

(研究ノート)

里山林に造成されたため池および周辺林内に生息する 動植物の炭素・窒素安定同位体比分析に関する予備的研究

Preliminary Analyses of Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios of Animals and Plants in Satoyama Forest with Small Reservoir Pond.

高橋 大輔*

Daisuke TAKAHASHI

はじめに

里地里山とは、人間の居住地をはじめ、二次林や農地、ため池など、様々なタイプの生態系が組み合わさって形作られる景観を指す言葉である。里地里山には、森林などの陸域生態系だけでなく、水田およびため池などの水域生態系も含まれるため環境の異質性が高く、様々な生物が共存する生物多様性の高い空間である。そのため、里地里山は日本の自然環境の保全を考える上で重要な生態系要素として認識されている(日本の里山・里海評価 2010)。

長野大学が立地する長野県上田市の塩田平は、水田農業用水のためのため池が数多くみられる地域である(上田小県近現代史研究会 2000)。塩田平のため池群は、この地域の里地里山を特徴づける生態系要素であり、2010年に農林水産省の「ため池百選」に選定されている(農林水産省 2010)。また、ため池や接続する小川ならびに水田を中心としたモザイク状の土地利用は、希少な水生生物をはじめとした里地里山に特徴的な種の生息を可能にすると考えられており、塩田平は環境省の「生物多様性保全上重要な里地里山」にも選定されている(環境省 2015)。

ため池が里地里山の生物の種多様性に及ぼす効果を検証するために、長野大学の里山林に小規模のため池を造成したところ、節足動物を中心とした種多様性が増加した(高橋ら 2016)。このような種多様性の増加は、林内に捕食-被食関係を含めた新たな生

物間相互作用を生じさせるだろう。しかしながら、このため池の存在が里山林内の生物間相互作用にどのような影響を及ぼしているのかは検証されていない。

近年、生物間相互作用の代表である捕食-被食関係を総合した食物網の構造を把握する手法として、炭素・窒素安定同位体比分析が頻用されている。安定同位体比とは、ある元素における重たい安定同位体の存在比率のことを指し、一般的には標準試料からの千分率偏差(‰)で表される。炭素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)は、生産者では光合成活性の違いの影響を受け、また栄養段階によって大きく変化しないことから(1‰以下; Post 2002)、それぞれの生物が依存する生産者の推定に有用である。一方、窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$)は栄養段階が上がるごとに一定(約3.4‰; 例えばPost 2002)の濃縮を示すため、対象とする動物の栄養段階を推定することができる(土居ら 2016)。

今回、長野大学のため池が里山林の生物群集の食物網構造に及ぼす影響を把握するための予備調査として、里山林内に造成されたため池およびその周辺において動植物を採集し、炭素・窒素安定同位体比分析を行い、いくつかの知見を得たので報告する。

方法

調査場所

調査は、長野県上田市に立地する長野大学の敷地内にある6.5haの里山林「AUN長野大学恵みの森(通

称、恵みの森)」で行われた。この森には2008年6月に造成された直径約3mの小規模なため池(36°22'N、138°13'E、標高490 m)が存在する[本ため池の物理的特性や生物相については、高橋ら(2010)および高橋ら(2016)も参照のこと]。

生物採集

安定同位体比分析に用いる動植物は、恵みの森内のため池を中心とした調査区(以後、ため池造成区)とため池から約100m離れた林内に調査区(非造成区)において採集された。それぞれの区画のサイズは10m×10mであり、各調査区は1m×1mの小区画にさらに細分された。そして、2012年8月5日(夏季)と同年10月14日(秋季)に、それぞれの調査区において無作為に5つの小区画を選び、選択された小区画内に生息する動物を採集した[動物の採集方法の詳細は高橋ら(2016)を参照]。また、小区画内でみられた草本植物および木本植物の葉部も採集した。加えて、2013年4月に、ため池内の生産者である付着藻類の採集も行った。付着藻類は水中の石などの基質に付着するケイソウやランソウなどの群落であるが、今回の調査では詳細な分類は行わず、まとめて付着藻類として扱った。ため池に陶器製のタイル(10cm×10cm)を1枚投入し、1週間後にタイル表面に生えた付着藻類をピンセットでそぎ落としてサンプルとした。採集年度や時期が他の動植物とは異なり、単純に比較することができないため、付着藻類の安定同位体比は参考とした。

採集された動植物は肉眼あるいは実体顕微鏡を用いて種同定を行った。同定には「日本産水生昆虫検索図説」(川合 1992)、「日本産クモ類」(小野 2009)、「見つけよう信州の昆虫たち」(田下ら 2009)、「日本産アリ類画像データベース」(アリ類データベース作成グループ2008 2008)、「日本産土壌動物第二版」(青木 2015)、「樹に咲く花 合弁花・単子葉・裸子植物」(高橋・勝山 2006)、「樹に咲く花 離弁花」(高橋・勝山 2000)、「原色植物検索図鑑」(矢野 1962)、「検索入門 樹木2」(尼川・長田 1988)を主に使用した。そして、植物は生産者とし、消費者である動物はその食性より、植食者、雑食者、捕食者、腐食者の4つの栄養段階に分類した。動植物は、蒸留水で洗浄し、安定同位体比分析を行うまで、-25°C以下で冷凍保存された。

安定同位体比分析

ため池が周辺食物網構造に及ぼす影響を推定するために、採集された動植物のサンプルを用いて、Kato et al. (2010)に従い、炭素・窒素安定同位体比分析を行った。全ての試料を通風乾燥機(60°C)で48時間恒温乾燥した後、分析まで乾燥機内で保存した(13°C、湿度20%)。試料は乳鉢で粉末状に粉碎し、乾燥重量が1mgよりも小さい動植物は、複数個体をまとめて分析した。炭素・窒素安定同位体比は、元素分析計(EA1108;Fisons, Milan, Italy)とコンフロ(conflo II;Finnigan MAT;Bremen, Germany)および質量分析計(Delta-S;Finnigan MAT;Bremen, Germany)を用いて測定した。炭素および窒素安定同位体比は $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ で表し、以下の式に従って、標準試料[炭素はやじり石(PDB)、窒素は大気中窒素]からの相対千分偏差値(‰)で示した;

$$\delta^{13}\text{C} \text{ or } \delta^{15}\text{N} = (R_{\text{サンプル}}/R_{\text{標準試料}} - 1) \times 1000 (\text{‰})$$

ただし、Rは ^{12}C に対する ^{13}C の存在比、または ^{14}N に対する ^{15}N の存在比を表す。ワーキングスタンダードとしてDL-アラニンを使用した。分析精度は $\delta^{13}\text{C}$ が $\pm 0.2\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ が $\pm 0.2\text{‰}$ だった。

統計解析

$\delta^{13}\text{C}$ ならびに $\delta^{15}\text{N}$ の値と栄養段階(生産者—消費者)、採集時期(8月—10月)および調査区(ため池造成区—非造成区)の3要因との関係を知るために、三元配置分散分析によって $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の平均値を3要因内・間で比較した。解析にはJMP10.0.2(SAS Institute Inc)を用いた。サンプルサイズが小さいため、消費者においては、植食者、雑食者、捕食者、腐食者に細分せずに消費者としてまとめ、栄養段階を生産者と消費者に二分して分析に用いた。

結果

ため池造成区における炭素・窒素安定同位体比

ため池造成区において、10目13科13種の動植物が採集された(表1)。生産者の $\delta^{13}\text{C}$ の値は、8月は-38.4‰から-30.7‰を、そして $\delta^{15}\text{N}$ の値は-2.5‰から4.0‰を示した(図1)。8月に比べて10月の $\delta^{13}\text{C}$ ならびに $\delta^{15}\text{N}$ のばらつきは小さく、 $\delta^{13}\text{C}$ の値は-32.4‰から-31.4‰、 $\delta^{15}\text{N}$ の値は-4.9‰から-1.0‰を示した。参考とした付着藻類の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ の値は、それぞれ-30.8‰と3.5‰だった。

消費者においては、8月の $\delta^{13}\text{C}$ の値は-31.1‰から

表1. ため池造成区および非造成区で採集された動植物種。表中の○はその動植物がそれぞれの調査区において採集された時期を示す。

栄養段階	目	科	種名	学名	ため池造成区		非造成区		
					8月	10月	8月	10月	
生産者	イネ	イネ	クマザサ	<i>Sasa reitchii</i>	○	○	○	○	
			スゲ属の一種	<i>Carex</i> sp.	○	○	○	○	
	キク	キク	ヒヨドリバナ	<i>Eupatorium chinense</i>	○	○	○	○	
			アメリカセンダングサ	<i>Bidens frondosa</i>	○	○	○	○	
	イグサ	イグサ	イグサ	<i>Juncus effusus</i>	○	○	○	○	
			ヤマウルシ	<i>Ehus trichocarpa</i>	○	○	○	○	
	ムクロジ	ムクロジ	ノブドウ	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i>	○	○	○	○	
			ブドウ	<i>Akebia quinata</i>	○	○	○	○	
	キンポウゲ	キンポウゲ	アケビ	<i>Smilax china</i>	○	○	○	○	
			サルトリイバラ	<i>Quercus serrata</i>	○	○	○	○	
ブナ	ブナ	コナラ							
消費者	ハチ	コハナバチ	シロスジカタコハナバチ	<i>Lasioglossum (Lasioglossum) occidens</i>			○		
			ヘリカメムシ	<i>Paraplestus unicolor</i>	○	○			
			ヒトリガ	クビワウスグロソノバ (幼虫)	<i>Macrobrochis staudingeri</i>	○	○		
雑食者	コウチュウ	アリ	ムナビロサビキコリ	<i>Agrypnus cordicollis</i>			○	○	
			ヤマクロヤマアリ	<i>Formica lemani</i>			○	○	
			クロクサアリ	<i>Lasius fuji</i>			○	○	
捕食者	クモ	コモリグモ	ヒノマルコモリグモ	<i>Tricca japonica</i>			○	○	
			キバラコモリグモ	<i>Pirata subpiraticus</i>			○	○	
	ウエムラグモ	タナグモ	ナガズキンコモリグモ	<i>Trochosa aquatica</i>		○	○	○	
			イタチグモ	<i>Itatsina praticola</i>			○	○	
	カメムシ	トンボ	ヤマヤチグモ	<i>Tegeocoles corasides</i>			○	○	
			アオトビハエトリ	<i>Siler vittata</i>	○	○			
	トンボ	エゾトンボ	マツモムシ	<i>Notonecta triguttata</i>		○	○	○	
			ヤブヤンマ (幼虫)	<i>Polycanthagyna melanictera</i>	○	○	○	○	
	腐食者	コウチュウ	フナムシ	タカネトンボ (幼虫)	<i>Somatochlora uchidai</i>		○	○	○
				ヒゲブトゴミシムシダマシ	<i>Luprops orientalis</i>			○	○
オビヤスデ	オビヤスデ	ヤケヤスデ	ニホンヒメフナムシ	<i>Ligidium japonicum</i>	○	○	○	○	
			キシヤスデ	<i>Parafontaria laminata armigera</i>			○	○	
ナガミミズ	ナガミミズ	フトミミズ	ヤケヤスデ	<i>Oxidus gracilis</i>			○	○	
			フトミミズ属の一種	<i>Pheretima</i> sp.			○	○	

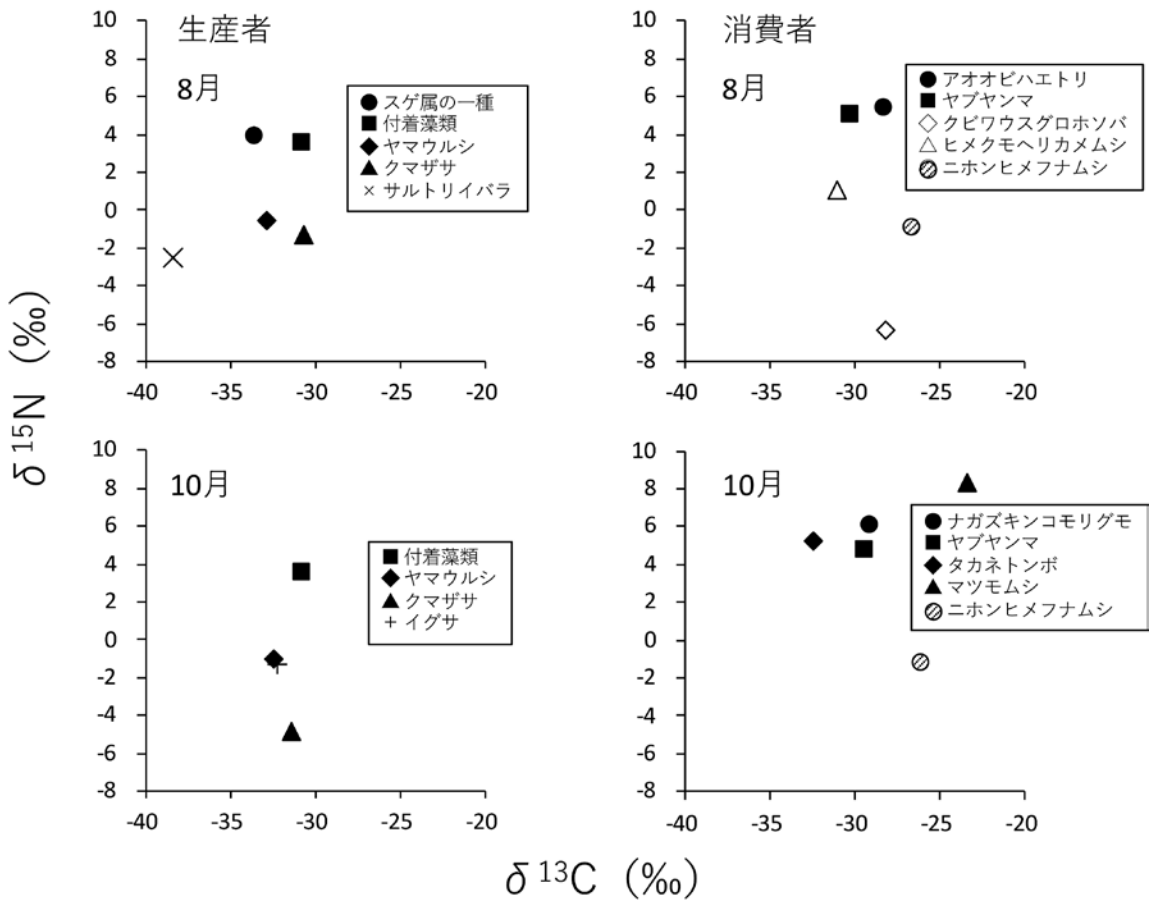


図1. ため池造成区で8月(上)および10月(下)に採集された生産者(左)および消費者(右)の炭素・窒素安定同位体比。生産者のグラフには、参考として付着藻類の安定同位体比も示す。消費者のグラフのシンボルにおいて、白塗りつぶしは植食者、灰色塗りつぶしは雑食者、黒塗りつぶしは捕食者、斜線は腐食者をそれぞれ表す。

-26.7‰を示し、生産者と比べるとどの栄養段階の種も比較的近い値を示した(図1)。 $\delta^{15}\text{N}$ は-6.3‰から5.4‰の値を示し、植食者のクビワウスグロホソバが最も低く、腐食者のニホンヒメフナムシと植食者のヒメクモヘリカメムシは中程度の値を示した。そして捕食者のヤブヤンマとアオオビハエトリの $\delta^{15}\text{N}$ は高い値を示した。10月では、 $\delta^{13}\text{C}$ の値は-32.4‰から-23.4‰を示し、捕食者のタカネトンボが最も低く、捕食者のヤブヤンマとナガズキンコモリグ、腐食者のニホンヒメフナムシが続いた。そして、捕食者のマツモムシが最も高い値を示した。 $\delta^{15}\text{N}$ については-1.3‰から8.2‰の値を示し、腐食者のニホンヒメフナムシが最も低く、捕食者の

ヤブヤンマとタカネトンボ、ナガズキンコモリグモが続いた。そして、捕食者のマツモムシが最も高い値を示した。

非造成区の炭素・窒素安定同位体比

非造成区において、15日19科22種の動植物が採集された(表1)。生産者の $\delta^{13}\text{C}$ の値は8月では-37.3‰から-30.6‰を、 $\delta^{15}\text{N}$ の値は-5.7‰から-3.8‰を示した(図2)。10月では、 $\delta^{13}\text{C}$ の値は-34.0‰から-30.1‰を、そして $\delta^{15}\text{N}$ の値は-6.2‰から-2.8‰を示した。

消費者においては、8月では $\delta^{13}\text{C}$ の値は-28.6‰

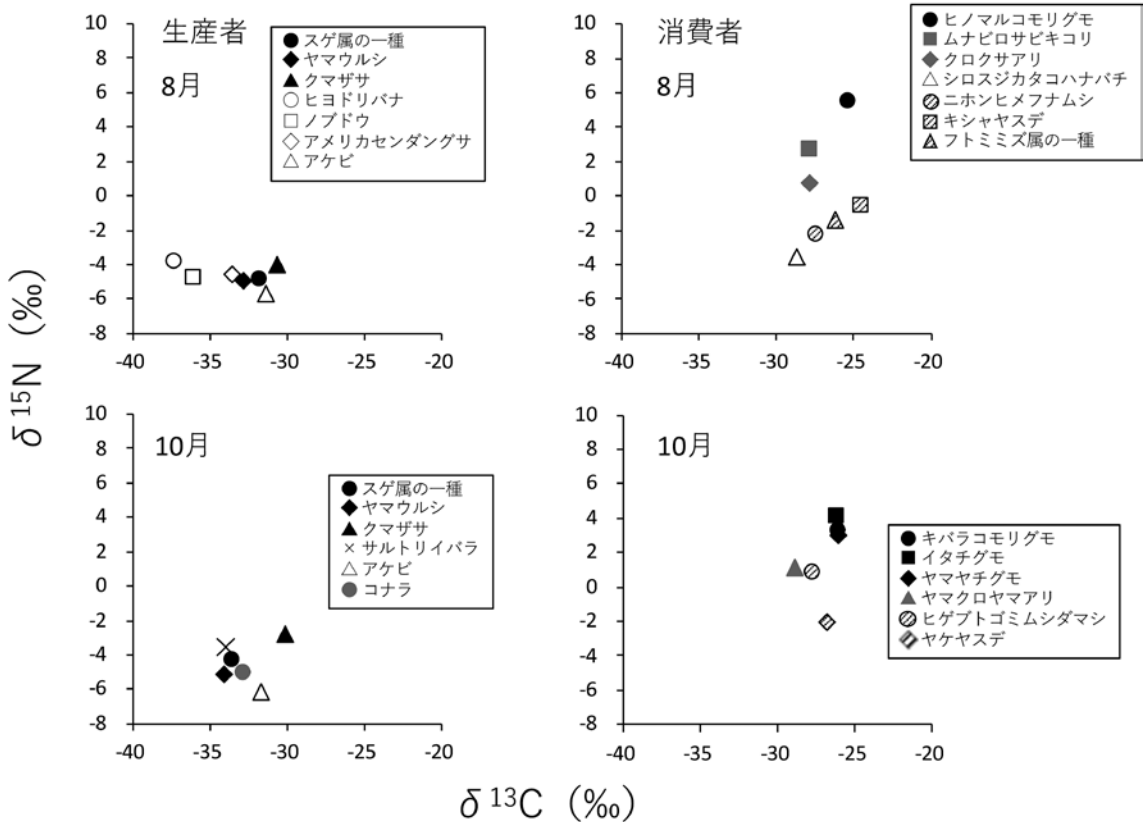


図2. 非造成区で8月(上)および10月(下)に採集された生産者(左)および消費者(右)の炭素・窒素安定同位体比。消費者のグラフのシンボルについては、図1と同様。

から -24.5% と比較的ばらつきは小さく、腐食者のキシャヤスデやフトミミズ属の一種、捕食者のヒノマルコモリグモがやや高い傾向を示したものの、類似する傾向がみられた(図2)。一方、 $\delta^{15}\text{N}$ については、植食者のシロスジカタコハナバチが最も低く、ニホンヒメフナムシなどの腐食者が続き、雑食者のクロクサアリやムナビロサビキコリ、捕食者のヒノマルコモリグモが最高値を示した。10月においても、 $\delta^{13}\text{C}$ の値はどの栄養段階も比較的類似していた。 $\delta^{15}\text{N}$ については、腐食者であるヤケヤスデが最も低く、次いで雑食者のヤマクロヤマアリと腐食者のヒゲトゴミムシダマシが続いた。そして、捕食者のクモ類は最も高い値を示した。

安定同位体比と栄養段階、調査区および採集時期の関係

$\delta^{13}\text{C}$ の値は、生産者よりも消費者の方が有意に高かった(図3a&表2)。採集時期や調査区による違いはみられず、また要因間での交互作用も検出されなかった。 $\delta^{13}\text{C}$ と同様に、 $\delta^{15}\text{N}$ の値も生産者より消費者の方が高い値を示した(図3b&表3)。また、採集時期による違いは認められなかったが、非造成区よりもため池造成区の方が $\delta^{15}\text{N}$ の値が有意に高かった。そして、栄養段階と採集時期との間にのみ有意な交互作用が検出され、8月よりも10月の方が生産者と消費者の $\delta^{15}\text{N}$ の差がより顕著になる傾向がみられた。

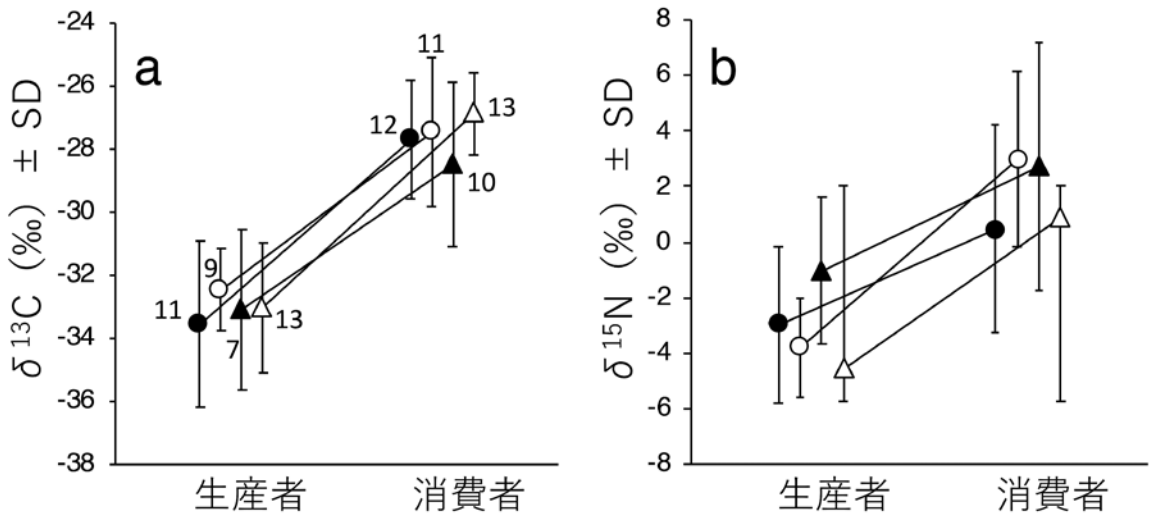


図3. 生産者と消費者における $\delta^{13}\text{C}$ (a)および $\delta^{15}\text{N}$ (b)の平均値。縦バーは標準偏差(SD)。●は8月、○は10月、▲はため池造成区、△は非造成区の値をそれぞれ示す。グラフ中の数字はサンプルサイズを表す。

表2. 栄養段階(生産者-消費者)、調査区(ため池造成区-非造成区)、採集時期(8月-9月)を要因とした $\delta^{13}\text{C}$ における分散分析の結果。交互作用の内、有意ではないものは表から除いた。

要因	自由度	平方和	F	P
栄養段階	1	280.90	61.20	< 0.0001
調査区	1	6.09	1.32	> 0.2
採集時期	1	6.83	1.48	> 0.2
誤差	35	160.64		

表3. 栄養段階(生産者-消費者)、調査区(ため池造成区-非造成区)、採集時期(8月-9月)を要因とした $\delta^{15}\text{N}$ における分散分析の結果。交互作用の内、有意ではないものは表から除いた。

要因	自由度	平方和	F	P
栄養段階	1	223.50	29.06	< 0.0001
調査区	1	66.16	8.60	< 0.01
採集時期	1	5.76	0.74	> 0.3
栄養段階×採集時期	1	33.56	4.36	< 0.05
誤差	35	666.59		

考察

ため池造成区において、分布の重なりはあるものの、8月および10月共に、生産者よりも消費者の方が $\delta^{13}\text{C}$ の値が高かった。 $\delta^{13}\text{C}$ と同様に、 $\delta^{15}\text{N}$ の値も両時期共に生産者より消費者の方が高かった。ただし、8月のスゲ属の一種は多くの消費者よりも $\delta^{15}\text{N}$ の値が高く、一方、8月のクビワウスグロホソバは全ての生産者よりも低い値を示した。 $\delta^{13}\text{C}$ — $\delta^{15}\text{N}$ グラフ上で、生産者から消費者が右上がりに概ね配置された今回の結果は、ため池造成区で採集された動植物は一連の食物連鎖上に配置されていることを予想させる。ただし、スゲ属の一種やクビワウスグロホソバのように、一連の食物連鎖上に配置されず、別の食物連鎖の系

を想定すべき動植物もみられたことから、ため池造成区では複数の食物連鎖系が存在する可能性がある。また、水生の捕食者であるトンボ類の幼虫と陸生の捕食者であるクモ類との間に、 $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ 共に、大きな違いを確認できず、特にヤブヤンマとクモ類との類似性は顕著であった。この結果は、水生と陸生という違いはあるもののこれらトンボ類とクモ類が同様の餌生物を捕食していることを示しているのかもしれない。今回は採集されなかったが、本ため池にはユスリカ科(Chironomidae)の幼虫が生息している(高橋大輔 個人的観察)。ユスリカ幼虫は池内のトンボ類の幼虫の重要な餌生物となっていると思われるが、羽化

したユスリカ成虫は陸生のクモ類の餌生物となるだろう。ユスリカ幼虫と成虫とで安定同位体比が異なる可能性はあるものの(Doi et al. 2007)、生活史を通じて水中と陸上を行き来するユスリカのような動物が、水生と陸生の捕食者の両方に利用されるのであれば、今回の結果のようにトンボ類とクモ類の安定同位体比が類似するかもしれない。陸域生態系の捕食者が水域生態系内や陸域との境界領域で生活する分類群の個体数に影響を及ぼすことが知られている(Romero & Srivastava 2010)。ため池が食物網構造に及ぼす影響を理解するために、トンボ類とクモ類との関係性については、今後より詳細に調べる必要があるだろう。

ため池造成区で採集された捕食者の内、マツモムシは他の捕食者よりも $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ 共に値が高かった。同様の傾向は、恵みの森のため池のように里山林内に新規に造成された水場でも観測されている(藤田ら 2011)。マツモムシは、ため池内の生物だけでなく、周辺から池に落下してきた陸上由来の生物も捕食するため、今回の結果は本種が水生のトンボ類幼虫や陸生のクモ類の両方を捕食することを示唆しているのかもしれない。

ため池造成区と同様に、非造成区においても両時期共に $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ の値は生産者より消費者の方が高かった。また、ため池造成区と異なり、 $\delta^{13}\text{C}$ — $\delta^{15}\text{N}$ グラフ上で、生産者から消費者が右上がりに例外なく配置された。これらの結果から、非造成区で採集された動植物は一連の食物連鎖上に位置すると思われる。

今回、 $\delta^{13}\text{C}$ の値は調査区間と採集時期間のどちらにおいても違いはみられなかったが、 $\delta^{15}\text{N}$ については非造成区よりもため池造成区の方が高かった。水域生態系においては人間の社会活動に由来する硝酸の流入やアンモニア揮発、脱窒などにより $\delta^{15}\text{N}$ が高まるということが知られており(例えばYamada et al. 1996)、ため池の富栄養化が周囲の陸域にも影響した結果、ため池造成区の方が $\delta^{15}\text{N}$ の値が高くなった可能性がある。ただし、恵みの森のため池には生活排水や農業排水が流入しておらず、貧栄養状態が保たれていることから(高橋大輔 未発表データ)、少なくともため池の富栄養化が高い $\delta^{15}\text{N}$ の原因であるとは考えにくい。ため池造成区において $\delta^{15}\text{N}$ が高かった理由を明らかにするためには、恵みの森のより広範囲で $\delta^{15}\text{N}$ の値がどのような分布を示すのかを調べる必要がある。

また、生産者と消費者の $\delta^{15}\text{N}$ の差は8月よりも10

月においてより大きかった。一般的に、生産者の光合成活性に応じて生産者と消費者の $\delta^{13}\text{C}$ は夏季に高く冬季にかけて低下する傾向を示すが(Yoshioka & Wada 1994)、 $\delta^{15}\text{N}$ については生産者と消費者は共に夏季よりも秋季の方が高い値を示したり(Yoshioka & Wada 1994)、明瞭な季節変化を示さない場合があることなど(高村ら 2007)、調査場所や対象とする分類群によって大きく異なる傾向を持つ。恵みの森における今回の $\delta^{15}\text{N}$ の季節的な変化がみられた理由については、冬季や春季も含め通年の調査を行い、検討する必要があるだろう。

おわりに

今回行われた炭素・窒素安定同位体比の予備的な分析の結果は、ため池の創出によって、これまで恵みの森ではみられなかった食物網構造が生み出された可能性を示唆するものであった。ただし、安定同位体比を測定した動植物はそれぞれの調査区内の生物の一部であること、また、ため池内の生産者である付着藻類や池底に堆積したリターなども十分に分析できていないことから、ため池の存在が林内の食物網構造にもたらした効果を明らかにしたとは言い難い。ため池が食物網構造に及ぼす影響の詳細を明らかにするために、今後は恵みの森内のより広範囲で、ため池内の生産者や池底に堆積するリターなども含め、多くの動植物の安定同位体比を測定し分析を行うこととしたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、坂田忠則氏、橋詰洋司氏、村山 隆氏には塩田平のため池の歴史やその造成技法について詳細な情報を頂いた。また、加藤義和博士からは、安定同位体比の測定についてのサポートと有益な助言を頂いた。安定同位体比分析は、京都在学大学生態学研究センターの共同利用施設を使用して行われた。本研究は、平成22～24年度長野大学研究助成金(基礎)の助成を受けて行われた。

引用文献

- 青木淳一編『日本産土壌動物第二版 分類のための図解検索』東海大学出版部、2015年
 尼川大録・長田武正『検索入門 樹木2』保育社、1988年
 アリ類データベース作成グループ2008『日本産アリ類画像データベース2008』アリ類データベース作成グ

- ループ、2008年
- 上田小泉近現代史研究会『農業の文化財 ため池をたずねる』上田小泉近現代史研究会、2000年
- 小野展嗣編『日本産クモ類』東海大学出版会、2009年
- Kato Y, Hori M, Okuda N, Tayasu I, Takemon Y“Spatial heterogeneity of trophic pathways in the invertebrate community of a temperate bog”*Freshwater Biology* Vol. 55, 2010, pp.450-462
- 川合禎次編『日本産水生昆虫検索図説』東海大学出版会、1992年
- 環境省『生物多様性保全上重要な里地里山』https://www.env.go.jp/nature/satoyama/20_nagano/no20-5.html (2018年4月3日確認)、2015年
- 高橋秀男・勝山輝男監修『樹に咲く花 離弁花』山と溪谷社、2000年
- 高橋秀男・勝山輝男監修『樹に咲く花 合弁花・単子葉・裸子植物』山と溪谷社、2006年
- 高橋大輔・西 順平・斉藤大地・堀内聖志・海津亮・馬場文秋・朝妻裕之・小林 慧・山崎 尊「ため池が里山林に生息する節足動物を中心とした動物相に及ぼす影響」『長野大学紀要』38巻、2016年、1-7頁
- 高橋大輔・丸野内淳介・井出悠生・高橋一秋・三上光一・伊藤和哉・佐藤 哲「新規の里山林内水域に移入したトウキョウダルマガエルとアズマヒキガエル」『爬虫両棲類学会報』2010(2)号、2010年、121-124頁
- 高村紀子・中川 恵・仲島広嗣・若菜 勇・伊藤富子・五十嵐聖貴「炭素・窒素安定同位体比による達古武沼生態系の評価」『陸水学雑誌』68巻、2007年、169-186頁
- 田下昌志・丸山 潔・福本匡志・小野寺宏文編『見つけよう信州の昆虫たち』信濃毎日新聞社、2009年
- Doi H, Kikuchi E, Takagi S, Shikano S“Changes in carbon and nitrogen stable isotopes of chironomid larvae during growth, starvation and metamorphosis”*Rapid Communications in Mass Spectrometry* Vol. 21, 2007, pp.997-1002
- 土居秀幸・兵藤不二夫・石川尚人『安定同位体を用いた餌資源・食物網調査法』共立出版、2016年
- 日本の里山・里海評価『里山・里海生態系と人間の福利：日本の社会生態学的生産ランドスケープ—概要版』国際連合大学、2010年
- 農林水産省『ため池百選』<http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/tameike/hyakusen.html> (2018年4月3日確認)、2010年
- 藤田拓真・上西 実・谷垣岳人・丸山 敦「龍谷の森」に造成された水場およびその周辺食物網構造」『里山学研究(龍谷大学里山学研究センター2010年次報告書)』、2011年、319-330頁
- Post DM“Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions”*Ecology* Vol. 83, 2002, pp.703-718
- 矢野 佐『原色植物検索図鑑』北隆館、1962年
- Yamada Y, Ueda T, Wada E“Distribution of carbon and nitrogen isotope ratios in the Yodo River watershed”*Japanese Journal of Limnology* Vol. 57, 1996, pp.467-477
- Yoshioka T, Wada E “A stable isotope study on seasonal food web dynamics in a eutrophic lake”*Ecology* Vol. 75, 1994, pp.835-846
- Romero GQ, Srivastava DS“Food-web composition affects cross-ecosystem interactions and subsidies”*Journal of Animal Ecology* Vol. 79, 2010, pp.1122-1131