

Characteristics of shifts in the trophic pathways and position of macroinvertebrates in an intermittent river ecosystem in Japan

辛 賢善

環境動態学専攻

第1章 序論

河川生態系の食物網は、河川内の一次生産（自生性起源）と陸生植物に由来する有機物（他生性起源）の2つの主要なエネルギー源に依存している。これらのエネルギー源は質的な違いがあり、環境変化に対応して異なる反応を示す。間欠河川における食物網の研究では、主要な餌資源としての自生性起源と他生性起源の様々な評価が行われている。一般的に間欠河川は河床の地下水面上に存在し、流水期と渇水期によって特徴付けられる動的水文システムであり、河川環境に不均一性をもたらす。そのため、間欠河川の生物相は、干上がる過程におけるハビタットサイズの減少や河川水のイオン成分の濃度やpHの上昇などの物理化学的あるいは生物学的制約に対処する必要がある。

本研究では、犬上川と愛知川の間欠河川系において、餌資源（浮遊粒状有機物 [SPOM]、底生粒状有機物 [BPOM]、付着藻類）に基づいた水生昆虫を含む大型無脊椎動物の栄養経路の空間的変化を調査した。また、河川の主要な水生昆虫である *Stenopsyche marmorata* の河川の干出化に伴う栄養構造への影響と成長段階による栄養構造の変化を調査した。栄養経路の特定には、河川生態系の生元素動態を理解する上で有効な手段である炭素と窒素の安定同位体比を用いた。さらに各河川の食物網を比較するために、各河川で採取した大型無脊椎動物の栄養経路を摂食機能群 (FFGs) によって分類し、各 FFG に対する餌資源の寄与および流域の物理化学的影響を考察した。

第2章 犬上川における *Stenopsyche marmorata* の基礎栄養の空間的変動

犬上川の干出水路より上流域に2地点 (U1 と U2) と下流域に2地点 (L3 と L4) を調査地点とし、餌資源に基づく *S. marmorata* の栄養経路の空間的分布を調査した。*S. marmorata* の安定同位体比は BPOM と同様の傾向で移行し (Fig. 1)、現場の有機物が餌資源として重要であることを示唆していた。しかしながら、混合モデルを用いた *S. marmorata* の餌資源の寄与の推定によると、上流域では BPOM (>60%) と付着藻類 (>30%) の2つの餌資源への依存を示したが、下流域では BPOM のみに依存していた。つまり、*S.*

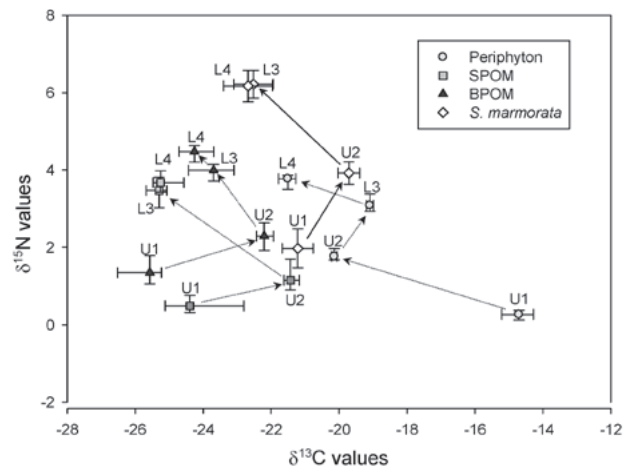


Fig. 1. Carbon and nitrogen stable isotope (‰) plots of *Stenopsyche marmorata* and its food sources in the Inukami River. U1 and U2 are in the upper reaches and L3 and L4 are in the lower reaches of the river.

marmorata によって同化された餌資源が上流域と下流域で相対的に異なっていたことが示唆された。犬上川の物理化学的特徴については、U2 では水温が高く流量が少なかったことから、伏流過程で形成された停滞水による影響が示唆された。また U2 から L3 にかけては、SPOM 濃度は 0.32 から 0.03 mg/L、溶存有機炭素濃度は 1.5 から 0.9 mg/L に減少し、さらに L3 では他の地点より栄養塩濃度が高いことを示した。したがって、干出水路の上流域では、高い水温や停滞水などの物理化学的特徴を反映した結果として $\delta^{13}\text{C}$ の高い値を示したと考えられた。一方、下流域では、水路が干上がることで粒状物質や溶存有機炭素が不足し、付着藻類の寄与が卓越したため $\delta^{13}\text{C}$ 値は低く、一方、地下水もしくは流域からの汚染物質の流入の影響により $\delta^{15}\text{N}$ 値は高くなったと考えられた。このように、干出水路は河川食物網系の消費者と餌資源の間のエネルギーの流れや上流域から下流域への栄養塩の流れに影響すると考えられた。

第3章 犬上川における水生昆虫の栄養経路の変動と食物網の特徴

犬上川において、餌資源に基づく水生昆虫の栄養経路の変動と食物網の特性を調査した。犬上川の各地点で採取された主要な水生昆虫は *Glossosoma* spp., *Chironominae* spp., *Stenelmis*

spp., *Rhyacophilla nigrocephala*, *Hexatoma spp.* であり、異なる摂食戦略によって特徴付けられた。水生昆虫と餌資源の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、Scraper (刈取食者; *Glossosoma spp.*) は付着藻類、Collector-gatherer (採集食者; Chironominae spp., *Stenelmis spp.*) は BPOM、Predator (捕食者; *Rhyacophilla nigrocephala*, *Hexatoma spp.*) は他の水生昆虫を摂食することを示し、現場の消費者の栄養段階は餌資源の栄養段階によって決定された。また、栄養経路については、物理化学的または地理的条件に関連して上流域 (U2) から下流域 (L3 と L4) にかけて水生昆虫と有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値はともに減少し、 $\delta^{15}\text{N}$ 値はともに増加する傾向を示した (Fig. 2)。このことは、間欠河川システムにおける食物網内の有機物から消費者へのエネルギーの流れを反映した結果であると考えられた。

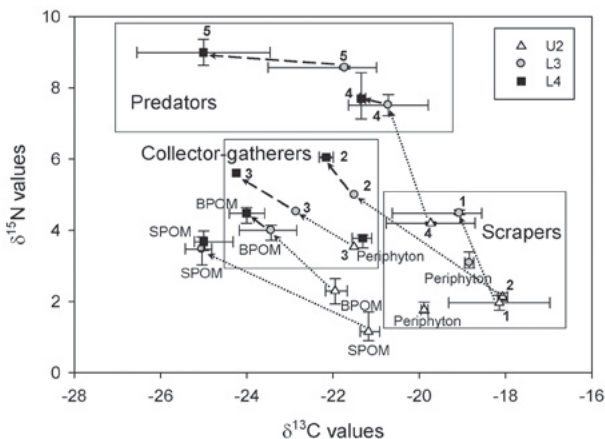


Fig. 2. Carbon and nitrogen (mean \pm SD) stable isotope plots of aquatic insects and their potential food sources in the Inukami River. 1: *Glossosoma spp.*; 2: *Stenelmis spp.*; 3: Chironominae spp.; 4: *Rhyacophilla nigrocephala*, and 5: *Hexatoma spp.*

第4章 愛知川におけるトビケラ幼虫の成長段階による栄養段階の特徴

愛知川の干出水路より上流域に2地点 (ES 1 と ES 2) と下流域に2地点 (ES 3 と ES 4) を調査地点とし、*S. marmorata* とその餌資源、および流域の物理化学的特徴の水平分布を調査した。また、*S. marmorata* の頭長により齢分類し、1~3 齢、4 齢、5 齢幼虫をそれぞれ class I, II, III で示し、これらの成長段階による栄養構造の変化を明らかにした。*S. marmorata* と餌資源の安定同位体比は ES 3 を除いて、上流から下流にかけて増加する傾向を示した (Fig. 3)。混合モデルを用いた *S. marmorata* の餌資源の推定によると、ES 1 では class I と II が他生性起源由来の SPOM、class III が自生性起源由来の BPOM を主要な餌資源としていることが示唆

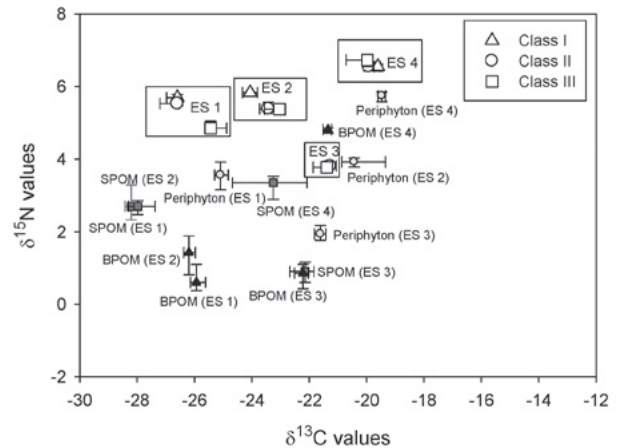


Fig. 4. Carbon and nitrogen stable isotope (‰) plots of *Stenopsyche marmorata* and their food sources in the Echi River.

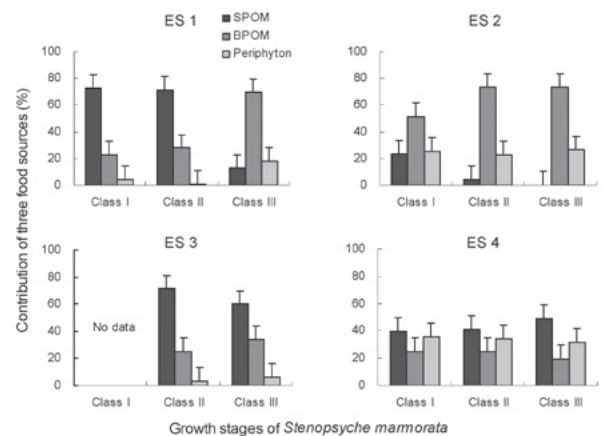


Fig. 3. Contributions (%) of suspended particulate organic matter (SPOM), benthic particulate organic matter (BPOM), and periphyton for *Stenopsyche marmorata* larvae at the respective stations and mixed diet calculated using the three-source isotope mixing model.

されたが (Fig. 4)、下流域における成長段階による餌資源の違いはほとんどみられなかった。したがって、上流域では、成長段階に伴って栄養構造が変化することを示し、それらの栄養構造は餌資源の起源によって影響されたと考えられた。このような河川生態系の一部では、低い成長段階である若齢幼虫が非選択的摂食により動物質や有機デトリタスを含む高栄養質の餌資源を偶然に摂食することで、高齢幼虫よりも高い栄養段階を示す可能性が考えられた。

第5章 愛知川における大型無脊椎動物の栄養経路の変動と食物網の特徴

愛知川において、有機物から消費者である大型無脊椎動物への栄養経路と食物網の特徴を調査した。また、大型無脊椎動物を摂食機能群に分類し、それぞれの餌資源を分析した。大型無脊椎動物と餌資源の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、Scraper (*Lymnaea auricularia*,

Psephenoides spp.) と Collector-gatherer (*Ecdyonurus levis*, *Paraleptonphlebia chocolata*, *Ephemera strigata*, *Stenelmis* spp.) は現場の付着藻類を摂食し、Predator である *Davidius lunatus* と *Hexatoma* spp はそれぞれ *Ephemera strigata* と *Stenelmis larvae* を摂食していたことを示した (Fig. 5)。浸透水に影響された地点では、大型無脊椎動物の $\delta^{15}\text{N}$ 値はその餌資源に基づいて比較的低いことを示した。同種であっても現場の大型無脊椎動物の栄養経路は地点によって異なり、有機物から消費者への栄養経路を反映した結果であると考えられた。

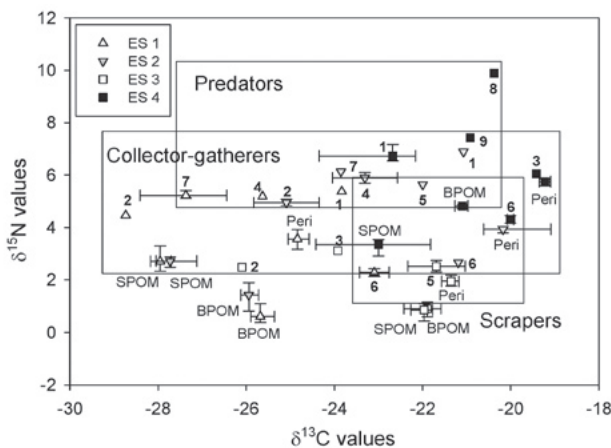


Fig. 5. Mean carbon and nitrogen stable isotope plots of macroinvertebrates and their potential food sources in the Echi River. 1: *Rhyacophila nigrocephala*; 2: *Ecdyonurus levis*; 3: *Paraleptonphlebia chocolata*; 4: *Ephemera strigata*; 5: *Lymnaea auricularia*; 6: *Psephenoides* spp.; 7: *Davidius lunatus*; 8: *Hexatoma* spp.; 9: *Stenelmis* spp.

第6章 総合考察

犬上川と愛知川の食物網の特徴を比較するために、大型無脊椎動物を FFGs によって分類した。また、混合モデルを用いて各 FFG に対する餌資源の寄与を算出した。犬上川では、Scraper は主に付着藻類を摂食するが、Collector-gatherer と Collector-filterer (濾過食者; *S. marmorata*) は主に付着藻類に由来する BPOM を摂食することを示した。これは一次消費者から Predator への栄養経路の移行に関連して付着藻類に由来する BPOM が重要な餌資源であることが考えられた (主要なエネルギーの流れ: BPOM \Rightarrow Collectors-filterer \Rightarrow Predator)。愛知川では、Scraper、Collector-gatherer、Collector-filterer (*S. marmorata*) の主要な餌資源は自生性有機物であり、上流における Collector-filterer の若齢幼虫を除いて、一次消費者から Predator への栄養経路の移行に関連して付着

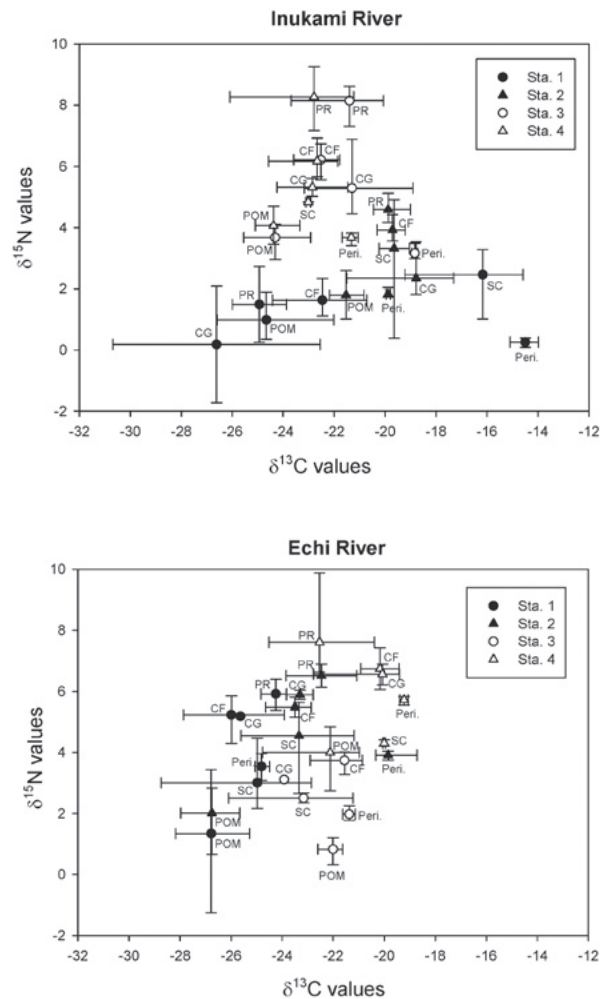


Fig. 6. Mean carbon and nitrogen isotope values (‰) of food sources and functional feeding groups (FFGs) in the Inukami and Echi Rivers. CG, collector-gatherer; CF, collector-filterer, SC, scraper; PR, predator; POM, particulate organic matter; Peri., periphyton

藻類が重要な餌資源であることを示していた (主要なエネルギーの流れ: 付着藻類 \Rightarrow Collectors-gatherer \Rightarrow Predator)。

犬上川では、上流域から下流域にかけて有機物と FFGs の $\delta^{13}\text{C}$ 値は減少し、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は増加する傾向を示した (Fig. 6)。犬上川の下流域における餌資源の安定同位体比は、河川の干出化により上流域から下流域への粒状物質や溶存有機炭素の供給が阻害されたことや生息水域が高い無機態窒素濃度の地下水供給により影響された可能性が考えられた。このような物理化学的因子が上流域から下流域への FFGs の栄養経路の移行に間接的に影響を与えたと考えられた。また、愛知川では、上流域から下流域にかけて有機物と FFGs の $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値は増加する傾向を示したが、Sta. 3 では比較的低い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示していた (Fig. 3)。愛知川では、流域の土地利用の約 8 割が森林であることや、下流域の栄養塩濃度が

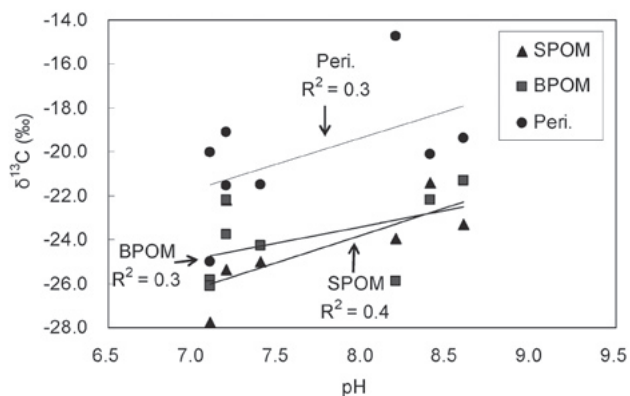


Fig. 7. Relationships between carbon isotope values of food sources and pH of the 2 intermittent streams. Peri., periphyton.

上流域と比較して低いレベルであったことから、浸透水への人為的影響が小さく、干出水路によって一時的な栄養レベルの低下を引き起こしたと考えられた。さらに、両河川において、有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は流域間で変化し、河川水の pH の値とも関係して増加していた (Fig. 7)。基礎生産者と消費者の $\delta^{13}\text{C}$ 値は pH に対応して変化することで、藻類が光合成活性に利用する基質の変更や河川水中の溶存無機炭素濃度に影響することで、有機物から消費者へのエネルギーの流れに間接的に影響した可能性が考えられた。

本研究の結果から、犬上川と愛知川は均質な気候や扇状地という地形条件における間欠河川システムという共通した特徴をもつが、栄養経路や物理的または地形的特性という点で異質的であることを示していた。間欠河川食物網系内の有機物から消費者へのエネルギーの流れに対して直接的に影響する現場の餌資源の起源とともに、間接的に影響する流域の物理化学的または地理的条件が重要であると考えられた。