

堤外地におけるヨシ原植生管理の違いが もたらす食物連鎖と物質循環の特性

THE PECULIARITY OF FOOD CHAIN AND MATTER CYCLE
CAUSED BY DIFFERENCES OF REEDBED VEGETATION MANAGEMENT
IN RIVERSIDE LAND.

佐藤 臨¹・東 信行^{2*}
Nozomu Sato, Nobuyuki Azuma

¹非会員 修 (農学生命) 岩手大学大学院連合農学研究科 生物環境科学
(〒020-8550 岩手県盛岡市上田三丁目18-8)

²正会員 農博 弘前大学准教授 農学生命科学部 (〒036-8561 青森県弘前市文京町3)
*E-mail: azuma@cc.hirosaki-u.ac.jp

The Reedbed which spread in the lower Iwaki River is precious habitat for some endangered species, such as Japanese Marsh Warbler (*Locustella pryeri*). This marshy-meadow has been retained by burning and cutting reed, but as it is frequently in recent years, drying of the non-managed reedbed is remarkably progressing.

We investigated the effect of these artificial managements on ground beetle community and food web structure in the reedbed ecosystem. Reed cutting is affective for maintaining of species richness of ground beetles, but non-managed area has less diversity because of desiccation on these wetlands. Food web analysis using stable carbon and nitrogen isotopes suggested that detritus food chain is affected by management which removes litter deposits from reedbeds. To conserve the environment and organisms in this ecosystem, we need a management design that ecological balance was considered.

Key Words: wetland, disturbance, ground beetle community, food web, stable isotope

1. はじめに

岩木川は青森県中西部を流れる一級河川であり、源流域に岩木山・白神山地・八甲田を含み、その総流域面積は2540km²に及ぶ。青森県の重要農産物であるリンゴ・コメの生産や、河口部汽水湖のヤマトシジミ・淡水魚類などの漁業にとっても重要な河川であり、その資源利用の為に河川及び流域環境の保全・管理が必要である。岩木川の下流部両岸の堤外地にはヨシ*Phragmites australis*が優占する湿地草原が発達しており、その総面積は395haと我が国において最大級の規模のヨシ原が残存する。岩木川ヨシ原は希少な鳥類や昆虫類の繁殖地及び棲息地として知られ、オオセッカ*Locustella pryeri* (環境省RDB・IB類)やチュウヒ*Circus spilonotus* (環境省RDB・IB類)、マークオサムシ*Limnocarabus maacki aquatilis* (環境省RDB・II類)などの重要種も多く棲息する。これらの生物種は繁殖や生存に比較的広範囲のヨシ原と、洪水などの自然攪乱によって形成される不安定な湿地・草地環境を

必要とするため、多くの自然湿地が失われた近年においてはごく限られた湿地に棲息するのみである。岩木川では河川拡幅やダム整備により激しい洪水など大規模な攪乱は起こらないため、人の手によるヨシ原管理がこの自然攪乱の代替を担ってきた。火入れやヨシの刈取りといった管理はこの地域で伝統的に行われてきたヨシ産業に伴うものであり、屋根葺き・雪囲い・防砂柵・ノリズなどの材料となるヨシの品質保持を目的として行われる。近年、これが結果として湿地の植生遷移を抑制し、ヨシ原の維持に貢献してきたことが示されている¹⁾。秋のヨシ刈取りや春の火入れはヨシを加害する病害虫および下草の除去を行い、火入れでは生じた灰が肥料になることで良質なヨシの生産を可能にする。また、堆積していたリター(ヨシなど植物の枯死体)が除去されることで植物が繁茂しやすい環境を形成し、湿地植生の多様性や遷移段階を維持する効果がある。しかし植生管理がヨシ原生態系に与える影響についての知見は極めて少なく、更に近年は防災上の理由により火入れが原則行われなくなり、

手が入れられずに放置されたヨシ原が目立つ。放置ヨシ原はリター堆積によって植生遷移が進行するため、樹木侵入などによる湿地環境の消失が懸念されている。

本研究ではまずヨシ原の生物群集の組成が植生管理によって変化するのかについて、地表性甲虫群集を用いた環境評価を行なった²⁾。次に、地表性甲虫を中心としたヨシ原生態系食物連鎖構造を炭素・窒素安定同位体比分析によって推定し、これについても植生管理による影響を評価した。上記2つのアプローチから、人為的管理が生態系における食物連鎖と物質循環に与える影響を明らかにし、ヨシ原管理の意義とあり方について考察することを目的とする。

なお、安定同位体比を用いた生態系の研究例は現在までに国内外で盛んに行われ食物網の知見が数多く得られているが、水圏生態系におけるものが大半を占め、湿地や草原を対象とした研究は非常に少ない。特に国内においてはヨシ原の土壌・植物・陸上節足動物・両生類などを広範に扱った例は他に無く、本研究は湿地・草地生態系における食物連鎖と物質循環を明らかにするうえで重要な知見であると思われる。

2. 調査地

岩木川下流部は青森県北津軽郡中泊町とつがる市の境界に位置し、多くは北津軽郡中泊町(旧中里町)に含まれる。ヨシ原は十三湖とつながる岩木川の河口部から上流へおよそ10kmまでの両岸の堤外地に発達し、周辺の水田や集落とは堤防によって分断されている。なお、この一帯は国土交通省の管理下にある。調査区は人為的管理が頻繁に行われている左岸部に、火入れ区st.A (Burnt)・刈取り区st.B (Cut)・放置区st.C (Control)・刈取り区st.D (Cut)の合計4区を設定した(Fig.1)。st.A・B・Cは隣接しており、これらの間を遮るものは見受けられない。またst.Aの火入れ区は刈取り区の一部であったが、2010年の春に部分的に火入れが行われ、それ以降は放置されている。st.Bおよびst.Dは区全体で毎年刈取りが行われており、比較的安定した攪乱地といえる。st.Cは2005年以降の人為的攪乱が行われず、枯れたヨシが堆積した結果、ヨシ原の植生遷移と乾燥化が進んでいる。

3. 材料及び方法

(1) 地表性甲虫群集の比較

a) 材料

ヨシ原で成立している節足動物の群集構造と、人為的管理が群集に与える影響を評価するため、環境指標種である地表性甲虫を研究材料として用いた。地表性甲虫の多くは地上やリター層を徘徊しながら節足動物や土壌動物などを広範に捕食する肉食性昆虫であるが、中には植物の種子または死肉や糞に好んで集まる群もあり、そ

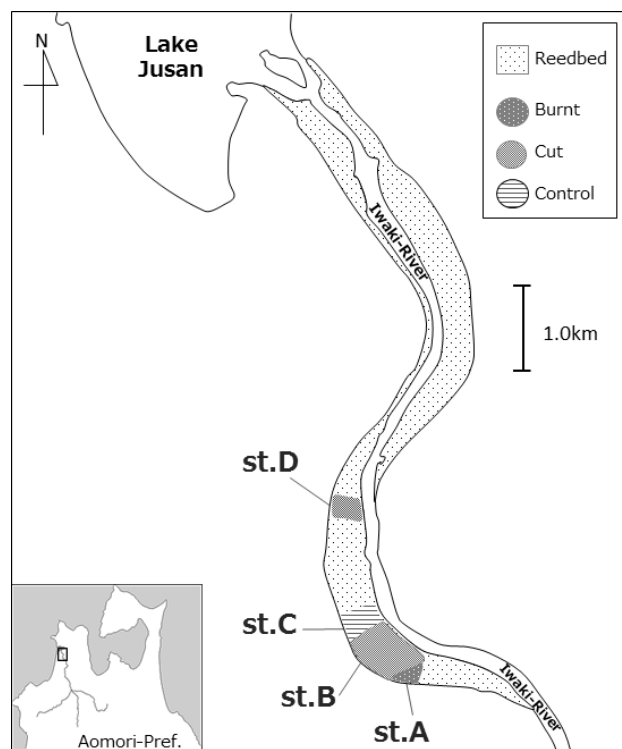


Fig.1. Reed bed distribution and the position of study sites at the lower Iwaki-River.

の食性は非常に多様である。本研究においてはオサムシ科・ホソクビゴミムシ科・シデムシ科の3科を対象とした。Brose³⁾などの研究事例にみられるように、地表性甲虫は植生の被度や構造に敏感に応答し、植生の変化による影響を強く受けることが知られており、環境評価における指標生物として有用である。

b) 調査方法

深さ9cm、口径7cmのプラスチックコップを地表面と水平になるように埋め込んだピットフォールトラップにより、地表徘徊する甲虫類を捕獲した。トラップは1調査区につき20個、4区で合計80個を設置した。各区に50×20mの区画を設定し、その範囲内にランダムに設置するものとした。その際、各コップはそれぞれ2m以上離れるようにし、設置する際にはトラップ周辺の植生と空間構造を大きく変更することがないように可能な限り留意した。低湿地の地下水位の変動は激しく、長期的な設置が困難であったため、短期間でのサンプリングを目的として各コップに誘引餌(サナギ粉)を入れて使用した。トラップは夕方設置して一晩放置した後、翌日の早朝にコップごと回収し、地点毎にフリーザーバックに分けて入れて研究室に持ち帰った。また回収時にはCO₂による麻酔を施してパック内での生物同士で食い合いが起こらないようにした。

サンプリング期間は2011年の6月8-9日・7月18-19日・8月21-22日・9月8-9日の計4回であり、捕獲したサンプルは研究室に持ち帰って-30℃の冷凍庫で一時的に冷凍保存し

た．後日解凍したサンプルを分別・種同定した後、種数と個体数を地点ごとの群集データとして集計した．種名は新訂原色昆虫大図鑑 第Ⅱ巻⁴⁾に従った．

c) データ分析

得られた群集の種数と種の個体数データをもとに Shannon-Wiener の多様度指数 H' と Simpson の多様度指数 $D(1/\lambda)^5$ を用いて各区の群集の種多様性を評価すると共に、2つの指数による評価を比較した．また、 H' を用いた Pielou の均衡度指数 J' ⁶⁾ を求め、群集の複雑さを評価した．

(2) 食物連鎖構造の解析

a) 炭素・窒素安定同位体比分析

一般に生物間の食物連鎖を知ることは難しく、存在する種が多いほど、食物網が複雑であればあるほどに困難である．安定同位体比は天然存在比が低くかつ安定な元素の生体中濃度の差を利用した天然指標であり、複雑な食物連鎖関係を可視化するツールとして有効である．一般に食物網解析で用いられるのは炭素($\delta^{13}\text{C}$)および窒素($\delta^{15}\text{N}$)の安定同位体比であり、サンプル中での存在比は(a)式のように求められる．

$$\delta^{13}\text{C} \text{ or } \delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = (\text{R}_{\text{sample}}/\text{R}_{\text{standard}} - 1) \times 1000 \quad (\text{a})$$

$$(\text{R} = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}, {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N})$$

ここで R_{sample} は測定サンプル中の比率を、 $\text{R}_{\text{standard}}$ は国際標準物質中の比率を示す．また、本研究では L-Alanine ($\delta^{13}\text{C} = 19.6\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = 5.0\text{‰}$) をワーキングスタンダードとして使用した．

$\delta^{15}\text{N}$ 値は餌動物が捕食者に食べられる過程で $3.4 \pm 1.1\text{‰}$ 上昇することが文献平均値として得られており⁷⁾、この濃縮係数が生物の栄養段階の推定に利用されている．一方、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は変化が少ない (濃縮係数: $0 \sim 1.0\text{‰}$ /栄養段階) ため、食物資源やエンドメンバーの推定に用いられている．

b) 材料と方法

既述のピットフォールトラップで採集した地表性甲虫やクモ類などの節足動物に加え、見つけ採りやライトトラップなどを併用してカエル類・ガ類および直翅目昆虫・ミミズ類・陸生貝類・植物葉などの生物サンプル・リターや泥炭土などの腐植まで広範に採集した．なお、分析対象は2011年の6月・7月の2か月間で任意採集したものに限る．これらサンプルは分析処理を行なうまで、 -30°C の冷凍庫で一時冷凍保存するものとした．分析の前処理として各サンプルを分別・洗浄した後、 60°C のオーブンで24時間乾燥させ、それぞれを粉末状に破碎した．粉末は動物サンプルを $\text{C} \cdot \text{N} = 0.4 \sim 0.8\text{mg}$ 、植物葉を $\text{C} = 0.4 \sim 0.7\text{mg}$ ・ $\text{N} = 2.0 \sim 3.0\text{mg}$ 、リター・泥炭土の腐植を $\text{C} = 0.4 \sim 0.7\text{mg}$ ・ $\text{N} = 2.5 \sim 7.0\text{mg}$ の範囲でスズ箔に封入し、安定同位体比質量分析装置(IR-MS)を用いて2元素の定量を行なった．全サンプルの一覧はTable.1に示す．カエル

Table 1. The list of all stable isotope samples.

Species & Materials	和名	Sample	n
•Predator			
<u>Frog</u>			
Bufonidae	Bufo japonicus formosus	アズマヒキガエル	Femoral muscle 3
Hylidae	Hyla japonica	ニホンアマガエル	Femoral muscle 11
<u>Spider</u>			
Licosidae	Arctosa ebicha	エビチャコモリグモ	Whole 4
	Pardosa laura	ハリグコモリグモ	Whole 12
<u>Ground beetle</u>			
Carabidae	Carabus granulatus	アカガネオサムシ	Whole 7
	Chlaenius circumductus	キベリアオゴミムシ	Whole 5
	Chlaenius pallipes	アオゴミムシ	Whole 12
	Lachnocrepis prolixa	トックリゴミムシ	Whole 15
	Limnocarabus maacki aquatilis	マークオサムシ	Whole 15
	Pterostichus sasajii	ササジホソナガゴミムシ	Whole 15
	Pterostichus prolongatus	オオクロナガゴミムシ	Whole 10
	Pterostichus rotundangulus	ヒメホソナガゴミムシ	Whole 15
•Primary consumer			
<u>Leaf beetle</u>			
Chrysomelidae	Chrysolina virgata	オオルリハムシ	Whole 4
<u>Moth</u>			
Arctiidae	Chionarctia nivea	シロヒトリ	Whole 4
Lasiocampidae	Euthrix potatoria bergmani	ヨシカレハ	Whole 5
Lymantriidae	Laelia coenosa sangaica	スゲドクガ	Whole 5
Noctuidae	Archanares resoluta	ハガタウスキヨトウ	Whole 12
<u>Cricket & Grasshopper</u>			
Acrididae	Oxya yezoensis	コバネイナゴ	Whole 5
Gryllotalpidae	Gryllotalpa orientalis	ケラ	Whole 5
Tettigoniidae	Conocephalus laponicus	コバネササキリ	Whole 4
•Decomposer			
<u>Snail</u>			
Succineidae	Succinea lauta	オカモノアラガイ	Without shell 7
<u>Millepede</u>			
Polydesmidae	Polydesmidae sp.	オビヤスデ科の一種	Whole 3
<u>Sandhopper</u>			
Talitridae	Talitridae sp.	ハマトビムシ科の一種	Whole 11
<u>Earth worm</u>			
Megascolecidae	Megascolecidae sp.	フトミズシ科の一種	Whole 4
•C3 plant			
Araceae	Lysichiton camtschaticense	ミズバショウ	One piece of reaf 3
Asteraceae	Artemisia indica var. maximowiczii	ヨモギ	One piece of reaf 8
Cyperaceae	Carex spp.	スゲ属の数種	One piece of reaf 12
Lamiaceae	Lycopus lucidus	シロネ	One piece of reaf 4
Poaceae	Phragmites australis	ヨシ	One piece of reaf 14
Polygonaceae	Polygonum thunbergii	ミソソバ	One piece of reaf 4
•C4 plant			
Poaceae	Miscanthus sinensis	ススキ	One piece of reaf 6
•Detritus			
	Litter	リター	Fixed amount 15
	Peat soil	泥炭土表層	Fixed amount 15

類については個体ごとに解剖で切り出した大腿部筋肉を用いた．クモ類や地表性甲虫をはじめとする節足動物、環形動物などは一個体全体を1サンプルとした．植物は一株から採取した葉一枚を1サンプルとして扱った．泥炭土は異なる地点から土壌表層を $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ の正方形で切り出し、土壌動物やリターを除去してオーブンで乾燥させた．乾燥後、 0.5mm メッシュのふるいを通して植物の細かい根や砂などを除去し、残った有機物を分析に用いるものとした．

c) 管理区間の比較

上記分析サンプルのうち、st.A・B・Cの3区で共通して採集された一般種を抽出して種ごとの安定同位体比を比較し、管理の違いによる δ 値の変化を検証した．3区間の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ それぞれについて Kruskal-Wallis test により non-parametric 検定し、有意差が得られたものについて Scheffe 法により3区間の多重比較を行なった．

4. 結果

(1) 地表性甲虫の種多様性

全4回のピットフォールトラップの結果をTable 2.に示

した。その大半は刈取り区st.Bで得られ(25種524頭)、遷移の最も進んだst.Cは出現種数・個体数ともに4区で最少であった(12種157頭)。多様性指数Shannon-Wiener(H')およびSimpson(D)の結果はおおよそ同じ傾向で、個体数の割に種数の多かった刈取り区st.Dが最も種多様性が高く評価された。次いで刈取り区st.B、次に火入れ区st.Aであり、放置区st.Cは調査区中で最も種多様性の低い環境であると評価された。

H'を用いたPielouの均衡度指数J'により、st.A・B・Cでは一部の種が群集内で占める割合が大ききことによって複雑性の低い群集であること、st.Dの群集は均衡度が高く、多数種が比較的均一に存在する複雑性の高い群集であることが示唆された。

(2) ヨシ原生生態系の食物連鎖

各サンプルの安定同位体比分析は食性や分類群ごとに集計し、その結果をTable 3.に示し、これを基にしたC/N比の散布図をFig.2.に示した。

食物連鎖の起点となる一次生産者(植物)や腐植などのエンドメンバーは同位体比の差が大きくなり、重複する傾向にある。ただし、C3植物とC4植物では光合成回路の炭素固定能力によって同位体分別が異なることから一般に陸上植物においては両者で $\delta^{13}\text{C}$ 値が10‰~20‰異なることが知られている⁸⁾。これは本研究においてもヨシ等(C3)とススキ*Miscanthus sinensis*(C4)とで、およそ15‰の差が見られた。また、腐植の方が生きている植物よりもやや $\delta^{13}\text{C}$ が高く $\delta^{15}\text{N}$ が低い傾向にある。

ハガタウスキヨトウ*Archanara resoluta*などのガ類、コバネイナゴ*Oxya yezoensis*などのバッタ類は優占植生であるヨシの茎や葉を食べる一次消費者であり、これらの δ 値はおおよそ濃縮係数を支持する値を示した(平均値の上昇値： $\delta^{13}\text{C}=+0.59\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}=+2.65\text{‰}$)。腐植から、分解者であるハマトビムシ(*Talitridae* sp.)などの土壤動物へは平均値でリターの場合は $\delta^{13}\text{C}=+2.22\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}=+3.56\text{‰}$ の上昇で、泥炭土表層の場合は $\delta^{13}\text{C}=+1.17\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}=+2.04\text{‰}$ の上昇となっている。これら分解者の $\delta^{13}\text{C}$ 値は変動が大きかった($\pm 1.92\text{‰}$)。

地表性甲虫は一次消費者と分解者を広く捕食するプレデターであり、 $\delta^{13}\text{C}$ 値はこの食性を反映するように両餌資源の中間的な値を示した。

このC/N比より、大まかな食物連鎖の経路としてC3植物→一次消費者→地表性甲虫→クモ類に至る生食連鎖系と、腐植→分解者→地表性甲虫・クモまでの腐食連鎖系の2つの連鎖系が見出された。

(3) 植生管理の違いによる影響

3区全てで確認された種の一覧と調査区ごとの分析値をTable 4.に示した。Scheffeの多重比較により地点間の $\delta^{13}\text{C}$ に有意差が認められたサンプルはマークオサムシ・ササジホソナガゴミムシ*Pterostichus saasajii*・スゲ類

Table 2. Total species richness and capture population from June to September, 2011. And show each index values.

Site	Species richness	Number	Diversity Index		Evenness Index J'
			H'	D(1/ λ)	
st.A	14	238	2.770	0.819	0.727
st.B	25	524	3.292	0.854	0.709
st.C	12	157	2.503	0.717	0.698
st.D	24	169	3.758	0.899	0.820
Total	34	1105			

Table 3. Sample types and stable isotope values.

Taxa	Sample	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
			mean	±SD	mean	±SD
Frog	Femoral muscle	15	-21.88	1.44	6.40	1.95
Spider	Whole	16	-24.74	1.37	9.20	0.73
Ground beetle	Whole	94	-26.44	2.00	7.39	1.27
Primary consumer	Whole	44	-28.57	1.95	5.58	1.77
Decomposer	Whole	25	-26.14	1.92	4.87	1.24
C3 plant	One reaf	45	-29.16	2.13	2.93	1.76
C4 plant	One reaf	6	-12.80	0.16	2.18	1.42
Litter	Fixed amount	15	-28.36	1.13	1.31	1.66
Peat soil	Fixed amount	15	-27.31	1.62	2.83	0.63

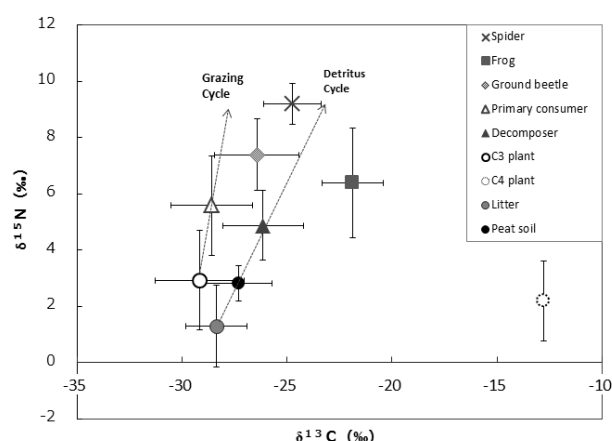


Fig.2. Food-web structure of reedbed. In the point, the mean, the bar shows standard deviation. Direction of the allows indicate Grazing cycle (the origin of C3plants) and Detritus cycle (the origin of peat soil and litter).

Carex spp.・泥炭土で、これらは全て火入れ区vs放置区の場合だった。 $\delta^{15}\text{N}$ ではハリゲコモリグモ*Pardosa laura*(刈取りvs放置)・ササジホソナガゴミムシ(火入れvs放置)・ヒメホソナガゴミムシ*Pterostichus rotundangulus*(火入れvs放置)・ハマトビムシ科の一種(火入れvs放置)の場合で有意差があった。ヨシの δ 値は放置区でやや $\delta^{15}\text{N}$ が高い他には地点間で大きい変化は見られず、比較的安定である。泥炭土表層の $\delta^{13}\text{C}$ 値は刈取り区や放置区は $\delta^{13}\text{C}$ が上昇し、値幅も非常に広がったが、火入れ区では値幅が少なく均質的であった。リターは放置区で $\delta^{13}\text{C}$ 値幅が広くなり、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は顕著に低下していた。ほとんどヨシの茎のみを食べるハガタウスキヨトウは地点間で δ 値に違いが見られず、餌であるヨシの δ 値を反映した。地表性甲

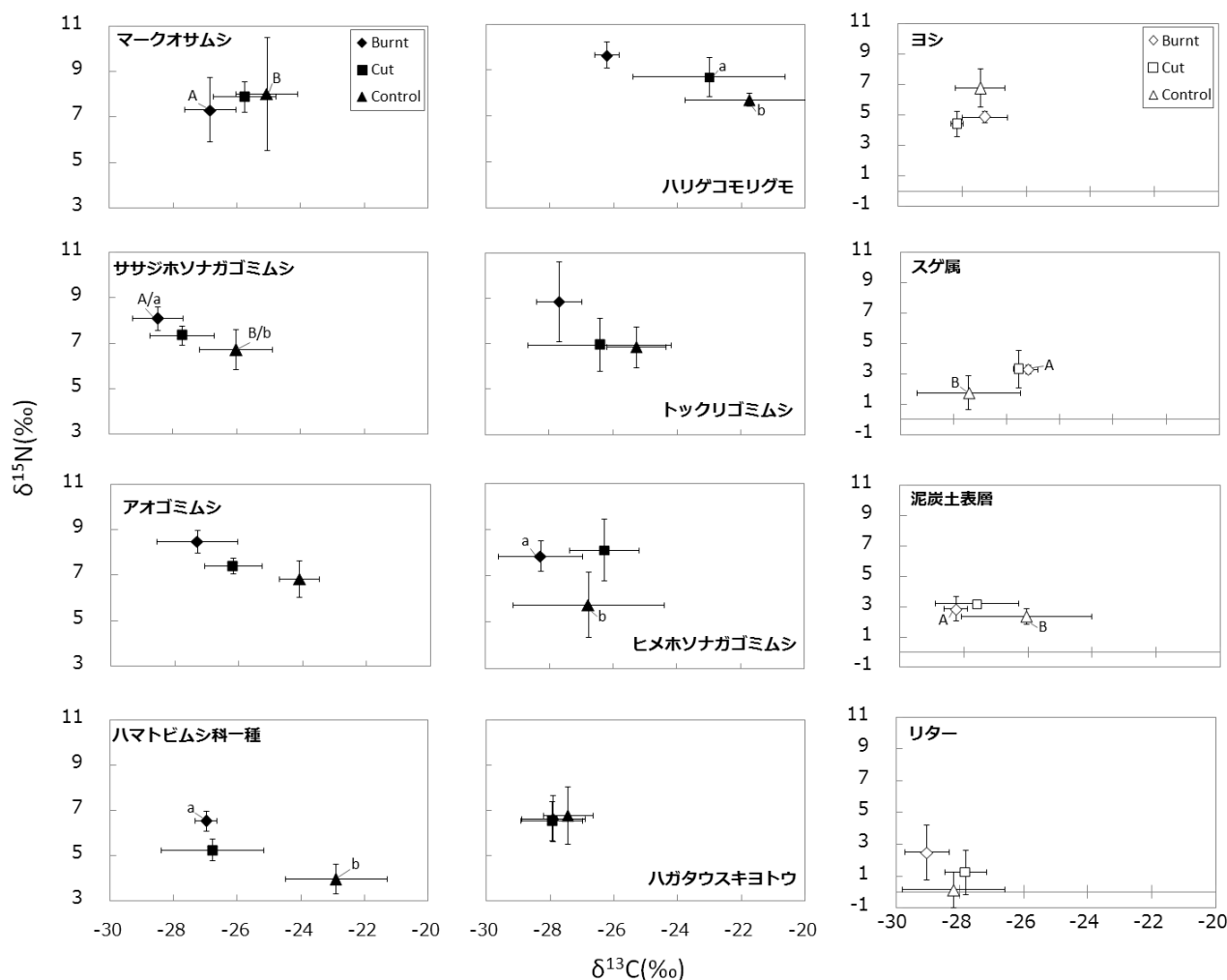


Fig.3 Stable isotope ratios of each species (Mean $\pm$ Standard Deviation). Burnt (st.A) is diamonds, Cut (st.B) is squares, Control (st.C) is triangles. Filled symbols indicate consumers plot, and open symbols represent plants and detritus as the source of food chain. Significant differences in the ratios among three sites are indicated by different letters ($\delta^{13}\text{C}$: A or B, $\delta^{15}\text{N}$: a or b). Kruskal-Wallis test and Scheffé's method used ($p < 0.05$).

虫・ハリゲコモリグモ・ハマトビムシ科の一種などの腐食性を持つ種はいずれも火入れ区→刈取り区→放置区へ $\delta^{13}\text{C}$ 値および値幅の増加と $\delta^{15}\text{N}$ 値の低下の傾向が一様に確認された。これは腐植の δ 値の変化を反映している(Fig.3.)。

5. 考察

(1) 節足動物群集と管理の影響

岩木川下流部のヨシ原には湿地性種を主体とする特徴的な地表性甲虫群集が成立している²⁾。刈取りが毎年行われるヨシ原は種多様性の高い群集が成立しており、特に湿地性種の棲息場所として好適な環境である。地表性甲虫の種多様性とヨシ原の維持の為に今後も刈取りが継続して行われる必要があると思われる。これに対して、放置区は湿地の乾燥化が著しいため湿地性種の棲息に不適な環境であることが示唆された。鳥類については、重要種であるオ

オセッカの営巣環境として下草やリターの豊富な放置区の存在が春の繁殖初期において重要であることが報告されており、枯れヨシが堆積した環境がある程度の規模で必要である⁹⁾。これまで岩木川では刈取りと火入れ、および放置による植生管理が良い形でローテーションされてヨシ原が維持されてきたが、火入れや刈取りの規模の縮小による放置ヨシ原の増加など今後の管理の在り方によっては生物群集が大きく変更され、ある分類群においては重大なダメージとなる可能性がある。

(2) ヨシ原食物網と管理の影響

優占種であるヨシなどのC3植物を起源にした生食・腐食連鎖系がこの食物連鎖の主軸となっている。C4植物であるススキなどはヨシ原において少数派であることから、この食物連鎖へのこれらの寄与は少ないといえる。地表性甲虫はこれらの連鎖系を広く利用するプレデターであり、その種数・生物量も

豊富であることから、ヨシ原食物網において重要な地位を占める群である。同じくプレデターであり食性が重複するクモ類は地表性甲虫よりも $\delta^{15}\text{N}$ が高く、この食物連鎖においては最も上位の栄養段階に存在している。また、地表性甲虫より $\delta^{13}\text{C}$ 値が高く、腐食連鎖系を多く利用しているものと推測された。

種ごとに管理区間の同位体比を比較した結果では、放置区の泥炭土とリターの $\delta^{13}\text{C}$ 値および値幅が他の区より大きく、それに伴って腐食連鎖系を利用する消費者の $\delta^{13}\text{C}$ 値も変動していた。土壌の $\delta^{13}\text{C}$ 値は有機物の分解が進み糸状菌やバクテリアなどの分解者が増加するほど、土壌の深い部分ほど値が高くなることが知られており¹⁰⁾、放置区は毎年様々な状態のリターが堆積して有機物の分解が他区よりも盛んであると考えられ、これが腐食連鎖系の多様性に影響していると推察される。また、分解者についても生活する層や餌として利用する腐植の質が種ごとに異なるため、 δ 値は泥炭土と同様の変化をする可能性がある。分解者の分析サンプルは少なく、本研究の分析結果が腐食連鎖系の全体像を捉えているとは言い難い。今後、腐植と土壌動物についてはより詳細な解析が必要である。腐食連鎖に加え、放置区は乾燥化によって多様な植物が侵入しているため、生食連鎖系の多様性も同時に高まっているはずである。一方で火入れ区では地上部のリターと植物体が全て燃え、地下茎のヨシやスゲ類のみが残るため、地上部の再生産後はこれらのC3植物が優占する食物源の単純な($\delta^{13}\text{C}$ 幅が狭い)連鎖系が形成されている。刈取り区はリターとともに地上部の植物体が除去されるが、細かいリターは毎年除去されずに少なからず残るため、堆積量は火入れ区と放置区の間と言え、各種の $\delta^{13}\text{C}$ 値も両区の間値を示している。刈取り区においてもヨシ・スゲ群落内にシロネやヨモギなどの植物が生息しているが少数派であり、生食連鎖方向への寄与は少ないものと推察される。

以上から、人為的管理はヨシ原の植生やリター堆積量を操作することにより、腐食連鎖系の多様性に影響を及ぼすことが分かった。また、距離の近い隣接した管理区間でも食物連鎖に顕著な違いが生じることが示された。また、管理に伴うリター除去は遷移段階を維持するだけでなく、食物連鎖と物質循環にも影響を及ぼすことが安定同位体比分析によって明らかとなった。

6. ヨシ原管理の展望

長く人の手が加えられない放置区が広範囲に存在する状態は少なくとも地表性甲虫にとっては好ましくない反面、鳥類においては繁殖上で重要な環境であるなど、ある分類群に偏った保全管理は望ましくない。現在のヨシ原は大部分が放置区であるが、例えばこの中にも毎年刈取りを行なう区画を設ける、もしくは数年おきに火入れによる広範囲な攪乱を行うなど湿地の遷移を防ぎつつ全体の種多様性を損ね

ない、生態系バランスを考慮した管理デザインが必要であると考えられる。何より、管理が与える様々な生物群への影響を精査して行うべきであり、今後もこれらの生態学的知見の集積が求められる。

謝辞: 本研究の一部は河川生態学術研究の助成を受けて行われた。遂行にあたっては、国土交通省東北地方整備局青森河川国道事務所に現地調査への便宜を図っていただいたほか、分析機器は弘前大学農学生命科学部の荒川修教授からお借りした。この場を借りて関係各位に深く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 寺林暁良, 2008. 生態系保全における社会的諸条件への考慮のあり方 -岩木川下流部のヨシ原を事例とした環境史による提言-. 保全生態学研究 **13**: 169-177
- 2) 佐藤 臨・東 信行, 2013. 人為的管理がヨシ原の地表性甲虫群集に与える影響. 白神研究 **9**: 印刷中
- 3) Brose U., 2003. Bottom-up control of Carabid beetle communities in early successional wetlands: mediated by vegetation structure or plant diversity? *Oecologia* **135**: 407-413
- 4) 新訂原色昆虫大図鑑 第II巻(甲虫篇), 2007. 株式会社北隆館. 526pp. +196原色図版.
- 5) 木元新作, 1976. 動物群集研究法I - 多様性と種類組成. 生態学研究法講座 **14**
- 6) Pielou E. C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* **13**: 131-144
- 7) Minagawa, M, and Wada, E. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et cosmochimica Acta* **48**: 1135-1140
- 8) 米山忠克・笹川英夫, 1994. 土壌-植物系における炭素, 窒素, 酸素, 水素, イオウの安定同位体自然存在比: 1987年以降の研究の進歩. 土肥誌 **65**(5): 585-598
- 9) 竹内健吾・東 信行, 2005. 岩木川下流におけるオオセッカの繁殖場所選択. 野生生物保護 **9**(2): 59-68
- 10) 米山忠克, 1987. 土壌-植物間における炭素, 窒素, 酸素, 水素, イオウの安定同位体自然存在比: 変異, 意味, 利用. 日本土壌肥料科学雑誌 **58**: 252-268

(2013. 4. 4受付)