Biwa. *Limnology*, 4: 35-41.