

## 9729 森林—河川—沿岸海洋の複合生態系連鎖、および遡河遊魚による 栄養塩類の輸送機能

助成研究者：後藤 晃 (北海道大学 水産学部)  
 共同研究者：帰山 雅秀 (北海道東海大学 工学部)  
 中野 繁 (北海道大学 農学部)  
 野田 隆史 (北海道大学 水産学部)

河川は陸域と陸水域という明確に区分される2つのハビタットのエコトーンであると共に、陸水域と沿岸海洋域というハビタット間のエコトーンでもある。これらの空間的に隣接するハビタットは相互に影響を受けているが、その相互作用に関する研究は未だ少ない現状にある。そこで本研究では、1) 森林—河川エコトーンにおける物質循環と食物網の動態、2) 岩礁潮間帯における生物群集と動態、および3) 遡河回遊性サケ属魚類による海洋生態系から陸上生態系への物質輸送機能について調査を行った。そして、森林—河川—沿岸海洋のハビタット間での相互作用の重要性と、遡河回遊魚の本複合生態系での物質循環における役割を考察した。

1. 北海道南西部の落葉広葉樹林を流れる河川で、森林—河川エコトーンにおける物質循環と食物網に関する調査を行った。その結果、樹木の葉群量と河川の藻類現存量の季節動態は、前者では夏季に最大量になり、後者では秋—春に最大量になることが示された。この一次生産量の季節動態に対応して、陸上性無脊椎動物の現存量も夏季に最大となり、一方、河川の無脊椎動物の現存量も秋—春に最大となった。そして、餌資源への依存度については、森林性鳥類は春季に河川性無脊椎動物への依存度が高く、魚類では夏季に陸上性無脊椎動物への依存度が高くなることが示された。以上の結果から、森林と河川間にみられる物理的・化学的環境の季節動態の違いが、両ハビタット間での一次生産量の傾斜とその季節的な相違をもたらしていると考えられる。また、この季節的な違いを反映して、森林生態系の高次捕食者としての鳥類が秋—春に河川の生産に強く依存し、一方、河川の魚類は夏季に森林の生産に強く依存するという双方向的な相互作用が生じると推測される。

2. 岩礁潮間帯の生物群集の構造と動態を明らかにする目的で、北海道南西部の6海岸において、クロロフィルa量と窒素塩濃度を測定し、また植物プランクトン量と栄養塩の供給量との関係、および植物プランクトン供給量と各海岸の群集構造との関係に関して調査した。その結果、クロロフィルa量と栄養塩濃度はそれぞれ海岸間で有意な違いを示したが、海岸毎のそれらの間には相関は認められなかった。また、栄養塩濃度と藻食者のバイオマスには相関が示されたが、植物プランクトン量、栄養塩量および第三次栄養段階の動物のバイオマスの3者間には有意な相関は認められなかった。

3. 遡河回遊性サケ属魚類の河川と海洋におけるバイオマスを比較調査した結果、ベニザケを初めとする遡河回遊魚は陸上生態系から海洋生態系へ流出した栄養塩のフィードバック機構として、その物質輸送の重要な担い手であることが改めて確認された。



## 9729 森林—河川—沿岸海洋の複合生態系連鎖、および遡河遊魚による 栄養塩類の輸送機能

助成研究者：後藤 晃 (北海道大学 水産学部)  
 共同研究者：帰山 雅秀 (北海道東海大学 工学部)  
 中野 繁 (北海道大学 農学部)  
 野田 隆史 (北海道大学 水産学部)

### 1. 研究目的

自然生態系における物質循環や食物網の動態については従来、ある特定のハビタット内部における現象として捉えられてきた。しかし、各ハビタットは決して閉鎖されたシステムではなく、空間的に隣接する異質なハビタットからの影響を受けている。近年、様々な生態系において、この不連続なハビタットのインターフェイス（エコトーン）における生物や有機物のフラックスが定量化され、異質なハビタットの隣接構造が食物網動態に与える影響の重要性が徐々に明らかにされつつある。例えば、乾燥地域の海岸部や島嶼では、海岸に打ち上げられる海洋由来のデトリタスや海鳥の寄生虫が陸上生態系の主要な生産基盤となっており、これらが陸上の食物網中における捕食者-被食者関係の強度をも緩和することが報告されている (Polis et al. 1995)。

河川は、陸域と陸水域という明確に区分される2つのハビタットのエコトーンとして捉えられ、河川の水生生物群集は河畔域から強い影響を受けている。特に森林地帯を流れる河川では一般に、河畔林からの落葉・落枝の供給が底性無脊椎動物の重要な餌資源となり食物網の起点になる。また、河畔域から落下供給される陸上性無脊椎動物は、直接魚類などの高次捕食者の餌資源として大きな位置を占める場合が多い (Naiman and Decampus 1997)。一方、河川は陸水域と沿岸海洋域という異なるハビタットのエコトーンでもあり、陸上生態系と海洋生態系における物質循環や食物網を関連づける機能をも担っている。しかし、これらの陸上—河川生態系と沿岸海洋生態系との相互作用に関する研究は未だ少ない現状にあるといえる。

そこで本研究では、1) 森林—河川エコトーンにおける物質循環と食物網の動態、2) 岩礁潮間帯における生物群集と動態、および3) 遡河回遊性サケ属魚類による海洋生態系から陸上生態系への物質輸送機能を明らかにする目的で調査を行い、森林—河川—沿岸海洋という異なったハビタット間での相互関係の重要性と、遡河性回遊魚のこの複合生態系における物質循環における役割に関して考察した。

## 2. 研究方法

### 2-1. 森林-河川エコトーンにおける物質循環と食物網に関する調査

1997年度4月-1998年3月にかけての期間、北海道西南部の落葉広葉樹林を流れる小河川の河畔域に設定した10haの調査プロットにおいて、以下の項目に関する調査を行った。

- 1) 河畔森林においては、物理環境要素として樹冠における光量子量および気温の自動観測、生産系として成長バンドを用いた樹木の成長解析、プラントキャノピーアナライザーによる葉群の季節動態およびリタートラップによる落葉量の推定、分解系としてリターバッグ法による林床における落葉の分解速度の定量化、無脊椎動物に関してピットホールトラップによる林床徘徊性無脊椎動物の定量採集、バキューミング法による樹幹上の無脊椎動物の定量化、ピーティング法による葉上無脊椎動物の定量採集、およびマレーゼトラップによる飛翔昆虫の定量化、そして脊椎動物に関して直接観察による鳥類の個体数の推定と餌メニューの推定を行った。
- 2) 河川においては、物理環境要素として水面における相対光量子量および水温の自動観測、栄養塩類として河川水中における $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^-$ 、total N、total P 溶存量の分析、生産系としてクロロフィル法による付着藻類の現存量と生産速度、分解系としてターバッグ法による河床における落葉の分解速度の定量化、無脊椎動物に関してはサーバーネットサンプラーによる底性無脊椎動物の現存量および生産量の推定、および脊椎動物に関しては除去法による魚類の個体数推定と吐き戻し法による胃内容物の分析を行った。
- 3) 森林-河川間の移流に関しては、栄養塩類としてライシメーターによる表層および深層土壌浸透水の採集と $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^-$ 、total N、total P 溶存量の分析、デトライタスとしてリタートラップによる落葉・落枝の河川への移入量およびドリフトネットによる流域末端からの粒状有機物の流送移出量の推定、そして生物については水盤トラップを用いた陸上性無脊椎動物の河川への落下量の推定およびエマージェンストラップによる水生昆虫の羽化量の推定を行った。

### 2-2. 岩礁潮間帯生物群集の構造と動態に関する調査

北海道南部の6海岸のムラサキインコガイのマットの発達した潮間帯で行った (Fig. 1)。各調査地は波当りの強い火山細砕岩の海食棚上に存在する。

各海岸の栄養塩供給量を求めるため、1997年5月から1998年1月までの期間、毎月一回各海岸で同じ日に表層水100mlを採取し、オートアナライザーで硝酸態、亜硝酸、リン酸および、ケイ酸の濃度( $\mu\text{M}$ )を測定した。全海水試料で窒素のモル比率がレッドフィールド比と比較して小さく、潜在的な制限要因として働く栄養塩は窒

素であることが明らかになったため、以下の栄養塩の解析では窒素塩（硝酸、亜硝酸）のみを扱った。また、各海岸の植物プランクトン供給量を求めるため、栄養塩用試水採集時に表層水を採取し(500ml×2回)、UNESCO法で色素抽出後、ターナーデザインフルオロメーターでクロロフィルa量を測定した。

各海岸の生物群集構造を求めるために、1997年5月に各海岸のムラサキインコガイベット上にベルトトランセクト(5m×0.5m×2本)を設置し、出現種を栄養ギルドに区分し、各栄養ギルドのバイオマス(海藻:乾重量、動物:湿重量)を測定した。また、群集動態(攪乱パッチ内の遷移)を明らかにするため、1997年5月に各海岸のムラサキインコガイマットに20cm×20cmの人工攪乱パッチ(裸地)を5個作成し、2か月毎に各パッチ内の固着生物の被度と、消費者(移動性ベントス)の個体数を測定した。

クロロフィルa量と窒素塩濃度(硝酸態と亜硝酸態窒素)が海岸間で差があるかを検討するために、それぞれRM-ANOVAとFreedman検定を用いた。海岸ごとの植物プランクトンと栄養塩の供給量の関係を検討するため、各海岸でのクロロフィルa量と窒素塩濃度各々の調査期間中の平均値を求め、Pearsonの相関係数を求めた。植物プランクトン供給と各海岸の群集構造の関係を検討するため、クロロフィルa量(調査期間中平均濃度)と懸濁物食者を出発点とする3栄養段階のバイオマスの間のPearsonの相関係数を求めた。栄養塩供給と各海岸の群集構造の関係を検討するため、窒素塩供給量(調査期間中の平均濃度)と藻食者を出発点とする3栄養段階のバイオマスの間のPearsonの相関係数を求めた。そして、人工攪乱パッチ内の固着生物の遷移に対する生態系生産性と消費の影響を明らかにするため、作成後8ヵ月後のパッチ内の固着生物被度を従属変数に、8ヵ月間の消費者密度と生態系生産性(クロロフィルa量と窒素塩濃度)を独立変数に変数増加法によるステップワイズ回帰分析を行った。

### 2-3. 遡河回遊性サケ属魚類による物質輸送に関する調査

北太平洋におけるサケ属魚類の海洋分布の広さとバイオマスの大きさとの関係を、1952-1975年の平均漁獲量に基づいて求めた。また、ロシア極東域カムチャツカ半島のクリル湖でのベニザケによる湖への物質還元について、室田(1995)の資料に基づいて試算した。

## 3. 研究結果と考察

### 3-1. 森林-河川エコトーンにおける物質循環と食物網

河川水温は調査期間を通じて安定しており、変動幅は5度程度であったのに対し、気温は50度近く変動した。樹冠上の光量子量には、日照時間に依存した緩やかな変化が認められたが、水面上では溪畔林の開葉期間に急激な減少が起こることが明ら

かになった。また、樹木の葉群量と藻類の現存量の季節動態は、逆のパターンを示し、後者は開葉期間に最小となることが示された。そして、このような一次生産者の季節動態を反映し、河川の無脊椎動物の現存量は秋から春にかけて最大となるのに対し、陸上性無脊椎動物の現存量は夏季に最大となることが示された。

一方、森林-河川境界面における無脊椎動物の移流量の季節変動は異なり、羽化水生昆虫量は春季から初夏にかけて最大となるのに対し、陸上性無脊椎動物の落下量は盛夏期に最大となった。また、10000回以上に及ぶ鳥類の採餌行動の観察と1000個体以上の魚類の胃内容物の分析を行った。その結果、森林性鳥類の餌資源に占める河川起源の無脊椎動物の比率は春季に高く、夏季に急速に減少した後、再び秋に高くなった。また、魚類の陸上性無脊椎動物への依存度は、夏季に最も高く、春と秋には低いことが示された (Fig. 2)。

以上の結果から、森林と河川との間にみられる、物理および化学(栄養塩)環境の季節動態のコントラストは、両ハビタット間に一次生産の傾斜とその季節的な逆転をもたらすと考えられた。この結果、両ハビタットの境界面における餌生物の移流には季節的な逆転が生じ、秋と春には森林生態系の高次捕食者である鳥類が河川の生産に依存し、逆に夏季には河川の魚類が森林の生産に依存するようになる。従って、隣接した森林と河川における高次捕食者の双方向的なサポートは、生物群集の多様性を維持する上で重要な役割を果たすであろうと考えられる。

### 3-2. 岩礁潮間帯における生物群集の構造と動態

クロロフィルa量、窒素塩濃度ともに海岸間で有為差が認められた(窒素塩濃度: Freedman検定,  $x^2=12.34$ ,  $p=0.03$ ; クロロフィルa量: RM-ANOVA,  $F_{5,6}=33.982$ ,  $p=0.003$ )。一方、海岸ごとの平均クロロフィルa量と平均窒素塩濃度間には有為な相関は認められなかった( $r=0.049$ ,  $n=6$ , ns)。

窒素塩濃度と藻食者のバイオマスの間には有為な負の相関が認められた以外では植物プランクトン、栄養塩それぞれの供給量と、それぞれを出発点とする三栄養段階のバイオマスには有為な関係は認められなかった(Table 1)。

作成後8ヵ月後の人工攪乱パッチ内では消費者(カサガイ)が少ないほど、窒素供給量が多いほど、全海藻量と石灰藻以外の海藻量が多くなった(Table 2)。石灰藻の量は消費者が多くなるほど多くなったが窒素供給量の影響は受けなかった。

人工パッチ内のムラサキイコガイ量は捕食者(肉食性巻貝)が少ないほど多くなったが、餌である植物プランクトン供給量の影響は受けていなかった(Table 2)。植物プランクトンは水中の栄養塩を利用して増殖することから、一般に栄養塩濃度の高い水域では植物プランクトン量は多くなる (Brett & Goldman, 1997)。しかし本研究では沿岸水中の植物プランクトン量は栄養塩量とは無関係であった。また栄養塩量は河口に近い海岸で高かった(野田, 未発表)。これらの事実は海岸間の栄養塩濃度

変異は陸水流入の度合に強く影響されており、陸水由来の栄養塩はあまり植物プランクトンの生産に寄与せずに潮間帯に供給されている可能性を示唆する。

植物プランクトン供給量が懸濁物食者のバイオマスおよび攪乱パッチ内のムラサキインコガイ量に影響を与えていなかった。一方、攪乱パッチ内のムラサキインコガイ量が捕食者の影響を受けていた。これらの事実は北海道の岩礁潮間帯では、懸濁物食者のバイオマスは、餌供給よりも捕食によって制限されている可能性を示唆する。

栄養塩供給が多いと藻食者のバイオマスが少なくなったことは、栄養塩供給の増加が藻食者にとっての海藻の利用可能性を低下させている可能性を示唆する。

人工攪乱パッチ内での石灰藻以外の海藻量に対する藻食者と窒素供給量の影響は、これら2要因の及ぼす直接効果からの予測と完全に一致する。一方、石灰藻の量は消費者が多くなるほど多くなったのは藻食者のもたらす直接効果からは説明できない。おそらく藻食に抵抗性のある石灰藻は (Robels & Robb, 1993)、藻食者が競争者を除去することで間接的に藻食者から恩恵を被ったのであろう。また、他の海藻とは異なり石灰藻は窒素供給量の影響を受けなかったのは、彼等の窒素要求量が他の海藻と比較して少ないことに起因している可能性がある (Suzuki et al., 1995)。

### 3-3. 遡河回遊性サケ属魚類による海洋生態系から陸上生態系への物質輸送機能

サケ属魚類 (Genus *Oncorhynchus*) はサケ科魚類9属のうち1属で、主にサケ (シロザケ) *O. keta*, カラフトマス *O. gorbuscha*, ベニザケ *O. nerka*, マスノスケ *O. tshawytscha*, ギンザケ *O. kisutch*, サクラマス *O. masou* およびニジマス (スチールヘッドトラウト) *O. mykiss* の7種からなる。本属魚類は、湖沼や河川の淡水で産卵して降海し、海洋で生活して再び産卵のために淡水へ母川回帰し、産卵後は全ての個体が死亡することから遡河回遊魚である。遡河回遊魚は北半球の高緯度地方に多く分布すること (McDowall 1987) から、淡水起源のサケ属魚類は海洋の高い生産力を利用して降海性を、淡水域で産卵し子孫を保護し生存率を高めるために母川回帰性を進化させたと考えられている (Gross 1987)。

サケ属魚類の母川回帰は、河川・湖沼生態系はもとより、それら流域の河畔林生態系を含むランドスケープに大きな影響を及ぼしている。その例をカムチャツカ半島南端のクリル湖へ溯上するベニザケから調べた。クリル湖はオゼルナヤ川水系で河口から40km上流に位置し、湖の性状や規模はほとんど支笏湖と同じ貧栄養性のカルデラ湖である。

クリル湖へのベニザケ親魚の溯上数は年による変動が著しいものの、最近 (1978-1989年) の平均では172万個体に及び、1990年には過去最高の600万個体のベニザケがクリル湖へ産卵回帰した (Table 3; 東ら 1993)。クリル湖周辺では、ベニザケが

回帰することにより、カモメ *Larus canus*, ユリカモメ *L. ridibundus* などの海鳥類、小型哺乳類のイイズナ *Mustela nivalis*, クロテン *M. zibellina*, キタキツネ *Vulpes schrenckii* や大型哺乳類のヒグマ *Ursus arctos* など、数多くの動物が越冬前の餌資源としてベニザケを利用するために集群する。同様の傾向は、例えば北海道の遊楽部川においても観察され、自然産卵するサケ親魚数が増加するにつれ、今まで分布が観察されなかったオオワシ *Haliaeetus pelagicus* やオジロワシ *H. albicilla* などの大型猛禽類が大量に飛来するようになった。アメリカ西海岸の7河川に遡上したギンザケ親魚の行方を調べた Cederholm et al. (1989) は、流域に生息する哺乳類20種と鳥類23種のうち、51% (哺乳類15種、鳥類8種) がギンザケを餌として利用していることを報告している。このように、サケ類は産卵遡上する湖沼・河川流域のランドスケープの生物多様性を著しく高めている可能性が大きい。

次に、室田(1995)に基づき、ベニザケのクリル湖への物質還元について試算した。ベニザケの親魚1個体の体重は約2kgであるから、クリル湖へは平均3,440トンのベニザケが遡上することとなる。他動物に餌として利用されたとしても、3,000トン以上のベニザケが分解可能な有機物として湖へ供給されている。ベニザケ親魚の体成分は、概ね水分69.5%, 蛋白質21.6%, 脂肪5.6%, リン酸0.6% (元素リンとしては0.26%) および灰分1.3%である (室田 1995)。従って、クリル湖ではベニザケ親魚により蛋白質として600トン以上、リン8トンが供給されることとなる。

貧栄養湖における一次生産の増殖を制限する栄養塩類の中でリン酸塩が最小律の制限因子である場合が多い。クリル湖とほぼ同じ規模で、釣りや人工増殖により湖で生産された魚類が人為的に抽出され、極度に浄化された支笏湖ではリン酸は検出限界以下 (<0.003mg/l) となっており、容積20.90km<sup>3</sup>から試算される支笏湖のリンは大目に見ても0.025トン以下ときわめて少ないことが示された。そして、クリル湖のベニザケと支笏湖のヒメマスとの再生産曲線を求めると、

$$\text{クリル湖} : R = 2.808Pe - 0.00033P \quad (r^2 = 0.4438)$$

$$\text{支笏湖} : R = 3.849Pe - 0.08578 \quad (r^2 = 0.202)$$

が得られた。ただし、Pは親魚数(千個体)、Rは子の数(千個体)を表す。上式より、それぞれの湖沼のベニザケとヒメマスの環境収容力を求めると、クリル湖が3,129千個体であるのに対し、支笏湖のそれはわずか16千個体に過ぎない。それらをバイオマスで試算すると、ベニザケとヒメマスの平均体重は2kgと200gであるので、クリル湖は6,258トン、支笏湖が3.2トンとなる。このことは、ほぼ同じような性状で規模の両湖において、ベニザケが海洋からの栄養塩をもたらすクリル湖ではその環境収容力が支笏湖の実に2,000倍にも及ぶことを表している。

同様のことは、ベニザケが遡上する他の湖におけるリンの年間流出入量からも観察されている (Table 4)。Dalnee湖はカムチャツカ半島南部の小さな富栄養湖であ



る。富栄養湖であることを物語るように、上流からのリンの流入が最も多い(70%)が、ベニザケ起源のリンも23%を占める。一方、ベニザケ生産湖沼では世界最大で(Burgner 1991)、氷河湖のIlliamna湖では全流入リン量(292トン)のうち実に58%(169トン)がベニザケにより供給されている。

このように、ベニザケをはじめとする遡河回遊魚は陸上から海洋へ流出した栄養塩のフィードバック機構として物質循環の重要な担い手となっている。すなわち、サケ科魚類は、海鳥と同様に海洋から陸上への貴重な物質循環の担い手であり、正しく「海からの贈り物」であると言える。

#### 4. 今後の課題

河川における生物群集の維持に関する森林と河川の隣接効果をより実証的に明らかにするためには、その境界面における物質および生物の移動を人為的に制御することが出来る大規模な操作実験が必要である。また、生態系生産性が岩礁潮間帯生物群集の構造や動態に及ぼす影響を総合的に解明するには、海岸間で変異する他の群集形成要因(例えば、地質、幼生供給量など)の影響をも評価に加え、さらに多くの海岸で長期的研究を継続することが望まれる。

#### 5. 文献

- 東照雄・帰山雅秀・木下卓・森田一男(1993)水産の研究 12: 79-83.
- Brett, M.T. & Goldman, C.R. (1997) *Science* 275: 384-386.
- Burgner, R.L. (1991) in *Pacific salmon life histories* (eds. Groot, C. & Margolis, L.) pp. 1-118. UBC Press, Vancouver.
- Cederholm, C. J., Houston D.B., D. L. Cole D.L. & Scarlett W.J. (1989) *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1347-1355.
- Fretwell, S.D. (1977) *Pres. Biol. Med.* 20: 169-185.
- Gross, M. R. (1987) *Am. Fish. Soc. Symp.* 1: 14-25.
- 帰山雅秀(1994)川と海を回遊する淡水魚:生活史と進化(後藤晃・塚本勝巳・前川光司 編) pp. 101-113. 東海大学出版会、東京.
- Kaeriyama, M. (1996) *Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery* 50: 101-111.
- McDowall, R. M. (1987) *Am. Fish. Soc. Symp.* 1: 1-13.
- Menge, B.A., Daley B. & Wheeler, P.A. (1996) in *Food webs* (eds. Polis, G.A. & Winemiller, K.O.) pp. 258-274. Chapman & Hall, New York.
- 室田武(1995) *生物科学* 47: 124-140.
- Naiman, R.J. & Decamps, H. (1997) *Annual Review of Ecology and Systematics* 28: 621-658.

Oksanen, L., Fretwell, S.D., Arruda, J. & Niemela, P. (1981) *Am. Nat.* 118: 240-261.

Polis, G.A., Holt, R.D., Menge, B.A. & Winemiller, K.O. (1995) in *Food webs* (eds. Polis, G.A. & Winemiller, K.O.) pp. 435-460. Chapman & Hall, New York.

Robels, C. & Robb, J. (1993) *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 166: 65-91.

Suzuki Y., Kuma K., Kudo I. & Matsunaga K. (1995) *Phycologia* 34: 201-205.

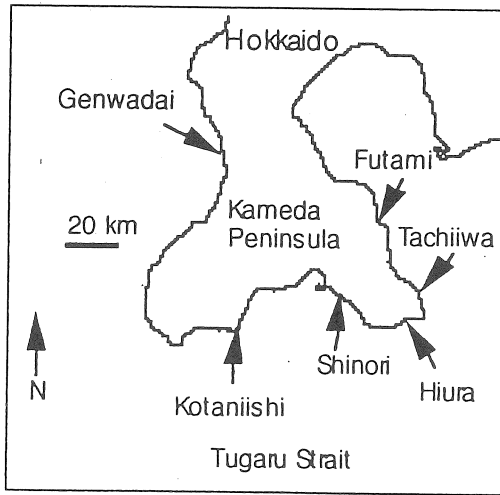


Fig. 1. Study sites in southern Hokkaido.

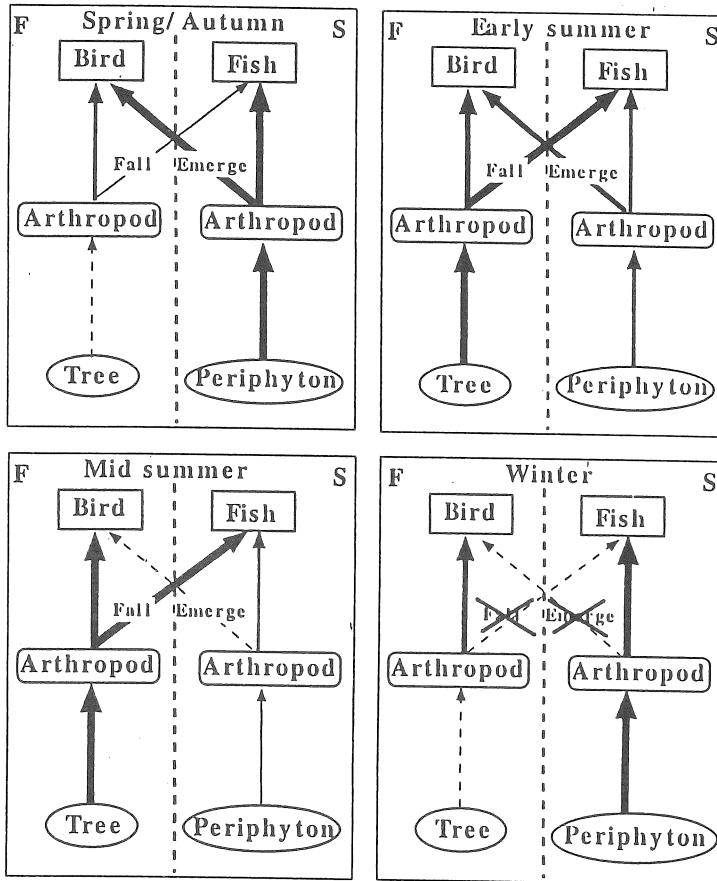


Fig. 2. Seasonal dynamics of trophic connectance between stream and forest ecosystems with special reference to reciprocal subsidization of top consumers by prey transfers.

Table 1. Pearson's correlation between the biomass of organisms in the three trophic level and system-productivity ( $n=6$ ). Asterisk:  $**0.01 > P \geq 0.001$ .

	Chl <i>a</i> concentration	N (nitrite and nitrate) concentration
Basal-level biomass	0.335	0.580
Intermediate-level biomass	0.419	-0.942**
Top-level biomass	0.219	0.601

Table 2. Significant forward selection stepwise regressions for cover of sessile organisms against system-productivity (bottom-up control) and consumption (top-down control) in artificial disturbance patches. Dependent variables: C=arcsin-transformed percentage cover of sessile organisms. Independent variables: N=mean concentration of  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$  ( $\mu\text{M}$ ) during June 1997-January 1998; G=mean density of limpet during June 1997-January 1998; P=mean density of whelks during June 1997-January 1998. The  $\alpha$ -to-remove value was 0.05. Within each stepwise regression, independent variables with significant partial F-value are represented by asterisks:  $*0.05 > P \geq 0.01$ ;  $**0.01 > P \geq 0.001$ ;  $***0.001 > P$ .

Dependent variable	<i>n</i>	Model	$R^2$	<i>F</i>	<i>P</i>
All algal species	29	$C=17.4*+11.9N^{**}-8.797G*$	0.41	9.16	0.001
Coralline algae	29	$C=5.4+9.6G*$	0.19	6.47	0.017
Algae (excluding corallina)	29	$C=16.1+11.7N^{**}-15.6G^{**}$	0.48	11.92	0.0002
<i>Septifer vergatus</i>	29	$C=28.8^{***}-1.1P*$	0.20	6.86	0.014

Table 3. Number of adult sockeye salmon ascending to the Ozernya River, the outlet of Kuril Lake.

Year	No. of adult migrants (thousand individuals)	Year	No. of adult migrants (thousand individuals)
1970	380	1981	1,250
1971	550	1982	750
1972	450	1983	1,650
1973	260	1984	2,750
1974	460	1985	3,420
1975	530	1986	2,350
1976	400	1987	3,000
1977	750	1988	2,050
1978	1,450	1989	2,500
1979	1,350	1990	6,000
1980	1,500		

Table 4. Annual amount of inflow and outflow phosphorus (P) in two lakes of Kamchatka (data from Murota (1995)).

Lake	Dalnec Lake		Illiaqma Lake	
Surface area(km <sup>2</sup> )	1.4		2622	
Maximum depth(m)	60		301	
Average depth(m)	32		44	
Amount of P/ year	kg-P	%-P	tons-P	%-P
Inflow				
from the upstream	800	70	115	39
from precipitation	75	7	8	3
adult sockeye	260	23	169	58
Total	1135	100	292	100
Outflow				
young sockeyes	20	2	10	13
into the downstream	890	98	69	87
Total	910	100	79	100
Net amount of inflow P	225		213	

## Inter-relationships among the habitats of forests, rivers and coastal sea, with reference to the important function of nutrient transportation by anadromous fishes

Akira Goto<sup>1)</sup>, Masahide Kaeriyama<sup>2)</sup>, Shigeru Nakano<sup>3)</sup> and Takashi Noda<sup>1)</sup>

1) Faculty of Fisheries, Hokkaido University

2) Faculty of Technology, Hokkaido Tohkai University

3) Faculty of Agriculture, Hokkaido University

### Summary

River system is an ecotone between the two defined habitats, land area and inland water region. It is also an ecotone between inland water region and coastal sea. These habitats, which are usually adjacent to each other, are thought to be mutually influenced in the aspects of the nutrient cycling and food webs. In the present study, we researched on 1) the seasonal dynamics of nutrient budget and food webs in the ecotone between the forest and river, 2) the community structure and the dynamics of material budget in the intertidal zone of coastal bedrocks, and 3) the function of nutrient transportation from the ocean to land ecosystems performed by anadromous salmonid fishes.

1. In the ecotone between the forest and river of southwestern Hokkaido, the biomass of tree leaves in the broad-leaved forest and algae in the stream showed the maximum in summer and in the period from autumn to spring, respectively. Corresponding to these seasonal dynamics, the terrestrial invertebrates had the maximum biomass in summer, while the riverine invertebrates did in the period from autumn to spring. As a result, forest birds abundantly utilized riverine invertebrates as their foods in spring, whereas riverine fishes highly utilized terrestrial invertebrates in summer. These data suggest that the riverine products appear to supply forest birds the nutrients in the period from autumn to spring, while the forest products seem to supply riverine fishes the nutrients in summer.

2. To elucidate the community structure and dynamics of organisms in the intertidal zone of coastal bedrocks, chlorophyll-a and N (nitrite and nitrate) concentrations were measured in 6 coastal sites of southern Hokkaido. The relationships were also analysed between the mean density of phytoplanktons and the mean N concentration, and between the phytoplankton density and the percentage cover of sessile organisms. The chlorophyll-a and N concentrations showed a significant difference between the sites examined, respectively, but no significant correlations were found between these two variables in each site. Although there was a significant correlation between N concentration and the biomass of algivores, no significant correlations were found among the density of phytoplanktons, N concentration and the biomass of carnivorous animals.

3. Based on the comparison of Pacific salmon biomass in river and ocean phases, it was reconfirmed that anadromous fishes such as salmonids had an important function in upstream transportation of oceanic nutrients onto land ecosystems.