

平成 21 年 6 月 5 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18580151

研究課題名（和文）ダム構造物が流域の物質循環・生態系に与える影響とその修復手法の開発

研究課題名（英文）The influence of artificial dam on stream ecosystems and material flow and development of rehabilitation method

研究代表者

柳井清治(YANAI SEIJI)

北海道工業大学・空間創造学部・教授

研究者番号：20337009

研究成果の概要：

ダム構造物が流域の物質循環や生態系に与える影響に関する解明と生態系を修復する手法を開発した。ダムが物質循環に及ぼす影響に関してはダムの背後に貯留される落葉が嫌気化して分解がされにくい過程を解明できた。また遡河回遊魚がダムによって遡上を阻まれる実態についてヤツメウナギやサクラマスで明らかにし、そのことが河畔の陸上生態系に与える影響に関して窒素安定同位体比分析で明らかにすることができた。こうしたダムの弊害を緩和する手法としてダムのスリット化が挙げられ、既存のダムの切り下げ試験を行政との共同で行い、その有効性について実証できた。さらに高落差のコンクリート構造物ではなく現地発生の木材を利用して防災的機能を発揮させつつも、魚類の生息場としても機能できるログダム、デブリキャッチャーなどの構造物を開発した。またアメリカ・カリフォルニア州でダム撤去の現場を実際に訪れ、技術的な問題点や行政的な課題などの情報収集を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,400,000	540,000	3,940,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・森林工学

キーワード：①ダム ②遡河性魚類 ③有機物 ④物質循環 ⑤修復工法

## 1. 研究開始当初の背景

我国は、国土の約 2/3 が標高 100m 以上の山地であるため、日本人の生産及び生活は、河川扇状地や海岸地域に集中し、昭和以降、全国各地において治山・治水・利水を目的とするダム建設が進められた。ダム建設技術の進歩発展は、人類の生活・生産の向上に多大な貢献をしたが、一方で自然の水環境に大きな変化をもたらした。例えば黒部川の宇奈月ダム（国土交通省）では 1991 年に日本で初めてダム本体に排砂ゲートをつけたことにより、ダム湖に貯まった土砂や有機物を排出

させることに成功した。だが、土砂排出に伴い発生した長年蓄積された落葉の流下は、沿岸域の漁業に深刻な被害をもたらした。その理由は、ダムに堆積した落葉が、酸素不足により還元状態になっていたためであると推測されるが、ダム内に堆積した落葉のダム内およびダム下流の河川における質的变化や、これら落葉が海域へ及ぼす影響について不明な点が多い。

また 2005 年 7 月に世界自然遺産に登録された知床半島では、登録に際して中小の溪流に設置された多くの治山ダムに関して、国際

自然保護連盟の委員から撤去ないし改善の指摘を受け、改めてダム生態系に与える問題点と森—川—海の物質循環の健全性を修復する手法の開発に大きな関心が集まっている。

## 2. 研究の目的

昭和以降、全国各地において治山・治水・利水を目的とするダム建設が進められた。ダム建設技術の進歩は、人類の生活・生産の向上に多大な貢献をしたが、一方で河川生態系に大きな変化をもたらした。例えば貯水ダム建設は巨大な停滞水域としてのダム湖を造成し、造成された停滞水域には、水温変化、濁水長期化、富栄養化などの水質変化や生物相の変化が生じ、河床形態や生態系にも影響を及ぼす。また崩壊しやすい特性を持つ日本の多くの河川上流において建設された治山・砂防ダムは、土砂生産と流出を抑制し災害を防止する一方で、ダムに流入し堆積した落葉や枝などの有機物のヘドロ化、有機物流出過程の変化、水温低下や流路遮断等による溪流生態系への影響が懸念されている。しかし森林から生産された落葉や枝の質的变化や流出過程の変化が河川生態系に与える影響についての知見は極めて少なく、国外での研究結果は河川環境が日本とは異なるため適用できない場合が多い。

そこで本研究は、治山・砂防ダムを対象として、ダム構造物が森林から海に至る河川の物質循環、およびそこに生息する河川生物へ及ぼす影響について検討すること、つぎにダム構造を改善することに伴う河川生態系に与える影響、さらに生態系に影響の少ない構造物を提案することを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 既存ダム構造物が希少魚類と物質循環に及ぼす影響

### ① ダム湖に堆積した落葉の分解過程

治山・砂防ダムに堆積した落葉や枝の分解実験を行いその分解速度を明らかにするとともに、葉や枝の硫化物含有量、窒素含有量、微生物呼吸量や菌類のバイオマスなどを測定し、これら有機物の質的变化を明らかにする。同時に水温や水質についても測定を行い、ダム内の物理的環境の季節変化についても明らかにする。

またヘドロ化した有機物は生物に利用されにくいと考えられるため、落葉については水生動物の飼育実験を行うことで、治山・砂防ダム内に滞留した落葉が水生動物の生残率、成長、発育に与える影響について明らかにする。

### ② ダム構造物が魚類の遡上・産卵環境に及ぼす影響

ダム構造物が河川生態系に及ぼす影響に

関しては、絶滅危機種や資源減少魚種であるイトウ、サクラマス、ヤツメウナギを対象に、遡上の実態調査を行う。とくに産卵期における産卵床の分布と稚魚の種組成を構造物の上流と下流で行う。またかつての生息域、推定密度、河道形状などについて地元住民に対する聞き取り、行政などによる河川調査資料による分布域をGISで再現する。かつて見られたが現在は見られない箇所、過去、現在ともに生息する箇所について明らかにし、今後これらの魚種の生息場を回復させていく場合の検討材料とする。

### ③ ダム構造物が森林生態系の物質循環に及ぼす影響

質量分析装置による窒素の安定同位体比分析法を用いて、海から遡上してくるサケ科魚類に多く含まれる海由来の重い窒素安定同位体 ( $^{15}\text{N}$ ) が陸上植物に取り込まれる割合を明らかにし、遡上サケが流域の生態系に及ぼす影響をダム構造物が設置された河川との比較により評価する。

### (2) ダムのスリット化実験

ダムによる弊害をなくすため、魚道設置が行われてきたが、維持管理やコストの面で課題が大きい。一方近年施工が試み始めたのがダムのスリット化である。この方法は魚類の移動を妨げず、下流への土砂供給が図られ、しかもコストが極めて安いなど利点がある。しかし満砂状態のダムで切り下げた場合に発生する土砂移動に関する知見は極めて少ない。そこで2005年から段階的に施工されている治山ダム群の切り下げによる土砂移動と地形変化、および生物群集の変化に関して調査を行い、その有効性について検証を行う。

### (3) 河川生態系と物質循環に影響の少ない構造物の開発

河川環境を修復する手法の一つに倒木や間伐材を使用した木製構造物がある。これは魚類の生息場を創出し、景観に溶け込みやすく低コストで施工できるという利点を持った構造物であるが、耐久性や河川地形、および河川生態系に与えられる影響は明らかにされていない。そこで施工から約10年経過した木製構造物とその周辺環境を調査し、生態系の修復工法としての可能性を評価した。

### (4) 国外のダム撤去における現状の把握

特にアメリカではダム撤去の動きが進んでいることから、ダム撤去のための環境影響評価、工学的手法、技術的や行政的なプロセス、さらに地域住民の合意形成手法などについて情報収集を行う。そして、日本国内の事例について適用できる点、出来ない点について検討する。

## 4. 研究成果

(1) 既存ダム構造物が希少魚類と物質循環

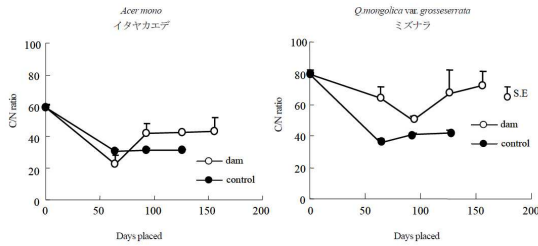


図1 広葉樹落葉のダム湖内での C/N 比の変化 (○はダム、●は対照区)

に及ぼす影響

①ダム湖に堆積した落葉の分解利用過程

流域での落葉の分解過程について実験を行った。ミズナラとイタヤカエデを溪流に設置したところ 3 ヶ月後ではほぼ分解されたのに対し、ダム湖内の落葉は 40~60% 近く残存していた。落葉の質的变化の指標として C-N 比を調べたところ、ダム湖内でのサンプルは一旦 20~30 まで低下するものの 40~80 まで再び上昇した。また溶存酸素濃度を調べたところ、微生物の酸素呼吸量はダム湖と比べて流域内は 4 倍であった。微生物は使いやすい酸素から順に消費するが、ダム湖内での消費する酸素は流域と比べ、少なかった。さらに微生物の繁殖しない落葉は、水生動物にとっても栄養的な価値は乏しく、著しいマイナスの成長速度を引き起こしたと考えられる。よって落葉がダムに堆積することは、自然状態に比べて分解率が低下し、質的にも悪化し、さらに微生物による分解も低下すると考えられる

②ダム構造物が魚類の遡上・産卵環境に及ぼす影響

サクラマスを指標魚として、構造物の落差および下流部の形態が遡上に与える影響を評価した。サクラマスの遡上は、構造物の落差に大きく影響されており、落差が大きくなるほど遡上率は低下する傾向が見られたが、中には同程度の落差の構造物間で遡上率に大きな差が生じるものもあった。そこで、構造物下流部のプールの有無(水深 30cm を基準に)で構造物を 2 タイプに分類したところ、遡上率と構造物の落差との相関関係が明瞭

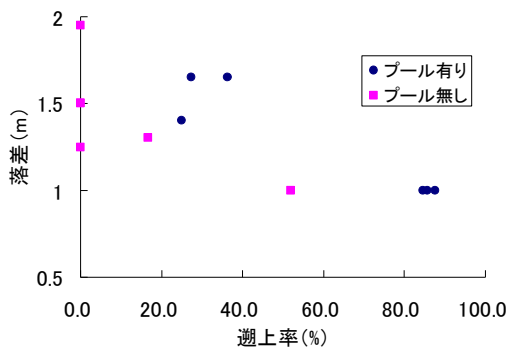


図2 サクラマス親魚の遡上率と構造物の落差の関係

に示された。この 2 タイプにおいて、遡上の限界となる落差を算出したところ、プールが存在する構造物では 1.8m が、プールの存在しない構造物では 1.4m がサクラマスの遡上限界であるという結果が得られた。この結果は、サクラマスにおいてはプールが存在することで遡上が改善されることを示している。この様に、遡上を阻害する要因を解明し、その要因の除去・低減を図り、それぞれの構造物の問題に合わせた改修を行うことを検討する必要がある。

またヤツメウナギを研究対象とし、ダム構造物の影響を解析した。北海道中央部を流れる石狩川においてカワヤツメの遡上実態と産卵行動、産卵床の物理環境、および遡上を妨げる構造物の形態について明らかにすることを目的とし、調査を行った。

この結果、平水時は流量が少なくても出水時期においては 0.5m 程度の水位上昇は発生する確率は高く、ヤツメウナギ類はこうした出水時に水面ないし底面に付着しながら落差を乗り越えてゆくことが可能であることがわかった。しかし、1m 以上の落差工は確実に遡上できない。限界遡上高は 0.5m~1m の中間地点と見られる。ヤツメウナギを保全する上で、親魚が産卵場(適当な礫の存在する支流)に遡上する条件が確保することが重要である。しかし実際は本流と支流との合流点で多くの構造物(落差工、頭首工および砂防ダムなどが築設されており、そのほとんどは魚道がないかまたはあっても階段式魚道など主にサケ科魚類を対象とした構造になっており、魚道をサケ以外の希少な魚類が泳ぎ上がるような構造(例えば斜路式魚道など)に変えてゆくことも重要である。また産卵場を形作る適当なサイズの礫も上流から掃流されないため減少している。そのため、礫をせき止めている上流の砂防・治山ダムを改変して土砂供給を図ることが重要である。

③ダム構造物が森林生態系の物質循環に及ぼす影響

海由来のサケの死骸が河川や森林生態系にどれくらい利用されているかを定量的に明らかにするため、安定同位体比分析法により河畔の植物や水生昆虫、魚類などの測定を行った。海から遡上したサケ類には落ち葉に比べて著しく高い  $^{15}\text{N}$  が含まれており、遡上しない河川と比較して  $\delta^{15}\text{N}$  の多い分がサケの影響を受けたものとみなせるからである。この結果、ハルニレについては遡上河川の近傍で高い傾向が、また多年生草本のアキタブキは同じく遡上河川の近傍が有意に高く、これらの植物がサケ由来の窒素の影響を強く受けている可能性が示された。一方、水生昆虫とサクラマスの幼魚について遡上河川と非遡上河川で比較したところ、全ての種や属で遡上河川の方が 0.3~2.7% 高いことがわか

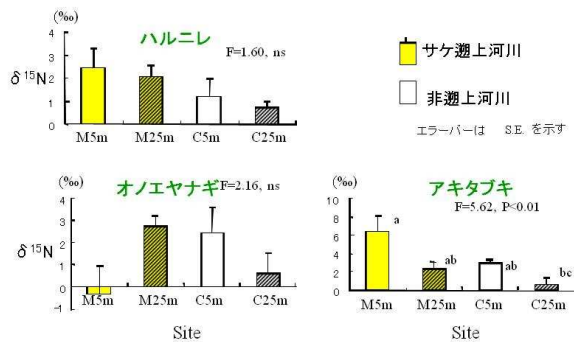


図3 河畔植生に含まれる窒素安定同位体比の比較。このことから、死骸から流出する栄養塩が微生物に取り込まれ落ち葉の栄養価を高め、それを水生昆虫が捕食し、さらにその上位の捕食者に影響を与えるという関係が検証された。

### (2) ダムのスリット化実験

実験地を北海道北部、留萌管内増毛町岩老地区を流れる丸平の沢を選定した。この河川には、1999年に発生した土石流災害以降施工された治山ダム(平均堤高3.5m)が計11基設置されているが、全て満砂状態であった。ダム切り下げは2005年に中流部の2基がスリット化され、2006年度末にその上下流に位置する3基がスリット化された。スリット工事はダム中央部の幅3m、高さ2mを台形に切り下げるもので、下流部には落差を解消するため直径0.5~1m程度の現地産出の大礫を扇形に配置し、上流から流下してくる砂礫を埋積させた(下図)。

2007年に3基のダムのスリット化が行われた。ダム下流部には、現地で採掘された巨石が扇状に配置させ、これらは上流から流下した小礫を貯留し、流速の緩和をもたらす効果が見られた。また、河床低下に伴い、兩岸の侵食も促され、様々な大きさの礫が河床内に露出していた。礫径の分布状況は、ダムの未スリット化区間とスリット済み区間で、礫径組成に著しい違いがあった。スリット化実施区間では、礫径は変動幅が大きく多様性があ



図4 既存ダムの切り下げ試験(留萌管内丸平の沢)

ることが明らかになった。この河川に生息するアメマス(アザヒマス)の標識放流を行い、移動過程を調査したところ、切り下げ区間を通して上流に遡上したことが明らかになった。

### (3) 木製構造物が河川地形と生態系へ与える影響

設置された木製構造物は、流れに直角に横断する形態のログダム、V字状に組み合わせた形態のウェッジダム、流れを制御する働きを持つデフレクター、流木捕捉機能を持つデブリキャッチャーの4種類である。調査はこれらの木製構造物が施工されている道北の雄武町幌内川支流パンケオロピリカイ川と道央の当別町当別川支流一番川の2河川で行なった。

調査の結果、木製構造物によって淵が形成され、起伏に富んだ地形が維持されていた。淵面積は94.3㎡(2000年)から311.7㎡(2008年)まで増加していた。さらに、森林が侵食され荒廃した河岸の回復も見られ、礫堆積地から樹林へと変化していた。また、木材の腐朽はほとんど見られず、木材硬度も高い値を示していた。デブリキャッチャーは大量の流木を捕捉しており、流木捕捉機能を発揮し維持し続けていた。パンケオロピリカイ川において2004年に行なわれた魚類調査結果を解析した結果では、春と秋においてサクラマス幼魚の密度に違いが見られ、ヤマメ密度では木製構造物施工区において非施工区の4倍程度高かった。

以上のことから、防災機能に関しては、ログダムが河床勾配を緩和し侵食を抑止するという点と、デブリキャッチャーによる流木捕捉により流木災害を防ぐという点から有効であると考えられる。さらに、河畔林は根系による土壌の緊縛機能と、より多くの流木を捕捉する機能を持つことから、河畔林の回復は防災機能の向上に繋がると考えられる。生態的機能については、ヤマメが他の区間より高密度であることから木製構造物が作り出した淵はサケ科魚類の生息場として良好であったと評価される。これまで土地利用



図5 木材を用いた低落差の河川構造物の開発試験

の比較的少ない山地上流域までハードなコンクリートダムが造られるケースが多かったが、木製ダムの機能から見て災害の危険性の少ない山地河川での修復工法として取り入れてゆくべきと考えられた。

#### (4) 国外のダム撤去における現状の把握

アメリカ・カリフォルニア州北部のダム撤去現場において NOAA や California Fish & Game, および Coastal Conservancy の職員への聞き取りを行った。

カリフォルニア北部ではかつて豊かな自然に囲まれ、多くのサケ科魚類が生息していた。しかし 1950 年～60 年代に発生した大雨災害による災害復旧のため、多くの河川では多くの構造物が築設され、サケ科魚類の多くはその移動経路が分断され、孤立化してしまった。しかしギンザケやキングサーモンが絶滅危惧種保護法 (Endangered Species Act=ESA) の指定を受け、サケ類の遡上と繁殖を阻む障害物、道路のカルバートやダムの撤去は大きく脚光を浴びるようになった。

1999 年から北部の 5 つの郡で行政の境界を越えたサケ科魚類保護のプログラムが開始され、まず河川の中の障害物を把握するため、目録作りが連帯して進められるようになった。現在、州の沿岸保全局 (Coastal Conservancy) によれば全体で 13000 か所の遡上の障害物がある。そのうち 2500 箇所は非常に重大な影響を与える構造であり、その形態としては、ダムが 15%、道路横断構造物

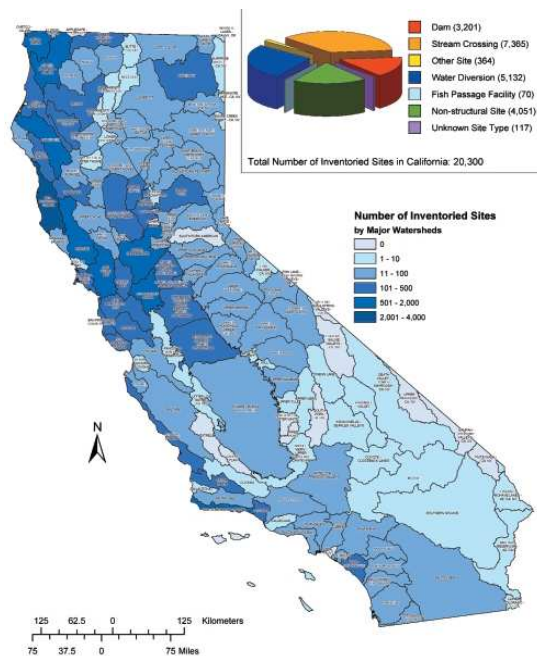


図 6 サケ科魚類の遡上を妨げる河川構造物の分布 (California Coastal Conservancy 資料より)

が 35%、水利施設が 25%となっている。

構造物の影響評価を行う上で威力を発揮

しているのが州立大学独自に開発された FishXingIII である。これは魚類・土木や情報系の研究者が共同で開発したソフトウェアで、障害となる構造物の物理的なパラメーター (高さや底質、幅、流速など掘り込み) などを入力することにより、実際にその構造物を遡上できるかどうかを科学的に評価するツールとして活用されている

さらに重要なツールとして、GIS のソフトウェアを活用して、現地調査のデータや FishXing によるシミュレーションの結果から得られたデータを流域、地域ごとに障害物の分布を一目でわかるように表示され、データベースが作成されている。これらのツールを用いて、必要とする流域の魚類などの生物情報、障害となるダムや横断構造物の状況を把握でき、流域内で再生事業を行う際の情報共有手段として、重要な役割を果たしている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

1. 白川北斗・柳井清治・河内香織 (2009) カワヤツメ幼生の生息地選択性は成長段階によって変化する。応用生態工学 (受理)
2. Kochi K., Sakurai I. and Yanai S. (2007) Role of forest-origin coarse particulate organic matter for the brackish water amphipod *Anisogammarus pugettensis*. Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography 71:255~262
3. 柳井清治・河内香織・伊藤絹子 (2006) 北海道東部河川におけるシロザケの死骸が森林一河川生態系に及ぼす影響。応用生態工学 9:167~178
4. 渡辺恵三・中村太士・小林美樹・柳井清治・米田隆夫ほか (2006) 河川の階層構造に着目したサクラマス幼魚の越冬環境一越冬環境を考慮した川づくりの提言一。応用生態工学 9:151-165
5. Kochi K. & Yanai S. (2006) Decomposition of leaves in coastal brackish water and their use by the macroinvertebrate *Anisogammarus pugettensis*. Marine and Freshwater Research 57: 545-551
6. Kochi K & Yanai S. (2006) Shredder colonization and decomposition of green and senescent leaves during summer in a headwater stream in northern Japan. Ecological Research 21: 544-550
7. Sakurai I. and Yanai S. (2006) Ecological significance of leaf litter that accumulates in a river mouth as a feeding spot for young cresthead

flounder (*Pleuronectes schrenki*).  
Bulletin of the Japanese Society of  
Fisheries Oceanography 70: 105~113  
[学会発表] (計 9 件)

1. Yanai S. (2008) Restoration of devastated channel using woody debris in a natural stream in Hokkaido, Japan 2008-11 The 4th International Conference on Landscape and Ecological Engineering. Taipei, Taiwan.
2. 柳井清治・雨宮和夫・小林真吾 (2008) ダム切り下げによる溪流環境再生の試み 第12回応用生態工学会大会. 福岡市.
3. Yanai S. (2008) Conservation of forest ecosystems by restoring nutrient feedback from ocean. The 3rd International Meeting on Asian Zoo/Wildlife Medicine and Conservation. Bogor, Indonesia.
4. 柳井清治・雨宮和夫 (2008) 治山ダム切り下げによる土砂移動と地形変化. 日本森林学会 119 回大会講演. 東京都.
5. 岡本哲志・柳井清治・宮腰靖之・川村洋司・ト部浩一・下田和孝 (2008) 河川構造物がサクラマス遡上と与える影響-尻別川水系の支流を事例として. 平成 20 年度砂防学会研究発表大会. 札幌市
6. 柳井清治・白川北斗 (2007) 石狩川におけるカワヤツメの産卵環境と河川構造物の影響 応用生態工学会第 11 回研究発表会講演. 名古屋大学.
7. 柳井清治・白川北斗・河内香織 (2007) 石狩川におけるカワヤツメ幼生の生息環境と摂餌生態 第 54 回日本生態学会講演. 松山市.
8. 河内香織・柳井清治 (2006) 砂防ダムに堆積した落葉の分解過程と溪流性ヨコエビへの影響 応用生態工学会第 10 回研究発表会講演. 東京都.
9. 瀬野太郎・柳井清治・永山滋也・中村太士 (2006) 改修河川における木製水制工がサクラマス生息環境と与える影響の評価 応用生態工学会第 10 回研究発表会講演. 東京都.

[図書] (計 6 件)

1. Yanai S. (2008) Ecology of riparian forest in Japan. Chap 3: Sediment dynamics and characteristics with respect to river disturbance. pp. 31-45. Sakio H. & Tamura T. ed Springer-Verlag.
2. Marutani M., Kikuchi S., Yanai S. and Kochi K. (2008) River futures-An integrative scientific approach to river repair-Chap 12: Light and Dark of

Sabo-dammed streams in steep land settings in Japan. pp. 220-236. Brierley G., Frirs K. and Hobbs R. ed. 365pp. Island Press, New York

3. 長坂晶子・河内香織・柳井清治 (2008) 水産学シリーズ 157 森川海のつながりと河口・沿岸域の生物生産: 5 章, 河川・沿岸域への森林有機物の供給過程. 山下洋・田中 克編 恒星社厚生閣
4. 櫻井泉・柳井清治 (2008) 水産学シリーズ 157 森川海のつながりと河口・沿岸域の生物生産: 6 章 カレイ未成魚による森林有機物の利用. 山下洋・田中 克編 恒星社厚生閣
5. 柳井清治ほか (2006) 流域学辞典 人間による川と大地の変貌. 新谷融・黒木幹男編 p. 220 北大図書刊行会
6. Yanai S., Nishihama Y. and Tamura R. (2006) Dynamics of suspended sediment concentration and the impact on a lake-inhabiting bivalve (*Corbicula japonica*) in the Abashiri River basin, Hokkaido, northern Japan. In Geo-environment and Evolution II Martin-Duque J.F., Brebbia C.A., Emmanoueloudis D.E. and Mander U. pp. 231-240. Wessex institute of Technology Press.

(5) その他 アウトリーチ活動

1. 柳井清治 (2007) 石狩川の河川環境とヤツメウナギの生息場. 北海道石狩支庁 講演会. 江別市
2. 柳井清治 (2007) サケを介した海から山への物質循環について. 信州大学山岳総合研究所講演会. 松本市
3. 柳井清治 (2007) サケ科魚類の保護と遡上障害の解消 2007-10 NPO 法人北海道魚道研究会 秋期講演会 in 札幌. 札幌市
4. 柳井清治 (2008) 森林が魚と与える影響-物質循環の観点から- 2008-2 全国漁場環境整備保全対策協議会. 東京都
5. 柳井清治 (2008) 尻別川流域における生態系保全策の提案 2008-9 NPO 法人北海道魚道研究会 秋期講演会 in 倶知安. 倶知安町

ホームページ

<http://www.hit.ac.jp/~yanai/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳井 清治

北海道工業大学・空間創造学部・教授

研究者番号: 20337009

(2) 研究分担者

河内 香織 (2006 年度まで)

北海道工業大学・非常勤講師

研究者番号: 50423984